

高等学校“十二五”规划教材

给排水科学与工程专业应用与实践丛书

水资源 利用与保护

徐得潜 ■ 主编

卢静芳 陈慧 ■ 副主编



化学工业出版社

高等学校“十二五”规划教材

给排水科学与工程专业应用与实践丛书

水资源利用与保护

徐得潜 ■ 主编

卢静芳 陈慧 ■ 副主编



化学工业出版社

· 北京 ·

丛书编委会名单

主 任：蒋展鹏

副 主 任：彭永臻 章北平

编委会成员（按姓氏汉语拼音排列）：

崔玉川 蓝 梅 李 军 刘俊良 唐朝春 王 宏
王亚军 徐得潜 杨开明 张林军 张 伟 赵 远

内 容 提 要

本书系统介绍了水资源利用与保护的基本理论和分析计算方法，内容包括：水资源利用与保护的基本概念，水循环与水资源，水资源评价，水资源供需平衡分析，取水工程，节水技术和水资源保护。

本书主要作为给水排水工程专业“水资源利用与保护”课程的教材，也可作为水利工程、环境工程等其他专业相关课程的教学参考书，还可供水资源规划、利用、管理、保护等领域的相关专业技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

水资源利用与保护/徐得潜主编. —北京：化学工业出版社，2013.1
高等学校“十二五”规划教材
(给排水科学与工程应用与实践丛书)
ISBN 978-7-122-16290-8

I. ①水… II. ①徐… III. ①水资源利用②水资源-资源保护 IV. ①TV213

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 004358 号

责任编辑：徐 娟
责任校对：陈 静

文字编辑：徐雪华
装帧设计：关 飞

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 $\frac{3}{4}$ 字数 447 千字 2013 年 5 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：45.00 元

版权所有 违者必究


丛书序

在国家现代化建设的进程中，生态文明建设与经济建设、政治建设、文化建设和社会建设相并列，形成五位一体的全面建设发展道路。建设生态文明是关系人民福祉，关乎民族未来的长远大计。而在生态文明建设的诸多专业任务中，给排水工程是一个不可缺少的重要组成部分。培养给排水工程专业的各类优秀人才也就成为当前一项刻不容缓的重要任务。

21世纪我国的工程教育改革趋势是“回归工程”，工程教育将更加重视工程思维训练，强调工程实践能力。针对工科院校给排水工程专业的特点和发展趋势，为了培养和提高学生综合运用各门课程基本理论、基本知识来分析解决实际工程问题的能力，总结近年来给排水工程发展的实践经验，我非常高兴化学工业出版社能组织编写全国几十所高校的一线教师编写这套丛书。

本套丛书突出“回归工程”的指导思想，为适应培养高等技术应用型人才的需要，立足教学和工程实际，在讲解基本理论、基础知识的前提下，重点介绍近年来出现的新工艺、新技术与新方法。丛书中编入了更多的工程实际案例或例题、习题，内容更简明易懂，实用性更强，使学生能更好地应对未来的工作。

本套丛书于“十二五”期间出版，对各高校给排水科学与工程专业和市政工程专业、环境工程专业的师生而言，会是非常实用的系列教学用书。



2013年2月

前 言

水资源是人类生产和生活不可缺少、无法替代的自然资源，是人类及其他生物赖以生存的环境资源，是维持社会进步和文明发展的必需资源。水资源虽然能循环重生，但在一定时间和一定范围内能供给人类使用的水资源数量是有限的。随着人口快速增长与社会经济迅猛发展，水资源短缺和水资源污染所导致的水资源危机制约了社会经济发展，成为全球所共同面临的复杂问题。因此，水资源合理利用与保护成为当务之急，编写一本能全面系统地反映水资源利用与保护的基本原理、方法与原则及当前进展的教材具有重要意义。

本书系统介绍了水资源利用与保护的基本理论和分析计算方法，内容包括：水资源利用与保护的基本概念，水循环与水资源，水资源评价，水资源供需平衡分析，取水工程，节水技术和水资源保护。编者在编写过程中，着重阐明了水资源利用与保护的基本概念、基本理论与计算方法，注重理论性与实践性的统一，内容全面，能使学生较为系统、全面地获取水资源利用与保护的相关知识。

本书由合肥工业大学徐得潜主编。全书共分为5章，其中，第1章、第2章由徐得潜编写，第3章由天津城建学院卢静芳编写，第4章由徐州工程学院万蕾编写，第5.1节、第5.3节由合肥工业大学苏馈足编写，第5.2节由合肥工业大学王玉兰编写，第6.1节、第6.5节、第6.6节和第6.7节由陈慧编写，第6.2节至第6.4节由江西理工大学朱易春编写，第7.1节、第7.2节由北京建工学院冯利利编写，第7.3节、第7.4节由太原大学霍霄妮编写。全书由徐得潜负责统稿。

在本书编写中，吸取了现行规程规范的规定，参阅了大量参考文献及资料，谨向这些文献和资料的作者表示诚挚的谢意。

对于书中的疏漏和不足之处，敬请读者批评指正。

编者
2013年2月

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 水资源的涵义	1
1.2 水资源的特点	2
1.2.1 水资源的自然属性	2
1.2.2 水资源的社会属性	3
1.3 本课程的任务和主要内容	3
第 2 章 水循环与水资源	4
2.1 水循环与水量平衡	4
2.1.1 水循环	4
2.1.2 水量平衡	7
2.2 水资源的形成	8
2.2.1 地表水资源的形成	8
2.2.2 地下水资源的形成	15
2.3 水资源概况	19
2.3.1 世界水资源概况	19
2.3.2 中国水资源概况	20
2.4 水资源开发利用现状及面临的问题	21
2.4.1 水资源开发利用现状	21
2.4.2 水资源面临的问题	24
第 3 章 水资源评价	26
3.1 概述	26
3.1.1 水资源评价发展历程	26
3.1.2 水资源评价内容	27
3.1.3 水资源评价遵循的原则及目的	28
3.2 地表水资源量计算与评价	28
3.2.1 降水与蒸发	29
3.2.2 地表水资源量的计算	31
3.2.3 地表水资源量评价	32
3.3 地下水资源量的计算与评价	40
3.3.1 地下水资源的特点及分类	40

3.3.2	地下水资源量计算	45
3.3.3	地下水资源量评价	53
3.4	水资源水质评价	55
3.4.1	水质指标体系及水质评价分类	56
3.4.2	水质评价方法	56
3.4.3	地表水水质评价	58
3.4.4	地下水水质评价	61
3.5	水资源综合评价	65
3.5.1	水资源综合评价主要任务及程序	65
3.5.2	水资源综合评价原则	65
3.5.3	水资源综合评价方法	66
3.6	行业用水水质标准与评价	68
3.6.1	生活饮用水及其水源水质标准与评价	68
3.6.2	工业用水水质标准与评价	72
3.6.3	农业灌溉用水水质标准与评价	75

第4章 水资源供需平衡分析 78

4.1	概述	78
4.1.1	水资源供需平衡分析的目的和意义	78
4.1.2	水资源供需平衡分析的原则	78
4.2	水资源开发利用现状分析	79
4.2.1	基本资料的收集整理	79
4.2.2	供水设施与供水量的调查统计	80
4.2.3	用水量与耗水量的统计分析	81
4.2.4	废污水排放量和污染源调查分析	82
4.2.5	其他与水相关的生态环境问题分析	82
4.3	水资源需求预测	82
4.3.1	水资源需求预测的原则和方法	82
4.3.2	生活需水量预测	83
4.3.3	工业需水量预测	83
4.3.4	建筑业和第三产业需水量预测	85
4.3.5	农业需水量预测	85
4.3.6	生态环境需水量预测	87
4.4	水资源供水预测	88
4.4.1	水资源供水预测的原则和方法	88
4.4.2	地表水供水	89
4.4.3	地下水供水	89
4.4.4	其他水源开发利用	89
4.5	水资源供需平衡分析	90
4.5.1	水资源供需平衡分析的基本要求	90
4.5.2	水资源供需平衡分析的方法	91
4.5.3	不同水平年供需平衡分析	91

4.5.4	跨流域(区域)调水供需平衡分析	93
4.5.5	城市水资源供需平衡分析	93
4.5.6	特殊干早期应急对策	94

第5章 取水工程 95

5.1	给水水源选择及卫生防护	95
5.1.1	给水水源特点及选择	95
5.1.2	给水水源卫生防护	96
5.2	地表水取水工程	97
5.2.1	地表水取水工程概述	97
5.2.2	固定式取水构筑物	103
5.2.3	移动式取水构筑物	120
5.2.4	山区浅水河流取水构筑物	129
5.2.5	海水取水构筑物	131
5.3	地下水取水工程	133
5.3.1	地下水取水工程概述	133
5.3.2	管井	134
5.3.3	大口井	158
5.3.4	复合井	166
5.3.5	辐射井	167
5.3.6	渗渠	171

第6章 节水技术 177

6.1	节水内涵及潜力分析	177
6.1.1	节水的涵义	177
6.1.2	节水现状与潜力	178
6.1.3	节水经济性分析	181
6.1.4	节水型社会建设	183
6.2	城市节水	185
6.2.1	城市节水概述	185
6.2.2	节水指标及计算	186
6.2.3	城市节水措施	189
6.3	工业节水	192
6.3.1	工业用水概述	192
6.3.2	工业节水指标及计算	193
6.3.3	工业节水措施	195
6.4	农业节水	196
6.4.1	农业节水概述	196
6.4.2	农业灌溉节水指标及计算	197
6.4.3	农业节水措施	199
6.5	再生水回用	200
6.5.1	再生水回用概述	200

6.5.2	再生水量预测及计算	202
6.5.3	再生水利用水量平衡实例	206
6.6	海水淡化	208
6.6.1	海水利用概述	208
6.6.2	海水利用技术	210
6.6.3	海水利用实例	212
6.7	雨水利用	214
6.7.1	雨水利用概述	214
6.7.2	雨水利用技术	216
6.7.3	雨水利用实例	220

第7章 水资源保护 **222**

7.1	水资源保护概述	222
7.1.1	水资源保护的概念	222
7.1.2	水资源保护的任务和内容	222
7.2	水体污染与水环境监测	223
7.2.1	水体污染概述	223
7.2.2	水环境质量监测	226
7.2.3	水环境质量评价	232
7.2.4	水环境监测在水资源保护中的应用	237
7.3	水功能区划分	237
7.3.1	概述	237
7.3.2	水功能区划的目的和原则	238
7.3.3	水功能区划体系	239
7.3.4	水功能区划方法	241
7.3.5	水功能区命名和编码方法	242
7.3.6	水功能区划成果报告	243
7.4	水资源保护措施	244
7.4.1	水资源保护法律法规及管理体制建设	244
7.4.2	水资源优化配置	247
7.4.3	水资源保护的经济措施	249
7.4.4	水资源保护的工程技术措施	253
7.4.5	污染源控制和水源地保护	255
	参考文献	259

第1章

绪论

1.1 水资源的涵义

水是人类及其他生物赖以生存的不可缺少的重要物质，也是工农业生产、社会经济发展和生态环境改善的不可替代的自然资源。水资源既是经济资源，也是环境资源。由于在水作为自然资源的基本属性认识程度和角度上的差异，人们对水资源的涵义有着不同的见解。随着时代的进步，水资源的内涵获得了不断的丰富和发展。

人类对水资源的认识首先源于它的自然属性，即对“自然资源”涵义的了解。自然资源是“参与人类生态系统能量流、物质流和信息流，从而保证系统的代谢功能得以实现，促进系统稳定有序不断进化升级的各种物质”。自然资源是指有助于人类生态系统保持稳定与发展的、对人类具有可利用性的某些自然界物质。作为重要自然资源的水资源必须具有“对于人类具备可利用性”这一特定涵义。

《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的涵义。实际上，作为资源的主要属性是“可利用性”，不能被人类利用则不能称之为资源。基于此，1963年英国《水资源法》把水资源定义为：“（地球上）具有足够数量的可用水”。在水环境污染并不突出的特定条件下，这一概念比《大不列颠大百科全书》的定义赋予水资源更为明确的涵义，强调了其在量上的可利用性。

1988年，联合国教科文组织和世界气象组织共同制定的《水资源评价活动——国家评价手册》，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的质量，并能在某一地点为满足某种用途而可被利用的水源”。这一定义强调了水资源的“质”与“量”的双重性，不仅考虑了水资源的数量，同时还强调了水资源质量的可利用性。

1988年8月1日颁布实施的《中华人民共和国水法》将水资源定义为：“地表水和地下水。”1994年的《环境科学词典》提出“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制条件的”。

《中国大百科全书》在不同的卷册中对水资源也给予了不同的解释。在大气科学、海洋科学、水文科学卷中，水资源被定义为“地球表层可供人类利用的水，包括水量（水质）、水域和水能资源，一般指每年可更新的水量资源”；在水利卷中，水资源被定义为“自然界各种形态（气态、固态或液态）的天然水，并将可供人类利用的水资源作为供评价的水资源”。

人们对水资源的概念和内涵产生不同认识和理解的主要原因是：水资源类型繁多，用途广泛，具有动态变化的特性，各种类型的水体可相互转化。因此，人们从不同角度对水资源涵义进行理解，造成对水资源一词理解的不一致性和认识的差异性。

综上所述，水资源可以理解是人类长期生存、生活和生产活动中所需要的各种水，既包括数量和质量涵义，又包括其使用价值和经济价值。

水资源的概念具有广义和狭义之分。广义水资源是指能直接或间接被使用的各种水和水

中的物质，在社会生活和生产中具有使用价值和经济价值的水；狭义水资源是指人类在一定经济技术条件下能够直接使用的淡水。鉴于水资源的固有属性，本书所论述的“水资源”主要限于狭义水资源的范围，即与人类生活和生产活动、社会进步息息相关的淡水资源。

为了适应用水部门以及社会经济各方面的需要，需要对水资源进行分类。水资源有以下几种分类。

(1) 地表水资源和地下水资源。在计算水资源的总量时，按形成条件分为地表水资源和地下水资源，它们共同接受大气降水的补给，并相互转化和影响。

(2) 天然水资源和调节水资源。在水资源的供需分析中，按工程措施分为天然水资源和调节水资源，后者是指天然水资源中通过工程措施被控制利用的部分。

(3) 消耗性水资源和非消耗性水资源。按用水部门的用水情况，将水资源分为消耗性水资源和非消耗性水资源。如航运、发电用水，并不消耗水量，是非消耗性水资源；灌溉用水、生产和生活用水消耗水量，是消耗性水资源。

1.2 水资源的特点

水资源作为自然的产物，具有自然属性；水资源作为一种资源，在开发利用过程中，与社会经济、科学技术产生联系，又会表现出社会属性。

1.2.1 水资源的自然属性

(1) 流动性。水资源是大自然循环中形成的一种动态资源，具有流动性，这是水资源同固体资源的本质区别。地表水资源和地下水资源都是流体。地下水、地表水、大气水通过蒸发、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，水资源不能按行政区划或城乡界限硬性分割，而只应按流域、自然单元进行水资源的开发、利用和管理。水资源的数量和质量都具有动态的特性，当外界条件变化时，其数量和质量也会随之变化。例如，河流上游取水量大，下游水量就会减少；上游水质污染会影响下游水质等。

(2) 多态性。自然界中的水呈现固态、气态、液态三种形态。不同形态的水可以相互转化。水循环形成过程中，水以多种形式存在，如土壤水、毛管水、孔隙水、重力水等。

(3) 可再生性。自然界中的水处于不断流动、不断循环的过程中，使得水资源得以不断的更新，这就是水资源的可再生性。具体来讲，水资源的可再生性是指水资源的水量被消耗利用、产生蒸发渗漏损失，或是水体被污染后，通过大气降水和水体自净等途径，可以得到恢复和更新的特性。不同水体更新一次的时间不同。大气水平平均每 8 天可更新一次，河水平均每 16 天更新一次，海洋更新周期约为 2500 年，而极地冰川的更替周期可长达数万年。这一特性与其他资源有着本质的区别，使水资源成为一种可供永续开发利用的资源。因此，在对水资源进行计算和分析评价时，特别是在和其他不具备可再生性、不能永续开发利用的资源进行比较分析时，不能只看到某一年的数量，更应注意其可以不断得到恢复和更新的资源量。水资源的可再生性并不意味着它可以取之不尽、用之不竭。虽然水资源量在年际之间有所不同，但总有一个限值。当水资源开发利用超过这一限值时，水资源就不可能得到完全恢复和再生。

(4) 时空分布的不均匀性。受气候和地理条件的影响，地球表面不同地区水资源的数量差别很大，即使同一地区的水资源也存在年内和年际的差异，这种特性称为水资源的时空分布不均匀性。全球水资源在各大洲间的分布存在明显的差异。大洋洲的径流模数为 $51.0 \text{ L}/(\text{s} \cdot \text{km}^2)$ ，亚洲的径流模数为 $10.5 \text{ L}/(\text{s} \cdot \text{km}^2)$ ，而澳大利亚仅为 $1.3 \text{ L}/(\text{s} \cdot \text{km}^2)$ ，最高值与最低值相差数倍或数十倍。我国水资源总体上表现为东南多，西北少；沿海多，内陆

少；山区多，平原少，且降水大多集中在夏秋季节的三四个月份里，水资源的时空分布具有明显的不均匀性。

(5) 环境资源属性。自然界中的水并不是化学上的纯水，而是含有很多溶解性和非溶解性物质的一种复杂综合体，实质上就是一个完整的生态系统。它不仅可以满足生物对水的需求，同时也为很多生物提供赖以生存的环境，是一种环境资源。

1.2.2 水资源的社会属性

(1) 多用途性。水资源的水量、水能、水体均各有用途，在人们生产生活中发挥着不同的功能。人们对水的利用可分为三类：①城市和农村居民生活用水；②工业、农业、航运、水力发电等生产用水；③娱乐、景观等生态环境用水。在各种不同的用途中，消耗性用水与非消耗性、低消耗性用水并存。用水目的不同，对水质的要求也不尽相同，使水资源具有一水多用的特点。

(2) 公共性。水资源的多用途性决定了水资源的公共性。《中华人民共和国水法》明确规定，水资源属于国家所有，任何单位和个人引水、截（蓄）水、排水，不得损害公共利益和他人合法权益。在水资源开发利用与保护中，应当全面规划、统筹兼顾、标本兼治、综合利用、讲求效益，发挥水资源的多种功能，协调好生活、生产经营和生态环境用水。

(3) 商品性。水资源也是一种战略性经济资源，具有一定的经济属性。第一，水资源具有效用，用途十分广泛，具备满足生产、生活、社会、生态、环境等方面需求的属性。第二，水资源具有稀缺性。缺水问题已经成为 21 世纪全球面临的最突出的问题之一，将直接影响到社会经济的可持续发展。第三，水资源具有价值性。水资源被人类开发利用，使得水成为一种商品。人们需要为各种形式的用水支付一定的费用。水资源的有偿使用，一方面，体现了水资源所有者和经营者的经济利益关系；另一方面，又通过影响水资源价格的形成促进了水资源的合理利用和节约。与其他商品一样，水的价值也遵循市场经济价值规律，水的价格会受水资源的稀缺性、投入的物化劳动、取用手段的科技含量等因素的影响。

(4) 利害两重性。水资源具有利、害两重性，可以造福于人类，也可以危害人类生存。一方面，水作为重要的自然资源可用于工业生产、农业灌溉、发电、供水、航运、养殖、旅游及改善生态水环境等各个方面，给人类带来各种利益。另一方面，由于水资源时间分布的不均匀性，当水量集中得过快、过多时，不仅不便于利用，还会形成洪涝灾害，甚至给人类带来严重灾难；到了枯水季节，又可能出现水量锐减，满足不了各方面需水要求的情形，严重影响社会经济的发展。水资源的利、害两重性不仅与水资源的数量及其时空分布特性有关，还与水资源的质量有关。当水体受到严重污染时，水质低劣的水体可能造成各方面的损失，甚至给人类健康以及整个生态环境带来严重危害。人类在开发利用水资源的过程中，一定要用其利、避其害。

1.3 本课程的任务和主要内容

“水资源利用与保护”是给排水科学与工程专业的——门主干专业课，它的任务是让学生在掌握工程水文学、水泵与水泵站、水质工程学等知识的基础上学习水资源利用与保护的基本理论与基本知识，初步掌握有关的分析计算方法，以使——学生毕业后，经过一段生产实际的锻炼，能从事这方面的技术工作和管理工作。

本课程主要是研究有关水资源利用与保护的基本理论和方法问题，涉及规划、利用、节约、保护等诸多方面，主要内容包括：水资源的基本概念、水资源评价、水资源供需平衡分析、取水工程、节水技术、水资源保护等。

第2章

水循环与水资源

2.1 水循环与水量平衡

2.1.1 水循环

2.1.1.1 水的自然循环

自然界中的水在太阳辐射及地球引力的作用下,处于不断循环、交替与更新的运动之中。水的自然循环如图 2-1 所示。

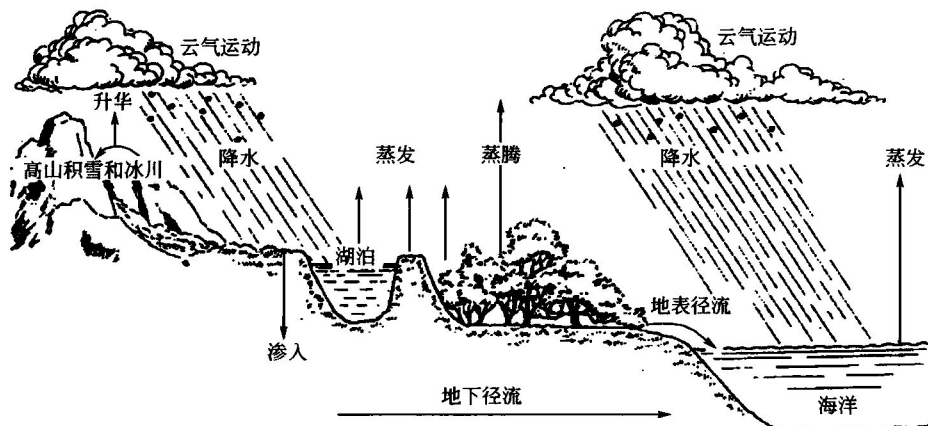


图 2-1 水的自然循环

在太阳辐射作用下,地球上各种形态的水从海洋、江、河、湖、陆地表面及植物叶面蒸发,变成水蒸气,上升到空中,并随大气运动至各处,水蒸气在上升和运移过程中遇冷凝结,以降水的形式又回到海洋或陆地表面。降到地面的水,除植物吸收和蒸发外,一部分渗入地表以下形成地下径流;一部分沿地表流动形成地面径流,经江河汇入海洋;还有一部分重新蒸发回到空中。然后又继续蒸发、迁移、凝结形成降水。这种周而复始的水的蒸发→降水→径流的循环变化,形成了水的自然循环,通常称为水文循环。

形成水文循环的内因是水在通常环境条件下气态、液态、固态易于转化的特性,外因是太阳辐射和重力作用为水循环提供了水运动和物理形态变化的能量。水文循环与气候、地理位置、地形、土壤、岩石和植被等自然因素有密切关系,并受到人类活动的影响。地球上的水分布广泛,储量巨大,是水文循环的物质基础。

根据水文循环过程的整体性与局部性,水文循环可分为大循环和小循环。

大循环也称为海-陆循环或外循环,是指海陆间的水分交换过程,由海陆不均匀分布及大气环流作用而形成。从海洋蒸发的水汽,被气流输送到大陆上空形成积云,然后以降水的形式降落到地面。降落到地面的水,一部分形成地面和地下径流,通过江河汇流汇入海洋;

另一部分则重新蒸发返回大气。在大循环运动中，水分一方面在地面和大气中通过降水和蒸发进行纵向交换，另一方面通过河流在海洋和陆地之间进行横向交换。海洋从空中向陆地输送大量水汽，陆地则通过河流把水输送到海洋。陆地也向海洋输送少量水汽，约只占海洋蒸发量的8%。

小循环是一种局部的水文循环，也称内循环，是指仅发生在海洋或陆地范围内的水文循环，包括陆地-陆地水循环和海洋-海洋水循环。陆地-陆地水循环指陆地上的水，通过蒸发作用（包括江、河、湖、水库等水面蒸发、潜水蒸发、陆面蒸发及植物蒸腾等）上升到大气中凝结后降落到陆地上。海洋-海洋水循环是指海洋上蒸发的水汽在海洋上空凝结后，以降水的方式降落到海洋里。

实际上，一个大循环包含着多个小循环，多个小循环组成一个大循环。

水循环是自然界中最主要的物质循环之一，是联系地球水圈、岩石圈、大气圈和生物圈及各种水体的纽带。通过形态的变化，水循环在地球上起到输送热量和调节气候的作用。水循环是地表物质迁移的强大动力和主要载体，通过侵蚀、搬运和堆积，塑造了丰富多彩的地形。水循环使海洋不断地向陆地输送淡水，补充和更新陆地上的淡水资源，从而使水资源成为可再生资源。总之，水循环是陆地淡水资源形成、存在和永续利用的基本条件，对地球环境的形成、演化和人类的生存都有着重大的作用和影响。

2.1.1.2 水的社会循环

除了上述水的自然循环外，水还因人类活动不断地迁移转化，形成了水的社会循环，或称水的人为循环。水的社会循环是指人类为了满足生活和生产的需求，不断取用天然水体中的水，经过使用，一部分天然水被消耗，但绝大部分作为生活污水和生产废水，重新进入天然水体。水的社会循环如图 2-2 所示。

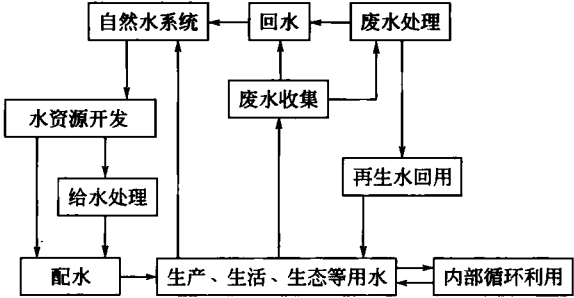


图 2-2 水的社会循环

水的社会循环包含了人类在开发利用水资源过程中影响自然水系统的各种因素，不仅包括地表水、地下水、水质、水量、水资源工程建设、水资源开发经费、从事水资源工作的人员及有关水资源政策、信息等，还包括这些因素之间的相互关系、发展变化及其可能出现的后果和应采取的控制对策等。

在水的社会循环中，水的性质在不断地发生变化。在生活用水中，只有很少一部分是作为饮用或食物加工以满足生命对水的需求，大部分水是由于洗涤、冲厕等卫生目的，经使用后会挟带大量污染物质。工业生产用水中，只有一部分水作为工业原料，大部分水用于冷却、洗涤或其他目的，使用后水遭到污染，其污染程度取决于工业生产部门类型、用水性质及使用方式等因素。在农业生产中，化肥、农药使用量的日益增加使得降雨后的农田径流会挟带大量化学物质流入地面或地下水体，从而形成面源污染。在水的社会循环中，生活污水和工农业生产废水的排放，是形成自然界水污染的主要根源，也是水污染防治的主要对象。

水资源社会循环过程中不能复原水与重新进入天然水体的回水之间的比例关系，以及回

水的水质状况等，不仅对水循环的水质直接产生影响，而且也局部改变了地球水循环的途径和强度，使其径流量和径流水质发生变化，导致区域河流、湖泊或地下水污染，来水量大幅度减少，甚至干枯，地下水位大面积下降等。不可复原水所占水量比例越大，对地球水循环的扰动就越剧烈，引起的环境和生态灾害就越严重。因此，在研究地球水循环时，应关注社会水循环对自然径流的影响，以实现水的良性循环。

2.1.1.3 水的健康循环

水的健康循环是指人类在水的社会循环中，遵循水的自然活动规律和品格，合理科学地使用水资源，不过量开采水资源，同时将使用过的废水经过再生净化，使得上游地区的用水循环不影响下游水域的水体功能，水的社会循环不损害自然循环的规律，从而维系或恢复城市乃至流域的良好水环境，实现水资源可持续地循环与重复使用。水的健康循环使水的社会小循环能与水的自然大循环相辅相成，协调发展，实现人与水环境的和谐，维系良好的水环境，最终达到“天人合一”的境界；使自然界有限的水资源可以不断地满足工业、农业、生活、生态、环境的用水需求，永远地为人类服务，从而为社会的可持续发展提供基础条件。

要建立水的健康循环，就要求在水的社会循环中减少取水量，降低污染负荷，恢复河湖清流。主要措施如下。

(1) 节制用水。节制用水不同于节约用水，它是为了社会的永续发展、水资源的可持续利用以及水环境的恢复和维持，通过法律、行政、经济与技术手段，强制性地使社会合理地利用有限的水资源。节制用水包含了节约用水的内容，更主要在于，根据地域的水资源状况，制定、调整产业布局，促进工艺改革，提倡节水产业、清洁生产，通过技术、经济等手段，控制水的社会循环量，合理科学地分配水资源，减少对水自然循环的干扰。

(2) 城市污水的深度处理与再生利用。污水深度处理是指城市污水或工业废水经一级、二级处理后，为了达到一定的回用水标准使污水作为水资源回用于生产或生活的进一步水处理过程。针对污、废水的原水水质和回用水水质要求可进一步采用三级处理或多级处理工艺。常用于去除水中的微量 COD 和 BOD 有机污染物质、SS 及氮、磷高浓度营养物质及盐类。污水再生利用为污水回收、再生和利用的统称，包括污水净化再利用、实现水循环的全过程。

城市污水深度处理与水的再生利用是维系水的健康循环的必由之路。污水再生利用产生的经济、社会和生态效益主要体现在：降低给水处理和供水费用；减少城市污水排放及排水管网和污水厂工程投资与运行费用；改善生态环境，保障人体健康；增加可供水量，避免因缺水而造成的损失；促进社会和经济的可持续发展。

(3) 污水厂污泥回归农田作农业肥料。有机垃圾和污水厂污泥是优良有机肥源，如果制成肥料回归农田就减少了化肥用量和农田径流营养物负荷。这既可恢复和维持土地营养物质自然循环平衡，保持和提高土壤肥力，改善土壤结构，又可减少对水环境的二次污染。

(4) 修复城市雨水水文循环途径。通过雨水渗透和储存修复雨水水文循环途径，从而抑制暴雨径流、削减洪峰流量、减少城市型洪水灾害，同时还对涵养地下水，增加河流枯水量以及改善河流水质，维系良好的河川与两岸生态系统都具有显著作用，是城市水系统健康循环不可缺少的途径。

(5) 农业面源污染控制。现代化的农业和养殖业对水环境产生的影响远远超过现代工业对自然水环境的影响，农业正在成为我国、也是地球上最大的污染源。农业面源污染控制主要措施有：①积极发展节水农业，减少农业用水和弃水的污染；②对养殖场污水和粪便进行处理，综合利用；③推广有机农业、现代绿色农业，减少化肥、农药施用量，减少氮素损失，提高氮肥利用率。

(6) 水资源的统筹规划、开发利用与管理。在目前我国水资源紧缺和水污染问题越来越突出的情况下,应该将现状那种水量与水质分开、地表水与地下水分开、供水与排水分开、城市与流域分开的管理体制,改为对城市和农村实行供水、节水、污水处理及其回用、水资源保护等统筹规划、开发利用与管理的新体制,以利于促进水资源的开发、利用和保护,有利于统筹解决洪涝灾害、水环境恶化等问题,保障社会经济的可持续发展和水资源的可持续利用。

2.1.2 水量平衡

地球上的水以气态、液态或固态形态存在,并处于不断运动过程中。从全球角度来看水的自然循环过程,其总水量是平衡的。

地球上任一区域在一定时间内,进入的水量与输出的水量之差等于该区域内水量的变化量,这一关系称为水量平衡原理。它是质量守恒定律在水文循环中的特定表现形式。进行水量平衡的研究,有助于了解水循环各要素的数量关系,估计地区水资源的数量,分析水循环各要素之间的相互转化关系,确定水资源的合理利用量。

2.1.2.1 全球水量平衡

地球由海洋和陆地组成。根据水量平衡原理,分别以海洋和陆地为研究对象,建立时段为 Δt 的水量平衡方程:

$$E_H = P_H + R + \Delta W_H \quad (2-1)$$

$$E_L = P_L - R + \Delta W_L \quad (2-2)$$

式中, E_H 、 E_L 分别为时段 Δt 内的海洋和陆地上的蒸发量; P_H 、 P_L 分别为时段 Δt 内海洋和陆地上的降水量; R 为时段 Δt 内由陆地流入海洋的径流量; ΔW_H 、 ΔW_L 分别为海洋和陆地在时段 Δt 内蓄水变化量。

对于海洋和陆地,从多年平均来看,并没有发现有明显的增减趋势。式(2-1)和式(2-2)中的蓄水变化量 ΔW_H 、 ΔW_L 的多年平均值可近似地看作为零,故海洋和陆地在多年平均情况下的水量平衡方程分别为:

$$\bar{E}_H = \bar{P}_H + \bar{R} \quad (2-3)$$

$$\bar{E}_L = \bar{P}_L - \bar{R} \quad (2-4)$$

式中, \bar{E}_H 、 \bar{E}_L 分别为海洋和陆地上的多年平均蒸发量; \bar{P}_H 、 \bar{P}_L 分别为海洋和陆地上的多年平均降水量; \bar{R} 为陆地流入海洋的多年平均径流量。

将式(2-3)和式(2-4)相加可得出全球的水量平衡方程,即全球多年平均年蒸发量 \bar{E} 等于全球多年平均年降水量 \bar{P} :

$$\bar{E}_H + \bar{E}_L = \bar{P}_H + \bar{P}_L \Rightarrow \bar{E} = \bar{P} \quad (2-5)$$

这表明,全球多年平均降雨量与多年平均蒸发量相等。据统计,它们的数值约为 $5.77 \times 10^4 \text{ km}^3$ 。全球水量平衡见表 2-1。

表 2-1 全球水量平衡

水量	面积 /($\times 10^6 \text{ km}^2$)	多年平均降雨量		多年平均蒸发量		多年平均入海径流量	
		mm	km^3	mm	km^3	mm	km^3
陆地	149	800	119000	485	72000	315	47000
海洋	361	12700	458000	1400	505000	130	47000
全球	510	1130	577000	1130	577000		

2.1.2.2 流域水量平衡

根据水量平衡原理,对于非闭合流域,即地下分水线与地面分水线不相重合的流域,时

段 Δt 的水量平衡方程为：

$$P + R_b + R_d + W_1 = E + R'_b + R'_d + W_2 \quad (2-6)$$

式中， P 为时段 Δt 内流域上的降水量； R_b 、 R_d 分别为时段 Δt 内流入流域的地面径流和地下径流量； R'_b 、 R'_d 分别为时段 Δt 内流出流域的地面径流和地下径流量； W_1 、 W_2 分别为时段初和时段末的蓄水量； E 为净蒸发量， $E = E_2 - E_1$ ， E_1 、 E_2 分别为时段内的水蒸气凝结量和蒸发量。

对于一个闭合流域，即地下分水线与地面分水线相重合的流域， $R_b = 0$ 、 $R_d = 0$ ，令 $R' = R'_b + R'_d$ ， $\Delta W = W_2 - W_1$ ，则闭合流域的水量平衡方程为：

$$R' = P - E - \Delta W \quad (2-7)$$

对多年平均情况而言，式 (2-7) 中蓄水变化量项 ΔW 的多年平均值趋近于零，可简化为：

$$\bar{P}_0 = \bar{R}_0 + \bar{E}_0 \quad (2-8)$$

式中， \bar{P}_0 、 \bar{R}_0 、 \bar{E}_0 分别为流域多年平均降水量、径流量和蒸散发量。

我国主要河流的水量平衡要素见表 2-2。

表 2-2 中国主要河流流域的多年水量平衡要素值

河流	流域面积/km ²	降水量/mm	径流量/mm	蒸散发量/mm
辽河	21.90	472.6	64.5	408.0
松花江	55.68	526.8	136.8	390.0
海河	26.34	558.7	86.5	47.2
黄河	75.20	464.6	87.5	387.1
淮河	26.90	888.7	231.0	657.7
长江	180.85	1070.5	526.0	544.5
珠江	44.20	1469.2	751.3	718.0
雅鲁藏布江	24.05*	949.4	687.8	261.0

注：* 中国境内的流域面积。

2.2 水资源的形成

2.2.1 地表水资源的形成

地表水分为广义地表水和狭义地表水，前者指以液态或固态形式覆盖在地球表面上、暴露在大气的自然水体，包括河流、湖泊、水库、沼泽、海洋、冰川和永久积雪等，后者则是陆地上各种液态、固态水体的总称，包括静态水和动态水，主要有河流、湖泊、水库、沼泽、冰川和永久积雪等，其中，动态水指河流径流量和冰川径流量，静态水指各种水体的储水量。

地表水资源是指在人们生产生活中具有使用价值和经济价值的地表水，包括冰雪水、河川水和湖沼水等，一般用河川径流量表示。

在多年平均情况下，水资源量的收支项主要为降水、蒸发和径流。水量平衡时，收支在数量上是相等的。降水作为水资源的收入项，决定着地表水资源的数量、时空分布和可开发利用程度。由于地表水资源所能利用的是河流径流量，所以在讨论地表水资源的形成与分布时，重点讨论构成地表水资源的河流资源的形成与分布问题。

降水、蒸发和径流是决定区域水资源状态的三要素，三者数量及其之间的变化关系决定