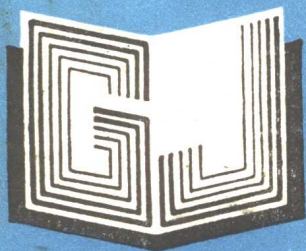


974085

TV21
8081



高等学校教材

水电规划与管理

上海电力学院 余铭正 孟宪生 合编



TV21
8081

974085

TV21
8081

高等学校教材

水电规划与管理

上海电力学院 余铭正 孟宪生 合编

水利电力出版社

(京)新登字115号

高等学校教材

水电规划与管理

上海电力学院 余铭正 孟宪生 合编

*

水利电力出版社出版

(北京三里河路6号)

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

北京市四季青印刷厂印刷

*

787×1092毫米 16开本 16印张 360千字

1994年6月第一版 1994年6月北京第一次印刷

印数 0001—1390册

ISBN 7-120-01693-8/TM·505

定价 7.40 元

内 容 提 要

本书介绍了水电规划与管理的基本理论与方法。全书共分十二章，包括径流调节、参数选择、水库调度与管理、河流综合利用、梯级规划、地区选点、抽水蓄能电站、水工建筑物等内容，概念清晰，方法简便实用。

本书可作为工科院校电力工业管理工程类技术经济与企业管理等专业的教学用书，亦可供从事电力规划、设计、管理等实际工作的工程技术人员参考。

前 言

本书是根据1990~1995年能源部高等学校教材编审出版计划和1989年能源部高等教育委员会技术经济教学组核定的“1990~1992年高等学校教材编审出版计划”编写的。包括水电规划、设计、管理等内容，并侧重于从电力系统的整体效益出发，分析研究水电在电力系统中的作用及水电规划与管理的方法。本书为高等工科院校电力工业管理类技术经济和企业管理专业的一门专业基础课教材，其总学时为55学时。

本书由上海电力学院余铭正、孟宪生编写。余铭正编写绪论、第六、九、十、十一、十二章，孟宪生编写第一、二、三、四、五、七、八章。全书由余铭正统稿，北京水利电力经济研究所教授级高级工程师曹学敏主审。在编写过程中，除结合作者多年从事水电工程实践的经验外，还参考引用了华东勘测设计院及国内有关高等院校的教材及资料。因范围较广，未能一一列出，特此致谢。

由于水平有限，错误和不妥之处在所难免，恳请读者批评指正。

编 者

1993年6月

2005/10

目 录

前 言	
绪 论	1
第一节 水力发电的特点	1
第二节 我国水能资源蕴藏量与特点	3
第三节 我国水力发电建设概况	5
第四节 课程的任务和内容设置	6
第一章 工程水文概述	7
第一节 自然界中水的循环和平衡	7
第二节 径流的形成及其特性	8
第三节 水文计算	12
第二章 径流调节及电能计算	19
第一节 径流调节的任务	19
第二节 水库特性	22
第三节 年调节水电站的水能计算	26
第四节 设计保证率	37
第五节 多年调节、无调节及日调节水电站的水能计算	39
第六节 水库群的水能计算	42
第三章 洪水调节	51
第一节 洪水调节的任务与基本原理	51
第二节 调洪计算方法	53
第三节 汛期限制水位及防洪库容位置	56
第四节 水库放空计算	57
第四章 水电站的经济计算	60
第一节 概述	60
第二节 动态分析的基本方法与指标	64
第三节 方案比选	67
第四节 财务评价和国民经济评价	72
第五章 正常蓄水位及消落深度	76
第一节 正常蓄水位选择	76
第二节 回水曲线计算	82
第三节 消落深度选择	88
第六章 水电站的装机容量	92
第一节 影响水电站装机容量的因素	92
第二节 电力系统的容量组成及水电站在电力系统中的作用	101

第三节	电力系统电力电量平衡·····	107
第四节	水电站装机容量选择与分析·····	119
第五节	重复容量的分析与论证·····	122
第六节	水电群的装机容量选择·····	125
第七章	水轮机选择·····	129
第一节	水轮机的基本类型与组成·····	129
第二节	水轮机的工作原理和相似理论·····	136
第三节	水轮机特性曲线的换算·····	144
第四节	水轮机选择·····	155
第八章	水库调度与管理·····	162
第一节	水库调度与管理的意义·····	162
第二节	时历法水库调度图的绘制·····	163
第三节	防洪调度·····	172
第四节	水库优化调度简介·····	175
第九章	水利枢纽的水工建筑物·····	179
第一节	水利枢纽及其组成·····	179
第二节	挡水建筑物·····	181
第三节	泄水建筑物·····	187
第四节	引水建筑物·····	191
第五节	调压室·····	198
第十章	水电站厂房·····	201
第一节	水电站厂房概述·····	201
第二节	主厂房的轮廓尺寸·····	209
第三节	其它类型水电站厂房·····	212
第十一章	河流规划、选点与管理·····	220
第一节	水资源的综合利用·····	220
第二节	河流梯级开发·····	222
第三节	第一期工程选择与地区选点·····	232
第四节	水电规划管理·····	235
第十二章	抽水蓄能电站概述·····	239
第一节	概况·····	239
第二节	抽水蓄能电站的类型·····	239
第三节	抽水蓄能电站的功能、效益与规划、选点·····	245
主要参考文献	·····	248

绪 论

第一节 水力发电的特点

水力发电是将河流、湖泊或海洋等水体所蕴藏的水能转变为电能的发电方式。水电站是利用水体从上游经过水轮发电机组流向下游实施电能生产的企业,其原理如图0-1所示。

据水力学原理,单位重量水体在水电站上、下游断面蕴藏的能量分别为

$$E_s = \gamma W \left(Z_s + \frac{p_s}{\gamma} + \frac{a_s v_s^2}{2g} \right) \quad (0-1)$$

$$E_x = \gamma W \left(Z_x + \frac{p_x}{\gamma} + \frac{a_x v_x^2}{2g} \right) \quad (0-2)$$

上、下游断面蕴藏的能量差为

$$\begin{aligned} E &= E_s - E_x \\ &= \gamma \cdot W \left(Z_s - Z_x + \frac{p_s - p_x}{\gamma} \right. \\ &\quad \left. + \frac{a_s v_s^2 - a_x v_x^2}{2g} \right) \end{aligned} \quad (0-3)$$

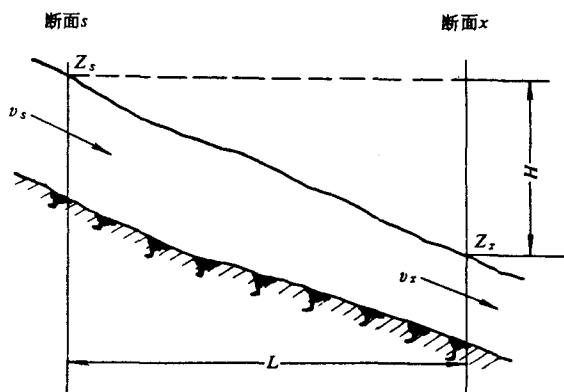


图 0-1 河段的潜在水能

式中 E_s 、 E_x ——上、下游断面蕴藏能量, $N \cdot m$;
 γ ——水的容重, N/m^3 ;
 W ——水的容积, m^3 ;
 Z_s 、 Z_x ——上、下游断面水面高程的高度水头, m ;
 $\frac{p_s}{\gamma}$ 、 $\frac{p_x}{\gamma}$ ——上、下游断面压力水头, m ;
 $\frac{a_s v_s^2}{2g}$ 、 $\frac{a_x v_x^2}{2g}$ ——上、下游断面流速水头, m 。

由于上、下游断面的压力水头差和流速水头差可略去不计,式(0-3)可写为

$$E = \gamma \cdot W (Z_s - Z_x) = \gamma \cdot W \cdot H \quad (0-4)$$

即河段水能蕴藏量主要与水量 W 和河段落差 H 有关。能量 E 表示 T 时段内河段流过水量所作的功。其单位时间内所作的功称功率,故 T 时段内河段水流的平均功率为

$$N = \frac{E}{T} = \gamma \frac{W}{T} H = \gamma QH \quad (0-5)$$

电力生产部门习惯用的功率单位为 kW , $1kW = 102 \times 9.8 N \cdot m/s$ 。同时,水的容重 $\gamma = 1000 \times 9.8 N/m^3$,代入式(0-5)得

$$N = 9.81QH \quad (0-6)$$

能量单位为kW·h, 则

$$E = 9.81QH \left(\frac{T}{3600} \right) = \frac{1}{367} WH \quad (0-7)$$

水电站是电力系统的一个组成部分。虽然与其它电厂一样, 产品亦是电力、电量, 但它是同时完成一次能和二次能的企业。下面分述水电站的特点及其存在问题。

一、水力发电的特点

1. 水能是再生能源

自然界的水不断循环, 作为水电站“燃料”的水不断再生, 可以循环使用。

2. 水资源可综合利用

水资源是宝贵的自然资源之一, 它有多方面的使用价值。在开发利用水资源时, 必须贯彻“综合利用”的原则, 进行多目标开发, 如防洪排涝、水力发电、农田灌溉、工业和民用供水、水路运输、水利卫生、旅游与环境改良等。水资源的利用与国民经济的许多部门息息相关。

3. 水力发电具有可逆性

水力发电具有可逆性, 不但可利用水能生产电能, 亦可以利用电能生产水能。因为水力发电所用的仅仅是水体所蕴藏的能量, 而不消耗水体本身。抽水蓄能电站正是利用这种可逆性, 进行电能—水能—电能的往复生产过程以满足电力系统对高峰负荷、负荷备用及事故备用的需要。

4. 水能可以贮存

电力生产的特点是生产和消费过程同时完成, 电能不能大量贮存。而尽管天然来水的规律和电力用户的消费过程不一致, 水电站却可借助水库调节水量, 平衡供需矛盾, 提高供电质量。

5. 水力发电成本低、劳动生产率高

根据我国实际统计资料表明, 水、火电成本的比值为1:4, 而且水电站一旦建成, 就能利用自然界不断循环的廉价的水来发电。

6. 水力发电无废气、废渣污染

火电厂生产过程中排放大量的废气和废渣, 对周围环境和大气造成严重的污染, 影响工农业生产和人们的身体健康。水电站不产生上述污染, 且由于水库的形成, 可改善库区周围小区的气候条件, 使其有利于果木的生长及水生动植物的生产, 成为疗养、旅游胜地和果木基地, 促进地区经济发展。

7. 水电机组运行灵活

水电站机组设备运行灵活, 机组启停方便, 增减出力快, 宜于担任电力系统调峰、调频和事故备用, 有利于电力系统的安全经济运行。

二、水力发电存在的主要问题

(1) 水电站受自然条件约束, 不能任意选址, 只有具有良好地形、地质条件的河谷河段才能修建水电站, 一般离负荷中心远, 对外交通不便, 输电损失多。

(2) 水电站基建投资大, 工期长, 建设一个水电站的前期工作量大, 并且库区的移

民安置是一个困难问题。

(3) 水电建设会带来巨大的社会效益, 但如对生态平衡处理不当, 会破坏野生资源的生活环境, 导致生态平衡破坏。

(4) 水电站大坝一旦溃决, 对下游沿江两岸城镇居民的生命财产及工农业生产将造成不可估量的损失。

第二节 我国水能资源蕴藏量与特点

全世界水能资源蕴藏量按多年平均流量计算约为5600GW。经过勘察, 可开发的水能资源约为2200GW。我国幅员辽阔, 江河纵横, 湖泊星罗棋布, 水能资源蕴藏量极其丰富。据我国第三次水能资源蕴藏量普查结果表明: 按装机容量计为676GW; 按多年平均发电量计为5922.18TW·h。其中: 可能开发的水能资源装机容量378.5GW, 多年平均发电量1923.3TW·h, 居世界首位。全世界可开发的水电容量为100GW以上的国家的基本情况详见表0-1。

表 0-1 可开发装机容量在100GW以上的国家及基本情况

项 目 国 家	可开发水电 总 容 量 (GW)	可 开 发 水能资源 (TW·h)	土地面积 ($\times 10^4 \text{ km}^2$)	每平方公里可 开发水电容量 (kW/km ²)	1989年人口 ^① ($\times 10^4$ 人)	人均可开发 水电容量 (kW/人)
中 国	378.5	1923.3	960	39.4	111865	0.34
前 苏 联	269.0	1095.0	2240	12.0	28763	0.94
巴 西	213.0	1200.0	851	25.0	14740	1.45
美 国	168.0	670.0	936	17.9	24876	0.68
加 拿 大	152.9	535.2	998	15.3	2622	5.83
扎 伊 尔	132.0	660.0	235	56.1		

① 数字摘自“中国能源统计年鉴”1991年版。

我国可开发水能资源占全世界总装机容量的17.1%, 年发电量的19.8%。每平方公里蕴藏量为39.4kW, 高于世界平均值的1.4倍。但已被开发利用的甚少, 大量的水能资源还有待开发。

我国水能资源的主要特点:

1. 水能资源丰富, 但在地域分布上极不均衡

我国水能资源分布特点是西部多、东部少, 主要集中在西南。我国水能资源理论蕴藏量为676GW, 多年平均发电量为5922.1TW·h(不包括台湾省, 下同); 其中可能开发的水能资源为378.5GW, 多年平均发电量为1923.3TW·h。各地区水能蕴藏量分布状况见表0-2。

我国可能开发的水能资源中, 东部的华东、华北、东北三大区仅占6.8%, 西南地区占67.8%, 其中除西藏外, 川、云、贵三省占全国的50.7%。

表 0-2

中国各地区水能蕴藏量分布统计表

项 目 地 区	水 能 资 源 理 论 值			可 能 开 发 的 水 能 资 源		
	装机容量 (GW)	多年平均发电量 (TW·h)	百分比 ^① (%)	装机容量 (GW)	多年平均发电量 (TW·h)	百分比 ^② (%)
华 北	12.3	107.7	1.8	6.9	23.2	1.2
东 北	12.1	106.2	1.8	12.0	38.4	2.0
华 东	30.0	263.2	4.4	17.9	69.8	3.6
中 南	64.1	561.4	9.5	67.4	297.4	15.5
西 南	473.3	4146.2	70.0	232.2	1305.0	67.8
西 北	84.2	737.4	12.5	41.9	19.5	9.9

① 指各地区多年平均发电量占全国多年平均发电量理论值的百分比；

② 指各地区多年平均发电量占全国多年平均发电量可能值的百分比。

2. 大型水电站比重大，且分布集中

目前全国单站装机容量10MW以上的可开发水电站1946座中，250MW以上的大型水电站有203座，其装机容量和年发电量占总数的80%左右；2000MW以上的特大型水电站有33座，装机容量和年发电量占总数的50%左右。大型和特大型水电站绝大部分集中在西南四省（区）。单站装机容量10MW以上可能开发水电站分规模统计见表0-3。

表 0-3

装机容量10MW以上可开发水电站分规模统计表

单站装机容量 (MW)	电站座数	装 机 容 量		多年平均发电量	
		容 量 (GW)	占总数百分比 (%)	发 电 量 (TW·h)	占总数百分比 (%)
10~250	$1726 + \frac{17}{2}$	75.3	21.1	365.2	20.1
250~750	$110 + \frac{5}{2}$	46.7	13.1	223.5	12.3
750~2000	$51 + \frac{4}{2}$	65.3	18.3	317.2	17.4
>2000	33	169.8	47.5	912.4	50.2
合 计	$1920 + \frac{26}{2}$	357.1	100.0	1818.3	100.0

① 国界河流上的水电站，以 $\frac{1}{2}$ 表示其座数、容量和发电量统计其半数。

3. 径流分配在时间上很不均匀

我国河流大部分受季风影响，降水和径流在年内分配极不均匀，洪枯流量相差很悬殊。每年夏季4~6月份占年径流的60%~70%，冬季枯水径流很少，普遍存在水源不足。因此，水电站的季节性电能很多，迫切要求修建大型水库，拦蓄洪水，调节径流。

径流不仅年内季节性变化很大，而且年际变化亦十分悬殊。往往要求修建大型水库，调节径流，以改善年际径流的不均衡性。

4. 河流综合利用效益大

我国河流多属雨源型河流,易发生暴雨洪水,造成灾害,经济上损失巨大。因此,不少水电站水库承担防洪调度任务。利用河道水运在我国较普遍,在水电站建筑物设计上要考虑通航要求,有时还应考虑下游河道保持航运要求的水流条件。在我国北方,沿河两岸的农田灌溉和城镇生产、生活用水,往往是河流开发利用的主要任务。所以在我国的河流开发中,有多方面的利用价值。必须贯彻“一水多用”、综合利用的原则,以期带来巨大的综合利用效益,充分发挥水资源的经济价值,取得较大的社会效益。

5. 我国西南地区水能资源开发难度大

西南地区水能资源占全国的67.8%,其中有不少大型或特大型水能资源位于边远地区或峡谷地带,流量大、落差集中、淹没少,但交通不便、施工复杂,输电距离远,目前难以开发利用。

第三节 我国水力发电建设概况

一、我国水能资源开发现状

我国水能资源虽然丰富,但在解放前几乎没有得到开发。从1910年到1949年,水电建设极其缓慢。1949年全国水电总装机容量仅360MW,占全国电力总装机容量的17.6%,位居世界的第二十位;年发电量1.2TW·h,占年总发电量的24.5%,位居世界的第二十一位。

解放后,我国的水电建设取得了巨大的成绩。已在大江大河上成功地修建了新安江、丹江口、刘家峡、龚嘴、乌江渡、葛洲坝、龙羊峡等大型水电站。龙羊峡水电站最大坝高177m,库容 $247 \times 10^8 \text{ m}^3$,混流式水轮机直径6m,机组的单机容量320MW;葛洲坝装机容量2715MW,轴流转桨式水轮机直径11.3m,单机容量170MW;以礼河三级水电站,最高水头629m;鲁布格水电站装机容量600MW,其引水隧洞全长9382m、内径8m。以上均为我国之最。正建的二滩水电站,混凝土拱坝高240m,装机容量3300MW,单机容量达550MW,年发电量17TW·h,天生桥一级水电站土石坝180m。这些都标志着我国水电建设已接近世界水平,标志着我国水电建设进入了一个新的发展阶段。

1991年全国水电装机容量37883.5MW,占全国电力总装机容量的25.0%。但是我国对水能资源的开发利用程度还很低,截止到1991年,已开发水能资源的年发电量仅占可开发年发电量的6.5%。

二、本世纪末我国水电奋斗目标与展望

我国水能资源丰富,经济性好,居世界首位。我国可开发水能资源的年平均发电量可达1923.3TW·h,若以发电标准煤耗350g/kW·h计,相当于每年提供 $6.7 \times 10^8 \text{ t}$ 标准煤,折合原煤 $9.4 \times 10^8 \text{ t}$,比1987年全国开采的原煤 $9.28 \times 10^8 \text{ t}$ 还多。

我国水能资源利用程度很低。1991年的水电发电量仅占可开发水能资源的6.5%,还有大量水能资源没有开发。我国的奋斗目标是:在1980年水电装机容量20320MW,年发电量58TW·h的基础上,力争实现翻两番,到2000年达到水电装机容量80000MW,年发电量250TW·h。

按这个奋斗目标，水电开发的重点将集中在兴建举世瞩目的三峡工程及红水河流域、黄河上游、长江上中游干支流，以及澜沧江等水能资源集中、矛盾少的“富矿”地区的水电站；在华东、中南和东北地区将继续修建一些大中型水电站；在东部沿海经济发达而水能资源少的地区发展抽水蓄能电站，并对一些已建成的水电站进一步扩大装机和进行技术改造。

我国河川众多，水能资源丰富，但地域辽阔，水能资源在空间上分布不均，因此有许多问题需要在今后二、三十年内研究解决，概括起来水电规划方面有：从长江引水至北方的数量和路径；长江、黄河跨流域径流电力补偿；电力系统中水火电比例；水电季节性电能的利用与大耗电工业的配置，现有大型水电站的扩建、改建与抽水蓄能电站的建设；中型水能资源的加速开发等。

第四节 课程的任务和内容设置

“水电规划与管理”是工科院校管理类“技术经济”和“企业管理”专业的一门专业基础课。它要求通过本课程的学习让学生掌握水利水电工程规划的基本理论并初步掌握有关分析与计算方法，为今后从事水电规划、设计、计划与管理等工作打下良好的基础。

水电规划与管理涉及的面很广泛，与技术、经济、社会等各个方面密切相关。水电的开发方式和程度，与水能资源的条件有关，又与电力系统电源构成有关。本课程主要介绍以下规划内容的分析计算方法：①根据水能资源的客观条件，进行水电群的水量平衡、电力系统的电力平衡，提出河流规划，力求使整个水能资源得到经济合理的利用；②结合地区经济发展，电力系统的需求，进行水电的布局、选点、开发顺序、装机容量、调度运行方式的分析论证；③从电力系统发展的过程，分析研究水电站在电力系统中作用的变化及选择水电站参数和运行方式；④水电枢纽是庞大的水工建筑物和设备综合体，需要耗费大量的资金、物资、三材和较长的时间，对水电的经济性影响很大。因此，本课程对水利水电枢纽各种建筑物的作用、型式、结构和布置也作了概略的介绍，有助于进行技术经济分析和开展管理工作。

本课程为应用性很强的学科，涉及面广、概念多，除具体的计算方法外，多为联系实际的概念的论述和观点的分析，学习时应注意这些特点。

第一章 工程水文概述

水文学研究自然界中水的各种现象及变化规律，工程水文学则主要研究水文资料的收集及整编、河川径流的计算及分析。研究水能的利用与规划、水电站的运行与管理、以及水利建筑物的组成与设计等问题，都需要掌握水文资料和工程水文学的基本知识。本章即介绍有关的基本知识。

第一节 自然界中水的循环和平衡

一、自然界中水的循环

在自然界中，水分布极广，地球表面近71%被水覆盖，其中海洋内的水量约有13.3亿 km^3 ，而陆地上的水量仅是海洋总水量的0.0565%，约75万 km^3 。众所周知，水对人类的生活有着重要的作用，如农田灌溉、人们生活用水、工业生产用水、航运及水力发电等，因此河流的水文情况和许多工程都有直接关系。

水分布于空中（如大气中的水蒸气），又分布于地面及地下。水在一定的条件下，其分布部位会相互转换。在太阳辐射热的作用下，水面和陆面的水蒸发变成水蒸气，被气流带到空中。水蒸气在高空遇冷又凝结为水滴、雪或冰雹，在地心引力的作用下，降落到地面或海洋洋面。这样反复的循环过程叫水循环，

如图1-1所示。

水的循环可分为两种：

（一）大循环

从海洋上蒸发的部分水蒸气，被气流带到大陆上空，遇冷凝结降落到地面，如台风带来的地面大暴雨。降落到地面的雨水，其中一部分再蒸发，另一部分从地面汇入河川，或渗入地下后再汇入河川，最后注入大海，即图1-1中的 J 。这种海洋和陆地间的水分交换过程，称为水的大循环。

（二）小循环

陆地上的水蒸发后，在空中遇冷凝结后又降落到地面；或海水蒸发后，在空中遇冷凝结后又降落到海面，这种局部的水循环称为小循环。

从上述水的循环可知，水分主要是由海洋向大陆输送。近海地区上空的雨雪，受风力影响吹落到海面上的水分，一般较少。

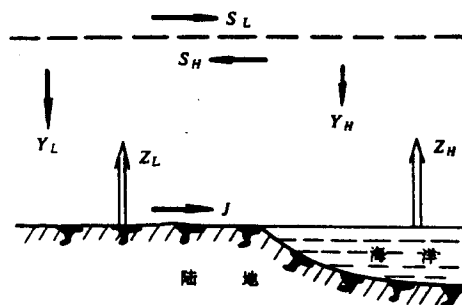


图 1-1 自然界中水循环示意图

Z_H —海洋上的蒸发量； Y_H —海洋上的降水量；
 Z_L —陆地上的蒸发量； Y_L —陆地上的降水量；
 J —径流量； S_H —从海洋向陆地输送的水气量；
 S_L —从陆地向海洋输送的水气量

降落到地面的雨水，一部分由高处向低处汇流，逐渐形成江河，最后注入大海，称为地面径流；另一部分降水或河水渗入土壤，直到不透水层，并沿着不透水层斜面流动，在低处注入河流或湖泊，最后也注入大海，称地下径流。一般在丰水季节，地面水补给地下水；在枯水季节，地下水补给地面水。

二、水量平衡

在水循环过程中，根据物质不灭定律，对任一区域来说，在任意时段内，流入区域的水量，等于流出区域的水量与区域内蓄水或排水量之和。这就是水量平衡的基本原理。

根据水量平衡原理，可以写出以大陆为研究范围的水量平衡方程式和以海洋为研究范围的水量平衡方程式

$$Z_L = Y_L - J + \Delta V_L \quad (1-1)$$

$$Z_H = Y_H + J + \Delta V_H \quad (1-2)$$

式中 Z_L 、 Z_H ——陆地、海洋的蒸发量；

Y_L 、 Y_H ——陆地、海洋的降水量；

ΔV_L 、 ΔV_H ——陆地、海洋在研究时段内蓄水的变化量；

J ——时段内注入海洋的径流量。

ΔV_L 及 ΔV_H 在短时间内可为正或负，而长期看来，正负抵消，以上二式的水量平衡方程式就变成

$$\bar{Z}_L = \bar{Y}_L - \bar{J} \quad (1-3)$$

$$\bar{Z}_H = \bar{Y}_H + \bar{J} \quad (1-4)$$

式 (1-3) 和式 (1-4) 相加，就是全球的水量平衡方程式

$$\bar{Z}_L + \bar{Z}_H = \bar{Y}_L + \bar{Y}_H \quad (1-5)$$

或简化为

$$\bar{Z} = \bar{Y} \quad (1-6)$$

式中的 $\bar{Z}$ 、 $\bar{Y}$ 、 $\bar{J}$ 分别表示多年平均蒸发量、降雨量及径流量。式 (1-6) 就表示全球的多年平均蒸发量等于多年平均降雨量。

第二节 径流的形成及其特性

一、河流及流域

河川径流是一种天然水体，是水循环的一部分。地面水及地下水在重力作用下，沿着它本身所造成的连续延伸的凹地流动着。水在流动过程中对地表的侵蚀加上风化作用，就形成了很多脉络相通的河道系统，简称河系或水系。河系由河川干流组成，支流汇入干流。河道有以下几个特征。

1. 河道的平面形态

山区河流的河道平面形态较复杂，岸边极不规则；平原河流的河道形态多呈蜿蜒性，在河道弯曲处，凹岸侧冲刷，而凸岸侧则淤积。

2. 河道断面

垂直水流流向的河道断面称横断面。水面线以下的横断面称过水断面。某时刻某断面的水流平均流速乘以过水断面的面积，就是该断面此时的流量。横断面是某些水力计算的基本资料之一。

沿水流中线的河道剖面称纵断面，可由各横断面河谷最低点连成河底纵断，由横断面水面高程连成水面纵断。从纵剖面图可知河流坡降和落差的沿程分布情况，是推算河流水能蕴藏量的主要依据之一。

3. 河道比降

河段二端水面高程差称落差。河源与河口两处的水面高程差，就是该河的总落差。总落差除以河长，就是单位河长的落差，也叫河道的比降。河流各段的比降是不同的，一般上游比降大，下游比降小。

计算比降时，河长单位用km，落差单位用m。如1 km 河长落差2.7m，则比降为2.7‰。河流比降在水能规划中是必要的基本数据。

河流的地上集水区和地下集水区统称流域。流域的周界称分水岭或分水线。分水线也就是流域四周山脉的脊线，降水沿分水岭的两个坡面向相邻的两条河流去，如图1-2所示。

由于水文地质条件和地貌特征不同，地面径流的分水线和地下径流的分水线不一定重合。若二者不重合，就称为非闭合流域；若二者重合，就称为闭合流域。一般大中流域可认为是闭合流域，因为即使流域非闭合，其交换流量的比重也不大。因此在实际工作中，都以地面径流的集水面积代表流域面积。

坝址断面所控制的流域面积，是水利水电工程的一个特征指标，如新安江水电站控制流域面积为10480 km²。流域面积的测定，是先在地形图（根据要求的精度不同，可选用1:10000、1:50000或1:100000的地形图）上画出分水线，再用求积仪量出坝址断面和分水线所包围的面积。

流域的长度是指从河口起，经过若干横断流域割线中点，直到流域最远点的距离。流域面积除以流域长度，就是流域的平均宽度。

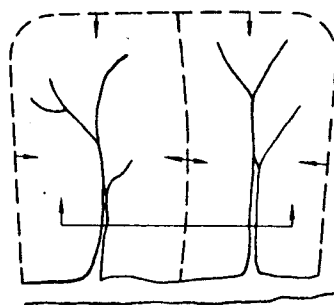
二、径流及其特性

（一）径流形成过程

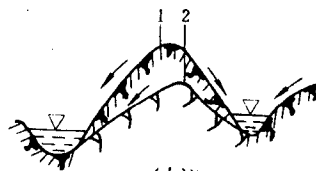
从降雨到水流经过流域出口断面的整个物理过程，称为径流形成过程，一般可分为两个阶段：

1. 产流阶段

开始降雨不久，植物枝叶等拦截部分雨水、在地面低洼地汇集部分雨水形成积水、落到地面的雨水下渗，形成土壤表层存储水量等，这些都是径流形成过程中的损失量，只



(a)



(b)

图 1-2 河流流域示意图

(a) 平面图；(b) 横断面图

1—地面水分水线；2—地下水分水线

有直接降落到河中的雨水才形成径流。

当植物截留、低洼地积水和土壤表层蓄水充满后，后继降雨强度大于下渗强度，没下渗的雨水沿坡面由高处向低处流动，最后注入河槽形成径流；当表层土壤蓄水饱和后，后继下渗的水量，沿饱和层坡度在土壤空隙间流动，最后也会注入河槽形成径流。浅层地下水及深层地下水可由泉眼或其它形式慢慢地注入河槽，最后形成径流。

由降雨到形成径流，因有水量损失，所以流域内的径流量小于降雨量。

2. 汇流阶段

在流域内由降雨形成径流后，在流域的水系内，由上游向下游、由支流向干流，一直向流域出口断面流动，这个过程就叫汇流。降雨使河槽水量增加，并不断向出口断面流动，这样流域出口断面的流量不断加大。当降雨停止以后，补给河槽的水量小于出口断面的流出量，河道内的流量就会慢慢地消退。

径流的形成过程，反映在河道断面上的流量变化为：先出现涨水，然后形成最大流量，之后便是退水。降雨是产生径流的必要条件，降雨和径流的关系有以下特点：

- 1) 流量变化过程比降雨平缓，并且时间滞后；
- 2) 流量变化过程比降雨过程历时长；
- 3) 从流域出口断面下泄的径流量小于流域上的降雨量。

(二) 影响径流的因素

1. 流域的气候因素

气候因素包括温度、湿度、风向及风速等。流域内的气候条件对蒸发量及降雨量有重要影响。降雨时间长且降雨量大时，则径流量和洪峰流量也大。暴雨中心在上游，流域出口断面的洪峰流量就小些；若暴雨中心在下游，则流域出口断面的洪峰流量就大些。

气温高、风速大，蒸发量就大，径流量就会减小；土地干旱也会增加径流的损失量。暴雨期间的蒸发量，对该期间的径流量影响不大。

2. 流域的地理因素

地形陡峻比降大的流域，水流速度快，汇流时间短，形成径流快，且渗漏蒸发损失少。山区一场暴雨很快形成径流，洪灾时有发生。

狭长形的流域，其周边的径流不会同时汇集到出口断面；而扇形的流域，其各支流的洪水比较集中地汇入干流。因此扇形流域出口断面的洪峰流量往往比狭长形流域大。

流域的地质条件不同，渗漏损失就不同。地质条件好，渗漏损失少，地面径流就大。

流域内有湖泊、沼泽时，它们可以起调节水量作用，使其下游的径流平缓；但是湖泊及沼泽会增加蒸发损失，从而减少径流量。

流域内的植物覆盖情况不同，植物截留损失量也不同，对径流量也会产生一定影响。

流域面积的大小也影响径流量，流域面积愈大径流量愈大；反之，流域面积愈小，径流量也愈小。

3. 人类活动因素

人们拦河建坝修造水库，可以调节水库下游的流量；兴建引水工程，可以把一条河的水量引到另一条河中去，从而改变两条河的径流量；植树造林、开展水土保持工作等，对