



IPC-CH-65B CN

2011年7月

印制板及组件清洗指南

取代IPC-CH-65A

1999年9月

本标准由IPC开发

Association Connecting Electronics Industries



标准化的原则

1995年5月，IPC技术行动执行委员会(TAEC)采用了该“标准化的原则”作为IPC致力标准化的指引原则。

标准应该

- 表达可制造性设计(DFM)与为环境设计(DFE)的关系
- 最小化上市时间
- 使用简单的(简化的)语言
- 只涉及技术规范
- 聚焦于最终产品的性能
- 提供有关应用和问题的反馈系统以利将来改进

标准不应该

- 抑制创新
- 增加上市时间
- 拒人于门外
- 增加周期时间
- 告诉你如何作某件事
- 包含任何禁不住推敲的数据

特别说明

IPC标准和出版物，通过消除制造商与客户之间的误解，推动产品的可交换性和产品的改进，协助买家进行选择并以最短的延迟时间获得满足其特殊需要的适当的产品，以实现为公众利益服务的宗旨。这些标准和出版物的存在，即不应当有任何考虑排斥IPC会员或非会员制造或销售不符合这些标准和出版物要求的产品，也不应当排斥那些IPC会员以外无论是国内还是国际的公众自愿采用。

IPC提供的标准和出版物是推荐性的，不考虑其采用是否涉及有关文献、材料或工艺的专利。IPC既不会对任何专利所有者承担任何义务，也不会对任何采用这些推荐性标准和出版物的团体承担任何义务。使用者对于一切专利侵权的指控承担全部辩护的责任。

IPC关于规范修订变更的立场声明

使用和执行IPC的出版物完全出于自愿并且成为用户与供应商关系的一部分，这是IPC技术行动执行委员会的立场。当某个IPC出版物升级以及修订版面世时，TAEC的意见是，除非由合同要求，这种新的修订版作为现行版的一部分来使用的关系不是自动产生的。TAEC推荐使用最新版本。
1998年10月6日起执行

为什么要付费购买本文件？

您购买本标准是在为今后的新标准开发和行业标准升级作贡献。标准让制造商、用户、供应商更好地相互理解。标准会帮助制造商建立满足行业规范的工艺，获得更高的效率，向用户提供更低的成本。

IPC每年投入数十万美元支持IPC的志愿者在标准和出版物上的开发。草案稿需要多遍审查，委员会的专家们要花费数百小时进行评审和开发。IPC员工要出席和参加委员会的活动，打印排版，以及完成所有必要的手续以达到ANSI(美国国家标准学会)认证要求。

IPC的会费一直保持在低位以使尽可能多的公司加入。因此，有必要用标准和出版物的收入补偿会费收入。IPC会员可以得到50%的折扣价格。如果贵公司需要购买IPC标准和出版物，为什么不加入会员得到这个实惠，并同时享有IPC会员的其他好处呢？有关IPC会员的其他信息，请浏览www.ipc.org，或致电001-847-597-2872。

感谢您的继续支持。



IPC-CH-65B CN

印制板及组件清洗指南

If a conflict occurs between the English and translated versions of this document, the English version will take precedence.

本文件的英文版本与翻译版本如存在冲突，以英文版本为优先。

由IPC清洗与涂覆委员会（5-30）清洗与替代分委员会（5-31）开发；由IPC TGAAsia 5-31CN技术组翻译

取代：

IPC-CH-65A – 1999年9月
IPC-CH-65 – 1990年12月
IPC-SC-60A – 1999年8月
IPC-SA-61A – 2002年6月
IPC-AC-62A – 1996年1月
IPC-SM-839 – 1990年4月

鼓励本标准的使用者参加未来修订版的开发。

联系方式：

IPC
3000 Lakeside Drive
Suite 309S
Bannockburn, Illinois
60015-1249
Tel 847 615.7100
Fax 847 615.7105

IPC 中国
电话：400-621-8610
+86-21-2221-0000
邮箱：BDACHina@ipc.org
网址：www.ipc.org.cn

上海 青岛 深圳 北京 苏州 成都

此页留作空白

鸣谢

任何包含复杂技术的标准都要有大量的资料来源。我们不可能罗列所有参与和支持本标准开发的个人和单位，下面仅列出清洗与涂覆委员会（5-30）清洗与替代小组委员会（5-31）的主要成员。然而，我们不得不提到IPC TGA Asia 5-31CN技术组的成员，他们力求译文文字的信达雅，为此标准中文版的翻译、审核付出了艰苦的劳动。我们在此一并对上述各有关组织和个人表示衷心的感谢。

清洗与涂覆委员会

主席

Douglas O. Pauls
Rockwell Collins

清洗与替代分委员会

主席

Dr. Mike Bixenman
Kyzen Corporation

IPC董事会技术联络员

Peter Bigelow
IMI Inc.

Sammy Yi
Aptina Imaging Corporation

清洗与替代分委员会

Greg Marszalek, 3M
Edward DePauw, 3M
David Hesselroth, 3M
Doug Shueller, AbelConn
Ronald McLinay, American General Consulting
Mike Konrad, Aqueous Technologies
Kevin Buckner, Aqueous Technologies
William Adams, Astronautics Corp.
Fritz Byle, Astronautics Corp.
Steve Stach, Austin American Technology
Greg Hurst, BAE Systems
Barbara Kangesburg, BFK Consulting
Ed Kanegsburg, BFK Solutions
Thomas Carroll, Boeing
Ed Lamm, Branson
Jeff Kennedy, Celestica
Jason Keeping, Celestica
Prakash Kapadia, Celestica
Greg Vorhis, Coastal Technologies
Karen Tellefsen, Cookson Electronics
David Steele, Da-Tech
John Stemniski, Draper Labs
Joan Bartelt, DuPont
Peter Braiton, ECI Technology
Lou Van, Electronic Source Company
Craig Hood, Florachem
Terry Munson, Foresite
Eric Camden, Foresite
Paco Solis, Foresite

Meaghan Munson, Foresite
Bill Kenyon, Globle Centre Consulting
Carlyn Smith, Harris
Amy Van Ollefen, HF Wentworth Electrolube
Hector Valladares, Honeywell
Joseph Slania, Honeywell
Kara Warrensford, Honeywell
Mark Northrup, IEC Electronics
Ning Chen Lee, Indium Corp
Andy Mackie, Indium Corp
Runsheng Mao, Indium Corp
James Maguire, Intel
Mike Bixenman, Kyzen Corporation
JoAnn Quitmeyer, Kyzen Corporation
Carolyn Leary, Kyzen Corporation
Debbie Carboni, Kyzen Corporation
Chuck Sexton, Kyzen Corporation
Tom Forsythe, Kyzen Corporation
Dirk Ellis, Kyzen Corporation
Jack Reinke, Kyzen Corporation
Tom Gervascio, Lockheed Martin
Linda Woody, Lockheed Martin
Dock Brown, Medtronic
Tom Tattersal, MicroCare
David Norton, Moog
Robert Ruszanowski, Moog
Jeannette Plante, NASA
Joseph Sherfick, NASA Crane
Brian Flemming, National Instruments

Dean May, NSWC Crane
Michhael Savidakis, Petroferm
Rich Kraszewski, Plexus Corporation
Dale Lee, Plexus Corporation
Bill Barthel, Plexus Corporation
Joe Rousseau, Precision Analytical Services
Bill Vuono, Raytheon
Martin Scionti, Raytheon
Amy Hagnauer, Raytheon
Francis Fortin, Raytheon
Tiffany Madsen, Raytheon
Brian Maheu, Resys
Bev Christian, RIM
Chris Mahanna, Robisan Laboratory
Doug Pauls, Rockwell Collins
Dave Hillman, Rockwell Collins
Dave Adams, Rockwell Collins
Eddie Hofer, Rockwell Collins
Lamar Young, Specialty Coatings
John Neiderman, Speedline Technology
Mel Parrish, STI Electronics
Jim Timler, Stoelting
Thomas Ellison, Symphony Consulting
Julie Fields, Technical Devices
Lee Wilmot, TTM Technologies
Harald Wack, Zestron
Mike McCutchen, Zestron
Sal Sparacino, Zestron

IPC TGAAsia 5-31CN技术组成员

王琰（主席） 深圳合明科技有限公司
季桃仙 深圳合明科技有限公司
王治平 台达电子(中国区)
郑铭鸿 台达电子电源（东莞）有限公司
徐隆德 台达电子工业股份有限公司
刘子莲 工业和信息化部电子第五研究所（中国赛宝实验室）
蔡颖颖 工业和信息化部电子第五研究所（中国赛宝实验室）
杨颖 工业和信息化部电子第五研究所（中国赛宝实验室）
何骁 工业和信息化部电子第五研究所（中国赛宝实验室）
左新浪 工业和信息化部电子第五研究所（中国赛宝实验室）
宿焯 工业和信息化部电子第五研究所（中国赛宝实验室）
张峰 KYZEN
王海萍 KYZEN
陈德鹅 中兴通讯股份有限公司
王劫 洁创贸易（上海）有限公司
刘佳 株洲南车时代电气股份有限公司
周峰 株洲南车时代电气股份有限公司
罗劲松 深圳长城开发科技股份有限公司
李淑荣 北京航星科技有限公司
付成丽 佰电科技（苏州）有限公司
董华峰 上海永积化学技术有限公司
蒋苏诚 博世汽车部件(苏州)有限公司

目 录

1 概述	1	2.4.1 ISO标准	8
1.1 范围	1	2.4.2 REACH	8
1.2 目的	1	2.4.3 Cal/OSHA	8
1.3 背景	1	2.4.4 FDA/EU cGMP	8
1.4 目前出现的清洗相关挑战	1	2.5 术语和定义	8
1.5 本文件章节	1	2.5.1 溶剂清洗	8
1.5.1 第二章：适用文件	1	2.5.2 去助焊剂清洗	8
1.5.2 第三章：组装清洗的价值和运用	2	2.6 溶剂清洗步骤	8
1.5.3 第四章：组件清洗性设计	2	2.6.1 洗涤	8
1.5.4 第五章：材料兼容性	2	2.6.2 冲洗	9
1.5.5 第六章：制程的开发及验证	2	2.6.3 干燥	9
1.5.6 第七章：印制线路板（PWB）上的污染 及其影响	2	2.6.4 溶剂清洗剂再生和再利用	9
1.5.7 第八章：组装残留物/清洗考虑要素	3	2.6.5 溶剂搅拌方法	9
1.5.8 第九章：环境考虑	3	2.6.6 溶剂清洗剂的缩写定义	9
1.5.9 第十章：溶剂清洗剂	3	2.7 溶剂清洗制程定义	9
1.5.10 第十一章：半水基清洗剂、设备和制 程优化	3	2.7.1 碳吸附	9
1.5.11 第十二章：水基清洗剂、设备和制程整合 ...	3	2.7.2 可燃物	9
1.5.12 第十三章：返工、维修和修复操作的清洗 ...	3	2.7.3 共溶剂（双溶剂）	10
2 适用文件	3	2.7.4 带离液	10
2.1 行业标准	4	2.7.5 半水基清洗	10
2.1.1 IPC（国际电子工业联接协会）标准	4	2.8 半水基清洗步骤定义	10
2.1.2 工业联合标准	5	2.8.1 烃类表面活性剂（HCS, HC/S, HC-S） 清洗	10
2.1.3 密切相关的技术	5	2.8.2 洗涤	10
2.2 美国联邦法规	5	2.8.3 乳剂或者乳化	10
2.2.1 联邦法律	5	2.8.4 冲洗	10
2.2.2 联邦标准	5	2.8.5 干燥	10
2.2.3 国防部	6	2.8.6 半水基清洗剂的缩写定义	10
2.2.4 职业安全与健康管理局（OSHA）	6	2.9 半水基清洗制程定义	11
2.2.5 环境保护局（EPA）	6	2.9.1 碳吸附	11
2.2.6 交通部	6	2.9.2 可燃物	11
2.2.7 美国政府工业卫生会议（ACGIH）	7	2.9.3 倾析	11
2.2.8 国家职业安全与健康学会（NIOSH）	7	2.9.4 带离液	11
2.3 其它	7	2.9.5 乳剂	11
2.3.1 美国材料测试标准	7	2.9.6 水基介质中有机溶剂乳剂	11
2.3.2 材料标准规范	7	2.9.7 软化水	11
2.3.3 国家防火协会（NFPA）	8	2.10 环境定义	11
2.3.4 美国国家标准协会（ANSI），美国质量 控制协会（ASQC）	8	2.10.1 BOD生化需氧量	11
2.4 其它考虑	8	2.10.2 COD化学需氧量	11
		2.10.3 挥发性有机化合物（VOC）	11
		2.10.4 HAP有害空气污染物	11

2.10.5	全球暖化	11	4.4	静态清洗速率与动态清洗速率的平衡	28
2.11	水基清洗	11	4.5	环境因素	29
2.11.1	水基清洗步骤定义	12	5 材料兼容性	30	
2.11.2	水基清洗剂的缩写定义	12	5.1	材料兼容性注意事项	30
2.12	其它定义	12	5.1.1	清洗工艺的效果	31
2.12.2	批清洗	12	5.2	可靠性注意事项	31
2.12.3	精细清洗	12	5.3	物料兼容性测试	31
2.12.4	在线清洗	12	5.3.1	兼容性和功能性	31
2.12.5	人工清洗	12	5.3.2	选择做兼容性测试的物料	31
3 组件清洗的价值和适用性	12		5.3.3	测试方法：举例	32
3.1	简介	12	5.3.4	ASTM和其它测试标准	36
3.2	技术创新	13	5.4	PCB组件无铅化的影响	36
3.3	制程残留物及其对产品可靠性的影响	14	5.4.1	PCB制造	36
3.4	免洗与清洗	14	5.4.2	元器件	36
3.4.1	实施免洗技术涉及的因素	15	5.4.3	板和元器件表面处理	37
3.4.2	成本驱使	15	5.4.4	组装材料	37
3.4.3	免洗材料的选择；产品设计	15	5.4.5	组装设备	37
3.4.4	什么是已知的免洗成本效益和驱使原因？	15	5.5	设计问题和兼容性	37
3.4.5	什么是免洗的成本驱使原因？	15	5.5.1	小型化的影响	37
3.5	什么是清洗的成本？	16	5.5.2	元器件密度	38
3.5.1	清洗成本构成	16	5.5.3	特殊的兼容性实例	38
3.5.2	成本模型	17	5.5.4	黑氧化	40
3.6	什么是忽略清洗的成本？	20	5.5.5	电感线圈腐蚀	40
3.6.1	无铅焊接	20	5.5.6	阻焊膜	40
3.6.2	微型化	20	5.5.7	挠性电路	41
3.6.3	助焊剂的变化	21	5.5.8	焊点腐蚀	42
3.6.4	电气故障	21	5.5.9	部件标识/标签	42
3.6.5	电化学迁移	21	5.5.10	粘合剂	43
3.6.6	可靠性风险	22	5.5.11	敷形涂覆附着	43
4 组件清洗性设计	23		6 工艺开发与验证	43	
4.1	有效清洗组件的设计	23	6.1	前言	43
4.2	清洗设计	24	6.2	阶段1测试	44
4.2.1	基板	24	6.3	阶段2测试与注意事项	46
4.2.2	组装元器件	24	6.3.1	阶段2测试工具	46
4.2.3	组件污染物	25	6.3.2	IPC-9202	50
4.2.4	热梯度	25	6.3.3	IPC-9203	51
4.3	清洗剂的设计方案	26	6.4	第三阶段测试及注意事项	51
4.3.1	溶剂清洗材料	26	6.5	清洗工艺认证	52
4.3.2	半水基清洗材料	27	6.5.1	引用文件	52
4.3.3	水基清洗材料	27	6.5.2	第1阶段初步可行性评估	52
4.3.4	清洗设备设计方案	28	6.5.3	材料分析	53
4.3.5	定义“优化系统”	28	6.5.4	过程注意事项	53

6.5.5	技术方面的评估	54	7.2.6	*电导率	61
6.5.6	过程计划的文档编制	54	7.2.7	*导体间距	61
6.5.7	阶段2材料和工艺测试	54	7.2.8	腐蚀	61
6.5.8	测试工具	54	7.2.9	*腐蚀性焊剂	62
6.5.9	测试方法	54	7.2.10	腐蚀蠕变	62
6.5.10	测试基准报告	55	7.2.11	*树枝状生长	62
6.6	印制电路板组装评估阶段 3	55	7.2.12	树枝状迁移	62
6.6.1	确认应用硬件的测试阶段 3	55	7.2.13	偶极	62
6.6.2	确认在最具挑战性的组装上的清洗阶段 3	55	7.2.14	偶极距	62
6.6.3	制定和记录工艺范围阶段 3	55	7.2.15	金属溶解	62
6.6.4	基于实际PWB硬件的材料兼容性测试阶段 3	55	7.2.16	电化学迁移	62
6.6.5	验证	56	7.2.17	电迁移 (EM)	62
6.6.6	目测	56	7.2.18	助焊剂	62
6.6.7	机械	56	7.2.19	*助焊剂活性	62
6.6.8	化学测试	56	7.2.20	助焊剂残留物	62
6.6.9	残留物分析	57	7.2.21	电流腐蚀	62
6.6.10	功能性测试	57	7.2.22	卤化物含量	62
6.6.11	确认运行	57	7.2.23	无机助焊剂	62
6.7	品质计划	57	7.2.24	离子清洁度	62
6.7.1	质量体系文件	57	7.2.25	离子污染物	63
6.7.2	材料采购控制	58	7.2.26	*泄漏电流	63
6.7.3	制造控制	58	7.2.27	*金属迁移	63
6.7.4	成品检查	58	7.2.28	*非活性助焊剂	63
6.7.5	非一致性材料的控制	59	7.2.29	*非离子污染物	63
6.7.6	纠正措施程序	59	7.2.30	有机污染物	63
6.7.7	存贮、搬运和包装	59	7.2.31	有机助焊剂	63
6.7.8	周期性产品认证	59	7.2.32	*封装密度	63
6.7.9	质量信息	59	7.2.33	极性物质	63
6.7.10	现场运行数据	59	7.2.34	残留	63
6.7.11	过程监视	59	7.2.35	短路	63
6.7.12	数据收集与报告	59	7.2.36	*托高	63
			7.2.37	晶须	63
7	印制线路板 (PWB) 上的污染及其影响	61	7.3	清洁程度要求	63
7.1	范围	61	7.3.1	免洗术语和助焊剂历史的讨论	64
7.1.1	目的	61	7.4	离子残留	67
7.1.2	背景	61	7.4.1	电化学迁移 (ECM)	68
7.2	术语和定义 (带*号的引自IPC-T-50)	61	7.4.2	电迁移	71
7.2.1	*阳极	61	7.5	蠕变腐蚀	72
7.2.2	阴离子	61	7.5.1	蠕变腐蚀和微型化	72
7.2.3	*桥接	61	7.5.2	蠕变腐蚀和PCB表面处理	72
7.2.4	阴极	61	7.5.3	蠕变腐蚀和电路板清洁度	73
7.2.5	阳离子	61	7.5.4	有硫蠕变倾向的场所	73
			7.5.5	预防腐蚀的策略	73

7.6	锡须和电路板清洁度	74	8.4.6	焊膏	83
7.7	海洋腐蚀	74	8.4.7	无机酸助焊剂	83
8	组装残留物/清洗的考虑要素	76	8.4.8	焊料	83
8.1	范围	76	8.4.9	波峰焊锡炉添加剂	84
8.2	目的	76	8.5	其它残留物	84
8.3	术语和定义	76	8.5.1	手工作业污染	84
8.3.1	酸性助焊剂	76	8.5.2	标记	85
8.3.2	活性松香助焊剂	76	8.5.3	工作场所和周围储存条件	85
8.3.3	活化剂	76	8.5.4	元器件包装当作一种污染物的来源	85
8.3.4	粘合剂	76	8.5.5	暂时性阻焊桥/阻焊膜/抗蚀剂/阻焊带	85
8.3.5	吸附污染物	76	8.5.6	润滑油和油脂	86
8.3.6	导体节距	76	8.5.7	粘合剂	86
8.3.7	导体间距	77	8.6	清洗考虑要点	86
8.3.8	敷形涂覆	77	8.6.1	目检标准	86
8.3.9	腐蚀性助焊剂	77	8.6.2	元器件几何形状	87
8.3.10	从单板表面到元器件底面的距离	77	8.6.3	器件托高高度及对清洗的影响	87
8.3.11	焊渣	77	8.6.4	夹裹的液体	87
8.3.12	助焊剂	77	8.6.5	元器件问题和残留物	88
8.3.13	助焊剂残留物	77	8.6.6	表面的润湿	88
8.3.14	无引线表面贴装元器件	77	8.6.7	表面张力和毛细力	89
8.3.15	非活性助焊剂	77	8.6.8	填充间隙对比未填充间隙	89
8.3.16	有机酸助焊剂	77	8.6.9	助焊剂残留物可变性	89
8.3.17	封装密度	77	8.6.10	洗涤剂效果	90
8.3.18	膏状助焊剂	77	8.7	焊接后的白色残留物	93
8.3.19	再流温度	77	8.7.1	白色残留物形成机理	93
8.3.20	树脂	77	8.8	清洗过程控制	94
8.3.21	树脂助焊剂	77	8.8.1	过程参数	94
8.3.22	松香	77	8.8.2	清洗剂	94
8.3.23	松香助焊剂	77	8.8.3	设定过程控制极限	94
8.3.24	焊料球	77	8.8.4	避免不需要材料的影响	95
8.3.25	暂时性阻焊膜	77	8.9	清洗设备考虑要点	95
8.3.26	溶解能力	77	8.9.1	驱动力时间、温度、浓度和能量	95
8.3.27	反应物	77	8.9.2	静态和动态清洗能量	95
8.3.28	托高	77	8.9.3	动态能量效能改善	95
8.3.29	合成树脂	78	8.9.4	过剩能量	95
8.3.30	水溶性助焊剂	78	8.10	监控洗涤槽	96
8.4	清洗后残留物	78	8.10.1	滴定	96
8.4.1	松香助焊剂	78	8.10.2	折射率	96
8.4.2	水溶性助焊剂	79	8.10.3	非挥发性残留物	97
8.4.3	合成型活性助焊剂（更为确切的ORH0 或者ORH1）	80	8.10.4	其它清洗槽的监控方法	97
8.4.4	低固残留（免清洗）助焊剂	80	8.10.5	清洗槽起泡	97
8.4.5	无铅和小型化对组装残留物的影响	81	8.11	清洁度测试	100
			8.11.1	ROSE测试	101
			8.11.2	ROSE测试方法的局限	101

8.11.3	ROSE测试设备	101	10.2.5	冲洗	120
8.11.4	离子色谱仪	102	10.2.6	干燥	120
8.11.5	局部污染物	102	10.2.7	去助焊剂（焊剂去除或者焊后清洗）	120
8.11.6	敷形涂覆附着和润湿	102	10.2.8	化工材料首字缩写	120
9	环境考虑要点	105	10.3	溶剂清洗的背景和概述	120
9.1	安全性	105	10.3.1	溶剂清洗概述	120
9.1.1	环境意识	105	10.3.2	流程图	121
9.1.2	环境问题	106	10.4	溶剂清洗剂技术	121
9.2	气体排放	106	10.4.1	单一溶剂系统	121
9.2.1	挥发性有机化合物	107	10.4.2	混合的溶剂系统	121
9.2.2	有害的空气污染物（HAPs）	108	10.4.3	共溶混合物	122
9.2.3	损耗臭氧的物质	109	10.4.4	汉森工程混合溶剂（非共沸混合物）	122
9.3	废水	109	10.4.5	概述	123
9.3.1	去除的助焊剂和污染度类型	110	10.5	清洗溶剂的特性	125
9.3.2	金属去除	110	10.5.1	介绍	125
9.3.3	酸碱度调整	111	10.5.2	普通溶剂的物理特性例子	125
9.3.4	生化需氧量/化学需氧量的降低	111	10.5.3	效力	125
9.3.5	水使用量的降低	111	10.5.4	多种成分	125
9.3.6	总的毒性有机物	112	10.5.5	退化现象	125
9.4	固体废物	112	10.5.6	残留物	125
9.4.1	用过的溶剂型废物	113	10.5.7	悬浮物质	126
9.4.2	用过的半水基清洗剂	113	10.5.8	溶解的杂质	126
9.5	溢出量报告	114	10.5.9	回收的溶剂	126
9.6	有毒废物堆场污染清除基金	114	10.5.10	稳定性	126
9.7	毒性物质排放详细目录报告要求	114	10.5.11	防止化学性分解变质	126
9.8	健康和安全问题	115	10.5.12	防止热分解变质	126
9.8.1	危险因子和控制措施	115	10.5.13	安全	126
9.8.2	物质安全数据表	115	10.5.14	工作场所暴露	127
9.8.3	危险物质标签系统	115	10.5.15	允许暴露限度/短期暴露极限	127
9.8.4	员工暴露	116	10.5.16	工作场所暴露监控	127
9.8.5	易燃液体的问题	116	10.5.17	环境	128
9.9	水源和水质	116	10.5.18	成本	129
9.9.1	水纯度的量测	116	10.5.19	总结	129
9.9.2	定义	116	10.6	溶剂特定材料兼容性注意事项	129
9.9.3	水纯净度标准	117	10.6.1	聚合物和标记兼容性	129
9.9.4	水净化的方法	118	10.6.2	敷形涂覆溶剂兼容性	129
10	溶剂型清洗剂	119	10.6.3	金属兼容性和溶剂稳定性	129
10.1	目的	119	10.7	溶剂的分类和特点	130
10.2	术语和定义	119	10.7.1	碳氢化合物溶剂	130
10.2.1	溶剂清洗	119	10.7.2	卤化溶剂	131
10.2.2	贝壳杉脂丁醇值（KB值）	119	10.8	溶剂清洗设备/工艺	131
10.2.3	共沸混合物	120	10.8.1	简介	131
10.2.4	洗涤	120	10.8.2	批汽相清洗	131
			10.8.3	传送式的喷淋清洗	132

10.8.4	超声波清洗设备	133	11.3.5	搅拌	153
10.8.5	冷清洗设备	134	11.3.6	冲洗部分	154
10.8.6	浸泡槽	134	11.3.7	水溶性 (II型) 清洗剂的冲洗部分	156
10.8.7	设备改装 (升级)	135	11.3.8	干燥部分	156
10.9	工艺整合	135	11.4	半水基清洗设备	156
10.9.1	手工焊接之后的清洗	135	11.4.1	在线清洗机	156
10.9.2	汽相去焊清洗 (仅汽相)	136	11.4.2	燃烧保护	157
10.9.3	清洗协定	136	11.4.3	批清洗机	157
10.10	过程控制	136	11.5	清洗过程和质量监控	158
10.10.1	简介	136	11.5.1	洗涤段	158
10.10.2	设备选择和建议	136	11.5.2	冲洗段	159
10.10.3	传输清洗系统	137	11.6	环境控制和注意事项	160
10.10.4	设备放置和操作	137	11.6.1	介绍	160
10.10.5	热蒸汽系统	138	11.6.2	无用的半水基清洗剂	160
10.10.6	清洗系统维护	138	11.6.3	冲洗水	160
10.10.7	正确的蒸馏实践	138	11.6.4	水回收	162
10.10.8	蒸馏溶剂干燥装置	140	11.6.5	挥发性有机化合物 (VOCs)	162
10.10.9	溶剂检测	140	11.6.6	温室效应	163
10.10.10	小结	141	12 水基清洗剂、清洗设备和清洗工艺的整合	164	
10.11	环保事项	141	12.1	范围	164
10.11.1	简介	141	12.2	目的	164
10.11.2	清洁空气法案	142	12.3	术语和定义	164
10.11.3	水清洁法案	143	12.3.1	水基清洗	164
10.11.4	资源保护和恢复法案-概述	144	12.3.2	洗涤	164
10.11.5	超级基金-概述	145	12.3.3	冲洗	164
10.11.6	有毒物质物释放清单的报告要求	145	12.3.4	干燥	164
10.11.7	影响法规过程	145	12.3.5	表面干燥	164
10.11.8	适用性	145	12.3.6	去焊剂 (助焊剂清除或者焊后清洁)	164
11 半水基清洗剂、设备和工艺优化	146		12.3.7	精细清洗	164
11.1	目的	146	12.3.8	丝网和模板清洗	165
11.1.1	术语和定义	146	12.3.9	半水基清洗	165
11.2	半水基清洗剂	146	12.3.10	有机溶剂清洗	165
11.2.1	半水基概述	146	12.3.11	功能性添加剂	165
11.2.2	半水基的科学性	147	12.3.12	活性添加剂或者反应物	165
11.2.3	半水基清洗剂	147	12.3.13	水介质中有机溶剂的乳液	165
11.2.4	半水基清洗剂的性能	149	12.3.14	手动清洗	165
11.2.5	清洗剂的兼容性	150	12.3.15	批清洗	165
11.2.6	半水基工艺中冲洗水的性能	150	12.3.16	在线清洗	165
11.3	半水基清洗工艺	151	12.3.17	皂化	165
11.3.1	介绍	151	12.3.18	pH值	165
11.3.2	工艺参数	152	12.4	水清洗背景	165
11.3.3	洗涤阶段	152	12.4.1	历史	165
11.3.4	温度	152	12.4.2	水基清洗工艺概述	166

图7-6	氯原子和离子	68
图7-7	单一玻璃纤维中的空洞	69
图8-1	夹裹在元器件下面的助焊剂残留物	89
图8-2	非晶态结构示例	89
图8-3	相转变和 T_g	90
图8-4	清洗后的留在焊接接合部位的白色残留物的SEM图像	93
图8-5	折射率	96
图8-6	有机相和水相	97
图8-7	在线PCB清洗过程的典型阶段	98
图8-8	泡沫开始溢出到两个不同的洗涤阶段	98
图8-9	调整空气刀远离冲洗段	99
图8-10	排气调整前的冲洗阶段泡沫	100
图8-11	排气调整后的冲洗阶段泡沫	100
图8-12	外部排气风门	100
图8-13	内部排气风门	100
图8-14	洗涤阶段中的泡沫	101
图8-15	在顺序冲洗间, 洗涤/冲洗室内的泡沫阻碍排水	101
图8-16	电子产品组装过程	102
图8-17	敷形涂覆前/后工序考虑要点	103
图8-18	敷形涂覆原因和影响因素	103
图11-1	广义的半水基净化工艺全过程	151
图11-2	半水基清洗设备原理图	153
图11-3	离心批量清洗剂配置	154
图11-4	两阶段冲洗过程	155
图11-5	连续冲洗过程	157
图11-6	比重与助焊剂含量的曲线	159
图12-1	焊接组装后的清洗工艺	167
图12-2	影响组装线路板清洗过程效果的因数	180

表

表4-1	裸印制板离子污染最大值 ($\mu\text{g}/\text{cm}^2$)	24
表4-2	电子组件清洗剂的设计方案	27
表4-3	静态与动态设计方案 (由一些研究学习中得出的资料结果)	29
表6-1	材料鉴定规范与方法	44
表6-2	性能规范	44
表6-3	引用文件	53
表6-4	污染级别, 依据IPC-TM-650 测试方法2.3.28	57
表6-5	最低SIR值	57
表6-6	质量保证计划的要素	58
表6-7	文件层次结构	58
表7-1	助焊剂分级方法	65
表7-2	能量级别和最大电子数	67
表8-1	IPC-A-610表1-3	87
表8-2	清洗剂指南	91
表8-3	与焊接清洗过程相关联的动态能量	95
表9-1	洗涤媒介、典型的清洗能力	110
表9-2	废水中的重金属	111
表9-3	反应等级	115
表10-1	相对清洗效力	124
表10-2	电子组装污染物(残留物)	130
表10-3	溶剂分类和特征	130
表11-1	一系列以半水基产品为基础的清洗性能	150
表11-2	非水基(I型)半水基清洗剂的清洗工艺参数	152
表11-3	水溶性(II和III型)半水基清洗剂的清洗工艺参数	152
表11-4	闪点的注意事项(根据美国条例)	153
表12-1	清洗剂	168
表12-2	模板清洗剂设计	172

印制板及组件清洗指南

1 概述

1.1 范围 本指南只适用于组装制程中印制线路组件的清洗。印制线路板清洗的信息将包含在另一个单独的配套文件中。

1.2 目的 本文件的目的是以一种容易校订/更新的方式，收集和更新了所有有关印制线路组件（PWA）清洗的信息。

1.3 背景 在生产中，有关印制电路板（PCB）、印制线路板（PWB）和印制线路组件（PWA）的清洗信息能在许多IPC文件和手册里找到，特别是：

- CH-65 印制板及组件清洗指南
- SM-839 施加阻焊膜前、后的清洗指南
- SC-60 焊接后溶剂清洗手册
- SA-61 焊接后半水基清洗手册
- AC-62 焊接后水基清洗手册

尽管是从多个不同成员使用的记录收集来的，但不可能确保掌握所有的信息。

1.4 目前出现的清洗相关挑战 由于20世纪90年代早期低残留物（即免洗）的助焊剂/焊膏的出现，许多人认为不再需要清洗。这个结论忽视了继续朝着更细间距、更高可靠性要求、更高密度封装、底部填充剂附着以及成本降低的趋势发展。由于组装后清洗通常可去除所有上游脏污，行业必须转向清洗印制线路板和清洗元器件制程、清洗封装和超净工作场所。如此将使组装后清洗变得更加繁重及复杂。

最近，焊接工艺转变为无铅镀层/表面处理及焊料合金，通常采用更高的焊接工艺温度。生产助焊剂/焊膏时需要考虑更复杂的配方组成来达到免清洗焊接，当焊接完成时，不会产生空洞、锡球或者其它可靠性问题。

无卤层压板的出现，以及其它可能被限制的工业制程化学品，将产生新的工艺挑战。

有效清洗模板的能力变得非常重要。更多模板印刷的要求已经出现在精细和超细部件，以及球栅阵列。清洁的模板是传递适量焊膏的必需品。当前的细间距装置很可能出现部分或者完全阻塞模板网孔的现象。据估计，大约70%的表面贴装焊接缺陷是由于焊膏印刷的问题。模板清洗工艺包含在一份单独的标准里。

环境和工人安全问题在当前的清洗考虑中占了很大的一部分。组装界必须考虑的因子包括VOC、BOD、COD（挥发性有机物、生化需氧量和化学需氧量）、废水处理、重金属、密闭循环和酸碱值。依据有关法规的要求（联邦和/或者地方），可以是这些因子中的一个或者多个来决定清洗工艺及相关设备的选择。

1.5 本文件章节

1.5.1 第二章：适用文件 本章节包含适用于焊接后清洗电子组件所参照的行业标准、联邦法规、测试方法和工具。文中并非交叉引用所有这些文件。为了方便读者，会在以下列出。

1.5.2 第三章：组装清洗的价值和运用 本章节讨论了表面贴装技术发展与创新路径是对市场所要求的高功能性、降低成本、减少周期时间、提升质量压力的相应过程。为增加功能，当今的电路组件将多功能性的要求纳入较小面积的电路板设计。先进的封装设计需要更多的互连来支持功率需求和带宽。无源（被动）和有源（主动）元器件的尺寸变小以及许多面阵列节距和托高高度也降低，这都增加了枝晶生成及电化学迁移的风险。同时，在板上也会扩充功能性驱动封装尺寸和较高计数的输入/输出。考虑的关键指标是表面面积与Z轴高度比，这个比值的增加会使得进入和从大面积/小的Z轴高度的空间去除残留更加困难。

技术基准的市场压力增加了可靠性的要求，作为电子组装业者须溯及上游的常规设计到临界以及前沿技术。在过去的二十年里，传统的表面贴装技术成功地采用了低残留免洗焊接工艺。今日对印制电路板厂商的挑战则取决于密度、无铅化、微型化。高性能电子组件的设计将由多层和叠层封装密度，增加输入/输出数量，缩小面阵列节距，和更小的元器件托高高度等要求驱使着。额外的要求包括成本控制、制程限制、安全和环境法规（包括国家和国际约束以及地方性的规范和风气）制约的工艺变化，并且需要根据不断增加的供应链来控制程序的完成。

1.5.3 第四章：组件清洗性设计 由于微型化以及复杂的前沿产品，设计可清洗的印制电路组件已成为一个非常具有挑战的任务。电子产品可制造性设计（DFM）包括一套修改和提升印制电路和清洗工艺设计的技术来配合清洗过程中的基板、污染物、以及现有的清洗方法。使电子产品微型化、轻量化的期望驱使设计者转向设计细间距的高密度组件。本章节目的是提供用于清洗前沿印制电路的设计准则及方法。

1.5.4 第五章：材料兼容性 负责清洗制程的工程师必须意识到可能发生的材料兼容性问题。本章节所包含的信息旨在为制程工程师提供认识清洗电子部件时的材料兼容性风险。考虑的因素有电路板的层压板、表面处理、元器件、金属合金、粘合剂的粘接强度、部件标识、塑料、组装时材料的组合和配置以及夹裹污染物的影响。其它因素也必须考虑到，例如清洗材料的化学特性、清洗温度、冲击能量和清洗制程的接触时间，包括返工周期。所有这些因素可能发生交互作用，对如今应用越来越广泛的电路板、元器件引脚的表面处理和焊接材料特别具有挑战性。找出与材料兼容性风险相关的每一种和每组可能因素的组合的数据难度非常大。

1.5.5 第六章：制程的开发及验证 在任何制程中，不定期地改变用于制作印制组件的材料结构或者生产工艺/参数是必要的。这也许来自以下许多可能的因素：

- 材料禁用，由于环境法规、市场因素或者材料配方的改变；
- 新材料，因改进性能或者价格而成为可用时；
- 制造设备故障，要求更换；
- 为省钱而购买廉价材料而可能导致劣质产品；
- 所有材料在投入生产制程之前必须得到验证。

因此，制造商面临的任务是确定“新”的组装材料/制程所生产的产品是否和“旧”材料一样好或者更好，或者是否是“合格”的组装材料/制程，并且需要提供数据支撑这样的评价。有许多要素应该纳入这个结论中。本章节所列出的方法适用于评估比较制程A与制程B哪一个效果更好，而不是重新开发一个全新的制程，尽管它同样能够适用。

1.5.6 第七章：印制线路板（PWB）上的污染及其影响 随着电子设备性能要求的增加，需要设计小的导线间距，以及小型化、高性能设备需要的更加快速的电路。由于相邻导体间的间距减小，使得污染及其影响变得更加问题化。本章节的目的是讨论印制线路组件上污染的风险及其影响。

1.5.7 第八章：组装残留物/清洗考虑要素 由粘合剂、助焊剂和焊料合金组成的组装材料，可依据元器件的贴装、连接、组装类型及元器件类别的不同而改变。当考虑焊接和清洗时，组装残留物的结果取决于焊接方法的选择和有铅或者无铅焊料的使用。选择适合于焊接方法和焊料的助焊剂的同时也将确定使用何种清洗方法。最终清洁度将取决于终端使用环境，在某种情况下由合同规定的质量要求决定。

电子组装制程的范围从非常简单到非常复杂，并且涉及广泛范围的材料。制程中的每一步骤中所使用的每一种材料都会对组件有影响，最大的影响是化学物质残留在组件表面。需要考虑的材料包括助焊剂、清洗溶液、标签、粘合剂、掩蔽材料、元器件残留物、废气残留物等。本章节涵盖了绝大多数生产制程中许多普遍使用的材料。

本章节的目的是关注由印制电路板的制造和组装制程中积累的各种类型的残留；特别是当它们适用于焊接后清洗。除此之外，还讨论了关于剩余残留物的检测，残留物的根本原因以及预防措施。

1.5.8 第九章：环境考虑 虽然这部分主要集中在美国的法律和法规方面，但是大多数其它国家也有类似的规定。虽然这些准则在严重程度或者轻或者重，但是总的主旨是相同的，在读这部分时候我们应该有这样一种认知：在基本遵守地方法规的同时，也要兼顾遵守州和联邦政府的法规。选择清洗剂必须考虑设备的空气排放、污水排放和废物产生的内在影响。这三个环境介质的每一个都可能需要取得基于设备的使用率和设备的废气排放、污水排放和废物产生的许可。

1.5.9 第十章：溶剂清洗剂 本章节阐述了焊接后电子/电气组件、部件和应用工具的溶剂清洗。本章节的目的是提供对主题的基本理解，并为溶剂清洗技术的用户或者潜在用户提供关于溶剂清洗制程选择或者改进的指南。

1.5.10 第十一章：半水基清洗剂、设备和制程优化 本章节阐述了电气/电子组件、配件及应用工具在焊接后的半水基清洗。半水基清洗是通过先用有机溶剂洗涤组件，然后用水冲洗组件上的有机溶剂，从而清除掉印制线路组件上的助焊剂残留物及其它污染物的一个过程。I型使用非水溶性有机溶剂，而II型采用水溶性有机溶剂。I型的特征是洗涤和第一步冲洗后马上会形成乳液形态，而II型系统没有。（半水基工艺具体的不包括用有机水基溶液或者无机皂化剂或者洗涤剂的清洗；这些都包含在水基清洗工艺那章。）其它的目标是清除使用过程中的残留和作为产品辅料的材料，如水溶性掩膜。

1.5.11 第十二章：水基清洗剂、设备和制程整合 本章节阐述了焊接后清洗电子/电气组件、封装、元器件和应用工具时所用到的水基清洗剂、水基清洗设备以及工艺整合。本章节的目的是提供水基清洗剂、清洗设备、工艺整合的基本理解，并为水基清洗技术的用户或者潜在用户提供关于水基清洗制程的选择或者改进的指南。

1.5.12 第十三章：返工、维修和修复操作的清洗 本指南前面的章节已概述了在生产操作中电路板组件的常规清洗操作。发生在返工、维修和修复过程中的清洗操作非常不同于正常生产工艺中的清洗操作。组件通常由包括对热、对化学品和对水敏感的元器件构成。此外，敷形涂覆的组件，用粘合剂固定的元器件，应用到组件的标记和标签等，这些都不包含于本生产清洗操作。对于电路板组件的返工、维修、修改的相关清洗操作中的细节变得越来越重要。大部分的电子组件到此制程阶段，已经达到了最高功能及最大价值。使用粗劣的方法和不当的制程及材料进行清洗，可能会导致报废高价值的组件。

2 适用文件

本章节包含参考适用于电子组件焊接后清洗的行业标准、联邦法规、测试方法和工具。文中并非交叉引用所有这些文件。为了方便读者，会在以下列出。

下订单时，下列文件的有效版本，构成本手册在此限定范围内的组成部分：

2.1 行业标准

2.1.1 IPC（国际电子工业联接协会）标准¹

IPC-B-24 表面绝缘阻抗测试板

IPC-B-25 多用途单面和双面测试板

IPC-B-36 清洗选择测试板

IPC-T-50 电子电路互连与封装术语及定义

IPC-B-52 标准测试板

IPC-TP-383 表面有机污染的类型、特征、去除、对绝缘电阻和敷形涂覆附着力的影响

IPC-TR-580 清洗及清洁度试验计划，阶段1试验结果

IPC-A-600 印制板的可接受性

IPC-A-610 电子组件的可接受性

IPC-TM-650 试验方法手册²

2.3.1.1 覆金属箔层压板的化学清洗

2.3.25 表面离子污染物的探测与测量

2.3.27 清洁度试验 - 残留松香

2.3.27.1 松香型助焊剂残留物分析 - 高效液相色谱（HPLC）法

2.3.28 电路板离子分析，离子色谱法

2.3.30 无水氟碳溶剂酸碱度指数测定

2.3.38 表面有机污染物的探测测试

2.3.39 表面有机污染物的鉴别测试（红外分析法）

2.5.27 印制电路板原材料的表面绝缘电阻

2.6.3 阻焊剂的耐湿性和绝缘电阻

2.6.3.3 助焊剂的表面绝缘电阻

2.6.9.1 测定电子组件对超声波能量的敏感性试验

2.6.9.2 测定电子元器件对超声波能量的敏感性试验

2.6.13 金属枝晶生长的敏感性评估：未涂覆印制电路

2.6.14 阻焊剂耐电化学迁移

IPC-PE-740 印制板制造及组装故障排除指南

IPC-2223 挠性印制板设计分标准

IPC-4202 挠性印制电路用挠性基底介质

IPC-4203 用于挠性印制电路覆盖材料和粘接材料的覆粘结剂介质薄膜

IPC-4204 挠性印制电路用挠性覆金属箔介质材料

IPC-6012 刚性印制板的鉴定及性能规范

IPC-9191 推行统计制程控制实施一般准则

1. www.ipc.org

2. 可通过订购和从IPC网站（www.ipc.org/html/testmethods.htm）下载得到现行版和修订版IPC测试方法手册IPC-TM-650。

2.1.2 工业联合标准³

J-STD-001 焊接的电气和电子组件要求

J-STD-002 元器件引线、端子、焊片、接线柱及导线的可焊性测试

J-STD-003 印制板可焊性测试

J-STD-004 助焊剂要求

J-STD-005 焊膏要求

J-STD-006 电子焊接领域电子级焊料合金及含有助焊剂与不含助焊剂的固体焊料的要求

2.1.3 密切相关的技术⁴

GR-78-CORE 通讯产品的物理设计和制造

2.2 美国联邦法规⁵

2.2.1 联邦法律

CAA 空气清洁法

CWA 水清洁法

RCRA 资源保护和恢复法

CERCLA 综合环境响应、补偿和责任法

SARA 超级基金修正案，授权法案

SNAP 重要创新的替代方案

2.2.2 联邦标准

O-A-51 丙酮，工业用

O-E-760 酒精（乙醇）工业酒精；专用溶剂和特殊工业溶剂

O-M-232 甲醇（甲醇）

O-T-236 四氯乙烯（氯乙烯）；工业用

O-T-620 1, 1, 1-三氯乙烷，工业用，抑制型（甲基氯仿）

O-T-634 三氯乙烯，工业，抑制型

TT-B-848 丁醇，仲丁醇，（用于有机涂覆材料）

TT-I-735 异丙醇，等级A和B

TT-M-261 甲基乙基酮

TT-N-95 石脑油，脂肪族的

3. www.ipc.org

4. www.telcordia.com

5. www.sae.org

TT-N-97 石脑油，芳香族的，类型1，2和3（A级）

TT-T-548 工业甲苯

2.2.3 国防部⁶

MIL-C-81302 清洗剂，溶剂，三氯三氟乙烷

MIL-C-85447 清洗剂，电气及电子元器件

MIL-N-15178 石脑油，溶剂

MIL-T-81533 1, 1, 1-三氯乙烷（甲基氯仿）抑制型，蒸气脱脂

2.2.4 职业安全与健康管理局（OSHA）⁷

OSHA 29 CFR 1910.1000 空气污染物

OSHA 29 CFR 1910.134 呼吸系统防护

OSHA 29 CFR 1910.106 易燃和可燃液体

2.2.5 环境保护局（EPA）⁸

EPA 40 CFR 63 国家危险性空气污染物排放标准源类别

EPA 40 CFR 82 平流层臭氧保护

EPA 40 CFR 117.3 对有害物质的可报告数量测定

EPA 40 CFR 131.36 对不遵守水清洁法第303（c）（2）（B）国家的毒性标准

EPA 40 CFR 261 危险废物的鉴定和列表

EPA 40 CFR 302.4 有害物质的指定

EPA 40 CFR 355.30 （b）紧急发布通知

EPA 40 CFR 370.20 危险化学品报告：小区知情权 - 适用性

EPA 40 CFR 370.21 危险化学品报告：小区知情权 - 材料报告

EPA 40 CFR 370.25 危险化学品报告：小区知情权 - 库存报告

EPA 40 CFR 372 有毒化学品释放报告：小区知情权

EPA 40 CFR 423 蒸汽发电点源分类

EPA 40 CFR 433 金属表面处理点源分类

EPA-453/R-94-081 卤化溶剂清洗剂的有害大气污染物国家排放标准的指导文件（2007更新版）

2.2.6 交通部⁹

DOT 33 CFR 153.203 排放通知的程序

6. www.mil-standards.com

7. www.osha.gov

8. www.epa.gov

9. www.dot.gov

2.2.7 美国政府工业卫生会议 (ACGIH)¹⁰

门坎限值和生物暴露指标文件

2.2.8 国家职业安全与健康学会 (NIOSH)¹¹

允许暴露限度 (PEL) (8小时暴露) 短期暴露限度 (STEL)

2.3 其它

2.3.1 美国材料测试标准¹²

ASTM D-56 闪燃点标准测试方法以塔格闭式试验器

ASTM D-92 闪燃点和燃点标准测试方法以克利夫兰开口试验器

ASTM D-93 闪燃点标准测试方法以潘斯基 - 马丁斯闭式试验器

ASTM D-1078 挥发性有机液体蒸馏度标准测试方法

ASTM D-1133 烃类溶剂的贝壳杉脂丁醇值标准测试方法

ASTM D-1320 石蜡抗拉强度测试方法 (申请人撤回无须更换)

ASTM D-2106 卤化有机溶剂胺酸接受度 (碱度) 测定的标准测试方法

ASTM D-2109 卤化有机溶剂及其混合物中非挥发性物质标准测试方法

ASTM D-2111 卤化有机溶剂及其混合物比重和密度标准测试方法

ASTM D-2942 卤化有机溶剂酸总量允收性标准测试方法 (非回流法)

ASTM D-2989 卤化有机溶剂及其混合物酸碱性标准测试方法

ASTM D-3401 卤化有机溶剂及其混合物含水份标准测试方法

ASTM D-3443 三氯三氟乙烷中氯化物标准测试方法

2.3.2 材料标准规范

ASTM D 329 丙酮

ASTM D 362 甲苯 (撤销不更换)

ASTM D 740 甲基乙基酮

ASTM D 1153 甲基异丁基酮

ASTM D 1836 工业用正己烷

ASTM D 3622 正丙醇

ASTM D 4079 二氯甲烷, 蒸气脱脂级

ASTM D 4080 三氯乙烯, 蒸气脱脂级

ASTM D 4081 氯乙烯, 干洗级

10. www.acgih.org

11. www.cdc.gov/niosh

12. www.astm.org

ASTM D 4126 1, 1, 1-三氯乙烷, 蒸气脱脂和一般溶剂级

ASTM D 4376 氯乙烯, 蒸气脱脂级

ASTM D 4701 二氯甲烷, 工业级

ASTM D 5309 环己烷999

ASTM D 6368 基于一般级别和工业级别的丙基溴化物的蒸汽脱脂溶剂

2.3.3 国家防火协会 (NFPA)¹³

NFPA 30 易燃和可燃液体代码

NFPA 35 有机涂料生产标准

2.3.4 美国国家标准协会 (ANSI), 美国质量控制协会 (ASQC)¹⁴

ANSI/ASQC Z-1.15 质量管理体系通用准则

2.4 其它考虑

2.4.1 ISO 标准 医疗设备用

2.4.2 REACH 化学品的注册、评估和授权 (<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:32006R1907:EN:NOT>)

2.4.3 Cal/OSHA (和其它地方的限制)

2.4.4 FDA/EU cGMP 医疗设备用

2.5 术语和定义 本手册中使用的所有术语和定义符合IPC-T-50。对本标准主题讨论至关重要的基本术语和定义, 将在本手册后续的相关章节提供或者定义。

注: 任何标注星号 (*) 的术语表示转载于IPC-T-50所界定的定义。

2.5.1 溶剂清洗 使用极性和非极性混合的有机溶剂去除印制线路组件的有机物、无机物和微尘。采用溶剂清洗, 须应用干燥程序及依赖设备。在蒸气去助焊剂工艺 (电子工业中的溶剂清洗), 实施无污干燥是将已清洗部件上的残留溶剂进入到沸腾溶剂所产生的蒸汽区使其蒸发, 须注意维持空气中的蒸汽含量在推荐的限度内。为保持工作场所的溶剂含量在期望的限度内, 要求正确匹配设备的设计和生产率。

2.5.2 去助焊剂清洗 设计用来去除助焊剂及其副产品的清洗工艺。其它的目的是清除使用过程中的残留和作为产品辅料的材料, 如水溶性掩膜。印制板或者元器件制程或者其它操作过程中所留下的杂质也可在此工艺中去除, 因此, 去助焊剂清洗制程扩大了印制电路组装业者的工艺窗口。

2.6 溶剂清洗步骤

2.6.1 洗涤 首要的清洗操作, 利用化学和物理作用将不期望的杂质 (污染物) 从表面去除, 主要是溶解污染物。对于顽固的残留或者非常温和的溶剂, 可能在洗涤步骤前先有预洗涤或者浸泡的步骤。洗涤步骤中可采用各种合格的超声波搅拌方法, 以加强污染物的去除。

13. www.nfpa.org

14. www.ansi.org

2.6.2 冲洗 通常跟随在洗涤步骤之后的清洗作业，是通过稀释模式用干净溶剂置换残留污染物，获得干净溶剂润湿的表面。

2.6.3 干燥 去除和回收任何残留在已洗涤和已冲洗部件表面的液体溶剂的工艺。在蒸汽去助焊剂工艺过程中，干燥是在清洗机洗涤区的沸腾溶剂所产生的蒸汽区实施的。在部件表面通过过热溶剂蒸汽可以增强干燥效果，确保彻底清除残留液体溶剂。这项技术对复杂几何形状的部件特别有效，可以将液体溶剂完全去除。

2.6.4 溶剂清洗剂再生和再利用 废液通常可以送到回收蒸馏釜精馏和再利用，同时集中处理污染物。如果同一地点有多部清洗设备，使用相同的溶剂去除相同污物时，所有溶剂可输送到同一蒸馏釜进行再生。

2.6.5 溶剂搅拌方法 典型的搅拌方法包括使溶剂沸腾，高压或者大流量喷雾或者两者并行，使用单频、扫描频或者多频复合超声波等。所有这些搅拌方式是在蒸汽膜下进行以减少溶剂逸散进入工作场所。

2.6.6 溶剂清洗剂的缩写定义

2.6.6.1 HCFC 氯氟烃

2.6.6.2 HFC 氢氟烃

2.6.6.3 HFE 氢氟醚

2.6.6.4 nPB 正溴丙烷

2.6.6.5 CFC 氯氟烃

2.6.6.6 TCA 三氯乙烷

2.6.6.7 TCE 三氯乙烯

2.6.6.8 PCE 氯乙烯

2.6.6.9 反-1, 2-二氯乙烯

2.6.6.10 醇类 具有ROH通式的各种化合物，其中R代表烷基和-OH羟基官能团，例如CH₃OH或者C₂H₅OH。

2.6.6.11 酯类 醇与有机酸反应所生成的一类有机化合物。

2.8.6.12 烃类 仅含碳和氢的有机化合物。

2.6.6.13 酮类 有机化合物的一类，其中羰基相连着二个烷基。酮常用作溶剂，一些常见例子是丙酮和丁酮。

2.7 溶剂清洗制程定义

2.7.1 碳吸附 用活性炭吸附流动的气体和液体中的污染物，以除去杂质的一项技术。

2.7.2 可燃物 本术语适用于以闭口杯法测得其闪燃点高于38° C [100° F]的液体材料。

2.7.3 共溶剂（双溶剂） 使用第二种溶剂作为第一种溶剂的冲洗剂。共溶剂可以指在同一容器内的两种溶剂，但有时用来指依次作业；双溶剂是一种商业术语，专指依次应用且在不同容器的两种溶剂。

2.7.4 带离液 依附在组件或者运输设备上的液体清洗剂，被从清洗机的一段带到另一段，并且最终进入工作场所的空气中。

2.7.5 半水基清洗 通过先用有机溶剂洗涤组件，然后用水冲洗组件上的有机溶剂，从而清除掉印制线路组件上的助焊剂残留物及其它污染物的一个过程。I型使用非水溶性有机溶剂，而II型采用水溶性有机溶剂。I型的特征是洗涤和第一步冲洗后马上会形成乳液形态，而II型系统没有。（半水基工艺具体的不包括用有机水基溶液或者无机皂化剂或者洗涤剂的清洗；这些都包含在水基清洗工艺那章。）其它的目的是清除使用过程中的残留和作为产品辅料的材料，如水溶性掩膜。

2.8 半水基清洗步骤定义

2.8.1 烃类表面活性剂（HCS，HC/S，HC-S）清洗 半水基清洗的另一种名称，一些国际机构的首选。

2.8.2 洗涤 首要的清洗操作，利用化学和物理作用将不期望的杂质（污染物）从表面去除。

2.8.3 乳剂或者乳化 在I型制程中于第一道水冲洗后进行此步骤。第一道冲洗以形成油包水型的乳液将有机溶剂润湿的表面转换为水润湿的表面。然后在乳化罐沉淀，有机清洗剂/水的乳剂受热会分离，然后这两种材料回到各自在清洗设备中的贮液槽再利用。乳化/分离要尽可能地减少任何有机材料送到废弃物管道。II型制程则不采用乳化步骤，因为所有化学品都是水溶性。

2.8.4 冲洗 清洗操作（通常跟随在洗涤步骤之后），此处用干净纯水冲洗去除任何残留的乳液，留下水润湿的表面。通常采用多次冲洗来尽可能的减少任何残留污染。冲洗也可采用共溶剂或者双溶剂清洗。

2.8.5 干燥 去除任何残留在已洗涤和已冲洗表面的水或者溶剂的工艺。干燥后应该是无脏污的表面。

2.8.6 半水基清洗剂的缩写定义

2.8.6.1 非直链式醇 非直链式醇是由废稻壳、甘蔗和玉米芯所天然生成。提到非直链式醇，这个名词是指该化合物具有一个环结构。这种有机化合物具有低分子量和包含着一个醇基和一个醚键。醇基和醚键可加强该化合物去除极性污物的有效性，并且能提供氢键使该化合物能够完全溶于水。

2.8.6.2 合成醇 为半水基电子清洗工艺推出的合成醇，在其分子结构中具有醚基和醇羟基，形成了分子内和分子间的氢键结合，并展现出疏水性（非水溶性）和亲水性（亲水）的性能。该分子具有低毒性，低气味和66-77° C [150-170° F]的闪燃点。

2.8.6.3 酯类 醇与有机酸反应所生成的一类有机化合物。

2.8.6.4 烃类 仅含碳和氢的有机化合物。

2.8.6.5 烃类表面活性剂 烃具有疏水性（非水溶性）和亲水性（亲水）性能。它能改变表面润湿性，因此可作为一个有效的清洗剂。

2.8.6.6 酮类 包含羰基连着二个烷基的一类有机化合物。酮可用作溶剂，常见的例子是丙酮和丁酮。

2.8.6.7 丙二醇甲醚 丙二醇甲醚是含氧碳氢化合物，由于其化学结构的范围广泛，提供了配方的灵活性。选择不同的结构可获得期望的蒸发率、溶解力性能、闪燃点和水溶解度。对于已被选定为半水基清洗剂产品的两种化学结构，具有低蒸汽压，闪燃点范围为74-110° C [165-230° F]，并且完全水溶性。乙二醇乙醚一般对极性和非极性污物都有良好的溶解力，这使得它们成为电子清洗制程优良的候选者。丙二醇醚系列呈现出比乙烯系列产品具有更低的毒性。

2.8.6.8 萜烯 基于异戊二烯单元且具有C₁₀H₁₆通式的不饱和烃。萜烯类常见于柑桔类水果或者松树。

2.9 半水基清洗制程定义

2.9.1 碳吸附 用活性炭吸附流动的气体和液体中的污染物，以除去杂质的一项技术。

2.9.2 可燃物 本术语适用于以闭口杯法测得其闪燃点高于38° C [100° F]的液体材料。

2.9.3 倾析 在不影响下方液体层的情况下让上层的液体材料与其它不相溶层分离的过程。

2.9.4 带离液 依附在组件或者运输设备上的液态清洗剂或者水，会由清洗机的一段带到机器的另一段。

2.9.5 乳剂 两种或者多种不可相溶的液体的混合物，例如油和水，在清洗制程的情况下使用时稳定且均匀。

2.9.6 水基介质中有机溶剂乳剂 在水中均匀分散的少量有机溶剂。

2.9.7 软化水 用来去除水中的钙和镁盐的一项水处理工艺。

2.10 环境定义

2.10.1 BOD生化需氧量 在受控制的测试条件下对有机材料生化降解的需氧量。

2.10.2 COD化学需氧量 将有机材料氧化反应为二氧化碳和水所需的氧气量，记录为氧（毫克）/测试溶液（升）。

2.10.3 挥发性有机化合物（VOC） 美国环保署的定义VOC为任何碳化合物，但不含一氧化碳、二氧化碳、碳酸、金属碳化物、或者碳酸盐和碳酸铵，这些属于会参与大气光化反应的碳化合物。（40CFR51.100(s））监管机构可能对何项物质构成挥发性有机化合物持不同意见。

2.10.4 HAP有害空气污染物 可引起严重的健康问题和环境危害的空气污染物。

2.10.5 全球暖化 气候变化的常用术语。气候变化是指气候状况的变化能以它的性能的平均值和/或者变异数的变化来确认（例如，使用统计测试），并持续长时间，一般为数十年或者更长。

2.11 水基清洗 以纯水或者有机或者无机皂化剂对组件做第一道洗涤，然后以纯水冲洗掉组件上的污水的一项制程。其它的目标是清除制程的残留物和用于产品辅助剂的材料，例如水溶性保护膜。应该指定（或者不指定但须区分）水溶性有机物。

2.11.1 水基清洗步骤定义

2.11.1.1 洗涤 首要的清洗操作，利用化学和物理作用将不期望的杂质（污染物）从表面去除。洗涤液可由纯水或者含弱碱性化学品的水所构成。

2.11.1.2 冲洗 清洗操作（通常跟随在洗涤步骤之后），用干净纯水冲洗置换（通常是通过稀释）任何残留污染的洗涤液。通常会采用多次冲洗来减少任何残留污染。

2.11.1.3 干燥 去除任何残留在已洗涤和已冲洗表面的水的制程。干燥后应该是无脏污的表面。

2.11.2 水基清洗剂的缩写定义

2.11.2.1 非活性添加剂 不与助焊剂或者其它制程的残留物发生化学反应的化合物。这些添加剂可以降低表面张力、协助去除非水溶性残留物、进行泡沫控制、或者抑制洗涤介质攻击结构材料。

2.11.2.2 丙二醇甲醚 丙二醇甲醚是含氧碳氢化合物，由于其化学结构的范围广泛，提供了配方的灵活性。选择不同的结构可获得期望的蒸发率、溶解力性能、闪燃点和水溶解度。对于已被选定为半水基清洗剂产品的两种化学结构，具有低蒸汽压，闪燃点范围为74-110° C [165-230° F]，并且完全水溶性。乙二醇乙醚一般对极性和非极性污物都有良好的溶解力，这使得它们成为电子清洗制程优良的候选者。丙二醇醚系列呈现出比乙烯系列产品具有更低的毒性。

2.11.2.3 活性添加剂或者反应物 水溶性化合物与污染物起化学反应，然后利用洗涤介质将它们去除。例如螯合剂、皂化剂或者化学中和剂等。

2.11.2.4 皂化剂 皂化剂通常按如下进行配置：使用单乙醇胺（MEA）与松香或者无机等效配方发生化学反应，形成一个可水洗的“肥皂”。由于这是一个化学反应，应该仔细监测单乙醇胺（或者无机等效配方）的浓度，以确保在设计清洗线速的最大清洗效率。

2.12 其它定义

2.12.1 组件 若干部件、次级组件或者其组合相互连接在一起。

2.12.2 批清洗 多个部件或者“批部件”作为一个群体清洗，此处制程周期时间是受控制的。

2.12.3 精细清洗 去助焊剂后所施行的最终去除污染物的清洗步骤，或者改善经过去助焊剂或者其它前清洗作业后的表面清洁度，并且改善敷形涂覆的附着力。

2.12.4 在线清洗 部件在输送带上连续处理，而且制程周期时间是由输送带速度控制的清洗方法。

2.12.5 人工清洗 部件是由人工处理，并且制程周期时间是由操作者所控制的一道清洗步骤。

3 组件清洗的价值和适用性

3.1 简介 表面贴装技术发展与创新的路径是对市场所要求的高功能性、降低成本、减少周期时间、提升质量压力的相应过程。¹ 为增加功能，当今的电路组件将多功能性的要求纳入较小面积的电路板设计。先进的封装设计需要更多的互连来支持功率需求和带宽。无源（被动）和有源（主动）元器件的尺寸变小以及许多面阵列节距和托高高度也降低，这都增加了枝晶生成及电化学迁移的风险。² 同时，在板上也会扩充功能性驱动封装尺寸和较高计数的输入/输出。考虑的关键指标是表面面积与Z轴高度比，这个比值的增加会使得进入和从大面积/小的Z轴高度的空间去除残留更加困难。

技术基准的市场压力增加了可靠性的要求，作为电子组装业者须溯及上游的常规设计到临界以及前沿技术。³ 在过去的二十年里，传统的表面贴装技术成功地采用了低残留免洗焊接工艺。今日对印制电路板厂商的挑战则取决于密度、无铅化、微型化。¹ 高性能电子组件的设计将由多层和叠层封装密度，增加输入/输出数量，缩小面阵列节距，和更小的元器件托高高度等要求驱使着。额外的要求包括成本控制、制程限制、安全和环境法规（包括国家和国际约束以及地方性的规范和风气）制约的工艺变化，并且需要根据不断增加的供应链来控制程序的完成。

3.2 技术创新 技术发展与创新的路径创造了产品将要履行此要求的期望。⁴ 技术的进步提出了高复杂性电路的需求，表现在改进性能、提高可靠性、微型化和电路密度。更小、更轻、更先进的功能不断驱使制造复杂性增加。为了置入更多的电路到一个较小的器件中，器件内的一切都必须缩小尺寸。⁵ 智能和交互式电子器件重新聚焦在可靠性上。

半导体器件几乎可以置入任何领域：在车辆用来监控更换零件的需求，在人体用来检测心跳和大脑活动，甚至在植物生长用来传递水或者肥料的需求。对于无处不用的计算及嵌入式网络和控制，电子设备的复杂性不断增长。以下范例说明产品设计师所面临的复杂性和挑战：

- **军事/国防：** 军事/国防部门对可靠性的需求是前所未有的。关键任务的信息系统、武器系统和其它关键组件等，需要复杂的电子设备让世界免于恐怖分子的危险。高密度电路设计必须保证在恶劣环境下操作或者长时间储存后的耐用性和可靠性。有越来越多的驱动因素要消除有害空气污染物（HAP），减少挥发性有机化合物（VOC），并避免使用违反工人安全的物质。军事服务中工艺的整合正在增长；而去助焊剂制程应该有效地与联合服务溶剂替代工作组（JS3WG）的工作成果协调一致。²⁹
- **航天：** 航空电子技术要求营运效率建构于材料和防止失效上。⁶ 未来航天要求增加使用芯片级的航空电子设备，以减少尺寸、重量、动力和成本，同时提高可靠性。改进安全性是为了检测、预测和避免危险。符合安全和环境法规要求代表了另一个挑战。例如，法规的约束降低了具备适当润湿性能和用来去除助焊剂残留物的功效的清洗剂的可用性。限制挥发性有机化合物也会限制有效清洗剂的可用性。
- **医疗：** 医疗设备的创新可改善生活质量和降低保健成本。先进的封装有助于缩小尺寸、增加功能和提高可靠性的改进。电子技术是一个用于治疗慢性疾病的关键推动者。远程监测和疾病管理设备藉由集成逻辑的电子创新，扩大了患者对远程监控选项的范围。集成电子组件植入设备后放大了可靠性、兼容性和表面清洁度/表面质量问题的重要性。
- **汽车：** 随着越来越多消费者的要求、技术发展、全球化、一体化的挑战，汽车行业正处于重大变革。消费者变得更有能力和精明，他们对汽车的需求和要求正在以指数速度发展。消费者希望它们的车辆能提供信息、娱乐、安全和方便。为满足这些要求，车辆将变得更加智能，提供便于新手司机的操作，并可依买家的更多个性要求而定制。
- **网络 and 信息技术：** 企业系统创新提供了改进的接口，可连接世界各地的人们。启用共同的信息技术标准，下一代能够便于消费者使用的网络和行业高效分频器让通信、媒体/娱乐和电子行业之间的界线正在变得模糊。这些融合的供货商期望需求越来越多的电子解决方案，例如在移动电话上有网络视频和MP3音乐下载。可靠的网络 and 信息技术也是必需的，无论是在工业界、执法机关、医疗、政府机构和国家/国际安全等。在这些领域，可靠的、安全的、长期的可存取的信息存储是必需的。
- **移动设备：** 移动设备的市场渗透力是世界性的。在发达国家的移动电话市场渗透率高达90%。移动设备将在不发达和第三世界国家日益重要，那里缺乏传统的“有线”技术。技术和功能已进化到设备制造商能够与网络供货商的硬件和软件集成的地步。移动互联网设备将提供移动互联网更小、更轻和强大的可联网功能的设备，最终外形尺寸可放入人们的口袋。

3.3 制程残留物及其对产品可靠性的影响 产品的可靠性是表示在一个特定的期间范围内的环境条件下该设备的功能。更高密度的、更大的、更小的叠层元器件、以及更小的托高高度等正在改变电路板清洁度的定义。质量保证的传统观点等同于以可见残留和溶剂萃取测量的电阻率来衡量的电路板可靠性。随着元器件尺寸减少和托高高度的降低，提取和衡量与产品质量相关的残留物的能力被质疑，所以需要提出其它被认可的测试方法。

由于电路板设计的复杂度增加，可靠性问题面临更大的风险。⁶ 显著的行业变化增加了清洗的价值，包括⁶：

- 细间距增加了电路的敏感度（少量的污染，可见残留物和气体污染两者能够改变电路的输出）。
- 助焊剂化学成份的变化，降低用于密封和包住制造残留物的高固态松香的含量。当今许多助焊剂的成分使用更少的阻抗性活化剂。低固态含量助焊剂的成份，通常以弱有机酸配制，留下的化学残留物与离子电导率/电阻率试验测量并不直接相关。
- 组装板集成使得组件经过多次组装操作，在清洗前可能将残留物烘烤到表面。例如对组件而言，在表面贴装技术中对顶部和底部元器件进行再流焊接、波峰焊、选择性焊接、底部填充等应用程序，返工和局部的毛刷清洗等是常见的，二次加工可能会在精密的和关键的区域内有小面积残留物。
- 残留物风险源自裸板、元器件以及二次制程残留物。
- 气候可靠性问题来自于在恶劣环境中工作而设计的高功率设备。²⁴
- 非离子残留物的影响将需要进行评估，且必须建立适当的测试方案。

3.4 免洗与清洗 低固含量助焊剂/焊膏（有时称为“免洗”）出现的驱使下，有一个普遍的误解，即清洗已成为过去的问题。现实情况是清洗的全面性需求并没有减少。清洗需求已经转变或者保持过去原有的并且加入了已开发的新需要。更具体而言，免清洗过程并非意味着清洗是不必要的，清洗在免洗制程中扮演着成功实施的关键作用。低残留（“可接受的污垢”）组件已将清洗从组件阶段转向裸板制造和元器件制造阶段。今日的电子电路为了满足可靠性要求往往需要清洗。实际上，免洗方法往往是不可行的选择。

许多用户目前在装运前清洗低残留焊接组件。合同组装业者在执行低残留焊接已发现某些客户要求清洗组件，不论进行组装操作的助焊剂的种类。虽然某些助焊剂/焊膏制造商声称低残留助焊剂/焊膏不需要清洗，实际上有组装厂采用特殊的清洗剂来清洗“免洗材料”，以满足设计和性能要求。

表面贴装（SMT）领域的持续发展带来了额外的清洗需求。电子组件上的空间已变得越来越狭窄，标准球栅阵列（BGA）下方的清洗并未出现问题，因为它们有相对较高的托高高度。然而，更大的尺寸、密度和较低的托高高度时，清洗、冲洗或者干燥将成为一个更大的挑战。倒装下方清洗的需求也迅速崛起，以确保底部填充的附着。同样，对敷形涂覆的最佳附着和性能而言，清洗依然是一个重要步骤。

环境和工人安全问题在今日的清洗考虑中占了很大的一部分。制造商和组装业者都必须考虑的因素，例如HAP（有害空气污染物）和其它有毒气体、PEL（容许曝露限度）和其它工作者的安全要求、VOC（挥发性有机化合物）、BOD（生物需氧量）、COD（化学需氧量）、废水处理、重金属、闭口循环和酸碱值。因应联邦和/或者地方法规的要求，这些因素的一个或者多个可以决定清洗系统的选择。

敷形涂覆提供一个保护层来掩蔽传导以防止水分子转移到金属表面。²⁵ 保护涂层有助于防止电化学迁移，抑制锡晶须生长，防止灰尘、污垢和其它污染物。敷形涂覆之前的组装后清洗可改善润湿和附着力。当涂层覆盖了来自助焊剂或者保护膜残留的污染和元器件周围的离子污染，会造成附着力不足和去润湿。²⁶

3.4.1 实施免洗技术涉及的因素 当零件更大和间距更宽时趋向采用免清洗。² 在90年代初期，大家都跳上这股浪潮来节省运营和资本成本，以及淘汰已经发现并鉴定为新的、非臭氧消耗的清洗工艺。今日，免洗可能不再是广为流通的芯片尺寸封装和倒装芯片所选择的工艺；或许免洗制程应该为低电压、大节距、一次性、消费性产品（1级和2级）保留。对于高可靠性应用（3级）的免洗助焊剂残留物的清洗，需要满足清洁度和可靠性需求。

用户必须熟知材料，熟知他们在制造过程中如何变化，以及在终端使用环境中如何影响产品的形状、组装、功能和可靠性，从这个立场来看，免洗技术并无异于其它制造方法。

电子产品制造商现在采用的组合过程，如“简化清洗”，其中有些助焊剂残留物会存留，通常在手工焊接连接器时，不允许使用清洗剂。⁷ 一个真正的免洗组装，某些情况下，它只是简单的不采用清洗。在其他情况下，它是谨慎地优化制程来尽量减少残留，并验证在终端使用环境对产品耐用性的影响。对于高射频应用，免洗制程可能是一个真正的风险来源，因为在此处助焊剂残留会充当介电材料，并可能改变波形和传播性能。

返工和维修代表一个特定领域，需要一致的培训并满足可接受的工艺标准。行业领导者密集地进行操作人员培训，尤其是这些在“简化清洗”或者“真免洗”程序的操作人员。培训模块和工艺标准都应该强调尽可能减少添加额外的助焊剂。焊接后返工清洗必须依据已定义的工艺来完成。也就是说，清洗剂及清洗技术必须明确规定和定义；人员必须经过培训和教育后要求以正确、一致的方法来进行返工。任何助焊剂的使用必须在焊接过程中充分活化，以尽量减少或者消除任何问题。

3.4.2 成本驱使 通常的成本驱使是减少清洗工艺包括原料、设备、人员和培训。假设清洗是一个“零附加值”的工艺。虽然这种“零附加值”的主张经常被提到，但它完全忽略了任何可能相关的可靠性和可能的保修维修问题。这些问题包括过度返工、无法返工的产品成本，以及使用中的失效，包括灾难性的产品失效相关的成本和公司责任。

3.4.3 免洗材料的选择；产品设计 任何与组件相关的东西必须被视为综合系统的一部分。因此，层压板、阻焊膜、图例油墨、元器件和敷形涂覆构成了系统。既然助焊剂和焊膏残留物不会被去除，但在组件的设计寿命期间，它们是停留于组件上，残留必须兼容于构成系统的任何材料。这种兼容性应该有适当的证明，例如利用加速老化后测试。

设计者和组装业者双方从概念原型到给基本客户的最终版本的整个过程都必须牢记这一点。组装业者也必须充分考虑到在“零件添加”制程、返工、维修或者工程中所加入的任何材料升级为长寿命期组件。我们现在有更新的工具（表面绝缘阻抗，集成电路等）能更有效地评估组件“系统”的性能特点。可能需要额外的分析测试，这取决于终端用户的要求。使用者可以定量比较不同焊接材料和涂层组合以保证完整组件符合终端使用环境的设计目标。

3.4.4 什么是已知的免洗成本效益和驱使原因？

3.4.4.1 什么是（已知的）免洗的成本效益？

- 节约与清洗设备、材料和工艺步骤相关的成本。
- 省去清洗工艺步骤和工艺时间来提高工厂生产率。
- 不占用昂贵的制造场地。
- 能够使用更便宜的组件，不会因为不够结实而在清洗工艺中损坏。

3.4.5 什么是免洗的成本驱使原因？

- 资格评定方案用来选择和更好地规范免洗助焊剂和焊膏。
- 资格评定方案用来选择和规范用在返工和维修的助焊剂和焊膏。

- 资格评定方案用来选择符合用户的洁净度检测和免洗助焊剂焊膏工艺标准的板和元器件供货商。
- 优化焊接工艺以留下最少不干扰在线测试与敷形涂覆层附着力的助焊剂残留。
- 校准自动光学检测机、标准、协议，加上所有的工艺和检验标准以及建立新的培训和检验方案。（注：助焊剂残留物改变了视觉外观。）
- 与现有客户认证新工艺并且相应地修改合同。
- 审查遵守所有现有的和预期的环境空气、水和固体废物法规。审查遵守所有废物处置法规。
- 确定当前和未来设计的兼容性，尤其是假如已包含或者预期的高频或者光纤电路。
- 原始设备制造商必须保证由合同组装业者或者多个场所于现在或者未来计划所制造的组件有适当的培训和文件。替代场所是否可以遵守主工厂的要求？
- 电路是否为了获得最佳性能或者克服可能出现的问题而设计，如清洗、焊接（J-STD-002可焊性）或者绝缘油的清洁度，业界可能没有足够的信息来保证工艺的成功？
- 通过统计检验来确定工艺窗口的限度。
- 规定或者核查进料符合初始清洁度的要求。
- 通过制造作业来搬运免洗产品。

3.5 什么是清洗的成本？

3.5.1 清洗成本构成

成本评估包括很多因素，而不仅仅是一特定的清洗剂每加仑或者每升的成本。一个完整的清洗成本分析应该考虑以下项目：

- 设备成本。
- 夹具成本。
- 资本成本。
- 清洗工艺的开发和验证之非经常性工程（NRE）成本。
- 折旧。
- 场地。
- 通风。
- 安装、设备验证、调试成本包括测试材料和实验室分析。分析其它组装工艺材料及元器件与新工艺的兼容性，是否会有相关的敏感问题。
- 操作人员的培训成本。
- 操作人员的劳动成本。
- 水成本（如果使用水冷系统的清洗）。
- 相关于清洗工艺的冲洗用水的过滤和处理成本（离子床、管道、中和或者处理取决于地方性法规）。
- 维护成本（劳动、灌装、引流，必要时更换设备零件）。
- 清洗剂成本（包括水如果用作清洗剂。如果水用作清洗剂或者与清洗剂一起使用，并且排放，则包括变量下水道的使用成本。）
- 工艺性能监测成本包括浓度测量设备，萃取溶剂电阻率（ROSE）设备和/或者离子色谱分析的成本以及相关的劳动来完成这些任务。
- 与后清洗板组件为了确保水分含量适合于下游组装过程如敷形涂覆等进行烘烤的相关成本。
- 与清洗剂的选择和根据J-STD-001的资格评定相关的成本。

- 如果用过的清洗剂是排放到公共下水道系统的废水许可证成本。
- 清洗剂回收成本。
- 清洗剂处理费用（包括蒸发成本，如果使用蒸发器）。
- 清洗剂的存储成本和运输（劳动）到设备的成本。
- 操作清洗，提供通风，增加加热或者冷却、回收和处理设备的总电力成本。
- 劳动力成本和申请，保持必须的环境报告相关费用。
- 与检验、返工、维修等文件相关的劳动力成本。
- 生产量或者生产率。
- 如果清洗剂中含有挥发性有机化合物（VOC）和排放量高过空气区的允许限度的空气排放许可证。
- 如果需要符合空气许可要求，空气排放控制设备的资本和营运成本。
- 工业卫生成本以确定基层雇员暴露于清洗剂（水除外）和确认持续遵守职工卫生标准。
- 根据合同要求中制程控制设备的校准、测试和维护。

3.5.2 成本模型

清洗成本模型	
清洗设备	参数
清洗设备	以美元计
运输和整合	以美元计
清洗溶剂过程控制系统	以美元计
去离子水闭环系统	以美元计
服务和维修	以年消耗美元计
零配件	以年消耗美元计
离子污染测试仪	以美元计
折旧前清洗设备费用	以美元计
使用清洗篮或者压紧装置	以美元计
清洗材料	参数
工作浓度	%清洗溶剂浓度
每加仑费用	\$/加仑
工作溶液中清洗溶剂每加仑的费用	%清洗溶剂浓度 * \$/加仑
洗涤槽体积（加仑）	加仑
更换洗涤槽内清洗溶剂的费用	%浓度 * 洗涤槽体积 * 清洗溶剂 \$/加仑
洗涤槽内消耗去离子水的费用	%浓度 * 洗涤槽体积 * 去离子水 \$/加仑
更换清洗槽的频率（周）	以周计
每年工作周数	以周计
每年更换的总加仑数	[# 每年周数 - # 每年更换清洗槽的频率] * [% 清洗溶剂浓度 * 洗涤槽体积]
每年更换去离子水的总加仑数	[# 每年周数 - # 每年更换清洗槽的频率] * [% 去离子水浓度 * 洗涤槽体积]
更换洗涤槽内清洗溶剂的年度费用	[# 每年周数 - # 每年更换清洗槽的频率] * [% 清洗溶剂浓度 * 洗涤槽体积 * \$/加仑]
更换洗涤槽内去离子水的年度费用	[# 每年周数 - # 每年更换清洗槽的频率] * [% 去离子水浓度 * 洗涤槽体积 * \$/加仑]
批洗涤工作温度	°C/°F
排气平均损失的水	加仑/小时
排气平均损失的清洗液	加仑/小时

清洗成本模型	
排气总平均损失（水加清洗液）	加仑/小时
每日机器工作的时数	# 每日机器工作的小时数
因排气造成去离子水的年度损失	每小时排气损失的去离子水的加仑 * 每天机器的工作时数 * 年工作天数
因排气造成清洗溶剂的年度损失	每小时排气损失的清洗液的加仑 * 每天机器的工作时数 * 年工作天数
因排气造成化学品的年度损失费用	每小时排气流失清洗溶剂的量 * 机器每日工作时数 * 年工作天数 * 每加仑清洗溶剂的成本
因排气造成去离子水的年度损失费用	排气损失的去离子水 * 机器每日工作时数 * 年工作天数 * 每加仑去离子水的成本
冲洗中平均洗涤溶剂的带离液	加仑/小时
洗涤中带离的去离子水的年平均损失	平均产生的洗涤废液量 * 洗涤液中去离子水的水百分比 * # 日工作时数 * # 年工作天数
洗涤中带离的清洗溶剂的年平均损失	平均产生的洗涤废液量 * 洗涤液中清洗溶剂的百分比 * # 日工作时数 * # 年工作天数
年工作天数	# 以天计
因排气及带离液造成的清洗溶剂年消耗量	每日排气损失的清洗溶剂 + 每日废液中的清洗溶剂 * # 年工作天数 * 每加仑清洗溶剂的成本
因排气及带离液造成的去离子水年消耗量	每日排气损失的去离子水 + 每日废液中的去离子水 * # 年工作天数 * 每加仑去离子水的成本
排气及带离液的年度总费用	因排气及带离液造成的清洗溶剂年消耗量 + 因排气及带离液造成的去离子水年消耗量
去离子水的年度费用	更换洗涤槽内去离子水的年总费用 + 排气及带离液损失的去离子水成本
清洗溶剂的年度费用	更换洗涤槽内清洗溶剂的年总费用 + 排气及带离液损失的清洗溶剂成本
洗涤过程中消耗的去离子水及清洗溶剂的年度成本	去离子水的年总费用 + 清洗溶剂的年总费用
去离子水	参数
洗涤过程中消耗的去离子水年总量	加仑/年
最后冲洗每小时消耗的去离子水量	加仑/小时
冲洗消耗的去离子水年总量	加仑/小时 * # 日工作时数 * # 年工作天数
去离子水的年总需求量	洗涤过程中消耗的去离子水年总量 + 最后冲洗消耗的去离子水年总量
处理每加仑去离子水的成本	\$/加仑
去离子水的年总成本	处理每加仑去离子水的成本 * 去离子水的年总需求量
补充/更换离子交换柱	隐含的去离子水费用
能源	参数
泵	千瓦/时
加热器	千瓦/时
烘干机	千瓦/时
排气	千瓦/时
空气调节	千瓦/时
年电力消耗	总千瓦/时 * # 日工作时数 * # 年工作天数
推动水预处理的外部水坑泵	千瓦/时
废弃物处理	参数
排水管排出的冲洗水量	加仑/天
排水管排出的带离液中的溶剂	加仑/天

清洗成本模型	
废水和废溶剂排放的年度费用	(冲洗水排量 + 溶剂排量) * # 日工作时数 * # 年工作天数
水预处理和/或者化学前处理包括蒸发	月/季/年的 加仑*KW/Hr \$成本
集装箱化和运输	月/季/年的 加仑*英里 \$成本
其它处理成本	每加仑的成本
污水收费许可证和许可证监测	\$/ 许可证和资本投资、消耗品、培训、教育
处理的年度总费用	\$
空气排放	参数
挥发性有机化合物 (VOC) 的年排放量	清洗溶剂的量 克/公升 * 3.78 公升/加仑 * 从排气流失的清洗溶剂加仑量
空气排放许可证	\$/许可证
空气排放控制装置	\$ 针对水擦洗, 更换吸附介质, 或者热氧化燃料
每吨挥发性有机化合物的排放年度总费用	每年排放清洗溶剂的克数 / 454克每磅 / 2000 磅/吨
空气排放控制	资本投资、消耗品、培训、教育
占地面积	参数
设备总长度	米 (英尺)
设备总宽度	米 (英尺)
设备总高度	米 (英尺)
生产区的总面积	平方米 (平方英尺)
每平方英尺生产区的成本	
吞吐量	参数
清洗机	在线或者批
清洗周期时间	米 (英尺) /分钟或者分钟/批
生产需求	每日的板数量
周期时间	洗涤过程中的输送带速度或者分钟数
清洗机器的能力	在机器参数下的每日在机板数
清洗设备的需求	# 清洗机
经营总成本	参数
化学清洗的年度总费用	以美元计
工业卫生服务的年度总费用	以美元计
去离子水的年度总费用	以美元计
能源的年度总费用	以美元计
废弃物处理的年度总费用	以美元计
空气排放的年度总费用	以美元计
污水排放的年度总费用	以美元计
年度总折旧	以美元计
清洗操作的年度总费用	以美元计
投资回报	清洁/平均资产经营的净收入
人力, 标准工时 + 每日系统开支/制造费用	以美元计
其它考虑	参数
减少噪音	环境噪声的分贝
专业输送机或者升降机	材料处理
使用于预处理的专门污水泵	材料处理
去离子水的回收效益	循环利用有效的去离子水对比排水或者补水
清洗剂的资格证书与优化的成本	板材、SIR 测试、J-STD-001

3.5.2.1 成本模型的历史 基于设备或者清洗剂供应商的成本模式已形成，但它们通常不完整，仅包括供应商青睐的工艺和最重要的竞争对手，而不是所有可能的选择。通常这些模型只能用于证明购买新设备，而不是优化制造操作的经济情况。

第一个出版的互动模型由霍利斯工程所产生，包括清洗用的皂化剂、纯水或者I型半水基清洗剂。³⁰后来杜邦将它修改为使用从现场经验收集的半水基清洗数据，模型中并不包括溶剂清洗数据和免洗数据。

3.5.2.2 成本模型的价值 然而这些模型试图让厂家首先以焊接后清洁度测试，其次以每个清洗部件的成本为基础来选择最佳工艺，它们一般不会提供一个包括所有主要清洗方案的全面模型。此外，模型的互动性将允许组装业者“填入”在每个工厂的设施和劳动成本，来决定最佳的整体清洗工艺。

3.5.2.3 未来工作 需要收集包括今日所有使用的焊接后清洗工艺的且行业认可的互动成本模型，其目的是以确保它们在全球市场保持成本竞争力来巩固我们的行业成员。这种互动模式不被用作对其它供应商的销售或者营销工具。

3.6 什么是忽略清洗的成本？ 高可靠性电子产品需要的性能要求和微型化加速了薄型、高密集电路的需求。⁸ 高密集电子组件的生产面临的一个共同威胁是枝晶的生长和金属间化合物，最终将可能导致短路。电子电路组件的可靠性风险的研究报告指出，这种现象似乎更频繁地发生在无铅电子产品。⁹

电子互连创新的速度超越了测试、管理、标准制定机构提供给企业的服务。¹⁰ 微型化是在焊接材料上不断施加新的准则和挑战。¹¹ 藉由减小焊盘、通孔、微导通孔、三维制造（多层芯片和封装体叠层）和节距的尺寸，基板和元器件的构造变得更为精密，这会增加焊点的脆弱性。¹²

增加功能和小型设备在创新的电路设计中表现出显著的动力。⁷ 制造复杂性随着不断往更小、更轻和更先进的功能推动而增加。为了置入更多的电路到一个较小的器件，器件内的一切必须缩小尺寸。¹¹ 当封装件持续缩小，然而同一时间，封装尺寸和输入/输出数量增加，电路板的减缩和先进的封装驱使设计者和元器件工程师调整电路板等级来改善可靠性。取消清洗将可能影响产品寿命和相关产品性能的损失。

3.6.1 无铅焊接 无铅是一项破坏性的变化，需要在电子组装的基本元素 - 元器件之间的连接改变制造工艺。¹³ 高输入/输出数量、逐步微型化、更可靠的性能和其它需求正在阻碍电路板的清洁效果。²⁷ 清洗无铅组件的关联性必须考虑减轻杂散泄漏和电化学迁移的可靠性风险。¹⁴

无铅制程的改变要求更严格的工艺控制。⁹ 无铅合金需要较高的焊接温度，会造成额外的清洗挑战。而过去工程师可以藉由增加助焊剂的活性、改变传送带速度、或者增加预热特设调整工艺，高锡/高熔点合金是一个不同的问题。来自于一个明确的锡铅工艺的微小变化将可能导致增加电路板失效的可能性。

一个紧缩的无铅锡银铜合金工艺窗口增加了清洗的关联性。随着焊接温度增加、元器件的托高高度降低，可能不再容许使用免洗工艺。⁹ 如果助焊剂在焊接工艺中发生氧化或者碳化，电路板将遭受大量的离子污染物。在无铅工艺高温期间，电路板层压板膨胀并有吸收阻焊膜中污染物的风险。这种风险可能引起电化学反应和可靠性问题。

3.6.2 微型化 由于越来越多的氧化物和免洗无铅应用的要求，微型化对助焊剂的化学性质增加了巨大挑战。⁹ 元器件的尺寸和导体间距在作业中产生更多的热量。¹⁵ 问题源自于具有更大设计密度的电路板造成离子干扰、金属迁移和表面绝缘电阻降低。

微型化，往往导致润湿性变差。¹¹ 氧化物厚度与焊盘尺寸不成比例，从而导致润湿不良。减少接合点的尺寸更容易促使形成空洞，主要是由于润湿更加困难，从而增加了立碑或者偏移的风险。（见3.6.3助焊剂的变化。）

照理说，较小的焊点将比大的焊点更快被腐蚀殆尽。¹¹ 粒径的减小由于增大了锡粉的暴露面积使得良好的焊料锡粉氧化作用加大。从锡铅焊料转换成无铅焊料进一步让问题恶化，这是由于无铅焊料比锡铅焊料具有较高的熔点和较差的润湿性。

藉由降低封装托高高度来促使腐蚀减少，形成预防材料被腐蚀的能力。^{16 & 28} 集成电路封装的表面上面的冷凝水和污染物的发生是因为温度超过露点时的表面张力。^{16 & 28} 在潮湿的环境和存在电偏压下，过度离子污染物在组件上可能造成问题。在60%相对湿度，会形成两到四个分子厚的水层。随着水形成污染，从而增加其它化学反应的风险。当相对湿度达到80%，水层是从五到二十个分子厚而且离子可以在表面上自由流动。在这一点上的水分和有机酸可以形成腐蚀性电池。此问题的增加起因于紧密的电路板线路、电路板密度和更高的电压。²⁸ 在恒定电压，导体之间的电场与导体间距成反比上升。¹² 因此，电化学迁移和枝晶形成更容易从狭窄的导体间距发生。电子产品对枝晶形成的耐受能力迅速地削弱。¹¹ 线路间的短路源于电解枝晶的生长、导体的侵蚀、或者绝缘电阻的损失。⁹

3.6.3 助焊剂的变化 无铅合金与各种助焊剂化学品的兼容性被认为是至关重要的，并需确定处理能力、保质期和焊接能力，如锡球、润湿和焊点外观的性能。¹⁷ 一般来说，锡银铜无铅合金表现出不佳的润湿能力。需要更具活性的助焊剂化学品以实现与共晶锡铅合金相当的润湿。¹⁸ 更具活性的助焊剂会导致更多的腐蚀性助焊剂残留，因此需要更多有效清洗工艺的使用来符合设计可靠性要求。

Lee³ 引用了无铅免洗助焊剂组合物成分的特点。¹¹ 采用免洗工艺的目标是为残留形成一个坚硬的屏障，密封电路以阻绝接触离子污染。然而，随着焊接温度上升，助焊剂材料经历物理和化学性质的变化，如挥发性成分的蒸发、表面能和熔融粘度。¹⁹ 而过去制造商不想清洗组件，它们不能冒着超过规定的污染极限的风险。这种系统将带来更多的残留，表面绝缘电阻降低，并增加了必要的清洗。

使用在共晶铅锡的助焊剂成分的技术已被充分的理解和掌握。¹⁹ 使用在无铅锡银铜合金所需的较高焊接温度，有机溶剂必须具备热稳定性以降低焊接元器件所需活化剂的等级。一个关键问题是热稳定性的缺乏，因此需要更具活性的助焊剂成份。这使得所留下的残留物不再符合免洗类别。

3.6.4 电气故障 当制程、材料、制造设备变化时，电子组装业者使用表面绝缘电阻（SIR）测试进行评估。表面绝缘电阻的定义是两个电导体之间的电阻。²⁰ 表面绝缘电阻可被视为是一个系统抵抗引线或者线路间表面短路的能力。表面绝缘电阻测试样品的性能直接关系到清洁度。

表面绝缘电阻量测受污染和无污染两者的并联电阻值。² 图形的导体间的枝晶生长或者导电性溶液的存在会影响它们之间的电阻。较高的表面绝缘电阻值是因清洁的电路板不形成枝晶。较低的值是由于导电枝晶或者盐的存在。²⁰

3.6.5 电化学迁移 电化学迁移是发生在导电金属导体之间，当它们受到一个直流电偏压时所形成的桥接通道。¹⁰ 金属导体从正电荷的导体（阴极）向一个负电荷的相邻导体（阳极）增长，而引起导体之间的短路。电化学迁移由逆向金属电镀所构成。²¹ 离子污染物与水相结合，普遍形成一个酸的局部源，它会溶出金属离子。在电位的影响下，金属离子穿过中间的间距，形成一个金属丝。严重污染的组件比清洁组件有更大的风险。

电化学迁移提供了一个衡量污染物及其对组件可靠性的影响的方法。² 金属盐和导电离子，例如助焊剂和PCB基材中常见的氯化物和溴化物，可能引起穿越引线或者走线间的短路。这些在电解质中的离子可能衍生自金属导体的腐蚀或者不当清洗的电路板基板。污染可能来自裸PCB的制造，后续处理，或者腐蚀性助焊剂的应用却没有充分清洗。研究已经确定，电化学迁移和腐蚀所造成的失效主

要建立在部件的清洁度。¹⁰ 当施加电压的电路中存在着水分，离子残留围绕金属引线将开始电化学迁移。²¹ 就算是在金属引线被腐蚀前，这种腐蚀现象已经影响它的导电性。

3.6.6 可靠性风险 可靠性问题的高风险可能会发生，尤其是在高可靠性的终端使用环境。在免洗环境的设施内不好的工艺控制将增加风险，特别是在工艺控制调整可以实时被进行的情况下。免洗工艺的实现将清洗和相关的工艺控制移转到多个出价最低的供货商。最终测试和出货给客户之前，潜在的可靠性问题有机会得到纠正。如果组件施加了敷形涂覆层，这一点尤其重要。

当处理免洗组件，设备和人力都需要执行测试和分析来确保输入元器件和电路板的清洁度。所有供货商的制造工艺的资格核定以确保输入部件符合制造工艺标准。这个问题随着供货商和供货商制造场所数量的增加而变得更加繁琐。原始设备制造商要求供货商/用户/客户就现有的行业水平和测试方法文件达成一致；或者产生任何目前不存在的文件。

参考文献

1. Fisher, J. (2008, Oct). IPC Technology Roadmap Future of Interconnection Technology and Its Impact on Cleaning and Reliability. IPC/SMTA High Performance Cleaning Symposium.
2. Oosterhof, A., Ellis, B., Pauls, D., & Naisbitt, G. (2008, Jan). What is involved with going no-clean? Retrieved from <http://listserv.ipc.org/scripts/wa.exe?A0=TechNet>
3. Lee, N.C. (2008, Oct). Lead-Free Flux Technology and the Influence on Cleaning. IPC/SMTA High Performance Electronic Assembly Cleaning Symposium.
4. Russeau, J. (2008, Oct). Utilizing and understanding the various methodologies for evaluating cleanliness of printed wiring assemblies. IPC/SMTA High Performance Cleaning Symposium.
5. Bixenman, M., Ellis, D., & Neiderman, J. (2009, April). Collaborative cleaning process innovations from managing experience and learning curves. IPC Printed Circuits Expo, APEX.
6. Munson, T. (2008). Process residues and their impact on product reliability. Forsite Labs, Kokomo, IN.
7. Hillman, D. (2008, Oct). A reduced cleaning of printed circuit boards: The science of leaving residues alone. IPC/SMTA High Performance Cleaning Symposium.
8. Bixenman, M., (2008, April). Quantifying cleaning relevance when manufacturing lead-free printed circuit board assemblies. SMTA Conference on Soldering and High Reliability. Toronto, Canada.
9. Naisbitt, G. (2008, March). Cleanliness testing on the shop floor. Surface Mount Technology.
10. Cullen, D.P., & O'Brien, G. (2004). Implementation of immersion silver PCB surface finishes in compliance with underwriters laboratories. IPC Printed Circuits Expo, San Diego, CA.
11. Lee, N.C. (2008). Future lead-free solder alloys and fluxes: Meeting the challenges of miniaturization. IPC Printed Circuits Expo. Las Vegas, NV.
12. Takemoto, T., Latanision, R.M., Eagar, T.W., & Matsunawa, A. (1997). Electrochemical migration tests of solder alloys in pure water. Corrosion Science. 38(8), 1415-1430.
13. Seatman, K., & Nishimura, T. (2008). Properties that are important in lead-free solders. IPC Printed Circuits Expo. Las Vegas, NV.
14. Munson, T. (1998, Nov.). Eliminating metal migration failures. Printed Circuit Fabrication. 21(11), 32.
15. Rudra, B., Pecht, M.J., & Jennings, D. (1996). Electrochemical migration in multichip modules. Circuit World. 22(1), 67.
16. Hawes, A. (2000). Causes and effects of corrosion in plastic IC packages. Electronic Engineering.
17. Toleno, B., & Maslyk, D (2008). Process and assembly methods for increased yield of package on package devices. IPC Printed Circuits Expo. Las Vegas, NV.

18. Lee, N.C., & Bixenman, M. (2001). Lead Free: How flux technology will differ for lead-free alloys. Nepcon West. Anaheim, CA.
19. Triggelen-Aarden, I.V., & Westerlaken, E. (2008). Performing flux technology for Pb-free SN100C solders. IPC Printed Circuits Expo. Las Vegas, NV.
20. Partee, B. (2004, Feb). SIR Testing. EMPF. Retrieved from <http://www.empfasis/feb04/sirstesting.htm>.
21. Pauls, D., & Munson, T. (2000, Jan). Questions and answers 1. Circuits Assembly. 11(1), 72.
22. Schweigart, H., & Wack, H. (2001, April). Humidity and pollution effects on Pb-Free assemblies. Circuits Assembly. 18(4), 34.
23. Zestron Corporation, (n.d.) "Cost per cleaned part" is a term that was pioneered by Zestron Corporation with the introduction of non-surfactant, modern aqueous product technologies.
24. GfKORR Working Group (n.d.). Corrosion protection in electronics and micro-system technology. Ingolstadt, Germany.
25. Richie, B. (2008, Oct.). To Clean... or Not To Clean. IPC/SMTA High Performance Cleaning Symposium.
26. Keeping, J. (2008, Oct.). Critical considerations for selecting a conformal coating process. IPC/SMTA High Performance Cleaning Symposium.
27. Schweigart, H. (2003). The reliability of silver-based solders. EPP Europe, 3/4 - 2003.
28. Schweigart, H., & Muehlbauer, A. (2002, Mar). Preventing contamination-caused assembly failure. www.smtmag.com
29. Joint Services Solvent Substitution Working Group (JS3WG). http://www.jgpp.com/projects/JS3/JS3_main.htm
30. James J. Andrus, Hollis Automation, Inc., "PWA Aqueous and Semi-Aqueous Cleaning: System Approaches and Tradeoffs," NEPCON West Proceedings, pp 281-291, 1991 (*also published as NWC TP-7110, pp 35-48, 1991*)

4 组件清洗性设计

4.1 有效清洗组件的设计 由于微型化以及复杂的前沿产品，设计可清洗的印制电路组件已成为一个非常具有挑战的任务。¹ 电子产品可制造性设计（DFM）包括一套修改和提升印制电路和清洗工艺设计的技术来配合清洗过程中的基板、污染物以及现有的清洗方法。使电子产品微型化、轻量化的期望驱使设计者转向设计细间距的高密度组件。本章节目的是提供用于清洗前沿印制电路的设计准则及方法。

随着技术的进步，使用更小的元器件、高密度布局、材料的变化，和环境条件重新提高了电路板清洁度的重要性。³ 将印制电路组件设计得易于制造，需要计算机辅助设计（CAD）人员从了解制造工艺及其局限性开始。作为一般规则，通孔组件比表面贴装组件产生的问题少，特别是那些在高密度互连结构（HDI）基板上的组件。问题是，在更小元器件的驱动下增加了元器件性能和功能的复杂性。² 这种复杂性使得有效去除残留物更加困难。

某些情况下，可能会在良好电气设计、良好焊接布局 and 良好清洗布局的要求之间有冲突。在这些情况下，设计人员应该尝试找到适当的折衷方法。随着所有工艺的改变，清洗工艺相对于所提出的设计必须经过评估。新的组件生产之前，所选择的清洗工艺必须经过验证。清洗工艺的评估应该涉及设计人员、工程师、品管人员、车间人员、安全/环保顾问和其它关键人员。清洗工艺包括清洗剂、清洗设备和清洗方案。清洗工艺应该被演示人员接受；否则，新工艺是不太可能成功。

小组会议，包括关键人员往往有助于培养设计人员；这种方法可能是做可制造性设计的最快捷的方法。当清洗高密度表面贴装组件时，计算机辅助设计系统应该调整为确保每一步能够提高清洗能力。这可能意味着元器件应该面向一个特定的方向，为实现这一目标，它可能需要一个或者多个额外的信号层。如果因为经济原因而不可能采取这种方式时，那么可能必须在电压层或者接地层插入信号导体。在具有微导通孔的高密度互连结构情况下，通常是在焊盘中有导通孔。这排除了元器件扇出（狗骨形）的需要，允许更高的元器件密度，如此可能严重危害清洗工艺技术的现状。

4.2 清洗设计 印制电路板按照既定的行业标准进行设计、组装和品质控制。为了减轻由于污染造成产品失效的风险，清洗工艺必须提供一个已定义的工艺窗口，该窗口是可重复的，并且是横跨组装工艺中所遇到的变量的广阔区间。为实现一个高良率的清洗工艺，许多因素影响清洗工艺窗口：基板、污染物、可用的清洗技术、清洗设备和环境因素。

4.2.1 基板 设计清洗工艺的第一步是彻底审查印制线路板布局以确定镀覆孔、孔的厚径比、任何适用堵塞或者掩蔽的导通孔和阻焊膜材料的选择。部件组成、尺寸和几何形状可以创造细间隙和小出口的夹层元器件，而导致很难去除残留物。当小型和轻量的部件通过清洗工艺时，会增加夹持组件的需求。清洗工艺设计首先考虑电路板表面、金属化和兼容性的限制。部件独特的限制可能会使一些元器件在进行清洗工艺时受到限制。

4.2.1.1 裸板清洗要求 经过电镀和化学蚀刻工艺后，离子污染物成为导电残留物余留在印制电路板的表面上。导电离子来自于金属清洗剂、蚀刻剂、电镀化学品、热溶液和整平液、加工设备和人体接触。用于热风整平工艺的助焊剂可能夹裹在焊盘与阻焊膜之间的间隙或者掩蔽导通孔内。对于来料裸板，考虑掩膜到金属的间距紧密区和掩蔽导通孔的设计对清洗能力影响不大。裸板通常有不可接受的来自于制作工艺的加工残留物。IPC-5704规定：按照IPC-TM-650测试方法2.3.28.2进行测试，接受态的单面或者双面和多层印制板应当符合表4-1中列出的各表面处理方法对应的离子清洁度的要求。不适当的组件设计和布局往往造成清洗困难。未完全固化的阻焊膜和/或者图例油墨也会对焊接后和清洗的外观有不利影响。

表 4-1 裸印制板离子污染最大限值 ($\mu\text{g}/\text{cm}^2$)

离子	非OSP	OSP
氯化物 (Cl)	0.75	0.75
溴化物 (Br)	1.0	1.0
钠 (Na) + 钾 (K)	2.0	4.0
无机离子总量	3.8	5.9

4.2.2 组装元器件 元器件微型化促使电子产品更小和更轻，减少元器件之间的间距，增加了性能和功能的复杂性。² 高密度组件使用低特征（Z-高度）的元器件，占据了印制电路板上的重要区域。这些元器件如封装体叠层、片式电容、QFN、CSP等。而减少元器件的尺寸和间距增加了元器件端接口及元器件下方这两处的清洗困难。

使用微型元器件会造成清洗的挑战增加，如电阻和电容器。01005电阻的尺寸非常小，尺寸为0.4x0.2 mm [0.016inx0.008in]。在焊接工艺中，助焊剂会因表面张力而填充到元器件的下方。元器件从印制电路板表面算起的托高高度小于0.001mm [0.00004in]。由这些小元器件所建构的产品来看，若为了电路板的功能正常，必须去除元器件下方所有残留物。⁶

高引脚数封装元器件也呈现出高难度清洗的挑战，特别是清洗球栅阵列（BGA）和芯片尺寸封装（CSP）的下方。由于数百到上千的引脚数量，了解助焊剂的选择、热梯度、清洗材料，以及清洗材料的机械传递（即喷嘴）是很必要的。

倒装芯片封装和如DFN、QFN和盘栅阵列（LGA）等正被越来越多的用于制造大量的高容量电子产品。在这些情况下，应该提醒设计师必须尽一切努力确保清洗不被阻碍。由设计人员和组装业者形成团队，以确保电子功能最大化且高良率的制造是成功的关键。设计人员和组装业者的团队应该验证清洗具有低Z轴间隙的部件下方的能力。

多模块先进封装创建了一系列的挑战。通风帽用于某些封装来保护倒装芯片中的芯片和被动元器件。小通风孔使清洗液渗透和夹裹在保护盖下的潜在风险。组装厂商担心夹裹在保护盖下的清洗液干燥后，可能形成离子残留及导致可靠性问题的潜在风险。由于组件的复杂性增加，以倒装芯片为例说明，元器件设计人员、组装业者和材料供货商必须发展创新的方法以解决这个问题。设计人员和组装业者的团队应该验证清洗具有低Z轴间隙的部件下方的能力。2010年IPC/SMTA的清洗/涂覆会议介绍了新盖子的设计。本文引用此论文且可从IPC或者SMTA得到（Vuono, Bill, 2010, Cleaning Fluid Entrapment under Vented Flip Chip Packages, IPC/SMTA Cleaning and Coating Conference）。

（参见第5章之敏感元器件讨论。）

4.2.3 组件污染物 清晰理解独特部件的考虑和限制后，在可制造性设计的下一步则考虑组装（通常是焊接）工艺后，残留在电路板上的污染物的影响。为了更好的理解污染物的风险，设计人员须考虑助焊剂残留物的成分、物理特性、数量、清洗材料去除焊接残留物的能力。焊接材料的相互作用，即助焊剂与相关于组件的热加工工艺及热加工工艺和清洗工艺之间的保留时间对组件的清洁度会有所影响。后续的处理步骤也可能影响产品的清洁度。

助焊剂同时还要执行以下一些重要的功能：⁷

- 去除表面氧化物。
- 防止再氧化-保持产生的表面无氧化。
- 促进产生合金化和机械坚固的接合点。
- 降低表面张力以消除桥连和短路。
- 助焊剂也促进了金属焊接工艺中的热稳定性。
- 助焊剂与金属/金属氧化物/电解质溶液界面通过酸碱及氧化还原反应而发生作用。由于元器件焊接特征的降低，更高的活化剂活性和热稳定性变得至关重要。另外一个影响电子工业的因素是切换到低固含量焊料。² 高锡合金表现不佳的润湿性能和较高的熔点，需要具有高活性活化剂与增加热稳定性的助焊剂成分，从而增加了助焊剂残留物的程度。
- 关于导体间距，元器件的尺寸和节距可能会增加电迁移和腐蚀的风险。⁸ 由于转变为无铅焊接，对金属间间距的可制造性设计指南变得更加敏感。较小的焊点比大接合点更快被腐蚀殆尽。⁹ 由于粒径的减小增大了锡粉的暴露面积使得良好的焊料锡粉氧化作用加大。由于无铅焊料比锡铅焊料更容易氧化，从锡铅焊料改变为无铅焊料更进一步恶化了该问题。⁹ 问题由带有较高度度的离子助焊剂残留物的电路板所产生，这增加了电化学反应、金属迁移，和表面电阻降低的风险，从而创造了焊后清洗的需要。⁸ 更多信息请参考IPC-5702。
- 焊膏、助焊剂、波峰焊助焊剂影响焊接工艺后残留物去除的程度和难度。助焊剂残留物的不同清洗速率是与助焊剂的组成、再流后时间、再流温度有关。所有电路板设计都必须考虑这些再流焊因素及参数的重要性。溶剂包含不同类型的分子间相互作用：氢键、离子偶极和偶极间吸引。随着助焊剂残留物改变，清洗速率也有所不同。对于所有清洗活动，清洗剂和清洗系统-包括时间、温度和力度都会影响清洗效果。

4.2.4 热梯度 焊接再流焊曲线是焊接工艺中最重要的因素之一。⁷ 在印制电路板上的元器件分布密度大大影响再流焊曲线。重或者大的元器件应该是均匀分布在印制电路板上。由于根据组件上热需求最高的元器件而设定再流焊曲线可能会导致出现清洗性问题。

设计人员和制程工程师面临的挑战是制定和依循一个跨组件、全方位的再流焊曲线以使焊接效率最大化但不会过热或者碳化，和/或者使助焊剂残留氧化而形成不可清洗的状态。再流焊曲线代表了在元器件开裂、立碑、芯吸、锡球、桥连、锡珠、冷焊，和金属间化合物形成这些形式的缺陷率中的一个重要因素。考虑清洗和清洗前的一些再流焊工艺条件将会影响清洗助焊剂残留物的难易度。

液相线以上的时间将使助焊剂成分受到氧化还原反应而必须加入工艺中。¹¹ 峰值温度以上的时间对助焊剂残留的清洗性有重大影响。在峰值温度，助焊剂从焊点流走。当助焊剂从焊料流走时，残留物变薄至最低点，而此助焊剂残留将因为过热而氧化或者碳化。这些薄助焊剂膜造成了一个极难清洗的挑战。

4.2.4.1 多重工艺循环 在创建一个双面表面贴装和通孔混合技术电路板组件的流程时，电路板在清洗工艺之前可能经历多次焊接和因此而产生的热循环。每个额外的热循环将低分子溶质从树脂结构中去除而使得助焊剂残留物硬化，从而增加了清洗的挑战。此外，一些较高分子量的树脂可能经历热氧化而产生一个不同的残留物（聚合或者交联）组合待清洗。

助焊剂技术与共晶锡铅焊料，清洗化学，机械设备创新的共同应用开辟了一致性的工艺窗口而使得助焊剂残留仍是可洗的。由于高密度组装体、低托高高度元件和低固含量焊接的趋势，清洗需面对经多次再流焊循环的助焊剂残留物的困难，这可能需更强的清洗条件来克服，但如此可能影响电路板的兼容性及其组装的元件。

4.2.4.2 无铅焊接 无铅焊接从清洗性的观点而言带来了新的挑战。高锡无铅合金表现出较差的润湿性与较高的熔点，和较高分子量的助焊剂成分以提高热稳定性。合金润湿不足必须以有利于改善润湿的助焊剂来补偿。如此造成用来降低表面张力的助焊剂成分需增加助焊剂活化和合成聚合物。¹² 为了减少空洞，再流焊曲线需要较长的保温时间让挥发物干透，这需要具有较高的抗氧化性、氧气隔离性能、高热稳定性和低挥发性的助焊剂成份。¹² 这些效应转化为更难清洗的较高含量的高分子量助焊剂残留物。

当设计无铅工艺时，为了锡铅材料而早已存在的清洗工艺设计可能不足以去除无铅助焊剂残留物。清洗材料可能需要新的材料或者溶解材料的组合来改善高分子量聚合物的溶解。清洗材料可能需要更高水平的活性皂化剂，它可能引发和加剧兼容性问题。可能需要修改此类工艺的清洗设备，以增加机械动作和洗涤段的长度，使其与清洗剂有较长的接触时间。这些设计的相关因素，需要组装者有责任去验证这些变化仍然符合预期的结果。

4.3 清洗剂的设计方案 电子组件清洗材料设计方案涵盖三类，包括溶剂、半水基与水基成份。在之前的臭氧消耗时代，三氯三氟乙烷（CFC-113）和松香基助焊剂是标准成分。目前，清洗剂的选择是根据被清洗的污物、生产率、现成的清洗设备，与结构材料的兼容性，成本，和环境法规。所有清洗材料类型包含优点和缺点。在大多数情况下，应用推动着清洁材料的类型。

某些助焊剂材料并非为清洗而设计。有些免洗助焊剂产品被列为可清洗的免洗。在设计方面，组装业者所选定的焊接材料必须考虑产品是可清洗的。用户应该向它们的焊接材料供应商询问关于清洗的性能。

4.3.1 溶剂清洗材料 溶剂清洗材料使用四个构件的一至三个：溶解力、次要成份和润湿。几类溶剂已被确定为替代臭氧消耗的化学品。当清洗电路组件或者先进封装时，溶剂清洗的一个关键性质是使用后成份的挥发。汽化热将溶剂从液相转变成蒸气的状态。有些溶剂清洗剂的混合物，形成恒沸物或者类似恒沸物恒沸点的性质。呈现低汽化热、扩散和极性性质的成份是适合于印制线路板的蒸气脱脂候选者。它们可能是自清洗和低残留。挥发性和易蒸发也可被视为缺点包括在排放上的遏制、可燃性、毒性和地方法规。平衡清洗剂的正面和负面的特性是必要的。

通常用在部件的溶剂清洗材料在清洗工艺中或者在需要更好润湿的地方不能耐受水。需要去除的污染物（助焊剂残留）必须分散和溶解在清洗溶剂中。作为从松香基材料演变来的助焊剂，水溶性、低残留和合成成分可能或者不可能分散和溶解到溶剂中而被清洗。选择焊膏和波峰焊助焊剂必须以溶剂溶解为基础。

4.3.2 半水基清洗材料 半水基是溶剂洗涤/水冲洗的工艺。半水基产品使用三个要素：溶解力、润湿和在配方设计中的少量成份。目的是将污物从组件或者元器件的表面溶出。一旦洗涤步骤完成后，部件通过一系列的去离子水冲洗步骤以去除洗涤用的化学品，斑点膜和离子残留等。部件最后被干燥去水并且通常达到检测不到的污染残留。

当选择半水基清洗溶剂时，会存在广泛的产品选择。具有不同的化学结构的有机溶剂混合物被选择。大多数是低蒸汽压溶剂，润湿剂和抑制剂的结合。它们被设计为去除极性（助焊剂、离子盐）和非极性（轻质油、指纹、灰尘）污物。半水基清洗剂由于其稳定的结构和容纳高含量污物的趋向，而具有从两个月到一年的典型的清洗寿命。应用温度介于24° C~71° C[75° F~160° F]之间，取决于溶剂与温度相对的活性水平和溶剂的闪燃点。半水基化学品与大多数用于电子组件的元器件有良好的兼容性。

4.3.3 水基清洗材料 水基清洗材料是可溶于水的工程浓缩液体。水基清洗材料是不易燃并且通常在高能量的机器上处理（表4-2）。高能量的机器提供速度、压力、喷淋渠道和流量来传输清洗剂。水基浓缩产品根据“清洗速率定理”工作，即：静态清洗速率（清洗材料在其没有撞击能量的温度和浓度状况下溶解残留助焊剂的速率）加上动态清洗速率（在清洗机中的能量和时间）等于工艺清洗速率。¹³

表4-2 电子组件清洗剂的设计方案

清洗剂的设计	有机物清洁能力 (溶解的)	反应物皂 化剂	润湿	次要成分	极性 (水溶性)	非极性 (不溶于水)	制程适用性
有机溶剂清洗剂	高	无	是	是	一些是水溶性的，其它不是水溶性	一些是非极性的，其它可能是部分极性	台式清洗
							模板底部擦拭
							模板清洗
							托盘手指清洁
							晶圆级封装
溶剂蒸气脱脂	高	无	是	是	不足	良好	印制电路板去除助焊剂
半水基-非水溶性	高	无	是	是	不足	良好	PCB去除助焊剂
							先进的封装
							晶圆级封装
半水基-水溶性	高	低	是	是	对极性污物具有良好清洗性能	对非极性污物具有良好清洗性能	PCB去除助焊剂
							先进的封装
							晶圆级封装
水基溶剂混合物	高	无	是	是	对极性污物具有良好清洗性能	对非极性污物具有良好清洗性能	模板清洗
							焊接前的焊膏
							SMT粘合剂
水基溶剂的高皂化反应	低	高	是	是	对极性污物具有良好清洗性能	对非极性污物具有良好清洗性能	PCB去除助焊剂
水基溶剂的中皂化反应	中等	中等	是	是	对极性污物具有良好清洗性能	对非极性污物具有良好清洗性能	PCB去除助焊剂
							先进的封装
							模板/印刷错误

清洗剂的设计	有机物清洁能力 (溶解的)	反应物皂化剂	润湿	次要成分	极性 (水溶性)	非极性 (不溶于水)	制程适用性
水基溶剂的低皂化反应	高	低	是	是	对极性污物具有良好清洗性能	对非极性污物具有良好清洗性能	PCB去除助焊剂 先进的封装 模板/印刷错误
水基溶液中性无皂化反应	高	无-低	是	是	对极性污物具有良好清洗性能	对非极性污物具有良好清洗性能	PCB去除助焊剂 先进的封装 模板/印刷错误

4.3.4 清洗设备设计方案 清洗设备的设计分为两类：批式和在线式。清洗行业不断地被挑战以改善清洗工艺，并因为它适用于越来越多的新应用领域而始终保持技术领先。¹³ 工艺通常代表着机械和化学能量，温度和时间。日益复杂的电路板和元器件的几何形状伴随着高难度的焊膏及助焊剂配方和价格问题等增加了对静态和机械驱动力的需求。因此，为了降低温度和缩短处理时间必须补偿机械和化学能量。

实现高生产率和优化的工艺需要一个精确的模型来预测性能。¹³ 曾经有建议，大多数清洗系统是由两个基本原则管辖：清洗溶液中的残留物的溶解度/反应速率和清洗系统中可用的物理能量。方程式1描述了这种关系。

方程式1：清洗速率方程式¹³： $R_p \sim R_s + R_d$

此处：

清洗速率= R_p

静态清洗速率= R_s

动态清洗速率= R_d

方程式1中， R_p ， R_s 和 R_d 是每单位时间内的污染去除速率。¹³ 单位依据被清洗的残留物将有所不同。清洗助焊剂残留，冲洗洗涤用的化学品，或者从一个电路组件干燥去水的速率可被表示为每秒去除的厚度或者质量，每秒冲刷的体积或者每秒去除的质量。如果焊料球或者其他粒子含在污物中，此时每秒球数或者每秒粒子数将是适当的单位。当比较不同清洗工艺的速率时，它可能被适当的指定在同一温度的速率，因为速率和温度相关。¹³

一家电子制造服务公司商定使用锡银铜205免洗焊膏建立无铅组装。高密度器件充斥着无数无引线的元器件。原始设备制造商需要将所有助焊剂残留从元器件下方的缝隙去除。静态测试提供洞悉用于组装器件的所有污物的清洗性能。有了这项知识，组装业者获得了对清洗生产组件时可能遇到的困难的理解。下一步是选择清洗设备，提供动能和热能驱动力来供输清洗剂以去除污物。工艺清洗速率，这是清洗部件所需的时间，是一个静态和动态速率的总和。

4.3.5 定义“优化系统” 机械清洗系统的目的是藉由最大化的在被清洗的表面传递物理能量以减少时间。¹³ 一个优化的清洗系统不会过于耗能或者过大。一个优化的清洗系统提供必要的化学品和能源来清洗最困难或者敏感区域，以一定速率将符合使用最少的化学制品、能源和场地消耗的工艺时间要求。在这个优化的空气喷淋或者批清洗系统的定义，值得注意的是该系统应该设计成清洗被制造的部件中最棘手或者电气电敏感性最强的区域。最小间隙（组件表面和元器件底部之间的间距），最大或者最复杂的元器件通常会引导确定这些区域的方向。¹³

4.4 静态清洗速率与动态清洗速率的平衡 了解静态清洗速率与动态清洗速率的平衡是在预测和优化洗涤、冲洗和干燥工艺的每个步骤的工艺性能的关键。¹³ 试想一分钟，我们洗衣服时把衣服扔在一桶肥皂水一整夜。由于高溶解速率（ R_s ）水会彻底和迅速地溶解盐和糖。油和油脂会消失得比较慢，

或许不完全是由于临界溶解度和低溶出率。地球的万有引力（9.8米/秒）将是唯一能静态提供清洗剂来去除不可溶的污垢和其它粘附的污物和它的某些可能的掉落物的能量，但大多数仍留下。了解污物的性质以及为了去除它的化学和物理需要，让我们选择用洗衣桶洗涤方式清洗带有可乐污点的丝绸衬衫，或者使用重载循环方式来清洗孩子们的游戏服。¹

静态清洗速率是一个在规定的工作温度和浓度的清洗剂溶解度的功能。动态清洗速率是一个用来传输清洗剂的动能力量的功能，渗透最小间隙的区域（组件表面和元器件底部之间的间距），高密度元器件（元器件之间在X和Y方向的距离），元器件下方的表面面积和被去除的污物的溶解特性。空气喷淋清洗机运用喷嘴流量，角度，和压力提供直接冲击。

静态浸置方式在缺乏动能的情况下，清洗效果仅能依赖清洗剂本身。洗碗机式清洗设备提供的是高流量，具方向性及压力的清洗；水平槽批清洗设备以移动式喷淋清洗用于固定工件的表面。在线式空气扰动清洗设备则是让工件移动在线通过固定式喷洗头冲击清洗工件表面。（表4-3）

表4-3 静态与动态设计方案
(由一些研究学习中得出的资料结果)

静态 / 动态设计方案						
系统设计	洗涤		冲洗		干燥	
驱动器	静态速率	动态速率	静态速率	动态速率	静态速率	动态速率
	化学力	机械力	化学力	机械力	化学力	机械力
静态浸泡	100%	0%	100%	0%	100%	0%
超声波浸泡	50%	50%	70%	30%	70%	30%
喷淋浸泡	80%	20%	50%	50%	50%	50%
洗碗机式	60%	40%	70%	30%	70%	30%
水平槽批式	50%	50%	40%	60%	40%	60%

通常，静态清洗速率或者动态清洗速率控制一个给定的清洗工艺步骤。在线“空气喷淋”清洗和水平槽批清洗是高机械能主导的清洗工艺例子。浸渍槽，“下喷浸渍”，“洗碗机式”，批“空气喷淋”清洗器及蒸汽脱脂剂，是高化学力量主导的清洗工艺例子。运用的任何应力有损坏元器件或者基板的潜力。用于组件的高压喷雾并非总是安全的。超声波方式并非总是有害的。

4.5 环境因素 环境法规必须纳入制造的设计。

选择清洗剂时需要考虑下列问题：

- 空气排放要求是否允许（联邦/国家/地方）？
- 清洗剂导致的废水排放将被允许（通常是当地的要求）？
- 清洗剂生成一个“新的”危险废物流将必须注册或者登记？
- 清洗剂每年将要根据美国EPA环保局毒性释放程序发布报告（空气/水/场外的废物）？
- 清洗剂物质成分是否让客户接受？
- 制造过程（免清洗工艺）留下的残渣是否必须考虑到REACH或者RoHS指令？

本文件第9章节中提供了一个全面的环境考虑的概述。

参考文献：

1. Design for Manufacturing (PCB). Retrieved from [http://en.wikipedia.org/wiki/Design_for_manufacturability_\(PCB\)](http://en.wikipedia.org/wiki/Design_for_manufacturability_(PCB)) on February 13, 2009.
2. Lin Y., & Johnson, W. (2007). Optimization of lead free solder 01005 component assembly. *Soldering & Surface Mount Technology*, 19/1 (2007), 15-27.

3. Gillespie, B., & DeBenedetto, M. (2007, Feb). Conformal coating and board cleanliness. *Circuit Assembly*, Retrieved from www.circuitassembly.com
4. Printed Circuit Board. Retrieved from http://en.wikipedia.org/wiki/Printed_Circuit_Boards on February 13, 2009.
5. Goering, R. (2006, August 7). Board Complexity Dogs Designers. *Electronic Engineering Times*, Retrieved from www.eetimes.com
6. Hugh, S. (2008, Oct). Challenges in Cleaning Pb-Free Medical Electronics. *IPC/SMTA High Performance Cleaning Symposium*.
7. Lee, N.C. (2002). *Reflow Soldering Processes and Troubleshooting SMT, BGA, CSP and Flip Chip Technologies*. Newnes, Woburn, MA.
8. Takemoto, T., Latanision, R.M., Eagar, T.W., & Matsunawa, A. (1997). Electrochemical migration tests of solder alloys in pure water. *Corrosion Science*. 38(8), 1415-1430.
9. Lee, N.C. (2008). Future lead-free solder alloys and fluxes: Meeting the challenges of miniaturization. IPC Printed Circuits Expo. Las Vegas, NV.
10. Dishart, K.T. (2008, Oct). Using Hansen Solubility Parameters to Match the Cleaning Agent to the Pb-Free Residue. *IPC/SMTA High Performance Cleaning Symposium*.
11. Reflow Soldering. Retrieved from http://en.wikipedia.org/wiki/Reflow_Soldering on February 15, 2009.
12. Lee, N.C. (2008, Oct). Lead Free Soldering and the Influence on Cleaning. *IPC/SMTA High Performance Cleaning Symposium*.
13. Stach, S., & Bixenman, M. (2004, Sep). Optimizing Cleaning Energy in Batch and Inline Spray Systems. *SMTAI Tech Conference*. Donald Stephens Convention Center, Rosemont, IL
14. Electronics and Computer Industry (SIC 36). Retrieved from <http://www.epa.gov/compliance/resources/publications/assistance/sectors/notebooks/elecmpsnp1.pdf> on February 15, 2009.
15. South Coast Air Quality Management District. Retrieved from <http://en.wikipedia.org/wiki/SCAQMD> on February 15, 2009.
16. REACH. Retrieved from <http://en.wikipedia.org/wiki/Reach> on February 15, 2009.

5 材料兼容性

负责清洗制程的工程师必须意识到可能发生的材料兼容性问题。本章节包含的信息旨在为制程工程师提供认识清洗电子部件时的材料兼容性风险。考虑的因素有电路板的层压板、表面处理、元器件、金属合金、粘合剂的粘接强度、部件标识、塑料、组装时材料的组合和配置以及夹裹污染物的影响。其它因素也必须考虑到，例如清洗材料的化学特性、清洗温度、冲击能量和清洗制程的接触时间，包括返工周期。所有这些因素可能发生交互作用，对如今应用越来越广泛的电路板、元器件引脚表面处理和焊接材料特别具有挑战性。找出与材料兼容性风险相关的每一种和每组可能因素的组合的数据难度非常大。

5.1 材料兼容性注意事项 设计清洗工艺时的关键性的材料兼容性注意事项是元器件、组装材料、清洗剂、清洗工艺中应用的冲击能量，预计的工艺时间、温度和和设备设计。可能影响清洗工艺效果的清洗因素包括清洗剂、洗涤槽的液体浓度、带入助焊剂的量、清洗设备、喷淋压力、流体流量、速度和工艺温度。这些相同的因素可能会影响材料的兼容性。由于槽中积累的污染物可能来自于不兼容的材料，也可能要依据清洗槽的使用时间考虑发生的相互作用。

5.1.1 清洗工艺的效果 影响清洗工艺效果的需求和材料因素包括电路密度、元器件托高高度、助焊剂残留成分、回流温度和清洗前的受热次数。可能受清洗工艺严重影响的组件材料包括板覆铜层，表面镀层、塑胶件、元器件、标签、器件标识、金属合金、涂覆层、非密封元器件、粘合剂。制备元器件和组装物料（工序中使用的化学品包括清洗和表面预处理工艺）可能受组装清洗工艺的严重影响。可能影响清洗工艺效果的工序中使用的化学品包括SMT焊膏、SMT焊接助焊剂、波峰焊锡条、波峰焊助焊剂、用于返工的锡丝、助焊剂或者任何其它必须在清洗工艺中清除的物质。

5.2 可靠性注意事项 为确保印制电路板组件的可靠性，要求了解制造电子元器件和组件的原材料性能及特点。选择助焊剂、焊膏、粘合剂、基板、清洗材料、敷形涂覆材料和其它普通互连材料时，鉴别清洗工艺对外观质量甚至整个元器件结构潜在的负面影响是成功的工程设计的基本原则。在不同的情况下物料的实际性能可以与理论或者预期的性能不同。不同批的物料性能有差异，并可能影响物料的兼容性。应该测试影响物料实际性能的因素如清洗剂、清洗时间、清洗温度、清洗数量、冲击能量来了解物料之间的相互作用。

5.3 物料兼容性测试 在工艺设计阶段进行兼容测试来确保印制线路板组件物料与清洗工艺兼容是必要的。所有的化学品可能对基板、元器件及设备有负面影响。

兼容性测试通常是两个时间周期进行。短时间的测试是取决于设备或者员工的预期清洗周期。长时间测试的时间应该由封装者或者制造者决定。例如，长时间的曝露测试可以模仿组件置于传送带或者从清洗篮中出来且整个过程都留在池中的清洗前曝露时间。长期测试也需要确定清洗剂对清洗设备的影响。因此这些测试时间可以从5~10分钟到8小时。为模拟返工过程，需要进行多次曝露。

建议同时使用标准和控制。着眼于现实评估新工艺很重要，因为去助焊剂工艺一直是最有效清除污染物和避免物料损坏之间的一个平衡。在这方面，如果物料的兼容性取决于正在评估的新的去助焊剂工艺的话，同时使用用于新工艺的同样的性能和兼容性标准测试当前的工艺是明智的。成功地应用多年的现有的化学药品和工艺中不能通过厂商设定的长期物料兼容性要求的情况并不少见。使用控制方法和设置兼容性标准有助于避免错误地认为“没有效果”的情形。

5.3.1 兼容性和功能性 任何清洗或者制造工艺都有可能造成物料兼容性问题。例如，可能会有细微的表面的变化，这样的变化可能是有益的或者良性的。一个可接受的表面的定义取决于组件的终端使用要求。兼容性的定义同样也取决于实际应用。

兼容性测试标准有很多，虽然这些标准应该被适当地引用，但必须进行兼容性测试。要考虑许多可变因素，对于这个原因，当供应商和供方提交了兼容性表格，则提供了一个好的起点，必须调整测试以适合于正在考虑的应用。

5.3.2 选择做兼容性测试的物料 当考虑工艺变更时使用标准测试工具和曝露的产品硬件测试物料兼容性是非常重要的。在设计阶段研究兼容性有助于当产品硬件未清洗然而没有严重影响印制电路板组件时选择最佳的清洗剂、工艺温度、时间和冲击能量。

5.3.2.1 组装物料 所有组装工序中的物料包括焊剂残留和清洗剂都应该做兼容性测试。设计兼容性测试要有辨别力。为解决这些问题，推荐短期曝露试验应用于组成印制线路板组件的物料。短期意味着预期工艺条件下的合理“应力测试”。一些例子包括一个合理预期的温度升高（有点超出预期的工艺范围）、更高的机械力、工艺时间延长。

5.3.2.2 固定装置、工具和工艺辅助物 2周到3个月的长期测试可能是适用于清洗系统的储水池、固定装置、水管、过滤器、水处理装置、通风装置等。

确定设备兼容性需要考虑的因素包括：

- 温度。
- 溶解力。
- 塑胶和金属部分用于管道和长期暴露。
- O形环、泵、球阀等。

此外，必须考虑膨胀、破裂和老化对固定装置造成的不良影响，因为这样的装置可能不能正常运转并可能再次污染产品。设备供应商应该能够提供具有通常兼容性的设备。在评估设备时，一定要明确告知预期的工艺条件。

5.3.2.3 不兼容的证据 采用的典型参数是质量增减、初始尺寸暴露后的伸长和恢复、尺寸变化、颜色变化或者元器件表面变化、周围的液体颜色改变或者混浊。此外，表面镀层、接触角、和/或者可能被视为适当的表面分析。

如果这种产品用于医学应用，临近或者在一个活体内，那也许要慎重考虑表面改变或者产品改变在体内的影响，参阅适用的ASTM、AAMI和ISO（特别是ISO-10993系列）标准。表面状态对功能的重要性，以及从元器件析出或者排放的残留物可能会产生问题，这两点都是非常重要的。

5.3.2.4 测试设计 一般使用组件更好地进行兼容测试而不是分别测试每个物料。这可能看起来与分别测试每种物料更好的理论直觉冲突；然而，考虑到物料之间相互作用的复杂性，清洗剂或者清洗工艺对产品单个物料的影响不能可靠地预测整个组件暴露在同样的清洗剂或者工艺中的实际情况。

除了确定工艺兼容性，确定动态兼容性比通过静态条件下暴露于化学品中确定兼容性更可能受实际信息影响。

5.3.2.4.1 控制 如果助焊剂涂敷或者去助焊剂工艺改变但是产品和/或者产品要求保持不变，而且如果当前的工艺一直被认为是可以接受的，新工艺开发期间使用当前的工艺作为一个控制或者基准是有益和明智的。

5.3.3 测试方法：举例 标准测试方法可用于元器件和产品的硬件。以下例子并不是专用的或者详尽的，测试方法可能不适合所有的最终使用要求。制造商应该选择适当的方法。

5.3.3.1 举例：非金属物料和元器件的材料兼容性

范围： 基于硬度和体积，测量非金属基板暴露于化学品中2小时（短期）和/或者168小时（长期）后的效果。

参考： Pratt & Whitney 规范：PWA 36604非金属物料的兼容性，B版本，06-08-98修订。

术语：

- 密度变化：暴露之后的密度减去暴露之前的密度。
- 硬度变化：硬度B减去硬度A。
- 体积变化百分比（%）：最终的体积减去初始体积再除以初始体积乘以100。

方法概要： 暴露于化学品2小时（短期暴露）和168小时（长期暴露）后，记录这个过程当中的a) 密度变化，b) 体积变化，c) 非金属基板硬度的变化。

仪器：

- 天平：最小能够精确测量0.1mg。
- 硬度计。
- 足够装下试样的烧杯或者广口瓶。

试剂和材料：

- 规定浓度和温度的测试溶液。
- DI水。

步骤：

- 测量试样基板的硬度并记录为硬度值“A”。
- 试样在空气中称重并记录值为“a”。
- 测量试样在DI水中的重量并记录值为“b”。
- 除非有其它规定，室温下暴露试样基板于将要测试的溶液中2小时（短期）或者168小时（长期）。
- 用DI水彻底冲洗。
- 测量试样基板在DI水中的重量并记录值为“c”。
- 干燥并测量测试后基板的硬度并记录为硬度值“B”。
- 计算：

$$\text{初始密度: } \frac{\text{在空气中的重量}}{\text{在空气中的重量} - \text{在水中的重量 a-b}}$$

$$\text{暴露后的密度: } \frac{\text{在空气中的重量}}{\text{在空气中的重量} - \text{暴露后在DI水中的重量 a-c}}$$

密度变化：暴露后的密度减去暴露前的密度。

硬度变化：硬度值B减去硬度值A

$$\text{量变百分比: } \frac{(M_3 - M_4) - (M_1 - M_2)}{(M_1 - M_2)} \times 100$$

此处：M₁ = 最初试样在空气中的质量（克）

M₂ = 最初试样在水中的质量（克）

M₃ = 最终试样在空气中的质量（克）

M₄ = 最终试样在水中的质量（克）

说明和注解： 对于长期兼容性测试，暴露试样基板于化学品中168小时后再取最终值。短期和长期兼容性测试均需要进行时选取不同试样。

其它注意事项： 如果是多孔试样，称重前彻底干燥试样以消除所有水分是非常重要的。

5.3.3.2 举例：金属合金物料的兼容性

范围： 基于重量变化和目检测量，测量金属基板暴露于化学品中24小时（短期）和/或者168小时（长期）后的效果。

参考： ASTM F-483 《全浸腐蚀标准测试方法》。

术语：

- 变色：区别于控制状态下的基板发亮、发暗或者颜色改变。
- 蚀刻：试样表面变得不平或者形态改变。
- 凹陷：基板表面的小孔或者凹沟。

方法概要： 这个过程测量金属试样暴露于特定的化学品后的重量变化和外观差异。

仪器：

- 天平：最小能够精确测量0.1mg。
- 足够装下试样的烧杯或者广口瓶。每一个测试的金属基板用一个单独的广口瓶。

试剂和材料：

- 规定浓度和温度的测试溶液。
- DI水。
- 丙酮。
- 大约1英寸X 2英寸的金属试样片，每种要测试的合金准备两片。
- 非金属研磨垫。

计算： 按 $\text{mg}/\text{cm}^2/24$ 小时记录重量损失。

步骤：

- 试样片准备：
 - 用一个湿的3M研磨垫轻轻地擦洗金属试样片的两面。
 - 用自来水冲洗后再用DI水冲洗。
 - 使用洗涤瓶，用丙酮冲洗。
 - 在 120°C [248°F]的烘箱中烘烤后在干燥器中冷却至室温。
 - 称每种合金的一块试样片，精确到0.1mg的重量。（第2块试样片作为观察控制）
 - 除非另有规定，在室温下将称过重量的每种合金的试样浸入测试溶液中（每种测试的基板用一个单独的广口瓶）24小时。
 - 拿出测试试样并用自来水冲洗，然后用DI水冲洗。
 - 使用洗涤瓶，用丙酮冲洗。
 - 在 120°C [248°F]的烘箱中烘烤中烘烤后在干燥器中冷却至室温。
 - 称重和记录。
 - 按 $\text{mg}/\text{cm}^2/24$ 小时计算重量损失。（短期腐蚀）

- 检查并记录与为暴露的试样对比后续的外观变化。
 - 变色和发暗
 - 蚀刻
 - 点状腐蚀或者局部腐蚀
- 对于长期腐蚀，将同样的试样浸于相同的测试溶液中144小时。
- 重复步骤c, d, e, f和g。
- 计算：根据 $\text{mg}/\text{cm}^2/24$ 小时记录重量损失。（长期腐蚀）

说明和注释：

- 如果仅需做长期腐蚀测试，24小时后不需取出试样。
- 通常非催化反应的反应速度为温度每上升 10°C [50°F]翻一倍。

5.3.3.3 产品硬件按照J-STD-001 IPC联合行业标准J-STD-001附录中定义的条款，物料和工艺兼容性测试应用于：

- 不考虑J-STD指定型号确认所有焊剂变更。
- 清洗剂变更时。
- 认证的工艺发生变更包括主要设备或者方法变更。这些变更的例子包括：
 - 清洗设备变更
 - 助焊方法
 - 回流工艺

5.3.3.3.1 测试载体 物料兼容性评估使用的测试载体应当符合J-STD-001附录：物料和工艺兼容性测试“测试组件”章节中定义的要求。

- 选择的测试载体*应当提供用于评估不同元器件技术和既有通孔又有表面贴装元器件的封装，包括细节距和BGA器件。为便于测试，测试图形应当包括“Y”和IPC及Telcordia技术规范中定义的梳型图形。测试载体应当由能够代表实际产品的相同型号的基板、金属化和阻焊制造。
- 应当通过相应的生产流程制造测试试样。采用单独的工艺制样可能不能充分地代表真实的生产环境。整个测试中必须考虑从其它工艺步骤中带来的残留物可能会引起的相互反应。
- 每种物料/工艺组合测试的最小的样本量应当是10个载体，符合J-STD-001附录中“样本量”章节，除非组装厂商和OEM之间另有协商一致的意见。
- 根据IPC-SM-840，测试应当包括基板物料和表面处理。为设立基线数据，每种基板和/或者每种阻焊膜类型应当至少测试一块裸板。

***注：**在兼容性研究中测试载体可以是组装过程中用到的任何物料、合金或者元器件。

5.3.3.3.2 实际PCB试样的物料和工艺兼容性测试 一些输入的实际可能对PCB性能、质量和长期可靠性有显著的影响。这些因素非常重要因为它们只对实际产品硬件起显著影响。这些因素包括以下：

- 实际制造工艺、设备、方法、生产条件和人员技能。
- 物料和设备的变化。
- 影响焊接和清洗结果的板的实际布局 and 情况。

- 元器件和基板情况。
- 原材料、工艺、化学品之间的相互作用。

被选择的印制电路板应当代表每一种产品硬件最关键的组件，包括通孔、表贴、细节距、BGA、混装技术、高频和电源电路。建议样品数量为10。

注：有可能的话，最好直接测试客户的实际样本。

用来制作测试试样的物料、应用方法、设备和工艺应当与生产实际产品的硬件一致。PCB的测试应当包括光学的、机械的和表面评估。

注：此处应该使用适当的技术。如果预期使用的物料批之间有很大的差异，那可能要鉴定这些关键或者敏感的物料并增加测试数量，而不是只测试一个批号。

5.3.4 ASTM和其它测试标准 ASTM发布了有助于设计工程师、制造工程师和工艺工程师选择最合适清洗剂和工艺的标准。⁷ 为确定物料与清洗工艺的兼容性，ASTM标准第2章节中注明了物料兼容性要求。

应该注意到有很多其它的腐蚀标准。网上能搜索到大量条目。一些是有关功能的，一些涉及到直接检测产品的腐蚀。例如，包括NACE（美国腐蚀工程师协会），ISO和EFC（欧洲腐蚀科学联合会），GfKorr（德国腐蚀保护学会）。合适的腐蚀测试可以以客户为导向。

5.4 PCB组件无铅化的影响 无铅焊接可能增加物料兼容性问题。许多PCB组件板的表面处理、层压板和元器件将改变以经得起达到260° C [500° F]的焊接温度。PCB板的表面处理正由热风焊料整平过渡到适用于细节距表面贴装组件共面要求的工艺。共面板表面处理，如铜面上的OSP、浸银、浸锡和浸金后无电镀镍，只有短的保存期限并且更容易受腐蚀。助焊剂成分将基于高分子量材料，这种高分子量材料能够改善热稳定性、减少表面张力和使焊料更易润湿（具有良好助焊效果）。²

更高的焊接温度，小型化和增加的润湿能力将改变助焊剂残留物。由于热量影响，高分子量助焊剂残留可能更难清洗，具有更复杂的成分并增加回流过程中的副作用。清洗材料，清洗设备和工艺条件也可能变更。组件可能需要更长的洗涤周期（即更长时间的化学暴露），增加冲击能量，热度和时间。这些因素将影响物料兼容性问题。

以下小节将讨论有关于PCB制造、元器件、板和元器件表面处理、组装材料和组装设备的兼容性问题。设计问题在单独的章节中讨论。

5.4.1 PCB制造 一般而言，用户清洗观点认为传统锡铅到基于物料组成的无铅应该是一个无缝过渡。然而，用到的阻焊膜和板的表面处理可能受到无铅PCB制造过程中更高温度的影响。阅读第5.5.6节关于不合适的阻焊膜烘烤温度。

5.4.2 元器件 使用锡铅焊料的制造工艺中，关注点集中在元器件形状和焊膏印刷、元器件贴片、回流焊接的工艺能力。元器件耐温性或者最大升温速度很少考虑。锡铅回流过程极少超过最大允许温度和最大允许升温速度。无铅材料要求更清楚认识元器件规格。假设元器件的温度容忍值或者湿度敏感等级与无铅制造工艺兼容会提升成本。

元器件清洗问题包括部件标识脱落、金属合金腐蚀、表面涂覆层脱落，非密封器件的隐患。组装者需要确保元器件结构与清洗工艺兼容。清洗后检查元器件性能，部件标识附着情况，元器件表面处理耐久性，应该注意湿度敏感等级（MSL，符合J-STD-020）和pH值。

5.4.3 板和元器件表面处理 普通的无铅PCB表面处理包括化学镍/浸金 (ENIG)、浸锡 (ImSn)、浸银 (ImAg) 和有机可焊性保护层 (OSP)。这些表面处理很容易受腐蚀和储存期问题影响。相反, HASL (热风整平) 表面处理有很厚的保护性金属, 因而能很好防腐蚀, 大约50微米的低活性锡铅层将铜电路系统和外界环境效应 (包括清洗工艺) 分开。替代的共面的表面处理用一层薄的保护层使金属免受腐蚀影响。用在铜和银表面镀层上的有机保护层会在焊接、回流和清洗工艺中去除。

5.4.4 组装材料 锡、银、铜合金是替代锡铅合金的首选。无铅材料必须能够经受多次260° C [500° F]回流而不影响可靠性。极端温度能破坏化学键并使材料变脆弱。多次回流可能产生一个涉及到焊料暴露于清洗工艺中的材料兼容性问题。更高温助焊剂树脂和活化剂可能需要更强的清洗剂和更高冲击能量来清洗。

当基材暴露于更高的温度中, 玻璃化温度 (T_g)、热膨胀系数 (CTE) 和分解温度是需要考虑的数据。树脂的玻璃化温度是材料从刚性状态转到柔性状态时的温度。CTE测量材料在玻璃化温度上下的膨胀。过度加热基材和元器件会引起一些材料成分分解。这些影响在这些部件送到清洗工序后经常变得明显。

很多因素影响焊膏的选择, 包括可印刷性、模板寿命、管脚可测试性、粘性、回流窗口、焊点外观和清洗。组装者必须确定哪些因素是最重要的且需相应地优先选择。长时间地加热造成最坏的助焊剂残留情况。一个组件应该在预期的快速升温, 采用更短的液相以上时间和更低的峰值温度测试。对于焊前锡膏 (模板和错印清洗) 和组装后清洗, 焊膏和助焊剂化学性质变更可能需要变更清洗剂。错印清洗的进一步考虑是双面SMT板的第二面错印。这种情况下, 找出错印清洗剂和回流助焊剂残留和板的表面处理的相互作用非常重要。

随着产业向无铅过渡, 物料供应商和客户之间需要沟通和合作, 为物料影响制定计划以支持组件对高温的要求。组装者将需要了解回流工艺和温度曲线-峰值温度, 升温速度对可靠性和清洗的影响。如果组件用于组装有特殊性能要求的更高等级的组件或者产品时, 组件供应商和客户之间需要沟通。

5.4.5 组装设备 组装向无铅过渡将要求设备升级以支持工艺。清洗设备可能要求考虑更长洗涤部分和机械冲击事项。产品硬件可能受到更强的化学和机械效应, 可能包括高碱性和腐蚀性材料。必须考虑清洗剂和清洗设备的组合对产品的影响。工艺优化在清洗设计中起到非常重要的作用。每一种清洗对材料的选择将是重要的考虑。

辅助设备例如波峰焊载具应该是物料考虑的一部分。波峰焊载板器随着更缓慢的传送带速度和更长的锡波接触时间暴露在更长时间的热循环中。因此可能更需要经常清洗。

焊膏的可印刷性主要取决于助焊剂类型。由于关注无铅印刷的精度增加了模板的清洁度。无铅合金不像有铅合金一样扩散或者润湿。没有精确印刷到印制电路板上无铅焊膏不像锡铅焊膏那样自动对中, 并且如果印刷时连锡回流焊接后也可能连锡。

5.5 设计问题和兼容性 下面的小章节讨论元器件和组件小型化的含义及密度增加的影响。

5.5.1 小型化的影响 下一代封装在任何时候都要符合基于数码技术的产品的的新兴需求。组装者越来越关注小系统本身周围的热量管理和稳定性。硅片制造, 第一道封装和电子系统使用的物料之间的兼容性变得越来越有挑战性。

物料面临的挑战存在于开发新物料和在新应用中使用当前的物料。封装正朝着不同种类芯片集成到一个元器件中革新。在新组合中使用当前的物料挑战物料兼容性极限引起设计和加工考虑。这可能要求设计、工艺和材料学更全面发展。

晶元级的电源控制正在大幅改进。当将多个器件封装到一个移动应用中, 移动和内存封装缩小使单个封装体内散热更困难。当塑封胶和芯片粘接剂及胶片用于堆叠芯片封装时, 要解决类似关于低粘

度、改进粘合、防潮性、潮湿环境兼容性、韧性和CTE的问题。工艺中用到的间接物料如临时胶粘剂，助焊剂，清洗材料和涂覆剂正变得复杂。调节这些物料的化学性质在消除这些物料在直接物料中的有害的相互作用或者加工后的残留物变得关键。

5.5.2 元器件密度 密集分布和低托高高度的组件可能更需要一个严格的清洗工艺，包括延长时间、更高的温度、更强的清洗力度和更有活性的化学品。助焊剂残留物甚至一些清洗剂残留物遗留在元器件下是很有可能的，这将导致腐蚀或者电化学迁移。应该考虑对表面质量和元器件完整性的影响。

5.5.3 特殊的兼容性实例 许多不同的物料和子组件，例如配套的元器件、标签、部件标识、涂覆层、胶粘材料和焊料掩膜与焊接后清洗工艺有关。找出工艺化学品和元器件表面处理的每一种可能组合的数据非常难。下面的章节列举一些兼容性问题的实例。这些实例突出在生产开始前测试硬件与清洗剂和工艺的适合性的重要性。

5.5.3.1 阳极铝和转化膜 第一个实例包含在清洗工艺，特别是3级别组件，制造中遇到的关于阳极铝和化学转化膜问题的深入的讨论。本例中也描述了阻焊膜、粘合剂、油墨和涂覆剂，以帮助读者防止清洗剂/电子组件物料问题发生在他们的生产设备里。

应用于散热片和3级电路组件上的一些元器件的铝阳极处理用于防腐蚀、抗磨损、电绝缘、粘接和增加美观。⁸ 阳极化是用电化学工艺产生一个坚固、透明的表面将铝保护于大气之外。⁹

5.5.3.2 MIL-A-8625F 铝及铝合金的阳极涂层

1.1 范围： 这份规范涵盖为非建筑应用在铝和铝合金表面电解形成六种类型和两种级别的阳极涂层的要求。

1.2 类型： 本规范列出了六种类型：

类型I： 铬酸阳极氧化，产生于铬酸槽的常规涂层（见3.4.1）

类型IB： 铬酸阳极氧化，低电压工艺， $22\pm 2V$ （见3.4.1）

类型IC： 非铬酸阳极氧化，作为非铬酸盐代替类型I和IB涂层（见3.4.1和6.1.2）

类型II： 硫酸阳极氧化，产生于硫酸槽的常规涂层（见3.4.2）

类型IIB： 稀硫酸阳极氧化，作为非铬酸盐代替类型I和IB涂层（见3.4.2和6.1.2）

类型III： 硬质阳极涂层（见MIL-A-8625F 3.4.3）

这份标准（MIL-A-8625F）中应用于电子组件的重要要求有：

3.3.1.2 组件阳极氧化处理： 使用的加工方法不应当损坏组件。

3.3.4 修改（机械损伤和接触标记）： 机械损伤区域（来自清洗工艺）不应当超过受过阳极氧化处理区域的5%或者不应当允许修改。

3.4.3 类型III涂层（一般应用于电子硬件）： 类型III涂层应当由任何工艺操作用于在铝合金表面产生一个规定厚度的致密涂层（见3.7.2.1）。

3.8.2 类型III： 应当浸入一个介质实现类型III涂层的密封，例如沸腾的DI水，在热的含5%重铬酸钠溶液中，或者其它合适的化学溶液。

4.3.4 失效： 不符合应当立即停止生产。

6.11 双重密封： 在采用乙酸镍密封时或者过后用重铬酸钠溶液进行处理，可加强抗腐蚀性。

6.15 密封： 热DI水密封是有益的。

5.5.3.3 MIL-DTL-5541E 铝和铝合金上的化学转化膜

1.1 范围： 这份规范涵盖化学转化材料和铝及铝合金表面反应形成两种化学转化镀层的要求。这份规范旨在提供防腐蚀性最好的元器件给军事武器系统。这种镀层比未镀的铝表面有更好的涂料粘性。

这份标准中应用于电子组件的重要要求有：

1.2 3级： 根据MIL-A-8625中的阳极氧化层，相对于1A级涂层，3级化学转化涂层旨在提供一个应用于电气和电子的较低电阻的防腐蚀膜。1A级和3级涂层的主要区别是厚度，因为电流更容易通过较薄的电流障碍。涂层厚度依沉浸时间改变。因为3级比较薄，其涂层比1A级更容易腐蚀。

1.3 清洗剂： 首选非腐蚀清洗剂，特别是用于锻制合金。如果用了腐蚀清洗剂，应该小心防止点状腐蚀和晶间腐蚀。当使用碱性蚀刻剂时需要尤其注意，因为铝比它的合金元素和既有的金属间化合物更容易溶解，例如铜，可能进一步暴露。结果是，应该避免碱性蚀刻（特别是清洗组合结构物时）。如果用了碱性蚀刻，接下来应该有一个酸中和步骤。

1.4 外观： 评估转化膜最简单的方法是观察颜色、外观的均匀性、光滑度和与基材的粘附情况。注：对于类型I（含六价铬）膜， Cr^{+6} 能从膜中浸析出来但是掉色未必是问题关键或者失效的原因。

1.5 温度对腐蚀防护的影响： 如暴露在 140°F [60°C]或者更高的温度中，未作涂覆的转化膜在干燥、随后的制造或者保养期间将开始失去耐蚀性。随着温度和暴露时间增加，未作涂覆的转化膜的部件的防腐蚀性降低，其原因是膜脱水造成铬酸盐不能溶解在膜里。

5.5.3.4 阳极氧化结构 阳极氧化层（铝氧化物代表性的是 Al_2O_3 ）由六边形的微孔结构组成而且每个单元都有一个气孔。涂层的密度是在一个给定区域内单元和气孔的大小和数量。这通常可以通过在击穿前使用涂层重量和Taber磨损试验机上的周期数间接测量。孔径大小和微孔结构由电场效应决定。孔径大小取决于阳极电压和电解液pH值。单元的数量取决于电流密度，增长率也是如此。

硬膜阳极氧化允许在部件不燃烧的情况下应用更高的电流密度（增加生长速度/单元密度）并减缓分解速度，因此允许更厚和更致密的涂层。阳极氧化添加剂起降低分解速度和同时允许更高电流密度的作用，因此也会生成致密、厚涂层。添加剂通过影响部件表面阳极氧化电解液的pH值和导电性作用。

5.5.3.5 受过阳极化处理后表面腐蚀的根本原因

受过阳极氧化处理后表面腐蚀的通常模式是基于清洗剂和两性的可溶于酸溶液和碱溶液的铝氧化物/氢氧化物之间的化学反应。不同的抑制剂一般和碱性产品一起使用。pH值为中性的产品也没有阳极氧化材料腐蚀的问题。

5.5.3.6 涂覆过程中不恰当的密封

未完全用热的重铬酸钠、乙酸镍和热DI水密封的阳极氧化膜层将褪色和/或者在清洗工艺时脱落。图5-1说明了一块板完全用热DI水密封一面而另一面没有密封。这块板暴露于水基喷淋清洗工艺中。

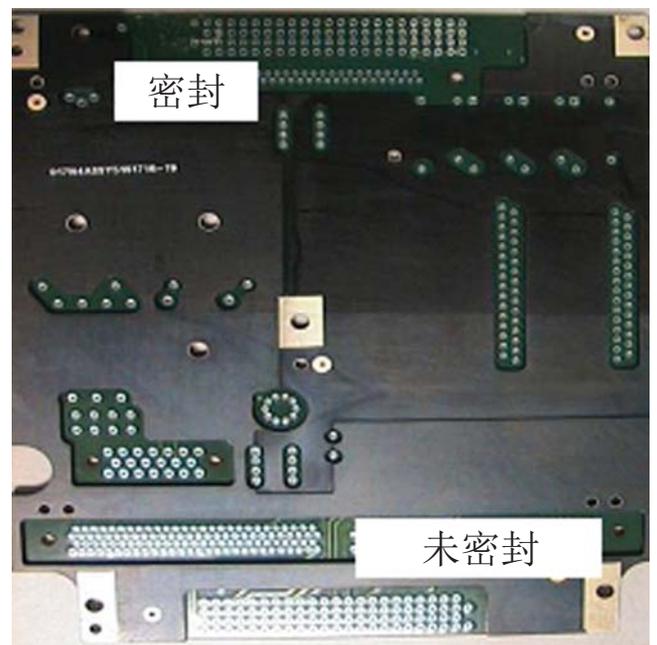


图5-1 去离子水密封与未密封的比较

5.5.3.6.1 清洗剂对阳极化涂层的腐蚀 碱性清洗溶液容易溶解阳极氧化膜并对暴露的铝产生化学腐蚀。电子组件含高碱性的水基清洗液增加了腐蚀的几率。其它的因素例如暴露时间和温度能加速化学腐蚀。阳极氧化密封层在氧化晶粒顶部分解，这导致湿气浸入六边形微孔结构。清洗工艺慢慢地侵蚀阳极氧化结构。一旦干燥，阳极氧化膜将在外来的腐蚀下逐渐消失，暴露铝表面。图5-2描述了一个阳极氧化的散热器在焊接后清洗时受到化学剂腐蚀的例子。

5.5.3.6.2 pH中性和弱碱性清洗溶液 由pH中性、弱碱性和DI水作为替代的清洗剂较不容易腐蚀阳极氧化铝和其它敏感金属。虽然通常强碱性产品能非常有效地去除助焊剂，但减弱碱性技术改善了物料对于阳极氧化涂层的兼容性。

5.5.4 黑氧化（转化层） MIL-F-495E对保护铜合金的黑化涂层有详细说明。这种铜和铜合金的均匀的黑色缓蚀涂层用于军事和太空产品的元器件。MIL-spec指出清洗后电子产品的镀层外观或者颜色应当没有一点改变。

像铝表面的阳极氧化涂层一样，当暴露在强碱性电子清洗溶液中，黑氧化涂层很容易受腐蚀。强碱性的水基清洗材料易腐蚀并在清洗后的工序中清除元器件的黑氧化。建议用户调查替代品以得到更好的物料兼容性特性。

5.5.5 电感线圈腐蚀 电感线圈的金属线表面有一层聚氨酯涂层。清洗过程中清洗剂使聚氨酯涂层变软起泡。图5-3描述了清洗前后对比。

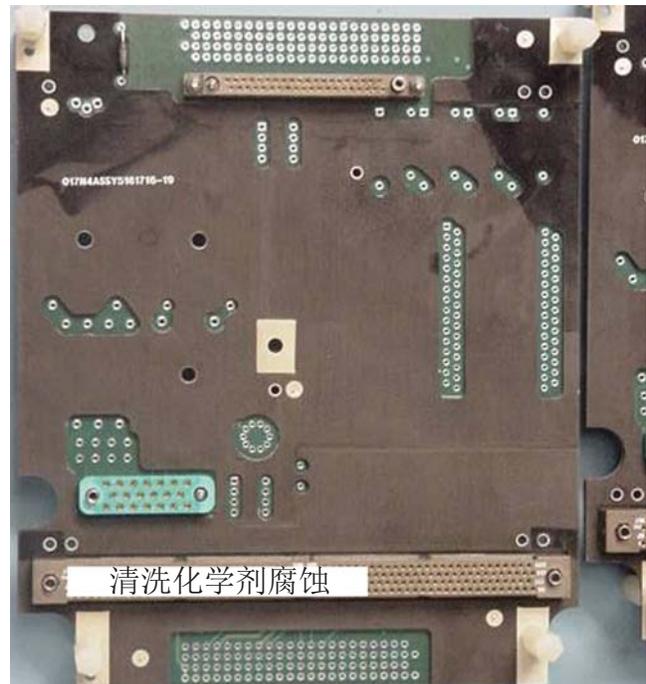


图5-2 清洗化学剂腐蚀

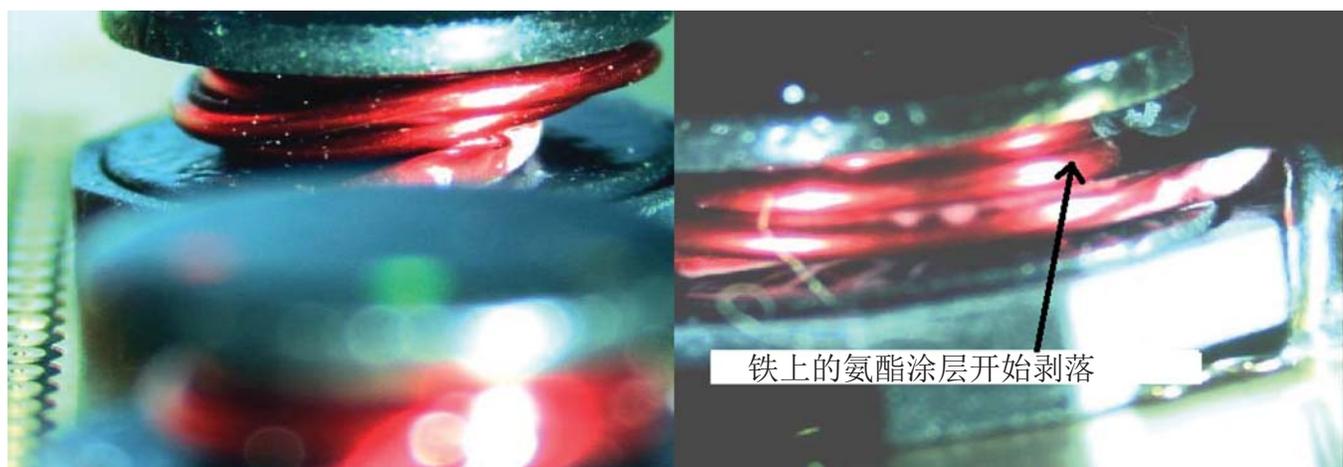


图5-3 清洗液腐蚀聚氨酯涂层

5.5.6 阻焊膜 阻焊膜在到达组装者/用户前常经过短期和长期的测试。目前行业认可的永久阻焊膜性能认证文件是IPC-SM-840C。IPC-SMT-840C在1996年1月发布时从3个级别（1，2和3级）改为2个级别 - T级（电信）和H级（高可靠性）。T级等同于2级而H级等同于3级。1级不再采用是因为大多

数供应商和制造商主要认可/测试2级和3级。T级主要来自Telcordia代表（之前的Bellcore）的输入以反映在TR-NWT-000078（GR-78-CORE的新版本），13.2章节高分子涂层和粘性材料。

5.5.6.1 UV阻焊膜 如果用户不监控UV灯亮度衰减，UV固化阻焊膜将会是一个问题。因为白炽灯从亮到熄灭是一瞬间，UV灯是渐渐地熄灭。当亮度下降时用户可以通过增加曝光时间来补偿。当熔化焊料时的热量能使未完全固化的阻焊膜能够完成固化，使得焊渣及其它残留附着在阻焊膜表面，这些残留物在清洗时不容易被去掉。

图5-4、图5-5和5-6分别为阻焊膜经过1、2、3次工厂标准UV固化，再进行焊接后的外观。UV灯亮度降低到需要3个标准固化周期才能得到完全地固化。这里表明阻焊膜可能与清洗工艺不兼容，而固化工艺是根本原因。

5.5.6.2 干膜阻焊膜 干膜阻焊膜最初用来保护铜线（裸铜覆阻焊膜上，SMOBC），但是众所周知，清洗剂渗透到干膜阻焊膜下会导致起泡并从铜线上脱落。这通常发生在阻焊膜最薄的区域，例如线路掩蔽/填塞导通孔焊盘，或者在阻焊膜侧面边界到焊盘引出的线路之间。

阻焊膜的化学性能和厚度是决定阻焊膜在分解脱落前能在不同的清洗工艺和清洗剂中经受多长时间的重要因素。一般的，包括化学和机械能的多次清洗能对阻焊膜产生累积的影响。第二种情况是清洗后湿气会入侵，烘烤可以减轻这个问题。

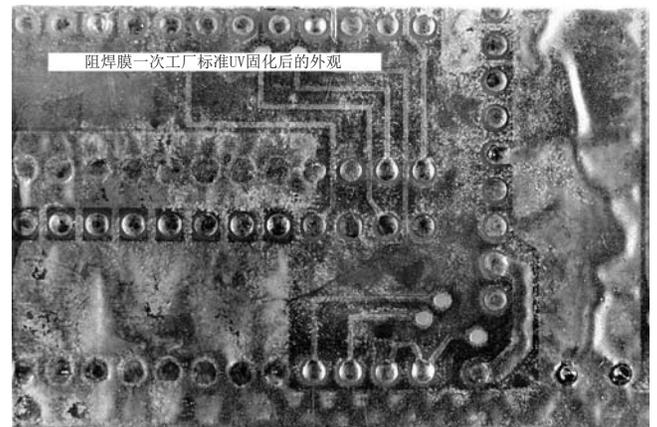


图5-4 UV阻焊膜固化问题示例

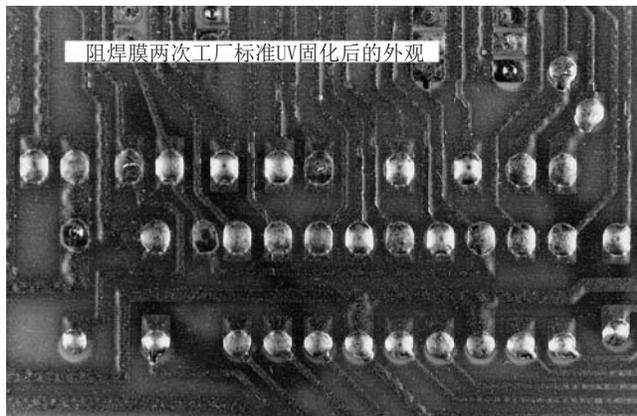


图5-5 UV阻焊膜固化问题示例

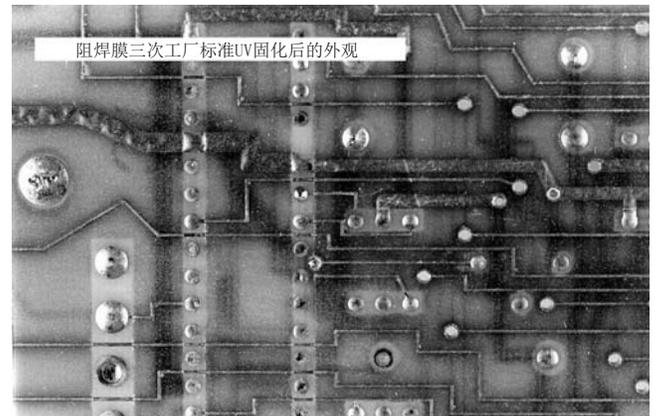


图5-6 UV阻焊膜固化问题示例

杜邦对干阻焊膜进行了测试并发现阻焊膜暴露在清洗工艺中的时间是非常关键的。如果进行了多次清洗，或者清洗持续时间超过了正常周期，阻焊膜可能受到腐蚀或者从板上脱落。杜邦测试结果显示：干阻焊膜能耐氟化蒸汽脱脂电子清洗剂15-30分钟；耐半水基清洗剂15-60分钟；耐碱性水基清洗溶液1-5分钟。图5-7描述了清洗后干阻焊膜起翘和脱落的例子。

5.5.7 挠性电路 可植入的医疗电子产品要求小型化的元器件和电子组件。图5-8中的例子描述了挠性元器件暴露在加倍浓度71° C [160° F]的清洗化学溶液中24小时后的影响。这个实验暴露了电路板在水基清洗剂中，应该是一个组件过度暴露在清洗工艺中的可以理解的最坏的情况。需要注意因为很多元器件超出设计限定暴露在清洗剂和工艺中会损坏。长期测试也可用于识别过度暴露影响物料特性和物料的相互作用。



图5-7 清洗后干膜阻焊膜剥离和脱落

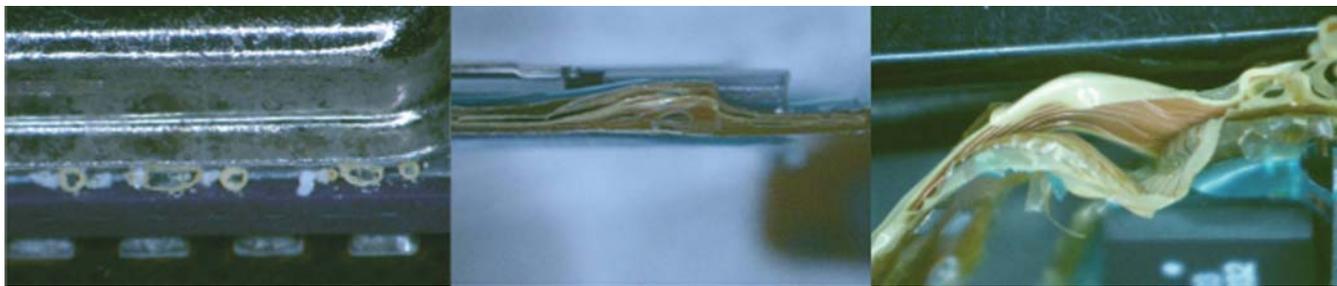


图5-8 长期暴露在水基清洗剂中的状态

5.5.8 焊点腐蚀 强碱性清洗剂与软金属，例如焊料反应，暴露后在焊点表面形成氧化层。腐蚀与洗涤时间、浓度和碱性强弱程度有关。使用清洗成分里的抑制技术能减少碱性清洗剂腐蚀。恰当的缓蚀剂在合金表面形成保护层在清洗时保护焊料合金。缓蚀性能差的清洗剂将使焊点变蓝灰色。如果延长暴露时间碱性非抑制清洗剂使焊点变灰暗甚至变黑。图5-9描述了清洗后焊点的外观。

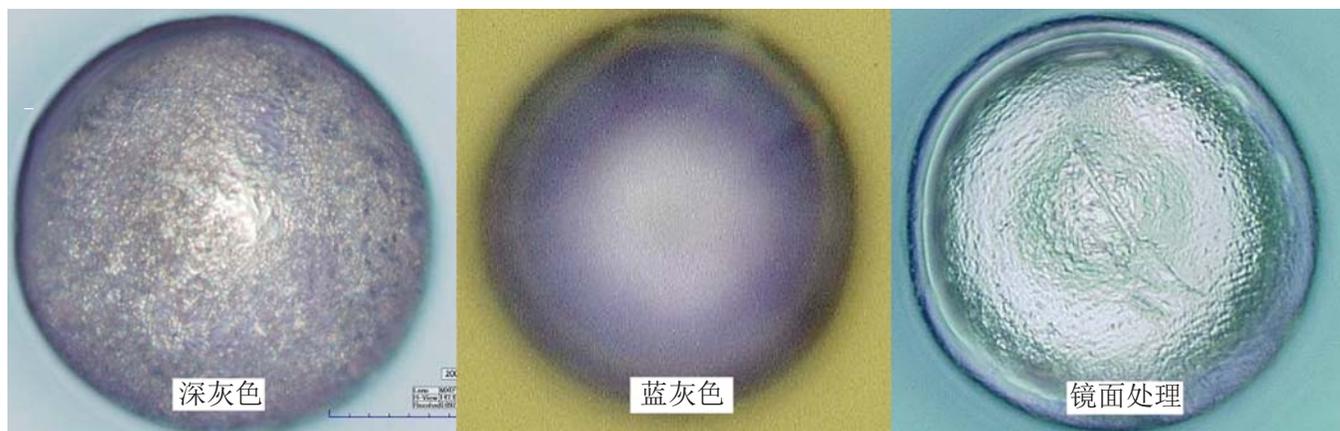


图5-9 焊点外观示例

5.5.9 部件标识/标签 新的行业趋势是朝着更高的回流温度、更高溶解能力的清洗材料、更长的洗涤周期和更高的冲击发展。这些因素增加了对部件标识和标签材料的要求。测试反馈的数据显示以下各项：

- 更高的热回流可能分解标签材料。聚酯和一些聚酰亚胺标签材料可能耐更高的回流温度。
- 更高溶解能力的清洁能力可能影响组装工艺中普遍用到的墨水/色带。
- 碱性增强的水基化学品可能影响组装工艺中普遍用到的墨水/色带和标签材料。
- 高冲击能、长洗涤周期和高洗涤温度可能减弱标签粘性，因此导致标签在清洗过程中脱落。

从积极的一面看待这个问题，标签、墨水/色带供应商意识到了这些问题，并开发了能经受这些要求更苛刻的清洗工艺的替代材料。聚酰亚胺和Kapton®标签材料有好的抗化学性能，但是应用这些标签可能仍然有粘性的问题。胶粘剂的热固化表明能改善抗性。对于墨水/色带，墨水/色带的选择需要基于墨水是否会在清洗前受热（回流）。受热帮助稳定墨水并改善它在清洗过程中的持久性。如果标签/元器件不会受热，墨水的选择会更关键。清洗材料厂商和标签/墨水供应商合作测试标签和墨水/色带材料。

在为应用选择标签或者标识墨水前，需要测试这些材料与清洗材料、洗涤温度、洗涤时间和多个清洗工序传递的冲击能的兼容性。

5.5.10 粘合剂 PCB组装者使用一些胶粘剂来粘接元器件到印制电路板不同的部分。材料类型包括RTV、环氧树脂、氰基丙烯酸盐粘合剂、丙烯酸的、氨基甲酸乙酯、密封胶和常用的厌氧材料。这些材料类型可能在清洗过程中被腐蚀导致结合变弱。标签和部件标识也类似，在测试这些材料与清洗材料、洗涤温度、洗涤时间和多个清洗工序传递的冲击能的兼容性之前，这些材料需要被适当地固化。

5.5.11 敷形涂覆附着 敷形涂覆材料、应用工艺和固化在敷形涂覆工艺中是非常关键的因素。造成敷形涂覆和润湿失效的因素是不恰当的清洗、气泡/空洞，和差的粘性。清洗后留下的离子污染物能导致敷形涂覆起泡。因清洗不当引起的工序不良品能导致元器件和元器件引脚上涂覆层差的粘性/退润湿。残留物在元器件下面、在焊点上和组件表面能导致元器件和元器件引脚上敷形涂覆层差的粘性/退润湿。不同的标签使用不同的胶粘剂类型能导致标签周围敷形涂覆差的粘性/退润湿。

此外，如果敷形涂覆要返工，应该确认固化后涂覆层与清洗工艺的兼容性。（见13.3节和13.4节的返工信息）

6 工艺开发与验证

6.1 前言 在任何制程中，不定期地改变用于制作印制组件的材料结构或者生产工艺/参数是必要的。这也许来自以下许多可能的因素：

- 材料禁用，由于环境法规、市场因素或者材料配方的改变；
- 新材料，因改进性能或者价格而成为可用时；
- 制造设备故障，要求更换；
- 供应商提供的材料品质发生改变，所有材料在投入生产制程之前必须得到验证。

因此，制造商面临的任务是确定“新”的组装材料/制程是否和“旧”材料一样好或者更好，或者是否是“合格”的组装材料/制程，并且需要提供数据支撑这样的评价。有很多要素应该纳入这个结论中。这一章将着重于测定制造组件的洁净度与材料兼容性的考虑事项。本章节所列出的方法适用于评估比较制程A与制程B哪一个效果更好，而不是重新开发一个全新的制程，尽管它同样能够适用。

表6-1是关于大多数常用电子材料测试、鉴定、评估的IPC标准清单。专业工艺人员应该熟悉这些文件。

表6-2是关于电子组件相关的材料的性能评估的IPC标准清单，并且定义了材料必须达到某些性能，尤其是对于3级高性能电子产品。

表6-1 材料鉴定规范与方法

标准	要求
ANSI/J-STD-004	助焊剂要求
ANSI/J-STD-005	焊膏要求
ANSI/J-STD-006	电子焊接领域电子级焊料合金及含有助焊剂与不含助焊剂的固体焊料的要求
IPC-TM-650	IPC 测试方法手册
IPC-9201	表面绝缘电阻手册
Telcordia	GR-78-CORE 电迁移测试
IPC-SM-840	永久性阻焊剂和挠性覆盖材料的鉴定和性能规范
IPC-CC-830	印制线路组件用电气绝缘化合物的鉴定及性能

表6-2 性能规范

标准	要求
IPC-A-600	印制板的可接受性
ANSI/J-STD-001	焊接的电气及电子组件要求
IPC-A-610	电子组件的可接受性
IEC 61189-5	电子材料、互连结构和组件的试验方法—第5部分：印制电路板组件的试验方法

没有一个单一的方法可以用于决定评估一个新的生产工艺。生成数据的数量和种类取决于所生产的产品、失效后果（如：生命维持）和终端用户。一般而言，三阶段法被认为是一种合理的方法：

- 阶段1-采用低成本测试手段的筛选试验。
- 阶段2-采用更具有代表性测试手段的验证试验。
- 阶段3-在制造组件上试实施的鉴定实验（例如：首件鉴定/FAI）。
- 阶段4-工艺技术和材料从未一成不变。

理论上，当改进和验证生产工艺时，应该在持续改进、制程控制、闭环控制、操作者控制方面有更多工作需要开展。改良的工艺应该集成到公司的质量体系和工艺标准中，并且应该应用统计过程控制方法。关于统计过程控制方法的更多信息见IPC-9191。

强烈推荐客户参与这些改善的策划与评估，这将确保试验方法是可接受的。

出于本文的目的，“确认”、“验证”、“筛选”或者其它类似术语都没有标准的定义。不同的个人和组织使用这些术语都会有所不同。例如，NASA将阶段1的实验归之为“特性”；阶段2作为“性能和环境”；阶段3工作为“筛选”。类似的，术语“试点工程”可能意味着一些单元，或者单独的生产线，或者一整套制造机构。只要这些测试程序启动，对术语的理解一致非常重要。

另一个重要的考虑就是附随制程开发和验证过程的文档。文档应该足够完善，以确保其它公司在未来五年里可以精确复制这些实验。文档应该包括所有实验的日期，尤其是工艺变化开始在产品上实施的日期。一旦现场失效需要追溯根本原因时，将变得非常有价值。

以下章节将使读者对第一阶段至第三阶段的验证工作的基本要素有一个概念。

6.2 阶段1测试 在阶段1的测试中，测试材料相互作用的主要影响。只有一些明显的不兼容才会被发现。阶段1测试是为了解答“是否工作有效？”的问题。

到目前为止，最常见的阶段1测试使用的测试工具是IPC-B-24标准测试板，如图6-1所示。IPC-B-24标准测试板设计于20世纪90年代初期，首先作为测试工具用于测试波峰焊接过程中基材、表面金属处理、助焊剂三者的相互影响。此标准测试板最早被用于IPC CFC关于各种助焊剂替代高固体松香的评估实验。IPC-TP-1043和-1044包含更多的历史数据。研究人员选择16mil线径和20mil间距，可以

确保波峰焊接时底部方向可避免桥接。16mil和20mil分别对应0.4mm和0.5mm[0.016in和0.02in]，如有必要，美国偶尔也使用公制单位。接触手指设计为中心间距为100mil的50mil焊盘，这样那些金属附件和边缘连接器可以用来测试这些板子。

B-24板可以很好的用于助焊剂/基板的相互影响实验，也可用于助焊剂之间的相互影响实验，例如焊膏残留物与返工使用的液体助焊剂。

通过测试的经验教训，要关注用于评估B-24（或者类似）的板上印刷焊膏的模板设计。如果焊膏只被印刷在手指重叠区，那么焊膏将会出现珠状，如图所示。可以通过印刷时将焊膏延伸印刷至每个梳型公用的汇流条上加以修正。在回流焊接时，焊膏将熔融流至铜汇流条上，通过偷锡来防止锡珠。

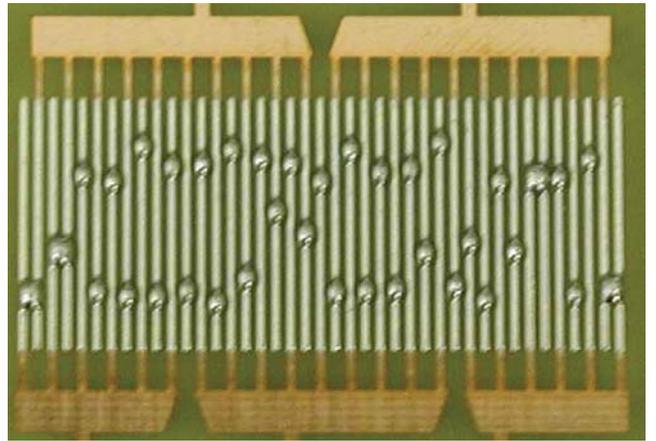


图6-1 珠状焊膏

这就是为什么很多IPC测试板都有指插状的接触手指。

优点

- 非常简单的电路板（印制与蚀刻）。
- 梳型隔离接地电路。
- IPC在册的最低成本的测试板。
- 实验结果可与其它使用此板的程序进行比较。
- 如果助焊剂/膏是J-STD-004认证过的，那么此板的表面绝缘测试数据已经存在。
- 表面绝缘电阻测试工具可同时用于IPC和Bellcore实验室的材料测试。
- 没有元器件组装（易加工，防呆）。

缺点

- 非常简单的电路板（不能反映产品的复杂性）。
- 20mil的间隔也许不是代表性的产品。
- 板上一般不采用阻焊膜（但可以增加）。
- J-STD-004认证只能在无防护的裸铜板上完成。
- 理论上一般不用于Bellcore电迁移阻抗实验。
- 没有元器件组装（没有回流或者清洗挑战）。

尽管J-STD-004规定了表面处理为裸铜的环氧玻璃层压板，制程评估者仍常采用其它树脂体系（例如聚酰亚胺）、施加阻焊膜和各种不同的表面处理方式（例如浸银）制作这种测试板。虽然不是十分合适，J-STD-004中100兆欧的合格判据也常用这些替代材料的B24进行评估。

B24板常被作为阶段1测试的工具是因为它具有以下特性：

- 它很便宜，可以大量投入（可复制性）用于评估宽泛的材料或者相互影响。考虑到变化因素，推荐使用三块同样的板子作为最小样本量。
- 每块板子有4个同样的梳状图，可提高数据的统计密度。
- Gerber文件是公开的，所以任何人都可以生产。
- 大多数服务于电子工业的独立实验室都固定提供该板子的SIR实验。

B24板被用于:

- 表面处理认证。
- 表面处理剂与焊接助焊剂和焊膏的相互影响。
- 焊膏残留物和返工中使用的液态/膏状助焊剂之间的相互影响。
- 清洗化学溶剂和手工清洗制程的课题研究。
- 助焊剂残留和敷形涂覆的兼容性研究。

无论使用哪种测试工具，研究人员都应该查知以下内容:

- 电化学失效机理。
 - 潮湿环境中的过漏电流
 - 电解腐蚀或者其它明显可见的侵蚀
 - 电化学迁移或者枝状产生
- 测试工具的外观退化采用评估标准如IPC-A-610。

读者可参考IPC-9201、SIR手册、附录C，获得对SIR测试手段的更多了解。

6.3 阶段2测试与注意事项 在经典的3阶段评估法中，人们对阶段2常需要更多的指导。制作基板，如同IPC-B-24阶段1评估时使用的测试板，广为所知且文件完善。很多制造商非常熟悉它们自己制造的部件以及给客户证明的测试，而阶段3的考虑几乎完全覆盖产品的细节。

因此，测试工具需要更多的信息，它比材料认证板更加复杂，却能为材料/制程兼容性提供有益信息。

在阶段2的分析中有几个总体的目标:

- 确保结构性组装材料更能代表产品和货源。
- 在导入其它更复杂电路因素之前，评估化学装置以确保其洁净，使化学作用不受部件影响。
- 在进入更复杂和更昂贵的阶段3工作之前，采用具有公认的通过/失败参数的标准测试手段开展初期材料兼容性评估。
- 在进入更复杂和更昂贵的阶段3的工作之前取得用户的协作。
- 识别残留物。

6.3.1 阶段2测试工具 在过去20年里，有许多测试工具被用于阶段2类型的分析。这里列出了更常用的方法。

6.3.1.1 IPC-B-36 IPC-B-36测试板（见图6-2）起初设计作为20世纪80年代末IPC CFC替代实验的一部分。IPC-TR-580展示了很多对这种测试工具的研究。IPC-TP-831明确说明了这种测试工具的设计。测试工具是有很多通孔的双面板，被设计用于SIR实验。CFC选择性实验（IPC-TR-580、-581、-582）成功引导DoD MIL-STD-2000委员会使用这种测试工具为军品评估新助焊剂或者清洗制程。MIL-STD-2000A的资料性附录A提供了认证协议。DoD MIL-STD-2000委员会也积极推动J-STD-001的发展，乃至其成为IPC最早版本规范中公认的测试手段。

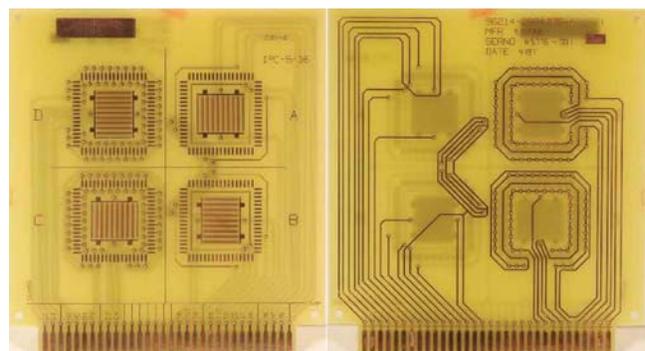


图6-2 IPC-B-36测试板

MIL-STD-2000A 在1995年被废除且无替代的标准。然而，为了满足旧的军事合同的要求，B-36测试工具仍然被使用了几年。虽然MIL-STD-2000在很久之前就已经被废除，美国国防承包商经常由于在那段时期确立的合同要求坚持执行此标准要求。对于小批量生产而言，当替代需要大量再认证工组时，符合MIL-STD-2000要求常常是更具成本效益的选择。

虽然更新的J-STD-001版本允许其它测试工具，很多美国国防承包商仍然使用B-36测试板评估认证。为了与边插连接器兼容，板上的接触手指通常采用镀金。其它金属化处理一般采用裸铜，但其它的表面处理方式也可以。为了保证LCC（有引线芯片载体）有5mil的托高高度，阻焊的用量非常有限（点或者面）。

阶段2的测试工具的优缺点归纳如下：

优点

- 混合工艺板-可以测试焊膏和波峰焊料的影响。
- 有地/防护电路隔离所有的SIR测试图形。
- SMT和通孔都不昂贵。
- 可与其它使用此板的方案比较结果。
- 使用此工具可以得到很多好的制程评估的信息。
- 可用于清洗效果和助焊剂滞留测试。
- 呈现热考验或者热阴影区。
- 在实际产品上6mil的图形更具有代表性。
- 可用于返修或者焊接润湿测试。

缺点

- 如果没有SMT加工能力加工将很困难（例如：只有波峰焊接）。
- 阻焊只在非常限制的区域（8点）。
- 一般而言测试更加昂贵（如果考虑连接方式的花费）。
- 一般而言材料和加工都更加昂贵。
- 6mil的梳状图的选择性定位使得裸板的制造产量更小。

后续的测试工具，例如CSL/ Foresite Umpire板或者是IPC-B-52测试板，都是学习基于IPC-B-36的实验方案后设计的。考虑到更高级的测试工具在阶段2工作的实用性，不推荐IPC-B-36测试组件作为阶段2的测试工具。

6.3.1.2 CSL/Foresite Umpire 测试工具 这种测试工具最初是污染研究实验室（现在的Foresite）在1998-99年间，作为一种包含元器件以及能够代表超越从IPC或者Bellcore可获得的简单裸板的改进而设计的。目的是一种相对便宜的测试工具可以用于组装过程残留物的检查。评估板的图片如图6-3所示。

测试图形

- 三种IPC-B-24测试模式。
- 无阻焊（层压板/助焊剂的相互影响），以便与J-STD-004绝缘电阻测试关联。
- 条状阻焊（阻焊生长检查和滞留效应）。
- 整板阻焊（助焊剂对阻焊特性的影响）。
- 将0805片式组件（1.0兆欧，0.1瓦）排成一行，用于检查其器件体及粘合特征下的电迁移。

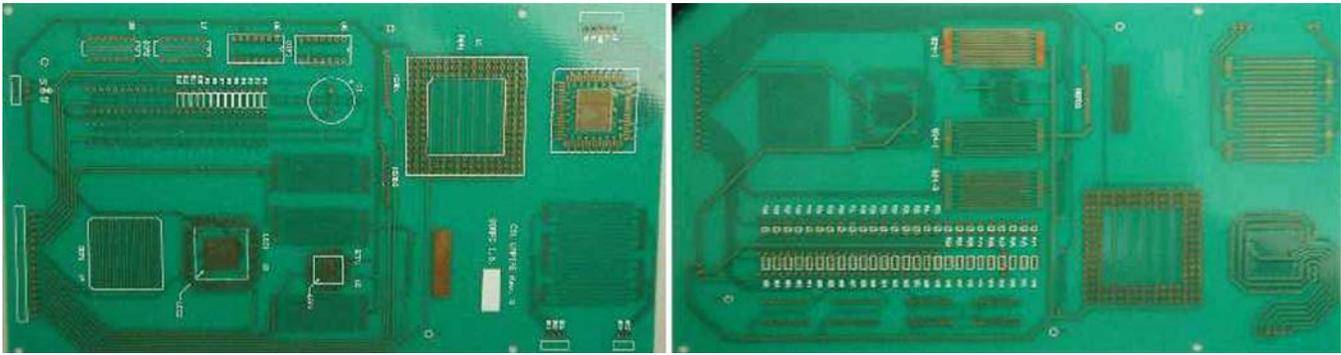


图6-3 Umpire板

- 将1206片式组件排列，同上。
- 三极管封装，常用于研究焊膏的品质，乳胶掩膜剥离程度或者接触-上升的焊接操作。
- 使用一个隔离模具的单BGA测试模式（测试BGA底部的残留）。
- 使用一个隔离模具的单QFP测试模式（QFP底部的残留）。
- 单LCC测试模式（测试低托高高度的清洗效果），与IPC-B-36的4D模式一致。
- 将DIP封装在通孔焊接时排成一行（检查圆角的形成）。
- 单PGA插槽，用来检查插座的滞留效应。
- 带有划格掩膜的Bellcore图形的附连板，用于电信组装者按照Bellcore GR-78-CORE标准测试表面绝缘电阻（SIR）。
- 包含IPC-B-36 D象限图形的附连板，用于军品及IPC 3级用户的J-STD-001认证。

优点

- 作为一种评估组装材料和制程的测试工具，代表当时对IPC测试板的重大改进。
- 可以供OEM/EMS选用材料。
- 单个附连板可用于MIL-STD-2000A的相关工作。
- 第二块附连板可以用于电信供应商对Bellcore的研究。
- 多数绝缘电阻测试板包括SMT元器件、BGA和连接器作为重要的评估确认点。
- 为绝缘电阻测试设计的板子。
- 几个大的OEM厂使用它们自己的评估工具。

缺点

- 这种板需要特殊的分立元器件以选择封装。
- SOT-23元器件不像最初的设计一样工作。
- 设计者遗漏了第一条规则中的增加并联电阻，所以在表面绝缘电阻测试中底面的SMT片式器件看起来像1兆欧姆电阻。
- 对于那种图形电解电容的容值受信号上升时间的影响将产生“奇数”测量值。
- 测试板的夹具很复杂。
- 在那段时间供应商对标准芯片（包括炸开的晶片或者菊花链）及分立芯片（内部没有连接）掌握不到位，使一些组件运行时使用到了坏件从而导致某些图形出现短路。

- BGA封装后发现缺陷（见图6-4）。所选择的BGA封装的中央有16个球，它完全是用于散热的，所以在封装内部是短路在一起的。内部的短路引起了板上SIR图形的短路。在组装操作之前这16个锡球需要被清除。
- 如今Umpire板继续用于工艺研究和效果确认。从这种测试工具学习到的很多经验体现到了IPC-B-52的测试工具的设计中。

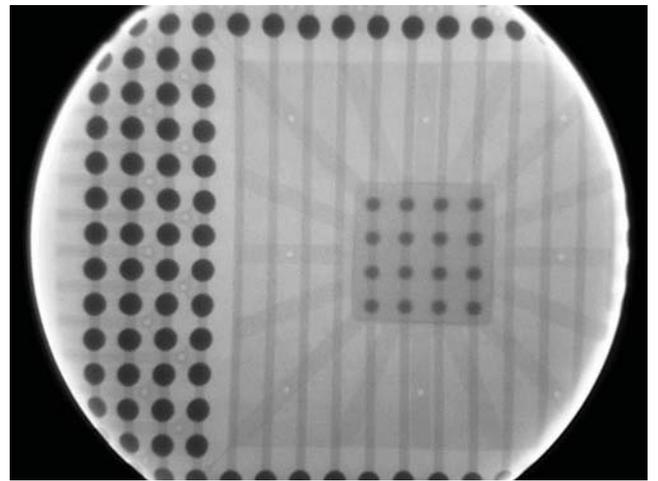


图6-4 有缺陷的BGA封装

6.3.1.3 Gen3系统测试样片 这种附连测试板（图6-5）是英国GEN3系统公司（以前的Concoat系统公司）开发的，作为调查QFP的引脚和元器件的细节距元器件底部之间的残留物效果的一种小型的、价格便宜的实验工具。因此，它可用于阶段1和阶段2类型的分析。



图6-5 系统附连测试板

优点

- 低成本的测试工具，容易大量生产。
- 组装成本低，可以适用于大量的样本尺寸。

缺点

- 一般不施加阻焊（但是可以采用，如右图所示）。

6.3.1.4 SMTA Saber板 从20世纪90年代开始，表面贴装技术协会（SMTA）saber板（图6-6）就作为一种进货评估的工具被使用。该测试板是典型的通孔和表面贴装元器件混装的电路板，最常用于焊接曲线的优化。它有一个单独的SIR测试图形（5段），与Bellcore风格大的方形扁平封装下面的图形类似。5分段梳状图的末端引出至表面贴装焊盘，与硬件装置连接。测试图形的末端间隔很小，当进行导线连接时必须非常小心，以确保助焊剂的施加不使接触的焊盘桥接。测试图形不与任何元器件的引线连接，所以不需要特殊的元器件。Saber板是价格较低的裸板。该板的Gerber文件可以从许多供应商获取，因此该板也用于不同的板材组合制造。如果使用了菊花链元器件，该测试板也可用于焊点的可靠性研究。应该注意的是，底面和顶面是镜像的，菊花链元器件需在顶面工作，而不是在底面。

SMTA的Saber板用于制造业研究有很多年，可以从很多供应商获取。在这个组件上有一种专业的SIR测试图形（在大的QFP下面），所以如果使用硬接线的话，可以在这块板子上进行SIR测试。这块板

的一般用途是进行焊接评估，也常被买来作为工具包来使用。无论哪种材料结构供应商都可以提供。如果清洁度评估阶段使用saber板完成，获取gerber信息、板的构成材料结构、首选供应商、成品特征是很有必要的。

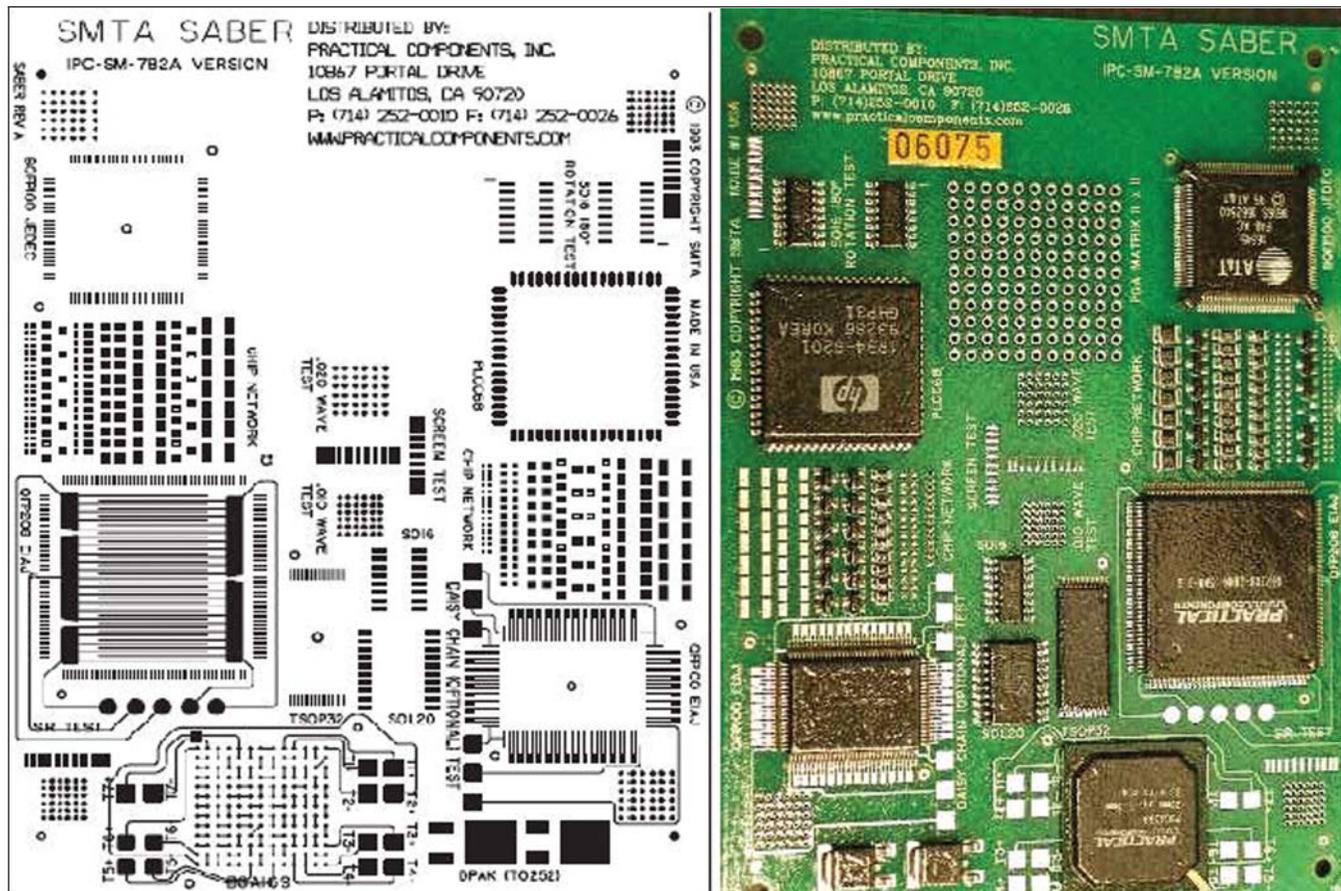


图6-6 SMTA Saber板

6.3.1.5 IPC-B-52测试工具 虽然上述测试板已经用于阶段2类型的分析，但是它们仍然不完美。期望有一种测试工具，既可用于离子分析也可用于表面绝缘电阻测试。这种测试工具既可以用作制程优化的评估工具，也可用于如IPC-J-STD-001或者IEC-61189-5的制程鉴定。

IEC-TB-57测试板由英国国家物理实验室和GEN3系统公司共同设计。由NPI、GEN3和罗克韦尔.科林斯共同协作，IPC-B-52（图6-7）测试板反映出IEC-TB-57的很多特色。基于在IPC-B-52板上的持续改良工作，IEC-B-57因此改良而来。IEC-TB-52的第8个版本都是与IPC-B-52（后面为B52）相同的测试组装标准。IEC-61189-5规范修改后也参考了IPC-B-52。因此，B-52被认为是全球标准和首选的清洁度评估板。绝缘电阻测试板在图形左侧，离子分析样片在图形右侧。

6.3.2 IPC-9202 IPC-9202《材料和制程清洁度鉴定/评估测试规范》旨在描述阶段2类型的分析，并且阐述了B52组装板的两种用途。

第一种用途是当电路板组装结构材料是较小的影响方时作为工艺研究工具。这种用途可以用来比较清洗制程A与清洗制程B。在这种比较分析中，两种制程可以一直评估直至测试结果稳定。在这种应用中，需要使用测试包。IPC委员会明确5号样本尺寸可用于工艺研究。

第二个用途是当作为一个工艺评估工具，电路板组装结构材料、电路板制造水平都很关键。在这种情形下，电路板包的应用是不可取的。它可以广泛地确定裸板的残留物，并且裸板的加工方法对于

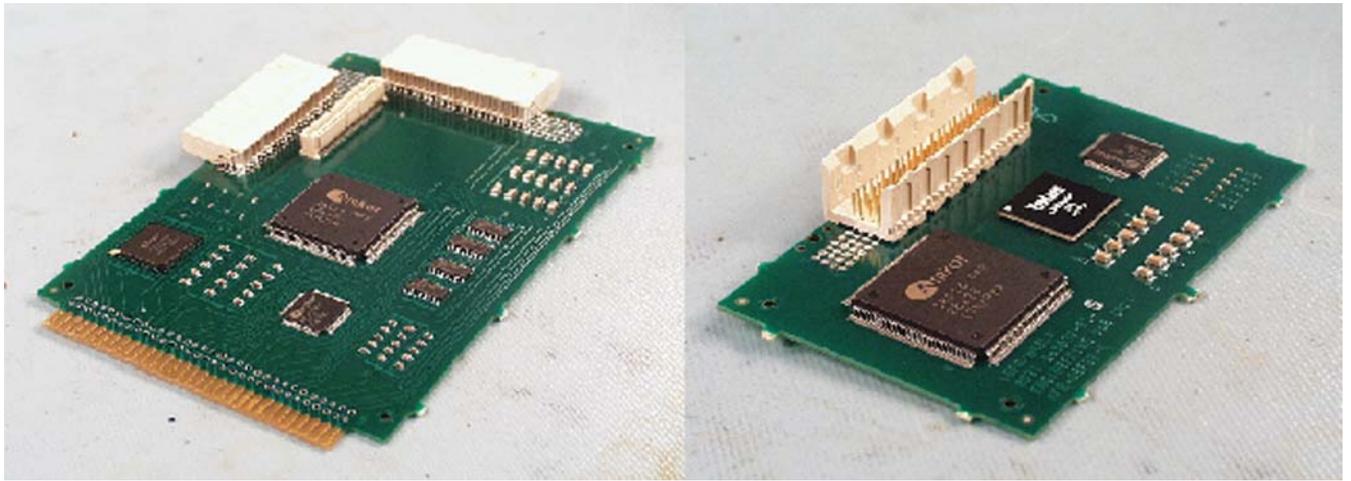


图6-7 IPC-B-52测试板

工艺评估很关键。因此，B52测试板尽可能地模仿与供应商选择的材料类别越接近，并且由认证的买主提供货源。另外，使用10号尺寸的样板评估性更高。

IPC-9202建立了表面绝缘电阻测试的合理判据。离子分析是必须的，但是对于IC给不出合理的判据。

这里始终有多少测试数据是合适的问题。SIR数据的使用价值，基于频繁的监测方法，显示在潮湿环境下残留物对于绝缘电阻的影响，但通常是一个长期的测试（4-7天）。离子分析数据可以很快产生，并且当用于未来工艺优化或者处理制程异常时很有意义。因为这个原因，制造商确定认证标准时IC数据是必需的。

推荐从事阶段2类型认证的人可以从IPC-9202获取知识，当设计一个阶段2的方案时IPC-9202也很有用。

6.3.3 IPC-9203 因为阶段2调查/评估结果很复杂，IPC委员会形成了IPC-9202的配套标准，即IPC-9303《IPC-B-52用户指南》。任何人想从材料兼容性或者组装过程残留物方面评估制造过程，应该可以从图书馆获取。

6.4 第三阶段测试及注意事项 尽管在第一阶段和第二阶段打下良好的基础会使第三阶段更加简单，但是要顺利地完，第三阶段仍然是最困难的阶段。

在第一阶段和第二阶段中所进行的评估测试是通过标准测试板以及一些标准的工业测试方法来得到残余物及其影响的预测数据。但是在第三阶段，由于需要加入一些并发因素，所以情况更加复杂。如：

- 高频或者无线电频率的影响，残余物会影响波形的产生或者造成传输延迟。
- 高电压或者大功率应力下会造成电晕放电。
- 高阻抗电路中不允许有任何微小的泄漏电流。
- 密集的线路及空间，较低的元器件托高高度，特殊元器件。
- 较高元器件的阴影效应。

第三阶段的目的是确定在备选的辅材组合以及所推荐的生产参数下，是否能生产出高性能以及高可靠性的产品，以及该产品是否能满足工程图纸、合同要求和客户对质量及可靠性的期望。

在第三阶段的工作中，同最终用户或者/和监管机构进行沟通并达成一致是至关重要的。其中一个关键的议题应该是所提出的所有辅材或者制造过程的变更是属于1级变更还是2级变更。

1级变更是指不影响产品外观、组装或者功能的变更。如一种微处理器芯片，从厂家A换成厂家B，但是有相同的功能及可靠性。

2级变更是指产品的外观，组装或者功能发生了改变。如电路板重新设计或者明显的增加修正导线。

1级变更也许只需要简单的书面通知或者低级别的工程变更通知单（ECOs）。2级变更则需要对硬件重新进行全面或者至少部分的评定，成本很高而且花费时间。

同客户进行讨论是非常重要的，因为在任何一种电子行业中，都没有1级变更和2级变更的统一定义。清洗材料的或者清洗工艺的变更可以视为1级变更，因为清洗材料并不在最终产品上进行交付，且不“应该”影响外观、组装或者功能。另一方面，如果新的清洗材料或者工艺没有进行充分的评估，就可能影响产品的长期可靠性（例如，功能），所以也是潜在的2级变更。在高性能领域，硬件的功能性和安全性非常关键，大部分客户都非常谨慎并倾向于认定所有变更都为2级变更，除非有数据作为证明。这就是为什么第1阶段和第2阶段中的数据收集非常重要的原因，这能为成本较低的1级变更的论证打好基础。

6.5 清洗工艺认证 接下来的这一节是介绍一家航空航天代工厂使用的工艺评估方法，这种方法作为一个案例说明了当3级产品制造过程发生某一个改变时全面的评估了整个工艺制程。这种方法几乎包括了上述所提到的所有阶段。

清洁度在产品的性能和可靠性方面影响着产品的质量。印制电路板的污染会造成诸如阻焊剂附着不良、多层板的分层、可焊性不良、导体间漏电以及连接器之间的高阻抗等问题。

质量保证包括定期检验或者过程检查。清洁度的测试可以是对污染物的直接检测，也可以是在试样或者实际产品上做加速试验来对潜在可靠性问题进行的模拟。

一个全面的质量保证计划还包括正在进行的过程监控、鉴定试验，以及制造过程中的辅材如助焊剂的检查。

质量保证计划的范围、检查频率以及最终要求同产品的用途以及期望的产品性能有关（例如服务等级）。

质量数据的收集形式应该便于追踪过程的趋势，如果需要，还需迅速的作出纠正措施。数据应该记录下来传达给辅材的供应商以及产品的客户。

本节为3级电子组装产品的清洗工艺提供了一个标准的评估程序。当制造商变更了焊接材料（焊膏、助焊膏和波峰助焊剂）、清洗材料以及清洗设备时，需要采取措施对过程进行评估或者重新评估。测试工作应该文件化，并且将供应商和原材料商提供的变更计划合并至其中。

图6-8展示了当制造过程发生变化时对于外观清洁度评估工艺的三阶段示意图。

6.5.1 引用文件 表6-3列出了在确定残余物对电子组件影响时所引用到的文件。

6.5.2 第1阶段初步可行性评估 在进行焊接材料评估之前，需进行初步的可行性分析，确保焊接助焊剂、焊膏以及焊接合金满足适用的标准。

在这个选择中，辅材的供应商应该被包括进来，因为其对所提供的材料，以及其材料与其它材料可能存在的相互影响有最深入的了解。

我们也许有充分的理由问，制造商为什么不能仅仅只使用供应商提供的数据，如J-STD-004的助焊剂鉴定证明，来降低测试成本呢？表6-3中的主要鉴定证明文件是用来提供一个标准化的基线，以使生产出可重复的结果。它们使用的是标准的测试载体，如J-STD-004中所使用的IPC-B-24测试板，以使不同的材料/供应商之间的数据具有可比性。材料的供应商对这些测试协议非常熟悉，它们自己来

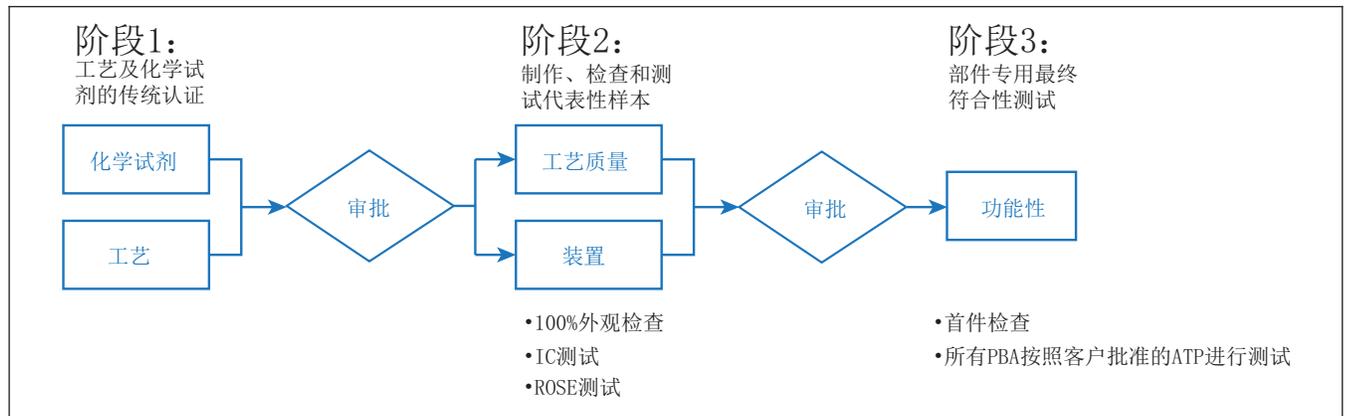


图6-8 工艺评估的三阶段法

表6-3 引用文件

标准	要求
ANSI/JSTD-001	焊接的电气和电子组件要求
ANSI/JSTD-004	助焊剂要求
ANSI/JSTD-005	焊膏要求
ANSI/JSTD-006	电子焊接领域电子级焊料合金及含有助焊剂与不含助焊剂的固体焊料的要求
IPC-A-610	电子组件的可接受性
IPC-TM-650	IPC测试方法手册
IPC-9201	表面绝缘电阻手册
Telcordia	GR-78-中心 电迁移测试
IPC-A-600	印制板的可接受性
IPC-SM-840	永久性阻焊剂和挠性覆盖材料的鉴定和性能规范
IPC-CC-830	印制线路组件用电气绝缘化合物的鉴定及性能
IEC 61189-5	电子材料、互连结构和组件的试验方法.第5部分: 印制电路板组件的试验方法

做这些测试。因此，这些数据通常仅代表了最好的情形，而没有证据证明每一个个体制造商也会得到相同的结果。所以，建议重新进行关键的测试，而不是依赖于供应商的数据手册。

6.5.3 材料分析 任何在研究中的材料应该包括对材料技术规范的分析、制造商的测试结果、材料的安全数据手册、材料供应商的质量保证和过程控制方法。

6.5.4 过程注意事项 在把资源投入到鉴定新的清洗材料之前，初步的可行性评估应该包括：

- 对职业、安全以及环境的影响。
- 制造商的测试、质量、服务以及支持。
- 设备的兼容性以及能力。
- 对成本的影响。
- 废弃物的产生及处理。
- 过程的能力及稳定性。
- 过程控制的需求。
- 清洁度的监测（污染物的类型，清洁水平和测量）。
- 测试系统能力评估。
- 客户的要求及期望。

6.5.5 技术方面的评估 电子产品制造商需确认暴露在外的部件与所接触的所有清洗材料，在规定的洗涤浓度范围、洗涤温度、洗涤时间以及冲击力的作用下是兼容的。

6.5.6 过程计划的文档编制 为推进决策的进展，需要文档化的计划来记述所提出的变更以及测试数据。

6.5.6.1 基准点评估 紧接着初步可行性分析（第1阶段），清洗过程的鉴定应该包括材料及过程兼容性测试、测试载体及正式的测试计划（第2阶段）。尽管第二阶段的测试载体可以是产品部件，更多通用的方法是使用比实际产品更具代表性的工业标准的测试载体。

6.5.7 阶段2材料和工艺测试 阶段2材料与工艺兼容性测试应该包括：

- 确认所有助焊剂变化。
- 确认化学清洗剂。
- 确认阻焊剂应用变化、温度曲线变化或者清洗设备或者清洗参数变化。

设计的实验需要按照最终的性能规范测试材料和工艺以评估其可接受性。

正如之前所说，有很多方法可用于评估材料和工艺的可接受性。在工业领域常用的众多方法中的一种都已被收纳于IPC联合工业标准J-STD-001，通常包含在该标准的附录中。

对J-STD-001附录中列出的实验有一个普遍的误解就是组装人员必须服从J-STD-001的要求，这不是事实。J-STD-001要求组装工手上必须有一个客观的数据可以体现材料与工艺的兼容性。附录中的测试方案只是生成这种数据的一种可能的方法。可是，因为这种测试是在J-STD-001标准中列出，它是一种适合制造商和客户的测试方法，有已知的通过-失败参数。

6.5.8 测试工具 组件一般宁愿被设计成测试包。好处是板和元器件合并进行一个标准测试。与其闭塞在一个特殊的测试板，组件需要确保在生产时板子是有代表性的。

- 测试工具应该能够提供关于各种采用通孔和包括细间距元器件和BGA器件的表面贴装元器件的工艺结构和封装的评估。为了方便电测试，测试工具应该包括IPC和Telcordia工艺规范定义的“Y”和梳状图。测试工具应该用与实际产品同样的基板、金属化处理、阻焊进行制作。
- 测试样品应该用推荐的生产工艺制造。样品使用单独的工艺生产可能不能反映产品的实际情况。在总体的测试中必须考虑其它工艺步骤可能引起的相互影响。
- 每种材料/工艺的联合测试的数量应该是最少10块工具。增加的样本应该要包含在测试计划中并按照测试计划的逐一进行目视检查。如果材料和工艺使用了不同类型的基材、表面处理，在OEM同意的基础上应该对所有类型进行测试（按照IPC-SM-840例如LPI、干膜、非商标）。为了建立基础数据，每种基材的裸板和/或者掩膜类型应该被增加到样本批中。

6.5.9 测试方法 选择材料和工艺的测试应该包括光学、电学和化学评估。

- 光学-目视检查至少在10倍倍率下进行，30倍倍率是为了在10倍倍率下评估污染物。单位应该包括残留物检查、污染物、腐蚀状态、阻焊和基板的情况、焊接结合层的形成、变色、焊球或者飞溅物；湿化学溶剂、油脂、污垢、手指印、离子物质或者其它不规则物体。任何发现都应该实施分析找出原因。负面的检查结果可能取消未来测试的必要。
- 电学-最少的测试应该如下：
 - 表面电阻测试见IPC-TM-650测试方法2.6.3.3 A（参考IPC-9201）。
 - 电化学迁移见IPC测试方法TM-650测试方法2.6.14和2.6.14.1（参考Telcordia GR-78-CORE）。

- 化学-最少的测试应该参考如下：
 - 离子清洁等级1级（Omega 离子污染检测仪或者等效仪器）— 离子清洁度测试见IPC-TM-650测试方法2.3.25。
 - 离子清洁等级2级（离子色谱）— 离子清洁度测试见IPC-TM-650测试方法2.3.28。
 - 表面有机污染 — 非离子分析见IPC-TM-650测试方法2.3.38和2.3.39。
 - 敷形涂覆附着力测试 — 按照IPC-TM-650测试方法2.4.1.6和参考IPC-CC-830手册可获取其它信息。
 - 元器件兼容性测试 — 分析必须去确保所有元器件类型没有和假定的化学物质或者工艺必须没有反面的影响。分析结果应该被记录并且备查。
 - 残留物分析 — 如果是不可见残留物，只有离子清洗测试（1级和2级）是必须的。
 - 表面分析 — 扫描电子显微镜法、能量色散光谱法（SEM/EDX）。
 - 萃取法 — 傅里叶变换红外光谱法（FTIR）。
 - 高性能液体色谱（HPLC）或者在线测试。

6.5.10 测试基准报告 测试结果应该用发现的数据作为证明文件分析形成书面报告。

6.6 印制电路板组装评估 阶段 3 继第二阶段的基准测试后，接下来的第二个测试计划应该包括使用规定的生产工艺和材料在典型电路板上组装进行的资格测试。这个测试计划应该提供合适的测试场地。反馈应该包括任何附加测试点所可能需要的特定测试样品的定义，以及所有相关汇编接收标准的附加信息。在批量测试样品前，应该先规划工艺流程和分析失效模式。

6.6.1 确认应用硬件的测试 阶段 3 在生产组装前，应该将识别工艺窗口的详细过程描述出来，以便审查。

6.6.2 确认在最具挑战性的组装上的清洗 阶段 3 这个测试组装应该代表目前正在运用的各类最具挑战性的组装。

从清洗过程的角度看，需要特别关注的是容易夹裹清洗剂的的结构，例如有大的型腔的连接器，清洗液可能没有被完全冲洗或者去除。考虑夹裹的清洗液对长期可靠性的影响。

6.6.3 制定和记录工艺范围 阶段 3 像QFNs、球阵列芯片、LGA、触发芯片这类无铅元器件及其封装必须进行清洗，但难度很大。因为引脚间距很小，助焊剂残留物更易桥接在引脚上。在清洗低间隙元器件时，元器件间隙是关键。托高高度大于2mils有助于提高清洗剂的渗透、润湿，并建立了一个流道将元器件下的残留物清洗掉。洗涤时间和残留物的性质是两个重要变量。在清洗低间隙元器件时，需要更长的洗涤时间。软助焊剂残留物溶解速度更快，降低了洗涤时间。相反的，硬助焊剂残留物溶解时间更长，因此洗涤时间也 longer。工艺窗口应该定义洗涤浓度范围、洗涤温度范围、洗涤时间以及清洗设备的影响。

6.6.4 基于实际PWB硬件的材料兼容性测试 阶段 3 有几个输入因素可能对印刷电路的性能、质量和长期可靠性产生重大影响。这种影响在实际印刷电路组件中只会表现得更明显。这些因素包括：

- 实际的制造工艺、设备、方法、生产条件和技能。
- 材料和工艺的变化（例如反复清洗）。
- 实际的电路板布局和条件，影响焊接和清洗的结果。
- 元器件和基板条件。

- 原料、工艺和化学品之间的相互作用。
- 在指定的组件上施加敷形涂覆。

6.6.5 验证 印制电路板组装测试应该包括光学、机械和化学评估。

6.6.6 目测 应该采用至少4倍的放大倍率进行测试。应当根据检查结果来判断是继续实施还是停止或者修改现有的测试和认证计划。目视检查标准：

- **工艺质量** 符合IPC-A-610和J-STD-001 3级要求。
- **焊点质量** 符合IPC-A-610和J-STD-001 3级要求。
- **残留物** 4倍放大下无可见残留物。这些残留物可能是批量使用不同的材料和/或者流程的结果。如果发现残留物，应该对其进行分析并确定原因和影响。
- **锡珠/飞溅** 被测品应该无污垢、油脂、锡渣、锡溅、锡须、锡网或者引线或者镀屑。锡珠在以下任何情况应该视为不可接受：
 - 锡珠间距小于最小电气间隙。
 - 锡珠未物理连接和融合到金属表面上。
- 参照IPC-A-610中焊珠检验标准。
- **阻焊剂** 阻焊剂变色或者与加工材料或者过程发生反应，被认为是不良的。如果这种情况存在，那么应该进行分析，以确定原因和可能产生的影响。阻焊剂要求应该符合IPC-A-610，IPC-A-600和IPC-SM-840。

6.6.7 机械 各种表面贴装元器件的焊点应该做拉伸强度和剪切强度的测试。这些测试应该覆盖各种类型/形状的引脚，（例如，鸥翼、J引线、长方形引线、圆柱形引线、无引线等）。

6.6.8 化学测试 最小测试的内容包括阻焊剂的抗腐蚀性、敷形涂覆的附着力、元器件兼容性、离子的洁净度。

6.6.8.1 阻焊（抗）测试 按照IPC-SM-840规定的测试方法进行测试。

6.6.8.2 敷形涂覆测试 敷形涂覆的兼容性分析应该包括助焊剂、熔断性和清洁材料分析。IPC-CC-830敷形涂覆层附着力测试应该包括热循环试验。更多信息请参见IPC-HDBK-830。

6.6.8.3 组件、工艺和材料兼容性测试 应该对使用在印制电路板上的元器件进行评估，以确保其与其它材料及工艺兼容。必须明确指定出其中任何不能兼容的元器件，并提出替代的处理方法。在兼容性分析过程中所得到的数据应该进行记录并存档。

6.6.8.4 离子洁净度1级（离子ROSE测试方法或者同等标准的其它测试方法） 离子清洁度应该按照IPC-TM-650测试方法2.3.25进行测试。

注：为减少或者消除残留物对测试结果的影响，用于化学残留物测试的样品，如离子清洁测试时使用的样品，不能再用于其它测试。

6.6.8.5 离子清洁度2级（离子色谱法） 离子清洁度必须按照IPC-TM-650测试方法2.3.28规定的方法进行测试。

注：IPC TM-650测试方法2.3.28（离子色谱法）中的分析结果均用每单位面积有多少微克的离子（例如氯、溴、硫酸）来表示。IPC-TM-650测试方法2.3.25（ROSE测试法）中的分析结果则均用每单位

面积有多少微克的氯化钠 (NaCl) 等效性来表示。这两种方法并不等同, 却经常被误解。ROSE测试设备测试提取液的电阻, 它不直接量化测试液中所发现的离子种类。氯化钠等效性是指为达到相同导电率所需的氯化钠的量。这些测试结果作为一种工艺控制工具用来检测离子污染的体积和数量。离子色谱法提供了一个过程评价、表征和资格认证的方法。(表6-4和6-5)

表6-4 污染级别, 依据IPC-TM-650测试方法2.3.28

最小离子元素	$\mu\text{g}/\text{in}^2$	$\mu\text{g}/\text{cm}^2$
溴化物	$<10 \mu\text{g}/\text{in}^2$	$<1.55 \mu\text{g}/\text{cm}^2$
氯化物	$<6 \mu\text{g}/\text{in}^2$	$<0.93 \mu\text{g}/\text{cm}^2$
氟化物	$<3 \mu\text{g}/\text{in}^2$	$<0.47 \mu\text{g}/\text{cm}^2$
硫酸盐	$<3 \mu\text{g}/\text{in}^2$	$<0.47 \mu\text{g}/\text{cm}^2$
磷酸盐	$<7 \mu\text{g}/\text{in}^2$	$<1.09 \mu\text{g}/\text{cm}^2$
硝酸盐	$<3 \mu\text{g}/\text{in}^2$	$<0.47 \mu\text{g}/\text{cm}^2$
弱有机酸	$<25 \mu\text{g}/\text{in}^2$	$<3.88 \mu\text{g}/\text{cm}^2$

表6-5 最低SIR值

最小表面绝缘电阻	欧姆 (Ohm)
85° C [185° F] 和85%相对湿度下的SIR值	1.00E+08

6.6.9 残留物分析 仅用于可见残留物分析。

6.6.9.1 表面分析 扫描电子显微镜/能谱是以光栅扫描模式, 用高能量电子束对样品表面进行扫描而成像的。电子与原子相互作用使样品产生信号, 这些信号包含了有关样品的表面形貌、成分和其它属性, 如导电性的信息。

6.6.9.2 萃取 傅立叶变换红外光谱 (FTIR) /高效液相色谱法 (HPLC) /离子色谱 (IC) 的方法是用来分离化合物的, 利用了两种不同的不相溶液体的相对溶解度不同, 从而将它们分离, 通常是分离水和有机溶剂。

FTIR是一个收集红外光谱的测量技术, 而不是用来记录红外线频率变化时所吸收的能量, 将红外光通过干涉仪来收集多种波的频率。

HPLC是用柱色谱法分离、识别和量化化合物。

6.6.10 功能性测试 组件或者最终产品经受热、湿、振动或者其它环境应力下的测试项目。

6.6.11 确认运行 清洁过程前应该先做工艺确认。产品的出货质量、工艺符合性、过程控制应该监测以及验证。

6.7 品质计划 检查和控制清洁度应该是制造业整体质量计划的一部分。例如与清洁度关联的品质计划要素已经在表6-6中列出, 起源于美国国家标准Z1.15, 被美国社会制备于质量控制。这些要素将在后续的章节展开说明, 如下表所示。

6.7.1 质量体系文件 整个制造过程和质量体系的文件非常关键。它应该覆盖所有制造过程和与品质/可靠性相关的行为, 而不仅仅由质量部门完成。

表6-7给出了一个典型的文件层次结构, 从公司承担的质量义务的方针概述到逐条说明。这些内容大多数可以用于电子行业。IPC测试方法可以在IPC官网www.ipc.org上查询获取。

表6-6 质量保证计划的要素

章节	要素
6.7.1	文献
6.7.2	材料采购控制
6.7.3	制造控制
6.7.4	成品检查
6.7.5	非一致性材料的管控
6.7.6	纠正措施程序
6.7.7	存贮、搬运和包装
6.7.8	周期性产品认证
6.7.9	质量信息
6.7.10	现场运行数据
6.7.11	过程监视
6.7.12	数据收集与报告

表6-7 文件层次结构

文件	用途	内容
质量手册	管理与程序	公司方针 架构与责任 表4的相关活动
资格取得说明	材料控制	制图 采购订单 入库检查 资格审查
工艺规范	制造管控	过程指向控制 取样程序 测试/检查方法 接受/拒收标准 工艺标准 车间帮助

6.7.2 材料采购控制 调整材料信息，应该包含相关的清洗要求，无论是备注在订单、合同、图片说明或者更适合备注在采购规范中，这都可以作为原料的直接要求被用于组装中，例如印制电路板、元器件或者化学制品的特性，例如某种清洗剂的沸点。

材料卖方最初应该通过规范的认证并且基于质量数据定期被复审。

正在进行的材料认证必须由以下内容决定：卖方的质量数据、原料检查记录或者过程检查记录。

供应商认证清单应该由工程师团队提供。部件和物料应该只从这份清单上的供应商采购。

6.7.3 制造控制 每个生产步骤中应该建立检查标准和工艺界限。一个工艺流程图可以帮助决定这些步骤。采样和数据收集应该基于统计学（见IPC-PC-90关于SPC的内容）。测试样本，来自实际产品或者来自与产品类似的其它个别加工的板子，可以用于绝缘电阻测试。

设备的维护规程包括定期校准、定期更换化学溶剂如电镀液、助焊剂、清洗剂，应该确保工艺操作满足工艺界限的要求。

6.7.4 成品检查 完成的产品、印制板或者组装件，在装箱前应该实施检查以确保产品的所有品质和性能都满足要求。

出厂测试应该模拟用户使用产品的状态。品质团队应该对出厂测试进行单独的审查进而给出产品出厂品质评估报告。

6.7.5 非一致性材料的控制 非一致性材料，在入库检查、制程中或者最终测试阶段判断应该被清晰标记并与一致性的材料、产品分开。

6.7.6 纠正措施程序 纠正措施是对非一致性材料或者质量缺陷的反馈。例如，由于污染物造成的元器件可焊性差，可以采用预清洁，或者拒收并退回供应商。制程中的改正措施可以是SPC计划中的一部分。

6.7.7 存贮、搬运和包装 存贮条件应该干净，湿度可控。搬运过程应该使用手套或者机械叉车避免手指污染。纸质包装材料应该是无硫的。

在裸铜上覆有暂时有机保护涂层的印制板存储是应该小心并且使用时遵守先进先出原则。

6.7.8 周期性产品认证 产品认证测试评估满足设计要求的能力。这些测试相比一些常规的过程或者最终测试更加昂贵。它们包括环境压力测试如在高温/高湿环境下加速印制板上残留物的影响。

6.7.9 质量信息 所有检查完成后应该保存质量记录，以帮助质量人员识别缺陷，并证明质量系统运行有效。数据可以是电子的，并且应该以总结报告形式定期向管理者汇报（例如每周）。报告应该使用走势图说明变化和品质数据。

6.7.10 现场运行数据 有时，产品用户应该会反馈一些产品在使用期间发生的问题。板级的清洗问题可能影响组装的产量。在这种情况下组装人员可以将这个情况通知板供应商。电子组件的OEM制造商应该分析客户端失效的主要原因，有可能是不正确的清洗引起的。

6.7.11 过程监视 除了加强物料、板子和元器件的检查和测试外，也应该监控清洗工艺本身的温度和污染物等级。必要的控制参数应该咨询清洗设备供应商。

6.7.12 数据收集与报告 有效的数据分析是经济有效的质量控制的重点。有许多种统计方法可以使用，可归为两大范畴：特性和变量。

参考文献

1. Pauls, Douglas. *Test Board Selection for Cleaning Evaluations*, Proceedings – IPC Cleaning Conference 2008
2. IPC-9201, *The Surface Insulation Resistance (SIR) Handbook*, Appendix C.
3. IPC-TP-1090: The Layman's Guide to Qualifying New Fluxes for MIL-STD-2000A or MT-0002
4. IPC-TP-1114: The Layman's Guide to Qualifying A Process to J-STD-001B
5. Pauls, Douglas. *The Effects of Solder Mask Selection on Cleanliness*, Conference Proceedings, Apex 2006
6. Pauls, Douglas. *The Consequences of Ignoring Residues*, Conference Proceedings Apex 2006
7. Adcock, R. (2010). Assembly Cleaning Equipment and Integration. IPC/SMTA Cleaning and Coating Conference, Renaissance, Schaumburg, IL.
8. Binfield, S. (2010). A High Reliability Perspective on Organic Fluxes and Cleanliness. IPC/SMTA Cleaning and Coating Conference, Renaissance, Schaumburg, IL.
9. Bixenman, M. (2010). Development of Inline Aqueous Cleaning Equipment and Process Requirements for Ultra-low Standoff Components. IPC/SMTA Cleaning and Coating Conference, Renaissance, Schaumburg, IL.
10. Oxx, G., Brooks R., & Bixenman, M. (2010). Cleaning Lead-Free Misprinted Circuit Boards. IPC/SMTA Cleaning and Coating Conference, Renaissance, Schaumburg, IL.

11. Camden, E. (2010). Effective Spot Cleaning Regardless of Material Selection. IPC/SMTA Cleaning and Coating Conference, Renaissance, Schaumburg, IL.
12. Flaherty, L., Knar, R., & Austin, J. (2010). Building High Reliability Electronic Hardware within the California Air Regulatory Environment. IPC/SMTA Cleaning and Coating Conference, Renaissance, Schaumburg, IL.
13. Hafstad, G. (2010). Assembly Configurations and Process Design Considerations for Solvent Centrifugal Cleaning. IPC/SMTA Cleaning and Coating Conference, Renaissance, Schaumburg, IL.
14. Hillman, D. (2010). The Role of Ionic Contamination as a Tin Whisker Initiator. IPC/SMTA Cleaning and Coating Conference, Renaissance, Schaumburg, IL.
15. Pauls, D. & Hillman, D. (2010). Cleaning and Cleanliness in IPC Specifications. IPC/SMTA Cleaning and Coating Conference, Renaissance, Schaumburg, IL.
16. Kanegsberg, B. (2010). Doing it all with Less – Sustainable, Eco-Centric, Reliable, Economically Superior Defluxing Processes. IPC/SMTA Cleaning and Coating Conference, Renaissance, Schaumburg, IL.
17. Keeping, J. (2010). Critical Considerations for Conformal Coating Reliability. IPC/SMTA Cleaning and Coating Conference, Renaissance, Schaumburg, IL.
18. Kim, B. (2010). Accuracies of Concentration Measurement Methods and Their Implications. IPC/SMTA Cleaning and Coating Conference, Renaissance, Schaumburg, IL.
19. Konrad, M. (2010). Best Practice Design for Batch Aqueous Cleaning Systems. IPC/SMTA Cleaning and Coating Conference, Renaissance, Schaumburg, IL.
20. Konrad M. (2010). Chemical, Mechanical, Environmental, and Ergonomic Considerations of a Stencil and Misprint Cleaning Process. IPC/SMTA Cleaning and Coating Conference, Renaissance, Schaumburg, IL.
21. Kraszewski, R. (2010). Implementing Two Part Urethane Materials and Processes for Conformal Coating or Printed Circuit Assemblies. IPC/SMTA Cleaning and Coating Conference, Renaissance, Schaumburg, IL.
22. Kumar, R. (2010). Advances in Adhesion Solutions for Electronic Assemblies. IPC/SMTA Cleaning and Coating Conference, Renaissance, Schaumburg, IL.
23. Richie, B. (2010). Conformal Coating over Process Residue. IPC/SMTA Cleaning and Coating Conference, Renaissance, Schaumburg, IL.
24. Russo, J. (2010). Encouraging Water and Energy Conservation: Driving Forces. IPC/SMTA Cleaning and Coating Conference, Renaissance, Schaumburg, IL.
25. Schueller, R. (2010). Creep Corrosion. IPC/SMTA Cleaning and Coating Conference, Renaissance, Schaumburg, IL.
26. Snugovsky, P. Meschter, S., Kapadia, P., Romansky, M., Kennedy, J., & Kosiba, E. (2010). Influence on Board and Component Cleanliness on Whisker Formation. IPC/SMTA Cleaning and Coating Conference, Renaissance, Schaumburg, IL.
27. Tosun, U. (2010). Advances through pH Neutral Cleaning Agent Formulations. IPC/SMTA Cleaning and Coating Conference, Renaissance, Schaumburg, IL.
28. Valladeras, H. (2010). Standardization of Electric Conformal Coatings in Aerospace OEM. IPC/SMTA Cleaning and Coating Conference, Renaissance, Schaumburg, IL.

29. Vuono, B., Bixenman, M., Russeau, J., & Zohni, N. (2010). Cleaning Fluid Entrapments under Vented Flip Chip Packages. IPC/SMTA Cleaning and Coating Conference, Renaissance, Schaumburg, IL.

7 印制线路板 (PWB) 上的污染及其影响

7.1 范围 随着电子设备性能要求的增加, 需要设计小的导线间距, 以及小型化、高性能设备需要的更加快速的电路。由于相邻导体间的间距减小, 使得污染及其影响变得更加问题化。

7.1.1 目的 本章节的目的是讨论印制线路组件上污染的风险及其影响。

7.1.2 背景 随着元器件的微型化、更细间距和导线间的电磁引力, 电子组装的可靠性越来越引起关注。¹ 和污染有关的工艺过程和服务增大了元器件失效的潜在可能。腐蚀问题缩短了产品的寿命, 同时由于造成导线间离子迁移、元器件引脚间漏电流、电阻耦合和/或者电化学电池的形成等因素也导致了产品功能性降低。¹

在生产成本压力的驱动下以及考虑到带细间距和低型面高度的高密度组装之清洗难度, 许多电子产品都使用了低残留 (免清洗) 助焊剂技术。² 根据应用的不同, 再流后助焊剂残留量是变化的:

- 标准残留: >40%。
- 低残留: 10% < 残留量 ≤ 40%。
- 超低残留: 2% < 残留量 ≤ 10%。
- 零残留: 0 ≤ 残留量 ≤ 2%。

尤其在遇到更小的引脚节距和导线间距时, 免清洗工艺对PCB可靠性的长期影响是一个持续备受关注的目标。随着无铅化技术的导入, 进一步引入了可靠性风险, 因为这些包括银在内的典型合金比锡铅共金需要更高的熔融温度。²

组件贴装和结构的高密度化、(低间隙组件下面会伴有很多助焊剂残留) 及元器件的微型化组装使得达到适当的清洁等级已经变得越来越难。组装者必须更好地了解组装后残留的长期影响。⁹ 由于不够充分的清洗, 较小导线间距能产生大的电磁场从而导致器件失效。当前行业对清洁度技术规范对下一代电子组装或许是不充分的。⁹

7.2 术语和定义 (带*号的引自IPC-T-50)

7.2.1 *阳极: 器件中的正向电流流出的电极。

7.2.2 阴离子: 带负电荷的离子。

7.2.3 *桥接: 导体之间形成的不应有的导电通路。

7.2.4 阴极: 得到电子的电极。

7.2.5 阳离子: 带正电荷的离子。

7.2.6 *电导率: 物质或者材料导通电流的能力。

7.2.7 *导体间距: 在一个导电层上, 孤立导电图形的相邻边缘之间的可见距离。

7.2.8 腐蚀: 化学品、助焊剂或者助焊剂残留对金属基材的氧化。

7.2.9 *腐蚀性焊剂：含有一定的卤化物、有机胺或者有机酸会腐蚀铜的助焊剂。

7.2.10 腐蚀蠕变：在PCB外表面生长出铜和银的硫化物晶体的特征。

7.2.11 *树枝状生长：有冷凝潮湿气及存在电偏压时，导体间生长的金属细丝。

7.2.12 树枝状迁移：以“树枝状结晶”形式发生的穿过绝缘体的迁移。

7.2.13 偶极：相距很近符号相反的一对电荷（正极/负极）。

7.2.14 偶极距：分子内的原子、电子及它们的原子核以一部分带正电，一部分带负电的方式排列。

7.2.15 金属溶解：金属溶解的过程，通常伴着化学物质、合金或者污染产生。

7.2.16 电化学迁移：7.2.16电化学迁移（ECM）：
[不要和电迁移混淆（EM）—见下面]电化学迁移是离子在电磁场影响下通过合适的媒介（例如，助焊剂残留、桥接导体）迁移的现象。电化学失效机理由三个要素组成：（1）离子残留；（2）电位或者电压差；（3）潮气或者湿度。（图7-1）

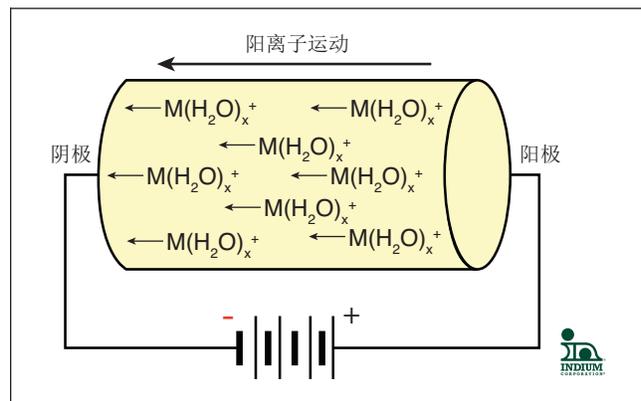


图7-1 电化学迁移

7.2.17 电迁移（EM）：[不要和电化学迁移混淆（ECM）—见上面]电迁移是在电场的影响下，由于电子迁移造成金属离子在金属导体中移动的现象。电迁移的三个关键要素：（1）高强电流；（2）移动的金属原子；（3）高温。（图7-2）

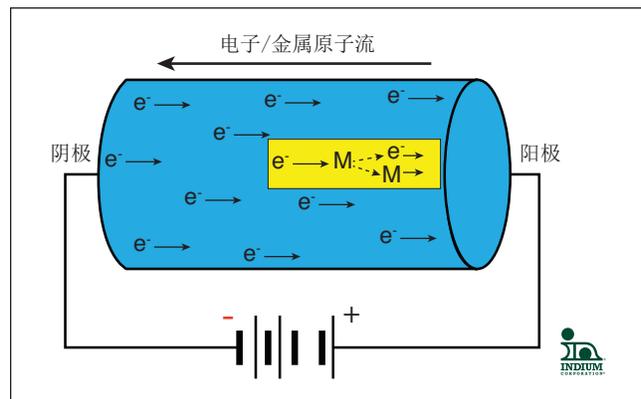


图7-2 电迁移

7.2.18 助焊剂：化学和物理活性的混合物，加热时能除去焊料和可焊表面金属氧化物，以促进熔融焊料对金属基材的润湿。

7.2.19 *助焊剂活性：助焊剂促进熔融焊料润湿金属表面的程度或者效率。

7.2.20 助焊剂残留物：再流焊接后残留在焊锡周围的助焊剂。

7.2.21 电流腐蚀：由一种电解质内两种不同导体或者不同电解质内两种相同导体组成的原电池的电流引起的腐蚀。

7.2.22 卤化物含量：游离卤化物质量与助焊剂质量之比（氟离子（F⁻），氯离子（Cl⁻），或者溴离子（Br⁻）），表示为游离氯离子的当量百分比。这或许远低于卤素含量。

7.2.23 无机助焊剂：含有无机酸和卤化物的水基助焊剂溶液。

7.2.24 离子清洁度：用单位表面积内所含有的离子数量或者离子物质重量来表示表面清洁的程度。表面清洁度决定于使用何种方法测试。结果以等效的氯化钠表示。

7.2.25 离子污染物：一种离子混合物，通常是加工后的残留物，溶于水中成为自由离子。氯化钠迅速地溶于水，而铅的氯化物不溶于水。

7.2.26 *泄漏电流：非期望的流经绝缘体的电流。

7.2.27 *金属迁移：当电压作用于两个金属表面时，金属离子沿着导电通路从一金属表面到另一金属表面的电解转移。

7.2.28 *非活性助焊剂：不含活性剂的天然或者合成树脂助焊剂。

7.2.29 *非离子污染物：一种在水中不易电离的残留物。

7.2.30 有机污染物：有机物（碳基类）产生的污染物。

7.2.31 有机助焊剂：主要由有机酸（例如羧酸）而不是松香或者树脂组成的助焊剂。

7.2.32 *封装密度：单位体积内功能元器件（元器件、互联器件、机械零件等）的相对数量。

7.2.33 极性物质：能溶于水和极性溶剂中的物质。

7.2.34 残留：任何可见的或者可检测在某工艺后的残留物。通常指再流完成之后留下的污染物。

7.2.35 短路：使正常时为电气隔离的两个或者多个点形成连接的故障。

7.2.36 *托高：有助于抬高基板表面上的表面贴装器件的柱形托架或者凸起物。

7.2.37 晶须：相邻连接的导体或者导体之间生长出的细长、针状细金属丝。

7.3 清洁程度要求 电子制造商面临着要对生产可靠的硬件所需的清洁度等级程度难以抉择。“多干净才算足够干净”这个问题给现在越来越窄的导线和线路带来更多的挑战。在工业中某一领域可接受的清洁度（如一个玩具进行了SMT波峰焊后），对于另外的领域或许就是不可接受（例如倒装芯片封装）。

在印制板、元器件和组装后印制板上的残留增加了过早失效或者功能不正常的风险，使制造过程变得复杂，并且产品质量出现下降。不幸的是，很多需要处理与清洁相关问题的人并没有相关化学、化学相互作用或者化学分析测试方法等的背景，因此不了解如何测量和定义清洁度，也不能认识与残留相关的工艺问题。

在很少的情况下，清洁度能被工艺专家们很好地理解，挑战仍然存在于与残留相关的某个或者某些长期可靠性方面的问题或者是决定残留对硬件的功能性影响有多大。下面的因素需要考虑：

- 终端使用环境（航天、医疗、军事、汽车、信息科技等）。
- 产品的设计/服役周期（90天、3年、20年、50年、保质期+1天）。
- 涉及的技术（高频、高阻抗、电源）。
- 失效现象与IPC标准所定义的终端产品1、2、3级相对应的产品（例如，移动电话、心率调整器）。

考虑到可能的相关组合数量惊人，很清楚的是，每个原始设备制造商（OEM）必须依据产品情况逐个对产品或者产品系列确定组合。这就是为什么没有单一的“金（万能组合）”数字能应用到所有的产品上，也不应该继续寻找。对于3级高可靠性硬件清洁的要求，在较低要求应用中可能并不需要。

可以依据公司的质量手册，公司该使用怎样的确认和验证测试方法来决定在终端使用环境里运行的硬件能否为产品的设计生命周期服务？那些测试是否包括作为一个环境应力的湿度？测试是否涵盖了各类型的初期失效或者寿命末期耗损失效？来料或者过程组装有多大差异或者一致性？

供应商有多大差异或者一致性随着人们理解用功能性寿命测试关联残留登记有很多可接受的途径，有两个主要的平台可以供测试选择。第一种是标准的实验室测试，例如在标准的测试板上进行的表面绝缘电阻测试或者电化学迁移测试。第二种就是对实际的硬件进行环境应力筛选法，通常也叫老化测试。

选择什么样的测试，很重要一点是要体现湿度，通常选择环境相对湿度大于70%作为环境应力条件。要理解为什么这是关键性所在，重要的是先理解相当数量的电子失效都与来自离子残留的生长而导致的电化学失效机理有关。这些电化学失效包括由电解产生的腐蚀、电化学迁移、或者潮湿环境下的电泄漏。

电化学失效机理是由三个要素组成：（1）离子和/或者非离子残留；（2）电位或者电压差；（3）潮气或者湿度。所有这三个要素都必须以最低量呈现，基于距离和电压变化而产生的电化学失效。图7-3的维恩图对于理解这三个要素之间的关系非常有用。总的影响能通过考虑单个圆的直径与施加的功能成的比例而直观地看到。举例来说，如果器件在非常潮湿的环境中工作，湿度圈的直径就会随着电化学的失效区域变大。

这个图解释了为什么如果想要发现电化学失效，环境应力测试就必须有湿度。在既没有偏压也没有湿度时，失效是不显现的而且与清洁度的关系也不能建立起来。正因为如此，OEM或许会有安全的错觉，认为没有污染问题存在。

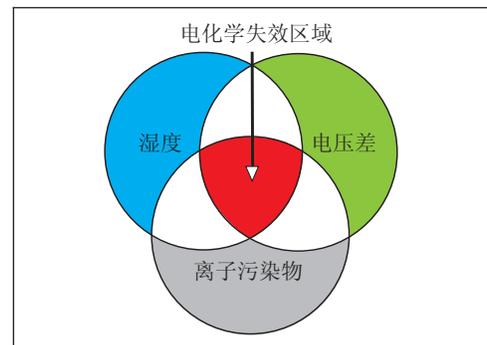


图7-3 电化学失效图

图7-1 显示了离子污染作为一个强制条件是正确的，但非离子污染也能对失效机理有影响。非离子例如化学表面活性剂或者手指上的油剂经常是亲水性的而且吸引水到污染物一边，加速了电化学失效机理。因此，OEM必须留意离子和非离子残留。

7.3.1 免洗术语和助焊剂历史的讨论 如果你检查当今的助焊剂和焊膏市场，你将会看到产品名字中包含像“可清洁免洗”、“水洗免洗”或者“水溶免洗”的短语。这些短语在措辞上似乎是矛盾或者有冲突的，导致了行业上非常大的混淆。如果它们看了助焊剂分级的标准J-STD-004，就没有一个会标识免洗。在行业中一个被问得最多的问题就是“为什么要清洗免洗助焊剂”？

要更好地理解助焊剂和助焊剂术语，一个简短的对助焊剂和助焊剂历史在电子行业的回顾或许是让大家受益的。助焊剂总的来说是由载体、稀释剂、活化剂和一些微量材料组成，其设计是为了优化使用和减少焊接缺陷。

在现代电子行业早期，大多数助焊剂都使用松香（来自松树叶或者树桩）作为载体，2-丙烷（异丙醇或者IPA）作为稀释剂，盐酸或者溴化物作为活性剂。微量成分包括发泡药剂和表面活性剂以减少锡桥和其它缺陷。为了得到更好的焊接效果，载体带着活性剂和相关的材料在产品预热和焊接区域时发生作用。预热期间，活性剂是被设计用于去除表面氧化物，加强焊接质量的胺的挥发物和有机酸的分解物。焊膏的有机部分配方很相似，除了它们不得不有些低的活性力以阻止在储存期间焊膏的部分锡粉被腐蚀。这样的配方也必须含有流变学控制药剂。当施加一个剪切力，这些药剂允许焊膏粘度下降。（例如，在焊膏印刷过程中仅在刮刀前面，然后一旦当剪切力去掉时，又立即恢复到它们原来的粘度。）这样的药剂阻止了坍塌和其它焊接缺陷。那个时期的助焊剂有35%的松香固体含量。任何活性残留不得不在波峰焊和再流焊组装后被清洁，否则将导致严重的腐蚀。

在过去的的时间里军品的标准（如美国标准MIL-F-14256）控制着整个工业，根据松香助焊剂（R型）中含有多少活性成分进行分级。R型助焊剂含有很少剂量的活性剂。越来越多的普通RMA或者中等活性助焊剂含有更多的活性而更有侵蚀性。如果需要更高剂量的活性剂用于难焊接场合，得使用RA或者松香活性助焊剂。RA-MIL型的助焊剂比全RA型含有更少的活性剂，但是军品一种允许助焊剂中活性剂含量高于RMA。一些商业应用中使用松香超活性助焊剂（RSA），这里含有的活性剂要比RA高50%以上。上个世纪70年代末，80年代初，一个清洗溶剂代理商开发了合成活性助焊剂概念而且免费同助焊剂和焊膏供应商分享。结果是用这种不涉及任何兼容性的优选的温和溶剂，很容易就将助焊剂残留清除掉，具备高的焊接能力解决差的可焊性而且能去除“白色残留”。某些配方设计师发现了有更理想的结果，引申出在板子加工或者实验性焊膏中融化成实验性液体的概念。

在1980年，美国国防部（DOD）授权收集实用的工业标准。来自商业和军工背景的ISO和IPC专家组一起致力于J-STD-004标准的研究，这个标准映射了军品助焊剂标准要求。在1995年，军品取消了MIL-F-14256标准，指导使用者使用J-STD-004标准。

J-STD-004是有国际影响力的助焊剂规范，基于助焊剂化学性质、活性级别和是否含有卤素（氟化物、氯化物、溴化物和碘化物）对助焊剂进行分级。表7-1列出了J-STD-004的助焊剂分级方法（J-STD-004，B版本）。

表7-1 助焊剂分级方法

助焊剂成分	助焊剂/助焊剂残留活性级别	卤素百分含量 ¹ （重量）	助焊剂类型 ²	助焊剂标识符
松香（RO）	低	<0.05%	L0	ROL0
		<0.5%	L1	ROL1
	中等	<0.05%	M0	ROM0
		0.5-2.0%	M1	ROM1
	高	<0.05%	H0	ROH0
		>2%	H1	ROH1
树脂（RE）	低	<0.05%	L0	REL0
		<0.5%	L1	REL1
	中等	<0.05%	M0	REM0
		0.5-2.0%	M1	REM1
	高	<0.05%	H0	REH0
		>2%	H1	REH1
有机（OR）	低	<0.05%	L0	ORL0
		<0.5%	L1	ORL1
	中等	<0.05%	M0	ORM0
		0.5-2.0%	M1	ORM1
	高	<0.05%	H0	ORH0
		>2%	H1	ORH1
无机（IN）	低	<0.05%	L0	INL0
		<0.5%	L1	INL1
	中等	<0.05%	M0	INM0
		0.5-2.0%	M1	INM1
	高	<0.05%	H0	INH0
		>2%	H1	INH1

1. 助焊剂中卤素重量含量<0.05%，则认为该助焊剂为无卤化物。

2. 0和1分别代表没有或者有卤素。（鉴于一些助焊剂成分可能本身含有卤素，没有卤素就意味着在助焊剂的配方中没有故意加卤素。）

ROM1助焊剂表示松香化学成分、中度活性，并且包含卤素。INH1助焊剂是无机的，高活性，含卤素（例如氯化锌活性助焊剂）。那么免清洗从何而来呢？

在上世纪80年代晚期，蒙特利尔协议颁布，强制消除消耗臭氧层物质（ODCs）。它是松香基助焊剂的主要清洁材料。这就戏剧性地打开了可供选择的助焊剂市场，例如水溶性助焊剂、低残留助焊剂、合成助焊剂被投放到市场。许多制造商选择了调查新材料和新制造方法来作为高固体含量松香助焊剂和ODC清洗可替代的选择。其中的一个途径就是利用低残留助焊剂和不需清洁组装的产品。这些低残留的助焊剂是为了在焊接工艺之后有稳定和有良好的残留而设计的，与先前使用的助焊剂形成了明显的对照。在这种情况下，制造商选择使用低残留助焊剂在免清洗组装工艺中。助焊剂销售商开始销售这些低残留“免清洗助焊剂”。

这让我们又回到那个问题，就是为什么电子组装作业选择清洁低残留（正确术语）或者免清洗（不正确术语）助焊剂？

免清洗组装作业面临的一个最大的障碍就是裸板的清洁度。当清洗，使用有效的清洗系统，组装后的残留物不是主要问题了。当组装后清洗工艺被取消后，组装后残留经常会导致电化学失效。例如树枝状生长、电解腐蚀和潮湿环境下的泄漏电流问题。现在经常有很多裸板已经通过了现有基于电阻率萃取的清洁度测试规范，但在OEM生产厂还是会产生很高的失效率。这些失效经常可以被追溯到非离子水溶性融合和制造工艺过程中的热空气焊接后的液体残留。（见IPC-TM-650测试方法2.3.38和2.3.39）。这期间离子色谱检测法也在电子组装工业中被采用。

当今，裸板残留和它们在电子组装上的影响已经被很好地理解了，而且也有更好的测量裸板清洁度的工具，但OEM厂商或许仍然被要求清洗。当OEM厂商选择实行免清洗组装工艺时，它们没有真正消除清洗的需求，但已经将清洗的要求转移到上游板子和元器件制造商，但这或许不总是被OEM厂商或者选定的制造商甚至客户理解。另外，板制造商利润一压再压，板制造商和组装商或许不再有了了解板清洁度方面苛刻参数的技术人员了，或者可以通过减少对板的清洗工艺而得到更低的价格或者更高的利润。OEM在采购合同中或许不了解怎样说明或者测量清洁度，因此对于制造和最终组装的残留物来说，在OEM组装工艺中的清洁或许是安全可行的。

类似推理方法，OEM或许选择去清洗留在元器件上的残留物。目前，对于元器件的清洁度还没有相关行业标准。这或许对于为了恢复元器件的可焊性而再镀锡的过程是很正常的。重新镀锡可能要求使用更高活性的助焊剂，又不能在元器件上有残留。

清洗工艺的第二个好处是，例如去除锡球，允许使用水溶性掩蔽剂，改变组件上敷形涂覆的表面能。

助焊剂残留能夹裹阻焊层上的锡球，见图7-4。

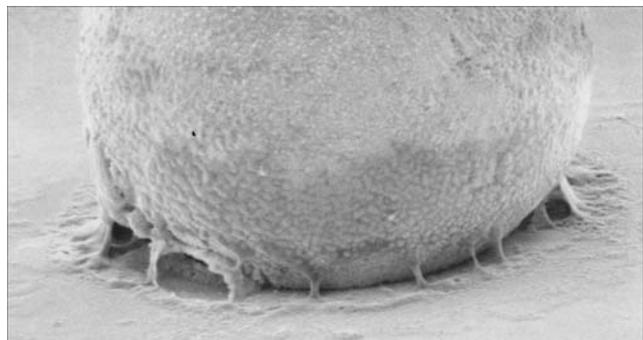


图7-4 覆有干膜阻焊剂的印制线路板上的锡球评估²³

OEM厂商或许因为组装上的困难而选择清洗，尤其是在高可靠性和军事领域。国防承包商经常需要处理合同描述和可能是几十年的旧的描述，这种描述指过时的规格书或者客户在以前使用高固体含量松香助焊剂时的“美好时代”的经验。那时，可见的助焊剂残留总是一个潜在的不理想的助焊剂残留。一个常见的错误概念就是可见的助焊剂一定是污染和不受欢迎的。这种思想意味着对于很多计划，仅仅只是因为许多军事方面的计划经历过，将其归咎于助焊剂残留或者缺乏清洗而导致的现场失效的经验。对于OEM选择继续清洗低残留助焊剂并不少见，因为这要比改变客户的理念容易得多。没有任何定量的测量技术和适当的通过与否的限定，是很难说服任何人关于可怕的白色残留，

仅仅只是外观问题或许无形的但毁坏性非常大的非离子残留物才是真正的灾难，尤其在更高的湿度环境时。

对于逐渐增加的清洁免洗残留的原因是助焊剂残留扭曲组装表面拓扑结构，尤其在频率增加时，导致电气性能的退化。（见Effect of Post-Reflow, No-Clean Solder Paste Residues on Electrical Performance; A. Beikmohamadi, 43rd Electronic Components and Technology Conference, June 1-4, 1993.）这种情况下用不同的频率，在不同级别助焊剂残留的测试电路板上外加方波的失真能被定量测量。

所有这些因素或许导致为什么OEM可以选择清洗低残留助焊剂最敏感的原因就是，和改变一种文化相比，改变一种材料或者工艺更容易些。实现一个真正的免洗组装工艺包含很多种变化，每种变化如果处理不好都会对组装的可靠性带来不利的影响。它涉及对供应商实施控制，新材料和可能的新设备的选择，对储存和处理实施控制，以及大量的人员再培训。对于一个成功的免洗工艺，易被忘记的最重要的因素是采用严格的板子和元器件可焊性标准来对付使用的非常温和的焊接材料。这样，免清洗的组装者就失去了向更有活性的助焊剂和焊膏步进的工艺灵活性，以补偿最低限度的可焊性，知道任何残留基本上都能在清洗工艺中完全被去除。因大量节省成本观念作祟，导致缩短清洗流程、减少清洗药剂以及通常员工草率行事，但事实上这些因素都是重要且有价值的。

IPC J-STD-001明显将材料兼容性测试的负担压在OEM肩上。当选择低残留助焊剂或者焊膏时，OEM必须选择一种可与选定化学清洗剂清洁的助焊剂/膏。不是所有的低残留助焊剂都能被清洗掉，或者至少可以清洁充分到可接受的水平。

因此，有许多正当的原因，就是为什么OEM持续使用清洗工艺，即使是使用低残留或者免清洗助焊剂。

7.4 离子残留 原子的原子核被周围的电子包围，核外电子按照一系列规则排列，或者基于元素的原子能量级别排列。¹⁰ 能级越是接近原子核，位于该能级电子就会越强烈地被原子核吸引，因为两个带有相反电荷粒子之间的静电引力随着间隔距离的减小而迅速增加。轨道电子按照能级来分类，与电子与原子核成键强度相关。能级或者壳层从离原子核最近处开始或者用数字1、2、3、4、5、6、7标识，或者用字母K、L、M、N、O、P、Q来标识。各电子层最多容纳的电子数是 $2n^2$ ， n 是电子层数。因此离原子核最近的层，它的 $n=1$ 可以包含的最大电子数是 $2(1)^2$ 或者2个电子；第二个轨道（ $n=2$ ）或者8个电子；第三个轨道是 $2(3)^2$ 或者是18个电子。¹⁰

表7-2 能量级别和最大电子数

能量级别或者层		最大电子数, $2n^2$
字母标识	数字标识	
K	1	2
L	2	8
M	3	18
N	4	32
O	5	50

因为原子或者分子中的化合价不等于显现出的质子总数。¹¹ 电子带负电荷，质子带正电荷。阴离子带的电子比质子多，产生负电荷。¹² 相反，阳离子是质子比电子多，带正电荷。¹³ 离子间键合一般被理解为化学键合，源于相反电荷的离子间的互相吸引。由于同种电荷的离子互相排斥，所以通常它们不存在自己身上。相反电荷的离子形成晶格，这样相反电荷的离子就可以互相结合在一起。例如钠（ Na^+ ）离子吸引氯离子（ Cl^- ）形成了氯化钠化合物。这种化合物称为离子化合物，也就是说正电荷和负电荷通过离子键结合在一起。

最常见的离子键合是金属和非金属之间的化合物。¹⁵ 金属的特征就是带着剩余电子，它们有一种失去这些多余的电子形成阳离子以达到稳定的结构的趋势。非金属的特征就是带着少量的电子，缺少稳

定结构形成一个阴离子。当一个高正性金属与一个高负性非金属结合，多余的电子就从金属原子转移到非金属原子。这个反应产生的金属阳离子和非金属阴离子之间相互吸引形成盐。

在钠的原子构成中有一价电子。¹³ 有一个电子在它的外层能级处，钠失去一个电子留下钠离子，其质子比电子多，结果钠带一个正电荷。（图7-5）

阴离子是原子或者原子团获得电子，由于带负电的电子比带正电的质子多，所以它们带负电。卤素（氯、溴、氟、碘）由于它们外核有7个电子所以更容易形成最常见的离子。既然8个电子是更稳定的价构，所以卤素会获得额外的电子，其电子比质子多一个所以形成一个带负电的电荷。

钠离子带一个多余的质子，氯离子带一个多余的电子，在静电引力作用下形成氯化钠化合物（图7-6）。离子残留是基于离子偶极引力和水以及离子化合物的内部离子键合力而形成的。¹⁴ 一个离子化合物形成一个键，水和离子化合物间的偶极力必须大于离子内部键合。当离子化合物被潮气包围时，水的双极子包围着离子晶体结构群。水的偶极子负极吸引着离子的正极并且水的偶极子正极吸引着离子的负极。如果这个引力强于内部离子键合，则晶体内部离子键就会被破坏，然后和水分子形成水的化合物。

当内部离子键合与单层水化合后离子残留就会造成可靠性风险。一个经典的离子残留案例，如氯化钠，水合物和溶解离子。在这个例子中，钠离子的正电荷吸引着水分子偶极的负电荷（OH⁻）。氯离子中的负电荷吸引着水分子偶极的正电荷（H⁺）。每个离子被水分子以一个核形式包围。这个核将离子彼此隔开，使相反电荷的离子分开。

这些被水包围的离子分散在组装后的电路导线之间。当电路板通电后，这些金属以一种丝状像树枝一样繁殖生长。电压偏离越强，丝状生长繁殖越快，随着时间推移，丝状生长就会桥接在导线上导致电气短路。

7.4.1 电化学迁移（ECM） 若干因素会影响ECM，包括温度、相对湿度、导线材料电压偏离、导线间距、污染类型、污染数量。³

离子污染对腐蚀有重要影响。² 有很多工艺条件可能在元器件表面或者下面的缝隙中留下组装后残留物。多种污染源一般发生在元器件入库、焊接过程、焊锡助焊剂残留、清洗过程、敷形涂覆、操作和包装。电化学迁移的敏感性、树枝状结晶形态和枝晶电阻是离子污染和偏压的函数。氯化物或者其它离子水平增加会加速迁移过程。在高离子污染水平时，经历失效的可能性会增加。²

ECM发生在三个阶段：路径的形成、初始化、树枝状生长。³ ECM的产生需要电解质、电压偏离和金属迁移同时存在。⁴ 通过导线上金属的溶解，金属离子通过电解液进行传输，金属沉积在一个相反偏压的导体上发生初始化。电解液由被溶解的离子、溶剂（代表性溶剂为水）组成。因为电解液溶解污染物和传输离子至少需要吸收三分子层水。⁵ 吸收二十分子层水能使电解液足够深去溶解和移动PCB表面上的离子。⁶ 在板上金属间的电压偏置作为金属丝迁移的驱动力。⁴

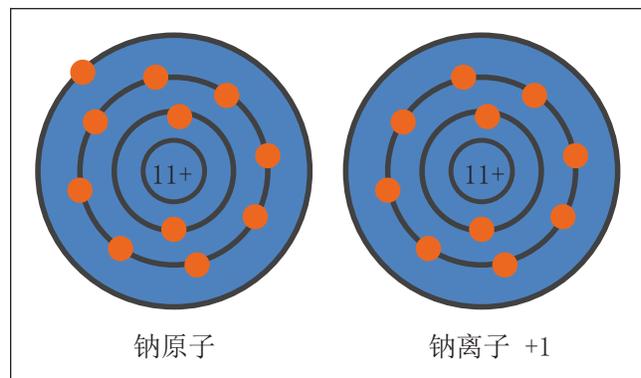


图7-5 钠原子和离子

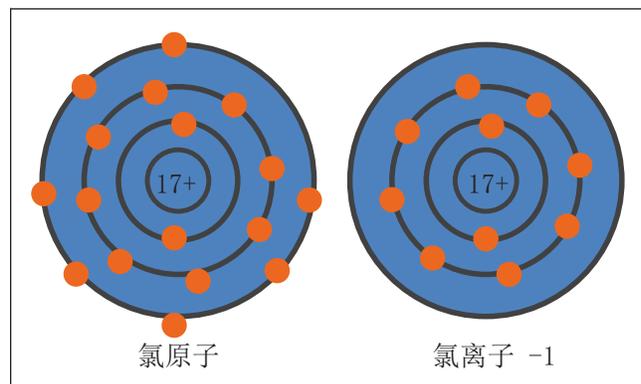


图7-6 氯原子和离子

7.4.1.1 路径形成 漏电流随着金属物种在PCB表面或者PCB内层的迁移发生（见Humidity Threshold Variations for Dendrite Growth on Hybrid Substrates, A. der Madersosian, IPC-TP-156; April, 1977）。漏电流降低了相邻导线间的表面绝缘。路径形成电极是从金属迹线（例如，铜、银、锡、铅等），板表面处理和焊锡合金的迁移的金属离子构成的。³ 电解发生在当表面金属氧化和从阴极向阳极迁移时。当金属树枝状生长时，表面绝缘降低。一旦枝状晶体跨越相邻导体间隙并且碰到阳极就可能产生短路。电流流过枝状晶体由于焦耳热效应可以把部分枝状晶体烧坏。这种现象可以导致间歇性失效，如果枝状晶体再生长且周期性发生熔化这种失效就能复发。漏电流能导致间歇性或者持久性失效。³

路径的形成开始于金属离子在电解液中的溶解。³ 腐蚀泄露是PCB材料的组成、板表面形貌、离子残留、离子分布和环境条件的函数。表面多孔、划痕、凹坑会导致更高的表面能，也增加了它们吸收了水单分子层的亲水性。表面污染，例如在板表面上的助焊剂残留或者纤维增加了吸潮的趋势。一旦相邻导体之间的间隙有枝状晶体桥接，就会发生电阻突然下降，经常导致系统故障。³

离子残留的特性经常能影响金属溶解的速度或者引发以及电解质的形成。氯和溴的残留可以和水结合形成弱酸，弱酸更容易溶解金属，导致金属细丝形成。其它离子污染物，例如硝酸盐与水结合后，会形成电解质溶液，但不会导致细丝的形成。这种情况下，会导致电气泄露电流随着湿度或者有或者无，经常会导致有找不到问题（NTF）的电子失效模式产生。

若干个因素会影响ECM，包括温度、相对湿度、电压偏置、导体材料、导线间距、污染类型、污染数量。³ 在PCB上的助焊剂残留既能抑制也能促进吸湿性，取决于残留的成分和厚度。

内部层压板的树枝状结晶通常沿着玻璃纤维束生长，那里的树脂层压粘着力差，会导致有空洞。空洞可以吸收水分并且为树枝状结晶的形成和产生提供空间，经常从一个镀通孔或者导通孔到另外一个。（图7-7中的空洞是沿着顶部的单一的玻璃纤维）。

电化学迁移沿着板内部玻璃纤维束产生，可以更恰当地称为阳极导电丝生长（CAF）。

表面枝状晶体往往是很脆弱的，经常在桌面上拍或者敲打有缺陷PWB就能破坏枝状晶体并能恢复PCB的功能。但在制造工艺中，这不是从源头解决枝状晶体产生的办法。

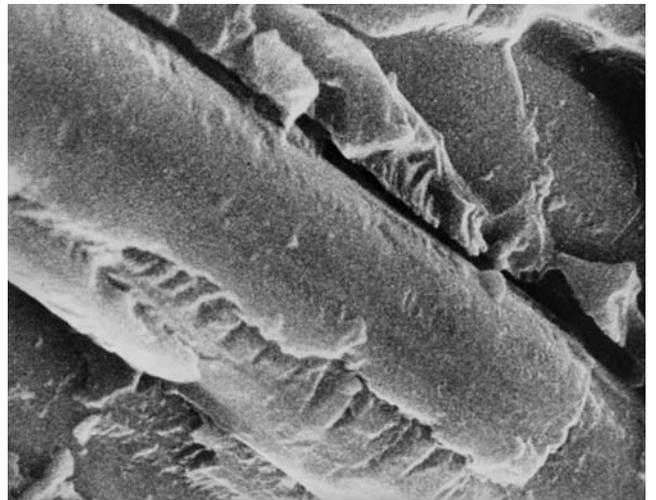


图7-7 单一玻璃纤维中的空洞

7.4.1.2 初始化 电解包含金属通过氧化在阳极变成阳离子溶解或者在阴极变成阴离子。⁴ 在直流偏压下，金属阳离子迁移到阴极（离子传输过程）减少得到中性的金属，并沉积在阴极（电镀沉积）。当越来越多的金属沉积在阴极，树枝状结构从阴极朝向阳极生长。⁴

吸湿以及与维修相关的残留增加了形成水层的风险，这个水层也是使PCB表面污染扩散的催化剂。在潮湿的条件下，组装的残留吸引水的单层，它使导电盐溶解并且穿过导体扩散。当残留进来与导体接触，电流就能从阳极流到阴极从而在PCB两点间建立了一个电化学电池。

7.4.1.3 树枝状生长 树枝状的生长是靠金属离子的反复沉积。¹ 由于慢速溶解和沉积的运动，低电势时需要更长时间生长。高电压使通过元器件的电流增加，这会导致发热和迁移运动的加速。随着不同材料的组合呈现互联，热力学驱动树枝状晶体穿过金属生长的细丝。生长的树枝状晶体导致PCB两点间的电气短路，从而引起元器件失效或者故障。¹

在高电势下，树突倾向变得更细，比在低电势下生长速率快很多，分枝更少。这种现象被认为是接线端之间高电场作用的结果，这就导致随后在端子上的沉积在树突顶端而不是分枝。

7.4.1.4 密度和间距 在电化学迁移过程中，导线间距将影响离子的迁移和潜伏时间。¹ 迁移发生在板表面电解液层中的金属从阳极到阴极的运动过程中。当导线间距更大时，离子就需要更长的移动时间，这样就会延长至失效的时间。大的间距也导致了离子之间更低的静电力，从而降低了离子迁移的驱动力。小的间距增加了助焊剂残留或者表面污染充分桥接的可能性。大多数电极间隙能吸收潮气，形成ECM需要的持续电解液媒介。高密度板的设计增加了ECM的风险，必须通过选择适当的其它设计和工艺来减轻风险。⁴

电流密度是腐蚀率主要关注的。¹ 电压和导线间距对ECM至失效的时间上发挥了重要的影响。施加的电压是直接关系到离子迁移的动力。导体间距也影响离子迁移的动力，同时也决定了为了达到阴极和形成树枝状结晶必须穿过的离子的距离。间距也影响路径的形成。在很多情况下它也能是ECM的速率限制步骤。应用的更高电压和更小的间距使留在PCB表面的组装残留中成了更大的关注焦点。¹

各种级别的微型化为组装残留在PCB两点间形成导电通道打开了通道。¹ 过去的10年（2000-2010）中，电子零件尺寸已经减小超过了70%。对于细间距芯片IC等，导线间更近的间距使微型化程度达到90%。越来越近的间距增加了电磁场（ $E = v/d$ ，这里E是电磁场，V是电压，d是终端距离）。在离子污染和潮湿情况下电磁场促进了腐蚀电池的形成。静电力是与离子放电和施加的电压成正比。¹

在持续电压下，导体间电磁场上升与导体间距成反比，增加了潜在的失效可能性。电压偏压直接与加在电磁场内放电金属离子上的力成正比。⁹ 加在放电粒子上的力可能会影响离子穿过电解液的时间。由于线电压不减少，这些因素比以前的成熟技术对高电磁场有更重要的影响。⁹

问题是当前的印制电路板的导线间距趋势小到48 μm （1.92mil）。⁹ 一般的电压能接近5V，产生一个电磁场接近2.5V/mil。这个接近1.5倍最大电磁场测试值。当电磁场从0.4 V/mil 增加到1.6 V/mil时，树枝状结晶物的出现几率就增加了。从根本上说，这可能是由于加在带电粒子上的力与电磁场成正比。当电磁场增加时，金属离子上的力也增加。⁹

Bumiller等人（2010）报道的树枝状生长ECM数据研究结果，涵盖了板子上所有污染水平范围，包括0 $\mu\text{g}/\text{in}^2$ 氯离子。在低氯离子污染水平（“0”和2 $\mu\text{g}/\text{in}^2$ ）时，6.25mil梳形结构间距处发现有树枝状生长，在12.5mil梳形结构间距处少见树枝状生长，在25mil梳形间距处也罕见。在5 $\mu\text{g}/\text{in}^2$ 到20 $\mu\text{g}/\text{in}^2$ 氯离子中，在6.25mil和12.5mil梳形结构间距处都发现了树枝状生长。在50 $\mu\text{g}/\text{in}^2$ 氯离子中，6.25mil、12.5mil和25mil梳形间距的树枝状生长几乎没有差异。

根据上述结论，在低于之前考虑的污染水平下，2.5V/mil的电场将会出现ECM的问题。⁹ 污染水平为“0” $\mu\text{g}/\text{in}^2$ 的板，污染物含量低于现行推荐的溴污染物标准，在一个1.6V/mil的电场强度中显示出了ECM。众所周知，氯比溴更活跃，随着间距不断地减小，清洁度要求必须更加严格。⁹ 由于电磁场的影响，随着间距的减小，对于给定的污染水平，ECM的可能性将增加。⁹

7.4.1.5 卤化物离子 卤化物离子在金属离子的溶解时作为催化剂，氯离子具有最强的效果。⁹ 产生腐蚀必须的最低标准是不确定的，有几个资料推荐用氯离子从2 $\mu\text{g}/\text{in}^2$ 到10 $\mu\text{g}/\text{in}^2$ 的污染限制范围（尚无标准）来标明。溴离子也被认为是有问题的，但也曾被报道的一个推荐的限制范围是从15 $\mu\text{g}/\text{in}^2$ 到20 $\mu\text{g}/\text{in}^2$ 。

溶液中氯离子的存在很容易溶解金属离子，为迁移所必需。许多场合的失效都显示了在元器件上氯化物污染迹象。这些在PCB上的污染来自于含卤素助焊剂的使用、人员的操作或者维修环境。由于结合效果，材料组成、电极层表面形态和组装清洁在控制迁移方面扮演重要的角色。

在较低的污染水平下，少量金属被溶解。由于金属离子水平少，金属离子上的力被电磁场驱动。电磁场矢量有一个朝向导体表面上任意变形的方向。表面混乱和其它缺陷能引起局部集中的电磁场。在缺陷区域的电磁场会更高，驱使金属离子到这个缺陷处并形成树枝状生长。⁹

7.4.1.6 焊料合金的影响：锡铅与锡银铜 焊料合金和焊接过程代表两个相互作用的元素，决定了ECM的敏感性。锡铅焊接的PCB可靠性比锡银铜焊接的PCB好。用锡铅进行再流焊接的PCB表面绝缘电阻通常显示随着表面绝缘电阻的增加而逐渐稳定的趋势。相反，用锡银铜焊料进行再流焊接的PCB显示了随着表面绝缘电阻的稳定或者增加而持续下降的趋势。

7.4.1.7 阻焊膜的影响 阻焊膜是一个薄的、耐热的聚合物层，通常用于PCB在焊接过程限制可浸湿的区域。⁸ 它阻止焊锡沉积到非期望的区域例如铜金属化线条之间的区域。然而，阻焊膜需要正确地处理和清洗，因为阻焊膜本身含有离子残留。阻焊膜控制外层阻抗而且保护PCB在焊接过程中免受损坏。有阻焊膜的板可以保护内层铜线并且帮助阻止线间离子迁移。阻焊膜材料改善化学的、热的和潮湿的抵抗。当没有阻焊膜时，助焊剂有力地粘在铜线边缘，减少了非导电间距。随着导线间距的减小，助焊剂中的弱有机酸，例如脂肪酸和己二酸，由于它们的结晶特性是更有可能建立一个持续的导电泄露路径。

不正确地固化阻焊膜被发现有助于加重电化学失效，尤其对免清洗组装制造工艺过程。阻焊膜固化不完全，是很难被察觉的，是相对多孔而且会吸收后续工序化学物质进入和掩膜接触[参考²⁹]。化学过程包括阻焊膜蚀刻和溶剂显影、最终表面化学电镀处理和助焊剂。阻焊膜固化不充分也能吸收OEM组装过程中的化学物质。被吸收到阻焊膜的残留是很难以一种成本有效的方法去除。对于裸板供应商监测用于固化阻焊膜的紫外线辐射力是很关键的。

如果电路组件的离子检测显示出高水平的铵或者钾，则说明在阻焊膜成像和显影时，要么阻焊膜固化有问题，要么是有非常差的冲洗问题。阻焊膜显影的化学过程经常以铵和钾盐为基础的。另外一个迹象表明阻焊膜固化不充分的是萃取阻焊膜的色素进入到离子检测萃取液中。着色的颜料从正确的固化的阻焊膜中不应该是可萃取的。

阻焊膜不充分固化问题对很多3级OEM来说是很关键的，因为当已经投入大量的时间和金钱在组装上时，它很难在产品最终老化测试前被察觉到。已经吸收的残留通过溶剂电阻率测试是检测不到的，除非是显而易见的情况下。即使是更严格的光谱分析或许也找不到这个问题。Paul²⁹的一个案例研究化学过程被吸收进阻焊膜，然后在热风焊接过程中被“密封”。传统的离子污染测试方法没发现这个情况。当组件进入再流焊接过程时，使阻焊膜在玻璃转化（ T_g ）温度之上，污染物被自由地释放到膜外，导致大量的电化学失效。

一个用于测试残留吸收的方法是使用“加热控制”。如果电路板被暴露在OEM再流焊接过程，但上面没有元器件而且也没有暴露在过程化学品中，热控制的离子测试能与非热控制的离子测试对比。这种检测最好的是用离子色谱分析法。如果在热和非热的样品之间仅有很小的差别，那么吸收材料风险更低。如果残留里的差异是明显的，那么或许有阻焊膜固化问题并且应该考虑裸板问题。

7.4.1.8 控制ECM 控制ECM的主要方法是通过积极控制板级的清洁度，尤其是卤化物，例如溴化物和氯化物。敷形涂覆广泛地用于保护板和元器件免受环境影响。控制环境免受气态污染也同样重要，因为空气污染物也能导致ECM失效。由于元器件引脚间距尺寸在减小，无引脚封装的使用在增加，而且高密度高阻抗设计越来越普遍。因此，可以预料ECM的发生频率在增加。³

采取正当的清洁措施，树枝状生长能被消除。怎样清洁才算干净就会因为电路板和元器件的引脚间距减小而变得更难以定义。间距的减小也增加了电磁场，这是树枝状生长的主要驱动力。

7.4.2 电迁移 当半导体封装内的互连导体通过电子移向金属导体使空间变得更紧密时，电迁移就会发生。²⁷ 电子的运动是从阴极（负电荷）流向阳极（正电荷）。当电子的动量被转移到附近一个活跃的离子时，中断或者间隙就能在导体中形成，阻止了电流流过导致开路的产生。

当在有限空间互联数量增加时，助焊剂残留能使导体桥接。助焊剂残留的导体桥接为离子的持续运动创造了一条路径，这些离子是由于导体电子和扩散金属原子之间的动量的转移形成的。²⁸ 呈现在助焊剂残留中的金属粒子在器件加电时能通过助焊剂残留传播。加热能加速传播。

当电子和集成电路结构尺寸减少时，电迁移的风险增加。²⁸ 电迁移能导致一个或者多个连接的最终断开和间断性失效。随着小型化出现，电路电源和电流密度在增加，失效的可能性也在增加。为了解决这个问题，封装者除去了在片式器件底部和其它集成电路封装上的助焊剂残留。

7.5 蠕变腐蚀 在环境中含非正常水平的硫或者其它污染的气体时，PCB板蠕变腐蚀呈现增加的现象。硫元素被职业健康限制列为一个有害粉尘，在工作环境中允许以百万分之（ppm）水平存在。硫以PPM水平可以在2个月内使计算机系统失效。平整的板面，例如浸银和铜上敷OSP，尤其容易受到这类腐蚀。¹⁷ 蠕变腐蚀不需要有电势发生，是不同于电迁移的。

蠕变腐蚀能发生在任何表面处理上。和电迁移类似，蠕变腐蚀需要污染源和湿度。¹⁶ 蠕变不同于ECM，这种腐蚀不需要电磁场，但只要有空气污染时就会发生，尤其有硫存在时。如果一个电路板被暴露在含丰富的硫污染物潮湿的环境中，蠕变腐蚀就会产生。²⁰ 空气污染物中的硫和银、铜发生反应变成银和铜的硫化物。这些污染物在各个方向均等地生长。

蠕变腐蚀能使很细的电路线开路，同时当腐蚀蠕变穿过导体时也会产生电气短路。²¹ 当空气污染物增加、电路保护减少和微型化三个因素交叉作用时，腐蚀失效率会增加。这个问题的严重性因材料的低强度和更多的相互作用机会而产生。在这个极端腐蚀机理下，表面处理被腐蚀。腐蚀的离子形成铜盐。电解水能带着导电盐穿过导体。随着热的产生，干电解质留下一个结晶盐。如果更多的湿度会接触到电路，这样的循环往复，就形成了结晶沉积环。²¹

7.5.1 蠕变腐蚀和微型化 电路板外形尺寸的减小和元器件的微型化提高了硬件性能却增加了腐蚀的风险。在离子成分中空气污染是普遍比较高的，例如氯盐。¹⁶

由于IT数据中心的硬件失效，对蠕变腐蚀的关注在增加。由于晶体管尺寸的减小和完成指定任务的所需要传输的电信号距离变小，计算机性能改进变得可能。¹⁸ 封装体密度的增加与电子元器件微型化的结合，在硬件可靠性方面增加了不利影响的风险。由于：

- 增加每单位体积的热负荷，就要求增加空气流量以维持硬件在可接受温度范围内。
- 增加的空气流量使电子暴露到空气污染物中。
- 高密度封装并不总是允许元器件密封不透气。
- 降低印制电路板间的间距，增加了离子迁移的可能性。
- 元器件外形接近腐蚀产品尺寸，更容易给腐蚀带来副作用。

蠕变腐蚀失效经常发生在工业控制电子和航天领域，这些领域周围空气含高含量的污染物气体。当在设计电子组装产品时，了解终端用户环境是很关键的。

7.5.2 蠕变腐蚀和PCB表面处理 印制电路板表面有导电层，比较典型的是由薄的铜箔制成。铜是一种比较活跃的金属，很容易在大气环境下氧化。¹⁹ 传统的被暴露在PCB表面的铜用热风整平（HASL）工艺镀上锡铅。限制和减少铅的使用，减少了HASL的使用。

当今，由于平坦的板面使用的增加，蠕变腐蚀越来越普遍。热风整平板面的锡铅保护着底层的铜免于暴露在大气条件下。过渡到无铅焊接、低外形元器件、制造缺陷和微型化都需要有平坦的表面。如果合金焊点对表面金属浸润差，铜被暴露。热管理中增加的热空气流动增加了蠕变的风险。恶劣的环境下，有湿气存在的就会增加蠕变腐蚀的风险。在数据中心冷却空气也是一个有影响的因素。¹⁶

平坦的板表面比如铜上敷OSP和镍金（电镀镍/浸金）是有有效期的。¹⁹ 由于这些原因，浸银表面处理在电子工业中成为了标准的PCB表面处理。随着PCB表面处理改为浸银，与硫污染物含量相关的PCB失效增加了。增加的失效率源于铜、银和硫反应。事实上，由于在浸银电路板上有些区域比如过孔里面含有暴露的铜和银，这个问题进一步复杂了。¹⁷ 当过孔没有完全被浸银覆盖，金属铜是脆弱的，易受到大气的影响作用而导致电化学腐蚀。¹⁹

当一种金属比如铜上覆盖了一些惰性金属，比如银，电化学腐蚀在合适的电解液下能发生。当有湿气存在时，电化学电池造成金属减少。当铜和银之间发生电化学反应时，由于铜是比较活泼的金属，电解池铜将为阳极。在含硫的氧化环境中，铜比银腐蚀快得多。这个高腐蚀率的环境包含有很强导电力的金属生长。¹⁷

在很多情形下，铜层都需要被保护，尤其当使用浸银表面处理时，铜层更需要被保护。²⁰ 首先是锡-铜表面。在这个区域，铜不与银交换，但在潮湿和空气污染的环境中，暴露的铜能与银反应导致锡表面腐蚀。第二个铜的来源是镀银的孔洞里。当热循环时，铜能迁移到银的表面，薄的锡层也能导致铜暴露，尤其是组装后。另外一个铜的来源包括部分在阻焊膜中堵塞的过孔和裂缝。暴露的铜变成随时引发反应的物质。²⁰ 由于银的射频传播特性，浸银经常是一种高频应用材料的选择。

7.5.3 蠕变腐蚀和电路板清洁度 最终印制电路板需要清洁。离子物质能直接腐蚀导线，或者离子与潮气、助焊剂或者其它物质结合导致腐蚀。²¹ Xu和Fleming（2009）调查过助焊剂残留对蠕变腐蚀的影响。当铜过孔被无铅的焊锡完全盖住时，没有证据显示蠕变腐蚀。在组件上暴露的银，超过时间就会有严重的腐蚀发生，但这个腐蚀并不被认为是蠕变腐蚀。在边界处银被暴露在助焊剂残留中，就会产生严重的蠕变腐蚀。助焊剂残留暴露在银边界区域促进了银腐蚀迁移到阻焊膜表面。

Xu和Fleming报道当活性助焊剂在焊接后没有被清洗时，蠕变腐蚀会在5天内产生。松香助焊剂仅显示有局部腐蚀。问题在于活性助焊剂去除氧化铜而在助焊剂残留中留下了铜盐。在潮湿环境中腐蚀从电路生长和蔓延到阻焊膜。这种失效也发生在有硫存在的工业区。

正确的操作、装运和存储步骤是非常重要的。²¹ 手印传递多种污染，包括氯。包装材料应该证明是“无硫”的。一旦打开去组装，没被用过的PCB如果要延长储存时间则需要返回到原包装并真空密封。²¹

印制电路板储存地点对于硫诱发锈蚀是很关键的，尤其银或者高银处理的印制电路板。印制电路板储存在经常供应蛋类制品的餐厅旁，经常导致硫产生的锈蚀。在一个洋葱加工厂就有发生工业控制电子装置发生严重的腐蚀，因为洋葱含有大量的硫。

7.5.4 有硫蠕变倾向的场所 硫存在于原材料中，包括生产油、煤炭和含常见的金属如铝、铜、锌、铅和铁的矿石。¹⁶ 当含硫的燃料燃烧时，或者当从石油中提取汽油时，或者从矿石中提取金属时就会形成二氧化硫气体。大约有三分之一的污染颗粒中含有硫的化合物。¹⁶

硫的来源包括用于水处理的硫化氢、沼泽气体、化肥、地热、农业、汽车排气和冶炼。在煤炭和石油燃烧时，水泥生产和其它重工业经常发现二氧化硫。硫醇用于橡胶制造。有机硫化物存在于泥土中。在橡胶、采矿、冶炼、水泥、沥青、造纸厂、化肥和农场，废水处理、石油化工、泥土以及座落在环境中硫含量高的公司，存在硫蠕变倾向。¹⁶ 天然气燃烧的副产品是硫的气体，而且天然气驱动的叉车也经常排放硫的气体。

7.5.5 预防腐蚀的策略 预防腐蚀能从三个步骤中观察到：强化、补救、再布置。进行PCB板级的保护，比如改善表面处理。在元器件组装中，敷形涂覆或者所有外形被锡全部覆盖是有效的。对包装产品的保护包括过滤的使用和器件的密封。非常困难的环境能通过过滤、空调、湿度控制和综合室内管理来改善。

7.6 锡须和电路板清洁度 无铅锡须是备受关注的领域。大量的调查研究了包括晶须形成的化学和物理的参数特性。锡合金暴露于高的温度和湿度时，在低密度水平形成一个薄的锡氧化膜。²⁵ 低密度和锡氧化层量的增加引起沉积颗粒边界外部压力增加，使内部压力上升。锡须的生长减轻了锡内部压力。值得注意的是，这些锡须能使导线间有连桥造成短路。²⁶

研究人员发现当大量锡暴露在离子污染环境时，锡须从大块锡中长出。^{23, 24, 25, 26} 作为一个基于焊锡合金形成的实例，当暴露的铜突然与在相邻的锡里接触时，腐蚀作用显著加速。²⁶ 最大可能生长晶须发生在焊锡合金的底部，在这里有最大浓度的助焊剂残留物。²⁶ 锡须和小丘状的锡穿过助焊剂残留物伸出并且长到了140 μm 。腐蚀通过在内部锡树枝状空间的共晶区域传播。在大块锡中扩散耗尽了锡银铜合金中的银和铜。耗尽了锡的区域或许经历着来自剩余锡的压力。铜基下面和锡基合金之间为晶须的生长创造了条件。²³

在再流焊接期间，当锡合金凝固时，锡膏中的助焊剂流出。含大量氯离子和溴离子的助焊剂残留物产生了晶须，而低污染区域没有晶须生长。²³ 为了更好地理解这一影响，Snugovsky et al.设计了一个实验来测试污染物对锡须形成的影响。这个实验评估了接收态元器件、清洗后的元器件、被氯化钠和硫酸钠的溶液污染的元器件。元器件暴露在温度85° C [185° F]/85%相对湿度条件500小时。结果接收态元器件有短的晶须；清洗后元器件没有晶须；被污染的元器件有长的晶须。第二部分测试组件用SAC305组装到测试基板上。组装后被清洗的元器件就没有晶须，而接收后和没清洗就使用的就会形成短的晶须。故意污染的元器件会导致长的晶须。作者总结认为，干净元器件的使用和组装后清洗明显降低了在无铅组装中晶须形成的倾向。²³

Hillman (2010) 报道关于评估由氯污染物引发的潜在锡须生长的研究。在有应力的铜基板上电镀锡的样品在三个不同氯溶液中放置72小时，接着在高温、高湿条件处理。样品1被浸入一个饱和的氯化钠溶液中，样品2被浸入在半饱和的氯化钠溶液中，样品3浸入到0.001M的盐酸溶液中。测试样品被放在85° C [185° F] 85%的相对湿度的温循箱中。在五个指定的位置用电子扫描显微镜检查。数据结果发现晶须受离子污染水平影响，高离子水平导致很大的晶须密度。²⁴

研究发现了晶须的影响范围和离子污染程度及腐蚀之间的关系。热、湿度和离子污染导致腐蚀和应力。第二个影响是助焊剂残留量及分布。

7.7 海洋腐蚀 另一种能显著降低的电子组装产品的生命周期大气污染物就是暴露在含盐的空气中。盐水含高含量的氯（来自氯化钠和氯化钾）。含盐空气对于很多没有保护的金属表面有严重的腐蚀性。电子产品进入海洋环境（例如海岸警卫直升机）应该密封或者进行涂敷。

对于其它粒子对电子电路化学残留的影响，Pauls and Munson出版的Process Rx column of Circuits Assembly从1997年到2000年的月刊杂志里有案例研究。参考Pauls和Munson的其它文献[29]到[34]或许也是有用的。

参考文献

1. Minzari, D., Jellesen, M.S., Moller, P., Wahlberg, P., & Ambat, R. (2009, September). Electrochemical Migration on Electronic Chip Resistors in Chloride Environments. *IEEE Transactions on Device and Materials Reliability*. 9 (3), 392-402.
2. Azarian, M.H. (2010, Feb.). Electrochemical Migration in Printed Circuit Board Assemblies. *Telecom and Webex*. CALCE EPSC, University of Maryland. College Park, MD, 20742.
3. Bumiller, E., and Hillman, C. (2010). A Review of Models for Time-to-Failure Due to Metallic Migration Mechanisms. DfR Solutions. College Park, Maryland, 20742.
4. He, X., Azarian, M.H., Pecht, M.G. Effects of Solder Mask on Electrochemical Migration of Tin-Lead and Lead-Free Boards. University of Maryland, College Park, MD, 20742.

5. Cvijanovich, G. (1980). Conductivities and Electrolytic Properties of Absorbed Layers of Water. *Procedures of NBS/TADC Works, Moisture Measure Technology for Hermitically Semiconductor Devices II*. University of Maryland, College Park, MD, 20742.
6. Zamanzadeh, M., Meilink, S., Warren, G., Wynblatt, B.Y. (1990). Electrochemical Examination of Dendritic Growth on Electronic Devices in HCL Electrolytes. *Corrosion*, 46 (8), 665–671.
7. Pecht, M., Ahukla, A.A., Hagge, J., and Jennings, D. (1999). Moisture Ingress into Organic Laminates. *IEEE Electronic Packaging Technology*. 22 (1), 104–110.
8. Zhu, H., Guo, Y., Li, W., Tseng, A., and Martin, B. (2000). Micro-Mechanical Characterization of Solder Mask Materials. *IEEE Electronic Packaging Technical Conference*. 148–153.
9. Bumiller, El, Pecht, M., Hillman, C. (2010). Electrochemical Migration on HASL Plated FR-4 Printed Circuit Boards. *CALCE Electronic Products and Systems Center. College Park, MD, USA*.
10. Nebergall, W.H., Schmidt, F.C., & Holtzclaw H.F. (1976). *College Chemistry with Qualitative Analysis*. D.C. Heath and Company, Lexington, MA.
11. Ion (2010). Wikipedia.
12. Anions (2010). Wikipedia.
13. Cations (2010). Wikipedia.
14. Solvent-Solute Interactions (2010). University of Southern Maine.
15. Formation of Ionic Solutions (2010). Chemwiki, University California Davis.
16. Schuller, R (2010). Creep Corrosion. IPC/SMTA Cleaning & Coating Conference. Chicago, IL.
17. Mazurkiewicz, P. (2006, Nov). Accelerated corrosion of printed circuit boards due to high levels of reduced sulfur gases in industrial environments. International Symposium for Testing and Failure Analysis. Renaissance, Austin, TX.
18. ASHRAE Technical Committee. (n.d.). Gaseous and particulate contamination guidelines for data centers.
19. Muller, C. (n.d.). What’s creeping around your data center? Purafil, Doraville, GA.
20. Kenny, J., Wengenroth, K., Antoenllis, T., Sun, S.L., Wang, C., Kudrak, E., & Abys, J. (n.d.). PWB creeping corrosion mechanism and mitigation strategy. Enthone, Inc. Cookson Electronics, West Haven, CT.
21. Cullen, D. (n.d.) Preventing corrosion of PCB assemblies. MacDermid.
22. Xu C., Franey, J., Fleming, D., & Reents, W. (2009). Creep Corrosion on Lead-Free PCBs. IPC APEX EXPO, 2009. Las Vegas, NV.
23. M. Khutoretsky, *Electronic Packaging and Corrosion in Microelectronics*, pp 225–234, April, 1987
24. Snugovsky, P., Meschter, S., Kapadia, P., Romansky, M., Kennedy, J., & Kosiba, E. (2010). Influence of Board and Component Cleanliness on Whisker Fromation. IPC/SMTA Cleaning and Coating Conference, Chicago, IL
25. Hillman, D. (2010, Nov). The role of ionic contamination as a tin whisker initiator. IPC/SMTA Cleaning & Coating Conference. Renaissance Hotel, Schaumburg, IL.
26. Kurtz, O., Barthelmes, J., Martin, K. (n.d.) Anti-corrosion solution for reduction and prevention of corrosion whiskers. Atotech.
27. Howell, K., Koshi, M., Masuda, J., Nishimura, T, Nozu, T., and Seatman, K. (2010, May). Effect of soldering method and flux type on tin whisker growth in SAC305. SMTA International Conference on Soldering and Reliability. Toronto, CN.

28. Mackie, A. (2009). Electromigration: Our mutual friend. SMTA Wafer Level Packaging Conference. Santa Clara, CA.
29. Electromigration (2010). Wikipedia.
30. Pauls, D. The Effects of Solder Mask Selection on Cleanliness, IPC Apex Expo 2000 Proceedings.
31. Pauls, D. The Consequences of Ignoring Residues, IPC Apex Expo 2000 Proceedings.
32. Pauls, D. Residues in Printed Wiring Boards and Assemblies. Proceedings of Surface Mount International, 1996. Paper SMI-528.
33. Pauls, D. Examining BGA Attachment Processes using Ion Chromatography and Surface Insulation Resistance Testing, Georgia Tech Flux Conference, 1996.
34. Pauls, D. Testing and No Clean Technology, First National Conference on No-Clean, 1993.
35. Pauls, D. Munson, T. Cleanliness Monitoring of a No-Clean Assembly Process, Nepcon Proceedings, 1995, Paper P4-2
36. Pauls D. IPC-TP-1077: Process Characterization and Verification, Proceedings of the Georgia Tech Flux Conference 1994, Proceedings of Electrocon (EMPF), May 1995

8 组装残留物/清洗的考虑要素

8.1 范围 由胶合剂、助焊剂和焊料合金组成的组装材料，可依据元器件的贴装、连接、组装类型及元器件类别的不同而改变。当考虑焊接和清洗时，组装残留物的结果取决于焊接方法的选择和有铅或者无铅焊料的使用。选择适合于焊接方法和焊料的助焊剂的同时也将确定使用何种清洗方法。最终的清洁度将取决于终端使用环境，在某种情况下由合同规定的质量要求决定。

电子组装制程的范围从非常简单到非常复杂，并且涉及到广泛范围的材料。制程中的每一步骤中所使用的每一种材料都会对组件有影响，最大的影响是化学物质残留在组件表面。需要考虑的材料包括助焊剂、清洗溶液、标签、粘合剂、掩蔽材料、元器件残留物、废气残留物等。本章节涵盖了绝大多数生产制程中许多普遍使用的材料。

8.2 目的 本章节的目的是讨论在印制电路板生产期间以及在组装制程期间积累的残留物的种类，尤其是当它们经过焊接后清洗时。除此之外，还讨论了关于剩余残留物的检测，残留物的根本原因以及预防措施。

8.3 术语和定义

8.3.1 酸性助焊剂：一种酸和无机、有机或者水溶性有机助焊剂的溶液。

8.3.2 活性松香助焊剂：松香和少量的有机卤化物或者有机酸活化剂的混合物。

8.3.3 活化剂：提高助焊剂从待焊接表面去除表面氧化物能力的物质。

8.3.4 粘合剂：用于将物体互相牢固连接的胶或接合剂等物质。在表面贴装中，环氧粘合剂用于将表面贴装元器件粘附到基板上。

8.3.5 吸附污染物：以气体、蒸汽或者冷凝液的形式粘附在材料表面的污染物。

8.3.6 导体节距：相邻导体中心之间的距离。

8.3.7 导体间距： 在一个导电层上，孤立导电图形的相邻边缘之间的可见距离（不是中心到中心的距离）。

8.3.8 敷形涂覆： 一种绝缘保护涂覆层，其外形与被涂覆的物体（例如印制板、印制板组件）一致，可提供保护隔离层，以防止环境条件的有害影响。

8.3.9 腐蚀性助焊剂： 含有一定量的卤化物、胺或者有机酸等会腐蚀铜的助焊剂。

8.3.10 从单板表面到元器件底面的距离： 元器件底面到单板表面的距离或者支撑高度。

8.3.11 焊渣： 熔融焊料表面形成的氧化物及其它污染物。

8.3.12 助焊剂： 化学和物理活性混合物，加热时能除去表面少量氧化物和其它表面薄膜，同时防止被焊接表面在焊接过程中再次氧化，以促进熔融焊料对金属基材的润湿。

8.3.13 助焊剂残留物： 出现在焊接连接表面或者其附近，与助焊剂有关的污染物。

8.3.14 无引线表面贴装元器件： 一种如QFN或者芯片电容形式的表面贴装元器件，其外部连接部分由金属化端子构成，金属化端子也是元器件本体的主要部分。从清洗关注的角度来看，较小元器件和无引线元器件下的空隙是非常狭窄的。

8.3.15 非活性助焊剂： 不含活性剂的天然或者合成树脂助焊剂。

8.3.16 有机酸助焊剂： 主要由有机材料而不是松香或者树脂组成的助焊剂。

8.3.17 封装密度： 单位体积内功能元器件（元器件、互连器件，机械零件等）的相对数量。

8.3.18 膏状助焊剂： 为了便于使用而配制成膏状形式的助焊剂。

8.3.19 再流温度： 再流焊接过程中使焊料保持液相状态时的温度范围。

8.3.20 树脂： 天然或者合成的树脂类材料。

8.3.21 树脂助焊剂： 含有树脂和少量有机活性剂的有机溶剂。

8.3.22 松香： 从松树中提取并精练的一种硬质天然树脂，由松脂酸和伯酸以及它们的同份异构体、某些脂肪酸和萜烯组成。

8.3.23 松香助焊剂： 有机溶剂中的松香或者具有活性剂的膏状松香。

8.3.24 焊料球： 附着于层压板、阻焊剂或者导体表面的小球形焊料。

8.3.25 暂时性阻焊膜： 涂覆到选定区域的耐热涂层材料，防止在后续焊接中焊料沉积到这些区域。

8.3.26 溶解能力： 使用一种极性和非极性溶剂的混合物去除有机污染物和无机污染物的能力。

8.3.27 反应物： 一种改善清洗媒质能力的物质，能使印制线路板上的助焊剂残留物皂化。

8.3.28 托高： 单板表面到元器件底面的距离。

8.3.29 合成树脂：合成的有机聚合物或者经化学处理的天然树脂。

8.3.30 水溶性助焊剂：可溶于水的有机化学助焊剂。

8.4 清洗后残留物 焊接清洗后去除的主要残留物是助焊剂残留物，主要是离子、非离子及颗粒状污染物的混合物。当采用一种清洗技术的时候，必须要考虑不同类型的助焊剂残留物。

基于化学特性，J-STD-004将助焊剂分成松香基（RO）、树脂基（RO）、有机酸（OR）和无机酸（IN）助焊剂。这些助焊剂根据活性程度可以进一步细分。助焊剂可能有以下这些形式：液态助焊剂、膏状助焊剂、焊膏、管状焊锡丝、助焊剂涂覆（表面）的预制成型焊料和助焊剂芯的预制成型焊料。每种助焊剂都去除氧化物，提高焊料的润湿性能。在实际的焊接过程之前或者在焊接过程中，助焊剂能通过加热激发活性。

8.4.1 松香助焊剂 松香是最古老的用于焊接的助焊剂材料之一。松香被发现是松树树液的一种组成成分。作为一种天然存在的物质，它主要由有机酯化树脂，主要的一元树脂酸，比如松香酸、新松香酸、海松酸和长叶松酸组成。在存在差异制备方法和原材料之间，甚至在同种原材料不同个体之间，这些羧酸化学结构可能以不同的比例存在。

从外观上看，松香是琥珀色的玻璃态物质。它不是真正的固体，因为它不像晶体物质那样会融化，而是随着温度的升高松香经历持续的软化过程直到达到流体粘稠度。洗涤温度的增加能改善松香的清洗特性是因为松香会软化成流体。

单独的松香仅有轻微的助焊活性。它使焊料润湿很多金属而留下少量氧化物的能力是有限的。为了增强松香型助焊剂的助焊活性，通常都要加入一些化学活性物质到松香焊剂中。这些活性可以是非离子有机物质，这些物质仅在焊接温度升高时才变得有活性，或者一些更有活性的离子性物质，比如胺类卤化物或者有机酸。

松香助焊剂经常用于焊锡丝中的固体管芯。在挤出生产过程中它直接被加入到焊锡丝中。松香也被广泛应用于液态助焊剂中和一些溶剂体系（通常基于乙醇）中当作活性物质。

作为一种助焊物质，松香拥有很多重要的特性：

- 松香自身是一种温和的助焊物质。
- 残留物对金属不具腐蚀性。
- 常温下优良的电绝缘性能。留在电路板上的松香残留物，通常会产生比裸板或者完全清洗的单板更高的表面绝缘电阻。²²
- 对更具腐蚀性的卤素离子和酸有优良的憎水密封效果。这些物质的密封离子被有效地固定住，不会对表面漏电或者金属界面间的腐蚀产生影响。
- 溶于各种有机溶剂，包括一些乙醇、酮、乙二醇、乙醚，氯化、溴化和氟化的溶剂和碳氢化合物。
- 主要由有机酸和酯类物质组成，松香能在溶剂、半水基或者水基皂化剂清洗过程中除去。

尽管松香有这些特性，为加快电性能测试和电路组件的涂覆，为去除难看的粘性残留物，及为去除可能会导致电性能恶化的离子型活化物质，松香助焊剂残留物还是要求在焊接后被去除掉。

在去除松香助焊剂残留物常遇到的一个问题就是白色和棕褐色状的残留物。这些残留物是由于不恰当的清洗造成的，在更高的温度及焊接操作过程中松香的暴露时间过长会使情况变得更糟。在这种情况下，松香中的某些成分会在焊接温度作用下，对产物产生高温分解或者氧化作用，这些物质不容易在弱有机溶剂中溶解。松香中可溶解的部分能被滤去，留下不溶的可见的白色残留物部分。一经形成，这种残留物极难被去除。

松香助焊剂通常含有能去除金属表面氧化物膜的活性物质，金属表面将会被焊料所润湿。这些活性物质通常是胺类氢卤化物、有机酸或者二者的混合物。这些物质在焊接时的高温条件下，有可能会反应生成不易溶于溶剂或者水基清洗溶剂的物质。这也是白渣问题的原因之一。

松香中的酸和酯类基团会和碱性清洗剂反应生成能溶解于水的类皂物质。这个过程称为皂化过程。松香助焊剂通过添加活性物质变得有活性或者更为活泼，这些活性物质通常为胺类氢卤化物或者有机酸。就其性质而言，如果焊接后这些活性物质允许被留在印制线路组件的话，这些活性物质会导致电路单元的腐蚀。用户必须清楚意识到并不是所有的松香分子中的酸或者酯类基团可以进行皂化。如果这些基团不存在，那么这些未反应的物质就被认为是不可皂化的松香、树脂或者聚合物。典型的松香中不可皂化的物质含量在4-7%之间。

焊接后，一些残留在印制线路组件污染物是松香化学反应的副产物，比如焊接过程中发生的聚合反应、高温分解作用及与金属盐的结合反应。如果这很严重，一种白色或者棕褐色的残留物，指白色残留物或者白色沉积物，有时就能被观察到。由于它的各种化学形态，它仅在清洗步骤或者暴露在水或者湿气之后，才能看见，白渣是一种极难以去除的物质。它的出现意味着焊接过程焊接的助焊剂或者焊膏含有白色残留物前体，在可控制范围之外，不兼容存在于焊接材料与清洗剂之间或者每个印制线路板或者元器件中的污染物。在很多情况下，这些残留物是液态阻焊膜紫外光固化时固化不完全的副产物。

松香助焊剂在铜箔表面也会产生变色效应，导致出现绿色的外观。Tellefsen²¹得出结论铜箔上含松香的助焊剂残留物，当暴露于升高的温度和湿度时，由于深颜色的铜松香盐的生成，而变成绿色。因合成的铜松香盐而获得的高表面绝缘电阻值表明这物质是憎水的，以及即使在极端温度和湿度条件下也是电绝缘物质。对一些含松香的助焊剂，包括在焊膏中使用的助焊剂来说，这暗示绿色助焊剂残留物的存在并不能说明印制电子线路板电可靠性的恶化。

Tellefsen博士的研究显示这些绿色助焊剂残留物不会对电可靠性产生有害影响。其它的研究显示相似的结论，白色残留物并不总是有害的。单独可视的残留物，不管颜色怎样，不应该被用来做可接收清洁度的指示物。很遗憾的是，要在有益的可视残留物和有害的可视残留之间做区分是非常困难的。残留物必须具有化学特征，接着要与在湿度条件下的电性能测试相关联，再去确定助焊剂残留物是有益的或者是有害的。

8.4.2 水溶性助焊剂 水溶性这个术语并不一定意味着在助焊剂残留物在加热后变成水溶性的，或者单独溶解在水中。反应会生成有机金属盐的化合物或者矿物质盐。例如，铅盐难溶于水，但是如果留在单板上，在湿度和大气中二氧化碳的存在下，铅盐会逐渐分解，会导致表面的腐蚀。类似于一种专门设计的水基清洗剂的中和剂能用于去除铅盐。

水溶性有机助焊剂（OR类型）由水溶性的有机酸，如柠檬酸或者有机氢卤化物，以及表面活性剂组成。它们的助焊剂残留物通常难溶于碳氢化合物和其它不含氧的有机衍生物。水溶性助焊剂的配方变化非常大。它们不像松香型助焊剂里那样有一种常见的成分—松香。鉴于残留物的化学特性，材料和制程过程必须要去除残留物，由此联系到松香，把其当作一个首要的考虑方面。可以说能取代松香的最接近的材料会是高分子量的聚乙二醇，选择通过水来简单去除残留物。大多数有机酸助焊剂一个很常见的特点是它们极易起化学反应。这对那些高度氧化的元器件和单板容许有很好的焊接成品率。由于这种反应性，焊接之后的残留物必须完全且快速的去除以避免长期的腐蚀性、表面绝缘电阻（SIR）干扰和其它问题。对松香助焊剂也是这种情况，不恰当的焊接条件会改变有机酸助焊剂残留物的化学结构，使得其不溶于水。由于这些原因，一些用户加入各种不同的材料，比如中和剂、螯合剂或者往水中加入洗涤剂以增加水溶性助焊剂的清洗能力。

就像它们的名字所表明的，这种类别的助焊剂是水溶性的。然而，焊接后的残留物可能与焊接前的助焊剂所显示的那样，有一样的水溶解性。焊接过程中，助焊剂暴露在非常高的温度下（通常在

260° C[500° F]左右)。在这些温度下，例如氧化反应或者高温分解的化学反应有可能会发生。这在元器件和层压板之间会尤其有问题。这样的反应通常会引发最多只有部分产物可溶于水中。这些反应能发生的程度是时间和暴露温度的函数，也是助焊剂特定的化学特性的函数。这些残留物能在不用放大设备的情况下很容易地看到，但是在放大设备下观察，似乎已经完全清洗干净的残留物也依旧会存在于组件中。在这种情况下，可以通过使用离子萃取电阻率测试仪或者表面绝缘电阻测试仪来检测这些残留物。

8.4.3 合成型活性助焊剂（更为确切的ORH0或者ORH1） 合成型活性助焊剂是基于合成材料，这些合成材料在化学性能上与松香没有关系。它们被开发主要用于改善松香助焊剂的性能。松香是种天然的材料，其组成和性能存在固有的可变性。合成型活性助焊剂在焊接方面有优良的性能，但是助焊剂残留物一定要去除掉。最初待去除的配方是含氟利昂溶剂的，它们能被半水基或者其它溶剂基的清洗剂去除掉。合成型助焊剂的活性物质在本质上与在松香助焊剂中发现的活性物质是相似的。

这些助焊剂是由两种或者多种合成有机化合物混合而成。它们常常被配成活性助焊剂，因此，必须要被完全地去除掉。合成型活性助焊剂的残留物很容易溶于有机溶剂，可能或者不能溶于水。要很小心地选择清洗剂，因为酸性的助焊剂残留物会耗尽有机清洗溶剂中的酸性受体（如果存在），会导致设备成酸性环境。

高活性的非松香助焊剂-合成型活性助焊剂被配成克服松香型助焊剂固有的可变性，与高度氧化的金属表面起反应，消除白色残留物，最大程度的利用有稳定溶剂的清洗剂，稳定剂等同于CFC113/甲醇共沸物。它们不含松香，并且它们的残留物很容易溶解于特定的有机溶剂。残留物特别容易反应，在焊接之后应该完全被去除掉以避免腐蚀失效。合成型活性助焊剂残留物，不像松香助焊剂的残留物那样变成硬的，应该在焊接后的一小时后被去掉以防止腐蚀。

8.4.4 低固残留（免清洗）助焊剂 这种类别的助焊剂由含质量百分比为2-5%的固体物质或者非挥发性物质组成。有一种观点，因为这种助焊剂的残留物不会对电性能、管脚可测试性产生不利影响，和/或者它们几乎不可见，它们可能安全地留在组件上。这不一定是个有充分根据的假设。为了保证助焊剂足够的活性，某些低固残留助焊剂与常规的助焊剂相比较，活性物质和松香的比例会高很多。因此，要证明特定助焊剂的残留物是非腐蚀性的，并且暴露在服务环境下也依然如此，就很重要。

不像在先前章节中所讨论的，低固残留助焊剂被配成焊接后留下极少或者没有残留物的形式。因为这样的目的就是为了避免清洗，根据J-STD-004定义的，这些低固残留助焊剂首先应该满足“L”类别，而不是标号为“M”活性类别的。对这些低固残留物而言，残留物的非腐蚀性或者有益的特性使基于假设的理解是很重要的，助焊剂达到一个最低的温度，通常在群焊过程中获得，助焊剂会由一种导电的液体状转变为一种有利的固态物质。对于加入到焊膏中的助焊剂，这种转变实际上能保证在再流焊过程中，助焊剂能接触到熔融的焊料。然而，在手工焊接操作中，如果液态的助焊剂加入是当作一种焊接助剂，那么这就会是一个很大的风险，因为这么多助焊剂很有可能会超出烙铁头尖端热效应的范围。

低固/免清洗助焊剂可能会用于包含或者不包含清洗步骤的组装过程中。第七章列出了制造商为什么会选择免清洗助焊剂的原因。要理解何时把低固残留助焊剂当作一种真正的免清洗材料是很关键的，它必须是一体化的、优化的及严格受控的组装过程中的一部分，能减少所有其它形式的组件残留物。它是一个较改变助焊剂及消除清洗更为复杂的问题。

为维持一个低固含量及保证足够的助焊剂活性，活性物质可能常常会是助焊剂固体成分中的主要部分。因为这些不寻常的比例，你不可能依靠这些更为惰性的固体去封包活性物质的残留物。事实上，一些研究已经表明表面绝缘电阻值降低是最初所用助焊剂量的函数，推断出过多的焊后残留物

助焊剂可能会导致电性能问题。因此，控制所用助焊剂的量就很重要。通常，单板的清洁度由清洗材料和清洗过程的有效性所控制；这里，这种控制在助焊剂的使用阶段是直接的，因为没有焊后清洗的过程。许多不同的应用技术都已经是可商用化的，每种技术都会有它自己的优点和缺点清单。

8.4.5 无铅和小型化对组装残留物的影响 无铅合金和各种不同助焊剂的化学特性的兼容性被认为是很重要的，并且由处理能力中的特性所决定，包括储存时间和黏附时间，焊接能力，包括锡珠、润湿性能和焊接接合处的外观。⁴ 总的来说，锡银铜无铅合金显示出较差的润湿性能。为了获得与锡铅共晶合金润湿性能相当的效果，需要更为活泼的助焊剂化学特性。⁴

可焊性是焊接接合处被熔融焊料润湿程度的一种度量方式，并且在所有的焊接过程中也是一个需要继续考虑的方面，尤其是整个制造业向无铅转换的时候。¹¹ 助焊剂必须要去除PCB和元器件表面的氧化物，助焊剂是必要的，促进形成合适的合金形态，并且充当一种热的转换媒质，确保合适的焊接温度。焊料表面越清洁，需要用越少的活性物质去焊接元器件。¹²

Lee⁴列举了无铅免清洗助焊剂成分满足需要的特性：

- 降低的挥发性。
- 无卤。
- 更强的助焊能力。
- 更高的残留物电阻率。
- 更强的抗氧化和抗碳化能力。
- 更高效的氧化阻挡层。
- 更低的活化温度。
- 焊料开始熔化时更慢的润湿速率。
- 更少的溅射。
- 更好的探针穿透能力。
- 焊料冷却时的诱导成核能力。
- 更好的抗坍塌性能⁷。

对一个免清洗过程，对残留物的目的就是形成一个硬的阻挡层，能够将电路密封，与暴露的离子型污染物隔离开。对高可靠性产品的供应商来说，很多都选择清洗免清洗助焊剂残留物。清洗剂有一个直接的优点，大部分的免清洗助焊剂成分都是能被清洗干净的。

为无铅设计的助焊剂成分由多种聚合物类型和性能改变的添加剂组成。¹² 添加剂影响系统的流动性、溶剂的滞留性能、长期和短期介电性能、热行为和清洗性能。维持所有需要的产品属性，以及使最上层焊接性能最大化的关键在于透彻地理解这些聚合物和特定的改性添加剂的性能之间的相互作用。

共晶锡铅合金的助焊剂组成的技术已经被很好的理解和掌握。¹² 对无铅锡银铜合金需要更高的焊接温度，有机溶剂必须具有热稳定性以减少用于焊接元器件活性物质的等级。一个关键的问题是缺乏热稳定性，因此就需要更具活性的助焊剂组成。因此，在共晶锡铅焊接过程中，助焊剂残留物要足够良性的，并且在优化的免清洗组装过程中使用，而在更高的无铅温度下，并不一定恰好无害，转为需要清洗就很有必要，或者在最低限度地，在更高的再流条件下，使一种不同助焊剂化学特性的技术指标最优化。

随着焊接温度的升高，助焊剂材料经历物理和化学特性的变化，比如易挥发组成成分的挥发、表面能和熔融黏度的变化。¹² 在早期，焊料助焊剂的作用通过焊料波峰的擦洗作用取代，最后将材料热分

解。结果是缺少助焊剂当作保护膜的功能，另外一个结果是当助焊剂润湿孔壁或者通孔时缺少液态焊料上的绝缘膜功能。第二种结果与通过波峰时，印制电路组装底层和上层无铅焊接温度较大的改变有关，结果导致在液态焊料能沿孔壁上升并润湿焊盘的上表面而使助焊剂过早凝固。

在波峰焊操作中，活性物质体系必须要提供当单板在焊料波峰中时，熔融焊料能顺利且稳定从非金属中分离出来的能力。¹² 因此，当助焊剂与焊料波峰接触过程中，焊料助焊剂必须要同时展现去污能力及高度受控的表面能。它必须要快速在表面扩散，替代污染物，构建一个均一的单分子膜，对焊料波峰来说，代表合适的表面能曲线。这通过使用具有表面活性物质的助焊剂组成来实现，表面活性物质的特性在焊料助焊剂的酸性环境中已经最优化。

单分子助焊剂膜要保持稳定，在其通过焊料波峰时的高温过程中，它必须要以一种稳定的结构润湿和吸附在表面。¹² 几种表面活性剂的结合要求控制表面张力和固液界面的界面张力。助焊剂的化学特性必须改善非金属表面的润湿性能，降低表面张力，进入助焊膜的表面。那样的系统在喷淋时需要控制助焊剂液滴的尺寸，助焊剂的受控分配，通孔和金属化孔里足够的毛细作用的活性是很关键的。这种系统将会形成更多的残留物、泡沫、变小的表面绝缘电阻值，需要进行清洗。

8.4.5.1 无铅清洗关联 向无铅制程的改变要求更为严格的过程控制。更多的I/O数目，渐进的小型化，更高的可靠性性能和其它一些需求正受到电路板清洁度效果的妨碍。与无铅组装清洗相关联的需要考虑减轻杂散泄漏和电化学迁移的可靠性风险。

污染物能严重地减小引线和线路抗短路的能力。组装前后的离子及非离子型污染物被认为对电子产品制造过程中是有害的残留物。局部的污染物也许不会提高整个组装的污染物等级，但是可能会有局部的不利影响。

无铅制程的温度，典型的会比共晶锡铅合金高30-40°C，在电子组装过程中，会对材料的结构（例如层压板和阻焊膜）也会有影响。如果没有选择合适的材料，更高的再流温度会降低层压板/阻焊膜的性能，使得它们有更差的耐化学性，因此可能会受到严酷清洗过程的不利影响。对元器件来说也一样。一些最新的元器件用较为便宜的热塑性材料制成，可能会无法经受得住高的再流温度。

8.4.5.2 清洗无铅助焊剂残留物 无铅、免清洗助焊剂由更高分子量助焊剂载体组成，它能改善焊接过程中的热稳定性和隔氧层。来源于这些更高分子量助焊剂组成的助焊剂残留物，不同供应商的产品之间有较大幅度的差异，形成硬的树脂阻挡层，极大增加了清洗的难度。

为了去除这些在元器件表面和底部硬化的无铅助焊剂残留物，需要更好溶解能力的清洗剂、更多的洗涤时间、洗涤温度、洗涤浓度和冲击能量。许多组装因素影响无铅助焊剂残留物的清洗性能。浸润和液相线区间的热量和时间必须要根据有关元器件的质量、相邻元器件的接近性、焊盘的尺寸和沿单板传导的热量进行调整。焊接过程影响助焊剂组成的热暴露强度，它会影响到焊后残留物的硬度。

更高分子量的残留物和残留物在焊接过程中遇到的瞬态加热需要增加清洗剂的溶解能力和机械力使得助焊剂残留物能溶解在清洗剂中。这些引力取决于清洗剂和助焊剂残留物的性质。渗入低间隙需要一种匹配助焊剂残留物的清洗剂，能把清洗剂喷击到残留物的冲击力、洗涤温度和洗涤时间。

8.4.5.3 助焊剂残留物的量和位置 除了残留物类型，残留物的量和残留物的位置很重要。对需要再流焊接的表面组装，残留物将会集中到焊点接合部周围或者在元器件下面。元器件和印制线路板之间的间隙通常都很小，清洗会很困难。对波峰焊组装，更多的助焊剂残留物将会分布在组件的整个表面，并且液态助焊剂将会流进元器件下面狭小的空间里，或者元器件的本体里面。液态助焊剂也能流过通孔和大型元器件的下面，液态助焊剂将被包裹在里面。用户应该要注意，助焊剂残留物由反应的助焊剂、不反应的助焊剂和凝结的助焊剂蒸汽构成。

还有应该要注意的是，当液态助焊剂组分挥发时，它们不仅仅是消失，它们会挥发到某处。这可能意味着它们会在表面（更冷）附近，或者再流设备气体进出口里重新凝结。随着时间的推移，这些残留物会并且确实逐渐增多，所以应该有一个合适的预防性的维护清洗步骤来指引设备排气路径的保养。

8.4.6 焊膏 根据J-STD-005标准，焊膏是焊料颗粒、助焊剂和溶剂的混合物。焊料颗粒通常是球形的，直径尺寸范围变化达150 μm 。涉及到的污染物，通常是焊料颗粒表面的氧化物或者碳酸盐。焊膏的金属含量质量比在85%~95%（体积比35%~50%）。助焊剂建立在随着不同程度的活化作用而采用不同技术的基础上，这些活性物质类似那些平常用在松香助焊剂中的活性物质一样是无害的。从其使用方面来说，溶剂的功能是提供混合物合适的流变性能。溶剂的组成成分是保密的，但是通常包括醇类（尤其是聚乙二醇、衍生酯类和醚类物质）和添加剂。如果不去除，残留物在湿度条件下，有可能会减少表面绝缘阻抗。尤其，聚乙二醇、酯类和醚类很难通过溶剂去除。当加热到焊接温度之后，添加剂也有可能产生相关的不溶残留物。

8.4.7 无机酸助焊剂 无机酸助焊剂是由有机酸和高度离子化的无机酸盐组成。这些助焊剂通常都包括如盐酸、氯化锌和氯化铵的物质。它们的残留物如果留在单板上将会极具腐蚀性，尤其是在潮湿的环境下。在水基清洗过程中，锌盐在完全去除残留物方面会带来特别的困难，因为它们很容易形成不溶于水的氯化锌。随后，这些物质在潮湿条件下的反应会重新生成酸性盐，导致严重的腐蚀及电流泄漏问题。

8.4.8 焊料 其它类型的残留物来源于焊料本身，而不是焊接或者清洗过程中使用的化学物质。最主要的残留物是焊料焊渣、锡球和焊料油。加之来自波峰焊链条中的油脂和油，都是污染物的来源。

8.4.8.1 锡渣 焊渣偶尔能在一块使用不充足助焊剂固体物质的单板上，在其接触热的焊料之前可以看到。这种缺乏助焊剂的表面可能会掠过表面的焊渣，因为当它经过焊料时，没有足够助焊剂活性将它分解。沉积的氧化物看起来像一块棕黑色的污垢或者带状物，它会引起导体间的电气短路。

8.4.8.2 锡珠 微小的，通常能在显微镜下观察到，且具有金属光泽的锡球可以留在电路板的绝缘表面上。锡球的类型和起因通常与焊膏的质量、模板印刷以及再流工艺有关系。随着元器件尺寸的减少，需要更高的精确度和模板孔径的释放率。纳米涂覆的模板代表一种新出现的技术，可改善转移效率。

因为阻焊膜表面张力和阻焊膜表面的粗糙度原因，锡球能沉积在某些阻焊膜材料以及阻焊膜和焊盘位置的过渡区域上，或者在元器件下面。锡球能在单板上看到，在波峰焊中与熔融的焊料（底面）接触。应该对锡球影响密封性和增加元器件辐射穿透能力对环境的预估作用进行评估。如果延伸的电气性能不需要或者没有受到损害，那么金属化表面的锡球也许是可以接收的。那些被裹挟、包封或者连接（例如裹挟在免洗残留物内、包封在敷形涂覆层下，焊接于金属表面、埋入阻焊膜或者元器件下）的锡球是可以接收的。

8.4.8.2.1 溅射 在一些实例中，锡球能在层压板焊接面（单板最上层）的另外一面的表面中被发现。这发生在有通孔的单板中。如果助焊剂在焊接过程预热阶段使用时未充分变干或者单板包含很多被夹裹在层压板中的水分，并且在焊接之前没有经过充分的烘烤，那么当与热的焊料槽接触时，残留的溶剂和水蒸气就会导致溅射。这种溅射，实际上，由于溶剂或者湿气蒸汽急速的扩散会引起微爆炸。这会导致焊料向上浸透单板里的透孔，从单板的最上层喷出微小的锡球。如果助焊剂中有微量水分存在的话会更严重，单板在接触焊料之前的预热过程中，水分没有被完全地蒸发出去。

防止锡球的产生要求合适的干燥过程，使用最少表面氧化物污染物的焊膏及一种有足够活性去除这种污染物的助焊剂相结合。

8.4.9 波峰焊锡炉添加剂 焊接过程中的添加剂当作一种抗氧化剂，可帮助提高金属表面的润湿性能，通过减少表面张力改善润湿性能，使得焊料桥连、带状物和拉尖的产生减到最小限度。这些材料有多种用途。在它们最简单的应用中，它们能漂浮在锡炉的表面限制焊料与空气的接触，因而极大减少焊渣产生的量。在一些设备中，它们被注入到焊料波中，类似于在与电路板接触的焊料波提供一种保护性的防氧化膜。

当使用添加剂作为一种焊渣抑制剂或者焊接辅助液时，热稳定性是一个重要考虑的方面。当被当作焊料槽的一种覆盖物时，随着长时间的加热，其性能会降低，结果导致使用寿命的减短，残留物变得更难以去除。

8.4.9.1 水溶性油 这些材料常常是聚乙二醇或者高温度的表面活性剂，例如辛基和壬基苯酚的乙氧基化物衍生物。它们是完全水溶性的，并且能在焊接后通过热水喷淋清洗去除。

水溶性油可能会遇到的一个问题是这些材料中的部分会对表面绝缘电阻产生有害作用。然而对所有水溶性油物质来说，这不是普遍的情况，一些油会和聚合体的表面发生反应并粘结到聚合体的表面，即使通过很严苛的水洗过程依然会保留下来。这些材料还有在潮湿空气（吸湿性）中吸收湿气的的能力，结果会导致表面绝缘电阻值几个数量级的下降。

8.4.9.2 溶剂溶解性油 这些天然的油，含有加入的在高温中减少氧化或者性能降低的抑制剂。关于表面绝缘电阻，这种类型的油可以更加安全的使用，因为这油的残留物在最终使用环境中是耐水的。

油本身能被用于特定的焊接/脱焊过程。

8.5 其它残留物

8.5.1 手工作业污染 理想的，印制线路板和元器件在整个生产过程中不应该手工作业。然而，实际上这种情况通常是不切实际的。做得最好的就是把人为的污染物的累积减至最低限度，通过将手工作业的次数减至最少，并且保证在其造成任何危害之前，各清洗步骤能有效去除污染物。手工作业通常发生在运输和接收，通过工序转移单板，检查及人工组装。由人工手工作业引入的污染物也许最难以定义的。人接触到表面能引入各种各样的物质包括：

- 手指油污。
- 盐（来自汗水）。
- 各种各样的灰尘及粉尘。
- 食物碎屑。
- 脱落的表皮。
- 护手霜和化妆品。
- 手套中的皮棉或者碎片。
- 人体中的液体（可能要求消毒）。

这些污染物有可能是水溶性的，溶剂溶解性的，或者在二者中都不溶。由于这个原因，手工作业的污染物常常存在富有挑战性的清洗问题。

指印是一个复杂和潜在的有害污染物的来源。指印不仅包括油、盐及酸性的人体产物，而且还包括来自肥皂、洗手液及先前手工作业物的残留物。因为它们是如此复杂，通过特定的清洗过程，保证

将其完全清除是不可能的。应该训练员工尽可能少的手工作业单板，手工作业时仅限在单板边缘。指印潜在的损害取决于指印所在的位置。在裸铜板上和在铜引线之间的层压板表面上，指印减少绝缘阻抗。元器件本体上的指印可能不会造成损害，但是任何指印的累积都将会在溶剂萃取电阻率测试中显示更高的离子污染读数（见IPC-TM-650测试方法2.3.25，表面离子污染物的探测与测量）。

手套的使用会防止指印的产生，但是手套也会充当一种污染物的来源。可塑剂、滑石粉、灰尘及润滑剂都能从橡胶手套中转移下来。织物手套可能会带来纤维组织。如果用作其它用途的话，所有的手套在这以前就会受到污染。手套和其它制程材料接触后也会被污染，因此手套必须要保持清洁或者经常更换。必须要训练操作人员，如果要戴手套，手套自身也必须要保持清洁。这经常被忽视或者误解，导致对安全产生一种错觉。如果使用一次性的手套，经常性的更换手套会成为重大的成本压力，导致要减少更换手套的频次，从而导致污染。

选择的手套应该要具有抵抗其接触到的制程化学品腐蚀的能力。对操作人员来讲，所选择的手套佩戴应该要舒服。如果不能做到，手套就应该要少使用或者干脆不使用。另外一个可供选择的方案就是使用手掌和手指部位橡胶化，但是手套的背面使用未经处理的棉的棉手套。这就容许手套透气，因此对操作人员来说就会很舒服，并且可以使用合适的清洗剂清洁，保持一个清洁的，有触觉感知的表面。当正确地处理时，这样的手套能持续使用几个月。

食物、饮料及烟草产品，在所有的制程、储存和检测区域，都应该禁止带入。

8.5.2 标记 检测中发现的缺陷标记应该使用恰当的、可去除的不干胶标签。铅笔标记或者毡尖笔会留下不想要的残留物。

8.5.3 工作场所和周围储存条件 理想情况下，元器件、层压板及工作过程都应该储存在没有污染物且有受控的温度和湿度的环境中。遗憾的是，通常都不是这种情况，材料会积累各种在空气中运动的颗粒形式。尽可能地，元器件应该保存在它们最初的包装里，如果这些包装本身不是元器件最初的包装，那么这些包装会是污染物的来源。地面和周围区域也应该保持清洁。

用防静电塑料袋转移和储存“工作进程”中的组件是很普遍的惯例。然而，这些防静电塑料袋极少（很少）进行周期性的清洁，会是残留物累积的一个来源，污染的产品放置到这些防静电塑料袋中。将防静电袋里布满泡沫以达到组件减震的目的，这种做法也是很常规的。尖的焊点和元器件的边沿将会逐渐地撕碎这些泡沫，导致外面物体和散落的碎片颗粒污染。一些防静电袋和泡沫材料通过化学表面活性剂获得它们的防静电性能，这种化学表面活性剂同样能转移到组件的表面。这种泡沫材料及经过化学处理的袋子应该尽可能的避免使用。另外一个普遍的做法是包括一直伴随生产组件的产品文件（制程单），尤其是组件很小的时候。很多这种普通的纸张都是用氯气漂白的，而这类物质对电子产品来说是一种非常不想要的残留。纸张也会导致纤维转移到组件表面。

8.5.4 元器件包装当作一种污染物的来源 使用自动元器件贴装的机器需要元器件以编带卷轴、托盘或者管装的形式供应。确定元器件在包装中是否干净及在制程之前的残留物是否会导致清洁问题是很重要的。

8.5.5 暂时性阻焊桥/阻焊膜/抗蚀剂/阻焊带 焊接阻焊材料，也叫阻焊桥，用于防止电镀通孔（金属化孔）填充焊料。这对元器件的插装很重要，因为它们不能进行水洗且必须要通过第二次操作才能进行组装。现今在市场上有几种阻焊桥。

在一些实例中，组装工将会面临这种情形，在焊接过程中，需要保护镀覆孔的部位。这些材料可以分成可水洗的或者可剥离的。

可水洗的种类可分成水溶性或者溶剂溶解性的。水或者水基可溶性类型是由胶、高级醇、增稠剂和聚合物构成的混合物。类似可用的溶剂溶解型材料建立在蜡的基础上。由于阻焊膜残留物的累积，

水溶性阻焊膜或者溶剂可溶解性阻焊膜需要对清洗机加强监控和维护。水溶性掩膜和间距在清洗周期中，可能需要改变，比如更长的预冲洗时间以避免将阻焊膜材料带进洗涤溶液里。主要的优点就是焊后清洗过程能用于去除阻焊剂。阻焊剂供应商推荐的去除过程应该遵守。

可剥离类型的阻焊剂通常采用编带或者液体（随后进行固化）的形式，并被设计成能在加工之后手工去除。所用的编带可以是黏性或者橡胶基的编带。对黏性编带来说，当编带在焊接之后被去除时，黏性残留物可能会有残留。硅乳胶基编带不应该使用在电子电路中，因为它们的残留很难去除。氨基乳胶可以被使用，但是当剥离时，氨基化合物会留下离子化的污染物，需要水洗去除。来自可剥离阻焊剂材料中的残留物留下腐蚀程度增加的氯化物和硫酸盐，这会是电流泄漏及腐蚀问题的一个来源。

这些残留物可以通过使用离子色谱仪和环境应力筛选测试方法进行检测，环境应力筛选测试方法是在规定的工作偏压下，将区域暴露在湿度增加的环境中。典型数量的这材料被横放在IPC-B-24测试板的梳形电极上或者相当的梳形电极上。材料随后进行固化，波峰焊并去除。残留及覆盖在梳形电极上的残留物（不可见的），可以被用于表面绝缘电阻的研究。

对阻焊剂的类别，组装工应该要证实这材料在应用中能完全去除。如果去除不彻底的话，随后的焊接性能、敷形涂覆附着力或者组件的性能可能会降级。

8.5.6 润滑油和油脂 产品由于接触到组装机中的润滑剂而可能会被污染。这些会提出清洗的挑战性，因为它们可能很难被去除。对这个问题最好的防御措施就是做好保洁工作避免被这些材料污染。

润滑油通常是矿物油，憎水且易在表面形成粘滞的膜，这种膜很难被完全去除。润滑油通过乳化作用或者皂化作用，可溶于非极性溶剂中，但是唯独不能在去离子水中。污染源包括脏的压缩空气、机器中的油滴、手工作业和预润滑元器件。在单板生产的早期阶段，油污染将会抑制电镀、蚀刻及类似的水基过程。组装后剩余的残留物会导致敷形涂覆差的附着力。硅基产品特别容易粘牢且难以去除，因此，应该避免使用。

热油脂与那些润滑油有类似的性能，产生相似的问题。

蜡与润滑油和油脂有相似的问题。唯独在去离子水中是最难以去除的。一些溶剂在蜡的去除中会相对有效。

8.5.7 粘合剂 在组装中，经常使用标记贴（箭头贴、缺陷标记）、标签或者其它背面带黏性的胶带。使用者必须要考虑这些标记的去除，事实上来自标记上一些残留的胶可能留下。元器件贴片胶会溢胶或者空洞能夹裹住助焊剂和其它污染物。

清洗剂的化学特性和清洗过程应该选择要与组件上的粘接材料相兼容。胶粘剂的技术数据表，在使用温度和压力下，通常都不会列出化学敏感性，或者与清洗剂的兼容性。清洗过程会影响并降低粘接材料的性能。对用户来说确定清洗材料和过程对所用胶粘剂的完整性是很重要的。

8.6 清洗考虑要点 焊后/清洗后残留物的检测和分析是组件清洗过程重要的一部分。在这章节，将讨论关于剩余残留物的检测、残留物的根源及预防措施问题。

8.6.1 目检标准 IPC在IPC-A-610《电子组件的可接收性》中提供了通用的组装后的检测指南。额外的细节和要求可以自愿或者基于客户的需要增加。建议这些要求在所有检测环节中文件化和理解。最低接收标准和拒收标准被所有员工清楚地理解是很重要的。应该建立检测工具和放大倍数的标准并进行宣贯。

可视残留物区域的目检经常是争论的一个主要来源。IPC-A-610中列出的目检标准从1X（裸眼）到10X当作一种仲裁方法（见表8-1）。强烈建议目检评估清洁度和残留时，不要在超过10 X以上的放大

镜下进行。在高倍放大倍数下，观察组件表面非常容易，并且发现一种酷似表面残留物的光学效应。只有疯狂的组装厂商才用超过100X的放大倍数去检查组件。

表8-1 IPC-A-610表1-3

清洁度（采用或者不采用清洗工艺）	不需要放大，见注1
清洁度（免洗工艺）	注1
敷形涂覆/密封	注1、注2
标记	注2
其它（元器件及导线损伤等）	注1

注1: 目视检查可能要求使用放大装置，例如出现细间距器件或者高密度组件时，需要放大以检查污染物是否影响产品的外形、装配或者功能。

注2: 如果使用放大装置，放大倍数不可超过4X。

注1的难点是很少有检查员或者操作员能确定污染物是否会影响结构、安装或者功能。在残留物影响结构、安装或者功能之前，制造商需要确定存在的残留物是什么及残留物的量是多少。这是比较难实现的事情。

IPC-A-610列出下列各项：

- 污染物不但是在表面或者产生影响的因素方面进行判定，而且也是清洗系统没有正确工作的一种警示。
- 每一种生产设备应该有一个基于每种类型污染物的量多少能够容忍的标准。基于J-STD-001的离子萃取仪的测试，如在IPC-TM-650描述的，在外界条件下的绝缘电阻测试和其它电学参数测试都建议建立一个设备标准。

IPC-A-610里的语言应该引导读者去理解，不能简单地仅通过视觉的评估去判定无论残留物是可接收的或者不可接收的。很多白色残留物是无害的，并不会影响结构、安装或者功能。其它残留物是不可见的，并对可靠性产生不利影响。

8.6.2 元器件几何形状 复杂的局部结构，比如狭小的组件托高高度、流体包裹的形状和小尺寸元器件，将会影响清洗过程和物料通过率。在新的组件上设计，尝试改善功能，存在很多的挑战。设计者采用高密度的电路板，在极小的空间尽可能使元器件密度达到最大程度。这些设计推动元器件间距限制，也努力实现微型化，通过使用大芯片级封装、倒装芯片元器件、面阵列和在同样的组件上比沙粒还小的被动组件。这些元器件几乎贴合在印制线路板的表面，造成狭小的组件托高高度，增加清洗的挑战。

狭小的组件托高高度将会需要机械能，比如加压喷淋、离心力或者超声搅拌，以实现渗透进缺口，有效去除受夹裹的残留物。对水基清洗系统，困难产生于水无法渗透进大型器件非常小的空隙，由于与水基含表面活性剂的清洗剂相比，水有相对较高的表面张力（72 dyne/cm）的原因。

8.6.3 器件托高高度及对清洗的影响 器件托高高度在5mil以上时，通常就不是太关键性的。器件托高高度高于这个能提供足够的空隙，允许清洗的化学特性、冲洗和烘干有很好的渗透性能。这有点取决于元器件面积/尺寸及清洗液体。器件托高高度小于4mil时，倾向于一套新的清洗挑战。为去除元器件间隙间的残留物，助焊剂清洗液必须要具有渗透性，产生一个液流通路、润湿残留物，并把残留物带进溶液中。这些狭小的空间易受润湿问题、表面张力影响和由于元器件下面助焊剂的完全填充而使清洗受阻。这是小的器件托高高度和增大的封装尺寸的混合问题。

8.6.4 夹裹的液体 非密封封装的元器件可能会夹裹清洗液和湿气，正因为如此，存在潜在的可靠性问题。在清洗液被夹裹在元器件的本体中的场合下，组装员应该寻找替代的方法，阻止液体被夹裹或者清洗后将元器件贴放在组件上。二次烘烤对一些应用来说可能是必须的，但是可能是一个暂时的安排。

8.6.5 元器件问题和残留物 不同类型的残留物会在来料的元器件中被发现。元器件上的非极性残留物在组装操作前被发现，可能会以颗粒、油或者膜的形式。这些残留物在焊接后可能会一直存在于清洗的或者未清洗（免清洗）的组件中。

颗粒物质有各种各样，依赖于组装和储存的条件。颗粒物质来自组装过程中的例子是注塑成型后去除毛刺所产生的灰尘。通常用于去除毛刺的材料，包括磨平的塑料和来自各种各样的坚果（例如胡桃）的外壳。来自储存的颗粒物质可能来自周围的环境或者元器件储存的包装材料。环境污染可能包括灰烬、煤灰或者硅基沙砾。包装材料污染物将通常会塑料的或者偶尔含金属颗粒的纸。

油污染物可能来自组装过程或者零部件的储存处。组装油可能包括金属处理油。如果把手工作业算入一道组装操作的话，皮肤油脂和护手霜可能都会存在。脱膜剂也可能给元器件带来各种形式的油。来自含油物质的储存污染物可能来自周围情况（例如来自压缩机的油雾、选择的很差的包装材料、和极少期望的木屑）。

元器件上的膜通常和组装有关。这里膜被定义成一种通过简单的清洗方法，比如擦拭或者用酒精浸泡后去除的顽固物质。膜时常是元器件引线框上注塑材料溢出后的结果（产物）。这种注塑材料很难检测和去除。

不需要的膜也会沉积在元器件的表面，这些膜来自包装材料，比如编带和卷轴，或者元器件管装材料。这些包装材料时常是由塑料组成，可能经过化学处理去消除静电荷的积累。化学抗静电剂通常是胺基，并能转移到包装的元器件中，导致导电性膜，妨碍可焊性。

残留物可在来料零部件上被发现，由于组装或者手工作业原因。组装过程中不完全的清洗可能会导致元器件上电镀或者助焊剂残留物的存在。手工作业残留物很像来自与皮肤接触后的残留物。

另外一个在来料零部件上的污染物的来源是硫磺的存在，硫磺来自大气的污染物或者纸包装材料。硫磺与引线框的反应会导致组装过程中的可焊性问题。

8.6.5.1 来自元器件的污染物 元器件引脚和引线框可能是各种金属和合金，其中的一些难以焊接。通过热浸锡或者使用活性助焊剂的波峰焊将焊料涂覆在引线上，是一种很常见的做法。这就确保在组装前引线的可焊性。助焊剂残留物在规定的过程中应该能被恰当地去除。然而，这不能保证。类似地，电镀引线而不是用焊料涂覆的元器件可能会受到来自电镀液离子残留物的污染。除此之外，机电器件比如可变电容、转换器和电位计可能都已经加润滑油。如果这些润滑油漏出，它们可能会导致邻近区域敷形涂覆差的附着力。

8.6.5.2 元器件退化 焊接后的清洗操作的选择应该建立在下面的基础上，所需清洁度等级，需要被去除的助焊剂残留物的类型，和助焊剂残留物与清洗溶剂的亲合性。清洗过程的敏感性应该考虑如金属表面处理，低温塑料，擦拭布或者其他暴露的电气插头及其它材料，能依赖于清洗剂膨胀。特定的元器件，比如开放式继电器，要遭受充满污染物的溶剂的进入，但是不允许它简单的去除。这不是为可生产性设计的，如果这些元器件被证实是不具清洗性，清洗操作后仅是附着性的。这种类型器件的清洗选择是受到限制的。

8.6.5.3 其它元器件清洗考虑要点 缺陷在引线进入到元器件本体时最可能发生，尤其是带有模制塑料的元器件。对贴装的元器件，在元器件和单板之间给清洗溶剂通道提供足够的间隙是很关键的。这不总是能完成的，尤其是对表面贴装元器件。在有元器件的组件上，基板上小于4mil，大的贴装的表面区域，是否能被有效地清洗是很受怀疑的。当选择可清洗的焊膏，合适的清洗剂及带有喷淋、通气（烘干）及超声能的机械清洗设备时，可以采用改善的清洗方式。

8.6.6 表面的润湿 如果水或者其他液体的膜留在表面上，没有破裂，那么这表面就可以被说成是可润湿的。为了取得好的清洗效果，润湿元器件是很重要的。清洗媒质表面张力和待清洗元器件的

表面张力都会影响润湿过程。纯水有高的表面张力，接近72dyne/cm。这是与绝大多数有机溶液和水基溶液从16-36dyne/cm范围内的数据进行比较的。典型的元器件/水对塑料的表面张力范围从30-70 dyne/cm，对陶瓷或者玻璃高达1000dyne/cm。所用的清洗媒质的表面张力必须要小于元器件的表面张力。因为对狭窄空间中的清洗，清洗媒质的表面张力，待清洗元器件的表面能，还有过程搅拌的能量是很重要的。见IPC-CC 830。

8.6.7 表面张力和毛细力¹⁸ 表面张力可以想象成气球种类的物质围绕着清洗液。如果它薄且弱，那么清洗液可以很容易地流进、流出狭小的空间。如果表面张力太大，它将阻止清洗液流进狭小的空间。

毛细力能促进或者阻碍清洗过程。它们能促进狭小空间最初的润湿。如果不适当，它们也能通过阻挡浮力，抑制冲洗和干燥步骤。毛细力越大，清洗的挑战性就越大。

8.6.8 填充间隙对比未填充间隙¹⁵ 很多电子元器件焊接到基板上都会有一个空气间隙，它能允许清洗剂渗透到元器件的下面。然而，在再流后一些元器件的下面有被助焊剂残留物完全填充的倾向，这会阻止清洗溶剂的渗透。这些困难的清洗挑战性包括元器件，比如QFN、无引线芯片载体（LCC）、紧密贴装的芯片电容和电阻，以及一些微面积的阵列元器件。无引线芯片载体和芯片电容被放置，紧密贴装在电路板上。峰值再流时助焊剂残留物的毛细作用和表面张力用助焊剂残留物填充在元器件的下面（见图8-1）。



图8-1 夹裹在元器件下面的助焊剂残留物

这些其中的每个器件下面的平均距离在1-4mil之间。这些元器件下面裸铜板上阻焊膜的使用，会进一步减小这些紧密贴装元器件下面的距离。助焊剂残留物填充在元器件的下面，从而形成了一个助焊剂壁垒妨碍清洗作用。为了彻底且快速地清洗这些元器件下面，清洗液必须要有足够的动力，物理上冲破固体助焊剂。

能促进去除元器件下面所有助焊剂残留物的条件，包括与洗涤化学品的接触时间、流体流动、压力、定向力、洗涤温度和冲洗条件。

8.6.9 助焊剂残留物可变性 经验表明较软的残留物比硬的残留物要更容易清洁干净。使残留物变硬的是其组成成分和经历所固有的。一种助焊剂残留物的热史（受热历程）是很重要的。焊接再流循环的次数、峰值温度、再流焊后的时间及加热和冷却循环的持续时间都将会影响硬度，进而影响残留物的清洁性。

另外一个重要的因素是助焊剂残留物的化学组成。加热助焊剂驱逐溶剂和可塑剂，溶剂和可塑剂是组装过程中，助焊剂/焊膏所需要的，使得它们具有可印刷性和可分配性。加热过程使得助焊剂由液态或者凝胶态向固塑性态转变，比如残留物。固体形态的有机分子要么在晶态结构中进行排列，要么在非晶态阵列中进行折叠和缠绕。

非晶态和晶态聚合物在软化时（图8-2²⁴），其表现形式有很大的不同。晶态结构以近乎完美晶格的

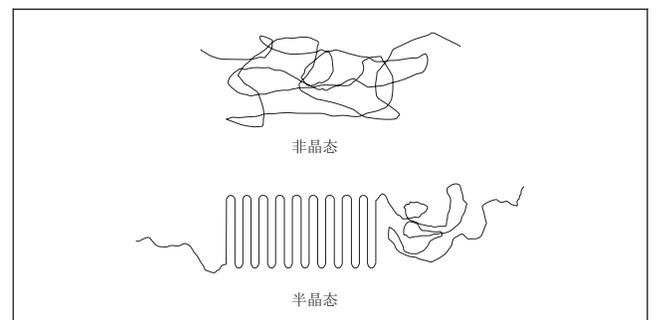


图8-2 非晶态结构示例²⁴

形式进行排列，因此，当有足够的热量使得一个分子从晶格中释放出来时，所有近似完美的晶态结构都会瓦解。

当达到熔化的温度发生时，就称为熔点 (T_m)。非晶态残留物有一个玻璃态转变温度 (T_g)，不是熔点 (图8-3²⁴)。在 T_g 值以上，分子能通过给出一个较小的模量互相摆脱。很多焊后残留物都是非晶态的，虽然有一些是两者的混合物。非晶态助焊剂固含物因此将会软化，并且在它玻璃态转变温度之上继续软化。

另外一个会影响待清洗残留物的软化就是再流后依然留在残留物中的可塑剂。可塑剂是一些小的有机分子，它在矩阵大的聚合物之间扮演润滑剂的角色。它们能有效降低残留物的 T_g 值。这就解释了观察到的，如果它们被放置几个小时，当可塑剂随着时间蒸发的时候，一些助焊剂残留物就变得难以清洁。如果清洗溶剂分子能渗透到固体残留物时，它们就可以扮演可塑剂的角色。在现代在线清洗机，预洗涤的功能就是允许溶剂分子扩散进固体矩阵里，并降低 T_g 值，允许洗涤对较软的残留物起作用。

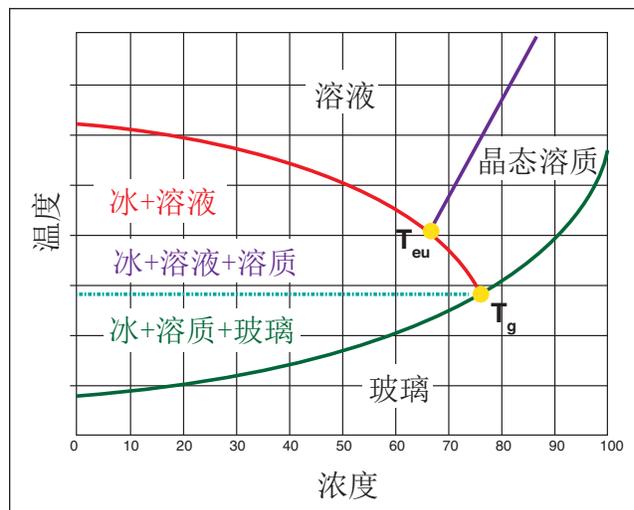


图8-3 相转变和 T_g ²⁴

8.6.10 洗涤剂效果 洗涤剂市场已经被很好地建立起来，当需要选择一种洗涤剂时，可提供很多种选择。应该仔细考虑选择哪种清洗剂。这种决定常常受到合同要求、工厂建立或者清洗过程质量保障成本需要的影响。一种清洗剂的选择，不应该受到这些外部因素的妨碍，应该是基于清洗效率、材料的兼容性、每块产出单板的化学成本以及对环境的影响。这些选择的可变因素需要仔细考虑，因为这些因素会相互影响。例如，一种活性较弱的清洗剂可能被选择用于减轻对组件材料损伤的关注，或者一种更贵的清洗剂可能被选择用于满足健康和安全的需要。洗涤剂的选择会明确地影响所要使用的设备。

8.6.10.1 洗涤剂类型 洗涤剂可分成8种基本类型。首先是分成溶剂型和水基型的。溶剂型体系认为要超过有50%的有机溶剂。水基型体系则要有超过50%的水。水基清洗剂进一步被分成反应型的和非反应型的；分离的和非分离的。溶剂型的基于可燃性的或者燃烧性的和蒸汽去垢的共沸混合物，进行分类的：

- 仅有水 - 基于纯度级别而变化：去离子化、反向渗透、非蒸馏。
- 水基高反应性/低溶解力 - 皂化的水基清洗剂。
- 水基中等反应性/中等溶解力 - 由溶解能力和皂化作用共同驱动。
- 水基低反应性/高溶解能力 - 由高溶解能力和低级别皂化作用共同驱动。
- 中性水基 - 由溶解能力和稳定清洗槽的低级别反应性共同驱动。
- 半水基I型 - 有机溶剂能稳定在水中<50% (长期使用过程中不会分离出来)。
 - 中性pH值 (操作范围pH=6.5-7.5)
 - 碱性pH值 (操作范围pH=8.5-12.0)
- 半水基II型 - 有机溶剂不能稳定在水中>50%的水中 (长期使用过程中会分离出来)。
 - 中性pH值 (操作范围pH=6.5-7.5)
 - 碱性pH值 (操作范围pH=8.5-12.0)

- 有机溶剂及混合物 - >50%有机溶剂含量。
 - 易燃的
 - 可燃的
 - 共沸混合物

表8-2提供了选择清洗剂的一些基本指南。

表8-2 清洗剂指南

清洗剂类型	材料考虑要点	优点	缺点	机器因素
仅有水 - 非反应型 基于纯度级别而变化：去离子化、反向渗透、轻击	与绝大多数材料兼容	适合于水溶性助焊剂。	主要取决于所需水的纯度。 闭循环对比开循环。 不推荐用于其它助焊剂。	推荐加热和高能量。 对水溶性助焊剂，起泡沫会是个问题。
水基高反应性/低溶解能力	氧化铅反应物，白色金属（铝），黄色金属（铜），油墨标记和涂覆。	皂化作用是一种有效的清洗机理，对松香、低残留物和水溶性助焊剂有很好的作用。	皂化的清洗槽能在较低浓度级别下运行，但是由于清洗强度中的氧化还原反应，要经常更换。	推荐加热和高能量。 当装载时，起泡沫会是个问题。
水基中等反应性/中等溶解力	由溶解能力和皂化作用同时驱动。较低级别的反应物改善抑制情况，但是材料兼容性问题必须要考虑。	对绝大多数助焊剂类型都有效。随着时间的推移，皂化的氧化还原反应会减少清洗槽的使用寿命。	在低浓度级别下运行但是清洗槽使用寿命起作用的考虑要点取决于通过量级别。	推荐加热和高能量。
水基低反应性/高溶解能力	由溶解能力驱动。低级别的反应活性容易受抑制。清洗剂的溶解参数是个关键因素。	对绝大多数助焊剂类型都有效。清洗效率取决于溶剂与水比例的维持。运行在较低浓度级别，有延长的清洗槽使用寿命。较低的消耗支持低的成本效率。	材料的兼容性应该在产品和机器硬件上进行测试。	推荐加热和高能量。
中性水基	由溶解能力、表面活性剂和低反应性共同驱动。	清洗效率取决于溶解助焊剂污物的能力。	中性的清洗剂在市场上是较新的，在市场上也没有完全建立起来。	推荐加热和高能量。
半水基不反应类型 I a-有机溶剂不能稳定在水中<50%（从长期使用过程中分离出来） 中性pH值（调节pH=6.5-7.5）	溶剂型清洗剂当用于匹配待清洗的污物时，有很好的作用。	对绝大多数助焊剂都有效。 低消耗和处理成本。	材料的兼容性应该在产品和机器硬件上进行测试。	在容纳槽中，为保持层的混合必须要有搅拌循环。在冲洗排空时可能需要有机溶剂分离器。
半水基反应类型 I b-有机溶剂不能稳定在水中<50%（从长期使用过程中分离出来） （调节pH=7.5-12.0）	溶剂型清洗剂当用于匹配待清洗的污物时，有很好的作用。	对绝大多数助焊剂都有效，包括高温焊接过程。 低消耗。	材料的兼容性应该在产品和机器硬件上进行测试。	在容纳槽中，为保持层的混合必须要有搅拌循环。
半水基非反应类型 II a-有机溶剂能稳定在水中<50%（不会从长期使用过程中分离出来） 中性pH值（调节pH=6.5-7.5）	溶剂型清洗剂当用于匹配待清洗的污物时，有很好的作用。	对绝大多数助焊剂都有效。 长的清洗槽使用寿命。	特别支持批清洗。材料的兼容性应该在产品和机器硬件上进行测试。	控制润湿段将洗涤化学品从冲洗段隔离出来是很关键的。

清洗剂类型	材料考虑要点	优点	缺点	机器因素
半水基非反应类型 II b-有机溶剂能稳定在水中<50% (不会从长期使用过程中分离出来) 碱性pH值 (调节pH=7.5-10)	溶剂型清洗剂当用于匹配待清洗的污物时, 有很好的作用。	对绝大多数助焊剂都有效, 包括高温焊接过程。	材料的兼容性应该在产品和机器硬件上进行测试。	控制润湿段将洗涤化学品从冲洗段隔离出来是很关键的。
易燃的有机溶剂和混合物>50%有机溶剂含量	检查所有塑料、标记和标签。	对松香型和一些免清洗助焊剂残留物有效。 低成本。	不利的处理成本。 处理设施准备和溶剂储存。 材料的兼容性应该在产品和机器硬件上进行测试。	机器和环境需要满足防火规范。 考虑挥发性有机化合物的防漏。
可燃的有机溶剂和混合物>50%有机溶剂含量	检查所有塑料、标记和标签。	对松香型和一些免清洗助焊剂残留物有效。	处理成本。 化学物质的运输、储存成本要比易燃溶剂要低。 材料的兼容性应该在产品和机器硬件上进行测试。	绝大多数需要在水中或者挥发性溶剂中进行冲洗。 考虑挥发性有机化合物的防漏。
共沸有机混合物	检查所有塑料、标记和标签。	对松香型和一些免清洗助焊剂残留物有效。 溶剂回收和蒸馏降低消耗。	处理成本。 材料的兼容性应该在产品和机器硬件上进行测试。	需要蒸汽去垢。需要合适的挥发性有机物防漏。考虑蒸馏液喷淋。

8.6.10.2 预测和可控反应清洗 一些水基清洗剂有电抗部分, 通常是一种有机胺, 加入溶剂与羧酸进行反应, 羧酸能在活性物质和松香基助焊剂中被发现。在羧酸污物中, 发生皂化反应。这种类型的清洗剂历史上指的是皂化剂。皂化反应随着温度的升高而增强, 每升高10° C [50° F], 皂化反应大致增强两倍。这些清洗液通常加热到51° C-65° C [125° F-150° F], 通常与机器有关, 而与清洗剂无关。越高的洗涤温度越能加速清洗过程, 并减少用于去除组件上污物所需要的浓度。一句警告, 当暴露在升高的温度和长时间的洗涤循环过程中时, 一些没有金属腐蚀抑制剂化学物质的反应类型会锈蚀焊接接合部位。在清洗过程中, 当反应活性水平足够低到能钝化金属合金时, 抑制的反应清洗剂物质就可以安全地使用。

在反应性化学物质的预期性能中, 应该要看清洗槽的使用寿命。有两个重要的因素需要考虑。一个是反应物的消耗; 第二个是起泡沫的倾向。在闭环清洗系统中, 当胺被耗尽时, 皂化物就会产生, 皂化物会逐步增加到形成泡沫。泡沫会在洗涤槽中产生通气, 并最终将会空化泵, 增加的泡沫会达到一个无法维持的水平, 对设备导致潜在的损坏。消泡剂会加入到反应化学物质中以防止这种现象发生, 但是并不一定会起作用, 这还要取决于污物的类型和数量。

8.6.10.3 非反应清洗中溶剂的作用 助焊剂组成随着建立免清洗组装、小型化、更高互连密度的需要及焊锡合金的变化, 已演进和改变。一些清洗剂被设计成匹配待清洗污物的溶剂混合物。溶剂、半水基及许多水基清洗剂使用溶剂溶解助焊剂残留物内的成分。对易溶于溶剂型清洗剂中的助焊剂残留物, 可能不需要皂化作用机理。

无机碱化合物和无机酸化合物通过克服污物基体间离子键的强度, 清洗污物。在一些有机结构中, 比如羧酸, 一部分分子结构显示带正电荷, 其它分子结构位置显示带负电荷。一些有机化合物, 比如胺结构通过相反的电荷偶极子之间的吸引力, 会受到这些绝缘的残留物的吸引。这些反应清洗的机理显示出能够改善某些助焊剂组成的清洗效果。

有溶解能力的非反应型清洗剂不存在相反的带电偶极子之间的吸引力。溶剂型清洗剂，显示出与污物相似的性能，通过分散或者溶解污物进行清洗。事实上，污物像清洗剂中溶剂的作用，其本身溶解进溶剂型的清洗产品。在一些助焊剂残留物组成中，溶剂型清洗剂会产生很好的清洗效果，但是可能需要增加洗涤温度和洗涤时间。当助焊剂残留物溶解到溶剂型清洗剂中时，随着时间的推移它们将会变成酸性的物质。随着时间的推移，这可能会改变清洗的性能，有利的或者不利的。

8.7 焊接后的白色残留物¹ 白色残留物通常能在使用水溶性助焊剂焊接的组件表面上观察到。白色残留物也能在其它类型助焊剂不适当的清洗后发现。几种工业趋势加重了这个问题：1. 无铅焊接；2. 无卤助焊剂；3. 低挥发性有机化合物水基助焊剂材料。

白色残留物通常发生在电子组件生产过程中。组装人员有很宽泛的助焊剂选择，每一种助焊剂都会参与形成白色残留物。不恰当单板表面处理和不当的清洗过程会留下半透明的表面污染物膜。白色残留物的化学性质代表了一种复杂的密封盐的形式，这些盐由非挥发性的助焊剂组分衍生过来；金属氧化还原反应由助焊剂活性物质引发；碱性皂化剂及加热；阻焊膜固化问题；清洗材料和助焊剂的相互影响。助焊剂残留物的可视外观与助焊剂组成和焊接曲线有很大的关系(见图8-4)。理想的状态，尤其是对低残留免清洗残留物，是一种确切无害的半透明固体。

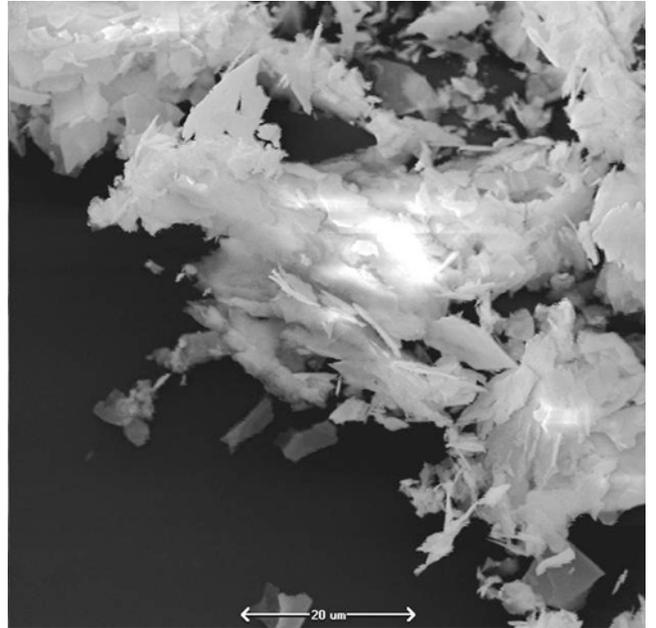


图8-4 清洗后的留在焊接接合部位的白色残留物的SEM图像

8.7.1 白色残留物形成机理 有几种导致白色残留物形成的机理。

8.7.1.1 热氧化 松香在温度超过200° C [392° F]时，可能经历热氧化。松香的热氧化减少松香酸的不饱和双键。不饱和双键的减少会导致乙二醇、酮和不同分子量的酯的形成。² 这些残留物会在表面逐渐消失，并氧化进入粘牢的白色残留物里面。焦的残留物分布在助焊剂的周围，也散布到焊料凸点上。在这两个位置上的助焊剂膜都较薄，并且更易于氧化和变焦。²

氧化现象在单板吸收最多热量的部分是很普遍的。¹ 有接地面的多层板在离电路组件的地方吸热，因此需要更高的再流温度曲线。相似的结果发生在焊接面阵列元器件及芯片电容。由于热点烧焦了助焊剂残留物，这些小型元器件底下的残留物趋向于以不规则形状的形式进行氧化。

8.7.1.2 聚合作用 温度超过200° C [392° F]时，会导致松香和树脂结构的聚合。聚合作用的发生是加热的结果，金属盐扮演催化剂的角色，提高化学反应的速率，形成三维网络的聚合物链。⁶ 链增长的化合物连接双键，加入到树脂化合物中，形成一条重复的链。

8.7.1.3 使用水溶性助焊剂的阻焊膜吸收 在使用水溶性助焊剂和清洗材料的波峰焊中，阻焊膜的吸收会导致助焊剂和湿气渗透进干膜，形成多孔状的阻焊膜。⁷ 多孔状的单板表面处理会形成微小的气穴，当波峰焊时会扩散。波峰焊助焊剂会润湿并渗透进阻焊膜的层压材料。这些助焊剂与锡和铅氧化物进行反应。大量的金属盐和微量的水溶性助焊剂载体包围着它，金属盐附着在焊料和单板表面。⁸ 当使用含水基清洗时，助焊剂副产物未完全去除会留下白色残留物。

8.7.1.4 使用低残留免清洗助焊剂的阻焊膜吸收 当使用干膜阻焊膜及低残留助焊剂时，湿气的吸收是很有影响的。波峰焊助焊剂和热量会分解，并使干膜掩膜膨胀。这可能是由于单板制造时粘性固化和最终固化引起的。当单板经过预热区和焊料波峰时，干膜上的气孔张开并扩展。低残留助焊剂中的挥发性溶剂被吸收进阻焊膜里。单板表面过波峰焊后，掩膜形成了一种白色残留物。白色混浊斑点通过将热风返修工具的温度设定在400° C[752° F]去除。温度会使低残留助焊剂活化并去除白色膜。

8.7.1.5 低挥发性有机化合物助焊剂 低挥发性有机化合物助焊剂通常热稳定性较差。这些材料被配成有更强的助焊能力和助焊强度。卤素活性物质，经常在低挥发性有机化合物助焊剂中，在去除金属氧化膜方面，改善了助焊剂的效能。¹⁶ 高活性的助焊剂会产生金属卤盐，如果未被去除，它就会持续的反应。由于这些特性，助焊剂残留物在焊接后被清洗掉。由于较差的热稳定性，形成的铅盐和锡盐极难被清洗掉。这会导致残留物，需要更高水平的皂化作用去除残留物。

8.7.1.6 蒸汽冷凝 具有高挥发性的清洗溶剂，比如实验台上的异丙醇，暴露后的蒸汽去垢溶剂的挥发和闪蒸。由于这些清洗溶剂快速的蒸发速率，所以它们只能给予部分清洁的局面。溶剂蒸汽和/或者溶解可溶的树脂结构，但是以白色残留物的形式留下不溶解的盐。这经常在蒸汽去垢过程或者在水准点高程中发生。在蒸汽去垢中，蒸汽膜提取出可溶解的松香，但是留下不溶解的盐。⁹ 这发生在浸没到液体前，局部放进清洗液并暴露在蒸汽中。在水准点高程中，溶剂喷淋到待清洗的区域。当溶剂在局部流动时，可溶解的树脂被提取出来，留下白色不溶解的盐。上述两个实例中的白色残留物都有潜在的变成具有导电性和吸湿性。¹² 一旦这种不溶解的盐暴露出来，清洗液在将这些白色残留物去除方面就做得很差。

8.7.1.7 白色残留物风险因子 当考虑白色残留物是否会产生可靠性风险时，关键是要考虑残留物是否吸湿、离子化的，在湿气和偏压的存在下，是否会有潜在的腐蚀。白色残留物趋向于吸湿和导电，这会在敏感电路上，潜在的造成电流泄漏和杂散电压失效。¹⁰ 助焊剂活性物质，如果它们在白色残留物中没有失去活性并一直存在白色残留物中，如果有湿气存在的话，它们就会分离，导致电化学迁移。¹¹

8.7.1.8 选择性波峰焊（载具） 选择性波峰焊就是有选择的焊接PCB上元器件的过程。在选择性波峰焊过程中，使用的助焊剂能铺展到焊接路径之外，这些地方没有焊接-清洗动作去去除它或者激发助焊剂使它无害。¹³ 问题是助焊剂铺展到离开托盘开口的电子器件终端的表面上。当使用低残留助焊剂时，活性物质必须要被激发并且密封。在选择焊设备中，助焊剂离开焊接位置的铺展是不起作用的，由于托盘的热保护，结果就会表现出一种可靠性风险。在湿气和偏压存在的情况下，离子污染物电化学迁移并形成树枝状结晶的白色残留物。为解决这种风险因子，选择焊后的单板应该要清洗，即使焊接时使用的是低残留的助焊剂。¹³

8.8 清洗过程控制

8.8.1 过程参数 当设计清洗过程时，清洗剂的选择、洗涤时间、洗涤浓度、洗涤温度、水的质量和冲击能都是很普通的过程参数。

8.8.2 清洗剂 一般用于清洗印制线路组件的清洗剂技术都是溶剂型、半水基和水基产品设计。最好的实际情况就是清洗剂与确定的污物和加工设备的匹配。

8.8.3 设定过程控制极限 需要过程控制技术去维持一个窄的工作窗口。在更低浓度设定极限下，允许洗涤槽浓度的漂移会增加使人不满意清洗效果的潜在性。过程控制系统被设计成维持清洗材料的浓度在一个特定的范围之内，减少可变性。相似地，其它机器控制参数，比如时间、温度和压力都需要被维持在设定的工作极限内。推荐统计过程控制极限和干预水平。

8.8.4 避免不需要材料的影响 测试是不损坏组件材料清洗过程最优化的关键。一个方法就是将这些组件多次通过清洗液。在测试期间，使用最长的循环，最高清洗剂浓度，在清洗过程中能想象的最高压力和最高温度。

直观的、空间的、重量或者电学的测量都能用于判定结果。最简单的就是通过/失败。撕起标签或者人造橡胶膨胀影响或者不影响元器件？如果影响，能否通过过程参数的调整来消除这种影响？是否有可替代的元器件？可替代的元器件能否在清洗后被加进去？如果这些都无法实现的话，清洗剂就应该被换掉。

8.9 清洗设备考虑要点

8.9.1 驱动力时间、温度、浓度和能量 一个最佳的清洗过程能通过控制清洗剂、洗涤浓度、洗涤温度及分散在清洗过程中的能量获得。时间、温度、浓度和能量在清洗最优化过程中都是相互关联的。一旦设备和清洗剂被选定，清洗过程的最优化就应该被实行。决定什么是重要的。最快的速度通常会得到最低的成本。其它因素比如人工投入线性平衡法，化学品的消耗和装置也必须要考虑进来。

8.9.2 静态和动态清洗能量 过程清洗速率定理认为静态速率（化学力）加上动态清洗速率（机械力）等于过程清洗速率。静态清洗速率，用简单的术语来说，就是清洗剂溶解再流后助焊剂残留物的能力。动态清洗速率包括将清洗剂传递到污物上的能力。这包括需要用于去除助焊剂残留物的热能及冲击能。

8.9.3 动态能量效能改善 清洗过程中加入动态能量会引起更快的清洗速率以及改善的清洗结果。有几种不同的动态能量的来源能用于加速和改善清洗过程。选择合适的一种取决于所选择的设备和清洗剂。下表8-3提供了与焊接后清洗过程相关联的动态能量类型。

表8-3 与焊接清洗过程相关联的动态能量

助焊剂清洗过程	常规的动态能量来源
手工清洗	刷洗、擦拭、空气吹洗
蒸汽去垢	汽化槽、浸入喷淋、超声波能量
浸渍槽	浸渍、发泡、浸入喷淋、超声作用
水基/半水基批清洗	空气喷射冲击、离心作用、浸没式喷淋
水基/半水基在线清洗	空气喷射冲击、浸没式喷淋

在手洗操作中，利用刷洗和擦拭能极大地改善暴露的残留物的清洗效果。然而，这对清洗被夹裹在元器件下面的助焊剂没有多大的帮助。蒸汽去垢通常利用空气喷射棒给予需要的物理能来冲洗元器件下面，通常能加速清洗的过程。“浸渍槽”或者“浸入槽”通常安装有超声能发生器或者在浸入喷嘴下的喷雾以增加能量。对绝大多数的水基或者半水基批清洗或者在线清洗去除助焊剂来说，高速冲击的“空气喷射”是很普遍的。除了加速助焊剂的去除过程，清洗过程中加入的动能也能帮助去除颗粒物，比如焊料球、污物、灰尘和来自电路板上的玻纤布。

8.9.4 过剩能量 绝大多数组件过程残留物的清洗都是时间-温度-溶解的关系。增加的温度和持续时间通常能改善清洗，但是这个概念需要花太多的精力去理解。当洗涤温度开始爬升超过150° F（65.5° C）时，化学保护性膜将会受到攻击，一些金属将会变色。在非常狭窄间隙的元器件下面，通常需要更长的洗涤时间，但是从对材料兼容性的立场上来说，这可能会有有害的影响。增加洗涤喷射压力（动能）以增加动态清洗，通常会导致更差的清洗效果，因为在洗涤媒质变得有效前，它已经弹离表面，更多并不一定就更好。

8.10 监控洗涤槽

8.10.1 滴定 在水基清洗槽里，对碱助剂的酸滴定能确定清洗剂的浓度。在清洗液中，一种能改变颜色的指示剂通过中和一种已知含量的标准酸溶液，能用于测定碱助剂的含量。这种方法主要用于较旧的皂化剂。

滴定也能用于确定游离碱度和总碱度。通常指的是百万当量，游离碱度滴定到滴定终点为pH等于8.3，总碱度滴定到pH等于4.0。这步骤能用于确定清洗槽的使用寿命，并且比较不同清洗剂的碱度水平。

8.10.2 折射率 在引入现代水基清洗技术之前（20世纪90年代），用户大都被限定在使用滴定方法中。随着折射率技术的引进，用户可以选择另外一种切实可行的方法。折射率总的来说可以通过光的折射来测定有机和碱的成分（如果后者是液体的话）。在工业上有手工和自动两种体系。

媒质的折射率是测量在媒质里光速（或者波，比如声波）减少多少。例如，典型的苏打石灰玻璃的折射率是1.5，这意味着在玻璃里，光传播的速率是真空中传播速率的 $1/1.5=0.67$ 倍。玻璃的两种通用属性和其它透明材料与它们的折射率直接有关。首先，当光通过从空气到材料的界面时，光改变方向，这是在透镜中使用的一个效果。其次，光在与周围材料有不同折射率的表面进行部分的反射。

媒质的折射率（ n ）被定义成比如参考媒质（图8-5）中的光波或者声波波动现象的相速度（ c ）与媒质自身相速度（ v_p ）之比。

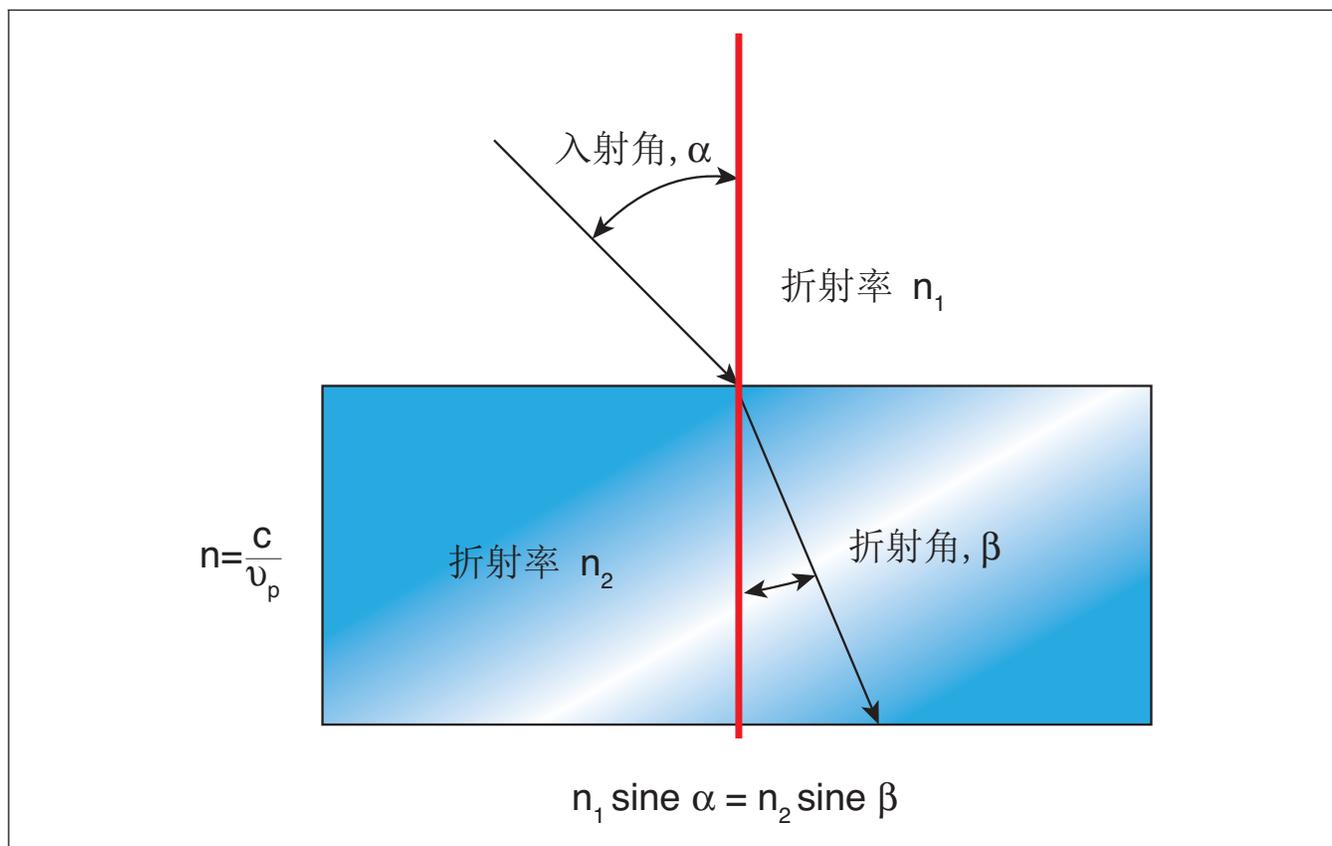


图8-5 折射率

因为折射率是物质一个最基本的物理性质，它经常用于识别特别的物质，去确认它的纯度或者测定它的浓度。折射率用于测定固体物质（玻璃和宝石类）、液体和气体。在工业界，折射率用于测定水基溶液中溶质的浓度。折射计是用于测定折射率的一个手动工具。当谈到糖水溶液时，折射率可以

以糖度单位的测定形式确定糖含量（糖度单位就是水基溶液中糖含量的单位。一度糖度相当于1克蔗糖溶于100克溶液中，因此用重量分数（%w/w）代表溶液的浓度（严格意义来讲，用质量百分数））。好处在于简便地使用和快速地测定。这种技术还符合成本效益并且可靠。一个缺点就是缺少对溶解的污染物的校正。清洗剂倾向于溶解来自组件中的残留物，它会随着从有机物到无机物的不同而不同。随着时间的推移，折射率读数就会变得有影响。为补偿这种可能的偏移，用户可以依靠补充的分析测试，比如气相色谱仪，典型地由供应商完成固体含量（非挥发性残留物）和清洗槽分析，和/或者滴定测量。

8.10.3 非挥发性残留物 非挥发性残留物（NVR）在蒸汽压强高于水压的情况下，确定残留物的总量。这种分析用于估计清洗液中污染物的量。应该运行控制手段用于估计没有污物时对清洗液的影响。

8.10.4 其它清洗槽的监控方法 其它的方法包括清洗槽的分析方法。这里，一种测试液用于将清洗液样品分成有机相和水相，也就是两种明显不同的体积（图8-6）。通过与参考溶液相关的方法用于确定清洗液的浓度。这种方法能够析出无机污染物，并能提供可信赖的浓度结果。分离的时间取决于样品的温度还有在水中有机原材料的溶解性能。这会随着产品的不同而不同。在少量污物进入时，助焊剂和其它污染物不会影响测试的准确性。进入的污物通常是活性浓度的函数。以表面活性剂和/或者皂化剂为基础的产品有更高的倾向去溶解污染物。与更高活性浓度的结合会导致更多的进入量。固体含量的测量能帮助分析各种产品的这种行为取决于所用的清洗槽的分析仪，它也能帮助确定清洗剂的pH值。



图8-6 有机相和水相

光谱学方法也能用于进一步补充上述提到的技术。核磁共振、傅里叶红外转换光谱学及紫外-可见光光谱学帮助定性的确定残留物的性质和清洗剂的组成成分。那些方法通常由专业的外部实验室提供。通过比较标准的原始溶液，用户能发现重要指标来解释在用清洗剂的性质/状态。

8.10.5 清洗槽起泡 清洗槽起泡也是在PCB清洗系统中会遇到的一个潜在问题。由于它与洗涤过程相关联，起泡最通常的定义是在液体中被很多泡沫夹裹住而形成的一种物质。有问题的泡沫会同时破坏批清洗和在线清洗系统。在一台在线清洗机中，多余的泡沫会在洗涤或者冲洗阶段，或者在这两个阶段同时出现，取决于问题的严重性。当泵是开着的时候，多数的洗涤阶段都是在表面有一层泡沫层的情况下运转的。泡沫层将通常小于2in厚，不会对洗涤过程造成问题。当泡沫的高度持续上升到溢出清洗槽的顶部或者向下延伸到泵的吸入口时，泡沫就会变成问题。

相似的问题也在批清洗机中出现。在有过多泡沫存在的条件下，清洗机储水器将会溢出。过多的泡沫在冲洗循环阶段也会导致另外的问题，对批量清洗机来说是独特的，批量清洗机将会持续运转按顺序的冲洗循环直到达到预设的电阻率。这个问题将会在下面的8.10.5.3节中讨论。

在线清洗机或者批清洗机中，过多的泡沫通常会导致洗涤系统关闭。在最好的情况下，系统会自动的关闭，由于泡沫上推到高液位漂浮导致高液位报警器报警，或者是由于槽液位水平降低到低液位漂浮使得泡沫溢出槽顶层导致低液位报警器报警。在最差的情况下，系统漂浮很快就不发生反应，机器操作员在意识到地板被洗涤液浸湿时关闭清洗机。

8.10.5.1 在线清洗机中洗涤阶段的泡沫 在线、有传送带的清洗机在整个印制电路工业中普遍使用，为获得电路板清洗的高生产率（图8-7）。

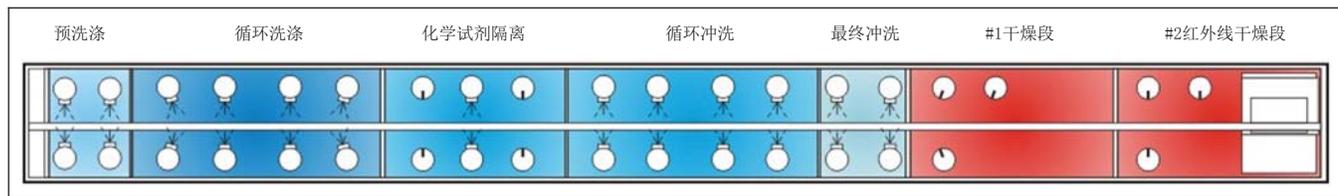


图8-7 在线PCB清洗过程的典型阶段

因为它们通常使用相对较大且有高喷射压强和高容积流量的泵，在线PCB清洗机的洗涤阶段通常很容易生成大量泡沫的产品。一旦泡沫问题出现，列在8.10.5.1.1章节中的下述症状将会出现。

8.10.5.1.1 由过多泡沫导致的典型症状

- 由槽溢出导致的低液位报警器。
- 由泡沫上推到高液位漂浮导致的高液位报警器（见图8-8）。
- 由泵空化导致的低压/差的清洗。



图8-8 泡沫开始溢出到两个不同的洗涤阶段

由于一个或者多个根源问题，一旦泡沫开始出现，它会继续扩散。泡沫的产生会受到列于8.10.5.1.2章节中的过程参数的影响。

8.10.5.1.2 影响泡沫出现的过程参数

- 低温。
- 低的清洗剂浓度。
- 清洗剂和助焊剂选择。
- 乳化消泡剂的高活性助焊剂的载入（典型的水溶性和松香助焊剂）。
- 包含在污物中“高泡”化学成分的形成（暂时性阻焊膜，其它污物或者其它物质）。
- 高喷射压力及大流量。

8.10.5.1.3 在洗涤阶段消除多余泡沫的纠正措施

- 在允许范围内，增加温度，确定温度和泡沫产物之间的关系。为减少泡沫，过程温度最小应该在清洗剂/助焊剂混合物浊点之上 2.7°C - 5.6°C [5°F - 10°F] 之间。清洗剂的浊点通常在产品的技术文献中规定。泡沫通常发生在溶液在浊点之下，且温度在浊点之上时，会快速缩小。

- 采取措施确保浓度在制造商推荐的范围之内。绝大多数含有消泡剂去抵消由加入的污物所产生的气泡。由于有限的溶解能力，消泡剂通常以低浓度加入到清洗液中。如果化学清洗浓度太低的话，消泡剂成份几乎就不起作用。
- 选择低起泡的清洗和焊接化学剂。清洗剂制造商的技术文献通常含有表明特殊化学剂的起泡性能的数据和图表。搅拌机起泡研究也可以使用实验室高剪切搅拌机进行。实验室测试需要在预先设定的过程温度下运行。
- 确保载入的污物不在泡沫临界值之上。污物的累积是导致多余泡沫产生的条件。这问题通常是由包含在助焊剂中的成分导致的。其它高泡材料比如特定的阻焊膜会导致这种问题。因为一台在线PCB清洗机是一个相对持续的过程，要达到一个稳定的状态平衡，载入的污物通常在浓度上要达到平衡，不会产生多余的泡沫。然而，如果稳定状态的污物浓度在起泡临界值之上，那么污物水平就需要通过过滤或者更换清洗槽进行定期地减少。
- 当更换泵时，总是要遵照清洗机制造商的建议。泵的尺寸通常受到洗涤槽容积的限制。一个太大的泵会产生过大的压力和流量，依次，会导致槽过于频繁地翻转，以及将空气进入到泵里。后者条件会加重泡沫产物。
- 加消泡剂到洗涤溶剂中。这种对起泡问题的补救办法通常只是一个临时的措施，并不能说明高泡产物的根本原因。然而，在一些实例中，定期加入消泡剂能成功地控制起泡。

8.10.5.2 在线清洗机冲洗阶段的起泡 在线清洗机冲洗阶段的起泡跟洗涤阶段的泡沫是一样严重的。作为结果的症状也是一样的。影响泡沫出现的过程参数也稍微有点相似，有一个非常重要的不同：在绝大多数情况下，冲洗阶段主要的根本原因是洗涤阶段化学剂低浓度的交叉污染进入到冲洗阶段。

冲洗阶段低至百万分之一浓度水平的清洗剂/污物的混合物会导致极端的泡沫产物。当这发生时，消泡剂成分的浓度，在冲洗时也会导致交叉污染，不能有效抵消泡沫产物。在一台适当平稳的在线清洗机里，交叉污染物不会发生在一个足够的强度导致冲洗阶段起泡。采取措施确保在线清洗机的设置如8.10.5.2.1章节所描述的，是恰当平稳的。

8.10.5.2.1 减少交叉污染的纠正措施

- 调整洗涤喷淋头，确保喷淋液滴不会溅入到冲洗段。通常，外面的喷淋头能轻微地转变角度使之朝向洗涤阶段的中心，中间的喷淋头以垂直方向进行喷淋。这会确保最靠近冲洗段的喷淋头转变角度远离冲洗段。
- 在化学品隔离段调整空气刀，因此它们可以同时是垂直的或者轻微地转变角度，使之朝向洗涤阶段。化学品隔离喷淋头也应该是垂直的或者轻微地转变角度使之朝向洗涤阶段。确保喷淋头和空气刀不是成角度朝向冲洗阶段。（见图8-9）
- 调整排气风门确保空气的净流量和薄雾是朝向清洗机的入口。在线清洗机有多种排气装置。大部分系统都装有外部排气风门。一些系统排气风门的安装方式，导致洗涤阶段的薄雾从洗涤阶段移动到冲洗阶段。冲洗喷淋会将薄雾拉进冲洗槽，导致冲洗槽的污染。这个问题经常被忽视，但会是冲洗阶段有问题泡沫的主要原因。（见图8-10、8-11、8-12和8-13）
- 采取措施减少从洗涤阶段的洗涤液中带离（推迟）并进入到冲洗阶段。带离液的发生是由于洗涤液紧附在润湿的表面通过清洗机的结果，也包括电路板、清洗篮和传送带。液体能在PCB平坦的表面和元器件里，比如连接器里共享。紧密编织的清洗篮或者清洗篮内部替代的筛网材料用于防止电路

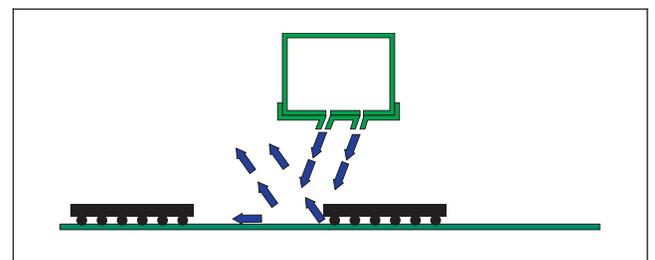


图8-9 调整空气刀远离冲洗段

板到处移动，导致过多的带出液。在许多情况中，电路板或者一篮子紧挨着放置的电路板都会导致液体的共享，甚至会导致从洗涤阶段到冲洗阶段的液体沟槽。



图8-10 排气调整前的冲洗阶段泡沫



图8-11 排气调整后的冲洗阶段泡沫



图8-12 外部排气风门



图8-13 内部排气风门

8.10.5.3 批清洗机中的泡沫 批清洗机中洗涤循环中的泡沫，其产生原因是和在线清洗机中泡沫产生的原因是一样的，就如上述所述。潜在的症状和纠正措施也是一样的。

批清洗机中冲洗阶段泡沫产生的根本原因类似于在线清洗机冲洗阶段中泡沫产生的根本原因。然而，不均衡的排气通常不是起泡的一个潜在原因，因为多数批清洗机只有一个排气管道，或者根本就没有排气。

在批清洗机中由于多次冲洗循环可能导致泡沫过多的的问题。很多批清洗机被设计成按顺序冲洗循环运行，直到达到一个预设的冲洗水的最大电阻率。典型的预设值范围从300-700K Ω 。过多的泡沫会导致从一个循环到下一个循环高水平的移行，因为泡沫紧附在加工室的内壁，并能在排水区域附近收集到（见图8-14和8-15）。在冲洗循环阶段，泡沫会抑制良好的排水。

8.11 清洁度测试 测量和控制电路板清洁度能改善产量、组件性能及长时间可靠性。离子和非离子污染物会影响器件上存在的操作性和可靠性。在湿气环境下，离子污染物会导致比如由于电解枝晶生长导致的导体间短路问题，腐蚀物腐蚀导体自身问题，或者绝缘电阻的失去问题。非离子污染物不是导电的，但是导体周围残留物的绝缘特性会导致不需要的阻抗。



图8-14 洗涤阶段中的泡沫

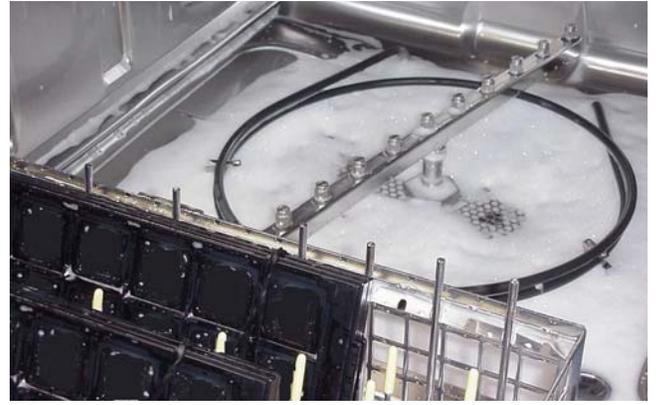


图8-15 在顺序冲洗间，洗涤/冲洗室内的泡沫阻碍排水

8.11.1 ROSE测试 在20世纪60年代，国防部变得越来越关注由于离子污染造成的电路组装板失效。国防部和工业专家合作，为量化制造过程中留在电路板上离子污染物的水平而发展质量保证和过程控制方法。这方法通过测定萃取溶液的电阻率，普遍多指ROSE测试，检测并测定可电离的表面污染物。这ROSE过程控制工具能用于检查印制线路板和印制线路组件，确定它们是否符合用户的性能规格。这里出现的方法已经成为IPC J-STD-001的一部分，这种方法也记录在IPC-TM-650中。

ROSE测试是非常有益的，因为这测试为制造技术的稳定控制，监控产品组装和清洗过程，提供快速和简便的方法。ROSE方法的局限由无法溶解许多现在的助焊剂残留物并去除，无法检测到夹裹在元器件下面狭窄空间里的离子污染物。在许多现今前沿的电路组装中，这些局限让ROSE测试当作一种质量保证和过程控制的指示物的正确性提出了质疑。为应对这些局限性，需要改善萃取剂、污染物检测传感器和动态清洁度测试仪，为满足电子组件制造过程质量保证和过程控制的需要。

8.11.2 ROSE测试方法的局限 更高的密度，更小的元器件及更低的元器件托高高度都正在改变电路板清洁度的定义。现在或者传统对质量保证的正常的看法是和可视残留物和萃取液电阻率的测量是相关联的。随着元器件尺寸的减小及元器件托高高度间隙的减少，溶解能力、萃取能力及使用ROSE方法测定离子污物的能力受到很大的质疑。ROSE测试方法是一种切实可行的控制工具，用于测量组件上平均的离子清洁度。这种标准测试不能用于评估单个元器件。

自动ROSE测试方法仍然是引导电子组件日常的产品检验通用的标准。这通用的标准允许使用很多种新助焊剂种类，但是这些新助焊剂种类的多数不溶于标准的75%/25% IPA/H₂O试剂。对于通用标准的局限，新的测试设备通过加热IPA/H₂O混合物来改善溶解性能。

使用ROSE测试方法的测量依赖于夹裹在有机助焊剂基体里的离子残留物的溶解，测量对电阻率的影响。因此，如果离子残留物没有溶解在IPA/H₂O混合物中，那么这些不溶解的离子残留物就不会被ROSE测试检测到，这会导致对电路板清洁度不准确的测定。通用方法的局限，包括电子组件更小的几何外形尺寸和新的焊接材料/方法，留给公司生产高可靠性的硬件产品很大的隐患，由于缺少可接收的清洁和测试系统。

8.11.3 ROSE测试设备 清洁度测试设备使用专用的纯化溶剂试剂来去除离子及非离子助焊剂残留物。试剂循环进出含有在测电路组件的测试槽的腔室。槽中存在的溶剂试剂通过传导单元持续测量电导率。这些电导率值随着萃取时间的增加不断累积。在下一次测试进行之前，这些混合物被抽入到树脂柱进行纯化溶剂试剂。因为从样品中萃取的离子物质及之后从测试腔中抽离，试剂的电导率将会减少，直到所有萃取的离子物质已经被去除。

清洁度测试仪包括一个清洗腔和测试腔，输入的溶剂试剂进入到测试腔中，用于感应试剂的电阻率传感器被安装在测试腔内，输出的试剂用于去除来自测试腔内的溶剂。清洁度测试仪也可能包括物

理搅拌和/或者加热试剂改善溶解性能的手段。离子交换树脂必须要同时和试剂及过程温度相兼容。接触电子组件后的试剂的电阻率会被测量并和开始的试剂电路率相比较。离子残留物的浓度是通过电阻率值的减少进行计算的。

8.11.4 离子色谱仪 离子色谱仪能用于更准确评估留在已完成组装的组件上的离子。这种方法用类似于在ROSE测试上使用的活性溶剂萃取剂来萃取电路板上所有的离子。萃取溶剂能通过定量的及定性的离子色谱仪进行分析，显示离子种类和种类的浓度。阴离子和阳离子必须通过隔离柱进行测量。对印制组件使用离子色谱仪分析的标准方法能在IPC-TM-650中找到。

8.11.5 局部污染物

8.11.5.1 特定位置的污染物 一些残留物仍然集中在易受夹裹的区域。这些区域检查人员通常难以发现。这些局部的污染物在目检中容易被遗漏。当这部分在随后的生产/返修循环或者后来的产品应用中，出现热循环时，这些残留物会在它们隐藏的地点再度出现。

8.11.5.2 特定区域的检测 检测局部隐藏的残留物是很难检测的。目检限制在一个明显的90°视角部分。去除这些器件是评估留在特定器件下残留物最简单的方法。去除元器件来检查元器件下面的残留物不是很实际的方法。另外一个方法就是使用溶剂或者蒸汽来萃取残留物，并用溶剂的电流泄露特性来确定残留物的量，或者将萃取液提交使用离子色谱仪进行分析。

8.11.5.3 特定区域萃取 蒸汽和溶剂萃取的方法已经被发展起来用于取出夹裹在特定元器件下的污染物。这些方法基于一个元器件的堵塞，并迫使元器件下的蒸汽或者溶剂发挥作用。萃取溶剂或者蒸汽冷凝后被收集，典型的通过离子色谱法进行分析。

8.11.6 敷形涂覆附着和润湿 敷形涂覆是保护性材料，应用于印制电路或者其它电子产品中。涂覆能使它们免受环境的湿度和水汽、机械应力、振动、灰尘和粉尘、腐蚀、污染物及电迁移的影响。对敷形涂覆的讨论可参考IPC-HDBK-830。

8.11.6.1 敷形涂覆过程因素 电子产品组装过程必须要将输入和输出作为因素计入组装建立的过程中，上/下游过程，敷形涂覆过程步骤（见图8-16）。清洗过程不仅仅只有水和清洗剂。清洗产品和清洗过程内材料的选择是很关键的。一个很差的清洗过程是导致敷形涂覆缺陷的根源之一。在敷形涂覆前，清洗任何PCB是很有必要的。

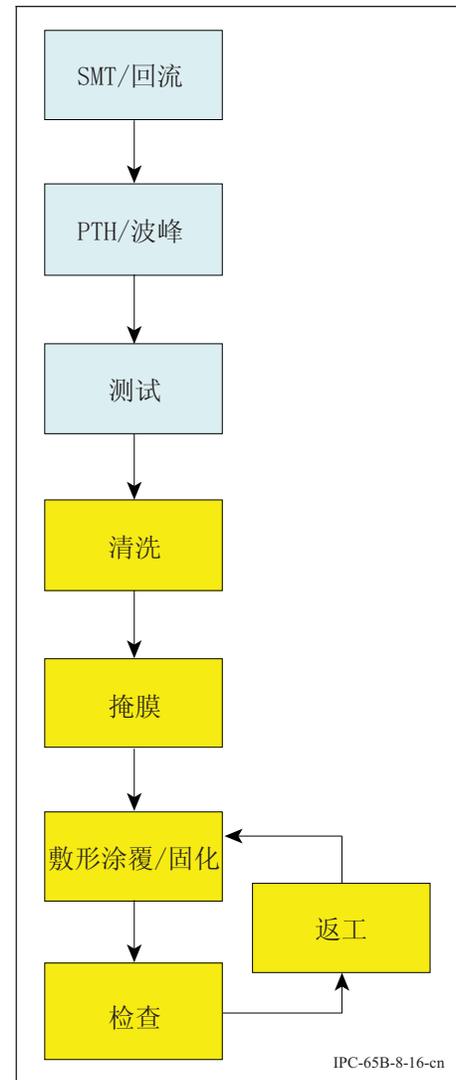


图8-16 电子产品组装过程

8.11.6.2 前/后工序 敷形涂覆过程遵循三个前/后工序：1. 组件清洗；2. 组件掩膜；3. 组件检查/返工。（见图8-17）

8.11.6.3 敷形涂覆原因和影响因素 敷形涂覆前要清洗的四个因素：1. 元器件；2. 组件材料；3. 清洗过程和助焊剂化学性质。（见图8-18）

8.11.6.4 敷形涂覆过程缺陷 清洗过程与过程缺陷紧密相关。

8.11.6.5 掩蔽残留物 用于掩蔽元器件或者单板表面的材料会导致差的附着和敷形涂覆时的退润湿。根源是清洗不恰当，残留物退润湿敷形涂覆导致涂覆产生气泡和差的敷形涂覆附着。

8.11.6.6 离子污染物 组件上过多离子的存在可能会导致敷形涂覆时气泡或者橘皮现象。根源在于清洗不恰当、手指接触和组件污染。

8.11.6.7 有机残留物导致差的附着/退润湿 有机残留物的表面进行敷形涂覆时，会导致退润湿和/或者分层。

8.11.6.8 元器件下的残留物 这些残留物会扩散，并导致对元器件、元器件引线 and 单板表面敷形涂覆时差的附着性/退润湿。根源在于差的清洗、表面能和SMT再流焊温度过高。

8.11.6.9 焊点的残留物 助焊剂残留物会导致对元器件、元器件引线和覆盖区域敷形涂覆时差的附着性/退润湿。根源在于差的清洗、波峰焊温度太低和SMT再流焊温度过低。

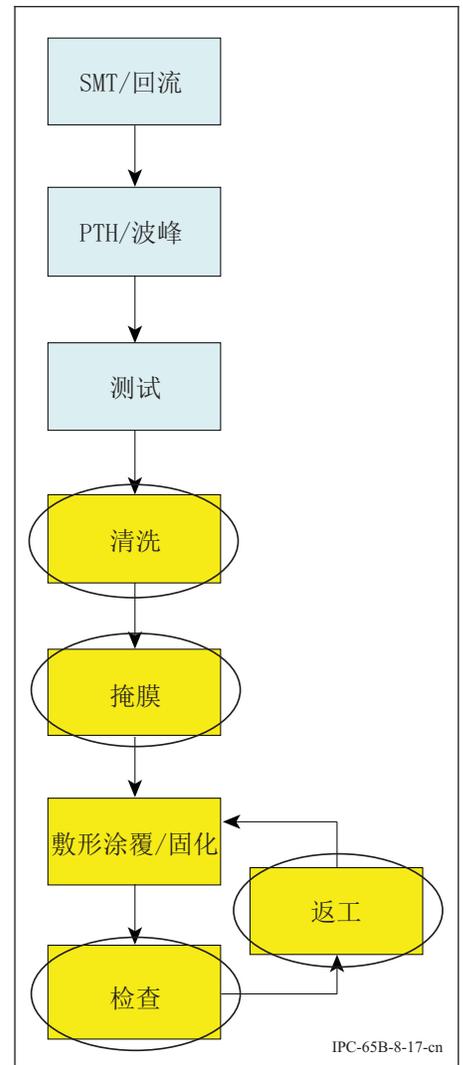


图8-17 敷形涂覆前/后工序考虑要点

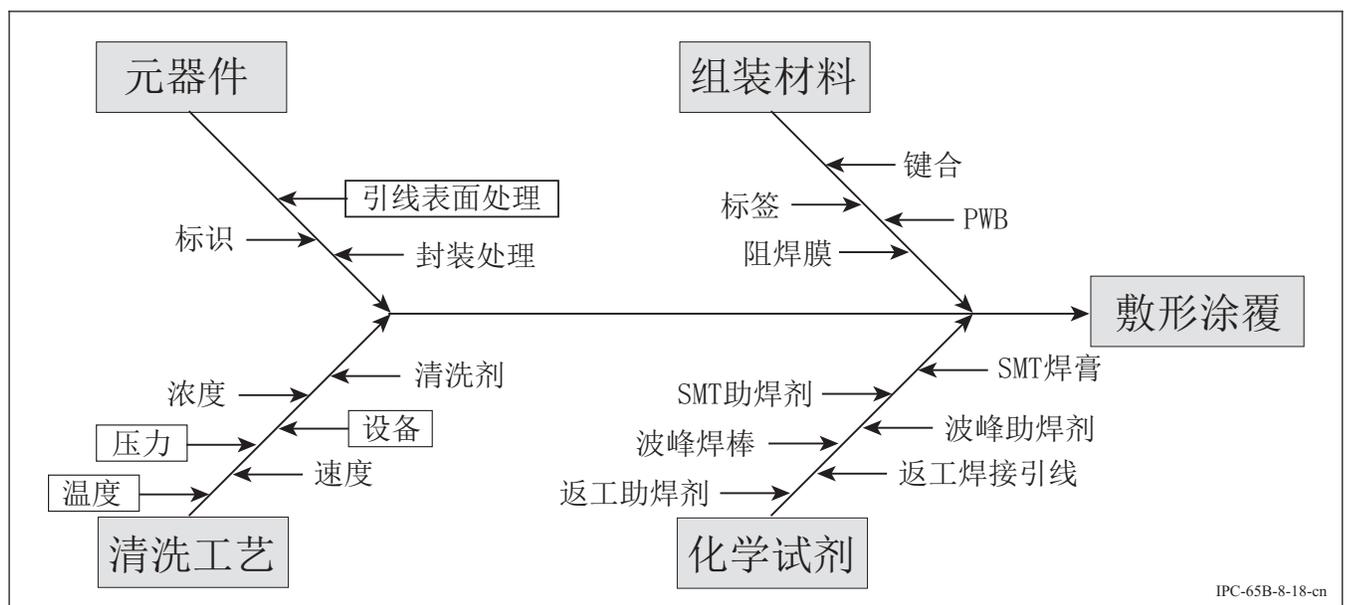


图8-18 敷形涂覆原因和影响因素

8.11.6.10 组件表面的残留物 助焊剂残留物会导致对元器件、元器件引线和覆盖区域敷形涂覆时差的附着性/退润湿。这些影响会导致碎裂的或者剥离的颗粒。根源在于差的清洗、波峰掩膜材料和波峰焊接/返修助焊剂。

8.11.6.11 标签 一些标签胶黏剂会导致标签周围的敷形涂覆层附着性差/退润湿。根源在于差的清洗、标签的选择和标记墨水。

参考文献

1. Bixenman, M., Zhang, P. & Shi, C. (2009, May). White Residues on Printed Circuit Boards Post Cleaning. SMTA China Technical Conference. Shenzhen, China.
2. Lee, N.C. (2002). Reflow soldering processes and troubleshooting SMT, BGA, CSP and Flip Chip Technologies. Newness: Woburn, MA
3. Dishart, K., (2008, Oct). Using Hansen solubility parameters to match the cleaning agent to the lead free flux residue. IPC/SMTA High Performance Cleaning Symposium.
4. Lee, N.C. (2008, Oct). Lead-free flux technology and influence on cleaning. IPC-SMTA High Performance Cleaning Symposium.
5. Chan, TM, Moo, KS, Teoh, KH (2008). White residue formation on printed circuit board assemblies. Sanmina-SCI Penang, Malaysia.
6. Polymerization. Retrieved February 25, 2008 from <http://en.wikipedia.org/wiki/Polymerization>
7. Steinke, T, Ling, Z., & Bogert, G.L. (2002) April. White residue on LPI Solder Mask. Retrieved from IPC TechNet Forum.
8. Alpha-Fry Technologies (n.d.). White residue and water soluble fluxes. Cookson Electronics. Jersey City, NJ.
9. Sozansky, W. Ihms, D., & Bixenman, M. (2002, Feb). Enhanced vapor phase cleaning fluid for demanding flip chip cleaning requirements. International Workshop on Wafer Level CSP and Flip Chip Packaging. Georgia Tech University.
10. Munson, T. (n.d.). White residue on finished assemblies: Is it good or bad? Retrieved February 15, 2009 from http://www.residues.com/pdf/white_residue2.pdf
11. Munson, T. (2006, T). White residues: Are they or aren't they? Circuit Assembly. Retrieved on February 15, 2009 from <http://www.residues.com/pdfs/Circuits%20Assembly%20Articles/2006/lowres/2006.01-White%20Residues-%20Are%20They%20or%20Arent%20They%20-%20Circuits%20Assembly.pdf>
12. Munson, T. (2004, July). Is white residue a reliability risk? Circuit Assembly. Retrieved on February 15, 2009 from <http://www.residues.com/pdfs/Circuits%20Assembly%20Articles/2004/low%20res/2004.07-Is%20White%20Residue%20a%20Reliability%20Risk%20-%20Circuits%20Assembly.pdf>
13. Pham, H.H. (2007, July) Flux residues and selective soldering. SMT. Retrieved on February 13, 2009 from http://smt.pennnet.com/display_article/297961/35/ARTCL/none/none/Flux-Residue-&-Selective-Soldering
14. Munson, T. (n.d.). White residue below BGA components: Is it good or bad? Retrieved February 15, 2009 from http://www.residues.com/pdf/white_residue1.pdf
15. Bixenman, M., & Stach, S. (2007, Aug). Development and Validation of a new test platform for cleaning process development: Phase I. SMTAI 2007, Orlando, FL.

16. National Physical Laboratory (NPL), White residues on soldered printed circuit assemblies. Retrieved from www.npl.co.uk/ei
17. Keeping, J. (2008, Oct). Critical Considerations for Selecting a Conformal Coating Process. IPC/SMTA Cleaning Symposium. Rosemont, IL.
18. Stach, S., & Bixenman, M. (2004). Optimizing Spray Energy in Batch and Inline Spray Systems. SMTAI, Rosemont, IL.
19. Bixenman, M., Lee, N.C., & Stach, S. (2009, Oct). Ionic Cleanliness Testing Research of Printed Wiring Boards for Purposes of Process Control. SMTAI, San Diego, CA.
20. Stach, S. (2009). Using Hansen Solubility to Optimize Solvent Based Cleaning Processes for Manufacturing Electronic Assemblies, Retrieved from http://www.aat-corp.com/technical_papers/UsingHansenSpaceToOptimizeSolventBasedCleaningProcesses.pdf
21. Stach, S., & Bixenman, M. (2005). Optimizing Spray Energy in Batch and Inline Spray Systems, Phase II. SMTAI, Rosemont, IL.
22. Telcordia Technologies' (formerly Bellcore's) GR-78-CORE.
23. Tellefesen, K. GREEN RESIDUES AND ELECTRICAL RELIABILITY, Proceedings of the International Conference on Electronic Assembly: Materials and Process Challenges, Atlanta, Georgia, June, 1998.
24. "Thermal Residue Fingerprinting: A Revolutionary Approach to Develop a Selective Cleaning Solution" Steve Stach, Austin American Technology Harald Wack, Ph.D., Umut Tosun, Naveen Ravindran, ZESTRON America, John M. Radman, Daniel D. Phillips, Trace Laboratories East

9 环境考虑要点

9.1 安全性 虽然这部分主要集中在美国的法律和法规方面，但是大多数其它国家也有类似的规定。虽然这些准则在严重程度或者轻或者重，但是总的主旨是相同的，在读这部分时候我们应该有这样一种认知：在基本遵守地方法规的同时，也要兼顾遵守州和联邦政府的法规。

选择清洗剂必须纳入考虑设备的空气排放、污水排放和废物产生的内在影响。这三个环境介质的每一个都可能需要取得基于设备的使用率和设备的废气排放、污水排放和废物产生的许可。溶剂和半水基清洗剂都是化学溶剂。所以它们都必须遵照在工作场合需要符合的化学物质方面的准则和法规。自1994年美国工业健康安全风险交流标准生效后，物质安全数据表明显增多。供应商需要向用户提供许多有关像毒性测试、健康风险评估、废物处理、安全工作措施、保护性设备、物质化学反应性和易燃性等方面的文件信息。并确保这些文件应该有被使用每一种化学物质的人读过、理解和使用。法规也要求任何有可能使用半水基清洗剂的和其它化学物质的人在任何工作场合都能看到相应化学物质的安全数据表。

工作场所应该通风良好，暴露在外的化学物质应该越少越好。工业保健监督机制需要确保暴露的化学物质要符合限值。在分配化学物质或者清洗设备时，如果工程控制不能使暴露在外的物质达到其可被接受的限值，那么就必须要确保有合适的个人防护设备以保护人身安全。根据工业安全健康中的个人防护设备标准，每种工作岗位都需要有份个人防护设备评估报告。材料安全数据表中列有建议使用的个人防护设备，供应商需要将这些设备与清洗剂一并寄出。

9.1.1 环境意识 在美国有一整套完整的法规，如空气清洁法规，水清洁法规，资源保护和恢复法规。总之，这些法规可以使用户和制造商由始至终对废气排放、废水排放和固体废物产生，印制线组装所产生的废料负责。同时也有一些法规要求对排放的废气、废水或者运出的特定有毒物质每年提供一次报告。这些法规要求供应商对它们的清洗剂提供更有说服力的有关环境和安全问题的文件

报告。用户也更清楚地意识到这样做的重要性，它们也要求供应商提供更安全的化学物质，更加合理的处置方案以及形成闭环技术要求。

清洗过程中会排放气体、固体废物和污水。从批清洗设备或者浸泡槽中会排出很少的或者不常见的工业废水，所以许多物质都需要一个排放许可证。用户必须要遵循政府或者州或者地方的法规。每个公司必须要至少符合政府的标准。州法规可能与政府法规相同，也可能比政府法规更加具有约束性。最终，地方性的法规将至少与州法规一样有约束性。

9.1.2 环境问题 在选择焊接后清洗的清洗剂时，制造商必须要考虑清洗剂对气体排放、污水排放以及固体废物排放产生的影响。在没有对排放量有精确定义的国家，都需要对气体可排放量、污水可排放量以及废物可排出量做出具体的规定。以下常常是关注点：

- 气体排放
 - VOCs（挥发性有机化合物）
 - 消耗臭氧层物质
 - 全球变暖物质
 - 空气有毒物质
- 废水
 - 重金属阳离子（主要有铅、银和铜）
 - 阴离子（主要指氰化物、磷酸盐、氮、氟化物和磷酸盐）
 - 配位/螯合剂（特别是乙二胺四乙酸（EDTA）盐和铵/胺化合物）
 - pH（酸性或者碱性条件）
 - COD/BOD（化学需氧量/生化需氧量）
 - 生物降解前后对水族生物毒性（典型在24小时和96小时）
 - 其它（温度、固体物质、悬浮物、表面张力改性剂等）
- 固体废物
 - 可滤去的重金属（主要有铅、银和铜）
 - 列出的有毒物质（没有规格或者过期的化学物质）
 - 使用过的溶剂（包括含卤和非卤的）¹

尽管使用的溶剂不是固体物，但美国环境保护署定义液体，半固体物和固体废物都为固体废物（具体参见261.3美国环境保护署的联邦法案）。

9.2 气体排放 空气清洁法规要求各州针对具体的污染物质要符合国家环境空气质量标准规定的六种物质。这些污染物有五种（硫的氧化物，氮的氧化物，颗粒，碳的氧化物和铅）不是由电子制造服务设备引起的。第六种易挥发的有机化合物可能是由电子制造服务设备引起的。州和地方政府在清洁法规的授权下实施地方性的法规，而这些法规比国家性的法规标准更为严格，借此来达到国家环境空气质量标准。当有任何新的化学物质（包括清洗剂）被引进到生产制程中，用户在收到上级要求使用许可量之前必须要先参照地方性的指导方针和法规。审批的流程很长，所以用户在任何一种新的化学物质流程选择和实施阶段的早期就要强调许可量申请流程的重要性。

当用一些化学清洗剂清洗松香助焊剂时，气体排放对环境会产生不良影响。通常，在这样的清洗过程中，有两种形式的气体排放：（1）挥发性的有机化合物和（2）水蒸汽。挥发性的有机化合物通常是从溶剂和皂化剂中产生的，也包含乙二醇醚和支链醇，有时候也从乳剂中产生。某些乙二醇醚（乙烯族）也被认定为是一种气体有毒排放物。在一些国家和地区，挥发性的有机化合物被严格管

控，因为这些化合物的蒸汽会与氮的氧化物产生反应而产生地面臭氧和烟雾。从蒸发器里出来的水蒸汽是用来浓缩洗涤槽内的化学物质，这就可能需要对空气排放量作个量化许可限制。在任何情况下，在一个新的清洗流程确认下来之前，与管控机关作确认都显得很重要。在一些州，使用蒸汽蒸发器需要对许可量作限定，但是需要提供年度报告和不产生危险废物的认证。

州（或者是空气清洁法案授权下的地方机构）根据这些特殊化学物的排放量进行管控。一开始从设备中排出的某一种或者一些气体排放量超标了，那么空气可允许排放量就可能需要设定。世界范围内的发展趋势是对挥发性有机化合物的管控日益迫切，但是我们却未弄明白什么使挥发性有机化合物的组成呈现出国家与地区的差异性。有可能需要气体排放控制设备来满足不同水平的挥发性有机化合物排放量。这些设备包括冷凝器、碳吸附器和热氧化器。

一些干燥过程需要使用氢氟氯碳化物，氢氟碳化物或者全氟化碳。所有的氢氟氯碳化物都会损坏臭氧层尽管没有氯氟化合物对臭氧层破坏得厉害。这些物质的使用许可量都是根据蒙特利尔协议下的法规设定的。许多国家都已经明文禁止使用这些物质或者正准备禁止。氢氟碳化物和全氟化碳对气温上升都存有很大隐患（一些全氟化碳物对气温上升的危险指数与二氧化碳比起来要超出10000多倍）而且在大气中存在时间长。尽管一些国家还未颁布法规以限制这些化学物质的使用，但是在未来的十年内肯定会颁布法规限制。在美国，环境保护署在显著的新替代方案（SNAP）下管控不损耗臭氧的替代物。因此，非氢氟氯碳化物溶剂像溴一样必须要有环境保护署的许可（溴已经有了环境保护署的许可）才能合法使用。不管是否有法规来控制有机卤化物的使用，为了环境、安全和健康考虑不仅推荐控制这些物质使用量到最低程度，而且这样也会形成非常好的经济意识。

9.2.1 挥发性有机化合物 空气清洁法案要求各州针对具体的污染物质要符合六国环境空气质量标准。国家环境空气质量标准为国家所有区域内的本底空气中存在的每种污染物都设定了可接收的最大浓度值。这些污染物质包括氮的氧化物，一氧化碳和臭氧。国家环境空气质量标准中的条款适用于目前国家中某一种特别的污染物还未达到国家环境空气质量标准的区域（这种区域叫未达标区域）。如果你处在一个未达标区域，而你的设备排放出一种未达标准的污染物，那么你不仅有一个更低的污染物排放门槛需要许可量限制，而且你可能要满足比达标区域管控空气污染更为严格的污染物排放要求。

针对臭氧（或者说是烟雾）排放量要求，电子制造商最可能受未达标区域标准要求影响。臭氧是一种不排放到环境中的污染物，但是由臭氧前体（挥发性有机化合物和氮的氧化物）和日光起反应产生。挥发性有机化合物的排放与臭氧的产生直接相关。清洗过程中很可能会排放挥发性有机化合物，而这化合物在夏季与日光反应又会产生烟雾。

挥发性有机化合物排放量与溶剂的蒸汽压力，设备的通风流量，清洗溶剂的温度，清洗剂在冲洗区域中的温度和浓度都有直接关系。挥发性有机化合物在以下情况下排放量是最低的：

- 使用低蒸汽压力溶剂。
- 溶剂温度最低时。
- 为在清洗机器周围提供一个安全和舒适的工作条件，通风流速和流量保持尽可能低的时候。
- 在冲洗区域，化学物质在水里的温度和浓度保持尽可能低的时候。

挥发性有机化合物的考虑必须要与清洗剂的要求相平衡。大多数半水基清洗剂的蒸汽压力都比毫米水银柱产生的压力要低得多。也比普通酒精和其它低沸点的物质所产生的蒸汽压力要低得多。半水基清洗剂所散发出的如挥发性有机化合物量相对较小且易变。具体的量取决于设备的型号和尺寸以及操作条件。确定因蒸发而造成流失的最好的办法就是要去考虑清洗过程的质量平衡。计算挥发性有机化合物每日损耗量的最简单的办法就是一开始就去计算每日清洗剂损失的重量，然后再乘上挥发性有机化合物在清洗剂配比中的百分比。挥发性有机化合物含量可以从材料安全数据表中得到。

每日清洗剂的损失量等于加到清洗机器中的半水基清洗剂量减去通过倾析器去除清洗机器中清洗剂量和在冲洗水中的量。

实际挥发性有机化合物排放量 (kg/day) = 清洗剂中的挥发性有机化合物的百分比 (%) × 清洗剂的损耗量 (kg/day)

在这种情况下:

清洗剂的损耗 (kg/day) = A - B - C

其中:

A = 每日加的清洗剂量 (kg/day)

B = 从倾析器中去掉的清洗剂量 (kg/day)

C = 在冲洗水中消耗的清洗剂量 (kg/day)

其中:

在冲洗水中消耗的清洗剂量 C (kg/day) = D × E

其中:

D = 在冲洗水中的清洗剂的浓度 (kg/liter)

E = 每日消耗的冲洗水量 (liter/day)

通过确定冲洗水中的化学需氧量可以很容易量测在冲洗水中的半水基清洗剂浓度。化学需氧量和浓度是成比例的。对大多数半水基清洗剂来说, 它的浓度 (百万分之一) 是通过量测的化学需氧量除以2.5来计算的。

挥发性有机化合物释放量因清洗机器和操作参数的不同会有很大不同。一个典型的在线式机器每小时可能会排放出大约半千克的挥发性有机化合物。标准的挥发性有机化合物的管控技术像除雾器、排气线的禁区、洗涤器和冷凝器等可以减少挥发性有机化合物的排放量。用户在考虑选择清洗流程时必须要认真考虑挥发性有机化合物排放量要求的成本。无机化学清洗物质像碳酸盐、硫酸盐没有蒸汽压力, 所以也就不会成为使用这些清洗剂排放化学物质的一个因素。

9.2.2 有害的空气污染物 (HAPs) 在空气清洁法案112章节列举了189种危险的空气污染物, 而美国环境保护署有对这些物质设定了全国范围内的排放标准。一些溶剂像二氯甲烷、全氯乙烯、三氯乙烯、四氯化碳、特定的乙二醇醚和三氯甲烷都被包含在空气清洁法案112章节危险气体物质列表这部分。

美国环境保护署已经颁布了一系列最大程度可以实现的控制技术标准来减少有害气体污染物的排放量。每一个标准都管控着从某一个特定的空气污染源出来的一种或者多种有毒气体的排放量。对一个特定类型的工业来说, 这种控制技术是目前在使用的最好的控制技术。

在空气清洁法案中为有毒气体污染物设定的全国性的排放标准要求下, 主要的污染空气有毒物质来源处都必须使用最大程度可实现的控制技术中的特定技术。设备中排放出来的气体量每年达到10吨或者高出一种有害气体污染物的排放量, 或者排放出的多种有害气体污染物的排放量的总和每年达到25吨。那么这些设备将被认定为主要的有害气体的来源。每年的排放量是基于于24小时/天乘上365天/年来计算的。如果一台设备一年用不了8760小时, 那么这台设备将采用一个假想的最小的排放量许可来限制其排放量达到实际的操作时数排放量, 从而避免使用排放许可量的临界值和相关的可允许排放要求。

有毒气体污染物全国性的排放标准要求受其影响的用户都要采用特定的控制技术来减少有毒气体的排放量。具体来说, 保存记录、作报告, 有时候为了满足这些标准要求, 气体排放的控制技术有可能还需要升级。

在1994年，美国环境保护署最终确定了含卤溶剂清洗剂有毒气体物质全国性排放标准。这个标准出版在T部分，第63部分40CFR会影响新的和现有的卤化溶剂清洗的操作。具体指导可参照美国环保署所发布的 EPA-453/R-94-081，美国环保署的卤化溶剂清洗剂有毒气体物质全国性排放标准的指导性文件。

9.2.3 损耗臭氧的物质 空气清洁法案修正案也包括了控制破坏平流层（是通过过滤有害的太阳光线来保护地球的大气层）臭氧的化学物质的排出。美国环保署对这些物质作了两组列表：一类物质和二类物质。一类物质包含氯氟物质，还包括三氯乙烷和四氯化碳。二类物质包含氢氟氯碳化物。

在1992年，美国环保署发布了最终的法规以执行清洁法案中的604章节部分。那部分是通过限制对平流层臭氧有潜在危险的物质的产生和消耗来实行蒙特利尔条约下美国的义务。所有的一类物质都被认定是对臭氧层有破坏的物质。公布在子部分A，82部分CFR40处的法规要求在1995年12月31日之前逐步停止使用这些放射性物质。这也包含了在电子行业广泛应用的二氯氟甲烷。

现有这些溶剂（在停止使用前生产的）的供应和循环使用的产品可以继续投放到开放性的市场。此禁令的例外包括制造用于转化过程（化工中间体）的产品和美国环保署许可的有特别重要用处的产品（如哮喘吸入器）。

除此之外，第82.106部分40CFR要求产品包含或者制造中有损耗臭氧层的物质的需要特别贴一个警告标签，注明“包含（或者制造中有）[插入物质名称在此处]，这个物质对大众健康和环境有损害，会破坏高空大气层”。

美国清洁法案也要求美国环保署建立一个方案，注明对处理破坏臭氧物质的备选方案，并且要公布可接收的和不可接收的替代物清单。在子部分G，第82部分40 CFR，对这个有意义的新的备选政策方案有作描述，如果现在有或者有可能有其它的低风险的替代物，那么就禁止用任何对人健康或者环境有害的物质来替代目前被规管的臭氧损害物。可接受的替代物CFC-113和三氯乙烷包含水基清洗剂和半水基清洗剂、氧化溶剂、烯、三氯乙烯、四氯乙烯和二氯甲烷。

9.3 废水 水清洁法案是一个综合的法案，此法案提出了要对溢出风险作报告，要列出优先处理的污水，规定水的质量标准，并要对排到公共处理工厂或者水体的污水作出排放量许可限制。除此之外，州地下水保护局和/或者地方对地下水蓄水保护法令也对排放到地下井或者是由于坏的过滤系统而危及地下水质量的污水排放量作管控。我们应该要避免向现场的地下排放清洗污水，因为这种污水排放很容易污染土壤和地下水，而且还要费工厂成千上万的美元去做实地调查和排污。也正因为此才推荐使用闭路的冲洗系统。

因为地方性的法规一般要比联邦政府的法规要严格的多，所以在排放污水，或者是引进新的化学物质或者化学流程到现有可允许的污水排放中之前就有必要咨询一下地方的管控机构。在过去，溶剂清洗剂在沸腾的溶剂机器中是不会排出水基污染物的，所以现有的清洗剂用户没有对水质要求引起足够的重视。地方公有处理工厂管控这些参数：生化需氧量、化学需氧量、酸碱度、总悬浮固体量、总毒性有机物量和金属浓度。对这些术语许可量限制能要求使用特别的污染控制设备。

在所有国家，任何污水的排放，不管是总流量还是化学性的补充流量都必须遵照国家的，区域的和地方的法规。这些法规在严谨度上有不同，严谨程度在一些具体的条件下会有细微的变化。许多国家，尤其是在欧洲，在全国范围内都设定了很严格的法律要求，这些要求涉及了污水质量的许多方面。其它国家制定了相对狭隘性的法规，只涉及到比较重要的一些水质问题。地方机构有可能会降低国家性法规的严谨度，然而地方的加工工厂有能力处理超出规定的污水。一些小的用户常会降低国家性的法规要求，尤其是那些用户发现处理轻微污染水的费用与可能造成的损害不成比例。排放者必须要注意在一个地方可以使用的设备有可能在另外一个地方不允许使用。总之，在设备被投入使用之前最好是与当地的权利机构讨论确认一下，因为谁也不希望看到既成污染的事实。

在美国，根据水清洁法案的要求，污水流的排放，不管是总污水流还是化学性补充流，都可能要求地方公有处理工厂设定一个排放标准。除此之外，地方对污水排放的许可限制也可能要求得到与之并存的州的或者区域性的美国环保署的认可。任何新的或者其它额外从焊接后清洗过程中出来的废水在排放前都要经过地方公有处理工厂官员的查看，这点很重要。这种查看有可能导致公有处理工厂放弃排放量需求设定的要求，也可能导致降低监督的许可量设定。新的排放要求在排放发生前的90天内提交基准监督报告。对于公有处理工厂排放量少于500万加仑/天，区域性的环保署办公室也必须要拷贝基准监督报告。

9.3.1 去除的助焊剂和污染度类型 要使用的助焊剂和能想到的其它污染物对表格4-3和8-2中的水基清洗剂的选择会有影响。洗涤媒介最终的选择也会考虑上述讨论的环境、安全和健康方面的因素。

表9-1 洗涤媒介、典型的清洗能力

去除的污染物	不含添加剂的水	不含非反应的添加剂	含反应添加剂的水	含有有机乳化溶剂的水
水溶性助焊剂	X	X	X	X
松香助焊剂	No	No	X	X
超活性助焊剂	No	No	No	X
低残留/免清洗助焊剂	*	*	*	*
普通手指	No	X	X	X
脂肪，油和油脂	No	X (1)	X (1)	X (1)
驱霉剂	X (2)	X (2)	X (2)	X (2)
水溶性掩膜	X	X	X	X

X 意为去掉

*取决于配方

(1) 除了硅胶，含氟聚合物和氟硅胶型

(2) 除了硅胶，含氟聚合物和氟硅胶型，并且取决于配方

注：低溶型的或者不溶型的污染物可以通过机械作用的方式如重喷加以去除，而使用超声波搅动则更为有效。

对所有从组件上去除下来的污垢物、洗涤剂及可能的冲洗工具，都要求最终对一些水系统作处理。化学清洗洗涤槽就是一个常见的污水流，要求设定排放许可量。控制何种废水能从工厂排放，什么不能从工厂排放以及排放许可量的限制的法规受地方权力机构管辖。对生化需氧量、化学需氧量、酸碱度、铅和可能的其它重金属、总悬浮固体量和其它参数分析对确定参照地方性的法规是必要的。在一些地区，废水未经任何处理就排到市区水系里，但在另外一些地方废水却需要经过多重处理才可流入市区水系。虽然对电子零件的清洗美国环保署没有一个通用的规则来约束污水排放，但每个州都有自己的法规来管控这些制程中的污水。纵观美国，管控机构间的要求差异很大，有的要求很低，有的却很严格。管控者对这流程的理解和认识会决定他们在对待污水排放这个问题管控上的难易度。一些地方性的团体可能决定去禁止工业污水的排放。在这种情况下，蒸发排水是一种经济的处理污水的可选方式。其他团体会遵照州的规则要求并且依赖州去帮他们监管污水排放。

在过去，许多国家和地区（州）允许将家庭污水和工业污水（包括重金属）结合，只要最终的污水排放量符合法规要求。然而，环保署要求要按照结合的污水公式（容积流量比例）来对它们进行分析，这样清洗操作就在污水排放源头得到了评估。随着分析频率增加，管控员就从清洗设备的洗涤槽和冲洗水部分的排水管里提取废水样品。

大多数欧洲国家或者和许多亚洲国家，都认为要求直接从机器中或者个体的废水处理工厂中量测污水排量是合理的，而从机器里或者是从机器外对废水进行稀释是绝对不允许的。换句话说，如果从机器中排放的污水不符合法规，那这污水就必须要按照应有的方式净化。

9.3.2 金属去除 污水处理过程中一个比较难的方面就是重金属阳离子的处理。针对电子产品清洗中四个最重要金属，有以下典型的排放量限制：

表9-2 废水中的重金属

金属	法定量限制	大约平均数
锡	≥0.5mg/l	2.5mg/l
铅	0.05~1mg/l, 美国每日最大量等于0.6mg/l	0.15mg/l (美国每日最大量=0.43mg/l)
铜	0.5~5mg/l	1~2mg/l
银	每日最大量0.43mg/l	平均每月0.24mg/l

在这平均值的计算过程中，忽视了那些国家对阳离子的总浓度要求是有限制的。所以这数字是那些国家的平均值，是有限定的。

在一些国家，可允许的浓度值是用最大的毫克/升来计算的，在其它一些国家用百万分之一来计算。出于简单考虑，这两种单位可以等同来看。世界范围内很少有法规允许用求积/取平均值的方式来确定排放量浓度。

针对悬浮在污水里的铅颗粒，常是通过过滤来去除掉，或者是通过调整酸碱度或者是离子交换来去掉溶解的铅。但铅有时可被螯合，这就很难或者不可能通过调整酸碱度的方式来去除铅。需要预先试用好并选择有效的离子交换树脂，通过离子交换柱横截面部分的流量必须要符合规定以确保能有效去除污水中的铅。

从废水中去除重金属并不会破坏重金属本身，相反，这些重金属要么从膜处理技术中转化成了一个浓缩物，要么从离子交换去除方式中再生，再或者通过形成氢氧化物或者铁酸盐变成了一个固体沉淀物。这些转化的物质有可能与原来在废水中的离子一样都是有毒的。废水排放者要确保以环保的方式来处理从污水中去除出来的重金属。最常见的选择方法是厂区外对这些去除出来的重金属的循环再利用是将这些金属熔炼或者给化学物质制造厂商。

9.3.3 酸碱度调整 对大多数的皂化剂而言，pH值通常太高了以致不能满足法规排放量的要求。一个pH值调整的系统要求要采用一个酸性的化学物质提供系统。有时，低pH值的可能需要一个腐蚀性的化学物质提供系统。一些不溶解的铅盐可能会沉淀在污水中和箱底并在那留下一个细小的沉淀。污水如果没有经过去铅处理，那就应该提取典型的污水样品去分析来确定此污水是否能被排到污水沟去。

9.3.4 生化需氧量/化学需氧量的降低 从商业角度来看，组合的生化污水处理系统（基本设计与市区污水处理系统相类似）是有的。有可能需要采用活性炭处理技术来增加设备的安全系数。

这种方式会降低污水中的化学需氧量、生化需氧量、有机碳总量到一个可以接受的水平，然后再排放到污水处理厂。运用合适的机械过滤方式去污，铅就不会在这个系统中沉积，沉积在系统底部的固体物质也最有可能被认为是没有危险的固体废物，可以用腐蚀物系统废物运输车将之运走。应该要对沉积的固体物作测试以确定有危险废物的适用范围，从而明确具体的应对方式。

9.3.5 水使用量的降低 采用以下技术可以使冲洗组件的水使用量达到最小化，甚至达到实际上可以不用水。

9.3.5.1 反渗透 (RO) 反渗透设备主要循环使用约75%的供给水。然而没有被使用的25%的水中将会有浓缩的铅、生化需氧量、化学需氧量等，这些浓度高出原供给水中的3倍还多，这就需要经过处理来使污水达到排放限定的标准。由于在反渗透设备中不可以使用薄膜，供给水将需要预处理来确保它可被接受的使用寿命，而这样所需的维护费用也最小。预处理包括用微粒过滤去掉锡球和微小颗粒，用碳吸附去掉可以弄脏薄膜的有机物，也包括量测去污过的化学物质。

9.3.5.2 离子交换（简称IX） 混合床离子交换树脂将去掉清洗或者冲洗废水中的阴离子和阳离子。预处理涉及及要求用微粒过滤和碳吸附的方式来达到最佳的离子交换树脂操作状态和最长的混合床使用寿命。通常除掉含有从污水中排出的铅的离子交换树脂比酸再生要省钱，因为酸再生比替换树脂的费用要高。如果沥出液测试显示铅浸出为阳性，那么用过的离子交换柱可被认为是与危险的污水一样危险，或者说在欧洲是这样的。

注：反渗透和离子交换预处理所用的微粒处理器的滤芯从锡球和微粒中吸附充足的铅，铅浸出，测试显示呈阳性，因此把它们都归为有害的废物。然而这些预处理系统中用过的碳滤毒罐含有比较少的铅，通常不被认为是一个典型的碳危险废物。

9.3.5.3 零排放 如果设备中的污水不能排放到公共污水排水沟内，或者满足不了污水排放要求设定，而又不想将此污水排放到现有的地下污水处理系统中去，那么可以通过以下方式中的一种来达到零排放状态。

- **拖运** 形成的污水可以用圆桶拖运或者是散装拖运到厂区外一个指定的污水处理设施中去。
- **蒸发** 形成的污水可以在现有的蒸发器内蒸发掉，这种蒸发有可能是大气型蒸发，也有可能是加热型蒸发（通常是电力加热）。有些州管控蒸发器的使用，也可能要求对蒸发器的操作作许可限定。除非是广泛的“B部分”的要求能得到满足，否则大多数州都会禁止危险废水流的蒸发，所以大致描述流进蒸发器的每条污水流显得尤为必要。

因为清洗污水中的皂化剂将会形成挥发性有机物的排放，所以从蒸发器中排放出来的气体需要根据挥发性有机物的排放许可阈值来进行分析。一些皂化剂的易燃性将要求对加热的蒸发器作进一步的评估以确保在浓缩污水的蒸发器中着火的潜在风险能得到控制。

当用蒸发器来压缩污水流时，用户可能会定期清空蒸发器，将污水倒入废桶内，或者它们也可能持续使用蒸发器。定期清空蒸发器的优点是：多数使用过的清洗剂被留在蒸发器里，很少以挥发有机物的方式排放到环境中。坏处是要处理越来越多的废桶。这种选择降低蒸发率并使用一个除雾器去帮助浓缩在蒸发器内使用过的清洗剂。降低蒸发率的坏处是使化学隔离部分清洗剂的浓度增高，这样就造成了更多使用过的清洗剂通过带出液进入后来的冲洗阶段。如果碳/离子交换床被用在后来的水循环过程中，那么它们将会耗尽得更快一些，因为在冲洗阶段使用过的清洗剂必须要去掉。

9.3.6 总的毒性有机物 金属加工点源分类假定合适的处理溶剂型污水（例如，确保浓缩的毒性有机废物像溶剂型脱焊剂、脱脂剂和油漆剥离剂不会被排放到污水中）的方式会要求大多数化学性物质排放量符合总的毒性有机物排放水平要求2.13ppm。如果一个工厂能确定不会有溶剂排放到污水中，那么就不需要持续对总的毒性有机物排放量作监督，只要发布确保毒性有机物排放量符合排放要求的管控计划就行了。

9.4 固体废物 资源保护和回收（1976年版）法规对所有的化学性废物进行由始至终的管控。此法规涉及到所有种类的固体废物包含液体、固体和气体，不管是有危险性的还是无危险性的。有两种方式可以确定废物是否归类为危险物品。如果固体性的废物被列在了商业性化学、特定的种类或者是非特定的种类的清单上第40章，261部分，那么则为危险性的废物。一种固体废物如果符合以下四点中的一点将被认定为是有危险的：可燃性、毒性、腐蚀性和反应性。物质的闪燃点在60° C[140° F]以下被认定为是可燃性危险的废物。在这种定义下，一些半水基的清洗剂就被认定是危险性的，另外一些不是危险性的。半水基清洗剂本身没有腐蚀性（PH 值≤2或者≥12.5）但是和有腐蚀性的助焊剂残留物放在一起时就会变得有腐蚀性。没有半水基清洗剂在组成上被认为是有毒性的，也没有半水基清洗剂本身因为足够有反应性而被认为是有危险性的。建议用户登录以下（或者替代性）网址以更深了解美国环保署制定的资源保护和回收法的法规和遵照条例。类似的网站将会提供其它国家的关于固体废物的信息。

<http://www.smallbiz-enviroweb.org/>

<http://www.epa.gov/osw/inforesources/pubs/hotline/training/gen05.pdf>

<http://www.epa.gov/osw/inforesources/pubs/hotline/training/excl.pdf>

还有一个值得注意的方面是重金属，特别是铅和银。实际上，重金属会留在不溶于水的半水基清洗剂中因为它们能与溶解的助焊剂混合在半水基清洗剂中。通过普通的机器操作可以将微粒状的铅从清洗剂中过滤出来。应该对金属沥出物的滤器进行测试，以确定金属沥出物是否为危险的固体废物（大于或者等于5mg/1铅或者银）。应该要监控从这个过程中出来的所有废物流以确保它们符合适用的法规。必须要做这样的监控以完成铅物质年度毒性物质排放报告，报告中铅的精度要达0.1lbs/year。

在欧洲有些国家，所有工业上的沉淀物都被认为是有危险的，并且必须要作相应的处理将之存放到化学上允许的垃圾填埋池。如果沉淀物是有机混合物，那就可以将之放在一个指定的炉子里焚烧。一些炉子，特别是为焚烧化学物质而设计的水泥炉子能够容纳包含小份量重金属的沉淀物。

在大多数国家，是以管控危险性废物的方式来管控用过的或者废弃的清洗剂物质。用过的清洗剂、滤芯、活性炭，用过的离子交换柱和其它废物流必须要由一些精通危险性废物形成、储存和装运法规的人来进行分析和描述。在美国，至少要通过联邦的毒性特性溶出程序测试来判定一个固体废物是否为明显的危险性废物。危险废物法规的适用性使一个工厂服从于人事培训、贮藏、操作要求和记录保存的广泛的法规要求。即使危险废物法规不具有适用性，地方性的或者州的也可能会被用上。一些州会提供一些技术支持来帮助作判断。一些州要求每年都对废物的检测进行检查以确保它们判定的持续正确性。必须要将测试结果和报告做成文件以确保符合今天法规机构一贯的要求。需要有对管控的废物形成、运输和处理的量的完整记录。

除了类似的法规外，在欧洲有一些非常严格的法规只是针对危险性废物的运输，比如像任何有毒物质的危险性废物。除此之外，大多数区域有许可的液体和固体化学物质处理地点，这些地点是特别为保护空气、土壤表层、地下水（尤其是潜水地点）和周围土壤而设置的。每批废物都必须清楚地贴上标签以注明废物的成分特性。通常情况下，在生产者将废物运输到废物处理地点之前必须要对废物的属性作确定。通常会在一个特别的旋转的炉子里将易燃废物焚烧掉。除此之外，根据巴塞尔公约，当运输废物经过一个国家边界时，需要特别的许可证。

9.4.1 用过的溶剂型废物 从蒸汽脱焊剂出来的使用过的卤化溶剂（F001）和从其它清洗操作中出来的使用过的溶剂（F002）都被列为危险性的废弃物。如果需要的话，可以通过蒸馏和再使用方式来降低由助焊剂去除系统产生的废溶剂的量。在大多数情况下，为了信守承诺，可以将从这个系统中出来的剩余的废物运送到一个许可的溶剂回收装置中或者是一个可允许用的危险性废物焚烧炉里，在这焚烧炉里沉底部分的物质还可以作为特定设备的燃料来循环使用。尽管从半水基剥离剂和脱焊剂中出来的危险性废物量（资源保护和回收法中有注明）有可能远远超过从溶剂系统中出来的废物量，但是工厂也还是能切换到用半水基清洗液和剥离溶液进行清洗。这些避免环境污染的措施可以降低一个工厂的风险废物的管理费用。

9.4.2 用过的半水基清洗剂 有两种废弃类型的有机半水基清洗剂，类型的判定主要取决于清洗机的类型和使用的半水基清洗剂类型。首先是半水基清洗剂缸本身。理想状态下，由于从半水基清洗剂缸里带离出来的半水基清洗剂废酸洗液和新的清洗剂补给，在半水基清洗缸中的助焊剂残留物浓度将保持一个均值。如果在半水基清洗缸的出口处的气刀效率太高，那么在半水基清洗剂中的污物浓度也可能会变得太高，从而有时会迫使更换半水基清洗室。其次，也是到目前为止最有可能的一种半水基清洗剂的来源，是来自倾析器内的有机层，或者是来自水循环流程中出来的浓缩液。确切的处理方式将取决于废物的闪燃点，溶解在半水基清洗剂中危险性物质的数量和水质。（在美国，这

些限制在资源保护和回收法中有规定，在其它国家，这些大体上都是由处理危险废物的法规所管控。)助焊剂残留物中含有少量的铅和其它重金属。当使用活性助焊剂时，这点就显得更为明显。因为第一种的水基清洗剂是中性的，所以无法通过化学反应来去掉重金属。有一些水基清洗剂厂商已经制定了计划去正确处理用过的水基清洗剂或者循环再使用这些用过的清洗剂。这些服务若在偏远地区或者在其它国家而不是产地国的话就可能受到地域的限制。

对于溶解在水中的水基清洗剂，不可以是从倾析器或者聚合器中的冲洗水中分离出来的大量使用过的溶剂。在洗涤槽中的物质的处理方式与不溶于水的物质的处理方式相同。

所有的清洗过程都能够去除锡球、锡溅和其它从组件上出来的锡点。清洗设备应该能装合适的滤器以去除清洗剂中这样的金属固体颗粒。

9.5 溢出量报告 在水清洁法案第311部分的要求下，美国环保署有一个可公布的特别化学物质数量的清单(40 CFR 117.3)。1985年7月，这份清单也被包含在了美国全面性环境应对补偿与责任法(也称为CERCLA)管控下的一个大的化学清单中。这些可报告的量的范围从1磅到5000磅不等，来源于多种标准要求。化学性物质在任何24小时内，若是其溢出量等于或者超过了它们各自的可报告量的话，须立即对美国海关警卫队国家应对中心¹²或者是最近的海关警卫队管区办事处(33 CFR 153.203)报告。

违反这一条款的代价是很大的。海关警卫队不仅可以评估出肃清这些违法行为的费用，而且可以评估出罚款金额。除此之外，环保署可以采取司法措施收回成百上千的美元，这要取决于事件的严重程度。任意的排放有可能会招致高达250000美金的司法罚款。没有报告溢出量可能会导致高达10000美金的罚款或者是不超过一年的监禁，或者两者兼有。

9.6 有毒废物堆场污染清除基金 许多在工业行业的人都错误地认为有毒废物堆场污染清除基金或者全面性环境应变补偿与责任法(CERCLA)只是针对特定化学物质的税款而设定的，这些款项是用来支付清除特定的有风险的废物地点的费用。然而，有毒废物堆场污染清除基金也包含针对老地点通告，排放到环境中的污染物报告和收尾阶段责任的条款。

在全面性环境应变补偿与责任法的要求下，作为一个发布，必须要向环保署的国际应对中心报告什么？这个答案取决于排放的物质本身以及它的排放量。对一些列在40 CFR 302.4部分特定的化学物质，它们的排放量在联邦政府的要求范围内或者少于既定的可报告量，它们是不受有毒废物堆场污染清除基金下的报告条款影响的。有毒废物堆场污染清除基金修正和重新授权法案的311, 312, 313部分列有其它的要求。州的报告要求可能有不同的排放量要求，需要用户确认。

对任何在量和等级上都保持持续性和稳定性的排放，我们不需要再作进一步通知，因为既有的通告已经在足够长一段时间内保持了排放量的持续性、量化性和规律性。简言之，对国家应对中心作报告的时间只要足够长以确保排放量的量化性和规律性即可。之后只需要报告有意义的增长的排放量数据，但是可能需要排放量许可限制。

9.7 毒性物质排放详细目录报告要求 电子行业有10个或者10个以上的全职员工的工厂生产，加工或者使用超过10000磅/年列在40 CFR 372.65毒性化学物质，必须要将毒性化学物质排放详细目录存档交给环保署和它们的州专门机构。这目录报告发布了在厂内排放和厂区外转运(包含了工厂循环使用)那些化学物质。同时针对毒性物质排放详细目录中的化学物质，也要求工厂要报告它们的污染防治措施和循环使用数据。这报告都是在每年7月1日之前到期。工业使用毒性化学物质排放详细目录中的化学物质包括1,1,1-三氯乙烷，四氯化碳，乙二醇醚和三氯乙烯。

在2000年，环保署修正了毒性化学物质排放详细目录的法规要求，为持续性的，生物蓄积性的和毒性的化学物质增加了更低的报告阈值。铅是持续性的，生物蓄积性的和毒性的化学物质中增加的一

种，它的报告阈值是100lbs/year。等同于270磅的63/37电子焊料。铅排放到空气中、水中和厂外的媒介中，必须要报告达到每年0.1磅的精度。

9.8 健康和安全问题

9.8.1 危险因子和控制措施 我们必须意识到如果操作员没有经过充足的培训，即使那些看起来好像没有危害的材料和经过安全考虑设计的设备也会给员工的健康和安全带来危险，这点很重要。因此，对员工进行安全设备操作，化学的，人体的和电子危险因子方面的培训是雇主的一个首要职责。

在美国，操作员需要对使用的每种清洗物质对人体和健康的危险都很清楚，就像材料安全数据表中对每种物质的描述那样。操作员要能够从材料容器包括设备上的危害通讯标签概括出这些危险。美国使用的最常见的标贴是HMIS（危险材料识别系统）标贴或者NFPA（国家防火协会）标签。除了美国，其它国家也有等同的文件。

在美国，使用的设备必须要经过UL认证，操作员工必须要学习操作手册，并且员工要经过设备厂商或者是合格人员的培训。设备的修理和保养应该交由设备厂商。在美国，操作员也必须要熟悉可运用的MSDs和HMIS或者NFPA 标签。违反职业安全与健康管理局的危害通讯标准是最常见的引用标准。一些州处理职业安全和健康问题的机构有相似/相同的关于化学品危害知情权的要求。

9.8.2 物质安全数据表 在美国，每个工作班次暴露在一个易进入的地点工作的工人将每种物质的排放量都控制在材料安全数据表要求的范围内是职业安全与健康管理局的危害通讯标准中（29 CFR 1910.1200）一个合法的要求。而且要培训员工如何去阅读材料安全数据表，化学物质对健康和人体的危险是什么，以及如何去辨别每种物质的溢出和排放。材料安全数据表必须要包含化学物质的其它一些信息包括人员防护设备、急救流程、溢出控制、清洁步骤和急救号码等。

9.8.3 危险物质标签系统 危险通信标准要求关于化学物质对人体和健康的危险信息和合适的个人防护用品都要被显示在每个容器上。以上这两种标签系统使我们更容易理解用0-4的数字范围来标注化学物质健康，易燃性和反应性的等级（见表格10-3）。0代表轻微的化学危险性而4代表严重的化学危险性。

警告！ 一些其它的风险等级是用相反的顺序，最低值代表最大的危险。我们坚决不能认为风险等级是朝这个方向走的或者是朝那个方向走的，所以操作员应该要接受相应的培训。当化学易燃性标签和化学反应性标签都基于参照国家防火协会的等级标准时，这两种标签系统的健康风险度是不一样的。危险材料识别系统中健康风险等级是基于雇员正常操作和使用时所暴露的程度来定的。然而国家防火协会中等级的制定是基于暴露在着火形势下的化学物质。

表9-3 反应等级

危险等级	健康（HMIS）（视力等级）	易燃性	反应性
0 最小	本质上没有刺激	在空气中暴露5分钟温度达不到816° C[1500° F]是不会燃烧的。	在火下很稳定
1 轻微	轻微的刺激，可在7天内恢复	必须要预热使熔点>149° C[300° F]	温度升高时有可能不稳定
2 中等	刺激性的；持续超过7天；过敏者	熔点>38° C[100° F] 但熔点<93° C[199° F]	通常不稳定易起反应但不会爆炸
3 严重	腐蚀性，不可逆性角膜混浊	熔点>23° C[73° F] 但熔点<38° C[100° F]	有一个很强烈的引火源就会爆炸
4 严峻	不合适的	熔点<23° C [<73° F]	在室温下会发生爆炸

9.8.4 员工暴露 根据职业安全与健康管理局颁布的空气污染标准第29 CFR 1910.1000，法律要求需要在外暴露工作8小时的员工，其在外暴露时间要小于或者等于许可的暴露时间限制（PEL），要求需要暴露在外工作较短时间的（典型的15分钟），其暴露时间要小于或者等于短时间内暴露时间限制。这些有利健康的标准必须要被列入材料安全数据表里。对于需要在外暴露工作8小时的员工，而职业安全与健康管理条例中又没有设定许可暴露时间限制和短期内暴露时间限制的话，那么就让员工在对着化学物质暴露的时间小于等于起始限定值，这一点与遵守许可的暴露时间限制和短时间内暴露时间限制同等重要。如美国政府工业卫生会议（ACGIH）和/或者美国职业安全与健康研究所所发布的那样，通过合适的局部通风或者工作实践，或者两者兼有的方式来减轻员工在外暴露工作的危害。

职业安全与健康管理局要求控制员工暴露的危害程度最基本的方式就是要进行工程控制（例如，局部的和/或者常规的通风设施），如果工程控制的方式不能减轻员工的暴露危害，最后就只能要求员工佩戴个人安全防护用品，像保护呼吸道就要以戴面罩的方式来加以保护。要充分保护员工免受化学清洗剂挥发性气体的危害，应该要求员工戴口罩。要求用户有一个书面的保护呼吸道的计划（请参照29 CFR 1910.134部分），遵照那部分法规要求对员工进行医学鉴定，鉴定结果在法规要求雇员戴口罩之前就很清楚得让员工明白要戴口罩。

对健康的影响，除了潜在的吸入危险，还包括在材料安全数据表中建议的出于对眼睛和/或者脸部的保护而求作的鉴定以防止化学物质对眼睛和皮肤组织的刺激和腐蚀。对皮肤的刺激和腐蚀作用可能是一个潜在的危险，可以通过戴合适的对化学物质有防护作用的手套来加以预防。

9.8.5 易燃液体的问题 清洗剂的用户必须也要评估其它的安全方面的因素，像火安全方面的考虑和具体的某种清洗剂对健康急性和慢性的影响。工厂手册（FM）和国家防火协会（NFPA）认为闪点在60°C[140°F]以下的为易燃性液体，而闪点在60°C[140°F]以上，但是在93°C[200°F]以下的为可燃性液体。当易燃性的液体挥发出来的气体不能被局部的或者常规的通风设备去除时，就造成爆炸危险。

易燃性液体的用户必须要确认液体使用处的装备必须要符合具体的建造标准，比如防爆线、开关和马达等。（具体参照国家防火协会35页部分和职业安全与健康管理局29 CFR 1910.106部分）。在一些地区，易燃性液体的用户可能需要地方防火部门的认可，才可以使用这些液体。环保署的社区知情权条例40 CFR 355.30（b），370.21和370.25部分可能也要求通知使用液体化学物质的要向地方防火部门和应急计划委员会报告具体化学物质的保管和使用方法。

上述部分描述了美国法规要求。其它国家也有类似的法规和立法。不管在什么地方，清洗设备和清洗剂性物质的用户必须要确定适用于特别使用条件下的法规。

9.9 水源和水质

9.9.1 水纯度的量测 取决于水的具体应用，有几种方法可以量测水的纯度。对于用来清洗电子部件的水，主要有两种杂质：

- 非离子型的。
- 离子型的。

以下美国环保署的文件可以作为一个指导：《水和污水的化学性分析方法》（EPA-600/4-79-020，修正版3/83 P.B.84-128677）

9.9.2 定义

9.9.2.1 非离子型杂质 大多数情况下不会影响水的电特性，可以通过以下方法来量测：

9.9.2.2 TSS（总悬浮固体量） 一般检测尺寸大于0.45μm的悬浮颗粒的总量。

9.9.2.3 COD（化学需氧量） 检测氧化所需的氧气体积（采用高锰酸钾氧化）以减少化合物如硫化物、金属盐、有机化合物等。

9.9.2.4 BOD（生化需氧量） 检测给定时间内细菌氧化可生物降解的有机物所需的氧气体积；是市政污水区POTW（污水处理厂）采用的典型检测法。

9.9.2.5 TOC（有机碳总量） 是一种水样中可氧化有机物质总量的检测法，最常应用于高度纯净水的检测。

自来水应该用装有1~20微米（ μm ）级别的标准过滤器进行过滤，以去除水中不需要的悬浮颗粒。如果采用封闭循环系统，COD和BOD将会提供是否需要更换活性炭和/或者消毒工艺设备的指示。

9.9.2.6 水的离子纯净度 是水中溶解矿物质质量的一种检测法。通常溶解的污染物呈离子态，由诸如氯化钠和硫酸钙等矿物质组成。其总浓度可以用以下任一术语表示：

9.9.2.7 ppm（百万分率） 是用于表示一种物质在另一种物质中的浓度的缩写，水常用的参数。它是指一百万个单位重量的水中含有一个单位重量的材料。例如，1个ppm意味着在1百万毫克（1kg）水中有1毫克（mg）物质（例如盐）。对于水的计算，ppm和mg/l是水中污染物浓度的两个等效表达方式。

9.9.2.8 TDS（溶于水中的总固体含量） TDS仪表可提供水样中矿物质质量的估值。通常，水质专家采用这种检测方法来判断离子交换树脂的大概能力和反渗透膜的抵抗能力。

9.9.2.9 硬度 对水样中矿物质总量（钙和镁的碳酸盐，单位为毫克/升或者格令/加仑）的一种检测。硬度可采用称为水软化处理的离子交换工艺去除。硬度不是用于衡量离子纯度。（注：软化水形成一种白色粉状沉淀物，而硬水则形成一种坚硬的、白色的、粘附性垢。软化处理用钠离子交换出钙离子和镁离子，沉淀物基本上全是碳酸钠，而碳酸钠是一种具有高离子、腐蚀性和吸湿性的盐。因此，在任何水基的最终冲洗过程中没有软化水进一步的处理是不应该直接使用的。

9.9.2.10 电导率 一种描述水传导电流能力的电性能检测方法（微西门子/厘米）。仪表应该进行温度补偿。水中溶解的矿物质含量越高，电导率读数就越高。自来水的电导率一般是在40~1000微西门子/厘米。无论选择自来水或者高电导率的水样进行检测，电导率检测值通常为约5微西门子/厘米以上。注意微西门子/厘米=MHOS/CM。

9.9.2.11 电阻率 和电导率相反，电阻率是描述水阻碍电流通过的电性能检测方法（ohm-cm或者megohm-cm）。是精确检测水电导率低于1微西门子/厘米的最佳方式。最高纯度的水在25°C[77°F]下具有的电阻率可达18.2megohm-cm。

9.9.3 水纯净度标准 在风干了最后冲洗阶段零件上的水之前水的去除效力决定了水的最终纯净度。在清洗零件上的水被风干得越多，在最终清洁度上的水的纯度越高。低矿物质水将为用户提供关于洗涤和冲洗操作的最广阔的流程窗口。从自来水中出来的二价阳离子像钙和镁可以与松香反应形成不溶解的化合物。它们也能够降低一些洗涤化学品的效果和使用寿命。除此之外，使用低矿物质水能防止结垢，将很大程度上降低设备的保养频率，比如去垢。通常，我们应该要使用最高级别的水质从而能得到一个适当的清洁结果。

对许多应用来说，将需要使用去离子水、蒸馏水或者反渗透水。这很大程度上取决于进水质量和需要清洗的组件的特性。用户应该要咨询一下助焊剂和清洗剂厂商关于水纯净度具体规格的一些具体建议。针对高清洁度水的应用，在敷形涂覆前推荐使用的最低水的纯度（1megohm/cm电阻率，1微西门子/厘米）或者TDS达到0.4mg/l。

9.9.4 水净化的方法 有很多种方法可以去除非离子型和离子型的杂质。下述方法是适合针对电子部件清洗的：

9.9.4.1 机械过滤 是从颗粒尺寸大于1微米的水中去除杂质的一种屏障法。自来水过滤器可以包括：

9.9.4.2 筒式过滤器 是由许多种材料制造而成，像塑料或者自然纤维（聚丙烯、棉花和其它的物质），设计多样（比如模塑的、缠绕纤维、褶皱纸等等），这些多是为盛放较低容量的杂质的设备而设计的。

9.9.4.3 毛毡媒质过滤器（滤袋式过滤器） 是由许多种不同材料制造而成，比筒式过滤器能容纳更多的杂质。所以对有更高流量、能容纳更多的杂质的设备来说，会有一个更低的微粒物质单位重量成本。

9.9.4.4 颗粒媒质过滤器 是由多媒质或者是单媒质物质（许多级别的沙子和其它矿物质）所构成。这些主要是用在去除水中悬浮的杂质上。

9.9.4.5 活性炭 是一种吸附性的媒质用来去除主要来自助焊剂残渣，阻焊膜污染物等确定的有机分子。它的特性是从它极大的表面区域衍生而来的。用它可以很有效地为供给水去氯，像反渗透或者离子交换树脂的预处理一样。

9.9.4.6 水软化处理 是一个钠离子通过阳离子交换树脂（水软化剂）被替换成硬度矿物阳离子（例如，钙和镁）和其它阳离子，如铁。即使一种离子被另一种离子所交换，但是总的矿物含量不会变或者说是导电性不会变。主要是水的离子纯度不会变。在其它的软化水或者也许是自来水的应用中，矿物总量有可能很充足，这取决于使用的自来水的质量或者被软化的自来水的量。根据指导方针，水的硬度大于30-60ppm就应该被软化以降低管口和缸平面的结垢量。

9.9.4.7 薄膜过滤器 是由许多种材料（塑料、陶瓷和其它物质）制作而成，这些材料可以形成薄板或者管子。它们被设计用来去除粒子，有机分子和来自液体流中的离子。大多数的薄膜生成两种流：一种带有大量的污染物，另外一种带有低量的污染物。存在四种基本类型的薄膜。每种类型的薄膜根据它们的微米等级和材料的构成不同而不同（顺序由最细的到最粗的）。

9.9.4.8 反渗透（RO） 涉及到大约200的分子量的去除。它能够去掉水中所有的分子和多数的离子。特别是污水可以被净化到电阻率从25000到500000ohm-cm。这是在水清洁过程中最常见的。

9.9.4.9 纳滤膜（NF） 等级大约涉及从1000到10000分子量的去除。这是用来去除具体的不溶解的矿物质，像供给水中的钙和镁（硬度）。

9.9.4.10 超滤器（UF） 等级大约从50000到500000分子量的去除。它们主要被设计用来去除有机分子的，有机分子比通过微量微滤器去除的分子要细得多。离子是不用通过超滤器来去除的。

9.9.4.11 微量微滤器（MF） 等级大约从0.05到0.8微米的完全去除。等级值是基于气孔的大小。离子是不用微量微滤器来去除的。

9.9.4.12 离子交换 以下方法是用来去除水中溶解的矿物质（离子）。其它种类的离子交换树脂可以被用来作许多特殊用途用。

9.9.4.13 离子交换（去离子作用） 在这个过程中，溶解的矿物质（离子）是通过阴阳离子树脂在交换过程中去除的。其中阳离子树脂去除所有带正电的离子（钙离子、钠离子等），并用氢离子来取代它们；而阴离子树脂去除所有带负电的离子并用氢氧根离子来取代它们。当氢和氢氧根离子结合了，就形成了纯净水。一个双床去离子方法包含了一个阳离子树脂缸连着一个阴离子树脂缸，通过此方法出来的水的电阻率范围是从50000到500000 ohm-cm。一个混床去离子方法包含了阴阳离子树脂的混合物，它们结合在一个缸里，生成的水的电阻率范围从500000 ohm-cm到18.2 megohm-cm。

9.9.4.14 特别的离子交换树脂 特别应用的树脂，比如，螯合物或者重金属选择性树脂，专门用来去除重金属，而非其它的离子（阳离子或者阴离子）或者有机去除性树脂。

9.9.4.15 其它方法 其它方法在一些非常具体的应用中也是有意义的。通常用这些方法从废水中排出需要的水再重新使用。这些方法适用于含有溶剂的污水流。最常用的方法是蒸馏。

9.9.4.16 蒸馏 是一个通过蒸发来分离出自来水或者洗涤水中的污染物从而得到高纯净度的水或者净化的溶剂。在一些情况下，也可以用蒸馏来净化洗涤槽中的水。用这个流程来净化水是适当的，但这流程所需要的能量使得操作起来的费用很高。在一些地方，使用任何能蒸馏的机器可能需要一个特许经营证。

9.9.4.17 紫外线照射（UV） 是一个通过钝化作用给水消毒或者通过一个特定波长（典型的是254纳米）的光杀死微生物的方法。

9.9.4.18 臭氧化作用 是一个用臭氧（气体）来处理水和污水的方法，用一种超强氧化剂将有机化合物降解成更小的分子和离子。

9.9.4.19 氯化作用 是一个使用次氯化钠、氯胺、氯气或者其它含氯化合物给水消毒的方法，水和表面可以通过杀死和抑制微生物生长的方法来使水得到净化。

10 溶剂型清洗剂

本章节阐述了焊接后电子/电气组件、部件和应用工具的溶剂清洗。

10.1 目的 本章节的目的是提供对主题的基本理解，并为溶剂清洗技术的用户或者潜在用户提供关于溶剂清洗制程选择或者改进的指南。

10.2 术语和定义 本手册中使用的所有术语和定义符合IPC-T-50。对本标准主题讨论至关重要的基本术语和定义，将在本手册后续的相关章节提供或者定义。

10.2.1 溶剂清洗 溶剂清洗是使用溶剂型媒介来洗涤和冲洗电子部件和组件的过程。在溶剂清洗过程中，干燥是独立应用和独立装备的。在蒸汽去焊的过程中，干燥是通过蒸发在被清洗的零件上的剩余液体溶剂来完成的，水被带到由沸腾的溶剂形成的蒸汽带，停放在自由区域内，在蒸汽脱脂剂中任何剩余的液体一遇到冷却的空气就蒸发掉了。在其它的应用过程中，干燥过程是将剩余溶剂蒸发到室内空气中。确保使用适当的通风设备以使空气的蒸汽保持在建议的范围内，并且要遵照地方有关工作环境和排气气流装置的健康和安全性法规。

10.2.2 贝壳杉脂丁醇值（KB值） KB值是一个对碳氢化合物溶剂溶解力的国际性标准量测值，该值由美国材料试验协会标准的测试ASTM D1133管理。测试的结果是一个索引比例，会用KB值来表示。一个高的KB值表示溶剂溶解特定物质的特性更强或者活跃。特性温和的溶剂分值低，只有十几

或者二十几分，而特性强的溶剂像氯化溶剂评级都在好几百。**KB**值是溶解力的一个指示值，应该结合其它的测试，如最大的溶解性碳氢化合物测试或者具体的溶解力测试来决定溶剂的清洗力。

10.2.3 共沸混合物 一个共沸混合物是两种或者多种液体按一定比例的混合，简单的蒸馏不会改变它的组成成分。发生这种现象是因为当一个共沸混合物被煮沸时，出来的蒸汽与原来的混合物成分是一样的。

10.2.4 洗涤 洗涤是首要的清洗操作，利用化学和物理作用将不期望的杂质（污染物）从表面去除，主要是溶解污染物。

10.2.5 冲洗 冲洗是一个通常跟随在洗涤步骤之后的清洗操作，是通过稀释模式用干净溶剂置换残留污染物，获得干净溶剂润湿的表面。在蒸汽脱脂系统中，在洗涤步骤之后的气压带里冷凝在零件上的溶剂常常足够用来冲洗零件。

10.2.6 干燥 去除和回收任何残留在已洗涤和已冲洗部件表面的液体溶剂的工艺。在蒸汽去助焊剂工艺过程中，干燥是在清洗机洗涤区的沸腾溶剂所产生的蒸汽区实施的。在部件表面通过过热溶剂蒸汽可以增强干燥效果，确保彻底清除残留液体溶剂。这项技术对复杂几何形状的部件特别有效，可以将液体溶剂完全去除。干燥实际上是发生在设备的冷却区，在冷却区里煮沸的溶剂重新浓缩并且可以从组件上滴下来。

10.2.7 去助焊剂（焊剂去除或者焊后清洗） 去助焊剂是一个用来去除助焊剂及其副产品的清洗工艺。其它的目的是清除使用过程中的残留和作为产品辅料的材料，如水溶性掩膜。印制板或者元器件制程或者其它操作过程中所留下的杂质也可在此工艺中去除，因此，去助焊剂清洗制程扩大了印制电路组装业者的工艺窗口。

10.2.8 化工材料首字缩写

- HCFC: 氟氯烃
- HFC: 氢氟烃
- HFE: 氢氟醚
- nPB: 正溴丙烷
- CFC: 氯氟烃
- TCE: 三氯乙烯
- PCE: 氯乙烯
- IPA: 异丙醇
- t-DCE: 反式二氯乙烯

10.3 溶剂清洗的背景和概述 溶剂清洗背后的执行原则是它能够将电子组件上的焊剂残留作为非挥发性的残留溶解到溶剂中的能力，而冲洗组件用的却是挥发性的溶剂蒸汽。当焊剂残留溶解到溶剂清洗剂中时，问题就解决了。将焊剂残留溶解到溶剂清洗剂中的能力可以由动态平衡来表示，该动态平衡由固体助焊剂残留物溶解和分离两步完成达到固体残留量与溶剂平衡点即可。焊剂残留物溶解到清洗剂的能力是由溶剂和溶质分子间和分子内的作用力平衡决定的，而且溶解作用过程中伴随着熵变。比如气温和气压因素能改变这种平衡，因此也就能改变溶解度的性能。

10.3.1 溶剂清洗概述 溶剂清洗是一个将清洗剂直接在需要清洗表面喷淋、沉浸、刷洗的过程。溶质溶解到溶剂中的能力称为溶解度。污物和溶剂清洗剂通过它们分子结构的排列而相互作用。热度和熵特别能加速溶解，并致使溶质更具有热力学稳定性。溶剂清洗剂的效力取决于溶剂和溶质结合的能量，而这能量又基于驱散、偶极子运动（同一个分子内，部分正电荷和负电荷的相互排斥）和与氢结合的性能。

溶剂清洗剂大致可以分为两大类：极性和非极性溶剂。在清洗剂中的溶剂介质常数提供了一种清洗剂极性衡量标准。高极性溶剂有一个高的介电常数，而非极性的溶剂有一个低的介电常数。非极性、偶极矩、与氢结合的溶剂决定了什么样的化合物溶解到了清洗剂中，和用什么样的其它溶剂或者液体化合物来溶解溶质。根据经验，极性溶剂溶解极性的化合物效果最好，非极性的溶剂溶解非极性的化合物效果最好（例如，“相似相溶”）。

溶剂清洗剂可以分为非极性的、质子或者非质子的。常见的非极性的溶剂像矿物油、环戊烷和甲苯主要是用来溶解非极性的溶质。质子溶剂，比如异丙醇，氢与带负电的（阴离子）溶质结合。常见的质子溶剂包含异丙醇、甲醇和水。常见的非质子溶剂有更大的偶极矩，通常通过对偶极子负极的引力来使带正电的阳离子成为溶剂。常见的非质子溶剂包含1-2反式二氯乙烯、丙酮和乙酸甲酯。

希尔德布兰德（1936）和兰森（1966）原理，在匹配溶质与更强清洗能力的溶剂方面，提供了有力理论见解。与溶质的分子间有紧密相互作用的溶剂清洗剂主要是用来溶解污物的。了解了这些相互作用，清洗剂公司就能设计出符合污物溶解度特性的溶剂清洗剂。这就顾及到了绿色科技的发展，用相对较少环保和健康问题的溶剂取代“好的”溶剂。

10.3.2 流程图 溶剂清洗剂通常用在局部清洗、批清洗和带有非气密密封元器件的组件上。溶剂提供的一个好处就是它的表面张力小和浸湿低间隙和盲孔的能力。当清洗印制电路组件和元器件时，采用能与被清洗的污物匹配的溶剂，是一种有效果的明智选择。

10.4 溶剂清洗剂技术

10.4.1 单一溶剂系统 单一的溶剂是一种可以有效溶解溶质的物质。例如，异丙醇（IPA）能溶解大范围的非极性化合物，并且异丙醇相对无毒并能很快挥发。因此它被当作溶剂和清洗液体而广泛地应用在电子组件、模板和其它比如接片、磁带和磁头的电子元器件以及光驱动器里的晶体激光器的清洗上。异丙醇常用来去除集成电路组件上的热胶。异丙醇是一种常用来去除和测试离子型杂质的萃取剂。

10.4.2 混合的溶剂系统 工程上的溶剂混合物适合大范围的清洗应用。对环境友好的溶剂分子已经取代了消耗臭氧的、有毒的和有害的溶剂。溶剂混合物通过高的溶解力、低的表面张力、耐燃性和分子的稳定性起作用。溶剂的这些特性为特定的污物和工艺需要的溶剂混合物的配制提供了平台。

混合溶剂常用来清洗电子组件和清洗元器件上的助焊剂。混合溶剂与溶质很匹配，高压有显着的浸润特征来确保元器件窄间隙底下有水流从而溶解和去除焊剂残留。极低的粘性和表面张力彰显了浸润和流动的特征，被要求用来清洗高密度组件。

10.4.2.1 共沸混合物 一个共沸混合物是指两种或者多种液体的混合，混合所按照的比例使得它的成分不会因为简单的蒸馏而改变。这是因为当一个共沸混合物煮沸时，出来的蒸汽的成分构成比例与原先的混合物是一样的。共沸混合物有它特有的沸点。共沸混合物的沸点温度要么低于任何一种它的构成物的沸点温度（一个正共沸混合物），要么高于任何一种它的构成物的沸点温度（一个负共沸混合物）。

工程共沸溶剂的优点是很适合用来清洗电子元器件和组件。混合物不会通过蒸馏而改变，这就确保了清洗溶剂可以持续得到纯化和再使用。另外一个共沸混合物的优点是它的有效易燃溶剂可以与不易燃的溶剂结合从而生成一个不易燃的共沸混合物。

10.4.2.2 类共沸混合物 混合性溶剂以一定的比例就形成了共沸混合物。当在配制工程混合溶剂的时候，在这混合物中的一种特别的溶剂可能会呈现出令人满意的汉森性能和贝壳杉脂丁醇值。像这样，混合溶剂就需要采用高一点的比例以提供一个令人满意的清洗特性。这些偏离比例的混合物就

倾向于形成类共沸混合物的特性。正的或者负的共沸混合物都将和额外的溶剂在蒸汽空间反应，比例时高时低。如果混合比例没有过多超出共沸混合物的比例，那么混合溶剂的构成在一个安全操作范围内会比较稳定。在使用类共沸混合物时必须要注意确保它的构成变化保持在一个不易燃烧的安全的操作范围内。建议要监测混合物的构成。

10.4.3 共溶混合物 在这个过程中，一个不易燃的低沸点溶剂与一个更高沸点有机溶剂像碳化氢或者酯结合在一起形成了一个均匀的混合物，这混合物在多槽蒸汽去焊剂器的第一槽里。混合物的沸点是由这两种溶剂的比例所决定的。更低沸点的溶剂被用在了剩余的槽里面去冲洗共溶混合物和从PCB上溶解下来的污物。在蒸汽区，风干很容易就完成了。在这个过程中，因为溶剂能提升第一个槽内的温度，所以它能有效地去除顽固的污物。

10.4.3.1 双溶剂清洗 在这个过程中，各种高沸点的有机溶剂都可以用来去除污物。除了高沸点有机溶剂还有就是低沸点不易燃的冲洗溶剂。把这两种清洗溶剂分开降低了高沸点溶剂在冲洗溶剂蒸汽中的交错污染。

10.4.4 汉森工程混合溶剂（非共沸混合物） 一种材料在另一种材料里的溶解力是由比较这两种物质的溶解度参数来决定的。它们的溶解度参数越接近，两者混合物在一起的溶解力就越强。每种纯溶剂的溶解力是与它的结合能量成比例的，而这结合能量又与溶剂蒸发的热量成比例。能量结合密度就是从它们相似的分子里完全溶解掉一个单位分子体积所需要的能量。溶剂或者溶剂制剂，它们对污物的溶解度参数是相似的。在这种情况下，溶剂就是最适合用来去除助焊剂残留物的。

希德布兰德（1936）提出，一种溶剂对固体物质的影响力可以通过看它的结合能量的平方根预测出来。对要溶解的物质来说，在这种情况下溶剂残留，它的分子结合能量一定被与它相似的溶解力的分子克服。作一个好的类比，就是把所有成千上万的溶剂想象成三维空间的点，就像夜空中的星星。宇宙中分布距离彼此很近的星星有相似的溶解度特性。现在想象一下，我们假设残留物质被去除了，而构成的材料或者小部件是在同一空间被制造出来。如果残留物质或者小部件的物质都接近一个溶剂点，我们就能预测出这种物质的溶解和劣化状况。在选择一种溶剂去清洗我们想要清洗的残留物和避免所选的溶剂会劣化材料的构成时，这点将会显得相当有用。

汉森（1966）提出希德布兰德溶解度参数能被分为三部分。希德布兰德方法和类似于当看夜空时，只看到二颗星星看上去距离很近。它们有可能距离近，或者一个落后于另外一个好几光年。汉森博士加了三个参数在这三维关系中找到了正确的位置。

汉森参数判断有三种重要的力影响溶解度。它们的平方和等于希德布兰德溶解度参数的平方，具体参见以下等式：

$$\delta_t^2 = \delta_d^2 + \delta_p^2 + \delta_h^2$$

其中：

δ_t^2 = 总希德布兰德溶解度参数

δ_d^2 = 色散力分量的溶解度

δ_p^2 = 极性力部分溶解度

δ_h^2 = 氢键部分溶解度

汉森空间的第一种成分是它的分散/结合力（ δ_d ）。在非极性溶剂里这种力占主导地位。这种力也是对分子与分子间相互作用力的一种量测。分子间的作用力是由电子分布瞬间的不同而产生的。蒸发的能量可以用来估计分散力。汉森空间的第二个参数是对极性结合力（ δ_p ）的一种预估。这种力是由电子密度的持久性差异而产生的，而这差异又是由多电子原子和少的电子原子存在同一个分子里而形成的。极性力可以通过分子的偶极矩预估出来。汉森空间的第三种力是氢键结合参数（ δ_h ）。虽然

通过氢键结合，但它是电子转换能力的一种量测方式。量测的结果可以通过混合的热量来估计，或者可以通过除了前两个参数之外的每种参数的总和来计算。

老的希德布兰德和新的汉森溶解度参数都涉及实际的污物以及清洗污物的清洗溶剂，为清洗效力提供了更明确的指南，因此成为如今清洗复杂污物的首选。根据ASTM方法D-1 133，更老一点的用来预测溶解力的指南是贝壳杉脂丁醇值（KB），这是一个间接量测溶剂对贝壳杉脂溶解度的数值。

很关键的是要注意到这两个溶解度的测试都不能给离子型杂质的去除效力作量测。这个一定是由个人基准来决定，特殊的焊接材料、元器件和组装操作过程中的焊接参数要考虑到。总之，含一种基本溶剂和一种酒精的多种成分配方，被强力推荐用来去除离子型杂质。可以联系个别清洗溶剂供应商来取得具体的产品性能，因为供应商常常有相当的实验室数据可供参照。

10.4.5 概述 每种溶剂都有它的优缺点，而选择哪种清洗溶剂将主要取决于要被去除的杂质的类型和正在谈论中的电子组件的材料构成。

第一种（电镀、蚀刻盐、食盐等），第二种（非极性/非离子型残留物，比如金属氧化物（锡或者铅的氧化物）），第三种（微粒残留物，比如机械加工的残留物、松香和玻璃纤维碎片、灰尘、线头等）杂质都不能很好地被溶剂清洗剂溶解掉。然而，各种各样的清洗周期地结合（比如，高压和/或者低压喷射、溢流、冲洗、超声波洗）通过它们固有的物理作用，能够很彻底地去除掉许多情况下难溶解的残留物。（在一些具体的情况下，含松香的亮漆被用来去除含铅的残留物，经过含氟溶剂/混合酒精处理，去除残留然后来洗掉杂质和亮漆。这个流程也应该适用于更新的溶剂制剂。）

表10-1含有一个组件清洗流程必须要对付的典型/潜在的杂质的列表和相关的多种清洗溶剂去除它们的能力。这张表格没有对在电子组装过程中可能出现的残留物作一个完整的编辑，但却可以成为给特定种类的杂质/残留物挑选合适的溶剂的一个指南。

表10-1 相对清洗效力

杂质/残留物	溶剂种类							
	氯化物	溴化物	氟化物	共沸混合物	酒精	酮类	芳香剂/脂肪族化合物	点检表2
大类1								
指纹盐	I	I	I	E	E	E	I	
松香活化剂	I	I	I	E	E	I	I	
催化剂残留物	I	I	I	E	E	I	I	
切削用油（水溶性）	I	G	I	G	G	G	I	
临时阻焊膜/焊料	I	I	I	G	G	I	I	
焊盐	I	I	I	I	I	I	I	
残留电镀盐	I	I	I	I	I	I	I	
残留蚀刻盐	I	I	I	I	I	I	I	
大类2								
树脂固定剂蜡	E	E	E	E	E	E	G	
蜡	E	E	I	G/E	I	G	G	
护焊油	E	E	E	E	E	E	E	
切削油（溶剂）	E	E	E	E	E	E	E	
指纹油	E	E	E	E	E	E	E	
松香焊剂	E	E	E	E	E	E	G	
标记	E	E	I	G	I	E	E	
护手霜	E	E	E	E	G	E	G	
硅油和油脂	G	G	G	E	G/E	I	I	
硅树脂	I	I	I	I	I	I	I	
胶残留物	E	E	I	E	E	E	E	
临时阻焊膜/焊料	E	E	I	G	I	I	I	
有机溶剂膜	E	E	I	G	E	E	E	
大类3								
树脂和玻纤	M	M	M	M	M	M	M	M
机械加工过的金属和塑料碎片	M	M	M	M	M	M	M	M
灰尘	M	M	M	M	M	M	M	M
触摸污物	M	M	M	M	M	M	M	M
棉线	M	M	M	M	M	M	M	M

字母说明:

E = 有效溶解杂质

I = 不能溶解杂质

G = 灰色地带（基本可以溶解）

M = 需要机械力作用

注1 共沸混合物组成成分在溶剂强度中的变化。

注2 点检表：在操作过程中会有杂质/残留物。

10.5 清洗溶剂的特性

10.5.1 介绍 物理特性是一个可以量测的属性值，它可以及时地在指定的时间内描述一种溶剂或者混合溶剂的状态。一些常见的物理特性像沸点、闪点、色度、密度、绝缘强度、效力、电荷、电导率、溶解度、粘度和表面张力等。

10.5.2 普通溶剂的物理特性例子 一些种类的有机溶剂被用来使用在清洗印制线路板（PCB）和印制线路组件（PWA）的过程中。与层压板表面接触的敷形涂覆里也含有溶剂。最常见的溶剂是卤化的溶剂、脂肪族的碳氢化合物、醇类、酮类和芳香的溶剂（见表3和4）。也常使用许多种溶剂的混合物。这部分包含以下几个方面：

- 物理特性。
- 溶解力。
- 溶剂的监测/稳定性。
- 安全和有关环境的特性。
- 清洗流程。

10.5.3 效力 为确保有效果，溶剂清洗剂要求有以下几个特点：

10.5.3.1 润湿 清洗剂应该要持有好的润湿特性，这样在清洗过程中以最小的变化量来确保所有清洗区域都有水流和润湿来溶解和去除杂质。润湿通常取决于溶剂的粘度和表面张力。溶剂制剂粘度低和表面张力小，将有最好的润湿效果。

10.5.3.2 溶解力 清洗剂应该有好的溶解力（对杂质有吸引力）。清洗剂必须要能溶解现有的杂质，如果溶解力很差，润湿除了机械地洗走杂质也就没有什么意义。很难绝对地说出一种清洗剂的溶解力到底是多少，所以常常采用相对的量法。像这种相对量法的例子有杂质溶解度以 g/cm^3 为单位（跟着具体的百分配比变化而变化），贝壳杉脂丁醇值和莱胺值，它们的实用性也有限。一个更好的方法是溶解度参数数据，这个数据是最能指示溶剂或者是溶剂制剂去除污物的能力。我们也应该要注意到通过选择清洗设备、搅动方式或者清洗循环次数可以提升溶解力。

10.5.4 多种成分 一种清洗剂可能既包含极性也包含非极性成分。非极性部分需要有效地去除非离子型杂质像松香、油、指纹油等，而极性成分则需要溶解离子型杂质像助焊剂活化剂、电镀残留盐或者来自触摸的盐。为了达到极性/非极性的特征，混合溶剂和共沸混合物就变得更加重要。非极性的成分常是卤化溶剂，要么是氯化的，溴化的，含氟氯的或者含氟氢的。极性成分的溶剂典型代表是醇类，像甲醇、乙醇、丙醇。其它成分像含氯烃或者碳氢化合物常被用来调整过程中溶解力和兼容性的平衡以满足特别使用。在使用过程中，也常加稳定剂来防止溶剂制剂退化失效。

10.5.5 退化现象 清洗剂在正常使用过程中不应该损伤清洗的硬件或者包含电子组件的元器件（一些被熟知的有退化现象发生的例子有阳极处理，一些塑胶件、标签油墨、标签黏胶，连接器，金属表面处理等等）。清洗溶剂/溶液不应该去除清洗件上的标记和符号。

积水能使蒸汽脱脂溶剂的功效退化，加速溶剂氧化并减少氯化和溴化的溶剂。为了防止溶剂功效退化，需要加少量的物质去增加酸接受水平。供应商确定酸接受度并提供成套工具来监测酸接受水平。如果接受水平低，供应商会提供物质来调整酸接受度到一个安全的水平。

10.5.6 残留物 清洗剂不应该在最终冲洗后留有有害的溶剂残留。足够的溶剂纯度是能够取得可接受的表面洁净度的非常重要因素。出现在清洗过程中的溶剂残留/杂质在大体上是由生产和溶解性的杂质而导致产生的溶剂中的悬浮物质和杂质。

10.5.7 悬浮物质 悬浮物质是由溶剂中不可溶的微粒物质构成的，但它是悬浮状态，这点是由微粒的尺寸和/或者具体的重力所决定的。如果对生产清洗设备的管控不够或者如果溶剂最初有包装或者再包装，并且在这个过程中没有给予足够的管控或者贮藏容器，那么这种悬浮杂质出现的可能性就会增加。

10.5.8 溶解的杂质 一旦开始清洗了，从清洗零件上掉下来的污物就会溶解在溶剂里。在蒸汽去焊过程中，它们会积聚在煮沸的溶剂里。在煮沸的溶剂里的杂质可接受水平将取决于这个清洗流程的纯度要求。这些杂质特别能通过简单的蒸馏而被去除。

10.5.9 回收的溶剂 使用回收的溶剂有明显的经济优势，这也是所有气相洗涤设备背后的使用原则。只要共同蒸馏杂质就不会遇到问题，像矿物质和硅油都没有出现在回收的溶剂里（例如，一个受约束的，熟知的原始资料就是假如溶剂材料可以被回收）。然而，从回收商手里以低价回收散装的溶剂如果不经过适当的分析就使用可能会出现。因为溶剂回收商是从许多没有管控的源头回收废弃的溶剂。使用回收溶剂的用户推断如果溶剂没经过适当管控（例如，进料检验），那么使用起来的风险会比较高。清洁过后的操作，像敷形涂覆，将能受到负面影响。通常这种回收的溶剂是在上游被使用，用来清洗组装之前的零件或者清洗保养设备，将纯物质反过来清洗最终组件的清洗。

进料中杂质的另外一个潜在来源是分销商和/或者用户对溶剂的再包装。必须要留意大桶或者提桶（滚桶的内部）内侧的塑胶涂层要能与溶剂制剂兼容。个别的公司必须要确定它们自己的进料要求以便将产品责任降到最低。

10.5.10 稳定性 从可靠性/成本的角度来看，清洗剂的稳定性（长期使用寿命）是很重要的。这个清洗剂应该要能防止化学性和热量性的分解变质。

10.5.11 防止化学性分解变质 一些卤化溶剂（三氯乙烯、氯乙烯、正溴丙烷）在遇到热量、水分和与一些金属接触时，易受化学性分解变质（以前称为变酸，但更精确地说是退化到了一个预想不到的或者是有害的变质产品）的影响。这些变质产品是有酸性和腐蚀性的。市场上最常见的清洗溶剂是由稳定剂系统构成的。用抑制剂和抗氧化剂来防止溶剂变质，而用酸接收器来中和可能出现的过多的酸物质。在操作过程中，稳定剂有可能会用完，所以要求要对溶剂作周期性测试。

10.5.12 防止热分解变质 大多数卤化溶剂（1,1,1-三氯乙烷、三氯乙烯、氯乙烯，1,2反式二氯乙烯、正溴丙烷、氟氯烃、氢氟烃和氢氟醚）在遇到高阶的热源时，容易受到热分解变质（以前称为变酸，但更精确地说是退化到了一个预想不到的或者是有害的变质产品）的影响。比如浸入式加热器上的热点，与辐射空间加热器（要么是电的，要么是气体的）上的加热组件接触，或者与焊接喷灯上散发的热量相接触。一旦一个溶剂分子的热量限定超标了，那么没有稳定剂包可以阻止变质，热分解并不常见。用户必须要注意适当地保养设备，以确保这样的接触不会发生。

10.5.13 安全 清洗溶剂用户也必须评估及考虑其它一些安全因素，如消防安全和一些特定清洗溶剂对人体健康急性和慢性的影响。用户应该非常清楚由溶剂制造商提供的且正在使用的物质安全数据表中的所有内容。

健康影响，除了潜在的吸入性危害外，还包括对眼睛和皮肤组织的刺激或者腐蚀。所以，应该做一个针对眼睛和/或者面部保护要求的评估。皮肤刺激或者腐蚀是一个潜在危害，可以通过配戴合适的防护手套来有效避免。

更多详细安全信息，请参考IPC-CS-70。同时，应该注意在实际使用任何一种溶剂之前，都必须提前参阅当前最新的物质安全数据表。

10.5.13.1 消防安全 低酒精浓度的卤化溶剂通常都不易燃。用户应该注意多组分的共沸物在沸点处只能控制一种特定成分。因此，若制剂包含一种易燃的组分，那么室温下这个组分里的成分就会变得活跃，从而变得易燃。其它常用溶剂如丙醇、松烯和其它碳氢化合物都是可燃性的或者燃烧性的，应该根据当地安全法规进行合理的处理和储存。当然，做好供应商建议的防护措施，也可安全使用这些物质。

液体或者混合液体的闪点测试通常可以决定清洗剂应该如何包装和运输，却不可预测其在汽相清洗中的表现，清洗剂有可燃范围（可燃极限），通常表述为在空气中可被点燃的浓度，但却没有闪点。许多有可燃范围但无闪点的不易燃清洗剂在汽相清洗中都可安全使用。

美国工厂互检业务协会（FM）和美国消防协会（NFPA）将闪点低于38°C [100°F]的液体视作易燃液体，达到38°C [100°F]小于60°C [140°F]的视作二级易燃液体，达到60°C [140°F]低于93°C [200°F]的视作三A级易燃液体。易燃液体的蒸汽如果不能通过通风系统有效排出，将造成爆炸危险。易燃清洗溶剂的用户必须注意这些液体所使用的装置需符合特定的规范，如防爆电线、开关、电灯、发动机等，（更多信息请参考NFPA 35和OSHA 29 CFR 1910.106）。易燃液体用户也应该要跟当地的消防部门确定防火通告和液体使用许可证。环境保护局也需要通告40 CFR 355.30 (b), 370.20, 370.21和370.25法规向当地防火部门和应急计划委员会报告特定化学制品储存和用法。

10.5.14 工作场所暴露 生产区域使用溶剂的蒸汽保持在最大阈值以内对工人安全至关重要。最大阈值由美国国会和工业卫生师制定。最大阈值通常被职业安全和健康署使用来评断是否符合工作场所安全规范。现代化封闭式的设备和被合理改造过符合要求的设备可允许使用低暴露限值的物质（低阈值）。

10.5.15 允许暴露限度/短期暴露极限 控制工人在溶剂蒸汽下暴露的时间等于或者低于允许暴露限度8小时，以及等于或者低于短期暴露极限的时间（通常15分钟）是一项法律要件，其由职业安全和健康署出版在29 CFR 1910.1000 空气污染部分。

控制工人暴露在化学溶剂里的时间同样很重要，虽然职业安全和健康署并未对此制定一个PEL（允许暴露限度）或者STEL（短期暴露极限），但美国政府工业卫生专家协会和/或者美国国家职业安全卫生研究所发行了可通过适当的局部通风或者工作规范或者两者都采用的方式来保证工人的暴露时间等于或者低于阈值8小时。职业安全和健康条例要求使用工程控制（例如，局部通风）来作为管控工人暴露时间的首选方法，配戴个人防护设备如呼吸器则是在工程控制失败后万不得已才采用的方法。应该配戴呼吸器可充分保护工人免受清洗溶剂蒸汽的危害，用户都需要有一个书面的呼吸防护计划（参照29 CFR 1910.134）。

10.5.16 工作场所暴露监控 监控空气中的溶剂浓度有3种常用方法：使用空气取样泵、有机蒸汽监控徽章和有机汽相分析仪。空气取样泵和有机汽相监控徽章都可测量出空气中溶剂浓度的时间平均数。有机汽相分析仪（OVA）可测量出空气中溶剂浓度的瞬时读数。以下是这3种取样方法详细介绍：

- **空气取样监控器** 此方法利用一个取样泵和活性炭管来收集给量的空气。通常建议在一个8小时的周期内来进行空气取样。然后将活性炭管送往实验室分析选定的溶剂浓度。
- **有机汽相监控器** 有机汽相监控虽没有机械泵，但却和取样泵相似。工作人员可在特定的时间将其别在衬衫口袋上。此方法的一个主要缺点是监控溶剂的选择性非常有限。最后将其送往一个分析实验室进行分析。
- **有机汽相分析仪** 有机汽相分析仪本质上是一个使用了火焰电离检测器或者便携红外光谱仪的便携式气相色谱仪。此方法可测量碳氢化合物和有机物的痕量，也可以用来检测溶剂清洗设备是否有溢漏或者测量空气中的瞬时溶剂浓度。设备的实验标度可用来选择被监控的溶剂。此外，需要一个严格训练的操作员来执行这项监控任务并解释得出的数据，以此来决定空气中溶剂的浓度。

10.5.17 环境 溶剂清洗工艺的选择，包括材料和设备，必须体现溶剂对空气污染物排放、污水排放和废物产生的内在影响。这三种环境介质中的任一个都会根据使用率和空气排放物、污水排放物和废物的产生而需要一个许可证。咨询当地的管理机构来获悉包括如下条款的许可要求：

- **空气污染物排放** 所有的清洗溶剂都有蒸气压，因此，一个溶剂清洗工艺的使用会导致污染物排放到大气中。此种污染物根据其类型和排放的数量，以及化学排放总量可能被国家或者地方政府或者蒙特利尔协定书或者大气保护法所管制。若在清洗工艺中，给定化学品的排放物达到了阈值或者所有工艺中的任何一个给定化学品的总空气排放过量或者一组溶剂的总空气排放过量（例如，挥发性有机化合物），那么则需要申请空气污染物排放许可证。
- **消耗臭氧潜能值** 有臭氧消耗潜能的溶剂含有氯或者溴范围从接近零到大量。消耗臭氧潜能值是由联合国技术和经济评估小组下面的科学评审小组决定的。科学评审小组使用的臭氧消耗模型当前已更新到可以精确评估带有短暂大气寿命的卤化溶剂。
- **全球变暖潜能值** 一个分子的全球变暖潜能值是它大气寿命的函数。许多具有大气寿命的卤化溶剂和非卤化清洗材料如二氧化碳（用在超临界温度的二氧化碳清洗工艺中）都可能导致全球变暖。不同的时间跨度都能展现全球变暖潜能值，而并非一个标准范围内的普遍协议。在清洗剂鉴定过程中，通常要考虑到清洗剂的直接全球变暖潜能值和总全球变暖潜能值（如能源使用）的整个工艺评估情况。
- **有害空气污染物** 许多物质，包括一些溶剂，被规定为有害空气污染物，虽然它们或许没有根据消耗臭氧潜能值或者全球变暖潜能值来进行规定。有害空气污染物包括一些常见氯化溶剂如三氯乙烯和四氯乙烯。在一些地区，有害空气污染物需排除一些特定物质的使用，或者更重要的是，可通过提供设备设计指导和工作场所行为规范的指导来对其进行适当的使用。
- **挥发性有机化合物** 许多清洗溶剂在特定区域根据其挥发性有机物的状况而被限制使用。美国环境保护局已经制定了一个挥发性有机化合物免除溶剂清单，但是在美国的一些特定地区仍然限制这些溶剂的使用。而且，不同国家对挥发性有机物的定义也不尽相同。例如，欧洲部分地区认为不管溶剂是否稳定，只要有机化合物沸点低于250° C都属于挥发性有机物。当选择一种清洗溶剂时，必须了解当地的具体规定。
- **处理** 所有的溶剂都应该小心处理，采纳制造商提供的物质安全数据表里提到的防护设备和预防措施，尤其是单价高昂或者工作场所空气中允许蒸汽水平低的溶剂，使用一个合适的滚筒传输泵在溶剂低于蒸汽界面时将其转移到清洗设备中就非常关键。至于易燃溶剂，应该使用气动装置。许多大的清洗设备都配备了传输泵，这样可确保溶剂准确的添加和移除。若清洗设备配备了附加的回收装置，这种传输泵通常都会用到。
- **回收** 不易燃的溶剂容易回收，使用一个相对简单的蒸馏装置就可完成。这种蒸馏既能直接用管道输送到清洗机、多功能清洗机（假设同一种污物在每个清洗机中能被去除），也能到独立的装置。通常汽相清洗设备可以使用一个蒸浓工艺来充分地回收溶剂。如果相似的污染物清洗剂用在手工清洗应用中，包括返工和维修，那么使用过的溶剂可以和批清洗设备或者传送清洗设备结合使用，进行充分回收和再利用。
- **废物产生** 消耗的或者废弃的清洗溶剂可能被列为有害废弃物。所有的已用清洗溶剂都必须由熟知有害废物的产生、储存和运输规则的业内精英进行分析和认定。这些规则在人员培训、保留记录、储藏和处理要求上可能受制于各种法规。即使有害废弃物法规没有实行，但固体废弃物的地方或者国家法规都已经实行（更多信息，参照9.4部分）。总之，被清除且有危害的污染物需要合理地管控。一些溶剂制造商提供一个可支付废物处理成本的液体回流方案，这些方案可以减少跟废物处理有关的成本。

- **废水排放** 如下内容是关于用户处理脱水器和冷盘管中的废水问题。通常任何新的废水排放，不管通过总流道还是化学品流道，都需要从清洁水法案规定的地方公共污水处理厂取得一个许可证。此外，这个许可证可能还会需要国家的批准（在偏远地区，需要地方环境保护局批准）。因此，任何新的或者额外的废水在处理之前都需要地方公共污水处理厂的官员审核。这种审核可能会免除公共污水处理厂的许可证，或者减少许可证的检测需求。如果预测到污水可能排放到化粪池处理系统，那么任何一种地下水排放必须由国家地下水保护局检测并发予地下水排放许可证。排放物包含清洗溶剂的废水必须相当小心，因为污染了地下水和土壤将需花费更加高昂的代价来进行补救。溶剂系统不会产生废水排放，这跟水基清洗系统相比是一大优势。
- **社会知情权** 除以上所述的关于空气污染物排放，污水排放和废弃物排放，特定溶剂的年消耗量或者储藏量会受制于联邦环境保护局或者国家和地方应急计划委员会或者消防部门所规定的年度报告。除此之外，特定溶剂的溢出或者泄漏超出阈值需要对联邦、国家和地方提交自我报告。

10.5.18 成本 必须考虑到总的使用成本。低暴露限度、高挥发性和易燃的溶剂需要复杂的设备和管控方法来减少物质损失和降低暴露水平。先前提到的稳定因素、效能、处理、工作规范和安全，以及溶剂的初始成本对决定整个工艺成本至关重要。

10.5.19 总结 清洗剂应该：

- 对员工无伤害。
- 符合所有地方和国家的环境法规。
- 具有卓越的润湿能力使得其可以在器件底部和盲孔或者其它密闭区域快速扩散清洗。
- 可有效清除可溶性的和微粒状的污染物。
- 与产品、设备和工作区域兼容。
- 重复使用仍然保持稳定。
- 具有成本效率（最低的价格清洗每个部件）。

10.6 溶剂特定材料兼容性注意事项 第5部分重点讲述物质兼容性。使用溶剂清洗剂主要有3种值得注意的物质兼容性。

10.6.1 聚合物和标记兼容性 在任何温度，聚合物（塑料、弹性体、焊锡树脂和用于标记的油墨）和溶剂之间的相互作用都取决于若干因素。例如：谈及的聚合物的化学特性、聚合物公式参数、交联的程度（固化或者硫化的情况）、塑模的热处理、暴露在溶剂里的时间以及溶剂里污染物的等级。正因为如此，才很难精准的推测兼容性/不兼容性。所以，用户应该用去助焊剂溶剂评估所有部件的兼容性。短期暴露测试适合于PCB材料。长期暴露测试应该适用于组成清洗设备和其辅助设备的材料。

10.6.2 敷形涂覆溶剂兼容性 敷形涂覆通常包含比一般清洗剂更具腐蚀性的溶剂。如果印制电路板被保形涂层，那么原先可以和清洗溶剂兼容的聚合物或者标记油墨应该重新检测看是否跟敷形涂覆溶剂兼容。

10.6.3 金属兼容性和溶剂稳定性 值得注意的是氯化溶剂和溴化溶剂很容易跟白色金属产生反应（三价和二价金属包括铝，锌，镉，镁和这些金属的合金），而且正因为如此，抑制剂和/或者稳定剂才出现在商品等级里以增加它们的稳定性。氟化溶剂能和这些金属兼容且不需要稳定剂。当选择溶剂清洗设备，清洗篮和治具或者传输设备的组成材料时，这些特点应该考虑进去。

通常，带有稳定剂的溶剂清洗设备当暴露在过量的水中时必须管理完善。在过量的水中，稳定剂会被提取，可能导致溶剂分解（以前称为变酸，更精确的讲，会降解为有害的分解物），特别是当使用酸受体稳定剂。因此，许多氯化物和溴化溶剂的用户都会根据美国材料和实验协会ASTM D2942定期测试它们的酸接受力。

10.7 溶剂的分类和特点 大多数溶剂都用在电子组装清洗应用中，主要可分为以下3类（参照表10-2）。此分类连同表10-3中的污染物类型可作为选择合适清洗剂的导向。例如，如果需要清洗一个单独器件上的污染物像润滑油（非极性），那么一个非极性溶剂如脂肪族烃则需要使用。如果污染物，像活性助焊剂，包含多种成分，那么就应该使用极性和非极性的混合溶剂。

表10-2 电子组装污染物（残留物）

种类1 (极性或者离子性)	种类2 (非极性或者非离子型)	种类3 (微粒)
助焊剂活化剂	树脂助焊剂	钻孔和/或者冲孔时的松香和玻璃纤维碎屑
活化剂残留物	松香助焊剂	机械加工和/或者整修时的金属和塑料垫片
焊接盐类	油类	指纹（微粒）
指纹（钠和钾）	油脂	绝缘
残留的电镀盐类	蜡类	毛发/皮肤
残留的蚀刻盐类	合成聚合物	
中和物	焊接油类	
有机胺	金属氧化物	
表面活性剂（离子）	指纹（护肤油）	
	下列物质降解为聚乙二醇物： -产品 -手霜 -润滑油 -聚硅酮 -表面活性剂（非离子型）	

表10-3 溶剂分类和特征

溶剂	化学式	沸点	介电常数	偶极距	类别
水	H-O-H	100° C [312° F]	80	1.85	极性质子
甲醇	CH ₃ -OH	68° C [154° F]	33	1.70	极性质子
乙醇	CH ₃ -CH ₂ -OH	78° C [172° F]	24.3	1.69	极性质子
异丙醇	CH ₃ -CH(-OH)CH ₃	82° C [180° F]	18	1.66	极性质子
丙酮	H ₃ C-(C=O)-CH ₃	56° C [133° F]	20.7	2.88	极性非质子
二氯甲烷	CH ₂ Cl ₂	40° C [104° F]	9.08	1.60	极性非质子
三氯乙烯	CCl ₂ =CHCl	87° C [189° F]	3.40	0.90	极性非质子
反-1, 2-二氯乙烯	CHCl=CHCl	48° C [118° F]	4.6	1.90	极性共价
1,1-二氯-2,2,3,3,3-五氟丙烷	CF ₃ CF ₂ CHCl ₂	54° C [129° F]	6.11	1.4	极性非质子
1,3-二氯-1,1,2,2,3-五氟丙烷	CF ₂ Cl-CF ₂ -CFHCl	54° C [129° F]	6.11	1.4	极性非质子
正溴丙烷	CH ₃ -CH ₂ -CH ₂ Br	70° C [150° F]	7.2		极性非质子
九氟丁基甲醚	CH ₃ -O-C ₄ F ₉	61° C [142° F]	7.4		非极性
九氟丁基乙醚	CH ₃ -CH ₂ -O-C ₄ F ₉	76° C [169° F]	7.4		非极性
2,3-二氢十氟戊烷	CF ₃ -CHF-CHF-CF ₂ -CF ₃	55° C [131° F]			非极性

10.7.1 碳氢化合物溶剂 这个类别的溶剂包括：饱和烃如脂肪族和圆脂肪族，不饱和烃如芳香剂和松烯和氧化的碳氢化合物如乙醇、乙醚、脂类和酮类。虽然可以清除焊接助焊剂和很多极性污染物，但这些溶剂却易挥发和易燃。有时，这些溶剂可能还不能兼容一些特定的材料。此类通常应用

在小产量且通风良好的地方（如焊后修补）。大产量则需要严格、合理设计的批或者在线清洗设备。根据国家和地方法规的规定设备设计应该包括灭火线和防爆线，并在设备周围隔离一块区域。

10.7.2 卤化溶剂 卤化和溴化溶剂不易燃且适用于汽相清洗设备，它能保证蒸汽水平和工作场所空气浓度低于暴露极限。这些溶剂对清除大部分的非极性污染物如切削油、焊接和操作油类、松香助焊剂和有机膜非常有效。但是，它们的强溶解能力要求和一些用在PCB清洗工艺中的材料和器件进行兼容性测试。

氟化溶剂（HCFCs, HFCs, 和HFEs）不易燃。它们可分解一些油类和助焊剂，可用在汽相清洗设备中。它们的溶解力不如氯化溶剂和溴化溶剂的强，所以它们通常跟其它溶剂混合形成混合物或者共沸物，这样在保持材料相互兼容的同时达到最佳的清洗效果。

10.8 溶剂清洗设备/工艺

10.8.1 简介 这个部分涉及到最常见的溶剂清洗工艺类型和清洗系统。每个系统都可概括为3个部分：（1）定义；（2）设备选择；（3）注意事项。特定的设备特征可能需要满足国家或者地方的法规。

10.8.2 批汽相清洗

10.8.2.1 定义和工艺描述 汽相清洗是近来最受欢迎的溶剂除焊方法。特别为此工艺配制的溶剂在沸腾时蒸汽被凝结随即返回到沸水槽内。当溶剂沸腾时，产生的蒸汽沸点比清除的助焊剂和污染物的沸点要低。这个过程导致大量蒸汽剩余，从而形成一种连续不断的溶剂清洗源。

当一个部件如印刷线路组件被放入蒸汽中，此部件温度和溶剂蒸汽温度的差异会导致蒸汽在较冷部件上凝结，从而带走助焊剂。而实际应用中，简单的蒸汽凝结并不能完全去除助焊剂，因为层压塑料的热容量比同体积的金属件要低很多。因此，凝结的蒸汽被引入到附加的槽中，并对待清洗部件进行喷淋处理。水槽和/或者喷雾箱需有序排列，这样清洗溶剂可以从一个水槽串联到另一个水槽，最后回到沸水槽，再从清洗设备中逆流冲洗器件。同时，由于印制电路板的冷凝力不佳，将其浸没在沸腾溶剂中会加快污染物的分解。

清洗过程中会有许多变动，用户应该跟溶剂制造商和/或者设备制造商合作来优化各自的清洗系统。汽相清洗设备通常都由不锈钢制成，电加热，直接的制冷系统或者冷水冷却。

10.8.2.2 设备特征 如下选项可能不完全适用于所有设备：

- 低液位安全开关。
- 手动喷淋（冷却或者加热，有加热的优选）。
- 内部喷淋。
- 微粒过滤器系统。
- 去湿除水系统（若需要）。
- 超声波（加到冲洗槽内）。
- 自动加盖设施。
- 自动起重机。
- 专用溶剂控制设备。
- 干舷冷却装置。

- 溶剂回收设备。
- 除湿盘管。
- 热蒸汽循环。
- 高热蒸汽区。
- 冷却管。
- 沸腾加热器。
- 真空设备。

10.8.2.3 注意事项 操作汽相清洗工艺的最佳做法是减少输入源的变动。如下规范应该注意：

- 用户应该注意污染物是否在沸腾箱里堆积。在除助焊剂的过程中可能会污染产品，这对后来的组装操作会产生不利影响，例如，敷形涂覆、元器件键合等等。这种情况，应该必要设计一个单独的设 备、一个额外的沸腾箱或者其它方法以保持沸腾箱清洁。
- 避免将设备放在气流快速的位置。
- 所有国家和联邦的安全机构要求进入和排出的速度不能超过3.4米/分钟[11英尺/分钟]。
- 水是汽相清洗溶剂的克星，因此，通过冷却管凝结并进入汽相清洗设备里的水分需要严格控制和去除。在不含酒精的溶剂中，通过一个建在设备里的机械脱水器来实现防水。干燥剂或者脱水器用来移除的溶剂和其混合物取决于所用的溶剂/混合物（联系溶剂供应商来寻求具体建议）里的水分。干燥剂的材质如分子筛或者硅胶会吸收水分。如果含酒精的溶剂被使用，建议使用为三埃孔径的分子筛。这个气孔尺寸在不移除酒精的同时，可将水分从溶剂凝结回流管中移除。当然，请向溶剂制造商咨询特定干燥剂的使用建议。
- 汽相清洗需远离热源，特别是火花、加热器、焊接操作和明火，来避免溶剂蒸汽的热降解。
- 用户应该注意不良现象的产生，污染物可以在沸腾箱内堆积，去焊剂的过程中存在污染产品的可能，这对后来的组装操作会产生不利影响，例如敷形涂覆、元器件键合等等。这种情况下就应该设计一个能够保持沸腾箱清洁的方案。

10.8.3 传送式的喷淋清洗

10.8.3.1 定义和工艺描述 是器件通过机械方法如传输带或者传输链运输，溶剂通过机械泵运输来进行清洗的一种方式。自动化汽相喷淋去焊剂形式的传输带喷淋清洗是去除印制电路板助焊剂最受欢迎的方法，可以在保证产量和制程管控的同时，降低成本。现代的传送设备使用了多种清洗和冲洗步骤，器件从汽相线上方被运送到汽相/空气界面下方来进行喷淋和/或者浸泡清洗。然后再将器件运回并远离带蒸汽的区域进入下一步骤。

10.8.3.2 设备特征 如下选项可能不适用于所有设备：

- 微粒过滤器系统。
- 去湿除水系统。
- 溶剂回收设施。
- 液面控制。
- 喷淋和/或者过滤器的压力表。
- 可调节的上料/卸料输送系统。
- 温度检测仪器。
- 自动溶剂传输系统。

- 水基冲洗和干燥段。
- 浸泡槽。
- 除湿盘管。
- 液封（在不加大溶剂损失的同时允许高压喷淋）。
- 高热蒸汽带。
- 避免传送堵塞，每个设备单元尾端都要有紧急停止按钮。
- 设备底部放上接漏盘来接住溢漏的溶剂。
- 充分冷却液体中冷却管可降低闲置时期溶剂的蒸气压。
- 空转时，滑动盖封闭入口和出口。
- 真空设备。

10.8.3.3 注意事项 传输喷淋清洗系统，因其高度自动化，内部已建立较好的设备安全组装和人员安全装备。同样的基本注意事项也适用于批汽相去焊清洗。

10.8.4 超声波清洗设备

10.8.4.1 定义和工艺描述 当液体通过跟特殊传感器接触被机械地搅动时，频率范围从40 kHz 到150 kHz（或者更高），此时一种气穴现象将会出现。气穴现象是溶剂中的微观气泡快速连续的形成且破裂的现象。这些空化气泡的破裂会消耗巨大的能量，且这种气泡的出现会在清洗表面产生快速有力的擦洗动作。当污染物特别难清洗且位置很难触及时，超声波清洗特别受欢迎。但是，用户必须意识到潜在的电气损坏或者元器件的潜在缺陷。因此，超声波清洗工艺应该通过使用业内已经成熟的元器件测试方法来测试以对其进行适当的认证。

超声波清洗设备以多种方式出现，如在现有水槽内使用的浸泡传感器包、单独的超声波水槽和发生器、集成水槽/发生器，来作为汽相清洗设备中一个附加的或者内置的附件。此领域最新的进展包括变化的频率超声波—此频率在小范围内会不断变化来阻止谐波，和基础频率上多种谐波混合使用。这些新技术的目标是在避免老式低固定频率的超声波清洗系统带来损坏的同时，提供强大的溶剂搅拌力。

10.8.4.2 设备特征 如下选项可能不适用于所有设备：

- 护盖（滑动盖或者旋转盖，非悬挂盖）。
- 清洗篮（与超声波设备供应商讨论最佳的设计方案，以避免清洗篮减弱超声波的效果）。
- 加热器。
- 冷却管。
- 过滤系统。
- 定时器。
- 温度控制系统。
- 隔音系统。
- 冷凝水回水里的干燥剂。
- 扩充的干舷。

10.8.4.3 注意事项 不管溶剂用在什么设备里，批汽相去焊清洗中的注意事项都适用：

- 噪音—超声波清洗设备产生的频率会刺激和破坏操作员和附近工人的听力。建议考虑以下一点或者几点，可酌情减弱超声波刺激：

- 不使用时加盖
 - 隔离水槽
 - 将水槽安在工作台面下面（水平安装）
 - 操作员和周围的工人必须带耳罩且进行定期的听力测试
- 器件损坏-军工企业通常不准使用超声波清洗，基于早期固定频率清洗问题导致的所有金属元器件损坏，例如TO-5金属容器。它们认为特定器件如半导体可能被损坏，英国军队和美国海军也对此进行过调查。安全的使用条件，特别是使用现代非固定频率设备是可能的。当用在去焊设备中时，建议进行器件测试，IPC已经开始对组装不牢固的元器件和附属元器件进行测试来验证超声波清洗工艺。（参考IPC-TM-650测试方法 2.6.9.1和2.6.9.2）。

10.8.5 冷清洗设备

10.8.5.1 定义和工艺描述 冷清洗是在室温或者加热低于沸点时通过使用有机溶剂清除金属部件、金属组件和印制板组件上的污染物和助焊剂的一种工艺。典型设备要求包括配置需要护盖、排溶剂装置（通常建在冷清洗槽中）和一个注明操作事项的耐用标签。

清洗设备可以是喷淋、超声波、擦拭、波动和浸泡的。它虽没有汽相清洗效率高，但当热量会损伤器件，以及一些易燃清洗溶剂不能加热时，都建议使用冷清洗。

溶剂蒸汽顶端到水槽顶端的距离叫干舷，必须至少为125%的设备开口宽度。

液面以上的冷却空间或者碳吸附系统或者其它同等的发散管控设备也必须一应俱全。

10.8.5.2 设备特征 如下选项可能不适用于所有设备：

- 护盖（滑动盖或者旋转盖，非悬挂盖）。
- 清洗篮（方便快速排出）。
- 冷却管。
- 过滤系统（若溶剂可以通过泵循环）。

10.8.5.3 注意事项 当使用溶剂时，跟汽相清洗设备中的需要注意的事项一样。当不使用时，操作要求盖紧护盖，清洗好的部件必须在15秒内取出，且挥发到大气中浪费掉的溶剂不允许超过溶剂重量的20%。

10.8.6 浸泡槽

10.8.6.1 定义和工艺描述 含有清洗液且无泵、空气、超声波或者沸腾搅动的任何器皿都可视作浸泡槽。浸泡槽是一种初期的清洗方法而且现已被新型的、更高效的设备所取代。浸泡槽现在被作为清洗之前的一种预清洗。

10.8.6.2 设备特征 如下选项可能不适用于所有设备：

- 排水阀。
- 清洗篮。
- 过滤系统。
- 护盖。

10.8.6.3 注意事项 当使用溶剂时，跟汽相清洗设备中的需要注意的事项一样。

10.8.7 设备改装（升级） 更多关于改装和标准项目的信息，请联系特定的设备制造商。

10.8.7.1 增大的干舷 增大汽相清洗设备或者冷清洗槽上的干舷只是一种简单的扩大现有水槽和重置护盖的举措。这种方法成本低，无需其它的设施费用和保养费用。在可行的情况下，它将是最低价且最能降低整体生产成本的方法。干舷/宽度比超过1（1.25或者125%）时，效能会比较弱。新设备现在的干舷/宽比至少在125%，但是，有些情况则建议干舷/宽比超过125%来适应干舷冷却装置或者零度以下的冷却管。

10.8.7.2 冷冻的干舷 一个冷冻的干舷冷却器在设备花费上属中等。另外一个常规的设备成本内容是制冷压缩机，像其它所有的制冷系统一样，这个设备应该需要定期的保养。这个设计特点是为了减少废弃溶剂的泄漏排放和降低溶剂成本。这个制冷管可以冷凝空气中的湿气。必须注意从溶剂系统内移除这些湿气会避免不必要的设备腐蚀，从而为另外的冷却管增加了一个单独的水槽来分离清洗设备中的冷凝水。

10.8.7.3 碳吸附 碳吸附系统需要一个相当大的风扇从清洗设备中抽出空气并推动它穿过碳床系统。被吸附了的溶剂就会通过注入低压蒸汽和压缩溶剂及水的方式从碳床上移除。压缩空气用来操作自动阀。需要两个碳床进行连续操作，这样一个在进行换气的同时，另一个可进行解吸附。这个回收系统可以收集并回收溶剂蒸汽和空气，即使在低浓度时也可使用。

此设备的购置、安装、保养和操作成本高昂，且不兼容所有的溶剂清洗系统。所需能量通常也比冷冻清洗的要多，且需要相对较多的蒸汽量来推动碳床上的溶剂，这使稳定剂严重浪费，导致废水污染。虽然很少选择此清洗方法，但碳吸附具有一个独特的溶剂回收能力。只是，空气中的溶剂蒸气至少要在500ppm时，才能节约回收系统的成本。现在工作车间使用的溶剂很少有允许超出这个水平的，所以这个技术没有被广泛使用。

注：另外，CAA可能要求安装一个连续排放监视系统（CEMS）来检测和输出准确的双床系统操作。CEMS的使用仪器昂贵且要求特殊保养来保障可靠的运作。遵照国家、州和地方法规来使用和管控这些溶剂可能会引起一些问题，但用户可以遵守行业惯例。

10.9 工艺整合

10.9.1 手工焊接之后的清洗 如下是清洗手工焊接后的印制电路板通常使用的方法。

10.9.1.1 气雾剂喷淋 在通风良好的区域，应该用气雾剂在距离100-130mm[3.9-5.1in]的表面喷淋。组装组件应该从顶部到底部进行全方位的洗涤。溶液和喷淋的力量会分解或者冲走灰尘和助焊剂。

10.9.1.2 带毛刷的气雾剂喷淋 应该用气雾喷淋表面，再用毛刷轻刷来辅助清洗。然后再用气雾剂喷淋表面来冲洗掉助焊剂残留。用户应该确定毛刷的材质是防静电材质。最后再用干燥的抹布擦拭帮助清除助焊剂残留。

10.9.1.3 手工刷洗 一个酸性的毛刷浸没在含有溶剂的不锈钢分液器中，然后多次反复刷洗包含助焊剂的PWA区域。多余的助焊剂和溶剂用吸水性较好的无绒抹布擦拭。刷洗可稀释助焊剂并让其在印制电路板表面散开。毛刷需要经常更换来阻止助焊剂残留的再沉积。随后的清洗方法（例如汽相清洗等）就要求将助焊剂残留完全清除掉。

10.9.1.4 结合手工刷洗 防静电刷浸没在含有高沸点溶剂的不锈钢分液器中，如酒精/碳氢化合物混合物，然后多次反复刷洗包含助焊剂的PCB区域。多余的助焊剂和溶剂用吸水性较好的无绒抹布擦

掉。用浸满新鲜醇类（如丙醇）的无纺布完成冲洗和干燥。刷洗法分解助焊剂并在PCB表面上散开。随后的清洗方法（例如，汽相清洗等）就要求将助焊剂残留完全清除掉。

10.9.2 汽相去焊清洗（仅汽相） 汽相去焊涉及到将板子吊在装满沸腾溶剂蒸汽的腔室内。溶剂会在板子上凝结直至板子的温度跟蒸汽的温度一样。这个步骤根据大多数板子的情况会持续30秒到3分钟。此方法通常没有多步骤蒸汽去焊工艺（包括在沸腾箱里浸没）有效，因为PCB通常没有足够的热容量来凝结有效清洗所需要的溶剂。

10.9.2.1 汽相去焊清洗（浸泡和/或者喷淋） 汽相去焊清洗工艺通常在两个或者多个装置里进行。沸腾箱里的浸泡既可使其跟加热的溶剂接触又可让其因为沸腾而不断搅动。这些动作的结合使其对印制电路板表面的擦洗比浸泡更加迅速。喷淋印制电路板应该只可以在汽相层下面用温湿溶剂进行。通过喷淋装置对浓缩溶剂进行定向循环是最有效且损失最小的高品质清洗。

10.9.2.2 汽相去焊清洗（超声波） 汽相去焊清洗工艺通常在两个或者多个装置里进行。沸腾箱里的浸泡既可使其跟加热的溶剂接触又可让其因为沸腾而不断搅动。浸泡在超声波震动的冲洗箱可以提供一种搅动能。这种能量可以让溶剂从缝隙和盲孔中以及器件底部以比单独浸在气相中更快的速度流进和流出。

10.9.3 清洗协定 如果手工返工或者敏感器件被要求，那么一些现场清洗就在所难免。一些用户倾向于在敷形涂覆前做一个最终清洗，以确认符合J-STD-001《焊接的电气和电子组件要求》中的清洗度要求。

10.10 过程控制

10.10.1 简介 在讨论设备选择和推荐之前，我们有必要了解美国环境保护署和美国职业安全与健康法案关于溶剂清洗系统的相关法规，因为这些法规的编制目的基本上都是管控清洗设备中的溶剂排放（见第9部分）。

10.10.2 设备选择和建议

10.10.2.1 手动或者敞开式清洗系统 许多可供选择的溶剂蒸气压都较高。使用手工操作敞开式清洗系统的一个担忧是操作时暴露于清洗剂中。另一个是手动系统清洗会降低可重复性。

10.10.2.2 护盖 护盖的设计应该达到这个效果，当打开或者关闭护盖时，它能在水槽顶端水平滚动或者滑动。而绝不应该设计成需要一个铰链式的顶部或者导致从清洗系统抽动溶剂蒸汽的提升装置。护盖应该可以通过滑动或者滚动的手工操作也可以利用电机或者气动机构提供动力。

10.10.2.3 最小的干舷 对所有的溶剂来讲，最小干舷的比例都为125%到150%，对价格较贵的溶剂或者工作场所，允许较低蒸汽水平的溶剂可能需要更高的比例。

10.10.2.4 冷冻的干舷 可以利用设备来管控蒸汽覆盖层扩散损耗，去除湿气和控制在装置干舷区外带问题的溶剂蒸发。

10.10.2.5 自动传输系统 大部分设备制造商都提供使用过程控制的自动传输系统。这些系统很容易改造，使之适用于特定的清洗应用或者清洗循环。在开顶清洗单元使用这种系统主要有以下三个优点：

- 控制清洗循环。

- 通过消除操作人员违反正确清洗操作来减少溶剂用量。
- 增大产量。

10.10.2.6 组装溶剂蒸汽回收装置的通风系统（碳吸附装置） 通常，通风系统不建议在大多数的电子清洗中应用，因为这些清洗装置通常尺寸小，可外带且排放较小。然而，对于有些清洗应用和大清洗设备，一些法规就规定要完善通风系统。这样，安装一个带有通风系统的溶剂蒸汽回收装置就可能在经济上是可行的。

注：一些国家实施方案要求去焊设备或者除脂设备中的溶剂回收装置都组装通风系统。因此，用户有责任和义务去核对与当地空气质量部门相关规定的符合性。

10.10.3 传输清洗系统 传输清洗系统可以通过以下设备提供（设计时自带这个系统或者作为可选项向制造商购买）：

10.10.3.1 深度干舷 对于单元的进出区域，50%的干舷都能满足传输清洗系统的需求，但不是强制性的。这会根据国家实施方案的不同而不同。剩下的传输区域要求至少100%干舷。

10.10.3.2 冷冻的干舷 这些装置用来控制蒸汽界面扩散损耗，并局部控制清洗系统中产品滞留区溶剂的蒸发。

10.10.3.3 特殊干燥方法 如果因为产品设计使得溶剂滞留不可避免，以下一个或者多个区域应该使用特殊的干燥方法：

- 蒸汽区。
- 干舷区。
- 特殊干燥箱。
- 热蒸汽干燥。

10.10.3.4 组装碳吸附设备通风系统 碳吸附系统的主要目的是吸附夹带在空气中的溶剂浓度（在ppm水平或者更高）。制造商提供的多数碳吸附系统都可以去除气流中85%到95%的溶剂。当用在清洗产品上滞留的溶剂时，此种溶剂消耗控制方法最有效，且能将其引入到一个适合的干燥箱进行蒸发。总体准则是当空气中的蒸汽水平大于等于500ppm，碳吸附系统的经济性是可接受的。因为这个浓度已经超过工作场所现行可接受的空气中溶剂限值水平，此回收技术将造成边际效益。

注：通常的碳吸附系统通过向碳床蒸汽注入释放吸附的溶剂。碳床的蒸汽注入造成一些溶剂不能兼容总水量。用户在为特殊清洗单元安装碳吸附系统之前应该向溶剂供应商咨询相关信息。

10.10.4 设备放置和操作

10.10.4.1 位置 此系统应该放置在蒸汽不会被阻塞的区域。应该从设备使用手册上获悉空间大小和通风要求。

10.10.4.2 空隙 清洗设备周围应该有充足的员工空间以便进行保养和自动传输系统的运作。

10.10.4.3 快速气流 系统应该安装在不会受窗户、门、风扇、暖风机、通风设备等的气流影响的区域。周围环境的空气流动速度不应该超过15m[49.2inch]/min。

10.10.4.4 炉膛 不应该将清洗设备安装在临近明火或者高温表面超过400° C[750° F]的地方。焊接作业和空间加热器不应该靠近溶剂清洗设备。

10.10.4.5 操作 在设备制造商处提供所有清洗设备具体的操作指导手册，用户应该认真参阅。

- 冷清洗设备应该在护盖紧闭的情况下运行。
- 当不使用时，系统应该护盖。设备应该提供设计良好的，手工操作的停工时间护盖。
- 管道阀门和泵应该定期检查以免发生溶剂蒸汽泄漏等状况。

10.10.5 热蒸汽系统

- 蒸气区的设备应该持续运行，直到所有凝结都停止。
- 进入或者撤出蒸气区的速度不应该快于3.4m[11inch]/min。
- 应该避免将湿气引入清洗系统。
- 工作负荷不应该超过水槽50%的横截面积。
- 工作负荷应该使蒸汽波动最小化。
- 所有喷淋应该在低于蒸汽冷凝水平150mm[5.9in]的条件下完成。

10.10.6 清洗系统维护 多数清洗系统制造商都会提供良好的保养手册。这应该定期和严格地遵守以便减少溶剂流失和保持设备清洗产品一致性。此外，应该建立一个对现有的和新的清洗设备操作和保养的员工培训项目。

10.10.7 正确的蒸馏实践

10.10.7.1 溶剂回收蒸馏 独立的蒸馏设备通常在以下条件下使用：

- 连同清洗设备一起。
 - 当大量污染物需要从产品上清除时，会很快污染清洗系统。
 - 要清洗的产品在从设备中撤离之前需要纯净的溶剂冲洗作为最终清洗步骤。蒸馏作为一个纯净溶剂来源使喷淋循环运作。
 - 若清洗系统被装上传送带，保养停工时间必须完全最少化。
- 从清洗设备中分开。
 - 当工厂中使用许多小的清洗设备，没有一个是足够大用以适应一个专用的蒸馏时。
 - 当所有的小清洗设备在去除同样的或者几乎同样的污染物，那么交叉污染的风险就会最小化。这种情况应该包括所有来自小清洗机加上用在工作台上为手工清洗操作的溶剂。
 - 如果所有的小型清洗机都能通过管道跟普通蒸馏连接在一起，那么就可以减少损失和阻止溢漏。

10.10.7.2 单独蒸馏系统的优点

- 在蒸馏设备中浓缩大部分被清洗系统去除的污染物。
- 减少清洗系统因为设备和清洁口的清洁故障时间。
- 为从清洗区去除污染物给清洗系统提供额外的蒸馏生产能力。
- 提供自动从清洗系统中清除污染物的方法。
- 使得从清洗设备中去除残留物的方法更容易。
- 像批清洗系统一样运行。

10.10.7.3 蒸馏系统的维护

蒸馏系统有两种主要功能：

- 在内部浓缩污染物残留。
- 为清洗系统对溶剂进行二次净化。

这个系统必须适当地保养使这两项基本功能得以正常运行。当操作一个清洗系统时，蒸馏设备通常是一个自动的系统。它配备了一种监测装置可以控制一个溶剂泵，这种溶剂泵能从清洗系统中收回受污染的溶剂并自动提取它，然后将其回送到清洗系统。生产时间里，不需要操作员来控制。

有时，随着沸腾槽中的污染物水平增高，蒸发率会降低。厂内保养部门必须给蒸槽、渣滓倾泻和蒸馏系统清洁建立一个定期的保养计划。以下方法将帮助设备维护部门决定何时、蒸馏设备的哪个间隔应该从清洗系统中隔离并去除蒸馏室底部的残留物。

沸腾蒸馏槽的温度增大到高于正常溶剂沸点。有些松香助焊剂的温度会增加到接近高于溶剂的沸点 $4^{\circ}\text{C}\sim 5^{\circ}\text{C}$ [$8^{\circ}\text{F}\sim 10^{\circ}\text{F}$]。

如果要清洗的产品没有得到完全清洗（当此蒸馏室本身就附带在清洗系统里），那么装置的蒸馏率一定已经急剧降低。应该调查和修正这种情况。

对于一些共沸点的酒精混合物，确保助焊剂占沸腾箱体积的比例不得超过9%（重量比不得超过8%）很重要。沸腾箱里过多的助焊剂减少了酒精中蒸汽的含量，这反过来会影响到清洗的效果。（助焊剂中沸腾溶液的含量可以根据格茨电珠来确定。）

当残留物变得粘稠，减弱了热传递，要增加蒸馏的温度完成整个蒸馏过程。

所有蒸馏室都配有高温液体断电恒温控制器。建议应该从溶剂制造商处获得不同溶剂对应设置的温度。

此管控的基本作用是防止发热组件加热过度，造成溶剂分解而关闭蒸发装置。这种恒温器只是作为一种安全控制并不能作为正常的截止操作。

注：由于涉及到更重要的安全问题，对于可燃和易燃溶剂的蒸馏操作不在本手册范围内。

10.10.7.4 冷却和清洗程序 从主清洗系统里隔离蒸馏装置（将自动装置泵转换到断开位置），让蒸发装置继续蒸浓，将蒸馏物转移到一个桶内或者储蓄槽内。当溶剂水平达到25mm[0.984in]高于热组件时，关闭加热开关，冷却溶剂残留物，排掉残留物（若蒸馏烫或者热，提供额外的通风）。残留物应该放进合适的容器槽中进行处理。具体参照蒸馏制造操作指南。

10.10.7.5 一般流程 在一些蒸馏装置的设计中，实际上有必要将残留从蒸馏室底部抽到接收容器中。等到完全排干蒸馏装置之后，操作员或者保养员应该再观察装置内部的情况。如果在加热组件上能看到结块的松香或者污染残留，那么有必要打开蒸馏装置，去除加热组件并进行清洗。蒸馏装置里的加热组件通常可以刷洗或者擦刮来清除管道上的残留物。蒸汽清洗可有效清除污染物—助焊剂残留。若能确定蒸馏室内侧壁有大量残留，那么这个装置应该进行刮洗或者蒸汽清洗。

注意：在进行任何内部清洗之前，机器应该完全通风，来清除仍然存在于系统内的所有残留溶剂或者溶剂蒸汽。这可通过强制通风系统完成，如风扇、压缩空气或者鼓风机排气到建筑物外。任何进入设备内的员工必须配戴安全带和救生索以及合格的呼吸防护装备如可远程遥控的软管面罩或者自给式呼吸设备。另一个人必须同时在场加强安全防护。维修人员在内部清洗设备时需要持续通风。禁止在所有人员离开操作室且设备完全关闭之前关闭通风系统。

10.10.7.6 其它清洗程序 一些情况下，用加热的碱性清洗剂或者用规定的溶剂型清洗剂清洗。这些溶剂在使用过之后应该立刻用水冲洗掉。一旦清洗操作完成，去除多余的冲洗水，再重新完整地组

装因清洗而被拆卸的组件。关闭排水阀，重新连接阀门。重新注满装置，回到正常运作。残留物的处理程序和相关规定需要向溶剂供应商咨询。

注：许多情况下，可能只需要煮沸蒸馏单元，排出装置内残留物，然后重新装好蒸馏装置进行正常操作。尤其是对用热水、蒸汽或者热泵系统加热的系统。这些特别系统的加热组件不会用于烘烤松香助焊剂和土壤，因此，只需要每年或者半年清理一次蒸馏装置。这个清洗的频率由在清洗时的实际操作决定。

10.10.8 蒸馏溶剂干燥装置 许多酒精共沸混合物要求干燥剂型的干燥装置，硅胶或者分子筛通常用在这些干燥隔间中。为保障其水吸收性能，干燥剂要按例行标准进行更换。请参照蒸馏装置提供的说明书来进行特定干燥剂的选择。

为了使除水机或者干燥机有效地发挥性能，冷凝物的温度应该低于最高值。咨询溶剂制造商来确定此温度。

冷凝物应该在隔间里保持3-5分钟。比如，三氯乙烯要求在65° C [149° F]的温度下保留至少5分钟以脱水。（某些恒沸物可能需要更低的温度，因为卤化溶剂-酒精共沸物的沸点是最低的。）

10.10.9 溶剂检测 清洗工艺中进行溶剂检测有两个基本要求：a) 进料检验；b) 制程检验。有多种详细的分析方法来判断进料溶剂（纯的）的品质和一些详尽的方法来进行制程检验或者溶剂品质检验。多数溶剂供应商可以协助对其产品进行特定的测试。这个部分的重点放在制程控制方面来测定/检验溶剂品质。

10.10.9.1 检查的必要性 无论使用冷清洗还是汽相清洗，含有悬浮物和溶解物质的污染物必须确保得到足够的清洗，且谨防遗漏任何污染物。汽相清洗中，污染物在沸腾箱中的积累能升高溶剂的沸点，从而可能会使溶剂分解。有机污染的不断积累会导致沉淀的形成，发热组件烧焦，潜在加热器失效和溶剂分解。如果污染物的累积影响到清洗效率，将沸腾箱排干，进行必要的检查和清洗，再将新的溶剂加入设备中。

由于溶剂的分解热量、水解不稳定性或者接触白色金属（如铝、锌、镁、铍或者各种金属合金）都会造成溶剂分解，导致抑制剂消耗和腐蚀性副产物的产生，从而损坏产品。此外，长时间暴露而不采取正确操作或者进行维护会对组装/加工设备产生不利影响。

10.10.9.2 检测方法

10.10.9.2.1 烃溶剂和氧化溶剂 烃溶剂由于其易燃性和挥发性，在高产量组件清洗操作中不会经常使用。但是，在适用的情况下，必须监控一些污染物的指标：

- 溶剂变色的定性观察。
- 悬浮体或者溶解固体物比例的定量测定（不挥发物） - ASTM-D-2 109。
- 沸点升高。
- 比重改变 - ASTM D-21 11。

10.10.9.2.2 卤化溶剂 卤化溶剂/混合物或者共沸物可以通过很多适用于烃溶剂的技术进行检测。但是，因为多数卤化溶剂/混合物/共沸物都用在蒸汽去焊或者高温度的去焊清洗中，所以应该有额外的测试来检测溶剂是否分解，因为水污染，接触白色金属，抑制剂消耗或者以上情况的结合都会产生不利于产品和设备的腐蚀性副产物。

10.10.9.2.3 氯化和溴化溶剂 监测溶剂品质的方法有：

- 比重 - ASTM方法D-21 11。
- 蒸馏范围 - ASTM 方法 D- 1078。
- 沸点升高 - 详见段落10.10.9.2.4。
- 不挥发残留物 - ASTM方法 D-2109。
- 酸碱度 - ASTM 方法 D-2989。
- 含水量 - ASTM方法D-3401。
- 纯度 - 通过气相色谱分析法。

以上方法虽然有效，但多适用于分析进料溶剂（纯的）的品质。关于每日监测，更常用的方法是：酸性测试- ASTM 方法 D-2942。

这个方法不仅由酸的含量决定而且由出现的/剩下的抑制剂的数量决定，以避免溶剂变酸，或者更准确的说，变质成不需要的或者有害的分解物。按照准则分析测试结果（列出氢氧化钠的重量百分比），可获得溶剂的质量情况。相应的配件包可从氯化或者溴化溶剂供应商处获得。一些溶剂供应商可能会免费提供清洗分析参数：含水量、不挥发性残留物水平和可接受酸度值。

注：大多数用于传统氯化溶剂的清洗方法在稍微改动之后都可用于新溴化溶剂的清洗。

10.10.9.2.4 氟化溶剂 跟其它氯化溶剂相似，氟化溶剂也可通过先前提到的各种方法分析其纯度/污染物：沸点升高，不挥发物和含水量。

不含水的纯氟化溶剂通常不跟白色金属反应产生腐蚀性副产物。但是，含水的氟化溶剂和其它溶剂混合（特别是酒精），再加上高温和汽相可能会降低溶剂与活泼金属的兼容性，所以需要制程监管。定期制程评估溶剂品质较常用的分析方法有：

碳氟化合物生产商会推荐去焊和/或者去脂应用中一些监管方法及污染物和酸类累积的可接受范围。需要注意的是，用于监测传统氟化溶剂的方法，稍微变化就可用于现在新的HCFC，HFC或者HFE的监测。

10.10.10 小结 清洗溶剂的制程监管在保障清洗设备有效运行、延长使用寿命、清洗充分、不暴露于有害/腐蚀的环境、减少溶剂的用量和成本方面至关重要。它应该是任何电子组装制程管控中，包括溶剂清洗最重要的部分。

10.11 环保事项

10.11.1 简介 过去的30年里，许多环境法律法规颁布都对电子工业产生了很大影响。这些法律法规的复杂性导致管制单位混乱。这个部分会阐明5个主要的符合性问题：

- 清洁空气法案和1990年清洁空气法修正案关于空气排放的要求包括：
 - 第一章 挥发性有机化合物排放
 - 第六章 臭氧消耗物质的用量
 - 第三章 有害空气污染物的排放
 - 第五章 允许的“主要来源”
 - 水清洁法案下的水排放
 - 有毒物的排放总量

- 资源保护与回收法案和其修订案下的危险废弃物的产生
- 综合环保回应补偿和责任法案也叫超级基金下的废弃物不合理处置
- 超级基金修正案和再授权法案下的有毒化学物质的排放报告

10.11.2 清洁空气法案 1990年11月15日，1970年清洁空气法案修订案被签署成为法律（1977年也修订过一次）。这些修订案包括关于溶剂使用的重要规定。这些规定包括两章：

- 空气质量标准的实现和保持（第一章）。
- 臭氧层的保护（第四章）。

10.11.2.1 挥发性有机化合物 清洁空气法案对特定的污染物要求达到六个国家环境空气质量标准（NAAQS）。NAAQS确立了国家每个区域空气污染物的最大允许浓度。这些污染物包括氮氧化物（NO_x），一氧化碳（CO）和臭氧。

空气清洁法案中国家环境空气质量标准的规定适用于没有对特定污染物制定NAAQS的一些地区（这些地区被叫做“盲区”）。1977年的修订案要求给国家环境保护局提交实施方案，详细叙述国家如何在最晚1987年时普及NAAQS。

尽管有最后期限，许多地区污染物的排放仍然超出了排放标准。1990年的修订案根据其污染的严重性又将“盲区”细分到各个类别里去。在盲区里排放污染物受到的管制比在非盲区排放同样的污染物要严格。

电子制造商最容易受到盲区地面臭氧（烟雾）管理要求的影响。臭氧是一种由臭氧前体（挥发性有机化合物，VOCs）和阳光的反应生成而非直接排放到环境中的污染物。VOC的排放跟臭氧的产生有直接关系。清洗的过程可能会排放VOC，它跟日光结合会形成烟雾。

许多常见溶剂被规定为VOCs，氯化溶剂三氯乙烯就是其中一种。EPA在1996年将四氯乙烯排除出VOC行列，只有个别国家还把它视作VOC或者将其从VOC行列中免除。当多数地区将四氯乙烯免除，而一些地区的空气质量局仍然将其作为VOC。国家和地方管理机构应该阐明此事。

10.11.2.2 消耗臭氧层物质 CAA修订案也包括关于控制被认为会破坏臭氧层的化学品使用的规定（臭氧层--大气中的一层，用来过滤紫外线，保护地球）。EPA已经建立了两组这类物质的清单：I类物质清单和II类物质清单。I类物质指包氯氟烃（CFCs），II类物质包括含氢氯氟烃（HCFCs）。

1992年，EPA发行了关于实行清洁空气法案第604章的规定。该章规定了蒙特利尔协定书中美国通过限制生产和消耗会破坏臭氧层物质的环保义务。四氯化碳、三氯三氟乙烷（CFC-113）和三氯乙烷被认定为消耗臭氧层物质（ODSs）。此法案，1995年12月31日出版在A部分，82章，40CFR，要求逐步淘汰使用这类产品。

这些现存供应的（在禁止之前生产的）和回收的溶剂可以继续在市场上销售。禁令免责的产品包括用于转换过程中的产品（化学半成品/化学媒介）和被EPA批准的“必要的”使用的产品（如哮喘吸入剂）。

另外，E部分的第82章40CFR要求包含或者生产ODSs的产品必须专门标示出含有ODS。

清洁空气法案也要求EPA建立一个寻找ODSs替代品的方案，同时公布一个可接受和不可接受的替代品清单。这个寻找重要的新替代品政策（SNAP）的方案在G部分，第82章，40 CFR中有详细描述。一旦EPAs的可接受替代物的清单公布，将规定的ODS替换成任何被认为有害于环境和人体健康的物质的行为都是违法的。CFC-113和三氯乙烷的可接受溶剂替代品包括HFES、HFCs、HFES、含氧溶剂、松烯、三氯乙烯、四氯乙烯和二氯甲烷。

10.11.2.3 有害空气污染物 空气清洁法案第112部分列出了189项有害空气污染物（HAP），对此EPA已经制定了国际排放标准。一些溶剂如二氯甲烷、四氯乙烯、三氯乙烷、四氯化碳和三氯甲烷等都包含在CAA的112个有害空气污染物的列表中。

EPA发行了最大可行控制技术（MACT）标准来降低有害空气污染物的排放。每个MACT标准从特定的空气污染源来控制一种或者多种空气有害污染物的排放。MACT在给定类型产业中是现阶段使用最好的控制技术。

在CAA有害空气污染物排放标准项目下，有害空气污染物的“主要”来源必须使用MACT特定技术。如果有害空气污染物的潜在排放量等于或者大于10吨/年或者混合的有害空气污染物的排放量在25吨/年就被认为是“主要来源”。

有害空气污染物排放标准要求受到影响的用户使用特定的管控技术来减少排放。一般情况下，记录的保持、报告及排放控制技术都需要通过升级来满足这些标准的要求。

1994年，EPA将卤化溶剂清洗的有害空气污染物排放标准（NESHAP）定案。这个标准在40CFR中63章的第T部分，且已经影响到现存的及新兴的卤化溶剂在清洗方面的应用。使用指南请咨询EPA出版物EPA-453/R-94-081及EPA卤化溶剂清洗NESHAP的指导文件。

10.11.2.4 经营许可证 1990年的环境清洁法案修订案第五章要求明确标准污染物的“主要来源”来获得经营许可证，加强人们对有毒空气污染物的控制责任。虽然大部分污染物的阈值都在100吨/年，但是有害空气污染物和二氧化氮的阈值根据所处位置只有10-50吨/年，可与当地空气质量管理局确认第五章的经营许可证，期望第五章的经营许可证阈值不会被IPC公司的会员所触动。

10.11.3 水清洁法案 在世纪之交，就已经对排放到可通航水体或者支流中的污水排放量作了限定要求。现代版的水清洁法案（CWA）是在1972年审核通过的，随后在1977及1978年做了修正，并于1982年再一次修正。尽管CWA几乎有30年的历史了，但这个法案仍未得到完全实施。水清洁法案的两个部分：溢出量报告要求和国家污染物排放系统，对工业有着深远的影响。

10.11.3.1 溢出量报告 在水清洁法案的第311部分，EPA建立了一个特定化学物质（40 CFR 117.3）的可报告量清单。在1985年7月，这个清单被包含在了综合环境反应，补偿和责任法法案（也叫CERCLA）管控的一个大化学物质清单里。这个法案可以在40 CFR 302.4中找到。这些报告数量（RQ）范围从1磅到5000磅，是从许多标准里衍生而来的。不管何时，化学物质溢出量一旦等于/大于它们各自的可报告量，就立即向美国海岸警卫队国际反应中心¹²或者最近的海岸警卫区办公室（33 CFR 153.203）报告。

违反这一条款的代价很大。海关警卫队会评估清理废物的费用以及违规罚款的费用。除此之外，EPA还会根据事件的严重程度采取法律手段起诉并重新拿回钱财。任意排放可能会受到高达\$250000罚款。而缺失溢出量报告可能会导致高达\$10000的罚款或者一年以内的监禁，或者两者兼有。

10.11.3.2 国家污染物排放清除系统（NPDES） 水清洁法案的第301，304，306，307和402部分批准建立法规和颁布一些污水排放许可量的限制来控制向美国水体里排放的污水量。国家污染排放清除系统许可量计划管控这些排放量。如果工厂直接将污水排放到水道里，那么就会被认为是直接排放。如果工厂将污水通过一个渠道进行处理后，再排放到水道里，则认为是间接排放者。只有直接排放者需要获得NPDES的许可。

电子行业中直接的排放者会根据其开始排放污水的时间而受到以下两种污水排放限制的影响：

- 电镀点源类。
- 金属表面处理点源类。

水清洁法案污水排放限制指导方针包含对生化需氧量、酸碱度、金属和总的固体悬浮物的限制，以及公司在使用特别技术的时候必须要符合这些值的限定。

10.11.3.3 总的毒性有机物 金属表面处理点源类别认为适当对溶剂型废物（例如，确保浓缩的毒性有机废物如溶剂型去焊剂、脱脂剂和除漆剂不倒进污水里）加以管理，对于总有毒有机物排放量在2.13ppm水平的多种化学物质将允许直接排放进入下水道。如果一个工厂保证不会倾倒溶剂，那么工厂就不需要持续检测总的毒性有机物含量，而只要发布保证符合总的有毒有机物排放许可量的管控计划就可以了。

10.11.3.4 水清洁法案对溶剂系统影响一概述 既然溶剂系统就是专门设计用来将污水排放量降到最低的，那么水清洁法案对清洗印制线路板过程中用的溶剂影响应该很有限。然而含氯或者含氟的溶剂达到了废水排放的要求而排放到了污水处理工厂或者地表水域时，则需要受到现有的对总的毒性有机物排放要求规则的限制。

10.11.4 资源保护和恢复法案-概述 美国国会在1976年颁布了资源保护和恢复法案，旨在使目前环境方面的法规趋于完善。此法案不仅系统管制有危险性的固体废物，也管控无危险性的固体废物。EPA大体上定义的固体废物有：任何固体、液体、半固体或者由工业、商业、矿业或者农业操作而产生的一些气体物质。

10.11.4.1 资源保护和恢复法案-危险性废物 根据资源保护和恢复法案对于危险性的废物管控及处理方式确定它最终的处置方式。工厂必须要确定某种物质是不是有危险性的固体废物。EPA建议用这些步骤来确定哪个物质不是RCRA中管控的危险性固体废物。首先，根据40 CFR 261.4部分来判定这种物质是不是排除在RCRA管控之外的。如果这种物质没有排除在外，就要判定这种物质是否符合以下两种情况中的一种：

- 确定这种废物是否属于危险性固体物质管控的清单中。例如，这种废物可能被当作危险性废物列在了商业化学（P&U废物，详见40 CFR 261.33）、特定种类（K 废物，详见40 CFR 261.32）或者非特定种类（F 废物，详见附录VII到40 CFR 261）清单上。
- 如果废物没有被列在以上清单上，便再判定废物是否具备以下四种危险废物特性中的一种：易燃性、腐蚀性、反应性或者毒性。如果具备，那么这种废物就是明显的危险性固体废物。

如果废物符合这两种情况中的一种，那么大体上就算是一种有危险的废物而受到RCRA的管制。RCRA要求任何人生产、运输、处理、储存或者报废这种废物的时候，都必须要通知相关的EPA区域办公室或者指定的州机构的审核。这种危险废物的生产者必须也要获得环保署的认证号；遵照运输前关于包装、贴标、唛头等要求；符合报告的要求，符合90天的储存要求；没有环保署的认证号就不提供废物给运输者或者处理工厂。

10.11.4.2 危险性废物的排除 1981年11月17日，EPA在联邦登记簿上规定了废弃的商业化学产品或者化学媒介损耗的微量条款。这些化学产品和媒介是在生产或者试验操作过程中产生的。当它们与废水结合在一起就不被认为是危险的废物，这点是服从于水清洁法案402或者307（b）部分的条款。

规定声明损耗条款包含如下方面：普通操作处理过程中的损耗（例如，卸装过程中的溢漏或者箱子转运或者集装箱转运过程中的溢漏，管道、真空管或者其它用来转运物质的设备的泄漏）；工业设备，储存缸或者其它容器的轻微泄漏，保养好的泵密封垫的泄漏；样品净化；释放器排放；安全淋浴器和冲洗、清洗个人安全设备时水的排放；冲洗过程中空容器里的残留。

这个规定也适用于污水和没有具体原始资料的危险性废物的混合物。清洗应用中用过的溶剂会溢漏到污水管道中。只要生产者能够向污水处理者证明每周溶剂使用的最大量除以每周支流的流量值不超过既有的标准值（在法规里），少量用过的溶剂与大量污水的混合物就不会被认为是危险性的

污物。除此之外，规定也声明污水混合物必须要流进污水处理系统里，其排放量受水清洁法案中402章节或者307（b）章节条款的限制。

10.11.4.3 违反资源保护和恢复法案的处罚 违反RCRA条款可能会使一个公司或者个人陷入严重的民事或者刑事犯罪里。法规规定，民事犯罪的罚金高达每天\$25000。除此之外，法规里也列了针对任何人故意运输任何被认定是危险的废物到工厂的罚金和监禁的惩罚措施，如工厂没有废物处理许可，或者没有得到许可而去清除任何认为是危险的废物，或者故意违背一种物质的条件许可；或者在任何应用场合，对贴标、载货单、记录、许可证或者其他维护或者使用的存档文件作错误的陈述或者记录；或者毁坏、改变或者隐藏要查看的记录。

10.11.4.4 资源保护和回收法对溶剂系统的影响 资源保护和回收法主要影响印制线路板的溶剂清洗系统。二氯甲烷（U-080）和不再生产的三氯乙烷在商业化学品类别里（40 CFR 261.33）都被列为有害废弃物。只有当它们被排放或者准备被丢弃的时候，列出的物质才会变成有害的固体垃圾。很多情况下，这意味着列出的有害商业物质只有在溢漏时才能被应用，因为废弃未被利用的溶剂不能带来一点经济效益。

除了商业化学品列表，汽相清洗和其它清洗系统中的废卤化溶剂也被列为有害废弃物。若需要，通过净化和再利用可以减少由去助焊剂系统产生的废溶剂的总量。许多情况下，这个系统里保留的废弃物可以送到一个特许的溶剂回收装置中去，或者被运到一个特许的有害物质焚化炉来作为特定设备的燃料源。

10.11.5 超级基金-概述 工业里的许多人都误认为超级基金或者综合环保回应补偿和责任法案只需要向特定的溶剂征税来付给特定的有害废物处理场地。但是，超级基金也包括场地通告和环境排放报告。

在综合环保回应补偿和责任法案中，什么必须向环保局国家反应中心报告的呢？这要看所排放的物质和数量。国家允许排放的物质以及排放量低于列在40 CFR 302.4的物质不需要对超级基金提出报告。其它的要求则在超级基金修订案和再授权法案里第S311，312，313部分有相应规定。国家报告的要求因有不同的释放值，可能需要根据不同的用户来进行核证。

数量和比率都稳定的释放及那些已经给过报告的且能建立足够连续性，在数量和规则性的释放方面均不需要其它的报告。总而言之，给国家综合环保回应补偿和责任法案的报告只需要给予一段时间使其足够建立起释放的数量和规则性。只有在释放的统计数据明显增大的时候，才需要在允许时提交报告。

10.11.6 有毒物质释放清单的报告要求 有10个或者以上全职工作人员的电子制造及加工产业或者每年使用超过10000磅的有毒且在40 CFR 372.65清单上的化学物质必须给国家环保局和地方环保局提交一份有毒化学物质释放清单。这个清单报告这些化学物质有毒物质的排放和外部运输情况（包括回收装置），同时也需要报告回收装置的防治污染和回收数据。报告需在每年的7月1日之前提交。产业中用到的化学品包括三氯乙烷、四氯化碳、乙二醇和三氯乙烯。

10.11.7 影响法规过程 许多贸易协会，例如IPC和卤化溶剂产业联盟都在为系统的完善法规而努力。为电镀术分类修正清洁水法案就是一个例子。IPC积极地参与到EPA环保对策设计项目中去也是另外一个产业跟政府立法者合作来节省产业资金，减少环境污染的例子。关于此项目的更多信息，请登录网址<http://www.epa.gov/dfe>。

10.11.8 适用性 这些法规适用于用在美国及其领土范围内（波多黎各，维尔京群岛，关岛等）的设备。这个手册中包含的法规信息自出版之日起即被认为是准确有效的。此手册中出现的程序和建议不应该作为触犯国家、州或者地方法律的任何依据。任何一个使用这些产品的用户都应该在使用之前了解相关的法律、条例或者规章制度。

11 半水基清洗剂、设备和工艺优化

本章节阐述了电气/电子组件、配件及应用工具在焊接后的半水基清洗。半水基清洗是通过先用有机溶剂洗涤组件，然后用水冲洗组件上的有机溶剂，从而清除掉印制线路组件上的助焊剂残留物及其它污染物的一个过程。I型使用非水溶性有机溶剂，而II型采用水溶性有机溶剂。I型的特征是洗涤和第一步冲洗后马上会形成乳液形态，而II型系统没有。（半水基工艺具体的不包括用有机水基溶液或者无机皂化剂或者洗涤剂的清洗；这些都包含在水基清洗工艺那章。）其它的目标是清除使用过程中的残留和作为产品辅料的材料，如水溶性掩膜。

其它配件和应用工具可使用相同的过程进行清洗或者此过程中应用不同乳液。

11.1 目的 目的是提供一个完整的半水基清洗过程的工艺图，以便潜在用户可以更好地理解技术，而经验丰富的用户可以正常地操作它们的半水基清洗程序。本文件已发展到包含了印制线路组装的操作。其意图是用来描述半水基清洗的所有方面：包括清洗设备、清洗剂、冲洗和过程控制。

本手册中描述了两种不同型号的半水基清洗剂。第一种使用非水溶性有机溶剂组成物（I型）；第二种使用水溶性有机溶剂组成物（II型）。在洗涤阶段之后，都要用纯净水冲洗印制线路组件，然后干燥。手册包含了清洗剂的成分、理化性质、废物处理和兼容性等相关信息。

11.1.1 术语和定义

- **半水基清洗** 半水基清洗是通过先用有机溶剂洗涤组件，然后用水冲洗组件上的有机溶剂，从而清除掉印制线路组件上的助焊剂残留物及其它污染物的一个过程。I型使用非水溶性有机溶剂，而II型采用水溶性有机溶剂。I型的特征是洗涤和第一步冲洗后马上会形成乳液形态，而II型系统没有。（半水基工艺具体的不包括用有机水基溶液或者无机皂化剂或者洗涤剂的清洗；这些都包含在水基清洗工艺那章。）其它的目标是清除使用过程中的残留和作为产品辅料的材料，如水溶性掩膜。
- **BOD** 生化需氧量，在一定的测试条件下有机材料生物化学降解所需的总氧量。
- **碳吸附** 以活性炭吸附流体中的污染物来去除液体或者气体中杂质的一项技术。
- **COD** 化学需氧量，将有机材料氧化为二氧化碳和水所需的氧气量，以每升测试溶液中含有氧气的毫克数表示，单位为mg/L。
- **可燃物** 这个术语适用于闭口闪点介于38°C [100°F]至93.3°C [200°F]之间的液体材料。
- **倾析** 在不影响下方液体层的情况下让上层的液体材料与其它不相溶层分离的过程。
- **带离液** 依附在组件或者运输设备上的液体清洗剂，被从清洗机的一段带到另一段，并且最终进入工作场所的空气中。
- **乳液** 两种或者两种以上的不互溶的液体混合物，如油和水，在清洗过程下使用具有稳定性和一致性。
- **破坏臭氧的化学品** 能和臭氧起反应并破坏臭氧层的化学品。
- **水质软化** 一种从水中去除钙和镁盐的水处理工艺。
- **挥发性有机化合物（VOC）** 含碳化合物，有可衡量的蒸气压。

11.2 半水基清洗剂

11.2.1 半水基概述 半水基清洗是通过先用有机溶剂洗涤组件，然后用水冲洗组件上的有机溶剂，从而清除掉印制线路组件上的助焊剂残留物及其它污染物的一个过程。I型使用非水溶性有机溶剂，而II型采用水溶性有机溶剂。I型的特征是洗涤和第一步冲洗后马上会形成乳液形态，而II型系统没有。（半水基工艺具体的不包括用有机水基溶液或者无机皂化剂或者洗涤剂的清洗；这些都包含在水基清洗工艺那章。）其它的目标是清除使用过程中的残留和作为产品辅料的材料，如水溶性掩膜。

当用半水基清洗技术来清洗电子组件时，目的是溶解掉组件或者元器件表面上的脏物。当洗涤步骤完成，零部件通过一系列的冲洗之后除掉了溶剂和已溶解的脏物（临时的可溶性阻焊膜、非离子性的和一些颗粒状脏物），和水基（离子）残留。之后干燥零部件至完全，通常污染水平要达到不可察觉的程度。

半水基清洗剂的选择很广泛。每一种都采用有机水溶混合剂，但化学结构各不相同。大多数是由低蒸汽压溶剂和表面活性剂组合而成，也可能添加抑制剂。半水基清洗剂是用来除去极性（有机酸、离子盐）和非极性污染物（树脂、聚合物、触变剂）。洗槽清洗寿命可以维持两个月到一年，这取决于其承载高等级污染物时结构的稳定性和趋势。

半水基溶剂加热后可以提高清洗效率。最大限度的使用温度取决于溶剂的闪点。一个好的经验法则就是保持使用温度在闪点以下17° C [30° F]。但是，如果发生溶剂变成雾状，必须认识到溶剂和空气混合后的爆炸下限和爆炸上限。

半水基清洗剂被设计与用于电子组件的多数元器件有着良好的兼容性。过程稳定并能提供一种良好的清洗替换物。半水基清洗剂对助焊剂有很好的清洗能力，即使是它们含有高浓度的焊剂残留。一些常见的问题有溶剂残留、标记淡化、印章、垫片和橡胶的兼容性，以及由于蒸发和沾带引起的溶剂消耗。仔细留意设备设计和清洗剂的选择，能最大限度地减少这些问题。

应该说明大多数半水基清洗剂是易燃、挥发性的有机化合物。清洗设备应该针对半水基清洗剂和相应的清洗过程而进行设计。

11.2.2 半水基的科学性 用于电子组件的半水基清洗剂是设计用于溶解很多助焊剂残留中极性和非极性的溶质。设计的清洗剂是溶剂和功能性添加剂的混合物，功能性添加剂是用来调整特定的闪点、温度范围、沸点、和溶解性能的。在较高的洗涤温度下，助焊剂残留的分解能量通常会有所提高。理想的清洗剂显示的特性有，能够溶解广泛的松香和免清洗的助焊剂残留，与构造电子元器件材料的兼容性，且洗涤之后容易去除（冲洗）等。

半水基清洗剂基于分子力及分子间作用力的设计，使清洗剂得以吸取污染物。与清洗剂相匹配的助焊剂残留显示出常见的分散性、偶极矩和氢键性质。一般来说，极性清洗剂溶解极性助焊剂污染物最好，而非极性清洗剂溶解非极性的助焊剂污染物最好。例如，极性有机酸本质上是离子，用具有大的偶极矩和介电常数的特制的半水基清洗剂清洗会更好。半水基清洗剂中的部分正负电荷，吸引存在于助焊剂离子残留中的正负电荷。相反，热稳定性高的助焊剂组分间建立了较强的化学共价键，需要具有较小偶极矩和介电常数的半水基清洗剂针对性分解共价无极树脂和高分子结构。“相似相溶”原理是引导配方设计师去理解半水基清洗剂分解助焊剂残留的作用力。

有些应用于半水基清洗剂中的溶剂型材料可溶于水，有些部分溶于水或者几乎不溶于水。水的特性会影响溶剂在水中的溶解性，是因为配方中溶剂的氢键缔合。氢键缔合结构的稳定性，由所有氢键能量的总和来决定。当溶剂部分可溶或者不溶于水时，氢键缔合能量很低，在某些情况下，其分子结构是巨大的。根据助焊剂残留物的特点，成反比溶于水的溶剂具有优良的特性。因为水是冲洗剂，用于半水基清洗剂中的优良溶剂是两性的，既可以吸引水分子也可以吸引非极性助焊剂结构。

11.2.3 半水基清洗剂 高锡合金无铅化和微型化对助焊剂的性能提出了更高的要求。由于水基清洗剂的进步，以溶剂为基础的半水基清洗剂的需求有所下降。然而，随着新型助焊剂组分的设计用以维持高的热稳定性、高的阻燃性、高的抗氧化性以及高的氧化反应隔离能力，水基清洗剂的配制去除这些助焊剂残留物变得越来越困难。由此，呈现出对半水基清洗剂的需求有所增加，用来更好的匹配这些新型的助焊剂组分。

半水基清洗剂选用低蒸汽压的材料和高分子量的化合物制成。这些溶剂特性允许采用非高度易燃的材料，并且大多数情况下工作温度为38-71° C [100-160° F]。市售的半水基清洗剂描述如下：

- I型半水基清洗剂-有限的水溶解度。
- II型半水基清洗剂-易溶于水。

11.2.3.1 I型半水基清洗剂 I型半水基清洗剂的设计可以不溶于水或者部分溶于水。配方设计师们选择一个多样化的有机化合物组合来匹配用于助焊剂组分中的不溶于水的非极性原料。清洗剂的功能与表面活性剂相似，对松香和树脂结构有较强的吸引力，而对有机酸和离子残留物有较弱的吸引力。这种清洗剂的设计，旨在润湿并在印制电路板表面均匀扩散而形成单分子层，其中轻微的极性氧基团在水界面相互键合，而烃链与松香、树脂和聚合物污染物键合在一起。

第二步设计需要考虑的是，把进入化学分离冲洗阶段的残留清洗剂分离出来的能力。清洗剂在冲洗贮槽中形成一系列不溶性的液滴。随着时间的推移，这些清洗剂液滴彼此足够靠近，以致可以克服其各自的表面张力。机械接合设备从冲洗水中提取清洗剂。有时候这种提取的清洗剂可循环使用，有时候则作为一种非危险废物被收集。从冲洗水流中去除有机化合物，可为排入下水道的化学分离冲洗流降低化学需氧量和生物需氧量。另外一种方法用超滤和吸附法，从冲洗水中去除有机污染物而使其能够重复使用。

常见的用于电子组装清洗的不溶于水的化学制品如下：

11.2.3.1.1 三萜烯类 随着公司逐步开发替代性的清洗剂，以取代含氯氟烃，萜烯类分子对松香和一些树脂助焊剂残留物表现出良好的溶解性能。萜烯类是广泛存在于自然界中的天然溶剂。萜烯为基础的电子清洁产品，是推向市场的一流的半水基清洗溶剂。从1988-1992年，萜烯类制剂的出现成为首要的清洗候选以取代含氯氟烃。

萜烯类产品，在用于电子清洗应用时其纯度十分重要。杂质可以形成萜烯类氧化物，往往呈微黄色并散发一种刺鼻的桔子气味。这些氧化物是沸点较高的材料，并可以在已清洗的零部件表面再沉积。萜烯氧化物具有极低的溶解特性，因此，含萜烯类产品供应商使用高纯度的原材料。这不仅能提高产品性能也能减少异味。

萜烯类是非常好的溶剂且在室温下就能很好地工作。闪点范围是43° C-54° C [110° F-130° F]。适当地制定电子清洗配方，萜烯类可为松香和一些以树脂为基础的助焊剂残留物提供良好的溶解性。萜烯类配方采用两步冲洗的过程。第一步使用一种萜烯乳液与水协助清洗组件。冲洗水进入到单独的贮槽后采用机械方法将萜烯从冲洗水中分离出来。

11.2.3.1.2 脂肪酯 以脂肪酯为基础的配方，结合了低蒸汽压材料和嵌段共聚物表面活性剂，具有较高的闪点且基本上无异味。主要优点是以最小的排放量清洗，闪点高（138° C [280° F]）、气味小，高的助焊剂承载能力和重烷烃的溶解力如蜡和油脂。主要缺点是脂肪酯很难与助焊剂残留物成分相匹配。

脂肪酯配方能够去除松香和一些免清洗助焊剂残留物。脂肪酯不溶于水但可以与乳化剂一起用来改善水冲洗效果。

含脂肪酯和已溶解的助焊剂残留物的冲洗水可使用成膜设备和膜过滤分离。水可以进一步处理处置掉或者返回到制程中。分离的清洗溶剂一般进行收集或者循环利用或者作为无危害废弃物进行处理。冲洗槽可用活性炭床和离子交换树脂关闭回路。

脂肪族酯在大部分用于电子组装过程的元器件上表现出极好的兼容性。这项技术所换来的不利条件，是在密封装置、连接器和对低固量树脂和聚合物结构表现极差的去焊剂性能上是一个滞留不前的问题。

11.2.3.1.3 石蜡烃 石蜡烃是简单的直链碳氢化合物。这些材料非常稳定且通常不可能改变。石蜡烃对于很多非极性污染物具有非常好的溶解性。要去除离子残留物和极性助焊剂成分，配方中应加入一种含氧碳氢化合物。石蜡烃不溶于水但加入表面活性剂后可以助冲洗。

与这些混合物一起配制的半水基清洗产品，结合极性和非极性组分以提高清洗性能。这系列产品具有高闪点和低毒性。当结合水用于冲洗时，这些清洗剂已证实在从印制线路板上去除离子污染物和松香残留的有效性。

在操作中，石蜡烃可用于行业标准的半水基清洗设备。洗涤温度在49° C-71° C [120° F-160° F]可提高清洗性能。清洗组件需要用DI水（去离子水）冲洗。因为这种材料不是水溶性的，所以要采用一种两步冲洗步骤。冲洗初始，采用一种大约90%去离子水/10%清洗剂的混合乳液冲洗较为可取。这种方法可提高清洗剂脱离基质的冲洗能力。残留物和清洗剂可转移到一个独立的贮槽中，在此贮槽中水和清洗剂是分离的。它可以降低排出水中有机物的含量，从而减少了废水处理的要求。随后的冲洗用水一般含有低水平的污染物，可以直接排入下水道或者送入封闭的循环系统处理。

像脂肪酯一样，石蜡烃也具有低气味、低毒性和高闪点>93° C [>200° F]的特点。这种技术所换来的不利条件是在密封装置中，对于一些助焊剂的清洗效果有限，以及冲洗过程需要两个步骤仍是滞留不前的问题。

11.2.3.1.4 乙二醇醚化合物 乙二醇醚是以一组使用低分子量醇和醚的性能优良的复合溶剂属性烷基醚为基础的溶剂。很多种乙二醇醚溶剂都是可利用的，并可通过初溜点、沸点、在水里的溶解性/不溶性和清洗特性进行选择。

以含氧的乙二醇-醇化合物为基础的半水基产品，已证明其对水溶性、松香、低固树脂和合成高分子助焊剂残留物的有效性。本系列产品一个最关键的优点在于它可以被设计、改造而达到清洗剂配方所需要达到的性能。这类产品在操作温度为37° C-71° C [100° F-160° F]时性能表现最佳。类似于其它半水基清洗剂，工程清洗剂可用于工业设计的半水基清洗设备。

11.2.3.2 II型半水基清洗剂 水溶性半水基清洗剂本质上通常是非极性，可与有机酸，松香和免清洗助焊剂组分中发现的极性羧基官能团很好地相互作用。含氧的清洗剂能与水分子形成氢键并且包含了永久偶极子，使其可以与极性分子包括水很好地相互作用。这些哥伦比亚和范德华引力增强了水基。

水溶性半水基清洗剂因为清洗剂在水中的可溶性改善了去离子水的冲洗效果。使用水溶性半水基清洗剂所换来的不利条件是无法澄清或者从冲洗水流中分离出清洗剂。通常，化学离析冲洗液是在获得必要的许可后送去当地具有处理设施的公共机构。如果需要闭环防漏冲洗，可使用膜过滤系统从水中分离出有机成分来恢复化学离析冲洗水。冲洗部分通常是封闭循环使用活性炭床和离子交换树脂。

11.2.3.2.1 非直链式含氧乙醇 非直链式含氧乙醇是废稻壳、甘蔗和其它生物的自然派生。这个环状结构化合物含有乙醇基团和醚键。乙醇和醚基团加强了化合物去除极性和非极性污染物的效果。此外，氧基团促进了与水 and 典型的助焊剂残留物中羧酸基的氢键形成。

非直链式含氧乙醇制剂已证实能有效地去除所有助焊剂残留类型，包括水溶性、松香、低固量树脂和合成聚合物。以这种技术为基础的配方也能有效去除烘烤后的助焊剂残留物。低的表面张力和润湿特性促进了细间距元器件间的渗透。这类产品在操作温度范围为37° C-71° C [100° F-160° F]时能最好地工作。非直链式含氧乙醇制剂用于工业要采用半水基清洗设备。

11.2.4 半水基清洗剂的性能 表11.1列出了一系列以半水基产品为基础的清洗性能。

半水基产品不会随着蒸汽除油剂不断蒸馏。相反它们用于批或者在线设备，其中部分设备用半水基有机清洗溶剂洗涤，再用一系列水基冲洗液进行冲洗，然后干燥。纯净的半水基清洗剂是易燃的，这在很大程度上影响了工艺技术。然而，所有这些工艺已经安全地运行了几十年。

表11-1 一系列以半水基产品为基础的清洗性能

性能	萜烯为基础	脂肪酯为基础	石蜡烃为基础	非直链式含氧乙醇为基础	氧化的
沸点, °C[°F]	>170 [>338]	>200 [>392]	>200 [>392]	>170 [>338]	>160 [>320]
闪点, °C[°F]	55 [131]	>130 [>266]	>90 [>194]	>70 [>158]	>70° C [>158]
比重, 25° C[77° F]	0.80-0.90	0.80-0.90	0.8-0.90	1.02-1.08	0.88-0.98
表面张力, dyne/cm 25° C[77° F]	25-30	25-30	27-34	22-28	26-32
气味	柑橘味	温和的芳香烃味	非常低	温和的酒精味	温和
蒸汽压	<2.0	<0.2	<0.002	<0.3	<0.3
蒸气密度 (空气=1)	<1	<7	<1	<4	<5
在水中的溶解性	不溶	不溶	不溶	溶解	部分溶解

11.2.5 清洗剂的兼容性 必须要考虑半水基清洗剂与用于印制线路组件产品中的塑料、弹性体和其它材料的兼容性。大多数半水基清洗剂供应商会提供兼容性数据表。这些数据表是作为两个主要的兼容性问题的指导方针：经历部分清洗的短期兼容性和经历设备清洗的长期兼容性。讨论材料与清洗剂的兼容性时要考虑的重要因素是：

- 了解材料暴露在清洗剂中是什么状态，例如，高温、暴露的长度等。数据必须来自于严格模拟实际产品用途的测试方法才有意义。
- 测试材料完全与那些用于终端产品的一样。数量不等的填料或者增塑剂可以极大地影响材料的兼容性。
- 比较以目前的清洗方法作为基准参考的兼容性数据。
- 了解清洗剂对所有适用性能材料的影响（例如：光泽度、附着力、耐腐蚀等）。

考虑被清洗材料与清洗工艺和设备的兼容性。包括浸没于液体、高压喷淋、超声波能量、干燥步骤中的高温，等等。

由于测试方法的不同以及与各个生产工艺相关的具体条件的需要，每位用户在评估半水基清洗剂时应该进行各自的兼容性测试。

11.2.6 半水基工艺中冲洗水的性能 在半水基工艺中水作为冲洗剂使用。在半水基清洗工艺中通常有两个水冲洗阶段。第一个冲洗阶段去除大部分溶剂以及溶剂无法去除的任何离子残留物。随后的第二次冲洗是用来确保当组件传送到干燥阶段的时候表面上仅有高纯净度的水存在。然而，世界上从一个地方到另一个地方的水质有非常大的变化。这种水质同时影响到清洗剂的冲洗能力和设备的性能。

有很多因素应该进行检查以确认清洗水。第一步也是最常见的检测水纯净度的方法是测量水的电阻率（或者其倒数、电导率）。理论上纯净水的电阻率为18.25MU，或者0.55 μ hos电导率。取决于组件的关键性，一般用于流入半水基清洗工艺冲洗阶段的进水电阻率应该是1-5MU。组件越关键，水的电阻率应该越高。要满足这种要求将要消除能留在组件上的离子材料，这些离子材料对产品的可靠性有不良影响。

对于非离子污染物的检测，总悬浮物（TSS）、化学和生物需氧量（COD、COB）和/或者进水中总的有机质含量（TOC）必须进行测量。这些测量比电阻率的测量更为复杂，因此这方面水纯净度的

控制也更为困难。任何一个用来消除非离子污染物的新的处理系统必须进行评估，然后采取控制措施以确保生产过程中这些条件的保持。

为了满足纯度，任何半水基清洗工艺应该对冲洗进水水流添加一个处理系统。这种系统至少应该包含在净化工艺的初始端和终端的一套过滤装置，活性炭除去不需要的有机材料，去离子树脂从水流中除去离子材料。

11.2.6.1 供水的预处理 在水中溶解的材料的总量通常称为TDS（溶解的总固体量）。如果进水中溶解的材料量低于50ppm，就可能直接进行使用。否则，就应该采用一种或者几种水处理技术进行净化：过滤、软化、蒸馏、去离子或者反渗透。

11.2.6.2 过滤 所有的进水应该过滤以去除悬浮生锈、矿物质和其它可能阻碍泵或者喷雾的颗粒。它的水平通常在0.005-0.010%[50-100PPM]的范围。这些杂质也可以缩短软化水、离子交换或者反渗透系统的使用寿命，更需要频繁的维护和维修这些系统。紧随着离子交换柱的颗粒活性炭（GAC）常用来吸附和去除这些污染物。

注：吸附2.3kg[5lbs.]这样的悬浮污染物大约需要45kg[100lbs]的GAC介质。

11.2.6.3 软化 离子交换工艺除去了导致硬化的钙和镁的矿物质并用钠盐将其替换。由于这些钠盐具有吸湿性和腐蚀性，所以建议在使用软化水作最后冲洗，尤其是软化高硬度的供应自来水时，进行鉴定检测。相对大量的钠盐生产可能导致严重的问题。此外，用磷酸盐和硅酸盐软化的水（日常用的粉末软化剂）特别不适宜于任何电子产品使用。

11.2.6.4 蒸馏 蒸馏可以提供非常纯净的水，但如果需要大量的蒸馏水将增加成本负担。

11.2.6.5 离子交换 去离子作用是通过一个交换工艺除去离子的。这种工艺可以提供高质量的水，但如果进水质量很差或者需要大量的水费用就比较高了。根据自来水质量和去离子系统设计，系统正常工作的情况下PH一般在6.0~10.0范围内。

11.2.6.6 反渗透 在反渗透中，受污染的水在高压下输送通过特制膜在阻流中聚集污染物的同时，产生源源不断的净化水（渗透水流）。这个工艺产生的水电阻率通常低于100000 ohm-cm电阻率。它在大规模应用时相当有用并常用作离子交换的预处理。

11.3 半水基清洗工艺

11.3.1 介绍 半水基清洗工艺完全不同于沸腾的溶剂、蒸汽脱脂清洗工艺。基于萜烯类、碳氢化合物、醇或者其它有机溶剂的半水基清洗剂不能在大气压下持续蒸馏有两个原因。一个不同点是它们是易燃液体增加了安全隐患，实践现场蒸馏时其沸点太高。另一个不同点是半水基清洗剂是从印制线路组件上冲洗下来的。图11-1是半水基清洗工艺步骤的基本原理图。



图11-1 广义的半水基净化工艺全过程

11.3.2 工艺参数 由于有很多半水基清洗剂且可以采用几种方法使用，所以很难完整地描述工艺参数。表11-2和11-3总结了目前实用的工艺参数范围。

表11-2 非水基（I型）半水基清洗剂的清洗工艺参数

阶段	清洗	乳液	冲洗	干燥
材料	半水基清洗剂—未掺水的或者与水混合的	水加半水基清洗剂（如果必要）	水加少于乳液中的半水基清洗剂	热的高速气流
温度	低于闪点17° C [63° F]，只要溶剂形成的雾化最小化	受电路组件限制，不应该超过闪点，倾析器除外。	受电路组件和化学过程限制。	受电路组件限制。遵循设备和溶剂制造商的建议。
搅拌	预防火灾（例如，浸泡喷淋、超声波、惰性氛围中）	高压喷淋或者超声波	高压喷淋或者超声波	高速气流
过滤	连续去除微粒	连续去除微粒	连续去除微粒	—
液体从一段传送到另一段	风刀和滴水时间	风刀和滴水时间	风刀和滴水时间	—

表11-3 水溶性（II和III型）半水基清洗剂的清洗工艺参数

阶段	清洗	第一次水冲洗	第二步冲洗	干燥
材料	半水基清洗剂—未掺水的或者与水混合的	水加半水基清洗剂（如果必要）	水加少于乳液中的半水基清洗剂	热的高速气流
温度	洗涤温度低于70° C [160° F]且低于闪点17° C [63° F]，只要溶剂形成的雾化最小化	受电路组件限制，不应该超过闪点，倾析器除外。	受电路组件和化学过程限制。	受电路组件限制。遵循设备和溶剂制造商的建议。
搅拌	预防火灾（例如，浸泡喷淋、超声波、惰性氛围中）	高压喷淋或者超声波	高压喷淋或者超声波	高速气流
过滤	连续去除微粒	连续去除微粒	连续去除微粒	—
液体从一段传送到另一段	风刀和滴水时间	风刀和滴水时间	风刀和滴水时间	—

11.3.3 洗涤阶段 在洗涤（第一次或者溶剂）阶段，在半水基清洗溶剂中通过溶解印制线路组件表面上的污染物而对印制线路组件进行清洗。清洗的变量有温度、搅拌和清洗时间。

11.3.4 温度 最高温度是由半水基清洗溶剂的闪点和设备的设计来决定。在大多数情况下清洗剂应该保持在低于闪点至少17° C [63° F]。这将符合美国防火协会标准NFPA 30（1990）（易燃和可燃液体规范）和NFPA 34（1989）的条件（浸渍和涂敷工艺，使用易燃或者可燃液体）。也有一些适用OSHA规定：29CFR1 910.106（易燃和可燃液体）和29CFR1 910.108（含易燃或者可燃液体浸渍槽）。除了控制最高操作温度，闪点决定了可贮存在清洗设备和操作区域的材料量。这些规定应该考虑每一种与当地消防、安全、和保险机构的协议中的安装。本节信息是从美国实践中总结出的，类似的法规安全作业将出现在其它国家。

表11-4 列出了各类闪点和基于NFPA规范的各种类型易燃液体的存储限制。类似规范将应用于其它国家。

另一个要求是如果氧气存在时，液体不应该喷雾、加气或者起薄雾。喷射、加气或者起薄雾，使可燃材料更容易点燃。起雾可通过固体（非原子化）碰撞喷射到某一表面或者通过高能超声波振荡而发生。因为薄雾易燃且存在严重的危害，设备制造商选择了最小化起雾或者当起雾发生时系统完全失效。

表11-4 闪点的注意事项（根据美国条例）

全国防火协会分类	II	IIIA	IIIB
闭杯闪点, °C [°F]	38-59 [100-139]	60-93 [140-199]	>93 [>200]
危险废物	是	需要检测 ¹	需要检测 ¹
在未装喷水灭火系统的建筑内允许在敞口设备大量使用, 加仑	30	80	3300
允许大量贮存在未装喷水灭火系统的建筑内, 加仑	120	330	13, 200
在装有喷水灭火系统的建筑内允许在敞口设备大量使用, 加仑	60	160	不限
允许大量贮存在装有喷水灭火系统的建筑内, 加仑	240	660	不限

1. 由于组件上携带污染物, 一旦被使用有可能被认为具有有害物质的特点。进一步信息请看9.2.2章节。

一些设备制造商已导入工程控制, 必要时消除半水基清洗设备中的火灾威胁。有些设备用氮气封闭, 有些配有火花检测装置如果在设备的一个特定范围内检测到火焰则可关掉设备, 有些配备了二氧化碳灭火能力, 也有一些配备了这些抑制火灾选项的组合条件。

11.3.5 搅拌 在溶剂部分, 有必要搅动半水基清洗剂来达到有效地清洗。许多设备制造商选择浸没组件来清洗和用下表面喷剂、超声波法或者其它搅拌法来提高清洗。一些常规的搅拌清洗方法的概念或者章节描述如下。

11.3.5.1 浸没喷雾 图11-2是半水基清洗设备的原理图, 其中的振荡是由底部浸没喷雾所引起的。这个概念最常用于大型在线清洗设备, 而且发现对小型批设备也非常有效。这种搅拌方法不会起雾。

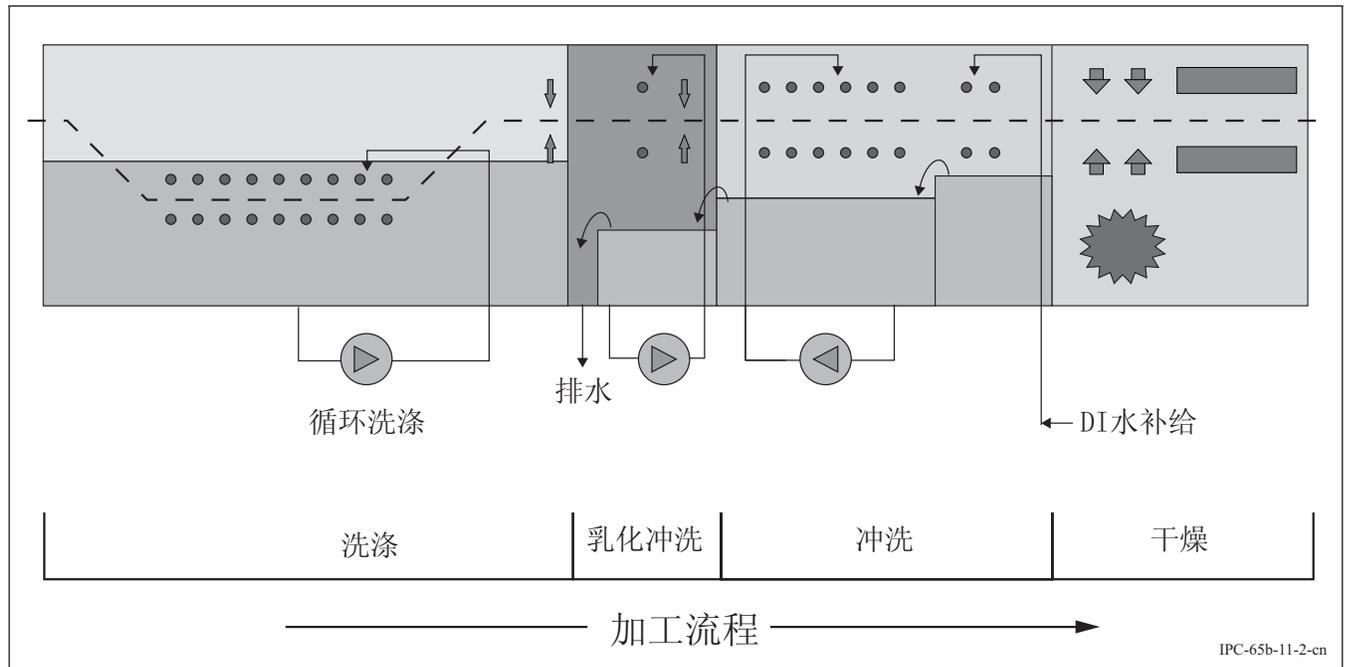


图11-2 半水基清洗设备原理图

有两种基本的冲洗方式。乳液/倾析的方法只适合于非水基清洗剂，而连续的方法可能用于水溶性清洗剂，并在完成第一步冲洗后，还可用于随后的非水溶性清洗剂的冲洗。

影响冲洗的变量有水的流速、水温、水压、搅拌、冲洗过程的时间及冲洗液的数量和类型。高压喷射冲洗比低压喷射更加有效。清洗剂供应商和设备供应商，针对它们的材料和设备的组合，可以提供最佳的冲洗条件。在清洗工艺的冲洗阶段，薄雾点火不需要关注因为喷射的主要是水。然而为了操作安全有机物含量应该保持在或者低于20%。

11.3.6.1 非水溶性清洗剂 (I型) 的冲洗部分 当使用非水溶性清洗剂时，可通过在化学隔离冲洗区形成一种乳液，然后从冲洗水中倾析出清洗剂而达到冲洗的目的。乳化/倾析过程在半水基清洗过程中通常作为第一步。因为在某些情况下，它可以显著降低在随后的冲洗步骤中和冲洗水一起排出机器的溶剂的量。在一个连续的冲洗过程中，所有溶剂和污染物同冲洗水一起排出设备。

11.3.6.2 乳化/倾析冲洗过程 图11-4是一个包含两步冲洗过程的图解，其中溶剂可以通过倾析物理分离技术从大量的冲洗水中分离出来，在化学溶液隔离部位或者“倾析”部分进行。用这种方法，水在第一个冲洗贮槽中可重复利用而不会同剩余的冲洗水被一起废弃。完成第一次冲洗后，大部分清洗剂转化成乳化状态输送到倾析器槽中。乳液在倾析器中允许保持在操作温度，并在倾析器中允许分离成一个清洗剂层和一个水层。注意，一些助焊剂技术包括乳化材料本身，在某些情况下对乳化分离的时间和能力会产生不利的影响。

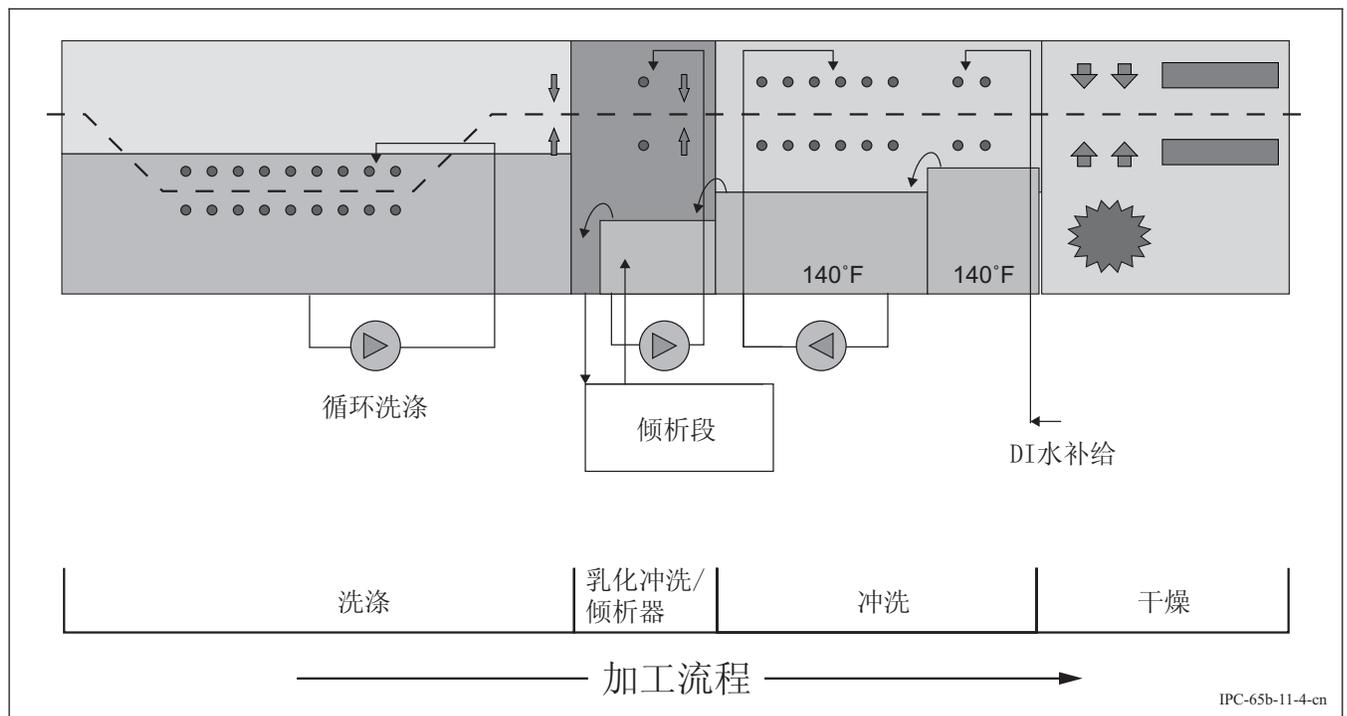


图11-4 两阶段冲洗过程

分层后，这两层分别被回收至清洗剂和冲洗水槽中用于随后的组件清洗。清洗剂的配制非常重要，在操作温度下冲洗乳液快速分离和清洗过程中，应尽可能完全的最小化可能送去废物处理或者排入下水道的有机清洗剂和溶解的污染物。不同的配方都需要优化性能和减少批与在线工艺的有机物排放。

这部分溶剂的浓度相当高，以至于在冲洗过程中的冲洗水实际上是半水基清洗剂在水中的稀释乳液。这部分的冲洗水通常称为乳化冲洗液，乳液的浓度一般是几个百分点。浓度取决于半水基清洗剂的乳化性能。当冲洗水注入到一个静止的称为倾析器或者分离器的贮槽中时，乳液必须能够进入到溶剂层和水层。

倾析掉多余的溶剂之后，水返回到乳液冲洗贮槽并用于冲洗更多的组件。组件运送到第二个冲洗点。在这个点上组件携带非常少量的半水基清洗剂，在两个贮槽出来的冲洗水中，从机器排出的半水溶性清洗剂和污染物的量都非常少。

11.3.6.3 乳液浓度 用折射系数定量评估清洗液中半水基清洗剂和污染物的浓度是可行的。另外，有一个数学模型可以将冲洗水的流速、印制线路组件上的带离液、第一步冲洗的乳液浓度和印制线路组件的吞吐量作为变量使用。带离液的量，包含携带在设备的各个部位之间的，是印制线路组件的时间函数，这允许使用水滴和风刀去除组件表面的物质。

从本质上讲，倾析器/乳化概念在半水基清洗工艺中作为第一步冲洗使用，可以降低总的有机物质进入随后的冲洗流的乳液浓度的百分比。因此，如果保持2%的乳液，如果半水基清洗剂不溶于水，只有2%的溶剂从清洗印制线路组件部分被带出，到达冲洗水流。

因此，冲洗水中的半水基清洗剂的浓度，可以通过从清洗剂贮槽带出的半水基清洗剂的量，除以相同时间间隔内贯穿设备的冲洗部分的总水量，来进行简单的评估。

11.3.6.4 闭环倾析器 非水基有机系统经常在第一步冲洗采用闭环倾析器。这个单独的冲洗阶段浓缩了从第一个洗槽出来的化学清洗的带离液形成的有机乳液。它用于分离和回收清洗剂与冲洗水。当系统未采用倾析器时，最后的冲洗水浓度应该乘以乳化液的百分浓度，而不是清洗剂的浓度。

11.3.7 水溶性(II型)清洗剂的冲洗部分 清洗工艺采用水溶性清洗剂时，乳化/倾析器的概念是不需要的。水基冲洗工艺会采用连续的冲洗过程来取代。这种类型的冲洗可用于不溶于水的半水基清洗剂，或者可溶于水的半水基清洗剂。

11.3.7.1 连续冲洗过程 图11-5是连续冲洗过程的图解。溶剂从溶剂贮槽中排出后进入到冲洗贮槽。水梯阻碍溶剂流动。污染物的浓度由于稀释在每个编号更高的贮槽而逐渐降低。

11.3.8 干燥部分 去除半水基焊剂的一个重要方面是干燥。干燥是去除半水基焊剂工艺的最后一步，对不同的冲洗工艺，这点是基本相同的。有两种干燥蒸发和物理替代方式。蒸发有两个问题。首先，它是能量极度密集型的，因为水的蒸汽热量十分高。其次，当清洗液中的水都蒸发掉时，水中各种污染物都将会残留下来。最有效的干燥过程是用高流速的热空气吹掉或者尽可能地去掉组件上的水。少量的残留水可以用红外加热器或者对流烘箱蒸发掉。

11.4 半水基清洗设备

11.4.1 在线清洗机 在线（去焊剂）清洗机（如图11-5所示）用于清洗大批量的印制线路组件。设备制造商采用各种工程方法生产在线去焊剂清洗机。由于大部分半水基清洗剂的可燃性质，不锈钢是生产在线清洗机的首选材料。这些机器的运作关键是要正确选择与清洗技术操作相匹配的，用以生产泵密封件和垫圈的人造橡胶。现已有许多类型的清洗机内部运送系统，它们对溶剂使用的效果应该予以考虑。一些设备制造商已经在清洗机部件之间安装了气刀，以减少带离液的排出。

用I型材料生产的清洗机有内置乳液倾析系统，而使用II型材料的清洗机系统则没有。

保持清洗机干燥的方法通常是用高速加热的空气尽可能取代冲洗水，并尽量减少烘干产生的蒸汽量。剩余的水分可借助位于清洗机干燥区或者脱线烤箱的红外加热器得以蒸发。

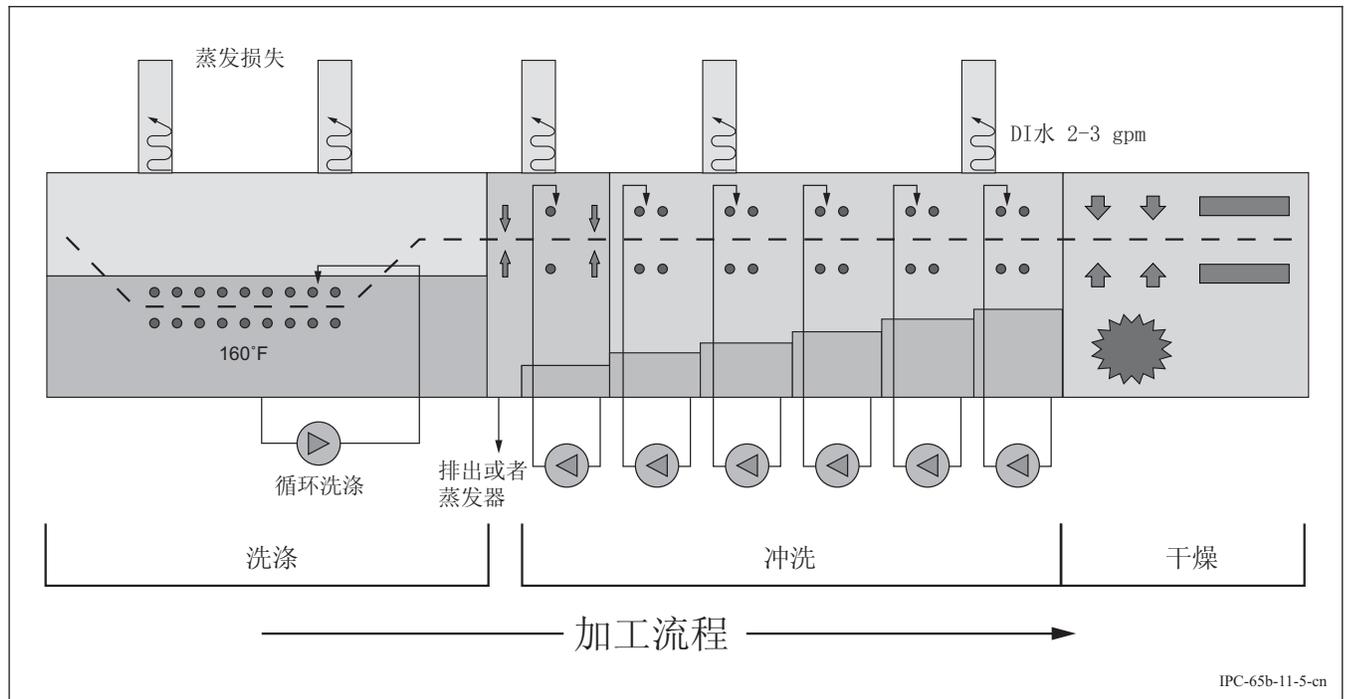


图11-5 连续冲洗过程

11.4.2 燃烧保护 不同厂家处理可燃性问题各有其独特的方式。有些厂家选择适用氮气来使半水基清洗剂腔室惰性化，以排除燃烧的可能性并采用小水滴的方式得到更有力的喷淋。有些厂家则选择在清洗机内配备火焰探测器，如果发现火源，则可关闭喷洒水滴。大部分清洗机都配备了二氧化碳灭火系统，半水基清洗机清洗剂室内填满了灭火物质。一些水溶性半水基清洗剂厂家提供的材料可用作水乳剂。在这些情况下，乳剂中的水有抑火功能。

11.4.3 批清洗机 批清洗机半水基清洗剂消耗低，这是因为：(a) 半水性清洗剂具有相对较低的蒸汽压力；(b) 甚至当它们包含（按重量计算）20%以上的助焊剂残留物，它们仍然是有效的清洗剂。

批量清洗系统所需的半水基清洗剂初始量，可低至20升（5加仑），且易于更换。

半水基清洗剂洗涤舱通常是一个封闭的腔，因此批清洗系统中的挥发性有机化合物的损失通常是非常低的。

批清洗系统提供了一个广泛的调整过程。不仅是容易改变洗涤和冲洗次数，而且这些次数的比例也是可以调节的。

自动吊笼能最大限度地降低运营成本，同时还有严格的过程控制。这种吊笼对要清洗组件的载重是极其有效的。

由于其离线的能源使用量低，批处理系统是非常节能。

有许多独特的批处理机方案，下面介绍一些常见的。

11.4.3.1 双喷舱 这种方法使用两个喷雾舱，一个用于洗涤，另一个用于冲洗。通过从旋转臂倾泻出半水基清洗剂（旋转类似商业洗碗机的旋转方式）以达到液体搅动。组件垂直排列，有利于排水，让半水基清洗剂清洗到组件和线路板之间的空隙。由于半水基清洗剂是通过气动喷洒，半水基清洗剂洗涤舱用氮气保护，以消除可能点燃的薄雾问题。在第二个舱中用热水进行冲洗，从而减少半水基清洗剂的损失。冲洗水的污染程度可以测量，如有必要，可自动延长冲洗时间。冲洗舱可能包含乳液倾析和水净化系统，使冲洗水可反复使用。大量冲洗用水从板间排出后，组装组件烘箱中被烘干，这种方法适合易燃溶剂的清洗。

11.4.3.2 单清洗冲洗舱 这种方法清洗和冲洗使用同一个舱体。在一个系统中，印制电路组件水平排列，并在浸入于装满半水基清洗剂的室中的同时，快速交替方向旋转。零件旋转时的离心力使液体产生搅动。清洗周期完成后，半水基清洗剂是从清洗室中排出，被用以冲洗的清水取代。用氮气惰性化可提高安全性。零件被甩干，如果需要的话，在烤箱中烘干。换一种思路，将喷嘴固定，一篮子的零件在喷洒部位下来回运作。

11.4.3.3 带有循环泵的过滤箱 这种方法需要用到一组并排放置的三或者四个小水箱。这些小水箱可能配备加热器和/或者冷却器并带有超声波，相当于浸泡时的喷流效果。每个水箱中的液体是由循环泵过滤和搅动。美军方不再禁止超声波，只要零件及其组件达到适当的IPC测试标准。IPC测试方法用于测试超声波清洗是否合格。干燥舱可以很容易放置在最后一个冲洗设备后。手动或者可编程自动吊笼将组件从一个清洗槽运至另一个清洗槽。

11.4.3.4 仿在线程序 第四种方法使用三台在线机器，用手动或者自动方式将一组组件成直线地水平排列。第一台机器包含一箱有内置吊笼的溶剂。只要一组组件立于吊笼中心，它就全部浸泡在溶剂中，关闭盖子，浸泡喷淋技术就可以发挥作用了。之后，这组组件缓慢地从溶剂中升起，最大限度地减少溶剂的溢出。在适当的排水周期后，该组件转移至洗涤/冲洗设备。这一过程通过线形往复摆动的喷洒杆得以实施，最初是在封闭圈装有的高压喷嘴，紧接着是装纯净水的开放圈喷淋喷嘴。之后，组件转移到第三台机器，该机是一个专用的高速旋转的热风刀干燥机。这样设计的目的是让三台机器中的任何一台机器在任何时刻都有一组组件。

11.5 清洗过程和质量监控

11.5.1 洗涤段 有多种方法来控制半水基清洗剂。该流程的目标是建立一个平衡条件，使清洗剂在相对恒定的助焊剂浓度下仍有效运作，达到理想的清洗效果。有四个因素控制在任何清洗剂中助焊剂残留物的浓度：

- 进入印制电路组件中清洗溶剂的助焊剂数量。
- 在清洗剂中溶解的助焊剂数量。
- 印制线路组件表面耗费的清洗剂数量。
- 新鲜的半水基清洗剂中的助焊剂数量，新鲜的半水基清洗剂用以补偿组件损耗的半水基清洗剂。

当进入印刷电路组件中清洗溶剂的助焊剂数量与清洗剂中溶解的及组件损耗的助焊剂数量相当时，半水基清洗剂槽中的助焊剂残留物浓度达到了稳态浓度。这时可以通过调整滴注时间或者在清洗剂室末端的气刀效力得以控制的。同样重要的是要调整气刀以避免喷雾的发生。如果建立适当的平衡，水槽中的半水基清洗剂可以不更换。

对于松香助焊剂，助焊剂残留物的平衡浓度应该控制在10~20%（最大）之间，或者在制造商的建议范围内。在这些相对高的浓度下，半水基清洗剂的消耗低，清洁非常有效。由于合成活性（SA）的助焊剂残留物易起化学反应，腐蚀性强，其浓度应该 $\leq 5\%$ 。

11.5.1.1 监测或者负载浸泡 助焊剂残留物的浓度可以通过以下方法成功监测：

11.5.1.1.1 比重监测 助焊剂残留物的浓度可以通过比重成功监测，因为大多数半水基清洗剂的比重约0.84，而一个相似的松香助焊剂残留物的比重大约是1.07。虽然一个相似的SA助焊剂残留物的比重约为1，但可以为合成活性（SA）助焊剂构建一个类似的区域。图11-6是描述了典型松香助焊剂在I型碳氢半水性清洗剂中的含量和比重的曲线。

在所有情况下，半水性清洗剂应该通过实验室分析进行定期检测，以验证上面列出的图表的准确性。此外，如溶解的阻焊膜、盐和油等材料可能会导致偏离浓度图。

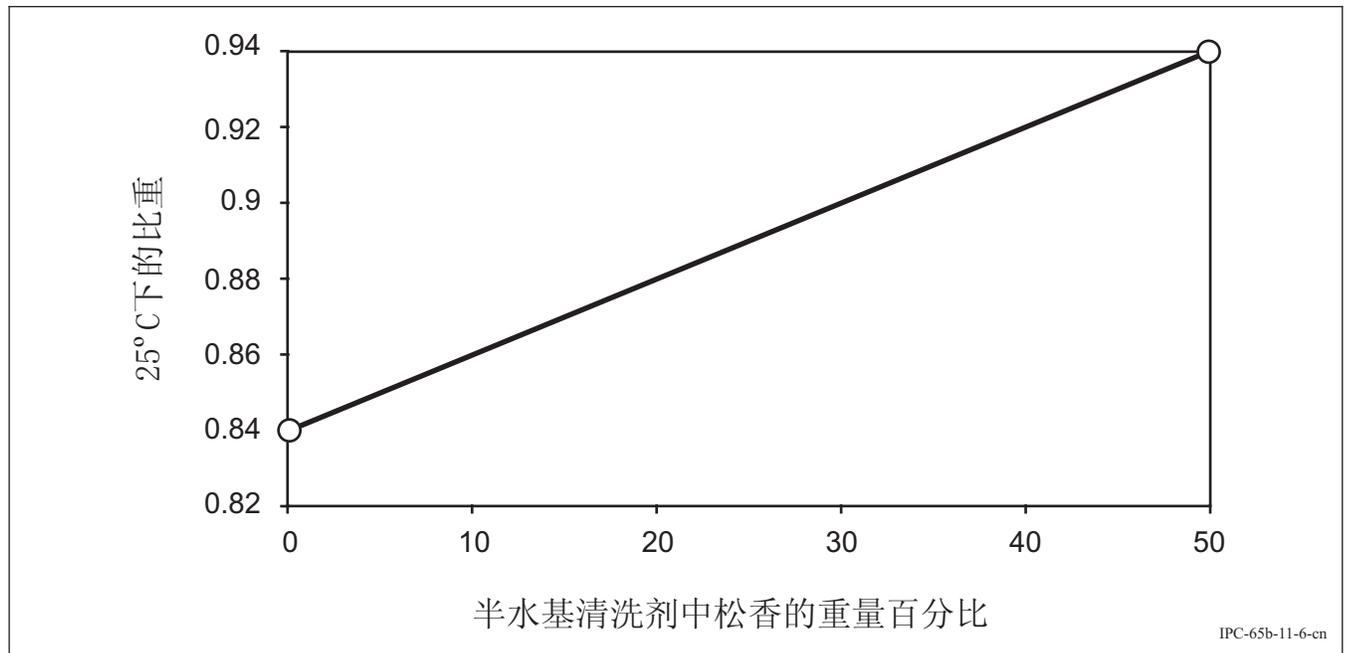


图11-6 比重与助焊剂含量的曲线

一些比重近1.00的半水基清洗剂，因其密度与助焊剂的密度接近，不能使用密度测量进行监控。

11.5.1.1.2 折射系数监测 一些半水基清洗系统可通过折射系数差异进行控制，其方式与密度测量方式相同。折射系数的测量很简单，可以轻松地通过使用廉价的便携式设备完成。

11.5.1.1.3 离子电导率监测 一些厂家申明，离子电导性（率）可用于监测水溶性（II型）半水基清洗剂的浓度，因为比重检测不能使用（缺乏这些测量的灵敏度）。然而，并非所有的厂商建议这种监测方法，因此，使用者应该使用清洗剂供应商建议的方法，以获取可靠的数据。

11.5.2 冲洗段 正如前面所示，冲洗过程可分段考虑。

11.5.2.1 非水溶性（I型）清洗剂冲洗段 如果采用乳液/倾析概念，重要一点是要控制乳液段中清洗剂的浓度。如果乳化液浓度保持尽可能低，流出的冲洗水就只有少量半水基清洗剂。

同样，比重可作为监测乳化液浓度的一个有效工具。可以构造如图11-6所示的图表。比重测量可达到相当的准确度。图表会随半水性材料不同而改变。

一些半水基清洗剂形成乳液，乳液分离成碳氢层和水层。如果乳液/倾析系统是在厂家为特定的半水性清洗剂推荐的工作温度下运行，乳液浓度将稳定在小于百分之几的范围，就不需要外部控制。

乳液分离时间可通过使用专门设计的倾析器进行缩短，这倾析器中被充满疏水材料，可以加快分解工作温度下的乳液。

一旦半水基清洗剂从水中分离，它们可以注入自动倾析器，作为废物丢弃，或者，如果半水基清洗剂、助焊剂残留物的浓度小于建议的最高浓度，还可重复使用。

11.5.2.2 水溶性（II型）清洗剂冲洗段 排出的冲洗水中的半水基清洗剂的浓度可以通过化学需氧量（COD）测量法进行监测。用系数将COD分解，可以将COD测量系数转换为以百万分比计算的冲洗水中的有机物浓度。对于一般的半水基清洗剂，这个系数范围为2.0~3.0。例如，COD为2500毫克氧气/升的冲洗水，如果转换系数是2.5，实际上含有1000PPM的有机物。

11.5.2.3 干燥段 干燥段的控制相对简单。最有效的干燥机是一种高速的热空气干燥舱。烘干的一个关键点是在合适的角度下引导干燥段的空气刀将水从零件和组件的表面推出，而不是让水蒸发。为了提高效率，重要的是任何机器的干燥段的尺寸与其它部分的流量保持一致。

11.6 环境控制和注意事项

11.6.1 介绍 半水基清洗机的排放物有：

- 助焊剂和其它污染物的半水基清洗剂废物。
- 含有少量半水基清洗剂的冲洗水。
- 半水基清洗剂和水蒸汽。
- 污染的离子交换树脂、过滤器、碳罐及在使用过程中的薄膜。
- 挥发性有机化合物的空气排放物（和可能有的有害空气污染物）。

每个废物流必须根据适当的章程处理。

各政府机构已经颁布了针对运送废物，排放到空气中的废物，废水排入下水道或者化粪池系统，并最终排入河流、湖泊和海洋的法规和规章。在美国，《清洁空气法案》、《清洁水法》，《资源保护和回收法案（RCRA）》等详细规定了用户和制造商对半水基清洗剂之类的产品应承担的责任。类似的规定可能适用于其它国家。用户实施任何像半水基清洗这类新清洗工艺时，应该仔细考虑这些保护性法规。用户在实施任何新的清洗工艺（包括半水清洗），应该联系所有合适的空气、废水和固体废物当局。

半水基清洗剂通常归类为可生物降解物质，不会抑制公共污水处理厂（POTWs）水中特有的细菌。材料安全数据表（MSDS）或者类似的文件将包含其产品的具体信息。由于各地的水法规差异很大，使用者应征询当地POTW当局。

根据地方和国家标准定义的泄漏量，应该向有关当局报告。MSDS包含容纳及清理泄漏的合适方法和设备的有关信息。

11.6.2 无用的半水基清洗剂 取决于所用清洗机和半水基清洗剂的类型，存在两种无用有机半水基清洗剂的来源。首先是半水基清洗剂槽本身。理想的情况下，由于有半水基清洗机的废酸液和补充的新鲜清洗剂，半水基清洗剂槽中的助焊剂残留物的浓度会保持在一个平衡值上。如果半水基清洗剂槽出口处的空气刀效力太高，半水基清洗剂的污物浓度也可能会过高，迫使整个半水性清洗剂室需不定期更换。第二，到目前为止，所耗费的半水性清洗剂最可能的来源是在倾析器中的有机层，或者是水回收过程中的浓缩物。确切的处理方式取决于废物的燃点、溶解于半水基清洗剂中的有害物质数量和含水量。（在美国，这些限制由RCRA法规规定；在其它国家，一般由危险废物处置法律做出规定。）助焊剂残留物可能包含少量的铅和其它重金属物质。如果使用了活性助焊剂，尤其如此。由于I型半水基清洗剂是中性pH值，它们不会通过化学反应去除重金属。一些半水基清洗剂供应商通过创建项目来回收耗费的半水性清洗剂，便于正确地处置或者回收再利用。这种服务可能有地理限制，偏远地区或者在原产地国家以外的国家可能没有这些服务。

对于易溶于水的半水基清洗剂，将大量耗费的溶剂从倾析器或者凝聚过滤器中的冲洗水中分离出来是不可行的。洗涤槽内的材料的处理方式与不溶于水的材料的处理方式是一样的。

所有清洗过程是能够消除组件中的锡珠、焊料飞溅和其它锡颗粒。清洗设备应该配有适当的过滤器，以消除清洗剂中的这些固体金属颗粒。

11.6.3 冲洗水 半水基清洗过程中真正的优势之一是冲洗水可处理的方法。同样，也有两种类型的半水基清洗剂：水溶性和非水溶性。水溶性清洗剂带来一个挑战，无法用简单的机械分离方法将它

们从冲洗水中分离。水溶性半水基清洗剂（任何非水溶性的半水基清洗剂中的水溶性成分）需要更先进的机械或者加热的方式将它们分离。

非水溶性半水基清洗剂过程的理论计算表明，当大部分材料是在一个闭环的乳化液倾析器系统倒出时，半水基清洗剂的浓度还是相对较小的。倒出的半水基清洗剂可以用上一节所描述的方法处理。若计算出的浓度很低，冲洗过程中稀释的冲洗水可根据当地法规，排至公共污水处理厂。所有半水基清洗剂漂浮或者溶解在水中时，是可生物降解的，不抑制通常在公共污水处理厂设施发现的细菌。用户应该知道，一些国家有全国统一的废水排放标准，标准对金属和各自领域的其它参数有不同的限制。

11.6.3.1 非水溶性（I型）半水基清洗系统中的冲洗水 举个例子，在美国，附带有倾析器的冲洗系统中后续的冲洗水通常可以通过相连的污水设施系统，直接排入公共污水处理厂。是否可直接排入污水处理厂，这点应该与当地公共污水处理厂管理局或者该国运作的类似机构核实。相比水溶性半水基产品，监管机构更普遍地认为非水溶性半水基材料是属于油类材料，通常按脂肪类、油类和油脂类（FOG）区分。关于这一问题的更多信息请参见环境控制的部分（见第9章节）。

11.6.3.2 水溶性（II型）半水基清洗系统中的冲洗水 水溶性半水基清洗系统中的冲洗水含有更多的有机物。有几种方法来处理这些冲洗水流。如果开放式处置（排放到排水渠或者公共污水处理厂）受限制或者禁止，可用蒸发器将废物流集中。当废物流被集中后，水便被去除，残留下的大部分或者甚至所有的水溶性清洗剂和污染物就会被选择性地处理掉。此外，开放式循环过程可能会产生限制排放的挥发性有机化合物（VOCs）和有害气体污染物（HAPs）。

11.6.3.2.1 排放至下水道的冲洗水 直接排放至下水道是最简单的处理过程。然而，需考虑到环境和监管方面的问题。各工厂应该首先确定它们的下水道是排放到POTW或者其它地方。未连接到POTW的下水道一般排往化粪池系统或者地下注射控制（UIC）井。在美国，美国环境保护署规定，危及饮用水源的液体或者废水应排至地下UIC。附有UIC的工厂设施应该与该国的UIC计划当局联系，以确定是否符合要求。在其它国家的用户将有类似的法规遵循。

这些系统中流出的废物，大部分都是带有少许水溶性清洗剂以及清理部件产生的少量污染物的水。水溶性化学成分是可生物降解的，pH值为中性或者弱碱性。通常流体许可证允许含少量水溶性清洗剂的废物流排至下水道。废物流中清洗剂的含量可以通过废酸洗液含量进行估算并可验证其含量。有些地方不允许排放到下水道或者限制允许排放的废物量。在这些地方，必须考虑其它处理方式。

11.6.3.2.2 排放至POTW的冲洗水 水溶性半水基清洗系统中的冲洗水也许可以，也许不可以直接排放到POTW。在许多地方，水溶性物质受到监管，但允许在支付小笔附加费后排至POTW。

11.6.3.2.3 蒸发器的物体排至废物桶 当蒸发器用于集中污水流时，用户可能会定期将蒸发器的物体清空至废物桶，或者他们也可连续操作蒸发器。定期将蒸发器的物体清空至废物桶的优点是清洗剂更多在蒸发器中，较少的作为VOC排放至外界环境中。其缺点是要处置更多的废物桶。此过程减慢蒸发速度，并使用除雾器帮助浓缩蒸发器使用过的清洗剂。减慢蒸发速度的缺点是使化学隔离区的清洗剂浓度增加，导致更多使用过的清洗剂通过带出液留在随后的冲洗阶段。如果在随后的循环用水过程中使用了碳/离子交换床，它们耗尽的速度会稍快，因为冲洗阶段中额外使用的清洗剂必须去除。

11.6.3.2.4 稳态蒸发器 稳定状态下的蒸发器，可以在不将蒸发器废物清空至废物桶情形下运行很长一段时间。来自化学隔离区或者最初冲洗区的废物流可以连续浓缩。

稳定状态下的蒸发器的优点是，它最大限度地减少排至废物桶的废物量，并使蒸发器关闭和清洗期间运行的时间延长。其缺点是排放到环境中的VOC量较高。此项过程会增加蒸发器的蒸发速度，且

不使用除雾器。蒸发速度提高及不使用除雾器的缺点在于，化学隔离部分的水量会增加。这样做的好处是化学隔离部分使用过的清洗剂的浓度降低，从而降低在随后的冲洗阶段清洗剂的使用量。这意味着如果在随后的水回收过程中使用碳/离子交换床，它们将持续使用更长的时间，因为它们不必去除过多使用过的清洗剂。

11.6.4 水回收 有几种方法可去除冲洗水中的半水基清洗剂，以便水的重复利用。重复利用水的优点是减少水的消耗，消除污水处理和控制注入的水质。用户应该检查已运行的系统，以确保系统会为他们工作。

11.6.4.1 碳/离子交换床 此方法使用碳/离子交换床去除使用过的清洗剂。这个方法改变了化学隔离舱的最后阶段冲洗泵的吸力方向，通过碳和离子交换床输送并通过喷嘴将清洗剂排至最后冲洗阶段。如果本系统用以回收利用不溶于水的半水系统中的冲洗水，部分分散在冲洗水中的半水基清洗剂，可通过碳床前的油气分离器从水中分离开来。

碳床去除液体中的有机物，离子交换床去除所有离子。由于活性炭吸附几乎是分子大小，可能需要有一系列的碳床，每个碳床有不同的碳质。不正确的吸附可能会导致吸湿的非离子物质的产生，这些物质可能对组件的电气特性产生有害的影响。

这个过程不将废物流倾入废物桶或者下水道。碳/离子交换床的成本很高，经常会被耗尽。长远看来，本方法大概是最昂贵的选择，因此应该考虑将其作为一个过渡或者最后阶段的解决方法。

11.6.4.2 反渗透 反渗透（RO）系统的工作方式类似于碳/离子交换法的工作方式，但它初始成本较高，不过可降低运营成本。它带走废物流，采用膜分离清洗剂和污染物。膜基本上都是极其精细的过滤器，能够分离分子大小的材料，见膜工作示意图。被污染的溶液在压力下先通过一个超滤泵，然后通过膜排除，这膜是专门设计的，可以让小的水分子通过，还可限制离子和大分子通过，比如在一些半水基清洗剂发现的离子和大分子。污染物都集中在拒绝流，在渗透流则相对减少。

反渗透理论上应该可应用于类型I或者类型II清洗剂，因为和有机溶剂清洗剂分子相比，水分子是非常小的。I型清洗剂的优势在于，ROI浓缩物、（RO）浓缩物（不能穿透薄膜）可以被送回至乳化液倾析器，用于使用过的清洗剂的分离和再利用。用户应该知道，如此复杂的设计是罕见的，过去十年里只有十几项此类设计。

11.6.4.2.1 反渗透操作细节 精挑细选的膜可以达到99%以上的分离效果。膜的选择是在基于兼容性和与特定清洗剂的分离效果。适合某种半水基清洗剂的膜可能不兼容于其它清洗材料。更换受损的膜可能代价会很昂贵。半水基材料供应商可以提供有关半水基清洗剂使用过程的建议。

对于不溶于水的材料（I型），拒绝流通常是退回到清洗机倾析器。一旦在倾析器中，有机溶剂会从水中分离。反渗透系统的倾析器和容纳槽协同工作，自然会达到同样低的平衡浓度。通常情况下，两个系统中的最佳浓度是2%或者更低。一些机器设计在冲洗循环中纳入活性炭吸附/离子交换柱来清洁从第一个冲洗水槽出来的水，并将其返回最后一个冲洗水槽，尽量减少排入下水道的污水。

由于膜的兼容性问题，反渗透装置很少使用在II型半水基工艺中。在水溶性（II型）的工艺中，这些材料有以下三种处置方式：可排至下水道、蒸发器或者废物桶中。可参见第9章有关这些处置做法的环保法规和注意事项。

11.6.5 挥发性有机化合物（VOCs） 由于水溶性和非水溶性两类半水基清洗剂是碳氢材料，它们被归类为挥发性有机化合物（VOC）。许多国家极为关注挥发性有机化合物或者类似材料，已制定法规限制挥发性有机化合物的排放。

挥发性有机化合物的排放量与清洗溶剂的蒸气压、设备中的通风流量、清洗溶剂的温度、以及冲洗部分清洗剂的温度和浓度有直接关联。当采用如下参数时，挥发性有机化合物的排放量将降到最低值：

- 使用低蒸汽压溶剂。
- 降低溶剂的使用温度。
- 周围清洗机的速度和通气量保持尽可能低以提供安全舒适的工作条件。
- 在冲洗部分的温度和水的物质的浓度尽可能低。

这些挥发性有机化合物的注意项必须与清洗要求一致。大多数半水基清洗剂的蒸气压低于1mm汞柱，大大低于普通醇类和其它低沸点材料的蒸汽压力。作为挥发性有机化合物挥发的半水基清洗剂材料数量相对较少，且是易变的。确切数量取决于设备类型、尺寸及操作条件。确定因蒸发造成的损失的最佳方法就是要考虑到清洗过程的质量平衡。计算挥发性有机化合物材料每天损失的最简便方法就是先计算出清洗剂每天的损耗量，然后乘以清洗剂配方中VOC材料的比例，该比例可以从材料安全数据表（MSDS）中查找。每天清洗剂损耗量等于加入清洗机的半水基清洗剂数量减去通过倾析器从清洗机排除的清洗剂数量，再减去在冲洗水中的清洗剂数量。

实际排放的挥发性有机化合物， $\text{kg/day} = \text{清洗剂中VOC}\% \times \text{制剂清洗剂损耗, kg/day}$

其中：

清洗剂损耗 $\text{kg/day} = A - B - C$

其中：

A = 添加的清洗剂 kg/day

B = 从倾析器去除的清洗剂， kg/day

C = 排出冲洗水中的清洗剂， kg/day

其中：

排出冲洗水的清洗剂， $\text{kg/day} (C) = D \times E$

其中：

D = 冲洗水中的清洗剂浓度， kg/liter

E = 排出的冲洗水量， liters/day

通过确定冲洗水中的化学需氧量（COD）可以很容易地测量冲洗水中的半水基清洗剂浓度。COD与浓度成正比。对于大多数半水性清洗剂，将测得的COD值除以大约2.5，可确定半水基清洗剂的浓度（以百万分之几计算）。

鉴于清洗机和运行参数不同，挥发性有机化合物的排放量差异很大。一个典型的在线机，可能每小时会排放约半公斤的挥发性有机化合物。可通过标准VOC控制技术降低挥发性有机化合物的排放量，标准VOC控制技术包括除雾器、排气线上的禁区、洗涤器和冷凝器。在考虑选择清理过程时，用户必须仔细权衡挥发性有机化合物的成本。基于碳酸盐和硫酸盐等清洁化学品的无机材料，不具有蒸汽压力，所以不会用这些材料作为排放曲线的一个因素。

11.6.6 温室效应 半水基清洗剂不排放大量的温室气体。因此，在美国它们未受管制，但在其它国家可能受到管制。尽可能减少挥发性有机化合物的排放量也应该尽量减少任何潜在的问题。用户应该遵守任何适用的法规。

12 水基清洗剂、清洗设备和清洗工艺的整合

从二十世纪五十年代业界就开始使用水清洗电子/电气部件和组件。在清洗媒介、工艺技术/条件和应用设备方面的革新优化给清洗家族带来了许多可供选择的方法，而之前这些清洗过程是采用ODCs或者其它溶剂及“非化学”过程来完成的。

与任何其它技术一样，水的清洁有它的局限性和特殊性，选择清洗方法之前必须了解这一点。对于即将使用这项技术的用户也必须清楚，没有通用的清洗方法。但水清洗是能够解决广泛的电子组装和当前的行业需求所要求的预先包装清洁要求部分。

在清除极性（可电离的）材料方面，水是一种比有机清洗剂更好的液体，但它对大多数非离子材料，如松香、树脂及在许多助焊剂类型中发现的合成聚合物等，水是差的清洁介质。为了去除大多数非离子脏污，水基清洗剂在设计制造时加入溶剂、催化剂、功能性添加剂。

在组装过程中的主要应用领域包括：

- 去除松香、树脂和免清洗焊接后的助焊剂残留物。
- 去除焊接后水溶性有机酸助焊剂。
- 涂覆、粘结、密封之前的精细清洗。
- 清洁丝网、模板、焊接设备控制板和其它应用工具。

12.1 范围 本章节阐述了焊接后清洗电子/电气组件、封装、元器件和应用工具时所用到的水基清洗剂、水基清洗设备以及工艺整合。

12.2 目的 本章节的目的是提供水基清洗剂、清洗设备、工艺整合的基本理解，并为水基清洗技术的用户或者潜在用户提供关于水基清洗制程的选择或者改进的指南。

12.3 术语和定义 在本手册中使用的所有术语和定义均符合IPC-T-50。对于问题的讨论至关重要的其它基本术语和定义会在本手册中以下相应的位置提供或者定义。

12.3.1 水基清洗 使用水基媒介的清洗过程，包含采用超过一半的水用于洗涤和采用水进行后续冲洗两个过程。

12.3.2 洗涤 通过化学和物理作用从表面清除不需要的杂质（污染物）的初级清洗操作。

12.3.3 冲洗 通常紧随洗涤步骤之后的清洗操作，此步骤是通过稀释模式使水取代所有的残留污染物。

12.3.4 干燥 从已洗涤和已冲洗的部件上除去表面和/或者已吸收的水分的过程。

12.3.5 表面干燥 去除表面的水。

12.3.6 去焊剂（助焊剂清除或者焊后清洁） 去除助焊剂和副产品的清洁过程。其它目的是去除工艺残渣及生产过程中如水溶性掩膜等辅助设备使用的材料。板或者组件的装备过程或者其它作业留下的杂质可能会或者可能不会在这个过程中被去除。

12.3.7 精细清洗 去除由于去焊剂和/或者通过去焊剂或者其它的预清洁操作来提高表面清洁度而引入的杂质的最后清洗步骤。为提高敷形涂覆的附着力和/或者其它后焊接组装工艺达到要求的污染物水平，可能需要精细清洗。

12.3.8 丝网和模板清洗 从应用的工具中清除未使用的焊膏/助焊剂以使其保持在再使用时可接受的条件过程。

12.3.9 半水基清洗 使用未经稀释的有机溶剂洗涤和水冲洗的清洗过程。

12.3.10 有机溶剂清洗 使用有机溶剂洗涤和冲洗的清洗过程。有机溶剂通常被称为“溶剂”。

12.3.11 功能性添加剂 与阻焊剂以及其它工艺残渣不会起化学反应的化合物。这些添加剂可能有助于降低表面张力、协助清除不溶于水的残留物、控制泡沫或者抑制洗涤介质对组成材料的损害。

12.3.12 活性添加剂或者反应物 水溶性化合物是由洗涤液清除的污染物的化学反应生成的。例如螯合剂、皂化、封存或者化学中和剂等。

12.3.13 水介质中有机溶剂的乳液 均匀分散在水中的有机溶剂。

12.3.14 手动清洗 清洗的步骤部分是由操作员手动处理。

12.3.15 批清洗 按受控生产时间周期的多个部件或者一个部件的不同批分组进行的清洗。

12.3.16 在线清洗 由传送带速度控制的部件连续在输送带上和生产周期时间不间断的清洗方法。

12.3.17 皂化 酯在碱性条件下水解，生成醇和羧酸盐。

12.3.18 pH值 溶液的酸度或者碱度的鉴定方法。当pH值低于7时溶液是酸性的，当pH值大于7时溶液是碱性的。

12.4 水清洗背景 自从20世纪60年代水基清洗方案已被用来清除那时常用的助焊剂里的松香脏污。现在，应用需要带来助焊剂技术的革新。由于免清洗焊剂和无铅焊接使用的助焊剂具有更复杂的成分，通常也会产生更难清洗的焊剂残留物。市场向潜在用户提供了许多不同的清洗剂配方的选择，这些清洗剂对于清除大规模集成电路技术使用的很多焊接材料都是非常有效的。

12.4.1 历史 1988年9月签订了《蒙特利尔议定书》之后，水基清洗剂（有机和无机的）得到迅速发展，甚至成为取代氟氯化碳（CFC）材料的前沿性选择。用水而不是溶剂来清洗组件为清洗场所、工人安全及环境方面都带来了优势。

自从1988年，不仅水基化学发展了，而且助焊剂和部件的几何结构都有巨大的改进。今天这些先进的封装使清洁领域面临许多挑战。水基清洗剂通常的用法，是有效地去除元器件下方的小于10mil的残留，较好控制去焊剂工艺，经常可以去除小于2mil的残留。组件是由数以百计的微电子器件组成，器件间的间隙很小。不管是有铅还是无铅，助焊剂配方的演变受到几何形状的挑战要求更加注重清洁过程。现代助焊剂残留物在提高印刷和焊接工艺的同时，如果残留下来，它们往往会更加难以清除，并能引起可靠性问题。

随着臭氧消耗异常，环境问题和工人的安全问题，从来没有像今天被完全理解或者规管。挥发性有机成分（VOCs）规则，例如在加利福尼亚州和新泽西州就是一个关注的焦点。清洗剂制造商不仅要面临清洗的挑战而且还有与控制废气和废水管理相关的环境问题。虽然在过去的几十年电子行业的清洗需求继续变得更具挑战性和复杂性，然而现代清洗技术成功地满足了工艺清洗需求。清洗剂供应商继续研究、实验和开发新的清洗剂设计，也已经写了和/或者出版了许多有关具有通用残留物的微型元器件的清洗需求（包括无铅工艺）方面的论文。我们也看到了在清洗设备的功效方面的重大改进。在这个时间点，对废物处理和密切循环技术是相当好理解的。

自1988年以来，现有的水性清洗剂成功地清除了广泛的残留物。虽然今天的清洗剂制造商，很多人还不太热衷于水清洗的早期阶段，但是它们提供了大量的研究和数据，以继续满足不断演进的技术。

12.4.2 水基清洗工艺概述 清洁的目的是去除零件表面的外来杂质，以避免对产品的性能和外观上造成不利影响。清洁丝网和模板是为保持其最佳状态以方便再次使用。

所需的清洁程度可能会因产品类型和性能需求有所不同。丝网和模板通常清洗到“视觉清洁”的状态。部件清洁必须能够消除可见与不可见的污染物，如离子化的材料及可能会干扰润湿性和粘合性的残留物。对于电子组件，“视觉清洁”的外观可能会达到令人满意的外观标准，但确保产品性能方面可能不会令人满意。因此，通常采用半定量和定量测试，以确认清洗过程中的目标得到满足，在清洁中“性能设置要求”是首要目标，其它目标也必须设定和实现。清洗过程中不得损坏已清洁的部分，清洗必须在实际和符合成本效益方面能够完成。应用的清洗工艺也必须是安全的以及与环境相兼容。

水本身是一个非常安全的材料，不会损坏电子组装过程中使用的大部分部件。水在安全和健康方面不存在任何问题。使用低离子浓度的DI水在某些情况下可能影响表面。另外，零件清洗后水必须被清除，因为湿气的存在可能会干扰电气性能，所以干燥步骤必须是水基清洗过程中的一部分。在所有的清洗过程，需要检查零件的兼容性和冲洗的敏感性。必要时，应该检查这个设计以确保敷形涂覆足够干燥。适当的安全和健康津贴是必须的（见第9章）。

当选择一个清洗工艺时，必须考虑许多因素。处理产量、劳动力、空间要求、洗涤/冲洗介质、搅拌方法、应用条件和设备的功能都必须考虑到。

总之，清洗工艺设计的目标是对产品没有损害，采取可操作的、有竞争力的成本、安全和环保的方法，从零件表面清除不需要的物质（工艺残渣）。

12.4.3 水基清洗过程的流程图 大量的清洁步骤是在电子组装制造过程中完成的，即使它是一个“免清洗”的过程。传统的清洗过程通常涉及波峰焊后以及再流焊后的再次清洗。然而，在传统的“免清洗”的组装过程，焊接后清洗不是生产步骤的一部分。传统的“免清洗”的制造商经常采用水基清洗工艺，印刷错误、手工焊接（包括返工）、组装工具（焊锡托盘、输送手指、丝网和模板）和敷形涂覆前的临时清洗。以下是一个水基清洗工艺的形象过程图。

12.5 水基清洗剂技术 电子组装水基清洗材料旨在消除一系列助焊剂的技术，包括有机酸、松香、树脂和来自混合技术电路板结构聚合物。水基工程清洗剂的设计挑战是制定一个材料矩阵，能够协同去除离子和非离子型污染物。助焊剂配方根据其具体的设计标准有很大的差异。基于这个原因，各种清洗剂需要被用来更好地“匹配”其中某一种或者其它助焊剂，尤其是那些新的和前沿的助焊剂材料。为了应对这一挑战，作为通用溶剂的水与不同材料结合来清洁多种类的脏污。第二个挑战是水基清洗剂需要与产品硬件相兼容。最后一个挑战是围绕各种清洗设备做水清洗剂的设计。为了实现类水基清洗剂的最佳，将溶解、活化、润湿、腐蚀和泡沫控制如同积木艺术一样开始熟练组合使用，最终结果产生最具挑战性的电子组件和先进的封装的清洁材料。

12.5.1 溶解力 溶解是一个过程，通常是溶解固体，与水基清洗剂形成均质混合物的一个过程。非极性的松香、树脂和合成聚合物是不溶于水的。为了克服这种局限性，能够溶解常见的残留物类型的溶剂化材料被添加到水基溶剂体系里。在溶解极性离子盐方面，水也起着重要的作用。水与添加剂的独特组合在溶解非极性和极性的脏污方面被证明是非常有效的。

洗涤温度的热效应可提高溶解的速度。随着洗涤温度的上升，助焊剂残留物形成的晶体开始成为流体和软化。添加到水基洗涤溶液中的溶剂化材料的特性使软化的助焊剂溶解到水基清洗剂中。

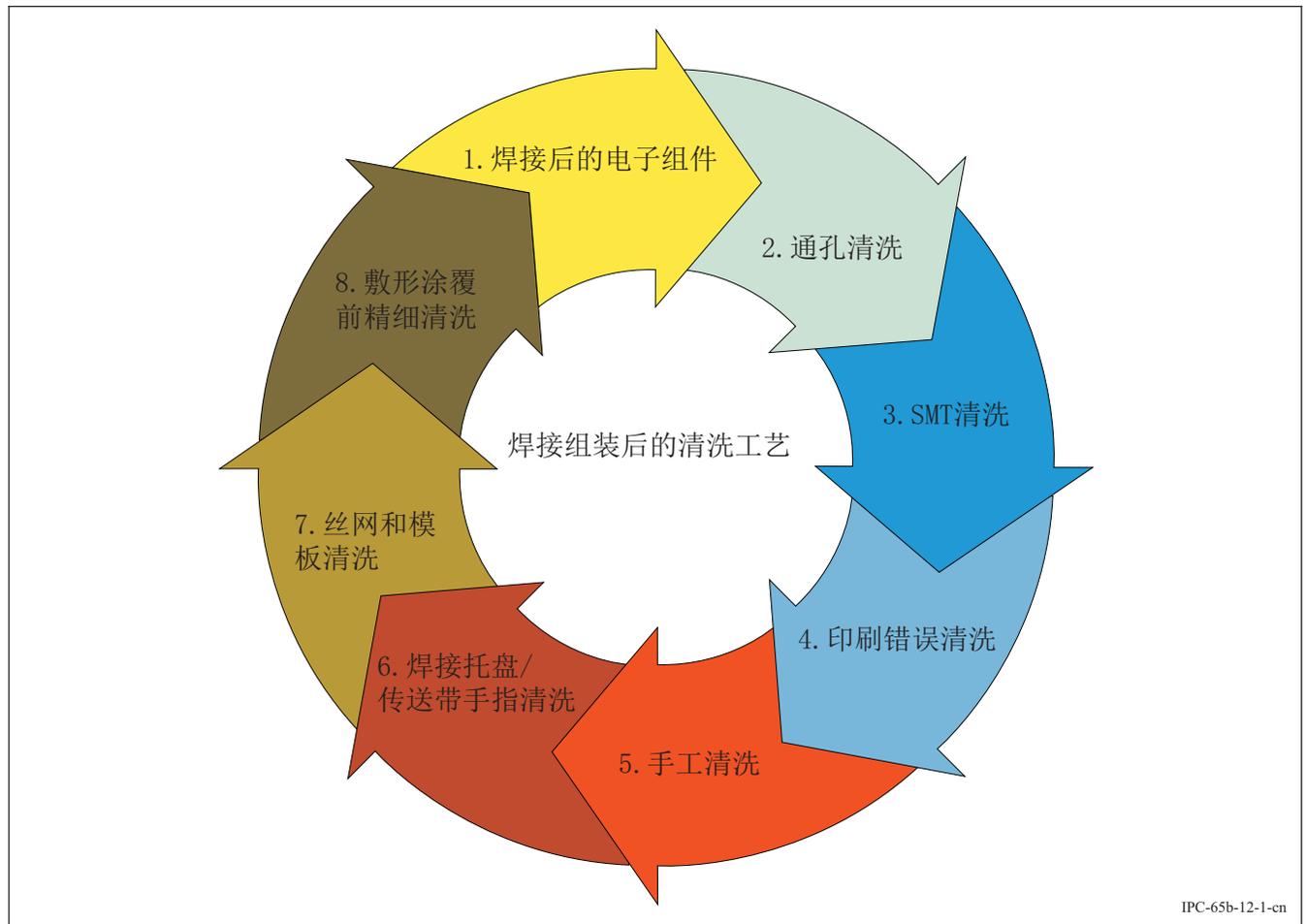


图12-1 焊接组装后的清洗工艺

用户应该意识到逆温度溶解性。如上所述，清洗剂配方的工作温度是提高脏污的溶解度，然而，在达到某个温度点溶解度开始下降。这种行为称为逆溶解度系数，这就解释了为什么许多配方最佳操作温度为60° C [140° F]。当设计师在为较高的焊接温度及由无铅焊剂和焊膏随之产生的难以清洗的残留物设计清洗剂时，必须牢记“今天的清洗剂配方”这一点。

用户可能还会注意到，在运行一个新鲜的化学槽时，初期清洗槽的效率可能会出现提升。这看似矛盾的影响是由于洗涤槽中存在的脏污，溶解的脏污可能影响溶解力，事实上提高了“相似相溶”的假象。同时，监控清洗槽是必需的，以避免过高的脏污水平。

12.5.2 活化剂（反应物） 传统的水基清洗剂，通常被称为“皂化剂”。皂化是碱性源与助焊剂残留物的水解。酸基的反应规定了水基清洗剂体系的清洗率和助焊剂溶解及负载量。

如前所述，仅仅水对松香、树脂和合成聚合物不是一个良好的清洗剂。活化剂有助于打破助焊剂的晶体结构。来自多个协作性能的水基清洗剂的工程价值是促进溶解，而不会引起材料的兼容性问题。活化剂的碱性本质能与软金属、层压板、涂料、油墨及一些塑料起反应。为了克服这些负面倾向，其它材料可以添加到清洗剂中以钝化和腐蚀保护。

活化剂也有助于形成一个稳定的洗涤液，并增加洗槽的寿命。助焊剂残留是酸性的。洗涤液中添加酸性助焊剂可以使洗涤槽呈酸性范围。这可能会导致非挥发性助焊剂脏污在冲洗过程中被洗出，并沉积到零件表面。管理洗涤化学品时，活性物可以与弱酸反应缓冲水基清洗溶液。当助焊剂加到清洗槽中，这种有益的属性可以防止洗涤化学品的pH值急剧转变。这一重要特性延长洗涤槽的寿命，并在冲洗和干燥处理步骤，防止助焊剂固体再沉积在表面上。

12.5.3 功能性添加剂 现代清洗剂在消除电路组装过程中的助焊剂残留物执行多种功能。此功能可能是在开发过程中通过在清洗剂中添加各种材料来实现的。使用这些添加剂以降低表面张力，提高润湿性，防止金属合金氧化，防止起泡及乳化清洗剂配方中使用的材料。添加剂的添加能为清洗剂带来非常有益的性能，在许多方面，也成为区分不同的供应商提供的产品的根据。

12.5.4 表面张力 前沿电路组件分布密脚组件提高了表面密度。组件的小型化使部件间距很小和低或者零托高。为了清洗液渗透到这些高密度区域，设计出流体旨在改善润湿和渗透。通过液体表面界面的吸收，表面活性剂降低水的表面张力，表面活性剂与亲水性和疏水表面颗粒保持良好的接触。这样，水滴的表面张力降低，使得小间距间的渗透得以改善。

12.5.5 粘度 粘度是对流体阻力的测量。对于密集组件下渗透和流动，清洁成分的粘度要低。这样可以减少在组件间穿透内部流体的摩擦阻力。

粘度、表面张力和密度之间的关系可以用润湿指数来说明：

密度×1000 / [表面张力×粘度]=润湿指数，用简单的1至3位数字表示。下表说明了纯净水、皂化剂、2-丙醇和2-丙醇/水（75/25，体积/体积）混合使用离子测量之间的关系。水和2-丙醇的值可以从标准手册查得，而混合值是在分析实验室确定的。清洗剂代表6%商用单乙醇胺（MEA）皂化剂溶液。

表12-1 展示了一个设计的清洗剂改善润湿性及在清洗具有低托高组件的辅助作用。

表12-1 清洗剂

清洗剂	25°C下的液体密度 (g/cc)	液体粘度 (厘泊)	表面张力 (dyne/cm)	润湿指数
工程用的水基清洗剂	0.998	1.08	29.7	31
2-丙醇	0.785	2.4	21.7	15
水	0.997	1.00	72.8	14
2-丙醇/水（75/25 体积比）	0.856	26.8	3.44	9

重点：高润湿指数=更好的润湿性。（该表表明了具有相同或者接近相同的润湿性能的配方的洗涤和冲洗值，以达到最佳清除残留物的洗涤配方。）

12.5.6 缓蚀 尖端电路组件是由很多不同的合金组件组成的。被用作电子互连设计的焊料合金是用具有不同应用的不同合金设计的。常见的合金包括锡、铅、铜、铋、钢、银及其它。除了焊料合金，组件是用一个广泛的电镀金属和合金构建的。添加剂可以添加到水基清洗剂中，以抑制或者控制金属表面的氧化速度。

碱性物质可能与不同类型的金属以不同的速度发生反应，其程度决定于碱度源的碱性、清洁槽碱度水平、洗涤温度和接触时间。为了减少对金属或者合金的腐蚀速率，腐蚀抑制剂在金属表面上形成一层薄膜，以阻止碱性活化剂与合金发生反应。缓蚀剂的适用性取决于许多因素，从它们必须反应的材料体系到水基清洗的本性、设计和操作温度。

水基清洗剂中使用的碱性物质可能与电路组装使用的一些合金和防护涂料起反应。随着较低水平碱度（如中性pH值）有较新工艺技术，可能会改善这种状况。清洗剂与这些合金的相互作用会引起外观上的变化，最显著的是部件变色。金属合金有特殊的变色问题。

- **锡铅焊料** 碱性强的清洗剂，在某些情况下可以清除焊点表层的软组织，会使洗涤槽里碱性水平、洗涤温度和接触时间变得更糟。影响表现为焊点的外观变暗、发蓝、发灰和黑色的外表。
- **无铅焊料** 碱性物质对高铅合金的影响不太明显，但在某些情况下，结果可能会是发暗和颗粒状的外观。

- **铝（白色金属）** 含铜2000系列和含锌7000系列的敏感铝合金因受清洗过程的不利影响，铝会发生变色。碱性清洗剂可能与长期暴露的表面铝合金发生反应。较长的接触会产生一个白色的、参差不齐、明亮的橙色和沉闷灰色的外观，影响洗涤温度和接触时间。
- **铜/黄铜（黄色金属）** 铜变色发生在任何黄色的金属，包括铜、黄铜、青铜或者铍铜变暗或者在清洗过程中金属氧化或者失去光泽的颜色变化。高度抛光的表面较粗糙的表面有更加明显的颜色变化。一些碱性清洗剂更容易促进黄色金属失去光泽。

通过引用Pourbaix图（电位/pH图），电子元器件暴露于水基清洗溶液中的潜在风险是可以理解的。电位/pH图映射出特定的合金可能的稳定状态。突出的离子边界效应用线性表示。Pourbaix图（电位/pH图）鉴别了所选合金机体的免疫力、抗腐蚀性及钝化。

12.5.7 消泡剂 在一些工艺条件中需要消泡剂，以减少或者阻碍泡沫的形成。高能量清洗机以极快的速度使清洗液旋转。对泡沫的部分一方面的影响是，在这个动荡的过程中，清洗液有一种倾向是组织微小的气泡形成。另一方面，一些化工原料比其它更容易形成泡沫。泡沫可能会导致显著的工艺问题，如泵空化、高水平的条件下触发、减少压力、过流及清洁不干净。过多的泡沫也可能导致冲洗效率低下，导致不期望的助焊剂残留物和清洗剂残留。

12.6 水清洗产品设计 在焊锡后水溶液清洗，洗涤媒介完全是水或者水加部分有机和无机原料。根据IPC的定义，当添加剂应用于水基清洗时，至少50%是水，在大多数情况下，水超过洗涤槽容量的80%。去焊剂的主要成分为水，利用水中的离子作用水作为首选的去焊剂的材料，离子残留物是一种电化学失效的主要因素。

无添加剂的水不能去除松香和免清洗助焊剂残留物。虽然水本身往往是良好去除有机酸（水溶性）助焊剂，在遇到硅渣、非极性、非离子型的脏污或者密间距时添加剂可能是需要的。当使用水溶性助焊剂，过多的泡沫是一个相当普遍的问题，这些类型的助焊剂含有少量的表面活性剂。这种情况通常通过增加去发泡剂去加以控制。

不同于洗涤介质，仅仅无化学添加剂的DI（去离子）水 通常应该被用于冲洗电子线路板。冲洗水的作用是去除残留但自身不会有残留，冲洗水中的任何添加剂或者盐都违反这一目的。同样，根据冲洗水的硬度（例如， CaSO_4 -这是“盐”），干燥后可能会在电路板上留下离子残留物。因此，质量好的去离子水是首选的冲洗介质。

12.6.1 清洗剂与脏污的匹配性 工程的清洗剂在消除松香、免清洗和有机酸的助焊剂残留物时是非常重要的。应用于电路设计和封装中的各种助焊剂类型会产生具有不同材料特性的残留量。助焊剂残留物中含有大量的分子，需要清洗剂与脏污的性质匹配，换言之，相似相溶。如今随着大范围的助焊剂包的使用，水性清洗剂设计具有不同的特性，吸附并溶解可疑的助焊剂残留物。同样，目前组装使用的助焊剂残留物，没有一种清洗剂是最好的。大多数现代清洗剂能够消除各种各样的助焊剂残留物。

12.6.2 去离子水（DI水） 不含任何添加剂的水被用来去除水溶性助焊剂、颗粒、离子污染物造成的残留。这些助焊剂被设计为单独用水可以清洗。然而，所有残留物彻底清除是极为重要的。水溶性助焊剂的非常强的本性就是短时间内可能导致腐蚀，除非这些残留物被完全去除。必须尽一切努力，以确保地区狭小的空间如部件下方残留物被清除。水的相对较高的表面张力，可以应对密集组件间距或者低托高的挑战。对于很多操作，无添加剂的水可以使零件的清洁度达到要求的水平。成功取决于器件本身的性质、设备效率和焊接与清洗间隔的最小化。洗涤温度通常在 $50^\circ\text{C}\sim 65^\circ\text{C}$ [$122^\circ\text{F}\sim 150^\circ\text{F}$] 范围内。

12.6.3 中性水溶液 模板清洗工艺使用的pH值中性的化学试剂已存在多年并继续发展。最近去焊剂使用的pH值中性的化学试剂（pH值 7.0 ± 0.50 ）被引进以努力提高材料的兼容性和绿色材料的性能。关于它们的清洗效果，当与碱性清洗剂相比时，在使用相似的工艺条件及浓度水平（例如，5-15%）下，这些产品是与脏污相匹配的清洗剂。它们的清洁机制不同于传统的、在碱性清洗剂中很常见的酸碱反应。pH中性的清洗化学品更依靠如螯合能力和溶解能力完成清洗。对锡膏和助焊剂的清洗效果需要由初始的清洗评估确定。在完成所需的清洁任务的同时，当今的各种可用的清洗技术融合了多种技术，以减少大量的碱度包的需求。

pH值低于7的溶液被认为是酸性，pH值大于7的溶液被认为是碱性的。当用户开始考虑当前或者未来的清洗剂的pH值时，它们应该牢记以下区别：

- pH中性配方可为敏感材料和贵金属提供更广泛的工艺窗口。后者的关注已经在过去的碱性产品得到证明，并可能通过消除或者减少碱性原料来克服。
- pH中性配方可改善废水管理系统，因为它消除了废水中和化。至于依赖螯合作用的pH中性清洗剂，这种清洗剂可能含有复杂的重金属。请参阅第9章污水排放中金属的限制。鼓励用户分别检查它们的法规和pH值中性的缓冲系统和碱性产品技术，因为在处理期间污染物可能影响清洗剂的pH值。

鉴于碱性去焊剂介质的成功，pH中性清洗剂代表了向组装清洗发展的一个不同方法。关于其对锡铅、无铅、免清洗和松香助焊剂残留物、清洗槽寿命和过程可靠性方面的有效性还需要再学习。

12.6.4 皂化清洗剂 碱性清洗剂已被使用了几十年。由于皂化清洁以有效去除RMA和OA脏污而闻名，原有的技术被定格为“皂化清洁”，它们表现出非常短的槽寿命、高pH值和日常的对焊接成品的侵蚀。因为这些皂化清洗剂有局限性，导致在20世纪90年代初引进了半水基清洗剂以代替CFC。然而，高水平的制程控制往往要与围绕半水基清洗剂设计的过程联系在一起。现代的水基产品要响应更简单、更坚固、过程更容易控制的要求而开发设计。

现代水基材料本身是碱性物质。然而，在这些新材料解决那些老皂化清洁有两个主要关注的问题：

- 更好的溶解组合缩短清洁槽寿命。
- 通过温和的激活或者抑制，以防止对焊锡的侵蚀。

在免清洗焊接发明之前，近代早期的水基性材料进入市场，应用于清除沉积的RMA类脏污。它们的pH值范围通常是9或者10，在旧的技术平台在11或者12的范围内。在世界各地许多供应商对这些现代的水基清洗剂做很大地创新和改进。

这些创新趋向于集中在几个关键问题：

- 延长清洗槽寿命。
- 与焊料以及其它组成材料有更好的兼容性。
- 随焊料和助焊剂技术的不断革新表现良好的性能：免清洗、无铅、无卤素、无卤化物。
- 降低使用成本。

这些碱性的技术平台已被证明在许多不仅是大多数制造业应用的强劲。

一般情况下清洗剂依赖于应用的程序和使用的工艺可以提供不同的反应水平。传统的皂化清洗剂联合了弱碱性、溶解性和功能添加剂，能有效地清洗助焊剂残留物。在这些情况下反应取决于碱性清洗剂表现的水平，碱性源本身可能是有机或者无机的物质。有多种方法可用于生成皂化的水基型电子组装清洗剂。为了清楚起见，将分为三类来讨论：

- **水基高反应型：**产品含有高的碱性基（注：有几个常用的碱性结构的配方），皂化助焊剂残留物以改善脏污清除率。高度皂化的水基清洗液的好处是降低清洗液浓度及与松香、树脂和弱有机酸的强

烈反应。高度皂化的水性清洗液的平衡能够潜在的增加材料的兼容性问题、缩短槽液寿命及降低许多新的助焊剂设计中使用的聚合物和高分子树脂的清洗效力。

- **水基中反应型：**产品同时有溶解和皂化。中性反应配方设计将高的溶解力和反应力结合以提高清洗速度。中性反应水基清洗液的好处是改善了材料的兼容性，延长槽寿命和提高了助焊剂残留物中的树脂和聚合物的清洗效力。需要权衡的是降低槽寿命和降低无铅助焊剂中使用的高分子量树脂和聚合物的清洗效力。
- **水基低反应型：**产品具有溶解力和低皂化水平。由于低反应配方设计使用了与许多助焊剂中常用的松香、树脂及聚合物溶解度参数相近的溶剂，所以改善了清洗速率。低反应型水基清洗液的好处是槽液寿命长、材料的兼容性好、对共熔和无铅助焊剂残留物的清洗效率高。由于高溶剂化能力和良好的材料兼容性，水基低反应型提供了一流的技术。

12.6.5 水的有机溶剂乳液 这种清洗技术在水中以乳液的形式使用完全非可混有机溶剂。溶剂乳液能够消除松香和其它非极性材料，水基部分能够溶解水溶性残留物。

在这个过程中，所用控制量的有机溶剂与洗涤室的水混合，在洗涤槽里溶剂液滴很好地分散在水中形成“乳状液”，最后被喷到待清洁的部件上。洗涤循环过程中，已喷射的溶剂/水的混合物流回洗涤槽持续被乳化。

总体而言，这一进程的概念，是将有机溶剂清洁与水清洗所固有的优势结合起来。使用的有机溶剂相对较高的沸点，较低的蒸汽压力，减少了挥发性有机化合物的排放量。水媒介中少量的有机溶剂，通常也不会存在火灾或者爆炸隐患。

12.7 水清洗剂设计以支持特定的工艺 清洗率定理的过程，认为静态速率（残留物在清洗剂中的溶解度）加上动态速率（热和机械能）等于工艺清洗速率。静态清洗速率代表了清洗剂对残留物的内聚能特性，与清洗剂具有相似溶解度参数的脏污易于混合和溶解于清洗剂中，清洗剂的溶解度参数与它们各自的溶解度参数有很大不同。基本原则遵循Hildebrand and Scott（1950）定理-“相似相容”。如果清洗剂与脏污的溶解度参数不匹配，即使应用高的机械力也通常不能清洗干净脏污。

12.7.1 台式清洗 对于小批量生产如样机加工或者偶尔的焊接修饰，对助焊剂的去除，可以采用小清洗槽或者湿刷来完成。对于这样的操作，应该使用纯水或者软化水洗涤和去离子水冲洗。将水加热到高于室温达到50° C [122° F]是有益的。应该避免使用含有添加剂的水进行清洗，因为手动冲洗可能无法完全清除添加剂。

12.7.1.1 刷洗 水结合有机溶剂可用于刷洗清洗返修。IPA/水已经被普遍使用在这种方式中。当使用刷洗步骤时，与助焊剂残留物内聚能参数相似的有机溶剂和水膜能够形成适当的清洗剂。

12.7.1.2 擦洗 湿擦洗用于过程和维护清洗。类似于刷洗，与有机溶剂相混合的水可用于模板清洗、回流炉清洗、托盘清洗、机器清洗及其它维护应用。

12.7.2 模板清洗 模板清洗演变以满足高价值的表面贴装技术的清洗要求。模板清洗过程是一个多维度的清理过程，用于清洁模板（焊膏和SMT粘合剂）、错印的SMT电路板、焊接前和回流锡膏的双面错印。表12-2列出的模板清洗剂产品设计。

12.7.2.1 模板清洗使用水基无冲洗 水与有机溶剂相结合提供了一个功能性的清洗剂去除模板和印刷错误的印制电路板上的未固化焊膏。

12.7.2.2 模板清洗使用冲洗水基 带有温和的碱性源和功能添加剂的水基清洗剂能够有效地去除未固化的锡膏，但缺乏了去除未固化的SMT粘合剂和焊后锡膏的性能。

表12-2 模板清洗剂设计

清洗剂设计	技术基础	PH值	冲洗	机械设计	脏污
水基无冲洗	水+溶剂	中性	新鲜清洗液或者水	超声波或者空气喷射	焊接前焊膏、部分回流助焊剂残留
水基有冲洗	水+无机溶剂+功能性添加剂	碱性	DI水	超声波或者空气喷射	焊接前焊膏
水基有冲洗	水+活性剂+溶剂+功能添加剂	碱性	DI水	超声波或者空气喷射	焊接前锡膏和回流助焊剂残留物

12.7.2.3 模板清洗去除未固化的焊膏和芯片焊接机粘结剂 与活化剂、有机溶剂和功能性添加剂相结合的水提供了一个多功能清洗剂，以消除主要的未固化的焊膏和SMT粘合剂。有机溶剂的基础部分溶于水，部分可溶的有机溶剂润湿非极性粘合剂和一部分助焊剂残留物不溶于无添加剂的水，水携带溶剂有助于冲洗掉不必要的残留物。

12.7.3 水基去除未固化的焊膏和双面印刷错误 为了满足既能去除未固化的焊膏、未固化的SMT粘合剂，又能去除回流助焊剂残留物的多功能清洗能力的需求，而精心设计具备上述特点的清洗剂是必要的。

12.7.4 批清洗 典型的批处理设备使用空气喷雾和浸泡的设计。水基清洗剂被设计成具有基于脏污的不同功能的添加剂、设备类型、材料的兼容性及其环境问题。由于清洗组装件需要较长的洗涤时间，所以材料兼容性是批加工需要关注的一个问题。在某些情况下，水槽旁边抑制剂用于解决材料的兼容性问题。

12.7.5 浸入式超声波 各种水基清洗剂产品设计可用于浸泡超声波清洗流程。在超声波系统，在相同的温度、相同的清洗剂，使用不同的清洗力如喷在空气中，表现往往是非常不同的。有效清洗是设备使用的功率密度和频率的函数。评估清洗剂在清洗过程中始终是重要的。使用预期的超声参数测试清洗剂显得尤为重要，我们的目标是使用清洗剂达到有效清洁的一致性，但在这个过程中避免表面侵蚀。用户应该侧重于性能和冲洗性特点。

清洗剂的设计必须以这样的方式，清洗在超声波的有效性最佳温度附近效果最优化。低于最佳温度，物理性质、化学性质、包括清洗剂的密度会阻碍超声波气穴现象。高于最佳温度，随着蒸汽在空化气泡水平的提高，有效的内爆阻碍了清洗效果。

12.7.5.1 浸泡喷流 水基清洗剂设计浸泡喷流类似超声波的设计。清洗设备严重影响清洗剂的设计。

12.7.6 浸入式离心 离心力的作用加速清洗剂在零件表面分布。为保持过程的一致性，清洗剂必须一直使用。独特的工艺产生离心力协助清洁步骤。除了吞吐量的缺点，这个过程可以实现高洁净度水平和对部件下的清洗出类拔萃。

12.7.7 喷淋（单腔体的或者多腔体的） 设计用在批和平面清洗设备中的水基清洗剂，根据污染物、材料兼容性和环境方面的考虑，通常需要含有功能性添加剂。由于喷淋存在阴影及流体作用力存在非直接性，批清洗工艺通常需要更长的洗涤循环时间。材料兼容性是一个重要的水基清洗剂的设计考虑。此外，功能性添加剂也可被用来预防和消除泡沫。

12.7.7.1 在线式喷淋 为在线式空气喷淋工艺所设计的水基清洗剂非常多元化，工程设计目标是设计对广泛脏污类型残留有效的助焊剂。由于设备和系统功能密度的增加，水性清洗剂的作用就显得更为重要和难以取得。为了达到过程的需要，水性清洗剂的设计含有溶剂化材料以溶解脏污，软化

基体，如果需要的话，添加剂可以起到浸湿、消泡，并抑制腐蚀和电路组装的组件的损伤。由于电路设计日趋复杂，清洗剂功能性的增加显得日益重要。

12.7.7.2 在线式底部喷流 用于底部喷流的水基清洗剂的设计，与批清洗工艺类似。在线工艺需要在短时间及在没有强大机械力的情况下能有效去除脏污。

12.7.8 维护清洗 水基清洗剂在组装过程中的各个阶段都被需要用来清洗过程材料。过程设备、托板和夹具都必须定期清洗。

12.7.9 波峰焊定位装置清洗 助焊剂残留物会在波峰焊机的机械爪上残留和变干。当在制程中用了水溶性助焊剂时，水基定位装置清洗剂通常被用来清洗机械爪。水基清洗剂也是与松香、免清洗焊剂有很好的匹配性。

12.7.9.1 波峰、回流和空气过滤器清洗 过滤器沉积的松香脏污需要定期清洗。水清洗剂是为清除重松香而设计的，水基清洗剂必须设计成支持清洁设备和脏污类型。

12.7.9.2 托盘清洗 水清洗剂对沉积在波峰托板上的松香清洗很有效。与其它工艺设计一样，水清洗剂必须设计成支持清洁设备和脏污类型。

12.7.10 水基清洗设备 电子组装清洗需求是基于应用、客户、返工和在这个过程中的整体步骤考虑的。基于产品整个生命周期可靠性和功能性问题清洗是需要的。清洗设备是根据应用需求设计的。清洗应用需求可能来自于台式清洗、批清洗和高产量连续清洗工艺。

12.7.11 批清洗设备 批清洗设备代表了全球绝大多数已安装有电子组装的清洗工艺，且包括了几个具体的清洗技术和产能。批清洗机历来被认为对高组合的产品环境是合适的。各种空气喷射、浸泡喷射、超声波、离心方式代表几乎所有的现代自动除焊剂技术，都在批量清洗中得到应用。批量或者其它清洗机方式的选择是基于一组可预测的因素，如吞吐量的需求、特定化学方法的选择、资源可用性（水、电、空间）和周围的环境如噪音、所需的外围设备、气味等。

12.7.12 批浸泡 批次浸泡清洗设备是将一系列的单独清洗缸或者一系列的清洗模组进行整合。部件通过手工或者自动化从一个清洗缸到另外一个清洗缸进行清洗、冲洗和干燥。根据零件尺寸和吞吐量要求，可以提供各种尺寸的清洗缸。清洗缸的数量取决于所使用的化学物质和所需的清洁程度。水清洗通常使用一次清洗、两次冲洗和一次烘干。一些批量小的情形或者这些情形没有高清洁度要求可能只使用一个单一的冲洗。对一些关键产品，会采用多个洗涤槽和额外的冲洗槽。

在这些系统中搅拌通常使用超声波能量或者“浸泡喷射（SUI）”。根据传感器的位置，超声搅拌可以做得对形状很敏感。因此，为达到对没有浮高密集组件最佳的清洗效果，传感器（S）正确的组装位置是必要的。由于这样可以增强清洗能力，批量清洗设备中搅拌清洗通常被认为是好的方式。（传感器安装的正确方位在IPC-TM-650测试方法2.6.9.1和2.6.9.2有说明。）

为达到所需的清洁度等级，冲洗用水持续补充是重要的。一些系统，特别是空气喷射，必须不断抽走用过的水让新鲜的水喷到部件上。在用到浸泡冲洗的场合，“抽空注入”或者持续溢流之一应该被采用。在多清洗缸系统，计数器级联冲洗可以节约用水，新进的去离子水流入最终冲洗缸，后面满溢的水流到前级的冲洗缸。冲洗的水应该再流入废水处理器。当脏污浮到表面，清洗坝就会起作用。如果停滞冲洗，污染物水平迅速提高，并呈现在短期内冲洗没有效果，应该经常清空并重新注水。

监测清洗槽是非常必要的。

在多箱的批次处理系统干燥经常使用强制热风。有些系统采用热风刀以加速干燥。在非传送带水清洗系统实现完全干燥，尤其对复杂的组装是具有挑战性的。

12.7.13 超声波 在过去，军工界一直不愿意批准超声波清洗电子零件。这种不情愿是基于在工作中使用的金属外壳组件的一部分。结果会引起这些金属外壳内的组件损坏，不允许超声波清洗电子部件。在有这样想法开始以来，组件的耐用性和超声波技术已经有很大的改变。组件是比它们在20世纪50年代和60年代的更结实，可以容忍许多当时没有可能的风险。大多数的超声波设备制造商提供更高频率的超声换能器在40-270 kHz的范围内，而不是以前普遍在20-25kHz系统。这些更高的频率被认为对精密清洗应用更为恰当，对部件没有损害。有些厂家还提供扫频和功率控制发生器，这两个大大降低电子组件损坏的概率。

由超声波引起的损害最常见的是共振损坏。这些混合物和零部件仍然是个问题，如石英时钟振荡器。扫频超声波可以减少这种风险，因为它不是停留在一个单一的频率足够长的时间导致谐振模式而产生损坏。它也消除了驻波的高与低能量产生单频的脉冲，并可能导致脆弱的部位暴露在非常高的功率密度。强烈建议超声波功率可以控制，为减少对精密组件的损伤，甚至采用扫频和降低功率。

最近，通过GEC赫斯特研究中心和EMPF广泛的研究，MIL-STD-2000进行了修订（版本A）允许军事部件使用超声波。目前，举证责任在于用户能够证明超声波能量不会造成组件损坏。超声能量的IPC工作组已公布了测试方法（IPC-TM-650测试方法2.6.9.1和2.6.9.2），在版本A适用于电子零件方面协助用户。同时，建议使用上述测试方法来验证超声波对精密器件或者混装板的可能损伤。美国提交到IEC技术委员会，依据J-STD-001，还允许使用超声波在焊接清洗中应用。

12.7.14 浸泡喷射 浸泡喷射搅拌创建一个动荡液面下的渗透和溶解脏污的洗涤环境。这种技术演变可防止易燃溶剂的雾气形成。动力学效率低于空气喷射。液体的密度迅速减少板面的压力。冲击下降的程度要求更强的清洗剂的溶解力因数。因此，清洗剂的设计必须调整，做到低的冲击能量。

12.7.15 离心力 这种方法是离心能量的应用，通过产品浸泡在洗涤槽内的旋转，然后受到了喷雾清洗。部件放在工装里，受到向前或者向后的离心搅拌而旋转。这样科里奥利加速度足够的力量转移的液体清洗剂，再将清洗剂推进到含有助焊剂残留物和其它污染物的空隙里。此方式可以使清洗剂做平行移动并有效地渗透到部件表面和紧密排列的组件的下面。产品每几秒钟向相反方向旋转，破坏层流模式和旋涡的形成。这将产生瞬时随机液体流动，是推进产品在相反方向旋转，最大限度地利用离心能量。从四面八方层随机液体流动形成的彻底洗涤和冲洗的动作，并克服任何的阴影效应。清洗机理是渗透洗涤和冲洗液体进入狭小的空间、螺纹孔、盲孔、型腔、助焊剂和脏污夹裹的所有其它地方。

离心能量用于半导体封装相关的污染去除，80年代末以来用于混合电路和印制电路板。电子部件和零配件的离心力的作用已被军事广泛研究。最易受损伤的部件是那些绑定连接线，MIL-STD-883规定，在2001版本的测试方法，大型混合电路的加速度力是恒定的5000 Gs，小型混合设备必须承受30000 GS。在离心清洗，恒定加速度的力是转速和旋转半径的函数。市售离心清洗系统可使产品受到最大的341Gs力，这是远远低于可接受的范围内。

离心清洗是一个半自动化的批处理过程，在中等产出量半导体器件或者量少的混合物或者SMT组装过程中应用广泛。传统的离心式清洗设备与其它批量清洗设备和工艺有许多相似之处，相似点包括：

- 占地面积小，以最小的功耗。
- 半自动化的过程，需要操作员来加载和卸载物体。

- 污水排放低或者为零。
- 编程灵活。

然而，离心批量清洗与传统的批量清洗，有一些工艺特性不同，包括：

- 典型的离心清洗工艺循环时间低于15分钟。
- 产品通常不需要额外的设备或者与干燥相关的工艺步骤。
- 可以用空气喷雾与浸泡洗涤相结合以消除阴影。
- 灵活的清洗机兼容性，去离子水、水基化学试剂或者溶剂/萘烯。
- 产品尺寸受限于离心工艺箱体的尺寸。
- 需要工程制具来固定设备，可能需要多重设计，这依赖于产品的补足。

传统的离心式的清洗设备运用单轴驱动单元，这样的设计是为了支持定制或者通用的产品的制具或者印制电路板组件（PCBA）。单轴驱动单元是基于自身中心轴进行旋转，既能够产生偏向力和离心加速度也可以凝聚和稳固清洗、冲洗和干燥的力度。对于每一个流程周期、旋转的时间、温度和速度是非常灵活可变的，并且可以通过应用程序和/或者清洁度的等级需求来定义。

典型的循环周期包含浸泡洗涤和喷淋冲洗，紧接着是旋转加热干燥的过程。清洗剂（如不饱和碳氢化合物和水基化学溶剂）在必要的情况下可以应用于浸泡洗涤循环周期中，为了去除非极性残留物。关于冲洗循环周期，通常会利用工业用去离子或者纯净水，更有效地去除有极性的残留物。产品在围绕自身中心旋转的同时，极细的雾化的工业纯水会被喷入到加工的机器腔内，并且在基层之上，冲刷和去除一些残留的洗涤溶解液或者离子残留物。有些系统可以合并成机载的闭环式的可循环系统，这样的系统可以降低涉及“带离”过程的溶剂消耗和冲洗的残留物。当使用溶剂与纯水分离的方式清洗时，系统会自动从冲洗水中分离洗涤溶剂出来，并且回流至洗涤溶剂回收处，使其可以重复利用。使用过的冲洗水溶液之后会通过过滤净化系统，重新存储成与原来净化等级度相同的冲洗水溶液。加热旋转式的干燥加工过程是完全集成在与洗涤和冲洗步骤相同的机器腔内。底层会基于自身的中心以特殊的高速率和周期率进行旋转，与此同时加热与过滤后的气体被注入到机器腔内，完全地干燥和去除在冲洗过后一些残留在表面或者在元器件下面的液体溶剂。

12.7.16 批喷淋清洗 批喷淋清洗设备可以包括单腔体、多腔体和按加工处理流程步进式的清洗设备。单腔体的清洗设备可以将一批组装部件在同一个腔体内分步进行清洗与干燥，同样的，使用多腔体的清洗设备可以将多批组装部件在独立的多个腔体内同时进行清洗和干燥的加工处理。使用步进式的清洗设备，是将各个专属的加工过程独立到每一个腔体内，如洗涤、冲洗和干燥。

12.7.17 单一和多个自主腔 单一或者多个自主腔膛式批量清洗系统使用旋转式喷射悬臂将溶剂喷射到已固定好边缘的板子上。清洗循环可能包括预洗涤、洗涤和多次冲洗阶段。清洗剂可以被加入到各个周期阶段。最终的冲洗阶段通常使用去离子或者工业纯水。关于洗涤和冲洗阶段使用的数量、型号和持续时间一般都是比较灵活可变的。

虽然大部分这样的系统的功能类似于家用的洗碗机，通常来说家用的洗碗机并不是很适合这样周期时间被固定的制程，而且建造机器的原材料也不适合很多溶剂或者助焊剂，清洗剂（包括去离子水）和温度控制。此外，洗碗机喷射力普遍不足以确保把元器件的底部冲洗干净。

关于批清洗系统的主要优点是它们较小的尺寸、能源的利用率、低成本、较低的化学品的使用量和程序的多功能性。典型的单腔膛批量清洗系统要求至少 3m^2 [10feet²]的场地和操作区域。容器柜的尺寸比较小，容易允许低或者零排放的结构，而且能源的使用也只有当部件被清洗时才会产生，因此使用量非常小。

基于事实要求，各个洗涤制程的阶段是可单独程序化的，洗涤和冲洗时间、冲洗的次数和需要清洁的等级可以被独立程序化的，并且可以设定很宽的范围。

单个和多个自主腔膛式的批量清洗形式的主要缺点是周期时间和负荷灵敏度。周期时间，是基于干燥的等级需求，可以从15分钟至45分钟。实际上很难使用风刀形式去去除水分或者水分子，在一个循环周期中，干燥过程一般会时间最长的部分。部件如何相对于另一个安装在架子上，有多少部件能够放入洗涤腔膛内都会影响清洗的时间和效果。批清洗系统的手动装载和卸载部件也会被认为是一个缺点，尽管使用额外的装载架子可以最小化这个缺点。

12.7.17.1 标准的周期 单个腔膛批量清洗的周期能够包含预洗涤、洗涤、冲洗和干燥阶段。

预洗涤阶段通常被运用是为了除去一些水溶性工艺脏污或者助焊剂。清洗水被充入进清洗的腔膛，接着再流经板子。在水溶性助焊剂存在的情况下，相当大部分的助焊剂的去除在此阶段完成。在松香基助焊剂存在的情况下，虽然预洗涤阶段很高的水温可能水解助焊剂并使助焊剂去除变得更困难，但是预洗涤阶段有一个额外的益处就是把部件的温度提升并接近助焊剂去除工艺的要求。一些清洗系统可以在预洗涤阶段有选择性地添加一些额外的表面活性剂或者化学试剂。在一个程序化的再回流时间的最后，预洗涤溶剂从清洗腔膛中被排放出。

洗涤阶段主要用于去除板子上的助焊剂和脏污。如果需要，可应用干净的水和程序设置好用量的清洗剂再循环到板子上。大部分系统带有可存储溶剂并能够重新使用溶剂的存储柜，这样一来可以减少废液。

仅单个的水洗过程，可能足以除去一个特定的电路板组装上的污染物。去离子水也可以用在开环或者闭环过程，以推进清洗过程。然而，很多次由于组件上使用的助焊剂类型，为了有效去除污染物，化学添加剂是必要的。虽然考虑经济和环境单个水洗过程是首选，当使用化学溶剂能够使得环境和经济都可兼备也可以考虑。

通常情况下，具体助焊剂的选择决定了要使用特定的清洗介质。例如，如果一个有机的酸/水溶性助焊剂或者焊膏被选中，你可以选择完全去除助焊剂残留物的特定纯水。选择清洗介质时应该谨慎，因为有几个外部因素可能会影响清洗介质的选择，正如在本文中以前所讨论的。虽然去除助焊剂经常是清洗机的一个主要目标，我们必须考虑其它过程中的污染物，包括电路板和组件制造残留物，以及非助焊剂相关的残留物。额外的非极性残留可能需要使用化学添加剂。清洗剂特定的化学成分、在清洗过程中该清洗剂的浓度、每个周期的化学溶剂的损失量以及在排水周期对化学溶剂的处理，所有这些因素有助于这样低成本、高效益、环境友好的化学制程。

多次冲洗、循环和排水周期或者封闭循环冲洗可能被采用。闭环系统不断循环的冲洗通过DI树脂和碳床的一部分。在这两种冲洗排水和闭环系统，冲洗水电阻率等级是被监测的，可用于确定冲洗完成的时间。在多个冲洗过程（非闭环）的情况下，一些系统允许在最初的几个冲洗时引入少量的冲洗溶剂。

12.7.17.2 干燥 在单腔膛或者多个自主腔的批量系统中，干燥步骤通常是最长的工艺步骤。干燥包括在腔膛中蒸发到空气中和紧接着去除。干燥时间主要是控制腔膛温度和空气流通的功能。干燥期间的加热是批量清洗设备的必需元素。批量清洗机可配备对流、辐射或者两种加热技术。鼓风机去除腔内的潮湿和水分饱和的空气而且使其变成干燥、能吸附水分的空气。

12.7.18 步进式腔膛 其基本原理是有分隔的腔膛，分别用于清洁/冲洗和烘干。装载筐沿机器水平方向滑动，无论是手动或者自动，以至于没有升降部件。可以单独控制每个操作的持续时间，使批量处理系统充分展现它的灵活性。这些措施包括低能量，少量的水溶剂的需求，运行成本低，在每一步的调整周期时间的能力，最大限度地提高清洗各种电子组装产品的有效性。

只有印制电路板放置正确导向，在装载筐中间隔，才可以得到最高的效率，并且影响很高的峰值功率需求。解释，峰值功率是在清洗剂冲击和传输到低间隙组件底部时才会被需求。阴影效果可以从需求的冲击中保护或者屏蔽电路板，并可能导致清洗变异。

一个典型的周期由一些系统化的步骤组成。在一般情况下，四、五清洗篮可以在同一个时间处理：第一次是在装载站，而第二个是在洗涤阶段。可选的第三个清洗篮，可以保持在原来位置，而第四清洗篮是干燥，第五清洗篮是在装卸站。线性结构的高流量的机器使得筐的自动化运动更容易。

装载站需要防静电，可使用各种材料建造，在其之上放置一个空筐，准备接收已焊接组件。一旦装载，清洗篮会滑向洗涤/冲洗机。当本机的盖子是关闭时，清洗周期可以是手动或者自动启动。清洗头上的喷射器提供密实的水流，以极高的速度喷射而出。在清洗期结束时，清洁水溶剂可以流入底柜。冲洗的周期包含使用去离子水冲洗板子，并且使用专用的喷射头。

当这个循环完成后，打开机盖，清洗篮可以滑动到允许存放清洗篮的固定平台上，如果需要的话，当干燥机被解放时进行排放。从那里，它滑向烘干，它的盖子是关闭时机器自动启动。干燥机有两个气刀，它们旋转缓慢和异步。在干燥周期的第一部分，是通过把空气吹入机器并且带走过多的水分。在空气风刀后，基板会被热空气干燥。然后机器可以打开，清洗篮下滑到卸载平台上。这是类似于装载的过程，并允许作业员清空清洗篮重新使用。

12.7.19 在线空气喷淋 以空气喷淋提供机械搅拌是一种常见的方法，这种方式是将水基清洗剂喷到待清洗的部件上。喷嘴的设计制造必须结合泵的水压特性。已经证明了只要满足传给流体的总动能是一样的条件，高流量低压力与低流量高压力都可以获得相同的结果。根据工作的需要来优化喷嘴设计及喷射角度。

为了改善清洁效能，板最初在预洗涤段使用扇形喷嘴。预洗涤区调整线路板的温度至助焊剂开始软化的温度。在洗涤区喷嘴喷射出的液体均匀覆盖。电路板的几何尺寸、密度、元器件类型将决定组合喷嘴技术的使用，组合喷嘴技术能够提供多种等级的流体流量、电路板表面的压力以及方向力。对于高密度组装电路板，元器件之间的阴影部分要求一个较长的洗涤时间使得清洗的流体可穿透隐蔽的间隙。

为满足日益增长的从较低的贴装件和功能器件底部清除所有助焊剂残留的需要，喷淋冲击研究已经进行了多年。为了实现这个苛求的清洁挑战，喷雾冲击压力和向量角度常常被用做穿透低的间隙和盲孔。另外，更长的清洗时间/部分和更慢的进程速度也同样被采用。同时提高喷雾冲击压力增加了折断标签、穿透某些涂层以及小型的陶瓷元器件的可能性。这些影响需要在电路板的清洁设计阶段进行量化并讨论。

在线式清洗是一个高流量清洗过程。清洗设备可以是模块化或者非模块化设计。模块化设计允许有较大的灵活性和可扩展性。所有的零部件进行相同的清洗过程。最后一块装载于设备中的电路板与第一块装载于设备中的电路板将得到同样的清洗过程。直列式清洁系统的负载敏感度与批量系统不同。

在线式制程主要包括4~5个主要步骤，并随着助焊剂类型不同而变化。所需要的最终的输送带速度决定了洗涤、冲洗及干燥模块的时间及次数。一旦输送带速度确定了，必须执行合适的测试循环以建立最适宜的操作参数（输送带速度、温度、压力、体积、干燥）。紧接着的最低基本配置将取决于每种助焊剂或者焊膏的类型。

隔离：直列式系统中一些空气或者水的隔离应该存在于进程阶段之间，因为清洗和水处理成本能够起负作用。同时，假如太多的洗涤水流入冲洗阶段，则会起泡沫以至于足够的冲洗将不适用。

当处理水溶性焊剂或者临时的阻焊膜时预清洗可以消除大部分的污染物，通常也是一个必要步骤。

清洗就是通过高冲击喷雾逐出并溶解在组件底部的助焊剂。组件底部与电路板表面之间的距离越接近，则需要更强大的能量去除Z垂直轴下的污染物。流速可能决定于电路板的复杂度以及助焊剂与清洗液的兼容性。根据线速以及清洁度要求决定这些阶段某一个或者多个发生。在去除松香、树脂或者合成聚合物时，通常添加化学试剂去溶解和去除助焊剂，化学试剂的自动注射将有助于过程的重复性。

组件底部与电路板表面之间的距离越接近，则需要越强大的能量。这种情况可能发生一次或者多次，这取决于线速以及清洁度要求。此阶段的清洗流速取决于电路板的复杂度。

- 化学品隔离阶段的作用是擦拭零部件上的清洗剂，回收过剩的清洗剂到清洗箱中并在进入冲洗阶段前消除绝大部分的清洗剂。
- 冲洗阶段的作用是去除元器件表面及底部的清洗剂、溶解助焊剂残留及离子污染物。
- 最后冲洗阶段就是电路板经过一个净化的去离子水冲洗。这是电路板经历的最后的水冲洗。这会去除电路板上所有剩余的离子污染物，如果干燥步骤不是百分之百有效，此阶段将确保污垢全部离开产品。
- 干燥阶段就是将残余的水从电路板分离出来。通过热高压而非蒸汽来完成干燥是比较合适的。根据线速以及干燥度要求可以进行一次或者多次干燥。

轨道系统模拟直列式进程也是可用的。洗涤、冲洗、干燥与以上要点具有相同的概念，不同点在于生产能力。与线性直列式连接件具有类似的过程步骤，但其垂直处理部件及循环传送它们。需要一个上料/下料的员工。此系统的优点在于减少了场地。

根据自动化要求、过程集成需考虑以下步骤，特别是对连续直链式清洗系统：

- 预洗涤。
 - 预洗涤为了不同的设备和脏污处理而设计。
 - 对于水溶性制程，预洗涤被用作消除表面活性剂，临时的污垢膜以及水溶性隔离物。
 - 对于松香、树脂、合成助焊剂的清洁过程，预洗涤作用在提高电路板温度以及润湿电路板组装件以便清洗剂浸泡并开始溶解过程。
 - 当运行一个水基清洗剂时，大多数预洗液体由化学清洗槽供给。
- 洗涤。
 - 传送清洗剂到电路板组装件，贴装件以及组件底部与电路板表面距离较小的组件
 - 擦洗力增大清洁进度
 - 冲击力提供方向力穿透低的间距并消除绝大部分助焊剂残留以及离子盐基化合物
 - 控制清洗剂
- 化学试剂隔离。
 - 风刀被用来从零件表面消除绝大多数清洗剂
 - 回收过剩的清洗剂到清洗贮存罐中
 - 使用冲洗水的滑流消除绝大部分的清洗剂防止冲洗污染
 - 采取排水或者蒸发隔离污染的冲洗水
- 冲洗。
 - 元器件表面或者底部消除所有的清洗化学物
 - 除离子残留
- 最终冲洗。
 - 离子清洁冲洗水消除在冲洗水中的痕迹污染物
 - 取离子清洁部分

- 干燥。
 - 表面水的去除
 - 吸收水的去除
- 通风。
 - 气流进出机器
 - 去除清洗剂气味
 - 防止浸透的薄雾进入设备
- 水净化。
 - 净化进入的水达到设计标准
 - 收回冲洗水消除跟踪残留有机物、离子污染物并回收冲洗水再利用
- 排放不能使用的水。
 - 可选择的设备
 - 电子影像去控制每个部分的开关
 - 清洗样品接口
 - 清洗污水过滤
 - 过程控制为维持清洗水化学浓度
 - 手工清洗剂浓度检测
 - 比例计量泵
 - 过程控制系统
 - 清洗阶段的薄雾避雷器
 - 电阻率显示器控制冲洗周期数量
 - 封闭循环回收利用

12.8 过程整合 很多因素影响清洗过程。图片12-2说明影响组装线路板清洗过程效果的原因和结果。此章节关注水清洁过程的优化。

12.8.1 设计清洗流程以满足清洗需求

12.8.1.1 化学品清洁精选 清洗剂选择标准通常包括但也不仅限于以下标准：清洗设备、制程需要、材料兼容性、环境、成本、剂槽寿命、气味以及技术支持。鱼骨图（图12-2）强调当选择一种清洗剂需要考虑的一些因素。受测试样本和测试时间的限制，当评估并限定清洗剂时对每一个因素进行研究相当困难。为了在选择一个清洗剂的给予协助，查阅参考第6章，开发及验证。以下几点值得参考：

- 水基清洗剂去除污染物的效果如何？
- 在你的制程中，需要多高的清洗浓度来清除助焊剂残留物？
- 在你的制程中，需要多高的清洗温度来清除助焊剂残留物？
- 清洗剂的浓度水平是多少？（推荐的浓度范围）
- 可能的助焊剂污染物负载量是多少？
- 清洗剂起泡吗？
- 污染物负载量对材料的影响是什么？（清洗剂材料及器件材料）

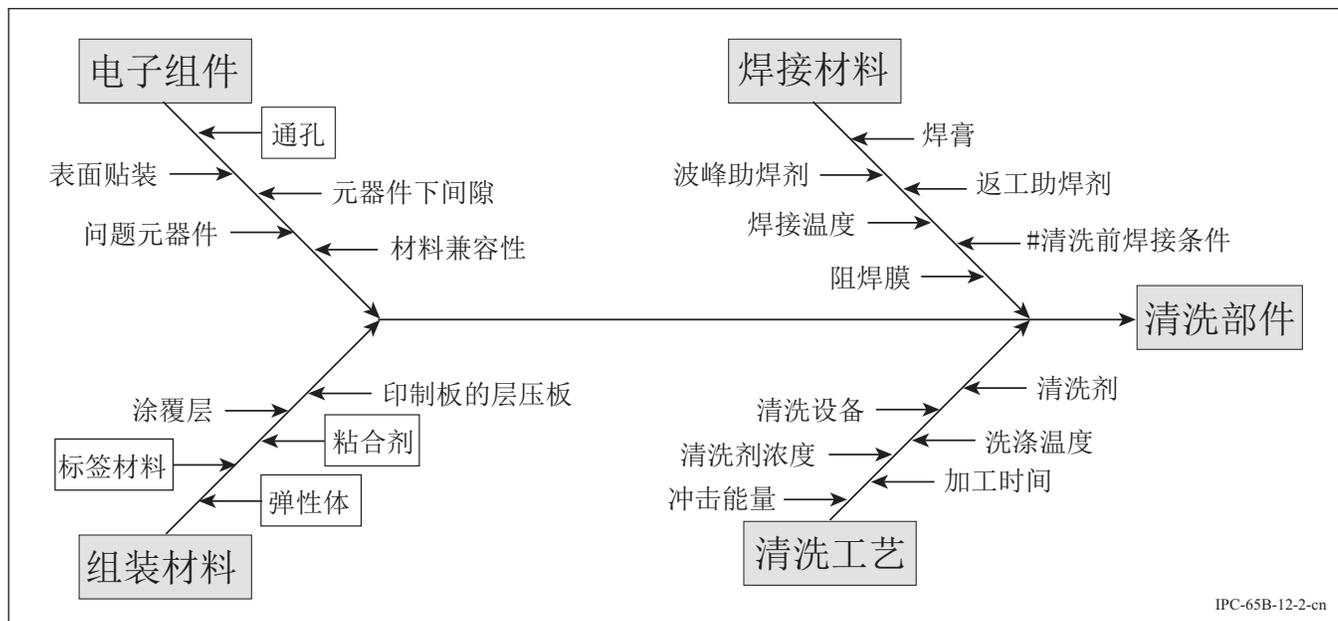


图12-2 影响组装线路板清洗过程效果的因数

- 对以下材料的兼容性如何？
 - 金属合金
 - 层压板
 - 塑料
 - 合成橡胶
 - 涂料
 - 组件
 - 零件标识、标签以及墨水
- 使用历史是什么？
- 其它用户不得不发表对产品的看法是什么？
- 清洗剂供应商支持等级声誉怎样？
- 供应商有提供全球支持吗？
- 产品有通过ROHS标准或者兼容吗？
- 产品是危险品吗？（或者：对于员工什么样的管控等级需要去最小化产品的危险性）
- VOC等级可接受监管机构监督吗？
- VOC等级满足公司/客户政策吗？
- 在没有妥善安装暖通空调的工作场所的气味是什么？
- 蒸发和排气损失？
- 清洗剂怎样改变溶剂槽寿命？
- 清洗剂的表面张力、粘性、密度是什么？
- 清洗剂的监管以及控制有多容易？
- 什么可以出错？

12.9 清洗设备选型 流体管理在维持一个经济的清洗过程是关键。独特的模块控制（直列式清洁设备）以及工艺流体同清洗化学品隔离（单一容器以及多种独立存在的容器）的分析是必不可少的。流体输出的关键在于穿透以及急速打破与电路板间距较小的组件底部的焊剂屏障。通风管理关键在于减少在工作区的化学品气味同时使从设备中排出的清洗气味量为最小。液体的存储是延长清洗槽寿命的关键。流体控制关键在维持正确的清洗槽浓度在清洗制程允许的公差以内。

随着时间的推移，清洗设备流体控制的设计会影响清洗制程的有效性。诸多因素，如高的清洗消耗量、设备中冒出的蒸汽、在清洗及冲洗过程中的起泡、排气损耗，由于这些因素中的一个或者多个因素失调会导致出现不好的清洗结果。当设备最初充满清洁化学品并启动时，制程问题可能不会暴露，但随着时间的推移会慢慢地出现。缺乏流程优化导致更高的缺陷率，典型的为在元器件底部间隙以及表面存在白色残留物和不可接受的离子残留。

选择清洗设备需考虑许多因素。除成本评估之外，以下因素值得考虑：

- 清洗机和清洗剂可以清洁要求最严格的组件吗？
- 通风设计是否可以将清洗从冲洗和烘干隔离（适用于通过式以及分段式槽箱）？
- 加热单元能保持期望的设定温度吗？
- 从机器开机到生产准备的阶段的响应时间多长？
- 设备能够满足清洗以及生产量的要求吗？
- 蒸汽能从机器中消散掉吗（除了排气孔）？
- 设备可评估吗？
- 设备将清洗溶剂与冲洗水分离的效率如何？
- 设备能够收集剩余的清洗剂供后续再利用吗？
- 清洗机有一个抽样端口吗？
- 清洗罐每分钟翻转多少次？
- 化学添加剂如何注入并控制？
- 设备是否受可编程控制器或者计算机控制？
- 印章、垫片等材料同清洗剂兼容吗？
- 机器可烘干组件吗？
- 清洗最困难组件的通过率是什么？
- 噪音等级？
- 设备成本？
- 耗水量？
- 污水排放的体积量？
- 设备的能耗成本？
- 设备占用的空间？
- 设备的清洗/部件成本？
- 设备的烘干能力如何？
- 在你的地区系统允许使用吗（空气以及水许可）？
- 在工人安全的工程控制及员工保护上系统有没有经过专业的评估？

12.9.1 过程变量 像化学清洗方面一样重要，纯粹物理的机制起着重要作用。一般说来，使用的热量及机械能量越高，清洗效果越好。

12.9.1.1 清洗剂浓度 清洗剂浓度是清洗剂性能的一个参数，此外清洗温度、机械力也起作用。

12.9.1.2 清洗剂温度 由于清洗剂温度的提高，溶剂型污染物溶解得更快。温度越高可使焊剂变得更温和以及更快地去除焊剂，高温时可以减少冲洗的次数。最佳温度取决于清洁设备、清洗剂、污染物以及元器件。

12.9.1.3 清洗剂时间 清洗时间与元器件的间隙高度有很强的关联性。倒装芯片、 μ BGA封装芯片、LGA封装芯片，QFN封装芯片、薄片电容以及其它组件类型组件与电路板表面的间隙按大小排列而减少。组件间隙高度低于3-5mils要求提高清洗时间以穿透并移除所有助焊剂残留。对于高密度组装了细间距元器件的组件，必须计划进行长时间的清洗冲击。当选择使用清洗设备以及清洗剂时应该考虑这个因素。

12.9.1.4 冲击能量 为了改善清洗细间距元器件效果，研究数据表明流体流动、板表面的压力、方向力和清洗时间可改善制程清洗率。清洗设备的清洗部分是相当重要的。研究数据发现表明在清洗阶段未完全消除的助焊剂残留在冲洗阶段也无法去除掉。保持压力循环同样缩短了清洗中要求的时间量。

通过使用各样的喷嘴和泵技术可以实现清洗冲击。为了移除在间隙少于3-5mil下的助焊剂残留，清洗时间以及清洗温度是关键参数。在回流焊过程润湿的助焊剂会穿透小的组件间隙并形成助焊剂屏障。为了打破助焊剂屏障，清洁液以及冲击力必须首先溶解残留物以产生一个缺口使清洗液流动到组件的底部。某些助焊剂残留物需要花较长的溶解时间，增加了清洗的复杂性。

12.9.1.4.1 流体流量 流体流量通常用每分钟的加仑量（GPM）进行表示。在清洁过程中所需提供的GPM总量基于：进入净化器的水、净化器的储备箱、泵、设备中的水管装置、喷嘴型号、喷嘴数量、存储罐的回收率。有充足的入水供应是非常重要的，特别是对于储液箱容积有限的清洗机。一个储备箱储备大量供水或者化学与水混合物以满足运行一个清洗过程所期望的流量。它也允许热的液体的优先使用。一个效能泵会花最少能源消耗量传递最大容积的流体到整个清洗系统。喷嘴的类型和数量将改变流体流量的限制。应该根据流量以及压力等特定工艺要求选择喷嘴。流体的流动符合流程是考虑点。如果流体在通过一个闭环系统，可少补给水。如果流体泄漏，必须替换整个容积。

12.9.1.4.2 定向力 由于电路板设计的复杂性和存在在组件之间和下方的越来越小的间隙，适用于电路板的定向力量是清理所有污染物的关键。通过板的顶部和底部的各种喷嘴和可调喷杆，可以实现不同的定向力。流体的流动方向和力量的大小是由喷嘴和板面之间的距离决定的。

12.9.1.4.3 板面的压力 在板面的压力或者冲击力是难以衡量的。影响板面的压力的主要因素有：

- 通过水泵、水管以及喷嘴的流体的流量。
- 水泵的出口压力。
- 喷嘴的数量和类型（可以根据施加的限制来增加或者减少压力）。
- 流体喷雾和板表面的距离（距离越短，在板面的压力越大）。

通过控制这些变量，你可以增加或者减少板面的压力。重要的是要在板的表面找到适当的平衡压力，使清洗过程去除污染物，而不会破坏脆弱的部件。一个清洗系统，应尽可能多的在过程中灵活

地允许这些变量，如可选/可互换的喷嘴、可调式喷雾喷头和变量泵的转速控制的灵活性，将有助于使用者在板面上产生最佳压力从而获得最好清洗效果。

12.9.1.5 控制清洗的过程 清洗过程是动态的。在水溶液中的过程中，清洗环节使清洗剂和水变成水蒸气排到排气口，蒸气进入通风排气口，和洗涤液带出的化学物质隔离。这三种类型的损失需要最小化，以维持一个具有成本效益的过程。本节提供监测洗涤浓度、自动化过程控制、洗浴环境和洗浴环境寿命延长的信息。

12.9.1.5.1 清洗槽监控 清洗槽监测中常用的方法有滴定法、折射率检测、分割的相关性检测和洗浴分析仪。

12.9.1.5.2 滴定法 滴定用来表述在碱性洗浴通过测量自由碱度在清洗液中的碱性物质的浓度。操作者应该清楚明白PH数值之间是以10为倍数的差异（对数）。pH值是用来衡量溶液的酸度/碱度的方法。pH值范围是0-14，是产品在每摩尔水中氢氧根和氢离子的浓度。在pH值为零，水合氢离子（ H_3O^+ ）的浓度是一个摩尔，而在PH为14时，氢氧根离子（ OH^- ）为一摩尔。换句话说，pH值不是一个线性的关系。例如，一个pH值为10的摩尔浓度远大于PH值为9的十倍。

许多水基清洗剂都是用的PH值为9至11的弱碱成分。滴定过程是测量清洁洗槽中可测得的毫升相当水平的碱性。毫升相当水平的碱性与浓度相关。这种方式适用于以皂化为基础的清洗剂，同样也适用于可溶于水且含很少甚至不含有有机原材料的碱性清洗剂。在清洗剂会与残留物反应的情况下，跟踪碱性清洗剂的浓度很重要。

12.9.1.5.3 折射率 介质的折射率是通过测量光速（或者其它波，例如光波）在介质中的降低量得到的。例如，典型的钠钙玻璃具有接近于1.5的折射率，光在其中的传播速度是真空中2/3。玻璃和其它透明材料的两个共同特性都与折射率有关。第一，当光线从空气到材料界面时光线会改变方向，这点应用于透镜。第二，光线在不同的折射率材料的界面时会发生反射。在解决糖的问题时，折射率可以用来测定糖的含量。这篇文章与清洗浓度有关。用测定折射率的方法可以基于溶有清洗剂的污染物的方法。这种方法十分适用于未经利用过的清洗剂。

12.9.1.5.4 清洗室监控技术 由有机原材料设计而成的水清洗剂在水里可以部分溶解并形成明显的分层。通常，溶剂的密度比水的低，当清洗溶液处于静态时，溶剂将漂浮在表面。当清洗槽中的溶液充分搅拌时，溶剂以小滴的状态分散到水里。当清洗机搅动停止时，不能溶解的溶剂就留在了清洗机箱的表面。溶解层表现了溶剂在水里的溶解度和其它的污渍和成分中哪些可以优先溶解到溶剂里。水相表现为溶剂和其它附着有溶于水的清洗剂的物料。

这样运用传统的技术会比较难监测像滴定以及折射率这样的指数。通过中和清洗槽达到一个终点（滴定）来关联清洗浓度，不能说明有机原材料。比起水相，折射指数有相当的难度，因为不可溶解的颗粒折射不一样。监测技术包括但不限于可使相分离与浓度关联的技术。

12.9.1.5.5 自动化清洗机操控 水清洗剂在不同的浓度范围操作。不同的供应商根据它们自己的工艺技术提供的控制系统不同。

12.9.1.6 化学品配比装置 配比装置采取了许多种设计途径，如文丘里管、水速降低装置、阳极排水泵、定时以及通过增加补充水和压力活塞测量动力装置。当往清洗槽中加入水时，这个配比装置就会添加清洗剂。这个装置设计在一定的清洗剂浓度范围内工作。在工作范围内，当添加补充水时，泵通过刻度盘来分配清洗剂达到期望的水平。文丘里管通过变换节流面积大小来改变清洗剂浓度，通常需要一个压力来调控流注来保持添加参数。为了保证化学配比装置可以保持清洗机在设计

的浓度范围内，运用了清洗机监控测量。从清洗槽监测测量上读出的读数可作为这个化学配比装置的反馈，以得到合适初始清洗槽的浓度以及恰当保持浓度。

12.9.1.7 程序操作系统 自动监控和调节清洗机的浓度。这些装备监控实时和有用地监控清洗室并精确地加水和/或者加化学药剂去维持一个最适宜的浓度和流动水平。自动化控制系统可以使用可编程逻辑控制单元和化学测量设备去实时地控制清洗机。由于溶解残渣影响了读数的局限性，基于折射率指数设备在控制浓度时表现出相似的局限性。清洗机监测技术的辅助手册被用来相互校验去保证过程控制系统维持控制在控制范围。

12.9.1.8 手动添加清洗槽 许多清洗槽的浓度是通过手动方法控制的。该方法的成功取决于使用清洗剂的有效清洗范围。清洗浓度范围越宽，手工清洗的时间间隔越长。由于清洗剂和水的动态损失，机器仅会增加水而已。这最终导致清洗浓度减少到清洗剂不再有效的水平。可以采用电路板清洁测试和手动清洗浓度监测来决定最低可使用浓度。一旦建立了最低点，该段时间内使用的清洗剂数量将被确定。此时，必须在清洗槽中加入更多的清洗剂，用来使得浓度增加回到范围的峰值。过低的清洗浓度可能导致清洗槽起泡沫，并可能造成水平离心泵机械密封的失效。

12.9.1.8.1 清洗槽的初始添加 起初的清洗箱通过总的清洗箱容量乘以要求的浓度比得到填入的适当的化学浓度。例如，100加仑的箱要求15%的浓度，那么需要15加仑化学剂和85加仑的水。

12.9.1.8.2 维持清洗槽的浓度 一旦清洗浓度稀释了，应该使用一种水清洗监控方法来建立当前浓度。当当前的水洗浓度确定时，它应该从目标浓度中被减去。结果浓度上的不同，我们应该通过增加清洗剂使得清洗箱中的浓度回升到目标浓度，并且通过检测方法来验证。增加的清洗剂数量X加仑= $[(\text{目标浓度}-\text{实际浓度}) \times (\text{清洗箱容量}/\text{加仑})] / (100\%-\text{目标浓度}\%)$ 。

12.9.1.9 清洗槽的寿命 清洗箱的寿命受很多因素影响，包括：

- 焊剂残留类型和饱和速率：焊剂类型和活性污染物广泛是基于电路组装设计和过程的需要。所有的水洗处于它们的污染物饱和临界水平，在该水平它们难以清洗或者污染物会重新沉积到部件上面。
- 水清洗箱损失和补给：清洗液通常经由排气和蒸发流失，同时被清洗的电路板以及润湿的设备带出。清洗箱可以补给未加工的清洗剂和水。损失的加上额外补给，增加了到达污染物饱和临界的时间线。某种情况下，水清洗达到一个污染物饱和稳定状态，它使清洗槽寿命更长。
- 清洗剂设计：为了支持清洁要求，需要很多因素和水平。清洁材料随着时间而耗尽（氧化和减少），或者随着时间发生变化。清洗温度、浓度、冲击损耗、泡沫和污染物类型等许多因素可以影响清洗剂的能力，保持在不降低清洁效果的情况下保持稳定和保持污染物的效果。
- 清洗剂浓度：污染物沉积临界值是反映清洗剂去除污物所依靠的有效活性成分水平的一个参数。更高的清洗剂浓度能够增加对污物清洗饱和度。
- 污染物和清洁作用：酸性流体残留物可以与水性清洗剂反应，因此改变了它们的物理性质。清洗温度和清洗冲击作为催化剂可以增加这些作用。

12.9.1.10 污染物饱和极限 对于每种污染物，在清洗槽内饱和后都会造成后续无法有效地清洗。锡膏临界装载限度取决于很多因素，包括锡膏类型、清洗剂、控制清洗浓度、温度和动态能量。

12.9.1.10.1 污染物饱和的线性化 典型的动态清洗由于失去排气疏散、蒸发和拖拽。在缺乏清洗、焊剂残留的情况下，可能以一个线性比率加载。以线性比率加载水基型清洗剂是典型的伴随有低蒸汽和损失拖拽的静态清洗方法。这是一个典型的水清洗过程。

12.9.1.11 排气和带离造成的损耗 在水洗过程中，清洗阶段流失了清洗剂，水通过雾气疏散到通风排气口，水蒸气进入通风排气口，并且拖拽清洗液进入化学分离阶段。为了维持成本最低化的过程，这三种类型损失需要被降到最低。

蒸发/排气损失是受废气排出、温度、流体流动、流体压力和蒸汽压力影响：

- 高吸气增加了清洗剂损失至耗尽的水平。为了解决这类问题，空气流动必须被适当地平衡、控制或者辅以气回收装置。
- 目前，液态处理时，水是十分易挥发的溶剂。清洗温度增加了水分子由液态转变成雾水混合状态的趋势。
- 水将会带有一些有机原料从排气管中排出。因此，具有高压的水处理设备正以更快的速率损失至耗尽。
- 水流和水压增加了喷淋室中水珠和水雾混合状态的浓度。水珠和水雾在空气中浓度的增加又必然导致更多清洁设备的损耗。
- 液态的有蒸发成气态的趋势，并且所有的气体也有凝结成液体的趋势。随着清洗温度的增加水蒸气的压力和所用的原材料变得足够去克服气压然后将液体气化并且直到耗尽。

蒸发所导致的水和水基清洗剂的损失通常不是1：1。低蒸汽压成分往往凝结回到清洗箱。

携带着清洗箱里的清洗液到下一个处理流程。对于单室机和多室机，存在于机箱、管道以及产品硬件上的清洗液通常是随着清洗步骤流入到水冲洗步骤中。对于持续在线清洗机，水在传送带上流动，产品硬件和偏离出的喷雾传输到下一个处理流程，特别是化学隔离室。与蒸发损失不同的是，拖拽损失与水和水基清洗剂是1：1的。虽然有5%-15%的浓聚物，拖拽液体大部分还是水本身。

清洗设备的公司已经设计出了可以同时减少蒸发损失和拖拽的机器。减少蒸发损失：

- 对于连续在线工作的设备：
 - 设计了除雾器技术，搅动气流，可以使水滴聚集重新凝结回到清洗槽中
 - 凝结箱降低水雾的温度，使其凝结回到清洗箱
 - 在喷雾歧管上的伞窗含有水雾然后使它回落到保温水箱里
 - 水刀提供了喷雾歧管上清洗液的层压流去收集清洗喷雾以及液体重新回到清洗箱
- 对于自动的单腔和多腔的批量生产的设备：
 - 未在使用的溶液的存储在最低限度的通风的储柜中
 - 在清洗循环中机箱有最少的空气需求

减少带出液的损失：

- 对于连续在线清洗机：
 - 从上一个喷雾歧管到化学隔离空间的距离缩减了到化学隔离区域的偏移
 - 化学隔离区中的风刀能擦拭板并且改变清洗液的流向，使其回到清洗存储槽中
 - 用一个偏转墙来拆分化学隔离区这样可以存储清洗液并且使它回到清洗存储槽中
 - 挡板和托台可以防止液体流到化学隔离腔内
- 对于单个和多个自主腔式的离线清洗设备：
 - 设计的排水槽是为了防止液体截流确保清洗的液体能够排放回清洗存储槽
 - 如果用的是普通的管道，空气就可以净化
 - 有着足够的时间从清洗到冲洗并让清洗液流出
 - 泵的设计和方位可以最小化由泵引起的带出液

12.9.1.12 监控和补充清洗溶剂 清洗高可靠性电路组件时，需要减少可变性。为了区分来自基于统计数据技术的重要项目的后台变化，实时过程控制统计是必要的。动态的清洗程序必须在一个基准里监控，以控制清洗剂浓度在上下限内。

一旦清洗机里的浓度被冲淡了，应该使用清洗箱内的监控方法来设置当前的清洗剂的浓度。当前的清洗箱里的浓度已经固定了那就应该缩减目标浓度。浓度结果的差异应该被加回到清洗箱内作为清洗浓度的需求去提升浓度回到目标浓度并且通过监控方法去校验。需要添加的清洗剂浓缩液量可通过方程式X加仑=[(目标浓度%-实际浓度%)(清洗箱容量加仑)]/(100%-目标浓度%)来计算。

12.9.1.12.1 稳定状态 典型代表，水清洗在有提升温度的高冲击设计设备中运转。结果，清洗液随着排出的废弃物而损失了，水蒸发损失了，以及清洗剂泄漏损失了。为了维持稳定的水清洗，当需要补充水时，以及因泄漏，水清洗流出污物造成损失时，需要添加新的清洗剂。清洗剂的添加稍微地提高了清洁水准。清洗箱的添加可以阻止污染物达到临界的污染物水准，结果清洗室达到稳定的状态。一些清洗剂的技术能够过滤掉一些清洗的污染物，以延长清洗机的寿命。另外，如果清洗剂的量足够大，可以阻止清洗机里的污染物到达临界水准，也可以延长清洗剂的寿命。

12.9.1.13 洗槽使用寿命延长 清洗化学物质溶剂的清洗槽可以通过在清洗系统外面安装一个过滤器，通过过滤器将清洗溶剂抽出来延长清洗槽的使用寿命。能与清洗溶剂兼容的筒式过滤器或者硅藻土过滤器可能被用来过滤清洗溶剂中的像1到2微米大小的残留物质。与槽垂直的是一个可以循环使用的水泵，泵是面对着一个过滤器壳，而背对着这个洗槽。这个水泵可能会在生产或者不生产的时间一直持续使用，或者也可能有间隔（比如每小时停5分钟）地持续使用。这种过滤系统或许可以有效地去除水槽中没有被清洗阶段吸入式过滤器和在水泵和处于喷雾歧管之间高压端的过滤器清除掉的所有细小微粒物质。洗槽清洗液中完全可被溶解的固体物质的减少就使得清洗液的清洗效率和有效性更高，可以避免由清洗溶剂污物负荷而导致的清洗溶剂起泡，也可以降低带有残留物质的浸没式加热器的涂层率。电子行业组装好的印制线路板清洗应用已经成功得证明了洗槽寿命可以延长到之前的10倍。

12.9.1.14 污水处理 任何污水的排放，不管是总流量还是其化学构成都必须要符合所有国家国家性的，区域性的和地方性法规的要求。在相对灵活的条件允许下，这些法规在非常严格的流量限定上会有不同。许多国家，特别是在欧洲，在全国范围内对污水质量的许多方面都有非常严格的法律要求。其它国家有相对不太全面的法规，只涉及比较重要的一些方面。地方权力机构可以对国家性的法规稍作贬损，这样它们的地方处理工厂就能够处理其它一些超出法规要求的污水。对国家性法规的贬损常是由于一些小的用户，特别是用户能够证明处理少量轻微污染的污水成本与污水可能导致的损害不成比例。排放者必须要明白在一个地方被证明可用的设备在另外一个地方有可能不能被使用。总之，在一个地方使用一个设备之前最好是与当地的权利机构讨论下，因为一个既成的污染事实是不被看好的。

在美国，在水清洁法案的要求下，针对废水流的排放，不管是总流量还是它的化学构成都很可能要求地方污水处理工厂给出一个限定许可量限制。除此之外，地方的许可量限定也可能需要得到共享的州的或者是区域性的环保署的批准。任何从后焊清洗过程中出来的新的或者是额外的污水流在排放之前都应该要接受地方公共处理工厂官员的检查，这点很重要。这样的检查可能会导致公共处理工厂放弃对排放量限定的需求，或者可能会导致降低对限量检查的要求。对新的排放有要求在排放前90天内提交一份基准检测报告。对污水处理工厂每日排放量低于5兆加仑的，还必须要提供副本的基准检测报告给当地的环保署办公室。

12.9.1.15 在线冲洗部分 一个在线清洗系统的冲洗部分通常包括一个带有专用水槽和水泵的再循环使用部分和最终的冲洗部分。冲洗部分的功能就是要去除清洗阶段残留下来的水并且用更加干净的

水来浸没清洗的产品。冲洗阶段的操作可以认为是用两种方式完成的，具体哪种方式取决于具体的过程。在一个只有水的过程中，水多先是从最后冲洗阶段的进口点流出来，或者喷流出来，然后到循环冲洗阶段，最后才是流进洗槽里。因此，被清洗的产品是穿过这个系统而进入有更加纯净的水的部分的。在一个带有清洗化学物质的水基溶剂过程中，其目的就是要将清洗阶段和冲洗阶段最大程度地隔离开来，这点是通过将带离液的数量降到最低来实现的。不管是从质量的角度还是从成本的角度着想，将清洗化学物质放在洗槽里都是能接受的。在这种情况下，可循环的冲洗就能浸没被清洗的产品并从有限的空间里将残留的清洗化学物质挤压出来。要注意的是冲洗阶段的流体动力学应该要与难洗的产品相兼容。换句话说，冲洗阶段用来清洗有限空间里难洗的产品的清洗剂应该要能去除掉那些有限空间里残留的清洗化学物质。

在两种过程中，清洗器的进水流到最后冲洗阶段，然后喷流到可循环冲洗的洗槽里。在一个高性能的清洗系统里，其目标就是在需要清洗的产品流到最后冲洗阶段之前，所有的残留的清洗化学物质都已经被去除了，过程中的残留物如助焊剂，也都已经被去除了，清洗的产品已经可以进入到最后一个冲洗阶段了。这个冲洗是用来去除离子杂质以使得产品中的杂质符合质量和流程标准中设定的水平要求。

12.9.1.15.1 冲洗质量要求 当提起冲洗水质的时候，主要指它的度量衡单位是电阻率，用ohm-cm表示。然而，也有其它一些特征像微粒和溶于水的总固体物质也应该被考虑到。比如，冲洗水能符合要求的电阻率水平，但是含有非离子型的微粒杂质会有损产品质量。因此，冲洗的水常要经过微粒去除（通过机械过滤）和去离子处理。冲洗水的质量水平是由清洗产品的后续过程和产品质量标准所决定的。

例如，用在不怎么重要的消费品上的大的线路板，在清洗后没有后续的处理过程，那么就可能只有一个外表上看起来干净的质量要求。这种情况下，过滤的自来水就已经足够达到这个冲洗水质的要求了。与之相反的一面可能是具有军用规格要求的产品在清洗后要求做敷形涂覆。在这样的情况下，冲洗水肯定要求要经过机械过滤和很大程度的去离子处理。出于实际目的，对水最大程度的去离子处理会导致电阻率达到约18.2兆欧姆-厘米。1兆欧姆-厘米的水和18.2兆欧姆-厘米的水有比较小的溶于水的总固体物质含量差异。也有比较大的成本差异。用18.2兆欧姆-厘米的水的清洗系统很明显得要比用1兆欧姆-厘米的水清洗系统要贵很多，然而在清洗效果上却所差甚微。关键是，超过1兆欧姆-厘米的去离子水就足够满足清洗器的最后冲洗阶段的需求。

底线是工艺工程和质量工程决定清洗标准。冲洗水的质量必须要满足这些标准要求。可能会要求做清洁度测试和一些反复的实验来决定最终的工艺标准。

12.9.1.15.2 冲洗用水的产生 冲洗用水有很多来源。在简单的情况下，如果水质是能满足冲洗工艺要求，冲洗用水能直接从市区的水龙头处获取。当水的纯度要求超出了可获取的自来水，可以采用多种水处理方案。为了消除微粒，可以考虑使用过滤、微孔过滤和超细过滤。微粒过滤通常是后来的反渗透或者碳/离子交换过程的一个起始步骤，但对于其自身而言，它可以很有效地去除细小到1微米的杂质。微孔过滤可以过滤细至0.1微米的微粒，而超细过滤可以过滤细至0.01微米的微粒。对于水的纯度和去电子作用要求在简单的机械过滤之上的，我们就要采用反渗透或者碳/离子交换。

选择正确的方法产生冲洗用水先要了解要求。预计的用量是多少和最低的可接受水质是什么样的？为确保能正确地与流程设备搭配使用，系统用水的要求是什么（流量，压力，和温度）？最后，当需要实现设备的最佳性价比时，选择正确的过滤方式对降低使用成本到最低是很关键的。

12.9.1.15.3 反渗透 反渗透（RO）是一个使用半渗透膜的一个过滤过程。与能防止特定规格的微粒从滤器中滤过的基本的机械式的过滤。不同的是，反渗过程涉及的是用压力迫使高溶质部位的

溶剂（水剂）透过薄膜渗透到低溶质部位。这种过程可以过滤到离子水平（精确到.001微米）。溶质保留在薄膜的一边，而净化过的溶剂渗透到薄膜的另一边。这个过程同时也产出了一部分多余的水流可以用来净化过程中用的薄膜。

用在反渗透过程中的薄膜是温敏型的，所以通常不适合用来循环清洁污染物。然而反渗透在净化用来提供冲洗用水的设施进水方面却是个既经济又实用的选择。如果这个预处理步骤作为循环清洗系统的一部分来使用，将会大大的提高去离子作用中使用的中间槽的使用寿命，因为它可以去除杂质，而杂质的存在会增加中间槽的负载。

12.9.1.15.4 碳/离子交换 碳/离子交换是最常见的一种用来产生去离子水的过程。它可以被严格用来处理进口冲洗水，或者也可被用来作为循环清洗系统的一部分来净化污水并将净化过的水放回到系统中作为冲洗水使用。在这个过程中，使用颗粒活性炭、阳离子和阴离子洗槽（还有可能是结合了阴阳离子的混合床洗槽）来过滤低至离子水平的杂质。颗粒活性炭很适合用来去除有机杂质。阴阳离子洗槽通过从这个过程用水中捕获带相反电的离子来完成去离子作用。阳离子介质是带正电的，所以会吸引带负电的离子，而反过来阴离子介质也是一样。当需要额外的“净化”时，混合床可以照着原先的阳离子和阴离子洗槽来提供去离子作用，作用中电阻率会达到理论的最大值（18兆欧姆-厘米）。除此之外，一些闭路循环系统也含有去除和捕获废水流里的重金属（像铅）的洗槽。

对这个过程最主要的担忧是媒介的使用寿命。当颗粒活性炭洗槽完全满载的时候就必须要用其它的洗槽来替代它，而离子交换洗槽也必须更换。如果碳/离子交换仅仅是用在进水净化（开环）上，媒介的使用寿命将完全取决于进水流中的水量和杂质量。在闭环系统中媒介的使用寿命是好几个变量的函数，比如：媒介的容量和质量；过程用水（直接与清洁器的使用时间相关）的量和温度；产品上要清除的杂质量；清洗的产品数量；进水质量；还有过程添加剂（清洗化学物质、水溶过程胶带、去沫剂等等）的使用。

在以下部分，许多可循环利用的方案在接受审阅。很有必要要注意的是工艺操作员必须要了解地方性法规，这些法规是涉及将污水排放到下水道和媒介槽的运输/处理。城市用水地区像闭路循环系统的供应商一样通常能提供指导方针。然而最后，还是污染物的排放者要负责终身拥有这个工艺的使用权。

12.9.1.15.5 化学分离（在线清洗设备） 当使用连续性的在线清洗设备来隔离洗涤和冲洗阶段的时候，化学隔离模块会提供最后的液体处理方案。清洗液将传送带、电路插件和治具都弄湿了。因为这些被弄湿的器件留在了清洗阶段，所以它们被带进了化学隔离段。化学隔离段的一个目标就是去除传送带，电路板和制具上的清洗液，再将清洗液返回送到洗槽中去。最近的设备革新除去了零件上的清洗液也将流进化学隔离阶段的喷淋洗液提取出来。这种重要的经济性的功能降低了化学使用量，也节省了操作成本。

12.9.1.15.6 化学隔离（在线清洗设备） 大流量、高压力和定向力喷嘴的风险因素之一就是喷淋液体会偏离流进化学隔离段。较短的清洗段，造成从多喷嘴喷淋集管到化学隔离段的距离也较短。基于此原因，清洗液偏离流进化学隔离段会导致比较高的清洗剂耗用量。为了重视这个问题，较大的清洗段加大了从最后多喷嘴喷淋集管到化学隔离段入口处的距离。偏离流进化学隔离段的清洗液必须要提取出来再放回洗槽。化学隔离策略规定了从最后清洗喷淋集管到隔离段的间隔距离，当这个清洗液流进化学隔离段时，就将之除去，然后再将这清洗化学物质放到洗槽里，这样就很大程度上降低了清洗化学物质的耗用量。好的流体处理方案设计是降低清洗剂用量和操作成本的关键。

12.9.1.15.7 干式隔离（在线清洗设备） 在化学隔离区的入口处，传送带上方和下方的气刀能机械地去除传送带，线路板和制具上的清洗剂。新的在线设计将隔离板放置在了气刀的后面，溶剂隔离喷淋冲洗的前面，全面地将清洗液收集并回收到清洗槽中。¹⁰ 隔离板隔离了偏离的喷淋液体进入到化学隔离区中。前面的隔离区能够收集和排除掉气刀和偏离带来的清洗液，令其回到清洗槽中。

12.9.1.15.8 湿式隔离（在线清洗设备） 湿喷淋确保稀释留在元器件内和紧挨元器件以及风刀未能隔离到的低托高元器件下的溶剂。湿部集管以冲洗泵为动力，为潮湿隔离提供了高质量的再利用水。冲洗内的尾流改善了冲洗质量并延长了碳和离子的交换净化媒介。这种喷流功能通过重力依次补给和再生冲洗槽。

12.9.1.15.9 干湿隔离（在线清洗设备） 化学隔离最后的重要部分是传输带上方和下方的另一组风刀。在进入冲洗部分前，这些风刀可机械地剥去线路板和传输带上潮湿部分的喷淋液。可阻止稀释的溶剂到达再循环冲洗，尤其重要的是当运行闭合环路冲洗时。即使冲洗槽不是闭合环路，溶剂传输能够导致冲洗部分发泡和过度消耗。当闭合环路冲洗时，化学隔离喷淋部分必须保障去离子过滤柱不会因为化学污染而降级。

12.9.1.15.10 冲洗水的回收和再利用 对于在线清洗设备，考虑对清洗工艺进行水的回收和再利用有如下几个原因。第一，在线清洗溶剂通常每分钟使用2到5加仑的生产用水。因此，清洗溶剂一天两班，一周五天，一年就会很容易用掉一百万加仑的水，浪费了非常珍贵的自然资源。第二，地方环境法规通常禁止或者严令禁止将污水排放到市区的污水管理系统。第三，引进的水会造成非常昂贵的工艺成本。最后，多数清洗工艺都要求热水。从水龙头引进的加热水比在闭环回收系统或者使用加热循环系统来维持水温的成本要昂贵得多。

12.9.1.15.11 开环 开环是指在清洗工艺中水没有被再循环或者再利用的一个工艺。引进水（可能会或者不会被净化或者去离子处理）流进清洗设备中，同样流进清洗工艺，最后排走（极少的蒸发损失）。保留开环工艺有其特定原因，但却不是节约能源或者有成本效益的，而且也不能节约用水。

开环工艺一个可能的变化是合并一个加热回收系统。这种类型的系统使用一个热交换器来收集排出水的热量，并用它来给引进水提供热量。虽然这不能节约用水，但却可以大幅降低水加热的成本。

12.9.1.15.12 闭环回收 闭环回收是指捕获和回收所有或者部分工艺用水的过程。正如清洗的许多方面一样，分开观看“全水基”工艺和“水基溶剂”工艺效果最好。

在全水基工艺中（通常用于线路板上水溶性的助焊剂被移除时），引进水进入清洗设备，通过最终冲洗来进行回环冲洗、洗涤和排除。因此，有一个进入流道和排除流道（同样适用于批次清洗设备）。这种类型的工艺通常特别适用于在闭环回收中，排除的污水被净化并被重新导入清洗设备作为引入冲洗水。这个碳/离子交换工艺（见12.8.6.4节）通常用在这种类型的系统中。可以使用或者不使用过滤或者反渗透来对水进行预处理。

这种类型的闭环回收工艺可带来很多的益处。第一，用水量仅限于系统的初始液面，蒸汽损失之后，需要补给水。第二，污水中的大部分热能都被保留，第三，水并未直接排入下水道，益于环境。

工艺中使用清洗溶剂会让闭环回收变得更复杂。清洗溶剂在碳/离子交换系统中会给树脂床寿命带来非常不利的影 响。因此，简单的闭环冲洗部分非常合适。这个方案中，引入水进入到最终冲洗，再循环冲洗后排出。此时，碳/离子交换系统可能会用在闭环工艺中，与上面讨论的全水基工艺相似。要点是清洗系统在隔离的清洗溶剂中会更有效。（请看下面12.8.6.6.3部分）。清洗机的清洗部分使用的清洗溶剂是“隔离的”，其中，生产过程中排水阀保持关闭，清洗机会限制带离液进入到冲洗阶段。

12.9.1.15.13 隔离溶剂闭环冲洗的排放 通常，设计用于冲洗化学液的清洗系统旨在减少带离液 的量进入到冲洗部分。洗涤带离液可以简单地被线路板表面带走（或者正在清洗的产品），或者在清洗表面“过喷”时发生。限制清洗液的后移的一个方法是合并洗涤和冲洗的一些清洗区间，有时也叫“化学分离”部分。简单而言，这个部分可能只是一个在传输带下面带块挡板的盲区，角度弯向清

洗槽。清洗剂从产品滴下，并返回到清洗槽中。更多复杂的系统包含风刀在产品上“压”清洗水，然后将其导向清洗槽。另一个变化包括多头喷嘴集管将产品上的预冲洗水导向滞留区的洗涤水，如连接器和细小空间的器件。虽然这些水可能稀释洗涤溶剂的浓度，但却不建议直接将溶剂隔离喷淋导入到洗涤槽中。

解决这个污水流有一些方法。第一，可能会被允许排放（咨询当局）。既然它的总量相对较低（一般每分钟低于一加仑），那么排放此污水流并不会造成高额成本。第二，除去重金属（和调整好PH）的这种废水，然后再倒入市区排水系统作为相对良性的废水。第三，通过一些工艺进行循环利用是可能的，但必须经循环系统厂商认证。

12.9.1.15.14 冲洗验证 多数用户都会通过使用电阻率的方法来监控最终冲洗的品质。电子清洗应用典型的值域高于0.5兆欧的电阻。

12.10 通风 气流管理阻止了蒸汽从设备的进口流出或者出口流出。¹⁰ 运行清洗化学液的清洗设备需要一个独立的排放室来管理清洗和化学隔离部分，以及需要另一个独立的排放室来管理干燥部分。机内空气的平衡提供了设备入口和出口的负压流。清洗部分过量的气流会引起清洗液体蒸发到顶部，干燥通风中过量的气流会使清洗溶液蒸发到冲洗部分，可能引起冲洗发泡。适当的平衡，可保持工作间清新整洁，不会充满溶剂的味道。雾气收集器通常用于收集清洗废气，使得清洗溶液被重新送回到洗涤槽中。

12.10.1 平衡在线系统的通风 从咨询设备制造商的建议开始。此系统的设计需要每个排气口在特定静压下都达到所要求的流量。清洗系统内的新鲜空气必须通过水雾来测定。机内负压可阻止清洗剂和水蒸汽从入口和观察窗溢出。

设备内部带有内部调节器。咨询制造商关于调节器的放置位置和安装方法。内部调节器的调整可平衡及管理气流。需要偏置内部的气流朝向以防止清洗液移入到冲洗段，和偏置内部的气流朝向机器末端的干燥段。适当的平衡可防止洗涤化学品进入冲洗阶段，保证冲洗质量，防止冲洗发泡。（Dirk Ellis）

12.10.2 批量系统 离线清洗设备的通风需求是由一些设计特征和溶剂选择决定的。封闭式的清洗设备（封闭的门和管道系统）可能比开顶需要更少的通风要求。如果使用一个清洗溶剂，味道和易燃性等因素会影响到对通风的需求。

12.10.2.1 开顶 开顶设计是在案台高度时从槽后方将空气排除，以此来实现通风。此目的是将空气通过槽顶排出来，以阻止任何短时排放渗透到工作区域。如有必要，在尾部装置设立一个推/拉设备，就会为安装在槽的前方流入装置提供空气源穿过槽。

12.10.2.2 离心机 这个系统或者是采用开放式通风口密封或者是采用系在一个带有风道隔断风口的动态排气系统上。隔断通风口以防止在清洗室内形成真空。这就可让室压进入排气管，从而防止清洗室内真空及允许敞开清洗室。

12.10.2.3 单个和多个自主腔膛式的清洗设备 单个和多个自主腔膛式的清洗设备通常比其它清洗设备要求的通风量要少。在多数这些清洗设备中，只需要少量或者最低限度地辅助通风。因为洗涤、冲洗和干燥循环并不是同时进行，当洗涤溶液和冲洗水没有被空气带走时，通过槽的空气量只局限于干燥。跟通风管的静态连接不会在洗涤循环中从槽里拉动洗涤溶液蒸汽，减少了蒸汽损失。连接到吸入式通风系统会增加槽内的负压力，增加洗涤溶剂的损失。

12.10.3 干燥 干燥系统通过使用高速率、高温再生的鼓风机技术使用风刀将湿气机械地从密集的基板上移除。

12.10.3.1 排气量 高温可加快空气取代线路板和器件上的水分。矢量风刀可假想为空气从基准位置沿着一条直线在长度和方向上移动，且采用高压气流带来的高强度速率来排除水分。压缩空气通过一系列的小孔或者连续的隙缝被高速吹入。

12.10.3.2 热能 温度控制的对流区用来蒸发板子上的水蒸汽。热对流干燥的使用可有效的移除盲区的水痕。

13 返工、维修和修复操作的清洗

13.1 简介 本指南前面的章节已概述了在生产操作中电路板组件的常规清洗操作。发生在返工、维修和修复过程中的清洗操作非常不同于正常生产工艺中的清洗操作。组件通常由包括对热、对化学品和对水敏感的元器件构成。此外，敷形涂覆的组件，用粘合剂固定的元器件，应用到组件的标记和标签等，这些都不包含于本生产清洗操作。对于电路板组件的返工、维修、修改的相关清洗操作中的细节变得越来越重要。大部分的电子组件到此制程阶段，已经达到了最高功能及最大价值。使用粗劣的方法和不当的制程及材料进行清洗，可能会导致报废高价值的组件。

本文件首先解决的是返工、维修和整修清洗和清洁的方面。如想对返工、维修有更深入的了解，读者请参考IPC-7711/7721《电子组件的返工、修改和维修》。

13.2 术语和定义 返工、维修和整修在工业中都是有多种用途和意义的术语。IPC-T-50使用如下的定义：

13.2.1 返工 通过使用原工艺或者替代的等效工艺，确保不合格产品符合适用图纸或者技术规范的后加工。

例如：若一个加工好的组件不符合清洁的标准，那可能就需要寻求更多的清洗工艺直到满足标准要求。

13.2.2 维修 使有缺陷产品功能恢复的行为。一般情况下维修可恢复硬件，使其符合所适用的图纸或者技术规范。严格[军用]情况下，返工能够符合其要求，但维修只可恢复其功能，却不符合其要求。

例如：若一个组件从服务器上移除，一个电路损坏（开路）。从而决定使用跳线来绕开损坏的电路部分。跳线并没在原始图纸上。这个组装是有功能的，但却没有严格遵守制造图纸或者规格。

IPC-T-50对一些术语如修复、修整或者整修并没有标准的定义。使用这些术语可认为是“返工、维修”的各种方法，都包括在电子硬件上做些整修操作来还原一些功能。这个文件中包括：

13.2.2.1 修复 恢复一个经受异常并造成潜在缺陷物体的功能的行为，如电子设备遭到烟熏损坏或者水灾损坏。这些情况被认为是非正常操作环境下的使用。功能特性的等级可能被认为是非正常原始设备制造商的担保。对可靠性和使用寿命的影响应该首先考虑到。

13.3 工厂端返工 当在原先的产品生产过程中要求返工，返工的方法会因产品是由原始设备制造商还是由电子制造服务的提供商制造而略有不同。

对于原始设备制造商（OEM），那么返工会更容易展开：

- 工程图和工艺规格。
- 专门的用来完成返工和包括维修的设备：

- 涂层去除和补涂设备
- 元器件去除和再连接设备
- 最新的培训和认证项目
- 内部返工和维修专家

对于电子制造服务（EMS）/合同制造商：

- 如果OEM要将制程强加给EMS完成，虽然有工程图纸，但EMS并不熟悉制造工艺。
- 电子制造服务标准返工方案可能会与原始设备制造商不同。
- 电子制造服务可能没有内部的涂层专家。
- 不同的制造商对电子组件返工、维修和整理的最佳方案会存有不一致的地方。返工及维修的方案应该通过合同来达成一致。

13.4 现场返工和维修 工厂返工时，原始设备制造商可以使用许多工具和技术，而与此形成鲜明对比的是，现场返工往往没有这些条件。现场返工可能是由工厂培训的技术员、认证或者认可的返工和维修操作员，或者由独立的返工和维修承包商完成。

- 产品的详细手册可能适用，但是其中很少涉及返工时的作业方法，因此只能依靠标准操作手册来自行定义返工时的作业方法。
- 标准操作手册可能已经过时。
- 维修作业的标准操作可能会与原始设备制造商的标准操作存在显著的不同。
- 返工和维修的材料和方法可能无法使用。例如，原涂层材料可能在某些地理位置不再符合环保要求。
- 在上述情况下，应该联系原始设备制造商，由其提供合适的替代方案。

13.5 修整和修复 修整和修复是指超出工厂返工和现场维修范围以外的操作。当发生正常使用条件以外的异常情况下，可以使用这些操作。例如，当电子设备遭受火灾或者洪水损害以后。在这些异常情况下，往往需要产品能够恢复使用。因此，清洗这些组件时，需要有特殊的要求。在正常条件外，这些组件还会有脏污或者其它污染物。测定这些脏污或者污染物，以及如何去除它们，同样是本文档所涉及的内容。

13.6 维修、返工和修复对可靠性的影响 产品可靠性是指在某种环境条件下和某个时间段内，组件的功能性。返工，维修和翻新操作，会影响电子组件的使用周期¹。在进行返工，维修和翻新操作前，可能需要对组件进行一些准备工作。在准备工作时，需要考虑的因素有以下几种：

- 敷形涂覆。
- 开放的有形组件（继电器、电位器、连接器）。
- 化学敏感组件（发光二极管、显示屏、标签、部件标记）。
- 热敏感组件（电解电容）。
- 活性表面（塑料、金属涂层）。
- 机电产品（电机、光盘盘片）。
- 光纤器件。

13.6.1 敷形涂覆 许多电子组件用敷形涂覆来保护电路，从而不受外界苛刻的最终使用环境的影响。在现场进行敷形涂覆的去除和再生成是非常困难的。在IPC-7711/21标准中，可以找到识别敷形涂覆并去除它的方法。本手册只描述敷形涂覆的基本类型和概述。不管怎样，请参阅IPC-7711/21标准，来获得更详细的方法和流程来识别敷形涂覆并去除它。

敷形涂覆有五种基本类型：环氧树脂型、聚氨酯型、丙烯酸型、有机硅型和聚对二甲苯型。在返工或者维修工艺中，一般的第一步是去除敷形涂覆，从而允许达到元器件的可焊性表面。四种最常用的去除方法是：

- 喷砂处理（参见IPC 7711/21，2.3.6节）
- 化学剥离（参见IPC 7711/21，2.3.2节）
- 热法去除（参见IPC 7711/21，2.3.4节）
- 机械去除（参见IPC 7711/21，2.3.5节）

13.6.1.1 喷砂处理去除敷形涂覆 微喷砂处理主要是将一个微小的粒子喷到涂层表面上，用足够的力量机械地研磨涂层表面，并最终去除涂层。必须在研磨涂层表面和研磨涂层下方的印制电路板表面之间取得平衡。这种去除涂层的方法使用微喷砂系统和极细的软研磨粉。这种粉末将用小喷嘴喷到需要去除涂层的区域。在确定适当的涂层去除流程前，必须首先确定涂层的类型。可以通过多种方法来确定涂层类型。如果图纸或者文档没有阐明涂层的类型，则可能需要采用化学或者其它分析技术，以帮助确定涂层类型。

微喷砂处理过程中会产生大量的静电荷。因此需要使用适当的防静电措施，以保证妥善处理静电。建议在使用微喷砂处理时，工作区域需要有电离空气保护，且印制电路板组件应该接地。

13.6.1.2 化学剥离去除敷形涂覆 在许多情况下，为了对电子器件进行返工，维修或者失效分析时，需要去除敷形涂覆。采用化学剥离的去除方法可以最大程度地完全去除涂层，同时对电子器件无不良影响。化学剥离方法在去除数量极少的基板上的敷形涂覆时，使用成本更低（参见IPC 7711/7721标准）。

选择化学剥离法来进行去除作业的第一步是确定涂层所采用的化学材料。可以用化学剥离法去除敷形涂覆的主要类型包括环氧树脂型、有机硅型、聚氨酯型和丙烯酸型。接下来就要看器件上有何种组件，这样可以选择不损伤这些组件或者基板的化学品。需要检查的其它因素还包括选定的化学品对安全和环境方面的要求。在遇到ER、SR、UR和XY型涂层材料时，请格外注意。这是因为在某些化学溶剂接触这些类型的涂料时，可能会造成损害。

13.6.1.3 热法去除敷形涂覆 对于某些敷形涂覆的去除，在许多返工/维修手册中列出的方法是用焊接工具、热风返修设备或者其它可控热源来“过度烘烤”覆行涂覆。这种热处理方法往往用在聚氨酯型涂料的去除中，这是因为丙烯酸型涂料往往无法导热（会逐渐变成一种黑色的焦油状物质），而其它类型的涂料（有机硅型、环氧树脂型、聚对二甲苯型）往往是非常耐热的，因此不能适用热处理法（参见IPC 7711/7721标准）。

13.6.1.4 机械去除敷形涂覆 这种去除涂层的方法可以根据涂层材料的成分来选择使用各种研磨工具和刮刀。使用刮除方法时，通常使用小刀或者牙科式的刮刀。使用研磨方法时，通常使用手钻，可能也会需要用到各种旋转研磨材料，包括球磨机。应该注意观察，避免损坏基板。无论采用何种方法，仍应该谨慎行事，以确保去除涂层时产生的残留物或者微粒，不会影响组件（参见IPC 7711/7721标准）。

13.6.2 敷形涂覆的再生成 在IPC-7711/21标准中，给出了再生成敷形涂覆的技术。采用何种再生成敷形涂覆的方法取决于去除了多少涂料。对于大面积的应用，通常首选将涂料喷洒到表面。对于小面积的应用，往往是重新刷一层作为再生成方法。

13.7 返工、维修和修整操作后的清洗 返工、维修或者修整后的组件清洗往往不同于流水线上的组件清洗。大部分情况下，会使用手工清洗技术来清洗这些组件。在这种工艺中会结合使用到浸入槽，刷子，棉签，台式清洗设备，耐磨损布等工具，甚至自动清洗设备等工具。在选择清洗材料和工艺时需要考虑的重要因素有：

- 关于操作员/技术员可直接接触的清洗材料的环保法规。
- 需要被去除的脏污类型。
- 清洗液和冲洗液的喷洒量控制。
- 冲洗要求。
- 烘干要求。
- 交叉污染。

一个典型的清洗工艺可能包括选择具有低蒸汽压，且能有效溶解残留物和脏污的清洗溶剂。许多台式清洗应用使用气溶胶式的清洗产品来清洗所选区域。往往首选单一组分的清洗液，从而不需要使用其它冲洗液来进行冲洗。采用机械方式所遇到的死角可以用刷子来完成。可溶性污染物的去除可以通过使用耐磨损布来完成。

13.8 修整电子组件的方法 修整组件，使其恢复功能需要策略。在翻新前，必须先问一些问题。首先，最好是更换基板，而不是试图翻新它？翻新与更换的性价比，需要优先加以解决。当决定翻新电子组件后，以下方法可以帮助确定成功翻新所需的操作顺序。

13.8.1 数据收集 重要的是，尽可能多地获得以下信息：

- 设备受到什么影响？
- 受影响时间有多久？
- 电子组件表面上的脏污是否可以被观察到？
- 是否在设备上有任何物理损坏的迹象？
- 是否在设备上有任何电气损坏的迹象？
- 残留在基板上的脏污是导电的吗？
- 脏污是离子的或者极性的吗？
- 基板上的脏污是有机的，还是无机的？

13.8.2 分析 分析技术的使用，有助于确定表面污染物的类型和范围。对于这些分析技术更全面的解释，请参考Dean's分析化学手册²。

- 光学显微镜。
- 红外成像。
- 扫描电子显微镜。
- 表面有机污染分析（IPC-TM-650测试方法2.3.39）。
- 红外光谱和傅里叶变换红外光谱。
- 紫外可见光谱。
- 拉曼光谱。
- 原子吸收光谱法。
- 离子色谱法。
- 气相色谱法。

采用这些分析技术所得到的结果可以帮助确定组件上脏污的类型，根据这些结果，可以采用适当的翻新工艺，使得电子组件可以恢复功能。

13.8.3 翻新电路板组件的清洗工艺选择注意事项 翻新组件后需要选择影响最小的清洗工艺，使得组件可以恢复正常状态。清洗工艺的选择将取决于分析的结果。所需要去除的污染物或者脏污将决定采用何种清洗方式。易溶于水或者异丙醇中的脏污比含有有机成分，例如油脏污更容易去除，这时需要加强清洗工艺。

众所公认的，含离子的残留物会损伤电路板组件。因此，建议在发生污染后，用化学方法测量离子污染程度。离子污染程度测试可以用电阻率溶剂萃取法（含改进的），或者从组件表面局部提取和离子色谱法来实现。因为这种翻新情况很少发生在整块组件上，或者是总体整修，因此首选局部提取技术。市场上有很多专业的实验室可以提供这种局部提取技术。

参考文献

1. Electronics Materials Handbook: Packaging, Merrill L. Minges, ASM International, ©1989
2. Dean's Analytical Chemistry Handbook, Pradyot Patnaik, ©2004



定义提交/审批表

此表是为了及时收录行业中广泛使用的术语和定义，以修订本标准。欢迎个人或单位参与发表意见。请填写此表并反馈给：

IPC
3000 Lakeside Drive, Suite 309S
Bannockburn, IL 60015-1249
传真: 847 615.7105

申请人信息：

姓名: _____
公司名称: _____
所在城市: _____
所属国家: _____
电话号码: _____
日期: _____

- 新的术语及定义的申报.
- 对原有术语及定义的补充.
- 对原有术语及定义的修改.

术语	定义

如空间不足,请写在背面或附页上.

插图: 不适用 要求 待提供

包括: 电子文件名称: _____

适用此术语及定义的文件: _____

与此术语及定义相关的委员会: _____

由IPC 内部填写	
IPC Office	Committee 2-30
Date Received: _____	Date of Initial Review: _____
Comments Collated: _____	Comment Resolution: _____
Returned for Action: _____	Committee Action:
Revision Inclusion: _____	<input type="checkbox"/> Accepted <input type="checkbox"/> Rejected <input type="checkbox"/> Accept Modify
IEC Classification	
Classification Code • Serial Number	
Terms and Definition Committee Final Approval Authorization:	
Committee 2-30 has approved the above term for release in the next revision.	
Name: _____	Committee: <u>IPC 2-30</u> Date: _____

此页留作空白



会员申请表

衷心感谢您成为IPC协会会员和对IPC的支持！IPC会员资格是针对企业整体的，成为IPC会员意味着本申请表中所填公司全体员工都可享受会员裨益。

为了使IPC能更快更好地为会员服务，请在以下项目中选择最能反映单位情况的一栏，并按提示填写。

印制电路板制造商

生产和销售印制电路板（PCB）或其它电子互连产品，并将产品销售给其它公司。贵公司生产和销售哪些产品？

单面和双面刚性多层印制板 挠性印制板 其它互连产品

董事长/总经理： _____

电子制造服务（EMS）公司

根据合同生产印制电路组件，并可提供其它电子互连产品进行销售。

董事长/总经理： _____

OEM-原始设备制造商

采购、使用和/或自制的印制电路板或其它电子互连产品以制造、销售终端产品。

系列产品： _____

行业供应商

提供制造或组装电子互连产品所用的原材料、机器、设备或技术服务。

服务于哪个行业？ PCB EMS 二者均有

供应产品品种： _____

政府机构/科研院校

设计、研究、使用电子互连产品的非盈利事业单位。

咨询公司

提供何种服务： _____



会员申请表

单位情况:

单位名称: _____

地址: _____

电话: _____ 传真: _____

联系人: _____ 职务: _____

电子邮件: _____ 网址: _____

会费详情:

会费

IPC收到贵公司申请表并且会费付讫之日起, 贵公司开始享受所有IPC会员裨益, 会员期持续一年或者两年取决于贵公司在以下不同付费情况中的选择。会费收取仅限于**人民币**。

请选择一项:

原始会员: <input type="checkbox"/> 一年会员期USD 1050 <input type="checkbox"/> 两年会员期USD 1890 (节省10%)	政府机构、科研机构等非盈利组织 <input type="checkbox"/> 一年会员期USD 275 <input type="checkbox"/> 两年会员期USD 495 (节省10%)
附加会员: (同一集团内有另一家单位是IPC会员) <input type="checkbox"/> 一年会员期USD 850 <input type="checkbox"/> 两年会员期USD 1530 (节省10%)	咨询公司 (员工数少于6人) <input type="checkbox"/> 一年会员期USD 625 <input type="checkbox"/> 两年会员期USD 1125 (节省10%)
年销售额不超过500万美元的企业 <input type="checkbox"/> 一年会员期USD 625 <input type="checkbox"/> 两年会员期USD 1125 (节省10%)	

请妥善填写好本表格传真或电子邮件至:

会员部负责人

IPC-爱比西技术咨询(上海)有限公司

电话: 400-621-8610

+86-21-2221-0000

邮箱: BDACHina@ipc.org

网址: www.ipc.org.cn



标准改善填写表

IPC-4412B CN

此表的目的在于让这标准的有关工业使用者向IPC技术委员会提供建议.

欢迎个人或集体对IPC提交建议.我们将会收集所有的建议并上交给相应的委员会.

如果您能提供改善建议, 请填好下表并递至:

IPC
3000 Lakeside Drive, Suite 309S
Bannockburn, IL 60015-1249
传真: 847 615.7105
电子邮件: answers@ipc.org

1. 我想对以下提出更改建议:

要求, 章节数
 那种测试方法 _____, 章节数 _____

以上章节数被证明为:

不清楚 不适用 有误的
 其他

2. 具体的更改建议:

3. 对于标准的其他改进建议:

提交人:

姓名 _____ 电话 _____

公司 _____ 电子邮件 _____

地址 _____

城市/国家/洲 _____ 日期 _____

Association Connecting Electronics Industries



3000 Lakeside Drive, Suite 309 S
Bannockburn, IL 60015
847-615-7100 **tel**
847-615-7105 **fax**
www.ipc.org
ISBN #978-1-61193-138-9

IPC 中国
电话: 400-621-8610
+86-21-2221-0000
邮箱: BDACHina@ipc.org
网址: www.ipc.org.cn

上海 青岛 深圳 北京 苏州 成都