

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

# 水文与 水文地质学

王亚军 ■ 主编

卢静芳 王进喜 ■ 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

# 水文与 水文地质学

王亚军 ■ 主编

卢静芳 王进喜 ■ 副主编



化学工业出版社

· 北京 ·

本书主要围绕水文学和水文地质学与给排水科学与工程专业之间的相互关系展开叙述,在此基础上讨论相关研究发展方向,列举目前人类面临的相关问题。全书共分2篇。第1篇为水文学,系统地介绍了水文现象、水文学基本知识、水文统计基本方法、河川径流情势特征值分析、小流域暴雨洪峰流量计算、水文学在土木工程中的应用等内容。第2篇为水文地质学,介绍了地质基本知识、地下水的储存与循环、地下水的渗流运动、地下水污染与防治等内容。

本书在每章前总结了学习目的、学习重点、学习难点、本章任务、学习情景,每章后配任务解决、知识拓展、思考与练习题,适合高等院校给排水科学与专业、市政工程专业、环境工程专业等相关专业师生教学使用。

### 图书在版编目(CIP)数据

水文与水文地质学/王亚军主编. —北京:化学工业出版社, 2013.2  
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)  
ISBN 978-7-122-16320-2

I. ①水… II. ①王… III. ①水文学②水文地质学  
IV. ①P33②P641

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第009443号

---

责任编辑:徐娟  
责任校对:徐贞珍

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:三河市延风印装厂  
787mm×1092mm 1/16 印张17 字数450千字 2013年4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: 48.00 元

版权所有 违者必究

## 从书序

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。

蒋展鹏  
2013年1月

# 前 言

本书紧跟给水排水工程专业教学内容的改革和工程教育的改革，结合“水文学”和“水文地质学”两门课程的教学大纲编写，将“水文学”和“供水水文地质”的有关内容有机地融为一体，形成完整的课程体系。编写的指导思想是“回归工程”，不仅拓展专业基础知识面，更重视培养学生的创新精神，提高分析、解决问题的能力，增强综合素质。

本书分为两篇，第1篇水文学，第2篇水文地质学。为了使内容更简单易懂，实用性更强，在每章内容前设置“本章任务”和“学习情景”，同时每章结束时附有“任务解决”和“知识拓展”等部分。

全书由王亚军主编，卢静芳、王进喜为副主编。各章的执笔人为：兰州理工大学王亚军编写前言、绪论、第6章、第8章、第9.4节；兰州大学和法国编写第1章；甘肃联合大学王进喜编写第2章、第5章；西安工业大学董艳慧编写第3章、附录；西安工业大学田应丽编写第4章；天津城市建设学院卢静芳编写第7章；安徽工业大学郭彦英编写第8章；太原大学杨素宜编写第9章；河北科技大学葛磊编写第10章。全书由王亚军统稿，英文翻译由王亚军完成。

在本书的编写过程中，参考并引用了有关院校编写的教材及生产科研单位等的技术资料，同时得到了化学工业出版社的大力支持，在此致以衷心的感谢！

由于水文学及水文地质涉及的内容和知识领域广泛，加之编者的水平所限，内容的疏漏和不足在所难免，恳请本书的使用者和广大读者批评指正。

编者  
2012年12月

# 目 录

<b>绪论</b> .....	1	1.3.1 成因分析法 .....	11
0.1 水文学的研究内容 .....	1	1.3.2 数理统计法 .....	11
0.1.1 水文学 .....	1	1.3.3 地理综合法 .....	11
0.1.2 水文学的研究内容 .....	1		
0.1.3 水文学面临的机遇与挑战 .....	2		
0.2 水文学与给水排水工程专业的关系 .....	2	<b>第2章 水文学基本知识</b> .....	<b>13</b>
0.3 水文地质学的研究内容 .....	3	2.1 河流与流域 .....	13
0.3.1 水文地质学 .....	3	2.1.1 河流基本特征 .....	13
0.3.2 水文地质学的研究内容 .....	3	2.1.2 流域基本特征 .....	19
0.3.3 水文地质学研究的发展方向 .....	3	2.2 河川径流 .....	21
0.4 水文地质学与给水排水工程专业的关系 .....	4	2.2.1 河川径流及其表示方式 .....	21
0.5 水文及水文地质学的学习方法与要求 .....	4	2.2.2 河川径流形成过程及其影响因素 .....	23
0.5.1 按主线有重点地点面结合学习 .....	4	2.2.3 地下径流 .....	26
0.5.2 知识、能力和素质的有机统一 .....	4	2.2.4 固体径流 .....	26
		2.3 流域水量平衡 .....	27
		2.4 水文测验与信息采集 .....	27
		2.4.1 水文测站 .....	28
		2.4.2 水位观测 .....	28
		2.4.3 流量测验 .....	29
		2.4.4 水文信息采集 .....	32
		2.5 水位与流量关系曲线 .....	33
		2.5.1 水位与流量关系曲线的分析 .....	33
		2.5.2 水位与流量关系曲线的延长 .....	36
		2.5.3 水位与流量关系曲线的应用 .....	36
<b>第1章 水文现象</b> .....	<b>5</b>	<b>第3章 水文统计基本方法</b> .....	<b>38</b>
1.1 水文现象与水文循环 .....	5	3.1 水文统计的基本概念 .....	38
1.1.1 水文现象 .....	5	3.1.1 水文统计 .....	38
1.1.2 水文循环 .....	6	3.1.2 水文现象与统计学概念的对应关系 .....	38
1.1.3 水量平衡 .....	7	3.1.3 水文特征值的概率分布 .....	39
1.2 水文现象的特性 .....	10		
1.2.1 水循环的永无止境及因果关系 .....	10		
1.2.2 水文现象在时间变化上既具有周期性又具有随机性 .....	10		
1.2.3 水文现象在地区分布上既具有相似性又具有特殊性 .....	10		
1.3 水文现象的研究方法 .....	11		

3.1.4	累积频率与重现期	40
3.2	经验频率曲线	41
3.2.1	经验频率公式	41
3.2.2	经验频率曲线的绘制和应用	42
3.2.3	经验频率曲线的延长	42
3.3	统计参数与抽样误差	42
3.3.1	统计参数	42
3.3.2	抽样误差	44
3.4	理论频率曲线	45
3.4.1	理论频率曲线的数学方程式	45
3.4.2	理论频率曲线的绘制	47
3.4.3	统计参数对理论频率曲线的影响	48
3.5	水文频率计算方法	49
3.5.1	统计参数的初估方法	49
3.5.2	适线法	50
3.6	相关分析	53
3.6.1	相关分析的概念	53
3.6.2	简单直线相关	53
3.6.3	曲线相关	54
3.6.4	复相关	54

## 第4章 河川径流情势特征值分析 56

4.1	概述	57
4.2	设计年径流量的分析与计算	58
4.2.1	设计年径流量	58
4.2.2	设计年径流量的分析计算	62
4.3	设计年径流量年内分配的分析与计算	71
4.3.1	设计年径流量年内分配	71
4.3.2	设计年径流量年内分配的推求	71
4.4	设计洪峰流量(或水位)的分析与计算	75
4.4.1	洪水及设计洪水	75
4.4.2	设计洪水计算的基本方法	77
4.4.3	设计洪水标准	78
4.4.4	洪水资料审查	78
4.4.5	设计洪峰流量与水位计算	85
4.5	设计枯水流量(或水位)的分析与计算	93

4.5.1	概述	93
4.5.2	枯水资料审查	94
4.5.3	设计枯水流量与水位计算	95

## 第5章 小流域暴雨洪峰流量的计算 102

5.1	概述	102
5.1.1	降水的观测	103
5.1.2	降水的特征	104
5.2	暴雨强度公式	105
5.2.1	点雨量资料的整理	105
5.2.2	暴雨强度公式	107
5.2.3	求解暴雨强度公式中的参数	109
5.2.4	暴雨强度公式在排水工程中的应用	115
5.3	暴雨洪峰流量的推理公式	116
5.3.1	流域出口断面流量的组成	117
5.3.2	等流时线原理	117
5.3.3	不同净雨历时情况下的径流过程	117
5.3.4	暴雨洪峰流量公式	119

## 第6章 水文学在土木工程中的应用 121

6.1	大桥中设计流量及水位推算	121
6.1.1	具有实测资料时的推算	122
6.1.2	缺乏实测资料时的推算	124
6.2	桥孔设计	125
6.2.1	桥孔长度	126
6.2.2	桥面设计高程	127
6.3	小桥涵水文勘测设计	127
6.3.1	小桥涵水文调查与勘察设计内容	128
6.3.2	小桥涵水文计算	129
6.3.3	孔径设计	129

## 第7章 地质基本知识 131

7.1	地球概述	131
7.1.1	地球的形状与表面形态特征	131
7.1.2	地质年代	133
7.1.3	地球的圈层结构	134
7.2	矿物与岩石	136

7.2.1	矿物的基本特性	136	9.2.6	非完整井的稳定渗流运动	200
7.2.2	矿物的化学成分	137	9.2.7	利用稳定流抽水试验计算水文地质参数	202
7.2.3	矿物的物理性质	137	9.3	地下水流向井的非稳定流理论	205
7.2.4	岩石	141	9.3.1	非稳定流理论所解决的主要问题	205
7.3	地质构造	146	9.3.2	基本概念	205
7.3.1	地壳运动简介	146	9.3.3	承压含水层中地下水流向井的非稳定流运动	206
7.3.2	岩层的产状	147	9.3.4	潜水含水层中地下水流向井的非稳定流运动	209
7.3.3	褶皱构造	148	9.3.5	地下水向非完整井的非稳定流运动	215
7.3.4	断裂构造	149	9.3.6	有越流补给时地下水流向井的非稳定流运动	216
7.3.5	地层的接触关系	151	9.4	水文地质对土木工程的影响	218
7.3.6	地质图	152	9.4.1	毛细水对土木工程的影响	218
			9.4.2	重力水对土木工程的影响	218
<b>第8章</b>	<b>地下水的储存与循环</b>	<b>155</b>	<b>第10章</b>	<b>地下水污染与防治</b>	<b>226</b>
8.1	地下水的储存与岩石的水理性质	155	10.1	地下水污染	226
8.1.1	岩石的空隙特征和地下水储存	155	10.1.1	地下水污染概念	226
8.1.2	岩石的水理性质	161	10.1.2	地下水污染的特点	227
8.2	含水层与隔水层	163	10.1.3	地下水污染源、污染源和污染途径	227
8.2.1	包气带与饱水带	163	10.2	污染物在地下水系统中的物理、化学和生物作用过程	233
8.2.2	含水层、隔水层与弱透水层	163	10.2.1	物理、化学作用	234
8.3	地下水分类	165	10.2.2	生物作用	240
8.3.1	包气带水	166	10.3	污染物迁移的滞后现象及吸附作用	241
8.3.2	潜水	166	10.3.1	水文地球化学作用对污染物迁移能力的影响	241
8.3.3	承压水	168	10.3.2	污染物迁移的滞后现象及吸附作用	242
8.4	地下水循环	169	10.4	污染物在包气带土层及地下水中的迁移转化	243
8.4.1	地下水的补给	170	10.4.1	多孔介质	244
8.4.2	地下水的径流	173	10.4.2	对流作用	245
8.4.3	地下水的排泄	174	10.4.3	弥散作用	245
<b>第9章</b>	<b>地下水的渗流运动</b>	<b>178</b>	10.5	污染物在地下水系统中迁移数学模拟	248
9.1	地下水运动的特征及其基本定律	179			
9.1.1	地下水运动的基本特征	179			
9.1.2	地下水运动的基本定律	183			
9.2	地下水流向井的稳定流理论	186			
9.2.1	取水构筑物的类型	186			
9.2.2	地下水流向承压水完整井的稳定流	187			
9.2.3	地下水流向潜水完整井的稳定流	191			
9.2.4	完整抽水井稳定流公式的讨论	192			
9.2.5	干扰井	197			



10.5.1	基本方程 .....	248			
10.5.2	非饱和土壤中的迁移 方程 .....	250			
10.5.3	考虑不动水体的迁移 方程 .....	250			
<b>附录</b>	.....	<b>253</b>			
附录 1	海森概率格纸的横坐标 分格表 .....	253			
附录 2	皮尔逊 III 型频率曲线离均				
				系数 $\Phi_p$ 值表 .....	255
			附录 3	皮尔逊 III 型频率曲线三点 法 $S$ 与 $C_s$ 关系 .....	257
			附录 4	皮尔逊 III 型频率曲线模比 系数 $K_p$ 值表 .....	259
			附录 5	主要水文及水文地质 组织 .....	261
			<b>参考文献</b>	.....	<b>262</b>

# 绪 论

## 0.1 水文学的研究内容

水文学 (Hydrology) 是人类在长期水事活动过程中, 不断地观测、研究水文现象及其规律性而逐步形成的一门科学。它经历了一个由萌芽到成熟、由定性到定量、由经验到理论的发展过程。如今的水文学已是分支众多、应用广泛、理论成熟、学科前沿不断扩大、新分支学科不断兴起。

### 0.1.1 水文学

水文学是地球物理学和自然地理学的分支学科。水文学是人类在长期水事活动过程中逐渐形成的一门服务于社会的学科。早期的水文学主要是对自然界中的水现象进行描述。水文学的发展最早可以追溯到 17 世纪 70 年代, 在 1674 年, Perrault 和 Mariotte 定量研究了降水形成的河流和地下水量大小, 标志着水文学的产生。随着科学的发展, 水文学已经成为一个学科体系。

不同的国家、不同的部门对水文学的定义也不尽相同。国际水文科学协会 (International Association of Hydrological Sciences, IAHS) 对水文学的目标和任务的定义是: “研究地球上水文循环和大陆上各种水, 如地表水和地下水, 雪和冰川及其物理的、化学的和生物学的变化过程; 各类形态的水与气候及其他物理的和地理的因素间的关系, 以及它们之间的相互作用; 研究侵蚀和泥沙同水文循环的关系; 检验在水资源管理和利用中的水文问题; 以及在人类活动影响下水的变化。” 1962 年, 美国联邦政府科技委员会把“水文学”定义为“一门关于地球上水的存在、循环、分布, 水的物理、化学性质以及环境 (包括与生活有关事物) 反应的学科”。1987 年, 《中国大百科全书》中定义为: “水文科学是地球上水的起源、存在、分布、循环、运动等变化规律和运用这些规律为人类服务的知识体系, 水圈同大气圈、岩石圈和生物圈等自然圈层的关系也是水文科学的研究领域。” 尽管在表述上有所不同, 但基本可以把水文学总结为“研究自然界中水体形成、分布、循环和与环境相互作用规律的一门科学。即: 研究水存在于地球上的大气层中和地球表面以及地壳内的各种现象的发生和发展规律及其内在联系的学科。包括水体的形成、循环和分布, 水体的化学成分, 生物、物理性质以及它们对环境的效应等。”

### 0.1.2 水文学的研究内容

水文学研究自然界中水体形成、时空分布、循环和与环境相互作用的关系, 为人类防治洪涝灾害, 合理开发利用水资源, 提供科学依据。

从给水排水工程和环境工程的角度来看, 随着水资源开发利用的规模日益扩大, 人类活动对水环境的影响明显增强, 大规模的人类活动干扰了自然界的水循环过程, 改变着各个水

体的性质。水情预测与水灾防治,水资源的合理开发利用与保护,都是实施经济社会可持续发展的重要支撑条件。因此,水资源的开发利用和人类活动对环境的影响研究,已成为现代水文学研究的重要内容。

本课程的内容主要叙述水分循环运动中,从降水到径流入海的这一段过程中,关于地面径流的运动规律、量测方法及在工程上的应用等问题,基本上属工程水文学的范畴。它包括河川及径流的基本概念,河川水文要素量测方法,水文分析中常用的数理统计的基本原理,河川径流的年际变化与年内分配,枯水径流与洪水径流的调查分析与计算,降雨资料的整理与暴雨公式的推求,小流域暴雨洪水流量的计算,城市降雨径流的特点等。

通过本课程的学习,要求能了解河川水文现象的基本规律,掌握水文统计的基本原理与方法,能够独立地进行一般水文资料的收集、整理工作,具有一定的水文分析计算技能。由于水文现象本身所具有的特点,一般在处理上多运用数理统计方法进行分析,注重实际资料的收集,强调深入现场进行调查研究。因此在学习中,不仅要学会某种具体方法,而且要体会运用这种方法的条件。总之,随时注重资料收集,深入掌握分析方法,全面熟悉应用条件,才能在学习中有所获益。

### 0.1.3 水文学面临的机遇与挑战

不断提出的新理论迫切需要在水文学中得到检验和应用推广:一方面,它们为水文学发展提供新的理论基础;另一方面,又需要水文学家不断吸收和改进新理论,以完善水文学理论体系。这是现代水文学遇到的前所未有的机遇。比如人工神经网络理论有助于水文非线性问题研究;分形几何理论有助于水文相似性和变异性研究;混沌理论有助于水文不确定性问题研究;灰色系统理论有助于灰色水文系统不确定性研究。这些新理论已经渗透到水文学中,促进了水文学的不断发展。这既是机遇,也是挑战。

新技术特别是高科技的不断涌现,为水文学理论研究、实验观测、应用实践提供了新的技术手段。比如3S技术[是遥感(RS)技术、地理信息系统(GIS)技术和全球定位系统(GPS)技术的统称],可以提供快速的水文遥感观测信息,可以提供复杂信息的系统处理平台,为水文学理论研究(如水文模拟、水文预报、洪水演进)、水文信息获取与传输(如洪水信息、地表水、地下水自动监测)以及水文社会化服务(如防洪抗旱、水量调度)提供很好的技术手段;再比如,同位素实验技术可以为水循环研究提供技术手段,为地下水补给、径流、排泄过程分析提供支持。现代新技术的飞速发展,为水文学研究提供了许多新的技术手段,大大促进了水文学的发展。

随着社会发展,人类活动日益加剧,引起的水问题越来越严重,受到全人类的关注程度也越来越强烈。由于解决这些水问题需要更深入的水文学知识,所以日益突出的水问题促进了水文学的发展,这是“机遇”。当然,由于面对的水问题越来越复杂,水文学研究也面临更加严峻“挑战”。

## 0.2 水文学与给水排水工程专业的关系

研究水文学的目的是:运用水文规律为给水排水工程和市政工程的规划、设计、施工管理提供正确的水文资料及分析成果,以充分开发与合理利用水资源,减免水害,充分发挥工程效益。

可通过水文资料的整理,找出水文规律,以便估计出防止泵房和道路、桥梁受淹的洪水水位,以及确定泵房的室内地坪高度和保证道路、桥梁运行安全的泄水建筑物高度。又如采

用地面水为水泥的给水工程，首先要考虑水泥的水量变化，当水源水量丰沛时，需要了解水文、泥沙及冰凌的变化情况；当水源水量不足时，就要设法以丰补枯，进行水量的引取、蓄存与调节，需要对径流的年际变化及年内分配等水文情况进行分析。再如洪水位、常水位及枯水位的取水口的确定也依赖于水文学的知识。还有城市排水泵及雨水泵扬程的选择以及排水工程中雨水的排泄、洪水的防御，都要预先求得暴雨和洪水的大小和变化情况。这些都需要进行水文资料的收集、分析与计算。因此，水文学与给水排水工程和市政工程有着密切的关系。

采用地面水为水源的给水工程。首先要考虑水量变化及其取用条件。当水源水量充沛时，需要了解水位、泥沙及冰凌的变化情况；当水源水量不足时，就要设法以丰补歉，进行水量的引取、蓄放与调节，需要对径流的年际变化及年内分配等水文情况进行分析。如果给水与灌溉、航运、水力发电等其他水利工程设施配合在一起综合利用水利资源时，其水文分析与计算的内容就更加复杂、广泛。排水工程中雨水、污水排泄的设计计算及排泄口的位置、洪水防御的设计，都要预先求得暴雨和洪水的大小和变化情况，这些都需要进行水文资料的收集、分析与计算。所以说，水文学与给水排水工程有着密切的关系，学好水文学对系统全面地掌握给水排水专业知识具有重要的意义。

## 0.3 水文地质学的研究内容

水文地质学（Hydrogeology）针对当前国民经济建设的需要和地质工程、岩土工程、地质学等学科发展的需要，系统论述了水文地质学的基本概念、基本理论和方法；重点介绍了地下水形成与赋存的基本规律、地下水运动的基本规律、不同介质中地下水的重要特征、地下水的理化特征、地下水运动的基本理论、水文地质参数计算价等。

### 0.3.1 水文地质学

水文地质学是研究地下水的数量和质量随空间和时间变化的规律，以及合理利用地下水或防治其危害的学科。它研究在与岩石圈、水圈、大气圈、生物圈以及人类活动相互作用下地下水水量和水质的时空变化规律以及如何运用这些规律兴利除害。

### 0.3.2 水文地质学的研究内容

水文地质学的研究内容包括地下水的起源、分布和赋存状态、补给、径流与排泄条件，水质、水量在时空上的变化与运动规律，包括在各种自然因素和人为因素影响下，地下水作为一种地质营力对环境的改造作用以及在作用过程中它自身发生的各种变化规律，经济合理地开采利用地下水，有效地防治和消除地下水造成的危害，达到兴利除害的目的。其研究内容是地下水在周围环境影响下，数量和质量在时间和空间上的变化规律，以及如何应用这一规律有效地利用和调控地下水。

### 0.3.3 水文地质学研究的发展方向

预计今后水文地质学研究重点主要有以下几方面：①裂隙水和岩溶水的形成机制；②粘性土渗透机制；③包气带水盐运移机制；④人类活动对地下水数量和质量的影响及预测；⑤地下水与大气降水、地表水、包气带水之间的关系与转化以及生态需水研究；⑥水资源联合调度研究；⑦水资源、水环境规划与管理研究等；⑧地下水在裂隙介质、岩溶介质中运动机制和基本运动规律的研究；⑨水中溶质运动机制和运移理论的研究；⑩热量在地下水中运移的研究；⑪介质非均质性研究；⑫各种实际渗流问题的数值模拟方法研究；⑬随机理论在

水流和溶质运移研究中的应用；⑭在含多组分溶质的水流中 Darcy 定律的表达形式。

## 0.4 水文地质学与给水排水工程专业的关系

水文地质学与给水排水工程专业的联系，包括了地下水的开发与管理及水源工程等内容，地下水作为城镇、厂矿、企业、国防工程的供水水源，有着重要的供水意义。

给水排水工作者的任务是选择水源地和设计取水构筑物，一般不去进行水文地质勘察工作。但选择水源和设计取水构筑物的依据是水文地质资料，因此对于给水排水工作者来说，掌握基本的水文地质知识，学会阅读和利用水文地质资料，能进行简单的水文地质计算，具备地下水取水工程的基础知识，均是正确地选择水源和合理地设计取水构筑物的必要条件。新型节能技术，如水源热泵、地温热泵技术，还有地下水人工补给、地下水与地表水联合调蓄等问题，都涉及水文地质学的知识。可见水文地质学与给水排水工程专业有非常密切的联系。

## 0.5 水文及水文地质学的学习方法与要求

### 0.5.1 按主线有重点地点面结合学习

“水文及水文地质学”是一门实用性较强的课程，学习时需以分析与计算方法、应用为主线。重点是掌握知识的应用，而对公式推求以及勘察地质等知识只做一般性的了解。水文学与水文地质学细节繁多，需要学习和研究的内容范围很广。因此，对其学习不必面面俱到，平均分配力量，而应有重点地、点面结合地进行学习。

本课程的学习重点水文学及水文地质学的知识及其应用。但不可满足于知道基本概念、分类、公式，重要的是理解这些分类的内在原因、外部原因和相互关系，从而更好地应用，并注意对知识点的比较，注意其异同点，具体的数据懂得查找即可。

### 0.5.2 知识、能力和素质的有机统一

学习本课程不仅仅是为了掌握有关的专业知识和基本技能，更重要的是培养分析、解决问题的能力，培养创新精神，提高综合素质。

本书每节均有工程实例分析的任务解决，这是为引导学生理论联系实际，培养分析、解决实际问题的能力而设置的。建议在阅读案例的基本情况后，先联系有关的知识独立思考，然后阅读其原因分析，且应当多观察身边的工程实际问题，理论联系实际地学习。

在学习完每一章后，对习题与讨论亦应认真思考，并可对照所附参考答案。这些习题大多源自工程实际，在此过程中不仅可加深基本原理、基本知识的理解，而且有利于分析解决工程实际问题能力的培养。

本书每章设有能力知识扩展专栏，提出挑战性的问题，漫谈现代学及水文地质学的发展与应用，供学生思考讨论，以激发、培养其创新意识。

学生本课程还需要充分注意水文学、水文地质学与给排水科学与工程专业的结合，强化专业意识，提高工程综合素质。

# 第1章

## 水文现象

**【学习目的】** 了解水文现象及水文循环的有关概念，明确水文现象特征及研究方法，熟悉水文现象及水文循环的组成内容，掌握水量平衡表达。

**【学习重点】** 水文现象的运动形式，水量平衡。

**【学习难点】** 水量平衡。

**【本章任务】** 近100年海平面平均每年上升约1.8mm。是否意味全球水平衡出现问题？

**【学习情景】** 2010年底以来，由于降水稀少，甘肃省定西市通渭县城及周边地区供水主要水源锦屏水库蓄水不足，锦屏水库主要靠7月份以后主汛期的暴雨引发的洪水蓄水。2010年该县年降水量为310.8毫米，比历年偏少20.8%，该水库来水仅77.7万立方米，与近5年平均来水量相比减少了59.8%。当时水库实际可用水量不足10万立方米，按城区每天正常生活供水2000立方米计算，水库可用水量仅能维持城区5万人1个月左右的生活用水。出现严重的城乡居民饮水困难。

## 1.1 水文现象与水文循环

### 1.1.1 水文现象

水文现象 (Hydrological Phenomena) 是指地球上的水受到外部作用 (太阳辐射和地心引力) 而产生的永不休止的运动形式。其运动形式可概括为四大类型，即降水、蒸发、渗流和径流。

降水 (Precipitation) 的形式有雨、雪、雾、霰、雹等，凡空气中水汽以任何方式冷凝并降落在地表的都属降水。降水是水文循环的重要环节，也是人类用水的基本来源。降水资料是分析河流洪枯水情，流域旱情的基础，也是水资源的开发利用如防洪、发电、灌溉等的规划设计与管理运用的基础。

蒸发 (Evaporation) 是水分子从水面、冰雪面或其他含水物质表面以水汽形式逸出的现象。这种使水上升成为水汽的途径有截留蒸发、地面蒸发、叶面散发、水面蒸发和海洋蒸发等五种。所谓截留蒸发是指那些并未落到地面而被植物截留了的降水重新蒸发的现象；所谓叶面散发是指从植物叶孔中逸出水汽的现象，有时也称为蒸腾。

渗流 (Infiltration) 是水从地表渗到地内，以及在地内流动的现象。可分为两步：下渗或入渗是指地表水经过土壤表面进入土壤的过程；渗透是指水分在土壤内的运动。

径流 (Runoff) 是指降雨及冰雪融水在重力作用下沿地表或地下流动的水流。径流有不同的类型，按水流来源可有降雨径流和融水径流；按流动方式可分地面径流和地下径流；此外，还有水流中含有固体物质 (泥沙) 形成的固体径流，水流中含有化学溶解物质构成的离子径流 (又称化学径流) 等。其中地面径流 (Surface Runoff) 是水在地面上流动的现象，包括坡地漫流和河槽流动两个过程；地下径流 (Groundwater Runoff) 是水在地下含水层内

流动的现象。在这些水文现象中，从地表和地下汇入河川后，向流域出口断面汇集和排泄的水流称为河川径流（River Runoff），与人类经济活动关系最为密切，是我们研究的主要对象。

### 1.1.2 水文循环

水文循环（Hydrologic Cycle）是指地球上或某一区域内，在太阳辐射和地心引力的作用下，水分通过蒸发、水汽输送、降水、入渗、径流等过程不断变化、迁移的现象，又称水循环。

地球上的水在太阳热能和地心引力的作用下，不断蒸发而形成水汽，上升到高空，随大气运动而散布到各处。这种水汽如遇适当条件与环境，则凝结成降水，下落到地面。到达地面的雨水，除部分为植物截留并蒸发外，一部分沿地面流动成为地面径流，一部分渗入地下沿含水层流动成为地下径流，最后它们之中的大部分都流归大海。然后又重新蒸发，继续凝结形成降水，运转流动，往复不停。水文循环如图 1-1 所示。

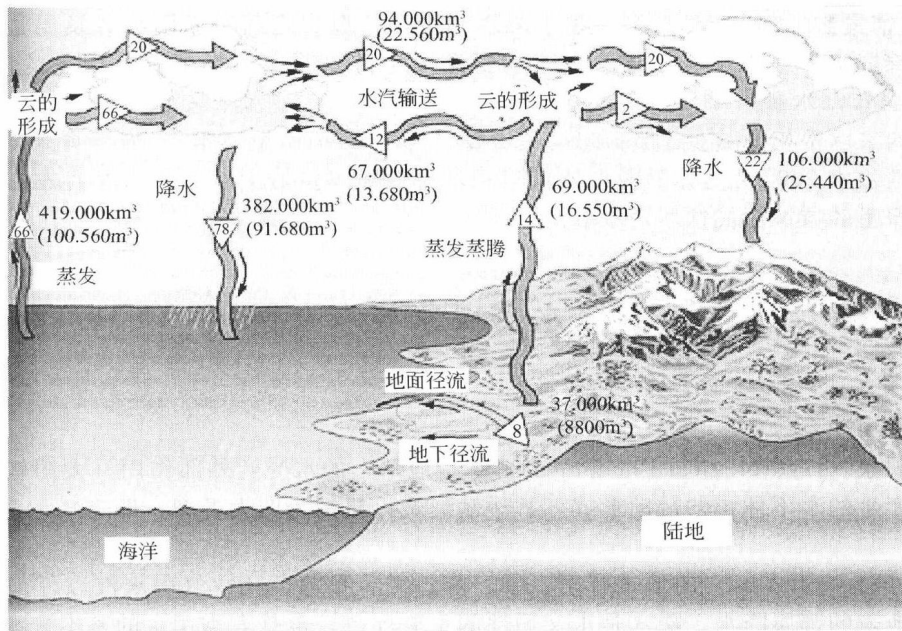


图 1-1 水文循环示意

（源自：Robert W. Christopherson, *Geosystems: An Introduction to Physical Geography* (8th Edition) ©2011.）

根据水文循环过程的整体性和局部性，可把水分循环分为大循环与小循环两类。由海洋蒸发的水汽降到大陆后又流归海洋的循环，称为大循环；由图 1-1 可以看出大循环收入与支出量相等。海洋蒸发的水汽凝结后成为降水又直接降落在海洋上或者陆地上的降水在没有流归海洋之前，又蒸发到空中去的这些局部循环，称为小循环。由图 1-1 可以看出收入与支出量不相等，差值为储水量。陆地上小循环之所以重要，在于地方性蒸发所产生的水汽，既增加了当时大气中的水汽含量，又改变了大气的物理状态，因此创造了降水的有利条件，直接影响到人类的经济活动。

在水文循环中，水的时空分布不均匀。一些地区河川径流的丰水、枯水年往往交替出现。一般来说，低纬度湿润地区，降雨较多，雨季降水集中，气温较高，蒸发量大，水文循环过程强烈；高纬度地区，气温低，冰雪覆盖期长，水文循环过程较弱；干旱地区降水稀少，蒸发能力大，但实际蒸发量小，水文循环微弱。同一地区不同季节水文循环强度也存在

差异,水文循环的这种不均匀现象造成了洪涝、干旱等多变的复杂的水文情势。

研究水循环的目的,在于认识水循环的客观规律,了解其各项影响因素间的内在联系,为改造自然,开发水利资源提供理论根据。

### 1.1.3 水量平衡

水量平衡(Water Balance)是水循环的数量表示。是指在任意给定的时域和空间内,水的运动(包括相变)有连续性,在总体上数量保持收支平衡,即收入的水量与支出的水量之间差额必等于该时段区域(或水体)内蓄水的变化量。水量平衡是水文现象和水文过程分析研究的基础,也是水资源数量和质量计算及评价的依据。

水量平衡的基本原理是质量守恒定律。从本质上说,水量平衡是质量守恒原理在水循环过程中的具体体现,也是地球上水循环能够持续不断进行下去的基本前提。一旦水量平衡失控,水循环中某一环节就要发生断裂,整个水循环亦将不复存在。反之,如果自然界根本不存在水循环现象,亦就无所谓平衡了。因而两者密切不可分。水循环是地球上客观存在的自然现象,水量平衡是水循环内在的规律。水量平衡方程式则是水循环的数学表达式,而且可以根据不同水循环类型,建立不同水量平衡方程,如通用水量平衡方程、空间水量平衡方程(海洋水量平衡方程、陆地水量平衡方程、全球水量平衡方程、流域水量平衡方程)等。

#### 1.1.3.1 研究意义

水量平衡研究是水文、水资源学科的重大基础研究课题,同时又是研究和解决一系列实际问题的手段和方法。因而具有十分重要的理论意义和实际应用价值。

首先,水量平衡研究可以定量地揭示水循环过程与全球地理环境、自然生态系统之间的相互联系、相互制约的关系;揭示水循环过程对人类社会的深刻影响,以及人类活动对水循环过程的消极影响和积极控制的效果。

其次,水量平衡是研究水循环系统内在结构和运行机制,分析系统内蒸发、降水及径流等各个环节相互之间的内在联系,揭示自然界水文过程基本规律的主要方法;是人们认识和掌握河流、湖泊、海洋、地下水等各种水体的基本特征、空间分布、时间变化,以及今后发展趋势的重要手段。通过水量平衡分析,还能对水文测验站网的市局,观测资料的代表性、精度及其系统误差等做出判断,并加以改进。

第三,水量平衡分析又是水资源现状评价与供需预测研究工作的核心。从降水、蒸发、径流等基本资料的代表性分析开始,到进行径流还原计算,到研究大气降水、地表水、土壤水、地下水等四水转换的关系,以及区域水资源总量评价,基本上都是根据水量平衡原理进行的。水资源开发利用现状以及未来供需平衡计算,更是围绕用水,需水与供水之间能否平衡的研究展开的,所以水量平衡分析是水资源研究的基础。

第四,水量平衡分析不仅为工程流域规划与水资源工程系统规划与设计提供基本设计参数,而且可以用来评价工程建成以后可能产生的实际效益。在水资源工程正式投入运行后,水量平衡方法又往往是合地分配各部门的不同用水需要,进行合理调度,科学管理,充分发挥工程效益的重要手段。

#### 1.1.3.2 水量平衡方程

水量平衡通常用水量平衡方程式(Water Balance Equation)表示。方程式中各收入项、支出项和蓄水变量随研究的区域不同而有所不同。利用水量平衡方程式,可以确定各要素(也称水量平衡要素)的数量关系。

(1) 通用水量平衡方程。水平衡方程式水循环的数学模式。对于一个区域,可列出如下水平衡方程。

$$I - Q = \frac{ds}{dt}$$



写出差分形式为： $\bar{I}\Delta t - \bar{Q}\Delta t = \Delta\bar{S}$

式中， $I$ 为水量收入项； $Q$ 为水量支出项； $\bar{I}$ 、 $\bar{Q}$ 、 $\Delta\bar{S}$ 分别为研究时段 $\Delta t$ 内区域（或水体）的水量收入、支出及蓄水变化量。

上式为水量平衡的基本表达式。式中收入项 $I$ 和支出项 $Q$ ，还可视具体情况进一步细分。现以陆地上任一地区为研究对象，设想沿该地区边界做一垂直柱体，以地表作为柱体的上界，以地面下某深度处的平面为下界（以界面上不发生水分交换的深度为准），则可在上述水量平衡基本表达式的基础上，列出如下方程式。

$$P + E_1 + R_{\text{地表}} + R_{\text{地下}} + S_1 = E_2 + R'_{\text{地表}} + R'_{\text{地下}} + q + S_2$$

式中， $P$ 为时段内降水量； $E_1$ 、 $E_2$ 为时段内水汽凝结量和蒸发量； $R_{\text{地表}}$ 和 $R'_{\text{地表}}$ 分别为时段内地表流入与流出的水量； $R_{\text{地下}}$ 和 $R'_{\text{地下}}$ 分别为时段内从地下流入与流出的水量； $q$ 为时段内工农业及生活净用水量； $S_1$ 和 $S_2$ 分别为时段内始末蓄水量。

由于式中 $E_1$ 为负蒸发量，令 $E = E_2 - E_1$ ，为时段内年蒸发量； $\Delta S = S_1 - S_2$ 为时段内蓄水变量，则上式可改写如下。

$$(P + R_{\text{地表}} + R_{\text{地下}}) - (E + R'_{\text{地表}} + R'_{\text{地下}} + q) = \Delta S$$

此式即为通用水量平衡方程式。

图 1-2 为水量平衡示意。

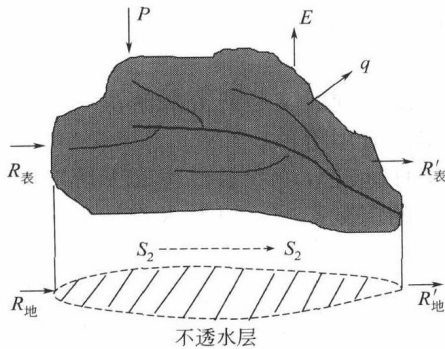


图 1-2 水量平衡示意

在此基础上，根据研究对象的不同，就一定时段内有关的收入与支出及其盈余补偿等项目，可以建立各种特定的水平衡方程。

### (2) 空间水量平衡方程

① 海洋水平衡方程 以全球海洋为研究对象，则任意时段内的水量平衡方程如下。

$$P_{\text{海}} + R - E_{\text{海}} = \Delta S_{\text{海}}$$

由于多年平均状态下 $\Delta S_{\text{海}} = 0$ ，所以上式改写如下。

$$\bar{P}_{\text{海}} + \bar{R} - \bar{E}_{\text{海}} = 0$$

式中， $P_{\text{海}}$ 、 $E_{\text{海}}$ 和 $R$ 分别为海洋上任意时段降水量、蒸发量及入海径流量； $\bar{P}_{\text{海}}$ 、 $\bar{E}_{\text{海}}$ 和 $\bar{R}$ 分别为海洋上多年平均降水量、蒸发量及入海径流量； $\Delta S_{\text{海}}$ 为海洋蓄水变化量。在多数平均状态下，整个海洋的降水量加上入海径流量与海面水蒸发量处于动态平衡状态。但由于各大洋间存在水量交换，因此对各大洋来说，降水量与入海径流量之和并非等于蒸发量。

### ② 陆地水平衡方程

a. 外流区水平衡方程。对于外流区来说，任意时段的水量平衡方程如下。

$$P_{\text{外}} - E_{\text{外}} - R_{\text{地表}} - R_{\text{地下}} = \Delta S_{\text{外}}$$

对于多年平均而言 $\Delta S_{\text{外}} = 0$ ，并且有 $R = R_{\text{地表}} + R_{\text{地下}}$ 的关系。

$$\bar{P}_{\text{外}} - \bar{R} - \bar{E}_{\text{外}} = 0$$

式中， $P_{\text{外}}$ 、 $E_{\text{外}}$ 、 $R_{\text{地表}}$ 、 $R_{\text{地下}}$ 和 $\Delta S_{\text{外}}$ 分别为外流区任意时段内降水量、蒸发量及入海的地表和地下径流量及蓄水变化量； $\bar{P}_{\text{外}}$ 、 $\bar{E}_{\text{外}}$ 和 $\bar{R}$ 分别为外流区多年平均降水量、蒸发量及径流量。

b. 内流区水平衡方程。由于内流区水循环系统基本上呈闭合状态，除上空存在与外界水汽发生交换外，内流区的降水量最终全部蒸发，没有水量入海。因此在多年平均情况下，水平衡方程如下。

$$\bar{P}_{\text{内}} = \bar{E}_{\text{内}}$$

式中， $\bar{P}_{\text{内}}$ 、 $\bar{E}_{\text{内}}$ 分别为内流区多年平均降水量与蒸发量。