

水污染控制 与资源化工程

黎松强 涂常青 编著



武汉理工大学出版社

水污染控制与资源化工程

黎松强 涂常青 编著

武汉理工大学出版社

· 武 汉 ·

内 容 提 要

本书从“水——人类生存和发展不可替代的自然资源”这一牵动着人们对生命呼唤的沉重话题出发,较全面地论述了水资源,水循环,水污染,对水污染的物理处理、化学处理、物化处理、生化处理、污泥处理,以及污水治理工程场、站设计等,反映了当代水污染控制的工艺流程、技术参数、设计计算等内容。

本书可供环境科学、环境工程、给排水及其他相关专业的研究人员和工程技术人员参考。也适用于高等院校环境科学、环境工程、给排水工程专业作教材和参考书。对从事环境教育、环境管理与决策等专业人员也有一定的参考价值。

图书在版编目(CIP)数据

水污染控制与资源化工程/黎松强,涂常青编著. —武汉:武汉理工大学出版社,2009.2
ISBN 978-7-5629-2891-1

I. 水… II. ①黎… ②涂… III. 水污染-污染控制 IV. X52

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 017145 号

出版发行:武汉理工大学出版社(武汉市洪山区珞狮路 122 号 邮编 430070)

<http://www.techbook.com.cn> 理工图书网

经 销 者:各地新华书店

印 刷 者:湖北地矿印业有限公司

开 本:787×1092 1/16

印 张:18.25

字 数:456 千字

版 次:2009 年 2 月第 1 版

印 次:2009 年 2 月第 1 次印刷

印 数:1—1000 册

定 价:32.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页等印装质量问题,请向出版社发行部调换。

本社购书热线电话:(027)87394412 87383695 87384729

版权所有,盗版必究。

序

水——生命的缔造者。没有水就没有生命。这一沉重话题牵动着人们对生命的呼唤。从长江、黄河、珠江、黑龙江、淮河、辽河、海河，到东江、西江、北江、梅江、韩江……大江南北 5000 多条河流，从鸭绿江口到广西北仑河口，浩浩荡荡的水注入广阔的太平洋连接全球五大洋，这其中“水”是人类和万物生灵的主宰者。

水是生命组成的最基本的组元，水孕育人类文明，水是农业的命脉，水是工业的血液，水是城乡发展的必要条件，水是国民经济建设的支柱……然而，由于人类社会的进步与发展，一方面对于水资源的需求量急剧增加，另一方面随着人口增长、经济的高速发展和城市化进程的加快，废水、污水的产量也急剧增加，水资源质量受到严重威胁，饮用水资源面临严峻的挑战……

水资源的重要性列所有资源之首，然而对水资源的保护、水污染在全球的蔓延又是在所有资源中最令人担忧的！水资源是一种动态资源，具有许多独特的自然特性和功能。它同时具有恢复性和有限性、时空分布不均匀性、统一性和不可分割性、多功能性与不可代替性以及利与害的双重性等。

全球水总储量 $1.36 \times 10^{18} \text{ m}^3$ ，其中：海水占 97.3%，淡水占 2.7%。淡水中 77.1% 以冰的形式存在于两极、冰川、高山积雪中；地下水、土壤水占 22.4%；湖泊水、沼泽水占 0.35%；河流占 0.11%；大气水占 0.04%。能供直接开发利用的仅是地下水、土壤水、淡水湖泊、河流水，总共只有 $0.42 \times 10^{18} \text{ m}^3$ ，占全球总水量的 0.3%。能参与全球循环可以得到恢复和更新的淡水资源只有 $1.20 \times 10^{14} \text{ m}^3$ ，占不到全球水总储量的万分之一。

我国水资源总储量为 $28124 \times 10^8 \text{ m}^3$ ，约占全球的 5.8%，居世界第 6 位，但按人均年水资源占有量仅为 2300 m^3 ，为世界人均水平的 1/4，是美国人均的 1/6，巴西的 1/19，加拿大的 1/58！仅排在世界第 110 位。被联合国列为全球最贫水 13 个国家的前列！这几年旱、涝灾害频频交替，更显示出水生态环境的恶化和解决水问题的极端重要性和紧迫性，它直接关系到人民的生活和经济的可持续发展。因此，节约用水、保持水资源，我国的任务最为艰巨！事实上，近年来水危机已经严重地制约着我国的经济的发展，我们正进入一个新的水资源短缺的时代。水被誉为“21 世纪的石油”！所以，坚持“开源节流并重、节流优先、治污为本、科学开源和综合利用”的原则，做好城乡供水和污水治理、回用，开辟第二水源是保护水资源的有效途径。

我国既是水资源匮乏，又是水污染比较严重的国家，淡水的供需矛盾更显突出，长距离调水的难度和代价很大，因此，必须加强对废水、污水的有效治理。近 20 年来，污水治理技术的理论研究和实际应用都有很大的进展，其新工艺、新技术、新设备和新材料不断出现。党的十七大政治报告中深刻地论述了当前我国发展经济要“深入贯彻落实科学发展观”的指导方针，国家在制订“十一五”计划纲要中，将“水处理回用”第一次明确写入了纲要。党和政府对当前水资源严峻的形势给予高度重视，在这种形势下，本书的编者参阅、汇集、整理了近 20 年来我国有关污水、废水治理，水污染控制的新工艺、新技术方面的大量文献资料与成果，从而编写了《水污染控制与资源化工程》一书。我相信通过本书的编写出版，将会为高等学校环境教育和环境管理、决策的领导和专业人员，尤其是环境科学、环境工程技术人员和高等学校环境类专

业的师生带来关于水环境、水污染控制的新信息。

本书的作者让我为本书的出版写“序”，这使我联想起 20 世纪 50~60 年代，在当时的年青一代中，非常热衷传阅着一篇散文——《可爱的中国》，它是方志敏烈士在牺牲前于狱中写成的。他说：“不错，目前的中国，固然是江山破碎，国弊民穷，但谁能断言，中国没有一个光明的前途呢？不，决不会的，我们相信，中国一定有个可赞美的光明前途……到那时，到处都是活跃的创造，到处都是日新月异的进步，欢歌将代替了悲叹，笑脸将代替了哭脸，富裕将代替了贫穷，健康将代替了疾苦，智慧将代替了愚昧，友爱将代替了仇杀，生之快乐将代替了死之悲哀，明媚的花园将代替了凄凉的荒地！这时，我们的民族就可以无愧色的立在人类的面前，而生育我们的母亲，也会最美丽地装饰起来，与世界上各位母亲平等地携手了。”

今天，烈士们的遗愿，经过几代人的艰苦奋斗，都得以实现。改革开放 30 年来，我国的现代化建设 GDP 总量已超过 3 万亿美元，从 2000 年居世界第 7 位上升到现在的第 4 位。强劲的经济增长和综合国力的增强，取得了举世瞩目的成就和人民生活水平的显著提高。然而粗放型的经济增长方式和相对落后的技术以及管理水平，使我们在取得上述成就时也付出了巨大的生态环境的代价，造成严重的环境污染和生态破坏。人类只有一个地球。地球的生态环境是人类赖以生存的最基本条件，保护地球生态环境尤其是水环境是人类社会持续发展的基本保障。发展是人类永恒的主题，环境问题是发展过程中产生的，它的解决也必须靠人类科学技术的发展，这是历史的必然。

我们期盼高等院校环境教育的开展和环境科学、环境工程专业的建设将会使莘莘学子都成为一颗绿色的种子，播撒在祖国大地，绽放绚丽之花。

嘉应学院党委书记



2008/3/19 于嘉园

前 言

迄今为止,论述关于“水”不同形式的书不下几千种,但从“水与生命—水资源—水循环—水污染”一直论述到“水污染的物理处理—化学处理—物化处理—生化处理—污泥处理”,从工艺到机理;从流程到设备,从水处理实验到污水处理场、站设计,都包括在内的书恐怕就不多了。本书所涉及的内容、编写形式、知识结构、逻辑辩证等是汇集了当今关于“水”的新内涵、新信息,以及“水——人类生存和发展不可代替的自然资源”,“没有水就没有生命”这一沉重的话题牵动着人们对生命的呼唤。本着这种“牵动精神”,编者从时空立体的视角,汇集有关水的回归,水的资源化技术。从污水治理工程设计的知识体系入手,引用了许多相关的文献资料。我们将这些资料列入参考文献中,在此,向所有被引用者表示诚挚的谢忱!

本书原编写名为“水——生命的呼唤”,出版时经专家提议改为“水污染控制与资源化工程”。全书由黎松强教授策划、构思、编写、审阅,涂常青副教授负责汇集图、表及校核并统稿。

本书所涉及的内容虽然较多,然而关于“水”的命题范围之广和科学技术发展之快,令编者所料不及,深感编写难度之大。由于编者的知识水平有限,书中不当和遗漏之处在所难免,恳请各位读者批评指正,不胜感谢!

本书由嘉应学院著作出版基金资助。

编 者

2008年2月19日

目 录

第1篇 总 论

1 水——生命的呼唤	(1)
1.1 水是生命的缔造者,没有水就没有生命	(1)
1.2 饮水与人体健康	(4)
1.3 饮用水标准	(8)
习题与思考题	(11)
2 水资源与水污染	(13)
2.1 地球水资源	(13)
2.2 我国水资源状况	(15)
2.3 我国淡水资源供需状况	(18)
2.4 水污染	(19)
2.5 污染物	(19)
2.6 污染物浓度表示方法和测定指标	(20)
2.7 废水水质控制基础	(21)
2.8 废水处理技术概述	(22)
2.9 水中优先控制污染物	(23)
习题与思考题	(29)

第2篇 不溶态污染物的物理分离

3 重力沉降法	(30)
3.1 沉降过程的理论基础	(30)
3.2 理想沉淀池	(32)
3.3 斜板、斜管沉淀池	(33)
3.4 沉砂池	(34)
3.5 沉淀池	(35)
习题与思考题	(38)
4 混凝与浮力浮上	(39)
4.1 化学混凝	(39)
4.2 悬浮物分散系脱稳机理	(40)
4.3 絮凝剂	(42)
4.4 助凝剂	(44)
4.5 浮力浮上法	(45)
习题与思考题	(49)

5	澄清	(51)
5.1	澄清池基本原理	(51)
5.2	澄清池类型	(51)
5.3	澄清池的设计计算	(53)
	习题与思考题	(54)
6	不溶态污染物的其他分离方法	(55)
6.1	阻力截留法	(55)
6.2	颗粒介质过滤	(56)
	习题与思考题	(57)

第3篇 污染物的生物化学转化

7	活性污泥法	(58)
7.1	废水生物处理	(58)
7.2	活性污泥法基本原理	(59)
7.3	活性污泥净化水的机理	(62)
7.4	活性污泥运行方式	(67)
7.5	曝气原理与曝气池构造	(71)
7.6	活性污泥法系统的工艺设计	(78)
7.7	活性污泥法系统的运行管理	(80)
	习题与思考题	(81)
8	生物膜法	(84)
8.1	生物膜法的基本概念及其基本原理	(84)
8.2	生物滤池	(84)
8.3	塔式生物滤池	(91)
8.4	生物转盘	(93)
8.5	其他形式生物膜法	(95)
	习题与思考题	(97)
9	厌氧生物处理法	(99)
9.1	厌氧消化原理	(99)
9.2	厌氧消化工艺流程、设备及运行参数	(101)
	习题与思考题	(103)
10	污水的除磷脱氮	(104)
10.1	概述	(104)
10.2	生物脱氮	(104)
10.3	生物除磷和化学除磷	(105)
10.4	除磷脱氮的工艺过程	(106)
	习题与思考题	(122)

第4篇 污染物的化学转化

11	化学沉淀法	(123)
11.1	氢氧化物沉淀法	(123)
11.2	硫化物沉淀法	(125)
	习题与思考题	(125)
12	氧化-还原法	(126)
12.1	氧化还原反应与 Nernst 方程	(126)
12.2	药剂还原法	(128)
12.3	空气氧化法	(129)
12.4	臭氧氧化法	(131)
12.5	氯氧化法	(134)
12.6	光辐射强化氧化过程	(136)
	习题与思考题	(136)
13	化学消毒法	(138)
13.1	氯消毒法	(138)
13.2	其他消毒法	(139)
	习题与思考题	(140)
14	化学氧化法新领域	(141)
14.1	概述	(141)
14.2	湿式氧化法	(142)
14.3	超临界水氧化技术	(146)
	习题与思考题	(152)

第5篇 溶解态污染物的物理化学转化

15	吸附法	(153)
15.1	吸附基本理论	(153)
15.2	吸附剂	(155)
15.3	吸附工艺过程及设备	(156)
15.4	活性炭在废水处理中的应用	(158)
	习题与思考题	(158)
16	离子交换剂	(159)
16.1	离子交换剂	(159)
16.2	离子交换工艺过程	(162)
16.3	离子交换设备	(164)
16.4	离子交换系统的设计	(164)
16.5	离子交换法在废水处理中的应用	(165)
	习题与思考题	(167)
17	膜分离法	(168)

17.1	反渗透法	(168)
17.2	超滤法	(173)
17.3	电渗析法	(177)
17.4	扩散渗析法	(183)
17.5	隔膜电解法回收酸洗 H_2SO_4	(184)
	习题与思考题	(184)
18	溶解态污染物的其他分离方法	(186)
18.1	吹脱法	(186)
18.2	汽提法	(187)
18.3	萃取法	(190)
	习题与思考题	(195)

第6篇 污水的资源化

19	循环冷却水的处理	(196)
19.1	循环冷却水的冷却处理	(196)
19.2	积垢的控制	(196)
	习题与思考题	(199)
20	城市第二水源·城市文明	(200)
20.1	国外城市第二水源概述	(200)
20.2	国外第二水源开发技术路线及标准	(201)
20.3	中国污水回用历程	(204)
20.4	污水处理回用的单元技术	(208)
	习题与思考题	(213)
21	光化学氧化的应用	(214)
21.1	UV/ H_2O_2 系统的应用	(214)
21.2	UV/ O_3 的应用	(216)
21.3	UV/ H_2O_2/O_3 的应用	(218)
	习题与思考题	(220)

第7篇 污泥的回用

22	污泥及其处理与处置	(221)
22.1	污泥种类和性质	(221)
22.2	污泥的稳定处理	(222)
22.3	污泥的脱水与干化	(227)
	习题与思考题	(229)

第8篇 污水的回归

23	污水处理场站的设计	(231)
23.1	厂址的选择	(231)

23.2	设计资料.....	(231)
23.3	编制设计说明书的主要内容.....	(232)
23.4	环境工程专业毕业设计指南.....	(233)
23.5	污水处理厂平面布置及高程布置.....	(237)

第9篇 实 验

实验1	臭氧氧化法处理有机废水.....	(247)
实验2	离子交换法处理含铜废水.....	(251)
实验3	活性炭吸附实验.....	(255)
实验4	药剂混凝最佳效果实验.....	(259)
实验5	絮凝沉淀实验.....	(262)
实验6	机械搅拌斜板沉淀——去除生活污水中总磷.....	(266)
实验7	压力溶气气浮实验.....	(269)
实验8	曝气设备充氧能力的测定.....	(271)
实验9	活性污泥性质的测定实验.....	(274)
实验10	城市生活污水生化处理综合实验.....	(277)
参考文献.....		(279)

第1篇 总 论

1 水——生命的呼唤

1.1 水是生命的缔造者,没有水就没有生命

水是生命之源,是地球上唯一不可替代的自然资源。

1.1.1 分子的特殊结构孕育生命

水分子的特殊结构为生命的起源与演化提供了充分和必要的条件。在水分子的结构中,三个原子核呈等腰三角形排列, $\text{H}-\text{O}-\text{H}$ 键角为 $104^{\circ}45'$, $\text{O}-\text{H}$ 键距为 0.096 nm , $\text{H}-\text{H}$ 键距为 0.514 nm 。氧原子外层电子($2s^2 2p^4$)经 sp 杂化与 2 个氢原子的 2 个电子构成 2 个 $\text{O}-\text{H}$ 共价键及 2 对孤对电子,使水分子成为典型的极性分子(图 1.1)。水分子的偶极矩很大,为 1.84 D (德拜),因而水分子之间可形成很强的氢键,每个水分子可以同邻近的 4 个水分子形成 4 个氢键。常温下水中的氢键可以聚集约 100 个水分子,这叫水分子的缔合,从而使水具有许多物质的溶解性和溶剂性。气态水分子大多是单分子,偶有二聚体,很少有三聚体。水的各种异常特性都与水分子结构有关,例如:水有气、液、固三态变化,沸点、熔点高,汽化热、熔化热、比热容高,表面张力大等。尤其冰的结构更为特殊,冰的结构为六方晶格,分子间空隙较大,在不同温度和压力下,冰的结构有 13 种相变,普通冰的密度为 0.92 g/cm^3 ,因此冰可浮在水面上。这为地球两极和冰川、高山积雪的生态演化与生命的演化提供了非常特殊的条件,可以说没有水就没有生命。

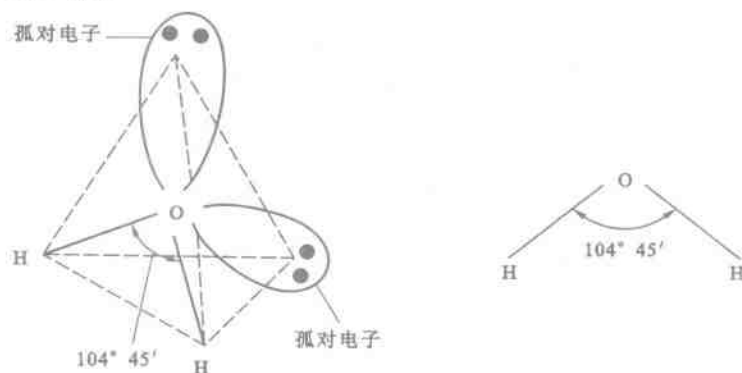


图 1.1 水分子的结构

液态水的出现是地球演化史的重大转折,地球上的水通过太阳的驱动产生风、霜、雨、雪和雷电,使形成的有机物得到活化,再经雨水的作用,由湖泊、河流汇入到原始海洋中,经过漫长

岁月的积聚,海水便形成富含有机质的水溶液,在经过几十亿年的化学进化和生物进化的多个阶段演化成今天地球上的 5000 多万种生物。

1.1.2 水在人体内生理代谢的作用

由于水具有溶解能力强、介电常数大、黏度小、比热容高等理化特性,使它在生物体内具有特殊的作用。

(1) 水是人体基本组成成分,是维持生命,保证细胞正常代谢,构成各种体液所必需的溶剂,人体内的水占体重的 60%~70%,细胞和不同器官的含水率是不同的:肌肉和薄壁组织器官(肝、肾、脑等)含水率为 70%~80%,皮肤含水率为 60%~70%,骨骼的含水率为 12%~15%,血液中的含水率约为 80%。

(2) 参与肌体代谢。水分子的极性决定了水具有很强的溶解性,使构成生命四大支柱的营养物质——蛋白质、葡萄糖、脂肪、维生素及各种元素都能溶于水或形成乳液。由于水的流通性和渗透性,可以作为载体,对于各种营养素的运输和吸收、气体的输送和交换、代谢产物的运输与排泄起到了极其重要的作用。水在生物体内直接参与生理生化反应,同时水又是维持人体生理代谢的主要介质,即通过水把吸收来的营养物质,包括结构营养物质——蛋白质、脂肪、葡萄糖,常量矿物质和调控营养物质——微量元素、维生素等溶解输送到肌体的各个部分,之后又通过水把代谢产物排出肌体外,从而维持生物体内物质及能量的转化过程的平衡。

(3) 水是沟通组织细胞之间、肌体与外界环境之间的媒介。如果没有水,不能移动的生物分子就不会产生巧夺天工的生物化学反应,生命活动便会停止,生物就会死亡。水既是组成各类细胞的重要物质,又是消化液、淋巴液的主要成分;既能帮助消化食物、吸收营养,又参加呼吸、循环过程;既是细胞内外电解质的平衡者,又是非电解质的传递者;既有润滑眼球的作用,又有滋润体表皮肤的功能等。

(4) 调节体温。水对体温的调节是由它的三个特性决定的。

① 水的比热容高。由于体内含有大量的水,所以代谢过程中所产生的热能多被水吸收,保持体温恒定。

② 水的蒸发热大。当肌体在 37℃ 时,每毫升水的蒸发热为 2424.6 J,因此蒸发少量水即可散发体内储存的大量热。

③ 水的导热性强。水为非金属中最好的导热体,虽然肌体内各组织强度不一样,产热量不一样,但可通过水的导热作用来保证肌体各组织和器官的温度趋于一致。

(5) 作为润滑剂。水的黏度小,可使体内摩擦部位得到润滑,减少损伤。体内关节、韧带、肌肉、膜等处的活动都有水作为润滑剂,同时水还可滋润身体细胞,使其经常保持湿润状态,并保持肌肤柔软、有弹性,维持腺体器官的正常分泌。

1.1.3 人体失水将导致生命终止

由于水是生命肌体最重要的组成部分,所以体内严重缺水或水过剩都会给人体健康带来损害,正常人体每天摄入量总是与排出体外的水量处于动态平衡状态。人每天究竟应喝多少水为合适?应根据气候、身体状况、生活习惯等因素而定。按人的正常生理需水量为 2~2.5 L/d,至少需要 1 kg(L)水(准确地说,成年人每天应补给的水量是按体重每千克补 40 mL)。一般人每日进水量大约为 2500 mL,其中汁液体水 1400 mL,食物水 800 mL,代谢过程产生水

300 mL;而每人每日从体内排出的水量也应是 2500 mL,其中皮肤蒸发汗水 700 mL,肺呼出蒸汽 300 mL,尿液排出 1350 mL,粪排出 150 mL。水平衡的调节受下丘脑神经中枢控制,它控制渴感和肾脏排水。而发烧、高蛋白膳食、干燥气候、呕吐、腹泻和外伤等,都会扰乱肌体对水的正常需求。

水在肌体内的存在形式包括两部分,即细胞外液和细胞内液。细胞外液占体重的 20%,细胞内液占体重的 40%~50%,百分含量超过或低于此范围都会发生生理性改变。肌体自身可在较小限度内调节体液,而且具备许多机制,其中起重要作用的是大脑下丘脑的神经中枢,通过肾脏控制口渴和排尿感觉。当肌体失水量为体重的 2%左右时,是以细胞外液和间液水分丢失为主,此时下丘脑的口渴中枢受到刺激,出现意识性摄水需求,出现尿少及尿钾丢失量增加。如果继续失水,当失水量达到体重的 4%左右时,细胞内外液水分的丢失量大致相等,会出现脱水综合征,表现严重的口渴感、心率加快、体温升高、疲劳等症状。当失水量为体重的 6%~10%时,细胞内液水分丢失的比例增加,并出现呼吸频率增加、血容量减少、恶心、食欲丧失、容易激怒、肌肉抽搐、精神活动减弱,甚至发生幻觉和昏迷。所以,从水在肌体内的生理作用看,肌体失水的过程就是衰老的过程。如果继续失水,最后将使全身生理机能完全错乱而导致死亡。

1.1.4 水在调节地球生态过程中的作用

水的各种特性对人类居住的地球生态环境具有深远的影响。由于水的比热容高,地表温度才不会有巨大涨落。海洋、湖泊、河流等广阔的水域,白天吸收太阳热,夜晚又将热量释放至大气中,维持大气不会骤冷骤热的显著变化。而在岩石遍布,月土堆积,严重缺水的月球上,由于岩石的比热容只有水的比热容的 1/5,所以,在月球表面温度从白天的 +120℃ 降至夜晚的 -150℃。

维持地表温度相对恒定的另一个因素也与水的特性有关,水具有比其他液体高的汽化热,到达地表的太阳热能约有 1/3 为海洋、湖泊、沼泽、河流和冰川中的水蒸发所抵消。人体温度得以维持在如此窄小的范围内,很大程度上也要归功于同样的机理,新陈代谢放出大量的热量被透过皮肤毛孔的汗水蒸发所消除。

水的密度在 4℃ 达到最大值,它随温度变化的这种奇特方式对寒冷气候地区具有十分重大的意义。在气温急剧下降的深秋夜晚,湖面上较重的水层向湖底沉降,与下部水层更换,这种循环过程使得溶解在水中的氧与其他营养物得以在整个水域分布均匀,从而导致湖水趋于一种稳定状态。湖底水温是 4℃,在这一水层中,水生生物得以幸存过冬。在海洋里终年进行着的类似过程是决定洋流分布的主要因素,不论在世界什么地区,洋面以下约 1 km 处的海水温度差不多都稳定在 0~4℃ 之间。

水在结冰时体积膨胀对人类的影响有弊有利。结冰对动植物组织的破坏主要是由于这种膨胀作用,其结果是使细胞壁破裂(冻伤);而在地表发生的同样过程却是岩石崩裂形成沃土的主要原因(风化)。冰比水轻也给深水水生生物繁衍生息创造优越条件,如果冰比水重,冰就会沉入水底,这样就使河、湖在冬季更易彻底冻结,给水下生物带来毁灭性的灾难。如果冰比水重,可以设想整个南极洲从海底到海面将是不折不扣的冰山,南极海洋的生态肯定不会像今天那样丰富多彩。

据地质学家的研究表明,岩石圈内的矿藏,其矿的种类、分布、结构、形态、形成机理、晶格

类型等也都与地球地质的水环境息息相关(表 1.1)。

表 1.1 水的特性对地球生态的作用

性 质	作用和重要性
优良的溶剂	输送营养物质和排泄物,使水介质中的生物学过程成为可能
介电常数比任何一种纯液体都高	离子型物质具高溶解性,在溶液里这些物质易电离
表面张力比任何其他液体都高(除汞外)	生理学上的控制因素,控制水的滴落和表面现象
能透过可见光和紫外线的长波部分	无色,使光合作用要求的光能达到水体相当的深度
在 4℃ 时液体密度最大	冰浮于水,使垂直循环只在限定的分层水体里进行
汽化热比任何其他物质都高	决定大气和水体之间热和水分子的转移
熔化热比任何其他液体(除氨外)都高	冰点时温度稳定
比热容比任何其他液体(除氨外)都高	对生物的体温和地理区域的气温起稳定作用

1.1.5 水化学的基本内容及其意义

水化学是研究和描述水中存在的各种物质(包括有机物和无机物)与水分子之间相互作用的物理化学过程。涉及化学动力学、热力学、化学平衡、酸碱化学、配位化学、氧化还原化学和它们之间相互作用等理论与实践,同时也会涉及有关物理学、地理学、地质学和生物学等相关知识。

研究水化学的意义主要有:① 了解天然水的地球化学;② 研究水污染化学;③ 开发给水工程;④ 污水处理实现水的回归;⑤ 发展水养殖;⑥ 进行水资源保护和合理利用;⑦ 研究海洋科学工程;⑧ 研究腐蚀与防腐科学;⑨ 进行水质分析与水环境监测;⑩ 制定水质标准;⑪ 研究水利工程与土木建筑等。所有这些科学领域都离不开水化学。总之,水化学对上述这些领域的了解、研究和开发都具有重要意义。

1.2 饮水与人体健康

水不仅孕育了生命、缔造了生命,而且水孕育了人类文明,人类历史上的四大文明都发源于大河流域。世界著名的两河文明(古巴比伦文明)发源于底格里斯河和幼发拉底河,恒河和印度河是古印度文明的发源地,尼罗河孕育了古埃及文明,黄河和长江是中华民族文明的摇篮。现在世界上著名的大城市和人口密集地区也大多分布在江河沿岸。人类的繁衍生息都与饮水相关。

1.2.1 维持人类生命和健康的水,应是洁净的水

我国生活饮用水卫生标准规定,生活饮用水应满足如下要求:

(1) 要保持感官性状良好,水必须是透明、无色、无臭、无异味,不存在肉眼可见物。为此,对能产生颜色和异味的铜、锌、锰、铁等元素的含量制定了具体的限量。

(2) 要保证流行病学上的安全,在水中不得含有病源微生物和寄生虫卵,以免引起“介水传染病”。为此对细菌总数、大肠杆菌群数、消毒后供水管网末端的余氯有明确的限量。

(3) 要保证化学组成上无害,因此要严格限制水里的一些有毒化学物质,如镉、汞、铅、砷、氰化物、挥发酚等,以免造成人体的急性或慢性中毒。

1.2.2 水环境对人体健康的影响

俗话说“一方水土养一方人”,说的是在自然条件下,不同的地区往往有不同的水土环境,这种差异不仅表现在不同地域的水文地质等特征方面,还在于水土化学组成上的不同。水不仅是维持生命和人体健康不可缺少的物质,而且还是人体从环境中摄取无机矿物质的途径之一。水环境某些化学物质含量过多或过少时,都能对人体健康产生损害作用,同时水中的有毒物质也能通过各种途径进入人体而危害人体健康。

(1) 人体中必需的常量元素在水环境中的分布

碳、氢、氧、氮是组成人体有机质的主要元素,占人体总重量的 96% 以上,还有少量硫(某些蛋白质、氨基酸的成分)。除氧之外,它们在水中不可能以单质形式存在,主要通过食物链中的动、植物食品进入人体。

钙、镁、钾、钠、氯、磷是人体必需的常量元素。在水中钙和镁的含量世界卫生组织推荐值为 75 mg/L 和 30 mg/L,最高值不能超过 200 mg/L 和 150 mg/L;欧共体规定 100 mg/L 和 30 mg/L;中国则用硬度表示(以 CaCO_3 标度),最大限度 450 mg/L。有人担心水中钙的含量高,容易产生结石(胆结石、肾结石、膀胱结石),而实际上结石是由于缺镁和 VB_6 而引起的。由于缺镁,钙不能被很好吸收,而随体液外排,在肾、膀胱与磷形成结石;若缺 VB_6 ,钙与草酸形成草酸钙结石。若吸收进体内的钙、镁、磷比例适当,三者都能被很好地吸收,对身体健康有非常好的作用。钾、钠、氯由于在人体内的含量比较恒定,不管通过什么途径进入体内,多余的都会随体液的外排而外排(对健康人而言)。生活饮用水的卫生标准对钾、钠没有限量,对 Cl^- 世界卫生组织及美国推荐值为 200 mg/L,中国限值为 250 mg/L。而实际生活饮用水中,这三种离子含量都很低,若含量高时,水有咸味,人们不喜欢饮用。

(2) 饮用水中的微量元素

人体健康需要的 15 种微量元素铁、锌、铜、氟、碘、锰、砷、镍、铬(Cr^{3+})、钼、钴、锡、硅、硒、钒等在人体内的含量极少,其中以铁在人体中的含量最高,占人体体重的 0.00057%,依次按以上顺序降低至钒,钒占人体体重的 $1.4 \times 10^{-7}\%$ 。微量元素在人体中含量虽少,但都具有非常重要的生理功能。如钼只占人体重的 $7 \times 10^{-6}\%$,但却有很好的防癌、抗癌作用;硒、铁、铜、锌、硅亦有防癌、抗癌作用。这些微量元素在体内少了影响生理机能的正常发挥而影响人体健康,多了会引起中毒,同样会影响人的健康,严重时会导致死亡。

在生活饮用水中铁、锰、锌、铜的限量分别为 0.3 mg/L、0.1 mg/L、1.0 mg/L、1.0 mg/L,是因为这些元素的离子浓度稍高时水便会有颜色和异味。实际上人体对这几种元素的吸收利用率不高,成年人对它们每天摄取量铁为 10~15 mg/d、锰为 2.5~5.0 mg/d、锌为 15 mg/d、铜为 3 mg/d。因此,饮用水中含量稍高不会有大问题,当然如果长期饮用含这些元素污染严重的水或长期接触它们的化合物,可能会出现中毒现象。饮用水中的氟多了或少了都会致病,所以饮用水中其限量为 0.5~1.0 mg/L,含量低时,要作适量补充,含量高时,要经阴离子交换树脂处理除去一部分后才能饮用。硒适量有防克山病、防癌、防白内障、抗衰老等功能,但需要量很少,成年人日摄入量推荐为 0.05 mg/d,生活饮水中硒限值为 0.01 mg/L,而实际远低于此值,因此一般人体通过食物、水 and 环境摄入硒不会发生中毒现象,只有摄入量超过供给量 10

倍以上,才可能出现中毒。砷是人体内的正常成分,居人体中微量元素的第12位,饮用极微量的砷可使人身强健,但若饮水中含砷量在20 mg/L以上,即可发生急性中毒。我国饮用水中砷限量为0.05 mg/L,美国为0.01 mg/L,世界卫生组织推荐0.05 mg/L,若长期饮用含砷0.1 mg/L的水可能导致慢性中毒。在人体中具有特殊生理功能的是三价铬,其毒性小,而六价铬的毒性很大,有致癌的危险,是人体所不需要的。我国饮用水中六价铬限量0.05 mg/L,低于此值不会有危害。至于钴、镍、钼、硅、锡、钒等元素,在饮用水中含量甚微或基本检测不到,或还不知其具体需要量,通过饮用水进入人体,不会造成危害,所以没有具体限量。但是如果通过食品或其他途径摄入量较大时,都会引起急、慢性中毒。如镍有致癌作用,甲基化锡是一种神经毒素,钴放在酒中服用会引起充血性心力衰竭而死亡。钒、钼、硅等在水中存在量不高,随水进入人体后会随尿液、粪便很快排出体外。碘离子易被氧化为碘分子,而挥发到大气中,所以这些元素在水中少量存在,并不会危害人体健康。

铅、镉、汞、银、钠、铝、铈、铍等金属在人体中都有极微量的存在,到目前为止,还没发现它们对人体有什么生理功效,也没发现微量存在时对人体健康有什么不良影响,但是如果环境受污染,它们大量进入人体,则会对人体健康造成很大的危害。天然的水体,它们的含量不高,特别是偏碱性的水会形成氢氧化物而被底泥吸附,但供水管道若使用含铅、镉的金属管,则可使饮用水中铅、镉含量升高。铅影响人的造血功能,肾受损,引起骨代谢紊乱。镉中毒最典型的是日本发生的痛痛病。锌对铅和镉有抵抗作用。无机汞毒性不大,但容易转化为烷基汞,毒性很大,特别是甲基汞,毒性最大,日本的水俣病就是例证。我国饮用水中限量汞为0.001 mg/L、铅为0.05 mg/L、镉0.01 mg/L(我国标准,也是世界卫生组织推荐的限量)。只要不超过此限量,饮用水是安全的,虽然它们有积蓄作用,但对成年人来说处于动态平衡状态,摄入体内后可随尿液、粪便排出体外。关于铝,由于科技发展,医学上发现,老年痴呆症患者脑组织中含有高浓度的铝,所以美国、欧共体对饮用水中铝最高限量为0.05 mg/L。我国还没具体限量,这是因为我国目前对给水的处理都是用铝盐,水中铝有一定浓度,但也不会很高。有资料介绍,健康人对铝基本不吸收,肾功能受损的人对铝才会吸收。由于饮用水中有较高 Cl^- , Ag^+ 也难于存在,世界公认银的限量为0.05 mg/L。

(3) 饮用水中对无机物的控制

氰化物是极毒物质,氰化物进入人体后与血红蛋白中的铁结合,使血红蛋白失去输送氧的能力。饮用水中氰含量极微,不会危害健康。水中 SO_4^{2-} 大于300 mg/L时水有异味,而且 MgSO_4 、 Na_2SO_4 含量太高时有轻泻作用,所以饮用水中 SO_4^{2-} 限量为250 mg/L;婴儿若吸入大于10 mg/L含量的 NO_3^- —N时会诱发正铁性血红蛋白血症,即血红蛋白失去输送氧的能力,使各组织器官缺氧。 NO_3^- 进入体内在细菌作用下会转化为 NO_2^- ,它是致癌物,因此生活饮用水对 NO_3^- —N的限量是10 mg/L。

(4) 饮用水中对有机物的控制

挥发酚进入人体,会使机体的细胞蛋白质发生变性和沉淀。苯酚可引起正铁血红蛋白血症,口服致死量为2~15 g,它对内脏、肾功能、神经系统有广泛破坏作用。长期饮用被酚污染的水,可引起头晕、瘙痒、贫血及神经系统障碍。生活饮用水酚的限量为0.002 mg/L;阴离子合成洗涤剂其毒性较低,在水中含量若超过0.5 mg/L,水便会起泡沫和有异味,所以饮用水中这种物质含量较低,不会产生毒害作用。

四氯化碳具有多种毒理效应,有致癌性,使肝硬化、肾受损、血中酶的活性改变、血清胆红