

河北省创新能力提升计划项目科学普及专项

（项目编号：21557602K）

科普小站

生态文明生活中的绿色化学

主　编　王志苗
副主编　薛　伟

天津大学出版社
TIANJIN UNIVERSITY PRESS

图书在版编目（CIP）数据

生态文明生活中的绿色化学 / 王志苗主编 ; 薛伟副主编. -- 天津 : 天津大学出版社, 2023.5
（科普小站）
ISBN 978-7-5618-7474-5

Ⅰ. ①生… Ⅱ. ①王… ②薛… Ⅲ. ①化学工业－无污染技术－普及读物 Ⅳ. ①X78-49

中国国家版本馆CIP数据核字（2023）第110710号

出版发行　天津大学出版社
地　　址　天津市卫津路92号天津大学内（邮编:300072）
电　　话　发行部:022-27403647
网　　址　www.tjupress.com.cn
印　　刷　廊坊瑞德印刷有限公司
经　　销　全国各地新华书店
开　　本　710mm×1010mm　1/16
印　　张　7
字　　数　153千
版　　次　2023年5月第1版
印　　次　2023年5月第1次
定　　价　39.00元

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页等质量问题，烦请与我社发行部门联系调换
版权所有　　侵权必究



化学伴随着人类的生产与生活而产生，并随着人类社会的进步而发展，对人类的日常生活有重大作用。化学与人类的生活息息相关，人们的衣、食、住、行都离不开化学。色泽鲜艳的衣料需要经过化学处理和印染；加工制造色香味俱佳的食品，离不开各种食品添加剂，如防腐剂、香料、调味剂和色素等等；现代建筑所用的水泥、石灰、油漆、玻璃和塑料等材料都是化工产品；用以代步的各种现代交通工具，不仅需要汽油、柴油作为动力来源，还需要各种汽油添加剂、防冻剂以及润滑剂；人们需要的药品、洗涤剂、护肤品和化妆品等日常生活中必不可少的用品也都是化学制品。可见我们的衣、食、住、行无不与化学有关，人人都需要用化学制品。但是化工行业在给人类生活带来帮助的同时，也给环境带来了十分严重的污染问题，引起了社会各界的关注。

生态文明建设是关系中华民族永续发展的根本大计。生态文明建设的主线是绿色发展，绿色发展的重要内容是绿色化学。发展绿色化学已成为推动人类生态文明建设的重要途径。绿色化学是从源头上防止污染的化学，能最大限度地从资源合理利用、环境保护及生态平衡等方面满足人类可持续发展需求。要在全社会大力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。

本书结合绿色化学的相关标准，对我国绿色化学的形势、污染的来源和治理的办法进行了简单介绍；阐述了绿色化学在大气污染、水污染、固体废弃物污染、食品安全、能源、洗涤和护肤用品等方面的应用，并结合公众日常生活中出现的有关绿色化学的问题进行具体分析。本书内容涉及面广，但因编者知识水平有限，加之时间仓

促，体系上难免不够科学全面，内容上可能存在不妥之处，恳请各位专家、读者批评指正。

感谢河北省创新能力提升计划项目科学普及专项（项目编号：21557602K）提供的支持。

编者

2023 年 4 月



第 1 章　绪论 / 1

1.1　化学在生态文明生活中的作用 / 1

1.1.1　化学研究的内容 / 1

1.1.2　化学对生态文明生活的贡献 / 2

1.2　绿色化学在生态文明生活中的兴起和发展 / 5

1.2.1　可持续发展的基本概念 / 5

1.2.2　绿色化学的诞生 / 8

1.2.3　绿色化学的含义和特点 / 9

1.2.4　生态文明生活中的绿色化学 / 10

参考文献 / 11

第 2 章　绿色化学与环境 / 12

2.1　环境与环境问题 / 12

2.1.1　环境 / 12

2.1.2　环境问题 / 13

2.1.3　绿色化学在环境保护中的作用 / 19

2.2　绿色化学与大气污染 / 21

2.2.1 大气污染物的主要来源及种类 / 21
2.2.2 绿色化学在大气污染方面的应用 / 23
2.3 绿色化学与水污染 / 25
2.3.1 水资源 / 25
2.3.2 水污染的来源 / 28
2.3.3 绿色化学在水污染方面的应用 / 33
2.4 绿色化学与固体废弃物污染 / 35
2.4.1 固体废弃物 / 35
2.4.2 固体废弃物对环境的污染 / 36
2.4.3 绿色化学在固体废弃物污染方面的应用 / 39
参考文献 / 41

第 3 章 绿色化学与能源 / 44

3.1 能源 / 44
3.1.1 能源的发展史 / 44
3.1.2 能源的种类 / 46
3.1.3 绿色化学在能源方面的应用 / 49
3.2 绿色化学与石油 / 50
3.2.1 石油 / 50
3.2.2 石油污染的危害 / 52
3.2.3 绿色化学在石油方面的应用 / 52
3.3 绿色化学与化学能源 / 54
3.3.1 化学能源 / 54
3.3.2 绿色化学在化学能源方面的应用 / 57

3.4　绿色化学与生物质能 / 59

3.4.1　生物质能 / 59

3.4.2　绿色化学在生物质能方面的应用 / 61

参考文献 / 63

第 4 章　绿色化学与日用品 / 65

4.1　服饰 / 65

4.1.1　天然纤维 / 65

4.1.2　人造纤维 / 68

4.2　洗涤剂 / 69

4.2.1　洗涤剂对环境的影响 / 69

4.2.2　绿色化学在洗涤剂方面的应用 / 70

4.3　化妆品 / 72

4.3.1　化妆品和人体健康 / 72

4.3.2　绿色化妆品 / 74

4.4　涂料 / 75

4.4.1　涂料分类 / 75

4.4.2　绿色涂料 / 78

4.5　染发剂 / 79

参考文献 / 81

第 5 章　绿色化学与食品 / 83

5.1　绿色化学与食品添加剂 / 83

5.1.1　食品添加剂概述 / 83

5.1.2 常用的食品添加剂 / 84
5.1.3 食品添加剂的污染 / 87
5.1.4 绿色食品添加剂 / 87
5.2 绿色化学与塑料 / 89
5.2.1 塑料包装分类 / 89
5.2.2 绿色塑料 / 91
参考文献 / 92

第 6 章 绿色化学与农业 / 93

6.1 绿色农产品的发展概况 / 93
6.1.1 绿色农产品 / 93
6.1.2 我国绿色农产品存在的问题 / 95
6.1.3 我国绿色农产品的发展对策 / 96
6.2 绿色化学与农药 / 97
6.2.1 农药 / 97
6.2.2 农药对生态环境的影响 / 99
6.2.3 绿色农药 / 100
参考文献 / 100



第 1 章　绪论

化学伴随着人类的生产与生活而产生，并随着人类社会的进步而发展，对人类的日常生活有重大作用。但是，21 世纪传统的化学工业正面临着促进人类可持续发展的严峻挑战，化学工业的出路在于大力开发和应用绿色化工技术。绿色化学是从源头上防止污染的化学，能最大限度地从资源合理利用、环境保护及生态平衡等方面满足人类可持续发展需求。

1.1　化学在生态文明生活中的作用

1.1.1　化学研究的内容

只要仔细观察一下周围的世界，就会发现万物都在变化之中。变化是世界上无所不在的现象。物质变化大致可以分为两种类型。其中一类变化不产生新物质，只改变物质的状态，这类变化称为物理变化。例如水的结冰，液态的水变成了固态的冰；再如碘的升华，固态的碘变为碘蒸气。另一类变化表现为一些物质转化为性质不同的另一些物质，这类变化称为化学变化。例如煤的燃烧，碳（C）转变为二氧化碳（CO_2）气体；再如金属锈蚀和某些食物腐败等。在化学变化过程中，物质的组成和结合方式都发生了改变，生成了新的物质，而新的物质表现出与原物质完全不同的物理性质和化学性质。化学是一门在原子、分子层次上研究物质的组成、结构、性质及其变化规律的科学。简而言之，化学是以研究物质的化学变化为主的一门科学[1]。

如果以 1803 年英国化学家道尔顿提出原子假说作为近代化学的起点，到现在不过 200 多年的时间，化学已经发展成为一门重要的自然科学，有了自己的科学体系、特有的语言和研究方法。进入 21 世纪，全球已有超过 2 000 万种化合物。目前，化学家们不仅关心在地球的重力场作用下发生的化学反应过程，而且已经开始系统地研究物质在磁场、电场、光能、力能与声能作用下的化学反应过程，甚至尝试研究在太空失重和强辐射、高真空条件下的化学反应过程。

1.1.2 化学对生态文明生活的贡献[2]

化学既是一门传统的基础科学，又是一门实用的、富有创造性的应用科学，已经渗透到社会发展和人类物质生活的每一个角落。只要你留心观察就会发现，生活中处处都有化学产品，处处都有化学知识。

首先从我们的衣、食、住、行来看，色泽鲜艳的衣料需要经过化学处理和印染，丰富多彩的合成纤维更是化学的一大贡献；要装满粮袋子，丰富菜篮子，关键之一是发展化肥和农药生产；加工制造色、香、味俱佳的食品，离不开各种食品添加剂，如防腐剂、香料、调味剂和色素等等，它们大多是用化学方法合成的或用化学分离方法从天然产物中提取出来的；现代建筑所用的水泥、石灰、油漆、玻璃和塑料等材料都是化工产品；用以代步的各种现代交通工具，不仅需要汽油、柴油作为动力来源，还需要各种汽油添加剂、防冻剂以及润滑剂，这些无一不是石油化工产品。此外，药品、洗涤剂、护肤品和化妆品等日常生活中必不可少的用品也都是化学制品。可见人们的衣、食、住、行无不与化学有关（图 1-1），人人都需要用化学制品，可以说我们生活在一个化学世界里。

其次从社会发展来看，化学对于实现农业、工业、国防和科学技术现代化具有重要的作用。农业要大幅度地增产，农、林、牧、副、渔各业要全面发展，在很大程度上依赖于化学科学的成就。化肥、农药、植物生长激素和除草剂等化学产品，不仅可以提高农产品的产量，而且改进了田地的耕作方法。高效、低污染的新农药的研制，长效、复合化肥的生产，农、副业产品的综合利用和合理贮运，也都需要应用化学知识。在工业和国防现代化方面，亟须研制各种性能迥异的金属材料、无机非金属材料和高分子材料。在煤、石油和天然气的开发、炼制和综合利用中包含着极为丰富的化学知识，并已形成煤化学、石油化学等专门领域。导弹的生产、人造卫星的发射，需

要很多种具有特殊性能的化学产品，如高能燃料，高能电池，高敏胶片及耐高温、耐辐射的材料等。



图 1-1　人们的衣、食、住、行无不与化学有关

随着科学技术的发展、生产水平的提高、新的实验手段的出现以及电子计算机的广泛应用，不仅化学科学本身有了突飞猛进的发展，而且化学与其他科学的相互渗透、相互交叉大大促进了其他基础科学和应用科学的发展以及交叉学科的形成。目前国际社会最关心的几个重大问题——环境的保护、能源的开发和利用、功能材料的研制、生命过程奥秘的探索——都与化学密切相关。随着工业生产的发展，工业废气、废水和废渣（统称“三废”）越来越多，处理不当就会污染环境。全球气候变暖、臭氧层破坏和酸雨是三大环境问题，正在危及人类的生存和发展，因此，治理和利用“三废”、寻找净化环境的方法和监测污染情况等，都是现今化学工作者的重要任务。在能源开发和利用方面，化学工作者为人类使用煤和石油曾做出重大贡献，现在又在

为开发新能源积极努力。太阳能（图 1-2）和氢能源都是化学科学研究的前沿课题。材料科学是以化学、物理和生物学等为基础的边缘科学，它主要研究和开发具有电、磁、光学特性和催化等性能的新材料，如高温超导体、非线性光学材料和功能高分子合成材料等。生命过程充满各种生物化学反应，当今，化学家和生物学家正在通力合作，探索生命现象的奥秘，从原子、分子水平对生命过程做出化学的说明则是化学家的优势。



图 1-2　新能源——太阳能

总之，化学起着推动人类社会进步的决定性作用，没有化学就没有现代人类文明。社会的发展离不开化学，化学的发展同样离不开社会，社会为化学的发展提供了空间、动力和机会。

化学与国民经济的各个部门、尖端科学技术的各个领域以及人民生活的各个方面都有着密切联系。它是一门重要的基础科学，它在整个自然科学中的关系和地位，正如美国皮门特尔（G. C. Pimentel）在《化学中的机会——今天和明天》一书中指出的，“化学是一门中心科学，它与社会发展各方面的需要都有密切关系”。它不仅是化学工作者的专业知识，而且是广大人民科学知识的组成部分。化学教育的普及是社会发展的需要，是提高公民文化素质的需要。

1.2　绿色化学在生态文明生活中的兴起和发展

1.2.1　可持续发展的基本概念

目前，人类正面临着有史以来最严重的环境危机。由于人口急剧增加，资源消耗日益增加，人均耕地、淡水和矿产等资源占有量逐渐减少，人口与资源的矛盾越来越突出。此外，在人类的物质生活随着工业化水平不断提高而不断改善的同时，大量排放的生活污染物和工业污染物使人类的生存环境迅速恶化。（图 1-3）世界上无论是发达国家还是发展中国家都不同程度地受到了环境污染的危害，环境污染引起了各国的广泛重视。1987 年，以挪威首相布伦特兰为首的世界环境与发展委员会（WCED）在其发表的一份报告——《我们共同的未来》中将可持续发展正式定义为“既满足当代人的需求，又不对后代人满足其需求的能力构成危害的发展”，得到了国际社会的广泛响应和普遍认同。1992 年，在联合国环境与发展大会上，通过了以可持续发展理念为核心的《关于环境与发展的里约热内卢宣言》《21 世纪议程》等文件。世界各国均把可持续发展作为国家宏观经济发展战略的一种选择，将可持续发展的原则纳入国家政策和具体行动之中。可持续发展作为人类社会发展的新模式已跨越概念和理论探讨的范畴，成为人类采取全球共同行动所努力追求的实际目标[3]。



图 1-3　环境污染

可持续发展的基本概念包括经济持续性、生态持续性及社会持续性等三方面的内容。经济持续性是指在保证自然资源的质量和其所提供的服务的前提下，使经济发展的利益增加到最大限度。可持续发展突出强调发展，鼓励经济增长，但实现经济增长必须力求减小经济活动所造成的对环境的压力。改变传统生产方式和消费方式，在生产时尽量少投入、多产出，在消费时尽可能多利用、少排放。生态持续性是指发展要以自然保护为基础，不能超越生态环境系统的更新能力。可持续发展强调将环境保护作为发展进程中的重要组成部分和衡量发展质量、发展水平和发展程度的客观标准之一，以保持支撑着人类经济活动和社会发展的生态环境系统的承载能力。社会持续性是指发展要以提高人类生活质量为目标，同社会进步相适应。社会持续性的核心问题是社会公平，它包含了当代人的公平、代际公平、公平分配和利用有限资源，以及在享有资源利用效益和承担环境保护义务间的公平等多层含义，其共同目标就是实现整个人类的全面发展和社会的共同进步。可持续发展作为崭新的人类发展模式，要求能动地调控社会经济－自然复合大系统，以生态持续为基础，以经济持续为条件，以社会持续为目的，追求人类和自然的协调发展和共同进步[4]。

化学工业是我国的支柱产业之一，石油化工、煤化工、生物化工、精细化工、盐化工及医药工业等生产领域与人类的衣、食、住、行及文化需求等各个方面有着紧密的联系。可以说化学与化学工程科学的成果及其应用，创造了无数的新产品，它们进入每一个普通家庭的生活，使我们的衣、食、住、行各个方面都受益匪浅。但是，化学品的大量生产和广泛应用，给人类本来绿色平和的生态环境带来了危害。当前全球的十大环境问题（即全球气候变暖、臭氧层的耗损与破坏、生物多样性减少、酸雨蔓延、森林锐减、土地荒漠化、大气污染、水污染、海洋污染、危险性废物越境转移）都直接或间接与化学物质污染有关。化学工业正面临着促进人类可持续发展的严峻挑战，这也决定了化学工业在推进可持续发展战略中具有举足轻重的作用。以下对化学工业自身的特点做进一步说明。

首先，化学工业属于能源密集型产业部门。具体表现在：一是能源消费总量大，我国 2012 年全年能源消费总量为 36.2 亿吨标准煤，化工行业生产每年消耗的能源占全国能源消费总量的 10%左右；二是能源消费总量中约有 40%作为生产原料，60%作为动力和燃料，而原料消耗的成本又往往占了产品成本的 70%~80%，这与其他生产部门能源消费的特点有很大不同，节能降耗水平是影响企业经济效益的重要因素；三是能源消费结构中，煤和焦炭占 68.5%，由于煤炭不同于石油、天然气等优质能源的固体特性，其化学加工难度较大，表现为加工流程长、投资大、能源利用

率低、污染排放量大，这种能源结构也是制约我国工业化整体进程的重要因素之一；四是大量的能源消耗主要集中在少数大宗产品，仅合成氨的能源消耗就占全行业能源消费的 40%左右。

其次，化学工业属于重污染的产业部门，主要污染源有以下两方面：一是化学工业的产品有许多易燃、易爆、有毒的化学物质，在生产、储存、运输及使用过程中，如果发生泄漏，就会危害人们的健康，污染环境（图 1-4）；二是在化学工业的生产过程中会产生大量废气、废液和固体废物，如果不加以适当处理就排放到周围环境中，会给大气、水、土壤等自然环境造成危害。



图 1-4　易燃、易爆化学品

最后，化学工业还将通过其丰富的产品密切关系到可持续发展战略的实施。第一，粮食安全问题是我国可持续发展的头等重要大事。多年来，化肥生产为我国粮食生产做出了巨大贡献。随着我国人口的增长，人均粮食消费量水平不断提高，而城市化进程使得本来不足的耕地资源又逐渐减少，我国粮食生产将面临严峻形势。21 世纪，化肥工业仍是支撑农业发展不可动摇的基石。第二，大力发展城市燃气是提高民用能源利用效率、降低城市大气污染的必然趋势。由于我国石油、天然气资源有限且分布不均匀，大多数城市的燃气化还必须依靠煤制气来实现。经济、高效的城市煤气生产与化学工业是紧密联系在一起的。第三，化学工业本身是重污染行业，但是，要治理污染、解决废弃物的处理和资源化利用等问题又往往离不开化工转化过程和操作，如工业废气和污水的处理、城市垃圾的处理、废塑料制品的回收与再生等。随着人们的环保意识不断强化，对各种绿色产品的需求也会大大增加，这些产品中不少属于化工类产品，如对人体和环境更安全的新型材料和涂料等。新兴的环保产业被看作未来最有希望的朝阳产业，而化学工业在这一领域无疑将占有一席之地。

对于化学工业，可持续发展的含义相对集中地体现在清洁生产和资源综合利用上。化学工业的可持续发展之路在于：在建立与资源、能源集约化相适应的化工技术体系的基础上，通过制定合理的产业政策与技术路线，发展清洁生产和资源综合利用，以达到节约资源、能源，保护环境，提高产业综合效益的目的[4]。

1.2.2 绿色化学的诞生

在化学工业领域，人们从自然界获取各种原料，经加工处理，其中约 1/3 直接转化为废弃物和污染物，其余 2/3 转化为产品。废弃物、污染物和使用后废弃的产品不仅损害生态环境，有的还直接危害人类的健康。人类过分热衷于满足眼前的需要，而拿地球的生态系统冒险。有鉴于此，“绿色科技”应运而生。它是对生态环境友好的科技，其目的是在生态环境容许的负荷与人类生产、生活消费的需要之间把握最佳平衡，使社会经济与环境协调发展。在对待污染问题上，“绿色科技”把过去以末端治理为主的模式转变为以源头预防为主的模式。在“绿色科技”中，绿色化学起着举足轻重的作用。

从 20 世纪 60 年代化学农药污染的危害被提出来之后，经过几十年的努力，化学污染防治取得了巨大的成就：发展了新的灵敏分析监测手段，可有效测定环境中的污染物；从成千上万的化学品中鉴定出有毒化合物的类型，并研究了其作用机理；发明了化学方法用以处理废弃物；治理了危险的污染点，减少了废弃物排放；等等。对一些全球性的化学污染（如原油泄漏、燃煤烟尘、酸雨、汽车尾气、温室效应、有机氯农药、环境致癌物等）的研究、控制、治理已取得较大的进展。

当今世界各国生产和使用着约 10 万种化学品。仅美国化学工业每年就要排放约 30 亿吨化学废弃物（约含 1 500 万吨化学品）。其中进入大气的约占废弃物总量的 60%，进入土壤的约占 10%，进入表面水系的约占 10%，进入地下的约占 20%。为了达到环境保护法律的要求，美国每年要花 1 500 亿美元去控制、处理和掩埋这些废弃物[3]。这些费用自然会被转嫁给整个社会乃至其他国家。有毒化学品的生产和使用过程会危害有关人员的健康，使用后会造成环境生态系统的污染和破坏。纵观过去几十年来解决这一问题的诸多办法，基本上以治理为主。经验证明，这些办法的效果是有限的，所需费用高昂且日益增长。为了从技术上、经济上减小或消除生产和使用化学品对环境和人类健康所造成的负面影响，需要有新的思路、理念、政策、计

划、程序和基础设施。1990 年美国国会通过了《污染预防法案》，明确提出了“污染预防”这一新概念。它虽不具法律效力，但是作为一个行动指南，详细说明了污染预防的体系和不同层次。它包括废弃物的清除、处理、回收，减少污染源和杜绝污染源。最后这一项“杜绝污染源”代表了“污染预防”这一新概念的最终目标。防止有毒化学物质危害的最好的方法就是一开始就不要生产有毒物质和形成有害废弃物。这项法案标志着控制化学品危害、保护环境的一个新时期的开始，是积累 30 年化学污染治理经验和教训的产物，似乎与古朴的哲学思想——“防患于未然”不谋而合。当然如果没有发展到 20 世纪 90 年代的物理科学、生命科学和工程学的成果作为后盾，它是不可能被提出和实现的。20 世纪 90 年代初，一个“新生化学婴儿”在孕育着，它受到各方关注并被起了不少名字，如清洁化学、环境无害化学、原子经济化学和绿色化学等。最后美国环保局采用了“绿色化学”作为它的名字。

目前，相当多重大的生态环境问题都与化学工业直接有关，因而“绿色化学与化工”是 21 世纪“绿色科技”的关键。美国国家科学基金会（NSF）和许多化工企业已经为“绿色化学”研究提供专门的资金支持，并设立了“总统绿色化学挑战奖”，以奖励有重大突破的“绿色化学”成果。“绿色”是环境意识的革命，“绿色化学”则是化学学科的又一次飞跃。有人指出，“绿色化学”将给化学工业和环境工程带来革命性的变化[5-6]。

1.2.3　绿色化学的含义和特点

化学可以被粗略地看作研究从一种物质向另一种物质转换的科学。传统的化学虽然可以得到人类需要的新物质，但在许多情况下却未能有效地利用资源，以致产生大量排放物造成严重的环境污染。绿色化学相对于传统化学是更高层次的化学，其英文名称为 Green Chemistry。它是 20 世纪 90 年代兴起的一门学科，有人又称之为环境无害化学（Environmentally Benign Chemistry）、环境友好化学（Environmentally Friendly Chemistry ）、清洁化学（Clean Chemistry）。目前，比较统一的名称为绿色化学。关于绿色化学的定义，较为一致的提法是：利用化学的技术和方法去减少或避免那些对人体健康、社区安全、生态环境有害的原料、催化剂、溶剂和试剂、产物及副产物等的使用和产生。绿色化学的理想在于不再使用有毒、有害的物质，不再产生废物，不再处理废物。它是从源头上防止污染的化学，能最大限度地从资源合理利用、环境保护及生态平衡等方面满足人类可持续发展需求，是化学中的一个综合

学科和重要分支[7]。

绿色化学的主要特点是原子经济性，即在获取新物质的转化过程中充分利用每个原料原子，实现“零排放”，因此可以充分利用资源，又不产生污染。传统化学向绿色化学的转变可以看作化学从粗放型向集约型的转变。绿色化学可以变废为宝，使经济效益大幅度提高，它是环境友好技术或清洁技术的基础，但它更注重化学的基础研究。绿色化学与环境化学既相关又有区别。环境化学研究对环境产生影响的化学反应，而绿色化学研究对环境友好的化学反应。传统化学中也有许多环境友好的反应，绿色化学继承了它们；对于传统化学中那些破坏环境的反应，绿色化学将寻找新的环境友好的反应来代替它们。绿色化学中的反应物及反应过程应具有以下特点[8]：①采用无毒、无害的原料；②在无毒、无害的反应条件（催化剂、溶剂）下进行；③具有原子经济性，即反应具有高选择性，极少有副产物，甚至实现“零排放”；④产品应是环境友好的。

1.2.4 生态文明生活中的绿色化学

生态兴则文明兴。党中央非常关注生态环境保护，习近平总书记特别强调：“生态文明建设是关系中华民族永续发展的根本大计。”（《习近平新时代中国特色社会主义思想学习纲要》，人民出版社，2019 年，169 页）

习近平总书记在十九大报告中指出，加快生态文明体制改革，建设美丽中国。而绿色发展是美丽中国建设的首要任务，绿色化学是绿色发展的重要内容，凸显了绿色化学的重要性。十九大报告不仅提出了解决生态文明问题的总体指导思想，而且提出切实可行的具体措施。就总体指导思想而言，报告明确提出“既要创造更多物质财富和精神财富以满足人民日益增长的美好生活需要，也要提供更多优质生态产品以满足人民日益增长的优美生态环境需要”。这事实上就把生态文明建设明确地列入了我们党“不忘初心、牢记使命”的宏伟蓝图中。就具体措施而言，报告提出了详尽的生态文明建设举措，如：加快建立绿色生产和消费的法律制度和政策导向；提高污染排放标准，强化排污者责任，健全环保信用评价、信息强制性披露、严惩重罚等制度；完成生态保护红线、永久基本农田、城镇开发边界三条控制线划定工作；改革生态环境监管体制；等等。党的十九大报告明确提出，“建设生态文明是中华民族永续发展的千年大计。必须树立和践行绿水青山就是金山银山的理念，坚持节约资源和保护环境

的基本国策，像对待生命一样对待生态环境，统筹山水林田湖草系统治理，实行最严格的生态环境保护制度，形成绿色发展方式和生活方式，坚定走生产发展、生活富裕、生态良好的文明发展道路，建设美丽中国”。习近平总书记提出“绿水青山就是金山银山”的“两山”理念，打破了经济发展与生态环境保护对立的传统思维，深刻阐明了“保护生态环境就是保护生产力，改善生态环境就是发展生产力”的内涵逻辑，为推进我国生态文明建设和绿色发展指明了发展方向和实践遵循[9]。

生态文明建设的主线是绿色发展，绿色化学是绿色发展的重要内容，以可持续发展为主旨，与生态文明建设在开发中保护生态的理念高度契合，发展绿色化学已成为推动生态文明建设的重要途径。

参考文献

[1] 钟平，余小春. 化学与人类[M]. 杭州：浙江大学出版社，2005.

[2] 唐有祺，王夔. 化学与社会[M]. 北京：高等教育出版社，1997.

[3] 王延吉，赵新强. 绿色催化过程与工艺[M]. 北京：化学工业出版社，2015.

[4] 陈迎，曲德林，滕藤. 化学工业与可持续发展战略的思考[J]. 化工进展，1997（4）：16-22.

[5] 薛慰灵. 绿色化学——对环境更友善的化学[J]. 化学教育，1997（9）：1.

[6] 林祥钦，谷云乐.“绿色化学”与化工——21 世纪可持续发展的一个战略方向[J]. 中国化工，1997（9）：49-50.

[7] 朱清时. 绿色化学与可持续发展[J]. 中国科学院院刊，1997（6）：415-420.

[8] 朱清时. 绿色化学的进展[J]. 大学化学，1997（6）：7-11.

[9] 《全面建成小康社会与中国县域发展》编写组. 全面建成小康社会与中国县域发展（上卷）[M]. 北京：人民出版社，2022.



第 2 章　绿色化学与环境

许多化学物质在为人类创造幸福的同时，也对环境造成了危害，大家熟知的臭氧层空洞、酸雨和水体富营养化等都与化学有关。环境质量与人类的生存质量直接相关，并关系着人类社会的可持续发展，环境问题已成为影响全球经济与社会可持续发展的重要问题之一。目前，各国对环境的治理已开始从治标转向治本，倡导绿色化学，积极推行清洁生产工艺，生产环境友好型产品，从源头上消除污染；同时，利用绿色化学技术，对已产生的环境污染积极开展治理，使蓝天白云和青山绿水重回人间。

2.1　环境与环境问题

2.1.1　环境

环境是指影响人类生存和发展的各种天然的和经过人工改造的自然因素的总体，包括大气、水、海洋、土地、矿藏、森林、草原、野生生物、自然遗迹、人文遗迹、自然保护区、风景名胜区、城市和乡村等。环境由自然环境和社会环境（人工环境）组成，按照环境要素，自然环境又可分为大气环境、水环境、土壤环境、地质环境和生物环境等，主要是指地球的大气圈、水圈、土圈、岩石圈和生物圈，其中生物圈与人类生活的关系最为密切[1]。

2.1.2　环境问题

环境既是人类生存与发展的物质来源，同时又是人类活动所产生的各种废弃物的承载者。通常所说的环境问题主要是指由于人类不合理开发和利用自然资源而造成的生态环境破坏，以及工农业生产和人类生活所造成的环境污染。环境问题实质上是一个经济和社会问题，是由于人类对自然环境规律认识不足，盲目发展和不合理开发与利用自然资源而造成的环境质量恶化，以及资源浪费甚至枯竭。

1. 环境问题的发展

在工业革命以前，主要的环境问题是生态环境破坏，包括严重水土流失、水旱灾频繁以及沙漠化问题；第一次产业革命期间（18 世纪 60 年代—19 世纪 40 年代）的环境问题主要表现为工业污染，由于经济发展的不平衡，从全球角度来看，其危害只是局部的；在第二次产业革命期间（19 世纪 60 年代—20 世纪初），过去潜在的污染危害和新的环境污染共同酿成了全球关注的污染公害；20 世纪 80 年代至今，从 1985 年英国科学家发现南极上空出现臭氧层空洞开始，全球气候变暖、生物多样性锐减等全球性环境问题日益受到世人的关注。

2. 全球性环境问题

1）大气环境问题日渐突出

（1）全球气候变暖：燃料在燃烧过程中会产生 CO_2 和 H_2O（水蒸气），产生的 CO_2 可溶解在雨水、江河、湖泊和海洋里，也可以被植物吸收进行光合作用等。产生的 CO_2 量和去除的 CO_2 量之间达到平衡，使大气中 CO_2 的浓度保持在一定范围内。

地球大气层中的 CO_2 和 H_2O 等允许部分太阳辐射（短波辐射）透过并到达地面，使地球表面温度升高；同时，大气又能吸收太阳和地球表面发出的长波辐射，仅让很少的一部分热辐射散失到宇宙空间中去。大气吸收的辐射热量多于散失的辐射热量，最终使地球保持相对稳定的气温，这种现象称为温室效应。温室效应是地球上生命赖以生存的必要条件。但是由于人口激增、人类活动频繁，化石燃料的用量猛增，加上

森林面积因乱砍滥伐而急剧减少，大气中 CO_2 和各种气体微粒的浓度不断增加，致使 CO_2 吸收及反射回地面的长波辐射能增多，引起地球表面气温上升，使温室效应加剧，气候变暖。因此，CO_2 量的增加，被认为是大气污染物对全球气候产生影响的主要原因。但是温室气体并非只有 CO_2，还有 H_2O、CH_4（甲烷）、CFC（氟氯烃，几种氟氯代甲烷及乙烷的总称，商品名为氟利昂）等。研究温室气体对全球变暖的影响时，主要考虑以下三个因素。第一，温室气体在大气中的浓度。大气中多原子分子浓度最大的是 CO_2，它是主要的温室气体，浓度年增长率为 0.5%。第二，温室气体的增长趋势。虽然 H_2O 的平均浓度在温室气体中居第二位，但是浓度增长不明显，则对温室效应的增强影响不大，所以人们谈论全球变暖时，都未提到 H_2O。在温室气体中占第三位的 CH_4 的浓度年增长率为 0.9%，占第四位的 N_2O 的浓度年增长率为 0.25%，原来大气中并不存在的 CFC 的浓度年增长率高达 4.0%。第三，各种分子吸收红外辐射的能力。如 CFC 分子吸收红外辐射的能力是 CO_2 分子的几千万倍。全球变暖会导致全球降水量重新分配、冰川和冻土消融、海平面上升等。

（2）酸雨危害：酸雨是指 pH<5.6 的雨水，它是因工业发展而产生的一种灾害。人类大量使用煤、石油、天然气等化石燃料，向大气中排放硫氧化物（SO_x）或氮氧化物（NO_x）。它们经过化学反应形成硫酸（H_2SO_4）或硝酸（HNO_3）气溶胶，或者被云、雨、雪、雾捕捉吸收，形成酸雨降落到地面上。此外，土壤中某些机体（如动物尸体和植物残败枝叶）被微生物分解产生的某些硫化物、火山爆发喷出的二氧化硫（SO_2）、森林火灾排放的 SO_x，也是引起酸雨的原因之一。酸雨会导致河流、湖泊酸化，影响鱼类繁殖甚至导致鱼类种群灭绝；土壤酸度提高会使细菌种类减少，土壤肥力减退，影响作物生长，还会导致土壤中锰、铜、铅、镉和锌等重金属转化为可溶性化合物，迁移进入江河湖泊引起水质污染，进而通过食物链对人体健康产生影响。我国是化石能源消耗大国，受酸雨危害较为严重，已成为世界三大酸雨区域之一。（图 2-1）



图 2-1　酸雨的形成

实例：1952 年伦敦发生烟雾事件，整个城市笼罩在烟雾中，犹如世界末日。当时伦敦正在举办一场得奖牛的展览盛会，但是 350 头牛中有 52 头出现严重中毒的症状，14 头已经奄奄一息，1 头当场毙命。伦敦市民还没来得及感到遗憾，自己也有了反应。许多人感到呼吸困难、眼睛刺痛，出现哮喘、咳嗽等呼吸道症状的病人明显增多。接下来的 4 天时间，伦敦市的死亡人数达 4 000 余人，平均每天死亡约 1 000 人。当有毒烟雾散开后，酸雨降临，雨水的 pH 值低到 1.4~1.9，这可比高浓度的番茄汁或柠檬汁酸不知多少倍。酸雨停后浩劫并没有停止，2 个月后，又有 8 000 多人陆续丧生。

（3）臭氧层破坏：臭氧层是大气平流层中臭氧浓度最大的一个空域，能够吸收大部分太阳紫外辐射，是地球的保护层。过去人类的活动尚未达到平流层，所以臭氧层未受到影响。随着科技的发展，人类对环境的影响越来越大。人类过多地使用 CFC 是导致臭氧层破坏的主要原因。这些物质进入大气平流层后，降解产生的卤原子与空气中的臭氧发生链式反应，使臭氧分解为氧气（O_2），从而破坏大气平流层中的臭氧层，产生臭氧空洞。1985 年英国南极科考队发现南极上方出现了面积与美国大陆相近的臭氧层空洞，1989 年科学家又发现北极上空正在形成另一个臭氧层空洞。此后，科学家还发现空洞并非固定在一个区域内，而是每年在移动，且面积不断扩大。臭氧层变薄和出现空洞，就意味着有更多的紫外线到达地面。紫外线对生物具有破坏性，对人的皮肤、眼睛甚至免疫系统都会造成伤害，强烈的紫外线会影响鱼虾类和其他水生生物的正常生存，乃至造成某些生物灭绝，同时会严重阻碍各种农作物和树木的正常生长，还会导致温室效应加剧。（图 2-2）

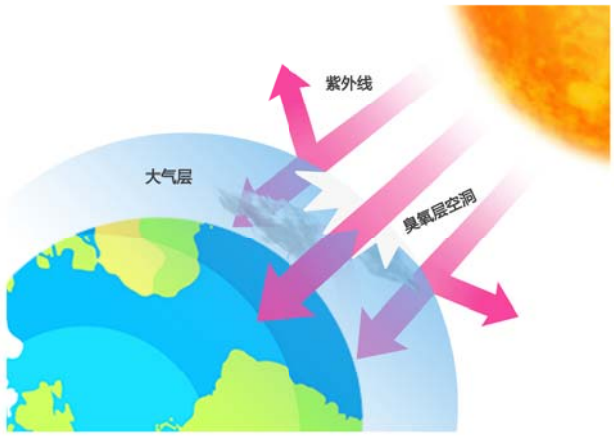


图 2-2　臭氧层破坏

（4）雾霾的危害：雾霾的主要原因是汽车尾气和煤炭不完全燃烧造成的 SO_2 污染，其中最具代表性的就是细颗粒物（$PM_{2.5}$），$PM_{2.5}$ 能通过呼吸系统直接进入肺部，从而给肺部功能带来一定的影响，久而久之会诱发多种疾病[2]。（图 2-3）



图 2-3 雾霾

2）大面积生态破坏加剧

（1）生物多样性减少：生物多样性即生物及其生存环境（包括地球上所有的植物、动物和微生物及其所拥有的全部基因和各种各样的生态系统）的多样性，包括物种多样性、遗传多样性和生态系统多样性三个层次，其中物种多样性是生态系统多样性的关键。目前已知的生物约有 200 万种，这些形形色色的生物物种构成生物物种多样性，为人类提供各种食物、纤维、建筑材料及其他工业原料。在生态系统中，各种生物之间具有相互依存和相互制约的关系，它们共同维系着生态系统的结构和功能，一旦某种生物减少，生态系统的稳定性就会遭到破坏，人类的生存环境也就会受到影响。

我国的不少特有物种，如黑猩猩、蓝鲸、小熊猫、大熊猫、东北虎、华南虎、亚洲象、麋鹿、犀牛、藏羚羊、丹顶鹤、扬子鳄、中华鲟、水杉、银杏、红豆杉、阔叶苏铁、长白松等都面临灭绝威胁。据联合国环境规划署（UNEP）估计，在未来的 20~30 年中，地球上有 25% 的生物将处于灭绝的危险之中。（图 2-4）

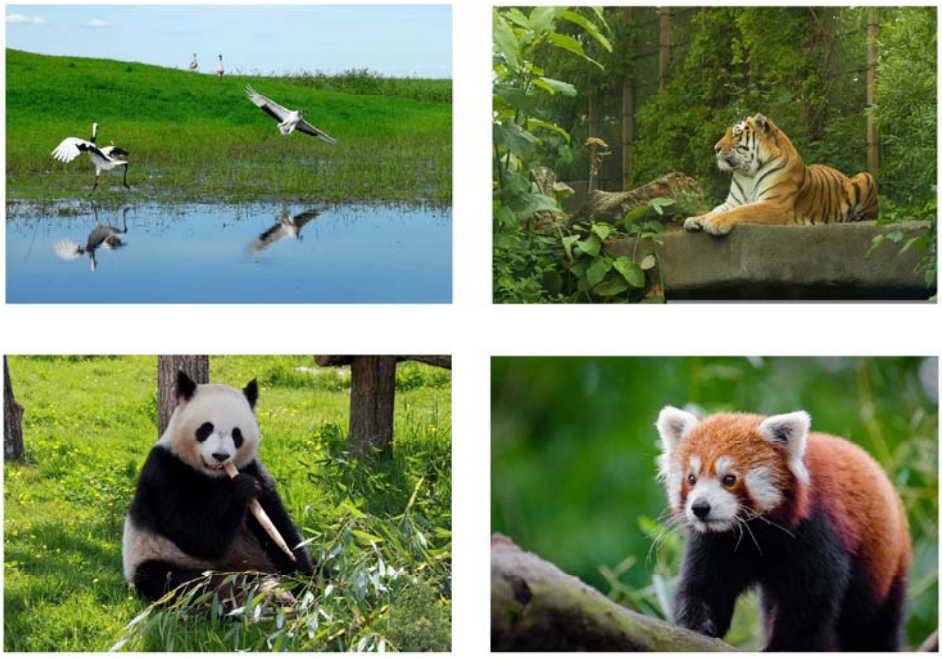


图 2-4　稀有物种

（2）森林锐减：森林可以调节气候、防风固沙、涵养水源、保持水土、净化空气，不仅为动物提供栖息场所，还为人类提供大量宝贵的资源。当森林遭到破坏后，这些作用就会全部消失。可惜的是，自有人类文明以来，过度采伐森林及自然灾害所造成的森林大量减少的现象从未中断过，其中热带雨林锐减尤为显著。森林锐减会直接导致生态危机。科学家们断言，假如森林从地球上消失，陆地上 90%的生物将灭绝，全球 90%的淡水将白白流入大海，生物固氮将减少 90%，生物释氧将减少 60%，许多地区的风速将增加 60%~80%，同时将伴生许多生态问题，人类将无法生存。

1985 年，联合国粮食及农业组织（FAO）制定了热带森林行动计划，要求与热带森林有密切关系的各国及国际组织讨论和制定森林规划，并加强林区发展机构间的合作，采取热带森林保护、再生和适当利用措施；1992 年 6 月，在巴西里约热内卢召开的联合国环境与发展大会通过了《关于森林问题的原则声明》和《21 世纪议程》，再次强调森林可持续发展对环境的重要性，要求各国立即采取具体行动，以缓解森林锐减问题。

（3）土地荒漠化：气候变化和人类不合理的生产活动等导致干旱、半干旱地区和具有干旱灾害的半湿润地区的土地发生退化，即土地荒漠化。在诸多的环境问题中，土地荒漠化是最为严重的问题之一，它会导致饥荒。我国是世界上土地荒漠化严重的国家之一，荒漠化面积大、分布广、类型多，形势十分严峻。截至 2019 年，我国荒漠化土地面积为 257.37 万 km^2，涉及北京、天津、河北等 18 个省市中的 528 个县区，沙化土地有 168.78 万 km^2 。

（4）淡水资源枯竭：淡水资源由江河及湖泊中的水、高山积雪、冰川及地下水等组成，地球上的淡水仅仅占总水量的 2.7%。全球现有 80 个国家水源不足，20 亿人的饮水得不到保障，12 亿人面临中度到高度缺水的压力，预计到 2025 年，形势还会进一步恶化。我国淡水资源总量约为 28 000 亿 m^3，占全球水资源的 6%，仅次于巴西、俄罗斯和加拿大，位列世界第 4 位，总量虽然丰富，但人均量却远低于世界平均水平，仅排在世界第 121 位。同时，我国水资源分布严重不均，大量淡水资源集中在南方，北方淡水资源仅为南方的 1/4。据统计，我国 600 多个城市中有一半以上城市不同程度地缺水，沿海城市也不例外，甚至更为严重。近 10 年来我国七大河流之一的淮河多次断流。根据卫星照片分析，全国数百个湖泊正在干涸，一些地方性的河流也在消失。

（5）海洋污染：海洋面积辽阔，储水量巨大，亿万年来一直接纳着从陆地流入的各种物质，保持着地球上最稳定的生态系统。可是，人类已经打破了这种平衡。人类的生产、生活活动产生的各种污染物损害了海洋生物资源，改变了海洋原来的状态，使海洋生态系统日益遭到破坏。尤其是近几十年来，随着各国工业的快速发展，海洋污染日趋加重，局部海域环境已经发生了很大改变，并在继续恶化。

海洋污染的污染源多、危害持续性强、扩散范围广，难以控制。海洋污染造成的海水浑浊严重影响海洋植物（浮游植物和海藻）的光合作用，从而影响海域的生产力，对海洋生物产生很大危害；重金属和有机物等有毒物质在海域中蓄积，并通过海洋生物的富集作用，对其他海洋生物及人体造成毒害；石油污染在海洋表面形成面积很大的油膜，阻止了空气中的 O_2 向海水中溶解，造成海水缺氧，从而危害海洋生物，并祸及海鸟和人类；好氧有机物污染引起的赤潮（海水富营养化的结果），造成海水缺氧，导致大量海洋生物死亡。（图 2-5）



图 2-5　海洋污染物祸及海洋生物

3）突发性环境污染事故频发

近几十年来，在极短的时间内因大量污染物排放，对环境造成严重污染和破坏的突发性环境污染事故频频发生，如核污染事故，剧毒农药和有害化学品的泄漏、扩散等，给人民的生命和财产造成了重大损失。不同于一般的环境污染，这种环境污染事故发生突然，扩散迅速，危害严重。根据事故发生的原因、主要污染物的性质及事故的表现形式等，可将突发性环境污染事故分为多种类型：有毒有害化学品、剧毒农药、放射性物质、原油及各种油制品等在生产、使用、贮存和运输过程中，因泄漏或非正常排放所引发的污染事故；易燃、易爆物质所引起的爆炸、火灾事故，如煤矿瓦斯、煤气、液化石油气、火药等使用不当造成的爆炸事故，有些垃圾、固体废物堆放或处置不当，也会发生爆炸事故；因操作不当或事故原因使大量高浓度废水排入地表水体中，致使水质突然恶化的污染事故。

突发性环境污染事故，往往会在很短的时间内导致局部地区生态的严重破坏，造成大量人员伤亡，带来重大的经济损失，引起社会恐慌。

2.1.3　绿色化学在环境保护中的作用

目前，环境问题愈发受到各国关注。如何有效利用资源已成为各国发展的重点。而在以往的化工生产中，往往存在原子利用率低、污水排放不当等诸多问题。而绿色化学通过合理利用自然资源，提高原子利用率，减少有毒物质的排放，从源头上实现

对环境污染的治理[3]。绿色化学期望通过化学原理，将反应物全部转化为目标产物，生产出不对环境和人体造成伤害的产品。绿色化学通过采用绿色实验，减小反应物与生成物的污染，加强原料的再利用，采用无毒无害且高效的催化剂等加强对环境的保护，目前前沿的技术有超临界流体、基因技术等[4]。

绿色化学可以有效处理环境中的水污染、大气污染以及固体废弃物污染等问题，相对于其他治理手段具有更大的优势。首先，绿色化学治理污染的效率更高，可以从源头快速处理水污染、空气污染等，既保住了效率也减小了污染影响范围，有效提升了污染治理质量。其次，相对于其他污染治理方式而言，绿色化学的应用成本更低，可以在使用较少资源的情况下对材料进行处理，降低其在使用过程中产生的污染，还可以对应用过的材料进行二次处理，实现对资源的重复利用。在技术应用过程中，绿色化学技术不容易受到技术设备的限制，可以有效避免治理污染期间可能产生的二次污染，对于治理污染效率的提升具有重要意义。最后，绿色化学这一技术更容易达到人们的污染处理要求，对于传统污染的处理具有极好的效果，可以快速在各行业中得到推广，促进技术应用的规范化发展，有利于保护生态环境。

建设绿色家园是人类的共同梦想，生态环境保护同每个人息息相关，实现人与自然和谐共生需要大家的共同努力。2021 年政府工作报告提出，加强污染防治和生态建设，持续改善生态环境质量，扎实做好碳达峰、碳中和各项工作，促进生产生活方式绿色转型，为我们描绘了蓝天、碧水、净土的美丽图景。（图 2-6）



图 2-6　绿色家园

2.2　绿色化学与大气污染

2.2.1　大气污染物的主要来源及种类

人为和自然因素导致某些物质进入大气中，当这些物质的浓度达到有害程度时，就会破坏大气生态系统和人类正常生存及发展的条件，这种现象就称为大气污染。

大气污染物分为一次污染物和二次污染物，前者是指从污染源直接排入大气，其形态没有发生变化的污染物，后者是指由污染源排出的一次污染物之间或一次污染物与大气中原有成分之间发生一系列化学或光化学反应而形成的新的污染物。

大气污染源于自然和人为因素，自然因素（如森林火灾、火山爆发等）造成的大气污染多为暂时的和局部的，而人为因素（如人类日常生活中向环境中排放污染物）是造成大气污染的主要根源。（图 2-7 和图 2-8）







图 2-7　人为因素造成的大气污染



图 2-8 自然因素造成的大气污染

（1）燃料燃烧。工矿企业和生活燃煤会产生大量的 CO（一氧化碳）、CO_2、SO_2 和颗粒物等，这些物质构成了大气污染物的主要成分。在人类的生态文明生活中，工业和科学技术的现代化发展，使燃料用量大幅度上升，从而造成大气的污染日趋严重[5]。

（2）工业生产过程。化工、石油炼制、钢铁、炼焦、水泥等很多类型的工业企业，在原料及产品运输、产品生产及粉碎等过程中，都会向大气中排放粉尘、碳氢化合物、含硫化合物、含氮化合物以及卤素化合物等各种污染物。

（3）农业生产过程。农业生产过程对大气的污染主要来自农药和化肥的使用。绝大多数农药是有机化合物，难溶于水，施用后会悬浮在水面，随同水一起蒸发而进入大气。化肥中的多数氮肥在施用后可直接从土壤表面挥发进入大气；进入土壤内的有机或无机氮肥，在土壤微生物的作用下可转化为 NO_x 进入大气。此外，稻田释放的 CH_4，也会对大气造成污染。

（4）交通运输。各种机动车辆、飞机、轮船等交通运输工具主要以燃油为动力，燃料燃烧可产生 CO_2、NO_x、SO_x 等污染物，直接排入大气，造成大气污染。在阳光照射下，有些还可经光化学反应生成光化学烟雾，产生二次污染物。

对烟尘、SO_2、NO_x 和 CO 四种主要污染物的跟踪分析表明，我国大气污染物主要来源于燃料燃烧，其次是工业生产过程与交通运输。

2.2.2　绿色化学在大气污染方面的应用

当前大气污染是我国环境污染中最主要的一种类型。当前我国需要治理的大气污染类型主要包括汽车尾气、工业生产废气以及生活废气等[6]。随着社会经济迅速发展，工业生产规模不断扩大，大气污染将越来越严重，为了及时制止这种情况，必须采取有力措施控制大气污染的产生，并且对已经产生的废气进行有效处理和转化。国内很多地区当前还在使用传统的废气处理技术，大量雾霾和酸雨由此产生，为了治理这种现象[7]，必须使用绿色化学技术进行废气处理。利用绿色化学零排放的特点，人们可以在日常的化学反应中实现对环境的零污染。

大气的主要污染物包括 SO_x、CO、NO_x、碳氢化合物等。SO_x、NO_x 是工业生产中常见的废气，在含量超标时，有可能导致酸雨和雾霾。因此，脱硫技术是绿色化学的重点之一。

绿色化学技术在大气污染治理中主要有以下三点具体措施。

第一，洁净煤技术。实现煤炭清洁高效利用一直是人们关注的重点[8]。其属于对污染的预防，是在煤炭开发与利用的所有环节中减少污染、提高利用率。国内洁净煤技术可用于制造煤气、合成油、甲醇等产品，极大地减少了 SO_2 的排放。由于我国是煤矿资源丰富、以煤为主要能源的国家之一，洁净煤技术的应用将极大地减少我国 SO_2 的排放量，进而能够有效减轻我国大气污染治理的压力。

洁净煤技术又称清洁煤技术（CCT），指在煤炭清洁利用过程中旨在减少污染排放与提高利用效率的燃烧、转化合成、污染控制、废物综合利用等先进技术。洁净煤技术是煤炭开采、加工、转化、燃烧及污染控制等一系列技术的总称，旨在减少污染物排放和提高利用效率，贯穿从开发到利用的全过程。作为完备的体系，洁净煤技术涵盖范围很广泛，既包括开采过程中的矿区污染控制技术和对煤层气、煤矸石的资源化利用技术，又包括煤炭利用过程中的环保技术。就煤炭利用过程中的环保技术而言，它大致划分为两类——煤直接清洁利用技术和煤转化为洁净燃料技术[9]。

煤直接清洁利用技术具体来说包括燃烧前的净化加工、燃烧中的清洁燃烧和燃烧后的烟气净化处理技术。燃烧前，对煤炭进行脱硫处理，除去或减少灰分、矸石、硫等杂质；在散煤中加入石灰固硫剂，将其加工成型，减少 SO_2 和烟尘排放。燃烧过

程中采用流化床燃烧技术和先进燃烧器技术。前者旨在降低燃烧温度，从而减少 NO_x 排放，通过向煤炭中添加石灰减少 SO_2 排放。后者通过改进锅炉、窑炉结构，减少 SO_2 和 NO_x 的排放。燃烧后，对尾气进一步做消烟除尘和脱硫脱氮处理，实现环境友好型排放。

煤转化为洁净燃料技术是在煤炭产业链的下游以煤为原料进行深度的化学加工，提高煤的利用效率，从而提升整个产业链的经济效益和可持续发展水平。煤转化为洁净燃料技术主要包括煤的气化、液化技术以及煤气化联合循环发电技术。煤的气化技术，是在常压或加压条件下，保持一定温度，通过气化剂与煤炭反应生成煤气，从而实现脱硫、除氮、排渣，大大提高洁净度。煤的液化技术则有间接液化和直接液化两种。前者是先实现煤气化，再把煤气液化，如煤制甲醇，可以替代汽油使用；后者是把煤直接转化成液体燃料，比如，直接加氢将煤转化成液体燃料，或煤炭与渣油混合成油煤浆，反应生成液体燃料。煤气化联合循环发电技术是指煤经过气化产生中低热值煤气，煤气经过净化后成为清洁的气体燃料，燃烧后驱动燃气轮机发电，并且利用高温粗煤气余热和烟气余热在废热锅炉内产生的高压过热蒸汽驱动蒸汽轮机发电。此项技术既提高了发电效率，又有很好的环保性能。

实例：甲醇是我国基础化工原料之一，它在我国的化学工业中有着非常广泛的用途。甲醇可以用来制造甲醛、乙酸、甲烷氯化物和甲胺等一系列有机物，这些有机产品可以被广泛地应用于塑料、合成纤维、合成橡胶、染料和涂料等行业。甲醇还是一种高效的液体燃料，具有较高的能量密度和可储存性，作为代替传统燃料的清洁能源，有助于减少对化石燃料的依赖和对环境的污染。

洁净煤技术的发展对治理大气污染和应对气候变化都具有重要的战略意义，对实现人类生态文明建设有重要作用。

第二，柴油加工绿色化。使用硫化物型催化剂对柴油进行脱硫，属于对污染的治理，例如加氢脱硫技术（HDS）、催化裂化技术、氧化脱硫技术等，改进的方法是研制金属氮化物；此外，利用合金新材料进行芳烃饱和来降低柴油中芳烃的含量是国内研究的热点，利用活性炭吸附剂脱硫是一种新兴的技术，具有低投资、高效率的优点，能够实现多种污染物同时脱除，而且可以将烟气中的硫进行资源化回收，这与烟气综合化处理的方向是一致的[10]，预计在未来会成为主流的柴油脱硫技术。

目前，活性炭的制备原料以煤炭和生物质为主，煤炭资源不可再生，而生物质资源丰富，价格低廉，具有可再生和低污染等特点，通过炭化、活化可以制备出具有较

发达孔隙结构和较大比表面积的生物质活性炭[11-12]。大豆秸秆中含有大量的氮元素，可以作为富氮前体，通过热解、活化得到表面有大量含氮官能团的活性炭[13]。而含氮官能团大部分都是碱性基团，对 SO_2 等酸性气体有良好的吸附能力，因此，有效提高活性炭材料中含氮官能团的数量，可以提高脱除 SO_2 的能力[14]。利用大豆秸秆制备活性炭既可以有效合理利用生物质，又可缓解以煤炭和木材制备活性炭造成的资源损耗，还可推动大气污染物 SO_2 脱除技术的发展，对提高活性炭的脱硫性能和生物质的经济价值具有重要意义[15]。

第三，煤炭生物脱硫技术。这种技术属于燃前脱硫技术，主要包括微生物浸出脱硫法和微生物表面处理脱硫法。微生物浸出脱硫法是一种常用的生物脱硫技术，利用微生物菌种的生命活动对煤炭进行脱硫处理，也属于对污染的治理。这种方法具有经济性良好、处理量大的特点。微生物表面处理脱硫法有着处理时间短的特点。能源问题和环境问题是关系到人类社会可持续发展的重要问题，随着经济的发展和社会的进步，人们对能源利用的清洁性和高效性越来越重视，对于煤炭脱硫技术的研究有着积极的现实意义。煤炭生物脱硫技术有着无可比拟的生态效益，其脱硫成本有着较大优势，因此其经济效益十分可观。虽然煤炭生物脱硫技术在应用的过程中还存在一定的问题，但其开发空间较大，应用前景良好。

2.3　绿色化学与水污染

2.3.1　水资源

地球表面上水的覆盖面积约占 3/4。水是宝贵的自然资源，是人类生活、动植物生长和工农业生产不可缺少的物质。水是一切生命体的组成物质，是生命发生、发育和繁衍的源泉。水是生物体新陈代谢的一种介质，生物体从外界环境中吸收养分，通过水将各种养分物质输送到机体的各个部分，又通过水将代谢产物排出机体之外，因此水是联系生物体的营养过程和代谢过程的纽带，水参与了一系列的生理生化反应，维持着生命的活力。水还对生物体起着散发热量、调节体温的作用。水是人体 中含量最多的一种物质，约占体重的 2/3[16]。(图 2-9)



图 2-9 水——生命之泉

生产和生活用水，基本上都是淡水。地球上淡水量仅占总水量的 2.7%。随着社会的发展和人们生活水平的提高，生产和生活用水量在不断上升。人类年用水量已达 4 万亿 m^3，全球有 60%的陆地面积淡水供应不足。联合国早在 1977 年就向全世界发出警告：水源不久将成为继石油危机之后的另一个更为严重的全球性危机。近年来多种渠道的报道都在告诫我们人类正面临水源危机。据估计，全球对水的需求，每 20 年将增加一倍，但水的供应却不会以这种速度增加。目前拥有世界人口 40%的约 80 个国家正面临水源不足，农业、工业和人民的健康受到威胁的局面。人类不但需水量大，且随着工农业的迅速发展和人口增长，排放的废污水量也急剧增加，使许多江、河、湖、水库，甚至地下水等都遭受不同程度的污染，使水质下降。而水质的优劣直接关系到工农业生产能否正常进行，关系到水生生物能否生长，更关系到人体健康与否，因此，水质的优劣极为重要。

天然水是成分复杂的流体。一般来说，天然水中所含的多种杂质大致可归纳为三类：悬浮物、胶体及溶解物质。溶解物质大致呈离子状态，也包含一些溶解的气体。实际上，人类在各项生活、生产活动过程中都要消耗大量的淡水，且随着生产的发展和物质生活水平的提高，淡水消耗量和废污水排放量都在日益增长，这更加剧了淡水的供需矛盾。如何更有效地利用现有的淡水，防止水源污染和进一步扩大淡水水源，已经成为一个世界性的亟待解决的社会问题[17]。

1）雨水

雨水是天然的蒸馏水，但它仍含有 O_2、N_2、CO 和尘埃等。

SO_2 和 CO_2 在大气中的含量虽然不大，但由于它们在水中的溶解度比大气的主要成分 O_2 和 N_2 的溶解度大许多，所以当大气中这些气体污染程度大时，常使大气降水的水质受到很大影响。例如，通过含高浓度 SO_2 大气的雨水的 pH 值降到 4.4~5.5，因为酸雨的酸碱度缓冲性很小，所以只要水中溶解有少量酸性物质，便会使水具有较强的酸性。

大气降水中还有一些会因地区不同而变化的组分，如近海地区的降水中含有硫酸根，在接近居民区和工业中心地区的降水中还含有硫化氢（H_2S）、硫酸、烟气等。雨水由于收集困难，所以很少作为工业用水的水源。

2）地下水

地下水主要是由雨水和地表水渗入地下而形成的。（图 2-10）

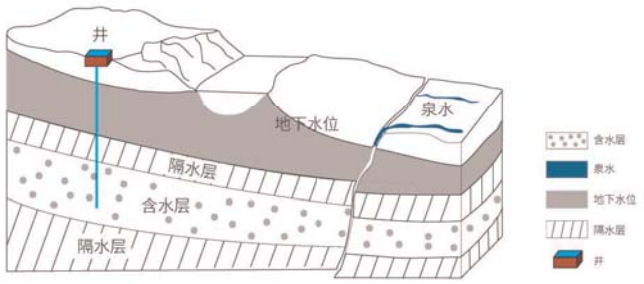


图 2-10　地下水示意图

地下水常因流经不同的地质构层而溶入了各种可溶性矿物质，如钙、镁、铁的硫酸盐及碳酸氢盐等，其含量的多少取决于其流经的地质中矿物质的成分、接触的时间和流过的距离等，其含盐量一般为 100~5 000 mg · dm^{-3}。一般来说，地下水硬度较大，为 2~10 mmol · dm^{-3}，也有高达 10~25 mmol · dm^{-3}，甚至更高的。但由于水在含水层中流过时，地质层起了过滤的作用，所以它是比较清澈透明的，很少含有悬浮物和细菌，因此略经处理后即可作为生活用水及要求不高的工业用水。

3）地表水

当降水到达地面后，它与地面上动植物、土壤、岩石等相接触，会发生一系列物理和化学作用，从而使水中杂质量大为增加，而且，由于各地区的地理条件、地质组

分和生活活动等情况不同，当水与这些环境接触之后，就会形成各种类型的天然水。地表水（如江水、河水、湖水）中常含有黏土、砂、水草、腐殖质、溶解性气体、钙镁盐类及细菌等。其中含杂质的情况由于所处的自然条件不同及受外界因素影响不同而有很大的差别。特别是我国幅员辽阔，河流纵横，不同的河流所含杂质是很不相同的，即使是同一条河流，所含杂质也常因上游和下游、夏季和冬季、雨天和晴天而不同。我国江河水的含盐量通常为 70~990 $mg \cdot dm^{-3}$，硬度为 1.0~8.0 $mmol \cdot dm^{-3}$，与其他国家相比，算是较低的。我国东部江河水的含盐量和硬度从南向北逐渐增加，而东北松花江流域地面水的含盐量和硬度又较低。

我国河水浑浊度因地区不同而相差很大。华东、中南和西南地区因土质、气候条件较好，草木丛生，水土流失较少，河水浑浊度低，悬浮物年平均浓度在 100~400 $mg \cdot dm^{-3}$ 之间。而华北和西北地区（特别是黄土地区）的河流，则浑浊度高，且随季节变化的幅度也大，其中突出的是黄河，冬季河水悬浮物浓度只有每立方分米几十毫克，夏季悬浮物浓度可达每立方分米几万毫克，遇洪峰时甚至可达每立方分米几十万毫克。大多数湖水不流动，这对沉降悬浮物有利，所以其浑浊度较小，且因季节的不同而引起的水质变化也较小。在不与江河相连的闭塞湖中，湖水连续蒸发能引起盐类积聚，致使湖水含盐量增加，甚至成为盐湖。我国的青海湖就是盐湖。夏季，藻类迅速繁殖，大量原生生物生长，使湖水带色，当藻类死亡时，有机物分解产物增加，致使湖水中产生 H_2S 等有害物质。

4）海水

海水是一种阴离子和阳离子的浓度大约为 1.1 $mol \cdot dm^{-3}$ 的溶液，海水的 pH 值为 7.5~8.4。海水中含有不同数量的无机和有机悬浮物、藻类及微生物，所以它是一个具有复杂组成的液体体系。海水中所含的溶解盐类（总溶解固体浓度约为 34 500 $mg \cdot dm^{-3}$）足以使它在 20 ℃时的密度达到 1.024 3 $g \cdot cm^{-3}$，与纯水比起来，这是相当大了。

海水占地球总水量的 97%以上。其含盐量极高，必须进行淡化后才能作为工业用水。同时，海水又是化学工业极重要的原料来源。

2.3.2 水污染的来源

水污染主要指由于人类的各种活动排放的污染物进入河流、湖泊、海洋或地下水

等水体中，使水和水体的物理、化学性质发生变化而降低了水体的使用价值。水污染会严重危害人体健康。据世界卫生组织报道，全世界 75%左右的疾病与水有关。常见的伤寒、霍乱、胃炎、痢疾和传染性肝炎等疾病的发生与传播都和直接饮用受污染的水有关。（图 2-11）



图 2-11　水污染

水污染有两类，一类是自然污染，另一类是人为污染，而后者是主要的。自然污染是主要由自然因素造成的污染，如特殊地质条件使某些或某种化学元素大量富集，天然植物在腐烂过程中产生某种毒物，以及降雨淋洗大气和地面后挟带各种物质流入水体，都会影响一个地区的水质。人为污染是人类生活和生产活动中产生的废污水对水体的污染，包括生活污水、工业废水、农田排水和矿山排水等。此外，废渣和垃圾倾倒在水中或岸边，或堆积在土地上，经降雨淋洗流入水体，也会造成污染。（图 2-12）

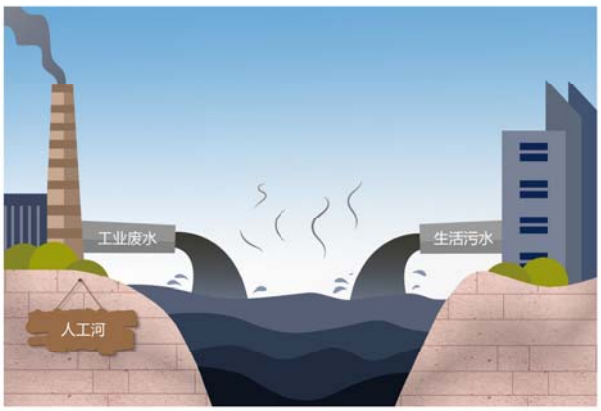


图 2-12　工业废水污染水资源

水体中污染物的种类很多，一般包括无机污染物、有毒有机物、重金属、石油类污染物、植物营养物、需氧污染物、致病微生物、放射性物质、热污染等。

（1）无机污染物。无机污染物包括无机无毒物和无机有毒物，主要为各种酸、碱、盐等，尤其是含氰、砷、镉、汞的化合物，主要来自工农业生产中所排放的废水及酸性气体。过量的无机污染物进入各种水体后会改变水的 pH 值，影响微生物的正常生长，破坏水体的生态平衡。砷、汞等毒性污染物还能在水生生物体内蓄积，通过食物链危害人体健康。

实例：在欧洲曾经发生过这样一件事：有一家镀锌厂的经理选择了一个幽静的地方给他的老父亲盖了一幢别墅。说来奇怪，没过几年，住在这别墅里的人都得了一种怪病。他们关节变形，肌肉萎缩，骨骼疼痛难忍，常常发生自然骨折。接着一个个都在凄惨的叫痛声中死去。开始还以为有人下毒，请来法医鉴别。经过尸体解剖，发现死者身上有几十处骨折。法医判定这是一种典型的重金属镉中毒症状，是由于长期摄入金属镉所致。可是附近又没有工厂，哪有什么镉污染呢？经过一番调查才知道，这个别墅的地点正是 300 年前一个锌矿的所在地。当年炼锌时，只取走了锌，而把大量与锌共生的镉留了下来。镉慢慢地污染了地下水，人若饮用了这种含镉的水，镉在人体内的积聚作用会导致人的肾功能障碍，钙的代谢损害，骨质损伤。这和日本富山县的“骨痛病”的症状完全一样。

（2）致病微生物。致病微生物主要来自畜禽养殖场、食品企业和制革企业排出的废水，以及生活污水等，含有各种细菌、病毒和寄生虫，进入水体后常会引起各种传染病。

（3）植物营养物。植物营养物是指含氮（N）、磷（P）、硫（S）、钾（K）等营养元素的物质，它们能够大大促进植物生长，但是过多的营养物质进入天然水体，特别是在湖泊、水库、河口、海湾等水流缓慢的水域区，营养物停留时间长，使得藻类及其他浮游生物迅速繁殖，从而大量消耗水中的溶解氧，造成水体严重缺氧，以致水下的鱼类和其他生物大量死亡与腐烂，并使水质不断恶化。这种由于营养物过多而使藻类和浮游生物大量生长的现象，称为水体的富营养化。它也是水体遭受污染的一种严重形式。

植物营养物主要来自农田施肥、农业废弃物、生活污水以及食品、化肥工业所排出的废水，主要污染物有硝酸盐、亚硝酸盐、铵盐和磷酸盐等。其中，N、P 等元素在水中大量积累会造成水体富营养化，使藻类大量繁殖，导致水质恶化。

（4）需氧污染物。需氧污染物主要来自生活污水，畜禽养殖、屠宰和加工业废水，以及食品、制革、造纸、印染等工业废水，主要成分包括碳水化合物、蛋白质、油脂、木质素、纤维素等。它们在水体中经微生物的作用而降解，其过程需要消耗大量的溶解氧，并产生 H_2S、NH_3（氨气）等气体，使水质恶化。

（5）有毒有机物。有毒有机物绝大多数属于人工合成的有机物质，如滴滴涕（DDT）、六六六等有机氯农药，醛、酮、酚，多卤联苯，芳香族氨基化合物，染料等，其中有机氯化合物和稠环有机化合物危害极大，它们主要来自石化工业生产所排出的废水。

有毒有机物的性质大多比较稳定，不易被氧化、水解，也难于生化分解，可长期存在于水体之中，并在水生生物体内蓄积，如通过水体中生物食物链的富集作用，多氯联苯在鱼类体内的浓度可累积到几万甚至几十万倍，通过食物进入人体后会引起皮肤、神经、肝脏等方面的疾病，破坏钙代谢，损坏骨骼、牙齿。长期饮用受酚类物质污染的水源，可引起头昏、出疹、瘙痒、贫血和各种神经系统疾病。进入人体的稠环芳烃还具有慢性致癌和致遗传变异的潜在危险。

（6）石油类污染物。近年来石油对水体的污染也十分严重，特别是在海湾及近海水域。石油类污染物主要是各种烃类化合物，如烷烃、环烷烃、芳香烃等。在石油的开采、炼制、贮运、使用过程中，原油和各种石油制品进入环境而造成污染，其中包括通过河流排入海洋的废油、船舶排放和事故溢油、海底油田泄漏和井喷事故等等。当前，石油对海洋的污染已成为世界性的环境问题。1991 年发生的海湾战争，人为地使大量原油从科威特的艾哈迈迪油港流入波斯湾，这是最大的一次石油污染海洋事件，它带来难以估量的恶果。

在石油开采、储运、炼制和使用过程中排出的废油和含油废水，以及石油化工、机械制造行业排放的含油废水等进入海洋等水域后，对水体质量有很大影响，这不仅是因为石油中的各种成分都有一定的毒性，还因为它具有破坏生物正常的生活环境、造成生物机能障碍的物理作用。油比水轻且不溶于水，因此这些油类污染物进入水体后会在水面形成油膜，使大气与水体隔绝，破坏正常的复氧条件，从而降低水体的自净能力。同时，油膜会阻碍水的蒸发，影响大气和水体的热交换，改变水面的光反射率，减少进入水体表层的日光辐射，对局部地区的水文气象产生一定的影响，还会严重危害水生生物，降低水产品的食用价值，给渔业带来较大危害。此外，油膜会降低海滨环境的使用价值，破坏海岸设施。如油膜会堵塞鱼的鳃部，使鱼呼吸困难，甚至

引起鱼类死亡。若以含油的污水灌田，也会因油膜黏附在农作物上而使其枯死。

（7）重金属。重金属主要来自各类有色金属的开采和冶炼过程以及化工、农药、医药等工业产生的废水，主要包括汞、镉、铬、铅等。重金属在水体中较稳定，可通过沉淀、络合、吸附和氧化还原等作用在各种形态之间发生相互转化，并在水生生物体内及底泥中发生富集。重金属不能被微生物降解，通过食物链进入人体后会与蛋白质和酶等生物大分子发生相互作用，使它们失去活性，也可能累积在人体的某些器官中，造成慢性中毒。

（8）放射性物质。铀等放射性矿物在开采、提炼、纯化、浓缩过程产生的废水，磷矿石（含有少量铀和钍），核电站泄漏及核武器试验等都可能产生放射性污染。其中，水体中最危险的放射性物质有锶-90、铯-132 等，这些物质的半衰期长，化学性质与人体中的钙和钾相似，经水和食物进入人体后，会在一定部位积累，引起遗传变异或癌症。

（9）热污染。热污染主要来源于工矿企业向水体中排放的冷却水，其中以电力工业企业为主，其次是冶金、化工、石油、造纸、建材和机械等工业的企业。热污染使水体温度升高，加快水体中的化学反应速度，使有毒物质对生物的毒性增强。此外，水温升高一方面会降低一些水生生物的繁殖率，另一方面又会使一些藻类繁殖增快，加速水体的富营养化，破坏水体的生态平衡，降低水体的使用价值。（图 2-13）



图 2-13　热污染

2.3.3　绿色化学在水污染方面的应用

要避免水体污染，首先应在污染源头上采取预防措施，减少乃至禁止含污染物的废水进入水体。工业企业要不断提高生产技术和管理水平，积极开发和应用绿色工艺，采用循环用水系统，提高工业用水的复用率，减少工业废水的排放量；同时要加强污染源的监测和管理，不断提高废水处理的技术装备水平，严格按照工业废水的排放标准排放工业废水，生活污水与工业废水应分别进行收集，并分别进行集中处理，以防止产生新的污染。

水绝不是“取之不尽，用之不竭”的资源，各级政府应采用多种形式，加强大众科普宣传和教育，增强全民节约水资源、保护水资源的意识，使广大民众自觉保护水资源。

在工业生产、化学实验、城市居民生活、农业生产过程中会产生大量的对环境有害的污水，绿色化学技术作为一种高效率、低能耗的技术可以有效降解或滤除污水中的污染物，避免将污染物排放到外界河流等区域[6]。

绿色化学技术治理水污染的效果良好，绿色化学技术在水污染治理中主要有以下三点具体措施。

第一，零排污水处理技术。此技术主要用于处理工业废水和城市生活废水，通过在始端、中间、终端三个过程中进行绿色化学控制，最终能够实现“零排放”。例如循环冷却水零排污技术、热水锅炉零排污技术、蒸汽锅炉零排污技术、机械蒸汽再压缩循环蒸发技术等，能够循环利用液体形态转化的热能，通过水汽蒸发实现污染物的分离，有效地处理水污染，实现低排放甚至零排放。

第二，实验室废水处理技术。绿色化学技术能够通过有效手段将实验室废水中的有毒有害物质分离出来，利用一系列化学反应将其转化为无害物质，达到排放标准。为了应对实验室废水的多样性，绿色化学技术开发了多种净水方法，例如混凝沉淀法、半透膜法、反渗透法等，在实践中会针对废水的具体组成选择合适的处理方法。

第三，分离技术。工业废水中蕴含着大量危害河流水质的污染性物质，如重金属、酸碱盐或者放射性物质，这些物质融入河流，对植被、周边居民以及水中生物存在极大的危害。通过绿色化学技术可以将工业废水中的污染性物质分离出来，在实现

资源二次利用的同时也可以降低废水对环境的污染。传统的污染治理技术研究水平较低，难以高质量地提炼出废水中的污染性物质，或者处理过程需要消耗大量的资金，导致企业难以负担治理成本，这也导致企业往往为了经济效益而忽略对污水的治理工作。随着绿色化学技术研究的不断深入，当前处理工业废水的技术研究已经取得一定成效。一方面，企业可以使用更加清洁环保的材料取代以往的高污染性材料，降低工业废水的产出数量和治理难度，降低污染治理成本。另一方面，企业可以通过绿色化学技术研究的相关材料或设备更快地实现对重金属、酸碱盐或者放射性物质的处理，在提升资源利用率的同时降低对环境的污染。绿色化学技术可以实现对废水中污染物的高效滤除，也可以通过反应将其中的资源分离出来进行二次利用，还可以通过其他技术手段提升应用效果[2]。

实例：大多数国家对生活饮用水采用氯气(Cl_2)消毒。氯气在溶水后的几秒钟内可生成次氯酸，次氯酸由于分子体积小，不带电荷，易穿透细胞壁，具有较强的氧化作用，可使细菌发生致死性损害而成为很好的消毒杀菌试剂。同时次氯酸可损坏细胞膜，使蛋白质、核糖核酸（RNA）、脱氧核糖核酸（DNA）等物质释出，并影响多酶系统，氧化破坏磷酸葡萄糖脱氢酶。自 1974 年以来人们逐渐认识到在氯化消毒后的饮用水中，几乎普遍存在卤代烃类物质。据上海地区检测，饮水中有 70 多种氯代有机物，其中 90% 为氯仿。四氯化碳、氯仿均有致癌作用。有机物严重污染的水经氯化消毒后，往往具有致癌突变作用。在不久的将来，世界环保组织将全面禁止在自来水中加氯[18]。目前欧美发达国家正采用二氧化氯来处理饮用水，二氧化氯常温下呈黄绿色，有与氯气相似的刺激性气味，氧化能力是氯气的 2.63 倍。同时，在造纸行业，过氧化氢和臭氧已逐渐取代氯气。日本也在缺水地区用臭氧处理污水后用作非饮用水（中水）而循环使用。我国目前瓶装饮用水普遍采用臭氧杀菌净化。游泳池过去消毒加氯气，时下用臭氧消毒已很普遍，其处理效果已被公认。我国的亚运村英东游泳馆和广州天河游泳馆也采用臭氧消毒，池水清澈透明，彻底解决了氯气消毒刺激眼睛、皮肤并使头发变黄的难题。

2.4　绿色化学与固体废弃物污染

2.4.1　固体废弃物

固体废弃物污染是现阶段环境治理的主要问题之一，依据《中华人民共和国固体废物污染环境防治法》（简称《固体废物污染环境防治法》），固体废弃物即固体废物，俗称垃圾，是指“在人类生产、生活和其他活动中产生的丧失原有利用价值或虽未丧失利用价值但被抛弃或放弃的固态、半固态和置于容器中的气态物品、物质以及法律、行政法规规定纳入固体废物管理的物品、物质”，可以分为生活固体废弃物、工业固体废弃物以及高危固体废弃物三种[19]。目前，人们已逐渐意识到固体废弃物是可开发的“再生资源”，认为固体废弃物是被放错了地点的资源。如果不能切实有效地解决固体废弃物的污染问题，人们的生存环境将会越来越恶化，危及人们的生命安全。所以，我们一定要高度重视固体废弃物污染，并积极提出具体治理办法和措施，以改善国民的生存环境[20]。（图 2-14）



图 2-14　固体废弃物

2.4.2 固体废弃物对环境的污染

固体废弃物的来源非常广泛，但主要来源于人类的生产和消费活动。在人类的日常生产和消费活动中会产生各种各样的固体废物，如冶金矿渣、电厂粉煤灰、化工废料，以及日常生活垃圾、电子垃圾、建筑垃圾、矿山垃圾等。

固体废弃物污染现状分为以下几方面。

1）水污染现状

世界上一些国家把未经安全处置的固体废弃物直接倾倒于溪流、江海湖泊之中。虽然我国陆续出台了一些关于固体废弃物安全处置的法规，但依然有很多地方存在倾倒固体废弃物至溪流、江海湖泊之中的违法违规现象。所造成的直接危害是这些被倾倒的固体废弃物中的有毒物质逐渐污染溪流、江海湖泊，导致水源中大量动植物死亡；长远危害则是与人们生活息息相关的水源被大面积污染，严重危及人们的生命安全[21]。（图 2-15）



图 2-15 固体废弃物直接倾倒于河流中

2）土壤污染现状

现阶段国内城镇化建设高速发展，可种植农作物的土地显得尤为珍贵。但有部分未经安全处置的固体废弃物被掩埋在土壤中，其中的毒性物质会逐渐改变土壤营养及结构，直接造成重金属污染。从这样的土壤中种植出来的农作物，一旦作为食物被人体吸收，将会严重损害人们的身体健康以及生命安全。（图 2-16）



图 2-16　土壤污染

3）大气污染现状

国内一些中小型化工企业以及私营作坊主不能严格遵守《固体废物污染环境防治法》的规定，任意堆放不经安全处置的固体废弃物，导致这些固体废弃物裸露在空气中，经过长时间的温度和湿度作用，最终形成了有毒气体，严重污染大气层。还有一些可漂浮扩散的粉末类固体废弃物，不间断地传播、发散出去，也是目前雾霾形成的原因之一。长此以往，固体废弃物对动植物以及建筑都会有所腐蚀侵害，并严重影响空气质量和人们的生存环境[22]。（图 2-17）



图 2-17　雾霾

4） 城市生活垃圾现状

随着国内人民生活水平的不断提升，产生了大量的生活垃圾。我国又是国际上最大的塑料生产和消费国家之一。很多生活日用品包装袋以及餐饮行业使用的塑料餐具等，在使用后被大量丢弃在城市露天角落中，甚至是城市水体中以及游玩景区中。这些固体废弃物没有经过专门的处置和安放，不但影响了城市的市容，而且由于其不能够被降解，最终会导致生态环境日趋恶化，其造成的污染被称为“白色污染”。对白色污染物的处理方法有很多，其中燃烧法、熔融法和降解法都已实现了工业化的生产。这些方法对环境还是会产生污染，因此开发绿色化学产品——可生物降解塑料则是人们追求的目标[23]。（图 2-18）



图 2-18 白色污染

世界上每年产生的垃圾大部分来自西方经济发达国家，其中美国是产生垃圾最多的国家。西方发达国家往往打着可重复利用物资的幌子，向发展中国家倾销有害废料。例如，每年有数百万只废弃汽车电池从欧洲、北美洲出口到巴西、菲律宾等地，当地的回收加工厂仅靠一些简陋的设备对其中的铅重新熔炼回收，工人的健康和生态环境都受到严重损害。出售的所谓金属，实际上掺杂着许多废弃物，其中的有效成分含量很低。

堆放的垃圾若不及时清除，必然污染空气，损害环境，且会滋生蚊蝇等害虫，危害人体健康。垃圾对土壤、水体和大气均会造成严重的污染。垃圾中的化学污染物和生物病原体（如致病菌和寄生虫）会污染农田和土壤。人食用受污染土壤上生长的蔬菜、瓜果等就会感染肠道传染病、寄生虫病等疾病。垃圾经过雨水淋沥，流入河流或

渗入地下，将使地表水和地下水受到污染。若将垃圾直接倒入河、湖、海，会使水面到处漂浮着塑料制品、废瓶和杂物等，不仅有碍观瞻，还会导致生态平衡被破坏。垃圾中有机物的腐败分解产生恶臭，细颗粒随风飘扬，会污染大气和环境；而焚烧处理时的烟尘也会污染大气。因此，对垃圾不做及时的、正确的处理，会严重污染环境。随着自然资源的不断开发和利用、人口的增长以及人均消费水平的提高，世界各国的垃圾以高于其经济增长速度 2~3 倍的平均速度增长，垃圾已成为人类日常生活中越来越严重的环境问题，对生态文明建设有着严重的影响。

2.4.3　绿色化学在固体废弃物污染方面的应用

在经济迅猛发展的背景下，人们的生活水平日益提升，伴随而来的是越来越多的垃圾污染物。当前常见的固体垃圾污染主要包括城市垃圾污染、白色污染以及矿山污染等。

国内目前处理城市垃圾主要采用两种方法，一是填埋，二是焚烧，这两种方法都不能做到完全无害化处理，只能做到部分无害化。填埋处理是通过挖坑将部分可以降解的垃圾填入地下，通过土壤中微生物的长期处理达到降解的目的，这一处理方式周期极长、资金投入多而且无法处理全部类型的垃圾，其处理效果相对较差。焚烧处理则是将城市生活产生的垃圾聚集起来，统一点燃焚烧，这种方法处理垃圾的效率极高，但是过程中会产生大量的有毒有害气体，会对环境产生严重的污染，违背了治理环境污染的初衷，后续反而需要消耗更多的资源对所造成的空气污染进行治理。环境治理工作人员可以通过绿色化学技术对城市垃圾进行处理，常用的有电离气化技术。通过这一技术可以在低成本消耗的情况下实现对垃圾的绿色环保处理，避免在过程中产生二次污染问题。

固体废弃物电离气化技术可以彻底处理各种含大量有机质的废弃物，如医疗废弃物，化工、制药行业生产的有毒有机物，废塑料，废轮胎，废汽车垃圾，污水污泥等，可以处理含水率高达 55%的垃圾。对有害废弃物，特别是医疗、化工、制药废弃物中的有毒物质，其净化率达 100%。由于高温、缺氧，不产生二噁英，产生的废气中含 SO_2 、H_2S、NO_x 极少，废气总量仅相当于常规焚化炉的 1/10 ~ 1/8 ，易于彻底处理。非有机物被熔化，只产生少量固态熔渣，因此完全没有二次污染。最终产物为燃料气，可进行再利用[24]。

实例：利用固体废弃物电离气化技术处理 1 kg 垃圾，耗电量为 0.54 kW · h，其产生的可燃气体，如用于发电，其发电量为 1.03 kW · h，超过耗电量一倍，可抵消运行费用；造价比常规焚化炉还低 20% ~ 50%，占地面积省一半，建设周期短。因此，固体废弃物电离气化技术是代替焚化炉的既先进又经济的废弃物处理技术。

白色污染物是城市垃圾中的一种重要类型，是一次性使用后没有经过科学收集与处理的一切塑料废弃物，主要有塑料袋、餐盒、农用地膜等一次性废弃材料，这类污染物在土壤中自然降解的速度极慢，大量堆积后会严重污染环境，甚至对周边动物的健康成长产生严重威胁。通过焚烧法可以对塑料袋等白色污染物进行快速处理，但是过程中会产生大量污染空气的物质。针对白色污染问题，可以通过绿色化学技术研究容易降解的环保塑料袋、餐盒或者利用纸盒、纸袋取代塑料制品，也可以通过技术研究获取可以快速降解塑料的绿色化学产品，提升白色污染的治理效率。（图 2-19）



图 2-19　可降解的塑料袋

2020 年 1 月 16 日，国家发展和改革委员会（简称国家发展改革委）、生态环境部印发《关于进一步加强塑料污染治理的意见》（以下简称《意见》），被称为“史上最强限塑令”。《意见》规定，“到 2020 年底，全国范围餐饮行业禁止使用不可降解一次性塑料吸管”。这一条规定又被业内称为“禁管令”。

半年后，在《意见》基础上，2020 年 7 月 10 日，国家发展改革委、生态环境部、工业和信息化部等九部门联合印发《关于扎实推进塑料污染治理工作的通知》（以下简称《通知》），要求各地结合实际，明确餐饮行业禁限塑的具体监管部门并加强监督管理，引导督促相关企业做好产品替代并按照《意见》规定期限停止使用一次性塑料吸管和一次性塑料餐具。

实例：餐饮行业掀起了轰轰烈烈的“减塑运动”，将塑料吸管更换为纸质吸管、将塑料包装袋换成纸袋，并开始使用木质的勺子、刀叉。我国许多快餐店，如麦当劳、星巴克、食其家、华莱士等，都把塑料吸管更换成可降解的纸质吸管，把外卖塑料袋更换成可降解的环保塑料袋，这样有利于环境保护。

矿山废弃物主要是矿山开采过程中产生的大量废矿堆积物，例如无用的尾矿以及矿石等，对环境产生了较大的污染，这些废弃物相对而言具有一定的价值，可以将其作为资源进行再次利用。例如，石矿采掘过程中产生的碎石可以用于铺路或工程建设。金矿等一些矿山在生产过程中会产生较多的污染物质，技术人员可对其进行技术优化，选择更环保的绿色化学技术，如无氰化金矿处理技术等，使其产生污染物的概率和数量达到环保标准的要求。

参考文献

[1] 陈景文，唐亚文. 化学与社会[M]. 南京：南京大学出版社，2014.

[2] 尚慧慧. 环境污染治理中绿色化学技术的应用[J]. 化工设计通讯，2019，45（9）：236，238.

[3] 陈秀敏. 浅谈环境污染治理中绿色化学技术的应用[J]. 智能城市，2016，2（7）：300.

[4] 丛丽娜. 绿色化学在环境保护中的作用探讨[J]. 环境保护与循环经济，2014，34（6）：41-43.

[5] 唐有祺，王夔 . 化学与社会[M]. 北京：高等教育出版社，1997.

[6] 吕雅楠. 绿色化学技术在环境污染治理与保护中的应用[J]. 化工设计通讯，2020，46（11）：39-40.

[7] 王建东. 环境污染治理中绿色化学技术的应用探究[J]. 世界有色金属，2019（10）：270，272.

[8] 王显政. 能源革命和经济发展新常态下中国煤炭工业发展的战略思考[J]. 中国煤炭，2015（4）：5-8.

[9] 林晓晖，张保淑. 洁净煤技术开辟黑色能源绿色发展之路[N]. 中国矿业报，2018-08-21（3）.

[10] 张本镔，刘运权，叶跃元. 活性炭制备及其活化机理研究进展[J]. 现代化工，2014，34（3）: 34-39.

[11] IOANNIDOU O，ZABANIOTOU A. Agricultural residues as precursors for activated carbon production—a review[J]. Renewable & sustainable energy reviews，2007，11（9）: 1966-2005.

[12] 李艳鹰. 生物质活性炭负载零价铁纳米晶簇直接催化还原 NO[J]. 化工学报，2019，70（3）: 1111-1119.

[13] 郭晓娜. 氮掺杂活性炭材料的制备及性能研究[D]. 贵阳：贵州大学，2016.

[14] 王维竹，刘勇军，范武波，等. 活性炭纤维改性表面官能团脱硫作用[J]. 化工新型材料，2014，42（4）: 182-184.

[15] 杨丽娟. 生物质活性炭的制备及应用发展研究[J]. 黑龙江科学，2018，9（18）: 44-45.

[16] 钟平，余小春. 化学与人类[M]. 杭州：浙江大学出版社，2005.

[17] 吴旦. 化学与现代社会[M]. 北京：科学出版社，2002.

[18] 张凤莲. 环境保护的新理念——绿色化学[J]. 阴山学刊（自然科学版），2003（2）: 10-12.

[19] 郎文博，张家铜. 我国固体废弃物污染的现状及治理[J]. 山东工业技术，2019（6）: 60.

[20] 谭文博. 浅谈我国固体废弃物污染的现状及治理[J]. 资源节约与环保，2019（7）: 84.

[21] 沈才萍. 我国固体废物处理的现状与发展对策[J]. 建筑工程技术与设计，2018，14（18）: 5066.

[22] 孙跃跃，汪云甲. 农村固体废弃物处理现状及对策分析[J]. 农业环境与发展，2007，24（4）: 88-90.

[23] 刘斌. 绿色化学技术在环境污染治理中的应用[J]. 广州化工，2009，37（8）:

185-187.

[24] 蒋悦. 绿色技术及其在垃圾处理中的应用[J]. 成都纺织高等专科学校学报，2006，23（4）: 31-33.