

浅谈道路与桥隧工程的施工安全管理

王军

湖南弘至工程技术有限公司，湖南长沙，410200；

摘要：现代社会飞速发展，民众出行需求日益增加，道路与桥隧工程作为交通运输的重要一环，是国家经济建设的重点。然而，道路与桥隧工程的施工环境、作业条件相对复杂，存在很多安全隐患，如机械伤害、高空坠落等，对施工人员的生命与财产安全造成极大的威胁。在此背景下，科学开展道路与桥隧工程的施工安全管理工作，不仅能提高项目施工的质量与效果，还能保障施工人员的安全。基于此，本文以道路与桥隧工程为切入点，简要分析工程项目施工安全管理对策。

关键词：道路与桥隧；项目施工；施工安全管理

DOI：10.69979/3029-2727.25.07.010

引言

道路与桥隧工程是现代交通基础设施建设的核心，其施工质量、施工安全直接关系着人民的生命财产以及社会的经济发展。当前，“交通强国”战略不断推进，我国道路桥隧工程的投资规模已突破2万亿元（年均），但根据应急管理相关部门的相关统计，2022年建筑业事故中桥隧施工事故的占比达到32%，暴露很多施工风险，如人员安全素质参差不齐、针对高危工序的管控力度不足等。特别是在部分特殊地形条件下，深埋长大隧道/高墩大跨桥梁施工往往面临支架坍塌、机械倾覆等安全隐患。在此背景下，深入分析并探讨道路与桥隧工程的施工安全管理，具有极为现实的意义。

1 道路与桥隧工程的施工特点

1.1 地理环境制约性强

道路与桥隧工程施工易受地理环境影响，如地形、地质以及生态。一方面，工程所处的地形条件影响着项目施工布局，一些山区施工受地面高差较大的影响，致使作业面狭窄，机械设备以及建筑材料难以顺利、快速的运往施工现场，同时也面临坠物、滑坡等风险。

另一方面，部分工程穿越软弱地层、断裂带等区域时，受岩土性质变化影响，极易发生隧道塌方、地基沉降等事故，还需要依据情况实时勘测地质条件，并灵活调整施工方案^[1]。生态约束则是项目施工应规避水源地、保护区等敏感区域，施工过程中严格管控设备振动、扬尘等问题。

1.2 结构体系及技术集成复杂

道路与桥隧工程涉及面广，施工流程、结构体系众多、复杂，一定程度上增加了施工作业的复杂程度。通常情况下，为保证桥梁结构的稳定性、可靠性，施工单

位需要协调桥梁桩基、墩柱及相连结构的力学传递，而不同的桥梁类型对于支架搭设、预应力张拉等工序有着不同的作业要求、精度标准。至于隧道施工，施工人员往往同步管控开挖工法、支护体系等，各施工环节的技术参数均需动态匹配围岩变化。

另外，随着现代科技的发展，智能监测设备以及装配式构件等技术工艺被广泛应用到项目施工中，技术应用中往往需要协同作业，这使项目易出现工序冲突。比如，混凝土浇筑以及钢结构吊装交叉作业中，施工单位需要管控好时间窗口，以免作业相互影响而降低工程施工的质量，延误工期。

1.3 施工组织动态交织

不同于常规住房建筑施工，道路与桥隧工程的施工流程更加复杂、涉及环节更多，受工程施工工期有限的影响，部分施工单位不得不同时开展多个工序作业，而随着工序的交叉叠加，施工现场形成了一个更复杂、繁琐的作业网络。

通常，桥梁桩基施工、路基填筑、隧道掘进等作业同一时间开展，不同工种，如混凝土浇筑、钢筋绑扎等共用一个作业面，这不仅增加了施工现场的作业难度，还易出现施工混乱、影响质量与进度等问题，不利于项目施工顺利、高效的开展。另外，施工组织相互交织还会埋下安全隐患，对施工人员的生命财产安全造成威胁。

1.4 施工风险较大

道路与桥隧工程属于线性工程，其施工区域跨度大，人员、设备相对分散，极易出现监管盲区。同时，大部分道路与桥隧工程位于山区，来到雨季，极易导致路基塌陷，冬季也易影响沥青施工，受到低温滑倒、山区泥石流等威胁。加之，桥梁施工涉及高空作业，如索塔攀爬、挂篮施工等，存在一定的坠落风险；隧道内部的通

风情况不良，容易聚集有害气体，还存在塌方隐患。因为道路与桥隧工程的施工影响因素较多，为项目施工增加很多风险，对施工质量、人员安全都造成极大的威胁。

2 道路与桥隧工程的施工安全管理内容

道路与桥隧工程施工中，安全管理是施工单位的工作重点，也是工程管理体系的核心内容。然而，结合部分工程施工安全管理现状，其管理效果大打折扣，安全管理受到诸多因素的影响^[2]。由于道路与桥隧工程性质特殊，施工面临复杂、恶劣的市场与地质环境，为更好实现安全管理目标，提高管理工作的合理性、有效性，施工单位往往采用先进、高端的管理技术，进一步加强管理效果，还要规避法律责任、积极响应政策要求。

在此背景下，施工单位依据自身情况（人员架构、经济实力等），优化设置施工机制，将安全管理作为工作的首要目标，采用现代管理工作模式，全面提高管理的质量与效果。另外，道路与桥隧工程施工安全管理中，管理人员、施工人员需要高度重视施工中的危险因素，将一切安全隐患排除，做好安全管理的准备工作，更好推进施工安全管理顺利、高效的开展。

3 工程施工安全管理存在的问题

3.1 项目概况

某山区高速公路工程的线路全长 50 千米，包含 2 座桥梁、1 个隧道。项目施工周期 4 年，投资接近 50 亿元。因高速公路位于山区，项目涉及很多复杂地形，平均坡度在 25 度-35 度间，还有很多不良地质，这使项目出现坍塌、突水等事故风险的概率远高于平原地区。该项目的施工参数及安全管理措施见表 1。

表 1 项目施工参数及安全管理措施

项目内容	参数范围	安全管理措施
隧道埋深	200-500 米	超前地质预报
桥梁墩高	60-120 米	液压爬模、北斗位移监测
交叉作业面	5-8 个/千米	BIM 工序模拟、安全隔离带

3.2 施工安全管理问题

3.2.1 地质风险动态防控力度不足

该项目施工初期，因施工单位采用的地质探测技术更新缓慢，仍以以往的钻探、人工判断方式为主，致使针对隐蔽地质体（溶洞、断层等）的三维建模精度不足，不利于施工单位识别风险。

施工过程中，因缺少对地质数据、施工参数的有机融合，在数据监测、岩土力学分析等方面缺少有力的动态反馈机制进行支持，难以实时预警风险。另外，施工单位采用的防控管理体系相对松散，各部门之间无法高效、顺利的共享数据，在发生风险后只能被动的“事后补救”，严重影响了风险防控的效果。

3.2.2 多工序协同管理不到位

由于道路与桥隧工程的涉及面广，需要多工序同步作业，而因施工单位缺少多工序协同管理，极易引发安全事故^[3]。从技术角度分析，桥梁悬臂浇筑以及隧道掘进等工序的时空重叠率在 65% 以上，而施工单位对 BIM 协同平台的应用率低于 40%，致使作业面冲突预警往往延迟，在设置安全隔离带时也易出现失效情况。

基于管理制度，当下采用的《公路工程施工安全技术规范》仅对多工种协同作业进行原则性规定，缺少对协同作业的动态调度，导致该项目支架搭设、混凝土运输环节出现“抢工挤占通道”的问题，甚至出现机械碰撞事故。至于人员方面，针对协同作业的安全交底工作流于形式，仅有少数人员掌握作业全过程，加之项目前期施工单位对人员进行的跨工种协作培训不全面，施工过程中频发高空坠物、用电干扰等风险问题。

3.2.3 安全资源配置失衡

施工前期，该项目出现安全投入、生产效益、风险管控三方面结构性失调问题，致使项目工程的整体安全资源配置失衡。一方面，项目安全预算在工程总投资中占有一定的比重，该项目为 1.2%，比工程技术规范建议的 2.5% 低，致使岩溶区超前钻探的执行率较低。

在人力资源方面，施工单位配置的专职安全人员数量不足，相较于住建部标准要明显缩水，并且奋斗在一线的施工人员年均安全培训时长大约 6 小时，比行业基准的 15 小时短，因人员技能断层引发一系列违规操作事故。

另一方面，该项目在设备管理上存在不足，如使用个别的超期服役设备、智能监测设备的覆盖率低等，致使隧道有害气体预警延迟 2 小时。因为项目安全资源的配置失衡，施工中的坍塌、机械伤害等可控风险转变为频发事故，严重影响了施工的安全性。

3.2.4 智能技术应用滞后

现代科技飞速发展的背景下，各种先进技术被广泛应用到道路与桥隧工程施工中，然而个别项目施工安全管理的智能化转型滞后，暴露出很多问题，尤其是技术应用与工程需求不符^[4]。从硬件角度分析，项目施工安装的北斗高精度定位和智能传感器等设备不足，难以覆盖项目现场整体，致使边坡位移、支护应力等参数监测不到位。该项目初期对 BIM 协同平台的应用较少，缺少对多源数据的有机整合，出现信息孤岛情况，大幅增加了风险预警误报率。

4 道路与桥隧工程施工安全管理的优化对策

4.1 加强地质风险动态防控

针对地质风险动态防控力度不足的问题，施工单位

应构建集智能探测、数据融合、闭环管控于一体的技术管理体系。项目施工中,不断升级、改进探测技术装备,利用三维地质雷达、InSAR地表形变监测系统,将岩溶发育区的溶洞定位误差控制在1.2米内,针对断层破碎带识别响应时间保持1.5小时内,能够大幅提高探测效率。

施工单位还应构建多源数据融合平台,有机集成施工参数、地质钻孔数据、气象水文监测等信息,再借助机器学习算法构建动态地质模型,能够提高隧道突水突泥风险预测的准确率。施工单位还应实施分级预警处置,依据工程标准细化风险等级,针对高风险等级实施支护参数优化措施,再借助注浆设备超前加固,能够减少风险发生的概率。

4.2 多工序协同管理智能革新

项目施工中,施工单位应构建集数字驱动、动态调度、全域协同于一体的整体管控体系^[5]。从技术层面分析,科学部署基于BIM与5G技术的物联网协同平台,将桥梁悬浇施工、隧道掘进、路基压实等施工数据有机集成,能够借助动态调度算法优化时序,确保各工种作业顺利、有序的进行,工序冲突预警的响应时间也能大幅缩短。

基于管理制度层面,施工单位可以采用“工序安全链”优化管理模式,为施工现场的交叉作业区设置物理隔离带,隔离带间距超过8米,也可以加入电子围栏双重防护,依据工程技术规范细化各类高危工序的协同作业标准,将安全隔离失效事故率大幅降低。同时,利用区块链技术进一步加密存储各节点的施工记录,能够确保在发生事故时可以有效追溯施工环节,并追究相关部门及人员的责任,这在很大程度上提高了质量安全问责的效率。

至于人员方面,通过开发多工种VR协同训练系统,依据情况模拟桥梁挂篮、隧道二衬同步施工相关场景,有助于提高各班组协同应急处置的合格率。

4.3 安全资源配置结构性优化

为保证项目安全资源配置,施工单位应采用“资金—人力—设备—管理”四维协同机制,从根源解决投入不足、效率低下等问题。一方面,施工单位应增加安全预算,优先保障北斗高精度定位基站、智能安全手环等设备的采购,大幅提高岩溶区超前钻探执行率。施工单位还应派遣足够数量的专职安全人员,基于理论+VR事故模拟+现场实操的三维培训体系,确保一线施工人员接受充足时长的培训,有助于降低特种作业人员的违规操作率。

施工单位还应淘汰超期服役设备,如使用年限在8年以上的架桥机和摊铺机等,大幅提高隧道施工的电动机械水平,再为重型设备加设AI防碰撞系统,能够规避机械伤害事故。

4.4 智能技术应用生态构建

数字经济背景下,施工单位应将技术、数据、管理全面融合。项目施工中,充分利用5G通信、人工智能与北斗导航等技术,构建全域感知网络,动态监测边坡位移、支护应力等数据,形成全方位覆盖的风险预警体系。数据治理过程中,基于安全数据中枢打破地质勘探、施工参数、应急预案之间的信息壁垒,全面融合多源数据,根据智能算法建模提高风险预测的精准性、可行性^[6]。施工单位还应利用数字孪生技术构建虚拟映射系统,覆盖项目工程的复杂工点,再模拟隧道掘进、桥梁架设等协同作业流程,确保支护方案与工序有机衔接,能够更好地优化施工方案。

施工单位还应借助虚拟现实技术,为参建人员构建沉浸式培训平台,通过模拟机械伤害、坍塌等事故场景,有助于提高施工人员的风险辨识能力、协同处置水平。

5 结束语

总而言之,道路与桥隧工程的施工能够加快社会经济的发展,还能促进世界各地的人员来往、货物流通。而道路与桥隧工程的施工质量与施工安全管理密切相关,因此在道路与桥隧工程施工中,施工单位应做好施工安全管理,统筹配置人力、物力、财力等资源,加设施工安全保护设施,能够更好地保障施工安全、人员的生命财产安全。未来,各大施工单位还应不断创新施工安全管理模式,积极采用先进技术规范、优化施工作业流程,保证各环节施工顺利、安全地进行,能够为国家及人民提供更优质、稳定的路桥设施。

参考文献

- [1] 孙明华,东菲.浅谈道路与桥隧工程的施工安全管理[J].工程管理与技术探讨,2024,6(3).
- [2] 方友民.浅谈道路与桥隧工程的施工安全管理[J].全体育,2022(23):171-172.
- [3] 崔德利.浅谈道路与桥隧工程的施工安全管理[J].汽车博览,2021(13):167.
- [4] 巫华平.市政桥隧工程施工中难点及改进措施分析[J].门窗,2024(14):217-219.
- [5] 秦万祥.道路项目施工机械设备安全管理研究[J].科学与信息化,2025(4):187-189.
- [6] 元妮娜.市政道路施工安全管理现状及解决办法[J].建筑·建材·装饰,2024(12):64-66.