

编号：KSLKS3057B101-01

保护等级：企业 C 级

第 1 版 2023-3

江库联网原水绕松木山水库段原水管道工程(主体段)

工程地质勘察报告

(第二标段)



长江勘测规划设计研究有限责任公司

二〇二三年三月

江库联网原水绕松木山水库段原水管道工程（主体段）

工程地质勘察报告

（施工图设计阶段）

声 明

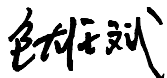
本成果仅限于合同指定的项目使用。未经知识产权拥有者书面授权，不得翻印（录）、传播或他用，对于侵权行为将保留追究其法律责任的权利



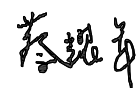
长江勘测规划设计研究有限责任公司

二〇二三年三月

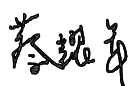
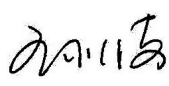
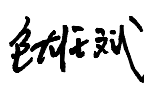
《江库联网原水绕松木山水库段原水管道工程（主体段）第二标段施工图设计阶段工程地质勘察报告》

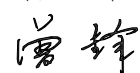
项目负责人：包雄斌 



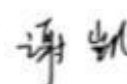
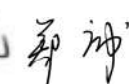



设计总工程师：朱 萌 

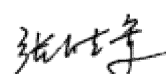
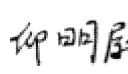
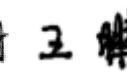

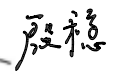
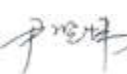
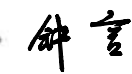
核 准：蔡耀军 

核 定：包雄斌 

审 查：蔡耀军 王小波 包雄斌
  

校 核：曾 锋


编 写：朱 萌 曾 锋 谢 凯 郑 诚 胡 君 濮中磊 刘海涛
      

张胜军 仰明尉 王 鹏 李 欢 殷 稳 尹晓炜 钟 言
      

主要勘测人员：包雄斌 曾 锋 朱 萌 谢 凯 郑 诚 胡 君
濮中磊 刘海涛 殷 稳 张胜军 王 鹏 仰明尉
李宏质 李 欢 王 志 殷宏益 熊友亮 尹晓炜
罗望来 陈家绪 查方强 周慧娴 彭 静 钟 言

目 录

1	绪言.....	1
1.1	工程概况.....	1
1.2	勘察目的与任务.....	4
1.3	勘察依据及执行的技术标准	5
1.4	勘察方法及工作布置	7
1.5	勘察工作评价及完成工作量	13
2	场地环境及区域地质概况.....	16
2.1	地理与交通.....	16
2.2	气象与水文.....	17
2.3	区域地质概况.....	19
3	输水线路工程地质条件.....	26
3.1	地形地貌.....	26
3.2	地层岩性.....	27
3.3	地质构造.....	33
3.4	场地地震效应.....	41
3.5	水文地质.....	42
3.6	岩土物理力学试验统计及参数建议值	51
3.7	不良地质作用、有害气体及放射性评价	66
4	输水建筑物地质条件评价及建议.....	68
4.1	工程概况.....	68
4.2	盾构隧洞段工程地质条件及评价	72
4.3	盾构工作井地质条件评价及建议	99
4.4	取水口及埋管段地质条件评价及建议	105

4.5	进场道路工程地质条件及评价	111
4.6	场地类型划分.....	115
4.7	地基稳定性及均匀性评价	117
4.8	主要工程地质问题.....	118
5	拟建工程与周边环境相互影响评价及建议.....	122
5.1	场地稳定性及适宜性评价	122
5.2	工程环境风险评估.....	123
5.3	环境保护措施及建议	124
6	天然建筑材料及弃渣.....	125
6.1	天然建筑材料.....	125
6.2	弃渣.....	127
7	结论及建议.....	128
7.1	结论.....	128
7.2	建议.....	130

附图：

《江库联网原水绕松木山水库段原水管道工程（主体段）第二标段施工图设计阶段工程地质勘察图册》



1 绪言

1.1 工程概况

1.1.1 概述

为充分合理利用东江和西江水资源，完善东莞市供水布局，建设可靠的供水体系，支持东莞市经济社会可持续发展。东莞市水务局牵头编制了《东莞市供水安全保障规划》（2020~2035年），提出规划新建松山湖水厂、芦花坑水厂、马尾水厂等3座水厂，同时新建江库联网配套管线，连接已建的江库联网工程原水管道、松木山水库-莲花山水库应急工程和松山湖水厂、芦花坑水厂、马尾水厂。江库联网配套管线主要包括江库联网原水绕松木山水库段原水管道和莲花山-芦花坑水厂段原水管道等两段管道，主要功能是在充分利用现有江库联网工程的基础上，通过新建原水管道，绕开松木山水库和莲花山水库，将东江水直接输送至新建松山湖水厂、新建芦花坑水厂、新建马尾水厂和五点梅水库群，为这三座新建水厂提供日常水源和应急备用水源，为五点梅水库群提供充库水源。

受新建水厂规模调整及五点梅水库群物理隔离和清淤扩容工程分期实施影响，松山湖水厂和芦花坑水厂计划2023年底前建成通水，为保障这两座新建水厂的日常供水水源以及珠三角水资源配置工程检修期间的备用水源，新建江库联网原水绕松木山水库段和莲花山-芦花坑水厂段原水管道可以保障东江水通过江库联网工程及配套原水管道进入松山湖水厂、五点梅水库群后再进入芦花坑水厂，同时在五点梅水库西侧设置交水点和进水口，以实现五点梅水库充库和西江检修期芦花坑水厂从五点梅水库取水的功能。

江库联网原水绕松木山水库段原水管道工程起点为松木山水库大坝右坝肩江库联网一期原水管道末端出水闸，终点止于松木山水库西侧寒溪水



入库口附近松木山-莲花山应急工程进口无压箱涵，中途分水至松山湖水厂。本工程供水对象为东莞市大朗镇、大岭山镇、虎门镇、长安镇等 8 个镇区常住人口约 345.02 万人，供水对象属于特别重要，设计输水流量 $26\text{m}^3/\text{s}$ ，工程等别为Ⅱ等，工程规模为大（2）型，主要建筑物级别为 2 级。

1.1.2 任务来源

2022 年 9 月 5 日，根据项目业主单位东莞市水务工程建设运营管理中心（简称建运中心）的公开招标，长江勘测规划设计研究有限责任公司（简称长江设计公司）中标江库联网原水绕松木山水库段原水管道工程和莲花山-芦花坑水厂段原水管道工程勘察设计。根据招标文件及合同约定，分别提交江库联网原水绕松木山水库段原水管道工程和莲花山-芦花坑水厂段原水管道工程初设及施工图设计阶段工程地质勘察成果。2022 年 9 月 21 日根据东莞市水务局[2022]98 号文，项目建设单位经东莞市政府批准后变更为东莞市水务集团供水有限公司；2023 年 1 月 9 日项目建设单位以技术部[2023]01 号文，明确绕库段 R1~R3 工作井及盾构段（不含 R1 工作井）作为第一标段和莲芦段 L1~L3 工作井及盾构段作为第一标段，力争 2023 年 3 月底前动工，其余内容作为第二标段于 2023 年 5 月底前动工。2023 年 2 月底完成两段原水管道工程（主体段）第一标段施工图设计阶段地质勘察成果，并通过咨询单位审核，顺利实现了施工总承包挂网招标要求。根据建设单位任务安排，本报告为江库联网原水绕松木山水库段原水管道工程（主体段）第二标段施工图设计阶段工程地质勘察报告。

1.1.3 主要建筑物布置

江库联网原水绕松木山水库段原水管道工程位于东莞市松山湖高新技术产业开发区，原水管道起于松木山水库大坝右坝肩江库联网一期原水管道末端出水闸，终点止于松木山水库西侧寒溪水入库口附近松木山-莲花山



应急工程进口无压箱涵附近。

根据总体布局，江库联网原水绕松木山水库段原水管道总长约 6.256km，分为衔接段（R1#工作井）、第一标段（R1#工作井至 R3#工作井）、第二标段（R3#工作井至 R5#工作井、取水口），其中：衔接段于 2022 年 10 月 17 日由东莞市水务局完成批复，正式进入施工阶段，本次针对第二标段盾构隧洞及工作井开展施工图阶段地质勘察，勘察范围包括：R3#至 R5#工作井两段盾构区间、R4#和 R5#工作井及取水口及附属建筑。

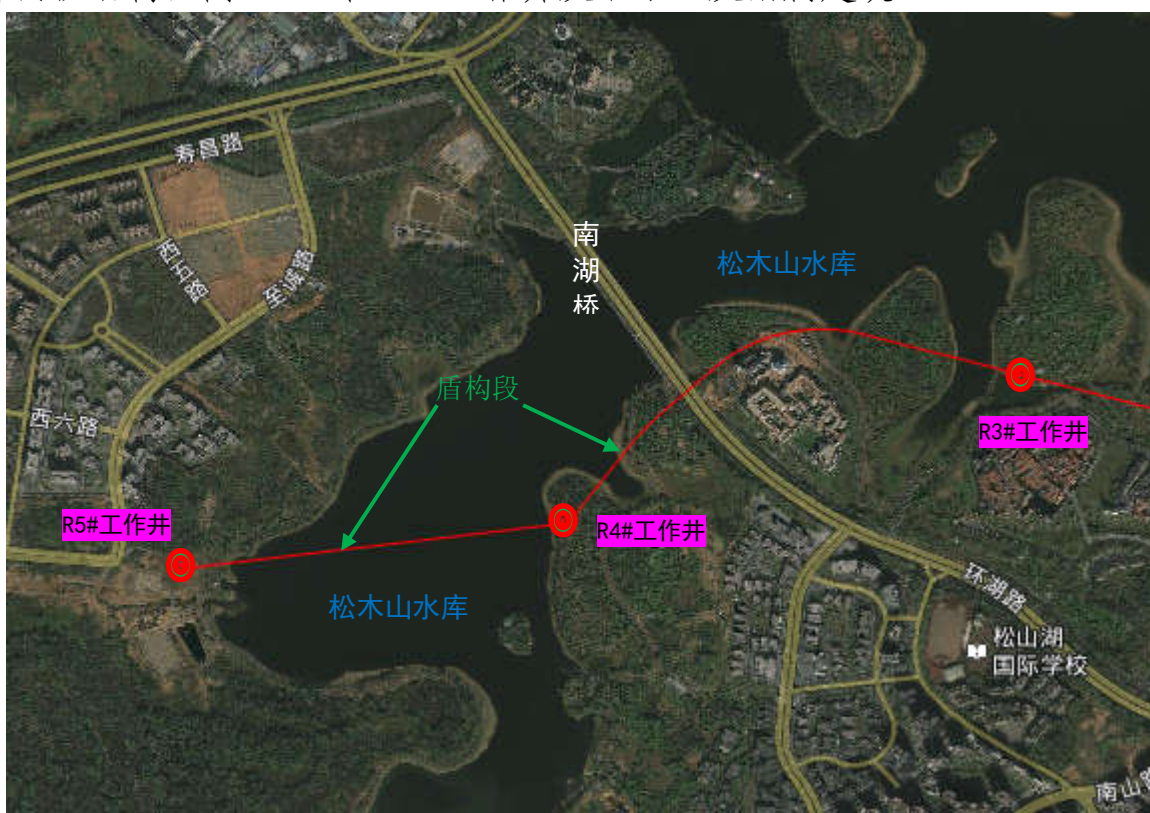


图 1.1-1 绕库段（主体段）第二标段主要建筑物布置图

1.1.4 初步设计阶段有关审查及咨询意见

2023 年 1 月 3 日~4 日，东莞市水务技术中心在东莞市组织召开了初步设计报告（主体段）专家评审会，会议原则同意项目通过评审，会后我公司根据评审意见进行修改和完善。2023 年 1 月 15 日，经修编后报评审单位。由于《初步设计报告（送审稿）》与《初步设计报告（报批稿）》中



工程建设方案与原方案存在较大变化。2023 年 2 月 1 日，东莞市水务技术中心重新组织专家召开了《初步设计报告（报批稿）》的专家咨询会。经复审，2023 年 2 月 7 日东莞市水务技术中心出具了《初步设计报告（报批稿）》审查意见（东水技术函[2023]30 号）；2 月 8 日，东莞市水务局对江库联网原水绕松木山水库段原水管道工程（主体段）初步设计报告进行批复和水行政许可（东水许可字[2023]3203 号）。

初步设计报告主要审查意见如下：

（1）同意根据《中国地震动参数区划图》（GB18306-2015）及《关于我市建设工程抗震设计有关问题的通知》（东建[2004]32 号）等有关规定确定项目所在地区地震基本烈度为 VI 度，地震动峰值加速度 $0.05g$ 。

（2）基本同意工程地质条件的评价意见及结论。

1.2 勘察目的与任务

1.2.1 勘察目的

本阶段勘察目的是在初步设计阶段的基础上，详细查明盾构输水隧洞各类建筑物及盾构区间工程地质条件，为盾构隧洞围岩、工作井等建筑物设计提供地质依据。对盾构隧洞及各类建筑物的主要工程地质问题进行评价，检验、核定前期勘察的工程地质资料和结论，为施工图设计、优化设计、工程建设实施等提供工程地质资料。

1.2.2 勘察任务

（1）复核沿线地形地貌、地质构造、地层岩性、岩体风化、水文地质等条件，特殊性岩土和不良地质作用、分布范围，复核其对输水线路的影响及危害程度。

（3）复核沿线地下水的赋存条件以及补给、径流、排泄条件和主要含



水层、隔水层、强透水带的分布、规模、富水程度等。

（4）复核沿线地层结构、岩体类别及岩（土）体工程地质性质，岩土层的厚度、成因类型、物质组成及透水性，对工程地质、隧洞围岩详细分段评价及岩（土）体的渗透性分级。

（5）复核主要建筑物工程地质条件及地质问题；复核主要建筑物岩（土）体的物理力学参数及有关工程地质参数建议值。

（6）复核隧洞地段水文地质条件及围岩充水条件，对涌水突泥分析评价，复核隧洞施工不良地质作用对周边环境和生态的影响，提出预防和处理措施建议。

（7）对弃渣消纳进行复核调查，对工程所需建筑材料进行复核。

1.3 勘察依据及执行的技术标准

1.3.1 勘察依据

1)江库联网原水绕松木山水库段原水管道工程和莲花山-芦花坑水厂段原水管道工程勘察设计合同；

2)江库联网原水绕松木山水库段原水管道工程可行性研究报告（报批稿）相关审查意见及核准立项批复文件；

3)江库联网原水绕松木山水库段原水管道工程初步设计报告（报批稿）相关审查意见及水行政许可批复文件；

4)江库联网原水绕松木山水库段原水管道工程施工图设计阶段勘察大纲及勘察咨询意见。

1.3.2 执行的技术标准

勘察依据的技术标准包括但不限于：

1) 《水利工程建设标准强制性条文》



- 2) 《岩土工程勘察安全标准》（GB50585-2019）
- 3) 《工程测量标准》（GB50026-2020）
- 4) 《水利水电工程地质勘察规范》（GB50487-2008）
- 5) 《引调水线路工程地质勘察规范》（SL629-2014）
- 6) 《岩土工程勘察规范》（GB50021-2001）（2009 年版）
- 7) 《建筑抗震设计规范》（GB50011-2010）（2016 年版）
- 8) 《岩土工程勘察安全标准》（GB50585-2019）
- 9) 《工程岩体试验方法标准》（GB/T50266-2013）
- 10) 《工程岩体分级标准》（GB/T50218-2014）
- 11) 《中国地震动参数区划图》（GB18306-2015）
- 12) 《水利水电工程地质测绘规程》（SL/T299-2020）
- 13) 《水利水电工程水文地质勘察规范》（SL373-2007）
- 14) 《水利水电工程钻探规程》（SL/T291-2020）
- 15) 《水利水电工程注水试验规程》（SL345-2007）
- 16) 《水利水电工程钻孔压水试验规程》（SL31-2003）
- 17) 《水利水电工程钻孔抽水试验规程》（SL320-2005）
- 18) 《水利水电工程岩石试验规程》（SL/264-2020）
- 19) 《水利水电工程天然建筑材料勘察规程》（SL251-2015）
- 20) 《水利水电工程地质勘察资料整编规程》（SL567-2012）
- 21) 《水利水电工程测量规范》（SL197-2013）
- 22) 《水利水电工程勘探规程第 1 部分：物探》（SL/T291.1-2021）
- 23) 《土工试验方法标准》（GB/T50123-2019）
- 24) 《建筑基坑支护技术规程》（JGJ120-2012）
- 25) 《市政工程勘察规范》（CJJ56-2012）



- 26) 《城市地下管线探测技术规程》（CJJ61-2017）
- 27) 《城市工程地球物理探测标准》（CJJ/T7-2017）
- 28) 《盾构隧洞工程设计标准》（GB/T51438-2021）
- 29) 《盾构法隧洞施工及验收规范》（GB50446-2017）
- 30) 《城乡规划工程地质勘察规范》（CJJ57-2012）
- 31) 《建筑地基基础设计规范》（DBJ15-31-2016）
- 32) 《建筑地基处理技术规范》（DBJ/T15-38-2019）
- 33) 《建筑基坑工程技术规程》（DBJ/T15-20-2016）
- 34) 《城市轨道交通岩土工程勘察规范》（GB 50307-2012）

相关国家省市的规定、要求和通知

- 1) 《水利工程建设安全生产管理规定》（2019年修订）
- 2) 广东省安全生产委员会办公室 广东省应急管理厅关于印发《隧道工程防透水事故安全管理工作指引》的通知（粤安办[2021]229号）
- 3) 广东省住房和城乡建设厅关于印发房屋市政工程《危险性较大的分部分项工程安全管理实施细则》的通知（粤建规范[2019]）2号

1.4 勘察方法及工作布置

1.4.1 勘察方法

本阶段工程地质勘察方法采用断面测量、工程地质测绘、物探（高密度电法、钻孔声波测井）、钻探、原位测试（标准贯入、动力触探）、现场试验（注水及压水试验）、取样（原位样、扰动样）、室内试验（岩土体物理力学、土体颗粒组成及渗透性、水质分析、岩石镜鉴及矿物分析）等多种勘探手段相结合的综合勘察方法。勘察工作方法如下：

（1）测量



根据《引调水线路工程地质勘察规范》（SL629-2014）中 9.1.1，优化设计调整纵横断面测量，测量比例 1:500。所有的勘探点（钻孔、坑槽）均采用 RTK 进行测放，勘探完成后均进行了平面坐标和高程复测，确保了测量成果的准确性和真实性。本工程初设阶段勘察报告中所有坐标均采用 CGCS2000 坐标系，高程采用 1985 国家基准高程系，等高距 1m。

（2）工程地质测绘

工程地质测绘在可研及初设阶段地质测绘基础上，收集了输水线路区域气象、水文（包括井、泉出露点）以及工程区地形地貌、地质构造、区域性断裂等大地构造特征和地震活动性资料，现场调查区内地层岩性、出露条件、接触关系，分析断层的性质和分布规律；调查区内水库、沟塘、地下管线、光缆、燃气及供水设施等分布情况。测绘范围按照《水利水电工程地质勘察规范》（GB50487-2008）、《引调水线路工程地质勘察规范》（SL269-2014）及设计要求执行。

（3）钻探

采用 XY-1 型地质钻机进行钻探，采取回转钻进，地下水位以上干钻，地下水位以下泥浆护壁。钻探前校核孔位及孔号，熟悉单孔钻探任务书，排查地下管线及障碍物，检查钻机是否完好、现场试验及取样设备是否齐全后开钻；钻孔开孔孔径不小于 130mm，终孔孔径不小于 91mm，严格控制回次进尺，全、强风化带及断层破碎带等关键部位提高岩芯采取率；地质条件复杂线路的钻孔岩芯装箱保留，钻探要求严格按照规程规范及公司质量体系文件操作，详细填写钻探班报表、编录卡及岩芯牌。钻孔验收合格后，严格按照相关规定进行封孔，清理场地，恢复场地绿化或路面结构。

（4）原位试验

1) 标准贯入试验（SPT）是利用质量为 63.5kg 的重锤按照规定的落距



（76cm）自由下落，将标准贯入器打入地层，根据贯入器贯入一定深度得到的锤击数来判定土层的性质。

2）动力触探试验（DPT）是利用一定质量的落锤，以一定高度的自由落距将标准规格的圆锥形探头击入土层中，根据探头贯入击数、贯入度或动贯阻力判别土层的变化，评价土的性质。

（5）取样

对不同地貌和工程地质单元（段）均采集试样，取样试验累计有效组数不小于6组，特殊性岩土取样组数适当增加。厚度大于2m的各土层（含全风化带）或者厚度小于2m分布较广的特殊土层中取原状样，淤泥、淤泥质土等软土用薄壁取土器采样；粘性土（含残积、全风化）采用快速、连续的静压方式贯入取土器，砂类土扰动样尽量采取标贯器内试样；强、弱、微风化岩体直接从岩芯中取样。

室内试验执行《岩土工程勘察规范》（GB 50021-2001）（2009年版）第11章的规定、《土工试验方法标准》（GB/T50123-2019）以及《工程岩体试验方法标准》（GB/T50266-2013）等。

（6）水文试验

根据输水线路设计方案，选择重点钻孔进行岩土体的注水及压水试验，注水试验采用变水头法，判别土体的透水性；压水试验是判定强风化至微新岩体的裂隙性和渗透性。在典型钻孔埋设地下水动态长期观测管，了解地下水与松木山水库水的关系。

（7）工程物探

1）高密度电法

沿输水线路优化段布置高密度电法断面，探测地下一定深度范围内岩土体电性变化特征，第四系覆盖层厚度、全强风化带厚度及不良地质体的



分布，尤其是隐伏断层、岩体破碎带等地质异常，了解线路覆盖层厚度、岩体风化界面、岩性分界线、断层破碎带的分布形态，综合分析异常体的位置和规模。

2) 钻孔声波测试

采用钻孔声波和单孔声波测试，使用 RS-ST01C 数字声波仪和井中超声波一发双收探头，测定岩体的声波速度，计算岩石的完整性系数，评价岩石风化程度、节理裂隙发育情况，了解岩体的完整程度及结构特征。

(8) 室内试验

1) 室内岩土体试验：包括土的天然物理性质、液塑限、颗分、固结、饱和固结快剪、渗透系数等试验，岩石的天然含水率、颗粒密度、岩块干湿密度、干湿单轴抗压强度、软化系数、弹性模量、变形模量及泊松比试验。按照《岩土工程勘察规范》（GB50021-2001）（2009 年版）第 11 章的规定进行；具体操作和所使用试验仪器均符合现行国家标准《土工试验方法标准》（GB/T50123-2019）的要求。

2) 水样腐蚀性测试：用 EDTA 滴定法及酸碱滴定法测定阴阳离子的含量，用复合电极法测定 PH 值，按照《岩土工程勘察规范》（GB50021-2001）（2009 年版）第 12 章的规定，评价地下水和地表水对混凝土、混凝土中钢筋的腐蚀性。

1.4.2 勘察工作布置

1.4.2.1 工程测量

(1) 根据《水利水电工程测量规范》（SL197-2013）中 11.4.3 及 11.4.6 规定输水线路带状地形图测量比例 1:1000，建筑物区地形图测量比例 1:500，水域地形图测量比例 1:500，水平纵断面比例 1:500，垂直纵断面比例 1:500，横断面比例 1:500，本阶段根据优化设计需要的纵横断面测量，测量比例



1:500，长度 8km。

（2）配合地质测量：根据本项目分标情况，第二标段 30 组日。

1.4.2.2 地质勘探

根据地形地貌及地质条件及可研、初设等前期勘探成果，绕松木山水库段原水管道工程施工图阶段勘察总体布置思路如下：

① 补充因原水管道线路调整，导致初设钻孔偏离隧洞轴线较远，不满足相关规范要求的，进行补充勘探钻孔。

② 不满足本阶段的勘察精度要求，特别是洞身穿越不同的风化带，对盾构施工影响较大部位，进行加密钻孔。

③、根据物探成果或前期钻孔揭示，存在断层等地质构造影响带，对盾构施工存在重大影响的部位，钻孔也进行了加密加深，局部还需布置横剖面加以控制。

施工图设计阶段勘察的钻孔布置原则如下：

（1）输水隧洞盾构段

在初步设计阶段基础上，本阶段钻孔布设采用两侧交叉布置（局部受外界影响，采用单侧布孔），陆域勘探孔布置在盾构隧洞结构外侧 3m~5m，水域勘探孔布置在盾构隧洞结构外侧 6m~12m。本次线路局部调整，勘探点距隧洞轴线距离不满足外侧 3-5m 的要求有 2 处，即起点附近和跨南湖桥段，地质条件复杂，基岩面变化大，线路调整后钻孔距离新线路 20~35m，无法满足设计要求，需要根据新线路进行补充钻孔；其次在地层变化较大的部位加密，满足规范规定的勘探孔间距布置原则。

本阶段隧洞埋深进行调整，初设阶段部分钻孔不满足控制性钻孔的深度要求。施工图设计阶段一般性勘探孔不宜小于隧洞底板以下 1.5D0~2.0D0 或隧洞底板以下中风化岩或微风化岩 3m；控制性勘探孔深度不宜小



于隧洞底部以下 2.5D0 ~ 3.0D0 或隧洞底部以下中风化岩或微风化岩 5m。本阶段钻孔布置原则应满足规程规范要求，尽可能利用初设钻孔作为一般性钻孔或控制性钻孔。

钻孔间距布置原则是对洞身岩土体单一，地层变化小部位，场地环境相对简单的，按简单场地钻孔间距 40 ~ 50m 布置，对穿越地形地貌、地层起伏变化较大，如断层或破碎带密集、岩性复杂地段按中等或复杂场地加密钻孔，间距 30 ~ 40m。对断层破碎带、岩性变化复杂，隧洞上软下硬，可能产生地面沉降及塌陷、围岩涌水突泥、块石卡机堵塞及漏浆部位钻孔深度按控制性钻孔的要求控制，钻孔深度不宜小于隧洞底部以下 2.5D0 ~ 3.0D0 或隧洞底部以下中风化岩或微风化岩 5m。必要时加深钻孔深度。

（2）工作井

工作井作为明挖的建筑物，布置 5 个钻孔，主要布置在工作井四周和中心，四周钻孔布置在洞口外侧 2 ~ 3m，为工作井开挖、地连墙及高压旋喷桩施工提供地质资料。同时尽量充分利用可研、初设钻孔的情况下，适当补充。本阶段在工作井中心增设一个钻孔，R5#井设计位置与初设布置存在调整，本阶段在结合前期钻孔条件下，做适当的补充。

（3）闸室、临时围堰及埋管段

闸室、临时围堰钻孔和穿坝段的钻孔布设满足《水利水电工程地质勘察规范》（GB50487-2008）的相关要求，闸室位置兼顾施工外围防渗高喷墙。临时围堰布置在围堰中心轴线，深度满足施工支护等方面的技术要求。埋管段钻孔布置遵循《市政工程勘察规范》8.4 节，查明大坝填土与原状土界线，评价大坝填土压实情况，指导后期穿坝设计，避免接触渗漏隐患的技术要求。埋管段埋深 7.0 ~ 13.5m，基坑开挖对大坝建筑物敏感，周边未见不良地质现象，钻孔间距选取 50m，钻孔孔深应满足开挖、地下水控制、



支护及施工的要求，且达到管底设计高程以下不少于 3m。

1.4.2.3 物探

物探探测包括高密度电法、钻孔声波等。采用钻孔声波测试岩体纵波波速，研究岩体风化与完整程度；钻孔声波测试数量与实际钻孔一致。

根据可研成果，线路多处存在明显断层或构造破碎带，本阶段沿线路方向平行布置高密度电法勘探剖面，以查明线路沿线断层走向及围岩性状。

1.4.2.4 取样、试验及封孔

（1）取样及试验

对每一地质单元及工程地质分段主要岩土层取原状样（扰动样）进行室内物理力学试验，特殊性土可根据其工程性质特征，进行专门试验，其余试验内容根据施工工法和岩土性质确定，对主要岩体进行矿物分析及含量统计、磨蚀性试验、放射性元素测试、岩矿镜鉴，对隧洞段进行有毒有害气体测试。

（2）封孔

对所有勘探孔进行封孔，遵循“以土换土，以砂还砂”原则进行封孔，即：黏土段封孔回填时，采用黏土球封填法，分层封填，单层厚度控制在 0.2 ~ 0.6m；基岩段封填时，采用水泥砂浆封填法，水泥砂浆采用 32.5 级普通硅酸盐水泥，砂采用细砂，水泥（砂）浆中加入膨胀剂。

1.5 勘察工作评价及完成工作量

1.5.1 勘察工作质量评价

《初设报告》审查后，我公司立即组织专业人员同时开展施工图阶段的地质勘察工作，严格按照规程规范编写勘察设计大纲及地质勘察大纲、技术要求，从开工报告申请开始，组织技术交底，对影响勘察质量的钻孔



布置、地下管线探测、取样、原位测试（声波测试、标贯、动探等）、室内试验等环节均进行了检查和验收。严格按照公司 ISO9001 质量保证体系的各项要素，对勘测全过程实行动态管理，加强事前指导，中间检查，成果验收的三环节控制，杜绝产生不合格成果。地质勘察报告编制均按总体技术要求的目录章节编写，报告进行了三级校审。

1.5.2 勘察安全文明措施评价

本项目位于松山湖风景区及高新技术产业园，交通复杂、人流量大，对景观绿化恢复、地下管线保护、噪音控制、施工围挡和交通警示、分流疏散标志均按勘察大纲的要求进行落实，组织各单位、部门对每个勘探点开孔前进行查验及终孔后验收。

1.5.3 勘察工作过程及完成主要工作量

2022 年 8 月 29 日江库联网原水绕松木山水库段原水管道工程和莲花山-芦花坑水厂段原水管道工程勘察设计工程完成招投标工作，9 月 5 日收到中标通知书，并立即投入外业勘察工作。2022 年 11 月 30 日完成初步设计阶段外业勘探、测量、物探、抽水试验等工作，转入内业整理。2023 年 1 月 3 日~4 日初步设计报告审查后，勘察项目部开展施工图阶段大纲编制及手续报批及准备工作，2023 年 2 月 5 日完成第一标段地质钻探工作，并提交勘察成果；2023 年 2 月 28 日完成第二标段地质钻探工作，并提交勘察成果。完成的勘察工作量如表 1.5-1。

勘察过程中先后组织钻机 10 台，GPS（RTK）测量仪 2 台，综合物探设备（声波测试仪、管线检测仪、高密度电法仪等）3 台。投入钻探、试验操作工人 30 人，现场安全、技术和管理人员 10 人。

本次勘察工作期间，东莞市水务局、市水务集团建设管理公司、市水务工程建设运营中心、松山湖高新技术产业开发区、松木山水库管理处等



单位给予了大力支持与帮助，在此表示衷心感谢。

表 1.5-1 江库联网原水绕松木山水库段各阶段勘察完成的工作量汇总表

工 作 项 目		单位	初设阶段工 作量	一标段施工图 阶段工作量	二标段施工图 阶段工作量
测量	E 级控制点埋设	点	15	/	/
	四等水准	km	28	/	/
	陆域地形图测量（1:2000）	km ²	/	/	/
	陆域地形图测量（1:1000）	km ²	8.22	/	/
	陆域地形图测量（1:500）	km ²	0.05	/	/
	水域地形图测量（1:2000）	km ²	/	/	/
	水域地形图测量（1:500）	km ²	1.78	/	/
	断面测量（1:1000）	km	18	4	2
测绘	配合测量（地质点、收放孔）	组日	90	30	25
	工程地质测绘（1:2000）	km ²	/	/	/
	工程地质测绘（1:1000）	km ²	8.6	/	/
	地质剖面测绘（1:1000）	km	10.7	/	/
勘探	地质剖面测绘（1:500）	km	1.3	/	/
	陆地钻探（含封孔）	m/孔	6303.2/140	1616.7/33	1434.4/33
	水上钻探（含封孔）	m/孔	1676.7/36	310.1/7	978.2/23
物探	坑槽探	m ³ /个	/	/	/
	高密度电法	m	9205	1602	649
	钻孔声波	m/孔	6877.5/148	1869.4/40	2097.6/49
	钻孔剪切波	m/孔	1088.7/23	/	/
试验	地下管线探测	m ²	63016.4	/	/
	原位 试验	标贯试验（SPT）	次	96	72
		动力触探（DPT）	m/段	378.3/1261	55.8/124
	室内	土工试验（原状、扰动）	组	335	65
		岩石试验	组	191	66
		岩石镜鉴	组	11	/
		岩石光片鉴定	组	/	3
		水的腐蚀性	组	7	1
		放射性试验	组	3	/
		磨蚀试验	组	3	/
		土的腐蚀性	组	4	/
水文 试验	钻孔注水试验	段	497	103	143
	钻孔压水试验	段	220	34	28
	钻孔抽水试验	台班	24	/	/
	钻孔地下水位观测	次/ 孔	105/15	60/12	60/12
封孔	泥球或水泥封孔	m	7979.9	1926.8	2412.6

1.5.4 特殊情况说明

（1）地质勘察过程中，受现场条件限制等影响，个别勘探孔孔位有一



定偏移，勘探点的布置、间距、深度等均满足施工图阶段规程规范要求。

另外，SRDK43 号钻孔中钻杆埋入地表下 32m~35m，钻孔距盾构轴线约 7.5m，对盾构掘进无影响；SRDK53 号钻孔中钻杆埋入地表下 54m~57.3m，钻孔距盾构轴线约 9.8m，且埋深远低于隧洞底板，对盾构掘进无影响；SR4K01 号钻孔中钻杆埋入地表下 39.5m~42.5m，钻孔位于工作井开挖段，对盾构掘进无影响。

（2）外业勘探完成后，严格按东莞市市政设施建设城市道路、园林绿化设施修复质量承诺书，对钻孔封填、场地恢复等进行处理。

（3）根据业主要求，2022 年 9 月 20 日东莞市水务技术中心组织召开江库联网原水绕松木山水库段原水管道工程(衔接段)初步设计报告(送审稿)审查会，长江设计公司于 9 月 25 日修改后提交了报批稿；根据东莞市水务集团意见对衔接段初步设计内容进行调整（衔接段内容由 R0#检修阀井及埋管段变更为 R1#盾构工作井），2022 年 10 月 16 日，东莞市水务技术中心对衔接段初步设计报告报批稿进行咨询，长江设计公司修改后提交了报批稿，东莞市水务局于 2022 年 10 月 17 日对江库联网原水绕松木山水库段原水管道工程(衔接段)初步设计报告进行批复，目前正式进入施工阶段。

2 场地环境及区域地质概况

2.1 地理与交通

东莞市位于广东省中南部，珠江入海口东侧，地处东江下游珠江三角洲地区，西临珠江出口狮子洋，东邻惠州、博罗，南接深圳市，介于东经 113°1'~114°13'，北纬 22°09'~23°09'之间。东莞市地处广州至深圳经济走廊中间地带，西北距广州 59km，东南距深圳 99km，距离香港中心区约 140km。东莞市域东西长约 70.45km，南北宽约 46.8km，1985 年撤县设市，全市陆



地面积 2460.1km^2 ，海域面积 82.57km^2 。

工程区内对外交通有珠三角环线高速（G94）、沈海高速（G15）、莞佛高速（G9411）、国道莞长路（G107）以及省县道 S304、X195、X234、X236 公路横穿境内，铁路、机场、港口辐射四通八达，区位优势明显，对外交通便利，场内交通畅通。

2.2 气象与水文

2.2.1 气象

东莞市属亚热带季风气候区，气候温暖、雨量充沛、干湿季明显、长夏无冬、日照充足、热量丰富，气候特点是高温多雨，雨量充沛、湿度大、夏季长。降雨以南北冷暖交气团的锋面雨为主，多发生在 4 月~6 月，其次是台风雨，多发生在 7 月~9 月，降水年内分配不均，冬春干旱，夏秋洪涝，4 月~9 月的降水量占全年降水量的 84%。根据东莞市气象局资料统计，多年平均降水量 1755mm，最大年降水量 2395mm，最小年降水量 973mm，24h 最大雨量 367.8mm。降水年内分配很不均匀，连续最大四个月降水量多出现在 5 月~8 月，占年降水量的 60%~65%。最大月降水量多出现于 6、7、8 月，汛期 4 月~9 月多年平均降水量占年雨量的 84%~90%。暴雨类型主要有锋面雨和台风雨。受西南气流南支西风带中的低压槽影响，也易出现暴雨天气。台风雨一般出现在 7 月~9 月，台风过境，降水范围小、历时短、强度大。从降水量及过程特征分析，造成局部地区洪涝灾害的降水主要为短历时暴雨，其特点是暴雨历时短而强度大。洪水由暴雨形成，洪水出现时间与暴雨出现时间相一致，也大多发生于 4 月~9 月。

据东莞气象台多年资料统计，多年平均气温 22.3°C ，7 月平均气温为 28.5°C ，1 月平均气温 14.2°C ，极端最高气温 38.2°C ，极端最低气温 0.4°C 。



最多风向为南西、南东向，多年平均风速 1.94m/s ，最大风速 26m/s ，多年平均最大风速 13m/s ，平均风力 8 级，阵风最大 10 级。本区受台风影响，台风多发生在 5 月~11 月，且以 7 月~9 月居多，平均每年发生台风次数达 2.8 次，风灾较严重的地区是珠江口一带。东莞地区多年平均相对湿度 77%，日照时间长，蒸发量大，多年平均水面蒸发量 1121mm ，多年平均全年日照时数 1942.7h 。

2.2.2 水文

东莞市境内主要河流有东江干流、东江一级支流石马河、寒溪水及东江三角洲河网等，隶属于珠江水系。石马河和寒溪水是东莞市境内 2 条面积超过 100km^2 的河流，其中寒溪水流经主体段西侧，勘察区内地表水主要为水库、沟渠、水塘等。

（1）东江干流

东江干流发源于江西省寻鄔县的桎髻钵山，流经广东省河源市龙川县合河坝后始称东江，至东莞石龙镇为东江干流，河道全长 520km ，河道平均比降 0.39‰ ，主要支流自上而下有安远水、利江、新丰江、秋香江、公庄水、西枝江和石马河等。惠州市博罗县观音阁镇至东莞市石龙镇河段为东江下游河段，该河段河宽逐渐变大，水流减慢，河中沙丘多，流动性大，每次洪水过后，河床变化较大。1987 年后，由于挖沙的影响，博罗站至石龙樊屋河段，河床下切较为严重，但河岸仍保持基本稳定。东江自博罗以下在东莞市的桥头镇（东江村）进入东莞境内，由东往西穿越东莞市北部，河流过石龙后分为北干流和南支流，分别由大盛和泗盛注入狮子洋。

（2）寒溪水

主体段西侧为寒溪水河道。寒溪水位于东莞市境内北部，其上游为梅塘水，发源于大屏障山之观音髻，流域面积 720km^2 ，河流长度 59km 。从南



往北注入东江干流，主流黄牛埔水先在土地庙与松木山水汇合，到神山又与仁和水相遇，之后汇入寮步水支流，最后与黄沙河相汇，穿过峡口汇入东江，为工程区主要水系。

（3）松木山水库

水库于 1958 年 5 月动工兴建，1959 年 9 月建成蓄水，集雨面积为 54.2 平方公里。水库按百年一遇洪水位设计，千年一遇洪水位校核，正常水位为 24.0 米，相应库容 3970 万立方米。水库主要的水工建筑物有：均质土坝 7 座，总长 1134 米，坝顶高程为 27.2 米，输水涵管 2 条，开关为斜拉式铸铁开关，净宽 10 米的泄洪闸 1 座，最大排洪量为 152.2 立方米/秒。水库建成时的主要功能是灌溉和防洪，因东莞市经济飞速发展，水库的主要功能是防洪和生活供水，年供水量达 4000 万立方米，本原水管道工程绕水库东南缘布置，为工程区主要地表水。

2.3 区域地质概况

2.3.1 地形地貌

东莞市地势东南高、西北低，位于海拔 1000m 以下，为低海拔区；从海拔分布看，海拔 50m 以下区域占全市总面积的 80.61%，海拔 50~200m 区域占全市总面积 15.25%，海拔 200~500m 区域占城市总面积 3.44%，海拔 500m 以上区域占全市总面积 0.70%。

地势自东南向西部倾斜，由海拔 800~400m 逐渐降低到海平面 0 海拔左右，地貌以丘陵台地、冲积平原为主，丘陵台地占 44.5%，冲积平原占 43.3%，山地占 6.2%。东南部多山，山体庞大，分割强烈，起伏较大，海拔 200~600m，坡度 30°左右；中南部低山丘陵成片，为丘陵台地区；东北部接近东江河滨，岗地发育，陆地和河谷平原分布其中，海拔 30~80m，



坡度小，起伏较缓，易于积水；西北部是东江冲积而成的三角洲平原，地势低平、水网纵横；西南部是濒临珠江口的江河冲积平原，地势平坦而低陷，受潮汐影响较大。区域内主要山脉有银屏山系、宝山山系、大岭山山系，其中银屏山系主峰银屏咀，海拔 898m，是全市的最高点。

2.3.2 地层岩性

根据 1:5 万大朗幅 F49E007024（1998 年）、1:20 万广州市幅 F-49-XII（1965 年）及 1:25 万江门市幅地质图 F49C002004（2003 年）和各时期区域地质调查报告，工程区出露的地层由老到新主要有中元古界、上三叠系、下侏罗统、下白垩统和第四系地层，区内岩浆活动主要有早奥陶纪花岗岩及中晚侏罗系花岗岩两期（图 2.3.2-1）。

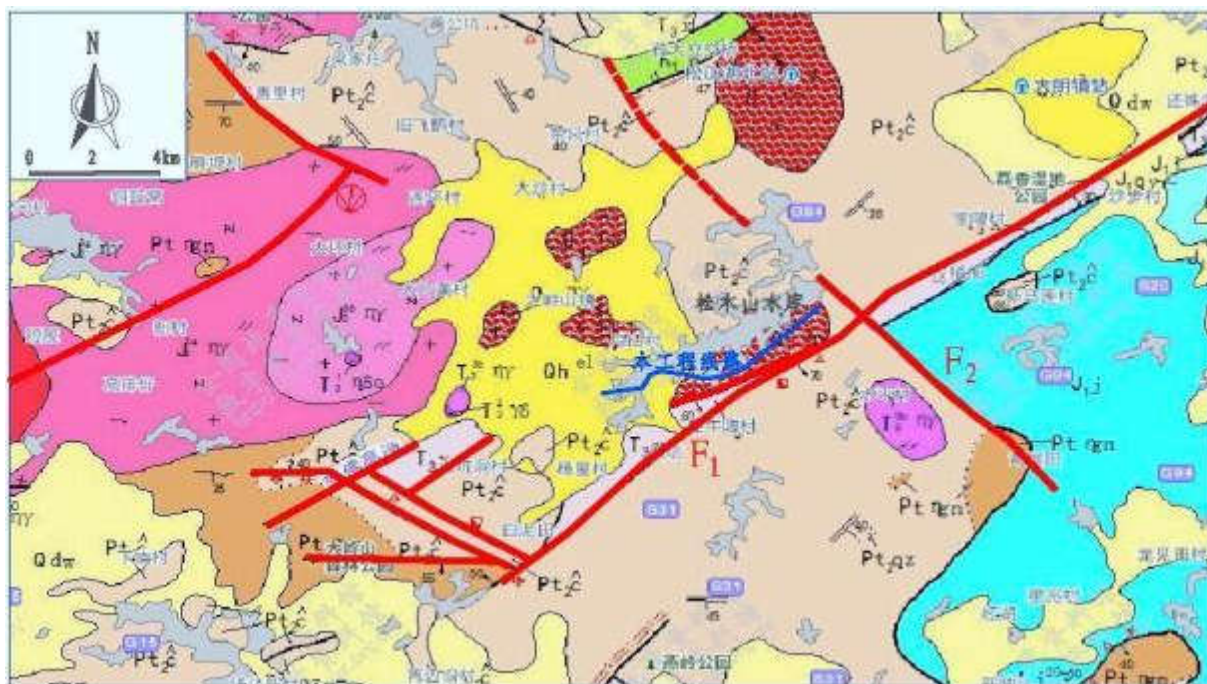


图 2.3.2-1 场地区域地质简图（1:25 万江门市幅地质图修改）

（1）中元古界

中元古界地层属区域基底变质岩地层，是一套受强烈变形变质作用改造后的地层，经历多期次变质作用，岩性复杂，主要岩性为片岩、片麻岩、



变质砂岩、混合岩及石英岩。广泛分布于虎门镇、大岭山、东莞市区南东侧、横沥镇、企石镇一带，另外在东坑镇、横岗水库等地也有零星出露。

（2）中生界

① 三叠系上统

岩性主要为一套海相复成砾岩、含砾砂岩、砂岩夹粉砂岩、粉砂质泥岩及煤线等，与下伏中元古界地层呈断层接触关系。该地层仅在松山湖园区、寮步镇、东坑镇、横沥镇、企石镇等地近北东向条带状或小块状出露。

② 侏罗系上统

岩性主要为砂岩、粉砂岩、粉砂质泥岩夹少量砾岩、砂砾岩、含砾砂岩、炭质泥岩和煤线，与下伏上三叠统地层呈断层接触关系。该套地层集中分布于虎门镇、黄江镇等地。

③ 白垩系下统

岩性主要为砾岩、砂砾岩、含砾砂岩、砂岩与粉砂岩等碎屑岩，与下覆地层呈不整合接触关系。该套地层仅在沙田赖家庄、市区北东侧出露。

（3）新生界

第四系全新统：第四系地层广泛分布，主要分布于东、西江流域及区内低矮丘陵山沟中，根据沉积相不同又为海陆交互相（ Q_4^{mc} ）、冲洪积（ Q_4^{apl} ）、湖积（ Q_4^l ）、残坡积（ Q_4^{edl} ）和人工填土（ Q_4^s ）。

（4）岩浆岩

东莞地区是岩浆活动强烈区，岩浆活动具有多期性和反复活动的特点，其中侵入岩时代包括中元古代、加里东、印支、燕山等多个地壳运动期，尤其是燕山期花岗岩类侵入岩在区内分布非常广泛，而加里东期侵入岩类主要围绕珠江三角洲盆地及周边低山-丘陵分布，印支期侵入岩体和中元古代片麻花岗岩分布比较零散。本工程场地附近出露岩浆岩主体为奥陶系下



统侵入岩和侏罗系中-上统花岗岩。

① 奥陶系下统侵入岩

岩性为细粒斑状黑云母二长花岗岩，细粒结构，块状构造，局部具片麻状构造，具混合岩化特征，侵入于中元古代基底变质岩中，分布于松山湖、寮步镇一带。

② 侏罗系中-上统花岗岩

岩性为细粒黑云母二长花岗岩、中粒斑状黑云母二长花岗岩，中-细粒结构，块状构造，侵入于中元古代基底变质岩中，分布于大岭山一带。

2.3.3 水文地质

东莞境内主要河流有东江、石马河、寒溪河，区内 96%属东江流域。东莞地处亚热带气候环境，雨量充沛。全市雨区按地域分布相差较小，趋势以南东部最大，向西趋小，山区多于平原，降雨渗入是区内地下水的主要补给来源。根据工程区内地下水赋存条件和水力特征，确定场地地下水类型为第四系松散岩类孔隙水、层状岩类裂隙水、块状岩类裂隙水和构造裂隙水，地下水位埋深一般在 0.5 ~ 2.0m。

2.3.4 地质构造

2.3.4.1 大地构造单元划分

工程区大地构造单元属于一级构造单元华南板块(I)二级构造单元湘粤坳褶带(I-IV)三级构造单元增城-台山隆起区(I-IV-6)（图 2.3.4-1）。从构造演化单元来看，其前震旦纪属于古华夏构造域或华夏板块(刘宝玛等, 1993);早古生代属于华南加里东褶皱系(任纪舜, 1980);晚古生代演变为华南板块的一部分(包括扬子与华夏构造域)(万天丰, 2004);中-新生代逐渐演变为整个欧亚板块的一部分，场地及邻区现处于欧亚板块与菲律宾板块的俯冲、碰撞近前缘地带。

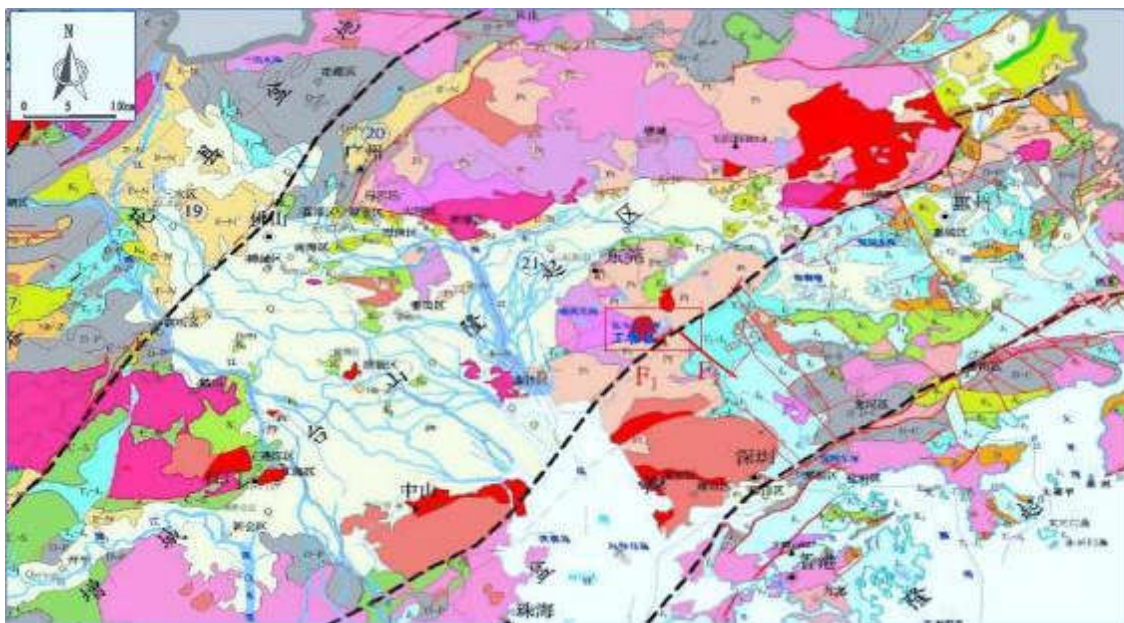


图 2.3.4-1 场地大地构造单元划分及构造地质简图（红框内为工程区）

2.3.4.2 断裂特征

东莞地区经历了自加里东期以来的多次强烈构造变动，产生了一系列规模不等、方向各异、活动时代不一、性质不同的断裂构造。燕山运动奠定了本区断裂构造的基本格局，形成于加里东、印支和燕山期的断裂，后期都经受过多次强烈的构造变动而发育成规模巨大的断裂带。新构造运动时期以来，断裂的继承性活动，导致东西向断裂再次复活，北东向断裂活动进一步加强，同时，形成了新生的北西向断裂和南海北部海域的北东东向断裂。本工程区主要发育两条区域性断裂大朗-三和断裂（ F_1 ）和温塘-观澜断裂（ F_2 ），其断裂发育特征如下：

① 大朗-三和断裂（ F_1 ）

该断裂也称为桥头圩-莲花山断裂或铜湖断裂，隶属于紫金-博罗断裂带，该断裂为三级构造单元增城-台山隆起区(I-IV-6)与三级构造单元斗门-惠阳盆地(I-IV-7)的分界断裂（图 2.3.4-1），规模较大，由多条次级断裂组成。展布上东北自茶径经白沙滩、角洞水库，从三和继续往西南方向断续延入



东莞大朗附近，总长度超过 60km。断裂总体走向 $NE60^{\circ} \sim 70^{\circ}$ ，倾向 SE，局部倾向北西，倾角 $45^{\circ} \sim 70^{\circ}$ ，空间展布上具舒缓波状，地貌上沿断裂表现为长条状山脊。

区域上，该断裂由多条次级断裂组成，在马鞍山一带见元古代石英岩覆于石英斑岩之上，在断裂的下盘近断裂面处，形成宽约 40m 的构造岩带，由构造片岩、硅化碎裂岩组成；在破碎带内，还发育许多条呈雁行排列的石英细脉。区域资料显示该断层物质采样进行热释光测年结果为 23.62 ± 1.65 万年（郭钦华等，2008）。该断裂次级断裂（ F_{1-1} ）穿越本工程，主断裂距工程最近约 0.6km，断裂性质整体为逆冲断层，局部后期构造改造后具正断层特征，属中更新世非活动断裂。

② 温塘-观澜断裂（ F_2 ）

温塘-观澜断裂又称东莞—深圳断裂，北西起于东莞石龙温塘一带，往南东经马蹄岗、屏山水口、雁鹅岭进入龙和、观澜到深圳水库附近，长度达 50 km。走向西北 330° ，倾向北东或南西，倾角 $40^{\circ} \sim 65^{\circ}$ 。该断层是四级大地构造单元大岭-羊头山中强隆起带与樟木头和缓隆起带的分界线。

区域上，该断裂北段切割白垩系红色沙砾岩，南段切割侏罗系凝灰质砂岩。中段在赤门海峡-大埔海之间，切割了多组北东向断裂并使其产生左旋错移。在泥涌以东采集的断层物质热释光测年为距今 11.87 ± 0.97 万年（丁原章，2004），相当于中更新世；该断裂在深圳段，4 个断层样品的 ESR 测试结果为 21.1 ± 2.1 万年、 21.5 ± 2.1 万年、 51.8 ± 5.1 万年和 32.0 ± 3.2 万年，同样显示断裂的最新活动时代为中更新世晚期（马浩明，2009）。

该断裂次级断裂（ F_{2-1} 、 F_{2-2} ）穿越本工程，主断裂距工程最近约 0.5km，断裂性质整体为逆冲断层，局部后期构造改造后具正断层特征，属中更新世非活动断裂。



2.3.5 区域构造稳定性评价与地震

2.3.5.1 新构造活动特征

白垩纪时期，燕山运动导致大量花岗岩侵入及大规模的断裂作用，使本区域北部形成内陆盆地。渐新世至中新世的喜马拉雅运动第一幕又使地壳发生强烈变形，并抬升遭受剥蚀。始于上新世的喜马拉雅运动第二幕表现为强烈的继承性断裂活动，并在晚更新世早期引起断块差异升降。由于总体上以沉降为主，于晚更新世中期本区域演化成断陷盆地，至此平原基底形成。随着后期的海侵，第四系开始沉积。根据沉积相可判断出两个沉积旋回，分别与晚更新世以来的两次海侵对应。

因此，东莞市如今地质格局的形成和发育是新构造运动与海侵共同作用的结果，其中新构造运动为本区域创造了沉积基底，而海侵则提供了沉积物。在这个过程中，新构造运动起了决定性作用，既影响珠江三角洲的沉积又控制各河道的演变。东莞所在的珠三角地区以大型的 NE、NW 及近 EW 向断裂为界，并受其控制，内部则由相互交错的次级断裂分割成若干断块。由于不同断裂（或同一断裂的不同段）在运动强度和方向上不同，从而导致了各断块之间发生差异升降，例如：东江断陷以东莞凹陷为中心，被罗浮山断裂、石龙-厚街断裂和狮子洋断裂带所截切。

监测资料显示：东莞地区在早全新世时期以 1.0mm/a 的速率抬升，晚全新世转为沉降运动，沉降速率 1.8mm/a ；1954-1989 年所测得的垂直形变速率为 -2.0mm/a ，场地内第四系平均厚度在 15-20m 左右。

2.3.5.2 地震活动性

东莞市位于东南沿海地震带内带，是全国地震重点监视防御区，区内活动断裂石龙-厚街、南坑-虎门等活动构造穿越辖区内多个镇街，周边发育多组不同方向不同性质的断层。地震危险性分析表明，东莞地震潜在震源



区震级上限未 5.5 级，珠江口地区潜在震源区震级上限未 6.5 级，东莞存在发生破坏性地震的背景。

近场区历史上没有发生过破坏性地震，现今小震的震级和活动频率相对较低，历史上未发生过 $M_s \geq 4.7$ 级破坏性地震，属于地震活动性较弱的地区，近场区无中强地震的构造条件，仅部分断裂在晚更新世以来有小震活动（距离拟建场地 30km 以外），但断裂两侧第四系沉积厚度没有明显变化，断裂的活动程度较弱，近场区断裂对本工程的场地稳定性不会产生震害影响，总体上近场区属于构造相对稳定地区。参考已建江库联网一期和附近在建输水隧洞工程场地地震安全性评价报告成果，本工程输水线路地震动参数如下：

（1）输水线路沿线 50 年超越概率 10%峰值加速度平均值为 83gal，最大值为 89gal，最小值 76gal；

（2）输水线路沿线 50 年超越概率 5%峰值加速度平均值为 113gal，最大值为 124gal，最小值 100gal；

（3）输水线路沿线 50 年超越概率 1%峰值加速度平均值为 198gal，最大值为 234gal，最小值 165gal。

根据《中国地震动参数区划图》(GB18306-2015) 及东建（2004）32 号文有关规定，江库联网原水绕松木山水库段原水管道工程（主体段）第二标段场地的地震动峰值加速度为 0.05g，地震动反应谱特征周期为 0.35s，相应的地震基本烈度为 VI 度。

3 输水线路工程地质条件

3.1 地形地貌

江库联网原水绕松木山水库段原水管道工程（主体段）第二标段场地



位于莲花山～大岭山北东侧，线路沿线地表海拔小于 200m，起伏高度低于 80m，地形地貌上属台地地貌。线路绕越松木山水库布置，局部穿越水库，沿线湖汊沟塘密布，地形起伏大，地面高程一般 17.00～30.00m，局部山顶高程 36.83～40.22，全线最高点位于线路中后部华为溪流背坡村 K 区北西侧山包，高程 43.52m。

线路两侧低矮山体断续分布，多呈椭圆状，花岗岩类、片麻岩类地形坡度一般较缓，坡度 $5^{\circ} \sim 20^{\circ}$ ，沉积岩类地形坡度稍陡，坡度 $20^{\circ} \sim 40^{\circ}$ 。沿线位于松木山水库风景区，森林绿化率高、地表植被茂盛。据现场实地调查，沿线地下管线、通讯光缆、电缆、电线、燃气及人防设施复杂，管线埋深一般 0.5～5.0m 不等。

3.2 地层岩性

根据地质测绘及钻探揭示，本项目第二标段地层岩性为元古界长安组（ Pt_2c ）变质岩，属基底地层，局部出露三叠系（ T_3x ）上统小坪组碎屑沉积岩（出露于第一标段），两者主要为断层接触关系，局部为不整合接触关系；线路沿线变质岩内大面积侵入奥陶系下统（ $O_1\eta\gamma$ ）花岗岩，侵入岩与沉积岩、变质岩呈侵入接触或断层接触关系；线路区第四系全新统覆盖层分布广，种类多，主要为填土（ Q_4^{ml} ）、湖积（ Q_4^l ）、残坡积（ Q_4^{edl} ）。现对上述地层，由新到老分述如下：

（1）新生界

① 第四系全新统填土层（ Q_4^{ml} ）

主要为素填土（编号为①层）：为灰黄、黄褐、黑褐等杂色粉质粘土、粘土、砂土混合，局部夹碎砾石、块碎石和少量建筑砖屑，动探击数 6～10 击，平均值 7.5 击，整体呈稍密状，局部中密，承载力较低，厚度 0.0～13.0m，



广泛分布在湖景路、环湖路附近，在松山湖景区内局部分布，堆积年限 3 ~ 10 年，多为机械填筑。

② 第四系全新统湖积层 (Q_4^1)

湖积层（编号为②-1 层）：为黑色、黑褐色、青灰色淤泥质土，局部夹粉细砂，含水量高，标贯击数 2 ~ 7 击，平均值 4.4 击，含砂段动探击数 1 ~ 16 击，平均值 2.3 击，整体软可塑状，局部软塑，具有腥臭味，厚度 0.0 ~ 12.0m，主要分布在沟塘、水库及低洼泥沼地附近。

③ 第四系全新统残坡积层 (Q_4^{cdl})

残坡积层（编号为②-2 层）：主要为砂质粘性土，红褐、灰黄色夹灰白色等，色杂，局部夹高岭土及碎砾石，厚度 0.3 ~ 22.5m，线路区广泛分布，厚度不均。钻孔原位测试表明，残积土标贯击数 5 ~ 50 击，平均值 20.7 击，动探击数 3 ~ 50 击，平均值 11.6 击，粘粒含量较高段呈硬塑状 ~ 硬可塑状，局部软可塑，砂砾石含量较高段，整体呈密实状，局部中密。

(2) 古生代岩浆岩

奥陶系下统侵入岩 ($O_1\eta\gamma$)：该套侵入岩岩性以中细粒黑云母花岗岩（编号为④ 层）为主，局部正长石含量较高成为黑云正长花岗岩，部分段石英含量降低、角闪石含量偏高，具闪长岩特征；该套花岗岩具中-细粒结构，块状构造，局部发育片麻状构造，具混合岩化特征，成分主要由石英、斜长石和少量黑云母组成，侵入于中元古代基底变质岩中，局部可见黑云斜长片麻岩、黑云母片岩、玄武安山玢岩等各种捕虏体及包裹体，另外受后期热液作用影响，局部沿裂隙可见长英质脉体及黄铁矿 (FeS_2) 充填，该套地层广泛侵入于输水线路所在的松山湖一带。因本套地层侵入时代较早，经历多期构造及变质作用，因此大部岩体具明显蚀变及硅化现象，局部可见变余结构，部分长石已蚀变为粘土矿物及绢云母，暗色矿物蚀变为云母



等，该套地层广泛分布于输水线路全线，为线路区主要地层之一；除该套花岗岩外，线路区内岩浆岩还有少量闪斜煌岩、玢岩等侵入岩呈脉状侵入，仅在部分钻孔零星呈脉状侵入，不具统计意义。典型照片如图 3.2-1。



钻孔 RDK48（15.0-20.0m）全、强风化花岗岩



钻孔 RDK49（45.0-50.0m）弱风化花岗岩



钻孔 RDK54（37.8m 处）可见长英质脉体充填



钻孔 RDK59（34.5 处）沿张节理充填黄铁矿

图 3.2-1 钻孔揭露及地表出露花岗岩典型照片

线路沿线该套地层呈全至微风化状态。其中全风化带岩芯呈坚硬而密实土状，轻击即散，岩体结构已基本破坏，但矿物成分可辨认，干钻可钻进；该层标贯击数 41~70 击，平均值 49.2 击，动探击数 16~77 击，平均值 23.2 击，整体呈密实状；钻孔声波测试显示，波速值普遍在 1560~2100m/s 之间，局部达 2500m/s，厚度 0.3~39.2m。

强风化岩体呈短柱状、块状，局部为碎块石夹土，锤击即碎，岩体结构大部分破坏，矿物成分显著变化，隙面被渲染，极破碎至破碎；钻孔声波测试显示，波速值普遍在 2000~3590m/s 之间，岩体完整性指数 0.05~0.2，基本质量等级为 V 级，厚度 1.0~30.8m，局部钻孔未揭穿。



弱风化岩体呈短柱状、柱状，块状结构，岩体结构少量破坏，矿物成分基本未变，沿节理面发育次生矿物（黄铁矿、石英等），裂隙较发育，岩体强度较高，属中硬岩，较破碎至较完整，岩体完整性指数 0.50 ~ 0.80，基本质量等级为IV级；钻孔声波测试显示，波速值普遍在 4000 ~ 5400m/s 之间，厚度 0.6 ~ 32.3m，部分钻孔未揭穿。

微风化岩体岩质较新鲜、新鲜，呈柱状、长柱状，整体状结构，岩体结构和构造未变，仅节理面有渲染或略有变色，有少量风化裂隙，岩体强度高，属坚硬岩，较完整至完整，岩体完整性指数 0.60 ~ 0.99，基本质量等级为III级；钻孔波速测试显示，波速值普遍在 4500 ~ 5510m/s 之间，钻孔揭露厚度 0.0 ~ 43.3m，未揭穿。

（3）中元古界

中元古界长安组变质岩（ Pt_2° ）（编号为⑤层）：该套地层岩性较杂，为一套经历多期变形变质改造的基底地层，地层层序呈无序状态。区域基础地质资料显示长安岩组主要由 7 类岩体组成，即：① 变质砂岩类，包括变质长石石英砂岩、绢云母变质石英砂岩等，分布范围有限；② 板岩类，包括板岩、粉砂质板岩，分布极少；③ 石英岩类，为长安岩组出露面积最大的岩类，与变质砂岩、片岩等互层产出；④ 片岩类，分布较广，包括云母石英片岩、石英二云母片岩等；⑤ 变粒岩类，仅局部分布于大岭山地区，岩性为黑云斜长变粒岩等；⑥ 片麻岩类，主要为黑云斜长片麻岩、二长片麻岩、条带状片麻岩等，分布较广；⑦ 混合岩化岩体，主要为混合岩化花岗闪长岩等，仅分布于大岭山少数地区。

本次勘察显示，输水线路沿线岩性主体为长安岩组第⑥类岩体，以黑云二长片麻岩为主，局部夹少量黑云斜长变粒岩、黑云母片岩、角闪片岩及混合岩化花岗闪长岩，其中黑云斜长变粒岩仅于 RDK105、RDK101、



RDK124 处出露较完整，其余均与黑云母片岩、角闪片岩、混合岩化花岗闪长岩一样，呈夹层状于黑云二长片麻岩中局部发育，室内试验及物探资料显示线路区上述各类变质岩物理力学性质相似，均为硬质岩。以黑云二长片麻岩为主的该套变质岩广泛分布于线路全线，为线路区主要地层之一，片麻理产状 $140^{\circ} \sim 160^{\circ} \angle 20^{\circ} \sim 40^{\circ}$ 。

1) 黑云二长片麻岩:

灰、深灰色、灰黑色，局部夹灰白、青灰色，鳞片变晶、粒状变晶结构，片麻状构造，主要由石英（含量约 30~40）、斜长石（含量约 20~25）、钾长石（含量约 10~20）、绿泥石（含量约 1~10）、云母（含量约 5~25）及少量电气石、磁铁矿等暗色矿物组成，局部沿裂隙充填黄铁矿及长英质脉体，呈全至弱风化状态，该套片麻岩在线路沿线分布最广，在线路沿线大量钻孔均有揭露，为线路区主要地层之一（图 3.2-2）。



钻孔 RDK58（孔深 40.0-45.0m）



钻孔 RDK68（43.5m 处）片麻理细部照片



钻孔 RDK68（33.1m 处）全风化带可见原岩结构



钻孔 RDK87（43.3m 处）片麻岩裂隙充填黄铁矿

图 3.2-2 钻孔揭露黑云二长片麻岩典型照片



全风化带呈坚硬而密实土状，手掰即散，岩体结构完全破坏，但矿物成分可辨认，干钻可钻进；该层标贯击数 18~90 击，平均值 44.1 击，动探击数 3~68 击，平均值 16.3 击，整体呈密实状。钻孔声波测试显示，波速值接近残积土，厚 0.6~39.2m。

强风化岩体呈碎块、碎石土状，岩体结构大部分破坏，矿物成分显著变化，岩体多被节理裂隙切割，裂隙面被渲染，破碎至较破碎，钻孔声波测试，波速值普遍在 2100~3960m/s 之间，平均波速 2769m/s，岩体完整性指数 0.24，基本质量等级为V级；厚 0.4~30.4m。

弱风化岩体呈柱状、碎块状，沿节理面充填方解石、黄铁矿等，裂隙发育，呈陡倾角状，局部近直立，属中硬岩，较破碎~较完整，钻孔声波测试，波速值在 3440~5930m/s 之间，平均波速 4682m/s，岩体完整性指数 0.67，基本质量等级为IV级，钻孔揭露厚度 0.2~36.0m，部分钻孔未揭穿。

微风化岩体呈短柱状、碎块状，岩体结构少量破坏，裂隙发育较少，岩体强度较高，属中硬岩，较完整至完整，基本质量等级为III级，钻孔揭露厚度大于 36m，未揭穿。

2) 黑云斜长变粒岩:

深灰色、灰黑色，鳞片粒状变晶结构，块状构造，主要由石英（含量约 40~45）、斜长石（含量约 25~35）、云母（含量约 15~25）及少量碱性长石、磷灰石等矿物组成，呈全至弱风化状态，变粒岩分布范围有限，仅于 RDK105、RDK101、RDK124 处出露较完整，其余段呈夹层状于片麻岩中局部发育。

全风化带呈坚硬而密实土状，手掰即散，岩体结构完全破坏，但矿物成分可辨认，干钻可钻进；钻孔声波测试显示，波速值小于 2100m/s，接近残积土，厚 11.6~20.5m。



强风化岩体呈碎块、碎石土状，岩体结构大部分破坏，矿物成分显著变化，岩体多被节理裂隙切割，隙面被渲染，强度低，至较破碎，钻孔声波测试，波速值普遍在 2100~3190m/s 之间，评价波速 2296m/s，岩体完整性指数 0.15，基本质量等级为 V 级；厚 2.8~9.4m。

弱风化岩体呈柱状、碎块状，沿节理面发育次生矿物，裂隙发育，属中硬岩，较破碎~较完整，波速值普遍在 4000~6112m/s 之间，评价波速 5492m/s，岩体完整性指数 0.87，基本质量等级为 IV 级，钻孔揭露厚度 11.7~21.1m，钻孔未揭穿。



钻孔 RDK105（孔深 30.0-35.0m）

钻孔 RDK101（孔深 35.0-40.0m）

图 3.2-3 钻孔揭露变粒岩典型照片

3.3 地质构造

新构造运动时期以来，区内断裂的继承性活动，导致东西向断裂再次复活，北东向断裂活动进一步加强，同时，形成了新生的北西向断裂。通过现场地质调查、区域资料分析，利用构造解析原理，将场地内断裂可归纳为北东向和北西向两组，它们形成了线路区基本构造轮廓，两组断裂又可归并为两条二级断裂：即北东向大朗-三和断裂（ F_1 ）和北西向温塘-观澜断裂（ F_2 ）及其若干次级三级断裂、四级断裂，上述断裂均属中更新世非活动断裂，不具活动性，其断裂性状及展布特质详见表 3.3-1。



表 3.3-1 输水线路沿线断层性质一览表

编号	断裂名称	断裂级别	延伸长度(km)	产状			断裂性质	最新活动时代	说明
				走向	倾向	倾角			
1	F1 断裂 (大朗-三和断裂)	二级断裂	>50	NE60° ~70°	SE	45° ~70°	逆冲断层	Q2	详见报告 2.3.4 节
2	F1-1 断裂	三级断裂	6~10	NE50° ~80°	SE	40° ~65°	正断层	Q2	为 F1 断裂次级断裂，呈舒缓波状近东北向展布，地形上呈负地形，两侧零星分布基岩山包，下盘为中元古界变质岩及奥陶系花岗岩，上盘为三叠系碎屑岩，于第一标段两次穿越线路，断裂带宽约 7~15m,由具一定胶结碎裂岩、碎粒岩组成，局部含断层泥，具中等透水性，非活动断裂。
3	F2 断裂 (温塘-观澜断裂)	二级断裂	>50	NW33 0°	NE/S W	40° ~60°	逆冲/ 正断	Q2	详见报告 2.3 节
4	F2-1 断裂	三级断裂	1.5~5.0	NW33 0°	SW	45° ~55°	逆冲	Q2	为 F2 断裂次级断裂，走向北西向，由多条次级断裂组成，地形上为一槽状负地形，线路段上下盘岩性相似，于第一标段穿越线路，断裂带宽约 10~30m,由具一定胶结碎粒岩组成，局部含泥，高密度电法可见明显低阻现象，抽水试验显示本断层具中等透水性，非活动断裂。
5	F2-1-1 断裂	四级断裂	0.3~0.5	NW31 0°	NE	45° ~60°	逆冲	Q2	为 F2-1 断裂次级断裂，走向北西向，地形上为一槽状负地形，上盘相似均为中元古界变质岩及奥陶系花岗岩，于第一标段穿越线路，断裂带宽约 5~10m,由具一定胶结碎粒岩组成，可见断层泥及铁质集中现象，具中等透水性，非活动断裂。
6	F2-1-2 断裂	四级断裂	0.3~0.4	NW31 0°	SW	45° ~60°	逆冲	Q2	为 F2-1 断裂次级断裂，走向北西向，地形上为一槽状负地形，上盘为奥陶系花岗岩，下盘为中元古界变质岩，于第一标段穿越线路，断裂带宽约 7~15m,由具一定胶结碎粒岩组成，可见断层泥及铁质集中现象，具中等透水性，非活动断裂。
7	f1	四级断裂	0.3~0.6	NW33 0°	SW	45° ~60°	逆冲	Q2	为小型次级断裂，走向北西向，地形上为一负地形，上盘以花岗岩为主，下盘为中元古界变质岩，上盘弱风化底界可见明显抬升，因此推测上盘上行，断层性质属逆断层，于第一标段穿越线路，断裂带宽约 5~10m,由具一定胶结碎裂岩、碎粒岩组成，可见断层泥，局部可见铁质集中现象，具中等透水性，非活动断裂。



8	F2-2 断裂	三级 断裂	1.5~ 3.0	NW33 0°	SW	45° ~ 55°	逆冲	Q2	为 F2 断裂次级断裂，走向北西向，地形上为一槽状负地形，线路段上下盘岩性相似，岩层风化界线于断层处陡降，岩体破碎，断裂带宽约 10~35m。钻孔显示完整基岩面在此段明显下切，高密度电法可见明显低阻现象，抽水试验显示本断层具中等透水性，非活动断裂，本断层于第二标段桩号 R4+440~R4+465 段穿越输水线路。
---	---------	----------	-------------	------------	----	-----------------	----	----	---

1) F₁₋₁ 断层

该断层为 F₁ 断裂次级断裂，整体呈舒缓波状近东北向展布，区域内延伸长度 6~10km，属三级断裂，地形上呈负地形，两侧零星分布基岩山包。本阶段钻探（图 3.3-1）及物探成果显示：该断层走向 NE50°~80°，倾向 SE，倾角 40°~65°（断层产状及走向根据轴线处及平行轴线高密度电法剖面低阻带判定图 3.3-2、图 3.3-9、图 3.3-10），断层下盘为中元古界变质岩及奥陶系花岗岩，断层上盘为三叠系碎屑岩，具正断层性状，断层带宽约 7~15m，由具一定胶结碎裂岩、碎粒岩组成，局部可见断层泥，断层两侧影响带宽约 20~50m，断层带具中等透水性。该断层位于原水管道南东侧，与输水线路局部相交，在第一标段桩号 R0+950 及 R1+280 段两次穿越线路，区域资料显示该断层中更新世存在活动，晚更新世以来无活动迹象，属非活动断裂。



钻孔 RDK35（断层上盘页岩及断层破碎带----
孔深 15.0-20.0m）



钻孔 RDK35（断层下盘断层破碎带及片麻
岩----孔深 20.0-25.0m）

图 3.3-1 钻孔揭露 F₁₋₁ 典型照片（断层上盘碎屑岩、下盘变质岩、断层带由碎裂岩、碎粒岩及少量断层泥组成）

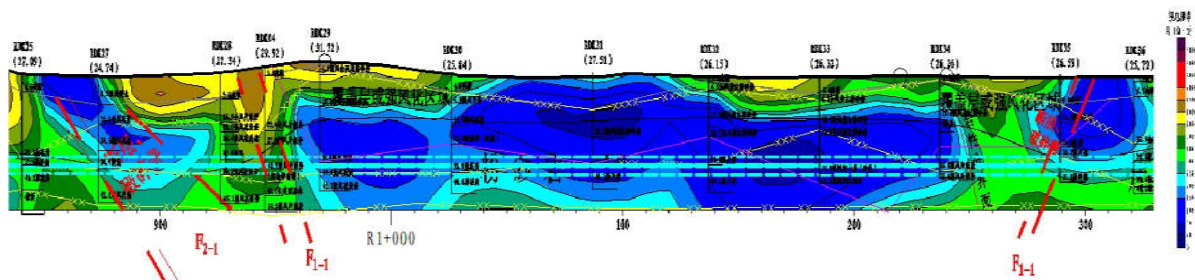


图 3.3-2 高密度电法剖面中 F_{1-1} 、 F_{2-1} 断层可见明显低阻及带状特征

2) F_{2-1} 断层

该断层为 F_2 断裂次级断裂，走向北西向，由多条次级断裂组成，地形上为一槽状负地形，区域内延伸长度 1.5~5.0km，属三级断裂。本阶段钻探（图 3.3-3）及物探成果显示：该断层走向 $NW330^\circ$ ，倾向 SW ，倾角 $45^\circ \sim 55^\circ$ （断层产状及走向根据轴线处及平行轴线高密度电法剖面低阻带判定图 3.3-2、图 3.3-5、图 3.3.6），断层上下盘相同，均为中元古界变质岩及奥陶系花岗岩，区域上具逆断层性状，断层带宽约 10~30m，由具一定胶结碎粒岩组成，局部可见断层泥，断层两侧影响带宽约 30~60m，对该断层带进行的抽水试验显示该断层带具中等透水性（详见本报告 3.5.2 节）。该断层走向与原水管道走向近垂直，于第一标段桩号 $R0+850 \sim R0+920$ 段穿越线路，区域资料显示该断层中更新世存在活动，晚更新世以来无活动迹象，属非活动断裂。



钻孔 SRDK14（断层破碎带碎粒岩-----孔深 15.0-20.0m）



钻孔 RDK27（断层破碎带内局部可见断层泥-----孔深 20.0-25.0m）

图 3.3-3 钻孔揭露 F_{2-1} 典型照片（断层上下盘均为变质岩、断层带由碎粒岩及少量断层泥组成）



3) F_{2-1-1} 断层

该断层为 F_{2-1} 断裂次级断裂，走向北西向，地形上为一槽状负地形，区域内延伸长度 0.3~0.5km，属四级断裂。本阶段钻探（图 3.3-4）及物探成果显示：该断层走向 $NW310^\circ$ ，倾向 NE，倾角 $45^\circ \sim 60^\circ$ （断层产状及走向根据轴线处及平行轴线高密度电法剖面低阻带判定图 3.3-5、图 3.3.6），断层上下盘为相似地层，均为中元古界变质岩及奥陶系花岗岩，具逆断层性，断层带宽约 5~10m，由具一定胶结碎粒岩组成，可见断层泥及铁质集中现象，断层两侧影响带宽约 10~20m，对该断层带具中等透水性。该断层走向与原水管道走向近垂直，于第一标段桩号 R0+630~R0+650 段穿越线路，区域资料显示该断层中更新世存在活动，晚更新世以来无活动迹象，属非活动断裂。



钻孔 SRDK11（断层破碎带碎粒岩断层破碎带内局部可见断层泥-----孔深 25.0-30.0m）



钻孔 RDK19（断层破碎带碎粒岩及断层泥-----孔深 30.0-35.0m）

图 3.3-4 钻孔揭露 F_{2-1-1} 典型照片（断层上下盘均为变质岩、断层带由碎粒岩及少量断层泥组成）

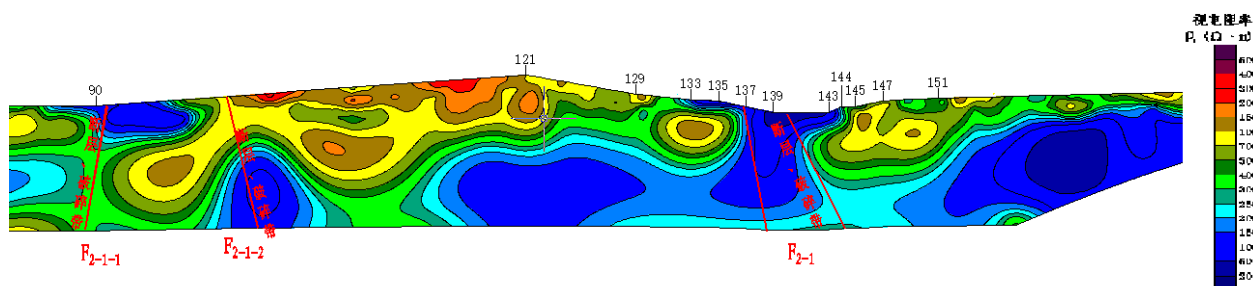


图 3.3-5 高密度电法剖面中 F_{2-1-1} 、 F_{2-1-2} 、 F_{2-1} 断层可见明显低阻及带状特征（隧洞轴线处高密度电法剖面）

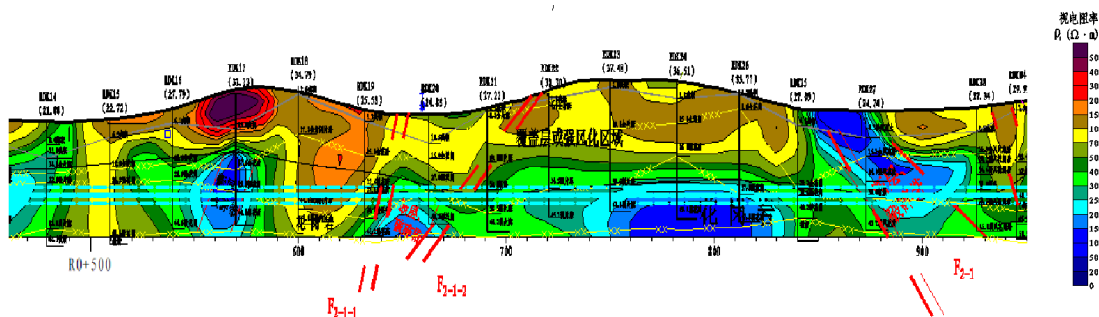


图 3.3-6 高密度电法剖面中 F₂₋₁₋₁、F₂₋₁₋₂、F₂₋₁ 断层可见明显低阻及带状特征（隧洞西侧 40m 处平行轴线高密度电法剖面）

4) F₂₋₁₋₂ 断层

该断层为 F₂₋₁ 断裂次级断裂，走向北西向，地形上为一槽状负地形，区域内延伸长度 0.3~0.4km，属四级断裂。本阶段钻探（图 3.3-7）及物探成果显示：该断层走向 NW310°，倾向 NE 或 SW（洞身段为 SW 向），倾角 45°~60°（断层产状及走向根据轴线处及平行轴线高密度电法剖面低阻带判定图 3.3-5、图 3.3.6），断层上下盘为相似地层，均为中元古界变质岩及奥陶系花岗岩，具逆断层性状，断层带宽约 7~15m，由具一定胶结碎粒岩组成，可见断层泥及铁质集中现象，断层两侧影响带宽约 10~20m，对该断层带具中等透水性。该断层走向与原水管道走向近垂直，于第一标段桩号 R0+680 段穿越线路，区域资料显示该断层中更新世存在活动，晚更新世以来无活动迹象，属非活动断裂。



钻孔 RDK21（断层破碎带碎粒岩断层破碎带内局部可见断层泥-----孔深 25.0-30.0m）



钻孔 SRDK12（断层破碎带碎粒岩----孔深 20.0-25.0m）

图 3.3-7 钻孔揭露 F₂₋₁₋₂ 典型照片（断层带由碎粒岩及少量断层泥组成）



5) f_1 断层

该断层为一小型次级断裂，走向北西向，地形上为一负地形，区域内延伸长度 0.3~0.6km，属四级断裂。本阶段钻探（图 3.3-8）及物探成果显示：该断层走向 NW330°，倾向 SW，倾角 45°~60°（断层产状及走向根据轴线处及平行轴线高密度电法剖面低阻带判定图 3.3-9、图 3.3.10），断层上下盘为相似地层，均为中元古界变质岩，具逆断层性状，断层带宽约 5~10m，由具一定胶结碎裂岩、碎粒岩组成，可见断层泥，局部见铁质集中现象，断层两侧影响带宽约 10~20m，对该断层带具中等透水性。该断层走向与原水管道走向近垂直，于第一标段桩号 R1+540 段穿越线路，区域资料显示该断层中更新世存在活动，晚更新世以来无活动迹象，属非活动断裂。



钻孔 RDK08（断层破碎带碎粒岩断层破碎带
----孔深 15.0-20.0m）



钻孔 RDK08（断层破碎带碎粒岩及断层泥
----孔深 20.0-25.0m）

图 3.3-8 钻孔揭露 f_1 典型照片（断层带由碎粒岩及少量断层泥组成）

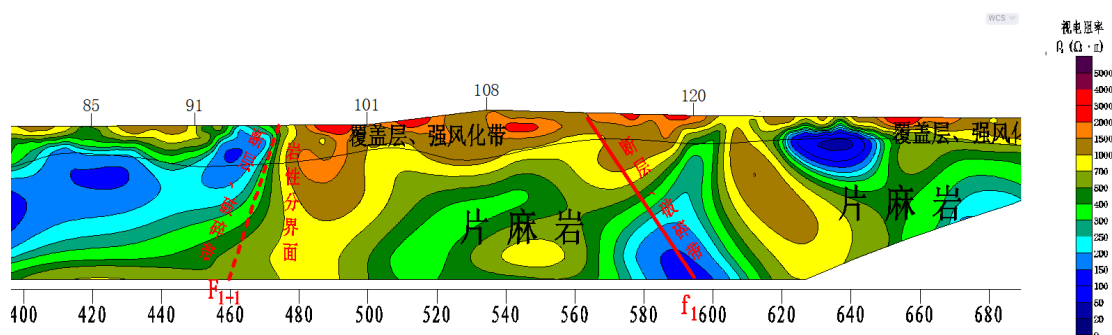


图 3.3-9 高密度电法剖面中 F_{1-1} 、 f_1 断层可见明显低阻及带状特征
（隧洞轴线处高密度电法剖面）

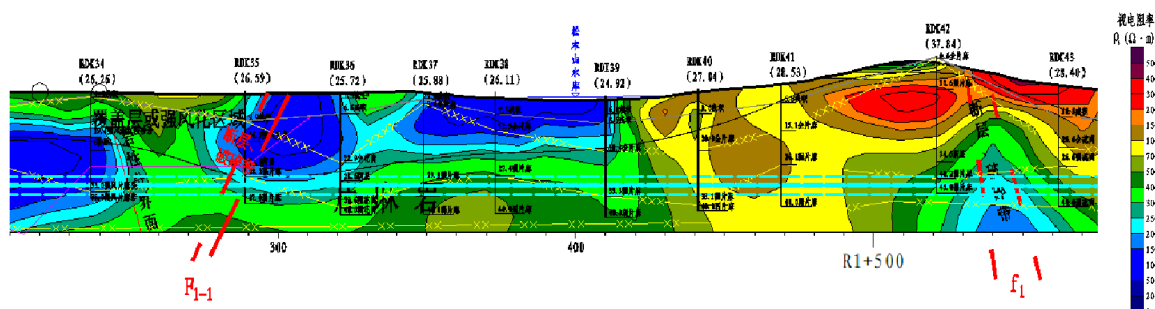


图 3.3-10 高密度电法剖面中 F_{1-1} 、 f_1 断层可见明显低阻及带状特征
(隧洞西侧 40m 处平行轴线高密度电法剖面)

6) F_{2-2} 断层

该断层为 F_2 断裂次级断裂，走向北西向，地形上为一槽状负地形，延伸长度 1.5~3.0km，属三级断裂。钻孔岩芯（图 3.3-11）及物探成果显示：该断层走向 NW330°，倾向 SW，倾角 45°~55°（断层产状及走向根据轴线处及平行轴线高密度电法剖面低阻带判定（图 3.3-12、图 3.3.13），断层上下盘相同，为中元古界变质岩及奥陶系花岗岩，岩层风化界线于断层处陡降，区域上具逆断层性状，断层带宽约 10~35m，由胶结碎粒岩组成，断层两侧影响带宽约 30~50m，抽水试验显示断层带具中等透水性。断层走向与原水管道走向斜交，桩号 R4+440~R4+465 段穿越线路，区域资料显示该断层中更新世存在活动，晚更新世以来无活动迹象，属非活动断裂。



钻孔 RDK78（断层带全风化层界线陡降-----
孔深 40.0-45.0m）



钻孔 RDK78（断层带全风化层界线陡降-----
孔深 45.0-50.0m）

图 3.3-11 钻孔揭露 F_{2-2} 典型照片（断层上下盘均为变质岩、断层带强风化界线埋深由 38m 陡降到 47m 左右）

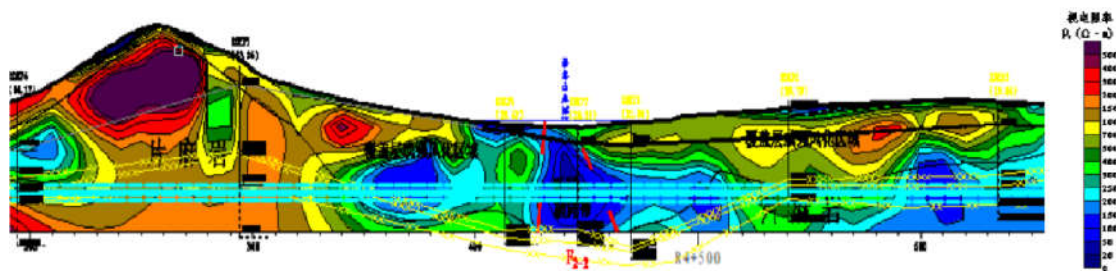


图 3.3-12 高密度电法剖面中 F_{2-2} 断层可见明显低阻及带状特征
(隧洞平行轴线处高密度电法剖面)

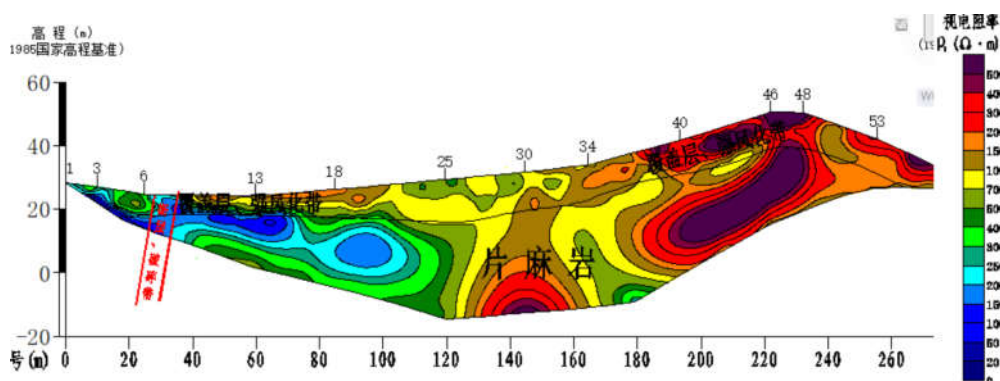


图 3.3-13 高密度电法剖面中 F_{2-2} 断层可见明显低阻及带状特征
(临近隧洞垂直断层走向布置高密度电法剖面定位断层)

3.4 场地地震效应

3.4.1 建筑抗震地段划分及抗震设防烈度

3.4.1.1 建筑抗震地段类别划分

拟建工程（第二标段）建筑场地局部发育软土，不存在液化砂层，未见有滑坡、崩塌等不良地质灾害，但场地分布有成因、岩性、状态明显不均匀土层和断层破碎带，根据国家标准《建筑抗震设计规范》(GB50011-2010)（2016 年版）第 4.1.1 条，场地属对建筑抗震不利地段。

3.4.1.2 基本烈度及抗震设防烈度

拟建江库联网原水绕松木山水库段原水管道工程（主体段）第二标段位于东莞市松山湖高新区（大岭山与大朗镇部分合并后新区）。根据《中国地震动参数区划图》(GB18306-2015)附录 C，江库联网原水绕松木山水库



段原水管道工程（主体段）第二标段地震动峰值加速度为 $0.05g$ ，地震动反应谱特征周期为 $0.35s$ ，相应的地震基本烈度为 VI 度。根据《建筑抗震设计规范》（GB50011-2010）（2016 年版）附录 A，东莞市抗震设防烈度为 6 度，设计基本地震加速度值为 $0.05g$ ，设计地震分组为第一组。

根据《建筑工程抗震设防分类标准》（GB50223-2008）第 3.0.1 条，江库联网原水绕松木山水库段原水管道工程（主体段）第二标段抗震设防类别划分为标准设防类。其抗震设防标准应按本地区抗震设防烈度采取抗震措施；地基基础的抗震措施，应符合有关规定，同时，应按本地区抗震设防烈度确定其地震作用。

3.4.2 地震液化评价

江库联网原水绕松木山水库段原水管道工程（主体段）第二标段场地相应的地震基本烈度为 VI 度，抗震设防烈度为 6 度。按国家标准《建筑抗震设计规范》（GB50011-2010）（2016 年版）的 4.3.1 节规定，一般可不进行地震液化判别和处理，另外拟建场地上部 20m 范围内不存在饱和粉土、砂土。因此，本工程可不考虑地震液化影响，可不进行场地土地震液化判定等。

3.4.3 软土震陷评价

根据《岩土工程勘察规范》（GB50021-2001）（2009 年版）第 5.7.11 条，对于抗震设防烈度等于或大于 7 度的厚层软土分布区，应判别软土震陷的可能性和估算震陷量。江库联网原水绕松木山水库段原水管道工程（主体段）第二标段抗震设防烈度为 6 度，且原水管道穿越地层主要为全风化至微新岩体，地基土层剪切波速均大于 $90m/s$ ，故可不考虑软土震陷的影响。

3.5 水文地质



3.5.1 地表水

拟建江库联网原水绕松木山水库段原水管道工程（主体段）第二标段线路区地表水系发育，地表水有水库水、人工渠水和塘及湖水，且线路多次下穿地表水体。地表水主要受大气降水、地表径流及人工补给，水位及水量受气候及人工影响明显。本次勘察期间沿线地表水面高程 18.2~22.8，实测水深 0.2~6.5m。

3.5.2 地下水类型、岩土渗透性及地下水位

线路区（第二标段）场地地下水主要为上层滞水、松散层孔隙水、基岩裂隙水。

（1）上层滞水

上层滞水主要赋存在场地上部填土、淤泥质土及残坡积土表层，主要接受大气降水、水塘、水库及给排水管涵的渗漏补给，水位、水量与地形、水库运行及季节性关系密切，受水库运行影响明显。

填土、淤泥质土、残坡积土室内渗透试验见表 3.6.2-3，本阶段及上阶段在②-1 湖积淤泥质土、②-2 残坡积土共进行注水试验 31 段，钻孔注水试验成果统计见表 3.5.2-1。根据室内及现场试验成果：②-1 湖积淤泥质土为 $10^{-6}\text{cm/s} \sim 10^{-5}\text{cm/s}$ 量级，整体具弱透水性；②-2 残坡积土渗透系数为 $1.57 \times 10^{-5} \sim 6.20 \times 10^{-4} \text{ cm/s}$ ，为 $10^{-5}\text{cm/s} \sim 10^{-4}\text{cm/s}$ 量级，整体具弱~中等透水性，平均值为 $1.48 \times 10^{-4} \text{ cm/s}$ ，属中等透水。

综上所述，填土及残坡积土具中等透水性，淤泥质土具弱透水性，勘察期间松木山水库水位普遍较高，上层滞水与水库水之间连通性比较紧密，富水性差、中等透水，对拟建线路工作井施工影响较大，对输水隧洞施工影响比较小。



表 3.5.2-1

绕库段钻孔注水试验成果（渗透系数）统计表

土层代号 统计项目	②-1 湖积淤 泥质土	②-2 残坡 积土	③沉积岩强风 化带	④-1 花岗岩全风 化带	④-2 花岗岩强风 化带
单位	cm/s				
统计组数	1	30	20	66	74
最大值	3.91×10^{-5}	6.20×10^{-4}	3.54×10^{-5}	4.99×10^{-4}	5.00×10^{-3}
最小值	3.91×10^{-5}	1.57×10^{-5}	5.53×10^{-6}	9.40×10^{-6}	3.73×10^{-6}
平均值	3.91×10^{-5}	1.48×10^{-4}	1.62×10^{-5}	1.26×10^{-4}	1.60×10^{-4}
变异系数		0.64	0.76	0.80	0.23
标准值		9.50×10^{-5}	1.23×10^{-5}	1.01×10^{-4}	4.47×10^{-5}

表 3.5.2-2

绕库段钻孔注水试验成果（渗透系数）统计表

土层代号 统计项目	④-2 花岗岩强、 弱风化接触带	⑤-1 变质岩全 风化带	⑤-2 变质岩强风 化带	⑤-2 变质岩强、 弱风化接触带	断层破碎 带
单位	cm/s				
统计组数	13	30	128	25	17
最大值	2.88×10^{-4}	1.24×10^{-3}	6.68×10^{-4}	3.13×10^{-4}	1.02×10^{-4}
最小值	4.86×10^{-6}	4.14×10^{-6}	9.97×10^{-7}	4.54×10^{-6}	9.45×10^{-6}
平均值	5.82×10^{-5}	1.54×10^{-4}	1.04×10^{-4}	7.14×10^{-5}	2.25×10^{-5}
变异系数	0.26	0.83	0.81	0.52	0.95
标准值	1.54×10^{-5}	1.28×10^{-4}	8.43×10^{-5}	3.73×10^{-5}	1.34×10^{-5}

（2）裂隙水

孔隙水主要赋存在残坡积层、全风化沉积岩、花岗岩或变质岩中，主要接受地表水入渗和地下水的补给，其含水量与物质成分、颗粒级配及粘粒含量等密切关系，局部低洼地段孔隙水具有承压性（如 R2K1），地下水承压主要因赋存条件局部相对封闭形成的，区域内不具有普遍性。

残积土、全风化花岗岩及全风化变质岩室内渗透试验见表 3.6.2-3，本阶段及上阶段在②-2 层残坡积土层共进行注水试验 30 段，在④-1 层花岗岩全风化带共进行注水试验 66 段，在⑤-1 变质岩全风化带共进行注水试验 30 段，钻孔注水试验成果统计见表 3.5.2-1、表 3.5.2-2。根据室内及现场试验成果：②-2 残坡积土渗透系数为 $1.57 \times 10^{-5} \sim 6.20 \times 10^{-4}$ cm/s，为 10^{-5} cm/s ~



10^{-4} cm/s 量级，整体具弱～中等透水性，平均值为 1.48×10^{-4} cm/s，属中等透水；④-1 层花岗岩全风化带渗透系数为 $9.40 \times 10^{-6} \sim 4.99 \times 10^{-4}$ cm/s，为 10^{-5} cm/s ~ 10^{-4} cm/s 量级，整体具弱～中等透水性，平均值为 1.26×10^{-4} cm/s，属中等透水，上阶段对该层进行的抽水试验也显示其渗透系数为 $0.6 \sim 1.2 \times 10^{-3}$ cm/s，具中等透水性（计算成果详见附件抽水试验报告）；⑤-1 层变质岩全风化带渗透系数为 $4.14 \times 10^{-6} \sim 1.24 \times 10^{-3}$ cm/s，为 10^{-5} cm/s ~ 10^{-4} cm/s 量级，整体具弱～中等透水性，平均值为 1.54×10^{-4} cm/s，属中等透水，上阶段对该层进行的抽水试验也显示其渗透系数为 $0.6 \sim 1.2 \times 10^{-3}$ cm/s，具中等透水性（计算成果详见附件抽水试验报告）。

综上所述，残积土、全风化花岗岩及全风化变质岩整体具弱～中等透水性，整体为中等透水，对线路工作井、隧洞施工有影响。

（3）基岩裂隙水

基岩裂隙水主要赋存在强至微风化沉积岩、花岗岩及片麻岩等类中，主要接受上部含水层中地下水的下渗及侧向渗流补给，下穿水库地段基岩裂隙水与库水存在紧密连通关系，该段基岩裂隙水丰富，对隧洞施工影响较大，应根据岩体的节理裂隙发育程度或断层破碎带的渗透性范围，针对性的采取综合防渗处理封闭等措施，减轻或杜绝库水渗透破坏影响。

表 3.5.2-3 绕库段钻孔压水试验成果（透水率）统计表

土层代号 统计项目	③沉积岩弱 风化带	④-3 花岗岩弱 风化带	④-4 花岗岩 微新风化	⑤-3 变质岩 弱风化带	⑤-4 变质岩 微新风化
单位	Lu				
统计组数	4	48	3	102	52
最大值（吕荣值 Lu）	15.13	14.03	2	41.82	12.33
最小值（吕荣值 Lu）	0.95	0.01	0.01	0.01	0.01
平均值（吕荣值 Lu）	9.11	6.95	0.77	4.63	3.33
变异系数		0.61		0.78	0.80
标准值（吕荣值 Lu）		5.9		3.62	3.12



本阶段及上阶段对强～微风化岩体作了压水试验，部分因岩体破碎压水堵塞器止水失效后改为注水试验，岩体注水试验成果见表 3.5.2-1、表 3.5.2-2、压水试验成果见表 3.5.2-3。强风化岩体破碎压水试验不起压，对强风化带及强、弱风化带交界处进行注水试验，试验显示：对③层沉积岩强风化带进行注水试验 20 组，试验渗透系数为 $5.53 \times 10^{-6} \sim 3.54 \times 10^{-5}$ cm/s，为 10^{-6} cm/s $\sim 10^{-5}$ cm/s 量级，整体具微～弱透水性，平均值为 1.61×10^{-5} cm/s，具弱透水性；对④-1 层花岗岩强风化带进行注水试验 74 组，试验渗透系数为 $3.73 \times 10^{-6} \sim 5.00 \times 10^{-3}$ cm/s，为 10^{-5} cm/s $\sim 10^{-4}$ cm/s 量级，整体具弱～中等透水性，平均值为 1.60×10^{-4} cm/s，具中等透水性，上阶段对该层进行的抽水试验也显示其渗透系数为 $1.2 \sim 6.0 \times 10^{-3}$ cm/s，具中等透水性（计算成果详见附件抽水试验报告）；对④-1 层花岗岩强风化带与④-2 层花岗岩弱风化带界线处进行注水试验 13 组，试验渗透系数为 $4.86 \times 10^{-6} \sim 2.88 \times 10^{-4}$ cm/s，为 10^{-5} cm/s $\sim 10^{-4}$ cm/s 量级，整体具弱～中等透水性，平均值为 5.82×10^{-5} cm/s，具弱透水性；对⑤-1 层变质岩强风化带进行注水试验 128 组，试验渗透系数为 $9.97 \times 10^{-7} \sim 6.68 \times 10^{-4}$ cm/s，为 10^{-5} cm/s $\sim 10^{-4}$ cm/s 量级，整体具弱～中等透水性，平均值为 1.04×10^{-4} cm/s，具中等透水性，上阶段对该层进行的抽水试验也显示其渗透系数为 $1.2 \sim 6.0 \times 10^{-3}$ cm/s，具中等透水性（计算成果详见附件抽水试验报告）；对⑤-1 层变质岩强风化带与⑤-2 层变质岩弱风化带界线处进行注水试验 25 组，试验渗透系数为 $4.54 \times 10^{-6} \sim 3.13 \times 10^{-4}$ cm/s，为 10^{-5} cm/s $\sim 10^{-4}$ cm/s 量级，整体具弱～中等透水性，平均值为 7.14×10^{-5} cm/s，具弱透水性。

本阶段及上阶段对弱～微风化岩体作了压水试验，压水试验成果见表 3.5.2-3。压水试验显示：对③层沉积岩弱风化带进行压水试验 4 组，试验透水率为 0.95～15.13Lu，平均值为 9.11Lu，弱风化沉积岩整体具弱透水，局



部中等透水；对④-3层花岗岩弱风化带进行压水试验 48 组，试验透水率为 0.01 ~ 14.03Lu，平均值为 6.95Lu，弱风化花岗岩整体具弱透水，局部中等透水；对④-4 层花岗岩微风化带进行压水试验 2 组，试验透水率为 0.01 ~ 2.00Lu，平均值为 0.77Lu，微风化花岗岩具弱透水；对⑤-3 层变质岩弱风化带进行压水试验 102 组，试验透水率为 0.01 ~ 41.82Lu，平均值为 4.63Lu，弱风化花岗岩整体具弱透水，局部中等透水；对⑤-4 层变质岩微风化带进行压水试验 52 组，试验透水率为 0.01 ~ 12.33Lu，平均值为 3.33Lu，微风化花岗岩整体具弱透水。

综上所述，强风化基岩整体中等透水，弱风化基岩弱 ~ 微透水，局部中等透水。

（4）断裂带渗透性

输水线路沿线共有 3 条三级断裂及 3 条四级断裂穿越工程，其中 2 条三级断裂及 3 条四级断裂穿越第一标段线路，1 条三级断裂穿越第二标段（详见 3.3 节），断裂作为导水构造，穿越段隧洞施工时存在涌水突泥风险，因断层带岩体破碎压水试验不起压，利用钻孔对断层带进行注水试验 17 组，试验渗透系数为 $9.45 \times 10^{-6} \sim 1.02 \times 10^{-4}$ ，为 $10^{-5} \text{cm/s} \sim 10^{-4} \text{cm/s}$ 量级，整体具弱 ~ 中等透水性；考虑钻孔孔深较大，洗孔效果难以达到最佳效果，试验渗透参数相对于真实值可能偏小，为进一步查明断裂带渗透性特征，针对性布置了抽水试验。在 3 条规模较大的三级断裂中，根据物探高密度电法成果、钻探岩芯资料， F_{2-1} 断裂物探低阻特征最明显、断层带宽度最大，因此抽水试验布置于该断层轴线，采用完整井形式，选择断层带为试验段，其试验成果见表 3.5.2-4。

表 3.5.2-4 F_{2-1} 断裂带抽水试验计算成果表（抽水试验 RCK01）

序	计算条	降深	计算类	计算公式	K (m/d)	K (cm/s)
---	-----	----	-----	------	---------	----------



号	件	(m)	型			
1	无观察孔	第 1	单井承压完整井	$K=\frac{0.366Q}{MS}\lg \frac{R}{r}$	0.49	5.47×10^{-4}
2		第 2			0.36	4.16×10^{-4}
3		第 3			0.27	3.12×10^{-4}
		平均			0.37	4.28×10^{-4}
4		第 1	单井潜水完整井	$K=\frac{0.732Q}{(2H-S)S}\lg \frac{R}{r}$	0.88	1.02×10^{-3}
5		第 2			0.50	5.79×10^{-4}
6		第 3			0.34	3.90×10^{-4}
		平均			0.57	6.63×10^{-4}
7		单井河边潜水完整井	第 1	$K=\frac{0.732Q}{(2H-S)S}\lg \frac{2b}{r}$	1.02	1.18×10^{-3}
8	第 2		0.58		6.71×10^{-4}	
9	第 3		0.41		4.74×10^{-4}	
	平均			0.67	7.75×10^{-4}	
10	计算带 1 个观察孔	第 1	承压完整井 (1 观测孔)	$k=\frac{0.366Q}{M(S-S_1)}\lg \frac{r_1}{r}$	0.41	4.74×10^{-4}
11		第 2			0.32	3.70×10^{-4}
12		第 3			0.25	2.89×10^{-4}
		平均			0.33	3.78×10^{-4}
13		第 1	潜水完整井 (1 观测孔)	$k=\frac{0.732Q}{(2H-S-S_1)(S-S_1)}\lg \frac{r_1}{r}$	0.96	1.11×10^{-3}
14		第 2			0.51	5.90×10^{-4}
15		第 3			0.33	3.81×10^{-4}
		平均			0.60	6.94×10^{-4}
16		河边潜水完整井 (1 观测孔)	第 1	$K=\frac{0.732Q}{(2H-S_1)S_1}\lg \frac{2b-r_1}{r_1}$	1.09	1.26×10^{-3}
17	第 2		0.73		8.44×10^{-4}	
18	第 3		0.58		6.71×10^{-4}	
	平均			0.80	9.26×10^{-4}	
19	计算带 2 个观察孔	第 1	承压完整井 (2 观测孔)	$K=\frac{0.366Q}{M(S_1-S_2)}\lg \frac{r_2}{r_1}$	0.63	7.29×10^{-4}
20		第 2			0.44	5.09×10^{-4}
21		第 3			0.35	4.05×10^{-4}
		平均			0.47	5.48×10^{-4}
22		第 1	潜水完整井 (2 观测孔)	$K=\frac{0.732Q}{(2H-S_1-S_2)(S_1-S_2)}\lg \frac{r_2}{r_1}$	0.73	8.44×10^{-4}
23		第 2			0.49	5.67×10^{-4}
24		第 3			0.37	4.28×10^{-4}
		平均			0.53	6.13×10^{-4}
25		河边潜水完整井 (2 观测孔)	第 1	$K=\frac{0.732Q}{(2H-S_1-S_2)(S_1-S_2)}\times \lg \frac{r_2(2b-r_1)}{r_1(2b-r_2)}$	0.81	9.37×10^{-4}
26	第 2		0.54		6.25×10^{-4}	
27	第 3		0.41		4.74×10^{-4}	
	平均			0.59	6.83×10^{-4}	

抽水试验显示： F_{2-1} 断裂断层带各类计算工况及计算公式中渗透系数为 $3.78 \times 10^{-4} \sim 9.26 \times 10^{-4} \text{cm/s}$ ，平均值为 $6.34 \times 10^{-4} \text{cm/s}$ ，影响半径为 $33.8 \sim 40.8 \text{m}$ ， F_{2-1} 断裂带整体具中等透水性，考虑 F_{2-1} 断裂物探低阻特征最明显、



断层带宽度最大，其余断裂带渗透系数应类似或小于该断裂带，按最不利情况考虑，可认为线路区断裂带具中等透水性。

（5）地下水

线路区实施钻孔均遇见地下水，勘察时实测钻孔稳定水位埋深为 0.0 ~ 19.7m，高程为 22.81 ~ 23.54m。根据线路区民井及地下水位观测孔成果分析（表 3.5.2-5），地下水位变化在 0.10 ~ 1.94m，表明孔隙水与地表水之间存在补排关系，建议设计与施工时加强排水及防渗措施。根据 1:20 万水文地质资料，线路区附近井泉水文资料，地下水位埋深在 2.23 ~ 4.58m 之间，降深 0.01 ~ 1.0m，涌水量小于 0.65 吨/日，表明孔隙水与基岩裂隙水存在一定水力联系。

表 3.5.2-5 绕松木山水库段水文观测孔统计表

水文观测孔孔号	管顶高程	最高水位	最低水位	最高水位高程	最低水位高程	最大高差
RCK1-1	24.40	1.195	2.613	23.15	21.667	1.418
RCK1-2	24.31	1.487	2.91	22.703	21.28	1.423
RCK2-1	24.89	1.325	2.86	23.445	21.91	1.535
RCK2-2	25.58	3.415	4.38	22.045	21.08	0.965
RCK3-1	24.96	1.893	2.69	22.947	22.14	0.797
RCK3-2	24.95	2	2.66	22.83	22.17	0.66
RCK4-1	22.57	0.667	1.255	21.783	21.195	0.588
RCK4-2	23.01	1.41	1.51	21.48	21.38	0.1
RCK5-1	23.69	1.805	3.740	21.765	19.83	1.935
RCK5-2	23.55	1.63	1.86	21.8	21.57	0.23
RCK6-1	22.81	0.958	2.185	21.732	20.505	1.227
RCK6-2	22.71	0.875	1.6	21.715	20.99	0.725
RDK28	27.49	4.56	4.92	22.81	22.455	0.36
RDK37	26.29	2.17	2.735	24	23.435	0.565

3.5.3 水的腐蚀性

江库联网原水绕松木山水库段输水线路本阶段及上阶段取地表水 2 组，地下水 9 组，根据水质分析成果如表 3.5.3-1，按照《水利水电工程地质勘察规范》（GB50487-2008）附录 L 环境水腐蚀性评价：地表水对混凝土无腐蚀性，对钢筋混凝土结构中钢筋具有弱腐蚀性，对钢结构具弱腐蚀性；地



下水对混凝土大部弱腐蚀性，局部中等～强腐蚀性，对钢筋混凝土结构中钢筋具有弱腐蚀性，对钢结构具弱腐蚀性；按照《岩土工程勘察规范》（GB50021-2001，2009年版）附录G场地环境类型及第12章有关规定判定，本工程场地环境类型属Ⅱ类，对应场地地表水对混凝土结构具有微腐蚀性，对钢筋混凝土结构中钢筋具有微腐蚀性；地下水对混凝土结构具有微至中腐蚀性，对钢筋混凝土结构中钢筋具有微腐蚀性。

表 3.5.3-1 绕松木山水库段原水管道输水线路水质简分析成果

样品名 及编号	pH 值	游离	侵蚀	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	矿化度
		CO ₂	CO ₂						
		mg/L		mg/L					
SY1(井水)	6.52	17.60	10.50	71.37	0.52	7.09	20.36	264.49	418.40
SY2(RDK49 钻孔地下水)	5.21*	39.60	35.48	0.85	0.52	10.64	5.29	24.60	48.19
SY3（RDK56 钻孔地下水）	6.49	22.00	13.31	19.54	3.09	10.64	9.37	166.07	240.02
SY4（RDK28 钻孔地下水）	6.24	26.40	24.39	28.89	7.22	8.86	10.79	166.07	255.10
SY5（RDK37 钻孔地下水）	6.63	17.60	4.44	33.99	7.73	5.32	8.15	190.68	282.75
SY6（抽水试验地下水）	4.86*	44	42.13	7.56	3.92	8.86	16.22	18.45	63.26
SY7（松木山水库水）	7.22	4.40	2.22	18.69	3.09	14.18	13.85	73.81	142.16
SRKD46(SRKD46 钻孔地下水)	4.51	66	44.35	2.55	2.06	5.32	7.13	18.45	40.84
SRKD20(SRKD20 钻孔地下水)	5.85	17.60	8.87	17.84	4.64	12.41	10.18	67.66	129.64
SRKD46(SRKD46 钻孔地下水)	5.96	52.80	44.35	22.09	2.58	10.64	7.13	92.26	154.91
SRKD67(SRKD67 钻孔地下水)	5.59	92.40	51.00	11.05	5.15	10.64	7.94	98.41	153.17

3.5.4 地下水抗浮

地下水抗浮设计值建议按照广东省标准《建筑地基基础设计规范》有关原则选用。因线路区地下水位高，受季节性降水影响，雨季降水集中会使地下水位上升，影响建筑物抗浮稳定；根据该场地多年最高水位经验值、勘察期间实测最高稳定水位、场地地形地貌、地下水补给排泄条件，结合拟建工程结构特征，建议工作井等建筑物的抗浮设计水位应按场地最高水



位与水位最大变幅的和取值。

3.6 岩土物理力学试验统计及参数建议值

3.6.1 统计原则和方法

3.6.1.1 统计原则

1、统计数据是根据本阶段及上阶段勘察试验成果结合部分周边工程数据综合确定。

2、岩土参数按照场地的工程地质单元和层位分别统计。参与统计数量不少于 6 组，并检验划分的合理性。当岩土参数差异较大时，进一步划分岩土层单元并分别进行统计，若土层不均匀，土层参数离散性较大时，则分析原因，并检验统计指标中舍弃数据的合理性。

3、一般情况下，提供岩土参数的最大值、最小值、平均值、标准差、变异系数和样本数量。

4、下列统计表中，当统计组数小于 6 组，按广东省地方标准及规程规范，并根据当地经验适当折减后提出标准值。

3.6.1.2 统计方法

根据《岩土工程勘察规范》(GB 50021-2001)(2009 年版)中第 14.2.2 条的规定，对本工程勘察场地内各岩土层指标分段分类进行统计。在进行统计时，对土层的颗粒分析指标的变异系数、标准值等数值无实际意义，可不进行统计计算。各岩土层指标数据采用三倍标准差法予以剔除，个别数据由于岩土层的不均匀性或为夹层而造成数据离散性明显较大的，也予以剔除。各种参数的平均值 $\bar{\varphi}_m$ 、标准差 σ_f 、变异系数 δ 及标准值 φ_k 的计算公式如下：

(1) 岩土参数的平均值：



$$\varphi_m = \frac{\sum_{i=1}^n \varphi_i}{n}$$

(2) 岩土参数的标准差:

$$\sigma_f = \sqrt{\frac{1}{n-1} \left[\sum_{i=1}^n \varphi_i^2 - \frac{(\sum_{i=1}^n \varphi_i)^2}{n} \right]}$$

(3) 岩土参数的变异系数:

$$\delta = \frac{\sigma_f}{\varphi_m}$$

(4) 岩土参数的标准值:

$$\varphi_k = \gamma_s \varphi_m$$

(5) 计算统计修正系数:

$$\gamma_s = 1 \pm \left\{ \frac{1.704}{\sqrt{n}} + \frac{4.678}{n^2} \right\} \delta$$

式中 φ_m —岩土参数的平均值;

σ_f —岩土参数的标准差;

δ —岩土参数的变异系数;

γ_s —统计修正系数

注：式中正负号按不利组合考虑，如抗剪强度指标的修正系数应取负值。

统计修正系数 γ_s 也可按岩土工程的类型和重要性、参数的变形性和统计数据的个数，根据经验选用。



3.6.2 岩土物理力学指标统计

3.6.2.1 土体物理力学指标统计值

本阶段及上阶段勘察采用了钻探取芯、室内岩土试验、标准贯入试验、动力触探试验及钻孔声波测试等多种勘察方法，以综合获取输水线路各土层的物理力学性质指标。填土、湖积淤泥质土、残积土与全风化带土的颗粒分析指标统计值如表 3.6.2-1，各层土体的物理力学指标的统计成果如表 3.6.2-2、表 3.6.2-3。



表 3.6.2-1

江库联网原水绕松木山水库段原水管道工程土体颗粒分析指标统计表

地层 编号	岩土 名称	颗粒 含量	颗粒组成/粒径(mm) %										不均 匀系 数	曲率 系数	根据 GB50021-2001 及 DBJ15-31-2016
			卵石/碎石		圆砾/角砾		砂粒			粉粒	粘粒	胶粒			
							粗	中	细						
			200 ~ 60	60 ~ 20	20 ~ 5	5.0 ~ 2.0	2.0 ~ 0.50	0.50 ~ 0.25	0.25 ~ 0.075	0.075 ~ 0.005	<0.005	<0.002	C _u	C _c	
①	填土	统计数	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6			粉砂、中砂、粉 质粘土
		最大值	0.00	8.60	8.60	6.00	36.50	30.70	23.00	25.00	41.20	34.10			
		最小值	0.00	4.10	0.40	1.70	9.20	8.00	11.90	8.10	21.30	16.00			
		平均值	0	6.35	4.68	4.15	16.15	13.83	16.05	19.28	29.42	23.14			
②-1	湖积淤 泥质土	统计数	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8			湖积层粘土、粉 质粘土（粘性土）
		最大值	0.00	0.00	1.50	8.30	20.30	17.90	36.50	47.10	65.50	54.40			
		最小值	0.00	0.00	1.50	0.60	5.40	11.60	5.20	19.20	14.00	8.50			
		平均值	0	0	1.50	3.83	13.20	14.27	18.53	33.48	40.70	28.83			
②-2	残坡积 土	统计数	91	91	91	91	91	91	91	91	91	91	91	91	粉质粘土、粉细 砂（砂质粘性土）
		最大值	0.00	0.00	10.60	22.30	40.80	31.30	36.90	75.90	63.50	48.70	294.70	5.40	
		最小值	0.00	0.00	0.20	0.10	0.70	1.50	1.20	9.80	7.30	3.90	4.40	0.20	
		平均值	-	-	2.42	3.58	18.43	12.85	15.59	28.11	23.61	15.40	121.20	1.62	
④	花岗岩 全风化 带	统计数	106	106	106	106	106	106	106	106	106	106	106	106	粉砂、中砂、砾 砂、角砾（砂质 粘性土为主）， 局部为粘性土
		最大值	7.90	30.50	29.50	27.00	38.90	20.00	26.10	67.70	38.40	34.20	378.10	3.70	
		最小值	7.90	6.60	0.10	0.40	0.40	0.80	4.60	3.30	5.60	3.70	10.00	0.10	
		平均值	7.90	17.10	3.75	6.26	20.26	10.89	12.84	29.90	21.44	13.80	161.15	1.07	
⑤	变质岩全 风化带	统计数	207	207	207	207	207	207	207	207	207	207	207	207	粉砂、中砂、砾 砂、角砾（砂质 粘性土为主）， 局部为粘性土
		最大值	0.00	7.60	23.30	21.50	35.30	31.40	39.00	57.00	51.50	42.60	684.60	6.30	
		最小值	0.00	6.50	0.10	0.20	1.20	0.70	6.50	14.10	7.10	3.70	40.00	0.30	
		平均值	-	7.05	2.91	5.34	19.92	13.23	14.98	26.58	20.21	12.53	153.96	1.36	

注明：全风化花岗岩类细颗粒（粉粒与粘粒）平均含量约占 45.78%，全风化片麻岩类细颗粒（粉粒与粘粒）平均含量约占 41.20%，两者不均匀系数平均值均大于 5，曲率系数大部在 1~3 之间，为良好级配。



表 3.6.2-2 绕松木山水库段原水管道土体的主要物理力学性质统计表

地层 编号	岩土 名称	统计 项目	天然 含水量 ω (%)	土 粒 比 重 G_s	湿密 度 ρ (g/m^3)	干密 度 ρ_d (g/m^3)	液限 ω_L (%)	塑限 ω_p (%)	塑性 指数 I_p	液性 指数 I_L	压缩指标	
											压缩 系数 $a_{0.1-0.2}$ (MPa^{-1})	压缩 模量 $E_{0.1-0.2}$ (MPa)
①	填土	组数	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
		最大值	31.10	2.73	2.01	1.71	50.20	25.40	24.80	0.84	0.63	19.51
		最小值	17.10	2.67	1.78	1.42	19.20	10.00	9.20	-0.12	0.08	3.04
		平均值	23.39	2.70	1.91	1.55	36.41	19.71	16.70	0.27	0.40	6.22
②-1	湖积 淤泥 质土	组数	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
		最大值	58.40	2.71	2.02	1.65	56.70	29.50	27.20	1.31	1.18	8.20
		最小值	21.20	2.63	1.61	1.02	22.60	13.70	8.90	0.68	0.20	2.24
		平均值	38.23	2.69	1.82	1.33	37.53	21.73	15.81	1.04	0.64	3.71
②-2	残坡 积砂 质粘 性土	组数	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98
		最大值	62.80	2.74	2.13	1.95	57.60	30.00	30.40	1.83	1.27	10.69
		最小值	6.30	2.67	1.57	1.00	23.90	14.20	9.70	-0.97	0.15	1.99
		大值平均 值	31.84	2.72	1.96	1.61	44.00	24.18	20.27	0.51	0.53	6.48
		小值平均 值	20.95	2.69	1.82	1.40	34.21	19.91	14.16	0.02	0.31	4.12
		平均值	25.84	2.70	1.90	1.52	38.55	21.94	16.62	0.23	0.40	4.96
		标准值	24.50	2.70	1.88	1.49	37.44	21.44	15.94	0.17	0.38	4.69
④-1	花岗 岩全 风化 带	组数	105	105	105	105	105	105	105	105	105	105
		最大值	38.90	2.73	2.33	2.20	58.10	30.40	27.70	1.03	0.90	27.48
		最小值	6.00	2.66	1.58	1.28	21.00	12.30	8.30	-1.36	0.04	3.42
		大值平均 值	27.61	2.71	2.01	1.71	40.80	23.06	17.84	0.39	0.44	7.26
		小值平均 值	17.85	2.68	1.86	1.48	30.27	17.75	12.25	-0.13	0.28	4.46
		平均值	22.49	2.69	1.93	1.59	35.18	20.43	14.75	0.13	0.36	5.30
		标准值	21.46	2.69	1.91	1.56	34.03	19.86	14.12	0.07	0.34	4.88
⑤-1	变质 岩全 风化 带	组数	207	207	207	207	207	207	207	207	207	207
		最大值	37.80	2.74	2.11	1.89	63.60	28.60	35.60	0.72	0.80	9.42
		最小值	9.40	2.66	1.73	1.28	22.50	14.00	8.10	-0.68	0.16	2.87
		大值平均 值	28.34	2.71	1.98	1.66	42.30	23.61	18.81	0.31	0.48	5.98
		小值平均 值	19.25	2.68	1.86	1.46	31.57	18.51	12.91	-0.07	0.31	4.05
		平均值	23.42	2.70	1.92	1.56	37.11	21.27	15.85	0.13	0.39	4.79
		标准值	22.75	2.70	1.91	1.54	36.33	20.91	15.40	0.10	0.38	4.65

注明：液限指数 I_L 小于 0.0 全风化带土呈坚硬状，含水率低。



表 3.6.2-3 绕松木山水库段原水管道土体的强度及渗透系数统计表

地层编号	岩土名称	统计项目	静止侧压力系数	天然快剪		饱和固结快剪		慢剪		渗透系数
			K0	凝聚力	内摩擦角	凝聚力	内摩擦角	凝聚力	内摩擦角	kv
				c_q	φ_q	c_{cq}	φ_{cq}	c_s	Φ_s	
				kPa	°	kPa	°	kPa	°	
②-1	淤泥质土	组数	6	6	6	8	8	1	1	9
		最大值	0.38	17.55	25.70	23.10	30.70	18.3	16.6	6.35×10^{-5}
		最小值	0.34	6.04	0.60	5.90	12.40	18.3	16.6	2.25×10^{-7}
		平均值	0.36	10.07	9.07	15.55	18.64	18.3	16.6	1.06×10^{-5}
②-2	砂质粘性土	组数	37	44	44	46	46	6	6	95
		最大值	0.54	47.71	30.80	47.27	32.90	22.21	28.90	1.57×10^{-3}
		最小值	0.28	3.22	0.00	8.50	17.00	18.09	23.30	1.50×10^{-7}
		大值平均值	0.43	34.07	26.38	33.61	27.97	20.90	28.75	6.63×10^{-4}
		小值平均值	0.32	18.21	17.17	19.54	21.91	18.36	25.25	3.16×10^{-5}
		平均值	0.36	25.06	23.24	25.04	25.20	19.63	26.42	1.98×10^{-4}
		标准值	0.34	22.64	21.69	22.92	24.23	18.41	24.83	1.39×10^{-4}
④-1	花岗岩全风化带	组数	32	48	48	49	49	6	6	97
		最大值	0.49	356.61	35.10	39.27	31.20	30.90	28.80	1.95×10^{-3}
		最小值	0.30	5.39	3.50	13.01	22.90	21.68	24.90	5.08×10^{-7}
		大值平均值	0.41	73.11	27.11	29.96	29.08	30.90	28.45	5.99×10^{-4}
		小值平均值	0.33	21.52	20.55	19.25	25.47	22.61	25.50	4.68×10^{-5}
		平均值	0.36	33.34	24.78	23.41	27.09	24.68	26.98	2.06×10^{-4}
		标准值	0.34	21.31	23.56	21.86	26.56	20.44	25.20	1.53×10^{-4}
⑤-1	变质岩全风化带	组数	90	97	97	102	102	6	6	204
		最大值	0.52	84.14	31.00	36.04	33.00	33.20	28.80	9.79×10^{-4}
		最小值	0.29	15.08	16.50	12.84	19.80	21.22	26.00	4.40×10^{-7}
		大值平均值	0.40	38.55	27.63	26.90	29.22	30.75	28.63	5.60×10^{-4}
		小值平均值	0.32	21.40	23.68	18.42	24.96	22.48	26.83	4.17×10^{-5}
		平均值	0.36	28.12	25.68	21.41	26.92	25.23	27.73	2.07×10^{-4}
		标准值	0.35	26.14	25.22	20.55	26.48	21.77	26.90	1.75×10^{-4}

本阶段及利用前期钻孔对覆盖层及全风化带进行标准贯入及动力触探试验，针对覆盖层粘土共进行 141 段标准贯入试验，对覆盖层砂性土及全风化带，共进行 1394 段动力触探试验，主要土层标贯试验成果及动力触探试验成果统计见表 3.6.2-4、表 3.6.2-5。



表 3.6.2-4 覆盖层土的标准贯入试验成果统计表

土层代号 统计项目	②-1 湖积淤泥质土		②-2 残坡积土		④-1 花岗岩全风化带		⑤-1 变质岩全风化带		断层破碎带 断层泥	
	原始 击数	修正 击数	原始 击数	修正 击数	原始 击数	修正 击数	原始 击数	修正 击数	原始 击数	修正 击数
统计组数	6	6	35	35	53	53	38	38	3	3
最大值	7	6.29	40	37.26	70	65.4	69	63.23	27	20.57
最小值	2	1.78	5	4.68	41	30.12	34	21.60	20	16.6
平均值	4.4	3.80	20.2	16.35	49.2	43.68	44.0	34.71	23.3	18.55
变异系数			0.83	0.74	0.72	0.64	0.46	0.46		
标准值			16.1	14.1	45.3	43.23	37.3	28.4		

表 3.6.2-5 覆盖层土的重型动力触探试验成果统计表（一）

土层代号 统计项目	断层破碎带		①人工填土		②-1 湖积含砂淤泥		②-2 残坡积土		③强风化沉 积岩	
	原始 击数	修正 击数	原始 击数	修正 击数	原始 击数	修正 击数	原始 击数	修正 击数	原始 击数	修正 击数
统计组数	7	7	4	4	12	12	263	263	11	11
最大值	37	20.8	10	8.4	16	11.9	38	32	50	26.9
最小值	19	12.9	6	5.3	1	0.9	3	2.7	4	3.8
平均值	29.1	17.3	7.5	6.5	2.8	2.3	11.3	7.9	29.4	18.5
变异系数	0.27	0.17			1.53	1.33	0.72	0.54	0.41	0.38
标准值	23.4	15.1			0.5	0.7	10.4	7.6	22.3	14.4

表 3.6.2-6 覆盖层土的重型动力触探试验成果统计表（二）

土层代号 统计项目	④-1 花岗岩全风化带		④-2 花岗岩强风化带 上部		⑤-1 变质岩全风化带		⑤-2 变质岩强风化 带上部	
	原始 击数	修正 击数	原始 击数	修正 击数	原始 击数	修正 击数	原始 击数	修正 击数
统计组数	238	238	32	32	681	681	37	37
最大值	77	39.7	62	41.5	68	36.7	79	49.8
最小值	16	8.8	13	8.1	12	8.4	10	6.7
平均值	23.2	14.1	30.8	16.9	18.2	9.8	34.2	16.8
变异系数	0.73	0.58	0.40	0.45	0.65	0.48	0.47	0.48
标准值	19.7	11.4	26.1	14.2	14.8	9.2	27.6	14

人工填土层（①层）：动探击数 6~10 击，平均值 7.5 击，整体呈稍密状，局部中密；修正击数平均值为 6.5 击，根据《建筑地基基础设计规范》（DBJ15-21-2106），其承载力特征值的经验值为 160kPa。



湖积淤泥质土（㊟ -1 层）：标贯击数 2~7 击，平均值 4.4 击，含砂段动探击数 1~16 击，平均值 2.3 击，整体软可塑状，局部软塑；修正击数平均值为 3.8 击，根据《建筑地基基础设计规范》（DBJ15-21-2106），其承载力特征值的经验值为 80kPa。

残坡积砂质粘性土（㊟ -2 层）：标贯击数 5~40 击，平均值 20.2 击，动探击数 3~38 击，平均值 11.3 击，粘粒含量较高段呈硬塑状~硬可塑状，局部软可塑，砂砾石含量较高段，整体呈密实状，局部中密；标贯修正击数平均值为 16.35 击，根据《建筑地基基础设计规范》（DBJ15-21-2106），其承载力特征值的经验值 180kPa；动探修正击数平均值为 8.2 击，其承载力特征值的经验值为 200kPa。

全、强风化沉积岩（㊟ 层）：动探击数 4~50 击，平均值 29.4 击，整体呈密实状。花岗岩全风化带砂土（㊟ -1 层）：标贯击数 41~70 击，平均值 49.2 击，动探击数 16~77 击，平均值 23.2 击，整体呈密实状；动探修正击数平均值为 12.1 击，据《建筑地基基础设计规范》（DBJ15-21-2106），其承载力特征值的经验值为 300kPa。

花岗岩强风化带（㊟ -2 层）：动探击数 13~62 击，平均值 30.8 击。

变质岩全风化带砂土（㊟ -1 层）：标贯击数 34~69 击，平均值 44.1 击，动探击数 12~68 击，平均值 18.2 击，整体呈密实状。动探修正击数平均值为 9.5 击，据《建筑地基基础设计规范》（DBJ15-21-2106），其承载力特征值的经验值为 280kPa。

变质岩强风化带（㊟ -2 层）：动探击数 10~79 击，平均值 34.2 击。

3.6.2.2 岩体物理力学指标统计值

各类岩体的物理力学指标的统计成果如表 3.6.2-7。

表 3.6.2-7

江库联网原水绕松木山水库段原水管道岩石的物理力学指标统计值

岩石名称	统计项目	饱和吸水率 w_{sa} %	颗粒密度 ρ_s g/cm ³	烘干岩块密度 ρ_d g/cm ³	饱和岩块密度 ρ_{sa} g/cm ³	单轴抗压强度		弹性模量	弹模泊松比	变形模量	饱和抗剪断强度		饱和摩擦强度	
						烘干	饱和	饱和	饱和	饱和	凝聚力 C_w	摩擦系数 $\tan\phi$	凝聚力 C_w'	摩擦系数 $\tan\phi'$
						R_d (MPa)	R_w (MPa)	E_{ew} (GPa)	μ_{ew}	E_{50ew} (GPa)				
强风化花岗岩	组数	6	6	6	6	/	6	6	6	6				
	最大值	13.47	2.79	2.56	2.63	/	19.90	2.16	0.34	1.89				
	最小值	2.70	2.72	1.99	2.25	/	0.28	0.03	0.22	0.03				
	平均值	8.25	2.75	2.27	2.44	/	9.16	1.26	0.28	0.98				
弱风化花岗岩	组数	44	44	44	44	14	16	21	21	21	4	4	4	4
	最大值	3.62	2.77	2.71	2.71	76.53	66.10	34.40	0.36	24.34	12.46	0.93	6.05	0.51
	最小值	0.29	2.67	2.50	2.57	21.64	30.00	0.19	0.21	0.13	8.47	0.48	2.48	0.32
	大值平均值	2.40	2.76	2.65	2.68	71.23	48.85	17.99	0.30	11.58	11.41	0.93	5.61	0.48
	平均值	1.55	2.73	2.62	2.66	54.41	38.05	9.22	0.26	5.56	10.16	0.65	4.27	0.44
微风化花岗岩	组数	7	7	7	7	6	6	6	6	6	1	1	1	1
	最大值	2.11	2.76	2.69	2.71	98.28	82.04	29.77	0.24	21.77	6.95	0.60	0.82	0.53
	最小值	0.42	2.67	2.60	2.63	58.74	66.10	25.33	0.17	16.43	6.95	0.60	0.82	0.53
	平均值	1.23	2.73	2.64	2.67	75.04	71.07	27.55	0.21	19.10	6.95	0.60	0.82	0.53
强风化变质岩（黑	组数	8	8	8	8	3	6	6	6	6				
	最大值	5.90	2.81	2.63	2.67	29.38	8.71	3.42	0.30	3.08				
	最小值	1.55	2.70	2.38	2.51	2.32	2.19	0.83	0.26	0.52				

岩石名称	统计项目	饱和吸水率 w_{sa} %	颗粒密度 ρ_s g/cm ³	烘干岩块密度 ρ_d g/cm ³	饱和岩块密度 ρ_{sa} g/cm ³	单轴抗压强度		弹性模量	弹模泊松比	变形模量	饱和抗剪断强度		饱和摩擦强度	
						烘干	饱和	饱和	饱和	饱和	凝聚力 C_w	摩擦系数 $\tan\phi$	凝聚力 C_w'	摩擦系数 $\tan\phi'$
						R_d (MPa)	R_w (MPa)	E_{ew} (GPa)	μ_{ew}	E_{50ew} (GPa)				
云斜长片麻岩	平均值	3.40	2.75	2.51	2.60	13.95	6.27	2.13	0.28	1.80				
弱风化变质岩（黑云斜长片麻岩）	组数	82	82	75	75	45	48	56	56	56	9	9	9	9
	最大值	2.99	2.81	2.75	2.75	105.38	97.09	37.55	0.32	20.16	19.52	1.01	7.91	0.63
	最小值	0.14	2.66	2.52	2.59	35.82	25.74	1.73	0.18	1.03	9.76	0.34	1.79	0.31
	大值平均值	1.66	2.74	2.68	2.69	79.97	70.96	25.05	0.27	13.96	17.98	0.85	6.77	0.57
	平均值	0.90	2.72	2.65	2.68	63.97	52.24	17.24	0.25	9.66	15.25	0.68	5.07	0.48
微风化变质岩（黑云斜长片麻岩）	组数	11	11	11	11	10	7	6	6	6				
	最大值	1.85	2.75	2.70	2.72	102.87	106.61	30.18	0.35	18.79				
	最小值	0.17	2.67	2.59	2.63	62.90	46.30	4.13	0.24	3.23				
	平均值	0.66	2.71	2.66	2.68	79.90	61.41	16.60	0.27	10.05				

说明：岩石室内试验数据剔除异常后总体偏少，主要原因为强至微风化岩体微裂隙较发育，制样过程中，易沿微裂隙产生破坏。花岗岩晶粒较大，抗压试验时容易沿晶面裂开，导致抗压强度较小。



3.6.3 环境水和土的腐蚀性评价

3.6.3.1 环境水的腐蚀性评价

本阶段及上阶段共取地下水 9 组、地表水 2 组进行水质简分析，分析结果详见本报告 3.5.3 节，根据《水利水电工程地质勘察规范》（GB50487-2008）附录 L 环境水腐蚀性评价：地表水对混凝土无腐蚀性，对钢筋混凝土结构中钢筋具有弱腐蚀性，对钢结构具弱腐蚀性；地下水对混凝土大部弱腐蚀性，局部中等～强腐蚀性，对钢筋混凝土结构中钢筋具有弱腐蚀性，对钢结构具弱腐蚀性。环境水的腐蚀性评价结果如表 3.6.3-1。

表 3.6.3-1 江库联网原水绕松木山水库段原水管道环境水的腐蚀性评价

项目	规程指标	对混凝土结构的腐蚀性									判断标准	腐蚀程度
		SY1(井水)	SY7(水库水)	SY2(RDK49 钻孔地下水)	SY3(RDK56 钻孔地下水)	SY4(RDK28 钻孔地下水)	SY5(RDK37 钻孔地下水)	SY6(抽水试验地下水)	SRKD46 钻孔地下水	SRKD67 钻孔地下水		
		桩号 K1+290	桩号 K2+680	桩号 K2+097	桩号 K2+798	桩号 K0+903	桩号 K1+345	桩号 K1+705	桩号 K4+705	桩号 K5+965		
环境水对混凝土腐蚀性判别标准	一般酸性型 (PH 值)	6.52 (无腐蚀)	7.22 (无腐蚀)	5.21 (强腐蚀)	6.49 (弱腐蚀)	6.24 (弱腐蚀)	6.63 (无腐蚀)	4.86 (强腐蚀)	5.96 (中等腐蚀)	5.59 (中等腐蚀)	无腐蚀 PH≥6.5 强腐蚀 PH≤5.5	地表水无腐蚀，地下水弱腐蚀-中等腐蚀
	碳酸型 (侵蚀性 CO ₂) 含量	10.5 (无腐蚀)	2.22 (无腐蚀)	35.5 (中等腐蚀)	13.3 (无腐蚀)	24.4 (弱腐蚀)	4.44 (无腐蚀)	42.1 (中等腐蚀)	44.35 (中等腐蚀)	51.00 (中等腐蚀)	中等腐蚀 30≤C O ₂ <60	地表水无腐蚀，地下水弱-中等腐蚀
环境水对钢筋混凝土结构中钢筋腐蚀性	Cl ⁻ 含量 (mg/L)	7.09	14.18	10.6	10.6	8.9	5.3	8.9	10.64	10.64	Cl ⁻ 含量<500	弱腐蚀



项目	规程指标	对混凝土结构的腐蚀性									判断标准	腐蚀程度
		SY1(井水)	SY7(水库水)	SY2(RDK49 钻孔地下水)	SY3(RDK56 钻孔地下水)	SY4(RDK28 钻孔地下水)	SY5(RDK37 钻孔地下水)	SY6(抽水试验地下水)	SRKD46 钻孔地下水	SRKD67 钻孔地下水		
		桩号 K1+290	桩号 K2+680	桩号 K2+097	桩号 K2+798	桩号 K0+903	桩号 K1+345	桩号 K1+705	桩号 K4+705	桩号 K5+965		
环境水对钢结构腐蚀性判别	PH 值、 $(\text{SO}_4^{2-} + \text{Cl}^-)$ 含量 (mg/L)	6.52、 (27.4)	7.22、 (28.0)	5.21、 (15.9)	6.49、 (11.0)	6.24、 (19.7)	6.63、 (13.4)	4.86、 (25.1)	5.96 (17.7)	5.59 (18.5)	PH 值 3~13、 $\text{SO}_4^{2-} + \text{Cl}^-$ 含量 < 500	弱腐蚀

3.6.3.2 土的腐蚀性评价

根据国家标准《岩土工程勘察规范》（GB 50021-2001）（2009 年版）第 12 章有关规定，本阶段及上阶段对混凝土结构、钢筋混凝土结构中钢筋及钢结构进行腐蚀性判别，土的腐蚀性评价结果如表 3.6.3-2。

表 3.6.3-2 江库联网原水绕松木山水库段原水管道土的腐蚀性评价

钻孔编号	取样深度	对混凝土结构的腐蚀性		对钢筋砼结构中钢筋的腐蚀性	对钢结构的腐蚀性
		按 II 类环境	按地层渗透性		
RDK10	15.2-15.4	微	中	微	弱
RDK85	14.8-15.0	微	中	微	弱
RDK86	13.2-13.4	微	中	微	弱
R2K2	15.7-15.9	微	中	微	中
SRDK46	7.8-8.0	微	弱	微	弱
SRDK67	19.0-19.2	微	中	微	弱
SR4K1	11.8-12.0	微	中	微	中

试验表明：场地土体对混凝土结构具有微至中腐蚀性，对钢筋混凝土结构中钢筋具有微腐蚀性，对钢结构具有弱至中腐蚀性。

水和土对建筑材料腐蚀性的防腐处理，应符合现行国家标准《工业建筑防腐蚀设计规范》（GB/T 50046-2018）的规定。



3.6.4 岩石磨蚀性评价

上阶段对 3 组岩样进行磨蚀性试验，试验结果表明：不同结构的岩石，其耐磨特性差异大；花岗岩及变质岩结构单一，CAI 值 3~5 为主，根据国际岩石力学协会 CAI 分级，磨蚀等级高~很高，局部可达极高；资料显示区内沉积岩结构多样，测得 CAI 值离散大，磨蚀等级极低至较低。同一岩性在相同风化状态下，可通过自然吸水率的大小评价其耐磨特性。软岩-极软岩类测得 CAI 值与天然状态下有差异，均质的粘土岩其饱和状态下 CAI 值较天然状态增大约 1 倍。软质岩石的饱和抗压强度与 CAI 的相关性不明显，离散性大，硬质岩石随着饱和抗压强度的增加，CAI 随之增大，相关性较好。

3.6.5 岩土物理力学指标参数建议值

根据现场原位试验、室内试验成果基础上，依据《水利水电工程地质勘察规范》（GB 50487-2008）、《岩土工程勘察规范》（GB 50021-2001）（2009 年版）、《城市轨道交通岩土工程勘察规范》（GB50307-2012）、《建筑桩基技术规范》（GJ94-2008）及广东省标准《建筑地基基础设计规范》（DBJ15-21-2016）等规范，结合附近工程的勘察资料，综合提出江库联网原水绕松木山水库段原水管道工程（主体段）第二标段各类岩土体物理力学指标参数建议值见表 3.6.5-1、表 3.6.5-2。

表 3.6.5-1

江库联网原水绕松木山水库段原水管道工程（主体段）第二标段岩土体物理力学指标参数建议值

地层编号	地层名称		饱和重度 γ (kN/m ³)	天然快剪		饱和固结快剪		压缩模量 $E_{s0.1-0.2}$	地基承载力 fak	围岩抗力系数 K_0	渗透系数/ 透水率	桩周土 极限摩阻力 f_i	钻孔灌注桩的极限侧阻力标准值 q_{sik}	钻孔灌注桩极限端阻力标准值 q_{pk}		
				C_q	φ_q	C_{cq}	φ_{cq}								坡高 小于 5m	坡高 5-10m
				(kPa)	(°)	(kPa)	(°)									
①	填土（素填土）		18.5	16~20	15~18	17~21	18~22	4.0~6.0	80~100	/	1×10^{-3}			-	1:1.5 -1:2.0	1:2.0 -1:2.5
②1	湖积淤泥质土		17.5	5~7	1~3	12~14	12~16	2.0~4.0	50~60	/	1×10^{-5}	6	12	-	1:2.0 -1:2.5	1:2.5 -1:3.0
②2	残坡积砂质粘性土		18.8	22~25	20~23	22~24	23~25	4.0~6.0	150~160	/	5×10^{-4}	25-30	50	-	1:1.2 -1:1.5	1:1.5 -1:2.0
④	花岗岩类	全风化	19.0	18~21	22~24	22~24	23~26	5.0~7.0	220~230	/	$6 \sim 9 \times 10^{-4}$	75-80	95	2500	1:1.0 -1:1.2	1:1.2 -1:1.5
		强风化	24.0	-	-	-	-	12.0~16.0	300~400	4	10~80Lu	110	160	5000		
		弱风化	26.0	-	-	-	-	不可压缩	1800	20	5~10Lu	160	240	8000		
		微风化	26.5	-	-	-	-	不可压缩	3500	50	2~5 Lu	-	-	-		
⑤	变质岩（黑云斜长片麻岩为主）	全风化	19.0	25~27	24~27	19~21	26~28	4.0~6.0	210~220	/	$4 \sim 7 \times 10^{-4}$	70-80	90	2500	1:1.0 -1:1.2	1:1.2 -1:1.5
		强风化	23.0	-	-	-	-	11.0~14.0	280~380	3	10~70Lu	100	150	5000		
		弱风化	25.5	-	-	-	-	不可压缩	1500	15	5~10Lu	150	240	7500		
		微风化	26.0	-	-	-	-	不可压缩	3000	45	1~5Lu	-	-	-		

注明：围岩抗力系数参考《引调水线路工程地质勘察规范》SL 629-2014，根据围岩变形模量与泊松比计算取值；渗透系数参考室内与现场试验；桩周土极限摩阻力参考广东省标准《建筑地基基础设计规范》

DBJ15-31-2016；侧阻力和端阻力参考《建筑桩基技术规范》JGJ94-2008。

表 3.6.5-2

江库联网原水绕松木山水库段原水管道工程（主体段）第二标段岩体物理力学指标参数建议值

地层 编号	地层名称		密度			单轴抗压强度		软化系 数	饱和抗拉 强度	弹性模量		泊松 比	变形模量		饱和抗剪断强 度		临时边坡开挖坡 比	
			天 然	烘 干	饱 和	烘干	饱和			天 然	饱和	饱和	天 然	饱和	凝 聚 力	摩 擦 系 数	8m 以 内	8~ 15m
			ρ	ρ_d	ρ_{sa}	R_d	R_w			η	σ_l	E_e	E_{ew}	μ_{ew}	E_{50e}	E_{50ew}		
			g/cm ³			MPa					MPa	GPa			GPa		MPa	
④	花岗岩 类	强风化	2.55	2.40	2.46	4~8	0.5~ 35.0	0.25		-	0.5~1.3	0.28	-	1.0	0.5	0.55	1:0.75- 1:1.0	
		弱风化	2.67	2.62	2.66	60~ 80	40~70	0.60	5-13	-	5~10	0.24	-	4.0	10	0.65	1: 0.40- 1:0.50	1:0.5- 1:0.6
		微风化	2.71	2.65	2.68	80~ 110	70~ 100	0.85	13-18	-	20~25	0.17	-	20	15	0.85	1:0.15- 1:0.25	1:0.25- 1:0.35
⑤	变质岩 （黑云 斜长片 麻岩 为主）	强风化	2.57	2.53	2.61	2-4	0.5~ 30.0	0.24			0.6~1.5	0.30		1.0	0.5	0.55	1:0.75- 1:1.0	
		弱风化	2.62	2.64	2.67	55~ 80	40~65	0.60	7-12		8~13	0.23		8.0	12	0.62	1:0.40- 1:0.50	1:0.5- 1:0.6
		微风化	2.68	2.65	2.68	75~ 100	60~80	0.80	12-17	-	15~20	0.18	-	15	15	0.80	1:0.15- 1:0.25	1:0.25- 1:0.35

注明：岩体密度参考室内试验统计平均值，抗压强度受岩体节理影响试验值偏小取值主要参考大值平均值，饱和抗剪断强度为室内岩块试验平均值。

3.6.6 岩土参数可信度分析

1) 土工试验统计方法采用 ($\mu \pm 3\sigma$) 置信区间方法进行, 对异常值进行合理剔除, 从统计结果来看, 其变异系数一般小于 0.3, 统计修正系数一般大于 0.75, 指标可靠。

2) 土层原位测试指标统计变异系数一般小于 0.30, 统计结果可靠。

3) 土的力学性质因取样扰动, 可通过原位测试指标进行修正。

4) 各岩土层承载力及压缩模量根据室内试验、原位测试及规范经验值综合确定, 取值可信。

5) 对于各统计表中单层指标统计子样数不足 6 个或由于各种原因指标离散性较大, 统计修正系数 γ_s 小于 0.75 的, 标准值按最不利组合取小值平均值法确定。对统计样本数为 1 个的, 采用 0.75 的系数折减。

6) 试验数据结合可研资料及初设试验成果。

7) 本次施工图设计阶段地质勘察试验成果统计与可研及初设阶段地质勘察条件及有关工程地质参数未有重大调整变化, 本阶段复核了初设阶段岩土体物理力学参数建议值, 数据真实可靠。

3.7 不良地质作用、有害气体及放射性评价

3.7.1 不良地质作用

线路场地所在的东莞市常见地质灾害类型主要有滑坡、崩塌、岩溶地面塌陷及软土地面沉降。滑坡、崩塌主要分布于大岭山-莲花山等山区及凤岗-樟木头等部分丘陵地区, 岩溶地面塌陷主要分布于东南部清溪和凤岗地区, 软土地面沉降主要分布于西部水乡片区和滨海平原等广泛分布海陆交互相淤泥软土层的地区。

根据各地区不良地质作用易发程度, 东莞市地质灾害防治“十三五”

规划将全市划分为 4 个高易发区、6 个中易发区、2 个低易发区和 3 个非易发区。本线路区沿线均位于上述规划的低易发区内，另外根据本阶段及上阶段地质测绘、物探成果及钻孔揭露资料，拟建场地内无滑坡、崩塌、泥石流、地裂缝等不良地质作用，未揭露岩溶、古河道、古洞穴等。

综上所述，输水线路（第二标段）场地基本不存在发生大规模崩塌、滑坡、岩溶地面塌陷、软土地面沉降和泥石流的条件，可不考虑上述不良地质作用对工程的不利影响。

3.7.2 岩体风化

工程区内主要为第四系地层，鲜有基岩出露，局部出露基岩以全~强风化为主。全强风化岩体大部分变为黄褐色、褐红色，局部岩块保持原有颜色，岩石组织结构大部分已经破坏，风化裂隙发育，夹含大量次生泥，岩体锤击声哑，较软。根据本次钻探及物探成果，绕松木山水库段输水线路岩性复杂，呈软硬相间特征，线路区（第二标段）大部分岩性为奥陶系花岗岩与中元古界变质岩，局部岩性为长石石英砂岩、泥质粉砂岩夹页岩等三叠系碎屑沉积岩，岩体普遍风化强烈，其中全强风化沉积岩厚度 5.4~19.4m，以下为弱风化至微风化岩体；奥陶系花岗岩全风化带厚度 0.3~39.2m，强风化带厚度 1.0~30.8m，以下为弱风化至微风化岩体；中元古界变质岩全风化带厚度 0.6~39.2m，强风化带厚度 0.4~30.4m，以下为弱风化至微风化岩体；花岗岩与变质岩风化厚度变化及风化界面起伏较大，表明场地内各类岩体风化具有较大差异性和不均一性。

3.7.3 有害气体及放射性

（1）有害气体

本工程（第二标段）盾构隧洞线路埋深一般 20~35m，鲜有埋深超过 50m 洞段，基本位于全~弱风化岩层，本阶段钻探间距 30~50m，钻探过

程中均未发现沼气等有害气体。隧洞沿线岩性较杂，穿越的地层有奥陶系下统（O₁mp）花岗岩、中元古界长安组黑云斜长片麻岩为主，局部夹少量黑云二长变粒岩、黑云母片岩及混合岩化花岗闪长岩，上述变质岩及岩浆岩不局部产生有害气体的条件；线路局部洞身穿越三叠系上统小坪组碎屑岩地层，岩性为灰白色长石石英砂岩、紫红色泥质粉砂岩、细砂岩、灰黑色页岩夹少量炭质页岩，局部夹少量安山岩，碎屑岩仅在局部出露，洞身全部位于碎屑岩的洞段长不超过 100m，且勘察过程中未发现有害气体及煤层，判断本工程沿线不存在有害气体。

（2）放射性

本工程盾构隧洞线路埋深一般 20~35m，隧洞沿线穿越地层中三叠系碎屑岩等沉积岩没有放射性，可不作评价。上阶段在隧洞埋深较深洞段选取花岗岩及变质岩进行放射性试验，试验显示：花岗岩及变质岩总体放射性微弱，变质岩内照射指数和外照射指数均 < 1.0，没有影响，花岗岩内照射指数和外照射指数 < 1.0，没有影响；根据类似工程经验，花岗岩地下洞室空气中氡浓度可能超过国家有关标准，一般通过加强通风可有效降低危害性。

4 输水建筑物地质条件评价及建议

4.1 工程概况

4.1.1 工程布置

江库联网原水绕松木山水库段原水管道工程（主体段）第二标段起点位于 R3#工作井，终点位于松木山-莲花山应急工程进口无压箱涵附近。

根据设计总体布置，江库联网原水绕松木山水库段原水管道工程（主体段）第二标段长约 2.05km；绕松木山水段原水管采用重力自流的有压输

水方式，单线盾构输水隧洞，隧洞埋深 22.54~61.59m，共布置 2 个盾构工作井（R4#和 R5#），盾构输水隧洞采用双层衬砌，一次衬砌为盾构管片，外径 6.0m，内径 5.4m，盾构输水隧洞二次衬砌采用钢筋混凝土衬砌，内径 4.6m。洞身段位于全、强、弱至微风化岩体中。

4.1.2 围岩分类标准

根据《水利水电工程地质勘察规范》（GB50487-2008）附录 N 关于围岩工程地质的有关要求，本阶段针对围岩工程进行详细分类，详细分类以控制围岩稳定的岩石强度、岩体完整程度、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判断依据，以围岩强度应力比为限定判断，围岩划分符合表 4.1.2-1 的规定。另外，除围岩类别划分外，为方便指导盾构施工按照《城市轨道交通岩土工程勘察规范》（GB 50307-2012）附录 F，结合各岩土层状态、特征和性状特点，对各段进行岩土施工工程分级。

表 4.1.2-1 地下洞室围岩详细分类

围岩类别	围岩总评分 T	围岩强度应力比 S
I	$T > 85$	$S > 4$
II	$85 \geq T > 65$	$S > 4$
III	$65 \geq T > 45$	$S > 2$
IV	$45 \geq T > 25$	$S > 2$
V	$T \leq 25$	-

注：II、III、IV类围岩，当围岩强度应力比小于本表规定时，围岩类别宜降低一级。

围岩详细分类中五项评分应符合下列规定：

1) 岩石强度评分符合表 4.1.2-2 的规定

表 4.1.2-2 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)	$R_b > 60$	$60 \geq R_b > 30$	$30 \geq R_b > 15$	$R_b \leq 15$
岩石强度评分 A	30 ~ 20	20 ~ 10	10 ~ 5	5 ~ 0

注：1、岩石饱和单轴抗压强度大于 100MPa 时，岩石强度评分为 30。

2、岩石饱和单轴抗压强度小于 5MPa 时，岩石强度评分为 0。

2) 岩体完整程度的评分应符合表 4.1.2-3 的规定

表 4.1.2-3 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
岩体完整性系数 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

注：1、当 $60\text{MPa} \geq R_b > 30\text{MPa}$ ，岩体完整程度与结构面状态评分之和大于 >65 时，按 65 评分。

2、当 $30\text{MPa} \geq R_b > 15\text{MPa}$ ，岩体完整程度与结构面状态评分之和大于 >55 时，按 55 评分。

3、当 $15\text{MPa} \geq R_b > 5\text{MPa}$ ，岩体完整程度与结构面状态评分之和大于 >40 时，按 40 评分。

2、当 $R_b \leq 5\text{MPa}$ ，岩体完整程度与结构面状态不参加评分。

3) 结构面状态的评分应符合表 4.1.2-4 的规定

表 4.1.2-4 结构面状态评分

结构面状态	宽度 $W(\text{mm})$	$W < 0.5$		$0.5 \leq W < 5.0$									$W \geq 5.0$		
	充填物	—		无充填			岩屑			泥质			岩屑	泥质	无充填
	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	0~3
	较软岩	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	0~2

注：1、结构面验收长度小于 3m 时，硬质岩、较软岩的结构面状态评分另加 3 分，软岩加 2 分；结构面验收长度大于 10m 时，硬质岩、较软岩减 3 分，软岩减 2 分。

2、结构面状态最低分为 0。

4) 地下水状态的评分应符合表 4.1.2-5 的规定

表 4.1.2-5 地下水状态评分

活动状态			渗水到滴水	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 $H \leq 10$	$25 < Q \leq 125$ 或 $10 < H \leq 100$	$Q > 125$ 或 $H > 100$
基本 因素 评分 T'	$T' > 85$	地下 水 评 分 D	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
	$45 \geq T' > 25$		-6 ~ -10	-10 ~ -14	-14 ~ -18
	$T' \leq 25$		-10 ~ -14	-14 ~ -18	-18 ~ -20

注：1、基本因素评分 T' 是前述岩石强度评分 A 、岩体完整性评分 B 和结构面状态评分 C 的和。
2、干燥状态取 0 分。

5) 主要结构面产状的评分应符合表 4.1.2-6 的规定

表 4.1.2-6 主要结构面产状评分

结构面走向与洞轴线夹角 β		$90^\circ \geq \beta \geq 60^\circ$				$60^\circ > \beta \geq 30^\circ$				$\beta < 30^\circ$			
结构面倾角 α (°)		$\alpha > 70^\circ$	$70^\circ \geq \alpha > 45^\circ$	$45^\circ \geq \alpha > 20^\circ$	$\alpha \leq 20^\circ$	$\alpha > 70^\circ$	$70^\circ \geq \alpha > 45^\circ$	$45^\circ \geq \alpha > 20^\circ$	$\alpha \leq 20^\circ$	$\alpha > 70^\circ$	$70^\circ \geq \alpha > 45^\circ$	$45^\circ \geq \alpha > 20^\circ$	$\alpha \leq 20^\circ$
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、较破碎和破碎的围岩不进行主要结构面产状评分的修正。

4.1.3 线路分段概述

施工图设计阶段勘察共完成钻孔 96 孔/4339.4m，其中二标段完成钻孔 56 孔/2412.6m，钻孔间距 30 ~ 50m，利用初设阶段钻孔 176 孔/7979.9m，布置高密度电法剖面 3 条/2.4km，利用初设高密度电法剖面 8 条/9.2km，钻孔声波测试 148 孔/6.6km，利用初设天然源面波勘探剖面 4 条/6.1km，查明了绕库段沿线工程地质条件，根据原水管道工程（第二标段）沿线地形地貌、地质构造、地层及岩性组合、岩土体工程特征及设计方案，结合工程地质调绘、钻探、物探及试验成果，将第二标段全线分为 3 节：取水口及埋管、

R3#工作井至 R4#工作井节、R4#工作井至 R5#工作井节，3 节又细分为 21 小段（表 4.1.3-1）。

表 4.1.3-1

第二标段线路工程地质条件分段表

线路分节	节内分段号	桩号	类型	分段依据
取水口及埋管	0	无	闸室及埋管段	取水口闸室及埋管段
R3#工作井至 R4#工作井节	III-1	R4+005~R4+227	盾构段	IV类围岩为主，洞身弱风化变质岩
	III-2	R4+227~R4+289	盾构段	III类围岩为主，洞身弱、微风化变质岩
	III-3	R4+289~R4+318	盾构段	IV类围岩为主，洞身弱风化变质岩
	III-4	R4+318~R4+471	盾构段	V类围岩，洞身全风化变质岩
	III-5	R4+471~R4+514	盾构段	V类围岩为主，洞身全~强风化变质岩
	III-6	R4+514~R4+786	盾构段	IV类围岩为主，洞身弱、微风化变质岩
	III-7	R4+786~R4+951	盾构段	III类围岩为主，洞身微风化变质岩
	III-8	R4+951~R5+056	盾构段	IV类围岩为主，洞身弱、微风化变质岩
	III-9	R5+056~R5+137	盾构段	IV类围岩，洞身弱风化变质岩
	III-10	R5+137~R5+194	盾构段	V类围岩为主，洞身全、强风化变质岩
R4#工作井至 R5#工作井节	IV-0	R5+194	工作井	R4#工作井
	IV-1	R5+194~R5+302	盾构段	V类围岩，洞身全、强风化变质岩
	IV-2	R5+302~R5+447	盾构段	V类围岩，洞身全、强风化变质岩
	IV-3	R5+447~R5+595	盾构段	IV类围岩，洞身弱风化变质岩为主
	IV-4	R5+595~R5+643	盾构段	V类围岩，洞身全风化变质岩
	IV-5	R5+643~R5+717	盾构段	IV类围岩，洞身弱风化变质岩为主
	IV-6	R5+717~R5+750	盾构段	V类围岩，洞身强、弱风化变质岩
	IV-7	R5+750~R5+904	盾构段	V类围岩，洞身全~强风化花岗岩
	IV-8	R5+904~R6+052	盾构段	V类围岩，洞身全~强风化花岗岩
	V-0	R6+052	工作井	R5#工作井

4.2 盾构隧洞段工程地质条件及评价

4.2.1 概述

本阶段原水管道盾构隧洞段全长约 6.052km，其中第二标段长约 2.05km，采用单线盾构输水隧洞，隧洞埋深 22.54~61.59m，盾构输水隧洞采用双层衬砌，一次衬砌为盾构管片，外径 6.0m，内径 5.4m，盾构输水隧洞二次衬砌采用钢筋混凝土衬砌，内径 4.6m。

根据沿线地形地貌、地质构造、地层岩性及岩土体特征，结合工程地质调绘、钻探、物探及试验成果，将第二标段隧洞段细分为 18 小段。

4.2.2 盾构隧洞工程地质条件

第二标段盾构推进方向为 R3#工作井向 R4#工作井推进、R5#工作井向 R4#工作井推进，其工程地质条件分段描述如下：

4.2.2.1 R3#工作井至 R4#工作井

(1) 桩号 R4+005 ~ R4+227 段 (III-1 段)

以 R3#工作井为始发井，自东向西下穿松木山水库一处库汉后横穿山包，水库水深 0 ~ 3.3m，山体呈椭圆形，地形起伏较大，地面高程 20.00 ~ 55.79m，输水隧洞洞顶埋深 22.86 ~ 58.76m。

本段洞身段为弱 ~ 微风化变质岩 (黑云斜长片麻岩、黑云斜长变粒岩) 为主，局部有花岗岩侵入，桩号 R4+171 ~ R4+190 段洞身顶部存在少量强风化带。洞身弱风化变质岩岩芯呈柱状，沿节理面充填方解石等，局部裂隙发育，呈陡倾角状，局部近直立，属中硬岩 ~ 坚硬岩，较完整；弱风化带上部为强风化带，碎块状，具中等透水，厚约 0.4 ~ 43.3m；强风化带上部为全风化带变质岩，具中等透水，厚约 0.0 ~ 11.9m；全风化带上部为残坡积砂质粘性土，具中等透水性，厚约 1.3 ~ 21.6m；下穿水库段表层分布湖积淤泥质土，厚约 0.0 ~ 1.7m。

(2) 桩号 R4+227 ~ R4+289 段 (III-2 段)

本段输水线路向西穿越一座山包，整体西高东低，地形起伏较大，地面高程 38.12 ~ 58.73m，本段为全线最大埋深处，输水隧洞洞顶埋深 41.04 ~ 61.59m。

本段洞身段为弱 ~ 微风化变质岩 (黑云斜长片麻岩、黑云斜长变粒岩) 为主。洞身微、弱风化变质岩岩芯呈柱状，沿节理面充填方解石等，局部裂隙发育，呈陡倾角状，局部近直立，属中硬岩 ~ 坚硬岩，较完整；弱风化带上部为强风化带，碎块状，具中等透水，厚约 1.0 ~ 46.3m；强风化带

上部为全风化带变质岩，具中等透水，厚约 0.0~26.0m；全风化带上部为残坡积砂质粘性土，具中等透水性，厚约 0.0~9.1m。

（3）桩号 R4+289~R4+318 段（III-3 段）

本段向西穿越出一座山包，整体东高西低，地形起伏较大，地面高程 31.44~38.12m，本段为全线最大埋深处，输水隧洞洞顶埋深 29.78~36.02m。

本段洞身段为弱~微风化变质岩（黑云斜长片麻岩、黑云斜长变粒岩）为主，局部有花岗岩侵入。洞身弱、微风化变质岩岩芯呈柱状，沿节理面充填方解石等，局部裂隙发育，呈陡倾角状，局部近直立，属中硬岩~坚硬岩，较完整；弱风化带上部为强风化带，碎块状，具中等透水，厚约 0.9~1.0m；强风化带上部为全风化带变质岩，具中等透水，厚约 26.0~28.8m；全风化带上部为残坡积砂质粘性土，具中等透水性，厚约 4.2~5.0m。

（4）桩号 R4+318~R4+471 段（III-4 段）

本段线路穿越松木山水库湖汉，岩性地形呈马鞍状，即中部低两段高，整体地形起伏较大，线路中段直接穿越松木山水库湖汉，勘察期间水深 0~3.3m，输水隧洞沿线地面高程 20.80~31.44m，洞顶埋深 23.86~34.37m。

本段洞身段为全风化中元古界变质岩（黑云斜长片麻岩），全风化带呈坚硬而密实土状，轻击即散，岩体结构已基本破坏，具中等透水性，厚 4.6~13.7m；强风化带呈碎块状，局部为碎块石夹土，锤击即碎，岩体结构大部分破坏，矿物成分显著变化，隙面被渲染，厚 0.6~12.7m，具中等透水；全风化带上部为残坡积砂质粘性土，具中等透水，厚约 4.6~13.7m；根据物探及勘探成果，断层 F₂₋₂ 于桩号 R4+440~R4+465 段穿越输水线路。

（5）桩号 R4+471~R4+514 段（III-5 段）

本段线路顺水库布置，临近华为创新园，沿线地形起伏不大，输水隧洞沿线地面高程 26.89~34.49m，洞顶埋深 29.88~37.49m。

本段洞身段由全风化中元古界变质岩（黑云斜长片麻岩），逐渐过渡为弱风化变质岩（黑云斜长片麻岩）。全风化带呈坚硬而密实土状，轻击即散，岩体结构已基本破坏，具中等透水性，厚 16.4 ~ 22.0m；强风化岩体呈碎块状，局部为碎块石夹土，锤击即碎，岩体结构大部分破坏，矿物成分显著变化，隙面被渲染，厚 2.6 ~ 11.9m，具中等透水；弱风化带上部岩体岩芯呈柱状，沿节理面充填方解石、黄铁矿等，局部裂隙发育，呈陡倾角状，局部近直立，属中硬岩，较破碎 ~ 较完整；全风化带上部为残坡积砂质粘性土，具中等透水性，厚约 11.7 ~ 13.7m，残坡积层表面覆盖厚约 0.0 ~ 2.0m 的填土层。

（6）桩号 R4+514 ~ R4+786 段（III-6 段）

本段线路顺水库布置，临近华为研发基底北缘，沿线整体地形起伏较大，本段前段穿越一处矮丘，地形整体呈鞍状，中部低、两侧高，本段末段隧洞穿入环湖路地下，输水隧洞沿线地面高程 25.90 ~ 37.00m，洞顶埋深 28.97 ~ 40.02m。

本段洞身段逐步由弱风化变质岩进入微风化变质岩（黑云斜长片麻岩），局部有花岗岩侵入，弱、微风化变质岩岩芯呈柱状，沿节理面充填方解石等，局部裂隙发育，呈陡倾角状，局部近直立，属中硬岩 ~ 坚硬岩，较完整 ~ 完整；弱风化带上部为强风化带，碎块状，具中等透水，厚约 1.5 ~ 5.2m；强风化带上部为全风化带变质岩，具中等透水，厚约 7.4 ~ 19.5m；全风化带上部为残坡积砂质粘性土，具中等透水性，厚约 3.5 ~ 22.8m；残坡积层上部局部为人工填土，分布不均，厚约 0.5 ~ 12.8m。

（7）桩号 R4+786 ~ R4+951 段（III-7 段）

本段输水线路由东向西穿越环湖路后，向西南方向延伸，进入一座山包，穿越山包后又伸入松木山水库一处湖汊，地形起伏大，整体中间高、

两侧低，地面高程 27.59~39.00m，输水隧洞洞顶埋深 30.77~42.14m。

本段洞身段以微风化变质岩（黑云斜长片麻岩）为主，局部有花岗岩侵入，微风化变质岩岩芯呈柱状，岩体结构少量破坏，裂隙发育较少，岩体强度较高，属坚硬岩，较完整至完整；微风化以上弱风化带呈柱状，沿节理面充填方解石等，局部裂隙发育，呈陡倾角状，局部近直立，属中硬岩~坚硬岩，较完整，厚约 3.8~7.1m；弱风化带上部为强风化带，碎块状，具中等透水，厚约 1.5~3.7m；强风化带上部为全风化带，具中等透水，厚约 2.0~16.4m；全风化带上部为残坡积砂质粘性土，具中等透水性，厚约 3.1~14.3m；残坡积层上部局部为人工填土，分布不均，厚约 0.0~4.8m。

（8）桩号 R4+951~R5+056 段（III-8 段）

本段输水线路穿越山包后又伸入松木山水库一处湖汊，湖汊水深 0~3.4m，地形起伏大，地面高程 20.00~27.59m，输水隧洞洞顶埋深 23.22~30.77m。

本段洞身段以微风化变质岩（黑云斜长片麻岩）为主，局部有花岗岩侵入，微风化变质岩岩芯呈柱状，岩体结构少量破坏，裂隙发育较少，岩体强度较高，属中硬岩~坚硬岩，较完整至完整；微风化以上弱风化带呈柱状，沿节理面充填方解石等，局部裂隙发育，呈陡倾角状，局部近直立，属中硬岩，较完整，厚约 3.8~7.1m；弱风化带上部为强风化带，碎块状，具中等透水，厚约 0.5~3.9m；强风化带上部为全风化带，具中等透水，厚约 11.0~14.2m；全风化带上部为残坡积砂质粘性土，具中等透水性，厚约 1.7~8.5m；残坡积层上部局部为人工填土，分布不均，厚约 0.0~2.2m。

（9）桩号 R5+056~R5+137 段（III-9 段）

本段线路顺水库布置，穿越松木山水库一处湖汊，后进入松山水厂在建工地内一处山包，地形起伏大，整体南高北低，地面高程 20.00~28.82m，

输水隧洞洞顶埋深 23.22 ~ 32.04m。

本段洞身段为弱风化变质岩（黑云斜长片麻岩）为主，局部有花岗岩侵入，弱风化变质岩岩芯呈柱状，沿节理面充填方解石等，局部裂隙发育，呈陡倾角状，局部近直立，属中硬岩 ~ 坚硬岩，较完整；弱风化带上部为强风化带，碎块状，具中等透水，厚约 1.2 ~ 10.2m；强风化带上部为全风化带变质岩，具中等透水，厚约 11.0 ~ 20.3m；全风化带上部为残坡积砂质粘性土，具中等透水性，厚约 0.0 ~ 9.2m。

（10） 桩号 R5+137 ~ R5+194 段（III-10 段）

本段线路自东北向南西穿越松山水厂在建工地内一处山包，地形具一定起伏，向西连接 R4#盾构接收井，地面高程 28.82 ~ 31.00m，输水隧洞洞顶埋深 32.04 ~ 34.22m。

本段洞身段由弱风化变质岩（黑云斜长片麻岩），逐渐过渡为全风化中元古界变质岩（黑云斜长片麻岩）。全风化带呈坚硬而密实土状，轻击即散，岩体结构已基本破坏，具中等透水性，厚 18.6 ~ 31.3m；强风化岩体呈碎块状，局部为碎块石夹土，锤击即碎，岩体结构大部分破坏，矿物成分显著变化，隙面被渲染，厚 1.8 ~ 7.8m，具中等透水；弱风化带上部岩体岩芯呈柱状，沿节理面充填方解石、黄铁矿等，局部裂隙发育，呈陡倾角状，局部近直立，属中硬岩，较破碎 ~ 较完整；全风化带上部为残坡积砂质粘性土，具中等透水性，厚约 0.5 ~ 15.2m。

4.2.2.2 R4#工作井至 R5#工作井

（1） 桩号 R5+194 ~ R5+302 段（IV-1 段）

本段为 R4#工作井以西线路终点段，东连 R4#盾构接收工作井，输水线路由本段进入松山水厂内工作井，本段库水深 0 ~ 3.7m，地形整体东高西低，地面具一定起伏，水下地形较平缓，地面高程 19.67 ~ 30.13m，输水隧

洞洞顶埋深 22.89 ~ 33.35m。

本段洞身段以全、强风化变质岩为主（黑云斜长片麻岩），小桩号段洞身中上部为全风化带，下部为强风化带，大桩号段洞身为强风化带。全风化带呈密实土状，轻击即散，岩体结构已基本破坏，具中等透水性，厚 2.9 ~ 26.7m；强风化岩体呈碎块状，局部为碎块石夹土，锤击即碎，岩体结构大部分破坏，矿物成分显著变化，隙面被渲染，厚 2.6 ~ 31.9m，具中等透水；全风化带上部为残坡积砂质粘性土，具中等透水性，厚约 2.1 ~ 12.8m。

（2）桩号 R5+302 ~ R5+447 段（IV-2 段）

本段输水线路下穿松木山水库，本段库水深 3.2 ~ 3.7m，水下地形较平缓，高程 19.22 ~ 19.67m，输水隧洞洞顶埋深 22.54 ~ 22.89m。

本段洞身段以强、弱风化变质岩为主（黑云斜长片麻岩），洞身中上部为强风化带、局部全风化，下部为弱风化带。全风化带呈密实土状，轻击即散，岩体结构已基本破坏，具中等透水性，厚 1.4 ~ 8.7m；强风化岩体呈碎块状，局部为碎块石夹土，锤击即碎，岩体结构大部分破坏，矿物成分显著变化，隙面被渲染，厚 1.5 ~ 8.5m，具中等透水；全风化带上部为残坡积砂质粘性土，具中等透水性，厚约 1.4 ~ 8.7m。

（3）桩号 R5+447 ~ R5+595 段（IV-3 段）

本段位于松木山水库水下，自西向东下穿松木山水库，本段库水深 3.2 ~ 3.4m，水下地形较平缓，地面高程 19.37 ~ 19.66m，输水隧洞洞顶埋深 22.64 ~ 22.97m。

本段洞身段以弱风化变质岩为主（黑云斜长变粒岩、片麻岩），洞身上部局部为强风化带。全风化带呈密实土状，轻击即散，岩体结构已基本破坏，具中等透水性，厚 2.6 ~ 19.7m；强风化岩体呈碎块状，局部为碎块石夹土，锤击即碎，岩体结构大部分破坏，矿物成分显著变化，隙面被渲

染,厚 1.3~8.5m,具中等透水;洞身中下部为弱风化带,岩体岩芯呈柱状,沿节理面充填方解石、黄铁矿等,局部裂隙发育,呈陡倾角状,局部近直立,属中硬岩~坚硬岩,较破碎~较完整;全风化带上部为残坡积砂质粘性土,具中等透水性,厚约 0.0~3.2m。

(4) 桩号 R5+595~R5+643 段(IV-4 段)

本段位于松木山水库水下,自西向东下穿松木山水库,本段库水深 3.0~3.2m,水下地形较平缓,地面高程 19.71~19.77m,输水隧洞洞顶埋深 22.97~23.03m。

本段洞身段以强风化变质岩为主(黑云斜长片麻岩),洞身大部为强风化带,两侧下部局部为弱风化带。全风化带呈密实土状,轻击即散,岩体结构已基本破坏,具中等透水性,厚 10.0~15.3m;强风化岩体呈碎块状,局部为碎块石夹土,锤击即碎,岩体结构大部分破坏,矿物成分显著变化,隙面被渲染,厚 6.5~19.0m,具中等透水;全风化带上部为残坡积砂质粘性土,具中等透水性,厚约 0.0~2.9m。

(5) 桩号 R5+643~R5+717 段(IV-5 段)

本段位于松木山水库水下,自西向东下穿松木山水库,本段库水深 3.0~3.2m,水下地形较平缓,地面高程 19.70~19.71m,输水隧洞洞顶埋深 23.03~23.04m。

本段洞身段由以弱风化变质岩为主(黑云斜长片麻岩),风化界线局部起伏较大。全风化带呈密实土状,轻击即散,岩体结构已基本破坏,具中等透水性,厚 5.9~14.8m;强风化岩体呈碎块状,局部为碎块石夹土,锤击即碎,岩体结构大部分破坏,矿物成分显著变化,隙面被渲染,厚 3.1~11.6m,具中等透水;洞身段主体弱风化带,岩体岩芯呈柱状,沿节理面充填方解石、黄铁矿等,局部裂隙发育,呈陡倾角状,局部近直立,属中硬

岩~坚硬岩，较破碎~较完整；全风化带上部为残坡积砂质粘性土，具中等透水性，厚约 0.9~2.0m。

（6）桩号 R5+717~R5+750 段（IV-6 段）

本段位于松木山水库水下，自西向东下穿松木山水库，本段库水深 2.8~3.2m，水下地形较平缓，地面高程 19.70~19.72m，输水隧洞洞顶埋深 23.07~23.09m。

本段洞身段由以强风化变质岩为主（黑云斜长片麻岩），过渡为以弱风化带为主。全风化带呈密实土状，轻击即散，岩体结构已基本破坏，具中等透水性，厚 14.0~16.2m；强风化岩体呈碎块状，局部为碎块石夹土，锤击即碎，岩体结构大部分破坏，矿物成分显著变化，隙面被渲染，厚 6.6~10.9m，具中等透水；全风化带上部为残坡积砂质粘性土，具中等透水性，厚约 2.0~2.1m。

（7）桩号 R5+750~R5+904 段（IV-7 段）

本段位于松木山水库水下，自西向东下穿松木山水库，勘察期间本段库水深 2.9~3.2m，水下地形较平缓，地面高程 19.70~20.60m，输水隧洞洞顶埋深 23.07~23.97m。

本段洞身段由以强风化变质岩为主（黑云斜长片麻岩、花岗片麻岩），洞身上部局部为全风化。全风化带呈密实土状，轻击即散，岩体结构已基本破坏，具中等透水性，厚 12.5~26.0m；强风化岩体呈碎块状，局部为碎块石夹土，锤击即碎，岩体结构大部分破坏，矿物成分显著变化，隙面被渲染，厚 5.8~34.6m，具中等透水；全风化带上部为残坡积砂质粘性土，具中等透水性，厚约 0.0~9.0m；残坡积层上部局部覆盖厚约 0.0~2.3m 的湖积淤泥质土。

(8) 桩号 R5+904 ~ R6+052 段 (IV-8 段)

本段线路自西向东穿入松山湖水库, 穿越原水管道一期闸室旁空地, 向西连接 R5#盾构出发井, 地形具一定起伏, 整体西高东低, 地面高程 20.60 ~ 25.50m, 输水隧洞洞顶埋深 24.03 ~ 28.91m。

本段洞身段由以全风化花岗岩为主, 局部为变质岩(花岗片麻岩为主), 洞身底部局部为强风化花岗岩, 花岗岩可见明显蚀变及混合岩化现象, 风化界线起伏较大。全风化带呈密实土状, 轻击即散, 岩体结构已基本破坏, 具中等透水性, 厚 19.9 ~ 30.3m; 强风化岩体呈碎块状, 局部为碎块石夹土, 锤击即碎, 岩体结构大部分破坏, 矿物成分显著变化, 隙面被渲染, 厚 2.2 ~ 25.9m, 具中等透水; 全风化带上部为残坡积砂质粘性土, 具中等透水性, 厚约 1.6 ~ 5.9m; 残坡积层上部为湖积淤泥质土, 厚 0.0 ~ 3.4m; 湖积层上部局部为填土层, 厚 0.0 ~ 5.9m。

4.2.3 盾构隧洞工程地质分段评价

本阶段将全线盾构隧洞段根据地质条件分为 2 个区间, 又细分为 26 小段(不含工作井), 并按照围岩详细分类的要求(4.1.2 节), 利用岩石强度、岩体完整程度、结构面状态、地下水和主要结构面产状五项因素之和的纵评分为判断依据, 以围岩强度应力比为限定判据, 对各段进行地质分段评价, 评价时将考虑围岩对盾构施工安全的影响、对盾构施工效率的影响、施工对地面沉陷或地面基础设施的影响(埋深), 其工程地质条件分段描述及评价如下:

4.2.3.1 R3#工作井至 R4#工作井

(1) 桩号 R4+005 ~ R4+227 段 (III-1 段)

该段隧洞围岩类别划分见表 4.2.3-1。

表 4.2.3-1

桩号 R4+005 ~ R4+227 段围岩类别划分表

分段	段内桩号	洞身岩性	岩石强度评分	岩体完整程度评分	结构面状态评分	基本因素评分	地下水评分	主要结构面评分	围岩总评分	围岩强度应力比	判定围岩类别
III-1	R4+005 ~ R4+227	弱风化片麻岩	A	B	C	T'	D	E	T	S	
			13-20	22-28	15	50-63	-6	-12	32-45	>4	IV类

根据本阶段已有岩（土）体物理力学试验成果评价如下：本段基岩为弱风化片麻岩，洞顶弱风化厚度小于 1.5 倍洞径，饱和单轴抗压 R_b 值取 40 ~ 60 MPa，岩石强度评分 $A=13 \sim 20$ ；根据本段钻孔声波波速成果，岩石完整性系数 K_v 约 0.55 ~ 0.70，岩体完整程度评分 $B=22 \sim 28$ ；钻孔显示结构面宽度介于 0.5 到 5mm 之间，节理面平直光滑，大部无充填，结构面状态评分 $C=15$ ，即基本因素评分 $T'=50 \sim 63$ ；洞身地下水压力水头 H 为 10 ~ 20m，地下水评分 $D=-6$ ；本段主要结构面产状 $140^\circ \sim 160^\circ \angle 20^\circ \sim 40^\circ$ ，主要结构面产状 E 洞顶评分-12、边墙评分-5，按最不利洞顶评计算，根据围岩类别详细划分评价原则，得到本段围岩总评分为 32 ~ 45，属 IV 类围岩。

输水隧洞洞顶埋深 22.86 ~ 58.76m，局部下穿水库，洞身段主体为弱风化变质岩（以黑云斜长片麻岩为主），底部局部为微风化变质岩，局部有花岗岩侵入，整体属硬质岩，局部可达坚硬岩，钻孔声波测试查明本段洞身段声波波速区间 1997 ~ 6112cm/s，IV 类围岩为主，岩土施工工程分级 V 级为主，稳定性一般；洞身局部存在节理密集带、洞身顶部局部存在强风化带，局部围岩破碎，需针对此类情况提前做好施工预案及必要准备。线路末段洞身段底部局部为微新变质岩（黑云斜长片麻岩为主），盾构存在存在由软向硬推进且上软下硬工况，建议盾构姿态随推进岩体性状变化进行调整并适当调整盾构掘进参数。

(2) 桩号 R4+227 ~ R4+289 段 (III-2 段)

该段隧洞围岩类别划分见表 4.2.3-2。

表 4.2.3-2 桩号 R4+227 ~ R4+289 段围岩类别划分表

分段	段内桩号	洞身岩性	岩石强度评分	岩体完整程度评分	结构面状态评分	基本因素评分	地下水评分	主要结构面评分	围岩总分	围岩强度应力比	判定围岩类别
III-2	R4+227 ~ R4+289	弱、微风化变质岩	A	B	C	T'	D	E	T	S	
			13-20	28	24	65-72	-6	-12	47-54	> 4	III类

根据本阶段已有岩（土）体物理力学试验成果，将本段评价如下：基岩为弱、微风化变质岩，洞顶弱风化厚度大于 1.5 倍洞径，饱和单轴抗压 Rb 值取 40 ~ 70Mpa，局部可达 90 ~ 100Mpa，岩石强度评分 A=13 ~ 20；根据本段钻孔声波波速成果，岩石完整性系数 Kv 约 0.70，岩体完整程度评分 B=28；钻孔显示结构面宽度介于 0.5 到 5mm 之间，节理面起伏粗糙，大部无充填，结构面状态评分 C=24，即基本因素评分 T'=65 ~ 72；洞身地下水压力水头 H 为 10 ~ 20m，地下水评分 D=-6；本段主要结构面为变质岩片麻理，片麻理产状 140° ~ 160° ∠ 20° ~ 40°，主要结构面产状 E 洞顶评分-12、边墙评分-5，按最不利洞顶评计算，根据围岩类别详细划分评价原则，得到本段围岩总评分为 47 ~ 54，属III类围岩。

输水隧洞洞顶埋深 41.04 ~ 61.59m，洞身段主体为弱、微风化变质岩，硬质岩，钻孔声波测试查明本段洞身段声波波速区间 3682 ~ 6112cm/s，III类围岩为主，岩土施工工程分级V级为主，局部达VI级，稳定性较好，洞身局部存在节理密集带，局部围岩破碎，局部微新岩体强度较高，施工时应加强超前勘探，查明前方岩性变化情况，及时调整盾构掘进参数。线路末段洞身段由弱风化变质岩（黑云斜长片麻岩、变粒岩），逐渐过渡为全洞身微新变质岩（黑云斜长片麻岩、变粒岩），盾构存在由软向硬推进且上

软下硬工况，建议盾构姿态随推进岩体性状变化进行调整并适当调整盾构掘进参数。

(3) 桩号 R4+289 ~ R4+318 段 (III-3 段)

该段隧洞围岩类别划分见表 4.2.3-3。

表 4.2.3-3 桩号 R4+289 ~ R4+318 段围岩类别划分表

分段	段内桩号	洞身岩性	岩石强度评分	岩体完整程度评分	结构面状态评分	基本因素评分	地下水评分	主要结构面评分	围岩总评分	围岩强度应力比	判定围岩类别
III-3	R4+289 ~ R4+318	弱、微风化变质岩	A	B	C	T'	D	E	T	S	
			13-20	22-28	15	50-63	-6	-12	32-45	> 4	IV类

根据本阶段已有岩（土）体物理力学试验成果评价如下：本段基岩为弱风化片麻岩，洞顶弱风化厚度小于 1.5 倍洞径，饱和单轴抗压 R_b 值取 40 ~ 60 Mpa，岩石强度评分 $A=13 \sim 20$ ；根据本段钻孔声波波速成果，岩石完整性系数 K_v 约 0.55 ~ 0.70，岩体完整程度评分 $B=22 \sim 28$ ；钻孔显示结构面宽度介于 0.5 到 5mm 之间，节理面平直光滑，大部无充填，结构面状态评分 $C=15$ ，即基本因素评分 $T'=50 \sim 63$ ；洞身地下水压力水头 H 为 10 ~ 20m，地下水评分 $D=-6$ ；本段主要结构面产状 $140^\circ \sim 160^\circ \angle 20^\circ \sim 40^\circ$ ，主要结构面产状 E 洞顶评分-12、边墙评分-5，按最不利洞顶评计算，根据围岩类别详细划分评价原则，得到本段围岩总评分为 32 ~ 45，属IV类围岩。

输水隧洞洞顶埋深 31.44 ~ 38.12m，洞身段主体为弱、微风化变质岩，硬质岩，钻孔声波测试查明本段洞身段声波波速区间 2032 ~ 6112cm/s，IV类围岩为主，岩土施工工程分级V级为主，稳定性一般，洞身局部存在节理密集带、强风化带，局部围岩破碎，局部微新岩体强度较高，施工时应加强超前勘探，查明前方岩性变化情况，及时调整盾构掘进参数。线路末段洞身段由微新风化变质岩（黑云斜长片麻岩），逐渐过渡为全洞身弱风化

变质岩（黑云斜长片麻岩），盾构存在由硬向软推进且上软下硬工况，建议适当控制推进速率及并选取适宜的盾构掘进参数。

（4）桩号 R4+318 ~ R4+471 段（III-4 段）

该段隧洞围岩类别划分见表 4.2.3-4。

表 4.2.3-4 桩号 R4+318 ~ R4+471 段围岩类别划分表

分段	洞身岩性	岩石强度评分	岩体完整程度评分	结构面状态评分	基本因素评分	地下水评分	主要结构面评分	围岩总评分	围岩强度应力比	判定围岩类别
III-4 段	全风化变质岩	A	B	C	T'	D	E	T	S	
		0	不参加	不参加	0	-14	不参加	-14	无	V类

根据本阶段已有岩（土）体物理力学试验成果，本段基岩以全风化带为主，饱和单轴抗压 R_b 值小于 5 Mpa，岩石强度评分 0，则岩体完整程度 B、结构面状态 C、主要结构面产状 E 不参加评分，即基本因素评分 $T'=0$ ；洞身地下水压力水头 H 为 10 ~ 30m，地下水评分 $D=-14$ ，根据围岩类别详细划分评价原则，得到本段围岩总评分为 -14，属 V 类围岩。

输水隧洞洞顶埋深 23.86 ~ 34.37m，局部下穿水库，洞身段主体为全风化黑云斜长片麻岩，钻孔声波测试查明本段洞身段声波波速区间 1670 ~ 4482cm/s。围岩类别 V 类，岩土施工工程分级 III 级，无自稳能力，建议加强超前地质预报并布置必要安全监测设施；本段线路下穿水库，且三级断裂 $F_{2.2}$ 呈北西向横穿松木山水库及本线路，在附近进行抽水试验显示断层及全风化带具中等透水性，水库水存在沿断层向隧洞渗漏的地质隐患及漏浆风险，设计应重视，采取针对性加固及防渗措施，建议配制合适的浆液，做好控制量测，衬砌完成后应及时注浆加固，另外本段穿越全风化带，带内局部粘土含量较高，应注意刀盘结泥饼风险做好施工控制及预防隧洞措施。

（5）桩号 R4+471 ~ R4+514 段（III-5 段）

该段隧洞围岩类别划分见表 4.2.3-5。

表 4.2.3-5

桩号 R4+471 ~ R4+514 段围岩类别划分表

分段	段内桩号	洞身岩性	岩石强度评分	岩体完整程度评分	结构面状态评分	基本因素评分	地下水评分	主要结构面评分	围岩总评分	围岩强度应力比	判定围岩类别
III-5	R4+471 ~ R4+514	全~弱风化片麻岩	A	B	C	T'	D	E	T	S	
			0	不参加	不参加	0	-14	不参加	-14	无	V类

根据本阶段已有岩（土）体物理力学试验成果，本段基岩以全~强风化带为主，饱和单轴抗压 R_b 值整体小于 5Mpa，岩石强度评分 0，则岩体完整程度 B、结构面状态 C、主要结构面产状 E 不参加评分，即基本因素评分 $T'=0$ ；洞身地下水压力水头 H 为 10~20m，地下水评分 $D=-14$ ，根据围岩类别详细划分评价原则，得到本段围岩总评分为-14，属V类围岩。

输水隧洞洞顶埋深 29.88~37.49m，距水库最近约 25m，洞身段主体由全风化过渡为弱风化黑云斜长片麻岩，钻孔声波测试查明本段洞身段声波波速区间 1673~6112cm/s。围岩类别整体以V类为主，岩土施工工程分级 IV~V级为主，洞身整体稳定性差；本段洞身由全部全风化片麻岩、逐渐推进到全洞身均为弱风化片麻岩，存在由软向硬推进且上软下硬工况，建议盾构姿态随推进岩体性状变化进行调整并适当调整盾构掘进参数。

（6）桩号 R4+514 ~ R4+786 段（III-6 段）

该段隧洞围岩类别划分见表 4.2.3-6。

表 4.2.3-6

桩号 R4+514 ~ R4+786 段围岩类别划分表

分段	段内桩号	洞身岩性	岩石强度评分	岩体完整程度评分	结构面状态评分	基本因素评分	地下水评分	主要结构面评分	围岩总评分	围岩强度应力比	判定围岩类别
III-6	R4+514 ~ R4+786	弱、微风化变质岩	A	B	C	T'	D	E	T	S	
			13-20	22-28	15	50-63	-6	-12	32-45	>4	IV类

根据本阶段已有岩（土）体物理力学试验成果进行评价：本段基岩以

弱风化、微新变质岩为主，饱和单轴抗压 R_b 值取 40 ~ 70 Mpa，岩石强度评分 $A=13 \sim 20$ ；根据本段钻孔声波波速成果,岩石完整性系数 K_v 约 0.55 ~ 0.70，岩体完整程度评分 $B=22 \sim 28$ ；钻孔显示结构面宽度介于 0.5 到 5mm 之间，节理面平直光滑，大部无充填，结构面状态评分 $C=15$ ，即基本因素评分 $T'=50 \sim 63$ ；洞身地下水压力水头 H 为 10 ~ 20m，地下水评分 $D=-6$ ；本段主要结构面产状 $140^\circ \sim 160^\circ \angle 20^\circ \sim 40^\circ$ ，主要结构面产状 E 洞顶评分 -12、边墙评分 -5，按最不利洞顶评计算，根据围岩类别详细划分评价原则，得到本段围岩总评分为 32 ~ 45，属IV类围岩。

输水隧洞洞顶埋深 28.97 ~ 40.02m，距水库最近约 30m，洞身段主体为弱风化及微新变质岩，局部有花岗岩侵入，均属硬质岩，局部达坚硬岩，钻孔声波测试查明本段洞身段声波波速区间 2101 ~ 6112cm/s，IV类围岩为主，岩土施工工程分级V级为主，稳定性较好，洞身局部存在节理密集带、侵入接触带，局部围岩破碎及微新岩体强度较高，施工时应加强超前勘探，查明前方岩性变化情况，及时调整盾构掘进参数。另外考虑该段洞身弱风化带长度长、厚度大、局部强度较高，可根据实际情况适当改变盾构型式。

(7) 桩号 R4+786 ~ R4+951 段（III-7 段）

该段隧洞围岩类别划分见表 4.2.3-7。

表 4.2.3-7 桩号 R4+786 ~ R4+951 段围岩类别划分表

分段	段内桩号	洞身岩性	岩石强度评分	岩体完整程度评分	结构面状态评分	基本因素评分	地下水评分	主要结构面评分	围岩总评分	围岩强度应力比	判定围岩类别
III-7	R4+786 ~ R4+951	微新风化变质岩	A	B	C	T'	D	E	T	S	
			18-20	32	24	74-76	-2	-12	60-62	> 4	III类

根据本阶段已有岩（土）体物理力学试验成果进行评价：本段基岩为微新风化变质岩，洞顶弱风化厚度大于 1.5 倍洞径，饱和单轴抗压 R_b 值取

55~80Mpa，岩石强度评分 A=18~20；根据本段钻孔声波波速成果,岩石完整性系数 Kv 约 0.82，岩体完整程度评分 B=32；钻孔显示结构面宽度介于 0.5 到 5mm 之间，节理面起伏粗糙，大部无充填，结构面状态评分 C=24，即基本因素评分 T'=74~76；洞身地下水压力水头 H 为 10~30m，地下水评分 D=-2；本段主要结构面为变质岩片麻理，片麻理产状 140°~160°∠20°~40°，主要结构面产状 E 洞顶评分-12、边墙评分-5，按最不利洞顶评计算，根据围岩类别详细划分评价原则，得到本段围岩总评分为 60~62，属Ⅲ类围岩。

输水隧洞洞顶埋深 30.77~42.14m，下穿环湖路，洞身段主体为微风化变质岩，大部属坚硬岩，岩体较完整，钻孔声波测试查明本段洞身段声波波速区间 2763~6303cm/s，Ⅲ类围岩为主，岩土施工工程分级Ⅴ级为主，局部达Ⅵ级，稳定性较好。考虑该段洞身弱风化带长度长、厚度大、岩石强度高，可根据实际情况适当改变盾构型式。

(8) 桩号 R4+951~R5+056 段（Ⅲ-8 段）

该段隧洞围岩类别划分见表 4.2.3-8。

表 4.2.3-8 桩号 R4+951~R5+056 段围岩类别划分表

分段	段内桩号	洞身岩性	岩石强度评分	岩体完整程度评分	结构面状态评分	基本因素评分	地下水评分	主要结构面评分	围岩总评分	围岩强度应力比	判定围岩类别
Ⅲ-8	R4+951~R5+056	微新风化变质岩	A	B	C	T'	D	E	T	S	
			14-20	22-28	15	51-63	-6	-5--10	35-52	>4	Ⅳ类为主

洞身基岩主体为微新风化变质岩，局部为弱风化，洞顶弱风化厚度小于 1.5 倍洞径，饱和单轴抗压 R_b 值取 40~70Mpa，岩石强度评分 A=14~20；根据本段钻孔声波波速成果,岩石完整性系数 Kv 约 0.55~0.70，岩体完整程度评分 B=22~28；钻孔显示结构面宽度介于 0.5 到 5mm 之间，节理面平直

光滑，大部无充填，结构面状态评分 $C=15$ ，即基本因素评分 $T'=50 \sim 63$ ；洞身地下水压力水头 H 为 $10 \sim 20\text{m}$ ，地下水评分 $D=-6$ ；本段围岩主要结构面产状 E 评分 $-5 \sim -10$ ，根据围岩类别详细划分评价原则，得到本段围岩总评分为 $35 \sim 52$ ，以IV类围岩为主。

输水隧洞洞顶埋深 $23.22 \sim 30.77\text{m}$ ，末段下穿水库，洞身段主体为微风化变质岩，局部弱风化，中硬岩~坚硬岩，岩体较完整，钻孔声波测试查明本段洞身段声波波速区间 $2763 \sim 6103\text{cm/s}$ ，IV类围岩为主，岩土施工工程分级V级为主，稳定性较好。考虑该段洞身弱风化带长度长、厚度大、岩石强度高，可根据实际情况适当改变盾构型式。

(9) 桩号 R5+056 ~ R5+137 段 (III-9 段)

该段隧洞围岩类别划分见表 4.2.3-9。

表 4.2.3-9 桩号 R5+056 ~ R5+137 段围岩类别划分表

分段	段内桩号	洞身岩性	岩石强度评分	岩体完整程度评分	结构面状态评分	基本因素评分	地下水评分	主要结构面评分	围岩总评分	围岩强度应力比	判定围岩类别
III-9	R5+056 ~ R5+137	弱风化变质岩为主	A	B	C	T'	D	E	T	S	
			13-22	22-28	15	50-65	-6	-12	32-47	> 4	IV类

根据本阶段已有岩（土）体物理力学试验成果，本段基岩为弱风化片麻岩，洞顶弱风化厚度大部小于1倍洞径，饱和单轴抗压 R_b 值取 $40 \sim 65\text{Mpa}$ ，岩石强度评分 $A=13 \sim 22$ ；根据本段钻孔声波波速成果，岩石完整性系数 K_v 约 $0.55 \sim 0.70$ ，岩体完整程度评分 $B=22 \sim 28$ ；钻孔显示结构面宽度介于 0.5 到 5mm 之间，节理面平直光滑，大部无充填，结构面状态评分 $C=15$ ，即基本因素评分 $T'=50 \sim 65$ ；洞身地下水压力水头 H 为 $10 \sim 20\text{m}$ ，地下水评分 $D=-6$ ；本段主要结构面产状 $140^\circ \sim 160^\circ \angle 20^\circ \sim 40^\circ$ ，主要结构面产状 E 洞顶评分 -12 、边墙评分 -5 ，按最不利洞顶评计算，根据围岩类别详细划分

评价原则，得到本段围岩总评分为 32~47，以IV类围岩为主。

输水隧洞洞顶埋深 23.22~32.04m，前段下穿水库，洞身段主体为弱风化变质岩，硬质岩，钻孔声波测试查明本段洞身段声波波速区间 3805~5762cm/s，IV类围岩为主，岩土施工工程分级V级为主；本段前部盾构由微新岩体逐渐推进至弱风化岩体，岩体强度存在差异，盾构存在由硬向软推进且上软下硬工况，建议适当控制推进速率及并选取适宜的盾构掘进参数。

(10) 桩号 R5+137~R5+194 段 (III-10 段)

该段隧洞围岩类别划分见表 4.2.3-10。

表 4.2.3-10 桩号 R5+137~R5+194 段围岩类别划分表

分段	段内桩号	洞身岩性	岩石强度评分	岩体完整程度评分	结构面状态评分	基本因素评分	地下水评分	主要结构面评分	围岩总评分	围岩强度应力比	判定围岩类别
III-1	R5+168~R5+194	全、强风化变质岩	A	B	C	T'	D	E	T	S	
			0	不参加	不参加	0	-14	不参加	-14	无	V类

根据本阶段已有岩（土）体物理力学试验成果，将本段评价如下：基岩以全、强风化带为主，饱和单轴抗压 R_b 值 5~25 Mpa，岩石强度评分 0~5，则岩体完整程度 B、结构面状态 C、主要结构面产状 E 不参加评分，即基本因素评分 $T'=0\sim5$ ；洞身地下水压力水头 H 为 10~30m，地下水评分 $D=-14$ ，根据围岩类别详细划分评价原则，得到本段围岩总评分为-14，属V类围岩，岩土施工工程分级为IV级。

输水隧洞洞顶埋深 32.04~34.22m，紧邻水库布置，洞身段逐渐由主体为弱风化过渡为洞身为全、强风化黑云斜长片麻岩，钻孔声波测试查明本段洞身段声波波速区间 1672~4584cm/s。围岩类别V类为主，整体无自稳能力，建议加强超前地质预报并布置必要安全监测设施；本段洞身段由弱风化变质岩（黑云斜长片麻岩、花岗片麻岩），逐渐过渡为全洞身强风化变

质岩（黑云斜长片麻岩、花岗片麻岩），盾构存在由硬向软推进且上软下硬工况，建议适当控制推进速率及并选取适宜的盾构掘进参数，做好与 R4#盾构接收井的衔接工作。

4.2.3.2 R4#工作井至 R5#工作井

（1）桩号 R5+194 ~ R5+302 段（IV-1 段）

该段隧洞围岩类别划分见表 4.2.3-11。

表 4.2.3-11 桩号 R5+194 ~ R5+302 段围岩类别划分表

分段	洞身岩性	岩石强度评分	岩体完整程度评分	结构面状态评分	基本因素评分	地下水评分	主要结构面评分	围岩总评分	围岩强度应力比	判定围岩类别
IV-1 段	全、强风化变质岩	A	B	C	T'	D	E	T	S	
		0-5	不参加	不参加	0-5	-14	不参加	-14--9	无	V类

根据本阶段已有岩（土）体物理力学试验成果，本段基岩以全、强风化带为主，饱和单轴抗压 Rb 值 5 ~ 25 Mpa，岩石强度评分 0 ~ 5，则岩体完整程度 B、结构面状态 C、主要结构面产状 E 不参加评分，即基本因素评分 T'=0 ~ 5；洞身地下水压力水头 H 为 10 ~ 20m，地下水评分 D=-14，根据围岩类别详细划分评价原则，得到本段围岩总评分为-9 ~ -14，属V类围岩。

输水隧洞洞顶埋深 22.89 ~ 33.35m，下穿水库，洞身段主体为全、强风化黑云斜长片麻岩等变质岩，钻孔声波测试查明本段洞身段声波波速区间 1676 ~ 4802cm/s。围岩类别V类，岩土施工工程分级III级为主，无自稳能力，建议加强超前地质预报并布置必要安全监测设施；本段下穿水库，抽水试验显示洞身段全风层具中等透水性，隧洞掘进可能加速地下水径流的循环，影响岩土的物理力学性能，建议配制合适的浆液，做好控制量测、超前地质预报，衬砌完成后应及时注浆加固，做好与 R4#盾构接收井的衔接工作。

（2）桩号 R5+302 ~ R5+447 段（IV-2 段）

该段隧洞围岩类别划分见表 4.2.3-12。

表 4.2.3-12 桩号 R5+302 ~ R5+447 段围岩类别划分表

分段	洞身岩性	岩石强度评分	岩体完整程度评分	结构面状态评分	基本因素评分	地下水评分	主要结构面评分	围岩总评分	围岩强度应力比	判定围岩类别
IV-1 段	全、强风化变质岩	A	B	C	T'	D	E	T	S	
		0-5	不参加	不参加	0-5	-14	不参加	-14--9	无	V类

根据本阶段已有岩（土）体物理力学试验成果，本段基岩以全、强风化带为主，饱和单轴抗压 R_b 值 5 ~ 15 Mpa，岩石强度评分 0 ~ 5，则岩体完整程度 B、结构面状态 C、主要结构面产状 E 不参加评分，即基本因素评分 $T'=0 \sim 5$ ；洞身地下水压力水头 H 为 10 ~ 20m，地下水评分 $D=-14$ ，根据围岩类别详细划分评价原则，得到本段围岩总评分为 -9 ~ -14，属 V 类围岩。

输水隧洞洞顶埋深 22.54 ~ 22.89m，下穿水库，洞身段上部主体为全、强风化变质岩（黑云斜长片麻岩、花岗片麻岩为主），洞身下部为弱风化变质岩，钻孔声波测试查明本段洞身段声波波速区间 1676 ~ 4802cm/s。围岩类别 V 类，岩土施工工程分级 III 级为主，无自稳能力，建议加强超前地质预报并布置必要安全监测设施；本段下穿水库，抽水试验显示洞身段全风层具中等透水性，隧洞掘进可能加速地下水径流的循环，影响岩土的物理力学性能，建议配制合适的浆液，做好控制量测、超前地质预报，衬砌完成后应及时注浆加固；另外本段盾构主体存在上软下硬工况，建议适当控制推进速率及并选取适宜的盾构掘进参数。

（3）桩号 R5+447 ~ R5+595 段（IV-3 段）

该段隧洞围岩类别划分见表 4.2.3-13。

表 4.2.3-13 桩号 R5+447 ~ R5+595 段围岩类别划分表

分段	洞身岩性	岩石强度评分	岩体完整程度评分	结构面状态评分	基本因素评分	地下水评分	主要结构面评分	围岩总评分	围岩强度应力比	判定围岩类别
IV-3 段	弱风化变质岩为主	A	B	C	T'	D	E	T	S	
		13-20	22-28	15	50-63	-6	-12	32-45	> 4	IV类

本段基岩以弱风化带基岩为主，洞身顶部局部为强风化带，洞顶弱风化厚度小于 1.5 倍洞径，饱和单轴抗压 R_b 值取 40 ~ 60 Mpa，岩石强度评分 $A=13 \sim 20$ ；根据本段钻孔声波波速成果，岩石完整性系数 K_v 约 0.55 ~ 0.70，岩体完整程度评分 $B=22 \sim 28$ ；钻孔显示结构面宽度介于 0.5 到 5mm 之间，节理面平直光滑，大部无充填，结构面状态评分 $C=15$ ，即基本因素评分 $T'=50 \sim 63$ ；洞身地下水压力水头 H 为 10 ~ 20m，地下水评分 $D=-6$ ；本段主要结构面产状 $140^\circ \sim 160^\circ \angle 20^\circ \sim 40^\circ$ ，主要结构面产状 E 洞顶评分-12、边墙评分-5，按最不利洞顶评计算，根据围岩类别详细划分评价原则，得到本段围岩总评分为 32 ~ 45，属 IV 类围岩。

输水隧洞洞顶埋深 22.64 ~ 22.97m，下穿水库，洞身段主体为弱风化变质岩（黑云斜长变粒岩、花岗片麻岩为主），局部洞身上部为强风化带，钻孔声波测试查明本段洞身段声波波速区间 1677 ~ 5307cm/s。围岩类别 IV 类为主，局部 V 类，岩土施工工程分级为 V 级为主，洞身局部存在节理密集带、侵入接触带，局部围岩破碎，局部岩体强度较高，施工时应加强超前勘探，查明前方岩性变化情况，及时调整盾构掘进参数。

（4）桩号 R5+595 ~ R5+643 段（IV-4 段）

该段隧洞围岩类别划分见表 4.2.3-14。

表 4.2.3-14 桩号 R5+595 ~ R5+643 段围岩类别划分表

分段	洞身岩性	岩石强度评分	岩体完整程度评分	结构面状态评分	基本因素评分	地下水评分	主要结构面评分	围岩总评分	围岩强度应力比	判定围岩类别
IV-4 段	强风化变质岩	A	B	C	T'	D	E	T	S	
		0-5	不参加	不参加	0-5	-14	不参加	-14--9	无	V 类

本段基岩以全风化带为主，饱和单轴抗压 R_b 值 5 ~ 20 Mpa，岩石强度评分 0 ~ 5，则岩体完整程度 B 、结构面状态 C 、主要结构面产状 E 不参加评分，即基本因素评分 $T'=0 \sim 5$ ；洞身地下水压力水头 H 为 10 ~ 30m，地下

水评分 D=-14，根据围岩类别详细划分评价原则，得到本段围岩总评分为 -9 ~ -14，属 V 类围岩。

输水隧洞洞顶埋深 22.97 ~ 23.03m，下穿水库，洞身段主体为强风化变质岩（黑云斜长片麻岩、花岗片麻岩等）。围岩类别 V 类，岩土施工工程分级 III 级为主，无自稳能力，建议加强超前地质预报并布置必要安全监测设施；本段下穿水库，抽水试验显示洞身段全风层具中等透水性，隧洞掘进可能加速地下水径流的循环，影响岩土的物理力学性能，建议配制合适的浆液，做好控制量测、超前地质预报，衬砌完成后应及时注浆加固。

(5) 桩号 R5+643 ~ R5+717 段（IV-5 段）

该段隧洞围岩类别划分见表 4.2.3-15。

表 4.2.3-15 桩号 R5+643 ~ R5+717 段围岩类别划分表

分段	洞身岩性	岩石强度评分	岩体完整程度评分	结构面状态评分	基本因素评分	地下水评分	主要结构面评分	围岩总评分	围岩强度应力比	判定围岩类别
IV-5 段	弱风化变质岩为主	A	B	C	T'	D	E	T	S	
		13-20	22-28	15	50-63	-6	-12	32-45	> 4	IV类

本段基岩以弱风化带基岩为主，洞身顶部局部为强风化带，洞顶弱风化厚度小于 1.5 倍洞径，饱和单轴抗压 R_b 值取 40 ~ 60 Mpa，岩石强度评分 A=13 ~ 20；根据本段钻孔声波波速成果，岩石完整性系数 K_v 约 0.55 ~ 0.70，岩体完整程度评分 B=22 ~ 28；钻孔显示结构面宽度介于 0.5 到 5mm 之间，节理面平直光滑，大部无充填，结构面状态评分 C=15，即基本因素评分 T'=50 ~ 63；洞身地下水压力水头 H 为 10 ~ 20m，地下水评分 D=-6；本段主要结构面产状 140° ~ 160° ∠ 20° ~ 40°，主要结构面产状 E 洞顶评分-12、边墙评分-5，按最不利洞顶评计算，根据围岩类别详细划分评价原则，得到本段围岩总评分为 32 ~ 45，属 IV 类围岩。

输水隧洞洞顶埋深 23.03 ~ 23.04m，下穿水库，洞身段主体为弱风化

变质岩（黑云斜长变粒岩、花岗片麻岩为主），局部洞身上部为强风化带，钻孔声波测试查明本段洞身段声波波速区间 2266～5762cm/s。围岩类别Ⅳ类为主，局部Ⅴ类，岩土施工工程分级为Ⅴ级为主，洞身局部存在节理密集带、侵入接触带，局部围岩破碎，局部岩体强度较高，施工时应加强超前勘探，查明前方岩性变化情况，及时调整盾构掘进参数。

（6）桩号 R5+717～R5+750 段（Ⅳ-6 段）

该段隧洞围岩类别划分见表 4.2.3-16。

表 4.2.3-16 桩号 R5+717～R5+750 段围岩类别划分表

分段	洞身岩性	岩石强度评分	岩体完整程度评分	结构面状态评分	基本因素评分	地下水评分	主要结构面评分	围岩总评分	围岩强度应力比	判定围岩类别
Ⅳ-6 段	弱、强风化变质岩	A	B	C	T'	D	E	T	S	
		0-10	不参加	不参加	0	-14--4	不参加	-14--4	无	Ⅴ类

本段基岩涉及弱、强风化带，饱和单轴抗压 R_b 值取 3～20 Mpa，岩石强度评分 0 取 20～50 Mpa，则岩体完整程度 B、结构面状态 C、主要结构面产状 E 不参加评分，即基本因素评分 $T' = 0$ ；洞身地下水压力水头 H 为 10～20m，地下水评分 $D = -14 \sim -4$ ，根据围岩类别详细划分评价原则，得到本段围岩总评分为 -14～-4，属Ⅴ类围岩。

输水隧洞洞顶埋深 23.07～23.09m，下穿水库，本段洞身段由洞身全部为强风化带，逐渐过渡为洞身弱风化变质岩为主（黑云斜长变粒岩、黑云斜长片麻岩等），钻孔声波测试查明本段洞身段声波波速区间 1670～3306cm/s。围岩类别Ⅴ类，岩土施工工程分级Ⅳ级为主，无自稳能力，建议加强超前地质预报并布置必要安全监测设施；因弱、强风化强度差异，本段整体存在由软向硬推进且上软下硬工况，建议盾构姿态随推进岩体性状变化进行调整并适当调整盾构掘进参数；另外，本段下穿水库，抽水试验显示洞身段全风层具中等透水性，隧洞掘进可能加速地下水径流的循环，

影响岩土的物理力学性能，建议配制合适的浆液，做好控制量测、超前地质预报，衬砌完成后应及时注浆加固。

(7) 桩号 R5+750 ~ R5+904 段 (IV-7 段)

该段隧洞围岩类别划分见表 4.2.3-17。

表 4.2.3-17 桩号 R5+750 ~ R5+904 段围岩类别划分表

分段	洞身岩性	岩石强度评分	岩体完整程度评分	结构面状态评分	基本因素评分	地下水评分	主要结构面评分	围岩总评分	围岩强度应力比	判定围岩类别
IV-7 段	全、强风化花岗岩	A	B	C	T'	D	E	T	S	
		0-5	不参加	不参加	0-5	-14	不参加	-14--9	无	V类

本段基岩以强风化花岗岩为主，局部全风化，饱和单轴抗压 R_b 值 5 ~ 15 Mpa，岩石强度评分 0 ~ 5，则岩体完整程度 B、结构面状态 C、主要结构面产状 E 不参加评分，即基本因素评分 $T' = 0 \sim 5$ ；洞身地下水压力水头 H 为 10 ~ 30m，地下水评分 $D = -14$ ，根据围岩类别详细划分评价原则，得到本段围岩总评分为 -9 ~ -14，属 V 类围岩。。

输水隧洞洞顶埋深 23.07 ~ 23.97m，下穿水库，本段洞身段由以强风化花岗岩为主，局部为强风化变质岩，钻孔声波测试查明本段洞身段声波波速区间 1670 ~ 4802cm/s。围岩类别 V 类，岩土施工工程分级 IV 级为主，无自稳能力，建议加强超前地质预报并布置必要安全监测设施；因全、强风化强度差异，风化界线起伏较大，本段整体存在由硬向软推进、由软向硬有推进且上软下硬工况，建议控制盾构推荐速度并适当调整盾构掘进参数，另外本段局部穿越全风化带，带内局部粘土含量较高，应注意刀盘结泥饼风险做好施工控制及预防隧洞措施。

(8) 桩号 R5+904 ~ R6+052 段 (IV-8 段)

该段隧洞围岩类别划分见表 4.2.3-18。

表 4.2.3-18

桩号 R5+904 ~ R6+052 段围岩类别划分表

分段	洞身岩性	岩石强度评分	岩体完整程度评分	结构面状态评分	基本因素评分	地下水评分	主要结构面评分	围岩总评分	围岩强度应力比	判定围岩类别
IV-8 段	全、强风化变质岩、花岗岩	A	B	C	T'	D	E	T	S	
		0	不参加	不参加	0	-14	不参加	-14	无	V 类

本段基岩主体为全风化带变质岩、花岗岩，底部局部出露弱风化带，按不利考虑，饱和单轴抗压 R_b 值小于 5 Mpa，岩石强度评分 0，则岩体完整程度 B、结构面状态 C、主要结构面产状 E 不参加评分，即基本因素评分 $T' = 0$ ；洞身地下水压力水头 H 为 10 ~ 20m，地下水评分 $D = -14$ ，根据围岩类别详细划分评价原则，得到本段围岩总评分为 -14，属 V 类围岩。

输水隧洞洞顶埋深 24.03 ~ 28.91m，局部下穿水库及藕塘，本段洞身段由以全风化花岗岩及变质岩为主，底部局部为强风化花岗岩、变质岩（花岗片麻岩为主），钻孔声波测试查明本段洞身段声波波速区间 1670 ~ 4802cm/s。围岩类别 V 类，岩土施工工程分级 IV 级为主，无自稳能力，建议加强超前地质预报并布置必要安全监测设施；因全、强风化强度差异，本段局部存在上软下硬工况，建议控制盾构推荐速度并适当调整盾构掘进参数，另外本段主体穿越全风化带，带内局部粘土含量较高，应注意刀盘结泥饼风险做好施工控制及措施，做好与 R5#盾构出发井的衔接工作。

4.2.3.3 盾构隧洞工程地质小结（第二标段）

本阶段将二标段盾构隧洞段根据地质条件分为 2 节，后又细分为 18 小段，隧洞围岩以中元古界变质岩与奥陶系花岗岩为主，中硬岩 ~ 坚硬岩为主，受区内构造影响，局部岩体较破碎，隧洞埋深 22.54 ~ 61.59m，全长 2022m，围岩类别方面：III 类围岩总长约 228m，占比约 11.26%，IV 类围岩总长约 931m，占比约 46.05%，V 类围岩总长约 863m，占比约 42.69%，二标段全

线以V类、IV类围岩为主，共长 1794m，占隧洞总长 88.74%。

第二标段洞身围岩风化状态方面：隧洞洞身全部位于全风化带段，总长约 221m，占比约 10.92%；隧洞洞身位于全、强风化带段，总长约 211m，占比约 10.46%；隧洞洞身全部位于强风化带段，总长约 290m，占比约 14.33%；隧洞洞身位于强、弱风化带段，总长约 164m，占比约 8.13%；隧洞洞身全部位于弱风化带段，总长约 392m，占比约 19.39%；隧洞洞身位于弱、微风化带段，总长约 266m，占比约 13.17%；隧洞洞身位于微风化带段，总长约 351m，占比约 17.36%；另外，还有部分洞身涉及全、强、弱三种风化类型，总长约 100m，占比约 4.92%；部分洞身涉及强、弱、微三种风化类型，总长约 27m，占比约 1.32%；综上所述，隧洞洞身涉及全、强风化段的稳定性差洞身，总长约 1013m，占比约 50.08%。

统计显示，第二标段洞身围岩涉及上部全风化下部强风化、上部强风化下部弱风化以及上部弱风化下部微新这类上软下硬工况总长约 768m，占比约 38.00%，由于软弱地层和硬岩地层物理力学性质差异大，可能产生如下问题：平衡压力控制不好，盾构掘进引起刀盘切削上部土体容易进入土仓，下部较硬部分则掘进困难，易发生盾构机上翘、刀盘刀具磨损过大等问题。施工过程中，应控制盾构姿态、掘进速度，另外做好掘进推力、刀盘转速、渣土管理控制等盾构掘进参数控制，加强施工地质风险的分析和预判，另外隧洞穿越全风化带段局部粘土含量较高，应注意刀盘结泥饼风险做好施工控制及预防隧洞措施。

第二标段盾构隧洞临水库布置，局部下穿水库，抽水试验显示洞身段全、强风层具中等透水性，而洞身涉及全、强风化围岩的隧洞占比约 50.08%，隧洞掘进可能加速地下水径流的循环，影响岩土的物理力学性能并发生漏浆，建议配制合适的浆液，做好控制量测、超前地质预报，衬砌完成后应

及时注浆加固，同时加强盾构掘进过程中地表沉降变化的巡查和监测，及时收集相关信息进行分析比对，并调整推进参数，减少对地层的扰动，控制地面沉降。

4.3 盾构工作井地质条件评价及建议

4.3.1 R4#盾构工作井

4.3.1.1 工程地质条件

R4#盾构工作井位于松木山水厂西北角，现状为一处林地，里程桩号 R5+194，设计向松山湖水厂分水，清表后地面高程 28.0m，设计内径 21.2m、外径 25.6m，底板底面高程-14.22m，底板厚度 2.5m，井深 39.22m；采用地下连续墙+内衬墙支护型式和高压旋喷桩洞口加固。建筑物级别为 2 级。

工作井处地形为一处矮丘，微起伏，东高西低，临近在建水厂，周围环境总体较复杂。根据本阶段及上阶段钻孔，场地地层上部为第四系全新统残坡积层（编号为②-2 层）：主要为砂质粘性土，红褐、灰黄色夹灰白色等，色杂，局部夹高岭土及碎砾石，块碎石含量较高，砾径一般 3~30cm，局部夹大块径孤石，自由膨胀率小于 40%，多呈硬塑状，少量可塑状，厚度 9.0~15.3m，场地广泛分布，厚度不均。钻孔原位测试表明，残积土标贯击数 5~40 击，平均值 20.2 击，动探击数 3~38 击，平均值 11.2 击，粘粒含量较高段呈硬塑状~硬可塑状，局部软可塑，砂砾石含量较高段，整体呈密实状，局部中密。

场地下伏基岩主体为中元古界长安组变质岩（编号为⑤层）：岩性以黑云斜长片麻岩为主，局部夹花岗岩等，深灰色、灰黑色夹灰白色、灰绿色，呈全、强、弱风化状态，局部全风化带夹块状孤石，为残留原岩结构。全风化带厚约 25.3~36.2m，色杂，土柱状，岩芯呈可塑至硬塑状，轻击即

散，岩体结构已基本破坏，黑云母、斜长石矿物含量约 30%，石英矿物约 5%，干钻可钻进，不漏水，岩体基本质量等级为V级，钻孔声波测试显示，波速值普遍在 1500~2100m/s 之间，标贯击数 34~69 击，平均值 44.1 击，动探击数 12~68 击，平均值 18.2 击，整体呈密实状。强风化带：深灰色夹灰黑色、青灰色，岩芯呈碎块、碎块夹土状，少量短柱状，岩体结构部分已破坏，矿物成分显著变化，岩体多被节理裂隙切割，隙面被渲染，岩体强度较低，锤击破碎，岩体完整性指数 0.16~0.35，基本质量等级为V级；钻孔声波测试显示，波速值普遍在 2000~4000m/s 之间，厚度 2.5~5.6m，厚度较薄。弱风化岩体：深灰色夹灰白色、灰绿色，岩芯呈柱状、长柱状，少量短柱状，岩体结构少量破坏，矿物成分基本未变，沿节理面发育金属矿物及颗粒条纹。裂隙较发育，强度较高，属中硬岩，岩体完整性指数 0.33~0.73，基本质量等级为IV级；钻孔声波测试显示，波速值普遍在 3440~5930m/s 之间，平均波速 4682m/s，岩体完整性指数 0.67，厚度 3.5~13.7m。微风化岩体呈短柱状、碎块状，岩体结构少量破坏，裂隙发育较少，岩体强度较高，属中硬岩，较完整至完整，基本质量等级为III级，未揭穿。

4.3.1.2 地质条件评价

工作井主要位于残坡积层、全风化及强风化变质岩（黑云斜长片麻岩为主）中，底板大部位于弱风化带，仅局部边缘位于强、弱风化带界线附近。钻探显示弱风化带岩芯呈柱状、长柱状，少量短柱状，岩体结构少量破坏，矿物成分基本未变，沿节理面发育金属矿物及颗粒条纹。裂隙较发育，强度较高，属中硬岩，速值在 3440~5930m/s 之间，平均波速 4682m/s，岩体完整性指数 0.46~0.75。室内试验成果，该层地基承载力特征值 f_{ak} 为 1800kPa，极限端阻力标准值 q_{pk} 为 8000kPa，满足工作井承载力要求。

考虑场地位于水库边，勘察期间地下水位高程 20.70~21.58m，地下水

位整体较高，钻孔注水试验显示：② -2 残坡积土渗透系数为 $10^{-5}\text{cm/s} \sim 10^{-4}\text{cm/s}$ 量级，整体具弱～中等透水性，建议值为 $5 \times 10^{-4}\text{cm/s}$ ，属中等透水；⑤ 层变质岩全风化带渗透系数为 $10^{-5}\text{cm/s} \sim 10^{-4}\text{cm/s}$ 量级，整体具弱～中等透水性，建议值为 $4 \sim 7 \times 10^{-4}\text{cm/s}$ ，属中等透水；⑥ 层变质岩强风化带试验渗透系数为 10^{-4}cm/s 量级，整体具中等透水性，透水率建议值为 $10 \sim 70\text{Lu}$ ，具中等透水性；上述土层透水性较强，地基承载力较低，力学性质差，在地表水入渗影响下易导致浅表层发生变形破坏，开挖前应对基坑进行降水处理，工程建设期需做好施工排水工作，在井底设置积水井及时抽排，此外，工作井开挖面积较大，应做好安全监测工作。

按照《岩土工程勘察规范》（GB50021-2009）第 12 章有关规定判定，工作井周围环境水对混凝土及钢筋混凝土结构中钢筋无腐蚀性，对钢结构具弱腐蚀性。

4.3.1.3 物理力学参数及建议值

本工点相关设计参数可参考表 3.6.5-1、3.6.5-2 参数建议值。

4.3.1.4 基坑等级与周边环境

依据广东省标准《建筑基坑工程技术规程》（DBJ/T15-20-2016）第 3.2.2 条，拟建工作井基坑重要性为一级。工作井场地整体为一处矮丘，存在一定起伏，东高西低，临近在建水厂。

4.3.1.5 主要工程地质问题及建议

工作井开挖面积较大，地表水及地下水丰富，开挖可能产生涌水、坍塌变形失稳等地质问题；建议地连墙嵌固深度应进入弱风化岩体一定深度，若基坑底部有断层（尤其有断层泥）或破碎带通过应增加支护等措施，并加强沉降及变形监测。

考虑工作井基础大部位于弱风化变质岩中，局部位于强风化带，勘探

显示强风化带呈短柱状、块状，局部为碎块石夹土，锤击即碎，岩体结构大部分破坏，矿物成分显著变化，岩体多被节理裂隙切割，隙面被渲染，强度低，属较软岩，极破碎至破碎，基本质量等级为V级，局部含较大块石，强度变化大，弱风化带强度更高，完整性更好，无法进行沉井施工。

抗浮设防水位可按场地实测最高水位和地下水位变化确定，最不利条件下抗浮设计水位可按基坑地表面设计标高（即高程 28.00m）或松木山水库最高水位确定。

4.3.2 R5#盾构工作井

4.3.2.1 工程地质条件

R5#盾构工作井位于松木山水库西侧寒溪水入库口闸室附近、输水线路终点，现状为公园内一处水塘。根据设计方案：功能为水力过渡井，里程桩号 R6+052，清表后地面高程 25.0m，设计内径 19.6m、外径 25.6m，底板底面高程-14.44m，底板厚度 2.5m，井深 41.44m；采用地下连续墙+内衬墙支护型式和高压旋喷桩洞口加固，建筑物级别为 2 级。

工作井处地形为低洼水塘，存在一定起伏，东高西低，与已建原水管道箱涵平行，附近地下管线等较多，周围环境总体较复杂。

根据本阶段及上阶段钻孔，场地地层上部为填土，主要为素填土（编号为①层），为灰黄、黄褐夹红褐等杂色粉质粘土、粘土、砂砾混合，局部夹碎砾石、块碎石和少量建筑砖屑，结构较松散，承载力较低，钻孔原位测试表明，动探击数 6~10 击，平均值 7.5 击，整体呈稍密状，局部中密，厚度 0.0~6.8m，广泛分布在井壁东侧、南侧、北侧，堆积年限 3~10 年，多为机械填筑。填土层下局部分布第四系全新统湖积层：为灰黑色、黑褐色淤泥质土，局部夹粉细砂，含水量高，软塑至流塑状，具有腥臭味，钻孔原位测试表明，标贯击数 2~7 击，平均值 4.4 击，含砂段动探击数 1~

16 击，平均值 2.3 击，整体软可塑状，局部软塑，厚度 0.0~2.5m，分布在鱼塘底部及井壁东侧、南侧、西侧。湖积层下为第四系全新统残坡积层（编号为②-2 层）：主要为砂质粘性土，红褐、灰黄色夹灰白色等，色杂，局部夹高岭土及碎砾石，块碎石含量较高，砾径一般 3~30cm，局部夹大块径孤石，自由膨胀率小于 40%，多呈硬塑状，少量可塑状，厚度 3.5~6.0m，场地广泛分布，厚度不均。钻孔原位测试表明，标贯击数 5~40 击，平均值 20.2 击，动探击数 3~38 击，平均值 11.3 击，粘粒含量较高段呈硬塑状~硬可塑状，局部软可塑，砂砾石含量较高段，整体呈密实状，局部中密。

场地下伏基岩主体为花岗岩，局部夹黑云二长片麻岩、黑云斜长片麻岩等，具混合岩化特征，岩性较杂；花岗岩：灰、深灰、灰白夹肉红色，中-粗粒结构，块状构造，矿物成分主要由石英、长石、黑云母组成，另有少量角闪石、榍石等，呈全至微风化状态，局部夹黑云二长片麻岩等捕虏体，呈混合岩状。全风化带厚约 23.2~28.1m，室内定名为砂质粘性土，呈可塑至硬塑状，手搓砂感强，因差异风化，局部含较大块径花岗岩孤石，该层标贯击数 41~70 击，平均值 49.2 击，动探击数 16~77 击，平均值 23.2 击，整体呈密实状；强风化带呈短柱状、块状，局部为碎块石夹土，锤击即碎，岩体结构大部分破坏，矿物成分显著变化，岩体多被节理裂隙切割，隙面被渲染，强度低，属较软岩，极破碎至破碎，岩体完整性指数 0.09~0.26，基本质量等级为 V 级；钻孔声波测试显示，波速值普遍在 2000~3590m/s 之间，厚度 4.0~11.2m。弱风化岩体呈短柱状、柱状，块状结构，岩体结构少量破坏，矿物成分基本未变，沿节理面发育次生矿物，裂隙较发育，岩体强度较高，属中硬岩，较破碎至较完整，岩体完整性指数 0.60~0.80，基本质量等级为 IV 级，该层波速值普遍在 4000~5400m/s 之间，该层未揭穿。

4.3.2.2 地质条件评价

工作井主要位于填土、残坡积层、全风化及强风化花岗岩中，底板大部分位于弱风化花岗岩中，局部位于强、弱风化带界线附近，钻探显示弱风化带岩芯呈柱状、长柱状，少量短柱状，岩体结构少量破坏，矿物成分基本未变，沿节理面发育金属矿物及颗粒条纹。裂隙较发育，强度较高，属中硬岩；波速值普遍在 3440~5930m/s 之间，平均波速 4682m/s，岩体完整性指数 0.67，基本质量等级为IV级。参考室内试验成果，该层地基承载力特征值 f_{ak} 为 1800kPa，极限端阻力标准值 q_{pk} 为 8000kPa，其承载力满足工作井承载力要求。

工作井处地形低洼，勘察期间地下水位高程 21.88~23.09m，地下水位整体较高，钻孔注水试验显示：① 填土渗透系数为 $10^{-6}\text{cm/s} \sim 10^{-5}\text{cm/s}$ 量级，建议值为 $1 \times 10^{-5}\text{cm/s}$ ，具弱透水性；② -1 湖积淤泥质土渗透系数为 $10^{-6}\text{cm/s} \sim 10^{-5}\text{cm/s}$ 量级，建议值为 $1 \times 10^{-5}\text{cm/s}$ ，具弱透水性；③ -2 残坡积土渗透系数为 $10^{-5}\text{cm/s} \sim 10^{-4}\text{cm/s}$ 量级，整体具弱~中等透水性，建议值为 $5 \times 10^{-4}\text{cm/s}$ ，属中等透水；④ 层花岗岩全风化带渗透系数为 $10^{-5}\text{cm/s} \sim 10^{-4}\text{cm/s}$ 量级，整体具弱~中等透水性，建议值为 $6 \sim 9 \times 10^{-4}\text{cm/s}$ ，属中等透水；⑤ 层花岗岩强风化带试验渗透系数为 10^{-4}cm/s 量级，整体具中等透水性，透水率建议值为 10~80Lu，具中等透水性；上述岩土体透水性较强，土体地基承载力较低，力学性质差，在地表水入渗影响下易导致浅表层发生变形破坏，开挖前应对基坑进行降水处理，工程建设期需做好施工排水工作，在井底设置积水井及时抽排，工作井本身应布置必要防渗措施，此外，工作井开挖面积较大，应做好安全监测工作。

按照《岩土工程勘察规范》（GB50021-2009）第 12 章有关规定判定，工作井周围环境水对混凝土及钢筋混凝土结构中钢筋无腐蚀性，对钢结构

具弱腐蚀性。

4.3.2.3 物理力学参数及建议值

本工点相关设计参数可参考表 3.6.5-1、3.6.5-2 参数建议值。

4.3.2.4 基坑等级与周边环境

依据广东省标准《建筑基坑工程技术规程》（DBJ/T15-20-2016）第 3.2.2 条，拟建工作井基坑重要性为一级。工作井大部位于水塘，场地整体地势低洼，东高西低，与已建原水管道箱涵平行，附近地下管线等较多，周围环境较复杂。

4.3.2.5 主要工程地质问题及建议

工作井开挖面积较大，地表水及地下水丰富，开挖可能产生涌水、坍塌变形失稳等地质问题；建议地连墙嵌固深度应进入弱风化岩体一定深度，若基坑底部有断层（尤其有断层泥）或破碎带通过应增加支护等措施，并加强沉降及变形监测。因地下水位较高，应在井口及井底设置排水沟或积水坑，及时抽排，加强防渗处理。此外，竖井开挖面积较大，应做好安全监测。

抗浮设防水位可按场地实测最高水位和地下水位变化确定，最不利条件下抗浮设计水位可按基坑地表面设计标高（即高程 25.00m）或松木山水库最高水位确定。

4.4 取水口及埋管段地质条件评价及建议

本项目取水口位于已建江库联网工程原水管道末段，包括 3 座控制闸（含 1 座重建控制闸，2 座新建控制闸），取水口与 R1#盾构工作井由一处长约 204 的埋管连接。

4.4.1 取水口

4.4.1.1 工程地质条件

取水口位于江库联网一期进水口闸室附近，地处松木山水库右坝肩，紧邻溢洪道控制闸。取水口呈 T 型布置，包含 3 座控制闸及其附属水池。

根据设计方案，取水口及闸室位于大坝右坝肩，紧邻水库泄洪渠，位于已建原水管道末段；场地内地势北高南低，地下有已建原水管道及各类管线，周围环境总体较复杂。

根据取水口周边钻孔及物探资料，场地地层上部为人工填土，厚度 0.0~12.0m，主要为素填土（编号为①层），为灰黄、黄褐、黑褐等杂色粉质粘土、粘土、砂土混合，局部夹碎砾石、块碎石和少量建筑砖屑，结构较松散，承载力较低，广泛分布在场地表，堆积年限 3~10 年，多为机械填筑。填土下为第四系全新统残坡积层（编号为②-2 层）：主要为砂质粘性土，红褐、灰黄色夹灰白色等，色杂，局部夹高岭土及碎砾石，自由膨胀率小于 40%，多呈硬塑状，少量可塑状，厚度 1.9~7.5m，场地广泛分布，厚度不均。钻孔原位测试表明，残积土标贯击数 5~40 击，平均值 20.2 击，动探击数 3~38 击，平均值 11.3 击。

场地下伏基岩主体为变质岩（黑云斜长片麻岩等），局部夹花岗岩，花岗岩呈混合岩状，岩性较杂。全风化带厚约 13.9~15.2m，室内定名为砂质粘性土，呈可塑至硬塑状，手搓砂感强；强风化带呈短柱状、块状，局部为碎块石夹土，锤击即碎，岩体结构大部分破坏，矿物成分显著变化，岩体多被节理裂隙切割，隙面被渲染，强度低，属较软岩，极破碎至破碎，岩体完整性指数 0.09~0.26，基本质量等级为 V 级；波速值普遍在 2000~3000m/s 之间，局部达 3500m/s，厚度 1.4~7.6m。弱风化岩体呈短柱状、柱状，岩体结构少量破坏，矿物成分基本未变，沿节理面发育次生矿物，

裂隙较发育，岩体强度较高，属中硬岩，较破碎至较完整，岩体完整性指数 0.41~0.60，基本质量等级为IV级；该层波速值普遍在 3000~4500m/s 之间，局部达 5000m/s。

4.4.1.2 地质条件评价

取水口及三处闸室主要位于填土、残坡积层、全风化变质岩（黑云斜长片麻岩）中，三处闸基底板部位于大部位于残积土。钻探显示砂质粘性土，红褐、灰黄色夹灰白色等，色杂，局部夹高岭土及碎砾石，自由膨胀率小于 40%，多呈硬塑状，少量可塑状，厚度 1.9~7.5m，场地广泛分布，厚度不均。钻孔原位测试表明，残积土标贯击数 5~40 击，平均值 20.2 击，动探击数 3~38 击，平均值 11.3 击。参考现场原位试验、室内试验成果，该层地基承载力特征值 f_{ak} 为 150~160kPa，压缩模量 $E_{s0.1-0.2}$ 为 4~6MPa，内摩擦角 ϕ 为 $23^{\circ} \sim 25^{\circ}$ ，同时考虑基础局部位于填土上，土体性状不均一，因此，判断该层需进行地基加固处理，处理后其承载力整体满足闸室基础承载力要求。

另外，取水口基础开挖后，开挖边坡涉及填土层及残坡积层。填土层主要为素填土（编号为①层），为灰黄、黄褐、黑褐等杂色粉质粘土、粘土、砂土混合，局部夹碎砾石、块碎石，结构较松散，广泛分布在场地表，堆积年限 3~10 年，多为机械填筑。填土下为第四系全新统残坡积层（编号为②-2 层）：主要为砂质粘性土，红褐、灰黄色夹灰白色等，色杂，局部夹高岭土及碎砾石，自由膨胀率小于 40%，多呈硬塑状，少量可塑状，场地广泛分布，厚度不均。

考虑取水口位于水库大坝坝基，连接本项目与江库联网一期管道，场地地下水位较高，上述土层透水性较强，地基承载力低，力学性质差，在地表水入渗影响下易导致浅表层发生变形破坏，开挖前应对基坑进行降水

处理，工程建设期需做好施工排水工作，在取水口底设置积水井及时抽排，取水口本身应布置必要防渗措施，此外，取水口开挖面积较大，应做好安全监测工作。

4.4.1.3 物理力学参数及建议值

本工点相关设计参数可参考表 3.6.5-1、表 3.6.5-2。

4.4.1.4 基坑等级与周边环境

依据广东省标准《建筑基坑工程技术规程》（DBJ/T15-20-2016）第 3.2.2 条，拟建工作井基坑重要性为一级。根据设计方案，取水口及闸室位于大坝右坝肩，紧邻水库泄洪渠，位于已建原水管道末段；场地内地势北高南低，地下有已建原水管道及各类管线，周围环境总体较复杂。

工作井场地地震动峰值加速度为 0.05g，地震动反应谱特征周期为 0.35s，相应的地震基本烈度为 VI 度，抗震设防烈度按 6 度设防。

4.4.1.5 主要工程地质问题及建议

取水口及闸室开挖面积较大，地表水及地下水丰富，开挖可能产生涌水、坍塌变形失稳等地质问题，开挖边坡参考表 3.6.5-1、表 3.6.5-2 中临时边坡开挖建议坡比放坡，条件允许时应留有一定安全系数；建议采用止水帷幕防渗，控制地下水渗入，其深度应满足规程规范要求，取水口及闸室等建构筑物处有断层（尤其是断层泥）或破碎带通过时应采取地基加固等措施，施工时需加强沉降及变形监测。

抗浮设防水位可按场地实测最高水位和地下水位变化确定，最不利条件下抗浮设计水位可按最高运行水位确定（即高程 26.80m）。

4.4.2 埋管段

4.4.2.1 工程地质条件

埋管段为取水口与 R1#工作井过渡段，横穿松木山水库大坝右坝肩，向坝体下游布置，位于水库泄洪渠左岸，地表有部分苗木种植。本段采用内径 4600mm、壁厚 20mm 的钢管，采取开挖基坑埋管方式布置，管线呈勾型布置，长约 204m。

根据设计方案，埋管段横穿松木山水库右坝肩，最近距西侧水库泄洪渠约 24m；场地内地势北高南低，地表植被较茂盛，除已建原水管道外还有原松山湖马术俱乐部部分残留设施，周围环境总体较复杂。

根据本阶段钻孔及物探成果，场地地层上部为人工填土及坝体填土，厚度 0.0~6.4m，人工填土主要为素填土（编号为①层），为灰黄、黄褐、黑褐等杂色粉质粘土、粘土、砂土混合，局部夹碎砾石、块碎石，广泛分布在场地表，堆积年限 3~10 年，多为机械填筑；坝体填土同样为素填土，以粉质粘土为主，呈可塑~硬塑状，压实度好于一般人工填土。填土下为第四系全新统残坡积层（编号为②-2 层）：主要为砂质粘性土，红褐、灰黄色夹灰白色等，色杂，局部夹高岭土及碎砾石，自由膨胀率小于 40%，多呈硬塑状，少量可塑状，厚度 1.0~13.6m，场地广泛分布，厚度不均。钻孔原位测试表明，残积土标贯击数为 5~40 击，平均击数 20.2 击，动探击数为 3~38 击，平均击数 11.3 击。

场地下伏基岩为变质岩（黑云斜长片麻岩），局部夹花岗岩，呈混合岩状。全风化带厚约 1.4~17.1m，室内定名为砂质粘性土，呈可塑至硬塑状，手搓砂感强；强风化带呈短柱状、块状，局部为碎块石夹土，锤击即碎，岩体结构大部分破坏，矿物成分显著变化，岩体多被节理裂隙切割，隙面被渲染，强度低，属较软岩，极破碎至破碎，岩体完整性指数 0.09~

0.26, 基本质量等级为 V 级; 钻孔声波测试显示, 波速值普遍在 2000 ~ 3000m/s 之间, 局部达 3500m/s, 厚度 8.2 ~ 29.8m。弱风化岩体呈短柱状、柱状, 岩体结构少量破坏, 矿物成分基本未变, 沿节理面发育次生矿物, 裂隙较发育, 岩体强度较高, 属中硬岩, 较破碎至较完整, 岩体完整性指数 0.41 ~ 0.60, 基本质量等级为 IV 级。

4.4.2.2 地质条件评价

埋管段开挖段涉及填土、残坡积层、全风化带, 埋管基础大部位于残坡积层、填土层。按最不利考虑, 钻探揭示填土层: 为灰黄、黄褐、黑褐等杂色粉质粘土、粘土、砂土混合, 局部夹碎砾石、块碎石和少量建筑砖屑, 动探击数 6 ~ 10 击, 平均值 7.5 击, 整体呈稍密状, 局部中密, 该层地基承载力特征值 f_{ak} 为 80 ~ 100kPa, 压缩模量 $E_{s_{0.1-0.2}}$ 为 4 ~ 6 MPa, 内摩擦角 ϕ 为 18° ~ 22° ; 第四系全新统残坡积层 (编号为②-2 层): 主要为砂质粘性土, 红褐、灰黄色夹灰白色等, 色杂, 局部夹高岭土及碎砾石, 自由膨胀率小于 40%, 多呈硬塑状, 少量可塑状, 厚度 3.1 ~ 6.8m, 场地广泛分布, 厚度不均。钻孔原位测试表明, 残积土标贯击数 5 ~ 40 击, 平均值 20.2 击, 动探击数 3 ~ 38 击, 平均值 11.3 击。参考现场原位试验、室内试验成果, 该层地基承载力特征值 f_{ak} 为 150 ~ 160kPa, 压缩模量 $E_{s_{0.1-0.2}}$ 为 4 ~ 6MPa, 内摩擦角 ϕ 为 23° ~ 25° , 残积层承载力基本满足埋管对承载力的需求。因此, 判断本工程埋管段残积层基础承载力大部满足承载力要求, 局部填土段可进行必要加固处理。

另外, 埋管段开挖后, 开挖边坡涉及填土层及残坡积层, 上述层位可能存在变形破坏风险。填土层主要为素填土 (编号为①层), 为灰黄、黄褐、黑褐等杂色粉质粘土、粘土、砂土混合, 局部夹碎砾石、块碎石和少量建筑砖屑, 结构较松散, 承载力较低, 广泛分布在场地表。填土下为

第四系全新统残坡积层（编号为②-2层）：主要为砂质粘性土，红褐、灰黄色夹灰白色等，色杂，局部夹高岭土及碎砾石，自由膨胀率小于40%，多呈硬塑状，少量可塑状，场地广泛分布，厚度不均。

4.4.2.3 物理力学参数及建议值

相关设计参数可参考表 3.6.5-1、3.6.5-2。

4.4.2.4 主要工程地质问题及建议

埋管段局部开挖面积较大，地表水及地下水丰富，考虑场地地下水位较高，上述土层透水性较强，力学性质差，开挖可能在地表水入渗影响下易导致浅表层发生变形破坏，产生涌水、坍塌变形失稳等地质问题，开挖边坡应按照本报告表 3.6.5-1、表 3.6.5-2 中临时边坡开挖建议坡比放坡，条件允许时应留有一定安全系数，工程建设期需做好施工排水工作，此外，管线开挖面积较大部位，应加强沉降及变形监测工作。

埋管从松木山水库右坝肩与溢洪道连接处穿越，埋管与坝肩接合部分施工阶段若处理不当，将可能存在接触渗漏等影响大坝渗流安全的隐患，对大坝安全构成威胁，坝肩开挖回填后若处理不当会引发坝肩绕坝渗漏隐患，另外埋管施工开挖，起点段需挖除部分坝体及右坝肩填土后再进行回填，因新旧填土压实度存在差异，可能会产生坝体不均匀沉降隐患。建议针对坝下埋管接触渗漏隐患、坝肩绕库渗漏隐患及坝体不均匀沉积等问题布置必要工程处理措施及针对性处理方案，设计方案可结合松木山水库大坝安全鉴定成果及正进行中的除险加固处理工程布置，必要时可针对施工方案对大坝安全的影响进行专题研究。

4.5 进场道路工程地质条件及评价

4.5.1 进场道路现状及施工道路布置

本项目勘察区位于松山湖高新区的松木山水库景区内，景区外有环湖路、湖景路、锦华路等多条市政道路，交通方便，景区内道路通畅，交通便利，路面状况良好，可基本到达各工作井施工面附近，仅需局部布置少量施工道路，连接景区现有道路及工作井。

根据工程施工实际需要，第二标段江库联网原水绕松木山水库段原水管道项目设计施工道路共 2 条：R4#工作井施工道路（长约 28m）、R5#工作井施工道路（长约 20m）。

4.5.2 R4#工作井施工道路

4.5.2.1 工程地质条件

R4#工作井施工道路位于松木山水厂西北侧，连接松山水厂内部与R4#工作井，现状为一处林地，施工道路全长为 28m。拟建道路大部位于在建松山水厂施工场地边林地内，场地整体平缓，周围环境总体较复杂。

根据本阶段钻孔，场地地层上部为第四系全新统残坡积层（编号为②-2 层）：主要为砂质粘性土，红褐、灰黄色夹灰白色等，色杂，局部夹高岭土及碎砾石，块碎石含量较高，砾径一般 3~30cm，局部夹大块径孤石，自由膨胀率小于 40%，多呈硬塑状，少量可塑状，厚度 9.0~15.3m，场地广泛分布，厚度不均。钻孔原位测试表明，残积土标贯击数 5~40 击，平均值 20.2 击，动探击数 3~38 击，平均值 11.2 击，粘粒含量较高段呈硬塑状~硬可塑状，局部软可塑，砂砾石含量较高段，整体呈密实状，局部中密。

场地下伏基岩主体为中元古界长安组变质岩（编号为⑤层）：岩性以黑云斜长片麻岩为主，局部夹花岗岩等，深灰色、灰黑色夹灰白色、灰绿色，呈全、强、弱风化状态，局部全风化带夹块状孤石，为残留原岩结构。

全风化带厚约 25.3~36.2m，色杂，土柱状，岩芯呈可塑至硬塑状，轻击即散，岩体结构已基本破坏，黑云母、斜长石矿物含量约 30%，石英矿物约 5%，干钻可钻进，不漏水，岩体基本质量等级为 V 级，钻孔声波测试显示，波速值普遍在 1500~2100m/s 之间，标贯击数 34~69 击，平均值 44.1 击，动探击数 12~68 击，平均值 18.2 击，整体呈密实状。

4.5.2.2 地质条件评价

施工道路基础位于残坡积层，钻探显示：第四系全新统残坡积层：主要为砂质粘性土，红褐、灰黄色夹灰白色等，色杂，局部夹高岭土及碎砾石，块碎石含量较高，砾径一般 3~30cm，局部夹大块径孤石，自由膨胀率小于 40%，多呈硬塑状，少量可塑状，厚度 9.0~15.3m，残积土标贯击数 5~40 击，平均值 20.2 击，动探击数 3~38 击，平均值 11.2 击，粘粒含量较高段呈硬塑状~硬可塑状，局部软可塑，砂砾石含量较高段，整体呈密实状，局部中密，承载力一般。

考虑场地地下水位较高，且本段施工道路距松山湖水库较近，在地表水入渗影响下易导致浅表层发生变形破坏，建议道路施工选择硬塑状残坡积层或对残坡积层进行必要基础处理后作为施工道路基础持力层。

4.5.2.3 物理力学参数及建议值

本工点相关设计参数可参考表 3.6.5-1、3.6.5-2 参数建议值。

4.5.3 R5#工作井施工道路

4.5.3.1 工程地质条件

R5#工作井施工道路位于松木山水库西侧寒溪水入库口闸室附近、输水线路终点，连接松山湖景区内部道路与 R5#工作井，现状为一处荷塘，施工道路全长为 20m。拟建道路大部位于位于松山湖景区内，位于已建原水管道涵洞上方，地下箱涵、管线等较多，周围环境总体较复杂。

根据本阶段钻孔，施工道路荷塘段场地地层上部为填土，主要为素填土（编号为①层），为灰黄、黄褐夹红褐等杂色粉质粘土、粘土、砂砾混合，局部夹碎砾石、块碎石和少量建筑砖屑，结构较松散，承载力较低，钻孔原位测试表明，动探击数 6~10 击，平均值 7.5 击，整体呈稍密状，局部中密，厚度 0.0~6.8m，堆积年限 3~10 年，多为机械填筑。填土层下局部分布第四系全新统湖积层：为灰黑色、黑褐色淤泥质土，局部夹粉细砂，含水量高，软塑至流塑状，具有腥臭味，钻孔原位测试表明，标贯击数 2~7 击，平均值 4.4 击，含砂段动探击数 1~16 击，平均值 2.3 击，整体软可塑状，局部软塑，厚度 0.0~1.6m，分布在荷塘底部。湖积层下为第四系全新统残坡积层（编号为②-2 层）：主要为砂质粘性土，红褐、灰黄色夹灰白色等，色杂，局部夹高岭土及碎砾石，块碎石含量较高，砾径一般 3~30cm，局部夹大块径孤石，自由膨胀率小于 40%，多呈硬塑状，少量可塑状，厚度 0.0~4.4m，场地广泛分布，厚度不均。钻孔原位测试表明，标贯击数 5~40 击，平均值 20.2 击，动探击数 3~38 击，平均值 11.3 击，粘粒含量较高段呈硬塑状~硬可塑状，局部软可塑，砂砾石含量较高段，整体呈密实状，局部中密。

场地下伏基岩主体为花岗岩，局部夹黑云二长片麻岩、黑云斜长片麻岩等，具混合岩化特征，岩性较杂；花岗岩：灰、深灰、灰白夹肉红色，中-粗粒结构，块状构造，矿物成分主要由石英、长石、黑云母组成，另有少量角闪石、榍石等，呈全至微风化状态，局部夹黑云二长片麻岩等捕虏体，呈混合岩状。全风化带厚约 12.2~26.6m，室内定名为砂质粘性土，呈可塑至硬塑状，手搓砂感强，因差异风化，局部含较大块径花岗岩孤石，该层标贯击数 41~70 击，平均值 49.2 击，动探击数 16~77 击，平均值 23.2 击，整体呈密实状。

4.5.3.2 地质条件评价

施工道路基础位于填土、湖积淤泥质土（荷塘段）、残坡积层中，钻探显示：人工填土，主要为素填土，为灰黄、黄褐夹红褐等杂色粉质粘土、粘土、砂砾混合，局部夹碎砾石、块碎石和少量建筑砖屑，结构较松散，钻孔原位测试表明，动探击数 6~10 击，平均值 7.5 击，承载力较低，整体呈稍密状，局部中密，厚度 0.0~6.8m；湖积淤泥质土为灰黑色、黑褐色淤泥质土，局部夹粉细砂，含水量高，软塑至流塑状，具有腥臭味，标贯击数 2~7 击，平均值 4.4 击，含砂段动探击数 1~16 击，平均值 2.3 击，厚度 0.0~1.6m，厚度较薄，承载力较差；第四系全新统残坡积层：主要为砂质粘性土，红褐、灰黄色夹灰白色等，色杂，局部夹高岭土及碎砾石，块碎石含量较高，砾径一般 3~30cm，局部夹大块径孤石，自由膨胀率小于 40%，多呈硬塑状，少量可塑状，厚度 0.0~4.4m，残积土标贯击数 5~40 击，平均值 20.2 击，动探击数 3~38 击，平均值 11.2 击，粘粒含量较高段呈硬塑状~硬可塑状，局部软可塑，砂砾石含量较高段，整体呈密实状，局部中密，承载力一般。

考虑场地地下水位较高，填土及湖积淤泥质土分布及厚度有限，地基承载力较低，力学性质差，在地表水入渗影响下易导致浅表层发生变形破坏，建议道路施工时对其进行挖除，选择硬塑状残坡积层或对残坡积层进行必要基础处理后作为施工道路基础持力层。

4.5.3.3 物理力学参数及建议值

本工点相关设计参数可参考表 3.6.5-1、3.6.5-2 参数建议值。

4.6 场地类型划分

4.6.1 场地土类型

根据《建筑抗震设计规范》(GB50011-2010)(2016年版)第4.1.3条、现场岩土层剪切波速试验值,结合岩土层的名称、状态特征划分场地土类型。在二标段内实测剪切波速统计及场地土类型划分成果如表4.5.1-1。

表 4.5.1-1 场地土的类别划分与等效剪切波速值汇总表(第二标段)

钻孔编号	岩土体名称	覆盖厚度及剪切波速		状态	场地土类别
		覆盖厚度(m)	等效剪切波速(m/s)		
R4K2	残积砂质粘性土	15.3	202	可塑-硬塑	中软土
R5K5	填土、残积砂质粘性土	12.8	214	松散,硬塑-坚硬	中软土
RDK75	残积砂质粘性土	7.3	230	硬塑-坚硬	中软土
RDK80	残积砂质粘性土	16.2	235	硬塑-坚硬	中软土
RDK90	残积砂质粘性土	2.0	339	硬塑-坚硬	中硬土
RDK133	残积砂质粘性土	12.4	224	硬塑-坚硬	中软土
RDK136	残积砂质粘性土	16.2	214	硬塑-坚硬	中软土
RDK139	填土、残积砂质粘性土	24.5	211	松散、硬塑-坚硬	中软土

根据表4.5.1-1所示,场地土类型以中软土~中硬土为主,地表可塑状残积土为中软土,局部填土上覆填土层及湖积淤泥质土为中软土。

4.6.2 建筑场地类别

根据单孔波速测试成果,结合输水线路地层分布特征,按国家标准《建筑抗震设计规范》(GB50011-2010)(2016年版)的规定,确定输水线路(第二标段)场地土类型以中硬土为主,场地类别以II类为主,场地设计特征周期为0.35s。波速测试孔场地类别计算成果如表4.5.2-2。

表 4.5.2-2 场地土类型与建筑场地类别汇总表(第二标段)

钻孔编号	覆盖厚度(m)	计算深度(m)	等效剪切波速(m/s)	场地类别
R4K2	15.3	15.3	202	II
R5K5	12.8	12.8	214	II

RDK75	7.3	7.3	230	II
RDK80	16.2	16.2	235	II
RDK90	2.0	2.0	339	I ₁
RDK133	12.4	12.4	224	II
RDK136	16.2	16.2	214	II
RDK139	24.5	24.5	211	II

注明：取覆盖厚度和 20m 二者的较小值；单孔波速测试值见剪切波检测报告

4.7 地基稳定性及均匀性评价

第二标段拟建的输水隧洞穿越地层主要有岩浆岩④层全至微风化带、变质岩⑤全至微风化带。其中风化岩层的力学性质较好，但遇水浸泡后强度下降较大；强风化岩体裂隙发育，强度较低，透水性较强；弱至微风化岩体较完整至完整。因此，综合判定围岩的稳定性较差。

根据勘察揭露的岩土层及输水线路纵断面图分析：江库联网原水绕松木山水库段原水管道工程（主体段）第二标段输水隧洞洞身段主要位于全至微风化岩体中，围岩类别为IV~V类为主，局部为III类。围岩类别方面：III类围岩总长约 2585m，占比约 42.44%，IV类围岩总长约 690m，占比约 11.33%，V类围岩总长约 2816m，占比约 46.23%，全线以V级、IV类围岩为主，共长 3506m，占隧洞总长 57.56%。

第二标段洞身围岩风化状态方面：隧洞洞身全部位于全风化带段，总长约 221m，占比约 10.92%；隧洞洞身位于全、强风化带段，总长约 211m，占比约 10.46%；隧洞洞身全部位于强风化带段，总长约 290m，占比约 14.33%；隧洞洞身位于强、弱风化带段，总长约 164m，占比约 8.13%；隧洞洞身全部位于弱风化带段，总长约 392m，占比约 19.39%；隧洞洞身位于弱、微风化带段，总长约 266m，占比约 13.17%；隧洞洞身位于微风化带段，总长约 351m，占比约 17.36%；另外，还有部分洞身涉及全、强、弱三种风化类型，

总长约 100m，占比约 4.92%；部分洞身涉及强、弱、微三种风化类型，总长约 27m，占比约 1.32%；综上所述，隧洞洞身涉及全、强风化段的稳定性差洞身，总长约 1013m，占比约 50.08%。第二标段洞身围岩涉及上部全风化下部强风化、上部强风化下部弱风化以及上部弱风化下部微新这类上软下硬工况总长约 768m，占比约 38.00%，当输水隧洞穿越相关岩体时，岩土层的类别、性质、物理力学性质差别较大，所以，输水隧洞场地地基土具有极不均匀性。

根据工作井施工布置方案，江库联网原水绕松木山水库段原水管道工程（主体段）第二标段各工作井底板位于弱风化岩体中。弱风化岩体力学性质较好，稳定性较好，但工作井覆盖层土体均匀性差。由于工作井范围较大、地下水丰富，存在竖井边坡失稳的可能性及施工期抗浮问题，综合评价地基稳定性较差。

4.8 主要工程地质问题

根据拟建场区地形地貌、地质构造、地层结构、岩土类别等地质条件，并结合隧洞施工方案、工法分析，输水线路区主要工程地质问题有隧洞段上软下硬复合地层、断层导水性、隧洞开挖扰动引起地面沉降及塌陷和围岩涌水突泥及块石卡机或堵塞等。

4.8.1 断层及强风化层漏浆及涌水突泥问题

拟建的绕松木山水库段原水管道输水隧洞（第二标段）围岩变化繁多，并发育两组三级断裂及多组四级断裂，其中第二标段中 F_{2-2} 断层斜交穿越输水线路，另外几组断层斜穿隧洞后横穿松木山水库。对断层带进行的抽水试验显示，断裂断层带各类计算工况及计算公式中渗透系数为 $3.78 \times 10^{-4} \sim 9.26 \times 10^{-4} \text{cm/s}$ ，平均值为 $6.34 \times 10^{-4} \text{cm/s}$ ，影响半径为 33.8 ~ 40.8m，断裂带

整体具中等透水性。本次对花岗岩及变质岩全、强风化带进行注水试验也显示，其具中等透水性（详见报告 3.5.2 节），本次对该层进行的抽水试验也显示其渗透系数为 $1.2 \sim 6.0 \times 10^{-3} \text{ cm/s}$ ，具中等透水性（计算成果详见附件抽水试验报告）。

当输水隧洞穿越断层破碎带或强风化带时，因断层带及强风化带渗透系数局部偏大，盾构机泥浆质量容易受到影响，或产生浆液漏失，进而产生涌水突泥灾害；尤其是穿越断层段、下穿水库地段富水、高压、软土等不利组合地质条件，隧洞掘进可能加速地下水径流的循环，改变岩土的物理力学性能，因此，设计需引起重视。建议配制合适的浆液，做好控制量测、超前地质预报，衬砌完成后应及时注浆加固。

4.8.2 块石卡机或堵塞

因输水线路中后段全、强风化埋深较深，隧洞洞身大部位于全、强风化中，因花岗岩差异风化作用，全风化带中局部可见孤石，盾构机在全、强风化岩体中掘进时，因岩体整体性差、上覆岩土厚度小、差异风化孤石等原因，盾构机推进过程中，风化带中的残留块石可能不能被刀盘有效破碎，而掉入泥水仓，增大盾构机扭矩，甚至堵塞泥浆门无法正常排出。建议提前研究制订地面加固方案。

4.8.3 上软下硬复合地层

受区域构造及岩浆作用影响，区域内风化界线起伏很大，地层岩性变化繁杂，根据绕松木山水库段原水管道输水线路工程地质纵断面图，洞身段主要位于全风化至微风化岩体中，其中输水隧洞连续穿越上软下硬复合地层的长度和占比统计如下：

隧洞洞身位于全、强风化带段，总长约 211m，占比约 10.46%；隧洞洞身位于强、弱风化带段，总长约 164m，占比约 8.13%；隧洞洞身位于弱、

微风化带段，总长约 266m，占比约 13.17%；洞身涉及全、强、弱三种风化类型，总长约 100m，占比约 4.92%，洞身涉及强、弱、微三种风化类型，总长约 27m，占比约 1.32%。综上所述，隧洞洞身位于全、强风化带段，总长约 211m，占比约 10.46%；隧洞洞身位于强、弱风化带段，总长约 164m，占比约 8.13%；洞身围岩这类上软下硬工况总长约 768m，占比约 38.00%。

由于软弱地层和硬岩地层物理力学性质差异大，不利于盾构施工，且在强风化带及土岩界面附近较大块石不易被刀盘破碎，可能直接掉入泥水仓而堵塞泥浆门，设计应重视，选择合适的施工方案和工艺。施工过程中，应控制盾构姿态、掘进速度及盾构机压力，另外做好掘进推力、刀盘转速、渣土管理控制等盾构掘进参数控制，加强施工地质风险的分析和预判。

4.8.4 地面沉降和塌陷

根据地质勘察成果，输水线路多次下穿地表水体，如水库、湖、塘底部及泥沼地等软土地段，上述洞段局部属浅埋隧洞（埋深小于 3 倍洞径），洞身段多位于全风化至强风化带过渡带，且隧洞顶板较薄，盾构掘进中，周围地层扰动变形和渗漏，极易产生冒顶、地面沉降甚至塌陷。尤其是输水线路过分水井后下穿水库地段（水面宽 740m），第四系厚约 3.5~11.6m，隧洞顶板至地表约 22.5~24.0m，对本段全风化进行抽水试验显示，其渗透系数在 $10^{-4}\text{cm/s} \sim 10^{-3}\text{cm/s}$ 量级，具中等透水性，水体入渗易导致塌陷、泥水涌入等。

输水线路沿线地下管线复杂，距离水库及华为研发基地较近，局部段下穿环湖路，尤其是临近库周浅埋段隧洞上覆岩土层较薄，地下水位较高，一旦工作面泥水压力失衡，易引起地面沉降过大、冒浆等。其次个别工作井处有软土层，软土具有含水率大、压缩性大、强度低、灵敏度高易触变

等特点，影响边墙或基础稳定。

针对该问题，建议加强盾构掘进过程及工作井开挖过程中地表沉降变化的巡查和监测，严格按照设计及规范要求进行隧洞掘进及工作井开挖影响地面范围内布置沉降观测点，掘进及开挖过程中加强管理巡查及加大监测频率做好沉降值与盾构掘进参数间的对比分析，总结出相适应地层掘进参数和注浆参数，及时调整推进参数，减少对地面的扰动，控制地面沉降。

4.8.5 盾构推进过程中结泥饼问题

本段隧洞洞身位于全风化带段，总长约 221m，占比约 10.92%；洞身涉及全、强风化带段，总长约 211m，占比约 10.46%；洞身涉及全、强、弱三种风化类型，总长约 100m，占比约 4.92%；即隧洞洞身涉及全风化带总长约 532，占比约 26.30%。室内试验显示，花岗岩及变质岩全风化带主体为砂土，但局部存在粘土含量较高夹层，当粉粘粒含量大于 25%时，粘性土体夹层受刀盘碾压，易自刀盘中心位置向周边逐步在刀盘面和土仓内壁形成附着结泥饼，轻则降低盾构机掘进能力，重则诱发盾构机喷涌现象，另外结泥饼与土仓隔板长时间摩擦，会导致中隔板等位置温度快速升高，从而引起回转中心密封件性能下降，威胁施工安全。

针对该问题，建议加强施工地质工作，根据地质条件变化调整施工措施，盾构穿越全风化带时考虑采取诸如增大刀盘扭矩、设置搅拌棒、配备泡沫剂等预防措施。

4.8.6 隧洞围岩充水分析及涌水量预测

根据盾构隧洞布置，拟建隧洞主要穿越全风化、强风化、弱风化及微风化岩体，局部穿断层。依据平均降雨量、风化岩的渗透系数和地下水埋藏深度，采用地下水动力学法，当隧洞通过地下水含水水体时，全强风化带

对隧洞渗水量预测，根据本次抽水试验建议渗透系数全、强风化变质岩渗透系数 $0.5 \sim 5.0\text{m/d}$ 、全、强风化花岗岩渗透系数 $0.6 \sim 3.0\text{m/d}$ ，并利用达西定律计算隧洞渗水量计算值，计算结果为隧洞穿越全、强风化变质岩段隧洞总渗水量计算值 $5500 \sim 55400\text{m}^3/\text{d}$ ，每米渗水量为 $9.4 \sim 94.2 \text{ m}^3/\text{d}$ ；隧洞穿越全、强风化花岗岩段隧洞总渗水量计算值 $7800 \sim 39200\text{m}^3/\text{d}$ ，每米渗水量为 $11.3 \sim 65.5 \text{ m}^3/\text{d}$ ；隧洞穿越弱风化及微风化岩体以弱透水至微透水，对隧洞影响较小。根据盾构隧洞的防水标准，预测值大于标准值，盾构隧洞穿全、强风化岩地段需进行防水处理。

5 拟建工程与周边环境相互影响评价及建议

5.1 场地稳定性及适宜性评价

5.1.1 场地稳定性评价

工程区大地构造单元属于一级构造单元华南板块(I)二级构造单元湘粤坳褶带(I-IV)三级构造单元增城-台山隆起区(I-IV-6)。东莞地区经历了自加里东期以来的多次强烈构造变动，产生了一系列规模不等、方向各异、活动时代不一、性质不同的断裂构造。燕山运动奠定了本区断裂构造的基本格局。形成于加里东、印支和燕山期的断裂，后期都经受过多次强烈的构造变动而发育成规模巨大的断裂带。新构造运动时期以来，断裂的继承性活动，导致东西向断裂再次复活，北东向断裂活动进一步加强，同时，形成了新生的北西向断裂和南海北部海域的北东东向断裂。

场地主要发育两条区域性断裂大朗-三和断裂 (F_1) 和温塘-观澜断裂 (F_2)，两条断裂均属于中更新世非活动断裂。近场区历史上未发生过 $M_s \geq 4.7$ 级破坏性地震，近场区无中强地震的构造条件，本工程的场地稳定性不会产生震害影响，总体上近场区属于构造相对稳定地区。依据《城乡

规划工程地质勘察规范》（CJJ 57-2012）第 8.2.1 条，绕松木山水库段原水管道场地属抗震不利地段，不良地质作用中等-较强烈发育，因此，可划为稳定性差场地。

5.1.2 场地适宜性评价

依据《城乡规划工程地质勘察规范》（CJJ 57-2012）第 8.2.1 条，江库联网原水绕松木山水库段输水线路（第二标段）场地稳定性差，地形起伏较大，岩土种类多，分布很不均匀，工程性质差，地下水对工程建设影响较大，地表易形成内涝，工程建设场地适宜性差。

5.2 工程环境风险评估

原水管沿松木山水库布置，线路区为景区公园，且临近华为研发基地，存在生产用地，人口流动及建筑较密集，工程活动程度较强。

1) 场地气候温暖、雨量充沛，地表植被茂密，地质环境较脆弱。工程施工会对生态环境有一定破坏，特别是工作井开挖较深，若遇暴雨等极端天气，在地表水入渗影响下易导致浅表层发生变形破坏，引发地表滑塌等地质灾害。

2) 输水线路沿线地下管线复杂，距离水库及华为研发基地较近，尤其是下穿水库隧洞埋深较浅、上覆岩土层较薄，地下水位较高，一旦工作面泥水压力失衡，易引起地面沉降过大、冒浆等，盾构掘进中周围地层扰动变形和渗漏，极易产生冒顶、地面沉降甚至塌陷，严重影响周边建筑稳定。

3) 其次个别工作井处有软土层，软土具有含水率大、压缩性大、强度低、灵敏度高易触变等特点，影响周边建筑边墙或基础稳定。

4) 本工程采用盾构施工，弃渣较多，需妥善处理，否则弃渣在一定程度上为泥石流的产生提供了物源，给工程区周边地质环境带来一定影响。

5) 工程场地位于松山湖风景区, 对文明施工、安全施工的要求较高, 若无法做到文明施工、环境保护等要求, 则不仅无法达到工程便民利民的目的, 反而会造成扰民现象。

总体来看, 场地整体地质环境较为脆弱, 现状人类工程活动较强, 对地质环境影响较大, 施工期工程风险较大。

5.3 环境保护措施及建议

1) 针对基坑开挖地表水入渗影响下易导致浅表层发生变形破坏的问题, 开挖前应对基坑进行降水处理, 工程建设期需做好施工排水工作, 在井底设置积水井及时抽排, 必要时加强防渗措施, 此外, 局部开挖面积较大地段, 应做好安全监测及环境保护等措施。

2) 针对盾构隧洞掘进压力失衡, 易引起地面沉降过大、冒浆等问题, 建议加强盾构掘进及基坑开挖过程中地表沉降的巡查和监测, 严格按照规范要求布置沉降观测点; 对比分析盾构掘进参数和注浆压力, 及时调整各项指标, 加强隧洞抽排水措施; 优化隧洞掘进及基坑开挖弃渣的处置及转运, 增强对环境保护意识和措施。

3) 针对隧洞下穿水库段断层或破碎带与地下水的紧密联系, 对工程安全稳定影响较大部位, 建议提前进行防渗处理, 必要时进行超前地质预报; 对工作井基坑遇到的断层或破碎带加强支护及加固处理, 对局部软土进行置换或挖除, 防止废水及污泥对环境的污染。

4) 勘察区位于松木山水库景区, 分布有景观道路, 地表水管及地下管线多, 应坚持文明施工、安全施工原则, 保持现场整洁流畅、无积水, 做到利民便民不扰民。

6 天然建筑材料及弃渣

6.1 天然建筑材料

根据设计方案，本工程（第二标段）所需建筑材料主要包括级配碎石、石渣及各类混凝土和管片等。

6.1.1 混凝土

（1）工程绝大部分混凝土采用外购商品混凝土，通过混凝土搅拌车送至现场。同时，申购的商品混凝土主要性能需满足水工混凝土相关要求。

（2）商品混凝土外购点调研及选择

根据周边混凝土搅拌站分布情况，商品混凝土外购点选择距离最近的东莞市裕燊混凝土有限公司，该公司位于东莞市大朗镇新马莲村莲大路 338 号，距离本项目约 6.5km，该公司可供应 C60 及以下各类标号的混凝土，2 条意大利 SLCOMA MAO3000 混凝土生产线，配有混凝土搅拌车 30 台；设计年生产能力 60 万 m^3 ，其质量及产量满足本工程需求；另外，工程临近 10km 范围内，有东莞市翔盛混凝土有限公司（东莞市大朗镇屏东路 225 号）、鸿信预拌混凝土有限公司（东莞市大朗镇杨沙路 39 号）、易发混凝土有限公司（东莞市富民大道 109 号）等多处商品砼供应厂商，其质量及产量均满足本工程需求，可作为备用料源。

6.1.2 砂砾石料

本工程主要混凝土采用外购解决，但对于建筑物边角、特殊结构等混凝土用量较少的部位（一次使用在 5m^3 以下），以及止水帷幕灌浆等有特殊施工工艺要求、且单次用量不大的混凝土，需在现场采用小型设备自拌。

近年来，随着珠三角地区经济迅速发展，砂石料需求量激增，珠三角一带河道砂料超采严重，现有售砂点的砂料主要来源于东江、西江及北江。

目前东江采砂标段主要位于惠州河源段，西江采砂标段主要位于肇庆云浮段，北江采砂标段主要位于清远段，韩江采砂标段主要在梅州段。据调查当前东莞市场所售的砂石料多来自惠州和广西西江、贺州等地，因此本阶段级配碎石计划从惠州成品砂石料销售点购买。

另外，东莞本地碎石及砂石材料源紧张，江门、新会、惠州等地有大量正开采成熟料场，比如：积溪石料场（西江右岸江门市蓬江区积溪村）、泰胜石场（江门新会崖南苍山西面）、宝山石场（惠州惠阳区卫红村）、创粤辉料场（惠州惠阳区卫红村）等，上述料场料源均为燕山期花岗岩，岩石完整性好，抗软化能力强，岩质坚硬，碱活性满足要求，饱和单轴抗压超过 100MPa，是良好的块石料及人工骨料料源，开采面积大，储量满足要求，可作为备选料源。

6.1.3 管片

根据本工程施工条件和深圳本地工程建设的模式，预制混凝土管片交由当地专业混凝土构件厂生产，平板运输车运至现场工作井附近，据调研，周边管片生产基地距本工程运距 40km~75km。

综合预制混凝土管片企业规模、产能及距本工程运距等情况，可选择深圳市高新建混凝土有限公司（西乡分公司）、深圳市高新建混凝土有限公司（东莞分公司）、广东安德建筑构件有限公司东莞漳澎生产基地作为管片主要供应产商，相应管片场外运距约 40~60km。

6.1.4 开挖料利用

本工程（全线）开挖总量约 41.59 万 m^3 ，其中土方明挖 12.78 万 m^3 ，石方明挖 2.18 万 m^3 ，石方洞挖 19.76 万 m^3 ，拆除料 6.87 万 m^3 。工程（全线）填筑总量 10.53 万 m^3 （压实方），其中混合料 6.87 万 m^3 、土料 3.26 万 m^3 、碎石料及砂 0.4 万 m^3 。由于本工程开挖量远大于工程填筑量，工

程各部位石方和土方类填筑应就近利用开挖料，以减少弃渣排放量。

1) 混合料

混合料主要用于施工区场平、围堰填筑等部位。施工区场平主要利用自身开挖料、堆存区场平开挖、工作井开挖料，围堰填筑利用工作井开挖后临时堆存在堆存场，需要时取料填筑，施工区场平填筑不足部分调用衔接段工作井开挖料。

2) 土料

袋装土主要用于防洪备料、围堰工程，用量少，可利用工作井土方开挖料，人工装袋。

大坝及闸井回填土方利用充分利用自身开挖料堆存后回填。

3) 碎石及砂

道路工程所需碎石及管底砂垫层、基础置换碎石全部从惠州成品砂石料销售点购买。

总体而言，工程所需天然建筑材料运输方便、储量及质量均可满足设计及规范要求，有公路直接到现场。另外，由于施工期时间比较长，故建议在施工阶段对商品料料源进行再调查、复核。

6.2 弃渣

本工程（第二标段）施工中会产生弃渣，由于拟建输水线路位于主城区，附近无弃渣场或填埋场，弃渣料建议就近利用或作为工程场地平整回填料使用。本工程（全线）土石方开挖总量 35.37 万 m^3 （自然方，下同），土石方回填总量 2.71 万 m^3 ，工程弃渣 32.66 万 m^3 。本项目弃方运至东莞市第四水厂北侧三期预留用地进行堆存，运距约 30km。因为该项目未产生施工单位的原因，所以暂未能提供消纳协议，但在后期签订消纳协议，出

具弃土弃渣施工方案后再报送水保科备案审查。

弃渣堆放及施工过程中，将严格执行《广东省水土保持条例》有关规定，施工活动控制在用地红线范围内，减少对用地红线范围外的原始地面的占压和扰动，堆土过程中采取拦挡、排水、苫盖等措施，防止土体流失散溢对周边环境造成影响。

另外，建筑弃渣处置需满足《中华人民共和国固体废物污染环境防治法》、《广东省建筑垃圾处理条例》（2023年3月施行）、《东莞市建筑垃圾规范化管理实施方案》（东府办〔2021〕442号）的管理要求执行，循序“政府主导、市场运作、循环利用”的基本原则，建立弃渣从源头到处置的全过程管理体系，并必须取得当地政府同意或审批。

7 结论及建议

7.1 结论

（1）工程区大地构造单元属于一级构造单元华南板块(I)二级构造单元湘粤拗褶带(I-IV)三级构造单元增城-台山隆起区(I-IV-6)，区域地质构造较复杂，区域断裂较为发育，近场区地震活动性较弱，属于构造相对稳定地区。根据《中国地震动参数区划图》(GB18306-2015)及东建字[2004]32号文，江库联网原水绕松木山水库段原水管道场地地震动峰值加速度为0.05g，地震动反应谱特征周期为0.35s，相应的地震基本烈度为VI度。

（2）本工程场地位于莲花山~大岭山北东侧，绕越松木山水库布置，局部穿越水库，沿线湖汉沟塘密布，地形地貌上属台地地貌。线路沿线地层基底地层为元古界长安组（ Pt_2c ）变质岩、奥陶系下统（ $O_1\eta\gamma$ ）花岗岩、三叠系（ T_3x ）上统小坪组碎屑沉积岩，第四系全新统覆盖层分布广，种类多，主要为填土、湖积、残坡积层。线路区发育2条区域性二级断裂、3条

三级次级断裂和 3 条四级小断裂，均属中更新世非活动断裂，不具活动性。线路沿线地表水对混凝土无腐蚀性，对钢筋混凝土结构中钢筋具有弱腐蚀性，对钢结构具弱腐蚀性；地下水对混凝土大部弱～中等腐蚀性，局部强腐蚀性，对钢筋混凝土结构中钢筋具有弱腐蚀性，对钢结构具弱腐蚀性。场地土体对混凝土结构具有微至中腐蚀性，对钢筋混凝土结构中钢筋具有微腐蚀性，对钢结构具有弱至中腐蚀性。输水线路场地基本不存在发生崩塌、滑坡、岩溶地面塌陷、软土地面沉降和泥石流的条件，可不考虑上述不良地质作用对工程的不利影响。

（3）第二标段盾构隧洞段根据地质条件分为 18 小段，隧洞围岩以中元古界变质岩与奥陶系花岗岩为主，中硬岩～坚硬岩为主，受区内构造影响，局部岩体较破碎，隧洞埋深 22.54～61.59m，全长 2.05km，围岩类别方面：Ⅲ类围岩总长约 228m，占比约 11.26%，Ⅳ类围岩总长约 931m，占比约 46.05%，Ⅴ类围岩总长约 863m，占比约 42.69%，二标段全线以Ⅴ类、Ⅳ类围岩为主，共长 1794m，占隧洞总长 88.74%。

（4）第二标段共设 2 处盾构工作井，工作井底板均位于弱风化硬质岩中，其承载力满足工作井承载力要求；工作井基础开挖较深，考虑场地地下水位较高，开挖土层透水性较强，地基承载力较低，力学性质差，在地表水入渗影响下易导致浅表层发生变形破坏，开挖前应对基坑进行降水处理，工程建设期需做好施工排水工作，在井底设置积水井及时抽排，工作井本身应布置必要防渗措施，工作井开挖面积较大，应做好安全监测工作。抗浮设防水位可按场地实测最高水位和地下水位变化确定，最不利条件下抗浮设计水位可按基坑地表面设计标高确定。

（5）二标段布置 2 条施工道路，道路基础大部以残坡积层为主，局部水塘段存在少量淤泥质土，建议选择硬塑状残坡积层或对残坡积层进行必

要基础处理后作为施工道路基础持力层。

(6) 料场调查表明，工程区石料及砂料缺乏，建议就近采购商品料，其储量及质量均满足工程需要，工程区复建混凝土及管片商品料来源丰富，可满足工程需要。输水线路位于主城区，附近无弃渣场或填埋场，弃渣料建议就近利用或作为工程场地平整回填料使用，其余运送至至东莞市第四水厂北侧三期预留用地进行堆存。

7.2 建议

(1) 本工程输水线路多次下穿地表水体，洞身段多位于全风化至强风化带过渡带，且隧洞顶板较薄，盾构掘进中，周围地层扰动变形和渗漏，极易产生冒顶、地面沉降甚至塌陷。建议加强盾构掘进过程及工作井开挖过程中地表沉降巡查和监测，严格按照规程规范布置沉降观测点，减少对地面的扰动，控制地面沉降。

(2) 工程内构造复杂，隧洞多次穿越断裂带，断层漏水及涌水突泥或浆液漏失的风险，需引起重视。建议做好超前地质预报，衬砌完成后应及时注浆加固，施工阶段应重视此类问题。

(3) 工程区地质条件复杂，需加强施工地质工作，发现不稳定的特殊岩土体及时采取或加强相应支护措施；针对地面沉降、涌水突泥等不良地质隧洞建议进行超前地质预报，以指导和优化设计方案。

(4) 介于本项目隧洞围岩类别较低，针对该类高风险隧洞应加强超前地质预报，隧洞施工前，设计专业与施工单位应针对相关风险评估报告进行进一步论证，梳理复核设计方案和各类安全措施。

(5) 本工程第二标段涉及 2 个盾构工作井，开挖深度均大于 14m，安全等级为一级，为危大工程，建议施工前进行深基坑专项方案论证，并满

足国家及省市相关要求。

(6) 水土样测试结果显示部分环境水和土具腐蚀性，项目业主和设计可根据附件数据按照《混凝土结构耐久性设计规范》(GB/T 50476-2008)进一步判别。

(7) 报告中所有钻孔高程均为实测孔口标高，在地质剖面上孔口连线为本次勘察实测资料，若后期线路有调整，请使用时予以复核，必要时可进行补充勘察。

(8) 取水口及埋管段从松木山水库右坝肩与溢洪道连接处穿越，埋管与坝肩接合部分施工阶段若处理不当，将可能存在接触渗漏等影响大坝渗流安全的隐患，对大坝安全构成威胁，建议针对坝下埋管接触渗漏隐患、坝肩绕库渗漏隐患及坝体不均匀沉积等问题布置必要工程处理措施及针对性处理方案，设计方案可结合松木山水库大坝安全鉴定成果及正进行中的除险加固处理工程布置，必要时可针对施工方案对大坝安全的影响进行专题研究。

(9) 本报告数据统计包含初勘钻孔。