



# 水资源 开发利用工程

主编 刘福臣

副主编 张桂芹 杜守建 王仲发



化学工业出版社  
环境·能源出版中心

# 水资源开发利用工程

主编 刘福臣

副主编 张桂芹 杜守建 王仲发



化学工业出版社  
环境·能源出版中心

· 北 京 ·

## 图书在版编目 (CIP) 数据

水资源开发利用工程/刘福臣主编. —北京: 化学工业出版社, 2006. 4  
ISBN 7-5025-8603-2

I. 水… II. 刘… III. ①水资源-资源开发-水利工程②水资源利用-水利工程 IV. TV213

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 040775 号

---

### 水资源开发利用工程

主编 刘福臣

副主编 张桂芹 杜守建 王仲发

责任编辑: 刘兴春

责任校对: 洪雅姝

封面设计: 胡艳玮

\*

化学工业出版社  
环境·能源出版中心 出版发行

(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

购书咨询: (010)64982530

(010)64918013

购书传真: (010)64982630

<http://www.cip.com.cn>

\*

新华书店北京发行所经销

北京云浩印刷有限责任公司印装

开本 720mm×1000mm 1/16 印张 18 $\frac{3}{4}$  字数 396 千字

2006 年 6 月第 1 版 2006 年 6 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-8603-2

定 价: 38.00 元

---

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责退换

## 前 言

水资源是人类生存的最重要的自然资源之一，也是国民经济发展不可替代的战略资源。我国幅员辽阔，人口众多，水资源总量虽然丰富，居世界第六位，但人均拥有量只有世界人均占有量的  $1/4$ ，因此水资源是制约我国国民经济发展的因素之一。本书是在此背景下，结合山东省教委关于《水文与水资源教学改革试点专业》的精神而编写的。

《水资源开发利用工程》是水文与水资源专业的主要专业课程之一。本书内容体系打破了地下水资源、地表水资源的传统概念，突出了水资源的整体性和系统性。该书一方面秉承成熟的理论体系，另一方面适当吸收了最新研究成果，系统阐述了水资源的循环赋存规律，地表水资源形成和开发利用工程，地下水水资源形成及开发利用工程，取水工程，水源涵养与人工补源工程，污水资源化利用工程等一整套理论与技术方法。

本书是长期从事水资源开发利用研究的教师集体编写，由刘福臣任主编，张桂芹、杜守建、王仲发任副主编。具体分工如下：绪论刘福臣，第一章节银才，第二章左欣、邵慧，第三章王艳艳、王仲发，第四章王华敬，第五章安淑红、李凌霄，第六章杜守建，第七章刘福臣、郑怀梅，第八章张桂芹、宿翠霞。

本书不仅可作为水文水资源专业的教材，还可作为水利工程、水文地质、给水排水、环境科学与工程等专业的参考用书，也可作为工程技术人员参考。

由于编者水平所限，书中不足之处在所难免，诚恳广大读者批评指正。

编者  
2006 年 3 月

# 目 录

|                   |    |
|-------------------|----|
| 绪论                | 1  |
| 第一节  水资源的概念与特性    | 1  |
| 一、水资源概念           | 1  |
| 二、水资源特性           | 2  |
| 第二节  水资源的分类       | 4  |
| 第三节  主要任务和内容      | 6  |
| 第一章  水资源开发利用      | 7  |
| 第一节  地球水量储存与水循环   | 7  |
| 一、地球水量储存与分布       | 7  |
| 二、地球上的水循环         | 8  |
| 三、我国水循环的途径        | 9  |
| 四、地球上的水量平衡        | 10 |
| 第二节  我国水资源概况      | 11 |
| 一、我国水资源的状况        | 11 |
| 二、我国水资源的特征        | 11 |
| 第三节  全球水资源的开发利用   | 16 |
| 一、全球水资源开发利用的状况    | 16 |
| 二、水资源开发利用的趋势      | 17 |
| 第四节  我国水资源开发利用状况  | 18 |
| 一、农业用水            | 19 |
| 二、生活和工业用水         | 19 |
| 三、地下水资源开发利用状况     | 19 |
| 四、我国水资源开发利用中的主要问题 | 20 |
| 第二章  地表水资源的形成     | 22 |
| 第一节  降水、径流和蒸发     | 22 |
| 一、降水              | 22 |
| 二、径流              | 26 |
| 三、蒸发              | 27 |
| 第二节  河流和流域        | 29 |
| 一、河流              | 29 |

|                           |     |
|---------------------------|-----|
| 二、流域 .....                | 30  |
| 第三节 河川径流 .....            | 31  |
| 一、河川径流的基本概念 .....         | 31  |
| 二、河川径流的形成 .....           | 31  |
| 三、河川径流的影响因素 .....         | 33  |
| 四、河川径流的补给来源 .....         | 34  |
| 第三章 地表水资源开发利用工程 .....     | 35  |
| 第一节 河岸引水工程 .....          | 35  |
| 一、无坝引水 .....              | 35  |
| 二、有坝引水 .....              | 36  |
| 三、傍河抽水工程 .....            | 39  |
| 第二节 蓄水工程——水库工程 .....      | 40  |
| 一、水利枢纽 .....              | 40  |
| 二、水库 .....                | 44  |
| 三、枢纽建筑物 .....             | 46  |
| 第三节 输水工程 .....            | 58  |
| 一、灌溉渠道工程 .....            | 58  |
| 二、管道工程 .....              | 60  |
| 第四节 扬水工程 .....            | 61  |
| 一、水泵 .....                | 62  |
| 二、泵站 .....                | 64  |
| 第四章 地下水的储存与循环 .....       | 66  |
| 第一节 地下水的储存 .....          | 66  |
| 一、岩石的空隙 .....             | 66  |
| 二、水在岩石中的存在形式 .....        | 69  |
| 三、含水层与隔水层 .....           | 71  |
| 四、地下水的类型 .....            | 73  |
| 第二节 地下水的循环 .....          | 80  |
| 一、地下水的补给 .....            | 80  |
| 二、地下水的径流 .....            | 82  |
| 三、地下水的排泄 .....            | 82  |
| 四、地下水补给、径流、排泄条件的转化 .....  | 84  |
| 第三节 地下水的运动 .....          | 86  |
| 一、地下水的运动特征及基本规律 .....     | 86  |
| 二、地下水流向井的稳定运动 .....       | 88  |
| 三、地下水流向井的非稳定运动 .....      | 96  |
| 第四节 水文地质参数的确定 .....       | 103 |
| 一、利用稳定流抽水试验计算水文地质参数 ..... | 104 |

|                                     |            |
|-------------------------------------|------------|
| 二、无越流含水层中利用非稳定流抽水试验计算水文地质参数·····    | 111        |
| 三、越流系统中水文地质参数的确定·····               | 113        |
| 四、给水度和降水渗入系数的确定·····                | 115        |
| <b>第五章 地下水资源开发利用工程·····</b>         | <b>117</b> |
| <b>第一节 管井·····</b>                  | <b>117</b> |
| 一、管井的型式与构造·····                     | 117        |
| 二、出水量计算·····                        | 124        |
| 三、成井工艺·····                         | 131        |
| 四、维修与管理·····                        | 134        |
| <b>第二节 大口井·····</b>                 | <b>135</b> |
| 一、大口井的构造·····                       | 136        |
| 二、大口井的施工·····                       | 137        |
| 三、大口井出水量计算·····                     | 138        |
| 四、大口井的设计要点·····                     | 139        |
| <b>第三节 辐射井·····</b>                 | <b>140</b> |
| 一、辐射井的型式·····                       | 140        |
| 二、辐射井的结构构造·····                     | 140        |
| 三、辐射井的施工·····                       | 142        |
| 四、辐射井出水量的确定·····                    | 142        |
| <b>第四节 复合井·····</b>                 | <b>143</b> |
| 一、复合井的构造及其适用条件·····                 | 143        |
| 二、复合井的计算·····                       | 143        |
| <b>第五节 截潜流工程·····</b>               | <b>144</b> |
| 一、截潜流工程的结构、型式与构造·····               | 144        |
| 二、截潜流工程的位置选择·····                   | 146        |
| 三、截潜流工程的布置方式·····                   | 146        |
| 四、截潜流工程出水量计算·····                   | 147        |
| <b>第六章 取水工程·····</b>                | <b>150</b> |
| <b>第一节 供水水源的特点与水源选择·····</b>        | <b>150</b> |
| 一、供水水源的特点·····                      | 150        |
| 二、供水水源的选择·····                      | 151        |
| <b>第二节 地表水取水构筑物的形式及取水位置的选择·····</b> | <b>152</b> |
| 一、地表水取水构筑物的形式·····                  | 153        |
| 二、地表水取水构筑物位置的选择·····                | 153        |
| <b>第三节 岸边式取水构筑物·····</b>            | <b>156</b> |
| 一、岸边式取水构筑物的基本型式·····                | 156        |
| 二、岸边式取水构筑物的构造·····                  | 157        |
| <b>第四节 河床式取水构筑物·····</b>            | <b>162</b> |

|                             |     |
|-----------------------------|-----|
| 一、河床式取水构筑物的基本形式             | 162 |
| 二、河床式取水构筑物的构造               | 162 |
| 第五节 其他固定式取水构筑物              | 166 |
| 一、江心式取水构筑物                  | 166 |
| 二、直吸式取水构筑物                  | 167 |
| 三、斗槽式取水构筑物                  | 167 |
| 第六节 移动式取水构筑物                | 169 |
| 一、浮船式取水构筑物                  | 169 |
| 二、缆车式取水构筑物                  | 172 |
| 第七节 湖泊和水库取水构筑物              | 173 |
| 一、取水构筑物位置选择                 | 173 |
| 二、湖泊和水库取水构筑物的类型             | 174 |
| 第八节 山区浅水河流取水构筑物             | 174 |
| 一、山区河流及其取水方式的特点             | 175 |
| 二、低坝式取水构筑物                  | 175 |
| 三、底栏栅式取水构筑物                 | 176 |
| 第九节 海水取水构筑物                 | 177 |
| 一、海水取水的特点                   | 177 |
| 二、海水取水构筑物                   | 178 |
| 第十节 地下水源地的选择及允许开采量的确定       | 179 |
| 一、地下水源地的选择                  | 179 |
| 二、水源地允许开采量的确定               | 180 |
| 第十一节 地下水取水构筑物的布局            | 186 |
| 一、开发地下水的形式及取水构筑物种类          | 186 |
| 二、开发地下水井群的合理布局              | 186 |
| <b>第七章 水源涵养、水源保护和人工补源工程</b> | 194 |
| 第一节 水源涵养                    | 194 |
| 一、植被建设与水源涵养                 | 194 |
| 二、水土保持与小流域综合治理              | 196 |
| 第二节 水资源保护区的划分与防护            | 196 |
| 一、水资源保护原则                   | 197 |
| 二、水源保护区的划分与防护               | 198 |
| 三、肥城盆地地下水资源保护区简介            | 201 |
| 第三节 人工补源回灌工程                | 203 |
| 一、人工回灌地下水的作用                | 204 |
| 二、人工回灌地下水的基本条件              | 205 |
| 三、人工回灌地下水方法                 | 207 |
| 四、地下水库                      | 213 |

|                                 |     |
|---------------------------------|-----|
| <b>第八章 污水资源化利用工程</b> .....      | 216 |
| <b>第一节 污水资源化概述</b> .....        | 216 |
| 一、水资源现状及存在问题.....               | 216 |
| 二、水体污染.....                     | 217 |
| 三、污水资源化.....                    | 219 |
| <b>第二节 污水资源化的物理处理方法</b> .....   | 228 |
| 一、截留.....                       | 228 |
| 二、沉淀.....                       | 230 |
| 三、过滤.....                       | 237 |
| 四、气浮.....                       | 239 |
| 五、离心分离.....                     | 241 |
| <b>第三节 污水资源化的化学及物理化学法</b> ..... | 241 |
| 一、混凝.....                       | 242 |
| 二、氧化还原.....                     | 243 |
| 三、化学沉淀.....                     | 244 |
| 四、中和.....                       | 244 |
| 五、溶剂萃取.....                     | 244 |
| 六、磁力分离.....                     | 246 |
| 七、膜分离.....                      | 246 |
| 八、吸附.....                       | 248 |
| 九、离子交换.....                     | 249 |
| 十、电解.....                       | 250 |
| <b>第四节 污水资源化的生物处理法</b> .....    | 250 |
| 一、活性污泥法.....                    | 251 |
| 二、生物膜法.....                     | 259 |
| 三、厌氧生物处理技术.....                 | 261 |
| 四、污水的自然生物净化系统.....              | 263 |
| 五、污泥处理技术概述.....                 | 264 |
| <b>第五节 污水的消毒</b> .....          | 264 |
| 一、消毒机理.....                     | 265 |
| 二、氯消毒.....                      | 265 |
| 三、臭氧消毒.....                     | 268 |
| 四、二氧化氯消毒.....                   | 269 |
| 五、次氯酸钠消毒.....                   | 270 |
| 六、紫外线消毒.....                    | 271 |
| 七、超声波消毒.....                    | 271 |
| 八、电场消毒法.....                    | 272 |
| 九、光催化氧化消毒法.....                 | 272 |

|                             |     |
|-----------------------------|-----|
| 十、协同消毒作用.....               | 273 |
| 第六节 污水的回用方式、途径及回用的经济分析..... | 273 |
| 一、污水回用的方式.....              | 274 |
| 二、污水资源化的实施途径.....           | 284 |
| 三、污水回用的经济分析.....            | 284 |
| 四、污水回用的对策探讨.....            | 286 |
| 参考文献.....                   | 288 |

# 绪 论

## 第一节 水资源的概念与特性

### 一、水资源概念

水是人类赖以生存和发展的不可替代的自然资源，人类的生活及社会生产活动从来就离不开水。但是，人们并不是较早地认识到水是一种资源的。

地球上的水是在一定的条件下循环再生的，过去人们普遍以为水是“取之不尽，用之不竭”的。然而，随着社会的发展，人类社会对水的需求量越来越大，加上环境污染、生态平衡破坏，人们开始感到可用水资源的匮乏。人们在长期的实践中逐渐认识到地球上水所特有的循环再生、运动变化规律，并承认水是有限的，才逐渐把水的问题连同环境保护、生态平衡等问题与人类的生息和社会发展联系在一起加以考察研究，才逐渐将水看成一种自然资源。

随着时代的进步，水资源的内涵也在不断丰富和发展。迄今为止，关于水资源的定义，国内外有以下多种提法。

《大不列颠大百科全书》将水资源定义为：“自然界一切形态（气态、固态、液态）的水”。该定义将水资源赋予了广泛含义，实际上作为资源的主要属性是体现“可利用性”，不能被人类利用的不能称为水资源。因此 1963 年英国的《水资源法》把水资源定义为：“地球上具有足够数量的可用水”。

联合国教科文组织和世界气象组织 1988 年将水资源定义为：“可以利用或有可能被利用，具有足够数量和可用质量，并可适合某地水需求而长期供应的水源。”这一定义强调了水资源的“质”与“量”的双重属性，不仅考虑了水的数量，同时必须具备质量的可利用性。

《中国大百科全书》指出：“水资源是地球表层可供人类利用的水，包括水量、质量、水域和水能资源，一般指每年可更新的水量资源”。

《中华人民共和国水法》将水资源定义为：“地表水和地下水”。《环境科学词典》将水资源定义为：“特定时空下可利用的水，是可再利用资源，不论其质与量，水的可利用性是有限条件的”。

引起对水资源的概念及内涵的不同认识 and 不同理解，主要原因是：水资源具有类型复杂、用途广泛、动态变化等特点，同时人们从不同角度对水资源含义的不同理解，因此很难给以统一、准确的定义，造成对“水资源”一词理解的不一致性和认识的差异性。

水资源的定义有以下几种提法。

(1) 广义的提法 包括地球上的一切水体及水的其他存在形式,如海洋、河川、湖泊、地下水、土壤水、冰川、大气水等。

(2) 狭义的提法 指陆地上可以逐年得到恢复、更新的淡水。

(3) 工程上的提法 指上述可以恢复、更新的淡水中,在一定的技术经济条件下可以为人们利用的那一部分水。

本书所讲的水资源仅限于狭义水资源范畴,即具有使用价值、能够开发利用的水。

## 二、水资源特性

水是自然界最重要的物质组成之一,是环境中最活跃的要素。它不停地运动着,积极参与自然环境中一系列物理的、化学的和生物的过程。水资源作为自然的产物,具有天然水的特征和运动规律,表现出自然本质,即自然特性;作为一种资源在开发利用过程中,其与社会、经济、科学技术发生联系,表现出社会特征,即社会特性。

### 1. 水资源的自然特性

水资源的自然特性,可以概括为系统性、流动性、可恢复性和不均匀性。

(1) 水资源的系统性。无论是地表水还是地下水,都是在一定的系统内循环运动着。在一定地质、水文地质条件下,形成水资源系统。系统内部的水,是不可分割的统一整体,水力联系密切。人类经历了从单个水井为评价单元到含水层、含水岩组再到含水系统整体评价的历史发展过程。把具有密切水力联系的水资源系统,人为地分割成相互独立的含水层或单元,分别进行水量、水质评价,是导致水质恶化、水量枯竭、水环境质量日趋下降的重要原因。

(2) 水资源的流动性。水资源与其他固体资源的本质区别在于其具有流动性,它是循环中形成的一种动态资源,具有流动性。地表水资源和地下水资源均是流体,水通过蒸发、水汽输送、降水、径流等水文过程,相互转化,形成一个庞大的动态系统。因此水资源的数量和质量具有动态的性质,当外界条件变化时,其数量和质量也会变化。例如,河流上游取水量越大,下游水量就会越小;上游水质污染会影响到下游等。

(3) 水资源的可恢复性。水资源的可恢复性又被称为再生性。地表水和地下水处于流动状态,在接受补给时,水资源量相对增加;在进行排泄时,水资源量相对减少。在一定条件下,这种补排关系大体平衡,水资源可以重复使用,具有可恢复性。这一特性与其他资源具有本质区别。地下水量恢复程度随条件而不同,有些情况下可以完全恢复,有时却只能部分恢复。在地表水、地下水开发利用过程中,如果系统排出的水量很大,超出系统的补给能力,势必会造成地下水位下降,引起地面沉降、地面塌陷、海水倒灌等环境水文地质问题,水资源就不可能得到完全恢复。

(4) 水资源分布的不均匀性。地球上的水资源总量是有限的,在自然界中具有一定的时间、空间分布。时空分布的不均匀性是水资源的又一个特性。

我国幅员广阔，地处亚欧大陆东侧，跨高、中、低三个纬度区，受季风与自然地理特征的影响，南北气候差异很大，致使我国水资源的时空分布极不均衡。

我国地下水资源分布与降水的区域变化规律一致。南方水资源丰富，北方水资源贫乏。约占全国总面积 60% 的北方 15 省（自治区、市）地下水补给资源约  $2600 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$ ，占全国 30%，而占全国面积 40% 的南方地区，地下水补给资源为  $6100 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$ ，约占全国 70%。北方是我国地下水开采量和开采强度最大的地区，因此在相当长的时期内，我国北方在开源节流、合理开发利用水资源以及协调城市（工业）与农业用水等方面面临着更大的压力。从长远看，为从根本上改变我国北方水资源的紧缺状况，提出了跨流域调水并实现水资源在地区上再分配的艰巨任务。

我国各地的径流年内分配在很大程度上取决于降水的季节分配，很不均衡。在广大的东北、华北、西北与西南地区，降水量一般均集中在 6~9 月份，约占正常年降水量的 70%~80%，12 月~次年 2 月份降水极少，气候干旱。

我国年径流  $C_v$  值的分布也同年径流分布一样，具有明显的地带性，但两者的趋势相反。年径流的  $C_v$  值反映地区年径流的相对变化程度， $C_v$  值大表明年径流变化剧烈，故  $C_v$  值从东南向西北增大，即从丰水带的 0.2~0.3 增至缺水带的 0.8~1.0。

我国水资源在时空上分布的极不均匀性，不仅造成频繁的大面积水旱灾害，而且对水资源的开发利用十分不利，在干旱年份还加剧了缺水地区城市、工业与农业用水的困境。

## 2. 水资源的社会特性

水资源的社会特性主要指水资源在开发利用过程中表现出的商品性、资源的不可替代性和环境特性。

(1) 商品性。水资源一旦被人类开发利用，就成为商品，从水源地送到用户手中，由于水的用途十分广泛，涉及工业、农业、日常生活等国民经济的各个方面，在社会物质流通的整个过程中水资源流通的广泛性非常巨大，是其他任何商品无法比拟的。与其他商品一样，水的价值也遵循市场经济的价值规律，水的价格受各种因素的影响。

(2) 不可替代性。水资源是一种特殊的商品。其他物质可以有替代品，而水则是人类生存和发展必不可少的物质。水资源的短缺将制约社会经济的发展和生活水平的提高。

(3) 水资源的环境特性。水资源的环境特性表现为两个方面：一是水资源的开发利用对社会经济的影响，这种影响有时是决定因素，在缺水地区，工农业生产结构及经济发展模式都直接或间接地受到水资源数量、质量、时空分布的影响，水资源的短缺是制约经济发展的主要因素之一；另一方面水作为自然环境要素和重要的地质营力，水的运动维持着生态系统的相对稳定以及水、土、岩石之间的力学平衡。水资源一旦被开发，这些稳定和平衡有可能被破坏，产生一系列环境效应。例如，拦河造坝，会使下游泥沙淤积、河道干涸，同时可使上游地下水位上升，引起沼泽化；过度开采地下水，会产生地面沉降、地面塌陷、海水入侵等问题。水资源

开发利用与环境保护是相互矛盾的,一般来说,水资源的开发利用总会不同程度地改变原有的自然环境,打破原有的平衡。因此,应该寻找水资源开发与环境保护两者协调、和谐发展的途径,科学合理地开发水资源,尽可能减轻或延缓负环境效应,走可持续发展的路子。

## 第二节 水资源的分类

为了更好地合理开发水资源,必须对水资源进行系统分类。由于水资源具有可恢复性、活动性和复杂性,出现了不同的分类和术语,引起了混乱;同时,不同的分类体系也反映了对水资源特性的认识程度。

### 1. 地表水资源分类

由于地表水资源的存在形式比较具体,目前采用以自然形态划分水资源种类。如河川径流量、湖泊储存量、冰川积蓄量等。由于各种资源量的自然特性以及可利用程度分别纳入水文特征分析及水资源规划范畴,而没有地表水资源分类的专门提法。地表水资源仅分为补给资源和储存资源。

在地表水资源总量评价中,河川径流量是一个重要指标,它往往用流域中有代表性的水文站实测的断面流量表示。由于人为取水等活动会使河流的天然状况发生变化,实测资料不能真实反映天然径流过程,需要进行还原处理。还原的河川径流量包括了大气降水转化为地表水量,地下水出露(泉)形成的地表水量,并扣除沿途蒸发、渗漏的水量。其多年平均值代表了该流域从外界获得的补给量的平均水平。通常所说的地表水资源量主要指这部分水量,属于补给资源。

湖泊和冰川的水交替周期要比河流长得多,其资源属性更为复杂。大型湖泊的水资源属性分为补给和储存两部分。由于湖泊与河流相连,在多年平均条件下,其补给量(包括上游入湖水量、湖面获得降水量)与排泄量的动态平衡过程已经纳入流域内部的水量平衡中,所以在流域的补给资源评价中一般不单独提出。湖泊中另一部分水量,即所谓的死“湖容”,这部分水量一般不参与多年的补、排均衡过程,属于储存资源。

### 2. 地下水资源的分类

地下水资源远比地表水资源复杂,因此其分类体系多种多样,至今没有形成统一意见。

20世纪50~60年代,我国曾普遍采用前苏联普洛特尼柯夫提出的“四大储量”分类体系,即静储量、调节储量、动储量以及开采储量等四大储量:

- ① 静储量是指地下水位年变动带以下含水层中储存的重力水体积;
  - ② 动储量是指单位时间流经含水层横断面的地下水体积,即地下水的天然流量;
  - ③ 调节储量是指地下水位年变动带内重力水的体积;
  - ④ 开采储量是指用技术经济合理的取水工程能从含水层取出的水量。
- 该方案在一定程度上反映了地下水量在天然状态下的客观规律,但存在不可克

服的缺点，因此在实践中逐渐停止使用。

20 世纪 70 年代，我国开始实施《供水水文地质勘察规范》，1979 年正式实施的国家标准《供水水文地质勘察规范》（GB J27—88），将水资源划分为补给量、储存量和允许开采量三类。

（1）补给量 是指天然状态下或开采条件下，在单位时间内，进入水源地含水层范围内的可被开采的各种水量，一般包括地下水径流补给量、大气降水补给量、地表水入渗补给量、越流补给量和人工补给量。

（2）储存量 是指储存于含水层内重力水体积。根据含水层埋藏条件不同，又分为容积储存量、弹性储存量、天然储存量和固定储存量。

（3）允许开采量 是指采用经济合理的取水构筑物，从含水层中取出的地下水量，并在整个开采期间满足下列条件：①总的出水量不会随时间延续而减少，动水位不超过设计要求；②水质和水温的变化在允许范围内；③不发生地面沉降、塌陷等不良地质现象；④不影响相邻水源地的正常开采。

该分类体系反映了人们对地下水资源的认识程度，在当时具有一定针对性和指导意义。但是随着实践和理论的发展，其局限性和理论缺陷逐渐暴露出来。例如，方案中沿袭了含水层（水源地）为评价单元的思维模式，没有体现地下水资源整体性；补给量和储存量时空概念模糊，两者关系不清，容易造成水量的重复计算；允许开采量仅仅是笼统的提法，在实践中难以操作等。

针对这些问题，1979 年颁布实施的国家标准《地下水资源分类分级标准》（GB 15218—94）将地下水分为允许开采资源和尚难利用资源两类。

（1）允许开采资源 是指在现实经济意义下的地下水资源。其定义和上述三分法中的允许开采量定义一致。

（2）尚难利用资源 是具有潜在意义的地下水资源。指在当前技术经济条件下，在一个地区开采地下水，将在技术、经济、环境方面出现难以克服的问题和限制，目前难以利用的水资源。

关于地下水资源的概念和分类的研究，经历了从“四大储量”到“三种水量”再到“资源”的发展过程，对地下水资源的研究，经历了由含水层或含水岩组为研究单元变为以含水系统进行描述的过程。因此地下水资源的分类问题不单纯是水量划分形式，它反映了人们对地下水资源特性的认识程度。王大纯教授从地下水资源自然特性出发，阐明了补给资源和储存资源的时空概念，该方案在地下水资源评价及合理开发方面日趋成熟。

① 补给资源是指地下水含水系统从外界获得的有补给保证的水量，其数量用整个系统补给量的多年平均值表示，单位为  $\text{m}^3/\text{a}$ 。

② 储存资源是指地下水含水系统在地质历史演化过程中，残留或积存下来的水量，其数量近似等于该系统多年平均低水位以下重力水的体积，单位为  $\text{m}^3$ 。

补给资源和储存资源所讨论的是地下水资源的数量问题，它们专门描述某一含水系统地下水资源拥有的宏观指标。补给资源只包括通过系统边界进入的水量，如降水量、地表水渗入量、相邻地下水系统的侧向流入量以及人工补给量等，而不考

考虑系统内部各子系统输入、输出的周转水量，如含水层之间的交换量、越流补给量等。补给资源所涉及的是多年平均资源，反映了整个系统在多年的一种平均状态，不涉及内部水量短时动态的具体细节。补给资源一旦被取出，仍可从外界获得补偿，属于可再生的地下水资源。储存资源是扣除补给资源后，含水系统内剩余的水量。在长期稳定的开采过程中，储存资源一旦被消耗，不可能通过现有方式获得补给，水量损失是永久的，所以储存资源属于不可再生的地下水资源。

补给资源（量）和储存资源（量）与补给量、储存量具有本质的区别，是建立在不同时空概念上的两套指标：补给资源（量）和储存资源（量）是对一个含水系统和多年平均状态而言，是描述水资源的宏观指标，在天然条件下它们是相对固定量，而在人为活动条件下则会随水文地质条件变化而变化；补给量、储存量没有统一的时空标准，有时针对某一含水层或水源地，有时针对一个均衡区，在时间上也无明确的规定，有时使用单位时间，有时采用均衡时段。由于存在这种主观随意性，容易造成概念上混乱和水量的重复计算。它反映的是含水系统某一局部空间在规定时段的水量收支关系，无法体现地下水资源的整体性和系统性。

### 第三节 主要任务和内容

水资源的合理开发利用、有效保护与管理是维持水资源可持续利用、良性循环的重要保证，也是维持社会进步、国民经济可持续发展的关键所在。近十几年来，世界范围内水资源状况不断恶化，水资源严重短缺，供需矛盾日益突出，水环境质量严重下降，严重制约着经济发展。如何有效合理地开发利用水资源，是长期以来人们关注的一个热点问题。

本书围绕水资源这一主线，系统介绍水资源开发利用的基本状况；地表水资源的形成及地表水资源开发利用工程；地下水资源的形成及地下水资源开发利用工程；取水工程；水源涵养、水源保护、地下水回灌；以及污水资源化等内容。其主要任务是使读者了解水资源状况、形成与分布特征，系统掌握水资源的循环与平衡、水资源评价与研究的基本概念、理论和方法；掌握地表水和地下水资源利用工程的类型、布置形式、适用范围和适用条件；掌握污水防治的理论和方法。

本书主要内容：包括水资源的循环、赋存、分布特征；地表水资源的形成、分布及运动特征；地表水资源开发利用工程；地下水的循环与赋存；地下水资源开发利用工程；取水工程；水源涵养、水源保护和人工补源工程；污水资源化工程。

# 第一章 水资源开发利用

## 第一节 地球水量储存与水循环

### 一、地球水量储存与分布

地球上的水以气态、液态和固态三种形式存在于大气、地面、地下及生物体内，形成一个相互联系的水圈，水圈中水的总储量为  $13.86 \times 10^8 \text{ km}^3$ ，其中绝大部分分布于海洋中，约为  $13.38 \times 10^8 \text{ km}^3$ ；地下水的总储量约为  $0.084 \times 10^8 \text{ km}^3$ 。地球上各种形态水的储量如表 1-1 所列。

表 1-1 地球水储量

| 水体种类  | 水 量                 |        | 咸 水                 |       | 淡 水                 |       |
|-------|---------------------|--------|---------------------|-------|---------------------|-------|
|       | $10^3 \text{ km}^3$ | %      | $10^3 \text{ km}^3$ | %     | $10^3 \text{ km}^3$ | %     |
| 海洋水   | 1338000             | 96.54  | 1338000             | 99.04 | 0                   | 0     |
| 地表水   | 24254.1             | 1.75   | 85.4                | 0.006 | 24186.7             | 69.0  |
| 冰川与冰盖 | 24064.1             | 1.736  | 0                   | 0     | 24064.1             | 68.7  |
| 湖泊水   | 176.4               | 0.013  | 85.4                | 0.006 | 91.0                | 0.26  |
| 沼泽水   | 11.74               | 0.0008 | 0                   | 0     | 11.47               | 0.003 |
| 河流水   | 2.12                | 0.0002 | 0                   | 0     | 2.12                | 0.006 |
| 地下水   | 23700               | 1.71   | 12870               | 0.953 | 10830               | 30.92 |
| 重力水   | 23400               | 1.688  | 12870               | 0.953 | 10530               | 30.06 |
| 地下冰   | 300                 | 0.022  | 0                   | 0     | 300                 | 0.86  |
| 土壤水   | 16.5                | 0.001  | 0                   | 0     | 16.5                | 0.05  |
| 大气水   | 12.9                | 0.0009 | 0                   | 0     | 12.9                | 0.04  |
| 生物水   | 1.12                | 0.0001 | 0                   | 0     | 1.12                | 0.003 |
| 全球总储量 | 1385984.6           | 100    | 1350955.4           | 100   | 35029.2             | 100   |

在陆地有限的水体中并不全是淡水，淡水量  $0.35 \times 10^8 \text{ km}^3$ ，占地球水储量的 2.5%。其中的  $0.24 \times 10^8 \text{ km}^3$ （占淡水储量的 68.6%）分布于冰川、多年积雪、两极和多年冻土中，现有技术条件难以利用，可供人类利用的水只有  $0.1065 \times 10^8 \text{ km}^3$ ，占淡水总量的 30.4%。

全球广义水资源总量约为  $140 \times 10^{16} \text{ m}^3$ ，但绝大部分还不能作为水资源供人类利用，可供人类开发利用的逐年可更新恢复的淡水资源的总量为  $47 \times 10^{12} \text{ m}^3$ ，仅占水资源总量的 0.03%，而在一定技术经济条件下可以为人们取用的淡水资源在数量上是极为有限的。