

坝工丛书

水利电力部第五工程局
水利电力部东北勘测设计院

土坝设计 上册

水利电力出版社

◁ 坝 工 丛 书 ▷

土 坝 设 计

上 册

水利电力部第五工程局
水利电力部东北勘测设计院

水利电力出版社



◁ 坝 工 丛 书 ▷

土 坝 设 计

下 册

水利电力部第五工程局
水利电力部东北勘测设计院

水利电力出版社



土 坝 设 计

上 册

水利电力部第五工程局
水利电力部东北勘测设计院

*

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

中国建筑工业出版社印刷厂印刷

*

1978年8月北京第一版

1978年8月北京第一次印刷

印数 00001—8200册 平装每册2.60元

书号 15143·3346

土 坝 设 计

下 册

水利电力部第五工程局

水利电力部东北勘测设计院

*

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

一二〇一工厂印刷

*

1978年10月北京第一版

1978年10月北京第一次印刷

印数 0001—8200 册 平装每册 2.50 元

书号 15143·3348

内 容 提 要

本书是以国内筑坝经验为主，并吸收了近年来国外筑坝经验编写成的，书中系统地介绍了土坝设计的理论和方法。

全书分上、下两册。本书为上册，主要包括：土坝枢纽布置和坝型、坝址的工程地质条件、筑坝材料的勘探和选择及设计、土坝的渗流计算、土坝的稳定分析、土坝的构造等。

本书主要供水利水电工程技术人员参考，也可供高等院校水利专业的师生参考。

前 言

建国以来，我国在土坝建设方面取得了巨大的成就。在实践中，对土坝设计和施工积累了丰富的经验，进一步发展了土坝设计的理论，例如对土坝的孔隙压力、坝的稳定分析、坝基防渗结构等许多问题，都提出了自己的解决方法。

近年来，国外学者和技术人员，对土坝工程进行了大量试验研究工作，发表了许多论文和专著，对完善土坝设计的理论和方法，也作出了很有价值的贡献。

1963年中国工业出版社曾出版顾淦臣、陈明致两同志编著的《土坝设计》上册，该书出版后受到广大读者的好评，并迫切要求出版下册。

为了将国内外土坝建设的实践经验和研究成果加以总结，适应我国水利水电建设发展的需要和广大读者的要求，我们委派顾淦臣、陈明致、郭诚谦同志在《土坝设计》上册的基础上，又广泛收集资料，进行修订并续编，完成了本书上、下册的编著工作。

在本书编写过程中，武汉水利电力学院热情协作，对书中第五章、第八章的部分内容作了补充，使本书进一步得到充实；湖北省水利局、山东省水利局以及各省市有关水利部门大力支持，提供资料，协助审查，为编写本书提供了有利条件，在此谨致谢意。

我们希望土坝设计这本书的出版，对奋斗在水利水电战线上的战友们能有所助益，但是我们的认识和经验毕竟是有限的，书中肯定存在有不足之处，我们恳切希望广大读者给以批评指正，以便再版时进一步修改补充。

水利电力部第五工程局
水利电力部东北勘测设计院

目 录

前 言	
概 论	1
第一章 土坝枢纽布置和坝型	3
第一节 枢纽布置	3
第二节 坝型	18
第三节 坝型实例	26
第四节 土坝坝型的趋向	69
第二章 坝址的工程地质条件	71
第一节 坝址的选择	71
第二节 土坝对地基的要求	72
第三节 在岩浆岩及坚硬的变质岩上筑坝的地质条件	73
第四节 在火山碎屑岩上筑坝的地质条件	76
第五节 在一般的片麻岩、片岩、千枚岩、板岩上筑坝的工程地质条件	77
第六节 在砾岩、砂岩、页岩及粘土岩上筑坝的地质条件	78
第七节 在可溶性岩石上筑坝的地质条件	84
第八节 在非粘性土上筑坝的地质条件	88
第九节 在粘性土上筑坝的地质条件	99
第十节 坝址的地质构造	102
第十一节 滑坡	112
第十二节 地震	114
第三章 筑坝材料的勘探、选择及设计	125
第一节 土的分类	125
第二节 筑坝材料的勘探	128
第三节 筑坝材料的试验	130
第四节 试验成果的整理和设计指标的采取	132
第五节 碾压式土坝土料的选择	137
第六节 因地制宜地选择防渗土料	144
第七节 水力冲填坝土料的选择	146
第八节 水中填土坝土料的选择	148
第九节 土坝所用的石料	149
第十节 反滤料	153
第十一节 土料设计	153
第四章 土坝的渗流计算	171
第一节 渗流的基本理论	171
第二节 在不透水地基上土坝渗流的水力学解法	180
第三节 在透水地基上土坝渗流的水力学解法	196

第 四 节	在透水地基上有铺盖的土坝渗流的水力学解法	201
第 五 节	坝基有压渗流的流体力学解法	212
第 六 节	在不透水地基上土坝渗流的流体力学解法	218
第 七 节	在透水地基上土坝渗流的流体力学解法	224
第 八 节	在不透水层上土坝与混凝土建筑物连接处的渗流计算	228
第 九 节	岸坡绕流	233
第 十 节	流网的绘制	234
第十一节	电拟法	238
第十二节	缝隙槽中的试验	245
第十三节	水库放空时坝身的浸润线	247
第五章	土坝的稳定	258
第 一 节	土坝稳定的破坏	258
第 二 节	作用于土坝的力	258
第 三 节	土坝孔隙压力计算方法	266
第 四 节	用差分法求土坝及坝基的孔隙压力	283
第 五 节	力的组合及要求的安全系数	296
第 六 节	土坝的滑裂面	297
第 七 节	静力稳定计算——圆弧法	300
第 八 节	考虑土条间作用力的任意滑裂面的稳定计算	320
第 九 节	考虑土条间作用力的圆弧法的稳定计算	329
第 十 节	改良圆弧法	336
第十一节	心墙土石坝的稳定计算	339
第十二节	斜墙及保护层的稳定计算	342
第十三节	土坝抗振稳定计算	346
第十四节	土坝应力计算——分析法	359
第十五节	有限单元法在土坝稳定分析中的应用	368
第十六节	土坝及土石坝稳定分析的“力平衡法”	373
第六章	土坝的构造	403
第 一 节	土坝的外形轮廓	403
第 二 节	护坡	422
第 三 节	块石护坡的设计	436
第 四 节	混凝土板护坡的设计	443
第 五 节	土斜墙和土心墙	452
第 六 节	沥青混凝土斜墙	458
第 七 节	沥青混凝土心墙	464
第 八 节	钢筋混凝土心墙	471
第 九 节	其它材料的心墙和斜墙	477
第 十 节	刚性心墙的计算方法	481
第十一节	刚性斜墙的计算方法	486
第十二节	排水设备	494
第十三节	反滤层的设计	500
第十四节	穿越土坝的泄水管道	506
第十五节	土坝与坝基、岸坡及混凝土建筑物的接合	513

目 录

第七章 坝基防渗措施	521
第一节 坝基防渗措施的种类	521
第二节 土截水槽	521
第三节 板桩	522
第四节 铺盖	525
第五节 混凝土截水槽	529
第六节 连锁管柱	533
第七节 混凝土防渗墙	534
第八节 泥浆截水槽	554
第九节 岩层水泥灌浆	560
第十节 岩层的粘土灌浆和沥青灌浆	571
第十一节 砂砾石层水泥粘土灌浆	573
第十二节 化学材料灌浆	589
第十三节 坝基和坝体的渗透变形	600
第十四节 岩基处理	612
第八章 土坝的变形和裂缝控制	619
第一节 计算土坝变形的目的	619
第二节 土坝变形观测实例	620
第三节 坝身最终沉陷量的计算	630
第四节 坝基最终沉陷量的计算	632
第五节 坝体沉陷与时间的关系的计算	633
第六节 坝基沉陷与时间的关系的计算	640
第七节 施工阶段坝身沉陷量的计算	641
第八节 考虑起始渗透水力坡降时, 沉陷量的计算	642
第九节 考虑侧向变形的坝基沉陷计算	650
第十节 黄土地基的沉陷	657
第十一节 土坝的裂缝类型和成因	659
第十二节 土坝裂缝的防治措施	670
第十三节 土坝裂缝的估算方法	677
第九章 排渗减压工程和坝下游盖重	699
第一节 排渗减压的目的	699
第二节 排渗减压工程的类型	700
第三节 排渗减压工程的布置与构造	701
第四节 有压渗透条件下, 排渗减压工程的计算	721
第五节 有压-无压渗透条件下, 排渗减压工程的计算	736
第六节 有地表入渗时排渗减压工程的计算	738

第七节	排渗减压井的计算半径	739
第八节	两井之间及坝脚附近的地下水位以及防止该处流土的措施	740
第九节	多层不同渗透系数及存在不透水夹层的透水地基中排渗减压工程的计算	757
第十节	过滤器和井管内的水头损失	760
第十一节	减压井中的反滤料	765
第十二节	排渗减压工程设计中应考虑的一些问题	768
第十三节	设计排渗减压工程对地质勘测工作的要求	770
第十四节	几个实例	771
第十章	软土坝基的加固	777
第一节	软土坝基的特性	777
第二节	均匀坝基的抗滑稳定	784
第三节	均匀坝基的塑流稳定	791
第四节	多层软土坝基的滑动稳定及塑流稳定	811
第五节	软土坝基的沉陷计算	818
第六节	软土坝基的加固措施	822
第七节	换砂法	822
第八节	压重法	824
第九节	砂井法	826
第十节	预压加固法	841
第十一节	填土速率的控制	842
第十二节	抽水加固法	848
第十三节	填土挤淤法	852
第十四节	地基土的液化	855
第十五节	饱和松砂的爆炸加固	873
第十六节	黄土地基的处理	881
第十一章	水力冲填坝	885
第一节	自流式冲填坝	886
第二节	输泥管式冲填坝	923
第三节	半水力冲填坝	962
第十二章	水中填土坝	966
第一节	水中填土坝的形成	966
第二节	水中填土坝的发展情况	970
第三节	水中填土坝的土料	976
第四节	断面设计及土料含水量和干容重的选择	981
第五节	稳定计算	990
第六节	填土层厚、灌水深度及浸水时间的设计	998
第七节	专用排水设备	1003
第八节	坝基清理及岸坡处理	1008
第九节	水中填土坝的变形	1009
第十节	对施工的要求	1012
第十一节	工程事故的原因	1015
第十二节	土中灌水筑坝方法	1016

概 论

我国幅员辽阔，河流众多，水利资源丰富，劳动人民在防止水害和兴修水利方面有着悠久的历史 and 宝贵的经验。

公元前600年左右，已经在今安徽省寿县西南，利用天然地形，修建了安丰塘水库（又名芍陂）供灌溉农田之用。2600年以前已开始修筑黄河堤防。公元400年间的东晋时期开始修筑长江的荆江大堤，经过历代培修，堤高已达15米。洪泽湖大堤，也相传于公元200年即已开始修建。公元514年，曾在淮河中游修建成高达50米的浮山堰大土坝。这些事实，充分证明我国修建土坝工程已有悠久的历史。

由于旧中国长期处在封建主义、帝国主义和官僚资本主义的统治、奴役下，人民群众深受剥削和压迫，水利建设得不到充分发展。

1949年新中国建立后，毛主席和党中央十分重视水利建设。毛主席先后提出了“一定要把淮河修好”，“一定要根治海河”和“要把黄河的事情办好”的伟大号召。在毛主席的伟大号召下，在建设社会主义总路线的光辉指引下，我国水利建设如同脱缰骏马般飞奔向前，兴建了大量水利工程，主要江河的防洪标准已有很大提高；灌溉面积和水力发电站装机容量大为增加。在建设这些水利工程的过程中，水利、水电技术有了突飞猛进的发展，依靠自己的力量，解决了许多复杂的设计、施工和设备制造中的问题。

筑坝是水利工程中重要的一环，而在我国，土坝是最普遍采用的一种坝型。因为建筑土坝，可就地取材、节省大量水泥、钢材和木材，便于发动群众修建，且对地质条件要求较低，所以土坝工程在我国发展得很快。据统计，目前我国已建成的土坝达六万余座，占全部水坝总数的95%以上，其中坝高15米以上的土坝约有一万五千余座。迄今，已建成的最高的土石坝坝高101米；工程量较大的土坝体积达2800万立方米。

我国的土坝中，大部分是碾压式土坝。初期多用土料和砂卵石料，其后经过实践，采用风化石渣作坝壳，也建成了大量土石坝。1958年大跃进时期，试验成功了水中填土法筑坝，并在华北和西北黄土地区以及广东砾质粘土地区建成700多座，最大的坝高达60米。在无产阶级文化大革命时期，上述地区劳动人民又发扬我国古代筑坝淤田的经验，修建了一千多座水力冲填坝（亦称水坠坝），最大的坝高达65米。

我国劳动人民在中国共产党的领导下，通过二十多年的筑坝实践，不断地总结经验，土坝建设技术已达到较高的水平。根据因地制宜、就地取材、因材设计的原则选择坝型和筑坝材料。按照“独立自主，自力更生，艰苦奋斗，勤俭建国”的方针，“精心设计、精心施工”，力求节省，确保工程质量，已建成的土坝工程发挥了很大的效益。

综合国内外土坝建设的经验来看，土坝和土石坝的发展速度是很快的，不论是在狭窄河谷或是在大江大河上，都修建了许许多多的土坝和土石坝。已建成的最高土石坝坝高已达310米，正在施工中的土坝设计坝高达325米，远远超过其他类型的坝。由于大型土工机械（如100吨的气胎碾、50吨的振动碾、载重120吨的自卸汽车和滚切式挖土机等）的发

展，为修筑高大的土坝创造了有利的条件，许多土坝的体积超过了几千万立方米，最大土坝的体积已达到1.4亿立方米。土坝和土石坝的施工已经可以全部机械化，使每天上坝土石方量可达20~30万立方米，每个工人每年的工效可达1000~20000立方米。只要根据土石料的性质，放在坝体内适当的部位和采取相应的施工技术，几乎任何土石料都可以用来建造土坝，砾质土、风化岩、以及开挖泄水建筑物基础的石渣已经被广泛地采用于筑坝。已可利用机械将风化岩石开挖后压碎，作为防渗体。至于把不同的土石料拌合后建成强度高的防渗体，已是普通采用的技术了。冻土筑坝在我国东北地区已经有了一定的经验。用沥青混凝土、塑料薄膜等材料作为土石坝的防渗结构，也有了很大的发展。

由于筑坝技术的发展，任何地质条件不良的地基，都可经过处理后作为土坝的基础。采用水泥粘土灌浆方法已成功处理了深达225米的砂砾石层。用混凝土防渗墙处理的砂砾石层已有深达131米的实例。在深183米的透水冲积层上采用土铺盖防渗，承受水头达140米。在我国，简单而有效地处理了宽达105米的断层破碎带。施工较简便，费用较省的泥浆防渗槽已被采用。化学材料灌浆也被引进了土坝的坝基处理工程中。在深厚的淤泥地基上，采用砂井加固或其他措施，也已建成许多土坝。其它种种新颖的施工工艺还在不断地被发明创造。

通过筑坝实践，土力学和土质学也有了很大的发展，使土坝设计从初期的凭经验逐步提高到以科学理论为指导。土的强度特性的深入研究已取得新的成绩，对于在高应力下土的强度和压缩特性、振动条件下土的强度，已有了较明确的认识。土坝的稳定分析，已经从古典的圆弧滑动面的假定，发展到考虑土条间作用力的任意滑动面的新计算方法。由于电子计算机的普及，使土坝稳定计算已脱离了繁杂的手工劳动。基于土的极限平衡条件和非线性变形性质，研究坝体和坝基应力与应变的有限单元计算方法，正在通过电子计算机得到实现，使分析土坝的稳定有了新的途径。对坝体变形和裂缝的研究也有了良好的开端。研究土坝渗流的非匀质三向电模拟试验方法已趋完善，用有限单元法计算土坝渗流也已成功，许多复杂条件下的渗流分析可以得到圆满的解答。对遭遇地震时土坝稳定的分析方面，已经越出静力分析法的范畴，产生了可以考虑地震波的性质和土的抗振特性的动力分析方法。考虑土的初始渗流坡降和侧向变形的固结和变形计算方法已经提出，使孔隙压力和变形计算更能反映真实情况。

做为土坝枢纽不可分割部分的泄水和输水建筑物的设计，随着土坝建设的发展而日新月异，对洪水的充分研究可以使大型土坝绝少发生溃坝事故；在陡峻的岸坡上修建泄水建筑物已为通常所见；土坝枢纽中泄水建筑物的泄洪流量有的已达数万立方米/秒。经对许多水坝枢纽的经济比较，证明土坝或土石坝枢纽常较其它坝型的枢纽经济。

虽然土坝的设计随着土力学的发展而渐趋完善，但土力学在工程建筑科学中仍是比较薄弱的一环。土力学和土坝设计方法还有待于我们努力去研究和发展。本书的部分章节中不成熟之处，尚待进一步研究改进。

全国人民正在信心百倍地为在本世纪内实现四个现代化、使我国国民经济走在世界前列的宏伟目标而奋斗。水利电力建设必将更加蓬勃发展。土坝工程也必将更多更广泛地星罗棋布在我们祖国的江河大地上。土坝建筑技术也必将攀登新的高峰。

第一章 土坝枢纽布置和坝型

第一节 枢纽布置

水利枢纽的布置是根据综合利用的要求,把各项建筑物有机地、互相关联地妥当安排,各得其所。既要安全可靠,又要经济合理,要尽可能避免施工干扰,还要考虑运行管理方便。并适当考虑美观大方。地形地质是客观条件,我们要认识它,改造它,利用它。

枢纽建筑物以坝为主体,并包括有泄洪建筑物、灌溉引水建筑物、发电引水建筑物、水电厂房、开关站、排砂建筑物、工业用水引水建筑物、放空水库的泄水建筑物、施工导流建筑物、过船建筑物、过木建筑物、鱼道等。这些建筑物有的可以合并结合使用,如发电引水和灌溉引水建筑物可合并或部分合并,排砂和放空水库泄水建筑物可以结合,有的则可以分开,如泄洪建筑物可分开成溢洪道和泄洪洞。这些都要按具体情况加以研究。

高山深谷地带河谷窄山坡陡,建筑物不易分散布置,只能紧凑一起,如岸坡溢洪道常与土坝连接。丘陵地带河谷宽山坡平缓,而且常有垭口可布置溢洪道,建筑物可分散布置,施工方便。平原河道低水头枢纽,可在河床部位布置土坝或土石坝段、混凝土溢流坝段、厂房坝段、船闸等。这三种不同地区的枢纽布置各有其特点,分别讨论如下。

一、高山深谷地带的枢纽布置

这种地带河谷很窄,山坡陡峻,山脊高,如把土坝布置在顺直河段,则引水洞泄洪洞要拐弯,洞线长;溢洪道开挖边坡高,引渠和陡槽长,工程量大,而且溢洪道紧接土坝,施工干扰大。应该选择弯曲河段,把坝布置在弯道上,则凸岸布置引水洞、泄洪洞、溢洪道,可缩短长度,减少工程量。但一般凸岸山梁单薄,而且由于三面临空,岩石风化深,裂隙发育。因此对这种单薄山梁作为挡水山体就有顾虑,在这种山梁建筑引水、泄水道更加担心。这种顾虑和担心是可以理解的,但不应停留在概念性的认识上,而应该深入进行勘探研究,对单薄山梁的边坡稳定、渗透稳定、挡水后抗滑稳定作计算论证,如果挡水以后,在裂隙面或夹泥层面产生渗透水压力而使边坡不稳,可以考虑采取工程措施例如设置截渗帷幕,钻设预应力锚索或开挖浇筑钢筋混凝土锚柱桩予以加固,或用土石料压坡使之稳定等等,不应轻易否定单薄山梁的利用。因为即使采取加固措施要花费一定投资,但便于枢纽布置,减少工程量,消除施工干扰,反而有可能节省总投资。

毛家村水利枢纽的土坝就是布置在河弯处,坝高80.5米,泄洪洞(以堰面曲线斜洞与导流洞结合)、放水孔、引水洞、厂房都布置在右岸凸出的山梁里面,这个山梁是玄武岩,底部厚度与坝底厚度相近,不算十分单薄,边坡稳定、渗流稳定都满足要求,不需加固处理,坝址上游流域面积较小,洪水流量不大,没有设置岸坡溢洪道,坝址没有过船过木要求,枢纽布置见图1-1。

辽01水电站坝址附近有Z字形两个弯曲河段,该枢纽布置的一个比较方案是把土坝布

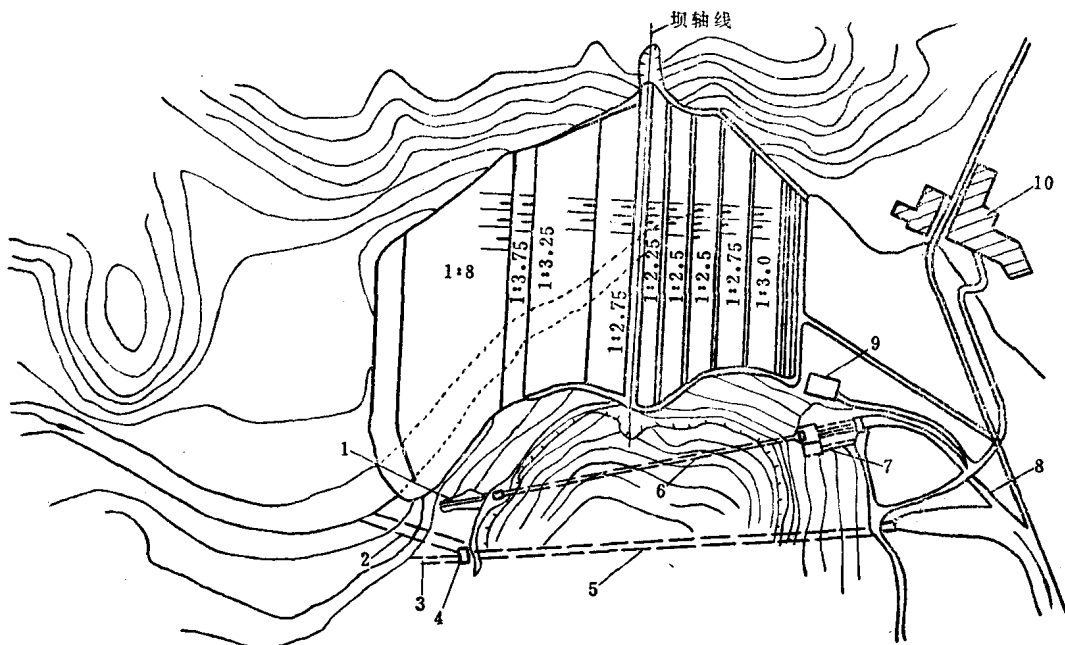


图 1-1 毛家村水利枢纽布置图

1—引水隧洞进口；2—导流洞进口；3—放水孔；4—泄洪隧洞进口；5—泄洪隧洞；6—引水隧洞；
7—厂房；8—尾水泵；9—升压站；10—生活区

置在Z字河湾之间,在第一弯段的单薄山梁布置溢洪道,第二弯段的单薄山梁设置引水洞,这样既减少了溢洪道工程量,又由800米长的引水洞获得15米落差。这两处单薄山梁经勘探计算分析,稳定没有问题。后因采用混凝土重力坝方案,由溢流坝段泄洪,只在第一弯段设非常溢洪道,该单薄山梁仍是挡水山体,枢纽布置见图1-2。

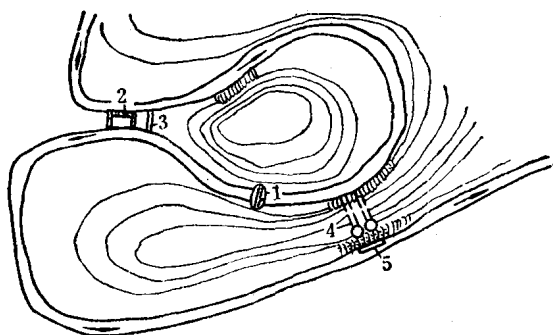


图 1-2 辽01水电站枢纽布置比较方案示意图

1—土坝；2—溢洪道；3—导流泄洪洞；4—引水洞；5—厂房

有一水电站坝址就在河湾段附近,本可将土石坝布置在河湾处,将引水洞、排砂洞、溢洪道、泄洪洞布置在左岸凸出山梁处,即因对单薄山梁作挡水山体顾虑很大,没有进行充分的计算分析,而将土石坝布置在弯道下游的直段处,以致引水洞、排砂洞、泄洪洞都设弯道,加长了洞线,增大了工程量,而且溢洪道只能设在右岸高山陡壁处,使开挖边坡高达

100米,开挖时几次滑坡,工程量增加很多,施工困难。

河道在高山深谷地带,弯道较多,在选择坝段和布置枢纽时,应尽量利用河湾,借以使枢纽布置合理,并获得落差。对于单薄山梁,风化深、裂隙发育是自然规律,地质人员和设计人员不应回避这种薄弱环节,而应重视它,多做工作,充分研究分析,变不利条件为有利条件,从而节省投资。

高山深谷地带，山坡陡峻，岸坡溢洪道只能紧靠坝肩，用混凝土挡墙与土石坝相接。挡墙必须坐落在新鲜基岩上，无论受坝体土压力或溢洪道水压力都能确保稳定。墙身和基础必须不漏水，土石坝心墙部位的挡墙，在心墙侧必须设计成斜坡，使心墙压在挡墙的斜面上，使之紧密结合，当泄洪水流振动或地震时，土和混凝土面不易脱开。甘01水电站枢纽布置中，土石坝右坝肩即与溢洪道左挡墙相接，墙高27米，为混凝土重力墙。枢纽中设有过木道，系在土石坝坝面上装置链式纵向原木传送机三条，由坝坡上的混凝土墩支承。由于用振动碾压实坝壳，混凝土墩基础沉陷不大，传送机运行正常。由于峡谷内没有平坦场地，故在坝的下游坝趾至厂房尾水渠之间，用弃渣填筑长200米宽70米的场地安装开关站。滤水坝趾的渗水由暗管排至尾水渠。枢纽布置见图1-3。

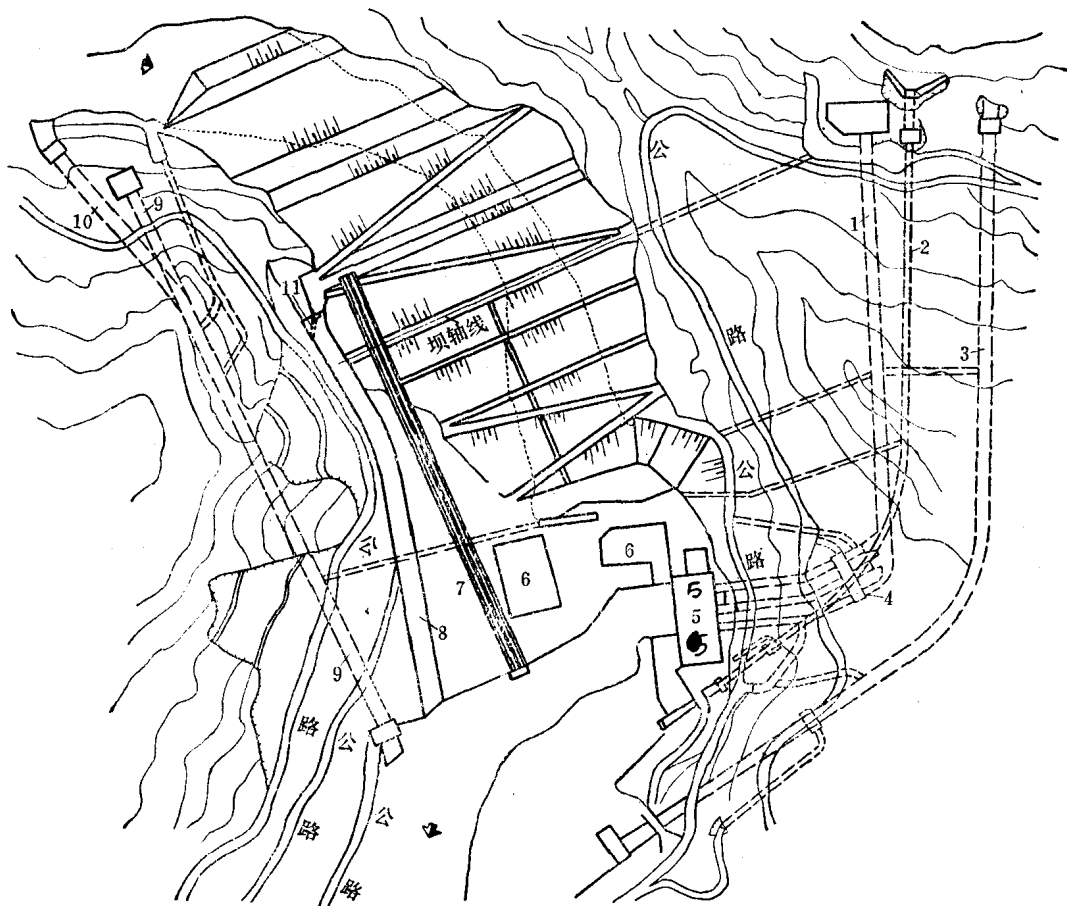


图 1-3 甘01水电站枢纽布置图

1—引水发电隧洞；2—排沙洞；3—左岸泄洪洞；4—调压井；5—发电厂房；6—开关站；7—过木道；
8—溢洪道；9—泄洪洞；10—导流洞；11—灌溉管道

南谷洞水库坝址河谷两岸陡峻，溢洪道只能靠近土石坝左坝端开挖，用翼墙与坝头相接，坝头斜墙扩大，溢洪道泄水槽沿山边开挖，右侧以导墙挡水，送至坝下游约200米处泄入河道。因洪水流量不大，在顺直河段布置枢纽还不太困难，右岸开凿两级引水洞，见图1-4。

