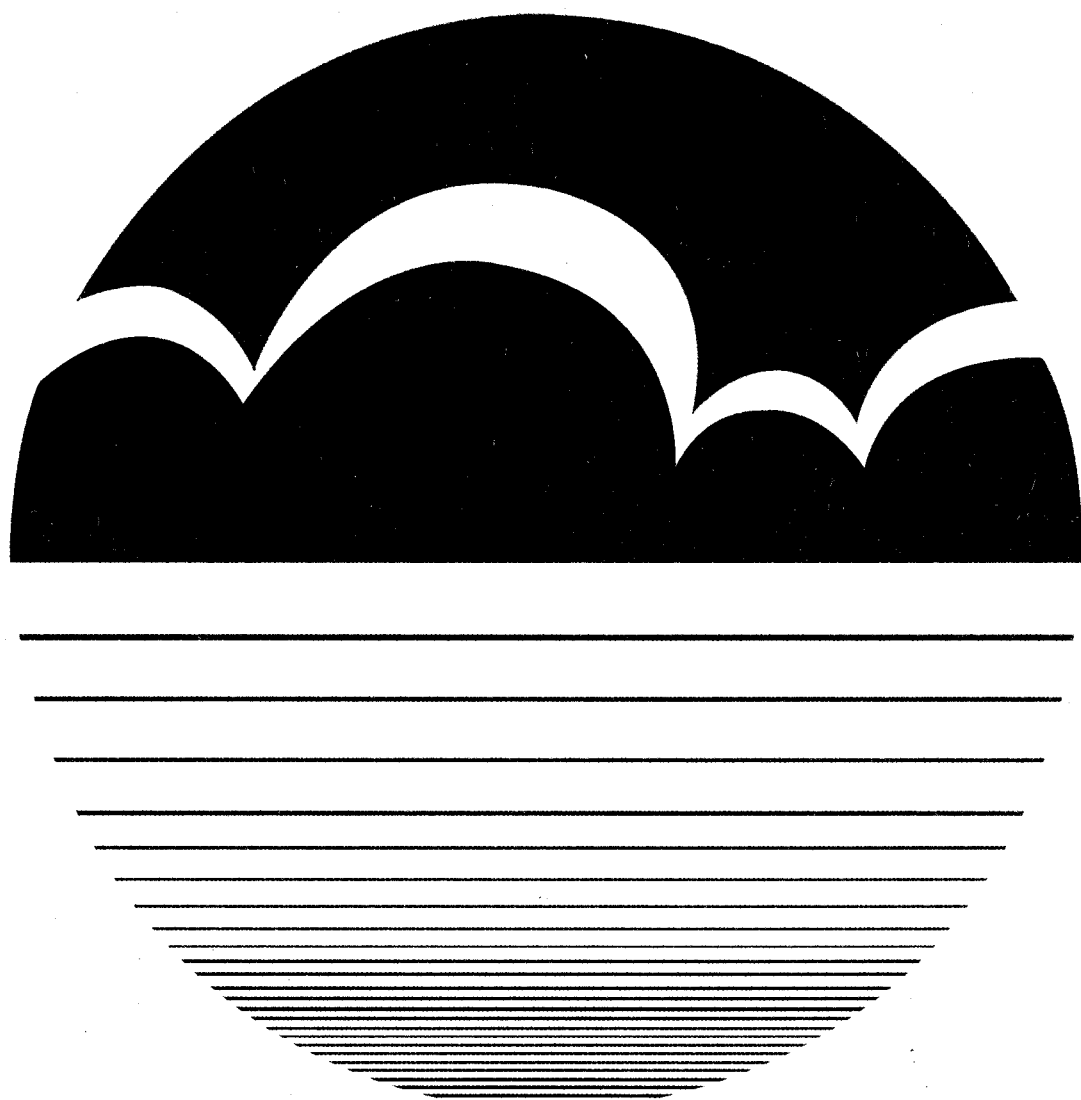


高等学校教材

环境工程学

HUANJI GONGCHENGXUE

蒋展鹏 主编



高等教育出版社

高等学校教材

环境工程学

蒋展鹏 主 编
蒋展鹏 杨志华 编
朱联锡 祝万鹏

高等教育出版社

(京)112号

内 容 提 要

本书全面且系统地论述了当前环境工程学科领域中的基本理论、污染防治技术与控制工程,以及发展趋势。全书分为4篇共15章。第一篇水质净化与水污染控制工程,内容包括水质与水体自净,水的物理化学处理方法,水的生物化学处理方法,水的回用与废水最终处置,水处理工程系统设计。第二篇大气污染控制工程,内容包括大气质量,颗粒污染物控制,气态污染物控制与污染物稀释法控制。第三篇固体废物与城市垃圾的管理与处置,内容包括固体废物与城市垃圾管理系统,固体废物处理技术,固体废物资源化、综合利用与最终处置。第四篇噪声、振动及其他公害防治技术,内容包括噪声、振动、电磁辐射与放射性污染防治技术。最后附有五个基本教学实验。

图书在版编目(CIP)数据

环境工程学/蒋展鹏主编. —北京:高等教育出版社,
3199.3(1999 重印)
ISBN 7-04-003795-5

I. 环… II. 蒋… III. 环境工程学 IV. X5

中国版本图书馆 CIP 数据核字(96)第 00037 号

出版发行 高等教育出版社

社 址 北京市东城区沙滩后街 55 号

邮政编码 100009

电 话 010-64054588

传 真 010-64014048

网 址 <http://www.hep.edu.cn>

经 销 新华书店北京发行所

印 刷 河北三河科教印刷厂

开 本 787×1092 1/16

印 张 35.5

版 次 1992 年 1 月第 1 版

字 数 900 000

印 次 1999 年 6 月第 4 次印刷

插 页 1

定 价 27.90 元

凡购买高等教育出版社图书,如有缺页、倒页、脱页等
质量问题,请在所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

编者的话

《环境工程学》是高等院校环境类各有关专业的一门主要课程。它的主要内容是介绍环境工程学的基本理论，特别是水质净化与水污染控制工程、大气污染控制工程、固体废物与城市垃圾的处置与管理以及其它公害(如噪声、电磁辐射、振动等)防治技术的基本原理和方法。通过本课程的学习，要求学生初步掌握污染控制工程和公害防治技术的基本原理和基本方法。

本书强调理论联系实际。为了帮助读者牢固掌握基本内容，书中还编有例题、习题和思考题，并附有五个基本教学实验。

本书可适用于环境监测、环境管理和环境科学各有关专业学生使用也可供有关专业技术人员参考。

本书是根据国家教委环境工程类专业教材委员会制定的课程基本要求编写的。全书由蒋展鹏主编，参加编写的有蒋展鹏(前言，第一章至第三章，教学实验)、朱联锡(第六章至第九章，教学实验)、杨志华(第四章，第十章至第十二章，第十五章)、祝万鹏(第三、五、十三、十四章)。同济大学胡家骏教授主审。在编写过程中得到了清华大学环境工程系、成都科技大学环境科学与工程系老师们的支持和关心，高教出版社的张月娥、陈文和王永炫同志对本书的编写和编辑给予了大力的帮助和花费了大量的心血，在此一并表示感谢。

由于编者水平有限，书中难免出现缺点和错误，热诚欢迎读者批评指正。

编者

一九九一年十一月

目 录

绪言——环境工程学的发展和

内容 (1)

一、环境科学与环境工程学 (1)

二、环境工程学的形成与发展 (1)

三、环境工程学的主要内容 (3)

习题 (3)

第一篇 水质净化与水污染控制工程

第一章 水质与水体自净 (4)

第一节 水的循环与污染 (4)

第二节 水质指标与水质标准 (9)

第三节 废水的成分与性质 (28)

第四节 水体自净作用与水环境容量 (30)

第五节 水处理的基本原则和方法 (38)

习题 (42)

第二章 水的物理化学处理方法 (45)

第一节 水中粗大颗粒物质的去除 (45)

第二节 水中悬浮物质和胶体物质的去除 (52)

第三节 水中溶解物质的去除 (92)

第四节 水中有害微生物的去除 (107)

第五节 水的其他物理化学处理方法 (112)

习题 (126)

第三章 水的生物化学处理方法 (128)

第一节 废水处理微生物学基础 (128)

第二节 好氧悬浮生长系统处理技术 (132)

第三节 好氧附着生长系统处理技术 (150)

第四节 厌氧生物处理技术 (160)

第五节 污水处理厂污泥处理技术 (170)

习题 (180)

第四章 水的回用与废水的最终处置 (181)

第一节 水的回用与废水资源化 (181)

第二节 工业冷却水的循环与水质

稳定 (182)

第三节 废水深度处理技术 (193)

第四节 废水土地处理系统 (199)

第五节 废水的最终处置 (205)

习题 (214)

第五章 水处理工程系统设计基

础 (215)

第一节 供水管路的设计 (215)

第二节 污水收集系统的设计 (224)

第三节 泵与泵站设计 (243)

第四节 水处理厂的规划与设计 (255)

第五节 配水及量水设备和水质监测 (265)

习题 (269)

第二篇 大气污染控制工程

第六章 大气质量 (270)

第一节 大气的结构及组成 (270)

第二节 大气污染 (272)

第三节 大气质量控制标准 (274)

第四节 大气污染控制的基本方法 (276)

习题 (278)

第七章 颗粒污染物控制 (280)

第一节 除尘技术基础 (280)

第二节 重力沉降 (286)

第三节 旋风除尘 (289)

第四节 静电除尘 (297)

第五节 袋式除尘 (305)

第六节 湿式除尘 (312)

第七节 除尘装置的选择 (323)

习题 (326)

第八章 气态污染物控制 (328)

第一节 吸收净化 (328)

第二节 吸附净化 (339)

第三节 催化转化 (351)

第四节 燃烧转化 (357)

第五节 冷凝法 (362)

第六节 生物净化 (365)

第七节 气态污染物的其他净化法 (367)

习题	(372)
第九章 污染物的稀释法控制	(374)
第一节 影响污染物在大气中扩散的气象因素	(374)
第二节 烟气抬升高度	(384)
第三节 污染物落地浓度	(387)
第四节 烟囱计算	(397)
习题	(401)

第三篇 固体废物与城市垃圾的管理与处置

第十章 固体废物与城市垃圾管理	(402)
第一节 概述	(402)
第二节 固体废物的性质	(405)
第三节 固体废物的产量与减少产量的途径	(415)
第四节 固体废物与城市垃圾的管理	(420)
习题	(432)
第十一章 固体废物处理技术	(433)
第一节 固体废物的压实技术	(433)
第二节 固体废物的破碎技术	(435)
第三节 固体废物分选技术	(437)
第四节 固体废物的脱水与干燥	(447)
第五节 有毒有害废物的化学处理与固化	(452)
习题	(457)
第十二章 固体废物资源化、综合利用与最终处置	(458)
第一节 固体废物资源化的意义与资源化系统	(458)
第二节 材料回收系统	(459)
第三节 生物转化产品的回收	(460)

第四节 城市垃圾的焚烧与热转化产品的回收	(465)
第五节 固体废物的最终处置	(477)
习题	(487)

第四篇 噪声、振动与其他公害防治技术

第十三章 噪声防治技术	(489)
第一节 噪声的来源和特征	(489)
第二节 噪声的评价与测量	(490)
第三节 噪声防治技术	(496)
习题	(513)
第十四章 振动防治技术	(514)
第一节 振动公害的特征与评价	(514)
第二节 隔振技术	(517)
第三节 阻尼减振技术	(522)
第四节 质量平衡和动力吸振器	(524)
习题	(526)
第十五章 电磁辐射和放射性污染治理技术	(527)
第一节 电磁辐射的危害与测量	(527)
第二节 防治电磁辐射的基本方法	(530)
第三节 放射性废物处理与处置技术	(531)
习题	(544)

教学实验

实验一 静置沉淀实验	(545)
实验二 混凝实验	(546)
实验三 废水可生物处理性实验	(549)
实验四 粉尘粒径分布测定	(552)
实验五 亚胺法回收低浓度 SO_2	(556)
主要参考书目	(558)

绪言——环境工程学的发展和内容

一、环境科学与环境工程学

随着人口、工农业生产和科学技术的飞速发展，环境和环境问题已越来越引起人们的普遍关注和重视。

“环境”这个词是相对于人类的存在而言的，即指的是人类的环境。人类与其环境之间是一个有着相互作用、相互影响、相互依存关系的对立统一体。人类的生产和生活活动作用于环境，会对环境产生影响，引起环境质量的变化；反过来，污染了的或受损害的环境也会对人类的身心健康和经济发展等造成不利的影响。

当代社会的发展使人类与环境之间的作用和反作用不断加剧。现在，人力所及的范围，上至太空，下至海底。人类的活动对环境的影响空前强化，环境污染和生态环境破坏已达到危险的程度。环境和环境问题已向人们提出了挑战。

1972年在瑞典斯德哥尔摩举行了世界各国政府第一次共同讨论当代环境问题的联合国人类环境会议。会议通过的宣言呼吁各国政府和人民为维护和改善人类环境、造福全体人民、造福后代而共同努力。十多年来，许多国家都采取了不少措施和对策来防治污染和解决环境问题。各国科学技术工作者也集中精力进行研究和实践，从而促进了环境科学的兴起和发展。

环境科学是在现代社会经济和科学发展过程中逐步形成的一门新兴的综合性科学。它的主要任务是研究在人类活动的影响下，环境质量的变化规律和环境变化对人类生存的影响，以及保护和改善环境质量的理论、技术和方法。

环境科学所涉及的内容异常广阔，包括自然科学和社会科学的许多重要方面，因而形成了与有关学科之间相互渗透、相互交叉的许多分支学科，如环境地学、环境生物学、环境化学、环境物理学、环境医学、环境工程学、环境管理学、环境经济学、环境法学等等。这些分支学科虽然各有特点，但又互相关连、互相依存。它们是环境科学这个整体不可分割的组成部分，而且还都处于蓬勃的发展时期。随着环境问题的发展和人类对它的进一步认识，环境科学及其各分支学科也必将不断地充实、丰富与完善。

环境工程学是环境科学的一个分支，又是工程学的一个重要组成部分。它运用环境科学、工程学和其他有关学科的理论和方法，研究保护和合理利用自然资源，控制和防治环境污染，以改善环境质量，使人们得以健康和舒适的生存。

因此，环境工程学有着两个方面的任务：既要保护环境，使其免受和消除人类活动对它的有害影响；又要保护人类免受不利的环境因素对健康和安全的损害。

二、环境工程学的形成与发展

环境工程学是在人类保护和改善生存环境并同环境污染作斗争的过程中逐步形成的。这是一门既有悠久历史又正在新兴发展的工程技术学科。

人类文明是倚傍着水体而发展的，因为水体能提供饮用水源和支持农业与运输。所以很早人们就认识到控制水污染的重要性。例如，早在公元前2300年前后，中国就创造了凿井取水技术，促进了村落和集市的形成。后来为了保护水源，又建立了持刀守卫水井的制度。这就是

人类开发和保护水源的早期记载。到公元前2000多年,中国已用陶土管修建了地下排水道,并在明朝以前就开始用明矾净水。古代罗马则大约在公元前6世纪才开始修建下水道;英国在19世纪初开始用砂滤法净化自来水,并在1850年把漂白粉用于饮用水消毒,以防止水性传染病的流行;1852年美国建立了木炭过滤的自来水厂。19世纪后半叶,英国开始建立公共污水处理厂。第一座有生物滤池装置的城市污水厂建于20世纪初。1914年出现了活性污泥法处理污水的新技术。此后的半个多世纪,各种水处理新技术、新方法不断涌现,给水排水和水污染控制工程得到了极大的发展。

在大气污染控制方面,早在公元61年,罗马哲学家Seneca就已抨击因烹饪和供热用火而引起的空气污染为“烟囱劣行”。公元1081年中国宋朝的沈括在著名的《梦溪笔谈》中描述了炭黑生产所造成的烟尘污染。18世纪中叶清朝康熙皇帝下旨命令煤烟污染严重的琉璃工厂迁往北京城外。西方工业革命以后,英国不少学者提出了消除烟尘污染的意见。消除烟尘技术在19世纪后期已有所发展。1855年美国发明了离心除尘器,20世纪初开始采用布袋除尘器和旋风除尘器。随后,燃烧装置改造、工业气体净化和空气调节等工程技术也逐渐得到推广和应用。

在固体废弃物的处理和利用方面也有着悠久的历史。古希腊早有垃圾埋坑覆土的处置方法。我国自古以来就利用粪便和垃圾堆肥施田。英国很早就颁布禁止把垃圾倒入河流的法令。1822年德国利用矿渣制造水泥。1874年英国建立了垃圾焚烧炉。进入20世纪以后,随着人口进一步向城市集中,工业生产的迅速发展,各种垃圾和固体废弃物数量剧增,对它们的管理、处置和回收利用技术也不断取得成就,逐步成为环境工程学的一个重要组成部分。

在噪声控制方面,中国和欧洲的一些古建筑中,墙壁和门窗都考虑了隔音的要求。20世纪50年代以来,噪声已成为现代城市环境的公害之一,人们从物理学、机械学、建筑学等各个方面对噪声问题进行了广泛的研究,各种控制噪声的技术也取得了很大的进展。

公共卫生学与环境工程学的关系十分密切。公共卫生的研究和进展也推动了环境工程学的发展,早在1775年英国医生波特发现扫烟囱工人多患阴囊癌,指出这与接触煤烟有关。1854年英国医生斯诺首先注意到了霍乱疫情与当地水井有关。后来的医学发展证实了水性传染病与水污染之间的相互关系。今天,人们不仅关心饮水对公众健康的影响,而且认识到现代生活的各个方面,包括食物、空气、噪声、有毒有害物质和其它各种环境因素都与人们健康有关。公共卫生学已十分重视研究环境污染对健康的危害,从而也促进了环境工程学的发展。

多年来,尽管人们为控制各种环境污染付出了巨大的代价,但往往只是局部有所控制,总体上仍未得到解决,环境至今仍在继续恶化。因此,人们认识到控制环境污染不仅要采用单项治理技术,还应当采用经济的、法律的和管理的各种手段和工程技术相结合的综合防治措施,并运用现代系统科学的方法和计算机技术,对环境问题及其防治措施进行综合分析,以求得整体上的最佳效果或优化方案。在这种背景下,环境规划、环境污染综合整治和环境系统工程的研究工作迅速发展起来,逐渐成为环境工程学的一个新的、重要的分支。

总之,环境工程学是在人类控制环境污染、保护和改善生存环境的斗争过程中诞生和发展的。它脱胎于土木工程、卫生工程、化学工程、机械工程等母系学科,又溶入了其它自然科学和社会科学的有关原理和方法,为着一个共同的目标,形成了一门新兴的独立的学科。

随着经济和生产的发展以及人们对环境质量要求的提高，环境工程学亦必将得到进一步的完善与发展。

三、环境工程学的主要内容

环境工程学是一个庞大而复杂的技术体系。它不仅研究防治环境污染和公害的技术和措施，而且研究自然资源的保护和合理利用，探讨废物资源化技术，改革生产工艺，发展无废或少废的闭路生产系统，以及对区域环境进行系统规划与科学管理，以获得最优的环境效益、社会效益和经济效益。这些都是环境工程学的重要内容。

具体来说，环境工程学的基本内容主要有以下几个方面：

1. 水质净化与水污染控制工程：它的主要任务是研究预防和治理水体污染，保护和改善水环境质量，合理利用水资源以及提供不同用途和要求的用水的工艺技术和工程措施。它的主要研究领域有：水体自净及其利用；城市污水处理与利用；工业废水处理与利用；给水净化处理；城市、区域和水系的水污染综合整治；水环境质量和废水排放标准等。

2. 大气污染控制工程：它的主要任务是研究预防和控制大气污染，保护和改善大气质量的工程技术措施。它的主要研究领域有：大气质量管理；烟尘治理技术；气体污染物治理技术；酸雨的成因和防治；城市、区域大气污染综合整治；大气质量标准和废气排放标准等。

3. 固体废弃物处理处置与管理工程：它的主要任务是研究城市垃圾、工业废渣、放射性及其它有毒有害固体废弃物的处理、处置和回收利用资源化等的工艺技术措施。它的主要研究领域有：固体废弃物管理；固体废弃物无害化处置；固体废弃物的综合利用和资源化；放射性及其它有毒有害废物的处理等。

4. 噪声、振动与其它公害防治技术：它主要研究声音、振动、电磁辐射等对人类的影响及消除这些影响的技术途径和控制措施。

5. 环境规划、管理和环境系统工程：它的主要任务是研究利用系统工程的原理和方法，对区域性的环境问题和防治技术措施进行整体的系统分析，以求取得综合整治的优化方案，进行合理的环境规划、设计与管理；它也研究环境工程单元过程系统的优化工艺条件，并用计算机技术进行设计、运行和管理。

6. 环境监测与环境质量评价：它的主要任务是研究环境中污染物质的性质、成分、来源、含量和分布状态、变化趋势以及对环境的影响；在此基础上，按照一定的标准和方法对环境质量进行定量的判定、解释和预测；此外，它还研究某项工程活动或资源开发所引起的环境质量变化及对人类健康和福利的影响等。

广义的环境工程学也还可以包括供暖通风和空气调节等。

习 题

0-1 请解释下列名词：

环境 环境问题 环境污染 污染物质 公害 环境科学

0-2 试分析人类与环境的关系。

0-3 试讨论我国的环境和环境污染问题。

0-4 什么是环境工程学？它与其它学科之间的关系怎样？

0-5 环境工程师的主要任务是什么？

0-6 环境工程学的主要内容有哪些？

第一篇 水质净化与水污染控制工程

第一章 水质与水体自净

水是自然界里最普遍存在的物质之一。没有水就没有生命。水对于人类来说是一种须臾也不能离开、不可缺少的重要物质，它是人类环境的一个重要组成部分。

第一节 水的循环与污染

一、地球上水的分布

地球表面的大部分为蓝色的海洋所覆盖。海洋约占地球总表面积的70%以上。它的平均深度大约为3800米。因此海洋可以看作是一个浩瀚的“水库”，地球上的水约有97.3%贮存在这里，其余不到3%的水量则分别存在于大气、地球其它表面和地表以下的地壳中。

地球上水的总量是很大的，据估计约有14亿立方公里之多。但是它的分布很不均衡。从表1-1所列的数字来看，人类生命活动所必需的淡水却是很有有限的，因为属于海洋中的咸水，除非经过人工淡化处理，是很难直接供人类使用的。而在占总量不到3%的淡水中，又有3/4存在于冰川和冰帽之中。大多数的大冰块又集中在南北极地，目前还极少被利用。对人类生活和生产活动关系密切而又比较容易被开发利用的淡水储量约为400万立方公里左右，仅占地球总水量的0.3%，而且这部分淡水在陆地上的分布也很不均匀。

我国的水资源还是比较丰富的，年降水量为60000亿立方米左右，相当于全球陆地总降

水量的5%，占全世界第三位。我国拥有地面水年径流量为27210亿立方米左右，仅少于巴西、前苏联、加拿大、美国和印尼，居世界第六位。但是由于我国人口众多，按人均年径流量计，仅为每人每年2500立方米，只相当于世界人均占有量的1/4。因此从这个角度上说，我国的水资源并不丰富。

不仅如此，我国的水资源还存在着严重的时空分布不均衡性。在空间(地区)分布上，总的说来是东南多西北少，南方长江流域和珠江流域水量丰富，而北方则少雨干旱，大约90%的地面径流量和70%以上的地下渗流量分布在不到全国面积50%的南方，而北方只有大约

10%的地面径流量和30%以下的地下渗流量。北方不少城市和地区的缺水现象已十分严重。在时间分布上，由于我国大部分地区的降水量主要受季风气候的影响，汛期四个月左右的降水，南方各省占全年降水量的一半，北方及西南各省占70—80%。这就导致了年内分配不

表1-1 地球上的水量分布

水分类型	水量(10^4km^3)	比例(%)
大气水	1.3	0.001
海洋水	132000	97.212
冰川和冰帽	2920	2.15
河水	0.13	0.0001
淡水湖	12.5	0.0092
盐水湖	10.4	0.0077
土壤水	6.7	0.0049
地下水	835	0.615
生物体内水	0.12	0.0001
总量	135784.85	100.0

均，年际变化很大。总的来说是冬春少雨、夏季多雨。有时还连续出现枯水年和丰水年的现象，更给水资源的合理利用增加了困难。

综上所述，根据我国水资源的分布情况，合理用水、节约用水、控制水体污染、保护水资源已是迫在眉睫的重要问题。

二、水的循环

水的循环分为自然循环和社会循环两种。

(一) 自然循环

自然界中的水并不是静止不动的。它们在太阳能的作用下，通过海洋、湖泊、河流等广大水面以及土壤表面、植物茎叶的蒸发和蒸腾形成水汽，上升到空中凝结为云，在大气环流——风的推动下运移到各处。在适当的条件下又以雨、雪、雹等形式降落下来。这些降落下来的水分，在陆地上分成两路流动：一路在地面上汇集成江河湖泊，称为地面径流；另一路渗入地下，成为地下水，称为地下渗流。这两路水流有时相互交流转换，最后都注入海洋。与此同时，一部分水经过地面和水面的蒸发以及植物吸收后茎叶的蒸腾又进入大气圈中。这种川流不息、循环往复的过程叫做自然界的水分循环或水的自然循环(图1-1)。

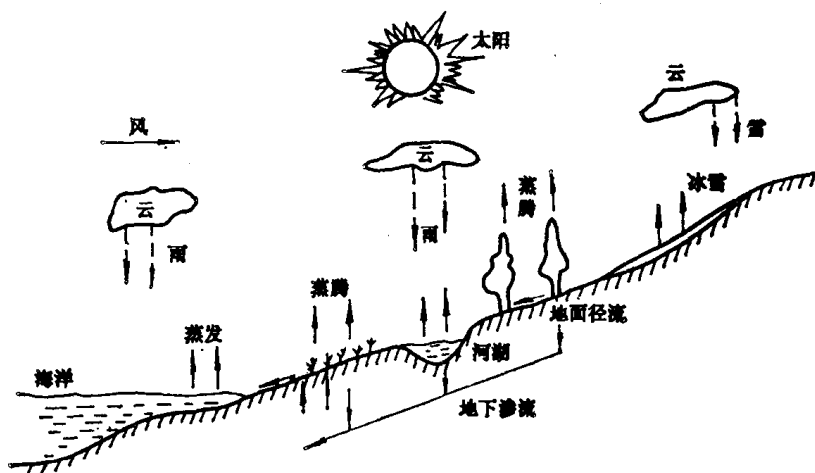


图1-1 水的自然循环

究竟有多少水参加了水的自然循环呢？一般用降水量来做为循环水量的大致尺度。据推算：整个地球上的降水量大致为每年40万立方公里。因此，每年的自然循环水量仅约占地球上总水量(14亿立方公里)的万分之三(0.03%)。这些循环水量中约有1/4强降落于陆地(约每年12万立方公里)。降水到达地面后，在多年平衡的情况下，约有56%的水量为植物蒸腾、土壤和地面水体蒸发所消耗，34%形成地面径流，10%通过下渗补给地下水，形成地下渗流。

(二) 社会循环

所谓水的社会循环指的是：人类社会为了满足生活和生产的需求，要从各种天然水体中取用大量的水。这些生活和生产的用水经过使用以后就成为生活污水和生产废水。它们被排放出来，最终又流入天然水体。这样，水在人类社会中也构成了一个局部的循环体系，这就叫做水的社会循环。

整个水循环系统应该包括水的自然循环和社会循环(见图1-2)。

人们的日常生活需要水。人体中的水约占体重的2/3。因此水是构成人类机体的基础，

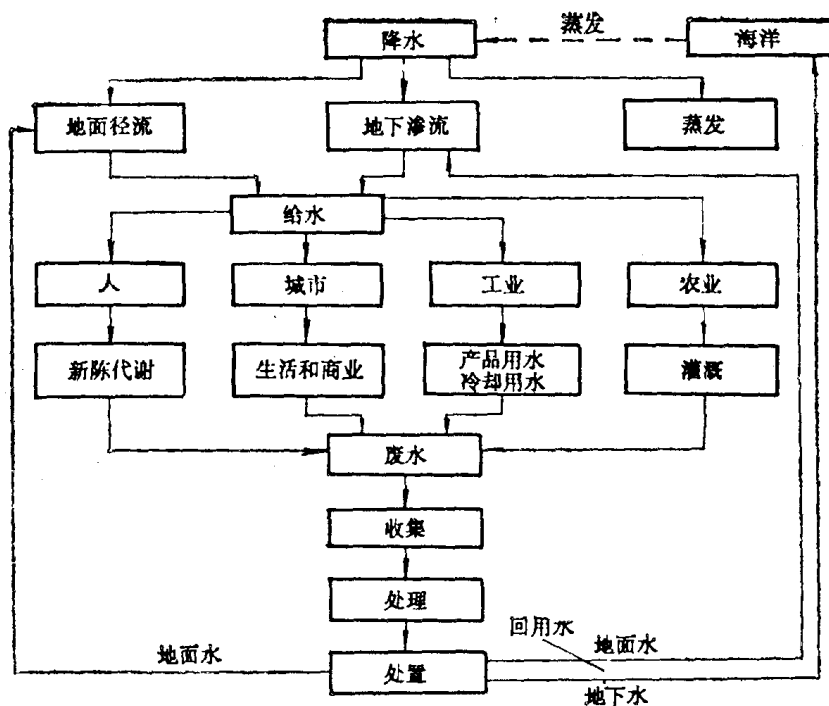


图1-2 水循环系统

又是传输营养和新陈代谢过程的一种介质。水还起着放散热量、调节体温的作用。从医学卫生的观点看，人类为维持正常生命，每人每天至少需要5升水，如果加上卫生方面的需要，全部生活用水量每人每天约需40—50升以上。一般来说，人们的生活水平越高，生活用水量也越大。目前，发展中国家平均每人每日用水量为40—60升，而发达国家则达每人每天200—300升，在一些现代化的大城市里还要更高一些。当然，用水量大小也与不同地区的气候条件和人们的生活习惯有关。表1-2列出了某些城市的生活用水量。

表1-2 某些城市的生活用水量

城 市	人均日用水量(L)	城 市	人均日用水量(L)
北京	148	巴黎	450
上海	150	伦敦	277(1968)
天津	80	罗马	443
广州	295	莫斯科	600
青岛	50	列宁格勒	530
大连	80	华沙	235
华盛顿	700	贝尔格莱德	248
纽约	670	斯德哥尔摩	437
芝加哥	824	日内瓦	590
旧金山	620	苏黎世	417
东京	492	维也纳	380
大阪	600	马德里	305
名古屋	423	都灵	413

工业生产更是离不开水。据统计，工业用水一般要占城市用水量的70—80%左右。各种工业，无论是发电、冶金、化工、石油，还是纺织、印染、食品、造纸等等，可以说，几乎没有一种工业不需要水。各类工业产品的单位用水量可因原料、工艺过程、管理水平等而有所不同。

表1-3列出了各类产品的单位用水量可供参考。

水是农业的命脉。水对农、林、牧、渔各业十分重要。不少国家尽管工业用水量很大，但用于农田灌溉的水量仍远远超过工业用水量。即使是一些工业发达的国家，如日本和美国的农业用水量通常是工业用水量的2—3倍。我国向来以农业为基础，农业是主要的用水和

表1-3 各类产品的单位用水量(m^3/t)

产 品	用 水 量	产 品	用 水 量	产 品	用 水 量
苛性钠	100—150	纸浆	200—250	白铁皮	50
苏打	50	报纸	280	铝	160
90%硫酸	30	毛织品	150—350	煤炭	1—5
硫酸铵	50—250	棉纱	200	石油	4
液氨	30	皮革	50—125	汽油	10—20
电石	60	人造丝浆料	660	水泥	1—4
丙酮	360	粘胶人造丝	2400	炸药	800
醋酸	400—1000	玻璃	70	合成橡胶	1250—2800
乙醇	200—500	甜菜糖	100—200	电力	$0.02m^3/kW \cdot h$
啤酒	20—80	钢铁	300		
肉类加工	8—35	钢板	70—75	汽车	$40m^3/辆$

耗水部门。据统计,长江流域每亩水稻田的需水量约为250—500立方米。北方地区主要农作物小麦、玉米和棉花每亩的需水量分别为200—300立方米、150—250立方米和80—150立方米左右。

随着世界人口的增长和工农业的发展,用水量也在日益增加。据统计和预测,全世界的总用水量将由1980年的3000立方公里增加到2000年的6000立方公里。另一方面,用水量增加的结果会使废水量也相应地增加。未经妥善处理的废水如果任意排入水体就会造成严重的污染,使本来已经并不充裕的水资源更加紧张。这就是在水的社会循环中表现出来的人与自然在水量 and 水质方面存在着的巨大矛盾。环境工程师的任务就是要研究和解决这些矛盾,在合理开发利用水资源的同时,必须有效地控制水体污染。

三、自然污染和人为污染

众所周知,水是由氢和氧两种元素化合而成的。它的最简单的化学式是 H_2O 。自然界的水在其蒸汽状态下通常是近乎纯净的。由于冷凝过程常常需要有一个表面或晶核,水在变为液滴时就有可能带入杂质。再加上液态水的流动性很大,溶解能力又很强,因此在自然循环中,水与大气、土壤和岩石表面接触的每一个环节都会有更多的杂质混入和溶入,使自然界几乎不存在纯粹的水。

水作为一种宝贵的资源,用途是很多的,主要有:(1)生活和饮用水;(2)工业用水(包括冷却用水、锅炉用水、生产工艺用水等);(3)农业用水(包括灌溉用水等);(4)渔业用水;(5)水生生物和海生生物的生存和繁殖;(6)娱乐旅游和水上运动;(7)水能利用;(8)航运等。各种不同的用途对水量和水质都有一定的要求。

另一方面,水在社会循环中,人类的活动会使大量的工业、农业和生活废弃物排入水中,使水受到污染。

我们知道,自然环境是一个动态平衡体系。它对其中各种物质的变化具有一定的自动调节能力,经过体系内部一系列的连锁反应和相互作用,又会建立起新的平衡。水体也有这种在一定程度下能自身调节和降低污染的能力,通常称之为水的自净能力。

但是,当进入水体的外来杂质含量超过了这种自净能力时就会使水质恶化,对人类环境和水的利用产生不良影响,这就是水的污染。

1984年颁布的《中华人民共和国水污染防治法》中为“水污染”下了明确的定义,即水体因

某种物质的介入，而导致其化学、物理、生物或者放射性等方面特性的改变，从而影响水的有效利用，危害人体健康或者破坏生态环境，造成水质恶化的现象。

水的污染有两类：一类是自然污染；另一类是人为污染。

自然污染主要是自然原因造成的。例如特殊的地质条件使某些地区有某种化学元素的大量富集，天然植物的腐烂过程中产生某种有害物质，以及降雨淋洗大气和地面后挟带各种物质流入水体等，都会影响当地水质。通常把由于自然原因而造成的水中杂质含量称为自然本底值或背景水平。如一般天然水中，氟的本底值为 $0.15-0.41\text{mg/L}$ ，镉的本底值为 $0.007-0.013\text{mg/L}$ 等。

人为污染是人类生活和生产活动中产生的废物对水的污染。它们包括生活污水、工业废水、农田排水和矿山排水等。此外，废渣和垃圾堆积在土地上或倾倒在水中、岸边，废气排放到大气中，经降雨淋洗和地面径流后各种杂质又流入水体，这些都会造成水的污染。

当前，对水体造成较大危害的是人为污染。

四、水污染的分类和影响

未经处理的工业废水、矿山废水、农田排水和生活污水中含有各种污染杂质，如果任意排入水体，就会引起水体污染。水污染可根据污染杂质的不同而主要分为化学性污染、物理性污染和生物性污染三大类。

(一)化学性污染

1. 无机污染物质：污染水体的无机污染物质有酸、碱和一些无机盐类。酸污染主要来自矿山排水和工业废水。矿山排水中的酸主要是含硫矿物经空气氧化与水作用而生成的。含酸多的工业废水有酸洗、粘胶纤维、染料及酸法造纸等。雨水淋洗含二氧化硫较多的空气后，流入水体也能引起酸的污染。碱污染主要来自碱法造纸、炼油、制革、制碱等工业废水。酸碱污染使水体的pH值发生变化，抑制或杀灭细菌和其它微生物的生长，妨碍水体自净作用，还会腐蚀船舶和水下建筑物，影响渔业，破坏生态平衡。一些工业废水中还常含有不少无机盐类，它们排入水体后将提高水的硬度和增加水的渗透压，降低水中的溶解氧，对淡水生物产生不良影响。

2. 无机有毒物质：污染水体的无机有毒物质主要是重金属等有潜在长期影响的物质，其中汞、镉、铅等危害较大，其它还有砷(特别是三价)、铬(六价)、硒(四价、六价)、钡、钼、氟化物、氰化物等。有毒重金属在自然界中一般不会自行消失，却可能通过食物链而积累、富集，以致会直接作用于人体而引起严重的疾病或促使慢性病的发生。

3. 有机有毒物质：污染水体的有机有毒物质种类很多，主要是各种有机农药、多环芳烃、芳香胺等。这些物质来自农田排水或某些工业废水，如焦化、染料、农药、塑料等。它们之中很多是自然界中本来没有而经人工合成的物质，化学性质很稳定，很难被生物所分解。有些有机物质还被认为是致癌的。

4. 需氧污染物质：生活污水、牲畜污水和某些工业废水中所含的碳水化合物、蛋白质、脂肪和酚、醇等有机物质可在微生物的作用下进行分解。在分解过程中需要消耗氧气，故称之为需氧污染物质。如果这类物质排入水体过多，将会大量消耗水中的溶解氧，造成溶解氧缺乏，从而影响水中鱼类和其它水生生物的生长。水中的溶解氧耗尽后，有机物质将进行厌氧分解而产生出大量硫化氢、氨、硫醇等难闻物质，使水质变黑发臭，造成环境质量进一步恶化。需氧污染物质是目前水体中最大量、最经常和最普遍的一种污染物质。

5. 植物营养物质:生活污水和某些工业废水中经常含有一定数量的氮、磷等植物营养物质。施用氮肥和磷肥的农田排水中也会有残余的氮和磷。水体中氮、磷的含量较高时,对一般河流的影响可能还不大,但对湖泊、水库、港湾、内海等水流缓慢的水域就会因此而使藻类等浮游植物及水草大量繁殖。这种现象称之为水体的“富营养化”。大量繁殖的藻类使鱼类的生活空间减少,有些藻类还含有毒性。藻类死亡腐败后又分解出大量营养物质,促使藻类进一步发展。如此恶性循环的结果,使水体外观呈红色或其它色泽,通气不良,溶解氧含量下降,引起水质恶化,鱼类死亡,严重的还可能导致水草丛生,湖泊退化。

6. 油类污染物质:随着石油事业的发展,油类物质对水体的污染已日益增多。炼油和石油化工工业、海底石油开采、油轮压舱洗舱以及大气中污染碳氢化合物的沉降等都可使水体遭到严重的油类污染,尤其海洋采油和油轮事故污染最甚,影响水质、破坏海滩、危害水生生物。

(二)物理性污染

1. 悬浮物质污染:悬浮物质是指水中含有的不溶性物质,包括固体物质和泡沫等。它们是由生活污水、垃圾和采矿、采石、建筑、食品、造纸等产生的废物泄入水中或农田的水土流失所引起的。悬浮物质影响水体外观,妨碍水中植物的光合作用,减少氧气的溶入,对水生生物不利。如果在悬浮颗粒上吸附一些有毒有害的物质,则更是有害。

2. 热污染:来自热电厂、核电站及各种工业过程中的冷却水,若不采取措施,直接排入水体,可能引起水温升高、溶解氧含量降低、水中存在的某些有毒物质的毒性增加等现象,从而危及鱼类和水生生物的生长。

3. 放射性污染:由于原子能工业的发展,放射性矿藏的开采,核试验和核电站的建立以及同位素在医学、工业、研究等领域中的应用,使放射性废水、废物显著增加,造成一定的放射性污染,其中对人体健康有重要影响的放射性物质有 Sr^{90} 、 Cs^{137} 、 I^{131} 等。

(三)生物性污染

生活污水,特别是医院污水和某些工业废水污染水体后,往往可带入一些病原微生物。例如某些原来存在于人畜肠道中的病原细菌,如伤寒、副伤寒、霍乱、细菌性痢疾等都可以通过人畜粪便的污染而进入水体,随水流动而传播。一些病毒,如肝炎病毒、腺病毒等也常在污染水中发现。某些寄生虫病,如阿米巴痢疾、血吸虫病、钩端螺旋体病等也可通过水进行传播。防止病原微生物对水体的污染也是保护环境、保障人体健康的一大课题。

第二节 水质指标与水质标准

一、水质指标

前面说过,自然界中没有绝对纯粹的水。无论是天然水还是各种污水、废水里都含有一定数量的杂质。

所有各种杂质,按它们在水中的存在状态可以分为三类:悬浮物质、溶解物质和胶体物质。悬浮物质是由大于分子尺寸的颗粒组成的,它们靠浮力和粘滞力悬浮于水中。溶解物质则由分子或离子组成,它们被水的分子结构所支承。胶体物质则介于悬浮物质与溶解物质之间(见图1-3)。

仅仅根据水中杂质的颗粒尺寸还不能全面反映水的物理学、化学和生物学方面的性质。

为了评价水的质量，必需建立水质和水质指标的概念。

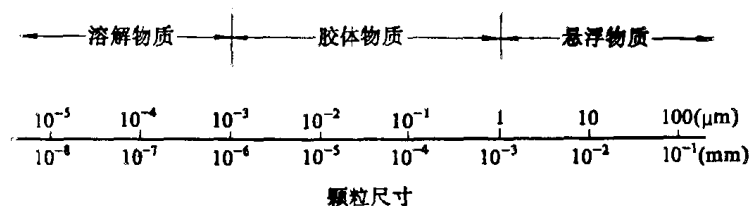


图1-3 水中杂质按颗粒大小分类

水质是指水和其中所含的杂质共同表现出来的物理学、化学和生物学的综合特性。各项水质指标则表示水中杂质的种类、成分和数量，是判断水质的具体衡量标准。

水质指标项目繁多，总共可有上百种。它们可以分为物理的、化学的和生物学的三大类。

(一)物理性水质指标

属于这一类的水质指标主要有：

1. 感官物理性状指标，如温度、色度、嗅和味、浑浊度、透明度等。
2. 其它的物理性水质指标，如总固体、悬浮固体、溶解固体、可沉固体、电导率（电阻率）等。

(二)化学性水质指标

1. 一般的化学性水质指标，如：pH、碱度、硬度、各种阳离子、各种阴离子、总含盐量、一般有机物质等。
2. 有毒的化学性水质指标，如：各种重金属、氰化物、多环芳烃、各种农药等。
3. 氧平衡指标，如：溶解氧(DO)、化学需氧量(COD)、生化需氧量(BOD)、总需氧量(TOD)等。

(三)生物学水质指标

一般包括细菌总数、总大肠菌群数、各种病原细菌、病毒等。

下面选择几种常用的和主要的水质指标作简单介绍。

1. 浑浊度(Turbidity)：天然水中由于含有各种颗粒大小不等的溶解物质，如泥沙、纤维、有机物和微生物等而会产生浑浊现象。水的浑浊程度可用浑浊度的大小来表示。所谓浑浊度是指水中的溶解物质对光线透过时所产生的阻碍程度。也就是说，由于水中有溶解物质的存在，使通过水样的一部分光线被吸收或被散射了，而不是全部呈直线穿透。因此，浑浊现象是水的一种光学性质。

一般来说，水中的溶解物质越多，浑浊度也越高，但两者之间并没有固定的定量关系。这是因为浑浊度是一种光学效应，它的大小不仅与溶解物质的数量、浓度有关，而且还与这些溶解物质的颗粒尺寸、形状和折射指数等性质有关。例如一杯清水中的一颗小石头并不会产生浑浊度，但如果把它粉碎成无数细微颗粒，会使水浑浊，就可测出浑浊度来了。

最早用来测定浑浊度的仪器是杰克逊烛光浊度计(Jackson Candle Turbidimeter)。它由三个基本部件组成：标准浊度玻璃管、支座和蜡烛(图1-4)。由于引起浑浊的物质

种类非常广泛,因此有必要采用一个标准的浑浊度单位,即在蒸馏水中含有 1mg/L 的 SiO_2 称为1个浑浊度单位或1度。标准浊度玻璃管上的刻度就是根据一定粒径纯二氧化硅的浑浊液来标刻的。由此测得的浑浊度称为杰克逊浊度单位(JTU, Jackson Turbidity Unit)。

近年来,光电浊度计得到了广泛的应用。它是依光线的散射原理而制成的。根据丁道尔效应,散射光强度与悬浮颗粒的大小和总数成比例,即与浑浊度成比例,散射光的强度愈大,表示浑浊度愈高。但要注意,光电浊度计(亦称散射浊度计)与烛光浊度计在光学系统上是有差别的:前者测得的是浑浊物质对光线在一个特定方向(与入射光呈 90° 直角)的散射光强度;而后者是浑浊物质对光线通过时的总阻碍程度,包括吸收和散射的影响。因此,即使散射浊度计经过烛光浊度计的校准,两者所测得的结果也很难彼此完全一致。这种在散射浊度计上测得的浑浊度就另称为散射浊度单位(NTU, Nephelometric Turbidity Unit)。一种由一定浓度的硫酸肼 $(\text{NH}_2)_2\cdot$

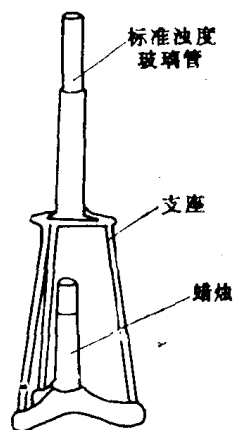


图1-4 烛光浊度计

H_2SO_4 和己撑四胺 $(\text{CH}_2)_6\text{N}_4$ 混合而成的化合物(称为甲臍聚合物, Formazin Polymer)配制的浑浊液用来作为测定散射光强度的标准参考浑浊液,因此有些文献中又把散射浊度单位称为甲臍浊度单位(FTU)。

把这样配制得到的甲臍浑浊液的浑浊度定为40度,这恰好与用烛光浊度计测得的浑浊度大致相同,即

$$40\text{度FTU} = 40\text{度NTU} \approx 40\text{度JTU}$$

因此,用甲臍浊度单位和用烛光浊度单位所测得的结果相差不多,但不完全一致,在测定报告中应予注明。

浑浊度是天然水和用水的一项非常重要的水质指标,也是水可能受到污染的重要标志。

2. 颜色(Color): 纯水是无色的,但自然界中的水往往因受外来杂质的影响而呈现出一定的颜色。

水的颜色有真色和表色之分。真色是由于水中所含溶解物质或胶体物质所致,即除去水中悬浮物质后所呈现的颜色。表色则包括由溶解物质、胶体物质和悬浮物质共同引起的颜色。

通常只对天然水和用水作真色的测定。水样如较浑浊,应事先静置澄清或用离心法除去浑浊物质而不能用滤纸过滤,因为滤纸可能除去一些真色。测定的方法是用铂钴标准比色法。先用氯铂酸钾 $(\text{K}_2\text{PtCl}_6)$ 和氯化钴 $(\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O})$ 配成与天然水黄色色调相同的标准比色系列,然后将水样与此标准系列进行比色,结果以“度”表示。1升水中含有相当于1毫克铂时所产生的颜色规定为1度,亦称1个真色单位(TCU, True Color Unit)。

对于废水和污水的颜色不作上述真色测定,而常用文字描述。必要时也可辅以稀释倍数法,即在比色管中将水样用无色清洁水稀释成不同倍数,并与液面高度相同的清洁水作比较,取其刚好看不见颜色时的稀释倍数者,此即为色度。在此法中,色度用稀释倍数来表示。

近年来,也有用分光光度法进行颜色测定的。

水的色度是评价感官质量的一个重要指标。有异常颜色的水也是受到污染的一种标