

水电工程枢纽布置

陈道周 编著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

水电工程枢纽布置

陈道周 编著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本书收集了近百个国内外工程的枢纽布置,共分10章,主要包括:枢纽布置工作依据,枢纽布置中的地质因素,水电工程枢纽布置综述,抽水蓄能电站布置,水电站建筑物,泄洪消能建筑物,水库泥沙处理和排沙建筑物,通航、过木、过鱼和排漂,水电工程的补强加固和扩建改建,施工导流工程等内容。

本书可供从事水利水电工程枢纽规划、设计、施工等专业技术人员参考,也可供大专院校相关专业师生学习参考。

图书在版编目(CIP)数据

水电工程枢纽布置 / 陈道周编著. -- 北京: 中国水利水电出版社, 2013. 12
ISBN 978-7-5170-1586-4

I. ①水… II. ①陈… III. ①水利枢纽—水利工程—研究 IV. ①TV63

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第318322号

| | |
|------|---|
| 书 名 | 水电工程枢纽布置 |
| 作 者 | 陈道周 编著 |
| 出版发行 | 中国水利水电出版社 (北京市海淀区玉渊潭南路1号D座 100038) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn 电话: (010) 68367658 (发行部) |
| 经 售 | 北京科水图书销售中心(零售) 电话: (010) 88383994、63202643、68545874 全国各地新华书店和相关出版物销售网点 |
| 排 版 | 中国水利水电出版社微机排版中心 |
| 印 刷 | 三河市鑫金马印装有限公司 |
| 规 格 | 170mm×240mm 16开本 15.75印张 300千字 |
| 版 次 | 2013年12月第1版 2013年12月第1次印刷 |
| 印 数 | 0001—1000册 |
| 定 价 | 48.00元 |

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社发行部负责调换

版权所有·侵权必究

前 言

我国水力资源至为丰富，蕴藏量总计达 6.94 亿 kW，其中技术可开发量为 5.41 亿 kW，经济可开发装机容量约 4 亿 kW，另条件优越的抽水蓄能可开发装机容量达 3.1 亿 kW；截至 2012 年年底，水电装机容量已近 2.5 亿 kW（其中抽水蓄能电站装机容量 2000 万 kW），相应发电量 8641 亿 kW·h，分别占全部电力装机容量的 21.7%，今后水力资源的开发尚大有广阔前景，对生态保护和建设以及减碳也必将作出重大贡献。

利用水资源在我国历史上有着悠久的传统，治水使水变害为利，从大禹治水到李冰治水，几千年来积累了丰富的经验，历史在延伸和发展，技术在进步，新中国成立以来，吸取了苏联和西方国家建设经验，通过改革开放，水利水电建设得到快速发展，在防洪、灌溉、发电、供水等领域都取得了前所未有的成就。

建设一个水利水电工程，涉及各方面的众多问题，既有自然条件，也有历史、人文和社会条件，如何因地、因时来建设好一个工程，作为水利水电工作者，需要作出很多努力，放眼世界，回顾过去，瞻望未来，任重道远。

鉴于自然条件如地形、地质、水文气象等千差万别，每个工程都是独一无二的。首先，应因地制宜，找出客观规律，结合实际，以便为我所用，才能对症下药，采取相应的、有效的措施。

其次，还要看到由于社会的发展，科学技术的进步，包括新理论、新技术、新材料、新设备的出现，以往成功的措施，现在可能已经落伍淘汰。因此，在前期工作中，需要提高认识，根据当前建设条件，因时制宜做好并制定各项工程措施。

最后，还要特别强调工程建设对生态、环境保护带来的影响。新中国成立以来，在建设过程中，随着人口增长、城镇化的进程、

工业化的快速发展，使得生态和环境保护问题，也愈来愈突出，影响深远，具体反映在水库淹没浸没、移民迁建、水质保护、库周和库区开发与生态建设、下游堤防和分洪滞洪、灌溉和供水条件等。水力资源是再生能源，在环保方面具有优势，但仍需要做好环评工作，尽力减少生态、环保方面的负面影响，以利于可持续发展。

做好前期工作，是保证工程建设顺利进行、避免失误的一个重要措施。工程枢纽建筑物的布置，展示了建设蓝图，是前期工作的集中体现。为了有利于从以往工程建设实践中吸取经验教训，有待于通过反思加深认识，以有所借鉴，在今后工作中开拓思路，减少失误。本书收集了近百个国内外工程的枢纽布置，希冀能为从事规划设计和有关方面人士工作提供参考。在编撰过程中得到了中国电力建设集团公司水电水利规划设计总院和国家大坝安全监测中心的大力协助以及关心人士的支持，全书由周建平、杨泽艳同志精心校阅，在此一并谨表谢意。

限于笔者水平和工作局限，材料取舍和叙述内容有疏漏或不当之处，望读者与专家惠予指正。

作者

2013年10月

目 录

前言

| | |
|-------------------------------|----|
| 第 1 章 枢纽布置工作依据 | 1 |
| 1.1 水文资料 | 1 |
| 1.2 地形地质资料..... | 1 |
| 1.3 有关的规范、规定和综合利用要求 | 2 |
| 1.4 建设条件 | 4 |
| 第 2 章 枢纽布置中的地质因素 | 5 |
| 2.1 岩溶地层 | 6 |
| 2.2 边坡问题 | 12 |
| 2.3 地基和基础处理 | 18 |
| 2.4 地应力 | 24 |
| 2.5 在覆盖层或黏性土层上建坝的地质问题..... | 27 |
| 2.6 地震区建库/坝影响问题 | 31 |
| 附件 1 汶川地震对水电工程的影响 | 36 |
| 附件 2 加拿大买加高土石坝抗震措施 | 40 |
| 第 3 章 水电工程枢纽布置综述 | 41 |
| 3.1 河流梯级开发和利用 | 41 |
| 3.2 坝址和坝型 | 42 |
| 3.3 枢纽泄洪 | 44 |
| 3.4 泥沙处理问题 | 46 |
| 3.5 电站建筑物 | 47 |
| 3.6 通航过坝问题 | 50 |
| 3.7 已建工程改建问题 | 50 |
| 3.8 施工导流 | 52 |
| 3.9 生态建设和发展旅游 | 53 |
| 附表 1 部分混凝土坝枢纽泄洪发电建筑物布置 | 55 |
| 附表 2 部分土石坝枢纽泄洪发电建筑物布置 | 59 |

| | |
|---------------------------------|-----|
| 第 4 章 抽水蓄能电站布置 | 61 |
| 4.1 电站任务和站址选择 | 62 |
| 4.2 枢纽布置 | 69 |
| 4.3 利用天然湖泊抽水蓄能 | 77 |
| 4.4 利用海水抽水蓄能 | 78 |
| 4.5 利用地下水库抽水蓄能的设想 | 80 |
| 第 5 章 水电站建筑物 | 81 |
| 5.1 堤坝式开发 | 81 |
| 5.2 引水式开发 | 101 |
| 5.3 引水发电建筑物 | 111 |
| 5.4 分期施工和提前发电 | 131 |
| 第 6 章 泄洪消能建筑物 | 137 |
| 6.1 溢流坝 | 138 |
| 6.2 溢洪道 | 148 |
| 6.3 泄洪隧洞 | 159 |
| 6.4 坝下埋管、涵洞泄洪 | 162 |
| 第 7 章 水库泥沙处理和排沙建筑物 | 163 |
| 7.1 永定河官厅水库 | 165 |
| 7.2 三门峡工程 | 166 |
| 7.3 刘家峡工程 | 171 |
| 7.4 以礼河二级水槽子引水前池 | 174 |
| 7.5 鲁布革水电站 | 174 |
| 7.6 恒山水库 | 175 |
| 7.7 一些西南地区引水式电站首部枢纽情况 | 176 |
| 7.8 埃及尼罗河阿斯旺高坝水库 | 176 |
| 7.9 日本水库泥沙处理经验 | 177 |
| 第 8 章 通航、过木、过鱼和排漂 | 180 |
| 8.1 航运规划、开发时机和分期建设问题 | 180 |
| 8.2 船闸通过能力与实际过闸量 | 181 |
| 8.3 施工期通航问题 | 181 |
| 8.4 船闸对枢纽布置的影响 | 181 |
| 8.5 升船机问题 | 185 |
| 8.6 木材过坝问题 | 186 |

| | | |
|-------------|-----------------------|------------|
| 8.7 | 鱼类过坝问题 | 187 |
| 8.8 | 排放流冰和其他漂浮物问题 | 187 |
| 第9章 | 水电工程的补强加固和扩建改建 | 189 |
| 9.1 | 工程的补强和加固 | 189 |
| 9.2 | 工程的扩建和改建 | 200 |
| 第10章 | 施工导流工程 | 206 |
| 10.1 | 施工导流分期 | 206 |
| 10.2 | 施工导流建筑物 | 223 |
| 10.3 | 导流建筑物的利用和改建 | 230 |
| 10.4 | 导流隧洞和底孔的封堵 | 235 |
| 后记 | | 242 |

第1章 枢纽布置工作依据

在水电工程前期工作中各阶段（如河流的梯级开发、第一期工程选择、坝段坝址比较研究等）通常均需研究工程的枢纽布置问题，其工作深度则视各阶段所掌握的情况和资料而异。各阶段的枢纽布置集中反映了该阶段前期工作的成果，包括规划设计论证结论以及所引用的基础数据、基本资料、建设条件和建设规模。随着时间的推移、时代的发展和与工作深度与广度的推进，枢纽布置也将不断深化。本章主要介绍作为枢纽布置工作依据的一些内容。

1.1 水文资料

水文资料主要包括水位、流量、水质、泥沙、降水、气温、冰情等。它反映了水资源在自然界一定时段内的动态变化，历时越长越接近于实际情况。我国历史悠久，对水旱灾情不乏志书县志记载叙述，如暴雨情况、洪水水患、旱涝灾害等，还有石刻洪痕和古老忆述，2000多年前李冰父子修建的四川都江堰水利工程，迄今尚在发挥巨大的农田灌溉功能。但历史记载，常缺乏量化，只能作为参证。少数河流也只是近百年来才开始设置水文站、水位站进行系统观测。

新中国成立以来，在大力发展经济建设的迫切需要下，国内一些大小河流，陆续设置水文站、水位站和气象站，积累了实测水文系列资料，结合历史调查成果，并吸取国外建设经验，几十年来，为建设水利水电工程提供了基础资料，获得了建设实践的经验，也积累了较长系列的水文资料，为今后的水电建设进一步提供了科学基础。为了适应客观情况和形势的变化，在开展工作时，有必要了解近年来的水文资料如本河流或邻近河流出现的异常水情，包括大洪水、暴雨、泥石流等对前阶段所引用的分析成果的影响，必要时应进行复核，以作为本阶段工作的依据。

鉴于近年来全球气候出现异常，由于极端气候导致暴雨洪水频繁，为此，在今后洪水复核中如何根据资料的积累，参考洪水分析，修正成果，具有现实意义。

1.2 地形地质资料

地形地质资料是用来研究、比较、选择枢纽布置方案（含坝型和坝线等）

必不可少的基础资料，随着各阶段的工作深度要求，需要提供相应的最新库/坝址地形地质资料，同时对于流域地貌、区域构造和地震、滑坡资料以及邻近或类似工程建设经验，也宜重视收集，联系本阶段工作实际进行分析、参考应用。有些工程由于地质工作的深度和广度不够，导致判断上的失误，以致在施工中甚至在初期蓄水后才发现问题，使工程建设和运行陷于被动，事后处理，也会事倍功半。一个较突出的例子是非洲的卡里巴（Kariba）拱坝，在电站已蓄水开始发电后通过上坝公路的开挖，才揭露了右坝肩深部大范围严重风化、压缩模量极低的片麻岩和软弱云母夹层，而不得不在右岸拱座进行加固，加设了4个支墩来分担拱肩推力。

在应用地质资料时要根据坝址区各部位的具体地质条件，因地制宜、扬长避短来制定坝线、选用建筑物的型式和布置方案，如在黄河小浪底坝址采用高土石坝，而将所有枢纽建筑物包括地下式厂房等均布置在左岸，较好地解决了枢纽布置问题。

1.3 有关的规范、规定和综合利用要求

1. 防洪标准（包括工程本身和上下游）

洪水灾害历来是千百年来危害人民的灾难，国内外都根据国情确立了防洪标准，并对城市、重要工矿企业和建筑物、灌区、堤防、道路、桥梁等分别作出了规定。对于大坝和水库，由于失事后将对下游造成严重灾害，通常根据其库容、坝高、坝型和失事后对下游的危害规定其防洪标准。我国防洪标准引用的设计洪水一般采用频率法分析成果（对于小汇水面积的工程，则宜采用暴雨资料以小时强度作为设计洪水）。对于重要工程的大坝还要利用气象资料推求可能最大洪水核算其安全度。对新中国成立以来出现过的多次特大洪水，也常用频率法进行洪水复核修正。

对于以调蓄库容来满足下游防洪要求的工程，除了慎重选用典型洪水过程线和相应限泄流量外，还要注意水库淤积以及由于下游河床变形带来的水位流量变化导致实际防洪标准的降低。

鉴于近年来全球气候受温室效应影响出现异常，发生暴雨、暴雪、泥石流、特大洪水和长期干旱，对此在设计及运行中如何应对，以抵御非常情况，值得重视。

2. 淹没区防护或迁建要求

防护或迁建主要是针对库区名胜古迹、工矿矿藏、大面积农田防护及城镇居民区迁建问题。例如，刘家峡水库的蓄水位受库尾不能淹没炳灵寺的限制，三峡工程为保护坝前右岸茅坪溪内大面积耕田而修建了高百米的沥青心墙坝，

三门峡库区永乐宫壁画的迁建等。

此外，对潜在的库区地质灾害影响（包括地震），如库岸稳定和滑坡等，对航行、交通道路、移民区的影响也需通过勘查，提出处理意见。

3. 水库运用和洪水调节

为长期保持有效库容，针对一般河流泥沙集中在汛期的情况，常可采用水库蓄清排浑的运用方式控制泥沙淤积上延、汛期降低水位并提高排沙泄洪能力，控制上游淹没区回水上限和防护标准，洪水预报以及与上下游梯级联合防洪运行调度等，在枢纽布置和工程措施上予以配合。在防洪运用时，准确掌握上下游水情和洪水流达时间，及时操作控制流量满足错峰要求将十分重要。

在蓄清排浑运用时，还要注意非汛期来沙情况，以黄河中游为例，非汛期泥沙来量虽显著减少，但仍有一定沙量（10%~15%）需要考虑。

为了适应由于特殊情况要求向下游供水，水库也可设定非常运用时的低水位（低于发电死水位）。

4. 防凌任务

鉴于我国北方一些河道，由于河道走势，河段封冻和开河时间的错前滞后，对下游河流形成凌汛。如何掌握冰情，及时进行相应水库调度，控制下泄流量，减缓凌汛威胁，至关重要。

另外，还须注意由于流冰受阻导致冰塞壅水，水位剧烈上涨，也会影响工程施工，刘家峡工程施工期就发生过由于下游盐锅峡水库堵塞流冰而致上游刘家峡坝址水位猛升10余米，影响施工。

5. 下游供水和水质要求

需了解为满足施工蓄水期间以及水库运行过程中电站不能发电下泄水量时下游用水需要，包括保证通航水深的流量、引水式电站脱水/减水段用水、沿河工农业和城市生活用水以及生态用水要求，以便在设计中采取相应措施向下游供水。

6. 上下游灌溉现状和今后发展规划

修建库/坝常需对库周和下游两岸可耕地与宜林地，配合地方有关部门结合移民安置，开展水土保持和发展灌溉，进行生态保护和生态建设。

7. 河道水运现况和发展远景

需了解通航河道或有通航要求的河道航道情况，包括当前水运量、通航流量、航深、现有航运船舶情况和通航保证率等，研究工程施工期间的通航问题以及工程建设后改进、发展水运和过坝通航的可行性。

需了解河道有无漂木流放要求和收漂流放方式、漂浮物来量和组成。

对某些河道有时尚需了解浮游鱼类习性，研究设置过鱼建筑物或养殖场的

必要性。

1.4 建设条件

(1) 综合利用任务要求。如防洪库容的设置、水力资源的进一步开发、灌区扩大和城市化供水量提高、水库兼作抽水蓄能用、提供下泄流量满足通航、供水泵站取水要求、下泄压咸流量改进下游近海城市用水水质等。

(2) 梯级开发影响。需要了解由于上游一些具有调节作用的库坝的兴建带来的影响，包括洪水、枯水期流量、冰情等以致改变运行方式，进行扩建改建。例如，国内由于天生桥一级水电站的修建，下游二级电站装机容量增加了50%，美国哥伦比亚河上游河段的梯级开发大大增加了全流域水库调蓄能力，带动了下游大古力（Grand Coulee）等一系列工程的扩建。

(3) 电力系统及电站接入系统要求（包括施工用电）。如输电线路、电压等级等。

(4) 与工程建设有关的交通运输设施（公路、铁路、水运）。如现有交通道路条件，施工和永久设备安装重件、大件运输条件（包括隧洞桥梁限制、水运船舶和码头装卸条件），建成后过坝交通要求。

(5) 结合城镇规划进行施工区建设。如施工用电供应、通信（包括微波）、上下水道系统、居住和生产用房、公共福利和商业网点等。

(6) 了解附近旅游景点和交通条件情况，以便工程建成后结合发展旅游的条件。

第 2 章 枢纽布置中的地质因素

工程枢纽布置设计，离不开地质条件，地质勘探成果对于工程的规划设计，起着重要的指导作用。在河流开发的梯级安排、坝段坝址和坝型选择以及工程布置中，地质因素常是关键。通过地面地质勘探和钻孔平洞，辅以地球物理勘探，以及必要的室内试验和野外大型试验，结合分析研究，通常可以得到需要的地基地质资料。但在实际工作中，往往仍会有失误或出现一些预料之外的情况，而需要更改设计，有时甚至导致改选坝址或改变坝型，影响到工程建设。

我国滦河上的潘家口工程，原规划设计在临近长城的潘家口峡谷建坝，经反复研究，该坝址河谷狭窄，地形地质条件对建坝比较困难，最终予以放弃，改移往下游河床开阔地质简单的羊岔子坝址建坝。

黄河中游的黑山峡坝段的开发方式（一级或两级开发）问题，说明了地质条件对梯级开发方案制定的影响：单从建坝地质条件来看，上游小观音梯级坝址适合兴建混凝土坝，而下游梯级大柳树坝址，如果与上游小观音梯级合并，通过大量地质勘探，包括过河探洞，采用一级开发修建高坝，则宜建土石坝，地质条件提供了梯级开发方案的基础。

勘测设计中最重要的也是必要的是如何因地制宜，根据不同部位地质条件安排枢纽工程布置。河床地质条件，在考虑修建较高的坝时，常左右了坝型的选择，如埃及尼罗河上的阿斯旺（Aswan）高坝，河床覆盖层深度超过百米，而且是砂层，采用土石坝是顺理成章的，而右岸则为砂岩山体，设计上因地制宜布置了发电、泄洪和导流三位一体的枢纽主体建筑物。我国黄河中游的三门峡—小浪底河段梯级，从原来的任家堆—八里胡同一小浪底的三级低坝开发改为在小浪底修建高坝一级开发，也是通过详细地质勘探确定坝址，根据坝址区地质特点，扬长避短，利用左岸有利的地质条件，集中安排枢纽泄洪、排沙、发电和施工导流建筑物，而在河床覆盖层和右岸则布置土石坝，成功解决了修建高坝枢纽问题，改变了原来规划低坝开发的结论。大渡河上的瀑布沟工程，坝址河床为深厚的山麓崩塌物和漂卵砾石层，地质上的先天条件决定了采用土石坝。

非洲卡里巴拱坝坝址的地质勘探也值得引人深思。工程施工前对坝址进行了大量的地质勘探（光是右岸就有 16 个钻孔、10 个竖井以及进水口、隧洞施工开挖资料），作出了该坝址具有修建拱坝非常乐观的地质结论，直到施工后

期通过右岸下游上坝公路开挖揭露并进一步补充钻孔、平洞和竖井勘探,探明了右坝肩下深伏有严重风化变质的片麻岩和白云岩体,而工程已蓄水发电,最后采用了在右坝肩6个坝段增建4个重力墩来分担拱坝坝肩推力。通过这个事例,说明地质勘探范围要有足够深度和广度,才有可能作出可靠的结论。

本章就水电工程建设中常遇到的主要地质问题简述如下。

2.1 岩溶地层

在岩溶地区建坝和水工建筑物,最难的也是最费时的是如何查清(或确切地说是基本查清)岩溶的空间分布,从而才能对症下药,采取措施。根据新中国成立以来一些在岩溶地区建设库坝的经验,除了进行常规的地质勘探试验外,更重要的是探查地表洼地、落水洞、漏斗、暗河,追索洞穴,进行水质分析和连通试验。以下简介几个工程情况。

(1) 在岩溶地区贵州猫跳河梯级开发中,地质勘察工作做得比较充分,但在四级窄巷口工程,尽管做了大量勘察并在蓄水后补充进行了防渗灌浆工作,由于岩溶的复杂性,蓄水后渗漏量仍达 $15\text{m}^3/\text{s}$,水库一直不能蓄到设计水位。在乌江渡工程,拱形重力坝高达 165m ,水库库容 $23\text{亿}\text{m}^3$,地质勘探证实由于有 30余米 厚的沙堡湾页岩层可以利用作为水库防渗隔水层,不存在水库大量渗漏问题,但坝址两岸灰岩岩溶发育,影响了坝肩承载能力,河床构造断裂破坏了页岩隔水层,形成了坝基深层岩溶渗漏缺口。通过追索洞穴暗河,对坝肩岩溶开挖置换混凝土处理(回填混凝土达 $6\text{万}\text{m}^3$),对深部岩溶溶蚀进行高压帷幕灌浆防渗(防渗面积达 $18.9\text{万}\text{m}^2$),工程胜利建成蓄水,渗漏量很少。又如其上游梯级东风工程,坝址所处灰岩峡谷工程地质条件良好,但右岸库区三岔河河间地块灰岩岩溶发育,落水洞洼地广泛分布,众多暗河沿河出露,水库存在渗漏问题,通过长期地面勘查洞穴追索和暗河连通试验、地下分水岭钻探,基本摸清了渗漏规律和途径,吸取了乌江渡工程的经验,制定了采用长达 3.6km 、防渗面积达 $55\text{万}\text{m}^2$ 的高压帷幕灌浆方案,工程得以成功建成。乌江渡大坝防渗剖面如图2.1所示。东风水库岩溶防渗线路地质剖面如图2.2所示。

(2) 国外一个突出的例子是土耳其的凯班(Keban)坝,设计阶段进行了大量地勘工作,包括 16000m 钻孔和4条平洞,为了落实岩溶处理方案,在施工开挖后,在坝基下又开挖了超过 10km 的平洞和竖井,据以追索岩溶洞穴调整了左岸坝轴线,修改了坝基厂房和压力管道基础设计,对溶洞进行开挖回填混凝土和修建防渗墙、灌浆等防渗处理工作。即便如此,仍然在蓄水发电后发现漏水量剧增达 $25\text{m}^3/\text{s}$,经降低水位、集中17台钻机补钻48个孔共约

2.1 岩溶地层

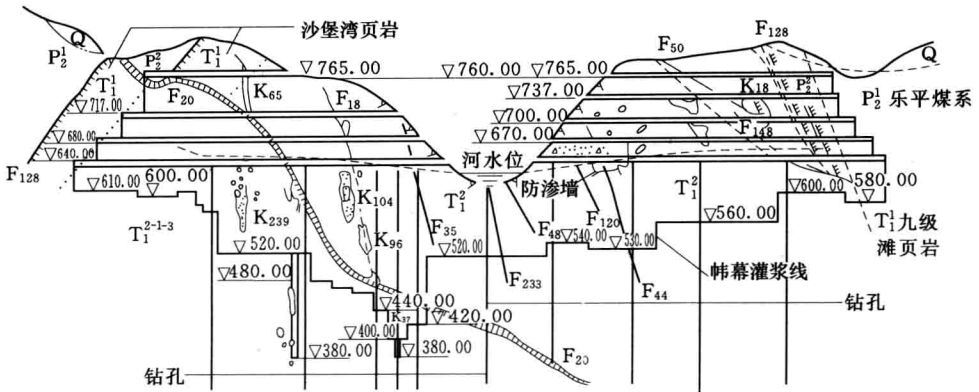
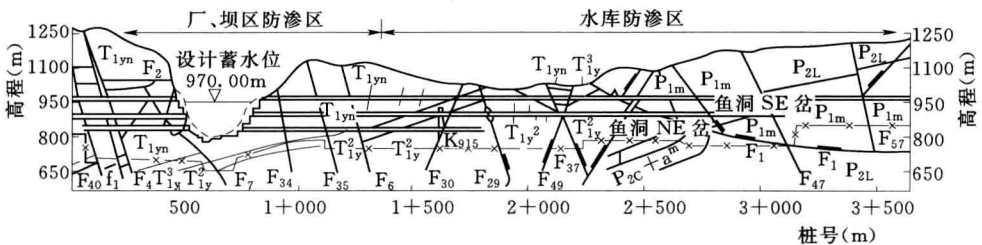


图 2.1 乌江渡大坝防渗剖面图



岩层说明: T_{1yn} 为永宁镇组灰岩、白云岩夹页岩; T_{1y}^3 为九级滩段页岩; T_{1y}^2 为玉龙山段灰岩;
 T_{1y}^1 为沙堡湾段页岩; P_{2eld} 为长兴、大隆组灰岩、页岩; P_{2l} 为龙潭组煤系; P_{1m} 为茅口组灰岩。

图 2.2 东风水库岩溶防渗线路地质剖面示意图 (面向下游)

15000m 后, 揭露出左岸坝顶以下 335m 存在一个容积达百万立方米的地下大厅, 由于水库蓄水水位抬高冲破其充填进口而造成渗漏。凯班坝基础防渗地质剖面如图 2.3 所示。

(3) 在引水式水电工程的建设中, 如天生桥二级工程, 虽然没有水库渗漏问题, 但在长近 2km 的 3 条引水隧洞 (建成后内径近 10m) 洞线, 尽管最大埋深达数百米, 仍存在深层岩溶问题, 原计划采用掘进机开挖, 由于通过洞穴和岩溶涌水, 施工极其困难, 进度迟缓, 而不得不另行增加了爆破开挖工作面。图 2.4 及图 2.5 分别示出引水线路平面布置及 3 号引水隧洞岩溶洞穴桩基处理。

上述工程的建设, 克服了施工技术复杂、工期长、难度大, 在一定程度上取得了岩溶地区建库/坝经验, 岩溶的空间分布往往是在开挖施工过程才揭露出来, 足以说明在岩溶地区建坝的难度, 要认识到在灰岩地区建库/坝的特殊性和艰巨性。

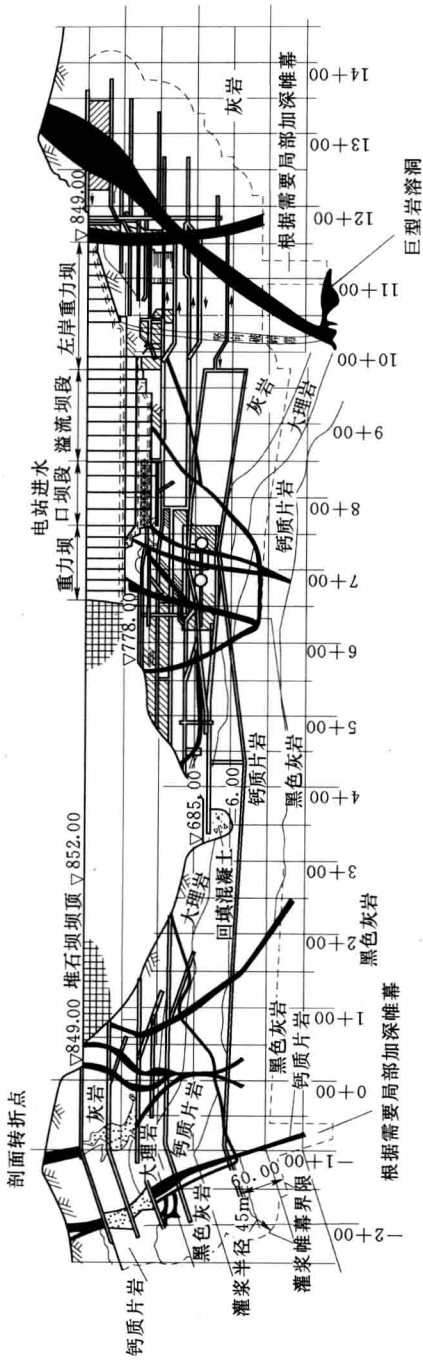
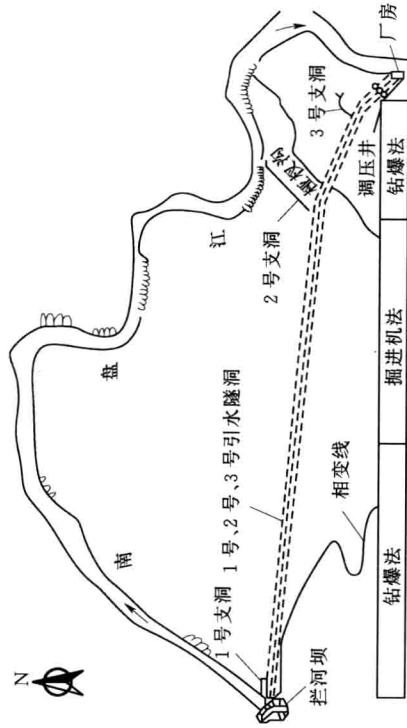
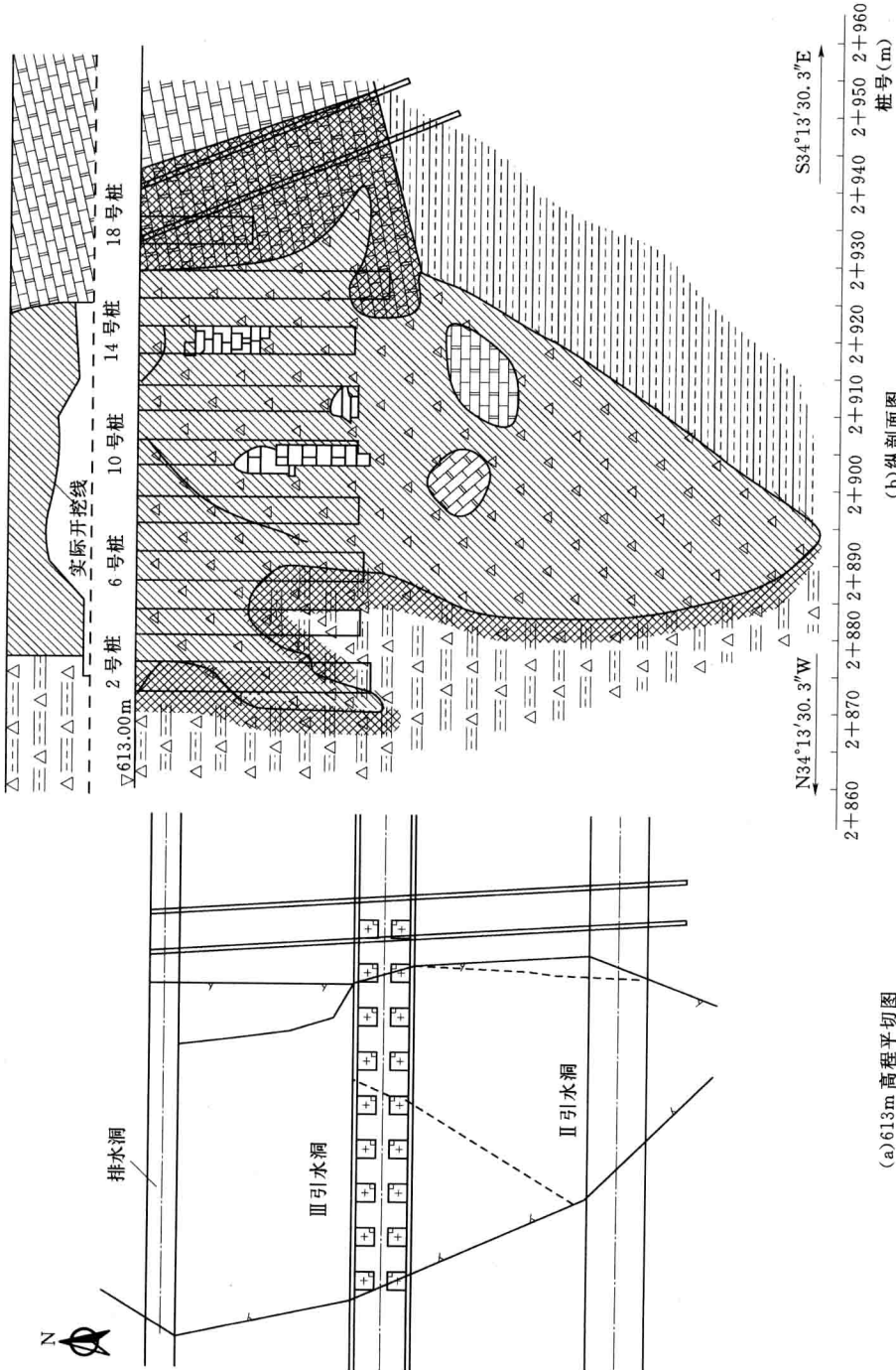


图 2.3 凯班坝基础防渗地质剖面图



注：以上为1号、2号隧洞开挖方法，3号洞全部采用钻爆法施工。

图 2.4 天生桥二级水电站引水线路平面布置图



(a) 613m 高程平切图

(b) 纵剖面图

图 2.5 天生桥二级水电站 3 号引水隧洞洞段 2+870~2+930m 岩溶洞穴桩基处理