

公路隧道施工技术难点与安全风险管理研究

杨滨滔

四川公路桥梁建设集团有限公司公路隧道分公司 四川 成都 610000

摘要：公路隧道施工技术难点与安全风险管理研究。本文先是概述公路隧道施工情况，接着详细剖析施工技术在围岩支护、防排水以及通风与照明等方面存在的难点，涵盖围岩分级、支护时机、防水板铺设等具体要点。同时分析施工安全风险因素，涉及地质、施工工艺、人员与设备以及管理等多方面。最后提出针对性的安全风险管理策略，包含风险评估、预防措施和应急响应机制，旨在为提升公路隧道施工质量与安全水平提供参考。

关键词：公路隧道施工；技术难点；安全风险；管理研究

引言：随着交通基础设施建设不断推进，公路隧道工程日益增多。公路隧道施工因环境复杂、技术要求高等特点存在诸多挑战。一方面，施工技术层面面临着围岩支护、防排水、通风照明等难点，关乎隧道质量与后续运营安全。另一方面，施工中又受地质、工艺、人员设备以及管理等多种因素影响，存在诸多安全风险。因此，深入研究公路隧道施工技术难点与安全风险管理具有重要现实意义，可为优化施工过程、保障施工安全提供有力支撑。

1 公路隧道施工概述

公路隧道施工是一项复杂且系统的工程，旨在穿越山脉、丘陵等地形障碍，构建便捷的交通线路。其施工流程涵盖多个关键环节，首先是施工前的详细勘察，包括地质勘探、地形测量等，以全面掌握施工区域的地质条件与周边环境信息，为后续施工方案设计提供精准依据。接着是洞口与明洞施工，需做好边仰坡防护工作，确保洞口稳定与安全。然后进入洞身开挖阶段，根据围岩状况选用合适的开挖方法，如钻爆法、盾构法或TBM法等，在开挖过程中要严格控制超欠挖，并及时进行初期支护以稳定围岩。随后是二次衬砌施工，增强隧道结构的耐久性与安全性，防排水工程贯穿施工始终，通过铺设防水板、设置排水管道等措施，防止地下水对隧道造成损害。通风与照明系统的设置也极为重要，保障施工人员的作业环境与隧道运营后的行车安全。整个施工过程需各环节紧密配合、精细施工，才能确保公路隧道顺利建成并投入使用^[1]。

2 公路隧道施工技术难点

2.1 围岩支护技术难点

2.1.1 围岩分级准确性

围岩分级是公路隧道支护设计的关键依据。然而，地质构造的复杂性使准确分级面临挑战。不同区域岩石特性多变，节理、裂隙分布不均，仅依靠常规勘察手段

难以全面掌握围岩真实状况。且部分特殊地质现象，如蚀变带、软弱夹层等易被忽略，导致分级偏差。不准确的围岩分级会使支护参数不合理，可能引发隧道坍塌、变形过大等安全事故，影响施工进度与成本控制，因此提高围岩分级准确性至关重要。

2.1.2 支护时机把握

支护时机的精准确定在公路隧道施工中颇具难度。围岩开挖后，其自稳能力随时间变化，若支护过早，围岩变形未充分释放，可能导致支护承受过大压力而破坏；若支护过晚，围岩过度变形甚至失稳，将增加支护难度与成本。地质条件、开挖方法等因素都会影响围岩变形速率与稳定时间，需要综合考虑并借助监测数据实时分析判断，以确定最优支护时机，确保隧道施工安全与结构稳定。

2.2 防排水技术难点

2.2.1 防水板铺设

防水板铺设是公路隧道防排水的重要环节，却存在诸多难点。隧道开挖面不平整，在铺设时难以保证防水板与围岩紧密贴合，容易形成空隙导致渗漏。焊接工艺要求高，稍有不慎就会出现焊缝不牢或漏焊，影响防水效果。此外，在施工过程中，防水板易被尖锐物体划破，如钢筋、锚杆等，且破损后不易察觉，修复困难，这都对防水板铺设质量及施工人员的细心和专业度提出了极高要求。

2.2.2 排水系统设置

排水系统设置在公路隧道施工中面临着不少挑战。首先，隧道内空间有限，要合理规划排水管道的走向与坡度，确保水能顺畅排出，否则易造成积水。其次，在复杂地质条件下，地下水可能含有泥沙等杂质，容易堵塞排水管道，需要设置有效的过滤装置并定期清理维护。再者，排水系统与其他结构的衔接部位处理不当，如与衬砌连接处密封不好，也会出现渗漏现象，影响整个隧道的防排水功能。

2.3 通风与照明技术难点

2.3.1 通风效果保障

公路隧道施工中确保良好通风效果面临诸多难点。隧道狭长的空间结构使气流组织复杂,易形成通风死角,有害气体和粉尘难以全面排出。随着隧道掘进深度增加,通风阻力增大,对通风设备的功率和性能要求更高。而且施工过程中爆破、运输等作业产生的污染物质不稳定,需实时调整通风量。

2.3.2 照明系统适应性

照明系统适应性方面存在一定挑战。隧道内不同施工阶段和作业区域对照明亮度与光色有不同要求,如掌子面需要高亮度照明以保障施工精度,而运输通道则需合适光色避免视觉疲劳与眩光影响司机视线。随着隧道延伸,照明供电距离变长,电压降问题凸显,可能导致照明亮度不足^[2]。

3 公路隧道施工安全风险因素

3.1 地质因素

3.1.1 不良地质构造

不良地质构造给公路隧道施工带来显著风险。断层区域岩石破碎,完整性差,易引发坍塌事故,且断层带可能富含地下水,导致涌水突泥风险大增。褶皱构造使围岩应力分布不均,增加支护难度与变形风险。溶洞的存在则破坏围岩稳定性,溶洞内填充物可能坍塌,若有大量积水,还会造成瞬间涌水灾害,严重威胁施工人员安全与工程进度,施工前需精准探测并制定应对预案。

3.1.2 地应力异常

在高地应力区域,围岩易产生岩爆现象,瞬间释放的巨大能量可破坏隧道支护结构,甚至造成人员伤亡。而低地应力区可能导致围岩过度变形,使隧道衬砌承受较大压力而出现裂缝、变形等问题。地应力的大小与方向难以准确预测,其受区域地质构造、岩体性质等多种因素影响,增加了施工过程中应对的复杂性与不确定性。

3.2 施工工艺因素

3.2.1 开挖方法不当

开挖方法选择不当会给公路隧道施工带来诸多安全隐患。若采用的开挖方法与围岩实际情况不匹配,如在软弱围岩中使用大断面开挖,会过度扰动围岩,使其稳定性急剧下降,极易引发坍塌事故。不合适的开挖方法还可能导致超挖或欠挖现象,超挖增加了回填工作量与成本,欠挖则影响隧道轮廓尺寸,需二次处理,且可能造成应力集中,对隧道结构的耐久性产生不利影响,延误施工进度。

3.2.2 爆破作业风险

爆破作业在公路隧道施工中存在较高风险。爆破参数设计不合理,如炸药量过大,会产生强烈震动,破坏周边围岩稳定性,引发坍塌。爆破飞石可能对施工人员和设备造成直接伤害,其飞行方向与距离难以精准控制。此外,爆破产生的有害气体,如一氧化碳、氮氧化物等,若通风不畅,会在隧道内积聚,危害施工人员身体健康,甚至导致中毒窒息事故,因此必须严格规范爆破作业流程与安全防护措施。

3.3 人员与设备因素

3.3.1 施工人员素质参差不齐

施工人员素质的差异给公路隧道施工安全带来诸多不确定性。部分施工人员缺乏专业的隧道施工知识与技能培训,在操作复杂施工机械或执行关键施工工序时,容易出现失误,例如锚杆安装不规范、喷射混凝土厚度控制不准等,这些失误可能削弱隧道结构的稳定性。而且一些人员安全意识淡薄,对施工风险认识不足,不严格遵守安全操作规程,如违规进入危险区域,从而增加了安全事故发生的概率,影响整体施工质量与进度。

3.3.2 设备老化与故障

随着使用时间增长,施工设备如隧道掘进机、通风机、运输车辆等可能出现部件磨损、性能下降等老化现象。老化设备容易突发故障,如掘进机刀盘损坏会导致施工停滞,通风机故障则会使隧道内通风不畅,有害气体积聚。设备故障不仅会延误工期,还可能因突然停机引发安全事故,如运输车辆故障在隧道内造成堵塞,影响其他作业正常进行,甚至引发碰撞等次生灾害。

3.4 管理因素

3.4.1 安全管理制度不完善

若制度缺乏明确的施工流程规范,施工人员在作业时将无章可循,容易出现随意施工、工序衔接混乱等问题,增加事故风险,若未建立健全的责任追溯机制,一旦发生安全事故,难以确定责任人,导致问题无法有效整改。此外,不完善的制度可能忽视对施工环境监测、人员培训与设备维护等方面的规定,无法形成有效的安全管理闭环,削弱整体安全管理效能。

3.4.2 安全监督不到位

安全监督不到位在公路隧道施工中危害严重。监督人员配备不足或专业能力欠缺,难以全面检查施工各环节,如对隐蔽工程、高风险作业的监督易有疏漏。监督过程中若发现违规行为或安全隐患,未能及时下达整改通知并跟踪落实,会使隐患持续存在甚至扩大。缺乏定期的安全监督评估机制,无法对施工安全管理状况进行有效评价与改进,最终导致安全管理体系流于形式,无

法切实保障施工安全^[3]。

4 公路隧道施工安全风险管理策略

4.1 安全风险评估

4.1.1 建立风险评估指标体系

公路隧道施工安全风险评估指标体系的构建是全面衡量施工风险的关键。需考虑地质条件因素,如围岩等级,不同等级围岩的稳定性差异巨大,直接影响隧道开挖支护难度与坍塌风险;地层构造复杂程度,断层、褶皱等地质构造易引发涌水、瓦斯泄漏等灾害。施工技术指标不可或缺,包括开挖方法,如钻爆法、盾构法等各自有其特定风险;支护方案合理性,不当的支护结构可能导致隧道变形过大甚至垮塌。人员素质指标至关重要,施工人员的专业技能、安全意识以及管理人员的管理水平和经验都与风险紧密相连。

4.1.2 运用科学评估方法

科学的评估方法对于准确量化公路隧道施工安全风险意义重大。常用的定性评估方法有专家调查法,邀请隧道工程领域资深专家依据其丰富经验和专业知识,对风险因素进行主观判断和评价,确定风险发生的可能性及影响程度等级。这种方法能快速综合多方面意见,但主观性较强。定量评估方法如故障树分析法,通过构建故障树模型,将隧道施工中的顶事件(如坍塌事故)分解为多个基本事件(如围岩失稳、支护失效等),分析各基本事件之间的逻辑关系,计算顶事件发生的概率,从而实现风险的量化评估,结果较为精确,但对数据和模型构建要求较高。

4.2 风险预防措施

4.2.1 地质超前预报

地质超前预报是公路隧道施工风险预防的重要环节。其采用多种技术手段对隧道前方地质情况进行探测与预测。例如,利用地震波反射法,通过人工激发地震波,根据地震波在不同地质体中的传播速度和反射特性,分析前方围岩的性质、节理裂隙发育程度以及是否存在断层、溶洞等不良地质体,提前为施工提供地质信息参考。地质雷达探测则可对浅层地质结构进行高分辨率探测,有效检测出前方一定范围内的空洞、疏松带等隐患。超前钻探更是直观获取地质样本的有效方式,能确定地层岩性、地下水水位与水压等关键信息。

4.2.2 优化施工工艺

在开挖工艺方面,应根据隧道地质状况选择合适的开挖方式,如对于围岩稳定性较好的地段可采用全断面开挖,提高施工效率;而在围岩破碎区域则采用台阶法或分部开挖法,减少对围岩的扰动,降低坍塌风险,严

格控制开挖进尺,避免超挖或欠挖现象,保证隧道轮廓的平整度和稳定性。在支护工艺上,确保初期支护及时施作,采用先进的锚杆、喷射混凝土及钢拱架联合支护技术,增强围岩的自承能力和支护结构的整体稳定性。对于二次支护,合理确定支护时间和参数,提高隧道的长期安全性。

4.3 应急响应机制

4.3.1 制定应急预案

预案应涵盖各类可能的安全事故,如坍塌、涌水、瓦斯泄漏等。明确事故发生后的应急指挥体系,确定各部门及人员职责,确保指挥高效有序。详细规划事故报告流程,规定报告时间、内容与渠道,以便及时传递信息。针对不同事故制定相应的抢险救援措施,包括人员救援、设备抢险、现场清理等具体操作步骤,并明确所需的应急资源,如救援设备、医疗物资、抢险队伍的调配方式,使应急救援行动能在事故发生时迅速、有序、有效地开展,最大限度减少人员伤亡与财产损失。

4.3.2 定期应急演练

演练内容应包括模拟火灾、坍塌等常见事故场景,检验应急预案的可行性与有效性。通过演练,让施工人员熟悉应急响应流程,如如何快速疏散、如何正确使用消防器材与救援设备等,提高其应急处置能力与自我保护意识,演练可检验各部门及人员之间的协调配合能力,发现预案中存在的问题与不足,以便及时修订完善。演练频率可根据施工进度与风险状况确定,一般每季度或半年进行一次,确保施工团队始终保持较高的应急响应水平,在实际事故发生时能够迅速、准确地应对^[4]。

结束语

公路隧道施工的技术难点与安全风险管理研究对整个隧道工程建设意义深远。随着技术的不断发展与实践经验的持续积累,我们逐步在围岩支护、防排水、通风照明等技术难点上取得突破。而安全风险管理体系也在不断完善,从风险评估的精准性,到预防措施的全面性,再到应急响应的及时性,均有显著提升。

参考文献

- [1]翟耀红.隧道施工安全事故的原因分析及对策建议[J].工程建设与设计,2019(16):115-116.
- [2]冯宝飞.试论道路桥梁隧道工程施工技术研究[J].工程技术:全文版,2019(3):134.
- [3]纪海鹏.浅议公路桥梁涵洞隧道工程施工技术应用[J].中国科技投资,2019(23):387.
- [4]杨正茂.试析道路桥梁隧道工程施工中的难点和技术对策[J].工程技术:全文版,2019(11):128.