

国家自然科学基金

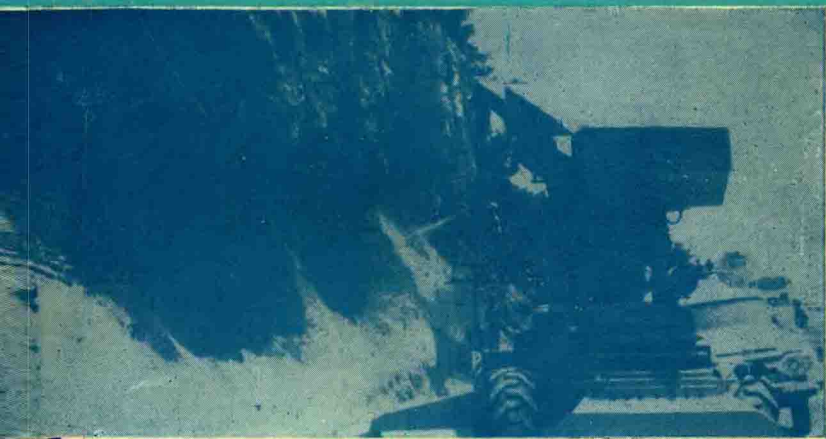
“八·五”重点项目

典型人类工程活动与 地质环境相互作用研究

(一)

张倬元 主编

STUDY ON
INTERACTION
OF
ENGINEERING
ACTIVITIES
AND
GEOLOGICAL
ENVIRONMENT



西南交通大学出版社

国家自然科学基金“八·五”重点项目

典型人类工程活动与地质环境相互作用研究

(一)

主 编 张倬元
副主编 黄润秋

西南交通大学出版社

(川)新登字 018 号

内 容 提 要

本文集是国家自然科学基金“八·五”重点项目——典型人类工程活动与地质环境相互作用研究的系列出版物之一。

本分册共收集了四个典型研究实例,主要论述了地下开采、大型地表开挖、铁路隧道开挖及地表工程中人类工程活动与地质环境的相互作用机制、效应及其预测评价方法。这些典型实例研究都是建立在扎实的原型工程地质研究基础上的,既有方法、手段的探讨,又有理论的总结与归纳,同时还解决了诸多的重大工程实际问题,具有一定的普遍意义与推广价值。

全书近 30 万字,可供能源、冶金、交通、地质、环境等部门从事有关工作的技术人员参考,亦可作为高等院校教师及研究生的参考书。

典型人类工程活动与地质环境相互作用研究(一)

张倬元 黄润秋 主编

责任编辑 李太熙 扬 怡

西南交通大学出版社出版发行

(成都 九里堤)

成都理工学院印刷厂印刷

16 开本 787×1092 1/16 印张 11.375 插页 2

字数 261 千字 印数 1—500 册

1994 年 9 月第 1 版 1994 年 9 月第 1 次印刷

ISBN 7-81022-725-4/P·018

定价: 7.80 元

国家自然科学基金“八·五”重点项目

典型人类工程活动与地质环境相互作用研究

成都理工学院课题组文集出版编委会成员

主 编：张倬元

副主编：黄润秋

编 委：王士天

王兰生 孔德坊

刘汉超

聂德新 蒋爵光

编 辑：李太熙

Chief Editor: Zhang Zhuoyuan

Deputy Editor: Huang Runqiu

大力加强人类工程活动与地质环境 互馈作用机理及对策研究(代序)

张倬元 黄润秋

(成都理工学院)

人类赖以生存的地球表层是一个由岩石圈表层及包围它的大气圈、水圈、生物圈组成的复杂动态体系。这些圈层相互渗透与交织,相互联系与作用,构成了人类生存与发展的总体环境。四个圈层任意一、二个圈层的变异,均将造成总体环境平衡状态的破坏,从而导致环境的变化,乃至恶化,不同程度地威胁着人类生存与发展。

今天,人类工程活动已成为地球表层的特别活跃的因素与力量,其活力与影响与日剧增。据世界范围内不完全统计,人类每年约消耗 500 亿吨矿产资源,已超过大洋中脊每年新生成的岩石圈物质约为 300 亿吨的数量,更大大高于河流每年搬运物质约 165 亿吨的数量;人类建筑工程面积已覆盖地球陆地面积的 6~8% 左右,到 2000 年可达到 15%;人类作用的垂直空间亦显著增大,从过去的 2000~3000m,增加到今天的 6000—7000m,甚至可达万米左右。今天,地面建筑高度已在 300—400m 以上,地下开挖深度已超过 1000m,最高人工边坡已达 600m,最大人工水库已超过 1500 亿立方米。就我国而言,已建成 8 万余座水电站、近 6 万公里的铁路和百万公里的公路、200 余座金属矿山、500 多座大型煤矿。大型工程活动数量之多,规模之大,速度之快,波及面之广,举世瞩目。这集中反映出一个最基本事实:即人类作用已成为与自然作用并驾齐驱的营力;某些方面,如人工开挖与堆填速度已超过自然地质作用的速度,在当今全球变化中起着巨大的作用,成为影响环境的重要力量。

自 70 年代以来,正是由于人类活动的迅速增强,环境已成为当今世界所面临的三大问题(人口、资源、环境)之一。问题的表现是,环境质量下降;总体环境趋向脆弱;环境恶化加速,从而导至灾害屡屡发生,强度与频率增大,人类辛辛苦苦所创造的财富蒙受损失。据统计,发展中国家每年由地质环境恶化和地质灾害所造成的经济损失,达到国民生产总值的 5% 以上。为此,世界各国都集中了大量的科学家,探索解决这些问题的途径与方法。联合国 1992 年在巴西里约热内召开了有世界 2/3 以上国家首脑参加的世界环发会议,其目的也是想通过各国政府的行为,协调人类发展与环境的关系;会后,签署了著名的“里约热内卢”宣言。联合国减灾署则更在此之前就组织制定了国际减灾十年规划(IDNDR)。在影响人类社会所面临的主要问题中,环境问题是根本的,而灾害通常与环境又是联系在一起的。我国政府对环境与灾害问题历来高度重视,政府从多种渠道支持和鼓励科学家从事有关方面的科学研究,并投巨资对灾害进行防治处理和灾后的救助恢复工作。

在我国灾害及其所导致的环境问题中,据估计由地质灾害造成的损失约占整个灾害损失的 35%,而这其中,崩塌、滑坡、泥石流及人类工程活动诱发的浅表生地质灾害所造成的损失约占 55%。这些灾害的一次性规模虽小于地震,但其发生频度和涉及范围则远远高于

和广于地震,一年总的损失约 200 个亿。而这些损失绝大部分又集中在中国西南西北的山区,即从青藏高原向云贵高原和从云贵高原向长江中下游平原过渡的两个大陆坡度带范围内。仅 80 年代以来,这一地区所发生的一次性伤亡人数在 200 人以上或直接经济损失在千万元以上的灾难性崩滑事件就达十余起(如 1980 年盐池河岩崩、1981 年长江鸡扒子滑坡、1983 年洒勒山滑坡、1984 年新滩滑坡、1985 年巫溪滑坡、1987 年白沙滑坡、1989 年溪口滑坡、1992 年昭通滑坡、1994 年乌江鸡冠岭滑坡等)。仅这些灾害所造成的人民生命损失已超过千人,直接经济损失近亿元,事后善后处理及整治费用则高达近十亿元,而由于灾害对社会所带来的影响(如中断水、陆路交通)所产生的间接损失则更是无法估量。自然地质灾害如此,人类工程活动中所诱发的地质灾害事件亦是如此。据资料,近十年来,这一地区由于大型工程修建诱发地质灾害所带来工程处理费用单项上亿元的就有近十起。如云南漫湾水电站施工过程中,左岸缆机平台边坡失稳,陇海线葡萄园段滑坡整治;有些灾害的发生人类工程活动的诱发起着极重要的作用,为盐池河滑坡,成昆线铁西滑坡,乌江鸡冠岭崩滑等。

可以预计,在我国实施沿海发展战略后,中西部地区将是下一步开发和发展的重点。举世瞩目的三峡工程及长江、黄河上游拟建的一系列大、巨型水力发电工程、南水北调工程、山区铁路工程、大型露天矿工程等一系列跨世纪的宏伟工程都已列入或将被列入我国社会发展进程,他们将极大地改变我国下一世纪的面貌和综合国力。而毫无疑问,这一地区的进一步开发,也必将带来更大规模、更大范围的灾害与环境问题。我们必须认识到其今后发展的严重性,认识到问题的将来。这是一个人类工程活动与地质环境之间相互作用的问题,是一个需要我们去研究、去探索的自然过程与社会发展互馈的问题。因此,我们必需投入大量的精力深入开展人类工程活动与地质环境互馈作用机理及对策研究,以协调“人—地”关系,提高环境质量及减轻灾害对人类的威胁,为人类充分利用自然与资源提供科学依据,从而保持人类文明的持续发展。

依据这样的目标,研究的主攻方向就是人类作用,而人类作用最突出最有影响的是工程活动,其作用可归纳为三方面:第一,开挖与堆填作用;第二,大型人工水体作用;第三,大城市建设中的多层空间开发作用。这些人类工程活动的作用形式一方面是人类生存发展的必不可少的组成部分;另一方面又将极大地改变地球浅表层的自然状态,打破原有的“人—地”平衡体系,导致环境及灾害问题出现。因此,如何正确评价这些作用与地质环境的关系,对其环境效应(enviromental impact)进行科学的评价和合理的预测,并以此规范人类工程活动,从而既维护人类的持续发展,同时又保持“人—地”系统的高度协调统一,是当前及今后很长一段时间内必须重点研究解决的核心环境问题。

作为一项国家自然科学基金资助的重点项目,在有限经费及时间内完成如此之大的复杂系统工程是不可能的。因此,本项研究的立足点在于抓住典型,集中力量,突出重点,深入解剖,实现有限目标的突破。力争为我国国民经济持续发展和岩石圈表层的环境保护事业作出贡献。

目 录

代序

黄河李家峡水电站地表开挖的环境效应及其预测评价·····	蒋依林 张倬元 聂德新(1)
------------------------------	----------------

一、前 言 ·····	(1)
二、研究区地质概况 ·····	(3)
三、坝址区岩体结构研究·····	(11)
四、边坡应力场特征研究·····	(38)
五、边坡变形破坏现象及模式研究·····	(54)
六、左岸大坝齿槽下游开挖边坡变形机制及稳定性评价·····	(62)
七、结 论·····	(78)
参考文献 ·····	(79)

鄂西山区地下开采的环境效应及其预测评价 ·····	李强 张倬元(81)
---------------------------	------------

一、导 言·····	(81)
二、研究区的地质环境及其变化·····	(84)
三、地下工程岩体力学研究·····	(99)
四、矿区山体变形破坏机制研究 ·····	(118)
五、整治对策和方案实施 ·····	(139)
六、总 结 ·····	(145)
参考文献·····	(145)

岩溶地区铁路隧道工程与地质环境的相互作用——以大瑶山隧道为例·····	钱惠国(149)
-------------------------------------	----------

一、概 述 ·····	(149)
二、大瑶山隧道的地质特征 ·····	(150)
三、大瑶山隧道地段的岩溶发育特征 ·····	(155)
四、大瑶山隧道涌水与岩溶塌陷 ·····	(155)
五、岩溶地区隧道与地质环境的相互作用 ·····	(156)
六、结 论 ·····	(158)
参考文献·····	(159)

山区铁路工程开挖引起的斜坡变形破坏实例分析·····	李勇蓬(160)
----------------------------	----------

一、概 述 ·····	(160)
二、宝成线观音山高边坡岩体开裂变形 ·····	(161)
三、成昆线东荣河隧道切层滑坡 ·····	(165)
四、宝成线 K190 斜坡坍塌变形 ·····	(169)
五、结束语 ·····	(173)
参考文献·····	(173)

CONTENTS

Preface	
1. Environmental impact and its prediction of surface excavation of Lijiaxia Hydro-power Station	Jian Yiling Zhang Zhuoyuan Nie Dexing (1)
1.1 Introduction	(1)
1.2 Geological backgrounds	(3)
1.3 Rockmass structures	(11)
1.4 Geostress field of the bank slope	(38)
1.5 Deformation and failure phenomena of the slope and its models	(54)
1.6 Deformation mechanism of cutting slopes and their stability prediction	(62)
1.7 Conclusions	(78)
References	(79)
2. Environmental impact and its prediction of underground excavation of Exi mining area	Li Qiang Zhang Zhuoyuan (81)
2.1 Introduction	(81)
2.2 Geological conditions	(84)
2.3 Rock mechanics study of underground mining	(99)
2.4 Mechanism study of mountains' instability in mining area	(128)
2.5 Prevention countermeasures and their execution	(139)
2.6 Conclusions	(145)
References	
3. Environmental impact of long railway tunnels in karst area; case study of Dayaoshan tunnel	Qian Huiguo (149)
3.1 Introduction	(149)
3.2 Geological backgrounds	(150)
3.3 Karst development features along the tunnel	(155)
3.4 Blow and karst collapses of the tunnel	(155)
3.5 Environmental impact of the tunnel construction and its prediction	(156)
3.6 Conclusions	(158)
4. Case studies of slopes instability in excavation of railway construction in mountains area	Li Junpeng (160)
4.1 Introduction	(160)
4.2 Cracking of Guanyingshan mountain on Bao-cheng railway	(161)
4.3 Landslides near Dongronghe tunnel on Cheng-kun railway	(165)
4.4 Slope deformation at K190 station on Bao-cheng railway	(169)
4.5 Conclusions	(173)
References	(173)

黄河李家峡水电站地表开挖的环境效应及其预测评价

蒋依林 张倬元 聂德新

(成都理工学院工程地质研究所)

摘 要 利用现代电子计算机技术,对李家峡水电站的岩体结构面进行了大量的数理统计分析,应用 Monte—Carlo 方法模拟得到了李家峡水电站不同工程部位的岩体结构面网络图。采用三维有限元反演出李家峡右岸边坡残余构造应力量级为 1.5MPa,并结合三维和二维有限元模拟了边坡在开挖前后,以及开挖过程中的应力场特征。在对李家峡自然边坡以及人工开挖边坡的变形破坏、大量调查研究的基础上,提出了李家峡坝区边坡变形破坏基本模式有四种。对左岸大坝槽下游开挖边坡的变形机制,进行了地质分析和数值模拟分析,并对左岸齿槽下游边坡在开挖过程中以及开挖以后的稳定性作出了评价。

关键词 李家峡水电站 开挖边坡 结构面网络模拟 变形机制 数值模拟 稳定性分析 环境效应

一、前 言

(一) 工程概况及选题依据

李家峡水电站是黄河上游龙羊峡—青铜峡段流域规划中的第三个梯级电站,位于青海省尖扎县境内的李家峡峡谷中段,有专用公路直达兰青铁路平安驿站,里程 80km,交通方便,如图 1 所示。

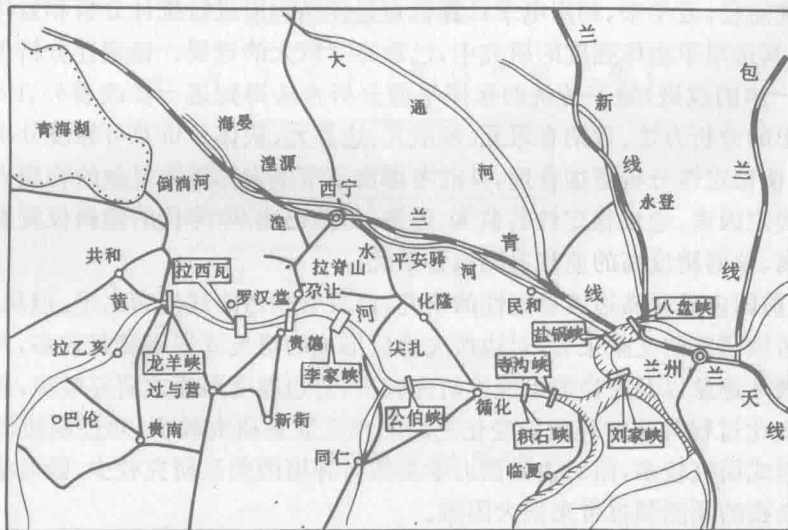


图 1 研究区交通位置图

水电站首部枢纽坝型为三心双曲拱坝,最大坝高 165m,坝底最大宽度 49m,坝顶高程 2185m,正常蓄水位高程 2180m,总库容 $16.5 \times 10^8 \text{m}^3$ 。装机 5 台,单机容量 $40 \times 10^4 \text{kW}$,总装机容量 $200 \times 10^4 \text{kW}$,年平均发电量 59.0 亿度。水电站厂房原计划采用坝后河床式和右岸地下窑洞式混合厂房,1992 年 3 月改为坝后双排式厂房。

李家峡工程从 1978 年开始进行可行性勘察工作,1983 年提出可行性报告,1984 年完成初步设计,1986 年中国国际咨询公司组织专家对电站工程进行了评估,1987 年国家计委批准其为“七五”开工项目,从而工程进入发包阶段,1990 年完成导流洞的挖掘工作而进入施工阶段。

经过上述的工作,目前揭露出来的工程地质问题很多,河岸边坡的稳定性问题就是其中之一。由于开挖,左岸重力墩后壁,孤山头前缘,右岸齿槽下游边坡,右岸高缆机平台后壁边坡都曾发生过变形(拉裂)和部分岩体失稳破坏,体积从几万至几十万立方米。特别严重的是左岸大坝齿槽下游壁(所谓的“金三角”)自 1992 年 3 月份以来,由于开挖,以及开挖中的爆破影响,出现了相当大的位移。因此,搞清其变形机制并对其稳定性进行评价,显得至关重要。正因为如此,李家峡水电站的岩质边坡失稳机制研究,被列为国家“八五”重点攻关项目,而系统研究开挖过程中产生的变形与破坏现象,查明其与工程开挖之间的关系,更可以为预测大型开挖的环境效应提供科学依据。

(二) 课题研究现状和发展趋势

滑坡作为一种山区地质灾害,很早就引起了人们的重视。随着人类工程活动规模的增大,越来越多的滑坡事故促进了边坡稳定性研究的迅速发展。早期的岩质边坡稳定性研究是建立在工程地质和岩土力学理论的基础上的。目前,随着矿山、水电、交通建设的发展,对岩质高边坡的工程地质勘探和试验、稳定性分析、边坡加固及变形监测等方面都有许多新的进展。在工程地质勘探方面,十分重视获得原状、定向岩芯,以便查明影响边坡稳定的软弱结构面的分布情况。对节理岩体抗剪强度,国内外开展了大量的现场试验和室内研究,如巴顿无充填节理抗剪强度的理论获得广泛的运用,霍克(Hoek)等提出的根据岩体分类指标确定节理岩体抗剪强度的经验方法,代表了通过工程地质综合分析确定强度指标的实用的研究途径。近年来,利用电子计算机对岩体结构面进行统计分析和岩体结构的网格模拟,并将其运用于岩体强度的研究中,已取得了较大的进展。稳定性分析理论和计算方法有了进一步的改进,除了传统的极限平衡分析方法得到进一步改善外,Hoek 等人建立了赤平投影的分析方法。近期限元、离散元、边界元、块体分析及可靠度分析在边坡设计中的应用,使稳定性分析更加合理,并能考虑由于节理岩体极为复杂的物理力学特性造成的多种不确定因素。边坡稳定性的监测、遥测,目前已由 60 年代的倾斜仪发展到现在的自动化程度高、仪器精度高的监测遥测报警系统。

因此,当前国内外对高边坡稳定性的研究,已具有相当的规模和水平。但从 70 年代末期以来有关边坡研究的文献来看,对边坡失稳后形成的滑坡或崩塌研究较多,对尚未失稳的边坡变形破坏迹象以及失稳的可能性研究较少,对边坡变形模式研究较多,而对这种变形的发生及变化过程与边坡环境场变化之间的相互联系研究较少,对控制边坡稳定的边界及其组合形式研究较多,而对边界面力学参数与环境的关系研究较少,因而给边坡的稳定性分析与失稳的预测预报带来很大困难。

随着工程地质学科的发展和电子计算机的应用,人们利用计算机模拟边坡岩体结构网格、边坡应力场特征以及边坡变形破坏机制,进而对边坡岩体失稳的预报预测分析已变

得越来越有可能。因而在通过现场调查,测量研究边坡岩体裂隙结构强度的基础上,根据不同结构面与边坡类型、方位的组合形式,研究边坡变形失稳的机制,进而对其稳定性作出预测预报是当前研究边坡稳定性的发展趋势。

(三) 研究思路

本文的总目标,是通过对边坡环境场在边坡开挖前后的变化规律的研究,以及边坡变形破坏模式、机制的研究,达到对左坝齿槽下游边坡(即“金三角”)的稳定性作出正确评价的目的。进而对工程的安全施工、合理的处理提出行之有效的建议。

总目标的实现,取决于边坡破坏的力学机制及其演化,而后者则受控于边坡所处的地质、力学环境。因此,本文的研究遵循这样的思路:边坡岩体地质力学环境条件的研究→边坡变形破坏迹象研究→边坡变形破坏机制研究→边坡稳定性评价→目标实现(图2)。

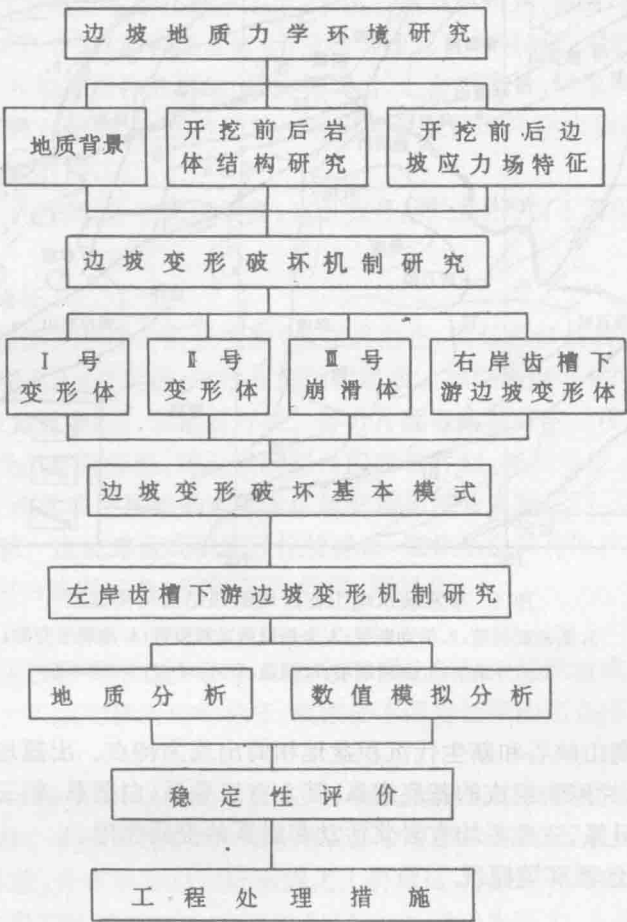


图2 研究思路框图

二、研究区地质概况

(一) 区域地质概况

李家峡水电站在大地构造单元上属松潘—甘孜地槽褶皱系的日月山晚元古隆起带,

南临青海南山印支地向斜褶皱带,北近祁连山地槽褶皱系中的拉脊山加里东地向斜褶皱带。

李家峡峡谷段北面为区域性断层——拉脊山—青阳山南坡大断裂(F_1),南面为南山—阿什贡—德欠寺断裂(F_2),两断裂间为化隆拗陷盆地(图3)。

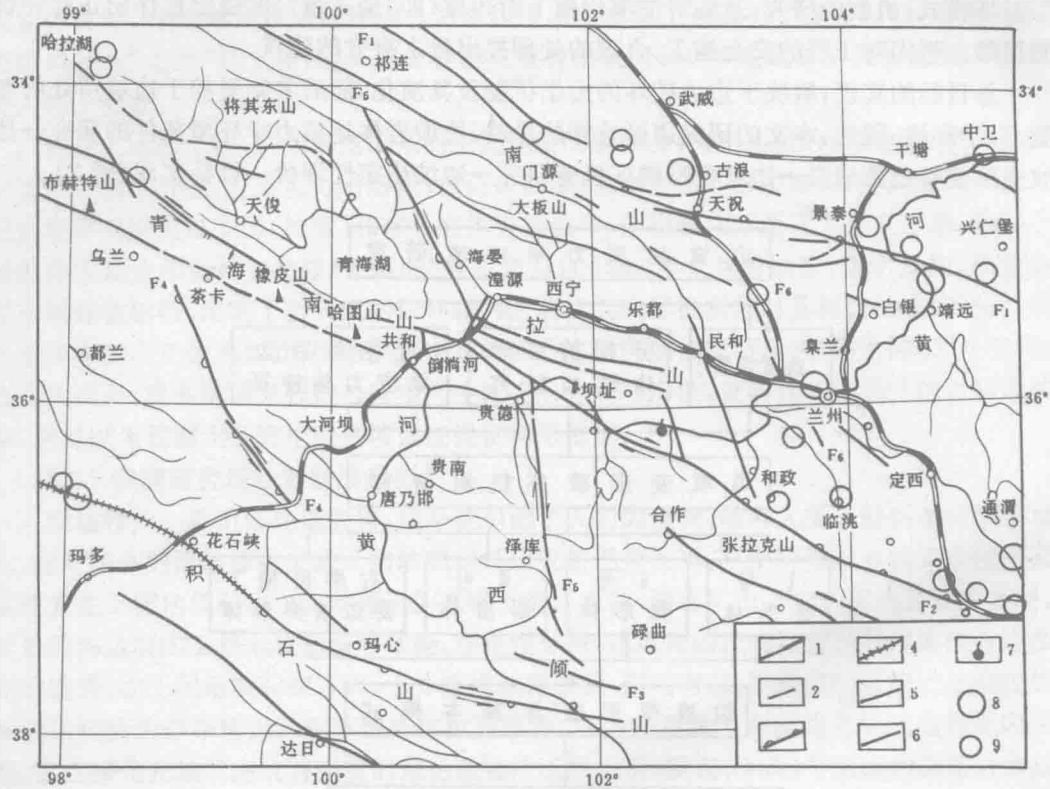


图3 李家峡水电工程区域第四纪活动构造图

1. 活动断裂带; 2. 活动断裂; 3. 全新世活动断裂带; 4. 地震形变带;
5. 逆冲断层; 6. 走滑断层; 7. 温泉; 8. $M \geq 7$ 级; 9. $M \geq 6$ 级

区内地形以高山峡谷和新生代沉积盆地相间出现为特点。出露地层为一套元古界前震旦系结晶片岩、片麻岩组成的基底岩系,其上有三叠系、白垩系、第三系地层及第四系松散堆积物。前震旦系、三叠系均有岩浆活动和岩系的变质作用。

(二) 坝址区地质环境概况

1. 地形地貌

坝址位于李家峡峡谷中段,在1#滑坡体下游侧至德龙尖巴沟口处。坝段全长800m。右岸山体雄伟,左岸因冲沟切割山体较单薄,左右岸谷坡平均坡度分别为45°、50°。正常蓄水位2180m时谷宽283~366m(I~IV线),自I坝线以下河水流向为北东75—85°,河道较平直,枯水期河水位标高2044.25m(1981.2.16),平水期2048~2050m,洪水期河水位标高2062.95m(1981.9.19),年水位变幅10~14m,最大18.7m(1981.9.17.),一般水深7~12m,最大约25m。河床地形低洼处在河道中部,地形高程为2044~2028m,河床基岩标高2038~2027m,中间呈槽形,两岸基岩出露高程:右岸2206~2220m,为V级阶地基座

面;左岸 2200~2209m(I—I 线),在横 I 线上游 f_{36} 沟顶仅 2172m。

坝址两岸仅在右岸德龙尖巴沟口下游公路沿线见有 II 级阶地,呈长条形分布,长约 700m,宽 20~100m,基座高程约 2076m,上覆砂砾石层厚 2~8m,土层厚 1~3m,坝前 I 级、II 级阶地均已裸露基座,无覆盖层。右岸偶见残存的 III 级阶地,基座高程 2090~2100m,其上覆盖有砂砾石及土层。IV 级阶地不发育,V、VI 级高阶地主要分布在右岸,基座高程分别约为 2206m 和 2250m,上覆砂砾石层厚 10~20m,土层较薄。

坝址上下游冲沟发育,主要有左岸的 F_{50} 沟、 f_{36} 沟、左坝沟、左坝一支沟,右岸的滑坡沟、右坝沟、德龙尖巴沟。其中,左坝沟距左岸坝肩 200m 左右,由于此冲沟及其支沟(左坝一支沟)的切割,使左岸坝顶高程处的山体成为一个三面临空的单薄山梁。

2. 地层岩性

坝区出露地层有前震旦系杂让群下亚群、下第三系及第四系。前震旦系杂让群主要由黑云母更长质条带状混合岩(简称混合岩 gr)及黑云绿泥石角闪斜长片岩(简称片岩 sh)组成,其间穿插有华力西期花岗伟晶岩脉(简称伟晶岩)。右坝顶 V、VI 级阶地上分布有第四纪砂砾石层,第三系红色砂砾岩、粉砂质粘土岩不整合覆盖于两岸山顶之上;河床沉积有 3~11m 的第四纪砂砾石层。

由于第三系红层砂砾岩分布高程较高,与工程开挖关系不大,下面仅简述坝区基底岩层。

(1) 坝区岩性特征

① 混合岩: 浅黑灰色黑云斜长变粒岩,夹有白色、肉红色伟晶岩细脉,岩石由变粒岩基体及后期沿片理注入(或交代)的伟晶质脉体组成。单层厚度 6~20cm,石质坚硬,强度高,片理及隐裂隙发育,性脆,锤击易开裂。部分片理面含较多的云母。

② 片岩: 黑绿色至灰绿色,黑云母绿泥角闪斜长片岩,单层厚度 40~60cm,岩质比混合岩稍软,部分片理面或节理面的云母受区域变质易蚀变成绿泥石,这种有绿泥石膜的片理或节理面有滑感。边坡卸荷或洞室开挖松弛后,岩体易沿此种面产生变形滑塌。

③ 伟晶岩: 灰白或肉红色,石质坚硬,性脆,耐风化。

(2) 岩组划分

坝区岩体由上述三种不同岩性条带,以各种不同比例呈互层状组成。由于单层岩性不太稳定,具有相变、尖灭或交替出现的特征,故依据不同岩性带的组合特征,划分成以下五大岩组(图 4)。

① 混合岩组($AnZgr^1$): 以混合岩为主,其间夹有零星的中厚层片岩(厚度数米)和穿插少量的伟晶岩脉。本组岩性较均一,呈薄层至中厚层状(局部呈极薄层状),片理间接触紧密,石质坚硬性脆,分布在 $f_{36}(f_{45})$ 断层线之上游地区,厚度百米以上。

② 混合岩夹片岩岩组($AnZgr^2$): 层间 $f_{36}(f_{45})$ 、 $f_{20}(f_{49})$ 为其上、下界面。本岩组为大坝地基的主要组成部分。左岸厚度 77~110m(其中夹片岩 5~7 层,厚 18~24m);右岸厚度 110~150m(其中夹片岩 6~9 层,厚 25~35m)。岩体中有较多的伟晶岩脉穿插,接触紧密,其间的片岩质地较坚硬,无绿泥石化,总体强度相差不大。

③ 片岩夹混合组($AnZgr^3$): 以片岩为主,夹有 3 层混合岩, $f_{20}(f_{49})$ 与 f_{33} 层间软弱面为其上、下界面。本岩组分布于大坝河床区深部和地下厂房区,左岸厚度 70~80m(其中混合岩总厚 25~27m),右岸厚度 98~120m(其中混合岩总厚 27~30m)。在 f_{33} 上盘厚 30~40m 的片岩中,片理及节理面附有绿泥石膜,易造成岩体塌滑。

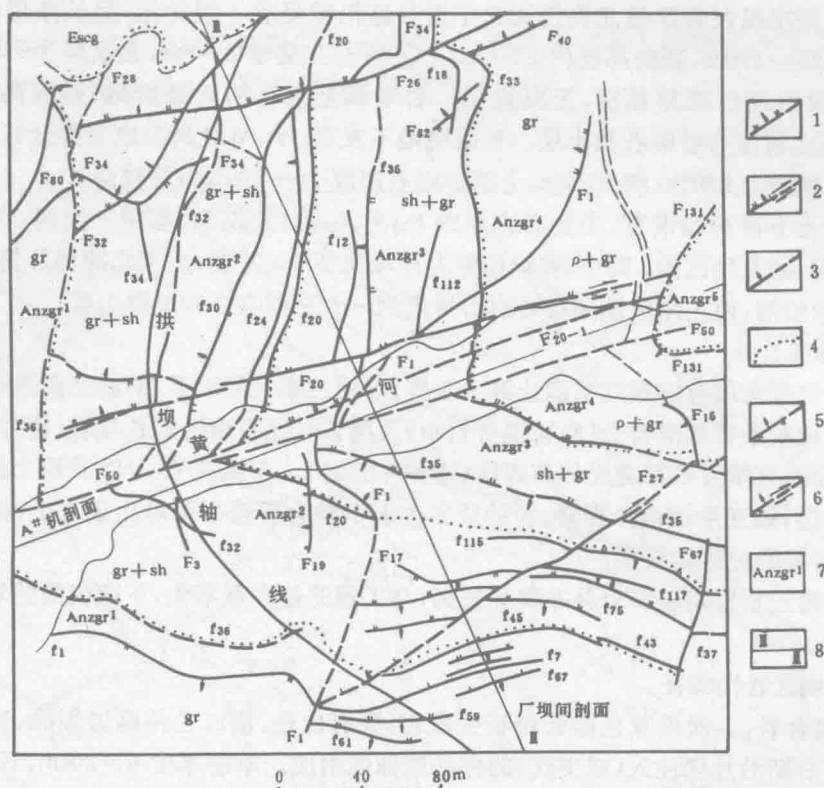


图4 李家峡坝区主要构造纲要图

1. 实测或推测正断层; 2. 实测或推测平移正断层; 3. 性质不明断层; 4. 不同纪系岩层分界线;
5. 实测或推测逆断层; 6. 实测或推测平移逆断层; 7. 岩层编号; 8. 实测纵横剖面线

④ 伟晶岩脉镶嵌混合岩组($AnZgr^4$): 混合岩间有大量花岗岩脉(体)镶嵌,为紫灰色至浅灰色,石质坚硬。本岩组以 f_{33} 、 F_{131} (F_{15})为其上下界面,上部为花岗伟晶岩,产状呈岩株、岩瘤,石质强度高,间有混合岩捕虏体;下部为伟晶岩脉和混合岩相互镶嵌,强度高,为坝区最好岩体,分布于左坝沟两侧,进厂交通洞进口段,导流洞下游段,厚度 125m。

⑤ 薄层状混合岩组($AnZgr^5$): 岩体中云母含量很高,单层厚度 1~2cm,穿插有伟晶质细脉,挤压揉皱紧密,石质软弱,层间软弱面多,为坝区性状最差的岩组。岩体卸荷松弛后,易产生变形塌滑。该岩组以 F_{131} (F_{15})、 f_{179} (f_{156})为其上、下界面,厚度约 110m。分布在左坝沟排洪洞上游段、左坝沟口下游的Ⅲ-1 滑坡、河床冲刷坑区及导流洞出口区和明渠泄流段。

以上各岩组的界面大多为层间挤压错动带,带内岩石极破碎且夹有泥质,界线明显。

3. 地质构造

坝区位于化隆断陷盆地西南侧,前震旦系岩层呈单斜构造,片理产状 $NW300 \sim 330^\circ SW / \angle 38 \sim 55^\circ$,倾向上游偏右岸。

坝区岩体中断层裂隙较发育,分布如图4所示。按其产状可分为7组,如表1所示。其中,以下列三组最为发育:

表 1

坝区断层、裂隙分组简表

组 号	产 状	类 型		代表性断层
		力学属性	性 质	
1	NW300~330°,SW∠40~50°	压性、压扭性	逆断层	f ₃₂ f ₃₃ f ₃₅ f ₂₀
2	NE15~45°,NW(裂隙有SE)∠55~75°	张性、张扭性	正断层	F ₁ F ₂₈ F ₃₂ F ₆₇
3	NE60~80°,NW(SE)∠75~85°	扭性、张扭性	平移正断层	F ₂₀ F ₅₀ F ₂₆ F ₂₇
4	NW340~NE10°,SW(NW)∠50~80°	扭性、压扭性	平移正断层	F ₁₈ F ₃₉
5	EW~NW280°,S(SW)∠65~80°	张扭性	正、平移断层	F ₄₃ F ₁₀₂
6	NE15~NW345°,NW(SW)∠8~25°	压扭性	逆冲断层	F ₃₄ F ₈₂
7	NW300~310°,NE∠60~65°	压性、压扭性	逆、平移断层	F ₄₄ F ₁₀

(1) NW 向层间断层(层间挤压带)

本组断层占坝区断层总数的 50% 以上,破碎带宽度 10~30cm,少数 40~50cm,带中为片状破碎岩,糜棱岩及少量灰白、灰绿色或棕红色断层泥(厚 0.2~0.3cm),顺层或局部切层分布,长度数十米或数百米不等,其中 f₂₀、f₃₃、f₃₅ 贯穿两岸及河床。本组断层发育间距左岸 10~30m 一条,右岸 15~45m 一条。

(2) NEE 向顺河(平行河流)断层

主要有左右两岸的 F₂₆、F₂₇ 及河床的 F₂₀、F₂₀₋₁、F₅₀ 等 5 条断层,产状为 NE60~80°/NW(SE)∠75~85°。延伸均在数百米以上,前两条宽度 0.3~1.5m,夹泥厚 1~3cm,后三条宽 0.5~1.2m(F₅₀ 宽 1~4.0m),夹泥厚 0.5~3cm,带中为角砾岩、糜棱岩、压碎岩及棕红色断层泥,一般均无胶结。

(3) NE 向断层

主要有 F₁、F₃₂、F₂₈,产状为 NE15~45°/NW∠55~75°。以 F₃₂ 较大,由数条分支小断层组成,断层带宽 0.2~1.5m,夹泥厚 1~3cm,带中为角砾岩,压碎带及黄绿色泥质物未胶结。

此外,左岸 2160~2165m 高程处发育有一条缓倾坡外平行河流的 F₃₄ 断层,其上下盘岩体完整程度明显不同,其上盘岩体非常破碎,风化强烈,下盘岩体较完整,为坝基基座岩体。

坝区裂隙发育方向与断层近一致,以顺河向裂隙最发育,且多为高陡倾角,顺层及北东向次之,延伸长十余米至数十米,宽 0.5~3mm,多充填钙、铁质薄膜和方解石细脉等。坝区缓倾角裂隙不发育,但在右岸开挖面上揭露出规模较大的缓倾角裂隙,对边坡的变形和稳定性有不可忽视的作用。

两岸断层分布及其组合(赤平投影),如图 5、图 6 所示。

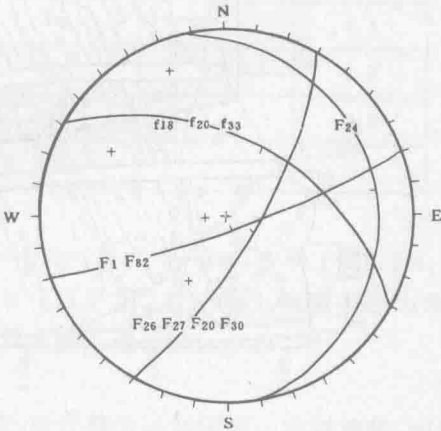


图 5 坝址区断层赤平投影图

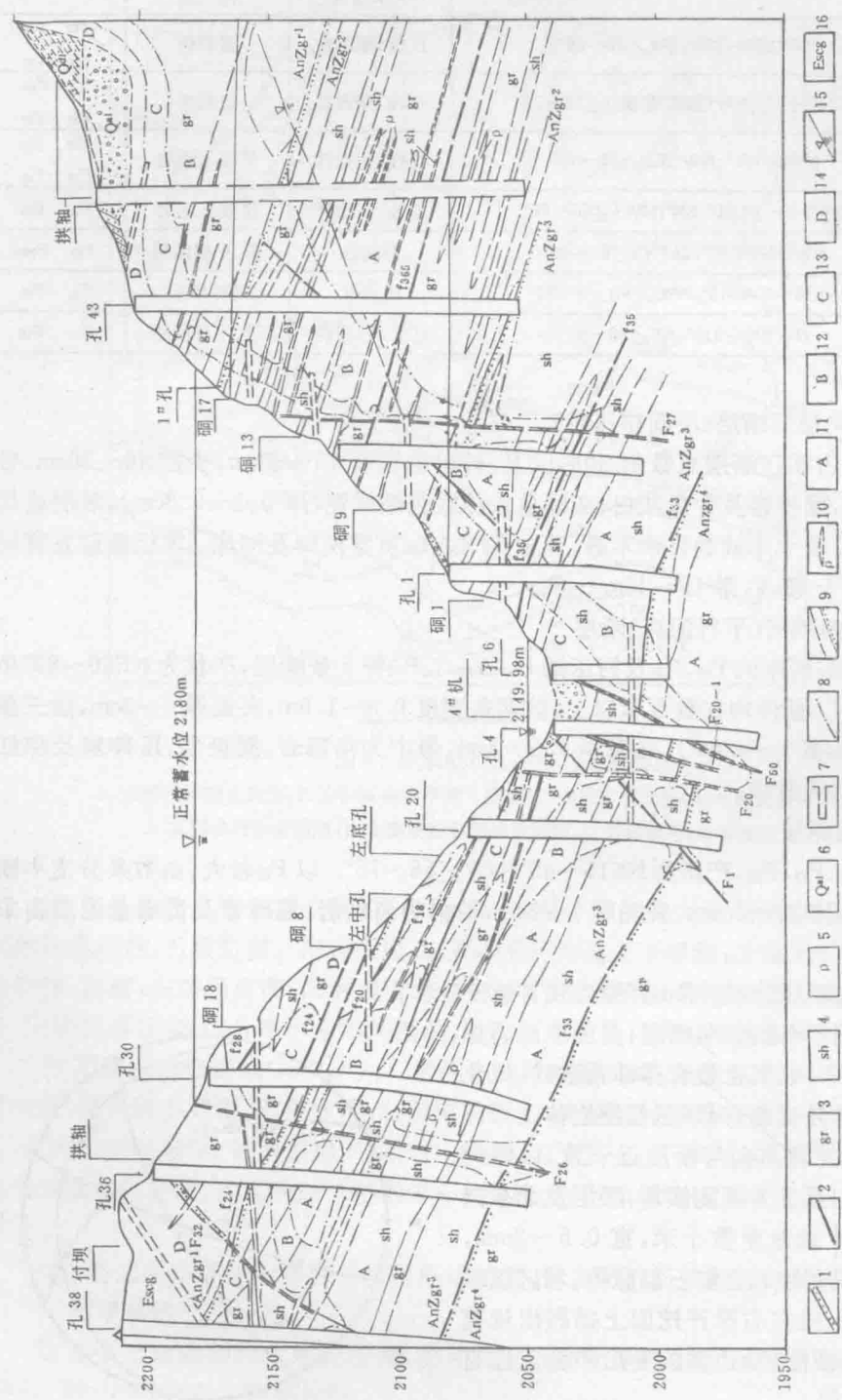


图 6 李家峡坝址区地质横剖面图(Ⅲ—Ⅲ'剖面)

1. 断层带; 2. 断崖; 3. 混合岩; 4. 片岩; 5. 花岗岩; 6. 第四系砂砾岩; 7. 平洞; 8. 岩层分界线; 9. 岩层分界线; 10. 花岗岩
伟晶岩脉, 厚度小于 1m; 11. A 类岩组; 12. B 类岩组; 13. C 类岩组; 14. D 类岩组; 15. 地下水位线; 16. 砂砾岩

4. 水文地质条件

李家峡地区属于高原半干旱高寒型大陆型气候,以干寒少雨,冰冻期较长,多风、温差大为其特征。区内多年平均年总降雨量 350mm,多年平均蒸发量 1700mm,降雨量多集中于 5~10 月份,约占全年降水量的 94%以上(图 7)。

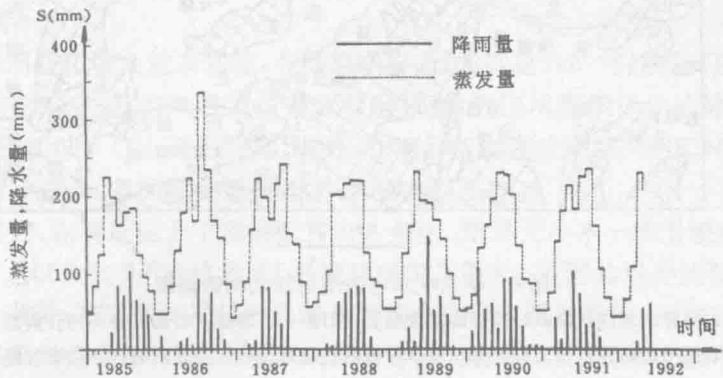


图 7 坝址区降雨蒸发历时图
1. 降雨量;2. 蒸发量

在坝段内的峡谷区,由于地形切割强烈,谷坡陡峻,降水形成表流大部份沿坡面及冲沟排入黄河,渗入地下水量少,因此坝区具有下列水文地质特征:

- (1) 基岩中的地下水,以断层影响带和裂隙密集的基岩裂隙脉状水为主要特征。地下水向黄河排泄。河床钻孔局部揭露为低水头承压水。
- (2) 地基岩体透水性极微(表 2),从表中可以看出:透水性右岸大于左岸,河床以下基岩的渗透性最小,两岸透水性一般是上部大于下部,局部遇到破碎带,透水性会突然变大。

表 2 坝区岩体单位吸水量统计表

位 置	钻孔总深度 及孔数 (m/个)	压水试验 段数 (段)	极微透水 $\omega < 0.01$ (%)	微 透 水 $\omega = 0.01 \sim 0.05$ (%)	中等透水 $\omega = 0.05 \sim 0.1$ (%)	较严重透水 $\omega = 0.1 \sim 1$ (%)
左岸	3134.22/26	345	88.7	4.9	2.3	4.1
河床	1540.46/19	177	80.8	14.1	2.8	2.3
右岸	3558.80/27	401	82.0	9.2	1.8	7.0
合计	8233.48/72	923				

(3) 地下水动态:地下水位年变幅小,左岸 2~4.8m,最大 5~7m,右岸 1~3.5m,最大 5.2~6.4m,与大气降水关系不明显。地下水总矿化度平均为 2~6g/l,水质类型为 SO_4 -ClNa 型水,pH 值 7.8~8.4,侵蚀性 CO_2 含量高,具硫酸盐侵蚀性。

5. 新构造运动和地震

李家峡水电站工程场地位于化隆断陷盆地西南,处于隆升区和沉降区的过渡带,电站 100km 范围以内的构造格局如图 8 所示。区域新构造运动特征如图 3 所示,其主要表现形式有: