

岩土组合边坡土层失稳滑坡治理技术

崔路允

中铁二十二局集团第五工程有限公司, 重庆 400042

[摘要] 结合沪昆铁路客运专线盘县车站高边坡施工背景, 介绍了坡面覆土较厚且下部岩层溶蚀裂隙发育破碎地段, 既有常规边坡防护结构体系未能有效保证边坡稳定的基础上, 通过对失稳情况分析, 优化措施, 加强巩固, 制定适用于覆土层较厚且下部岩层溶蚀发育破碎边坡失稳后补强措施, 有效控制失稳状况进一步加剧, 并保证边坡最终稳定, 对类似工程施工具有一定的警示及借鉴意义。

[关键词] 路基; 边坡; 失稳; 治理

DOI: 10.33142/sca.v2i7.1102

中图分类号: TU443;P642.22

文献标识码: A

Treatment Technology of Soil Layer Instability and Landslide of Rock Soil Combination Slope

CUI Luyun

The 5th Engineering Co., Ltd. of China Railway 22nd Bureau Group, Chongqing, 400042, China

Abstract: Based on the construction background of the high slope of Pan county station of the Shanghai-Kunming Railway Passenger Dedicated Line, this paper introduces the slope surface covering thicker and bottom rock dissolution fracture and broken area, on the basis of the existing conventional slope protection structure system failing to effectively ensure the stability of the slope, through the analysis of the instability, optimization measures, strengthening and consolidation, formulates a broken edge suitable for the thick covering soil layer and the dissolution development of the lower rock stratum. The effective control of the instability situation is further aggravated, and the slope is finally stabilized, which has certain warnings and reference significance for similar engineering construction.

Keywords: subgrade; slope; instability; treatment

引言

沪昆客专 CKGZTJ-12 标盘县车站位于贵州省盘县两河乡冯家庄村境内, 车站路基挖方量 230 万 m³, 填方 87 万 m³, 最大填筑高度 26m, 车站 4 台 7 线。本车站位于滇东高原丘陵区, 地势起伏不大。本段缓坡上为薄层坡残积粘性土(Q₄^{d1+e1})覆盖, 坡麓及缓坡处覆土相对较厚。下部为三叠系下统永宁组第三、四段(T_{1yn}³⁺⁴)灰岩; 三叠系下统永宁组第二段(T_{1yn}²)泥灰岩夹泥岩。站址水量随季节变化, 受大气降雨补给以蒸发和地表径流形式排泄, 本区 4 月~10 月为降雨多发季。

DK956+600~DK956+700 左侧长 100m, 路堑坡脚设重力式路堑挡土墙, 墙高均为 5m, 挡土墙墙身采用 C35 混凝土浇筑。墙顶平台及侧沟平台均采用 0.2m 厚 C25 混凝土现浇封闭。

路堑边坡坡面采用锚杆框架梁防护, 框架内采用喷混植生护坡。框架梁节点间距 3.0m, 正方形布置, 与水平下倾角 20° 施作, 锚孔直径 φ110mm, 孔内灌注 M35 水泥砂浆, 注浆压力不小于 0.2MPa。锚杆采用单根 φ32HRB400 螺纹钢制作, 锚杆长 10m, 如图 1。

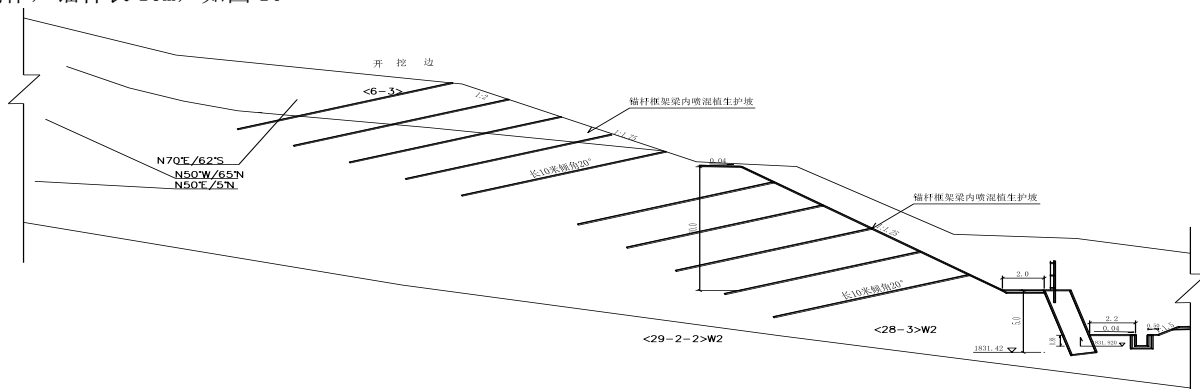


图 1 DK956+600~956+700 段左侧边坡设计图

1 引起边坡失稳原因分析

1.1 施工工序及施工概况

施作地表截排水沟、天沟→自上而下分层开挖，分级施作坡面防护→分段开挖，分幅一次性浇注挡墙。

现场按照施工工序完成地表天沟及一、二级边坡锚杆框架梁的防护，在分段开挖重力式挡土墙基础过程中发现边坡产生滑移迹象，部分已施做的锚杆框架梁被拉裂，开口线以上 50m 范围内土体不同程度下陷，裂缝宽度最大 40cm，裂缝高差最大 23cm，裂缝向大里程方向呈 45° 延伸至二级边坡坡脚，小里程方向水平延伸至 DK956+600 处。

1.2 造成失稳的原因分析

1.2.1 边坡稳定性分析

现场调查分析发现，此段边坡失稳下滑，确定为边坡土层沿基岩面滑动造成，从图 1 可以看出基岩面（即滑移面）近似直线，断面上近似直线，计算其边坡稳定性采用直线破裂面法。

已知 $\gamma=18\text{Kn/m}^3$ ， $\theta=12^\circ$ ， $c=30\text{Kpa}$ ， $\delta=150\text{Kpa}$ ， $\alpha=10^\circ$ ， $\beta=30^\circ$ 。模拟计算简图如图：

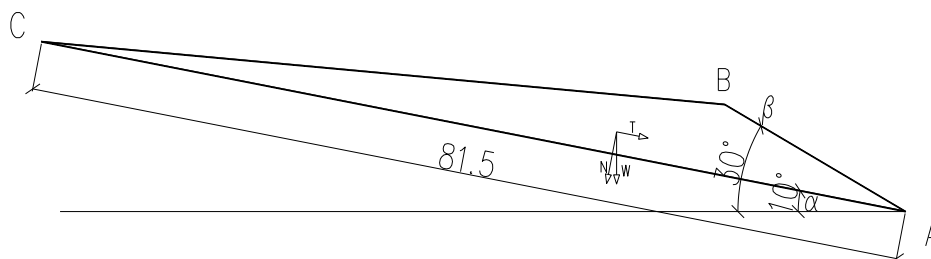


图 2 模拟计算简图

土体重 $W=\gamma * (\triangle ABC)=18*31734.4=571212 \text{ Kn}$

下滑力 $T=W*\sin \alpha=571212*0.174=99387.67\text{Kn}$

抗滑力 $T^1=W*\cos \alpha * \tan \theta + c*L$

$=571212*0.986**0.213+2445=120219.78 \text{ Kn}$

边坡安全系数 $F_s= T^1/T=120219.78/99387.67$

$=1.209$

经计算得知，该土层边坡滑动系数为 1.209，而土质边坡稳定安全系数为 1.3。

稳定性分析为：上覆土质边坡滑动安全系数为 1.209 小于 1.3，不稳定，会产生滑动变形。

1.2.2 其他因素

开挖边坡过程中，人为将既有山体破坏，导致整个边坡受力状态重新分布，尤其在开挖重力式挡土墙基础时，一级边坡坡脚土被扰动，造成边坡失稳。其次，正逢雨季，连续降雨造成土层物理性能指标发生改变，土体含水率增大，在土层与岩层分界线处产生滑移，造成边坡失稳。

2 施工整治措施确定

为保证边坡不再继续向下滑移，对挡墙基础已挖除土体进行反压回填，人为施加作用反力，护住坡脚，反压土体至挡墙顶标高。

用彩条布对坡面裂缝进行覆盖，并在裂缝外 5m 范围施做天沟、截水沟，防止降雨及坡面水进入裂缝，加剧边坡滑移。

DK956+610~DK956+692 左侧，长 82m，路堑边坡及边坡顶以外的塌陷区，采用注浆处理，以固结塌陷区松散土体，人为改变土体的物理性能指标。

DK956+627~DK956+692 左侧长 65m，土层较薄，考虑土层下部岩溶发育破碎，路堑顶以外 1m 处设置两排钢花管并注浆，两排钢花管交错布置，纵向间距为 2m，对覆土及土层以下的破碎岩层同时固结，考虑该段土层较薄，不采用抗滑桩加固，原因为抗滑桩施工周期长，并且施工过程中扰动较大，存在较大的安全隐患和施工隐患。

DK956+600~DK956+627 左侧长 27m，该段土层较厚，路堑边坡顶外设置 6 根锚固桩，桩径 1.75m×2m，锚固桩长度 16m，嵌岩深度 5m。

DK956+600~DK956+700 左侧，第二级边坡坡率由 1: 1.75 调整为 1: 2，坡率放缓。二级坡面间隔 6m，梅花型布置深层排水孔，管长 10m 倾角水平向下 10°，排出边坡土体水，减轻土体自重。

3 施工工艺

3.1 施工难点

反压坡脚土及覆盖坡面裂缝，能够暂时稳定坡面，但连续降雨严重影响边坡土体物理性能指标。所以塌陷区土体注浆及路堑顶以外 1m 处设置的两排钢管注浆施工尤为重要，注浆过程中必须严控钻孔深度，注浆压力，浆液配比等关键环节，最终方能达到固结作用，从而才会在本质上解决边坡失稳的状况。

3.2 工艺流程

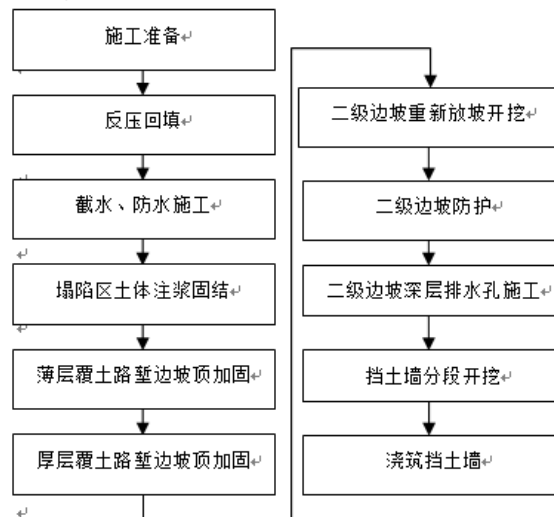


图 3 施工工艺流程图

4 重点施工工序控制

4.1 塌陷区注浆固结处理

4.1.1 钻孔

按照塌陷区钻孔位置放样，钻孔深度进入基岩不小于 5m，孔位偏差不大于 10cm。如因客观原因需对孔位进行调整，调整最大距离不超过 50cm，一序孔间距 7m，二序孔间距为 3.5m。

覆盖层中钻孔直径不得小于 130mm，基岩段终孔直径不得小于 91mm，结构松散易垮孔地层采用跟管钻进。

注浆前须进行成孔冲洗。对冲洗时返水的钻孔，以冲洗液变清为结束条件。对溶洞、溶蚀破碎带发育、冲洗时不返水的钻孔，流量不小于泵送额定流量的 80%，冲洗时间不少于 10min。

4.1.2 封孔

(1) 一次性封孔

①当注浆钻孔未揭示有土洞、空溶洞、半充填溶洞及较大溶蚀裂隙发育时，可采用水泥砂浆一次性封孔。

②当覆盖层厚度小于 4m 时，封孔段入岩长度不小于 50cm；当覆盖层厚度大于 4m 时，封孔段长度不小于 4m，对结构松散易垮孔地层自封孔段以下至基岩面应采用花管护孔，防止垮孔。

(2) 动态阻塞法封孔

①当注浆钻孔揭示有土洞、空溶洞、半充填溶洞及较大开度溶蚀裂隙发育时，应采用孔口管加止浆塞的动态阻塞法封孔。

②当覆盖层厚度小于 4m 时，封孔段入岩长度不小于 50cm；当覆盖层厚度大于 4m 时，封孔段长度不小于 4m，对结构松散易垮孔地层自封孔段以下至基岩面应采用花管护孔，防止垮孔。

(3) 孔口管及护孔花管采用 Φ110PVC 管，公称压力(PN)不小于 1.5Mpa，花管孔眼呈梅花型号布置，直径 5mm，孔眼间距 3.5cm。

(4) 终孔与验收时间间隔不宜过长，以免垮孔等不利情况发生。终孔验收后应及时进行封孔作业，封孔水泥浆终

凝后进行注浆作业。

4.1.3 注浆

(1) 注浆工艺试验确定工艺参数，经试验选取工艺参数如下表：

表 1 注浆参数

序号	参数名称	参数值	备注
1	注浆范围	嵌入岩层 2m	平面范围塌陷区范围
2	浆液扩散半径/m	2	岩溶破碎地段除外
3	孔间距/m	7	保证注浆终孔浆液扩散交圈
4	注浆压力/Mpa	0.5	达到设计终压，并持压 10min
5	钻孔孔径/mm	φ 130	开孔直径≥130mm，终孔直径≥91mm
6	注浆孔数/孔	88	结合现场实际调整

(2) 注浆材料采用水泥浆，水泥采用 42.5 级普通硅酸盐水泥，水灰比为 0.8:1。开始注浆时采用稀浆灌注，当灌入量较大时可根据情况采用浓一级的浆液灌注。

(3) 注浆过程中须配置自动流量实时采集系统，孔口必须安装压力表。注浆压力(孔口压力表读数)为 0.2~0.3Mpa，终注压力 0.5Mpa。

(4) 对土洞、空溶洞或半充填溶洞，先冲填砂、碎石后再进行注浆处理。

(5) 对溶蚀裂隙发育、连通性好、漏液严重时，注浆时掺入一定量的粉土或粉煤灰，粉土掺入量小于水泥重量的 10%，粉煤灰掺入量控制在水泥重量的 30%。

(6) 终注条件为：在终注压力 0.5Mpa 下连续注浆 10min 的注入率小于 5L/min 时，终止注浆。

4.1.4 塌陷区注浆效果检查

共计检查孔数量为 20 个，合计长度 196m，95%以上取芯芯样，均能发现水泥结晶体，对于未发现结晶体的孔位，加密钻孔，进行二次注浆，达到固结效果。

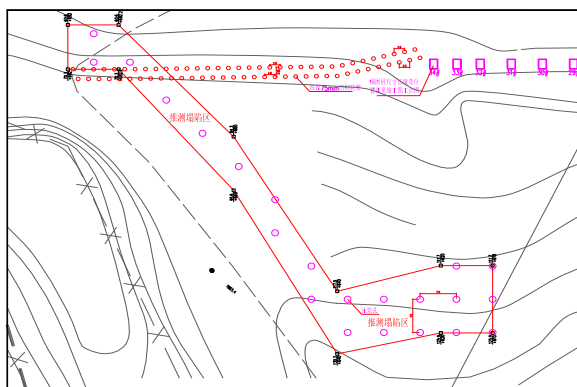


图 4 整治措施平面示意图

4.2 薄层覆土路堑边坡顶加固

4.2.1 钢花管注浆

注浆前做工艺试验，同上，在此不做具体介绍，其主要工艺参数见下文。

(1) DK956+627~DK956+692 左侧，长 65m，路堑顶以外 1m 处设置两排钢花管，钢管桩直径为 75mm，桩纵向间距 2m，交错布置，钢花管平面布置，钢花管长度以嵌入完整基岩 2m 控制，注浆采用水泥浆(水灰比 1:1)，注浆压力 2.0MPa。

(2) 钢管桩采用全灌方法施工，钢管桩钻孔及注浆过程均需详细记录，对注浆压力及进浆速度进行综合分析，评判注浆压力和注浆量变化是否合理。

(3) 注浆结束条件：当注浆压力达到设计终压值(2.0MPa)并稳定持续 10min 不进浆的情况下结束注浆。

(4) 检查效果: 钢管桩施工完成后对其注浆效果进行检查, 间隔 5.0m 钻孔取芯检查注浆饱满情况, 共检查 30 个孔, 总长度 389m, 均发现水泥结

晶体, 注浆加固后复合地基承载力检查大于 200kpa, 并对检查孔进行压水检查, 在 1.0Mpa 压力下, 进水量在 0.8~1.2L/min.m, 经检查确认能够满足要求。

4.3 厚层覆土路堑边坡顶加固

DK956+600~DK956+627 左侧长 27m, 该段土层较厚, 路堑边坡顶外设置 6 根锚固桩, 桩径 1.75m×2m, 锚固桩长度 16m, 嵌岩深度 5m。

锚固桩施工必须在钢花管注浆强度达标后方可施做, 施工过程中采用跳挖工艺, 以人工手持风镐凿除开挖为主, 必要时采取微震爆破, 尽可能减少人为扰动, 每掘进 50cm, 立即施工钢筋混凝土护壁, 终孔时, 地质核对, 保证嵌岩深度达到 5m, 否则继续掘进。

钢筋笼焊接及绑扎, 严格要求相关规范执行, 保证其质量, 灌注混凝土采用串桶施工, 防止混凝土离析, 影响桩身实体强度。

4.4 二级边坡重新刷坡及坡面排水

第二级边坡坡率由 1: 1.75 调整为 1: 2, 坡率放缓。DK956+600~DK956+700 第二级边坡, 间隔 6m, 梅花型布置深层排水孔, 管长 10m 倾角水平向下 10°, 排出边坡土体水, 减轻土体自重。整治完成后边坡防护形式如图 5。

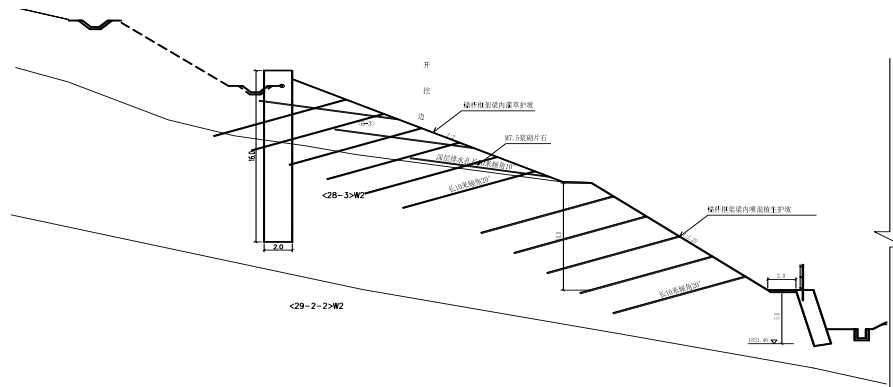


图 5 整治后边坡防护图

5 结束语

土层较厚的土石边坡施工, 受施工、气候等原因影响, 覆土层沿着基岩面产生滑移, 造成边坡的失稳, 对此情况, 建议施工前理论分析检算其边坡安全系数, 若检算得知安全系数较小, 则在开挖施工前采取加强巩固措施, 规避滑坡风险。覆土边坡失稳后, 分两部考虑, 首先采取有效的应急措施稳住边坡, 在此基础上再进行适合现场的补强措施优化。

根据跟踪观测, 到目前为止 DK956+600~DK956+700 左侧边坡稳定, 未发生滑移沉降, 说明施工中采用的边坡治理措施是正确的、有效的, 达到安全、稳定的作用。对岩土组合边坡土层失稳滑坡治理, 具有一定的借鉴意义。

[参考文献]

- [1] 李宏波. 直线滑动面法分析路基边坡稳定性的探讨[J]. 路基工程, 2016, 1(6): 37-38.
 [2] 谭捍华. 类土质边坡稳定性及其控制技术研究[D]. 重庆: 重庆大学, 2011.
 作者简介: 崔路允 (1978-), 女, 河南新乡人, 高级工程师, 从事工程管理工作。