

沈振荣等 编著



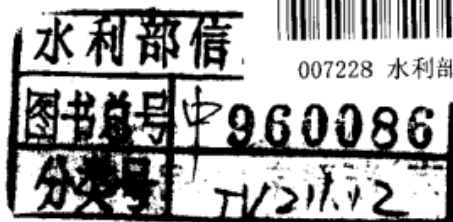
# 水资源科学实验与研究

—— 大气水、地表水、土壤水、地下水相互转化关系

Water Resources  
Scientific Experiment  
and Research

—— Atmospheric, Surface,  
Soil and Ground  
Water Interactions

中国科学技术出版社



007228 水利部信息所

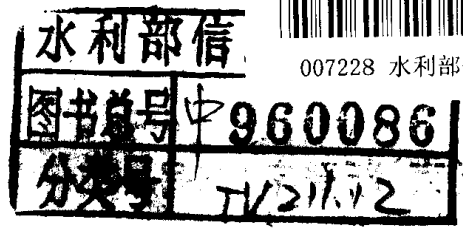
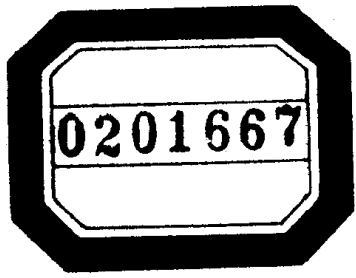
TV213

# 水资源科学实验与研究

——大气水、地表水、土壤水、地下水相互转化关系

沈振荣 (主编) 张瑜芳 杨诗秀  
荆恩春 汪林 于福亮 卢琼  
何应平 李原园 李令耀 等

中国科学技术出版社



007228 水利部信息所

TV213

# 水资源科学实验与研究

——大气水、地表水、土壤水、地下水相互转化关系

沈振荣 (主编) 张瑜芳 杨诗秀  
荆恩春 汪林 于福亮 卢琼  
何应平 李原园 李令耀 等

中国科学技术出版社

(京)新登字175号

### 内 容 提 要

本书以华北地区多年实验研究成果为基础,结合国内外最新研究资料写成。全书共十一章,深入系统地研究了有关水资源开发、利用、管理及其计算中的若干关键技术问题,包括降雨(灌溉)入渗补给、农田蒸散发、潜水蒸发、土壤水资源评价、给水度、平原河(渠)水与地下水的转化关系、岩溶地区四水转化关系、人类经济活动对水资源系统的影响、四水转化系统及数学模型等。在概念、机理、规律、计算方法和参数分析等方面均取得新的进展。书中附有大量实验研究实例及图表数据。

本书可供从事水资源、水文、水利、环境、水文地质、农业气象、地理、农业等方面科技人员参考使用,也可供有关大专院校师生阅读参考。

ZWSZ/15

\* \* \*

### 水资源科学实验与研究 ——大气水、地表水、土壤水、 地下水相互转换关系

沈振荣 等编著

责任编辑:姜伟

封面设计:赵景伟

中国科学技术出版社

(北京海淀区白石桥路32号)

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售  
北京市京东印刷厂印刷

\*

开本: 787×1092毫米 1/32 印张: 36.25 插页: 字数: 825千字

1992年12月第一版 1992年12月第一次印刷

印数: 1-1500册 定价: 30.00元

ISBN 7-5046-0750-9/TV·B

## 前 言

《水资源科学实验与研究》一书是在“六五”国家科技攻关项目第38项(华北地区水资源评价和开发利用研究)第38-1-1专题《华北地区地表水与地下水相互转化关系研究》报告、“七五”国家科技攻关项目第57项(华北地区及山西能源基地水资源研究)第57-1-1专题《华北地区大气水、地表水、土壤水、地下水相互转化关系研究》报告以及国内外其它有关水资源科学实验、“四水”(大气水、地表水、土壤水、地下水)转化关系等研究成果的基础上,经过综合、修改及补充编写而成的。

全书共十一章。第一章着重论述了水资源科学及其实验研究的内容和系统。第二章主要论述大气水分循环与平衡,大气降水的物理机制、时空分布、降水量的分析与计算。第三章在简述地表水和地下水的内在联系概念的基础上,系统论述了河川径流量的形成、分析与计算,地下水资源量的分析与计算。第四章比较系统的介绍和研究了水面蒸发量、农田蒸散量的测定与计算,潜水蒸发的机理、规律、分析计算方法,作物根系吸水规律和有作物生长条件下的潜水蒸发的数值模拟以及流域蒸散量的分析与计算等,第五章在概述土壤水定义、类型、能态及其观测实验的基础上,着重研讨了土壤水、土壤水资源的分析计算和土壤水通量方法在水资源研究中的应用。第六章详细讨论了降雨(灌溉)入渗补给机理、 $PR \sim \Delta \sim P$ 关系曲线、降雨入渗补给量的数值模拟与计算及其预测。第七章在论述给水度概念、影响因素及测定方法的基础上,着重阐述了在地下水大埋深条件下的开采疏干给水度和降雨入渗充水给水度。第八章介绍了河水与地下水相互转化的常用分析方法,并给出河北平原、黄河侧渗等实验研究实例。第九章在分析岩溶区的水动力特征及其“四水”转化特点的基础上,给出了北方岩溶大泉补排关系、岩溶河段地表水与地下水转化关系分析实例。第十章分析了不同灌溉制度、作物产量对农田“四水”转化关系的影响;煤矿开采对矿区“四水”转化关系的影响;下垫面条件的改变如水利工程、城镇化、植树造林等对降雨径流关系的影响。第十一章简要介绍几处山丘区和平原区的“四水”转化系统的数学模拟方法的研究应用实例。并初步将降水、蒸发、地表水、土壤水、地下水、灌溉以及农业生态系统等连成一体,进行“四水”转化过程和规律以及有关水文水资源计算方法的研究和探讨。

本书各章的编著者:第一章沈振荣(水利水电科学研究院水资源研究所);第二章沈振荣、李令耀(水利水电科学研究院水资源研究所)(2.4.3);第三章沈振荣、汪林(水利水电科学研究院水资源研究所);第四章沈振荣、张瑜芳(武汉水利电力学院)(4.4)、于福亮(水利水电科学研究院水资源研究所);第五章沈振荣、荆恩春(地矿部水文地质工程地质研究所);第六章沈振荣、张瑜芳(6.4)、卢琼(水利水电科学研究院水资源研究所)、李原园(水利水电科学研究院水资源研究所);第七章杨诗秀(清华大学水利工程系)、沈振荣;第八章沈振荣、刘克岩(河北省水文总站)(8.3)、郑辉等;第九章汪林、陈阅笙(山西省水文总站)等;第十章沈振荣、杨诗秀(10.22)、张瑜芳(10.

2.3)、陈闾笙(10.5);第十一章沈振荣、何应平(水利水电科学研究院水资源研究所)、李原园、卢琼、汪林、于福亮。

在本书编写和出版过程中,水利水电科学研究院张启舜副院长、科研计划处郭志杰处长、水资源研究所、中国科学技术出版社、武汉水利电力学院张蔚榛教授以及水电出版社张丙申、王今等给予了大力支持和帮助。徐州汉王水资源实验站、保定冉庄水资源实验站、河南省环境水文地质总站商丘试验站、中科院禹城试验站等为本书提供了大量的科学实验资料和基本素材,在此一并表示感谢。

本文的内容涉及问题比较广泛,因受篇幅限制,有的章节可能论述不够充分。同时,为了比较全面、系统地阐明“四水”转化关系研究内容,亦使得其它某些部分的内容未能作更深入的探讨。总之,限于编著者水平,难免挂一漏万,如有不当乃至错误之处,敬请读者给予指正。

编者

1992年3月

# 目 录

<b>第一章 总论</b> .....	1~22
1.1 水资源的涵义.....	1~3
1.2 水资源科学.....	3~9
1.2.1 研究对象.....	1~5
1.2.2 研究特点.....	5~6
1.2.3 学科体系.....	6~8
1.2.4 水资源科学的发展.....	8~8
1.3 水资源科学实验.....	9~22
1.3.1 水资源科学实验的概念和意义.....	9~9
1.3.2 水资源科学实验的一般方法.....	9~11
1.3.3 水资源科学实验研究的内容.....	11~19
1.3.4 “四水”转化关系.....	19~22
<b>第二章 大气水及大气降水量的分析与计算</b> .....	23~76
2.1 大气水分的循环与平衡.....	23~27
2.1.1 大气水的概述.....	23~23
2.1.2 大气水分输送量的计算.....	23~25
2.1.3 区域上空大气水分循环和平衡.....	26~27
2.2 大气降水的物理机制.....	27~36
2.2.1 水汽输送条件.....	28~28
2.2.2 垂直运动条件.....	29~30
2.2.3 各种尺度天气系统对降水的作用.....	30~33
2.2.4 影响我国降水的主要大尺度环流背景.....	33~33
2.2.5 地形对降水的作用.....	34~36
2.3 降水的时空分布.....	36~41
2.3.1 降水季节的时空分布及其环流背景.....	36~37
2.3.2 降水量的地区分布.....	38~38
2.3.3 降水系统的配置与组合的随机性.....	38~41
2.4 降水量的分析与计算.....	31~59
2.4.1 实测降水量的订正.....	41~45
2.4.2 降水量特征值的分析与计算.....	45~48
2.4.3 降水量系列的随机生成.....	49~59
2.5 降水量多年变化分析.....	60~76
2.5.1 降水量多年变化的气候背景.....	60~63
2.5.2 降水量多年变化幅度的分析.....	63~64

2.5.3	降水量多年变化的丰、枯阶段分析	64~70
2.5.4	降水量多年变化的周期分析	70~76
<b>第三章</b>	<b>地表水和地下水的分析与计算</b>	<b>77~135</b>
3.1	地表水和地下水的一般概念	77~92
3.1.1	地表水的一般概念	77~79
3.1.2	地下水的一般概念	79~83
3.1.3	地表水与地下水内在联系及其相互转化的一般概念	83~92
3.2	河川径流量的分析与计算	92~124
3.2.1	河川径流的形成	92~114
3.2.2	河川年径流量的分析与计算	115~124
3.3	地下水资源量的分析计算	124~135
3.3.1	地下水资源量的分析计算方法	124~132
3.3.2	我国华北地区地下水天然资源量的计算	132~135
<b>第四章</b>	<b>蒸发量的观测实验与研究</b>	<b>136~239</b>
4.1	概述	136~137
4.2	水面蒸发量的测定与计算	137~156
4.2.1	水面蒸发器及其国际比较	137~142
4.2.2	蒸发器的折减系数	142~144
4.2.3	水面蒸发量的计算方法	144~156
4.3	农田蒸腾蒸发量的测试与计算	156~198
4.3.1	农田蒸腾蒸发的物理机制	156~162
4.3.2	农田蒸腾蒸发的田间测试	162~181
4.3.3	农田蒸腾蒸发量的计算	181~198
4.4	作物根系吸水规律和有作物生长条件下潜水蒸发的数值模拟	198~201
4.4.1	根系吸水模型研究现状	198~201
4.4.2	利用野外实测资料确定根系吸水率在剖面上的分布	201~204
4.4.3	主要根系吸水层深度及其在生长季节内变化过程	204~205
4.4.4	根系吸水率分布函数的建立	205~211
4.4.5	作物生长条件下, 土壤水分运动和潜水蒸发的数值模拟	211~213
4.5	潜水蒸发机理、规律及计算方法研究	213~231
4.5.1	潜水蒸发的物理机制	213~219
4.5.2	潜水蒸发系数的分析研究	219~221
4.5.3	潜水蒸发强度计算方法及参数讨论	221~229
4.5.4	潜水蒸发的有效利用率的研究	229~231
4.6	流域蒸散量的分析与计算	231~239
4.6.1	流域蒸散量的概念	231~232
4.6.2	流域蒸散量分析计算方法概述	232~237
4.6.3	应用水文模拟系统确定流域逐日或逐月蒸散量	237~237



4.6.4 平原区蒸散量的计算与平衡 .....	237~239
<b>第五章 土壤水和土壤水资源</b> .....	240~305
5.1 概述 .....	240~250
5.1.1 土壤水定义 .....	240~240
5.1.2 土壤水分的类型和性质 .....	240~241
5.1.3 土壤含水量、土壤水分常数和土壤水分的有效性 .....	242~244
5.1.4 土壤水分的能态和土水势 .....	244~249
5.1.5 土壤水吸力与土壤水分特征曲线 .....	249~250
5.2 土壤水的观测实验 .....	250~261
5.2.1 土壤含水量的观测 .....	250~256
5.2.2 土水势观测 .....	256~261
5.3 土壤含水量的时空分布及取样数目的确定 .....	261~267
5.3.1 土壤含水量的时空变化特征 .....	261~265
5.3.2 土壤含水量空间分布的随机性及取样数目的分析 .....	265~267
5.4 土壤水资源的计算与研究 .....	267~288
5.4.1 土壤水量平衡基本方程 .....	269~270
5.4.2 土壤水补给量的概念及计算 .....	270~274
5.4.3 田间土壤水补给量的观测实验 .....	274~279
5.4.4 土壤水在作物供水中的调节作用 .....	280~284
5.4.5 土壤水利用对地表水、地下水的影响 .....	284~288
5.5 土壤水通量方法的研究与应用 .....	288~305
5.5.1 基本原理及已知边界的确定方法 .....	288~291
5.5.2 瞬时剖面法计算效果检验 .....	261~300
5.5.3 瞬时剖面法计算误差分析 .....	300~305
5.5.4 瞬时剖面法的适用性 .....	305~305
<b>第六章 降水(灌溉)对浅层地下水的补给研究</b> .....	306~330
6.1 概述 .....	306~311
6.2 降雨(灌溉)入渗补给机理 .....	311~330
6.2.1 降雨(灌溉)入渗补给过程的一般分析与实验 .....	311~319
6.2.2 土壤空气与土壤水相互作用分析 .....	319~325
6.2.3 非饱和土壤水分运动方程 .....	325~330
6.3 关于 $PR \sim \Delta \sim P$ 关系曲线的分析和实验 .....	330~340
6.3.1 应用水量平衡原理对 $PR \sim \Delta \sim P$ 关系进行分析研究 .....	331~334
6.3.2 野外实验条件下的 $PR(\alpha) \sim \Delta \sim P$ 关系曲线 .....	334~340
6.4 降雨入渗补给量的数值模拟与计算 .....	340~362
6.4.1 降雨入渗补给的室内及野外试验研究 .....	340~346
6.4.2 降雨入渗补给条件下土壤水分运动的数学模拟及实验验证 .....	346~357
6.4.3 降雨入渗补给过程模拟分析 .....	352~355
6.4.4 降雨与入渗补给量之间相关关系分析 .....	355~362

6.5	降雨(灌溉)入渗补给量预测方法的探讨	362~373
6.5.1	降雨(灌溉)入渗补给量模拟模型的研究	362~369
6.5.2	降雨(灌溉)入渗补给量的外推和预测	369~373
<b>第七章</b>	<b>给水度研究</b>	<b>374~397</b>
7.1	给水度的概念及其研究进展情况	374~378
7.1.1	给水度的概念	374~377
7.1.2	近十年,国内给水度研究进展情况	377~378
7.2	给水度影响因素分析	378~378
7.2.1	土质(或岩性)的影响	378~378
7.2.2	地下水埋深的影响	378~379
7.2.3	层状土的影响	379~380
7.2.4	蒸发与入渗对给水度试验取值的影响	380~381
7.2.5	其它	381~381
7.3	给水度的测定方法	382~391
7.3.1	室内试验	382~383
7.3.2	田间实测法	383~385
7.3.3	动态资料分析	385~389
7.3.4	数值模拟方法	389~391
7.4	大埋深开采疏干给水度和降雨入渗充水给水度的研究实例	391~397
7.4.1	野外大埋深开采疏干给水度——赵县试验深井分析实例	391~395
7.4.2	充水给水度的初探	395~397
<b>第八章</b>	<b>河水与地下水相互转化关系研究</b>	<b>398~422</b>
8.1	概述	398~399
8.2	主要研究方法	399~410
8.2.1	河川基流分割法	399~402
8.2.2	河段水量平衡法	402~403
8.2.3	环境同位素分析法	404~408
8.2.4	其它常用方法	408~410
8.3	河北平原河水与地下水相互转化关系研究实例	410~416
8.3.1	河道岩性调查与渗漏类型分区	411~411
8.3.2	资料分析及合理性检查	411~413
8.3.3	河道渗漏损失计算	413~415
8.3.4	河道渗漏补给量的计算	415~416
8.4	黄河侧渗对两侧地下水补给的研究实例	416~422
8.4.1	研究区域概况	416~417
8.4.2	黄河侧渗补给量的计算	417~422
<b>第九章</b>	<b>岩溶区“四水”转化关系研究</b>	<b>423~444</b>
9.1	岩溶区的水动力特征及“四水”转化特点	423~426
9.1.1	岩溶发育的基本条件和影响岩溶发育的因素	423~424

9.1.2	岩溶水的分布和运动特征 .....	424~425
9.1.3	岩溶区四水转化的特点 .....	425~426
9.2	(北方)岩溶大泉补排关系分析实例 .....	426~444
9.2.1	娘子关泉域岩溶水系统特征 .....	427~433
9.2.2	神头泉补排模型与地下汇流单位线 .....	433~440
9.3	岩溶河段河水与地下水相互转化关系实验研究实例 .....	440~444
9.3.1	岩溶河段地表水与地下水的转化类型 .....	440~441
9.3.2	汾河水库至兰村段汾河干流河道渗漏实验研究 .....	441~444
<b>第十章</b>	<b>人类经济活动对“四水”转化关系影响的实验研究</b> .....	<b>445~522</b>
10.1	概述 .....	445~446
10.2	不同灌溉制度对农田“四水”转化关系影响的实验 .....	446~468
10.2.1	商丘水均衡试验站的观测实例 .....	446~450
10.2.2	临西、临清试验站的观测实验实例 .....	450~459
10.2.3	用数值模拟方法分析不同灌溉制度对入渗补给和潜水蒸发的影响 .....	459~461
10.2.4	汉王、冉庄站的实验研究实例 .....	461~468
10.3	作物产量水平对“四水”转化关系影响的实验研究 .....	468~483
10.3.1	冬小麦田间净耗水量(蒸腾蒸发量)与产量关系的实验研究实例 .....	468~474
10.3.2	玉米田间净耗水量与产量关系的实验研究实例 .....	474~480
10.3.3	棉花田间净耗水量与产量关系的实验研究实例 .....	480~483
10.4	人类活动影响下的地下水动态及其对“四水”转化关系和生态环境的影响 .....	483~494
10.4.1	人类活动对地下水动态影响的实例 .....	484~498
10.4.2	地下水动态变化对“四水”转化关系影响 .....	489~494
10.5	煤炭开采对矿区“四水”转化关系的影响 .....	494~505
10.5.1	煤炭矿床的水文地质分类 .....	494~494
10.5.2	煤炭开采对地下水影响的实例分析 .....	494~496
10.5.3	煤炭开采区河川径流变化的实例分析 .....	496~498
10.5.4	煤炭开采对水循环系统影响的分析 .....	498~502
10.5.5	西山煤矿开采对水质污染影响的实例 .....	502~505
10.6	人类经济活动对降雨径流关系的影响 .....	505~520
10.6.1	人类经济活动对平原农业区降雨径流关系影响的实例 .....	505~511
10.6.2	人类经济活动对华北山丘区年降雨径流关系影响的实例 .....	511~513
10.6.3	城市(镇)化对降雨径流关系影响的实例 .....	513~516
10.6.4	人类营造、砍伐森林对河川径流的影响 .....	516~520
10.7	人类经济活动对水资源量影响的预测 .....	520~522
10.7.1	山丘区不同水平年天然水资源总量估算方法讨论 .....	520~521
10.7.2	平原区不同水平年天然水资源量的估算方法 .....	521~522
<b>第十一章</b>	<b>“四水”转化模型的研究与应用</b> .....	<b>523~553</b>
11.1	山丘区“四水”转化模型 .....	524~540
11.1.1	模型结构及资料处理 .....	524~526

11.1.2	计算结果及参数的地区综合 .....	526~530
11.1.3	地表水、地下水转化关系的分析 .....	530~534
11.1.4	河川径量流的还原和蒸散量分析 .....	534~540
11.2	平原区“四水”转化模型 .....	540~558
11.2.1	模型结构 .....	540~541
11.2.2	模型中各水文要素的计算 .....	540~558
11.2.3	模型参数及其率定 .....	546~548
11.2.4	在两个水均衡实验区的应用检 验 .....	548~548
11.2.5	在冉庄小流域的应用检 验 .....	548~548
11.2.6	在金堤河流域的应用检 验 .....	548~558

# 第一章 总 论

## 1.1 水资源的涵义

关于水资源的涵义，国内外文献中有多种提法，尚未形成公认的定义。

在《英国大百科全书》中，定义是“全部自然界任何形态的水，包括气态水、液态水和固态水的全部量”为水资源。而在1963年通过的英国水资源法中，则定义水资源为“具有足够数量的可用水源”。

联合国教科文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》中，则定义水资源为“可资利用或可能被利用的水源，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”。

苏联水文学家O.A.斯宾格列尔在《水与人类》一书中提出：“所谓水资源，通常理解为某一区域的地表水（河流、湖泊、沼泽、冰川）和地下淡水储量”。他还把水资源分为“更新非常缓慢的永久储量和年内可恢复的储量两类”。并指出“在利用永久储量时，水的消耗不应大于它的恢复能力”。

在《中国水资源初步评价》中，定义水资源为“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”。

在1988年通过的《中华人民共和国水法》中，“所称水资源，是指地表水和地下水”。

在日本国国土厅长官官房水资源部主编的《日本水资源手册》（1985年）中，所称水资源量系指多年平均有效降水量，即降水量扣除损失量（蒸发蒸腾量）后的数值。实际上也即指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。

在《中国大百科全书·气象海洋水文卷》中，定义水资源为“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”。而“地球表层中的水有大气中的水汽和水滴；海洋、湖泊、水库、河流、土壤含水层和生物体中的液态水；冰川、积雪和永久冻土中的固态水；岩石中的结晶水”。

由此可见，目前关于水资源定义的差别还很大，有的把自然界中各种形态的水都视为水资源；有的只把逐年可以更新的淡水作为水资源；有的把水资源与用水联系考虑；有的除了水量之外，还将水域和水能列入水资源范畴之内。对此，我国水资源专家贺伟程先生提出以下六点看法。

1.水作为自然环境的组成要素，既是一切生物赖以生存和发展的基本条件，又是人类生活、生产过程中不可缺少的重要资源，前者属于水的生态功能，后者则是水的资源功能。地球上存在的各种水体，有的可以直接取用，资源功能明显，如河流水、湖泊水和地

下水；有的不能直接取用，资源功能不明显，如土壤水、冰川和海洋水。一般只宜把资源功能明显的水体作为水资源。

2.人类社会各种活动的用水，都要求有足够的数量和一定的质量。随着文明社会的建设，工农业生产的发展，人民生活水平的提高，对水量和水质的需求愈来愈高。这就要求更多的水源具有良好的水质和补给条件，能保证长期稳定供水，不会出现水质变坏和水量枯竭。因此，水资源应该与社会需水密切挂钩，包含“量”和“质”两方面的涵义。也就是说，只有逐年可以更新并满足一定水质要求的淡水水体才可作为水资源。

3.地表、地下的各种淡水水体均处在水循环系统中，能够不断得到大气降水的补给。参与水循环的补给量称为动态水量，而水体的储存量称为静态水量。为了保护自然环境、维持生态平衡和保证长期供水不衰，一般只能取用循环的动态水量，不宜过多动用静态水量（可以作为调节备用水量），故水资源的数量应以参与水循环的动态水量（即水体的补给量）来衡量。把静态水量计入水资源量的作法，完全忽视了水的生态功能，不利于合理开发和综合利用。

4.人类对水资源的利用，除了采用工程措施直接引用地表水和地下水外，还可通过生物措施利用土壤水，使无效蒸发转化为有效蒸发。农作物的生长与土壤水有密切的关系，不计及土壤水的利用，就不能正确估计农业的需水定额；大气降水是地表水、地下水、土壤水的补给来源，故土壤水和降水也应列入水资源的研究范畴。

5.综合以上分析，“水”和“水资源”两词在涵义上理应有所区别，不能混为一谈。地球上各种水体的储量虽然很大，但不能全部纳入水资源范畴。作为水资源的水体一般应符合下列条件：（1）通过工程措施可以直接取用，或者通过生物措施可以间接利用；（2）水质符合用水的要求；（3）补给条件好，水量可以逐年更新。因此，水资源主要指与人类社会生产、生活用水密切相关而又能不断更新的淡水，包括地表水、地下水和土壤水。地表水资源量通常用河川径流量来表示，地下水和土壤水资源量可用补给量来表示。三种水体之间密切联系而又互相转化，扣除重复量后的资源总量相当于同一区域内的降水量。

6.因受试验观测资料所限，目前还弄不清楚土壤水与地表水、地下水相互转化的定量关系，故我国现行的水资源评价，只考虑与工程措施有关的地表水和地下水。用河川径流量与地下水补给量之和扣除重复量后作为水资源总量，虽然在理论上不够完善（对农业区而言），但基本上已能满足生产上的需要，比国外用河川径流量表示水资源数量前进了一大步。

在《现代汉语词典》中，资源被定义为“生产资料或生活资料的天然来源”。从这个定义出发，资源则具有两点涵义：（1）它是人类生产或生活的物质基础资料；（2）它有天然来源，一般人类可以直接从自然界中获得它，并用于生产或生活活动。水资源是各种自然资源的一种，也必定具有以上属性。因此，笔者认为水资源系指人类在生产或生活活动中可以而且允许利用技术工程或生物工程措施，从自然界中能够直接开发利用的、具有足够数量的一切水体（水域、水源）。它包括逐年可更新的地表水、地下水、土壤水，也包括更新周期很长的深层地下水、冰川、海洋、湖泊等永久储量中允许开发利用的部分。

但不包括降水，因为降水与河川径流、地下水、土壤水等是重复水源。一般，在水资源评价中主要评价逐年可更新的地表水资源和地下水资源，也有主张评价土壤水资源的。

## 1.2 水资源科学

水资源科学是研究水资源的形成、存在、分布、运动、质量及其演变规律，以及与开发、利用、管理水资源有关的知识体系。水资源是人类赖以生存的最重要的物质基础，也是人类文明的源泉。早在公元前2000多年前，水资源即已被人类开发，用于农业灌溉。在漫长的人类社会里，人类已经积累了丰富的用水、管水的知识和经验。近半个世纪，特别自60年代以来，随着世界社会经济迅速发展和水资源开发利用规模的不断扩大，以及由于淡水资源不足和被污染，许多国家都非常重视水资源科学基础和开发利用技术的研究。研究内容纵贯陆地水文学、水文地质学、气候学、农业生态学、农业水利学、水利工程学、环境学、经济学、社会学和法学等。一门综合性特色很强的现代水资源科学正在形成。本节仅对现代水资源科学的研究对象、研究特点、科学体系及发展趋势作一概述。

### 1.2.1 研究对象

水资源科学的研究对象——地球表层可供人类开发利用的水。地球表层被水覆盖的面积约5.1亿 $\text{km}^2$ ，总储水量约13.86亿 $\text{km}^3$ 。其中海洋面积约为3.61亿 $\text{km}^2$ ，储水量约13.38亿 $\text{km}^3$ ，约占地球表层总水量的96.5%。陆地上水的覆盖面积为1.49亿 $\text{km}^2$ ，储水量约为0.48亿 $\text{km}^3$ ；约占地球表层储水总量的3.5%。大气圈的水储量仅0.0129亿 $\text{km}^3$ ，约占地球表层储水总量的0.001%。在陆地储水量中，只有0.35亿 $\text{km}^3$ 为淡水资源，仅占地球表层总储水量的2.53%。在这些淡水中，只有30.4%即0.1065亿 $\text{km}^3$ 分布在湖泊、河流、土壤和地下600m以内的含水层中，其余的69.6%即0.2436亿 $\text{km}^3$ ，分布在冰川、永久积雪和永久冻土中。在上述诸水体中，海水和其它咸水体，在人类生产、生活中直接利用的数量很少。但海洋可供发展航运，水产和游憩；海水和其它咸水体所含的化学物质，可以提炼利用，但一般作为矿物资源。两极冰盖和永久冻土中的水被直接利用的机会极少。岩石中的结晶水则很难被利用。因此，人类在生产、生活中可以直接利用的水主要是江、河、湖泊、水库中的地表水，储藏在地层含水层中允许合理开发利用的地下水，以及能被植物根系吸收利用的土壤水。而大气降水则是它们的主要来源。

水循环使水资源成为可更新资源。地球上的水处于不断地运动和循环之中，水圈中各种水体都通过蒸发和蒸腾、水汽输送、降水、地面径流和地下径流等水文过程发生紧密联系，相互转化，不断更新，形成一个或无数个庞大的动态系统。在这些系统中，海水在太阳辐射下，蒸发形成水汽，并输入大气层，在一定天气条件作用下，一部分形成海上降水，又回到了海洋；另一部分随气流进入大陆上空，又在一定天气条件下，形成陆地降水。降落在陆上的水，一部分重新蒸发（蒸腾）返回大气，另一部分在重力作用下，沿地面形成地面径流；或渗入地下，形成地下径流（或地下水）。地表水和地下水的一部分被人们利

用, 另一部分通过河流汇入湖泊或注入海洋。降水或灌溉形成的土壤水又从陆地上蒸腾或蒸发变成大气水, 在一定天气条件下, 又通过降水降落至陆地或海洋。水的这种周而复始不断的转化、迁移和交替现象, 称为水文循环。地球上每年约有 $5757.7 \text{ km}^3$ 的水参加水文循环。水文循环是地球上最重要的物质循环之一。水循环的时空尺度变化很大。全球大气中的水储量只需8天就可更新一次; 全球河网内某一时刻的水约需16天即可更新一次; 湖泊中水则需17年更新一次; 深层地下水约需1400年更新一次; 山地冰川约需1600年更新一次; 海洋的储水约需2500年更新一次; 极地冰川更新周期约长达万年左右。水循环的空间尺度, 大至全地球, 小至一个流域或一个地区或一个水均衡实验场。区域越小, 水的更新周期越短。在水循环过程中, 水体相互作用或相互转化关系十分复杂, 如地表水与地下水相互转化, 地下水与土壤水相互转化, 地表水、土壤水、地下水与大气水的相互转化等。

对于人类最有实用意义的水资源, 是陆地上每年可以更新的水量, 包括江河径流量、浅层地下水补给量和植物根系能够直接吸收利用的包气带土壤水。人类可以从江河中引水, 供作饮用、农业灌溉、城市及工矿利用。全球江河年径流量约 $46.8 \text{ 万亿 m}^3$ , 平均年径流深 $314 \text{ mm}$ , 其中中国为 $2.64 \text{ 万亿 m}^3$ , 平均年径流深 $276 \text{ mm}$ 。浅层地下水主要来自降雨入渗补给、河渠水和灌溉入渗补给。浅层地下水中又分淡水和咸水两大类。全球地下水(包括深层和浅层)中, 淡水约占45%, 咸水约占55%。土壤水在逐年可更新淡水资源中占有很高比例。在中国半干旱半湿润地区, 约有70%左右的降水量都转化为土壤水, 成为向农作物(植物)直接供水的重要水源。另外, 土壤水还与地表水、地下水有着相互转化和相互制约关系。

水量平衡是水资源科学的另一个基础性研究课题。早在几十年前, 人们还认为水资源是取之不尽用之不竭的, 到20世纪后半期情况则发生了变化。随着人口增长, 工农业迅速发展以及洗盐和稀释用水的猛烈需要, 大大增加了用水量, 使纯净的淡水资源减少了。由于供水水源(河流、湖泊、地下水库等)同时用来排放污水, 因此, 污染构成了对纯净淡水资源的主要威胁。 $1 \text{ m}^3$ 的废水可污染几十倍以上的纯净淡水。在工业发达和发展的国家中, 水流和水体污染的规模是非常惊人的。污染正在向海洋蔓延, 并向远洋渗透。每年向大洋排放的石油有数百万吨, 放射性废物数千吨。由于化肥、农药及其它有害物质渗入土壤并进入地下水中, 大面积的地下水正在被污染。排入地下水的污水, 几乎使世界上所有大城市和工业中心的上部含水层中的潜水都不能饮用了。现代社会的一个重要特点之一, 即人口和生产发展的速度快, 淡水需水量急剧增加(表1.1)。随着需水量的猛增, 地球上每年排出的废水总量也剧增。估计, 到2000年世界城市及工业需水量约达 $2340 \text{ km}^3$ , 按50%的废水排放量计, 则排放污水总量即达 $1170 \text{ km}^3$ , 为了稀释淡化这一数量的废水, 则需要 $10000 \sim 20000 \text{ km}^3$ 的洁净水。而全世界的稳定径流量只有约 $14000 \text{ km}^3$ 。

当今世界的许多国家, 尤其处于干旱地带内的国家都感到日常用水不足, 甚至一些水资源丰富的国家, 当水资源时空分布不均时, 在需水量急剧增长阶段也出现淡水不足。水作为限制性因素已经开始阻碍工农业生产的发展。如何使纯净的淡水有保障, 防止纯净淡水枯竭和被污染, 以及使水资源再生, 是世界水资源的重要研究课题。

总之, 水资源问题不仅与水圈内部的各种自然过程密切相关, 而且与大气圈、土壤



——岩石圈、生物圈也密切相关，特别受着人圈（人类社会经济活动）的强烈影响。各种自然过程和人类活动的本身也相互作用和相互制约，彼此间通过各种物质和能量的循环和人类社会的影响结合在一起，构成了具有各种尺度规模的、多层次的水资源科学系统。水资源科学研究的目的，是通过观测、调查、实验、分析、比较、综合、归纳、演绎以及科学抽象方法，去揭示这种系统中的各种自然现象，以及它的过程、结构、功能和规律，并利用这些规律去为人类服务。

表 1.1 全球用水量、耗水量发展情况表 (亿m<sup>3</sup>/a)

用 水 户		1900	1950	1970	1985	2000(预测)
城 市	用 水 量	200	600	1200	2500	4400
	耗 水 量	50	110	200	380	650
工 业	用 水 量	300	1900	5100	11000	19000
	耗 水 量	20	90	200	450	700
农 业	用 水 量	3500	8600	19000	24000	34000
	耗 水 量	2600	6300	15000	19000	26000
水 库	用 水 量	--	--	--	--	--
	耗 水 量	0	40	700	1700	2400
总 计	用 水 量	4000	11000	25000	38000	57000
	耗 水 量	2700	6500	16000	22000	30000

引自原苏联Соколов, Цицкломанов等

## 1.2.2 研究特点

现阶段的水资源科学主要是运用自然科学、工程技术科学、社会科学等有关科学的理论、技术和方法来研究水资源问题。要深入研究一个水资源系统，往往要涉及陆地水文学、水文地质学、气候学、生物学、环境化学、环境工程学、工程学、数学、农学、农业水利学、社会学、经济学、法学等多种科学知识。它在宏观上研究全球、全国、全流域、全地区的水资源的数量、质量、可利用量与人类社会及其发展对水资源需求之间的关系，揭示社会经济发展与水资源合理开发利用、保护协调发展的基本规律。在微观上研究各种水体如降水、地表水、土壤水、地下水之间相互作用和迁移运动规律；水与土壤中污染物的分子、原子等微小物质迁移、转化和蓄积过程及其运动规律，探索它们对各种水体的污染影响作用；各种作物（植物）的需水过程、需水量和水分生产函数；人、畜、家禽每日需水量；各种工矿业生产流程需水量，等等。

### 一、直接观测实验是水资源科学研究的基本方法

在自然条件下对与水资源数量、质量、可利用量、工农业需水量等有关的各种现象进行直接观测实验，特别是水均衡测试是其基本方法。无论是地表水还是地下水或土壤水，它们都是一个庞大而又复杂的自然客体，都在不断地发生着各种尺度不一、性质不同的运动，且空间尺度可以从几厘米至几千公里，时间尺度从数分钟至几个月，甚至几年、几十年、几百年…。即是在同一个区域内，气候、植被、土壤、水文地质条件、水质、人类活