

道路桥梁隧道工程施工技术与安全监控

马 超

涡阳县公路管理服务中心 安徽 亳州 233600

摘 要：随着交通基础设施建设对工程施工质量与安全管控要求的持续提升，道路桥梁隧道工程施工技术优化与风险防控至关重要。内容聚焦路基路面、桥梁主体、隧道开挖支护等核心施工技术要点，明确各关键工序的施工控制核心；深入分析施工全过程动态安全监控体系的构建逻辑与实施要点；最终提出施工技术与安全监控的协同管控路径，为工程高质量建设、全周期风险防控提供可行的实施思路。

关键词：道路桥梁隧道工程；施工技术；安全监控；协同管控

引言

我国交通基础设施建设已迈入高质量发展新阶段，道路桥梁隧道工程作为综合交通网络的核心载体，其施工质量与安全水平直接决定交通网络的运行效能与使用寿命。当前工程建设常面临复杂地质条件、严苛技术标准与多元环境风险的多重挑战，亟须厘清核心施工技术的管控要点，构建适配的全流程安全监控体系，实现施工技术实施与风险防控的深度协同，为工程高质量建设筑牢技术与安全根基。

1 道路桥梁隧道工程施工核心概述

道路桥梁隧道工程施工的核心在于精准把控地基、结构、防水三大体系，路基路面的稳定性处理直接关乎路面结构耐久性能；桥涵墩台的沉降控制为上部结构安全筑牢基础；隧道工程侧重合理运用围岩自承能力，配合初期支护与二次衬砌的协同作用，构筑稳固受力体系。混凝土配比与浇筑工艺、预应力筋张拉时机、钢结构焊接细节等关键环节的技术参数直接决定工程最终品质，施工现场需统筹机械调配、材料周转与工序衔接，结合地质勘察数据与动态监测反馈及时修正施工方案偏差，各关键工序的操作精度都考验技术团队的现场把控能力。

2 道路桥梁隧道工程核心施工技术

2.1 路基路面基础施工技术要点

路基路面基础施工关键在于掌握好地基稳定性与结构层承载力之间的递进关系，在路基阶段着重关注基底处理、填料质量的控制。采用清表、台阶开挖、通过碾压遍数验证等方式来消除不均匀沉降隐患，在填筑过程中严格依照要求进行分层摊铺并进行含水率调控，以此保证压实度指标能够逐层达到标准。路床成型之后着重强化弯沉值检测、路拱控制，从而为路面结构层提供坚实的支承界面，路面基层与面层施工时突出混合料离析

控制、碾压工艺匹配，基层摊铺注重厚度均匀性、压实组合优化，防止层间结合松散，面层作业围绕温度窗口期、初压时机、接缝处理这三个环节进行精细管控，确保平整度和密实度两项指标均能达标，整体而言自下而上形成了地基处理、路基成型、路面摊铺紧密相连的质量控制链^[1]。

2.2 桥梁主体结构施工技术要点

桥梁主体结构施工着重关注受力特点与工艺路线的匹配情况。上部结构施工多采用支架现浇、挂篮悬浇或者预制拼装等工法，支架现浇施工时要严格把关地基处理和支架预压工作，以此消除非弹性变形隐患，挂篮悬浇施工强调对称平衡作业，精确控制节段划分、模板定位、预应力张拉时机，保证合龙段线形平顺且内力分布合理。下部结构施工以桩基和墩柱为关键部分，桩基成孔时要注意泥浆指标与沉渣厚度的控制，墩柱施工要通过模板刚度和分层振捣来保障外观质量与垂直度。混凝土浇筑环节紧密围绕配合比优化与养护条件，减少收缩裂缝，预应力模式强化对孔道定位、张拉应力、压浆密实度这三方面的把控，最终建立起从下部支承到上部受力模式的完整闭环质量管控链条。

2.3 隧道开挖支护施工技术要点

隧道开挖支护施工要紧紧围绕围岩稳定性、变形控制这两个关键点，按照地质条件的不同灵活采用全断面法、台阶法或者是双侧壁导坑法等施工方法，在开挖过程中着重强调短进尺、弱爆破、早封闭，尽可能地降低对围岩的干扰。支护模式由系统锚杆、钢筋网片、型钢拱架还有湿喷混凝土共同组成联合承载结构，其中对于喷射混凝土要着重控制回弹率、早期强度，保证能够及时封闭岩面，锚杆施工则要求注浆饱满且角度精准，从而发挥悬吊与加固的作用。初支完成之后马上进行仰拱施工，通过闭合成环来控制围岩变形收敛，接着借助围

岩量测、变形监测的数据动态调整支护参数,实现随挖随支、快挖快支,既保证结构安全又兼顾施工效率^[2]。

2.4 结构防水防渗施工技术要点

结构防水防渗施工需聚焦材料适配与工艺精细化。防水材料选用需匹配工程环境,如高分子防水卷材抗老化性能强,适用于长期暴露区域;防水涂料须具备良好的黏结性与延展性,适应结构变形需求。施工时注重细节处理,接缝部位采用密封胶嵌缝,确保无渗漏通道;节点区域如施工缝、变形缝需增设止水带或遇水膨胀橡胶条,形成多重防水屏障,排水系统设计需与防水层协同作用,通过盲沟、排水管等引导渗水排出,避免水压积聚破坏结构。施工过程严格把控质量,每道工序完成后进行闭水试验或渗水压力测试,验证防水效果;动态监测防水层状态,及时修补微小破损,延长结构使用寿命,保障工程安全与耐久性,实现防水与结构功能的有机统一。

3 道路桥梁隧道工程安全监控体系

3.1 施工全过程动态监控核心逻辑

施工全过程动态监控以实时数据采集为基础,通过传感器网络持续监测结构应力、位移、温度等关键参数,形成动态数据流。数据分析模块对采集数据实时处理,识别异常波动与潜在风险,如围岩变形速率超限、支护结构应力突变等;风险评估体系结合历史数据与工程特性,建立预警阈值模型,当监测值触发阈值时自动启动预警机制。闭环控制机制贯穿施工各环节,从数据采集到风险预警再到施工调整形成连续反馈链,确保问题及时发现、快速响应、有效处理。监控系统须具备自适应能力,根据施工阶段变化动态调整监测重点,如开挖期侧重围岩稳定性,支护期关注结构受力状态,实现全周期安全管控与质量保障,提升工程整体安全性与可靠性^[3]。

3.2 结构受力变形监控实施要点

结构受力变形监控需聚焦关键参数动态捕捉与精准分析。通过布设应变计、位移计等传感器,实时采集结构应力分布、变形量及变形速率数据,形成全维度监测网络。数据传输采用无线或有线方式,确保低延迟、高可靠性,避免数据丢失或滞后影响判断;分析模块运用数值模拟与机器学习算法,对监测数据深度挖掘,识别应力集中区域、变形异常点及潜在破坏模式。预警系统基于预设阈值与动态模型,当监测值超出安全范围时自动触发多级预警,指导施工人员及时采取加固或调整措施。监控过程需与施工进度同步,根据不同阶段调整监测重点,如混凝土浇筑期关注温度应力,运营期监测长期变形趋势,实现全生命周期结构安全管控,提升工程耐久性与安全性。

3.3 施工环境风险监控实施要点

施工环境风险监控需构建多参数协同监测网络,集成地质雷达、温湿度传感器、气体检测仪及无人机巡检系统,实时采集岩层位移、地下水压、空气质量、气象数据及岩体温度变化等关键指标。数据传输采用5G或光纤网络,确保低延迟与高稳定性,避免信号中断影响风险判断;分析模块运用人工智能算法,结合地质模型与历史数据,预测滑坡、塌方、有害气体聚集等风险概率。预警系统依据风险等级实施分级响应,如蓝色预警提示加强巡检,橙色预警启动局部停工排查;监控过程与施工工序深度融合,如爆破作业前检测有害气体浓度,雨季加密边坡位移监测频次,实现环境风险动态感知与施工安全精准调控,提升工程环境适应性与安全冗余度,保障施工全周期安全稳定^[4]。

3.4 施工风险实时预警管控要点

施工风险实时预警管控需构建智能预警系统,集成结构应力、位移、环境参数等多源数据,通过物联网平台实时传输至中央处理单元。系统采用机器学习算法动态分析数据,识别应力突变、位移加速等异常模式,预测滑坡、塌方等风险趋势;预警分级基于风险严重程度设置多级阈值,如黄色预警提示加强巡检频次,红色预警触发局部停工及人员疏散。响应措施与施工流程深度融合,如爆破作业前检测有害气体浓度,混凝土浇筑期监测温度应力,实现风险快速响应与施工调整协同。系统具备自适应学习能力,通过历史数据反馈优化预警模型,提升预测准确性;实时预警管控贯穿施工全周期,从开挖支护到运营维护,实现风险动态感知与精准调控,保障工程安全稳定运行,提升整体安全韧性及施工效率。

4 施工技术与安全监控协同管控

4.1 施工工序与监控流程适配优化

施工工序与监控流程适配优化需实现动态匹配与精准协同。施工前基于工序特性制定监控方案,如开挖期重点监测围岩变形,支护期聚焦结构受力,确保监控参数与工序需求高度契合。数据采集系统需与施工节奏同步,如混凝土浇筑期加密温度监测频次,钢拱架安装期强化位移跟踪,实现数据实时反映施工状态;分析模块运用动态模型匹配工序进展,如爆破作业后立即评估振动影响,支护施工后快速验证结构稳定性。反馈机制通过即时通信平台推送预警信息,指导施工人员调整参数或暂停作业,形成“监测-分析-响应”闭环;适配优化贯穿施工全周期,从工序规划到执行监控,实现技术操作与风险管控无缝衔接,提升施工效率与安全系数,保障工程质量与长期稳定性。

4.2 关键工序施工前置监控管控

关键工序施工前置监控的核心在于将管控关口向作业实施前延伸,聚焦人员、设备、材料、方法与环境五类要素的受控状态;在人员方面侧重特种作业持证匹配与工艺交底的穿透性,确保操作层对技术要点的理解与执行保持一致。设备条件强调进场验收与试运行双确认,尤其对大型起重、张拉压浆等关键设备进行性能复核与安全装置检查,杜绝带病作业;材料管控突出源头可溯与进场复验并重,对钢筋、预应力筋、混凝土原材料及外加剂等建立批次管理台账,在工序启动前完成检测闭环。施工方法以方案论证与工艺试验为前置节点,通过典型施工或首件认可固化工艺参数与质量验收标准,作业环境则针对气象条件、地下管线、相邻构筑物等外部因素开展排查与预处置,将各类风险消解在工序启动之前^[5]。

4.3 技术实施与监控动作联动管理

技术实施与监控动作联动管理需实现施工操作与监测反馈的实时协同。施工过程中,通过物联网平台同步技术参数与监控数据,如开挖速度、支护压力与围岩变形量,形成动态数据流。监控系统实时分析数据,识别异常趋势如位移加速或应力突变,触发预警并推送至施工终端;施工人员根据预警信息即时调整技术动作,如降低开挖进尺、加强支护强度,实现“监测-分析-响应”闭环控制。联动管理贯穿技术实施全周期,从设备操作到参数调整形成无缝衔接,如混凝土浇筑期根据温度监测调整养护时间,钢拱架安装期依据位移数据优化安装精度。通过数据驱动的技术调整与监控反馈的深度融合,提升施工安全性与效率,保障工程质量可控,实现技术实施与风险防控的动态平衡与持续优化。

4.4 施工与监控全过程闭环管控

施工与监控全过程闭环管控需构建施工操作与监测数据的动态循环体系。从施工准备到执行再到验收,每

阶段均需与监控数据深度绑定;施工前通过模拟分析预设监控参数;在施工中实时采集位移、应力、温度等数据,通过物联网平台传输至分析系统;系统自动识别异常趋势,如位移速率超限或应力突变,触发多级预警并推送至施工终端。施工人员根据预警信息即时调整技术动作,如降低开挖速度、加强支护强度或优化混凝土配比;施工后通过数据复盘验证管控效果,优化监控模型与施工参数,形成“计划-执行-监测-调整-优化”的闭环链条。全过程闭环管控实现施工安全与质量的动态平衡,提升工程整体可靠性与效率,保障施工全周期风险可控与质量稳定,形成技术实施与风险防控的持续迭代机制。

结束语

道路桥梁隧道工程的高质量建设,离不开核心施工技术的精细化实施与全流程安全监控体系的有效落地。路基路面、桥梁主体、隧道支护等关键工序的精准技术把控,是保障工程结构质量与长期耐久性的核心根基;全过程动态监控、风险分级预警与协同管控机制,是化解施工安全风险、实现工程平稳推进的关键支撑。技术与管控的深度融合,将持续为交通基建工程的安全稳定与长效运营保驾护航。

参考文献

- [1]王昌金.道路桥梁隧道工程施工技术及安全管控分析[J].运输经理世界,2023,(36):116-118.
- [2]胡惠晰.道路桥梁隧道工程施工技术与安全管控分析[J].运输经理世界,2023,(27):97-99.
- [3]沈阳.道路、桥梁、隧道工程施工技术与安全监控研究[J].运输经理世界,2023,(16):145-147.
- [4]侯明研.道路桥梁隧道工程施工技术与安全管控分析[J].运输经理世界,2023,(08):111-113.
- [5]肖太宝.道路桥梁隧道工程施工技术与安全管控分析[J].运输经理世界,2023,(03):149-151.