

水 能 利 用

武汉水利电力学院

西北农学院 合编

华中工学院

电力工业出版社

水 能 利 用

武汉水利电力学院

西北农学院 合编

华中工学院

电力工业出版社

期 限 表

请于下列日期前将书还回

内 容 提 要

全书共分七章,包括水电站的水能部分和建筑物部分。主要讲述水能开发利用的原理和方式、径流调节、水能计算、水电站装机容量选择、水库调度及水电站机组的工作条件、水电站的水工建筑物和厂房等内容。

本书可作为高等院校“水电站动力设备”专业的教材,也可供水力发电有关专业的师生和从事水电站规划设计的工程技术人员与管理
人员参考。

水 能 利 用

武汉水利电力学院

西 北 农 学 院 合 编

华 中 工 学 院

*

电力工业出版社出版

(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 15.75印张 358千字

1981年7月第一版 1981年7月北京第一次印刷

印数 0001—5410册 定价 1.75元

书号 15036·4208

前 言

本书是根据原水利电力部1978年召开的“水电站动力设备”专业教学计划、教材编审会议的决定和《水能利用》教材编写讨论会所拟定的大纲编写的。

本书着重于《水能利用》学科基本理论和基本技术的系统论述,并结合“水电站动力设备”专业的特点而有所侧重。全书取材力求反映我国当前水电建设的水平。为便于教学,书中的内容除章节的划分作了较合理的安排外,部分内容采用小号字排印,由各院校在教学时酌情取舍。

参加本书编写的同志有:华中工学院黎献勇(绪论,第一章),西北农学院颜竹丘(第二、三章),武汉水利电力学院孙培华(第四、五、六、七章)。由孙培华任主编,黎献勇负责主审。

本书的编写是以武汉水利电力学院自编的讲义为基础,并参考和引用国内有关单位和院校提供的资料和讲义。在编写过程中,武汉水利电力学院冯尚友同志曾给予指导,冯秉超同志协助完成图稿工作。在此一并表示谢意。

限于我们的学识水平,本书一定有不少缺点和错误,诚恳地希望读者批评指正。

编 者

1979年11月

目 录

前 言	
绪 论	1
第一章 水能的开发和利用	7
第一节 水资源的综合利用	7
第二节 河流水能资源的估算	10
第三节 水能开发方式	13
第四节 水电站的生产过程和出力	21
第五节 河流的综合利用规划和梯级开发	24
第二章 径流调节	27
第一节 利用水库调节径流	27
第二节 水文资料的收集和分析	30
第三节 水库特性	40
第四节 径流调节计算的时历列表法	46
第五节 径流调节计算的时历图解法	55
第六节 设计保证率 and 设计枯水年	63
第七节 径流多年调节计算	67
第八节 洪水调节计算	73
第九节 综合利用水库的径流调节计算	79
第三章 水能计算	83
第一节 水能计算的目的和任务	83
第二节 水能计算基本方法	84
第三节 无调节水电站和日调节水电站的水能计算	91
第四节 年调节水电站和多年调节水电站的水能计算	94
第五节 水电站群的径流调节和水能计算	98
第四章 水电站装机容量的选择	105
第一节 电力系统的负荷和容量	105
第二节 水电站在电力系统中的作用	113
第三节 水电站的经济计算和经济比较	116
第四节 水电站最大工作容量的确定	124
第五节 重复容量的确定	132
第六节 水电站装机容量合理性分析	135
第七节 电力系统内水电站群的装机分配	140
第八节 水电站水库的正常蓄水位和死水位	143
第五章 水库调度及水电站机组的工作条件	143

第一节	水电站水库调度图的绘制	148
第二节	调度图的应用	156
第三节	水电站在电力系统负荷图上的工作位置	158
第四节	水电站机组的工作条件	164
第五节	设计水头选择时的动能经济比较	170
第六章	水电站水工建筑物	176
第一节	水利枢纽及其组成	176
第二节	挡水建筑物——坝	179
第三节	泄水建筑物	185
第四节	水电站引水建筑物	188
第七章	水电站厂房	198
第一节	水电站厂房及其组成	198
第二节	机组布置和主厂房尺寸	199
第三节	主厂房布置	206
第四节	装配场	219
第五节	副厂房	222
第六节	厂房枢纽布置	225
第七节	地下式厂房	229
第八节	坝内式厂房和溢流式厂房	234
第九节	抽水蓄能式电站厂房	236

绪 论

一、水能利用发展简史

水能利用是一门研究如何获得水能和利用水能的专门技术科学。水能利用的主要形式是利用水能生产电能。因此,水能利用一般即指水力发电。

人类利用自然界江河湖泊蕴藏的水能已有很悠久的历史,我国是世界上利用水力最早的国家之一。远在三千多年前,我国劳动人民在中华民族文化发源地——黄河沿岸就采用竹木材料制造水车,利用水流的动力冲动水车旋转,将水汲引上岸,以供应用和灌溉农田;利用水轮作动力,带动用石料制作的石碓、石碾、石磨,进行粮食加工,以代替体力劳动。

到四世纪末,欧洲才开始利用水力,作采石加工之用。

1581年,英国制造了一个铁制浮轮式水轮,借水流冲动铁轮的桨叶汲引河水。西方国家认为这是利用机器汲水供应城市的第一个给水系统。

现代水轮机是在水车和旧式水轮的基础上逐渐发展完善起来的。1827年福尼龙(*M. Fourneyron*)创造了世界上第一台新式水轮机。1849年 弗朗西斯(*J. B. Francis*)对福尼龙的水轮机作了改进,制成混流式水轮机。1880年 培尔顿(*L. A. Pelton*)发明了适用于高水头的冲击型水斗式水轮机。1918年卡普兰(*V. Kaplan*)制成转桨式水轮机。1957年德里亚齐(*D. Dériaz*)创造了一种斜流式水轮机,制成可逆式水力机组。由此可见,水轮机的发展推动了水力发电的建设。

自1827年出现效率较高的金属制成的水轮机后,于1878年在德国建成世界上第一座水力发电站。十九世纪末叶,电气技术迅速发展,特别是高压输电技术的出现,为水能利用开辟了广阔的道路。

二、水力发电的特点

水力发电站是利用水能生产电能的企业。水力发电站具有以下许多特点。

1. 水能的循环使用

江河湖海里的水受太阳照射蒸发,变为水汽,上升天空而形成气流,气流遇冷凝结,下降为雨和雪,再流回江河湖海。这就是自然界的水在大气中的循环。这种循环在水文学里,叫作水文循环或水文周期。

从自然界的水不断循环的这个意义上来说,自然界的水源是取之不尽,用之不竭的。水作为水力发电站的生产原料,能够再生,可以不断地循环使用。因此,水能资源又称作“再生能源”(Renewable Energy Resource)。

水电站的显著特点之一是可以利用源源而来的水能,水电站生产电能无需另备原料。火力发电则要不断地供给其燃料,而且火电厂所用的燃煤或石油,原子能电站所用的稀有金属原料,都是要消耗掉而不能再生的。世界上煤和石油的蕴藏量总是有限的,愈用愈少,最终将会引起这种能源枯竭的问题。因此,水能的再生性这个特点在能源方面就显得更为

重要了。

2. 水资源的综合利用

水资源具有多方面的使用价值，可以综合利用。也就是说，水利工程可以进行多目标开发，除发电外，同时兼收防洪、灌溉、航运、养殖以及改良环境和造成游览胜地等多方面的效益。河流的水资源还可以梯级开发，上游的水电站引水发电以后，放入下游的水流又可为下游各级电站再利用来发电。

3. 水能的调节贮蓄

电能的生产必须是生产和消费同时完成，电能这种产品不能大量贮存。而水电站可以借助于修建的水库，贮蓄水能，并可利用水库调节水能，来替代贮蓄电能，有利于电力系统电力电量的供求平衡，提高供电的灵活性和经济性。同时，利用水库调节水能，还可以提高水能资源的利用程度，充分发挥水电的作用。

4. 水力发电的可逆性

火电厂只能利用燃料生产电能，而不能利用电能再生产燃料。水力发电则有可逆性。因为水力发电所利用的仅仅是水体所带的能量而并不消耗水体本身。位于高处的水体可引向低处推动水轮发电机组，消耗水能生产电能，这是水电站的生产过程；位于低处的水体，可通过电动抽水机机组，吸收系统电能将水抽送到高处，成为贮蓄的水能，这是抽水机站的生产过程。所谓水力发电生产的可逆性，即是利用水体的带能作用，建造抽水蓄能式水电站，装置抽水蓄能发电机组，根据需要进行由电能到水能和由水能到电能的往复的生产过程。抽水蓄能式水电站可以配合电力系统内的火电厂，协调电能生产的供求关系，提高整个电力系统的供电质量和经济性。

5. 水电机组工作的灵活性

水电站的水轮发电机组具有设备简单、操作灵活、易于实现自动化等优点。水电机组可以在几分钟内迅速启动，投入运行，增减负荷也十分方便。因此，水电机组通常可承担电力系统的调峰、调频、负荷和事故备用等任务。火电机组虽然也可以承担上述任务，但因其设备复杂，从启动到投入运行的时间需要几个小时，而且还要经常处于热备用状态，浪费一定的燃料。

6. 水电站的生产成本低、效率高

水电站动力设备比火电厂和原子能电站的动力设备简单，所以水电站的厂用电消耗较省，水电站的运行人员只有同容量火电厂的十分之一至二十分之一。水电站的年维护费用较低。一般水电站的电能成本只有同容量的火电厂的五分之一至十分之一。水电站的成本之所以低廉，主要是水力发电不需要支付原料费用。水电站的能源利用效率也比较高，火电厂烧煤的热能效率只有百分之四十左右，而水电站的水能效率可达百分之八十五以上。

7. 水电站不产生污染

火电厂在生产过程中排放出大量的废气、废水和废渣，“三废”对附近的水和周围的大气易造成污染。水电站既无烟气，又无废渣，废水也极少，因此，水电站不仅不会引起污染问题，而水库的形成，还可改善当地气候和环境，水库周围又是建设疗养和旅游胜地的良好场所。

虽然水力发电优点很多，但也存在着一些缺点。

第一，水电站的建设要受自然条件的限制。如水源要有一定的水量，要有良好的地质条件，地形适当，方可修建水库或引水建筑物，以获得集中的落差；水电站不能象火电厂或原子能电站那样，建在离其能源较远而选择有利的地点，因为水能是不便于远送的。水电站的输电线路一般较火电的为远，输电投资和电能损失较大。

第二，天然水能由于直接受水文气象和其它自然地理因素的影响，至今尚不能为人们所驾驭。河川径流的多变性和不重复性会引起水电站电能生产的不均衡性。水文预报还不够准确，也影响水电站的计划生产。所有这些因素都给水电站和电力系统的运行带来困难，影响水电站预期效益的发挥。

第三，水电站的建设投资大，工期长，这是因为水工建筑物的类型多而复杂，工程量很大；在河道上施工，要受水文季节的影响；还有移民问题。

第四，水电站如发生事故，将造成严重的后果。如压力水管破裂，不仅厂房和设备受到损坏，造成停产，而且可能导致下游地区发生水灾。如果一旦出现溃坝的非常事故，就会造成毁灭性的灾难。因此，水电站的设计和施工，尤其是大坝建筑物要特别重视安全可靠预防事故的发生。

三、我国与世界的水能资源情况及其开发利用

全世界水能资源的蕴藏量，按平均流量估算，约为56亿千瓦。经过初步勘察，其中可开发的约为22.7亿千瓦。我国幅员辽阔，江河纵横，湖泊棋布，水能蕴藏量极为丰富，估算约为6.8亿千瓦，居世界首位。

长江是我国第一大河。全长六千三百余公里，流域面积达一百九十四万平方公里，江口平均流量32500秒立米，流入东海的年平均水量约有9200亿立米。长江总落差约5600米。估计其干流水能蕴藏量约有2.3亿千瓦。长江中游的三峡地区，河谷狭窄，两岸高山峻岭，地形地质条件非常优越，控制长江流域面积100万平方公里，多年平均流量为14300秒立米。三峡筑坝建造水电站，发电能力可达2500万千瓦，是世界上少有的具有优越条件的水能开发地址。

我国的水能资源在开发利用上有如下一些特点。

首先，我国能源的地区分布对于能源的开发非常有利。例如西南地区缺煤而水能资源丰富，华北内蒙水能资源较少，但煤产丰富，沿海地区河川水能资源不多，但有大量的潮汐能源。

其次，水资源综合利用价值较高。如我国许多大河流几乎都有防洪的任务；全国各地普遍要求发展农田灌溉，西北、华北地区尤为突出。此外，随着工农业的现代化，供水要求迅速增长，改善航运交通也日益迫切。所以，在建设水电站的同时，就有条件统一考虑防洪、灌溉、航运、供水等问题，以获得水资源最大的综合利用效益。

再则，许多河流的地形地质条件良好。我国有不少的水力地址位于峡谷地带，流量大而落差集中，可以用较小的工程量和投资建设水电站。这给我国发展低造价的水电建设提供了条件。

当然，我国水能资源的开发也存在一些不利因素。如我国河流普遍存在洪枯流量变化的问题，因此，往往需要修建较大的水库进行水能调节。又如我国北方一些河流含沙量较

大，治理泥沙还是尚待研究解决的问题；有些地区为石灰岩地带，喀斯特溶洞发育，地质条件不利；不少可开发地址因接近人口稠密区，修建水库的淹没和浸没损失较大，移民问题也存在困难等。

目前，全世界已经开发的水能资源只占世界水能蕴藏量的17%。现将世界上一些国家的水能资源及其开发利用情况介绍如下。

美国是目前世界上水力发电最多的国家，已有18个装机容量在100万千瓦以上的水电站。苏联仅次于美国，现有水电装机容量4052万千瓦。据1978年统计，我国水电总装机容量为1400万千瓦，约列于世界第九位。世界上主要国家水能资源及已开发的情况列于表0-1中。

表 0-1 主要国家水能资源及已开发的情况统计表

顺号	国 家	1975年水电 装 机 容 量 (万千瓦)	水电比重 (%)	1975年 水电发电量 (亿度)	可能开发的水能资源		水能资源 利用程度 (%)
					装 机 容 量 (万千瓦)	年 发 电 量 (亿度)	
1	美 国	6628	13	3032	18670	7015	43
2	苏 联	4052	19	1260	26900	10950	12
3	加 拿 大	3725	62	2024	9450	5352	38
4	日 本	2485	22	859	4960	1300	66
5	法 国	1757	36	599	2100	630	95
6	意 大 利	1700	39	421	1920	506	83
7	挪 威	1693	99	775	2960	1210	64
8	巴 西	1619	83	720	15000	8171	9
9	瑞 典	1272	55	577	2010	1003	58
10	西 班 牙	1196	49	288	2922	675	43
11	瑞 士	1036	80	313	1100	320	98
12	印 度	844	38	332	7000	2800	12
13	奥 地 利	608	61	237	1560	441	54
14	西 德	557	7	171		218	78
15	南 斯 拉 夫	480	53	193	1696	636	30
16	墨 西 哥	412	37	151	2030	994	15
17	新 西 兰	347	71	169	999	552	31
18	罗 马 尼 亚	263	23	87	803	241	36
19	埃 及	245	63	68	380	150	45
20	英 国	245	3	49			

当前，国外在开发水能资源、建设水电站方面的发展趋势是：提高单机容量，扩大水电站规模；提高水电站自动化和管理运行水平；大力发展抽水蓄能电站；提高水电容量比；运用“系统工程”理论，研究水电站群、水能资源系统的规划设计和控制以及研究利用新的水能源等。

为了节省水电的单位容量投资，近年来，各国竞相制造大型水轮发电机组，建设大型水电站。目前单机容量最大的水力机组是美国大古力（Grand Coulee）水电站的机组，单机容量已达70万千瓦。美国还在设计容量120万千瓦的水力机组，预计1985年将会出现每台容量150万千瓦的水力机组。美国大古力水电站是目前世界上最大的水电站，最终装机规模为978万千瓦。现正在施工中的最大水电站是巴西与巴拉圭合建的伊泰普（Itaipu）

水电站，计划装机1260万千瓦。据1978年统计，全世界已建和正在建的装机容量在200万千瓦以上的水电站共有39座，其中400万千瓦以上的有13座，还有10座400万千瓦以上的正在规划设计中。

利用新的水能源的研究，主要是利用海浪能，水的温差及水电制氢作燃料等。日本已计划在1979年研制2000千瓦的海浪发电装置。利用海洋表层水温与深层水温之差的发电装置的研究，将为世界能源多样化开辟新的途径。

四、我国水电建设的成就和展望

我国水能资源虽然丰富，但在解放前几乎没有得到开发。我国第一座水力发电站建于1912年，装机容量只有1440千瓦。从1910年到新中国建立前的四十年期间，旧中国只修建了一些小型水电站，装机容量仅12000千瓦（东北除外），其中最大的水电站装机容量为3000千瓦。

解放后，我国水电建设经历了几个发展阶段。

解放初的国民经济恢复时期，东北和西南地区的一些水电站进行恢复，改建和扩建，其中有丰满、镜泊湖、龙溪河等水电站。

第一个五年计划期间，我国水电建设出现了新局面。全国的大中小河流进行了勘测和普查，第一次证明我国是世界上水能资源最丰富的国家；建造了一批中小型水电站，包括官厅、三家店、佛子岭、梅山及南湾等水电站；在新疆和西藏地区建设了一些小型水电站，作为试点。这个时期内，新投入运行的水电站总容量达50多万千瓦，为旧中国水电站总容量的数十倍。

第二个五年计划期间，我国水电建设事业继续发展。新安江水电站是我国自己设计、施工、安装，并且是自制设备的第一座大型水电站，装机容量为66万千瓦。在这个时期内，由于农村水利建设的高潮推动了农村水电站的建设，农村水电站总装机容量达到数十万千瓦。与此同时，水力发电设备制造工业也逐步建立和发展起来，形成了自己的水力机械、电机、电器和水工机械等制造工业系统。我国水电建设的科技队伍逐渐壮大，不仅承担了水电站规划、设计、施工、安装和运行管理的任务，而且建立了水电科学研究机构，开展水文、水利、水工和机电方面的科学研究工作。高等水电院校在培养水电建设人才和科学研究等方面也作出了贡献。

1966年后的十年期间，我国的水电建设由于整个国民经济受到破坏，基本上处于停滞状态。尽管如此，水电建设战线上的广大职工，还是继续完成和修建一些规模较大、效益较高的如丹江口、葛洲坝等水利水电工程。

当前，我国已进入社会主义建设新时期，为实现我国社会主义四个现代化，将在长江中游、金沙江、雅砻江、大渡河、黄河上中游、西南和湘西等河流上建设大型水电基地。我国根据政治、经济和自然地理条件、结合能源分布的情况，已制定了“水火并举，因地制宜”的水电建设方针。这个方针是完全正确的，即在水能资源丰富的地区，优先开发水能，多建水电站，形成以水电为主的电力系统；在水能资源较少而燃料资源较丰富的地区，以火电为主辅以水电，形成火主水辅的供电系统。根据国民经济发展对电力的需求，因地制宜地确定电力系统中水、火电的合理比重，是电力工业中的一项重要工作。从事水电建

设的广大技术人员，必须掌握现代科学技术，认真贯彻执行我国的水电建设方针，为实现四化的任务而努力奋斗，使我国的水电建设事业进入世界先进水平的行列。

五、本课程的性质、任务和主要内容

随着水电建设技术的发展，水能利用这一学科已有了许多分支。一般认为，着重研究与动力经济效益有关的问题，属于“水能部分”，称为“水能学”；着重研究动力设备的选择和建筑物设计有关的问题，属于“建筑物部分”，称为“水电站建筑物”。规划设计新水电站的主要任务是拟定河段的合理开发方式，选择论证水电站的主要参数，确定水电站的规模（如装机容量）和动能经济效益的阐述，这些内容称为“水电站的水能规划”；管理运行水电站的主要任务是在水电站主要参数给定的条件下，研究水电站的合理工作方式、水库调度、机组和动力设备的动力特性、水电站和机组间经济合理的负荷分配以及从降雨径流的预报到负荷分配的自动控制等，这些内容称为“水电站的经济运行”。

“水能利用”是“水电站动力设备”专业的一门专业课程。根据专业培养目标，本课程设置的目的是使学生在水电站方面获得比较完整的基本知识。为此，本课程的主要内容有：水能开发利用的原理和方式，径流调节与水能计算，水电站装机容量的选择，水库调度及水电站机组的工作条件，水电站水工建筑物以及水电站的厂房布置等。

本课程的水能部分为规划性的内容，涉及面较广，概念也较多。除有具体的计算方法外，多为分析和论述，学习时要注意这些特点。

与本课程关系比较密切的课程有“水力学”、“水文学”、“水轮机”和“水电厂的电气设备”等。

第一章 水能的开发和利用

第一节 水资源的综合利用

一、水资源综合利用原则

水资源是国家的宝贵财富，它有多方面的利用价值。与水资源关系密切的主要国民经济部门有：防洪与排涝、水力发电、农田灌溉、工业和居民给水，水路运输等；其它如渔业、竹木浮运、水利卫生、游览与环境改良等，也属次要的兴利部门。在我们的社会主义国家里，要开发利用河流的水资源，必须贯彻“综合利用”的原则。要从整个国民经济发展的需要出发，全面考虑，统筹兼顾，尽可能地满足各有关部门的需要，充分发挥水资源的综合效益，创造水资源的经济价值。

水资源综合利用的原则是以最少的投资，充分合理地开发利用国家的水资源，来满足各有关国民经济部门目前和长远的需要，并获得最大的效益。其中综合地满足各有关部门的需要是个基本点。为此，应力求做到“一库多利、一水多用”“一物多能”等。例如：水库防洪与兴利库容的结合使用；一定的水量既用于发电或航运（它们需水而不耗水），又用于灌溉或工业和居民给水（它们用水且耗水）；同一水工建筑物有多种功能，如泄水底孔（或隧洞）兼有泄洪，下游供水、放空水库和施工导流等多种作用。因此，综合利用不是简单地相加，而是有机的结合，综合地满足多方面的需要。

由于综合利用各有关部门自身的特点，故对水资源各有其不同的要求，这些要求既有一致的方面，又有矛盾的方面，其间存在着错综复杂的关系。只有在集中统一领导下，各部门本着“一盘棋”的精神，从整体利益出发，分清综合利用的主次任务和轻重缓急，妥善处理相互之间的矛盾关系，才能合理解决水资源的综合利用问题。

二、各需水部门的特点、用水要求及相互关系

（一）水力发电

开发利用河流水资源时，水力发电通常是一个重要部门。一方面，水力发电可提供大量的廉价的电力，有力地促进该地区工农业、国防与交通事业的发展。另一方面，从需水的特点看，水力发电只是利用了水流所含的能量，它本身不是水的消耗者，发电后的尾水仍可供下游其它部门使用，使之发挥综合利用效益。

水力发电通常要修筑挡水坝，用以集中河段的落差，并形成水库，可以调节流量，蓄洪水，同时起一定的防洪作用。

水电站通常都参加电力系统，与其它电站联合供电。发电用水取决于用电要求，一年内变化较为均匀。但发电是个有一定灵活性的需水户，除要求保证的流量外，遇丰水季节可以多用水，多发电。

（二）灌溉

农田灌溉是个耗水部门，它要消耗水量。每亩农田灌溉耗水定额与灌溉方式、作物种

类、土壤性质等有关。自水源引取的水量灌溉以后大部分因蒸发、渗漏而耗掉，只有很少一部分水经渗漏回归到河里。灌溉属季节性需水户，年内用水的变化大，各年的灌溉用水量也有些差别。

灌溉有自流灌溉和提水灌溉两种方式。通常多采用自流灌溉方式，但自流灌溉对水源的位置和引水高程的要求严格；提水灌溉则有较大的灵活性。有时，在近水流提水灌溉比从渠道长、损失大、离灌区又远的水库引水的自流灌溉更为有利。无论采用何种灌溉方式均应根据具体条件并考虑灌溉引水对其它需水部门的影响来决定。

灌溉是个耗水量大的用水户，它与其它需水部门之间的矛盾也最突出。利用蓄水库调节，可以提高枯水期的灌溉水量，但自水电站上游取水灌溉，将减少发电用水，从而降低水电站的出力和发电量。如自水电站下游取水灌溉，可先发电后灌溉，但发电与灌溉在用水时间和需水量方面存在着一定的矛盾，需要作出合理的设计和安排。

（三）防洪

我国河流多属雨源型河流，如发生暴雨洪水，容易造成灾害，大都要求解决防洪问题。解放后我们在淮河、黄河、长江等大河的干支流上修建了许多水利工程，大都把防洪作为一个主要的任务，防洪与兴利统一考虑。例如解放初期修建的官厅水库，首要目标是控制永定河洪水，保障下游的北京和天津地区不受洪水威胁；其次，是利用一部分库容调节以兴利，供给北京地区用水；同时修建了一个水电站为京津唐电力系统提供三万千瓦的发电容量。

防洪与兴利都要求水库蓄水以调节径流，但在实际运用时常发生争夺库容的矛盾。原因是目前的水文气象预报技术还不能使我们预知何时来多大的洪水，又不能不在汛期前腾出一部分库容作好准备。如洪水不来或来小了，汛末蓄不满水库，就会影响到枯水季节的兴利用水。在水库规划设计和实际运用中，如何掌握河流的水文规律，结合洪水预报，通过合理的水库调度，争取防洪与兴利有更多的结合库容，是一个重要的研究课题。

一条河流的防洪任务，除修建水库来拦蓄洪水的办法外，还可配合沿河筑堤，利用湖泊洼地有计划地蓄洪或分洪，疏浚河道增大过水能力，上游水土保持等综合措施来完成。水库防洪是其中既可行又有效的一种治本措施。

（四）航运

从航运本身来说，它既不耗水也不引走水的利用。航运要求河道中能经常保持一定的通航水深。河中航深可通过水库调节泄放某一固定流量来维持，局部河段也可采取清除滩险等整治措施。与陆运相比，水运的优点是货运量大，运费便宜。

在开发利用河流水资源时，对于一条河流的水上交通运输应给与重视。一种情况是河道水浅通航不便，修建水利枢纽后附带地得到局部通航效益。例如上游库区和回水段水深增加可以通航；下游河段经过水库调节枯季流量和水深增加，改善了航运条件。另一种情况是河道原来就有一定的通航水深，水上交通也较发达或者有发展潜力。修建水利枢纽的任务之一是要求扩大河流的通航能力，提高船只吨位，以适应航运发展的要求。在这种情况下，修建水库调节径流，应保证泄放维持规定航深的最小流量。同时，必须考虑设置船只过坝设施，如建造船闸或升船机等通航建筑物，以保证枢纽上下游之间的通航。在航

运比较繁忙或有发展潜力的河流上建造水利枢纽，必须有全面和长远的考虑，避免出现妨碍航运发展的情况。

船闸用水不能用来发电，但一般它的需水量是不大的。航运与发电的矛盾主要表现在用水方式上；航运固定放流的要求，将限制水电站的有利工作方式，影响水电站的效益。

（五）工业和居民给水

给水也是个耗水部门。它是个常年性的用水户，但用水量比较均匀。同灌溉一样，当它自上游取水时，要减少发电用水。一般给水量相对于发电用水量来说是不大的，但它十分重要，常优先给予满足。工业和城市给水仍有一部分要回归河中，但已变成污水，应作处理，以免污染水流。

以上五个需水部门是水资源综合利用的主要目标。一个水利工程应该建设成具备那几个开发目标，它们之间的主次关系如何，应根据当地的具体情况，通过不同方案的分析，才能确定。至于象水库养鱼、木材流放、水利卫生、改善环境等次要目标，应尽量照顾，以充分发挥工程的综合利用效益。

三、实例

丹江口水利枢纽是按照水资源综合利用原则建成的我国大型水利工程之一。在湖北省的丹江与汉江的汇合处。它控制汉江流域面积的67%，位置优越，是综合利用汉江水资源的关键性工程。汉江是长江最大的支流。为了开发汉江丰富的水资源，取得大量电能和消除下游江汉平原的洪灾，减轻长江的水患，并为将来“南水北调”创造条件，所以国家决定修建丹江口综合利用水利枢纽。

丹江口水利枢纽总体布置示意如图1-1所示。

丹江口水利枢纽担负着防洪、发电、灌溉、航运等任务，综合利用效益显著。

（一）防洪

汉江在历史上有记录的最大洪水，发生在1935年7月，相当于百年一遇的大洪水，当时受灾人口370万，淹死8万人，淹没农田670万亩。现在在汉江的丹江口拦河筑坝，坝长2494米，最大坝高97米，形成了一个总库容为209亿立米的蓄水库。如再遇1935年型洪水，配合下游的分洪措施，可使汉江下游江汉平原免受灾害。

（二）发电

丹江口水电站安装六台混流式水轮发电机组，单机容量15万千瓦，总装机容量90万千瓦，年发电量可达43.6亿度（正常蓄水位157.0米）。当向唐白河地区引水40亿立方米时，年发电量降为39.2亿度。它以多路高压输电线路向河南电力系统与武汉治电系统送电；河南湖北联网后，它是系统中最大的有调节的水电站，承担调峰调频任务。

（三）灌溉

从蓄水库引水可灌溉湖北和湖南两省农田。初期工程曾考虑两期引水方案：当前引水库的水15亿立方米，灌溉农田360万亩，年发电量降为41.6亿度；下一步引水40亿立方米，灌溉农田1100万亩，年发电量降为39.2亿度。丹江口水库的调节对下游江汉平原的灌溉也起一定的作用。运行以来，曾几次为下游灌溉应急放水，解除下游数百万亩土地的旱情。拟议中的“南水北调”中线方案之一是从丹江水库引水至河南境内，最终拟从三峡水库引

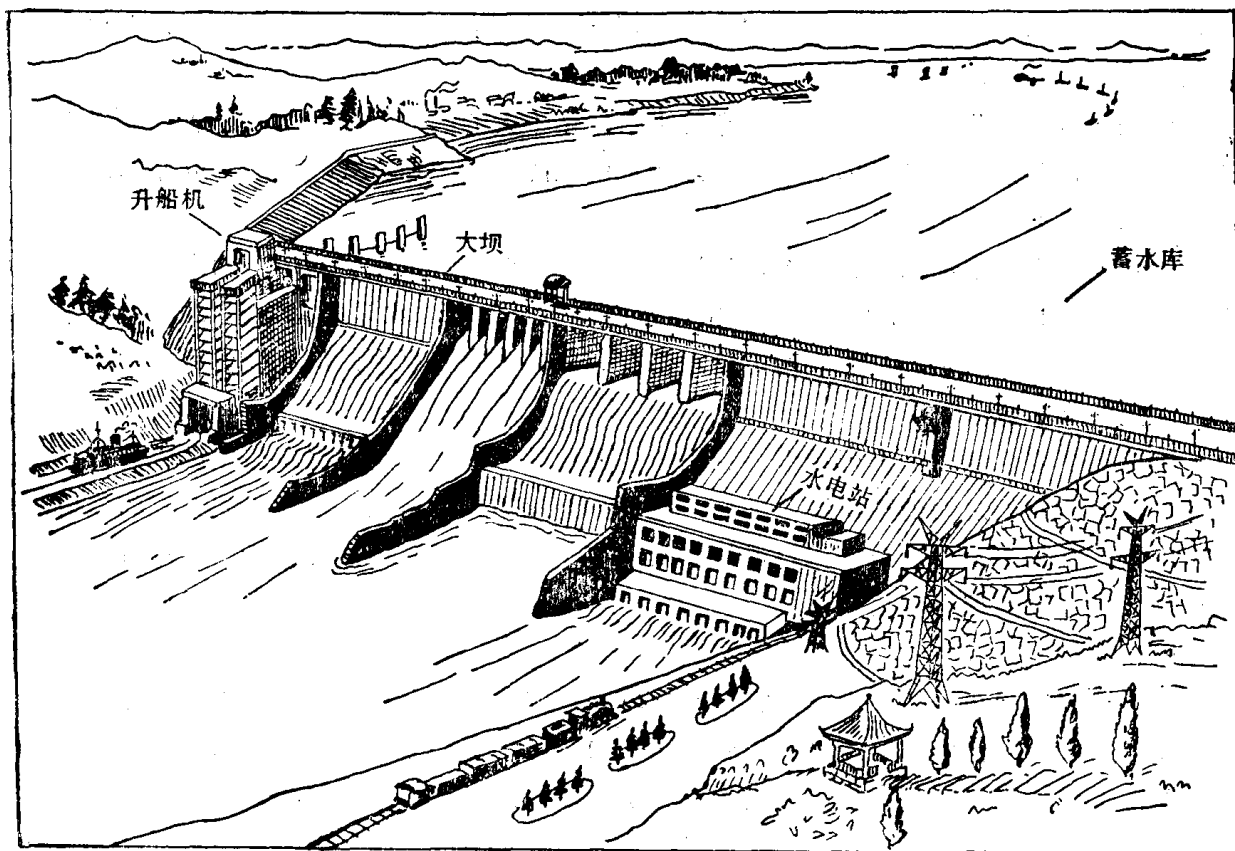


图 1-1 丹江口水利枢纽总体布置示意图

水经丹江口水库入河南。

(四) 航运

建库后上游航道改善, 150吨驳船可全年通航, 最大里程150公里。下游航运得以改善, 水库调节可使下游河道枯季最小流量从124秒立米提高到200秒立米, 可通行150吨到300吨的船只。大坝右岸建有可吊运150吨驳船的升船机, 计划货运年通过能力为100万吨。

(五) 养殖

丹江口水库的库面面积很大, 可以大量养鱼, 平均库面面积约80万亩, 若以亩产10斤计算, 年产鱼量可达800万斤。

第二节 河流水能资源的估算

一、河流水能资源估算

天然河流中蕴藏着水能, 它在水流流动过程中以克服摩阻、冲刷河床、挟带泥沙等表现形式而白白地消耗掉。

一条河流蕴藏的水能, 可用水力学公式分段进行估算。

设在河流上取两个断面1-1和2-2, 它们之间的距离(即河段长度)为 L 米, 坡降为 i , 如图1-2所示。假定在 T 秒时段内有 W 立米的水量流过河段的两断面, 断面1-1处和2-2处的水面高程分别为 Z_1 和 Z_2 米, 平均流速分别为 V_1 和 V_2 米/秒, 则断面1-1处水流的总能量

$$E_1 = \gamma \cdot W \left(Z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{\alpha_1 v_1^2}{2g} \right) \quad (\text{牛顿} \cdot \text{米}),$$

式中 Z_1 、 $\frac{p_1}{\gamma}$ 、 $\frac{\alpha_1 v_1^2}{2g}$ 分别表示单位水重的位势能、大气压能和动能； γ 为水的容重，以牛顿/米³计。

同理，水体 W 通过断面 2-2 时水流的含能量

$$E_2 = \gamma \cdot W \left(Z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{\alpha_2 v_2^2}{2g} \right) \quad (\text{牛顿} \cdot \text{米}).$$

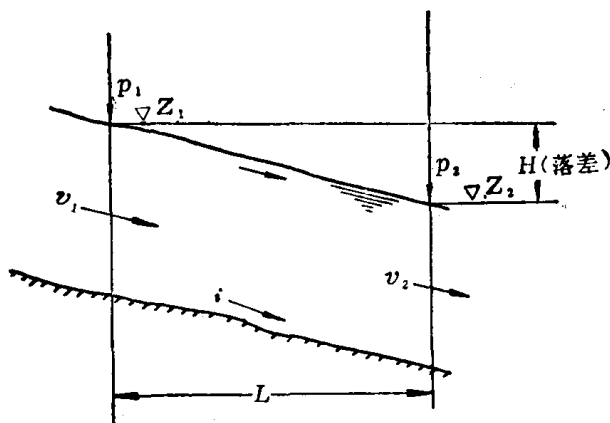


图 1-2 河段的潜在水能

两断面水流能量之差，即该河段的潜在水能，就是水体 W 从断面 1-1 处流到断面 2-2 处所消耗了的能量：

$$E = E_1 - E_2 = \gamma \cdot W \left(Z_1 - Z_2 + \frac{p_1 - p_2}{\gamma} + \frac{\alpha_1 v_1^2 - \alpha_2 v_2^2}{2g} \right) = \gamma \cdot W \cdot H \quad (\text{牛顿} \cdot \text{米}), \quad (1-1)$$

式中 H 是两断面单位水重的能头差（即伯努里方程中的损失 h_f ）。在估算河段水能时，考虑到两断面的大气压差和动能差数量很小可略去不计，所以通常以两断面处河流水面的高程差即落差（ $Z_1 - Z_2$ ）替代总能头差。

式（1-1）表明，构成河流水能资源的两个基本要素是河中水量（ W ）和河段落差（ H ）。河中通过的水量愈大，河段的坡降愈陡，蕴藏的水能就愈大。

能量 E 的单位是牛顿·米，与功的单位一致，表示 T 时段内流过水量 W 的作功能力。单位时间内的作功能力叫功率，工程上常用“出力”（或容量）代之。于是，河段水流的平均出力（功率）

$$N = \frac{E}{T} = \gamma \cdot \frac{W}{T} \cdot H = \gamma QH \quad (\text{牛顿} \cdot \text{米/秒}), \quad (1-2)$$

式中 $Q = \frac{W}{T}$ ，表示流量，以米³/秒计，习惯上常叫“秒立米”。

工程上都用实用单位。出力用“千瓦”或“马力”。1 千瓦 = 102 × 9.8 牛顿·米/秒，1 马力 = 75 × 9.8 牛顿·米/秒，同时，水的容重 $\gamma = 1000 \times 9.8$ 牛顿/米³，代入式（1-2）得出

$$N = 9.81QH \quad (\text{千瓦}), \quad (1-3)$$

或 $N = 13.33QH$ （马力）。

能量单位用“千瓦·小时”即“度”。于是

$$E = 9.81QH \left(\frac{T}{3600} \right) = \frac{1}{367} WH = 0.00272WH \quad (\text{千瓦} \cdot \text{小时或度}). \quad (1-4)$$

式（1-3）和（1-4）便是用以计算水流出力和能量的公式。

二、河流水能蕴藏图

要着手开发一条河流的水能资源，事先应作好调查研究，了解河流水能蕴藏情况。为