

桥梁隧道施工安全评估监控技术研究

王瑾宁

新疆北新路桥集团股份有限公司四川分公司，四川成都，610000；

摘要：随着社会的稳步前行与科技的持续飞跃，公路建设项目正迎来空前的繁荣期。桥梁与隧道工程，作为交通基础设施建设的重中之重，不仅对国家经济的稳定增长起到关键作用，还与民众的日常生活紧密相连，成为衡量国家综合实力的重要标尺。同时，它们也是促进城乡融合、推动区域间经济文化交流的桥梁与纽带。在这些宏大的工程项目中，桥梁与隧道施工的安全性一直是社会各界密切关注的核心问题，它不仅直接关系到工程项目的成败与质量，更与广大民众的生命财产安全紧密相连。鉴于此，本文深入探讨了桥梁与隧道工程建设中安全评估与监控技术的具体应用，以期对相关工程提供有益参考。

关键词：桥梁隧道；施工安全；安全评估；监控技术

DOI：10.69979/3029-2727.24.11.004

引言

时代的更迭与科技的进步，为道路建设工程的快速发展提供了强大支撑。当前，公路、桥梁、隧道等构成的交通运输网络，已成为国家经济发展的重要基石，对于促进区域间的互联互通与协调发展具有不可替代的作用。然而，在桥梁与隧道工程的施工过程中，安全性问题始终是一个不容忽视的重大挑战。它不仅关乎工程项目的整体质量与进度，更直接关系到人民群众的生命安全与财产安全。因此，在桥梁与隧道工程的实施过程中，科学合理地运用安全评估与监控技术，对于确保工程项目的顺利进行与最终成效具有极其重要的意义。这就要求我们必须紧密结合工程项目的实际情况与施工工艺特点，从多个层面入手，全面加强工程项目的安全评估与监督管理工作，以保障其社会与经济利益的最大化^[1]。

1 工程概况

某高速公路 TJ4 工程项目，线路覆盖自 K37+600 至 K48+500 区间，全长达 10.9 公里。该项目地理位置特殊，位于我国重要的 II 类水源保护区皂市水库区域，并穿越生态敏感的仙阳湖湿地及生态红线地带，其战略位置极为关键，是我国交通网络不可或缺的重要节点。工程沿线构筑物包括两座地道，总长度合计 4.013 公里，以及八座大桥，总长达 4.202 公里，形成了复杂的交通网络体系。鉴于项目所处环境的敏感性和对生态保护的高要求，该高速公路 TJ4 工程引入了前沿的建设安全性评价与监控技术体系。针对两座地道的施工，项目团队开展了详尽的危险性评价工作，以精确识别并评估施工过程中

中的各类潜在风险。特别地，对于位于皂市水库区域的 3 号桥，经过严谨的安全评估流程，其被判定为 III 级危险等级，这意味着在施工及后续运营阶段，需采取更为严格和细致的安全管控措施，以确保桥梁结构的稳定性和安全性。在项目实施的过程中，安全评估与监控技术的有效应用，为施工决策提供了坚实的科学依据，并显著提升了工程整体的安全管理水平。通过实时、精准的数据监测与分析，项目团队能够迅速发现并妥善处理施工中的安全隐患，从而确保工程在复杂多变的自然环境和严格的生态保护要求下，能够平稳、有序地推进。

2 项目施工问题和难点分析

2.1 桥梁隧道施工常见问题分析

(1) 混凝土质量的关键因素。高速公路建设中，桥梁与隧道工程的混凝土质量问题至关重要。特别是防渗混凝土若强度不足，相较于常规钢筋混凝土结构，其潜在的质量风险将更为凸显。鉴于桥梁隧道工程对结构性能的高要求，任何材料性能的不足都可能对整个工程质量产生负面影响。在实际检测中，若防水混凝土设计不达标或施工过程不规范，例如防渗构件应用不充分、混凝土振捣作业不到位等，均会降低道路的防水效能，从而影响项目的整体效能与效益。

(2) 组织管理的复杂性。当前，桥梁隧道工程普遍采用外包模式，这对施工企业的资质与管理水平提出了更高要求。然而，实践中存在管理规范缺失、人员流动性较高、岗位人员能力差异显著等问题，这些问题严重制约了桥梁隧道工程的顺利实施。由于缺乏针对性的管理规范，加之人员流动性带来的管理难度增加，使得桥

梁隧道工程的组织管理面临严峻考验^[2]。

(3) 专业人才的稀缺性。随着桥梁隧道工程技术的持续进步,对专业人才的需求愈发迫切。然而,由于桥梁隧道工程的复杂性与多样性,相关人才的培养变得尤为艰难。专业人才不仅需要掌握深厚的专业知识,还需具备丰富的实践经验,以适应不同工程条件下的施工技术挑战。当前,专业人才的短缺已成为制约桥梁隧道工程发展的关键因素。

(4) 隧洞二次衬砌的渗漏问题。在桥梁隧道施工过程中,隧洞二次衬砌的渗漏问题尤为显著。渗漏通常与结构薄弱处的质量缺陷相关,一旦发生,将改变原有的含水层状态,导致隧道内部积水,进而可能引发结构变形、开裂等严重问题。二次衬砌的渗漏不仅影响工程质量,还可能对结构安全构成潜在威胁。

2.2 桥梁隧道施工难点探讨

在桥梁隧道施工中,施工缝的处理、防排水系统的构建及铺装层的施工是公认的难点。首先,施工缝的有效处理是确保工程质量的重要环节。混凝土开裂作为常见的病害类型,不仅影响工程的美观性,还可能引发结构安全问题。因此,必须加强对施工缝的监控与管理,确保其得到有效处理,防止其成为潜在的质量隐患。其次,防排水系统的构建同样面临诸多挑战。当前,桥梁隧道防排水施工中广泛采用的聚合物防水卷材及防排水设计方案,在实际应用中可能因材料设置不合理、品质不达标等原因导致渗漏问题。这不仅影响工程的外观和使用效果,还可能对结构安全构成潜在风险。因此,必须严格控制材料质量和施工工艺,确保防排水系统的稳定运行。最后,铺装层的施工也是桥梁隧道施工中的一大难点。铺装层作为桥梁隧道结构的重要组成部分,其质量直接关系到整个结构的稳定性和耐久性。然而,在实际施工中,铺装层往往容易出现松动、脱落等问题,这不仅影响行车安全,还可能对结构整体质量造成潜在威胁。因此,必须加强对铺装层施工的质量控制和技术创新,以提高铺装层的耐久性和稳定性^[3]。

3 桥梁隧道施工安全评估监控技术

3.1 安全风险评估

(1) 在桥梁隧道工程项目的安全风险评估过程中,首要任务是进行细致的现场调研与深入的专家咨询,以便对工程项目的各个阶段进行合理划分,并对各评价单元中潜在的事故类型进行详尽分类,进而形成一份全面的危险源识别清单。这一步骤构成了风险识别的基石,对后续的安全管理工作起到了至关重要的作用。

(2) 危险源分析评价团队需从多维度出发,包括人员操作、机械设备、施工材料、施工方法以及施工环境等,对致险因素、可能的受害者类型、事故发生的根本原因以及可能造成的伤害程度进行深入剖析。在此基础上,团队将运用系统安全工程学理论,通过组织专家评审会议,对识别出的危险源进行科学、客观的评价。评价过程中,需特别关注物体不安全状态及人的不安全行为,并根据 GB6441《企业职工伤亡事故分类》标准,对这些不安全状态及行为进行合理的分类与分级。

(3) 风险评估环节的主要目标是通过危险事件的量化分析,准确评估其发生的可能性及可能造成的严重程度。为此,可采用 LEC 风险估计方法,该方法结合了事故发生可能性(L)、人员暴露于危险环境的频繁程度(E)以及事故可能造成的后果(C)三个关键属性指数。通过计算危险评分 $D(D=LEC)$,可以直观地反映出装置或系统的危险性水平。当D值较高时,意味着需要采取额外的安全防护措施,或者通过调整危险事件发生概率、减少人员暴露频率、降低事故后果等方式,将风险控制可在接受范围内。

(4) 在风险管理阶段,需根据风险承受标准,结合风险评估结果,制定切实可行的风险管控策略。针对桥梁隧道工程项目的特点,可设定安全风险可接受性标准,并根据危险程度的不同,采取相应的风险管理措施。对于低度危险,可视为在可接受范围内,无需特殊处理;对于中度危险,虽然可接受但仍需进行持续监控;而对于需采取措施降低风险并加强监控的中度危险(如 III 级)以及不可容忍的极端危险(如 IV 级),则必须采取切实有效的回避措施或强化监控手段,以确保风险得到有效控制。在制定风险管理方案时,应充分考虑项目特点、风险评价结果以及成本效益比等因素,确保对策意见明确、详细且具有可操作性。对于一般危险源,可依据行业规范制定防治方法;而对于经过特殊风险评价确定为高风险或极高风险的施工区域或项目,则需制定专项施工方案及应急预案,实施施工监测预警机制,改善现场防护条件,并加强施工安全技术交底及危险告知工作^[4]。

3.2 强化桥梁隧道施工安全评估监控技术的有效措施

(1) 整合多方资源,强化安全评估监控体系。桥梁与隧道工程项目的实施,涉及建设、设计、监理、施工等多个核心环节,每个环节均具备其独特的专业视角与责任担当。为有效整合各方力量,全面识别并控制安全风险,各参与方需打破信息孤岛,加强协同合作,共同

致力于安全评估与监控体系的构建。建筑企业应建立信息共享平台,定期组织各方进行沟通交流,确保建设进度、安全风险、监控数据等信息在参与方之间顺畅流通。明确划分各方职责尤为关键:设计单位需负责安全风险评估与设计方案优化;施工单位需严格按照设计图纸施工,确保工程质量;监理单位则需对整个施工过程实施全方位监督与检查;建设单位则需发挥领导作用,协调各方资源,共同推动项目进展。此外,面对施工过程中可能出现的各类突发情况,各方需保持即时通讯与协商,确保安全评估与监控中发现的问题能够迅速反馈并得到妥善处理。

(2)引入专家咨询机制,提升安全评估监控水平。工程建设单位可重点发挥行业专家的技术支撑作用,依托注册安全工程师、岩土工程专家组建专项咨询组,形成覆盖勘察、设计、施工全周期的技术服务体系。针对桥梁隧道工程特有的高墩大跨、复杂地质等施工难点,研究制定科学合理的安全评估方案,通过地质雷达扫描、应力实时监测等技术手段,精准识别深基坑支护变形、隧道掌子面突水等重大风险源。同步建立三方联席会议机制,由专家团队牵头组织施工、监理、设计单位开展月度安全会商,重点解决施工方案与地质条件不匹配、工序交叉干扰等系统性风险。在人员素质提升方面,定期组织安全操作规范轮训、特种设备管理专题研讨及典型事故案例复盘,着重强化一线作业人员的风险预判能力和应急处置技能。该机制通过专家驻场指导、动态风险评估、隐患闭环管理等手段,有效提升施工安全管理的前瞻性和精准度,确保安全监控体系切实发挥预防性作用^[5]。

(3)实施严格质量检测,确保工程质量达标。工程质量需建立全过程控制体系,推行“三检一验”制度(自检、互检、专检、联合验收),在桥梁桩基施工阶段,采用声波透射法检测桩身完整性,隧道衬砌质量须通过地质雷达扫描检测厚度偏差与空腔缺陷,质量管控执行分阶段认证制度,对基础验槽、钢筋绑扎、预应力张拉等关键工序实施举牌验收,留存影像追溯资料。建设单位应委托具备CMA资质的检测机构,运用三维激光扫描技术建立工程实体数字化模型,比对设计允许误差范围。针对大跨径桥梁合龙段,须同步开展线形监测与应力应变测试,确保温差影响下挠度变化控制在5mm以内。同时,需建立BIM协同管理平台,集成混凝土强度增长曲线、防水卷材搭接合格率等质量数据库,每月生成质量趋势分析报告,对焊接一次合格率低于95%的作业班组实施工艺交底强化培训,通过将检测数据与施工日志、材料进场记录交叉验证,实现质量问题的溯源追

责,形成“检测-预警-改进”的良性循环机制^[5]。

(4)强化施工监测与坍塌预防,保障施工安全。工程实施需构建“勘察-预警-处置”三位一体的防控体系,施工前期采用三维地质雷达探测结合钻孔成像技术,重点查明断层破碎带、岩溶发育区等不良地质体的空间展布,建立地质风险三维可视化模型,隧道掘进过程中,对IV级围岩段实施42mm超前小导管配合双液注浆加固,注浆压力严格控制在0.5-1.2MPa范围,确保注浆扩散半径达1.5米以上。

4 结论

综上所述,优化桥梁与隧道工程的安全性评估与监控技术应用水平,是确保工程建设安全与品质的关键所在,也是提升整体工程建设效益的重要途径。因此,相关部门需高度重视其在工程中的应用与发展,为工程项目的顺利实施提供坚实保障。

参考文献

- [1]陶世凯.桥梁隧道施工安全评估监控技术研究[J].汽车周刊,2024,(06):122-124.
- [2]冀东朋,孙希才,韩太雷.桥梁隧道施工安全评估监控技术研究[J].运输经理世界,2023,(31):80-82.
- [3]李辉.浅谈公路工程桥梁隧道施工安全评估监控技术[J].中国设备工程,2023,(05):245-247.
- [4]谢云理.公路工程桥梁隧道施工标准安全评估监控技术研究[J].运输经理世界,2022,(33):124-126.
- [5]陈兴奎.公路工程桥梁隧道施工安全评估监控技术[J].运输经理世界,2022,(07):82-84.
- [6]陈龙明.公路工程桥梁隧道施工安全评估监控技术研究[J].运输经理世界,2021,(28):98-100.
- [7]冀东朋,孙希才,韩太雷.桥梁隧道施工安全评估监控技术研究[J].运输经理世界,2023,(31):80-82.
- [8]李辉.浅谈公路工程桥梁隧道施工安全评估监控技术[J].中国设备工程,2023,(05):245-247.
- [9]谢云理.公路工程桥梁隧道施工标准安全评估监控技术研究[J].运输经理世界,2022,(33):124-126.
- [10]陈兴奎.公路工程桥梁隧道施工安全评估监控技术[J].运输经理世界,2022,(07):82-84.
- [11]陈龙明.公路工程桥梁隧道施工安全评估监控技术研究[J].运输经理世界,2021,(28):98-100.
- [12]姚英德,向家顺.桥梁隧道工程施工安全评估监控技术研究[J].工程建设与设计,2021,(08):175-176.
- [13]杨清翔.桥梁隧道工程施工安全评估监控技术研究[J].价值工程,2020,39(13):195-196.