

主管单位：四川省住房和城乡建设厅  
主办单位：四川省土木建筑学会 四川华西集团有限公司

ISSN 1007-8983  
CN 51-1133 / TU

# 四川建筑

SICHUAN ARCHITECTURE

第42卷 总第204期

2022 **2**

Sichuan Jianzhu

中国学术期刊综合评价数据库统计源期刊 中国期刊全文数据库收录期刊 《中国核心期刊(遴选)数据库》收录期刊 《中文科技期刊数据库》收录期刊 龙源期刊网收录期刊



**龙峰佳苑农民统建安置小区项目**  
成都建工第九建筑工程有限公司总承包

# 某隧道进口边坡治理效果评价

郭代泉, 李 亨

(四川志德岩土工程有限责任公司, 四川成都 610041)

**【摘 要】** 某铁路隧道进口边坡因连日降雨而发生滑塌, 经现场调查发现边坡地质条件较差, 节理裂隙发育, 岩体破碎。文章基于赤平投影分析方法, 计算表明边坡在自然状态下处于不稳定状态, 与现场调查情况一致。为治理边坡, 采用了预应力锚索(杆)框架的加固措施, 并基于 FLAC<sup>3D</sup> 有限元数值模拟软件的计算结果, 定性评价了边坡治理的效果。结果表明: 治理后的边坡剪应力下降 67.9%, 水平位移下降 89.4%, 稳定性系数从 0.7 提高至 1.8, 治理后的边坡处于稳定状态, 预应力锚索(杆)框架起到了很好的治理效果。

**【关键词】** 赤平投影分析; 预应力锚索框架; 有限元数值计算; 隧道边坡; 边坡治理效果

**【中图分类号】** U456.3<sup>+</sup>3

**【文献标志码】** B

因连日降雨, 导致某隧道进口边坡出现滑塌, 滑塌体主要物质为碎石类土, 黏土含量较大, 滑塌体长 30 m, 宽约 20 m, 厚 2~5 m。补充调查发现除既有滑塌体外, 还形成一前缘宽约 95 m, 后缘宽约 155 m, 高约 50 m, 厚约 10 m 的突出岩体, 其两侧因受雨水侵袭、物理风化作用等影响, 均出现不同程度的新鲜剥落面。边坡在基岩裂隙水浸润、物理化学风化作用、岩体自重等的影响下, 有向下发展的趋势, 致使该突出岩体在外力作用下存在失稳风险, 对施工、运营存在安全隐患。鉴于此, 需要对隧道进口范围内的边坡采取加固措施。隧道进口坡面陡峭, 需按一定角度沿基岩面清除隧道洞口上方的危岩, 清除隧道洞口下方一定范围内的坡面堆积体, 对清除后的坡面设置锚索(杆)框架梁进行防护。通过数值模拟软件计算边坡治理前后应力位移的变化以及稳定性<sup>[1]</sup>, 定量评价边坡治理的效果<sup>[5-8]</sup>, 经施工、运营验证, 技术参数安全可靠。

## 1 地质概况

### 1.1 工程地质条件

隧道进口边坡位于安康市早阳乡神滩河右岸, 属秦岭南麓低山区, 自然坡度 40~60°, 属“V”型侵蚀谷, 西北走向, 局部山体直立, 坡面高陡, 相对高差约 190 m, 边坡全景见图 1。边坡卸荷节理、裂隙发育, 山顶平坦处大多辟为耕地, 植被茂密。地层岩性主要为第四系坡积碎石类土、志留系下统片岩、石英岩及碎裂岩。地下水主要为基岩裂隙水, 分布具有不均一性, 主要赋存于片岩断层带、片岩及石英岩接触带、片岩裂隙中, 区内降雨量较多, 地下水接受大气降水的季节性补给, 补给条件较好。

### 1.2 隧道进口边坡地质特征

边坡坡底高程 238~320 m 段地表为第四系坡积碎石类土, 其余地段基岩裸露, 为志留系石英岩。经综合分析, 将该段斜坡按高程分成 3 个区域进行评价, 分别为 I 区: 坡底 238~320 m 基岩陡坎底面; II 区: 320 m 基岩陡坎底面~360 m 基岩陡坎顶面; III 区: 360 m 基岩陡坎顶面~坡顶, 边坡地质纵断面见图 2。



图1 隧道进口边坡全景

I 区主要为第四系坡积粗(细)角砾土、碎石土, 黏土含量较高, 透水性好, 雨水、地表水极易下渗; 下伏基岩为石英片岩, 顺坡向片理、节理发育, 目前处于基本稳定状态。II 区为隧道洞顶上部基岩陡坎, 岩性为石英岩, 岩层产状 N54°W/69°N, 主要发育 3 组节理, 形成了宽约 95 m, 高约 50 m, 厚约 10 m 的突出岩体, 在雨水浸润、物理化学风化作用、岩体自重、施工爆破、人为扰动等的影响下, 稳定性较差。III 区坡面危岩、落石发育, 尤其是在风化剥蚀、顺坡向节理影响下, 岩体切割成块状, 易与母岩脱离滚落(图 2)。

## 2 赤平投影分析

岩质边坡的稳定性主要受岩体中的结构面控制, 各组结构面将临空的边坡岩体切割成滑塌体, 在重力的作用下, 这些滑塌体会顺着结构面产生滑移失稳破坏。所以通过研究结构面在三维空间中的组合关系、位置、结构面的力学参数等, 可以评价边坡的稳定性和研究其破坏形式<sup>[3]</sup>。

### 2.1 结构面参数

隧道进口边坡主要岩性为石英岩, 内摩擦角 35°, 坡向 53°, 坡度 55°, 岩层产状 36°∠69°, 发育两组结构面, J1:

[定稿日期] 2021-12-06

[作者简介] 郭代泉(1989—), 男, 本科, 工程师, 主要从事岩土工程施工管理工作。

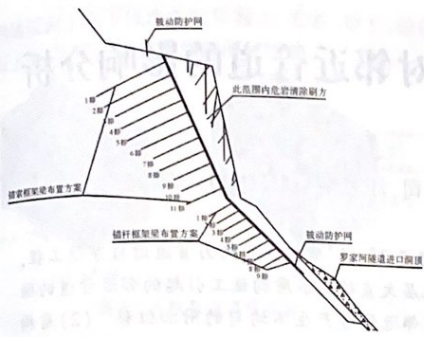


图5 隧道进口边坡治理方案局部布置

进口边坡在治理前和治理后的稳定性。

#### 4.2 计算模型选取

采用 XDK231 + 778.74 - XDK231 + 960.26 里程范围内边坡断面作为计算模型, 最高点的高程为 412.86 m, 隧道进口洞顶处高程为 300.33 m。

#### 4.3 计算参数选取

该边坡为单一的均匀连续的岩质边坡, 主要岩性为志留系石英岩, 计算参数见表 2。

表 2 计算参数

岩土体	密度 $\rho /$ ( $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ )	体积 模量 $G / \text{GPa}$	剪切 模量 $K / \text{GPa}$	内摩擦角 $\varphi / (^{\circ})$	粘聚力 $C / \text{MPa}$	抗拉强度 $E_m /$ $\text{MPa}$
石英岩	2700	39.7	37.7	45	15	6

#### 4.4 计算结果

治理前后边坡数值模拟计算结果对比如图 6、图 7 所示。

(1) 边坡治理前后剪应力对比见图 6。

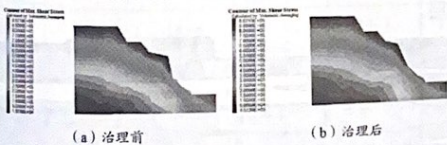


图 6 边坡治理前后剪应力对比

应力分析: 在天然状态下, 岩土体由于只受自身重力的影响, 故应力分布满足自重应力下的分布特征, 即竖向应力随着边坡埋深的增加而增大越接近坡面水平应力越小, 故边坡在治理前后水平应力与竖向应力变化比较小。由图 6 可以看出, 治理前, 边坡隧道进口上方剪应力为 14 kPa, 治理后该位置处剪应力有所降低, 降低至 4.5 kPa, 降低 67.9%。

(2) 边坡治理前后水平位移对比见图 7。



图 7 坡治理前后水平位移对比

位移分析: 图 7 表明治理前后, 边坡最大水平位移出现在隧道进口上方 60.64 m 处 (高程 360.97 m)。治理前最大水平位移为 0.18 m, 治理后最大水平位移为 0.019 m, 降低 89.4%。

稳定性计算表明, 治理前边坡稳定性系数为 0.7, 边坡处于不稳定状态; 治理后边坡稳定性系数为 1.8, 边坡处于稳定状态。

综合应力、位移以及稳定性系数结果, 预应力锚索(杆)框架治理方案对边坡的加固起到了很大的作用, 治理效果明显。经施工、运营验证, 技术参数安全可靠。

## 5 结论

(1) 通过现场调查发现, 隧道进口边坡顺坡向节理发育, 边坡表面存在 1~4 m 厚的风化层, 陡坎节理裂隙发育, 岩石破碎, 应力重分布严重, 边坡稳定性较差。

(2) 赤平投影结果表明, 隧道进口边坡中部临空面在治理前稳定性系数小于 1, 故边坡处于不稳定状态, 有发生失稳破坏的可能, 需要采取相应的工程措施。

(3) 采用预应力锚索治理边坡时, 经计算, 为安全起见锚索的锚固体长度取 8 m, 自由段长度根据工程实际情况进行取值。

(4) 对治理前后的边坡进行数值模拟, 结果表明, 边坡隧道进口上方治理前剪应力为 14 kPa, 治理后该位置处剪应力有所降低, 降低至 4.5 kPa, 降低 67.9%; 治理前该位置最大水平位移为 0.18 m, 治理后为 0.019 m, 降低 89.4%。边坡稳定性系数从 0.7 提高到 1.8, 预应力锚索框架起到了很好的加固治理效果。

(5) 经施工、运营验证, 技术参数、方案安全可靠。

## 参考文献

- [1] 赵志明. 工程治理后岩质边坡稳定性评价标准及方法研究—以元磨高速公路为例[D]. 成都: 西南交通大学, 2013: 13-14.
- [2] 肖若愚. 基于 FLAC3D 的阳朔新村南侧边坡稳定性分析及治理措施研究[D]. 昆明: 昆明理工大学, 2016: 11-15.
- [3] 蒋爵光. 用赤平投影进行节理岩体稳定性分析的方法[J]. 西南交通大学学报, 1985(2): 37-43.
- [4] 李皆准. 预应力锚索框架的作用机理及工程效果评价[D]. 北京: 北京交通大学, 2008: 7.
- [5] Cem Kinca. Application of two new stereographic projection techniques to slope stability problems [J]. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, 2014(1): 6.
- [6] S. S. Lim, H. S. Yang. An analysis of plane failure of rock slopes by quantified stereographic projection [J]. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, 2003(12): 37.
- [7] Yan Gu, Qingsong Hua, Chuazeng Zhang, et al. The generalized finite difference method for long-time transient heat conduction in 3D anisotropic composite materials [J]. Applied Mathematical Modelling, 2019(2): 23.
- [8] Selcuk Alemdag, Ayberk Kaya, Mustafa Karadag, et al. Utilization of the limit equilibrium and finite element methods for the stability analysis of the slope debris: An example of the Kalebasi District (NE Turkey) [J]. Journal of African Earth Sciences, 2015(106): 134-146.
- [9] 张登武. 西南某机场边坡稳定性分析及综合治理研究[D]. 兰州: 兰州交通大学, 2013: 7.