

岩土工程边坡勘察与综合治理技术

刘江

四川省西点电力设计有限公司

DOI:10.32629/etd.v6i5.16859

[摘要] 岩土工程边坡一旦失稳,不仅会严重影响项目建设工作开展,还会造成重大的安全生产事故,带来严重经济损失的同时,还会危及周边居民的生命安全。因此为保证岩土工程边坡稳定与安全,必须加强边坡失稳治理。基于此,本文对岩土工程边坡勘察与综合治理技术进行了研究分析,首先简单介绍了岩土工程边坡勘察与综合治理的作用,随后分析了常见的岩土工程边坡勘察技术,最后从实践出发,结合实际项目概况,探讨了岩土工程边坡勘察与综合治理技术应用措施,旨在保证岩土工程边坡稳定,推动工程建设稳定安全开展。

[关键词] 岩土工程; 边坡; 勘察; 综合治理

中图分类号: U416.1+4 **文献标识码:** A

Geotechnical Engineering Slope Investigation and Comprehensive Treatment Technology

Jiang Liu

Sichuan Xidian Electric Power Design Co., Ltd.

[Abstract] Once the slope of geotechnical engineering becomes unstable, it will not only seriously endanger the project construction, but also cause major work safety accidents. While bringing serious economic losses, it will also endanger the lives of surrounding residents. Therefore, to address the slope problems in geotechnical engineering and strengthen the treatment of slope instability, this paper conducts a research and analysis on the investigation and comprehensive treatment technology of geotechnical engineering slopes. First, it briefly introduces the functions of geotechnical engineering slope investigation and comprehensive treatment. Then, it analyzes the common investigation technologies for geotechnical engineering slopes. Finally, starting from practice and combining with the general situation of an actual project, it discusses the application measures of geotechnical engineering slope investigation and comprehensive treatment technology, aiming to ensure the stability of geotechnical engineering slopes and promote the stable and safe development of engineering construction.

[Key words] Geotechnical engineering; Slope; Investigation; Comprehensive treatment

前言

在我国基础设施建设迅猛发展的背景下,工程建设范围在不断扩大,因此实际工程建设遇到的边坡问题也日益复杂,仅仅依赖传统边坡治理经验,已经不能保证现代工程项目建设的安全性。因此还需要加强对岩土工程边坡勘察与综合治理的重视,通过边坡勘察精准识别边坡失稳原因,并在此基础上制定经济、高效综合治理方案,解决边坡失稳问题。通过结合实际项目,加强对岩土工程边坡勘察以及综合治理技术研究分析,这对提升复杂边坡工程综合治理效果,保障工程建设稳定安全有着非常重要的意义。

1 岩土工程边坡勘察与综合治理的作用

1.1 提升工程建设环境保护效果

在岩土工程建设过程中,通过加强边坡勘察,能够了解边坡区域的环境状况,分析其中的环境影响因素,后续配合综合治理措施,保障工程建设方案设计的科学合理性^[1]。在边坡勘察指导下,避免大挖大填,优先采用环境友好型施工方案,从而进一步降低工程建设对周边原始地形地貌、植被、水文系统等环境的干扰与破坏,防止因边坡失稳引发的次生环境灾害,还能促进环境恢复与美化,充分展现绿色文明工程建设价值。

1.2 提升边坡治理设计的科学合理性

岩土工程边坡失稳是一种非常严重的安全事故。因此需要通过加强边坡勘察,全面地了解边坡的地质结构,明确潜在滑动面位置以及变形信息。随后基于上述信息,运用岩土力学理论和稳定性分析方法评估边坡稳定性状态、潜在破坏模式以及失稳

风险等级,为后续综合治理工作开展提供全面的参考,进一步提升综合治理方案的制定水平,优化现有的工程设计,验证工程建设方案的合理性,及时解决边坡失稳问题,推动工程建设稳定安全开展。

1.3 保障工程建设与生命财产安全

通过加强岩土工程边坡地质勘察,能够及时查明边坡下方或影响范围内的保护对象,比如是否存在居民区、交通干线、重要建筑物等,并评估失稳对这些对象带来的威胁程度^[2]。后续综合评价结果,做好边坡失稳综合治理方案的设计,合理选择有效的工程治理措施,比如设置支挡结构、排水系统,加强坡面防护、削坡减载等,有效降低已经识别的失稳风险,确保边坡在服役期内安全稳定,从而保护下方及周边的人民生命、财产以及重大基础设施的安全。

2 岩土工程边坡勘察技术分析

2.1 地质测绘技术

地质测绘技术是一种比较基础的岩土工程勘察技术,同时也是首要开展的勘察工作之一。在实际勘察过程中,需要测绘人员进行实地踏勘,通过观察、测量、描述和记录等方式,应用地形图、遥感影像等测绘技术,结合地质资料,明确岩土工程所在区域的地形地貌特征、地层岩性特征、整体的地质构造分布,了解岩土工程所在区域的地表水分布与径流特征,分析植被覆盖情况及其对边坡稳定性带来的影响,记录人类活动痕迹,为后续边坡综合治理创造有利条件^[3]。

2.2 地球物理勘探技术

地球物理勘探技术主要利用地下岩土体物理性质如电性、波速、磁性等差异进行地质勘察的技术,在实践中,需要在地表或钻孔中施加电磁物理场,并借助相关的设备进行测量分析,结合设备反馈来推断地下地质结构、界面和异常体。常用的物探技术方法包括多种,一是电阻率、高密度电法,主要用于探测地层分层、基岩面、含水带、溶洞等信息。二是地震折射、反射法,主要用于探测地层分层、基岩面起伏、覆盖层厚度等关键信息。三是地质雷达探测法,主要用于探测30m以内的地层界面、空洞、埋藏物等。这种物探技术可以大面积连续探测地质信息,且不会对岩土体造成破坏,探测效率高,能提供连续的地层剖面 and 构造信息,找出软弱带、富水区等异常位置,为后续边坡综合治理提供更多有价值的信息。

2.3 钻探与取样技术

钻探技术简单来说就是利用钻机设备向地下钻进,并直接获取可靠地质信息和高质量岩土样品。比如通过应用钻探工艺回转获得岩芯,直接全面地了解地质信息。在应用取样技术时,可以通过薄壁取土器、三管管等工具取芯,确保获得的地质样品保留天然结构和含水量,为后续室内试验创造有利条件。通过应用上述技术,能够准确评估岩石质量、地层岩性、节理裂隙发育、地下水等状况,获得最直观的地层岩性、构造、地下水等关键信息,准确确定地层厚度、界面深度、地下水水位,对物探分析结果进行准确验证^[4]。

3 岩土工程边坡勘察与综合治理技术实践分析

3.1 项目概况

现有某省道K25+300~K25+800段公路路基边坡,边坡走向近东西向,原始坡度35°~55°,坡高40~50m,总长度约500m。受雨季影响,该边坡出现了多级滑塌自然灾害,导致坡脚挡墙倾覆,路基出现了严重的沉降,路面出现纵向裂缝,对公路通行安全带来了严重的影响。经初步调查,滑塌主因是强降雨诱发坡体饱和和失稳。以下重点对该边坡地质勘察以及综合治理技术措施进行深入研究分析。

3.2 岩土工程边坡勘察结果

通过应用地质测绘技术、物探技术、钻探取样技术以及原位测试技术,获得以下岩土工程边坡地质勘察结果:(1)地层结构特征。通过配合钻孔勘探及探槽验证,本项目坡体结构特征如下:①层碎石填土。坡顶施工便道填筑物,石块粒径大小在5~40cm范围内,渗透系数 1.2×10^{-3} cm/s,很容易形成渗流通道。②层粉质粘土。经勘察发现裂隙发育密度为2~3条/m,延伸深度1.6~2.9m,形成了浅层边坡滑动面。③层强风化泥岩。揭露2处泥化夹层,厚度为0.2~0.6m,含水率29%,形成了软弱地质区域。④层中风化砂岩。勘察发现节理优势方向为NE35°,倾角60°,与坡面呈不利组合。此外,通过勘察还发现在路基下方2.5m处存在松散填土透水体,厚度为0.5~1.2m,进一步加剧了路面沉降。(2)边坡岩土参数,具体如表1所示。

表1 项目边坡岩土参数

地层	天然密度 (g/cm ³)	饱和抗剪强度	回弹模量 (MPa)
粉质粘土	1.91	粘聚力12kPa,内摩擦角9°	45
强风化泥岩	2.18	内摩擦角7°	-
泥化夹层	1.85	粘聚力5kPa,内摩擦角4°	-
中风化砂岩	2.62	粘聚力35kPa,内摩擦角28°	-

(3)水文地质条件。基岩裂隙水+上层滞水,丰水期水位埋深2.0~4.0m,示踪试验结果表明,坡体渗流方向与层面倾向一致,暴雨期孔隙水压力为0.42,边坡滑带附近水位变幅4.1m/d,滞后降雨峰值约6小时,Cl⁻含量182mg/L,依据《公路工程混凝土防腐蚀技术规范》,表明为弱腐蚀。

(4)边坡稳定性评价。边坡0~5m浅层沿着粉质粘土裂隙呈圆弧状滑动。边坡8~15m顺泥化夹层顺层滑动,安全系数Fs动态模拟结果如下(1)式所示,受车辆振动影响,导致边坡安全系数下降。

$$F_s = \begin{cases} 0.91 & \text{天然工况} \\ 0.78 & \text{暴雨持续 48h} \\ 0.65 & \text{暴雨 + 车辆振动} \end{cases} \quad (1)$$

3.3 项目场地岩土工程勘察主要结果

(1)场地地质结构特征。项目所在场地地层结构相对特殊,

上部以泥土为主,包括粉质粘土、强风化泥岩,下部则是以岩石为主,包括中风化砂岩,其中③层强风化泥岩中揭露泥化夹层,构成深层滑动的区域性软弱带。坡顶①层碎石填土渗透系数较容易形成降雨快速入渗通道,加剧坡体饱和。在暴雨期,滑带附近孔隙水压力比较高,导致边坡抗滑力严重下降,示踪试验证实渗流方向与岩层倾向一致,进一步加剧了边坡顺层滑动。(2)边坡稳定性评价。评价结果如表2所示。

表2 岩土工程边坡稳定性评价结果

评价指标	结果
破坏模式	浅层沿粉质黏土裂隙的圆弧滑动,深层沿泥化夹层顺层滑动
安全系数Fs	天然工况下安全系数为0.91,暴雨48h安全系数为0.78,暴雨+重载车辆振动安全系数为0.65
风险等级	暴雨工况下失稳概率>90%,依据《公路工程地质勘察规范》JTGC20-2011,属极高风险边坡

3.4 综合治理技术措施

根据本项目边坡地质条件与稳定性评价,需要采取以下综合治理技术措施:

3.4.1 进一步加强边坡坡体稳定性控制。本次控制治理方法为分级削坡,合理设置马道。

针对本项目原始坡度 $35^{\circ}\sim 55^{\circ}$ 的高陡边坡,加强削坡处理,将坡比从原先的1:0.7放缓至1:1.2。在此基础上,设置宽度为3.0m的三级马道,主要目的是降低坡顶张拉裂缝诱发的浅层滑动风险,削弱坡体自重应力,有效解决滑坡问题。

3.4.2 加强边坡排水。在本项目坡顶区域,设置专门的梯形截水沟,截水沟断面规格为 $0.6\times 0.8\text{m}$,主要目的是拦截地表径流,减少径流对边坡的冲蚀^[5]。沿着边坡泥化夹层,布设孔径为110mm的仰斜排水孔,有效降低边坡内部的孔隙水压力比。在坡面,需要设置完善的导水网络,利用菱形骨架护坡,配置 $\Phi 300$ 的透水盲管,进一步提升下渗雨水的疏导效率,降低对边坡稳定性带来的影响。

3.4.3 设置边坡抗滑桩群。在本项目中。通过深层滑移路段布设钻孔灌注抗滑桩,桩径设计为1.3m,桩长18m,嵌入中风化砂岩持力层,不同桩之间的间距设计为5m,形成连续抗滑屏障,提升边坡深层安全系数。在次级滑移区,采用框架梁搭配锚索抗滑

系统,锚索长度为25m,自由段长度为12m,设计张拉力800kN,锁定值720kN,在框架节点处,针对性设置应力监测点,实时反映锚固力衰减,有效抵抗边坡滑移。

3.4.4 路基变形协同治理。针对沉降区,本项目采用了注浆修复方法。在实际修复施工时,采用袖阀管作为主要注浆工具,注浆方式为分层注浆,浆液水灰比为 $0.6\sim 0.8$,初始注浆压力为0.3Mpa,在稳压5min后,增加注浆压力至0.5Mpa,有效填充填土透透镜体孔隙。在完成注浆加固后,路基回弹模量由45Mpa提升至60Mpa,工后沉降低于5cm。将项目原本的倾覆挡墙拆除,新建重力式混凝土挡墙,挡土墙混凝土等级为C30,墙高6.2m,基础置于中风化砂岩层,墙背设置50cm厚砂砾石缓冲层,有效吸收重载车辆振动能量。

4 结束语

总之,岩土工程边坡勘察与综合治理是一项较为专业系统复杂的工作,应充分认识岩土工程边坡勘察与综合治理的作用价值,结合实际工程项目,加强对岩土工程边坡勘察与综合治理技术应用分析,结合地质勘察结果,采取有效的综合治理技术措施,从而更好地展现勘察技术价值,解决边坡失稳问题,推动项目建设稳定安全顺利发展。

[参考文献]

- [1]侯尚杰,王改平,刘乃静.探讨数字化勘察技术在金属矿山岩土工程中的应用[J].中国金属通报,2025,(08):216-218.
- [2]黄巧缘,甘泽,文武,等.涪陵焦页老37号平台滑坡勘察与治理对策研究[J].城市道桥与防洪,2025,(09):369-373.
- [3]黄婉蓉,陈荣斌.基于住宅边坡治理工程的土质滑坡地质灾害特征与防治[J].居舍,2025,(22):61-64.
- [4]高玉倩,陈彦亭,荣辉,等.冀东地区露天采场土质边坡稳定性分析和治理方案研究[J].矿业工程,2025,23(01):15-20.
- [5]张献军.复杂地质背景下公路路基边坡崩塌治理施工技术[J].低碳世界,2024,14(09):136-138.

作者简介:

刘江(1988—),男,汉族,四川成都人,本科,现职称中级工程师,研究方向:岩土工程。