

中国水利教育协会

高等学校水利类专业教学指导委员会

共同组织



全国水利行业“十三五”规划教材（普通高等教育）

水资源规划及管理

主 编 梅亚东
参 编 高仕春 付 湘 艾学山
万 飏 董前进

非外借



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

中国水利教育协会
高等学校水利类专业教学指导委员会

共同组织



全国水利行业“十三五”规划教材（普通高等教育）

水资源规划及管理

主 编 梅亚东

参 编 高仕春 付 湘 艾学山

万 飏 董前进



水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

· 北京 ·

内 容 提 要

本书比较系统地阐述了水资源规划及管理的基本原理和方法。全书共分 11 章，第 1 章为绪论；第 2 章为水资源评价，包括水资源量评价、质量评价及综合评价；第 3~5 章为需水预测、供水预测及水资源配置；第 6~9 章为水资源工程规划，包括城镇给水规划、灌溉规划、河流水电规划及防洪与排水规划；第 10 章为水资源节约与保护；第 11 章为水资源管理。注意吸收水资源领域的新成果和与技术规范标准相衔接是本书的特点。

本书可作为水文与水资源工程、水利水电工程等专业的专业课教学用书，亦可供从事水资源评价、规划、设计及管理的技术管理人员参考。

图书在版编目（C I P）数据

水资源规划及管理 / 梅亚东主编. -- 北京：中国
水利水电出版社，2017. 8
全国水利行业“十三五”规划教材. 普通高等教育
ISBN 978-7-5170-5639-3

I. ①水… II. ①梅… 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(2017)第208922号

书 名	全国水利行业“十三五”规划教材（普通高等教育） 水资源规划及管理 SHUIZIYUAN GUIHUA JI GUANLI
作 者	主 编 梅亚东 参 编 高仕春 付 湘 艾学山 万 颢 董前进
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 (营销中心)
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	北京瑞斯通印务发展有限公司
规 格	184mm×260mm 16 开本 16.75 印张 397 千字
版 次	2017 年 8 月第 1 版 2017 年 8 月第 1 次印刷
印 数	0001—4000 册
定 价	42.00 元

凡购买我社图书，如有缺页、倒页、脱页的，本社营销中心负责调换

版权所有·侵权必究

前 言

水资源对于人类社会发展的支撑作用不言而喻。随着人口的不断增加和经济规模的快速扩张,在中国和世界许多国家水问题越来越突出,水资源开发、利用与保护面临着越来越复杂的局面。例如,在水资源开发中如何平衡河道内用水与河道外用水关系?如何更有效地配置水资源,以实现经济、社会、环境多重目标?如何按照人们对水的需求,恰当地选择水工程规模?如何利用水价、水权及信息技术提高水资源管理效率等。在研究和解决面临的水资源问题过程中,促进了水资源规划及管理的理论与方法的发展。

本书作为本科教材,旨在较系统地介绍水资源规划及管理的基本原理、基本方法和基本内容、工作步骤,同时吸纳水资源领域的不断涌现的新成果,增加教学内容的时效性、先进性,并注意与现行规范标准保持一致,以提高教学内容的实用性。

本书共分 11 章。第 1 章为绪论,论述了水资源功能、特性,扼要介绍了水资源规划及管理概念、基本内容;第 2 章为水资源评价,主要介绍区域水资源量评价,水资源量可利用量概念,水资源质量评价及水资源综合评价;第 3 章为需水预测,介绍经济社会需水和生态环境需水预测的内容及方法,为水资源配置提供基本依据;第 4 章为供水预测,介绍蓄水工程、引水工程及提水工程的可供水量计算原理和区域供水量计算方法;第 5 章为水资源配置,着重介绍水资源配置的基本概念和基于系统模拟、系统优化和博弈论的三种配置方法;第 6~8 章分别介绍城镇给水规划、灌溉规划及河流水电规划的原理与方法;第 9 章介绍防洪规划、城市雨水排水规划和农田排水规划的原理与方法。第 6~9 章主要是进一步阐释水需求与水资源工程规模之间的关系;第 10 章介绍水资源节约与保护内容,重点是介绍用水评价指标和用水定额的编制;第 11 章介绍水资源管理的基本制度、水价管理、水权管理及水资源管理信息系统等内容。不同学校的专业可根据课程教学要求和课时数,选用相应的教学内容。为便于掌握学习,各章附有思考题。

武汉大学自 2002 年起即在水文与水资源工程专业开设“水资源规划及管

理”课程，并编写了相应的讲义。10多年来，根据教学实践，并结合水资源领域的新发展，不断补充完善教学内容，最终形成了本书。全书主要编写人员如下：艾学山参与编写第2章、第10章；董前进参与编写第8章；万飏参与编写第7章、第11章；付湘参与编写第5章；高仕春参与编写第3章、第4章，并协助统稿工作；梅亚东编写绪论、第6章、第9章，并负责全书修改定稿。

在本书编写过程中，参考了有关教材、著作和论文，其中部分主要的参考文献已列于书后。在此编者谨向所有原作者表示衷心感谢。由于水资源领域的研究仍处于迅速发展，加上编者学识有限，书中错误之处在所难免，欢迎读者指正。

编者

2017年3月28日

目 录

前言

第 1 章 绪论	1
1.1 水资源及其特性	1
1.2 水资源开发利用与保护	5
1.3 水资源规划	7
1.4 水资源管理	12
1.5 本课程任务及教材主要内容	12
思考题	13
第 2 章 水资源评价	14
2.1 水资源量的概念	14
2.2 地表水资源量评价	16
2.3 地下水资源量评价	19
2.4 水资源量评价	25
2.5 水资源可利用量	28
2.6 水资源质量评价	33
2.7 水资源综合评价	38
思考题	44
第 3 章 需水预测	45
3.1 概述	45
3.2 生活需水预测	46
3.3 生产需水预测	48
3.4 生态环境需水预测	64
3.5 总需水量预测	72
思考题	74
第 4 章 供水预测	76
4.1 概述	76
4.2 蓄水工程可供水量	77
4.3 引水工程可供水量	83
4.4 提水工程可供水量	86

4.5 其他水源可供水量	88
4.6 区域可供水量	93
思考题	98
第5章 水资源配置	100
5.1 水资源系统概化	100
5.2 水资源系统数学描述	102
5.3 基于系统模拟的水资源配置	104
5.4 基于系统优化的水资源配置	111
5.5 水资源配置的博弈分析	114
思考题	119
第6章 城镇给水规划	121
6.1 城镇用水量预测	121
6.2 给水水源选择	126
6.3 给水工程规划	128
6.4 给水管网规划	139
思考题	150
第7章 灌溉规划	151
7.1 灌溉系统组成	151
7.2 灌溉设计标准与设计用水量	154
7.3 渠系规划	157
7.4 取水工程水利计算	167
思考题	170
第8章 河流水电规划	171
8.1 河流梯级开发方案	171
8.2 水库群径流调节和水能计算	173
8.3 水库水电站群参数选择	178
8.4 水电站水库群蓄放水次序	179
思考题	183
第9章 防洪与排水规划	184
9.1 防洪规划	184
9.2 城市雨水排水规划	196
9.3 农田排水规划	205
思考题	214
第10章 水资源节约与保护	215
10.1 节约用水	215
10.2 用水水平评价	216

10.3 用水定额编制	227
10.4 水资源保护	229
思考题	237
第 11 章 水资源管理	239
11.1 水资源管理的基本原则	239
11.2 水资源管理制度	241
11.3 水价管理	246
11.4 水权管理	250
11.5 水资源管理信息系统	253
思考题	258
主要参考文献	259

第 1 章 绪 论

1.1 水资源及其特性

1.1.1 水资源的涵义

水是地球上分布最广泛的物质之一。地球表面积约 $5.1 \times 10^8 \text{ km}^2$ ，其中 70.8% 被海洋覆盖。海洋是地球上最大的储水处，地球总储水量约 $13.86 \times 10^8 \text{ km}^3$ ，海洋储水量占全球总储水量的 96.54%，为 $13.38 \times 10^8 \text{ km}^3$ ，而作为人类主要活动地的陆地，其储水量约 $0.48 \times 10^8 \text{ km}^3$ ，仅占全球总储水量的 3.46%。地球上第二大的储水处是以固体形式储存水的冰川及永久冰盖，总储水量约 $0.24 \times 10^8 \text{ km}^3$ ，地下水（重力水）总储水量约 $0.23 \times 10^8 \text{ km}^3$ ，是第三大贮水处。其他储水处还包括湖泊、河流、沼泽和土壤水、大气水、生物水等，总储水量占全球总储水量的 0.015%。

地球上的水以气态、液态和固态三种形式存在于空中、地表和地下。在太阳辐射和地球引力的推动下，地球表层的水在一个既没有起点亦没有终点的循环中不断运动或改变存在的模式。例如，通过降水、蒸发、渗透、表面的流动和地下流动等，水可由一个地方移动到另一个地方。而水由一个地方移动至另一个地方所需的时间可以秒作单位，也可以是以数千年计。地球上各类储水处由于其储存条件的差异，水的平均停留时间有很大的不同。例如，水在蒸发或蒸腾后及凝结或降水前，会存于大气层中大约 10 日。又如水会通过蒸发、蒸腾、河水的流动和地下水的补充离开土壤，土壤水平均停留时间为 1~2 个月。河水平均停留时间为 2~6 个月，湖泊水为 50~100 年，浅层地下水为 100~200 年，深层地下水在离开前可于地底停留超过 1 万年。总的来说，在各类储水处中，以大气水、土壤水和河川水最为活跃。

从广义上说，地球表层的全部水对人类都有着直接或间接的利用价值，都可以称为水资源。《大不列颠百科全书》（网络版，2015 年）将水资源解释为：地球上任何天然水体，无论其是气态、液态还是固态，都对人类具有潜在的用途，都是水资源。这一解释为“水资源”赋予十分广泛的涵义。实际上，资源的本质体现在其“可利用性”。不能为人类所利用的不能称为资源。就目前的技术、经济条件而言，对含盐量高的海水，除极少量作为冷却水外，很难直接作为居民饮用水和工农业生产用水。而分布在极地和高山、高原的冰川和冰帽，以及埋藏在地下较大深度的地下水，目前也无法进行大规模的开发和利用。

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》（1977 年）中，将水资源定义为：“水资源是指可资利用或有可能被利用的水源，这一水源具有足够的数量和可用的质量，并能在某一地点为满足某种用

途而可被利用”。这个定义在突出水资源的可利用性同时，强调应有足够的数量和质量合格。

在《中国大百科全书》（水利卷）（1992 年）中，水资源被定义为：自然界各种形态（气态、液态和固态）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。我国 1980 年进行的水资源评价和 2002 年进行水资源综合规划时，均定义为：水资源是指与人类生存与发展密切相关的、当前技术经济条件下可供人类直接利用的，能不断更新的天然淡水，其补给来源为大气降水。主要指地表水和浅层地下水。通常以淡水体的年补给量作为水资源的定量指标，如用河川径流量表示地表水资源，用含水层补给量表示地下水资源量。这一定义突出了水资源量的动态补给和更新，强调的是水资源利用的持续性，反映了可持续发展对水资源持久利用的要求。

以地表水和浅层地下水来定义水资源，实际上是比较狭义的，因为它并未包括蒸散发这部分水量。从水循环角度分析，全球陆地年平均降水量约为 119000km^3 ，陆地蒸发量约为 76350km^3 ，径流量约为 42650km^3 ，通过森林、草地、湿地和雨养农田的蒸散发返回大气的水量约占降水量的 64%。对植物（或农作物）生长而言，蒸散发是必要的和有价值的。为此，20 世纪 90 年代瑞典水文学家 Falkenmark 提出了“绿水”与“蓝水”概念。绿水（green water）是源于降水、存储于土壤并通过蒸发、蒸腾消耗掉的水资源，是看不见的地表蒸发和植物蒸腾的气态水，其中植物生长蒸腾的绿水是生产性绿水；蓝水（blue water）是看得见的地表径流和地下径流的液态水，就是通常所称的水资源。绿水具有极为重要的生态功能，它不仅为所有陆地植物提供生长的必备条件，而且调节着全球的气温和陆地的降水模式。显然，传统上对水资源的评价和开发利用多集中于可见的、能被人类直接利用的蓝水资源，而忽视绿水资源的评价、利用和管理，是不够全面的。

随着对水资源需求的增加和由于技术、经济条件变化，可被利用的水源类型也在不断扩大，特别在缺水地区，雨水、海水、微咸水及中水（再生水）正成为重要的补充水源。通常，雨水、中水（再生水）、微咸水、矿井水、海水等又称为非常规水资源（或非传统水资源），以区别于河川径流和地下水。在当代水资源日益短缺情势下，非常规水资源的利用与管理也越来越受到重视。

1.1.2 水资源的作用

水（化学式： H_2O ）是由氢、氧两种元素组成的无机物，在常温常压下为无色无味的透明液体。在自然界，纯水是罕见的，水通常是含有酸、碱、盐等物质的溶液，习惯上仍然把这种水溶液称为水。水是地球上最常见的物质之一，是包括人类在内所有生命生存的重要资源，也是生物体最重要的组成部分。通常讲水是生命之源、生产之要和生态之基，或者水具有生态功能、环境功能和资源功能，都是对其重要作用的概括。除此之外，水还具有文化功能。

（1）生态功能。水对于生物极为重要，是所有生物体的重要组成部分，是不可替代的。正常生理条件下，体液在机体内流动、循环，把养料和废物分别运送到一定的部位。水又是一种优良的溶剂，它为生命提供了一个合适的介质环境，其中的 pH 值、离子种类和离子浓度决定着各种物理化学及生物化学过程和反应速度。水还是光合作用、葡萄糖酵解等多种重要反应的直接参加者。由于水可以通过蒸发而降低温度，因此水

对于维持生物体温度的稳定起很大作用，如动物的汗液及植物的蒸腾作用。同样，生活在水中的有机体能得到水的保护，而不会因空气中温度的急速变化而有致命的危险。在一个区域范围内，水是决定植被群落和生产力的关键因素之一，还可以决定动物群落的类型、动物行为等。

(2) 环境功能。水具有调节气候作用。虽然大气中仅含全球水量的百万分之一，然而，大气和水之间的循环相互作用，确定了地球水循环运动，形成支持生物的气候。大气中的水汽能阻挡地球辐射量的 60%，保护地球不致冷却。海洋和陆地水体在夏季能吸收和积累热量，使气温不致过高；在冬季则能缓慢地释放热量，使气温不致过低。雨雪等降水活动对气候形成有重要的影响。在温带季风性气候中，季风带来了丰富的水汽，形成明显的干湿两季。由于不同的气候条件，水还会以冰雹、雾、露水、霜等形态出现并影响气候和人类的活动。

水具有很好的溶解性和物质运输功能。水可以输送多种材料和营养物质。因此，水可以接纳、稀释和降解人类产生的废弃物，是环境净化器。但另一方面，水也可以把环境污染物输送、扩散到更远、更广泛的区域。此外，水是地表物质迁移的强大动力和主要载体，水侵蚀岩石土壤，挟带泥沙，冲淤河道，营造平原，改变地表形态。

(3) 资源功能。水是人类生活的重要资源，在饮用、烹调、清洁、洗涤等方面的作用不可或缺。水是人类赖以生存的最基本的物质基础。江河、湖泊及海洋中丰富的水产资源是人类食物重要来源；没有水的灌溉，粮食就不能增产，农业生产就不能提供人口增长所需要的食物；工业产品制造、加工、冷却、空调、净化、洗涤等方面也离不开水。此外，水能资源的开发利用提供了巨大的清洁的成本低廉的电力，水运是重要运输手段。

在 20 世纪由于人口增长、工业发展及农业灌溉面积的扩大，导致全球淡水提取量与水资源有关的基础设施急剧扩展。这期间，全球人口从 16 亿人增至 60 亿人；灌溉土地面积从约 $5 \times 10^7 \text{ hm}^2$ 增至超过 $2.5 \times 10^8 \text{ hm}^2$ 。同期全球淡水资源的提取量增加了近 7 倍。目前全球工业提取水量的比例约占 30%，农业提取水量的比例约占 60%，生活取水量约占 10%。而且用水量结构处在不断变化中。水电作为技术最成熟、供应最稳定的可再生清洁能源，在全球能源供应中占有重要地位。2007 年全球水电装机达到 848.4GW，发电量 3045TW·h/年，约占全球电力供应量的 20%。根据国际大坝委员会的统计资料，中国水电所占比重为 14%（2007 年，按发电量计）。

(4) 文化功能。水在神话、宗教、哲学、科学、文学、美术、体育等中都有所体现。在文明的早期，人们开始探讨世界各种事物的组成或者分类，水在其中扮演了重要角色。古代西方提出的四元素说中就有水；中国古代的五行学说中水代表了所有的液体，以及具有流动、润湿、阴柔性质的事物。《道德经》第八章以水比喻最高的道德标准：“上善若水。水善利万物而不争，处众人之所恶，故几于道。”

自然水体包括江河、湖泊、瀑布和泉溪等，形态万千，五光十色，能够引发人类的丰富想象，并激发人们的各种情致，启迪人们的道德价值认知。历代文人墨客，怡情山水，写出了许多经典诗篇，至今为人们所吟唱。水体还提供休闲娱乐功能，如划船、游泳、垂钓、漂流和沿岸露营、野餐等，这些活动既有强身健体的功用，又有休闲放松的作用，是人类娱乐生活的重要组成部分。

正是由于水资源的重要作用，我国将以水资源可持续利用支撑经济社会可持续发展作为我们国家水利发展战略目标。

1.1.3 水资源的特性

作为自然界的重要组成物质和最为活跃的环境控制因子，水资源具有不同于其他自然资源的性质。只有充分认识它的特性，才能合理、高效地利用。

(1) 可再生性和有限性。水资源与其他矿产资源的本质区别在于其所具有的可再生性(或可更新性)，水资源是在水循环中形成的一种动态资源。地表水和地下水在开发利用后，能够得到大气降水的补给，处在不断的开采、消耗与补给、恢复的循环之中，可以不断地供给人类利用和满足生态环境需要。因此，水循环的持久性赋予水资源可持续利用的特性。另一方面，由于不同水体的更新周期不一样，例如，平均而言河水更新一次需 2~6 个月，在一定时期内，不同水体的补给量是不同的和有限的。在估算水资源数量时，随统计时段长度的不同，水资源量也不同。为了防止因水资源过量利用而造成地表、地下水枯竭，给生态环境带来严重的不良后果，水资源的开发利用应以参与水循环的动态水量为上限。一定时期内补给量的有限性决定了水资源可利用量是有限的。

(2) 时空分布不均匀性。全球水资源的分布极不均匀，如大洋洲的径流模数为 $51.0\text{L}/(\text{s} \cdot \text{km}^2)$ ，亚洲为 $10.5\text{L}/(\text{s} \cdot \text{km}^2)$ ，澳大利亚仅为 $1.3\text{L}/(\text{s} \cdot \text{km}^2)$ 。最高的和最低的相差数倍或数十倍。我国水资源在区域上也呈极不均匀分布，总体上表现为东南多，西北少；沿海多，内陆少；山区多，平原少。另外，由于降水的年际年内变化，地表水和地下水具有明显的时间变化不均匀性。对于局部区域而言，时空分布不均匀性可能更为突出。时空分布不均匀性给开发利用带来许多困难。为了满足各地区各部门的用水要求，必须修建蓄水、引水、提水和跨流域调水工程，在一定程度上对天然水资源进行时空再分配。即便如此，由于降水和径流的不确定性，水工程系统所提供的水量仍然是起伏变化的。特别是在极端情况下，提供的水量小于需要的水量(即缺水)仍然不可避免。

(3) 用途广泛性与竞争性。水具有生态功能、环境功能、资源功能和文化功能。水的多重功能决定了其用途广泛性。城乡居民生活需要水；农业灌溉、工业生产需要水；水力发电、河流航运、水产养殖也需要水；为了保持河流自净能力、河流湖泊一定水面面积和水深，同样需要水。这些用途往往具有较强的竞争性。有时，通过水库调节，可以兼顾多用途目的，如一个水库可以防洪、灌溉、发电、满足城市供水，以及供人们休闲娱乐。但大多情况下，不可能满足全部用途。随着经济社会发展，在一些地区出现了用水冲突，即某些用户需水要求不能够满足的情况。如何使水资源利用更为合理，是长期要解决的问题。

(4) 利、害两重性。人类既受益于水资源，亦受制于水资源，这是不争之事实。由于降水和径流时空分布不均匀，在干旱季节，常因为缺水而导致人畜饮水困难，农作物减产，经济受损。在一些地区或国家，由于人口激增和经济快速发展，水资源短缺更成为一种常态。2012 年世界水资源报告指出，日益增长的食品需求、快速城市化及气候变化给全球供水造成越来越大的压力。有报告称，到 2015 年，世界上 86% 的发展中地区居民都可饮用安全水，但仍有近 10 亿人口不能获得这样的机会。即使在城市，不能饮用安全水的人口比例还在增加。报告指出，到 21 世纪中叶，世界食品需求将增加 70%，这将导致

农业用水需求至少增加 19%。对于水资源稀少的地区来说,水已经超出生活资源的范围,而成为战略资源,由于水资源的稀有性,“水战争”爆发的可能性越来越高。另一方面,许多地区或国家在雨季常因降水过多和径流量过大,发生严重的洪涝灾害。这些都说明,水资源既可造福于人类,但也可因水量过多或过少,或利用不当,而危害人类。

除上述特性外,水资源还有一些其他特点。例如,单位重量水的价值往往较低,相对于现场利用的经济价值而言,运输与储存水的成本往往较高。因此,大规模的运输网络,适用于运送更有价值的液体(例如石油),而不太适合于运送水。又如水的流动性强,质量易变。水易于流动、蒸发、渗透和泄漏。一条特定的河流中的水,从上游到河口过程中,可能会为许多不同的用户所利用。完全被某个特定用户全部消耗的情况很少见的。上游用户的回归水可能不仅数量上减少,并且质量上变差,导致对下游用户利益的损害。因此,必须在整个流域范围统筹考虑水量水质问题。

1.2 水资源开发利用与保护

水资源开发一般指通过各种水工程和水管理措施对水资源进行调节控制和再分配,以满足人类生活、社会经济活动和环境对水资源竞争性需求的行为。水资源开发方式多种多样且不断发展,从早期用水车提水,开挖渠道输水,到近现代筑坝建库调蓄水量、利用水力发电及兴建跨流域长距离调水工程;从单一建筑物到建筑物群的开发,进而产生水工程系统的开发;从单独开发地表水、地下水到地表水和地下水联合开发。至 20 世纪中叶,水资源开发已趋向于多水源、多种工程技术措施进行全面综合开发。目前常见的水工程(或水资源工程)类型包括:为农作物灌溉而兴建的灌溉工程,为水力发电而建的水电工程,为防御地区洪水而建的防洪工程,为城镇供水而建的供水工程,为城市或农田排水而建的排水工程。此外还有为改善航运条件的通航(航道)工程,和近年来流行的为美化环境兴建的水景观工程等。

水资源利用通常指用水主体运用和使用已开发水资源的方式和方法的总和。人类社会和自然界用水主体繁多,用水方式多种多样。按取用水特点划分,水资源利用可分为河道内用水和河道外用水,河道内用水包括航运、水力发电、水产养殖、水上娱乐及河道内生态环境用水等。湖泊等水域利用也属于河道内用水。河道外用水,指从河道(或湖泊、水库等水体)取水在河道之外使用,包括城乡居民生活用水、工农业生产用水、生态环境用水等。根据用水过程水量消耗情况,又可分为消耗性用水和非消耗性用水两类,这里消耗性用水指水被使用后不能全部回流到天然水体这种情况,一般讲河道外用水几乎都是消耗性用水,典型的如农业灌溉,河道内用水则属于非消耗性用水。按照用水主体类型划分,传统上将用水分成生活用水、工业用水和农业用水三大类。进入 2000 年后,为突出生态环境用水,将用水分为生活、生产和生态环境用水三大类,其中各大类又进一步细分为若干小类。如生产用水分为第一产业(农业)、第二产业和第三产业用水。如果将人类生活、生产用水合称为社会经济用水的话,水资源利用可简单地分为两大类,即社会经济用水和生态环境(生态系统)用水。前者包括雨养农业、林业、牧场等利用的绿水和灌溉、工业、生活等利用的蓝水,人类通过用水活动,获取水量、水产品、农产品及能源等。后者

包括与“绿水”相关的陆生生态系统用水和与“蓝水”相关的水生生态系统用水。由于水资源有限性,在一些地区某个时期社会经济用水和生态系统用水竞争激烈,最佳的用水方式是在经济社会用水和生态系统用水之间实现某种均衡。

由于用水主体对水的需求通常与天然水资源的时空分布不匹配,人们不得不通过水工程对天然水资源进行调控和再分配。因此,水资源利用与水资源开发常常联系在一起。

水资源保护是指为保护地表和地下水资源,防止水体污染、水源枯竭和水生态破坏,而采取一系列法律、行政、技术和经济措施。水域形态、水量、水质、水生物构成了水资源保护四大要素。农业、工业和城市用水不断增加,导致了有限的淡水资源更为紧张,有些地区出现水源枯竭,有些地区出现严重的水质恶化,水生态系统功能退化;在城市化过程中,湖泊、湿地消失、河道被侵占;一些地区过度开采地下水,导致地下水位下降,引发地面的坍塌和沉陷,地裂缝和海水入侵等环境问题,并形成地下水位降落漏斗。所有这些说明,我国水资源保护既有必要且十分紧迫。水资源保护不是以恢复或保持地表水、地下水天然状态为目的的活动,而是一种积极的、促进水资源开发利用更合理、更科学的活动。

人类开发利用水资源的历史十分悠久。远在公元前4000年以前,非洲尼罗河和西亚的两河流域已经出现了灌溉。中国大约在公元前2000年前后已经有了农田沟洫、水井、城市排水和舟楫。不过,早期由于技术限制,人类对水更多的是被动适应,是趋利避害。随着经济社会的发展和科学技术进步,水资源开发的目的和范围日趋扩大,而且追求多目标开发利用。进入20世纪60年代,由于人口剧增和经济快速发展,水资源短缺和水资源质量退化的问题在世界范围内已十分突出。到20世纪末,水的重要性已提高到关系国家安全的高度。水资源开发利用保护也进入了一个新的阶段,即追求可持续利用,更强调人水和谐,更加注意经济效益、社会效益和生态环境效益的协调。在可持续发展思想指导下,当前水资源开发利用保护出现了如下战略性的转变。

(1) 更加重视生态环境。人类生存和发展离不开生态环境的支撑。如果人类过度掠夺水资源,使生态环境遭受到严重破坏,其后果最终还是由人类自身来承担。另一方面,人类的水资源开发利用活动如灌溉、建水库、调水等,和其他活动如农业、城市化等,也会带来复杂的环境效应,包括改变水循环路径、水文情势和水资源时空分布规律等。因此人们不得不从更广泛的范围考虑水资源问题,开发利用目标应由以往的强调经济发展逐步转移到水资源与经济、环境协调发展上。改变过去只强调最大限度获取天然水资源量,忽视水资源开发过程中可能引发的环境与生态灾害,更加重视水资源的合理分配与调度,均衡经济社会用水与生态系统用水。

(2) 更加强调需求管理。经济社会发展是水资源开发利用与保护的强劲驱动力。传统的解决水资源供需问题的思路,都是先根据经济社会发展对水的需求,规划建设水工程,以保障水的正常供应。水的供应促进了经济社会的发展,反过来又提出新的水需求,又规划建设新的水工程。这种模式称为“以需定供”模式,显然这是一个正反馈过程。由于水资源有限性,“以需定供”不是一种可持续的模式。

由于水资源有限性和各地水资源条件的不同,当一个地区水资源开发利用接近其资源量上限时,经济社会发展需要水怎么办?这就需要“节流”,也就是通过节约用水,抑制

需水过快增长；通过减少浪费，提高水的利用率；通过调整产业结构、转变经济发展方式，提高水的产出率。这种模式以区域水资源可利用量为限制，反推区域水资源需求量，所以称为“以供定需”模式。“以供定需”体现了适水发展的思路，能更好平衡生态环境用水与经济社会用水关系，达成人水和谐。

(3) 更加突出水资源可持续利用。我国人均水资源量不到世界平均水平的 $1/4$ ，而且从全国范围看，水资源与耕地、人口分布不匹配，可以说是先天的水资源条件不足。另一方面，目前水资源浪费严重、用水效率低下、水污染严重，又进一步加剧了我国水资源紧张的局面。应该从国家安全、生存危机这样的高度，充分认识水资源可持续利用的紧迫性，实施水资源可持续利用管理。

所谓“可持续利用管理”，是指水的利用应能维持从现在到未来经济、环境和社会福利而不破坏水资源可持续性赖以存在的水文循环和生态系统的完整性。它要求水资源利用应维护水循环的完整性和生态系统的完整性，这样才能保证淡水源源不断；应高效利用水资源，节约用水；应在不同地区、不同社会群体及代际之间公平分配水资源。最终实现经济、社会、环境的协调发展。

1.3 水资源规划

对于人类社会而言，水资源是如此重要，以至于人们不仅要关注水资源及其利用的现状，而且更要关注水资源未来状况，并试图通过统筹谋划，来保障未来的水资源足以满足人类社会的需要。

所谓的水资源规划是指对区域（或流域）水资源开发、利用、保护的总体部署和实施安排。美国的古德曼认为：水资源规划就是在开发利用水资源的活动过程中，对水资源的开发目标及其功能在相互协调的前提下作出的总体安排。我国陈家琦教授认为：水资源规划是指在统一的方针、任务和目标的约束下，对有关水资源的评价、分配和供需平衡分析及对策，以及方案实施后可能对经济、社会和环境的影响方面而制定的总体安排。显然，按照陈的定义，水资源规划主要是解决水资源供需不平衡问题。广义的水资源规划则不仅包括水的开发利用，而且包括水灾害治理及水资源保护等内容。

根据规划的目的与要求不同，水资源规划可分为宏观层次水资源规划和工程层次水资源规划。

1.3.1 宏观层次水资源规划

主要解决水资源与社会经济发展、生态环境保护相互协调问题。它以规划范围内经济、社会发展对水资源的需求为前提，以资源、环境的承载能力为限度，通过对社会经济发展方向、规模、产业结构和资源环境数量、质量、分配、使用的过程分析，识别制约社会经济发展的环境、资源要素和理清经济、社会与资源、环境协调发展的主要矛盾和解决途径，从而制定具有指导意义的水资源开发、利用和保护的目标、总体布局和实施方案。

例如，2002 年我国开展的水资源综合规划，其任务是要在进一步查清我国水资源及其开发利用现状、分析和评价水资源承载能力的基础上，根据经济社会可持续发展和生态环境保护对水资源的要求，提出水资源合理开发、优化配置、高效利用、有效保护和综合

治理的总体布局及实施方案,促进我国人口、资源、环境和经济的协调发展,以水资源的可持续利用支持经济社会的可持续发展。水资源综合规划包括以下主要内容。

(1) 水资源调查评价。搜集规划区域降水、蒸发、河流泥沙、河川径流、地下水、水质等多年实测资料,对资料进行可靠性、合理性及代表性审查,对区域地表和地下水资源数量、质量及其可利用量进行评价,并分析区域水资源年内、年际变化趋势和分区规律。

(2) 水资源开发利用调查评价。搜集区域社会经济、供水工程情况及供水量、用水量、废水排放量等资料,对区域供水、用水、耗水及排水进行分析,计算区域的综合用水指标、农业用水指标、工业用水指标和生活用水指标等,评价其用水水平、用水效率及其变化趋势,揭示水资源开发利用中存在的问题。

(3) 需水预测。根据区域社会经济和生态环境协调发展要求,在充分考虑当地水资源条件、供水可能、用水与节水水平、需水管理、水价及水市场因素对需求的调节作用基础上,分区分类对未来年份的需水进行预测。

(4) 节约用水。节水与供水、用水、耗水、排水等过程密切联系,是水资源配置过程中要考虑的重要环节。根据对当地水资源条件、经济社会发展状况、科学技术水平、水价等因素的综合分析,参考有关部门制定的相关节水标准与用水标准,确定各地区的分类用水定额、用水效率等指标及其适用范围。为需水预测和水资源配置提供不同节水力度的方案。

(5) 供水预测。以区域水资源开发利用现状为基础,以当地水资源开发利用潜力分析为控制条件,通过技术经济综合比较,制定不同的水资源开发利用模式(方案),并进行未来年份可供水量预测,为水资源供需分析与合理配置提供比选方案。

(6) 水资源保护。根据区域水资源保护总目标,以水功能区划为基础,根据不同类型水功能区的水质目标和纳污能力,确定相应的陆域及入河污染物排放总量控制目标。根据污染物排放控制量或削减量目标,拟定相应的防治对策措施。

(7) 水资源配置。以统筹考虑区域水量和水质的供需分析为基础,将流域水循环和水资源利用的供、用、调、耗、排水过程紧密联系,按照公平、高效和可持续利用的原则,合理确定不同水源在不同分区不同用水主体之间的分配方案,分析各分区不同类型用水主

体需水得到满足的程度。

(8) 总体布局与实施方案。根据水资源条件和合理配置结果,提出调整经济布局 and 产业结构的建议,提出水资源调配体系的总体格局,制定合理抑制需求、有效增加供水、积极保护生态环境的综合措施及其实施方案,并对实施效果进行预估、评价。

图 1.1 所示为水资源综合规划主要内容及其之间的关系。

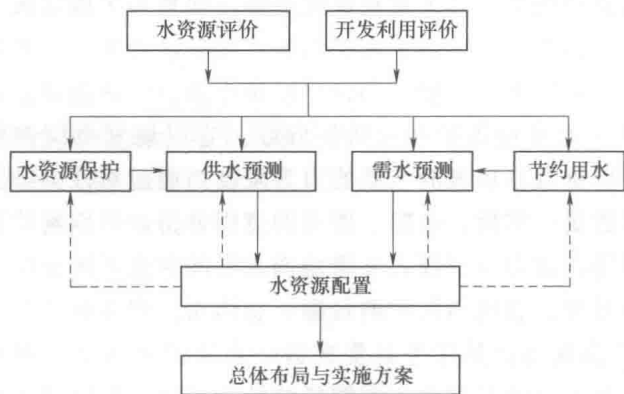


图 1.1 水资源综合规划主要内容及相互联系

1.3.2 工程层次水资源规划

工程层次水资源规划以水资源工程为重点,也称为水资源工程规划。这里,水资源工程是指在江河、湖泊和地下水源上开发、利用、控制、调配和保护水资源的各类工程,包括通常所说的灌溉工程、供水工程、防洪工程、发电工程、排水(涝)工程、水景观工程等。对于专业性水资源规划,例如防洪除涝规划、农业灌溉规划、水能规划、城市供水规划等,一般也是以工程为主线,亦可归于工程层次水资源规划。工程层次的水资源规划一般是在宏观层次规划指导下进行,并构成宏观层次规划的组成部分。

在水资源调查评价的基础上,水资源工程规划主要研究解决以下4个方面问题。

(1) 需求问题。在区域范围内,经济社会发展对水的需求应该是综合性的全方位的,包括水资源的开发利用(如城镇供水、农业灌溉、水力发电、航运等)、水灾害治理(如防洪、排涝等)及水资源保护。通过工程来满足上述需求是目前常见的选择。具体到某一个水资源工程,可能仅面对一项需求,例如提水泵站仅承担供水任务,也可能面对多项需求,例如水库通常具有多重用途,既有防洪作用,又有供水或发电任务。如果一个水资源工程承担多项任务,该工程就称为综合利用工程。因此,明确工程要承担的任务是规划或设计首先要考虑的。

其次,应明确需求量及需求应满足的程度。例如城镇供水规划,规划水平年需水量和最高日最高时流量就是重要的与需求有关的参数。因为前者与水源的水量分配有关,后者与供水管网规模有关。

众所周知,降水和径流具有随机性,所以水资源工程未来的来水量具有随机性。受其影响,在工程规模一定的情况下,工程供水量也有大有小,具有某种不确定性。如果要求需求量100%保证得到满足,则必然导致工程规模过大,从投入成本和收益比较角度,可能并不经济。这就涉及需求满足程度问题。

所谓保证率是指水资源工程在多年期间能使规定的任务要求得到满足的程度,以百分数计。例如某工程供水保证率为75%,即表示该工程就长期平均而言,100年中有75年可保证正常供水,而不是每100年中一定能(或只能)有75年保证正常供水。水资源规划中对各项任务要求一般都要选定一个设计保证率作为规划标准,并据以决定工程的规模。灌溉、供水、发电、航运等均属对水资源的利用,其保证率是以通过工程措施能满足有关用水要求不受破坏的概率表示。防洪、排水等属于对水灾害的控制,其保证率多以通过工程措施可使防护对象不受洪、涝危害的某一重现期的洪水或暴雨表示。

设计保证率的选定是国家在一定时期中技术政策和经济政策的具体体现。从理论上讲,各项任务的设计保证率都要在规划中根据其重要性、特点,结合国家或地区的经济状况和有关工程的自然条件,通过技术经济论证最终选定。但由于涉及的因素太多太复杂,一般情况下,当规划水平年距基准年不远时,可依据有关规程规范确定。如果规划水平年较远(20~30年),则要预计到经济社会发展和技术进步,对设计保证率或设计标准进行专门论证。

(2) 工程布局与规模。满足需求的措施通常分为两类:①工程措施;②非工程措施。工程措施就是通过新建(或扩建、改建)工程,扩大供给能力,满足需求。这就涉及工程的布局、规模等问题。例如,为解决某个灌区的灌溉用水,确定从灌区邻近河流取水灌