

微型钢管桩在某边坡加固工程中的设计与应用

肖锦文

(中榕规划设计有限公司, 湖南 长沙 410000)

摘要: 微型钢管桩以其施工周期短,工程造价低及施工技术难度小等优点被广泛应用于边坡加固工程。为了提高某边坡加固治理的有效性和稳定性,以某道路边坡加固工程为依托,通过对边坡垮塌的原因分析,并结合相关规范和工程特点,最终确定采用微型钢管桩与削坡卸载结合的综合加固法对其进行加固设计。采用综合加固法对塌方边坡进行加固,同时对边坡排水系统进行合理设计,最终结果表明:综合加固法能有效治理垮塌边坡,其稳定安全系数能满足相关规范要求。

关键词: 边坡加固工程;微型钢管桩;削坡卸载

中图分类号: U418.5*2

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2025)11-0325-04

Design and Application of Micro Steel Pipe Piles in a Slope Reinforcement Project

XIAO Jinwen

(Zhongrong Planning and Design Co., Ltd., Changsha 410000, China)

Abstract: Micro steel pipe pile is widely used in the slope reinforcement projects due to its advantages such as short construction period, low engineering cost and low technical difficulty. In order to improve the effectiveness and stability of the reinforcement and treatment of a slope, relying on a road slope reinforcement project, through the analysis of the causes of the collapse of the side span, and in combination with the relevant specifications and engineering characteristics, it is finally determined to adopt a comprehensive reinforcement method combining micro steel pipe piles with slope cutting and unloading for its reinforcement design. The collapsed slope is reinforced by the comprehensive reinforcement method. At the same time, the drainage system of the slope is reasonably designed. The final result shows that the comprehensive reinforcement method can effectively treat the collapsed slope, and its stability safety factor can meet the requirements of relevant specifications.

Keywords: reinforcement engineering of project; micro steel pipe piles; slope cutting and unloading

0 引言

随着人们对修路致富实践的认可,许多新建道路周围的地块都处于规划待建阶段。从经济角度出发,这些新建道路两侧的填挖方边坡均按临时边坡设计。在极端强降雨工况下,这些临时边坡由于安全稳定系数偏小的原因极易出现局部垮塌或整体垮塌的现象,从而严重影响道路的正常使用寿命及周围构筑物的安全。在道路抢险保通过程中,时间是首要要素,微型钢管桩以其独特的优点应运而生^[1-3]。

微型桩通常指桩径不大于400 mm,长细比不小

于30,采用钻孔、强配筋和压力注浆施工工艺的灌注桩^[4]。微型钢管桩作为一种边坡临时加固措施,既能保证抢险时间,又能保证抢险质量,因此被广泛应用于应急抢险工程中^[5]。微型钢管桩在边坡支护结构中的加固机理主要表现为以下几个方面^[6-9]:

(1)钢管与注浆体的结合,形成复合结构,提高整体刚度。

(2)高压注浆过程挤密桩周土体孔隙,同时水泥浆液渗入裂隙形成树根状胶结体,提升土体抗剪强度。

(3)微型桩群形成空间框架结构,抑制深层滑移面扩展。

本文结合湖南地区某道路高边坡(挖方边坡)垮塌实例,采用微型钢管桩与削坡卸载结合的综合加固法对其进行加固设计,可为类似工程提供参考。

收稿日期: 2025-04-07

作者简介: 肖锦文(1996—),男,硕士,工程师,从事桥梁设计工作。

1 工程实例

1.1 工程概况

湖南地区某道路标准宽度 26 m,双向 4 车道,道路等级为城市次干道。现状为挖方边坡,坡高 18 m,按 2 级坡进行放坡,坡比均为 1:1。边坡垮塌长 72 m,垮塌深度约 3~4 m,垮塌区域周围均出现不同程度的裂缝。现状边坡坡面为植草护坡,坡脚距离人行道边线约 2 m,坡脚、坡间平台和坡顶均设有排水沟,坡顶及其周围没有构筑物。

边坡垮塌方平面图、现状图见图 1、图 2。

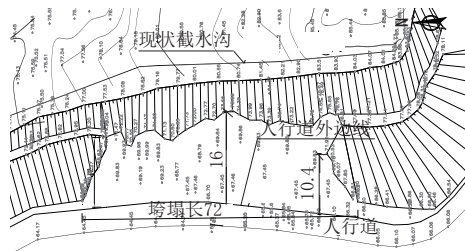


图 1 边坡垮塌平面图(单位:m)



图 2 边坡垮塌现状图

边坡垮塌原因分析:

- (1)该段边坡为土岩混合边坡,现状坡面较陡。
- (2)现状坡面土质为砾类土,草皮成活率较低,对坡面的防护面积较小,降雨时植草护坡防冲刷的能力显著下降,雨水通过坡面下渗,加大了岩土体的重量,从而增大了下滑力,而下层为不透水的中风化岩,因土与岩之间的黏结力降低而出现整体滑坡。

1.2 工程地质条件

场地地貌属侵蚀构造丘陵地貌,山坡植被较发育,以灌木、乔木为主,少量经济林,场地自然坡度约 20°~50°,总体地势东北高西南低。根据钻孔数据,场地内地层主要有 2 层,自上而下分别是砾类土和中风化角砾岩。砾类土的主要成分为粉质黏土、砾石;中风化角砾岩为砂质粗圆砾结构,块状构造,岩体基本质量等级为Ⅳ级。

1.3 水文地质条件

边坡体地层主要是黏性土、砾石、泥质粉砂岩和

砾岩,渗透性小,边坡已开挖,坡面出露砾石、泥质粉砂岩和砾岩,坡面未采取防护措施,为地下水的开放边界。勘察期为雨季,勘探深度范围内未见稳定地下水,勘察区周围坡面亦未见地下水顺坡面裂隙流出,说明边坡体内地下水不丰富,没有统一的地下水水位。边坡裂隙较发育,虽然水量很小,但雨水下渗,沿裂隙流动,对边坡体的滑动或崩塌起到了良好的润滑作用,同时也增加了水压力。降雨入渗,沿节理裂隙及层面渗流,一方面降低了岩土体强度,增加了岩土体重度和下滑力,另一方面增加了地下水动静水压力,尤其是沿岩层面渗流,岩体软化崩解,其抗剪强度大大降低。

1.4 地质构造和地震

该项目位于华南地震区长江中下游地震亚区的麻城—常德地震带南面。据湖南省地震局资料,该项目场地有史记载地震达 30 余次,均在 5 级以下,未达成灾程度。根据相关资料,地震基本烈度属 6 度区,设计基本地震加速度为 0.05g,设计地震分组为第一组。

1.5 岩土参数取值

根据室内土工试验结果和原位测试结果,结合工程经验,边坡岩体分类为Ⅳ类,等效内摩擦角 42°;各主要岩土层物理力学指标推荐值见表 1。

表 1 主要岩土层物理力学指标推荐值

地层名称	承载力特征值 f_{ak} /kPa	天然/饱和 容重 $\rho/$ ($\text{kN}\cdot\text{m}^{-3}$)	天然/ 饱和黏 聚力 C/kPa	天然/ 饱和内 摩擦角 $\varphi/(\text{°})$	基底 摩擦 系数 μ	压缩 模量 $E_s/$ MPa
砾类土②	200	20.5/21.0	18/16	12/14	0.25	8.15
强风化 角砾岩⑤	300	22.5/23.0	20/18	18/16	0.60	
中风化 角砾岩⑥	600	24.5/25.0				

1.6 场地稳定性和适宜性评价

1.6.1 场地稳定性

根据区域地质资料,拟建场地的区域未见活动性断裂、构造破碎带存在,地壳稳定性等级属稳定区。该场地勘察深度范围内地质构造简单,拟建场地在勘探深度和平面范围内无埋藏的河道、沟浜、墓穴、防空洞、孤石等对工程不利的埋藏物;场地未发现岩溶、泥石流、危岩和崩塌、活动断裂、采空区、地面沉降等不良地质作用和地质灾害;本次勘察未发现溶洞和土洞,对场地稳定性无影响,综合判定场地为基本稳定场地。

1.6.2 场地适宜性

拟建建筑场地基本稳定,场地中土层种类较多,空间分布较均匀,层厚变化较大;滑坡堆积土①、滑坡堆积土②工程性质差,可做基础持力层的粉质黏土及以下地层工程性质良好;场地无地表水及地下水,对工程施工影响较少,可采用降、排、止水等措施进行处理,是可控的。

拟建建筑场地地形起伏较大,场地平整较复杂,周边道路已基本形成,原始地形地貌已改变,场地整体平坦开阔,施工条件简单,基础工程施工费用较低。工程建设可能诱发次生地质灾害,采取一般工程防护措施可以解决。综上所述,拟建场地基本稳定,较适宜拟建项目建设。

2 应急抢险处治措施

2.1 應急搶險目的

本次应急抢险项目需要达到2个目的:一是防止再次降雨天气扩大边坡的垮塌范围和程度;二是为了保障边坡下方人行道和车行道的正常通行。因此,拟定的抢险措施是:

- (1)疏通边坡的排水系统,防止地表水直接冲刷边坡。
- (2)边坡坡脚修护脚墙,保证坡脚稳定性。
- (3)在边坡适当位置设置微型钢管桩。
- (4)坡面铺设隔水层,防止坡面水下渗。
- (5)削坡卸载,放缓边坡。

2.2 边坡加固设计方案(方案一)

结合边坡垮塌原因和《建筑边坡工程鉴定与加固技术规范》(GB 50843—2013),该段边坡采用微型钢管桩与削坡卸载相结合的综合加固法。边坡治理后第1级坡比为1:1.25,第2级坡比为1:1.5,中间设置宽2 m马道,马道需进行硬化处理以防地表水下渗。坡面需做好截排水措施,坡脚、坡间平台、坡顶均设置排水沟,中间及两侧均设置急流槽。坡顶设置的宽2 m坡顶平台需进行硬化处理,坡顶平台按10%的反向坡度设计,防止坡顶截水沟水溢流后冲刷坡面。

边坡剖面图(方案一)见图3。

(1)护脚墙设计。为了防止雨水侵蚀坡脚,保证坡脚的稳定性,在坡脚设置高2 m护脚墙。护脚墙采用直立式,墙身采用C30片石混凝土,片石与混凝土的比例为2:8,底宽2.6 m,墙顶宽1.5 m,并利用理正岩土软件对护脚墙进行计算。计算结果表明,挡

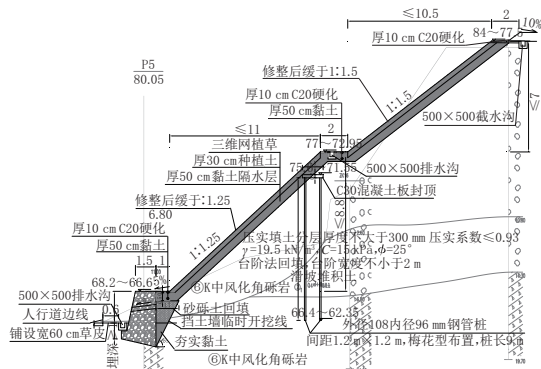


图3 边坡剖面图(方案一)

土墙滑动稳定系数 K_c 为 3.95, 倾覆稳定系数 K_0 为 9.615, 滑动安全系数为 1.365。

(2)微型钢管桩。在马道与第1级坡交汇处打入2排微型钢管桩,结合文献[5]、[6]及相关工程经验分析确定微型钢管桩的相关参数。桩间距和排距均为1.2 m,呈梅花形布置。微型钢管桩外径108 mm,壁厚6 mm,桩长9 m,采用热轧无缝钢花管,管内注入M30水泥砂浆。微型钢管桩顶设置厚20 cm压顶梁,压顶梁中部设置1层 $\phi 8$ mm钢筋网片,间距为100 mm $\times$ 100 mm;压顶梁钢筋网与微型钢管桩顶部采用 $\phi 20$ mm钢筋进行焊接。

(3)三维网植草。为了使治理后的边坡坡面与周边环境相协调,在坡面铺设厚30 cm种植土,种植土上采用三维网植草护坡。

2.3 边坡加固设计方案(方案二)

方案二采用锚杆格构梁与削坡卸载相结合的综合加固法。边坡治理后第1级坡比为1:1.0,第2级坡比为1:1.25,中间设置宽2 m马道,马道需进行硬化处理以防地表水下渗。坡面需做好截排水措施,坡脚、坡间平台、坡顶均设置排水沟,中间及两侧均设置急流槽。坡顶设置的宽2 m坡顶平台需进行硬化处理,坡顶平台按10%的反向坡度设计,防止坡顶截水沟水溢流后冲刷坡面。

边坡剖面图(方案二)见图4。

(1)护脚墙设计、三维网植草与方案一相同。

(2) 锚杆格构梁。锚杆格构梁的间距为 $2 \times 2 \text{ m}$, 立面呈菱形布置。锚杆设置 9、12 m 两种杆长, 不同杆长交替放置, 采用全黏结锚杆, 锚杆就位后, 注入 M30 水泥砂浆。混凝土格构梁宽 30 cm, 高 40 cm; 底梁宽 50 cm, 高 40 cm; 压顶梁采用梯形截面, 顶宽 40 cm, 底宽 85 cm, 高 40 cm, 均采用 C25 钢筋混凝土。

2.4 方案比选

方案对比表见表2。

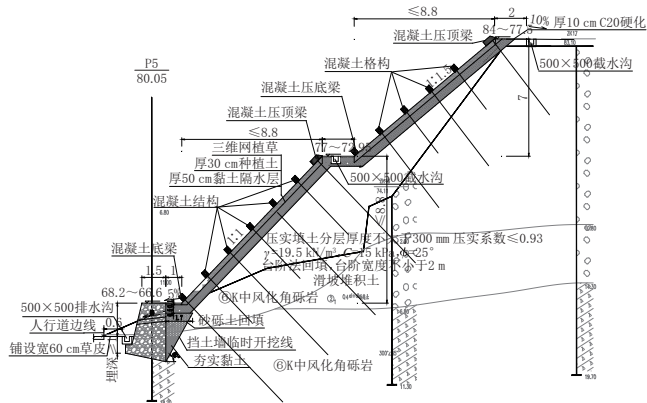


图4 边坡剖面图(方案二)

表2 方案对比表

特点	方案一	方案二
优点	施工工期短,工程造价较低,且坡面与周围环境易协调	坡顶范围未超过征地红线,因此不需要重新征地
缺点	坡顶线超出原征地红线,需新增用地	锚杆数量较多,且成孔工艺较为繁琐,施工工期较长,工程造价相对较高,且格构梁与周围环境难以融合,美观性欠佳

从施工工期,经济性等方面综合考虑,方案一工期短,造价较低^[10],因此决定采用方案一对边坡进行加固。

3 施工技术要求

总体施工顺序:清除表层软土→砌筑坡脚挡土墙→墙后砂砾土回填→按设计坡度培土修整边坡,打入微型钢管桩→铺设黏土隔水层→铺设种植土→挂三维土工网→喷播植草→盖无纺布→日常保养。

3.1 护脚墙

挡土墙应按 10~15 m 的长度进行分段施工,且按 10~15 m 设置 1 道伸缩缝。施工过程中如发现墙底地质条件有突变,应增设沉降缝,沉降缝的设置间距不小于 2 m。

3.2 微型钢管桩

无缝钢管上钻孔径 15 mm 的散浆孔,竖向间距按 30 cm 呈梅花形布置,管桩顶部 2 m 范围内不得钻散浆孔。相邻钢管桩之间的施工误差应小于 5 cm。钢管桩采用干钻成孔,钻孔孔径 $\varphi 15$ cm,微型钢管桩成孔后及时清孔,确保孔底沉渣厚度不大于 10 cm;同时测量孔底标高,实测孔底标高不得高于设计孔底标高 10 cm;钻孔孔径偏差不大于 20 mm,垂直度偏差应小于 1%。确保钻孔各项参数均能满足设计要求后,方可将外径 $D=108$ mm(壁厚 6 mm)的无缝钢管置入孔内,钢管就位后采用孔底返浆法向管内注浆,注浆料采用 M30 水泥砂浆。水泥采用 P·O42.5

水泥,水灰比为 0.42,添加外加剂(水玻璃)比例为 0.008,注浆压力 1~2 MPa,影响半径为 0.75 m,稳压时间不小于 10~15 min,并注意及时补浆,至少补浆 2~3 次,形成微型桩体。

3.3 三维土工网

三维土工网铺设到坡面前,务必整平边坡并压实,使网垫与土壤层能严实地融合在一起。

在斜顶及坡脚外 30 cm 处挖 20 cm×30 cm 的沟槽,便于掩埋三维土工网,使之与边坡融合得更加坚固。

将三维土工网整平后密铺在坡表面,并且用U型细铁丝固定。固定网垫用的U型细铁丝直径不小于6 mm,用量为不少于3根/m²。

将网垫斜顶和坡脚处理进沟中,并且用土回填压实。

铺设结束后,需要在网垫表面填土约 2 cm,并压实。

按照喷播植草加工工艺开展喷播,并铺设无纺布。

4 结 语

(1)采用理正岩土软件对挡土墙进行计算,结果显示挡土墙滑移稳定系数 K_c 为3.95,倾覆稳定系数 K_o 为9.615,二者均满足设计规范要求。

(2)采用理正岩土软件对治理后的边坡进行稳定性分析计算,结果显示该边坡的滑动安全系数为1.365,满足设计规范要求。

(3)微型钢管桩采用梅花形布置,既能保证边坡的稳定性,又能很好地避免过多的施工干扰。

参考文献:

- [1] 陈金宏,王彤标,冉章清,等.微型注浆钢管桩在滑坡应急治理工程中的应用[J].岩土工程技术,2025,39(1):49-54.
- [2] 黄凯,张明义,杨淑娟,等.基坑水泥土墙内微型钢管桩承载特性试验研究[J].工业建筑,2018,48(2):134-138;168.
- [3] 向波,马建林,何云勇,等.微型钢管排桩支挡结构原型试验研究[J].岩土工程学报,2013,35(11):2131-2138.
- [4] 钟彩霞.注浆微型钢管桩在填方路基中的加固技术参数研究与应用[D].济南:山东大学,2017.
- [5] 袁丁,刘文德.微型钢管桩在某公路应急抢险工程中的应用[J].路基工程,2021(3):219-223.
- [6] 侯亮.钢管微型桩压力注浆加固机理研究[D].西安:西安工业大学,2018.
- [7] 杨汉臣.微型钢管桩在边坡治理中的应用及其机理分析[D].长沙:中南大学,2007.
- [8] 马培峰.微型钢管桩边坡处治技术研究[D].桂林:桂林理工大学,2017.
- [9] 赵国军.微型钢管桩在码头基槽开挖岸坡加固中的应用[J].珠江水运,2021(16):107-109.
- [10] 薛承鹏.微型钢管桩在边坡治理工程中的应用[J].福建交通科技,2022(11):11-13;50.