

“十二五”国家重点图书出版规划项目

湖北省学术著作出版专项资金资助项目

WATER

SHUI WURAN
YU JIANKANG

水污染与健康

主编 / 鲁文清

环境污染与健康研究丛书·第一辑

名誉主编 / 魏复盛 刘以训

丛书主编 / 周宜开

本书深入地阐述社会所关注的水污染与健康关系的热点问题，包括：水病毒污染与健康；水中细菌和原生虫污染与健康；水化学性污染与健康；水中藻类及其毒素污染与健康；饮用水消毒副产物与健康；水质标准与监测；水污染的健康风险评估；受污染水源水处理技术和工艺。立足于介绍国内外相关领域的研究现状和进展，着重展现我国的研究成果。体现了基础研究与应用研究并重、基础理论与关键技术同述，以期使读者了解国内外相关领域的研究水平和发展趋势并指导未来的研究或实践工作。

长江出版传媒 湖北科学技术出版社



WATER

SHUI WURAN
YU JIANKANG

水污染与健康

主编 / 鲁文清

图书在版编目(CIP)数据

水污染与健康 / 鲁文清主编. —武汉 :
湖北科学技术出版社, 2015.12
(环境污染与健康研究丛书 / 周宜开主编. 第1辑)
ISBN 978-7-5352-8299-6

I. ①水… II. ①鲁… III. ①水污染—关系—健康
IV. ①X52②R123.5

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 244099 号

责任编辑:冯友仁 徐 丹

封面设计:戴 旻

出版发行:湖北科学技术出版社
地 址:武汉市雄楚大街 268 号
(湖北出版文化城 B 座 13—14 层)
网 址:<http://www.hbstp.com.cn>

电话:027—87679454
邮编:430070

印 刷:武汉市金港彩印有限公司

邮编:430023

889×1194 1/16 27.75 印张
2015 年 12 月第 1 版

781 千字
2015 年 12 月第 1 次印刷
定价:108.00 元

本书如有印装质量问题 可找承印厂更换

“十二五”国家重点图书出版规划项目
湖北省学术著作出版专项资金资助项目

环境污染与健康研究丛书·第一辑

丛书编委会

名誉主编 魏复盛 (中国工程院,院士)

刘以训 (中国科学院,院士)

丛书主编 周宜开 (华中科技大学同济医学院公共卫生学院,教授)

丛书编委 (按姓氏拼音排序)

陈建伟 (华中科技大学同济医学院公共卫生学院,教授)

郭新彪 (北京大学公共卫生学院,教授)

荆 涛 (华中科技大学同济医学院公共卫生学院,副教授)

李君文 (军事医学科学院卫生学环境医学研究所,教授)

刘烈刚 (华中科技大学同济医学院公共卫生学院,教授)

鲁文清 (华中科技大学同济医学院公共卫生学院,教授)

宋伟民 (复旦大学公共卫生学院,教授)

王 琳 (华中科技大学同济医学院公共卫生学院,副教授)

王 齐 (华中科技大学同济医学院公共卫生学院,副教授)

杨 旭 (华中师范大学生命科学学院,教授)

杨明亮 (湖北省卫生和计划生育委员会,主任医师)

姚 平 (华中科技大学同济医学院公共卫生学院,教授)

《水污染与健康》

编 委 会

主 编 鲁文清

副主编 李君文 宋伟民

编 委(按姓氏拼音排序)

陈 超 鄂学礼 刘爱林 金 敏 舒为群

吴志刚 肖国生 王 霞 郑唯韡 曾 强

编 者(按姓氏拼音排序)

陈 超 (清华大学环境学院)

谌志强 (军事医学科学院卫生学环境医学研究所)

鄂学礼 (中国疾病预防控制中心环境与健康相关产品安全所)

高圣华 (中国疾病预防控制中心环境与健康相关产品安全所)

金 敏 (军事医学科学院卫生学环境医学研究所)

鲁文清 (华中科技大学同济医学院公共卫生学院)

李君文 (军事医学科学院卫生学环境医学研究所)

刘爱林 (华中科技大学同济医学院公共卫生学院)

马琼锦 (复旦大学公共卫生学院)

邱志刚 (军事医学科学院卫生学环境医学研究所)

宋伟民 (复旦大学公共卫生学院)

舒为群 (第三军医大学军事预防医学院)

吴志刚 (华中科技大学同济医学院公共卫生学院)

王 霞 (复旦大学公共卫生学院)

王 丽 (中国疾病预防控制中心环境与健康相关产品安全所)

薛 斌 (军事医学科学院卫生学环境医学研究所)

肖国生 (重庆三峡学院生命科学与工程学院)

杨 凌 (复旦大学公共卫生学院)

尹 静 (军事医学科学院卫生学环境医学研究所)

杨 栋 (军事医学科学院卫生学环境医学研究所)

叶必雄 (中国疾病预防控制中心环境与健康相关产品安全所)

曾 强 (华中科技大学同济医学院公共卫生学院)

曾 惠 (第三军医大学军事预防医学院)

郑唯韡 (复旦大学公共卫生学院)

张晓健 (清华大学环境学院)

秘 书 曾 强

序 一

环境是人类赖以生存和发展的物质基础,也是与人类健康密切相关的重要条件。我国改革开放以来,经济持续快速发展,但环境污染问题也十分突出。环境污染不仅影响经济、社会的可持续发展,还极大地威胁着人类的生存环境,地球生态平衡和人类自身健康。因此,人类应该通过提高环境知识水平,增强自身的环境意识,认清环境与健康的关系,规范自己的社会行为,确立保护环境就是保护人类自身健康的观念。政府应努力建立保护环境的法规,制订相关标准,避免环境退化和失衡。我国政府历来高度重视环境保护,在国民经济和社会发展“十·五”纲要中,对环境保护提出了明确要求,相继制定了环境保护相关的法律和法规,采取了一系列积极有效的保护和治理措施,提高城乡环境质量,努力遏止生态环境恶化并在环境污染与人群健康方面开展了系统研究,取得了一些进展,但离环境保护终极目的——保护人类健康的要求还任重而道远。

环境问题与人们的生活息息相关,为人民群众所关注,在这样的时代背景下,湖北科学技术出版社联合华中科技大学同济医学院,组织全国公共卫生领域专家学者,编写了这一套《环境污染与健康研究丛书》,丛书紧密联系环境污染及其对健康影响问题,从空气、土壤、水、食品等多个角度,系统阐述国内环境污染与健康研究最新成果,特别剖析了雾霾、装修污染物、藻类污染和重金属污染等重点、热点环境问题。《环境污染与健康研究丛书》第一辑共五本,分别为《空气污染与健康》《水污染与健康》《土壤污染与健康》《食品污染与健康》《环境重金属污染人群健康风险和损害评估技术》。丛书构架清晰,结构合理,内容丰富。既全面总结、梳理了我国环境污染与健康研究领域近十年的研究成果,为广大科研工作者提供了一套权威的研究参考资料,同时还提出了这一研究领域中的问题与研究的难点,并对这些问题与难点进行了探索与讨论,这将促进国内环境污染与健康研究领域更多地沟通与交流,助推研究工作的进一步深入。

丛书的编写主题符合国计民生需求,符合党的十八届三中全会提出的我国生态文明建设的主题目标,其编写与出版具有积极的社会意义。丛书编委会集合了我国环境与健康研究领域的顶尖学者力量,他们学识丰厚,治学严谨,严格遵守各项学术规范,保证了本丛书较高的学术水准与学术价值。环境保护是我国一项基本国策。保护环境,减少污染,遏制生态恶化,是环境保护的主要任务。良好的环境对经济、社会的发展和人类健康具有积极的促进作用。本丛书的出版,既可为相关政策的制定提供权威的参考资料,还能提升广大读者环保意识,增进人民群众对环境与健康的认识。鉴于此,我们乐意将本书推荐给广大读者,是为序。

中国工程院院士



2015年12月

序 二

环境与人类健康有着密切的关系。人与环境是一个不可分割的物质与能量整体,环境提供人类赖以生存的物质基础,人体通过新陈代谢与外界环境不断地进行物质交换与能量交换,使人体与外界环境之间保持着一种动态平衡,这种动态平衡是维持人体与环境健康的前提。良好的环境使人心情愉快、心旷神怡、精神焕发,有益于人类身心健康,有助于更好地发挥其积极性、主动性、创造性,进而促进环境保护与生态文明建设。改革开放以来,我国经济持续快速发展,取得了举世瞩目的成绩。但能耗、物耗也随之增加,主要污染物排放总量也快速增长,环境污染不仅影响我国经济社会的可持续发展,也会影响人民群众的身体健康和生活质量。

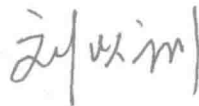
环境污染物影响人体健康有两大特点:一是影响范围大,因为所有的污染物都会随生物地球化学循环对所有的接触者产生影响;二是作用时间长,因为许多有毒物质在环境中及人体内的降解较慢。环境污染物进入人体的主要途径是呼吸道和消化道,也可经皮肤和其他途径进入。污染物进入人体后,由血液输送到人体各组织。不同的有毒物质在人体各组织的分布状况不同。毒物长期隐藏在组织内,并能在组织内富集,造成机体的潜在危险。环境污染对人体健康往往造成急性危害、慢性危害和远期危害。当污染物在短期内大量侵入人体,常会造成急性危害;当污染物长期以低剂量持续不断地进入人体,则会产生慢性危害和远期危害。

一直以来,我国研究者在环境污染与人类健康的关系方面做了大量的相关研究。首先,空气、水、土壤、食品是与人类生存息息相关的环境物质基础,总结研究它们与人类健康之间的关系十分必要,也具有十分重要的意义。其次,环境是全人类共同关心的问题,但在不同的国家、不同的地区,因为社会经济发展与人类生活习惯等多种原因,人们需要面对不同的环境情况与环境问题,因此,总结研究富有我国本土特色的环境与健康问题,也十分必要。

本套《环境污染与健康研究丛书》,密切关注了我国国内环境污染情况,紧密联系国内特殊地理、天气、经济与社会发展情况,剖析了国内多个近年来被广泛关注的环境问题,具有极强的实践指导作用;同时本书侧重探究环境污染物对人类健康的影响,对环境作用的健康效应进行了重点探究,目前国内外尚无如此全面关注我国环境污染与健康问题的系统专著,本书的编写与出版将填补这一空白,具有重要的学术价值与社会效益。

本书的编撰队伍包括华中科技大学、北京大学、复旦大学、武汉大学、中国疾病预防控制中心等多所高校和科研院所的环境卫生领域的专家学者,他们常年活跃在环境卫生研究领域的第一线,他们的参与,确保图书代表了我国环境污染与健康研究的最高水平。希望本丛书的出版能够促进我国环境健康事业的发展,为人与环境的和谐发展做出贡献。

中国科学院院士



2015年12月

前 言

水是人类生存和发展的物质基础,水质量的优劣直接影响人民健康水平和社会的进步发展。当前,我国水环境污染日趋严重,其对健康的影响成为公众、学术界、制水行业和政府关注的焦点。为了让全社会对水污染健康危害有更全面、更深刻的认识,增进全社会保护水资源的意识,提高学术界对水污染致健康损害研究的水平,促进制水行业、政府水污染控制措施的发展,我们编写了《水污染与健康》这本书。

本书分为上下两篇。上篇为《基础理论篇》,共分3章,概括地阐述了水污染与健康的基础理论,包括水与健康的关系概述;水中的主要污染物、来源及其健康危害途径;饮用水水质与健康。下篇为《研究进展篇》,共分8章,深入地阐述了社会所关注的水污染与健康关系的热点问题,包括水病毒污染与健康;水中细菌和原虫污染与健康;水化学性污染与健康;水中藻类及其毒素污染与健康;饮用水消毒副产物与健康;水质标准与监测;水污染的健康风险评估;受污染源水处理技术和工艺。本书立足于介绍国内外相关领域的研究现状和进展,着重展现我国的研究成果。具体内容上体现了基础研究与应用研究并重、基础理论与关键技术同述,以期使读者了解国内外相关领域的研究水平和发展趋势并指导未来的研究或实践工作。

本书编委均长期从事相关领域的研究工作,并具有较深的造诣。他们在本书编写过程中付诸了大量心血,不仅系统整理了国内外相关领域的研究成果,而且还结合了自己在研究工作中的实例,使得本书在理论和实践上均对读者具有参考和借鉴意义。由于时间和水平所限,本书错误和遗漏之处敬请读者批评指正。

鲁文清 宋伟民 李君文
2015年11月

目 录

上篇 基础理论篇

第一章 水与健康的关系概述	2
第一节 水资源及其分类	2
第二节 水与健康的关系	6
第三节 水相关疾病	11
第二章 水中的主要污染物、来源及其健康危害途径	15
第一节 水中的主要污染来源、特征及转归	15
第二节 水污染物的健康影响途径	19
第三章 饮用水水质与健康	38
第一节 饮用水水质指标	38
第二节 影响饮用水水质的因素	44
第三节 饮用水水质的健康效应	52

下篇 研究进展篇

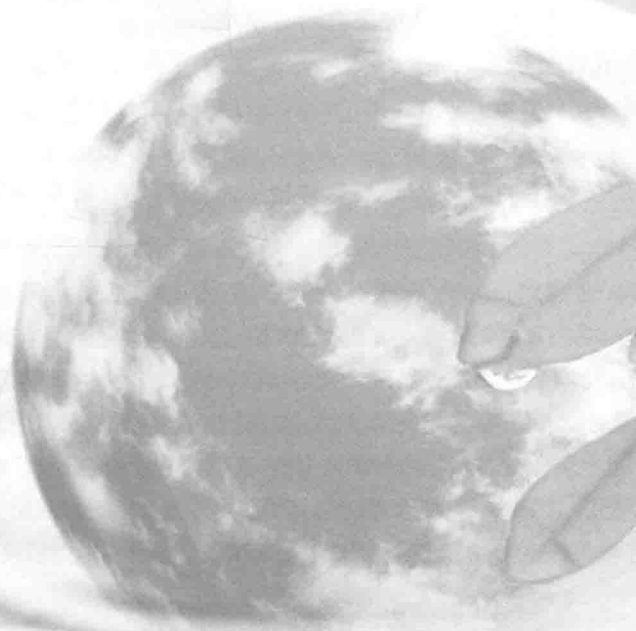
第四章 水病毒污染与健康	60
第一节 水中病毒的种类及来源	60
第二节 水中病毒的危害	73
第三节 水中病毒的检测	80
第四节 水中病毒的消毒	90
第五章 水中细菌和原虫污染与健康	107
第一节 水中细菌污染	107
第二节 水中原虫污染	124
第三节 水中细菌和原虫的检测与指示物	139
第四节 水中细菌和原虫迁移与命运	152
第五节 水中细菌和原虫污染危害与控制	156
第六章 水中化学性污染与健康	165
第一节 水中高健康风险化学污染物	165
第二节 水中重金属污染与健康	170
第三节 水中农药污染与健康	184
第四节 水中邻苯二甲酸酯污染与健康	191
第五节 水中多环芳烃污染与健康	196



第七章 水中藻类及其毒素污染与健康	207
第一节 水中藻类污染的危害及控制	207
第二节 水中藻毒素的种类、污染状况及其影响因素	212
第三节 水中藻毒素的分析检测技术	220
第四节 藻毒素对健康的影响及其作用机制	224
第八章 饮用水消毒副产物与健康	232
第一节 消毒副产物概况	232
第二节 消毒副产物对健康的影响	240
第三节 消毒副产物的暴露评估	252
第四节 消毒副产物研究挑战和展望	258
第九章 水质标准与监测	266
第一节 我国水质标准体系	266
第二节 国际水质标准	280
第三节 水质标准研究方法	289
第四节 水质检验标准方法研究	296
第五节 中国水质监测研究	308
第十章 水污染的健康风险评价	328
第一节 水污染健康风险评价的发展历程	328
第二节 水污染健康风险评价的体系和方法	330
第三节 水中典型化学性污染物的健康风险评价	337
第四节 水中典型生物性污染物的健康风险评价	368
第十一章 受污染水源水处理技术和工艺	390
第一节 饮用水处理概述	390
第二节 常规处理工艺	392
第三节 预处理工艺	400
第四节 深度处理工艺	406
第五节 管网水质稳定性控制技术	415
第六节 应对突发水源污染事故的应急处理技术	422



上篇 基础理论篇



第一章 水与健康的关系概述

第一节 水资源及其分类

一、水资源种类及其卫生学特征

水是地球上不可替代的自然资源,是地球上一切生命赖以生存的物质基础,在人类生活和一切生产活动中具有极其重要的作用。地球上的水覆盖着地球表面 70% 以上的面积,水的总储量约为 $1.4 \times 10^9 \text{ km}^3$,其中海水约占 97%,淡水约占 3%。凡是对人类具有使用价值和经济价值的水均可称为水资源(water resource)。水资源的概念有广义和狭义之分,广义的水资源是指地球上水的总体,包括淡水和咸水。狭义的水资源是指在一定经济技术条件下,人类可直接利用的淡水,通常指比较容易开发利用、可逐年恢复和更新,并与人类生活生产关系最为密切的湖泊、河流和浅层地下淡水资源。

地球上的天然水资源分为降水、地表水和地下水三类。

(一)降水

降水指从云中降落到地面的水,包括液态的雨和固态的雪和冰,其水质的特点是矿物质含量较低、杂质和细菌较少、水质较软,属于比较清洁的水,但水量无法保证。在降水过程中,大气中的一些物质可溶解在降水中,因此降水水质因各地区的环境条件和大气中的化学成分不同而有差别。一般而言,城市降水的水质较差,而乡村、山区、森林地带以及海面降水的水质较好。在空气清洁的山区,每毫升降水中只有几个细菌,而在城市,每毫升降水中的细菌数可达数百至上千个。在内陆地区,降水中钙离子、重碳酸盐和硫酸盐较高,而在沿海地区,降水中会含有较多的海水成分,如盐分和碘,这也是沿海地区人群很少发生缺碘性疾病的原因之一。当大气遭受污染时,降水水质会受到相应的污染,如灰尘、煤烟、有害金属、有害气体、有机物、放射性物质、微生物等污染大气后可溶解或悬浮于雨雪水中,使水质变坏。当大气受到 SO_2 、 NO_x 等污染,该地区降水中因含硫酸、硝酸等物质而形成酸雨。

我国降水量的分布受季节和地域影响很大,降水分布总体上从东南向西北递减,呈现明显的多雨区和干旱区。南方年均降水量一般超过 1 000 mm 以上,北方一般少于 800 mm,西北地区大部少于 400 mm,荒漠地区一般少于 100 mm,而东南部台湾、福建、广东年降水量可达 2 000 mm 以上。在中国一些干旱地区和沿海岛屿,居民常收集降水供生活饮用。降水是地表水和地下水的最终补给来源。

(二)地表水

地表水(surface water)是降水在地表径流和汇集后形成的水体,是人类生活饮用水的重要来源之一,也是水资源的主要组成部分。地表水除了由降水为主要补给源外,与地下水也有相互补给关系。地表水水量和水质受流经地区的地质状况、气候、人为活动等因素的影响较大。当降水大量进入江河湖泊,水量达最大时称为丰水期,一年中水量最小、水位最低的时期称枯水期。人类活动排放的污染物大量进入地表水水体,可使地表水的理化特性和水环境中的生物特性、组成等发生改变,从而影响地表水的使用价值,造成水质恶化。

可以作为水源的地表水主要有以下几类。



1. 江河水 江河水主要来源于降水。江河水流量大、流速快、稀释能力强、含溶解氧高、自然净化能力较强且取用方便,是人类生活饮用水的重要来源之一,也是各国水资源的主要组成部分。江河水因主要来源是降水,故水质一般较软,矿物质含量较少,但由于其冲刷作用,卷带了大量泥沙、黏土等悬浮物质,因此水中含有较高的悬浮物和胶体,水的浑浊度较高,细菌较多。江河水水质受地理环境和气候条件的影响,差异较大,并易随季节的波动而变化。每年丰水期,大量降水进入江河,使其浑浊度和细菌含量升高,但因水量增大,盐类含量和硬度下降。枯水期水量少,流速减慢,盐类含量和硬度升高。由于江河水易受工业废水、农业废水和生活污水等的污染,在选作集中式供水水源时,通常要经净化和消毒处理后方能饮用。

2. 湖泊和水库水 湖泊和水库水主要来源于江河水、融化的冰雪水、降水或地下水。湖泊和水库由于水面宽阔,流速缓慢,长期的自然沉淀使水中悬浮物含量较少,因而水的浑浊度和细菌数低于江河水,水质也较软。但由于湖泊光照面积大,流动性小,有利于微生物的生长和繁殖,因此水中腐殖质的含量会增高。湖泊常接纳流经地域厂矿企业的各种工业废水和居民生活污水,由于湖泊的相对封闭性和较差的稀释混合能力,污染物进入后不易被湖水稀释混合而易沉入湖底,难以通过湖流的搬运作用经出湖口河道向下游输送而使污染物质易于沉积。此外,湖泊的缓流水面使水的复氧化作用降低,从而使湖水对有机物质的自净能力减弱。当湖泊、水库水接纳过多含磷、氮的污水时,可使藻类等浮游生物大量繁殖形成水体富营养化(eutrophication)。

3. 海水 海水是地球上最大的水源,但海水含盐量高,味道苦咸,不能作为饮水水源。有些地区(如有些阿拉伯国家)地处沙漠,十分缺水,也有靠海水淡化作为水源的。海水淡化经济代价高,技术上也较为困难。

(三)地下水

地下水(ground water)是由降水经过地表渗透和地面水通过河床或湖床渗入地下、聚集在土壤或岩层的空隙中形成。地下水经过土壤和地层的层层过滤,悬浮物和胶体含量很少,浊度较低,水质清澈透明,水质感官性状较好。同时,地下水的溶解氧浓度极低,细菌难以生存,因而细菌数较少,是较好的水源。但在流经地层和渗透的过程中,水可溶解土壤中各种矿物盐类,使地下水的硬度、含盐量、含铁量通常比地表水高,水质较硬。

地下水流动极其缓慢、溶解氧含量低、微生物含量较少,因此地下水自净能力较差。地下水一旦污染,其过程缓慢、不易发现和难以治理,即使彻底消除污染源,地下水水质仍需较长时间才能恢复,这是因为被地层阻留的污染物还会不断释放到地下水中,其产生的不良影响将长期存在。地下水污染治理往往需十几年甚至几十年。

由于地下水分布广泛、水量稳定、很少受到气候的影响、水质良好,因而成为工农业生产用水及城市生活饮用水的重要水源。尤其是在缺水的干旱、半干旱地区,地下水常常成为当地的主要供水水源。近年来,我国地下水资源急剧减少,在一些淡水短缺的地区,因经济发展的需要而普遍过度开采和不合理的利用地下水,地下水的使用超出了天然补给而造成地下水位下降,形成地下水下降漏斗。在地下水用量集中的城市地区,还会引起地面沉降,有的地方甚至因地下水的抽取速度大于地下水恢复再生速度,致使地下水耗尽而无水可取。

地下水分为浅层地下水、深层地下水和泉水。

1. 浅层地下水 浅层地下水是位于地表下第一个不透水层之上的地下水,深度多在离地表几米和几十米之间。水量直接由地表水补给,受降水量和蒸发量影响较大。浅层地下水经过地层的渗漏,物理性状较好,细菌数较少,但在流经地层和渗透过程中,可溶解土壤中各种矿物盐类使水质硬度增加,水中溶



解氧则因土壤中生物化学过程的消耗而减少。

浅层地下水的水质与土壤的卫生状况密切相关,土壤上堆放工业废渣和生活垃圾、污水灌田、农田上使用化肥和农药等均可能造成土壤的污染,土壤受污染程度越高,地下水水质就越差。水井是浅层地下水被利用的主要方式,是中国农村最常用的水源。

2. 深层地下水 深层地下水是位于第一个不透水层以下的地下水,距地表较深。水量由降水和地表水补给,补给区常在远方的高地,但因埋藏较深,流速较慢,受气象因素较小,补给亦较困难。深层地下水由于受上面不透水层的覆盖,不易受到来自地表的污染,水质亦较好。深层地下水水温恒定,透明无色,细菌数很少,但矿化度高,硬度较大,铁、锰含量常较高。由于深层地下水水质较好,水量较稳定,常被用作城镇或企业的集中式供水水源。

3. 泉水 泉水指通过地表缝隙自行涌出的地下水,是含水层和含水的通道被水流侵蚀露出地表而形成的。因地质构造不同分潜水泉和自流泉,前者是浅层地下水由于地层的自然塌陷或被溪谷截断而使含水层露出,水自行外流而成;后者是深层地下水依靠压力由不透水层或岩石的天然裂隙中涌出而成。两者的水质水量特点分别与浅层地下水和深层地下水相似。泉水多用作分散式给水水源,水量充足时也可用作集中式给水水源。

(四)再生水

再生水(recycling water)是指污水经过适当处理后,达到一定的水质标准,满足某种使用要求,可以进行有益使用的水,是污水处理后的再利用,被国际公认为“第二水源”。

再生水的水质标准低于生活饮用水的水质标准,但高于允许排放的污水水质标准,可替代饮用水用于非饮用目的,供给工农业生产、城市生活、河道景观等作为低质用水,如厕所冲洗、园林和农田灌溉、道路保洁、洗车、城市喷泉、冷却设备补充用水等。在美国、日本、以色列、俄罗斯、西欧各国等都广泛开展污水回用,大量使用再生水。中国早在20世纪50年代就开始采用污水灌溉的方式回用污水,但真正将污水深度处理后回用于城市生活和工业生产则是近几十年才发展起来的。

城市污水水量大,水质相对稳定,易于收集,处理技术成熟,投资成本低于远距离引水和海水淡化,是首选的进行再生处理与回用的供水水源。随着水体污染的不断加剧和社会发展导致的需水量的日益增加,许多国家都面临水资源危机,再生水作为一种新水源,正在得到越来越广泛的利用,不仅成为水资源的一个组成部分,也成为合理利用和节约水资源的重要途径。

二、中国水资源和水环境质量现状

(一)中国水资源分布现状

中国水资源总量多,但是人均占有量少。中国是世界上河流和湖泊众多的国家之一,水资源丰富,淡水资源总量占全球水资源的6%,居世界第4位,但人均水资源量仅为世界平均水平的1/4,是全球人均水资源最贫乏的国家之一。目前我国有15个省人均水量低于联合国规定的严重缺水线,在中国600多座城市中,有400多座城市存在供水不足的问题,其中比较严重的缺水城市达104座,城市缺水已经成为中国的一个特殊的普遍问题。

中国水资源在时间和空间的分布是极不均匀的。受大陆季风气候的影响,中国水资源年际变化存在明显的连续丰水年和连续枯水年,年内分布集中,夏秋季水多,大部分地区年内连续4个月的降水量可达全年的70%以上,短期内径流过于集中,易于引发洪水灾害,这种在时间上不均匀的变化严重影响了有限水资源的合理利用。此外,中国幅员辽阔,降水和蒸发在不同地区差异较大,造成水资源在地区分布上也是极不平衡的,水资源呈现南多北少、东多西少的特点。



(二)中国水资源短缺的主要原因

1. 水资源时空分布不均导致资源型缺水 中国水资源南北分配的差异非常明显。如长江流域及其以南地区人口占全国人口的 54%，水资源却占全国水资源总量的约 80%；长江以北地区人口占全国人口的 46%，但水资源占有量仅为全国的 19%。水资源分布的严重失衡导致中国南方地区易形成洪涝灾害，而北方地区易干旱和沙漠化，形成北方地区资源型缺水。

2. 水污染导致水质型缺水 水污染是导致水资源短缺的重要原因。由于城市生活污水和工业废水的大量排放，导致一些地方水体污染严重，水质恶化，影响了水资源的有效性，造成有水不能用，形成水质型缺水。水质型缺水往往发生在水资源丰富的地区，尤其在中国南方城市。例如中国东南地区降水丰富，河流众多，但该地区经济发展快速，未经处理的废水大量排放，致使该地区湖泊与河流污染严重，普遍面临水质型缺水，造成许多城市有水不能用，不得不大量超采地下水。

3. 水资源调控能力不足所致工程型缺水 中国的水资源在时间和空间上分配的不均匀性，使得中西部地区需要依靠水库来调节，当水源工程建设投资额大，投资回报率不高难以吸引足够的建设资金时，水库工程遭遇滞后，造成用水地区的工程性缺水，这种情况在中部和西部地区尤其明显。

(三)中国水环境质量现状

中国是一个水资源严重受污染的国家，由于经济的快速发展和治污工作的相对滞后，全国很多河流和不少城市的地表水和地下水已受到不同程度的污染，七大流域中大部分流域超过 40% 的地表水不适合居民饮用，饮用水安全问题比较突出，近年来水源污染更是导致供水水质此类突发公共卫生事件频发。据有关部门初步估计，目前全国尚有 3 亿农村人口喝不上符合标准的饮用水。地表水的微生物污染、重金属污染、有机有毒物污染仍然突出，总体水环境恶化，水质型缺水和资源型缺水并存，不仅阻碍国家的建设和发展，也严重影响到人民群众的身体健康。

1. 地表水水质 地表水水质直接影响生活饮用水的质量，由于长期环境污染的累积效应，我国地表水环境污染依旧突出。根据中国环境保护部《中国环境状况公报》，2013 年中国地表水总体为轻度污染，部分城市河段污染较重。在中国七大流域和内陆河流的国控监测断面中，I~Ⅲ类、Ⅳ~Ⅴ类和劣Ⅴ类水质的断面比例分别为 71.7%、19.3%和 9.0%。珠江、西南诸河和西北诸河水质为优；长江和浙闽片河流水质良好；黄河、松花江、淮河和辽河为轻度污染；海河为中度污染，如图 1-1 所示，主要污染指标为化学需氧量、高锰酸盐指数和五日生化需氧量。

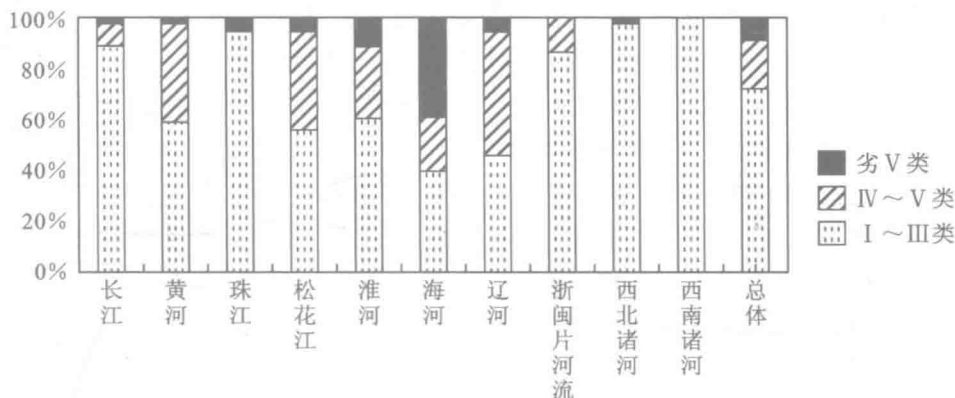


图 1-1 2013 年中国七大流域和内陆河流水质状况

(数据来自 2013 年中国环境保护部《中国环境状况公报》)

在 61 个国控重点湖泊(水库)中，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%，主要污染指标为总磷、化学需氧量和高锰酸盐指数。三大湖泊（太湖、滇池和巢湖）中，轻度污染两个，重度污染1个，分别占66.7%和33.3%。31个大型淡水湖泊中，轻度污染10个，中度污染1个，重度污染6个，分别占32.3%、3.2%和19.4%。27个大型水库中，轻度污染4个，占14.8%，无中度以上的污染，可见大型水库水质好于大型淡水湖泊。与上年相比，各级别水质的湖泊（水库）比例无明显变化。

在61个国控重点湖泊（水库）中，营养状态为富营养、中营养和贫营养的湖泊（水库）比例分别为27.8%、57.4%和14.8%。其中，三大湖泊中的太湖和巢湖均为轻度富营养，滇池为中度富营养。31个大型淡水湖泊中，11个为轻度富营养，其他均为中营养或贫营养，27个重要水库中，3个为轻度富营养，其他均为中营养或贫营养。

2. 地下水水质 根据2013年的监测数据，在全国4778个地下水监测点中，地下水水质优良、良好、较好、较差和极差的监测点比例分别为10.4%、26.9%、3.1%、43.9%和15.7%，较差和极差水质的监测点比例达到59.6%。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。与上年相比，水质变好的监测点比例为15.4%，稳定的监测点比例为66.6%，变差的监测点比例为18.0%。

3. 海水水质 2013年，中国海域海水环境状况总体较好，符合第Ⅰ类海水水质标准的海域面积约占全国海域面积的95%。但近岸海域水质一般，Ⅰ、Ⅱ类海水点位比例为66.4%，Ⅲ、Ⅳ类海水点位比例为15.0%，劣Ⅳ类海水点位比例为18.6%。四大海区（渤海、黄海、东海、南海）接纳的主要污染物为化学需氧量、石油类、氨氮和总磷。

第二节 水与健康的关系

一、水的生理和卫生学意义

水是生命之源，是构成人体的重要成分。正常人体内水分含量约占体重的70%，儿童体内的水分可达体重的80%。血液里的含水量在90%以上，心、肝、肺、肾等内脏器官也含有一定量的水，含水量最少的骨骼内水也占20%左右。

人体内的一切生理和生化活动如体温调节、营养物质输送、代谢产物排泄等都需在水的参与下完成。水是机体重要的载体，从外界环境摄取的养分通过水输送到机体各部分，而机体的代谢产物又通过水输送到肾、肺、肠道、皮肤等排出。水的比热和蒸发潜热很高，能储存和吸收大量的热，故有调节体温的作用。水在体内循环流动，使身体内各部分的体温保持均匀。在炎热环境下，为防止体温过高，机体内的水分会加速从皮肤和肺泡表面蒸发，从而散发过剩的热量。由于水对体温的调节作用，使得体温可不受外界环境温度的骤变而发生明显变化。

人体每日所需水量随年龄、气候和劳动强度等因素的不同而有差异。为维持体内水的恒定，摄入的水量必须能够补偿经呼吸、皮肤蒸发和尿粪等途径排出的水量，以保持水平衡。一般条件下成人每日的生理需水量为2~3 L，主要通过饮水和食物摄入。在炎热条件下从事重体力劳动的成人，每昼夜需水量可达8~11 L或更多。而婴幼儿的需水量如按每千克体重计，可超出成人数倍。当每日摄水量不足时，人体可以通过调节机制减少水分的排出，严重不足时会造成脱水。一般人体脱水达体重的2%以上时，可造成体内新陈代谢紊乱；脱水达7%~14%时，可出现严重的症状；脱水达15%以上时，可危及生命。

水还是多种矿物质和微量元素的重要来源，与蛋白质、脂肪、碳水化合物、矿物质、维生素和膳食纤维素并列为人体必需的七大营养素。



水不但为人的生理功能所需,还与人们的日常生活关系密切。水在保持个人卫生、改善生活居住环境 and 促进人体健康等方面起着重要作用。城乡生活饮用水的供给必须充分满足多项用水量,才能使人们日常生活维持在较高的卫生水平。国际上已把城市人均耗水量作为衡量一个国家城市居民生活水平和经济发展的重要标志。在发达国家,城市居民每人每天用水量达到 500 L 以上,最高达 800 L。在发展中国家,城市居民每人每天用水量可达到 200 L 左右。人们的经济和文化生活水平越高,每人每日的用水量也越多。

二、地下水水质与健康

地下水是生活饮用水的重要水源,由于有地层的过滤,水质通常好于地表水,但地下水一旦受到污染,长时间难以逆转。企业污水直排地下、污水灌溉农田、垃圾填埋等均可造成局部区域地下水的污染,并引起相关的健康危害。地下水常见的问题是硬度和硝酸盐含量较高带来的健康问题。

(一)水的硬度与健康

水的硬度指溶于水中钙、镁盐类的总含量,常以相当于碳酸钙的含量(mg/L)来表示。天然水的硬度因地质条件不同差异很大。地下水的硬度一般高于地表水,因为地下水在渗透过程中吸收了土壤中有有机分解释放出的 CO_2 ,可使地层中的碳酸钙、碳酸镁溶解,使地下水的硬度增高。

水的硬度过高会给日常生活带来多方面的不利影响。如用硬水泡茶会使茶水变味;用硬水烹调食物会使食物的营养价值降低;用硬水洗涤衣物,不仅增加肥皂的消耗,还会影响织物的色泽和柔软度;硬水煮沸会在水壶和锅炉内沉积水垢,从而增加燃料消耗,并易使容器受损;住宅热水采暖时采用硬水,易积水垢,使水管管腔变窄甚至堵塞。因此,采暖和锅炉用水需先将硬水软化。

饮用硬度过高的水对健康也有不利影响。居住在软水地区的人,一旦进入饮用水硬度极高的地区,会因一时的不适应出现腹泻和消化不良等胃肠道功能紊乱症状和体征。皮肤敏感者,沐浴后还可有不适感。然而,人体对硬度的耐受程度存在很大差异。另外,动物实验和现场调查结果揭示,硬水对泌尿系统结石的形成可能有促进作用。考虑到硬度过高对健康的不利影响,我国《生活饮用水卫生标准》规定硬度不得超过 450 mg/L。

迄今,与硬度关系最为密切的健康问题主要聚焦在心血管疾病。1960 年 Schroedor 提出饮水硬度与心血管疾病死亡率呈负相关,这提示软水可能是心血管疾病的一种危险因素,而硬水则是一种有利因素。此观点一经提出,即受到广泛重视,许多国家在以后的调查中也得出类似结论,但也有一些调查未获得此种负相关,甚至得出了相反的结论。支持负相关者的主要论据是:世界上有十多个国家对心血管疾病、缺血性心脏病、动脉硬化性心脏病、高血压、冠心病和脑血管病等死因指标与饮水硬度的关系做了调查,绝大多数结果呈负相关。反对和怀疑负相关者的主要论据是:迄今仍有相当数量的报告未获得负相关,少数报告则呈正相关。因此,对硬度与心血管疾病死亡率的关系至今尚无定论。

(二)硝酸盐与健康

硝酸盐广泛存在于自然界,水、土壤和农作物中都含有硝酸盐。水体中硝酸盐的含量可因地质条件及不同程度的污染而异,清洁地表水中硝酸盐含量较低,受污染的水体和深层地下水中硝酸盐含量一般较高,硝酸盐污染是地下水常见的污染类型之一。我国某些地下水水源,其硝酸盐含量在近几十年有明显增高的趋势,其原因除污染加重外,还与地下水水位不断下降有关。

硝酸盐本身相对无毒,但硝酸盐摄入后,在胃肠道中的某些细菌作用下,可还原成亚硝酸盐,亚硝酸盐被吸收后,能与血红蛋白结合形成高铁血红蛋白,后者不再有输氧功能,因而可造成缺氧,严重时可引起窒息死亡。