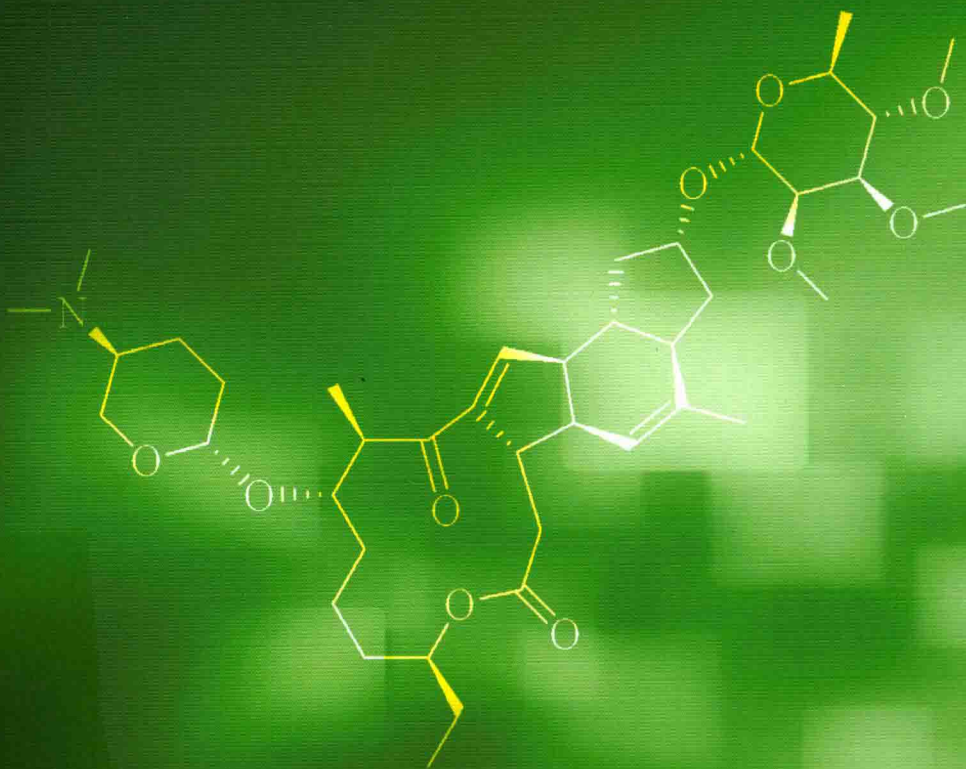


Green Chemistry

绿色化学

◎ 李清寒 赵志刚 主编

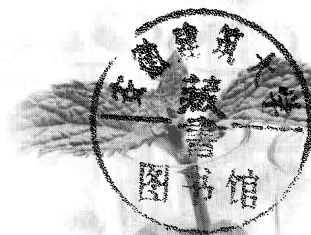


化学工业出版社

Green Chemistry

绿色化学

◎ 李清寒 赵志刚 主编



化学工业出版社

· 北京 ·

绿色化学是 21 世纪化学学科发展的重要方向之一，是当今国际化学科学研究的前沿。绿色化学是利用化学的技术和方法去设计合成对人类健康、社会安全、生态环境无害的化学品及其工艺。它是从源头上消除污染的化学，从根本上确保化工清洁生产，从而使对环境的治理从治标转向治本，对环境、经济和社会的和谐发展具有重要的意义。本书以绿色化学基本原理、原料的绿色化、过程的绿色化、产品的绿色化及能源的绿色化为主线，分别介绍了绿色化学的产生和发展，绿色化学的概念、原理、方法、应用及主要研究动向等内容，并结合实际，重点介绍了绿色化学品实例。全书分七章，主要包括绪论、绿色化学基本原理、绿色化学研究内容和任务、绿色化学品的设计原理及应用、绿色有机合成方法和技术、绿色化工生产技术、绿色能源。本书内容丰富，选材新颖，注意理论联系实际，注重知识创新，论述前后呼应，有较强的科学性、系统性和知识性。本书在附录中列出了“美国总统绿色化学挑战奖”获奖项目及内容，可使读者更深入地了解绿色化学的实用性。

本书可作为化学、化工、环境及制药等领域的研究生、本科高年级学生教学用书，亦可供相关科研、管理、生产人员和爱好者阅读参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

绿色化学/李清寒, 赵志刚主编. —北京: 化学工业出版社, 2016. 10

ISBN 978-7-122-28121-0

I. ①绿… II. ①李…②赵… III. ①化学工业-无污染技术 IV. ①X78

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 223101 号

责任编辑: 姚晓敏 金 杰

文字编辑: 汲永臻

责任校对: 边 涛

装帧设计: 韩 飞

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 装: 大厂聚鑫印刷有限责任公司

787mm×1092mm 1/16 印张 13 $\frac{1}{2}$ 字数 325 千字 2017 年 3 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: 49.00 元

版权所有 违者必究

《绿色化学》编写人员名单

主 编 李清寒 赵志刚

编写人员 (按姓名汉语拼音排序)

陈 峰 何 帅 李清寒

李新莹 刘兴利 易文婧

赵志刚 钟 莹

化学品极大地丰富了人类的物质生活，提高了生活质量，并在控制疾病、延长寿命，增加农作物品种和产量，食物的储存和防腐等方面起到了重要作用。但在生产、使用这些化学产品的过程中也产生了大量的废物，污染了环境，目前全世界每年产生的3亿~4亿吨危险废物(我国化学工业排放的废水、废气和固体废物分别占全国工业排放总量的22.5%、7.82%、5.93%)，给人类带来了灾难，所以，在当今社会只要一提起“化学”，很多人都会紧皱双眉。然而只要留心观察和仔细思考一下，化工科技的进步实则对人类带来了巨大益处，如医药工业的发展有助治愈不少疾病，延长人类的寿命；聚合物材料的进步创造新的制衣材料和建筑材料；农药化肥的发展，控制了虫害，提高了粮食的产量。由此可见，我们的衣食住行和社会经济的发展样样都离不开化学的帮助，可以毫不夸张地说，人类的生活离不开化学的发展。但是，传统化学工业给人类环境带来了十分严重的污染，引起了社会各界的关注。解决这一矛盾已成为21世纪人类环境问题的科学挑战。今天，研究人员正努力探讨各种物质对环境造成的影响及研究怎样清除污染，应付各种环境问题。为此，化学家已提出绿色化学概念，提倡绿色化学和绿色生产，通过防止污染、治理污染的方法来消除环境污染，使化学成为环境的朋友。绿色化学与技术已经成为世界各国政府关注的最重要的问题与任务之一。

本书以绿色化学基本原理、原料的绿色化、过程的绿色化、产品的绿色化及能源的绿色化为主线，分别介绍了绿色化学的产生和发展，绿色化学的概念、原理、方法、应用及主要研究动向等内容。并结合实际，重点介绍了绿色化学品实例。本书第一章由刘兴利编写，第二章由钟莹编写，第三章由易文婧编写，第四章由何帅及李清寒编写，第五章及附录由李清寒编写，第六章由陈峰编写，第七章由李新莹编写，全书由李清寒及赵志刚统稿。由于绿色化学是一门新兴的交叉学科，涉及的知识面较广，而我们的知识水平和经验有限，再加之编写仓促，不妥之处在所难免，敬希各位读者批评指正。

感谢西南民族大学教育教学改革项目(No. 2013YB17)提供的支持。

编者

2016年7月

第一章 绪论

第一节	化学与环境问题	1
第二节	化学与人类健康问题	4
第三节	化学与可持续发展问题	5
一、	传统化学工业与传统发展观	5
二、	绿色化学与可持续发展观	6
第四节	绿色化学的产生和发展	6
第五节	绿色化学的基本概念与内涵	8
一、	绿色化学的内涵	8
二、	绿色化学与环境保护的差异	9
三、	绿色化学与传统化学的差异	9
四、	绿色化学与清洁生产	9
五、	大力发展绿色化学	10
第六节	绿色化学教育	11
一、	构建绿色文化	11
二、	实施绿色生产	13
三、	倡导绿色消费	14
四、	培养绿色化学人才	14
参考文献	15

第二章 绿色化学基本原理

第一节	化学反应中的原子经济性	16
-----	-------------------	----

一、原子经济性概念	16
二、原子利用率与产率的区别	16
三、环境因子与环境商	18
第二节 绿色化学十二原则	19
一、防止污染产生优于污染治理	19
二、原子经济性	20
三、无害化学合成	22
四、设计安全化学品	24
五、采用安全的溶剂和助剂	25
六、尽可能提高能源的经济性	28
七、尽可能利用可再生资源来合成化学品	29
八、尽量减少衍生物生成	30
九、尽量采用高选择性的催化剂	30
十、设计可降解的化学品	31
十一、发展预防污染的实时监控技术	31
十二、尽量使用安全的化学物质，防止化学事故的发生	32
参考文献	33

第三章 绿色化学研究内容和任务

第一节 设计更安全的化学品	35
一、用甲苯代替苯	36
二、更安全羧酸的设计	36
三、可降解的海洋船舶防污剂	36
第二节 寻找绿色原料和试剂	37
一、原料的绿色化学评价	37
二、绿色原料碳酸二甲酯的合成与应用	38
三、二氧化碳的利用	42
四、生物质资源的利用	43
五、绿色氧化剂的利用	45
第三节 选择合适的反应条件	48
一、绿色溶剂	48
二、无溶剂有机合成	54
三、高效催化剂	54
第四节 设计理想的合成路线	65
一、开发原子经济性反应	65
二、提高合成反应的原子经济性的途径	66

第五节 寻找新的转化方法	69
一、催化等离子体方法	69
二、电化学方法	69
三、光化学及其他辐射方法	69
参考文献	70

第四章 绿色化学品的设计原理及应用

第一节 设计安全有效化学品的一般原则	71
一、“外部”效应原则	71
二、“内部”效应原则	72
第二节 设计安全有效化学品的方法	73
一、毒理学分析及相关分子设计	74
二、已知毒性机理与安全化学品的设计	77
三、已知构效关系与安全化学品的设计	80
四、等电排置换与安全化学品的设计	82
五、生物利用率(度)最小化与相关分子设计	85
六、用具有相同功效而无毒的物质替代有毒有害物质	87
七、减少有毒辅助物品的使用	87
第三节 设计可生物降解的化学品	88
一、生物降解的细菌基础与降解途径	89
二、化学结构与生物降解性	90
三、基团贡献法预测生物降解能力	91
四、设计可生物降解化学品的例子	92
第四节 设计对水生生物更加安全的化学品	94
一、利用构效关系预测对水生生物的毒性	95
二、物质结构和物理化学性质对水生生物毒性的影响	96
三、分子结构修饰降低对水生生物的毒性	99
四、设计对水生生物安全的化学品例子	100
第五节 绿色化学产品的例子	106
一、绿色农药	106
二、绿色涂料	108
三、绿色表面活性剂	109
四、绿色活性染料	110
五、绿色制冷剂	111
六、绿色可降解聚合物	111
参考文献	112

第五章 绿色有机合成方法和技术

第一节 组合化学	113
一、组合化学原理	113
二、组合化学的基本要求	114
三、组合化学的研究方法	114
第二节 手性技术	121
一、手性和手性分子	121
二、不对称催化合成	122
第三节 无溶剂反应	124
第四节 微波辐射技术	125
一、微波作用机理	125
二、微波在化学合成上的应用	126
第五节 超声化学	130
一、超声波的作用机理	130
二、超声化学的主要应用领域	130
第六节 电化学合成	134
一、有机电合成的原理	135
二、有机电合成的新方法	135
三、有机电合成的应用	136
第七节 光化学合成	137
一、光化学反应的基本原理	138
二、光化学反应的特点	138
第八节 膜技术	141
一、膜分离技术	141
二、膜催化技术	143
三、膜化学反应器	144
第九节 生物技术	145
一、生物技术及其发展	145
二、生物技术的分类和应用	145
第十节 等离子体技术	148
一、电子回旋共振等离子体	148
二、射频感应耦合等离子体	149
三、螺旋波等离子体	149
参考文献	150

第六章 绿色化工生产技术

第一节 清洁生产的概念和内容	151
一、清洁生产的概念	151
二、清洁生产的内容	151
第二节 清洁生产的途径	152
一、产品的生产规模	153
二、原料的选择	153
三、原料的综合利用	154
四、清洁生产工艺的开发	154
第三节 无机物清洁生产工艺	159
一、磷肥的清洁生产工艺	159
二、烧碱的清洁生产工艺	162
三、铬酸酐的清洁生产工艺	162
第四节 有机物清洁生产工艺	163
一、苯甲醛的清洁生产工艺	164
二、对苯二甲酸二甲酯氧化回收利用	164
第五节 精细化学品清洁生产工艺	165
一、3,5-二氯苯胺的清洁生产	166
二、碳化硅晶须的清洁生产	166
第六节 绿色化学评估	167
一、绿色化学评估的基本准则	167
二、生命周期评估	168
三、绿色化学化工过程的评估量度	170
参考文献	178

第七章 绿色能源

第一节 新能源分类及发展	180
一、新能源分类	180
二、我国新能源利用发展现状和趋势	181
第二节 清洁燃料	183
一、清洁汽油	183
二、天然气及液化石油气	184

三、二甲醚	185
第三节 氢能	185
一、制氢工艺	186
二、贮氢方法	188
第四节 太阳能和风能	189
一、太阳能	189
二、风能	193
第五节 生物质能源	194
一、生物质能源的特点	194
二、生物质能源的分类	195
三、生物质能源利用技术	196
第六节 海洋能	197
第七节 地热能	197
参考文献	198

附录 美国总统绿色化学挑战奖

第一章 | 绪论

化学是一门基础学科，它不仅是认识世界，而且也是创造新的物质世界的学科，从其诞生至今，已经取得了巨大的成就，为人类做出了巨大的贡献。可以说，人类的衣、食、住、行、用以及健康等都离不开化学，化学在这些领域中直接或间接地发挥着不可替代的作用。但是，随着人类社会的发展，人类已经意识到化学工业虽能为我们提供所需要的产品，同时也导致严重的能源浪费和环境污染，整个人类社会正面临着严峻的挑战。

第一节 化学与环境问题

人类在享受化学成果带来福利的同时，也受到化学带来的环境污染和生态破坏等环境问题的困扰。尤其是在第二次世界大战以后，世界各国经济高速发展，各种化学品的合成和使用达到了前所未有的速度，从而导致了一系列环境问题的出现。值得注意的是，这些环境问题并不是孤立存在的，而是存在着复杂的相互关系。这些环境问题的出现，也引发了人们对化学学科未来发展方向的思考。下面简单介绍当前人类面临的几个重要环境问题。

1. 全球气候变暖

全球气候变暖 (global warming) 是指地球表面气温呈现长期升高趋势的现象。整个 20 世纪，全球平均气温升高了 0.8°C 。变暖的趋势还在继续，政府间气候变化问题小组 (IPCC) 根据气候模型预测，到 2100 年全球气温估计将上升大约 $1.4\sim 5.8^{\circ}\text{C}$ 。

全球气候变暖会给全球生态和环境带来潜在的重大影响。已经观察到的全球气候变暖的效应包括：冰川融化，尤其是在地球的南北两极；海平面上升；一些物种向更北、更高——相对较冷的区域移动；一些物种种群数量下降（例如阿德利企鹅）。如果气候继续变暖，在 21 世纪海平面将上升更多；飓风或其他风暴更强；旱涝灾害频率加大；可用淡水资源减少，并会影响到水力发电；疾病传播加剧；地球生态系统生态格局改变，包括物种分布区域、种群数量、物种灭绝以及物种间的依存关系等多个层面。

2001 年，IPCC 通过计算机模型，指出“最新、最有力证据表明，过去 50 年的全球变暖主要归因于人类自身的活动”。温室气体 (GHGs) 是造成全球气候变暖的直接原因。人类在获取化石能源的同时，在短时间内将地球千万年来存储的碳以二氧化碳的形式释放进入大气，而森林的破坏则进一步降低了地球储存二氧化碳的能力。工业时代以来，大气中二氧化碳浓度从 0.028% 上升到 0.038% 。IPCC 在 2007 年的报告中建议将大气中二氧化碳浓度限制在 0.045% 以下。甲烷、一氧化二氮以及氟氯烃等也是重要的温室气体。由于大气中甲

烷浓度上升以及它比二氧化碳具有更强的温室效应能力，因此受到越来越多的关注。

目前可以确定的是，浓度上升的温室气体造成了全球变暖，同时也存在更多的不确定性，例如：最终会有多少温室气体通过什么样的途径进入大气？气候系统的反应会怎样？然而，最大的不确定性不在于地球的气候系统，而在于人类自己。人类能否切实履行《京都议定书》中的节能减排承诺，能否实现能源使用形式的转变。

2. 核冬天的威胁

核冬天 (nuclear winter) 是一个关于全球气候变化的理论，它预测了一场大规模核战争可能产生的气候灾难。核冬天理论认为大量地使用核武器，特别是对像城市这样的易燃目标使用核武器，会让大量的烟和煤烟进入地球的大气层，这将可能导致黑暗和非常寒冷的天气。该理论是 TTAPS 小组 (TTAPS 是理查德·特科、布赖恩·图恩、托马斯·阿克曼、詹姆斯·波拉克和卡尔·萨根五位科学家的姓氏首字母缩写) 受到了火星沙尘暴致冷效应的启发而产生的。TTAPS 小组分别于 1983 年和 1990 年在《Science》杂志上发表论文，认为全面核战争可能导致内陆地区的温度下降数十摄氏度 (中纬度地区平均下降 $10\sim 20^{\circ}\text{C}$ ，局部地区下降达 35°C)。

对于核冬天理论的真实性的目前还存在争议，不过核冬天理论已被纳入国际学术活动计划，一些争取和平和核裁军的组织正以此理论为依据，广泛开展反核战争的宣传活动。

3. 臭氧层破坏

臭氧层 (ozone layer) 是指大气层的平流层中臭氧浓度相对较高的部分 (90% 的臭氧集中在此处)，其主要作用是吸收短波紫外线。地球上的生命因为臭氧层对短波紫外线的阻挡才得以存活和繁衍，可是现在人类正亲手破坏这一保护层。

用于制冷剂的氟氯烃类化合物是破坏臭氧层的罪魁祸首，平流层中的飞行器排放的 NO 和 NO_2 也是破坏臭氧层的物质。幸运的是由于《蒙特利尔议定书》顺利实施，臭氧层消耗物的含量在 20 世纪 90 年代达到高峰后开始下降，臭氧层逐渐得到恢复，全球变暖进程显著减缓。但是臭氧层要恢复到 1980 年时的水平，预计要到 21 世纪中后期才有望实现。

4. 酸雨、光化学烟雾和大气污染

狭义的酸雨 (acid rain) 是指 pH 小于 5.6 的雨雪或其他形式的降水。而广义的酸雨是指大气中含氮和硫的酸性物质的湿沉降和干沉降。酸雨有硫酸型酸雨和硝酸型酸雨，而我国主要是硫酸型酸雨。化石燃料燃烧、汽车尾气排放是酸雨起始物 SO_2 和 NO_x 的主要来源。酸雨可能会造成湖泊、溪流等水体酸化，破坏森林，侵蚀敏感土壤，还会破坏雕塑、建筑等人文景观。长期吸入包含 SO_2 和 NO_x 的细颗粒物会导致人体心脏或肺功能紊乱，例如早衰、哮喘、支气管炎等。2012 年，我国监测的 466 个市 (县) 中，出现酸雨的市 (县) 215 个，占 46.1%。酸雨分布区域主要集中在长江沿线以南、青藏高原以东地区，主要包括浙江、江西、福建、湖南、重庆的大部分地区以及长三角、珠三角、四川东南部、广西北部地区。酸雨区面积约占国土面积的 12.2%。

光化学烟雾 (photochemical smog) 是指氮氧化合物和碳氢化合物等大气一次污染物和它们发生光化学反应产生的二次污染物 (O_3 、过氧乙酯、 H_2O_2 、醛等) 的混合物。光化学烟雾是大气污染和气象条件综合作用的一种结果，一般发生在晴朗无风的白天。美国洛杉矶于 1943 年首次出现光化学烟雾，全球许多其他大城市也相继发生过。光化学烟雾会对动植物造成巨大的威胁，刺激眼睛并能造成人类肺和心脏不可逆的损伤。

光化学烟雾和酸雨仅仅是大气污染 (atmospheric pollution) 的两种表现形式。大气污染物包括含硫、含氮、含碳、含卤素化合物, 碳氢化合物, 重金属汞、铅以及颗粒物 (PM)。这些污染物及其光化学产物单独作用或者复合污染作用可表现出不同的污染效应。我国以煤为主的能源结构使得大气中二氧化硫和总悬浮颗粒物 (TSP) 处于相当高的浓度, 也是近年来我国各地反复出现雾霾天气的深层原因。而汽车保有量的不断增长使得大气中 NO_x 含量不断上涨。除光化学烟雾和酸雨, 温室效应、臭氧破坏、硫酸型烟雾等环境问题也与大气污染息息相关。

5. 水污染

水是生命之源, 然而人类可利用的淡水资源非常有限。大量无机营养盐、重金属、有机污染物、颗粒物、致病微生物进入水体, 严重污染了地表水和地下水。工业废水、农业水源污染、生活污水均是当前水污染的主要污染源。我国人均水资源不足世界水平的三分之一, 面临严重的资源型缺水问题。水污染又使得我国在资源型缺水问题上又出现了严峻的水质性缺水问题。水体富营养化是目前全球水环境面临的主要问题之一。对我国 130 余个湖泊和 39 个代表性水库调查发现, 富营养化和中富营养化湖泊达到 88.6%, 富营养化水库占 30%。2007 年 5 月太湖爆发蓝藻灾害, 造成了无锡市大半个城区饮用水危机。2012 年中国环境状况公报显示地下水水质监测点位中水质呈较差级的占 40.5%, 呈极差级的占 16.8%。以上信息表明我国水污染问题已经非常严峻。水污染不仅危及人类饮用、农业灌溉, 更重要的是它可能导致水生态系统的退化, 使其丧失应有的生态服务功能。目前, 纳米技术的发展和纳米颗粒物在水环境治理中的应用为今后水污染防治工作提出了新思路和新方法。

6. 固体废弃物和重金属污染

固体废弃物是指人类在生产或生活中产生的不再需要或没有利用价值而被废弃的固体或半固体物质, 以及由法规确定为固体废弃物的物料。按其来源和特性可分为生活垃圾、一般工业固体废弃物和危险废物三大类。固体废弃物不但侵占了大面积的土地, 而且还会污染环境、损害人体健康。例如: 废旧电池严重污染土壤, 建筑废弃物扬尘, 垃圾填埋场释放甲烷进入空气, 垃圾焚烧产生二噁英, 垃圾渗滤液污染水体等。

一个过程产生的固体废弃物, 往往可能成为另一个过程的原料或者转化成为一种产品。因此固体废弃物的资源化再利用, 是其污染控制策略的重要组成部分。

在环境污染领域中, 重金属污染对环境已产生了很大的危害。重金属主要是指对生物有明显毒性的金属元素或类金属元素, 如汞、镉、铅、铬、锌、铜、钴、镍、锡、砷等。重金属污染主要由采矿、废气排放、污水灌溉和使用重金属制品等人为因素所致。通过直接或间接方式进入人体后, 重金属会在人体蓄积, 造成慢性中毒, 而一次性摄入过多的重金属会造成生物体急性中毒甚至死亡。著名的水俣病和骨痛病就是分别因为重金属汞和镉污染环境后在人体富集而引起的。

不同于有机污染物最终可被降解成二氧化碳, 重金属在环境中仅能进行空间位置的迁移和形态的转变而不能被降解成其他物质。因此今后将重点加强重金属环境化学的研究, 并为重金属污染的防治提供科学技术支撑。

7. 持久性有机污染物

化学物质给人类带来生活便利的同时, 也有许多化学物质给人类及其生存环境带来了潜在持久的危害。持久性有机污染物 (POPs) 就是这些化学物质中的一类。POPs 是指具有

高毒性，进入环境后难以降解，可生物积累，能通过空气、水和迁徙物种进行长距离越境迁移并沉积到远离其排放地点的地区，随后在那里的陆地生态系统和水域生态系统中积累起来，对当地环境和生物体造成严重负面影响的有机污染物。它具有环境持久性、生物累积性、长距离迁移能力和毒性（致癌、致畸、致突变）四大特征。列入《斯德哥尔摩公约》受控名单的 POPs 由最初 12 种增加到了 20 多种，而且数量还在不断攀升。例如：杀虫剂艾氏剂等，工业化学品多氯联苯（PCBs）等，生产中的副产品二噁英等，新增的六六六（包括林丹），多环芳烃等化学物质。

8. 森林被破坏和土地荒漠化

森林在为人类提供丰富的生物资源的同时，还发挥生态服务功能。这些生态服务功能包括涵养水土、吸收二氧化碳并释放氧气、给生物提供生存环境。森林被破坏后相应的服务功能丧失，并产生负面效应。例如森林被破坏是生物多样性危机的重要诱因。更为糟糕的是丧失的服务功能难以完全恢复。已有研究表明，人造林的生态服务功能远远不及原有的森林生态系统。森林遭到破坏既有砍伐、造地、建滑雪场等直接人为因素，也有森林火灾、酸雨、气候变暖、昆虫等自然和人交互作用因素。世界资源研究所发布报告指出，2014 年全球损失了超过 1800 万公顷林地，相当于两个葡萄牙的国土面积。保护森林已经刻不容缓。

土地荒漠化（desertification）是指由于气候变化和人类不合理的经济活动等因素，使干旱、半干旱和具有干旱灾害的半湿润地区的土地发生退化，即土地退化，也叫“沙漠化”。荒漠化不仅仅是一个生态环境问题，而且也是重要的经济问题和社会问题，它会给人类带来贫困和社会不稳定。我国荒漠化面积大、分布广、类型多，全国荒漠化土地面积超过 262.2 万平方千米，占国土总面积的 27.3%。荒漠化与日益增多的人口之间的矛盾越来越突出。荒漠化是目前人类亟待解决的一大突出环境问题。

9. 生物多样性危机

生物多样性（biodiversity）是指地球上所有生物——植物、动物和微生物及其他物质构成的综合体。它包括遗传的多样性、物种多样性和生态系统多样性三个组成部分。生物多样性是人类社会赖以生存和发展的基础。由于人类对环境的影响，生物多样性以前所未有的速度下降，被称为地质史上的第六次生物大灭绝。物种灭绝的主要和直接原因是其生境的退化。而受人类活动影响而导致的全球气候变暖则加剧了生境退化造成的物种灭绝效应。除此以外，物种入侵，过度采伐天然的生物资源，环境污染和疾病等均是生物多样性面临的重大威胁。现在的物种灭绝速度是自然状况下的 100~1000 倍。人类是无法孤独地在地球上存活的。因此，保护生物多样性、保护生物资源的可持续利用是一项全球性的任务，也是全球性环保计划的重要组成部分。

第二节 化学与人类健康问题

人体是由各类化学物质组成，通过一系列有序的化学反应控制的有机集合体，反应原料主要是食物和空气。原料的质量，决定化学反应的结果，即人体的健康。从人类诞生的那天起，就面临着饥饿和疾病的威胁。在科学不发达的古代，人们的认识水平有限，只能依靠各

种超自然的力量，求助于神灵保佑风调雨顺，祛除病魔。随着对自然界的认识深入，人类能够利用化学为自己提供舒适的生活环境。例如，化学工业生产出的溴化银可用于人工降雨，给干涸的大地带来甘霖。化肥、农药等农用化学品能够提高粮食产量和控制病虫害，从而缓解了全球食物供应问题。各种新型化学材料给世界上几十亿人口的生活带来了很多的便利。在治疗疾病方面，人们开始尝试着用药物来治病，出现了主要依靠化学药物的现代医学。青霉素是抗生素药物的典型代表，它能治疗肺炎、肺结核、脑膜炎、白喉等以前认为的绝症，青霉素的化学合成引发了 19 世纪的医疗革命，使人类的平均寿命从 1900 年的 45 岁上升到 20 世纪 90 年代的 75 岁。化学与人类的健康生活密不可分，极大地改善和提高了人们的物质生活水平。

化学也是一把双刃剑，如果滥加使用，会导致人类健康受到前所未有的威胁。在食品和药品方面，2005 年出现的“大头娃娃”事件就是不法商贩在劣质奶粉中加入三聚氰胺，冒充优质奶粉谋求暴利，最终导致多名无辜婴儿受害。犯罪分子还利用化学反应制备冰毒及其衍生物，这类化学物质对人的健康危害极大，反复服食会成瘾，过量则导致死亡。此外，尽管现代医学已经取得了很大进步，但现有治疗某些疾病的药物仍存在很大的副作用，例如对肝脏、肠胃的损伤，因此需要研究改进，开发副作用小的药物。

在环境方面，化学污染对人体健康的危害更大。人类对经济发展的追求，常常是以牺牲环境为代价，这种先发展后治理的生产模式最终也危害着人类的健康。1950 年工厂和汽车产生的大量碳、硫化物以及其他的化学烟雾飘浮聚集在伦敦市内，两个月内夺走 12000 多条人命，其中大部分是感染支气管炎。1954 年日本出现“水俣病”，患者抽搐、手足变形、精神失常、身体弯弓高叫，直至死亡。经过近十年的分析，科学家才确认工厂排放的废水中的汞是“水俣病”的起因，而此时在日本，食用了水俣湾中被甲基汞污染的鱼虾人数已达数十万。除了生活的大环境，人类起居的小环境也会因为化学污染物致使身体健康受到威胁。例如，使用不合格的装修材料，房间中甲醛、苯、甲苯含量超标，轻者引起人喉咙疼痛、声音嘶哑、过敏性皮炎等，重者导致肝中毒性病变，甚至基因突变，产生癌变。

随着人类对化学品污染所带来的危害的了解逐步深入，各国政府相继立法。一方面限制企业废水、废气和废渣的排放量，特别是废物排放的浓度；另一方面积极鼓励零污染的化学工业，提出了一种治理化学污染的新思维、新方法、新战略——绿色化学。

第三节 化学与可持续发展问题

一、传统化学工业与传统发展观

传统的化学工业是一种粗放型的增长方式，重视短期利益，消耗大量不可再生的自然资源来实现工业发展。因为受传统发展观影响，传统化学工业只关注工业产值和增长速度，把工业产值作为工业发展的唯一标志，忽视了这个过程中对环境和人类带来的危害和对资源不合理的开发。传统发展观通常把国内生产总值（GDP）作为衡量国家经济状况的核心指标，一味地注重 GDP 的增长速度，认为高 GDP 就表示国家综合实力强大，人民生活水平高，所以盲目地追求工业产值，出现了大量的高耗能和高污染企业。显然，将 GDP 作为国富民强

的唯一指标是片面的，高 GDP 只能反映短期经济发展，却没有反映自然资源和环境质量这两种财富的实际价值，也没有揭示出一个国家经济发展所付出的资源和环境代价。例如，支撑高 GDP 的高耗能和高污染企业一方面大肆消耗不可再生资源，致使自然资源枯竭，降低国家长期经济发展能力，另一方面产生大量的废水、废渣、废气，对环境造成破坏，国家不得不为治理环境而花费大量费用。因此，传统发展观实质上也是一种产值增长观，它所表现的经济繁荣带有很大的虚假性。

事实上，一个以付出资源和牺牲环境为代价来维持经济发展的国家若不改变传统的发展观念，后期必然带来环境恶化、资源枯竭等恶果，最终会使人民的实际福利水平下降，发展也将难于持续而陷入困境。

二、绿色化学与可持续发展观

1992 年，联合国召开环境与发展大会，制定了关于可持续发展的 21 世纪议程，这标志着人类的发展观出现了重大的转折。可持续发展观是在传统发展观的基础上发展起来的，强调经济与环境的协调发展，追求人与自然的和谐。其核心思想认为：健康的经济发展应建立在具有生态持续能力、社会公正和人民积极参与自身发展决策的基础之上。它所追求的目标是：既要使人类的各种需要得到满足，个人得到充分的发展，又要保护生态环境，不对后代的生存和发展构成危害。可持续发展观特别关注各种经济活动的生态合理性，倡导对环境有利的经济活动，抵制对环境不利的经济活动。在发展指标上，提出用绿色 GDP，即在国内生产总值中扣除自然资本的消耗，得到经过环境调整的国内生产总值。这种做法有别于传统的 GDP，考虑到了一个国家为经济发展所付出的资源和环境代价。可持续发展观较好地把握眼前利益与长远利益、局部利益与全局利益有机地统一起来，使经济能够沿着健康的轨道发展。

人们日常生活离不开化学，可持续发展的首要问题是发展。我们既要为开创更加美好的生活而发展化学和化学工业，又不能让化学工业破坏我们的环境。这就要求我们要大力倡导既能支撑经济发展，又能满足环保要求的新化学——绿色化学。传统化学工业在许多场合中既未有效地利用资源，又产生大量排放物，造成严重的环境污染。从根本上治理环境污染的必由之路是大力发展绿色化学。绿色化学的最大特点是从原料起始到生产终端都采用预防污染的科学手段，因而过程和终端均为零排放或零污染，是化学从“粗放型”向“集约型”的转变。绿色化学就是化学与可持续发展观相结合，不仅考虑到资源的充分利用和可持续性，还最大限度地消除污染，从原理和方法上给传统的化学工业带来了革命性的变化。因此绿色化学是建立在可持续发展观基础上的新化学，是可持续发展观建立的必然产物，也是实现可持续发展的必由之路。

第四节 绿色化学的产生和发展

传统的化学化工工艺大多都是 20 世纪 70、80 年代开发的，当时的工业费用几乎不考虑清理生产过程中排放的大量有毒、有害物质的高额成本。进入 21 世纪后，人类更加关注环