

山区公路隧道施工安全风险分析与防控

蔡扬忠

云南云岭桥梁智能建造有限公司, 云南省昆明市, 650051;

摘要: 交通基础设施建设规模持续扩大, 山区公路数量逐渐增多, 因山区隧道需要穿越复杂地层, 整体施工难度较大, 施工工艺复杂, 安全风险发生率更高。要想减少山区公路隧道施工中坍塌、涌水突泥、围岩失稳问题发生, 应有效控制安全风险源, 加强现场安全管理, 为山区公路安全施工创造适宜条件。本文首先分析了山区公路隧道施工安全风险特征和风险类型, 并针对各类风险提出了相应防控建议, 以期对相似工程安全施工提供参考, 降低事故发生率。

关键词: 山区公路隧道; 施工安全; 风险分析; 防控措施

DOI: 10.69979/3029-2727.26.03.059

山区公路隧道施工环境条件复杂, 易受到诸多因素的影响而出现质量安全问题, 为保障公路工程整体施工进度, 提高隧道施工质量, 应注重安全风险防范, 提高风险识别、分析、排查与防控能力, 实现安全施工, 为山区公路隧道工程有序建设创造良好条件。因此, 应加强对山区公路隧道施工安全风险的全面分析, 根据隧道施工安全风险特点和经常发生的风险类型, 制定针对性防控措施实现有效应对, 这对保障山区公路隧道施工安全具有重要意义。

1 山区公路隧道施工安全风险分析

1.1 山区公路隧道施工安全风险特征

山区地层结构复杂, 围岩稳定性差, 虽然在施工前会开展地质勘察工作, 但一些地质缺陷部位难以及时查明, 增加了后续施工安全风险的发生率, 所以山区公路隧道施工安全风险具有隐蔽性特点; 山区公路隧道施工中, 往往需要多个工序同步开展, 若某一环节出现问题, 也会对其他环节施工产生较大影响, 引起连锁反应, 所以山区隧道施工中各环节风险相互关联, 存在连锁性特征; 山区气候条件多变, 容易遇到极端天气, 可能引发地质灾害, 如山体滑坡和泥石流等, 对隧道安全施工的影响较大, 所以该类工程施工受环境影响较为显著; 再加上山区隧道施工作业空间有限, 施工人员分布较为密集, 还会用到许多大中型机械设备, 施工组织难度较大。若遇到突发问题和其他因素的影响, 需要及时调整施工方案, 难以有效把控施工技术参数, 增加了施工安全风险管控难度。

1.2 山区公路隧道施工主要安全风险源

1.2.1 地形地质条件风险

山区公路隧道施工中受到建设区域地形地质条件的影响较大, 可能会出现围岩失稳、涌水突泥、岩石爆裂、边坡失稳等风险。山区隧道围岩以页岩、砂岩和花岗岩为主, 部分区域存在破碎带和软弱夹层, 岩层结构复杂, 无法保证整体的完整性, 强度也会受到一定影响。隧道开挖会导致围岩应力发生变化, 需要支护处理, 若支护体系不合理, 围岩变形严重, 容易引起坍塌, 施工安全风险较大; 由于山区地下水较为丰富, 隧道施工中如果穿越含水层, 会对地下水动力条件产生一定影响, 容易出现突水突泥事故, 对施工作业面破坏较大, 还会威胁施工人员安全, 损坏机械设备; 山区隧道施工中围岩可能受到地应力集中的影响, 导致岩石的弹性潜能突然释放, 出现岩爆现象, 产生的岩石碎片会对机械设备、支护体系和人员等造成伤害; 另外, 隧道施工中还会出现边坡失稳现象, 比如, 山区高边坡开挖时容易发生滑坡和坍塌问题, 掩埋隧道洞口, 影响山区隧道正常施工。

1.2.2 施工技术风险

山区公路隧道施工前需要根据地质勘察数据和现场调研信息, 设计针对性强的施工技术方案, 若方案内容与现场情况差异过大, 或者施工人员未能严格按照技术方案规范施工, 均会引发施工安全风险。隧道开挖环节, 常用的开挖方法有很多, 若选择的技术方法不匹配, 则会对围岩结构稳定性产生较大影响, 增加了隧道坍塌风险; 在隧道支护环节, 支护体系的科学性和整体结构的稳定性是保障隧道施工有序开展的关键, 常用的支护方式有很多, 在支护施工中合理设计支护参数、选择适宜施工材料和施工工艺, 但若是上述要素不达标, 则会影响支护体系稳定性, 易引发坍塌风险; 衬砌施工阶段, 二次衬砌质量与山区公路隧道工程整体质量和长期使

用安全密切相关,若衬砌施工中模板施工不到位、混凝土振捣不充分、后续养护不及时等,均会影响二次衬砌质量,影响结构承载能力和防水性,增加了后续施工安全风险的发生率;爆破施工阶段,若爆破参数设计不合理,爆破流程不规范,则会威胁人员安全,损毁机械设备,还会导致隧道结构坍塌。

1.2.3 现场安全管理风险

山区公路隧道施工期间的现场安全管理尤为重要,但若缺乏完善的安全管理体系,或者各项安全管理措施未能得到严格执行,则不利于对施工期间各环节风险的有效管控。部分施工单位没有根据山区公路隧道施工特点和安全管理要求,制定科学完善的安全管理制度,虽然有些单位制定了相关制度,但与工程实际情况不匹配,可行性与可操作性不足,无法为隧道施工现场安全管理提供指导与保障;在人员管理方面,部分工作人员的专业性和技术性不足,安全意识薄弱,未能全面掌握施工技术要点和注意事项,经常出现违规操作情况;在设备管理方面,山区公路隧道施工中使用的机械设备类型多样,如果没有根据施工需要进行精准选型,或者所用的机械设备没有定期保养和维护管理,实际应用过程中经常出现故障问题,容易影响施工进度与安全;现场监管方面,由于山区隧道施工环境条件复杂,需要加强全过程监管,但部分施工单位未安排足够的监管人员和配备齐全的监管设备,难以及时发现施工中的安全风险隐患。

1.2.4 天气环境和应急保障风险

山区公路隧道施工中也经常会遇到许多极端天气,而且山区气候条件多变,若未能根据天气环境的变化做好防控工作,则会影响隧道施工进度与安全。如果施工期间遇到暴雨情况,可能会导致隧道洞口出现积水现象,或者引起边坡滑塌以及洞内涌水;若遇到低温天气,容易导致混凝土受冻,还会影响机械设备正常运行。除此之外,因山区公路隧道施工处于较为偏远的区域,交通运输不便,若发生安全事故存在较大救援难度。施工单位如果没有提前制定应急预案或者准备充足物资,或者没有开展应急演练,则无法有效应对突发问题和安全事故。

2 山区公路隧道施工安全风险防控措施

2.1 在前期阶段进行全面细致勘察

山区公路隧道施工安全风险防控,需要在施工前做好地质勘查工作,精准识别地质地形条件风险,为后续隧道施工方案设计提供可靠依据。应优化勘察方案,根

据公路隧道工程建设区域的地形地质特点,选择适宜的勘察技术手段,并实现多种先进勘察技术的综合应用,确保获得准确数据,全面、真实反映山区地形地质情况,帮助施工单位设计人员和技术人员了解地质构造、岩层特性和地下水分布情况等,及时发现较为隐蔽的地质问题,明确不良地质的所处位置和规模,保证勘察数据的完整性与全面性。对于勘察结果也要进行细致分析,开展风险评估作业,基于山区公路隧道施工特点,构建针对性强的安全风险评估体系,明确各项评估指标,并进行定性分析和定量分析,预测隧道施工中可能遇到的安全风险,确定风险等级,并制定专项防控方案,确保有效应对施工安全问题。

2.2 结合施工实际选择适配技术

山区公路隧道工程需结合现场实际情况和安全作业要求,选择适配技术,应综合分析勘察数据,科学设计施工方案,根据山区地质条件特点,选择适宜的开挖技术方法。对于较为坚硬的岩石层,可采用全断面开挖方法,实现高效、安全作业;对于软弱围岩层或者破碎带,可选择台阶法、CRD法等进行分步开挖,尽量减少围岩暴露时间,降低坍塌风险概率。开挖施工阶段,也要结合实际情况合理调控开挖速度,控制开挖量,以防出现超挖或者欠挖情况。支护结构在公路隧道施工中起到了重要作用,应保证支护体系的针对性与有效性,根据风险评估结果和围岩变形数据的具体变化,合理设计支护方案,并持续优化设计参数,保证公路隧道内部支护效果。同时,也要选择适宜的支护技术和材料设备,规范施工过程,确保各支护构件的安装精度与质量。

公路隧道衬砌施工中,需注重对施工质量的严格控制,明确衬砌施工技术要求和施工标准,有序开展模板支设、混凝土浇筑工作,同时加强结构养护,确保衬砌部位强度、质量达标。施工后需要对该结构质量进行无损检测,及时发现缺陷问题并妥善处理。隧道爆破施工中,应根据周围围岩特性科学设计爆破方案,应保证爆破参数合理,准确计算炸药用量、炮孔间距等,并按照一定顺序爆破施工,尽量减轻对周围岩层稳定性的影响。在爆破施工中也要做好安全防护,加强安全管理,避免对施工人员和现场机械设备等造成伤害。

2.3 建立科学完善的安全管理体系

为保障山区公路隧道施工安全风险防控工作有序开展,应根据工程建设特点和施工安全要求,建立科学完善的安全管理制度,确定安全施工方案、明确安全管

理责任、制定风险应急预案,同时也要建立专门的安全培训和安全检查制度,合理划分各项施工安全管理任务,为安全管理工作有效落实提供制度保障。施工单位应加强人员安全管理,根据山区公路隧道建设需要,招聘专业能力强、技术水平高且有相关施工经验的工作人员,并注重岗前培训,要求工作人员持证上岗,同时加强安全教育,提升他们的安全意识,确保在隧道施工中能自觉规范操作行为,实施风险防控措施。施工单位还要注重对施工队伍的持续教育,定期组织施工技术人员参与安全培训,提升他们的安全素养,使其可以准确识别施工安全风险,并有效应对和处置各类风险。

山区公路隧道施工中的设备安全管理也是一项重要工作,机械设备是该类工程施工中不可缺少的要素,通常要根据工程建设需求选择合适的机械设备。对于施工所需的大中小型机械设备,应强化安全管理,定期维护保养,检查设备性能,立足施工实际需要及时更换老化设备,保障机械设备在隧道施工中高效运行。施工单位应重点检查机械设备的安全防护装置,确保其功能性能完整。除此之外,需加强现场安全监管,根据山区公路隧道施工环境复杂特点,配备足够的安全监管人员,并合理分配监管任务,有效落实现场安全巡查和隐患排查工作。一般采用定期检查和不定期抽查方式,对隧道施工各环节进行细致监管,确保能及时发现问题和施工安全隐患,并下发整改任务,明确整改责任、期限和具体措施等,对整改过程进行跟踪管理,切实提升现场安全监管水平。

2.4 有效应对环境风险,完善应急保障体系

对于山区公路隧道施工中可能遇到的极端天气问题,应建立专门的气象监测预警机制,施工单位与气象部门有效联动,及时获取山区气象条件的具体变化,对于暴雨、暴雪、强风等极端天气,应提前制订针对性强的防范方案。例如,在暴雨来临之前,应做好隧道施工区域的排水工作,开挖排水沟,注重边坡防护,避免出现大面积积水情况。另外,还应建立完善的应急保障体系,针对山区公路隧道施工中可能出现的各类安全问题,应提前制定应急处理方案,设置应急响应流程,通过准备足够的应急物资,为应急处理提供保障。施工单位定期开展应急演练,模拟隧道施工中可能发生的各类安全事故,锻炼和提升施工人员的处置与配合能力,切实提

高应急处理效果,降低施工安全风险。

2.5 加强施工安全管理技术革新

新时期背景下,山区公路隧道施工安全风险防控应积极引入先进技术,利用数字化、智能化技术提升防控效能。可利用智能化监测设备,对隧道施工中围岩、支护体系变形情况、地下水位、隧道内部环境参数变化进行实时监测,及时发现异常并有效处理。智能化管理平台还能根据监测到的数据信息预测风险变化趋势,提前设置安全阈值,若临近或者超出相关数值时,该平台能自动预警,实现对隧道施工安全风险的动态管控。还可引入 BIM 技术,整合勘察到的数据信息构建三维模型,模拟施工过程,分析施工中存在的技术冲突和安全隐患,有针对性地优化施工方案,降低安全事故的发生率。另外,要及时更新机械设备,提高山区公路隧道施工的机械化水平,减少人工干预,在提升施工效率的同时保障作业安全。

3 结语

山区公路隧道施工安全风险防控尤为重要,由于引起施工安全风险的因素诸多,且具有隐蔽性和连锁性特点,为对这类风险的系统性防控,则应根据各类安全风险的发生原因,提前做好预防工作,实现防治结合与综合治理,构建全方位风险防控体系,对隧道施工全过程进行有效管控,确保能及时、精准识别施工安全风险并有效应对。还要积极引入多种先进技术提升施工安全风险防控效能,以促进山区公路隧道施工建设顺利开展。

参考文献

- [1]王兴鹏,籍仲轩,王学辉.复杂山区铁路隧道施工安全风险致因分析[J].铁道工程学报,2025,42(7):104-109.
- [2]王晓,李晶晶.基于山区高速公路工程的岩溶隧道施工风险控制与机制砂应用经济性分析[J].漫科学(科技应用),2025(9):64-66.
- [3]吕小东.公路工程隧道施工监理中的安全风险识别与防控体系构建[J].中国厨卫,2025,24(9):244-246.
- [4]陈贵,谢华慧,谢曲波.山区高速公路设计导致的安全风险及控制对策分析[J].四川水泥,2025(4):153-156.