

高等学校教材

# 水 能 利 用

上 册

华东水利学院水能利用教研组 编



中 国 工 业 出 版 社

高等学校教材



# 水 能 利 用

上 册

华东水利学院水能利用教研组 编

中国工业出版社

本书分上下两册出版。上册主要包括径流调节与水量平衡、电力系统的容量平衡及电能平衡、水能规划的经济计算和分析、水电站主要参数选择、水电站群的规划及水库调度，最后还提到了农村水电站水能规划的特点。

本书可作为高等工业学校河川枢纽及水电站建筑专业的试用教科书，也可供水电站工程技术干部参考。

## 水 能 利 用

### 上 册

华东水利学院水能利用教研组 编

\*

水利电力部办公厅图书编辑部编辑（北京阜外月坛南营房）

中国工业出版社出版（北京佟麟阁路丙10号）

北京市书刊出版业营业许可证出字第110号

中国工业出版社第三印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

\*

开本 $787 \times 1092 \frac{1}{16}$ ·印张 $10 \frac{1}{4}$ ·字数224,000

1965年12月北京第一版·1966年5月北京第二次印刷

印数891—1,930·定价（科五）1.10元

\*

统一书号：K15165.4171（水电-560）

## 前 言

本教材是根据1962年12月在武汉召开的高等学校水利电力类专业教学工作会议上通过的教学大纲，作为河川枢纽及水电站建筑专业（五年制）水能利用课程的教材而编写的。它是以华东水利学院河川系水能利用教研组历年的教学讲义为基础，吸取了兄弟院校和生产单位对我院1962年所编讲义提出的许多宝贵意见，并根据1963年天津教学工作会议上水电站教材编审小组讨论水能利用教学大纲的精神编写成的。

全书分上、下两册，上册为水能规划，下册为水电站建筑物。水能规划部分首先阐明了河流综合利用与水能的开发方式，其次分别介绍规划时算水帐、电帐和经济帐的基本知识，然后再讲解选择水电站主要参变数的基本理论与方法。为了说明水电站群和综合利用水库群在水能规划中的重要意义，扼要地介绍了补偿调节和水库调度的基本概念。最后介绍了农村水电站的规划特点。

水电站建筑物部分首先阐明水电站建筑物的组成体系，然后分别讲解水电站引水系统和厂房系统中各组成建筑物的目的、作用和基本类型，以及它们的结构布置和水力现象，水力计算、经济计算及结构计算的基本方法。对于引水系统中各建筑物的水力联系和建筑结构的关系，以及厂房系统中各建筑物与机电设备的关系，也都作了基本的说明，最后还介绍了农村水电站结构布置的基本知识。

随着高等学校教学改革的逐步深入，“少而精”原则和“启发式”教学法的进一步贯彻，本书中一定有好些可以少讲、甚至不讲的地方，也一定有不够的地方，希望采用本教材的各位教师和同学根据新的精神选择和补充。书中用小号字排印的部分可不必掌握，只是仅供参考。

本书由伍正诚主编，上册是伍正诚和周之豪执笔编写，下册是伍正诚、王世泽和徐关泉执笔编写。整个编写工作是在学校党政领导的支持和关怀下进行的。编写中承华东水利学院教材编审小组各位同志和施嘉煬（上册）、张昌龄（下册）、舒扬棨（上下册）三位同志的审查，特致以谢意。

本书编写得比较仓促，虽根据各方面意见经过几次修改，但一定存在不少缺点和问题，希望读者多加指正。意见请寄南京华东水利学院河川系水能利用教研组。

编 者

1965.4.

# 目 录

|                                |     |
|--------------------------------|-----|
| 前 言                            |     |
| 绪 论                            | 1   |
| 第一章 河流综合利用及水能的开发与利用            | 3   |
| § 1-1 河流的综合利用                  | 3   |
| § 1-2 水电站在水利系统中的开发方式           | 7   |
| § 1-3 电力系统及水电站在其中的作用           | 20  |
| 第二章 径流调节与水量平衡                  | 26  |
| § 2-1 径流调节概述                   | 26  |
| § 2-2 水库及其特性                   | 28  |
| § 2-3 设计保证率与设计代表期的初步选定         | 31  |
| § 2-4 径流调节原理与方法                | 34  |
| § 2-5 年调节水库的调节计算               | 47  |
| § 2-6 多年调节水库的调节计算              | 52  |
| § 2-7 水库调洪演算及防洪库容的决定           | 60  |
| § 2-8 梯级水库在径流调节和补偿上的作用         | 64  |
| § 2-9 水量平衡概念                   | 68  |
| 第三章 电力系统的容量平衡及电能平衡             | 72  |
| § 3-1 电力系统的容量组成                | 72  |
| § 3-2 水电站在电力系统负荷图上工作位置的确定      | 74  |
| § 3-3 电力系统的容量平衡及电能平衡           | 83  |
| 第四章 水能规划的经济计算和分析               | 90  |
| § 4-1 水能规划进行经济计算和分析的目的、任务及基本原则 | 90  |
| § 4-2 水、火电站及电力系统的经济特性          | 91  |
| § 4-3 水能规划进行经济计算和分析的方法         | 93  |
| 第五章 水电站主要参数选择                  | 101 |
| § 5-1 正确选择水电站主要参数的意义和基本原则      | 101 |
| § 5-2 水电站装机容量选择                | 103 |
| § 5-3 水库有利工作深度(水库有利调蓄深度)选择     | 114 |
| § 5-4 正常高水位(设计蓄水位)选择           | 120 |
| § 5-5 设计洪水位决定                  | 127 |
| 第六章 水电站群规划及补偿调节、蓄放调度的概念        | 129 |
| § 6-1 水电站群规划的概念                | 129 |
| § 6-2 径流、电力的补偿、调度计算的概念         | 134 |
| 第七章 水库调度                       | 142 |
| § 7-1 水库调度的意义与内容               | 142 |

|                                 |     |
|---------------------------------|-----|
| § 7-2 水庫調度图的繪制与应用 .....         | 143 |
| § 7-3 水文預报在水庫調度中的应用简介 .....     | 151 |
| 第八章 农村水电站水能规划特点 .....           | 153 |
| § 8-1 实现农村电气化的意义和农村水电站的特点 ..... | 153 |
| § 8-2 农村电能消费的特点及地方电力系统概念 .....  | 154 |
| § 8-3 中小河流开发的特点 .....           | 155 |
| § 8-4 农村水电站主要参变数的决定 .....       | 156 |
| 主要参考书 .....                     | 158 |

# 緒 論

## 一、水能利用的发展简史

河水从源头开始，由溪澗或者高原湖泊，通过急滩或者瀑布、盆地以及峡谷，最后流经冲积平原汇入海洋。由于沿着河床的高程不断下降，凭借重力作用，河流在不同的河段上就蕴蓄着不同的势能和动能。

海水由于地球在宇宙中运动，受到日、月的引力，海面上、海湾中就发生了强度不等但具有周期变化的潮汐现象。这也显示着各地海水在不同的时间各有一定的势能和动能。

这些水能的客观存在，人们通过生产劳动逐渐认识了它的规律，逐步的加以开发利用。我们的祖先在这方面有着极其光辉的历史。在约三千年前就创造了水车、水磨，利用水力来提水灌溉和碾米磨粉，到汉、晋时代已颇盛行。但是由于封建社会制度的长期存在，因此生产落后，水能利用一直未得到进一步发展。

欧洲十八世纪产业革命之后，大量应用机器，迫切需要动力，水力机械首先得到发展。水车进步到初级水轮机，对手工业作坊有很大的推进作用。不过这样利用水力只能限于河边，所以在蒸汽机发明以后，水力原动机的地位都被替代。

十九世纪后期，由于电力工业的发展，特别是在远距离交流输电的试验成功后，水力利用就进展到水力发电。由于三相交流高压输电的成功和水轮机发电机等设备的革新，日益扩大了利用水能生产电能的范围，使水电站建设进入了一个大发展的时代。从1891到1914年在十个水电较发达的国家里就兴建了总容量约1,200万千瓦的水电站。并且结合火电站逐渐形成了电力系统。

由于水利资源可以多目标的开发利用，使一些包括水电站的水利枢纽，能同时取得防洪、灌溉、发电、航运、渔业、供水等多方面的效益；因而河流中的水电站，随着水利、电力以及交通等事业的发展而日益发展。不仅工程技术日趋复杂，电站规模也日益巨大。同时，滨海潮汐显著地点，也由直接利用潮力阶段逐渐发展为潮汐电站。电力系统负荷紧张地区，为了充分发挥潜力，又愈来愈多的修建抽水蓄能电站。由于利用水能生产电能的优越性，本世纪来水能利用有着很大的发展。到1961年初，全世界水电站总装机容量已达1.7亿瓩左右，1960年全世界水电站的总发电量约达7,000亿度。

## 二、水电站的特点和作用

### (一) 水电站的特点

水电站是一个利用水能生产电能的生产企业。由于利用水能首先要考虑水利资源的综合利用和生产电能必须要综合利用动力资源，所以它就必然既是水利系统的一个组成部分，又是电力系统的一个组成部分。水电站利用水能生产电能必须依靠一定的技术措施。它为了要集中水头和取得水量就要建筑拦河坝、水库和引水道；为了要把水能变成电能就要有水轮机、发电机；为了要把电能送给用户就要有变电、配电等电气设备；为了要让这

些机电设备安装起来运行，就要建筑厂房。因此，水电站作为一个水力发电工程，它是利用水能生产电能的一系列水工建筑物和机电设备的综合体。由于利用水能要综合利用水利资源，这个综合体往往就还要结合防洪、灌溉、水运等技术措施构成综合利用水利枢纽，而隶属于一定的河流梯级和水利系统。由于生产电能要综合利用动力资源，水电站就要通过输电线路与火电站、原子能电站等构成水、火比重不同的电站群，而隶属于一定的电力系统。

考虑到各处的水利、动力资源条件不同和国民经济发展的需要也因时因地而异，所以有的水电站是以发电为主的水利枢纽中的水电站，有的就可能是以防洪或灌溉为主的水利枢纽中的水电站。有的水电站在电力系统中可能以供电为主而担任峰荷，有的则以供给电能为主担任基荷，有的还可能在一定时间内担任峰荷而在另一一定时间内担任基荷。

作为一个生产企业，水电站还有以下几个特点：

1. 发电成本低，劳动生产率高。水能是取之不尽、用之不竭，可以节省大量燃料。水电站发电设备元件少，结构简单，便于自动化。
2. 综合利用效益高。发电可以结合防洪、灌溉、航运、渔业、供水多目标的发展水利事业；同时它给电力系统节省下来的大量燃料，可以用来发展有关的化学工业等。
3. 可以大规模的集中开发，有利于促进大耗电工业的发展。可生产季节性电能，有助于季节性的加工企业及排灌用电。
4. 受自然条件限制。电站位置、型式、规模及其综合利用效益都要受到一定的资源条件的限制。它的出力、发电量的变化性较大。
5. 基建工程量较大，投资较多，工期较长，并且要有或多或少的淹没损失。

## (二) 水电站对农业技术改革及国家工业化的作用

水电站在综合利用水利、动力资源生产电能的同时，又综合地发展和水利电力有关的各种事业。水电站事业和工业、农业、交通运输业、科学、技术、文化、以至国防都有极为密切的关系，对它们的发展起着直接或间接的促进作用。我们都知道，农业的技术改革是为了要实现农业的现代化，也就是要机械化、电气化、化学化和水利化。水电站可以提供大量的廉价电能，给生产化肥和农药提供了有利的条件；水电站在地区分布上接近农村，在规模上有大有小，并且有季节性电能的生产，这些对农村电气化和排灌、耕作用电都很有利；因此，可以看出水电站对农业技术改革的作用是非常巨大的。此外，电力是工业的先行，所有重工业的采掘、冶金、机械、燃料和化工以及轻工业的纺织，食品和造纸等等工业，无一不需用电力，没有电就很难进行现代化的生产。尤其是大耗电工业的发展，例如：铝、镁、钛和特种钢的冶炼以及合成氨、磷和合成橡胶的制造，每吨产品都需要万度以上的电能。这就更加可以看出，水电建设的发展对国家工业化有着很重要的作用。

# 第一章 河流綜合利用及水能的开发与利用

## § 1-1 河流的綜合利用

### 一、河川水利资源综合利用的可能性与必要性

在我們社会主义国家里，水利资源的綜合利用，是开发和利用一切水利资源所必須遵守的根本原則。因为只有这样才能以最少的劳动耗費来充分利用水利资源，获得最大的国民经济效益。

同河流关系密切的国民經济部門主要有防洪、发电、灌溉、水运、居民生活和工业給水等，其他部門如漁业和水利卫生也与河流有一定的关系。我国河流的一般特点是一年四季的流量很不均匀，洪水流量非常大，容易造成洪水灾害。因此，在我們开发和利用河流尤其是开发和利用大河流时，必須重視解决防洪問題。解放以来，党和政府非常重視防洪問題，水利部門对我国大中河流进行了許多重大的治理工作，正在逐步減輕和免除人民长期遭受的洪水威胁，同时也推动了对河川资源的开发与利用。

上述同河流关系密切的各国民經济部門，对于开发利用河流各有不同要求，这些要求間有一定的矛盾，各部門間的主要矛盾在于天然来水和各部門用水这两方面。例如，防洪部門希望洪水期天然来水量少一些，来的水希望尽可能快的安全排走。但是发电、灌溉等兴利部門都需要水，唯恐来水太枯不能滿足要求，它們都希望提高河流的枯水流量，这是它們的共同之处。但是它們对水量的分配、用水的时间 and 取水的地点等等也存在有一定的矛盾。

大家知道，提高枯水流量对防洪部門是毫无妨碍的。因此可以說，要求提高枯水流量是同河流关系密切的五个国民經济部門的共同处。更重要的是，这些部門都有着密切的联系，它們的共同任务是根据党的方針政策来加速国家的建設，把我国尽早建設成伟大的社会主义强国。同河流密切有关的部門間存在着共同的任务与要求，这是河川资源綜合利用成为可能的重要原因之一。

我們祖先在很早以前就开始多目标地利用河川水利资源，例如在修建灌溉工程的同时不只考虑防洪，而且利用渠道从事航运和建筑水碾，灌渠中的水同时也是人們飲用水的主要来源等等。但由于当时对自然規律認識得不够，以及技术和經济落后，在同一水利枢纽上綜合利用水利资源还受到很大的限制。生产实践促进了科学技术的进步，人类掌握了在大河流上修建巨大水工建筑物的規律，从而有可能征服河流，改变河流的自然面貌，給綜合利用水利资源創造了物质条件。

必須指出，水利资源綜合利用的真正成为可能还必須有社会主义社会制度的保証。在資本主义国家里，水利资源的开发是垄断資本集团在追求最大利潤的目的下进行的，一般情况是：那一段河流落差大，水量多，投資小，利潤高，就开发那一段；对于全河流是否

充分被利用，各国民經济部門的利益如何結合等，資本家是不考虑的，也沒有专门机构过問这些事。因此，在同一条河流上，可以有几家公司同时修建一些建筑物，形成彼此之間的矛盾。例如美国著名的尼亚加拉瀑布本是一完整的水力資源，却被七、八个大小水电站在不同时期和不同的利潤計算下，零敲碎打分割地开发了，河川資源未能得到有計劃的充分利用。

伴随着社会主义建設的蓬勃发展，同河流有关的各国民經济部門都对开发和利用水利資源提出了它們的迫切要求。因此，在我国社会主义建設中，綜合利用水利資源就显得极为必要。修建每一项大中型水利枢纽时，往往希望滿足若干部門的迫切要求，对工业、农业和交通运输业都起到一定的促进作用，使其得到相应地发展。应该說明，修建水利枢纽时，既要分清主次，又要滿足若干部門的迫切要求是完全可能的，只要我們發揮主觀能动性，全面考虑各部門的迫切要求，認真解决它們之間的各种矛盾，并設置必要的工程措施。例如筑坝形成水庫后，只要进行合理的逕流調节与水庫調度，可以同时滿足防洪、发电和灌溉等部門的要求。在枢纽中設置过船和过筏建筑物后，仍可使上下游的水运暢通。解放以来，我国已經兴建了和正在兴建着很多具有綜合利用意义的大、中型水利工程，进行了很多大中河流的綜合利用規劃。这些規劃对进一步开发和綜合利用各河流水利資源起着重要的作用。

## 二、国民经济各部门对水利建设的要求及其用水的基本特点和各部门间相互关系的分析

我們簡單介紹一下防洪、发电、灌溉、水运和給水各部門的基本用水特点，它們对水利建設的要求，同时分析一下各部門間的关系。

### （一）防洪

洪水灾害是我国自古以来存在的問題，几乎全国各主要河流的中下游流域无不程度不同的洪水威胁。造成洪水灾害的主要原因与河流的特点有关。我国河流的一般特点是洪水流量和枯水流量相差悬殊，洪水流量甚大，因此容易造成洪水灾害。为了保障人民生命财产和保护国家的社会主义建設，解决防洪問題是开发和利用河川水利資源时必须重視的任务。

防洪措施无非是蓄和洩，具体办法主要有：修筑堤防，改善河槽，分洩洪流和水庫蓄洪等。利用水庫蓄洪时，在防汛期間水庫中必須預留出足够的防洪庫容。对什么河流运用什么方法来进行防洪最为有利，应根据洪水特点和当地具体情况进行全面規劃、分析研究和比較后决定，往往是几种措施有主次地同时运用，才能达到經濟合理的效果。

规划防洪措施就要有防洪标准，防洪标准的选择一方面决定于防护对象的重要性，另一方面应当同国家整个国民經济的发展相适应。这是一个牵涉到政治、經濟、技术等方面的复杂問題，必須有充分的研究和論証。防洪标准的提高意味着国家需要耗費巨大的人力、物力来修筑各种防洪措施，以防护特大的洪水。依靠水庫防洪时，防洪标准如定得过高，对綜合利用水庫往往提出很高的要求，可能限制其他水利事业的合理发展。如定得过低，又会帶來不应有的洪水灾害。因此，关于防洪标准問題，应该根据国家的經濟和技术条件，按照防洪对象的重要性及河流的具体情况，有計劃有步骤地进行各种防洪措施来逐

步提高防洪标准，而不能要求一下就解决特大洪水的威胁。

在初步计算时，防洪标准可根据有关规程在经验数据范围内选用。目前所采用的：一般重现期为20~50年，重要的保护区为100年，特殊的可用1000年。

## (二) 发电

水电站在任何情况下都是从堰坝的上游取水，因为只有这样才能得到水电站的工作水头。水电站从上游取的水在发电后通常流入水利枢纽下游的原河道中，流入处离取水地点的远近则根据电站的类型而定。引水式水电站有时将用过的水排到离取水处很远的原河道中（达十几公里），但也有例外，有时用过的水排入别的河流或湖泊中。

发电用水有季节性的变化，当用电单位的负荷减少时，用水量也就相应减少。因本课程主要是讨论有关水电站规划的问题，所以有关这方面的问题将在后面一一讨论。

## (三) 灌溉

在我国旱灾和水灾对农业生产的威胁同样是普遍而严重的，并具有历史性。例如在解放前的淮河流域就是“大雨大灾，小雨小灾，无雨旱灾”。

灌溉不仅是为了防旱保产，更主要的是为了增产。据许多典型调查，农田得到灌溉后，结合其他农业措施，一般可有显著的增产。

灌溉是季节性的用水部门，只有在作物需要灌溉的季节里才需要用水。

灌溉是属于综合利用用水部门中的耗水部门，它需要引走水量。如自水利枢纽的上游引走灌溉用水，则对水利枢纽中的其他用水部门，特别是发电有着较大的影响。当自水利枢纽的下游引水时，则仅对下游各需水部门有影响。影响的大小与灌溉用水量有关。灌溉用水的数量和时间可根据灌区的灌溉需水图确定。

农作物对缺水的适应性要比其他需水部门为大，因为各种作物的需水量不同，而每一种作物的收获量也不仅与灌溉水量有关，还与农业八字宪法的其他环节有关，有时当水量不足时，采取适当的耕种措施，仍能保持正常产量。由于灌溉需水有一定的灵活性，故在综合利用供水，中，常可作一定程度的机动。

## (四) 水运

包括航运和木筏流送两部分，水运部门在一般情况下只是利用水、而不自河中引走水。只有在引水给通航运河时才要引走水，假如在水利枢纽的上游有这种情况，则对本枢纽中水电站的出力和发电量，以及下游各需水部门有影响。

在水利枢纽上下游均有水运时，则在枢纽中要设置船闸和筏道等。船和木筏在经过这些建筑物时，要耗费一些水量，这些水总是从枢纽的上游引取而放入下游河道中，这对本枢纽的出力和发电量有些影响，但对下游各部门无影响。船闸和筏道的用水量与它们的大小和使用次数有关，为便于计算，我们常将这部份水量化成平均流量。现代大型船闸所需的流量可能达到每秒数十立方米。

在无船闸和筏道的河段上，水运所需流量主要是要维持一定的航深。天然河道里的水深是不同的，我们特别要注意的是控制段内（河道最浅处）的水深，最大船只通过控制段所需的水深称设计航深，如最大船只的吃水深已知，则控制段的水深应该是该吃水深和安全超深之和。安全超深一般为0.1~0.3米。当具有最大船只吃水深度和控制段水位流量

关系曲线等资料后，便不难决定水运所需流量了。

为了改善河道航行条件，维持河中最低必须的航深，除了用水库调节径流的方法外，还可用河床整治、疏浚等方法来达到目的。增加航深的最有利方法，应根据具体情况分析研究后确定。水运部门用水量比较均匀，是经常性的需水部门。但是有些北方河流在冬天可能因河流冰冻而停航，这时就不需要为航运供水。

#### (五) 居民生活和工业给水

给水也是经常性的需水部门，用水量比较均匀，它是属于耗水部门，要从河中引走部份水量。因此同灌溉部门一样，当自水利枢纽上游取水时，对枢纽中其他需水部门有影响，如从枢纽的下游取水则仅对下游各部门有影响，影响的大小要视引走水量的多少而定。

居民生活和工业给水常对水质有较高的要求。此外还需指出，给水对保证程度的要求最严格。给水量如果显著地减少，那么往往会对工厂企业和居民引起很严重的后果，这一点是在规划设计综合利用水利枢纽时特别要重视的。

#### (六) 其他需水部门

1. 渔业——是为了鱼道操作和鱼塘灌水需要用水。在水利枢纽中设有鱼道时，总是由上游取水，用过的水就排在离坝很近的下游。如利用水库养鱼，则必须在上游保持一定的最低水深，并在水库中选定捕鱼场位置，在清理水库时还要特别注意捕鱼场的清理。

2. 水利卫生——修建水库后，在水库边缘的浅水处经太阳照射后温度较高，极适于蚊子繁殖，为了防疟工作的需要，应采取预防措施，清除水库边缘容易滋生蚊蝇的水生植物。因为蚊子的孑孓可以被晒死和溺死，所以还可在蚊子生长的季节使水库水位不断变化来制止其繁殖。在必要时要用工程措施消除浅水区（如筑堤防或挖深、填高等），并对水库运转提出要求，希望夏季在水库中不因水位消落而出现浅水区。

许多实地调查的材料证明，水利工程的各种技术措施对于消灭血吸虫的中间宿主——钉螺，可起到极大的作用。例如湖北武昌沿江一带地区，居民中感染血吸虫病的人较多，自从修建金水闸后，拒绝江水倒灌，这样就改变了钉螺生存的自然环境，使沿金水两岸的农田和沟渠内的钉螺钙化死亡。在受检查的二百多人中，没有发现阳性病例。

### 三、水利资源综合利用的原则、方法及发展趋向

水利资源综合利用的原则就是要以最少的劳动耗费来合理地利用天然资源，综合地满足各有关国民经济部门所提出的要求，使总的经济效益最大。河流的综合利用是以国家总的经济发展计划为基础的，既要解决各国民经济部门目前的迫切要求，同时也要考虑到发展的远景。

应该指出，如何使河川综合利用各部门的各种不同要求能够很好地配合起来，是一个很复杂的问题。要解决这个问题，各有关部门必须在高度的综合利用的要求下，共同想方设法，力求取得整个国民经济的最大效益。要想统一解决综合利用问题，除分清主次、分清轻重缓急外，各部门的要求都应有一个变化的范围，拟出用不同办法解决它们要求的方案，这样才可以进行研究比较，以求得最经济合理的统一解决方案。

为了综合利用水利资源，高度发挥它的潜在力量，为祖国社会主义建设服务，首先要

进行河流综合利用规划。这种规划是治理和开发河流的最初设计阶段。它的任务是以国民经济发展计划为基础，结合区域性的经济发展规划，根据河川的自然特征；制定最合理的开发和治理河流的方案。河流综合利用规划必须以河流综合利用、综合治理、综合开发、综合平衡观点，国民经济发展的观点和经济核算的观点，根据充分可靠的有关资料，实事求是地反复研究，才能正确制定符合于客观规律的河流综合利用方案。

一条河流的开发不是一件简单的事，首先要掌握向自然作斗争的规律，同时由于它牵涉到各个国民经济部门和各个地区的利益，而它们不会是经常一致的，相反地却常有矛盾存在。例如防洪会和发电矛盾；灌溉会和航运矛盾；上游用水多了，就会使下游用的水减少等。诸如此类的矛盾，在流域规划的编制过程中会不断的产生着。为了解决这些矛盾，首先要按照各部门不同的要求选出几个方案，计算出各方案的总耗费和总效益，然后进行分析比较，总耗费最少和总效益最大的方案便是要被采纳的方案。这里也贯彻了局部服从整体的原则。具体的水利水能计算和经济计算的原理和方法将在以后各章中分别介绍。

在进行方案比较时，往往不能仅考虑经济效益，而必须遵守经济服从政治的原则。例如在我国编制的第一个河流综合利用规划——黄河综合利用规划中就遇到这样的问题：从经济观点看来，同样数量的水灌溉农田比灌溉牧场可能更有利，但为了贯彻党的民族政策和帮助少数民族发展畜牧业生产，在前后套地区灌溉一定数量的牧场是完全必要的。

社会主义建设、国民经济各部门高速发展的大好形势给我们各方面提出了新的任务。在水利水电建设方面，整个流域的综合利用已愈来愈不能满足生产发展的需要。目前有些地方已开始由一个流域的开发利用发展到跨流域开发，形成水利系统。水利资源综合利用的发展趋向是由一个枢纽的综合利用向整个流域的综合利用，又向整个水利系统的综合利用发展。所以河流综合利用规划理论也有必要向水利系统综合利用规划理论发展。

在谈到水利资源综合利用发展趋向时，我们回顾一下水利资源开发利用的发展过程是有益的。最初是单目标开发的水利枢纽，后来发展为综合利用水利枢纽，再发展为全河流综合利用，进行梯级开发。它的发展过程是完全和生产的发展紧密联系着的。

## § 1-2 水电站在水利系统中的开发方式

### 一、水能利用的基本原理，及水电站的出力和发电量的计算方法

#### (一) 水能利用的基本原理

河水沿着河床下游，随着流域面积的不断增加，流量也不断增加；由于高程又随着地形坡降而有不同程度的下降，凭借重力作用，河流在不同的河段上，就蕴蓄着不等的势能和动能。某河段的纵剖面如图 1-1 所示，设在  $t$  时段内通过断面 1-1 的水量  $W (= Q \cdot t)$  所具有的能量为：

$$\Theta_1 = \left( z_1 + \frac{P_1}{\gamma} + \frac{\alpha_1 v_1^2}{2g} \right) \cdot W \cdot \gamma \quad (\text{公斤} \cdot \text{米}) \quad (1-1)$$

设河段较短，中间段无支流汇入；则同样水量流过断面 2-2 时，它所具有的能量为：

$$\Theta_2 = \left( z_2 + \frac{P_2}{\gamma} + \frac{\alpha_2 v_2^2}{2g} \right) \cdot W \cdot \gamma \quad (\text{公斤} \cdot \text{米}) \quad (1-2)$$

据此, 可知水量 $W$ 流过该河段时所耗费的能量为:

$$\begin{aligned} \Theta = \Theta_1 - \Theta_2 = & \left( z_1 - z_2 + \frac{P_1 - P_2}{\gamma} + \frac{\alpha_1 v_1^2 - \alpha_2 v_2^2}{2g} \right) \times \\ & \times W \cdot \gamma = H \cdot Q \cdot t \cdot \gamma \quad (\text{公斤} \cdot \text{米}) \end{aligned} \quad (1-3)$$

(因为河段短, 断面近似, 可以认为  $P_1 = P_2$ ,  $\alpha_1 v_1^2 = \alpha_2 v_2^2$ ) 这些被耗费的能量, 也就是该河段所蕴蓄着的水能。在没有被开发利用之前,

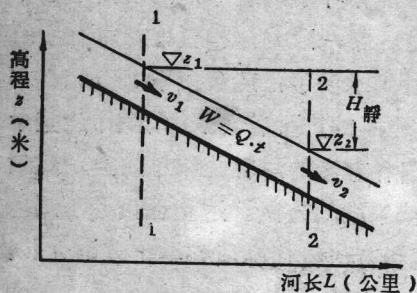


图 1-1

河流一直只是做着急湍旋流、河床冲刷等等无用的工作。人们通过生产斗争, 掌握了自然规律; 根据“物质不灭, 能量转换”这个自然法则, 对不同的自然条件, 采用了不同的改造自然的技术措施, 在河流上建筑堤坝或者引水道来集中水头 ( $H$ ) 取得流量 ( $Q$ ) 来开发水能 (参阅图 1-4)。然后依靠水轮机把水能转换为机械能, 再通过发电机把机械能转换为电能。由于水文的循环现象, 水利资源可以用之不竭, 而电能

又可升压远送并很方便的转换为热能和光能。这样就保证了利用水能的经济有利条件, 而水能也因此得以被大量的开发利用。所有以上说明, 就是水能利用的基本原理。至于潮汐的水能利用, 所根据的自然法则是一样的。构成潮汐水能的两大基本因素潮差与潮量, 基本上和构成河川水能的基本因素  $H$  与  $Q$  相似, 而它生产电能的两大基本设备也同样是水轮机和发电机。

## (二) 出力、发电量的计算公式

设图 1-1 资源河段通过一定措施建成了水电站, 水电站中水流运动情况如图 1-2, 这时某一水体  $W$  由  $A$  点通过水电站到  $C$  点所给予水电站的能量  $\Theta$ , 也就是水电站利用了水体  $W$  由  $A$  到  $C$  所能产生的理想电能, 其值为:

$$\begin{aligned} \Theta &= \frac{1}{367.2} \left( H_{\text{静}} + \frac{\alpha_1 v_1^2 - \alpha_2 v_2^2}{2g} \right) Q \cdot t \\ &= \frac{1}{367.2} H_{\text{静}} \cdot Q \cdot t \quad (\text{瓩} \cdot \text{时}) \end{aligned} \quad (1-4)$$

(因为 1 瓩·时 = 102 · 3600 = 367,200 公斤·米,  $\gamma = 1000$  公斤/米<sup>3</sup>。)

由于水流通过水电站有水头损失  $\Sigma h$ , 而生产电能的机电设备又都有一定的工作效率。水轮机的效率  $\eta_r$ , 发电机的效率  $\eta_g$ , 传动设备的效率  $\eta_k$ , 使水电站生产电能的设备效率为  $\eta_{\text{总}} = \eta_r \cdot \eta_k \cdot \eta_g$ 。把这些因素加入公式 (1-4) 得计算水电站实际产生的电能的公式为:

$$\begin{aligned} \Theta_{\text{水电}} &= \frac{1}{367.2} \cdot (H_{\text{静}} - \Sigma h) \cdot Q \cdot t \cdot \eta_{\text{总}} \\ &= \frac{1}{367.2} H_{\text{静}} \cdot Q \cdot t \cdot \eta_{\text{总}} \quad (\text{瓩时}) \end{aligned} \quad (1-5)$$

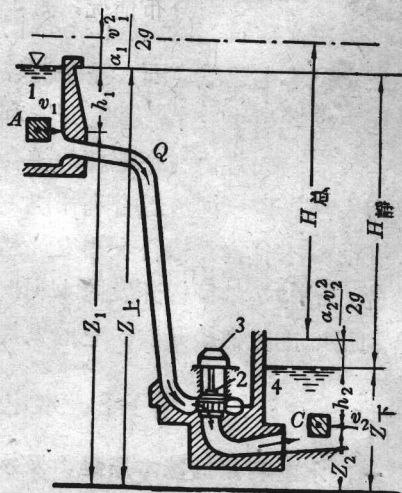


图 1-2

1—上游; 2—辐流式水轮机; 3—发电机;  
4—下游。

由于水电站生产的电能要通过变压器升压、輸电綫传送和根据用户需要的电压降压, 这些设备又都有一定的工作效率  $\eta_{nep}$ 。如果把  $\eta_{og}$  和  $\eta_{nep}$  用电力系统总效率  $\eta_{enct}$  来代替, 則計算水电站可以供給用电戶的电能的公式为:

$$\Theta_{用户} = \frac{1}{367.2} \cdot H_{静} \cdot Q \cdot t \cdot \eta_{enct} \quad (\text{瓩时}) \quad (1-6)$$

水电站在单位時間內的发电量就是水电站的出力。它也就是衡量水电站可能进行生产的工作容量的一种指标。根据以上計算水电站发电量的几个基本公式, 就可以得出相应的計算水电站出力的几个基本公式,

$$\text{水电站的理想出力: } N = \Theta/t = 9.81 \cdot H_{静} \cdot Q, \quad (\text{瓩}) \quad (1-7)$$

$$\text{水电站实际产生的出力: } N_{水電} = \Theta_{水電}/t = 9.81 \cdot H_{静} \cdot Q \cdot \eta_{og}, \quad (\text{瓩}) \quad (1-8)$$

$$\text{水电站供給用电戶的出力: } N_{用户} = \Theta_{用户}/t = 9.81 \cdot H_{静} \cdot Q \cdot \eta_{enct}, \quad (\text{瓩}) \quad (1-9)$$

### (三) 河流水力資源蘊藏图的繪制

由于各个河段的水文、地形条件不同, 它們蘊蓄的出力、发电量也就不同。为了全面掌握整个河流的資源分布情况, 便于研究合理的开发利用方式, 实践經驗, 首先要在普查的基础上, 繪制河流的水力資源蘊藏图。它沿河流系統地表示出各个河段的水力因素特征和所蘊蓄的水力資源分布情况, 是进行河流流域规划中水能利用规划的主要設計依据之一。

关于河流水力蘊藏量的計算方法, 按照国际动力委员会的規定, 最通用的是分段計算出力的方法, 例如河段 1-2 間,

$$N_{1-2} = 9.81 \left( \frac{Q_1 + Q_2}{2} \right) H_{1-2} \quad (\text{瓩}) \quad (1-10)$$

考虑到水力蘊藏量的計算要能够反映河水流量的变化性, 上式中的  $Q$  需要用  $Q_0$  (多年平均流量) 和  $Q_{95}$  (保証率 95% 的流量) 来分別进行計算。計算时可列成表格 (表 1-1), 以利于依次繪图。

表 1-1

| 順<br>序 | 斷<br>面<br>名<br>稱 | 高<br>程,<br>米 | 落<br>差<br>H,<br>米 | 斷<br>面<br>間<br>距<br>离<br>L,<br>公<br>里 | 断面处的流量            |                   | 河段的平均流量           |                   | 河 段 的 出 力 |          | 河段的单位出力 |            | 累 积 出 力      |                 |
|--------|------------------|--------------|-------------------|---------------------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-----------|----------|---------|------------|--------------|-----------------|
|        |                  |              |                   |                                       | $Q_0$             | $Q_{95}$          | $Q_0$             | $Q_{95}$          | $N_0$     | $N_{95}$ | $N_0/L$ | $N_{95}/L$ | $\Sigma N_0$ | $\Sigma N_{95}$ |
|        |                  |              |                   |                                       | 米 <sup>3</sup> /秒 | 米 <sup>3</sup> /秒 | 米 <sup>3</sup> /秒 | 米 <sup>3</sup> /秒 | 瓩         | 瓩        | 瓩/公里    | 瓩/公里       | 瓩            | 瓩               |
| 1      | 2                | 3            | 4                 | 5                                     | 6                 | 7                 | 8                 | 9                 | 10        | 11       | 12      | 13         | 14           | 15              |
| 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                |                   |                   |           |          |         |            |              |                 |

一般大中河流的水力資源蘊藏图，常包括：

1. 河流的纵剖面綫。表示沿河水位落差情况。
2. 沿河流各河段的平均流量  $Q_0$  綫。
3. 流域面积沿河流的增长曲綫。
4. 沿河流各河段的单位出力  $N_L$  綫。

$$\left[ N_{L1-2} = \frac{N_{1-2}}{L_{1-2}} (\text{瓩/公里}) \right]$$

5. 沿河流的出力累积曲綫。

$$[\Sigma N = N_{1-2} + N_{2-3} + \dots + N_{n-1-n} (\text{瓩})]$$

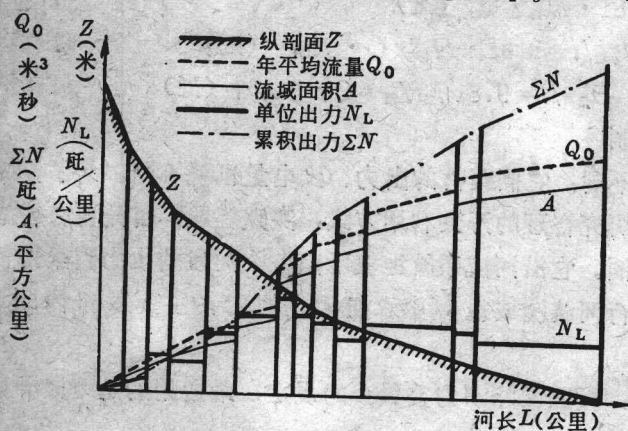


图 1-3 河流水力資源蘊藏图

其图形茲举例說明如下 (图 1-3)。

## 二、水能的开发方式

水能利用的基本原理告訴我們，根据“物质不灭，能量轉換”定律，掌握水利資源的自然規律，針對不同的資源条件运用不同的技术措施，使在河流上或海湾里集中水头 ( $H$ ) 取得流量 ( $Q$ )，装置水輪机与发电机，就可以开发水能，利用水能生产电能。从河流的

水力資源蘊藏图上可以看出，不同河段的水力因素是不同的。再加上地形地质变化，人們开发水能就要針對不同情况，采取不同的技术措施。河川資源如此，潮汐資源也是一样，因此，水能的开发方式就多种多样了。

生产实践的經驗告訴我們，河川水能的开发，目前已由过去的孤立的考虑一个一个資源河段的开发，发展到全河流的流域规划。为了充分利用水文、地形、地质的有利条件，往往在河流上游山区还要联系邻近小支流来一併考虑；而在重要的河流的干流上甚至于考虑跨流域的开发。不过我們必須認識，所有河流上的水能开发都是从一个一个資源河段开始的。任何一个資源河段的开发，显然都是全河流开发的基本組成部分，都必須从全流域开发的整体观点出发；但是由于各处条件不同，它們却都各有其独特的开发方式。关于这方面的基本經驗，茲分述如下：

1. 一个資源河段的水能开发方式——上面告訴我們，构成一个水能資源的两大基本要素是水头 ( $H$ ) 和流量 ( $Q$ )。所以要开发一个資源河段的水能时，最基本的技术措施就是集中水头和取得流量的措施。因此，对不同的水文、地形、地质条件的水能資源的开发方式，基本上就要根据不同的集中水头和取得流量的方式来区分：

(1) 从集中水头方式分 把分散在沿河水面上的自然坡降集中起来是开发河川水能的首要措施。由于河川資源条件各处不同，各个資源河段所采取的集中水头的技术措施也是不同的。基本上可有三种方式：

a. 抬水式开发 是靠拦河筑坝来抬高上游水面，把整个开发河段的水面自然坡降集中起来，构成水电站的水头( $H$ )。在河流峡谷上游可以允许淹没的河段上，一般都用高坝抬水来获得电站水头，其布置如图1-4，甲<sub>1</sub>所示。

在河流中下游的平原地区，水面坡降小且又不允许大量淹没，但是流量较大，可拦河建筑低坝来适当的抬高上游水面，以集中水头开发该段水能。其布置可参阅图1-4，甲<sub>2</sub>。

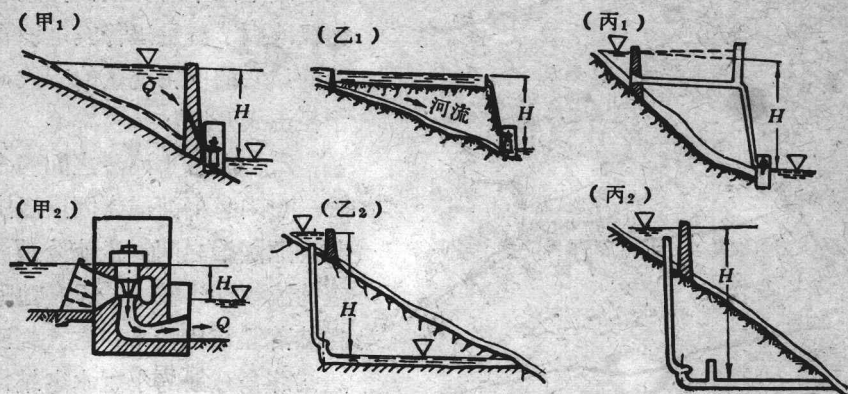


图 1-4 河川资源集中水头的方式

甲—抬水式；乙—引水式；丙—混合式。

b. 引水式开发 是沿河修建坡降平缓的引水建筑物，来把整个开发河段的水面自然坡降集中起来，构成水电站的水头。在采用此式开发的河段上往往存在瀑布、急滩或者有个大河湾，但上游一般都不允许淹没，因此，它不适于建筑高坝抬水，而只能用低坝拦截河水，主要依靠引水道来集中水头，开发该类河段的水能。图1-4，乙<sub>1</sub>所示是采用地面引水道的引水式开发图式，而图1-4，乙<sub>2</sub>所示则为地下引水道的引水式开发图式。前者水电站在地面，后者属地下式水电站的一种集中水头方式。

c. 混合式开发 是靠拦河筑坝抬高河段上部水面和建筑引水道来集中河段下部水头的抬水、引水并用的集中水头方式。在采用此式开发的河段上，其上游部分有峡谷并允许淹没，而峡谷下游则坡降很大，可能是一串急滩或者是具有较多急滩的大河湾；这样就有条件可以用坝抬高河段上部水面，用管道或隧洞集中河段下部落差，来构成水电站总水头。其布置一般如图1-4，丙<sub>1</sub>所示，但是亦可能布置如图1-4，丙<sub>2</sub>；主要是根据地形、地质条件，从经济可靠等角度进行分析比较来选择开发方式。

(2) 从取得流量方式分 水文学告诉我们，河川径流有多变性。由于它的变化规律往往不能适应人们的用水规律，人们在条件可能的情况下就要建筑水库来调节径流，但是各个河段的地形、地质条件不同，并不是处处都可采用蓄水措施的。因此，一个资源河段的水能开发，从取得流量的方式来讲，基本上可有两种：

a. 蓄水式开发 是靠拦河筑坝构造水库，蓄储洪水或者多余径流以供调节发电流量（或综合利用用水量）的开发方式。由于资源河段的自然的和经济的条件不同，它可能构成的水库容积就有大有小，例如采用高坝的抬水式开发和混合式开发，往往可能做成长期调节的蓄水式开发，而采用低坝抬水可能构成小水库的抬水式开发和具有小型调节池的