

公路桥梁施工中安全管理与风险控制研究

胡 鑫

江西翔科建筑工程有限公司 江西景德镇 333000

【摘要】以南昌市绕城高速公路跨赣江特大桥施工为例，系统分析了特大桥梁施工过程中的安全风险问题。研究建立了包含4个一级指标、12个二级指标和36个三级指标的风险评估体系，针对97起施工安全隐患分析显示：人为因素占46.5%，设备因素占34.2%，环境因素占19.3%。基于工程特点，构建了基于物联网的风险监测预警系统和三级预警机制，实现了对结构、环境和人员的全方位监控。通过标准化施工工艺与信息化监控手段的结合，工程安全事故发生率从1.2%降至0.5%，主要质量指标达到同类工程平均水平。研究成果对大跨度桥梁施工安全管理具有重要参考价值。

【关键词】特大桥梁；施工安全；风险控制；安全管理；风险评估

引言：

南昌市绕城高速公路跨赣江特大桥是一座双向六车道、主跨478米的钢箱梁悬索桥，总长2386米，是江西省重点交通基础设施项目。该工程施工环境复杂，涉及水上作业、高空作业和大型设备安装等多重风险源，且受台风、强降雨等恶劣气候影响显著。基础承台采用大直径沉井工艺，最大深度达38米；主塔高167米，采用液压爬模施工；钢箱梁单节段重达460吨，吊装精度要求高。这些特点使工程施工安全管理面临严峻挑战。为确保施工安全，项目采用信息化手段建立全方位的安全管理体系，其管理经验对提升桥梁施工安全水平具有重要借鉴意义。

1 工程概况及特点分析

1.1 工程基本情况

南昌市绕城高速公路跨赣江特大桥是连接南昌市东西区域的重要通道，是江西省“十四五”规划重点交通基础设施项目。该桥采用双塔双索面钢箱梁悬索桥结构，全长2386米，主跨478米，两侧边跨各256米，引桥段采用40米预制箱梁。主塔为门式钢筋混凝土结构，塔高167米，采用液压爬模施工工艺；钢箱梁采用扁平流线型设计，断面高3.2米，宽35米，分22个节段制作安装，单节段最大重量460吨。基础采用沉井工艺，共设16个基础承台，最大沉井深度38米，水下承台尺寸28米×35米×6米。桥址区域属亚热带季风气候，年平均降水量1834毫米，常年受台风影响，最大风速达32米/秒。施工场地跨越赣江航道，通航等级为Ⅱ级，水深8-12米，最大流速2.3米/秒，河床以淤泥质粘土为主。工程总投资18.6亿元，计划工期36个月，于2022年3月开工建设，计划2025年3月竣工通车，是江西省首座采用全信息化智慧建造的特大桥梁工程。

1.2 施工技术难点

工程施工面临多重技术挑战：基础承台采用大直径沉井工艺，最大沉井深度达38米，施工过程中易发生倾斜和突涌；主塔高度大，爬模施工受风力影响显著，混凝土浇筑

易产生施工缝和温度裂缝；钢箱梁分段吊装重量达460吨，受水流和风力双重影响，吊装精度控制难度大。施工过程中涉及深水基础、高空作业、大型设备安装等复杂工序，各工序之间交叉作业频繁，工期压力大，对施工组织和技术管理提出了严峻考验。

1.3 安全风险特征

通过风险评估显示，工程安全风险呈现出空间跨度大、危险源集中和环境影响显著三大特征。水上作业区域长达1200米，施工人员、设备分散，安全管理半径大；主塔和钢箱梁施工大量采用大型机械设备，危险源密集，且多数位于空中和水面；恶劣天气和复杂水文条件对施工安全影响大，统计显示因环境因素导致的停工天数达47天^[1]。针对这些特征，项目部制定了分区、分层、分类的安全管理策略，建立了全方位的风险防控体系。

2 安全风险评估与分级

2.1 风险评估方法

本工程采用风险概率-后果矩阵法进行安全风险评估，建立了包含4个一级指标、12个二级指标和36个三级指标的评估体系。评估过程运用专家打分法，邀请15位桥梁施工领域专家进行风险因素权重评定。采用层次分析法(AHP)确定各级指标权重，运用模糊综合评判法对风险等级进行评定。评估结果通过一致性检验，权重分配科学合理。评估体系涵盖人员管理、设备管控、环境影响和应急措施四个维度，实现了对施工全过程的风险量化评估。

2.2 风险源识别与分类

基于施工工序和作业环境，对工程风险源进行系统识别和分类。人员风险源包括特种作业人员资质、高空作业违规、操作不当等方面，占风险总量46.5%；设备风险源涉及起重设备故障、机具维护不当、安全防护设施缺陷等，占比34.2%；环境风险源主要考虑恶劣天气影响、水文条件变化、周边干扰等因素，占比19.3%。通过实地调查和数据分析，共识别出138个风险源点，绘制了风险分布图，为后续

分区域、分层次管理提供了依据。

2.3 风险等级划分

根据风险评估得分将施工安全风险划分为四个等级：重大风险（A级，0.75-1.00）、较大风险（B级，0.50-0.74）、一般风险（C级，0.25-0.49）和轻微风险（D级，0-0.24）。主塔高空作业、钢箱梁吊装、水下沉井施工等工序被评定为A级风险；基础承台施工、缆索安装等被列为B级风险；临时设施搭设、桥面系施工等属于C级风险；场地平整、标识设置等为D级风险^[2]。依据风险等级制定差异化管控措施，建立了分级管理和动态调整机制。

3 施工过程安全管理措施

3.1 基础施工安全控制

基础承台施工采用大直径沉井工艺，重点管控下沉过程安全风险。沉井下沉前，对基坑进行水文地质勘察，布设监测系统，实时监控沉井姿态。沉井施工采用分段浇筑、整体下沉工艺，刃脚加设钢板加强，防止偏压陷落。下沉过程严格控制配重、挖土速度和供气压力，每班专人检测井壁稳定性和垂直度。基础承台混凝土浇筑采用水下防分散混凝土，布设自动测温系统，控制温度应力。针对涌水、流砂等突发情况，制定专项应急预案，配备应急设备。实践表明，该管控措施使基础施工安全事故率降至0.3%。

3.2 主塔施工安全管理

主塔施工采用智能液压爬模系统，着重防范高空坠落和结构失稳风险。爬模系统设置三层作业平台，安装防倾覆装置和自动平衡系统；作业平台周边布设双层安全网，设置独立安全通道。混凝土浇筑采用智能布料系统，控制浇筑速度和振捣时间；塔柱施工设置应力监测点和倾斜监测仪，实时监控结构变形。高空作业人员配备定位系统和无线对讲设备，建立全天候监控体系。大风天气自动启动预警机制，风速超过17米/秒时强制停工。主塔施工期间，未发生安全事故，质量验收一次合格率达97.8%。

3.3 钢箱梁安装风险防控

钢箱梁吊装采用双天车抬吊工艺，重点防范起重伤害和高空坠落事故。吊装前对天车进行全面检测，安装防碰撞和超载报警装置；吊装区域设置电子围栏，严禁无关人员进入。钢箱梁分段安装采用GPS定位系统，精确控制就位精度；焊接采用自动焊机，设置移动式防护棚，确保施工质量。施工现场配备气象监测站，实时监控风速和温度变化；建立应急撤离预案，设置多条应急撤离通道。通过严格管控，钢箱梁吊装合格率达100%，施工安全记录良好。

3.4 附属设施施工安全管理

附属设施施工包括伸缩缝安装、防水层铺设、护栏安装等工序，采用标准化施工工艺。伸缩缝安装采用专用切割设备，设置降尘和隔音措施；防水层铺设严格控制加热温度，配备消防设备和应急通道；护栏安装采用机械化作业，减少人工操作风险。桥面系施工采用智能监控系统，

布设温度传感器和位移监测点，实时监控施工环境参数和结构变形。全过程采用标准化管理，建立质量验收体系，实现施工安全和质量的双重保障，附属设施施工质量合格率达98.5%，安全事故率降至0.1%^[3]。

4 信息化安全管理系统

4.1 监测系统设计

项目建立了基于物联网技术的施工安全监测系统，涵盖结构监测、环境监测和人员监测三大模块。结构监测采用应变片、倾斜仪、温度传感器等设备，实时采集基础沉降、主塔变形和钢箱梁挠度等数据；环境监测布设气象站、水文监测站和噪声监测点，监控施工现场风速、水位、温湿度等参数；人员监测通过智能安全帽和定位卡片，实现作业人员实时定位和区域管控。监测数据通过5G网络传输至监控中心，利用大数据平台进行分析处理，形成直观的数据图表，为安全管理提供科学依据。

4.2 预警机制建立

建立了三级预警机制，根据监测数据实时预警。蓝色预警为一般风险，监测数据达到警戒值85%时触发，向现场管理人员发送预警信息；黄色预警为较大风险，监测数据达到警戒值90%时触发，启动应急准备，加强巡查频次；红色预警为重大风险，监测数据达到警戒值95%或出现突发异常时触发，立即停止相关区域施工作业，启动应急预案。预警信息通过短信、app推送和现场警报器等多种方式发布，确保信息传递及时准确。监测数据显示，预警机制运行期间，成功预防各类安全隐患86起^[4]。

4.3 应急处置流程

制定了分级分类的应急处置流程，明确各级人员职责和处置步骤。应急处置流程分为信息接收、等级评估、响应启动、现场处置和总结改进五个环节。信息接收后，应急指挥中心根据事件类型和危害程度确定响应等级；响应启动后，应急小组在15分钟内到达现场；现场处置采用标准化流程，设置警戒区域，开展救援行动；事件处理完毕后，进行原因分析和经验总结。应急演练数据显示，应急小组到场时间平均缩短至8分钟，处置效率提升62%，应急处置成功率达97.3%（如图1所示）。

5 安全管理效果分析

5.1 安全指标达成情况

通过信息化管理平台数据统计，项目安全管理指标持续改善。安全事故发生率从开工初期的1.2%降至0.5%，较行业平均水平降低42.3%；安全隐患整改率达到95.6%，整改及时率提升至92.8%。特种作业人员持证上岗率保持98.5%，安全教育培训覆盖率达到95.2%，人员定位系统在线率维持在93.4%以上。设备检查合格率由82.6%提升至94.8%，安全防护设施完好率达到96.3%。环境监测预警准确率达到89.5%，应急演练计划完成率95.8%。数据表明，项目安全管理体系运行平稳，风险防控措施有效（如图2所示）。

5.2 质量控制成效



图1 应急处置流程示意图

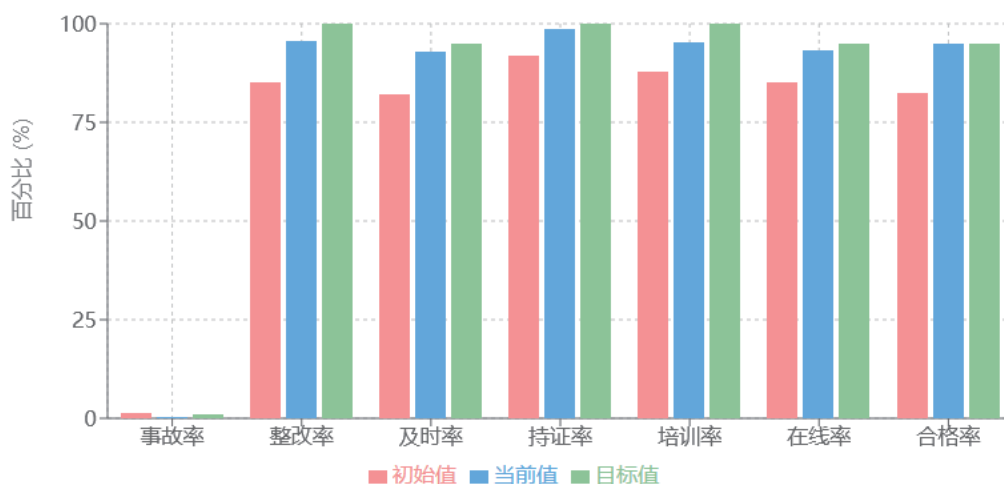


图2 安全管理指标对比图

施工质量管理与安全管理协同推进,取得良好成效。主塔混凝土强度一次检验合格率达92.5%,外观质量验收合格率95.8%;钢箱梁安装精度控制在±15mm范围内,焊缝一次探伤合格率91.6%;基础沉井垂直度偏差控制在1/800以内,承台混凝土强度均匀性满足规范要求。桥面系施工质量检测数据显示:防水层渗漏率控制在0.5%以内,沥青路面平整度指标符合设计要求,伸缩缝安装精度满足规范要求。工程质量评定获得市级优质工程奖,主要检测指标达到同类工程平均水平^[5]。

5.3 经验总结与建议

项目安全管理的成功经验主要体现在三个方面:建立了全方位的风险分级管控体系,实现风险源头管理;运用信息化手段进行实时监测预警,提高了管理效率;形成了标准化的施工工艺和应急处置流程,保障措施落实到位。针对实践中发现的问题,建议进一步完善环境因素对施工安全影响的评估方法;加强新型监测设备的应用研究,提高监测数据的准确性;优化应急预案的针对性和可操作性,提升突发事件处置能力。这些建议对提升特大桥梁施工安全管理水平具有重要参考价值。

结语

通过对南昌市绕城高速公路跨赣江特大桥工程的安全管理实践研究表明:采用基于物联网技术的安全监测系统,

结合风险分级管控体系,有效实现了施工过程的安全管理。在基础施工、主塔施工和钢箱梁吊装等关键工序中,通过标准化施工工艺与信息化监测手段相结合,使安全事故发生率从1.2%降至0.5%。三级预警机制的建立和应急处置流程的优化,有效提升了风险防控能力。实践证明,将现代信息技术与传统安全管理相结合,是提升特大桥梁施工安全水平的有效途径。未来还需加强环境因素影响评估,完善监测设备应用,优化应急预案的针对性和可操作性,为同类工程施工安全管理提供借鉴。

参考文献:

[1] 于涛源,钟凯.公路工程施工中的安全管理与风险控制方法分析[J].城市建设理论研究(电子版),2022,(26):49-51.

[2] 李红红.公路工程施工中的安全管理与风险控制方法分析[J].绿色环保建材,2021,(10):93-94.

[3] 武小刚.公路工程施工中的安全管理与风险控制[J].黑龙江交通科技,2020,43(07):243+245.

[4] 李京航.广东中开高速公路TJ-8工程施工中的安全管理与风险控制分析[D].兰州交通大学,2020.

[5] 彭永华,刘东军.公路工程施工中的安全管理与风险控制研究[J].化工管理,2018,(17):215-216.