

■ 张乃明 等编著

# 饮用水源地污染控制 与水质保护

YINYONG SHUIYUANDI  
WURAN KONGZHI  
YU SHUIZHI BAOHU



化学工业出版社

国家重点研发计划课题 (2016YFD0201208-2)

云南省社会发展科技计划 (2009CA026)

资助出版

云南省科技创新人才计划 (2015IC022)

# 饮用水源地污染控制 与水质保护

■ 张乃明 等编著



化学工业出版社

·北京·

本书共9章,主要介绍了中国及世界的饮用水资源概况,分析了我国饮用水源地保护的现状及存在的问题,总结了我国有关饮用水保护的法律法规与标准规范,以大型水库为例,讨论了水源地污染负荷来源构成与估算方法,分别就农田面源污染控制、农村生活污水处理、农村垃圾和农业固废处置利用及畜禽养殖污染防治的技术进行全面阐述,并围绕饮用水保护的管理与制度创新做了深入探索。

本书具有较强的针对性和实用性,可供从事水源地污染控制与水质保护等领域的工程技术人员、科研人员和管理人员使用,也可供高等学校环境科学与工程、生态工程、市政工程及相关专业师生参考。

#### 图书在版编目(CIP)数据

饮用水源地污染控制与水质保护/张乃明等编著.  
北京:化学工业出版社,2018.7

ISBN 978-7-122-32322-4

I. ①饮… II. ①张… III. ①饮用水-供水水源-水  
污染防治②饮用水-供水水源-水质管理 IV. ①X520.5  
②X321

中国版本图书馆CIP数据核字(2018)第115931号

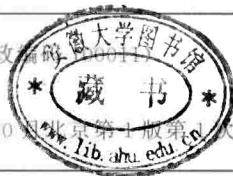
责任编辑:刘兴春 刘 婧

文字编辑:汲永臻

责任校对:王素芹

装帧设计:刘丽华

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街13号 邮政编码100011)  
印 装:大厂聚鑫印刷有限责任公司  
787mm×1092mm 1/16 印张16 $\frac{1}{4}$  字数377千字 2018年10月北京第1版第1次印刷



购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价:85.00元

版权所有 违者必究

# 《饮用水源地污染控制与水质保护》

## 编著人员名单

编著者：

|     |     |     |     |     |
|-----|-----|-----|-----|-----|
| 张乃明 | 包立  | 文波龙 | 甄晓云 | 夏运生 |
| 秦太峰 | 段红平 | 苏友波 | 邓洪  | 赵宏  |
| 陶亮  | 康宏宇 | 杨牧青 | 林健  | 张溶  |
| 张丽  | 刘惠见 |     |     |     |

# 前言

## FOREWORD

当前,水资源短缺与水质污染已成为全球面临的最大的资源环境问题。在我国,经济快速发展导致水资源紧缺、水环境污染与水生态破坏三者叠加的形势十分严峻。水乃生命之源,“人可一日无食,但不可一日无水”,饮水安全直接关系到人民群众的身体健康、生命安全与社会稳定。我国虽然历来重视水资源的利用与饮用水保护,但水资源短缺、水污染严重的形势仍然没有根本扭转,饮水安全问题面临挑战。为了提高全社会对饮用水保护问题的认识,推动我国饮用水源地污染防治与水质保护工作,笔者在收集整理国内外相关研究进展的基础上,结合自身承担项目取得的研究成果编撰成《饮用水源地污染控制与水质保护》。

《饮用水源地污染控制与水质保护》由张乃明教授策划并提出编写提纲,中国科学院东北地理与农业生态研究所的文波龙博士对提纲进行了补充完善。全书共分9章,第1章,介绍中国及世界的饮用水资源概况;第2章,分析了我国饮用水源地保护的现状及存在的问题;第3章,总结了我国有关饮用水保护的法律法规与标准规范;第4章,以大型水库为例,讨论了水源地污染负荷来源构成与估算方法;第5章~第8章,分别就农田面源污染控制、农村生活污水处理、农村垃圾和农业固废处置利用及畜禽养殖污染防治的技术进行全面阐述;第9章则围绕饮用水保护的管理与制度创新做了深入探索。

本书由张乃明等编著,具体编著分工如下:第1章由包立、张乃明编著;第2章由陶亮、康宏宇、刘惠见编著;第3章由张溶、文波龙编著;第4章由张乃明、包立编著,第5章由文波龙、包立编著;第6章由甄晓云、张乃明编著;第7章由夏运生、张丽、甄晓云、张乃明编著;第8章由段红平编著;第9章由张乃明、林健、秦太峰、包立、段红平、苏友波、邓洪、赵宏编著。全书最后由张乃明统稿、定稿。

本书在编写及出版过程中得到了化学工业出版社的大力支持,书中参考了国内外的相关研究成果,均在书的各章之后附有相应参考文献,在此一并表示诚挚的谢意!

由于时间仓促,加之对水源地保护的认知水平有限,因此,书中不妥之处在所难免,敬请广大读者批评指正。

编著者

2018年5月

# 目录

## CONTENTS

|                            |     |
|----------------------------|-----|
| 第 1 章 饮用水资源概况 .....        | 001 |
| 1.1 世界饮用水资源 .....          | 002 |
| 1.1.1 世界水资源总量 .....        | 002 |
| 1.1.2 世界淡水资源及分布 .....      | 002 |
| 1.1.3 世界可饮用水资源 .....       | 004 |
| 1.2 中国饮用水资源 .....          | 007 |
| 1.2.1 中国的淡水资源及分布 .....     | 007 |
| 1.2.2 中国的可饮用水资源 .....      | 011 |
| 1.3 云南省水资源 .....           | 015 |
| 1.3.1 云南省水资源基本情况 .....     | 015 |
| 1.3.2 云南省水资源分布 .....       | 017 |
| 参考文献 .....                 | 020 |
| 第 2 章 饮用水源地分类与污染现状 .....   | 022 |
| 2.1 饮用水源地的概念与分类 .....      | 022 |
| 2.1.1 饮用水源地的概念 .....       | 022 |
| 2.1.2 城市集中式饮用水源地 .....     | 028 |
| 2.1.3 农村分散式饮用水源地 .....     | 030 |
| 2.2 饮用水水质现状 .....          | 032 |
| 2.2.1 水资源现状 .....          | 032 |
| 2.2.2 饮用水水质现状 .....        | 033 |
| 2.2.3 饮用水水质污染 .....        | 034 |
| 2.2.4 水质评价 .....           | 034 |
| 2.2.5 水安全隐患问题 .....        | 037 |
| 2.3 饮用水源地污染现状 .....        | 038 |
| 2.3.1 城市集中饮用水源地污染现状 .....  | 039 |
| 2.3.2 农村分散式饮用水源地污染现状 ..... | 040 |
| 2.3.3 饮用水源地保护存在问题 .....    | 041 |

|                              |            |
|------------------------------|------------|
| 参考文献                         | 044        |
| <b>第3章 饮用水保护的政策法规</b>        | <b>048</b> |
| 3.1 饮用水保护相关法律                | 048        |
| 3.1.1 中华人民共和国水污染防治法          | 048        |
| 3.1.2 中华人民共和国水法              | 050        |
| 3.1.3 中华人民共和国环境保护法           | 050        |
| 3.1.4 中华人民共和国传染病防治法          | 051        |
| 3.1.5 中华人民共和国水土保持法           | 051        |
| 3.1.6 中华人民共和国刑法              | 051        |
| 3.2 饮用水保护的部门规章               | 052        |
| 3.2.1 《饮用水水源保护区污染防治管理规定》     | 052        |
| 3.2.2 生活饮用水卫生监督管理办法          | 055        |
| 3.2.3 全国重要饮用水水源地安全保障达标建设目标要求 | 058        |
| 3.2.4 农村饮水安全工程项目建设管理办法       | 060        |
| 3.2.5 城市供水水质管理规定             | 062        |
| 3.3 饮用水保护的地方法规               | 066        |
| 3.3.1 部分省(自治区、直辖市)饮用水保护条例    | 067        |
| 3.3.2 部分州(市)饮用水保护条例          | 072        |
| 3.3.3 县级饮用水保护条例              | 078        |
| 3.4 饮用水保护政策法规现状分析            | 081        |
| 参考文献                         | 082        |
| <b>第4章 湖库型集中式饮用水源地污染负荷解析</b> | <b>083</b> |
| 4.1 饮用水源地污染负荷构成              | 083        |
| 4.2 昆明市云龙水库污染负荷              | 083        |
| 4.2.1 云龙水库概况                 | 083        |
| 4.2.2 云龙水库污染负荷解析             | 085        |
| 4.2.3 云龙水库污染负荷估算             | 086        |
| 4.2.4 云龙水库径流区氮、磷污染负荷构成分析     | 089        |
| 4.3 昆明市松华坝水库污染负荷             | 091        |
| 4.3.1 松华坝水库概况                | 092        |
| 4.3.2 松华坝水库污染负荷解析            | 095        |
| 4.3.3 松华坝水库污染负荷估算方法          | 095        |
| 4.3.4 松华坝水库污染负荷构成            | 100        |
| 4.4 昭通市渔洞水库污染负荷              | 105        |
| 4.4.1 渔洞水库概况                 | 105        |
| 4.4.2 渔洞水库污染负荷估算方法           | 108        |

|                                |            |
|--------------------------------|------------|
| 4.4.3 渔洞水库污染负荷构成 .....         | 109        |
| 参考文献 .....                     | 112        |
| <b>第5章 饮用水源地农田面源污染控制 .....</b> | <b>116</b> |
| 5.1 农田面源污染控制 .....             | 116        |
| 5.1.1 农田氮、磷流失与水环境 .....        | 116        |
| 5.1.2 影响水源地农田氮、磷流失的因素 .....    | 117        |
| 5.1.3 农田氮、磷流失控制措施 .....        | 119        |
| 5.2 农业面源的源头减污技术 .....          | 121        |
| 5.2.1 土地利用规划与空间布局 .....        | 121        |
| 5.2.2 化肥减量化技术 .....            | 122        |
| 5.2.3 种植制度优化 .....             | 124        |
| 5.2.4 土壤耕作优化 .....             | 124        |
| 5.2.5 土壤调理剂施用 .....            | 124        |
| 5.2.6 氨挥发控制技术 .....            | 125        |
| 5.2.7 节水灌溉技术 .....             | 125        |
| 5.2.8 农作物秸秆利用技术 .....          | 127        |
| 5.2.9 农药减量化与残留控制技术 .....       | 128        |
| 5.3 农业面源的过程拦截技术 .....          | 128        |
| 5.3.1 过程拦截技术概述 .....           | 128        |
| 5.3.2 过程拦截技术的应用实例 .....        | 130        |
| 5.4 农业面源的末端净化技术 .....          | 134        |
| 5.4.1 前置库技术 .....              | 134        |
| 5.4.2 生态排水系统滞留拦截技术 .....       | 135        |
| 5.4.3 人工湿地技术 .....             | 135        |
| 5.4.4 末端净化技术应用实例 .....         | 136        |
| 参考文献 .....                     | 136        |
| <b>第6章 水源地农村生活污水处理技术 .....</b> | <b>140</b> |
| 6.1 农村生活污水污染特征及处理工艺研究进展 .....  | 140        |
| 6.1.1 农村生活污水概述 .....           | 140        |
| 6.1.2 农村生活污水的污染特征 .....        | 141        |
| 6.1.3 农村生活污水处理工艺研究进展 .....     | 142        |
| 6.1.4 典型流域农村生活污水水质污染特征 .....   | 144        |
| 6.2 表面流人工湿地处理技术 .....          | 147        |
| 6.2.1 技术简介 .....               | 147        |
| 6.2.2 工艺流程和原理 .....            | 147        |
| 6.2.3 应用范围 .....               | 147        |

|            |                                 |     |
|------------|---------------------------------|-----|
| 6.2.4      | 工艺优缺点 .....                     | 147 |
| 6.2.5      | 管理与维护 .....                     | 148 |
| 6.2.6      | 建设与运行成本 .....                   | 148 |
| 6.2.7      | 工程案例——晋宁区昆阳街道办事处河嘴村污水处理工程 ..... | 148 |
| 6.3        | 土壤净化槽处理技术 .....                 | 149 |
| 6.3.1      | 技术简介 .....                      | 149 |
| 6.3.2      | 工艺流程和原理 .....                   | 149 |
| 6.3.3      | 应用范围 .....                      | 150 |
| 6.3.4      | 工艺优缺点 .....                     | 150 |
| 6.3.5      | 管理与维护 .....                     | 150 |
| 6.3.6      | 建设与运行成本 .....                   | 151 |
| 6.3.7      | 工程案例——华宁县青龙镇海镜村污水处理工程 .....     | 151 |
| 6.4        | 氧化塘处理技术 .....                   | 152 |
| 6.4.1      | 技术简介 .....                      | 152 |
| 6.4.2      | 工艺流程和原理 .....                   | 152 |
| 6.4.3      | 应用范围 .....                      | 152 |
| 6.4.4      | 工艺优缺点 .....                     | 153 |
| 6.4.5      | 管理与维护 .....                     | 153 |
| 6.4.6      | 建设与运行成本 .....                   | 153 |
| 6.4.7      | 工程案例——易门县小街乡小街村污水处理工程 .....     | 153 |
| 6.5        | 一体式 ( $A^2/O$ 工艺) 处理技术 .....    | 154 |
| 6.5.1      | 技术简介 .....                      | 154 |
| 6.5.2      | 工艺流程和原理 .....                   | 154 |
| 6.5.3      | 应用范围 .....                      | 154 |
| 6.5.4      | 工艺优缺点 .....                     | 155 |
| 6.5.5      | 管理与维护 .....                     | 155 |
| 6.5.6      | 建设与运行成本 .....                   | 155 |
| 6.5.7      | 工程案例——晋宁区上蒜镇段七村污水处理工程 .....     | 155 |
| 参考文献 ..... |                                 | 156 |

## 第7章 水源地农村生活垃圾与农业固废处置 ..... 159

|       |                       |     |
|-------|-----------------------|-----|
| 7.1   | 农村生活垃圾特征 .....        | 159 |
| 7.1.1 | 农村生活垃圾的概念 .....       | 159 |
| 7.1.2 | 农村生活垃圾的主要类型和产生源 ..... | 160 |
| 7.1.3 | 农村生活垃圾现状调查与污染分析 ..... | 160 |
| 7.1.4 | 农村生活垃圾产生现状 .....      | 160 |
| 7.2   | 农业固废污染特征 .....        | 161 |
| 7.2.1 | 农业固废的概念 .....         | 161 |

|                             |     |
|-----------------------------|-----|
| 7.2.2 农业固废的主要类型和产生源 .....   | 162 |
| 7.2.3 农业固废产生现状 .....        | 162 |
| 7.3 生活垃圾简易填埋技术 .....        | 165 |
| 7.3.1 我国垃圾处理现状 .....        | 165 |
| 7.3.2 垃圾填埋技术与其环境污染途径 .....  | 166 |
| 7.3.3 垃圾渗滤液成分与其危害 .....     | 166 |
| 7.3.4 垃圾渗滤液处理工艺 .....       | 166 |
| 7.4 生活垃圾堆肥沤肥技术 .....        | 168 |
| 7.4.1 农村生活垃圾现状 .....        | 168 |
| 7.4.2 堆肥沤肥处理方式简介 .....      | 168 |
| 7.4.3 堆肥技术原理 .....          | 169 |
| 7.4.4 好氧堆肥基本工序 .....        | 169 |
| 7.4.5 堆肥腐熟度标准 .....         | 170 |
| 7.4.6 沤肥技术 .....            | 171 |
| 7.4.7 微生物菌剂在堆肥过程中的应用 .....  | 172 |
| 7.4.8 微生物除臭菌的选育与应用 .....    | 172 |
| 7.4.9 堆肥干燥技术 .....          | 172 |
| 7.4.10 蚯蚓堆肥法 .....          | 172 |
| 7.5 生活垃圾热解技术 .....          | 173 |
| 7.5.1 生活垃圾热解处置技术概述 .....    | 173 |
| 7.5.2 生活垃圾热解处置技术及设备 .....   | 174 |
| 7.5.3 热解技术环保技术亮点 .....      | 177 |
| 7.5.4 小型热解技术应用部分实例 .....    | 178 |
| 7.6 农业固废污染控制 .....          | 179 |
| 7.6.1 不同堆肥处理环境条件的变化研究 ..... | 179 |
| 7.6.2 太阳能辅助增温堆肥研究 .....     | 182 |
| 参考文献 .....                  | 187 |

## 第 8 章 水源地畜禽养殖污染的防治 ..... 190

|                         |     |
|-------------------------|-----|
| 8.1 畜禽养殖污染特征 .....      | 190 |
| 8.1.1 畜禽粪便的测算方法 .....   | 190 |
| 8.1.2 畜禽养殖的污染趋势情况 ..... | 192 |
| 8.1.3 我国畜禽粪便的污染现状 ..... | 192 |
| 8.1.4 畜禽粪便造成的环境污染 ..... | 193 |
| 8.1.5 畜禽粪便的污染与危害 .....  | 194 |
| 8.2 畜禽养殖污染的预防 .....     | 196 |
| 8.2.1 畜禽养殖场合理选址 .....   | 196 |
| 8.2.2 开发新型饲料 .....      | 196 |

|                          |                           |            |
|--------------------------|---------------------------|------------|
| 8.2.3                    | 畜禽粪尿中氮、磷含量监测 .....        | 196        |
| 8.2.4                    | 畜禽粪便污染的无害化策略 .....        | 196        |
| 8.2.5                    | 畜禽粪便污染的减量化策略 .....        | 197        |
| 8.3                      | 畜禽粪便的沼气化利用 .....          | 197        |
| 8.3.1                    | 常用的沼气池畜禽粪便使用情况 .....      | 197        |
| 8.3.2                    | 沼气池发酵技术原理 .....           | 198        |
| 8.3.3                    | 我国沼气池技术发展的现状分析 .....      | 198        |
| 8.4                      | 畜禽粪便的堆肥化利用 .....          | 200        |
| 8.4.1                    | 畜禽废弃物资源化利用的意义 .....       | 200        |
| 8.4.2                    | 选择畜禽粪便处理技术和模式 .....       | 200        |
| 8.4.3                    | 畜禽粪污处理产业化 .....           | 202        |
| 8.4.4                    | 走农牧结合道路, 发展循环经济 .....     | 202        |
| 8.4.5                    | 有关畜禽粪便堆肥化技术的研究综述 .....    | 203        |
| 8.4.6                    | 畜禽粪便的其他处理方法 .....         | 203        |
| 8.5                      | 畜禽粪便资源化利用评述 .....         | 204        |
| 8.5.1                    | 畜禽粪便肥料化技术概述 .....         | 204        |
| 8.5.2                    | 畜禽粪便饲料化技术概述 .....         | 205        |
| 8.5.3                    | 畜禽粪便能源化技术概述 .....         | 206        |
| 8.5.4                    | 畜禽粪便资源化利用存在的主要问题和建议 ..... | 206        |
| 参考文献 .....               |                           | 207        |
| <b>第9章 饮用水保护制度 .....</b> |                           | <b>209</b> |
| 9.1                      | 国外饮用水水源保护制度 .....         | 209        |
| 9.1.1                    | 饮用水水源保护制度 .....           | 209        |
| 9.1.2                    | 国外饮用水水源保护制度综述 .....       | 210        |
| 9.1.3                    | 美国的饮用水保护制度 .....          | 211        |
| 9.1.4                    | 加拿大的饮用水保护制度 .....         | 213        |
| 9.1.5                    | 法国饮用水水管理体制特点 .....        | 214        |
| 9.2                      | 我国饮用水保护制度 .....           | 215        |
| 9.2.1                    | 国家饮用水水源保护区制度 .....        | 215        |
| 9.2.2                    | 我国饮用水水源紧急处置制度 .....       | 216        |
| 9.2.3                    | 我国饮用水水源保护的法律责任 .....      | 217        |
| 9.2.4                    | 我国饮用水保护管理实践 .....         | 217        |
| 9.3                      | 生态补偿制度在饮用水保护中的应用 .....    | 223        |
| 9.3.1                    | 生态补偿理论 .....              | 223        |
| 9.3.2                    | 应用案例 .....                | 225        |
| 9.3.3                    | 生态补偿制度执行存在的问题 .....       | 227        |
| 参考文献 .....               |                           | 228        |

|                                 |     |
|---------------------------------|-----|
| 附录 .....                        | 230 |
| 附录 1 饮用水水源保护区污染防治管理规定 .....     | 230 |
| 附录 2 水功能区监督管理办法 .....           | 233 |
| 附录 3 我国饮用水水源保护区等五类地区划定禁养区 ..... | 238 |
| 附录 4 安徽省饮用水水源环境保护条例 .....       | 238 |
| 附录 5 宁远县饮用水水源地保护管理办法 .....      | 244 |
| 附录 6 《滇池流域河道生态补偿办法（试行）》 .....   | 247 |

# 第 1 章

## 饮用水资源概况

水是生命之源，是地球上一切生物赖以生存和发展的根本，对于人类来说，水源更是经济发展、社会进步以及环境改善的重要基础。目前，学界和各国对于水源含义的定义尚未统一，如英国对于水源的看法是：“水源为自然界全部形态的水体”。联合国在《水源评价——国家评价手册》中认为：“可以利用或有可能被利用的水源，具有足够数量和可用质量，并能在某一地点为满足某种用途而被利用”。前苏联水文学家 O. A. 斯宾列格在《水与人类》一书中认为水源为某一区域的地表和地下水储量，并且水源分为更新非常缓慢的水文储量和年内可以恢复的储量两类。我国《大百科全书》定义水源为地球表面可供人类利用的水，包括水量、水域和能量水源，但也强调“一般指每年可更新的水量资源”。《中国百科大辞典》认为：“水源是指地球表层可供人们利用的水，包括水量、水域和水能资源”。《维基百科》将水源定义为：“水资源包括经人类控制并直接可供灌溉、发电、给水、航运、养殖等用途的地表水和地下水，以及江河、湖泊、井、泉、潮汐、港湾和养殖水域等”。《中国水源初步评价》定义水源为“逐年可以得到恢复的淡水量，包括河川径流量和地下水补给量，而大气降水则是它们的补给来源”。窦贻俭在其编著的《环境科学原理》中认为“水源是容易被人类利用（直接或间接），并逐年可更新的那部分水源”。

饮用水源应当是可供人类饮用的，并得到大气降水补给及逐年更新的各种地表、地下水的总称。其中，人类可以大量利用的水源是大气降水、江海湖泊、水库、土壤含水层中淡水、冰川和积雪融化的液态水。

据最近的数据显示，从 20 世纪全球范围内来看，饮用水资源的消耗量激增，同比上涨了大约 6 倍，已经远远超过人口增长的速度。全世界范围内大约有 1/5 的人口处于水资源缺乏的状态，无法保证饮用水安全是一个很大的问题，而水与人类的生活息息相关。由此可见，如何保证人类生存必不可少的生活资源即饮用水资源的安全已经成为全球性的问题，因此，世界各地及政府组织对于饮用水源地安全也越来越关注。全世界各发达国家经过一段“先污染后治理”的曲折弯路后，根据国家的基本国情总结过去的经验教训，专门立法建立了一套完善的法律制度，以确保饮用水源地水质安全。

饮用水源是生命之源、生存之本，对于人类具有重大意义，保障人类生存权的迫切要求是必须对饮用水及其水源地安全进行保护。自从 18 世纪工业革命以来，全球各地的饮用水资源短缺已经成了大家普遍关注的问题。然而致使该现象出现的很大一部分原因是饮用水源地出现了不同程度的污染破坏，导致饮用水质量的下降，最终造成了饮用水资源日益稀缺的现状。

联合国的数据统计显示，全世界每年用水量不断增加，到 2025 年，全世界将近有 50% 以上的人口生活在缺水的区域。社会经济的可持续发展已经受到了水资源问题的制约。国民经济目标的实现、社会经济的发展和国家安全都与饮用水资源的可持续利用息息相关，饮用水资源安全的问题不仅仅是环境的问题，更是关乎经济、社会和政治的问题，它是影响国家安全的非传统的基本要素之一。饮用水安全问题是危及全球的国际重大问题，并且已引起世界各国政府的高度重视，当然对饮用水安全问题的研究也就成了当今的热点问题。

## 1.1 世界饮用水资源

### 1.1.1 世界水资源总量

水是地球上最丰富的一种化合物。全球约有  $3/4$  的面积被水覆盖，地球上的水总体积约有 13 亿 8600 万立方千米，其中 96.5% 分布在海洋，淡水只有 3500 万立方千米左右。若扣除无法取用的冰川、高山顶上的冰冠以及分布在盐碱湖和内海的水量，陆地上淡水湖和河流的水量不到地球总水量的 1%。地球表面的 72% 被水覆盖，但淡水资源仅占有水资源的 2.5%，近 70% 的淡水固定在南极和格陵兰的冰层中，其余多为土壤水分或深层地下水，不能被人类利用。地球上只有不到 1% 的淡水或约 0.007% 的水可被人类直接利用，而中国人均淡水资源只占世界人均淡水资源的  $1/4$ 。

降落到地上的雨、雪水， $2/3$  左右被植物蒸腾和地面蒸发所消耗，可供人们用于生活、生产的淡水资源每人每年约  $10000\text{m}^3$ 。但是，由于地球上人口分布与淡水资源分布不成比例，加上水资源污染和使用过程中的浪费，世界上许多国家和地区存在着淡水资源紧张的情况，不少国家和地区不惜昂贵成本，设立海水淡化装置或采取其他措施来缓和淡水供应矛盾。随着经济的不断发展，人们对淡水的需求不断增加，2025 年淡水资源紧缺将成为世界各国普遍面临的严峻问题。地球虽然有 70.8% 的面积被水所覆盖，但淡水资源却极其有限。在全部水资源中，97.5% 是咸水，无法直接饮用。在余下的 2.5% 的淡水中，有 87% 是人类难以利用的两极冰盖、高山冰川和永冻地带的冰雪。人类真正能够利用的是江河、湖泊以及地下水中的一部分，仅占地球总水量的 0.26% 左右，而且分布不均。全球约 65% 的水资源集中在不到 10 个国家，而约占世界人口总数 40% 的 80 个国家和地区却严重缺水。据联合国公布的统计数据，全球目前有 11 亿人生活缺水，26 亿人缺乏基本的卫生设施。

### 1.1.2 世界淡水资源及分布

#### (1) 世界淡水资源

世界各国和地区由于地理环境不同，拥有水资源的数量差别很大。按水资源量大小排

序,前几名国家依次是巴西、俄罗斯、加拿大、美国、印度尼西亚、中国、印度。若按人均水资源拥有量就是另一种结果了,见表 1-1。

表 1-1 人均淡水资源拥有量排名前十的国家(地区)

单位:  $\text{m}^3/\text{a}$ 

| 名次 | 国家      | 人均淡水资源拥有量 | 名次 | 国家      | 人均淡水资源拥有量 |
|----|---------|-----------|----|---------|-----------|
| 1  | 法属圭亚那   | 609091    | 6  | 巴布亚新几内亚 | 121788    |
| 2  | 冰岛      | 539683    | 7  | 不丹      | 113537    |
| 3  | 圭亚那     | 315858    | 8  | 加蓬      | 113260    |
| 4  | 苏里南     | 236893    | 9  | 所罗门群岛   | 87476     |
| 5  | 刚果民主共和国 | 230152    | 10 | 加拿大     | 87255     |

资料来源:联合国粮农组织 2010 年数据。

我国是一个水资源短缺、水旱灾害频繁的国家,虽然水资源总量居世界第 6 位,但是我国人口众多,若按人均水资源量计算,人均占有量只有  $2500\text{m}^3$ ,约为世界人均占有量的  $1/4$ ,在世界排第 110 位(按 149 个国家统计,统一采用联合国 1990 年人口统计结果),已经被联合国列为 13 个贫水国家之一。

地球上的水,尽管数量巨大,但能直接被人们生产和生活利用的却少之又少。首先,海水又咸又苦,既不能直接饮用,也不能灌溉农田,更难以用于工业。全球淡水资源不仅短缺,而且地区分布极不平衡。按地区分布,巴西、俄罗斯、加拿大、中国、美国、印度尼西亚、印度、哥伦比亚和刚果 9 个国家的淡水资源占了世界淡水资源 60%。约占世界人口总数 40% 的 80 个国家和地区约 15 亿人口淡水不足,其中 26 个国家约 3 亿人极度缺水。更可怕的是,预计到 2025 年,世界上将会有 30 亿人面临缺水,40 个国家和地区淡水严重不足。

海水不能直接饮用,所以通常所说的水资源主要是指陆地上的淡水资源,如河流水、淡水湖泊水、地下水和冰川等。陆地上的淡水资源只占地球上水体总量的 2.53% 左右,其中近 70% 是固体冰川,即分布在两极地区和中、低纬度地区的高山冰川,还很难加以利用。人类比较容易利用的淡水资源主要是河流水、淡水湖泊水以及浅层地下水,储量约占全球淡水总储量的 0.3%,只占全球总储水量的十万分之七。据研究,从水循环的观点来看,全世界真正有效利用的淡水资源每年约有  $9000\text{km}^3$ 。

## (2) 淡水资源分布规律

1) 必然性和偶然性 水资源的基本规律是指水资源(包括大气水、地表水和地下水)在某一时段内的状况,它的形成都具有客观原因,都是一定条件下的必然现象。但是,从人们的认识能力来说,和许多自然现象一样,由于影响因素复杂,人们对水文与水资源发生多种变化的前因后果的认识并非十分清楚,故常把这些变化中能够作出解释或预测的部分称之为必然性。例如,河流每年的洪水期和枯水期;年际间的丰水年和枯水年。地下水位的变化也具有类似的现象。由于这种必然性在时间上具有年、月甚至日的变化,故又称之为周期性。而将那些还不能作出解释或难以预测的部分,称之为水文现象或水资源的偶然性的反映。任一河流不同年份的流量过程不会完全一致,地下水位在不同年份的变化也不尽相同,泉水流量的变化也有一定差异。这种反映也可称之为随机性,其规律要根据大量的统计资料或长期观测数据分析。

2) 相似性 主要指气候及地理条件相似的流域,其水文与水资源现象也具有一定的相似性。湿润地区河流径流的年内分布较均匀,干旱地区则差异较大。水资源的形成、分布特征也具有这种规律。

3) 特殊性 是指不同下垫面条件产生不同的水文和水资源的变化规律。如同一气候区,山区河流与平原河流的洪水变化特点不同;同为半干旱条件下,河谷阶地和黄土原区地下水赋存规律不同。

4) 循环性、有限性及分布的不均一性 水是自然界的重要组成物质,是环境中最活跃的要素。它不停地运动且积极参与自然环境中一系列物理、化学和生物过程。水资源与其他固体资源的本质区别在于其具有流动性,它是在水循环中形成的一种动态资源,具有循环性。水循环系统是一个庞大的自然资源系统,水资源在开采利用后,能够得到大气降水的补给,处在不断地开采、补给和消耗、恢复的循环之中,可以不断地供给人类利用和满足生态平衡的需要。在不断的消耗和补充过程中,在某种意义上水资源具有“取之不尽”的特点,恢复性强。但是,实际上全球淡水资源的蓄存量是十分有限的。全球的淡水资源仅占全球总水量的 2.5%,且大部分淡水资源储存在极地冰盖和冰川中,真正能够被人类直接利用的淡水资源仅占全球总水量的 0.796%。从水量动态平衡的观点来看,某一期间的水量消耗量接近于该期间的水量补给量,否则将会破坏水平衡,造成一系列不良的环境问题。可见,水循环过程是无限的,水资源的蓄存量是有限的,并非用之不尽、取之不竭。

水资源在自然界中具有一定的时间和空间分布。时空分布的不均匀是水资源的又一特性。全球水资源的分布表现为大洋洲的径流模数为  $51.0\text{L}/(\text{s} \cdot \text{km}^2)$ ,亚洲为  $10.5\text{L}/(\text{s} \cdot \text{km}^2)$ ,最高的和最低的相差数倍。我国水资源在区域上分布不均匀。总的来说,东南多,西北少;沿海多,内陆少;山区多,平原少。在同一地区中,不同时间分布差异性很大,一般夏多冬少。

### 1.1.3 世界可饮用水资源

随着世界经济的发展,人口不断增长,城市日渐增多和扩张,各地用水量不断增多。据联合国估计,1900年,全球用水量只有 4000 亿立方米/年;1980年为 30000 亿立方米/年,1985年为 39000 亿立方米/年;到 2000年,需水量增加到 60000 亿立方米/年。其中,以亚洲用水量最多,达 32000 亿立方米/年,其次为北美洲、欧洲、南美洲等。到 2000年,中国全国需水量为 6814 亿立方米,其中最多为长江流域,达 2166 亿立方米,其次为黄河流域和珠江流域。随着生产的发展,不少国家和地区水资源的供需矛盾正日益突出。

地下水是人类用水的主要来源,全球接近  $1/2$  的饮用水来自地下水。在一些地区,地下水严重超采,造成地面沉降、海水倒灌等恶果。而目前与水有关的灾害占有所有自然灾害的 90%,而这类灾害的发生频率和强度都在上升,对人类经济发展影响巨大。

据美国中央情报局网站的资料,世界可再生水资源总量排名前 10 的国家,分别是巴西、俄罗斯、加拿大、美国、印度尼西亚、中国、哥伦比亚、秘鲁、印度、刚果民主共和国(表 1-2)。

表 1-2 可再生水资源总量排名前十的国家

单位:  $\text{m}^3/\text{a}$ 

| 名次 | 国家    | 可再生水资源总量 | 名次 | 国家      | 可再生水资源总量 |
|----|-------|----------|----|---------|----------|
| 1  | 巴西    | 8233     | 6  | 中国      | 2830     |
| 2  | 俄罗斯   | 4498     | 7  | 哥伦比亚    | 2132     |
| 3  | 加拿大   | 3300     | 8  | 秘鲁      | 1913     |
| 4  | 美国    | 3069     | 9  | 印度      | 1908     |
| 5  | 印度尼西亚 | 2838     | 10 | 刚果民主共和国 | 1283     |

资料来源:美国中央情报局 2008 年 6 月数据。

但如果按人均来计算,我国的情况就很不乐观了。据联合国粮农组织提供的数据(部分国家空缺),2008 年,世界人均可再生水资源最多的国家是南美洲东北部的法属圭亚那( $609091\text{m}^3$ ),最少的是科威特( $6.85\text{m}^3$ ),竟然相差近 10 万倍。中国人均为  $2112\text{m}^3$ ,属于中等偏下水平,不到美国的  $1/4$ ,不到俄罗斯的  $1/10$ ,但高于德国的  $1872\text{m}^3$ 。在中国的 15 个陆上邻国中,只有巴基斯坦和印度低于中国。

即使是水资源总量非常丰富、人均水资源名列前茅的国家,水资源的地区分布也常存在严重不均衡现象。

例如,加拿大湖泊占国土面积的  $7.6\%$ ,湿地占  $14\%$ 。加拿大人口仅 3000 多万,其人均拥有水量  $87255\text{m}^3$ ,位居世界第 10 位。加拿大国家统计局 2010 年 9 月 13 日公布的研究报告显示,加拿大国家可再生水资源在地区和季节上的不均衡性十分明显。报告说,加拿大太平洋沿岸地区可再生水资源最为丰沛,而西部 3 省的可再生水资源最少。报告显示,过去 30 年中,汇聚加拿大  $98\%$  人口的南部地区可再生水资源明显减少。在 1971~2004 年间,加拿大南部可再生水资源年均减少  $3.5\text{km}^3$ 。这一数据相当于每年流失 140 万个奥林匹克标准游泳池的水量。

联合国环境规划署等机构还使用了“可再生水资源依赖率”这一概念,来表述各国水资源中从境外流入的百分比。其中最高的是科威特,为  $100\%$ 。最低的是澳大利亚、印度尼西亚等国,为 0。中国仅为  $0.96\%$ ,在各大国中是较低的,因为中国并没有从国外流入的大河。一般来说,可再生水资源依赖率较高的国家是位于国际性河流下游的国家,例如尼罗河下游的埃及( $96.86\%$ )、恒河下游的孟加拉国( $91.44\%$ )、湄公河下游的柬埔寨( $74.67\%$ )等,这些国家与邻国因为争夺水资源爆发冲突的可能性也就相对较大。

世界上的淡水约  $70\%$  用于农业,约  $22\%$  用于工业。工业中的水电厂、火电厂、炼油厂都是用水大户。不管是修筑高坝拦截河流,还是建设抽水蓄能电站,都要形成巨大的人工湖。由于人工湖的水面远远大于自然河流,水的蒸发量也就更大,这也会消耗大量的水资源。而家庭用水约占世界总用水量的  $8\%$ ,主要用于饮用、沐浴、烹调、清洁和私人庭院浇灌等。

一个国家的用水总量与人口总量和工农业发展水平等因素密切相关。世界用水总量排名前三的分别是印度、中国和美国。中国目前年用水总量已经突破了 6000 亿立方米,约占水资源可开发利用量的  $74\%$ ,很多地方水资源的形势十分严峻。

乌兹别克斯坦、土库曼斯坦、利比亚、沙特阿拉伯、埃及、科威特、阿联酋、卡塔尔、以色列、也门等国的用水量都超过了本国水资源的  $100\%$ ,科威特 2002 年达到  $2465\%$ ,阿联酋 2007 年也达到  $2032\%$ 。海湾国家盛产石油,石油化工属于耗水量很大的产业,阿联酋又在迪拜等地兴建豪华宾馆、商业区,甚至在酷热的热带兴建室内滑雪场,