

绿色化学化工

导论

LV SE HUA XUE HUA GONG DAO LUN

李德华 编著



科学出版社

www.sciencep.com

绿色化学化工导论

李德华 编著

科学出版社

北京

内 容 简 介

环境污染、能源枯竭等问题是当前人们最为关心的热门话题之一，而绿色化学化工的兴起和发展，既可以从根本上保护环境，又可以进一步促进化学工业生产发展，因此，深受世界各国政府、企业界及学术界的热情关注。有鉴于此，本书以化工生产的“绿色化”为主线，在介绍生态环境、绿色化学基本原理、化学工业可持续发展的基础上，着重阐述与绿色化学化工发展相关的清洁生产、绿色化学化工技术以及典型的绿色化学工艺，并对生态工业园区做了展望。

本书内容新颖，选材丰富，结构严谨，注重创新启迪功能，具有较强的可读性和实用性，既可供相关院校师生作为教材使用，又适合化学化工科技及管理人员参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

绿色化学化工导论 / 李德华编著. — 北京: 科学出版社, 2005
ISBN 7-03-016389-3

I. 绿… II. 李… III. 化学工业—无污染技术 IV. X78

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 124551 号

责任编辑: 杨瑰玉

责任印制: 高 嵘 / 封面设计: 曹 刚 陈 超

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码: 100717

<http://www.sciencecp.com>

湖北京山德新印刷有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2005 年 11 月第 一 版 开本: 850×1168 1/32

2005 年 11 月第一次印刷 印张: 10

印数: 1~2000 字数: 258 000

定价: 16.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

前 言

当前,传统的化学、化工正面临着人类可持续发展要求的严重挑战,化学工业的出路在于大力开发和应用基于绿色化学原理产生和发展起来的绿色化学化工技术。绿色化学是诞生于20世纪90年代末期的一门多学科交叉的新兴学科。从科学、环境和经济发展的观点来看,绿色化学是对传统化学思维的创新和发展,其目标是从源头防止污染,最大限度地从资源的利用、环境及生态平衡等方面满足人类的可持续发展要求。

绿色化学化工导论教材的编著和课程的开设,可以极好地配合并适应高等教育改革与发展的需要;可以开阔学生的视野,拓宽知识面,便于学生从整体上认识化学学科,了解绿色化学在人类社会发 展进程所起的促进作用,以及在知识经济为主导的当代文明中不可替代的功能和发展机遇;使学生及时了解最新和最热门的科学技术成果的研究进展以及国内外发展状况,为成为知识渊博、研究方向明确的高素质人才奠定基础。

本书主要强调化学知识的社会功能,其内容紧扣绿色化学的发展潮流和趋势以及绿色化学与人类文明及国计民生的紧密关系,充分体现“化学是21世纪中心学科”的内涵和外延,展现绿色化学化工的辉煌前景。

全书共分八章。第1章绪论,简要叙述从环境问题的产生与发展到绿色化学浪潮的冲击所引发的世界范围内的一场革命;第2章绿色化学原理,详细论述了绿色化学的12条基本原则;第3章化学工业的可持续发展,主要阐述可持续发展及其与化工清洁生产的关系,使读者明确化工可持续发展的有效途径是必须采用绿色技术;第4章工业生态学原理的介绍,目的是使读者了解为变革传统产业的发展模式,必须要走“科技含量高、经济效益好、

资源消耗低、环境污染小、人力资源得到充分发挥的新型工业化路子”；第5章介绍几种具有一定先进性、技术性、实用性、前瞻性的绿色化学化工技术；最后，为突现构筑能量和物质的闭路循环这一绿色化学工艺的核心，在第6章、第7章和第8章分别介绍绿色无机化学工艺、绿色有机化学工艺以及制药工业的绿色化等。

本书将过程优化、经济效益和社会效益最大化、原材料和能量综合利用、清洁生产 and 环境保护以及可持续发展等观点贯穿全书，目的是使读者能够得到绿色化的启迪，留下绿色化的概念，让象征环境、代表生命的绿色永远郁郁葱葱。

在本书的编写过程中，复旦大学叶匀分、兰州大学严世强、武汉大学于萍以及吉林大学蒋富明等为编写提纲提出过宝贵的意见和建议，特此致谢。本书还参考和引用了国内外许多专家、学者的研究工作，在此对所参考文献资料的作者和单位表示最诚挚的谢意！

由于编著者水平有限，书中疏漏之处在所难免，敬请广大读者批评指正。

编著者

2005年5月

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 环境问题的产生与发展.....	1
1.2 环境污染物及其来源.....	4
1.3 举世瞩目的环境治理进程.....	6
1.4 汹涌澎湃的绿色化学浪潮.....	8
1.4.1 绿色化学的定义及其特点.....	9
1.4.2 世界各国绿色化学的政策与奖励.....	10
1.4.3 绿色化学与技术相关学术活动.....	14
第 2 章 绿色化学原理	17
2.1 防止污染优于污染之后再进行处理.....	19
2.1.1 末端治理的弊端.....	19
2.1.2 防止污染的重要措施——原料绿色化.....	22
2.2 化学反应的原子经济性.....	28
2.2.1 原子经济性.....	28
2.2.2 原子利用率.....	29
2.2.3 环境商.....	31
2.2.4 原子经济反应.....	32
2.2.5 非原子经济反应.....	33
2.3 无害化学合成.....	35
2.4 设计更安全的化学品.....	36
2.4.1 化学产品的功与过.....	36
2.4.2 绿色化学品.....	40
2.4.3 设计更安全化学品的方法.....	41
2.5 溶剂绿色化.....	41
2.5.1 常规溶剂的使用及其危害.....	41

2.5.2	环境友好的绿色助剂	42
2.6	提高能源效率	50
2.6.1	化学工业的能量消耗	50
2.6.2	化学工业的节能潜力	51
2.6.2	节能的途径	53
2.7	利用可再生资源为原料	54
2.7.1	可再生资源与不可再生资源	54
2.7.2	利用生物质材料制取燃料	55
2.7.3	利用生物质材料制取精细有机化学品	57
2.7.4	生物质资源的局限及对策	58
2.8	减少化学合成的衍生步骤	60
2.8.1	保护基团	60
2.8.2	暂时改性	61
2.8.3	加入官能团提高反应选择性	61
2.9	开发新型催化剂	61
2.9.1	催化作用优于化学计量反应	61
2.9.2	环境友好催化过程	62
2.9.3	新型催化剂的研究	64
2.10	设计可降解的化学品	67
2.10.1	化学品废弃物造成的恶果	67
2.10.2	化学品设计应当考虑降解功能	69
2.11	预防污染的实时分析	71
2.12	防止化学事故发生的安全生产工艺	72
第 3 章	化学工业的可持续发展	74
3.1	可持续发展	74
3.1.1	可持续发展的基本概念	74
3.1.2	可持续发展的基本思想	77
3.1.3	可持续发展的基本原则	78
3.1.4	化学工业的可持续发展	79
3.2	可持续发展与清洁生产	80

3.2.1	清洁生产的定义、内容及特点	81
3.2.2	实施清洁生产的主要途径	87
3.2.3	企业清洁生产工作程序	89
3.2.4	清洁生产与可持续发展的关系	94
3.3	绿色技术是推动化工清洁生产的关键	95
3.3.1	绿色技术的内涵	96
3.3.2	绿色技术的创新	97
3.4	绿色技术是可持续发展的有效途径	99
第 4 章	工业生态学原理	101
4.1	工业生态学的发展简况	101
4.2	工业生态学的研究方法	103
4.2.1	工业代谢	105
4.2.2	生命周期评估	110
4.3	工业生态学的应用	116
4.3.1	卡伦堡工业共生体系	116
4.3.2	卡伦堡工业共生体系的效益与特征	118
4.4	循环经济和生态工业	121
4.4.1	循环经济的特点和优势	121
4.4.2	生态工业园区	123
第 5 章	绿色化学化工技术	133
5.1	能源技术	133
5.1.1	能源及其分类	133
5.1.2	各种能源技术	138
5.2	材料技术	151
5.2.1	新型材料的特点	152
5.2.2	金属材料	154
5.2.3	陶瓷材料	157
5.2.4	高分子材料	160
5.2.5	纳米材料	162
5.3	催化技术	169

5.3.1	催化剂和催化作用	169
5.3.2	绿色化学中的催化技术	170
5.3.3	组合催化技术及应用	174
5.3.4	微型化催化技术	175
5.4	分离技术	176
5.4.1	膜分离技术	177
5.4.2	短程蒸馏技术	184
5.4.3	超声分离技术	187
5.4.4	微波萃取技术	194
5.5	生物技术	196
5.5.1	生物技术及其进展	196
5.5.2	现代生物技术的研究及应用	197
第 6 章 绿色无机化学工艺		204
6.1	磷铵生产的绿色化	204
6.2	铬盐生产的绿色化	209
6.3	氯碱生产的绿色化	211
6.3.1	氯碱工业生产方法及其发展	211
6.3.2	氯碱工业的特点	214
6.3.3	离子膜电解法制烧碱	215
6.3.4	氯碱工业的三废处理	217
6.4	碳化硅晶须连续化生产绿色工艺	221
第 7 章 绿色有机化学工艺		223
7.1	乙苯脱氢制苯乙烯	225
7.1.1	苯与乙烯烷基化制备乙苯	225
7.1.2	乙苯脱氢生产苯乙烯	232
7.2	环氧丙烷绿色生产工艺	241
7.2.1	氯醇法	241
7.2.2	炔类共氧化法	242
7.2.3	钛硅沸石上丙烯环氧化反应	244
7.3	醋酸生产绿色化	251

7.3.1	醋酸生产技术	251
7.3.2	甲醇低压羰基化合成醋酸工艺原理	254
7.3.3	甲醇羰基化法工业化生产醋酸技术进展	257
7.3.4	生物质资源发酵法生产醋酸	261
第 8 章	制药工业绿色化	264
8.1	化学制药	265
8.1.1	布洛芬	265
8.1.2	青霉素	268
8.1.3	维生素 C	276
8.2	中草药制药	282
8.2.1	银杏叶有效成分提取	283
8.2.2	紫杉醇	288
8.2.3	甘露醇	292
8.3	生物制药	296
8.3.1	重组人红细胞生成素	296
8.3.2	卵磷脂	298
8.3.3	超氧化物歧化酶	302
主要参考文献		305

第 1 章 绪 论

1.1 环境问题的产生与发展

环境问题是由于人类的活动对周围环境的作用，引起环境质量发生变化，而这种变化又反过来对人类的生产、生活和健康产生影响而造成的。近年来，能源和资源危机、环境污染、人口爆炸及沙漠化已经构成了世界环境问题的四大方面。

自从有了人类，环境问题也就相伴产生，只是在人类发展的不同历史阶段，鉴于生产能力和生产水平的差异，环境问题的类型、影响范围及严重程度不尽相同。有人将环境问题的的发展分为如下三个阶段：

(1) 早期环境问题阶段：自人类出现至 19 世纪初期兴起的产业革命。这一阶段虽然时间漫长，但人类与自然的关系，基本上是和諧的，人类还没有能力对自然界施加强有力的影响。在传统的农业社会中，人类生活、生产中使用的能源主要是生物能源，使用的资源主要是气候、土地和生物资源，人类生产和生活消费过程中产生的废物也都有可能被自然界降解和同化。环境问题主要是由于农业革命对土地不合理的开发利用加剧，造成土壤侵蚀和土地退化。由于社会承灾、抗灾能力低下，人类遭受着各种自然灾害的肆虐，然而这只是局部的、分散的，还没有形成影响到整个人类生存和发展的态势。

(2) 近现代环境问题阶段：从产业革命开始到 1984 年英国科学家发现、1985 年美国科学家证实地球南极上空出现面积达 900 万平方公里范围的臭氧空洞为止的近 200 年时间。产业革命的兴起，可以 1790 年瓦特完成蒸汽机的发明作为标志。工业的巨大变革，将人类推进到一个高速发展的时代。随着机器的出现，生产

技术的进步，生产力得到了突飞猛进的发展，工业化大生产和科学技术的相互促进给人类社会创造了前所未有的物质财富。然而，随着人口数量的膨胀，人们对提高物质生活水平的需求剧增，使生产力沿着索取、消耗自然资源的方向畸形高速发展，对自然资源的索取甚至是掠夺日益无度；同时，向自然界排放废物也越来越多，使自然环境中的物质流动及其分解、转化的速度和总量日益降低。其结果则是环境的自然资源供给能力和对污染物的吸纳能力承受着难以负荷的压力，造成严重的环境污染，并呈现出地域上的扩张，进展速度不断增加。所谓环境污染，实质上就是生态系统被有毒、有害的物质所破坏，致使人类赖以生存的环境恶化；或污染物进入生态系统，并沿着食物链转移、循环、富集，最后进入人体，危害人类身心健康。

人类的工业化和自然的不协调发展，导致了大量的灾难性后果，对环境造成了致命的危害。当然，人类也是环境污染的最大受害者。

表 1-1 列出了 20 世纪 70 年代以前“世界八大公害事件”。

表 1-1 世界八大公害事件

序号	公害名称	国家	时间	事件及其危害概况
1	马斯河谷烟雾事件	比利时	1930 年 12 月	1930 年 12 月初，在马斯河谷两岸耸立着 90m 高山的峡谷地区，出现了大气逆温层，浓雾覆盖河谷。三个钢铁厂、四个玻璃厂、三个炼锌厂和炼焦、硫酸、化肥等许多工厂排到大气中的几种有害气体和煤烟粉尘被封闭在逆温层下，不易扩散，SO ₂ 浓度高达 25~100mg/m ³ ，造成大气污染事件。一周内几千人受害发病，60 人死亡，为平时同期死亡人数的 10.5 倍，并有大量家畜死亡
2	多诺拉烟雾事件	美国	1948 年 10 月	1948 年 10 月，在宾夕法尼亚州只有 14 000 人的多诺拉镇发生轰动一时的空气污染事件，4 天内就有 5900 人因空气污染而患病，17 人死亡。该镇是一个两岸耸立着 100m 高山的马蹄形河谷，盆地中有大型炼钢厂、硫酸厂和炼锌厂。当时大气中 SO ₂ 浓度高达(0.5~2.0)×10 ⁶ mg/m ³ ，并发现有害尘粒

续表

序号	公害名称	国家	时间	事件及其危害概况
3	伦敦烟雾事件	英国	1952年 12月	1952年12月5~9日,伦敦上空因受冷高压影响,出现无风状态和60~150m低空逆温层,使从家庭和工厂排出的燃煤烟尘被封盖滞留在低空逆温层下,导致4000人死亡。此后又有8000多人死亡。当时大气尘粒浓度高达 $4.46\text{mg}/\text{m}^3$,是平时的10倍; SO_2 浓度高达 $1.34 \times 10^6\text{mg}/\text{m}^3$,是平时的6倍
4	洛杉矶光化学烟雾事件	美国	1955年	1955年洛杉矶有350多万辆汽车,每天有超过 $1 \times 10^4\text{kg}$ 烃类、 $3 \times 10^4\text{kg}$ 氮氧化物及 $4.2 \times 10^6\text{kg}$ 一氧化碳排入大气中,经太阳光的作用,发生光化学反应,生成一种浅蓝色光化学烟雾,在这次事件中,仅65岁以上老人就死亡400人
5	水俣事件	日本	1953~ 1979年	自1953年以来,熊本县水俣湾地区,许多人开始面部呆痴、全身麻木,进而耳聋、失明、精神失常、全身弯曲,最后呼喊而死。还出现“自杀猫”、“自杀狗”等怪现象。到1959年才揭开谜底——某工厂排出的含汞废水污染了水俣海域,鱼类富集了水中的甲基汞,人或动物吃鱼贝后,引起中毒或死亡。截止到1979年1月受害人数达1004人,死亡206人
6	富山事件	日本	1955~ 1965年	1955年后,在富山神通川两岸发现一种怪病,发病者开始手、脚、腰等全身关节疼痛。几年后,骨骼变形易折,周身骨骼疼痛,最后病人饮食不进,在疼痛中死去或自杀。1961年才查明是由于当地炼铝厂排放含镉废水,人吃了受镉污染的大米或饮用含镉的水而造成。1963~1968年5年内确诊患者258人,128人因“骨痛病”死亡
7	四日市事件	日本	1955~ 1972年	1955年以来,在工业生产以“石油联合企业”为主的四日市,工厂每年排到大气中的粉尘和 SO_2 总量达 $1.3 \times 10^7\text{kg}$,使这个城市终年烟雾弥漫。居民患气管炎、支气管哮喘、肺气肿及肺癌等呼吸道疾病,称为“四日气喘病”。截至1972年,日本全国患这种病者高达6376人
8	米糠油事件	日本	1968年	1968年7~8月,九州爱知县一带发现一种怪病,患者达5000人,死亡16人。与此同时,用生产米糠油的副产品黑油做家禽饲料,又使数十万只鸡死亡。后来发现,这是由于工厂在生产米糠油的工艺过程中,将载体多氯联苯混入油中,造成食此油者中毒或死亡

(3) 当代环境问题阶段：从 1984 年开始至今。这一阶段环境问题主要集中在三大全球性大气环境问题上，即全球气候变暖、臭氧层破坏和酸雨。同时，发展中国家的城市环境和生态破坏，使一些国家的贫困化程度加剧，贫困进一步引发对资源的争夺，从而对生态环境造成了极为恶劣的影响，并成为世界最主要的潜在不稳定因素；全球范围内的水资源短缺；自然资源(主要是矿产资源)也相继出现了即将耗竭的信号。人类赖以生存的环境基础越来越差。

1.2 环境污染物及其来源

环境污染与工业化相伴而生。作为一个重大的社会问题，可以说环境污染是仅次于核浩劫的人类第二大灾难。通常，造成环境污染的人为因素主要有以下几个方面：以热、光、噪声、辐射和放射性为代表的物理因素；以微生物和寄生虫为代表的生物因素；以有毒无机物、有毒有机物等为代表的化学因素。其中化学因素占 80%~90%。化学污染物的数量大、种类多、来源广，它们在环境中的存留时间和空间位置又各不相同，而且污染物彼此之间、或者污染物和其他环境因素之间也有相互作用与迁移转化。据美国基于“紧急计划和公众知情权法”设立的 TRI(toxics release inventory)即毒品排放详目报道，其所追踪的十大污染工业部门中，1994 年化学工业(包括冶金)排放到环境(空气、水或地表)中的废弃物要比其他 9 个工业部门排放的总和还多(见图 1-1)。全球环境污染影响因子的 80%是化学性污染。可以说，当代全球环境问题，几乎都与化学化工污染有关。

化学工业的发展从 20 世纪 20 年代至 40 年代经历了以煤为原料生产化工产品的煤化学工业时期。此时，以煤烟尘、二氧化硫造成的大气污染和冶矿、制碱造成的水质污染为主。到 20 世纪 50 年代，随着石油工业的崛起，化学工业又进入了以石油和天然气为主要原料的“石油化学时代”，环境污染的类型也相继由煤烟

型转变成石油型。此外，有机化学产品、农药等有机合成物质及放射性物质的污染问题也逐渐增多。传统的化学工业生产属于不可再生资源及能源消耗型，与环境、生态和持续发展具有不相容性，其生产特点是原料多，生产方法、产品的品种多，产生的废物多。通常因为化工生产的各种原料约有 2/3 变成了废物，而这些废物除了废气、废水外，废渣要占 1/2 左右。这些废物的排放导致环境问题愈来愈严重。仅就我国有关部门提供的资料 and 实际监测等多方面的数据统计处理可知：2004 年工业二氧化硫排放总量达 $1.612 \times 10^{10} \text{kg}$ ；工业废水排放总量达 $1.94 \times 10^{13} \text{kg}$ 。目前，累积的工业固体废物的堆存量达 $6.5 \times 10^{12} \text{kg}$ ，其中，危险废物占 5%，总的占地面积达 $5.168 \times 10^8 \text{m}^2$ 。这不仅流失了大量的可用资源，而且也严重地污染了大气、水体和土壤。据 1997 年世界银行统计，仅我国每年空气和水体污染造成的经济损失就高达 540 亿美元，相当于国内生产总值(gross domestic product, GDP)的 6%。初步估算，将所有污染对经济造成的损失汇总，每年污染造成的损失会在 GDP 的 7% 左右。这一数字刚好接近我国近几年的经济增长速度。相比较而言，中国的环境问题要比其他国家更加严重和紧迫，治理环境问题已刻不容缓。

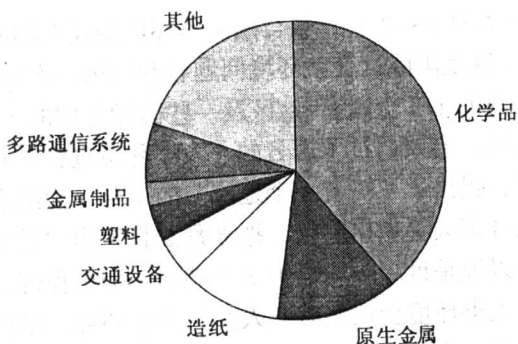


图 1-1 主要工业部门排放到环境中的废物比例示意图

1.3 举世瞩目的环境治理进程

多年来，人们面对日益加剧的环境危机，越来越感到自己生活在一种不安全、不健康的环境之中。加之社会舆论的广泛宣传，公众环境意识的不断提高，都推动了环境保护运动的兴起。

1962年，美国海洋生物学家卡森(Carson)写了《寂静的春天(silent spring)》一书，详细地描述了一些有机农药对各种鸟类所产蛋的影响，并向人类发出了警告。正是人类不顾环境后果，滥用有机农药的行为，引起毒物在土壤、河流、空气和食物链中的转移，其蔓延将会造成无法挽回乃至无法预料的危害。卡森提出了人类必须与其他生物建立合理的协调关系、共同分享地球才能维持人类健康生存的看法，引起了世界各国的广泛关注，大大增强了民众的环境保护意识。在随后此起彼伏的环境运动中，影响最大的是1970年4月22日美国环境保护主义者推动组织的2000万人的“地球日”大游行活动。这次活动的影响很快扩大到全球，有力地推动了环保事业的发展。从此，4月22日便成了全球性的“地球日”。“地球日”运动的开展，为联合国人类环境会议做了舆论上的准备。

1972年6月5~12日，联合国人类环境会议在瑞典首都斯德哥尔摩召开。这是国际社会就环境问题召开的第一次世界性会议，包括我国在内的113个国家、地区及一些国际机构的1300多名代表出席了会议。会议通过了著名的《人类环境宣言》和全球环境“行动计划”，提出了“只有一个地球”的口号。为纪念大会的召开，当年联合国大会做出决议，把6月5日定为“世界环境日”。这次会议可以说是世界环境保护史上的第一个里程碑。

联合国人类环境会议之后，人类为保护环境、维护生态平衡做了大量工作，取得了一定的成效。然而，铁的事实说明，人类对“只有一个地球”的丰富内涵还没有真正领悟，致使环境保护行动迟缓，以至于环境恶化的速度有增无减，世界范围的环境公

害仍在频繁发生(见表 1-2)。

表 1-2 近 30 年来的重大公害事件

事件	时间	地点	危害	原因
维索化学污染	1976 年 7 月 10 日	意大利北部	多人中毒, 居民搬迁, 几年后婴儿畸形多	农药厂爆炸, 二噁英污染
阿摩柯卡的斯油轮泄油	1978 年 3 月	法国西北部布列塔尼半岛	藻类、潮间带动物、海鸟灭绝, 工农业生产、旅游业损失大	油轮触礁, 22 万吨原油入海
三哩岛核电站泄漏	1979 年 3 月 28 日	美国宾夕法尼亚州	周围 50 英里 200 万人口极度不安, 直接损失 10 多亿美元	核电站石墨反应堆堆芯熔化, 造成放射性水和气体泄露
墨西哥气体爆炸	1984 年 11 月 9 日	墨西哥	4200 人受伤, 400 人死亡, 300 栋房毁坏, 10 万人被疏散	石油公司一个油库爆炸
博帕尔农药泄漏	1984 年 12 月 2-3 日	印度中央邦博帕尔市	1408 人死亡, 2 万人严重中毒, 15 万人接受治疗, 20 万人逃离	45 吨异氰酸甲酯泄漏
威尔士饮用水污染	1985 年 1 月	英国威尔士	200 万居民饮水污染, 44% 的人中毒	化工公司将酚排入迪河
切尔诺贝利核电站泄漏	1986 年 4 月 26 日	前苏联乌克兰	31 人死亡, 203 人伤, 13 万人疏散, 直接损失 30 亿美元。放射性物质随东风扩散到芬兰、丹麦、挪威等国, 使那里的大气遭到严重污染	4 号反应堆机组爆炸
莱茵河污染	1986 年 11 月 1 日	瑞士巴塞爾市	事故段生物绝迹, 100 英里鱼类死亡, 300 英里河水不能饮用	化学公司仓库起火, 30 吨硫、磷、汞等剧毒物入河
莫农格希拉河污染	1988 年 11 月 1 日	美国	沿岸 100 万居民生活受严重影响	石油公司油罐爆炸, 350 万加仑原油入河
埃克森·瓦尔迪兹油轮漏油	1989 年 3 月 24 日	美国阿拉斯加	海域严重污染	漏油 26.2 万桶

随着环境问题的暴露, 特别是在南极上空出现“臭氧空洞”, 这一发现引发了新一轮的世界环境问题高潮。无论是在发达国家