

高速桥梁西锚碇施工安全风险防控体系构建与实践

谢帅豪

浙江交工宏途交通建设有限公司, 浙江 杭州 311305

DOI:10.61369/ME.2025110029

摘要 : 高速桥梁锚碇作为桥梁结构的核心承重构件, 其施工安全直接决定桥梁整体工程质量与运营安全, 其中西锚碇因常面临复杂地质条件、超大施工荷载及多工序交叉作业等挑战, 成为施工安全风险防控的关键节点。本文以高速桥梁西锚碇施工为研究对象, 基于风险防控理论与工程实践经验, 构建“风险识别—评估分级—防控实施—动态监控—应急保障”“五位一体”的安全风险防控体系。通过分析西锚碇施工各阶段核心风险源, 明确风险评估指标与分级标准, 针对性提出地质勘察优化、工序流程管控、专项技术保障等防控措施, 并结合现场实践验证体系的可行性。研究成果可为同类高速桥梁锚碇施工安全风险防控提供理论支撑与实践借鉴。

关键词 : 高速桥梁; 西锚碇; 施工安全; 风险防控体系

Construction and Practice of Safety Risk Prevention and Control System for West Anchor of High-Speed Bridges

Xie Shuaihao

Zhejiang Jiaogong Hongtu Transportation Construction Co., LTD, Hangzhou, Zhejiang 311305

Abstract : As the core load-bearing components of the bridge structure, the construction safety of high-speed bridge anchorages directly determines the overall engineering quality and operational safety of the bridge. Among them, the west anchorages often face challenges such as complex geological conditions, excessive construction loads, and multi-process cross-operations, making them a key node for construction safety risk prevention and control. This paper takes the construction of the west anchor of a high-speed bridge as the research object. Based on the theory of risk prevention and control and engineering practical experience, it constructs a "five-in-one" safety risk prevention and control system of "risk identification – assessment and classification – prevention and control implementation – dynamic monitoring – emergency support". By analyzing the core risk sources at each stage of the construction of the west anchor, the risk assessment indicators and classification standards were clarified. Targeted prevention and control measures such as geological exploration optimization, process flow control, and special technical support were proposed. The feasibility of the system was verified in combination with on-site practice. The research results can provide theoretical support and practical reference for the safety risk prevention and control of similar high-speed bridge anchor construction.

Keywords : high-speed bridge; west anchor; construction safety; risk prevention and control system

引言

随着我国高速公路网向复杂山区、跨江跨海区域延伸, 高速桥梁建设面临的技术难度与安全风险显著提升。锚碇作为悬索桥、斜拉桥等大跨度桥梁的“根基”, 承担着传递桥梁主缆拉力至地基的核心功能, 其施工质量与安全直接关系到桥梁的使用寿命与运营安全。西锚碇作为桥梁锚碇系统的重要组成部分, 受地形地貌、地质条件及施工组织等因素影响, 在基坑开挖、基础浇筑、锚体施工等关键工序中, 易出现边坡失稳、结构开裂、机械伤害等安全风险, 一旦发生事故, 将造成重大人员伤亡与经济损失。当前, 部分锚碇施工项目存在风险识别不全面、评估方法粗放、防控措施针对性不足等问题, 难以适应西锚碇复杂施工环境的安全管理需求^[1]。因此, 构建科学系统的西锚碇施工安全风险防控体系, 结合工程实践优化防控策略, 对提升高速桥梁施工安全管理水平具有重要现实意义。本文基于西锚碇施工的技术特点与风险特性, 从风险全流程管控角度构建防控体系, 并通过实践应用验证其有效性, 为同类工程提供参考。

一、高速桥梁西锚碇施工核心风险源识别

(一) 施工前期地质勘察风险

地质条件是决定西锚碇施工方案与安全风险的核心因素，施工前期地质勘察不充分易导致后续施工风险失控。一方面，部分项目因勘察范围不足、钻孔密度不够，未能准确探明西锚碇区域的软土地层分布、岩溶发育情况及地下水赋存状态，导致施工方案与实际地质条件不符。例如，若未探明浅层软土分布，基坑开挖时易出现边坡坍塌；岩溶空洞未提前处理，将导致基础沉降不均。另一方面，勘察数据解读偏差也会引发风险，如对岩层风化程度判断失误，会导致支护结构选型不合理，降低基坑稳定性^[2]。

(二) 基坑开挖与支护施工风险

基坑工程是西锚碇施工的首要关键工序，具有开挖深度大、作业空间有限、受环境影响显著等特点，风险集中且危害程度高。一是边坡失稳风险，西锚碇基坑开挖深度通常超过20米，若开挖速度过快、分层开挖厚度超标，或遭遇暴雨、地下水渗透等情况，易导致边坡土体抗剪强度降低，引发滑坡或坍塌事故。二是支护结构失效风险，常见的支护形式如排桩、地下连续墙、内支撑等，若施工质量不达标，如排桩混凝土强度不足、内支撑节点连接不牢固，或支护结构变形监测不及时，会导致支护体系失稳，进而引发基坑坍塌。三是地下水控制风险，若降水井布置不合理、降水深度不足，或帷幕注浆防渗效果不佳，地下水涌入基坑会导致土体软化，增加边坡失稳风险，同时影响后续基础施工^[3]。

(三) 锚体混凝土施工风险

锚体作为西锚碇的核心受力构件，其混凝土施工质量直接决定锚碇的承载能力，施工过程中存在多重质量与安全风险。一是混凝土开裂风险，西锚碇锚体体积庞大，属于大体积混凝土结构，浇筑过程中水泥水化热释放集中，若温控措施不到位，会导致混凝土内外温差过大，产生温度应力，引发表面或深层裂缝，降低锚体结构强度。二是浇筑施工风险，锚体混凝土浇筑需分层进行，若分层厚度过大、振捣不密实，会导致混凝土内部出现蜂窝、麻面等缺陷；若浇筑间歇时间过长，会形成施工缝，影响结构整体性。三是钢筋施工风险，钢筋绑扎、焊接质量不达标，如钢筋间距偏差过大、焊接接头强度不足，会导致锚体受力不均，降低结构承载能力，埋下安全隐患^[4]。

(四) 交叉作业与机械施工风险

西锚碇施工涉及土方开挖、钢筋加工、混凝土浇筑、设备安装等多工序交叉进行，同时大型施工机械如挖掘机、起重机、混凝土泵车等使用频繁，易引发安全事故。一是交叉作业碰撞风险，不同工序作业人员在同一空间作业，若作业面划分不清晰、协调不到位，易发生人员碰撞或机械误伤事故。例如，起重机吊装钢筋时，若下方有人员进行基坑清理作业，未设置警示区域，易导致坠落物伤人。二是机械操作风险，大型机械若未定期检修维护，存在制动失灵、液压系统故障等问题，或操作人员无证上岗、违规操作，易引发机械倾覆、碰撞等事故^[5]。

二、高速桥梁西锚碇施工安全风险防控体系构建

(一) 风险识别模块：建立全流程识别机制

构建“前期勘察－施工准备－过程实施－竣工验收”全流程

风险识别机制，确保风险源无遗漏。施工前期，结合设计文件组织地质勘察专项小组，采用钻探、物探等多种勘察手段，全面探明西锚碇区域地质条件，编制详细勘察报告，重点标注软土、岩溶、地下水等风险点。施工准备阶段，组织技术人员、施工班组及监理单位开展风险识别研讨会，结合类似工程案例，梳理施工流程中各工序潜在风险源，形成《西锚碇施工风险识别清单》。施工过程中，建立“班组每日巡查－项目部每周排查－公司每月督查”的三级排查制度，实时跟踪风险变化，及时补充更新风险清单。竣工验收阶段，对施工过程中出现的风险事件进行复盘分析，总结风险识别经验，为后续工程提供数据支持。

(二) 评估分级模块：构建多级评估指标体系

采用“定性+定量”相结合的方法，构建西锚碇施工风险评估指标体系，明确风险等级划分标准，为防控措施制定提供依据。评估指标体系涵盖地质条件、施工技术、设备管理、人员素质、环境因素5个一级指标，下设15个二级指标，如地质条件下设软土分布、岩溶发育、地下水水位3个二级指标；施工技术下设基坑支护质量、混凝土浇筑质量、工序衔接合理性3个二级指标。定性评估采用专家打分法，邀请桥梁施工、安全管理等领域专家对各指标风险程度打分；定量评估采用层次分析法确定各指标权重，结合模糊综合评价法计算风险综合评分。根据评分结果将风险划分为重大风险（评分≥80分）、较大风险（60—79分）、一般风险（40—59分）、低风险（<40分）四个等级，并针对不同风险等级制定差异化管控策略。

(三) 防控实施模块：制定针对性防控措施

优化勘察方案，扩大勘察范围，增加钻孔密度，确保勘察数据准确性；建立勘察数据会审制度，组织设计、勘察、施工单位共同解读勘察报告，结合地质条件优化施工方案，如针对岩溶区域采用注浆填充处理，软土地层采用换填或加固处理。采用“分层开挖、分层支护”的施工原则，严格控制开挖厚度与速度，每层开挖深度不超过2米，开挖后及时进行支护施工；优化支护结构设计，根据地质条件选用合适的支护形式，如软土地层采用地下连续墙+内支撑支护体系，岩层区域采用排桩支护；加强地下水控制，采用“降水井+帷幕注浆”联合防渗方案，实时监测地下水位变化，确保基坑干燥。优化混凝土配合比，掺入粉煤灰、矿粉等掺合料减少水泥用量，降低水化热；采用“分层浇筑、分层振捣”施工工艺，每层浇筑厚度控制在50厘米以内，使用插入式振捣器确保振捣密实；建立温控监测体系，在混凝土内部与表面布置温度传感器，实时监测温度变化，当内外温差超过25℃时，采取覆盖保温、通水降温等措施。划分清晰的作业区域，设置明显的安全警示标志，明确各工序作业时间与空间，避免垂直交叉作业；建立机械管理制度，定期对大型施工机械进行检修维护，做好维护记录，操作人员必须持证上岗，严禁违规操作；规范临时用电管理，采用“三级配电、两级保护”配电方式，线路敷设采用架空或穿管埋地方式，配电箱加装防雨、防砸防护装置。

(四) 动态监控模块：搭建实时监测平台

搭建西锚碇施工安全动态监测平台，整合地质、结构、环境等多维度监测数据，实现风险实时预警。监测内容包括基坑边坡

位移、支护结构变形、锚体混凝土温度与应力、地下水位、机械运行状态等。采用自动化监测设备如全站仪、测斜仪、温度传感器等，实时采集监测数据，通过无线传输技术上传至监测平台。平台设置风险预警阈值，当监测数据超过阈值时，自动发出声光预警信号，并将预警信息推送至管理人员手机端。管理人员接到预警后，立即组织现场排查，分析风险原因，采取针对性处置措施，同时更新监测数据，跟踪处置效果。

（五）应急保障模块：完善应急管理体系

建立“预防－响应－处置－恢复”全链条应急管理体系，提高对突发安全事故的处置能力。制定《西锚碇施工安全应急预案》，明确基坑坍塌、机械倾覆、火灾、触电等常见事故的应急处置流程、责任分工与救援措施。组建应急救援小组，由项目经理担任组长，配备专职救援人员，定期开展应急培训与演练，提升救援人员应急处置能力。配备充足的应急物资，如挖掘机、起重机、担架、灭火器、急救药品等，建立应急物资台账，定期检查物资完好情况，确保应急时可快速调用。建立应急联动机制，与当地消防、医疗、交通等部门签订应急联动协议，发生重大事故时，及时请求外部支援，形成救援合力。

三、高速桥梁西锚碇施工安全风险防控体系实践应用

（一）实践过程

施工前期，勘察专项小组采用钻探与物探相结合的方式，探明施工区域软土分布范围约1200平方米、岩溶空洞15处，地下水水位埋深3米。通过专家打分与模糊综合评价法，评估得出基坑坍塌、支护结构失效为重大风险，混凝土开裂、机械倾覆为较大风险，其他风险为一般或低风险。针对重大风险，基坑施工采用“地下连续墙+三道内支撑”支护体系，分层开挖厚度控制在1.5米，开挖后24小时内完成支护施工；采用“12口降水井+帷幕注浆”联合防渗方案，将地下水位降至基坑底以下1米。针对混凝土开裂风险，优化配合比掺入40%粉煤灰，采用分层浇筑工艺，每层浇筑厚度50厘米，布置80个温度传感器实时监测温度，当内外温差接近25℃时，覆盖土工布保温并通入循环冷水降温。针对机械交叉作业风险，划分3个独立作业区域，设置防护栏杆与警示

标志，起重机操作人员全部持证上岗，每日作业前对机械进行检查。搭建动态监测平台，实时监测基坑边坡位移（监测频率每2小时1次）、支护结构变形、混凝土温度等数据，平台设置边坡位移预警值30mm，当某次监测数据达到28mm时，立即发出预警，组织人员加密监测频率至每30分钟1次，同时放缓开挖速度，加强支护结构加固，24小时后数据稳定在25mm，解除预警。施工期间组织2次应急演练，分别模拟基坑坍塌与机械倾覆事故，演练后复盘分析，优化应急预案。

（二）实践效果

该西锚碇施工全过程未发生重大安全事故，仅出现2起轻微机械磕碰事件，及时处置后未造成人员伤亡与财产损失。施工质量检测结果显示，锚体混凝土未出现明显裂缝，强度达到设计要求；基坑边坡位移最大为26mm，控制在预警值范围内；支护结构变形量小于设计允许值。施工工期比计划缩短15天，节约施工成本约80万元。实践表明，构建的安全风险防控体系能够有效识别与管控西锚碇施工风险，提升施工安全管理水平，保障施工质量与进度。

四、结论

高速桥梁西锚碇施工环境复杂，风险因素多样，构建科学系统安全风险防控体系是保障施工安全的关键。本文通过风险源识别，明确了地质勘察、基坑施工、锚体混凝土施工、交叉作业与机械施工等核心风险点，构建了“提出了风险识别、评估分级、防控实施、动态监控、应急保障”“五位一体”的防控体系，并从工程实践中验证了体系的有效性。实践表明，该体系可实现对西锚碇施工风险的全流程管控，有效降低事故发生率，提升施工质量与进度。未来，随着智能化技术的发展，可进一步将BIM技术，物联网，人工智能等纳入风险防控体系中，建立智能化监测与预警平台，实现风险的精准预测与主动防控；加强对复杂地质条件下西锚碇施工风险防控技术的研究，积累更多的工程实践经验，完善风险评估指标体系，为高速桥梁锚碇施工安全管理提供更有力的支撑。

参考文献

- [1]周若星.高速公路桥梁施工中的地基处理技术[J].时代汽车,2025,(23):153-155.
- [2]张贵忠,施威.面向全生命周期的高速铁路桥梁精细化建造技术[J].中国铁路,2025,(11):28-36.
- [3]顾大勇,施磊,李龙舟.多控制因素下高速公路桥梁预制T梁施工关键技术研究[J].建筑机械,2025,(11):17-21.
- [4]吴振涛,刘磊,朱峰.装配式高强钢-UHPC组合梁在跨高速公路桥梁中的应用研究[J].公路,2025,(11):257-262.
- [5]张翔.高速铁路大直径盾构隧道下穿高等级公路桥梁影响研究[J].高速铁路技术,2025,16(05):46-51.