



枣庄山亭抽水蓄能电站

可行性研究报告

4 工程地质

(审定本)

勘察证书编号：B111009293

中国电建集团北京勘测设计研究院有限公司

二〇二四年七月

总 目 录

第一篇	综合说明
第二篇	工程任务和建设必要性
第三篇	水文泥沙
第四篇 ★	工程地质
第五篇	工程规模
第六篇	工程布置及建筑物
第七篇	机电及金属结构
第八篇	消防设计
第九篇	施工组织设计
第十篇	建设征地移民安置
第十一篇	环境保护
第十二篇	水土保持
第十三篇	安全设施与应急
第十四篇	节能降耗分析
第十五篇	工程信息化数字化
第十六篇	设计概算
第十七篇	经济评价

总 经 理： 杨晓辉

分管副总经理：王 勇

公司总工： 王 可

主管副总工： 李振中

项目经理： 张 捷

项目副经理： 李 柯

项目设总： 董丹丹

项目副设总： 赵海镜 吴喜江

李康宏

4 工程地质

批准： 李振中 张 捷

核定： 张永辉 董丹丹

审查： 吴喜江

校核： 张小杰 吴 征 任 君

编写： 李 辉 张小杰 李 旭 吴 征

冯 军 蔡海瑞 马 勇 任 君

王迎东 刘毅飞

目 录

4.1 概述1

4.1.1 工程概况1

4.1.2 前期工作概述及预可研审查意见2

4.1.3 可研阶段勘察工作过程概述及勘察工作量5

4.2 区域地质与地震7

4.2.1 区域地质概况7

4.2.2 新构造运动31

4.2.3 地震34

4.2.4 区域构造稳定性评价47

4.2.5 场地地震地质灾害评价48

4.3 工程区基本地质条件49

4.3.1 地形地貌49

4.3.2 地层岩性49

4.3.3 地质构造55

4.3.4 水文地质条件58

4.3.5 物理地质现象64

4.3.6 岩石（体）工程地质特性69

4.4 上水库（坝）工程地质条件 111

4.4.1 上水库库址及坝型比选 111

4.4.2 上水库库区工程地质条件 114

4.4.3 上水库坝址区工程地质条件128

4.5 输水系统工程地质条件132

4.5.1 输水系统线路比选132

4.5.2 选定输水系统基本地质条件133

4.5.3 主要工程地质问题及评价139

4.6 地下厂房系统工程地质条件154

4.6.1 基本地质条件154

4.6.2 地下厂房位置比选及轴线方向的选择	159
4.6.3 地下厂房岩体质量及围岩分类	163
4.6.4 附属建筑物工程地质条件	179
4.7 下水库（坝）工程地质条件	184
4.7.1 下水库库区工程地质条件	184
4.7.2 坝址区工程地质条件	186
4.7.3 抽水蓄能电站利用下水库问题影响分析	191
4.8 施工辅助工程地质条件	192
4.8.1 下水库进/出水口围堰工程	192
4.8.2 堆渣场	193
4.8.3 业主营地	195
4.8.4 移民安置点	196
4.9 天然建筑材料	198
4.9.1 概述	198
4.9.2 上水库库内堆石料场	198
4.9.3 上水库库内堆石料场（垫层料）	209
4.9.4 梨园料场	209
4.9.5 开挖洞渣料	216
4.10 地质灾害危险性评估及压覆矿产资源调查主要结论	220
4.10.1 地质灾害危险性评估	220
4.10.2 压覆矿产资源调查	220
4.11 结论和建议	222
4.11.1 结论	222
4.11.2 建议	228
4.12 附件	229

附 图 目 录

序号	图 件 名 称	比例尺	图 号
1	枣庄山亭抽水蓄能电站区域地质图	1:20 万	BJ1306K-D-1
2	枣庄山亭抽水蓄能电站构造纲要及地震震中分布图	1:100 万	BJ1306K-D-2
3	枣庄山亭抽水蓄能电站工程区工程地质图	1:1000	BJ1306K-D-3
4	枣庄山亭抽水蓄能电站上水库库(坝)区工程地质图	1:1000	BJ1306K-D-4
5	枣庄山亭抽水蓄能电站方案一上水库(石门沟库址)坝轴线工程地质剖面图 (SK1-SK1')	1:1000	BJ1306K-D-5-1
6	枣庄山亭抽水蓄能电站方案一上水库(石门沟库址)坝址区工程地质剖面图(SK2-SK2')	1:1000	BJ1306K-D-5-2
7	枣庄山亭抽水蓄能电站方案一上水库(石门沟库址)环库分水岭工程地质剖面图(KZ-KZ')	1:1000	BJ1306K-D-6-1
8	枣庄山亭抽水蓄能电站方案一上水库(石门沟库址)分水岭工程地质横剖面图(SK3-SK6')	1:1000	BJ1306K-D-6-2
9	枣庄山亭抽水蓄能电站方案一上水库(石门沟库址)环库分水岭岩体渗透剖面图(KZST1-KZST1')	1:1000	BJ1306K-D-6-3
10	枣庄山亭抽水蓄能电站方案二上水库(行岭沟库址)坝轴线工程地质剖面图 (BSK1-BSK1')	1:1000	BJ1306K-D-7-1
11	枣庄山亭抽水蓄能电站方案二上水库(行岭沟库址)坝址区工程地质剖面图(BSK2-BSK2')	1:1000	BJ1306K-D-7-2
12	枣庄山亭抽水蓄能电站方案二上水库(行岭沟库址)坝址区趾板线工程地质剖面图(BSK3-BSK3')	1:1000	BJ1306K-D-7-3
13	枣庄山亭抽水蓄能电站方案二上水库(行岭沟库址)环库分水岭工程地质剖面图(BKZ-BKZ')	1:1000	BJ1306K-D-8-1
14	枣庄山亭抽水蓄能电站方案二上水库(行岭沟库址)环库分水岭岩体渗透剖面图(BKZST1-BKZST1')	1:1000	BJ1306K-D-8-2
15	枣庄山亭抽水蓄能电站输水发电系统工程地质图	1:1000	BJ1306K-D-9
16	枣庄山亭抽水蓄能电站方案一输水发电系统(中部厂房)工程地质剖面图(SS1-SS1')	1:1000	BJ1306K-D-10-1
17	枣庄山亭抽水蓄能电站方案一输水发电系统(首部厂房)工程地质剖面图(BSS1-BSS1')	1:1000	BJ1306K-D-10-2
18	枣庄山亭抽水蓄能电站方案二输水发电系统工程地质剖面图(BS1-BS1')	1:1000	BJ1306K-D-11
19	枣庄山亭抽水蓄能电站地下厂房区工程地质图	1:1000	BJ1306K-D-12
20	枣庄山亭抽水蓄能电站地下厂房轴线工程地质剖面图(SCF1-SCF1')	1:1000	BJ1306K-D-13
21	枣庄山亭抽水蓄能电站地下厂房主变室轴线工程地质剖面图(ZB1-ZB1')	1:1000	BJ1306K-D-13-1
22	枣庄山亭抽水蓄能电站地下厂房尾闸室轴线工程地质剖面图(WZ1-WZ1')	1:1000	BJ1306K-D-13-2
23	枣庄山亭抽水蓄能电站地下厂房平洞 PD101 顶拱高程(EL194.0m)工程地质平切图	1:1000	BJ1306K-D-14-1
24	枣庄山亭抽水蓄能电站地下厂房顶拱高程(EL69.5m)工程地质平切图	1:1000	BJ1306K-D-14-2
25	枣庄山亭抽水蓄能电站地下厂房岩壁吊车梁高程(EL54.0m)工程地质平切图	1:1000	BJ1306K-D-14-3
26	枣庄山亭抽水蓄能电站地下厂房主变室底板高程(EL42.0m)	1:1000	BJ1306K-D-14-4

序号	图 件 名 称	比例尺	图 号
	工程地质平切图		
27	枣庄山亭抽水蓄能电站地下厂房机组安装高程(EL26.0m)工程地质平切图	1:1000	BJ1306K-D-14-5
28	枣庄山亭抽水蓄能电站地下厂房底板高程(EL11.0m)工程地质平切图	1:1000	BJ1306K-D-14-6
29	枣庄山亭抽水蓄能电站交通洞轴线工程地质剖面图(201-201')	1:1000	BJ1306K-D-15-1
30	枣庄山亭抽水蓄能电站通风洞轴线工程地质剖面图(202-202')	1:1000	BJ1306K-D-15-2
31	枣庄山亭抽水蓄能电站出线洞轴线工程地质剖面图(203-203')	1:1000	BJ1306K-D-15-3
32	枣庄山亭抽水蓄能电站地面开关站工程地质剖面图(204-204')	1:1000	BJ1306K-D-15-4
33	枣庄山亭抽水蓄能电站下水库库(坝)区工程地质图	1:1000	BJ1306K-D-16
34	枣庄山亭抽水蓄能电站下水库进出水口围堰工程地质剖面图(WY1-WY1')	1:1000	BJ1306K-D-17-1
35	枣庄山亭抽水蓄能电站下水库进出水口围堰工程地质横剖面图(WY2-WY2')	1:1000	BJ1306K-D-17-2
36	枣庄山亭抽水蓄能电站天然建筑材料产地分布图	1:1000	BJ1306K-D-18
37	枣庄山亭抽水蓄能电站上水库库内料场综合地质图	1:1000	BJ1306K-D-19
38	枣庄山亭抽水蓄能电站上水库库内料场工程地质剖面图(KN1-KN12)	1:1000	BJ1306K-D-20
39	枣庄山亭抽水蓄能电站梨园料场综合地质图	1:1000	BJ1306K-D-21
40	枣庄山亭抽水蓄能电站梨园料场工程地质剖面图(LY1-LY6)	1:1000	BJ1306K-D-22

4.1概述

4.1.1工程概况

枣庄山亭抽水蓄能电站位于山东省枣庄市山亭区境内，属于枣庄市境内南四湖湖东地区十字河流域。下水库利用已建的庄里水库，上水库位于石门村东北侧的石门沟内。工程区距枣庄市公路里程约 31km，距济南市 248km，工程区周围省道、国道、高速公路及铁路通达。（图 4.1-1）。



图 4.1-1 交通位置示意图

枣庄山亭抽水蓄能电站装机容量为 1180MW，工程等别为二等，大（2）型规模，上、下水库挡水及泄水建筑物设计洪水标准为 100 年一遇，校核洪水标准为 2000 年一遇。地下厂房及输水系统建筑物设计洪水标准为 100 年一遇，校核洪水标准为 500 年一遇。上水库正常蓄水位 370m，死水位 342m，调节库容 1062 万 m³。下水库正常蓄水位 114.56m，死水位 101.32m，调节库容 7747 万 m³，其中发电专用库容 1100 万 m³，保证发电水位 104.5m。

枢纽建筑物主要由上水库、下水库、输水系统，地下厂房系统、地面开关站等组成。上水库位于石门沟沟首，采用全库盆沥青混凝土面板防渗，在库盆

西南侧建坝，坝轴线长 588.0m，最大坝高 115.0m，下水库采用已建庄里水库，水库于 2021 年 12 月竣工验收，全长 3124m，大坝由混凝土泄洪坝段、壤土均质坝段组成。溢洪道布置在河床中部。根据对庄里水库复核计算，不需要对下水库大坝进行加高改建。电站初期蓄水及正常运行期用水均从下水库已建的庄里水库取水。

输水系统布置在上、下水库之间的山体内部，总长 2969.45m，引水和尾水系统均采用一管两机的供水方式，地下厂房布置于输水系统的中部，厂区建筑物包括地下厂房、主变洞、母线洞、交通洞、通风洞、出线系统、排风系统、排水系统和地面 GIS 开关站等。

地下厂房内布置 4 台单机容量为 295MW 的水泵水轮机、发电电动机组，地下厂房开挖尺寸为 188.1×26.9×58.5m（长×宽×高），主变洞开挖尺寸为 169×21×23.5m（长×宽×高）。

山亭抽水蓄能电站建设征地面积为 3980.21 亩，涉及山亭区山城街道、凫城镇 2 个镇 7 个行政村。其中永久占地 2949.0 亩，临时占地 1031.3 亩。

工程不涉及国家公园、自然保护区、风景名胜区、森林公园、地质公园、湿地公园、饮用水源保护区、世界文化和自然遗产地、水产种质资源保护区等环境敏感区。

本工程初拟筹建期 12 个月，工程准备期初拟安排 2 个月，主体工程施工期 52 个月，完建期 9 个月，本工程第一台机组发电工期为 54 个月，工程总工期 63 个月。

4.1.2 前期工作概述及预可研审查意见

枣庄山亭抽水蓄能电站选点规划设计工作由中国电建集团北京勘测设计研究院有限公司实施，2017 年 8 月底完成。

2017 年 9 月，北京院编制完成《山东省抽水蓄能电站选点规划调整报告(2017 年版)》。2018 年 7 月，水电水利规划设计总院印发山东省抽水蓄能电站选点规划调整报告审查意见，同意“推荐原规划的泰安二期（拟装机 1800MW）、莱芜（1000MW）、潍坊（1200MW）和本次新增的枣庄（1000MW）站点作为山东电网 2025 年新增抽水蓄能电站规划站点”。

2020 年 12 月，国家能源局综合司《关于开展全国新一轮抽水蓄能中长期规划编制工作的通知》（国能综通新能[2020]138 号）要求各省结合未来电力系统特

性及调峰需求，编制本地区抽水蓄能规划。

2021 年 6 月，北京院编制完成了《山东省抽水蓄能电站中长期规划报告》，并由山东省能源局于 7 月提交至国家能源局，2021 年 9 月，国家能源局印发《抽水蓄能中长期发展规划（2021-2035 年）》。根据已印发的中长期规划：“十四五”期间，山东省重点实施庄里、船厂、朱崖、街头、华皮岭等 5 个抽水蓄能项目，同时，储备仁和、单塔、长峰峪、大王庄、户部岭、独山湖、黄乔沟、红山等 8 个抽水蓄能站址，待生态环境制约因素破解后，适时启动相关工作。

2021 年，国家能源局印发实施《抽水蓄能中长期发展规划（2021-2035 年）》，枣庄山亭抽水蓄能电站是规划内山东省的“十四五”重点实施项目。

2021 年 12 月，枣庄山亭抽水蓄能电站预可研阶段外业勘察工作启动，2022 年 5 月结束。

2022 年 6 月 24 日至 25 日，水电水利规划设计总院有限公司在山东省枣庄市主持召开了山东省枣庄山亭抽水蓄能电站预可行性研究报告审查会议。会议认为报告的内容和深度基本满足预可行性研究报告编制规程的要求。主要地质审查意见如下：

1. 工程区位于鲁中南断隆内，区域内新构造运动表现为隆起及侵蚀作用。近场区发育晚更新世断裂苍尼断裂 F6、崑山断裂 F7，场址区无活动断裂分布。近场区地震活动性弱，强度低，外围历史地震对场址最大影响烈度为 IX 度。根据中国地震学会的技术审查意见（震学安评【2022】021 号），工程场地 50 年超越概率 10% 的基岩水平地震动峰值加速度为 110gal，相应地震基本烈度为 VII 度，工程区域构造稳定性较好。

2. 基本同意上水库比选工程地质条件的评价意见。

上水库分别在石门沟沟源及下游 750m 处行岭沟内筑坝成库，形成两处比选库址。两库区出露地层主要为寒武系上统崑山组、张夏组地层，岩性以灰岩、灰岩夹页岩、灰岩及页岩为主，地形封闭条件较好，均具备建坝成库条件。石门沟库址有 3 处低垭口，行岭沟库址有 2 处低垭口，两库盆地下水位及相对隔水层低，且为可溶岩地层，均需进行防渗处理。行岭沟库址库盆宽阔，库容大，但坝址河谷较宽，区域断层 F1 穿越库、坝区，存在沿断层渗漏问题。石门沟库址地质条件相对较好，经比较选择石门沟库址是合适的。

3. 基本同意上水库工程地质条件的评价意见。

石门沟库址位于石门沟沟源，西南侧筑坝成库。库周三面环山，库盆近椭

圆形。库周北侧、东侧存在 3 处垭口，地形略高于正常蓄水位，水库封闭条件总体较好。库区出露地层主要为寒武系上统崮山组和张夏组地层，岩性以灰岩、灰岩夹页岩、灰岩及页岩为主，为可溶岩，库周地下水位低于正常蓄水位，相对隔水层埋深大，存在水库渗漏问题，采取全库盆防渗是合适的。库区地层平缓，以基岩岸坡为主，覆盖层浅薄，岸坡整体稳定。水库无浸没问题，水库诱发地震的可能性小。下阶段应进一步查明环库公路及扩库开挖边坡工程地质条件，继续开展库周地下水位长期观测，复核库周水文地质条件。

4. 基本同意上水库坝址工程地质条件的评价意见。

上水库于西南侧筑坝。坝址两侧边坡平缓，出露寒武系上统崮山组第一段、第二段、第三段、第四段灰岩、页岩，岩石以中硬岩为主，覆盖层浅薄，边坡整体稳定。左侧边坡及沟床发育溶洞，两岸地下水位、相对隔水层埋藏深，存在坝基及绕坝渗漏问题。经处理后具备修建当地材料坝的地形地质条件。

下阶段应进一步复核坝址区水文地质条件，为坝区防渗设计提供依据。

5. 同意下水库工程地质条件的评价意见。

下水库利用已建的庄里水库，该工程于 2021 年 6 月完成了竣工验收并形成鉴定报告，主要意见如下：水库为山间河谷地貌，出露张夏组、崮山组、炒米店组灰岩、页岩等，岩层近水平。库区穿越 F1 断裂，右坝端穿越洪山口断裂，为导水断裂。地下水位总体高于水库正常蓄水位。库岸边坡以岩质岸坡为主，且地形舒缓，水库运行后表明岸坡总体稳定。水库诱发地震的可能性小。

6. 同意对输水发电系统比选工程地质条件的评价意见。

在选定上水库石门沟库址后，根据庄里下水库进 / 出水口位置的不同分三条线路比选。三方案的穿越地层基本相同，地质条件相似，方案一、方案二线路长，且尾水洞穿越崮山组第一段的页岩占比略大，围岩稳定性相对较差。选择方案三为代表性方案是合适的。

7. 基本同意对输水发电系统工程地质条件的评价意见。

输水发电系统沿线地形较完整，上覆岩体厚，地层主要为寒武系崮山组、张夏组、馒头组，岩性以灰岩夹页岩、灰岩及页岩、灰岩、页岩等为主。洞线需穿越 F1、f2 等断层，其破碎带及影响带宽度较大，勘察表明输水发电系统洞室群初步围岩分类以Ⅲ类为主，局部页岩及断层破碎带为Ⅳ~Ⅴ类。首部式地下厂房区围岩为馒头组第一段页岩，岩体强度低，洞室围岩稳定性差。中部式地下厂房围岩为张夏组第三段灰岩，岩层厚度大，强度高，为中硬岩，经比较以

中部式地下厂房为代表性方案是合适的。实测厂区地应力中等，具备布置大型地下洞室群的地质条件。

下阶段应开展勘探、试验及测试工作，进一步细化输水发电系统沿线分层，查明 F1、f2 等断层的分布和工程特性，为输水发电系统布置、设计提供依据。

8.基本同意对天然建筑材料工程地质条件的评价意见。

工程区石料储量丰富，防渗土料缺乏。根据初查成果，上水库开挖料、洞挖料，库外梨园石料场、羊山、文王峪备用料场岩性以灰岩为主，岩石为中硬岩。弱风化及以下岩石储量、质量满足大坝堆石料要求，混凝土骨料质量基本满足要求。据岩相法判别灰岩骨料存在碱碳酸活性成分，下阶段应进一步查明人工骨料碱活性，细化料场分层。

4.1.3可研阶段勘察工作过程概述及勘察工作量

枣庄山亭抽水蓄能电站可行性研究阶段野外勘察工作于 2022 年 6 月开始，2023 年 5 月结束，完成地下厂房平洞主洞 490m/1 条，地下厂房平洞支洞 561m/3 条；完成梨园料场平洞 91m/1 条；完成上水库库内料场平洞 67m/1 条；平洞合计 1213m/6 条。完成钻孔 6180m/87 孔。

在本阶段工程地质勘察过程中，根据预可研审查意见，按工程地质勘察大纲的要求，结合本电站的工程特性及实际地形地质条件，对工程区各类岩体的工程地质特性及主要工程地质问题进行了重点勘察研究工作。对于上水库，着重研究了坝址及库周分水岭的水文地质条件、岩体风化问题、岩溶、边坡稳定性等；对于地下厂房和水道系统等地下洞室，重点研究了厂房位置及其轴线方向选择、压力管道及岔管部位围岩的渗透破坏稳定性、地下厂房的围岩稳定性等工程地质问题；对于下水库重点复核了库岸边坡稳定、水库浸没等问题。通过本阶段的工程地质勘察工作，查明了山亭抽水蓄能电站的主要工程地质问题。

同时，现场工作期间委托了山东省地矿工程集团有限公司完成了《枣庄山亭抽水蓄能电站建设项目地质灾害危险性评估报告》与《枣庄山亭抽水蓄能电站工程压覆矿产资源调查报告》，并通过审查，取得审查意见。

2023 年 5 月，在前期勘察资料基础上，结合本次地质测绘和地勘、物探、现场测试和室内试验等成果，编制完成了《枣庄山亭抽水蓄能电站可行性研究报告》第四篇工程地质。

预可研及可研阶段完成的主要勘察工作量见表 4.1-1。

表 4.1-1 枣庄山亭抽水蓄能电站主要勘察工作量表

项目	工作内容		单位	工作量		合计
				预可研阶段	可研阶段	
地质	区域地质调查		km ²	1600		1600
	(1:500000) 天然建筑材料		km ²	500		500
	工程区 1:2000 地质测绘		km ²	22	10	32
	1:2000 料场地质测绘		km ²	10	5	15
	区域地质复核 1:20 万		km ²	1600		1600
	专门性构造地质测绘 1:5 万		km ²	400		400
	枢纽区 1:1000 工程地质测绘		km ²		10.6	10.6
	1:1000 工程地质剖面地质测绘		km ²		15	15
	钻孔值班编录		m/孔	2610/33	3570/54	6180/87
	平洞值班编录		m/条		1213/6	1213/6
	探槽值班编录		m ³	5000	6000	11000
	探坑		m/个	150/50	120/40	270/90
测量	工程区 1:2000 地形图		km ²	22		22
	1:1000 实测断面		km	5	15	20
	枢纽区 1:1000 地形图测量		km ²		10.6	10.6
	交通洞, 通风洞等各施工支洞洞口 1:500 地形图测量		km ²		0.5	0.5
地勘	钻孔		m/孔	2610/33	3570/54	6180/87
	探槽		m ³	5000	6000	11000
	探坑		m/个	150/50	120/40	270/90
	平洞	地下厂房平洞 (主洞)	m/条		490/1	490/1
		地下厂房平洞 (支洞)	m/条		561/3	561/3
		梨园料场	m/条		95/1	95/1
		上水库库内料场	m/条		67/1	67/1
		小计	m/条		1213/6	1213/6
物探	钻孔声波测井		m/孔	1120/12	675/8	1795/20
	大地高频电磁断层测试剖面 (EH4)		km/条	2/5	4/5	6/10
	平洞弹性波波速测试		m/条		540/2	540/2
	物探测试综合报告		篇		1	1
试验	岩石物理力学性质试验		组	43	21	64
	混凝土骨料碱活性试验		组	13	13	26
	岩石磨片鉴定		组	6	5	11
	水质分析		组	6	8	14
	钻孔压水试验		段/孔	238/11	750/11	988/22
	高压压水试验		段/孔	8/2	24/6	32/8
	地应力测试		段/孔	10/2	30/6	40/8
	现场岩体变形试验		组		4	4
	现场岩体剪切试验		组		3	3
	上水库堆石料实验 (弱-微新风化)		组	21	15	36
	梨园料场 (弱-微新风化)		组	10		10
	混凝土骨料试验		组	5	6	11
专题研究	工程场地地震安全性评价		项	1		1
	建设用地地质灾害危险性评估		项		1	1
	建设用地压覆矿产资源调查		项		1	1

4.2 区域地质与地震

4.2.1 区域地质概况

4.2.1.1 地形地貌

工程区地处羊庄盆地的山亭断块内，属鲁中南构造侵蚀为主的中低山丘陵区，地势总体东北高，西南低。东北部为强~弱切割构造侵蚀中低山丘陵亚区、强~弱切割侵蚀溶蚀中低山丘陵亚区；西南部为剥蚀堆积山间平原亚区及鲁西南堆积平原区的冲积、洪积平原亚区和冲积、湖积平原亚区。中低山以剥蚀为主，盆地以冲洪积堆积为主，地貌单元属强~弱切割侵蚀溶蚀中低山丘陵地貌。

4.2.1.2 地层岩性

工程区出露基岩较广泛，从太古界到新生界均有出露，主要以古生界寒武-奥陶系碳酸盐岩为主，外围有区域变质作用和强烈混合岩化的前寒武系各类花岗岩、闪长岩、片麻岩组成的变质侵入岩，构成了区域古老的结晶基底。第四系壤土、黏土及砂砾石为区域内主要松散堆积物，主要分布于工程区西部广阔的冲洪积平原中，近工程区则分布于十字河两侧山间谷地中。具体见表 4.2.1-1、表 4.2.1-2。

表 4.2.1-1 区域地层简表

界	系	统	组	代号	厚度 (m)	岩性简述
新生界	第四系	全新统	沂河组	Qy	0~5	冲积砂砾层, 河床河漫滩沉积
			临邑组	Ql	0~20	洪冲积黏土质粉砂、粉砂质黏土
			黑土湖组	Qh	0~10	黑色砂质黏土、黏土质砂、含砾黏土质砂
			大埠组	Qd	0~10	黄色、黄绿色黏土夹少量的粗细砂层
		更新统	于泉组	Qy	0~8	黄褐色含细保中粗砂、含黏土中细砂夹含黏土粉砂
	新近系	上新统	白彦组	N _{3b}	0~5	褐红色钙泥质胶结砾岩、砾石为燧石、石英灰岩等紫红色灰岩质角砾岩
	古近系	始新统	常路组	E _{2c}	2~12	紫红色灰岩质角砾岩
		古新统	卞桥组	E _{1b}	>700	杂色泥岩含膏泥岩、泥质砂岩、泥灰岩、粉砂岩等
			固城组	E _{1g}	>10	紫红色砂砾岩及砾岩
中生界	侏罗系		三台组	Js	60	上下部为紫红色复成分砾岩，中部为含砾中粗粒石英砂岩、细砂岩

界	系	统	组	代号	厚度（m）	岩性简述
古生界	二叠系	上统	石盒子组	P _{3s} ^k	68	灰白-黄白色厚层中粗粒石英砂岩夹粉砂岩
				P _{3s} ^w	107~140	黄色中厚层粉砂岩夹杂色页岩、泥岩顶部为青灰色铝土岩
		下统	山西组	P _{2s} ^h	130	黄绿色中厚层中粗粒长石石英砂岩、泥质粉砂岩夹杂色泥岩及煤层
				P _{1s}	58~106	灰黑色中薄层细砂岩、泥岩及灰黑色碳质页岩夹煤层
			太原组	C-Pt	95~144	灰色页岩、黄色砂岩及煤层夹数层灰岩及泥灰岩
	石炭系	上统	本溪组	C _{3b}	1~3	顶部紫红色砂岩、含砾砂岩,底部黏土质泥岩、黏土岩及铁铝质黏土岩
			中统	马家沟组	O _{2m} ^{bd}	20~600
	O _{2m} ^g	48~53			浅灰色中厚层微晶白云岩、灰质白云岩夹角砾状泥晶白云岩	
	O _{1M} ^w	112	灰色厚层含燧石结核泥晶灰岩、云质灰岩，上部夹灰质白云岩及角砾状白云岩			
	O _{1M} ^t	70	浅灰—黄灰色灰质白云岩、微晶白云岩泥质白云岩夹角砾状白云岩			
	O _{1M} ^b	108~185	灰色中厚层含藻泥晶灰岩，云斑灰岩夹含燧石结核微晶白云岩			
	O _{1M} ^d	38	灰黄色角砾状泥云岩,含粉砂泥云岩夹云质泥灰岩			
	奥陶系	下统	三山子组	O _{1s} ^a	42~58	褐灰色中摩层含燧石结核(条带)中-细晶白云岩夹灰质白云岩
				O _{1s} ^b	35~56	黄灰色中~薄层含泥白云岩、细晶白云岩、残余竹叶白云岩
			上统	€ ₃ s ^c	36~116	浅褐灰色中厚层细晶白云岩、下部夹灰质白云岩和云质灰岩、上部夹藻凝块白云岩
				炒米店组	€ _{3c}	181~209
		崮山组		€ _{3g}	43~58	黄灰色中薄层砥磨状灰岩夹薄层灰岩及黄绿色页岩
		张夏组		€ _{3z} ^u	130~170	灰色—浅灰色藻丘灰岩及缅状灰岩,向东至李官为藻丘灰岩、薄层缅粒灰岩,
			€ _{3z} ^p	0~90	黄绿色钙质页岩夹,薄层灰岩	
			€ _{3z} ^l	50	灰色厚层缅粒灰岩,含生物屑	

界	系	统	组	代号	厚度（m）	岩性简述
						缅粒灰岩，
		中统	馒头组	Є ₂ m ^h	45	西部为中厚层石英砂岩夹缩粒灰岩，东部为中厚层石英砂岩
				Є ₂ m ^l	40	紫红色粉砂质页岩夹薄层紫红色粉砂岩
		下统		Є ₁ m ^s	100	灰色中厚层生物屑灰岩、缅粒灰岩夹灰紫色泥质粉砂岩，泥灰岩
				朱砂洞组	Є ₁ z ^u	130~170
			Є ₁ z ^l		0~55	灰白色厚层花斑状灰岩、泥云岩、藻纹层灰岩及砾屑灰岩等
			李官组	Є ₁ l	0~43	褐灰色，灰白色、中厚层石英砂岩，东部地区局部具底砾岩
上元古界	震旦系	上统	石旺庄组	ZtS	122	上部为灰色叠层石灰岩夹厚层云质灰岩，下部为含粉破灰岩及钙质粉砂岩，
			浮来山组	ZtF	132	薄层泥质粉砂岩夹海绿石细砂岩及黄绿色页岩
		下统	佟家庄组	ZtT	108	上部黄绿色页岩夹薄层泥晶莱岩，下部为薄层泥质粉砂岩，石英砂岩，底部为角砾岩，产疑源类
	青白口组		二青山组	QntE	52	上部为紫色钙质页岩，中部为蛋青色中薄层泥灰岩，下部为海绿石石英砂岩，产微古化石
			黑山官组	QntH	25	含粉砂粘土质页岩，疆层细砂岩及砂砾岩等产微古化石
上太古界			柳杭组	A _{F3} tL	750	角闪变粒岩夹黑云斜长安粒岩
			山草峪组	A _{F3} tS	>2134	黑云斜长变疸岩夹磁铁石英岩

表 4.2.1-2 侵入岩活动顺序及岩性简表

代	期	岩性	代号
中生代	燕山晚期	花岗闪长玢岩	yMy $\delta\mu_5^3$
		中细粒黑云花岗闪长岩	yL $\gamma\delta_5^3$
		石英正长闪长玢岩	yL $\xi\delta_5^3$
		石英闪长玢岩	yT δ_5^3
		细粒角闪闪长岩	yT δ_5^3
	印支期	含霓辉石英正长斑岩	tL $\xi\pi_5^1$
		霓辉二长斑岩	tC $\eta\pi_5^1$
		石英正长斑岩	tD $\xi\pi_5^1$
		辉石闪长岩	tY $\nu\delta_5^1$
		辉石正长岩	tS $\nu\xi_5^1$
		黑云母辉石岩	tL ψ_5^1
中元古代	四堡期	辉绿岩	N $\beta\mu_2^2$

代	期	岩性	代号
早元古代	吕梁期	细粒黑云石英闪长岩	hW δo_2^1
		中粗粒黑云角闪闪长岩	hM δ_2^1
		斑状中粗粒正长花岗岩	SB $\xi \gamma_2^1$
		中粗粒正长花岗岩	SL $\xi \gamma_2^1$
		细粒黑云二长花岗岩	aDj $\eta \gamma_2^1$
		中粒二长花岗岩	aS $\eta \gamma_2^1$
		斑状中粒二长花岗岩	aW $\eta \gamma_2^1$
		含斑中粒黑云二长花岗岩	aY $\eta \gamma_2^1$
		中粒黑云二长花岗岩	aT $\eta \gamma_2^1$
		片麻状中粒含角闪黑云二长花岗岩	aD $\eta \gamma_2^1$
		巨斑状中粒含角闪黑云石英二长闪长岩	aH $\eta \delta o_2^1$
晚太古代	五台期	细粒花岗闪长岩	yY $\gamma \delta_1^3$
		斑状中粒花岗闪长岩	yW $\gamma \delta_1^3$
		中粒花岗闪长岩	yN $\gamma \delta_1^3$
		中粗粒黑云石英二长闪长岩	yY $\eta \delta o_1^3$
		中粗粒黑云石英闪长岩	yX δo_1^3
		细粒黑云闪长岩	yW δ_1^3
	阜平期	中粗粒角闪闪长岩(变辉长岩)	nB δ_1^3
		细粒斜长角闪石岩	nNA m_1^3

4.2.1.3地质构造

4.2.1.3.1 大地构造单元划分及特征

区域范围在大地构造上跨越中朝准地台（Ⅰ）和扬子准地台（Ⅱ），包括华北断坳（Ⅰ₁）和苏北断坳（Ⅱ₂）两个二级大地构造单元，涉及鲁西断块（Ⅰ₁₋₁）、胶辽断块（Ⅰ₁₋₂）、徐淮断块（Ⅰ₁₋₃）和苏北-胶南断块（Ⅱ₁₋₁）4个三级断块（表 4.2.1-3、图 4.2.1-1）。其中，鲁西断块、胶辽断块和徐淮断块 3 个断块隶属于华北断坳，苏北-胶南断块隶属于苏北断坳。

表 4.2.1-3 大地构造分区表

一级区		二级区		三级区	
名称	编号	名称	编号	名称	编号
中朝准地台	Ⅰ	华北断坳	Ⅰ ₁	鲁西断块	Ⅰ ₁₋₁
				胶辽断块	Ⅰ ₁₋₂
				徐淮断块	Ⅰ ₁₋₃
扬子准地台	Ⅱ	苏北断坳	Ⅱ ₁	苏北-胶南断块	Ⅱ ₁₋₁

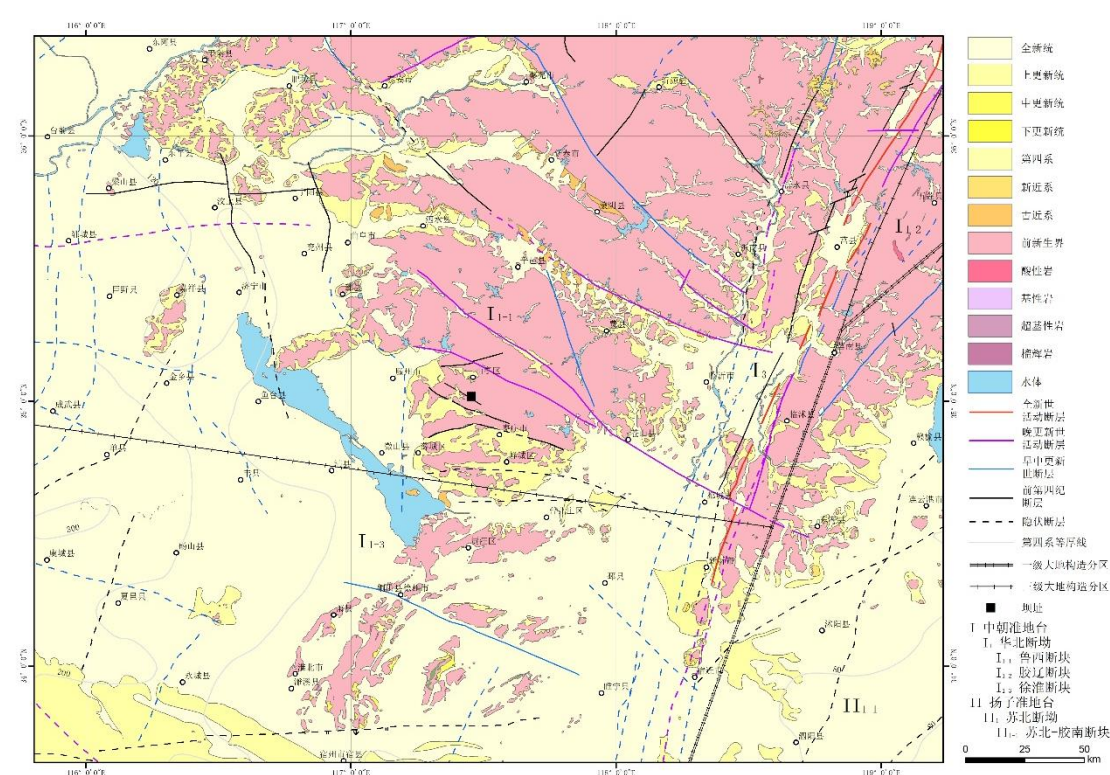


图 4.2.1-1 大地构造单元分区图

(1) 中朝准地台 (I)

华北断块 (I) 是中国大陆最古老的一个陆块，其地质演化历史可概略地划分为三大阶段：(1) 结晶基底形成阶段 (Ar-Pt₁)。该时期是华北地壳早期演化时期，在不同地区形成了不同的结晶基底，局部开始似盖层沉积；(2) 盖层发育 (Pt₂-Pz-T) 阶段。该时期表现为大面积的沉积，构造运动相对平稳；(3) 伸展裂陷改造阶段 (Mz-Kz)。可分为中生代和新生代两个既有联系但更有区别的裂陷旋回，该时期华北断块区发生大规模伸展裂陷而受到深刻改造。

华北断块区 (I₁) 边界受深大断裂控制，内部在构造和地貌上总体格局是北北东向的隆起区与沉降区相间。新构造期以来，继续保持着隆起区的上升和沉降区的下沉，这种隆起与沉降相间分布格局对地震活动具有一定的控制作用。

1) 鲁西断块

鲁西断块位于郯庐断裂带西侧。其结晶基底由太古代深变质岩组成，包括片麻岩、片岩、变粒岩等深变质岩。形成年代距今约 25 亿年，主要构造线方向、片理走向以及紧密线型褶皱的轴向一致，大都为北西向。基底上古生代沉积盖层发育，主要由寒武系、奥陶系、石炭系和二叠系等地层组成，中新世地层主要沉积于北西向长条形中、新生代沉积盆地之中。

区内的地震活动水平高，本工程区域涵盖的范围内，有史记载发生过 8½ 级地震 1 次、7 级地震 1 次，6~6.9 级地震 1 次和多次 5 级以上地震。郯庐断裂带东部的昌邑—大店断裂为鲁西断块与鲁东断块的分界断裂。郯庐断裂带新生代以来活动性依然很强，强震较多，历史上在山东地段发生过公元前 70 年的安丘 7 级地震和公元 1668 年郯城 8½ 级地震均发生在该断裂带上。

2) 胶辽断块

胶辽断块的结晶基底岩系由晚元古代之前的粉子山群（辽河群）、胶东群（宽店群）和鞍山群组成，固结时期发生在距今约 17 亿年的中岳运动，构造线方向主要为北东东—东西向，整个结晶基底岩系的上部为浅变质的绿片岩相，中下部为中深变质的角闪岩相，下部属麻粒岩相，有两期以上混合岩化。该断块山东部分（鲁东断块）缺失古生代沉积盖层，中、新生界则主要发育于断块区的中南部，中生代以来的构造线主要为北东向。

新构造时期以来，构造运动的水平大大降低，一直以隆起为主，结晶基底大片出露。新生代时，除渤海海峡、北黄海及蓬黄地区下沉外，其余仍继续隆起。隆起具间歇性特性，表现为阶梯状地形、古剥夷面、海蚀平台、海蚀洞穴和河流基座—侵蚀阶地的发育。但断裂新活动、海蚀台地的分布和玄武岩喷发等新构造运动现象的分布范围都非常局限。在胶东地区，除个别断裂的局部段落外，多数断裂在第四纪晚期以来已停止活动；北部为长期缓慢上升的山地，表现为由北向南掀斜抬升的特点。南部为长期上升的五莲山脉及丘陵，均发育有唐县期和临城期夷平面。唐县期平面的抬升幅度仅达 100 余米。中部为较为稳定的胶莱平原，长期受剥蚀，在第四纪晚期沿胶莱河仅有厚达 20 米左右的沉积物。

胶辽断块地震活动水平较高，发生过 1975 年海城 7.3 级地震和 1548 年渤海海峡 7 级地震和多次 5.0~6.9 级地震。

3) 徐淮断块

徐淮断块位于区域西南部，东以郯城—庐江断裂带为界与苏北—胶南断块相邻；北以铁佛沟断裂为界与鲁西断块相接。基底由太古界—元古界五河群、凤阳群、东海群组成。基底褶皱复杂多样，褶皱轴向主要为东西向，断裂构造也以东西向为主。

盖层由震旦系和古生界组成，震旦系至下古生界以碳酸盐建造为主，其建造序列基本上同鲁西断块。晚奥陶世至早石炭世处于整体上升阶段，缺失这一时期的沉积。晚古生代也以含煤建造为主，属海陆交互相沉积。印支运动使盖层褶皱，其轴向以北东为主。晚侏罗世以后，该区进入大陆边缘活动构造带发展阶段，断块升降运动达到高潮，形成近东西向为主的断陷盆地，沉积了大陆火山岩建造及红色砂质陆屑建造。古近纪断块继续发育，并形成了一系列断陷盆地，如阜阳拗陷。新构造期断块差异运动减弱，断陷型盆地逐渐发展成拗陷型盆地，地貌上表现为今日的宽广平原。

(2) 扬子准地台(II)

扬子准地台是和中朝准地台相对应的中国南方前寒武纪克拉通。扬子准地台因长江干流（又称扬子江）纵贯全区而得名，其在晋宁运动形成基底。范围包括川、黔、滇、鄂、湘等省的大部分地区，陕南和桂北地区，以及长江下游的皖、苏两省部分地区。地台的边缘有一些山脉环绕，如北侧的米仓山和大巴山，东侧的武陵山，西北缘的龙门山等。

出露地表的地台基底岩系多为元古宙的变质岩，变质年年龄 17 亿~23 亿年。继承锆石年龄和地球物理资料提示下伏有更老岩系。约 8 亿年前后发生的晋宁运动形成了扬子地台的统一基底。新元古代为地台早期裂陷阶段，南华纪起出现广布全地台的海相沉积盖层，并且含冰碛层。这里的海相沉积总体上一直延续到中三叠世。在二叠纪中期，地台西部有大规模的玄武岩喷溢。三叠世印支运动使海水撤出地台。长江下游部分与华北地台东部一起转变成亚洲东部活动大陆边缘的一部分。西部的四川盆地保持稳定状态。

1) 苏北断坳 (II₁)

基底由上元古界张八岭群组成，沉积盖层十分发育，形成了巨厚的沉积建造，最厚处达 6000m 以上。区域经历了多次显著的水平挤压运动及伴随的升降运动，沉积盖层以角度不整合覆盖于基底之上。震旦纪至三叠纪以碳酸盐岩建造、砂页岩建造为主。印支运动形成了变形强烈的台褶带，其褶皱轴及断裂均以 NE 向为主。燕山运动期则以伸展型断块差异构造运动为主，断裂活动持续而强烈，形成了一系列规模不等的张性断陷盆地，并伴有强烈的岩浆活动。白垩纪以来，大规模火山活动趋于平静，盆地面积进一步扩大并接受了巨厚的红

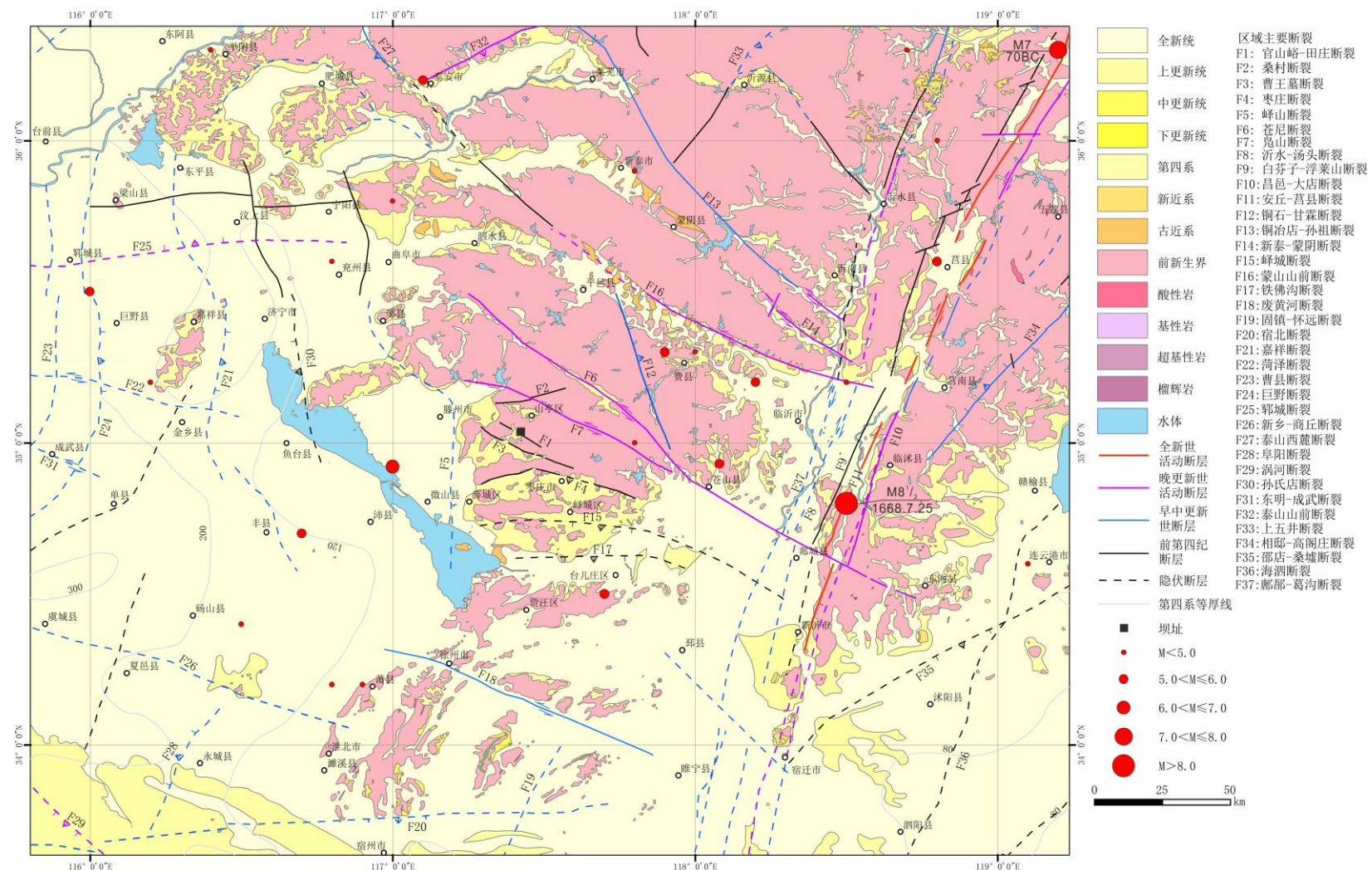
色碎屑岩沉积；晚白垩世断块活动进入高潮，断陷面积迅速增大，沉降加剧，苏北和南黄海西侧连成一片，沉积中心厚度达 2000~3000m。新近纪以来，盆地继续扩大，但沉降速率也迅速减慢，盆地生长发育的类型也由原来的断陷型转为拗陷型。

2) 苏北—胶南断块 (II₁₋₁)

苏北—胶南断块的结晶基底由胶南群（与大别群相当）和五莲群（与宿松群相当）组成，与胶辽断块区的胶东群和粉子山群不同。主要由云母变粒岩、片岩、浅粒岩、斜长角闪岩和黑云斜长片麻岩等组成，固结时间大约在 10 亿年左右。该区在山东部分缺失古生代沉积盖层。中生代沉积也局限于断块的周边地带，构造线方向主要为北东向。沉积盖层与华北断块其它地区相同，但仅在局部地区出露地表，上覆中、新生代地层。北东—北东东向活动断裂发育，形成更次一级的凸起和凹陷。苏北—胶南断块地震活动水平比较高，发生过 1846 年黄海 7 级地震、1932 年黄海 6 $\frac{1}{4}$ 级地震、1910 年黄海 6 $\frac{3}{4}$ 级地震和多次 5.0~5.9 级地震。

4.2.1.3.2 区域断裂构造及活动性

区域内发育多组断裂，其中活动断裂以北北东—北东向和北西西—北西向为主，近东西向次之。由于区域内断裂数量众多，按照构造分区归属，可划分为华北平原构造带、郯庐构造带（沂沭断裂带、营潍断裂带）、鲁西构造带和鲁东构造带等。区内共有 37 条主要断裂，其中全新世断裂 1 条，晚更新世断裂 9 条，其余均为第四纪早—中更新世断裂或前第四纪断裂（图 4.2.1-2，表 4.2.1-4）。



本次工作在对区域关键性断裂活动性补充调查的基础上, 结合对区域范围内其它主要断裂活动性资料的收集与分析, 综合判定区域范围内主要断裂的活动性特征 (表 4.2.1-3)。

表 4.2.1-4 区域主要断裂特征和活动情况表

构造带分区	断裂编号	断裂名称		基本特征					最新活动时代	距坝址 (km)	地震活动
				区内长度 (km)	走向 (°)	倾向 (°)	倾角 (°)	运动性质			
郯庐构造带	F37	沂沭断裂带	郯部-葛沟断裂	315	10~25	SE	70~80	右旋逆断	Qp ₁₋₂	85	
	F8		沂水-汤头断裂	315	10~25	NW	70~80	右旋正/逆	Qp ₂	90	1852 年 5 级; 1543 年 5 级
	F9		白芬子-浮来山断裂	205	10~25	SE	60~80	右旋逆断	前 Q	96	
	F11		安丘-莒县断裂	240	10~25	NW/SE	25~80	右旋逆断	Qh	100	BC70 年 7 级, 1668 年 8½ 级
	F10		昌邑-大店断裂	300	10~25	NW	70~80	右旋正/逆	Qp ₃	106	
鲁西构造带	F1	官山峪-田庄断裂		15	NW W	SW	70~89	正断	前 Q	0.28	
	F2	桑村断裂		15	NEE	不明	陡	不明	前 Q	13	
	F3	曹王墓断裂		33	NW W	SW	70~80	正断	前 Q	6	
	F4	枣庄断裂		50	NW W	SW	70~80	正断	前 Q	12	
	F5	峰山断裂		60	NW/SN	W	70~85	正断	Qp ₂	22	
	F6	苍尼断裂		177	NW	SW	70~83	左旋正断	Qp ₃	26	1995 年 5.2 级
	F7	鳊山断裂		73	NW W	S	70~80	左旋正断	Qp ₃	11	
	F12	铜石-甘霖断裂		60	NW	SE	70~80	正断	前 Q	38	
	F13	铜冶店-孙祖断裂		137	NW	S	60~80	左旋正断	Qp ₃	99	
	F14	新泰-蒙阴断裂		40	NW	SW	60~80	左旋正断	Qp ₃	87	1831 年 4¾ 级
	F15	泽城断裂		105	EW	S	80	不明	前 Q	30	
	F16	蒙山山前断裂		147	NW W	SW	45~85	左旋正断	Qp ₃	65	1859 年 5½ 级
	F17	铁佛沟断裂		50	EW	S	?	正断	Qp ₁₋₂	44	
	F18	废黄河断裂		90	300	S/N	85	左行张扭	Qp ₂	87	
	F19	固镇—怀远断裂		43	20	NW/S E	50	正断	Qp ₁₋₂	114	
	F20	宿北断裂		180	EW	N	陡	正断	前 Q	138	

构造带分区	断裂编号	断裂名称	基本特征					最新活动时代	距坝址 (km)	地震活动
			区内长度 (km)	走向 (°)	倾向 (°)	倾角 (°)	运动性质			
	F21	嘉祥断裂	160	SN	E	陡	正断	Qp ₁₋₂	87	
	F22	菏泽断裂	65	EW	S	75~85	左旋正断	Qp ₁₋₂	88	
	F23	曹县断裂	96	SN	NW/SW	陡	正断	Qp ₁₋₂	144	
	F24	巨野断裂	140	SN	NNE	陡	正断	Qp ₁₋₂	130	
	F25	郓城断裂	95	EW	N	70~80	正断	Qp ₃	93	1622 年 6 级
	F26	新乡-商丘断裂	70	NW/W	SW/NE	60~70	正断	Qp ₁₋₂	130	
	F27	泰山西麓断裂	20	NW	SW	60	正断	Qp ₁₋₂	120	
	F28	阜阳断裂	50	NNE	NNW	65	正断	Qp ₁₋₂	137	
	F29	涡河断裂	35	NW	SW	60~80	正断	Qp ₁₋₂	200	多次 5 级地震
	F30	孙氏店断裂	60	SN	W	70~80	正断	前 Q	64	
	F31	东明-成武断裂	28	NW/W	N	70~80	左旋正断	Qp ₂	128	1937 年菏泽 7 级地震
	F32	泰山山前断裂	37	NEE	S/SE	60~80	正断	Qp ₃	135	
	F33	上五井断裂	107	40~50	SE	70~80	右旋正断	Qp ₃ , Qp ₁₋₂	115	1829 年 6¼ 级
鲁东构造带	F34	相邸-高阁庄断裂	70	NE	NW	陡	正断	Qp ₁₋₂	120	
	F35	邵店-桑墟断裂	110	NE	SE	70	正断	前 Q	139	
	F36	海泗断裂	140	NNE	SEE	60~70	不明	前 Q	158	

(1) 郯庐断裂带

郯庐断裂带在中生代时期活动最强烈，曾经历过巨大的左行平移和大陆裂谷发育阶段。自新生代以来，由于深部作用减弱，裂谷构造消亡，在区域北东东向主压应力场作用下，而转化为一条右旋走滑性质的构造带。该断裂带在本工程区域内为沂沭断裂带，是区域内郯庐断裂位于陆域部分的段落。该断裂带在中生代复式地堑基础上发育而来的，由郯部—葛沟断裂（F37）、沂水—汤头断裂（F8）、白芬子—浮来山断裂（F9）、昌邑—大店断裂（F10）和安丘—莒县断裂（F11）五条近于平行的断层组成，其中昌邑—大店断裂、白芬子—浮来山断裂、沂水—汤头断裂和郯部—葛沟断裂分别为中生代地堑的边界断层，安丘—莒县断裂是在昌邑—大店断裂、白芬子—浮来山断裂之间新发育的一条断层。

(2) 鲁西构造带

区域范围主要涉及鲁中南隆起，其以北西向断裂占主导地位，较大的断裂有苍尼断裂（F6）、铜冶店—孙祖断裂（F13）、新泰—蒙阴断裂（F14）和蒙山山前断裂（F16）等。另外，还有北东向断裂，如上五井断裂（F33）等。这些断裂在第四纪时期均有一定程度的活动，而且以分段活动为特征，最新活动时代集中于晚更新世时期。断裂以正断活动为主，具有走滑运动分量。这些断裂中的活动段，一般构成中强地震的发震构造。

（3）鲁东构造带

鲁东断块（胶辽断块山东部分称为鲁东断块）内发育一系列北北东—北东向的断裂，有两大断裂带：蓬莱—栖霞断裂带和牟平—即墨断裂带。整个断裂带跨胶辽断块和苏北—胶南断块两个构造单元，是中生代时期新发育的一组北东向断裂。这些断裂在地质时期曾经历了复杂的运动过程，中生代有大量的花岗岩侵入。第三纪时期该区地壳活动以整体上升为主，没有接受相应的地层沉积。经野外考察，在海阳断裂东石兰沟段、东殿后断裂、沧口断裂和玲珑—北沟断裂北段，发现了错断晚更新世地层的证据，但多数断裂最新活动时代为中更新世。

4.2.1.3.3 近场区主要断裂及活动性

近场区内共发育 7 条断裂，分别为官山峪-田庄断裂（F1）、桑村断裂（F2）、曹王墓断裂（F3）、枣庄断裂（F4）、峰山断裂（F5）、苍尼断裂（F6）和鳊山断裂（F7）（表 4.2.1-5，图 4.2.1-3）。其中，苍尼断裂（F6）和鳊山断裂（F7）为晚更新世活动断裂，峰山断裂为早中更新世断裂，其余断裂为前第四纪断裂。

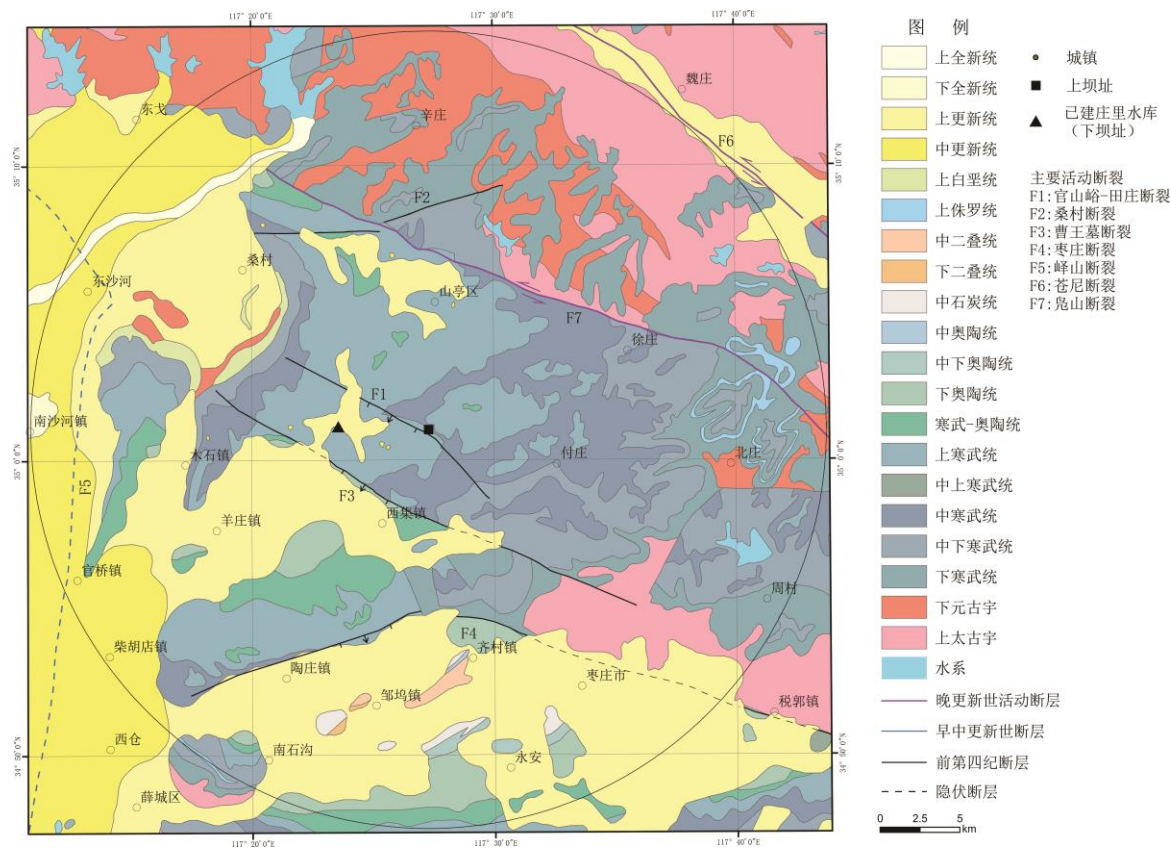


图 4.2.1-3 近场区构造纲要图

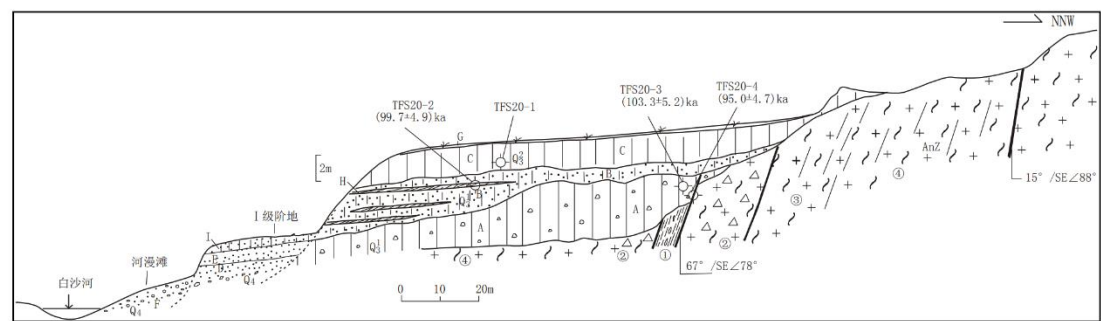
表 4.2.1-5 近场区断裂活动特征一览表

编号	断裂名称	长度 (km)	产状			断裂 性质	活动 时代	坝址 距离 (km)	历史地震
			走向	倾向	倾角				
F1	官山峪-田庄断裂	15	NWW	SW	70~89	正断	前Q	0.28	
F2	桑村断裂	20	NEE		陡	不明	前Q	13	
F3	曹王墓断裂	33	NWW	SW	70	正断	前Q	6	
F4	枣庄断裂	50	EW	S	70	正断	前Q	12	
F5	峰山断裂	60	NW/SN	W	70~85	正断	Qp2	22	
F6	苍尼断裂	177	NW	SW	70~83	左旋 正断	Qp3	25	1995 年 5.2级
F7	鳧山断裂	73	NWW	SW	70~80	左旋 正断	Qp3	11	

(1) 鳧山断裂 (F7)

鳧山断裂总体走向北西西向，倾向南西，倾角一般为 70°~80°。鳧山断裂西段隐伏，东段出露。断裂西段，根据浅层人工地震探测和山东煤田地质钻孔资料分析，鳧山断裂错断的最浅地质层位是 Qp₁ 地层，说明该断裂在早更新世活

动，是中更新世以来的不活动断裂。断裂东段，在滕州市北东戈乡马河水库大坝下游约 1km 的水库溢洪道西侧岩壁上见断裂剖面非常清楚（图 4.2.1-4）。剖面从下往上可分为 3 层，A 层：红褐色含砾黏土，下部含断层带破碎带物质，砾石以 2~3cm 的长英质岩屑为主；顶部热释光年龄为 $103.3\pm5.2\text{ka}$ ；B 层：红色砾砂含黏土夹三层灰色粉土，下部见砾石；最上一层粉土的热释光年龄为 $(99.7\pm4.9)\text{ka}$ （据山东省工程地震研究中心，2000）；C 层为红棕色亚黏土。断裂最新活动面将下部的 A 层红褐色砾石黏土错断了，但没有错断上覆的 B 层黏土砾砂~中粗砂层和 C 层的棕红色亚黏土。综合分析认为该断裂的最新活动时代为晚更新世早期（距今约 9~10 万年）。



（山东省工程地震研究中心，2000）

①红色及浅黄绿色断层泥带；②碎裂岩带；③劈理化及破碎影响带；④斜长花岗片麻岩

图 4.2.1-4 马河水库溢洪道西侧鳊山断裂剖面图

在近场区根据 12.5m 分辨率的 DEM 数据，可观察到徐庄镇北一带（后鲁-柳树峪-梅花山），鳊山断裂沿 300°走向，左旋断错一系列山脊（图 4.2.1-5a），错距多为 200~400m。在断裂通过的河谷中并未发现明显的断层陡坎，因此，全新世和晚更新世中晚期断层活动证据不明显。在断层通过位置有较为明显的断层堙口（P9 点）（图 4.2.1-5b）。

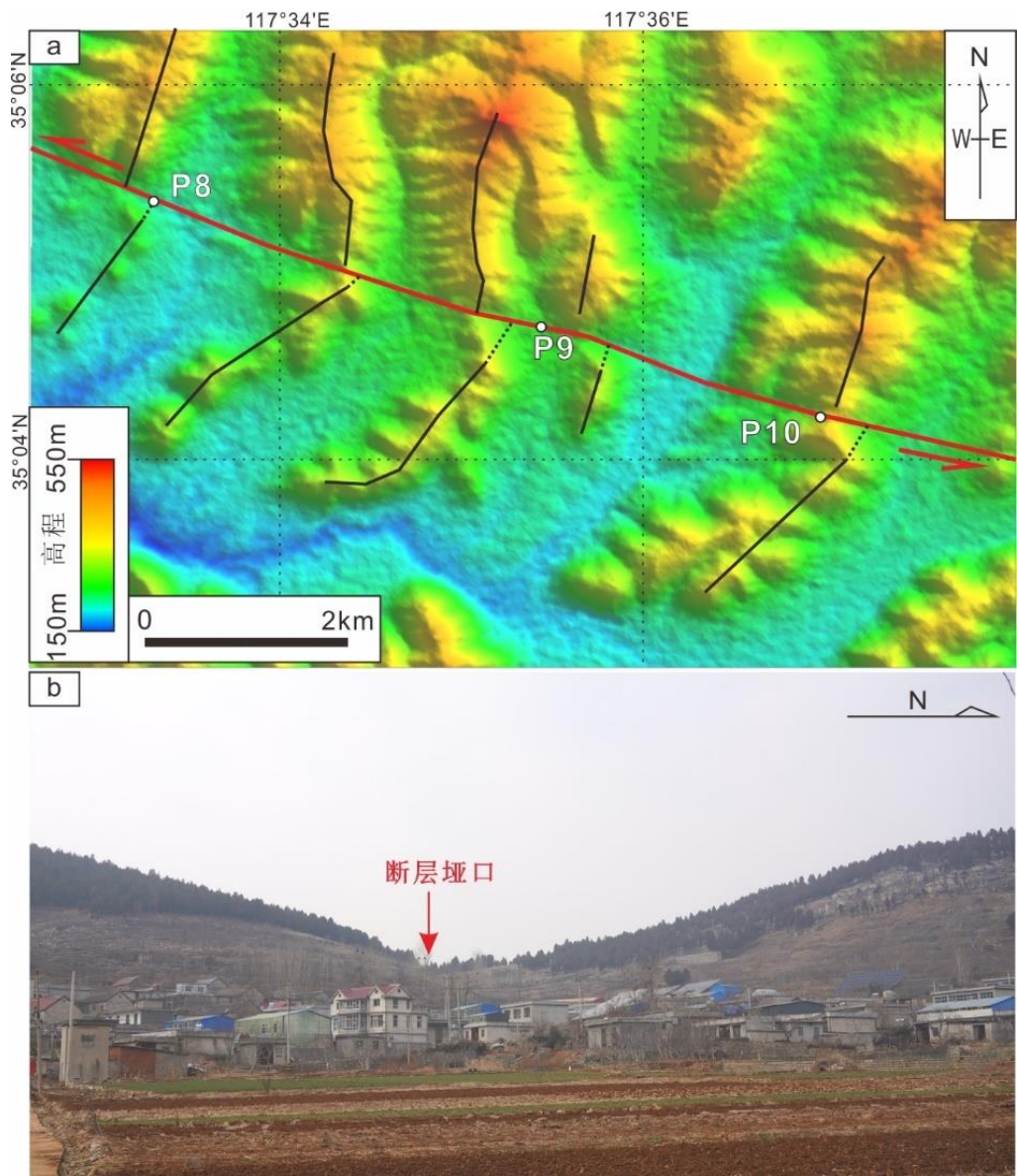


图 4.2.1-5 柳树峪西侧断层垭口地貌

在徐庄镇涝岭小学南侧可见到崑山断裂的断层破碎带（P8 点）。断裂破碎带宽度 30~50m，两侧岩层比较破碎，最中间 10~20m 范围为断层带，可以看到有断层泥发育。断层存在多期发育，早期活动后有岩脉灌入断层位置。断层带内也有胶结的断层角砾岩发育。目前断层带南侧近直立的有断层面非常光滑，产状为 NW300°SW \angle 76°，表面有黄色的泥层可能为较新的断层泥（图 4.2.1-6a）。向西约 100m 山体崩塌后也出露断层（图图 4.2.1-6b 镜头方向南）。剖面顶部岩层为寒武系张夏组灰岩（崩塌后覆盖了黄褐色浮土），下部可能为太古宇马家河单元花岗闪长岩。

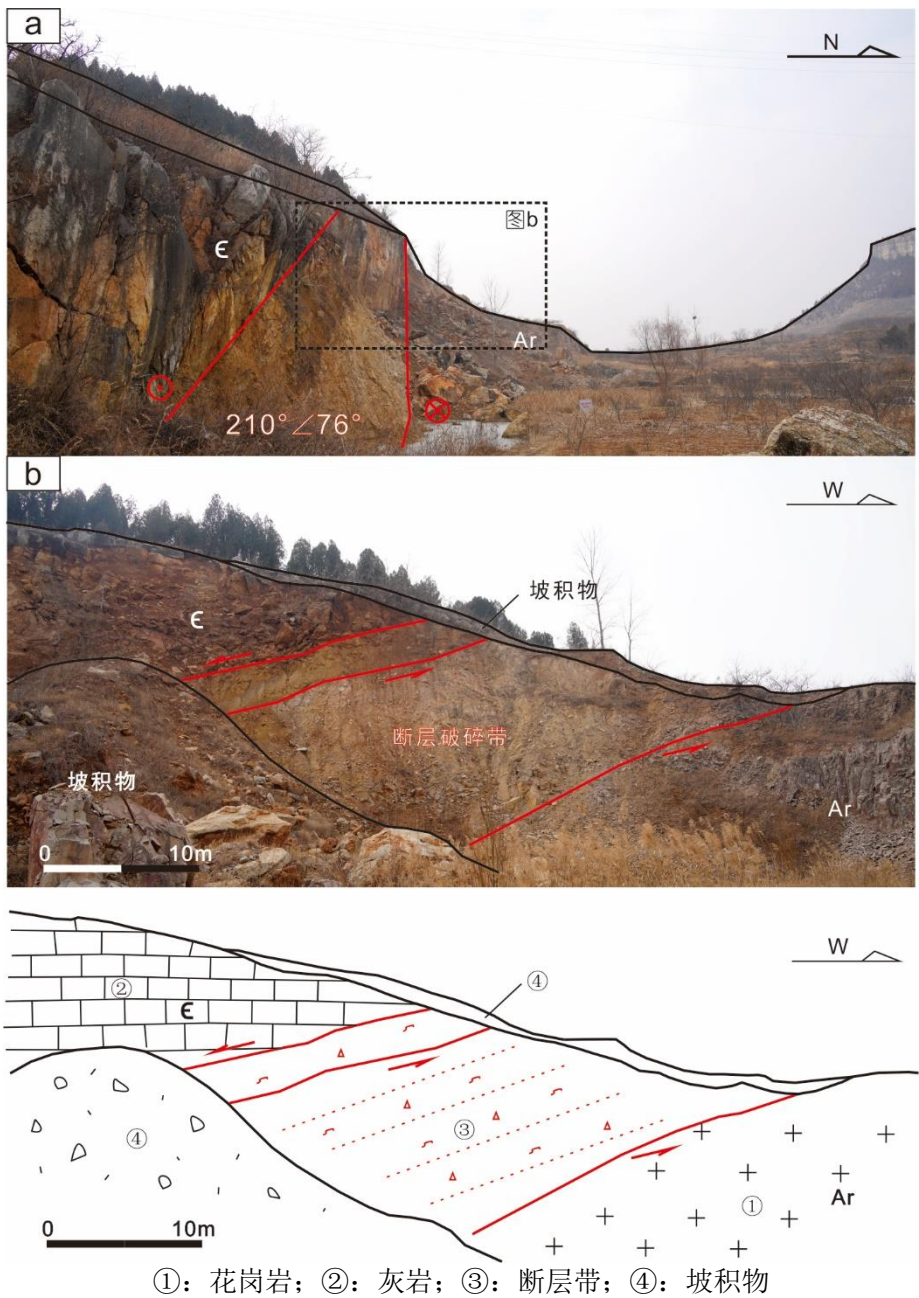
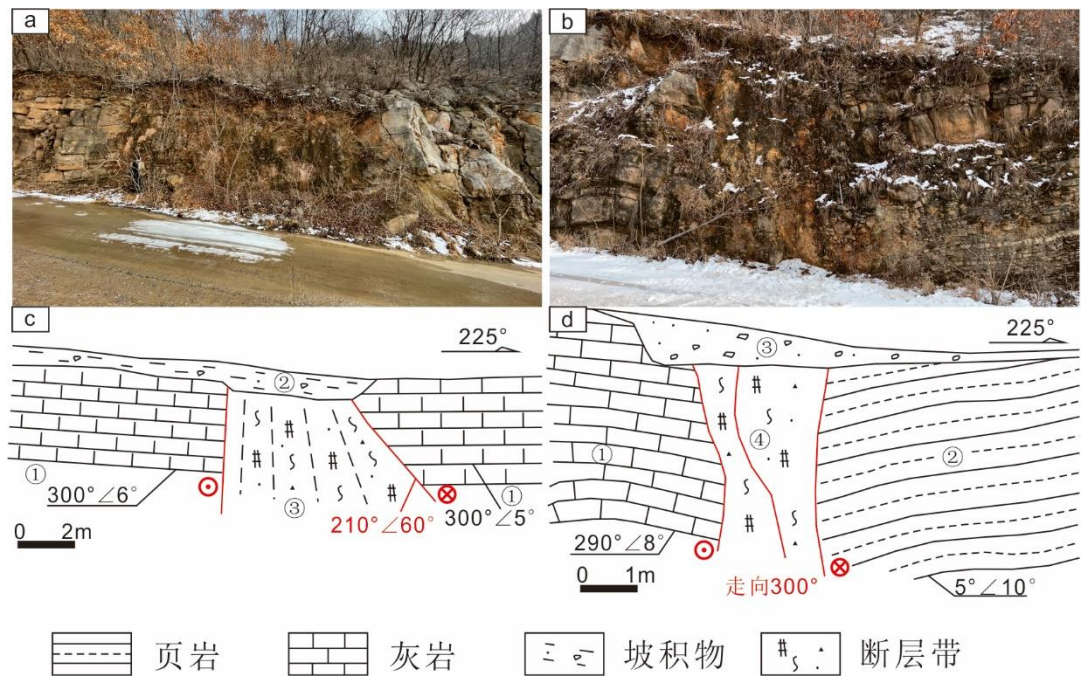


图 4.2.1-6 鳊山断裂徐庄镇涝岭小学南侧断层剖面

梅子山景区前往玻璃吊桥的上山公路剖面也可见到鳊山断裂出露(P10 点)。断层分为两支，两支中夹有一段完整的地层，北支较宽约 10m (图 4.2.1-7a&c)，断层 SW 边界产状 NW300°SW ∠60°，NE 边界走向 300°近垂直。断层带内为黄褐色胶结的断层角砾岩，两侧均为寒武系灰岩，产状较为一致 NE30°NW ∠5~6°。南支断层带较窄，仅 2m 宽，近直立，走向和北支相同 300°。两侧岩性不同，北侧为寒武系灰岩产状 NE200°NW ∠8°，南侧为泥页岩，产状 NW275°NE ∠10°。地层均有轻微褶皱现象。由于剖面地表为非常新的坡积物 (全新世晚期)，断层

并未断错这层坡积物。



A: 北支照片; b: 南支照片; c:北支剖面: ①灰岩; ②: 全新统上段坡积物; ③: 断层带; d: 南支剖面: ①灰岩; ②: 泥页岩; ③: 全新统上段坡积物; ④: 断层带

图 4.2.1-7 鳊山断裂梅子山断层剖面

在梅子山剖面以东沿断错走向约 2.5km 的柿行村南的田地 (P11-P12 点间) 中可见到断层的地貌陡坎 (图 4.2.1-8), 陡坎高度约 2m。走向 290°, 在旁边河沟中可见到陡坎位置为岩性界线。与梅子山剖面的两侧岩性相同: 北侧为灰岩, 南侧为泥页岩。但是由于地表第四系地层仅有 20~30cm 厚, 所以断层陡坎实际为基岩陡坎。



图 4.2.1-8 鳊山断裂断层地貌陡坎

综合上述地质地貌和测年资料，鳊山断裂在晚更新世早期具有一定的活动性，造成了山脊位错和基岩断层陡坎等地貌现象。但是在河流阶地上并未见到断错全新世或晚更新世中晚期地层。综合估计认为，前人给出的晚更新世早期（9~10 万年）活动的结论可靠性较高，鳊山断裂为一条晚更新世早期活动断裂。

（2）桑村断裂（F2）

桑村断裂在地貌上迹线并不明显，20 万地质图上沿 NEE 方向延伸约 15-20km。东段和西段的断层走向略有不同。东段在山亭区夏岭村北的山坡上（P14 点）可见到寒武系灰岩和页岩断层接触，两侧岩层变形较小，近水平。在东侧对面山坡可见到断层垭口两侧的寒武系灰岩岩层有错位。南侧为馒头组紫红色页岩，北侧为朱砂洞组灰色厚层微晶灰岩。岩性分界处未见到断层带出露，仅可通过岩性特征确定断层位置。

西段在古陶博物馆西一处采石场（P13 点）内可见到近东西走向的断层带，带内已经填充了岩脉，断层产状 $W270^{\circ}N \angle 85^{\circ}$ 。断层位错很小，在断层两侧均为崮山组灰岩，且岩层近水平，未发生较大变形。

综合判断，桑村断裂为一条前第四纪断层，且发育规模较小，且被晚更新世早期活动的鳊山断裂错断。

（3）曹王墓断裂（F3）

又称西鳊山断裂，北西向展布，长度约 33km，破碎带宽度 10~30m，产状 $NW300^{\circ}SW \angle 65^{\circ}$ ，杏子山-峨山口一线，断层两侧地层为寒武系和奥陶系，走向 $NW290^{\circ} \sim 320^{\circ}$ ，倾向 SW。

断裂带内发育构造角砾岩，根据结构特征可分为两类：其一，张性角砾岩，角砾大小混杂，棱角~次棱角状，胶结物为泥灰质，并有次生方解石，菱铁矿填充，其二，压扭性角砾岩，大小在 0.5~1cm，次圆~扁豆状，具有定向，致密胶结，胶结物为硅泥质，多附着于光滑断面上。两种角砾岩是两次构造作用的产物，且在张性角砾岩角砾中存在压扭性角砾，断裂带旁侧地层受断层的影响，产生强烈牵引，形成小型同斜紧闭褶皱，褶皱轴向 NW。

据 1:5 万山亭幅区域地质调查报告，该断裂为中生代形成的断裂，未见第四纪活动证据。

在鳊山镇东南银山头东的一处废弃石料开采场可见曹王墓断裂出露（P2 点），断层产状 $E90^{\circ}S \angle 70^{\circ}$ ，断层发育黑色胶结的断层角砾岩，完全成岩未见新的断面，南侧约 30~50m 近垂直的节理面大量发育，北侧厚层灰岩产状为

NW295°NE \angle 15°；南侧灰岩产状水平，层理厚度相比北盘略小。距离断层 50m 处地层很完整，表明曹王墓断裂的规模和影像范围有限。

根据地质图 and 实际野外调查，曹王墓断裂已经完全胶结成岩，是一条前第四纪断裂。

(4) 枣庄断裂 (F4)

该断裂空间展布呈现出向北凸出的弧形构造，其中 NWW 向的东段为狭义的枣庄断裂：出露于郭村-双山子-南沙沟一带，长度约 24km，破碎带宽度 30~50m，走向 290°展布，正断层性质，倾向南，对中新世界的沉积和分布具有一定控制作用。NEE 向的西段也被称为陶庄断裂，走向 70~80°，破碎带宽度明显要小于东段枣庄断裂，仅 10m 左右，逆断层性质，倾向北。枣庄断裂为卓山凸起和枣庄凹陷的分界断裂，北盘以新太古代泰山岩群白草峪组为主，南盘为古生界和中生界等地层，具有南盘相对下降，北盘相对抬升的活动特征，断裂带通常由 3~4 条次级断裂组成，各断层滑动面产状基本一致，产状约 NW290°SW \angle 70°。在断层破碎带内，除发育断层角砾岩外，可见较为平整的滑动面和近水平的断层擦痕，断层角砾岩的压扁现象比较明显，形成断层泥和挤压透镜体等，既有左行压扭迹象，也有右行压扭特征，反映该断裂形成时间久远并经历了多期活动，在不同地质时期具有不同的力学性质。

据 1：5 万枣庄幅区域地质调查报告，该断裂为中生代形成的断裂，未见第四纪活动证据。

(5) 峰山断裂 (F5)

峰山断裂是一条区域性南北向大断裂，其南端在区内隐伏于微山湖及周围第四纪地层之下，向北经滕州城东、邹城、曲阜城西，止于肥城汶阳一带，全长约 140km。该断裂总体走向近南北或北北西，倾向西，为一高角度正断层，倾角可达 70~80°。经野外追踪调查，该断裂带并不控制现代地形地貌及河流的发育，地表无显示。在邹县的看庄与宁阳葛石以西断裂穿越最低一级夷平面（临城期夷平面），但断裂两侧地形一致并无垂直差异变化。该断裂在卫星影像上表现也不明显，断裂不控制地貌发育。在覆盖区无显示，表明断裂在晚第四纪活动性不明显，为第四纪早期断裂。

(6) 苍尼断裂 (F6)

苍尼断裂西端在曲阜附近，向南东方向经防山、羊场、城前、白彦、魏庄、梁邱、甘霖及苍山等地，终止并切割了郯庐断裂，走向 310°~340°，倾向南西为

主，局部北东，倾角较大，一般为 $70^{\circ}\sim 80^{\circ}$ 。据山东省地震局调查，在平邑白彦官庄西见太古界变质岩逆冲到 Qp3 地层之上（王志才等，2001），沿断裂面发育有 50~60cm 的断层泥带，并挤入到 Qp3 褐黄色亚黏土中，断距为 1.5m，其上全新世砂土层未见错断，在城前等地也有类似发现。在苍山以东全为第四系所覆盖，据钻孔资料分析该断裂仍然存在。此外，在苍尼断裂东端，即在山左口西北部的翻水站可以见到该断裂露头。苍尼断裂在地貌及水系发育上均有明显显示。小震沿断裂带呈线性分布，1995 年在苍山北发生了苍山 5.2 级地震。

根据典型剖面断裂活动特征分析，苍山-尼山断裂第四纪活动明显，最新活动时代为晚更新世，以左行走滑活动为主，兼有倾滑活动分量。根据断裂沿线的地形地貌、控制或错断基岩情况、断裂活动性质和活动时代以及第四纪地质特点，该断裂自东向西大致可以划分为梁邱-甘霖段、白彦官庄-梁邱段和曲阜-白彦官庄段。这 3 段均以左行走滑活动为主，具有明确的晚更新世活动证据，但又存在一些差异。其中，梁邱-甘霖段最新活动时代为晚更新世中晚期的活动（距今 $(3.42\pm 0.17)\sim (9.5\pm 0.47)$ 万年），兼有逆冲活动分量。白彦官庄-梁邱段和曲阜-白彦官庄段最新活动时代为晚更新世晚期至全新世早期（ 1.39 ± 0.11 ）万年，也兼有逆冲活动分量。

苍尼断裂同时也控制白彦断陷盆地和温凉河的发育，沿断裂自张家庄至窑上，多处可以看到断错了晚更新世—全新世早期的黏土层或砂砾石层。白彦官庄剖面上表现为太古代泰山群花岗片麻岩“逆冲”于晚更新世—全新世早期的砂层和黏土层之上，发育 50cm 厚的断层破碎带和断层泥带，靠近断层泥带的新地层中发育相互交错成“网状”的滑动面，从滑动面擦痕看，断层性质其实是走滑运动性质，剖面上显示的逆冲性质是由走滑运动形成的“假象”。剖面上部，覆盖一层全新世晚期的砂层和现代耕作土。

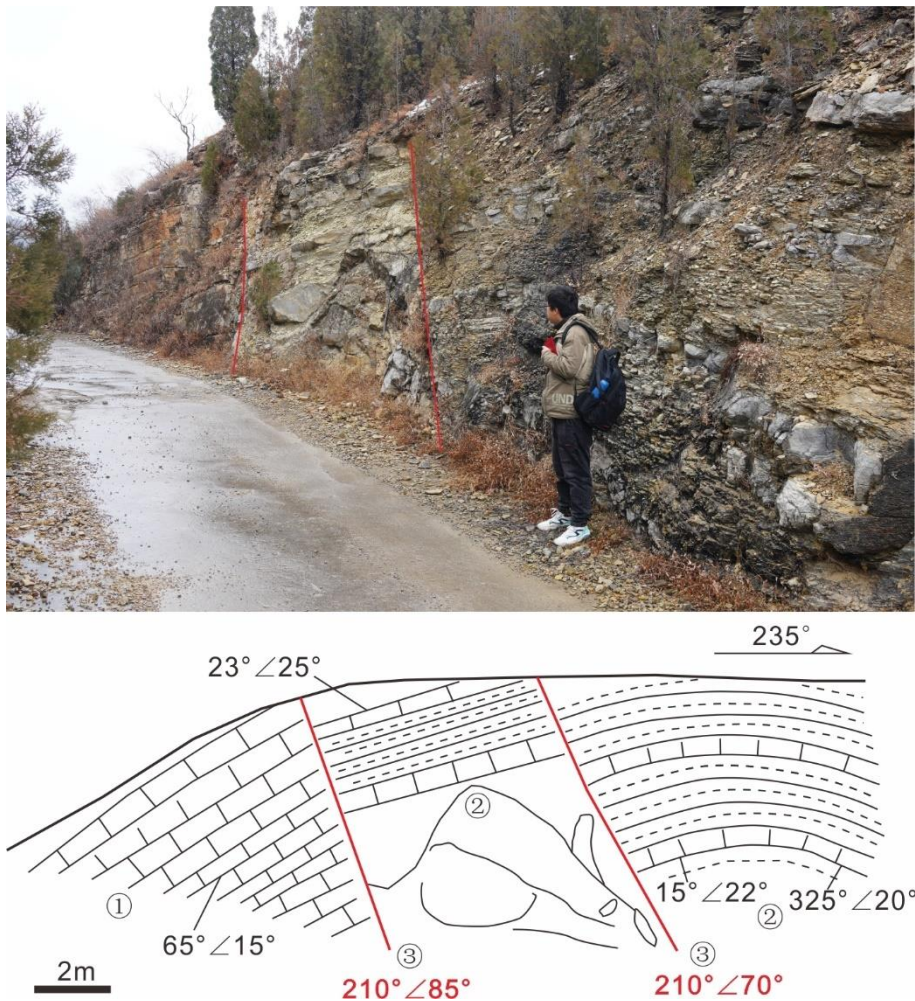
综合分析，推断苍尼断裂是一条晚更新世活动断裂。

（7）官山峪-田庄断裂（F1）

官山峪-田庄断裂（F1）为正断层，断层宽度为 2.8m，延伸长度 10~15km，走向 $290^{\circ}\sim 300^{\circ}$ ，倾向 SW，倾角 $70^{\circ}\sim 85^{\circ}$ ，距坝址最近距离约 280m。

在坝址通往牛角峪的山顶公路垭口处可见断层剖面，断层西南盘为瘤状泥纹泥晶灰岩夹有黄绿色页岩，发育小褶皱，两翼产状分别为 $NW285^{\circ}NE\angle 22^{\circ}$ 和 $NE55^{\circ}NW\angle 20^{\circ}$ ；东北盘为厚层鲕粒灰岩，产状 $NW335^{\circ}NE\angle 15^{\circ}$ 。断层发育了两支断面，在两支断面中间地层变形较两侧基岩略大（图 4.2.1-9）。

官山峪-田庄断裂变形程度低，未见到新活动，为前第四纪断裂。



①厚层灰岩；②瘤状泥晶灰岩夹页岩,两条断面中间所夹部分变形强且破碎;③断层面

图 4.2.1-9 官山峪-田庄断裂剖面 and 照片（照片镜头方向向东）

4.2.1.3.4 场址区主要断裂及活动性

址区发育官山峪-田庄断裂（F1），为前第四纪断裂，正断层，破碎带宽度为 2.8m，上盘影响带宽度 28m，下盘影响带宽度 56m，延伸长度 10~15km，走向 290°~300°，倾向 SW，倾角 70°~85°，距坝址最近距离约 280m（图 4.2.1-5）。断层具体特征详见上节描述。断层影响带褶皱较发育，岩石较破碎。沿 F1 断裂布设了三条大地高频电磁测线（EH-4），分别为 W1、W2 和 W4，具体位置见图 4.2.1-10。

W1 位于上水库南部，测线长度 200m；W2 位于出线洞附近，总长 350m；W4 位于下水库东南岸边，总长 200m。W1 和 W2 地形较为平缓，各测点之间无较大高差；W4 地形两边高中间低。

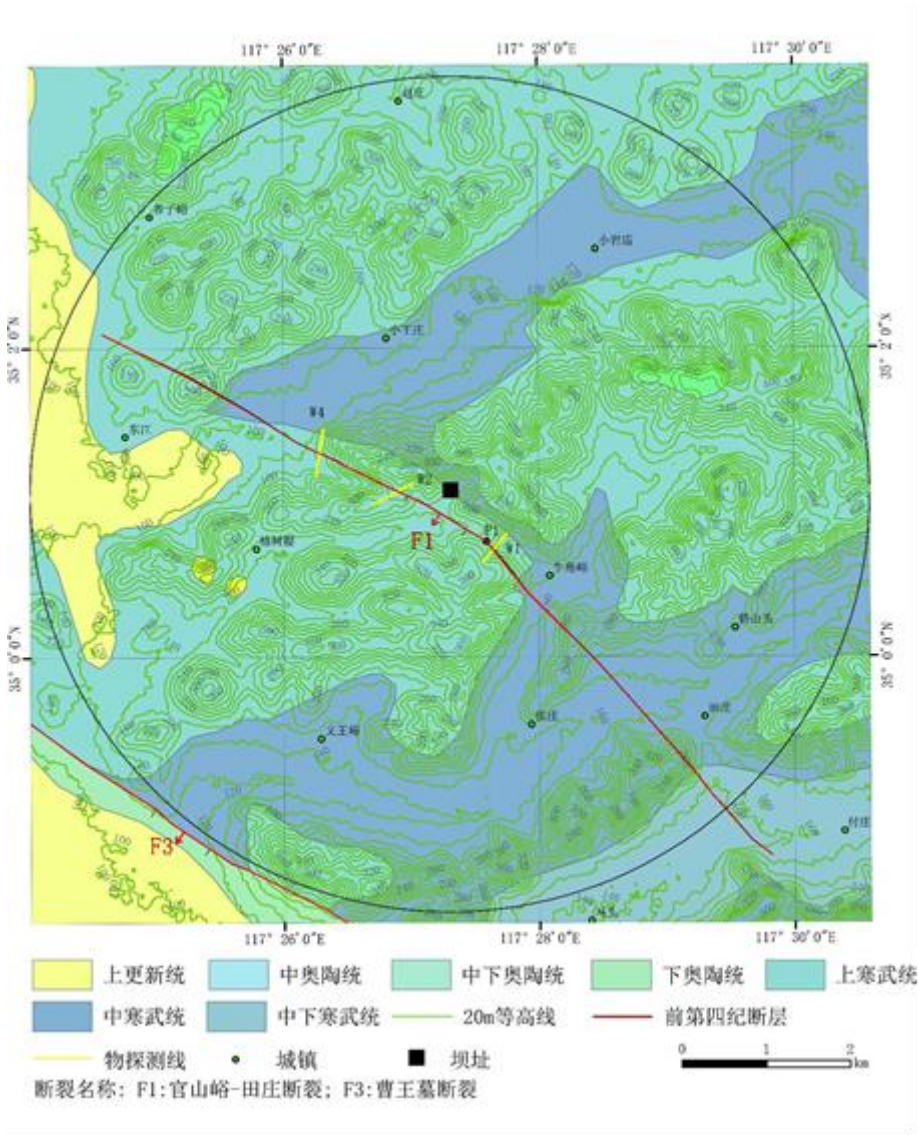


图 4.2.1-10 场址区断裂分布图

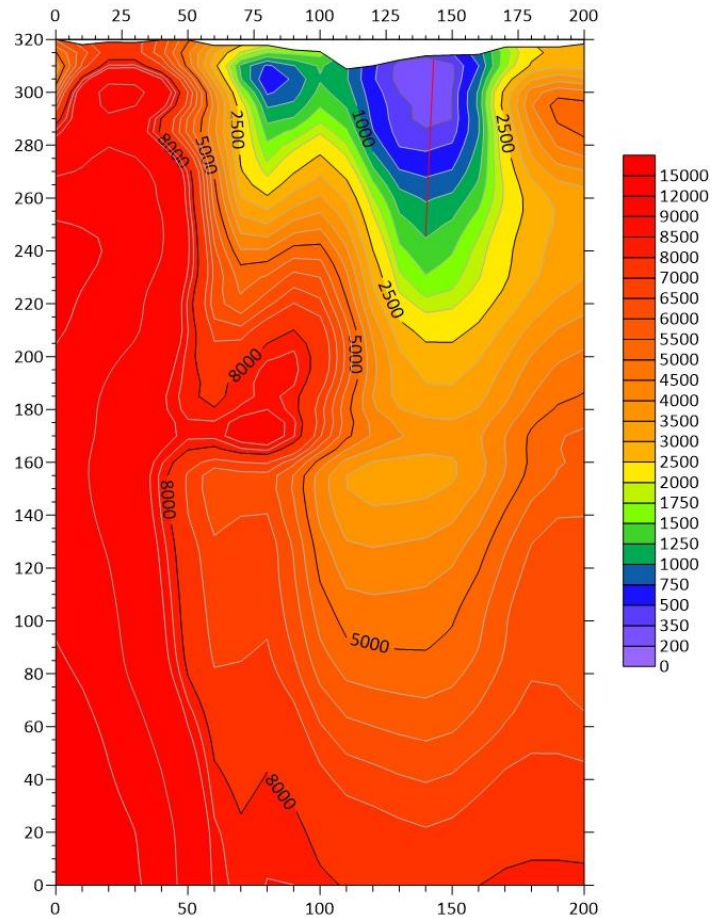


图 4.2.1-11 W1 测线反演电阻率断面图

图 4.2.1-11 所示为 W1 测线反演电阻率断面图。反演电阻率呈层状，自上而下反演电阻率由低到高。桩号 125m-150m 处出现反演电阻率低值带，且反演电阻率小于 $500\Omega\cdot m$ ，推测为断裂带。

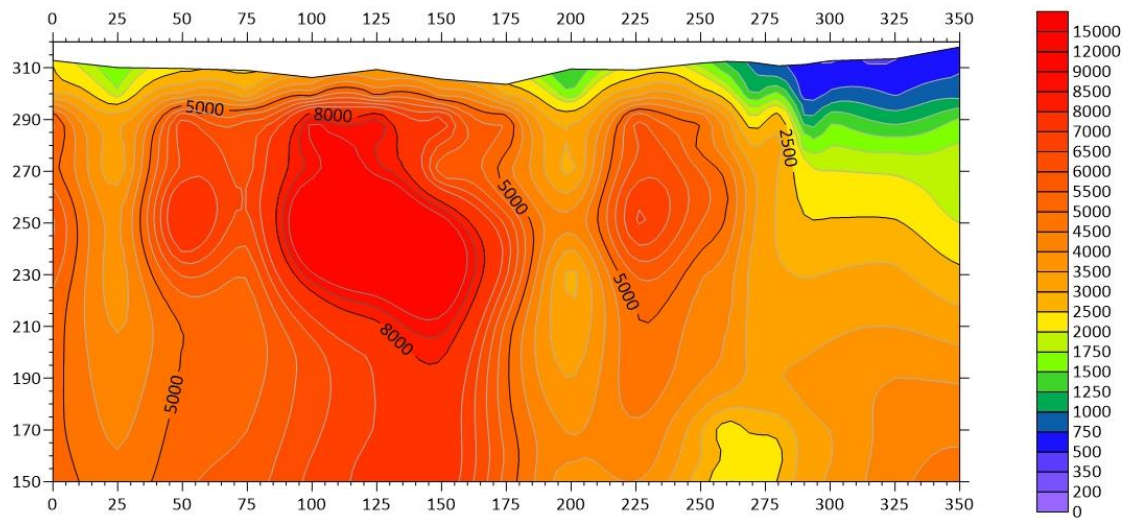


图 4.2.1-12 W2 测线反演电阻率断面图

图 4.2.1-12 所示为 W2 测线反演电阻率断面图。电阻率基本成层状，无明显异常。

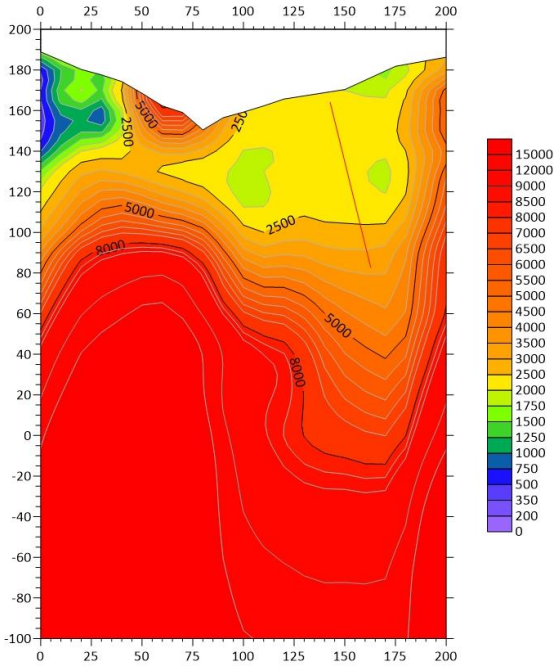


图 4.2.1-13 W4 测线反演电阻率断面图

图 4.2.1-13 所示为 W4 测线反演电阻率断面图。反演电阻率基本呈层状，桩号 125m~175m 处出现反演电阻率陡变现象，推测此处为断裂。

根据 F1 断裂北侧 ZK202 钻孔揭示，张夏组第三段顶板高程为 290m；F1 断裂南侧、f3 断层东侧 ZK203 钻孔揭示，张夏组第三段顶板高程为 152m；同时，地质测绘成果、断裂两侧的其它钻孔等对断裂两侧的地层错断亦有揭示；在平洞 PD101 的北侧支洞 PD101-3 桩号 K0+200m 处，揭露 F1 断裂，其北侧为张夏组第三段灰岩，南侧为崮山组第二段灰岩夹页岩。本区地层为近水平岩层，因此，根据 F1 断裂两侧钻孔资料、地质测绘成果以及平洞资料，F1 断裂的断距约为 138m。

综上所述，F1 断裂为区域断裂，正断层，规模较大，走向为 NW 290° ~300°，倾向 SW，倾角约 70° ~85°，破碎带宽度 2.8m，两侧影响带宽度 20m~60m，断距约为 138m。根据物探成果，断裂可能呈串珠状，局部发育规模较小。

此外，场址区还发育 f1、f2、f3 等规模相对较小的断层（表 4.2.1-6），以 NNE 向陡倾角为主，断层破碎带性状相对较好，主要以断层角砾岩为主，少有断层泥发育。各断层两侧未见新的活迹象，经鉴定均为非活动性断层。工程场址区内无活动性断层分布。

表 4.2.1-6 场址区主要断层汇总表

断层 编号	产状			性 质	破碎带 宽度(m)	简要描述	分布位置
	走向 (°)	倾向	倾角 (°)				
F1	280~300	SW	70~89	正	2.8	碎裂岩成分以方解石和泥质为主，带内褶曲、揉皱现象明显	距离方案一上水库坝址约 280m，通过输水线路的桩号约为 K0+880m。
f2	320	SW	80	正	1.0	带内充填断层角砾岩	与尾水隧洞相交，通过桩号约为 K1+720m
f3	1~10	SE	88	正	1~1.5	带内充填断层角砾岩，断层下盘岩层变弯曲，可见拖曳褶皱发育。	与尾水隧洞相交，通过桩号约为 K1+436m
f1	325	SW	86	逆	0.7	带内充填碎裂岩	方案一上水库东侧库外边坡
fp1	10	SE	88	正	0.03~0.14	带内充填碎裂岩	平洞 PD101 内桩号 K0+65.6~K0+68m
fp17	310	NE	88	正	0.1~0.4	带内充填碎裂岩	平洞 PD101-3 内桩号 K0+203.8~K0+204.3m
fp20	310	NE	88	正	0.1~0.3	带内充填钙质和碎裂岩	平洞 PD101-3 内桩号 K0+252.7~K0+253.8m
fp29	10	NW	88	正	0.5~1	带内充填碎裂岩，沿断层可见溶洞发育，大小为 2m×1m×0.4m。	平洞 PD101-2 内桩号 K0+170.4~K0+170.7m

4.2.2新构造运动

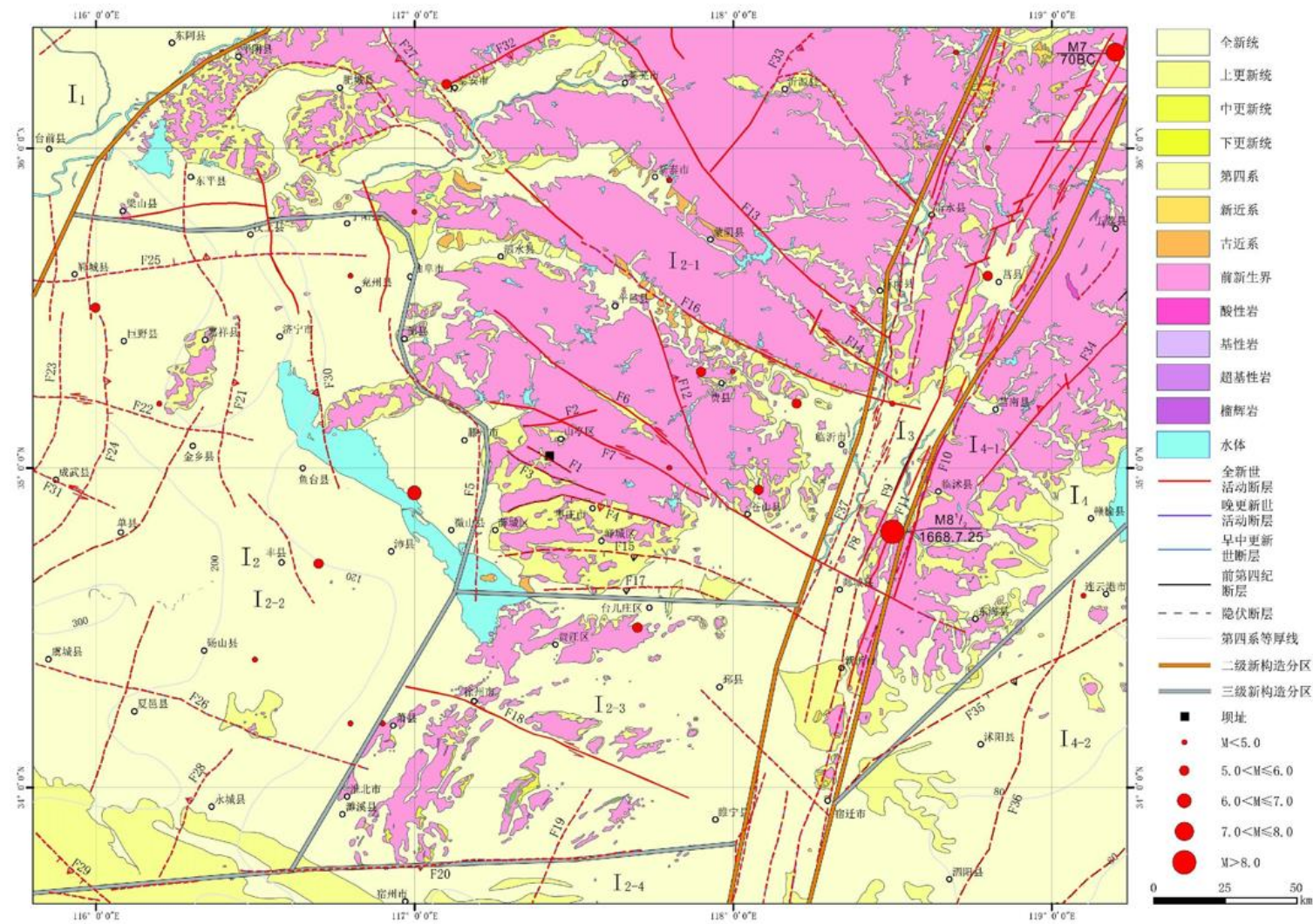
4.2.2.1区域新构造运动分区

本工程区域位于华北一级新构造分区内。根据新构造运动发育历史、类型、强度、地貌形态及主要控制断裂的走向和活动特征以及地震活动性，区域可划分为 4 个二级新构造区和 7 个三级新构造区（表 4.2.2-1，图 4.2.2-1）。

工程区位于鲁西-皖北断块隆起区（I₂）中的鲁中南断隆（I₂₋₁）。

表 4.2.2-1 新构造运动构造单元分区表

一级构造单元	二级构造单元	三级构造单元
华北新构造区（I）	（I ₁ ）华北平原断坳区	（I ₁₋₁ ）东濮断陷
	（I ₂ ）鲁西-皖北断块隆起区	（I ₂₋₁ ）鲁中南断隆
		（I ₂₋₂ ）鲁西南断陷
		（I ₂₋₃ ）徐淮弱断隆
		（I ₂₋₄ ）淮北平原弱断陷
	（I ₃ ）郯庐断裂带活动区	
	（I ₄ ）鲁东断块隆起区	（I ₄₋₁ ）胶南弱断隆
		（I ₄₋₂ ）千里岩-海州湾断陷



4.2.2-1 新构造运动构造单元分区图

4.2.2.2 区域新构造运动基本特征

区域新构造运动强烈,表现断块的差异运动及以北北东—北东向断裂右旋倾滑和北西向断裂左旋倾滑为代表的断裂活动。

由前述新构造分区及特征表明,本区新构造运动具继承性和新生性,时间上具阶段性,空间上具差异性、掀斜性,概括以下三个基本特征:

(1) 整体性、间歇性的抬升和沉降

区内鲁中、鲁东山地,新生代以来发生了大面积间歇性抬升,出现多层地貌结构,发育四级夷平面,其中I级夷面(北台期)表现为零散的高峰顶面。鲁中山地海拔在 1000m 以上,鲁东胶南山南为 600m。II级夷平面(甸子梁期或鲁中期),鲁中山地海拔 400~600m。III级夷平面(唐县期),鲁中山地海拔为 300~400m,鲁东胶南为 200m。IV级剥夷面(临城期)形成于早-中更新世,在鲁中、鲁东山地周边海拔分别为 200~100m 和 100~50m。山区河流发育 3~5 级河流阶地。而华北盆地发生强烈的沉降,并形成渐新统与中新统之间和上新统与第四系之间的沉积不连续面。上述表明,本区具多次间歇性的升、降运动。

(2) 断块活动的差异性和掀斜性

区内根据山地高程、夷平面高度和盆地沉积厚度资料,表明各块体升、降幅度有较大差异,同时显示掀斜特征。山区据唐县期夷平面高度计算,第四纪以来,鲁中山地上升幅度为 300~400m。华北盆地北部各拗陷晚第三纪以来最大沉降幅度,冀中拗陷为 3600m(武清凹陷),临清拗陷为 1800m(冠县凹陷),黄骅拗陷为 3400m(歧口凹陷),济中拗陷为 3000m(黄河口凹陷)。隆起区在新生代隆起背景上,鲁中南、鲁东隆起向南掀斜。盆地中断裂的正倾滑严格控制了块体的掀斜运动,在断裂下降盘一侧形成掀斜的断陷,上升盘一侧形成翘起的断隆。

(3) 断裂、断块活动的继承性、新生性

区内断裂和断块运动不同程度的继承了先存构造格局和活动方式。在喜山运动分异的基础上,新构造时期,尤其第四纪以来隆起区继续隆起,沉降区再度沉降。

断裂和断块活动还显示出新生性,表现在新构造时期或某一时段,断裂和断块出现反向运动,或沿衰老断裂、老断块发展形成新的断块。郯庐断裂带,在中生代时即有数百公里的左旋走滑,也有过近万米的地堑张裂,后经历了强烈挤压。在晚第四纪以来营潍段表现右旋正倾滑,沂沭段表现了右旋逆倾滑活动。鲁中山

地控制早第三纪断陷沉积的系列北西向正断层,在晚第三纪活动性质由正断转为逆断,在第四纪中更新世后又转为左旋正断。

4.2.2.3 近场区新构造运动分区及特征

近场区涉及鲁西-皖北断块隆起区(I_2)中的鲁中南断隆(I_{2-1})和鲁西南断陷(I_{2-2}),近场区基本属于鲁中南断隆区域,仅在近场区西侧为鲁西南断陷,二者以峰山隐伏断裂为界。

上水库坝址位于鲁中南断隆(I_{2-1})的西南边缘,地形处于平原和丘陵过渡带。鲁中南断隆(I_{2-1})该区属于鲁中南较强烈断隆区,包括峰山断裂以东、郯庐断裂带以西的区域。泰山—鲁山—沂山、泰莱拗陷等构造格局主要在早第三纪时形成,发育了一系列的北西向断裂及由它们所控制的断陷盆地。其中的多数盆地在新第三纪以来已回返上升,演化为侵蚀盆地,第四系厚度一般较小。该区是山东地区新构造时期隆起幅度最大的地区,山地中心一带海拔高 800~1000m。

近场区主体均位于鲁中南断隆(I_{2-1})中,但地震活动性并不强烈。主要的地震与内部北西向活动断裂相关。鲁中南断隆(I_{2-1})和鲁西南断陷(I_{2-2})的边界峰山断裂仅在第四纪早中期活动,目前的地震活动性不强。

4.2.3 地震

4.2.3.1 区域历史地震

4.2.3.1.1 区域强震历史及分布特征

历史地震目录指有史以来 $M_s \geq 4.7$ 级的地震目录。资料主要来自于《中国历史强震目录(公元前 23 世纪~公元 1911 年)》(国家地震局震害防御司,1995)、《中国近代地震目录(公元 1912 年~1990 年)》(中国地震局震害防御司,1999),1990 年以后的地震目录主要取自中国地震局分析预报中心汇编的《中国地震详目》(1970~2014 年 11 月)。对于 1990 年以前无仪器记录的地震,均由史料记载评定其震中烈度,再按震级—烈度关系换算近似震级,1990 年以后凡有仪器记录的地震,震级以仪器测定为准。对于震中位置,凡同时具有仪器震中与宏观震中者取宏观震中。

从公元前 70 年至今,区域内共记录到 $M_s \geq 4.7$ 级的地震 27 次,其中 $M_s 4.7 \sim 4.9$ 级地震 8 次、 $M_s 5.0 \sim 5.9$ 级地震 13 次、 $M_s 6.0 \sim 6.9$ 级地震 4 次、 $M_s 7.0 \sim 7.9$ 级地震 1 次、 $M_s 8.0 \sim 8.9$ 级地震 1 次。区域内震级最大一次地震是 1668 年 7 月

25 日的郯城 $8^{1/2}$ 级地震。

表 4.2.3-1 列出区域内有史以来 $M_s \geq 4.7$ 的地震目录（含前、余震），具体地震分布见图 4.2.3-1。

表 4.2.3-1 区域历史强震目录($M_s \geq 4.7$)

发震时间			震中位置		震源深度 (km)	震级	精度	震中烈度	参考地区
年	月	日	经度	纬度					
-70	6	1	119.2	36.3		≥ 7	4	$\geq IX$	山东诸城西北
462	8	17	117.0	34.8		$6\frac{1}{2}$	4	VIII	山东兖州南
925	11	18	116.7	34.7		$5\frac{3}{4}$	4		江苏徐州西北
1477	5	22	117.8	35.0		$4\frac{3}{4}$	3		山东临沂西
1485	3	15	117.9	35.3		$5\frac{1}{2}$	3	VII	山东费县
1485	3	25	117.0	35.8		5	3		山东泰安南
1495	11	8	119.1	34.6		$4\frac{3}{4}$	3		江苏连云港海州
1543	5	8	118.5	35.2		5	3		山东临沂东
1546	9	29	117.7	34.5		$5\frac{1}{2}$	3	VII	江苏邳州寨山
1622	3	18	116.0	35.5		6	2	VIII	山东郯城南
1642	10	4	116.9	34.2		$4\frac{3}{4}$	2	VI	安徽萧县
1643	10	23	116.8	34.2		$4\frac{3}{4}$	3		安徽萧县西北
1644	1	15	116.5	34.4		$4\frac{3}{4}$	3		安徽砀山东
1660	9		116.2	35.2		$4\frac{3}{4}$	4		山东金乡西北
1668	7	25	118.5	34.8		$8\frac{1}{2}$	2	$\geq XI$	山东郯城
1668	9	18	117.1	36.2		6			山东泰安东北
1670	12		118.0	35.3		5	3	VI	山东费县
1671	9		118.0	35.3		5	3	VI	山东费县一带
1672	6	17	118.8	35.6		6			山东莒县
1675	8	3	116.8	35.6		5	4	VI	山东兖州
1831			117.8	35.9		$4\frac{3}{4}$	2	VI	山东新泰
1835	6	6	116.4	36.3		5	2	VI	山东平阴
1852	11	17	118.8	36.0		5	3		山东诸城西
1854	6	4	118.7	36.3		$4\frac{3}{4}$	3		山东昌乐南
1859	3	12	118.2	35.2		$5\frac{1}{2}$	3		山东临沂西
1994	5	19	116.6	34.29	9	5.0			安徽砀山东南
1995	9	20	118.13	34.98	16	5.3			山东苍山北

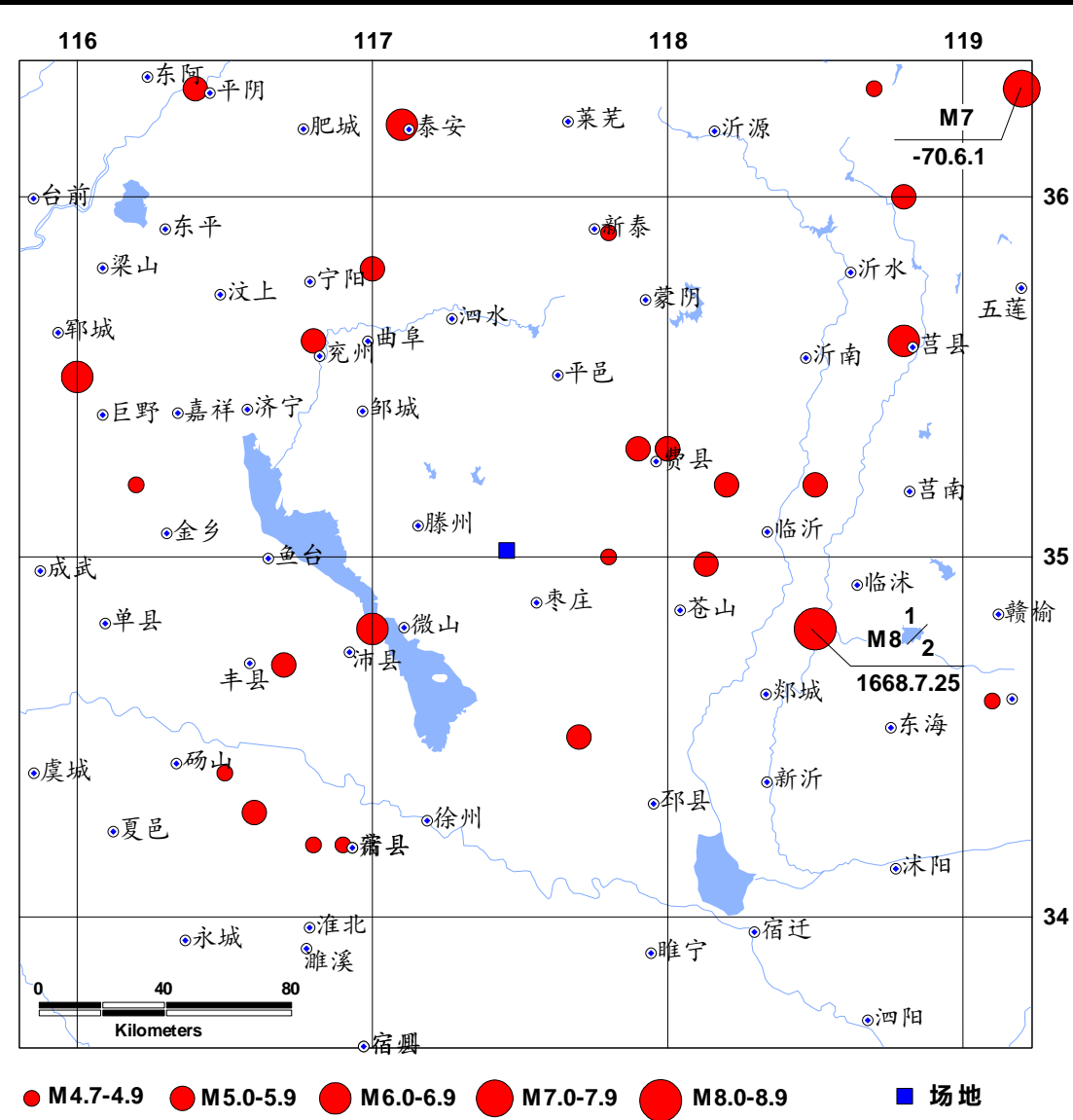


图 4.2.3-1 区域内历史破坏性地震震中分布图(1882~2014.11)

4.2.3.1.2 区域现代中小震及分布特征

1970 年以来现代仪器共记录 ML1.0~4.9 级地震 2819 次，其中， $1.0 \leq ML < 2.0$ 级地震 1731 次， $2.0 \leq ML < 3.0$ 级地震 969 次，ML3.0~3.9 级地震 110 次，ML4.0~4.9 级地震 9 次（图 4.2.3-2）。

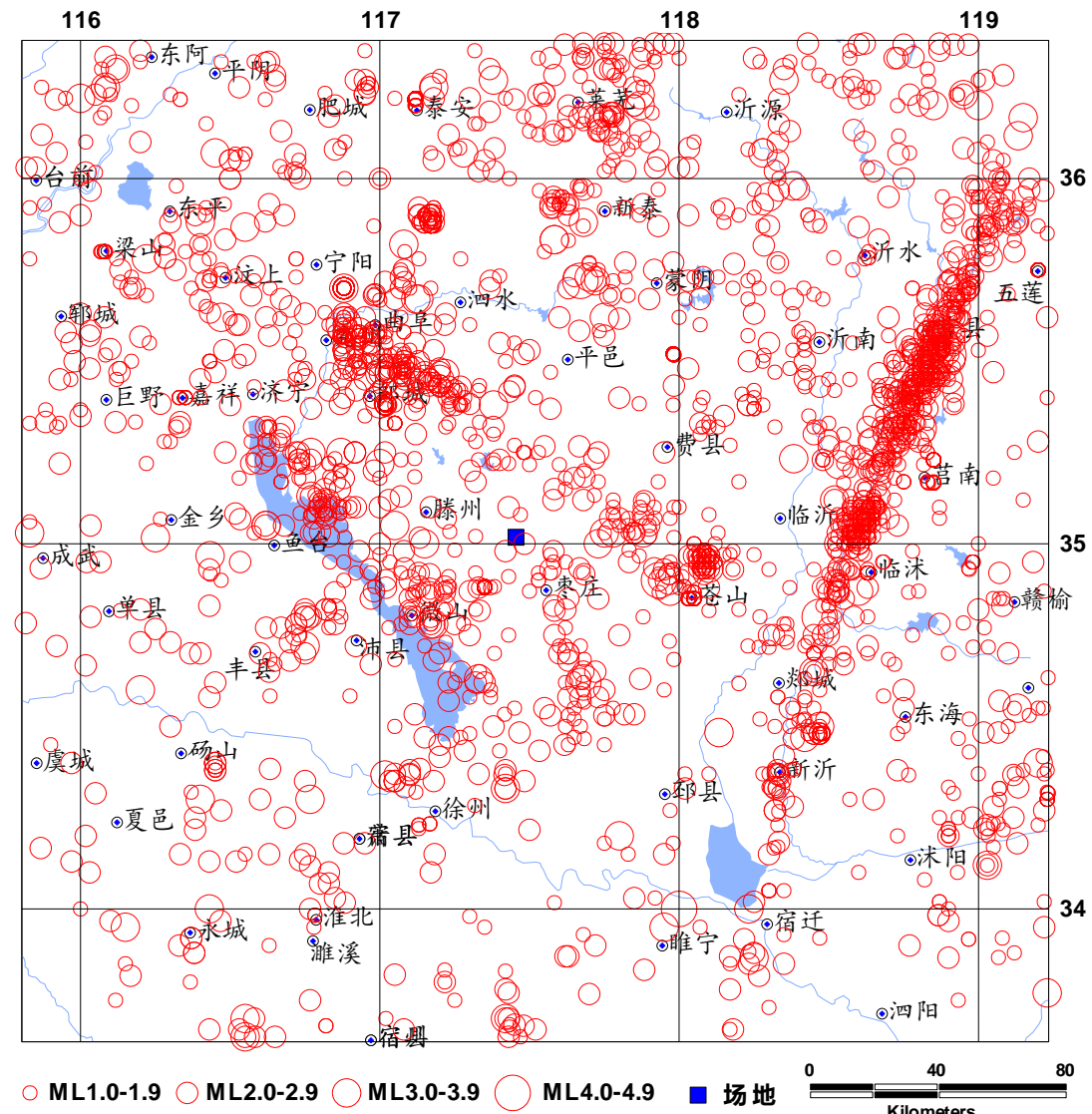


图 4.2.3-2 区域仪器记录小震震中分布图 (ML=1.0~4.9,1970.1~2021.10)

4.2.3.1.3 区域地震活动环境评价

本工程区域位于华北断块区一级大地构造单元内，场址位于鲁西断隆内。区内断裂构造发育，主要以北北东、北西和北西西向为主。其中北北东向断裂规模较大、活动历史较长，北西向断裂具有一定新生性。

在区域范围内，沂沭断裂带是最主要的地震构造。沂沭断裂带是整个郯庐断裂带上出露最好、规模最大、新活动最强烈的地区，特别是该断裂带中的安丘-莒县断裂是一条重要的全新世活动断裂，全新世时期除发生了 1668 年郯城 8½ 级地震外，还有多次大的古地震事件，具备上述发生强震的构造条件，是对工程场区地震危险性影响较大的活动断裂。

鲁西隆起区内也发育一系列北西向晚更新世活动断裂，沿这些断裂发生过多

次 5 级左右的地震。

4.2.3.2近场区历史地震及活动特征

近场区内无中强震记录，记录到多次中小震（图 4.2.3-3），总体来说，近场区现代地震活动较弱，强度低。

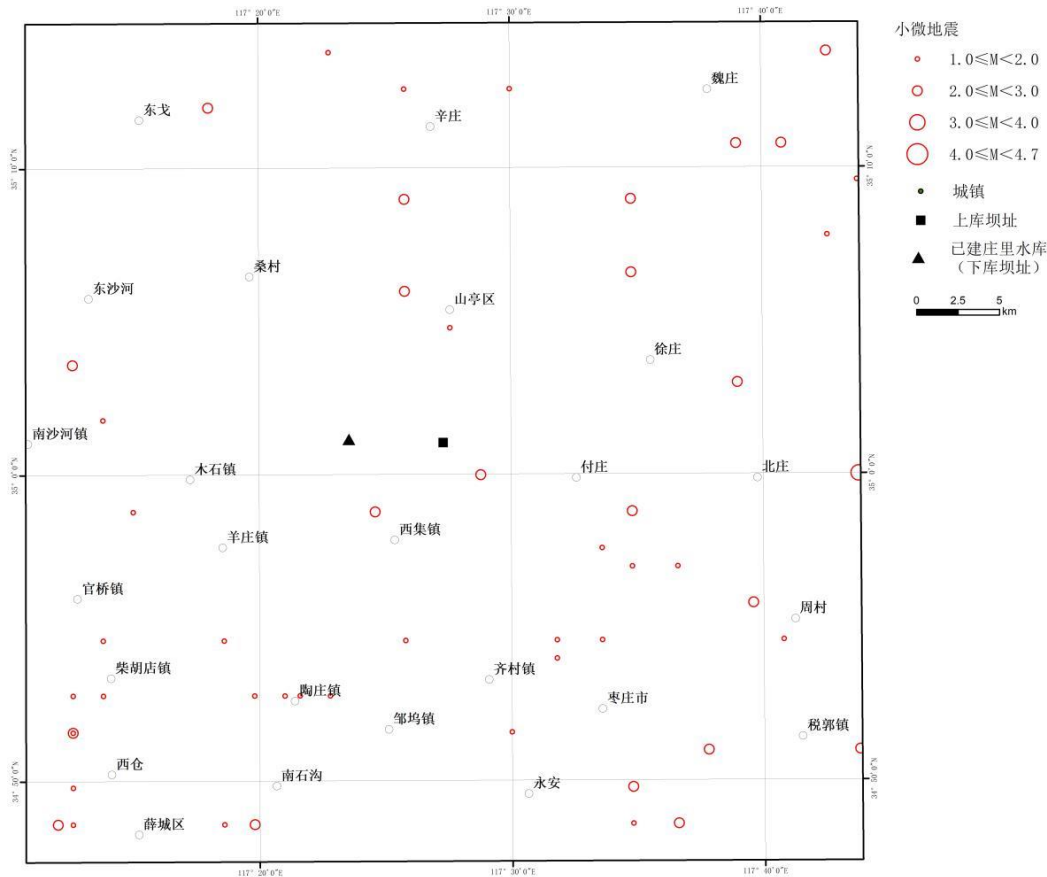


图 4.2.3-3 近场区仪器记录小震震中分布图（ML=1.0~4.9,1970.1~2021.10）

近场区地震构造活动特征：

- （1）近场区大地构造位于鲁西隆起的西南边缘，尽管经历了多期构造活动，但基本为整体抬升或沉降，区内主要发育的寒武系地层基本仍保持原始水平状态，地层倾角多小于 10°，且节理面不发育。总体上构造活动不强烈。
- （2）近场区内主要分布了 7 条断裂，其中苍尼断裂（F6）和鳊山断裂（F7）为晚更新世活动断裂，具有发生 6.5 级地震的发震能力。峰山断裂（F5）为早中更新世隐伏断裂，其他 3 条前第四纪断裂为官山峪-田庄断裂（F1）、桑村断裂（F2）、曹王墓断裂（F3）和枣庄断裂（F4）。
- （3）近场区现代地震活动较弱，强度低。

4.2.3.3历史地震对工程场地的影响

历史地震对场地的宏观影响烈度，主要参考的是历史地震的等震线资料。在计算历史地震对场地的影响烈度时，采用由中国地震烈度区划图东部衰减关系折合的平均轴衰减关系：

$$I=4.493 + 1.454M - 1.792Ln(R+16.0)$$

式中 R 为震中距，单位为 km，M 为震级。

表 4.2.3-2 给出了场地所遭受的历史地震影响烈度（≥IV 度）。场地宏观影响烈度来自新出版的《中国历史强震目录》（公元前 23 世纪至 1911 年）和《中国近代地震目录》（公元 1912 年至 1990 年）。

场地曾多次遭受破坏性地震影响，1668 年郯城大震在该场地影响最大，影响烈度达 IX 度，除个别地震之外，其余影响烈度大多≤VI 度。

表 4.2.3-2 坝址场地计算影响烈度≥4.8 的地震

发震时间			震中位置		震级	震中地区	距离 (km)	计算 烈度	宏观 烈度
年	月	日	经度	纬度					
-70	6	1	119.2	36.3	7	山东诸城西北	213	4.9	
462	8	17	117.0	34.8	$6\frac{1}{2}$	山东兖州南	48	6.5	
1303	9	25	111.7	36.3	8	山西赵城、洪洞	539	4.8	
1485	3	15	117.9	35.3	$5\frac{1}{2}$	山东费县	51	4.9	
1668	7	25	118.5	34.8	$8\frac{1}{2}$	山东郯城	98	8.4	IX
1830	6	12	114.3	36.4	$7\frac{1}{2}$	河北磁县	324	5.0	IV~V
1937	8	1	115.3	35.2	7	山东菏泽	197	5.1	VI
1937	8	1	115.4	35.3	$6\frac{3}{4}$	山东菏泽	189	4.8	
1966	3	22	115.1	37.5	7.2	河北宁晋东南	348	4.4	V

4.2.3.4地震带的划分

区域涉及华北地震区的华北平原地震带、郯庐地震带及长江下游—南黄海地震带（图 4.2.3-4）。

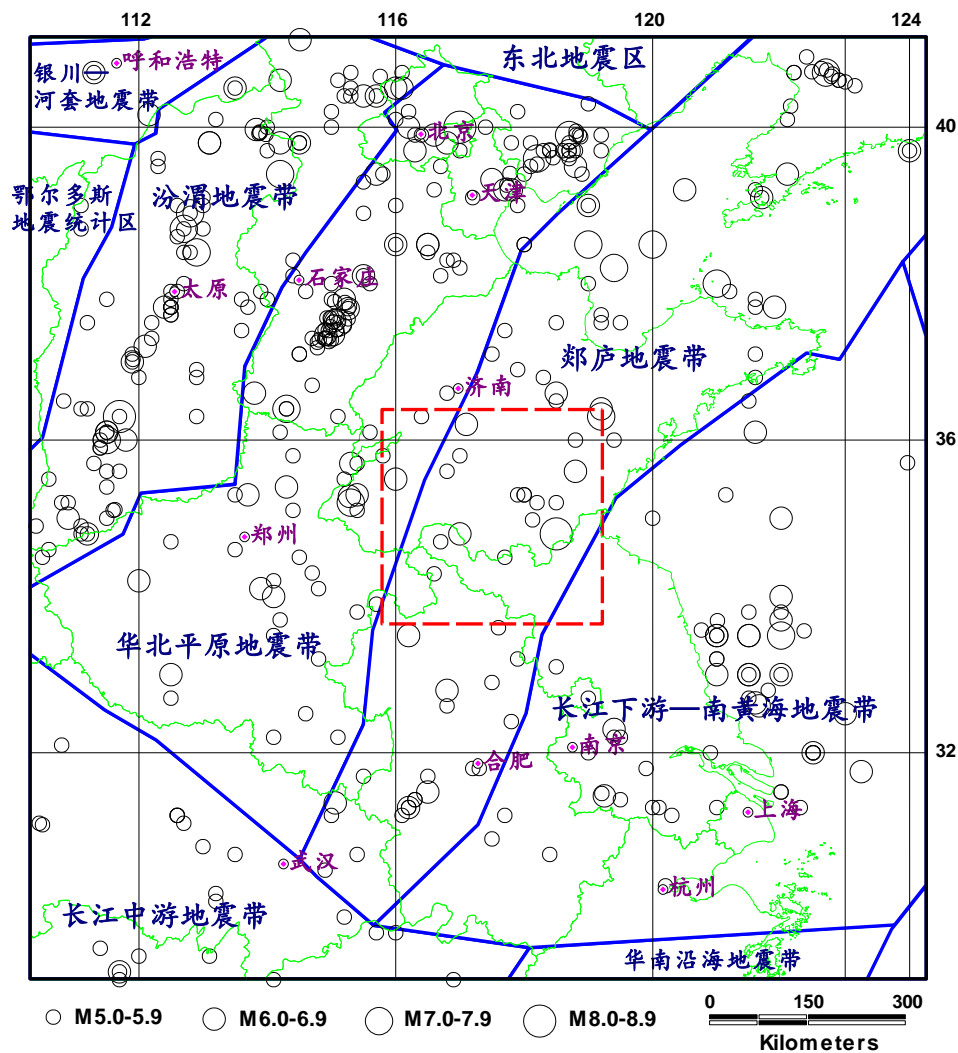


图 4.2.3-4 地震带与强震震中分布图（虚框为区域范围）

(1) 华北平原地震带

该带呈北北东向展布，南界大致位于襄阳—武汉一线，北界位于燕山南侧，西界位于太行山东侧，东界位于下辽河—辽东湾拗陷的西缘，向南延到天津东南，经济南东亳州达红安、麻城一带。

华北平原地壳厚度为 32km~36km，莫霍面隆起带与拗陷带相间排列，与新生代隆起、拗陷呈镜像关系。重磁异常呈北北东向带状分布。布格异常值由东向西降低。磁异常正负相间排列，变化较剧烈，局部异常较多。

本带记录到最早的一次地震是公元前 1767 年河南偃师西南的 6 级地震，最大地震是 1679 年河北三河平谷 8 级地震。据统计，在本带曾记录到 $M \geq 4.7$ 级地震 230 次，其中 5~5.9 级 114 次，6~6.9 级 30 次，7~7.9 级 5 次， ≥ 8 级 1 次。

(2) 郯庐地震带

郯庐地震带是我国东部规模最大的地震带。该带沿郯庐深大断裂展布并包括郯庐断裂带两侧及其邻近地区与之平行或斜交的次级断裂。

该带呈北北东走向，贯穿整个中朝断块区和华北地台区的东部。该断裂带是一条巨大的重力梯度带，深部重力异常表现为东高西低，东部为重力高区，异常值为几到几十毫伽；西侧为重力低区，异常值为-10~-45 毫伽。本断裂带也是一条航磁异常梯度带，在上延 10 公里磁异常图上，该带也是一条正负异常区的分界带。

据统计，有记载以来本带记录到 $M \geq 4.7$ 级地震 131 次，其中 5~5.9 级 70 次，6~6.9 级 17 次，7~7.9 级 6 次， ≥ 8 级 1 次。包括中国东部历史上最大的 1668 年郯城 $8\frac{1}{2}$ 级大地震，以及 1969 年渤海 7.4 级强震、1975 年辽宁海城 7.3 级强震。这些强震大多发生在北北东向活动断裂与北西向活动断裂的交汇部位。尤其是在郯庐断裂带与燕山渤海断裂带交汇的渤海区域，历史是发生过 4 次 7 级以上强震。

(3) 长江下游—南黄海地震带

本带包括苏北平原和南黄海。基底由元古界变质岩系组成。地壳厚度变化平缓，海域为 27km~30km，陆区为 30km~34km。重力场总体呈北东—北北东向展布，磁异常展布方向以北东、北北东为主，在 33°N 以北变为近东西向的宽缓的负异常区，其南以正异常为主和正负异常相间排列的异常图象。

断块差异运动是本区新生代以来构造活动最显著的特点。大致以长江为界（也是重、磁场分区界线），以北为苏北、南黄海断陷区，新第三纪以来的沉积物厚度达 1800 米；以南的苏南、浙西、皖南为隆起区。

本带内发育北东、北西西两组活动断裂，新构造时期均有不同程度的活动，对区内地震活动有明显的控制作用，尤其是两组断裂的交汇处。

本带为中强地震活动带，据统计，有记载以来共发生 $M \geq 4.7$ 级地震 100 次，其中 5.0~5.9 级地震 43 次，6.0~6.9 级地震 19 次， $M \geq 7$ 级地震 1 次。地震活动在空间上表现为，由北东向南西减弱的趋势，并显示出北东、北西带状分布特点。与构造关系密切。

4.2.3.5 潜在震源区的划分

潜在震源区是指未来可能发生破坏性地震的震源所在地区，其划分需要确定其边界位置和震级上限等。

研究区共划分出 28 个构造潜在震源区，其中震级上限为 8.5 级的 1 个、7.5

级的 3 个、7.0 级的 3 个、6.5 级的 11 个、6.0 级的 10 个，见表 4.2.3-3。

地震带以及构造潜在震源区的空间分布和震级上限见图 4.2.3-5。

区域内主要潜在震源区对工程场地地震危险性的概率贡献主要来自于距离近和震级上限高的潜源，其中概率贡献较大的主要有 3 个潜在震源区，分别为郯城 8.5 级潜在震源区（17 号）、苍山 7.0 级潜在震源区（18 号）和微山 6.5 级潜在震源区（19 号）。

表 4.2.3-3 区域内主要构造潜在震源区划分一览表

潜源所属地震带	潜源编号	潜源名称	潜源震级上限	
华北平原地震带	1	聊城	7.0	
	2	平阴	6.0	
	3	郓城	6.5	
	4	巨野	6.5	
	5	定陶	6.0	
	6	商丘	6.5	
郯庐地震带	7	泰安	6.5	
	8	博山	6.0	
	9	蒙阴	6.5	
	10	沂源	6.0	
	11	临朐	7.0	
	12	安丘	7.5	
	13	诸城	6.0	
	14	临沂	6.5	
	15	曲阜	6.0	
	16	费县	6.5	
	17	郯城	8.5	
	18	苍山	7.0	
	19	微山	6.5	
	20	碭山	6.0	
	21	邳县	6.5	
	22	泗县	6.5	
	23	宿迁	7.5	
	24	徐州	6.0	
	25	涡阳	6.5	
	26	宿州东	6.0	
	27	泗洪	7.5	
长江下游-南黄海地震带	28	淮阴	6.0	

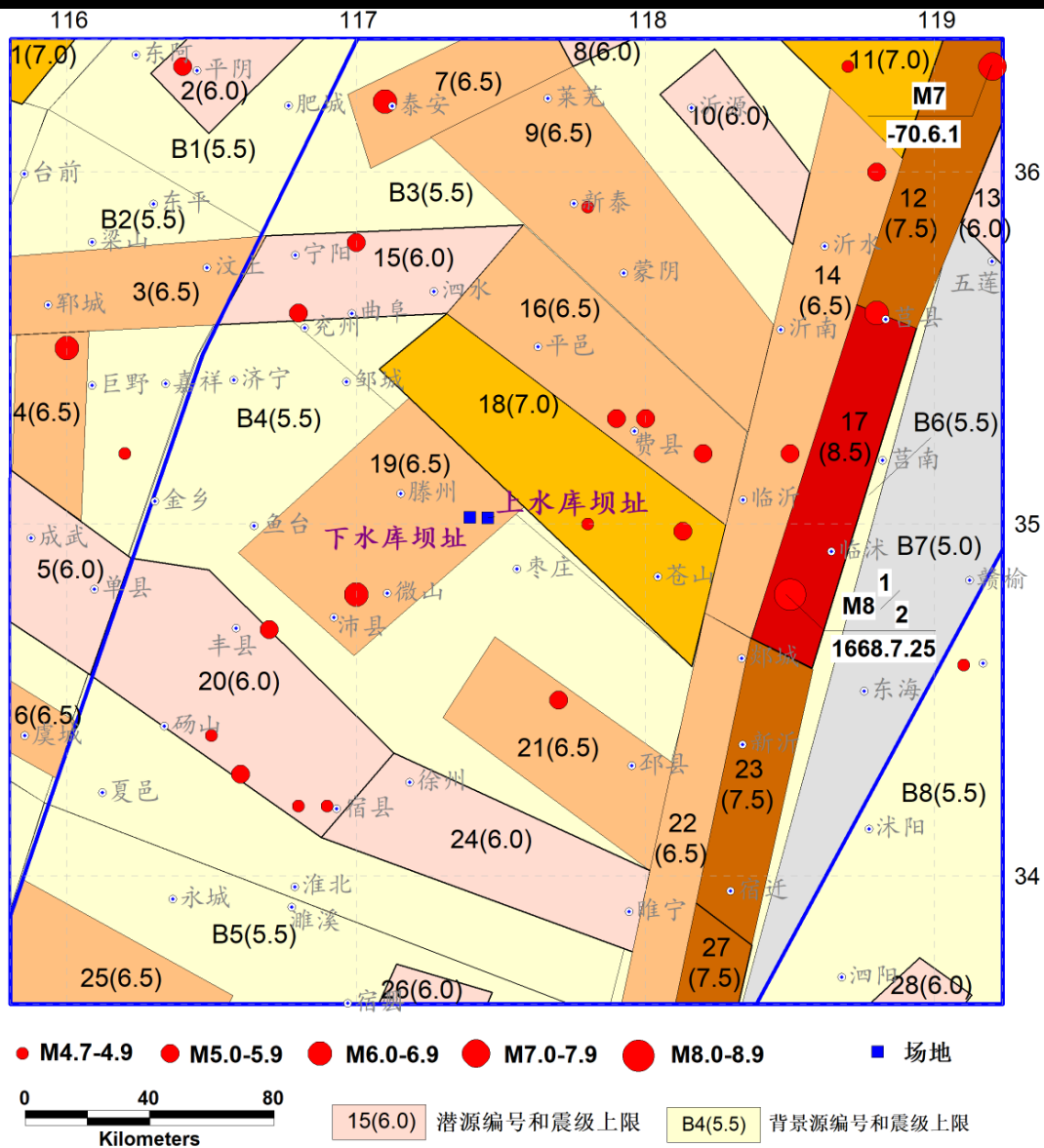


图 4.2.3-5 区域潜在震源区划分图

区域内场址附近的主要潜在震源区的划分简述如下：

(1) 郛城 6.5 级潜在震源区（3 号）

该潜在震源区位置上与近东西走向的郛城—宁阳凹陷带相对应，该凹陷在早第三纪活动强烈，在第四纪以来仍有明显的活动，凹陷的南北边界断裂，即郛城断裂和汶泗断裂在第三纪时期活动较强。卫片解译、地球物理勘探、工程钻探证实，东西向郛城断裂在区内的段落在晚更新世早期有过活动。同时，区内还发育近南北向的巨野断裂和曹县断裂，它们在第三纪时期的活动亦十分明显。根据构造类比和历史地震重演原则，本区震级上限定为 6.5 级。

(2) 定陶 6.0 级潜在震源区（5 号）

沿北西向成武—定陶断裂两侧划分，为晚更新世活动断裂，区内曾记载 1948

年 5² 级地震。1970 年以来仪器记录 $ML \geq 2.0$ 级地震 33 次，最大地震为 $ML4.6$ 级地震。根据构造类比和历史地震重复原则，将震级上限定为 6.0 级。

(3) 泰安 6.5 级潜在震源区 (7 号)

位于泰山山前断裂带上。区内有北西向中更新世活动泰山西麓断裂与之交汇。泰山山前断裂还是地壳差异运动的转折地带，第四纪晚期以来该断裂的垂直断距达 2.8m。根据构造类比和地震重复发生原则，本区震级上限定为 6.5 级。

(4) 蒙阴 6.5 级潜在震源区 (9 号)

新泰—蒙阴断裂与沂沭断裂带交汇，走向 $300^\circ \sim 325^\circ$ ，倾向南西，倾角一般为 $50^\circ \sim 70^\circ$ 。蒙阴县尚庄北见断层活动，其产状为 $NW300^\circ SW \angle 82^\circ$ ，断裂西侧为石炭系紫红色砂页岩，断裂东侧为太古代花岗片麻岩，断裂断错晚更新统棕红色黏土，断裂没有断错全新统亚砂土层。断裂卫片影像清晰。断裂控制着第四纪盆地的发育，对第四纪中、晚更新世地层有控制作用。尚庄以东的隐伏段，第四纪晚更新世受沂沭断裂带活动的影响和牵动，形成长达 25km 的活动段。在航磁和布格重力异常图上无明显显示，推测为壳内断裂。据《山东省地震构造图》标注，该断裂为晚更新世活动断层。

(5) 临朐 7.0 级潜在震源区 (11 号)

该潜在震源区东边界位于沂沭断裂带沂水—汤头断裂东侧，西边界大致位于中更新世活动的淄河断裂以西，南边界大致位于临朐盆地南界，北边界大致沿昌乐断裂，区内发育共轭的上五井断裂和双山—李家庄断裂，其最新活动时代均为晚更新世，区内历史上曾发生 1829 年 6 $\frac{1}{4}$ 级地震，现代小震活动频繁。据历史地震重演原则和构造类比原则，本潜在震源区震级上限定为 7.0 级。

(6) 安丘 7.5 级潜在震源区 (12 号)

该潜在震源区沿沂沭断裂带东地堑划分，西边界位于沂沭断裂带安丘—莒县断裂以西约 15 公里，与临朐潜在震源区相接；东边界位于诸城西，且平行沂沭断裂带划定；北边界以昌潍平原南缘为界，与昌邑潜在震源区相接。区内发育安丘—莒县断裂和昌邑—大店断裂，昌邑—大店断裂最新活动时代为晚更新世，安丘—莒县断裂最新活动时代为晚更新世—全新世，属于安丘破裂段。历史上发生过公元前 70 年安丘 7.0 级地震，距今已有 2080 余年。据地震活动性分析结果，该区位于地震网络交汇区，且是现代小震活动空段。据历史地震重演和构造类比原则，该区震级上限定为 7.5 级。

(7) 临沂 6.5 级潜在震源区 (14 号)

位于郯庐断裂带西侧地堑内，历史上层发生 1543 年 5 月 8 日 M5 级地震，现代小震活动较东侧地堑弱。北部沂水—汤头断裂由北向南伸入潜源区内，该断裂在杨寨村附近的浅层地震勘探剖面显示，断裂的上端点已穿透基岩顶面，影响到了第四系下部地层，表明该断裂为第四纪早期活动的断裂。综合分析认为，沂水—汤头断裂为第四纪早-中更新世断裂，晚更新世以来不活动。

(8) 曲阜 6.0 级潜在震源区 (15 号)

分别于 1485 年和 1675 年发生 2 次历史地震，震级都为 M5。峰山断裂是一条区域性南北向大断裂。其南端在区内隐伏于微山湖及周围第四纪地层之下，向北经滕州城东、邹城、曲阜城西，止于肥城汶阳一带，全长约 140km。综合前人资料认为该断裂在第四纪早期可能有过较强烈的断陷活动，但晚更新世以来没有明显活动。

此外，苍尼断裂西端在曲阜附近，向南东方向经防山、羊场、城前、白彦、魏庄、梁邱、甘霖及苍山等地，终止并切割了郯庐断裂。综合分析推断苍山—尼山断裂是一条晚更新世活动断裂。

(9) 费县 6.5 级潜在震源区 (16 号)

沿 NW 向蒙山山前断裂、汶泗断裂东南段划分，蒙山山前断裂为晚更新世活动断裂，控制南侧中新世平邑盆地的发育，断错临城夷平面，并发育断层崖；在费县资丘乡杨庄水库剖面，断错了年龄距今 4.41 ± 0.34 万年的亚砂土层，垂直断距达 1.30m。汶泗断裂东南段为早、中更新世断裂。

(10) 郯城 8.5 级潜在震源区 (17 号)

位于 1668 年 $8\frac{1}{2}$ 级地震的主破裂范围内，处于上地幔高导层隆起的斜坡带，M 面凹陷带东侧，有两条超壳断裂，并在中下地壳内有低速层和电导异常层。区内全新世断层活动集中，位错最长，是沂沭断裂带的最狭窄、隆起幅度最大的地段；有三条北西向第四纪活动断裂与之相交。在北东向水平主压应力作用下，具有快速脆性破裂特征。由历史地震重演原则，该区震级上限定为 8.5 级。

(11) 苍山 7.0 级潜在震源区 (18 号)

区内发育苍尼断裂和鳧山断裂。苍尼断裂为一条晚更新世活动断裂，位于晚更新世活动的苍尼断裂与沂沭断裂带交汇部位，现代小地震活动频繁，1995 年发生过苍山 5.2 级地震。鳧山断裂的最新活动时代为第四纪晚更新世早期。据构造类比和历史地震重演原则，本潜在震源区震级上限定为 7.0 级。

(12) 微山 6.5 级潜在震源区 (19 号)

区内沿北东向从丰县至滕州存在小震密集带，曾发生的 462 年 8 月 17 日兖州南 6½ 级地震，震中烈度达Ⅷ度。据历史地震，震级上限定为 6.5 级。

(13) 砀山 6.0 级潜在震源区 (20 号)

曾于 925 年 11 月 18 日发生 M5½ 级地震，又于 1994 年 5 月 19 日发生 M5.0 级地震。

(14) 邳县 6.5 级潜在震源区 (21 号)

区内发育邳县—宿迁断裂，该断裂起自邳县，向南东穿越郯庐断裂带，到宿迁止，长约 115km。其新构造活动特征在地质地貌上有一定的表现。断裂带构成了下扬子区地貌构造单元的分界线，断裂带之东为平原沉降区，之西为低山丘陵构造剥蚀区，活动时代为第四纪早、中更新世。区内 1546 年发生了 5½ 级地震。现代小震分布零星。根据构造类比原则，并考虑历史地震的因素，将本区震级上限定为 6.5 级。

(15) 宿迁 7.5 级潜在震源区 (23 号)

位于沂沭断裂带东地堑内，昌邑-大店、安丘-莒县断裂在晚更新世末期有强烈活动，全新世地层也有错断现象，控制新沂第四纪盆地发育。地壳深部莫氏面被错开，地壳破碎。1668 年郯城 8½ 级地震所产生的断层和地面形变延至本区，但破坏强度较临沭段略弱。根据构造类比原则，该区震级上限定为 7.5 级。

(16) 徐州 6.0 级潜在震源区 (24 号)

沿废黄河断裂划分，考虑到潜源以西砀山附近曾有中强地震发生，划分为 6 级潜在震源区。

4.2.3.6 场地设计地震动参数

根据中国地震学会震学安评[2022]21 号关于《山东枣庄山亭抽水蓄能电站工程场地地震安全性评价报告》的审查意见，给出了工程场地 50 年、100 年不同超越概率水平的基岩水平峰值加速度及地震动反应谱参数，具体见表 4.2.3-4、表 4.2.3-5。

根据基岩与中硬场地峰值转换关系以及 GB18306-2015《中国地震动参数区划图》中地震加速度峰值与地震基本烈度的对应关系，确定工程场地地震基本烈度为Ⅶ度。

表 4.2.3-4 工程场地 50 年、100 年不同超越概率水平的基岩水平向加速度峰值表

超越概率	50 年 63%	50 年 10%	50 年 5%	50 年 2%	100 年 5%	100 年 2%	100 年 1%
上水库坝址 (gal)	25.6	100.0	142.4	212.0	192.6	272.8	342.1
地下厂房 (gal)	25.6	100.1	142.4	211.9	192.5	272.5	341.3
水道中点 (gal)	25.5	99.4	141.0	209.1	190.2	268.5	335.8
下水库坝址 (gal)	25.5	98.9	139.9	206.8	188.4	265.1	330.9

表 4.2.3-5 工程场地水平向基岩设计地震动反应谱参数 (阻尼比 5%)

超越概率	Amax(gal)	T1(sec)	Tg(sec)	β max	γ	α max
50 年 63%	35.0	0.1	0.40	2.5	0.9	0.088
50 年 10%	110.0	0.1	0.45	2.5	0.9	0.275
50 年 5%	145.0	0.1	0.45	2.5	0.9	0.363
50 年 2%	215.0	0.1	0.50	2.5	0.9	0.538
100 年 5%	200.0	0.1	0.50	2.5	0.9	0.500
100 年 2%	275.0	0.1	0.50	2.5	0.9	0.688
100 年 1%	345.0	0.1	0.50	2.5	0.9	0.863

4.2.4 区域构造稳定性评价

工程区域位于华北断块区一级大地构造单元内，场址位于鲁西断隆内。

区内断裂构造发育，主要以北北东—北东向和北西西—北西向为主，近东西向次之。区内共有 37 条主要断裂，其中全新世断裂 1 条，晚更新世断裂 9 条，其余均为第四纪早—中更新世断裂或前第四纪断裂。区域范围内，沂沭断裂带为全新世活动断裂，是整个郯庐断裂带上出露最好、规模最大、新活动最强烈的地区，全新世时期除发生了 1668 年郯城 8½ 级地震外，还有多次大的古地震事件，具备发生强震的构造条件，是对工程场区地震危险性影响较大的活动断裂。鲁西隆起区内也发育一系列北西向晚更新世活动断裂，沿这些断裂发生过多次 5 级左右的地震。

从公元前 70 年至今，区域范围内共记录到历史破坏性地震 ($M \geq 4.7$) 27 次，最大地震为 1668 年 7 月 25 日的郯城大地震，对场地影响烈度达 IX 度，其余地震影响烈度大多 \leq VI 度。

区域新构造运动强烈，表现断块的差异运动及以北北东—北东向断裂右旋倾滑和北西向断裂左旋倾滑为代表的断裂活动。新构造运动具继承性和新生性，时间上具阶段性，空间上具差异性、掀斜性。

近场区内主要分布了 7 条断裂，其中，苍尼断裂 (F6) 和崂山断裂 (F7)

为晚更新世活动断裂，峰山断裂（F5）为早中更新世隐伏断裂，官山峪-田庄断裂（F1）、桑村断裂（F2）、曹王墓断裂（F3）和枣庄断裂（F4）为前第四纪断裂断裂。

近场区内无中强震记录，记录到多次中小震，近场区现代地震活动较弱，强度低。

根据中国地震学会审查（震学安评〔2022〕021号）的《枣庄山亭抽水蓄能电站工程场地地震安全性评价报告》，工程场址区50年超越概率10%的基岩水平峰值加速度为 $0.11g$ ，相应地震基本烈度为Ⅶ度，近场区无 $M_s \geq 4.7$ 级的地震，场址区内无活动断裂发育，因此，工程场址区属于区域构造稳定性较好的区域。

4.2.5 场地地震地质灾害评价

场址区位于鲁中南断隆区，总体地形呈现东北高，西南低的特征。工程区冲沟较发育，沟内分布少量坡洪积物。可见到处有寒武系灰岩和页岩出露，岩层产状平缓。

根据本工程所处地理位置、地质条件以及地形、地貌特征，场地条件为基岩场地，需要考虑的主要震害为断裂的地震地面效应问题及崩塌、滑坡、泥石流问题等；不存在砂土的液化、软土震陷等灾害。

工程区5km范围内发育1条官山峪-田庄断裂（F1），为前第四纪断裂。场址区无晚更新世以来断裂通过，因此不存在地震地表断错的潜在危害。但官山峪-田庄断裂与上水库坝址距离仅280m，尽管水库整体（含蓄水区）均不与断层相交，且断裂也不活动，但仍应考虑断层破裂带的不良地质条件。

场址区不存在滑坡、崩塌及泥石流等不良地质现象。

场址区两岸山坡地形较缓，成浑圆状，岸坡坡度一般在 $10^{\circ} \sim 30^{\circ}$ ，覆盖层零星出露，基岩大多裸露，整体稳定性好。

上水库采用全面防渗模式，库区最大开挖边坡高度约63m；下水库进/出水口边坡最大高度为40m。开挖后工程区边坡整体稳定性好，但局部存在结构面组合切割形成的不稳定块体，地震作用下，可能产生少量崩塌掉块灾害。

4.3 工程区基本地质条件

4.3.1 地形地貌

山亭抽水蓄能电站地处山东省枣庄市山亭区境内，位于羊庄盆地内，地势总体东北高，西南低，区内地面高程 120m~436m，相对高差 314m~322m，属低山丘陵地貌。

工程区位于枣庄市境内南四湖湖东地区十字河流域，上水库利用石门村东北侧的石门沟及行岭沟沟脑地形，在沟内筑坝围成库盆。石门沟发育方向为 SW223°，谷底高出下水库河床约 140m，库区地形较宽阔平缓，具备天然库盆地形条件。

输水系统布置在石门村与小岩头村之间的山体内部，大部分平行于山脊布置。输水系统沿线山体大部分基岩裸露，地形坡度一般为 10°~25°，局部见有高 10m 左右的陡坎。山体大多呈浑圆状，山脊高程最高约为 420m，总体上地形较为完整。

下水库位于十字河，利用已竣工的庄里水库，总库容 1.3 亿 m³。

工程区地形地貌见图 4.3.1-1。

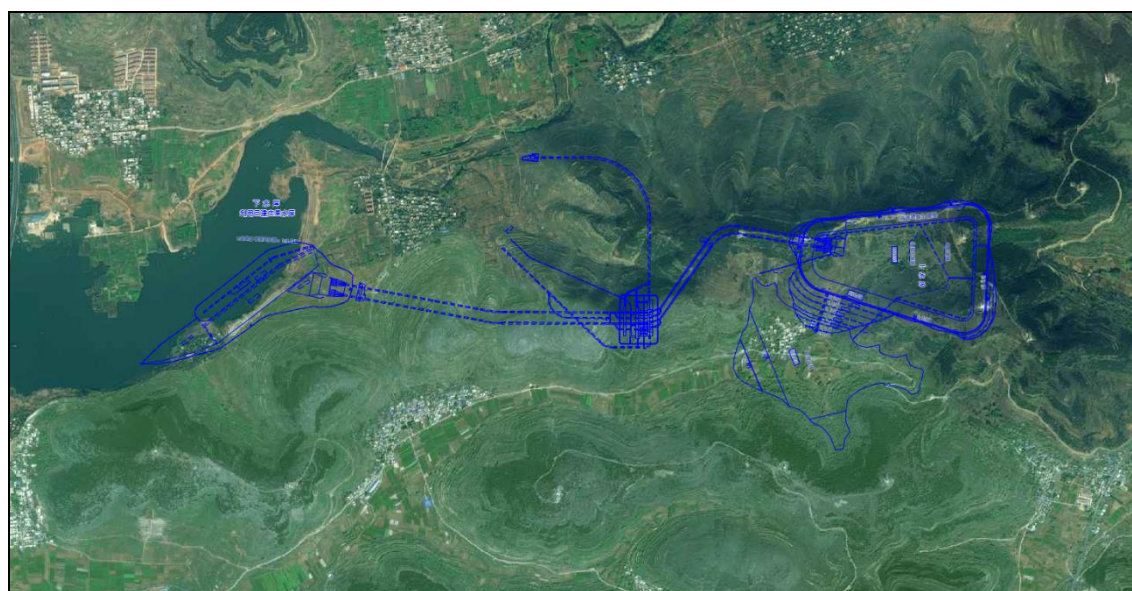


图 4.3.1-1 工程区地貌特征示意图

4.3.2 地层岩性

工程区地层主要有寒武系上统炒米店组(ϵ_{3c})、崮山组(ϵ_{3g})、张夏组(ϵ_{3z})

和寒武系中统馒头组 (ϵ_2m) 沉积岩地层, 以及第四系全新统 (Q_4) 地层。由于 F1 断裂及其它断层影响, 以 F1 断裂、f2 断层及 f3 断层为界, 断层两侧的地层岩性的埋深不同。

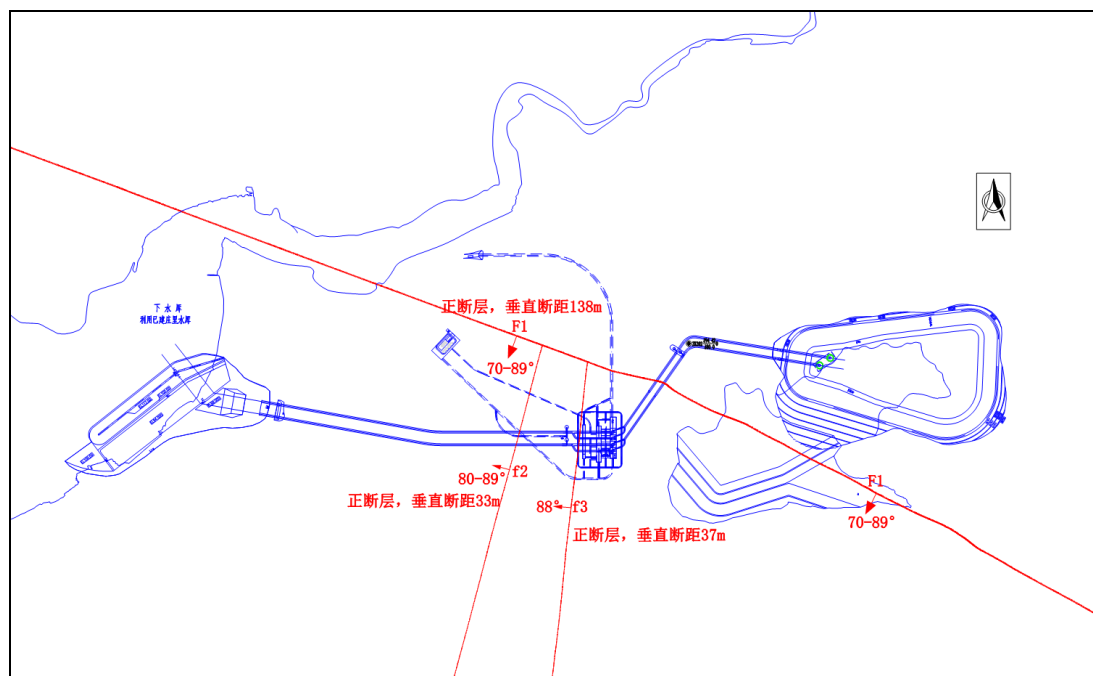


图 4.3.2-1 工程区主要断层分布及断距示意图

F1 断裂为正断层, 南侧为上盘, 北侧为下盘, 垂直断距为 138m; f2 断层为正断层, 垂直断距为 33m; f3 断层为正断层, 垂直断距为 37m。

根据钻孔及地质测绘资料, 工程区地层以近水平为主。以张夏组和崮山组地层界线为例, F1 断裂北侧的张夏组和崮山组地层界线高程为 290m, F1 断裂南侧、f3 断层东侧的张夏组和崮山组地层界线高程为 152m, 垂直断距为 138m。F1 断裂南侧、f3 断层西侧及 f2 断层东侧的张夏组和崮山组地层界线高程为 115m, 垂直断距为 37m; F1 断裂南侧、f2 断层西侧的张夏组和崮山组地层界线高程为 82m, 垂直断距为 33m。

表 4.3.2-1 工程区地层岩性分布一览表

地层					岩性	项目	分段高程 ZK202/ ZK111	分段 高程 ZK203	分段 高程 ZK206	分段 高程 ZK204
系	统	组	段	代号			孔深 390m	孔深 350m	孔深 230m	孔深 80m
寒武系	上统	炒米店组	\in_{3c}	砾屑灰岩	顶板高程 (m)			320.07	302.77	
					底板高程 (m)			311.17	275.17	
					厚度 (m)			>8.8	>27.6	
寒武系	上统	崮山组	第五段	\in_{3g^5}	灰岩夹页岩	顶板高程 (m)	434.98	311.17	275.17	
						底板高程 (m)	408.98	274.07	238.07	
						厚度 (m)	>26	37.2	37.1	
			第四段	\in_{3g^4}	灰岩夹页岩	顶板高程 (m)	408.98	274.07	238.07	
						底板高程 (m)	378.02	239.67	202.57	
						厚度 (m)	30.96	34.4	35.5	
			第三段	\in_{3g^3}	灰岩及页岩	顶板高程 (m)	378.02	239.67	202.57	
						底板高程 (m)	357.22	216.27	178.17	
						厚度 (m)	20.8	23.4	24.4	
			第二段	\in_{3g^2}	灰岩夹页岩	顶板高程 (m)	357.22	216.27	178.17	141.10
						底板高程 (m)	319.82	178.37	144.97	112.65
						厚度 (m)	37.4	37.9	33.2	28.45
			第一段	\in_{3g^1}	灰岩及页岩	顶板高程 (m)	319.82	178.37	144.97	112.65
						底板高程 (m)	290.22	151.87	115.17	82.1
						厚度 (m)	29.6	26.5	29.8	30.55
寒武系	上统	张夏组	第三段	\in_{3z^3}	灰岩	顶板高程 (m)	290.22	151.87	115.17	82.1
						底板高程 (m)	132.42	-1.53	72.77	61.1
						厚度 (m)	157.8	153.4	>42.4	>21.0
			第二段	\in_{3z^2}	灰岩及页岩	顶板高程 (m)	132.42	-1.53		
						底板高程 (m)	129.42	-8.03		
						厚度 (m)	3	6.5		
			第一段	\in_{3z^1}	鲕粒灰岩	顶板高程 (m)	129.42	-8.03		
						底板高程 (m)	89.02	-29.93		
						厚度 (m)	40.4	>21.9		
寒武系	中统	馒头组	第四段	\in_{2m^4}	云泥岩	顶板高程 (m)	89.02			
						底板高程 (m)	78.42			
						厚度 (m)	10.6			
			第三段	\in_{2m^3}	页岩	顶板高程 (m)	78.42			
						底板高程 (m)	50.32			
						厚度 (m)	28.1			
			第二段	\in_{2m^2}	灰岩夹页岩	顶板高程 (m)	50.32			
						底板高程 (m)	40.32			
						厚度 (m)	10			
			第一	\in_{2m^1}	页岩	顶板高程 (m)	40.32			
						底板高程 (m)	4.42			

地层					岩性	项目	分段高程 ZK202/ ZK111	分段 高程 ZK203	分段 高程 ZK206	分段 高程 ZK204
系	统	组	段	代号			孔深 390m	孔深 350m	孔深 230m	孔深 80m
			段				厚度 (m)	>35.9		

注：表中斜体字代表该层未揭穿，厚度仅指钻孔内的揭露厚度。

4.3.2.1 寒武系中统馒头组 ($\epsilon_2 m$)

馒头组由下至上分为四段。

第一段 ($\epsilon_2 m^1$)：岩性为页岩，紫红色，泥质粉砂质结构，页理构造，矿物组成主要黏土矿物 (20%~25%)、长石与石英 (70%~75%) 及少量铁质 (5%)，岩质软弱，手掰可断；局部夹少量薄层灰岩，层厚 1~5cm；页岩占比 90%~95%，灰岩占比 5%~10%。F1 断裂北侧的馒头组第一段页岩顶板高程约为 40m，层厚大于 40m。薄片鉴定如下：岩石呈紫红色，黏土质粉砂状结构，块状构造，矿物组成主要为长石、石英 70%~75%，黏土矿物（水云母、绿泥石）20%~25%，铁质等 5%。

第二段 ($\epsilon_2 m^2$)：岩性为灰岩夹页岩，灰岩为灰黑色，微晶结构，矿物成分以方解石为主，厚层状构造，岩质坚硬，锤击声清脆；页岩为紫红色，泥质结构，薄层状构造，矿物成分为泥质，岩质软弱；灰岩占比约 70%~80%，页岩占比约 20%~30%。F1 断裂北侧该层顶板高程约为 50m，层厚约为 10m。

第三段 ($\epsilon_2 m^3$)：岩性为页岩，局部夹少量灰岩，页岩呈紫红色，泥质结构，薄层~极薄层状构造，层厚 1~10mm，矿物成分主要为泥质，岩质较软，手掰可断，页岩占比 80%以上，其余为少量灰岩。F1 断裂北侧该层顶板高程约为 78m，层厚约为 28m。

第四段 ($\epsilon_2 m^4$)：岩性为云泥岩，灰黑色，泥质结构，中厚~厚层状构造，层厚 20~100cm，矿物成分由泥质及云母组成，岩质较硬，锤击声较清脆，完整性好。F1 断裂北侧该层顶板高程约为 89m，层厚约为 11m。

4.3.2.2 寒武系上统张夏组 ($\epsilon_3 z$)

张夏组由下至上分为三段。

第一段 ($\epsilon_3 z^1$)：岩性为鲕粒灰岩，灰黑色，鲕粒构造，厚层~块状构造，局部层厚大于 1m，矿物成分以方解石为主，岩质坚硬，锤击声清脆。F1 断裂北侧该层顶板高程约为 129m，层厚约为 40m，f2 断层东侧（中部厂房）该层顶板

高程约为-8.03m。薄片鉴定结果如下：岩石具微晶结构，矿物成分主要为方解石 70%~75%，白云石 25%~30%，少量铁泥质等。

第二段（ $\in_3 z^2$ ）：岩性为灰岩夹页岩，灰黑色，灰岩占比 70%~80%，页岩占比 20%~30%；灰岩呈灰黑色，微晶结构，薄层~极薄层构造，层厚为 5~10mm，矿物成分以方解石，岩质坚硬；页岩呈黑色，泥质结构，极薄层状构造，层厚为 1~10mm，局部可达 2cm，岩质软弱，手掰可断。F1 断裂北侧该层顶板高程约为 132m，f2 断层东侧（中部厂房）该层顶板高程约为-1.53m，层厚约为 3~6m。

第三段（ $\in_3 z^3$ ）：岩性为灰岩，灰黑色，微晶结构，厚层状构造，层厚一般为 0.5~1m，矿物成分主要为方解石，锤击声清脆，岩质坚硬；层内可见少量页岩纹理，纹理厚度一般 0.1~0.5mm；灰岩占比约为 99%，其余为少量纹理状页岩。F1 断裂北侧该层顶板高程约为 290m，f2 断层东侧（中部厂房）该层顶板高程约为 152m，f2 断层西侧（下水库进/出水口）该层顶板高程约为 82m，层厚约为 153m。薄片鉴定结果如下：岩石具含生物屑微晶结构，主要由填隙物和生物屑组成，矿物成分主要为方解石约 95%，白云石 4%~6%，以及少量铁泥质等。

4.3.2.3 寒武系上统崮山组（ $\in_3 g$ ）

崮山组由下至上分为五段。

岩性主要以灰岩和页岩为主，岩石呈深灰色、灰黑色互层，泥微晶结构，黑色部分具页理构造，深灰色部分滴稀盐酸反应剧烈。岩石由泥微晶灰岩、页岩岩性组成，呈互层状分布。

泥微晶灰岩：泥微晶结构，硬度中等，滴稀盐酸剧烈起泡。主要由方解石 84%~86%、白云石 6%~8%，石英、长石 3%~5%，铁泥质 3%~5%等组成；

页岩：具黏土质结构，页理构造。矿物成分为黏土矿物 80%~85%，白云石、和少量方解石 10%~15%、长石、石英约 5%，少量不透明矿物等；黏土矿物主要由细小鳞片状水云母、绿泥石组成，呈显微鳞片状，长轴定向排列；

第一段（ $\in_3 g^1$ ）：岩性为灰岩及页岩，灰岩呈灰黑色，微晶结构，薄层~极薄层构造，层厚一般为 5~10mm，局部可达 10cm，矿物成分主要为方解石，岩质坚硬；页岩呈条带状产出，黑色，泥质结构，极薄层状构造，层厚一般 1~10mm，局部少量可达 2cm，岩质软弱，手掰可断；灰岩占比 50%~60%，页岩占比 40%~50%，局部可见紫红色竹叶状灰岩。F1 断裂北侧该层顶板高程约为 320m，f2 断层东侧（中部厂房）该层顶板高程约为 178m，f2 断层西侧（下水库进/出水

口) 该层顶板高程约为 113m, 层厚约为 30m。

第二段 ($\in_3 g^2$): 岩性为灰岩夹页岩, 灰岩呈灰黑色, 微晶结构, 中厚层状构造, 层厚一般为 4~50cm, 矿物成分主要为方解石, 锤击声清脆, 岩质坚硬; 页岩呈条带状及纹理状产出, 泥质结构, 极薄层状构造, 层厚一般为 1~5mm, 纹理厚度一般为 0.1~2mm; 灰岩占比约为 80%~90%, 页岩占比约为 10%~20%。F1 断裂北侧该层顶板高程约为 357m, f2 断层东侧 (中部厂房) 该层顶板高程约为 216m, 层厚约为 37m。

第三段 ($\in_3 g^3$): 岩性为灰岩及页岩, 灰岩呈灰黑色, 微晶结构, 薄层~极薄层构造, 层厚为 5~10mm, 局部可达 10cm, 矿物成分主要为方解石, 岩质坚硬; 页岩呈黑色, 泥质结构, 极薄层状构造, 层厚 1mm~10mm, 局部少量可达 20mm, 岩质较软, 手掰可断, 局部可见紫红色竹叶状灰岩; 灰岩占比 50%~60%, 页岩占比 40%~50%。F1 断裂北侧该层顶板高程约为 378m, f2 断层东侧 (中部厂房) 该层顶板高程约为 240m, 层厚约为 21m。

第四段 ($\in_3 g^4$): 岩性为灰岩夹页岩, 灰岩呈灰黑色, 微晶结构, 中厚层状构造, 主要矿物成分为方解石, 岩质坚硬, 锤击声清脆; 页岩呈黑色, 泥质结构, 极薄层状构造, 层厚一般为 1~5mm, 岩质较软, 手掰可断, 锤击声哑; 灰岩占比约为 80%~90%, 页岩占比约为 10%~20%。F1 断裂北侧该层顶板高程约为 409m, f2 断层东侧 (中部厂房) 该层顶板高程约为 274m, 层厚约为 31m。

第五段 ($\in_3 g^5$): 岩性为灰岩夹页岩, 灰岩呈灰黑色, 微晶结构, 薄层~中厚层状构造, 主要矿物成分为方解石, 岩质坚硬, 锤击声清脆; 页岩呈黑色, 泥质结构, 极薄层状构造, 层厚一般为 1~5mm, 岩质较软, 手掰可断, 锤击声哑; 灰岩占比约为 60%~70%, 页岩占比约为 30%~40%。该层厚度>46m。

4.3.2.4 寒武系上统炒米店组 ($\in_3 c$)

寒武系上统炒米店组 ($\in_3 c$): 岩性为砾屑灰岩, 局部夹有竹叶状灰岩, 灰黑色, 厚层状构造, 矿物成分以方解石为主, 岩质坚硬, 锤击声清脆。主要分布于 F1 断裂南侧地表, 以及庄里水库坝址。f3 断层东侧该层底板高程约为 311m, f3 断层西侧该层底板高程约为 275m。

4.3.2.5 第四系地层 (Q_4)

第四系地层 (Q_4) 主要为全新统崩坡积层 (Q_4^{col+dl})、洪坡积层 (Q_4^{pl+dl}) 及

冲洪积层（ Q_4^{pal} ），分布于山坡表部、山谷底部、河床及两岸。

崩坡积层（ Q_4^{col+dl} ）主要分布于边坡表面及坡脚，零星出露，主要由碎石土组成，厚度一般小于 1m。

坡洪积层（ Q_4^{dl+pl} ）主要分布于下水库石子河两岸及冲沟沟底，主要由碎石土组成，厚度一般小于 3m。

冲洪积层（ Q_4^{pal} ）分布于下水库十字河的河床，主要由砂卵砾石组成，厚度最大为 8m。

4.3.3地质构造

工程区地层为沉积岩，岩层近水平，产状主要为 $NW290^{\circ}\sim310^{\circ}NE\angle1^{\circ}\sim7^{\circ}$ 。以 F1 断裂为界，北侧岩层产状主要为 $NW290^{\circ}\sim310^{\circ}NE\angle1^{\circ}\sim7^{\circ}$ ，局部倾角大于 7° ；南侧岩层产状主要为 $NW290^{\circ}\sim310^{\circ}NE\angle1^{\circ}\sim5^{\circ}$ ，近似水平。

工程区的地质构造较为发育，主要表现为断层、节理裂隙。根据结构面的宽度及长度，对结构面进行分级，详见表 4.3.3-1。

表 4.3.3-1 岩体结构面规模分级表

级别	规 模		代表性结构面
	破碎带宽度(m)	延伸长度(m)	
I	>10.0	区域性断裂	F1 官山峪-田庄断裂
II	1.0~10.0	>1000	f2、f3 等断层
III	0.1~1.0	100~1000	f1、fp17、fp20、fp29 等断层
IV	<0.1	<100	fp1、fp2、fp3 等小断层
V	节理裂隙		节理裂隙

(1) 断层

工程区内共发现 36 条断层，区域断裂 F1（官山峪-田庄断裂）从工程区中部通过，距离上水库坝址约 280m，通过输水线路的桩号约为 K0+880m。此外，输水线路中部发育 f2、f3 断层，通过尾水隧洞桩号分别为 K1+720m、K1+436m。

F1 断裂为正断层，走向为 $NW\ 290^{\circ}\sim300^{\circ}$ ，倾向 SW，倾角 $70^{\circ}\sim89^{\circ}$ ，破碎带宽度 2.8m，主要由碎裂岩组成，成分以方解石和泥质为主，带内褶曲、揉皱现象明显，两侧影响带宽度 20~60m，垂直断距约为 138m。根据物探成果，断裂可能呈串珠状，局部发育规模较小，为前第四纪断裂，属 I 级结构面。

f2 断层为正断层，产状为 $NE15^{\circ}NW\ \angle80\sim89^{\circ}$ ，破碎带宽度 1.0m，主要由断层角砾岩组成，垂直断距约为 33m，属 II 级结构面。

f3 断层为正断层，产状为 $NE10^{\circ}\ NW\ \angle88^{\circ}$ ，破碎带宽度 1m~1.5m，主要由碎裂岩组成，断层两侧岩石褶皱较发育，垂直断距约为 37m，属 II 级结构面。

此外，工程区其他部位发育少量断层，规模较小，宽度一般小于 1m。主要断层汇总表 4.3.3-2。

对断层发育规律进行统计，可以发现，构造走向主要有三个方向，分别为第①组 $NE40^{\circ} \sim 60^{\circ}$ 、第②组 $NW300^{\circ} \sim 320^{\circ}$ 、第③组 $NE1^{\circ} \sim 20^{\circ}$ 。

三个构造方向中， $NE40^{\circ} \sim 60^{\circ}$ 、 $NW300^{\circ} \sim 320^{\circ}$ 时代相对较老， $NE 1^{\circ} \sim 20^{\circ}$ 发育时代相对较新。断层充填物一般以碎裂岩或断层角砾岩为主，少见断层泥。

工程区有一定规模的断层数量较少，其中，断层破碎带宽度大于 1m 的主要为 F1、f2、f3 等 3 条，宽度 0.5~1.0m 为 f1，宽度 0.1~0.5m 为 fp1、fp17、fp20、fp29 等 4 条。其余断层宽度均小于 10cm，属于 IV 级结构面。

总体而言，工程区断层不甚发育。

表 4.3.3-2 工程区主要断层汇总表

断层 编号	产状			性质	破碎带 宽度 (cm)	简要描述	分布位置
	走向 ($^{\circ}$)	倾向 ($^{\circ}$)	倾角 ($^{\circ}$)				
F1	280~300	SW	70~89	正	280	碎裂岩成分以方解石和泥质为主，带内褶曲、揉皱现象明显	距离方案一上水库坝址约 280m，通过输水线路的桩号约为 K0+880m
f1	325	SW	86~89	逆	70	带内充填碎裂岩	方案一上水库东侧库外边坡
f2	15	NW	80	正	100~200	带内充填断层角砾岩	与尾水隧洞斜交，通过桩号约为 K1+720m
f3	1~10	NW	88	正	100~150	带内充填碎裂岩，带内可见岩层褶皱发育	与尾水隧洞正交，通过桩号约为 K1+436m
fp1	10	SE	88	正	3~14	带内充填碎裂岩，碎裂岩成分以方解石和泥质为主	平洞 PD101 内桩号 65.6~68m
fp2	300	SW	83	正	0.1~1	带内充填碎裂岩，碎裂岩成分以方解石和泥质为主	平洞 PD101 内桩号 237.1~238m
fp3	290	SW	89	正	0.1~5	带内充填断层泥和碎裂岩	平洞 PD101 内桩号 434.6m
fp4	300	NE	83	正	1~5	带内充填断层泥和碎裂岩	平洞 PD101-3 内桩号 109.5~110.4m
fp5	65	SE	81	正	1~8	带内充填断层泥和碎裂岩	平洞 PD101-3 内桩号 128.6~129.5m
fp6	300	SW	70	正	0.1~4	带内充填钙质和断层泥	平洞 PD101-3 内桩号 142.4~142.7m
fp7	270	SW	82	正	0.1~3	带内充填钙质和断层泥	平洞 PD101-3 内桩号 142.4~142.6m
fp8	60	NW	80		0.1~3	带内充填钙质和断层泥	平洞 PD101-3 内桩号 145.1~146.8m
fp9	320	NE	85	正	0.1~2	带内充填钙质和断层泥	平洞 PD101-3 内桩号 153.1~153.6m

断层 编号	产状			性质	破碎带 宽度 (cm)	简要描述	分布位置
	走向 (°)	倾向	倾角 (°)				
fp10	310	NE	87	正	0.1~2	带内充填钙质和断层泥	平洞 PD101-3 内桩号 154~155.4m
fp11	315	NE	88	正	0.1~3	带内充填钙质和断层泥	平洞 PD101-3 内桩号 158.9~160.6m
fp12	318	NE	88	正	0.1~3	带内充填钙质和断层泥	平洞 PD101-3 内桩号 160.5~161m
fp13	303	SW	88	正	0.1~5	带内充填钙质和断层泥	平洞 PD101-3 内桩号 169~170m
fp14	295	NE	87		0.1~3	带内充填钙质和断层泥	平洞 PD101-3 内桩号 173.5~174.8m
fp15	310	NE	89	正	0.1~3	带内充填钙质和断层泥	平洞 PD101-3 内桩号 174.3~176.3m
fp16	300	NE	87	正	0.1~5	带内充填钙质和断层泥	平洞 PD101-3 内桩号 198.2~198.6m
fp17	310	NE	88	正	30~40	带内充填断层泥和碎裂岩	平洞 PD101-3 内桩号 203.8~204.3m
fp18	310	NE	88	正	1~5	带内充填钙质和断层泥	平洞 PD101-3 内桩号 201.6~203.1m
fp19	310	NE	88	正	1~3	带内充填钙质和断层泥	平洞 PD101-3 内桩号 224.3~225m
fp20	310	NE	88	正	10~30	带内充填断层泥、钙质和碎 裂岩	平洞 PD101-3 内桩号 252.7~253.8m
fp21	300	NE	79		0.1~1	带内充填岩屑夹泥钙质	平洞 PD101-2 内桩号 38.1~44.8m
fp22	305	NE	80		3~6	带内充填岩屑夹泥	平洞 PD101-2 内桩号 54.2~59.5m
fp23	5	NW	87		2~4	带内充填断层泥碎裂岩	平洞 PD101-2 内桩号 97.7~98m
fp24	305	NE	87		0.1~10	带内充填泥夹岩屑钙质 两侧影响带宽度 10~40cm	平洞 PD101-2 内桩号 79.9~85m
fp25	35	SE	60		0.1~0.5	带内充填断层泥钙质	平洞 PD101-2 内桩号 105.6~106.9m
fp26	350	NE	50		0.1~0.5	带内充填岩屑夹泥钙质	平洞 PD101-2 内桩号 130.4~129.5m
fp27	10	NW	85		0.1~1	带内充填岩屑夹泥钙质	平洞 PD101-2 内桩号 135.8~135.9m
fp28	29	SE	86		0.2~2	带内充填断层泥钙质该处 发育小溶洞, 溶洞 10~40cm	平洞 PD101-2 内桩号 166.1~167.3m
fp29	10	NW	88	正	50~100	带内发育溶洞长 2m 高 1m 宽 40cm	平洞 PD101-2 内桩号 170.4~170.7m
fp30	30	SE	85		0.5~3	带内充填泥质角砾岩	平洞 PD101-2 内桩号 172.8~172.1m
fp31	40	SE	80		0.5~2	带内充填断层泥角砾岩	平洞 PD101-2 内桩号 177.9~178.3m
fp32	30	SE	55		0.1~1	带内充填钙质泥质	平洞 PD101-2 内桩号 179.5~180m

(2) 节理裂隙

工程区节理裂隙主要发育 4 组 (图 4.3.3-1), 其中, ①、②、③为构造节理, ④为层面裂隙:

① $NE40^{\circ} \sim 60^{\circ} NW \angle 64^{\circ} \sim 88^{\circ}$, 裂隙面起伏、粗糙, 闭合~微张, 无充填或充填岩屑, 间距 30~80cm, 延伸 5~8m;

② $NW290^{\circ} \sim 330^{\circ} SW \angle 72^{\circ} \sim 88^{\circ}$, 裂隙面起伏、粗糙, 闭合~微张, 无充填或充填岩屑, 间距 50~100cm, 延伸 3~5m。

③ $NE1^{\circ} \sim 20^{\circ} NW \angle 80^{\circ} \sim 89^{\circ}$, 裂隙面起伏、粗糙, 闭合~微张, 无充填或充填岩屑, 间距 50~100cm, 延伸 1~3m。

④ $NW290^{\circ} \sim 310^{\circ} NE \angle 1^{\circ} \sim 7^{\circ}$, 裂隙面起伏、粗糙, 闭合~微张, 无充填或充填岩屑, 该组裂隙为层面裂隙, 工程区内较发育。

以上四组节理, ①、②、④组较发育, ③组次之。

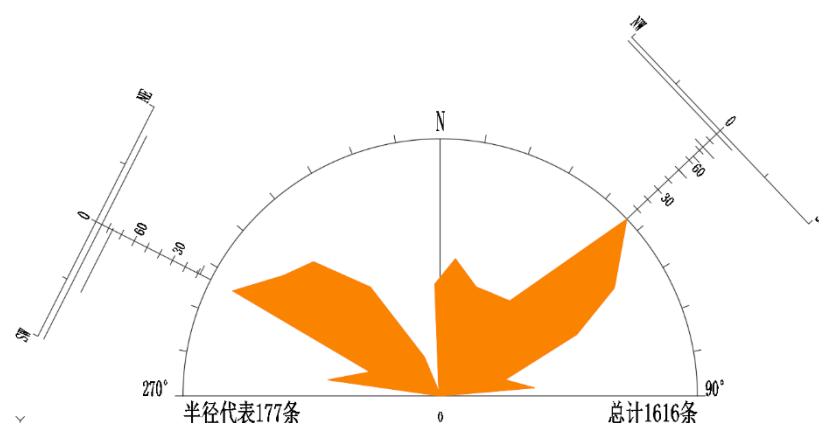


图 4.3.3-1 工程区节理裂隙走向玫瑰花图

4.3.4 水文地质条件

4.3.4.1 地下水类型

工程区地下含水层类型主要有第四系孔隙潜水、基岩裂隙水和岩溶水。

第四系孔隙潜水主要赋存于第四系松散堆积层中, 接受大气降水的补给, 以潜流和地表径流的形式排向河谷。

基岩裂隙水主要赋存于岩体内的断层带及裂隙中, 接受大气降水的补给, 以潜流和地表径流的形式排向河谷或补给第四系孔隙水。

岩溶水主要赋存于根据岩性及其组合、含水介质特征的差异, 主要分为两个类型: (1) 碳酸盐岩夹碎屑岩溶洞裂隙水, (2) 碳酸盐岩溶洞裂隙水。碳酸盐岩

夹碎屑岩裂隙水主要赋存于崮山组地层中，该地层岩溶发育较弱，主要以溶蚀裂隙为主，偶见小规模溶洞，因此，碳酸盐岩夹碎屑岩溶洞裂隙水主要赋存于溶蚀裂隙中，水量较小。碳酸盐岩溶洞裂隙水主要赋存于张夏组灰岩内，根据钻孔及平洞显示，张夏组为厚层状灰岩，岩溶发育较弱，在地层界线及构造较发育部位可见溶蚀裂隙及小规模溶洞，因此，碳酸盐岩溶洞裂隙水主要赋存于张夏组灰岩的顶部及构造较发育部位，总体水量规模不大。

4.3.4.2 地下水分布特征

工程区地下水埋深较大，地下水位总体上随地势的升高而抬高。在工程区布置了 11 个地下水位长期观测孔，其中上水库 8 个，输水发电系统 1 个，方案二上水库 2 个，其中预可阶段钻孔进行了一个水文年观测。全年最低水位一般出现在 2~3 月，最高水位一般出现在 8~10 月。具体情况见表 4.3.4-1。

方案一上水库库周分水岭的地下水位埋深在 58~72m，最低水位高程为 318~327m。

方案二上水库库周分水岭的地下水位埋深在 65~78m，最低水位高程为 230~295m。

地下水位变幅一般在 2.5~58.8m 之间。

表 4.3.4-1 工程区钻孔地下水位观测资料统计表

工程分区	位置	钻孔编号	孔深(m)	孔口高程(m)	最大埋深(m)	最小埋深(m)	最低水位高程(m)	最高水位高程(m)	最大变幅(m)	观测次数	与正常蓄水位关系(m)
方案一上水库	坝址	ZK101	70	372.21	49.8	40.7	331.3	322.2	9.1	10	-38.7
		ZK107	70	377.4	68	52	310	326	16	10	-60
	环库分水岭	ZK108	80	385.4	58.2	47.3	337.7	326.8	10.9	21	-32.3
		ZK109	80	389.72	71.5	69.0	318.5	321	2.5	17	-51.5
		ZK110	80	404.58	29.5	17.1	375.5	387.9	12.4	18	+5.5
		ZK111	100	434.98	24.3	7.1	410.7	427.9	17.2	14	+40.7
		ZK406	70	395.25	18.4	7.5	379.6	390.5	10.9	9	+9.6
		ZK418	70	314.67	49.5	47.9	352.5	354.13	1.6	5	-17.5
输水发电系统	上水库进/出水口	ZK201	100	414.81	96.0	46.5	319	368.5	49.5	14	-51
方案二上水库	环库分水岭口	ZK304	80	307.81	77.8	19	229.2	288	58.8	16	-140.8
		ZK305	80	356	65	52.0	293	306	13	15	-77

注：①钻孔地下水位观测日期为 2022 年 1 月 12 日~2023 年 3 月 31 日；②与正常蓄水位的关系，“-”代表低于正常蓄水位的深度，“+”代表高于正常蓄水位的深度。
②方案一上水库正常蓄水位 370m；方案二正常蓄水位 307m。

4.3.4.3 岩（土）体的透水性

工程区基岩的透水性主要受断裂构造及岩体风化程度的控制，一般构造发育、岩体风化强烈地段透水性较强，新鲜完整岩体透水性较弱。

工程区全强风化岩体分布较少，仅在崮山组第一段和第三段地层有揭露，根据钻孔压水试验结果，强风化岩体透水率在 1.76~2.46Lu 之间，属于弱透水；弱风化岩体透水率在 1.1~9.9Lu 之间，平均值为 3.68lu，以弱透水为主，局部有透水率为 14.6~21Lu 的孔段；微风化岩体透水率在 0.06~9.6Lu 之间，局部有透水率为 9.6~12.6Lu 的孔段。总体而言，弱风化、微风化岩体以弱透水为主，局部透水率较大段与构造相关。强~微风化岩体的钻孔压水资料见表 4.3.4-2 和表 4.3.4-3。

表 4.3.4-2 工程区岩体钻孔压水试验资料成果统计表

<div> 透水性率 (Lu) 工程部位 </div>		风化程度	强风化	弱风化	微风化
方案一上水库			1.76~2.46 2.1	1.57~17.6 3.68	1.26~12.6 2.48
方案二上水库				1.4~21 4.1	1.5~6.06 3.15
输水发电系统	上水库进/出水口		----	1.1~2.8 1.8	0.25~3.59 1.44
	地下厂房		----	0.5~0.57 0.55	0.06~1.9 0.57
	下水库进/出水口		----	2.3~3.63 3.09	2.3~3.57 3.02
下水库			----	----	----
透水性率分级			弱透水	弱透水	弱透水
注：表中 $\frac{1.6 \sim 16.7}{4.1}$ ，分子表示试验值范围，分母表示平均值。					

表 4.3.4-3 工程区钻孔压水试验岩体透水性率分布情况统计表

工程部位	孔数	压水试验段数	岩体透水性率					
			q<1		1≤q<10		10≤q<100	
			段数	比例	段数	比例	段数	比例
方案一上水库	15	128			125		3	
方案二上水库	5	41			40		1	
水道	3	73	15		58			
厂房	6	190	169		21			
下库	7	30			30			
合计	33	453	184	41%	265	58%	4	1%

4.3.4.4 水质分析与评价

预可阶段在方案一上水库钻孔内取地下水 2 组、方案二上水库钻孔内取地下水 1 组、上水库进出水口钻孔内取地下水 2 组、下水库取地表水 1 组。可研阶段在上水库钻孔内取地下水 3 组、上水库进出水口地下水 1 组、地下厂房钻孔内取地下水 3 组、下水库取地表水 1 组。共计 14 组，进行了水质简分析，试验结果见表 4.3.4-4。

根据《水力发电工程地质勘察规范》GB50287-2016 环境水对混凝土腐蚀性评价标准，上水库进/出水口的 ZK201 钻孔地下水样 SO_4^{2-} 离子含量较高，2022 年 4 月 19 日在 ZK201 钻孔取样进行试验， SO_4^{2-} 离子含量为 1626.82mg/L，2022

年 5 月 26 日在 ZK201 钻孔继续取样进行试验, SO_4^{2-} 离子含量为 789.03mg/L, 可研阶段在 ZK201 钻孔继续取样进行试验, SO_4^{2-} 离子含量为 1616.15mg/L, 地下水 SO_4^{2-} 含量均大于 500mg/L, 小于 3000mg/L, 因此判定上水库进出水口地下水对普通水泥有硫酸盐型强腐蚀性, 对抗硫酸盐水泥无腐蚀性。

地下厂房的地下水样结果同样异常。可研阶段在地下厂房区的三个钻孔 ZK203、ZK601、ZK605 内取样进行试验, SO_4^{2-} 离子含量分别为 162.38mg/L、1655.04mg/L、2855.06mg/L。钻孔 ZK203 地下水对混凝土无腐蚀性, 钻孔 ZK601、ZK605 地下水对普通水泥有硫酸盐型强腐蚀性。

钻孔 ZK203 位于厂房中间部位, 钻孔 ZK601、ZK605 分别位于地下厂房两侧端墙, 三个部位的钻孔地下水样中, 2 组存在 SO_4^{2-} 离子超标, 1 组正常。分析其原因, 可能与张夏组岩溶水特征有关系。

综合判断, 地下厂房区地下水对普通水泥有硫酸盐型强腐蚀性, 对抗硫酸盐水泥无腐蚀性。工程区其余部位的环境水对混凝土无腐蚀性。

表 4.3-11 环境水腐蚀判定标准与试验结果对照表

判定标准					试验结果统计																													
					上水库						上水库进出水口			地下厂房			庄里水库																	
腐蚀性类型		腐蚀性特征判定依据	腐蚀程度		界限指标		SY1	SY3	SY7	SY8	SY9	SY2	SY4	SY6	SY10	SY13	SY14	SY15	SY5	SY12														
分解类	溶出型	HCO ₃ ⁻ 含量 (mmol/L)	无腐蚀		HCO ₃ ⁻ >1.07		3.060	1.360	5.660	5.560	0.751	5.313	2.630	4.840	3.756	15.427	5.259	6.661	3.01	3.105														
			弱腐蚀		1.07≥HCO ₃ ⁻ >0.70																													
			中等腐蚀		HCO ₃ ⁻ ≤0.70																													
	一般酸性型	pH值	无腐蚀		pH>6.5		8.23	8.33	7.92	7.81	9.21	7.79	8.05	8.40	9.19	6.53	7.88	7.02	8.29	8.61														
			弱腐蚀		6.5≥pH>6.0																													
			中等腐蚀		6.0≥pH>5.5																													
			强腐蚀		pH≤5.5																													
	碳酸型	侵蚀性CO ₂ 含量 (mg/L)	无腐蚀		CO ₂ <15		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0													
			弱腐蚀		15≤CO ₂ <30																													
			中等腐蚀		30≤CO ₂ <60																													
强腐蚀			CO ₂ ≥60																															
分解结晶复合类	硫酸镁型	Mg ²⁺ 含量 (mg/L)	无腐蚀		Mg ²⁺ <1000		14.92	9.73	52.06	37.19	17.35	5.84	114.16	78.7	146.25	210.68	33.46	87.99	14.92	42.13														
			弱腐蚀		1000≤Mg ²⁺ <1500																													
			中等腐蚀		1500≤Mg ²⁺ <2000																													
			强腐蚀		Mg ²⁺ ≥2000																													
结晶类	硫酸盐型	SO ₄ ²⁻ 含量 (mg/L)	无腐蚀	普通水泥	SO ₄ ²⁻ <250		110.16	58.92	228.95	166.44	132.17	71.73	1626.82	789.03	1616.15	2855.06	162.38	1655.04	138.34	283.92														
			弱腐蚀		250≤SO ₄ ²⁻ <400																													
			中等腐蚀		400≤SO ₄ ²⁻ <500																													
			强腐蚀		SO ₄ ²⁻ ≥500																													
			无腐蚀	抗硫酸盐水泥	SO ₄ ²⁻ <3000																110.16	58.92	228.95	166.44	132.17	71.73	1626.82	789.03	1616.15	2855.06	162.38	1655.04	138.34	283.92
			弱腐蚀		3000≤SO ₄ ²⁻ <4000																													
			中等腐蚀		4000≤SO ₄ ²⁻ <5000																													
			强腐蚀		SO ₄ ²⁻ ≥5000																													

4.3.5 物理地质现象

工程区河谷两岸山坡坡度较陡，植被主要以松树、人工种植花椒树、桃树及低矮灌木为主，植被覆盖一般，基岩大量裸露，山体上部多被崩坡积物质所覆盖，沟谷底部及山脚为坡洪积物。工程区未发现崩塌、滑坡及泥石流等现象，卸荷发育较少，分布范围较小，仅在上水库库周地形较陡部位分布有少量卸荷岩体，卸荷深度较小。工程区物理地质现象以岩体风化和岩溶为主。

4.3.5.1 岩体风化

工程区岩性主要为灰岩和页岩，其中，灰岩风化以化学风化作用为主，地表出露基岩主要为弱风化岩体；页岩风化以物理风化为主，地表局部有全强风化岩体出露，主要分布于崮山组第三段及第一段，其余地层未见发育。工程区各风化带的特征如下：

全风化带主要分布于崮山组第三段及第一段，沿层理呈带状分布，厚度一般 1~5m。岩体为灰岩及页岩，页岩呈条带状产出，其中，灰岩呈弱风化状态，页岩呈全风化状态，土黄色。

强风化带主要分布于崮山组第三段及第一段，沿层理呈带状分布，厚度一般 2~5m，局部厚度较大，在上水库北侧垭口、ZK108 钻孔部位揭露厚度为 28m，其余部位厚度较小。岩体为灰岩及页岩，页岩呈条带状产出，其中，灰岩呈弱风化状态，页岩呈强风化状态，黄褐色。

弱风化带厚度 7.1~63m，一般在裂隙面附近岩石可见锈膜、泥膜，远离裂隙面部位的岩石变新鲜。

根据钻孔和地表测绘资料，不同工程部位的岩体风化深度差异较大（表 4.3.5-1）。

表 4.3.5-1 各工程部位钻孔基岩风化带下限垂直深度统计表

风化程度	部 位							下水库
	方案一上水库		方案二上水库		输水发电系统			
	环库分水岭（m）	坝址（m）	分水岭（m）	坝址(m)	上水库进/出水口（m）	地下厂房（m）	下水库进/出水口（m）	
全风化	1~5	1~5	1~5	1~5	1~5	0	1~5	已完建
强风化	28	2~5	28	2~5	2~5	0	2~5	
弱风化	20.6~30.9	16.0~45.0	57.5~63	7.1~36.2	31.2	16.4	28.45	
备注	全强风化岩体出露，主要分布于崮山组第三段及第一段，其余地层未见发育。							

4.3.5.2 岩溶

工程区岩性主要为灰岩和页岩，其中，灰岩存在岩溶现象。受气候、岩性、沉积厚度等影响，工程区岩溶现象总体较弱。

工程区地处鲁中南低山丘陵区，气候属温带半湿润季风气候，年积温高，雨量较充沛，多年平均降雨量为 792.9mm，年内降雨分配不均，主要集中在 6~9 月份，降雨量约占全年的 70%。年内蒸发量以 4~7 月份较大，多年平均蒸发量 1730.7mm。

工程区及周边分布的地层有：太古界泰山群（Ar）变质岩系、古生界寒武系（ ϵ ）、奥陶系（O）和石炭—二叠系（C—P）。

山东枣庄市范围，岩溶发育层位主要以寒武—奥陶系三山子组（ ϵ_3S-O_1S ）和奥陶系马家沟组五阳山段（ O_2m^w ）为主，岩性以厚层灰岩、白云岩为主，主要岩溶个体形态类型有溶孔、溶洞、溶蚀裂隙等，其余地层岩溶弱发育。岩溶水主要分布在枣庄盆地南部市中的十里泉、丁庄—东王庄一带，与工程区距离约 30km。

（1）岩性

工程区地层主要有寒武系上统崮山组（ ϵ_{3g} ）、张夏组（ ϵ_{3z} ）和寒武系中统馒头组（ ϵ_{2m} ）沉积岩地层，其中，崮山组、张夏组第三段为工程区主要地层。

根据岩矿鉴定资料，崮山组地层岩性以灰岩夹页岩、灰岩及页岩为主，其中，页岩呈条带状或纹理状产出；张夏组第三段灰岩中含纹理状页岩填充物。

根据《水电工程岩溶工程地质勘察规程》（NB T 10075-2018）附录 A 可溶岩层组类型，工程区岩性均属于不纯碳酸盐类，岩溶发育特征以较弱、极微弱为主。

(2) 岩溶发育程度

1) 钻孔内岩溶发育情况

工程区施工了 87 个钻孔，共计 5390m，根据钻孔值班与编录资料，共发现 3 个溶洞，分别位于 ZK103、ZK104 和 ZK406 钻孔，其余钻孔未见溶洞发育（表 4.5.3-2）。钻孔施工中返水现象良好，很少有不返水现象，岩溶水、地下暗河等现象不发育。

表 4.3.5-2 工程区钻孔内溶洞发育统计表

编号	钻孔	埋深（m）	高程（m）	洞径（m）	充填物	所属地层	岩性
RD1	ZK103	20.1~23.5	260.37~263.77	2.4	黄褐色黏土	张夏组第三段	灰岩
RD2	ZK104	11.3~13.8	245.37~247.87	2.5	无		
RD3	ZK406	6.1~7.4	390.85~392.26	1.3	黄褐色黏土	崮山组第四段	灰岩夹页岩

2) 厂房平洞内岩溶发育情况

厂房平洞 PD101 及其支洞内发育有 53 条溶蚀裂隙（表 4.3.5-3）和 5 个溶洞（表 4.3.5-4）。

溶蚀裂隙共发育 53 条，主要沿节理裂隙发育，宽度一般 0.1cm~5cm，最大宽度 20cm。发育的溶蚀裂隙内充填黏土、钙质或无充填。溶蚀裂隙主要沿节理裂隙发育，走向以 NE 和 NW 向为主，主要为陡倾角。

溶洞共发育 5 个，主要沿断层或者节理裂隙发育，洞径一般为 0.3m~2.0m，一般无充填或充填少量黏土。

表 4.3.5-3 厂房平洞内溶蚀裂隙统计表

溶蚀裂隙编号	产状			张开宽度（cm）	充填物	分布位置
	走向（°）	倾向	倾角（°）			
RL1	50	NW	80	1	泥质	平洞 PD101 内桩号 15~15.1m
RL2	46	NW	85	1~6	泥质	平洞 PD101 内桩号 33.2~34m
RL3	20	NW	84	0.5~5	泥质	平洞 PD101 内桩号 34~34.8m

溶蚀 裂隙 编号	产状			张开宽度 (cm)	充填物	分布位置
	走向 (°)	倾向	倾角 (°)			
RL4	20	NW	84	0.1~6	泥质	平洞 PD101 内桩号 34~35m
RL5	15	NW	81	0.1~5	泥质	平洞 PD101 内桩号 33.5~36m
RL6	45	NW	55	0.1~5	方解石	平洞 PD101 内桩号 33.4~36.1m
RL7	345	NE	80	0.5~5	方解石	平洞 PD101 内桩号 36.1~36.5m
RL8	50	NW	66	0.5~5	泥质	平洞 PD101 内桩号 35.9~36.4m
RL9	40	NW	70	0.1~1	方解石	平洞 PD101 内桩号 36.5~36.7m
RL10	60	NW	70	0.1~3	方解石	平洞 PD101 内桩号 35.4~36.9m
RL11	15	NW	85	0.1~2	方解石	平洞 PD101 内桩号 38.1~39.3m
RL12	30	NW	82	2	方解石	平洞 PD101 内桩号 38.9~39.4m
RL13	50	NW	75	1~5	方解石	平洞 PD101 内桩号 42~44m
RL14	50	NW	70	0.5~8	方解石	平洞 PD101 内桩号 45.3~45.4m
RL15	290	SW	81	0.1~5	岩屑	平洞 PD101 内桩号 286.9~286.9m
RL16	285	NE	83	0.5~2	泥质	平洞 PD101 内桩号 339.3~339.6m
RL17	45	NW	88	0.5	泥质	平洞 PD101 内桩号 340~343m
RL18	45	NW	85	0.5~1.5	岩屑	平洞 PD101 内桩号 352.7~355.8m
RL19	40	NW	88	0.5~1	泥质	平洞 PD101 内桩号 356~360.2m
RL20	50	NW	87	1	泥质	平洞 PD101 内桩号 392.6~395.4m
RL21	35	SE	87	0.5	泥质	平洞 PD101 内桩号 415.2~418m
RL22	310	SW	89	0.1~0.5	泥质	平洞 PD101 内桩号 417~418.2m
RL23	45	NW	86	0.2~0.5	泥质	平洞 PD101 内桩号 417.7~419.3m
RL24	15	NW	85	0.5~5	泥质	平洞 PD101 内桩号 32.8~33.1m
RL25	55	NW	78	0.1~5	方解石	平洞 PD101 内桩号 51.1~51.5m
RL26	40	NW	88	0.1~4	方解石	平洞 PD101 内桩号 61.3~61.8m
RL27	290	NE	74	0.1~1	方解石	平洞 PD101 内桩号 66.2~72.2m
RL28	80	NW	76	0.5~5	泥质	平洞 PD101 内桩号 98.2~100.3m
RL29	50	NW	81	0.5~5	泥质	平洞 PD101 内桩号 106~107.2m
RL30	70	NW	88	0.1~1	方解石	平洞 PD101 内桩号 113.8~114.3m
RL31	330	NE	76	1~2	方解石	平洞 PD101 内桩号 113.5~120.1m
RL32	70	NW	86	0.1~1	方解石	平洞 PD101 内桩号 122.6~123.3m
RL33	75	NW	87	0.5~5	泥质	平洞 PD101 内桩号 132.6~133.5m
RL34	50	NW	85	0.5~5	泥质	平洞 PD101 内桩号 140~140.8m
RL35	20	NW	85	0.5~5	锈膜	平洞 PD101 内桩号 283.4~283.4m
RL36	310	SW	69	0.1~2	方解石	平洞 PD101 内桩号 283.9~285.6m
RL37	40	NW	82	0.5~5	锈膜	平洞 PD101 内桩号 294.1~296.7m
RL38	35	NW	87	0.5~5	钙质	平洞 PD101 内桩号 382.4~385.4m
RL39	300	SW	83	0.05~0.2	泥质	平洞 PD101-3 内桩号 39.8~40.5m
RL40	320	NE	84	0.1~1	泥夹岩屑	平洞 PD101-3 内桩号 89~91.5m
RL41	300	NE	80	5~8	钙质	平洞 PD101-3 内桩号 92.7~93.6m
RL42	30	SE	89	0.1~2	泥夹岩屑	平洞 PD101-3 内桩号 108~109.8m
RL43	50	NW	89	1~6	锈膜	平洞 PD101-3 内桩号 107.6~107.7m
RL44	285	NE	89	1~8	钙质锈膜	平洞 PD101-3 内桩号 111.4~111.6m
RL45	280	NE	84	1~6	钙质锈膜	平洞 PD101-3 内桩号 111.4~111.6m
RL46	75	NW	85	0.5~5	钙质锈膜	平洞 PD101-3 内桩号 144.7~145m
RL47	65	SE	80	0.1~0.2	钙质锈膜	平洞 PD101-3 内桩号 200~200.7m
RL48	65	NW	86	0.1~0.1	钙质锈膜	平洞 PD101-3 内桩号 244.7~245.6m

溶蚀裂隙编号	产状			张开宽度 (cm)	充填物	分布位置
	走向 (°)	倾向	倾角 (°)			
RL49	60	NW	88	0.1~1.5	钙质锈膜	平洞 PD101-3 内桩号 245.3~244.6m
RL50	70	NW	89	0.1~1.5	钙质锈膜	平洞 PD101-3 内桩号 245.8~247.4m
RL51	290	SW	88	0.1~1	钙质锈膜	平洞 PD101-3 内桩号 248~249m
RL52	50	NW	84	0.1~0.5	钙质锈膜	平洞 PD101-3 内桩号 249.1~249.3m
RL53	290	SW	89	1~5	钙质锈膜	平洞 PD101-3 内桩号 253.9~254.4m

表 4.3.5-4 厂房平洞内溶洞统计表

溶洞编号	产状			溶洞大小 长×宽×高 (m)	简要描述	分布位置
	走向 (°)	倾向	倾角 (°)			
RDP 1	285	NE	83	4×0.45×2	洞顶发育溶洞，呈长条状，最宽处 0.45m，往上部延伸 2m，沿走向长约 4m	平洞 PD101 内桩号 339.3~339.6m
RDP 2	29	SE	86	2×0.4×0.7	该处发育小溶洞宽 0.1~0.4m，长可见 1~2m，高 0.2~0.7m。	平洞 PD101-2 内桩号 166.1~167.3m
RDP 3	29	SE	81	1.5×0.3×2	该处发育小溶洞宽 0.05~0.3m，长可见 1.5m，高 0.4m。	平洞 PD101-3 内桩号 167.8~168.1m
RDP 4	10	SE	87	2×0.4×1	该处发育小溶洞宽 0.4m，长可见 2m，高 1m。	平洞 PD101-3 内桩号 170.5~170.7m
RDP 5	40	SE	55~80	1.5×0.3×0.5	顺断层发育小溶洞，宽 0.1~0.3m，高 0.5m，长 1.5m。	平洞 PD101-3 内桩号 177.9~178.3m

3) 岩溶发育程度

工程区覆盖层厚度较薄，地表基岩大量裸露。根据工程区地表测绘成果，地表岩溶形态不发育，溶洞、漏斗、落水洞、溶蚀洼地等现象均未发现，岩溶现象以小型溶蚀裂隙为主，宽度一般数毫米~数厘米，沿层面发育，总体数量较少。

根据钻孔施工情况及地表测绘成果，结合《水电工程岩溶工程地质勘察规程》(NB T 10075-2018)附录 B.0.1 岩溶程度发育表，统计了工程区钻孔遇洞率、钻孔岩溶率、地表岩溶发育程度以及面溶蚀率等，详见表 4.3.5-5。

表 4.3.5-5 工程区岩溶发育程度统计表

钻孔数量 (个)	钻孔总深度 (m)	钻孔内溶洞数量 (个)	钻孔内溶洞总长度 (m)	平洞内节理裂隙总数 (条)	平洞内溶蚀裂隙数量 (条)	平洞内溶洞数量 (个)	地表岩溶发育程度 (个/km)	钻孔岩溶率 (%)	钻孔遇洞率 (%)	面溶蚀率 (%)
87	6180	3	6.2	1498	53	5	0.6	0.10	3.5	0.2
岩溶发育分级标准				弱			<1	<3	<30	<5
				中等			1~5	3~10	30~60	5~15
				强			>5	>10	>60	>15

根据表 4.3.5-3，工程区钻孔遇洞率为 3.5%，钻孔岩溶率为 0.10%，地表岩溶发育程度为 0.6 个/km，面溶蚀率为 0.2%，岩溶发育程度属于弱发育。

统计厂房平洞内岩溶发育情况，平洞内共发育 1498 条节理裂隙，其中，溶蚀裂隙共计 53 条，溶蚀裂隙占裂隙总数的 3.5%；平洞总长为 1051m，共发育 5 个溶洞。总体而言，根据平洞内的溶蚀裂隙及溶洞数量，岩溶应属于弱发育。

综上所述，工程区岩溶发育程度为弱发育。

(3) 岩溶发育特征

工程区地层以崮山组和张夏组第三段为主，岩性以灰岩夹页岩、灰岩及页岩、灰岩为主，均属于不纯碳酸盐类。

根据地表测绘资料、钻孔及平洞施工情况，溶洞在张夏组第三段灰岩内相对较多，其余地层内发育较少，钻孔内溶洞仅有 3 个，平洞内见溶洞 5 个，总体而言，溶洞数量发育较少。

根据平洞内编录资料，溶蚀裂隙及溶洞，均沿节理裂隙或断层发育。

根据岩溶发育分级标准，工程区钻孔遇洞率、钻孔岩溶率、地表岩溶发育程度、面溶蚀率及平洞内岩溶发育数量等均较低，工程区岩溶发育程度分级为弱发育，同时，均沿节理裂隙或断层发育。

4.3.6 岩石（体）工程地质特性

为研究工程区岩石（体）的工程地质特性，对岩石取样进行磨片鉴定、室内物理力学性质试验，在勘探平洞中进行了岩体原位变形、剪切试验、弹性波测试等，在地下厂房及高压管道钻孔中进行了地应力测试及高压压水等工作。综合上述试验成果，对岩体工程地质特性进行分析评价。

4.3.6.1 岩石矿物成分

工程区岩石主要为灰岩及页岩、灰岩夹页岩和灰岩，在工程区取了 6 组岩样进行了矿物成分分析，结果见表 4.3.6.1-1。

由表中数据可以得知，灰岩及页岩的矿物成分主要是方解石，其次是石英和云母，另外还有一些长石和绿泥石，偶见闪石和铁白云石；灰岩夹页岩的矿物成分主要是方解石，其次是石英、铁白云石、云母和长石，另外还有一些绿泥石，偶见闪石；灰岩的矿物成分主要是方解石，其次是白云石，另外还有一些长石、石英、云母、绿泥和闪石。

表 4.3.6.1-1 岩石矿物成分试验结果汇总表

检 测 结 果									
原编号	样品名称	X 射线衍射物相分析 (%)							
		石英	长石	方解石	铁白云石	白云石	云母	绿泥石	闪石
ZK414-1	灰岩及页岩	11%	5%	73%	-	-	9%	2%	-
ZK604-1	灰岩及页岩	15%	4%	58%	7%	-	9%	5%	3%
ZK101-1	灰岩夹页岩	14%	8%	53%	10%	-	8%	4%	2%
ZK101-4	灰岩夹页岩	14%	9%	44%	18%	-	10%	6%	-
ZK413-1	灰岩及页岩	14%	8%	66%	-	-	9%	3%	-
Zk604-4	灰岩	3%	2%	74%	-	15%	4%	1%	1%

4.3.6.2岩石（体）物理力学性质

工程区基岩主要有寒武系上统崮山组（ $\epsilon_3 g$ ）、张夏组（ $\epsilon_3 z$ ）和寒武系中统馒头组（ $\epsilon_2 m$ ）。

4.3.6.2.1 崮山组地层

该层由下至上分为五段，分别为第一段（ $\epsilon_3 g^1$ ）灰岩及页岩、第二段（ $\epsilon_3 g^2$ ）灰岩夹页岩、第三段（ $\epsilon_3 z^3$ ）灰岩及页岩、第四段（ $\epsilon_3 z^4$ ）灰岩夹页岩、第五段（ $\epsilon_3 z^5$ ）灰岩夹页岩。崮山组第一段与第三段均为灰岩夹页岩，岩性基本一致，因此，在进行取样试验并分析时，归类为同一类岩体。

在崮山组地层共取 19 组岩样进行室内物理力学性质试验，成果见表 4.3.6.2-1、表 4.3.6.2-2、表 4.3.6.2-3。

（1）第一段、第三段灰岩及页岩

在该层内共取了 7 组岩样进行室内岩石物理力学性质试验，由于页岩占比较高，达 40%~50%，岩质软弱，在饱水过程中，页岩岩样大部分自行断开，仅取得一组单轴饱和抗压强度试验成果，后又重新取样进行了 2 组点荷载试验，结果已统计进入表中。由于取样困难，该组岩石的力学试验成果仅代表岩石中

较好的样品（图 4.3.6.2-1、图 4.3.6.2-2）。



崮山组第一段 ZK202 钻孔岩芯照片（孔深 78.2m~82.8m）

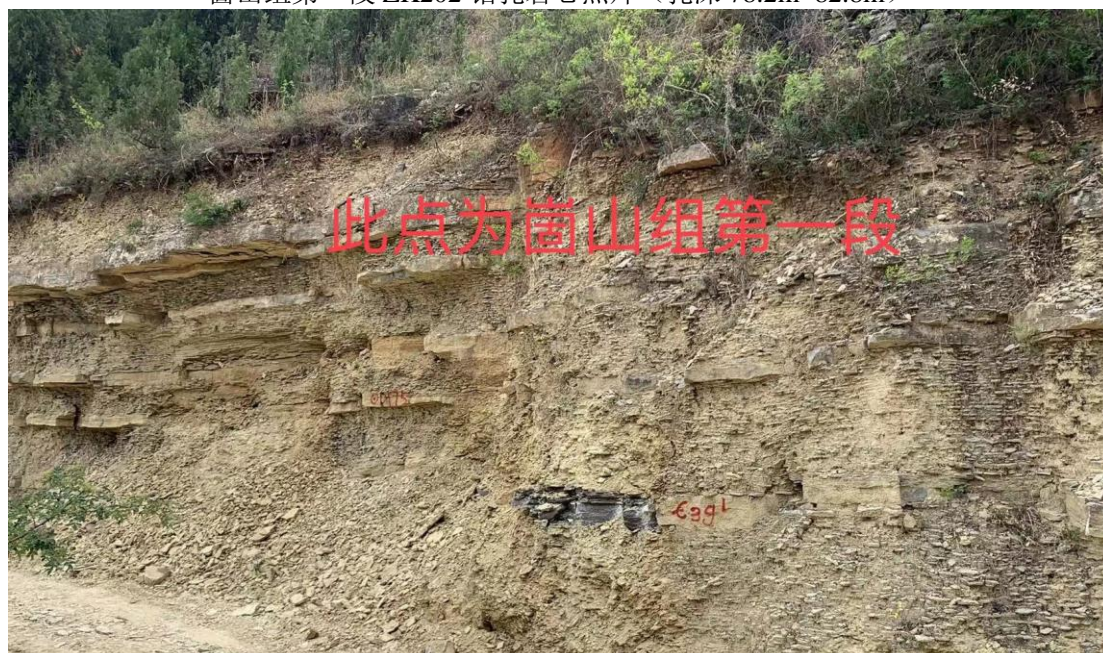


图 4.3.6.2-1 崮山组第一段（ $\epsilon_3 g^1$ ）灰岩及页岩



崮山组第三段 ZK406 钻孔岩芯照片（孔深 39.9m~44.5m）

图 4.3.6.2-2 崮山组第三段 (E_3g^3) 灰岩及页岩

①弱风化灰岩及页岩

岩石平均比重为 2.70，平均干密度为 $2.60\text{g}/\text{cm}^3$ ，平均孔隙率 3.85%，饱和变形模量平均值为 23.6GPa，干抗压强度平均值为 68.8MPa，饱和抗压强度平均值为 30.3MPa，软化系数平均值为 0.44，冻后抗压强度平均值为 25.6 MPa，冻融系数 0.84。

②微风化灰岩及页岩

岩石平均比重为 2.73，平均干密度为 2.69g/cm^3 ，平均孔隙率 1.45%，饱和变形模量平均值为 23.13GPa，饱和抗压强度平均值为 34.5MPa，软化系数平均值为 0.62，冻后抗压强度平均值为 33.1 MPa，冻融系数 0.96。

总体而言，该层岩石物理力学性质较差，目前试验成果中，饱和抗压强度试验值较高，但仅代表较好岩样，并且为垂直层面的抗压强度，顺层面的岩石饱和抗压强度应低于 30MPa，属于较软岩。

(2) 第二段灰岩夹页岩

该层埋深较大，主要为微风化层，在钻孔内共取了 2 组微风化岩样进行室内岩石物理力学性质试验（图 4.3.6.2-3）。



崮山组第二段 ZK406 钻孔岩芯照片（孔深 54.1m~58.7m）



图 4.3.6.2-3 崮山组第二段（ $\epsilon_3 g^2$ ）灰岩夹页岩

微风化岩石平均比重为 2.73，平均干密度为 2.65g/cm^3 ，平均孔隙率 2.87%，饱和变形模量平均值为 25.35GPa，饱和抗拉强度平均值为 2.46MPa，干抗压强度平均值为 76.0MPa，饱和抗压强度平均值为 52.9MPa，软化系数平均值为 0.69。

总体而言，崮山组第二段灰岩夹页岩物理力学性质较好，属于中硬岩。

(3) 第四段灰岩夹页岩

在该层内共取了 6 组岩样进行室内岩石物理力学性质试验，其中，弱风化 3

组，微风化 3 组（图 4.3.6.2-4）。



崮山组第四段 ZK111 钻孔岩芯照片（孔深 31.5m~36.2m）



图 4.3.6.2-4 崮山组第四段 ($\epsilon_3 g^4$) 灰岩夹页岩

①弱风化灰岩夹页岩

岩石平均比重为 2.725，平均干密度为 2.695g/cm^3 ，平均孔隙率 0.99%，饱和变形模量平均值为 36.8GPa，饱和抗拉强度平均值为 3.38MPa，干抗压强度平均值为 76.3MPa，饱和抗压强度平均值为 56.6MPa，软化系数平均值为 0.74。

②微风化灰岩夹页岩

岩石平均比重为 2.725，平均干密度为 2.68g/cm^3 ，平均孔隙率 1.64%，饱和变形模量平均值为 41.9GPa，饱和抗拉强度平均值为 3.72MPa，干抗压强度平均

值为 105.8MPa，饱和抗压强度平均值为 65MPa，软化系数平均值为 0.61，冻后抗压强度平均值为 39 MPa，冻融系数 0.6。

总体而言，崮山组第四段灰岩夹页岩物理力学性质较好，属于中硬岩~坚硬岩。

(4) 第五段灰岩夹页岩

在该层内共取了 4 组岩样进行室内岩石物理力学性质试验，其中，弱风化 2 组，微风化 2 组（图 4.3.6.2-5）。



崮山组第五段 ZK111 钻孔岩芯照片（孔深 12.6m~17.4m）

图 4.3.6.2-5 崮山组第五段（ $\epsilon_3 g^5$ ）灰岩夹页岩

①弱风化灰岩夹页岩

岩石平均比重为 2.69，平均干密度为 $2.52g/cm^3$ ，平均孔隙率 6.22%，饱和变形模量平均值为 27.7GPa，干抗压强度平均值为 66.0MPa，饱和抗压强度平均值为 39.5MPa，软化系数平均值为 0.56，冻后抗压强度平均值为 26.9 MPa。

②微风化灰岩夹页岩

岩石平均比重为 2.72，平均干密度为 $2.60g/cm^3$ ，平均孔隙率 4.46%，饱和变形模量平均值为 26.3GPa，干抗压强度平均值为 83.6MPa，饱和抗压强度平均值为 57.1MPa，软化系数平均值为 0.69，冻后抗压强度平均值为 34 MPa。

总体而言，由于崮山组第五段内页岩含量较高，物理力学性质较崮山组第二段和第四段差，但也属于中硬岩。

4.3.6.2.2 张夏组地层

该层由下至上分为三段，分别为分别为第一段（ $\epsilon_3 z^1$ ）鲕粒灰岩、第二段

($\epsilon_3 z^2$) 灰岩夹页岩和第三段 ($\epsilon_3 z^3$) 灰岩。

在张夏组地层共取 15 组岩样进行室内物理力学性质试验, 成果见表 4.3.6.2-1、表 4.3.6.2-2、表 4.3.6.2-3。

(1) 第一段鲕粒灰岩

该层埋深较大, 主要为微风化层, 在钻孔内共取了 3 组微风化岩样进行室内岩石物理力学性质试验 (图 4.3.6.2-6)。



张夏组第一段 ZK202 钻孔岩芯照片 (孔深 285.2m~289.8m)

图 4.3.6.2-6 张夏组第一段 ($\epsilon_3 z^1$) 鲕粒灰岩

微风化岩石平均比重为 2.74, 平均干密度为 2.71g/cm^3 , 平均孔隙率 1.08%, 饱和变形模量平均值为 21.8GPa, 干抗压强度平均值为 70.0MPa, 饱和抗压强度平均值为 57.8MPa, 软化系数平均值为 0.69, 冻后抗压强度平均值为 46.6 MPa, 冻融系数 0.81。

总体而言, 该层岩石物理力学性质较好, 属于中硬岩。

(2) 第二段灰岩夹页岩

该层埋深较大, 厚度较薄, 为 3~6m, 岩性与崮山组第二段和第四段较为接近, 属于中硬岩。

(3) 第三段灰岩

在该层内共取了 12 组岩样进行室内岩石物理力学性质试验, 其中, 弱风化 3 组, 微风化 9 组。该层厚度巨大, 为地下厂房区的主要岩层 (图 4.3.6.2-7)。



张夏组第三段 ZK202 钻孔岩芯照片（孔深 223m~227.6m）

图 4.3.6.2-7 张夏组第三段 ($\epsilon_3 z^3$) 灰岩

①弱风化灰岩

岩石平均比重为 2.73，平均干密度为 2.69g/cm^3 ，平均孔隙率 1.31%，饱和变形模量平均值为 24.8GPa，干抗压强度平均值为 77.2MPa，饱和抗压强度平均值为 45.3MPa，软化系数平均值为 0.58，冻后抗压强度平均值为 27.3 MPa，冻融系数 0.65。

②微风化灰岩夹页岩

岩石平均比重为 2.73，平均干密度为 2.71g/cm^3 ，平均孔隙率 0.76%，饱和变形模量平均值为 21.55GPa，饱和抗拉强度平均值为 2.76MPa，干抗压强度平均值为 73.7MPa，饱和抗压强度平均值为 46.75MPa，软化系数平均值为 0.628，冻后抗压强度平均值为 36.2 MPa，冻融系数 0.82。

总体而言，张夏组第三段灰岩物理力学性质较好，属于中硬岩。

4.3.6.2.3 馒头组地层

该层由下至上分为四段，分别为第一段 ($\epsilon_2 m^1$) 页岩、第二段 ($\epsilon_2 m^2$) 灰岩夹页岩、第三段 ($\epsilon_2 m^3$) 页岩和第四段 ($\epsilon_2 m^4$) 云泥岩。

在馒头组地层共取 9 组岩样进行室内物理力学性质试验，均为微新岩石，成果见表 4.3.6.2-1、表 4.3.6.2-2、表 4.3.6.2-3、表 4.3.6.2-4。

(1) 第一段、第三段页岩

该层埋深较大，主要为微风化层，在钻孔内共取了 4 组微风化岩样进行室

内岩石物理力学性质试验，其中，岩样在饱和过程中均自行断开，无法取得力学性质试验成果，因此，又重新取了 4 组样，进行室内点荷载试验（钻孔岩芯及点荷载试验见图 4.3.6.2-8），试验成果详见表 4.3.6.2-4。



馒头组第一段 ZK202 钻孔岩芯照片（孔深 357.8m~362.1m）



图 4.3.6.2-8 馒头组第一段 ($\epsilon_2 m^1$) 紫红色页岩

微新岩石平均比重为 2.77，平均干密度为 $2.68g/cm^3$ ，平均孔隙率 2.98%，纵波速度平均值为 2595m/s，干抗压强度平均值为 48.3MPa，饱和抗压强度平均值为 11.22MPa，软化系数平均值为 0.23。

总体而言，该层岩石物理力学性质差，遇水后力学性质急剧下降，属于软

岩。

(2) 第二段灰岩夹页岩

该层埋深较大，厚度较薄，仅 10m，岩性与崮山组第二段和第四段较为接近，属于中硬岩。

(3) 第四段云泥岩

该层埋深较大，主要为微风化层，在钻孔内共取了 1 组微风化岩样进行室内岩石物理力学性质试验（图 4.3.6.2-9）。



馒头组第四段 ZK202 钻孔岩芯照片（孔深 303.2m~308m）

图 4.3.6.2-9 馒头组第四段（ $\epsilon_2 m^4$ ）云泥岩

微风化岩石平均比重为 2.69，平均干密度为 $2.65g/cm^3$ ，平均孔隙率 1.85%，纵波速度平均值为 3325m/s，干抗压强度平均值为 112.2MPa，饱和抗压强度平均值为 62.5MPa，软化系数平均值为 0.56。

总体而言，该层岩石物理力学性质较好，属于坚硬岩。

表 4.3.6.2-1 工程区岩石物理性质试验成果统计表

地层	岩性	风化程度	统计值	比重	自然密度 (g/cm³)	干密度 (g/cm³)	饱和密度 (g/cm³)	自然吸水率 (%)	饱和吸水率 (%)	孔隙率 (%)
崮山组 第五段 ∈3g ⁵	灰岩夹 页岩	弱风化 (2 组)	范围值	2.662~2.732	2.507~2.586	2.505~2.585	2.519~2.593	0.23~1.02	0.29~1.03	5.38~6.81
			平均值	2.69	2.53	2.52	2.54	0.73	0.76	6.22
		微风化 (2 组)	范围值	2.711~2.729	2.584~2.613	2.583~2.612	2.587~2.616	0.06~0.4	0.07~0.44	3.97~5.35
			平均值	2.72	2.6	2.6	2.61	0.16	0.17	4.46
崮山组 第四段 ∈3g ⁴	灰 岩 夹 页 岩	弱风化 (3 组)	范围值	2.701~2.735	2.66~2.71	2.659~2.709	2.667~2.712	0.07~0.36	0.07~0.38	0.55~1.55
			平均值	2.725	2.695	2.695	2.7	0.155	0.17	0.99
		微风化 (3 组)	范围值	2.709~2.767	2.597~2.743	2.596~2.742	2.6~2.746	0.05~0.19	0.06~0.2	0.52~4.52
			平均值	2.725	2.68	2.68	2.68	0.1	0.12	1.64
崮 山 组 第 三段∈3g ³ 崮 山 组 第 一段∈3g ¹	灰岩及 页岩	弱风化 (3 组)	范围值	2.671~2.72	2.537~2.661	2.535~2.66	2.547~2.663	0.06~0.74	0.08~0.79	1.85~5.69
			平均值	2.70	2.60	2.60	2.61	0.26	0.28	3.85
		微风化 (2 组)	范围值	2.71~2.779	2.671~2.726	2.669~2.72	2.679~2.732	0.13~0.5	0.14~0.51	0.66~2.12
			平均值	2.73	2.69	2.69	2.70	0.29	0.31	1.45
崮山组 第二段 ∈3g ²	灰 岩 夹 页 岩	微风化 (2 组)	范围值	2.71~2.751	2.602~2.693	2.6~2.69	2.608~2.695	0.14~0.3	0.16~0.32	0.74~5.28
			平均值	2.73	2.65	2.65	2.65	0.19	0.21	2.87

续表 4.3.6.2-1 工程区岩石物理性质试验成果统计表

地层	岩性	风化程度	统计值	比重	自然密度 (g/cm ³)	干密度 (g/cm ³)	饱和密度 (g/cm ³)	自然吸水率 (%)	饱和吸水率 (%)	孔隙率 (%)
张夏组第三段 ∈3z ³	灰岩	弱风化 (3组)	范围值	2.715~2.742	2.652~2.726	2.649~2.724	2.662~2.734	0.09~0.73	0.1~0.75	0.15~2.93
			平均值	2.73	2.70	2.69	2.70	0.42	0.43	1.31
		微风化 (9组)	范围值	2.711~2.753	2.683~2.742	2.682~2.74	2.685~2.746	0.06~0.44	0.08~0.45	0.11~1.75
			平均值	2.73	2.71	2.71	2.71	0.14	0.16	0.76
张夏组第一段 ∈3z ¹	鲕粒灰岩	微风化 (3组)	范围值	2.724~2.759	2.693~2.734	2.691~2.732	2.695~2.736	0.07~0.15	0.08~0.16	0.91~1.36
			平均值	2.74	2.71	2.71	2.71	0.10	0.11	1.08
馒头组第四段 ∈2m ⁴	云泥岩	微风化 (1组)	范围值	2.688~2.706	2.647~2.657	2.639~2.649	2.659~2.666	0.43~0.65	0.45~0.74	1.53~2.11
			平均值	2.69	2.65	2.65	2.66	0.56	0.62	1.85
馒头组第三段 ∈2m ³ 馒头组第一段 ∈2m ¹	页岩	微风化 (4组)	范围值	2.74~2.807	2.68~2.73	2.66~2.71	2.69~2.78	0.91~2.85	1.06~2.88	2.81~3.81
			平均值	2.77	2.70	2.68	2.72	1.19	1.31	2.98

表 4.3.6.2-2 工程区岩石力学性质试验成果统计表（1）

地层	岩性	风化程度	统计值	弹性模量 (GPa)		变形模量 (GPa)		泊松比		抗压强度 (MPa)		冻后抗压强度 (MPa)	冻融损失率	软化系数	冻融系数
				干燥	饱和	干燥	饱和	干燥	饱和	干燥	饱和				
崮山组第五段 ∈3g ⁵	灰岩夹页岩	弱风化 (2组)	范围值	32.3~37.2	21.1~36	21.6~45.5	16.7~35.2	0.14~0.36	0.14~0.32	47.6~111	36.5~43.6	19.3~35.7	0	0.49~0.63	
			平均值	34.1	27.7	30.8	27.7	0.24	0.26	66	39.5	26.9		0.56	
		微风化 (2组)	范围值	36.6~57.2	30.7~44.1	31~43.3	20.2~31.7	0.16~0.35	0.11~0.25	59.8~103	41.6~65.4	19.6~53.2	0.01	0.65~0.72	-
			平均值	47.1	35.3	34.6	26.3	0.23	0.17	83.6	57.1	34		0.685	0.91
崮山组第四段 ∈3g ⁴	灰岩夹页岩	弱风化 (3组)	范围值	29.3~79.5	21.2~69.3	13.1~77.2	13.9	0.12~0.35	0.11~0.36	44.9~118	37.2~89.5	-	0	0.73~0.84	-
			平均值	59.55	44	45.35	36.8	0.23	0.22	76.3	56.6	-		0.74	-
		微风化 (3组)	范围值	27~75.7	25.5~77.2	30.1~74.7	15.4~76.7	0.15~0.36	0.13~0.33	59.4~202	38.7~162	35~43.3	0.01	0.57~0.64	-
			平均值	51.7	44.65	51.15	41.9	0.185	0.22	105.8	65.0	39.0		0.61	0.6
崮山组第三段 ∈3g ³ 崮山组第一段 ∈3g ¹	灰岩及页岩	弱风化 (3组)	范围值	36.1	20.7~37.6	20~38.2	16.2~33.4	0.17~0.35	0.1~0.32	43.5~88.8	25.1~51.2	9.7~39.8	0	0.36~0.67	0.32~0.89
			平均值	36.1	28.8	30	23.6	0.23	0.21	68.8	30.3	25.6		0.44	0.84
		微风化 (4组)	范围值	44.6~54.1	16.5~36.2	30.4~47.5	9.2~48	0.11~0.28	0.09~0.35	45.9~89.1	25.7~45.2	29.2~42.7	0	0.62	
			平均值	49.4	27.45	34.9	23.13	0.16	0.19	54.45	34.5	33.1		0.62	0.96
崮山组第二段 ∈3g ²	灰岩夹页岩	微风化 (2组)	范围值	32~50.9	22.6~38.1	21.4~44.5	16.7~34	0.1~0.35	0.13~0.31	59.5~88.6	32.1~65.9	18.2~38.2	0.01	0.63~0.75	
			平均值	39.3	31	33.1	25.35	0.25	0.19	76	52.9	28.9		0.69	

续表 4.3.6.2-2 工程区岩石力学性质试验成果统计表（1）

地层	岩性	风化程度	统计值	弹性模量 (GPa)		变形模量 (GPa)		泊松比		抗压强度 (MPa)		冻后抗压强度 (MPa)	冻融损失率	软化系数	冻融系数
				干燥	饱和	干燥	饱和	干燥	饱和	干燥	饱和				
张夏组第三段 ∈3z ³	灰岩	弱风化 (3组)	范围值	25.3~41.5	24.9~39.5	28.2~43.5	19.2~31.2	0.17~0.27	0.11~0.32	52.4~105	32.7~59.2	17.4~28.3	0	0.52~0.68	0.57~0.73
			平均值	35	31.7	32.4	24.8	0.22	0.23	77.2	45.3	27.3		0.58	0.65
		微风化 (9组)	范围值	30~54.2	19.3~41.1	20.1~42.7	12~34.4	0.12~0.35	0.1~0.35	51.3~95.8	35.1~67	22.4~45.3	0.02	0.6~0.77	0.81~0.83
			平均值	43.15	31.55	31.55	21.55	0.24	0.22	73.7	46.75	36.2		0.628	0.82
张夏组第一段 ∈3z ¹	鲕粒灰岩	微风化 (3组)	范围值	27.3~47.4	22.4~37.6	22.3~41.5	15.6~27.2	0.11~0.33	0.14~0.28	60.2~85.6	50.3~75.4	40.2~51.1	0	0.63~0.81	0.79~0.85
			平均值	38.7	33	29.2	21.8	0.18	0.18	70	57.8	46.6		0.69	0.81
馒头组第四段 ∈2m ⁴	云泥岩	微风化 (1组)	范围值	38.9	28.8	22.4~37.6	24.8~32.9	0.12~0.3	0.24~0.35	97.6~139	59.6~64.2			0.56	
			平均值	38.9	28.8	30.6	28.4	0.2	0.3	112.2	62.5			0.56	
馒头组第三段 ∈2m ³ 馒头组第一段 ∈2m ¹	页岩	微风化 (4组)	范围值	40.4~43.4		30.8~38.6		0.18~0.26							
			平均值	41.9		35.5		0.22							

注：馒头组页岩的样品在饱和过程中大部分断开，无法取得试验数据；部分过高或过低的值未参与统计。

表 4.3.6.2-3 工程区岩石力学性质试验成果统计表（2）

地层	岩性	风化程度	统计值	抗剪断强度参数			抗剪强度参数			抗拉强度(MPa)	
				C' (MPa)	f'	ϕ' (°)	C(MPa)	f	ϕ (°)	干燥状态	饱和状态
崮山组第五段 ∈3g5	灰岩夹页岩	弱风化 (2组)	范围值	8.17~11.7	1.04~1.1	46.1~47.7	3.22~4.06	0.63~0.66	32.2~33.4		
			平均值	9.94	1.07	46.9	3.64	0.65	32.8		
		微风化 (2组)	范围值	13.5~13.7	1.12~1.13	48.2~48.5	3.63~3.67	0.63~0.68	32.2~34.2		
			平均值	13.6	1.13	48.35	3.65	0.655	33.2		
崮山组第四段 ∈3g4	灰岩夹页岩	弱风化 (3组)	范围值	8.28~14.2	1.02~1.2	45.6~50.2	1.77~2.74	0.61~0.65	31.4~33	3.98~4.23	2.84~3.84
			平均值	11.37	1.1	47.48	2.07	0.63	31.9	4.12	3.38
		微风化 (3组)	范围值	8.64~11.3	1.03~1.16	45.8~49.2	1.08~2.94	0.61~0.64	31.4~32.6	3.71~5.82	3.4~3.93
			平均值	10.43	1.08	47.2	1.78	0.63	31.9	4.97	3.72
崮山组第三段∈3g ³ 崮山组第一段∈3g ¹	灰岩及页岩	弱风化 (2组)	范围值	6.5~18	1.13~1.17	48.5~49.5	2.38~6.37	0.62~0.63	31.8~32.2		
			平均值	12.25	1.15	49	4.375	0.625	32		
		微风化 (1组)	范围值	10.9	1.03	45.8	1.08	0.62	31.8		
			平均值	10.9	1.03	45.8	1.08	0.62	31.8		
崮山组第二段 ∈3g2	灰岩夹页岩	微风化 (2组)	范围值	8.9~11	1.01~1.13	45.3~48.5	1.88~2.8	0.6~0.69	31~34.6	3.37~3.57	2.1~2.79
			平均值	9.95	1.07	46.9	2.34	0.65	32.8	3.45	2.46

续表 4.3.6.2-3 工程区岩石力学性质试验成果统计表（2）

张夏组 第三段 ∈3z ³	灰岩	弱风化 (3 组)	范围值	10.1~14.9	1.03~1.13	45.8~48.5	2.37~3.1	0.6~0.69	31~34.6		
			平均值	12.2	1.09	47.4	2.64	0.65	33.1		
		微风化 (9 组)	范围值	7.21~16.7	1.03~1.13	45.8~48.5	1.04~4.94	0.6~0.68	31~34.2	3.44~4.19	2.66~2.86
			平均值	11.78	1.08	46.88	2.78	0.65	32.75	3.79	2.76
张夏组 第一段 ∈3z ¹	鲕粒灰岩	微风化 (3 组)	范围值	13.2~14.3	1.14~1.17	48.7~49.5	3.97~5.2	0.64~0.67	32.6~33.8	3.38~3.65	2.47~2.96
			平均值	13.7	1.16	49.1	4.57	0.65	33.1	3.55	2.65
馒头组 第四段 ∈2m ⁴	云泥岩	微风化 (1 组)	范围值	14	1.18	49.7	1.46	0.6	31		
			平均值	14	1.18	49.7	1.46	0.6	31		

注：部分过高或过低的值未参与统计。

表 4.3.6.2-4 馒头组第一段页岩物理性质及点荷载抗压强度试验成果表

试样编号	取样深度	风化程度	比重	天然密度	干密度	饱和密度	自然吸水率	饱和吸水率	孔隙率	纵波速度 (自然状态)	抗压强度 MPa		软化系数
	m											g / cm ³	
ZK202-8	373~375.5	微风化	2.78	2.71	2.69	2.75	1.91	1.94	3.18	2764	-	12.1	
ZK202-9	282~289.2		2.75	2.68	2.67	2.69	0.93	1.06	2.95	2523	56.8	19.5	0.34
ZK202-10			2.79	2.73	2.71	2.74	1.02	1.17	2.87	2479	41.9	4.24	0.10
ZK202-11			2.74	2.68	2.66	2.69	0.91	1.06	2.90	2614	46.2	9.02	0.20
平均值			2.77	2.70	2.68	2.72	1.19	1.31	2.98	2595	48.3	11.22	0.23

4.3.6.3岩体原位试验

为研究地下厂房区灰岩和输水系统沿线灰岩及页岩岩体的力学特性，本阶段在厂房平洞支洞 PD101-3 和平洞 PD102 内进行了岩体原位试验，包括 4 组岩体变形和 3 组岩体剪切试验工作，选择试验的围岩类别为Ⅲ类，试验成果见表 4.3.6.3-1、4.3.6.3-2。

从试验成果可以看出，灰岩（Ⅲ类）平行于层理面的变形模量为 20.75~26.92GPa，弹性模量为 41.72~61.25GPa，垂直于层理面的变形模量为 28.31~32.94GPa，弹性模量为 37.52~64.54GPa，平行于层理面的变形模量略小于垂直于层理面的变形模量；灰岩及页岩（Ⅲ类）平行于层理面的变形模量为 23.63GPa，弹性模量为 52.35GPa，垂直于层理面的变形模量为 8.53GPa，弹性模量为 12.65GPa。

灰岩（Ⅲ类）抗剪断强度参数值为 $f'=0.92\sim1.64$ ， $c'=1.85\sim3.85$ ；抗剪强度参数值为 $f=0.84\sim1.11$ ， $c=0.83\sim1.92$ 。

表 4.3.6.3-1 岩体变形试验成果汇总表

岩石	风化状态 裂隙发育程度	围岩类别	试点编号	加载方向	变形模量 (GPa)	弹性模量(GPa)	备注
张夏组第三段灰岩	微风化 裂隙发育	Ⅲ	PD102E1-1	水平	24.50	61.25	天然
			PD102E1-2	垂直	32.94	60.84	天然
	微风化 裂隙发育	Ⅲ	PD101-3E2-1	水平	20.75	41.72	天然
			PD101-3E2-2	垂直	28.31	37.52	天然

岩石	风化状态 裂隙发育程度	围岩 类别	试点 编号	加载 方向	变形 模量 (GPa)	弹性 模量(GPa)	备注
灰岩 及 页岩	微风化 裂隙不发育	III	PD101-3E3-1	水平	26.92	42.72	天然
			PD101-3E3-2	垂直	29.42	64.54	天然
	微风化	IV	PD101-3E1-1	水平	23.63	52.35	天然
			PD101-3E1-2	垂直	8.58	12.65	天然

表 4.3.6.3-2 岩体直剪试验成果汇总表

岩石	风化状态	围岩类别	试点编号	抗剪断强度			抗剪强度		
				f'	c' (MPa)	φ' (°)	f	c (MPa)	φ (°)
张夏组第三段灰岩	微新岩体	III	PD102yτ1	1.64	3.85	58.60	1.11	1.92	47.98
	微新岩体	III	PD101-3yτ1	0.92	1.85	42.61	0.84	0.83	40.03
	微新岩体	III	PD101-3yτ2	1.09	2.20	47.47	0.88	1.35	41.35

4.3.6.4岩体弹性波特征

4.3.6.4.1 平洞洞壁地震波测试

为研究岩体的完整性，对工程区勘探平洞洞壁进行了岩体地震波测试，测试结果见表 4.3.6.4-1。

表 4.3.6.4-1 平硐岩体地震波测试成果统计表

地层及岩性	风化程度	平硐地震波 V_p (m/s)		
		平均值	大值 平均	小值 平均
灰岩	微风化~新鲜	5040	-	-
灰岩夹页岩	弱风化	5333	-	-
	微风化	5340	6100	4188
灰岩及页岩	弱风化	4870	-	-

岩体地震波特征可以反映了隧洞围岩的强度与完整性。通过测试结果可以看出，风化对岩体的波速影响较大，断层发育部位波速相对较低，强度和完整性较差；灰岩的微新岩体平均值也在 5000m/s 以上，适合于地下厂房的布置。灰岩夹页岩弱风化和微新岩体波速相差不大；波速平均值在 5000m/s 以上，强度和完整

性均较好。灰岩及页岩弱风化岩体波速平均值在 4500m/s 以上,强度和完整性相对较好。

4.3.6.4.2 钻孔声波测试

为研究工程区内岩体的纵波速,工程区进行了大量的钻孔岩体声波测试工作,结果见表 4.3.6.4-2。

表 4.3.6.4-2 工程区钻孔岩体声波测试结果统计表

地层	岩性	风化	V _p (m/s)	≥某一 V _p 值所占比例 (%)			
		程度	平均值	5000	4000	3000	2000
崮山组第五段 ∈3g5	灰岩夹页岩	弱风化	5628	81	17	2	
崮山组第四段 ∈3g4	灰岩夹页岩	弱风化	5726	85	15		
		微风化	6132	99.32	0.68		
崮山组第三段 ∈3g3	灰岩及页岩	弱风化	5129	56	33	11	
		微风化	5210	55	44	1	
崮山组第二段 ∈3g2	灰岩夹页岩	弱风化	5464	76.7	19	4	0.3
		微风化	5837	92.7	7.3		
崮山组第一段 ∈3g1	灰岩及页岩	微风化	4950	47.3	43.7	9	
张夏组第三段 ∈3z3	灰岩	微风化	6110	98.4	1.6		
张夏组第二段 ∈3z2	灰岩及页岩	微风化	5914	100			
张夏组第一段 ∈3z1	鲕粒灰岩	微风化	6281	100			
馒头组第四段 ∈2m4	云泥岩	微风化	5120	68	32		
馒头组第三段 ∈2m3	页岩	微风化	4655	20	75	5	
馒头组第二段 ∈2m2	灰岩夹页岩	微风化	5606	80	20		
馒头组第一段 ∈2m1	页岩	微风化	4531	16	74		

从表中可以看出,工程区岩体的声波值总体较高,灰岩的声波值最高,灰岩夹页岩次之,灰岩及页岩再次之,页岩声波值最低。

灰岩的微风化岩体声波平均值基本在 6000m/s 以上,以 6100m/s~6300m/s 为主;灰岩夹页岩的弱~微风化岩体声波平均值略低于灰岩,以 5400m/s~6000m/s 为主;灰岩及页岩的弱~微风化岩体声波平均值低于灰岩夹页岩,以 4900m/s~5200m/s 为主。页岩的微风化岩体声波平均值基本在 4700m/s 以下,以 4000~4600m/s 为主。

总体来说,工程区的各种岩体的声波数据规律与相应岩石的力学性质规律基本一致。

4.3.6.5地应力

地应力是影响地下洞室围岩稳定、选择地下厂房轴线方向的主要地质因素之一，需要予以查明。

在地下厂房、高压岔管及输水线路等工程部位的钻孔内进行地应力测试，钻孔布置见图 4.3.6.5-1，其中在，ZK203、ZK205、ZK601、ZK602、ZK603、ZK604、ZK605、ZK606 钻孔内进行水压致裂法地应力测试，在 ZK602、ZK604 钻孔内进行了应力解除法地应力测试，两种方法相互验证。ZK205 钻孔位于输水系统高压管道段，距离地下厂房最近距离约 200m。测试成果见表 4.3.6.5-1、4.3.6.5-2、4.3.6.5-3，地应力测试曲线见图 4.3.6.5-2。

水压致裂法地应力测试结果表明，水平最大主应力为 8.52MPa~14.89MPa，平均为 11.45MPa；水平最小主应力为 5.37MPa~9.19MPa，平均为 7.43MPa；垂直应力为 4.61MPa~8.81MPa，平均为 6.94MPa；上覆岩石的垂直应力值大部分都小于水平最小主应力，最大主应力为水平方向，上覆岩石的垂直应力为最小主应力。

应力解除法地应力测试结果表明，最大主应力为 9.81MPa~10.29MPa，方位为 NE39.1°~NE68.3°，倾角 -21.3°~-23.1°，为近水平方向；中间主应力为 6.67MPa~7.44MPa，方位为 SW195.8°~SW233.9°，倾角 14.5°~25.6°，为近水平方向；最小主应力为 5.68MPa~6.20 MPa，方位为 SE108.3°~SE145°，倾角 60.6°~74.4°，为近垂直方向。

两种方法对比表明，应力解除法所得最大主应力值在水压致裂法地应力测试结果范围之内，均为北东方向。

综上所述，工程区最大主应力为 8.52MPa~14.89MPa，近水平方向，属于中等~低地应力；最大水平主应力优势方向为 NE38°~65°，平均为 NE51°。

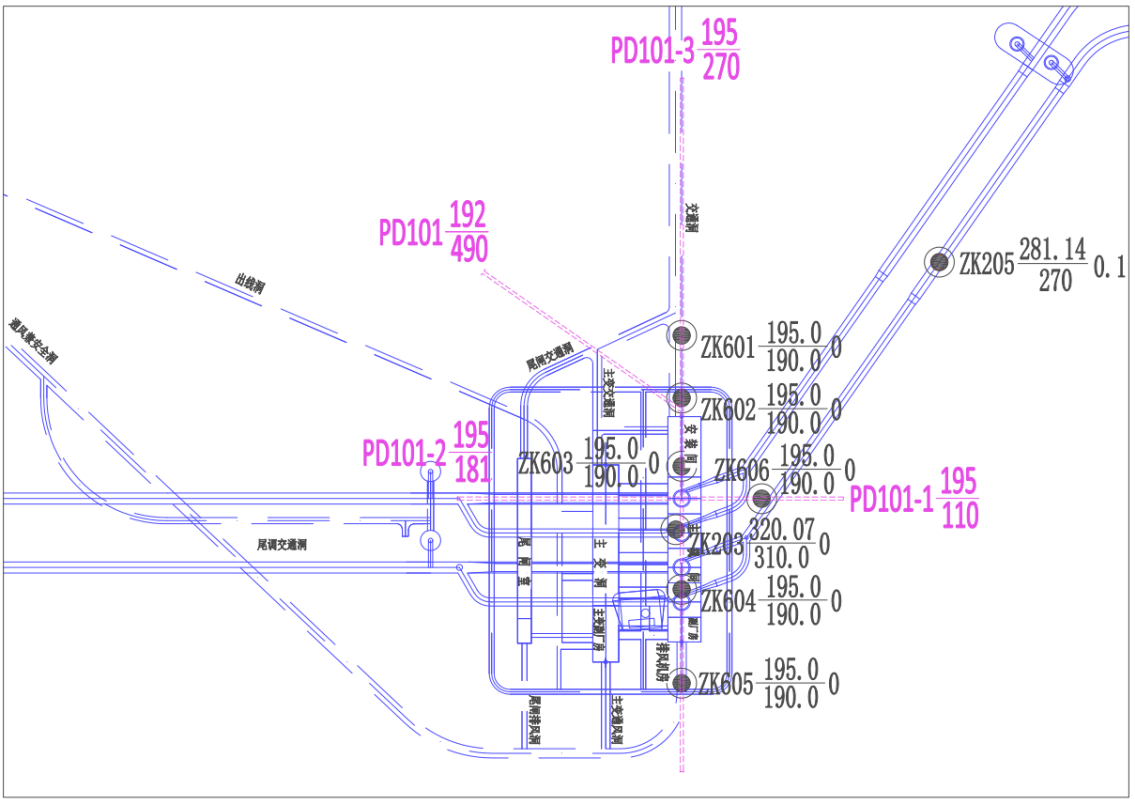


图 4.3.6.5-1 地应力测试钻孔布置图

表 4.3.6.5-1 水压致裂法地应力测量成果统计表

孔号	测量部位	压裂段深度 (m)	压裂参数 (MPa)						应力值 (MPa)			破裂方位 (°)
			P _b	P _r	P _s	P _H	P ₀	T	S _H	S _h	S _v	
ZK203	主厂房	216.0~217.0	9.17	6.37	5.37	2.17	0.67	2.80	9.07	5.37	5.95	
		241.0~242.0	11.92	8.42	6.22	2.42	0.92	3.50	9.32	6.22	6.64	N58°E
		267.0~268.0	10.68	8.68	6.78	2.68	1.18	2.00	10.48	6.78	7.36	
		297.0~298.0	11.38	7.98	6.98	2.98	1.48	3.40	11.48	6.98	8.18	N62°E
		320.0~321.0	13.21	9.21	7.21	3.21	1.71	4.00	10.71	7.21	8.81	
ZK205	输水系统高压管道	202.0~203.0	9.48	7.48	4.48	1.98	0.28	2.00	5.68	4.48	5.57	
		217.0~218.0	10.73	8.33	5.23	2.13	0.43	2.40	6.93	5.23	5.98	N65°E
		239.0~240.0	11.95	9.65	6.15	2.35	0.65	2.30	8.15	6.15	6.59	
		251.0~252.0	13.26	10.26	6.76	2.46	0.76	3.00	9.26	6.76	6.92	
		265.0~266.0	14.10	11.00	7.10	2.60	0.90	3.10	9.40	7.10	7.30	N52°E
ZK601	交通洞与尾闸交通洞交点	100.0~101.0m	12.58	10.28	7.18	0.98	0.28	2.30	10.98	7.18	4.61	
		124.0~125.0m	14.22	11.22	8.02	1.22	0.52	3.00	12.32	8.02	5.27	N41°E
		142.0~143.0m	13.70	10.90	8.20	1.40	0.70	2.80	13.00	8.20	5.76	
		153.0~154.0m	14.50	10.50	8.50	1.50	0.80	4.00	14.20	8.50	6.06	
		172.0~173.0m	14.19	11.69	9.19	1.69	0.99	2.50	14.89	9.19	6.59	N53°E
ZK602	主厂房右端墙	115.0~116.0	13.13	7.63	6.33	1.13	0.63	5.50	10.73	6.33	5.98	
		135.0~136.0	10.83	9.33	7.33	1.33	0.83	1.50	11.83	7.33	6.53	N38°E
		148.0~149.0	14.46	8.96	7.16	1.46	0.96	5.50	11.56	7.16	6.89	

孔号	测量部位	压裂段深度 (m)	压裂参数 (MPa)						应力值 (MPa)			破裂方位 (°)
			P _b	P _r	P _s	P _H	P ₀	T	S _H	S _h	S _v	
		159.0~160.0	15.56	9.26	7.56	1.56	1.06	6.30	12.36	7.56	7.19	
		170.5~171.5	12.68	9.68	7.98	1.68	1.18	3.00	13.08	7.98	7.51	N55°E
ZK603	主厂房	113.0~114.0	9.11	8.31	6.41	1.11	0.36	0.80	10.56	6.41	6.39	
		131.0~132.0	10.09	9.09	6.79	1.29	0.54	1.00	10.74	6.79	6.89	N65°E
		147.0~148.0	12.45	10.25	7.45	1.45	0.70	2.20	11.40	7.45	7.33	
		169.0~170.0	11.66	11.46	8.16	1.66	0.91	0.20	12.11	8.16	7.93	N41°E
		181.0~182.0	12.78	12.78	8.68	1.78	1.03	0.00	12.23	8.68	8.26	
ZK604	主厂房	114.0~115.0	12.62	10.12	6.42	1.12	0.62	2.50	8.52	6.42	6.39	
		130.0~131.0	13.38	11.78	7.18	1.28	0.78	1.60	8.98	7.18	6.83	
		143.0~144.0	13.41	11.41	7.51	1.41	0.91	2.00	10.21	7.51	7.19	N59°E
		164.0~165.0	12.41	10.71	8.01	1.61	1.11	1.70	12.21	8.01	7.77	
		179.0~180.0	13.76	11.76	8.66	1.76	1.26	2.00	12.96	8.66	8.18	N42°E
ZK605	主厂房左端墙	112.0~113.0	12.10	9.50	6.30	1.10	0.43	2.60	8.97	6.30	5.87	
		129.0~130.0	13.27	9.27	6.87	1.27	0.60	4.00	10.74	6.87	6.34	N65°E
		145.0~146.0	12.43	10.43	7.43	1.43	0.76	2.00	11.10	7.43	6.78	
		161.0~162.0	14.58	8.58	7.38	1.58	0.91	6.00	12.65	7.38	7.22	N41°E
		177.0~178.0	17.74	11.74	8.74	1.74	1.07	6.00	13.41	8.74	7.66	
ZK606	高压岔管	113.0~114.0	12.61	9.51	6.71	1.11	0.61	3.10	10.01	6.71	6.37	
		129.0~130.0	12.27	10.77	7.27	1.27	0.77	1.50	10.27	7.27	6.81	
		145.0~146.0	13.43	10.43	7.43	1.43	0.93	3.00	10.93	7.43	7.25	N50°E
		171.0~172.0	11.68	10.48	8.18	1.68	1.18	1.20	12.88	8.18	7.96	
		182.0~183.0	13.79	10.79	8.59	1.79	1.29	3.00	13.69	8.59	8.26	N48°E

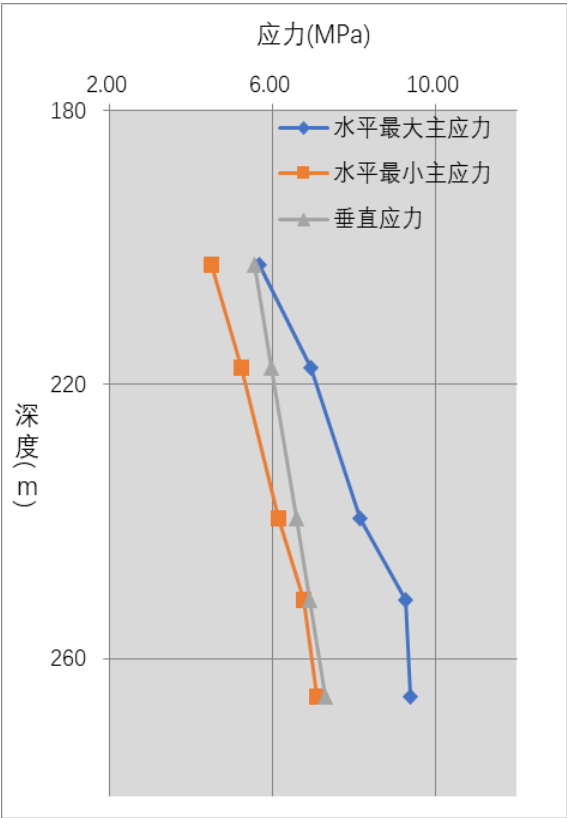
注：P_b岩石原位破裂压力； P_r 破裂重张压力； P_s瞬时闭合压力； P_H 试段深度上的水柱压力； P₀试段深度上的孔隙压力； T 岩石抗拉强度； S_H最大水平主应力； S_h 最小水平主应力； S_v-垂直主应力。
ZK205 为斜井段钻孔，距离 F1 断裂很紧，其应力有所释放，因此，在统计地应力数值时，不参与统计。

表 4.3.6.5-2 测点应力分量计算结果表（应力解除法）

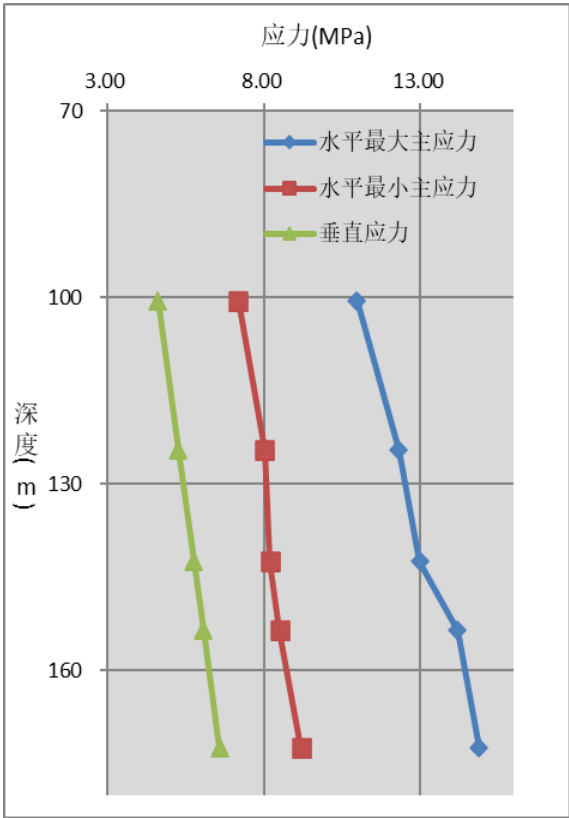
测点序号	孔深	σ _X	σ _Y	σ _Z	τ _{XY}	τ _{YZ}	τ _{ZX}
	(m)	(MPa)					
ZK602-1	8.0	7.45	9.66	6.32	-1.22	0.88	0.51
ZK604-1	8.5	8.99	7.22	6.46	-1.36	0.45	-0.34

表 4.3.6.5-3 测点主应力测量结果表（应力解除法）

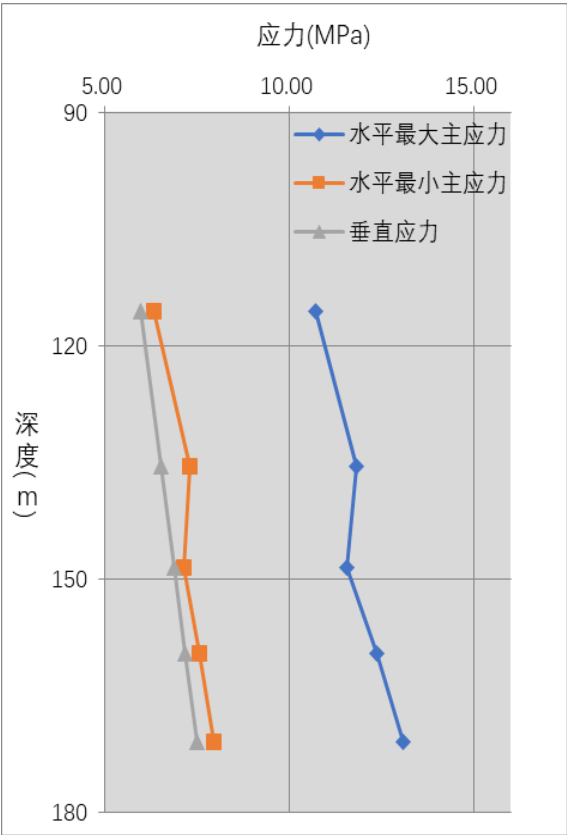
测点序号	第一主应力 σ ₁			第二主应力 σ ₂			第三主应力 σ ₃		
	量值	倾角	方位角	量值	倾角	方位角	量值	倾角	方位角
	(MPa)	(°)	(°)	(MPa)	(°)	(°)	(MPa)	(°)	(°)
ZK602-1	10.29	-21.3	68.3	7.44	25.6	195.8	5.68	60.6	145.0
ZK604-1	9.81	-23.1	39.1	6.67	14.5	233.9	6.20	74.4	108.3



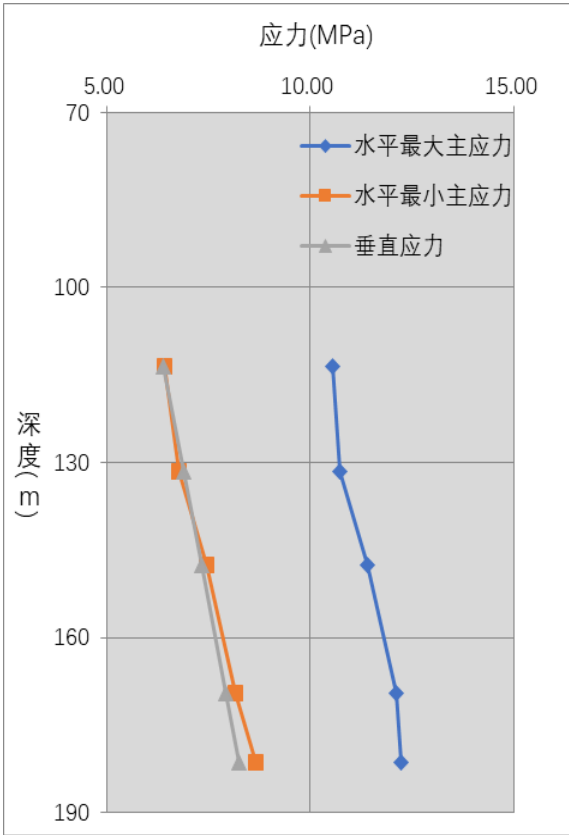
K205 孔主应力值随深度变化图



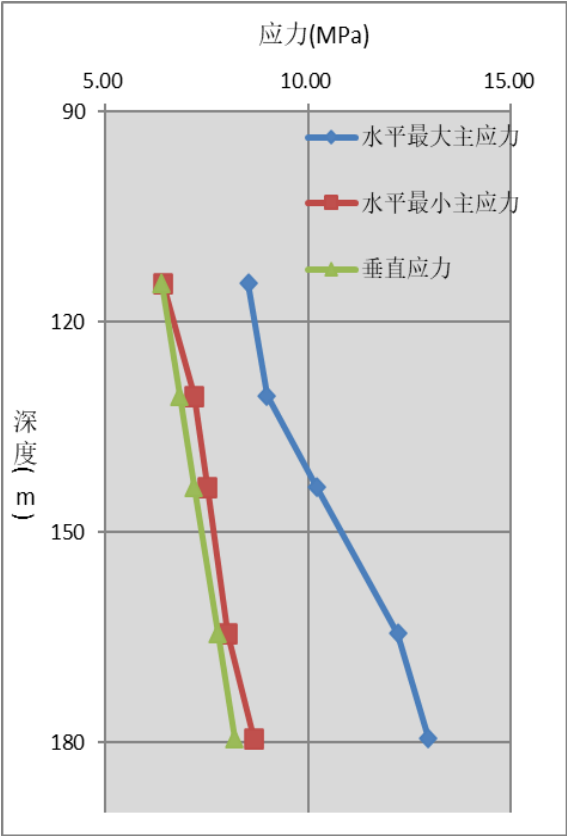
ZK601 孔主应力值随深度变化图



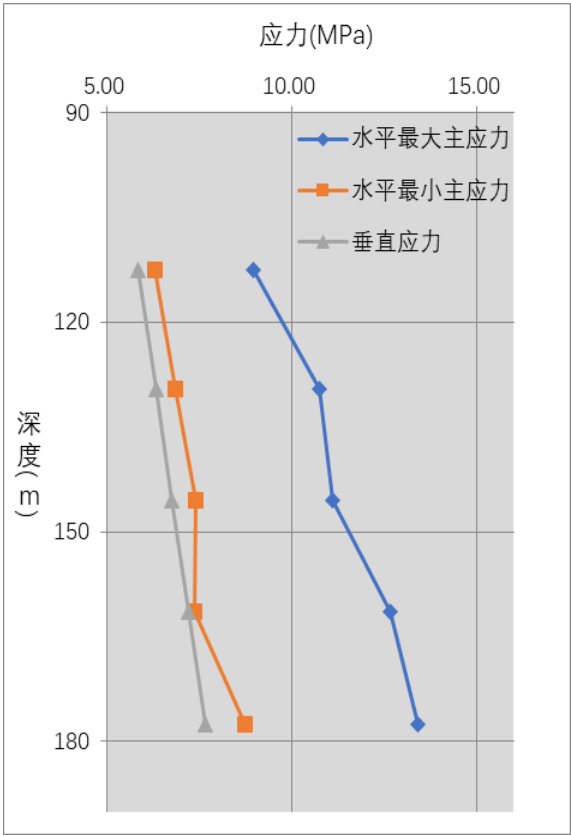
ZK602 孔主应力值随深度变化图



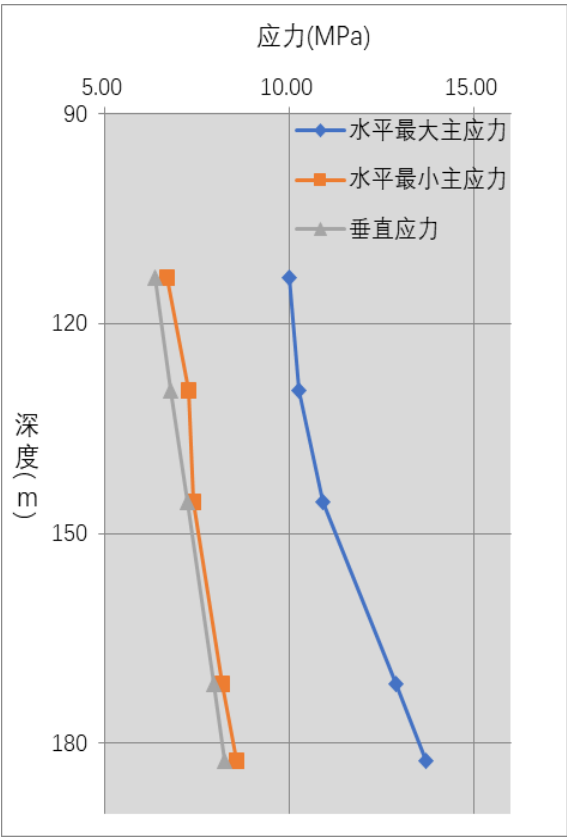
ZK603 孔主应力值随深度变化图



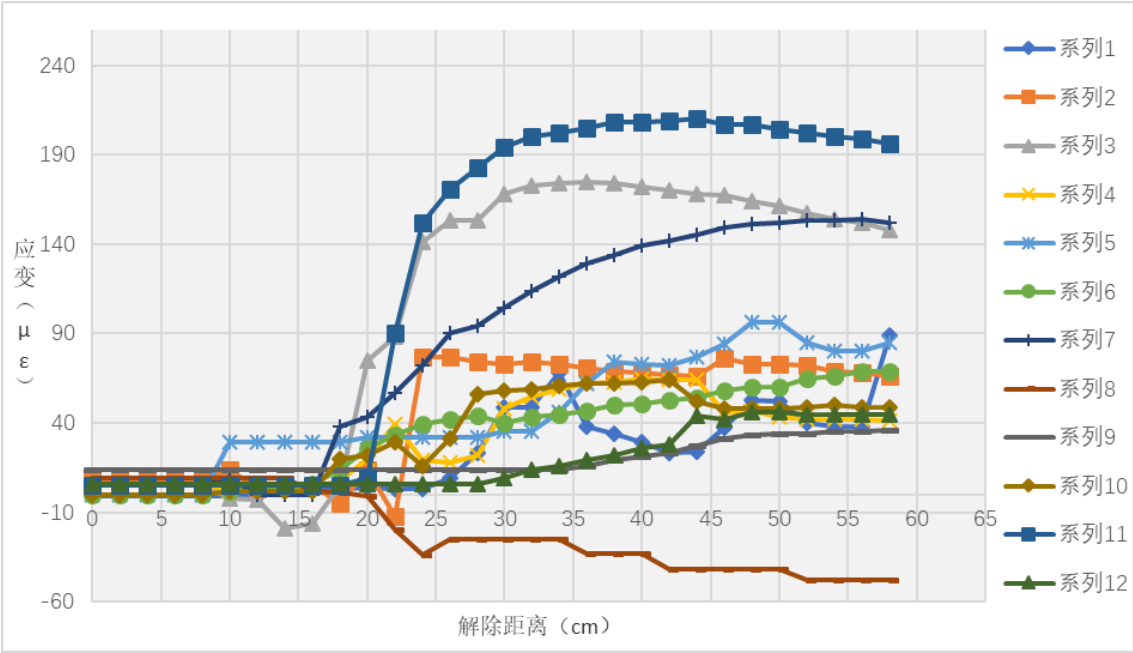
ZK604 孔主应力值随深度变化图



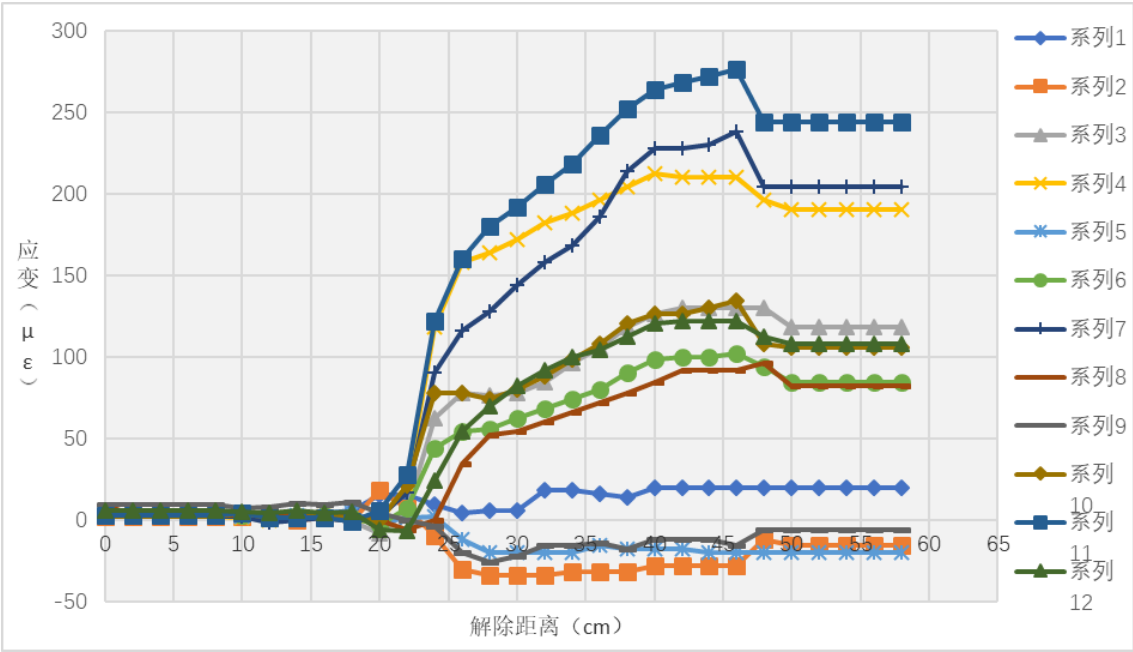
ZK605 孔主应力值随深度变化图



ZK606 孔主应力值随深度变化图



ZK602-1 测点应力解除过程曲线（系列指为相应的应变片测量通道）



ZK604-1 测点应力解除过程曲线（系列指为相应的应变片测量通道）

图 4.3.6.5-2 地下厂房区钻孔地应力测试曲线图

4.3.6.6 高压压水渗透特性

本电站高压管道最大设计内水压力为 4.65MPa。为研究压力隧洞围岩岩体在高压水渗透条件下的工程地质及水文地质特性，在 ZK203、ZK205、ZK601、ZK602、ZK603、ZK604、ZK605、ZK606 共 8 个钻孔中不同深度进行了 33 段高压压水试

验，试验最大压力为 6.25MPa，试验部位的岩性及构造发育情况见表 4.3.6.6-1，高压压水试验结果见表 4.3.6.6-2，各个钻孔测段的代表性高压压水 P-Q 曲线见图 4.3.6.6-1。

由高压压水试验结果可知，地下厂房区及输水系统压力管道段岩体透水率在 0.61~1.18Lu 之间，平均为 0.89Lu，属微~弱透水岩体。节理裂隙相对较发育部位，围岩完整性较差，岩体透水率相对略高，为 0.95~1.18Lu。可见地下厂房区域的断层延伸长度均较小，未形成渗漏通道，同时，地下厂房区域岩体整体完整性较好。

- (1) 厂房部位岩体整体具有较好的抗渗透性，岩体裂隙不易与周边裂隙贯通。
- (2) 岩体透水率在 0.59~1.18Lu 之间，平均为 0.89Lu，属微~弱透水岩体。
- (3) 测段产生了水力劈裂作用，岩体劈裂压力在 2.50~4.20MPa 之间，其中，岩体较完整的部位水力劈裂压力为大值，有裂隙发育的部位水力劈裂压力为小值。

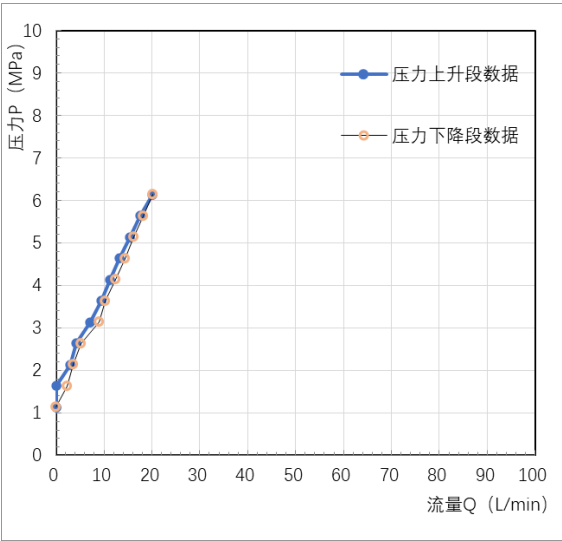
表 4.3.6.6-1 钻孔 ZK203 高压压水试验段岩芯描述一览表（代表）

孔 深（m）	岩性	风化程度	岩芯描述
230.0~235.0	灰岩	新鲜	岩性为灰岩，灰黑色，微晶结构，厚层状构造，岩芯呈长柱状，完整性好，裂隙不发育。
243.0~248.0	灰岩	新鲜	岩性为灰岩，灰黑色，微晶结构，厚层状构造，岩芯呈短柱~长柱状，发育 4 条裂隙，倾角 70°~85°，裂隙面起伏粗糙，无渲染。
275.0~280.0	灰岩	新鲜	岩性为灰岩，灰黑色，微晶结构，厚层状构造，岩芯呈长柱状，完整性好，裂隙不发育。
285.0~290.0	灰岩	新鲜	岩性为灰岩，灰黑色，微晶结构，厚层状构造，岩芯呈短柱~长柱状，发育 3 条裂隙，倾角 70°~85°，裂隙面起伏粗糙，无渲染。

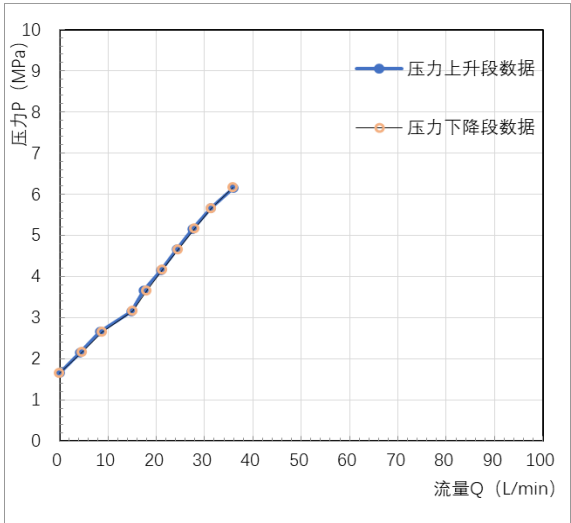
表 4.3.6.6-2 钻孔高压压水测试结果表

钻孔编号	试段深度（m）	最大压力（MPa）	最大流量（L/min）	吕荣值（Lu）	劈裂压力（MPa）	P-Q 曲线类型
ZK203	230.0~235.0	6.0	19.62	0.65	4.0	“冲蚀”型
	243.0~248.0	6.0	35.43	1.18	3.0	“层流”型
	275.0~280.0	6.0	18.40	0.61	4.0	“冲蚀”型
	285.0~290.0	6.0	33.25	1.11	3.0	“层流”型
ZK205	114.0~119.0	6.14	20.10	0.65	4.14	“冲蚀”型
	123.0~128.0	6.23	34.30	1.10	3.23	“冲蚀”型
	166.0~171.0	6.16	35.89	1.17	3.16	“层流”型
	243.0~248.0	6.20	33.21	1.07	3.20	“层流”型
	248.0~253.0	6.20	20.31	0.66	4.20	“冲蚀”型
ZK601	119.0~124.0	6.20	32.15	1.04	2.70	“冲蚀”型
	136.0~141.0	6.20	30.67	0.99	3.70	“冲蚀”型

钻孔编号	试段深度(m)	最大压力(MPa)	最大流量(L/min)	吕荣值(Lu)	劈裂压力(MPa)	P-Q 曲线类型
	146.0~151.0	6.20	18.90	0.61	3.20	“层流”型
	180.0~185.0	6.20	23.34	0.75	2.70	“层流”型
ZK602	116.0~121.0	6.00	29.04	0.97	3.00	“冲蚀”型
	155.0~160.0	6.00	25.67	0.86	3.50	“冲蚀”型
	166.0~171.0	6.00	33.56	1.12	2.50	“层流”型
	180.0~185.0	6.00	32.15	1.07	2.50	“层流”型
ZK603	90.0~95.0	6.25	23.50	0.75	3.75	“冲蚀”型
	120.0~125.0	6.25	29.80	0.95	2.75	“冲蚀”型
	163.0~168.0	6.25	32.40	1.04	3.75	“冲蚀”型
	175.0~180.0	6.25	19.60	0.63	3.75	“层流”型
ZK604	100.0~105.0	6.00	33.50	1.12	2.50	“层流”型
	142.0~147.0	6.00	19.50	0.65	3.00	“冲蚀”型
	156.0~161.0	6.00	21.50	0.72	3.50	“冲蚀”型
	178.0~183.0	6.00	31.50	1.05	2.50	“层流”型
ZK605	110.0~115.0	6.17	18.60	0.60	4.17	“冲蚀”型
	119.0~124.0	6.17	30.20	0.98	3.17	“冲蚀”型
	152.0~157.0	6.17	22.40	0.73	4.17	“冲蚀”型
	163.0~168.0	6.17	35.12	1.14	2.67	“层流”型
ZK606	92.0~97.0	6.00	33.26	1.11	2.50	“层流”型
	108.0~113.0	6.00	19.70	0.66	3.00	“冲蚀”型
	155.0~160.0	6.00	17.50	0.59	3.50	“冲蚀”型
	177.0~182.0	6.00	32.26	1.08	2.50	“层流”型



ZK205 孔 123.0~128.0m 测段高压压水 P-Q 曲线



ZK205 孔 166.0~171.0m 测段高压压水 P-Q 曲线

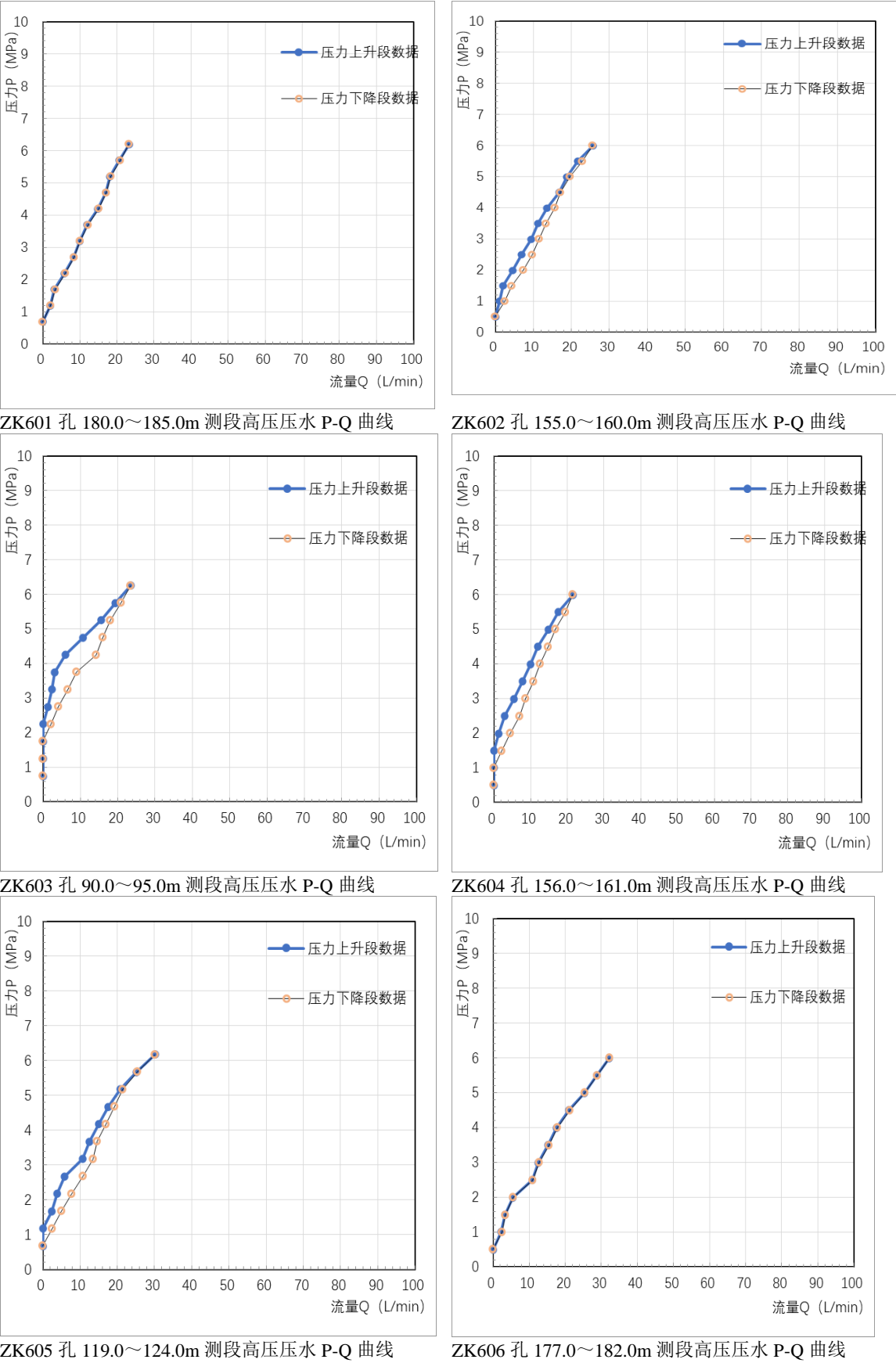


图 4.3.6.6-1 地下厂房区钻孔典型测段 P-Q 曲线图

4.3.6.7岩体质量分级

经现场地质测绘及岩石（体）物理力学性质试验成果，划分坝基岩体类别。

（1）崮山组第一段、第三段灰岩及页岩

岩性为灰岩及页岩，在上水库库坝区、输水线路沿线和上、下水库进出水口均有出露。

灰岩及页岩在饱水过程中，岩样大部分沿页岩条带自行断开，取样制样困难，岩石的力学试验成果仅代表灰岩及页岩中较好的样品。

①弱风化岩体饱和抗压强度平均值为 30.3MPa，饱和变形模量平均值为 23.6GPa；微风化岩体饱和抗压强度平均值为 34.5MPa，饱和变形模量平均值为 23.1GPa。灰岩及页岩岩石物理力学性质较差，试验成果饱和抗压强度试验值较高，但仅代表较好岩样，并且为垂直层面的抗压强度，顺层面的岩石饱和抗压强度应低于 30MPa，灰岩及页岩岩质软弱，强度较低，属于较软岩。灰岩及页岩为沉积岩，具有明显的各向异性。

②岩体纵波波速以 4900m/s~5200m/s 为主，岩体以薄层状结构为主，岩体完整性差。

③根据钻孔压水试验资料统计，弱~微风化岩体以弱透水为主，但局部存在中等透水；强风化岩体以弱透水为主。

综上，崮山组第一段、第三段弱~微风化灰岩及页岩作为建筑物基础，具有较差的工程地质特性，坝基岩体类别属Ⅳ类；全强风化灰岩及页岩作为工程地质力学性质差，坝基岩体类别属Ⅴ类。

（2）崮山组第二段灰岩夹页岩

岩性为灰岩夹页岩，在上水库库坝区、输水线路沿线和上、下水库进出水口均有出露。

①微风化岩体饱和抗压强度平均值为 52.9MPa，饱和变形模量平均值为 25.35GPa，说明该岩石是具较高强度、较高弹性模量的中硬岩，灰岩夹页岩为沉积岩，具有明显的各向异性。

②岩体纵波波速以 5400m/s~6000m/s 为主，岩体以中厚层状结构为主，岩体较完整。

③根据钻孔压水试验资料统计，弱~微风化岩体以弱透水为主，但局部存在中等透水。

综上，崮山组第二段弱~微风化灰岩夹页岩作为建筑物基础，具有较为良好的工程地质特性，坝基岩体类别属Ⅲ类。

（3）崮山组第四段灰岩夹页岩

岩性为灰岩夹页岩，在上水库库坝区和输水线路沿线有出露。

①弱风化岩体饱和抗压强度平均值为 56.6MPa，饱和变形模量平均值为 36.8GPa。微风化岩体饱和抗压强度平均值为 65MPa，饱和变形模量平均值为 41.9GPa，说明该岩石是具较高强度、较高弹性模量的中硬岩~坚硬岩，灰岩夹页岩为沉积岩，具有明显的各向异性。

②岩体纵波波速以 5400m/s~6000m/s 为主，岩体以中厚层状结构为主，岩体较完整。

③根据钻孔压水试验资料统计，弱~微风化岩体以弱透水为主，但局部存在中等透水。

综上，崮山组第四段弱~微风化灰岩夹页岩作为建筑物基础，具有较为良好的工程地质特性，坝基岩体类别属Ⅲ类。

（4）崮山组第五段灰岩夹页岩

岩性为灰岩夹页岩，在上水库库坝区和输水线路沿线有出露。

①弱风化岩体饱和抗压强度平均值为 39.5MPa，饱和变形模量平均值为 27.7GPa。微风化岩体饱和抗压强度平均值为 57.1MPa，饱和变形模量平均值为 26.3GPa，说明该岩石是具较高强度、较高弹性模量的中硬岩，灰岩夹页岩为沉积岩，具有明显的各向异性。

②岩体纵波波速以 5400m/s~6000m/s 为主，岩体以薄层~中厚层状结构为主，岩体较完整~完整性差。

③根据钻孔压水试验资料统计，弱~微风化岩体以弱透水为主，但局部存在中等透水。

综上，崮山组第五段弱~微风化灰岩夹页岩作为建筑物基础，具有较为良好的工程地质特性，坝基岩体类别属Ⅲ类。

（5）张夏组第三段灰岩

岩性为灰岩，在上水库库坝区和输水发电系统有出露。

①弱风化岩体饱和抗压强度平均值为 45.3MPa，饱和变形模量平均值为 24.8GPa。微风化岩体饱和抗压强度平均值为 46.75MPa，饱和变形模量平均值为 21.55GPa，说明该岩石是具较高强度、较高弹性模量的中硬岩，灰岩为沉积岩，

但以厚层状为主，不具有明显的各向异性。

②岩体纵波波速平均值在 6000m/s 以上，以 6100m/s~6300m/s 为主，岩体以厚层状结构为主，岩体较完整。

③根据钻孔压水试验资料统计，弱~微风化岩体以弱~微透水为主。

综上，张夏组第三段弱~微风化灰岩作为建筑物基础，具有较为良好的工程地质特性，坝基岩体类别属Ⅲ类。

根据室内岩石试验成果统计资料，综合类比同类工程岩体，给出坝基岩体分类（表 4.3.6.7-1）。

表 4.3.6.7-1 坝基岩体分类标准一览表

岩体类别	地层	岩性	风化
Ⅲ	崮山组第二段 崮山组第四段 崮山组第五段	灰岩夹页岩	弱风化~微风化
	张夏组第三段	灰岩	
Ⅳ	崮山组第一段 崮山组第三段	灰岩及页岩	弱风化~微风化
V	强风化灰岩及页岩、断层、节理密集带等		

4.3.6.8地下洞室围岩分类

（1）平洞 PD101 及其支洞围岩分类

地下洞室围岩分类是评价洞室围岩稳定及确定围岩支护参数的重要手段，现依据《水力发电工程地质勘察规范》附录附录 L（GB50287-2016）的围岩分类标准，以及《工程岩体分级标准》（GB50218-94）BQ 分类标准，进行地下工程围岩分类。

1) 水电工程围岩分类

《水力发电工程地质勘察规范》的围岩分类标准，对 PD101 平洞围岩进行详细分类，并以之为依据分析评价整个地下工程围岩的工程地质条件。分类主要考虑因素包括岩石强度、岩体完整性、结构面状态、地下水以及结构面走向与洞轴线夹角等因素，围岩类型评定标准见表 4.3.6.8-1~4.3.6.8-6，根据探洞断层、裂隙发育程度、水文地质条件等，厂区探洞 PD101 围岩分类结果列于表 4.3.6.8-7。

围岩总评分 $T=T'+T''$ ，其中，围岩基本分 $T'=A+B+C$ ，修正分 $T''=D+E$ 。

A 为岩石强度的评分（表 4.3.6.8-1），B 为岩体完整程度的评分（表 4.3.6.8-2），C 为结构面状态的评分（表 4.3.6.8-3），D 为地下水状态的评分（表 4.3.6.8-4），E

为主要结构面产状的评分（表 4.3.6.8-5）。

表 4.3.6.8-1 岩石强度评分

岩质类型	硬质岩		软质岩	
	坚硬岩	中硬岩	较软岩	软岩
饱和单轴抗压强度 R_b (MPa)	$R_b > 60$	$60 \geq R_b > 30$	$30 \geq R_b > 15$	$15 \geq R_b > 5$
岩石强度评分 A	30~20	20~10	10~5	5~0

表 4.3.6.8-2 岩体完整程度评分

岩体完整程度		完整	较完整	完整性差	较破碎	破碎
岩体完整性系统 K_v		$K_v > 0.75$	$0.75 \geq K_v > 0.55$	$0.55 \geq K_v > 0.35$	$0.35 \geq K_v > 0.15$	$K_v \leq 0.15$
岩体完整性评分 B	硬质岩	40~30	30~22	22~14	14~6	< 6
	软质岩	25~19	19~14	14~9	9~4	< 4

表 4.3.6.8-3 结构面状态评分

结构面状态	张开度 W (mm)	闭合 < 0.5	微张 $0.5 \leq W < 5.0$										张开 ≥ 5.0	
	充填物	—	无充填				岩屑			泥质			岩屑	泥质
	起伏粗糙状况	起伏粗糙	平直光滑	起伏粗糙	起伏光滑或平直粗糙	平直光滑	起伏粗糙	起伏光滑或平直粗糙	平直光滑	起伏粗糙	起伏光滑或平直粗糙	平直光滑	—	—
结构面状态评分 C	硬质岩	27	21	24	21	15	21	17	12	15	12	9	12	6
	软质岩	27	21	24	21	15	21	17	12	15	12	9	12	6
	软岩	18	14	17	14	8	14	11	8	10	8	6	8	4

表 4.3.6.8-4 地下水评分

活动状态			干燥到渗水滴水	线状流水	涌水
水量 q (L/min·10m 洞长) 或压力水头 H (m)			$q \leq 25$ 或 $H \leq 10$	$25 < q \leq 25$ 或 $10 < H \leq 100$	$q > 125$ 或 $H > 100$
基本因素评分 (A+B)	$\geq T'' > 85$	地下水评	0	0~—2	—2~—6
	$85 \geq T'' > 65$		0~—2	—2~—6	—6~—10
	$65 \geq T'' > 45$		—2~—6	—6~—10	—10~—14

+C)	$45 \geq T' > 25$	分 D	-6~-10	-10~-14	-14~-18
	$T' \leq 25$		-10~-14	-14~-18	-18~-20

表 4.3.6.8-5 主要结构面产状评分

结构面走向与洞轴线夹角°		90~60				60~30				<30			
结构面倾角		>70	70~45	45~20	<20	>70	70~45	45~20	<20	>70	70~45	45~20	<20
结构面产状评分 E	洞顶	0	-2	-5	-10	-2	-5	-10	-12	-5	-10	-12	-12
	边墙	-2	-5	-2	0	-5	-10	-2	0	-10	-12	-5	0

注：按岩体完整程度分级为完整性差、较破碎的围岩不进行主要结构面产状评分的修正。

围岩详细分类以控制围岩稳定的岩石强度、岩体完整性、结构面状态、地下水和主要结构面产状五项因素之和的总评分为基本依据，围岩强度应力比为限定依据（表 4.3.6.8-6）。

围岩强度应力比 S 可根据下式求得：

$$S = \frac{R_b \bullet K_v}{\sigma_m}$$

式中，R_b 为岩石饱和单轴抗压强度(Mpa)；K_v 为岩体完整性系数；σ_m 为围岩的最大主应力(MPa)，当无实测资料时可以自重应力代替。

表 4.3.6.8-6 水力发电地下洞室围岩详细分类标准表

围岩类别	I	II	III	IV	V
围岩总评分 T	>85	$85 \geq T > 65$	$65 \geq T > 45$	$45 \geq T > 25$	≤ 25
围岩强度应力比 S	>4	>4	>2	>2	-
围岩稳定性	稳定	基本稳定	局部稳定性差	不稳定	极不稳定

2) 国标 BQ 围岩分类

按《工程岩体分级标准》(GB50218-2014)进行地下洞室围岩分类。根据岩石饱和抗压强度(R_b)和岩体完整性系数(K_v)计算出岩体基本质量指标 BQ 值，计算公式：

$$BQ = 100 + 3R_b + 250K_v$$

然后考虑地下水、软弱结构面产状及地应力状态三种因素对 BQ 值加以修正。

3) 厂房平洞围岩分类

厂房平洞 PD101 主洞及支洞总长共 1051m，洞内围岩岩性以灰岩夹页岩为主，F1 断裂北侧为灰岩，f3 西侧为灰岩及页岩。

根据探洞内围岩的岩性、岩体风化程度、构造裂隙发育及地下水活动情况的不同，考虑到输水系统沿线的位置，将平洞划分为 A~C 等三个工程地质单元（图 4.3.6.8-1）。工程地质单元的划分的边界分别为断层 fp4、断层 fp21，总体受 NW、NE 向构造控制。

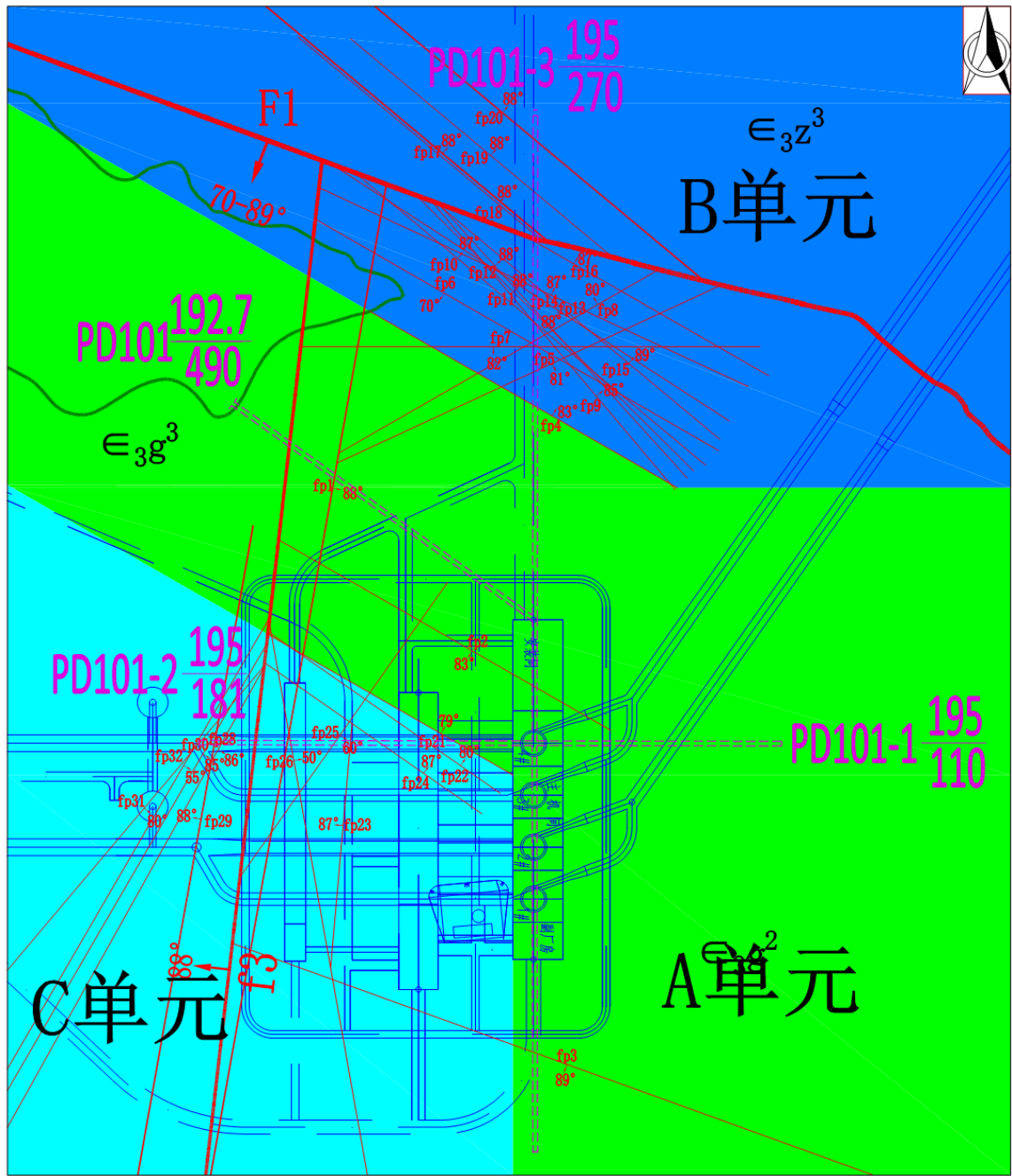


图 4.3.6.8-1 地下厂房平洞顶拱部位工程地质单元划分图（194m）

从断层 fp4 开始, 输水发电系统北侧的 NE 向断层发育, 发育大量的节理裂隙, 地下水活动中等, 开始出现滴水。从断层 fp21 开始, 输水发电系统东侧的 NE、NW 向断层发育, 发育大量的节理裂隙, 地下水活动中等, 开始出现滴水, 沿断层及裂隙岩溶较发育, fp28 断层处发育小溶洞, 溶洞洞径 10~40cm; fp29 断层处发育小溶洞, 溶洞大小约为长 2m×高 1m×宽 40cm。

PD011 平洞的围岩分类详见表 4.3.6.8-7。

表 4.3.6.8-7 平洞 PD101 及支洞围岩分类成果表

地质单元	桩号(km+m)	段长	围岩分类	围岩评分		围岩特征描述
				水电工程围岩分类法	修正值[BQ]	
A 单元	PD101 0+00~0+40	40	V	22	237.15	围岩围岩为寒武系上统崮山组第三段 (ϵ_3g^3), 岩性为灰岩及页岩, 岩质较软, 岩体以薄层~极薄层状结构为主。岩层倾角近水平, 发育断层 f3, 发育 12 条溶蚀裂隙, 发育三组裂隙, 共 31 条, 陡倾角为主。裂隙多为微张~张开, 充填岩屑、钙膜、泥质; 岩体较破碎, 局部有滴水、线状流水现象。
	PD101 0+40~0+70	30	IV	34	296.55	围岩为寒武系上统崮山组第二段 (ϵ_3g^2), 岩性为灰岩夹页岩岩体以碎裂结构为主。岩层倾角近水平, 发育断层 fp1, 发育 5 条溶蚀裂隙, 发育三组裂隙, 共 9 条, 陡倾角为主。裂隙多为微张~张开, 充填锈膜、钙膜、泥质; 岩体完整性差, 局部有滴水、渗水现象。
	PD101 0+70~0+490	420	III ₁ /III ₂	46	359.35	围岩为寒武系上统崮山组第二段 (ϵ_3g^2), 岩性为灰岩夹页岩, 岩质较坚硬, 岩体以中厚层状结构为主。岩层倾角近水平, 发育断层 fp2、fp3, 断层宽度 1~10cm, 发育 18 条溶蚀裂隙, 发育三组裂隙, 共 314 条, 陡倾角为主。裂隙多为闭合~微张, 充填钙膜; 岩体较完整, 局部有滴水、渗水现象。其中, 边墙为 III ₁ 类, 顶拱为 III ₂ 类。
	PD101-1 0+00~0+110	110	III ₁ /III ₂	46	359.35	围岩为寒武系上统崮山组第二段 (ϵ_3g^2), 岩性为灰岩夹页岩, 岩质较坚硬, 岩体以中厚层状结构为主。岩层倾角近水平, 发育三组裂隙, 共 108 条, 陡倾角为主。裂隙多为闭合~微张, 充填钙膜; 岩体较完整, 局部有滴水、渗水现象。其中, 边墙为 III ₁ 类, 顶拱为 III ₂ 类。
	PD101-2 0+00~0+40	40	III ₁ /III ₂	46	359.35	围岩为寒武系上统崮山组第二段 (ϵ_3g^2), 岩性为灰岩夹页岩, 岩质较坚硬, 岩体以中厚层状结构为主。岩层倾角近水平, 发育三组裂隙, 共 27 条, 陡倾角为主。裂隙多为闭合~微张, 充填钙膜; 岩体较完整, 局部有滴水、渗水现象。其中, 边墙为 III ₁ 类, 顶拱为 III ₂ 类。

地质单元	桩号(km+m)	段长	围岩分类	围岩评分		围岩特征描述
				水电工程围岩分类法	修正值[BQ]	
	PD101-3 0+00~0+105	105	III ₁ /III ₂	46	359.35	围岩为寒武系上统崮山组第二段(\in_3g^2), 岩性为灰岩夹页岩, 岩质较坚硬, 岩体以中厚层状结构为主。岩层倾角近水平, 发育4条溶蚀裂隙, 发育三组裂隙, 共119条, 陡倾角为主。裂隙多为闭合~微张, 充填钙膜; 岩体较完整, 局部有滴水、渗水现象。其中, 边墙为III ₁ 类, 顶拱为III ₂ 类。
B单元	PD101-3 0+105~0+195	90	IV	30	276.75	围岩为寒武系上统崮山组第二段(\in_3g^2), 岩性为灰岩夹页岩, 岩质较坚硬, 岩体以碎裂结构为主。岩层倾角近水平, 发育断层fp4~fp15, 共12条断层, 断层最大宽度8cm, 发育3条溶蚀裂隙, 发育三组裂隙, 共85条, 陡倾角为主。且该段受F1影响较大, 裂隙多为微张~张开, 充填锈膜、钙膜、泥质; 岩体完整性差, 局部有滴水、渗水现象。
	PD101-3 0+195~0+205	10	V	9	0	围岩为寒武系上统张夏组第三段(\in_3z^3)灰岩、寒武系上统崮山组第二段(\in_3g^2)灰岩夹页岩, 岩层倾角近水平, 发育F1断裂、f16、f17、f18断层, 发育三组裂隙, 共12条, 裂隙以陡倾角为主。发育F1断裂, 破碎带宽度2.8m, 主要由碎裂岩组成。岩体破碎, 局部有滴水、渗水现象。
	PD101-3 0+205~0+270	65	IV	32	109.35	围岩为寒武系上统张夏组第三段(\in_3z^3)灰岩, 岩质较坚硬, 岩体以中厚层状结构为主。岩层倾角近水平, 发育f19、f20断层, 断层最大宽度为30cm, 发育7条溶蚀裂隙, 发育三组裂隙, 共61条, 裂隙以陡倾角为主。且该段受F1影响较大, 裂隙多为微张~张开, 充填岩屑、钙膜; 岩体完整性差, 局部有滴水、渗水现象。
C单元	PD101-2 0+40~0+181	141	IV	30	68.20	围岩为寒武系上统崮山组第二段(\in_3g^2), 岩性为灰岩夹页岩岩体以碎裂结构为主。岩层倾角近水平, 发育断层fp21~fp32共12条断层, 其中fp29宽度0.5~1m, 其余断层最大宽度为10cm, 发育三组裂隙, 共117条, 陡倾角为主。裂隙多为微张~张开, 充填锈膜、钙膜、泥质; 岩体完整性差, 局部有滴水、渗水现象。

根据上述围岩分类结果, 将平洞 PD101 及其支洞各类岩体所占比例进行统计 (表 4.3.6.8-8), 结果显示, III类围岩长度 675m, 占 64.2%; IV类围岩长度 326m, 占 31.0%; V类围岩长度 50m, 占 4.8%, 平洞及其支洞围岩类别以III类为主。支洞 PD101-3 桩号 0+105 北侧和 PD101-2 桩号 0+40 东侧构造较发育, 地下水活动中等~强烈, 局部岩溶顺断层较为发育, 围岩以IV~V类为主。

表 4.3.6.8-8 平洞 PD101 及支洞围岩类别划分统计表

岩体类别	III	IV	V
------	-----	----	---

各类围岩长度 (m)	675	326	50
各类围岩占洞长的百分比%	64.2	31.0	4.8

(2) 输水发电系统围岩分类及物理力学参数建议值

输水系统隧洞一般埋深较大，隧洞围岩以微风化~新鲜岩体为主，仅上、下水库进/出水口段围岩由于埋深较浅，风化程度相对较强，一般为弱~微风化岩体。

输水系统隧洞围岩主要为寒武系上统崮山组 ($\epsilon_3 g$) 灰岩及页岩、灰岩夹页岩、张夏组 ($\epsilon_3 z$) 鲕粒灰岩、灰岩、灰岩夹页岩和寒武系中统馒头组 ($\epsilon_2 m$)，云泥岩、页岩、灰岩夹页岩。

1) 崮山组第一段、崮山组第三段灰岩及页岩

该层主要分布于引水隧洞调压井及闸门井一带。弱风化岩石饱和抗压强度平均值为 30.3MPa，微风化岩石饱和抗压强度平均值为 34.5MPa。

该层岩石物理力学性质较差，饱和抗压强度试验值较高，但仅代表较好岩样，因此，该层岩石饱和抗压强度应低于 30MPa，属于较软岩。

2) 崮山组第二段灰岩夹页岩

该层埋深较大，主要为微风化层，主要分布于引水隧洞上平段。微风化岩石饱和抗压强度平均值为 52.9MPa，物理力学性质较好，属于中硬岩。

3) 崮山组第四段灰岩夹页岩

该层主要分布于引水隧洞闸门井一带。

弱风化灰岩夹页岩饱和抗压强度平均值为 56.6MPa，微风化灰岩夹页岩饱和抗压强度平均值为 65MPa，物理力学性质较好，属于中硬岩~坚硬岩。

4) 张夏组第三段灰岩

该层厚度巨大，约为 158m，主要为微新岩体，主要分布于斜井中上部、地下厂房、尾水隧洞大部分。

弱风化岩石饱和抗压强度平均值为 45.3MPa，微风化岩石饱和抗压强度平均值为 46.75MPa，物理力学性质较好，属于中硬岩。

5) 张夏组第二段灰岩夹页岩

该层埋深较大，厚度较薄，仅 3m，分布于斜井段中部，岩性与崮山组第二段和第四段较为接近，属于中硬岩。

6) 张夏组第一段鲕粒灰岩

该层埋深较大，主要为微风化岩体，分布于斜井段中下部。微风化岩石饱和

抗压强度平均值为 57.8MPa，物理力学性质较好，属于中硬岩。

7) 馒头组第一段、第三段页岩

该层埋深较大，主要为微新岩体，分布于斜井段下部及部分引水隧洞。微新岩石饱和抗压强度平均值为 11.22MPa，物理力学性质差，遇水后力学性质急剧下降，属于软岩。

8) 馒头组第二段灰岩夹页岩

该层埋深较大，厚度较薄，仅 10m，分布于斜井段下部，岩性与崮山组第二段和第四段较为接近，属于中硬岩。

9) 馒头组第四段云泥岩

该层埋深较大，厚度较薄，仅 10m，分布于斜井段下部，均为微新岩体。微风化岩石饱和抗压强度平均值为 62.5MPa，物理力学性质较好，属于坚硬岩。

地下洞室围岩分类是评价洞室围岩稳定及确定围岩支护参数的重要手段。依据《水力发电工程地质勘察规范》附录 L,并参考平洞 PD101 围岩分类成果，对输水系统围岩进行初步分类，主要考虑因素包括岩石强度、岩体完整性、结构面状态、地下水以及结构面走向与洞轴线夹角等因素，围岩类型评定标准见表 4.3.6.8-9。

表 4.3.6.8-9 地下洞室围岩分类标准表

围岩类别	III		IV	V
	III ₁	III ₂		
	边墙及端墙	顶拱		
地层	崮山组第二段、崮山组第四段、崮山组第五段、张夏组、馒头组第二段、馒头组第四段		崮山组第一段、崮山组第三段、馒头组第一段、馒头组第三段	
岩体特征	弱风化~微新灰岩、云泥岩，中厚层~厚层构造，局部有地下水活动，节理较发育，岩体较完整。		弱风化~微新灰岩及薄层~极薄层页岩、微新页岩，上覆岩体厚度较小，构造发育，岩体较破碎，地下水活动中等，	强风化页岩、全风化岩体、断层破碎带、节理密集带及覆盖层，上覆岩体厚度小，岩体破碎，地下水活动中等~强烈。
围岩稳定性	局部稳定性差		不稳定	极不稳定

4.3.6.9岩石（体）物理力学性质及参数建议值

根据室内室内学试验成果，综合类比同类工程，提出岩石（体）物理力学参数建议值见表 4.3.6.9-1、4.3.6.9-2，结构面力学参数建议值见表 4.3.6.9-3，开挖边坡坡比建议值见表 4.3.6.9-4。

表 4.3.6.9-1 坝基岩体物理力学参数建议值表

项 目 岩体分类			III	IV	V
			灰岩、灰岩夹页岩	灰岩及页岩	强风化灰岩及页岩、断层、节理密集带等
			弱~微风化	弱~微风化	
比重			2.69~2.74	2.70~2.73	2.65~2.70
密度	干	g/cm ³	2.65~2.70	2.60~2.61	2.0
	饱和		2.65~2.71	2.69~2.70	2.10
抗压强度	干	MPa	50~90	30~70	-
	饱和		30~55	10~35	-
抗剪断	摩擦系数		0.7~1.0	0.55~0.80	0.40~0.55
	凝聚力	MPa	0.6~0.9	0.30~0.70	0.05~0.3
抗剪	摩擦系数		0.5~0.65	0.45~0.60	0.35~0.45
	凝聚力	MPa	0	0	0
变形模量		GPa	4~8	2~4	-
软化系数			0.5~0.7	0.3~0.5	-
冻融系数			0.7~0.9	0.7~0.8	-
泊松比			0.25~0.30	0.30~0.35	-
地基承载力		MPa	2~5	0.8~2.0	0.4~0.8

表 4.3.6.9-2 地下洞室围岩物理力学指标建议值

围岩类别	密度		冻融系数	饱和吸水率	渗透系数	饱和抗拉强度	饱和抗压强度 Rb	弹性模量 E _e	变形模量 E ₀	泊松比	岩体抗剪断强度		坚固性系数 f _k	单位弹性抗力系数 K ₀
	干	饱和									f'	C'		
	g/cm ³										MPa			
III ₁	2.70	2.71	0.7~0.9	0.1~0.8	2×10 ⁻⁵ ~8×10 ⁻⁵	2.0~2.5	30~55	6~12	4~8	0.25~0.30	0.7~1.0	0.6~1.0	2~5	20~40
III ₂	2.70	2.71	0.7~0.9	0.1~0.8	2×10 ⁻⁵ ~8×10 ⁻⁵	2.0~2.2	30~55	6~9	4~6	0.30	0.7~0.85	0.6~0.8	2	20
IV	2.61	2.69	0.7~0.8	1.1	2×10 ⁻⁴ ~8×10 ⁻⁴	-	5~30	3~6	2~4	0.30~0.35	0.55~0.70	0.3~0.6	1~2	5~20
V	2.0	2.10	-	1.2	2×10 ⁻³ ~8×10 ⁻³	-	<5	-	-	>0.35	0.40~0.55	0.05~0.3	≤1	≤5

注：由于地层为近水平岩层，一般地下洞室边墙及端墙为Ⅲ₁类，顶拱为Ⅲ₂类。

表 4.3.6.9-3 结构面力学参数建议值表

结构面类型	抗剪断强度		抗剪强度	
	f'	c' (MPa)	f	c (MPa)
无充填结构面	0.65~0.50	0.10~0.05	0.65~0.55	0
岩块岩屑型	0.55~0.45	0.20~0.10	0.50~0.40	0
岩屑夹泥型	0.35~0.45	0.10~0.05	0.40~0.30	0
泥夹岩屑型	0.35~0.25	0.05~0.01	0.30~0.25	0

表 4.3.6.9-4 工程区人工开挖边坡坡比建议值

岩、土名称		岩土性质	永久边坡		临时边坡	
			水上	水下	水上	水下
碎石土			1:1.5~1:1.75	1:1.75~1:2	1:1.25~1:1.5	1:1.5~1:1.75
崮山组第一段、 崮山组第三段	灰岩及 页岩	强风化	1:0.75~1:1	1:1~1:1.25	1:0.75	1:1
		弱风化~ 微新	1:0.5~1:0.75	1:0.75~1:1	1:0.5	1:0.75
崮山组第二段、 崮山组第四段、 崮山组第五段、 张夏组第三段、 张夏组第一段	灰岩、 灰岩夹 页岩	弱风化	1:0.75~1:0.5	1:1~1:0.75	1:0.5	1:0.75
		微新	1:0.5	1:0.75	1:0.3~1:0.5	1:0.5~1:0.75

4.4上水库（坝）工程地质条件

4.4.1上水库库址及坝型比选

4.4.1.1库址比选

上水库选择了两个库址进行比选：方案一上水库（石门沟库址）利用石门村东北侧的石门沟沟脑地形，在沟内筑坝围成库盆；方案二上水库（行岭沟库址）位于石门村下游，利用行岭沟两侧山体筑坝围成库盆，两方案对应不同的输水系统和地下厂房系统（图 4.4-1）。预可研阶段方案一为推荐方案，可研阶段对库址进行了复核。

（1）方案一上水库（石门沟库址）：库内东、北、西三面环山，大坝修筑于西南侧，采用沥青混凝土面板堆石坝。上水库正常蓄水位 370.00m，死水位 342.00m。坝顶高程 373.0m，坝顶长 588m，坝轴线处最大坝高 115m，上游坝坡 1:1.75，下游坝坡 1:1.5。

（2）方案二上水库（行岭沟库址）：库内东、北、南三面环山，大坝修筑于村庄下游，采用钢筋混凝土面板堆石坝，水库正常蓄水位 305m，死水位 285m，堆石坝坝顶高程 308.00m，坝顶长 685.0m，坝轴线处最大坝高 90m，上游坝坡 1:1.4，下游坝坡 1:1.5。

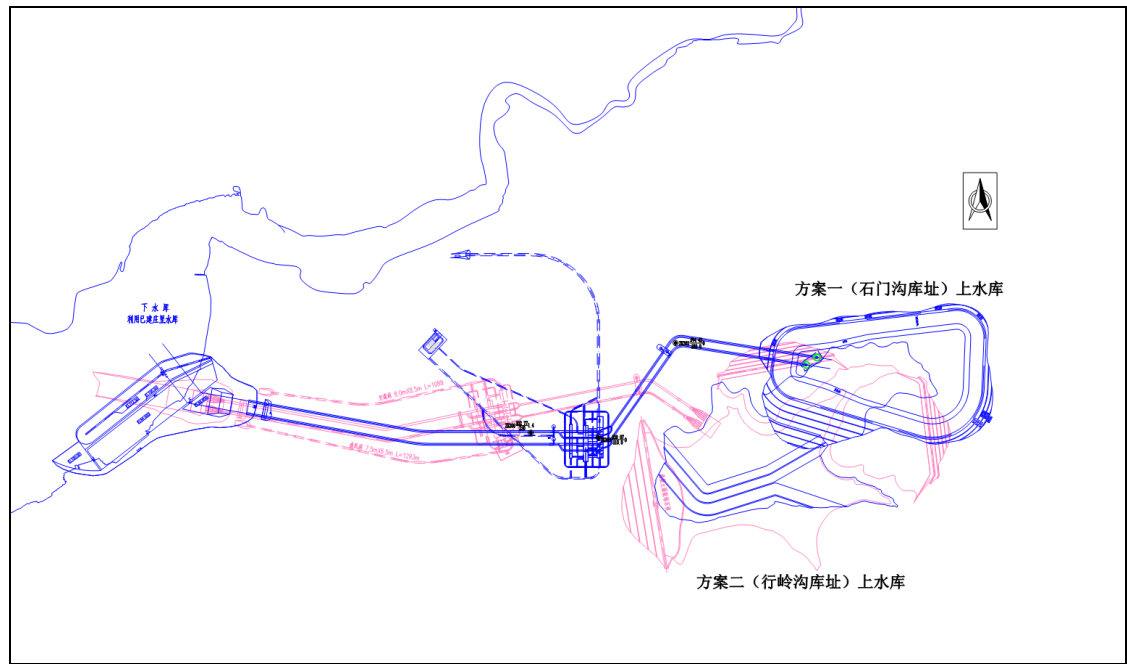


图 4.4-1 上水库各方案布置示意图

方案一石门沟上水库和方案二行岭沟上水库工程地质条件对比见表 4.4.1-1，

由表可见，方案一上水库正常蓄水位为 370m，可利用水头较高，库坝布置避开了 F1 断裂的影响；在正常蓄水位时谷宽 549m，宽度相对较小；环库分水岭地下水位埋深均低于正常蓄水位，需要采用全库盆防渗方案。方案二上水库可利用水头较低，库内发育 F1 断裂，地质构造条件较复杂；环库分水岭地下水位埋深多高于正常蓄水位，仅垭口部位低于正常蓄水位；在正常蓄水位时谷宽 632m，宽度相对较大。因此，从工程地质条件考虑，两个方案基本相当，各有优劣。

表 4.4.1-1 上水库工程地质条件对比表

条件		方案一石门沟上水库	方案二行岭沟上水库	工程地质条件比较
库区	正常蓄水位	正常蓄水位为 370m	正常蓄水位为 305m	方案一优
	地形地貌	位于石门村上游支沟内，三面环山，山坡坡度 10~30°，地表植被发育较少。环库分水岭存在 3 个垭口，山体较单薄。	位于石门村所在的行岭沟内，三面环山，山坡坡度 10~30°，地表植被发育较少。环库分水岭存在 2 个垭口，山体总体较雄厚。	方案二较优
	地层岩性	工程区地层主要有寒武系上统崮山组 (ϵ_{3g})、张夏组 (ϵ_{3z}) 和第四系 (Q_4) 地层。	工程区地层主要有寒武系上统崮山组 (ϵ_{3g})、张夏组 (ϵ_{3z}) 和第四系 (Q_4) 地层。	基本一致
	地质构造	库内无大规模断层发育，主要发育三组 NE、NW、NNE 向陡倾角裂隙。	库址内发育 F1 区域断裂，主要发育三组 NE、NW、NNE 向陡倾角裂隙。	方案一优
	水文地质条件	岩体透水率以弱~微透水为主。环库分水岭地下水埋深 52m~72m，低于正常蓄水位 42.8m~51.78m。	岩体透水率以弱~微透水为主。环库分水岭地下水埋深 60m~78m，除垭口部位低于正常蓄水位以外，其余部位地下水位均高于正常蓄水位。	方案二优
	物理地质现象	库区未发现崩塌、滑坡及泥石流等现象，卸荷发育较少，岩溶弱发育，物理地质现象以岩体风化为主。	库区未发现崩塌、滑坡及泥石流等现象，卸荷发育较少，岩溶弱发育，物理地质现象以岩体风化为主。	基本一致
坝址	主要工程地质问题	环库分水岭地下水位均低于正常蓄水位，需要采用全库防渗方案。	库周分水岭 1#垭口、2#垭口以及右坝肩北侧约 100m 处 F1 断裂通过部位，地下水低于正常蓄水位，存在水库渗漏问题，需要进行防渗；库周分水岭其余部位山体雄厚，无库水渗漏问题。库内有 B1、B2 两处开挖边坡，需要进行支护。	方案二较优
	地形地貌	山坡坡度 10~30°，在正常蓄水位高程 370m 处谷宽 549m。	山坡坡度 10~30°，在正常蓄水位高程 305m 处谷宽 632m。	在正常蓄水位时，方案一较方案二短 83m，方案一较优
	地层岩性	工程区地层主要有寒武系上统崮山组 (ϵ_{3g})、张夏组 (ϵ_{3z})	工程区地层主要有寒武系上统崮山组 (ϵ_{3g})、张夏组 (ϵ_{3z})	基本一致

条件		方案一石门沟上水库	方案二行岭沟上水库	工程地质条件比较
		和第四系（Q ₄ ）地层，覆盖层厚度一般<3m。	和第四系（Q ₄ ）地层，覆盖层厚度一般<3m。	
	地质构造	坝址区内无断层发育，主要发育 NE、NW 及 NNE 向陡倾角裂隙。	F1 断裂在坝址右坝肩北侧约 100m 处通过，主要发育 NE、NW 及 NNE 向陡倾角裂隙。	方案一较优
	水文地质条件	地下水形式主要为孔隙水和基岩裂隙水，岩体透水率以弱~微为主。	地下水形式主要为孔隙水和基岩裂隙水，岩体透水率以弱~微为主。	基本一致
	物理地质现象	无崩塌、泥石流、滑坡等，岩溶发育较弱，无全强风化岩体，弱风化带埋深 16m~45m。	无崩塌、泥石流、滑坡等，岩溶发育较弱，无全强风化岩体，弱风化带埋深 7.1m~36.2m	基本一致
	主要工程地质问题	主要为坝基渗漏和绕坝渗漏问题。	主要为坝基渗漏和绕坝渗漏问题，F1 断裂在坝址右坝肩北侧约 100m 处通过，需要进行专门防渗处理。	方案一较优
从工程地质条件考虑，两个方案基本相当，各有优劣。				

从工程地质条件分析，两方案基本相当，各有优劣。2023 年 1 月 11 日至 12 日，中国水利水电建设工程咨询有限公司在枣庄主持召开了山东枣庄山亭抽水蓄能电站可行性研究阶段枢纽布置格局研究专题报告咨询会议。会议认为石门沟库址需采用全库盆防渗但额定水头较行岭沟库址高 65m，引水和尾水隧洞洞径、距高比较小，机电及金属结构工程投资较低，土石方平衡较优，工程总投资较省。

因此，综合各专业比较成果，本阶段选定方案一（石门沟库址方案）为上水库库址方案。

4.4.1.2 防渗形式比选

根据调节库容要求，上水库采用开挖和筑坝方式兴建，利用库盆开挖石料填筑坝体。初拟坝址选在沟口相对较窄处，在库盆南侧沟口布置堆石。

上水库采用石门沟库址，大坝均采用堆石坝。

根据水工比选方案，仅对上水库的防渗型式进行了比选。在进行上水库防渗方案拟定时，选择了以下三种防渗形式比选方案：方案一：全库盆沥青混凝土面板防渗；方案二：全库盆钢筋混凝土面板防渗；方案三：库岸钢筋混凝土面板+库底土工膜防渗。

上水库面板及大坝基础主要为寒武系上统崮山组（ $\in 3g$ ）灰岩夹页岩、张夏组（ $\in 3z$ ）灰岩，以弱~微风化为主，未见大规模断层通过，构造以节理裂隙为主，岩溶弱发育，工程地质条件较好，对三种方案均有良好的适应性。

4.4.2 上水库库区工程地质条件

石门沟上水库位于石门村东北侧的石门沟沟脑处，在沟内筑坝围成库盆建库。大坝修筑于库区西南侧，采用沥青混凝土面板堆石坝。上水库正常蓄水位 370.00m，死水位 342.00m。坝顶高程 373.0m，坝顶长 588m，坝轴线处最大坝高 115m，上游坝坡 1:1.75，下游坝坡 1:1.5。

4.4.2.1 基本地质条件

4.4.2.1.1 地形地貌

上水库库内东、北、西三面环山，在西南方向拦沟筑坝，库型为近椭圆型。库内植被主要为松树、低矮灌木以及人工种植花椒树。沟谷发育方向为 SW240° 左右，沟内一般无流水，库内沟底高程 260m~290m，相对高差约 30m，平均纵坡降为 7.3%。库盆内外未见泉水出露。库内山体坡度一般为 10~30°，局部为陡壁，库内发育 3 条支沟，切割较浅，规模较小。在正常蓄水位 370m 处沟谷宽 490m~640m，坝轴线部位谷宽 549m（图 4.4.2-1）。



图 4.4.2-1 上水库地貌特征图

库岸主要由 4 个山包及 3 个垭口围成（图 4.5.1-2），库周长度约 2460m。山包分布于库区西侧、北侧、东侧及东南侧，山顶高程分别为 418m（AB）、406m（CD）、412m（EF）、436m（GH）。垭口分布于库区东侧及北侧，其中，1#垭口位于库区北侧（BC），地表高程 380~384m，长度为 150m；2#垭口位于库区东侧（DE），地表高程为 388~390m，垭口长度为 389m；3#垭口位于库区东侧（FG），地表高程为 402~404m，垭口长度为 155m（表 4.4.2-1）。

上水库三面环山，天然地形条件良好，正常蓄水位高程山体雄厚，为筑坝建库提供了良好的地形条件。

表 4.4.2-1 上水库库周分水岭垭口特征

垭口编号	最低高程 (m)	正常蓄水位山体最小宽度 (m)	垭口宽度 (m)
1#垭口	380	68.1	150
2#垭口	388	93	389
3#垭口	402	238.6	155

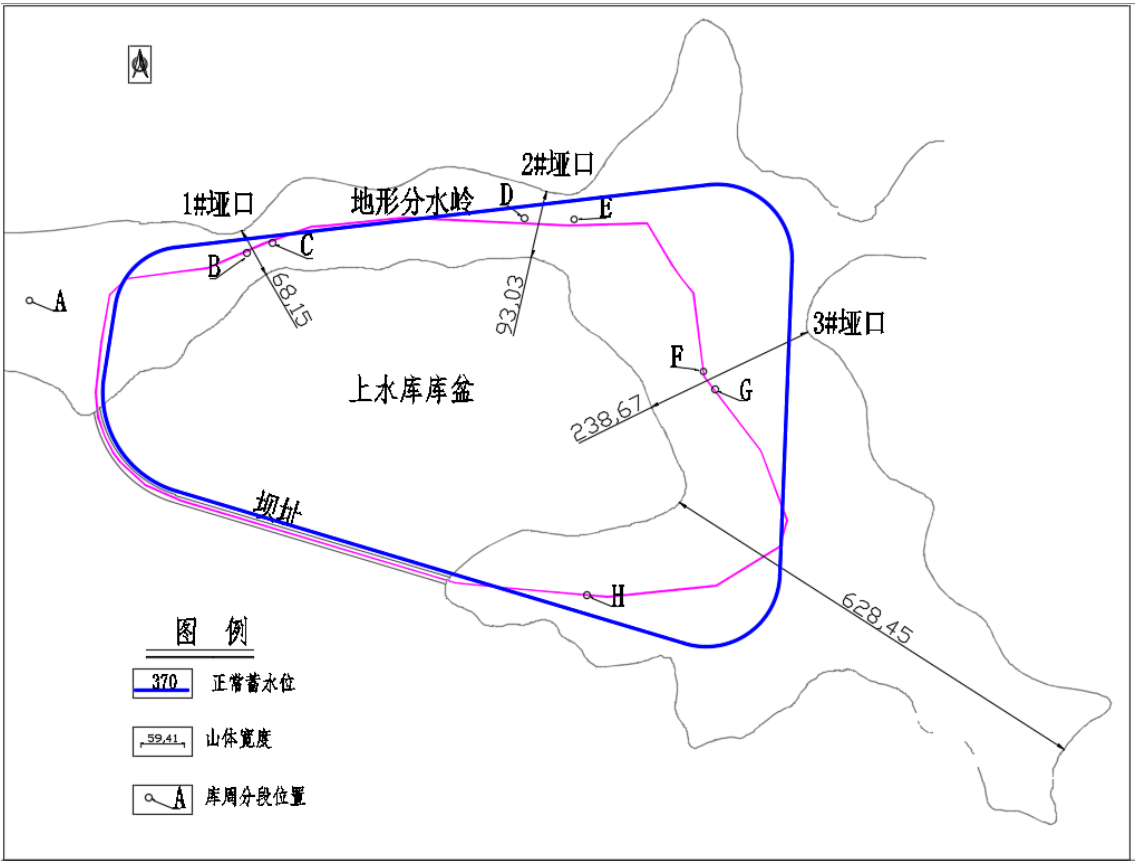


图 4.4.2-2 上水库正常蓄水位高程平切图

4.4.2.1.2 地层岩性

库区地层主要有寒武系上统崮山组 (\in_3g)、张夏组 (\in_3z) 和第四系 (Q_4) 地层。地层由老到新分述如下:

(1) 寒武系上统张夏组 (\in_3z)

该层由下至上分为三段。

第一段 (\in_3z^1): 岩性为鲕粒灰岩, 灰黑色, 鲕粒构造, 厚层~块状构造, 局部层厚大于 1m, 矿物成分以方解石为主, 岩质坚硬, 锤击声清脆。

第二段 (\in_3z^2): 岩性为灰岩及页岩, 灰黑色, 灰岩占比 70%~80%, 页岩占比 20%~30%; 灰岩呈灰黑色, 微晶结构, 薄层~极薄层构造, 层厚为 5~10mm, 矿物成分以方解石, 岩质坚硬; 页岩呈黑色, 泥质结构, 极薄层状构造, 层厚为 1~10mm, 局部可达 2cm, 岩质软弱, 手掰可断。

第三段 (\in_3z^3): 岩性为灰岩, 灰黑色, 微晶结构, 厚层状构造, 层厚一般为 0.5~1m, 矿物成分主要为方解石, 锤击声清脆, 岩质坚硬; 层内可见少量页岩纹理, 纹理厚度一般 0.1~0.5mm; 灰岩占比约为 99%, 其余为少量纹理状页岩。

(2) 寒武系上统崮山组 (\in_3g)

该层由下至上分为五段。

第一段 (\in_3g^1): 岩性为灰岩及页岩, 灰岩呈灰黑色, 微晶结构, 薄层~极薄层构造, 层厚一般为 5~10mm, 局部可达 10cm, 矿物成分主要为方解石, 岩质坚硬; 页岩呈条带状产出, 黑色, 泥质结构, 极薄层状构造, 层厚一般 1~10mm, 局部少量可达 2cm, 岩质软弱, 手掰可断; 灰岩占比 50%~60%, 页岩占比 40%~50%, 局部可见紫红色竹叶状灰岩。

第二段 (\in_3g^2): 岩性为灰岩夹页岩, 灰黑色, 灰岩呈灰黑色, 微晶结构, 中厚层状构造, 层厚一般为 4~50cm, 矿物成分主要为方解石, 锤击声清脆, 岩质坚硬; 页岩呈条带状及纹理状产出, 泥质结构, 极薄层状构造, 层厚一般为 1~5mm, 纹理厚度一般为 0.1~2mm; 灰岩占比约为 80%~90%, 页岩占比约为 10%~20%。该层顶板高程约为 358m, 层厚约为 38.7m。

第三段 (\in_3g^3): 岩性为灰岩及页岩, 灰岩呈灰黑色, 微晶结构, 薄层~极薄层构造, 层厚为 5~10mm, 局部可达 10cm, 矿物成分主要为方解石, 岩质坚硬; 页岩呈黑色, 泥质结构, 极薄层状构造, 层厚 1~10mm, 局部少量可达 20mm, 岩质较软, 手掰可断, 局部可见紫红色竹叶状灰岩; 灰岩占比 50%~60%, 页岩占比

40%~50%。该层顶板高程为 348~384m，底板高程为 330~367m，平均层厚约为 23.3m。

第四段 ($\in_3 g^4$): 岩性为灰岩夹页岩, 灰岩呈灰黑色, 微晶结构, 中厚层状构造, 主要矿物成分为方解石, 岩质坚硬, 锤击声清脆; 页岩呈黑色, 泥质结构, 极薄层状构造, 层厚一般为 1~5mm, 岩质较软, 手掰可断, 锤击声哑; 灰岩占比约为 80%~90%, 页岩占比约为 10%~20%。该层顶板高程约为 409m, 底板高程为 361~384m, 平均层厚约为 35.4m。

第五段 ($\in_3 g^5$): 岩性为灰岩夹页岩, 灰岩呈灰黑色, 微晶结构, 薄层~中厚层状构造, 主要矿物成分为方解石, 岩质坚硬, 锤击声清脆; 页岩呈黑色, 泥质结构, 极薄层状构造, 层厚一般为 1~5mm, 岩质较软, 手掰可断, 锤击声哑; 灰岩占比约为 60%~70%, 页岩占比约为 30%~40%。该层底板高程约为 409m, 层厚大于 26m。

(3) 第四系 (Q_4)

第四系地层 (Q_4) 主要为崩坡积层 (Q_4^{col+dl}) 及洪坡积层 (Q_4^{pl+dl}), 分布于山坡表部及山谷底部。

崩坡积层 (Q_4^{col+dl}) 主要分布于边坡表面及坡脚, 厚度不大, 主要由碎石土组成, 厚度一般小于 1m。

洪坡积层 (Q_4^{pl+dl}) 主要分布于冲沟沟底, 厚度不大, 主要由碎石土组成, 厚度一般小于 3m。

4.4.2.1.3 地质构造

上水库区地层为沉积岩, 为近水平岩层, 岩层产状主要为 $NW290^\circ \sim 310^\circ NE \angle 1^\circ \sim 7^\circ$, 局部大于 7° 。

上水库区未见断层发育, 地质构造主要表现为节理裂隙。

上水库节理裂隙主要发育四组, 走向以 NE、NW 向为主, 均为陡倾角, 缓倾角裂隙不发育, 四组裂隙发育特征为:

① $NE40^\circ \sim 60^\circ NW \angle 64^\circ \sim 88^\circ$, 裂隙面起伏、粗糙, 闭合~微张, 无充填或充填岩屑, 间距 30cm~80cm, 延伸 5m~8m;

② $NW290^\circ \sim 330^\circ SW \angle 72^\circ \sim 88^\circ$, 裂隙面起伏、粗糙, 闭合~微张, 无充填或充填岩屑, 间距 50cm~100cm, 延伸 3m~5m。

③ $NE1^\circ \sim 20^\circ NW \angle 80^\circ \sim 89^\circ$, 裂隙面起伏、粗糙, 闭合~微张, 无充填或

充填岩屑，间距 50cm~100cm，延伸 1m~3m。

④NW290°~310°NE∠1°~7°，裂隙面起伏、粗糙，闭合~微张，无充填或充填岩屑，该组裂隙为层面裂隙，工程区发育。

以上四组节理，①、②、④组较发育，③组次之。

4.4.2.1.4 水文地质条件

上水库库盆三面环山，库内沟底一般无流水，仅在降雨时有少量径流。

工程区地下水主要为第四系孔隙潜水和基岩裂隙水。第四系孔隙潜水主要赋存于第四系松散堆积物中，接受大气降水的补给，以潜流或地表径流的排泄。基岩裂隙水主要赋存于岩体内的裂隙中，接受第四系孔隙潜水大气降水的补给，以潜流的形式排泄。

基岩裂隙水主要赋存于弱风化以下岩体内的裂隙中，接受大气降水的补给。

在上水库区布置了 9 个地下水位长期观测孔。全年最低水位一般出现在 2~3 月，最高水位一般出现在 8~10 月。具体情况见表 4.4.2-1。

表 4.4.2-2 上水库区钻孔地下水位观测资料统计表

工程分区	位置	钻孔编号	孔深(m)	孔口高程(m)	最大埋深(m)	最小埋深(m)	最低水位高程(m)	最高水位高程(m)	最大变幅(m)	观测次数	与正常蓄水位关系(m)
方案一上水库	坝址	ZK101	70	372.21	49.8	40.7	331.3	322.2	9.1	10	-38.7
		ZK107	70	377.4	68	52	310	326	16	10	-60
	环库分水岭	ZK108	80	385.4	58.2	47.3	337.7	326.8	10.9	21	-32.3
		ZK109	80	389.72	71.5	69.0	318.5	321	2.5	17	-51.5
		ZK110	80	404.58	29.5	17.1	375.5	387.9	12.4	18	+5.5
		ZK111	100	434.98	24.3	7.1	410.7	427.9	17.2	14	+40.7
		ZK406	70	395.25	18.4	7.5	379.6	390.5	10.9	9	+9.6
		ZK418	70	314.67	49.5	47.9	352.5	354.13	1.6	5	-17.5

表中资料表明，工程区地下水埋深较大，地下水位总体上随地势的升高而抬高。

上水库库周分水岭的地下水位埋深在 58m~72m，最低水位高程为 318m~327m。地下水位变幅一般在 2.5m~17.2m 之间。

根据上水库钻孔的压水试验资料统计表明（见表 4.4.2-3），无透水率 $q < 1\text{Lu}$ 的试验段；透水率 $1 \leq q < 10\text{Lu}$ 占总压水试验段的 97.4%，为弱透水岩体；透水率 $q > 10\text{Lu}$ 占总压水试验段的 2.6%，为中等透水岩体。

表 4.4.2-3 上水库区钻孔地下水压水试验资料统计表

岩体透水性分级			微 透 水	弱 透 水	中等透水
透水率(Lu)			0.10~1.00	1.00~10.00	10~100
风 化 程 度	强 风 化	区间值		1.76~2.46	
		平均值		2.1	
		段数		3	
		占总段数百分比(%)		2.6	
	弱 风 化	区间值		1.6~9.33	14.6~17.6
		平均值		3.5	16.1
		段数		37	2
		占总段数百分比(%)		31.9	1.7
	微 风 化	区间值		1.26~9.6	12.6
		平均值		2.34	12.6
		段数		73	1
		占总段数百分比(%)		62.9	0.9

结果表明，基岩岩体的透水性以弱透水为主，局部有少量中等透水。

根据《水力发电工程地质勘察规范》GB50287-2016 环境水对混凝土腐蚀性评价标准，上水库进出水口地下水对普通水泥有硫酸盐型强腐蚀性，对抗硫酸盐水泥无腐蚀性。上水库其余部位地下水对混凝土无腐蚀性。

4.4.2.1.5 物理地质现象

上水库库区两岸山坡坡度较陡，基岩露头较好，地表覆盖层零星发育，厚度较小，一般小于 1m。

库区未发现崩塌、滑坡及泥石流等现象；卸荷发育较少，分布范围较小；岩溶现象发育较弱；库区物理地质现象以岩体风化为主。根据钻孔和地表测绘资料，不同工程部位的岩体风化深度差异较大。

库区岩性主要为灰岩和页岩，其中，灰岩风化以化学风化作用为主，地表出露基岩主要为弱风化岩体；页岩风化以物理风化为主，地表局部有全强风化岩体出露，主要分布于崮山组第三段及第一段，其余地层未见发育。工程区各风化带的特征如下：

全风化带主要分布于崮山组第三段及第一段，沿层理呈带状分布，厚度一般 1~5m。岩体为灰岩及页岩，页岩呈条带状产出，其中，灰岩呈弱风化状态，页岩呈全风化状态，土黄色。

强风化带主要分布于崮山组第三段及第一段，沿层理呈带状分布，厚度一般2~5m，局部厚度较大，在上水库北侧垭口、ZK108 钻孔部位揭露厚度为28m。岩体为灰岩及页岩，页岩呈条带状产出，其中，灰岩呈弱风化状态，页岩呈强风化状态，黄褐色。

弱风化带厚度16m~45m，一般在裂隙面可见锈膜、泥膜，远离裂隙面部位的岩石变新鲜。

根据岩溶发育分级标准，上水库钻孔遇洞率、钻孔岩溶率、地表岩溶发育程度及面溶蚀率等均较低，库区岩溶发育程度分级为弱发育。

4.4.2.2 库区主要工程地质问题及评价

上水库库区范围内覆盖层较薄，植被较发育，库内无基本农田，不存在库区浸没问题。库岸地形较陡，节理裂隙以缓倾角层面及陡倾角裂隙为主，天然条件下，库岸边坡稳定性较好。库区沟内一般无地表径流。因此，上水库库区主要工程地质问题是库区渗漏、库岸开挖边坡的稳定及库盆防渗面板地基稳定问题。

4.4.2.2.1 水库渗漏问题

上水库三面环山，库区未发现有切穿山体连通库内外的大规模地质构造发育，岩石主要为寒武系上统崮山组灰岩与页岩，岩体以弱透水为主，岩溶总体发育较弱，未见大规模溶洞及地下暗河等，但坝轴线部位局部有溶洞发育，考虑到岩溶发育的不确定性，不能完全排除库底垂直渗漏问题。同时，库区为近水平岩层，存在水平渗漏问题。

(1) 库周渗漏问题

上水库库区东南侧山体雄厚，西侧、北侧与东北侧山体相对较单薄，库周共分布有3个垭口。库周地下水分水岭和地形分水岭形态相似，地下水位埋深为57m~72m，最低水位高程为318m~327m，均低于水库正常蓄水位。

上水库库周分水岭长度为2460m，主要包括4个山包和3个垭口，其中，AB段、CD段、EF段与GH段为山包，BC段为1#垭口，DE段为2#垭口，FG段为3#垭口，详见图4.4.2-3。

库周分水岭渗透剖面图见图4.4.2-4。

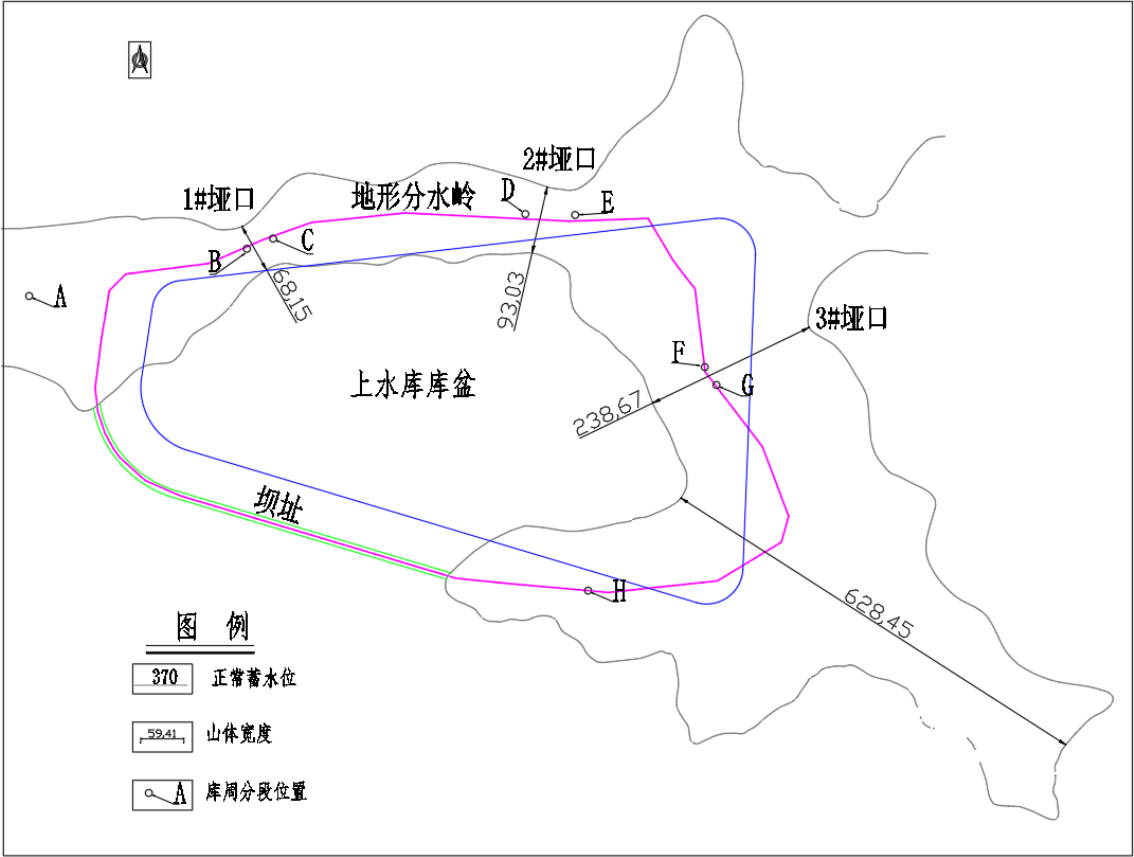


图 4.4.2-3 上水库正常蓄水位高程平切图

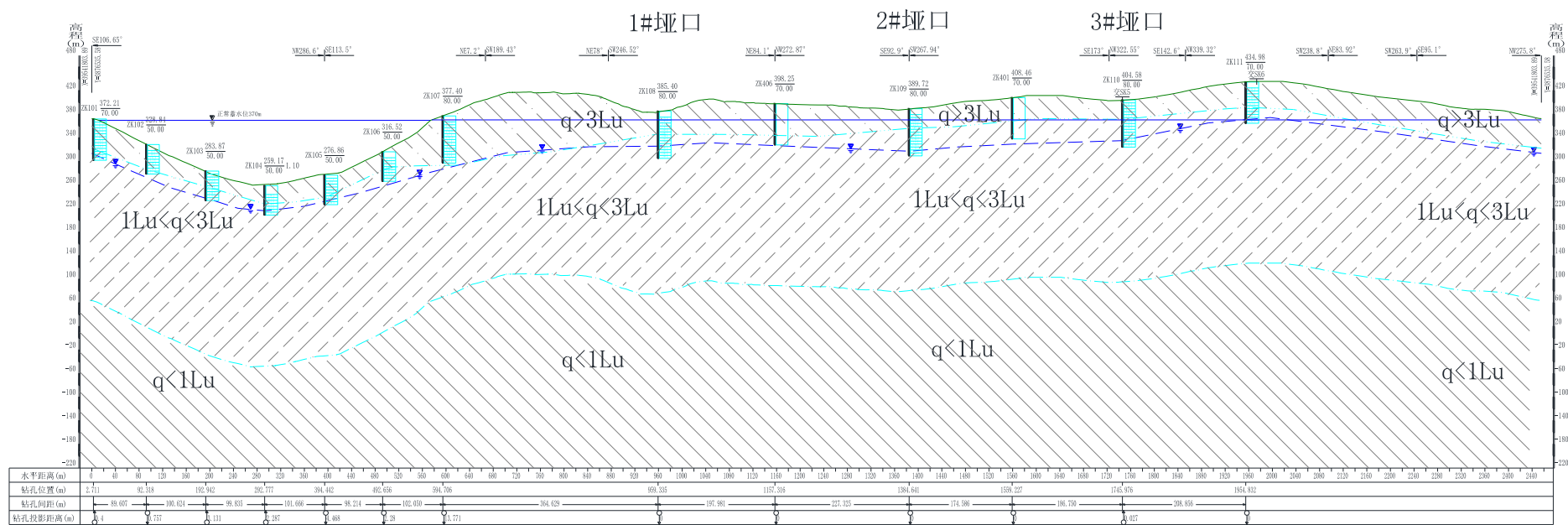


图 4.4.2-4 石门沟上水库库周分水岭岩体渗透剖面图

① 1#坝口（BC 段）

位于库区北岸的库尾处，长约 150m，地表高程 380~384m，在正常蓄水位 370m 时，分水岭山体最小厚度为 68.1m。无较大断层通过。

根据钻孔 ZK108 地下水位资料，1#坝口分水岭地下水位最大埋深为 58.2m，高程为 327.2m，低于正常蓄水位 42.8m。

根据钻孔压水资料，1#坝口部位透水率 $q>3lu$ 的岩体埋深为 35~65m，高程为 334~346m；透水率 $q>1lu$ 的岩体埋深为 300~320m，高程为 80~100m，埋深较大。

因此，1#坝口一带存在库岸渗漏问题。

② 2#坝口（DE 段）

位于库区北岸，地表高程为 388~390m，坝口长度为 389m，在正常蓄水位 370m 时，分水岭山体最小厚度为 93m。无较大断层通过。

根据钻孔 ZK109 地下水位资料，2#坝口分水岭地下水位埋深为 71.5m，高程为 318.22m，低于正常蓄水位 51.78m。

根据钻孔压水资料，2#坝口部位透水率 $q>3lu$ 的岩体埋深为 30~50m，高程为 345~358m；透水率 $q>1lu$ 的岩体埋深为 300~310m，高程为 80~90m，埋深较大。

因此，2#坝口存在库岸渗漏问题。

③ 3#坝口（FG 段）

位于库区东岸，长约 155m，地表高程 402~404m，在正常蓄水位 370m 时，分水岭山体最小厚度为 238.6m。无较大断层通过。

根据钻孔 ZK110 地下水位资料，3#坝口分水岭地下水位埋深为 25.5m，高程为 359.58m，低于正常蓄水位 10.42m。由于上水库基岩透水率微弱，本阶段施工完的 ZK110 钻孔受施工用水影响，观测时间距离竣工时间较近，导致地下水位变化频繁。根据表 4.4.2-4，从 ZK110 钻孔地下水位观测资料亦可看出，从枯水期的 2022 年 2 月份到丰水期的 2022 年 8 月份，钻孔地下水位越来越深，说明钻孔地下水位受尚在受施工用水影响；从 2022 年 9 月份至 2023 年 2 月份，水位骤然上升后，推测可能受雨季降水影响，水位抬高，之后枯水期来临，地下水位继续下降，预计未来钻孔地下水位将继续下降。

表 4.4.2-4 上水库库区分水岭垭口钻孔地下水位观测资料统计表

观测日期	ZK110 钻孔地下水位埋深 (m)	备注
2022.1.12	17.14	
2022.1.30	17.15	
2022.2.15	17.2	
2022.2.26	18.0	
2022.3.6	18.6	
2022.3.18	19.75	
2022.4.12	21.9	
2022.4.27	23.5	
2022.5.20	25.5	
2022.6.20	36.5	
2022.8.10	45.0	高程为 359.58, 低于正常蓄水位 10.42m。
2022.9.14	17.1	
2022.10.9	19.8	
2022.11.20	18.6	
2023.2.10	29.5	

根据 ZK108 及 ZK109 钻孔资料, 分水岭地下水位埋深为 57~72m, ZK110 的孔口高程为 404.58m, 推测 3#垭口部位最低地下水位高程应该为 332.58~347.58m, 低于正常蓄水位 22.42~37.42m。

根据钻孔压水资料, 3#垭口部位透水率 $q>3lu$ 的岩体埋深为 30~40m, 高程为 360~380m; 透水率 $q>1lu$ 的岩体埋深为 300~320m, 高程为 90~110m, 埋深较大。

因此, 3#垭口部位存在库区渗漏问题。

④ 山包

库周存在 4 段山包, 根据 ZK108、ZK109 等钻孔地下水位资料, 山包临近的垭口地下水位埋深为 57~72m, 对应的高程为 349~379m。各山包山顶呈椭圆状, 其中 AB 段地面高程 390~418m, CD 段地面高程 390~406m, EF 段地面高程 404~412m, GH 段地面高程为 410~436m, 山包处山体较雄厚, 无断层通过, 岩体透水性较弱, 地下水位多低于正常蓄水位, 存在库岸渗漏问题。山包部位透水率 $q>3lu$ 的岩体埋深一般为 40~100m, 高程为 300~380m; 透水率 $q>1lu$ 的岩体埋深为 300~320m, 高程一般为 80~110m, 埋深较大。

(2) 库盆开挖对水库渗漏影响

由于上水库天然库容较小, 需对库盆进行开挖, 库盆开挖料为库内堆石料的主要料源地, 料场开挖底板高程 341m, 开挖线越过了天然分水岭 (图 4.4.2-5),

将造成地下水位大幅度降低，从而大幅度增加库水渗漏量。

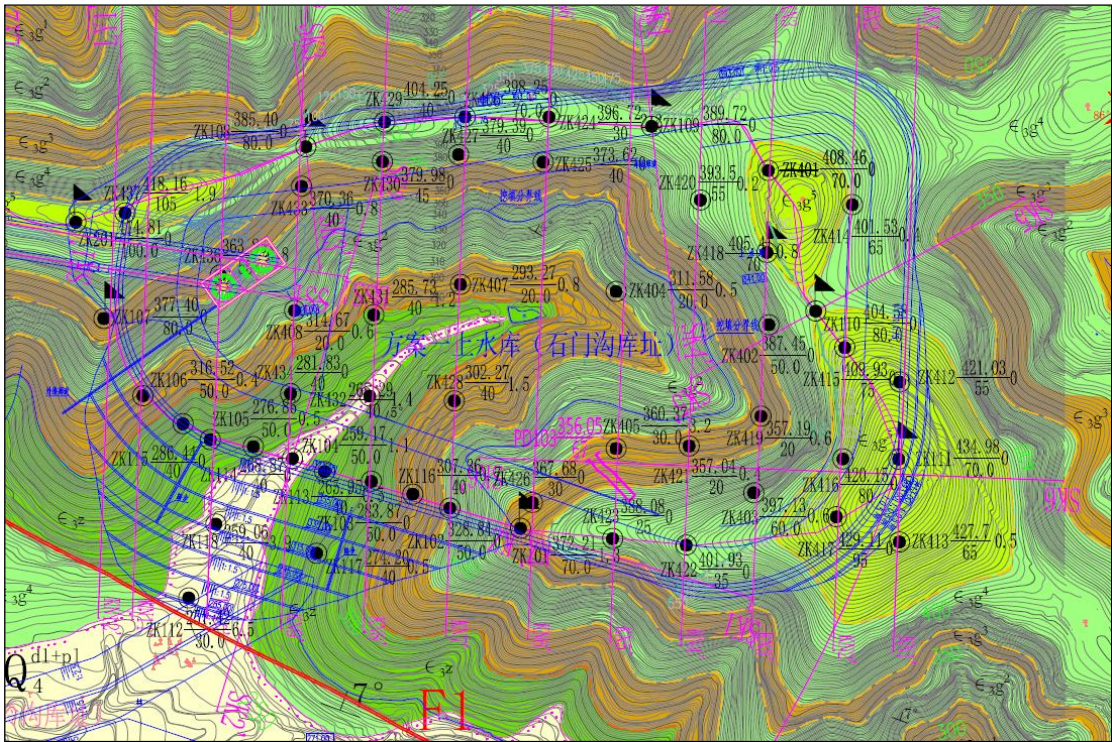


图 4.4.2-5 石门沟上水库库盆开挖范围示意图

(3) 库底垂直渗漏分析

库区未发现有切穿山体连通库内外的大规模地质构造发育，不构成集中渗漏通道的条件。

水库区库底石门沟内覆盖层厚度一般小于 3m，大部分地区基岩出露，下覆基岩主要为寒武系上统崮山组灰岩与页岩及张夏组灰岩，岩体以弱透水为主，岩溶总体发育较弱，未见大规模溶洞及地下暗河等，库底垂直渗漏可能性较小。但坝轴线部位局部有溶洞发育，考虑到岩溶发育的不确定性，不能完全排除库底垂直渗漏问题。

(4) 防渗措施建议

综上所述，上水库库周分水岭由 3 个垭口及 4 段山包围成，库周分水岭地下水位均低于正常蓄水位，相对隔水层顶板 ($q < 3lu$) 绝大部分低于正常蓄水位，因此，库周山体存在库水渗漏问题。由于上水库天然库容较小，库盆开挖越过了天然分水岭，造成地下水位进一步下降，渗漏量将进一步增加。同时，库坝区 ZK103、ZK104、ZK406 等钻孔揭露有溶洞发育，洞径 2.5m 左右，虽然其余钻孔未揭露溶洞，但考虑到岩溶发育的复杂性以及不确定性，建议本阶段上水库采取全库盆防

渗处理。

4.4.2.2.2 库岸边坡稳定问题

(1) 天然边坡

上水库库内岸坡地形较缓，坡度一般为 $10^{\circ}\sim 30^{\circ}$ ，局部较陡，地表为少量崩坡积碎石土，基岩露头较好，岩性以寒武系上统崮山组 (\in_{3g})、张夏组 (\in_{3z}) 为主，呈中厚层~厚层状构造，局部块状构造，岩体卸荷作用较弱，未见较大规模的不利结构面组合，上水库库内无全风化岩体，局部有少量强风化岩体，地表出露以弱风化岩体为主，自然边坡整体稳定性较好。

上水库库外岸坡地形坡度一般 $10^{\circ}\sim 30^{\circ}$ ，局部为 $30^{\circ}\sim 45^{\circ}$ ，地表为少量崩坡积碎石土，基岩露头较好，岩性以寒武系上统崮山组 (\in_{3g})、张夏组 (\in_{3z}) 灰岩为主，呈中厚层~厚层状构造，局部块状构造，岩体卸荷作用较弱，未见较大规模的不利结构面组合，未见滑坡及崩塌等不良地质现象，自然边坡整体稳定性较好。

(2) 开挖边坡

上水库拟对库盆东、北、西岸进行开挖以增加有效库容，并利用库盆开挖石料做为坝体填筑料，因此在库内开挖形成开挖边坡，最大坡高为 55m。

库内边坡主要为基岩边坡，岩性主要为崮山组第二段灰岩夹页岩、崮山组第三段灰岩及页岩、崮山组第四段灰岩夹页岩及崮山组第五段灰岩夹页岩，弱~微风化。节理裂隙主要发育四组，分别为① $NE40^{\circ}\sim 60^{\circ}\ NW\angle 64^{\circ}\sim 88^{\circ}$ ；② $NW290^{\circ}\sim 330^{\circ}\ SW\angle 72^{\circ}\sim 88^{\circ}$ ；③ $NE1^{\circ}\sim 20^{\circ}\ NW\angle 80^{\circ}\sim 89^{\circ}$ ；④ $NW290^{\circ}\sim 310^{\circ}\ NE\angle 1^{\circ}\sim 7^{\circ}$ 。以上四组节理，①、②、④组较发育，③组次之。

根据水工布置方案，环库公路以上边坡一般较低，边坡高度 1m~10m，坡比为 1:0.75，仅在库区东南侧有一处边坡 B1，坡高 55m，岩性为崮山组第三段灰岩及页岩、崮山组第四段灰岩夹页岩及崮山组第五段灰岩夹页岩，弱~微风化。

利用赤平投影图对 B1 边坡稳定性进行分析（图 4.4.2-5），结果表明，三组结构面两两形成的交点与边坡投影弧在同一侧，但在开挖边坡的内侧，说明结构面组合交线的倾向与坡面倾向一致，倾角大于坡角，属于稳定结构。边坡整体稳定性好，仅局部存在结构面组合切割形成的不稳定块体，建议采取相应支护措施。

此外，边坡岩性主要为崮山组第二段灰岩夹页岩、崮山组第三段灰岩及页岩、崮山组第四段灰岩夹页岩及崮山组第五段灰岩夹页岩，岩层倾角为 $1^{\circ}\sim 7^{\circ}$ ，其中，页岩为软岩，呈条带状产出，极薄层状构造，层厚一般 1mm~10mm，岩质软弱，

抗风化能力差，遇水泥化现象严重，边坡开挖后容易发生蠕滑，进而产生变形，边坡稳定性差，建议加强支护措施。

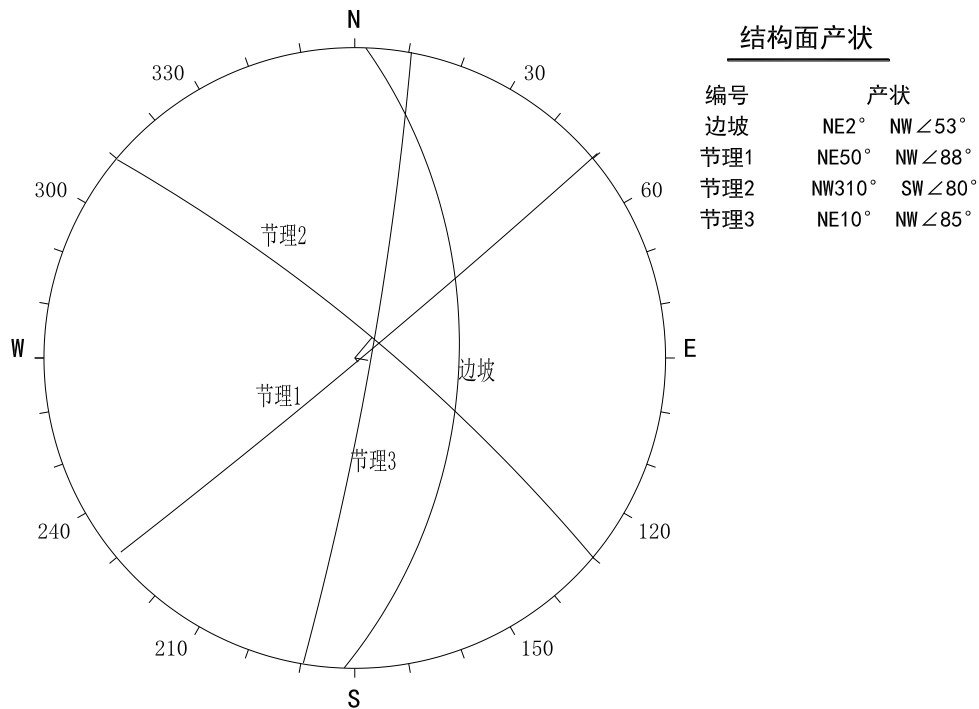


图 4.4.2-5 上水库库内开挖边坡（B1）赤平投影图

上水库库内边坡其余部分坡高较小，根据建议坡比进行开挖，稳定性好，局部存在结构面组合切割形成的不稳定块体，建议采取相应的支护措施。

环库公路以下部分边坡坡比为 1:1.75，坡度较缓，岩层近水平，边坡以弱~微风化岩体为主，边坡稳定性好，仅在局部存在结构面组合切割形成的不稳定块体，建议采取相应的支护措施。此外 1#埡口部位主要为强风化的崮山组第三段灰岩及页岩，边坡稳定性较差，应加强支护。

（3）库外侧边坡

库外边坡主要为基岩边坡，岩性主要为崮山组第二段灰岩夹页岩、崮山组第三段灰岩及页岩与崮山组第四段灰岩夹页岩。节理裂隙主要发育四组，分别为①NE40° ~60° NW∠64° ~88° ；②NW290° ~330° SW∠72° ~88° ；③NE1° ~20° NW∠80° ~89° ；④NW290°~310°NE∠1°~7°。

根据水工布置方案，环库公路以上边坡全部开挖，以下部分边坡坡比为 1:1.75，坡度较缓，边坡以弱~微风化岩体为主，1#埡口部位为强风化岩体。

正常蓄水位高程的山体厚度厚薄不等。正常蓄水位高程的山体厚度：1#埡口部位为 45.80m，2#埡口部位为 8.80m，3#埡口部位为 23.49m，其余部位的山体厚

度均大于 23m，局部最大可达 450m。

库区开挖后，正常蓄水位高程的山体厚度：1#垭口部位为 28.6m，2#垭口部位为 8.0m，3#垭口部位为 33.75m，其余部位的山体厚度均大于 23m，局部最大可达 200m。

水库蓄水后，库外边坡坡度较缓，岩体为弱~微风化，边坡整体稳定性好，仅在局部存在结构面组合切割形成的不稳定块体，建议采取相应的支护措施。此外，2#垭口部位山体厚度仅 8.8m，较为薄弱，应加强支护；1#垭口部位的山体厚度虽然有 30m，但主要为崮山组第三段灰岩及页岩，强风化，边坡稳定性较差，应加强支护。

4.4.2.2.3 库盆防渗面板地基稳定性评价

（1）岩溶塌陷

根据工程地质测绘、钻孔以及物探工作成果分析，上水库范围内岩溶弱发育，地表未见溶洞发育。地下主要以溶蚀裂隙为主，溶洞发育数量较少，规模不大，溶洞内基本无充填。溶洞一般分布在浅表位置区域，下伏岩体均为强度比较高的灰岩，根据钻孔声波测试结果，其岩体的完整性为较完整，面板地基的整体稳定性较好。

根据勘察成果，库盆内发育 3 个溶洞，其中，RD1 溶洞分布于库周分水岭东岸，高程为 390.85~392.26m，属于开挖范围；RD2 与 RD3 分布于坝轴线一带，分布高程为 245~264m，远低于库底挖填分界线。虽然库区岩溶为弱发育，但不排除库区面板地基以下有溶洞发育，从而引起地面塌陷，建议在施工阶段，库盆开挖后对揭露的溶洞进行处理，对面板以下的地基采取物探检测措施，以查明岩溶分布，进而采取针对性处理措施。

（2）挖填分界线处地基

挖填分界线处为填筑料与基岩，地基承载力及变形模量差别较大，存在不均匀沉降问题，建议采取针对性处理措施。

4.4.3 上水库坝址区工程地质条件

4.4.3.1 基本地质条件

石门沟上水库库内东、北、西三面环山，在西南方向拦沟筑坝，库型为近椭圆形。库内植被主要为松树、低矮灌木以及人工种植花椒树。沟谷发育方向为

SW240°左右,坝址区支沟不发育,沟内一般无流水,库内沟底高程260~290m,相对高差30m,平均纵坡降为7.3%。两岸山坡较缓,坡度一般为10°~30°,局部较陡。在正常蓄水位高程370m处谷宽490~640m,坝轴线部位谷宽549m。

坝址区基岩主要为寒武系上统崮山组(ϵ_3g)、张夏组第三段(ϵ_3z^3)和第四系(Q_4)地层。

寒武系上统张夏组第三段(ϵ_3z^3)主要分布于坝址左岸高程304m以下、沟底、坝址右岸高程308m以下,岩性为灰岩,灰黑色,微晶结构,厚层状构造,层厚一般为0.5~1m,岩质坚硬,岩体可见少量页岩纹理,纹理厚度一般0.1~0.5mm;灰岩占比约为99%,其余为少量纹理状页岩。

崮山组地层主要有崮山组第一段灰岩及页岩、崮山组第二段灰岩夹页岩、崮山组第三段灰岩及页岩、崮山组第四段灰岩夹页岩,主要出露于坝址区。其中第一段灰岩及页岩在坝址左岸及右岸出露高程分别为304~326m、308~320m;第二段灰岩夹页岩坝址在左岸及右岸出露高程分别为318~352m、318~356m;第三段灰岩及页岩在左岸及右岸出露高程分别为352~370m、356~382m;第四段灰岩夹页岩坝址左岸出露高程在370m以上,在坝址右岸出露高程在382m以上。

第四系地层(Q_4)主要为崩坡积层(Q_4^{col+dl})及洪坡积层(Q_4^{pl+dl}),分布于山坡表部及山谷底部,主要由碎石土组成,边坡厚度一般小于1m,沟底厚度一般小于3m。

坝址区岩层近水平,产状主要为NW290°~310°NE \angle 1°~7°。

坝址区未见断层出露,节理裂隙主要发育4组。

地下水类型为第四系孔隙水和基岩裂隙水,主要接受大气降水的补给,以潜流的形式排泄。

坝址区地下水位埋深较浅,沟底0~4m,左岸山坡地下水埋深约40m,地下水坡降约为27.9%;右岸山坡地下水埋深58m,地下水坡降约为22.6%。根据水质分析资料,坝址区地下水 HCO_3^- 含量为3.06mmol/L,对混凝土无各类腐蚀性。

坝址区未见滑坡、泥石流等不良地质灾害,岩溶发育较弱,卸荷发育较弱,物理地质现象以岩体风化为主。坝址区未见全强风化岩体,弱风化深度一般16m~45m。

根据钻孔施工情况,在钻孔ZK103和ZK104内各见1个溶洞,均在张夏组第三段灰岩内,崮山组地层内未见溶洞发育。坝址区其余部位未见较大规模溶洞和地下暗河等岩溶现象。

4.4.3.2 坝址区主要工程地质问题及评价

上水库坝型为沥青混凝土面板堆石坝，坝址区主要工程地质问题是建基面选择、坝基及绕坝渗漏问题和坝基边坡稳定问题。

(1) 建基面选择

坝基覆盖层主要由碎石土等组成，厚度 0~3m。基岩主要为灰岩、灰岩夹页岩、灰岩及页岩，无全强风化岩体发育。因此，将覆盖层清除后，堆石坝坝基可置于下部弱风化基岩上，其地基承载力及变形满足要求。

(2) 坝基及绕坝渗漏问题

① 坝基渗漏

清除表层覆盖层，以弱风化岩体做坝基，按基岩均质透水估算库水渗漏量：

$$Q=B \cdot K \cdot H \cdot M / (2b+M)$$

式中：Q—渗漏量 (m³/d)；

B—坝基透水带长度 (m)；

K—渗透系数 (m/d)；

M—透水层厚度 (m)；

H—作用水头 (上、下游水位差) (m)；

2b—防渗趾板宽度 (m)；

根据水工防渗标准，以 3Lu 线作为防渗下限，则坝基右侧 3Lu 下限埋深为 80m，坝址左侧 3Lu 下限埋深为 50m。假定坝下游沟底为库水外渗的出水点，则上、下游水头差为 H=86m，地下水渗径平均为 B=580m，防渗趾板宽度 2b=30m。

以岩体透水率 3Lu 线分别作为渗漏计算下限，计算坝基渗漏量：

坝基至 3Lu 线透水层面积为 29000m²，透水层平均厚度为 50m，渗透系数平均取 5×10^{-5} cm/s，即 0.043m/d，则渗漏量为 Q=1340.5m³/d。

坝基存在渗漏问题，需进行防渗处理。

② 绕坝渗漏

根据绕坝渗漏公式估算渗漏量。

$$Q=0.366KH(h_1+h_2) \lg B/r_0$$

式中：Q—绕坝渗透量 (m³/d)；

K—渗透系数 (m/d)；

h₁—绕渗终点处透水层厚度 (m)；

h_2 —坝头处透水层厚度 (m);

B —绕渗带宽度 (m);

r_0 —坝肩最小绕渗半径 (m);

H —作用水头 (上、下游水位差) (m);

计算求得两岸坝肩绕坝渗漏量为 $Q=1221\text{m}^3/\text{d}$ 。

径初步估算, 坝基和绕坝渗漏总量为 $2561.5\text{m}^3/\text{d}$, 需做防渗处理。

建议对坝基和坝肩结合库盆防渗型式进行防渗处理。

(3) 坝肩边坡稳定问题

为满足上水库调节库容以及开采筑坝料需求, 根据地形地质条件, 考虑上水库进/出水口布置、库盆开挖对边坡的稳定影响、沥青混凝土简式面板施工要求以及开挖平顺, 尽量减少主坝高度及长度等因素, 拟在库内进行库盆开挖。库底开挖高程 340.00m, 库顶环库公路以上开挖边坡坡度为 1:0.75, 环库公路以下开挖边坡坡度为 1:1.75, 不存在坝肩边坡。

(4) 坝基溶洞处理

在钻孔 ZK103 和 ZK104 内各见 1 个溶洞, 均在张夏组第三段灰岩内, 发育高程分别为 245.37~247.87m (ZK104)、260.37~263.77m (ZK103), 建议进行专门处理。施工期间, 建议根据开挖后的物探测试成果, 有针对性的处理, 预留足够工程量。

4.5输水系统工程地质条件

4.5.1输水系统线路比选

输水系统布置于上、下水库之间的山体内部，根据选定的上、下水库及地下厂房位置，结合上水库进/出水口位置的选择，拟定两条输水系统线路进行比较。

方案一：利用石门沟筑坝建上水库，下水库利用已有的庄里水库，输水系统布置在石门村与小岩头村之间的山体内部，方位角为 NW278.8° 至 NE35° 至 W 最后转至 280.1°，输水系统总长 2969.45m，输水隧洞长度为 2797.6m。

方案二：利用石门沟筑坝建上水库，下水库利用已有的庄里水库，输水系统布置在石门村与小岩头村之间的山体内部，方位角为 NW278.8° 至 NE70° 最后转至正西 270°，输水系统总长 2752.25 m，输水隧洞长度为 2545m。

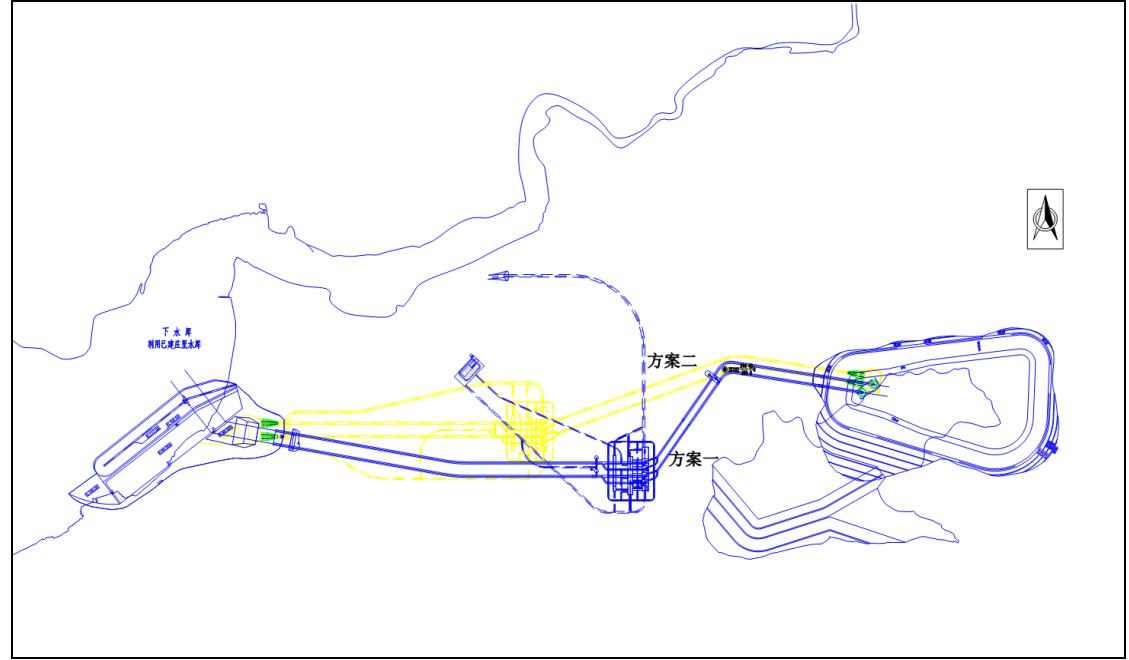


图 4.5.1-1 输水系统各方案布置示意图

两个方案的工程地质条件比较如下：

- (1) 两个方案距离较近，隧洞围岩均为寒武系上统崮山组 (ϵ_{3g})、张夏组 (ϵ_{3z}) 和寒武系中统馒头组 (ϵ_{2m}) 灰岩，地表局部为崩坡积碎石土，基岩大面积出露。
- (2) 输水系统地层为沉积岩，为近水平岩层，岩层产状主要为 NW290°~310°NE \angle 1°~7°。以 F1 断裂为界，北侧岩层产状主要为 NW290°~310°NE \angle 1°~7°，局部倾角大于 7°；南侧岩层产状主要为 NW290°~310°NE \angle 1°~5°，

近似水平。输水线路均穿越 F1 断裂及 f2、f3 断层。

节理裂隙主要发育 4 组：①NE40°~60°NW∠64°~88°；②NW290°~330°SW∠72°~88°；③NE1°~20°NW∠80°~89°；④NW290°~310°NE∠1°~7°，该组裂隙为层面裂隙，工程区内较发育。以上四组节理，①、②、④组较发育，③组次之。

(3) 物理地质现象以岩体风化为主。全风化带主要分布于崮山组第三段及第一段，沿层理呈带状分布，厚度一般 1~5m。强风化带主要分布于崮山组第三段及第一段，沿层理呈带状分布，厚度一般 2~5m，局部厚度较大。弱风化岩体厚度为 15~35m。

两个方案的输水系统沿线埋深基本相同，方案一输水隧洞长度为 2797.6m，III 类围岩占比为 59.5%，IV~V 类占比为 40.5%；方案二输水隧洞长度为 2545m，III 类围岩占比为 49.1%，IV~V 类占比为 50.9%。

从工程地质条件分析，两个方案长度略有不同，方案一输水隧洞的 III 类围岩比例较高，其他工程地质条件基本相当，无本质区别，在对存在的工程地质问题进行处理后，均具备成洞条件。

2023 年 1 月 11 日至 12 日，中国水利水电建设工程咨询有限公司在枣庄主持召开了《山东枣庄山亭抽水蓄能电站可行性研究阶段枢纽布置格局研究专题报告》咨询会议。会议认为虽然线路一方案输水线路长度较长，但压力管道短约 234m，引水隧洞和压力管道管径略小，投资较省。

因此，综合各专业比较成果，本阶段选定方案一输水系统线路为推荐方案。

4.5.2 选定输水系统基本地质条件

4.5.2.1 地形地貌

输水系统布置在石门村与小岩头村之间的山体内，因断层 F1 和 f2 限制厂房位置，输水系统隧洞轴线方向为 NW278.9°至 SW215°至 W 最后转至 280.1°，沿线地表高程为 123~413m，地面坡度一般为 10~25°，局部见有高 10m 左右的陡坎，总体上地形较为完整。隧洞上覆岩体厚度为 21~282m。沿线地表植被较发育，覆盖层厚度较薄，基岩大部分裸露。

上水库进/出水口布置于上水库右岸坝前 200m 左右，上水库进出水口采用竖井形式，地面高程 355~396m，地形相对较缓，地面坡度 18~35°，局部为陡坎。

引水隧洞上平段地面高程 361~413m，地面坡度 5~25°，局部较陡，上覆岩体厚度 79~160m。

斜井段地面高程 274~332m，地面坡度 5~30°，局部为陡坎，上覆岩体厚度 90~243m。

下平段、高压岔管段、高压支管段地面高程 274~293m，地面坡度 5~20°，上覆岩体厚度 243~276m。

尾水隧洞地面高程 132~314m，地面坡度 5~30°，局部局部为陡坎，上覆岩体厚度 43~283m。

下水库进/出水口布置于下水库左岸坝前约 2300m 处，地面高程 123~128m，地形平缓，地面坡度小于 5°，上覆岩体厚度 14~43m。

4.5.2.2 地层岩性

输水系统围岩主要为寒武系上统崮山组 ($\epsilon_3 g$) 和张夏组 ($\epsilon_3 z$) 地层，以及第四系 (Q_4)，由于 F1 断裂垂直断距为 138m，以 F1 为界，南北两侧地层岩性的埋深及厚度有所不同，详见表 4.3.2-1、表 4.3.2-2。

桩号 K0+000m~K0+754m、K0+774m~K2+402m 段隧洞围岩主要为张夏组第三段，岩性主要为灰岩；桩号 K0+754m~K0+774m、K2+402m~下水库进/出水口段隧洞围岩主要为崮山组地层，岩性主要为灰岩及页岩和灰岩夹页岩。具体岩性描述见 4.3.2 节。

第四系 (Q_4) 主要为崩坡积层 (Q_4^{col+dl})、冲洪积层 (Q_4^{pal})，其中崩坡积层 (Q_4^{col+dl}) 主要分布于输水线路边坡表面及坡脚，主要由碎石土等组成，厚度一般小于 1m；冲洪积层 (Q_4^{pal}) 分布于下水库进出水口一带的河床及两岸，主要由砂卵砾石等组成，厚度最大为 7m。

4.5.2.3 地质构造

根据勘探和地表测绘资料，输水系统沿线为近水平岩层，岩层产状主要为 NW290~310°NE \angle 1~7°。以 F1 断裂为界，北侧岩层产状主要为 NW290~310°NE \angle 1~7°，局部倾角大于 7°；南侧岩层产状主要为 NW290~310° NE \angle 1~5°，近似水平。

根据勘探和地表测绘资料，输水线路区主要发育 3 条断层，分别为 F1 和 f2、f3。节理裂隙主要发育 4 组：

- ①NE40° ~60° NW∠64° ~88° ，裂隙面起伏、粗糙，闭合~微张，无充填或充填岩屑，间距 30~80cm，延伸 5~8m；
- ②NW290° ~330° SW∠72° ~88° ，裂隙面起伏、粗糙，闭合~微张，无充填或充填岩屑，间距 50~100cm，延伸 3~5m。
- ③NE1° ~20° NW∠80° ~89° ，裂隙面起伏、粗糙，闭合~微张，无充填或充填岩屑，间距 50~100cm，延伸 1~3m。
- ④NW290°~310°NE∠1°~7°，裂隙面起伏、粗糙，闭合~微张，无充填或充填岩屑，该组裂隙为层面裂隙，工程区内较发育。
- 以上四组节理，①、②、④组较发育，③组次之。

4.5.2.4水文地质条件

输水系统的地下水类型主要为基岩裂隙水，接受大气降水的补给，以渗流型式向邻近沟谷排泄。

地下水埋深较大，一般为 50~150m，隧洞基本位于地下水位以下。

基岩的透水性以弱~微透水为主（表 4.5.2-1、表 4.5.2-2），但断层和裂隙密集带部位的透水性相对较强。

表 4.5.2-1 输水线路区岩体钻孔压水试验资料成果统计表

透水性 / 工程部位		风化程度		
		强风化	弱风化	微风化
输水发电系统	上水库进/出水口		1.1~1.4 1.27	1.42~2.9 1.87
	方案一地下厂房		3.59	0.25~3.08 1.27
	下水库进/出水口			
透水率分级		弱~中等透水	弱透水	微透水
注：表中分子表示试验值范围，分母表示平均值。				

表 4.5.2-2 输水线路区钻孔压水试验岩体透水率分布情况统计表

工程部位	孔数	压水试验段数	岩体透水率					
			q<1		1≤q<10		10≤q<100	
			段数	比例（%）	段数	比例（%）	段数	比例（%）
输水发电系统	2	66	15	23	51	77	0	0

根据《水力发电工程地质勘察规范》GB50287-2016 环境水对混凝土腐蚀性评价标准，上水库进出水口地下水的 SO_4^{2-} 离子含量较高，对普通水泥有硫酸盐型强腐蚀性，对抗硫酸盐水泥无腐蚀性。

地下厂房区地下水的 SO_4^{2-} 离子含量较高，对普通水泥有硫酸盐型强腐蚀性，对抗硫酸盐水泥无腐蚀性。

综合分析，输水系统地下水 SO_4^{2-} 离子含量较高，对普通水泥有硫酸盐型强腐蚀性，对抗硫酸盐水泥无腐蚀性。

4.5.2.5 物理地质现象

物理地质现象以岩体风化及岩溶为主，未见泥石流、滑坡等不良地质灾害。

输水隧洞沿线地表可见少量岩溶发育，形态多为小溶槽、溶蚀裂隙等，规模较小，未见较大的溶洞发育，岩溶弱发育。根据平洞资料，地下洞室内溶蚀裂隙较发育，一般沿构造发育，宽度一般较小，局部沿断层方向发育的溶蚀裂隙宽度略大；可见 5 个小型溶洞发育，一般呈长条状，沿构造方向发育。总体而言，输水隧洞有岩溶现象发育，主要以溶蚀裂隙和小型溶洞为主，但规模及数量较少。

全风化带主要分布于崮山组第三段及第一段，沿层理呈带状分布，厚度一般 1~5m。强风化带主要分布于崮山组第三段及第一段，沿层理呈带状分布，厚度一般 2~5m，局部厚度较大。弱风化岩体厚度为 15m~35m。

4.5.2.6 输水系统围岩分类

输水系统隧洞一般埋深较大，隧洞围岩以微风化~新鲜岩体为主，仅上、下水库进/出水口段围岩由于埋深较浅，风化程度相对较强，一般为弱~微风化岩体。输水系统隧洞围岩主要为寒武系上统崮山组 ($\epsilon_3 g$) 灰岩及页岩、灰岩夹页岩、张夏组 ($\epsilon_3 z$) 鲕粒灰岩、灰岩、灰岩夹页岩和寒武系中统馒头组 ($\epsilon_2 m$)，云泥岩、页岩、灰岩夹页岩。

地下洞室围岩分类是评价洞室围岩稳定及确定围岩支护参数的重要手段，现依据《水力发电工程地质勘察规范》附录 L (GB50287-2016) 的围岩分类标准，对输水系统围岩进行详细分类，具体见表 4.5.2-9。

表 4.5.2-9 输水系统围岩分类成果表

桩号(km+m)	段长	岩石强度评分 A	岩体完整性评分 B	结构面状态评分 C	地下水评分 D	结构面产状评分 E	围岩评分	围岩强度应力比 S	围岩分类	围岩特征描述
K0+000~K0+712	712	16	30	21	-2	-10	55	3.1	III ₁ /III ₂	围岩为寒武系上统张夏组 (\in_3z) 灰岩, 岩质较坚硬, 岩体以中厚层状结构为主。岩层倾角近水平, 发育三组裂隙, 陡倾角为主, 多为闭合`微张, 充填钙膜; 岩体较完整, 局部有滴水、渗水现象。其中, 边墙为III ₁ 类, 顶拱为III ₂ 类。
K0+712~K0+769	57	16	10	14	-10	-10	20	3.1	IV	围岩为寒武系上统张夏组第三段 (\in_3z^3) 灰岩, 岩质较坚硬。岩层倾角近水平, 发育三组裂隙, 以陡倾角为主。该段位于 F1 断裂影响带 57m 内。岩体较破碎, 局部有滴水、渗水现象, 局部有线状流水、涌水现象。
K0+769~K0+780	11	5	10	14	-10	-10	9	0.4	V	围岩为寒武系上统张夏组第三段 (\in_3z^3) 灰岩、寒武系上统崮山组第一段 (\in_3g^1) 灰岩及页岩, 灰岩岩质较坚硬, 灰岩及页岩岩质软弱。岩层倾角近水平, 发育 F1 断裂及三组裂隙, 以陡倾角为主。发育 F1 断裂, 破碎带宽度 2.8m, 主要由碎裂岩组成。岩体破碎, 局部有滴水、渗水现象, 局部有线状流水、涌水现象。
K0+780~K0+824	44	16	10	14	-10	-10	20	3.1	IV	围岩为寒武系上统张夏组第三段 (\in_3z^3) 灰岩、寒武系上统崮山组第一段 (\in_3g^1) 灰岩及页岩, 灰岩岩质较坚硬, 灰岩及页岩岩质软弱。岩层倾角近水平, 发育三组裂隙, 裂隙以陡倾角为主。该段位于 F1 断裂影响带 44m 内。岩体较破碎, 局部有滴水、渗水现象, 局部有线状流水、涌水现象。
K0+824~K1+308	484	16	30	21	-2	-10	55	2.35	III ₁ /III ₂	围岩为寒武系上统张夏组第三段 (\in_3z^3) 灰岩, 岩质较坚硬, 岩体以中厚层状结构为主。岩层倾角近水平, 发育三组裂隙, 陡倾角为主, 多为闭合`微张, 充填钙膜; 岩体较完整, 局部有滴水、渗水现象。其中, 边墙为III ₁ 类, 顶拱为III ₂ 类。
K1+308~K1+348	40	16	15	18	-6	-10	32	2.1	IV-V	围岩为寒武系上统张夏组第三段 (\in_3z^3) 灰岩, 岩质较坚硬, 岩体以中厚层状结构为主。岩层倾角近水平, 发育 f3 断层和三组裂隙, f3 断层破碎带宽度 1.5-2m, 主要由碎裂岩组成, 裂隙以陡倾角为主, 多为闭合`微张, 充填岩屑、钙膜; 岩体完整性差, 局部有滴水、渗水现象, 局部有线状流水、涌水现象。

桩号(km+m)	段长	岩石强度评分 A	岩体完整性评分 B	结构面状态评分 C	地下水评分 D	结构面产状评分 E	围岩评分	围岩强度应力比 S	围岩分类	围岩特征描述
K1+348~K1+593	245	16	30	21	-2	-10	55	2.35	III ₁ /III ₂	围岩为寒武系上统张夏组第三段 (Є ₃ z ³) 灰岩, 岩质较坚硬, 岩体以中厚层状结构为主。岩层倾角近水平, 发育三组裂隙, 陡倾角为主, 多为闭合`微张, 充填钙膜; 岩体较完整, 局部有滴水、渗水现象。其中, 边墙为III ₁ 类, 顶拱为III ₂ 类。
K1+593~K1+633	40	16	15	18	-6	-10	32	2.1	IV-V	围岩为寒武系上统张夏组第三段 (Є ₃ z ³) 灰岩, 岩质较坚硬, 岩体以中厚层状结构为主。岩层倾角近水平, 发育 f ₂ 断层和三组裂隙, f ₂ 断层破碎带宽度 1~2m, 主要由断层角砾岩组成, 裂隙以陡倾角为主, 多为闭合`微张, 充填岩屑、钙膜; 岩体完整性差, 局部有滴水、渗水现象, 局部有线状流水、涌水现象。
K1+633~K1+750	117	16	30	21	-2	-10	55	2.35	III ₁ /III ₂	围岩为寒武系上统张夏组第三段 (Є ₃ z ³) 灰岩, 岩质较坚硬, 岩体以中厚层状结构为主。岩层倾角近水平, 发育三组裂隙, 陡倾角为主, 多为闭合`微张, 充填钙膜; 岩体较完整, 局部有滴水、渗水现象。其中, 边墙为III ₁ 类, 顶拱为III ₂ 类。
K1+750~K2+285	535	16	25	21	-2	-10	50	2.35	III-IV	围岩为寒武系上统张夏组第三段 (Є ₃ z ³) 灰岩, 岩质较坚硬, 岩体以中厚层状结构为主。岩层倾角近水平, 发育三组裂隙, 陡倾角为主, 多为闭合`微张, 充填钙膜; 岩体较完整, 局部有滴水、渗水现象, 上覆中厚层状灰岩厚度较小。
K2+285~K2+708	423	15	18	21	-4	-10	40	2.2	IV	围岩为寒武系上统张夏组第三段 (Є ₃ z ³) 灰岩及崮山组第一段 (Є ₃ g ¹) 灰岩及页岩, 岩体以薄层状~中厚层状结构为主。岩层倾角近水平, 发育三组裂隙, 陡倾角为主, 多为微张~张开, 充填锈膜、钙膜、泥质; 岩体完整性差, 局部有滴水、渗水现象。
K2+708~K2+741.6	33.6	11	6	12	-6	-10	13	3.7	V	围岩为寒武系上统张夏组第三段 (Є ₃ z ³) 灰岩及崮山组第一段 (Є ₃ g ¹) 灰岩及页岩, 岩体以碎裂结构为主。岩层倾角近水平, 发育三组裂隙, 陡倾角为主, 多为微张~张开, 充填锈膜、钙膜、泥质; 岩体较破碎, 局部有滴水、渗水现象。

根据围岩分类结果，输水系统各类岩体所占比例进行统计（表 4.5.2-10），结果显示，Ⅲ类围岩长度 1665m，占 59.5%；Ⅳ类围岩长度 948m，占 33.9%；Ⅴ类围岩长度 184.6m，占 6.6%。岩体以Ⅲ类围岩为主。

表 4.5.2-10 输水系统围岩类别划分统计表

岩体类别	Ⅲ	Ⅳ	Ⅴ
各类围岩长度（m）	1665	948	184.6
各类围岩占洞长的百分比%	59.5	33.9	6.6

4.5.3主要工程地质问题及评价

4.5.3.1洞口边坡稳定问题

（1）上水库进/出水口

上水库进出水口采用竖井型式，水库进/出水口洞脸边坡走向 NE8°，自然边坡走向为 NE52°，走向夹角为 43°，边坡最大开挖高度约 80m。上水库进/出水口洞脸边坡坡度 18~35°，地表植被较少。覆盖层主要为崩坡积碎石土，厚度 0~0.5m，基岩主要为寒武系上统崮山组第四段灰岩夹页岩、崮山组第三段灰岩及页岩、崮山组第二段灰岩夹页岩。附近未发现有断层通过，裂隙主要发育四组，分别为① NE40° ~60° NW ∠ 64° ~88° ； ②NW290° ~330° SW ∠ 72° ~88° ； ③NE1° ~20° NW ∠ 80° ~89° ； ④NW290°~310°NE ∠ 1°~7°。以上四组节理，①、②、④组较发育，③组次之。地下水主要为基岩裂隙水，埋深约为 70~95m。基岩弱风化带厚度 16~30m。

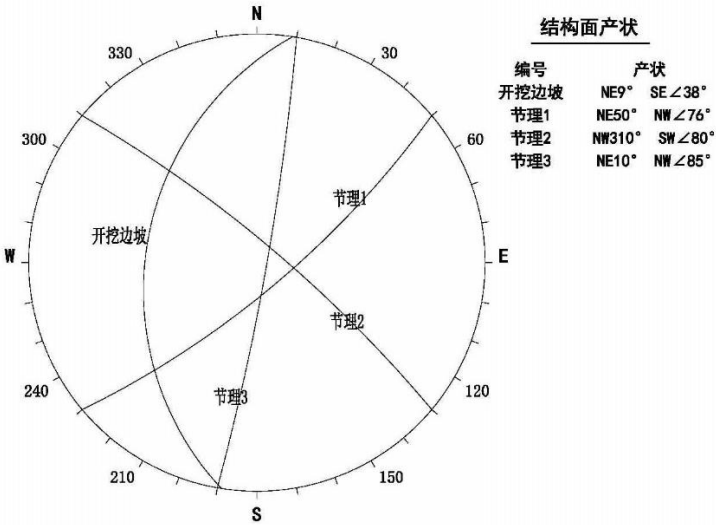


图 4.5.3-1 上水库进/出水口洞脸边坡赤平投影图

利用赤平投影图对洞脸边坡稳定性进行分析（图 4.5.3-1），结果表明三组结构面组合交线的倾向与坡面倾向相反，没有发生顺层滑动的可能性，属于稳定结构。因此，根据建议开挖坡比，上水库进/出水口洞脸边坡开挖后整体稳定性好，仅在局部存在结构面组合切割形成的不稳定块体，建议采取相应的支护措施。

此外，边坡岩性主要为崮山组第二段灰岩夹页岩、崮山组第三段灰岩及页岩、崮山组第四段灰岩夹页岩，岩层倾角为 $1^{\circ}\sim 7^{\circ}$ ，其中，页岩为软岩，呈条带状产出，极薄层状构造，层厚一般 $1\sim 10\text{mm}$ ，岩质软弱，抗风化能力差，遇水泥化现象严重，边坡开挖后容易发生蠕滑，进而产生变形，边坡稳定性差，建议加强支护措施。

（2）下水库进/出水口

下水库进/出水口洞脸边坡走向 $\text{NE}10^{\circ}$ ，自然边坡走向为 $\text{NE}60^{\circ}$ ，走向夹角为 50° ，边坡最大开挖高度约 40m 。

下水库进/出水口洞脸边坡自然坡度为 5° 左右，地表植被较少。覆盖层主要为崩坡积碎石土，厚度 $0.5\sim 2\text{m}$ ，基岩主要为寒武系上统崮山组第一段灰岩及页岩、崮山组第二段灰岩夹页岩。附近未发现有断层通过，裂隙主要发育四组，分别为① $\text{NE}40^{\circ}\sim 60^{\circ}\text{NW}\angle 64^{\circ}\sim 88^{\circ}$ ；② $\text{NW}290^{\circ}\sim 330^{\circ}\text{SW}\angle 72^{\circ}\sim 88^{\circ}$ ；③ $\text{NE}1^{\circ}\sim 20^{\circ}\text{NW}\angle 80^{\circ}\sim 89^{\circ}$ ；④ $\text{NW}290^{\circ}\sim 310^{\circ}\text{NE}\angle 1$ 。以上四组节理，①、②、④组较发育，③组次之。

地下水主要为基岩裂隙水，埋深约为 10m 。该处基岩弱风化带厚度 25m 。

利用赤平投影图对洞脸边坡稳定性进行分析（图 4.5.3-2），结果表明，三组结构面组合交线的倾向与坡面倾向一致，倾角大于坡角，属于稳定结构。因此，根据建议开挖坡比，下水库进/出水口洞脸边坡开挖后整体稳定性好，仅在局部存在结构面组合切割形成的不稳定块体，建议采取相应的支护措施。

此外，边坡岩性主要为寒武系上统崮山组第一段灰岩及页岩、崮山组第二段灰岩夹页岩，岩层倾角为近水平，其中，页岩为软岩，呈条带状产出，极薄层状构造，层厚一般 $1\sim 10\text{mm}$ ，岩质软弱，抗风化能力差，遇水泥化现象严重，边坡开挖后容易发生蠕滑，进而产生变形，边坡稳定性差，建议加强支护措施。

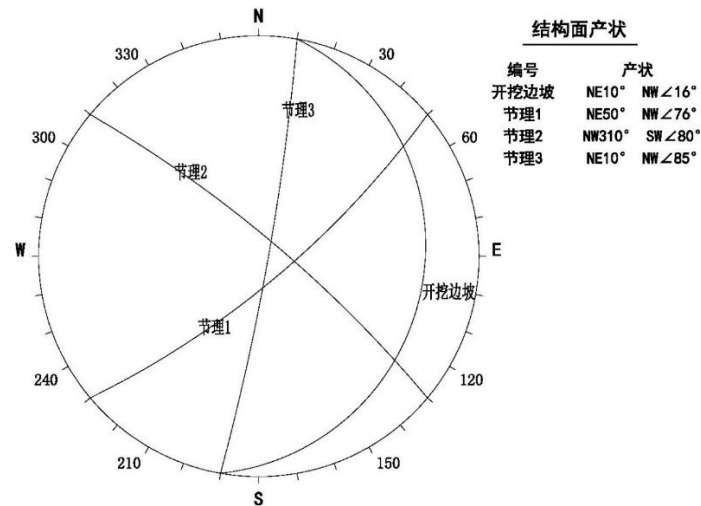


图 4.5.3-2 下水库进/出水口洞脸边坡赤平投影图

4.5.3.2围岩稳定问题

输水系统由引水系统和尾水系统两部分组成，引水系统和尾水系统均为一洞两机的布置型式，共有两套独立的输水系统。引水系统建筑物包括上水库进/出水口（竖井式）、引水事故闸门井、引水调压井、高压管道、引水岔管和高压支管。尾水系统建筑物包括尾水支管、尾水事故闸门室、尾水岔管、尾水调压井、尾水隧洞、尾水检修闸门井和下水库进/出水口等，输水系统总长 2969.45m。

输水系统隧洞围岩主要为寒武系上统崮山组（ $\epsilon_3 g$ ）灰岩及页岩、灰岩夹页岩、张夏组（ $\epsilon_3 z$ ）鲕粒灰岩、灰岩、灰岩夹页岩。

根据《水力发电工程地质勘察规范》（GB50287-2016）围岩工程地质分类标准，参照岩性、风化、岩体结构、地下水活动情况等，将输水系统隧洞区围岩划分为Ⅲ、Ⅳ、Ⅴ共三类。岩体物理力学性质指标建议见表 4.3.6-12。

Ⅲ类围岩主要为弱~微新风化灰岩、灰岩夹页岩，中厚层~厚层状构造，局部有地下水活动，节理较发育，岩体较完整，围岩局部稳定性较差，需采用适当的支护处理措施。

Ⅳ类围岩主要为弱~微新风化灰岩及页岩、上覆岩体厚度较小、构造发育、岩体较破碎、有地下水活动等部位，围岩不稳定，须采取工程处理措施。

Ⅴ类围岩为强风化页岩、全风化岩体、断层破碎带、节理密集带等，上覆岩体厚度小，岩体破碎，地下水活动中等~较强烈，围岩极不稳定，须采取工程处理措施。

(1) 上水库竖井式进/出水口

布置于上水库西侧库内位置，由进/出水口拦污栅段、扩散段、直管段、S 弯段组成，全长 93.57m，进/出水口底板高程 322.0m。

井口~井深 21m：围岩为寒武系上统崮山组第二段（ ϵ_3g^2 ）灰岩夹页岩。岩层产状主要为 $NW290^\circ\sim310^\circ NE \angle 1^\circ\sim7^\circ$ 。岩体内无大的断层通过；节理裂隙主要有三组：① $NE40^\circ\sim60^\circ NW \angle 64^\circ\sim89^\circ$ 、② $NW290^\circ\sim330^\circ SW \angle 72^\circ\sim89^\circ$ 、③ $NE1^\circ\sim20^\circ NW \angle 80^\circ\sim89^\circ$ 。岩体呈弱风化~微风化状态，地下水活动中等。洞段岩体完整性较差，岩质较硬，围岩为近水平岩层，大部分为中厚层状灰岩，局部岩体为灰岩与页岩互层，层厚一般为 1~10mm，属于极薄层构造。围岩以 III 类为主，局部灰岩与页岩互层部位为 IV 类。

井深 21m~井深 36m：围岩为寒武系上统崮山组第一段（ ϵ_3g^1 ）灰岩及页岩。岩层产状主要为 $NW290^\circ\sim310^\circ NE \angle 1^\circ\sim7^\circ$ 。岩体内无大的断层通过；节理裂隙主要有三组：① $NE40^\circ\sim60^\circ NW \angle 64^\circ\sim89^\circ$ 、② $NW290^\circ\sim330^\circ SW \angle 72^\circ\sim89^\circ$ 、③ $NE1^\circ\sim20^\circ NW \angle 80^\circ\sim89^\circ$ 。岩体呈微风化状态，地下水活动中等。崮山组第一段灰岩及页岩的岩体完整性差，岩质较软，洞室围岩整体不稳定，为 IV 类围岩。

井深 36m~井深 93.57m：围岩为寒武系上统张夏组（ ϵ_3z ）灰岩，岩层产状为 $NW290^\circ\sim310^\circ NE \angle 1^\circ\sim7^\circ$ 。岩体内无大的断层通过，节理裂隙主要有三组：① $NE40^\circ\sim60^\circ NW \angle 64^\circ\sim89^\circ$ 、② $NW290^\circ\sim330^\circ SW \angle 72^\circ\sim89^\circ$ 、③ $NE1^\circ\sim20^\circ NW \angle 80^\circ\sim89^\circ$ 。岩体呈微风化~新鲜状态，岩体较完整，地下水活动弱，围岩整体稳定性较好，局部围岩存在稳定性差的块体，围岩为 III 类，局部存在构造发育或岩溶发育洞段围岩为 IV 类。

(2) 引水隧洞

2 条引水隧洞平行布置，平面走向 $NW278.8^\circ$ ，1#引水隧洞长 564.61m，2#引水隧洞长 615.71m，洞径 9.0m。

引水隧洞上覆岩体厚度 79~160m，围岩为寒武系上统张夏组（ ϵ_3z ）灰岩，岩层产状为 $NW290^\circ\sim310^\circ NE \angle 1^\circ\sim7^\circ$ 。岩体内无大的断层通过，节理裂隙主要有三组：① $NE40^\circ\sim60^\circ NW \angle 64^\circ\sim89^\circ$ 、② $NW290^\circ\sim330^\circ SW \angle 72^\circ\sim89^\circ$ 、③ $NE1^\circ\sim20^\circ NW \angle 80^\circ\sim89^\circ$ 。岩体呈微风化~新鲜状态，岩体较完整，地下水活动弱，围岩整体稳定性较好，局部围岩存在稳定性差的块体，围岩为 III 类，其中，边墙为 III₁ 类，顶拱为 III₂ 类，局部存在构造发育或岩溶发育洞段围岩为 IV~V 类。

(3) 引水调压井

引水调压井布置在引水隧洞上平段的末端，采用设上室的阻抗式调压室，布置为地下结构。上室为圆形，内径 12.0m，衬砌厚度 0.8m，底板高程 368.0m，顶高程 385.0m，上室高 17m。竖井为圆形，内径 10.4m，采用钢筋混凝土衬砌，衬砌厚度 0.8m，顶高程 311.0m，底高程 228.0m。阻抗孔直径 4.3m，

引水调压井地面高程 368~375m，地形上为一山坡，坡度 10~30°，地表植被较发育。地表大部分基岩裸露，局部有少量覆盖层，覆盖层主要为崩坡积碎石土，厚度 0.1~1.0m；基岩主要为崮山组第一段、第三段灰岩及页岩、崮山组第二段灰岩夹页岩及张夏组第三段灰岩，崮山组第三段灰岩及页岩发育全强风化岩体，其中，全风化岩体厚度 3~5m，强风化岩体厚度 2~5m，其余地层主要以弱~微风化岩体为主。高程 358m 以上为崮山组第三段灰岩及页岩，以全强风化岩体为主；高程 321~358m 为崮山组第二段灰岩夹页岩；高程 321~292m 为崮山组第一段灰岩及页岩；高程 292m~底板为张夏组第三段灰岩。岩体中主要发育有四组裂隙，地下水埋深约为 30~70m。

高程 358m 以上井段为崮山组第三段灰岩及页岩，以全强风化岩体为主，稳定性差，围岩以 V 类为主，局部弱微风化岩体部位为 IV 类，建议加强支护处理措施。

高程 321~358m 段为崮山组第二段灰岩夹页岩，围岩以 III 类为主，局部构造及岩溶较发育部位为 IV~V 类。

高程 321~292m 段为崮山组第一段灰岩及页岩，围岩以 IV 类为主，局部构造及岩溶发育部位为 V 类。

高程 292m~底板为张夏组第三段灰岩，围岩以 III 类为主，局部构造及岩溶较发育部位为 IV~V 类。

引水调压井井口边坡最大高度为 14m，岩体主要为崮山组第三段灰岩及页岩，受节理裂隙及层理发育影响，边坡稳定性较差，需加强支护。尤其是页岩为软岩，呈条带状产出，极薄层状构造，层厚一般 1~10mm，岩质软弱，抗风化能力差，遇水泥化现象严重，边坡开挖后容易发生蠕滑，进而产生变形，边坡稳定性差，建议加强支护处理措施。

(4) 高压管道

引水调压井后接高压管道，高压管道采用一洞两机的布置方式，由主管、岔管和支管组成。采用钢板衬砌，两条主管平行布置，平面上走向为 NE35°，洞轴线间距为 32m，1#主管长度为 537.25m。立面上采用斜井布置，设有上平段、斜井

段和下平段，斜井角度 55° 。主管管径 $8.4\text{m}\sim 7.4\text{m}$ 。四条支管平行布置，与厂房轴线 70° 相交进厂，1#支管长度为 63.8m ，支管管径 $5.2\text{m}\sim 3.4\text{m}$ ，在距厂房上游 37m 处布置两个非对称“Y”型内加强月牙肋钢岔管，主管管径 7.4m ，支管管径 5.2m 。

①上平段

上覆岩体厚度 $90\sim 130\text{m}$ ，围岩为寒武系上统张夏组 (\in_{3z}) 灰岩，岩层产状为 $\text{NW}290^{\circ}\sim 310^{\circ}\text{NE} \angle 1^{\circ}\sim 7^{\circ}$ 。岩体内无大的断层通过，节理裂隙主要有三组：① $\text{NE}40^{\circ}\sim 60^{\circ}\text{NW} \angle 64^{\circ}\sim 89^{\circ}$ 、② $\text{NW}290^{\circ}\sim 330^{\circ}\text{SW} \angle 72^{\circ}\sim 89^{\circ}$ 、③ $\text{NE}1^{\circ}\sim 20^{\circ}\text{NW} \angle 80^{\circ}\sim 89^{\circ}$ 。岩体呈微风化~新鲜状态，岩体较完整，地下水活动中等~强烈，围岩整体稳定性较好，局部围岩存在稳定性差的块体，围岩为Ⅲ类，其中，边墙为Ⅲ₁类，顶拱为Ⅲ₂类，局部存在构造发育或岩溶发育洞段围岩为Ⅳ~Ⅴ类。

②上弯段、斜井段及下弯段

上覆岩体厚度 $90\sim 168\text{m}$ ，围岩为寒武系上统张夏组 (\in_{3z}) 灰岩，岩质较坚硬。发育 F1 断裂，破碎带宽度 2.8m ，主要由碎裂岩组成，带内褶曲、揉皱现象明显，垂直断距约为 138m 。以 F1 断裂为界，北侧岩层产状主要为 $\text{NW}290^{\circ}\sim 310^{\circ}\text{NE} \angle 1^{\circ}\sim 7^{\circ}$ ，局部倾角大于 7° ；南侧岩层产状主要为 $\text{NW}290^{\circ}\sim 310^{\circ}\text{NE} \angle 1^{\circ}\sim 5^{\circ}$ ，近似水平。节理裂隙主要有三组：① $\text{NE}40^{\circ}\sim 60^{\circ}\text{NW} \angle 64^{\circ}\sim 89^{\circ}$ 、② $\text{NW}290^{\circ}\sim 330^{\circ}\text{SW} \angle 72^{\circ}\sim 89^{\circ}$ 、③ $\text{NE}1^{\circ}\sim 20^{\circ}\text{NW} \angle 80^{\circ}\sim 89^{\circ}$ 。隧洞围岩为近水平岩层，对顶拱围岩稳定性不利。

上弯段主要位于 F1 断裂影响带内，岩体较破碎，地下水活动中等~强烈，围岩不稳定，主要为Ⅳ类。

斜井段围岩主要为灰岩，岩质较坚硬，斜井中上部有 F1 断裂通过，桩号为 $\text{K}0+769\text{m}\sim \text{K}0+780\text{m}$ ，段长 11m 。其中，F1 断裂部位围岩岩体破碎，地下水活动中等~强烈，围岩极不稳定，主要为Ⅴ类，受断层影响，可能产生突水，需要及时处理；F1 断裂两侧影响带宽度为 $20\sim 60\text{m}$ ，岩体较破碎，地下水活动中等~强烈，围岩不稳定，主要为Ⅳ类；其余洞段岩体完整性较好，地下水活动中等，围岩整体稳定性较好，局部存在稳定性差的块体，围岩为Ⅲ类，其中，边墙为Ⅲ₁类，顶拱为Ⅲ₂类。

下弯段围岩为灰岩，新鲜，岩体完整性较好，地下水活动中等，围岩整体稳定性较好，局部存在稳定性差的块体，围岩为Ⅲ类，其中，边墙为Ⅲ₁类，顶拱为Ⅲ₂类。

③下平段及支管

上覆岩体厚度 240~288m, 围岩为寒武系上统张夏组 (ϵ_3z) 灰岩, 岩层产状主要为 NW290~310°NE \angle 1~5°, 近似水平。岩体内无大的断层通过, 节理裂隙主要有三组: ①NE40~60°NW \angle 64~89°、②NW290~330°SW \angle 72~89°、③NE1~20°NW \angle 80~89°。岩体呈微风化~新鲜状态, 岩体较完整, 地下水活动中等, 围岩整体稳定性较好, 局部围岩存在稳定性差的块体, 围岩为Ⅲ类, 其中, 边墙为Ⅲ₁类, 顶拱为Ⅲ₂类, 局部存在构造发育或岩溶发育洞段围岩为Ⅳ类。

(5) 尾水支管及尾水闸门室

上覆岩体厚度 240~290m, 围岩为寒武系上统张夏组 (ϵ_3z) 灰岩, 岩层产状主要为 NW290~310°NE \angle 1~5°, 近似水平。岩体内无大的断层通过, 节理裂隙主要有三组: ①NE40~60°NW \angle 64~89°、②NW290~330°SW \angle 72~89°、③NE1~20°NW \angle 80~89°。岩体呈微风化~新鲜状态, 岩体较完整, 地下水活动中等, 围岩整体稳定性较好, 局部围岩存在稳定性差的块体, 围岩为Ⅲ类, 其中, 边墙为Ⅲ₁类, 顶拱为Ⅲ₂类, 局部存在构造发育或岩溶发育洞段围岩为Ⅳ类。

(6) 尾水岔管

上覆岩体厚度 270~290m, 围岩为寒武系上统张夏组第三段 (ϵ_3z^3) 灰岩, 厚层状构造, 岩质较坚硬。岩层产状主要为 NW290~310°NE \angle 1~5°, 近似水平。桩号 K1+308m~K1+348m 段发育 f3 断层, 正断层, 产状为 NE10°NW \angle 88°, 破碎带宽度 1~1.5m, 主要由碎裂岩组成, 断层两侧岩石褶皱较发育, 垂直断距约为 37m。节理裂隙主要有三组: ①NE40°~60°NW \angle 64°~89°、②NW290°~330°SW \angle 72°~89°、③NE1°~20°NW \angle 80°~89°。受 f3 断层影响, 桩号 K1+285m~K1+325m 段岩体完整性差, 地下水活动中等~强烈, 不稳定, 围岩为Ⅳ~Ⅴ类。其余洞段围岩为Ⅲ类, 其中, 边墙为Ⅲ₁类, 顶拱为Ⅲ₂类, 局部存在构造发育或岩溶发育洞段围岩为Ⅳ类。

(7) 尾水调压室

在距尾水岔管下游 20.0m 处设尾水调压室, 尾水调压室采用带连接管的阻抗式结构型式。调压室顶部与尾调通气兼交通洞相接, 断面尺寸 5.5m×5.5m, 长约 392.5m, 通向厂房通风洞。

尾水调压室井身为圆筒式, 衬砌内径 16.5m, 衬砌厚为 1.0m; 顶高程 137.0m, 底高程 60.0m, 底部连接内径 5.0m 圆形连通管, 衬砌厚为 0.6m, 顶高程 60.0m, 底高程 34.5m。

尾水调压室地面高程 300~310m，地表较平缓，坡度约为 5° ，地表植被较发育。地表大部分基岩裸露，局部有少量覆盖层，覆盖层主要为崩坡积碎石土，厚度 0.1~1.0m。

调压室围岩主要为崮山组第一段灰岩及页岩、张夏组第三段灰岩，岩质软弱~较坚硬。高程 137~115m 为崮山组第一段灰岩及页岩；高程 115m~底板为张夏组第三段灰岩。岩层产状主要为 $NW290\sim310^{\circ}NE\angle1\sim5^{\circ}$ ，近水平。岩体内无大的断层通过，节理裂隙主要有三组：① $NE40\sim60^{\circ}NW\angle64\sim89^{\circ}$ 、② $NW290\sim330^{\circ}SW\angle72\sim89^{\circ}$ 、③ $NE1\sim20^{\circ}NW\angle80\sim89^{\circ}$ 。岩体呈微风化~新鲜状态，地下水埋深约为 30~70m，地下水活动中等。

高程 137~115m 段为崮山组第一段灰岩及页岩，围岩以Ⅳ类为主，局部构造及岩溶发育部位为Ⅴ类，建议加强支护处理措施。

高程 115m~底板为张夏组第三段灰岩，围岩以Ⅲ类为主，局部构造及岩溶较发育部位为Ⅳ~Ⅴ类，建议采取相应的支护措施。

(8) 尾水隧洞

尾水系统采用一洞两机的布置方式，设有两条主洞和四条支洞，轴线走向为 $NW270.0^{\circ}\sim NW280.09^{\circ}$ ，两条主洞平行布置，内径 9.4m，桩号为 K1+350.9m~K2+797.6m。

K1+350.9m~K1+561m，段长 236m，洞向为正西 $W270^{\circ}\sim SW280.1^{\circ}$ ，上覆岩体厚度 212~286m，围岩为寒武系上统张夏组第三段 ($\epsilon_3 z^3$) 灰岩，厚层状构造，岩质较坚硬。岩层产状主要为 $NW290\sim310^{\circ}NE\angle1\sim5^{\circ}$ ，近水平。岩体内无大的断层通过，节理裂隙主要有三组：① $NE40\sim60^{\circ}NW\angle64\sim89^{\circ}$ 、② $NW290\sim330^{\circ}SW\angle72\sim89^{\circ}$ 、③ $NE1\sim20^{\circ}NW\angle80\sim89^{\circ}$ 。岩体呈微风化~新鲜状态，完整性整体较好，岩质较坚硬，地下水活动中等，围岩整体稳定性较好，局部围岩存在稳定性差的块体，围岩为Ⅲ类，其中，边墙为Ⅲ₁类，顶拱为Ⅲ₂类，局部存在构造发育或岩溶发育洞段围岩为Ⅳ类。

K1+561m~K1+601m，段长 40m，与 f2 断层相交，洞向为 $SW280.1^{\circ}$ ，上覆岩体厚度 241~253m，围岩为寒武系上统张夏组第三段 ($\epsilon_3 z^3$) 灰岩，厚层状构造，岩质较坚硬。岩层产状主要为 $NW290\sim310^{\circ}NE\angle1\sim5^{\circ}$ ，近水平。该段发育 f2 断层，产状为 $NE15^{\circ}NW\angle80\sim89^{\circ}$ ，破碎带宽度 1~2m，主要由断层角砾岩组成，垂直断距约为 33m。节理裂隙主要有三组：① $NE40\sim60^{\circ}NW\angle64\sim89^{\circ}$ 、② $NW290\sim330^{\circ}SW\angle72\sim89^{\circ}$ 、③ $NE1\sim20^{\circ}NW\angle80\sim89^{\circ}$ 。受 f2 断层影响，岩体完整性差，地

下水活动中等~强烈，不稳定，围岩为Ⅳ~Ⅴ类。

K1+601m~K1+856m，段长 255m，洞向为 SW280.1°，上覆岩体厚度 217~241m，围岩为寒武系上统张夏组第三段（ $\in_3 z^3$ ）灰岩，厚层状构造，岩质较坚硬。岩层产状主要为 NW290~310°NE \angle 1~5°，近水平。岩体内无大的断层通过；节理裂隙主要有三组：①NE40~60° NW \angle 64~89°、②NW290~330° SW \angle 72~89°、③NE1~20° NW \angle 80~89°。岩体呈微风化~新鲜状态，完整性整体较好，岩质较坚硬，地下水活动中等，围岩整体稳定性较好，局部围岩存在稳定性差的块体，围岩为Ⅲ类，其中，边墙为Ⅲ₁类，顶拱为Ⅲ₂类，局部存在构造发育或岩溶发育洞段围岩为Ⅳ类。

K1+856m~K2+402m，段长 546m，洞向为 SW280.1°，上覆岩体厚度 169~217m，围岩为寒武系上统张夏组第三段（ $\in_3 z^3$ ）灰岩，厚层状构造，岩质较坚硬。岩层产状主要为 NW290~310°NE \angle 1~5°，近水平。岩体内无大的断层通过；节理裂隙主要有三组：①NE40~60° NW \angle 64~89°、②NW290~330° SW \angle 72~89°、③NE1~20° NW \angle 80~89°。张夏组第三段灰岩洞段中，上覆岩体厚度三倍洞径之内为灰岩，三倍洞径之上为崮山组第一段灰岩及页岩，岩质较弱；崮山组第一段灰岩及页岩洞段岩体完整性差，岩质较软。岩体呈微风化~新鲜状态，地下水活动中等。围岩整体稳定性较好~不稳定，围岩为Ⅲ~Ⅳ类。

K2+402m~K2+624m，段长 222m，洞向为 SW280.1°，上覆岩体厚度 27~169m，围岩为寒武系上统张夏组第三段（ $\in_3 z^3$ ）灰岩及崮山组第一段（ $\in_3 g^1$ ）灰岩及页岩。岩层产状主要为 NW290~310°NE \angle 1~5°，近水平。岩体内无大的断层通过；节理裂隙主要有三组：①NE40~60° NW \angle 64~89°、②NW290~330° SW \angle 72~89°、③NE1~20° NW \angle 80~89°。岩体呈微风化~新鲜状态，地下水活动中等~强烈。洞顶为崮山组第一段灰岩及页岩，岩质较弱；崮山组第一段灰岩及页岩洞段岩体完整性差，岩质较软。隧洞围岩为近水平岩层，局部岩体为灰岩与页岩互层，层厚一般为 1~10mm，属于极薄层构造，对顶拱围岩稳定性不利，洞室围岩整体不稳定，为Ⅳ类围岩。

K2+624~K2+797.6m，段长 173.6m，该段为下水库进/出水口洞段，洞向为 SW280.1°，上覆岩体厚度 14~28m，围岩为寒武系上统崮山组第一段（ $\in_3 g^1$ ）灰岩及页岩，岩质较软。岩层产状主要为 NW290~310°NE \angle 1~5°，近水平。岩体内无大的断层通过；节理裂隙主要有三组：①NE40~60° NW \angle 64~89°、②NW290~330° SW \angle 72~89°、③NE1~20° NW \angle 80~89°。岩体呈微风化~新鲜状

态，完整性较差，岩质较软，上覆岩体厚度小于三倍洞径，地下水活动中等~强烈，极不稳定，为V类围岩。

4.5.3.3 涌水问题

输水系统隧洞大部分位于地下水位以下，发生集中涌水可能的部位主要有：

①构造发育部位

输水隧洞局部构造发育的部位，尤其是F1断裂及f2、f3断层影响的洞段，开挖过程中可能会出现线状流水、涌水的问题。

F1断裂两侧影响带岩体较破碎，透水性以中等透水为主；破碎带胶结良好，透水性相对较差。总体而言，F1断裂、f2及f3断层属于富水带，尤其是庄里水库蓄水后，库水可能沿着F1断裂渗入输水隧洞，在隧洞开挖时，可能有集中涌水的问题，需要特别注意，建议施工期加强超前探测，发现涌水问题及时处理。

②灰岩洞段

隧洞围岩主要以灰岩、页岩为主，岩溶发育较弱，但灰岩区依然存在溶洞、溶蚀裂隙等岩溶现象，主要可能存在崮山组、张夏组以及馒头组第二段地层，尤其是张夏组灰岩区，虽然岩溶数量及规模均较小，但在这些数量较少的岩溶发育区，依然可能发生线状流水、涌水的问题，建议施工期加强超前探测，发现涌水问题及时处理。

4.5.3.4 外水压力问题

输水系统区植被覆盖较好，覆盖层厚度较小，地表崩坡积层储水性能一般，基岩裂隙含水层补给来源比较充沛，地下水位埋深较浅，一般30m，基岩裂隙水多沿断层破碎带、裂隙密集带等呈带状或脉状分布，水量充沛，输水系统隧洞沿线地下水最大自然水头达170m。

输水系统隧洞围岩岩性主要为寒武系上统崮山组（ ϵ_3g ）、张夏组（ ϵ_3z ）和寒武系中统馒头组（ ϵ_2m ）灰岩，隧洞基本处于弱风化~微新岩体内，裂隙发育有三组，大部分洞段裂隙不甚发育。由于输水系统各洞段埋深差别大，因此各洞段地下水水头差别也较大。同时，各洞段的外水压力与基岩的完整程度密切相关。输水系统隧洞Ⅲ类围岩洞段裂隙较发育，岩体完整程度较差，外水压力折减系数建议采用0.4~0.6；Ⅳ类围岩洞段岩体较破碎，外水压力折减系数建议采用0.7~1.0。

4.5.3.5压力管道衬砌型式的建议

本电站设计最大水头 266.2m，最小水头 211.1m，额定水头为 235m，压力管道段最大内水压力为 4.65Mpa。

(1) 工程地质条件

根据沿线地层岩性、地质构造、岩体特征、岩层与洞线夹角、地下水活动状况等因素，将引水隧洞分为五段。

第一段：K0+000m~K0+692m，段长 692m，该段为引水隧洞上平段，围岩整体稳定性较好，局部围岩存在稳定性差的块体，围岩为Ⅲ类，局部存在构造发育或岩溶发育洞段围岩为Ⅳ类；第二段：K0+692m~K0+749m，段长 57m，该段为斜井段上部，为 F1 断裂影响带，围岩不稳定，围岩为Ⅳ类；第三段：K0+749m~K0+760m，段长 11m，该段为斜井段中部，与 F1 断裂相交，围岩极不稳定，围岩为Ⅴ类；第四段：K0+760m~K0+804m，段长 44m，该段为斜井段中部，为 F1 断裂影响带，围岩不稳定，围岩为Ⅳ类；第五段：K0+804m~K1+285m，段长 481m，该段为斜井段中下部、引水下平段、地下厂房及尾水隧洞，围岩整体稳定性较好，局部围岩存在稳定性差的块体，围岩为Ⅲ类，局部存在构造发育或岩溶发育洞段围岩为Ⅳ类。

引水隧洞段工程地质剖面图见图 4.5.3-3。

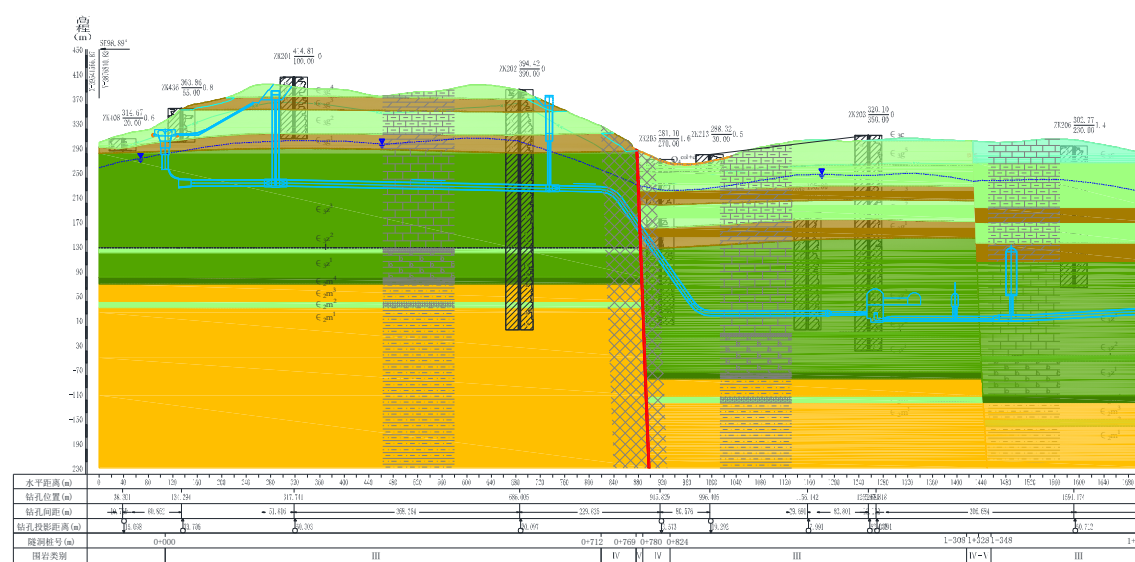


图 4.5.3-3 引水隧洞段工程地质剖面图

(2) 最小围岩覆盖厚度

挪威准则是一个基于上抬理论的经验准则，要求隧洞最小上覆岩体重量不小于洞内静水压力，再考虑一定的安全系数，保证围岩在最大水压力作用下，不发生上抬。它不考虑地质构造、围岩渗透等重要因素，在地质勘探资料及地应力测定成果不充分的情况下，它是确定不衬砌（或透水衬砌）管线布置的重要依据。

挪威准则计算公式：

$$C_{RM} = \frac{h_s \gamma_w F}{\gamma_R \cos \alpha}$$

式中

C_{RM} —岩体最小覆盖厚度（不包括全、强风化厚度），m；

h_s —洞内静水压力水头，m；

γ_w —水的重度，N/m³；

γ_R —岩石重度，N/m³；

α —河谷岸坡边坡倾角，度，当 $\alpha > 60^\circ$ 时，取 $\alpha = 60^\circ$ ；

F —经验系数，取 $F=1.50$ 。

根据挪威准则验算高压隧洞沿线所需岩体最小覆盖厚度见下表。由表 4.5.3-1 可见上平段、上弯段及斜井段中部以上不满足要求最小上覆岩体厚度要求。

表 4.5.3-1 高压管道沿线最小覆盖厚度验算

部位	上平段 末端	上弯段 末端	斜井段 K0+803.45m (临界点)	下弯段 末端	下平段 (岔管)
h_s (m)	132.7	150.5	233.5	342.7	342.7
F	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
C_{RM} (m)	84.4	93	145	213	213
覆盖厚度 (m)	74	82.9	144	247	276
	不满足	不满足	不满足	满足	满足

(3) 围岩最小主应力

在地下厂房、高压岔管及输水线路等工程部位的钻孔内进行地应力测试，测试结果见表 4.3.6.5-1。

水压致裂法地应力测试结果表明，水平最大主应力为 5.68~14.89MPa，平均为 11.11MPa；水平最小主应力为 4.48~9.19MPa，平均为 7.35MPa；垂直应力为 4.61~8.26MPa，平均为 6.81MPa；上覆岩石的垂直应力值大部分都小于水平最小主应力，最大主应力为水平方向，上覆岩石的垂直应力为最小主应力。属于中等~

低地应力；最大水平主应力优势方向为 NE38~65°，平均为 NE51.1°，为近 NE 方向。

表 4.5.3-2 水压致裂法地应力测量成果统计表

孔号	测量部位	压裂段深度 (m)	压裂参数 (MPa)						应力值 (MPa)			破裂方位 (°)
			P _b	P _r	P _s	P _H	P ₀	T	S _H	S _h	S _v	
ZK205	输水系统高压管道	202.0~203.0	9.48	7.48	4.48	1.98	0.28	2.00	5.68	4.48	5.57	
		217.0~218.0	10.73	8.33	5.23	2.13	0.43	2.40	6.93	5.23	5.98	N65°E
		239.0~240.0	11.95	9.65	6.15	2.35	0.65	2.30	8.15	6.15	6.59	
		251.0~252.0	13.26	10.26	6.76	2.46	0.76	3.00	9.26	6.76	6.92	
		265.0~266.0	14.10	11.00	7.10	2.60	0.90	3.10	9.40	7.10	7.30	N52°E
ZK606	高压岔管	113.0~114.0	12.61	9.51	6.71	1.11	0.61	3.10	10.01	6.71	6.37	
		129.0~130.0	12.27	10.77	7.27	1.27	0.77	1.50	10.27	7.27	6.81	
		145.0~146.0	13.43	10.43	7.43	1.43	0.93	3.00	10.93	7.43	7.25	N50°E
		171.0~172.0	11.68	10.48	8.18	1.68	1.18	1.20	12.88	8.18	7.96	
		182.0~183.0	13.79	10.79	8.59	1.79	1.29	3.00	13.69	8.59	8.26	N48°E

注：P_b 岩石原位破裂压力； P_r 破裂重张压力； P_s 瞬时闭合压力； P_H 试段深度上的水柱压力； P₀ 试段深度上的孔隙压力； T 岩石抗拉强度； S_H 最大水平主应力； S_h 最小水平主应力； S_v 垂直主应力。

根据地应力测试结果，最大主应力值为 8.52MPa~13.69MPa，最小主应力为 4.48MPa~8.59MPa，最大主应力为水平方向，最小主应力为垂直应力。最大主应力方向为 NE38°~NE65°，平均值为 NE51°。

表 4.5.3-3 高压管道沿线最小主应力计算表

部位	上平段 末端	上弯段 末端	斜井段 K0+803.45m	下弯段 末端	下平段 (岔管)
hs (m)	132.7	150.5	233.5	342.7	342.7
F	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
Hs*γ _w * F (MPa)	1.99	2.26	3.50	5.14	5.14
上覆岩体厚度 (m)	74	82.9	144	247	276
σ ₃ (MPa)	1.98	2.22	3.86	6.62	7.40
	不满足	不满足	满足	满足	满足

hs: 洞内静水压力水头，m； F:经验系数，取 1.50； γ_w:水的重度，N/cm³； σ₃:最小主应力。

压力管道应满足洞内静水压力小于围岩最小主应力的要求，且应有一定的安全裕度，即 $hs * F * \gamma_w \leq \sigma_3$ 。根据计算结果可知，上平段、上弯段不满足要求。考虑到上弯段末端洞内静水压力与围岩最小主应力相差较小，下弯段洞内静水压力远小于围岩最小主应力，可以认为斜井段基本满足要求。

因此，上平段、上弯段不满足要求，斜井及下平段可以满足要求。

(4) 围岩的完整性及抗渗性分析

本电站额定水头为 235m，压力管道段蜗壳进口处最大内水压力为 4.784MPa，对围岩质量要求较高。为研究压力隧洞围岩岩体在高压水渗透条件下的工程地质及水文地质特性，在 ZK203、ZK205、ZK601、ZK602、ZK603、ZK604、ZK605、ZK606 共 8 个钻孔中不同深度进行了 33 段高压压水试验，试验最大压力为 6.25MPa。

由高压压水试验结果可知，输水系统压力管道段岩体透水率在 0.61~1.18Lu 之间，平均为 0.89Lu，属微~弱透水岩体。有节理裂隙发育的部位，围岩完整性相对较差，岩体透水率相对较高，为 0.95~1.18Lu。

①岩体透水率在 0.59~1.18Lu 之间，平均为 0.89Lu，属微~弱透水岩体。

②测段产生了水力劈裂作用，岩体劈裂压力在 2.50~4.20MPa 之间，其中，岩体较完整的部位水力劈裂压力为大值，有裂隙发育的部位水力劈裂压力为小值。

压力管道地下洞室埋深 79m~276m，洞室围岩岩性较复杂，地下水位高于压力管道。由表 4.5.3-4 可见，下平段抗劈裂压力低于下平段的最大内水压力，在内水压力下会发生渗透破坏；斜井段由于发育 F1 断裂，破碎带宽 2.8m，两侧影响带宽 20m~60m，斜井段抗劈裂压力应大幅度低于完整岩体 3.75MPa。因此，斜井段及下平段均不满足布置混凝土衬砌形式的要求。

表 4.5.3-4 高压管道沿线抗劈裂压力表

洞室部位 (高程)	长度 (m)	内水压力 (MPa)	相应部位岩体 抗劈裂压力 (MPa)	是否满足 要求	备注
上平段(233.8m)	68.54	1.62	4.14	满足	
斜井段 (233.8m~53.8m)	233.1	1.62~3.53	<1.5	不满足	该段中上部主要为 F1 断裂及影响带， 岩体完整性差，抗劈 裂压力小。
渐缩段 (53.8m~45.6m)	10	3.88~4.05	3.75	不满足	
下弯、下平和岔管 段(31m)	289.42	4.7~4.78	4.2	不满足	

(5) 结论

根据围岩最小覆盖厚度准则，高压管道上平段、上弯段及斜井段 K0+803.45m 以上部位无法满足混凝土衬砌型式的要求；根据隧洞净水压力与最小主力的关系，高压管道上平段及上弯段无法满足混凝土衬砌型式的要求；根据围岩的完整性、抗渗性及抗劈裂能力分析，高压管道斜井段、下弯段和下平段均不满足混凝土衬

砌型式的要求。

综合分析，结合高压管道工程地质条件、依据围岩覆盖厚度准则（挪威准则）、最小主应力准则、岩体渗透性稳定等方面判断，本工程压力管道不具备采用钢筋混凝土衬砌的地质、地形条件，建议压力管道采用钢板衬砌。

4.6地下厂房系统工程地质条件

地下厂房布置于输水系统的中部，厂区建筑物包括地下厂房、主变洞、母线洞、电缆洞、交通洞、通风洞、出线平洞、排风平洞、地面排风机房、排风竖井、排水廊道和地面 GIS 开关站等。中控楼拟布置在业主营地。

地下厂房由主机间、安装间和副厂房组成，呈“一”字形布置，安装间布置于地下厂房右端，副厂房布置于地下厂房左端。地下厂房开挖尺寸 183×26.8×57m（长×宽×高），其中主机间长 114m，安装间长 49.0m，副厂房长 20m。主机间布置 4 台 295MW 可逆式水泵水轮机-发电电动机组，机组安装高程 26.0m。厂房顶拱开挖高程为 69.5m，尾水管底板开挖高程为 17.00m。主机间分五层布置，分别是发电机层、母线层、水轮机层、蜗壳层、尾水管层。地下厂房主要采用喷锚柔性支护型式和岩壁吊车梁结构。

主变洞和地下厂房平行布置，两洞间净距 40m，一机一变。主变洞内布置主变室和主变副厂房，其开挖尺寸为 160.0×21.0×22.0m（长×宽×高）。

为查明地下厂房系统的工程地质条件，在地下厂房东侧的支沟内布置了平洞 PD101 勘探平洞，进洞高程 192m，洞底高于厂房顶拱约 118m，主洞长度 490m；在桩号 0+428m 位置分别向两侧垂直主洞开挖了厂房东侧支洞 PD101-1 与西支洞 PD101-2，方向为东西向；在主洞桩号 0+197m 位置向北侧开挖了厂房北侧支洞 PD101-3，方向为正北向。东侧支洞 PD101-1 长 110m，西侧支洞 PD101-2 长 181m，北侧支洞 PD101-3 长 270m。其中，主洞 PD101 穿过了厂房左侧端墙，北侧支洞 PD101-3 穿过了厂房右侧端墙，东侧支洞 PD101-1 穿过了高压岔管。结合地下厂房建筑物布置了 6 个钻孔，孔内进行了地应力测试、高压压水劈裂试验、波速测试等工作；在平洞 PD101、北侧支洞 PD101-3 与平洞 PD102 内进行了岩体原位试验、放射性及有害气体测试等工作。

4.6.1基本地质条件

4.6.1.1地形地貌

地下厂房区地面位置位于近 EW 向的山坡上，地面高程 300~318m，地形坡度 20~30°，地表植被较少，基岩露头较好。洞室埋深为 222~240m。

4.6.1.2地层岩性

地下厂房区地层主要为寒武系上统张夏组第三段 ($\epsilon_3 z^3$) 灰岩, 寒武系中统馒头组第一段 ($\epsilon_2 z^1$) 页岩、馒头组第二段 ($\epsilon_2 z^2$) 灰岩夹页岩、馒头组第三段 ($\epsilon_2 z^3$) 页岩, 第四系 (Q_4)。

张夏组第三段 ($\epsilon_3 z^3$) 岩性为灰岩, 灰黑色, 微晶结构, 厚层状构造, 层厚一般为 0.5~1m, 矿物成分主要为方解石, 锤击声清脆, 岩质坚硬; 层内可见少量页岩纹理, 纹理厚度一般 0.1~0.5mm; 灰岩占比约为 99%, 其余为少量纹理状页岩。

馒头组第一段 ($\epsilon_2 m^1$): 岩性为页岩, 紫红色, 泥质粉砂质结构, 页理构造, 矿物组成主要黏土矿物 (20%~25%)、长石与石英 (70%~75%) 及少量铁质 (5%), 岩质软弱, 手掰可断; 局部夹少量薄层灰岩, 层厚 1~5cm; 页岩占比 90%~95%, 灰岩占比 5%~10%。

馒头组第二段 ($\epsilon_2 m^2$): 岩性为灰岩夹页岩, 灰岩为灰黑色, 微晶结构, 矿物成分以方解石为主, 厚层状构造, 岩质坚硬, 锤击声清脆; 页岩为紫红色, 泥质结构, 薄层状构造, 矿物成分为泥质, 岩质软弱; 灰岩占比约 70%~80%, 页岩占比约 20%~30%。

馒头组第三段 ($\epsilon_2 m^3$): 岩性为页岩, 局部夹少量灰岩, 页岩呈紫红色, 泥质结构, 薄层~极薄层状构造, 层厚 1~10mm, 矿物成分主要为泥质, 岩质较软, 手掰可断, 页岩占比 80%以上, 其余为少量灰岩。

第四系覆盖层主要为崩坡积层 (Q_4^{col+dl}), 其中, 崩坡积层分布于地下厂房山坡表部, 厚度 0.5~1.0m, 主要由碎石土等组成。

4.6.1.3地质构造

地下厂房区地层主要为寒武系上统张夏组第三段 ($\epsilon_3 z^3$) 灰岩、寒武系中统馒头组第一段 ($\epsilon_2 z^1$) 页岩、馒头组第二段 ($\epsilon_2 z^2$) 灰岩夹页岩及馒头组第三段 ($\epsilon_2 z^3$) 页岩, 为近水平岩层, 岩层产状主要为 $NW290^\circ \sim 310^\circ NE \angle 1 \sim 5^\circ$ 。

地下厂房区的地质构造较为发育, 主要表现为断层、节理裂隙与溶蚀裂隙。

地下厂房区北侧发育 F1 断裂, 距离厂房上游边墙约 195m。F1 断裂为正断层, 规模较大, 延伸较长, 走向为 $NW280^\circ \sim 300^\circ$, 倾向 SW, 倾角 $70^\circ \sim 89^\circ$, 破碎带宽度 2.8m, 带内充填碎裂岩, 两侧影响带宽 20~60m, 垂直断距为 138m。

(1) 断层

从厂房平洞揭露情况看, 厂房区共发育 33 条断层, 走向以 NW、NE 向较为发育, 近 NNE 向次之 (表 4.6.1-1)。地下厂房东部尾闸室与尾水岔管之间发育 f3

断层，f3 断层为正断层，产状为 NE10° NW∠88°，破碎带宽度 1m~1.5m，主要由碎裂岩组成，断层两侧岩石褶皱较发育，垂直断距约为 37m。断层破碎带 fp1、fp17、fp20、fp29 宽度在 0.1~1.0m，其余断层破碎带宽度一般小于 0.1m，破碎带内部分有溶蚀现象发育，fp28 和 fp29 断层破碎带内发育小溶洞。fp28 处发育溶洞洞径 10~40cm，fp29 处发育溶洞大小约为长 2m×高 1m×宽 40cm。

表 4.6.1-1 地下厂房区断层汇总表

断层 编号	产状			性质	破碎带 宽度(cm)	简要描述	分布位置
	走向 (°)	倾向	倾角 (°)				
f3	1~10	NW	88	正	100~150	带内充填碎裂岩，带内可见岩层褶皱发育	与尾水隧洞正交，通过桩号约为 K1+436m
fp1	10	SE	88	正	3~14	带内充填碎裂岩，碎裂岩成分以方解石和泥质为主	平洞 PD101 内桩号 65.6~68m
fp2	300	SW	83	正	0.1~1	带内充填碎裂岩，碎裂岩成分以方解石和泥质为主	平洞 PD101 内桩号 237.1~238m
fp3	290	SW	89	正	0.1~5	带内充填断层泥和碎裂岩	平洞 PD101 内桩号 434.6m
fp4	300	NE	83	正	1~5	带内充填断层泥和碎裂岩	平洞 PD101-3 内桩号 109.5~110.4m
fp5	65	SE	81	正	1~8	带内充填断层泥和碎裂岩	平洞 PD101-3 内桩号 128.6~129.5m
fp6	300	SW	70	正	0.1~4	带内充填钙质和断层泥	平洞 PD101-3 内桩号 142.4~142.7m
fp7	270	SW	82	正	0.1~3	带内充填钙质和断层泥	平洞 PD101-3 内桩号 142.4~142.6m
fp8	60	NW	80		0.1~3	带内充填钙质和断层泥	平洞 PD101-3 内桩号 145.1~146.8m
fp9	320	NE	85	正	0.1~2	带内充填钙质和断层泥	平洞 PD101-3 内桩号 153.1~153.6m
fp10	310	NE	87	正	0.1~2	带内充填钙质和断层泥	平洞 PD101-3 内桩号 154~155.4m
fp11	315	NE	88	正	0.1~3	带内充填钙质和断层泥	平洞 PD101-3 内桩号 158.9~160.6m
fp12	318	NE	88	正	0.1~3	带内充填钙质和断层泥	平洞 PD101-3 内桩号 160.5~161m
fp13	303	SW	88	正	0.1~5	带内充填钙质和断层泥	平洞 PD101-3 内桩号 169~170m
fp14	295	NE	87		0.1~3	带内充填钙质和断层泥	平洞 PD101-3 内桩号 173.5~174.8m
fp15	310	NE	89	正	0.1~3	带内充填钙质和断层泥	平洞 PD101-3 内桩号 174.3~176.3m
fp16	300	NE	87	正	0.1~5	带内充填钙质和断层泥	平洞 PD101-3 内桩号 198.2~198.6m
fp17	310	NE	88	正	30~40	带内充填断层泥和碎裂岩	平洞 PD101-3 内桩号 203.8~204.3m
fp18	310	NE	88	正	1~5	带内充填钙质和断层泥	平洞 PD101-3 内桩号

断层 编号	产状			性质	破碎带 宽度(cm)	简要描述	分布位置
	走向 (°)	倾向	倾角 (°)				
							201.6~203.1m
fp19	310	NE	88	正	1~3	带内充填钙质和断层泥	平洞 PD101-3 内桩号 224.3~225m
fp20	310	NE	88	正	10~30	带内充填断层泥、钙质和碎 裂岩	平洞 PD101-3 内桩号 252.7~253.8m
fp21	300	NE	79		0.1~1	带内充填岩屑夹泥钙质	平洞 PD101-2 内桩 号 38.1~44.8m
fp22	305	NE	80		3~6	带内充填岩屑夹泥	平洞 PD101-2 内桩号 54.2~59.5m
fp23	5	NW	87		2~4	带内充填断层泥碎裂岩	平洞 PD101-2 内桩号 97.7~98m
fp24	305	NE	87		0.1~10	带内充填泥夹岩屑钙质 两侧影响带宽度 10~40cm	平洞 PD101-2 内桩号 79.9~85m
fp25	35	SE	60		0.1~0.5	带内充填断层泥钙质	平洞 PD101-2 内桩号 105.6~106.9m
fp26	350	NE	50		0.1~0.5	带内充填岩屑夹泥钙质	平洞 PD101-2 内桩号 130.4~129.5m
fp27	10	NW	85		0.1~1	带内充填岩屑夹泥钙质	平洞 PD101-2 内桩号 135.8~135.9m
fp28	29	SE	86		0.2~2	带内充填断层泥钙质该处 发育小溶洞, 溶洞 10~40cm	平洞 PD101-2 内桩号 166.1~167.3m
fp29	10	NW	88	正	50~100	带内发育溶洞长 2m 高 1m 宽 40cm	平洞 PD101-2 内桩号 170.4~170.7m
fp30	30	SE	85		0.5~3	带内充填泥质角砾岩	平洞 PD101-2 内桩号 172.8~172.1m
fp31	40	SE	80		0.5~2	带内充填断层泥角砾岩	平洞 PD101-2 内桩号 177.9~178.3m
fp32	30	SE	55		0.1~1	带内充填钙质泥质	平洞 PD101-2 内桩号 179.5~180m

(2) 节理裂隙

为查明地下厂房区节理裂隙发育规律, 本阶段对地下厂房区平洞内的节理裂隙进行了统计。统计方法为: 主洞 PD101、支洞 PD101-1、支洞 PD101-2 和支洞 PD101-3 内出露的节理裂隙全部进行统计, 共计 1445 条。

地下厂房区节理裂隙主要发育三组, 走向以 NE、NW 向为主, 均为陡倾角, 三组裂隙发育特征为:

节理裂隙主要发育三组, 走向以 NE、NW 向为主, 均为陡倾角, 三组裂隙发育特征为:

①NE40° ~60° NW∠64° ~88°, 裂隙面起伏、粗糙, 闭合~微张, 无充填或充填岩屑, 间距 30~80cm, 延伸 5~8m;

②NW300° ~320° SW∠72° ~88°, 裂隙面起伏、粗糙, 闭合~微张, 无充填

或充填岩屑，间距 50~100cm，延伸 3~5m。

③NE1°~20° NW∠80°~89°，裂隙面起伏、粗糙，闭合~微张，无充填或充填岩屑，间距 50~100cm，延伸 1~3m。

对地下厂房区节理裂隙发育规律进行统计，可以发现，厂房区构造走向以第①组 NE40°~60° 和第②组 NW300°~320° 为主，第③组 NE1°~20° 次之。

三个构造方向中，NE40°~60°、NW300°~320° 属于同期发育的共轭节理，时代相对较老；NE 1°~20° 发育时代相对较新。

NE1°~20° 方向节理裂隙，延伸至其他方向节理裂隙后，或者截止，或者延伸后将其余两组节理裂隙错断，错断距离一般小于 2cm。

NE40°~60° 和 NW300°~320° 方向节理裂隙同期形成，共轭产生，未发生错动。

4.6.1.4 水文地质条件

地下厂房区地下水类型主要为基岩裂隙水，主要接受其上含水层地下水及大气降水的补给，向沟谷排泄。据水道系统布置的长观孔资料，地下水位埋深一般 30~40m，地下厂房区位于地下水位以下。厂房围岩主要为微新岩体，由高压压水试验结果可知，地下厂房区及输水系统压力管道段岩体透水率在 0.61~1.18Lu 之间，平均为 0.89Lu，属微~弱透水岩体。

根据《水力发电工程地质勘察规范》GB50287-2016 环境水对混凝土腐蚀性评价标准，地下厂房的地下水样结果异常。

可研阶段在地下厂房区的三个钻孔 ZK203、ZK601、ZK605 内取样进行试验，SO₄²⁻离子含量分别为 162.38mg/L、1655.04mg/L、2855.06mg/L。钻孔 ZK203 地下水对混凝土无腐蚀性，钻孔 ZK601、ZK605 地下水对普通水泥有硫酸盐型强腐蚀性。

钻孔 ZK203 位于厂房中间部位，钻孔 ZK601、ZK605 分别位于地下厂房两侧端墙，三个部位的钻孔地下水样中，2 组存在 SO₄²⁻离子超标，1 组正常。

综合判断，地下厂房区地下水对普通水泥有硫酸盐型强腐蚀性，对抗硫酸盐水泥无腐蚀性。

4.6.1.5 物理地质现象

地下厂房区地表未见滑坡、崩塌、泥石流等不良地质现象，岩溶弱发育，物

理地质现象以岩体风化为主。弱风化岩体厚度 28.8m，岩体较完整。地下厂房洞室位于新鲜岩体内。

4.6.1.6地应力

在地下厂房及高压岔管部位的 7 个钻孔内进行地应力测试，测试结果表明：

(1) 地下厂房区深度范围内进行测试，水平最大主应力为 8.52~14.89MPa，平均为 11.45MPa；水平最小主应力为 5.37~9.19MPa，平均为 7.43MPa；垂直应力为 4.61~8.81MPa，平均为 6.94MPa；工程区属于中等~低地应力。

(2) 地下厂房区最大主应力方向测试结果在 NE38~65° 之间，平均值为 NE51°。

4.6.1.7岩石（体）物理力学参数建议值

地下厂房区围岩的物理力学性质测试分别进行了现场变形试验、地应力测试、岩体纵波测试及室内常规试验，根据对试验成果的整理分析，类比其它工程，给出各类围岩的物理力学性质指标建议值见表 4.3.6.9-2、结构面力学参数建议值见表 4.3.6.9-3。

4.6.2地下厂房位置比选及轴线方向的选择

根据工程区地形地质条件，在已确定的上、下水库库址、输水线路的基础上，本阶段进行了地下厂房位置比选。当地下厂房布置在输水系统尾部时，受地形限制，引水高压管道长度较长，水道系统 Tw 值较大，不满足过渡过程计算要求，因此本阶段不考虑尾部厂房方案。根据选定的输水线路方案，本阶段拟定了首部和中部地下厂房方案进行比选，首部方案厂房距上水库进出水口约 560m，首部方案、中部方案厂房位置相距约为 540m。

地下厂房位置选择主要考虑输水系统沿线附近的工程地质条件，宜布置于工程地质条件相对较优的地质单元内，应避开 I、II 级结构面，并尽量减少断裂构造对厂房上游岔管和下游尾水闸门井等其他水工隧洞围岩的不利影响，尽量放在岩体完整性较好的部位。厂房洞室的轴线走向宜与围岩的主要构造弱面呈较大的夹角，与地应力方向呈较小的夹角。

地下厂房开挖尺寸为 183m×26.8m×57m（长×宽×高），厂房底板高程为 11m，顶拱高程 69.5m。

在输水系统 K0+767mm 附近发育有 1 条区域断裂 F1，为正断层，规模较大，

延伸较长,走向为 $NW280^{\circ} \sim 300^{\circ}$,倾向 SW,倾角 $70^{\circ} \sim 89^{\circ}$,破碎带宽度 2.8m,带内充填碎裂岩,两侧影响带宽 20~60m,对地下洞室群围岩稳定较不利。考虑 F1 断裂对地下厂房、主变洞及尾闸洞三大洞室布置的影响,以 F1 断裂为界,分别在断裂的南北侧布置地下厂房,两方案分别为首部布置方式和中部布置方式。

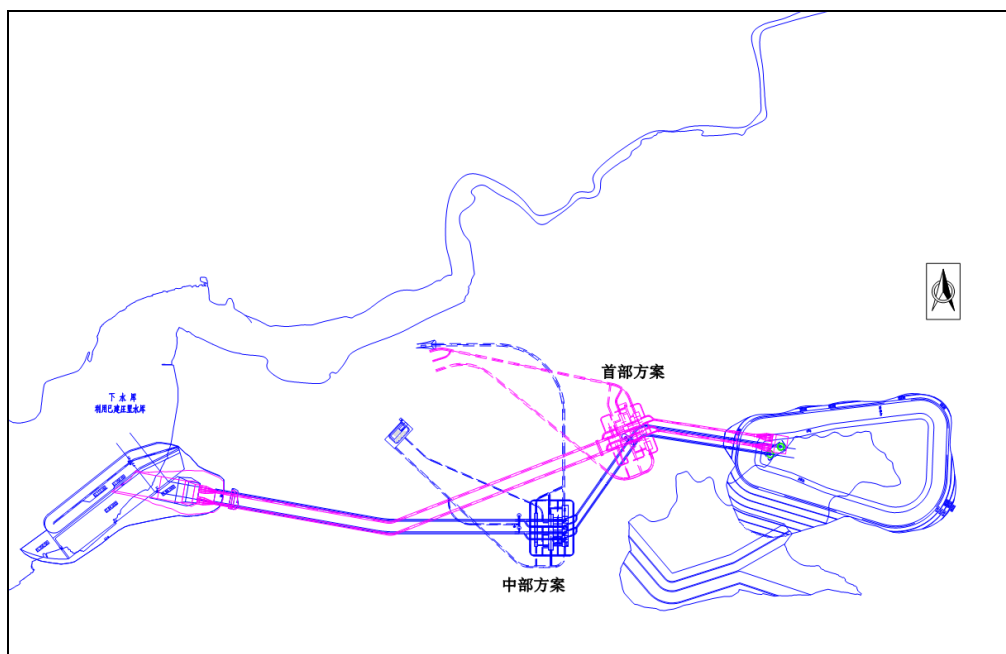


图 4.6.2-1 地下厂房各方案布置示意图

4.6.2.1 地下厂房位置比选

在输水系统 K0+880m 附近发育有 1 条区域断裂 F1,为正断层,规模较大,延伸较长,走向为 $NW280^{\circ} \sim 300^{\circ}$,倾向 SW,倾角 $70^{\circ} \sim 89^{\circ}$,破碎带宽度 2.8m,带内充填碎裂岩,两侧影响带宽 20~60m,对地下洞室群围岩稳定较不利。根据目前钻孔、平洞及地质测绘成果,F1 断裂的垂直断距为 138m。考虑 F1 断裂对地下厂房、主变洞及尾闸洞三大洞室布置的影响,以 F1 断裂为界,分别在断裂的南北侧布置地下厂房,两方案分别为首部布置方式和中部布置方式。

中部布置方案,将地下厂房系统布置在 F1 断裂南侧、输水系统中部,地下洞室群位于 K1+140m~K1+390m 之间,距 F1 断裂最近距离约为 180m,距 f2 断层最近距离约为 230m,f3 断层在尾闸室与尾水岔管之间穿过。地表高程为 290~318m 左右,地下厂房上覆岩体厚度 200m 左右。厂房区岩性主要由寒武系上统张夏组第三段 ($\epsilon_3 z^3$) 灰岩组成,厚层状构造,岩质较坚硬,地下厂房围岩类别以 III 类为主,局部为 IV~V 类。

首部布置方案,将地下厂房系统布置在 F1 断裂北侧、输水系统首部,地下洞

室群位于 K0+600m~K0+808m 之间，地表高程为 344~398m 左右，地下厂房上覆岩体厚度 260m~320m 左右。距离 F1 断裂约 180m。地下厂房区地层为寒武系中统馒头组第一段页岩、馒头组第二段灰岩夹页岩、馒头组第三段页岩，围岩以页岩为主，属于软岩，岩石饱和抗压强度平均值为 11.22MPa，物理力学性质差，遇水后力学性质急剧下降，地下厂房围岩类别以Ⅳ~Ⅴ类为主。

因此，从工程地质条件考虑，首部厂房方案围岩为页岩，以Ⅳ~Ⅴ类为主，围岩变形问题突出；中部厂房方案围岩为灰岩，以Ⅲ类为主，稳定性较好，中部厂房优势明显。

2023 年 1 月 11 日至 12 日，中国水利水电建设工程咨询有限公司在枣庄主持召开了山东枣庄山亭抽水蓄能电站可行性研究阶段枢纽布置格局研究专题报告咨询会议。会议认为两方案主体洞室布置和尺寸基本相同，辅助洞室长度相近。首部式地下厂房不需要设置引水调压室，输水线路总长度较短，但围岩岩性以页岩为主，围岩类别为Ⅳ、Ⅴ类，地下厂房支护量大，施工难度大；中部式地下厂房围岩为灰岩，围岩以Ⅲ类为主，地下洞室群地质条件较好，推荐中部式厂房布置方案基本合适。

因此，综合各专业比较成果，本阶段选定中部厂房方案。

4.6.2.2 地下厂房轴线方向选择

（1）选择原则

- ①厂房轴线宜与主要构造线方向具有较大的夹角，其夹角不宜小于 30°。
 - ②地下厂房洞室的长轴线方向应与最大主应力方向平行或小锐角相交。
 - ③对于最大主应力方向与主要构造线方向二者不能兼顾时，应作具体分析。
 - ④满足输水系统水工建筑物布置的要求，保证输水隧洞进、出厂房的顺畅。
- 本工程受地形地貌条件及枢纽布置限制，地下厂房轴线不适合布置 NEE 向。

（2）裂隙发育规律

根据地表测绘及厂房勘探平洞目前已经揭露的基本情况来看，厂区主要发育裂隙有 3 组，走向分别为 NE40°~60°、NW300°~320° 以及 NE1°~20°。其中，NE 40°~60°、NW300°~320° 为优势结构面方向。

（3）地应力

根据地应力测试结果，地下厂房区水平最大主应力为 8.52~14.89MPa，平均为 11.45MPa；水平最小主应力为 5.37~9.19MPa，平均为 7.43MPa；垂直应力为 4.61~

8.81MPa, 平均为 6.94MPa; 最大主应力为水平方向, 上覆岩石的垂直应力为最小主应力。工程区属于中等~低地应力。

地下厂房最大主应力方向在 NE38~65° 之间, 平均值为 NE51°。

(4) 地质建议

地下厂房区最大主应力方向为 NE51°, 与优势裂隙方向 NE 40°~60° 方位角基本相同, 不能同时兼顾厂房轴线与构造大角度相交、与最大水平地应力小角度相交的要求。

地下厂房区最大水平地应力值 8.52MPa~14.89MPa, 岩石饱和抗压强度平均值为 46.75MPa, 完整性系数按照 0.75 考虑, 则地下厂房围岩强度应力比为 2.35; 如果不考虑围岩完整性系数, 则地下厂房岩石强度应力比为 3.14。

根据《水电站地下厂房设计规范》(NB T 35090-2016) 3.1.6 节, 当岩石强度应力比小于 4.0 时, 宜主要考虑地应力因素, 且地下厂房轴线与最大主应力方位的夹角不宜大于 30°; 当岩石强度应力比大于 7.0 时, 宜主要考虑结构面因素; 当岩石强度应力比在 4.0~7.0 之间时, 该规范未做明确规定。

根据《抽水蓄能电站工程地质勘察规程》(NB T 10073-2018) 8.3.3 节, 对于最大主应力方向与主要构造方向二者不能兼顾时, 高地应力区宜重点考虑地应力影响, 中低地应力区宜重点考虑主要构造方向的影响。

初步确定地下厂房轴线方向为正北向, 与 NE 40°~60° 的构造方向夹角为 40°~60°, 与 NW300°~320° 的构造方向夹角 40°~60°, 与 NE 1°~20° 的构造方向夹角 1°~20°, 其中, 与 NE 1°~20° 的构造方向夹角较小, 与最大主应力方向夹角为 51° (图 4.6.2-2)。

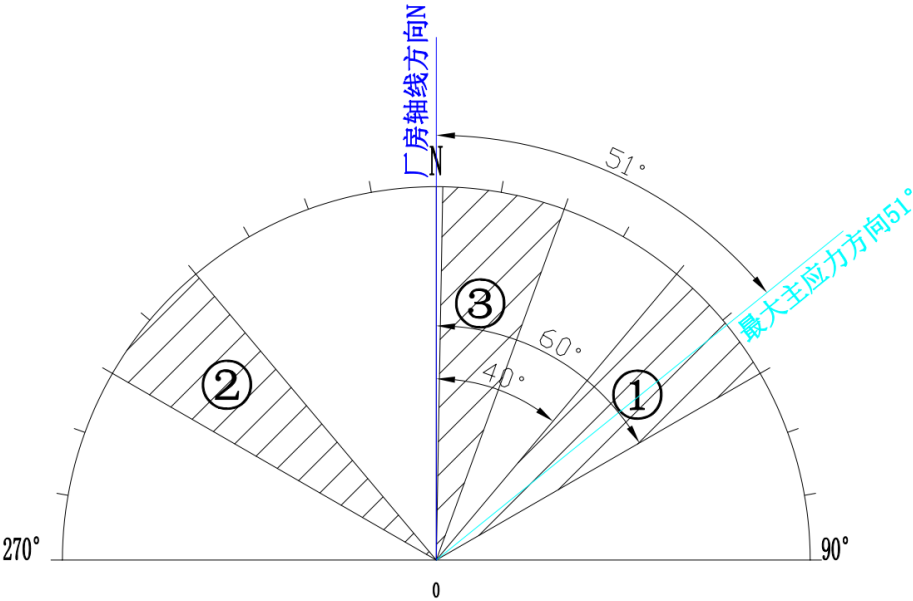


图 4.6.2-2 地下厂房轴线示意图

本工程地下厂房区最大主应力方向为 NE51°，与优势裂隙方向 NE 40° ~60° 方位角基本相同。地下厂房区最大主应力值为 8.52MPa~14.89MPa，属于中等~低地应力区，地下厂房岩石强度应力比为 3.14。因此，应同时考虑主要构造方向和主应力的影响。

地下厂房轴线方向为正北向，与主要构造方向夹角较大，但依然与 NE 1° ~20° 的构造方向夹角较小，同时，考虑到轴线方向与最大主应力方向夹角为 51°，且岩石强度应力比仅为 3.14，小于 4。因此，建议对地下厂房进行稳定计算，并加强支护措施。

4.6.3地下厂房岩体质量及围岩分类

4.6.3.1地下厂房岩体质量分析

围岩质量主要受岩体的完整性、岩石抗压强度、软弱结构面的抗剪强度、岩体抗变形特性、含水透水性等因素影响，其中岩体完整性对围岩质量影响最大。

地下厂房区建筑物岩性为微新灰岩，岩层为厚层状构造，岩石饱和抗压强度平均值为 46.75MPa，属于中硬岩。

地下厂房区节理裂隙主要发育三组，走向以 NE、NW 向为主，均为陡倾角，延伸长度较小，走向以第①组 NE40° ~60° 和第②组 NW300° ~320° 为主，第③组 NE1° ~20° 次之。总体而言，地下厂房区构造不甚发育。

根据室内岩石变形试验成果，岩石的饱和变形模量为 12 GPa ~34.4GPa，平均值为 21.55 GPa。

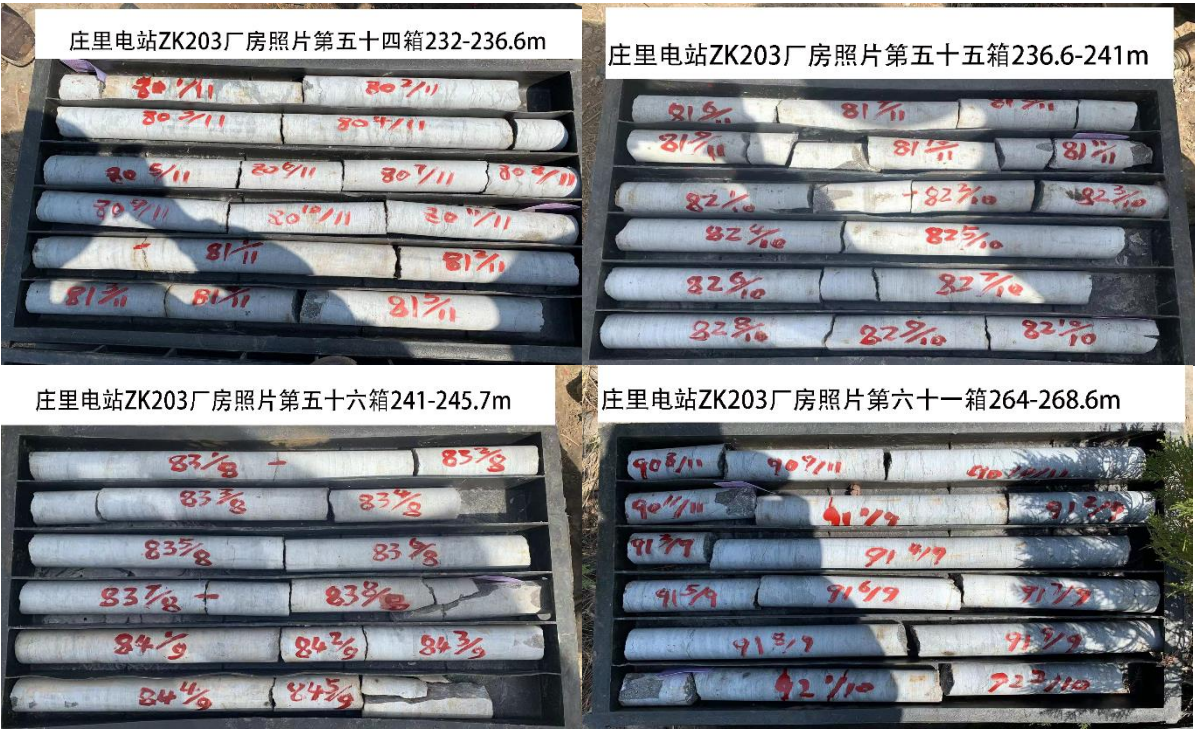
根据现场原位变形试验成果，灰岩（Ⅲ类）平行于层理面的变形模量为 20.75~26.92GPa，垂直于层理面的变形模量为 28.31~32.94Gpa。岩石的变形模量较高，岩体质量较高，抗变形能力较强。

据钻孔高压压水试验资料，岩石透水率在 0.61~1.18Lu 之间，平均为 0.89Lu，属微~弱透水岩体。

根据钻孔岩芯采取率及 RQD 值统计，地下厂房区域岩芯采取率为 100%，RQD 平均值为 78.8%(表 4.6.3.1-1)，采取率及 RQD 值极高，岩石质量很好(图 4.6.3.1-1)。

表 4.6.3.1-1 地下厂房区钻孔岩芯 RQD 值统计表

工程部位	岩性	钻孔编号	RQD（%）	备注
地下厂房	灰岩	ZK203	93.4	
		ZK601	82.2	
		ZK602	73.8	
		ZK603	74.2	
		ZK604	75.0	
		ZK605	83.0	
		ZK606	70.1	
平均值			78.8	





注：厂房顶拱高程为 69.5m，位于孔深 244m 处

图 4.6.3.1-1 厂房钻孔岩芯照片（ZK203）

根据地下厂房区钻孔 ZK601~ZK606 声波测试结果，钻孔灰岩声波平均值为 $V_p=5796\text{m/s}$ （表 4.6.3.1-3），大于 5000m/s 的波速值占 99.26%，岩石质量较高。

表 4.6.3.1-2 地下厂房区钻孔声波测试波速 V_p 分段统计表

岩性	工程部位	风化程度	V_p (m/s)			\leq 某一 V_p 值所占比例 (%)				
			平均值	大值平均	小值平均	8000	7000	6000	5000	4000
灰岩	地下厂房	新鲜	5798	6706	4743	100	99.95	76.55	0.74	0.003

综上所述，地下厂房区岩石为灰岩，厚层状结构，属于中硬岩，未见大规模断层发育，节理裂隙主要发育三组，延伸长度较小，钻孔采取率及 RQD 值极高，岩体完整性较好，变形模量较高，声波平均值为 5796m/s ，岩体质量较高。

4.6.3.2围岩工程地质分类

围岩分类是对地下工程岩体地质特性进行综合分析及评价，根据厂房区钻孔等勘探资料，对厂房、主变室围岩岩体质量作出工程地质评价。采用了《水力发电工程地质勘察规范》地下工程围岩分类标准、《工程岩体分级标准》(GB50218-94) BQ 分类标准，进行地下工程围岩分类。

(1) 水电工程围岩分类

按《水力发电工程地质勘察规范》(GB50287-2016)地下洞室围岩分类标准，对地下厂房区围岩进行详细分类。根据平洞 PD101、PD101-1、PD101-2、与 PD101-3 的勘探成果，以 F1 和 fp1 为界，根据断层、裂隙及岩溶发育的程度不同，可以将地下厂房分为两个工程地质分区（图 4.6.3.2-1）：

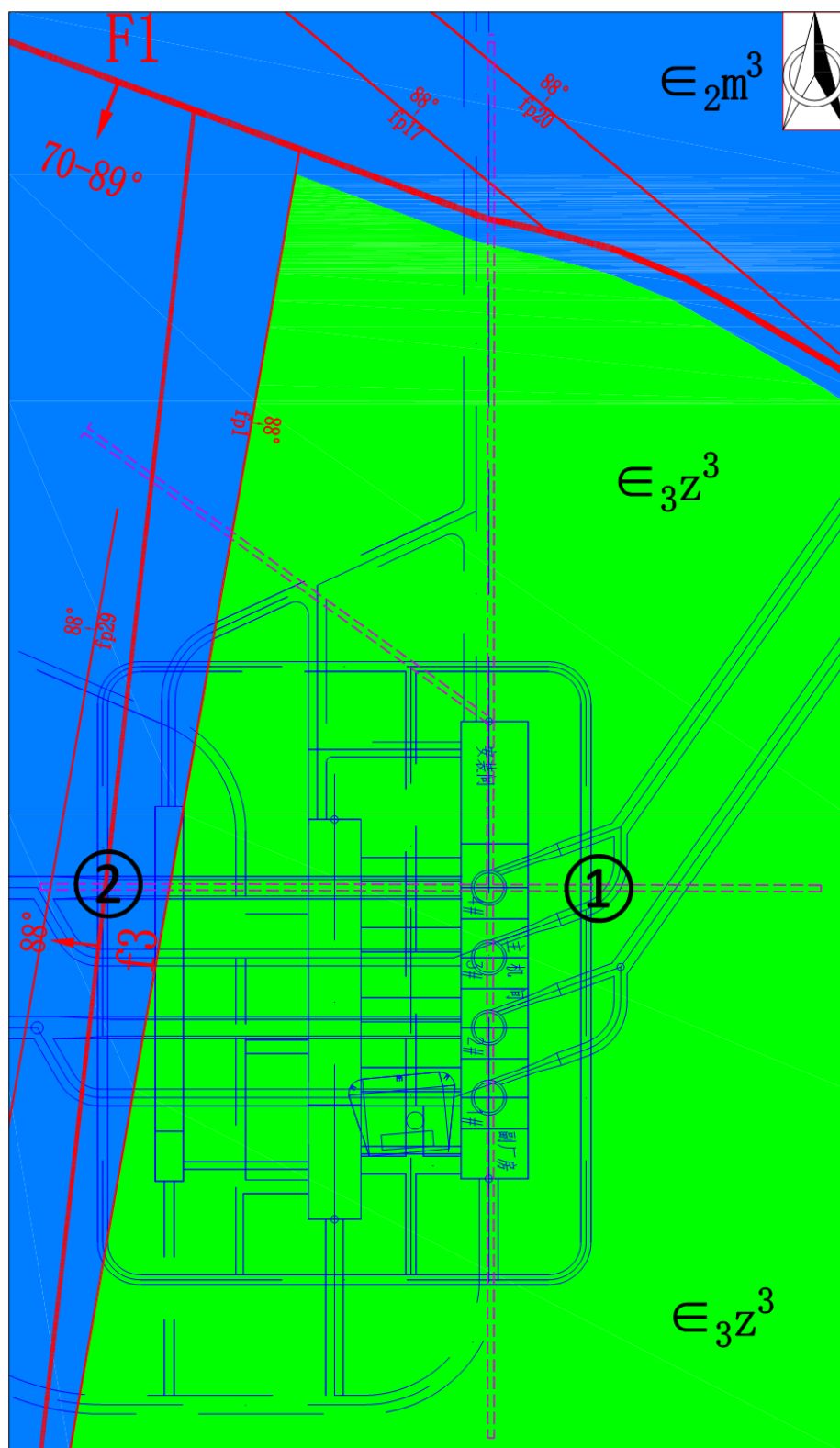


图 4.6.3.2-1 厂房顶拱工程地质平切图 (69.5m)

①区：断层不发育，沿上下游方向长度为 180m，岩性为新鲜灰岩，岩体以中厚层状结构为主，岩石饱和抗压强度平均值为 46.75MPa，属于中硬岩；节理主要

发育 NW 向、NE 向和 NNE 向三组，间距一般 50~100cm，结构面轻度发育，岩体完整~较完整；地下水活动以渗水~滴水为主；主要结构面走向与厂房轴线方向夹角为 40~60°。

②区：断层 fp1~fp29，沿上下游方向长度为 55m，岩性为新鲜灰岩，岩体以碎裂结构为主，岩石饱和抗压强度 46.75MPa，属于中硬岩；发育 3 条断层，分别为 f3、fp1、fp9；节理主要发育 NW 向、NE 向和 NNE 向三组，间距一般 30~50cm，局部 10~30cm，结构面中等发育，岩体完整性差~较破碎；地下水活动以渗水~滴水为主；主要结构面走向与厂房轴线方向夹角为 40~60°。

按《水力发电工程地质勘察规范》(GB50287-2016)地下洞室围岩分类标准，对地下厂房区围岩进行详细分类。

地下厂房区围岩为近水平岩层，产状主要为 NW290°~310°NE∠1°~5°，顶拱与边墙的分值不同，根据《水力发电工程地质勘察规范》(GB50287-2016)地下洞室围岩详细分类标准，沿厂房上下游方向对三个工程地质分区进行围岩详细分类，见表 4.6.3.2-1。

根据分类结果可知，①分区的围岩类别，顶拱以Ⅲ₂类为主，边墙以Ⅲ₁类为主；②分区顶拱的围岩类别以Ⅳ类为主，边墙的围岩类别以Ⅲ类为主。

表 4.6.3.2-1 水力发电标准地下厂房区围岩详细分类表

分区序号	部位	岩石强度评分 A	岩体完整性评分 B	结构面状态评分 C	地下水评分 D	结构面产状评分 E	围岩评分	围岩强度应力比 S	围岩分类
①	顶拱	16	34	17	-2	-12	53	2.67	Ⅲ ₂
	边墙	16	34	17	-2	0	65	2.67	Ⅲ ₁
②	顶拱	16	26	17	-6	-12	41	2.04	Ⅳ
	边墙	16	26	17	-6	0	53	2.04	Ⅲ

(2) 国标 BQ 围岩分类

按《工程岩体分级标准》(GB50218-2014)进行地下洞室围岩分类。根据岩石饱和抗压强度(R_b)和岩体完整性系数(K_v)计算出岩体基本质量指标 BQ 值，计算公式：

$$BQ=100+3R_b+250K_v$$

然后考虑地下水、软弱结构面产状及地应力状态三种因素对 BQ 值加以修正，见表 4.6.3.3-2。

表 4.6.3.3-2 国标 BQ 标准主厂房围岩分类表

分区序号	完整性系数 K_v	基本质量指标 BQ	修正值[BQ]	围岩类别
①区	0.85	452.75	352.75	III
②区	0.65	402.75	262.75	IV

根据分类结果可知，三个分区的修正值均因围岩强度应力比小于 4，初始应力状态影响修正系数 K_3 取值 1，因此修正值[BQ]数值较低，①号分区的围岩类别以 III 类为主，②号分区的围岩类别以 IV 类为主，断层、岩溶发育部位为 IV~V 类。

（3）两种围岩分类比较及围岩详细分类

相比较《水力发电工程地质勘察规范》（GB50287-2016）地下洞室围岩详细分类标准与 BQ 法两种分类标准，《水力发电工程地质勘察规范》（GB50287-2016）地下洞室围岩详细分类标准边墙以 III₁ 类为主，顶拱以 III₂ 类为主，BQ 法以 III~IV 类围岩为主。在拟定厂房部位，按《水力发电工程地质勘察规范》（GB50287-2016）地下洞室围岩详细分类标准，以 III 类围岩为主，断层、岩溶发育部位为 IV~V 类。

综上，地下厂房区围岩类别，边墙以 III₁ 类为主，顶拱以 III₂ 类为主，断层、岩溶发育部位为 IV~V 类。地下厂房工程地质条件较好，具备修建大型地下洞室的条件。

4.6.3.3 主要工程地质问题评价

4.6.3.3.1 主厂房围岩稳定分析

地下厂房轴线方向为正北向，埋深 222~240m，岩性为新鲜灰岩，微晶结构，中厚层状构造，围岩以 III 类为主，断层与岩溶发育部位为 IV~V 类。主厂房围岩为近水平岩层，产状主要为 NW290°~310°NE∠1°~7°。主厂房未见较大规模断层穿过。岩体中主要发育 NE 向与 NW 向两组裂隙，以及少量 NNE 向裂隙，与厂房轴线交角主要为 40~60°。厂区最大水平主应力值为 8.52~14.89MPa，最大主应力方向为 NE38~65°。据岩体变形强度及地应力指标，围岩基本不会产生大范围塑性变形，结构面及其组合是围岩稳定性的控制条件。

（1）顶拱

主厂房未见较大规模断层穿过，平洞主厂房位置仅发现小断层 fp2、fp3，断层最大宽度 5cm，应无法延伸至厂房顶拱部位。地下厂房区围岩为近水平岩层，产状主要为 NW290°~310°NE∠1°~5°，厂房轴线剖面见图 4.6.3.3-1。

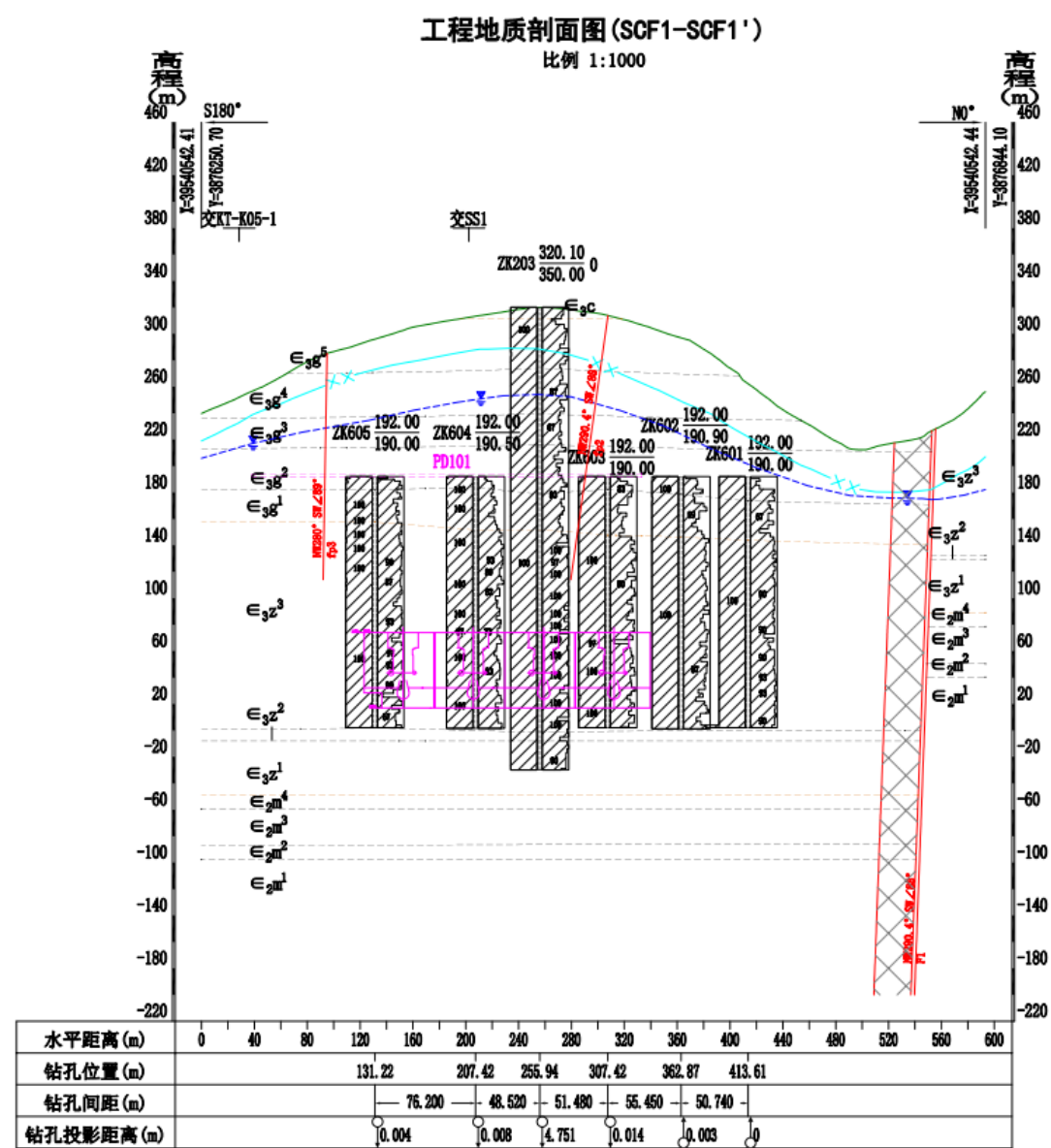


图 4.6.3.3-1 主厂房轴线剖面示意图

厂区主要发育三组裂隙：①NE40° ~60° NW∠64° ~88°，②NW300° ~320° SW∠72° ~88°，③NE1° ~20° NW∠80° ~89。以上三组节理，①、②组较发育，③组次之。厂房顶拱处受三组裂隙和层理互相切割，局部可能形成不稳定的块体，但规模较小。

此外，厂房顶拱以Ⅲ₂类围岩为主，受水平岩层影响，产生掉块及小规模塌方的可能性较大，需要加强支护。

(2) 上、下游边墙

主厂房上、下游边墙未见较大规模断层穿过，通过赤平投影分析（图 4.6.3.3-2）对边墙稳定性进行分析，结果表明，节理 1 和节理 2 与边墙呈大角度相交，对边墙

稳定影响不大；节理 3 与边墙夹角较小，倾向下游，对上游边墙稳定不利。三组结构面两两形成的交点均在边墙上游侧，说明结构面组合交线的倾向下游，上游边墙整体稳定性较好，局部受节理切割形成不稳定块体，建议加强支护措施；下游边墙整体稳定性好，仅局部存在结构面组合切割形成的不稳定块体，建议采取相应的支护措施。

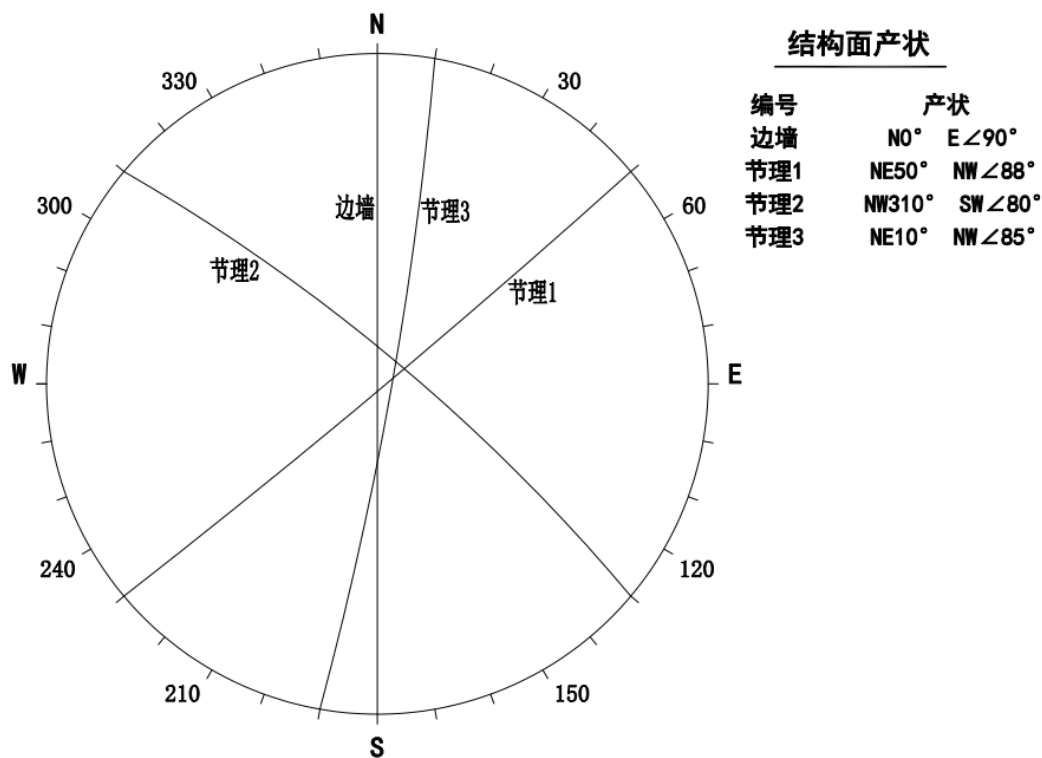


图 4.6.3.3-2 主厂房上下游边墙赤平投影图

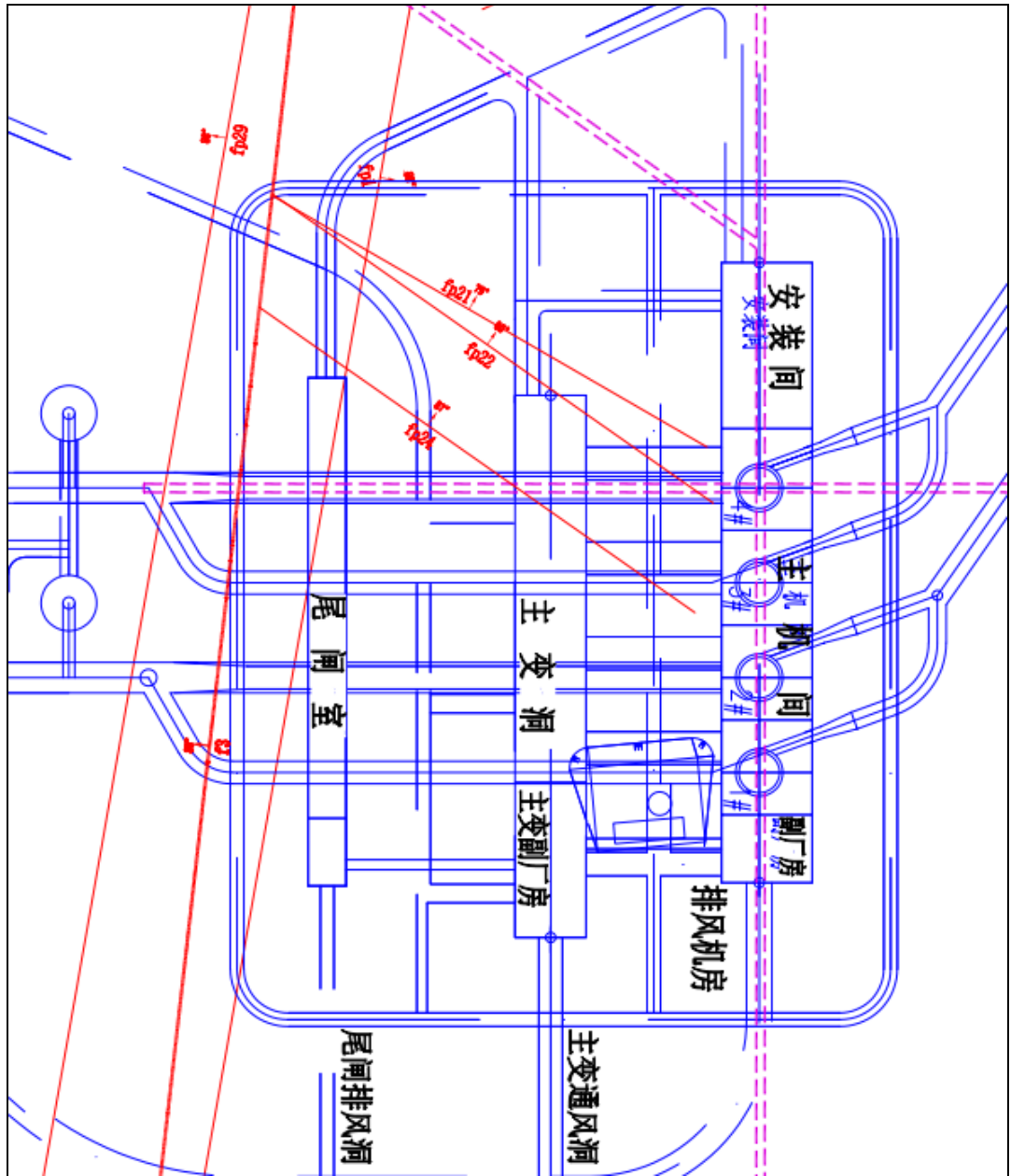


图 4.6.3.3-3 地下厂房区断层发育示意图（厂房顶拱高程 69.5m）

(3) 左、右端墙

主厂房左、右端墙未见较大规模断层穿过，

通过赤平投影分析（图 4.6.3.3-4）对端墙稳定性进行分析，结果表明，节理 1、节理 2 和节理 3 均与端墙呈大角度相交，对端墙稳定影响不大。三组结构面两两形成的交点均在端墙右侧，说明结构面组合交线的倾向左侧，右端墙整体稳定性较好，局部受节理切割形成不稳定块体，建议加强支护措施。左端墙整体稳定性好，仅局部存在结构面组合切割形成的不稳定块体，建议采取相应的支护措施。

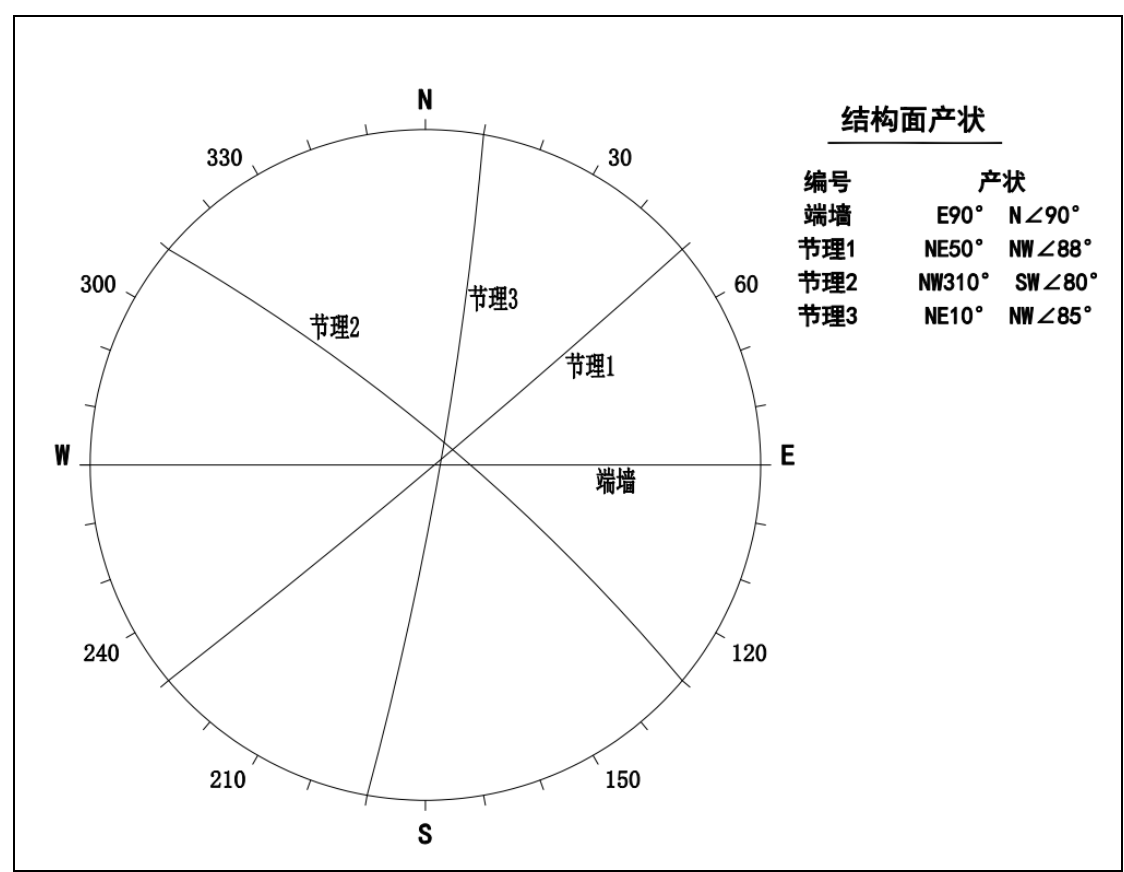


图 4.6.3.3-4 主厂房左右端墙赤平投影图

4.6.3.3.2 主变室围岩稳定分析

主变室岩性为新鲜灰岩，微晶结构，中厚层状构造，围岩以Ⅲ类为主，断层与岩溶发育部位为Ⅳ~Ⅴ类。主变室围岩为近水平岩层，产状主要为NW290°~310°NE∠1°~7°。穿过主变室的断层有2条，分别为fp22和fp24。fp22断层产状为NW305°NE∠80°，宽度为0.03~0.06m，破碎带内充填岩屑夹泥；fp24断层产状为NW305°NE∠87°，宽度为0.001~0.1m，破碎带内充填泥质、钙质及岩屑，破碎带两侧影响带宽度10~40cm。岩体中主要发育NE向与NW向两组裂隙，以及少量NNE向裂隙，与主变室轴线交角主要为40~60°。厂区最大水平主应力值为5.68~14.89MPa，最大主应力方向为NE38~65°。据岩体变形强度及地应力指标，围岩基本不会产生大范围塑性变形，结构面及其组合是围岩稳定性的控制条件。

(1) 顶拱

主变室围岩为近水平岩层，产状主要为NW290°~310°NE∠1°~7°。fp22、fp24共2条断层与主变室斜交（见图4.6.3.3-3），与主变室轴线交角为55°。fp22断层宽度为0.03~0.06m，破碎带内充填岩屑夹泥；fp24断层宽度为0.001~0.1m，破碎

带内充填泥质、钙质及岩屑，破碎带两侧影响带宽度 10~40cm。断层宽度较小，对顶拱围岩整体稳定影响不大，对其进行工程处理即可。

主变室主要发育三组裂隙：①NE40°~60° NW∠64°~88°，②NW300°~320° SW∠72°~88°，③NE1°~20° NW∠80°~89°。以上三组节理，①、②组较发育，③组次之。主变室顶拱处受三组裂隙和层理互相切割，产生掉块及小规模塌方的可能性较大，顶拱围岩类别以Ⅲ₂类为主。

(2) 上、下游边墙

穿过边墙的 2 条断层均为 NW 向倾向 NE，在边墙处未形成倾向厂房内的不稳定体，对边墙围岩稳定影响较小（图 4.6.3.3-3）。但断层部位岩体破碎，围岩为Ⅳ~Ⅴ类，稳定性差，应采取工程处理措施。

通过赤平投影分析（图 4.6.3.3-2）对边墙稳定性进行分析，结果表明，节理 1 和节理 2 与边墙呈大角度相交，对边墙稳定影响不大；节理 3 与边墙夹角较小，倾向下游，对上游边墙稳定不利。三组结构面两两形成的交点均在边墙上游侧，说明结构面组合交线的倾向下游，上游边墙整体稳定性较好，局部受节理切割形成不稳定块体，建议加强支护措施；下游边墙整体稳定性好，仅局部存在结构面组合切割形成的不稳定块体，建议采取相应的支护措施。

(3) 右端墙

根据图 4.6.3.3 可知，右端墙处有断层 fp22 通过，fp22 断层产状为 NW305°NE∠80°，宽度为 0.03~0.06m，破碎带内充填岩屑夹泥。在右端墙处未形成倾向主变室的不稳定体，对边墙围岩整体稳定影响较小。但断层部位岩体破碎，围岩为Ⅳ~Ⅴ类，稳定性差，应采取相应的工程处理措施。

通过赤平投影分析（图 4.6.3.3-4）对右端墙稳定性进行分析，结果表明，节理 1、节理 2 和节理 3 均与右端墙呈大角度相交，对端墙稳定影响不大。三组结构面两两形成的交点均在右端墙右侧，说明结构面组合交线的倾向左侧，右端墙整体稳定性较好，局部受节理切割形成不稳定块体，建议加强支护措施。

(4) 左端墙

左端墙未见较大规模断层通过。

通过赤平投影分析（图 4.6.3.3-4）对左端墙稳定性进行分析，结果表明，节理 1、节理 2 和节理 3 均与左端墙呈大角度相交，对端墙稳定影响不大。三组结构面两两形成的交点均在左端墙右侧，说明结构面组合交线的倾向左侧，左端墙整体稳定性好，仅局部存在结构面组合切割形成的不稳定块体，建议采取相应的支护

措施。

4.6.3.3.3 母线洞围岩稳定分析

主厂房与主变室之间岩柱体宽度 40m，布置有 4 条母线洞，母线洞与主厂房、主变洞正交连通，一机一洞，每条母线洞长 40m，断面为城门洞形，净尺寸为 8.5m×9.5m（宽×高），隧洞走向为 EW 向。

隧洞围岩岩性为灰岩，岩体以中厚层状结构为主。有 fp22 和 fp24 共 2 条断层穿过，走向均为 NW 向。母线洞主要发育三组节理裂隙：①NE40°~60° NW∠64°~88°，②NW300°~320° SW∠72°~88°，③NE1°~20° NW∠80°~89°。以上三组节理，①、②组较发育，③组次之。

洞室位于地下水位线下 200~216m，岩体以弱透水为主，洞室开挖后局部会产生渗水~滴水，局部可能产生涌水。

fp22 断层产状为 NW305°NE∠80°，宽度为 0.03~0.06m，破碎带内充填岩屑夹泥。断层穿过 1#母线洞，宽度较小，与母线洞走向夹角为 35°，夹角较大，对隧洞围岩整体稳定影响不大，断层部位较破碎，可能产生塌方或掉块，建议进行工程处理。

fp24 断层产状为 NW305°NE∠87°，宽度为 0.001~0.1m，破碎带内充填泥质、钙质及岩屑，破碎带两侧影响带宽度 10~40cm。断层穿过 2#母线洞，宽度较小，与母线洞走向夹角为 35°，夹角较大，对隧洞围岩整体稳定影响不大，断层部位较破碎，可能产生塌方或掉块，建议进行工程处理。

母线洞区域主要发育三组裂隙：①NE40°~60° NW∠64°~88°，②NW300°~320° SW∠72°~88°，③NE1°~20° NW∠80°~89°。以上三组节理，①、②组较发育，③组次之。

母线洞顶拱处受三组裂隙和层理互相切割，产生掉块及小规模塌方的可能性较大，顶拱围岩类别以Ⅲ₂类为主。

通过赤平投影分析（图 4.6.3.3-5）对母线洞稳定性进行分析，结果表明，节理 1、节理 2 和节理 3 均与母线洞呈大角度相交，对母线洞稳定影响不大。三组结构面两两形成的交点均在母线洞右侧，说明结构面组合交线的倾向左侧，母线洞右侧洞壁整体稳定性较好，局部受节理切割形成不稳定块体，建议加强支护处理措施。左侧洞壁稳定性好，仅局部存在结构面组合切割形成的不稳定块体，建议采取相应的支护措施。

考虑到母线洞有 4 条，轴线间距 24m，洞壁间距仅 14.3m，开挖后洞壁间岩柱稳定性较差，尤其是母线洞右侧洞壁整体稳定性较差，且 1#与 2#母线洞分别有断层 fp22 和 fp24 穿过，对岩柱稳定影响较大，建议对母线洞之间的岩柱加强支护处理措施。

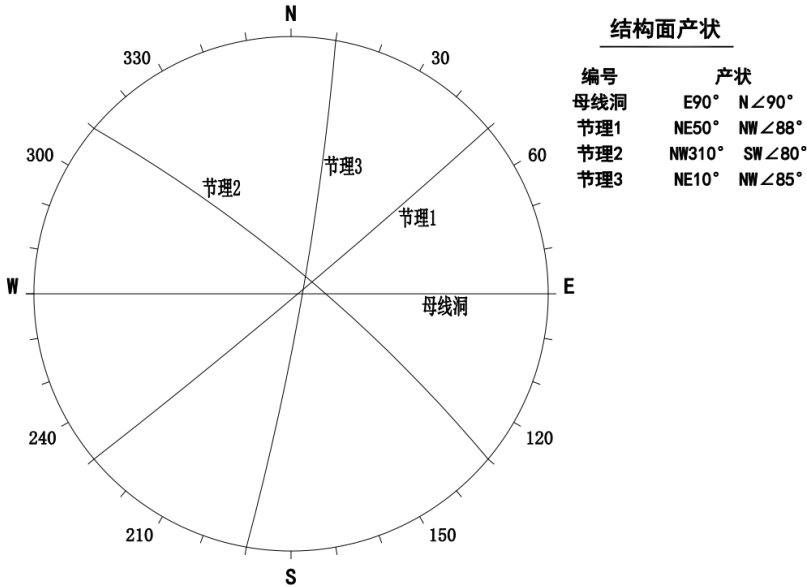


图 4.6.3.3-5 母线洞赤平投影图

综上，4 条母线洞洞室围岩岩性为微新灰岩，岩体结构中厚层状为主，饱和抗压强度和弹性模量均较高，岩体较完整，围岩以Ⅲ类为主，整体稳定性较好；局部发育 2 条断层，围岩为Ⅳ~Ⅴ类。

4.6.3.3.4 外水压力问题

厂区地下水类型为基岩裂隙水，以脉状或网状贮存于断层带及裂隙内，最终排泄至下水库。厂区地下水位高程 200~250m，高出厂房顶拱约 120~170m，地下水活动以渗水~滴水为主，建议外水压力折减系数 β 按如下考虑：

无排水措施： $\beta=0.7\sim0.9$

有排水措施： $\beta=0.4\sim0.6$

4.6.3.3.5 地下厂房涌水量估算

地下厂房位于上、下水库之间，距上水库进/出水口距离约 1200m，顶拱低于上水库正常蓄水位 292m，低于下水库正常蓄水位 36.56m，天然地下水位高于厂房顶拱 120~170m。地下厂房岩性单一，钻孔压水试验资料显示，其透水率多数小于 1Lu，属微透水岩层，未发现有规模较大的断层破碎带切穿厂房，但有裂隙发育。

地下厂房区无大规模构造发育，构造主要以小规模断层、节理裂隙为主。地下厂房部位平洞开挖时，地下水以渗水和滴水为主，未见线状流水。

上下水库库水对厂房不构成直接影响，地下厂房洞室涌水主要来源于地下水，据同类岩性工程类比，建议厂房区涌水量按 $2500\text{m}^3/\text{d}$ 考虑。

4.6.3.3.6 地下厂房放射性、环境 Rn 浓度测定

地下厂房等地下洞室深埋于地下，是施工及运行期间人员日常生产活动的场所，因此对地下洞室进行放射性与环境 Rn 浓度检测，从而进行评价并提出防护措施是必要的。地下厂房岩石放射性、环境 Rn 浓度检测在地下厂房主勘探平洞 PD101 和地下厂房勘探支洞 PD101-1、支洞 PD101-2 和支洞 PD101-3 内，覆盖了地下厂房区域。

(1) 岩石 γ 放射性

在主洞 PD101 和支洞 PD101-3 布置 186 个测试点，检查点 37 个，共计 223 个点；在支洞 PD101-1 和支洞 PD101-2 布置 147 个测试点，检查点 30 个，共计 177 个点。合计完成自然 γ 强度检测 400 点（含检查 67 点），检测范围覆盖了地下厂房区域。

探洞内揭露基岩主要为灰岩。从统计数据可知，地下厂房区岩石 γ 放射性强度在 $2442\text{cpm}\sim 4263\text{cpm}$ 之间，平均值 2991.30cpm ，符合灰岩放射性强度低的特征；主洞 PD101 与支洞 PD101-1、支洞 PD101-2、支洞 PD101-3 测量曲线平缓、变换梯度较小，反映出岩体较完整。

国家辐射防护规定公众成员的有效剂量当量是按照年有效剂量当量来计算的，因此需要进行年有效剂量当量估算。取洞内 γ 照射量率最大值、最小值和平均值分别计算，并且按工作时间的不同分别进行计算，具体计算结果见表 4.6.3.3-1、表 4.6.3.3-2、4.6.3.3-3 和表 4.6.3.3-4。

表 4.6.3.3-1 PD101 年有效剂量当量估算结果统计表

工作人员在环境中的停留时间 (小时)	有效剂量当量 He (mSv)			备注
	最大值	最小值	平均值	
365 个工作日 每天工作 12 个小时	0.156	0.138	0.145	未超过国家标准
365 个工作日 每天工作 8 个小时	0.104	0.092	0.097	未超过国家标准
每年 250 个工作日(有双休日)	0.107	0.095	0.099	未超过国家标

每天工作 12 个小时				准
每年 250 个工作日(有双休日) 每天工作 8 个小时	0.071	0.063	0.066	未超过国家标准 准

表 4.6.3.3-2 PD101-1 年有效剂量当量估算结果统计表

工作人员在环境中的停留时间 (小时)	有效剂量当量 He (mSv)			备注
	最大值	最小值	平均值	
365 个工作日 每天工作 12 个小时	0.155	0.128	0.143	未超过国家标准
365 个工作日 每天工作 8 个小时	0.103	0.086	0.095	未超过国家标准
每年 250 个工作日(有双休日) 每天工作 12 个小时	0.106	0.088	0.098	未超过国家标准
每年 250 个工作日(有双休日) 每天工作 8 个小时	0.071	0.059	0.065	未超过国家标准

表 4.6.3.3-3 PD101-2 年有效剂量当量估算结果统计表

工作人员在环境中的停留时间 (小时)	有效剂量当量 He (mSv)			备注
	最大值	最小值	平均值	
365 个工作日 每天工作 12 个小时	0.224	0.133	0.164	未超过国家标准
365 个工作日 每天工作 8 个小时	0.149	0.089	0.109	未超过国家标准
每年 250 个工作日(有双休日) 每天工作 12 个小时	0.153	0.091	0.112	未超过国家标准
每年 250 个工作日(有双休日) 每天工作 8 个小时	0.102	0.061	0.075	未超过国家标准

表 4.6.3.3-4 PD101-3 年有效剂量当量估算结果统计表

工作人员在环境中的停留时间 (小时)	有效剂量当量 He (mSv)			备注
	最大值	最小值	平均值	
365 个工作日 每天工作 12 个小时	0.216	0.128	0.175	未超过国家标准
365 个工作日 每天工作 8 个小时	0.144	0.085	0.117	未超过国家标准
每年 250 个工作日(有双休日) 每天工作 12 个小时	0.148	0.088	0.120	未超过国家标准
每年 250 个工作日(有双休日) 每天工作 8 个小时	0.099	0.058	0.080	未超过国家标准

根据国家标准 GB8703—88《辐射防护规定》公众成员的年有效剂量当量不超过 1mSv。以不同的工作时间为项,分四项进行计算统计,从表 4.6.3.3-6、表 4.6.3.3-7、表 4.6.3.3-8 和表 4.6.3.3-9 中可以看出,最大值为 0.314mSv,未超过国家标准。

(2) 环境 Rn 浓度

在主洞 PD101 和支洞 PD101-3 布置 39 个测试点,检查点 7 个,共计 46 个点;在支洞 PD101-1 和支洞 PD101-2 布置 33 个测试点,检查点 5 个,共计 38 个点。合计完成环境 Rn 浓度检测 84 点(含检查 12 点),检测范围覆盖了地下厂房区域。

地下洞室中氡浓度一般受 5 个条件的限制:

- ①岩石岩性,主要决定于岩石的成分,它是氡积累的基础。
- ②岩体完整性或裂隙发育情况,一般氡会从裂隙或随裂隙水排出。
- ③通风情况,对氡浓度的高低影响较大。
- ④积累时间,时间越长氡浓度越高。
- ⑤洞内的积水情况,水体可以溶解部分的氡。

测量结果显示:

主洞 PD101、支洞 PD101-1、支洞 PD101-1、支洞 PD101-2、支洞 PD101-3 氡浓度平均值为 44.7Bq/m³,最大值为 66.7Bq/m³,氡浓度未超过国家标准。

主洞 PD101 与支洞 PD101-1 和支洞 PD101-2 呈十字型分布。通过对主洞 PD101 和支洞 PD101-1、支洞 PD101-2 氡浓度测量数据统计,洞内氡浓度随着洞深的增加,氡浓度缓慢增长,最大值为 66.7Bq/m³。

支洞 PD101-3 比较浅,氡浓度较平稳,氡浓度值在 60Bq/m³ 左右。

(3) 结论及建议

放射性测量结果主要反映了洞内各种岩石的放射性强度及其变化情况。根据国家标准,在洞内施工和运行人员所接受的环境 γ 辐射年有效剂量当量平均值应小于 1.0mSv。根据国家标准 G816356—1996《地下建筑氡及其子体控制标准》,已用的地下建筑的平均水平应小于 400(Bq/m³)(平衡当量氡浓度)。

测量环境 γ 辐射测量检测结果表明,岩体放射性强度的平均值为 2991.30cpm, γ 辐射年有效剂量当量最大值为 0.224mSv,未超过国家标准。

环境氡浓度测量结果表明,主洞 PD101、支洞 PD101-1、支洞 PD101-2、支洞 PD101-3 氡浓度最大值为 66.7q/m³,平均值为 44.7Bq/m³,未超过国家标准。

针对主洞 PD101 和支洞 PD101-1、支洞 PD101-1、支洞 PD101-2、支洞 PD101-3 的岩体放射性强度低,氡浓度低的情况,建议采取以下措施,减小对工作人员身

体的伤害。

①断层破碎带、裂隙带容易使氡沿岩体的裂隙向外逸出和扩散。建议设计时考虑洞壁的混凝土衬砌，减少氡的逸出和扩散。

②加强洞室的空气流通，保证工作人员的安全。

③建议定期对洞内开展环境放射性的复查，以便及时做好放射性的防护措施。

4.6.4 附属建筑物工程地质条件

4.6.4.1 交通洞工程地质条件及评价

交通洞洞口布置在下水库左岸公路旁，从安装场右侧进厂，交通洞洞口高程为 125.0m。地下厂房交通洞长 1178.0m，断面尺寸为 10.0m×9.5 m（宽×高），平均坡度 6.2%。

（1）基本地质条件

交通洞沿线地形较起伏，自厂房起沿途穿越一条较大冲沟后，沿山脊布置。冲沟距离洞口约 1000m，切割深度约 70m，隧洞埋深约 130m。沿洞线地形坡度较缓，一般 10~30°，隧洞埋深一般为 70~250m。

沿线洞室围岩主要为寒武系上统张夏组（ ϵ_3z ）和寒武系中统馒头组（ ϵ_2m ）地层。由于 F1 断裂垂直断距为 138m，以 F1 为界，南北两侧地层岩性的埋深及厚度有所不同。地层为沉积岩，为近水平岩层，岩层产状主要为 NW290°~310°NE \angle 1°~7°。以 F1 断裂为界，北侧岩层产状主要为 NW290°~310°NE \angle 1°~7°，局部倾角大于 7°；南侧岩层产状主要为 NW290°~310°NE \angle 1°~5°，近似水平。根据勘探和地表测绘资料，交通洞沿线发育 F1 断层。岩体中主要发育有四组裂隙：① NE40°~60°NW \angle 64°~88°；② NW290°~330°SW \angle 72°~88°；③ NE1°~20°NW \angle 80°~89°；④ NW290°~310°NE \angle 1°~7°，该组裂隙为层面裂隙。以上四组节理，①、②、④组较发育，③组次之。地下水埋深一般为 50~150m，隧洞基本在地下水位线以下。

隧洞沿线未见泥石流、滑坡等不良地质灾害。隧洞沿线地表可见少量岩溶发育。物理地质现象以岩体风化为主。全、强风化带主要分布于崮山组第三段及第一段，沿层理呈带状分布，全风化带厚度一般 1~5m；强风化带厚度一般 2~5m，局部厚度较大。弱风化带厚度 15m~35m。

（2）工程地质评价

进洞口位于下水库左岸进出水口上游约 1200m 一缓坡处，地形坡度 10~30°，

边坡走向 NE22.2°，洞口边坡高度约为 28m，坡比为 1:1。地表基岩出露，岩性为张夏组第三段灰岩，厚层状构造，呈弱风化状态。①、②、③ 组结构面组合交线的倾向与开挖边坡倾向一致，但倾角大于坡角，属于稳定结构。边坡整体稳定性好，仅局部存在结构面组合切割形成的不稳定块体，需要进行工程处理。

洞口段岩体较完整，呈厚层状结构，上覆岩体厚度较小，围岩类别为V类，围岩稳定性较差，需加强支护。

灰岩洞段，岩质较坚硬，岩体呈微风化~新鲜状态，完整性整体较好，地下水活动弱，围岩整体稳定性较好，局部围岩存在稳定性差的块体，围岩为Ⅲ类，局部为Ⅳ类。

页岩、灰岩与页岩互层洞段，岩质较软，隧洞围岩为近水平岩层，岩体完整性差，地下水活动中等，围岩以Ⅳ类为主，不稳定，需加强工程处理措施。F1 断裂及其影响带内，岩体破碎，完整性差，地下水活动中等~强烈，围岩不稳定~极不稳定，为Ⅳ~Ⅴ类，需要加强工程处理措施。

交通洞围岩以Ⅲ~Ⅳ类围岩为主。围岩物理力学性质指标建议值见表 4.3.6.9-2。

4.6.4.2 通风洞工程地质条件及评价

通风兼安全洞长 1035.0m，断面净尺寸为 7.0×6.5m（宽×高），布置在下水库左岸公路旁，地面开关站左侧，距离交通洞洞口约 450.0m，洞口高程 140.0m，平均坡度为 7.0%，从厂房左端墙与副厂房相接。

（1）基本地质条件

通风洞沿山脊布置，沿洞线地形坡度较缓，一般 10~30°，隧洞埋深一般为 30~210m。沿线洞室围岩为寒武系上统张夏组（ ϵ_3z ）灰岩。

岩层产状主要为 NW290°~310°NE \angle 1°~5°，近似水平。根据勘探和地表测绘资料，通风洞位于断层 F1 和 f2 之间。岩体中主要发育有四组裂隙：①NE40°~60°NW \angle 64°~88°；②NW290°~330°SW \angle 72°~88°；③NE1°~20°NW \angle 80°~89°；④NW290°~310°NE \angle 1°~7°，该组裂隙为层面裂隙。以上四组节理，①、②、④组较发育，③组次之。地下水埋深一般为 50~150m，隧洞基本在地下水位线以下。

隧洞沿线未见泥石流、滑坡等不良地质灾害。隧洞沿线地表可见少量岩溶发育。物理地质现象以岩体风化为主。全、强风化带主要分布于崮山组第三段及第一段，沿层理呈带状分布，全风化带厚度一般 1~5m；强风化带厚度一般 2~5m，

局部厚度较大。弱风化带厚度 15~35m。

(2) 工程地质评价

进洞口位于下水库左岸进出水口上游，距离交通洞洞口约 450.0m 一缓坡处，地形坡度 10~30°，开挖边坡走向 NE43.3°，洞口边坡高度约为 16m，坡比为 1:1。地表基岩出露，岩性为崮山组第一段灰岩及页岩。①、②、③ 组结构面组合交线的倾向与开挖边坡倾向一致，但倾角大于坡角，属于稳定结构。边坡整体稳定性好，仅局部存在结构面组合切割形成的不稳定块体，需要进行工程处理。此外开挖边坡上部为全、强风化岩体，全风化带厚度约为 5m；强风化带厚度 2~5m，全、强风化带处岩体破碎，完整性差，边坡稳定性差，需要加强支护；边坡上部岩性主要为崮山组第一段灰岩及页岩，岩层倾角为 1°~7°，其中，页岩为软岩，呈条带状产出，极薄层状构造，层厚一般 1~10mm，岩质软弱，抗风化能力差，遇水泥化现象严重，边坡开挖后容易发生蠕滑，进而产生变形，边坡稳定性差，需要加强支护。

洞口段岩体较完整，呈厚层状结构，上覆岩体厚度较小，围岩类别为 V 类，围岩稳定性较差，需加强支护。

隧洞围岩为寒武系上统张夏组第三段 ($\epsilon_3 z^3$) 灰岩，厚层状构造，岩质较坚硬。岩体以微风化~新鲜状态为主，完整性整体较好，地下水活动中等，围岩整体稳定性较好，局部围岩存在稳定性差的块体，为 III 类围岩；局部存在构造发育或岩溶发育洞段围岩为 IV 类，需要采取相应的工程处理措施。

通风洞围岩以 III 类围岩长为主。围岩物理力学性质指标建议值见表 4.3.6.9-2。

4.6.4.3 开关站、出线洞工程地质条件及评价

地面开关站平台位于下水库左岸公路旁，与通风兼安全洞洞口在同一平台上，位于其右侧，高程为 140m，经开挖而成，平台开挖尺寸为 120.0×60.0m，后边坡最大高度为 30m，地面开关站内布置有 GIS 开关楼、500kV 出线场、柴油机房和值班室等建筑物。出线平洞从位于主变洞下游侧的出线支洞引出，长 866.0m，断面净尺寸为 4.0×6.5m (宽×高)，平均坡度为 9.2%。

(1) 开关站工程地质条件及评价

开关站位于下水库左岸一山坡上，所在山梁走向为 NW312.9° 向，山坡坡度较缓，一般 10~30°，局部较陡。地表覆盖有崩坡积碎石土，厚度一般小于 1m。基岩主要为崮山组第一段灰岩及页岩和寒武系上统张夏组 ($\epsilon_3 z$) 灰岩。

岩层产状主要为 $NW290^{\circ}\sim310^{\circ}NE\angle1^{\circ}\sim5^{\circ}$ ，近似水平。根据勘探和地表测绘资料，开关站位于断层 F1 和 f2 之间。岩体中主要发育有四组裂隙：① $NE40^{\circ}\sim60^{\circ}NW\angle64^{\circ}\sim88^{\circ}$ ；② $NW290^{\circ}\sim330^{\circ}SW\angle72^{\circ}\sim88^{\circ}$ ；③ $NE1^{\circ}\sim20^{\circ}NW\angle80^{\circ}\sim89^{\circ}$ ；④ $NW290^{\circ}\sim310^{\circ}NE\angle1^{\circ}\sim7^{\circ}$ ，其中，第④组为层面裂隙。以上四组节理，①、②、④组较发育，③组次之。地下水埋深一般为 50~150m，隧洞基本在地下水位线以下。

开关站建基面高程 140m，以挖方为主。建基面岩石以弱风化灰岩为主，弱风化基岩是良好的地基持力层，地基承载力特征值可取 2~4MPa。

开关站开挖边坡走向为 $NE43.3^{\circ}$ ，最大开挖高度约 32m，边坡表部的覆盖层为碎石土，厚度约为 1m。全、强风化带主要分布于崮山组第一段，沿层理呈带状分布，全风化带厚度一般 1~5m；强风化带厚度一般 2~5m，局部厚度较大。弱风化带厚度 15m~35m。

①、②、③ 组结构面组合交线的倾向与与开挖边坡倾向一致，但倾角大于坡角，属于稳定结构。边坡整体稳定性好，仅局部存在结构面组合切割形成的不稳定块体，需要进行工程处理。此外开挖边坡上部为全、强风化岩体，全风化带厚度约为 5m；强风化带厚度 2~5m，全、强风化带处岩体破碎，完整性差，边坡稳定性差，需要加强支护；边坡上部岩性主要为崮山组第一段灰岩及页岩，岩层倾角为 $1^{\circ}\sim7^{\circ}$ ，其中，页岩为软岩，呈条带状产出，极薄层状构造，层厚一般 1mm~10mm，岩质软弱，抗风化能力差，遇水泥化现象严重，边坡开挖后容易发生蠕滑，进而产生变形，边坡稳定性差，需要加强支护。

（2）出线洞工程地质条件及评价

出线平洞从位于主变洞下游侧的出线支洞引出，长 866.0m，断面净尺寸为 $4.0\times6.5m$ （宽 \times 高），平均坡度为 9.2%。

出线洞沿山脊布置，沿洞线地形坡度较缓，一般 $10^{\circ}\sim30^{\circ}$ ，隧洞埋深一般为 30~210m。沿线洞室围岩为寒武系上统张夏组（ ϵ_3z ）灰岩。

岩层产状主要为 $NW290^{\circ}\sim310^{\circ}NE\angle1^{\circ}\sim5^{\circ}$ ，近似水平。根据勘探和地表测绘资料，出线洞位于断层 F1 和 f2 之间。岩体中主要发育有四组裂隙：① $NE40^{\circ}\sim60^{\circ}NW\angle64^{\circ}\sim88^{\circ}$ ；② $NW290^{\circ}\sim330^{\circ}SW\angle72^{\circ}\sim88^{\circ}$ ；③ $NE1^{\circ}\sim20^{\circ}NW\angle80^{\circ}\sim89^{\circ}$ ；④ $NW290^{\circ}\sim310^{\circ}NE\angle1^{\circ}\sim7^{\circ}$ ，其中，第④组为层面裂隙。以上四组节理，①、②、④组较发育，③组次之。地下水埋深一般为 50~150m，隧洞基本在地下水位线以下。

隧洞沿线未见泥石流、滑坡等不良地质灾害。隧洞沿线地表可见少量岩溶发育。物理地质现象以岩体风化为主。全、强风化带主要分布于崮山组第三段及第一段，沿层理呈带状分布，全风化带厚度一般 1~5m；强风化带厚度一般 2~5m，局部厚度较大。弱风化带厚度 15~35m。

进洞口位于下水库左岸进出水口上游，与地面开关站在同一平台上，距离通风洞洞口约 64.0m，地形坡度 10~30°，开挖边坡走向 NE43.3°，洞口边坡高度约为 30m，坡比为 1:1。坡表部的覆盖层为碎石土，厚度约为 1m。下伏基岩岩性为崮山组第一段灰岩及页岩和张夏组第三段灰岩。①、②、③ 组结构面组合交线的倾向与开挖边坡倾向一致，但倾角大于坡角，属于稳定结构。边坡整体稳定性好，仅局部存在结构面组合切割形成的不稳定块体，需要进行工程处理。此外开挖边坡上部为全、强风化岩体，全风化带厚度约为 5m；强风化带厚度 2~5m，全、强风化带处岩体破碎，完整性差，边坡稳定性差，需要加强支护；边坡上部岩性主要为崮山组第一段灰岩及页岩，岩层倾角为 1°~7°，其中，页岩为软岩，呈条带状产出，极薄层状构造，层厚一般 1~10mm，岩质软弱，抗风化能力差，遇水泥化现象严重，边坡开挖后容易发生蠕滑，进而产生变形，边坡稳定性差，需要加强支护。

洞口段岩体较完整，呈厚层状结构，上覆岩体厚度较小，围岩类别为 V 类，围岩稳定性较差，需加强支护。

隧洞围岩为寒武系上统张夏组第三段 ($\epsilon_3 z^3$) 灰岩，厚层状构造，岩质较坚硬。岩体以微风化~新鲜状态为主，完整性整体较好，地下水活动中等，围岩整体稳定性较好，局部围岩存在稳定性差的块体，为 III 类围岩；局部存在构造发育或岩溶发育洞段围岩为 IV 类，需要采取相应的工程处理措施。

出线洞围岩以 III 类围岩长为主。围岩物理力学性质指标建议值见表 4.3.6.9-2。

4.7 下水库（坝）工程地质条件

下水库利用已建的庄里水库，为大(2)型水库，已于 2021 年竣工验收。庄里水库位于山东省南四湖湖东地区十字河流域，地处枣庄市山亭区境内。水库设计总库容 1.33 亿 m^3 ，调节库容 0.46 亿 m^3 ，防洪库容 0.8 亿 m^3 ，死库容 0.07 亿 m^3 。水库校核洪水位 118.87m，设计洪水位 116.72m，正常蓄水位 114.56m，防洪高水位 116.13m，汛限制水位 114.56m，死水位 101.32m。大坝长 3124 米，最大坝高 43.9 米。庄里水库主要由大坝、溢洪道、北放水洞、南放水洞、电站厂房等组成。

4.7.1 下水库库区工程地质条件

4.7.1.1 基本地质条件

库区地貌总体表现为山间河谷地貌，库区周围多为丘陵，丘顶高程一般为 154.5~279.7m。丘陵山顶圆滑，地形起伏小，坡度缓，相对高差 50~150m，坡度一般小于 30° 。

库区内十字河总体呈北—南流向，表现为壮年期河谷，垂直侵蚀作用仍很强烈，河道内大部基岩裸露，河道拐弯处，侧蚀亦很强烈，凸岸处发育河漫滩。坝址处河谷宽约 100~300m，其中河床宽约 70~120m，河漫滩宽约 180m。漫滩发育处，滩面高出河床 4~5m。

库区揭露的地层为第四系覆盖层(Q_4)、寒武系崮山组($\epsilon_3 g$)和张夏组($\epsilon_3 z^3$)。

第四系地层(Q_4)主要为崩坡积层(Q_4^{col+dl})、洪坡积层(Q_4^{pl+dl})及冲洪积层(Q_4^{pal})，分布于山坡表部、山谷底部、河床及两岸漫滩。

崩坡积层(Q_4^{col+dl})主要分布于边坡表面及坡脚，厚度不大，主要由碎石土组成，厚度一般小于 1m。

洪坡积层(Q_4^{pl+dl})主要分布于冲沟沟底，厚度不大，主要由碎石土组成，厚度一般小于 3m。

冲洪积层(Q_4^{pal})分布于下水库十字河的河床及两岸，主要由粉土、粘土、中粗砂及砂卵砾石组成，厚度均较小，由水库库区中间向东西两侧变薄，沿十字河两岸从北向南厚度逐渐增大，一般 0.5~7.0m，最大揭露厚度 8.6m。

穿库区断裂主要有东崮山断裂(F1 断裂)及洪山口断裂。东崮山断裂(F1 断裂)发育在水库区的中部，呈北北西向延伸，走向 $NW290^\circ\sim 310^\circ$ ，倾向南西，倾角 80° ，断裂带中岩层直立，呈挤压状态，两侧岩层常形成牵引褶曲，具压扭性

质，断裂带导水性差。洪山口断裂走向 NW287°，在距大坝右端 85m 处穿过，断裂带宽 5.0~7.0m，两侧影响带宽度约 50~130m，断裂带内岩石较破碎，为导水性断裂，岩溶较发育。

库区分布的岩溶地层主要为寒武系张夏组、崮山组、炒米店组。张夏组及炒米店组上部的厚层、中厚层灰岩，岩溶较发育，地表岩溶形态多为溶沟、溶槽、溶蚀裂隙、小溶洞等，易于接受大气降水的补给。崮山组及炒米店组下部，为碳酸盐与非碳酸盐互层或不纯石灰岩，岩溶发育相对较差，地表岩溶形态以溶蚀裂隙、溶孔、小溶洞为主。

地下水水位埋深随地形变化较大，在地形较高处，水位埋深一般大于 20m，在山沟谷地中，水位埋深一般为 2.4~5.5m。水位动态变化受降水量的控制，年变幅通常在 15~20m，有的达 30m 以上，最低水位多出现在 4~6 月份，最高水位多出现在 7~9 月份。根据水质分析资料，库区地下水水化学类型为 $\text{HCO}_3\cdot\text{SO}_4\text{—Ca}\cdot\text{Mg}$ 型，河水水化学类型为 $\text{HCO}_3\cdot\text{SO}_4\text{—Ca}$ 型，其矿化度一般 0.35~0.39g/l，PH 值 7.74~7.80，不含侵蚀性 CO_2 ，全硬度 279.8~330.8mg/l，为弱碱性淡水，对混凝土无腐蚀性，对钢筋混凝土结构中的钢筋弱腐蚀，对钢结构弱腐蚀。

4.7.1.2 主要工程地质问题及评价

根据《山东省庄里水库工程竣工验收技术鉴定报告》（2021 年 6 月），关于水库区主要工程地质问题的结论如下：

（1）水库渗漏

水库区左岸山体由寒武系碳酸盐岩组成，地下水位高于水库正常蓄水位，水库蓄水后向东（左）岸渗漏的可能性小；库区右岸在东崮山断裂（F1 断裂）以北有透水性差的花岗斑岩岩脉阻隔，或地下水位高于水库正常蓄水位，库水渗漏的可能性不大；库区右岸花岗斑岩岩脉以南至右坝头之间为灰岩地层，且存在导水性较强的洪山口断裂沟通库内外，该段岩溶较发育，地下水位低于水库正常蓄水位，存在渗漏问题。

（2）库岸稳定

水库库岸主要由寒武系灰岩组成，坡形舒缓，无库岸崩塌、滑坡等不良地质现象，库岸稳定性良好。水库蓄水后，可能造成局部岸坡松动、塌滑，但对水库运行影响不大。

（3）水库淹没

库区部分地段地形平缓，位于水库正常蓄水位附近分布有农田和村庄，水库蓄水后存在淹没问题。淹没范围主要有库区上游左岸善固—养子峪—东江一线，淹没带宽度约为 10~60m，长度约 5km；右岸前刘家庄—小河崖—沃里一线，淹没带宽度约为 10~40m，长度约 2.5km。

（4）水库诱发地震

水库区岩体强度较高，最大坝高仅 43.9m，蓄水水头不高，地震活动微弱，不存在活动断裂，水库蓄水后诱发地震的可能性较小。

4.7.2 坝址区工程地质条件

4.7.2.1 基本地质条件

庄里水库下坝址起点位于十字河左岸前台村东南大灰山北坡，终点位于羊山村西北羊山东南坡，属于山间河谷地貌。

十字河原始河宽 105m，河床底高程为 82.60~84.64m，基岩裸露，河水位高程为 83.60m。两岸主要为丘陵，丘顶浑圆，丘顶高程分别为 102m~116m，地形坡度较缓，一般 10° ~ 30° 。

根据勘察资料，坝址区所揭露的地层上覆第四系，下伏寒武系炒米店组灰岩。第四系厚度小且分布不连续，局部基岩裸露。

第四系地层主要有：①层卵砾石（ Q_4^{al} ），黄褐色，松散，少量粘性土，卵砾石含量 60~80%，粒径 3~60cm，成份为灰岩，最大层厚 8.8m，主要分布于十字河内，具强透水性；②层壤土（ Q_3 ），黄褐色~棕黄色，可塑~硬塑，见少量小姜石及砾屑，分布不连续，层厚 0.4~6.8m，层底高程变化较大，主要分布于两岸台地，属中等透水层；③层黏土（ Q_3^{el+dl} ），棕红色，硬塑，主要分布于溶沟、溶槽中。

坝基下伏基岩为寒武系炒米店组灰岩，炒米店组灰岩又可分为凤山灰岩（ ϵ_{jc-3f} ）和长山灰岩（ ϵ_{jc-3c} ）。以十字河为界，左岸为长山灰岩，岩性以薄层泥质条带灰岩为主，局部为厚层、中厚层灰岩，除局部外一般岩溶相对不发育；右岸为凤山灰岩，岩性以厚层、中厚层灰岩为主，岩溶较发育。根据岩石物质组成、沉积特征不同，坝址区长山灰岩可分四层（长山第二层~第五层），凤山灰岩可分五层（凤山第一层~第五层）。

坝址区发育两条断层，分别为洪山口断裂和 Fw4 断裂。

洪山口断裂：通过地质测绘、物探、钻探等勘察综合资料，判断洪山口断裂走向 NW287°，在距大坝右端 85m 处穿过。断裂带宽 5.0~7.0m，断裂角砾岩破碎，岩溶发育，无充填或半充填。通过钻探资料及物探资料综合分析，断裂两侧影响带宽度约 50~130m，为导水性断裂。

Fw4 断裂：根据可研勘察报告资料，Fw4 断裂在上坝址勘探桩号 1+098 处穿过坝线，但初设阶段根据钻探及物探勘察手段，未发现存在明显的断裂破碎带分布，但局部地层岩溶发育，透水性较大，为中等透水层。推测该断裂发育于桩号 0+945~0+976 之间，错断炒米店组长山灰岩，断距约 6.0m。

坝址区节理裂隙发育程度较高，主要存在以下几组主要节理裂隙：第一组：走向 NW315°~350°，倾向北东，倾角 85°~90°，宽度约 5~25cm，沿裂隙岩溶发育，裂隙面较平直，切割深度大于 5m，地面可见延伸长度大于 10m，裂隙面较粗糙，主要充填粘性土，植被大多沿该类型裂隙发育；第二组：走向 NE65°~85°，近直立，大体倾向南东，地表可见长度大于 5m，宽度 5~15cm，充填粘性土，裂隙面较平直，粗糙度中等，切割深度大于 5m；第三组：为沿岩体层理发育的层面裂隙，在不同岩性中的发育程度不同，在泥晶条带状灰岩和薄层泥质灰岩中发育程度较高，其他类型灰岩中发育程度低，主要表现为规模较小的岩溶裂隙或溶蚀裂隙。

根据坝址钻孔压水试验成果资料，除长山第二层薄层条带灰岩夹中厚层结晶灰岩具弱~微透水性，局部具中等透水性外，其余坝基长山灰岩上部一般属弱~中等透水性，下部为弱~微透水性，可视为坝址区相对隔水层；凤山灰岩各层一般具中等透水性，局部为强透水性，为坝基透水层。各岩层透水率一般随深度的增加有逐渐减弱的趋势，长山灰岩此规律较明显，到一定深度以下岩体为弱~微透水性；而凤山灰岩往往在较深深度以下仍出现中等透水性压水试段。总体看来凤山灰岩透水性较强，是坝基渗漏主要地层。

坝址区未见滑坡、崩塌、泥石流等不良地质现象。

4.7.2.2 前期主要工程地质问题评价

根据《山东省庄里水库工程竣工验收技术鉴定报告》（2021 年 6 月），关于坝址区主要工程地质问题的结论如下：

（1）绕坝渗漏问题

1) 右坝肩绕渗

根据勘察资料,水库所在的羊庄盆地与西邻小沂河谷存在分水岭,在分水岭靠近小沂河一侧分布有透水性极差的花岗斑岩岩脉,阻止了库区水向小沂河的渗漏。但是在花岗斑岩岩脉南端以南至水库庄里坝址右岸的延伸方向上有一段发育较弱的岩溶地层,可能造成水库渗漏,可能的渗漏段长度为 3km。另外,洪山口断裂从大坝右坝肩北侧穿过,该断裂为导水性断裂,也使水库大坝右坝肩存在绕渗的可能性。

初设勘察阶段在大坝右坝肩下游方向沿洪山口断裂两侧各布置了 BY1、BY2 号钻孔(分别距大坝右端西北方向 820m 和 1660m),用来调查岩溶发育及地层的渗透性情况,同时还对下游中黄沟村、上黄沟村及下黄沟村一带进行了地下水位调查。根据 BY1、BY2 钻孔岩芯及现场压水试验分析,该段岩石岩溶发育较弱,岩石透水性随着深度的增加逐渐减小,下部分别于 41.3m、21.7m 为透水率小于 10Lu 的弱透水层。根据 BY1、BY2 钻孔及 J1~J7 水井的水位观测结果,距离右坝端西北方向较远、地势较高的 J1、J2、J3 三口井(位于距右坝端西北约 2.5km 的中黄沟村附近)井水位高程为 120.5~125.92m,高于水库正常蓄水位 114.56m;在钻孔 BY2 处地下水位降落到 114.45m,与水库正常蓄水位持平;其余井、孔地下水水位为 90.50~102.45m,均低于水库正常蓄水位。由此分析,水库北坝端存在绕渗问题。

为了解决右坝肩的渗漏问题,沿右坝肩设计的防渗线方向进行了补充勘察,补充了 B24、B25、B26 三个勘探孔。根据钻孔资料,至最外侧的 B26 孔(距右坝头 3+142 桩号附近的 B23 孔 606m)的地下水位和相对不透水线高程已略高于正常蓄水位。对右岸存在绕坝渗漏地段应采取防渗处理措施。

2) 左坝肩绕渗

左坝端坝基岩体为寒武系炒米店组长山第三~第五层灰岩,地表岩溶较发育,上部岩体具中等透水性,局部地下水位较低,存在一定宽度的绕坝渗漏问题,建议采取防渗处理措施。绕坝渗漏防渗处理宽度应根据左坝肩地下水位和相对不透水线高程确定。

(2) 坝基渗漏

坝基第四系地层:①层卵砾石松散,分布于河床内,为强透水层,建议采取截渗或清除处理措施;②层壤土厚薄不一,含较多植物根系,发育小虫孔,中等透水性,土层厚处建议采取适当的夯实处理措施,薄处建议清除。

寒武系炒米店组长山第三~第五层灰岩分布于大坝桩号 0+000~1+600 段,由

于其出露地表岩石更易受到风化侵蚀或受构造影响，岩溶较发育，具中等透水性，存在渗漏问题。寒武系炒米店组凤山第一~第五层灰岩，于桩号 1+600~3+127 出露于地表，溶沟、溶槽、溶蚀裂隙、溶洞均较发育，岩性较破碎，具中等透水性，未见相对隔水层。总体看来凤山灰岩透水性较强是水库渗漏主要控制因素。建议对坝基全线基岩进行帷幕灌浆处理。

（3）渗透变形

坝基表层分布的①层卵砾石、②层壤土直接出露地表，依据有关规范，判定①层卵砾石渗透变形类型为管涌型，②层壤土的渗透变形类型为流土型。出口无保护条件下，水力比降建议值①层卵砾石为 0.10，②层壤土为 0.33。

桩号 0+000~0+260、0+430~0+860、1+050~1+130、1+350~3+127 地表岩溶、裂隙较发育，具中等透水性，坝体土与其接触处存在接触流失问题。

（4）混凝土坝基抗滑稳定

混凝土坝（溢洪闸）坝基为炒米店组长山第五层薄层条带灰岩夹中厚层灰岩及凤山第一层中厚层灰岩夹薄层条带灰岩，坝基岩体中等风化，岩体较完整，局部完整性差。层面产状为 NW315° ∠4°，倾角较缓，存在抗滑稳定问题，需进行浅层抗滑稳定复核。

4.7.2.3 主要工程地质问题处理

（1）坝基帷幕灌浆设计

庄里水库帷幕灌浆六段，分别为左岸坝肩段、断层段（包含坝基 FW4 断层段和右岸洪山断裂段）、左岸坝基段、主河槽溢流坝段、右岸坝基段、右岸坝肩段。

帷幕灌浆轴线基本位于大坝轴线上游 8.0m，具体如下：

1) 左岸坝肩段（桩号 0-150~0+000）：共 150m，左岸根据地质勘探报告，主要分布为长山组灰岩，防渗长度 150m，采用单排帷幕灌浆，孔距 1.5m。

2) 断层段（包含坝基 FW4 断层段和右岸洪山断裂段，FW4 断层段桩号 0+890~1+040、右岸洪山断裂段桩号 3+070~3+310）：共 390m，断层分布范围段采用三排帷幕灌浆，孔距 2.0m，排距 1.5m。其中洪山断裂灌浆范围 240m，断层两侧各 120m；FW4 断层灌浆范围 150m，断层两侧各取 75m。

3) 左岸坝基段（桩号 0+000~0+890、桩号 1+040~1+375.5）：共 1225.5m，左岸坝肩主要为长山组灰岩，岩溶基本不发育，采用单排帷幕灌浆，孔距 1.5m。

4) 主河槽溢流坝段（桩号 1+375.5~1+624.5）：共 249m，此段包含主河槽段

和部分右岸坝基段，右岸坝基以凤山灰岩为主，岩溶发育，采用两排帷幕灌浆，帷幕灌浆孔距 2.0m，排距 1.5m。其中桩号 1+401.5~1+598.5 为灌浆廊道灌浆，帷幕灌浆孔距 2.0m，排距 1.0m，采用高低孔方式，先灌下游排，后灌上游排，下游排帷幕灌浆到基岩帷幕灌浆 5Lu 以下不小于 5.0m，上游排帷幕灌浆底高程比上游排高 10~15.0m。

5) 右岸坝基段（桩号 1+624.5~3+070）：共 1445.5m，此段包含右岸坝肩段，右岸坝肩以凤山灰岩为主，岩溶发育，采用两排帷幕灌浆，帷幕灌浆孔距 2.0m，排距 1.5m，采用高低孔方式，先灌下游排，后灌上游排，下游排帷幕灌浆到基岩帷幕灌浆 5Lu 以下不小于 5.0m，上游排帷幕灌浆底高程比下游排高 10m，此段采用两排帷幕灌浆孔距 2.0m，排距 1.5m。

6) 右岸坝肩段（桩号 3+310~3+690）：共 380m，右岸为水库的渗漏通道，其表层分布长山组灰岩，右岸水库北坝端西北方向地势逐渐变高，地下水水位也跟随变化，采用单排帷幕灌浆，孔距 1.5m。

（2）帷幕灌浆压板设计

防渗压板为 C20 素砼，桩号范围 0+050~1+375.5、1+624.5~3+070，总长度 2771m，抗渗等级 W4，抗冻等级 F100，厚 1.0m，其中单排帷幕灌浆压板顺水流向长 4.0m，两排和三排帷幕灌浆压板顺水流向长 6.0，压板由 4.0m 到 6.0m 之间设渐变段长 10.0m。帷幕灌浆施工时先施工防渗压板，待防压板达到设计强度后方可进行帷幕灌浆施工。

帷幕灌浆压板位于基岩面以下 1.0m，基岩边坡开挖为直立边坡作为灌浆压板模板，开挖面宜为粗糙面，基岩地面开挖后清除碎屑，并用高压水枪冲洗干净后方可进行浇筑，防渗压板采用跳仓浇筑方式，顺水流向长 5.0m 为一仓，整体采用不分缝设计，长度分别为 1325.5m 和 1445.5m。

（3）坝基开挖

根据坝基岩面地质情况，左岸全插入段坝基开挖高程确定为 89.00m，右岸全插入段坝基开挖高程确定为 85.00m，其余坝段坝基开挖高程确定为 76.00m，达到弱风化上部及强风化下部。根据上述确定的建基面高程对大坝建基面进行开挖。

（4）坝基固结灌浆

为加强基础整体承载力，减小变形，降低坝基的渗透性，对混凝土坝段整个坝基进行固结灌浆：灌浆孔间排距 $3.0 \times 3.0\text{m}$ ，帷幕前灌浆孔入岩 8m，帷幕后入岩 5m。

(5) 河床式溢洪道

河床式溢洪道位于坝址桩号 1+355.5~1+644.5m 处，中心轴线位于坝址桩号 1+500m。

河床式溢洪道主要位于十字河主河床内，坝基岩石为寒武系上统炒米店组灰岩，弱风化，岩质较坚硬，物理力学性质好。覆盖层主要为卵砾石层，局部出露，一般层厚 2~8.8m。

在将覆盖层清除后，以弱风化灰岩作为坝基，岩体较完整，局部完整性差，按岩体特征，坝基岩体为Ⅲ类，抗滑、抗变形性能较好。

4.7.3 抽水蓄能电站利用下水库问题分析

下水库利用已建庄里水库，庄里水库工程已于 2021 年 12 月 22 日通过山东省水利厅竣工验收。作为枣庄山亭抽水蓄能电站下水库后，根据蓄能电站的装机容量，水库工程等别不变，水库运行方式不变。

庄里水库正常蓄水位为 114.56.00m，死水位为 101.32m。

庄里水库利用为抽水蓄能电站下水库后，抽水蓄能电站的工作水深为 113.0~114.56m，库水消落深度为 1.56m。

水库库岸地形舒缓，边坡坡度一般小于 30°，主要为基岩边坡，岩性为灰岩，覆盖层厚度小于 0.5m，无崩塌、滑坡等不良地质现象，无古滑坡体存在，库岸稳定性良好。庄里水库利用为抽水蓄能电站下水库后，抽水蓄能电站的下水库工作水深为 1.56m，在庄里水库运行范围内，远小于庄里水库的正常工作深度，对庄里水库影响小。

根据《山东省庄里水库工程竣工验收设计工作报告》（2021 年 6 月），庄里水库大坝及水库区存在的工程地质问题均采取工程措施进行了处理，庄里水库利用为抽水蓄能电站下水库后，工作水深较小，对库区及大坝等建筑物影响小，不会产生新的工程地质问题。

4.8 施工辅助工程地质条件

4.8.1 下水库进/出水口围堰工程

下水库进/出水口下游侧设沉砂池，靠岸边布置。沉砂池外侧纵向布置导流围堰，围堰与导沙坝部分结合布置。

下水库进/出水口采用围堰挡水，围堰与导沙坝部分结合布置，大部分位于庄里水库库区内。围堰堰顶高程为 117.0m，顶宽为 6.0m，两侧坡比为 1: 1.5。围堰总长 270m，最大堰高 7m，堰体及堰基采用高喷灌浆防渗，防渗墙深入基岩 1m。导沙坝坝顶高程为 117.0m，坝顶宽度 6.0m，两侧坡度均为 1:2.5。导沙坝总长 665m，最大坝高 17m，堰体及堰基采用高喷灌浆防渗，防渗墙深入基岩 1m。坝体在原始地形基础上采用石渣抛填形成。

下水库进/出水口围堰与导沙坝区大部分位于庄里水库库区内，两端延伸至十字河左岸阶地，地面坡度较平缓，坡度一般 5~15°，局部较陡。地面高程 97m~120m。

区内分布有第四系冲洪积中粗砂及粉质黏土，根据钻孔揭露，覆盖层最大厚度为 8.6m。其中，中粗砂位于上部，厚度一般 1~4m；粉质黏土位于下部，厚度一般 2~5m。两岸山坡坡脚处覆盖有崩坡积碎石土，厚度 1~5m。

下伏基岩为寒武系上统固山组灰岩夹页岩、灰岩及页岩。

区内未见断层发育。节理裂隙主要发育 4 组：①NE40° ~60° NW ∠64° ~88°、②NW290° ~330° SW ∠72° ~88°、③NE1° ~20° NW ∠80° ~89°、④NW290°~310°NE ∠1°~7°，其中，第④组为层面裂隙。以上四组节理，①、②、④组较发育，③组次之。

区内地下水主要为第四系孔隙潜水和基岩裂隙水。第四系孔隙潜水主要赋存于第四系松散堆积物中，接受大气降水的补给，以潜流的形式排泄。基岩裂隙水主要赋存于岩体内的裂隙中，接受第四系孔隙潜水大气降水的补给，以潜流的形式排泄。庄里水库水深 10~15m，围堰与导沙坝区庄里水库水面宽度为 620~840m。左岸阶地部位地下水高程一般与河水位基本一致，左岸阶地地下水位埋深 3~19m。

中粗砂层为强透水，粉质黏土属于弱透水，弱~微风化岩体属弱~微透水。

各土层物理力学参数建议值见表 4.8.1-1，岩石（体）物理力学参数建议值见表 4.3.6.9-1。

表 4.8.1-1 土体物理力学参数建议值表

土名称	天然重度 (KN/m ³)	饱和重度 (KN/m ³)	压缩模 量(MPa)	抗剪强度		允许 承载力 (KPa)	渗透系数	允许渗透坡降
				f	c(KPa)		cm/s	
中粗砂	16.0~18.0	17.0~19.0	5~10	0.30~0.40	0	80~150	$1.0 \times 10^{-2} \sim 5.0 \times 10^{-2}$	0.25~0.30
粉质黏土	15.0~17.0	15.5~17.5	3~5	0.25~0.35	10~20	50~100	$1.0 \times 10^{-4} \sim 5.0 \times 10^{-4}$	0.40~0.50

围堰与导沙坝堰基主要为中粗砂及粉质黏土。

中粗砂层渗透系数为 $1.0 \times 10^{-2} \sim 5.0 \times 10^{-2}$ cm/s，属于强透水，存在渗漏问题；允许水力坡降为 0.25~0.30，存在流土型渗透破坏问题，需要进行处理。

粉质黏土渗透系数为 $1.0 \times 10^{-4} \sim 5.0 \times 10^{-4}$ cm/s，属于弱透水，允许水力坡降为 0.40~0.50，存在流土型渗透破坏问题，需要进行处理。

下伏基岩表部岩体较破碎，为中等~弱透水层，需做帷幕灌浆处理。

综上，围堰基础主要为中粗砂及粉质黏土，中粗砂层存在渗漏及渗透稳定问题，粉质粘土存在渗透稳定问题，需要进行处理。下伏基岩表部岩体较破碎，为中等~弱透水层，需做帷幕灌浆处理。

4.8.2堆渣场

根据渣场规划原则和土石方平衡结果，结合开挖料部位及施工区内实际地形条件，共布置 1 处坝后压坡堆放工程弃渣，规划总容量 960 万 m³，工程最终弃渣 958 万 m³。有关工程设计指标见表 4.8.2-1。

表 4.8.2-1 渣场设计指标一览表

项 目		上水库 坝后压坡
位 置		上水库坝后
类 型		沟道型
规划容量 (万m ³)		960
转存容量/最终堆渣量 (万m ³)		713.02/713.02
最大堆渣高度 (m)		79.0
渣场顶高程 (m)		301.0/271.0
堆渣坡比		1:2.5
挡渣墙	型式	混凝土
	最大高度 (m)	2.5

4.8.2.1上水库坝后压坡工程地质条件及评价

上水库坝后压坡位于坝轴线下游 150m~350m 范围内，地面高程 246~300m，场地最大填筑高度为 54m。场地段石门沟主沟走向 NE29°，平均纵坡降为 7.3%。300m 高程平台处发育一条支沟，走向 NW357°；270m 高程平台处发育一条支沟，走向 NW283°。场地内山体坡度 10~30°，地表植被较发育。盖层厚度较小，一般 1~5m，主要为碎石土。下伏基岩为寒武系上统崮山组灰岩夹页岩、灰岩及页岩和张夏组灰岩。

场区内发育 F1 断裂不发育。节理裂隙主要发育 4 组：①NE40° ~60° NW ∠ 64° ~88° 、 ②NW290° ~330° SW ∠ 72° ~88° 、 ③NE1° ~20° NW ∠ 80° ~89° 、④NW290°~310°NE ∠ 1°~7°，该组裂隙为层面裂隙。以上四组节理，①、②、④组较发育，③组次之。

场内地下水位埋深约 12~40m。

场区未发现崩塌、滑坡及泥石流等现象；卸荷发育较少，分布范围较小；岩溶现象发育较弱；场区物理地质现象以岩体风化为主。全风化带、强风化带主要分布于崮山组第三段及第一段。全风化沿层理呈带状分布，厚度一般 1~5m。其中，灰岩呈弱风化状态，页岩呈全风化状态，土黄色。强风化带沿层理呈带状分布，厚度一般 2~5m，局部厚度较大，其中，灰岩呈弱风化状态，页岩呈强风化状态，黄褐色。弱风化带厚度 15~50m。

场地整体稳定，适宜布置施工场地。但场地位于石门沟内且发育两条小冲沟，在雨季受洪水威胁较大，建议采取相应的防护和排水措施。

4.8.2.2上水库坝后压坡岩土体物理力学参数

上水库坝后压坡出露地层岩性主要为寒武系上统崮山组灰岩夹页岩、灰岩及页岩和张夏组灰岩，覆盖层主要为碎石土。根据室内外岩石（体）试验成果，提出岩土体物理力学参数建议值，见表 4.8.2-2、表 4.8.2-3。

表 4.8.2-2 上水库坝后压坡岩体物理力学参数建议值表

项 目	崮山组第二段 崮山组第四段 崮山组第五段 张夏组第三段	崮山组第一段 崮山组第三段	强风化灰岩及页岩、断层、节理密集带等	全风化
	灰岩、灰岩夹页岩	灰岩及页岩		

			弱~微风化	弱~微风化		
比重			2.69~2.74	2.70~2.73	2.65~2.70	1.6~1.9
密度	干	g/cm ³	2.65~2.70	2.60~2.61	2.0~2.1	2.0~2.1
	饱和		2.65~2.71	2.69~2.70	2.10	
抗压强度	干	MPa	50~90	30~70	-	
	饱和		30~55	10~35	-	
抗剪断	摩擦系数		0.7~1.0	0.55~0.80	0.40~0.55	0.4~0.5
	凝聚力	MPa	0.6~0.9	0.30~0.70	0.05~0.3	0.1~0.2
抗剪	摩擦系数		0.5~0.65	0.45~0.60	0.35~0.45	0.3~0.4
	凝聚力	MPa	0	0	0	0
变形模量		GPa	4~8	2~4	-	
软化系数			0.5~0.7	0.3~0.5	-	
冻融系数			0.7~0.9	0.7~0.8	-	
泊松比			0.25~0.30	0.30~0.35	-	
地基承载力		MPa	2~5	0.8~2.0	0.4~0.8	0.2~0.4

表 4.8.2-3 上水库坝后压坡土体物理力学参数建议值表

土名称	天然重度 (KN/m ³)	饱和重度 (KN/m ³)	压缩模量 (MPa)	抗剪强度		允许 承载力 (KPa)
				f	c(KPa)	
粉土	16.0~18.0	17.0~19.0	3~5	0.25~0.35	5~10	50~100
碎石土	18.0~19.0	19.0~20.0	5~10	0.35~0.45	5~10	150~350

4.8.3 业主营地

业主营地位于下水库右岸岩头村南侧的一级阶地上，地面高程在 116m~120m，拔河高 1m~5m。场地地形较平缓，坡度为 1°~5°。地表植被较发育，主要为树林及农田。

场地内无基岩出露，覆盖层主要为第四系全新统冲洪积（Q₄^{al+pl}）砂卵砾石及粉土等，厚度在 7~10m，结构松散~中密。粉土一般位于表部，厚度 1~5m；粉土之下为砂卵砾石，厚度 5~8m。下伏基岩为张夏组第三段灰岩。

地下水以第四系松散地层孔隙潜水为主，地下水位高程为 115m，与水库水面高程基本一致，埋深 1~5m。庄里水库地表水及地下对混凝土及混凝土结构中的钢筋无腐蚀性。

场地地形平缓，坡度为 1°~5°，场地整体稳定，没有崩塌、滑坡、泥石流等不良物理现象。

场地土包括粉土及砂卵砾石，其中，粉土为中软土，砂卵砾石为坚硬土，建筑场地类别为二级场地，地基为二级（中等复杂地基）。场地属于较稳定场地。

场地复杂程度为中等复杂场地（二级）。根据《水电工程移民安置区工程地质勘察规程》NB/T 35085-2016，场地工程建设区适宜性为较适宜。

根据《中国地震动参数区划图》（GB 18306-2015），工程区场地峰值加速度值为 0.10g，反应谱特征周期为 0.45s，地震基本烈度为Ⅶ度，粉土存在液化可能，在建筑场地抗震地段的划分上属于抗震不利地段。

场地内的粉土层物理力学性质较差，地基承载力及变形不能满足设计要求，同时，粉土层存在液化可能，建议挖除或进行地基处理；砂卵砾石物理力学性质较好，可以作为建筑物地基；灰岩物理力学性质较好，地基承载力满足设计要求，可作为天然地基。营地紧邻库区，地下水埋深浅，建议采用桩基础或者采取相应的基坑降水和支护措施。

4.8.4 移民安置点

上水库库区内分布有石门村，根据移民安置规划报告，将整体搬迁至杏子山移民安置点。

杏子山集中安置点位于杏子山社区南侧约 260m 处，地表平坦开阔，地表高程 128~138m，南北长约 197m，东西宽约 123m。东侧和南侧 100m 范围内地形平坦，坡度为 1°~7°，地表为田地。

场地基岩大面积出露，主要为寒武系上统炒米店组灰岩（ C_{3c} ）；覆盖层零星出露，主要为第四系坡洪积（ $\text{Q}_4^{\text{dl+pl}}$ ）耕植土，厚度一般小于 1.0m，结构松散~中密。

地下水以基岩裂隙水和第四系松散堆积物孔隙水为主，地下水位埋深一般 10~30m。地表水对混凝土无腐蚀性。

移民安置区周围平缓，基岩大部分出露，区内种植有花椒树，坡度 1~7°，岩体完整性较好，场地整体稳定，无崩塌、滑坡、泥石流等不良物理现象，物理地质现象主要表现为岩体风化及岩溶。

根据钻孔和地表测绘表明，地表基岩为灰岩，弱风化，弱风化深度 10~40m，未见全强风化岩体发育。

根据地表测绘及勘探成果，安置区局部有溶洞发育，主要位于场地中部及东部，见于 ZK908 及 ZK913 两个钻孔，孔径 0.5~6.5m，主要充填粘土，

场地基础为弱风化灰岩，岩质较坚硬，场地土的特征判定场地类型属稳定基

岩，建筑场地类别为三级场地，地基为三级（简单地基）。

根据《中国地震动参数区划图》（GB 18306-2015），工程区场地峰值加速度值为 0.10g，反应谱特征周期为 0.45s，地震基本烈度为Ⅶ度，在建筑场地抗震地段的划分上属于抗震有利地段。

场地无活动性断层发育，地震基本烈度为Ⅶ度，区域构造稳定性较好。依据《水电工程移民安置区工程地质勘察规程》（NB/T 35085—2016），杏子山集中安置点场地属于较稳定场地，场地工程建设区适宜性为较适宜。

场地内的耕植土层不宜作为地基持力层，厚度较小，应予以挖除。基岩主要为灰岩，表部出露为弱风化，岩质坚硬，物理力学性质好，地基不均匀沉降问题小，可以作为天然地基。场地中部和东部有溶洞发育，需要进行处理。

各岩土层力学性质指标建议值见表 4.8.4-1。

表 4.8.4-1 场地地基物理力学指标建议值

名称		天然 密度	干 密度	压缩模量	基底摩擦 系数	抗剪断参数		允许 承载力 (MPa)
		(g/cm ³)		Es1-2 (MPa)		f'(°)	C'(MPa)	
弱风化灰岩		2.71	2.70	2~8	0.9~1.0	0.7~1.0	0.6~0.9	2~5

4.9天然建筑材料

4.9.1概述

上水库坝型为沥青混凝土面板堆石坝，下水库为已建庄里水库。根据设计要求，本阶段需要的主要建筑材料有筑坝堆石料、混凝土骨料和沥青混凝土骨料等。

本着就近取材，尽量降低对环境影响的原则，本阶段对工程所需的各类天然建筑材料进行了详查工作。

(1) 上水库料场：考虑挖填平衡，选择上水库库盆内作为筑坝堆石料场。

(2) 混凝土人工骨料料场：输水发电系统和下水库左岸、进/出水口上游约 2km 的梨园料场作为混凝土骨料料场。同时，梨园料场作为上水库堆石料备用料场，在进行室内试验时，试验项目以混凝土人工骨料为主。

本阶段各类天然建筑材料设计需用量见表 4.9.1-1，各料场概况见表 4.9.1-2。经过料场详查工作，各料场储量均满足可研阶段的要求。

表 4.9.1-1 天然建筑材料设计用量表

序号	料源种类	单位	设计用量	备注
1	上水库堆石料（不含垫层料）	$\times 10^4 \text{ m}^3$	869.62	自然方
2	上水库堆石料（垫层料）	$\times 10^4 \text{ m}^3$	41.2	自然方
3	混凝土骨料	$\times 10^4 \text{ m}^3$	53.67	自然方
4	沥青混凝土骨料	$\times 10^4 \text{ m}^3$	12.38	自然方

表 4.9.1-2 天然建筑材料各料场概况一览表

料场类别	料场名称	位 置	勘察精度	产地面积 ($\times 10^4 \text{ m}^2$)	有用层 储量	无用层 体积
					($\times 10^4 \text{ m}^3$)	
上水库堆石料	上水库库内堆石料场	上水库库盆	详查	54.06	1184.16	29.88
混凝土骨料料场/ 沥青混凝土骨料 上水库堆石料备用料场	梨园料场	下水库左岸、进/ 出水口上游约 2km	详查	20.11	662.09	10.00

4.9.2上水库库内堆石料场

4.9.2.1产地概况

库内堆石料场位于上水库库盆内，产地面积约 $58.59 \times 10^4 \text{ m}^2$ 。库内堆石料场沟谷总体呈 NE 向展布，为南、北、东三面环山的库盆，库内总体地势为北高南低，

库区周边山脊地面高程 385~436m。库区内侧坡度 10° ~ 30° ，局部较陡，外侧坡度为 10° ~ 30° 。库区内植被较发育，主要为松树、花椒树及杂草，基岩大量裸露。

料场表部覆盖层零星发育，厚度较小，一般 0.1~0.5m，主要为碎石土。

基岩为寒武系上统崮山组，库盆开挖范围内主要为崮山组第二段 ($\epsilon_3 z^2$)、崮山组第三段 ($\epsilon_3 z^3$)、崮山组第四段 ($\epsilon_3 z^4$) 及崮山组第五段 ($\epsilon_3 z^5$)，具体详见表 4.9.2-1，由老到新描述如下：

崮山组第二段 ($\epsilon_3 g^2$)：岩性为灰岩夹页岩，灰黑色，灰岩呈灰黑色，微晶结构，中厚层状构造，层厚一般为 4~50cm，矿物成分主要为方解石，锤击声清脆，岩质坚硬；页岩呈条带状及纹理状产出，泥质结构，极薄层状构造，层厚一般为 1~5mm，纹理厚度一般为 0.1~2mm；灰岩占比约为 80%~90%，页岩占比约为 10%~20%。该层顶板高程约为 358m，层厚约为 38.7m。

崮山组第三段 ($\epsilon_3 g^3$)：岩性为灰岩及页岩，灰岩呈灰黑色，微晶结构，薄层~极薄层构造，层厚为 5~10mm，局部可达 10cm，矿物成分主要为方解石，岩质坚硬；页岩呈黑色，泥质结构，极薄层状构造，层厚 1~10mm，局部少量可达 20mm，岩质较软，手掰可断，局部可见紫红色竹叶状灰岩；灰岩占比 50~60%，页岩占比 40~50%。该层顶板高程为 348~384m，底板高程为 330~367m，平均层厚约为 23.3m。

崮山组第四段 ($\epsilon_3 g^4$)：岩性为灰岩夹页岩，灰岩呈灰黑色，微晶结构，中厚层状构造，主要矿物成分为方解石，岩质坚硬，锤击声清脆；页岩呈黑色，泥质结构，极薄层状构造，层厚一般为 1~5mm，岩质较软，手掰可断，锤击声哑；灰岩占比约为 80%~90%，页岩占比约为 10%~20%。该层顶板高程约为 409m，底板高程为 361~384m，平均层厚约为 35.4m。

崮山组第五段 ($\epsilon_3 g^5$)：主要位于上水库东南侧的山包，岩性为灰岩夹页岩，灰岩呈灰黑色，微晶结构，薄层~中厚层状构造，主要矿物成分为方解石，岩质坚硬，锤击声清脆；页岩呈黑色，泥质结构，极薄层状构造，层厚一般为 1~5mm，岩质较软，手掰可断，锤击声哑；灰岩占比约为 60~70%，页岩占比约为 30~40%。该层底板高程约为 409m，层厚大于 26m。

库内料场未见断层发育，节理裂隙主要发育 NE、NW、NNE 四组，以陡倾角为主。

地下水主要为第四系孔隙潜水、基岩裂隙水，地下水埋深在 50~70m 之间，岩体透水率以弱~微透水为主。

料场区未见崩塌、滑坡及泥石流等不良地质现象，岩溶发育较弱，物理地质

现象以岩体风化为主。

库盆岩体以灰岩及页岩为主，局部有少量强风化带发育，主要集中在库盆西北侧垭口，钻孔 ZK108 附近，最大厚度约 28m，其余部位未见强风化岩体发育。弱风化带厚度 20~40m。

表 4.9.2-1 上水库库内堆石料场地层分布一览表

地层	岩性	项目	ZK108	ZK109	ZK110	ZK111	ZK201	ZK202	ZK401	ZK402	ZK403	ZK404	ZK405	ZK406	ZK408
∈3g5	灰岩及页岩	顶板高程(m)				434.98									
		底板高程(m)				408.98									
		厚度(m)				26									
		平均厚度(m)	>26												
∈3g4	灰岩夹页岩	顶板高程(m)	385.4	389.72	404.58	408.98	414.81	394.42	408.46	387.45	397.13	311.08		398.25	
		底板高程(m)	380.4	365.02	370.98	379.48	383.71	378.02	361.36	374.65	361.33	291.58		374.45	
		厚度(m)	5	24.7	33.6	29.5	31.1	16.4	47.1	12.8	35.8	19.5		23.8	
		平均厚度(m)	35.4												
∈3g3	灰岩及页岩	顶板高程(m)	380.4	365.02	370.98	379.48	383.71	378.02	361.36	374.65	361.33		348.17	374.45	
		底板高程(m)	356.4	339.12	345.38	366.98	358.31	357.22	338.46	350.85	341.63		330.37	347.55	
		厚度(m)	24	25.9	25.6	12.5	25.4	20.8	22.9	23.8	19.7		17.8	26.9	
		平均厚度(m)	23.3												
∈3g2	灰岩夹页岩	顶板高程(m)	356.4	339.12	345.38	366.98	358.31	357.22		350.85	341.63		356.37	347.55	314.07
		底板高程(m)	305.4	309.72	324.58	364.98	318.41	319.82		337.45	337.13		348.17	328.25	297.67
		厚度(m)	51	29.4	20.8	2	39.9	37.4		13.4	4.5		8.2	19.3	16.4
		平均厚度(m)	38.7												

注：表中红色斜体字为钻孔孔口高程或孔底高程，表明该地层为揭穿。

4.9.2.2 勘探与试验

料场面积大，地形较完整，岩性较复杂，地表覆盖层零星发育，基岩大量裸露，没有无用夹层，断裂不发育，强风化局部有少量发育，岩溶发育较弱，料场产地类别为Ⅱ类。

本阶段对料场进行了 1:1000 地质测绘。勘探以钻孔、平洞、探坑及坑槽为主，布置了 12 条勘探线，勘探线间距 50~100m；布置钻孔 51 个，钻孔间距 70~150m，深度共计 2565m；布置了 PD103 平洞 1 条，长度为 67m。

根据地层岩性、风化程度的不同，在料场选择 19 组岩样进行了物理力学性质试验，成果统计见表 4.9.2-2。

表 4.9.2-2 上水库库内堆石料场岩石物理力学性质成果统计表（1）

地层	岩性	风化程度	统计值	比重	自然密度 (g/cm ³)	干密度 (g/cm ³)	饱和密度 (g/cm ³)	自然吸水率(%)	饱和吸水率(%)	孔隙率(%)
崮山组第五段 ∈3g ⁵	灰岩夹页岩	弱风化 (2组)	范围值	2.662~2.732	2.507~2.586	2.505~2.585	2.519~2.593	0.23~1.02	0.29~1.03	5.38~6.81
			平均值	2.69	2.53	2.52	2.54	0.73	0.76	6.22
		微风化 (2组)	范围值	2.711~2.729	2.584~2.613	2.583~2.612	2.587~2.616	0.06~0.4	0.07~0.44	3.97~5.35
			平均值	2.72	2.6	2.6	2.61	0.16	0.17	4.46
崮山组第四段 ∈3g ⁴	灰岩夹页岩	弱风化 (3组)	范围值	2.701~2.735	2.66~2.71	2.659~2.709	2.667~2.712	0.07~0.36	0.07~0.38	0.55~1.55
			平均值	2.725	2.695	2.695	2.7	0.155	0.17	0.99
		微风化 (3组)	范围值	2.709~2.767	2.597~2.743	2.596~2.742	2.6~2.746	0.05~0.19	0.06~0.2	0.52~4.52
			平均值	2.725	2.68	2.68	2.68	0.1	0.12	1.64
崮山组第三段 ∈3g ³	灰岩及页岩	弱风化 (3组)	范围值	2.671~2.72	2.537~2.661	2.535~2.66	2.547~2.663	0.06~0.74	0.08~0.79	1.85~5.69
			平均值	2.70	2.60	2.60	2.61	0.26	0.28	3.85
		微风化 (2组)	范围值	2.71~2.779	2.671~2.726	2.669~2.72	2.679~2.732	0.13~0.5	0.14~0.51	0.66~2.12
			平均值	2.73	2.69	2.69	2.70	0.29	0.31	1.45
崮山组第二段 ∈3g ²	灰岩夹页岩	微风化 (2组)	范围值	2.71~2.751	2.602~2.693	2.6~2.69	2.608~2.695	0.14~0.3	0.16~0.32	0.74~5.28
			平均值	2.73	2.65	2.65	2.65	0.19	0.21	2.87

注：部分过小或过大的数据未参与统计。

表 4.9.2-2 上水库库内堆石料场岩石物理力学性质成果统计表（2）

地层	岩性	风化程度	统计值	弹性模量 (GPa)		变形模量 (GPa)		泊松比		抗压强度 (MPa)		冻后抗压 强度 (MPa)	冻融 损失 率 %	硫酸盐 及硫化 物含量 (换算成 SO ₃) %	软化 系数	冻融 系数
				干燥	饱和	干燥	饱和	干燥	饱和	干燥	饱和					
崮山组 第五段 ∈3g ⁵	灰岩 夹 页岩	弱风化 (2组)	范围值	32.3~37.2	21.1~36	21.6~45.5	16.7~35.2	0.14~0.36	0.14~0.32	47.6~111	36.5~43.6	19.3~35.7	0		0.49~0.63	
			平均值	34.1	27.7	30.8	27.7	0.24	0.26	66	39.5	26.9			0.56	
		微风化 (2组)	范围值	36.6~57.2	30.7~44.1	31~43.3	20.2~31.7	0.16~0.35	0.11~0.25	59.8~103	41.6~65.4	19.6~53.2	0.01		0.65~0.72	
			平均值	47.1	35.3	34.6	26.3	0.23	0.17	83.6	57.1	34			0.685	0.91
崮山组 第四段 ∈3g ⁴	灰岩 夹页 岩	弱风化 (3组)	范围值	29.3~79.5	21.2~69.3	13.1~77.2	13.9	0.12~0.35	0.11~0.36	44.9~118	37.2~89.5	-	0		0.73~0.84	
			平均值	59.55	44	45.35	36.8	0.23	0.22	76.3	56.6	-			0.74	
		微风化 (3组)	范围值	27~75.7	25.5~77.2	30.1~74.7	15.4~76.7	0.15~0.36	0.13~0.33	59.4~202	38.7~162	35~43.3	0.01		0.57~0.64	
			平均值	51.7	44.65	51.15	41.9	0.185	0.22	105.8	65.0	39.0			0.61	0.6
崮山组 第三段 ∈3g ³	灰岩 及 页岩	弱风化 (3组)	范围值	36.1	20.7~37.6	20~38.2	16.2~33.4	0.17~0.35	0.1~0.32	43.5~88.8	25.1~51.2	9.7~39.8	0		0.36~0.67	0.32~0.89
			平均值	36.1	28.8	30	23.6	0.23	0.21	68.8	30.3	25.6			0.44	0.84
		微风化 (4组)	范围值	44.6~54.1	16.5~36.2	30.4~47.5	9.2~48	0.11~0.28	0.09~0.35	45.9~89.1	25.7~45.2	29.2~42.7	0		0.62	
			平均值	49.4	27.45	34.9	23.13	0.16	0.19	54.45	34.5	33.1			0.62	0.96
崮山组 第二段 ∈3g ²	灰岩 夹页 岩	微风化 (2组)	范围值	32~50.9	22.6~38.1	21.4~44.5	16.7~34	0.1~0.35	0.13~0.31	59.5~88.6	32.1~65.9	18.2~38.2	0.01		0.63~0.75	
			平均值	39.3	31	33.1	25.35	0.25	0.19	76	52.9	28.9			0.69	

注：部分过小或过大的数据未参与统计。

4.9.2.3 质量评价

上水库库内开挖石料场地层岩性共有 4 层,由下至上分别为崮山组第二段($\in_3 z^2$)、崮山组第三段($\in_3 z^3$)、崮山组第四段($\in_3 z^4$)及崮山组第五段($\in_3 z^5$)。

崮山组第二段岩性为灰岩夹页岩,灰岩占比约为 80%~90%,页岩占比约为 10%~20%。该层顶板高程约为 358m,层厚约为 38.7m。上水库库盆开挖填筑高程为 340m,该段大约有 16m 属于开挖范围。岩石试验成果表明,微风化灰岩夹页岩的饱和抗压强度范围值为 32.1~65.9 MPa,平均值为 52.9MPa,冻融损失率为 0.01,干密度为 2.505~2.612 g/cm³。由试验结果与与堆石料技术指标要求对比(见表 4.9.2-3),受少量页岩影响,该层部分岩样的饱和抗压强度低于 40MPa,但平均值为 52.9MPa,高于 40MPa,总体来说,弱~微风化岩石性能指标基本可以满足《水电工程天然建筑材料勘察规程》NB T 10235-2019 中堆石料的质量要求。

崮山组第三段岩性为灰岩及页岩,灰岩占比 50~60%,页岩占比 40~50%,页岩岩质软弱,手掰可断,遇水泥化严重,软化系数为 0.3~0.5,物理力学性质差。该层顶板高程为 348m~384m,底板高程为 330~367m,平均层厚约为 23.3m,属于库内石料开挖范围。岩石试验成果表明,弱~微风化灰岩夹页岩的饱和抗压强度范围值为 25.1~51.2MPa,弱风化及微风化的饱和抗压强度平均值分别为 30.3 MPa、34.5MPa,冻融损失率为 0,干密度为 2.535~2.72 g/cm³。由试验结果与与堆石料技术指标要求对比(见表 4.9.2-3),该层岩样的饱和抗压强度大部分低于 40MPa,平均值也低于 40MPa,因此,崮山组第三段灰岩及页岩的岩石性能指标不能满足《水电工程天然建筑材料勘察规程》NB /T 10235-2019 中堆石料的质量要求。但根据工程经验类比,堆石坝体内下游部位对岩石质量要求不高,强度较低的岩石也可作为料源应用于堆石坝下游堆石区。

崮山组第四段岩性为灰岩夹页岩,灰岩占比约为 80%~90%,页岩占比约为 10%~20%。该层顶板高程约为 409m,底板高程为 361~384m,平均层厚约为 35.4m。上水库库盆开挖填筑高程为 340m,该段属于库内石料开挖范围。岩石试验成果表明,弱~微风化灰岩夹页岩的饱和抗压强度范围值为 37.2~162MPa,弱风化及微风化的饱和抗压强度平均值分别为 56.6 MPa、65.0MPa,冻融损失率为 0.01,干密度为 2.596~2.742 g/cm³。由试验结果与与堆石料技术指标要求对比(见表 4.9.2-3),受少量页岩影响,该层部分岩样的饱和抗压强度低于 40MPa,但平均值为 56.6 MPa、65.0MPa,高于 40MPa,总体来说,崮山组第四段弱~微风化岩石性能指标

基本可以满足《水电工程天然建筑材料勘察规程》NB/T 10235-2019 中堆石料的质量要求。

崮山组第五段岩性为灰岩夹页岩，灰岩占比约为 60~70%，页岩占比约为 30~40%。该层主要分布于上水库东南侧的山包，底板高程约为 409m，层厚约 26m。岩石试验成果表明，弱~微风化灰岩夹页岩的饱和抗压强度范围值为 36.5~65.4MPa，弱风化及微风化的饱和抗压强度平均值分别为 39.5MPa、57.1MPa，冻融损失率为 0，干密度为 2.505~2.612 g/cm³。由试验结果与堆石料技术指标要求对比（见表 4.9.2-3），受层内页岩影响，该层部分岩样的饱和抗压强度低于 40MPa，但平均值为 56.6 MPa、65.0MPa，高于 40MPa，总体来说，崮山组第五段弱~微风化岩石性能指标基本可以满足《水电工程天然建筑材料勘察规程》NB/T 10235-2019 中堆石料的质量要求。

表 4.9.2-3 上水库库内堆石料场原岩质量技术指标表

地层	岩性	序号	项 目	指标	试验值	评价
崮山组第二段 ($\in_3 z^2$)	灰岩夹页岩	1	饱和抗压强度 (MPa)	>40	$\frac{32.1\sim65.9}{52.9}$	基本合格
		2	冻融损失率 (%)	<1	0.01	合格
		3	干密度 (g/cm ³)	>2.4	2.505~2.612	合格
		4	硫酸盐及硫化物含量 (换算成 SO ₃) (%)	<1		合格
崮山组第三段 ($\in_3 z^3$)	灰岩及页岩	1	饱和抗压强度 (MPa)	>40	$\frac{25.1\sim51.2}{30.3\sim34.5}$	不合格
		2	冻融损失率 (%)	<1	0	合格
		3	干密度 (g/cm ³)	>2.4	2.535~2.72	合格
		4	硫酸盐及硫化物含量 (换算成 SO ₃) (%)	<1		合格
崮山组第四段 ($\in_3 z^4$)	灰岩夹页岩	1	饱和抗压强度 (MPa)	>40	$\frac{37.2\sim162}{56.6\sim65.0}$	基本合格
		2	冻融损失率 (%)	<1	0.01	合格
		3	干密度 (g/cm ³)	>2.4	2.596~2.742	合格
		4	硫酸盐及硫化物含量 (换算成 SO ₃) (%)	<1	0.01	合格
崮山组第五段 ($\in_3 z^5$)	灰岩夹页岩	1	饱和抗压强度 (MPa)	>40	$\frac{36.5\sim65.4}{39.5\sim57.1}$	基本合格
		2	冻融损失率 (%)	<1	0	合格
		3	干密度 (g/cm ³)	>2.4	2.505~2.612	合格
		4	硫酸盐及硫化物含量 (换算成 SO ₃) (%)	<1		合格
注：表中		$\frac{36.5\sim65.4}{39.5\sim57.1}$	分子表示试验值范围 分母表示平均值（前值为弱风化，后值为微风化）			

因此，库内料场崮山组第二段、崮山组第四段和崮山组第五段的弱~微风化灰岩夹页岩的性能指标均可满足堆石料的质量要求，崮山组第三段灰岩及页岩的岩石质量虽然较差，但可应用于堆石坝体内下游堆石区。

4.9.2.4 储量计算

综合料场地质条件，考虑堆石坝坝体对料源的要求，将第四系覆盖层视为无用层，余下为有用层，分别进行储量计算。

库内料场产地面积约 $58.59 \times 10^4 \text{m}^2$ ，采用平行断面法进行储量计算，最低开采高程为 341m，库内开挖坡比 1:1.75，则库内料场可作为主堆区的有用层储量为 $769.71 \times 10^4 \text{m}^3$ ，可作为次堆区的有用层储量为 $414.45 \times 10^4 \text{m}^3$ ，无用层体积为

29.88×10⁴m³，剥采比为 1:39.6。料场储量计算见表 4.9.2-4。

表 4.9.2-4 上水库库内料场储量计算表

断面 编号	相邻断面的 平均距离（m）	无用层体积 （×10 ⁴ m ³ ）	有用层储量（×10 ⁴ m ³ ）				剥 采 比	
		覆盖层	灰岩及页 岩	灰岩夹页岩				
			崮山组 第三段	崮山组 第五段	崮山组 第四段	崮山组 第二段		
东边界	22.16	0.0054	0.00	3.39	4.69	0.00	1:39.6	
KN1	73.10	0.75	26.13	26.07	96.81	9.10		
KN2	100.00	1.67	109.33	14.79	181.15	30.38		
KN3	85.00	0.79	83.23	1.19	100.53	17.96		
KN4	86.34	0.98	58.23	0.00	42.67	18.62		
KN5	100.00	1.93	33.44	0.00	19.53	20.21		
KN6	100.00	3.29	14.25	0.00	13.30	10.79		
KN7	100.00	4.35	11.61	0.00	11.39	6.56		
KN8	100.00	3.90	12.79	0.00	6.63	10.24		
KN9	90.93	6.35	20.42	0.17	10.30	19.67		
KN10	90.47	5.31	29.15	1.67	25.66	27.43		
KN11	41.37	0.43	11.89	1.27	14.39	12.15		
KN12	50.71	0.12	3.98	0.50	5.70	4.80		
西边界								
小计		29.88	414.45	49.05	532.75	187.91		
总计		29.88	414.45	769.71				
备注		剥离层	次堆区	主堆区				

库内料场有用层储量合计为 1184.16×10⁴m³，无用层体积合计为 29.88×10⁴m³，剥采比总体为 1:39.6。料场有用层储量不能满足规范要求的大于设计需要量 1.5~2.0 倍要求，因此，在库外选择了梨园料场作为堆石料的备用料场。

4.9.2.5 开采运输条件

料场产地面积大，距离坝址近，运输条件较好，地形坡度较缓，覆盖层零星

分布，开采条件较好，但料场地层岩性较复杂，需要做好分层开挖的施工工序安排。

4.9.3 上水库库内堆石料场（垫层料）

垫层料主要应用于库盆内垫层区（2A 区），其中，坝坡部位水平宽度为 300cm，边坡及库底开挖范围垂直厚度为 60cm，库底填筑范围厚 100cm。设计需要用量为 $41.2 \times 10^4 \text{m}^3$ 。

垫层区（2A 区）采用原岩人工破碎加工而成，最大粒径 80mm，粒径小于 5mm 的含量为 25%~35%，粒径小于 0.075mm 的含量宜为 4%~8%。曲率系数 C_c 为 1~3，不均匀系数 C_u 宜大于 15。设计压实指标：孔隙率不大于 18%，干密度大于等于 2.25g/cm^3 ，渗透系数不小于 $1 \times 10^{-3} \text{cm/s} \sim 1 \times 10^{-2} \text{cm/s}$ 。

垫层料对原岩的要求相对于普通堆石料较高，除堆石料的一般要求外，还对含泥量及软弱颗粒含量有要求，一般含泥量不得含泥块，且含泥量 $\leq 1\%$ 、软弱颗粒含量 $\leq 5\%$ （NB/T 10235-2019《水电工程天然建筑材料勘察规程》附录 D）。

上水库库内料场主要由崮山组第二段（ $\epsilon_3 z^2$ ）、崮山组第三段（ $\epsilon_3 z^3$ ）、崮山组第四段（ $\epsilon_3 z^4$ ）及崮山组第五段（ $\epsilon_3 z^5$ ）组成，其中崮山组第三段及第五段内页岩含量较高，崮山组第二段储量仅有 $49.05 \times 10^4 \text{m}^3$ ，均不能满足垫层料的储量和质量要求。崮山组第四段储量为 $532.75 \times 10^4 \text{m}^3$ ，其中灰岩占比约为 80%~90%，页岩占比约为 10%~20%。灰岩呈中厚层状构造，弱微风化，岩质较坚硬~坚硬，质量可以满足垫层料的要求。

因此，崮山组第四段岩性为灰岩夹页岩，其中，灰岩的储量为 $426.2 \times 10^4 \text{m}^3 \sim 479.48 \times 10^4 \text{m}^3$ ，在开挖阶段，剔除掉页岩后，选取中厚层状灰岩作为垫层料，可以满足储量和质量的要求。

由于垫层料中不得含有泥块，且含泥量需要小于 1%、软弱颗粒含量需要小于 5%，崮山组第四段中所含页岩即为软弱颗粒，遇水后极易软化成泥，因此，在开挖阶段进行灰岩分选时，需要做好施工组织安排及开挖选取工艺，避免页岩掺入垫层料内。

4.9.4 梨园料场

工程所需混凝土骨料及沥青混凝土骨料料场选取了位于下水库左岸、进/出水口上游约 2km 的梨园料场，同时，梨园料场也作为上水库堆石料的备用料场。在

进行室内试验时，试验项目以混凝土人工骨料及沥青混凝土骨料为主，同时兼顾堆石料。

4.9.4.1 产地概况

梨园料场位于下水库左岸岸坡，距离下水库进/出水口上游约 2km。料场为一面山坡，总体为近东西走向，山体雄厚，地形坡度 10~25°，局部略陡，开采相对高差约 100m。地表植被发育较少，主要为农田，基岩大量裸露。

料场表部覆盖层厚度较小，一般 0.1m~1.0m，主要为碎石土。

基岩为寒武系上统张夏组第三段 ($\epsilon_3 z^3$)，岩性为灰岩，灰黑色，微晶结构，厚层状构造，层厚一般为 0.1~1.0m，矿物成分主要为方解石，锤击声清脆，岩质坚硬；层内可见少量页岩纹理，纹理厚度一般 0.1~0.5mm；灰岩占比约为 99%，其余为少量纹理状页岩。

在料场取岩样进行岩矿鉴定，结果显示：岩石具含生物屑微晶结构，块状构造。主要由填隙物和生物屑组成，矿物成分主要为方解石约 95%，白云石 4%~6%，其余为少量铁泥质等。

生物屑：成分为方解石，由腕足类、介形虫等生物碎屑构成，粒径 0.40~2.00mm（长轴），主要为晶粒结构、玻纤状结构等，共约占总量的 5%。

填隙物：主要由微晶方解石、白云石组成，分布生物屑间起胶结作用，少量铁泥质局部可见。

方解石：他形粒状，粒径主要为 0.004~0.030mm，正中闪突起，遇茜素红染色变红，颗粒之间镶嵌接触。

白云石：半自形-菱形状，粒径同方解石，茜素红染色不变色，零散分布于方解石颗粒间。

铁泥质：微粒状、浸染状，零散分布于方解石颗粒之间

料场岩层产状为走向为 NW290~320°，倾向 NE，倾角 1~5°，未见断层发育。节理裂隙主要发育 NE、NW、NNE 三组，以陡倾角为主。

地下水主要为第四系孔隙潜水、基岩裂隙水，地下水埋深在 30~100m 之间，岩体透水率以弱~微透水为主。

料场区未见崩塌、滑坡及泥石流等不良地质现象，岩溶发育较弱，物理地质现象以岩体风化为主。料场区岩石为灰岩，无全强风化岩体发育，弱风化带厚度 20~30m。

4.9.4.2 勘探与试验

料场面积大，地形较起伏，岩性单一，岩相稳定，没有无用夹层，覆盖层较薄，料场产地类别为Ⅱ类。

本阶段对料场进行了 1:1000 地质测绘。勘探以钻孔、平洞、探坑及坑槽为主，布置了 6 条勘探线，勘探线间距 120~130m；布置钻孔 3 个，深度共计 330m；布置了 PD102 平洞 1 条，长度为 91m。

在料场选择 12 组岩样进行了物理力学性质试验，成果统计见表 4.9.3-1。

表 4.9.3-1 梨园料场岩石试验成果汇总表（1）

地层	岩性	风化程度	统计值	比重	自然密度 (g/cm³)	干密度 (g/cm³)	饱和密度 (g/cm³)	自然吸水率(%)	饱和吸水率 (%)	孔隙率 (%)	纵波波速 (m/s)
张夏组 第三段 ∈3z³	灰岩	弱风化 (3 组)	范围值	2.715~2.742	2.652~2.726	2.649~2.724	2.662~2.734	0.09~0.73	0.1~0.75	0.15~2.93	3358~4126
			平均值	2.73	2.70	2.69	2.70	0.42	0.43	1.31	3773
		微风化 (9 组)	范围值	2.711~2.753	2.683~2.742	2.682~2.74	2.685~2.746	0.06~0.44	0.08~0.45	0.11~1.75	3466~4132
			平均值	2.73	2.71	2.71	2.71	0.14	0.16	0.76	3908

注：部分过小或过大的数据未参与统计。

表 4.9.3-1 梨园料场岩石试验成果汇总表（2）

地层	岩性	风化程度	统计值	弹性模量 (GPa)		变形模量 (GPa)		泊松比		抗压强度 (MPa)		冻后抗压 强度 (MPa)	冻融 损失率 %	硫酸盐 及硫化 物含量 (换算成 SO ₃) %	软化 系数	冻融 系数
				干燥	饱和	干燥	饱和	干燥	饱和	干燥	饱和					
张夏组 第三段 ∈3z ³	灰岩	弱风化 (3组)	范围值	25.3~41.5	24.9~39.5	28.2~43.5	19.2~31.2	0.17~0.27	0.11~0.32	52.4~105	32.7~59.2	17.4~28.3	0		0.52~0.68	0.57~0.73
			平均值	35	31.7	32.4	24.8	0.22	0.23	77.2	45.3	27.3			0.58	0.65
		微风化 (9组)	范围值	30~54.2	19.3~41.1	20.1~42.7	12~34.4	0.12~0.35	0.1~0.35	51.3~95.8	35.1~67	22.4~45.3	0.02		0.6~0.77	0.81~0.83
			平均值	43.15	31.55	31.55	21.55	0.24	0.22	73.7	46.75	36.2			0.628	0.82

注：部分过小或过大的数据未参与统计。

4.9.4.3质量评价

(1) 混凝土骨料

岩石物理力学试验结果表明（表 4.9.3-1），弱风化岩体饱和抗压强度为 32.7~59.2MPa，平均值为 45.3MPa；软化系数为 0.52~0.68，平均值为 0.58；冻融损失率为 0；干密度为 2.65~2.72g/cm³，平均值为 2.69 g/cm³。微风化岩体的饱和抗压强度为 35.1~67MPa，平均值为 46.75MPa；软化系数为 0.60~0.77，平均值为 0.63；冻融损失率为 0.02，干密度为 2.68~2.74g/cm³，平均值为 2.71 g/cm³。

预可阶段在梨园料场取 2 组样品进行碱活性试验，试验方法为岩相法，结果显示，料场岩石含细小菱形白云石，含量为 3%~5%，料场岩石不具有碱硅活性，但具有潜在碱碳活性。

可研阶段取 3 组样进行岩石的碱碳活性试验，试验方法为岩石柱法，试验结果见表 4.9.3-2。

根据试验成果，岩石的 84 天膨胀率为 0.008%~0.011%，小于 0.1%，因此，判断梨园料场岩石不具碱碳活性。

表 4.9.3-2 梨园料场碱活性试验结果汇总表（岩石柱法）

样品编号		各龄期膨胀率（%）						结果评定	
		7 天	14 天	21 天	28 天	35 天	56 天	84 天	
梨园-1		0.001	0.004	0.005	0.009	0.009	0.009	0.011	非碱活性骨料
梨园-2		0.001	0.002	0.003	0.003	0.003	0.006	0.008	
梨园-3		0	0.001	0.002	0.003	0.003	0.006	0.009	
评价标准	≤0.1%				非碱活性骨料				
	>0.1%				具有潜在危害性反应的活性骨料				

由试验结果与混凝土骨料（原岩）与堆石料技术指标要求对比（见表 4.9.3-3），梨园料场的岩石性能指标基本满足《水电工程天然建筑材料勘察规程》NB/T 10235-2019 中混凝土骨料（原岩）与堆石料的质量要求。

表 4.9.3-3 混凝土人工骨料原岩（灰岩）质量技术指标表

序号	项 目	指标	试验值	评价
1	饱和抗压强度（MPa）	>40	32.7~67	基本合格
2	冻融损失率（%）	<1	0.00~0.02	合格
3	干密度(g/cm ³)	>2.4	2.65~2.74	合格
4	硫酸盐及硫化物含量（换算成 SO ₃ ）（%）	<0.5		合格

综上所述，梨园料场的岩石不具碱活性，性能指标基本满足混凝土骨料（原岩）与堆石料的质量要求。

此外，根据岩矿鉴定结果，岩石矿物成分主要以方解石为主，含少量的泥质填隙物，含量约 1%，呈微粒状、浸染状，零散分布于方解石颗粒之间，从岩芯外观可见泥质呈纹理状，纹理厚度一般 0.1~0.5mm。

受泥质充填影响，灰岩强度偏低，局部有少量岩样饱和抗压强度低于 40MPa，但平均值大于 45MPa。考虑到泥质填隙物的影响，建议进行混凝土配合比试验，进一步确定梨园料场的混凝土骨料质量是否满足工程要求。

（2）沥青混凝土骨料

根据《水工沥青混凝土试验规程》（DL/T5362-2006），骨料碱值越高，碱性越强，石料和沥青的黏附力越好，一般衡量矿料的碱值标准是大于 0.8 为良好，0.7~0.8 为合格。

可研阶段在梨园料场取了 6 组岩样进行碱值与碱度模数试验（表 4.9.3-4），结果显示，料场岩石的碱值为 0.96~1.10，平均值为 1.02；碱度模数为 4.72~60.66，平均值为 16.11，料场岩石作为沥青混凝土骨料是合格的。

表 4.9.3-4 沥青混凝土骨料技术指标表

含量 编号	SiO ₂	烧失 量	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	Σ	FeO	碱度 模数	碱值
	%							%	/	/
ZK502-1	10.40	37.86	4.01	2.15	42.18	3.32	99.92	3.61	4.72	0.98
ZK502-2	6.86	38.42	3.58	1.66	45.78	3.34	99.64	3.22	7.63	0.96
ZK502-3	6.44	40.55	3.19	1.39	43.82	4.29	99.68	2.87	7.92	1.02
ZK502-4	6.67	39.97	4.03	0.64	44.02	4.00	99.33	3.63	7.74	1.08
ZK502-5	6.28	43.27	2.78	0.00	44.75	2.77	99.85	2.50	7.96	0.98
ZK502-6	0.91	43.44	2.97	0.00	51.45	1.08	99.85	2.67	60.66	1.10
平均值									16.11	1.02

4.9.4.4储量计算

考虑到混凝土骨料对料源的要求，将第四系覆盖层视为无用层，弱~微风化岩体为有用层，分别进行储量计算。料场计算储量面积约为 20.11×10⁴m²，采用平行断面法进行计算，开挖坡比 1: 0.75，则有用层储量为 662.09×10⁴m³，无用层体积

为 $10.00 \times 10^4 \text{m}^3$ ，剥采比为 1:66。料场储量计算见表 4.9.3-5。

料场有用层储量大于混凝土骨料和沥青混凝土骨料设计需要量的 1.5 倍，满足规范要求。

梨园料场有用层储量为 $662.09 \times 10^4 \text{m}^3$ ，上水库库内开挖料有用层储量为 $1018.80 \times 10^4 \text{m}^3$ ，合计为 $1680.89 \times 10^4 \text{m}^3$ ，大于堆石料设计需要量的 1.5 倍，满足规范要求。

表 4.9.3-5 梨园料场储量计算表

断面编号	相邻断面的 平均距离 (m)	无用层体积 ($\times 10^4 \text{m}^3$)	有用层储量 ($\times 10^4 \text{m}^3$)	剥采比
		覆盖层	弱~微风化 灰岩	
LY1	120.0	2.02	129.98	1:66
LY2				
LY3		2.00	146.73	
LY4		1.97	159.16	
LY5	120.0	1.94	124.41	
LY6	130.14	2.08	101.81	
总计		10.00	662.09	

4.9.4.5 开采运输条件

料场产地面积大，距离下水库进/出水口较近，料场地形坡度较缓，开采运输条件较好。

4.9.5 开挖洞渣料

工程区地下洞室开挖石料开挖量约为 $169.66 \times 10^4 \text{m}^3$ 。其中，张夏组灰岩的开挖量为 $81.02 \times 10^4 \text{m}^3$ 。

输水系统围岩主要为寒武系上统崮山组 ($\in_3 g$) 和张夏组 ($\in_3 z$) 地层，由于 F1 断裂垂直断距为 138m，f2 断层垂直断距为 33m，f3 断层垂直断距为 37m，以 F1、f2、f3 为界，在桩号 K0+774m、K1+613m、K1+328m 附近，南北两侧地层

岩性的埋深及厚度有所不同。

桩号 K0+774m~K0+804m、K2+285m~K2+741.6m 段，输水线路围岩为崮山组 ($\epsilon_3 g^1$) 第一段地层，岩性以灰岩及页岩为主，其中，页岩占比约为 40~50%，物理力学性质差，不能作为混凝土骨料和沥青混凝土骨料料源。

桩号 K0+000m~K0+774m、桩号 K0+804m~K2+285m 段，输水线路围岩为寒武系上统张夏组第三段 ($\epsilon_3 z^3$)，岩性主要为灰岩，物理力学性质较好，与梨园料场的岩性一致。

(1) 混凝土骨料

张夏组第三段灰岩的岩石物理力学试验结果表明 (表 4.9.3-1)，弱风化岩体饱和抗压强度为 32.7~59.2MPa，平均值为 45.3MPa；软化系数为 0.52~0.68，平均值为 0.58；冻融损失率为 0；干密度为 2.65~2.72g/cm³，平均值为 2.69 g/cm³。微风化岩体的饱和抗压强度为 35.1~67MPa，平均值为 46.75MPa；软化系数为 0.60~0.77，平均值为 0.63；冻融损失率为 0.02，干密度为 2.68~2.74g/cm³，平均值为 2.71 g/cm³。

由试验结果与混凝土骨料 (原岩) 与堆石料技术指标要求对比 (见表 4.9.3-2)，桩号 K0+000m~K0+774m、桩号 K0+804m ~K2+285m 段洞室开挖料的岩石性能指标基本满足《水电工程天然建筑材料勘察规程》NB T 10235-2019 中混凝土骨料 (原岩) 与堆石料的质量要求。

预可阶段在洞室开挖料内取 2 组样品进行碱活性试验，试验方法为岩相法，结果显示，料场岩石含细小菱形白云石，含量为 3%~5%，料场岩石不具有碱硅活性，但具有潜在碱碳活性。

可研阶段取 3 组样进行岩石的碱碳活性试验，试验方法为岩石柱法，试验结果见表 4.9.4-1。

根据试验成果，岩石的 84 天膨胀率为 0.015%~0.020%，小于 0.1%，因此，判断洞室开挖料岩石不具碱碳活性。

表 4.9.4-1 开挖洞渣料料场碱活性试验结果汇总表 (岩石柱法)

样品编号	各龄期膨胀率 (%)							结果评定
	7 天	14 天	21 天	28 天	35 天	56 天	84 天	
ZK204-1	0.001	0.003	0.003	0.006	0.006	0.009	0.017	非碱活性骨料
ZK204-2	0.002	0.003	0.004	0.006	0.008	0.009	0.020	
ZK204-3	0	0.001	0.001	0.003	0.003	0.007	0.015	
评价	<0.1%							非碱活性骨料

标准	>0.1%		具有潜在危害性反应的活性骨料
----	-------	--	----------------

综上所述，桩号 K0+000m~K0+774m、桩号 K0+804m ~K2+285m 段洞室开挖料的岩石不具碱活性，性能指标基本满足混凝土骨料（原岩）的质量要求。

（2）沥青混凝土骨料

根据《水工沥青混凝土试验规程》（DL/T5362-2006），骨料碱值越高，碱性越强，石料和沥青的黏附力越好，一般衡量矿料的碱值标准是大于 0.8 为良好，0.7~0.8 为合格。

可研阶段在钻孔内取了 12 组岩样进行碱值与碱度模数试验（表 4.9.4-2），结果显示，料场岩石的碱值为 0.84~1.18，平均值为 0.99；碱度模数为 2.78~27.48，平均值为 10.99，洞室开挖料岩石作为沥青混凝土骨料是合格的。

表 4.9.4-2 沥青混凝土骨料技术指标表

含量 编号	SiO ₂	烧失 量	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	Σ	FeO	碱度模数	碱值
	%							%	/	/
ZK202-1	4.79	40.23	2.55	0.86	47.31	2.57	98.31	2.29	10.89	1.10
ZK202-2	12.53	32.14	3.35	3.14	41.57	6.83	99.56	3.01	4.10	0.96
ZK202-3	12.07	32.51	3.20	1.26	43.99	0.85	93.88	2.88	3.95	0.98
ZK202-4	13.11	39.46	3.62	1.01	37.93	3.30	98.43	3.26	3.39	1.03
ZK202-5	14.61	40.34	3.83	0.88	35.18	3.51	98.35	3.45	2.88	1.13
ZK202-6	14.82	41.92	3.81	1.27	37.04	0.75	99.61	3.43	2.78	1.18
Zk604-4	9.15	36.98	2.05	0.83	45.43	5.17	99.61	1.84	5.73	0.90
Zk604-5	2.70	44.98	1.24	1.38	43.80	5.00	99.10	1.12	18.49	0.94
Zk604-6	1.86	44.72	1.62	1.09	43.91	5.74	98.94	1.46	27.48	0.88
Zk604-7	2.19	43.95	1.24	1.38	44.32	6.04	99.12	1.12	23.51	0.95
Zk604-8	2.28	45.39	1.24	0.84	45.01	4.38	99.14	1.12	22.15	0.96
Zk604-9	7.77	40.72	1.72	0.59	44.18	5.00	99.98	1.55	6.53	0.84
平均值									10.99	0.99

（3）建议

根据岩矿鉴定结果，岩石矿物成分主要以方解石为主，含少量的泥质填隙物，含量约 1%，呈微粒状、浸染状，零散分布于方解石颗粒之间，从岩芯外观可见泥质呈纹理状，纹理厚度一般 0.1~0.5mm。

受泥质充填影响，灰岩强度偏低，局部有少量岩样饱和抗压强度低于 40MPa，但平均值大于 45MPa。考虑到泥质填隙物的影响，建议进行混凝土配合比试验，进一步确定洞室开挖料的混凝土骨料质量是否满足工程要求。

4.10 地质灾害危险性评估及压覆矿产资源调查主要结论

4.10.1 地质灾害危险性评估

2022 年 10 月，我单位委托山东省地矿工程集团有限公司对枣庄山亭抽水蓄能电站进行地质灾害危险性评估工作，并于 2022 年 11 月 30 日顺利通过专家组审查，取得审查意见。《枣庄山亭抽水蓄能电站工程地质灾害危险性评估报告》主要结论如下：

（1）枣庄山亭抽水蓄能电站工程属于重要建设项目；评估区地质环境条件复杂程度为复杂。根据地质灾害危险性评估规范中地质灾害危险性评估分级，确定本次地质灾害危险性评估级别为一级。

（2）评估区内地质灾害类型主要为：岩溶塌陷。

（3）地质灾害现状评估：全区岩溶塌陷地质灾害危害程度小，危险性小。

（4）地质灾害预测评估：工程建设中、建设后引发岩溶塌陷地质灾害的危险性小；建设工程自身遭受岩溶塌陷地质灾害的危险性小。

（5）地质灾害危险性综合分区评估：综合分区评估全区为地质灾害危险性小区，建设用地适宜性为适宜。

（6）在项目施工过程中要注意对边坡进行防护，防止发生安全事故。

（7）地质灾害防治必须与工程建设同步进行，努力将工程建设与改善当地地质环境结合起来。这对于促进当地经济可持续发展具有重大的现实意义，并可充分体现线路工程的经济、社会和环境三大效益。

（8）本次地质灾害危险性评估工作不代替建设工程和规划各阶段的工程地质勘察或有关的评价工作。

4.10.2 压覆矿产资源调查

2022 年 11 月，我单位委托山东省地矿工程集团有限公司对枣庄山亭抽水蓄能电站进行压覆矿产资源情况调查工作，2023 年 3 月完成了《枣庄山亭抽水蓄能电站工程压覆重要矿产资源评估报告》，并取得了枣庄市国土资源局批复的《枣庄市国土资源局关于枣庄山亭抽水蓄能电站不压覆矿产资源的证明》。报告主要结论如下：

经现场调查、收集评估区地质资料和到山亭区自然资源局、滕州市自然资源局、枣庄市自然资源和规划局、山东省自然资源厅查询，评估区无探矿权、采矿

权设置，位于查明的地下水矿产地范围内。

评估区范围涉及 1 处探矿权为“山东省枣庄市山亭区响泉地区金刚石详查”，探矿权人为山东省第七地质矿产勘查院，勘查矿种为金刚石矿，该探矿权现已灭失，无查明的矿产资源量，未形成矿产地。

经调查并向山亭区自然资源局、滕州市自然资源局、枣庄市自然资源局及山东省自然资源厅查询，评估区范围内无采矿权设置。

矿产地为山东省枣庄市羊庄盆地地下水资源矿产地，矿种为地下水，依据关于印发《山东省建设项目压覆重要矿产资源管理办法》的通知鲁国土资规〔2016〕2 号文附件 1 山东省重要矿产资源目录，地下水不属于重要矿产资源。

评估区无探矿权、采矿权设置，评估区无查明的重要矿产资源，评估区位于“山东省枣庄市羊庄盆地水文地质初步勘探”矿产地范围内，不压覆查明的矿产资源量。拟建项目的建设不影响相关矿产资源的勘查及开采，不压覆查明的重要矿产资源。

4.11 结论和建议

4.11.1 结论

4.11.1.1 区域构造稳定性与地震

(1) 工程区位于华北断块区鲁西断隆内, 区内断裂构造发育, 主要以北北东—北东向和北西西—北西向为主, 近东西向次之。区内共有 37 条主要断裂, 其中全新世断裂 1 条, 晚更新世断裂 9 条, 其余均为第四纪早—中更新世断裂或前第四纪断裂。区域范围内, 沂沭断裂带为全新世活动断裂, 除发生了 1668 年郯城 8½ 级地震外, 还有多次大的古地震事件, 具备发生强震的构造条件, 是对工程场区地震危险性影响较大的活动断裂。鲁西隆起区内也发育一系列北西向晚更新世活动断裂, 沿这些断裂发生过多多次 5 级左右的地震。

(2) 从公元前 70 年至今, 区域范围内共记录到历史破坏性地震 ($M \geq 4.7$) 27 次, 最大地震为 1668 年 7 月 25 日的郯城大地震, 对场地影响烈度达 IX 度, 其余地震影响烈度大多 $\leq VI$ 度。近场区内无中强震记录, 记录到多次中小震, 近场区现代地震活动较弱, 强度低。

(3) 区域新构造运动强烈, 表现为断块的差异运动及以北北东—北东向断裂右旋倾滑和北西向断裂左旋倾滑为代表的断裂活动。新构造运动具继承性和新生性, 时间上具阶段性, 空间上具差异性、掀斜性。

(4) 近场区内主要分布了 7 条断裂, 其中, 苍尼断裂 (F6) 和崑山断裂 (F7) 为晚更新世活动断裂, 峰山断裂 (F5) 为早中更新世隐伏断裂, 官山峪-田庄断裂 (F1)、桑村断裂 (F2)、曹王墓断裂 (F3) 和枣庄断裂 (F4) 为前第四纪断裂断裂。

(5) 根据中国地震学会技术审查 (震学安评 [2022] 021 号) 的《枣庄山亭抽水蓄能电站工程场地地震安全性评价报告》, 工程场址区 50 年超越概率 10% 的基岩水平峰值加速度为 $0.11g$, 相应地震基本烈度为 VII 度, 近场区无 $M_s \geq 4.7$ 级的地震, 场址区内无活动断裂发育, 因此, 工程场址区属于区域构造稳定性较好的区域。

4.11.1.2 上水库 (坝) 区

(1) 本阶段对两个上水库库址进行了复核, 地质条件无新的变化。方案一上水库可利用水头较高, 库坝布置避开了 F1 断裂的影响, 坝址处沟谷宽度相对较小,

环库分水岭地下水位埋深均低于正常蓄水位，需要采用全库盆防渗方案。方案二上水库可利用水头较低，库内发育 F1 断裂，环库分水岭地下水位埋深多高于正常蓄水位，仅坝口部位低于正常蓄水位，坝址处沟谷宽度相对较大。两个方案基本相当，综合比较仍推荐方案一石门沟库址。

(2) 上水库正常蓄水位为 370m，库内东、北、西三面环山，在西南方向拦沟筑坝。沟谷发育方向为 SW240° 左右，沟内一般无流水，库内沟底高程 260m~290m，相对高差 30m，平均纵坡降为 7.3%。库内山体坡度一般为 10°~30°，局部较陡，两岸冲沟发育较少，切割较浅。库区地层主要有寒武系上统崮山组 (ϵ_{3g})、张夏组 (ϵ_{3z}) 和第四系 (Q_4) 地层，基岩为近水平岩层，覆盖层较薄，厚度一般小于 1m。F1 断裂在坝址南侧 280m 处通过，节理裂隙主要发育有四组。地下水主要为第四系孔隙潜水和基岩裂隙水，岩体为弱~微透水。库区未发现崩塌、滑坡及泥石流等现象，卸荷发育较少，岩溶弱发育，物理地质现象以岩体风化为主，库区未见全风化岩体，局部有少量强风化岩体，弱风化岩体厚度 16~45m。

(3) 上水库库周地形封闭条件相对较好，但总体较单薄，库周分水岭地下水位均低于正常蓄水位，库内存在可溶岩，岩溶弱发育，存在垂直及水平向渗漏问题。随着库盆开挖，渗漏范围及渗漏量会加大，建议对上水库采取全库盆防渗处理。清除覆盖层后，库盆防渗面板可置于下部弱风化基岩上，挖填分界处可能存在不均匀沉降问题，需采取相应的工程处理措施。对库盆内可能存在的溶洞，可结合库盆清理及施工期物探测试，确定溶洞发育范围及规模，并预留工程量进行封堵处理。

(4) 库岸地形总体较缓，局部较陡，结构面以缓倾角层面裂隙及陡倾角裂隙为主，天然条件下库岸稳定性较好。环库公路以上开挖边坡高度一般 1~10m，仅在库区东南侧 B1 边坡坡高 55m，岩性为崮山组第三段灰岩及页岩、第四段灰岩夹页岩及第五段灰岩夹页岩，B1 边坡开挖后整体稳定性好，但与第③组节理形成不利组合，需要加强支护。环库公路以下部分开挖边坡整体稳定性好，仅在局部存在结构面组合切割形成的不稳定块体，需采取相应的工程支护措施。

(5) 库外边坡整体稳定性好，仅在局部存在结构面组合切割形成的不稳定块体。2#坝口山体厚度仅 8.8m，较为薄弱，需加强支护；1#坝口山体厚 30m，主要为崮山组第三段灰岩及页岩，强风化，边坡稳定性较差，需加强支护。

(6) 上水库坝基覆盖层厚度较小，基岩主要为灰岩、灰岩夹页岩、灰岩及页岩，无全强风化岩体发育，清除覆盖层后，堆石坝坝基可置于下部弱风化基岩上，

地基承载力及变形满足建基要求。坝址存在坝基渗漏和绕坝渗漏问题，可结合库区防渗一并处理。

4.11.1.3 输水系统

(1) 输水系统两个方案长度略有不同，方案一Ⅲ类围岩比例较高，压力管道短，其他工程地质条件基本相当，无本质区别，经处理后均具备成洞地质条件，综合各专业比较成果，本阶段选定方案一输水系统为推荐方案。

(2) 输水系统沿线大部分基岩裸露，地形坡度一般为 $10^{\circ}\sim 30^{\circ}$ ，围岩主要为寒武系上统崮山组 (ϵ_3g)、张夏组 (ϵ_3z) 和寒武系中统馒头组 (ϵ_2m) 地层。桩号约 K0+774m 处发育区域断裂 F1 (官山峪-田庄断裂)，与断裂夹角为 85° ；尾水隧洞桩号 K1+613m 处发育 f2 断层，与断层夹角为 75° ；桩号约 K1+328m 处发育 f3 断层，与断层夹角为 84° 。输水系统的地下水类型主要为基岩裂隙水及少量岩溶水，接受大气降水的补给，以渗流型式向邻近沟谷排泄。地下水埋深较大，一般为 50~150m，隧洞基本位于地下水位以下。

(3) 上、下水库进/出水口洞脸边坡开挖后整体稳定性好，局部存在结构面组合切割形成的不稳定块体；边坡岩性主要为崮山组第二段灰岩夹页岩、崮山组第三段灰岩及页岩、崮山组第四段灰岩夹页岩，边坡开挖后容易发生蠕滑，边坡稳定性差，建议加强支护措施。

(4) 输水系统工程地质条件较简单，围岩以张夏组灰岩为主，局部为崮山组第一段灰岩及页岩、第二段灰岩夹页岩，隧洞围岩以Ⅲ类为主，局部为Ⅳ~Ⅴ类，其中，Ⅲ类围岩占比为 56.8%，Ⅳ~Ⅴ类占比为 43.2%。

引水调压井围岩主要为崮山组第一段、第三段灰岩及页岩、崮山组第二段灰岩夹页岩和张夏组第三段灰岩。崮山组第三段灰岩及页岩，以全强风化岩体为主，围岩以Ⅴ类为主；崮山组第二段灰岩夹页岩，围岩以Ⅲ类为主；崮山组第一段灰岩及页岩，围岩以Ⅳ类为主；张夏组第三段灰岩，围岩以Ⅲ类为主。

调压室围岩主要为崮山组第一段灰岩及页岩、张夏组第三段灰岩。崮山组第一段灰岩及页岩，围岩以Ⅳ类为主；张夏组第三段灰岩，围岩以Ⅲ类为主。

4.11.1.4 地下厂房

(1) 首部式地下厂房输水线路总长度较短，围岩岩性以页岩为主，围岩类别为Ⅳ~Ⅴ类，地下厂房支护量大，施工难度大；中部式地下厂房围岩为灰岩，围岩

以Ⅲ类为主，地下洞室群地质条件较好，本阶段推荐中部式厂房布置方案。

(2) 地下厂房区围岩主要为张夏组第三段灰岩，微新岩体，未发现有规模较大的断层通过，距离 F1 断裂约 130m。高压压水试验结果表明，地下厂房区及输水系统压力管道段岩体透水率平均为 0.89Lu，属微~弱透水岩体，地下水对普通水泥有硫酸盐型强腐蚀性。

(3) 地下厂房区最大主应力值为 8.52~14.89MPa，平均为 11.45MPa；水平最小主应力为 5.37~9.19MPa，平均为 7.43MPa；垂直应力为 4.61~8.81MPa，平均为 6.94MPa；地下厂房区属于中等~低地应力，岩石强度应力比为 3.14，最大水平主应力优势方向为 NE38~65°，平均为 NE51°。地下厂房轴线方向为正北向，与主要构造方向夹角较大，但依然与 NE 1~20°的构造方向夹角较小。

(4) 地下厂房围岩岩性为新鲜灰岩，微晶结构，中厚层状构造，围岩以Ⅲ类为主，断层与岩溶发育部位为Ⅳ~Ⅴ类。主厂房未见较大规模断层穿过，地下厂房区围岩为近水平岩层，厂房顶拱围岩类别以Ⅲ₂类为主，顶拱处受三组裂隙和层理互相切割产生掉块及小规模塌方的可能性较大，需要加强支护。上、下游边墙及端墙整体稳定性较好，围岩类别以Ⅲ₁类为主，局部受节理切割形成不稳定块体，需要加强支护。

(5) 主变室岩性为新鲜灰岩，微晶结构，中厚层状构造，围岩以Ⅲ类为主，断层与岩溶发育部位为Ⅳ~Ⅴ类。主变室围岩为近水平岩层，顶拱围岩类别以Ⅲ₂类为主，顶拱处受三组裂隙和层理互相切割产生掉块及小规模塌方的可能性较大，需要加强支护。上、下游边墙及端墙整体稳定性较好，围岩类别以Ⅲ₁类为主，局部受节理切割形成不稳定块体，需要加强支护。

(6) 母线洞洞室围岩岩性为微新灰岩，岩体结构中厚层状为主，饱和抗压强度和弹性模量均较高，岩体较完整，围岩以Ⅲ类为主，整体稳定性较好；局部发育 2 条断层，围岩为Ⅳ~Ⅴ类。母有 fp22 和 fp24 共 2 条断层穿过，断层部位较破碎，可能产生塌方或掉块。母线洞顶拱围岩类别以Ⅲ₂类为主，局部受三组裂隙和层理互相切割，产生掉块及小规模塌方的可能性较大，需要加强支护。母线洞洞壁整体稳定性较好，围岩类别以Ⅲ₁类为主，局部受节理切割形成不稳定块体，需要加强支护。

(7) 厂区地下水类型为基岩裂隙水，以脉状或网状贮存于断层带及裂隙内，最终排泄至下水库。厂区地下水位高程 200~250m，高出厂房顶拱约 120~170m，地下水活动以渗水~滴水为主，建议外水压力折减系数 β 按如下考虑：无排水措施：

$\beta=0.7\sim0.9$ ；有排水措施： $\beta=0.4\sim0.6$ 。地下厂房洞室涌水主要来源于地下水，据同类岩性工程类比，建议厂房区涌水量按 $2500\text{m}^3/\text{d}$ 考虑。

(8) 地下洞室岩体放射性强度的平均值为 2991.30cpm ， γ 辐射年有效剂量当量最大值为 0.224mSv ，未超过国家标准。环境氡浓度测量结果表明，主洞 PD101、支洞 PD101-1、支洞 PD101-2、支洞 PD101-3 氡浓度最大值为 66.7q/m^3 ，平均值为 44.7Bq/m^3 ，未超过国家标准。

(9) 交通洞进口边坡整体稳定性好，仅局部存在结构面组合切割形成的不稳定块体，需要进行工程处理。交通洞围岩类别以Ⅲ类围岩为主，F1 断裂、局部构造及岩溶较发育部位围岩为Ⅳ~Ⅴ类。

(10) 通风洞进洞口边坡整体稳定性好，局部存在结构面组合切割形成的不稳定块体。此外开挖边坡上部全、强风化带处岩体破碎，完整性差，边坡稳定性差；边坡上部岩性主要为崮山组第一段灰岩及页岩，边坡开挖后容易发生蠕滑，边坡稳定性差。通风洞围岩类别以Ⅲ类围岩为主，局部构造及岩溶较发育部位围岩为Ⅳ~Ⅴ类。

(11) 开关站边坡整体稳定性好，局部存在结构面组合切割形成的不稳定块体。此外开挖边坡上部全、强风化带处岩体破碎，完整性差，边坡稳定性差；边坡上部岩性主要为崮山组第一段灰岩及页岩，边坡开挖后容易发生蠕滑，边坡稳定性差，需要加强支护。

(12) 出线洞进洞口边坡整体稳定性好，仅局部存在结构面组合切割形成的不稳定块体。此外开挖边坡上部全、强风化带处岩体破碎，完整性差，边坡稳定性差；边坡上部岩性主要为崮山组第一段灰岩及页岩，边坡开挖后容易发生蠕滑，边坡稳定性差。出线洞围岩类别以Ⅲ类围岩为主，局部构造及岩溶较发育部位围岩为Ⅳ~Ⅴ类。

4.11.1.5 下水库（坝）区

(1) 下水库利用已完建的庄里水库，工程于 2016 年 1 月开工建设，2019 年 5 月主体工程基本完成。2019 年 7 月 31 日，顺利通过省水利厅组织的下闸蓄水阶段验收，8 月 1 日，水库开始蓄水。2021 年 11 月底完成庄里水库工程竣工验收。

(2) 山亭抽水蓄能电站的建设不改变原水库的规模，亦不会产生新的工程地质问题，从工程地质角度作为下水库是可行的。

4.11.1.6天然建筑材料

(1) 上水库堆石料

上水库筑坝堆石料选择上水库库盆内料场，同时在库外选择梨园料场为备用堆石料场。

库内开挖料场表部覆盖层一般 0.1m~2.0m，下伏基岩为寒武系上统崮山组，库盆开挖范围内主要为崮山组第二段 ($\epsilon_3 g^2$) 灰岩夹页岩、第三段 ($\epsilon_3 g^3$) 灰岩及页岩、第四段 ($\epsilon_3 g^4$) 灰岩夹页岩及第五段 ($\epsilon_3 g^5$) 灰岩夹页岩。其中，崮山组第二段、第四段和第五段的弱~微风化岩石质量基本满足堆石坝的要求；第三段灰岩夹页岩的岩石质量较差，但可应用于堆石坝体下游堆石区。

库内料场有用层储量合计为 $1184.16 \times 10^4 m^3$ ，无用层体积合计为 $29.88 \times 10^4 m^3$ ，剥采比总体为 1:39.6。料场有用层储量不能满足规范要求的大于设计需要量 1.5~2.0 倍要求，因此，在库外选择了梨园料场作为堆石料的备用料场。

料场产地面积大，距离坝址近，运输条件较好，地形坡度较缓，覆盖层零星分布，开采条件较好，但料场地层岩性较复杂，需要做好分层开挖的施工工序安排。

(2) 上水库堆石料（垫层料）

崮山组第四段岩性为灰岩夹页岩，在开挖阶段，剔除掉页岩后，选取中厚层状灰岩作为垫层料，可以满足垫层料的储量和质量的要求。由于垫层料中不得含有泥块，且含泥量需要小于 1%、软弱颗粒含量需要小于 5%，崮山组第四段中所含页岩即为软弱颗粒，遇水后极易软化成泥，因此，在开挖阶段进行灰岩分选时，需要做好施工组织安排及开挖选取工艺，避免页岩掺入垫层料内。

(3) 梨园料场

梨园料场位于下水库左岸、进/出水口上游约 2km，可作为混凝土骨料、沥青混凝土骨料以及上水库堆石料备用料场。料场岩性为张夏组第三段 ($\epsilon_3 z^3$) 灰岩，岩石不具碱活性，料源质量满足混凝土骨料、沥青混凝土骨料及堆石料的要求。

梨园料场有用层储量为 $662.09 \times 10^4 m^3$ ，上水库库内开挖料有用层储量为 $1018.80 \times 10^4 m^3$ ，合计为 $1680.89 \times 10^4 m^3$ ，大于堆石料设计需要量的 1.5 倍，满足规范要求。

料场产地面积大，距离下水库进/出水口较近，料场地形坡度较缓，开采运输条件较好。

(4) 开挖洞渣料

工程区地下洞室开挖石料开挖量约为 $169.66 \times 10^4 \text{m}^3$ 。其中，张夏组灰岩的开挖量为 $81.02 \times 10^4 \text{m}^3$ 。

输水线路桩号 K0+774m~K0+804m、K2+285m~K2+741.6m 段围岩为崮山组 ($\epsilon_3 g^1$) 第一段地层，岩性以灰岩及页岩为主，其中，页岩占比约为 40~50%，物理力学性质差，不能作为混凝土骨料和沥青混凝土骨料料源。

输水线路桩号 K0+000m~K0+774m、桩号 K0+804m ~K2+285m 段，围岩为寒武系上统张夏组第三段 ($\epsilon_3 z^3$)，岩性主要为灰岩，物理力学性质较好，与梨园料场的岩性一致，岩石不具碱活性，性能指标基本满足混凝土骨料（原岩）的质量要求。

4.11.2 建议

(1) 在施工期间要保护好上水库分水岭地下水位长期观测孔，并进行地下水位观测。

(2) 输水发电系统地下水的 SO_4^{2-} 离子超标，对普通水泥有硫酸盐型强腐蚀性，对抗硫酸盐水泥无腐蚀性，建议输水发电系统采用抗硫酸盐水泥。

(3) 地下厂房轴线方向与最大主应力方向夹角为 51° ，且岩石强度应力比仅为 3.14，建议对地下厂房进行稳定计算，并加强支护措施。

(4) 施工阶段，需加强洞室超前探测工作，发现问题及时处理；结合库盆清理，对上水库坝址及库盆开展物探测试工作，查明溶洞发育情况，并采取针对性的回填封堵处理。

(5) 在开挖阶段利用崮山组第四段中的灰岩作为垫层料时候，需要做好施工组织安排及开挖选取工艺，避免页岩掺入垫层料内。

4.12附件

- (1) 《枣庄山亭抽水蓄能电站工程场地地震安全性评价报告》中国地震学会审查（震学安评〔2022〕021号）；
- (2) 《枣庄山亭抽水蓄能电站地质灾害危险性评估报告》评审意见；
- (3) 《枣庄山亭抽水蓄能电站工程压覆矿产资源调查报告》查询意见。