

黄河龙羊峡水电站 勘测设计 重点技术问题总结

第二卷

国家电力公司西北勘测设计研究院



中国电力出版社

www.cepp.com.cn

黄河龙羊峡水电站勘测设计 重点技术问题总结

第二卷

国家电力公司西北勘测设计研究院



中国电力出版社

www.cepp.com.cn

内 容 提 要

本书是黄河龙羊峡水电站勘测设计重点技术问题总结的第二卷，全书共十三篇，涉及勘测、地质、规划、水工、施工、水库运行、监测等专业。本书结合龙羊峡水电站的工程实践，准确反映了龙羊峡水电站的设计水平和工程特色，对我国水电建设有着极其重要的借鉴作用。

本书适合水利水电勘测、设计技术人员阅读，也可供水利水电科研人员、相关专业大中专师生参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

黄河龙羊峡水电站勘测设计重点技术问题总结 第二卷/国家电力公司西北勘测设计研究院编. —北京: 中国电力出版社, 2003

ISBN 7 - 5083 - 1770 - X

I. 黄… II. 国… III. ①黄河-水力发电站-勘测-青海省②黄河-水力发电站-设计-青海省 IV. TV72

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2003) 第 086118 号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路 6 号 100044 <http://www.cepp.com.cn>)

汇鑫印务有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2003 年 12 月第一版 2003 年 12 月北京第一次印刷

787 毫米 × 1092 毫米 16 开本 32 印张 735 千字 4 插页

定价 75.00 元

版 权 专 有 翻 印 必 究

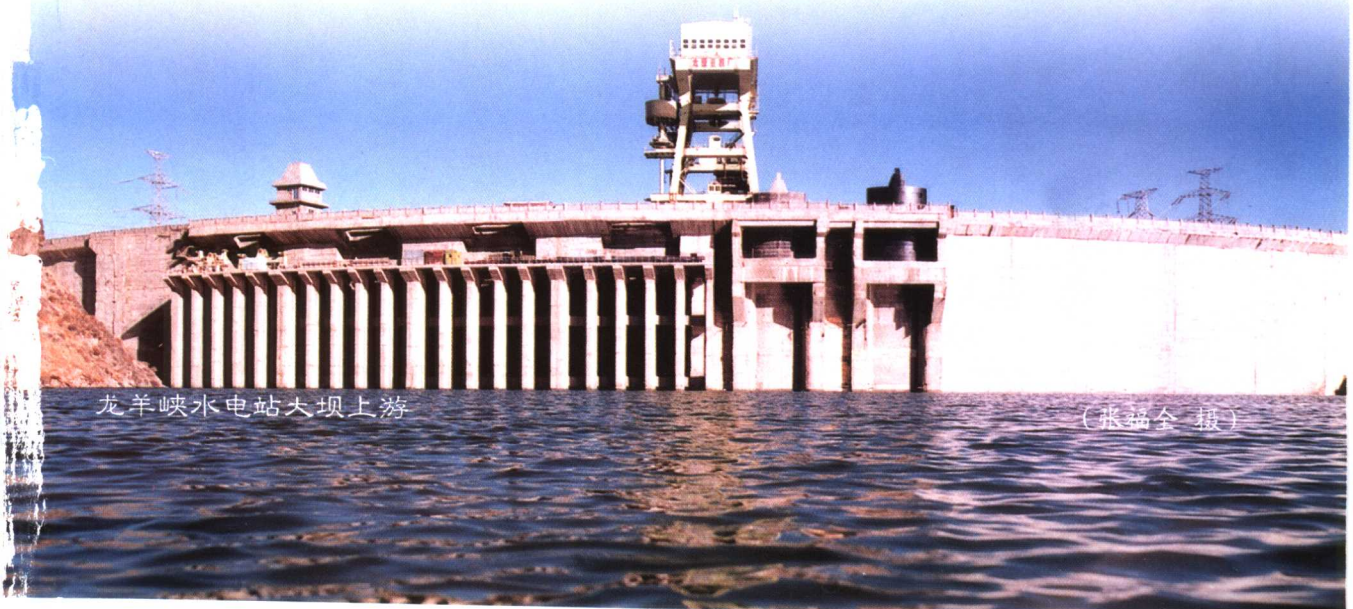
(本书如有印装质量问题, 我社发行部负责退换)



龙羊峡水电站工程奖
国家第十界优秀工程设计

金奖

全国优秀工程勘察设计评选委员会
二〇〇二年



龙羊峡水电站大坝上游

(张福全 摄)



龙羊峡水电站水轮发电机组

(张福全 摄)



龙羊峡水电站中央控制室

(张福全 摄)

黄河龙羊峡水电站是黄河上游的龙头水电站,是黄河干流上惟一可以进行多年调节的水电站,目前其水库调蓄电量全国第一。其任务以发电为主,兼顾防洪、灌溉等综合利用效益。同时提高了黄河水资源利用率,缓解了下游水量供需矛盾以及增加中游水电站发电量,对黄河流域各省、市的工农业生产发挥了巨大的促进作用。

龙羊峡水电站拦河坝主坝为重力拱坝,最大坝高 178m,总库容 276 亿 m^3 ,调节库容 193.5 m^3 ,电站总装机容量 1280MW,保证出力 599.8MW,多年平均发电量 59.42 亿 $\text{kW}\cdot\text{h}$ 。由于水库大且属龙头水库,可以大大提高下游梯级水电站的保证出力和增加发电量,为西北的开发和全国的电力做出了重大贡献。

电站地处青藏高原,海拔高,气候条件恶劣。坝址位于高地震区,工程地质条件十分复杂,基础处理和坝肩稳定以及近坝库岸大方量高速滑坡涌浪等高难度重大的技术问题都需深入研究解决,西北勘测设计研究院(文中简称西北院)集中了主要技术力量,发挥了科技人员的积极性和创造性,并与大专院校、科研单位、设备制造厂家以及施工单位协作攻关,高质量地完成了勘测设计任务,尤其对这座“挑战性工程的基础处理工程,始终坚持设计密切结合实际的地质条件,将水库、大坝和基础三者统一在一起进行基础处理工程的设计工作,并采用断层深部特殊处理和强化防渗排水措施,成功地解决了“挑战性工程”的挑战性问题——基础处理。在勘测设计过程中,设计龙羊峡 178m 高重力拱坝,在当时为国内最高的拱坝,我国尚未制定混凝土拱坝设计规范,设计人员借鉴类似工程经验和资料,组织技术力量攻关,在复杂基础条件下完成拱坝设计,积累了大量的宝贵经验。从 15 年的大坝观测资料分析证明,大坝和坝基运行正常。

1989 年 4 台机组全部投产发电,2001 年 7 月 12 日顺利通过国家竣工验收,验收评价是“龙羊峡水电站经过 13 年多的初期运行,工作状态正常,设计方案合理、可靠、满足规范要求”。截止到 2001 年 5 月 25 日,已安全发电 546.24 亿 $\text{kW}\cdot\text{h}$,创产值 40.8 亿元(以 1990 年不变价格计),为西北电网的调频、调峰,下游防洪、防凌、灌溉及缓解下游断流发挥了重要作用,是黄河干流其他水电站无法替代的。黄河龙羊峡水电站经过一代人的努力拼搏和刻苦钻研,限于当时国内机电设备和金属结构的设计制造水平,电站许多重大设备均需进行研制,如 32 万 kW 水轮发电机组、高水头大孔口偏心铰弧形闸门研制成功属国内领先水平。为此,将龙羊峡水电站的勘测设计经验进行认真总结是非常必要的,也是有益的。龙羊峡水电站勘测设计技术总结的指导思想是实事求是,按照有重点和少而精的精神进行总结,并结合科学研究成果和施工、制造及运行实践,正确反映龙羊峡水电站设计水平和工程特色。

黄河龙羊峡水电站勘测设计重点技术问题总结第二卷的编撰工作,从开始到定稿 4 年

有余，特别是西北院陈飞、李璦两位已退休的老专家为此付出了艰辛的劳动。西北院前任院长张庆堂同志，现任院长郑合顺同志对此项工作给与了极大关注和支持，借此机会，向他们表示谢意。

现将黄河龙羊峡水电站勘测设计重点技术问题总结第二卷献给有关领导和读者，以期对水电设计、水电建设以及运行管理人员发挥其应有的借鉴作用。总结中不妥之处也在所难免，企盼领导和广大读者赐教指正。

安盛勋

2001 年 9 月 15 日

一

《黄河龙羊峡水电站勘测设计重点技术问题总结》第二卷终于出版了，现在将它奉献给有关领导和读者。

按照最初拟定的计划，黄河龙羊峡勘测设计重点技术问题总结共 50 余项，拟分 2~3 卷陆续出版。由于原勘测设计骨干人员多已退休等原因，现在能出一个两卷集包括 23 个专题的设计总结，已经是一件很不容易的事情。好在这些专题已经大体上涵盖了龙羊峡勘测设计的主要方面，从而也可以说基本上达到了预期目的。

第二卷总结的指导思想仍然是实事求是和力戒泛泛之谈，争取尽可能把龙羊峡水电站勘测设计重点技术问题的情况、特点、设计水平、经验和值得注意的教训展现给读者，争取使每一篇文章都有可读性，以供水电设计、水电建设专家、院校师生阅读。同时也可供黄河上游梯级水电站运行部门和龙羊峡水电站运行人员参考，以期对龙羊峡水电站的安全和经济运行有所裨益。

二

本书由 13 项专题总结及 2 个附件组成。现将各篇主要特点简述如下。

第一篇 龙羊峡水电站坝址勘测工作总结

龙羊峡坝址工程地质条件十分复杂，在这样复杂的坝基修建 178m 的重力拱坝和 247.0 亿 m^3 的大水库，在国内水电建设中是罕见的，国外也较少。

本篇对坝址的工程地质条件、主要工程地质问题，岩石力学研究和地勘工作的经验和教训，作了全面深入的论述和总结。

第二篇 龙羊峡水电站坝区岩体地下水问题总结

本篇论述了坝址水文地质条件，有关专题的科研成果和电站投产后地下水监测成果的分析 and 总结。

第三篇 龙羊峡水电站枢纽总体设计

龙羊峡坝址地形地质条件很复杂，近坝库岸又有方量大，高速滑坡涌浪的潜在威胁，如何一切从龙羊峡的实际条件出发，特别是从坝址的地质背景出发，满足高坝、大库、大型水电站的安全运行要求，显然是难度相当大的工作。

本篇论述总结了龙羊峡坝址和坝型的确定，主、副坝布置、导流、泄水建筑物、发电系统主副厂房等与枢纽布置的协调性，也论述了电站初期运行中出现的实际问题。

第四篇 龙羊峡水电站重力拱坝的基础处理

由于龙羊峡坝址工程地质条件很复杂,龙羊峡大坝基础处理设计的难度也很大。正是由于这一原因,龙羊峡水电站被国外专家称之为“挑战性工程”。

在大量设计、科研、试验工作的基础上,对龙羊峡坝基采用综合处理方案,主要包括断层深部特殊处理和强化防渗排水工程等措施。断层深部特殊处理,采用混凝土洞、塞置换,辅以高中压水泥固结灌浆加固。仅地下传力结构的混凝土工程量即达 7.5 万 m^3 。龙羊峡拱坝坝基处理的复杂性和基础内特殊处理混凝土量是国内拱坝的首位,在世界范围内的拱坝中居第二位。

龙羊峡大坝地力学模型试验表明,坝基处理后的大坝超载破坏安全系数达到了设计要求。15 年运行大坝原型监测资料表明,大坝和坝基未见异常。

本工程是在文革末期封闭锁国和改革开放两种政策经济形势交替时期建造起来的,当时国内百废待兴,又不可能得到外援,对于这座“挑战性工程”的核心问题——基础处理,只能依靠自己(国内)力量摸索前进。设计全过程中,始终坚持设计密切结合实际自然条件、地质和现场施工;将枢纽、大坝和基础处理三者统一到一起全面考虑;对基础处理中的重大技术难题狠抓科学试验(含缺少条件创造条件也要上的试验);结合试验全面开展理论与计算,试验计算互为检验;在上述基础上反复推敲后综合决定问题。最终解决了这座“挑战性工程”的“挑战性问题”——大坝基础处理。十余年初步运行表明,基础处理设计符合实际。对于我们所走过的道路的主点,该篇中有所反映。对于一些本坝使用的原则方法,后期国内主要高或特高拱坝有所采用。

第五篇 龙羊峡水电站泄水建筑物设计及初期运行实践

龙羊峡泄水建筑物设计的难点是:坝址窄深、水头大、流速高,采用坝后厂房,且为满足不同运行阶段不同水位时枢纽的防洪、向下游供水、放空和排沙等需要,泄水建筑物必须分四层设置;同时消能区河流陡转 45° ,正位于宽 100m 的断层带内,两岸高陡、岸坡内又有对稳定不利的构造,使消能设计更为复杂。

本篇着重论述和总结泄水建筑物的布置原则、高速水流的防空蚀措施,下游消能和岸坡防护工程及水工模型试验研究等,对泄水建筑物初期运行中出现的问题也做了初步总结。

第六篇 龙羊峡水电站坝内埋管设计总结

龙羊峡水电站的机组进水口和引水钢管均位于河床坝段内。引水钢管最大直径 7.5m,计入水锤作用后最大内水压力为 171.4m,是 80 年代末期我国 HD 值最大的巨型钢管。1987 年投运后至今运行正常。

本篇论述了龙羊峡钢管的设计,原型观测,国内首例验证探索性仿真理管模型试验,最后作者对坝内埋管的设计方法做了探讨。

第七篇 龙羊峡水电站厂房设计总结

龙羊峡水电站采用坝后全封闭厂房,装机 4 台,共 128 万 kW。总结包括厂房布置和设计的简要论述,国内首次采用的龙羊峡 4 号机组蜗壳——混凝土联合作用薄垫层方案的专题初步总结,并简要论述了运行中出现的主要问题及其处理。

第八篇 龙羊峡水电站重力拱坝坝基灌浆、排水工程设计及某些施工技术问题总结

龙羊峡坝基灌浆排水设计具有鲜明的特色,主要是:主坝坝基采用了强化的防渗排水设计;左坝头副坝坝基 G_4 伟晶岩劈理带出露地段采用了特殊的防渗防裂帷幕,由三排高压水泥灌浆、中间一排环氧化学灌浆和上游一排可塑性较大的“LW”水溶性聚氨脂化学灌浆组成;在断层深部处理中大量采用高压水泥固结灌浆加固断层破碎带(约占近坝基断层深部处理范围高度的 50%)。

本篇论述了龙羊峡坝基的灌浆排水设计和科研试验工作,阐述了现场灌浆试验成果,各项灌浆工程的施工情况与初步质量评估,最后提出一些建议。

第九篇 龙羊峡水电站防洪设计及泄水建筑物规划

龙羊峡水电站防洪设计的特殊性在于:龙羊峡水电站的防洪设计是在黄河上游河段防洪的基础上进行的,充分利用了龙羊峡“龙头”水库的优势;龙、刘(刘家峡水库)两库采用联合防洪调度,龙羊峡水库具有如此巨大的防洪和调洪库容,承担如此复杂的防洪任务,在国内水库中是少见的;采用研制的刘家峡泄洪判别图。

电站的泄水建筑物规划是综合考虑了水库不同运行时期对防洪、发电、灌溉、下游供水、后期导流、排沙及放空各方面的要求后,分四层布置。运行证明是合适的。

本篇论述了黄河上游河段的防洪现状和要求,龙羊峡水电站的防洪设计和泄水建筑物设置、调洪成果、防洪效果和运行检验等。

第十篇 龙羊峡水库下闸与初期蓄水设计总结

龙羊峡水电站的下闸和初期蓄水,涉及面广、控制因素多、如有问题后果严重,在国内水电建设实践中尚无先例以资借鉴。

下闸蓄水期间必须保证下游青海、甘肃、宁夏和内蒙各省(区)1500多万亩引黄农田灌溉用水;必须尽量减少、采用对策妥善解决,因黄河上游刘、盐、八、青四座已建水电站(合计装机容量 196.43kW,约占当时陕甘青宁电网总装机容量的 25%)少发电,对西北电网的影响;必须妥善解决因下闸蓄水,龙羊峡水库断面完全断流 4 个月,对龙羊峡至刘家峡区间沿黄 11.7 万亩耕地的冬灌用水和 10.7 万人生活用水的影响问题。

本篇全面论述了龙羊峡水库下闸和初期蓄水设计,包括主要控制因素的调研和分析,下闸蓄水方案的比选、底孔高程、孔口尺寸的确定和下闸蓄水对策等,并结合下闸和初期蓄水实践进行了总结。

第十一篇 黄河龙羊峡水电站主坝混凝土温度控制及混凝土质量控制总结

龙羊峡大坝位于青藏高原东部,海拔高(大坝建基标高 2435m),属高寒大陆性气候。在这样严酷的气候条件下进行高混凝土坝的施工,国内尚属首次。

为此,西北院在主坝混凝土温度控制和质量控制方面做了大量设计、科研和试验工作,并与施工单位水利水电第四工程局(以后简称水电四局)密切配合,取得了可喜的成绩。1986 年《龙羊峡下闸验收报告》指出,“(主坝混凝土)设计龄期强度保证率 86%~96%,符合设计要求,离差系数 0.12~0.18 均质性较好”,“施工中共发现大坝混凝土裂

缝 229 条, 平均每 1 万 m^3 1.7 条, 较长和较深的裂缝近 40 条, 没有发现贯穿性裂缝。”

本篇重点论述了龙羊峡主坝的混凝土设计, 混凝土的冬季和夏季施工, 温度场分析, 大坝混凝土的裂缝情况、成因及其处理等。

第十二篇 龙羊峡水库初期运行总结

龙羊峡水库是黄河上游的龙头水库, 是黄河干流上惟一可以进行多年调节的水库, 也是目前我国最大的水库。正常蓄水位 2600m, 总库容 276 亿 m^3 。1987 年蓄水发电以来, 已经取得了相当大的发电和综合利用效益。但是由于种种原因, 虽然龙羊峡水电站已经投运了 15 年, 但水库至今仍然处于初期运行阶段 (最高库水位, 1999 年曾蓄至 2581.08m, 相应库容为 179.6 亿 m^3), 且经常处于低水头运行, 不能充分发挥龙羊峡水库巨大的设计发电、灌溉等综合利用效益, 据我们了解, 在国内已建成的同类大型多年调节水库中尚无先例。西北院作为龙羊峡水电站的设计单位, 对此深感关切和焦虑。

本篇论述了龙羊峡水库的运行设计, 结合电站投产后历年黄河龙羊峡来水等情况, 对水库初期运用情况进行了分析研究, 肯定成绩, 总结经验教训, 最后并提出加速完成龙羊峡水库初期蓄水, 尽快蓄至 2600m 转入正常运行的建议。

第十三篇 龙羊峡重力拱坝安全监测综合分析

本篇简要介绍了龙羊峡重力拱坝及基础的观测设计及实施情况, 重点分析了 2001 年 2 月以前不同观测时段的观测资料, 对一些疑点问题进行了初步探讨, 得出的主要结论是:

- (1) 大坝与基础的变形和应力是正常的。
- (2) 基础和坝肩的帷幕防渗效果是好的, 扬压力渗漏量不大。

总体而言, 大坝与基础处于正常工作状态。

鉴于目前水库尚未蓄至正常蓄水位, 有些观测设备尚不完善, 一些疑点问题尚需深入研究解决, 建议进一步加强大坝安全监测工作, 以确保大坝安全运行。

关于两个附件

龙羊峡水电站技施设计后期, 根据上级安排, 1983 年岩石力学专家 L·缪勒、W·特米纳桑及 1984 年意大利 ELC 电力咨询公司专家亚力山大诺·加力柯等曾先后去龙羊峡水电站工地咨询, 并分别提交了正式咨询报告。鉴于这两个咨询报告内容丰富, 因此我们将这两个咨询报告作为本卷附件, 以飨读者。

三

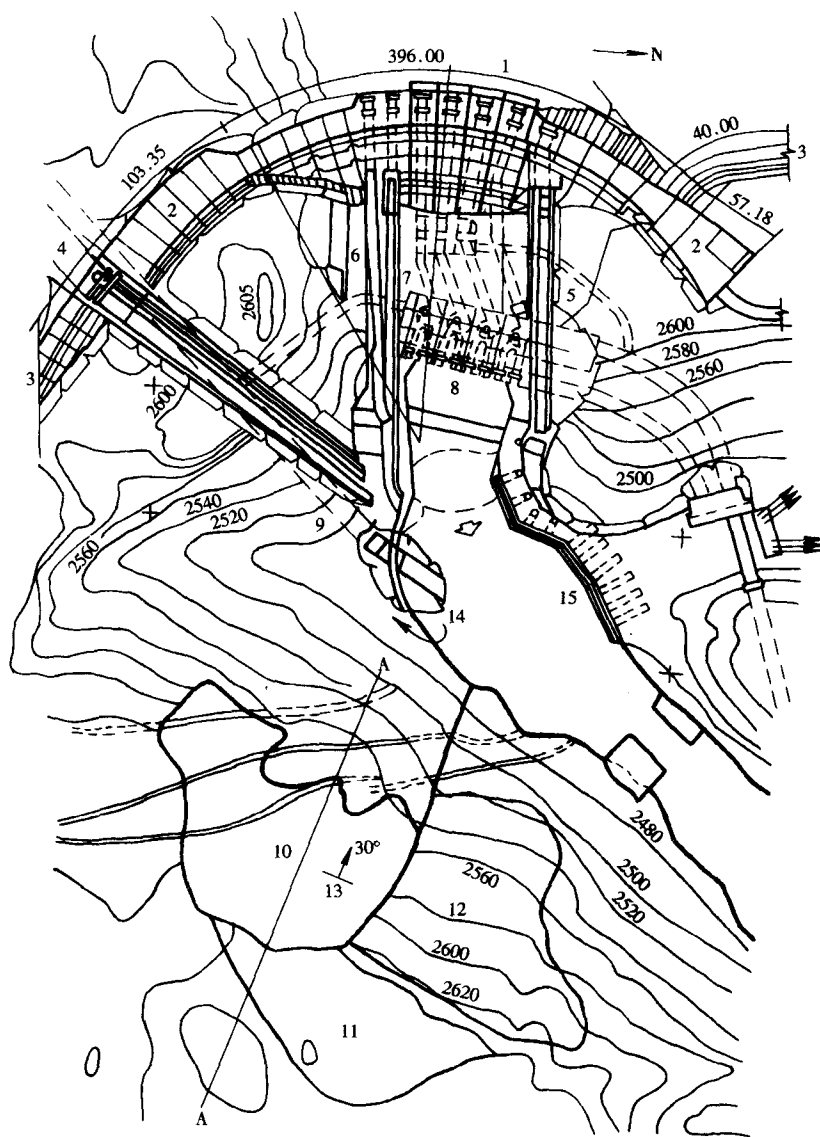
龙羊峡水电站勘测设计重点技术问题总结得到了西北勘测设计研究院历届领导的重视和支持。第二卷各篇专题总结均经现任安盛勋副院长兼总工程师的审阅。

作为编者我们谨借此机会对积极参与并大力支持此书的同志们以最诚挚的、衷心的感谢, 没有这些同志的热情、大力支持, 在目前人事变迁的情况下, 很难完成这一项有益的工作。

由于水平限制, 本卷不当之处在所难免, 敬请各位领导和读者不吝赐教。

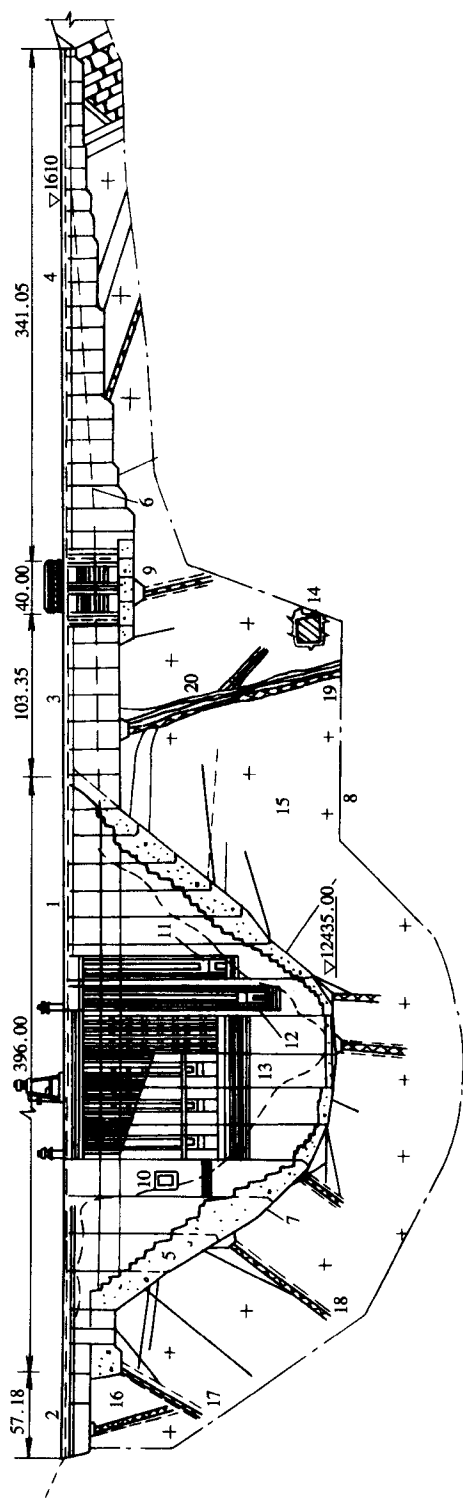
陈 飞 李 瓚

2001.7.23



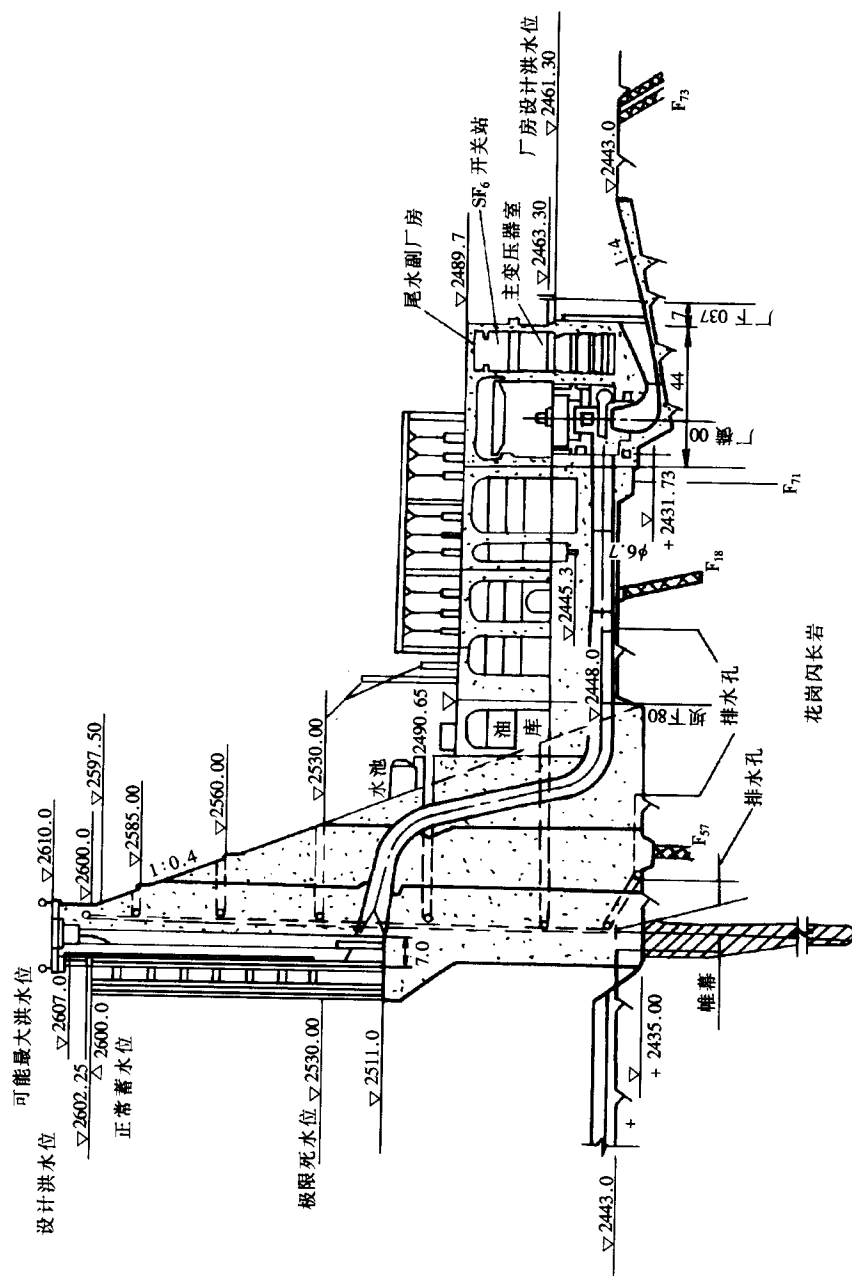
总图 1 龙羊峡水电站枢纽平面布置图 (单位: m)

1—重力拱坝; 2—重力墩; 3—副坝; 4—溢洪道; 5—中孔; 6—深孔; 7—底孔; 8—电站厂房; 9—导流洞; 10—I号塌滑体; 11—II号不稳定岩体; 12—古塌滑体; 13— F_{306} 产状;
14—导流期间回流淘刷; 15—北大山水沟 (F_7) 沟口防冲墙

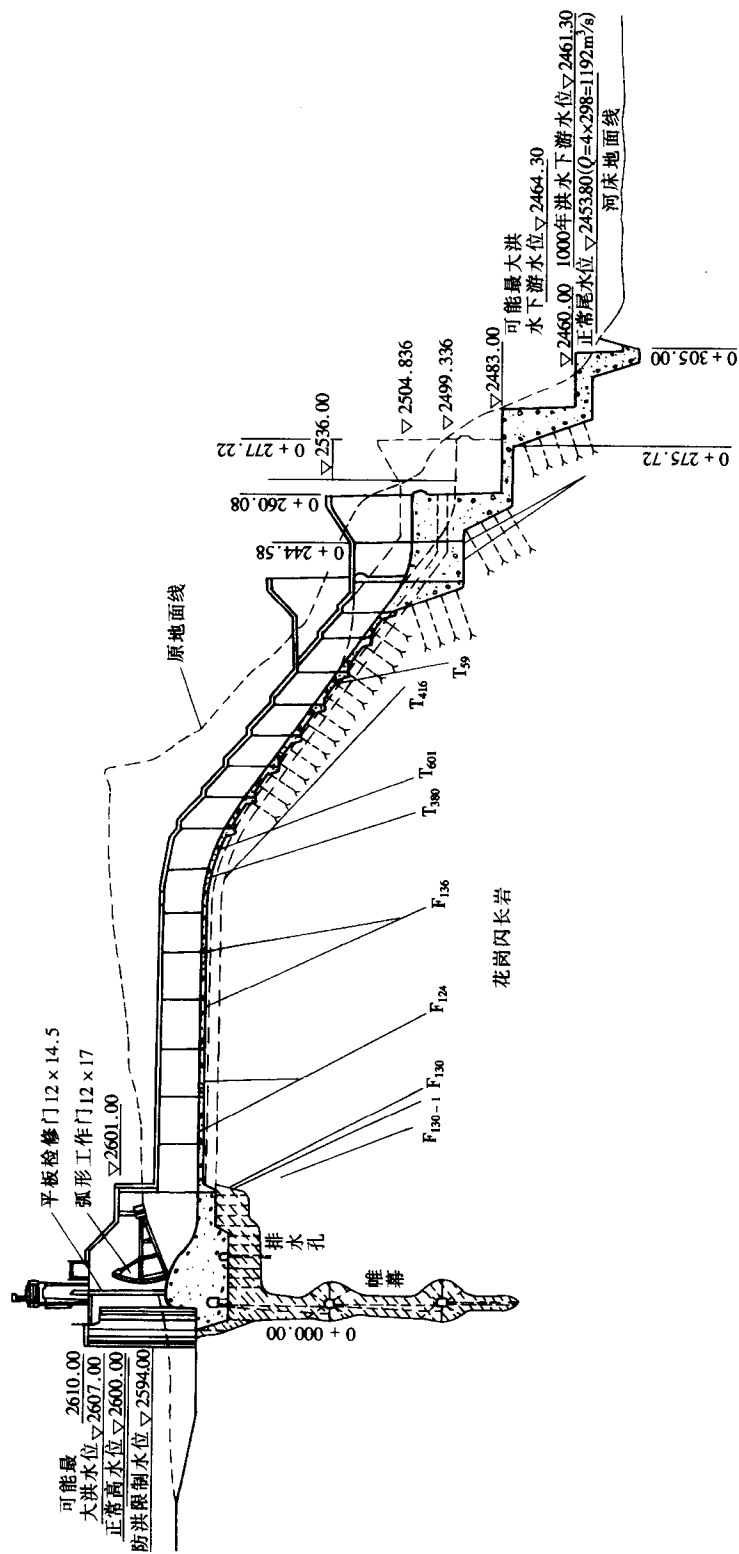


总图 2 上游视图

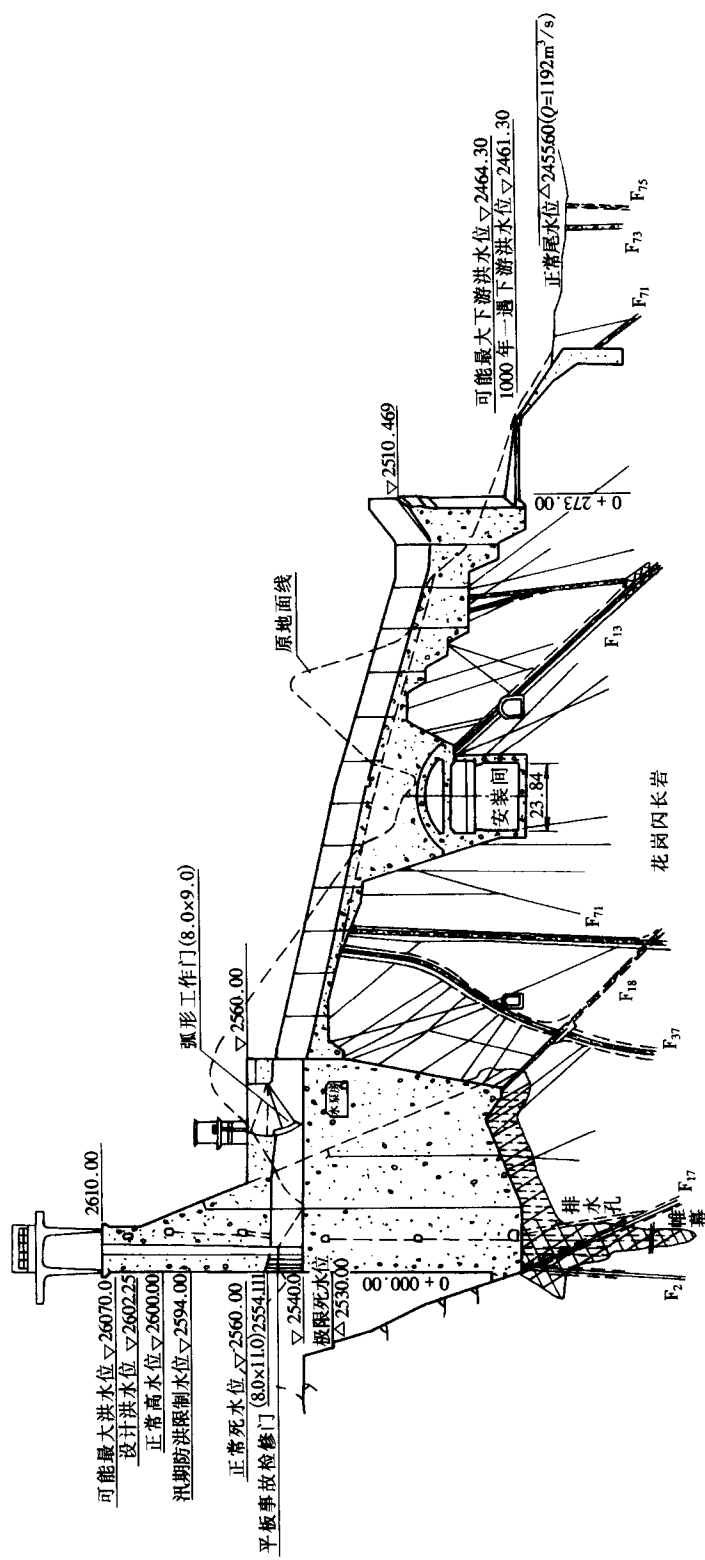
1—重力拱坝；2—左重力墩；3—右重力墩；4—右副坝；5—主坝上游混凝土贴角；6—原地面线；7—坝基开挖线；8—帷幕灌浆范围线；9—溢洪道（21, 12m × 17m，进口底槛高程 2585.5m）；10—中孔（8m × 9m，进口底槛高程 2540m）；11—深孔（5m × 7m，进口底槛高程 2505m）；12—底孔（5m × 7m，进口底槛高程 2480m）；13—机组进水口（7.5m × 8.5m，进口底槛高程 2511.5m）；14—导流洞；15—花岗岩；16—F₁₁；17—F₁₁；18—F₁₁；19—F₁₁；20—A₂



总图 3 沿 2 号机组引水管中心剖面图



总图 4 灌洪道纵剖面图



总图 5 中孔泄水道纵剖面图 (单位: m)

