

地形复杂地区高速隧道洞口排危施工技术与安全管控

魏开颜

(四川省交通建设集团有限责任公司, 四川 成都 610041)

摘要 在交通强国建设稳步推进的背景下,我国山区高速公路建设规模持续扩大,隧道工程成为山区高速线路的核心组成部分。隧道洞口山体危岩滚落是工程建设中的重大安全风险源,直接影响隧道主体施工安全与周边道路、居民的生命财产安全。本文结合 G4216 线宜金高速隧道工程实例,系统阐述山区高速隧道洞口排危施工的核心技术要点,从作业防护、现场管控、专项施工、应急处置四个方面构建全流程安全管控体系,旨在为同类山区高速隧道洞口排危施工提供技术参考与实践指引,助力山区高速公路工程安全高质量建设。

关键词 山区高速公路;隧道洞口;排危施工;人工撬除;安全管控

中图分类号:U455.1

文献标志码:A

DOI:10.3969/j.issn.2097-3365.2026.18.035

0 引言

我国西南山区地形地质条件复杂,高速公路建设中桥隧占比普遍较高,隧道洞口多位于陡峭山体边坡区域。受地质构造与风化作用影响,隧道洞口上方山体常存在大量不稳定危石,受隧道爆破施工扰动、降雨及地震等因素影响,危石极易发生滚落,对隧道洞口施工作业、周边省道通行及沿线居民安全造成严重威胁^[1]。隧道洞口排危施工是隧道主体工程开工前的关键前置环节,施工区域多位于高陡边坡,作业环境复杂,安全风险高。当前部分山区高速隧道洞口排危施工中,存在施工工艺不规范、安全管控不到位、防护措施不达标等问题,极易引发高处坠落、物体打击、爆破伤害等安全事故^[2]。基于此,本文结合实际工程案例,系统研究山区高速隧道洞口排危核心施工技术,构建全流程闭环安全管控体系,为同类工程施工提供实践参考。

1 工程概况

本工程为 G4216 线屏山新市至金阳段高速公路 XJ27 标,项目位于凉山彝族自治州金阳县境内,线路沿金沙江布设。主线起止桩号 K157+000 至 K164+700,线路全长 7.7 km。本标段包含 1/2 竹林湾隧道与 1/2 下坝隧道两座特长隧道,其中 XJ27 标范围内竹林湾隧道右线全长 2 936 m,左线全长 2 914 m,隧道最大埋深 1 200 m,出口端为环框式洞门,洞门上方山体无危石,

仅需安装被动防护网。XJ27 标范围内下坝隧道右线全长 3 228 m,左线全长 3 252 m,进口端为环框式洞门,洞门上方山体存在大量不稳定危石,山脚一侧分布大量民房,作业区域临近 S208 省道,施工需同步保障过往行人车辆与沿线居民安全^[3]。两座隧道围岩以 IV 级与 V 级为主,其中下坝隧道 V 级围岩占比 43.52%,IV 级围岩占比 56.48%,竹林湾隧道标段内均为 V 级围岩,洞口山体岩体破碎,危石稳定性差,受施工扰动易发生失稳滚落。项目排危施工计划总工期 20 d,施工内容包含危石清理与主被动防护网安装两大核心板块。

2 山区高速隧道洞口排危施工技术

2.1 人工撬除施工技术

人工撬除施工技术适用于体量较小、人工可直接撬动的危石清理作业,施工前先对坡面进行全面踏勘,清理岩面浮碴浮土,精确定位危石分布范围、体量与稳定性,划定作业区域与危险管控范围。施工严格遵循由上至下的分层作业原则,作业人员在专职安全员全程监督下,采用撬棍将危石撬落至预设安全区域,作业过程中作业人员必须站立于稳固岩体上,严禁站在活动石块上开展作业。多人同时在同一坡面上作业时,需保持大致相同的作业高度,作业人员相互间距不小于 2 m,严禁上下重叠开展作业。危石撬落完成后,采用装载机将危石装车,通过自卸车转运至指定弃渣场,严禁危石滚落至省道通行区域与民房周边范围。

作者简介:魏开颜(1991-),男,本科,工程师,研究方向:道路与桥梁。

对施工过程中暂时无法清理的浮石,先采取临时加固处理措施,防止施工期间发生意外滚落^[4]。

2.2 控制爆破施工技术

控制爆破施工技术适用于人工无法撬动的大型危岩体清理作业,爆破施工前3 d发布施工公告,在作业地点及周边村委会张贴公告,明确爆破作业项目名称、作业时限、管控要求等核心内容。装药前1 d发布爆破公告并在现场张贴,标注爆破地点、每次爆破时间、安全警戒范围、警戒标识与起爆信号。临近省道的爆破作业,预先向公安交管部门申请临时交通管制,提前3 d配合交管部门发布交通管制通知,同步将爆破事项告知周边村委会与村民,防止无关人员进入爆破影响区域。钻孔作业前先送风吹净岩面浮渣,采用 $\phi 45$ 潜孔钻开孔,先给小风不加压冲击岩面打出眼痕后,提钻旋转下钻,钻头入孔一半后逐步加大风量,钻头全部入孔后全风压持续钻进。钻孔深度控制为危石厚度的 $2/3$,孔距不大于 0.7 m ,排距不大于 0.5 m ,钻孔完成经质检员验收合格后,由专业爆破工按爆破设计开展装药作业。爆破所用炸药以乳化炸药为主,雷管采用电子数码雷管,装药结构为导爆索间隔捆绑装药。爆破网络联结完成后,由爆破员全面核查线路,确认网络可正常起爆后方可进入后续工序。

2.3 主动防护网安装施工技术

主动防护网安装在下坝隧道进口端实施,设计铺设总面积 500 m^2 ,作业在危石清理全部完成后开展。施工前先开展现场全面踏勘,精准确定防护范围,清除防护区域内的浮石与浮土,采用全站仪完成钢柱和锚杆基础的测量定位。基座基坑采用人工开挖,基坑尺寸 $60\text{ cm}\times 80\text{ cm}\times 100\text{ cm}$,对覆盖层不厚的区域,当开挖至基岩未达到设计深度时,在基坑内锚孔位置钻凿锚杆孔,待锚杆插入基岩并注浆后,再灌注上部基础混凝土。

钢柱基础地脚螺杆采用 $\phi 28$ 螺纹钢筋加工制作,螺杆总长 1 m ,顶端丝口 $M28\times 100$,锚孔直径不小于 $\phi 42\text{ mm}$,锚杆注浆采用M30水泥砂浆。锚固施工根据地质条件分类实施,结构坚实的稳定基岩采用A类锚固,松散结构的软质地质采用B类锚固,B类锚固采用C20钢筋混凝土浇筑基础,钢筋笼采用 $\phi 16$ 螺纹钢筋制作,钢筋保护层厚度不小于 20 mm 。

锚杆安装完成后开展基座安装作业,将基座套入地脚螺栓并用螺帽拧紧固定,后续依次完成支撑绳安装与调试、钢绳网铺挂与缝合、格栅网铺设作业。支撑绳安装完成后,采用紧绳器进行张紧处理,通过绳

卡固定牢固,减压环按设计要求布置在支撑绳对应位置。钢绳网采用缝合绳连接固定,缝合绳按单张网周边长的 1.3 倍截断,缝合接头重叠长度不小于 1 m 。格栅网铺设在钢绳网内侧,每张格栅网之间叠盖宽度不小于 10 cm ,采用扎丝将格栅网固定到钢绳网上,每平方米固定不少于 4 处^[5]。

2.4 被动防护网安装施工技术

本项目被动防护网施工同步开展于竹林湾隧道出口端与下坝隧道进口端两处工点,设计防护系统有效高度为 5 m ,其中竹林湾隧道出口端防护网铺设总面积 300 m^2 ,下坝隧道进口端铺设总面积 800 m^2 。施工过程严格遵循边坡被动防护系统作业规范,按照“基座及锚杆施工→钢柱与拉锚绳安装调试→支撑绳布设与松紧度调节→钢绳网铺挂及缝合固定→格栅网铺设绑扎”的标准化流程有序推进。

基座与锚杆施工作为系统安装的关键前置环节,需按照规范要求依次实施钻孔、注浆及基座固定等工序。其中,上拉和中间加固拉锚杆的抗拔承载力分别不低于 40 kN 与 50 kN ,并在注浆后按标准进行抗拔性能检测,检测合格方能进入下道工序。钢柱安装前应将其置于坡顶预定位置,使底部精确对准基座中心。随后,先将后部减压装置安装于顶部挂耳处,再连接前端上拉锚杆,并利用绳卡实现初步固定;通过起重设备缓缓提升钢柱至预定高度并调整姿态,直至柱底嵌入基座并通过连接螺栓完成初步固定;接着使用上拉锚绳微调其垂直度与水平方向角度,直至达到设计参数后锁定所有部件。侧向拉锚绳则采用相似工艺完成布置与调试。

支撑绳安装分为上支撑绳与底部支撑绳两部分,减压环按设计要求布设于上拉锚绳、上下支撑绳对应位置,单跨网间支撑绳上按 2 个的标准布设减压环。首根上支撑绳安装时,先将挂环端临时固定于端柱底部,调直后沿系统走向放置于基座下侧,调整减压环就位,使其与钢柱间距控制在 50 cm 左右,且同一跨内减压环相对钢柱对称布置;将挂环固定于端柱顶部挂座后,逐跨完成全线支撑绳布设,复核减压环位置无误后拉紧绳体并固定绳卡。第二根上支撑绳采用反向安装工艺,减压环设于同一跨的另一侧,在距减压环 40 cm 处用绳卡将两根上支撑绳相互联结。底部支撑绳安装与上支撑绳工艺一致,两根支撑绳反向布设,在同一挂座处形成内侧与外侧交错的双支撑绳结构。

在钢绳网铺挂作业中,先用起吊钢绳穿过网体上缘网孔,一端固定在临近钢柱顶端,另一端绕至对应基座临时固定,通过紧绳器拉紧起吊绳使网体升至支

撑绳位置,临时固定后抽出起吊绳,调整网体位置后用缝合绳从系统一端开始,逐跨完成钢绳网与支撑绳的缝合固定。格栅网铺挂在钢绳网内侧,网体上缘叠盖钢绳网并向外侧折转 15 cm,用扎丝将格栅网与钢绳网紧密绑扎;网体底部沿斜坡向上敷设 0.5 m,用石块压实网底边缘,消除下支撑绳与地面间的缝隙,完成整个防护系统的安装作业。

3 山区高速隧道洞口排危施工安全管控

3.1 作业人员安全防护管控

进入施工现场的所有作业人员,必须按规范配齐安全帽、安全带、防滑劳保鞋、防护手套与工作服等基础劳动防护用品;每次作业前,作业人员需逐一检查安全帽、安全带、安全绳的完好性,存在破损、失效的防护用品严禁带入作业面使用。高空作业搭设的安全桩,土层内打入深度需 ≥ 2.0 m,石质地段打入深度不低于 0.7 m;严格执行“一桩一绳”管控要求,单根安全桩仅可拴挂一根安全绳,安全绳横向移动范围控制在 5 m 以内,严禁单点位多根安全绳/安全带拴挂、单根安全防护绳供多人同时使用的违规行为,安全桩、防护绳设置后安排专人全程值守,动态检查防护设施的稳固状态。

3.2 坡面作业安全管控

坡面危石清理作业严格执行“自上而下”的施工顺序,严禁开展上下立体交叉作业,禁止在同一坡度线的不同高程同步开展清理作业。危石清理前,先将危险区内人员、机械设备全部撤离,在危险区边界设置警戒哨位与醒目的警示标识,拉设安全警示带完成区域封闭。清理浮石危石时,作业人员必须选择稳固的站立点位,对可能影响行车、行人安全的石块采取分块分解拆除的方式,人工转运过程中严控石块掉落风险。山体下部设置不少于 3 名专职防护人员,及时处置零星落石,对暂无法清理的浮石第一时间采取临时加固措施,防范坠石风险。

钻孔作业前,先采用格栅网对主被动防护施工范围进行全覆盖封闭,避免钻孔作业引发碎石滚落。施工期间,严禁作业人员在危岩边缘、边坡坡脚停留休息,机具材料不得随意抛置在危岩下方;坡面所用机具、材料必须堆码稳固,必要时采取捆扎加固措施,大风天气需对材料工具全面加固,当日作业结束后,所有机具、材料全部转运至山下存放,规范码放并安排专人昼夜值守。

3.3 爆破作业专项安全管控

项目团队依据职责划分制定了详细的爆破作业规程,明确了各岗位人员的具体任务。在爆区警戒区域,

设置专人值守并悬挂醒目的安全警示标识,严格遵守爆破计划时间节点实施起爆操作,并确保爆区内人员与动物已全部撤离至安全地带。钻孔验收阶段,质检员严格按照设计方案检查孔径规格及深度参数,所有合格钻孔方可进入下一道工序;雷管安装前须细致核对编码信息,联线完成后进行全面复检,以保证网络连接的可靠性。同一工作面上至少安排两名持证专业爆破员协同作业,经爆破技术负责人与队长双重审核确认后,方可开展后续环节。完成装药联网检测并经相关人员签字验收后,方可启动安保程序。每个监控点均配置专职警卫人员,通过通信设备保持实时联系,待确认无异常情况并向指挥部报告后,方能下达起爆指令。爆破结束后,技术人员还需对现场进行初步勘查,排除潜在隐患,方可解除封禁措施。

4 结束语

山区高速隧道洞口排危施工是隧道工程建设的关键前置环节,施工质量与安全管控效果直接决定隧道主体施工的顺利推进,也关系到周边道路通行与居民的生命财产安全。本文结合工程实例,系统阐述了人工撬除、控制爆破、主动防护网安装、被动防护网安装四项核心施工技术的实施要点,从作业人员防护、坡面作业管控、爆破专项管控、应急救援体系四个方面,构建了山区高速隧道洞口排危施工全流程安全管控体系。在后续山区高速公路工程建设中,需持续优化隧道洞口排危施工技术工艺,引入智能化监测与管控手段,不断完善安全管控体系,切实提升排危施工的效率与安全性,为我国山区高速公路高质量建设提供坚实的保障。

参考文献:

- [1] 贾卫东.复杂山区隧道浅埋洞口段施工方案优化研究[J].铁道建筑技术,2025(03):154-157,204.
- [2] 李晓洪,杨枫,向龙,等.山区高速公路桑坪隧道洞口段危岩处治方案探讨[J].中国住宅设施,2024(06):133-135.
- [3] 王成,夏勇,刘立明,等.复杂山区隧道洞口段危岩及斜坡稳定性影响因素及防护措施研究[J].四川建筑,2023,43(04):152-155,158.
- [4] 肖宗扬.艰险山区隧道洞口段拱形明洞结构落石冲击效应及损伤破坏评估方法研究[D].成都:西南交通大学,2023.
- [5] 孙平,邓雪芳.复杂条件下山区高速公路枢纽互通方案选择研究[J].路基工程,2021(04):124-128.