

DOI:10.16799/j.cnki.csdqyfh.2024.06.075

微型桩治理滑坡设计及受力分析

王晓磊

(中铁十二局集团有限公司勘测设计分公司, 山西 太原 030024)

摘 要: 在滑坡治理过程中,微型桩因经济性好、施工简便、形式灵活得到了广泛运用。以某铁路滑坡整治为依托,讨论了微型桩在滑坡治理中的设计方法,分析了滑坡治理后正常使用工况、暴雨工况、地震工况,滑坡的稳定性、垂直、水平位移,实践表明滑坡整治取得了良好的效果。

关键词: 滑坡治理;变形分析;微型桩;稳定性计算

中图分类号: X43

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2024)06-0318-04

0 引 言

随着我国基础建设的高速发展,建设过程中原有地形、地貌改变,带来了大量的地质灾害,直接影响着人民生命和财产安全。随着工程技术的不断发展,滑坡治理技术在完善现有措施基础上向轻型化和小型化方向发展^[1-2]。微型桩一般是指直径小于 300 mm 的各类型桩,注浆微型钢管桩设备轻、施工扰动小、布置形式灵活、施工进度快,在边坡加固、滑坡整治等方面运用广泛^[3-4]。国内外学者对微型桩进行了大量的研究和探索,取得了一系列显著的成果。本文以铁路滑坡整治工程为依托,分析研究微型钢管桩在滑坡治理工程中的运用。

1 工程概况

某铁路位于山西省中北部代县境内。滑坡位于桥台与路基结合部,坡体已出现较大的变形,坡体裂缝密布,若滑坡滑动,将直接威胁铁路的营运安全,见图 1。

1.1 地形地貌

代县地形轮廓略呈长方形,基本地貌为山地、丘陵、河谷盆地,其中山地约占 70.5%,丘陵占 16.9%,平川盆地占 12.6%。本段地处黄土覆盖中低山区,地形起伏较大,自然坡角最大约为 40°,山体植被不发育。

1.2 地层岩性

滑坡所在区域,地层结构较复杂,主要为第四纪

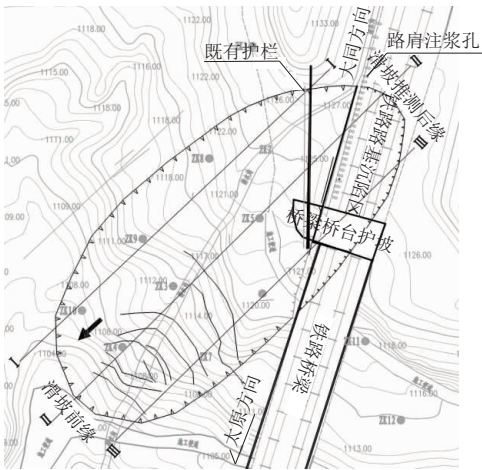


图 1 滑坡平面图

(Q)松散沉积物。滑坡涉及地层主要由填土、 Q^{al+pl} 粉质黏土、粉质黏土夹杂碎石砾石土及卵石土,下伏片麻岩。现自上而下分述如下:

(1)填土:稍湿,稍密,杂色,以粉土和卵石为主,粒径不均匀。

主要分布于滑坡的表层,厚度一般小于 2.0 m,以滑坡前缘为主,为铁路修筑时期的人工堆填而成,以粉土夹杂碎石为主,粒径差别较大,透水性强。

(2)粉质黏土:粉质黏土和粉质黏土夹杂粉砂、砾石和卵石为滑坡所在坡体的主要成分,结构较复杂,以粉质黏土为主,红褐色,一般为可塑~硬塑状,干强度中,韧性中。

粉质黏土夹砂:红褐色,中密,含砂量大,主要成分为片麻岩风化的而成的砂和粉质黏土,岩芯难成柱状。

(3)卵石土:杂色,稍湿,中密,土质不均,以花岗岩为主,粒径变化较大,一般粒径为 20~30 mm,局

收稿日期: 2023-07-26

基金项目: 中铁十二局集团企业科技计划(集团 2022 研-025 号)

作者简介: 王晓磊(1982—),男,硕士,高级工程师,从事路基路面设计工作。

部为漂石。位于滑坡所在坡体的下部,与片麻岩接触。粒径较大,分选性较差,局部为漂石,大多为片麻岩岩块。

(4)片麻岩:片麻岩为该区的主要基岩,埋藏较浅,但在滑坡所在坡体部位埋藏较深。出露于滑坡附近的沟谷内,是稳定的储水层和隔水层。

1.3 气象与水文

代县所在区域太阳辐射强,光能资源丰富,全年累加日照时数 2863.6 h。年平均气温变化在 $7.2^{\circ}\text{C}\sim 9.3^{\circ}\text{C}$ 之间,平川为 $7.8^{\circ}\text{C}\sim 8.4^{\circ}\text{C}$,丘陵区为 $7.2^{\circ}\text{C}\sim 9.0^{\circ}\text{C}$,土石山区为 6.4°C 。代县年降水量变化在 397~770 mm 之间,分布特征为随海拔增高而递增。全年无霜期变化在 100~160 d 之间,分布趋势为由东向西逐渐增长。

所在区域勘探钻孔期间,经钻探揭露,未见稳定的地下水,可见滑坡前缘有少量渗水流出。

1.4 地质构造与地震

本工程影响范围未见基岩,以冲洪积粉质黏土夹杂砂为主,局部为卵石土。地质构造对其影响较小。

根据勘察报告,勘察区地震动峰值加速度值为 $0.20g$,地震动反应谱特征周期为 0.35 s,抗震设防烈度为Ⅷ度。

2 滑坡性质及成因分析

2.1 形态特征

该滑坡在平面上呈树叶状,后缘以铁路路基为界,右侧以现有沟谷为界,前缘位于施工便道上。滑坡每级后缘裂缝明显,且张拉裂缝宽度较大。可以判定滑动面埋深较浅且滑动面较为平缓。

滑动区地层结构较为复杂,上部为填土、粉质黏土和粉质黏土夹砂、砾石等,下部为卵石土。滑坡主滑动方向为 225° ,主轴长 77 m,横宽约 36 m,滑体平均厚度约 7.0 m,为牵引式滑坡^[5]。

2.2 结构特征

滑坡后缘出现张拉错缝,导致后部土体围压减小,产生沉降变形。这是路基沉降和桥台锥坡产生裂缝的原因。

滑坡坡体上出现多道弧形张拉错台,宽度达到 20 cm,错台高达 30 cm。这也是坡体上排水沟出现多道断裂,毁坏严重的原因。

滑坡体前缘有渗水,渗流冲积变形出现在前缘坡面,冬季出现坡脚积冰现象。

由于滑坡体出现多道张拉错开裂缝,裂缝呈弧

形,可以判断滑坡前缘首先出现变形,进而牵引后部变形。滑坡后缘铁路路基在失去侧向土压力情况下,产生竖向变形,引起路基沉降和桥台锥坡裂缝。

2.3 变形破坏分析

根据地质勘察报告,结合踏勘情况进行综合分析,影响滑坡稳定的因素主要包括以下三点。地下排水工程是治理滑坡中首先应考虑的措施^[6]。

(1)人类工程活动

0# 墩施工过程中施工便道开挖坡脚,该滑坡前缘具有临空面,在重力作用下滑坡产生滑动,这是滑坡发生的一个因素。

(2)地质条件

滑坡坡体为层状结构,上部为填土和粉质黏土夹砂,透水性强,下部为可塑—硬塑粉质黏土,且层面具有外倾结构。由于表层粉质黏土已经受水软化,力学指标差,这是滑坡发生的内在因素。

(3)地形条件

滑体前缘位于沟谷区,易于积水,水加重滑体质量,弱化力学指标,首先引起局部滑动,进而牵引后部滑动。

综上,坡体内应、外应综合作用下改变了应力状态,坡体失去稳定。

3 滑坡稳定性分析

3.1 力学参数

钢管桩的水平承载力,既抗滑力的确定是钢管桩加固边坡(滑坡)设计中最重要内容之一^[7]。根据现场调查、钻孔、和反分析法综合分析。该滑坡目前处于滑动后的暂时平衡状态,其稳定系数在 0.90~0.95 之间。本滑坡按照滑动面的几何形态,将滑面按照受力状态分为牵引段和主滑段,而未见明显抗滑带。其力学参数为:牵引段 $c=0.0\text{ kPa}$, $\varphi=20.0^{\circ}$,主滑段 $c=10.0\text{ kPa}$,反算的当稳定系数为 0.93 时, $\varphi=10.2^{\circ}$ 。

3.2 计算工况

本次滑坡的稳定性计算选取 I—I'、II—II'、III—III'、三条纵剖面进行计算,计算的滑动面采用勘察报告给出的滑动面,分别计算不同工况下的稳定性。

正常工况:自重。为坡体经常所处的状态,根据地层岩性,该区域未见稳定地下水,不考虑地下水的因素。

非正常工况 I:自重+暴雨。暴雨对滑坡体的影响比较复杂,暴雨不仅改变了滑坡体的重度,而且增

加了地下水水位。本次计算依据日降雨量、有效降雨量及土层的渗透排水条件的大小判定发生滑坡的可能性。

非正常工况Ⅱ:自重+地震。勘察区抗震设防烈度为8度。根据《铁路工程抗震设计规范》(GB 5011—2006)(2009年版),工程重要性系数取1.0,水平地震修正系数取0.25,进行验算。

3.3 滑坡下滑力计算及分析

滑坡断面及滑动面力学参数对不同工况下滑坡的下滑力计算见表1。

表1 滑坡各断面下滑力计算			
位置	工程	稳定系数	下滑力/(kN·m ⁻¹)
I—I′	正常工程	1.30	298.604
Ⅱ—Ⅱ′	正常工程	1.30	910.000
Ⅲ—Ⅲ′	正常工程	1.30	560.297
I—I′	非正常工程Ⅰ	1.15	280.551
Ⅱ—Ⅱ′	非正常工程Ⅰ	1.15	759.769
Ⅲ—Ⅲ′	非正常工程Ⅰ	1.15	516.297
I—I′	非正常工程Ⅱ	1.10	333.635
Ⅱ—Ⅱ′	非正常工程Ⅱ	1.10	941.914
Ⅲ—Ⅲ′	非正常工程Ⅱ	1.10	604.774

根据各剖面的计算结果,各工况下滑坡计算的下滑力不满足要求,需要采取工程措施对滑坡进行治理,保证铁路的运营安全。

4 滑坡整治方案

滑坡整治采用削方卸载^[8]、抗滑支挡工程以及截排水等综合整治措施,对滑坡进行根本性处置。滑坡推力由钢管桩桩、锚索、土共同承受,形成复合式支护结构,起到抗滑墙的作用^[8-9]。

4.1 滑坡应急整治方案

为保证铁路的安全,采用1排微型钢管桩对线路进行抢险加固,整排4根。微型钢管桩桩长18 m,纵向间距1.5 m,横向间距1.5 m,采用矩形布置。每根微型桩孔径130 mm,内设89 mm钢管,壁厚4.5 mm,钢管上间隔打孔,管内灌注水泥浆,在微型桩顶横向设置钢筋混凝土盖梁。对滑坡体上的裂缝及侧界裂缝注浆,防止降雨沿裂缝下渗使得滑坡进一步发展。应急抢险工程实施后,再针对该段滑坡展开详细的勘察工作,对滑坡进行永久性根治处置。应急设计方案工程与后期主体工程整体考虑,形成统一的整体。

4.2 滑坡整治方案

微型桩组合抗滑结构可分为3种形式,即坡面

加固型、平台加固型和坡脚加固型^[9-11]。本次设计采用平台加固型。

4.2.1 抗滑支挡工程

二级边坡坡面设置预应力锚索,锚索为三排,第一道锚索长度为25 m,俯角25°,锚固长度为10 m,第二道锚索长度为25 m,俯角30°,锚固长度为10 m,第三道锚索长度为25 m,俯角35°,锚固长度为10 m。在二级平台设置1排微型钢管桩进行加固,整排4根。微型钢管桩桩长15 m,纵向间距1.5 m,横向间距1.5 m,采用矩形布置。桩顶采用C30钢筋混凝土纵横向连接梁连成整体。

三级边坡坡面设置预应力锚索,锚索为三排,第一道锚索长度为25 m,俯角30°,锚固长度为10 m,第二道锚索长度为25 m,俯角30°,锚固长度为10 m,第三道锚索长度为25 m,俯角35°,锚固长度为10 m。在三级平台设置1排微型桩进行加固,整排2~4根。微型钢管桩桩长12 m,纵向间距1.5 m,横向间距1.5 m,采用矩形布置,每根微型桩孔径130 mm,内设89 mm钢管,壁厚4.5 mm,钢管上间隔打孔,管内灌注水泥浆。为保证钢管微型桩的整体性,在微型桩顶横向设置钢筋混凝土盖梁采用C30混凝土浇筑,在坡脚处设置C30混凝土护脚。

4.2.2 仰斜排水孔

在坡脚、三级平台设置仰斜排水孔长20 m,纵向间距4.5 m,仰斜排水孔设置仰角角度为5°~10°。排水孔设置位置应错开微型桩的位置,施工时应按渗水较严重路段边坡优先处理。

4.2.3 完善地表排水系统

在滑坡周边设置排水沟,在三级平台顶设置平台截水沟,在二级平台顶设置截水沟,一级平台设置截水沟,上游设置截水沟,与既有排水系统连接,将滑坡及铁路范围内的水引至河道,见图2。

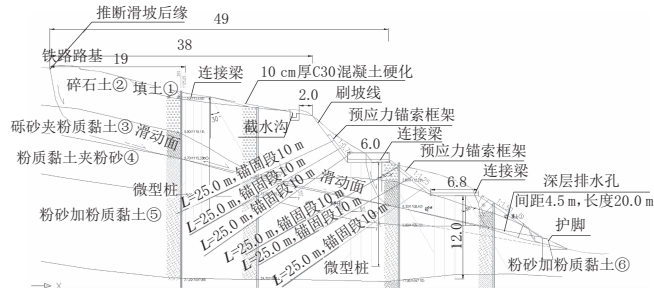


图2 滑坡整治设计图(单位:m)

5 滑坡稳定性分析

5.1 计算模型

根据地层岩质、滑面性质将滑坡简化为连续介

质,以平面杆系有限元理论为基础建立模型,采用平面应变分析,取主滑动剖面进行分析。模型采用弹塑性本构模型,采用强度折减法^[12],滑动面设置接触单元模拟滑动带,左右侧边界 y 方向约束,底部边界 x 、 y 方向约束,分析过程通过Plaxis实现,见图3。

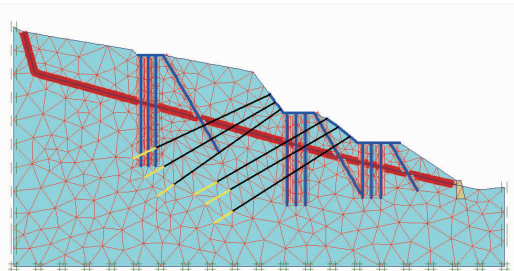


图3 滑坡模型示意图

5.2 计算结果分析

计算得到的滑坡变形云图见图4、图5。

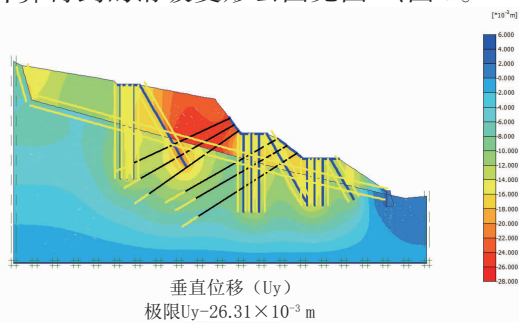


图4 滑坡垂直位移变形云图

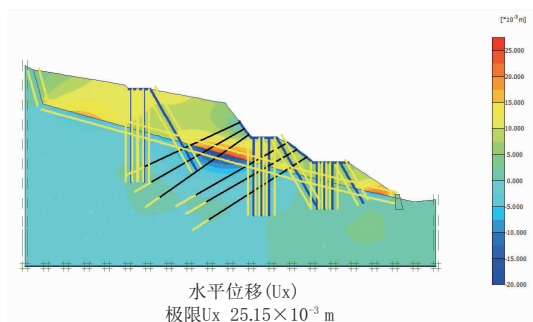


图5 滑坡水平位移变形云图

分析滑坡垂直、水平位移云图可知,治理后滑坡变形得到控制,采用强度折减法分析边坡的稳定安全系数:计算工况1稳定安全系数为1.32,计算工程2稳定安全系数为1.22,计算工况3稳定安全系数为1.18,均满足规范要求。

5.3 监测分析

在坡体布设13处混凝土地表监测点、2处0#墩自动监测点,5处深层位移监测点,深度30 m。监控项目为:深层位移监测、坡顶水平位移和垂直位移、0#墩坡顶水平位移和垂直位移。监测周期为不少于2 a,边坡设置监测点后,对边坡水平位移数据进行了分析并与有限元计算结果进行了对比,见图6。

由图6可知,现场水平位移监测曲线趋势与有

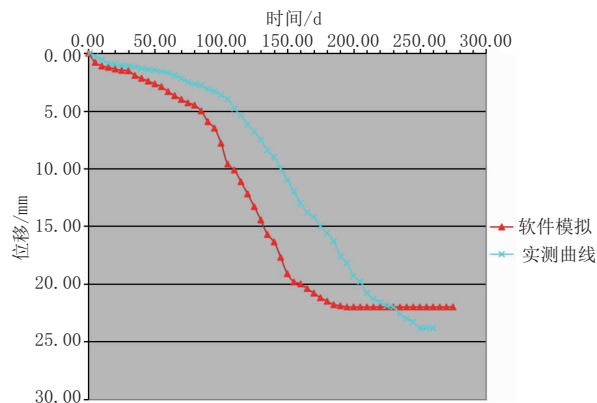


图6 滑坡水平位移曲线图

限元水平位移分析曲线基本一致,实测曲线在钢管桩施工过程中变形较为平缓,在边坡卸载开挖过程中,边坡受到扰动,变形发展较快,在锚索预应力施加后,边坡收敛,在监测期间,边坡变形在允许的范围内,没有发生急剧的变形破坏。在实际使用过程中,该设计方案桩安全、可靠。

6 结 语

滑坡治理后,线路平顺,铁路运营正常,滑坡体状态稳定,表明滑坡整治方案取得了良好的效果。微型桩施工对滑体扰动小、工期短、见效快,不仅对已实施的抗滑工程进行了补强加固,同时施工期间边坡的预加固也取得了良好的处治效果。

参考文献:

- [1] 董旭光,董建华,何天虎,等.基于滑坡稳定性的锚索微型桩组合抗滑结构分析[J].应用基础与工程科学学报,2019,27(2):391-403.
- [2] 高伟.微型桩预应力锚杆复合土钉作用机制研究[D].郑州:郑州大学,2012.
- [3] 吴立坚,谭冬生,洪政.微型桩-锚索系统加固边坡影响因素分析[J].铁道工程学报,2014(6):24-29.
- [4] 孙书伟,朱本珍,郑静.基于极限抗力分析的微型桩群加固土质边坡设计方法[J].岩土工程学报,2010,32(11):1671-1677.
- [5] 罗娜.某牵引式滑坡形成机制分析及治理要点研究[J].铁道建筑技术,2017(9):92-96.
- [6] 王恭先.滑坡防治工程措施的国内外现状[J].中国地质灾害与防治学报,1998(1):1-9.
- [7] 马周全.钢管微型桩极限抗滑力的工程实例分析[J].铁道工程学报,2012(9):45-48.
- [8] 苏晓蓓.锚索框架梁与微型桩技术在滑坡治理中的应用研究[D].西安:西安建筑科技大学,2010.
- [9] 肖春锦.微型钢管桩用于滑坡治理及理论分析[J].路基工程,2010(4):94-96.
- [10] 周德培,王唤龙,孙宏伟.微型桩组合抗滑结构及其设计理论[J].岩石力学与工程学报,2009,28(7):1353-1362.
- [11] 孙书伟,陈冲,丁辉,等.微型桩群加固土坡稳定性分析[J].岩土工程学报,2014,36(12):2306-2314.
- [12] ZIENKIEWICZ O C, HUMPHESON C L, LEWIS R W. Associated and non-associated visco-plasticity and plasticity in soil mechanics [J]. Geotechnique, 1975, 25(4):671-689.