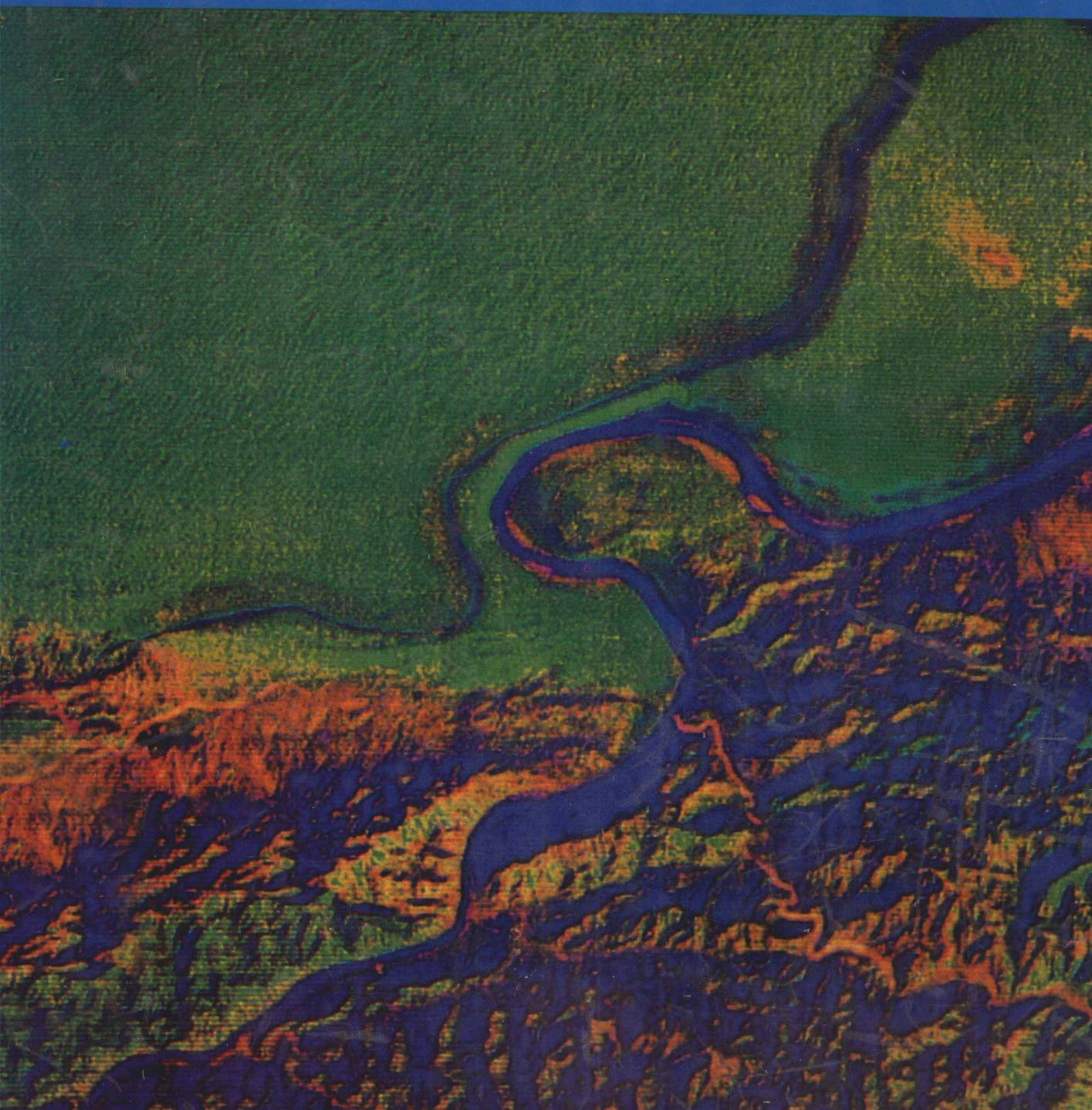


黄河黑山峡大柳树 松动岩体工程地质研究

韩文峰等著

甘肃科学技术出版社



黄河黑山峡大柳树

松动岩体工程地质研究

韩文峰等著

江苏工业学院图书馆
藏书章

甘肃科学技术出版社

(甘)新登字第05号

黄河黑山峡大柳树松动岩体工程地质研究

韩文峰 等著

甘肃科学技术出版社出版发行

(兰州第一新村81号)

甘肃省静宁印刷厂印刷

开本787×1092毫米 1/16 印张20.5 插页17 字数502,000

1993年3月第1版 1993年3月第1次印刷

印数: 1—1,500

ISBN 7-5424-0423-7/P·16 定价: 60.00元

前 言

黑山峡是黄河上游尚待开发的重要河段。在本河段建高坝可形成有一定反调节库容的水库,无论对增加上游各梯级电站的发电效益(保证出力和可用电量)和保证下游灌溉用水均可发挥重大效益。本河段开发方式论证工作始于1952年,40年来已经积累了大量的勘测、规划设计资料。1974年以前,国家曾三次(1955年、1966年、1974年)批准黑山峡河段两级开发方案,即在小观音坝址建高坝,大柳树坝址建低坝的方案,决定兴建小观音水电站工程,并于1974年拨款进行施工准备。后因众所周知的原因建设搁浅,重新提出在大柳树坝址建高坝的一级开发方案。故此又对黑山峡河段开发方式进行论证。目前,国家能源部、水利部西北勘测设计院和天津勘测设计院正平行进行黑山峡河段开发方式论证工作,国家尚未进行决策。

河段规划阶段的开发方案选择是水利水电工程的战略决策,其中不能遗留重大地质隐患是众所周知的基本原则之一。本阶段地质认识如有失误,造成的损失将是巨大的。仅就小观音和大柳树两坝址地质条件的优劣而言,大量的工程地质勘测成果已表明,前者显著优于后者,这是进行过本河段勘测设计的单位和参加过本区地质工作的绝大多数同志的一致意见。大量的资料都已清楚地表明,大柳树坝址位于规模巨大的、活动的逆冲推覆构造带之内,坝基岩体系推覆构造的冲起构造块体,区内曾遭受了IX—X度的历史地震和古地震破坏,现代活断层距坝轴线仅1.5km。特殊的地质环境和演化历史赋予了这里岩体一系列独特的工程地质特性,其核心为一句话,就是大柳树坝址发育有大范围松动岩体。大于VIII度的地震基本烈度和5km内有长度达数十公里的发震活断层,表明大柳树坝址区域构造稳定性差,大范围松动岩体的存在表明坝址工程地质条件也差。迄今,国内尚无有在区域构造稳定性和工程地质条件两方面均差的坝址修建十分重要的高坝大库先例。

目前,大家在很多方面有分歧,核心是在大柳树坝址修建具 11Gm^3 、高达160m以上的土石坝,将会有那些工程地质问题,需采用怎样的工程处理措施,处理后的安全风险度如何,是否经济合理,大柳树坝址是否适宜修建高坝大库,在两级开发方案完全能满足河段开发任务的条件下,是否有必要不惜代价在大柳树建高坝的问题,而不是在大柳树能否建高坝的问题。技术上可行、经济上合理、安全上可靠,这是修建任何工程都必须遵循的基本原则。如果背离这一前提,单纯地讲某地能否建坝,某洞能否挖成是毫无意义的,其提法本身就不科学。

大柳树坝址的工程地质勘察工作已断断续续进行了40年,目前仍在进行。仅从钻探和硃探二项来说,前者已近10000m,后者已达3500m左右。大量的勘探工程和测试资料为我们开展研究奠定了基础,国家急需使科研工作得到了有力的支持,科技工作者的团结奋进保证了研究工作的顺利完成。本书是我国一批老、中、青三代地质工作者协作进行大柳树松动岩体工程地质研究的初步总结。它的出版不仅会为国家进行黑山峡河段开发方案决策提供科学依据,也将为工程地质学、地震地质学和环境地质学等相关学科增加一份新的内容。

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、密度下降的岩体。通过大量的现场调查、测试和室内试验与分析模拟,使我们对大柳树松动岩体的区域地质环境、工程地质特征、工程特性和形成机制取得了统一的认识,并对大柳树坝址修建高土石坝将会遇到的工程地质问题有了深刻的见解。简要概括为如下几方面:

(1) 松动岩体是不同于风化岩、断层岩的一类特殊软岩。至今,工程地质学对它尚缺乏研究,设计和施工方面亦无成功地利用此类岩体作为建筑物基础的实例和经验。

(2) 结构面张开是松动岩体主要的宏观地质特征;大范围低速是松动岩体的地球物理特征;低应力和低密度是松动岩体的物理本质;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逆冲推覆构造过程中强烈的断裂与新构造时期的地震活动及河谷下切卸荷综合作用的结果。逆冲推覆构造是形成松动岩体的本底因素,地震活动是主要动力来源。具体说来,大柳树松动岩体位于两大断层间的冲起构造块体上,晚更新世以来,区内主要断层均强烈活动,且有现代活动断层与发震断层;不仅遭受了多次Ⅳ度以上历史地震破坏,而且经受了多次古地震作用;加之黄河下切等一系列外动力地质作用,共同塑造出了现今的松动岩体。

(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条件差(地震基本烈度高、形成水库诱发地震和可能有工程抗断问题),而且存在地下洞室围岩稳定、施工期与运行期边坡稳定、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,评价困难,处理难度也很大。

总地说来,从工程地质方面看,在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。

大范围松动岩体作为一个新的工程地质问题,目前的研究还仅仅是个开始,许多方面都有待深化。作为一项科研工作,参加的单位和人员虽然较多,但对工程地质界而言,毕竟是少数。为使广大工程地质工作者了解这一新现象,书中尽可能详细地提供各种实际资料,书后附上了104张有关照片,以供关心这方面问题的同志进一步研究参考。

本项研究是一项集体成果。参加课题的单位有兰州大学、中国地质大学(北京)、成都地质学院、西安地质学院、中国科学院地质研究所和天津大学。课题指导组组成情况是:组长:张咸恭;副组长:张倬元,孙广忠;成员:王士天,许兵,李吉均,庄乐和,宫同伦,聂德新,姚增,韩文峰,彭一民,黄鼎成,谭周地,薛玺成。课题调研组主要成员有:

兰州大学:韩文峰,姚增,高根树,宋畅,周仲华,谢明亮,李汉业,许敬龙,张虎元,冯珂,郭原生,戴文昭,潘保田,谌文武,梁收运,魏国安,杨春莉,王功辉,陈万业。

中国地质大学(北京):李铁汉,庄乐和,孙进中,卢玉南,闫明,苏学青,金小妹,胡玉银,郭春迈。

成都地质学院:刘汉超,聂德新,黎克武,陈剑平,李天斌,冯永国,苏道刚,黄润秋,梁兴中。

西安地质学院:杜东莉,彭建兵,张骏,胡高社,王书明,苏生瑞,范文。

中国科学院地质研究所:丁恩保,吴玉庚

天津大学:薛玺成,朱济祥。

本书是在课题总结基础上分别执笔编写,由韩文峰和高根树进行统稿,最后经张咸恭、张倬元、孙广忠、王士天审阅。

大柳树松动岩体工程地质研究是甘肃省计委和电力工业局委托兰州大学负责组织的。研究工作始终得到了甘肃省人民政府及省计委和电力工业局有关领导、甘肃省黑山峡河段开发方案论证专家组的支持；还要特别提出的是能源部水利部西北勘测设计院，他们不仅为研究工作提供了大量的基础资料，而且协助解决了工作中遇到的许多问题，尤其是庆祖荫副总工程师、许济法高级工程师、彭进夫高级工程师、余仁福高级工程师和曹树祥高级工程师曾多次在现场和室内同课题组共同探讨科研中的具体技术问题；国家地震局兰州地震研究所对本次研究也给予了很大的帮助，提供了本区地震和断裂活动方面的研究成果，尤其是周俊喜副研究员、姚俊义工程师，还协助进行了现场踏勘。铁道部第一勘测设计院、甘肃省煤田综合普查队和中国科学院兰州冰川冻土研究所也协助完成了许多工作。我们深深地感到，没有许多同志的关心、帮助、支持和通力协作，课题是难以顺利完成的。在此，我们谨向曾给予本项研究关心、支持、帮助的所有单位和个人表示深切谢意。我们还要特别感谢能源部水电总工程师、中国科学院学部委员潘家铮教授对本次研究工作的关心及在百忙之中为本书作序。

工程地质学是一门直接服务于国民经济建设的学科，它的研究课题来源于生产实践，大柳树松动岩体工程地质研究就是应黄河黑山峡河段开发方案选择的需要而开展的。科研又有别于生产，它的成果需通过勘测设计部门才能服务于工程建设。本次研究是在西北勘测设计院等单位多年工作基础上向前走了一步，但这绝非最后一步。松动岩体工程地质研究刚刚开始，还有许多问题有待探索，已取得的认识也还有待历史和实践检验。如果这项研究能为黄河黑山峡开发方式选择起到一定的作用，为岩体工程地质力学研究填补一块空白，我们也就可以聊以自慰了。

序

禹家铮

黑山峡是黄河上游河段最后一个较长的峡谷。黄河上游蕴藏着丰富的水力资源，仅龙羊峡以下至青铜峡间就可建15座大型梯级电站，总装机1370万千瓦，年电量达500多亿千瓦时。目前已建成龙羊峡、刘家峡、盐锅峡、八盘峡、青铜峡五座枢纽，李家峡及大峡枢纽正在兴建。可以预计，在不久的将来，黄河的水力资源将得到充分开发，为西北、华北地区的国民经济发展作出重大贡献。

黄河上游河段的开发，还直接关系到中、下游的供水、灌溉、防凌、渡汛等等重大问题。在15座枢纽中，只有龙羊峡、刘家峡和黑山峡枢纽具有大库容，可以起调节作用。黑山峡位于上游河段的出口部位，可以最有效地对龙羊峡、刘家峡两个已建大水库起反调节作用。三库联合优化调度，将产生十分巨大的经济效益和社会效益，这是不言而喻的，这也是为什么几十年来黑山峡河段的开发一直成为国务院和有关部门、省区研究讨论的重点课题的原因。不幸的是，由于对黑山峡河段采取一级开发（大柳树高坝）或二级开发（小观音高坝和大柳树低坝）存在不同认识，这一造福人民的重要枢纽至今难以实现。黑山峡枢纽库区是甘肃境内较富庶的川地，人口不断增殖，建设不断进行。长此拖延，若干年后，势将使黑山峡河段的开发成为虚话，被迫采取沿河低水头径流开发的模式。这样做，虽可基本上得到电能，但失去了一座重要的反调节水库，对中下游兴利的影晌还是很大的。对此，有识之士莫不感到心焦。

要确定黑山峡河段的开发方式，牵涉到很多因素，规划上的、技术上的、经济上的、社会上的……。如何进行全面研究，统筹考虑，寻找一个能满足各部门的基本要求、技术上比较可靠、设计施工简单、少投入早产出、各方面阻力最小的方案，实是当务之急。为了进行这样的论证，又离不开对一些具体条件的研究、分析和评价。两坝区地质条件的分析和评价又是最基本的条件之一。多年来，有关部门和专家为弄清黑山峡两坝区的地质条件，进行过大量的工作。其中，兰州大学、中国地质大学、成都地质学院、西安地质学院、中科院地质研究所和天津大学组成的专题组，对至关重要的大柳树坝址的松动岩体工程地质问题做了深入细致的工作。本书就是这一专题研究的总结。从事这项研究的专家都是我国最有经验的第一流专家，研究的深度和广度实令人钦佩，因此其结论特别令人信服。相信本书的出版必将有助于澄清一些问题，为正确决策黑山峡河段的开发方式作出奉献。

当然，最终的决策还不完全取决于对资料的分析与评价，而与人们研究问题的思想方式有很大关系。例如，许多同志常常喜欢简单地问，“大柳树坝址能不能建高坝？”或“高坝设计是否满足规范要求？”其实，如果不计所花代价（特别是从动态角度考察），不研究所冒风险（不仅是纸面上的风险，而是实际包含的风险度），不研究坝体破坏的机率和后果，不将所付出的代价、所冒风险和究竟得到多大实际效益挂起钩来考虑，不把库容、坝址条件、坝型和下游情况作为一个整

体来考虑，提出和回答这样的问题是没有多少意义的。尤其要认识到，尽管近几十年科学技术有飞速发展，我国也积累了大量坝工建设实践经验，但在坝工领域中，特别是在土石坝分析设计和地震及动力研究中，许多问题还有赖于工程师和地质师的判断及依靠过去的经验来解决，并没有达到“自由王国”的境界。本书作者们根据他们丰富的经验和高深的理论水平，对这一点有很深的认识，在本书前言和其后章节中都有所阐述。我很赞同他们的观点。因此，在本书出版之时乐意为之写一小序作介绍。

是为序。

1992年5月27日于能源部

(潘家铮同志是中国科学院学部委员、国家能源部水电总工程师)

目 录

第一章	大柳树松动岩体问题的提出	(1)
第一节	黄河黑山峡水利水电工程地质勘察简况	(1)
第二节	大柳树松动岩体研究工作概况	(3)
第三节	大柳树松动岩体问题的提出	(5)
第四节	松动岩体定义	(7)
第二章	大柳树地区区域岩石圈动力学特征	(10)
第一节	区域地质背景	(10)
第二节	新构造运动	(14)
第三节	地震活动特征	(18)
第四节	区域岩石圈动力学环境与机制	(26)
第三章	大柳树地区地质构造格架	(29)
第一节	地层与岩性	(29)
第二节	褶皱	(33)
第三节	断层	(36)
第四节	小构造与构造应力场解析	(47)
第五节	地球物理勘探	(50)
第六节	地质构造格架及构造演化史	(60)
第四章	大柳树地区断裂活动性	(66)
第一节	古浪—中卫—同心活动断裂带的基本特征	(66)
第二节	断裂活动的宏观地质特征	(71)
第三节	断裂活动的地貌标志	(77)
第四节	断裂活动的遥感地质信息	(89)
第五节	断层气测量	(94)
第六节	断层泥中石英颗粒表面结构的扫描电子显微镜研究	(100)
第七节	断层活动年代测定	(107)
第八节	断裂活动的综合分析的工程评价	(111)
第五章	大柳树地区地裂缝研究	(116)
第一节	地裂缝的基本特征	(116)
第二节	地裂缝成因分析	(120)
第三节	烟筒梁东段地裂缝区岩体力学分析	(122)
第四节	地裂缝研究的启示	(124)

第六章	大柳树松动岩体地质基础	(126)
第一节	工程地质岩组	(126)
第二节	地质构造	(128)
第三节	岩体结构	(133)
第四节	外动力地质作用	(139)
第七章	大柳树松动岩体特征	(146)
第一节	松动岩体宏观特征	(146)
第二节	松动岩体的弹性波波速特征	(160)
第三节	松动岩体物理状态特征	(182)
第四节	右岸松动岩体卫星影像特征	(194)
第五节	松动岩体中的地质雷达探测	(203)
第六节	水文地质特征	(207)
第七节	松动岩体的分布与分级	(209)
第八章	大柳树松动岩体的工程特性	(217)
第一节	松动岩体工程特性研究评价方法	(217)
第二节	松动岩体工程特性分析对比	(218)
第三节	松动岩体中的软弱层带	(224)
第四节	松动岩体的力学特性	(234)
第五节	松动岩体的渗透特性	(237)
第六节	松动岩体工程特性分带	(239)
第九章	大柳树松动岩体形成机制探讨	(241)
第一节	松动岩体的成因机制	(241)
第二节	松动岩体形成的卸荷机制有限元分析	(251)
第三节	右岸松动岩体形成机制平面静力等效法有限元分析	(257)
第四节	右岸松动岩体形成机制的平面动力有限元分析	(266)
第十章	大柳树坝址松动岩体上修建高坝的主要工程地质问题	(280)
第一节	概述	(280)
第二节	区域构造稳定性问题	(285)
第三节	隧洞围岩稳定问题	(291)
第四节	边坡稳定问题	(295)
第五节	渗漏、渗透稳定与防渗体稳定问题	(300)
参考文献		
跋		
照片		

CONTENT

Chapter 1 Presenting of the problems of the dynam—relaxed rockmass at Daliushu	(1)
1.1 A review of the engineering geology exploration for a damsite at the Heishanxia Gorge on the Yellow River	(1)
1.2 A review of the research work about the dynam—relaxed rockmass at Daliushu	(3)
1.3 Presenting of the problems of the dynam—relaxed rockmass at Daliushu	(5)
1.4 Definition of dynam—relaxed rockmass	(7)
Chapter 2 the lithospheric dynamical features of the region round Daliushu	(10)
2.1 The geological background	(10)
2.2 The neotectonics	(14)
2.3 The seismic activities	(18)
2.4 The regional lithospheric dynamical environment and mechanism	(26)
Chapter 3 Tectonic framework of the region round Daliushu	(29)
3.1 Strata and lithological characteristics	(29)
3.2 Folds	(33)
3.3 Faults	(36)
3.4 Analyses of the minor—scale structure and the tectonic stress field	(47)
3.5 Geophysical explorations	(50)
3.6 The tectonic framework and its evolution	(60)
Chapter 4 Activities of the faults in Daliushu	(66)
4.1 The basic features of the Gulang—Zhongwei—Tongxing active fault zone ...	(66)
4.2 Macro—geological characteristics of the activities of the faults	(71)
4.3 Geomorphic characteristics of the activities of the faults	(77)
4.4 Geological remote—sensing informations of the activities of the faults	(89)

4.5	The measurement of gases in the faults	(94)
4.6	SEM studies about the surface textures of the quartz grains in the faults	(100)
4.7	The dating of the faults	(107)
4.8	Synthetical analysis and engineering evaluation of the activities of the faults	(111)
Chapter 5	An research of the geofractures in Daliushu	(116)
5.1	Basic features of the geofractures	(116)
5.2	The analysis of the geofractures forming mechanism	(120)
5.3	Mechanic analyses of the geofractured rockmass of the east part of the Yantongliang hill	(122)
5.4	Enlightenments gained from the study of the geofractures	(124)
Chapter 6	Basic geological conditions of the dynam—relaxed rockmass at Daliushu	(126)
6.1	Engineering geological petrofabric types	(126)
6.2	The geological structure	(128)
6.3	The rockmass structure	(133)
6.4	The exogenous process	(139)
Chapter 7	Characteristics of the dynam—relaxed rockmass at Daliushu	(146)
7.1	Macro—features of the dynam—relaxed rockmass	(146)
7.2	The analysis of the in—situ elastic wave velocities of the dynam—relaxed rockmass	(160)
7.3	Physical state characteristics of the dynam—relaxed rockmass	(182)
7.4	The satellite imagery of the dynam—relaxed rockmass on the right bank	(194)
7.5	Geological prospecting radar(GPR) exploration	(203)
7.6	Hydrogeological features of the dynam—relaxed rockmass	(207)
7.7	Distribution and classification	(209)
Chapter 8	Engineering chracteristics of the dynam—relaxed rockmass at Daliushu	(217)
8.1	The methods of evaluation and study	(217)
8.2	Comparating of the rockmass of the Daliushu dams site with those of the Lijaxia and the Xiaoguan Yin	(218)
8.3	Weak intercalations in the dynam—relaxed rockmass	(224)

8.4	The physical and mechanical characteristics of the dynam—relaxed rockmass	(234)
8.5	The seepage characteristics of the dynam—relaxed rockmass	(237)
8.6	The engineering characteristical zoning of the dynam—relaxed rockmass	(239)
Chapter 9	Studies of the dynam—relaxing mechanism of the rockmass at Daliushu	(241)
9.1	A general dynam—relaxing mechanism of rockmass	(241)
9.2	A finite analysis of the unloading mechanism	(251)
9.3	A static equivalent plane finite analysis of the dynamic mechanism of the dynam—relaxing of the rockmass on the right bank	(257)
9.4	A dynamic plane finite analysis of the dynam—relaxing mechanism of the rockmass on the right bank	(266)
Chapter 10	Main engineering geological problems when the dynam—relaxed rockmass serving as the base of the Daliushu high dam	(280)
10.1	An outline	(280)
10.2	The regional tectonic stability	(285)
10.3	The stabilities of the surrounding rockmasses of tunnels	(291)
10.4	The stabilities of the slopes	(295)
10.5	The percolation, stabilities aroused from the seepage and the duration of the impervious core	(300)

References

Postscript

Plates

第一章 大柳树松动岩体问题的提出^①

第一节 黄河黑山峡水利水电工程地质勘察简况

一、黑山峡河段开发方式论证历史回顾

黄河黑山峡河段峡谷全长 71 公里,自甘肃省靖远县大庙村入峡,在宁夏回族自治区中卫县小湾村出峡。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。从 1952 年开始进行河段开发方式论证,历来为中央和有关省区所关注。至今 40 年来,先后有原电力部北京勘测设计院、水电部西北勘测设计院、水电部四局勘测设计院和现能源部、水利部西北勘测设计院、天津勘测设计院进行了本河段的勘测、规划和设计工作,提交了 20 多份地质、规划设计报告。同时,还多次召开过不同层次的座谈、审查会。1974 年以前,国家曾三次(1955 年、1966 年、1974 年)批准黑山峡河段二级开发方案,即在峡谷中部小观音坝址修建高坝,在峡谷出口大柳树坝址修建低坝(图 1—1)。1974 年,国家决定兴建小观音水电站工程,拨款进行施工准备。后因众所周知原因,小观音水电站工程建设搁浅,又重新提出在大柳树建高坝的一级开发方案。1983~1984 年间,中国科协技术咨询中心黑山峡工程论证组提出“大柳树坝址区域稳定性条件似稍优于小观音,小观音坝址即使采用高砼重力坝方案也不一定是良好的坝址”、“一级开发可多蓄水 40 亿 m^3 ”和“使大柳树灌区实现自流灌溉”等意见^②。甘肃省黑山峡河段开发论证专家组坚持认为黑山峡河段宜二级开发^③。在此期间,原水电部曾组织了对西北勘测设计院提交的《黄河黑山峡河段开发方式比较重编报告》的内部审查会,与会多数专家同意两级开发方案^④。

从 1989 年起,天津勘测设计院开始同西北勘测设计院平行进行黑山峡河段开发方式规划论证工作。至今,西北勘测设计院坚持推荐黑山峡河段两级开发方案,天津勘测设计院则认为黑山峡河段以大柳树建高坝的一级开发最优越。目前,争论仍在继续,国家尚未进行决策。就工程地质方面而言,“从区域构造稳定性和工程地质条件分析,小观音坝址明显优于大柳树坝址。”^⑤这已是两设计院和大多数工程地质专家的一致认识。

二、黑山峡河段工程地质勘测工作概况

黑山峡的工程地质勘测工作是针对河段开发规划设计的需要进行的,重点勘测了小观音和大

① 本章由韩文峰执笔。

② 中国科协技术咨询中心黑山峡工程论证组,黄河黑山峡河段开发方案论证报告,1984. 10。

③ 甘肃省黄河黑山峡河段开发方案讨论研究会专家组,黄河黑山峡河段二级开发方案分析论证报告,1983. 6。

④ 能源部、水利部西北勘测设计院,黄河黑山峡河段开发方式论证报告,1990. 5。

⑤ 能源部、水利部水利水电规划设计总院,黑山峡河段开发方式规划报告工程地质专题预审意见,1991. 11。

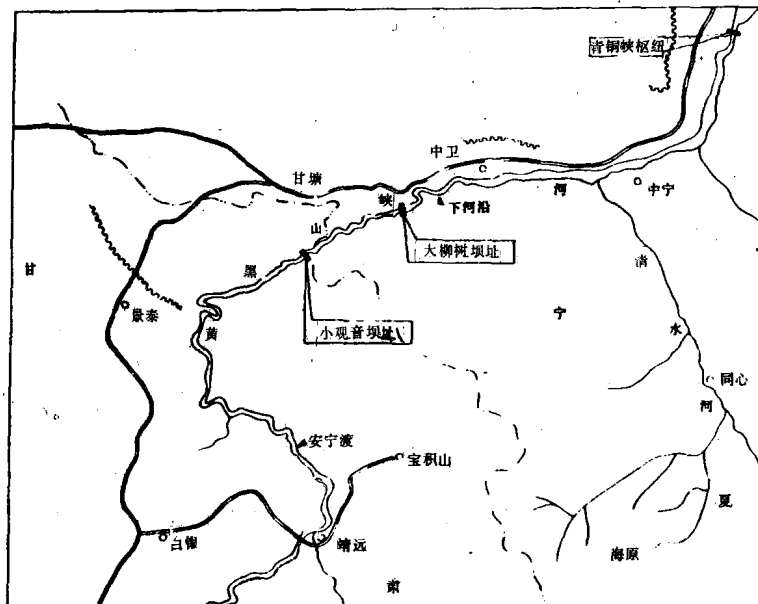


图 1—1 黄河黑山峡河段地理位置示意图

柳树坝址。两坝址的主要勘探工作量都已远远超过规范中相应设计阶段的要求。钻探都近万米，平硐数千米，且都开挖了过河平硐（表 1—1）。目前天津勘测设计院仍在在大柳树坝址进行工程地质勘察工作。此外，西北勘测设计院曾对峡谷内的米粮营坝址和峡谷出口下游的童家园、红毛牛坝址也布置了一定的勘测工作量。大量的工程地质勘测成果不仅为河段规划设计工作提供了科学依据，也为我们开展深入的工程地质研究奠定了基础并创造了条件。

表 1—1

黄河黑山峡工程地质勘测主要工作量

工 作 项 目		大柳树坝址	小观音坝址
平面地质测绘 (km ²)	1/50000		639
	1/25000		152
	1/10000	12.0	42.0
	1/5000	12.0	8.3
	1/2000	3.3	8.8
	1/1000	1.7	1.5
	1/500		0.4

续表

工 作 项 目		大柳树坝址	小观音坝址
剖面地质测绘 (km ²)	1/10000		17.2
	1/5000	7.0	91.8
	1/2000	16.3	80.1
	1/1000	7.3	13.3
	1/500		11.6
钻 探	进尺 (m) / 孔数	8280/97	10024.2/133
平 硐	进尺 (m) / 硐数	2789.2/30	2118.7/39
压水试验	段	766	926
室内岩石试验	组	55	127
现场岩体力学试验	组	51	92

注：据西北勘测设计院，工作量截止于1985年度

第二节 大柳树松动岩体研究工作概况

随着勘测设计工作的逐步深入，工程地质方面对黑山峡河段两坝址的认识也在逐渐深化。特别是1990年西北勘测设计院在对大柳树两岸岩体质量问题进行复查后，提出了“大柳树坝址两岸山体蠕动问题，认为由于两岸山体蠕动造成了坝区有大面积、大范围的松动、倾倒岩体分布，是大柳树坝址面临的主要工程地质问题”^①，引起了多方面重视。兰州大学通过现场调查和对前人资料分析，提出了大柳树坝址“岩体大范围发生了松动”，把松动岩体特征初步概括为四点：①断裂张开、节理错动、岩体架空；②岩石高强度，岩体低波速；③岩体渗透性强，地下水埋深大、坡降小；④岩体发生深卸荷、滑动和地应力释放^②。并认为松动岩体的工程地质性质不同于一般的风化岩体，如何对其进行工程地质评价，修建大型水利枢纽将产生哪些工程地质问题，如何解决，国内外均无研究先例和成功的实例。

水利水电工程的坝址区范围一般到工程可行性设计阶段结束后才能确定，在工程规划阶段坝址区范围往往较大。至今，对大柳树坝址的范围尚未见有关单位明确划定。从有关报告文件上看，目前对大柳树坝址范围有大小两种理解。大范围的大柳树坝址指从上游大柳树沟到下游的冰沟口，在该河段内曾布置有详细勘探的三条剖面，河道长约3km。小范围的大柳树坝址指目前推荐的Ⅲ坝线一段未来的枢纽区。我们这里所指的大柳树松动岩体是大柳树坝址区F₃断层和F₇断层间的中寒武统岩体，研究重点是Ⅲ坝线附近的枢纽区。我们说大柳树坝址岩体发生了大范围松动，是从以下两方面事实出发的：第一，除Ⅲ坝线外，下游的Ⅳ、Ⅶ坝线两岸岩体均已松动，现有的右岸横向勘探平硐（Ⅲ线271.3m，Ⅳ线87.4m，Ⅶ线50.9m）均在松动岩体内，未达尽头；第二，Ⅲ坝线附近的松动岩体已远大于设计中的土石坝枢纽布置区。此外坝址以东的烟筒梁地区岩体也发生了松动。总之，以枢纽区范围做比较标准是科学的。

为研究大范围松动岩体这一工程地质新课题，由兰州大学负责，有中国地质大学（北京）、成都地质学院、西安地质学院、中国科学院地质研究所和天津大学参加，组成了大柳树松动岩体研

① 能源部、水利部西北勘测设计院：对大柳树坝址两岸山体蠕动问题的初步说明，1990，10。

② 兰州大学：大柳树坝址松动岩体工程地质研究工作简报，1990，12。

究课题组。同时，成立了以张咸恭教授、张倬元教授和孙广忠研究员为首的课题指导组。本着对国家负责，对子孙后代负责，为黑山峡河段开发方案科学决策提供依据，推进工程地质学科发展的宗旨开展了这项研究工作。

课题的设计和室内资料准备工作是从1990年9月开始的，研究工作全面展开于1991年4月，至1991年12月基本结束野外工作。除课题成员单位的同志外，铁道部第一勘测设计院、甘肃省煤田综合普查队和中国科学院兰州冰川冻土研究所的部分同志也先后参加了本项研究的现场测试工作。在西北勘测设计院等单位的大力支持下，经过大家团结协作和共同努力，完成了区域地质填图，断层活动性测试和测年，电法、震法和地质雷达等物探测试，航卫片判释，地貌与第四纪地质调查，松动岩体特征、工程特性调查和取样试验，形成机制数值模拟和大柳树坝址高土石坝方案的工程地质问题分析及空中与地面摄影、录相等项工作（表1—2）。深入细致的现场调查和大量的测试结果表明，大柳树松动岩体是客观存在的，是至今尚缺乏系统研究的新问题，也是制约大柳树高坝方案可行性的关键问题之一。

表1—2 大柳树松动岩体研究主要工作量统计表

序 号	工 作 项 目	工 作 量
1	1/2000 和 1/5000 地质剖面测绘	8 条, 12.4km
2	1/10000 基岩地质图测绘	100km ²
3	测氢、活性炭剖面	57 条, 长 5km, 610 个测点
4	测氢、二氧化碳	20 组
5	第四纪地层和断层活动年龄测定	35 组
6	勘探平硐张开裂缝精测	6 个平硐
7	勘探平硐岩体松动情况调查	40 个平硐
8	回弹值测定	244 组
9	岩石力学性质室内试验	10 组
10	断层泥与软弱夹层取样试验	75 组
11	凯塞尔效应测定地应力	4 组
12	点荷载试验	66 组
13	薄片鉴定	85 组
14	地裂缝调查与详查	调查 8.25km ² , 详查 3.5km ²
15	音频大地电磁测深 (AMT)	三个剖面长 10km
16	直流四极对称测深	45 点
17	人工地震剖面	6 条, 10km
18	地震波穿透波速测定	68 段
19	硐壁地震波和振幅衰减测试	4 个平硐
20	坝区与邻区卫片图像处理	
21	地面和空中摄影与录相	