



- 高等学校水利类专业教学指导委员会
- 中国水利教育协会
- 中国水利水电出版社

共同组织编审

普通高等教育“十二五”规划教材
全国水利行业规划教材

水资源规划与管理

(第二版)

左其亭 窦明 吴泽宁 编著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn



导委员会

共同组织编审

● 中国水利水电出版社

普通高等教育“十二五”规划教材
全国水利行业规划教材

水资源规划与管理

(第二版)

左其亭 窦明 吴泽宁 编著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

水资源规划与管理是水利部门的重点工作内容之一,是人类在长期水事活动实践过程中形成和发展起来的一门分支学科。本书从水资源规划与管理一般概念叙述到基础理论知识介绍,从量化研究方法论述再到水资源规划与管理方案和措施制定,试图在总结传统水资源规划与管理相关理论的基础上,以可持续发展思想、人水和谐思想、最严格水资源管理制度、水生态文明理念为指导,系统地阐述水资源规划与管理的理论、方法及应用实例,从而为现代水资源规划与管理工作提供科学的研究思路和研究方法。本书是在2005年出版的《水资源规划与管理》(中国水利水电出版社,2005)教材的基础上,结合多年教学实践,并增添新的水资源规划与管理思想和成果,重新撰写的第二版《水资源规划与管理》本科教材。

本书可作为水利工程类、资源科学类、地理科学类、环境工程类、市政工程类等专业本科生教材,也可供上述专业的研究生和教师以及相关专业的科技工作者参考和使用。

图书在版编目(CIP)数据

水资源规划与管理 / 左其亭, 窦明, 吴泽宁编著
— 2版. — 北京: 中国水利水电出版社, 2014.4
普通高等教育“十二五”规划教材 全国水利行业规划教材
ISBN 978-7-5170-1918-3

I. ①水… II. ①左… ②窦… ③吴… III. ①水资源管理—高等学校—教材 IV. ①TV213.4

中国版本图书馆CIP数据核字(2014)第075582号

书 名	普通高等教育“十二五”规划教材 全国水利行业规划教材 水资源规划与管理 (第二版)
作 者	左其亭 窦明 吴泽宁 编著
出版发行	中国水利水电出版社 (北京市海淀区玉渊潭南路1号D座 100038) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn 电话: (010) 68367658 (发行部)
经 售	北京科水图书销售中心(零售) 电话: (010) 88383994、63202643、68545874 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	北京市北中印刷厂
规 格	184mm×260mm 16开本 15印张 356千字
版 次	2005年5月第1版 2005年5月第1次印刷 2014年4月第2版 2014年4月第1次印刷
印 数	0001—3000册
定 价	30.00元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社发行部负责调换

版权所有·侵权必究

第二版前言

随着人口增长、经济社会发展,对水资源的需求量不断增加,水资源短缺和水环境污染问题日益突出,严重地困扰着人类的生存和发展。水问题已不再仅限于某一地区或某一时段,而成为全球性、长期的关注焦点。如何应对水问题,不仅要靠科学技术和经济基础来保障,更要靠水行政主管部门的合理规划和科学管理。水资源规划与管理正是在这一背景下形成的,它是水利工作的重要组成部分,对水资源的合理开发利用、优化调配和有效保护具有重要的指导作用。

为了配合水资源规划与管理课程教学,作者在总结多年相关教学经验和多个科研项目成果的基础上,于2005年编写出版了《水资源规划与管理》教材,力图向读者展现一个现代的、科学的、完善的水资源规划与管理理论方法体系。不同于传统的理论方法,该书讲解的水资源规划与管理理论方法,是以可持续发展为基本指导思想,通过科学的规划与管理,为经济社会发展和生态环境保护提供水资源保障,实现水资源在当代人之间、当代人与后代人之间以及人类社会与生态环境之间公平合理的分配。第一版《水资源规划与管理》教材的内容共分四部分,包括十二章,各章主要按照水资源规划与管理的工作流程来编排。

自从2005年5月出版第一版《水资源规划与管理》教材以来,时间已经过去近9年,相关内容发生了很大的变化,非常有必要增加新的内容,重新撰写该教材。变化的内容主要表现在:①水资源规划与管理的指导思想发生较大的变化。在第一版中引用当时最新的可持续发展指导思想。而目前提出的指导思想除了可持续发展指导思想外,还有人水和谐思想、最严格水资源管理制度、水生态文明理念等;②水资源规划与管理的工作方法及实践经验更加丰富。在第一版中主要总结了2005年以前的水资源规划与管理的工作方法和经验,而从2005年以来的近9年间,水资源规划与管理的内容发生很大的变化,特别是对一些认识更加深入;③水资源规划与管理工作的成功案例越来越多。在第一版中介绍的案例较少,当时正是全国水资源综合规划编制时期,

成功案例较少，而目前在很多地区做过水资源规划工作，可以把这些成功案例编入教材中。

本书内容共分三部分，包括十一章。第一章由左其亭撰写，第二章由窦明撰写，第三章由左其亭、马军霞撰写，第四章由左其亭、张金萍撰写，第五章由吴泽宁、梁士奎撰写，第六章由梁士奎撰写，第七章由张金萍撰写，第八章由窦明撰写，第九章由吴泽宁、张金萍撰写，第十章由左其亭撰写，第十一章由左其亭、马军霞撰写。全书由左其亭统稿。

第一部分内容包括第一、二、三章，是对水资源规划与管理的概念、意义及主要内容，以及指导思想的介绍。

第二部分内容包括第四~九章，是对水资源规划与管理基础内容、理论方法的介绍。详细介绍了水资源规划与管理的重要基础——水资源评价的主要内容，水资源规划与管理的4个基础内容——需水预测、供水预测、节约用水、水资源保护，以及水资源系统分析方法及应用。

第三部分内容包括第十、十一章，是对水资源规划与管理两方面工作内容和方法的介绍。详细介绍了水资源规划的工作流程、方案制定和报告书编写，以及水资源管理的工作流程、方案制定和主要管理措施等。

本书具有以下特点：

(1) 系统性。本书从概念、定性分析开始，先介绍水资源规划与管理的理论知识，在此基础上介绍水资源规划与管理的工作内容及相关问题。

(2) 思想先进性。本书及时吸纳了水资源规划与管理的新思想，包括可持续发展思想、人水和谐思想、最严格水资源管理制度、水生态文明理念等。

(3) 技术方法先进性。本书就目前广泛关注的热点问题（如人水和谐、最严格水资源管理制度、生态环境需水、水资源系统分析等）进行论述。

(4) 理论与实践相结合。本书除了介绍基本知识、理论方法外，还增加介绍一些具体应用实例。

在本书的每章最后列出了思考题和参考文献，特别是为了便于与国际接轨，包括了一些需要广泛查阅资料才能完成的课程论文，以帮助巩固所学内容。

本书的编写参阅了作者研究团队的大量研究成果，除了第一版《水资源规划与管理》列举的研究课题外，自2005年以来作者研究团队又承担了一些有关的研究课题。特此向关心和支持作者教学、科研工作的所有单位和个人表示衷心的感谢！感谢出版社同仁为本书出版付出的辛勤劳动。书中部分内容参考了有关单位或个人的研究成果，均已在参考文献中列出。另外，在撰

写过程中，还参考或引用了《中华人民共和国水法》、《江河流域规划编制规范》、《水资源评价导则》、《地表水资源质量标准》、《全国水资源综合规划技术大纲》、《水资源公报》等多个法规、标准及其他技术文件，在文中未全部列出，在此一并致谢。

书中的错误和不妥之处，恳请读者批评指正。

作 者

2013 年 10 月

第一版前言

随着人口增长、社会经济发展,对水资源的需求量不断增加,水资源短缺和水环境污染问题日益突出,严重地困扰着人类的生存和发展。水问题已不再仅限于某一地区或某一时段,而成为全球性、跨世纪的关注焦点。

如何应对水问题,不仅要靠科学技术和经济基础来保障,更要靠水行政主管部门的合理规划和科学管理。水资源规划与管理正是在这一背景下形成的,它是水利工作的重要组成部分,对水资源的合理开发利用、优化调配和有效保护具有重要的理论指导意义。作者在总结多年相关教学经验和多个科研成果的基础上编写了此书,力图向读者展现一个现代的、科学的、完善的水资源规划与管理理论体系。

不同于传统的理论方法,本书讲解的水资源规划与管理理论方法,是以可持续发展为基本指导思想,通过科学的规划与管理,为社会经济的发展和生态环境的保护提供水资源保障,实现水资源在当代人之间、当代人与后代人之间以及人类社会与生态环境之间公平合理的分配。

本书内容分四部分,包括十二章,各章主要按照水资源规划与管理的工作流程来编排。第一、六、九、十、十一章由左其亭撰写,第二、三、五、七、十二章由窦明撰写,第四、八章由吴泽宁撰写。全书最后由左其亭、窦明统稿,吴泽宁校订。

第一部分内容包括第一章和第二章,是对水资源规划与管理基本概念及相关内容的简单介绍。

第一章为绪论,是对全书的铺垫。首先,综述了国内外水资源开发利用现状;接着,提出当前世界与中国所面临的水资源问题及其引起的社会影响;最后,说明了水资源规划与管理工作的的重要性,并提出对当前水资源规划与管理工作的要求。

第二章是对水资源规划与管理内容的简单概述。首先,分别阐述了水资源规划与水资源管理的概念、内涵、原则等基础内容;接着,比较水资源规划与水资源管理之间的联系和区别,并给出水资源规划与管理的整体工作流

程；最后，介绍了可持续发展和可持续水资源管理的概念和由来，论述了可持续发展对水资源规划与管理的指导意义。

第二部分内容包括第三章～第九章，是对水资源规划与管理涉及的理论基础知识的介绍。详细介绍了水资源规划与管理工作流程中的某一具体方面及所用到的基础知识和理论方法。由于面向可持续发展的水资源规划与管理是架构在社会经济—水资源—生态环境复合大系统之下，因此在各章中分别涉及到其中某一方面的基础内容。

第三章为水循环过程与水资源量。首先，简要介绍了自然界的水循环过程及水量平衡原则；接着，介绍了天然状况下的水资源转化过程和人类活动对水资源转化过程的影响；最后，从水循环机理出发，介绍了水资源量的组成与估算方法。

第四章为社会经济系统发展预测。主要从社会经济—水资源—生态环境复合大系统中的社会经济系统入手。首先，讨论了社会经济发展与水资源的关系；接着，介绍了反映社会经济系统发展的指标体系和社会经济系统发展的预测方法；最后，给出社会经济发展规划的内容和步骤。

第五章为生态环境与水资源保护。从社会经济—水资源—生态环境复合大系统中的生态环境角度入手。首先，介绍了生态环境与水资源之间的关系；接着，针对水资源的水质和水量双重属性，分别介绍了水环境容量和生态环境需水量的计算方法；最后，在总结上述方法的基础上，介绍了水资源保护的工作内容和流程。

第六章为水资源评价。水资源评价是水资源规划与管理的基础工作之一，该章简要介绍了水资源评价的内容和要求，并重点论述了水资源数量评价和水资源质量评价的内容和方法。

第七章为水资源供需分析。水资源问题的核心是水的供需关系，因此在对水资源评价的基础上，必须着眼于如何解决水资源的供需矛盾。本章首先介绍了水资源开发利用现状分析的工作内容和步骤；接着，分别说明需水预测和供水预测的内容和方法；最后，介绍水资源供需平衡分析的基本思路和内容。

第八章为水资源系统分析方法。由于水资源规划与管理是一项涉及社会、经济、水资源、环境等多方面的系统工程，因此运用系统科学的理论方法来寻求解决水资源规划与管理工作中所出现的问题的最优方案是十分必要的。本章首先介绍了水资源系统的结构、功能与特征；其次，叙述了水资源系统分析的步骤、目标和约束；再次，介绍了水资源系统分析模型的建立步骤和

系统识别方法；最后，介绍了水资源系统分析中两种常用的优化技术——解析技术与计算机模拟技术。

第九章为可持续发展的量化研究方法。本章首先从社会—经济—资源—环境相互协调的角度，说明了可持续发展思想对水资源规划与管理的指导意义；接着，介绍了可持续发展的量化准则与量化指标；最后，阐述了基于“社会净福利函数”和基于“发展综合指标测度”的可持续发展量化方法。

第三部分内容包括第十章和第十一章，是对水资源规划与管理两方面工作的内容和方法的详细介绍。

第十章为水资源规划。首先，介绍了水资源规划的指导思想和工作流程；其次，建立了水资源可持续利用优化配置模型；再次，叙述了水资源规划方案的比选原则及规划内容；最后，简单介绍了乌鲁木齐区域水资源优化配置研究的应用实例。

第十一章为水资源管理。首先，介绍了水资源管理的工作流程；其次，建立了可持续水资源管理的量化准则、指标体系和量化研究方法，为可持续水资源管理提供了量化研究基础；再次，给出了水资源管理的具体措施；最后，介绍了博斯腾湖流域可持续水资源管理研究的应用实例。

第四部分内容包括第十二章，是对水资源规划与管理工作的展望。

第十二章为水资源规划与管理的新理念。首先介绍了当前与水资源规划和管理有关的一些比较新颖的概念、观点；接着又介绍了高新技术在水资源规划与管理中的应用；最后对水资源规划与管理进行展望，指出将来的研究方向和重点。

本书具有以下特点：①系统性。本书从概念、定性分析开始，先介绍水资源规划与管理的基础理论知识，在此基础上进一步介绍水资源规划与管理的工作内容及相关问题。②面向可持续发展。以可持续发展为基本指导思想，阐述水资源规划与管理问题。③定量化研究。提出了可持续发展的量化方法以及水资源规划与管理的优化模型，并应用于实际。④先进技术方法的采用。本书就目前广泛关注的水问题（如可持续水资源管理、水资源承载能力、生态环境需水等）进行论述，还对水资源管理信息系统、“3S”等技术方法在水资源规划与管理中的应用作了简单介绍。

本书是在《面向可持续发展的水资源规划与管理》（左其亭、陈曦著，中国水利水电出版社，2003）专著的基础上，结合多年试用的《水资源规划与管理》讲义，不断总结完善后撰写而成的，是专门面向相关专业本科生教学的教材，也可作为某些专业研究生教材。在本书的每章后面列出了思考题，

特别是便于与国际接轨,包括一些需要广泛查阅资料才能完成的试题,以帮助读者巩固所学内容。

本书的编写得到了水资源与水电工程科学国家重点实验室开放基金(2003B007)、河南省杰出青年科学基金(512002500)、中国科学院新疆生态与地理研究所“绿洲学者计划”、河南省青年骨干教师资助计划的资助。特此向支持和关心作者教学、科研工作的所有单位和个人表示衷心的感谢!感谢出版社同仁为本书出版付出的辛勤劳动。书中部分内容参考了有关单位或个人的研究成果,均已在参考文献中列出。另外,在撰写过程中,还参考或引用了《中华人民共和国水法》、《江河流域规划编制规范》、《水资源评价导则》、《地表水资源质量标准》、《全国水资源综合规划技术大纲》等多个法规、标准及其他技术文件,在文中未全部列出,在此一并致谢。

由于水资源规划与管理工作的复杂性和特殊性,编撰本书确实有一定难度。特别是作者水平所限,书中错误和缺点在所难免,欢迎广大读者不吝赐教。

作 者

2005 年元旦

目 录

第二版前言

第一版前言

第一章 绪论	1
第一节 水资源的概念与特点	1
第二节 水资源的形成与转化	4
第三节 全球与中国水资源状况	8
第四节 水问题及其影响	10
第五节 实施水资源规划与管理的意义及要求	13
思考题	17
参考文献	17
第二章 水资源规划与管理的基本内容	18
第一节 水资源规划的基本内容	18
第二节 水资源管理的基本内容	22
第三节 水资源规划与管理的联系及工作流程	25
思考题	28
参考文献	28
第三章 水资源规划与管理的指导思想	29
第一节 可持续发展思想	29
第二节 人水和谐思想	35
第三节 最严格水资源管理制度	39
第四节 水生态文明理念	41
思考题	45
参考文献	45
第四章 水资源评价	47
第一节 水资源评价的内容和要求	47
第二节 水资源数量评价	48
第三节 水资源质量评价	55

第四节 水资源开发利用评价	57
第五节 应用实例	59
思考题	74
参考文献	74
第五章 需水预测	75
第一节 概述	75
第二节 经济社会发展预测	78
第三节 需水量预测	81
第四节 应用实例	90
思考题	92
参考文献	92
第六章 供水预测	93
第一节 概述	93
第二节 可供水量计算	94
第三节 供水预测	98
第四节 应用实例	99
思考题	100
参考文献	100
第七章 节约用水	101
第一节 节水指标与潜力	101
第二节 节水目标与措施	104
第三节 节水方案与投资	107
第四节 应用实例	109
思考题	116
参考文献	117
第八章 水资源保护	118
第一节 概述	118
第二节 水功能区的划定	121
第三节 水功能区纳污能力计算	125
第四节 污染物总量控制方案编制	130
第五节 水资源保护措施	134
第六节 应用实例	137
思考题	142
参考文献	143
第九章 水资源系统分析方法	144
第一节 水资源系统的内涵	144
第二节 水资源系统分析概述	146

第三节	水资源系统分析的目标与约束	149
第四节	水资源系统模型的建立与识别	151
第五节	水资源系统分析优化技术与模拟技术	154
第六节	水资源优化配置模型	159
第七节	水资源系统分析方法的应用	165
思考题		167
参考文献		167
第十章	水资源规划	168
第一节	水资源规划工作流程	168
第二节	水资源规划方法	173
第三节	水资源规划方案中主要内容综述	180
第四节	水资源规划报告书编写	185
第五节	应用实例	188
思考题		206
参考文献		206
第十一章	水资源管理方案制定	207
第一节	水资源管理工作流程	207
第二节	水资源管理方法	209
第三节	水资源管理主要措施综述	215
第四节	水资源管理报告书编写	218
第五节	应用实例	220
思考题		225
参考文献		225

第一章 绪 论

水,是生命之源,是自然环境和生态系统不可替代的要素,又是人类经济社会可持续发展的基础条件。然而,随着人口与经济的增长,对水资源的需求量在不断增加,随之而来的水资源短缺、水环境恶化等问题,也越来越严重地困扰着人类的生存和发展。历史发展到今天,水问题已不再仅限于某一地区或某一时段,而成为全球性、长期的关注焦点。正如联合国在 1997 年《对世界淡水资源的全面评价》报告中提到的那样,“缺水问题将严重地制约 21 世纪经济和社会发展,并可能导致国家间的冲突”,水资源危机已经成为继粮食危机、能源危机之后,人类社会所面临的又一大生存危机。

如何应对这些水问题,不仅要靠科学技术和经济基础来保障,更要靠水行政主管部门的合理规划和科学管理。“水资源规划与管理”正是在这一背景下形成的,它是水利工作的重要组成部分,对水资源的合理开发利用、优化调配和有效保护具有重要的指导作用。

第一节 水资源的概念与特点

一、水资源的概念

随着 1894 年美国地质调查局水资源处的成立,“水资源”一词正式出现并被广泛接纳。在经历了人类不同发展时期后,出现了对水资源的不同界定,其内涵也得到不断的充实和完善^[1]。在《英国大百科全书》中,水资源被定义为“全部自然界任何形态的水,包括气态水、液态水和固态水”。这个定义为水资源赋予了极其广泛的内涵,却忽略了资源的使用价值。在 1963 年英国的《水资源法》中,水资源又被定义为“具有足够数量的可利用水资源”,在这里则强调了水资源的可利用性特点。1988 年,在联合国教科文组织(UNESCO)和世界气象组织(WMO)共同制定的《水资源评价活动——国家评价手册》中,水资源则更详细地被定义为“可以利用或有可能被利用的资源,具有足够数量和可用的质量,并在某一地点为满足某种用途而可被利用”。当然,这也不是对水资源的最终定义,许多学者对水资源有其个人的见解,如《水资源学概论》中介绍的几个观点^[2]:

● 降水是大陆上一切水分的来源,但降水只是一种潜在的水资源,只有降水量中可被利用的那一部分才是真正的水资源(张家诚)。

● 从自然资源的观点出发,水资源可定义为与人类生产与生活(有关)的天然水源(刘昌明)。

● 一切具有利用价值,包括各种不同来源或不同形式的水,均属水资源范畴(陈梦熊)。

● 水资源主要指与人类社会用水密切相关而又能不断更新的淡水,包括地表水、地下水 and 土壤水,其补给来源为大气降水(贺伟程)。

● 作为维持人类社会存在并发展的重要自然资源之一的水资源应该具有下列特性:

①可以按照社会的需要提供或有可能提供的水量；②这个水量有可靠的来源，且这个来源可以通过自然界循环不断得到更新或补充；③这个水量可由人工加以控制；④这个水量及其水质能够适应人类用水的要求（陈家琦）。

综上所述，可以认为水资源的概念存在着广义和狭义之分。广义的水资源，是指人类能够直接或间接利用的地球上的各种水体，包括天上的降水、河湖中的地表水、浅层和深层的地下水（包括土壤水）、冰川、海水等^[3]。

狭义的水资源，是指与生态环境保护和人类生存与发展密切相关的、可以利用的、而又逐年能够得到恢复和更新的淡水，其补给来源为大气降水。该定义反映了水资源具有下列性质：①水资源是生态环境存在的基本要素，是人类生存与发展不可替代的自然资源；②水资源是在现有技术、经济条件下通过工程措施可以利用的水，且水质应符合人类利用的要求；③水资源是大气降水补给的地表、地下产水量；④水资源是可以通过水循环得到恢复和更新的资源^[4]。

对于某一流域或局部地区而言，水资源的含义则更为具体。广义的水资源就是大气降水，地表水资源、土壤水资源和地下水资源是其三大主要组成部分。对于一个特定范围，水资源主要有两种转化途径：一是降水形成地表径流、壤中流和地下径流并构成河川径流，通过水平方向排泄到区外；二是以蒸发和散发的形式通过垂直方向回归到大气中。因为河川径流与人类的关系最为密切，故将它作为狭义水资源。这里所说的河川径流包括地表径流、壤中径流和地下径流。水资源的一般组成如图 1-1 所示。

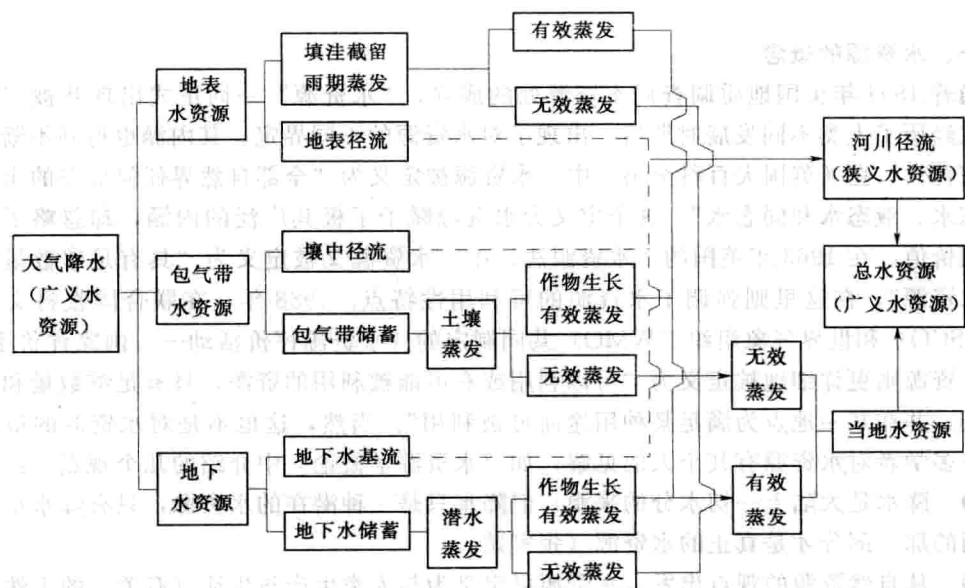


图 1-1 流域水资源组成示意图^[4]

从图 1-1 中可以看出，常说的“水资源”（或计算的水资源量）有两种不同的含义。一般在流域或区域水资源规划中，常常用到的是狭义水资源，即河川径流。另外，为了避免人类活动的影响，便于对比分析，人们又经常计算天然状态下的水资源量，并将其作为

一个流域或区域水资源规划或配置的基础流量。本书在没有特别说明的情况下均把天然状态下的河川径流作为水资源量来计算。

二、水资源的特性

水资源是人类和所有生物不可缺少的一种特殊的自然资源。它具有以下特性^[5]。

1. 流动性

自然界中所有的水都是流动的，地表水、地下水、土壤水、大气水之间可以互相转化，这种转化是永无止境的，没有开始也没有结束。这一特性是由水资源自身的物理性质决定的。也正是由于水资源这一固有特性，才使水资源可以恢复和再生，为水资源的可持续利用奠定了物质基础。

2. 可再生性

自然界中的水不仅是流动的，而且是可以补充更新的，处于永无止境的循环之中。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在水量上损失（如蒸发、流失、取用等）后和（或）水体被污染后，通过大气降水和水体自净（或其他途径）可以得到恢复和更新的一种自我调节能力。这是水资源可供永续开发利用的本质特性。

3. 多用途性

水是一切生物不可缺少的资源。不仅如此，人类还广泛地利用水，使水有多种用途，比如，工业生产、农业生产、水力发电、航运、水产养殖等用水。人们对水的多用途性的认识导致其对水资源依赖性日益加深，特别是在缺水地区，为争水而引发的矛盾或冲突时有发生。水的多用途性是人类开发利用水资源的动力，也是水被看作一种极其珍贵资源的缘由，同时也是水矛盾产生的外在因素。

4. 公共性

水是流动的，不能因为水流经本地区就认为水归本地区所有，要把水资源看成是一种公共资源，这是由水资源的自然属性所决定的。另外，许多部门、行业都使用水，也要求把水资源看成是一种公共资源，这是由水资源的社会属性决定的。自2002年10月1日起施行的《中华人民共和国水法》第三条明确规定，“水资源属于国家所有。水资源的所有权由国务院代表国家行使”；第二十八条规定，“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的合法权益”。

5. 利与害的两重性

水是极其珍贵的资源，给人类带来很多利益。但是，如果水的集中过快（如暴雨洪水）、过多（如洪涝）时，又会给人类带来灾害。人们常说，水是一把双刃剑，比金珍贵，又凶猛于虎。这就是水的利与害的两重性。人类在开发利用水资源的过程中，一定要“用其利、避其害”。

6. 有限性

虽然水资源具有流动性和可再生性，但它同时又具有有限性。这里所说的“有限性”是指，“在一定区域、一定时段内，水资源量是有限的，即不是无限可取的”。从全球情况来看，地球水圈内全部水体总储存量达到13.86亿 km^3 ，绝大多数储存在海洋、冰川、多年积雪、两极和多年冻土中，现有的技术条件很难利用。便于人类利用的水只有

0.1065 亿 km^3 ，仅占地球总储存水量的 0.77%。也就是说，地球上可被人类所利用的水量是有限的。从我国情况来看，中国国土面积 960 万 km^2 ，多年平均河川径流量为 27115 亿 m^3 。在河川径流总量上仅次于巴西、俄罗斯、加拿大、美国、印度尼西亚。再加上不重复计算的地下水资源量，我国水资源总量大约为 28124 亿 m^3 。总而言之，人类每年从自然界可获取的水资源量是有限的。这一特性对我们认识水资源极其重要。以前，人们认为“世界上的水是有限的”，从而导致人类无序开发利用水资源，并造成水资源短缺、水环境破坏。事实说明，人类必须保护有限的水资源。

第二节 水资源的形成与转化

一、水循环与水资源形成

水循环，是指地球上各种形态的水，在太阳辐射、地心引力等作用下，通过蒸发、水汽输送、凝结降水、下渗以及径流等环节，不断地发生相态转换和周而复始运动的过程。对水循环过程的描述如图 1-2 所示。水循环是联系大气圈、水圈、岩石圈和生物圈相互作用的纽带，形成自然界千差万别的水文现象，是水资源形成的基础。也正是由于水循环作用，水才处在永无止境的循环之中，使水成为一种可再生的资源。人类活动对自然界的改造（如城市化建设、土地开发利用），在一定程度上改变了水循环过程，进而影响到了水循环过程和水资源形成特征^[5]。

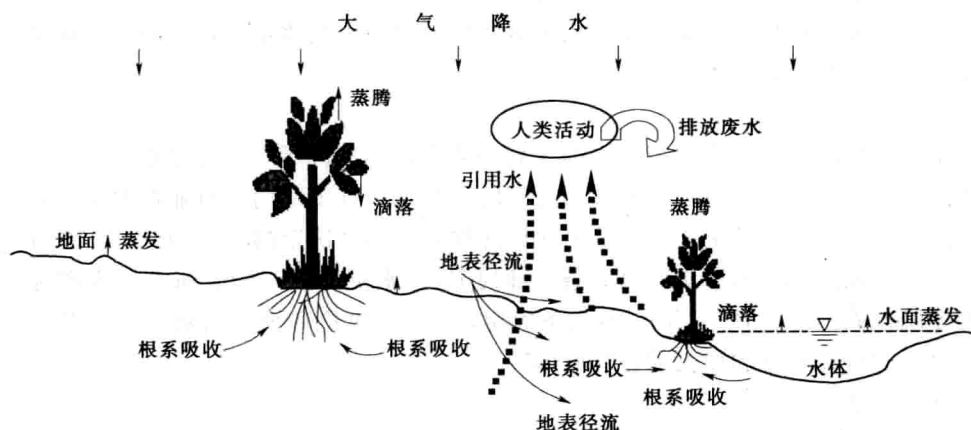


图 1-2 水循环示意图^[6]

自然界的水循环一般包含蒸发、水汽输送、凝结降水、下渗以及径流等环节。本书所指的蒸发包括水面蒸发、陆地蒸发、植物蒸腾。水循环各环节及水资源形成介绍如下^[5]。

1. 蒸发

蒸发是水分通过热能交换从固态或液态转换为气态的过程，是水分从地球地面和水体进入大气的过程^[7]。蒸发过程是水循环的重要环节，陆地上年降水量的 66% 是通过蒸发（包括蒸腾）返回大气的。

影响蒸发的因素很多。首先它取决于热能的供应（如太阳辐射），蒸发 1g 水约需