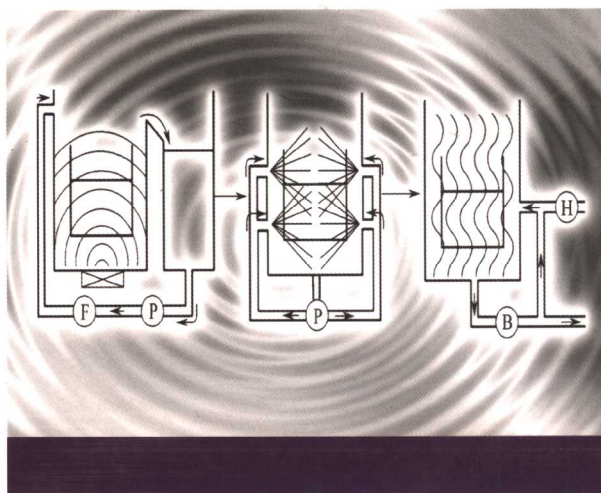


金杏林 编著

精密洗净技术



Chemical Industry Press



化学工业出版社
环境科学与工程出版中心

精密洗净技术

金杏林 编著



化学工业出版社
环境科学与工程出版中心

· 北 京 ·

(京) 新登字 039 号

图书在版编目 (CIP) 数据

精密洗净技术/金杏林编著. —北京: 化学工业出版社, 2004. 11

ISBN 7-5025-6312-1

I. 精… II. 金… III. 电子元件-清洗-技术
IV. TN607

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 117379 号

精密洗净技术

金杏林 编著

责任编辑: 陈 丽 刘兴春

责任校对: 凌亚男

封面设计: 于 兵

*

化学工业出版社 出版发行
环境科学与工程出版中心

(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

发行电话: (010) 64982530

<http://www.cip.com.cn>

*

新华书店北京发行所经销

北京市彩桥印刷厂印装

开本 850mm×1168mm 1/32 印张 9½ 字数 252 千字

2005 年 2 月第 1 版 2005 年 2 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-6312-1/X·557

定 价: 26.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责退换

前 言

《精密洗净技术》是一门随着高科技产品的出现而出现的一种新的洗净技术，也是随着对产品可靠性要求的不断提高而出现的一种高清洁度洗净技术，也是在传统工业清洗的基础上发展起来的应用技术。众所周知，高科技产品，具有高性能、高精度、高可靠性、高集成度和微型化的特点，因此，对产品上残留的污染物非常敏感。只有高清洁度，才能保证产品的高性能和高可靠性。

对什么是精密洗净目前还没有一个确切的定义。精密洗净应该比传统的工业清洗具有更先进的洗净技术，使工件获得更高的清洁度，甚至可以达到微米、亚微米、分子级的水平。精密洗净是一门比较年轻的新兴技术，是适应高科技产品发展的需要应运而生的，发展的空间很大。精密洗净涉及的学科很多，如物理、化学、表面物理、物理化学、化工、表面处理、精密机械、电子和微电子、光学、薄膜技术、净化技术、水处理技术等，但都属于边缘性的，目前大学里可能还没有设置专门的专业。精密洗净技术涉及的工业生产领域非常宽，如航天、航空、核工业、邮电通讯、机械、电子、光学仪器、汽车、医疗设备、军事装备等，几乎每个行业都离不开精密洗净。精密洗净对提高我国机电产品的性能、使用寿命和可靠性具有重要意义。

但是，比较遗憾的是目前精密洗净方面的技术书籍甚少，能全面、系统介绍这一方面专业知识的就更少，几乎可以说还看不到。笔者从事精密洗净技术多年，深感查找这方面资料的困难，虽然知道引进了不少国外先进的洗净技术，但引进的厂家往往封锁消息，不让同行知道。由于缺少技术资料的指导，工作中往往要多走不少弯路，边工作，边摸索，存在一定的盲目性。面临精密洗净技术书籍的缺少，笔者把过去所经历的和所接触到的经验和相关资料加以

归纳整理，作为抛砖引玉，对从事这方面工作的工程技术人员、操作者也许有一定的参考和帮助。由于科学技术在不断地发展，新的工艺和技术不断涌现，过去适用的现在不一定再适用，所以只能供读者参考。

本书力求通俗易懂、简单明了、深入浅出地介绍，着重于系统性和实用性。本书的结构是：第一章概述；第二章洗净机理；第三章洗净对象；第四章清洗介质；第五章精密洗净工艺；第六章精密洗净设备；第七章清洁度检测和评价；第八章精密洗净作业的管理；附录中收集了清洗技术中常用英文名词缩写。限于编者水平，缺点和不足之处在所难免，希望广大专家和读者提出宝贵意见，以便今后改正。

编著者

2004年9月

目 录

1 概述	1
1.1 工业洗净概念及洗净目的	1
1.2 传统工业清洗与精密洗净	2
1.3 精密洗净的方法	2
1.4 湿法清洗的基本过程	3
1.5 清洗能力和清洁度	5
1.6 洗净五要素	6
1.7 清洗与其他生产工序的关系	7
1.8 清洗与环境保护	7
1.9 清洁度与产品质量	8
1.10 精密洗净的原理和特点	10
1.11 精密洗净所采用的技术手段	12
1.12 精密洗净技术的应用范围	13
1.13 精密洗净技术在我国的发展	14
1.14 保护臭氧层与替代氟氯烃清洗	17
1.15 对精密洗净技术的展望	19
2 洗净机理	21
2.1 污染物对工件表面的粘附	21
2.1.1 污染物粘附的原因	21
2.1.2 污染物粘附的性质	21
2.1.3 污染物的种类	24
2.1.4 工件材质与粘附	26
2.2 润湿与表面张力	27
2.2.1 润湿	27
2.2.2 润湿角	27
2.2.3 表面张力	28
2.2.4 界面张力	29

2.2.5	清洗介质、污染物、工件表面三者之间的相互关系	30
2.3	溶剂清洗的基本法则	31
2.3.1	污染物的极性	31
2.3.2	清洗介质的极性	32
2.3.3	溶剂对溶质的溶解	32
2.3.4	清洗介质对污染物的相溶法则	33
2.3.5	对清洗介质溶解能力的判断	33
2.4	水基清洗机理	35
2.4.1	水的分子结构和特性	35
2.4.2	水的溶解清洗能力	36
2.4.3	乳化清洗作用	36
2.4.4	皂化作用	37
2.5	对金属离子的螯合作用	38
2.6	超声波清洗作用	38
2.6.1	超声波清洗的原理	38
2.6.2	超声波的声压强度与空化作用	39
2.6.3	超声波的频率与空化作用	39
2.6.4	超声空化作用与清洗介质的物理性质	39
2.6.5	超声波在清洗介质中的传播	40
2.7	酸洗机理	41
2.8	电解除油机理	42
2.9	机械能和热能	42
2.10	生物能	43
3	洗净对象(污染物与工件)	44
3.1	污染物	44
3.1.1	油脂类污染物	44
3.1.2	水溶性类污染物	47
3.1.3	油脂性污染物兼有水溶性污染物	47
3.1.4	固体微粒类污染物	48
3.1.5	助焊剂类污染物	49
3.1.6	离子类污染物	51
3.1.7	氧化物类污染物	51
3.1.8	积炭类污染物	51

3.1.9	液晶类污染物	52
3.1.10	微生物类污染物	52
3.2	工业生产中常见的清洗工件	52
3.2.1	钢铁类零件	52
3.2.2	不锈钢类零件	53
3.2.3	铜合金类零件	53
3.2.4	铝、镁合金类零件	54
3.2.5	钛合金类零件	55
3.2.6	塑料类零件	55
3.2.7	硅片类零件	56
3.2.8	光学玻璃类零件	56
3.2.9	陶瓷类零件	57
3.2.10	印制电路板类零件	57
4	清洗介质	58
4.1	对清洗介质的基本要求	58
4.1.1	对有机溶剂类清洗介质的基本要求	58
4.1.2	对水基类清洗介质的基本要求	58
4.2	清洗介质的分类	59
4.2.1	有机溶剂清洗剂	59
4.2.2	水基类清洗剂	60
4.3	ODS类清洗剂(破坏臭氧层类)	60
4.3.1	三氟三氯乙烷	60
4.3.2	1,1,1-三氯乙烷	65
4.3.3	四氯化碳	67
4.4	过渡性替代 ODS 类清洗溶剂	68
4.4.1	HCFC-123	68
4.4.2	HCFC-141b	69
4.4.3	HCFC-225	70
4.5	替代 ODS 类(不破坏臭氧层)汽相清洗剂	72
4.5.1	HFC-4310 清洗溶剂	72
4.5.2	HFC-245fa	77
4.5.3	HFC-365mfc	78
4.5.4	HFE-7100 清洗剂	78

4.5.5 全氟化碳清洗剂 (PFC)	79
4.6 溴代烃类清洗剂——正溴丙烷, 简称 <i>n</i> PB	80
4.7 氯代烃类清洗剂——氯化溶剂	81
4.7.1 二氯甲烷	81
4.7.2 三氯甲烷 (氯仿)	83
4.7.3 三氯乙烯	84
4.7.4 四氯乙烯	86
4.8 烃类清洗剂	88
4.9 萘烯类清洗剂	100
4.10 醇类清洗剂	101
4.11 酮类清洗剂	102
4.11.1 丙酮清洗剂	102
4.11.2 <i>N</i> -甲基吡咯烷酮 (NMP) 清洗剂	103
4.12 乙二醇醚类清洗剂	104
4.12.1 乙二醇-甲醚 (甲基溶纤剂)	104
4.12.2 乙二醇-乙醚 (乙基溶纤剂)	105
4.12.3 乙二醇-丁醚 (丁基溶纤剂)	105
4.12.4 乙二醇二乙醚	106
4.12.5 丙烯-乙二醇-甲基醚	107
4.13 甲基硅氧烷类 (VMS) 清洗剂	107
4.14 酯类清洗剂	108
4.15 水系清洗剂	109
4.15.1 碱性清洗剂	109
4.15.2 酸性清洗剂	113
4.15.3 以表面活性剂为主的中性清洗剂	116
4.15.4 乳化类清洗剂	128
4.16 酶类清洗剂	129
4.17 植物系清洗剂	130
4.18 自来水与纯水清洗介质	130
4.18.1 水中的杂质	130
4.18.2 自来水	131
4.18.3 去离子水	132
4.19 功能水清洗介质	133

5 精密洗净工艺	134
5.1 设计精密洗净工艺应考虑的因素	134
5.2 精密洗净工艺的内容	136
5.3 清洗方式和特点	138
5.4 工件干燥方法和特点	140
5.5 精密洗净基本工艺和特点	143
5.5.1 有机溶剂类基本清洗工艺和特点	143
5.5.2 半水溶剂清洗的基本工艺和特点	149
5.5.3 水基清洗的基本工艺和特点	151
5.6 电子零部件类的精密洗净工艺	152
5.6.1 电子线路板的精密洗净工艺	152
5.6.2 液晶显示器精密洗净工艺	163
5.6.3 彩色显像管电子零件的精密洗净工艺	169
5.6.4 计算机存储器磁头的精密洗净工艺	172
5.6.5 继电器精密洗净工艺	173
5.6.6 电子调谐器的精密洗净工艺	174
5.6.7 厚膜电路的精密洗净工艺	174
5.6.8 电子线材的精密洗净工艺	175
5.6.9 瓷介电容器精密洗净工艺	176
5.6.10 硅片的精密洗净工艺	176
5.7 精密机械的洗净工艺	177
5.7.1 电机类零件的精密洗净工艺	177
5.7.2 滚珠轴承的精密洗净工艺	178
5.7.3 手表零件的精密洗净工艺	179
5.7.4 全封闭压缩机零件的精密洗净工艺	180
5.7.5 刀具镀膜零件的精密洗净工艺	183
5.7.6 油泵、油嘴零件的精密洗净工艺	184
5.7.7 空调热交换器的精密洗净	185
5.7.8 制氧机零件的精密洗净工艺	185
5.7.9 液压件的精密洗净工艺	187
5.8 玻璃和光学透镜类零件的精密洗净工艺	188
5.8.1 液晶显示器玻璃基板的精密洗净工艺	188
5.8.2 光学透镜的精密洗净工艺	189

6 精密洗净设备	192
6.1 精密洗净设备的基本要求	192
6.2 精密洗净设备的分类	192
6.2.1 按生产规模分类	192
6.2.2 按使用的清洗工艺分类	193
6.2.3 按清洗方式分类	194
6.3 精密洗净设备的基本结构	195
6.4 精密洗净设备的设计	197
6.4.1 汽相清洗机的设计要点	197
6.4.2 烃类溶剂清洗设备的设计要点	210
6.4.3 半水溶剂清洗设备的设计要点	211
6.4.4 水清洗设备的设计要点	211
6.5 精密洗净设备的基本类型	214
6.5.1 汽相清洗机的基本类型	214
6.5.2 烃类溶剂清洗设备基本类型	218
6.5.3 半水溶剂清洗设备的基本类型	221
6.5.4 水清洗设备的基本类型	222
6.6 典型工件的精密洗净设备	223
6.6.1 电子线路板的精密洗净设备	223
6.6.2 液晶显示器的精密洗净设备	229
6.6.3 继电器的精密洗净设备	231
6.6.4 彩色显像管框架清洗机	231
6.6.5 彩色显像管荫罩零件清洗机	233
6.6.6 电子枪零件清洗设备	233
6.6.7 电子线材清洗机	234
6.6.8 高转速轴承的精密洗净设备	234
6.6.9 全封闭压缩机的精密洗净设备	235
6.6.10 液晶玻璃基板的精密洗净设备	237
6.6.11 光学镜片的清洗设备	239
6.7 洗净设备的配套附属装备	240
6.7.1 溶剂蒸馏回收设备	240
6.7.2 冷冻水箱	241
6.7.3 纯水处理设备	242

6.7.4	污水处理设备	246
7	清洁度检测和评价	249
7.1	概述	249
7.2	对工件表面残留油污的检测	250
7.3	对工件表面残留粒子污染的检测	252
7.4	电子线路板表面离子污染的检测	254
7.5	电子线路板表面助焊剂残留物检测	255
7.6	电子线路板表面绝缘电阻检测	256
7.7	其他一些分析测试仪器检测	257
7.8	电子线路板清洁度标准	257
7.9	机械的工业清洁度标准	258
7.9.1	SAE 749D—1963《液压油污染度等级》	258
7.9.2	NAS—1638《液压系统零件清洁度标准》	258
7.9.3	MIL-std-1246A《液压系统清洁度标准》	259
7.9.4	MIL-H-5606C《液压系统清洁度标准》	259
7.9.5	ISO 4406—1987《液压传动-油液-固体颗粒污染等级代 号法》	260
7.9.6	FOCT 6370—59《技术用液清洁度标准》	260
7.9.7	FOCT 17216—71《工业清洁度标准液体清洁度等级》	261
7.9.8	我国制定的有关机械清洁度标准	262
8	精密洗净作业的管理	265
8.1	汽相清洗中洗净作业的管理	265
8.1.1	汽相清洗中溶剂损耗过多问题的管理	265
8.1.2	清洗槽被酸化腐蚀问题的管理	267
8.1.3	清洗溶剂中出现水分过多问题的管理	269
8.1.4	清洗不干净,工件上残留较多杂质问题的管理	269
8.2	水基清洗中洗净作业的管理	271
8.3	洗净作业中的安全性管理	274
8.3.1	可燃性溶剂清洗中的安全管理	274
8.3.2	溶剂使用中防止中毒和保护操作者健康的管理	276
8.4	清洗作业中环境保护方面的管理	279
8.4.1	大气环境保护的管理	279
8.4.2	水环境的保护管理	281

附录 清洗技术中常用英文名词缩写	282
参考文献	290

1 概 述

1.1 工业洗净概念及洗净目的

工业洗净就是工业产品在生产、使用和贮存过程中，受到了液体的、固体的各种污染物的污染，通过物理的、化学的和机械的手段，清除这些污染物，使工业产品获得一定的洁净程度。

工业产品洗净的目的如下。

① 为了提高产品的性能、使用寿命和可靠性。例如，精密机械残留杂质会增加磨损、发热和摩擦阻力，甚至造成密封件损坏，漏油、漏压，以及控制阀门堵塞、失灵等，影响使用寿命和可靠性；电子产品残留离子污染会降低绝缘电阻和增加泄漏电流，甚至造成腐蚀、短路等；继电器产品残留污染物会增加接触电阻，造成电路通断故障，严重影响性能和可靠性。

② 为了满足下一道加工工序的需要。例如，硅片在氧化处理工序前必须彻底清洗，否则残留粒子、离子、有机物会影响半导体器件下道加工的质量和成品率；表面处理零件残留油膜会影响下道工序电镀、喷漆、真空镀膜等镀层、涂层、镀膜层的结合力；在金属零件防锈处理前必须清洗，否则污染物会影响保护膜的完整性，严重影响防锈的质量。

③ 为了便于用肉眼或仪器对产品性能、质量的检测。例如，电子线路板在针床检测仪上的自动检测，如残留松香焊剂，就会影响电接触，影响对电路的检测。

④ 为了提高产品外观的质量。有些零部件可作为备件和配件在市场上直接销售，提高外观质量，有利于产品销售的和提高企业的

形象和知名度。

1.2 传统工业清洗与精密洗净

传统工业清洗，自进入工业化生产后就开始了，至今已有近200年的历史。传统的机器零件的清洗，主要是在机器组装前清洗掉零件表面的切削润滑液和金属屑。装配中尺寸公差比较大，精度也不高，对污染物也不十分敏感。后来，随着生产的不断发展和科学技术的不断进步，对产品的性能要求越来越高，可靠性要求越来越严。相应地对零件的加工精度、尺寸控制也在不断提高，特别是精密机械和电子、微电子等高科技产品的出现，使产品不断向高性能、高精密性、高可靠性、高集成度和微型化方向发展，使得产品对污染物非常敏感，迫切要求必须有高清洁度来保证。因此，传统的工业清洗技术受到了挑战，新的精密洗净技术适应这样的需要，在传统工业清洗的基础上产生了。

精密洗净的含义，笔者认为：一是指所清洗的产品比较精密，具有高性能、高精密性、高可靠性以及高安装密度和微型化的特点；二是指所清洗产品残留的污染物比较少和比较细小，有比较高的清洁度。也就是说，精密洗净要比传统工业清洗有更强的洗净手段和洗净能力，有更高的洗净效率，采用更先进的洗净工艺、洗净技术装备和检测手段，以及比较洁净的洗净环境，要求达到非常高的清洁度。传统工业清洗的清洁度。一般控制大于 $5\mu\text{m}$ 的粒子，而对精密洗净来说，清洁度要求达到微米、亚微米、分子级的水平。

1.3 精密洗净的方法

精密洗净的方法分为湿法清洗与干法清洗。干法清洗是指用高压气流、臭氧、激光、等离子体、紫外线等方法来清洁工件表面。高压气流主要利用气体高速运动的动能来清除工件表面的污染物。

臭氧是一种强氧化剂，分子由 3 个氧原子组成 (O_3)，利用臭氧对工件表面的有机物进行氧化分解，也可对微生物进行杀菌。紫外线也有对有机物的氧化分解能力，主要用于杀菌，其波长在 210~260nm 间，最强的是 265nm。等离子体清洗，是指对低压气体施加电场，低压气体中少量的电子被电场加速，以强大的能量冲撞周围的分子和原子，再飞出电子激起离子化；等离子体可有效清除工件表面残留的有机物和水膜。激光清洗，是指采用高能激光束照射工件表面，使表面的污染物发生蒸发或剥离。

湿法清洗是指用液体的清洗介质从工件表面清除液体的污染物和固体的污染物，使工件表面达到一定的洁净程度。湿法清洗包括浸洗、超声波清洗、汽相清洗、喷淋清洗、喷流清洗、电解清洗以及各种强化清洗的方法如擦洗、刷洗、抖动洗、转动洗等。污染物可以被溶解在清洗介质中，或被清洗介质所乳化、分散、卷离而脱离工件。清洗介质可以是有机溶剂，也可以是水基清洗剂或水。湿法清洗后，应进行干燥。在精密洗净中，常把湿法清洗与干法清洗有机的结合起来。本文重点论述的是湿法清洗。

1.4 湿法清洗的基本过程

湿法清洗的基本过程属于清洗介质、污染物、工件表面三者之间多相界面的相互作用，是一种复杂的物理、化学和机械作用的过程。清洗不仅与清洗介质的物理、化学性质有关，而且与污染物的性质、种类、粘附形态有关，还与工件表面的材料性质、表面状态有关。对同一种污染物，用不同的清洗介质，其清洗效果不同；用相同的清洗介质去清洗不同的污染物，其清洗效果完全不一样；就是同样的污染物，同样的清洗介质，但不同的工件材料和工件表面状态，其清洗效果也是不一样的。此外，还与清洗的条件如清洗温度、压力、外加机械能、超声波能等因素有关。精密洗净还与洗净环境有关，清洁度要求很高的要在洁净室内清洗，否则很快又被周围环境污染了。

清洗的基本过程是：工件表面的污染物在清洗介质和其他附加能量的作用下，粘附被破坏，污染物被剥离；随后，再对工件表面残留的被污染了的清洗介质进行稀释，并达到一定的洁净程度。也就是说，工件表面的污染物被洁净的清洗介质所置换。可表述为：



式中 G——工件；

W——污染物；

Q——为清洗介质。

从上可以看出，清洗过程可分为两个步骤：清洗和漂洗。

第一步，清洗 清洗的目的，是削弱和切断污染物在工件表面的粘附，并使污染物从工件表面上被剥离下来，并防止污染物再沉积到工件上。这是通过清洗介质的润湿、渗透、溶解（或皂化、乳化）、分散以及分子的热运动和附加的物理力、机械力的作用达到的。

第二步，漂洗 漂洗的目的，是去除工件表面被污染了的清洗介质，达到一定的清洁度。因为清洗后工件表面污染物虽然被剥离，但工件仍处在已污染的清洗介质中。把工件从清洗槽中取出来时，表面必然会带出或残留有污染的清洗介质，需通过漂洗而去除。漂洗实质上是对残留污染清洗介质进行稀释，以达到一定的洁净程度。漂洗一般要进行多次，洁净程度一次次地提高。例如，设清洗后残留在工件表面被带出的污染液量为 C ，漂洗槽容量为 X ，则一次漂洗后，污染液的浓度变为 $C/X + C$ ，如果工件表面一次带出污液量占漂洗槽液量为 1% 的话，那么漂洗一次相当于稀释了 100 倍。只要漂洗槽的容量足够大，每次带出的污液量尽量少，漂洗的次数足够多，就一定可以达到很高的清洁度。当然，漂洗次数多了，会增加生产面积，增加漂洗液使用量，增加成本等，一般情况下漂洗 2~3 次就可以了。

清洗和漂洗两者是相辅相成的，前道没清洗干净，后道也是漂不干净的；前道洗干净了，后道没漂洗干净，还是达不到规定的清洁度。清洗和漂洗可以用同一种清洗介质，也可以用不同的清洗介质。但是，清洗和漂洗的不同功能应该分清楚：粘附很强的污染