

道路桥梁隧道工程施工技术与安全管控分析

袁 媛

四川南渝高速公路有限公司 四川 南充 637000

【摘要】：道路桥梁隧道工程作为基础设施建设的核心载体，其施工质量与安全直接关系工程耐久性和运营稳定性。受作业环境与技术特性影响，此类工程面临空间局限、工序复杂、隐蔽性强等多重挑战。本内容从工程特征切入，系统剖析隧道洞口、预应力处理、超短台阶等关键施工技术的创新应用与操作要点，重点阐述防水材料技术的发展趋势与质量控制逻辑。结合安全风险评估规范，提出涵盖前期评估、过程防范、动态监控、人员管理的全链条管控体系，为解决施工中的技术瓶颈与安全隐患提供理论支撑，助力工程建设向精细化、安全化方向发展。

【关键词】：道路桥梁隧道；施工技术；安全管控；风险评估；防水材料

DOI:10.12417/2705-0998.25.22.061

道路桥梁隧道工程是衔接交通网络、促进区域发展的关键设施，其建设质量直接决定交通系统的运行效率与安全水平。随着建设场景向山区、海底等复杂环境延伸，工程面临的地质条件更趋恶劣，施工技术难度持续提升，安全风险防控压力显著增大。传统施工模式中，技术应用的粗放化与安全管理的碎片化，易导致渗漏、围岩失稳等质量问题，甚至引发安全事故。基于此，精准把握工程特征，优化核心施工技术，构建全周期安全管控体系，成为破解施工难题、提升工程品质的必然要求，对推动基础设施建设高质量发展具有重要现实意义。

1 道路桥梁隧道工程特征

1.1 作业空间局限性

作业空间的局限性作为道路桥梁隧道工程施工的固有特性，自项目启动至竣工交付的全生命周期内持续存在。该特性主要归因于复杂的地形地貌条件与既定的工程结构设计参数，导致施工区域普遍呈现封闭或半封闭的空间形态。在隧道工程领域，作业空间受限于洞径尺寸，致使大型施工机械设备的作业效能显著降低，开挖、支护等核心工序无法并行开展，只能采取交替作业模式，进而引发显著的工序衔接空间冲突问题。桥梁工程高空作业平台及墩柱施工区操作空间狭小，严重影响施工效率与人员设备协同。并且空间受限导致通风、照明等辅助系统难以合理布设，易引发粉尘超标、视线受阻等环境问题，对施工管理与安全保障提出更高要求。

1.2 施工综合性强

施工综合性体现在技术、工序与专业协同的多重维度。技术层面需融合地质勘察、结构力学、材料科学等多学科理论，针对不同工程类型选择适配技术方案。工序层面涵盖开挖、支护、浇筑、防水等数十项子工序，各工序间存在严格的逻辑关联，前序工序的质量直接影响后续施工的可行性。专业协同方面，需统筹土建、机械、电气等多个专业团队，协调设备调度、材料供应与人员配置，任何环节的衔接不畅都可能导致工期延误或质量缺陷。在复杂工程建设环境下，需统筹考虑生态环境

保护、突发事件应急管理等多元技术要求，这对施工组织协调能力、技术集成应用水平提出更高挑战，显著增加了工程全周期管控的复杂性与难度。

1.3 作业隐蔽程度较大

作业隐蔽程度较大主要表现为关键工序的不可直观性与质量检测的间接性。隧道支护结构施工后被后续衬砌覆盖，锚杆锚固深度、喷射混凝土密实度等关键参数难以直接观测。桥梁桩基、墩柱内部的混凝土浇筑质量，同样存在隐蔽性缺陷风险，需通过无损检测等间接手段判断。防水系统的施工质量隐蔽性更为突出，防水层的贴合度、止水带的密封性能在竣工后难以全面核查，一旦出现渗漏问题，修复需破坏既有结构，成本高且难度大。隐蔽作业的质量控制依赖过程监管与技术手段创新，是工程质量保障的核心难点。

2 道路桥梁隧道工程施工技术要点

2.1 隧道洞口施工技术

隧道洞口施工技术就是要处理好山体稳定性和环境保护问题，传统隧道洞口刷坡开挖易造成原有植被被破坏和山体力学平衡遭到破坏，现已发展成为精准化的山体防护技术，“零开挖”进洞工法是遵循最小干扰的原则，洞门以上土体不进行开挖，只在洞身轮廓线上进行精准放坡开挖，在明暗洞交界处采用砂浆锚杆、喷射混凝土等组合而成的“帽檐”式的支护结构提前承载山体，消除了滑坡及落石现象，并保留原有的植被，在一定程度上降低了对植被破坏，缩短工序周期，节约材料费与工程费，在施工过程中需要控制好锚杆的锚固长度以及喷射混凝土的厚度，使二者共同构成一个整体的受力体系来确保洞身下一步的施工安全。

2.2 预应力处理技术

预应力处理通过提前主动施加应力改变结构受力状态，从而增加结构承重能力和防裂能力。桥梁工程中，先张法是先张拉预应力筋、后浇筑混凝土，在张拉后混凝土回弹过程中利用钢筋回弹实现结构预压。后张法则是在混凝土硬化之后穿入筋

材，并在孔道内张拉锚固，适用于大跨度结构。隧道工程中采用预应力锚杆技术，利用预紧力挤压围岩形成承载拱，使围岩自稳作用得到增强。施工时应对预应力值加以控制，根据结构设计参数来确定张拉应力和伸长量值，不能出现超张拉使筋材受损或者欠张拉影响加固的效果。锚具要具有良好的密封性和锚固性，避免预应力的损失。要做好防腐处理工作，使结构寿命得到有效延长。

2.3 超短台阶施工技术

超短台阶施工方法适用于IV、V级软弱围岩，由于采用减小台阶长度来控制围岩的变形，所以其上台阶长度一般只有3~5米，关键是必须做好快挂先封闭的工作，在上台阶开挖以后及时进行初期支护，并快速落底进行下台阶支护，尽早形成闭合结构，避免围岩的暴露时间过长。在施工过程中采用小机具与人工相结合，确保狭小的空间得到开挖，避免大型机械设备扰动围岩。对于IV级围岩来说，应该保证单次开挖的进尺不大于2米。V级围岩则应该控制单次开挖的进尺不超过1~1.5米，并且不能超过两榀拱架的距离。如果采用超前支护等辅助措施，则需要等到之前这一环的钢架安设完成后才能开始下台阶的开挖作业，而临时支护也应当正确倒换使用。

2.4 过渡段的连接施工技术

为了解决路基和桥梁之间以及隧道明暗洞之间存在较大的刚度差，在路基和桥梁之间的过渡段及隧道明暗洞之间的过渡段可利用变形渐变方法过渡。如设置级配碎石、水泥稳定土等层层填筑，并借助测厚仪进行检测，对路基过渡段的填筑质量和强度加以严格控制。对于隧道的明暗洞过渡段来说，则需要强化支护结构衔接，可采用增大拱架间距或增设锚杆的方法来实现受力体系的平稳过渡，对于过渡段的长度以及材料强度的梯度都要进行有效控制，从而达到荷载均匀传递的目的。对所有连接部位进行混凝土浇筑并振捣密实，施工缝处需用鳌子凿毛并增设止水带，不能发生渗漏或者结构脱空的情况，以增加过渡段整体性以及耐久性。

2.5 混凝土浇筑施工技术

混凝土浇筑的控制主要是根据实际的施工情况来检测和监控。如检查是否发生蜂窝、麻面或露筋现象。然后再去查看是否满足相关的设计要求。而且还要考虑到原材料本身是否达到设计要求，比如还要根据施工部位的不同，选择不同的坍落度还有强度等级等等。在现场的浇筑作业时，一定要利用分层的方式来进行浇筑，每次浇筑层厚控制在30—50厘米，在进行振捣的时候应该用插入式的振捣棒进行振捣，直到看到混凝土的表面呈浆体状不再下沉为止。此外，对于隧道衬砌以及桥梁墩柱中的钢筋密集区部分则要采用附着式振捣器进行振捣，并且浇筑完成之后应当及时地开展养护工作，在不同环境下可以采取洒水、覆盖或者用蒸汽养护的方式来确保混凝土

的强度能够正常地发展。

2.6 防水材料技术

防水材料技术的发展正逐渐向环保化、智能化、多用途化方向转变，传统的沥青卷材由于耐老化性能不好以及存在污染问题，已经被渐渐取代，防水材料当前以纳米复合防水卷材、水性聚氨酯防水涂料为主，这些材料还具有耐水压强、抗腐蚀、弹性的特点，达到S10防水等级。防水施工时根据不同基面来选择适合自己的方式，刷涂法是针对干燥基面来进行的操作方式，喷涂法是为了提高施工速度而采取的方式，滚涂法则为了保证防水层涂膜的均匀度来开展，防水系统主要是采用“卷材加涂料加止水带”这样的复合体系，另外还需针对一些重点部位采取加强措施，实现接缝、施工缝处的密封操作。采用新型自修复防水材料和智能监测系统，达到防水缺陷自动修复和防水系统24 h实时在线监控的效果，延长防水系统使用寿命。

3 道路桥粱隧道工程施工安全管控措施

3.1 做好施工前的安全风险评估

施工前安全风险评估按照“辨识—估测—评价—控制”的系统化流程框架，搭建基于工程全生命周期风险管理的顶层设计。在风险辨识环节需要把好四个关口，即做好地质勘察报告、工程设计文件、历史项目资料的深度融合，充分利用LEC、FTA等评价方法，全面发现围岩稳定失效、高空坠落及地下结构渗漏等关键风险点。在风险估测阶段使用定性定量融合评估模型，利用德尔菲法、贝叶斯法等手段量化风险发生概率，并运用“人员伤亡当量”“直接经济损失系数”指标体系量化事故后果严重程度。按照《工程建设项目风险评估标准》，将风险等级分为低度（绿色）、中度（黄色）、高度（橙色）、极高（红色），橙色及以上的风险等级采用项目法人专项审查制度。完成评估之后应建立动态风险控制矩阵，并利用技术措施、管理制度进行改进以使初始风险降至可接受范围内，进而形成长周期、全方位的施工安全前置预防控制。

3.2 加强安全防范和事故处理

构建安全防范体系可以从物理防护、技术监控两方面入手，在项目上设置防护专项，把控高风险的施工工序。隧道工程利用围岩变形监测仪和有毒气体探测器构建智能化监测网络。桥梁工程高空作业部位严格按照规范设置防护栏杆、铺设安全网，在项目中从早期辨识施工风险入手，及时开展应急处置。针对项目材料和设备的管理，严格落实材料进场检验制、运用科学的方法对材料的试验数据进行把控，使其达到工程建设标准要求，建设设备全生命周期管理体系，定期检查检修设备，保证设备的运行状态良好。事故发生后，构建分级响应机制，明确应急处置程序及各部门责任分工。针对坍塌、火灾等典型事故场景编制专项应急预案，事故发生后启动应急预案，开展人员救援、现场管控等工作，并进行事故原因分析，制定

系统性整改措施，防止同类型的事故发生。

3.3 强化施工过程的动态监控

施工过程动态监控体系应融入信息化技术，在全工序、全过程施行智能化管理，用信息化动态监控反馈实时指挥工作，使整个施工处于受控状态，当出现风险时能第一时间加以制止和规避。根据有关规范或设计要求，在隧道工程中，围岩监控量测是最重要的工序，需对拱顶下沉、周边收敛等参数进行持续监测。监测过程中一旦发现监测数据出现超过警戒值的情况，应立即启动应急预案，停止施工，并采取相应的处置措施。

针对桥梁工程施工阶段必须加强支架沉降、预应力筋应力等重要指标的实时监测，保证结构受力状态与设计要求相符合，应用BIM与物联网相结合的手段建立的智能化施工监控平台，可达到自动采集、实时传输、可视化展示的作用，实现对施工风险的准确判断和提前预警。并且要根据相关管理制度的要求，做好施工监测数据的统计分析、系统归档工作，将测得的实际施工参数与设计理论值相比较，从而针对后期施工方案不断进行动态调整和完善，构建起完整的“监测—分析—决策—调整”的闭环管理模式。

3.4 完善安全管理的保障体系

完善安全管理保障体系要从组织建设、制度建设、人员建

设三个维度共同促进，形成体系化、标准化的安全管理架构。建立专业化的安全管理组织机构，配备5~7名具备深厚行业积累的专业技术人员，专业技术负责人具有教授级高级工程师任职资格并从事工程施工20年以上。建立健全涵盖安全技术交底、隐患排查治理、考核奖惩等工作环节的全流程管理制度体系，明确各岗位的安全职责，使安全管理贯穿于每一道工序中。建立分层分类的人才培养机制，加强对新进人员进行系统的岗前培训，严格对特殊工种作业人员进行持证上岗考核，全面提升全体人员的安全操作技能和安全风险防控意识，建立健全安全保障体系，做到全员、全过程、全方位的安全管理。

4 结语

综上所述，随着我国改革开放的不断深入，作为“发展动脉”的道路桥梁在人们生产生活中的作用越来越大。但由于我国道路桥梁工程建设起步晚、技术积累少、地理环境丰富等特殊性，出现了许多由施工质量问题引发的道路桥梁隧道工程安全事故，使得人们越来越关注道路桥梁隧道工程的质量。因此，相关人员应该不断研究和探索施工技术重点、难点问题，选择更实用的施工技术，加强工程各个环节管理，确保工程质量和服务。

参考文献：

- [1] 马文丽.道路桥梁隧道工程施工技术与安全管控[J].科学与财富,2020(08):201
- [2] 李峰.道路桥梁隧道工程施工技术与安全管控[J].建筑工程技术与设计,2020(05):1846.
- [3] 王也.城市道路桥梁工程施工技术要点[[J].价值工程,2021(08):94-95
- [4] 邓亚民.道路桥梁隧道施工中安全管理的措施探究[J].警戒线,2021(29):136-138.
- [5] 何才文,李娟.高速公路隧道工程施工技术应用[J].建筑技术开发,2021.48(11):47-48
- [6] 曹德扶.高速公路隧道工程施工技术应用分析[J].运输经理世界,2020(14):39-40.