

朔准线高陡路堤边坡失稳机理及整治对策

尚宏世

中国铁路太原局集团有限公司朔州工务段

摘要: 朔准铁路地处蒙、晋、陕三省区交界地带, 沿线部分区段受半填半挖路基、高陡边坡及复杂水文地质条件共同影响, 易发生路堤边坡失稳病害。本文以朔准线 K199+035 ~ K199+190 段半路堑半路堤边坡为研究对象, 在分析工程地质、水文条件及现场病害特征的基础上, 系统探讨了该段高陡路堤边坡的失稳机理。研究表明: 该工点边坡失稳主要受填筑土体抗水软化能力较弱、坡脚长期积水导致基底强度降低, 以及异常强降雨入渗形成上层滞水等因素共同作用, 最终诱发沿填土与原状土接触面发生滑塌变形。针对上述病害特征, 提出了旋喷桩加固、抗滑桩支挡、锚杆框架梁防护及竖向钢管管排水加固相结合的综合整治方案。现场应用结果表明, 该治理措施能够有效改善坡体受力与排水条件, 控制边坡变形, 整治效果良好。

关键词: 朔准线; 高陡路堤; 失稳机理

1 工程地质条件

朔准线 K199+035~K199+190 段线路为半填半挖的路基段, 右侧路堤边坡为二级坡, 总坡高 10.9m, 一级坡高 8m, 坡率 1:1.75, 坡面系浆砌片石拱形骨架护坡, 一级平台设一宽 0.4m, 深 0.4m 的平台水沟, 平台宽 1.4m, 二级坡坡高 2.9m, 坡面系浆砌片石拱形骨架护坡, 坡面植被发育, 坡脚外侧为自然农田。线路左侧为挖方路堑和路堤边坡, K199+031 处为 1 孔净高 1.5m, 净宽 1.5m 的盖板箱涵, K199+155 处为 1 孔净高 2m, 净宽 4m 的盖板箱涵由于线路右侧地势淤积抬高, 涵洞及出口范围内淤积, 排水不畅。

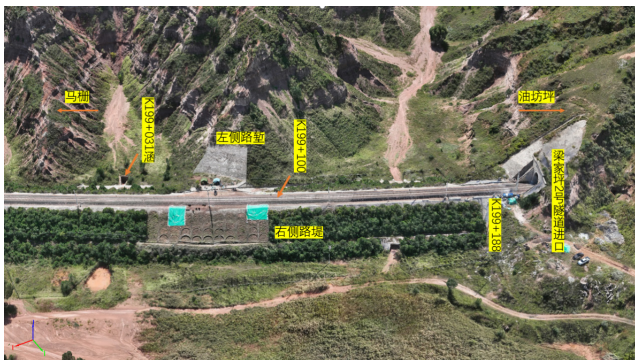


图 1 朔准线 K199+035~K199+190 段全貌图

1.1 地形地貌

研究区位于陕北北缘府谷县境内, 处于内蒙古高原南缘向黄土高原东北部过渡地带, 区域整体地势表现为西北部较高、东南部相对较低。府谷县总体以黄土丘陵沟壑地貌为主, 平均海拔约 1200 m, 受长期流水切割影响, 梁、峁、沟谷相间分布, 地表起伏较大, 地形完整性较差; 局部沿沟谷两侧可见较陡斜坡及狭窄谷地, 线状工程通过时常形成半填半挖或高填深挖并存的路基形态。朔准线该工点所在区段

即穿越沟谷岸坡地带, 坡脚邻近低洼汇水区, 地表径流在雨季易沿沟道集中并在局部滞留, 叠加沟谷内淤积影响, 排水条件相对不利。整体来看, 该区地貌切割强烈、坡面汇水明显、沟谷地形发育, 为边坡受降雨入渗、坡脚浸润及局部失稳提供了不利的地形条件。

1.2 地层岩性

查阅相关资料该段线路经过地段主要分布古生界二叠系上统石千峰组 (P2sh3) 紫红色泥岩、砂质泥岩、夹中细粒长石砂岩、长石质硬砂岩底部灰黄 - 黄绿色中粗粒长石质硬砂岩或硬砂质长石砂岩, 分布广泛。线路路基为人工填筑, 多为就地取材。根据现场布设的勘察钻孔地层揭露, 线路由 2~5m 厚的填土填筑而成, 下伏原地貌洪积粉质黏土和泥质粉砂岩的风化残积土, 厚度约为 4~10m, 褐红色, 红色, 硬塑状, 质地绵密, 土体密实; 下部为强~中风化的粉砂岩, 岩体破碎, 系褐红色风化残积物与灰白色岩体混杂。钻孔揭露 ZK-1 和 ZK-2 于 3.4m 处可见上层滞水, ZK-3~ZK-6 钻孔内未见出水。

1.3 抗震设防烈度

根据《建筑抗震设计规范》(GB50011-2010) (2016 年版) 附录 A、《中国地震动参数区划图》(GB18306-2015)、《铁路工程抗震设计规范》(GB50111-2006) 可知: 该段地震动峰值加速度整体为 0.05g, 地震动反应谱特征周期为 0.45s。场地土类型为中软土, 场地类别为 II 类。

1.4 气象条件

研究区位于陕西省榆林市府谷县, 属温带半干旱大陆性季风气候。区域气候总体表现为四季分明, 冬季寒冷干燥, 春季多风少雨, 夏季温度较高且降水相

对集中, 秋季气温下降较快。受陕北高原北缘地带自然条件影响, 该区全年降水总量整体偏少, 但年内分配不均特征明显, 降雨主要集中在汛期, 特别是夏季数月更易出现短时强降雨或连续性降水过程; 与此同时, 蒸发作用较强, 旱湿转换较为明显。府谷县政府公开资料显示, 当地平均年降水量整体处于偏低水平, 且降水主要集中在7—9月, 季节性特征较突出。



图2 朔准线 K199+035~K199+190 段路堤补砌照片

从工程环境角度看, 这种气候条件对路堤边坡稳定具有直接影响。一方面, 汛期集中降雨容易导致坡面汇流增强, 雨水可沿坡体裂隙、填料孔隙及坡脚薄弱部位持续入渗, 使填料含水率上升、土体强度下降, 并诱发坡脚软化、局部沉陷及浅层滑移等问题; 另一方面, 研究区冬季气温较低, 季节性温差变化较大, 边坡土体在长期自然作用下容易经历反复干湿变化及冻融扰动, 进而使结构性减弱、裂隙扩展和表层松散现象更加明显。当地气候还具有风大、蒸发强的特点, 在表层土体失水收缩与强降雨快速补水交替作用下, 更易造成边坡浅表层变形发展。综合分析可知, 本区气象条件具有降雨集中、蒸发较强、温差较大、季节作用显著等特点, 是诱发高陡路堤边坡病害演化的重要外部因素。

1.5 水文地质

府谷县属黄河水系, 该项目附近未见地下水出露及地表径流, 地表水主要以大气补给为主。由于雨季持续降雨和坡脚沟谷内的持续淤积, 路基段坡体富水, 在路堤边坡路肩下1m的ZK-1~ZK-2钻孔内于约3.4m处有明显的上层滞水。

2 水害调查

朔准线 K199+035~K199+190 段线路以半填半挖的

形式从自然沟谷的做沟岸坡脚处穿越, 垂直线路方向分布有多个小型冲沟, 冲沟穿越路基处均以框架涵的形式穿过, 由于自然沟谷的沟口处设有淤地坝, 沟内自然汇水无法排出长期淤积, 致使沟内地表长期淤积, 使得自然水位较高, 线路右侧的路堤段长期处于富水状况下。

朔准线 K199+050~K199+100 段右侧路堤发生了滑移变形破坏, 坡面骨架护坡整体下移, 变形后缘位于路肩处, 剪出口位于一级平台的水沟内沟帮, 形成前缘坡体鼓胀挤压变形, 坡体变形导致挤压坡脚水沟变形开裂, 致使水沟失去排水功能, 造成排水不畅, 现场采用防水布等临时措施防护。

下错变形产生的剪切裂缝自路肩后缘裂缝向左右两侧延伸至一级平台处, 一级平台处可见有明显的错断变形。一级平台至坡脚范围内无变形迹象。病害发生后工务段对坡面采用彩条布苫盖的方式进行临时防护。

3 成因分析

本段线路发生病害的原因是:

(1) 该段线路位置自然沟谷内左岸坡脚处, 路基以半填半挖形式通过, 填筑土体可能多就地取材, 系当地强风化粉砂岩的残坡积土, 强风化的残坡积土受水后强度降低, 土体软弱, 在一定程度上影响路基的整体稳定, 坡体仅采用骨架护坡的坡面防护结构, 并没有支挡加固措施, 在堤坡变形时难以加以控制;

(2) 该段线路坡脚外侧为自然沟谷, 由于自然沟谷的沟口处设有淤地坝, 沟内自然汇水无法排出长期淤积, 致使沟内地表长期淤积, 使得自然水位较高, 钻孔揭露 ZK-1 于 3.4m 处可见上层滞水, 而其余钻孔无水, 推测滞水是地表下渗而非地下水, 上层滞水形成的包气带淤积处位于填挖交界面处, 利于软化基底强度, 路堤段长期处于富水状况下影响路基稳定;

(3) 2025 年 7 月~9 月本区域降雨具有特殊异常性, 往年降雨为 200~400mm, 今年的降雨量激增, 达 600mm 以上, 属暴雨级别。叠加耦合特殊的地质条件, 导致大范围地表水下渗并沿基岩裂隙及基岩顶面残坡积层向临空面排泄, 致使坡中上部坡积层含水率不断增加, 并软化其强度, 导致土体变形。

因此, 本工点的病害是由于坡脚长期积水软化和短期强降雨下渗形成上层滞水影响下, 形成高含水路基, 并沿填土与原状土顶面产生的路堤滑塌变形, 若不加以整治, 将危及行车安全。

4 治理方案

(1) 朔准线 K199+035~K199+190 右侧一级坡面清除坡面植被及溜坍体, 采用高压旋喷桩加固路基, 旋喷桩长 15m, 自路肩向下 1m (斜长 2m) 开始

布设, 间距 3m*3m, 采用 $\phi 60\text{cm}$ 孔, 水泥含量不低于 45%。

(2) 朔准线 K199+035~K199+190 右侧一级坡距离线路中心线 13.9m 处采用 $1.5\text{m} \times 2\text{m}$ 的 C35 钢筋混凝土矩形人工挖孔抗滑桩加固, $L=12\text{m}$, 外露 1.2m, 埋深 10.8m, 桩心间距 5m, 桩间采用 C35 钢筋混凝土桩板进行防护, 高 3m, 厚 0.45m, 配 2 层钢筋网。

(3) 朔准线 K199+035~K199+190 右侧一级坡在完成旋喷桩注浆和抗滑桩施工后, 采用 C30 钢筋混凝土锚杆框架梁对坡体进行加固, 框架梁截面尺寸 $0.35\text{m} \times 0.4\text{m}$, 框格尺寸 $3\text{m} \times 3\text{m}$, 锚杆采用 $\phi 32$ 钢筋锚杆, 钻孔孔径 $\phi 110$, 自路肩向下坡面布设三排 $\phi 89\text{mm}$ 钢花管泄水孔, 间距 $3\text{m} \times 3\text{m}$, 自路肩向下依次长 6m, 8m, 11m, 钻孔孔径 $\phi 110$ 。

(4) 朔准线 K199+035~K199+190 右侧路肩增设 3 排 $\phi 89$ 的竖向钢花管加固, 钻孔孔径 $\phi 130$, 顺线路方向间距 2m, 垂直线路方向 0.5m, 梅花形布置, 靠近线路中心线的第一排距离线路中心线距离不小于 2m。右侧路肩设置 1.5m 宽 C30 钢筋混凝土冠梁, 钢化管深入冠梁内部。

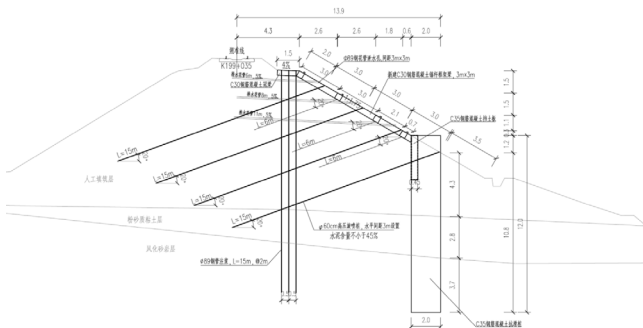


图3 朔准线 K199+050~K199+100 段设计方案

5 结论

本文以朔准线 K199+050~K199+100 段高陡路堤

边坡为例, 研究了其失稳破坏机理和治理方案, 经过现场工程验证, 该设计方案治理效果良好, 可为类似工程提供借鉴。

参考文献:

- [1] 黄润秋, 林峰, 陈德基, 等. 岩质高边坡卸荷带形成及其工程性状研究 [J]. 工程地质学报, 2001, 9(3): 227-232.
- [2] 廖小平, 朱本珍, 王建松. 路堑边坡工程理论与实践 [M]. 北京: 中国铁道出版社, 2011.
- [3] 陈冲, 王卫, 吕华永. 基于复合抗滑桩模型加固边坡稳定性分析 [J]. 岩土力学, 2019, 40(8): 3207-3217.
- [4] 陈记, 袁坤, 张玉芳. 广东省龙川至怀集公路边坡滑坡机理及加固措施 [J]. 铁道建筑, 2020, 60(10): 103-106.
- [5] 王浩, 廖小平. 边坡开挖卸荷松弛区的力学性质研究 [J]. 中国地质灾害与防治学报, 2007, (S1): 5-10.
- [6] 魏家旭, 张玉芳. 香丽高速公路昌格洛老滑坡稳定性研究 [J]. 铁道建筑, 2019, 59(8): 108-112.
- [7] 张玉芳, 廖小平, 李嘉明, 等. 顺倾结构面红层岩质边坡稳定性分析及治理 [J]. 铁道建筑, 2020, 60(3): 73-76+86.
- [8] 王浩, 王明哲, 陈秀晖, 等. 复杂路堑高边坡施工期多次滑动机理分析与讨论 [J]. 中国地质灾害与防治学报, 2016, 27(03): 14-21.
- [9] 李庶林, 赵睿鸣, 彭府华, 等. 基于强度折减法的高陡边坡滑坡治理稳定性分析 [J]. 建筑科学与工程学报, 2020, 37(1): 120-126.
- [10] 喻永祥, 何伟, 李勇, 等. 雪浪山横山寺西侧顺层岩质高边坡变形破坏机理与治理方案分析 [J]. 中国地质灾害与防治学报, 2020, 31(2): 33-43.
- [11] 李德宏, 张学, 魏少伟. 圆形锚索抗滑桩在滑坡治理中的应用 [J]. 铁道建筑, 2018, 58(1): 125-128.