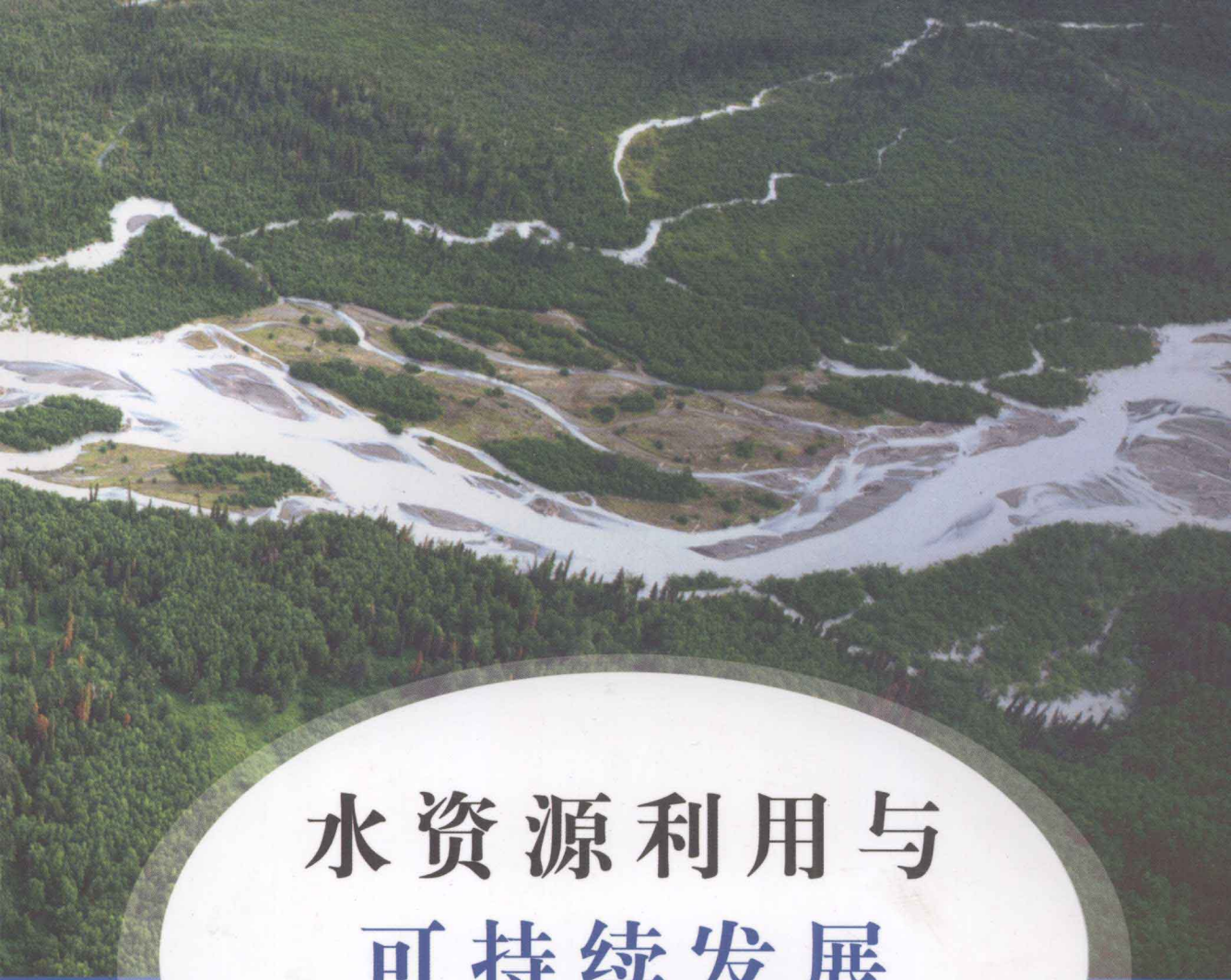




水资源利用与 可持续发展

许拯民 赵可锋 梅宝澜 唐磊 编著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

水资源利用与 可持续发展

许拯民 赵可锋 梅宝澜 唐磊 编著

内 容 提 要

本书介绍了水资源评价和开发利用的基本理论和方法，并对水利可持续发展的理论与方法进行了探讨。

全书分四篇共二十一章。

首先介绍了水资源的概念及水资源评价的基本理论与方法。其次综述了水资源开发利用的现状，阐述了水资源开发利用的程序、步骤、方法和理论，并对水资源开发利用进行了评价。再次，在分析水资源开发利用中存在的问题的基础上，阐述了水利可持续发展的基本概念与测度的理论以及系统模型和信息系统。最后，总结了水资源管理的内容、体制以及我国水资源管理中存在的问题。

本书可作为高等院校水利水电类专业的教材使用，也可供相关专业的科技人员参考。

图书在版编目（C I P）数据

水资源利用与可持续发展 / 许拯民等编著. -- 北京
: 中国水利水电出版社, 2012. 10
ISBN 978-7-5170-0249-9

I. ①水… II. ①许… III. ①水资源利用—可持续性
发展—研究—中国 IV. ①TV213.9

中国版本图书馆CIP数据核字(2012)第240384号

书 名	水资源利用与可持续发展
作 者	许拯民 赵可锋 梅宝澜 唐磊 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	北京嘉恒彩色印刷有限责任公司
规 格	184mm×260mm 16开本 16.75印张 397千字
版 次	2012年10月第1版 2012年10月第1次印刷
印 数	0001—2500册
定 价	48.00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

前言

水，是人类赖以生存和发展的、不可替代的自然资源。随着人口的增长，社会经济的发展，对水资源的需求量不断增加，导致社会各方对水资源的无序开发，使得水资源短缺和水环境污染问题日益突出，严重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、跨世纪关注的焦点。

我国自改革开放以来，国民经济迅速发展，水的供需矛盾也日益突出，很多地方，特别是北方沿海地区水资源已成为当地经济发展的制约因素。因此，在我国必须对水资源的开发利用、规划布局、水资源保护以及经营管理各个方面，进行统一的、系统的科学化管理，使有限的水资源得到有效的、合理的利用。

水资源的开发、利用、保护、管理是一个跨学科、跨部门、跨地区、跨流域的复杂的系统工程。如何合理科学利用有限的水资源，并使其得到可持续发展，作者认为，首先要解决人才的培养问题，鉴于此，作者根据自己多年的教学和工作经验，并参考其他学者的著作，编著了《水资源利用与可持续发展》一书。本书既是对传统的水资源利用方法理论的总结，又以可持续发展的理论确定水利可持续发展的指导思想，提出新的水利可持续发展的研究方法，进而研究了实现水利可持续发展的可行途径。

本书分四篇共二十一章内容，各章按水资源利用及可持续发展的工作程序来编著，由华北水利水电学院许拯民，水利部小浪底水利枢纽建设管理局赵可锋、梅宝澜，中交路桥北方工程有限公司唐磊编著。其中：第一篇第一章，第二篇第一章、第六章，第三篇由许拯民编著，其余部分由赵可锋、梅宝澜、唐磊编著。在本书的编著过程中，参考了有关单位和个人的研究成果，在此表示感谢。由于水资源利用与可持续发展工作的复杂性，编写本书确有一定难度，加之作者水平有限，书中难免有不足之处，欢迎广大读者批评指正。

作者

2012年7月

目 录

前言

第一篇 水资源及其评价

第一章 水资源形成	3
第一节 水资源概念	3
第二节 地表水资源形成	4
第三节 地下水资源形成	18
第四节 水资源特征	24
第二章 水资源评价	26
第一节 水资源评价概述	26
第二节 降水量评价	30
第三节 地表水资源量评价	33
第四节 地下水资源量评价	43
第五节 区域水资源总量评价	53
第六节 水资源评价实例	63
第七节 水质评价	68

第二篇 水资源开发利用

第一章 水资源开发利用现状	79
第一节 世界水资源开发利用状况	79
第二节 我国水资源开发利用状况	80
第二章 水资源开发利用规划	83
第一节 水资源规划概述	83
第二节 水资源规划的指导思想和工作流程	85
第三章 水资源需求预测	89
第一节 农业需水	89
第二节 工业用水调查分析	92
第三节 城市生活用水调查估算	99

第四节	生态环境需水调查分析	100
第四章	水资源供需分析及合理配置	114
第一节	水资源供需概念及类型	114
第二节	单项工程可供水量	116
第三节	区域可供水量	120
第四节	区域水资源供需分析	121
第五节	水资源紧缺程度综合评价	125
第六节	区域水资源合理配置	127
第五章	地表水资源开发利用	131
第一节	地表水资源的利用途径	131
第二节	地表水取水构筑物介绍	134
第三节	地表水取水构筑物的设计	140
第四节	地表水输水工程的选择与设计	147
第六章	地下水资源开发利用	150
第一节	地下取水构筑物的类型	150
第二节	管井设计与施工	155
第三节	井灌区规划	165
第七章	水资源合理开发利用及其影响评价	173
第一节	水资源合理开发利用的涵义	173
第二节	水资源合理开发利用的途径	174
第三节	水资源开发利用的影响评价	174

第三篇 水利可持续发展

第一章	可持续发展概述	181
第一节	可持续发展思想的形成与发展	181
第二节	可持续发展的基本理论	182
第三节	世界可持续发展的进展	187
第四节	中国可持续发展的进展	189
第二章	水利可持续发展概述	191
第一节	水利可持续发展思想的由来	191
第二节	水资源可持续利用与水利可持续发展的概念	192
第三节	水利可持续发展研究	196
第三章	水利可持续发展系统模型研究	197
第一节	水利可持续发展系统模型的基础理论	197
第二节	水利可持续发展系统模型的总体结构	200
第三节	SDWR 的子系统模型	202

第四章 水利可持续发展测度理论与方法..... 209

第一节 概述 209

第二节 水利可持续发展测度的过程与原则 210

第三节 水利可持续发展指标体系 211

第四节 水利可持续发展综合评价概述 220

第五章 水利可持续发展信息系统研究..... 224

第一节 可持续发展信息系统的意义与作用 224

第二节 我国水利可持续发展信息系统的目标与功能 226

第三节 水利可持续发展信息系统的数据分析 228

第四节 水利可持续发展信息系统的总体结构 229

第五节 水利可持续发展信息系统的安全机制 230

第六章 水利可持续发展研究结论和建议..... 232

第一节 水利可持续发展研究结论 232

第二节 水利可持续发展建议 233

第四篇 水 资 源 管 理

第一章 水资源管理概论..... 239

第一节 水资源管理的目标 239

第二节 水资源管理的原则 240

第三节 水资源管理的手段 240

第四节 水资源管理的方式 242

第二章 水资源管理的组织体制..... 244

第三章 水资源管理的法规体系..... 246

第四章 水资源管理的经济机制..... 251

第五章 水资源管理的技术体系..... 257

第六章 国外水资源综合管理经验..... 259

参考文献 262

第一篇

水资源及其评价

第一章 水资源形成

第一节 水资源概念

“水资源”并非“水”，两词在含义上有所区别。地球因表面绝大部分为水体所包围，故有“蓝色星球”、“水的行星”之称，这只说明水体储量大，并非都是水资源。

那什么是水资源呢，关于水资源的含义，至今也没有形成公认的定义。但国内外有多种提法，具体如下：

(1) 英国《大不列颠大百科全书》中定义为“全部自然界任何形式的水，包括气态水、液态水和固态水的全部量。”此种解释，适用于地球水圈中所有水，较笼统，实际应用中无所适从。故，1963年英国通过的《水资源法》中定义“具有足够数量的可用水源。”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含义，强调了其在量上的可利用性。

(2) 1977年联合国水会议，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》定义“可望利用或有可能利用的水源，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。”这一定义的核心主要包括两个方面：其一是应有足够的数量，其二是强调了水资源的质量。有“量”无“质”或有“质”无“量”均不能称之为水资源。这一定义比英国《水资源法》中水资源的定义具有更为明确的含义，不仅考虑水的数量，同时其必须具备质量的可用性。

(3) 前苏联《水与人类》定义“某一区域的地表和地下淡水储量”，包括永久储量和可恢复储量。

(4) 《中国水资源初步评价》报告中“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。

(5) 《中国大百科全书》定义“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”，但也强调“一般每年可更新的水量资源。”

(6) 《中国水利百科全书》定义“地球所有的气态、液态或固态的天然水”。与英国《大不列颠大百科全书》相似，但提出“可利用的水资源主要指某一地区逐年可以恢复和更新的淡水资源”。

(7) 《环境科学词典》(1994年)定义水资源为“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。”

上述水资源的定义差别较大，引起对水资源概念及其内涵具有不尽一致的认识与理解，主要原因在于：水资源是一个既简单又非常复杂的概念；它的复杂内涵表现为水的类型繁多，具有运动性，各种类型的水体具有相互转化的特性；水的用途广泛，不同的用途对水量和水质具有不同的要求；水资源所包含的“质”和“量”在一定条件下是可以改变

的；更为重要的是，水资源的开发利用还受到经济技术条件、社会条件和环境条件的制约。正因为如此，人们从不同的侧面认识和体会水资源，造成对水资源一词理解的不一致性和认识的差异性。

从目前的普遍看法，水资源可理解为人类在长期生活、生产过程中各种需水的基本来源，包括质和量两方面的意义。它有广义和狭义之分。

广义上的含义是指凡是对人类有直接或间接使用价值，能作为生产资料或生活资料的天然水体皆称之为水资源。

狭义上的含义是指人类能够直接使用的水，具体是指水在循环过程中，降落到地面形成径流，流入江河，存留在湖泊、水库中的地表水和渗入地下形成的地下水（扣除总水量95%以上的海水，扣除冰山、冰川、积雪及几千米深层地下淡水）。我们所研究的水资源仅限于狭义水资源的范围。

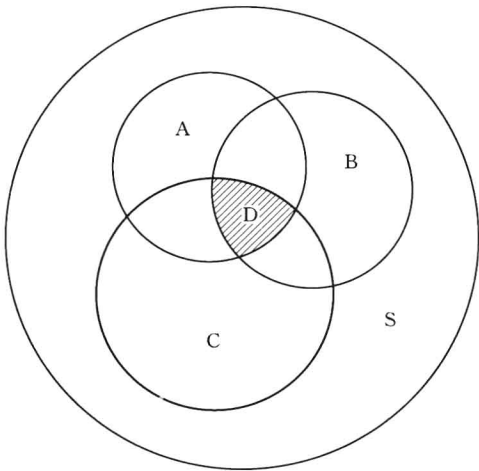


图 1-1-1 水资源概念（各环大小可变）

从可持续发展观点和经济学角度出发，理解为“在天然水体储备中，按社会发展需求，用当代技术条件能够开采取用的。在投资费用上经济合理的，在开采过程中及开采之后能保证环境安全的水量。”

水资源概念如图 1-1-1 所示。其中，大环 S 为江河湖海及地下埋藏的天然水储量；A 为利用当代技术可开发的水量，如“打井深度、水泵扬程、海水淡化、最大坝高”限制；B 为经济上合理、用水部门合理的投资和负担能力，如技术上南极冰块可运至地球任一城市，但经济上不合理；C 为环境容量，即为保证生态环境的安全所能允许的开采量，如地下水超采引起地面沉降和地裂、海水倒灌；D 为三环交汇代表当代可开采水资源量集合论观点， $D = S \cap A \cap B \cap C$ 。S 趋于常量，亦有少量变幅；A、B 随着技术、经济的发展而增大；C 可能由于人类活动的负效应而减少。

第二节 地表水资源形成

一、水循环

（一）水循环的概念

地球上的水以液态、固态和气态的形式分布于海洋、陆地、大气和生物机体中，这些水体构成了地球的水圈。水圈中的各种水体在太阳的辐射下不断地蒸发变成水汽进入大气，并随气流的运动输送到各地，在一定条件下凝结形成降水。降落的雨水，一部分被植物截留并蒸发，一部分渗入地下，另一部分形成地表径流沿江河回归大海。渗入地下的水，有的被土壤或植物根系吸收，然后通过蒸发或散发返回大气；有的渗入到更深的土层形成地下水，并以泉水或地下水的形式注入河流回归大海。水圈中的各种水体通过蒸发、

水汽输送、凝结、降落、下渗、地表和地下径流的往复循环过程，称为水循环。

（二）水循环的种类

按照水循环的规模与过程，可分为大循环、小循环和内陆水循环。

（1）大循环。从海洋蒸发的水汽，被气流输送到大陆上空，冷凝形成降水后落到陆地，其中一部分以地表和地下径流的形式从河流汇归海洋；另一部分重新蒸发返回大气。这种海陆间的水分交换过程，称为大循环。

（2）小循环。海洋上蒸发的水汽在海洋上空凝结后，以降水的形式落到海洋里，或陆地上的水经蒸发凝结又降落到陆地上，这种局部的水循环称为小循环。前者称为海洋小循环，后者称为内陆小循环。

（3）内陆水循环。水汽从海洋向内陆输送的过程中，在陆地上空一部分冷凝降落，形成径流，向海洋流动，同时也有一部分再蒸发成水汽继续向更远的内陆输送。愈向内陆水汽愈少，循环逐渐减弱，直到不再能成为降水为止。这种局部的循环也叫做内陆水循环。内陆水循环对内陆地区降水有着重要作用。

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。水循环过程中的蒸发、输送、降水和径流称为水循环的四个基本环节。水循环中的各种现象如图 1-1-2 所示。

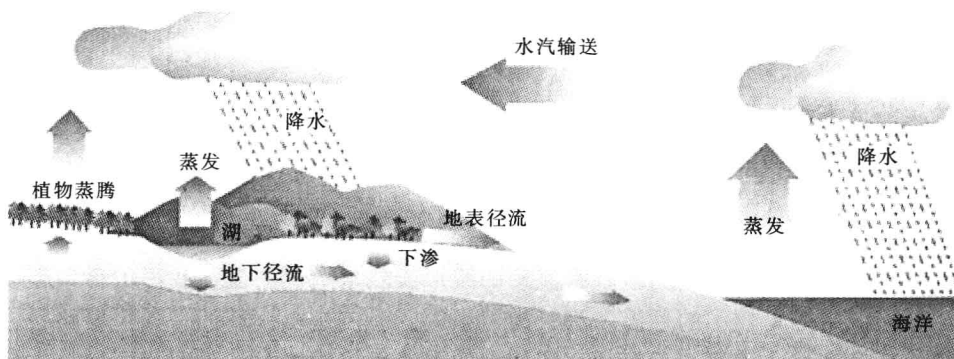


图 1-1-2 水循环示意图

（三）水循环的实质

水循环是地球上最重要、最活跃的物质循环之一，它实现了地球系统水量、能量和地球生物化学物质的迁移与转换，构成了全球性的连续有序的动态大系统。水循环把海陆有机地连接起来，塑造着地表形态，制约着地球生态环境的平衡与协调，不断提供再生的淡水资源。因此，水循环对于地球表层结构的演化和人类可持续发展都具有重大意义。

（1）水循环深刻地影响着地球表层结构的形成、演化和发展。水循环不仅将地球上各种水体组合成连续、统一的水圈，而且在循环过程中进入大气圈、岩石圈与生物圈。将地球上的四大圈层紧密地联系起来。水循环在地质构造的基底上重新塑造了全球的地貌形态，同时影响着全球的气候变迁和生物群类。

（2）水循环是海陆间联系的纽带。水循环的大气过程实现了海陆上空的水汽交换，海

洋通过蒸发源源不断地向陆地输送水汽,进而影响着陆地上一系列的物理、化学和生物过程;陆面通过径流归还海洋损失的水量,并源源不断地向海洋输送大量的泥沙、有机质和各种营养盐类,从而影响着海水的性质、海洋沉积及海洋生物等。虽然陆地有时也向海洋输送水汽,但总体上是海洋向陆地输送水汽,陆地向海洋输送径流。

(3) 水循环使大气水、地表水、地下水相互转换。水循环的过程中,大气以降水的形式补给地表;地表水以下渗的形式补给土壤或通过岩石裂隙直接补给地下水;土壤以下渗的形式补给地下水,在一定条件下,土壤水也可以以壤中流的形式补给地表,地下水以地下径流的形式补给地表;土壤水和地下水又以蒸发或植物散发的形式补给大气。从而形成大气水、地表水、土壤水、地下水的相互转换。

(4) 水循环使得水成为可再生资源。水循环的实质就是物质与能量的传输过程,水循环改变了地表太阳辐射能的纬度地带性,在全球尺度下进行高低纬、海陆间的热量和水量再分配。水是一种良好的溶剂,同时具有搬运能力,水循环负载着众多物质不断迁移和聚集。通过水循环,地球系统中各种水体的部分或全部逐年得以恢复和更新,这使得水成为可再生资源。水循环与人类关系密切,水循环强弱的时空变化,导致水资源的时空分布不均,是制约一个地区生态平衡和可持续发展的关键。

由于在水循环过程中,海陆之间的水汽交换以及大气水、地表水、地下水之间的相互转换,形成了陆地上的地表径流和地下径流。由于地表径流和地下径流的特殊运动,塑造了陆地的一种特殊形态——河流与流域。一个流域或特定区域的地表径流和地下径流的时空分布既与降水的时空分布有关,亦与流域的形态特征、自然地理特征有关。因此,不同流域或区域的地表水资源和地下水资源具有不同的形成过程及时空分布特性。

二、河流与流域

(一) 河流

1. 河流的形成与分段

河流是陆地表面上经常或间歇有水流动的线形天然水道。河流在我国称谓很多,较大的称江、河、川等,较小的称溪、涧、沟、渠等。河流是水循环的一条主要路径。河流和人类的关系最密切。黄河与长江孕育了伟大的中华民族,埃及的尼罗河同样是古代文明的发祥地之一。河流的水量和水质是重要的自然资源,但是,河流也会给人们造成洪涝等灾害。

一条河流可分为河源、上游、中游、下游及河口五段。

(1) 河源。河源是河流的发源地,可以是泉、溪涧、沼泽、湖泊或冰川等。

(2) 上游。河流的上游连接河源,水流具有较高的位置势能,在重力作用下流动,受河谷地形的影响,水流湍急,落差大,冲刷强烈,奔流于深山峡谷之中,常有瀑布、急滩。河流的上游水能蕴藏量丰富。

(3) 中游。随着河槽地势渐趋平缓,两岸逐渐开阔,河面增宽,水面比降减小,两岸常有滩地,冲淤变化不明显,河床较稳定。河流的中游水能蕴藏量也比较丰富。

(4) 下游。下游与河口相连,一般处于平原区,河床宽阔,河床坡度和流速都较小,淤积明显,浅滩和河湾较多。

(5) 河口。河流的终点,即河流注入海洋或内陆湖泊的地方,此段因流速骤减,泥沙

大量淤积, 往往形成三角洲。注入海洋的河流称为外流河, 如长江、黄河等。流入内陆湖泊或消失在沙漠中的河流称为内陆河。如新疆的塔里木河和甘肃的石羊河等。

2. 河流的基本特征

(1) 河流长度 L 。自河源沿主河道至河口的距离称为河流长度, 简称河长, 以 km 表示。可在适当比例尺的地形图上量出。

(2) 河流断面。河流的断面分为横断面和纵断面。横断面是指与水流方向相垂直的断面。断面内通过水流的部分称为过水断面。河槽横断面的形态是多种多样的, 山区河槽常为深而窄的单式断面, 底部多为基岩或砾石; 平原河槽常为宽而浅的复式断面, 底部多为细砂或淤泥 (图 1-1-3)。

纵断面是指沿着河流溪线或中泓线的剖面, 中泓线是河流中沿水流方向各断面最大水深点的连线。用测量方法测出该线上若干河底地形变化点的高程, 以河长为横坐标, 可绘出河流纵断面图。它表示河流纵坡与落差的沿程分布, 是推算河流水能蕴藏量的主要依据。

河流的纵横断面都是随着时间在变化的, 纵断面一般是下游不断淤高, 上游刷深; 横断面则经常处于冲淤交替的过程中。河流断面的变化, 主要决定于水流、河槽地质以及河槽组成物质等情况。

(3) 河道纵比降。任意河段两端的河底高程差 Δh 叫做落差。单位河长的落差称为河道纵比降 (图 1-1-4)。河道纵比降常用小数表示, 也可用千分数表示。

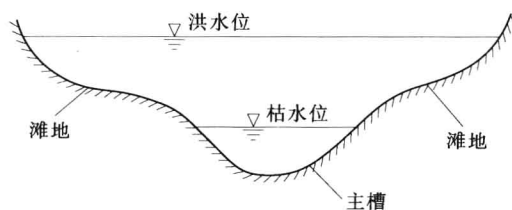


图 1-1-3 河流横断面图

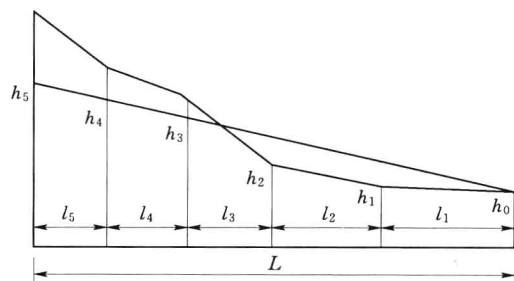


图 1-1-4 河道纵比降图

当河底近似于直线时, 比降的计算公式为

$$J = \frac{h_1 - h_0}{l} = \frac{\Delta h}{l} \quad (1-1-1)$$

式中 J ——河道的纵比降;

h_1 、 h_0 ——河段上、下端河底高程, m;

l ——河段的长度, m。

当河段纵断面呈折线时, 可在纵断面图上, 通过下游断面河底处作一斜线, 使斜线以下的面积与原河底线以下的面积相等, 此斜线的坡度即为河道的平均纵比降, 其计算公式为

$$j = \frac{(h_0 + h_1)l_1 + (h_1 + h_2)l_2 + \cdots + (h_{n-1} + h_n)l_n - 2h_0L}{L^2} \quad (1-1-2)$$

式中 $h_0, \dots, h_n$ ——自下游到上游沿程各点的河底高程, m;

$l_1, \dots, l_n$ ——相邻两点间的距离, m;

L ——河段全长, m。

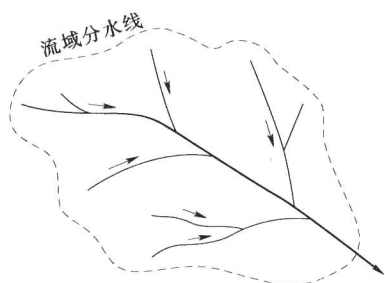


图 1-1-5 河系示意图

(4) 河系。河流分为支流与干流, 它们和湖泊等构成脉络相通的泄水系统, 称为河系 (图 1-1-5), 也称水系或河网。常取长度最大或水量最多的作为干流, 汇入干流的称一级支流, 汇入一级支流的称二级支流, 以此类推。水系的名称一般用干流的名称命名。

根据干支流分布状况, 河系可分为多种类型: ①扇形河系, 河系如扇骨状分布, 如海河; ②羽状河系, 沿途纳入许多支流, 形如羽毛状, 如滦河; ③平行河系, 几条支流并行排列, 至靠近河口处开始汇合, 如淮河; ④混合型河系, 较大河流大多数包括上述两三种型式的混合排列, 如长江。不同类型的河系汇流特性不同, 相同的流域面积、相同的雨型雨量, 在扇形河系易形成高洪峰短历时的洪水, 而在羽状河系形成的洪水则峰低历时长。

流域内水道的多少一般用河网密度表示。河网密度 D 等于河系所有水道的总长度 $\sum L$ 与其流域面积 F 的比值, 即 $D = \frac{\sum L}{F}$ 。河网密度能综合反映一个地区的自然地理条件。

(二) 流域

在河流某一控制断面以上, 汇集地表水和地下水的区域叫做河流在该断面以上的流域。当不指明断面时, 流域是对河口断面来讲的, 如长江流域是指吴淞口以上的全部集水区域。

1. 流域分水线和面积

(1) 流域分水线。流域的界线称分水线。河水由地表水和地下水所补给, 因此, 分水线有地表和地下两种。因流域的水文地质和地貌特征的影响, 地表分水线和地下分水线常不一致。地表分水线一般位于山峰或河间高地, 起着分开地表水的作用, 例如秦岭的脊线是黄河与长江的分水线; 地下分水线是分隔地下水的。两者是否吻合, 与岩层的构造和性质有关。当流域的地表与地下分水线一致时, 称为闭合流域; 两者不一致时, 如图 1-1-6 所示, 称非闭合流域。严格说来, 完全闭合的流域是不存在的。非闭合流域会产生相邻流域的水量交换, 即地下水的补给区一个流域偏大而另一个流域偏小。对大、中流域, 地表和地下集水区不一致而产生相邻流域的水量交换, 占流域总水量比重很小, 可忽略不计, 故可用地表集水区代表流域面积。但对小流域或相邻流域水量交换占的比重很大时, 应进行水文地质调查、枯水调查或泉水调查, 确定地下水的补给量, 以估算相邻流域交换的水量。由于地下分水线难以划分, 在实际工作中, 以地表分水线与出口断面所包围的区域作为流域。除有石灰岩溶洞等特殊地质情况外, 对于一般流域而言, 没有太大影响时, 多按闭合流域考虑。

(2) 流域面积。流域分水线与出口断面所包围的面积称流域面积, 也叫集水面积, 可在地形图上先勾绘分水线, 再用求积仪量计, 或用数方格法量算。量计的精度与地形图的

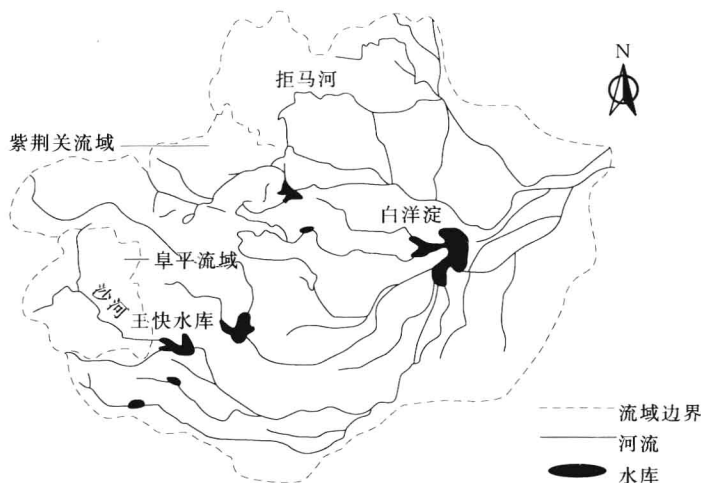


图 1-1-6 某流域示意图

比例尺及分水线勾绘是否准确有关。应尽量取较大比例尺的地形图量计。

2. 流域的几何特征

(1) 流域长度和平均宽度。流域长度也就是流域的轴长。以流域出口为中心作一组不同半径的同心圆。在每个同心圆与流域分水线相交处作割线，各割线中点的连线的长度即为流域长度，单位以 km 计。流域面积与流域长度的比值称为流域平均宽度，单位以 km 计。

(2) 流域形状系数。流域平均宽度与流域长度之比称为流域形状系数。扇形流域的形状系数较大，狭长形流域则较小，所以流域形状系数在一定程度上以定量的方式反映流域的形状特征。

(3) 流域平均高度与坡度。将流域地形图划分为 100 个以上的正方形格，依次定出每个方格交叉点上的高程以及与等高线正交方向的坡度，取其平均值即为流域平均高度和平均坡度。

3. 流域的自然地理特征

(1) 流域的地理位置。流域的地理位置以流域所处的经纬度来表示。它可以反映流域所处的气候带，说明流域距离海洋的远近，以及反映水循环的强弱。

(2) 流域的气候特征。包括降水、蒸发、湿度、气温、气压、风等要素。它们是河流形成和发展的主要因素，也是决定水文特性的重要因素。

(3) 流域下垫面条件。下垫面条件指流域的地形、土壤和岩石特性、地质构造、植被、湖泊及沼泽情况等，都是与流域水文特性密切相关的自然地理特征。山地的迎风坡，容易出现大暴雨。土壤和岩石特性、地质构造影响入渗和地下水的补给。植被能减缓地表径流，增加入渗和地下径流。湖泊、沼泽对洪水有调节作用。长期以来，人类采取兴修水利、水土保持、城市化等措施来改造自然，以满足人类的需要。人类的这些活动，在一定程度上改变了流域的下垫面条件，从而引起水文特性的变化。

三、地表水资源的形成

地表水资源的多少及时空分布特点与其降水特性密切相关。本节主要介绍降水的特性

和地表水资源的形成及特性。

(一) 降水

1. 降水及其特征

降水是指液态或固态的水汽凝结物从云中降落到地表的現象，如雨、雪、霰、雹、露、霜等，其中以雨、雪为主。我国大部分地区，一年内降水以雨水为主，雪仅占少部分，所以，这里降水主要指降雨。

降水特征常用几个基本要素来表示，如降水量、降水历时、降水强度、降水面积及暴雨中心等。降水量是指一定时段内降落在某一点或某面积上的总水量，用深度表示，以 mm 计。如一场降水的降水量是指该次降水全过程的总降水量。日降水量是指一日内的降水总量。降水量一般分为 7 级，见表 1-1-1。凡日降水量达到和超过 50mm 的降水称为暴雨。暴雨又分为暴雨、大暴雨和特大暴雨三个等级。降水持续的时间称为降水历时，以 min、h 或 d 计。单位时间的降水量称为降水强度，以 mm/min 或 mm/h 计。降水笼罩的平面面积称为降水面积，以 km^2 计。暴雨集中的较小的局部地区，称为暴雨中心，一场降水可能有几个暴雨中心，暴雨中心在降水过程中也可能是移动的。

降水历时和降水强度反映了降水的时程分配，降水面积和暴雨中心反映了降水的空间分布。

表 1-1-1

降水量等级表

24h 雨量 (mm)	<0.1	0.1~10	10~25	25~50	50~100	100~200	>200
等级	微量	小雨	中雨	大雨	暴雨	大暴雨	特大暴雨

2. 降水的成因与类型

当水平方向物理属性（温度、湿度等）较均匀的大块空气即气团，受到某种外力的作用向上抬升时，气压降低，空气膨胀，为克服分子间引力需消耗自身的能量，在上升过程中发生动力冷却使气团降温。当温度下降到使原来未饱和的空气达到了过饱和状态时，大量多余的水汽便凝结成云。云中水滴不断增大，直到不能被上升气流所托时，便在重力作用下形成降雨。因此，空气的垂直上升运动和空气中水汽含量超过饱和水汽含量是产生降雨的基本条件。

按空气上升的原因，降水的成因可分为锋面抬升、地形抬升、局地热力对流和动力辐合上升；降水的类型可相应分为锋面雨、地形雨、对流雨和气旋雨。

(1) 锋面抬升与锋面雨。冷暖气团相遇，其交界面叫锋面，锋面与地面的相交地带叫锋，锋面随冷暖气团的移动而移动。当冷气团向暖气团推进时，因冷空气较重，冷气团楔进暖气团下方，把暖气团挤向上方，发生动力冷却而致雨。这种空气上升称为锋面抬升，这种雨称为冷锋雨，如图 1-1-7 (a) 所示。由于冷空气与地面的摩擦作用使锋面接近地面部分坡度很大，暖空气几乎被迫垂直上升，在冷锋前形成积雨云。因此冷锋雨一般强度大、历时短、雨区面积较小。当暖气团向冷气团移动时，由于地面的摩擦作用，上层移动较快，底层较慢，使锋面坡度较小。暖空气沿着这个平缓的坡面在冷气团上爬升，在锋面上形成了一系列云系并冷却致雨。这种空气上升也称为锋面抬升，这种雨称为暖锋雨，如图 1-1-7 (b) 所示。由于暖锋面比较平缓，故暖锋雨一般强度小，历时长，雨区广，