

黄河黑山峡河段开发 重大工程地质问题研究

● 韩文峰 等 著



科学出版社

www.sciencep.com

黄河黑山峡河段开发 重大工程地质问题研究

韩文峰 等 著

科学出版社

北 京

内 容 简 介

黑山峡地处青藏高原东北缘,是黄河上游尚未开发的重要河段。本书采用大陆动力学和系统工程地质学的观念,以活动断裂带内岩体的地震动力破坏为主线,用大量勘测资料对比了大柳树和小观音两坝址的区域构造稳定性和岩体质量;并从松动岩体和潜在震源区内建高坝大库的地震安全方面系统地研究了黑山峡河段开发中的重大工程地质问题。

本书内容丰富,资料翔实,不仅是有关黄河黑山峡河段开发重大工程地质问题的学术专著,而且提出了岩体地震动力破坏和潜在震源区内重大工程地震安全问题,可供工程地质、岩石力学、地震工程等多学科的科技人员、高校师生和相关部门人士参考。

图书在版编目(CIP)数据

黄河黑山峡河段开发重大工程地质问题研究/韩文峰等著. —北京:科学出版社, 2004

ISBN 7-03-012875-3

I. 黄… II. 韩… III. 河道整治-工程地质-研究-甘肃省
IV. TV882.842

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 007823 号

责任编辑:谢 磊 李 锋/责任校对:包志虹

责任印制:钱玉芬/封面设计:王 浩

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

源海印刷有限责任公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2004年7月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2004年7月第一次印刷 印张:23 1/2 插页:10

印数:1—1 000 字数:534 000

定价:70.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈新欣〉)

前 言

黄河黑山峡河段开发方案论证工作仍在进行,诸多因素促使我们再一次汇集到一起,承担了甘肃省黄河黑山峡工程领导小组办公室委托的“黄河黑山峡河段开发重大工程地质问题研究”课题。10年前,我们在老一辈工程地质学家的指导下进行了大柳树坝址的工程地质研究工作,提出了松动岩体这一工程地质科学新命题,出版了《黄河黑山峡大柳树松动岩体工程地质研究》一书。书中提出:松动岩体是指晚近时期在内外动力地质作用下发生了应力释放、结构面张开、密度显著下降的岩体的定义;同时提出:

(1) 松动岩体是不同于风化岩、断层岩的一类特殊软岩。至今,工程地质学中尚缺乏研究,设计和施工方面也无成功实例和经验。

(2) 低应力和低密度是松动岩体的物理本质;结构面张开是松动岩体主要的宏观地质特征;大范围低波速是松动岩体的地球物理特征;透水性强烈、地下水位低是松动岩体的水文地质特征;遥感影像异常则是松动岩体的电磁波特征。

(3) 大柳树松动岩体是在特殊的地质环境下,新构造时期的逆冲推覆构造和强烈的断裂与地震活动的结果。

(4) 松动岩体的地质特征决定了其特殊的工程特性,因之,在大柳树坝址修建高土石坝不仅区域构造稳定性差,而且存在地下洞室围岩稳定,施工期与运行阶段边坡稳定、渗漏、渗透稳定与防渗体稳定等一系列重大工程地质问题。这些工程地质问题受区域断裂活动和松动岩体双重制约,不仅评价困难,而且处理难度很大。

总的说来,从工程地质方面看,大柳树松动岩体上建高坝具有技术上高难度、经济上高投入、安全上难保证、决策上高风险等四大特点。

在过去10年中,黑山峡两坝址的勘测设计和科研工作一直未间断,我们中的部分同志还进行了小观音坝址工程地质研究,先后出版了《黄河黑山峡小观音坝址工程地质研究》和《区域稳定动力学研究——黄河黑山峡大型水电工程例析》两本专著,并发表了多篇论文。特别是天津水利水电勘测设计研究院在大柳树坝址施工了两条贯穿右岸山梁的平硐(346硐长711.75 m,360硐长1229 m),进行了两次灌浆试验和大量物探测试,对坝址区岩体的地质特征和工程特性有了进一步的揭示。其间两省(区)地质部门完成了沿本段黄河的1:50 000区域地质测绘,地震局系统的学者继续开展了中卫—同心活动断裂带的研究,取得了一批新资料。上述诸方面为进一步的科研提供了基本条件。期间,也有来自高层专家的声音,“大柳树坝址位于区域构造活动强烈地区中相对稳定地段,地震烈度主要是受外围地区的强震影响,坝址范围内无近代活动断层,坝区岩体完整性较差,但主要是在变质砂岩与板岩、千枚岩互层地段,岩层破碎程度在山体风化带内较强,而随深度逐渐加大破碎程度显著减弱,除局部上部岩层有倾倒现象外,不存在大范围松动岩体。”

深入认识黑山峡两坝址的工程地质条件及其成因机制,为国家进行河段开发方案决

策提供科学依据是本研究的出发点和归宿。本次研究的突出特点是,科研与生产紧密结合,科研人员与工程技术人员共同工作,同时提交勘测报告和科研报告;前者供设计使用,后者阐述科学问题;前者回答怎样做,后者回答为什么。值得欣慰的是,前次科研关于大柳树松动岩体的认识经受住了实践的检验,通过这一阶段工作又有所深化。本研究取得的成果简要概述如下:

(1) 区域构造稳定性和大范围松动岩体是黑山峡河段一级开发方案选择中控制枢纽可行性的重大地质问题,对之应实事求是地作出科学回答。

(2) 丰富详实的资料,全面系统的分析对比结果表明,黑山峡两坝址岩体质量有重大差别,小观音坝址为正常岩体,大柳树坝址为松动岩体。

(3) 新勘测资料和广泛调研对比表明,大柳树松动岩体是客观存在的,上至米粮营坝址,东到烟洞梁,松动岩体发育范围远大于大柳树坝址。深入分析研究表征河床区岩体特征的各种资料,表明河床区岩体有轻微松动,灌浆试验每米注入水泥量达 100~200 kg,而岩体质量无明显提高就是例证。

(4) 松动岩体的渗透性决定了大柳树高坝不仅渗漏问题特别严重,同时两次灌浆试验成果表明,防渗工程量大,施工难度大,防渗体稳定问题难以解决。

(5) 综合分析强震区岩体破坏调研资料、物理模型试验和数字模拟结果表明,地震是形成大柳树松动岩体的主要动力,具有极大的不均匀性是岩体动力破坏的基本特征,这对松动岩体的工程评价和加固处理提出了新挑战。

(6) 潜在震源区是未来可能发生破坏性地震的震源所在地区或极震区,区内地震破坏是直下型。位于两活动断层夹持的无根楔形块体上,地处震级上限达 8 级的潜在震源区内是大柳树高坝地震安全性的根本问题。大柳树水利枢纽未来的地震危险是直下型,不但有很高的水平加速度,而且竖直加速度也会很大,目前设计中采用的加速度太小。同时,对比强烈地震极震区断裂破坏实例和模型试验与理论分析结果,均表明大柳树高坝工程抗断风险是客观存在的。

(7) 水库诱发地震、场地地震活动参数和地震地质灾害是高坝大库地震危害性分析的重要方面,大柳树坝址对之必须进行专题研究评价。

(8) 河段开发效益评价,必须优先考虑工程的安全风险。大柳树高坝大库工程安全受直下型强烈地震、松动岩体及与它们相关的次生灾害共同控制,还需正视坝址下游是人口众多、经济发达的卫宁平原及河套平原。

本项成果是集体研究获得的,参加课题研究的单位有:兰州大学、天津城市建设学院、长安大学、成都理工大学、国家电力公司西北勘测设计院工程勘察研究院。

课题负责人:韩文峰、吕生弟、杜东菊、刘汉超、彭建兵、谌文武、刘昌

课题主要研究成员:

兰州大学:韩文峰 谌文武 梁收运 刘 高 梁庆国 李雪峰 刘小伟 李德武
赵海英 王银梅 杨重存 曹东盛 孙冠平 张 颖 丁 亮 蒋建军

天津城市建设学院:杜东菊 郭进京 胡建平 柴寿喜 刘保善 周长青 宋 畅
韩文峰

长安大学:彭建兵 门玉明 毛彦龙 马润勇 王永智 段联合 李寻昌 周立新
姚瑞卿

成都理工大学: 刘汉超 柴贺军 石豫川 柴军瑞 金仁祥 胡 谨 冯文凯
葛 华 胥 良

国家电力公司西北勘测设计院工程勘察研究院: 万宗礼 庆祖荫 吕生弟 张应海
刘 昌 曹 曦 许济法 杨 桢 郭占东 于国平 李少平 杨 贤
李光远 柯玉军 李 洪 李平宏 赵安宁 杨一峰 祁增云 陈 立
方少荣 于建滨 何勇红 刘润福 石永玉

本书是在课题总结各专题研究报告基础上分别执笔编写的, 各章执笔者是: 第一章韩文峰、刘昌; 第二章韩文峰、梁收运、郭进京、门玉明; 第三章刘高、李雪峰、曹曦; 第四章梁收运、韩文峰、李雪峰、刘昌; 第五章谌文武、刘汉超、柴寿喜、柴贺军; 第六章韩文峰、梁庆国、杜东菊; 第七章韩文峰、彭建兵、马润勇; 第八章韩文峰、刘昌。最后由韩文峰、刘昌、刘高统稿, 张咸恭、张倬元和王士天审阅。

本项研究是甘肃省黄河黑山峡工程领导小组办公室委托兰州大学负责组织的, 研究工作始终得到甘肃省人民政府、计委和电力公司有关领导、特别是省政府顾问李文治教授级高级工程师、邵克文主任、刘肇绍总经理、陈晓伦副总经理、周济德主任等同志的关心和大力支持。研究工作还得到了甘肃省黑山峡工程专家组的支持。中国科学院兰州寒区旱区环境与工程研究所冻土工程国家重点实验室协助完成了电导率测试, 国土资源部遥感中心承担了大比例尺遥感影像图制作, 兰州地震工程院周俊喜研究员、杨斌研究员同课题组进行了很好的合作。我们感谢课题参加单位的有关领导, 特别是国家电力公司西北勘测设计院的郑合顺院长和安盛勋副院长的支持。在此, 我们向曾给予本次研究关心、支持和帮助的所有单位和有关同志表示衷心的感谢。

韩文峰
2004 年 2 月

目 录

前 言

第 1 章 黄河黑山峡河段工程地质勘察研究简况	1
1.1 黄河黑山峡河段开发方式论证历史沿革	1
1.1.1 黄河黑山峡概况	1
1.1.2 黑山峡河段开发任务与开发方案	1
1.1.3 黑山峡河段开发方案论证历史沿革	6
1.2 小观音坝址工程地质	9
1.2.1 工程地质勘察	10
1.2.2 工程地质研究	10
1.2.3 工程地质条件概要	11
1.3 大柳树坝址工程地质	14
1.3.1 工程地质勘察	14
1.3.2 工程地质科研	15
1.3.3 工程地质条件概要	16
1.4 黑山峡河段开发方式论证的焦点与重大地质问题	17
1.4.1 黑山峡河段开发方式争论的焦点	17
1.4.2 对大柳树坝址地质问题的不同认识	20
1.4.3 黑山峡河段开发方式论证中的重大地质问题	25
参考文献	25
第 2 章 小观音和大柳树两坝址区域构造稳定性对比	27
2.1 大型水利水电工程区域构造稳定性研究概述	27
2.1.1 引言	27
2.1.2 区域构造稳定性研究内容	27
2.1.3 黑山峡两坝址区域构造稳定性研究概况	30
2.2 黑山峡河段区域构造背景	32
2.2.1 黑山峡河段区域构造背景	33
2.2.2 小观音坝址外围区域构造稳定性环境	36
2.2.3 大柳树坝址外围区域构造稳定性环境	36
2.3 小观音坝址区域构造稳定性	41
2.3.1 小观音坝址区域构造特征	41
2.3.2 小观音坝址区域断层活动性	45
2.4 黑山峡出口段第四纪地质	46
2.4.1 南山台子第四纪地层划分	46
2.4.2 孟家湾-供水二所之间洪积台地形成时代	47

2.4.3 黄河阶地的划分及时代确定	47
2.5 大柳树坝址区域构造稳定性	53
2.5.1 古浪-中卫-同心活动逆冲推覆断裂带结构	53
2.5.2 大柳树坝址区域断层活动性	56
2.6 小观音和大柳树两坝址区域构造稳定性对比	72
2.6.1 小观音和大柳树两坝址区域构造稳定性对比	72
2.6.2 小浪底与大柳树两坝址区域构造稳定性对比	74
参考文献	87
第3章 小观音和大柳树两坝址岩体质量对比	90
3.1 概述	90
3.1.1 水电工程岩体质量评价	90
3.1.2 两坝址岩体质量对比可行性	91
3.1.3 岩体质量对比的原则和方法	91
3.2 大柳树坝址的岩体质量	92
3.2.1 岩体结构	93
3.2.2 岩体弹性波特征	103
3.2.3 岩体变形性质	112
3.2.4 工程岩体分级与地下洞室围岩分类	113
3.3 小观音坝址的岩体质量	118
3.3.1 岩体结构	118
3.3.2 岩体弹性波特征	120
3.3.3 岩体变形性质	125
3.3.4 工程岩体分级与地下洞室围岩分类	125
3.4 大柳树与小观音两坝址的岩体质量对比	127
3.4.1 勘探平硐宏观变形破坏特征	127
3.4.2 两坝址岩体质量统计资料比较	130
3.4.3 大柳树与小浪底岩体质量对比	135
3.5 结语	137
参考文献	137
第4章 大柳树松动岩体的区域分布	139
4.1 大柳树松动岩体特征	139
4.1.1 大柳树松动岩体的提出	139
4.1.2 大柳树松动岩体的基本特征	141
4.1.3 对大柳树松动岩体的再认识	142
4.2 大柳树坝址区松动岩体分布	150
4.2.1 大柳树枢纽区左岸的松动岩体分布	150
4.2.2 大柳树枢纽区右岸的松动岩体分布	151
4.2.3 大柳树枢纽河床区的岩体松动情况	152

4.2.4 大柳树坝址Ⅳ线、Ⅵ线两岸的松动岩体	157
4.3 米粮营坝址的松动岩体	157
4.3.1 米粮营坝址工程地质条件概要	159
4.3.2 米粮营坝址岩体松动特征	161
4.3.3 松动岩体分布范围	164
4.4 烟洞梁地裂缝与松动岩体	164
4.4.1 烟洞梁地裂缝的基本特征	164
4.4.2 烟洞梁北侧采空区电阻率测试	169
4.4.3 地裂缝成因简要分析	172
4.4.4 烟洞梁地裂缝研究的启示	173
4.5 大柳树松动岩体的区域分布特点	173
4.5.1 松动岩体区域分布的判别标志	173
4.5.2 大柳树松动岩体分布特点	174
4.5.3 大柳树松动岩体分布与其成因	174
参考文献	175
第5章 大柳树松动岩体的渗透特性	177
5.1 大柳树坝址水文地质	177
5.1.1 水文地质	177
5.1.2 钻孔压水试验	179
5.2 灌浆试验	180
5.2.1 1#场地灌浆试验	180
5.2.2 2#场地灌浆试验	188
5.2.3 灌浆试验的启示	191
5.2.4 松动岩体的渗透性评价	192
5.3 松动岩体中软弱层带的渗透特性	193
5.3.1 软弱层带的分布规律与特征	193
5.3.2 室内渗透试验	193
5.3.3 软弱层带渗透变形的产生条件	195
5.3.4 软弱层带渗透变形临界水力坡降	196
5.3.5 软弱层带的渗透特性评价	196
5.4 大柳树高坝渗漏问题分析	197
5.4.1 概述	197
5.4.2 坝基渗漏条件分析及计算	198
5.4.3 右岸绕坝渗漏条件分析及计算	199
5.4.4 右岸邻谷渗漏条件分析及计算	199
5.5 大柳树高坝渗流数值模拟	201
5.5.1 渗流分析模型及有限元数值计算	201
5.5.2 渗流有限差分数值模拟计算	205
5.6 大柳树坝区渗流场与应力场耦合分析	208

5.6.1 渗流与应力的相互作用关系	209
5.6.2 渗流场与应力场耦合分析的数学模型	209
5.6.3 计算结果与分析	209
5.7 大柳树高坝方案渗透和渗漏问题探讨	214
5.7.1 灌浆试验成果简析	214
5.7.2 渗漏问题分析	218
参考文献	219
第6章 强烈地震极震区岩土体破坏与地震动特征	220
6.1 引言	220
6.2 强烈地震极震区的岩土体破坏	222
6.2.1 典型震例	223
6.2.2 强烈地震极震区现场考察	239
6.2.3 强烈地震极震区岩体破坏特点及影响因素	246
6.3 强烈地震极震区地震动实例	249
6.3.1 概述	249
6.3.2 典型地震震例简介	251
6.3.3 脉冲型近场地震动记录	264
6.4 强烈地震极震区的竖向地震作用与震害	266
6.4.1 极震区的竖向地震作用现象	266
6.4.2 竖向地震动记录及相关研究	268
6.4.3 竖向地震分量的衰减关系	271
6.5 强烈地震极震区的地震动特征	272
6.5.1 极震区与近场	272
6.5.2 强烈地震极震区内的地震动特征	274
6.5.3 极震区地震动的影响因素	275
6.6 强烈地震极震区的地下工程震害	276
6.6.1 通过活断层的隧道破坏	277
6.6.2 唐山地震开滦煤矿震害	278
6.6.3 地下结构的地震动动力响应	280
参考文献	280
第7章 大柳树松动岩体的成因机制探讨	285
7.1 对大柳树松动岩体的认识	285
7.1.1 松动岩体定义与岩体松动的物理本质	285
7.1.2 关于大柳树坝址不存在大范围松动岩体的认识	286
7.1.3 关于大柳树坝址不存在大范围松动岩体认识中的问题	287
7.2 大柳树松动岩体成因的地质分析	288
7.2.1 大柳树坝址的特殊地质现象	288
7.2.2 现代强震区岩体破坏与松动	299
7.3 大柳树松动岩体成因机制探讨	299

7.3.1 适宜的岩体介质	299
7.3.2 强大的地震动力	300
7.3.3 有利的环境条件	300
7.3.4 表生加剧作用	301
7.4 地震动力作用下的岩体松动机理	301
7.4.1 地震波对岩体作用的基本特点	301
7.4.2 地震压缩波作用下岩体结构的松动	302
7.4.3 地震剪切波作用下岩体结构的松动	303
7.4.4 自由边界效应	303
7.4.5 多期次地震松动作用	304
7.5 地震动力作用机制物理模拟	304
7.5.1 模型建立	304
7.5.2 模型试验结果	305
7.5.3 试验成果分析	308
7.6 地震动力作用机制三维有限元动力模拟计算	308
7.6.1 有限元模型及计算参数	308
7.6.2 计算结果及分析	309
参考文献	313
第8章 大柳树建高坝大库的安全问题	315
8.1 从地震危险性到地震危害性——大柳树高坝的地震安全问题	315
8.1.1 黑山峡河段开发论证早期的地震安全问题	315
8.1.2 黑山峡地震安全评价中的关键问题	316
8.1.3 从地震危险性到地震危害性	318
8.2 潜在震源区内建高坝大库的安全风险	319
8.2.1 引言	319
8.2.2 潜在震源区的基本概念	319
8.2.3 大柳树坝址潜在震源区的特征	320
8.2.4 直下型地震破坏的启示	321
8.3 大柳树坝址的工程抗断问题	321
8.3.1 大型水利枢纽工程抗断问题简述	321
8.3.2 对大柳树坝址工程抗断问题的研究现状	325
8.3.3 抗断问题的光弹试验	327
8.3.4 抗断问题的平面应变有限元模拟	330
8.3.5 抗断问题的三维动力有限元数值模拟	336
8.3.6 结论	340
8.4 大柳树坝址的水库诱发地震与地震地质灾害	340
8.4.1 大柳树高坝的水库诱发地震问题	340
8.4.2 大柳树坝址的场地地震动参数	342
8.4.3 大柳树坝址的地震地质灾害	342

8.5 大柳树松动岩体与枢纽工程的安全	345
8.5.1 问题的提出	345
8.5.2 美国提堂 (Teton) 坝失事的经验教训	346
8.5.3 美国方坦奈耳 (Fontenelle) 坝渗透破坏的经验教训	350
8.5.4 大柳树高坝坝基防渗工程稳定性问题	353
8.5.5 地震作用下的近坝边坡稳定问题	356
参考文献	357
从“人定胜天”到可持续发展 (代结语)	358
图 版	

第 1 章 黄河黑山峡河段工程

地质勘察研究简况

1.1 黄河黑山峡河段开发方式论证历史沿革

1.1.1 黄河黑山峡概况

黄河黑山峡河段自甘肃省靖远县大庙村入峡，至宁夏回族自治区中卫县小湾村出峡，峡谷全长 71km。按行政区划，黑山峡分属甘肃省和宁夏回族自治区。内蒙古自治区托克托县的河口镇以上的黄河被称为黄河上游河段，黑山峡属黄河上游下段。黄河发源于青海省的巴颜喀拉山北麓，沿途汇集了众多支流，通过共和盆地到龙羊峡水库，黄河已长达 1 666.0km。黄河龙羊峡—青铜峡河段峡谷与盆地相间，纳隆务河、大夏河、洮河、湟水和祖厉河等主要支流，水量丰沛，落差集中，加之交通便利，区内经济发达，是我国重点开发的水电基地之一。该河段规划有 25 座梯级电站，现已建成的有龙羊峡、李家峡、刘家峡、盐锅峡、八盘峡、大峡、青铜峡七座水利枢纽，正在施工的有拉西瓦、尼那、直岗拉卡、康扬、公伯峡、小峡、沙坡头七座水电站，黑山峡河段是黄河上游开发条件较优越而尚未开发的重要河段（图 1-1、1-2）。

1.1.2 黑山峡河段开发任务与开发方案

1. 黑山峡河段开发任务

在黄河全流域开发治理总体规划中，黄河干流布置了七座控制性调节水库，即龙羊峡、刘家峡、黑山峡（指小观音或大柳树高坝）、碛口、古贤、三门峡和小浪底，形成比较完整的综合利用骨干工程体系。七大水库的开发任务各有侧重，但又相辅相成，都有较大的综合利用效益，是全河水沙调控体系的重要组成部分。现已建成龙羊峡、刘家峡、三门峡和小浪底四座大型水利枢纽，为黄河安澜，流域和国家的经济发展做出了巨大贡献。

黑山峡地处黄河龙—青段下段，更靠近黄河上游地区主要农业灌溉用水的宁蒙灌区和黄河上游宁蒙防凌河段。黑山峡水库建成后，可以更好地满足下游灌溉用水要求和宁蒙河段凌汛期控制泄水量的要求，更好地解决上游梯级发电和下游综合利用对水量要求不一致的矛盾，改善黄河上游梯级水电站的发电运行方式。黑山峡河段的开发具有承上启下和反调节功能的特殊重要性。根据流域规划和龙—青段总体规划要求，黑山峡河段的开发任务为：供水、灌溉、防洪、防凌、发电等综合利用效益。需要说明的是，在不同的历史时期、不同的部门和省区所阐述的本河段的开发任务曾有一定的差别，但无实质区别。

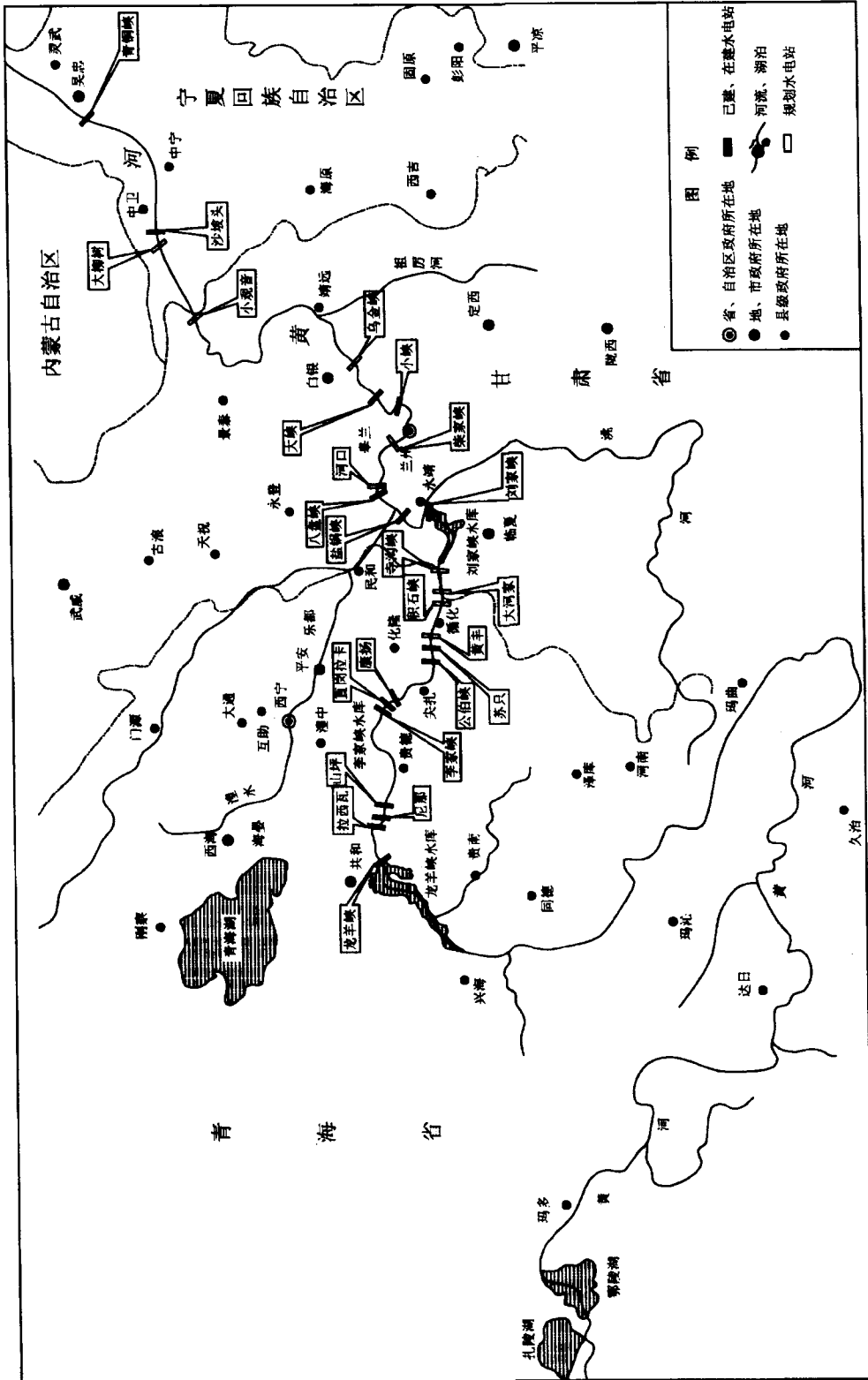


图 1-1 黄河龙羊峡至青铜峡河段梯级水电站布置示意图

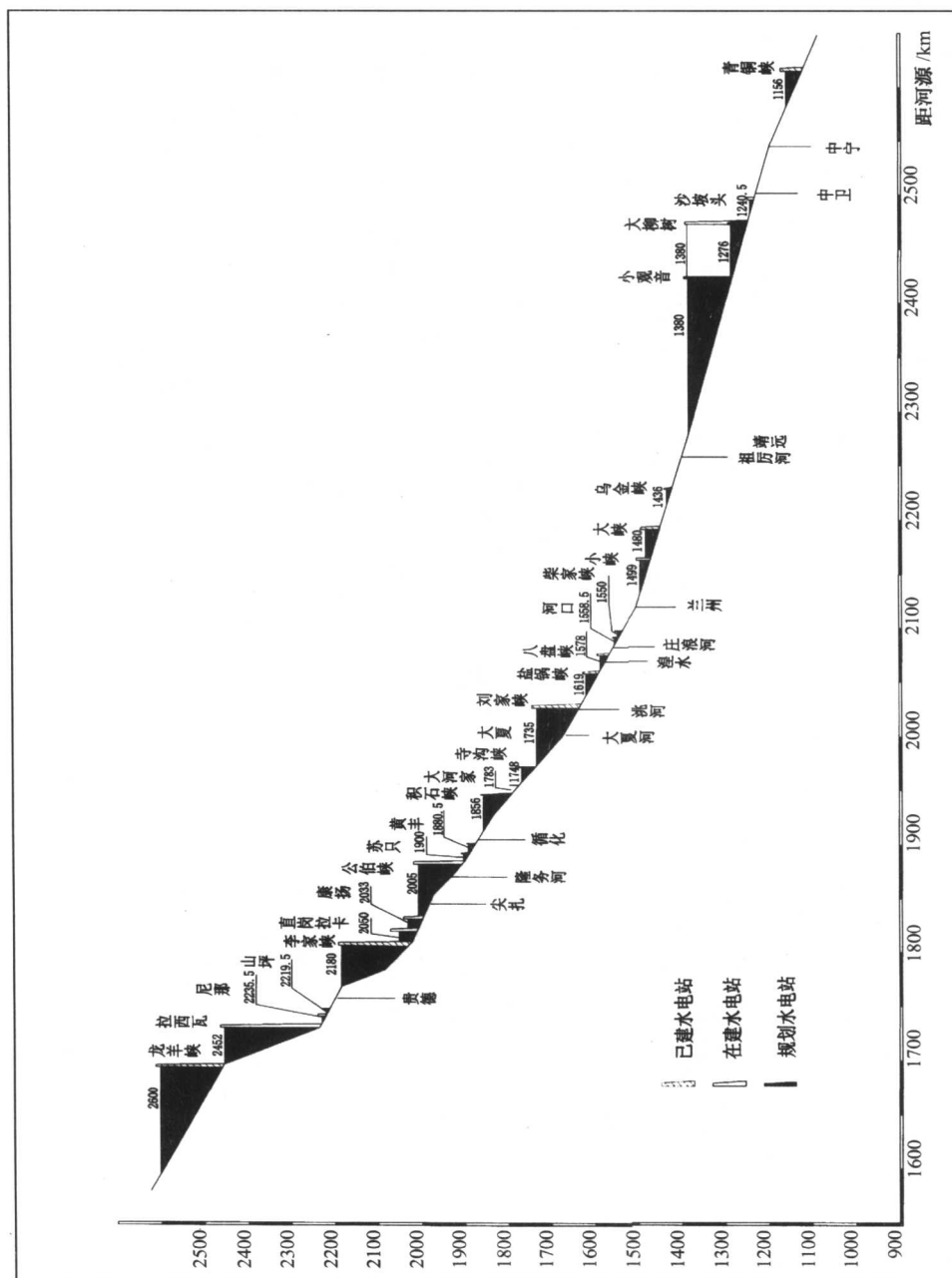
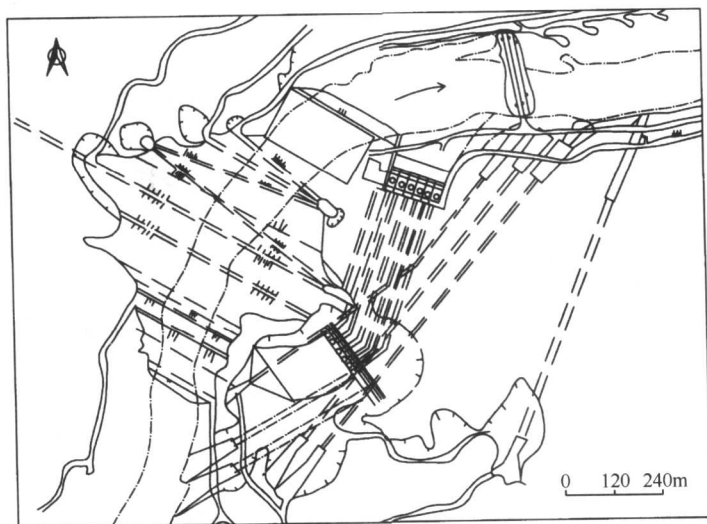


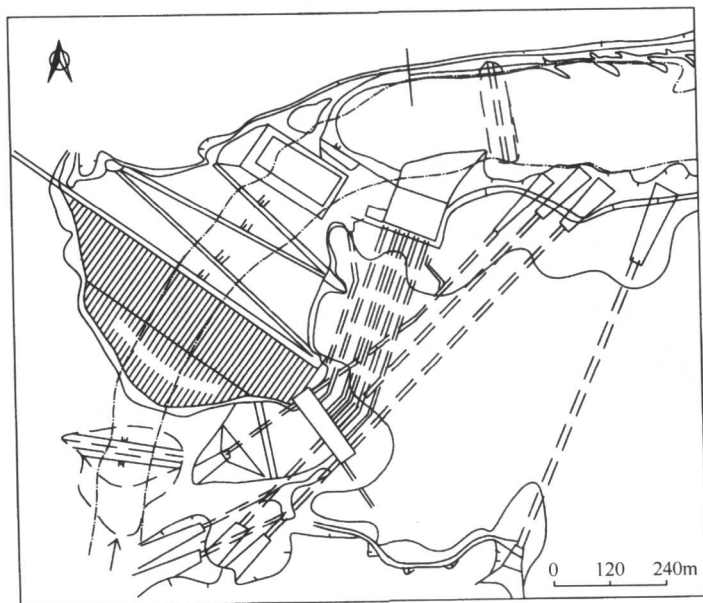
图 1-2 黄河龙羊峡至青铜峡河段梯级纵剖面图

2. 黑山峡河段开发方案

国家发展计划委员会在 2001 年 12 月委托中国国际工程咨询公司对黄河黑山峡河段开发方案进行研究论证, 指出“由于种种原因, 黑山峡河段具体开发方案至今仍未确定”。综合近 50 年的勘测、设计、论证、讨论和评审成果, 黑山峡河段开发方案最后集中于一级开发和二级开发方案的比较。两个开发方案的工程概况简介如下。



(a) 黏土心墙堆石坝



(b) 砼面板堆石坝

图 1-3 大柳树高坝枢纽布置图

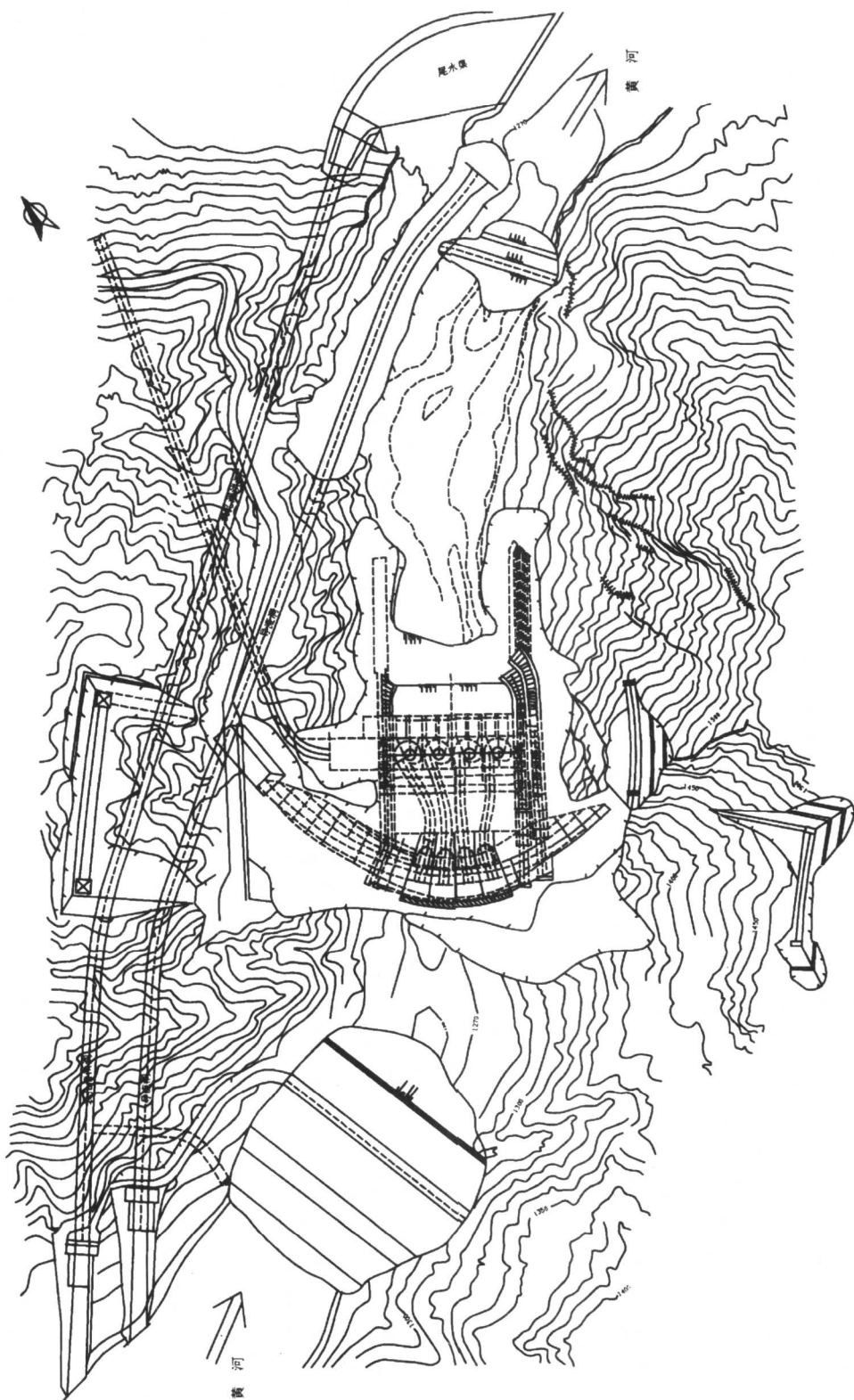


图 1-4 小观音水电站水工布置图