

水利水电学

王季震 编著



中国水利水电出版社

www.waterpub.com.cn

前 言

世纪交替时期的环境污染对我国的现代化建设和 21 世纪可持续发展进程产生了极其重大的影响,特别是水环境污染已经严重地阻碍着经济的发展,危害着人民的的生活和健康,影响着社会的安定。

1996 年,《国务院关于环境保护若干问题的决定》中提出“到 2000 年,全国所有工业污染源排放污染物要达到国家或地方规定的标准;各省、自治区、直辖市要使本辖区主要污染物总量控制在国家规定的排放总量指标内,环境污染和生态破坏加剧的趋势得到基本控制;直辖市及省会城市,经济特区城市,沿海开放城市和重点旅游区城市的大气环境,地面水环境质量,按功能分区分别达到国家规定的有关标准;淮河、太湖要实现水体变清;海河、辽河、滇池、巢湖的地面水质应有明显改善”。

目前,我国以上述“三河”、“三湖”为重点的水污染防治工作已经全面展开,其中,淮河流域水污染防治工作已取得较大进展,基本实现了治淮第一阶段的目标排放,削减了全流域 40% 的污染负荷。太湖、滇池、巢湖、海河、辽河也分别完成了流域水污染防治规划的编制工作。但是,要如期实现国务院规定的 2000 年水污染防治目标,任务仍相当艰巨。为了适应我国水污染防治工作的需要,编者根据长期从事水利和环境工程教学、研究工作的经验,参阅了大量中外关于水污染防治的书刊和资料,适时地编写了“水利水质学”一书,期望能为我国跨世纪水污染防治工程尽微薄之力。

这本称之为“水利水质学”的书,主要研究水利水体污染及自净规律、水质分析、水质监测、水质模型和模拟、水质评价以及水利水体污染综合防治技术等,并对与上述内容有关的水体污染物和污染源以及污、废水处理等方法等作了简要介绍。

“水利水质学”是由于水利对水质问题的需要而产生的一门新学科,也是在水利工程学、环境工程学和水资源工程学等多种学科交叉边缘发展起来的一门新兴学科,并涉及化学、微生物学、流体力学、计算数学和计算机技术等多种基础学科。因此它的内容十分丰富,并有一定的难度。编者在编写过程中,力求做到既有系统的理论知识又有实用的应用技术。该书是一本当代水质技术知识的综述,它既可以作为学习教材,也可以作为工作参考书。书中大部分内容,选自国内外书刊和资料,在此,对有关作者表示深深的谢意。

鉴于编者水平所限,书中错误和缺点在所难免,诚请读者不吝指教。

编 者

一九九八年四月

目 录

前言

第一章 绪论	(1)
第一节 水利的水质问题	(1)
第二节 水利水质学及其发展	(5)
第三节 水利水质学与相关学科的关系	(6)
第二章 水的自然状态	(8)
第一节 水的存在与水循环	(8)
第二节 水的物理化学性质	(10)
第三章 污染物质与污染源	(15)
第一节 污染物质	(15)
第二节 污染源	(25)
第四章 污水及污水处理	(27)
第一节 概述	(27)
第二节 污水的成分和性质	(28)
第三节 污水的物理处理法	(33)
第四节 污水的生物处理法	(38)
第五节 污水的化学及物理化学处理法	(46)
第五章 水利水体污染	(55)
第一节 概述	(55)
第二节 水体污染特性及其危害	(57)
第三节 河流污染	(61)
第四节 湖泊与水库水污染	(63)
第五节 海洋水污染	(63)
第六节 地下水污染	(64)
第六章 水质标准	(67)
第一节 概述	(67)
第二节 我国各类水质标准简介	(69)
第七章 水质分析	(83)
第一节 概述	(83)
第二节 常用水利水质分析项目	(88)
第八章 水质监测	(122)
第一节 概述	(122)
第二节 监测站网, 监测断面和采样点	(122)
第三节 采样时间和频率	(124)
第四节 采样设备和技术	(126)

第五节	水样的运送和保存	(129)
第六节	水样的预处理	(133)
第九章	水质模型	(134)
第一节	概述	(134)
第二节	污染物在水体中迁移转化规律	(135)
第三节	水质模型的基本方程与解法	(143)
第四节	河流水质模型	(159)
第五节	湖泊与水库的水质模型	(176)
第十章	水体质量评价	(183)
第一节	环境质量评价的基本概念	(183)
第二节	水体(水环境)质量评价的基本概念	(184)
第三节	水环境背景特征的调查与资料收集	(186)
第四节	污染源调查及评价	(187)
第五节	水体质量现状评价	(190)
第六节	水体(水环境)质量影响评价	(198)
第十一章	水利水体污染防治	(204)
第一节	水利水体污染防治的基本方法	(204)
第二节	河流水质模拟	(205)
第三节	水污染控制系统规划	(215)
主要参考文献		(242)

第一章 绪 论

第一节 水利的水质问题

传统的水利工程是人类开发利用自然界水利资源,以满足发电、航运、灌溉、防洪以及国民经济其他部门对用水要求的综合性技术科学。在自然环境特别是水环境不受污染时期,水质状况较好,水利工程解决水的水量问题及其所携带的能量问题,就能够满足水利的需要。然而今天,随着人口的增长,经济的发展,环境污染日益加剧,特别是严重的水污染使许多河流、湖泊、地下水,甚至整个流域严重污染,这实际上是给本来已经很匮乏的水资源造成更大的危机,水利面临着水污染造成的严重危机和挑战。据统计,目前,我国 80% 的水域,45% 的地下水受到污染,90% 以上的城市水源严重污染,近 50% 的城镇水源不符合饮用标准,沿海地区咸潮影响也较为严重。据预测,到 2000 年不但是西北地区缺水,而且是全国将普遍缺水。严重的水危机极大地阻碍了经济的发展,据有关资料显示,近 20 年来,中国经济以每年 10% 左右的高速度增长,但是由于供水不足,城市工业每年损失达 1200 亿元人民币,由于水污染造成的经济损失估计相当于国家当年财政收入的 6%。另外,水污染也已严重危及人们的生活和健康,影响到社会的安定,由水污染造成的民事纠纷也屡有发生。

水污染促使人们不得不重新认识和处理水的问题。近些年来,中外许多水利专家多次发出呼吁:“当今水利只解决水量问题已经不能满足水利的需要”“水利在解决水量问题的同时,必须解决水质问题”“水利 = 水量 + 水质”“没有水质,就没有水利”等等。这就是水利的水质问题。事实上,在目前水环境严重污染的情况下,水利必须使水量和水质并重。过去,在水质相对较好的年代,水利以满足水量需求为主要矛盾,而将水质要求放在次要位置;但是随着水污染的加剧,到了水质不能满足水利的需要,水质问题已严重阻碍水利事业发展的时候,水利水质问题就显示出来,并逐渐转变到与水量同等重要的地位。水利水质问题已经明明白白地摆在了水利行业的议事日程上。

一、黄河流域水污染现状

黄河流域废污水排放量与日俱增,20 世纪 80 年代初年排放量 21.7 亿 t,90 年代已达到 32.6 亿 t,10 年间增加 50% 以上,致使流域水污染日趋严重。据有关水质资料评价,在黄河干、支流 12500km 河长中,属 I、II 类水质的河长 1750km,仅占 14.0%;属 III 类水质的河长 2160km,占 17.3%;属 IV 类水质的河长 4280km,占 34.2%;属 V 类水质的河长 2010km,占 16.1%;劣于 V 类水质的河长 2350km,占 18.8%。与 20 世纪 80 年代初相比,I、II 类水质的河长减少了 42.8%,III、IV、V 类水质的河长却分别增加了 7.2%、24.7% 和 10.9%。

黄河干流刘家峡至高村 2863km 的河段,水环境均遭到不同程度的污染。其中兰州、包头两个老的污染河段,水质污染逐渐加重;郑州段的石油类污染未得到有效控制,水质长年处于 IV 类;包头段的耗氧有机物浓度明显上长,枯水期水质仍不能满足城市供水要求。更令人担忧的是原来水质较好的潼关(三门峡库区)、花园口两个中下游河段,水质也明显下降。10 年来,潼关河段氨氮的平均浓度增加 3 倍以上,水质长年为 IV 类;花园口河段的氨氮、挥发酚增加 2.5 倍,COD 增加近 2 倍。这些已经对郑州、新乡等沿黄河城市供水造成不良影响,

群众反映强烈。由此看来,黄河干流的水污染范围在逐步扩大。

黄河支流污染均较为严重。湟水西宁以下、汾河太原以下、渭河宝鸡以下、洛河洛阳以下,水质基本属于Ⅳ~Ⅴ类,大部分河段仅能满足农田灌溉用水要求。沁河、大汶河的污染更为严重,部分河段的水体功能已基本丧失。一些小的支流,如内蒙古的昆都仑河、山西的涑水河、河南的蟒河等,实际上已成了大的排污沟。这些河流的主要污染物是氯、氮、挥发酚和COD等耗氧有机物,10年间其浓度增加数倍至10多倍。从对泊水、大夏河、洮河、祖厉河、苦水河、清水河、窟野河、三川河、无定河、延河、汾河、涑水河、渭河、洛河、沁河、蟒河等16条河流的评价结果看,其中有12条入黄口水质达不到Ⅲ类(不能用作城市生活饮用水源地),占75%;为Ⅴ类或低于Ⅴ类水质的有7条,占43.8%;汾河、涑水河、蟒河等,水体功能已完全遭到破坏。

从开展初步监测和研究的部分支流和河段来看,黄河流域有毒、有害、有机物的污染也比较严重。多环芳烃在黄河干流孟津至花园口和洛河、蟒河均有检出,且浓度相当高,给水体造成严重污染。洛河从石灰湾至入黄口长12km的河段,硝基氯苯的检出值高达100~170 $\mu\text{g/L}$,超标1.0~2.4倍(前苏联标准),致使黄河干流邙山取水口以上60km的河道受其污染,并在郑州市自来水中亦有发现。黄河干流兰州段、汾河太原段“三致”(致畸、致癌、致突变)污染物均较显著。

二、淮河流域水污染及其防治

1. 水环境

对淮河流域1986年主要污染河段按平均值进行评价,超过三级水标准的有92个河段。对23条较大河流水质评价,污染最严重的有12条河流。淮河干流和大运河干流水质明显有逐年恶化的趋势,其主要污染指标是COD、酚等有机物指标。造成淮河流域水质污染的原因是多方面的,有城镇集中排放的工业废水和生活污水,有乡镇企业和面污染物随降雨径流汇入水体;但主要是城镇排污造成水体污染。据统计,全流域的180座城镇,每年排放污水约30亿t,其中工业废水占84.7%,生活污水占15.3%。这些污水中含COD94.05万t/a,挥发性酚698t/a,氰化物1144t/a,砷105.7t/a。

2. 远期水污染发展趋势

据全流域排污量预测,到2000年时污水排放总量将达到近80亿 m^3 。其中污染物质COD排放量为222.3万t/a,酚为2249.5t/a,氰化物为1526.8t/a,砷为227.0t/a。与现状相比,COD增加2.36倍,酚增加3.22倍,氰化物增加1.33倍,砷增加2.15倍。另由污径比分析可见,淮河流域各主要河流水污染随污废水、径流与年份变化而变化。总的污染趋势是随着排污量的增加而水质污染严重。尤其是不少平原河道,在枯水期的水量基本上是污废水量,为此,要改善水质条件、保护水环境、节约水资源,就必须抓紧采取强有力的对策和措施。

3. 水污染防治工作

1993年8月,“中华环保世纪行”采访组对淮河流域的水污染状况进行了曝光,引起了社会各界的广泛关注,党中央、国务院对此极为重视。1994年5月,国务委员宋健率国务院环境保护委员会部分成员赴淮河视察污染状况,并召开了淮河流域环保执法检查现场会。根据国务院领导同志的指示,提出了2000年使淮河水变清的目标,明确了加强淮河流域环境管理的一些措施,如充实和加强淮河流域水资源保护领导小组及其办事机构、制定《淮河流域水污染防治暂行条例》、编制《淮河流域水污染防治规划》等;并要求对一些污染严重、治理

无望的工业企业予以关停并转,同时加快污染治理的步伐。1994年8月国务院在北京召开了办公会议,就有关事项落实情况进行检查,充分体现了国家对治淮的决心。1995年8月国务院发布《淮河流域水污染防治暂行条例》,加大了执法监督力度,使淮河流域水污染防治工作走上了法制轨道。

1995年9月国务院环境保护委员会在连云港召开第二次淮河流域环保执法检查现场会。会议决定,根据产业结构调整的要求,淮河流域年产5000t以下小造纸厂和化学制浆设备于1996年6月30日以前全部关闭。该决定下达后,河南、山东、江苏、安徽四省和国务院有关部门积极行动。截止到1996年6月30日,淮河流域999家年产5000t以下小造纸厂制浆设备如期全部关闭,其中,河南关停440家,总产值3.3亿元,占全省淮河流域总排放量的15%;江苏关停118家,总产值2.2亿元,占全省淮河流域总排放量的10%;安徽关停239家;山东关停202家。关闭年产5000t以下造纸企业仅影响全流域工业产值1%~2%,但削减全流域污染负荷约10%~15%。至此,淮河流域水污染防治工作又迈出了坚实的一步。

4. 1998年1月1日水利部淮河流域水环境监测中心水质公报

为检验淮河流域1997年工业污染源达标排放工作成果,水利部淮河流域水环境监测中心于1997年12月31日上午9:00到1998年1月1日0:30,对淮河干流淮南和蚌埠段的8个有代表性的断面及5个主要入河排污口进行了连续监测。监测结果表明:入河排污口排污量大幅削减,淮河干流水质有所改善,工业污染源达标排放工作取得了重要的阶段性成果。

根据河道水质监测数据分析,1997年12月31日到1998年1月1日淮河干流中游段8个监测断面符合国家地面水环境质量Ⅲ类水标准的有2个,符合Ⅳ类水标准的有6个,未发现Ⅴ类或超Ⅴ类水断面,水质比1997年11月和1997年1月均有不同程度的好转,但河水氨氮浓度仍较高。

根据对入河排污口水质监测数据分析,淮河中游淮南、蚌埠两市的5个主要入河排污口中的4个COD排放量比1997年1月有大幅度的削减,其削减率均在60%以上,有一个排污口的COD排放量比1997年1月增加50%。与1997年平均浓度比较,有2个排污口的COD削减率在50%以上,1个削减30%,1个基本无变化,1个增加30%。本次监测有4个排污口仍有个别项目超标。

根据干流和排污口水质监测结果综合分析,入河排污口1997年底时排污量大幅度削减,淮河干流水质有所改善。

三、上海市水体污染情况

上海市位于东海之滨,处于长江三角洲与太湖流域下游。境内有长江与黄浦江及其支流经过,它们是上海地区主要供水水源,也是行洪、排涝、航运与纳污的渠道,为上海市的经济文化的发展,提供了极其优越的自然条件。但是,由于严重的水污染给整个上海地区的工农业生产和人民的健康带来极不利的影响。据调查,在长江干流老石洞附近,因有上海市两区排污管的近岸边排放,在排污口一带形成了长约7~9km、宽约0.5~1.0km的黑水带,在潮汐作用下,黑水带有时能随潮进入黄浦江内。黄浦江是上海市的主要供水河道,全市各水厂和工厂的取水口以及农田用水取水口都分布在干流的沿岸。但由于全市的工业与生活所生产的废污水,大部分就近排在河网中,并且约有2万余艘次的船只在干流中航行,另外,在港停留的船只也有5000艘,它们的废弃物大都投入黄浦江中,年容纳的垃圾约5.5万t。根据水质监测资料,干流除淀山湖及上游河段属二级标准外,其余为三~六级水质标准。在

距河口约 200~300km 内水质最差。在黄浦江的支流中,约有 8 条支流,如苏州河、虹口港、日晖港和杨树浦港等,已终年发生黑臭,干污河段中黑臭出现的时段已扩展为 2~12 月,黑臭天数一般长达 150d 左右。

四、官厅水库水污染情况

官厅水库是新中国成立后修建最早的一座水库,是北京市重要饮用水源之一。根据 1975~1986 年的监测资料来看,水质污染含量从 1980 年开始逐年增加,在 15 个监测项目中,亚硝酸盐含量在 0.07~0.04 范围内,1985 年平均为 0.084mg/L,1986 年为 0.039mg/L,超过地面水二级参考标准(0.01mg/L);溶解氧 1988 年为 6.44mg/L,1986 年为 6.73mg/L,已接近地面水二级标准的极限值;1986 年耗氧量为 4.43mg/L,超过二级标准(≤ 4.0 mg/L);氟化物 1985 年为 1.1mg/L,超二级标准(1.0mg/L),1986 年为 1.0mg/L。酚、氰、砷、汞、铬五毒均有检出。从水的物理特性来看,水色发黄,水草丛生,有成片的藻类在浮动,在河口及堤前有明显的腥臭味,水质富营养化。

五、巢湖水质评价

巢湖是我国五大淡水湖之一,是安徽省第一大湖,湖泊总面积约 800km²。随着经济的发展,工业“三废”、农用化肥、农药及生活污水、垃圾等对湖水的污染十分严重,据统计,巢湖沿岸每天有 50 万 t 废水(其中 90% 未经处理)进入巢湖,60 多家中小磷矿的废水和粉尘也给巢湖带来大量污染。1992~1994 年巢湖水质监测评价结果如表 1-1 所示。

表 1-1 1992~1994 年巢湖水质等级综合评价

检测项目		水质评价等级											综合评价
		pH	DO	COD	BOD ₅	NH ₃ -N	IN	TP	酚	CN ⁻	As	Hg	
巢湖水域	东半湖	一	一	三	三	三	四	四	一	一	一	一	三
	西半湖	一	一	三	二	二	四	四	一	一	一	一	三
	南肥河口	一	三	四	四	六	六	五	四	一	二	一	六
	派河口	一	一	三	三	六	六	四	一	一	一	一	六

六、白洋淀水污染及危害

白洋淀是大清河流域中游的天然蓄水洼淀,也是河北省最大淡水湖泊,具有缓洪滞沥调节天然径流、蓄水灌溉、渔业生产和航运等综合效益。白洋淀淀区总面积 362.8km²,滞水位 9.1m 时容积 10.7m³。由于保定市和中小城镇工业的发展,水污染日趋加剧,全流域 1985 年工业生活污水排放量达 2.6 亿 t,平均每日 70 万 t,污净比多年平均达 1:16,平水年达 1:12,特枯水年达 1:4,这些含有大量有机物的污水造成地表水和地下水的污染。保定市日排放污水 26 万 t,工业污染物 4.9 万 t/a,造成对白洋淀的直接污染。据 1979~1984 年监测,全淀平均高锰酸钾指数达 9.6mg/L,为Ⅱ类水标准的 1.6 倍,1988~1989 年藻类污染严重时超过Ⅴ类水标准,大部分区域超Ⅱ类水标准,水体污染以有机污染为主。水污染破坏了白洋淀生态环境,鱼虾年产量比 20 世纪 80 年代下降了 82%,淀内芦苇大面积枯死,莲藕、菱角、芡实都无法生长。

白洋淀的水污染及其危害引起国务院、水利部和河北省的高度重视,1989年河北省制订了白洋淀综合治理规划,其中对水污染的治理,要求首先采取措施,对工业、生活污染排放量及排放污染物浓度,进行污染总量控制,保护好入淀水源,然后对白洋淀进行水体功能分区,有计划、有目标地综合开发淀内、淀周的社会经济潜力,维护和改善这一地区的生态环境。

第二节 水利水质学及其发展

水利水质学是一门专门研究水利水体质量(简称水利水质)的新兴学科。

广义的水体是指河流、湖泊、水库以及地下水等贮水体的总称。在环境领域中,水体是一个完整的生态系统或自然综合体,除了贮水体中的水外,它还包括水中的悬浮物、溶质、水生生物和底泥。

从水的利用意义上来讲,水利水体是指水力发电、航运、农田灌溉、淡水(水库、河湾、湖泊、池塘、稻田等)养殖、城市供水水源用水和乡镇供水等。从贮水体的概念来说,水利水体含于河流、湖泊、水库以及地下水等贮水体中;从环境的概念上来理解,水利水体就是河流、湖泊、水库以及地下水等贮水体的全部。因为水利的环境问题是水利重要组成部分。例如,水库中用于发电、灌溉的水不是水的全部,但是整个水库水环境问题,是水利的重要组成部分。当然,水利的环境问题还包括移民和生态平衡等问题。另外,从水利用水概念上来理解,可以认为各种污水和城市污水厂处理后的污水在直接排入水体或用于水利农田灌溉时,也属水利水体,但处理后的污水用于工业冷却水(如电厂冷却水)、绿化用水和冲洗用水时,就不属水利水体。

水利水质学研究的主要内容是:水利水体的污染物质及其来源,水利水体污染与自净规律,水利水质分析、监测与评价,以及水利水体污染的控制与综合治理等。

水利水质学是一门新兴的学科,如前述,水利水质问题在水环境无污染或污染不严重时期,不被人们所认识,在水利行业中也不被重视,有人甚至认为水质问题不是水利部门的事。但是,随着水污染的日益加剧,水利水质问题越来越突出,作为专门研究水利水质问题的水利水质学也正在逐渐形成并被人们所接受。事实上对水利水质问题的研究已由来已久。例如:河流泥沙的研究,实质上就是水利水质问题,泥沙是水利水体的一种污染物。1979年,水利部门颁发了《水质监测暂行办法》,1983年又转发了《水质监测规范》,说明了水利水质问题已经纳入规范化管理。从1988年开始,中国水利学会环境水利研究会在全国范围内先后几次召开环境水利研讨会,使环境水利和水质研究工作在全国广泛深入开展,在此期间和之后,水利部长江水利委员会、黄河流域水资源保护局以及各省市的水利研究会等,也都根据各自所辖流域或地区的水利环境问题或水资源污染问题,召开了相应的学术研讨会,大量的研究报告和学术论文,提供了丰富的涉及方方面面的水利水质问题的研究成果,为水利水质学的形成奠定了坚实的基础,提供了可靠的依据。作者根据我国水利水质问题研究进展的情况和我国水利事业的发展对水利水质问题研究的实际需要,在全国首次提出水利水质学,相信水利水质学将成为水利学科的一个重要组成部分,并为古老的水利学科的发展增加新的内容和活力。

水利水质学有着广阔和深远的发展前景。这主要是由于水量的有限性、水的不可替代性和水的可重复使用性决定的。水利水质学所研究的水利水质保护、控制和管理问题,是实

现水重复利用,实现水资源可持续发展的基本途径。在目前水环境严重污染的情况下,只有实现水资源的可持续发展,才能实现人类的可持续发展。另外,随着经济的发展,人民生活水平的提高,人们对生活和生产用水的水质的要求越来越高,对环境的质量要求也越来越高。因此,水质重要性越来越突出,越来越为人们所重视,这必将带动和促进水利水质学的进步和发展,水利水质学有望在近几年内发展成为一门既有系统理论又有广泛实用价值的新学科。

第三节 水利水质学及相关学科的关系

各种学科依其研究对象和研究事物规律的特殊性有其不同质的内涵和外延。各种学科相互区别而又相互交叉渗透是普遍现象,并常常在交叉的边缘上发展出新的学科——边缘学科。水利水质学也不例外,水利水质学就是在水利工程学、环境工程学、水资源工程学和给排水工程学等多门学科边缘交叉发展起来的一门新兴学科,它以水利水体为研究对象,研究水利水体的污染规律、水利水质的监测控制和管理等有关的科技问题,以满足水利对水质的要求。其基本核心是水利水质的控制技术,其基本任务是实现水资源的可持续利用。

所谓学科相关,主要指各学科的研究对象、内容以及所涉及的技术基础知识等方面有类同、交叉、重复和渗透,并且构成一定程度的互补和互用,但研究目的和内容都各有自己的核心和侧重点。与水利水质学相关的学科主要有污染水力学、环境水利学、水污染控制系统规划、水资源保护、污水处理技术和净水技术等,现仅就这些学科与水利水质学的相关关系简述如下。

1. 污染水力学

污染水力学主要研究污染物质在水体中的扩散输移规律及其应用。它与水利水质学的交叉点和相关领域主要是河流和水库水质模型和污染带的确定,但污染水力学基本上不涉及水质中的生物化学过程,也不研究水体质量评价与水体污染的治理。

2. 环境水利学

环境水利学主要研究人类开发利用水资源、修建水利工程与环境质量之间的对立统一关系的科学。它既包括与环境有关的水利问题,也包括与水利有关的环境问题,它与水利水质学的交叉点和相关领域主要是水利水体污染和水环境质量控制,但是,诸如水土流失、河道淤塞变形、灌溉引起的土地盐碱化和移民带来的生态环境的变化等环境质量问题的研究范围。

3. 水污染控制系统规划

水污染控制系统规划主要是运用系统工程的方法和计算机技术,解决水污染控制系统的规划问题。水污染控制系统规划涉及水利水质学中的水污染和水质控制,但它的研究重点是系统工程理论和计算机技术在水污染控制规划中的应用。

4. 水资源保护

水资源保护是在研究水体自净能力基础上,合理进行开发利用水资源,并对水资源进行污染防治的研究。水资源保护研究既有水质问题也有水量问题,而水利水质学基本上不研究水量问题,不研究水资源的调配问题,也不研究水资源保护中的地下水位下降引起的环境问题。

5. 污水处理技术

污水处理技术主要研究生活和生产污废水处理工艺和工程。经污水厂处理后的污废水一般直接排入水体。污水处理技术与水利水质学的交叉点是研究污染物和水污染及其危害,但污水处理技术重点研究污废水的各种处理方法和工程。而水利水质学重点研究水体的污染规律及水利水体质量的监测与控制技术。

6. 净水技术

净水技术又称给水处理技术,主要研究城镇和工业等用水的水处理工艺和工程。给水的水源是水利水质学中的江河、湖泊、水库水体和地下水,给水处理后水质必须符合国家饮用水标准和工业标准。

综上所述可以看出,以上几种学科与水利水质学都有相似点和相关领域,但是,几种不同学科又有各自不同的核心和侧重点,并且相互间不能代替。因此可以说,尽管有与水利水质学相关的多种学科,但是水利水质学的存在是必要的,是其他学科所不能取代的,水利水质学在学科领域中独树一帜,并与其他学科相辅相成,一定能获得应有的发展。水利水质学与污染水力学和环境水利学等学科一样,将成为水利学科的重要组成部分。

第二章 水的自然状态

第一节 水的存在与水循环

一、水的存在和分布

在人类居住的地球上,海洋面积约占地球总表面积的 70% 以上,海洋平均深度大约为 3800m,地球上的水约有 97.3% 储存在浩瀚的海洋之中,其余不到 3% 的水量则分别存在大气、陆地表面和地表下的地壳之中。

据有关资料,地球上水的总量约为 14 亿 km^3 ,其中除海水、冰川、深层高矿化地下水外,可开发利用的且逐年更新的淡水,其总量约为 40 万亿 m^3 ,仅占总水量的 0.03%。并且,世界总水量和人类生命所必需的淡水在地球上的分布也很不均匀,表 2-1 列出了地球上的水量分布情况。

表 2-1 地球上的水量分布

水 分 类 型		水量(万 km^3)	比例(%)
大 气 水		1.3	0.001
地 面 水	海水	132000	97.252
	冰川和冰帽	2900	2.136
	河水	0.13	0.0001
	淡水湖	12.5	0.0093
	咸水湖	10	0.0075
地下水		806.5	0.594
生物体内水		0.12	0.0001
总量		135730.55	100.00

我国水资源总量约为 27200 亿 m^3 ,仅次于巴西、前苏联、加拿大、美国和印度尼西亚,居世界第 6 位。但由于我国人口众多,人均占有量很低,约为 2420 m^3 ,只相当于世界人均占有量的 $\frac{1}{4.8}$,列世界第 84 位,说明我国的水资源并不丰富。

我国的水资源不仅人均占有量少,而且时空分布很不均匀,东南地区年降水量高的可达 1600mm,西北地区只有 500mm 左右,少的地区不到 200mm。我国各地降水量年际差别也很悬殊,丰水年与枯水年降水量之比,南方地区为 1.5~3.0 倍,北方地区为 3.0~6.0 倍。降水量的年内差别也很大,我国大部分地区全年 60%~80% 的降水量都集中在夏秋季 3~4 个月内。我国北方地区水资源短缺情况最为严重。根据多年降水量和径流量的多少,可将全国分为丰水、多水、过渡、少水和缺水五个地带,如图 2-1 所示。

二、水的循环

水的循环分自然循环和社会循环两种。

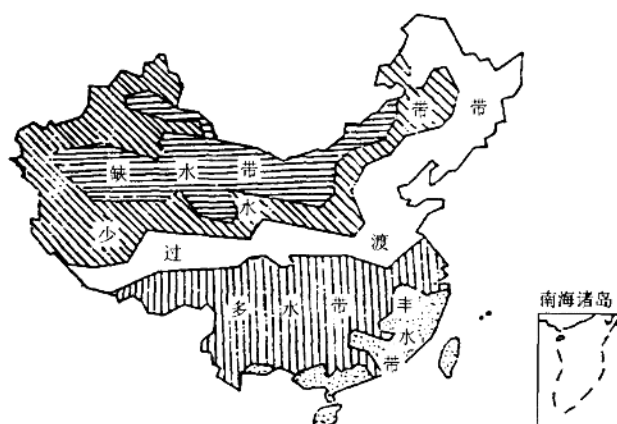


图 2-1 我国水资源分布示意图

1. 自然循环

自然界中的水并不是静止不动的。所有这些在太阳能的作用下,通过海洋、湖泊、河流等广大水面以及表土、植物茎叶的蒸发和蒸腾化为水汽,上升到空中凝结为云,在大气环流——风的推动下,传播到各处。在适当条件下又以雨、雪等形式降落下来。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,一部分水经过水面和地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中的水文循环或水的自然循环。图 2-2 为水的自然循环示意图。

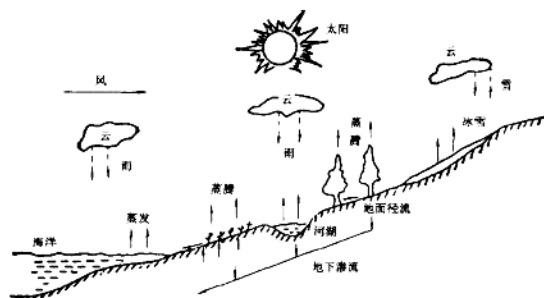


图 2-2 水的自然循环示意图

水的自然循环又由大循环和小循环组成。一般来说,水被蒸发后,凝结成雨,未经很大距离的移动就降回原处附近的这种局部的循环路径称为小循环,也叫内循环。而水从海面蒸发后,被风吹到大陆上空,也叫外循环。

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。据推算认为:整个地球上的降水量大致为 400 万亿 m^3/a , 其中 $\frac{1}{4}$ 降于陆地。因此自然循环的水量约占地球上总水量(14 亿 km^3)的万分之三。

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、土壤和地表水体蒸发所消耗;34% 形成地面径流;10% 通过下渗补给地下水,形成地下径流,其中绝大部分又转为河川径流,被河道所排泄。我国拥有地表水年径流量为 27210 亿 m^3 左右就是据此估算的。

2. 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。这些生活和生产用水经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。图 2-3 为水的社会循环示意图。

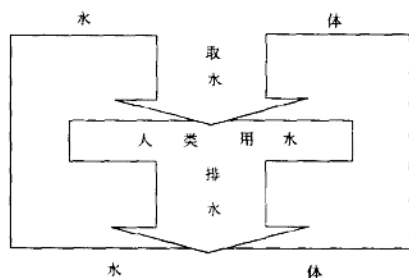


图 2-3 水的社会循环示意图

第二节 水的物理化学性质

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 。在常温下,水是以液态存在的,有着一般液体的共性,如流动性、不可压缩性等等。但是它又具有许多与其他物质截然不同的特异的物理化学性质。水就是依靠这些特殊性质来发挥它在自然界的种种巨大作用的。因此,了解水的这些性质,对于研究水利水质问题是十分必要的。

一、水的相图和三态变化

水在不同的温度和压力下,可以呈现为不同的聚集状态:气态(水蒸气)、液态(水)和固态(冰),也可以同时有两种甚至三种不同的状态共存。

图 2-4 是水的三态变化相图。 OA 、 OB 、和 OC 三条两相线将相图分为三个单相区域。

如果水(作为一种物系)的温度和压力条件落在这三个单相区的任何一区内,则表示这时的水就以相应的聚集状态存在。如果落在这三条线上,则表示以相应的两相共存。 O 点是三条两相线的交点,称为三相点,它的坐标是 0.0098°C 和 602.5Pa 。在该 O 点处表示这时以冰、水、水蒸气三相共存。

从图中标有斜线的部分可以看出:在人类通常生活的温度、压力条件下,自然环境中绝大部分水是以液体状态存在的。当温度改变时,水的分子结构可以不变,仅在物态上作相应的改变。

在物理和化学中,我们已经熟悉了水的蒸发、沸腾和凝固现象以及水的沸点和冰点。当外界压力为 1 个大气压时,水的沸点为 100°C ,冰点为 0°C 。它们都在常温附近,用一般的冷却或加热方法不难达到。因此,在生产实践中常可利用水的固、液、气三态变化来转换热量。

值得注意的是:水的沸点和冰点都比周期表中氧族氢化物的同系物(如 H_2S 、 H_2Se 、 H_2Te)要显得特别高(见图 2-5 和表 2-2)。按周期表规律的推算,水的沸点和冰点应分别为 -80°C 和 -100°C 左右。如果是这样的话,则在地球上的通常温度下,水都呈蒸气状态了。幸而实际并非如此。

表 2-2 氧族氢化物的某些物理常数

化合物	分子量	冰点 ($^{\circ}\text{C}$)	沸点 ($^{\circ}\text{C}$)	熔化热 (kJ/mol)	汽化热 (kJ/mol)	偶极矩 (D)
H_2O	18	0.0	+100	6.03	40.70	1.85
(H_2O)		(-100)	(-80)	(2.09)	(12.56)	
H_2S	34	-85.5	-60.3	2.37	18.67	0.40
H_2Se	81	-65.7	-41.3	2.51	18.51	0.40
H_2Te	130	-51	-2.2	4.19	23.24	<0.20

这是因为水分子是极性分子。当两个水分子相互接近时,分子间的范德华力中除了有色散力的作用外,还有诱导力和取向力的作用。对于大多数物质的分子来说,色散力往往是组成范德华力的主要部分。但由于水分子的偶极矩很大($1.85D$, $1D = 10^{-18}\text{cm}\cdot\text{静电单位}$),而取向力与分子的偶极矩平方成正比,因而水分子的取向力很大,成为范德华力的主要部分,并使得水分子的范德华力也很大。此外,由于水分子之间有氢键的作用(图 2-6),更使分子之间产生了较强的结合力。要使水汽化或使冰熔化必须给予更多的能量以破坏分子间的氢键和这

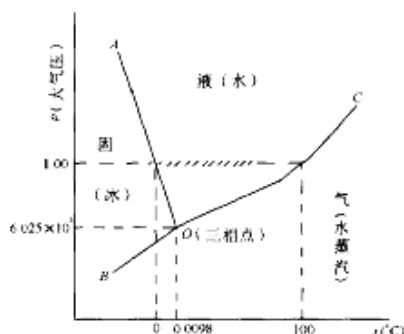


图 2-4 水的相图

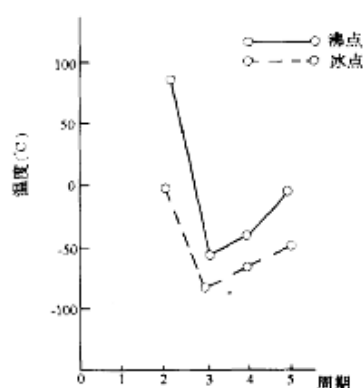


图 2-5 氧族氢化物的沸点和冰点

些分子间力。

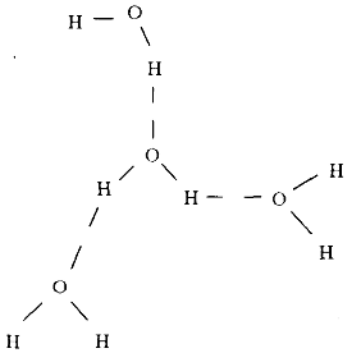


图 2-6 水分子的氢键

二、水的热容量

在所有的流体和固体物质中,水具有最大的比热。在 1 个大气压下 15℃ 时水的比热为 4.18J/(g·℃),而其他物质,如酒精为 2.42、煤油为 2.13、砂石为 0.92、钢铁为 0.46。这就是说,温度每升高或降低 1℃ 时,1g 水所吸收或放出的热量比 1g 其他物质都要多。

此外,100℃ 时水的汽化热是 2.253kJ/mol (或 40.63kJ/mol),0℃ 时冰的熔化热是 333.02J/g (或 6.02kJ/mol)。这两个相变潜热值也是很高的,而且在氧族氢化物的同系物中也属异常(见表 2-2)。

这些都是由于在水提高温度增强水分子热运动时,不但要克服分子间的范德华引力,而且更要摆脱分子间氢键的束缚。所以水的热容量是很大的。因此,在生产中水可以用来作为良好的热交换介质,用于冷却、贮热、输热等过程。在自然界,天然水体可以调节气温,使其变化幅度不致过分剧烈,这对于改善环境也是

有意义的。至于水能很好地起到调节人体温度的作用,更是不言而喻了。

三、水的密度

水的密度随温度的变化也有异常现象。水在 4℃ (严格说来是 3.98℃) 时具有最大的密度,数值为 1.00000g/cm³,这时水的体积最小,而超过或低于此温度时水的体积都会膨胀,密度减小。

“热胀冷缩”本是物质的一般变化规律,但水在 0~4℃ 这一段温度内却不服从这一规律。0℃ 时水的密度为 0.99987g/cm³。体积反而比 4℃ 时增大了。这就是通常所称的水的反常膨胀,或者叫做水的温度——体积效应异常。另外,水在结冰时,由于氢键的作用形成了整齐排列的六方晶系晶格结构,体积又会比 0℃ 的水膨胀约 $\frac{1}{8}$,密度进一步减小到 0.91675g/cm³。由于这样的特性,天然水体中在冬季结冰时,冰浮于水面形成表面冰盖,隔绝了深层水与外界的热量交换,保持深水水温,使水下生物得以生存,这对于自然界的生命活动有着重大的意义。

水的温度——体积效应异常的原因可作如下解释。极性的水分子之间由于氢键而发生缔合(相同分子之间的结合)现象。因此在液态水中除了单个的水分子(H₂O)之外,还会有 (H₂O)₂、(H₂O)₃、…、(H₂O)_n 等缔合分子。



常见的缔合水分子中,(H₂O)₂ 具有两个氢键,结构紧密,比较稳定(见图 2-7);而 (H₂O)₃ 则体积较大,结构松散。当水受热,温度升高时,同时进行着两种对水的密度发生影响的过程。一方面由于水分子热运动增强,使分子间距增大,体积膨胀,密度减小;另一方面水温升高,式(2-1)平衡向左移动,缔合程度减少,即若干氢键解体,使一部分水分子之间排

列得更为紧密,这样就使体积缩小,密度增大。水的密度随温度变化的实际结果是上述两种相反过程的综合体现。在4℃以前,氢键解体使密度增大的过程占优势,这时 $(\text{H}_2\text{O})_3$ 逐渐减少, H_2O 和 $(\text{H}_2\text{O})_2$ 逐渐增多,因而出现了温度升高,水的体积缩小的反常现象。 $(\text{H}_2\text{O})_2$ 的含量在4℃时最多,此时水分子间堆积最紧密,故密度最大。而到4℃以后,分子热运动增加而使密度减小的过程占主要地位,因此水的体积逐渐增大而密度逐渐减少。

压力对水的密度只有轻微的影响。压力每增加1个大气压或水深每增加10m,密度将增加 $5 \times 10^{-5} \text{ g/cm}^3$ 。这就是通常所说的不可压缩性。水压机就是应用了水的这个性质。

水的密度还随溶解杂质的增加而增加。所以海水的密度往往要比淡水大得多。正常海水的密度达 1.02374 g/cm^3 。

四、水的表面性能

在所有常温下的液体中,除汞以外,水具有最大的表面张力。一般液体的表面张力大多只在 $20 \sim 50 \times 10^{-5} \text{ N/cm}$ 左右,而水的表面张力则达 $72.80 \times 10^{-5} \text{ N/cm}$ (20℃)。这也是由于水具有很强的极性和生成氢键而引起的,其结果大大增强了水分子相互之间的作用力,使得水的内聚力很大。

所以,内部的水分子强烈地趋向于把表面的水分子拉入内部,从而造成了很大的表面张力。

水的各种表面特性,如毛细、润湿、吸附等一系列界面现象都是很突出的。水靠其极大的表面张力产生毛细管现象,毛细管作用在水处理中也有广泛的应用。所以水的表面性能对于各种物理化学作用以及自然界机体的生命活动都有重要的影响。

五、水的溶解和反应能力

水是一种极为重要的溶剂。水的溶解能力极强,是其他任何物质难以比拟的。而且由于水的介电常数很大(20℃时为80.4),故其溶质电离的能力极强。许多物质不但在水中有很大的溶解度,而且有最大的电离度。水中溶解的各种物质可以进行各种化学反应,还可以同溶剂水发生各种反应。

水本身很容易参与化学反应,它与许多金属氧化物、非金属氧化物以及活泼金属都可以发生反应作用,其生成物还可再进一步参加不同性质的各种反应。水在许多反应中还是一种催化剂。极微量的水有时会对反应的进行起到重大的作用。

水的这些极为重要的性质也主要是由于水分子的极性强,易于同另外的物质形成氢键等特性所引起的。

根据“相似溶于相似”的一般规律,水的极性分子在与离子晶体化合物或其他极性分子化合物接触后,可以生成某种结合键,这就是所谓离子的水化作用。它将使原晶体内部的离子键或分子内部的极性键减弱。在多个水分子的作用下,离子键可以完全解体;极性键会过渡为离子键,最终发生电离而成为离子。各个离子随水分子一起进行热运动而进入溶液。这种阴、阳离子借助于外面结合的水化膜而阻止了相互的吸引。并且水的介电常数意味着它们在水中时相互的结合力仅为在空气中的 $\frac{1}{81}$ 。所以溶于水中的离子就难于互相集结以形成晶胞,在一般情况下则呈离子状态存在。图2-8形象地说明了两类化合物在水中溶解的

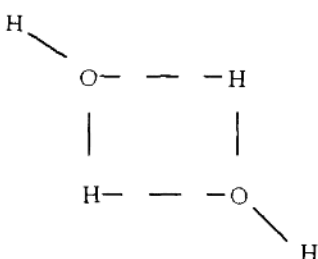


图2-7 由两个氢键形成的双分子水 $(\text{H}_2\text{O})_2$