

# 某工程隧道边坡勘察及支护分析研究

王露

(广东省有色金属地质局九四〇队, 广东 清远 511500)

**摘要:** 本文通过对某项目工程中的几种处理措施进行分析与探讨, 以达到在边坡支护形式的选择上兼顾安全可靠和经济合理的双重目标。

**关键词:** 边坡支护; 施工工艺; 泥石流; 崩塌  
**中图分类号:** U452.28 **文献标志码:** A



## 1 工程边坡支护概况

本工程位于广东省某市, 场地交通方便, 地理位置优越, 周边无河流, 据调查, 该隧道上方各沟谷均未见明显的地表水出露, 为V字形和U形干沟; 受极端强降雨天气影响, 隧道发生泥石流、崩塌地质灾害, 其中泥石流堆积物已到达隧道洞口位置, 造成排水沟阻塞, 直接威胁坡底隧道的工程建设活动。隧道呈北东—南西向展布, 其东南侧为崩塌地质灾害, 西北侧为泥石流地质灾害。

泥石流是指在山区或者其他沟谷深壑, 地形险峻的地区, 因为暴雨、暴雪或其他自然灾害引发的山体滑坡并携带有大量泥沙以及石块的特殊洪流。泥石流具有突发性以及流速快、流量大、物质容量大和破坏力强等特点。泥石流常常会冲毁公路、铁路等交通设施甚至村镇等, 造成巨大损失。

崩塌(崩落、垮塌或塌方)是较陡斜坡上的岩土体在重力作用下突然脱离母体崩落、滚动、堆积在坡脚(或沟谷)的地质现象。

## 2 地质灾害的类型及成因

**地形地貌:** 勘察区属侵蚀丘陵地貌单元, 地质灾害所在的山体呈北东—南西向展布, 绵延长度约8 km, 山体宽度不大, 一般为0.6~1.2 km。本段山顶海拔标高为172.97 m, 山脚海拔标高约26.02 m, 最大高差约146.95 m, 地形坡度为20°~50°, 总体地形为东南侧山坡较陡, 西北侧山坡较缓, 周围为冲积盆地<sup>[1]</sup>。

### 2.1 泥石流形成原因

隧道上方3条泥石流沟为季节性冲沟, 由北往南依次为1号泥石流沟、2号泥石流沟(2-1号主沟、2-2号

支沟)和3号泥石流沟, 3条泥石流沟下游共同交汇于某隧道西北侧口上方, 沟口海拔标高约40 m, 流域最高点海拔高程168.66 m, 总流域面积约0.103 km<sup>2</sup>。1号泥石流沟只有一条主沟, 沟谷形态以V形为主, 沟谷两侧宽度基本对称, 两侧山坡坡度一般为25°~46°, 泥石流物源主要为沟谷两侧坡面发生的滑坡, 局部可见顺层滑坡; 2号泥石流沟由2-1号主沟和2-2号支沟组成, 主沟下游形态以U形为主, 上游以V形为主, 支沟形态以V形为主, 沟谷两侧宽度基本对称, 主沟两侧山坡坡度一般为15°~46°, 支沟两侧山坡坡度一般为25°~46°, 泥石流物源主要为主沟上游坡面和支沟坡面发生的滑坡; 3号泥石流沟只有一条主沟, 沟谷形态以V形为主, 沟谷两侧宽度基本对称, 两侧山坡坡度一般为25°~46°, 泥石流物源主要为沟谷两侧坡面发生的滑坡。

根据调查, 1号泥石流沟内共发育7处滑坡(1~7号), 泥石流物源主要堆积于中下游沟道及沟口位置, 中下游滑坡物质未成为本次泥石流的主要物源, 大部分仍然堆积于坡脚, 少量堆积于隧道口。2号泥石流沟主沟上游发育5处滑坡(8~12号), 支沟上游发育4处滑坡(13~16号), 支沟物源汇入主沟, 共同堆积于沟道下游及隧道口, 为本次泥石流地质灾害的主要物源。3号泥石流沟下游和上游发育8处滑坡(17~24号), 上游滑坡物源主要堆积于下游沟道及沟口位置, 少量堆积于隧道口; 中下游滑坡物质未成为本次泥石流的主要物源, 部分仍然堆积于坡脚, 少量堆积于隧道口。结合野外调查结果以及泥石流发展特征, 将1号泥石流沟、2号泥石流沟主沟和3号泥石流

沟划分为形成区、流通堆积区、堆积区，2-1号泥石流支沟划分为形成区、流通区<sup>[2]</sup>。

## 2.2 崩塌形成的原因

勘察区大部出露地层为下侏罗统中部，以灰白色砂砾岩、粗砂岩为主，夹灰黑色泥质页岩及细砂岩，顶部含一层厚0.3~0.6 m劣质无烟煤。地层产状为 $265^{\circ} \sim 295^{\circ} \angle 45^{\circ} \sim 63^{\circ}$ ，节理裂隙发育，西北侧褶皱构造活动强烈，地层倾向与坡向一致，且夹有炭质页岩软弱层，易产生顺层崩塌和滑坡地质灾害，对工程建设不利。东南侧地层倾向与坡向相反，坡度较陡，岩土体主要为粉质黏土、砂质黏性土及全、强风化~中风化砂页岩，其中粉质黏土、砂质黏性土及全、强风化砂页岩多呈松散状态，工程性能差，长期在大气降水的渗入情况下，岩土体的含水量趋于饱和，抗剪强度随之变小，导致抗变形能力变差，极易产生渗透变形，为崩塌发生失稳破坏的主要内在条件。

该崩塌主要受强降雨作用控制，坡体岩土体主要为粉质黏土、砂质黏性土和全、强风化岩，粉质黏土、砂质黏性土和全风化岩都具有受水浸泡变软的工程特点。在汛期、雨期或者长时间强降雨条件下，大量的雨水下渗到坡体内，使边坡土体饱和、软化，减小了土体颗粒间的摩擦力，抗剪强度降低，土体密度增大，从而增大坡体的下滑力，改变土体的平衡状态；且雨水下渗至全、强风化岩节理裂隙面中，降低了岩体间的摩擦力，同时润浸软化潜在崩落控制面，致使坡面表层土体沿土、岩接触面向临空面发生崩塌破坏<sup>[3]</sup>。

1号、2号崩塌堆积物部分位于坡脚，少量残存于坡面，主要成分为基岩表层风化后的碎石，其余为坡残积土，崩塌堆积物距离坡脚最远距离约24 m。2号崩塌堆积物上方植被发育（桉树为主），坡面发育多条宽0.5~2 m、深0.5~1.5 m的冲沟，调查发现最大的砂岩块石约1 m×1 m×1.5 m，推测该山坡曾经发生过多处崩塌，崩塌堆积物距离坡脚最远距离约70 m。崩塌区基岩裸露，受风化作用影响，岩体完整性差，结构面发育，受卸荷影响，岩体呈碎裂结构，且局部岩体出现架空凹腔，块体稳定性较差，在暴雨等极端天气环境影响下，有进一步失稳破坏的可能。

## 3 边坡地质灾害的等级、规模

泥石流沟沟道较短，汇水面积较小，在之前的五六十年来没有发生过泥石流灾害。在2020年6月的极端降雨环境下突发泥石流，泥石流固体物质冲出沟口，堆积于隧道口，造成隧道施工现场部分设施受

损，所幸未造成人员伤亡；1~3号沟泥石流为暴雨沟谷型、低频、稀性泥石流。野外调查和计算发现，泥石流密度为 $1.522 \text{ t/m}^3$ ，50年一遇1~3号泥石流沟口峰值流量分别为 $0.96 \text{ m}^3/\text{s}$ 、 $2.87 \text{ m}^3/\text{s}$ 、 $1.51 \text{ m}^3/\text{s}$ ，一次泥石流过流总量分别为 $0.07 \text{ 万 m}^3$ 、 $0.07 \text{ 万 m}^3$ 、 $0.06 \text{ 万 m}^3$ ，一次泥石流固体物质冲出量分别为 $0.02 \text{ 万 m}^3$ 、 $0.07 \text{ 万 m}^3$ 、 $0.03 \text{ 万 m}^3$ ，泥石流规模为中型。

根据《泥石流灾害防治工程设计规范》（DZ/T 0239—2004）中的泥石流灾害防治工程安全等级标准，结合泥石流灾害的受灾对象、死亡人数、直接经济损失、期望经济损失和防治工程投资等五个因素，确定该工程的泥石流地质灾害防治工程等级为二级。

## 4 边坡支护工艺方案

边坡可能产生变形及破坏，需对现状边坡进行永久性加固，彻底消除引起边坡失稳的不良工程地质条件和因素。首先对现状坡面进行清坡、平整边坡处理；对发生泥石流的位置设置谷坊坝和排导槽等进行加固；对发生滑坡的位置，采用分级放坡进行处理，放坡平台位置可根据现场坡面具体情况布设；对发生崩塌的位置，采用主动防护网的形式进行支护<sup>[4]</sup>。对整个场地排、截水进行系统规划，设置截水排水沟，对边坡坡体较破碎且雨期（或早期）有渗水坡面设置深部排水孔，利用坡面横梁设置花槽进行边坡绿化。

### 4.1 泥石流支护方案

谷坊坝：在1~3号泥石流沟道中上段分别设置5个谷坊坝，采用C35钢筋混凝土浇筑，坝高2 m，顶宽0.5 m，底宽1.5 m，坝基础埋深1 m，坝肩埋深不小于1 m。坝上设 $\phi 100$ 排水孔，间距600 mm，呈品字形布置。

排导槽：在1~3号泥石流沟中下段沟底设置排导槽。排导槽为矩形结构，采用C25钢筋混凝土现浇，壁厚0.3 m，高1.5 m，宽2.6 m，主筋为 $\phi 18@200 \text{ mm}$ ，箍筋为 $\phi 14@200 \text{ mm}$ ，两侧底角呈 $45^{\circ}$ 布设 $\phi 18@200 \text{ mm}$ 的加强筋。

挂网喷播植草：在1号滑坡、2号滑坡、3号滑坡、4号滑坡、5号滑坡、8号滑坡、13号滑坡、15号滑坡、17号滑坡、18号滑坡、19号滑坡、20号滑坡和21号滑坡表面进行挂网喷播植草工程，达到稳固物源的目的。

喷播植草即采用混凝土喷射机把基材与植被种子（草灌结合）的混合物按照设计厚度均匀喷射到滑坡表面，喷播植草的基本构造为钢丝网（或者土工格栅网）+钢筋和基材混合物两个部分。

## 4.2 崩塌支护方案

主动防护网：在1号崩塌面挂主动防护网，首先清除坡表的浮土浮石，然后实施锚杆钻进工程，锚杆注浆强度等级不低于M30，锚杆钻孔孔深比设计锚杆长度长5 cm；主动防护网格栅从上往下挂铺，两张格栅网间的缝及格栅网与支撑绳间用 $\phi$  1.5铁丝按1 m间距进行扎结。

落石槽：在1号崩塌坡底设置宽2 m、深1 m的C25混凝土落石槽，南端连接 $2\text{ m} \times 2\text{ m} \times 1.5\text{ m}$ 的C25混凝土沉淀池，砌筑前沟底铺设100 mm厚碎石垫层，再浇筑100 mm厚C15混凝土。

拦挡墙：在落石槽外侧修筑C25混凝土拦挡墙，采用直立重力式重力拦挡墙，墙高2.0 m，埋深0.8 m，顶宽0.5 m，底宽1.0 m；中间设置一道伸缩缝，缝宽20 mm，缝中填青麻筋、沥青木板或者其他弹性材料填塞。

沉淀池：在落石槽南端设置 $2\text{ m} \times 2\text{ m} \times 1.5\text{ m}$ 的C25混凝土沉淀池，上方连接落石槽，下方连接 $0.5\text{ m} \times 0.5\text{ m}$ 的C25混凝土排水沟，沉淀池基础先铺设100 mm厚碎石垫层，再浇筑100 mm厚C15混凝土基础。

排水沟：在挂网喷播植草面顶部及消能池下方设置 $0.5\text{ m} \times 0.5\text{ m}$ 的C25钢筋混凝土排水沟，下方连接至已有排水系统，基础浇筑100 mm厚C15混凝土垫层。

## 5 边坡支护施工工艺流程

边坡治理应按从上而下施工的原则进行。当有特殊地段、特殊项目时需先进行治理施工，应在保证上部边坡安全稳定的情况下，制定施工方案及安全预案，并在采取确保安全的措施后进行<sup>[5]</sup>。

## 6 边坡监测

建筑边坡工程必须严格进行监测，具体监测点布置及数量由监测单位根据国家规范要求编制高边坡工程监测方案确定，现场实施过程中要做好检测元件的安放和保护工作，同时所有监测数据的整理都应及时收集、反馈，以指导施工和了解边坡稳定状态。

### 6.1 位移监测

常规的地表变形测量是对监测对象进行水平位移（大小、方向）和垂直位移及速率变化的重要手段。本次位移监测重点是对地质灾害危险段进行谷坊坝的表部位移监测，以达到施工安全监测和防治效果监测的目的，地表位移监测点共布设17处，分别位于1~15号谷坊坝中间位置，流量监测点7处，分别位于各沟道内。

### 6.2 变形监测

边坡坡顶最大水平位移按 $0.5\% H$ （ $H$ 为边坡高度），坡顶水平位移预警值为最大水平位移乘以0.75，

沉降按不超过20 mm控制。

## 6.3 监测频率

在防治工程施工前每10 d观测一次；施工期间根据具体情况每1~3 d观测一次，数据稳定后5~7 d观测一次；竣工后使用阶段一年内每月观测一次。监测结果须及时向业主和设计单位通报<sup>[6]</sup>。

## 7 结论

建筑边坡工程中选用的支护结构类型在确保边坡安全稳定的前提下，可以根据工程要求采用多种不同类型的支护结构组合形式，尤其对地质条件较为复杂或受边坡高度影响较大的边坡防护工程更为适用。该工程1~3号泥石流地质灾害治理项目的施工设计方案为“谷坊坝+排导槽+挂网喷播植草”的综合治理措施，1#崩塌地质灾害治理项目的施工设计方案为“主动防护网落石槽+拦挡墙+沉淀池+排水沟”的综合治理措施。

采用以上措施边坡及支护结构没有明显变形，边坡防护效果显著，可为同类边坡的防护工程提供参考。

## 8 结束语

综上所述，工程建设中，边坡防护要考虑地质问题边坡破坏机理，制定有效的边坡支护施工工艺方案和流程，从而保证工程的顺利实施。边坡支护正在向综合性方向发展，即受力结构与水结构相结合、临时支护结构与永久支护结构相结合、基坑开挖方式与支护结构型式相结合。这几种结合使边坡支护更加稳定。此外，对边坡支护结构的科学计算、合理设计，必然能使其达到安全可靠和经济合理双重目标。

## 参考文献

- [1] 师浩.泥石流的形成条件及其防治措施[J].内蒙古煤炭经济, 2021(24): 138-140.
- [2] 张玉欣.工程施工中边坡支护技术的有效应用对策[J].房地产世界, 2021(10): 82-84.
- [3] 刘希林.泥石流危险度判定的研究[J].灾害学, 2015(3): 10-15.
- [4] 王立忠, 胡亚元, 王百林, 等.崩塌松散围岩隧道施工稳定分析与监控[J].岩石力学与工程学报, 2003, 22(4): 589.
- [5] 邓擎旗, 王峰.高边坡治理方案设计优化分析[J].陕西建筑, 2009(9): 5.
- [6] 游勇, 柳金峰, 欧国强.泥石流常用排导槽水力条件的比较[J].岩石力学与工程学报, 2006(Z1): 6.