

(京)新登字039号

内 容 提 要

本书是根据美国著名的 ROBERT H. PERRY 所著的《PERRY'S CHEMICAL ENGINEERS' HANDBOOK》(第六版)译出。

中译本分上、下两卷出版。全书共分27篇,下卷包括第13至27篇,主要内容有:蒸馏,传质与气体吸收,液液萃取,吸附和离子交换,新的分离过程,液-气系统,固体干燥和气固系统,固-固体体系和液-液体系,过程控制,结构材料,过程机器的传动,过程经济,废物管理,生化工程等。

本书为全化工各行业通用的工具书,是指导化工、轻工、冶金等领域的科研人员,生产人员、教学人员进行过程研究开发,生产设备设计计算的必备手册。

ROBERT H. PERRY

PERRY'S CHEMICAL ENGINEER'S HANDBOOK

SIXTH EDITION

McGraw-Hill

1984

PERRY 化学工程手册

第 六 版

下 卷

责任编辑: 郭乃铎
陈 丽

封面设计: 韩 星

化学工业出版社出版发行

(北京市朝阳区惠新里1号)

化学工业出版社印刷厂印刷

顺义寺上装订厂装订

新华书店北京发行所经销

开本787×1092¹/₁₆印张118¹/₂字数3034千字

1993年8月第1版 1993年8月北京第1次印刷

印 数 1—3000

ISBN 7-5025-1037-0/TQ·604

定 价 150.00元

编辑说明

(1) 《PERRY化学工程手册》是一部在国际、国内具有较大影响的权威性工具书,对指导化工、轻工、冶金等行业的科研、设计和生产具有重要的参考价值。该书自1934年问世以来,经过五次修订再版。现将1984年第六版译成中文,介绍给广大读者。

(2) 由于计算机技术的迅速发展和被广泛采用,以及新的结构材料的开发利用,化学工程的理论和技术日益更新,新的分枝不断形成。为此,作者在第五版的基础上,对手册的内容作了大量修订和补充,不但对第五版的25篇逐一修正增补,并改写了经济、蒸馏、萃取和吸收各篇,还增加了生化工程技术和废物管理两篇新内容。另外,本版新收入的图、表、数据等都以SI单位制表示,并且增加了U. S. 制单位和SI单位的换算。

(3) 天津大学、浙江大学、清华大学、大连理工大学化工学院、石油大学、华南理工大学、成都科技大学、天津化工研究院的有关专家教授参加了翻译和审校工作。

(4) 参加本手册的编辑人员(以姓氏笔划为序):刘哲、刘小蘋、李迟善、李涌雪、李洪勋、李建斌、朱振东、陈丽、陈逢阳、苗延秀、罗幼松、张红兵、张婉如、施承薇、周国庆、郭乃铎、徐世峰、梁虹、谢丰毅等。

第 六 版 序

在过去的十年中，化学工程学科对推动世界工业进步依然在多方面起着重要的作用，工艺和设备的设计方法已经取得了显著的进步。从某种程度上说，这一进步的取得要归功于计算机的推广应用和更为适宜的结构材料的开发利用。日益重要的能源问题，要求完善废物管理，这些因素也影响了设计的决策。然而，从根本上讲，可靠的化学工程实践仍旧建立在经验和理论这两方面合理结合应用的基础上。而从第五版出版以来，无论是在经验方面，还是在理论方面，都已取得了可喜的成绩。因此，本版对第五版的25篇内容都作了最新修订，而且重新编写了某些领域（如经济、蒸馏、萃取和吸收）的篇章，并增写了新兴的生化工程和废物管理技术两篇新内容。

本版还改变了对单位制的处理方法。大多数工程师都知道，世界上许多国家都采用了SI单位制，而美国仍主要使用U. S. 单位（虽然美国正在向扩大使用SI单位制过渡）。为了满足不同使用者的要求，《手册》作了兼可使用两种单位制的安排。本版中部分图表取自前几版，并进行了修订，但未重新绘制，因为这样并不切合实际。新增的图表一般使用SI单位制，只在某些情况下，兼用两种单位制。本版所有图表均附有换算系数，以便于两种单位制之间的换算。正文中出现的数值均使用SI和U. S. 两种单位，许多经验公式中出现的因次常量也是如此。笔者相信，《手册》对两种单位制的使用者一般都是适用的。

许多人士对本版《手册》的编纂给予了大力支持。要特别感谢Wanda S. Dekat, Georgea L. de Media和Guy L. Green等几位工程领域的前辈完成了繁重的索引编制工作。Jill A. Schoeling和Ruth R. Sleeper承担了本版《手册》的打字和秘书工作。

Raymond Genereaux是第六篇“流体运输和贮存”的分篇主编，也是《手册》先后六个版本全部编纂工作的唯一参加者。谨此对他长期坚持不懈地致力于《手册》的编纂工作和所作出的贡献深表感谢！

Bob Perry对《手册》的再版并保持《手册》优秀质量的传统倾注了全部精力，但在本版《手册》的编纂期间不幸去世，这是我们莫大的损失。他永远值得我们怀念。

Frank L. Evans, Jr. 和Theodore Vermeulen是《手册》的分篇主编，对《手册》的编纂做出了巨大的贡献。对他们的去世，我们一并表示哀悼。

DON W. GREEN

总 目 录

上 卷

单位换算因子和各种数据表	1-1
数学	2-1
物理和化学数据	3-1
反应动力学, 反应器设计, 热力学	4-1
流体与颗粒力学	5-1
流体的输送和贮存	6-1
粉粒体的输送及固体和液体的包装	7-1
粉碎与团聚	8-1
能的利用、转化与储存	9-1
传热	10-1
传热设备	11-1
湿度测定法, 蒸发冷却, 致冷及深冷过程	12-1

下 卷

蒸馏	13-1
传质与气体吸收	14-1
液液萃取	15-1
吸附和离子交换	16-1
新的分离过程	17-1
液-气系统	18-1
液-固系统	19-1
固体干燥和气固系统	20-1
固-固体体系和液液体系	21-1
过程控制	22-1
结构材料	23-1
过程机器的传动	24-1
过程经济	25-1
废物管理	26-1
生化工程	27-1
索引	1

第26篇 废物管理

作者:

Anthony J. Buonicore 空气污染管理和篇主编

Louis Theodore 编者

Ross E. McKinney 废水管理

George Tchobanoglous 工业固体废物的管理

译者:

赵兰玉 废物管理

王贤清 篇审校人

第26篇 目 录

废物管理导论.....	26-4	26.2.3 废水的特性.....	26-58
26.1 固定源空气污染管理.....	26-6	一、有机物.....	26-58
一般参考文献.....	26-6	二、无机物.....	26-58
26.1.1 导论.....	26-6	三、pH值及碱度.....	26-58
一、气体污染物.....	26-7	四、温度.....	26-59
二、颗粒污染物.....	26-8	五、溶解氧.....	26-59
三、评估排放源.....	26-9	26.2.4 预处理.....	26-59
四、空气污染物的影响.....	26-9	一、均衡化.....	26-59
26.1.2 美国的立法、法规和政府		二、中和.....	26-59
机构.....	26-15	三、脱脂和油.....	26-60
一、1970年清洁空气法.....	26-15	四、毒性物质.....	26-60
二、预防严重恶化 (PSD)	26-16	26.2.5 一级处理.....	26-60
三、受控互换计划.....	26-27	一、筛分.....	26-60
26.1.3 解决污染源控制问题的对策.....	26-28	二、沉砂池.....	26-60
一、对策.....	26-28	三、重力沉降.....	26-61
二、选择控制设备的因素.....	26-29	四、化学沉淀.....	26-61
三、控制设备选择方案比较.....	26-30	26.2.6 二级处理.....	26-62
26.1.4 烟囱扩散.....	26-30	一、生物处理的概念.....	26-62
一、初步设计考虑.....	26-30	二、塘.....	26-63
二、设计计算.....	26-34	三、滴滤器.....	26-65
三、各种影响.....	26-35	四、旋转生物反应器 (RBC)	26-65
26.1.5 气体污染源排放物的控制.....	26-36	五、活性污泥法.....	26-66
一、吸收.....	26-36	26.2.7 物理-化学处理 (PCT)	26-69
二、吸附.....	26-38	一、物理-化学处理的概念.....	26-69
三、燃烧.....	26-41	二、物理-化学处理的局限性.....	26-69
四、冷凝.....	26-45	26.2.8 污泥处理法.....	26-69
26.1.6 颗粒物排放源的控制.....	26-46	一、目的.....	26-69
26.1.7 排放物测定.....	26-48	二、稠化.....	26-70
一、导论.....	26-48	三、浮选.....	26-70
二、采样分类法.....	26-50	四、离心分离.....	26-70
三、浑浊度.....	26-55	五、厌氧消化.....	26-70
26.2 工业废水管理	26-57	六、厌氧过滤.....	26-71
26.2.1 导论.....	26-57	七、需氧消化.....	26-71
26.2.2 美国的立法、法规和政府		八、化学调节.....	26-71
机构.....	26-57	九、热调节.....	26-71
一、联邦立法.....	26-57	十、真空过滤.....	26-71
二、环境保护局.....	26-57	十一、压滤.....	26-72
三、州的水污染管理办公室.....	26-57	十二、带式压滤机.....	26-72

十三、砂床.....	26-72	三、固体废物的就地加工.....	26-85
26.2.9 污泥处理.....	26-72	26.3.5 固体废物的收集.....	26-86
一、焚烧.....	26-72	一、收集作业.....	26-86
二、卫生掩埋.....	26-73	二、收集系统的类型.....	26-87
三、铺地.....	26-73	三、确定运载工具和所需劳力.....	26-89
26.2.10 循环及再利用.....	26-73	四、收集路线.....	26-92
一、节水.....	26-73	26.3.6 转运和运输.....	26-92
二、废物分离.....	26-74	一、转运站.....	26-92
三、零排放.....	26-74	二、转运工具与方法.....	26-93
26.3 工业固体废物的管理.....	26-75	三、转运站的位置.....	26-95
一般参考文献.....	26-75	四、危险废料的转运与运输.....	26-95
26.3.1 导论.....	26-75	26.3.7 加工和资源回收.....	26-95
一、功能单元.....	26-75	一、加工方法.....	26-95
二、固体废物的管理系统.....	26-76	二、危险废物的加工.....	26-98
26.3.2 美国的立法、法规和政府		三、物料回收系统.....	26-98
机构.....	26-76	四、生物转化产物的回收.....	26-99
一、立法.....	26-76	五、化学转化产物的回收.....	26-100
二、政府机构.....	26-77	六、从转化产品中回收能量.....	26-101
26.3.3 固体废物的产生.....	26-77	26.3.8 最终处理.....	26-103
一、固体废物的类型.....	26-78	一、固体废物的掩埋.....	26-103
二、工业废物的来源.....	26-78	二、危险废物的掩埋.....	26-111
三、固体废物的性质.....	26-80	三、土地耕作.....	26-112
四、固体废物量.....	26-84	四、深井注入.....	26-113
26.3.4 就地处理、贮存和加工.....	26-84	五、固体废物排入海洋.....	26-114
一、就地处理.....	26-84	26.3.9 计划.....	26-115
二、就地贮存.....	26-85		

废物管理导论

本篇列举了大量有关美国在废物处理方面用于制定法律和法律程序的参考文献。对其它国家的一个处理废物管理问题的工程师来说，最好应去了解该国的特定法律和法规。然而，本篇所介绍的处理方法，可用作一般的指南。

1. 美国处理环境法规的多种方式

八十年代，适当控制和利用自然环境是工业面临的最复杂的问题之一。在七十年代，工业界实际上已意识到它对社会的责任，特别是对公众的健康和福利所负的责任。在这十年内，美国环境保护局（EPA）成立并得到迅速发展，通过了实际上涉及环境各方面的联邦和州的法律。然而十年过去了，人们才意识到这只不过涉及到较为简单的问题。有限数量的大污染源，是从其排放物中排出少数几个易于确定的空气污染物，要除去更大百分率的污染物，就要大大增加投资，而且还得处理不断增多的大量小污染源，以及开发定量鉴别和控制大量残存的有害健康的毒性污染物的方法。

七十年代初，空气、水及土地是作为不同领域的问题分别加以处理的，并依它们各自的法令及法规进行管理。然而，当进入七十年代后期，环境问题相互间的联系明显紧密了，因而应当协同处理。传统的方法—标准类型的规范（即指令与控制）严重地限制了相互协调的方案的选择。

八十年代，EPA开始致力于改变这一作法，它吸取了特殊案例的经验，采取技术专家的参与以及对控制目标的设定等作法。它激励工厂工程师探寻更有效的方法来减轻污染，大大加速了控制技术的创新。例如，EPA“受控互换”空气污染计划的主要目的就在于此。该计划由1976年EPA颁布的“补偿政策章程说明”（Offsets policy Interpretative Ruling）所确立，并以1977年清洁空气法的修正案为基础。

联邦法规的迅速增加，造成了对由社团决定、管理及长期计划的传统作法的严重挑战，这就导致了新的工厂必须估量新提出的要求并用新的方法去解决。

1977年清洁空气法令修正案的全部影响，即清洁水法令、安全饮用水法令、资源保护和回收法令及毒物控制法令，仍未得到普遍的正确评价。将所有这些要求结合起来，有时会产生相互矛盾的要求或会得出不同的工作程序，这就使得全部规章要获得通过就极其复杂。

环境法规的最主要影响之一是新工厂的设计和建造至投产所需的时间大大增加了。当新的工厂有可能产生大量复杂的环境问题时，这就意味着会有很多麻烦。当然，需要增加的确切时间，将因情况不同而有很大差别，这取决于要符合什么样的要求和所遇到的是什么样的困难。然而，对任一重工业方面主要扩建工程，由于联邦的要求而会推迟，预计会增加2至3年的研究周期，而且也常存在着因不符合规章制度而被否决的可能性。因此，必须制定满足生产需要的应急计划。

任一公司在做主要扩建工程计划时，从一开始就要集中考虑环境的因素。因为很多环境方面的认可，要听取公众的意见，而这些意见对于地方官员的审查工作是极其重要的。目前，在为政治上的需要而接受一项工程计划会受到前所未有的强烈批评。

2. 工厂的对策

对工厂来说为减少对环境质量的影响可以做很多工作。这包括：

- ① 提供一份精确的污染源排放物清单；
- ② 不断评估过程操作，验明改进的可能性以减少或消灭环境影响；
- ③ 确保建立并执行良好的服务性工作和强有力的防护计划；

- ④ 研究和形成有效的空气污染控制技术；
- ⑤ 注意收集好规范的信息及其变化趋势；
- ⑥ 与制定规章的有关机构密切合作并参与新规范可能产生影响的研讨。

若期望在可预见的未来的任何时候委员会会改变其方向，减少规章控制的作用或重新确立过去存在的法律状况是不现实的。因在过去的法律中私人公司可以任意建设大量的工业装置而不受或很少受到邦联法规的限制。

3. 社团对策计划

应急计划是对于一个新工厂完整环境计划的一个重要组成部分。围绕着一个巨大投资工程的环境因素的不确定性应加以规定，并与其它应急计划相联系（如市场情况、竞争作用、政治因素、外贸等），并在总的社团对策中加以拟订。

环境因素也应包括在公司的技术或研究开发计划中，目前对一个新工厂的计划期可长达5至10年。因此，研究与开发计划可针对特定的项目来加以制定，它可包括新的过程控制或尖端技术。

其它明显的要求是将环境因素列入大工程项目的财政计划去综合加以考虑。必须认识到环境对策计划作为长期的目标是与公司的财政计划同样重要的。当工程依次进入环境计划及发放许可证的谈判阶段时，关于财政上选择的决定有可能要改变。例如，要求采用昂贵的污染控制技术可能要大大地增加整个工程的投资，或者改用国外技术为国内加工技术，可免除国家税务署（IRS）规定的工业保管税的支出。投资、生产、环境及法律因素都是相互关联的，并可对社团的现金流通产生很大的影响。

大多数公司必须主动地学习与地方官员协调和听取公众意见。公司的社会责任心可能成为极其重要的问题。公司应全面考虑并熟练地协调和听取公众意见。管理部门必须认识到，选民选出的地方官员所要求的不仅仅是获得新的职位。

根据这一切因素，很清楚要批准和建设或扩建一个大的新工厂，其程序较之过去甚至不久前远为复杂。严格遵守环境法规很可能在原来可以建厂的地点取消建设某些装置。在另一种情况下，为获得批准可能会引起一场激烈的技术和政治上的辩论，这就会使制定规章的过程拖延几年。

多数情况下，当一个公司在寻求一个计划中的新厂而得到批准时又可能会提出一些新的要求。因此，打算要扩大其基本生产装置的公司，应当预计到会比原先做更多的事情，要着手准备对付必将遇到的规章制度中所提出的问题以及从环境特点来认真考虑选址。本篇的目的在于帮助工程师来对付这种由环境的规章制度所提出的问题。

26.1 固定源空气污染管理

一般参考文献

Billings and Wilder, *Fabric Filter Handbook*, U.S. EPA, NTIS Publ. PB 200-648 (vol. I), PB 200-649 (vol. II), PB 200-651 (vol. III), and PB 200-650 (vol. IV), 1970; Buonicore, "Air Pollution Control," *Chem. Eng.*, 87(13), 81 (June 30, 1980); Buonicore and Theodore, *Industrial Control Equipment for Gaseous Pollutants*, vols. I and II, CRC Press, Boca Raton, Fla., 1975; Calvert, *Scrubber Handbook*, U.S. EPA, NTIS Publ. PB 213-016 (vol. I) and PB 213-017 (vol. II), 1972; Danielson, *Air Pollution Engineering Manual*, EPA Publ. AP-40, 1973; Davis, *Air Filtration*, Academic, New York, 1973; Kleet and Galeski, *Flare Systems Study*, EPA-600/2-76-079 (NTIS), 1976; Lund, *Industrial Pollution Control Handbook*, McGraw-Hill, New York, 1971; Oglesby and Nichols, *Manual of Electrostatic Precipitator Technology*, U.S. EPA, NTIS Publ. PB 196-380 (vol. I), PB 196-381 (vol. II), PB 196-370 (vol. III), and PB 196-150 (vol. IV), 1970; *Package Sorption System Study*, EPA-R2-73-202 (NTIS), 1973; Rolke et al., *Afterburner Systems Study*, U.S. EPA, NTIS Publ. PB 212-500, 1972; Slade, *Meteorology and Atomic Energy*, AEC (TID-24180), Oak Ridge, Tenn., 1969; Stern, *Air Pollution*, Academic, New York, 1974; Strauss, *Industrial Gas Cleaning*, Pergamon, New York, 1966; Theodore and Buonicore, *Industrial Air Pollution Control Equipment for Particulates*, CRC Press, Boca Raton, Fla., 1976; Theodore and Buonicore, *Air Pollution Control Equipment—Selection, Design, Operation and Maintenance*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N.J., 1962; Treybal, *Mass Transfer Operations*, 3d ed., McGraw-Hill, New York, 1980; Turner, *Workbook of Atmospheric Dispersion Estimates*, U.S. EPA Publ. AP-26, 1970; White, *Industrial Electrostatic Precipitation*, Addison-Wesley, Reading, Mass., 1963.

26.1.1 导 论

空气污染可分为两大类：①自然的；②人为的。空气污染物的自然源包括：

风吹扬尘

来自火山的灰及气体

来自闪电的臭氧以及臭氧层

来自植物的酯和萜烯

来自森林火灾的烟、气和飞灰

花粉和其它能引起空气过敏症的物质

自然分解产生的气体和臭味

天然放射性

这些污染源构成了本底污染，这些污染问题是不能或几乎不能加以控制的。

人为的污染源由范围广泛的化学和物理活动所产生。它是城市空气污染的主要来源。美国的空气污染物是来自一亿辆以上汽车的排放物、两亿以上人口丢弃的废物、几十亿千瓦的发电以及为每天生活需要所生产的无数产品。仅在美国每年约产生3亿吨的空气污染物。主要的污染物有五类，即颗粒物、一氧化碳、烃类、氧化氮和氧化硫。表26-1中综述了1976年美国由固定燃烧系统产生的排放物。

空气污染物也可以根据来源和物质状态来分类。

来源

① 一级：由过程排放到大气中。

② 二级：在大气中因化学反应而产生。

物质的状态

① 气态的：气体，如二氧化碳、氧化氮、臭氧、一氧化碳等；蒸汽，如汽油、油漆的

溶剂、干清净剂等。

② 颗粒物：分散很细的固体或液体；固体，如粉尘、烟缕或烟；液体，如液滴、烟雾、雾和气溶胶。

一、气体污染物

气体污染物可以分为无机的或有机的。

1. 无机污染物

- ① 含硫气体：二氧化硫、三氧化硫、硫化氢。
- ② 碳的氧化物：一氧化碳、二氧化碳。
- ③ 含氮气体：一氧化二氮、氧化一氮、二氧化氮、其它亚氮氧化物。
- ④ 卤素、卤化物：氟化氢、氯化氢、氯、氟、四氟化硅。
- ⑤ 光化学产品：臭氧、氧化剂。
- ⑥ 氰化物：氢氰酸。
- ⑦ 铵化物：氨。

2. 有机污染物

① 烃类

- a 石蜡烃：甲烷、乙烷、辛烷
- b 乙炔
- c 烯烃：乙烯、丁二烯
- d 芳烃：苯、甲苯、苯并芘

② 脂肪族氧化物

- a 醛：甲醛
- b 酮：丙酮
- c 有机酸
- d 醇
- e 有机卤化物：氯化氰、溴苯基氰
- f 有机硫化物：二甲基硫化物
- g 有机过氧化氢物：过氧乙酰硝酸酯或硝酸盐 (PAN)

最常见的气态污染物及其主要来源和重要作用示于表26-2中。

表 26-1 美国固定燃烧系统排放物^①

	空 气							
	颗粒物, %	氧化硫, SO ₂ %	氧化氮, NO _x %	烃类, HC %	一氧化碳, CO %	有机化合物 ^②		
						BSO, %	PPOM, %	Bap, %
发电	63.8	72.5	64.8	34.0	33.6	8.8	0.3	0.2
工业	28.3	14.5	24.7	22.3	14.9	20.0	0.5	1.3
商业和公共机构	4.9	6.7	7.3	12.2	7.7	16.0	0.2	0.4
居民区	3.0	6.3	3.2	31.5	44.7	55.2	99.0	98.1
总计, 10,000t/a	7060	22,100	10,950	353	1070	125	4.14	0.4

① 来源：GCA公司, 1976年。

② BSO=可溶于苯的有机物；PPOM=颗粒状多环有机物；

Bap=苯并(a)芘。

表 26-2 典型的气态污染物和其主要来源及重要作用

空气污染源	生 产 源	典型的工业	所起的损害作用
二氧化硫	燃料燃烧(煤、油), 熔炼和铸造, 亚硫酸法造纸	基本金属(含铁的和不含铁的), 纸浆和纸	对感觉和呼吸系统起刺激作用, 植物受损害及腐蚀, 对健康可能有不利影响
一氧化碳	金属氧化物的烟气及气动操作的叉式起重机	基本金属, 钢和铝	血液携氧能力降低
醛	来自于脂肪及油或甘油热分解	食品加工厂, 轻工业	刺激性臭味、窒息、刺鼻及噎; 不会立即致命, 短时间内难以忍受
氨	用于制冷、化学加工过程, 如制造染料、炸药、漆、肥料	纺织品, 化学品	对铜、黄铜和锌有腐蚀作用, 高浓度时会造成湿润皮肤的化学烧伤
腈	任何焊料、酸蚀、蚀刻或涉及金属或含砷酸的电镀过程	化学加工, 冶炼	破坏血液中的红细胞
氯	电解工厂, 漂白棉花和面粉, 有机化学品副产物	纺织品, 化学品	损伤整个呼吸道和眼粘膜
氢 氟 酸	金属电镀鼓风炉, 染料工厂	金属加工, 基本金属, 织物	能影响神经细胞
氟 化 氢	石油炼制过程的一些催化剂, 刻蚀玻璃、抽提硅酸盐及电解生产铝的副产品	石油, 基本金属, 铝	对人体的机体组织有强的刺激性和腐蚀性, 损害柑桔植物及通过饲料影响牲畜的牙齿和骨骼
硫化氢	炼厂气, 原油, 硫回收及使用硫化物的各种化学工业	石油和化学品	腐烂鸡蛋的恶臭味, 刺激眼睛和呼吸道, 亦会使外部油漆变暗
氧化氮	高温燃烧, 清洗金属, 肥料, 炸药, 硝酸, 碳弧燃烧及硫酸制造	金属加工, 基本化工品	刺激性气体, 影响肺, 损害植物
光气	氯化烃的热分解, 脱脂, 染料制造, 药物及有机化学品	金属织物, 轻化工品及纺织品	损伤可缓慢导致肺气肿
悬浮微粒 (氧化铁、飞灰、 煤烟、烟)	燃烧和工业加工(主要为氧化过程)	基本金属, 发电厂	引起污染和使能见度降低
臭味	屠宰和动物脂肪的提炼及加工, 鞣制动物皮革, 制罐头, 熏制肉类, 烤咖啡, 酿造啤酒及化妆品生产	食品加工及其有关工业	有害臭味

二、颗粒污染物

颗粒物可定义为有效直径大于分子但小于 $1000\mu\text{m}$ 的固体或液体物质。分散在气态介质中的颗粒物通称为气溶胶。烟、雾、霾和粉尘等术语通常是用来描述气溶胶的特殊类型的。它是根据分散微粒的尺寸、形状和特性行为来进行描述的。要在科学的基础上根据气溶胶的基本特性来分类是相当困难的, 例如, 在外力影响下的沉降速率、旋光性、吸引一个电荷的能力、微粒的尺寸和结构、表面积与体积比率、反应活性、生理作用等。一般说来, 微粒的大小和沉降速率, 在很多场合是具代表性的特性, 例如大于 $100\mu\text{m}$ 的微粒因为沉降太快, 可不包括在分散类型的微粒中。另一方面, $1\mu\text{m}$ 或更小的微粒沉降得相当慢, 在一切实际场合下, 它们可认为是永久的悬浮物。尽管科学的分类法可能有很多的优点, 但使用通俗的描述术语, 即主要是以它们生产的方式为基础的术语, 如烟、尘和霾, 也许是一种更为适宜和方便的分类方法。另外, 这种方法的建立和沿用已久, 无疑是难于改变的。

粉碎或机械分散可使固体物质生成颗粒比较小的粉尘, 如研磨、破碎和钻探等。粉尘大小的范围可从约小于 $1\mu\text{m}$ 至约大于 100 或 $200\mu\text{m}$ 以至更大。粉尘形状通常是无规则的, 微粒

尺寸指的是任一给定粒子的平均尺寸。通常微粒包括飞灰、岩石粉尘和面粉等。烟则为具有一定光学密度的物质，它常产生于有机物质，如木柴、煤和烟草的燃烧。烟的粒子很细，其粒径范围为小于 $0.01\mu\text{m}$ 至 $1\mu\text{m}$ 。如果它们是由液体或焦油所构成时，通常是球形的，若为固体构成时，则是无规则形。由于粒子很细，烟能以悬浮状态保持很长的时间，并呈现出明显的布朗运动。通常烟雾是在相当高的温度下，由升华、冷凝或燃烧过程生成的。其粒径为小于 $0.1\mu\text{m}$ 至 $1\mu\text{m}$ 。与烟、烟雾相似，其沉降速度很慢，且呈现出强烈的布朗运动。通常轻雾或雾是在有适宜的核存在下由水或其它蒸气冷凝而得到的悬浮状小液滴。它也可由液体雾化而生成。通常自然的雾和轻雾粒径为2至 $200\mu\text{m}$ 。大于 $200\mu\text{m}$ 的液滴则应划归为毛毛雨或雨类更为适宜。第20篇中（图20-102）列出了根据粒径分类的气溶胶的许多重要性质。

当液体或固体以颗粒状物质排入空气时，其性质和作用有可能发生变化。当物质分散成愈来愈小的粒子时，其暴露于空气中的表面积就逐渐增加。在这种情况下，无论物质的化学组成如何，都会同大气中的其它粒子或气体进行物理或化学结合，而最终的结合产物常是难于预测的。细小的气溶胶粒子（从 0.001 至 $0.1\mu\text{m}$ ）可起到冷凝核的作用，而有利于水蒸气的冷凝，从而促进了雾和地面轻雾的生成。粒径小于2或 $3\mu\text{m}$ 的微粒（其重量约为城市空气中悬浮粒子的一半）能穿透粘膜，吸附和传递象二氧化硫这样有害的化学物质。由于细小的气溶胶粒子的表面积大，其结果吸附了气体分子或使其具有有利于化学反应的性质，从而使气溶胶呈现出强大的表面活性。多数物质在大块状态时，氧化很慢，但在空气中分散很细时，就会极快氧化甚至可能爆炸。例如，粉尘爆炸经常是由可燃性粒子不稳定燃烧或氧化引起，这是由它们相当大的比表面积所造成的。在分析和了解颗粒物污染问题时，吸附和催化现象也是极其重要的。例如，二氧化硫转化成腐蚀性的硫酸，就是借助于氧化铁微粒的催化作用。这一现象证实了大气中某些类型微粒的催化性质。最后，气溶胶能吸收辐射能，并迅速把热量传给大气层中的气体，而通常这些气体原本是不能吸收辐射能的。结果空气与气溶胶接触后就变得更加温暖了。

三、评估排放源

对排放物的类型及排放速率的了解是评价任何空气污染问题的基础。加工过程的综合物料平衡常有助于这一评价。采用已发表的排放系数（见*Compilation of Air pollution Emission Factors*, 2d ed., Ap-42, U. S. EPA, Research Triangle park, N. C., April 1973, with all succelding supplements），可获得评价各种加工过程的污物排放速率。排放系数是统计学的平均排放速率，该速率是已知量物质加工或燃烧时排出的污物速率，或是以其它有意义的参数为基础求得的。排放系数与加工、处理或燃烧操作所采用的技术有关，亦受到所处理的物质的质量及空气污染控制设备效率的影响。由于这些系数的相互组合只对某一个污染源是合适的，而一个污染源的排放系数不能适用于另一污染源。因此，在鉴别适用的污染系数时，必须进行周密细致地判断。如没有找到适宜污染系数时，或是要进行空气污染控制设备的设计时，应进行具体的污染源采样。表26-3中综合了主要工业污染源的污染物，排放出的空气污染物和典型的控制方法。

四、空气污染物的影响

从许多较严重的污染事件中看出，空气对健康有着重要影响这点是明显的。例如，1952、1956、1957、1962年在伦敦，1948年在宾夕法尼亚州的Donora，以及1953、1963和1966年在纽约城，均因空气污染而造成数百人死于非命，而且由于肺部的疾病使许多人失去健康。此外，在这些和其它类似事件中成百上千的人还感到不适和不快，其中包括眼痛和胸疼。对

表 26-3 单元过程中主要排放源的控制技术

工 业	操作过程	排出的空气污染物	控 制 技 术
还原铝 工厂	材料处理 铲斗和皮带运送及输送机或气动输送机运送	颗粒物(粉尘)	排气系统和集尘室
	阳极或阴极制备 阴极: 烘烤 阳极: 磨碎和掺混 烘烤 装槽 金属铸造	从粘合剂中放出烃类 颗粒物(粉尘) 颗粒物(粉尘)、CO、SO ₂ 、烃类和氟化物 颗粒物(粉尘) CO、HF、SO ₂ 、CF ₄ 和烃类 Cl ₂ 、HCl、CO和粒子(粉尘)	排气系统和机械捕集器 高效旋风分离器、静电除尘器、洗涤器、催化燃烧或焚烧炉、火炬及集尘室 高效旋风分离器、集尘室、喷淋塔、浮动床、洗涤器、静电除尘器、化学吸附及湿式电除尘器 排气系统和洗涤器
间歇法 沥青生产 工厂	材料处理、贮藏和分级 机: 提升管、溜槽、振动筛	颗粒物(粉尘)	具有旋风粗滤器和洗涤器或集尘器的局部排气系统
	干燥: 旋转式燃油或燃气炉 卡车运输	颗粒物和烟 粉尘	适宜的燃烧控制器, 必要时要对燃料油预加热、局部排气系统、旋风分离器和洗涤器或集尘器喷洒卡车运行道路
水泥厂	采石场: 一级破碎、二级破碎、运输及贮藏 干法: 物料处理、空气分离器(热风炉) 磨碎 气动的运输和贮藏 湿法: 物料处理、磨碎、贮藏 窑的操作: 旋转窑 渣渣冷却: 物料处理 磨碎和包装: 空气分离器、磨粉、气动输送、物料处理及包装	颗粒物(粉尘) 颗粒物(粉尘) 颗粒物(粉尘) 颗粒物(粉尘) 湿料, 无粉尘 颗粒物(粉尘) CO、SO ₂ 、NO _x 、烃类、醛、酮 颗粒物(粉尘) 颗粒物(粉尘)	喷湿及具有机械捕集器的排气系统 局部排气系统和机械捕集器以及集尘室 具有旋风分离器和集尘室的局部排气系统 静电除尘器和集尘室、洗涤器及火炬 局部排气系统和机械捕集器 局部排气系统和机械捕集器
制煤厂	物料处理: 输送机、提升机及溜槽 筛分: 破碎、过筛及分级 除尘 贮煤堆 废料堆 煤干燥: 回转干燥器、筛选、悬浮床、流化床及移动床	颗粒物(粉尘) 颗粒物(粉尘) 颗粒物(粉尘) 扬尘(粉尘) H ₂ S、颗粒物及料堆燃烧产生的烟 粉尘、烟、粒子、二氧化硫、H ₂ S	局部排气系统和旋风除尘器 局部排气系统和旋风除尘器 局部排气系统、旋风粗滤器和集尘室 喷湿、塑料喷淋罩 铲除火源、泵水灭火及用不可燃物料覆盖 具有旋风除尘器和文丘里洗涤器的排气系统
焦化厂	焦化炉装料 推焦 冷熄 副产品加工 物料贮藏(煤和焦)	烟及颗粒物(粉尘) 烟、颗粒物(粉尘) SO ₂ 烟、颗粒物(粉尘和轻雾)、酚和氨 CO、H ₂ S、甲烷、氨、H ₂ 、酚、氰化氢、N ₂ 、苯、二甲苯等 颗粒物(粉尘)	管式装料、精细装料技术、轻便罩和洗涤器或集尘室 减少推出未熟焦、洗涤器和集尘室 栅板和喷淋塔 电除尘器、洗涤器、火炬 喷湿、喷洒塑性物、防火技术

工 业	操作过程	排出的空气污染物	控 制 技 术
肥料工业 (化学 品)	磷酸盐肥料: 破碎、磨 碎和煅烧 P_2O_5 的水解 酸化和处理 造粒 氨化 硝酸酸化 过磷酸盐贮藏和装运 硝酸铵反应器 造粒塔	颗粒物(粉尘) PH_3 、 P_2O_5 、 PO_4 、雾 HF 、 SiF_4 颗粒物(粉尘) (产品回收) NH_3 、 NH_4Cl 、 SiF_4 、 HF NO_x 、气态氟化物 颗粒物(粉尘) NH_3 、 NO_x NH_4 、 NO_x	排气系统、洗涤器、旋风除尘器、集尘室 洗涤器、火炬 洗涤器 排气系统、洗涤器或集尘室 旋风除尘器、电除尘器、集尘室、高能洗涤器 洗涤器、加尿素 排气系统、旋风除尘器或集尘室 洗涤器 适当控制操作、洗涤器
铸铁	熔炼(化铁炉) 装料 熔融 倾倒 拆底	烟和颗粒物 烟和颗粒物、雾 油、烟雾和CO 烟和颗粒物	封顶式排气系统、CO后燃器、气体冷却装置和洗涤 器、集尘室或电除尘器及喷淋灭火器
黄铜和青 铜	熔炼 装料 熔融 倾倒	烟、颗粒物、油雾 氧化锌烟雾、颗粒物及 烟 氧化锌、氧化铅、烟雾	低锌红铜: 采用好的燃烧控制器和矿渣覆盖 高锌黄铜: 采用好的燃烧控制器局部排气系统和集 尘室或洗涤器
铝	熔炼: 进料及熔融、倾 倒	烟和颗粒物	装进清洁物料(不含油漆或油脂), 操作要适当, 不 用空气污染控制设备。若采用助熔剂就无需脱气, 进 料不洁时, 需要设有洗涤器和集尘室的排气系统
锌	熔炼 进料 熔融 倾倒 处理砂的震动机 磁轮选矿、输送机和提 升管、旋转冷却器、过筛 及破碎-混合机 制焦炉	烟和颗粒物 氧化锌烟雾 铸模机中放出的油雾和 烃类 颗粒物(粉尘)、烟及有 机蒸气 颗粒物(粉尘) 有机酸、醛、烟及烃类	具有旋风除尘器和集尘室的排气系统, 装入洁净物 料(不含油漆和油脂) 认真撇去浮渣 使用低烟铸模润滑剂 装有旋风除尘器和集尘室的排气系统 使用粘合剂, 炉子可在低于204°C (400°F)下操作 或使用排气系统和后燃器
电镀操作	热浸电镀槽、釜: 浸镀 物料浸入熔锌中, 在熔锌 表面上撒上助熔剂	烟雾及颗粒物(滴液)、 蒸汽: NH_4Cl 、 ZnO 、 $ZnCl_2$ 、 Zn 、 NH_3 、油和碳	紧配合高速通风防护罩(某些情况下, 防护罩不能 紧靠釜, 故抽力必须足够大)、集尘室及电除尘器
牛皮纸纸 浆机	蒸球: 间歇和连续 多效蒸发器 回收炉 弱及强黑液的氧化 熔融罐 石灰窑	硫醇、甲醇(臭物) H_2S 、其它臭味 H_2S 、硫醇、有机硫化物 和二硫化物 H_2S 颗粒物(烟雾和粉尘) 颗粒物(粉尘)、 H_2S	冷凝器和采用石灰窑、拱形燃料锅炉或后燃炉 碱洗和不凝物的热氧化 用烧纸控制器来控制负荷波动、不加以限定的一次及 二次入炉空气量以及采用洗涤器或静电除尘器 填料塔或旋风除尘器 除尘器、文丘里及填料塔或撞击式洗涤器 文丘里洗涤器

工 业	操作过程	排出的空气污染物	控 制 技 术
城市和工业垃圾焚烧炉	单室焚烧炉	颗粒物、烟、挥发物、 CO 、 SO_x 、氨、有机酸、醛、 NO_x 、烃类、臭味、 HCl	沉降室、洗涤器及后燃器
	烟道焚烧炉		特殊情况下在额定能力下操作，使用辅助燃料，并有良好的维修保养，包括定时清灰
	多室焚烧炉：干馏及焚烧串联	颗粒物、烟、燃烧污染物	使用装料闸门和自动控制鼓风
	烟道焚烧炉	颗粒物、烟和燃烧污染物	
	木材废料	颗粒物、烟及燃烧污染物	用连续进料系统，在设计负荷和过量空气下操作，限制油类物料的加入
	城市垃圾焚烧炉：日处理量50 t 或更高	颗粒物、烟、挥发物、 CO 、氨、有机酸、醛、 NO_x 、烃类、 SO_x 、 HCl 、臭味	物料的准备包括称重、磨碎、磨细；控制卸料区，设计炉子时要适当采用自动控制和采用适当的开工方法；在设计操作温度下维修；使用电除尘器、洗涤器和集尘室；适当的消除灰尘
	带病原体物的焚烧炉 木材废料和工业废料焚烧炉 箱式焚烧炉	臭味、烃类 颗粒物、烟和燃烧污染物 颗粒物、烟和燃烧污染物	装料适当 改进加燃料装置，辅助燃料和干燥系统，旋风除尘器及洗涤器 开工要正确，进料慢，不超负荷
非铁熔炼炉、原铜	焙烧	SO_2 、颗粒物、烟雾	废气系统、沉降室、旋风除尘器或洗涤器和电除尘器，以除去粉尘和烟雾，硫酸工厂要除去 SO_2
	反射炉	烟、颗粒物、烟雾 SO_2	废气系统，沉降室、旋风除尘器、或洗涤器和除尘器，以除去粉尘和烟雾，硫酸工厂要除去 SO_2
	转化炉：进料、矿渣撤除、倾倒、吹空气或氧气	烟、烟雾、 SO_2	废气系统、沉降室、旋风除尘器或洗涤器、电除尘器以除去粉尘和烟雾，硫酸工厂要除去 SO_2
原铅	烧结	SO_2 、颗粒物、烟	排气系统，旋风除尘器和集尘室、除尘器以除去粉尘、烟雾，硫酸工厂要除去 SO_2
	鼓风炉	SO_2 、 CO 、颗粒物、氧化铅、氧化锌	排气系统、沉降室、后燃器和冷却装置，旋风除尘器和集尘室
	撤渣反射炉	SO_2 、颗粒物、烟雾	排气系统、沉降室、旋风除尘器、冷却装置，集尘室
	精制釜	SO_2 、颗粒物	局部排气系统，冷却装置，集尘室或除尘器
原锡	焙烧炉、矿渣发烟炉、脱铅炉	颗粒物	局部排气系统、集尘室或除尘器
原锌	焙烧	颗粒物（粉尘）和 SO_2	排气系统、增湿器、旋风除尘器、洗涤器、电除尘器和制酸厂
	烧结	颗粒物（粉尘）和 SO_2	排气系统、增湿器、电除尘器和制酸厂
	煅烧	氧化锌烟雾、颗粒物、 SO_2 、 CO	排气系统、除尘室
	干馏器：电弧		
非铁熔炼炉再加工	鼓风炉和化铁炉——从废料和矿渣中回收金属	粉尘、烟雾、颗粒物、油、气、烟、 CO	排气系统，冷却装置、 CO 燃烧器和集尘室或除尘器
	反射炉	粉尘、烟雾、颗粒物、烟、气态助熔物	排气系统、集尘室、除尘器或文丘里洗涤器
	熔焊炉	烟、颗粒物、烟雾	预清洁金属、具有后燃室及集尘室的排气系统
	金属丝的回收和汽车车身的烧塔	烟、颗粒物	洗涤器和后燃室
涂料和油漆制造	树脂的制造：密闭反应器	丙烯醛、其它醛和脂肪酸（臭味）、邻苯二甲酸酐（升华）	具有洗涤器和烟雾燃烧器的排气系统
	油漆：烧炼——采用开口或密闭容器	酮、脂肪酸、甲酸、乙酸、甘油、丙烯醛、其它醛、酚和萘烯，来自妥尔油、硫化氢、烷基硫化物、丁基硫醇和噻吩（臭味）	具有洗涤器和烟雾燃烧器的排气系统，对开口釜需安装防护罩

工 业	操作过程	排出的空气污染物	控 制 技 术
涂料和油漆制造	溶剂稀释	烯、带支链芳烃和酮(臭味)、溶剂	具有气体燃烧器的排气系统
脂肪提取工厂	原料贮存与保管	臭味	快速加工、冲刷混凝土表面、铺砌有尘的道路,适当维修下水道,填料塔、排气系统、冷凝器、洗涤器或焚烧器
	蒸煮器和渗滤器磨细	SO ₂ 、硫醇、氨、臭味 颗粒物(粉尘)	排气系统和洗涤器
盖瓦厂	油毡或低饱和器: 喷淋区、沥青缸、湿式打环机 岩石破碎或其它矿物处理	沥青蒸气和颗粒物(液滴) 颗粒物(粉尘)	排气系统为具有高速的〔3658m/s(>200ft/min)〕入口罩和洗涤器、集尘室或两段低电压电除尘器 局部排气系统、旋风除尘器或多段旋风除尘器
钢铁厂	鼓风炉: 装料、倾倒	CO、烟雾、烟、颗粒物(粉尘)	维修要好,密封,使用高比例的团球或烧结矿料,CO在废热锅炉、炉子或焦化炉中燃烧,旋风除尘器、洗涤器、电除尘器或文丘里洗涤器
	电炉炼钢: 进料、倾倒、吹氧	烟雾、烟、颗粒物(粉尘)、CO	分拣出脏的碎屑、适宜的防护罩、集尘室、文丘里洗涤器或电除尘器
	平炉: 吹氧、倾倒	烟雾、烟、SO _x 、颗粒物(粉尘)、CO、NO _x	适宜的防护罩、沉降室、废热锅炉、集尘室、电除尘器或文丘里洗涤器
	碱性氧气炉: 吹氧	烟雾、烟、CO、颗粒物(粉尘)	适宜的防护罩(收集排放物和稀释的CO)洗涤器或除尘器
	原料贮存	颗粒物(粉尘)	喷湿或应用塑性物料喷洒
	团球 烧结	颗粒物(粉尘) 烟、颗粒物(粉尘)、SO ₂ 、NO _x	适宜的防护罩、旋风除尘器、集尘室 适宜的防护罩或除尘器

健康来说这些尖锐的问题实际上还是次要的。有充分的证据说明,空气污染长期地威胁着人类的健康。这些证据中包括对烟雾中致癌化合物的鉴定。肺气肿迅速增加并造成主要健康问题的统计数据表明,人们长期生活在污染的空气中要患许多种疾病,并降低寿命。

1. 人类

有充分证据表明,不同程度的大气污染对健康有不利的影响。

[Amdur, Melvin, and Drinker, "Effect of Inhalation of Sulfur Dioxide by Man," *Lancet*, London, 2, 758 (1953); Barton, Corn, Gee, Vassallo, and Thomas, "Response of Healthy Men to Inhaled Low Concentrations of Gas-Aerosol Mixtures," *Arch. Environ. Health*, Chicago, 18, 681 (1969); Bates, Bell, Burnham, Hazucha, and Mantha, "Problems in Studies of Human Exposure to Air Pollutants," *Can. Med. Assoc. J.*, Toronto, 103, 833 (1970); Ciocco and Thompson, "A Follow-Up of Donora Ten Years After: Methodology and Findings," *Am. J. Public Health*, New York, 51, 155 (1961); Daly, "Air Pollution and Causes of Death," *Br. J. Prev. Soc. Med.*, London, 13, 14 (1959); Jaffe, "The Biological Effect of Photochemical Air Pollutants on Man and Animals," *Am. J. Public Health*, New York, 57, 1269 (1967); New York Academy of Medicine, Committee on Public Health, "Air Pollution and Health," *Bull. N.Y. Acad. Med.*, 42, 588 (1966); Pemberton and Goldberg, "Air Pollution and Bronchitis," *Br. Med. J.*, London, 2, 567 (1954); Snell and Luchsinger, "Effect of Sulfur Dioxide on Expiratory Flowrates and Total Respiratory Resistance in Normal Human Subjects," *Arch. Environ. Health*, Chicago, 18, 693 (1969); Speizer and Frank, "A Comparison of Changes in Pulmonary Flow Resistance in Healthy Volunteers Acutely Exposed to SO₂ by Mouth and by Nose," *J. Ind. Med.*, 23, 75 (1966); Stocks, "Cancer and Bronchitis Mortality in Relation to Atmospheric Deposit and Smoke," *Br. Med. J.*, London, 1, 74 (1959); Toyama, "Air Pollution and Its Health Effects in Japan," *Arch. Environ. Health*, Chicago, 8, 153 (1963); U.K. Ministry of Health, "Mortality and Morbidity during London Fog of December 1952," Report on Public Health and Medical Subjects No. 95, London, 1954; U.S. Public Health Service, "Air Pollution in Donora, Pa.: Preliminary Report," Public Health Bull 306.]