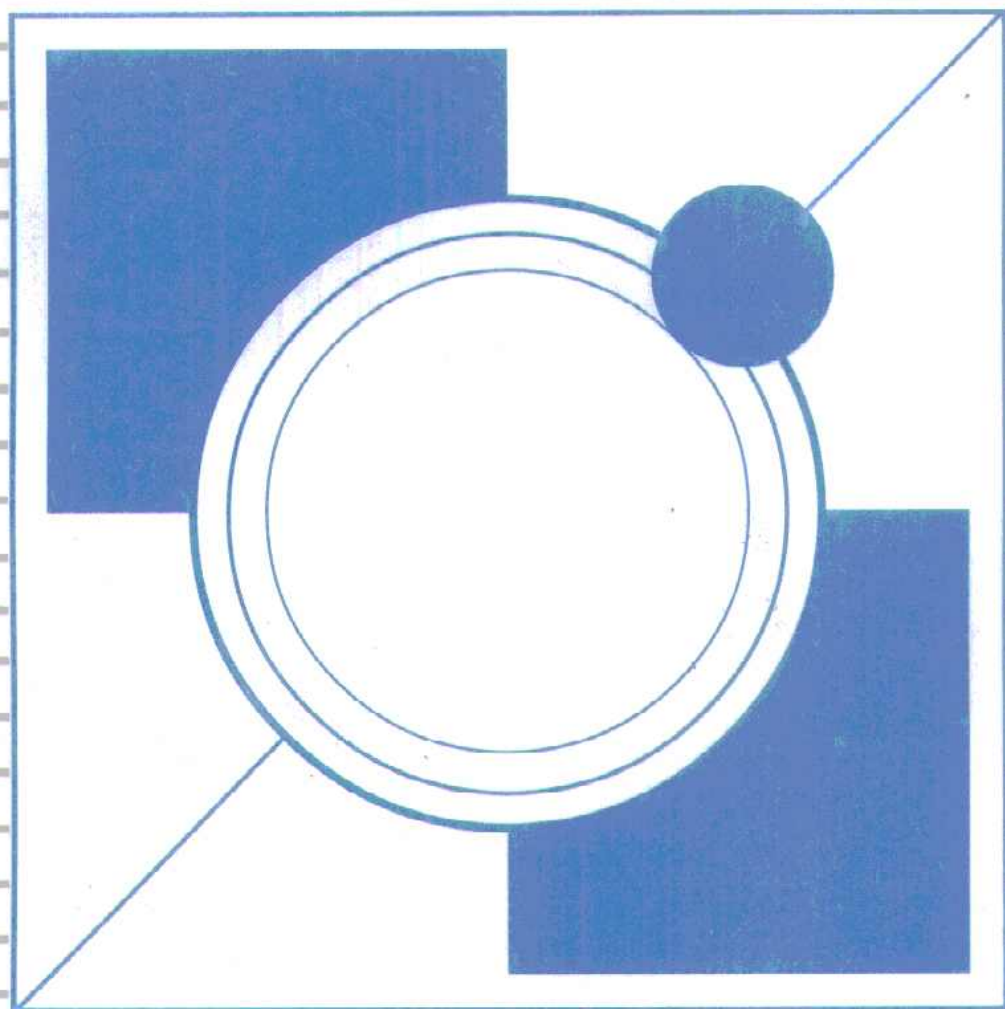


高职高专给水排水工程专业系列教材

水资源与取水工程

刘自放 张廉均 邵丕红 编

张淑英 主审



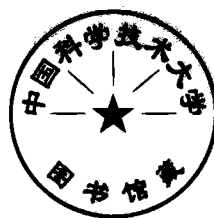
134

TV211
L76

高职高专给水排水工程专业系列教材

水资源与取水工程

刘自放 张廉均 邵丕红 编
张淑英 主审



中国建筑工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

水资源与取水工程/刘自放, 张廉均, 邵丕红编. 北京: 中国建筑工业出版社, 1999

高职高专给水排水工程专业系列教材

ISBN 7-112-04008-6

I. 水… I. ①刘…②张…③邵… II. ①水资源管理-高职高专-教材
②取水-水利工程-高职高专-教材 IV. TV67

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (1999) 第 53277 号

本书为高等专科学校给水排水工程专业系列教材之一, 主要介绍目前常开发利用的自然界水资源的存在形式、基本特性、运动规律及其水质污染、水量水质评价、水资源体控制等的基本概念、基本原理、分析或计算的基本方法, 以及地表水、地下水取水工程的取水方式、系统组成、工作原理、运行管理、设计计算等内容。

本书可作为给水排水工程、水体工程及其他有关专业的教材或教学参考书, 也可供从事水资源开发与规划、市政建设、水体保护等专业工作的工程技术人员参考。

高职高专给水排水工程专业系列教材

水资源与取水工程

刘自放 张廉均 邵丕红 编

张淑英 主审

*

中国建筑工业出版社出版(北京西郊百万庄)

新华书店总店科技发行所发行

北京市兴顺印刷厂印刷

*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 10 1/4 字数: 243 千字

2000 年 6 月第一版 2000 年 6 月第一次印刷

印数: 1—2500 册 定价: 12.70 元

ISBN 7-112-04008-6

TU·3138 (9415)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题, 可寄本社退换

(邮政编码 100037)

前 言

本书是高等专科学校给水排水工程专业系列教材之一。它根据全国高等学校给水排水工程学科专业指导委员会专科组 1996 年春季会议通过的《水资源与取水工程》课程教学基本要求,按 50 学时编写。

本书根据目前的给水排水工程专业专科教育培养目标,在教学体系及内容上作了较大的调整,将《水文学》、《供水水文地质》课程中的部分内容纳入本书,并以较大的篇幅介绍了有关水资源的污染及其控制、水资源的水质监测与预报、水资源评价与开发规划等方面的内容,这在以往的教材中是不曾有过的。有关水资源及其水体的问题,是日趋严峻的水体污染问题和给水排水工程事业不断发展的新形势,要求从事给水排水专业的工程技术人员及其他有关人员应该高度重视的问题。

本书共分绪论、1~5 章六个部分。绪论部分介绍了水资源的重要意义、水资源与取水工程的主要任务及其发展概况;第一章主要介绍水资源的存在与循环形式,地下水、地表水的运动特性;第二章主要介绍水体的水质特点及其影响因素,水体的污染监测、预报与控制等内容;第三章主要介绍水资源量的计算、水质水量评价与水资源开发规划等有关内容;第四章内容为地下水取水工程;第五章内容为地表水取水工程。

本书的绪论,第一章第一、二节,第二章,第三章第二、三、四、五节由长春建筑高等专科学校刘自放编写;第一章第三节,第三章第一节中的三小节,第四章由河北工程技术高等专科学校张廉均编写;长春建筑高等专科学校邵丕红编写第三章第一节中的一、二、四小节、第五章及附录部分,并绘制全书插图。

本书由兰州铁道学院张淑英教授主审;在本书的出版过程中,南京建筑工程学院周虎城教授、兰州铁道学院张淑英教授对本书初稿进行了详尽地审阅和修改,提出了许多宝贵的意见;全国高等学校给水排水工程学科专业指导委员会专科组对本书初稿进行了认真地评审;一些大专院校的教师,设计、施工单位的同行,对此书提出了很多的宝贵意见;在此,对他们表示衷心的感谢!

由于编者水平有限,本书的编写难免存在一些缺陷和疏漏,在此,恳请广大读者不吝赐教。

编者

1998 年 6 月

绪 论

一、水资源及其对人类的重要意义

水是人类赖以生存的重要资源。没有水，人类将无法生存和发展。人们的日常生活与各行各业，几乎无处不需要用水。纵观人类文明史，可以说，最初的古代文明大多是依偎着大河流域而发展的。黄河、长江与中华民族几千年文明史，尼罗河与古埃及文化，“新月沃地”与古巴比伦，印度河与古印度，所有这些，无一不是由当地的大河流域孕育出的古老文明。

人类对环境的认识，经历了漫长而曲折的历程，付出并且正在付出沉痛的代价。直至今天，人们仍不得不接受环境给予人类无情而且严酷的回报。

19 世纪欧洲的工业革命，似乎突然唤醒了人类改变自身生活环境与周围世界的热望。人们近乎贪婪地向自然界索取着被认为是取之不尽、用之不竭的资源。毫不例外，自然界的水资源也难免遭受同样的命运。随着科学的进步和社会的发展，人类对自己周围的水资源量的需求也越来越大。人们从各种各样可以利用的水资源（江、河、湖、海、地下水等水体）中取水，按照自己所要求的水质对水进行处理、使用，最后将用过的污水排放回天然水体。由于人们对水的需求量在不断地增长，很多地区的水资源量已难以满足人们的需求，出现了开采量接近甚至超过水资源量的现象。与此同时，这些开采利用过的水，又在没有很好地进行处理的情况下，大量地排入自然水体，致使一些地区可用的自然水资源水量濒临枯竭。这些有碍于自然水资源平衡的人为活动，导致江河水流量减少、湖泊贮水量萎缩、地下水位急骤下降、水质遭受严重污染，引起水环境状况的严重恶化。

正当人们为自己所创造的当今现代化世界而沾沾自喜的时候，由于水环境污染而出现的各种公害病，如日本的水俣病，给了人们当头一棒。无情的事实使人们开始反思、警醒，水资源是有限的，人类只有一个地球！

水是人类社会生存发展的基础资源之一。不仅过去和现在，水在人们的日常生活和人类社会的发展中担当着重要的角色，即便是将来，它仍然毫无疑问地是人类生存和发展必不可少的物质基础。因此，保护水资源，合理地加以开发和利用水资源，使人类社会与自然环境协同发展，事在当代，功在千秋。

二、水资源与取水工程的目的与任务

水源是取水工程研究解决的首要任务，水源的选择又和水资源的开发利用密切相关。

水资源与取水工程这门课程的学习目的，就是在充分了解水资源环境的基础上，学会合理地水资源加以开发利用，在为人们的日常生活和工农业生产提供所必需的水源的同时，确保水资源环境满足“人与自然协调发展”所应具备的条件。

本门课程的任务，是以目前科学技术的发展阶段与工程技术的现有水平为前提，对已被人们广为开发利用的水资源形式进行探讨，介绍他们的存在形式、基本特征以及运动的基本规律，分析水资源产生污染的影响因素及其被污染后产生的危害，研究进行水资源污

染检测、评价、预报、控制以及对于一般的较小流域进行水资源的规划的基本方法，系统地介绍地下水与地表水取水工程系统及其构筑物的基本组成、工作原理、设计计算、工程施工、运行管理等工程技术知识。

三、我国水资源与取水工程的现状与发展

我国水资源总量排在世界的第六位，但人均水资源占有量却只有世界人均占有量的 $\frac{1}{4}$ ，加之我国水资源量在时空上的分布又极不均匀，以及近年来经济发展带来的水环境的污染，使得原本就很匮乏的水资源更加显得危机重重。随着我国改革开放的不断深入，经济建设的迅猛发展，人民生活水平的不断提高，一方面对水资源量的需求不断增加，另一方面污染物质的排放造成水资源的污染，使可利用的水资源量持续下降。

据 1993 年的统计，虽然全国大江大河干流的水质状况基本良好，但流经城镇的河段污染较严重。1993 年，全国废水排放量 355.6 亿 t，其中工业废水 219.5 亿 t。工业废水中化学需氧量 622 万 t、重金属排放量 1621t、氰化物排放量 2480t、挥发酚排放量 4996t，造成城市地面水污染普遍比较严重。在七大水系和内陆河流水质评价的 123 个重点河段中，符合《地面水环境质量标准》1、2 类的占 25%，符合 3 类标准的占 27%，符合 4、5 类标准的占 48%。我国的华北、西北、胶东、辽宁中南部和部分沿海城市水资源量已不能满足城市日益增长的水量要求，以致这些城市严重缺水。我国主要城市地下水供需矛盾仍很突出，天津、石家庄、太原、南京、大连、苏州、无锡、常州、宁波、温州、大同、宝鸡、唐山、保定等城市地下水超采严重。西安、太原、宝鸡、大同等城市地下水水质较差。

总之，目前我国水资源的总体状况不容乐观。为了使我国的水污染状况得到改善，自 1984 年 5 月，第六届全国人大常委会第五次会议通过了《水污染防治法》；1986 年 11 月国务院环委会颁布了《关于防治水污染技术政策的规定》；1988 年 1 月 21 日第六届全国人民代表大会常务委员会第二十四次会议通过了《中华人民共和国水法》；1989 年 9 月国务院颁布了《水污染防治法实施细则》；1996 年 5 月，第八届全国人大常委会第十九次会议又对《水污染防治法》进行了修正。可以说，我国水环境保护已经进入了法制化的轨道。我国的九五计划和 2010 年远景目标中，特别强调了“可持续发展”的原则，在这一原则的指引下，我国水资源环境的治理开始逐步向良性循环的方向迈进。

曾经被认为是“取之不尽、用之不竭”的水资源，在水源匮乏、水环境恶化、水危机频频告急的今日，已唤起人们对水资源价值的重新认识。如果使用一项新的技术能使废水回用，不但减少了废水排放造成的污染，而且节约了新鲜水，可以用来创造新的经济价值。所以，水污染防治这种行为的本身，不但具有社会和环境方面价值，还可为社会创造经济价值。“水”是具有经济价值的商品，这一点已被越来越多的人所认识。

水环境污染的控制，长期以来一直采用“末端处理”的方法。近年来，人们开始认真研究工业生产过程中减量、减毒、节约能源和水、原料的问题，尽量采用清洁技术与工艺进行“清洁生产”，以达到污染物质的减量排放甚至零排放。近年来，我国提出大力推行清洁生产，环保投入也逐年增加，据我国国民经济与社会发展九五计划对环境保护工作提出的要求，到 2000 年，力争使环境污染和生态破坏的趋势得到基本控制，部分城市和地区的环境质量有所改善。可以相信，在今后一段时间内，我国水环境污染控制将进入一个持续发展、逐步走向良性循环的新的历史时期。

由于区域水资源的有限性，许多地区的水资源已不能满足人们日常生活和城市发展的

需要，人们不得不扩大范围另寻水源。近年来，长距离、大流量乃至跨流域的取水工程已不鲜见，地表水取水工程的规模越来越大，在给水中所占的比重也一再创下新的记录；为了更多地或取得不受污染的地下水，取水的管井越打越深，建造费用也随之增高。虽然，目前的水处理技术已能够通过进行污水的深度处理或是对海水进行淡化获取淡水资源，但为此付出的昂贵的费用却让人望而生畏。海水作为一种水资源，其资源量虽然非常大，但其较高的含盐量无法采用常规的地表水处理技术将其去除，故目前仍无法将海水广泛用于日常生活和生产。利用反渗透技术进行海水的淡化处理，目前已取得了新的进展，许多海水淡化系统也已能为人类提供淡水，但形成规模的工业化生产，还仅在少数国家里得以进行。因此，在现阶段，取水工程取水的主要对象仍然是以河流、湖泊形式存在的地表淡水或是以潜水、承压水形式存在的地下淡水。取水工程目前发展的主要趋势，在于采用新设备、新材料和应用微机自动化控制等先进技术，使取水工程安全、可靠、高效地运行。

第一章 水资源存在形式与运动特性

第一节 水的存在与循环

一、自然界水的分布

地球表面 3/4 的面积被水所覆盖,这足以说明水是地球上总量最多、分布最广的资源之一。水除了以液态的形式存在以外,还以气态和固态的形式存在于地球上,如大气中所含的水、陆地上的冰川等。据有关专家计算,全世界总贮水量约为 $1.39 \times 10^{18} \text{m}^3$,其中绝大部分为海水,约占总贮量的 96%~97%。

地球上海水、淡水的分配比 表 1-1

海水及高矿化度水	淡水	合计
97.3%	2.7%	100%

地球上淡水的分配比 表 1-2

冰盖及冰川	77.2%
地下水	21.95%
土壤水	0.45%
大气水	0.35%
湖泊、沼泽水	0.04%
河槽水	0.01%
合 计	100.00%

人类开发利用的水资源主要是存在于自然界的淡水。全世界淡水的总存贮量约为 $3.6 \times 10^{16} \text{m}^3$,占地球总贮水量的 2.6%。这仅有的少量淡水,在地球上的分布还极不均匀。存在于南极或其他地区的永久性冰雪覆盖占去了淡水的 2/3,还有一些淡水贮量人类目前还无法直接利用。由于人们生活的区域有限,仅能开发利用自身活动范围附近的地表水与埋藏不很深的地下水。在现阶段,因受技术条件所限,海水还难以成为广泛利用的水源。因此,虽然地球上的总水量非常充足,但可被人类开发利用的淡水量却很少。地球上海水及高矿化度水与淡水的分配比见表 1-1,地球上淡水的分配比见表 1-2。

二、水资源及其存在形式

水是人类赖以生存的最重要的基本物质之一。人类开发利用自然界淡水资源的主要目的,是希望得到能长期提供稳定的淡水供给。因此,水资源是一种积极参与自然界水循环并且可从循环中得到补充的、可被长期利用的淡水水源。在目前条件下,水资源一般是指存在于地球表层可供人类利用的水量,主要包括河流、湖泊和 600m 深度以内含水层中,可以恢复和更新的淡水。

目前,人类可开发利用的水资源。主要以地表水与地下水的形式存在。地表水主要指江河、湖泊、水库等;地下水主要指埋藏在地表以下一定深度土壤中的潜水和承压地下水。

三、自然界的水循环

自然界中以各种形式存在的水,在自然与人为因素的作用下,处于不断的运动与转化之中,如图 1-1。水的运动与转化的方式是多种多样的,有些运动与转化的方式甚至是非常复杂的。影响水的运动与转化的主要作用因素是:阳光辐射、地球引力和人类活动。

在阳光辐射的作用下，地球表面大面积的水面、冰雪覆盖、植被覆盖等，将产生大量的水分蒸发。大量蒸发的水分随高空气流的运动，就形成了大气圈水的迁移。

地球引力在自然界的水循环中同样也扮演着重要的角色。空气中水蒸气的凝结形成了雨滴或冰晶，在重力的作用下从空中降落返回地球表面。降落到地表面的雨水或融化了的冰雪水，又在地球引力的作用下，形成由高向低的汇集流动或沿土壤孔隙的下渗渗流，进而在地表形成河流流动和在地下形成渗流流动。

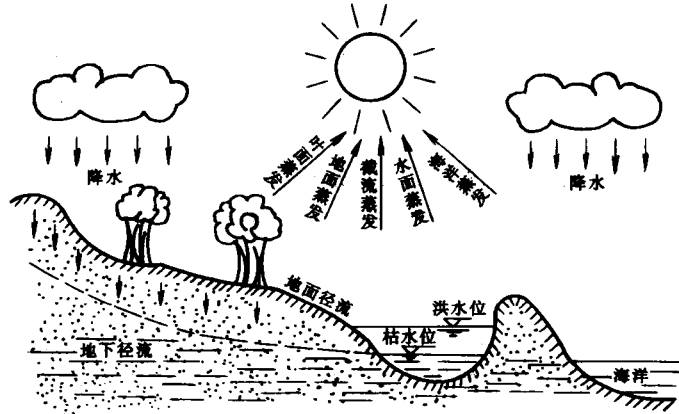


图 1-1 水分循环示意图

自然界的水循环，按照循环过程涉及的范围可分为海陆循环、海循环和陆循环。海陆循环又称为大循环，海循环或陆循环又称为小循环。在地球上，由于海洋和陆地的分布，自然构成了地球上几个大的水循环系统；其中，每个大的水循环系统中又交织着一些小的水循环系统。

在地球表面，大部分的面积被海洋所覆盖，在阳光辐射的作用下，海水向上蒸发，大量的水气上升，推动了水循环中水的上升运动。此外，地球表面的其他部分，如陆地表面、河流湖泊、地面植被、雪山冰川等，也同样在阳光辐射的作用下，产生数量可观的水蒸气。这些水气向上蒸发，促使水循环在规模和复杂程度上进一步的发展。

上升的水蒸气在一定的环境条件下，不仅随着大气环流的移动而迁移，而且不断凝结、发展。当环境条件具备时，凝结的水气就发展成为降水。水气由海面上升，经过迁移、形成降水、又回到海洋的，称为水的海循环。同样，水气由陆地上升，经过迁移、形成降水、又回到陆地的，称为水的陆循环。而水气主要由海面上升，经迁移到内陆、然后形成降水到地面、经地表汇流和地下汇流，最终又回到海洋的，又称为水的海陆循环。

在沿海地区，地域表面有大面积的海水覆盖，水的蒸发量大，造成空气中的水气含量相对较大，水气容易凝结而形成降水，再经地表汇流流入大海，水循环相对活跃；在内陆地区，地域表面主要是岩土和植被，水的蒸发量明显下降，空气中水气含量相对减少，降水量也随之下降，水循环明显减弱。由于海洋上空大量的水气在向内陆迁移的过程中，会不断地形成降水，导致空气中水气的总量逐渐减少，虽然内陆地表蒸发的水气量在迁移的过程中不断有所补充，但其量难以和沿海相比，故内陆地区的水循环量因此而逐渐减少，受海洋迁移来的水气量的影响，沿内陆纵深方向越来越弱。自然界的水循环如图 1-2 所示。

人类活动对自然界的水循环产生着越来越显著的影响。在这些影响中，有些虽然可以

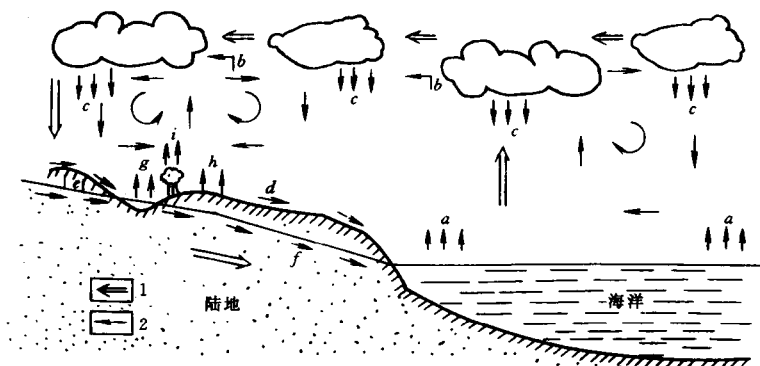


图 1-2 自然界水循环示意图

1—大循环各环节；2—小循环各环节；a—海洋蒸发；b—大气中水气转移；
c—降水；d—地表径流；e—入渗；f—地下径流；g—水面蒸发；
h—土面蒸发；i—叶面蒸发（蒸腾）

使自然界的水循环朝着有利于人类社会和自然水环境的方向发展（如适当的修建水库、植树造林等），但不少人类活动对自然界的水循环和自然水环境产生着不利的影响，有些甚至产生了相当严重的后果。随着人类社会的进步和发展，人们对内陆淡水资源水量的需求越来越大。当人们大量、甚至过量开采使用地表水和地下水时，自然界原有的水循环和自然水环境必然受到严重的影响。例如，黄河上游对黄河水的过量的开采，导致出现了目前黄河大纵深、长周期断流的严重情况；过量开采地下水，造成地下水位和地面的持续下降，这已经成为困扰我国许多城市的严重问题。大面积森林的砍伐和植被的破坏，会造成水量蒸发减少，水循环能力减弱，加速水土流失和土地的沙漠化进程；大面积围滩、填湖造田，造成河、湖严重萎缩。这些都严重地破坏了水的自然循环，最终将导致部分地区淡水资源严重的失衡甚至枯竭。因此，在开发利用自然水资源的同时，注意保护自然水环境、采取可能的措施促进水的自然循环向良性循环发展，坚持走“可持续发展”的道路，是合理开发利用自然水资源的基本原则之一。

四、区域水量平衡

根据物质不灭定律，对于任一封闭的区域，在给定的时段内，该地区的水量应满足下列关系：输入给定区域的总水量与输出该区域的总水量的差值，等于该区域总水量的增量，可用式（1-1）表示。

$$W_i - W_o = \Delta W \quad (1-1)$$

式中 W_i ——输入给定区域的总水量；

W_o ——输出该区域的总水量；

ΔW ——区域总水量的增量。

式（1-1）为流域水量平衡基本方程式。流域水量平衡方程式对于不同的区域、不同的给定时段，方程中各参数的值也有所不同，当 $W_i < W_o$ 时， ΔW 值可为负值。当采用式（1-1）研究区域多年水量平衡问题时，输入给定区域的总水量与输出该区域的总水量应近似相等，区域总水量的增量应近似为零。

影响区域水量平衡的主要因素有：降水量、蒸发量、地表水流入量与流出量、地下水

流入量与流出量。这些影响因素的变化，将导致区域内贮水总量的增加与减少。

研究区域的水量平衡，建立区域的水量平衡方程，进行区域水量平衡的定量分析与计算，对于了解和掌握该区域水资源的量及其循环变化规律，有着重要的意义。

第二节 地表水及其运动

一、河流与流域

(一) 河流的形成

河流是自然界水循环的重要组成部分。当天空形成降雨时，其总量中的一部分直接降落到海面或其他非流动性的水面；一部分降落到地面后又通过各种方式直接蒸发；一部分降落到地面后又先后渗入地下；还有一部分雨水被一些其他因素（如被地面植被吸收等）所损耗；这些雨水都未能最后参与地表的汇集流动。只有降落到地面的经过各种损失后所剩余的那部分雨水，在重力作用下由高向低，通过地表漫流向地表谷地汇集流动，然后沿着地表谷地的自然坡度不断地边汇集边流动，且规模越来越大。雨水在地表面的汇流过程称为地表径流。

地表谷地供雨水汇集流动的凹槽称为河槽。在河槽中形成一定流量的径流，称为河川径流。这种沿地表天然河槽形成的汇流，通常又称为河流。

(二) 干流与支流

河川径流过程是一个由小规模径流不断并入，逐渐形成大规模径流的过程。随着径流的不断发展，径流流量也随之不断汇集增加。河川径流将汇集的水流注入内陆湖泊或注入海洋的，称为河流的干流。一条河将汇集的水流注入另一条河，则称该河为另一条河的支流。支流按其所注入的河流的层次不同，可以进行分级：直接汇入干流的河流称为干流的一级支流；汇入一级支流的河流称为干流的二级支流；汇入二级支流的河流称为干流的三级支流；以此类推，如图 1-3 所示。

河流的干流及其各级支流组成的脉络相通的河流系统，称为河系或水系。水系通常用其干流的名称来命名。如长江水系、黄河水系等。同样，在研究某一局部地区或某一支流的径流问题时，也可以认定某支流及其以下各级支流组成的河流系统为河系或水系，并通常以该支流的名称为其水系命名。

(三) 河流的分段

一条发育完整的河流，沿其径流流程可以划分为河源、上游、中游、下游和河口几个部分。

河源 是指开始形成地表径流的源头或区域，如泉水、冰川、沼泽、湖泊、山坡、源地等。当河流的源头主要来自于雨水汇集时，其源头往往为有一定坡度的扇形区域。

河流上游 一般指来自于河源的水开始形成河槽径流，而且奔流于山区峡谷中的一段落差大、水流急、冲刷强烈、常有急滩瀑布、河岸陡峭的河段。

河流中游 一般指坡降逐渐缓和、水流渐缓、河床冲刷和淤积接近平衡、水量逐渐汇集、河槽底面渐宽的河段。

河流下游 一般指流动于被河中泥砂逐渐淤积而形成的冲积平原上，坡降小、水流慢、砂洲众多、河槽断面复杂的河段。

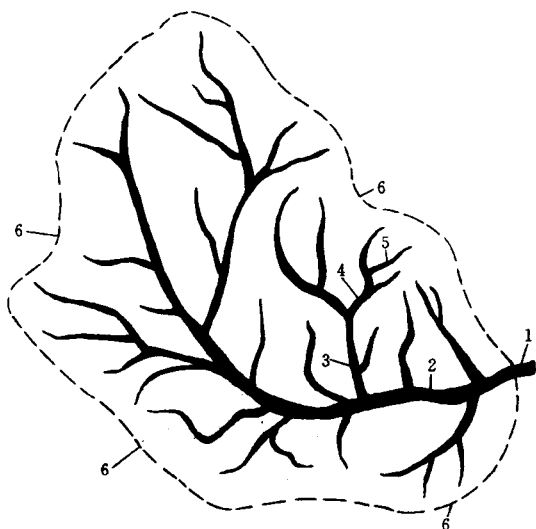


图 1-3 流域水系示意图

1—河口；2—干流；3—一级支流；4—二级支流；
5—三级支流；6—流域边界

河口 一般指水系径流最终入海（或入湖、注入其上级河流）的河流终端过水断面。由于河口处水流断面逐渐扩大、流速骤减，河水夹带的大量泥砂往往在此沉积，形成砂洲或河口三角洲。消失于沙漠中的河流则没有河口。

河流的基本特征可用河长、河流的比降、弯曲系数、河槽基本特征等参数来描述。

（四）河长与弯曲系数

河长 从河源至河口沿河道中泓线（溪线）进行测量所得到的河流的实际长度。河长往往用于河流坡度、落差、能量的计算。

弯曲系数 河道的河长与河口至河源间直线距离的比值。河流弯曲系数的大小，直观地反映了河流或河段的平面

弯曲程度，同时也间接地反映了河流流经地区的地形地貌特点。同理，弯曲系数也可用于反映某河段的弯曲程度，即任一河段的弯曲系数等于起始断面至截止断面间河段的实际长度与两断面间的直线距离的比值。

（五）河槽的基本特征

河槽的断面形状 河槽的断面形状与多种因素有关：如地形地貌、地质岩性、水流汇流特性等。一般情况下，河流上游河槽窄而深，河流下游河槽宽而浅，如图 1-4 (a)。

河流的溪线 河槽中沿流向各过水断面最大水深点的连线称为中泓线，也称为溪线。

河流的平面形态 对于一般平原地区的河道，由于河流流动时，受河槽、岩性、走向与水流在流动时过水断面上流速分布不均匀等因素及其他因素的影响，将产生横向环流。在横向环流作用下，河床断面深度分布呈一定的规律性。靠近河流凹岸一侧，水深一般较深，称为深槽；靠近河流凸岸的一侧，则水深较浅，称为浅槽，如图 1-4 (b)。深槽与浅槽沿河流流向受横向环流的影响，有呈交替出现的规律，河流的平面形态多呈蜿蜒曲折状，如图 1-4 (c)。

对于山区河流，河槽多由岩石构成，沿流程坡降变化与断面形状差异非常大，平面形态异常复杂，很难呈现一定的规律。

了解平原与山区河流平面形态的一般规律，对于取水工程的设计、施工与运行管理，都有重要的实际意义。

（六）河流的纵断面与横断面

河流的纵断面 沿河流流向河槽溪线的剖面称为河流的纵断面。作河流的纵断面图，可以直观地描述河流沿流程溪线的高程变化。所以，河流的纵断面图也称为河流的高程图。利用河流的纵断面图，可以方便地了解河流的落差分布、沿流程的水流特性及能量的变化趋势。

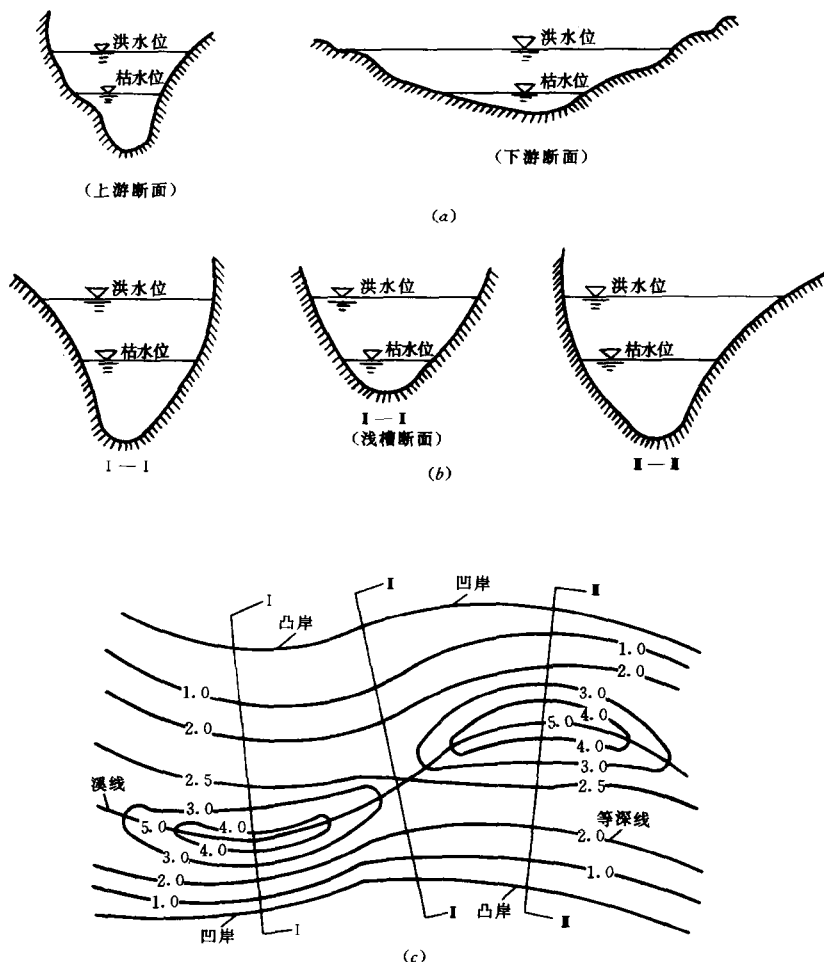


图 1-4 河流等深线图

河流的横断面 垂直于河流流向河槽的剖面称为河流的横断面。绘制河流的横断面图，可以直观反映河槽断面底面与河岸的形状。在河流的横断面图上，一般同时标有河流的洪水水位线与枯水水位线，如图 1-4 (b)。包括水位线在内的横断面为过水断面，根据横断面的形状，可将其分为平式与复式断面，复式断面又可分为主槽（枯水河槽）和边滩（洪水河槽），如图 1-4 (a)。利用河流的横断面图及洪、枯水位线，可以方便地确定河槽的主槽及边滩的位置，计算洪、枯过水断面面积。

河流的比降 任一河段始断面与终断面间河底或水面的高差与相应两断面间距离的比值，称为该河段底坡坡降或水面坡降，如式 (1-2)：

$$J = \frac{Z_1 - Z_2}{L} \quad (1-2)$$

式中 J ——河底或水面的坡降，常用百分率 (%) 或千分率 (‰) 表示；

Z_1 、 Z_2 ——始断面与终断面河底或水面的高程，m；

L ——始断面与终断面间的距离，m。

在河流横断面水面上，一般还存在有水面的横向比降。水面横向比降的产生，主要是

地球自转所产生的偏转力与河流水流流经弯道时的离心力所致。

横向环流与纵向水流的综合作用，形成河槽中水流的螺旋流动。这种螺旋流动使得河槽凹岸受到冲刷，形成深槽；凸岸被泥砂淤积，形成浅滩。

了解河流比降的规律，对于分析选定取水构筑物的位置是十分重要的。

(七) 分水线与流域

分水线 雨水降至地面后，会根据地形地貌的特点，在重力作用下从地势高处向低处流动，逐渐汇集形成地表径流。在汇集过程中，某区域的雨水只可能汇入某一河系，而不会汇入另外的河系。这种相互对应的关系，取决于区域周围地势最高点所构成的边界线。只要边界线处地势不改变，汇水区域也就不会改变。区域周围的边界线往往由山脊线组成，所以也称为分水岭。除山脊线外，区域周围其他地势最高点的连线也同样能起到分水岭的作用。这种包围水系汇水区域周边地势最高点的连线称为汇水区域的分水线。

流域 由汇水区域分水线所包围的汇水区域，又称为流域。流域一般用该区域内的水系名称来命名。

二、河川径流

(一) 河川径流及其表示方法

河川径流是指降水经地表和地下径流汇集至河槽中并沿河槽流动的水流。河川径流的流量特征可用径流特征值表示。

径流总量 在一定时间范围(T)内，流过河流过水断面(F)的累积水量，称为径流总量，用 W 表示，以立方米(m^3)计。

径流流量 单位时间内流过河流过水断面(F)的水量(W)，称为径流流量，用 Q 表示，以立方米/秒(m^3/s)、立方米/小时(m^3/h)、立方米/日(m^3/d)计。

径流模数 单位流域面积(F)上平均产生的径流流量(Q)，称为径流模数，用 M 表示，以升/秒·平方千米($L/s \cdot km^2$)计。

径流深度 在一定时间范围(T)内，流域产生的径流总量(W)在流域面积(F)上能产生的平均水深称为径流深度，用 Y 表示，以毫米(mm)计。

径流系数 在一定时间范围(T)内，流域内径流深度(Y)与降水量(X)的比值，用 α 表示。径流系数值小于1，是无因次量，反映了流域内的降水所能形成的径流量的多少。径流系数与地形地貌、流域地表土壤渗透性能、流域内植被覆盖等因素有关。如地势山陡坡急、地表大部分为不透水的岩石、并且无植被覆盖，则径流系数值较高；若地表坡度缓、地表土壤大部分渗透性能良好、地表有大面积的植被覆盖，则径流系数值一定较小。径流系数的多年平均值一般比较稳定，且有一定的区域性。

(二) 河川径流的影响因素

1. 流域的气象条件对河川径流的影响

流域的气象条件是河川径流最重要的影响因素。在众多气象因素中，降雨和蒸发对河川径流的影响最大。

降雨对河川径流的影响在于：当雨量相同时，降雨历时越短、强度越大，相应径流量就越大；若降雨历时长、强度弱，则径流量就小。

蒸发对径流也有很大的影响。蒸发对径流量的影响是长时间作用的结果。虽然蒸发在一次降雨历时内对径流总量影响不大，但流域内的大部分水量都是在蒸发的作用下而消耗

的。我国湿润地区降雨量 30% 以上、干旱地区降雨量 80% 以上都消耗于蒸发, 剩余部分才形成径流。

气象因素中的气温、湿度、日照、风等, 也间接地影响着降雨与蒸发, 故对径流也有一定的影响。

2. 人为活动对河川径流的影响

人为活动对河川径流的影响主要表现在以下几个方面: 修建拦河堤坝, 大量从河道中取水, 在河流上游大面积砍伐森林, 流域内植被被破坏等。这些人为活动, 影响了河流径流的径流量的原有变化规律, 甚至造成河流断流和洪水泛滥。

(三) 地下径流

雨水降落至地面后, 一部分在地表流动形成地表径流, 另一部分在径流过程中逐渐渗入地下补给地下水。地下水在不同的地下水位作用下, 在地层中渗流流动, 形成地下径流。地下径流受不同的地形地貌及地质条件的影响, 与地表径流有着相互补给的关系。

(四) 固体径流

河流流动过程中, 挟带着水中的悬移质泥沙与沿河底滚动的推移质泥沙, 这些泥沙的运动又称为固体径流。河流的固体径流与河流流经区域的土壤性质有关, 也与地表径流量有着密切关系。土壤疏松, 河流流经时泥沙流失严重, 必然导致河流含沙量大, 固体径流量增加; 若土壤岩性坚实, 河流流经时无大量泥沙卷入, 河水含沙量小, 则固体径流量下降。当降雨来势迅猛, 径流流量迅速增加, 水流流速较大时, 河流挟沙能力强, 造成固体径流量升高; 若流域内降雨量小, 降雨过程变化平缓, 径流汇集缓慢, 径流流速低, 河流挟沙能力减弱, 则固体径流量减小。

三、设计年径流与洪枯径流

河流径流的水位、流量, 降雨的雨量、强度等, 它们发生的时间及大小都具有一定的随机性, 可以用数理统计分析的方法找出其统计规律, 并按照其揭示的规律为工程建设服务。

设计年径流与洪枯径流就是根据河流实测的水位、径流量等资料, 经统计分析计算, 找出其发生的规律, 按照给水排水工程的性质与相应的工程安全可靠性及技术经济要求, 所选定的年径流与洪枯径流的设计值。

水文资料应用数理统计进行分析, 也称为水文统计法。

(一) 机率与频率

随机事件在客观上出现的可能性称为机率, 也称为概率。某事件 A 的机率 $P(A)$, 可表示为该事件在客观上可能出现的结果次数 f 与一切可能出现的结果次数 n 的比值, 如式 (1-3):

$$P(A) = \frac{f}{n} \quad (1-3)$$

在具体的重复实验中, 随机事件 A 出现的次数 f (也称频数) 与总的实验次数 n 的比值, 称为该事件出现的频率 $W(A)$ 。

$$W(A) = \frac{f}{n} \quad (1-4)$$

机率 (也称概率) 指事件发生可能性的大小; 而频率, 指事件在实际实验中, 真实出

现的次数与实验总次数的比值。事件发生的可能性的与是否进行实验无关，而频率则必须经过实验才能最终得到。

(二) 累计频率与重现期

在给水处理工程中，经常要研究和解决大于等于（或小于等于）某一特征值的水文现象发生的频率问题。如：某河流的水位，只要等于或高于河岸堤坝标高时，都会漫过堤岸，给河流两岸带来不同程度的危害。

累积频率 累积频率 $P(x \geq x_i)$ ，是指观测一系列具有特征值的随机事件 $x (x = x_1, x_2, x_3, \dots, x_i, \dots, x_n)$ ，且 $x_1 > x_2 > x_3 > \dots > x_i > \dots > x_n$ 时，参照某给定的特征值 x_i ，观测系列中等量和超量事件 $x \geq x_i$ 发生的次数 m 与总观测次数 n 的比值，即：

$$P(x \geq x_i) = \frac{m}{n} \quad (1-5a)$$

式中 m ——观测系列中等量和超量事件 $(x \geq x_i)$ 发生的次数， $m = f_1 + f_2 + f_3 + \dots + f_i$ ，其中 f 为相应随机事件 x 出现的次数；

n ——总观测次数， $n = f_1 + f_2 + f_3 + \dots + f_i + \dots + f_n$ ，其中 f 为相应随机事件 x 出现的次数。

上式表明，累积频率是等量和超量事件出现的次数与总观测次数的比值，也即是若把等量和超量事件看为某一随机事件，只要其特征值等于或超过某一定值，就认为该事件发生，并以此计算事件发生的频率。

式 (1-5a) 适用于进行无穷次观测时累计频率的计算。对于样本频率的计算，可采用式 (1-5b)：

$$P(x \geq x_i) = \frac{m}{n + 1} \quad (1-5b)$$

累积频率是水文统计分析中一个非常重要的概念，工程上简称为频率，实用中常用重现期的概念。

重现期 重现期 (T) 是指等量和超量随机事件 x 平均多少年（或多少次）可能遇到一次，有时也称为多少年（或多少次）一遇。

研究洪峰流量、洪水水位、暴雨时，重现期 (T) 与频率 (P) 的关系可用下式表示为：

$$T = \frac{1}{P} \quad (1-6a)$$

式中 T ——重现期；

P ——累积频率。

研究枯水流量、枯水水位时，重现期 (T) 与频率 (P) 的关系可用下式表示为：

$$T = \frac{1}{1 - P} \quad (1-6b)$$

式中符号同前。

(三) 年径流与洪、枯径流

年径流与洪、枯径流是表征河川径流的重要特征值。

一年内通过河流某过水断面（如河口等）的径流量称为这个断面及其相应流域的年径流量。年径流量可以用年径流总量、年平均流量、年径流模数、年径流深度等表示。多年径流量的平均值称为年正常径流量。在多年径流量资料基础上，经统计分析可以得出，年

正常径流量随观测年数的增加而逐渐趋于一个比较稳定的数值。年正常径流量的稳定性表明了流域水循环的多年平均循环能力，是进行流域水资源蕴藏量计算的一个重要统计特征值。

同理，当进行流域多年降雨量与多年蒸发量的统计分析也可得出，流域降雨量与蒸发量的多年平均值也将分别趋于一个稳定的数值。

洪水径流指河槽中径流量激增、水位猛涨、超出正常径流范围的特大径流量。由夏秋季暴雨或长时间大面积降雨造成的洪水径流，称为雨洪；由春季冰雪融化产生的洪水径流，又称为春汛。洪水径流具有随机特性，遵循一定的统计规律。

枯水径流指河槽中径流量较少、河水水位较低，并且低于正常径流范围的径流流量。枯水径流一般出现在较长时间无降雨，河流的水源主要靠地下径流互补给状态时的河槽径流。枯水径流同样具有随机特性，也遵循一定的统计规律。

径流量的年内分配，一般指年径流量在一年内按逐月（或逐日、逐季等）统计的径流量及其变化规律。径流量的年内分配常用以时段为横坐标、以径流量为纵坐标的直方图表示；或用以时间为横坐标，以径流量为纵坐标的径流变化曲线表示。

年径流量和洪、枯径流量，虽具有多年的统计规律，但就每一年而言，年径流量和洪、枯径流量又各有完全不同的变化规律。

大于等于（或小于等于）某一特征值的洪水（或枯水）径流量平均出现的时间间隔，称为该特征值的洪水（或枯水）的重现期。

大于等于（或小于等于）某一特征值的洪水（或枯水）径流量在一定时段内出现的累计次数，称为该特征值的洪水（或枯水）出现的频率。

必须注意，百年一遇的洪水，其重现期为一百年，并不是说正好相隔一百年才出现一次，而是表示较长时间内（如100年）平均出现的可能性为1%，也许某个百年出现了几次，也许一次都不出现。再如，十年一遇的洪水的重现期为十年，平均出现的可能性为10%，以一百年计算，可能出现大于或等于某特征值的洪水径流有十次，平均约十年就有大于或等于该特征值的洪水出现一次，这十次大小均不相同，但都大于或等于十次洪水径流中最小的一次，则这十次洪水径流中最小一次的洪水径流值，就可作为重现期为十年的洪水径流的特征值。若某洪水径流小于重现期为十年的洪水径流的特征值，则该洪水的重现期一定小于十年。

在洪水（或枯水）径流量的统计规律中，洪水（或枯水）径流量越大（或越小），重现期越长，在一定时段内出现的频率越低。

（四）设计频率标准

通常情况下，某项工程（如地表水取水工程）的设计能力能满足的累积频率值越小（或重现期越长），其运行时遇到等量或超量的洪水（或枯水）的可能性就越小，相应的可靠性和安全度就越高。但是，这项工程的建造难度及工程造价也就随之增高。因此，在实际工程设计和建造过程中，既要考虑工程的安全可靠性，又要同时考虑工程的经济性。工程的设计频率标准不能定得太高，以免造成经济上不必要的损失。但也不能将设计标准定得过低，降低了工程的安全可靠性，带来不必要的损失。

工程中，设计频率和重现期的选择，应严格按有关的设计频率标准执行。

表1-3中给出了一般取水构筑物的设计频率标准和重现期。