

高等学校教材

水电站建筑物

清华大学 大连工学院 天津大学

王树人 董毓新 主编

清华大学出版社



南京水利科学研究院

水电站建筑物

（上册） 水工建筑物 上册

（第二版） 水利部 编

南京水利科学研究院

（此处有模糊不清的出版信息，可能包含出版社名称、地址、电话等）

高等学校教材

水电站建筑物

清华大学 大连工学院 天津大学

王树人 谷兆祺 刘天雄 周 鹏合 编
董毓新 李彦硕 卜华仁

王树人 董毓新 主编

清华大学出版社

内 容 提 要

本教材除绪论外共分十一章。绪论和第一章介绍我国水电事业发展、水电站开发方式、水电站布置型式及其组成建筑物。第二章至第四章讲述水电站引水建筑物及高压管道,其重点为钢管及地下管道。第五章至第八章讲述水电站压力不稳定流,其重点为压力不稳定流方程的建立、水击、调压室及调保计算。第九章至第十一章讲述水电站厂房,以地面厂房为重点其次为地下式厂房。

本书除适用于《水利水电工程建筑》专业的《水电站建筑物》教材外,可为农田水利、水电站动力设备专业、职工业大、青年科技人员进修、中等技术学校的自学参考书。对水工、机电设计人员、水电厂运行管理人员有一定的参考价值。

高等学校教材

水 电 站 建 筑 物

清华大学 大连工学院 天津大学

王树人 董毓新 主编



清华大学出版社出版

北京 清华园

清华大学印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售



开本: 787×1092 1/16 印张: 21 1/4 字数: 488 千字

1984 年 7 月第一版 1984 年 7 月第一次印刷

印数: 1~15000

统一书号: 15235·121 定价: 2.40元

前 言

本教材是根据水电部制订的《水利水电工程建筑》专业教育计划编写的。教材编写大纲是根据《水电站建筑物》课程大纲编写的。

本教材共分十一章，反映了教学的基本要求，其重点为：高压管道（包括钢管及地下管道）；水电站压力不稳定流（水击和调压室）；水电站厂房（以地面厂房为重点，兼顾其他类型厂房）。考虑到本专业主要是培养大中型水利水电工程建筑方面的工程技术人材，所以本教材只介绍大、中型水电站，不包括小型水电站的内容。

本教材在理论与实际相结合的前提下，注意加强基本理论；尽量地总结先进经验；适当地引进现代计算技术。

本教材努力按“少而精”的原则去编写，使重点和难点突出。

本教材由清华大学、大连工学院和天津大学三校部分教师合编。王树人、董毓新主编。绪论、第五章、第七章、第九章 §9—1 至 §9—8 节及第十章 §10—6 节由清华大学王树人执笔；第一章、第三章 §3—5 节和第十一章 §11—1、§11—2、§11—4 和 §11—5 节由清华大学谷兆祺执笔；第二章 §2—1 至 §2—3 节、第三章 §3—1 至 §3—4 节和 §3—6 节由大连工学院李彦硕执笔；第二章 §2—4 节和第八章由大连工学院董毓新执笔；第四章由大连工学院卜华仁执笔；第六章由清华大学刘天雄执笔；第九章 §9—9 至 §9—12 节、第十章 §10—1 至 §10—5 节和第十一章 §11—3 节由天津大学周鹏执笔。

本教材在编写过程中参考了国内外有关讲义、教材和专著，文字力求简明扼要，适用于 60~70 讲课学时有关专业本科大学生和工程技术人员自学和参考。水击电算可不作为基本要求。

本教材在编写过程中，得到校内外很多同志的帮助，提出许多宝贵意见，在此表示衷心感谢！

由于我们水平所限，缺点或错误在所难免，希广大读者对本教材中的缺点及意见，请寄清华大学水利系水文及水电站教研组。

编 者

1984 年 2 月

目 录

前 言	
绪 论	1
§ 0—1 我国水电事业的发展	1
§ 0—2 水电站的开发方式	3
第一章 水电站的布置型式及其组成建筑物	8
§ 1—1 坝式水电站水利枢纽	8
§ 1—2 引水式水电站水利枢纽	12
第二章 水电站无压引水建筑物及地面高压管道	14
§ 2—1 无压引水建筑物	14
§ 2—2 地面高压管道的布置	18
§ 2—3 地面压力钢管的结构计算	20
§ 2—4 分岔管	46
第三章 水电站有压引水建筑物及地下高压管道	52
§ 3—1 有压引水建筑物	52
§ 3—2 地下高压管道的布置与工作特点	55
§ 3—3 地下高压管道结构计算	57
§ 3—4 钢板衬砌抗外压稳定计算	65
§ 3—5 新奥法及利用有限元计算的设计方法	83
§ 3—6 地下高压管道设计对施工程序与质量的要求	91
第四章 混凝土坝内式高压管道	96
§ 4—1 坝内式高压管道的布置	96
§ 4—2 坝内式高压管道的结构计算	102
第五章 水电站不稳定工况及压力不稳定流的基本方程	111
§ 5—1 水电站不稳定工况及水击的简单公式	111
§ 5—2 压力不稳定流的基本方程	117
第六章 水击	135
§ 6—1 水击计算的边界条件和水击的类型	135
§ 6—2 水击计算的解析法	141
§ 6—3 水击计算的图解法	156
§ 6—4 水击计算的电子计算机法	162
§ 6—5 复杂管道水击的简化计算	173
第七章 调节保证计算及减小水击压力和机组转速的措施	177
§ 7—1 调节保证计算	177

§ 7—2 减小水击压力和机组转速的措施	183
第八章 调压室	193
§ 8—1 调压室的功用及其设置条件	193
§ 8—2 调压室的类型	195
§ 8—3 调压室水力计算条件	198
§ 8—4 调压室水位波动的基本方程	199
§ 8—5 调压室水力计算的解析法	201
§ 8—6 调压室水力计算的图解法	211
§ 8—7 调压室水位波动的稳定问题	218
§ 8—8 尾水调压室的水力计算	224
§ 8—9 调压室结构实例与设计原则	225
第九章 水电站厂房的布置设计	231
§ 9—1 厂房的任务、组成及特点	231
§ 9—2 水电站厂房的类型	233
§ 9—3 水轮机蜗壳及尾水管	237
§ 9—4 发电机类型, 传力方式及支承结构 (机座)	241
§ 9—5 厂房平面尺寸的确定	244
§ 9—6 机组安装高程及其它高程的确定	249
§ 9—7 厂房辅助设备	255
§ 9—8 厂房电气设备	257
§ 9—9 副厂房	259
§ 9—10 地面厂房布置设计实例	264
§ 9—11 厂房布置设计所需资料和设计步骤	272
§ 9—12 厂区布置设计	275
第十章 地面厂房结构分析	279
§ 10—1 厂房受力、传力和分块、分缝	279
§ 10—2 机座	282
§ 10—3 蜗壳	287
§ 10—4 尾水管	289
§ 10—5 吊车梁和构架	292
§ 10—6 厂房楼板	295
第十一章 其他类型厂房	299
§ 11—1 地下厂房布置及其特殊要求	299
§ 11—2 地下厂房围岩稳定问题和结构设计	310
§ 11—3 溢流式及坝内式厂房	318
§ 11—4 河床式厂房	324
§ 11—5 抽水蓄能电站	331

绪 论

§ 0-1 我国水电站事业的发展

水电建设是一项改造自然的宏伟事业，也是国民经济获得能源动力的重要途径。具有历史意义的党的第十二次代表大会向全国人民庄严地提出了到本世纪末实现工农业总产值翻两番的宏伟目标，并把发展农业、能源交通和教育科学作为今后一个时期的战略重点任务，这就为加快发展水电建设事业，实现我们伟大社会主义祖国的四个现代化提供了非常有利的条件。

我国幅员辽阔，江河纵横，湖泊棋布，水能蕴藏量极为丰富。根据水电部水力发电建设总局 1981 年汇编的“全国水资源普查成果”，除台湾省外，全国水能总蕴藏量为 6.8 亿千瓦，折合年发电量为 5.9 万亿度；技术可开发的总装机容量为 3.8 亿千瓦，年发电量为 1.9 万亿度。均占世界的首位。

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，在昆明石龙坝，装机容量只有 1440 千瓦。

解放后，在党的领导下，充分发挥了社会主义制度的优越性，我国的水电事业有了较大的发展。在解放初的国民经济恢复时期，对东北和西南地区的一些水电站，如丰满、镜泊湖、龙溪河等进行了恢复、改建和扩建；第一个五年计划期间，对全国水能资源进行了勘测和普查，第一次证明了我国是世界上水能资源最丰富的国家，并开始建造了一批中小型水电站，在这个时期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，我国水电站建设事业继续发展。由于贯彻了大中小结合，土洋并举的方针，农村小型水电站也蓬勃发展。截至 1982 年底，全国(台湾省未统计在内)水电站总装机容量已超过 2200 万千瓦，年发电量 730 亿度，占全国总发电量的 22%。装机一万千瓦以上的大中型水电站容量约占水电总容量的 2/3，其电能则占 4/5。目前正在修建的一万千瓦以上的水电站有 73 座，总装机容量为 1245 万千瓦，年发电量为 515 亿度。而已建成和正在修建的水电站发电量只占技术可开发水能资源的 5.9%。

我国水电建设的潜力很大。已经规划开发并进行了一定工作的，其容量达 1.27 亿千瓦，年发电量为六千多亿度。而且我国水力发电的开发有以下特点：

第一、水能资源在地区分布上很不平衡，如表 0—1。85% 以上的水能资源集中在京广线以西。京广线以东工农业相对发达的地区，水能资源相对较少。施工条件比较困难，送电距离比较远。不少电站位于偏远山区，生活比较艰苦，但是为了使我国国家强大富裕起来，就必须要有大批有理想的、不畏艰苦的建设者为之奋斗。

第二、我国河流主要由降雨形成径流，年内水量分配很不均匀。洪水期，流量过大，常常形成水患。枯水期，流量过小，常常无法满足工农业的供水要求。因此在进行

表 0—1 全国分区技术可开发水能资源表

	技术可开发水能资源		
	装机容量 (亿千瓦)	年发电量 (万亿度)	电量占全国比重 (%)
华 北	0.07	0.02	1.2
东 北	0.12	0.04	2.0
华 东	0.18	0.07	3.6
中 南	0.67	0.30	15.5
西 南	2.33	1.3	67.8
西 北	0.42	0.19	9.9
台 湾 省	暂 缺		
全 国	3.79	1.92	100

水电开发时，一定要充分调节水量，统一考虑防洪、发电、灌溉、供水、航运等综合利用。

为了调节水量，建造水库、大坝，常会造成一定的淹没损失和移民问题，这在人口较密的地区，尤应注意。

第三、我国水电资源相对集中在一些高山大河地区，不少电站的装机容量超过一百万千瓦。长江三峡、金沙江上的电站，装机容量甚至可超过一千万千瓦。雅鲁藏布江下游的墨脱电站，计划开凿 35 公里长的隧洞，引水二千多秒立米，落差二千多米，电站装机可达 4500 万千瓦。这些大型、特大型电站，水头高、单机容量大，带来很多技术难题。因此，要求水电科研工作不断深入。

为了实现在本世纪末工农业年产值翻两番的宏伟目标，电力建设必须先行。除在煤炭资源丰富的地区建设火电站外，尤其要重视发展水电。水电不仅是再生的能源，而且可以综合利用、成本低、效率高、运行灵活、对环境不污染。水电部决定，在 2000 年前集中力量开发黄河中上游、红水河、长江中上游、雅砻江、大渡河、乌江、澜沧江中游、金沙江及湘西、闽浙赣地区的水电资源，建设一批基地。即要加快建设葛洲坝、龙羊峡、白山、天生桥、铜街子、安康、东江、万安、鲁布革、大化等大型水电站，还要在黄河上游建设大峡、黑山峡或大柳树、李家峡，在长江中游建设三峡，清江上建设隔河岩，在红水河上建设岩滩，龙滩，在雅砻江上建设二滩，在乌江上建设彭水，在沅水上建设五强溪，在澜沧江上建设漫湾，在闽江上建设水口，在白龙江上建设宝珠寺等一批大型水电站。

从国外及我们过去的经验可以看出，今后加快发展电力建设是完全可能的。美国和苏联在 1947 年和 1960 年分别达到三千亿度左右的年发电量以后，电力发展速度是很快，两国均经过十年达到 7,200~7,400 亿度，每年平均增长 420~450 亿度，年增

长速度达到 8.9%~9.7%。再经过十年均达到 13,000 亿度左右,后十年平均每年增长 550~600 亿度,平均增长率每年是 6.0%~6.3%。两国二十年内发电量均翻了两番以上,平均年增长速度分别为 7.6%和 7.7%。我国水电装机容量从 1969 年的 502 万千瓦,发展到 1981 年的 2100 万千瓦,只用十二年的时间就翻了两番。前些年尚能取得这样快的速度,今后二十年,在党和国家十分重视发展水电事业的前提下,只要认真贯彻电力生产、建设必须因地制宜,“逐步把重点放在水电上”等一系列正确方针政策,充分发挥广大群众的智慧及科学技术的巨大作用,完全有理由相信,到本世纪末我国水力发电事业将会出现一个前所未有的新局面。

§ 0-2 水电站的开发方式

水电站开发方式,就其集中落差的措施而言,有坝式、引水式和混合式三种基本方式。

一、坝式

在河流峡谷处、拦河筑坝,坝前壅水,在坝址处形成集中落差,这种水能开发方式称为坝式开发。用坝集中水头的水电站称为坝式水电站,如图 0-1 所示。

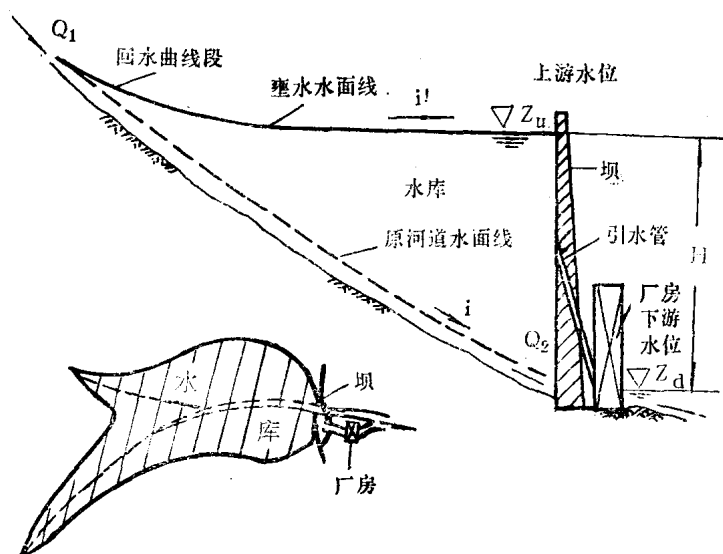


图 0-1 坝后式水电站示意图

坝式开发的基本原理在于:筑坝挡水,汇集水量,形成水库,坝前水库壅水水面线的坡降远小于原河道天然水面线的坡降,因而库内水流速度变得甚小,水流流动过程中的能量损耗大减,原河段的水流势能得到恢复,分散的落差积聚起来,在坝址处形成水电站的集中水头。沿河纵向同一点库面线与原河道水面线之间的高程差,就表示集中的落差。在坝址处引取上游水库中的水通过设在水电站厂房的水轮机,发电后将尾水引至坝下游原河道,水电站获得的水头 H 即是上、下游的水位差。

坝式水电站的水头取决于坝高；显然坝愈高，水电站的水头也越大。但坝高常常受地形、地质、水库淹没、工程投资等等条件的限制，所以，坝式水电站的水头相对较小（与其他开发方式相比）。目前，坝式水电站的最大水头只接近于 300m。

坝式开发的显著优点是形成蓄水库，可以同时用来调节流量，故坝式水电站引用流量大，电站规模也大，水能的利用程度较充分。目前世界上装机规模超过 200 万千瓦的巨型水电站大都是坝式水电站。此外，坝式水电站因有蓄水库，综合利用效益高，可同时解决防洪和其他兴利部门的水利问题。

当然，一般说来，由于坝的工程量大，尤其是形成蓄水库会带来淹没问题，造成库区土地、森林、矿产等的淹没损失和城镇居民搬迁安置工作的困难，要花淹没损失费，所以，坝式水电站一般投资大，工期长，单价高。

坝式开发适用于河道坡降较缓，流量较大，有筑坝建库条件的河段。

坝式水电站按照其建筑物的布置特点，又有河床式和坝后式之分。

在平原河段上，用低坝开发的坝式水电站，由于水头不高，安装水轮发电机组的电站厂房本身能承受上游水压力，起挡水作用，通常和坝或水闸一起建筑在河床中，成为挡水建筑物的一个组成部分，故称河床式水电站。图 0—2 为这种河床式水电站的布置示

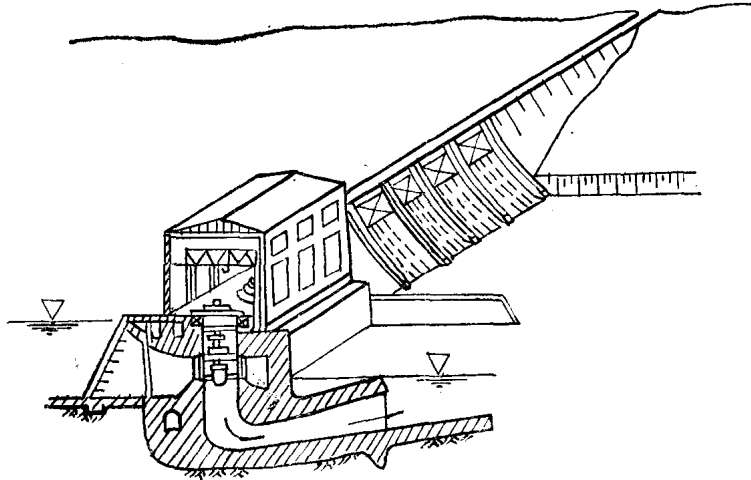


图 0—2 河床式水电站布置示意图

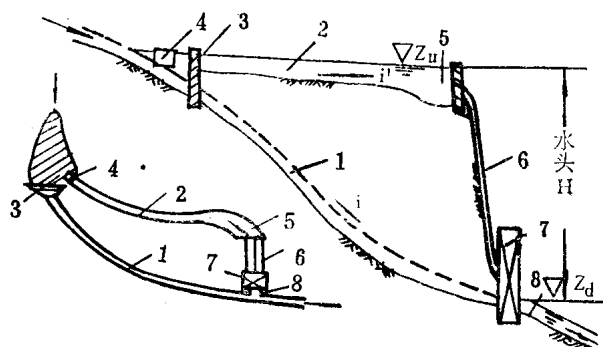
意图。这类水电站水头低（一般不超过 25~35m），流量大，大都安装直径大转速低的轴流式水轮发电机组，机组台数较多，整个厂房的长度较长，令其起挡水作用，从而可节省挡水建筑物的投资。我国已建成不少河床式水电站。如广西西津、浙江富春江等水电站。已经发电的长江葛洲坝水电站是一座巨型河床式水电站，计划装机 271.5 万千瓦。为保证长江航运，葛洲坝水利枢纽还布置有通航船闸三座。

水头较高的坝式水电站，因厂房本身不挡水，常布置在坝的后面，与坝分开，故称坝后式水电站。坝后式水电站的特点是水头较高，厂房本身不承受上游水压力。中高水头的坝式水电站大都属此种类型。坝后式水电站厂房在水利枢纽总体布置中的位置，大都靠河一岸，以利于布置变电装置和对外交通。至于厂房可以根据坝址处的地形、地质、坝的型式等条件，建在坝后，通过坝体的引水管道引水；或置于坝体内（坝

内式厂房)，溢流坝坝趾下（溢流式厂房）；也可以在坝下河岸的一边或分设在河岸两边，通过绕过坝体的引水管道将水引入厂房，这时水电站建筑物自成系统，与坝分开；有时将自成系统的水电站厂房布置在地下（地下式厂房），通过隧洞引水。

二、引水式

在河流坡降陡的河段上游，筑一低坝（或无坝）取水，通过人工建造的引水道（明渠、隧洞、管道等）引水到河段下游来集中落差，再经高压管道，引水至厂房。这种开发方式称为引水式开发。用引水道集中水头的电站称为引水式水电站。引水道可以是无压的（如明渠、无压隧洞等），也可以是有压的（如有压隧洞、压力管道等）。图 0—3 所示为无压引水道式水电站布置图。



1—原河道；2—明渠；3—取水坝4—进水口；5—前池；
6—高压管道；7—水电站厂房；8—尾水渠

图 0—3 无压引水道式水电站

这种引水式开发是由于引水道的坡降（ i' ）（或流速）小于原河道的坡降（ i ）（或流速），因而随着引水道的增长，逐渐集中水头。显然，引水道的坡降愈小，引水道越长，集中的水头也越大。当然，引水道坡降不宜太小，否则引水流速过小，引取一定流量时就要求很大的过水断面，从而造成引水建筑物造价的不经济。

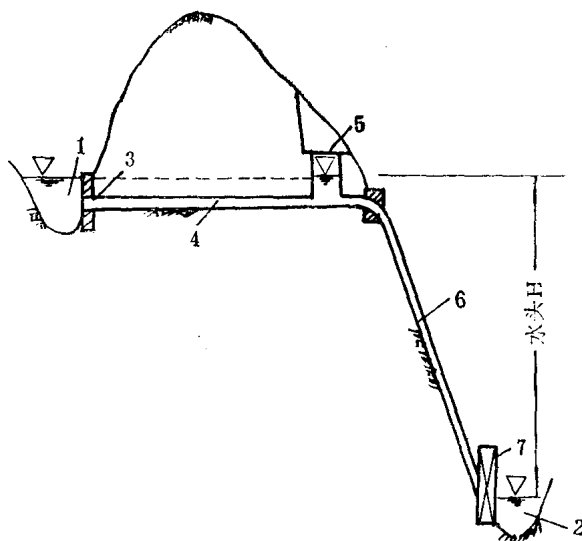
与坝式水电站相比，引水式水电站的水头相对较高。目前最大水头已达 2030m（意大利劳累斯引水式电站），但引用流量较小，又无蓄水库调节径流，水量利用率较差，综合利用价值较低，电站规模相对较小（最大达几十万千瓦）。然而，因无水库淹没损失，工程量又较小，所以单位造价也往往较低。

引水式开发适用于河道坡降较陡、流量较小的山区性河段。

截弯引水和跨河流引水，常采用有压引水隧洞集中落差。图 0—4 系有压引水式水电站布置图。有压引水式水电站，有压系统较长，为减小水击值和改善机组调节保证条件，往往要采用调压措施。如在有压引水道末端建调压室（井或塔），或者在厂房内装调压阀（空放阀）等。

三、混合式

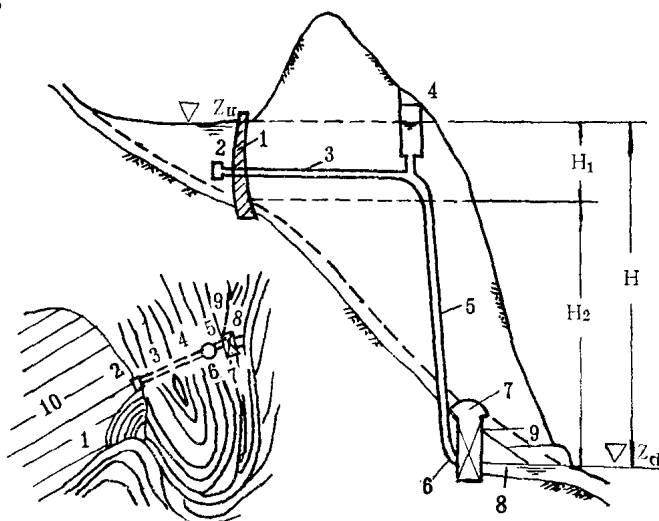
在一个河段上，同时采用坝和有压引水道共同集中落差的开发方式，叫混合式开发。坝集中一部分落差后，再通过有压引水道（隧洞）集中坝后河段的另一部分落差，



1—高河(或河湾上游); 2—低河(或河湾下游); 3—进水口;
4—有压隧洞; 5—调压井; 6—高压管道; 7—水电站厂房

图 0-4 有压引水式水电站

形成电站总水头。这种开发方式的水电站称为混合式水电站，其布置如图 0-5 所示，它建有地下厂房。



1—坝; 2—进水口 3—隧洞; 4—调压井; 5—斜井;
6—钢管; 7—地下厂房; 8—尾水洞; 9—交通洞; 10—蓄水库。

图 0-5 混合式水电站

混合式开发因有蓄水库，可调节径流，它具有坝式开发和引水式开发的优点，但必须具备合适的条件。一般说，河段前部有筑坝建库条件，后部坡降大（如有急滩或大河湾），宜用混合式开发。四川狮子滩、福建古田溪、广东流溪河、东北镜泊湖等水电站都属混合式开发，古田溪和流溪河水电站为地下式厂房。流溪河水电站总水头 98m，

其中坝集中的占大部分。古田溪坝壅高水位 50m，再打一条长 1.9 公里的隧洞，用截弯引水方式又集中 9 公里长河湾的 78m 落差，获得电站总水头 128m。

抽水蓄能发电是水能利用的另一种型式。它不是为了开发水能资源向系统提供电能，而是以水体为储能介质，起调节电能的作用。抽水蓄能式水电站的工作包括抽水蓄能和放水发电两个过程。其建筑物的组成中必须有高低两个水池，与有压引水建筑物相连。蓄能电站厂房位于低水池处，如图 0—6 所示。当夜间用电负荷低落，系统内火电厂出力有余时，该电站就吸收系统的剩余电量，带动水泵，将低水池中的水抽送到高水池，

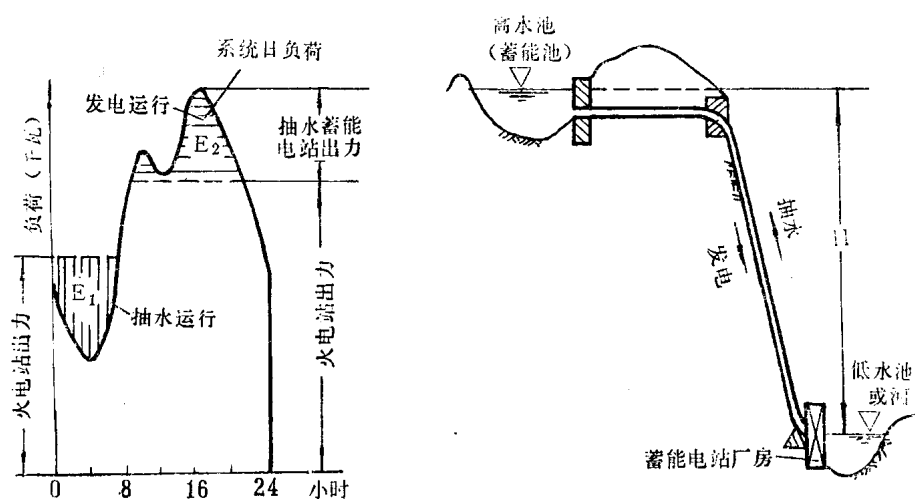


图 0—6 抽水蓄能式水电站

池，以水的势能形式贮存起来（抽水蓄能过程）；等到系统负荷高涨火电厂出力不够时，就将高水池中的水放下来推动水轮机发电，以补火电的出力不足（放水发电过程）。

第一章 水电站的布置型式及其组成建筑物

为了综合利用水利资源，需要修建水利枢纽。水利枢纽的任务一般是具有防洪、灌溉、发电、航运、给水等综合性的。用以满足有关国民经济部门的要求，从而达到为人民服务的目的。

水利枢纽中的建筑物主要有挡水、泄水、船闸、鱼道、进水、引水及水电站厂房等建筑物。本章的目的在于了解水利枢纽中应有哪些水电站建筑物以及它们之间的相互联系和配合，以便对以后各章分别学习各种建筑物时有一个总的概念。

由于水电站的基本布置型式不同，枢纽中建筑物的组成是不一样的。水电站的基本布置型式有：坝式、引水式和混合式三种，但就其建筑物的组成和型式来说，坝后式河岸引水、混合式和有压引水式是相同的。因此，下面就坝式和引水式两种水电站的基本型式，介绍其组成建筑物及其相互联系。

§ 1-1 坝式水电站水利枢纽

坝式水电站水利枢纽的特点，是水头由拦河坝来集中并将所有建筑物布置在一个枢纽中，它可分为坝后式水电站水利枢纽和河床式水电站水利枢纽。这两种枢纽中的主要建筑物一般有拦河坝、泄水建筑物和水电站厂房，另外可能还有为其他专业部门而设的建筑物，如船闸、灌溉取水、工业取水、筏道及鱼道等。

根据国内外的实践经验，当水头低于 25~35m，机组容量较大时，采用河床式水电站是经济合理的。因为水头低，流量又相对地较大，多采用轴流式水轮机，蜗壳和尾水管的尺寸较大，蜗壳多用钢筋混凝土做成。这样，厂房的尺寸和重量均较大，一般可承受 25~35m 的水压力。当水头高于 25~35m 时，多采用混流式水轮机，蜗壳多用金属钢板做成，如厂房再承受水压力，还需要另外增加厂房的工程量，这时就不如将坝与厂房分开，采用坝后式水电站来得经济。

一、坝后式水电站水利枢纽。如图 1—1、1—2 和 1—3 所示，电站坝段布置在河床的左岸，泄水建筑物布置在厂房的右侧。用非溢流坝连接两岸。

在这种枢纽中，水电站建筑物集中布置在电站坝段上，在坝上设有进水口，进水口设有拦污栅和闸门。压力钢管穿过坝身，电站厂房布置在坝后。坝与厂房用永久的沉降缝分开。厂房不起挡水作用。

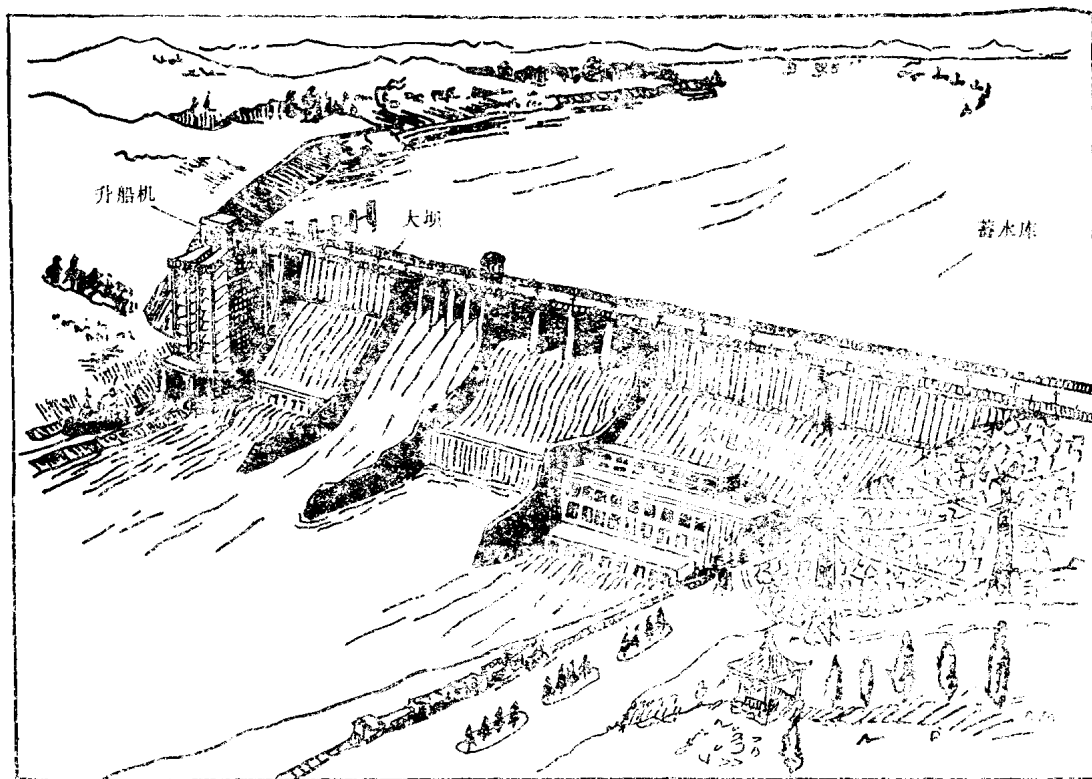


图 1-1 坝后式水电站水利枢纽总体布置示意图

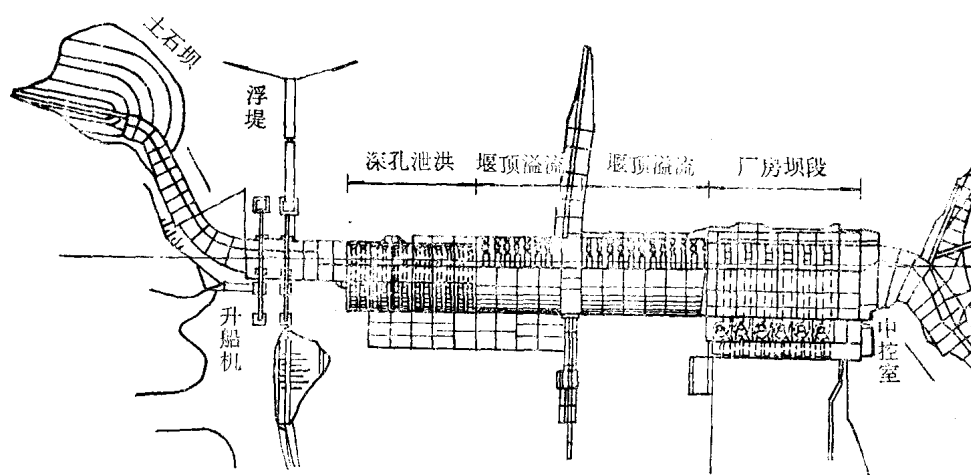


图 1-2 坝后式水电站水利枢纽平面

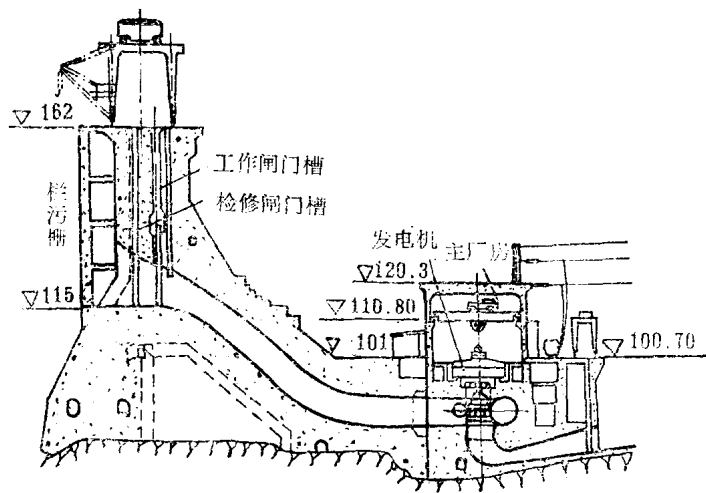


图 1—3 电站坝段横剖面

二、河床式水电站水利枢纽。如图 1—4、1—5 和 1—6 所示，溢流坝段在河床的中部。通航建筑物设在河床的右侧，电站厂房在河床的左侧。它的特点是厂房与坝一样起挡水作用。

在这种枢纽中，水电站建筑物也是集中布置在电站坝段，进水口后边的引水道很短，紧接着就是厂房。

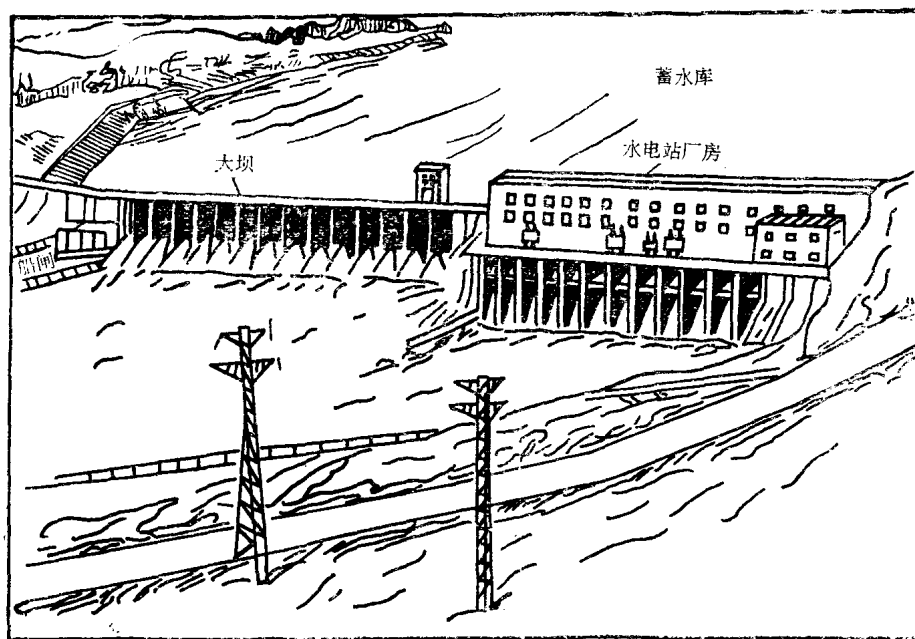


图 1—4 河床式水电站水利枢纽总体布置示意图