

WANJIAZHAI SHUILISHUNIU GONGCHENG DIZHIKANCHA YU YANJIU

万家寨水利枢纽工程

地质勘察与研究

牛世豫 刘满杰 高玉生 高义军 著



黄河水利出版社

万家寨水利枢纽工程

地质勘察与研究

牛世豫 刘满杰 高玉生 高义军 著



黄河水利出版社

内 容 提 要

万家寨水利枢纽是黄河北干流上一座控制性大型水利水电工程，是黄河中游梯级开发的第一级。前期勘测设计工作历经 40 余年，积累了丰富的资料，可供后人借鉴。本书阐述了 40 余年对万家寨水利枢纽工程地质勘察工作的主要内容、方法和取得的成果，并重点介绍了该工程两个主要工程地质问题：水库右岸岩溶渗漏和坝址层间剪切带对大坝抗滑稳定影响的研究内容及工程地质评价方法。

本书可供从事水利水电工程勘察、水工设计和工程建设工作的科技工作者阅读参考。

图书在版编目(CIP)数据

万家寨水利枢纽工程地质勘察与研究/牛世豫等著. —郑州：黄河水利出版社，2008.9
ISBN 978-7-80734-490-2

I.万… II.牛… III.黄河—水利枢纽—地质勘探—研究—山西省 IV.TV632.25

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 133534 号

组稿编辑：王路平 电话：0371-66022212 E-mail:hhsllwlp@126.com

出 版 社：黄河水利出版社

地址：河南省郑州市金水路 11 号 邮政编码：450003

发行单位：黄河水利出版社

发行部电话：0371-66026940、66020550、66028024、66022620(传真)

E-mail：hhsllcbs@126.com

承印单位：河南第二新华印刷厂

开本：787 mm × 1 092 mm 1/16

印张：14

彩插：4

字数：335 千字

印数：1—1 000

版次：2008 年 9 月第 1 版

印次：2008 年 9 月第 1 次印刷

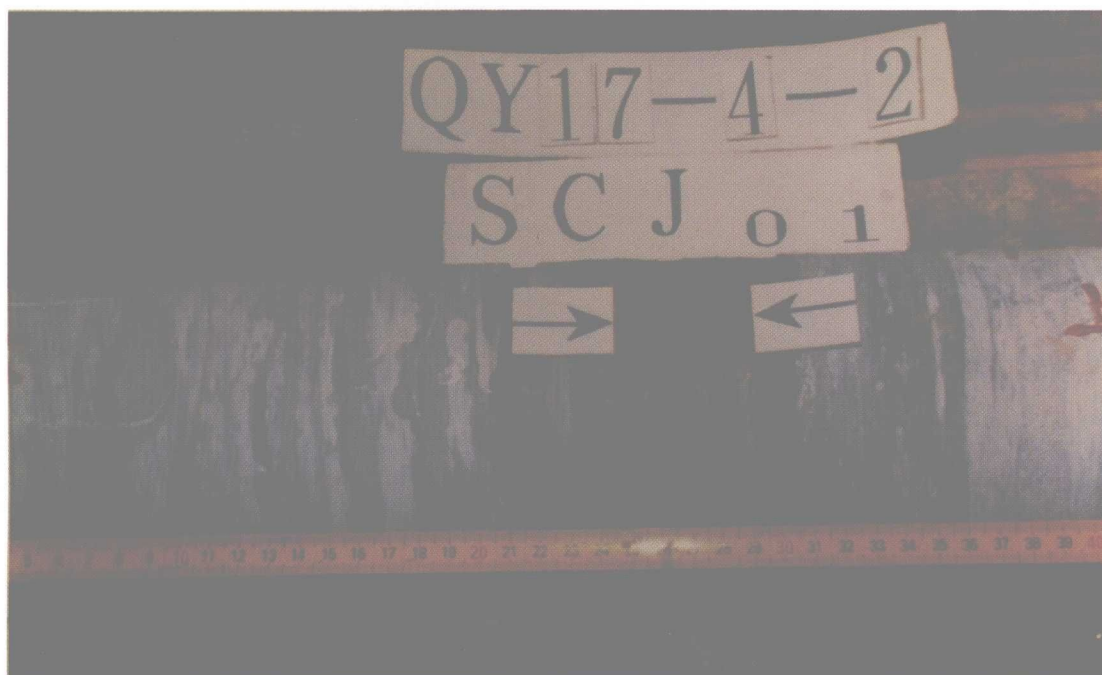
定价：39.00 元



万家寨水利枢纽坝址全景

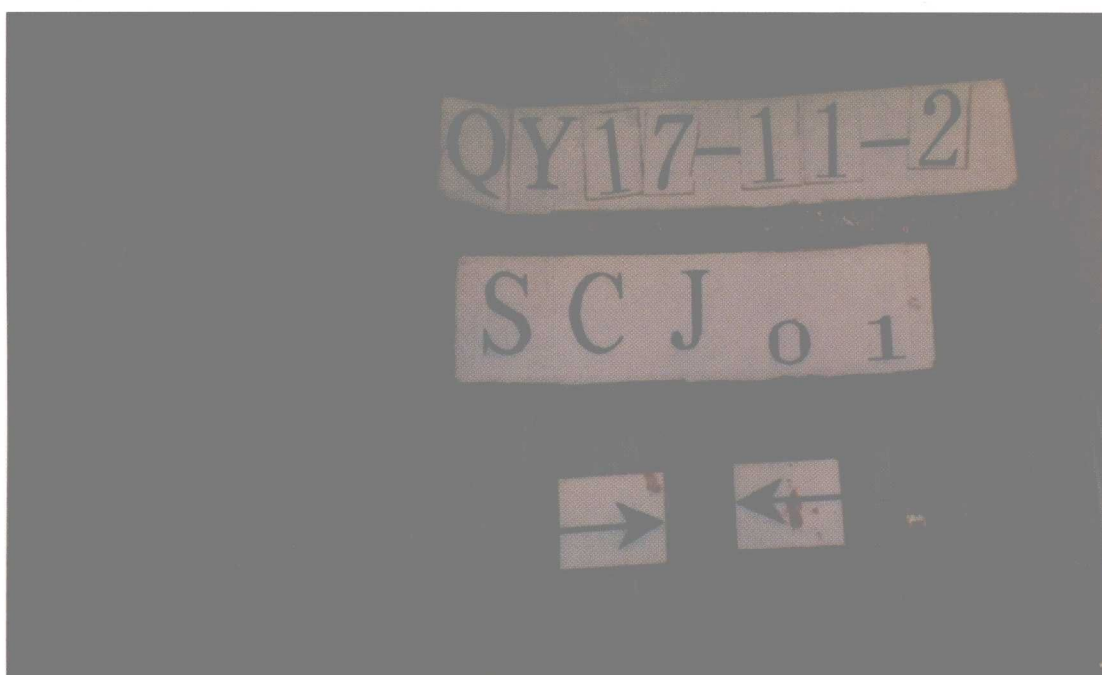


万家寨水利枢纽库区弯道



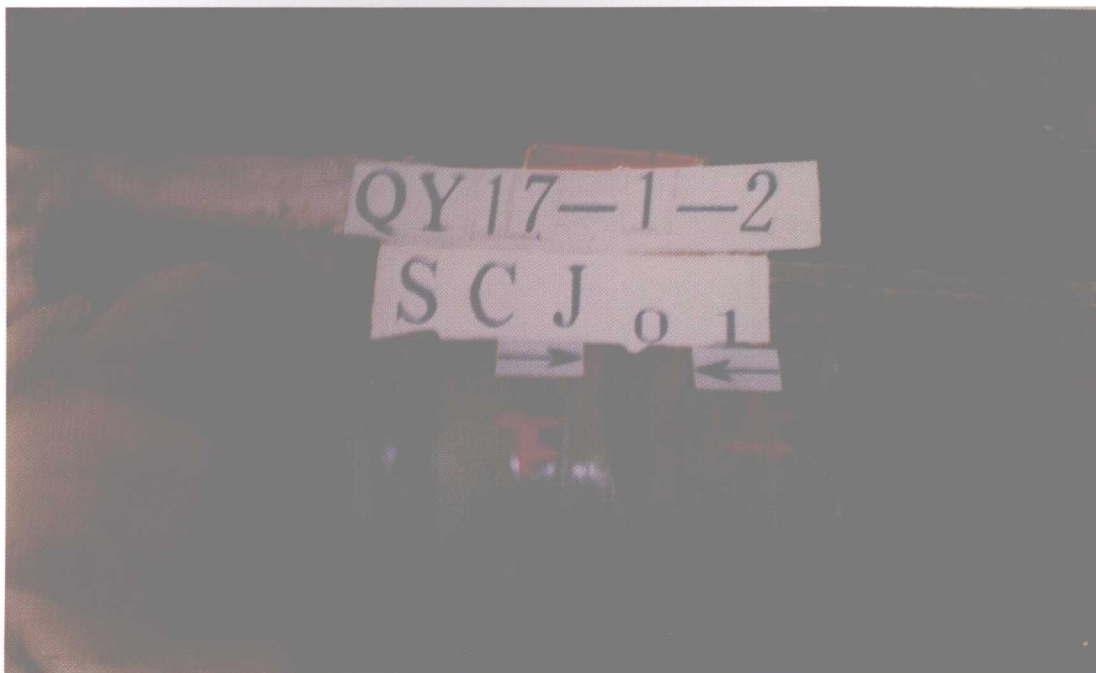
SCJ01层间剪切带（一元结构）

剪切带厚4.0 cm，为节理带，原岩为薄层泥灰岩夹灰岩，层面间可见轻微剪切痕迹。



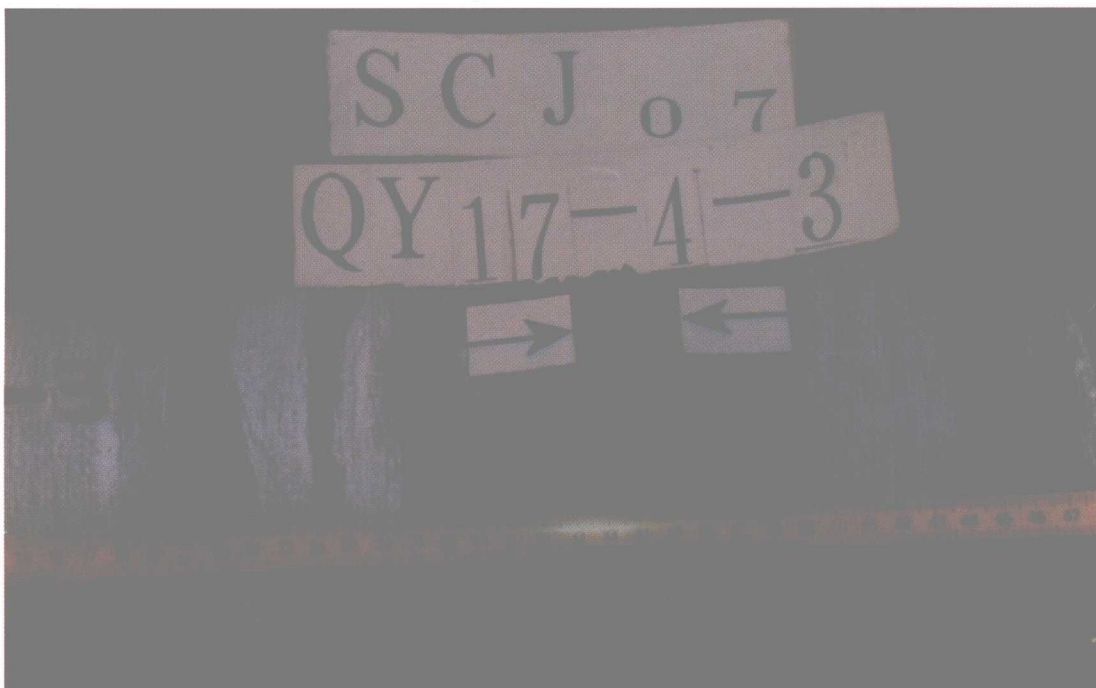
SCJ01层间剪切带（二元结构）

剪切带厚2.0 cm，为节理带和劈理带，劈理带厚约0.8 cm，以岩屑为主，含泥量约占10%。



SCJ01层间剪切带（二元结构）

剪切带厚2.5~3.0 cm，上部1.5 cm为劈理带，下部为泥化带，剪切带中可见呈流塑状夹泥。

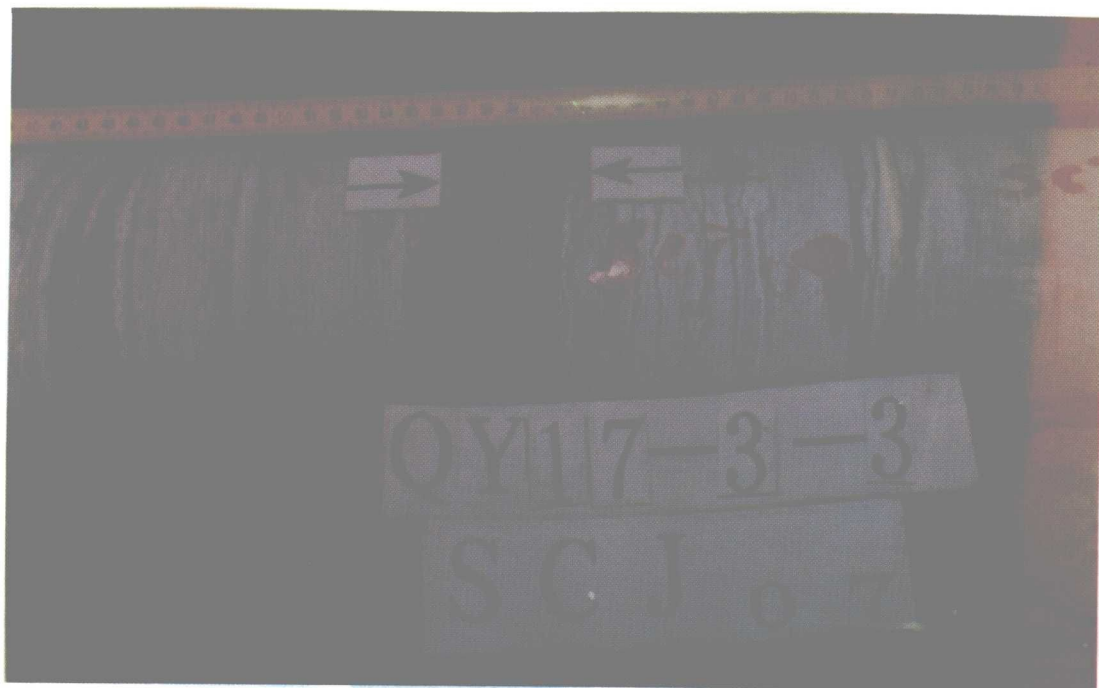


SCJ07层间剪切带（一元结构）

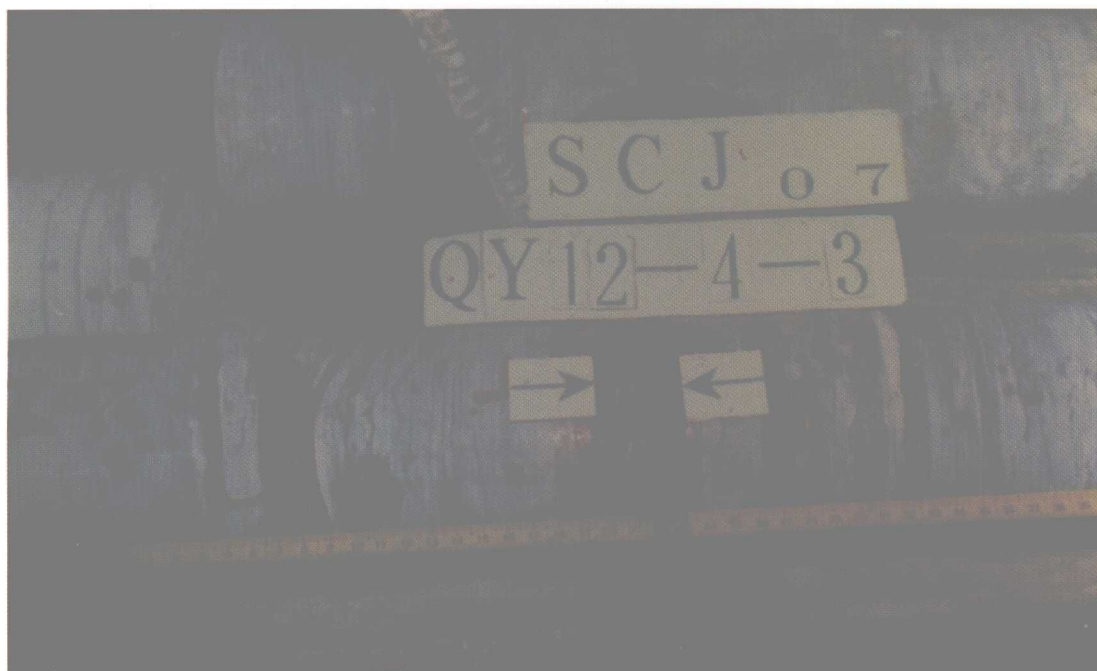
剪切带厚4.0 cm，为节理带，呈片状，顺层发育，间夹泥膜。



SCJ07层间剪切带（一元结构）
剪切带厚2.0 cm，为节理带，间夹泥膜。



SCJ07层间剪切带（二元结构）
剪切带厚4.0 cm，为节理带和劈理带，劈理带厚约0.2 cm，含泥量约占15%。



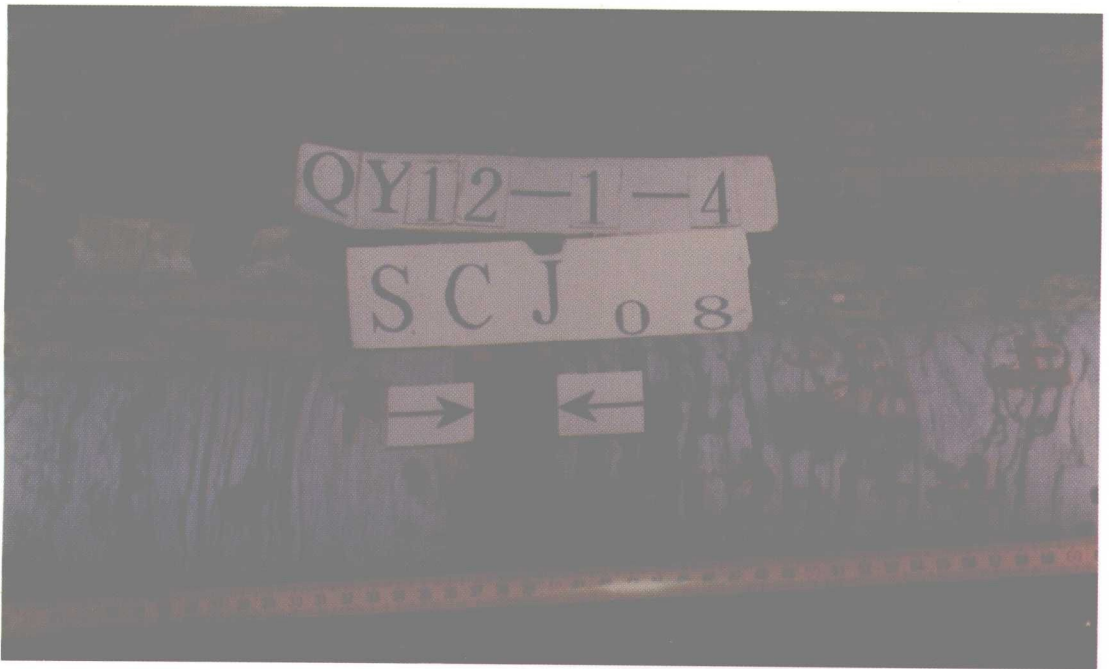
SCJ07层间剪切带（二元结构）

剪切带厚3.0 cm，为节理带和劈理带，劈理带厚约1.0 cm，呈鳞片状沿层面分布。



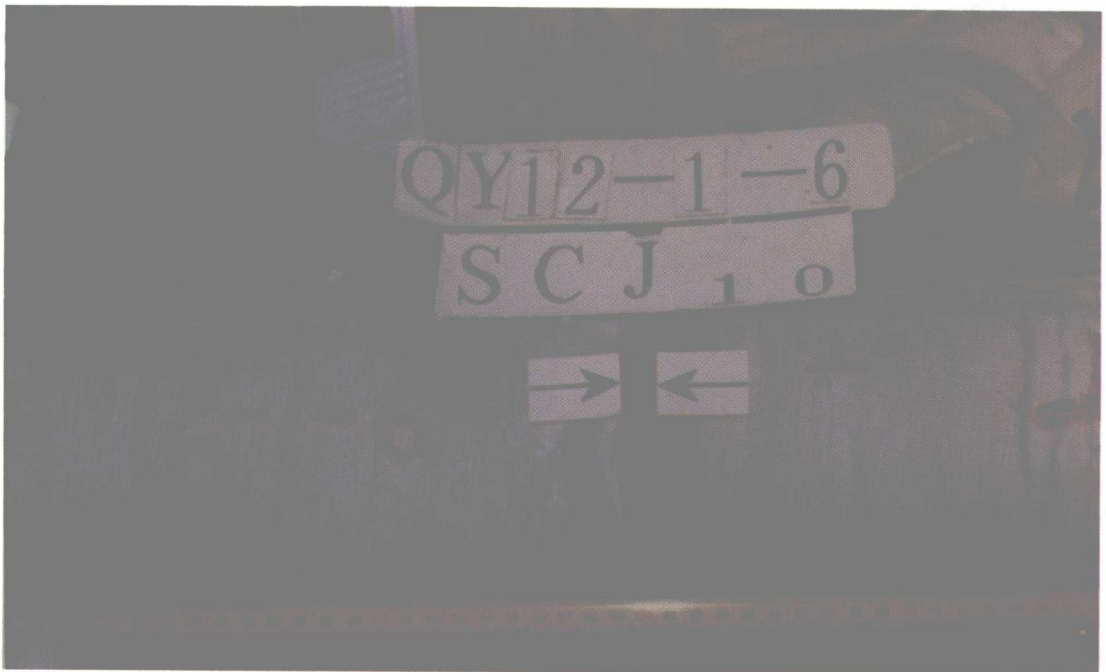
SCJ08层间剪切带（一元结构）

剪切带厚1.5 cm，为节理带，未见泥质物。



SCJ08层间剪切带（二元结构）

剪切带厚2.0 cm，为节理带和劈理带，劈理带厚约0.2 cm，含泥量约占5%。



SCJ10层间剪切带（二元结构）

剪切带厚0.5 cm，为节理带和劈理带，劈理带厚约0.1 cm。

前 言

黄河万家寨水利枢纽工程地质勘察始于 20 世纪 50 年代初，初步设计勘察完成于 1993 年，前期勘察历经 40 余年。工程于 1994 年 11 月正式开工建设，2002 年 6 月竣工，并由水利部组织了工程竣工验收。2004 年 12 月，经全国优秀工程勘察设计评选委员会评定，万家寨水利枢纽工程设计获金质奖，工程地质勘察获银质奖。

万家寨水利枢纽工程地质勘察工作，是黄河北干流托克托至龙口段规划设计工作的重要组成部分，一直受到有关各方面的高度重视。几代工程地质勘察工作者为此付出了艰辛努力，取得了丰富翔实的第一手资料，满足了各个阶段规划设计工作的需要，为工程建设做出了应有的贡献。

万家寨水利枢纽工程地质勘察工作，在基本查清工程地质环境和具体工程地质条件的基础上，重点研究了水库右岸岩溶渗漏和坝址层间剪切带抗剪强度两个主要工程地质问题。万家寨工程地质勘察工作者在可靠的第一手资料基础上，依靠创造性思维劳动和实事求是、敢于承担一定风险的科学态度，对这两个长期以来存有较大争议的工程地质问题，大胆决策，提出了明确、具体的工程地质评价意见，有力地促进了工程立项和开工建设。

本书作者都是万家寨水利枢纽工程地质勘察的亲历者。此时，我们将有关勘察情况集成笔墨，不去引经据典作理论上的论述，重点在于对勘察资料和成果的介绍，意在便于读者参考。借此机会，我们向所有万家寨水利枢纽工程地质勘察工作者和为此付出辛勤劳动、指导、帮助的各级领导、专家及学者，表示深深的敬意。

本书在编写过程中，得到了中水北方勘测设计研究有限责任公司勘察院的大力支持和帮助，中水北方勘测设计研究有限责任公司勘察院高级工程师李志和程莉、张冬梅进行了本书插图和文字的编绘，在此一并表示感谢！

由于我们水平有限，错误难免，敬请读者批评指正！

作 者

2007 年 6 月

目 录

前 言

第 1 章 概 述	(1)
1.1 工程简况	(1)
1.2 勘察概况	(2)
第 2 章 区域与水库工程地质	(9)
2.1 地质环境	(9)
2.2 岩 溶	(22)
2.3 岩溶地下水	(28)
2.4 水库工程地质问题简述	(32)
第 3 章 坝址工程地质	(40)
3.1 坝址工程地质条件	(40)
3.2 坝址、坝线比较	(59)
3.3 基坑开挖与建基岩体质量	(61)
3.4 坝址水文地质简况及坝基渗流	(79)
第 4 章 天然建筑材料	(96)
4.1 勘察简况	(96)
4.2 主要料场勘察成果	(96)
第 5 章 主要工程地质问题研究	(107)
5.1 水库右岸岩溶渗漏	(107)
5.2 层间剪切带、泥化夹层及对大坝抗滑稳定的影响	(189)
第 6 章 对初步设计阶段工程地质勘察成果的评述	(217)
参考文献	(219)

第1章 概述

1.1 工程简况

1.1.1 工程位置及规模

万家寨水利枢纽工程位于黄河北干流托克托至龙口之间的峡谷河段内。坝址东南距山西省偏关县万家寨村约 0.8 km，西偏南距内蒙古准格尔旗魏家峁乡约 6.5 km。水库回水末端在内蒙古清水河县拐上村附近，回水长度约 72.34 km。水库周边，除左岸从坝址向上游至老牛湾地段属于山西省偏关县，其余库段分属内蒙古清水河县、托克托县及准格尔旗。坝址下游沿河道约 27 km 为在建的龙口水利枢纽，再往下游约 66 km 为已经建成的天桥水电站。

该工程主要任务是供水结合发电调峰，同时兼有防洪、防凌作用。坝址控制流域面积为 39.5 万 km²，多年平均流量为 621 m³/s，设计入库流量为 250 m³/s，水库正常蓄水位为 977 m，最高蓄水位为 980 m，总库容为 8.96 亿 m³，调节库容为 4.45 亿 m³。工程等级为一等大(1)型工程，枢纽由拦河坝、泄水建筑物、坝后式电站厂房、引黄取水建筑物及开关站等组成。拦河坝为半整体式混凝土直线重力坝，坝顶高程为 982 m，坝顶长度为 443 m，最大坝高为 105 m。自左向右分为 22 个坝段，依次为左岸挡水坝段(①~③坝段)、泄水坝段(④~⑩坝段)、隔墩坝段(⑪坝段)、电站坝段(⑫~⑰坝段)、右岸挡水坝段(⑱~⑳坝段)。泄水坝段位于河床左侧，采用长护坦挑流消能。电站厂房位于河床右侧，安装 6 台单机容量为 18 万 kW 水轮发电机组，总装机容量为 108 万 kW。

1.1.2 工程建设过程

新中国成立以后，国家十分关注该河段的开发。早在 20 世纪 50~60 年代，原燃料工业部水力发电建设总局就对该河段进行了规划勘测设计工作，并确定了小沙湾、万家寨、龙口三级以发电为主的梯级开发方案，并由原水利电力部北京勘测设计院(简称北京院)针对万家寨坝址完成了初步设计，1958 年曾进行施工准备，1959 年由于国家经济建设的调整，工程缓建。

20 世纪 70 年代，该工程再次提到国家建设日程。由水利部黄河水利委员会、内蒙古水利局、山西省水利厅，单独或共同参与，对该河段先后进行了 4 次规划选点工作，着重研究了龙口高坝一级开发方案，万家寨高坝、龙口低坝二级开发方案及龙口中坝加小沙湾低坝方案，但对该河段的开发方案最终未确定下来。

20 世纪 80 年代，原水利电力部水利水电建设总局再次组织有关单位对该河段开发进行了研讨，并于 1982 年 9 月以[82]水建字第 41 号文向原水利电力部天津勘测设计院(现中水北方勘测设计研究有限责任公司，简称天津院)下达了《黄河托克托—龙口段规划勘

测设计任务书》。1983年初,天津院在前人资料的基础上,经过论证推荐万家寨高坝、龙口低坝二级开发方案,并得到水利电力部的肯定。

1983年2月,国家计委将万家寨水电站勘测设计列入国家“六五”计划前期重点项目。1993年2月,经国务院批准工程立项,工程定名为万家寨水利枢纽,1993年10月国家计委将该工程列为1994年国家正式开工的大型项目。

万家寨水利枢纽工程于1983年完成可行性研究,1993年完成初步设计,1994年11月正式开工,1998年10月1日下闸蓄水,2002年6月竣工。实际完成的主要工程量:石方开挖112万 m^3 ,混凝土及钢筋混凝土152.5万 m^3 ,竣工决算人民币48.9亿元,比1997年核定的设计概算结余人民币11.7亿元。

2002年3月,水利部规划设计总院在现场主持完成了工程竣工安全鉴定,2002年6月水利部进行了工程竣工验收。

1.2 勘察概况

万家寨水利枢纽工程地质勘察历时40余载,大体可划分为如下几个阶段。

1.2.1 规划阶段(1951~1954年)

原中央燃料工业部水力发电建设总局勘测处,会同原地质部工程地质处共同组队,于1951年、1952年两次对黄河包头至河曲段进行了综合性考察,初步选择了拐上、百草园、小沙湾、万家寨、柳清河、后阳湾等6处比较适宜筑坝的河段,见图1-1。并由原地质部263地质队、清水河工程地质队和水力发电建设总局钻探队进行了程度不同的地质勘探工作,初步选择万家寨为先期开发的坝址。

1953年,上述单位在万家寨河段选择上、中、下三个坝址,进行了技经阶段勘察。在汇总前人资料的基础上,于1954年完成了《万家寨水电站库区、坝址技经阶段报告》。在该报告中明确指出:“从拐上到龙口这一段峡谷,就整个地质环境来看,万家寨坝址是许多坝址中间最好的一个”,“万家寨上中下三个坝址比较,以中坝址为优”。与此同时,原地质部地质处经过对拐上坝址进行勘察,并汇总前人资料,最终以“黄河第三分队”的名义,编制了《黄河中游拐上坝址地质报告》。1954年,黄河规划委员会制定了《黄河综合利用规划技术经济报告》,并于1955年由全国人大二次会议通过。本次规划确定了该河段小沙湾、万家寨、龙口以发电为主的三级开发方案。

1.2.2 初步设计阶段(1957~1958年)

原北京院第一地质勘探队具体承担了初步设计阶段(初设第一期选坝阶段及初设第二期扩大初设要点阶段)的工程地质勘察。于1958年6月提交了《黄河万家寨水电站初设第一期工程地质勘察报告》,推荐万家寨中坝址。继而于1958年9月提交了《万家寨水电站初设阶段工程地质报告》。勘察工作针对坝型为混凝土宽缝重力坝,比较坝型为堆石坝,正常高蓄水位为985m。

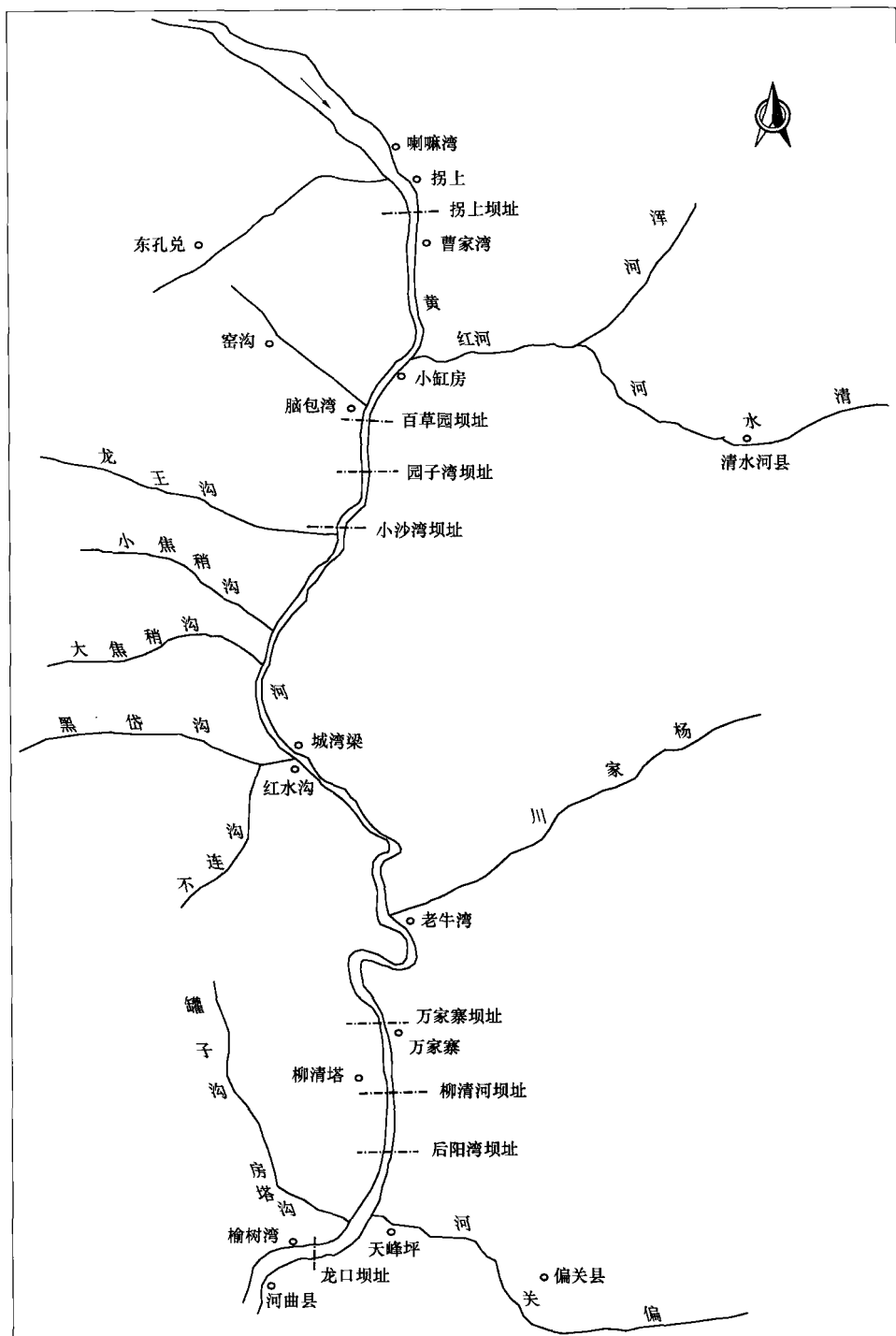


图 1-1 黄河北干流上游段规划初期坝址位置示意图

1.2.3 工程缓建(1959~1969 年)

1957 年 6 月初设第一期设计文件完成后,同年 7 月经国家选坝委员会综合比较后,选定了万家寨中坝址,并要求 1959 年正式动工兴建,随即现场进行了施工准备。1959 年,由于国家经济建设计划的调整,工程缓建。

1.2.4 再次规划阶段(1970~1982 年)

20 世纪 70 年代,随着国家经济状况的好转,万家寨水电站的兴建又被提上了日程,从 1970 年至 1982 年再次对该河段进行了规划。

第一次,1970~1972 年,水利部黄河水利委员会再次开展了黄河北干流规划工作,推荐托克托至龙口段龙口高坝一级开发。

第二次,1974 年,由水利部黄河水利委员会主持,内蒙古自治区水利局、山西省水利厅参加,共同编制完成了《黄河北干流托克托至龙口段规划选点报告》,仍推荐龙口高坝一级开发,正常蓄水位为 980 m。

第三次,1979 年,水利部黄河水利委员会再次对该河段进行规划选点工作,提出了《黄河托克托至龙口段梯级开发规划报告》。但该报告对该河段开发方式未做出结论,报告认为对龙口一级开发或万家寨、龙口二级开发,“权衡利弊影响,何者为好还有待工作”。万家寨、龙口二级开发研究的正常高水位分别为 980 m 和 897 m。

第四次,1978 年 9 月,内蒙古自治区水利局根据原水电部下达的任务,对该河段进行了补充规划选点工作,侧重龙口坝址开展了工程地质勘察。1979 年 12 月,内蒙古自治区水利勘测设计院提出了《黄河托克托—龙口段补充规划选点报告》,推荐小沙湾、龙口二级开发方案,研究的正常高水位分别为 980 m 和 920 m。

第五次,1982 年 7 月、9 月,原水利电力部水利水电建设总局两次组织有关单位,就该河段的开发问题进行了现场考察,并于 1982 年 9 月以[82]水建字第 41 号文,向天津院下达了《黄河托克托—龙口段规划勘测设计任务》。天津院于 1983 年初,推荐万家寨高坝、龙口低坝二级开发方案,得到原水电部肯定,并以会议纪要形式记录在案。至此,从 20 世纪 50 年代初就开始酝酿的万家寨工程才最终被确定下来。

1.2.5 可行性研究阶段(1983 年)

1983 年,天津院正式开展了万家寨工程可行性研究阶段工作,具体承担可行性研究阶段工程地质勘察任务的是原天津院地质勘探总队第三地质勘探队,地勘队伍于 1983 年初进场,同年 12 月完成了《黄河万家寨水电站可行性研究阶段工程地质勘察报告》。报告推荐万家寨中坝址,并明确提出“尽管坝基存在软弱夹层,但发育程度有限,不影响混凝土高坝方案的成立;万家寨水库右岸存在永久岩溶渗漏问题,但其永久渗漏不会严重影响水库正常效益”的工程地质结论。

1.2.6 再次初步设计阶段(1984~1993 年)

1984 年 5 月,原水利电力部规划设计总院在北京主持召开了天津院报送的《黄河万家寨水电站可行性研究报告》的审查会,并获得通过。由此,正式开展了初步设计阶段工程地质勘察,历经 10 年,于 1993 年 9 月完成了《黄河万家寨水利枢纽初步设计工程地质勘察报告》。报告认为,万家寨坝址工程地质条件良好,在该河段是比较理想的好

坝址。在工程地质勘察过程中,1987年5月,曾邀请国内对岩溶问题有较深造诣的专家,在山西省忻州市召开了万家寨水库右岸岩溶渗漏问题研讨会;1989年11月,原水利水电规划设计总院在北京主持召开了万家寨水利枢纽及引黄入晋工程设计任务书技术讨论会;1992年3月,中国国际工程咨询公司在北京主持召开了万家寨水利枢纽及引黄入晋工程可行性研究报告评估会。这三次会议对万家寨工程地质问题进行了广泛交流和认真评估,促进了工程地质问题的深入研究。

初步设计经过中Ⅰ、中Ⅱ两条坝轴线比较,选定了中Ⅱ坝轴线。在直线重力坝、曲线重力坝及碾压混凝土坝等坝型比较的基础上,确定了常态混凝土半整体式直线重力坝。1993年4月,原水利电力部规划设计总院在天津召开会议,审查并通过了《黄河万家寨水利枢纽初步设计说明书》,标志着初步设计阶段工作基本结束。

1.2.7 技施阶段(1994~2001年)

初步设计阶段后期,陆续开展了招标设计。在这期间,工程地质勘察除配合设计编制招标文件,主要完成了坝基水泥灌浆试验。

1994年6月,业主单位——万家寨水利枢纽工程建设管理局以合同形式正式委托天津院承担该工程的施工地质工作。自此,技施阶段的工程地质勘察全面开展。在这期间,除常规的施工地质工作,主要针对坝基层间剪切带和水库右岸岩溶渗漏问题进行了较为深入的勘察与研究。历时约7年,天津院分别于2001年5月和2001年7月先后完成了《黄河万家寨水利枢纽施工地质报告》和《万家寨水利枢纽工程技施阶段设计说明书》。

万家寨水利枢纽工程地质勘察从1951年河段首次规划开始,至技施阶段工程地质勘察结束,历时共51年,完成的主要勘察工作量见表1-1~表1-3。

表 1-1 万家寨 1951~1958 年勘察工作量统计

项目		单位	完成工作量		备注
			1951~1954 年规划阶段	1957~1958 年初步设计阶段	
区域	线路查勘	次	2		
库区	1:50 000 地质普查	km ²	500		
	1:25 000 地质测绘	km ²		305	
	1:10 000 地质测绘	km ²	250		
	实测地质剖面	km		30	
	钻孔	m/个		130/1	
坝址	1:5 000 地质测绘	km ²		12.25	
	1:2 000 地质测绘	km ²		1.09	
	实测地质剖面	km		12.74	
	机钻孔	m/个	182.27/9	2 032.31/42	
	土探孔	m		517.57	
	平硐	m/个		111.75/6	
	坑槽探	m ³		687.35	
	钻孔压(注)水试验	段次	25	175	
	钻孔抽水试验	次		10	
	岩石室内物理力学试验	项次		93	
	野外大型抗剪试验	组		2	
	水泥灌浆试验	m/孔		180/5	
天然建材	砂砾料场 1:2 000 地质测绘	km ²		8.5	
	实测地质剖面	km		12.0	
	管钻孔				不详
	坑槽探				不详
	土工试验	组		269	

表 1-2 万家寨 1983~1993 年勘察工作量统计

项目		单位	完成工作量		合计
			1983 年 可行性研究阶段	1984~1993 年 初步设计阶段	
区域	1:100 000 遥感地质测绘	km ²	7 102	7 898	15 000
库区	沿河查勘	km		100	100
	1:10 000 地质测绘	km ²		150	150
	1:5 000 地质测绘	km ²		26.6	26.6
	钻孔	m/个	1 060.75/3	8 942.66/32	10 003.41/35
	搜集煤炭水文二队钻孔	m/个		13 279.41/25	18 896.34/46
	搜集山西水文一队钻孔	m/个		5 616.93/21	
	钻孔物探测井	m/孔		3 100.09/16	3 100.09/16
	平硐	m/个		417.4/4	417.4/4
	钻孔压(注)水试验	段次	184	337	521
	煤炭、山西钻孔抽水试验成果	次/孔		47/18	47/18
	物探钻孔测地下水流速	次/孔		4/2	4/2
	黑岱沟沟水测流	次/点		34/2	34/2
	地表水、地下水氟分析	个		124	124
	地表水、地下水水质分析	组		186	186
	地下水动态观测	孔	3	44	47
	溶洞充填物年龄鉴定	个		8	8
	电模拟渗流试验	组		1	1
坝	1:5 000 地质测绘		12.25		12.25
	1:1 000 地质测绘	km ²		1.32	1.32
	1:500 陆摄地质图	km ²		0.60	0.60
	机钻孔	m/孔	926.87/10	3 399.38/43	4 326.25/53
	综合测井	m/孔		331.85/7	331.85/7
	岩体弹模测试	点	260	455	715
	覆盖层测深	点		66	66
	孔内录像	m/孔		240/6	240/6