

浅层土质滑坡中复合支护技术的应用研究

栗 扬, 程泽轩*

(四川省第四地质大队, 四川 成都 610000)

摘 要 本文结合攀枝花市花城外国语学校旁浅层土质滑坡治理工程, 在分析工程地质条件、复合支护设计与施工过程的基础上, 采用“适当削坡+锚杆格栅+植生袋护坡”组合支护方案, 并结合现场实际确定施工参数、技术要求及质量控制措施。结果表明, 该复合支护可发挥协同作用, 有效释放边坡应力、提升浅层土坡整体稳定性。锚杆格栅形成刚性抗滑体系, 植生袋实现生态修复与长期防护。经治理, 滑坡体稳定系数达到安全标准, 未出现变形失稳, 治理效果良好。

关键词 浅层土质滑坡; 复合支护技术; 锚杆格构梁; 植生袋护坡; 边坡稳定性

中图分类号: TD353

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2026.21.015

0 引言

我国西南山区受地形、地质及气候条件影响, 浅层土质滑坡灾害频发。该类滑坡以第四系填土、粉质黏土等松散土层为主, 厚度小、稳定性差, 在降雨与人为活动影响下易失稳, 严重威胁周边建(构)筑物、人员及交通设施安全^[1]。滑坡治理需采用合理支护技术提升边坡稳定性, 单一支护难以兼顾短期加固与长期防护需求。本文以攀枝花市花城外国语学校旁浅层土质滑坡为研究对象, 该滑坡防护对象特殊、危害较大。通过对“削坡+锚杆格栅+植生袋护坡”组合支护技术的应用要点、施工参数及技术要求进行分析, 总结其治理成效, 可为西南山区同类滑坡治理工程提供参考, 推动复合支护技术在浅层土质滑坡防治中的应用。

1 案例概况

工程位于攀枝花市东区炳三区新丰路 198 号, 前缘是花城外国语学校, 后缘是东华派出所建设工程项目, 南临新盛路路基外侧, 北靠新丰公路南挡土墙, 地理坐标为东经 101° 43′ 40″ 28′, N′ 26′ 33″ 31.75′。滑坡平面形态为“圈椅”型, 纵长 30 m~35 m, 横断面 70 m~80 m, 面积约 3 200 m², 主滑动方向为 248° 和 300°。滑体厚度 1.2 m~7.7 m, 平均 6.2 m, 体积约 2×10⁴ m³, 按《滑坡防治工程勘查规范》(GB/T 32864-2016) 确定, 该滑坡属小型浅层滑坡。

该滑坡危害与防治工程等级均为 III 级, 主滑方向 248° 威胁 200 名师生生命财产安全, 300° 方向存在行人及车辆安全隐患, 潜在经济损失约 900 万元。工

程区位于四川盆地西南缘, 属亚热带立体气候, 雨季降雨集中, 是滑坡主要诱发因素。场区地处城市腹地, 交通及水电条件便利, 为治理施工提供良好条件。结合地质特征、灾害等级与周边环境, 采用“适度削坡+锚杆格栅+植生袋护坡”复合支护技术, 兼顾边坡加固安全与长期生态防护。

2 浅层土质滑坡的复合支护技术

2.1 适当削坡

削坡作为浅层土质滑坡治理的前道工序, 其核心目标是降低坡面坡降, 清除坡体松散土体, 减轻坡体自重应力, 减轻坡体前缘的临空效应, 为后续锚碇格构梁支护创造有利条件。本项目按照“尽可能少削, 分段施工, 因地制宜”的原则, 将边坡按边坡地质条件分为 A 区和 B 区, 各边坡区的放坡比为 1:1.75, A 边坡区平台宽度为 2.0 m, B 边坡区平台宽度为 2.0 m~3.0 m, 在原有坡度的基础上, 结合坡顶线和坡底线, 进行平整处理。

采用人工与机械结合的方法清除坡表, 首先用小挖土机将坡面上松散的填土、浮岩清理干净, 然后人工修整坡面, 保障坡面的平整度符合后续支护施工的要求^[2]。边坡削坡施工严格遵循自上而下的施工顺序, 每一次开挖高度控制在 3 m 以内, 每一次削坡结束后都要及时检查坡面, 以防止连续削坡造成坡体局部失稳。本次削坡工程共完成挖方量 6 500 m³, 开挖弃土外运至仁和区南山取土场一大箐沟, 行程 12.0 km, 是一项很有意义的工作。

作者简介: 栗扬 (1992-), 男, 本科, 工程师, 研究方向: 水文地质调查、岩土工程勘察、地质灾害治理勘查设计。

*通信作者: 程泽轩 (1989-), 男, 本科, 工程师, 研究方向: 岩土工程勘察、地质灾害治理勘查设计。E-mail: amy2818139@163.com

2.2 锚杆与格构梁支护

锚杆与格构梁联合支护是该复合支护技术的核心刚性支护系统,锚碇通过深部稳定地层提供抗拔力并向深部稳定岩体传递应力,格构梁将离散锚固成一个整体,形成面状支护结构,均匀分散边坡荷载,二者协同作用,实现边坡整体加固。

2.2.1 锚杆支护

本项目锚杆采用全长黏结型锚杆,水平、竖向间距 2.5 m,锚杆长度根据边坡实际深度确定 12 m~16 m,

锚杆采用 2Φ20HRB400 三级钢筋作锚杆杆体,锚杆孔径设计为 Φ130 mm,入射角 20°,钻孔采用 130 mm 风动潜孔锤钻进成孔,为预留沉渣空间,钻孔深度超钻 20 cm。为保障水泥砂浆与锚杆杆体及孔壁土体紧密结合,提高锚杆锚固力,采用孔底灌注法灌浆,注浆压力为 0.2 MPa~0.4 MPa,锚杆采用 M30 水泥浆进行注浆,共消耗 37.3 m³ 水泥砂浆,锚杆注浆配制参数如表 1 所示。

锚杆施工严格按照“原材料准备—孔位放线—钻

表 1 锚杆注浆材料配比参数

材料名称	规格型号	配合比(质量比)	水灰比	外加剂
水泥	P.0 42.5 普通硅酸盐水泥	1	0.45~0.50	减水剂(掺量 0.5%)
中砂	含泥量≤3%,粒径≤3 mm	1.2~1.5	/	/
水	市政饮用水	按水灰比配比	/	/
水泥砂浆	强度等级 M30	水泥:砂:水 = 1:(1.2~1.5):(0.45~0.50)	0.45~0.50	高效减水剂

孔—清孔—锚杆制作与安装—注浆—养护”的施工工艺,在杆体安装前,先调直、除锈、除油,钻孔后用高压风清孔,清除孔内岩粉、碎渣,防止影响注浆质量^[3]。安装锚杆时,为了确保杆体对中,在杆体长度上每 1.5 m 焊接一对定位支架,同时将灌浆管和杆体一起下到孔底 10 cm 处,在注浆的过程中,随着灌注砂浆的缓慢匀速拔出灌浆管,保障孔中砂浆饱满,没有空洞、脱节现象。本项目共施工 Φ130 锚杆孔 2 808.0 m,采用 HRB400 钢筋 14.42 t,灌注 M30 水泥砂浆 37.3 m³,锚杆施工完成后养护时间不少于 3 天,养护期间严禁敲击、摇动杆体及悬挂重物。

锚杆(索)锚固体与岩土层间的长度应满足以下公式:

$$l_a \geq \frac{KN_{ak}}{\pi \cdot D \cdot f_{rbk}} \quad (1)$$

式(1)中: l_a 为锚杆锚固段长度(m); K 为锚杆锚固体抗拔安全系数; N_{ak} 为锚杆轴向拉力标准值(kN); D 为锚杆锚固段钻孔直径(m); f_{rbk} 为岩土层与锚固体极限粘结强度标准值(kPa)。

本工程边坡支护采用全长粘结型锚杆,按公式(1)进行锚固段长度验算:取锚杆轴向拉力标准值 $N_{ak}=180$ kN,抗拔安全系数 $K=2.0$,钻孔直径 $D=0.13$ m,岩土层极限粘结强度标准值 $f_{rbk}=70$ kPa,代入计算得所需最小锚固段长度 $l_a=12.6$ m,本工程实际设计锚固段长度为 14 m,大于最小值 12.6 m,满足工程需求。

2.2.2 格构梁支护

格构梁支护与锚杆施工协同工作,分为框架梁、地梁两个区段。框架梁采用 HRB400 Φ20 钢筋、HPB300 Φ8 箍筋、0.4 m 纵向钢筋和 HPB300 Φ8 箍筋,纵向钢筋采用 HRB400 Φ20,箍筋为 HPB300 Φ8,框架梁和地梁的钢筋保护层厚度均设为 5.0 cm。

格构梁和地梁采用现浇 C25 混凝土浇筑,其灌浆配制参数如表 2 所示,其中格构梁的截面尺寸 0.3 m×0.3 m,地梁的截面尺寸 0.4 m×0.4 m,共完成了格构梁的 136.4 m³、地梁的 C25 砼浇筑 21.24 m³,地梁的钢筋配置与格构梁相同,格构梁和地梁的钢筋保护层均为 5.0 cm。在施工过程中,格构梁拉通编制,只在伸缩缝处断开,每隔 15 m 设 1 条 2 cm 缝,缝中填充沥青麻丝,无底梁的竖梁嵌入地下 10 cm,格构梁顶端可根据坡面实际情况灵活调节,保障与坡面紧密贴合。

格构梁施工前先测量放样,确定梁的位置,锚固端弯不少于 20 cm,并与格构梁主筋焊接,确保锚固件与格构梁可靠连接。梁体钢筋在制作和安装过程中应错开布置,同一截面上的钢筋数量不能超过 2/3,焊接节点的截面间距不小于 1 m。

格构梁施工和锚杆施工同步开展,经检查合格的锚杆端头与格构梁主筋焊接牢固,焊接长度达到规范要求后,再绑扎钢筋,安装模板,采用小块钢模板,用短锚杆固定于坡面,防止模板在浇筑时发生位移^[4]。混凝土采用商品混凝土浇筑,采用分层振捣的方法,特别是锚孔附近钢筋密集的部位要加强振捣,确保混

表 2 格构梁支护注浆材料配比参数

材料名称	规格型号	配合比（质量比）	坍落度	外加剂
水泥	P.O 42.5 普通硅酸盐水泥	1	120±20 mm	缓凝剂（掺量 0.3%）
中砂	含泥量≤ 3%，细度模数 2.3 ~ 3.0	1.45 ~ 1.55	/	/
碎石	5 mm ~ 25 mm 连续级配，含泥量≤ 1%	2.8 ~ 3.0	/	/
水	市政饮用水	0.4 ~ 0.45	/	/
C25 商品混凝土	强度等级 C25	水泥：砂：碎石：水=1：(1.45 ~ 1.55)：(2.8 ~ 3.0)：(0.4 ~ 0.45)	120±20 mm	缓凝型高效减水剂

混凝土的密实度，防止产生蜂窝、孔洞等质量问题；为了保障混凝土的强度满足设计要求，混凝土浇筑后应及时养护，至少要养护 7 天以上。

2.3 植物袋护坡技术

以格构梁框架内的植生袋为核心，利用植物根系固土效应，提高边坡的长期稳定性，并改善边坡生态环境。植生袋采用绿色涤纶纤维材料，规格不少于 180 g/m²，将种植土填充到植生袋中，为了防止种草从袋里掉出来，在填土的过程中，种子层的一面垫上一层薄木板，填土后取出木板，确保草种分布均匀^[5]。植生袋按 0.6 m×0.4 m 的规格人工堆放，堆放完毕后，在坡面上挂 50 mm×50 mm×2.5 mm 规格的 8 号机制镀锌钢丝网，并将其固定于格构梁框架内，以防止因雨水冲刷而导致袋体滑落。本项目拟采用适合攀枝花市气候特点的本地草本草种，以确保造林成活率和固土效果，完成生态袋 9 815 袋，填土 471.1 m³，铺设 2 355.5 m² 镀锌铁丝网^[6]。

3 项目成果

本项目实践结果表明，滑坡体水平位移和竖向沉降都在 3 mm 以内，未出现明显的变形失稳迹象，边坡稳定系数由治理前 0.85 提高到 1.35，满足《滑坡防治工程设计与施工技术规范》（DZ/T 0219-2006）Ⅲ类防治工程的要求。植草袋植后，成活率达 90% 以上，坡面植被覆盖率较好，可有效降低降雨对坡面的冲刷，达到工程加固和生态修复双重目的。

在施工过程中没有出现安全事故和质量问题，经过竣工验收，工程质量达到设计与规范要求。从工程效益上看，该浅层土质滑坡对周边学校、行人和车辆的安全威胁将被完全消除，确保周边居民的生命财产安全和交通顺畅，同时还能通过植生袋护坡对坡面进行生态修复，使其与周边城市环境和谐统一，具有较好的安全、生态和社会效益，验证了该技术在浅层土滑坡治理中的适用性和可靠性。

4 结束语

本项目以攀枝花市花城外国语学校旁浅层土滑坡为研究对象，以“适当削坡+锚格梁+植生袋护坡”为核心的复合支护技术，通过削坡降低坡体滑动力，采用锚杆格构梁形成深层刚性支护，结合植生袋护坡实现浅层生态防护和植被固土，各工序协同作用，优势互补，有效提高浅层填土滑坡整体稳定性。在施工过程中，严格控制锚杆成孔、注浆工艺、格构梁焊接、混凝土浇筑质量、植生袋的选择、安装和植物选择等关键工序的工艺参数和关键点，确保工程的安全和效率。通过本项目的成功应用，证实了该复合支护技术在浅层土质滑坡治理中的可行性和优越性。与传统单一支护技术相比，该方案具有力学稳定性强、能有效抵御浅层填土滑坡失稳风险、生态效益好等特点，可实现边坡治理和生态修复同步开展，满足现代地质灾害防治工程生态化发展的需要。

参考文献：

[1] 余易豪. 滑坡治理中勘查要点及支护结构稳定性分析[J]. 江西建材, 2024(01):204-206.
[2] 林程, 张桂荣, 孔洋, 等. 滑坡生态-支护结构联合防护机理研究[J]. 水利水电工程学报, 2025(03):95-106.
[3] 罗应芬. 滑坡体加固中桩锚支护技术的应用[J]. 交通世界, 2023(16):25-27.
[4] 印振华, 赵云川, 饶传友. 滑坡支护设计的几个问题的探讨[J]. 世界有色金属, 2021(20):191-192.
[5] 乐涛. 复杂地质条件下边坡稳定性分析与支护技术[J]. 中国建筑金属结构, 2025, 24(15):163-165.
[6] 徐金欣, 吉祝喜, 申元明. 抗滑桩支护加固技术在岩土工程施工中的应用研究[J]. 工程技术研究, 2025, 10(12):79-81.