

高等学校“十一五”规划教材

绿色化学原理 与 绿色产品设计

李群 代斌 主编



化学工业出版社

TQ07
4018

高等学校“十一五”规划教材

绿色化学原理与绿色产品设计

李 群 代 斌 主编



化学工业出版社

· 北京 ·

本书首先从专业和交叉学科的角度介绍了绿色化学产生的背景、绿色化学原理、绿色产品的评价体系与方法、绿色产品的设计原理与途径,在此基础上又重点介绍了材料、纤维与纺织品、化工产品、农产品、食品、药物、能源等实现产品绿色化的基本思路和实例。

本书既可作为应用化学专业本科或研究生教材及教学参考书使用,也可供化工、材料、纺织、印染、制药、轻化工、精细化工、环保等专业的学生和工程技术、科研人员参考、使用。

图书在版编目(CIP)数据

绿色化学原理与绿色产品设计/李群,代斌主编. —北京:
化学工业出版社, 2008. 6
高等学校“十一五”规划教材
ISBN 978-7-122-03050-4

I. 绿… II. ①李…②代… III. ①化学工业-无污染技术-高等学校-教材②工业产品-设计-无污染技术-高等学校-教材
IV. X78 TB472

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 078928 号

责任编辑: 宋林青

文字编辑: 李锦侠

责任校对: 顾淑云

装帧设计: 史利平

出版发行: 化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街13号 邮政编码100011)

印刷: 大厂聚鑫印刷有限责任公司

装订: 三河市前程装订厂

787mm×1092mm 1/16 印张16¼ 字数425千字 2008年8月北京第1版第1次印刷

购书咨询: 010-64518888 (传真: 010-64519686) 售后服务: 010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书, 如有缺损质量问题, 本社销售中心负责调换。

定 价: 28.00 元

版权所有 违者必究

编写人员名单

主 编 李 群 代 斌

副 主 编 李庆余 李光禄 庞素娟

编写人员（按姓氏笔画排序）

王红强 王林山 卢凌彬 代 斌

李 群 李光禄 李庆余 庞素娟

赵昔慧 彭桂花 鲁建江

前 言

自 20 世纪初以来，世界人口的急剧增长、对全球资源的掠夺性开发和伴随工业化的发展而产生的大量“三废”排放，已经对人类的生存环境造成了严重破坏。专家认为目前人类疾病的 70%~90% 与环境的破坏有关，由于环境污染和生态平衡失调，给人类的生存和健康造成威胁的无数事实，已经使人们越来越认识到环境保护的重要性。

“绿色革命”是美国国际开发署于 1968 年 3 月在国际开发年会上首先提出的概念。现在“绿色”已成为少污染或无污染的代名词，绿色食品、绿色植物、绿色农产品、绿色建筑、绿色化学品、绿色纤维和绿色纺织品等纷纷面世，并在全球形成了“绿色浪潮”。

绿色化学是 20 世纪 90 年代人们认识到传统化学的不足而产生的一门新学科。传统化学似乎总和环境污染联系在一起。它更关注如何通过化学的方法得到更多的物质，而此过程中对环境的影响则考虑较少，即使考虑也只是着眼于事后的治理而不是事前的预防。而绿色化学是对传统化学和传统化学工业进行的革命，是以生态环境意识为指导，研究对环境无（或尽可能小的）副作用，在技术上和经济上可行的化学品和化学过程，所以绿色化学又称环境无害化学或清洁化学。具体来讲，绿色化学就是用化学原理和方法来减少或消除对生态环境有害的原料、催化剂、溶剂、试剂、副产物等的新兴科学，是从源头上阻止环境污染的化学，它不仅是化学工业未来发展的方向，也是其他工业的发展方向。

近十多年来，绿色化学与绿色产业受到了世界各国的高度重视。美国于 1995 年 3 月 16 日设立了总统绿色化学挑战奖，创建了绿色化学专项奖励的里程碑，同时极大地推动了绿色化学在美国的发展。美国在国家实验室、大学与企业之间建立了多个绿色化学院。澳大利亚皇家化学研究所（RACI）于 1999 年设立了绿色化学挑战奖，此奖项旨在推动绿色化学在澳洲的发展，奖励为防止环境污染而进行的各种易推广的化学革新及改进，表彰为绿色化学教育的推广做出重大贡献的单位和个人。日本在 21 世纪实施重建绿色地球的“新阳光计划”，该计划提出了“简单化学（simple chemistry）”的概念，即采用最大程度节约能源、资源和减少排放的简化生产工艺过程来实现未来的化学工业和相关工业的发展，其方向是化学的发展适应于改善人们健康和保护环境的要求。德国则于 1997 年底正式通过“为环境而研究”的计划，把“可持续发展的化学”确定为固定的主题之一。英国绿色化学奖在 2000 年颁奖，此奖意在鼓励更多的人投身于绿色化学研究工作，推广工业界最新发展成果。特别是 2005 年的诺贝尔化学奖授予了提出“换位合成法”的法、美两国的三位科学家。诺贝尔委员会在授奖文告中称，“换位合成法使人们向着绿色化学迈出了重要一步，大大减少了有害废物对人们的危害。”至此，绿色化学的重要性受到世人的瞩目。

面对国际上兴起的绿色化学与清洁生产技术浪潮，我国政府也决心实施可持续性发展战略。为实现到 2010 年以及 21 世纪中叶我国经济、科技和社会发展的宏伟目标，在《国家重点基础研究发展规划》中亦将绿色化学的基础研究项目作为支持的重要方向之一，国内有关单位已经积极组织申请立项。此外，一些院校也纷纷成立了绿色化学研究机构等。

显然，“绿色浪潮”席卷全球，不仅仅是一种新的消费浪潮，更重要的是它指明了现代人类今后发展的必然方向。它对人们的生活观念和产业发展的思路必将产生深远的影响。尽快在高等学校的相关专业中设置绿色化学课程，让学生们了解和掌握绿色化学的基本原理和应用方

法显得尤为迫切。

绿色化学原理不仅仅适合于指导绿色化学品的设计和生产，它对诸如材料、药品、食品、生物、纺织、电子等产品的设计和生具有普遍的指导意义。尽管目前相关的科技书已有多种版本，但适合作为教科书的版本仍然较少。所以，作者按照教育部教高司函〔2005〕195号中关于“十一五”国家级教材规划原则，根据教育部化学类教学分指导委员会建设“具有不同风格和特色的专业教材”的精神，依据《普通高等学校本科应用化学专业规范》，在教育部化学类教学分指导委员会的指导下，旨在编写一本能满足应用化学专业高等教育要求的教科书。

本教材编写组始终本着“面向未来、质量第一”的原则进行工作，广泛听取了有关专家教授的宝贵意见，参阅了大量国内外有关教材和资料。本教材在编写过程中主要把握住了以下几条原则。

1. 首先把绿色化学作为一门新兴的交叉性边缘学科，介绍其诞生的背景和过程，同时重点介绍绿色化学原理，将其作为后续内容的理论基础。体现高等教育重理论基础教育的传统。

2. 学以致用，绿色化学的理念最终要落在绿色产品及设计上。由于绿色化学是新兴边缘学科，实现绿色化的思路和途径较多，并不断产生新的途径和方法，所以，本书尽可能多地介绍目前绿色产品的评价方法和设计的思路与途径。体现本书学以致用、理论与实践相结合的特色。

3. 绿色产品的范围很广泛，同时考虑到各高校的优势学科和地域经济的不同，所以本书尽可能多地编入了多个领域绿色产品及设计思路。一方面体现满足本科教育对知识的宽口径需求，另一方面也体现满足不同高校的不同特色方向的侧重性需求。

4. 章末编入思考题和参考文献，便于教学对重点内容的把握和练习，同时也为学生拓展知识面提供了便捷的途径。

本教材编写组由青岛大学（李群、赵昔慧）、东北大学（李光禄、王林山）、新疆石河子大学（代斌、鲁建江）、广西师范大学（李庆余、王红强、彭桂花）、海南大学（庞素娟、卢凌彬）五所院校的教师组成。编写分工如下：第1章由李庆余执笔，第2章由彭桂花执笔，第3章由李光禄、李群执笔，第4章由王林山、王红强、代斌执笔，第5章由李群、赵昔慧执笔，第6章由卢凌彬、庞素娟、代斌执笔，第7章由代斌执笔，第8章由鲁建江执笔。全书由李群修改统稿。

本教材在编写过程中得到了诸多单位和朋友的支持和帮助。在此感谢2006~2010年教育部化学类专业教学指导分委员会的指导，感谢化学工业出版社的约稿与出版工作，也感谢参与该教材编写的有关高校的领导和专家的大力支持和帮助。

由于本教材体系在国内外属首次建立，笔者学识亦十分有限，可能存在疏漏及欠妥之处，敬请各位读者批评指正，不胜感激。

《绿色化学原理与绿色产品设计》教材编写组
2008年2月

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 人类面临的环境问题与可持续性发展战略	1
1.2 绿色化学的提出与发展	3
1.2.1 绿色化学的提出	3
1.2.2 绿色化学的发展	4
1.3 绿色化学“十二原则”	7
思考题	7
参考文献	8
第 2 章 绿色产品的评价体系与方法	9
2.1 绿色产品的涵义	9
2.1.1 绿色产品的定义	9
2.1.2 绿色产品的特点	9
2.1.3 绿色产品与传统产品的区别	10
2.2 绿色产品的评价体系	11
2.2.1 LCA 的概念及内涵	11
2.2.2 LCA 的发展历程及应用	13
2.2.3 LCA 的技术框架	15
2.2.4 生命周期清单分析 (LCD)	16
2.2.5 影响评价 (LCIA)	18
2.2.6 生命周期结果解释	21
2.2.7 LCA 数据库与 LCA 评估软件	22
2.2.8 LCA 的评价实例	28
2.2.9 与 LCA 有关的研究	29
2.2.10 LCA 的局限性与困难	32
思考题	33
参考文献	33
第 3 章 绿色产品的设计原理	35
3.1 绿色设计途径与方法	35
3.1.1 “十二原则”应用分析	35
3.1.2 绿色化工产品的绿色设计途径	37
3.1.3 设计安全化学品	38
3.1.4 其他绿色化工工艺设计思路	39
3.2 可持续性分析途径与方法	45
3.2.1 可持续性的定义	45
3.2.2 量化可持续性的参数	45
3.2.3 可持续性分析方法与应用实例	47
3.3 清洁化途径与方法	49
3.3.1 实施清洁生产的主要途径	51

3.3.2 循环经济的“3R原则”	53
思考题	54
参考文献	55
第4章 绿色材料	56
4.1 绿色高分子材料	56
4.1.1 高分子材料简介	56
4.1.2 绿色高分子材料的提出	57
4.1.3 绿色高分子材料的开发	58
4.1.4 绿色高分子材料的合成案例——聚乳酸的合成	60
4.2 绿色生物材料	63
4.2.1 生物材料的发展和分类	63
4.2.2 生物惰性材料	65
4.2.3 生物活性材料	66
4.2.4 生物降解材料	67
4.2.5 生物复合材料	68
4.3 绿色纳米材料	69
4.3.1 纳米材料的含义和发展	69
4.3.2 绿色纳米材料的合成	70
4.3.3 绿色纳米材料的主要性能	72
4.3.4 绿色纳米材料的应用	73
4.4 绿色建筑装饰材料	74
4.4.1 绿色建筑装饰材料概述	74
4.4.2 水泥	78
4.4.3 建筑卫生陶瓷	81
4.4.4 建筑玻璃	87
4.4.5 墙体材料	89
4.4.6 涂料	92
4.4.7 环境净化材料	95
4.4.8 绿色包装材料	99
4.5 绿色能源材料	104
4.5.1 绿色能源材料的特点	104
4.5.2 绿色能源材料的研究重点及意义	104
4.5.3 绿色二次电池	105
4.5.4 燃料电池	107
4.5.5 太阳能电池	114
思考题	116
参考文献	117
第5章 绿色纤维与纺织品	119
5.1 绿色纤维	121
5.1.1 绿色纤维的定义、标准与分类	121
5.1.2 绿色纤维开发及发展现状	122
5.1.3 绿色纤维简介	122
5.2 绿色纺织印染助剂	133

5.2.1 绿色印染助剂的定义、标准与分类	134
5.2.2 绿色印染助剂的来源与一般制造方法	135
5.2.3 绿色印染助剂简介	136
5.3 绿色染料	142
5.3.1 天然染料	142
5.3.2 新型环保染料	144
5.4 绿色纺织品	147
5.4.1 绿色纺织品的定义、标准与分类	147
5.4.2 绿色纺织品的来源与一般制造方法	147
5.4.3 绿色纺织品简介	148
5.5 绿色纺织品清洁化生产工艺	149
5.5.1 绿色纺织品清洁化生产工艺的定义、标准与分类	150
5.5.2 绿色纺织品清洁化生产工艺简介	150
思考题	156
参考文献	156
第6章 绿色农业与绿色食品	158
6.1 绿色农药	159
6.1.1 绿色农药的概况	160
6.1.2 绿色农药发展趋势	161
6.1.3 绿色农药使用原则	162
6.2 绿色肥料	164
6.2.1 绿色肥料的概念	164
6.2.2 绿色肥料的研究现状	164
6.2.3 绿色肥料的发展趋势	166
6.2.4 绿色肥料使用原则	166
6.2.5 绿色生物肥料	167
6.3 绿色食品添加剂	170
6.3.1 绿色食品添加剂的概念与特征	170
6.3.2 绿色食品添加剂	171
6.3.3 绿色食品添加剂的使用原则	173
思考题	174
参考文献	174
第7章 绿色化工产品	176
7.1 绿色催化剂	176
7.1.1 催化剂概述	176
7.1.2 分子筛催化剂	177
7.1.3 杂多酸催化剂	188
7.1.4 绿色固体超强酸催化剂	192
7.2 绿色无机化工产品	195
7.2.1 绿色环保玻璃	196
7.2.2 绿色环保焊膏	198
7.2.3 绿色磷酸盐工业	200
7.2.4 软化学——绿色无机合成化学	203
7.3 绿色精细化学品	206

7.3.1	水处理药剂绿色化	206
7.3.2	绿色表面活性剂	210
7.3.3	聚合物添加剂	212
7.3.4	绿色燃料添加剂	214
7.4	绿色生物化工产品	219
7.4.1	生物酶	220
7.4.2	绿色生物制药	227
7.4.3	绿色生物饲料	231
	思考题	233
	参考文献	233
第8章	绿色药物	237
8.1	绿色天然药物	237
8.1.1	概述	237
8.1.2	超临界萃取技术在天然药物提取中的应用	237
8.1.3	超声提取技术在天然药物提取中的应用	238
8.2	绿色合成药物	239
8.2.1	概述	239
8.2.2	绿色拆分技术	240
8.2.3	组合合成技术	242
8.2.4	绿色合成技术	244
	思考题	245
	参考文献	246

第 1 章 绪 论

绿色化学是应用现代化学的原理和方法,来减少或消除化学产品在设计、生产和应用中有毒有害物质的使用与产生、是研究开发没有或尽可能少的环境副作用,在技术和经济方面可行的化学产品和其生产过程,在始端实现污染预防的科学手段。

1.1 人类面临的环境问题与可持续性发展战略

化学为人类带来丰富物质的同时,也带来严重的危机。当前,人类面临着有史以来最严重的环境危机,世界人口剧增,资源和能源日渐减少与濒临枯竭,大量的工农业污染物和生活废弃物的排放,这些使整个人类的生存环境极大地恶化。主要表现在如下几个方面。

(1) 世界人口剧增

1830年世界人口还只有10亿,100年后增加到20亿,以后分别用30年、15年和12年的时间,世界人口总数就增加到30亿、40亿、50亿。现在,每掀开一张日历,就有20多万个婴儿降生在地球上。1999年10月12日,世界第60亿个公民在波黑呱呱落地。至2004年,世界人口已达到63.96亿。美国统计学家在一份报告中说,到2050年,世界人口会再增加30亿,从现在的63亿暴增到93亿。人口的剧增,引发诸如白发浪潮、城市化所产生的各种都市症等社会问题。联合国人口基金执行主任萨迪克博士强调:人口稳定对于实现可持续发展必不可少,是一个关键的重要的目标。

(2) 大气污染

人口剧增,城市和工农业的快速发展,人类燃烧煤、石油、天然气等矿物燃料作为能源,同时向大气中排放大量有害物质。据测算,全世界每年向大气中排放的硫氧化物(SO_x)达1.6亿吨、氮氧化物(NO_x)0.5亿吨、一氧化碳3.59亿吨、二氧化碳5.7亿吨,以及大量有害的飘尘。由此造成空气质量严重下降,全球有6.25亿人生活在空气污染的城市中,发达国家的工业城市和发展中国家的一些城市也被笼罩在烟雾之中。

(3) 水体污染

水是地球上一切生命存在最重要的物质基础。地球上大约有14亿立方千米的水,其中海水占97%以上,淡水只占3%;主要蕴藏在湖泊、沼泽和河流中,其中河水储藏不及0.01%。有数据表明,全球每年有4260亿吨的工业废水和生活废水排入水体,造成几千条河流、数千个湖泊不同程度地被污染;每年有数十亿吨的淤泥、污水、工业垃圾和化工废物等直接流入海洋,河流每年也将近百亿吨的淤泥和废物带入沿海水域。全球每年因水污染导致10亿人患病,300万儿童因腹泻死亡。事实表明,水质污染已成为人体健康最主要的危害。

(4) 垃圾围城

城市生活固体废物主要指在城市日常生活中或者为城市日常生活提供服务的活动中产生的固体废物,即城市生活垃圾,主要包括居民生活垃圾、医疗垃圾、商业垃圾、建筑垃圾。一般来说,城市每人每天的垃圾量为1~2kg。城市生活垃圾和固体废弃物污染日益严重,城市生活垃圾中还有一些没有经过无害化处理,二次污染、“白色污染”问题十分突出。值得注意的是,垃圾围城成为世界城市化的毒瘤的同时,农村的城乡化使得垃圾围村日益成为农村环境的

新问题。固体废物侵占大量土地，对农田破坏严重，严重污染空气和水体。垃圾填埋产生的垃圾渗滤液呈红棕色或深黑色，恶臭，成分复杂多变，垃圾渗滤液的处理是一个世界性的难题。

(5) 放射性污染

放射性元素的原子核在衰变过程放出 α 、 β 、 γ 射线的现象，俗称放射性。由放射性物质所造成的污染，叫放射性污染。放射性污染的来源有：核泄漏、原子能工业排放的放射性废物，核武器试验的沉降物以及医疗、科研排出的放射性物质等。放射性对生物的危害十分严重。放射性损伤有急性损伤和慢性损伤。如果人在短时间内受到大剂量的X射线、 γ 射线和中子的全身照射，就会产生急性损伤。轻者有脱毛、感染等症状。当剂量更大时，出现腹泻、呕吐等肠胃损伤。在极高的剂量照射下，发生中枢神经损伤直至死亡。放射能引起淋巴细胞染色体的变化。放射照射后的慢性损伤会导致人群白血病和各种癌症的发病率增加。

(6) 全球气候变暖

全球气候变暖主要是因为近100多年来人类大量燃烧煤、石油和天然气，排放大量二氧化碳等温室效应气体造成的。有资料表明，由于大量排放温室气体，在过去的100年中，全球气温上升了 0.6°C 。据估计，在未来的100年中，全球气温可能再升高 $1.0\sim 3.5^{\circ}\text{C}$ 。全球气候变暖会导致海洋水体膨胀和两极冰雪融化，使海平面上升，危及沿海地区的经济发展和人民生活，影响农业和自然生态系统，加剧洪涝、干旱及其他气象灾害，此外，气候变暖还会影响人类健康，加大疾病危险和死亡率，增加传染病。

(7) 臭氧层破坏

1985年，英国科学家观测到南极上空出现臭氧层空洞，并证实其与氟利昂分解产生的氯原子有直接关系。由于氯氟烃的性质比较稳定、不易燃烧、易于储存、价格又比较便宜，从而被广泛用来作制冷剂、喷雾剂、发泡剂及清洗剂。当氯氟烃进入大气后，在光作用下进行分解，释放大量的氯，诱发连锁反应，极快地破坏臭氧分子。臭氧层耗损意味着大量紫外线将直接辐射到地面，导致人类皮肤癌、白内障发病率增高，并抑制人体免疫系统功能；农作物受害而减产；破坏海洋生态系统的食物链，导致生态平衡的破坏；高空中臭氧虽在减少，但低空中臭氧含量的增加还会引起光化学烟雾，危害森林、农作物、建筑物等，并会造成人的机体失调和中毒。

(8) 酸雨成灾

早在1872年，英国化学家罗伯特·安格斯·史密斯（Robert Angus Smith）就提出了“酸雨”的概念。现在，通常认为pH值小于5.6的降水即为酸雨。酸雨形成的主要原因是 SO_2 和 NO_x 的排放量大量增加。当降水的pH值小于5时，生态平衡就会遭到破坏，例如地表水（河流、湖泊）酸度的增加会影响鱼类的生存；树木枯萎甚至死亡，农作物产量大幅度降低直至绝收；侵蚀金属制品、油漆、皮革、建筑物、道路和桥梁。“酸雨”和臭氧层破坏、“温室效应”即全球性气候变暖并称为当今世界的三大全球性环境问题，它们直接威胁着全人类的生存。

(9) 森林锐减

森林是制造“氧气”的工厂，被形象地称为“地球之肺”。最近，环保组织绿色和平发布的原始森林卫星地图显示地球上大面积的原始森林只占了不到10%的陆地面积，且余下的森林也在迅速消失。据联合国粮农组织统计，地球上每分钟就有 $2\times 10^4\text{m}^2$ 的森林被毁掉，特别是热带雨林被大规模地破坏。人口的剧增、社会及经济的快速发展对森林的需求量与日俱增，人们正在不断吞噬着日益减少的森林资源。作为陆地生态系统主体的森林对维持陆地生态平衡起着决定性的作用，它的锐减将直接导致全球六大生态危机：①绿洲沦为荒漠；②水土大量流失；③干旱缺水严重；④洪涝灾害频发；⑤物种纷纷灭绝；⑥温室效应加剧。

(10) 土地沙漠化

人们把因过度使用和管理不当导致耕地变成荒地的过程称为土地沙漠化或荒漠化。自然界中,如果地表失去具有保护作用的草皮或树木,土壤就很容易受到风水侵蚀,逐步出现沙漠化。在沙漠化初期,地表的细微尘土被风带走,造成降尘。而后,地面上粗糙的沙粒也会随风而起,形成沙尘暴。此外,还存在水土流失和土地盐碱化,这三者相互影响、相互作用,引起连锁反应,使土地资源退化的速度大大加快。

(11) 生物多样性减少

地球上动物、植物和微生物的共同存在形成了地球丰富的生物圈。这种多样性是生命支持最重要的组成部分,维持着自然生态系统的平衡,是人类生存和实现可持续发展必不可少的基础。当前地球上生物多样性损失的速度比历史上任何时候都快,鸟类和哺乳动物现在的灭绝速度可能是它们在未受干扰的自然界中的100~1000倍。大面积地砍伐森林,过度捕猎野生动物,工业化和城市化发展造成污染,植被破坏,无控制的旅游,土壤、水、空气的污染,全球变暖等人类的各种活动是引起大量物种灭绝或濒临灭绝的原因。地球上的物种正在锐减,保护生物多样性刻不容缓。

众多的环境危机已向世人敲响了警钟,人类面临着发展与毁灭的难题。绿色化学利用化学原理在化学品的设计、生产和应用中消除或减少有毒有害物质的使用和产生,是在始端实现污染预防的科学手段,是人类生存和社会可持续发展的必然选择,亦是解决或缓解上述世界性难题的重要途径之一。

1.2 绿色化学的提出与发展

1.2.1 绿色化学的提出

从人们意识到环境污染的严重性到绿色化学的提出并不是一帆风顺的,而是经历了一个较长的、曲折的发展过程,大致经历了环保意识的觉醒、采用稀释来解决污染、通过政策法规来控制污染和倡导采用绿色化学的方法来彻底解决污染问题这四个阶段。

(1) 公众的觉醒

在第二次世界大战之后的一些年月里,人们对化学品危害的认识尚浅,对化学物品的生产、使用和处理的方法则几乎无任何法律可言。直到20世纪50年代末至60年代初,化学物品对人类健康及环境的危害才逐渐受到关注。

1961年,一种用来减轻孕妇妊娠反应的化学药物,给欧洲带来了惊恐。孕妇服用该药会导致婴儿的严重畸形。在此期间,世界各地大约有10000名这样的畸形婴儿出生,仅在德国就有5000名。美国因为对该药的安全性存在怀疑使得该药没有进入美国市场,从而避免了这一悲剧。

1982年,人们发现TimesBeach(坐落在密苏里州的圣路易斯西南方向40km处的一个小镇)路边的土壤被毒性化学物品二噁英(dioxin)污染。这些地带的路面在10年前曾被喷酒混有二噁英的废油。这些地带的土壤里二噁英的含量介于300~740mg/kg之间。联邦疾病控制中心(CDC)测定,如长期接触高于1mg/kg二噁英含量的土壤就将有危险。1982年末的一场洪水使这一危险加剧,约700户人家被迫撤离该镇。洪水过后,政府劝告居民们,不要试图清理因洪水而沉积在他们家中的污泥和碎片。政府提供了避难所,并且史无前例地决定动用3300万美元作为毒废物清理专用款买下了整个镇。

除了以上的例子,大约在同一个人时期也出现过其他环境灾难,这些事件都给公众带来了恐慌,也使人们对化学品的危害有了新的认识,意识到生产和使用绿色化学品的必要性。

(2) 利用稀释来解决污染问题

在人类环境保护意识尚且薄弱的时候，还没有制定控制某些化学物质的排放和限制大量暴露的标准或法规，化学品最终的处理办法通常是将其直接排放到水、大气及土壤里。在当时，人们认为只要将化学品在某些溶剂中降低到一定的浓度就足以减轻其对自然界的负面影响。在人类对慢性毒性、生物积累等知识还没有充分认识的情况下，这一做法得到了广泛的支持，成为处理有害物质的主要方法。

(3) 通过政策法规来控制污染

随着对化学品毒性作用及其对环境影响的进一步了解，加上工农业的快速发展，人们认识到仅仅通过稀释根本无法解决日益增加的污染源问题。人们开始制定一些环境保护方面的政策法规，通过强制性对排放的废气废水废渣等进行必要的处理来严格控制各种有害物质向可接受体系的排放量，规定出一些标准及某一化学物质的最大安全浓度。这一做法存在一个主要缺陷，通常没有考虑其他物质的存在对所控制物质的叠加影响。如果某一受控物质在水中本来处于安全浓度，但由于第二种物质的存在而使其产生有害影响，那么人类就不能受到足够的保护，以至于再次暴露于有害环境中。这种缺陷广泛地存在于当前的环保规则中，并且是通过命令与管理规则来控制有害物质的方法所无法克服的问题。

(4) 绿色化学

这些政策法规是否是保护人类健康和使整个环境免遭厄运的最经济、最有效的方法呢？众所周知，如今的社会正在加速发展中，人口的增加、工农业的高速发展也将使有毒的化学物质排放速度大大增加，那么原有的“先污染，再治理”的环保思路将使人类陷入治理自身生产出的废弃物的大泥潭中，而且将越陷越深。为此，人们又开始重新思考解决这一难题的理想办法。

1990年，美国国会通过了《污染防治法》(Pollution Prevention Act)。这一法案制定了国家环保政策，并指出最佳的环境保护方法是在源头上防止污染的产生。通过一系列的方法与技术，污染是可以防止的，是可以避免进一步处理的。目前已开发出许多控制污染的办法。如通过工程控制使废物的产生最少、通过在线实时控制技术降低不必要的溶剂挥发等，均大大降低了废物的产生，提高了资源的利用率，从而减少了对人类健康与环境的负面影响。

绿色化学是源头防治污染思想的升华，它利用化学的原理和方法来减少污染源，因而是一种最理想的防止污染的方法。其研究目标为，寻找一个基本的方法来改变某一产品或过程的内在本质，以降低其对人类健康及环境的影响。因此，绿色化学是整个人类社会可持续发展的必然选择。

1.2.2 绿色化学的发展

从绿色化学思想的提出至今虽然只有十几年的时间，却因为其不仅是治理环境污染最理想的方法，也将引起整个化学工业的彻底改革，从而引起了世界各国政府的广泛关注，也是学术界和企业界极感兴趣的重要研究领域。政府的直接参与，产学研密切结合，促进了绿色化学的蓬勃发展。

(1) 绿色化学在国外的的发展

1990年美国环境保护署颁布的《污染防治法》(Pollution Prevention Act)强调防止污染物的形成，而不是对已污染的环境进行治理，这种思想也是绿色化学的精髓所在，它的颁布确立和推动了绿色化学的兴起和迅速发展。同年联合国环境署在全球推行“清洁生产”，倡导世界各国都要从末端污染控制战略逐渐转向一体化污染预防战略，减少对自然环境的污染。

1991年美国化学会首次提出“绿色化学”，并成为美国环境保护署的中心口号。同时美国环境保护署污染预防和毒物办公室启动“为防止污染改变合成路线”的奖励基金。至此，由工

厂、科研机构、政府部门等自愿组合的多种合作关系的绿色化学组织诞生。

1992年美国环保署对六项化学合成方法的改进进行了奖励。这些合成方法从不同的角度,考虑了要减少对人类健康和环境污染造成的不良影响,对环保事业做出了一定的贡献。随后美国环境保护署污染预防和毒物办公室与自然科学基金会签署了共同资助绿色化学研究的合约。

1995年美国副总统 Gore 宣布了国家技术战略,目标为至 2020 年将废物减少 40%~50%,每套装置消耗原材料减少 20%~25%。

1995 年美国总统一克林顿宣布设立“总统绿色化学挑战奖”,并于 1996 年开始颁发,奖项包括:①更新合成路线奖;②变更溶剂/反应条件奖;③设计更安全化学品奖;④小企业奖;⑤学术奖。此奖主要是奖励那些具有创新性和有效性的绿色化学方法,以及重要的绿色化学的理论,这一奖项旨在推动学术和企业界合作进行绿色化学防止污染和工业生态学研究,鼓励从根本上减少乃至杜绝化学污染源的重大突破性的研究。

1996 年联合国环境规划署对绿色化学进行了新的定义:“用化学技术和方法去减少或消灭那些对人类健康或环境有害的原料、产物、副产物、溶剂和试剂的生产和应用”,更加确切地规定了绿色化学的范畴。1997 年由美国国家实验室、大学和企业联合成立了绿色化学学院,美国化学会成立了“绿色化学研究所”。

除了美国,20 世纪 90 年代,日本政府也发起了旨在防止全球气候变暖、在 21 世纪重建绿色地球的“新阳光计划”,其主要内容是针对能源和环境技术的研究,提出了“简单化学”的概念,指出绿色化学的发展方向是适应人类的健康和环境保护的要求。此外,日本还成立了由工业界、学术界和政府联合组织的为地球而技术创新的研究院、日本化学研究院,以期将学术界和工业界紧密结合起来,使知识与实际更好地互相促进与发展,实现绿色化学工业的飞速、健康发展。

欧洲也不甘落后。1997 年,德国联邦政府正式通过了名为“为环境而研究”的计划,其主要包括三个方面区域性和全球性环境工程、实施可持续发展经济和进行环境教育,其年度计划经费达 6 亿美元之多。2000 年,英国开始颁发了由 RSC Salts Company、Jewood Charitable Foundation、DTI 和 DETR 等资助的英国绿色化学奖,包括“Jewood-Salts 环境奖”和在技术、产品和服务方面做出成绩的英国公司。荷兰利用税法条款等方法来推进清洁生产技术的开发和应用,对采用革新性的清洁生产或污染控制技术的企业,其投资可按 1 年折旧,而其他投资的折旧期通常为 10 年。

澳大利亚皇家化学研究所于 1999 年也设立了绿色化学挑战奖,下设三个奖项:科研技术奖、小型企业奖及绿色化学教育奖。此奖项旨在推动绿色化学在澳洲的发展,奖励为防止环境污染而研制的各种易推广的化学改进及革新,表彰为绿色化学教育做出重大贡献的单位和个人,重点是:①更新合成路线,提倡使用生物催化、光化学过程、仿生合成及无毒原料等;②更新反应条件,以降低对人类健康和环境的危害,鼓励使用无毒或低毒的溶剂,提高反应选择性,减少废弃物的产生与排放;③设计更安全的化学产品。2000 年 1 月在 Monash 大学成立了澳大利亚研究协会专门研究中心,该中心由 Monash 大学和联邦政府共同赞助,这是为了形成国际公认的绿色化学研究中心。

绿色化学不仅受到世界各国的高度重视,而且人们积极努力通过广泛的学术交流活动共同分享已有的成果,分析存在的问题,探讨未来的发展方向。近年来,有关绿色化学的国际学术活动此起彼伏,非常活跃,体现了全球性合作的趋势。

1996 年 7 月 21~26 日在新英国大学举办了第一届题为“环境友好的有机合成反应”的 Gordon 研究会议,Gordon 会议在英国牛津大学多次召开,在欧洲掀起了绿色化学的浪潮。1997 年美国国家科学院举办了第一届绿色化学与工程会议,展示了有关绿色化学的重大研究

成果,包括生物催化、超临界流体中的反应、流程和反应器设计及“2020年技术展望”等。次年又召开了主题为“绿色化学:全球性展望”的第二届绿色化学与工程会议,此次会议由美国化学学会主办,高度赞扬了在对环境友好合成反应的研究过程和开发中所取得的重大成果。1998年8月举办的第三次Gordon研究会议决定今后将联合世界各国每年召开一次,并出版了绿色化学论文集。1998年2月召开了经济发展和合作治理危险顾问小组会议,会上美国环境保护署提出了四项革新性活动,其中一项即是绿色化学。1999年6月29日~7月1日美国的第三届绿色化学和工程会议举行,主题是“向工业进军”,讨论现代工业如何有效利用资源,应用绿色化学科研成果等问题。同年8月美国化学学会召开了国际性专题会议“如何利用再生资源”,研究从可再生资源中再生化学物质的途径。

1999年,世界上第一本由英国皇家化学学会主办的英文国际杂志《Green Chemistry》诞生了,同时还在Internet上建立了绿色化学网站。英国出版了第一本绿色化学专著《Theory and Application of Green Chemistry》。从1996年起,陆续出版了由美国环境署的Anastas P. T.等编写的《绿色化学》丛书,第一辑的副标题为“为环境设计化学”,第二辑副标题为“无害化学合成和工艺的前沿”。此外,1998年Anastas P. T.等出版了《绿色化学——理论与实践》一书,该书详细阐述了绿色化学的定义、原理、评估方法及发展趋势,成为绿色化学的经典之作。2000年,美国化学学会出版了第一本绿色化学教材书,旨在推动绿色化学教育的发展。

(2) 绿色化学在我国的发展

改革开放以来,我国创造了许多奇迹,创造了许多世界第一。一方面,经济增速第一、外汇储备第一、外国直接投资引入第一、主要工业品产量第一;与此同时,中国也是建材消费第一、能源消耗第一、空气污染物排放第一、水污染物排放第一。江河水系70%受到污染,流经城市90%以上的河段严重污染,城市垃圾处理率不足20%,农村有1.5亿吨垃圾露天存放,3亿多农民喝不到干净的水,4亿多城市居民呼吸不到新鲜空气。可以说,当今经济的发展有很大一部分是以消耗环境资源为代价的。面对环境与发展的问題,我们不能再走先发展再治理的老路了,必须从源头上解决污染问题。因此,大力推广和积极发展绿色化学是我国经济与社会可持续发展的必然选择。

1992年,在联合国和世界银行的帮助下,我国开始了清洁工艺的理论研究和实际应用。但在紧接着的几年里绿色化学在国内并没有受到应有的重视,直至1995年绿色化学问题才受到重视并提到议程上来。

1995年,中国科学院化学部组织了《绿色化学与技术——推进化工生产可持续发展的途径》院士咨询活动,对国内外绿色化学的研究现状和发展趋势进行了大量的调研,针对国内的现状提出了发展绿色化学消除污染源的七大建议,并建议国家科技部组织调研,将绿色化学与技术研究工作列入“九五”基础研究规划。

1996年,召开了“工业生产中绿色化学与技术”专题研讨会,就工业生产中的污染防治问题进行了交流讨论,并出版了《绿色化学与技术研讨会学术报告汇编》。

1997年,香山会议以“可持续发展问题对科学的挑战——绿色化学”为主要议题召开了第72次学术讨论会,朱清时院士、张存浩院士、徐晓白院士、闵恩泽院士等众多国内学术界的重要人士都参加了此次会议,分析了绿色化学对我国经济可持续发展的重要性。同年,国家自然科学基金委员会与中国石油化工集团公司联合资助了“九五”重大基础研究项目“环境友好石油化工催化化学与化学反应工程”。此外,在《国家重点基础研究发展规划》中也将绿色化学的基础研究作为一个重要的支持方向。

1998年,在合肥中国科技大学举办了第一届国际绿色化学高级研讨会,出席的有来自中

国、美国、英国、俄罗斯的专家学者 80 余人，中国科学院院士朱清时和闵恩泽、美国环境保护署绿色化学组负责人 Paul Bullin 博士、美国加州理工学院 Seinfeld 教授分别作了大会邀请报告，美国化学会会长发来贺电。此后每年都举行一次国际绿色化学研讨会。

1999 年，国家自然科学基金委员会设立了“用金属有机化学研究绿色化学中的基本问题”重点项目。12 月 21~23 日在北京九华山庄举行了第 16 次九华科学论坛，根据国家自然科学基金委员会优先资助领域战略研究工作的部署，“有所为，有所不为”的方针和“基础性、前瞻性、战略性”的遴选原则，对绿色化学的基本科学问题进行了充分的研讨和论证。目前国内很多高校也已将“绿色化学”作为有关专业的选修课程，加强了对大学生的绿色化学意识和思想的教育。

虽然绿色化学在我国起步略晚，但基本上和发达国家站在相同的起跑线上，这对我们而言是一个千载难逢的发展机遇，我们必须努力抓住这样的机遇，使我国的化学工业实现质的飞跃。

当前绿色化学所取得的成果，距绿色化学的目标还有相当的距离。全球化工产品有几十万种，生产的工艺过程有上万个，这当中绝大部分产品和工艺过程都存在着不同程度的环境污染问题，基本达到绿色化学要求的产品和工艺只占非常少的一部分，要使大部分产品和工艺达到“原子经济反应”和“零排放”的要求，人类还需要不断探索和创新，而且随着环境问题的日益严重，对绿色化学的探索与推广越来越紧迫。

1.3 绿色化学“十二原则”

绿色化学以实现环境、经济和社会的和谐发展为宗旨，其一经提出，就受到了学术界的高度重视。1998 年，Anastas 和 Warner 明确了绿色化学的十二条原则，是近年来该领域的重要科学研究结果，为绿色化学的发展指明了方向。

绿色化学的十二条原则如下：

原则一 预防环境污染

原则二 原子经济性

原则三 低毒化学合成

原则四 设计较安全的化学品

原则五 使用较安全的溶剂和助剂

原则六 有节能效益的设计

原则七 使用可再生资源作为原料

原则八 减少运用衍生物

原则九 催化反应

原则十 设计可降解产物

原则十一 实时分析以防止污染

原则十二 采用本身安全，能防止意外发生的化学品

绿色化学的十二原则是绿色化工产品设计和生产的主要依据。具体内容将在第 3 章中详细介绍。

思考题

1. 什么是绿色化学？绿色化学的本质和意义是什么？
2. 绿色化学产生的背景是什么？为什么说绿色化学理念是可持续性发展的一种必然选择？