

清洗技术基础教程

国家环境保护总局清洗行业淘汰 ODS 特别工作组 组织编写
北京大学环境学院 中国洗净工程技术合作协会 负责编写

张剑波 孙良欣 胡建信 熊 康 李永红 主编

中国环境科学出版社 • 北京

图书在版编目(CIP)数据

清洁技术基础教程/张剑波等主编. —北京: 中国环境科学出版社, 2004. 8

ISBN 7-80163-884-0

I. 清… II. 张… III. 工业生产设备—清洗—技术 IV. TB4

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 057797 号

出 版 中国环境科学出版社
(100062 北京崇文区广渠门内大街 16 号)
网址: <http://www.cesp.cn>
电子信箱: zongbianshi@cesp.com
印 刷 北京联华印刷厂
经 销 各地新华书店
版 次 2004 年 7 月第一版
印 次 2004 年 7 月第一次印刷
印 数 1—5000
开 本 787×1092 1/16
印 张 40
字 数 920 千字
定 价 70.00 元

主 编 张剑波 孙良欣 胡建信 熊康 李永红

参加编写人员名单（按姓氏笔划顺序排列）

丁 剑	王杉霖	王维敬	叶 鹏	刘小鹏
李永红	陈 辉	陈 嵩	孙良欣	孙芳娟
张剑波	胡建信	熊 康		

审阅者

哈鸿飞（北京大学化学学院）
伊 敏（北京大学化学学院）
高宏成（北京大学化学学院）

评审会评议专家名单

王锡光（中国洗净工程技术合作协会）
朱家淇（电子元件协会）
毕建明（信息产业部电子第十二研究所）
张百哲（清华大学液晶中心）
周志春（电子科学研究院）

内 容 提 要

本书共分 9 章，内容涵盖了清洗技术的基本概念和基本原理，介绍了化学、物理和其他清洗技术，清洗系统与设备，清洗技术在工业清洗、民用清洗等领域的实际应用等，其重点在于基础理论知识的阐述和汇总。另外作为该书的重点内容之一，还结合 ODS 淘汰工作，介绍了与清洗技术有关的环境保护问题，以及清洗行业的 ODS 替代品和替代技术发展状况，这也是本教材的一大特色。

国家环境保护总局清洗行业淘汰 ODS 特别工作组将以此书为教材，为我国清洗行业的有关技术人员开展技术培训。该书可以作为清洗行业技术人员的工具书，也可以作为大专院校、科研院所的基础教材，供有关专业的师生及科研人员参考。

序 言

保护大气臭氧层是全人类的共同责任。十几年来，中国政府认真履行国际公约，在相关部门和企业的共同努力下，在化工、哈龙、清洗、泡沫、气雾剂、工商制冷、家用制冷、汽车空调、烟草等 ODS（消耗臭氧层物质）生产和消费领域开展了大规模的 ODS 淘汰活动。

《中国清洗行业 ODS 整体淘汰计划》于 2000 年 7 月正式开始实施，在多边基金的资助下我国清洗行业将全面淘汰 ODS 清洗剂的使用，在 2004 年 1 月 1 日之前停止四氯化碳（CTC）作为清洗剂的使用；在 2006 年 1 月 1 日以前全部淘汰三氟三氯乙烷（CFC-113）作为清洗剂的生产和消费；在 2010 年前完成 1,1,1-三氯乙烷（TCA）作为清洗剂的淘汰。在行业计划的实施中，我国不仅完成了每年的淘汰目标，还成功地实施了 ODS 清洗剂消费许可证管理制度，组织了替代设备供应商的重组，建立了针对小型消费企业的票证系统管理体系。

清洗行业是一个跨部门的特殊行业，涉及电子信息、机械、汽车、空调、医疗、航空、航天、电信等领域。中国的清洗行业市场巨大，尤其是电子信息产业的发展为工业清洗提供了广阔的市场，随着产业规模的扩大，对清洗技术、设备、清洗剂将会有有一个更大的需求。清洗的有效性、安全性和经济性将是对清洗技术的基本要求。

实施行业计划的最终目标是实现清洗行业 ODS 物质的整体淘汰，保证行业的正常发展。而清洗行业涉及企业数量多，且规模大小不一，行业跨度大，技术改造问题非常复杂，技术人员知识水平迫切需要提高，但迄今为止，在我国尚没有一部适用于针对清洗行业技术人员进行理论与技术培训的合适教材。

为此，国家环境保护总局外经办清洗行业整体淘汰 ODS 特别工作组计划利用技术援助项目资金组织对清洗行业技术人员知识培训，并委托北京大学环境学院和中国洗净技术合作协会编写了该教材。

教材编写组于 2003 年 12 月初完成了教材初稿。清洗行业整体淘汰 ODS 特别工作组于 2003 年 12 月 15 日组织相关专家对该教材进行了评审。根据专家组的评审意见，编写组对全书进行了相应的修改补充，并在 2004 年 1 月完成了这本《清洗技术基础教程》。

全书分为 9 章，其内容涵盖了清洗技术的基本概念，基本原理，清洗过程的基本要素，化学、物理和其他清洗技术，清洗系统与设备等，重点在于基础理论知识的阐述和汇总。另外作为该书的重点内容之一，还结合 ODS 淘汰工作介绍了与清洗技术有关的环境保护问题，以及清洗行业的 ODS 替代品和替代技术状况，这也是本教材的一个重要特色。

该书内容全面，文字严谨，结构合理，既有专业性较强的基本原理，又有生动具体的实际应用范例，可以作为一本基础教材，适合不同专业背景、不同知识层次读者的需要。

以《清洗技术基础教程》的出版面世为契机，国家环境保护总局清洗行业淘汰 ODS 特别工作组还计划组织编写一系列面向清洗行业的知识丛书，汇集清洗技术所涉及的不同知识领域，为提高我国清洗行业技术人员的知识水平，开展清洗技术的专业教育、促进我国清洗行业的健康发展做出贡献。

我们盼望本教材能成为清洗行业广大技术工作者的得力助手，也希望得到各位读者的意见反馈。愿清洗行业在我国的经济发展中发挥更大的作用并得到不断的发展。

国家环境保护总局清洗行业淘汰 ODS 特别工作组

目 录

第一章 清洗概论	1
第一节 清洗的概念、目的及意义	1
一、清洗概述	1
二、清洗的目的	1
三、清洗的意义	2
第二节 清洗的分类	3
一、按清洗方法和原理分类	3
二、按清洗的范围分类	3
三、按清洗对象所处的状态分类	4
四、按被清洗对象分类	5
第三节 选择清洗方法应注意的问题	5
第二章 清洗技术基本原理	7
第一节 溶液与溶解理论	7
一、溶液的基本概念	7
二、相似相溶原理概述	8
第二节 清洗对象	12
一、纺织纤维	12
二、金属材料	18
三、硅和硅酸盐材料	22
四、塑料	26
第三节 污 垢	27
一、污垢的分类	27
二、污垢的形成与危害	31
三、垢样采集、鉴别和化验	36
第四节 清洗媒体	42
一、液体媒体——湿式清洗	43
二、气体媒体——干式清洗	47
三、清洗媒体的作用	47
第五节 清洗力概述	48
一、溶解力、分散力	49
二、表面活性力	49
三、化学反应力	49

四、吸附力	49
五、物理力	49
六、酶力	50
第六节 清洗过程涉及的界面概念	50
一、清洗过程中界面的转变	50
二、界面的作用	51
第七节 清洗过程的分析监测与质量管理	52
一、概述	52
二、分析化验的采样方式	52
三、水的 pH 值和浊度的测定	53
四、清洗液的监测分析	53
五、清洗废液的监测分析	65
六、洁净度的检验	66
 第三章 化学清洗技术	79
第一节 清洗溶剂	79
一、水	79
二、有机溶剂	85
三、混合溶剂	97
四、非水溶剂溶解能力的判断指标	101
五、非水溶剂的局限性与对策	106
第二节 表面活性剂	111
一、表面活性剂基础知识	111
二、表面活性剂的清洗作用	117
三、表面活性剂的组成和分类	121
四、表面活性剂的使用方法与注意事项	124
第三节 化学清洗剂及其作用	125
一、酸清洗	125
二、碱清洗	134
三、氧化剂	142
四、还原剂	145
五、金属离子螯合剂	148
六、缓蚀剂与缓蚀作用	156
七、钝化剂与钝化作用	162
八、化学清洗常用的其他助剂	166
 第四章 物理清洗技术和其他清洗技术	168
第一节 清洗过程中的基本物理作用	168
一、吸附作用	168

二、热能作用	173
三、液体在界面上的流动作用	174
第二节 压力清洗	179
一、喷射清洗	179
二、高压水射流清洗技术	183
三、其他利用压力的方式	191
第三节 摩擦和研磨去污	192
一、摩擦去污	192
二、研磨去污	193
第四节 超声波清洗	196
一、超声波清洗装置	197
二、超声波的清洗作用原理	198
三、洗涤媒液的选择	201
四、用超声波清洗应注意的问题	202
五、超声波清洗的效果	203
六、超声波清洗的应用前景	204
第五节 电解清洗	204
一、电解清除油污的原理	204
二、电解除油的应用	205
三、电化学方法清除金属表面的腐蚀产物	206
四、电解清洗在连续带钢脱脂机组中的应用	206
第六节 光清洗	208
一、激光清洗	208
二、紫外线清洗	212
第七节 等离子体清洗	215
一、等离子体清洗技术原理	215
二、等离子清洗设备的结构及工作原理	218
三、等离子体清洗技术的实际应用	220
四、使用等离子体清洗时应注意的问题	223
第八节 其他物理清洗技术	224
一、PIG 清管技术及其应用	224
二、干冰清洗技术	229
三、空气爆破清洗技术	231
四、高压电磁脉冲技术	238
五、气脉冲清洗技术	241
六、机器人清洗的应用进展	242
第九节 酶法清洗	245
一、酶的命名与分类	245
二、酶的催化作用机理与特点	246

三、清洗用酶的去污作用机理与基本要求.....	248
四、影响酶作用效果的因素	248
五、清洗用的酶制剂	250
六、酶在清洗中的应用	253
第五章 清洗系统与设备	255
第一节 清洗系统概述	255
一、清洗系统的概念	255
二、清洗系统设计的共同原则	255
三、对清洗系统的评价方法	256
四、选择清洗系统应考虑的因素	257
第二节 喷射清洗工艺及设备	257
一、喷射清洗工艺	257
二、喷射清洗的分类	258
三、喷射清洗设备	259
第三节 高压水清洗系统	261
一、简介	261
二、泵和泵组的选择	261
三、高压水清洗系统	262
四、传动装置	273
五、主发动机	274
六、电动机	274
七、柴油发动机	279
八、高压泵组设计的未来发展	287
第四节 中压水清洗系统	287
一、简介	287
二、系统细节	287
三、泵组	287
四、中压水清洗应用	294
第五节 低压水清洗系统	305
一、简介	305
二、容器清洗和油罐清洗中的主要成本要素	305
三、清洗系统的类型	306
四、CIP 清洗系统的设计细节	308
五、CIP、COP 和 SIP 的应用	320
六、箱槽清洗中涉及的主要成本要素	326
第六节 水清洗系统的附件及应用	327
一、简介	327
二、弹性软管及其接头	328

三、刚性管装置	333
四、清洗的配件	335
五、清洗的应用及其附属工具	340
六、水箱和容器的内表面的清洗	346
七、高压系统	348
八、利用高压水射流清除核辐射尘	357
九、小结	358
第七节 其他溶剂清洗系统及设备	358
一、蒸气清洗工艺及设备	358
二、刷洗工艺及设备	360
三、浸泡清洗工艺及设备	361
四、循环清洗工艺及设备	365
第八节 超声波清洗系统的设计与改进	366
一、超声波清洗系统的工作原理	366
二、超声波发生器电源技术的发展	368
三、超声换能器对清洗机质量的影响	375
四、超声波清洗技术的改进	377
第九节 清洗过程中的干燥设备	382
一、干燥工艺	382
二、清洗干燥阶段应注意的问题	382
三、氟氯烃蒸气清洗中的干燥处理	383
第六章 工业清洗技术及应用	384
第一节 食品工业清洗技术	384
一、生鲜食品的清洗	384
二、食品容器的清洗	389
三、食品加工设备的清洗	391
第二节 纺织工业的清洗	394
一、棉坯布的清洗加工	395
二、羊毛的清洗	398
三、羊线的清洗	402
四、绸的精练清洗	402
五、绒的清洗	405
第三节 金属材料的清洗	407
一、金属的脱脂清洗	407
二、金属去锈清洗	414
第四节 造纸工业中的清洗	417
一、纤维素脱树脂清洗	417
二、造纸机械及设备的清洗	419

第五节 电子工业中的清洗	421
一、半导体硅片的清洗	421
二、半导体集成电路的制备与清洗	423
三、印刷电子线路板的清洗	428
第六节 石油工业中的清洗	430
一、油田输油管的清洗	430
二、积蜡的清洗	431
三、石油化工设备的清洗	432
四、石油化工设备清洗实例	433
第七节 玻璃及其仪器的清洗	443
一、普通玻璃（窗玻璃）的清洗	444
二、要求高度清洁的玻璃表面的清洗	445
三、光学透镜的清洗	446
四、液晶清洗	447
五、新成果举例	457
第八节 塑料电镀及其前处理清洗	458
一、塑料电镀工艺原理	458
二、塑料电镀的具体工艺举例	460
第九节 大型运输工具的清洗	461
一、车辆的清洗	461
二、飞机的清洗	466
三、油轮贮油罐的清洗	467
 第七章 民用清洗技术	 468
第一节 家庭清洗	468
一、家庭清洗剂	468
二、家庭用品清洗	480
三、皮肤和头发清洗	488
第二节 商业洗衣	492
一、干洗	493
二、水洗	497
第三节 医院用品的清洗	503
一、医疗器械清洗	503
二、医院使用衣物及织物的清洗	505
 第八章 清洗与环境	 506
第一节 清洗对环境的要求	506
一、对空气进行无尘无菌处理	506
二、对清洗环境的卫生管理	509

三、对清洗环境的安全管理	510
第二节 清洗造成的环境问题	511
一、ODS 溶剂氯氟烃对臭氧层破坏	511
二、清洗剂挥发的温室气体效应	514
三、化学清洗废液对环境的污染	515
第三节 清洗过程的废物处理	518
一、清洗废液的处理原则	518
二、化学清洗废液的处理方法	519
三、清洗产生的固体废物处理方法	529
四、清洗产生的废气的处理方法	531
五、噪声的控制	538
 第九章 清洗替代技术及其发展趋势	540
第一节 中国清洗行业 ODS 清洗剂淘汰和替代	540
一、中国臭氧层消耗物质淘汰现状和面临的任务	540
二、中国清洗行业 ODS 淘汰进展和趋势	543
三、中国清洗行业淘汰 ODS 面临的任务与挑战	544
第二节 ODS 清洗剂替代品/替代技术	545
一、ODS 清洗剂替代品	545
二、ODS 清洗替代技术	552
第三节 清洗行业淘汰 ODS 替代技术选择	569
一、清洗行业替代技术选择	570
二、导入替代清洗技术设备的基本程序	572
三、淘汰案例	575
第四节 其他替代技术	595
一、研磨剂清洗技术	595
二、发泡清洗技术	597
三、“PIG”清洗技术	597
第五节 清洗技术发展趋势	599
一、ODS 清洗剂替代品的发展趋势	599
二、清洗技术的发展趋势	600
 索引	609
参考文献	624

第一章 清洗概论

第一节 清洗的概念、目的及意义

一、清洗概述

清洗是一种与人们生产生活实践关系十分密切的劳动，远古时期以来人们就开始从事清洗这项劳动，随着生产力发展和社会进步，清洗已发展成一门涉及范围广泛、内容丰富的实用技术。

污垢是指物体受到外界物理、化学或生物作用，在表面上形成的污染层或覆盖层。所谓清洗就是指从物体表面上清除污垢的过程，通常都是指把污垢从固体表面上去除掉。

待清洗的物体都存在于特定的介质环境中，因此即产生了清洗过程中的三种必要的物质元素：清洗对象（待清洗的物体）、污垢及介质（清洗媒体）。而在三种物质之间存在的促使清洗过程发生的作用力称为清洗力。因此一个清洗体系包括的四个要素即为清洗对象、污垢、介质及清洗力。清洗过程可以用一个简单的式子表示为：

$$\text{物体} \cdot \text{污垢} \xrightarrow[\text{介质}]{\text{清洗力}} \text{物体} + \text{污垢}$$

即在一定的介质环境中，在清洗力的作用下，使物体表面上的污垢脱离去除，恢复物体表面本来面貌的过程。

二、清洗的目的

由于清洗对象的性质和清洗的要求各不相同，在此只能大致地介绍一下清洗的目的。清洗的主要目的是将污垢从物体表层除去。在工业生产过程中，清洗主要有两点目的：一是恢复生产，在生产过程中，有时会因为突发情况或由于操作不当造成个别设备或局部管线结垢、堵塞，因而影响生产正常运行，针对这种情况，主要是迅速清除污垢，保证生产装置继续运转，恢复生产。二是恢复装置生产效率。如石油化工装置结垢造成换热设备传热系数减小，管线流通面积减小或流通阻力增大，使能耗、物耗增加，生产效率下降，通过清洗除垢来恢复装置的生产效率。经清洗后，无论是家庭用品还是工业用品的品质都会得到改善。

三、清洗的意义

在日常生活中清洗对人们生活质量的提高表现如下：

1. 利于人体健康

人体的皮肤、头发、衣物以及餐具上附着的污垢中含有对人体有害的微生物（如病菌等）及这些微生物赖以繁衍生存的营养物质。通过清洗去除这些污垢之后，大大削减了这些病菌危害人体健康的可能性。

2. 提高物体外观感觉上的价值

如经过很好洗涤的衣物，白度会提高，有色织物的色泽也会变得更鲜艳，增加视觉效果。而清洗干净的家居用品会使人身处其中感觉心情舒畅。

3. 提高卫生标准

如经过清洗去除污物以及有害微生物之后的蔬菜和餐具，才能更符合卫生标准的要求，减少病从口入的可能。

4. 利于保护生活环境

当各种有毒以及有恶臭的污垢物质从人的周围环境中经清洗去除后，人类的生活环境将得到改善，也有利于人的健康。

就一般而言，工业清洗的意义，主要有下述诸方面：

1. 提高产品的加工性能

如金属工件在进行电镀、涂漆、真空镀膜等加工之前经过清洗，清除金属表面污垢之后，会使加工更顺利，品质也会更好。

2. 利于装置、设备的维护

清除原材料表面的污垢，可保持材料的表面性质，保证后续生产工序的实施。定期或不定期清理生产设备的污垢，可达到维持设备的正常运行，控制设备腐蚀。如锅炉和化学反应使用的工业设备在清洗后不仅性能会更好，也有利于延长使用寿命。

3. 提高产品的质量和性能

如在造纸工业中的纸浆经过漂洗，去除树脂等杂质之后，纸浆中纤维素的纯度得到提高才成为高级造纸原料。工业机械，特别是精密机械的部件在清洗之后性能会变得更好。

4. 改善设备外观，净化和美化环境

清除设备、厂房、建筑物、运输工具的内外表面的污垢，还其本来面目，可达到改善其外观，净化环境的目的。

5. 减少生产事故，有利人体健康

清洗污垢可以减少因生产工艺与设备原因引起的各种事故以及对环境与人身伤害。清洗可以杀菌、消毒、清除放射性污染等，有利于人体健康。

第二节 清洗的分类

清洗可以从不同的角度进行分类，根据清洗方法和原理可分为化学清洗、物理清洗和微生物清洗；按清洗的范围可分为工业清洗和民用清洗；按清洗对象所处的状态分为投产前清洗、不停产清洗和停产检修清洗；也可以按清洗的对象进行分类。本节简单介绍如下。

一、按清洗方法和原理分类

1. 化学清洗

化学清洗是采用一种或几种化学药剂（或其水溶液）清除设备工艺侧或水侧表面污垢的方法。它是借助清洗剂对物体表面污染物或覆盖层进行化学转化、溶解、剥离以达到清洗的目的。常见的化学清洗包括用各种无机或有机酸去除金属表面的锈垢、水垢，用漂白氧化剂去除物体表面的色斑，用杀菌剂、消毒剂杀灭微生物并去除物体表面附着的泥垢或霉斑等。

2. 物理清洗

物理清洗是借助各种机械外力和能量使污垢粉碎、分解并剥离开物体表面，达到清洗的效果。即凡是利用热学、力学、声学、光学、电学的原理去除表面污垢的方法都应归为物理清洗范围。现在常用的物理清洗方法有高压水射流清洗、PIG 清洗、干冰清洗、激光清洗和爆破清洗等。

3. 微生物清洗

微生物清洗是利用微生物将设备表面附着油污分解，转化成为无毒无害的水溶性物质的方法。这种清洗把污染物（如油类）和有机物彻底分解，是一种真正意义上的环保型清洗技术。

二、按清洗的范围分类

1. 民用清洗

在日常生活中，几乎每个人都有进行清洗的经历，如洗澡、洗衣服。另外对餐具、窗帘、家具等家庭用品，也需要经常进行清洗以保持清洁。

通常把这类与人们家庭生活密切相关的洗涤称为家庭清洗（又称民用清洗）。从事此类清洗一般不需要特别的专门知识，有一定日常生活经验的人均可胜任这种劳动。人们对家庭清洗主要关注它的安全性和简便性，而一般对洗涤的清洁程度并不十分苛求。

2. 工业清洗

人们在从事生产劳动过程中，特别是工业生产劳动过程中常常用到清洗。如对各种金属材料及设备进行清洗，对汽车、火车、轮船和飞机表面的清洗，对塑料薄膜、玻璃及陶瓷等材料的清洗。这些清洗过程属于工业清洗。随着精密工业的发展，钟表等精密机械零件、电子元件、半导体集成电路等也需要进行清洗。

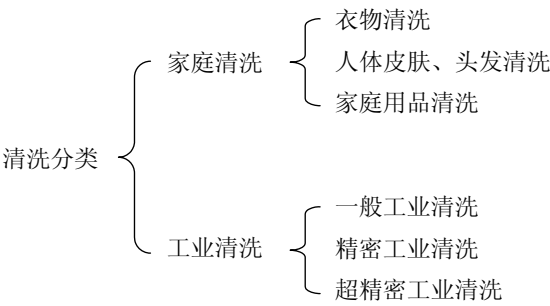
工业清洗对清洁程度要求较高，而且为了提高工业生产的经济效益，要求不断地改进技术，力争用更经济的方法获得更好的清洗效果。因此，随着生产的发展，科学的进步，在工业清洗领域不断有高度专门化的新技术出现，复杂的新洗净系统和设备陆续投入工业使用。与家庭清洗注重安全性不同，在工业清洗领域，一些具有危险性的药剂在必要时也会考虑使用。

近年来光学仪器、精密机械以及电子设备等领域对清洗要求越来越高，精密工业清洗随之逐步发展起来。在家庭清洗和普通工业清洗中，清洗后的清洁程度通常可用肉眼观察和用手触摸判断，其要去除的污垢微粒直径一般大于 10^{-5} m ($10 \text{ }\mu\text{m}$)。

在精密工业清洗中，洗净后物体表面残留的污垢微粒直径在 $1 \text{ }\mu\text{m}$ 以下，用肉眼已看不到，通常需要用光学显微镜观察。而在半导体电子工业领域里要求去除的污垢（如在半导体材料上吸附的污垢微粒）的直径甚至会小到 10^{-10} m 左右，这么小的微粒即使用电子显微镜也观察不到。通常把要求去除这么小的污垢微粒的清洗称为超精密工业清洗。

表 1-1 中列出了按清洗范围分类情况。

表 1-1 清洗的分类（按清洗范围）



三、按清洗对象所处的状态分类

1. 投产前清洗

投产前清洗是指新建装备投产前进行全面的清洗和防腐处理。