

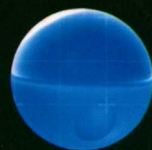
# 环境工程学

HUANJIINGGONGCHENGXUE

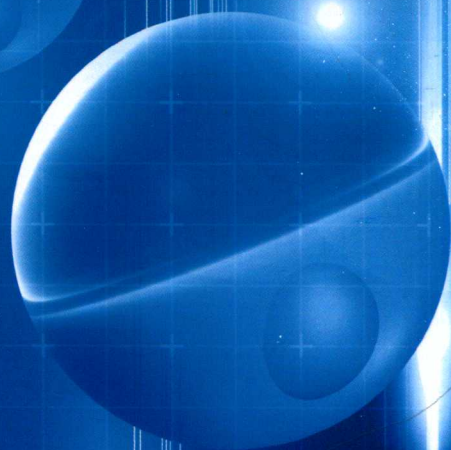
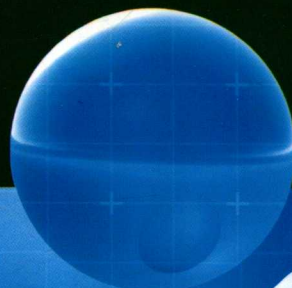
高等学校“十二五”规划教材



市政与环境工程系列丛书



主编 高大文 梁 红



非外借



哈尔滨工业大学出版社

高等学校“十二五”规划教材  
市政与环境工程系列丛书

# 环境工程学

主编 高大文 梁 红

哈尔滨工业大学出版社

## 内 容 简 介

本书在系统阐述了环境工程的基础理论外,重点介绍了大气污染控制工程,水污染控制工程,固体废物的处理、处置及其利用和物理性污染控制工程,用有限的篇幅尽可能全面地反映环境工程学的基本内容,使读者在短时间内对环境工程有概括性的了解。

本书可作为高等院校环境类专业工科、理科本科生教材,也可作为从事环境科学与工程领域及相关专业的技术和管理人员提供参考。

## 图书在版编目(CIP)数据

环境工程学/高大文,梁红主编. —哈尔滨:哈

尔滨工业大学出版社,2017.7

ISBN 978-7-5603-5718-8

I. ①环… II. ①高… ②梁… III. ①环境工程学  
IV. ①X5

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 274526 号

策划编辑 贾学斌 王桂芝

责任编辑 郭 然

出版发行 哈尔滨工业大学出版社

社 址 哈尔滨市南岗区复华四道街 10 号 邮编 150006

传 真 0451-86414749

网 址 <http://hitpress.hit.edu.cn>

印 刷 哈尔滨久利印刷有限公司

开 本 787mm×1092mm 1/16 印张 19.75 字数 502 千字

版 次 2017 年 7 月第 1 版 2017 年 7 月第 1 次印刷

书 号 ISBN 978-7-5603-5718-8

定 价 45.00 元

---

(如因印装质量问题影响阅读,我社负责调换)

# 前 言

环境工程学是高等院校环境类各有关专业的必修课程,主要研究运用工程技术措施治理环境污染,以改善环境质量等问题。10多年来,环境质量虽然得到了改善,但环境污染问题依然严峻。与此同时,人们为解决环境污染问题、提高环境质量也做出了不断的努力。因此,环境工程学在理论、方法上都有了新的进步与提高。故此,本书根据教育部高等学校环境科学与工程教学指导委员会制定的基本教学要求,结合新兴的技术方法,并参考和吸收了国内外优秀教材的精髓。本书系统阐述了环境工程的基础理论,重点介绍了大气污染控制工程,水污染控制工程,固体废物的处理、处置及其利用和物理性污染控制工程,用有限的篇幅尽可能全面地反映环境工程学的基本内容,使读者在短时间内对环境工程有概括性的了解。本书不同于其他同类教材,主要有以下特点。

(1)介绍了许多工程实例,使本来枯燥的理论知识变得容易理解。

(2)补充了污水处理的新理论和新工艺等内容。

(3)增加了有关大气、废水和固体废物处理典型工艺的介绍,加深了读者对实际污染控制工程的理解。

(4)为了帮助读者巩固所学的知识,书中还编写了思考题。

本书由高大文、梁红担任主编,彭博、刘苏彤、李雪、刘畅、宋立全、王诗乐、高伟峰、王贺、陈若楠、迟骋参与了本书的编写和资料的收集工作。此外,书中大量引用了许多作者的论著和最新的研究成果,在此表示衷心的感谢。

本书可作为高等院校环境类专业工科和理科本科生教材,也可从事环境工程领域及相关专业的技术和管理人员提供参考,诚恳地欢迎读者在使用过程中提出宝贵意见和建议。

由于编者水平有限,书中难免有疏漏和不妥之处,希望读者批评指正。

编 者

2017年4月



# 目 录

|                    |     |
|--------------------|-----|
| 第1章 绪论             | 1   |
| 1.1 环境             | 1   |
| 1.2 环境污染           | 4   |
| 1.3 环境污染与人类健康      | 10  |
| 1.4 环境工程学与可持续发展    | 13  |
| 1.5 环境工程学的研究内容     | 14  |
| 第2章 大气污染控制工程       | 16  |
| 2.1 概述             | 16  |
| 2.2 主要大气污染源        | 23  |
| 2.3 大气污染物的净化规律     | 37  |
| 2.4 颗粒污染物控制        | 43  |
| 2.5 气态污染物控制        | 59  |
| 2.6 几种典型工业废气处理工艺   | 69  |
| 第3章 水污染控制工程        | 74  |
| 3.1 概述             | 74  |
| 3.2 水体污染的净化规律      | 86  |
| 3.3 水的物理处理         | 92  |
| 3.4 水的化学和物理化学处理    | 122 |
| 3.5 污水的生物处理        | 142 |
| 3.6 几种典型废水处理工艺     | 191 |
| 第4章 固体废物的处理、处置及其利用 | 201 |
| 4.1 概述             | 201 |
| 4.2 固体废物处理、处置方法    | 203 |
| 4.3 污泥的处理          | 213 |

|      |                    |     |
|------|--------------------|-----|
| 4.4  | 城市生活垃圾的处理 .....    | 228 |
| 4.5  | 固体废物资源化与综合利用 ..... | 259 |
| 4.6  | 几种典型固体废物处理工艺 ..... | 265 |
| 第5章  | 物理性污染控制工程 .....    | 270 |
| 5.1  | 概述 .....           | 270 |
| 5.2  | 噪声污染控制工程 .....     | 271 |
| 5.3  | 振动污染控制工程 .....     | 284 |
| 5.4  | 电磁辐射污染控制工程 .....   | 286 |
| 5.5  | 放射性污染控制工程 .....    | 291 |
| 5.6  | 热污染控制工程 .....      | 295 |
| 5.7  | 光污染控制工程 .....      | 300 |
| 参考文献 | .....              | 304 |

## 第1章 绪论

### 1.1 环境

#### 1.1.1 人类与自然环境

地球已经存在了至少 40 亿年,还没有任何一个物种曾像人类一样统治地球以及其他物种。人类现在正站在一个独特的十字路口,基于人类的科学技术能力及其所带来的影响,接下来的几十年人类将目睹地球的剧烈变化。每一个人都有责任去制止这些变化所带来的后果,这将关系到人类和环境的共同利益。“环境”是一个相对的概念,概括地讲,环境可以定义为直接或间接影响地球上生物体生存和发展的一切事物的总和。联合国环境规划署(United Nations Environment Programme, UNEP)则将环境定义为“影响生物个体或群落的外部因素和条件的总和,其包括生物体周围的自然要素和人为要素”。而生物的范围很广,从最低等的细菌和真菌等直至人类,每一种生物体都有自己的环境。环境提供生物的资源包括阳光、空气、水及各种有机与无机的养分,生物必须依赖环境中的各种资源来生长繁殖。从人类自身的角度出发去解释环境的概念,认为环境的主体为“包括人在内的生物体”,其客体包括“自然要素、人为要素和社会要素”。因此,可以将环境分为自然环境、人工环境和社会环境。自然环境是指基本未经人为改造而天然存在的自然要素,包括大气环境、水环境、土壤环境、地质环境和生物环境等,对应地球系统的五大圈层,即大气圈、水圈、土壤圈、岩石圈和生物圈;人工环境是相对于自然环境而言,指在自然环境的基础上经过人类加工改造所形成的次生环境;社会环境是指由各种社会关系形成的环境,包括政治制度、法律法规、经济体制、文化传统等。环境是极其复杂辩证的,同时又是人类生活的外在载体和围绕着人类的外部世界,是人类生存和发展的基础,而人的思想及行为会影响环境的变化。本书所关注的环境,主要指与人类活动有着相互影响、相互作用、相互依存关系的自然环境。

人类的生存离不开环境,当代社会的飞速发展使得人类与自然环境之间的对立统一关系进一步发展,人对环境的认识随之发生变化,人的思想及行为也会直接作用于环境。人们从前的观念是人类是自然环境的主宰者,片面强调对自然环境的利用和改造,忽视了人类与环境之间、环境要素之间的相互作用关系。在人类活动的生物圈范围内,人类活动对环境的影响是空前的,诸如全球气候变化、臭氧空洞、土地荒漠化、全球范围内的生物多样性降低、核能使用的风险、改变荷尔蒙的化学污染物对生态系统的干扰问题、转基因农作物、固体废物处置等一系列前所未有的环境问题已经给人类敲响了警钟。任何人都不能承担这些环境问题所带来的风险。如何解决这些棘手的环境问题,成为影响人类生存和发展的新课题。

### 1.1.2 环境科学与环境工程学

环境科学是在现代社会经济和科学发展的过程中,为正确认识和解决环境问题而形成的一门综合性科学。它源于人类对于周围环境的高度关注,科学技术的快速发展使得人类活动变得越发活跃,虽然人们的生活水平随着社会的进步得到了很大的提高,但工业的发展对人类居住的环境造成了巨大压力,人类也不得不面对日益严峻的环境问题。环境科学便借此迅速发展成为一门新兴学科,它是一门介于自然科学、社会科学和技术科学之间的交叉学科,不仅涵盖生物学、地理学、生态学、物理学、化学等多个自然科学领域,还涉及经济学、社会学及政治学等人文社会科学领域。这些分支学科虽然各有特点,但又相互渗透、互为补充,并各自都处于蓬勃的发展时期,它们都是环境科学的重要组成部分。环境科学的学科形成历史虽然不长,但其学科框架日趋成熟、研究方法逐渐丰富、研究范围快速扩展、多学科交叉的特点日益彰显。随着环境科学本身的不断发展,其定义也在不断完善,可以归纳为:环境科学以复杂环境系统为研究对象、以各种环境问题为研究内容、以多学科融合交叉为典型特征、以揭示“人类—环境”相互作用规律为核心任务、以“人类—环境”协调和可持续发展为最终目标的学科群。国际上通常将环境科学分为自然环境学、社会环境学和应用环境学三个大的类别。其中,自然环境学囊括环境科学与各自然科学的交叉学科群,运用自然科学的理论与方法,认识环境现象、揭示环境规律、解决环境问题,包括环境地学、环境化学、环境生物学、环境毒理学、环境物理学、环境医学等分支学科。此外,社会环境科学囊括环境科学与各社会科学的交叉学科群,运用社会科学的理论与方法,解析环境现象、建立环境规则、调控人类活动对环境的影响,包括环境法学、环境伦理学、环境管理学、环境经济学等分支学科。应用环境科学是环境科学与各工程科学的交叉学科群,运用工程技术科学的理论与方法,认识环境特征、治理环境污染、改善生态环境质量。环境工程学从研究目的和技术途径上看,属于应用环境科学学科体系的范畴。

环境工程学是通过工程手段修复被污染的环境、改善生态环境质量。环境工程学区别于其他环境类学科的最大特点,是其对环境科学相关理论的应用及与工程学的显著交叉和联系,其在研究与实践的过程中需运用土木工程、卫生工程、化学工程、机械工程等经典工程学科的基础理论和技术方法来实现防控环境污染和改善环境质量的目的,但无论是学科任务还是研究对象又显著区别于工程学。特别是近年来,得益于生物工程学、生态学、微生物学、计算机工程学等交叉学科的研究成果,环境工程学自身得到了长足发展,其与多学科的相互交叉和相互渗透既是融合的过程,也是其极具特色的学科体系的形成和完善过程。

当前,人们对环境工程学的定义和理解有不同的看法,美国环境工程与科学教授协会(Association of Environmental Engineering and Sciences Professors, AEESP)将环境工程学定义为“以保护人类和生态系统的健康为目的,应用科学和工程原理来评估、管理和设计可持续的环境系统”。我国对环境工程学分为广义定义和狭义定义两个版本,环境工程学的广义定义是指“研究运用工程技术和有关学科的原理和方法,保护和合理利用自然资源,防治环境污染,以改善环境质量的学科”。这样的定义既包括小环境的规划和控制,又涵盖区域尺度上环境的评价和综合防治。而从狭义的角度出发,可将环境工程学定义为“环境污染防治工程,是对污染物的监测、控制和处理的工程”。此处的污染物是指引起环境质量降低的工业废弃物、农业废弃物、生活废弃物、噪声、电磁辐射、废热等。实际上,环境工程学主要是

指用狭义定义来确定其基本内容的工程。

### 1.1.3 环境工程学的发展历程

环境工程学是人类同环境污染做斗争和在环境问题的解决过程中逐渐形成的。环境工程学相对于其他学科发展的时间很短,在近代以前相当长的历史时期,虽然人类对于环境工程乃至环境相关学科的认识一直处于萌芽阶段,但人类对保护和改善环境的探索很早便已经开始。以开发和保护水源为例,中国早在公元前 2300 年前后就创造了凿井技术;古罗马在公元前 3 世纪便开始修建了用于城市供水的水渠。从排水工程来说,中国早在 2 000 多年前就利用陶土管修建了地下排水沟渠,称“陶窰”;古代罗马在公元前 6 世纪时期也建造了地下排水渠。

工业革命之后,经济的飞速发展和城市化进程的不断加快,人类文明不断进步,同时排入环境中的污染物质的数量和种类也越来越多,这些污染物对人类自身的健康构成了严重威胁。近代西方环境工程学的开端可追溯于英国在 19 世纪中叶为解决人类过早死亡和疾病所引发的社会经济损失而形成的卫生工程学(Sanitary Engineering)。在英国城镇不断爆发的流行病以及对清洁工业用水的需求,促使皇家河流污染委员会(The Royal Commission on River Pollution)于 1865 年成立,并于 1876 年颁布了《河流污染防治法》(*The Rivers Pollution Prevention Act*)。然而当时并没有切实有效的制度措施或技术手段来防止和治理河流的污染。1898 年成立的皇家污水处理委员会(The Royal Commission on Sewage Disposal)成为废水处理技术发展的里程碑,这个组织真正意义上通过研究的形式对影响纳污河流的水质进行评价。之后近百年的时间里,环境工程学的发展经历了漫长而又迷茫的探索阶段,值得一提的是,1878 年美国麻省理工学院的化学教授 W. R. Nichols 在美国马萨诸塞州建立了美国第一个卫生化学实验室(Sanitary Chemistry Laboratory),此后同样来自麻省理工学院的生物学教授 W. T. Sedgwick 开始尝试通过当时最先进的细菌学技术来开发污水处理技术,由此美国的麻省理工学院成为美国第一所整合了工程、化学和生物相关学科来进行环境卫生学研究的高等学府。自此,环境工程学的雏形显现出来,这对于环境工程学的发展史来说意义重大。自 20 世纪 50 年代,美国环境工程师学会(American Academy of Environmental Engineers and Scientists, AAEEs)等环境工程学领域的专业学会和认证体系的逐渐建立和发展与 1970 年 12 月美国环境保护局(EPA)的建立,正式确立了环境工程学科的国际学术地位。我国近代环境工程学的建立受到国际学术发展动态的影响,最早可追溯到 20 世纪 20 年代的清华大学工学院土木工程系所设置的卫生工程组,此后经过一系列的学科发展与调整,于 1977 年在原有的给水排水专业基础上成立了我国第一个环境工程专业,1984 年正式建立环境工程系。同济大学与哈尔滨工业大学作为国内环境工程教学与研究领域的先驱,其各自的环境工程学科均在各自院校的给水排水工程专业的基础上建立,此后培养了大批环境工程学领域的专业人才。为了应对和解决我国经济高速增长、社会快速发展过程中暴露出的种种环境问题,环境工程学领域的研究在我国得到迅速发展。

环境工程学的目标是应对和解决环境问题,其学科的发展和演变也必须适应社会的需要,当前环境工程学的研究已经不仅仅是针对单项环境污染而采用的治理技术,还应着眼于采取综合防治措施和对控制环境污染的措施进行全面的技术经济评估,以此实现环境系统工程和环境污染综合防治的目的。随着全球经济和市场一体化,许多国家和国际组织都采



取了多种政策和措施来共同促进环境工程学的发展,全球的环境科技工作者也集中精力对环境工程学的相关课题进行研究和实践,这必将极大地促进环境工程的学科发展和研究水平的提高。

1.2 环境污染

1.2.1 空气污染

空气污染是一个国际性的问题,无论发达国家还是发展中国家,在其发展经济的过程中均面临这种棘手的环境问题。历史上很多国家都曾经发生过由于环境污染而造成的震惊世界的污染事件,在轰动世界的“八大公害事件”中由于空气污染而引发的事件占 50%,分别是比利时马斯河谷烟雾事件、美国洛杉矶烟雾事件、美国多诺拉事件和英国伦敦烟雾事件。这些空气污染事件均造成了大量的人员患病或死亡。究其原因,空气污染的来源包括三个方面。首先是生产性污染,其为大气污染的主要来源,包括:①燃料的燃烧,主要是煤和石油燃烧过程中排放的大量有害物质,如烧煤可排出烟尘和二氧化硫;燃烧石油可排出二氧化硫和一氧化碳等;②生产过程排出的烟尘和废气,以火力发电厂、钢铁厂、石油化工厂、水泥厂等对大气污染最为严重;③农业生产过程中喷洒农药而产生的粉尘和雾滴。其次,是由生活炉灶和采暖锅炉耗用煤炭产生的烟尘、二氧化硫等有害气体,以及交通运输性污染如汽车、火车、轮船和飞机等排出的尾气,其中汽车排出的包括氮氧化物、碳氢化合物、一氧化碳和铅尘等有害尾气距离人体的呼吸带最近,容易被直接吸入而引发人体的健康问题。

我国环保部公布的 2013 年中国环境公告显示,2013 年二氧化硫排放总量为 2 043.9 万 t;氮氧化物排放总量为 2 227.3 万 t。从空气质量上看,三大重点区域中京津冀和珠三角的所有城市在 2013 年均未达标,长三角区域中仅舟山一座城市六项污染物全部达标,如表 1.1 所示。

表 1.1 2013 年重点区域各项污染物达标城市数量

| 区域  | 城市总数 | SO <sub>2</sub> | NO <sub>2</sub> | PM10 | CO | O <sub>3</sub> | PM2.5 | 综合达标 |
|-----|------|-----------------|-----------------|------|----|----------------|-------|------|
| 京津冀 | 13   | 7               | 3               | 0    | 6  | 8              | 0     | 0    |
| 长三角 | 25   | 25              | 10              | 2    | 25 | 21             | 1     | 1    |
| 珠三角 | 9    | 9               | 5               | 5    | 9  | 4              | 0     | 0    |

当前,以 PM2.5 为主的雾霾现象已经引起民众的广泛关注。根据国家气象局基于能见度的观测结果表明,2013 年全国平均霾日数为 35.9 d。中东部地区雾和霾天气多发,华北中南部至江南北部的大部分地区雾和霾日数范围为 50 ~ 100 d,部分地区超过 100 d。2013 年 1 月和 12 月,我国中东部地区发生了 2 次较大范围区域性灰霾污染。环境保护部基于空气质量的监测结果表明,我国的雾霾污染多呈现污染范围广、持续时间长、污染程度严重、污染物浓度累积迅速等特点,且污染过程中的首要污染物均以 PM2.5 为主。近年来,我国大面积雾霾现象的成因和治理成为一项复杂而艰巨的科学问题。通常认为雾霾是特定气候条件与人类活动相互作用的结果,但雾霾的形成与大气污染之间的关系是显而易见的。

臭氧层空洞的形成使得太阳对地球表面的紫外辐射量增加,对生态环境产生破坏作用,影响人类和其他生物有机体的正常生存。联合国环境规划署为了保护臭氧层,采取了一系



列国际行动,于 1985 年 3 月在奥地利首都维也纳召开的“保护臭氧层外交大会”上,通过了《保护臭氧层维也纳公约》(Vienna Convention for the Protection of the Ozone Layer),目的是采取适当的国际合作与行动措施,以保护人类健康和环境,免受足以改变或可能改变臭氧层的人类活动所造成的或可能造成的不利影响。我国政府于 1989 年 9 月 11 日正式加入“维也纳公约”,成为缔约国之一。截至 2010 年,签署《保护臭氧层维也纳公约》的国家共有 176 个,控制或禁止一切破坏大气臭氧层的活动,保护人类健康和环境。保护臭氧层是迄今人类最为成功的全球性环境合作。

1.2.2 水体污染

水体污染是指一定量的污水、废水、各种废弃物等污染物质进入水域,超出了水体的自净和纳污能力,从而导致水体及其底泥的物理、化学性质和生物群落组成发生不良变化,破坏了水中固有的生态系统,破坏了水体的功能,从而降低水体使用价值的现象。

造成水体污染的因素是多方面的:向水体排放未经过妥善处理的城市生活污水和工业废水;施用的化肥、农药及城市地面的污染物,被雨水冲刷,随地面径流进入水体;大气扩散的有毒物质通过重力沉降或降水过程进入水体等。其中第一项是水体污染的主要因素。随着工业生产的发展和社会经济的繁荣,大量的工业废水和城市生活污水排入水体,水污染日益严重。2013 年,全国地表水总体为轻度污染,部分城市河段污染较重。从流域上看,长江、黄河、珠江、松花江、淮河、海河、辽河、浙闽片河流、西北诸河和西南诸河等十大流域的国控断面中,I~Ⅲ类、Ⅳ、Ⅴ类和劣Ⅴ类水质断面比例分别为 71.7%,19.3%和 9.0%,如图 1.1 所示。

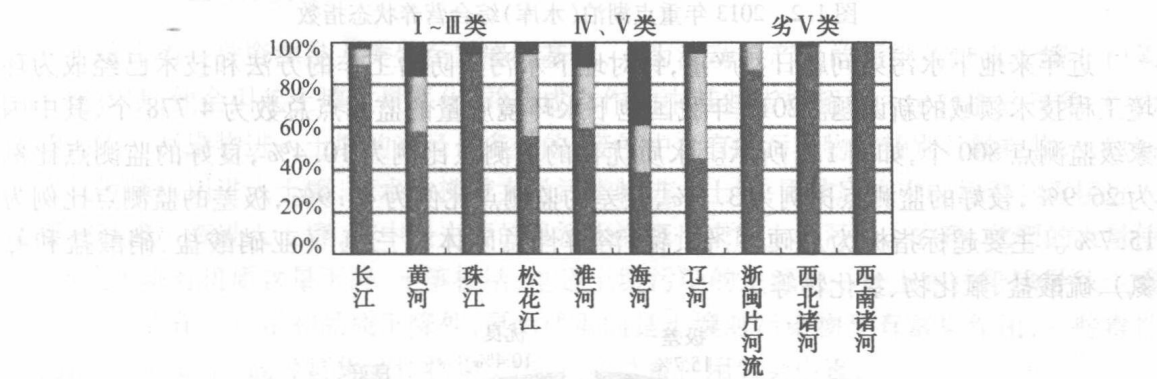


图 1.1 2013 年我国十大流域水质状况

我国 2013 年重点湖泊(水库)水质为优良、轻度污染、中度污染和重度污染的比例分别为 60.7%,26.2%,1.6%和 11.5%。如表 1.2 所示,重点湖泊中太湖、巢湖为轻度污染,全湖均为总体轻度富营养;滇池则为重度污染,全湖总体为中度富营养。湖泊的主要污染指标为总磷、化学需氧量和高锰酸盐指数。我国 2013 年重点湖泊(水库)中富营养、中营养和贫营养的湖泊(水库)比例分别为 27.8%,57.4%和 14.8%,如图 1.2 所示。

表 1.2 2013 年重点湖泊水质状况

| 湖泊(水库)类型 | 优/个 | 良好/个 | 轻度污染/个 | 中度污染/个 | 重度污染/个 |
|----------|-----|------|--------|--------|--------|
| 三湖*      | 0   | 0    | 2      | 0      | 1      |
| 重要湖泊     | 5   | 9    | 10     | 1      | 6      |
| 重要水库     | 12  | 11   | 4      | 0      | 0      |
| 总计       | 17  | 20   | 16     | 1      | 7      |

注 \* 三湖指太湖、滇池和巢湖

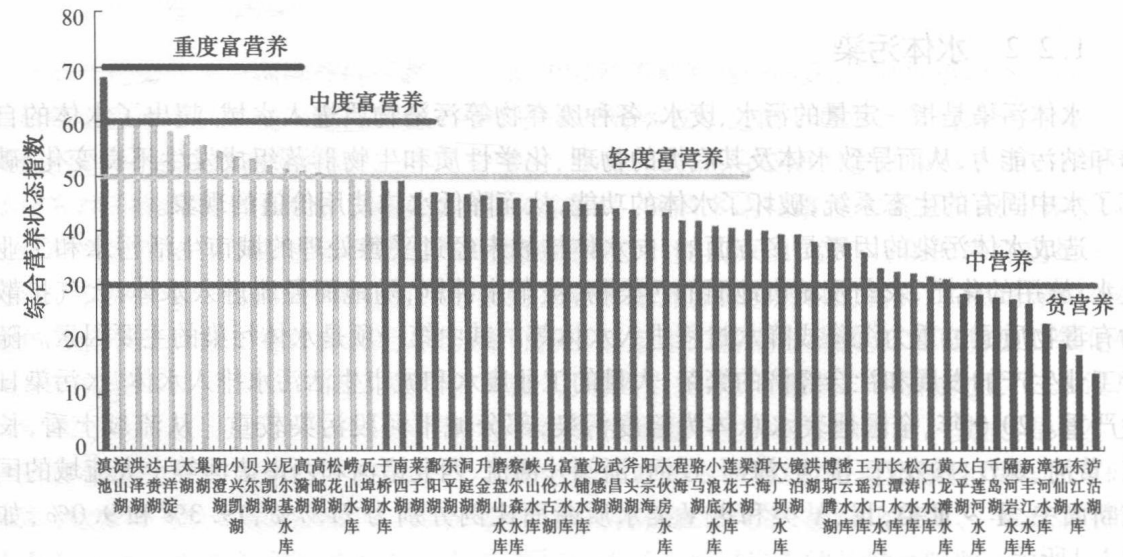


图 1.2 2013 年重点湖泊(水库)综合营养状态指数

近年来地下水污染问题日益严重,针对地下水污染防治工作的方法和技术已经成为环境工程技术领域的新课题。2013 年我国地下水环境质量的监测点总数为 4 778 个,其中国家级监测点 800 个,如图 1.3 所示。水质优良的监测点比例为 10.4%,良好的监测点比例为 26.9%,较好的监测点比例为 3.1%,较差的监测点比例为 43.9%,极差的监测点比例为 15.7%。主要超标指标为总硬度、铁、锰、溶解性总固体、“三氮”(亚硝酸盐、硝酸盐和氨氮)、硫酸盐、氟化物、氯化物等。

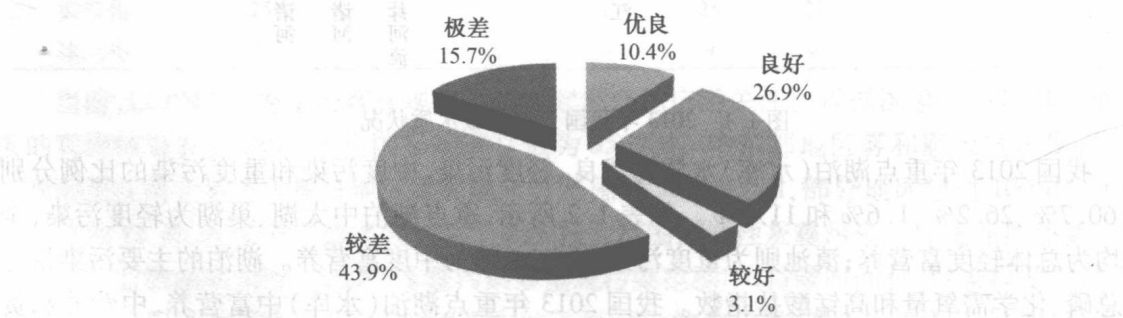


图 1.3 2013 年地下水监测点水质状况

此外海洋作为所有陆地河流的最终归宿,关于海洋环境中新型污染物的研究同样是环境领域的新热点。从近岸海域来看,2013 年全国近岸海域水质一般,如图 1.4 所示。一、二类海水点位的比例为 66.4%;三、四类海水点位的比例为 15.0%;劣四类海水点位的比例为

18.6%。主要污染指标为无机氮和活性磷酸盐。其中,黄海与南海近岸水质良好,渤海近岸水域水质一般,东海近岸水质极差。重要海湾中,北部湾水质优,黄河口水质良好,辽东湾、渤海湾和胶州湾水质差,长江口、杭州湾、闽江口和珠江口水质极差。

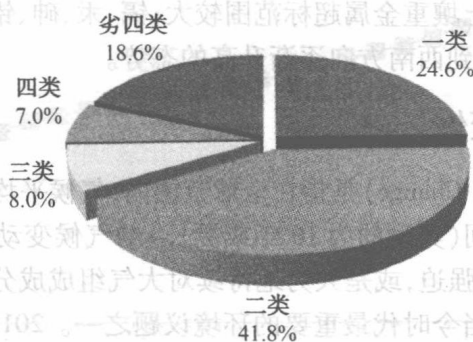


图 1.4 2013 年全国近岸海域水质状况

《联合国世界水资源发展报告》(The United Nations World Water Development Report)指出,每天有 200 万 t 工农业废水被排放至环境中,质量相当于全世界 68 亿人口体重的总和。在发展中国家约有 70% 的工业废水未经处理直接排放并污染着现有水源。在亚洲所有流经城市的河流均被污染,美国 40% 的水资源流域被加工食品废料、金属、肥料和杀虫剂污染。近年来,我国爆发多起影响较大的水污染事件,如 2005 年松花江重大水污染事件、2010 年福建紫金山铜矿渗水事故及 2014 年兰州自来水苯超标事件等。

### 1.2.3 土壤污染

土壤作为一种资源是人类生存发展的基础,人为活动所产生的污染物进入土壤并积累到一定程度,便会引起土壤质量恶化,并造成农作物中某些指标超过一定标准的现象,称为土壤污染。污染物进入土壤的途径是多样的,废气中含有的污染物质特别是颗粒物,可以通过大气沉降作用进入土壤,废水中携带大量污染物进入土壤,固体废物中的污染物直接进入土壤或其渗出液进入土壤,其中最主要的是污水灌溉带来的土壤污染。农药、化肥的大量使用,造成土壤有机质含量下降、土壤板结,也是土壤污染的来源之一。土壤污染除导致土壤质量下降、农作物产量和品质下降外,更为严重的是土壤对污染物具有富集作用,一些毒性大的污染物,如汞、镉等富集到作物果实中,人或牲畜食用后会中毒。

2014 年环保部和国土资源部联合公布了全国土壤污染状况调查情况。调查结果显示,全国土壤环境状况总体不容乐观,部分地区土壤污染较重。其中,镉、汞、砷、铜等重金属污染问题突出。全国土壤总的点位超标率为 16.1%,其中,轻微、轻度、中度和重度污染点位的比例分别为 11.2%,2.3%,1.5%和 1.1%。从土地利用类型看,耕地、林地、草地土壤点位超标率分别为 19.4%,10.0%,10.4%。从污染类型看,我国土壤污染以无机型为主,有机型次之,复合型污染比例较小,无机污染物超标点位占全部超标点位的 82.8%。从污染物超标情况看,镉、汞、砷、铜、铅、铬、锌、镍 8 种无机污染物点位超标率分别为 7.0%,1.6%,2.7%,2.1%,1.5%,1.1%,0.9%,4.8%;六六六、滴滴涕、多环芳烃三类有机污染物点位超标率分别为 0.5%,1.9%,1.4%。并且典型污染地块的调查数据显示,重点污染企业的超标率达到 36.3%,工业废弃地的超标率也达到 34.9%,普通工业园区的超标率为

29.4%, 固体废弃物处理处置场地超标率占 21.3%, 采油区超标率占 23.6%, 采矿区占 33.4%, 污水灌溉区超标率占 26.4%, 干线公路两侧超标率占 20.3%。从污染分布情况看, 南方土壤污染重于北方; 长江三角洲、珠江三角洲、东北老工业基地等部分区域土壤污染问题较为突出, 西南、中南地区土壤重金属超标范围较大; 镉、汞、砷、铅四种无机污染物含量分布呈现从西北到东南、从东北到西南方向逐渐升高的态势。

### 1.2.4 全球气候变化

全球气候变化 (Climate Change) 是指在全球范围内, 气候平均状态统计学意义上的巨大改变或者持续较长一段时间 (典型的为 10 年或更长) 的气候变动。气候变化的原因可能是自然的内部进程, 或是外部强迫, 或是人为地持续对大气组成成分和土地利用的改变。

气候变化毫无疑问是当今时代最重要的环境议题之一。2015 年 2 月 2 日, 日内瓦世界气象组织 (World Meteorological Organisation, WMO) 的研究结果显示, 自 1961 年至 1990 年参照期的长期平均气温为 14.0℃, 而 2014 年陆地和海洋表面的全球平均气温比该平均值高出 0.57℃, 已将 2014 年列为有记录以来最热的年份, 自 20 世纪 90 年代以来, 全球气温呈明显上升趋势, 如图 1.5 所示。

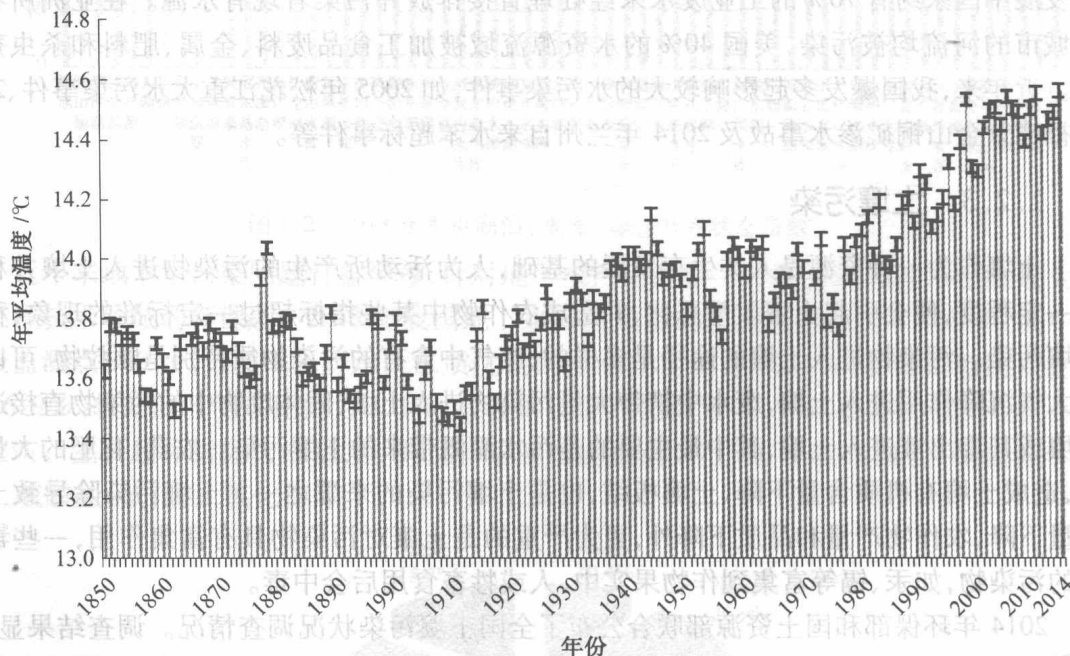


图 1.5 1850 年至 2014 年全球年平均温度变化曲线

尽管在学术界关于气候变化的议题存在争议, 部分学者认为地球气候长久以来一直处于不断变化过程中, 在此期间气候的变化存在各种复杂原因。但人类对化石燃料的过分依赖和森林资源的大量消耗, 导致大气层中以二氧化碳和甲烷等为代表的温室气体含量不断升高, 却是不争的事实。美国国家海洋和大气管理局 (National Oceanic and Atmospheric Administration, NOAA) 对过去的 30 年大气持续监测结果明确显示出二氧化碳的持续升高现象, 研究结果表明这种趋势还将持续, 如图 1.6 所示。

联合国环境规划署发布《2014 年全球排放差距报告》(The Emissions Gap Report 2014) 指



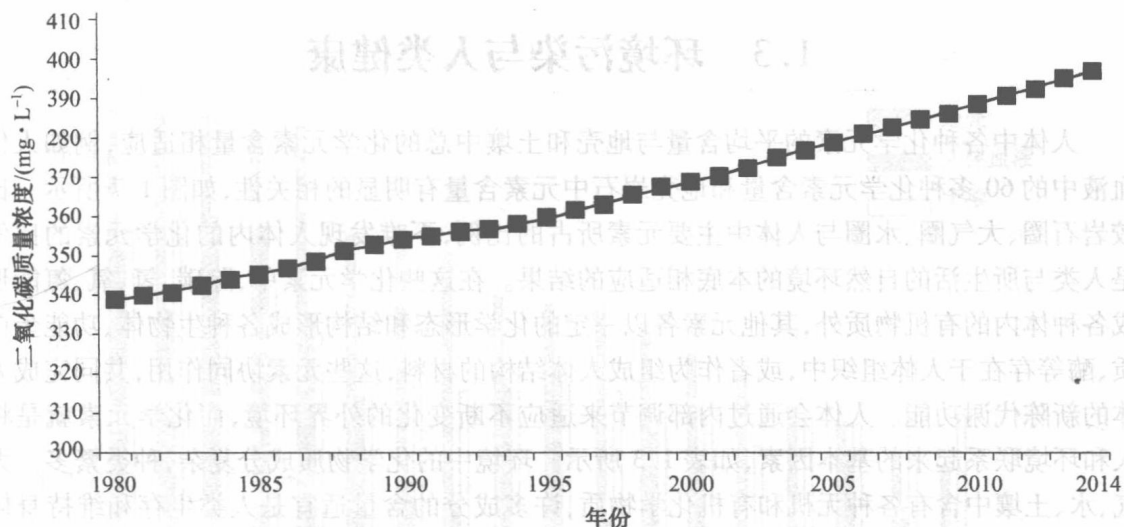


图 1.6 1980 年至 2014 年全球大气中二氧化碳质量浓度变化曲线

出,为将全球气温上升幅度控制在  $2^{\circ}\text{C}$  以内,应在 21 世纪中到后期,实现全球碳中和。碳中和是指森林、土壤等自然资源吸收的二氧化碳可完全抵消人类排放的二氧化碳,使人类行为造成的二氧化碳净排量为零。若将甲烷、一氧化二氮和氢氟碳化物等非二氧化碳温室气体考虑在内,全球温室气体总排放量应在 2080 年至 2100 年降至零排放水平。自 1990 年以来,全球温室气体排放量增加了 45%。若要保留将气温升幅控制在  $2^{\circ}\text{C}$  以内的可能性,全球温室气体排放量到 2020 年不应超过 440 亿 t 二氧化碳量。但按目前各方承诺计算,届时的排放量可能要高于这一数值;2030 年应比 2010 年的水平减少 15%,到 2050 年减少 50%,2055 年至 2070 年间实现全球碳中和。

为应对气候变化给人类生存和发展所带来的巨大挑战,1992 年 5 月 9 日联合国政府间谈判委员会就气候变化问题达成了《联合国气候变化框架公约》(United Nations Framework Convention on Climate Change, UNFCCC, 简称《框架公约》),并于巴西里约热内卢举行的联合国环境发展大会上通过。《框架公约》旨在控制大气中温室效应的气体排放,将温室气体的浓度稳定在使气候系统免遭破坏的水平上,这是世界上第一个为全面控制二氧化碳等温室气体排放,以应对全球气候变暖给人类经济和社会带来不利影响的国际公约,也是国际社会在应对全球气候变化问题上进行国际合作的一个基本框架。目前,有 190 多个国家加入,这些国家被称为《框架公约》缔约方。缔约方在历次大会上做出了许多旨在解决气候变化问题的承诺,著名的《京都议定书》和《哥本哈根协议》都是公约大会的谈判成果。中国于 1992 年 6 月 11 日签署该公约,1993 年 1 月加入该组织。2015 年 7 月,中国向《框架公约》秘书处提交了《强化应对气候变化行动——中国国家自主贡献》文件。根据文件,到 2030 年中国单位国内生产总值二氧化碳排放比 2005 年下降 60%~65%。这是中国作为联合国气候变化框架公约缔约方完成的规定动作,也是中国政府向国内外宣示中国走绿色、低碳、循环发展道路的的决心和态度,更体现了中国作为负责任的大国对于应对气候变化这一全球环境问题的实际行动。



1.3 环境污染与人类健康

人体中各种化学元素的平均含量与地壳和土壤中总的化学元素含量相适应,例如人体血液中的 60 多种化学元素含量和地壳岩石中元素含量有明显的相关性,如图 1.7 所示。比较岩石圈、大气圈、水圈与人体中主要元素所占的比例,不难发现人体内的化学元素的比例是人类与所生活的自然环境的本底相适应的结果。在这些化学元素中,除碳、氢、氧、氮能形成各种体内的有机物质外,其他元素各以一定的化学形态和结构形成各种生物体、功能蛋白质、酶等存在于人体组织中,或者作为组成人体结构的材料,这些元素协同作用,共同完成人体的新陈代谢功能。人体会通过内部调节来适应不断变化的外界环境,而化学元素就是将人和环境联系起来的基本因素,如表 1.3 所示。环境中的化学物质成分复杂,种类繁多。大气、水、土壤中含有各种无机和有机化学物质,许多成分的含量适宜是人类生存和维持身体健康必不可少的条件。

表 1.3 环境与人体主要化学元素对比

| 元素 | 各元素所占的平均百分率/% |        |      |      |
|----|---------------|--------|------|------|
|    | 大气圈           | 岩石圈    | 水圈   | 人体   |
| 氧  | 21            | 46.6   | 86   | 61   |
| 碳  | 0.008         | 少于 0.1 | #    | 23   |
| 氢  | *             | 0.1    | 10.8 | 10   |
| 氮  | 78.03         | 少于 0.1 | +    | 2.5  |
| 钙  | 0             | 3.6    | 0.04 | 1.4  |
| 磷  | 0             | 0.1    | * *  | 1.1  |
| 钾  | 0             | 2.6    | 0.04 | 0.2  |
| 硫  | 0             | 少于 0.1 | 0.08 | 0.2  |
| 钠  | 0             | 2.8    | 1.07 | 0.14 |
| 氯  | 0             | 少于 0.1 | 1.92 | 0.13 |
| 镁  | 0             | 2.1    | 0.13 | 0.03 |
| 铁  | 0             | 5.0    | 0    | 0.06 |
| 铝  | 0             | 8.1    | 0    | 0    |
| 硅  | 0             | 27.7   | 0    | 0    |
| 钛  | 0             | 0.6    | 0    | 0    |
| 锰  | 0             | 0.1    | 0    | 0    |

注 #以碳酸根离子形式; \* 取决于空气的干湿度; +以硝酸根离子形式; \* \* 以磷酸根离子形式

人类的生产生活将大量的化学物质排放到环境中,造成严重的环境污染。当今世界上已知有 1 300 多万种合成的或已鉴定的化学物质,常用的有 6.5 万 ~ 8.5 万种之多,每年约有 1 000 种新化学物质投放市场。每年约有 3 亿 t 有机化学物质排放到环境中,其种类达 10 万种之多。国际癌研究机构(International Agency of Research on Cancer, IARC)对已有资料报告的 878 种化学物质进行分类,其中 87 种确定为人类致癌物,297 种为对人类可能致癌物,493 种为人类可疑致癌物。美国环保组织——环境工作组(Environmental Working Group, EWG)的一项基于日常工作中对化学品有一定接触的志愿者的研究表明:现代工业

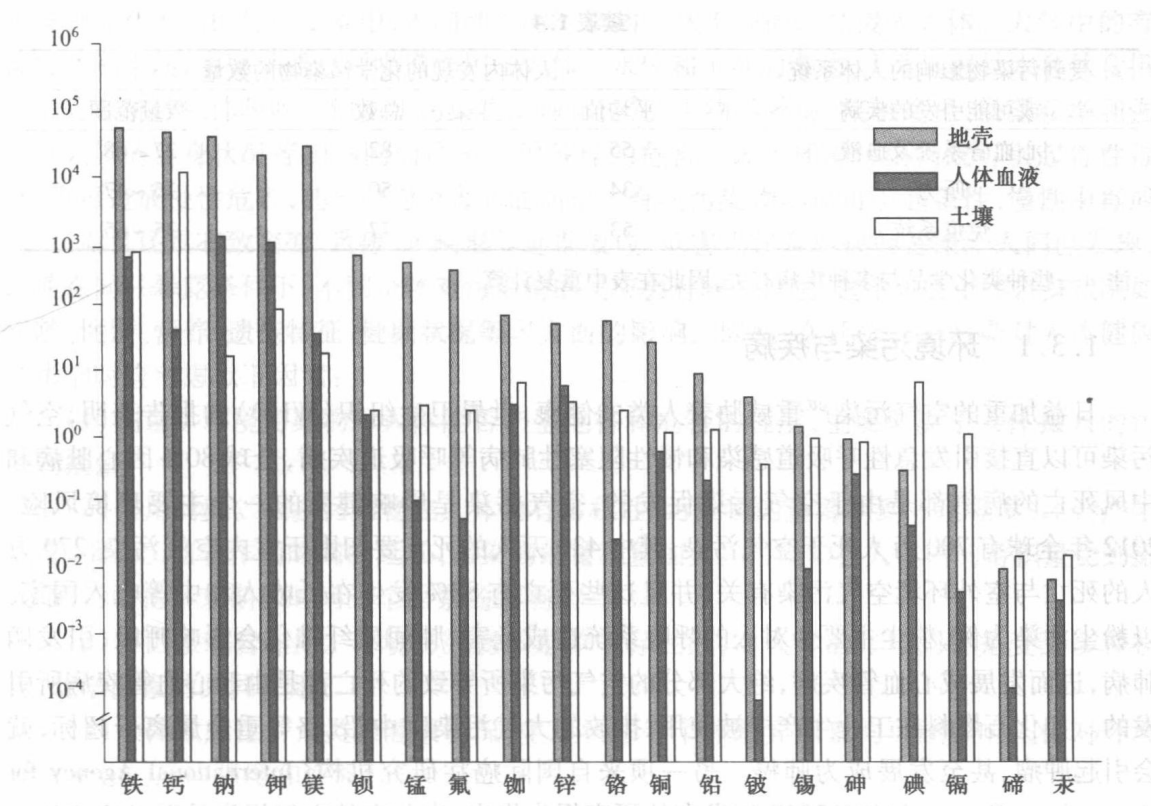


图 1.7 地壳、土壤与人体血液中元素含量对比图 (mg/kg)

化社会中人体内摄入了数量众多的非自然化合物(Unnatural Chemical Compounds),如表 1.4 所示,在人体尿液和血液中存在有 91 种化学污染物,在选定的志愿者体内共发现 167 种化学污染物。可见,环境污染已经使环境中某些化学物质的含量增加,或者直接产生原来不曾存在的新兴污染物,这些物质会通过不同途径侵入人体,而人体中任何一种化学元素超过一定的标准时,都会成为对人体的有害元素,引起人体的疾病,对人体健康构成威胁,甚至导致人的死亡。

表 1.4 人体内化学污染物的种类数量

| 受到污染物影响的人体系统<br>或可能引发的疾病 | 人体内发现的化学污染物的数量 |    |         |
|--------------------------|----------------|----|---------|
|                          | 平均值            | 总数 | 数量范围    |
| 肿瘤                       | 53             | 76 | 36 ~ 65 |
| 新生儿发育缺陷及发育迟缓             | 55             | 79 | 37 ~ 68 |
| 视力                       | 5              | 11 | 4 ~ 7   |
| 内分泌系统                    | 58             | 86 | 40 ~ 71 |
| 消化系统                     | 59             | 84 | 41 ~ 72 |
| 肾脏系统                     | 54             | 80 | 37 ~ 67 |
| 大脑及神经系统                  | 62             | 94 | 46 ~ 73 |
| 生殖系统                     | 55             | 77 | 37 ~ 68 |
| 呼吸系统                     | 55             | 82 | 38 ~ 67 |
| 皮肤                       | 56             | 84 | 37 ~ 70 |
| 肝脏                       | 42             | 69 | 26 ~ 54 |