

高速公路滑坡治理及边坡预加固分析

高军

云南新创新交通建设股份有限公司

DOI: 10.12238/ems.v6i10.9279

[摘要] 本文深入探讨了高速公路滑坡治理及边坡预加固的关键技术与策略。基于地质勘察与边坡稳定性分析，提出了多种治理方案，并通过综合比选确定了最优方案——“削坡减载+边坡底部桩板墙”。该方案通过削坡降低边坡自重，结合桩板墙的抗滑作用，有效提升了边坡的稳定性。同时，本文还详细阐述了治理措施的设计与实施步骤，包括削坡减载的具体方法、桩板墙的设计参数与施工要点。此外，针对边坡的长期稳定性，提出了增设排水系统、注浆加固及植被恢复等预加固措施，旨在构建全方位、多层次的边坡防护体系。本文的研究成果对于类似高速公路滑坡治理项目具有重要的参考价值和指导意义。

[关键词] 高速公路；滑坡治理；边坡预加固

Analysis of landslide control and slope pre reinforcement on highways

Gao Jun

Yunnan New Innovation Transportation Construction Co., Ltd

[Abstract] This article explores in depth the key technologies and strategies for landslide control and slope pre reinforcement on highways. Based on geological exploration and slope stability analysis, multiple treatment plans were proposed, and the optimal plan was determined through comprehensive comparison - "slope reduction and load reduction+pile sheet wall at the bottom of the slope". This plan reduces the self weight of the slope by cutting the slope, combined with the anti sliding effect of the pile sheet wall, effectively improving the stability of the slope. At the same time, this article also elaborates on the design and implementation steps of governance measures, including specific methods for slope reduction and load reduction, design parameters and construction points of pile sheet walls. In addition, pre reinforcement measures such as adding drainage systems, grouting reinforcement, and vegetation restoration have been proposed for the long-term stability of slopes, aiming to build a comprehensive and multi-level slope protection system. The research results of this article have important reference value and guiding significance for similar highway landslide control projects.

[Keywords] expressway; Landslide control; Slope pre reinforcement

引言

随着高速公路建设的快速发展，滑坡等地质灾害对道路安全构成了严重威胁。滑坡不仅会导致交通中断、车辆损坏，还可能引发人员伤亡，给社会经济带来巨大损失。因此，加强高速公路滑坡治理及边坡预加固研究，对于保障道路安全、促进经济发展具有重要意义。本文旨在通过分析滑坡成因、评估边坡稳定性，提出科学合理的治理措施与预加固方案，为高速公路滑坡治理提供技术支持与决策依据。

1. 工程概况

宣威至富源高速公路（以下简称“本项目”）位于云南省东部曲靖市，纵贯宣威市、沾益区、富源县，是云南省县域高速公路“互联互通”工程的重要组成部分，对促进区域

经济发展和交通旅游发展具有重要意义。板桥互通作为关键节点，位于宣威市板桥镇，主要实现宣天一级公路与本项目的交通转换。原设计板桥互通B匝道BK0+230.00至BK0+581.12段为深挖路堑，全长351.12米，中心最大挖方深度28.02米，边坡高度可达35.30米，采用分级开挖和锚索框格梁支护。

2023年7月6日，施工过程中BK0+265至BK0+345段发生垮塌，勘察单位于10月17日进行现场调查，开挖探坑以获取地质信息。11月8日，BK0+345至BK0+400段已开挖边坡再次垮塌，施工中断。

2. 地质条件分析

滑坡区位于板桥镇西南侧的山体斜坡地带，属构造剥蚀

中山地貌，地形起伏较缓，坡向约 15°，坡度范围在 10°~25° 之间，高程自 2054.1m~2097.0m，相对高差约 42.9 米。区域植被茂盛，主要为果园和林地，经开挖后形成多级台阶状坡体，前缘形成宽缓平台。已开挖坡体多次沿软弱层发生滑塌，滑塌方向介于 15° 至 85°，滑坡中后部可见大量张拉裂缝及局部地面沉降，后缘形成高 3 至 6 米的陡坎。地

层岩性构成如下表 1 所示，滑坡区域主要分布有第四系全新统滑坡积层（ Q_4^{del} ）、第四系全新统残坡积层（ Q_4^{e1+dl} ）及二叠系中统玄武岩组（ $P_2\beta_2$ 、 $P_2\beta_3$ ）。其中，玄武岩呈现斑状、杏仁状结构，凝灰岩则以紫红色、紫褐色为主，作为 $P_2\beta_2$ 与 $P_2\beta_3$ 的分隔标志^[1]。全风化凝灰岩具有遇水软化、失水干裂的特性，是边坡稳定性的薄弱环节。

表 1 地层岩性构成描述

地层岩性	描述	特性
Q_4^{del}	粉质黏土，黄褐色，硬塑状	土质不均匀
Q_4^{e1+dl}	粉质黏土，黄褐色，硬塑状，偶夹风化岩屑	干强度及韧性中等
$P_2\beta_3$	全风化玄武岩：黄褐色、灰褐色，多风化呈土状	弱膨胀性，遇水膨胀，失水收缩
	强风化玄武岩：黄褐色、灰褐色，岩体破碎	敲击声哑，锤击易碎
	中风化玄武岩：暗灰色，块状构造，岩体破碎	岩质较硬，锤击声较脆
$P_2\beta_2$	全风化凝灰岩：紫红色、紫褐色，细腻光滑	遇水软化，失水干裂
	强风化凝灰岩：紫红色、紫褐色，敲击易碎	遇水软化，失水干裂
	全风化玄武岩：灰绿色、灰褐色，多风化呈土状	弱膨胀性
	强风化玄武岩：暗绿色、灰褐色，岩体破碎	敲击声哑，锤击易碎
	中风化玄武岩：暗绿色，块状构造，岩体破碎	岩质较硬，锤击声较脆

区域地质构造方面，区内未见断层及褶皱发育，但玄武岩夹火山碎屑岩的多次喷发活动，形成了具有不同结构和构造特征的岩层，尤其是 $P_2\beta_2$ 顶部的紫红色、紫褐色凝灰岩，作为软弱结构层，对边坡稳定性构成显著影响。区内无全新世活动断裂分布，地震基本烈度为Ⅶ度，气候、气象条件表现为低纬高原季风气候，冬无严寒，夏无酷暑，年温差小，日温差大，降水集中且干湿分明。年降水量在 1200~1400 毫米之间，集中于夏秋季节，尤以 6 至 7 月最为集中，易引发洪涝灾害。旱季（11 月至次年 5 月中旬）雨量较少，利于野外作业。水文地质条件方面，地表水主要为雨季坡面暂时流水，地下水主要富集在凝灰岩与玄武岩接触带，形成透镜状局部滞水，是引起滑坡的重要因素之一^[2]。

综合上述地质条件分析，滑坡区域的工程地质特性复杂，需采取有效措施进行治理及边坡预加固，以确保高速公路的安全与稳定。

3. 变更原因及原设计情况

3.1 变更原因分析

该段边坡失稳主要归因于地质条件的特殊性。该区域中部夹有褐、紫褐色全风化及强风化凝灰岩，这类岩石具有显著的遇水软化、失水干裂特性。当地表水通过裂隙或孔隙下渗至岩层内部时，凝灰岩的力学性质显著降低，强度减弱，导致其对上部岩土体的支撑能力大幅下降。随着岩土体内部应力的重新分布，上部岩土体因失去有效支撑而沿软弱层（即风化凝灰岩层）发生滑动，进而形成滑坡^[3]。

3.2 原设计情况分析

针对 B 匝道边坡，原设计采用了深挖路堑的形式，边坡设计高度根据地形地貌及道路纵断面设计确定，旨在确保道路安全顺畅的同时，尽可能减少对环境的影响。边坡坡率设

计考虑了岩石风化程度、地下水条件及当地气候条件等因素，采用了分级放坡的方式，以减缓坡面水流速度，降低雨水冲刷对边坡稳定性的影响。同时，为增强边坡的整体稳定性，原设计还采用了适当的防护形式，如锚杆（索）框架梁等，以增加岩土体的抗剪强度和整体性。然而，由于地质条件的复杂性和不确定性，原设计在应对特定地质条件下的边坡稳定性问题时显得不足，特别是在遇到凝灰岩遇水软化、全风化玄武岩过渡带等复杂地质条件时，原设计的防护措施未能有效阻止边坡的失稳和滑坡发生^[4]。因此，根据现场实际情况和地质勘察结果，对原设计进行了相应的优化和调整，以确保边坡的长期稳定和安全。

4. 测设过程与变更设计方案比选

4.1 测设过程概述

B 匝道 BK0+230~BK0+580 段深挖路堑的治理中，地质勘察与边坡稳定性分析紧密相关。边坡失稳后，通过现场踏勘与裂缝测量，地勘单位迅速补勘，获取准确设计参数。基于勘察结果，治理方案历经多次设计、审查与修改，包括业主组织的现场踏勘、方案交流与专家评审会。最终，根据专家意见完成施工图送审稿，确保了治理工作的科学性和有效性。整个测设过程突出了地质勘察的严谨性和边坡治理方案的灵活性^[5]。

4.2 变更设计方案比选

针对 B 匝道边坡中部存在的凝灰岩滑带及其引发的滑坡风险，结合地质资料、天然气管道位置及征地拆迁等实际情况，设计了四种治理方案。

方案一：削坡减载+边坡中部桩板墙

此方案通过削坡减载降低边坡自重，同时在边坡中部设置大尺寸桩板墙以提供强大的抗滑力。其优点在于能有效控

制滑坡,但桩板墙尺寸大、悬臂高,导致投资成本显著增加。此外,实施过程中需考虑高悬臂桩板墙的施工难度与安全性。尽管计算结果显示边坡在暴雨工况下仍能保持稳定,但经济性与施工难度成为其推广应用的限制因素。

方案二:削坡减载+边坡底部桩板墙

与方案一相比,方案二将桩板墙位置移至边坡底部,减少了桩板墙的尺寸与数量,从而降低了工程投资。同时,该方案在各级边坡设置了合理宽度的平台,有利于边坡稳定与排水。计算结果显示,该方案在天然与暴雨工况下均能满足安全要求,且施工难度相对较小,经济效益显著。因此,经综合比较,方案二被视为最优选择。

方案三:削坡减载+大断面抗滑墙

此方案通过清除滑体并设置大断面抗滑墙来抵抗滑坡。尽管抗滑墙在结构上具有较强的抗滑能力,但其圬工体积大,基坑开挖量大且地质条件复杂,增加了施工难度与安全风险。同时,清方与弃方数量多,进一步推高了工程成本。因此,尽管在稳定性上表现良好,但综合考虑经济性与施工难度后,该方案未被推荐^[6]。

方案四:调整路线纵坡

鉴于项目互通区主线桥梁墩柱及盖梁部分已施工完成,且大部分挡墙、涵洞及土石方工程也已完工,调整路线纵坡将造成大量废置工程,不仅浪费资源且增加额外成本。因此,该方案在初期即被排除,仅作为备选考虑。

4.3 综合比选结果

综合考虑地质条件、施工难度、经济效益及工程现状,推荐采用方案二——削坡减载+边坡底部桩板墙作为滑坡治理与边坡加固的最终方案。该方案在有效控制滑坡风险的同时,实现了经济效益与施工难度的良好平衡,是当前情况下最为合理的选择。

5. 滑坡治理及边坡预加固措施

5.1 治理原则与目标

滑坡治理的基本原则在于确保边坡稳定,预防滑坡灾害的发生,同时兼顾环境保护与经济效益。治理目标设定为:通过科学合理的工程措施,显著降低边坡的滑动风险,确保高速公路运营安全;优化设计方案,减少施工对周边环境的影响;控制工程成本,实现经济效益最大化。

5.2 治理措施设计

基于地质勘察结果和边坡稳定性分析,选定“削坡减载+边坡底部桩板墙”作为主要治理方案。具体措施设计如下:

(1) 削坡减载:通过逐级削坡,降低边坡整体高度与坡度,减轻边坡自重,从而降低滑坡驱动力。削坡过程中,需严格控制削坡比例与高度,确保削坡后的边坡形态符合设计要求。同时,削下的土石方应及时清运至指定地点,避免对周边环境造成二次影响。(2) 桩板墙设计:在边坡底部设置桩板墙,利用桩的嵌固作用与墙体的抗滑能力,共同抵抗滑坡推力。桩板墙的设计需根据地质条件、滑坡规模及治理目标确定桩径、桩长、墙厚等关键参数。施工过程中,需确保桩体嵌入

稳定岩层,墙体浇筑质量满足设计要求^[7]。此外,还需考虑桩板墙与边坡岩土体的相互作用,采取必要的连接措施,提高整体稳定性。治理措施的实施应遵循先削坡后建墙的原则。首先,进行削坡作业,形成稳定的边坡形态;随后进行桩板墙的基础处理与桩体施工;最后进行墙体浇筑与连接件安装。施工过程中需加强监测与质量控制,确保各项措施按设计要求实施到位。

5.3 边坡预加固措施

为进一步提高边坡稳定性,预防未来滑坡灾害的发生,提出以下预加固措施:

(1) 增设排水系统:在边坡上合理布置排水沟、截水沟等排水设施,确保雨水及地下水能够及时排出,减少水对边坡稳定性的不利影响。排水系统应与边坡防护工程相结合,形成完整的排水网络。(2) 注浆加固:对边坡中的软弱夹层或潜在滑动面进行注浆加固。通过向岩土体中注入水泥浆或其他加固材料,提高岩土体的力学强度与整体性,增强边坡的抗滑能力。注浆加固需根据地质条件与加固目标确定注浆压力、注浆量等参数,确保加固效果。(3) 植被恢复与生态防护:在边坡治理完成后,及时进行植被恢复与生态防护工作。通过种植适宜的植被,覆盖裸露的岩土体表面,减少水土流失与风化侵蚀。同时,植被的根系还能起到加固边坡的作用,提高边坡的整体稳定性。

结束语:

总而言之,本文的研究不仅为当前高速公路滑坡治理提供了宝贵的经验与技术参考,更为未来类似工程项目提供了可借鉴的范例。我们相信,随着科技的不断进步与工程实践的持续深入,滑坡治理及边坡预加固技术将不断得到完善与创新,为高速公路的安全运营保驾护航。同时,我们也应认识到,滑坡治理是一项长期而艰巨的任务,需要政府、企业和社会各界的共同努力与持续关注,以确保高速公路的安全畅通与可持续发展。

[参考文献]

- [1]明贵波.高速公路滑坡稳定性分析及评价[J].江西建材,2023,(08):195-197.
- [2]甄建树.公路高边坡滑坡治理与加固分析[J].黑龙江交通科技,2023,46(08):32-34.
- [3]丁登阳.高速公路路堑边坡滑坡及工程对策分析[J].交通科技与管理,2023,4(15):123-125.
- [4]冯小龙.高速公路滑坡施工治理工作中抗滑桩的应用[J].四川建材,2023,49(07):178-180.
- [5]刘强.山区高速公路边坡滑坡治理措施分析[J].四川水泥,2023,(07):264-266.
- [6]王建伟.某高速公路填方路基滑坡成因及稳定性分析[J].山西交通科技,2023,(03):56-60.
- [7]丁杰.高速公路路基滑坡治理与分析[J].山东交通科技,2023,(02):108-110.