

# 某引水工程山体滑坡的专项勘察及分析处理建议

陈延峻

上海市政工程设计研究总院（集团）有限公司

**摘要：**某引水工程隧洞段因临时整平场地及连日强降雨引发滑坡。为保障工程建设的安全，对该区域进行了专项勘察，进一步揭示场地地层岩性条件，分析滑坡特征，评价场地稳定性，为隧洞洞口调整及加固处理提供建议依据。

**关键词：**工程地质；滑坡；边坡处理；膨胀土；红黏土

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2023.08.022

## 一、引言

岩土工程勘察是在已有地质资料的基础上，综合采用野外勘探、原位测试及室内试验等手段，揭示场地工程地质和水文地质条件，给出岩土体物理力学参数，并对场地适宜性进行评估，是顺利完成工程建设的必要前提<sup>[1-3]</sup>。

滑坡是一种严重的自然灾害，对工程安全和人民群众生命财产安全具有严重威胁<sup>[4-5]</sup>。在实际工程建设中，经常会遇到在自然条件下处于稳定状态，而由于工程建设开挖扰动<sup>[6]</sup>破坏原有稳定状态，或叠加降雨影响<sup>[7-8]</sup>而导致发生滑坡的情况。

在此情况下，可通过专项勘察数据对滑坡进行分析和评估。本文针对某引水工程隧洞段滑坡处进行了专项勘察，获得了场地地层岩性条件，对滑坡特征进行分析，并根据分析结果提出隧洞洞口调整及加固处理方案。

## 二、工程概况

某引水工程隧洞段全长约900m，为单洞隧洞，隧洞内径为5.7m，管道底板标高为68m，最大埋深为133m。该隧洞走向为NW向，出洞口位于北端，进洞口位于南端。隧洞山体最高高程215m，山体斜坡坡角多为7~30°（局部因开挖呈近垂直状），组成一座浑圆状山顶。隧洞北侧进口拟建区域大部分场地经场地平整，整平标高约70.0m。隧洞北口在临时整平期间发生滑坡，目前暂时处于极限稳定状态，但存在进一步发展的可能。因此，对隧洞北口进行了专项勘察，以期通过勘察数据进一步明确该位置的工程地质条件，揭示滑坡特征，评估拟建场地边坡稳定性，为洞口位置的调整及加固提供依据。

专项勘察采用地质调绘、工程地质钻探、标准贯入试验、圆锤动力触探试验、工程物探、地下水位观测及室内土工试验等手段。

## 三、专项勘察方案

根据设计方案及要求，勘探孔布置原则按相关规定确定如下：在隧洞各进出洞口布置3条横断面，每条横

断面3个勘探孔

工程物探布置方案：沿隧道轴线及垂直隧道轴线布置2条高密度电阻率法测线。

## 四、专项勘察成果

### （一）地层岩性条件

隧洞北侧洞口拟建场地在勘探深度内的土层除填土外，主要分布有全新世冲积黏性土、更新世冲积~风积黏性土、残积土，以及二叠系及石炭系岩层。

### （二）水文条件

隧洞北口处无地表水分布。拟建区域地下水水量受大气降水影响，呈季节性变化。根据区域水文地质资料及本工程勘察成果，隧洞穿越处地下水以第四系孔隙潜水、岩溶水为主。

### （三）滑坡规模与形态特征

通过现场调研，本滑坡主滑动方向约NE2°，滑坡坡体纵长约60m，宽约70m，面积约5065m<sup>2</sup>，最大滑坡体厚度约10m。滑坡体主要由黏性土、碎石土、残坡积土构成，按滑坡物质组成成分，属残坡积层浅表层-中层滑坡，按滑坡变形方式为牵引式土质滑坡。滑动带土体上层滞水较丰富，物理力学指标下降，整体稳定性差，存在继续滑动的可能，属活滑坡。

滑坡中部至斜坡顶部发育多处拉张裂缝，主裂缝呈弧形，宽度0.1~1.5m，落差在1.5~3.0m，与两边剪切裂缝互相贯通，长度约187m；后缘以北在滑坡体内可见3条较为明显的张性裂缝，方向平行于后缘方向，长度约30~35m，宽度为0.1~0.3m；后缘以南6m发育密集牵引裂缝，宽度约2~5cm，长度约18~28m，方向与后缘基本平行，为浅层裂缝；两侧边坡在主裂缝外侧3~5m范围内，局部发育剪切破裂，宽度约5~30cm，长度约10~20m。



图 滑坡张裂缝（主裂缝）

#### (四) 滑坡物质组成与变形特征

根据钻探揭露，滑坡体主要由黏性土、碎石土、残坡积土组成。

其中，③<sub>2-1</sub>层粉质黏土，为膨胀土，具弱膨胀性。该层土的特征是浅部垂直节理发育，有利于大气降水和地表水入渗，软化土体形成软弱带，对边坡稳定性不利。

④层残积土，下部为灰岩，残积土以黏土为主，偶见风化岩碎块等。该层残积土具有较高的液限，>45~50%，为次生~原生红黏土，具有胀缩性，地表水和地下水及其季节变化对红黏土性状产生影响，红黏土失水后收缩量大，由于产生较多的土中的裂隙，部分红黏土复浸水后湿水崩解，干湿循环后导致土体性状和结构的较大改变，使得红黏土力学指标大为减低，对边坡稳定较为不利。

通过土工试验，③<sub>2-1</sub>层粉质黏土直接快剪黏聚力C=43.3kPa，内摩擦角 $\phi=12.5^\circ$ ，饱和快剪指标黏聚力C=42.0kPa，内摩擦角 $\phi=7.2^\circ$ ；④层残积土直接快剪黏聚力C=48.3kPa，内摩擦角 $\phi=10.4^\circ$ ，饱和快剪指标黏聚力C=38.0kPa，内摩擦角 $\phi=4.5^\circ$ ，说明土体受降雨影响，其力学强度相对较低，故其自稳能力极差，易产生二次滑坡。从滑坡产生、发展的过程分析，大气降水和人类工程活动（开挖坡脚）是其产生的主导因素，大气降水是滑坡进一步加速发展的重要外在条件。

经现场调查及野外钻探揭露分析，滑坡的破坏形式为弧形破坏，为牵引式土质滑坡。滑坡变形特征为后缘

下沉，坡面破坏严重，前缘剪出及前缘地面鼓胀。



图 滑坡基本特征

#### (五) 物探成果解释

##### (1) 滑动面

本次物探共布置了2条测线，其中，为了查明主要滑动面的位置，在隧洞轴向位置布置了L1测线，垂直隧道轴线布置L2侧线。

根据电阻率的特征解译，L1测线在滑坡体段中部电阻率为25~30 $\Omega\cdot m$ ，未滑动的170~226m段中部电阻率为15~25 $\Omega\cdot m$ ，且等值线较为杂乱，不呈层状展布，推断电阻率的相对高异常可能由滑动导致的岩土体疏松或原碎石土差异引起，滑动面呈圆弧状，方向基本与土岩结合面一致，深度在2~12m。

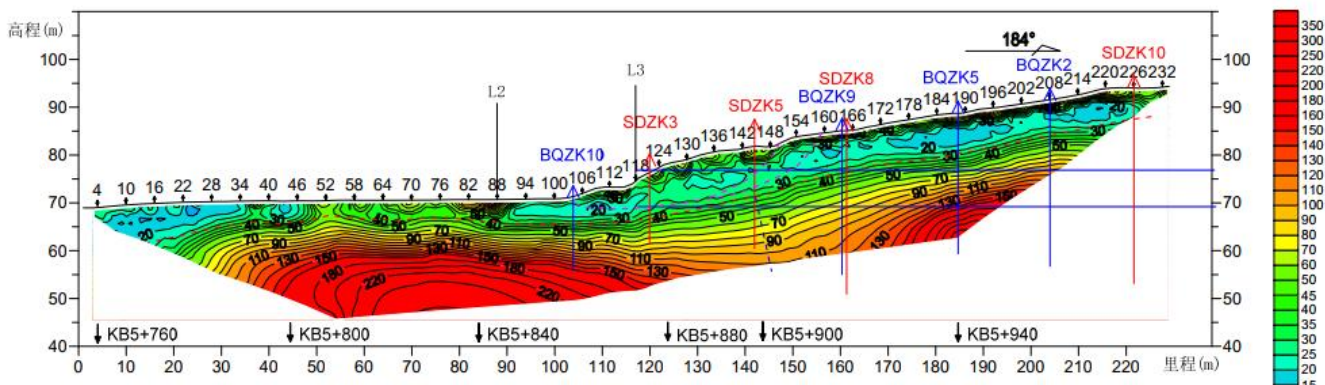


图 L1测线反演结果

L2测线垂直于隧洞轴线，电阻特征反映两侧边坡主要在黏性土、碎石土层中发生滑动，且互为贯通，滑动最深处标高在68.0m，滑动深度3~9m。

根据钻孔揭示，揭示滑坡体7~9m的深度范围的土层表现为扰动，故推测该位置处滑动面大约在7~9m，与物探反演的滑动面基本一致。

#### 五、评价与建议

##### (一) 场地综合评价

综合评价场地的稳定性差、适宜性差，需采取合适

的处理措施。由于隧洞北口及两侧分布有滑坡体，故拟将滑坡体进行清除，隧洞进洞口调整至滑坡后缘以南，对两侧滑坡清除后进行刷坡。

##### (二) 仰坡工程分析与建议

在滑坡后缘以南10m范围内，发育密集牵引裂缝，现状不稳定；牵引裂缝发育区以南，现状坡度为15°，坡面植被发育，钻孔及物探成果揭露未被滑坡影响，保持较稳定的自然状态。但由于后期隧洞建设，滑坡体需清理，当前由于滑坡体反压，故滑坡体南暂处于稳定状

态，一旦滑坡体遇降雨、人工活动刺激进一步发展后，边坡因坡脚临空，自重加大后，亦会发生滑坡，故隧洞洞口建设前应对滑坡体后土体进行卸荷，合理确定仰坡坡率，并清理滑坡坡体。

隧洞顶以上仰坡开挖时涉及①<sub>1</sub>层填土、③<sub>2-1</sub>层粉质黏土（膨胀土）、④层残积土（红黏土）和强~中风化灰岩，总体可按土质边坡考虑，边坡易形成圆弧滑动或沿土岩界面滑动。仰坡坡高约10m，边坡揭露的岩土层主要为③<sub>2-1</sub>层粉质黏土（膨胀土）和④层残积土（红黏土），其中③<sub>2-1</sub>层粉质黏土具有弱膨胀性，④层残积土属次生红黏土，建议边坡坡率不陡于1: 1.75，建议采用二级放坡，边坡稳定性具体根据验算结果确定，必要时可考虑采用锚杆（索）进行加固处理。

### （三）边坡工程分析与建议

根据地质调绘，因原洞口山体滑坡，拟建场地东西两侧的边坡也发生滑坡。

场地两侧边坡发生滑坡，坡高2.0~13.0m，长度约76m，坡度约20°~45°，滑坡变形方式为牵引式土质滑坡，发育剪切裂缝，滑动深度3.0~9.0m。现状边坡处于极限稳定状态，一旦滑坡体后遇降雨、人工活动刺激进一步发展后，亦会发生滑坡，故需要对滑坡体后土体进行卸荷，合理确定边坡坡率或加强支护，并清理滑坡坡体。

根据本次勘察成果，两侧边坡切深约10~21m，治理涉及①<sub>1</sub>层填土、③<sub>2-1</sub>层粉质黏土（膨胀土）、③<sub>6</sub>层碎石土、④层残积土（红黏土）和强~中风化灰岩。边坡开挖时应重点防治①<sub>1</sub>层填土、③<sub>6</sub>层坍塌，③<sub>2-1</sub>层粉质黏土（膨胀土）、④层残积土（红黏土）遇水膨胀，失水收缩，地表水下渗、汇集降低地基土的力学性质形成软弱土层，形成滑动面，导致边坡失稳和地基强度降低。

边坡高度较高，以土质边坡为主，局部揭露中风化灰岩，建议多级放坡，土质边坡坡率不宜陡于1: 1.75，坡高不宜大于8米，中风化灰岩坡率建议1: 0.75，具体根据边坡稳定性验算确定，必要时可考虑采用锚杆（索）进行加固处理等。

## 六、结论与建议

通过勘察成果，对场地滑坡情况进行分析评估，并提出隧洞洞口调整及加固处理方案。主要结论如下：

（1）根据现场踏勘、地质调绘，隧洞洞口拟建场地滑坡的主滑动方向约NE2°，滑坡坡体纵长约60m，宽约70m，面积约5065m<sup>2</sup>，最大滑坡体厚度约12m；按滑坡物质组成成分，属残坡积层浅表层-中层滑坡，滑坡变形方式为牵引式土质滑坡；滑动带土体上层滞水较丰

富，物理力学指标下降，整体稳定性差，存在继续滑动的可能，属活滑坡。

（2）根据地质调绘、勘探及物探成果，隧洞进洞口建议置于牵引裂缝区以南处，仰坡开挖涉及①<sub>1</sub>层填土、③<sub>2-1</sub>层粉质黏土（膨胀土）、④层残积土（红黏土），仅局部涉及强~中风化灰岩，主要防止①<sub>1</sub>层填土、③<sub>6</sub>层坍塌，③<sub>2-1</sub>层粉质黏土、④层残积土（红黏土）遇水膨胀，失水收缩，地表水下渗、汇集降低地基土的力学性质形成软弱土层，形成滑动面，导致边坡失稳和地基强度降低。

（3）两侧边坡由于滑坡影响处于不稳定状态，边坡整治开挖涉及①<sub>1</sub>层填土、③<sub>2-1</sub>层粉质黏土（膨胀土）、④层残积土，仅局部涉及强~中风化灰岩。边坡开挖时应重点防治①<sub>1</sub>层填土、③<sub>6</sub>层坍塌，③<sub>2-1</sub>层粉质黏土（膨胀土）、④层残积土遇水膨胀，失水收缩，地表水下渗、汇集降低地基土的力学性质形成软弱土层，形成滑动面，导致边坡失稳和地基强度降低。

（4）仰（边）坡开挖应尽量保护原有植被，鉴于边坡坡面岩土层遇水易软化，边坡开挖施工时应严格按照由上往下开挖边坡的施工顺序进行施工，即首先测量放出坡顶的边坡线，在边坡线外开挖截水沟，然后从边坡线向下按照设计坡度开挖并及时进行坡面防护。

### 参考文献

- [1]袁自波，王辉.某山区公路高边坡综合勘察及启示[J].安徽建筑，2021，28（10）：167-169.
- [2]郑志龙，陈洋，王丽君，等.高密度电法在某高速公路岩溶隧道探测中的应用[J].地下空间与工程学报，2021，17（S2）：912-917+924.
- [3]郑玉涛，卢俊.岩土工程勘察中钻探工艺的选择研究[J].建材世界，2023，44（2）：84-86+103.
- [4]龙键鹏.滑坡地质灾害勘查及防治治理[J].西部探矿工程，2022，34（6）：40-42.
- [5]吕泓霖，宋琨，董志鸿，等.强降雨诱发平缓滑坡复活变形与稳定性演化分析[J].三峡大学学报（自然科学版），2023，45（3）：32-36.
- [6]王赞文.十天高速白河立交B匝道左侧滑坡工程勘察研究[J].公路交通科技（应用技术版），2014，10（12）：218-221.
- [7]薛根平.某工程滑坡治理设计方案及优化分析[J].山西交通科技，2016（2）：10-12+26.
- [8]陈立华，羊汉平，廖丽萍，等.容县2010年6月滑坡灾害降雨阈值研究[J].自然灾害学报，2023，32（1）：228-235.