

511

683940

45127; 4

1. 2

高等学校教材

水文及水利水电规划

下册 水利水电规划

华东水利学院 天津大学 清华大学 合编



45127; 4
2

水利电力出版社

511
45127:4
T. 2

511
45127:4

高等学校教材

水文及水利水电规划

下册 水利水电规划

华东水利学院 天津大学 清华大学 合编

水利电力出版社

内 容 提 要

本书分上下两册，上册为工程水文，下册为水利水电规划。

下册在介绍水利资源综合利用的基础上，着重介绍兴利径流调节、洪水调节、水库及水电站的参数选择等原理和方法。同时，还介绍了中小河流的综合利用规划和水库调度等方面的基本知识。

本书为高等学校水利水电工程建筑专业的教材，可供水利技术经济、农田水利工程等专业教学参考，也可供水利水电技术人员参考。

* * * * *

参加下册编写工作的人有：

第九章 沈曾源；	第十二章 施嘉扬、施熙灿；
第十章 李锡先；	第十三章 周之豪；
第十一章 许大来、沈曾源；	第十四章 金琼；
主编工作 周之豪、沈曾源。	

高等学校教材

水文及水利水电规划

下册 水利水电规划

华东水利学院 天津大学 清华大学 合编

(根据水利出版社版本重印)

*

水利电力出版社出版

(北京德胜门外六铺炕)

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

水利电力印刷厂印刷

*

787×1092毫米 16开本 12印张 271千字

1981年2月第一版

1983年5月新一版 1983年5月北京第一次印刷

印数 0001—9010册 定价 1.30元

书号 15143·5096

110818

目 录

第二篇 水利水电规划

第九章 水利资源的综合利用	1
§ 9-1 概述	1
§ 9-2 防洪与治涝	2
§ 9-3 灌溉	5
§ 9-4 水力发电	7
§ 9-5 内河航运及其他	12
§ 9-6 各水利部门间的矛盾和协调	17
第十章 兴利调节	21
§ 10-1 水库特性	21
§ 10-2 兴利调节分类	29
§ 10-3 设计保证率	31
§ 10-4 设计代表年和设计代表期	33
§ 10-5 兴利调节计算原理	35
§ 10-6 兴利调节时历列表法	35
§ 10-7 兴利调节时历图解法	44
§ 10-8 多年调节计算的数理统计法	63
第十一章 洪水调节	70
§ 11-1 水库调洪的任务与防洪标准	70
§ 11-2 水库调洪计算的原理	72
§ 11-3 水库调洪计算的列表试算法	75
§ 11-4 水库调洪计算的半图解法	77
§ 11-5 其他情况下的水库调洪计算	80
第十二章 水电站及水库主要参数的选择	83
§ 12-1 水电站出力与发电量计算	83
§ 12-2 电力系统组成及负荷图	88
§ 12-3 电力系统中各类发电站的设备组成及运行特性	94
§ 12-4 水电站在电力系统中的运行方式	108
§ 12-5 水电站经济计算	114
§ 12-6 水电站装机容量的选择	122
§ 12-7 以发电为主的水库特征水位的选择	138
第十三章 中小河流综合利用规划	152
§ 13-1 概述	152
§ 13-2 综合利用规划方案的拟定	153
§ 13-3 水库群的水利计算	157
§ 13-4 综合利用规划方案的选择	170

第十四章 水库调度	176
§ 14-1 水库调度的意义	176
§ 14-2 水库的兴利调度	177
§ 14-3 水库的防洪调度	183
§ 14-4 水库群的联合调度简述	185

第二篇 水利水电规划

第九章 水利资源的综合利用

§ 9-1 概 述

陆地上的水源主要由降水补给。但由于降水量在年内和年际分布的不均匀性，雨水较丰的年份常会出现暴雨或霪雨，以致某些地区或河段在短期内汇集了过多的径流，如果不能迅速排走而任其停滞或泛滥，就将形成洪涝灾害。所以，自古以来，除水害——防洪与治涝就成为水利事业中的首要任务。然而，淡水从来就是人类赖以生存和进行生产劳动所必不可少的自然资源，它对于人类来说，毕竟是利多于害的。人们在除水害的同时，总是千方百计地为各种不同的目标去兴修各种水利工程，以求充分地利用水利资源（见绪论）。于是，兴水利与除水害就构成整个水利事业的两大组成部分，包括着防洪、治涝、灌溉、水力发电、航运、木材浮运、给水、渔业、水利环境保护等等水利部门（详见本章各节）。各种不同的水利工程，无非是针对上述某一项或某几项的需要而兴建的。

不同的水利部门，有些是除害，有些是兴利。而且，不同的兴利部门，对水利资源的利用方式各不相同。例如，灌溉、给水要耗用水量，发电只利用水能，航运则依靠水的浮载能力，渔业却要利用水面面积和水体空间，等等。这就有可能也有必要使同一河流或同一地区的水利资源，同时满足几个不同的水利部门的需要，并且将除水害与兴水利结合起来统筹解决。这种开发水利资源的方式，就称为水利资源的综合利用。我国大多数大中型水利工程在不同程度上实现了水利资源的综合利用。例如，汉江丹江口水利枢纽就是一项综合利用汉江水利资源的大型水利工程。它能有效地控制汉江上游的洪水，大大减轻汉江中下游广大地区频繁的洪水灾害；给鄂西北、豫西南的严重缺水地区内数百万亩农田提供丰富的灌溉水源；为河南、湖北两省工农业提供90万千瓦的廉价电力；在它的水库内，形成220公里长的深水航道，并大大改善下游650公里河道的通航条件；辽阔的水库还可以发展水产养殖，每年能出产数百万斤淡水鱼；等等。实际上，水利资源的综合利用是我国水利建设的一项重要原则。实践证明，它完全符合多快好省地建设社会主义的精神，能够使宝贵的水利资源得到比较充分的利用，以较少的代价取得较大的综合效益。我们在进行水利水电规划时，切勿忽视这一原则。

然而，由于人们认识上的局限性、片面性，以及囿于局部利益等原因，我国有些大中型水利工程，尽管完全具备水利资源综合利用的有利条件，却仍然在这方面存在某种缺陷。例如：有些水力发电工程未认真考虑灌溉要求；有些航运或灌溉工程未注意充分利用水力资源；有些拦河闸坝忽视了过船、过木、过鱼的要求；有些兴利水库没有兼顾下游防洪的需要；等等。我们应该认真吸取这些经验教训，以便在今后的水利建设中，更好地贯彻综

合利用的原则。

在水利资源综合利用方面，还有一类问题常易被人们忽视，即是环境保护与生态平衡问题。大中型水利工程的施工常常要集中大量人力、设备，并耗用大量建筑材料；工程本身常需占用大片土地，特别是水库常造成大面积的淹没；此外，水利工程是人们改造自然的一种重要手段，必然对河流的水文情况产生重大的影响，等等。人们通过实践，逐步认识了这类问题的重要性，忽视这类问题常会给国家和人民带来巨大损失。例如，我国某些位于林区的水利工地，由于忽视森林资源的保护，短短几年施工期间就造成工地周围大片童山濯濯；又如某些水利工程，不适当地抬高了地下水位，使大片良田受到次生盐碱化的危害；还有的水库，上游河水中含有污染毒物，建库前由于有河中天然清水的冲洗稀释而危害不大，建库后毒物积累在水库中而不断危害周围地区，并使河中重要的野生鱼类绝迹，等等。因此，我们在进行水利水电规划时，还必须认真研究并尽量避免工程对自然环境和生态可能产生的不良影响。

水利资源的综合利用虽然是一个普遍应该考虑的原则，但具体执行起来却往往比较复杂。这是因为，各河流的自然条件千变万化，各地区需水的内容和要求也差异很大，而且各水利部门之间还不可避免地存在一定的矛盾（见§9·6）。因此，要做好水利资源的综合利用，就必须从当地的客观自然条件和用水部门的实际需要出发，抓住主要矛盾，从国民经济总利益最大的角度来考虑，因时因地制宜地来制定水利水电规划。切忌凭主观愿望盲目决定，也不能生搬硬套外地经验，尤其不应只顾本地区本部门的局部利益而使整个国民经济遭受不应有的损失。

§9·2 防洪与治涝

一、防洪

在我国，主要河流均位于中部及东部，西部属于干旱少雨地区，更兼地广人稀，因此洪涝灾患主要发生在中部及东部。我国洪水有凌汛、桃汛（北方河流）、春汛、伏汛、秋汛等，但防洪的主要对象是每年雨季的雨洪以及台风暴雨洪水。因为雨洪往往峰高量大，汛期长达数月；而台风暴雨洪水则来势迅猛，历时短而雨量集中，更有狂风助浪，二者均易酿成大灾。但是，洪水是否成灾，还要看河床及堤防的状况而定。如果河床泄洪能力强，堤防坚固，即使洪水较大，也不一定会形成泛滥。反之，若河床浅窄、曲折、泥沙淤塞、堤防残破等，因而安全泄量（即在河水不发生漫溢或堤防不发生溃决的前提下，河床所能通过的最大流量）较小，则遇到一般洪水也有可能漫溢或决堤。所以，洪水成灾是由于洪峰流量超过了河床的安全泄量，水位被迫壅高而超过了安全洪水位，或冲决堤防，从而泛滥成灾。由此可见，防洪的主要任务是：按照规定的防洪标准（参见第五章及第十一章），因地制宜地采取恰当的工程措施，以削减洪峰流量，或者加大河床的过水能力，并加固堤防，使遇不超过设计洪水的洪峰时，下泄洪水流量不超过河床的安全泄量，确保堤防安全渡汛。其工程措施主要有以下几方面：

1. 水土保持

水土保持是针对高原及山丘区水土流失现象而采取的根本性治山治水措施，对减少洪

水灾害很有帮助。水土流失是因大规模破坏植被而引起的自然环境严重破坏现象。水土流失地区旱季山泉枯竭、溪涧断流，易成旱灾；雨季又地面径流量大、汇集快，冲刷侵蚀裸露的地面，携带大量泥沙，形成浊流滚滚，下游河床因而泥沙淤塞、泄水不畅，易成洪灾。为此，要与当地农业基本建设相结合，综合治理并合理开发水、土资源；广泛利用荒山、荒坡、荒滩及“十边地”植树种草，封山育林，甚至退田还林；改进农牧生产技术，合理放牧、修筑梯田、采用免耕或少耕技术；大量修建谷坊、塘坝、小型水库等拦沙蓄水工程，等等。这些措施有利于把雨水尽量截留、涵蓄在雨区，减少山洪，增加枯水径流，保护地面土壤，防止冲刷，减少下游河床淤积。这不但对防洪有利，还能增加山区灌溉水源，改善下游河流通航条件，以及美化环境，等等。

2. 筑堤防洪与防汛抢险

筑堤是平原地区为了扩大洪水河床、加大泄洪能力、并防护两岸免受洪灾行之有效的措施。但筑堤防洪必须与防汛抢险相结合，即在每年汛前维修加固堤防，发现并消除隐患；洪峰来临时监视水情，及时堵漏、护岸，或突击加高培厚堤防；汛后修复险工，堵塞决口等等。不但堤防工程要防汛，水库、闸坝等也要防汛，以防止意外事故。有时，为了防止特大暴雨酿成溃坝巨灾，还须增筑非常泄洪道。甚至，在紧急时，炸坝泄水、预降水位。

3. 疏浚与整治河道

疏浚与整治河道的目的是，拓宽和浚深河槽、裁弯取直(图9-1)、消除阻碍水流的障碍物等，以使洪水河床平顺通畅，从而加大泄洪能力。疏浚是用人力、机械和炸药来进行作业，整治则是修建整治建筑物(参见§9-5、图9-10)来影响水流流态。二者常互相配合使用。内河航道工程也要疏浚与整治河道，但其目的是为了改善枯水航道，而防洪却是为了提高洪水河床的过水能力。因此，它们的具体工程布置与要求不同，但在一定程度上可以互相结合兼顾。

4. 分洪、滞洪与蓄洪

这三者目的都是为了减少某一河段的洪水流量，使其控制在河床安全泄量以下。分洪是在过水能力不足的河段上游适当地点，修建分洪闸，开挖分洪水道(又称减河)，将超过本河段安全泄量的部分洪水引走，以减轻本河段的泄洪负担。分洪水道有时可兼用为航运或灌溉的渠道。滞洪是利用水库、湖泊、洼地等，暂时滞留一部分洪水，以削减洪峰流量(图9-2 a)，洪峰一过，即将滞留的洪水放归原河下泄，以腾空蓄水容积迎接下次洪峰。

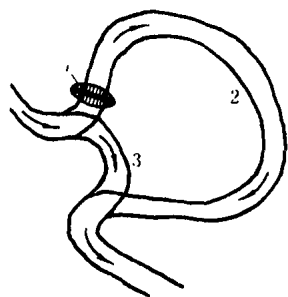


图 9-1 裁弯取直示意图

1. 堵口锁坝；2. 原河道；3. 新河道

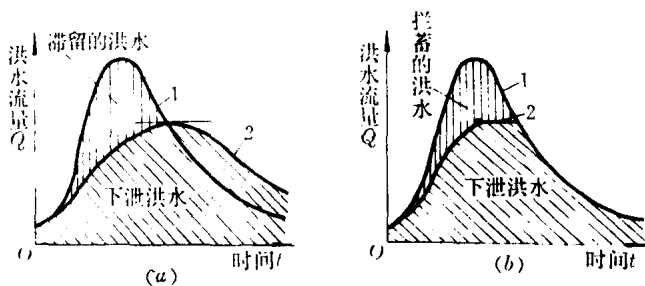


图 9-2 滞洪与蓄洪

1—入库洪水过程线；2—下泄过程线

蓄洪则是蓄留一部或全部洪水，待枯水期供兴利部门使用，也同样起到削减洪峰流量的作用(图 9-2 b)。第十一章所介绍的水库调洪包括了蓄洪与滞洪两方面。蓄洪或滞洪的水库，可以结合兴利部门的需要，成为综合利用水库。有些天然湖泊，常起着重要的滞洪作用，例如洞庭湖就对长江的洪水有调蓄作用。有些地区盲目围垦湖滩地，常会削弱湖泊滞洪作用，必须慎重对待，必要时应废田还湖。

上述各种防洪措施，常因地制宜地兼施并用，互相配合。往往是全流域上、中、下游统一规划，蓄泄兼筹，综合治理，还要尽量兼顾兴利部门的需要。在选择防洪措施方案以及决定工程主要参数时，都应进行必要的水利计算，并在此基础上进行一定的方案分析比较，切忌草率从事。

二、治涝

形成涝灾的因素有二：(1) 因降水集中、地面径流集聚在盆地、平原或沿江沿湖洼地，积水过多或地下水位过高；(2) 积水区排水系统不健全，或因外河外湖洪水顶托倒灌，使积水不能及时排出，或者地下水位不能及时降低。这两方面合并起来，就会妨碍农作物正常生长，以致减产或失收，或者使工矿区、城市淹水而妨碍正常生产和人民生活，这就成为涝灾。必须注意，农作物对短时间淹水有一定的耐受能力，在未明显妨碍作物生长之前，淹水也可能不成灾。治涝的任务乃是：尽量阻止易涝地区以外的山洪、坡水等向本区汇集，并防御外河、外湖洪水倒灌；健全排水系统，使能及时排除设计暴雨范围以内的雨水，并及时降低地下水位。其工程措施主要有：

1. 修筑围堤和堵支联圩

修筑围堤用以防护洼地，以免外水入侵，所圈围的低洼田地称为圩或垸。有些地区，圩、垸划分过小，港汊交错，围堤重叠，不利于防汛，排涝能力也分散薄弱。在这种情况下，最好将分散的小圩合并成大圩，堵塞小沟支汊，整修和加固外围大堤，并整理排水渠系，以加强防汛排涝能力，称为堵支联圩。必须指出，有些河、湖滩地，在枯水季节或干旱少雨年份，可以耕种一季农作物，但不宜筑围堤防护。因为在洪水来临时，需要利用河滩、湖滩泄洪或滞蓄洪水。若筑围堤，必将妨碍防洪，有可能导致大范围的洪灾损失，因小失大。若已筑有围堤，应在统一规划之下，照顾大局需要，拆堤还滩、废田还湖。

2. 开渠撇洪

开渠撇洪即沿山麓开渠，拦截地面径流，引入外河、外湖或水库，不使向圩区汇集。若与修筑围堤相配合，常可收良效。并且，撇洪入水库，可以扩大水库水源，有利于提高兴利部门的效益。当条件合适时，还可以和灌溉措施中的“长藤结瓜水利系统”以及水力发电的“集水网道式开发方式”结合进行。

3. 整修排水系统

包括排水沟渠和排水闸，必要时还包括机电排涝泵站。排水干渠可以利用为航运水道，排涝泵站有时也可兼作灌溉提水泵站用。

治涝标准通常是表示为：发生不大于某一频率的暴雨时不成涝灾。这一标准由国家统一规定。

§ 9-3 灌 溉

农作物田间耗水量常常远超过工业用水量。据统计，生产一吨玉米粒或小麦约需水一千吨，而生产一吨稻谷需水就更多。农作物所消耗的这些水量，主要是参与体内营养物质的输送与代谢，然后通过茎叶蒸腾作用散发到大气中去。此外，作物棵间土面与水面也均有水量蒸发，土层还有水量渗漏，等等。雨水是农作物所需水量的重要供应来源。但是，由于降水在时间上和地区上分布的不均匀性，单靠雨水供给农作物水分，即“靠天吃饭”，就不免会因某段时间不雨而发生旱灾，导致农业减产或失收。因此，用合理的人工灌溉来补充雨水之不足，是现阶段保证农业稳产高产的首要措施，居农业“八字宪法”之首位。但也要看到作物对于旱有一定耐受能力，只有久旱不雨超过了作物耐受能力时，才会形成旱灾。

灌溉的主要任务是：在旱季雨水稀少时，或在干旱缺水地区，用人工措施向田间补充农作物生长必需的水分。但旱季河川径流也较少，干旱地区本来就缺水。因此，兴建灌溉工程首先要寻找水源。水源主要有：

(1) 蓄洪补枯 亦即利用水库、塘坝、湖泊、蓄水池等进行径流调节(详见第十章)，拦蓄雨季洪水，供旱季灌溉使用。在山丘区，蓄水灌溉甚为普遍。

(2) 引取水量较丰的河湖水 流域面积较大的河湖，在旱季也还常有较多水量可用。为此，常需修筑长渠引水到干旱缺水地区，甚至跨流域引水，例如红旗渠等。

(3) 汲取地下水 多用于干旱地区地面径流比较枯涸的情况下。例如河北的井灌、新疆的坎儿井等等。

配合这些不同的水源，需要修建相应的工程。例如：

(1) 蓄水工程 为了蓄洪补枯，需要修建水库、塘坝等，或者在天然湖泊出口处建闸控制等等。蓄水工程常可兼顾防洪或其他兴利部门的需要。

(2) 自流灌溉引水渠首工程 不论是从水库引水抑或河、湖引水，一般都希望尽量采用自流灌溉方式，这适用于水源的水位高于灌区高程的情况下。自流灌溉需筑渠首工程，渠首可分无坝引水式与有坝引水式两种，见图 9 3。无坝引水投资较小，但常只能引取河水流量的一小部分。有坝引水则投资较大，但可拦截并引取河水流量的全部或大部。从综合利用水库中引水自流灌溉，也属于有坝引水性质。自流灌溉渠首工程包括：进水闸、沉沙池、消能工等，有时还包括渠首引水隧洞等。

(3) 提水灌溉工程 当水源水位低于灌区高程时，常需提水灌溉，其核心工程是机电泵站。其运行费用常较贵，灌溉成本较高。提水灌溉工程包括：泵站、

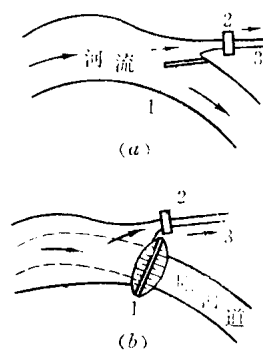


图 9 3 引水渠首示意图

(a) 无坝引水

1. 导堤; 2. 进水闸; 3. 干渠

(b) 有坝引水

1. 坝; 2. 进水闸; 3. 干渠

压力池、分水闸等。山区小灌区常用筒车、水轮泵、水锤泵等水力机械提水，以天然水力为能源，费用低廉，深受群众欢迎。当从水电站的水库中引水自流灌溉下游低田时，可能使水能损失较大而降低了发电效益。此时，也可以自水库中引水自流灌溉高田，同时自下游河流中提水灌溉下游低田，二者相结合，常可获较大的综合利用效益。

(4) 渠系 渠系指渠首或泵站下游的输水及配水各级渠道、以及渠系建筑物，不一一列举。

(5) 长藤结瓜水利系统 在山丘区，盘山开渠，将若干水库、塘坝、蓄水池及干支渠等串连起来，形成蓄水、输水、配水相结合的统一体系，称为长藤结瓜式水利系统。这种措施能扩大水库的流域面积(增加水源)，提高水源利用率，增大蓄水容积，扩大灌溉效益。并有利于实现水利资源综合利用。

设计灌溉工程，要求出灌溉用水量及其随时间的变化，它是根据作物灌溉制度推求出的。所谓作物灌溉制度是指某种作物在全生育期间规定的灌水次数、灌水时间、灌水定额和灌溉定额而言。这里，灌水定额是指某一次灌水时每亩田的灌水量，单位为米³/亩；也可以表示为水田某一次灌水的水层深度，单位为毫米。灌溉定额则是指全生育期历次灌水定额之和。灌溉制度要按照作物田间需水量、降雨量、土壤含水量等情况，并根据当地农民生产经验和试验资料等制定。若是水田，则还要看田间水层深度与土壤渗漏量。各地农业试验站或水利机构常有制定的灌溉制度资料可供查阅，如表9-1、表9-2的例子。由于不同年份气候不同，作物田间需水量与灌溉制度也不同。通常，重要的是设计干旱年的田间需水量和灌溉制度，这是设计灌溉工程的主要依据。

表 9-1 陕西关中平原某地冬小麦干旱年灌溉制度

生育阶段		播种、出苗	越冬、分蘖	返青	拔节	抽穗、灌浆		全生长期
起迄日期	日月	11 10至31 10	1 11至20 2	21 2至31 3	1 4至30 4	1 5至10 6		
天数	日	21	112	39	30	11		243
田间需水量	米 ³ /亩	21.78	51.29	60.28	70.35	103.74		307.44
日需水率	米 ³ /亩·日	1.04	0.458	1.546	2.345	2.53		
灌水次序		—	1	2	3	4	5	共五次
灌水定额	米 ³ /亩	—	60	40	40	40	40	
灌溉定额	米 ³ /亩							220

当已知灌区全年各种农作物的灌溉制度、品种搭配、种植面积后，就可分别算出各种作物灌溉用水量，即

$$\left. \begin{aligned}
 \text{某作物某次净灌水量 } W_{\text{净}} &= m \cdot A \text{ (米}^3\text{)} \\
 \text{毛灌水量 } W_{\text{毛}} &= W_{\text{净}} + \Delta W = W_{\text{净}} / \eta \text{ (米}^3\text{)} \\
 \text{毛灌水量 } Q_{\text{毛}} &= W_{\text{毛}} / T t = m \cdot A / T t \eta \text{ (米}^3\text{/秒)}
 \end{aligned} \right\} (9-1)$$

式中 m ——某作物某次灌水定额(米³/亩)；
 A ——某作物种植面积(亩)；

$$\Delta W \text{——渠系及田间灌水损失, } \Delta W = \left(\frac{1 - \eta}{\eta} \right) W_{\text{净}} \text{ (米}^3\text{)};$$

η ——灌溉水量利用系数，恒小于1.0；

T, t ——此次灌水延续的天数和每天灌水时间(秒)。

灌溉水量利用系数 η 等于田间水量利用系数 $\eta_{田}$ 与渠系水量利用系数 $\eta_{渠}$ 之乘积，其值因气候、土质、管理水平、渠道衬砌、渠长等而异，应按当地经验采用。每天灌水时间 t 在自流灌溉情况下可采用为86400秒(即24小时)，在提水灌溉情况下则小于86400秒，因为抽水机要间歇运行。决定灌水延续天数 T 时，应考虑使干渠流量比较均衡，全灌区统一调度分片轮灌，以减小工程投资。

表 9-2 浙江某灌区某年双季稻的早稻灌溉制度

生育阶段		移植、返青	分蘖	拔节、孕穗	抽穗、开花	乳熟	黄熟	全生育期
起迄日期	日/月	1/5至12/5	13/5至9/6	10/6至25/6	26/6至3/7	4/7至10/7	11/7至23/7	
天数	日	12	28	16	8	7	13	84
田间需水量	毫米	38.6	93.7	111.2	77.9	60.5	103.1	485
日需水率	毫米/日	3.2	3.4	7.0	9.7	8.7	8.0	总计201毫米
日渗漏率	毫米/日	2.1	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	
日耗水率	毫米/日	5.6	5.8	9.4	12.1	11.1	10.4	
田间耗水量	毫米	67	161	150	67	77	134	
田间适宜水深	毫米	20~40	20~50	30~60	40~70	30~60	20~50	
雨后田间水深上限	毫米	50	60	70	80	70	60	
降雨日数	日	5	17	8	1	3	4	38
降雨量	毫米	22.6	255.1	102.9	1.4	7.9	11.8	405
排水量	毫米	—	95.3	18.3	—	—	—	113.6
灌水日期	日/月	6/5, 12/5	—	10/6, 11/6, 18/6	26/6, 29/6, 2/7	5/7, 9/7	13/7, 16/7, 21/7	共十三次 368.3 215.5
灌水次序		1, 2	—	3, 4, 5	6, 7, 8	9, 10	11, 12, 13	
灌水定额	毫米	23.0, 21.6	—	31.7, 31.4, 12.4	31.7, 31.9, 36.3	24.3, 36.5	30.8, 31.2, 19.5	
灌水定额	米 ³ /亩	15.3, 14.1	—	21.1, 22.9, 8.3	21.1, 23.3, 24.2	16.2, 24.4	20.5, 20.8, 13.0	
灌溉定额	米 ³ /亩							
月灌水量	米 ³ /亩	五月 29.7		六月 96.7		七月 119.1		

注 在移植前有泡田水60米³/亩未计在内。又，5月1日前田间水深10毫米，7月23日田间水深10.0毫米。田间耗水量为田间需水量与渗漏量之和。

当某作物各次灌水毛灌水量 $Q_{毛}$ 分别求出后，就可按月旬列出，并绘成此作物灌溉流量过程线。全灌区全年各种作物的灌溉流量过程线分别绘出后，按月按旬予以叠加，就成为全灌区全年灌溉需水流量过程线，并可由此求出全年灌溉用水量。例如表9-3及图9-4所示。流量过程线上的最大流量即为渠首设计流量。但是各年灌溉制度不同，需水流量过程线也不同，应以设计干旱年的需水流量过程线作为决定渠首设计流量的依据。此外，若需水流量过程线上流量变化幅度很大，特别是，当存在短时间突出的高峰流量，以及既是在作物生育期间又非雨季而短时间停水(流量为零)时，就应设法调整灌区各渠段各片的灌水延续时间和轮灌方式，使干渠流量尽量均匀，使干渠和渠首设计流量尽量减小，以节省工程量和投资。

§ 9-4 水 力 发 电

一、水力发电的基本原理

水力发电是利用天然水流的水能(水力资源)来生产电能。河川径流相对于海平面而

言（或相对于某一基准面而言）具有一定的势能，并且因为径流有一定流速，就表示具有一定动能。总地说来，是具有一定的水能。这一水能是由太阳能转变而来。陆地上和海洋中的水，吸收了太阳能转化为自身的势能，并克服地球引力蒸发为大气水。大气水又受地球引力作用而降落到陆地上形成径流，一部分势能在降水过程中散失掉，一部分成为径流流动时的动能，同时仍保留一定的势能。地球上不断地进行着水循环，也伴随着不断进行太阳能转化为河川水能的过程。至于潮汐水能，主要地是因太阳、月球与地球的引力综合作用所产生。

表 9-3 某灌区干旱年各月需水流量

月 份	月灌溉需水流量 (米 ³ ·秒)			
	冬麦	油菜	水稻	总 计
一 月	2.30	1.05		3.35
二 月	1.21	0.27		1.48
三 月	1.11	0.67		2.11
四 月	0.70			0.70
五 月			15.87	15.87
六 月			13.05	13.05
七 月			13.38	13.38
八 月			9.16	9.16
九 月			1.51	1.51
全年灌溉用水量 (秒立米·月)				60.61

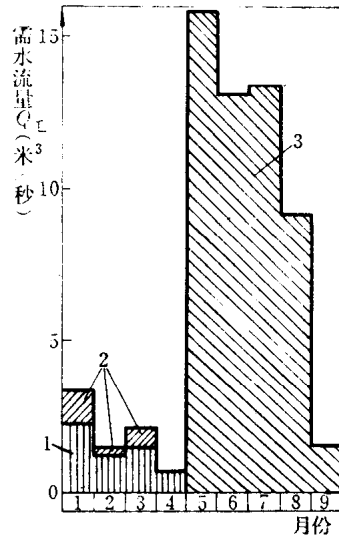


图 9-4 灌溉需水流量过程线
1—冬麦；2—油菜；3—水稻

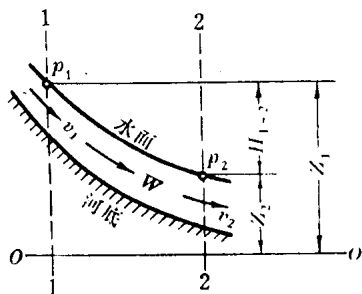


图9-5 水能与落差

在地球引力（重力）作用下，河水不断向下游流动。当水能未被利用时，河水因克服流动阻力、冲刷河床、挟带泥沙等，使所含水能分散地消耗掉了。水力发电的任务，就是要利用这一被无益消耗掉的水能，来生产人们需要的电能。图 9-5 表示一任意河段，其首尾断面分别为断面 1—1 和 2—2。若取 O—O 为基准面，则按伯努利方程，流经首尾两断面的单位重量水体所消耗掉的水能（即水头变化）应为

$$H = (Z_1 - Z_2) + \frac{p_1 - p_2}{\gamma} + \frac{\alpha_1 v_1^2 - \alpha_2 v_2^2}{2g} \quad (9-2)$$

但，大气压强 p_1 与 p_2 近似地相等，流速水头 $\frac{\alpha_1 v_1^2}{2g} - \frac{\alpha_2 v_2^2}{2g}$ 的差值也相对地微小而可忽略不计。于是，这一单位重量水体的水能就可以近似地用落差 H_{1-2} 来表示，即 $H_{1-2} = Z_1 - Z_2$ ，此即首尾两断面的水位差。

若以 Q 表示在 t 秒内流经此河段的平均流量(米³/秒), γ 表示水的单位重(通常取 $\gamma = 1000$ 千克力/米³ = 9806.65牛顿/米³), 则在 t 秒内流经此河段的水体重量应是 $\gamma W = \gamma Q t$ 。又, 1牛顿·米 = 1焦耳。于是, 在 t 秒内此河段上消耗掉的水能为

$$E_{1-2} = \gamma Q t H_{1-2} = 9807 Q t H_{1-2} \text{ (焦耳)}$$

但是, 在电力工业上, 习惯于用“千瓦·时”(或称“度”)为能量的单位, 1千瓦·时 = 3.6×10^6 焦耳。又令 T (小时) = $\frac{1}{3600} t$ (秒), 于是

$$E_{1-2} = \frac{1}{367.1} H_{1-2} Q t \text{ (千瓦·时)} = 9.81 H_{1-2} Q T \text{ (千瓦·时)} \quad (9.3)$$

此即代表该河段所蕴藏的水力资源, 它分散在河段的各微小长度上。要开发利用这一水力资源, 首先就要将这种分散的水能集中起来, 并尽量减少其无益消耗。然后, 引取集中了水能的水流去转动水轮机、带动发电机, 在水轮机、发电机转动的过程中, 水能转变为电能。这里, 发生变化的只是水能, 而水流本身并没有损耗, 仍能为下游用水部门所利用。上述这种河川水能因降水而陆续得到补给, 使水力资源成为不会枯竭的能源。

绪论中提到, 水力资源的数量常用电力功率来表示, 并以千瓦为单位。在电力工业中, 电站发出的电力功率称为出力, 因而也用河川水流出力来表示河川水力资源。水流出力是单位时间内的水能。所以, 在图9.5中所表示的河段上, 水流出力为

$$N_{1-2} = \frac{E_{1-2}}{T} = 9.81 Q H_{1-2} \text{ (千瓦)} \quad (9.4)$$

这个公式常被用来计算河流的水力资源蕴藏量。

二、河川水力资源蕴藏量的估算和我国水力资源的概况

由式(9.4)可见, 落差和流量是决定水力资源蕴藏量的两项要素。因为单位长度河段的落差(即河流纵比降)和流量都是沿河变化的, 所以在实际估算河流水力资源蕴藏量时, 常沿河分段计算各段水流出力, 然后逐段累加以求全河总水流出力。在分段时, 应注意将流量有较大变化处(例如支流的汇入处)以及河流纵比降有较大变化处(特别是局部的急滩或瀑布等), 划为单独的计算河段。在计算中, 流量取为河段首尾断面流量的平均值。因天然河川流量随时间的变化很大, 故常分别就多年平均流量 Q_0 和频率为95%的流量 $Q_{9.5}$ 来进行计算。一般泛称的水力资源蕴藏量, 多半是指按 Q_0 计算的水流出力值。

为估算河流的水力资源蕴藏量, 应对河流水文资料和河流地形、流域面积等进行勘测和调查, 然后按式

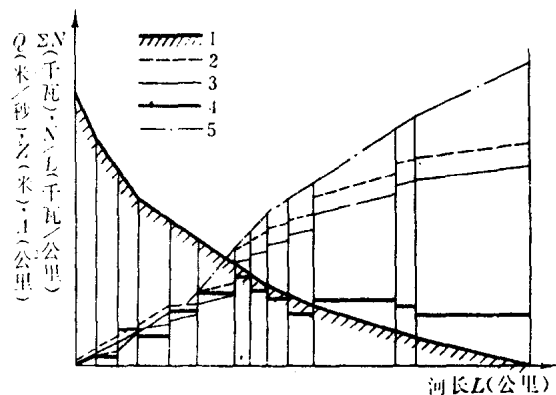


图 9.6 水力资源蕴藏图示意

1—河底高程 Z ; 2—流量 Q ; 3—流域面积 F ;
4—单位长度出力 N/L ; 5—累积出力 ΣN

(9-4) 计算(如表9-4中的示例), 并将计算结果绘成如图 9-6 的水力资源蕴藏图。表9-4和图 9-6 乃是掌握河流水力资源分布情况并研究其合理开发利用的重要资料。水力资源的普查和估算, 由国家专门机构统一领导组织进行并正式公布。1956年曾公布过一次全国水力资源蕴藏量估算结果(当时估算为约 5.4 亿千瓦)。1977年又由前水电部发出《关于开展全国水力资源普查的通知》, 组织新的普查工作(见《水利水电技术》1979年第 1 期), 并于 1980年10月份完成。根据资料(见表9-5), 我国河川水力资源丰富, 蕴藏量达6.76亿千瓦, 相应的年水能约为 6 万亿千瓦·时, 居世界第一位, 但至今才开发利用了约 2.2%, 今后发展水电建设是大有可为的。

表 9-4 某河水力资源蕴藏量计算例

断面顺序	高程 Z 米	落差 H 米	间距 L 公里	断面流量		河段平均流量		河段水流出力		单位长度水流出力		累积水流出力	
				Q ₀	Q _{9.5}	Q ₀	Q _{9.5}	N ₀	N _{9.5}	N ₀ /L	N _{9.5} /L	ΣN ₀	ΣN _{9.5}
				米 ³ /米	米 ³ /秒	米 ³ /秒	米 ³ /秒	千瓦	千瓦	千瓦/公里	千瓦/公里	千瓦	千瓦
1	350	35	129	0	0	8	3	2750	1030	21	8	2750	1030
2	315	27	34	16	6	18.5	7	5000	1850	147	54.5	7750	2880
3	288	10	19	21	8	23	9	2250	880	118	46	10000	3760
4	278	26	60	25	10	29.5	12	7650	3060	128	51	17650	6820
5	252	39	100	34	14	40	16.5	15300	6500	153	65	32950	13320
6	213			46	19								

表 9-5 全国水力资源蕴藏量及可能开发量统计表

地 区	理论蕴藏量 (万千瓦)	占全国比重 (%)	可能开发量 (万千瓦)	占全国比重 (%)
西 南	47331	70.0	23234	67.8
西 北	8418	12.5	4194	9.9
中 南	6408	9.5	6744	15.5
东 北	1213	1.8	1199	2.0
华 东	3005	4.4	1790	3.6
华 北	1230	1.8	692	1.2
全国总计	67605	100.0	37853	100.0

注 表中不包括台湾省; 表中数据引自《水力发电》1981年第二期。

从表 9-5 可以看出: (1) 6.76 亿千瓦只是理论值, 即未计及地质条件、施工条件、当地工农业生产情况、流域地形条件以及开发的经济性等等因素。事实上, 尽管许多河段水力资源丰富, 但受客观条件的限制而无法利用。据估计, 经济上合理而技术上又便于开发利用的水力资源, 大约只有理论值的一半略多一些。(2) 由于我国地势西部高、东部低, 主要大江大河多发源于西部高原, 加上南方雨量丰沛, 故西南地区的水力资源占全国 70% 之多, 其中四川、云南、贵州三省水力资源占全国近一半, 而仅西藏一地就占全国约 30% 之多。(3) 由于我国人口比较集中于东部和中部, 而工农业生产又以东部、中部较为发达, 故水力资源也是在东部和中部开发得较多。西南地区虽然水力资源极丰富, 却开发得很少, 而且在今后短期内, 仍不可能大量开发。只有在逐步实现了西电东送和经济重

心西移之后,才有可能大规模开发西南水力资源。

三、河川水力资源的基本开发方式

要开发利用河川水力资源,首先要将分散状态下的天然河川水能集中起来。由于落差是单位重量水体的水能,而河段中流过的水体重量又与时段平均流量成正比,所以集中水能的方式就表现为集中落差和引取流量的方式[见式(9-3)、式(9-4)]。根据开发河段的水文、地形、地质等自然条件之不同,集中水能的方式主要有以下几类(图9-7):

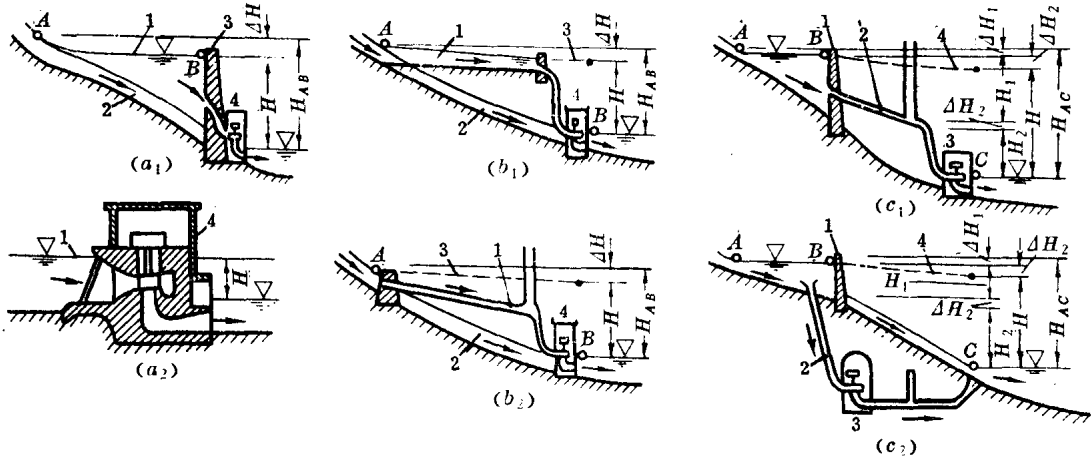


图 9-7 集中水能的方式

- (a) 坝式 1—抬高后的水位; 2—原河; 3—坝; 4—厂房
 (b) 引水式 1—引水道; 2—原河; 3—能坡线; 4—厂房
 (c) 混合式 1—坝; 2—引水道; 3—厂房; 4—能坡线

1. 坝式 (或称抬水式)

拦河筑闸或坝来抬高开发河段 AB 的水位,使原河段 AB 的落差 H_{AB} 集中到坝址 B 处,从而获得水电站的水头 H 。所引取的平均流量为坝址 B 处的平均流量 Q_B ,即河段末的平均流量。显然, Q_B 要比河段首 A 处的平均流量 Q_A 大些。由于筑坝抬高水位而在 A 处形成回水段,因而有落差损失 $\Delta H = H_{AB} - H$ 。坝址上游 A 、 B 之间常因形成水库而发生淹没。若淹没损失相对地不大,有可能允许筑中、高坝抬水,来获得较大的水头。这种水电站称为坝后式水电站(图9-7a₁),其厂房建在坝下游,不承受坝上游面的水压力。若地形、地质等条件不允许筑高坝,也可筑低坝或闸来获得较低水头,其厂房往往也成为挡水建筑物的一部分,如图9-7a₂,称为河床式水电站。坝式集中水能的方式有时可以形成较大的水库,因而能进行径流调节(参见第十章),称为蓄水式水电站。它每时每刻所引取的流量常常是经过水库调节后的,而不同于原河段中的天然流量,所发电力能较好地符合用电户所用电力的变化,并且水库还可兼为其他水利部门服务而收综合利用效益。但对水库所造成的淹没损失必须仔细研究,认真权衡得失,审慎决策。若不能形成可供径流调节用的较大水库时,则只能引取未经调节的天然流量来发电,因此不能较好地满足用电户的要求,称为径流式水电站。它常需与蓄水式水电站互相配合进行电力补偿。

2. 引水式

沿河修建引水道，以使原河段 AB 的落差 H_{AB} 集中到引水道末厂房处(B 处)，从而获得水电站的水头 H 。引水道有一定水头损失 $\Delta H = H_{AB} - H$ ，即为引水集中水能时的落差损失。所引取的平均流量为河段首 A 处(即引水道进口前)的平均流量 Q_A ，显然要小于 B 处的平均流量 Q_B ，而 AB 段区间流量无法引取。图9-7 b_1 是沿岸修筑坡降平缓的明渠(或无压隧洞等)来集中落差 H_{AB} ，称为无压引水式水电站。图9-7 b_2 则是用有压隧洞或有压管道来集中落差 H_{AB} ，称为有压引水式水电站。引水式集中水能不会形成水库，因而也不会河段 AB 中造成淹没损失。因此，引水式水电站通常都是径流式水电站。当地形、地质等条件不允许筑坝，河段坡降较陡，建造较短的引水道即能获得所期望的水头时，常可采用引水式集中水能的方式。

3. 混合式

在开发河段 ABC 上有落差 H_{AC} (见图9-7 c_1 、 c_2)。 BC 段上不宜筑坝，但有落差 H_{BC} 可利用。同时，可以允许在 B 处筑坝抬水以集中 AB 段的落差 H_{AB} 。此时，就可在 B 处用坝式集中 AB 段水能，以获得水头 H_1 (有回水段落差损失 ΔH_1)，并引取 B 处的平均流量 Q_B ；再从 B 处开始，筑引水道(常为有压引水道)至 C 处，用引水式集中 BC 段水能，获得水头 H_2 (有引水道落差损失 ΔH_2)，但 BC 段的区间流量无法引取。所开发的河段总落差为 $H_{AC} = H_{AB} + H_{BC}$ ，所获得的水电站水头为 $H = H_1 + H_2$ ， $\Delta H = H_{AC} - (H_1 + H_2)$ 。这种水电站称为混合式水电站，它多半是蓄水式水电站。

除了以上三种基本开发方式外，尚有：跨流域引水、集水网道式等。此外，还有潮汐发电、抽水蓄能等，见第十二章。

由于集中水能的过程中有落差损失，此外还存在水量损失及机电设备中的能量损失等，所以水电站的出力(即发出的电力)要小于式(9-4)中的水流出力，这将在第十二章中详细讨论。通常，在初步估算中，可用下式来求水电站出力 N_k ，即

$$N_k = A Q H \quad (\text{千瓦}) \quad (9-5)$$

式中 Q ——水电站引用的流量(米³/秒)，常取计算时段的平均值；

H ——水电站水头(米)，也常取计算时段的平均值；

A ——系数，一般采用为6.5~8.5，大型水电站取大值，小型水电站取小值。

§9-5 内河航运及其他

一、内河航运

内河航运是交通运输事业的一个重要组成部分，包括船运和筏运(即木、竹浮运)，是利用天然河流、湖泊、水库或人工运河等作为运输水道，依靠水的浮载能力，并不消耗水量。利用天然河、湖航运，需要有一条连续而通畅的航道，它一般只是河流整个过水断面中较深的一部分，如图9-8所示。它应具有必需的基本尺寸，即在枯水期的最小深度 h 和最小宽度 B (图9-9)、在洪水期的最小桥孔净高 D_b 和最小净宽 B_b 等。并且，还要具有必需的转弯半径 R ，以及允许的最大流速 v_{max} 。这些数据取决于计划通航的最大船、筏的类