

矮塔斜拉桥主墩 0#段施工风险及控制措施研究

刘明

中铁南方投资集团有限公司

DOI:10.12238/jpm.v6i7.8193

[摘要] 矮塔斜拉桥作为桥梁工程领域中结构形式较为复杂的桥梁类型之一，其施工工艺的复杂性、施工过程的管控难度大以及安全风险的高发性均显著。此外，矮塔斜拉桥的施工过程受到周边地质地貌条件、水上作业环境以及施工技术的综合影响，导致施工中出现问题尤为复杂，难以解决。本文以粤东城际铁路项目外砂站至龙湖站特大桥（80+152+80）m 矮塔斜拉桥 70#、71#主墩 0#块施工为研究对象，对 0#节段施工过程中潜在的安全风险进行系统性辨识，构建了涵盖组织、制度、技术、资源的四维安全防控体系，并创新性融入降本增效与标准化推广理念。在施工过程中，通过智能监测技术、精细化管理流程实现风险动态管控，经工程实践验证，该体系有效降低安全风险，提升施工效率与经济效益，为同类工程提供可复制的安全管理范式。

[关键词] 矮塔斜拉桥；施工安全；风险辨识；措施；防控

Research on construction risk and control measures of section 0# of the main pier of the low tower cable-stayed bridge

Liu Ming

China Railway Southern Investment Group Co., Ltd.

[Abstract] As one of the types of bridges with complex structural forms in the field of bridge engineering, the complexity of the construction process, the difficulty of control of the construction process and the high incidence of safety risks are significant. In addition, the construction process of the low-tower cable-stayed bridge is comprehensively affected by the surrounding geological and geomorphological conditions, the water working environment and the construction technology, resulting in the problems in the construction are particularly complex and difficult to solve. In this paper, the construction of the 70# and 71# main piers of the extra-large bridge from Waisha Station to Longhu Station of the East Guangdong Intercity Railway Project (80 152 80) m is taken as the research object, and the potential safety risks in the construction process of the 0# section are systematically identified, and a four-dimensional safety prevention and control system covering organization, system, technology and resources is constructed, and the concept of cost reduction, efficiency increase and standardization promotion is innovatively integrated. In the construction process, the dynamic risk management and control are realized through intelligent monitoring technology and refined management process, and the system has been verified by engineering practice to effectively reduce safety risks, improve construction efficiency and economic benefits, and provide a replicable safety management paradigm for similar projects.

[Key words] low tower cable-stayed bridge; construction safety; risk identification; Measure; Control

引言

矮塔斜拉桥因其结构轻盈、卓越的跨越能力，通常应用于地质条件复杂、净空需求高、施工跨度大、工期要求严格的城轨交通、市域铁路等工程。然而，其施工涉及高空支架搭设、大吨位预应力张拉、水上作业等高风险环节，且易受复杂水文地质和极端气候影响，安全事故隐患突出。粤东城际铁路外砂站至龙湖站特大桥（80+152+80）m 矮塔斜拉桥作为控制性工程，面临新津河通航要求高、水上作业环境复杂等挑战。传统施工安全管理多聚焦风险排查，缺乏系统性防控与经济效益考量。因此，开展施工安全风险辨识与防控体系研究，探索标准化、

高效化管理模式，对保障桥梁建设安全、提升工程管理水平具有重要意义。

1. 工程概况

1.1 项目概况

粤东地区城际铁路是中国广东省东部地区轨道交通，主要承担以汕头、汕尾、潮州、揭阳为主要节点的城际客运服务。外砂站至龙湖站特大桥全长 4403.07m，其中 DK36+990.68-DK37+302.68 段采用（80+152+80）m 预应力混凝土矮塔斜拉桥跨越新津河。主墩 70#位于岸上，71#位于水中，0#块施工是全桥关键工序，涉及高空支架现浇、临时固结施工及大体积混凝土

土浇筑等复杂工艺，施工安全风险高，技术要求严格。

1.2 核心施工参数

0#块作为主梁起始段，梁高 8m、长 12m，采用单箱双室结

构，C55 混凝土用量达 947.83m³，钢筋及预应力管道布置密集。其施工参数直接决定桥梁受力性能，对支架承载能力和模板稳定性要求极高，具体参数详见表 1。

表 1 0#节段主要施工参数表

节段号	梁高 (cm)	节段长度 (cm)	底板宽度 (cm)	底板厚度 (cm)	顶板宽度 (cm)	顶板厚度 (梁中心) (cm)	边腹板厚度 (cm)	C55 混凝土 (m³)
0	800	1200	1200	190	1500	90	75	947.83

1.3 环境条件挑战

水文特性分析：新津河的流速为 1.26m/s，雨季水位受暴雨与潮汐双重作用的影响，最高潮位可能在非汛期（例如 10 月）出现，因此在施工过程中必须采取措施以防范洪水冲击及船舶碰撞的风险。

地质条件分析：桥址区域属于Ⅳ类场地，基本地震动峰值加速度为 0.20g，须考虑地震作用对支架稳定性的影响；土层主要由粉质黏土构成，地基承载力需通过换填处理以达到标准。

气象因素影响分析：年平均气温为 21.3℃，极端高温可达 38.6℃，在高温季节作业人员容易出现疲劳现象；4 月至 9 月为雨季（占全年降水量的 80%），7 月至 9 月台风活动频繁，6 级以上的强风可能导致塔吊倾覆或支架失稳^[1]。

1.4 管理模式分析

本项目采取了大型集团协同作战与联合体中标相结合的管理模式。在施工阶段，该模式具有创新性，涉及较多的管理层次，对安全质量及标准化施工提出了严格要求。同时，施工过程管理的交叉性较强，成本控制面临较大压力，从而使得管理难度显著增加。

2.施工安全风险辨识

2.1 风险类型与等级划分

采用 LEC 风险评价法，结合现场勘查与工艺分解，系统识别出 11 类主要安全风险（表 2）。其中，高处坠落、起重伤害、触电等 6 类风险等级达Ⅲ级（高度风险），需重点防控；物体打击、坍塌等 5 类为Ⅱ级（中度风险），需持续监测。该评价过程严格依据《建筑施工安全检查标准》（JGJ59-2011），确保风险辨识的科学性与准确性。

表 2 施工安全风险分析判别表

序号	风险项目	风险描述	风险可能性	风险等级
1	物体打击	高空作业材料坠落、吊装构件碰撞	中度	Ⅱ级
2	高处坠落	人员从支架、塔吊等高处跌落	高度	Ⅲ级
3	起重伤害	塔吊、汽车吊机械故障或违章操作	高度	Ⅲ级
4	坍塌	模板支架、临时固结结构失稳	高度	Ⅲ级
5	触电	临电线路漏电、违规接线	高度	Ⅲ级
6	钢筋骨架倾覆	钢筋安装不规范导致骨架失稳	中度	Ⅱ级
7	高处作业风险	爬梯未固结、临边防护缺失	高度	Ⅲ级
8	特种设备	无资质安拆或设备未验收	高度	Ⅲ级
9	爆模	模板加固不足导致混凝土浇筑时爆裂	中度	Ⅱ级
10	预应力伤害	张拉时锚具失效或操作不当	中度	Ⅱ级
11	水上作业	人员落水、船舶碰撞钢管柱	中度	Ⅱ级

2.2 风险成因解析

2.2.1 高空作业风险

在本研究项目 0#梁段的施工过程中，考虑到施工高度达到 8 米，作业平台面积较大，工作人员需频繁在支架与模板之间移动。若安全梯笼与墩身的附着强度不足（如 71#墩爬锥预埋位置出现偏差），以及临边防护栏杆的高度未达到 1.2 米的安全标准，将显著增加坠落事故的风险。此外，若在高空进行物料传递（如钢筋、模板配件）时未采用专用吊具，由于绑扎不牢固，可能导致物体打击事故的发生。

进一步地，若现场照明条件不佳，特别是在夜间或恶劣天气条件下，工作人员的视线受限，不仅会增加操作失误的可能性，还会使得高空作业环境更加危险。加之，若作业人员的安全带佩戴不规范，或安全绳固定点选择不当，一旦发生意外，将无法有效防止坠落，从而加剧了高空作业的风险。因此，针对高空作业风险，必须采取严格的安全管理措施，确保施工工人

员的生命安全。

2.2.2 特种设备管理漏洞

在建筑施工中，采用 7527 型塔吊和 25t/50t 汽车吊作为主要的垂直运输设备，其安装与操作的安全性至关重要。若安装单位缺乏相应资质，附属件焊接质量不达标，或操作人员未能严格遵守“十不吊”原则（例如超载吊装 0#块钢筋骨架），均可能引发起重伤害事故。以 71#墩钢管柱安装为例，若 50t 汽车吊在栈桥上作业前未进行地基承载力检测，可能导致设备倾覆风险^[2]。

此外，塔吊与汽车吊的维护保养不足，如未定期执行安全检查、关键部件磨损未及时更换，亦会提升设备故障的风险。尤其在恶劣天气条件下（如强风、暴雨），若未采取相应的防风措施，可能导致设备失控，对施工现场及周边环境构成严重威胁。同时，特种设备操作人员若未经专业培训或未持有相应操作证书，缺乏必要的操作技能和安全意识，亦将显著增加事

故发生的概率。

2.2.3 施工工艺执行偏差

在0#块施工过程中，支架的搭设是至关重要的环节。若70#墩盘扣支架的立杆间距超过设计计算值，或71#墩钢管柱与工字钢连接焊缝的高度不满足设计要求，可能会导致支架整体稳定性丧失。预应力张拉过程中，若未遵循“对称张拉、分级加载”的操作原则，或千斤顶与锚具轴线的偏差超过规范值，可能会导致钢绞线断裂，进而造成人身伤害。

此外，模板安装的精度若未能达到标准，例如模板间拼接缝隙过大、固定不牢固，可能会导致混凝土浇筑过程中出现漏浆现象，从而影响结构的外观质量和耐久性。在混凝土浇筑过程中，若振捣不均匀，容易产生空洞、蜂窝等质量缺陷，进而降低结构的强度。而养护措施若未能得到妥善执行，如洒水养护不及时、覆盖保湿措施不足，可能会引起混凝土早期裂缝，影响结构的安全性。因此，严格控制施工工艺的执行，是确保矮塔斜拉桥0#段施工质量的关键。

2.2.4 环境因素叠加影响

在雨季，支架基础由于雨水的浸泡容易发生沉降现象（例如70#墩地基换填不彻底），在高温季节，混凝土坍落度的快速损失可能加剧爆模的风险。环境因素与施工工艺风险的相互叠加，显著提高了事故发生的概率。

进一步地，在寒冷季节，气温的急剧下降可能导致混凝土浇筑后内部应力的增加，从而增加结构开裂的风险。同时，湿度的变化也可能对钢结构焊接质量产生影响，导致焊缝强度不足。这些环境因素不仅单独作用，而且通常与施工工艺风险相互交织，使得矮塔斜拉桥0#段的施工过程充满不确定性。因此，在施工前，必须全面考虑各种环境因素，并制定相应的防控措施，以降低其对施工安全的潜在影响。

3. 四维安全防控体系构建与实施

3.1 组织保障：多层次协同管理架构

构建“决策-执行-监督”三级管理体系，成立由项目经理任组长的安全管理领导小组，统筹安全管理决策，每周组织关键工序安全巡检。副经理负责物资设备协调，总工程师牵头编制专项施工方案，安全总监每日巡查高危作业点，形成权责明晰的管理链条。设立应急指挥部，下设抢险救援、医疗救护、后勤保障等6个专项小组，制定《高空坠落应急救援预案》《脚手架坍塌应急预案》等专项方案，与澄海人民医院签订急救协议，确保15分钟内应急响应。

3.2 制度保障：全流程标准化管理

构建全面管理制度体系，涵盖特种设备使用规范、高处作业安全准则、起重伤害预防措施、坍塌事故控制策略、高处坠落防护方案以及触电事故避免方法。这些制度应详细阐述操作流程、安全标准和应急预案，以确保在各种潜在危险情况下的人员安全。其次，必须制定切实可行的管理流程，这些流程应全面覆盖从日常检查、维护保养到紧急情况下的快速响应等各个环节，确保每一个环节都有明确的指导和操作规范。

建立三级安全技术交底制度，施工前由技术负责人向项目部、作业队、班组逐级交底，对支架搭设参数、预应力张拉顺序等关键控制要点进行专项交底，交底记录存档备查。实行“日

巡-周检-月评”隐患排查治理制度，安全员每日记录隐患，项目经理每周组织整改，确保隐患整改闭环率100%。明确事故报告流程，现场人员发现险情5分钟内报告作业队长，15分钟内上报应急指挥部，30分钟内启动应急预案；每季度组织应急演练，提升救援协同效率^[2]。

为确保各项管理制度和流程得到有效执行，完善相应的奖惩机制。通过激励和约束机制，提高员工的安全意识和执行力。奖惩机制应公平、透明，既要对那些遵守安全规定、积极参与安全管理的个人或团队给予奖励，也要对那些违反安全规定的行为进行必要的惩罚。通过这种方式，可以强化安全文化的建设，确保每一位员工都能在安全的环境中工作。

3.3 技术保障：工艺优化与智能防控

必须强化技术保障措施，结合现场实际情况及施工风险辨识结果，制定切实可行的技术保障方案。对于高风险类型，应逐一制定相应的安全措施。例如：在支架工程方面，70#墩采用盘扣支架，立杆间距60×60cm，底部设30cm厚C20混凝土垫层，通过轻型触探试验确保地基承载力 $\geq 200\text{kPa}$ ；支架搭设后进行1.2倍荷载预压，监测沉降量，72h沉降差 $\leq 5\text{mm}$ 时停止预压。71#墩钢管柱分两节吊装，预埋段与承台通过“U”型 $\Phi 32$ 钢筋临时固定，对接焊缝高度20mm，控制垂直度偏差 $\leq 5\text{cm}$ 。预应力施工采用智能张拉系统，张拉前对千斤顶-压力表配套标定，有效期6个月，严格控制张拉力与伸长值误差在 $\pm 6\%$ 以内；遵循“先腹板后顶板、左右对称”原则，采用真空辅助压浆工艺，确保孔道密实。模板工程采用定制钢模与钢管支架结合，严格控制模板平整度（ $\leq 3\text{mm}$ ）和接缝错台（ $\leq 2\text{mm}$ ）。在智能防控方面，引入BIM+GIS技术构建施工安全管理平台，集成无人机巡检、应力传感器数据，实现风险动态预警。在高空作业区域部署智能监控摄像头，实时监测人员行为，未佩戴安全带、违规操作等行为自动报警^[3]；在塔吊、支架等关键部位安装应力传感器，实时采集结构应力数据，当应力值接近阈值时，系统自动预警并推送处理方案，提升风险防控的及时性与准确性。

施工前，应进行详尽的风险评估和安全交底，确保施工人员充分了解潜在风险及应对措施。施工过程中，应设立专职安全监督岗位，对作业现场进行实时监控，及时发现并纠正不安全行为。同时，应定期开展安全培训，提升施工人员安全意识和自我保护能力。此外，对于施工设备和材料管理，应制定严格管理制度，确保设备正常运行和材料合理使用，预防因设备故障或材料问题引发的安全事故。通过这些综合措施，可以构建一个多层次、全方位的安全防护体系。

3.4 合理资源保障，强化人、物、设备协同

为确保施工安全与效率，总承包管理单位、联合体成员单位及分包单位必须配备充足的安全管理人员，这些人员应具备专业的安全知识与技能。同时，配强专业技术人员与熟练操作工，确保施工过程中技术精确性与操作规范性。关键设备与高性能材料的充分供应是保障施工顺利进行的基础，确保各施工环节的无缝衔接，避免因设备或材料问题导致的施工延误。其次，构建高效的协同机制至关重要，该机制需促进人员、物资、设备间信息的共享与实时联动，从而提升整体作业的效率与安