

基于施工全过程管理的六边形索塔保护层合格率保障策略

冯杰

(四川路桥桥梁工程有限责任公司, 四川 成都 610000)

摘要 为解决六边形索塔因异形截面和复杂施工工况导致的保护层合格率偏低问题, 本文以施工全过程管理为核心框架, 从“事前预防—事中控住—事后改进”三个阶段构建核心逻辑, 以及从设计优化、材料管控、工艺创新、闭环改进等多个维度构建保障体系。根据某高速公路桥梁项目对六边形型索塔施工过程中保护层合格率保障策略的思路、具体方法展开研究, 并提出相应管理措施, 以期为相关人员提供借鉴。

关键词 施工全过程管理; 保护层合格率; 异形界面

中图分类号: TU71

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.36.034

0 引言

随着大跨度桥梁向“更高、更大、更异形”方向发展, 六边形索塔因兼具结构稳定性与景观协调性, 成为现代斜拉桥、悬索桥的核心承重构件。作为索塔耐久性的关键屏障, 钢筋保护层厚度直接决定了结构抗碳化、抗腐蚀能力。然而, 六边形索塔的多面倾斜截面“变坡转折节点”及高空作业环境, 导致钢筋定位精度控制难度陡增传统施工中常出现保护层过薄、局部露筋等问题^[1]。本文根据当前行业对索塔保护层质量的管控多聚焦施工环节的单点技术优化, 并以施工全过程管理理论为支撑, 打破“事后整改”的被动模式, 构建“事前预控—事中管控—事后优化”的策略框架, 旨在为同类异形高耸结构的质量管控提供可参考的实践路径。

1 基于施工全过程管理的六边形索塔保护层合格率影响因素

六边形索塔保护层存在厚度偏差并非单一环节问题, 而是从“设计—施工—管理—环境”多方面因素作业导致的结果, 各维度核心风险点直接决定了保护层合格率, 具体有以下四个方面。

1.1 设计与技术准备因素

(1) 截面与节点设计可能存在缺陷: 六边形多面倾斜的异形截面、变坡转折处钢筋密集, 若设计时未进行验算钢筋排布的间距, 会导致局部钢筋“挤靠”模板, 造成保护层厚度不足。(2) 技术方案针对性不足: 未制定六边形索塔专属的定位筋方案, 仅沿用常规矩形索塔工艺; 或未明确垫块的抗压强度、定位骨架的刚度参数, 导致施工缺乏精准的技术参数支持。

1.2 施工过程操作因素

(1) 钢筋定位失准: 在高空吊装钢筋骨架时, 受风力、吊机晃动影响易产生位移; 若未采用与六边形截面匹配的专用定位骨架, 或只是采用临时固定措施强度不足, 会导致钢筋在浇筑前发生偏移。模板平面位置误差偏大或施工人员私自在浇筑混凝土前多模版进行调整导致平面位置不正确, 支撑模板体系材料的刚度不足会引发模板变形, 如未针对六边形进行“逐面校准”, 导致模板与钢筋间距偏差超规范。(2) 混凝土浇筑工艺不当: 在浇筑布料混凝土时未分层对称浇筑, 导致局部混凝土挤压压力大于骨架及定位筋强度, 进而导致钢筋进行位移; 在振捣时振捣棒触碰钢筋, 并引发钢筋移位, 最终形成保护层厚薄不均。

1.3 管理与监督因素

(1) 人员能力不匹配: 作业人员多有常规索塔施工经验或无索塔施工经验, 对六边形截面的“变坡处定位”“多面协同操作”等难点认识不足, 导致操作规范性欠缺。(2) 过程监测滞后: 未采用智能钢筋扫描仪(可实时检测保护层厚度)进行隐蔽验收, 仅依赖人工“目视+尺量”进行检查, 难以发现模板内侧、变坡节点等隐蔽部位的偏差, 对现场骨架及定位筋位置偏差未检查, 部分定位钢间距大, 及定位筋露出长度不均匀, 导致钢筋抵抗混凝土挤压压力不一致, 最终形成保护层厚薄不均。

1.4 环境与客观因素

(1) 恶劣天气干扰: 高空作业时遇5级以上大风, 会导致钢筋骨架吊装定位精度下降; 降雨会使垫块受潮软化, 在混凝土浇筑压力下被压碎, 失去支撑作用,

最终导致保护层变薄。（2）材料质量波动：垫块未选用高强水泥砂浆垫块，在浇筑过程中易破碎；钢筋原材存在弯曲变形安装后无法保证与模板的平行间距，间接导致保护层厚度偏差。

2 基于施工全过程管理的六边形索塔保护层合格率保障原则

1. 重视混凝土浇筑前对钢筋模板的验收与检查。
2. 建立钢筋安装与浇筑混凝土施工人员台账，以便后续追溯相关人员责任。
3. 加强钢筋安装过程中监督以及对定位点复核，并对骨架及定位筋平面位置进行检查，安装定位筋时长度需统一，以及定位筋间距是否满足要求，并对每个点位与骨架焊接做加强处理。
4. 安装前对材料检查是否存在弯曲、材料质量是否合格，以及安装间距、平面位置是否按照图纸进行施工，对每一层钢筋间距进行检查，每完成一层检查一层，做到“分层分段”验收。

3 基于施工全过程管理的六边形索塔保护层合格率保障思路

3.1 项目概括

某高速公路特大桥全桥 2 083.02 m，双塔双索面叠合梁斜拉桥。主桥长 600 m，跨径布置为 52+88+320+88+52 m，桥塔采用三角型桥塔，包括塔柱、上下横梁以及桥塔附属构造，采用 C50 海工耐久性混凝土。索塔采用箱形单箱单室断面，横桥向宽度均为等宽的 4.5 m，顺桥向宽度：上中塔柱宽度为 6 m，下塔柱有 6 m 直线变化至塔底的 9 m。上塔柱横桥向壁厚为 0.8 m，顺桥向壁厚为 1.00 m；下塔柱外侧断面横桥向壁厚为 1 m，顺桥向壁厚为 1.2 m。塔柱外侧设 1×0.5 m 的倒角，塔柱为正六面形，索塔总高 102.4 m；左右塔柱净距 34.5 m，中心间距 39 m。上、下横梁均采用变截面箱形断面，为预应力混凝土结构。与普通桥梁相比，项目桥梁墩柱钢筋结构设计较为复杂，主墩外型施工难度大、混凝土侧向挤压力较强，项目方从人员技术培训、现场监管、施工人员登记措施等方面制定详细的保障方案。

3.2 六边型索塔保护层合格率保障方案

项目针对六边形索塔“棱角多、截面异形”的保护层控制难点，构建三阶段保障体系。事前准备聚焦源头防控：编制专项方案，明确棱角处保护层、垫块或定位筋间距的标准；组建专班并开展实操培训，考核合格上岗。事中管控强化动态纠偏：钢筋绑扎后用保护层测定仪梅花形检测，偏差超 ± 5 mm 立即整改；模板采用定制钢模，全站仪复核垂直度；浇筑时分层

振捣旁站监控垫块或定位筋位移。事后改进推动持续优化：统计各区域合格率，分析棱角处不合格成因；追溯责任并制定整改方案，每月复盘高频问题，更新管控清单，确保合格率稳定达标^[2]。

3.3 六边型索塔保护层合格率保障措施

六边形索塔因“棱角多、截面异形、受力复杂”，其钢筋保护层厚度控制是施工质量关键难点。为确保保护层合格率稳定达标，需依托施工全过程管理，从事前预防、事中管控、事后改进三个维度，构建全要素、全环节、全责任的保障措施体系，精准破解各阶段质量风险。

3.3.1 事前预防：锚定源头风险，筑牢质量基础

事前预防是保障保护层合格率的核心前提，需围绕“技术、资源、责任”三大核心，提前规避异形结构施工的潜在隐患，从源头降低质量偏差概率。

1. 技术专项策划：定制化破解异形难题。针对六边形索塔不同高度、不同截面的尺寸变化，编制《保护层施工专项技术方案》，明确差异化管控标准：棱角处因模板挤压风险高，保护层厚度需严格按设计要求控制，垫块或定位筋布置间距加密；平面区域垫块或定位筋间距不过大，避免因间距过大导致钢筋下沉。同时，可以利用 BIM 技术绘制钢筋与保护层定位三维模型，标注每根主筋的保护层控制节点、定位筋固定位置及模板拼接边界，直观指导现场作业，杜绝“凭经验施工”^[3]。

2. 资源精准配置：严控人料机质量关。（1）人员配置：组建“异形结构施工专班”，筛选具有索塔施工经验的钢筋工、模板工，开展专项培训，培训后通过“理论考核 + 实操模拟”双重验证——实操需完成 1 段 1:1 模拟索塔钢筋绑扎，保护层检测合格率 $\geq 95\%$ 方可上岗，确保人员技能匹配施工需求。（2）材料管控：保护层垫块或定位筋需符合设计条件；钢筋进场时对照设计图纸核查规格、直径，避免因钢筋弯曲导致保护层厚度不均，所有材料需留存检验记录，实现可追溯。（3）设备调试：提前调试激光测距仪（用于钢筋间距复核）、钢筋保护层厚度测定仪（检测深度覆盖索塔保护层范围）、全站仪（用于模板垂直度监控），偏差允许值，调试后通过标准试件校准，确保设备精度满足异形结构检测需求，避免因设备误差导致误判。

3. 责任层层交底：构建全员质量意识。召开专项技术交底会，参会人员包括施工班组、质检员、技术员。明确各岗位责任：钢筋工负责垫块绑扎牢固与钢筋定位准确，质检员负责每道工序的保护层厚度检测，监理负责关键环节的全程监督，技术员负责现场技术指导。交底后签署《质量责任确认书》，将保护层合格率纳入

各岗位绩效考核，明确“不合格工序必须整改，整改不合格不得进入下一道”，从责任层面压实质量管控。

3.3.2 事中管控：聚焦关键工序，实现动态纠偏。

事中管控是保障保护层合格率的关键环节，需针对“钢筋绑扎、模板安装、混凝土浇筑”三大核心工序，实施“实时检测+即时整改”，杜绝质量偏差累积^[4]。

1. 钢筋绑扎环节：精准定位，严控保护层基准。钢筋绑扎是保护层控制的基础，需分“过程监控+验收复核”两步管控：在绑扎过程中，现场技术员随工检查，重点核查六边形棱角处主筋是否偏移因棱角处空间狭窄，易出现钢筋倾斜，绑扎完成后，采用“梅花形布点法”检测保护层厚度，每平方米不少于5个检测点，若发现偏差超过设计值，立即通知钢筋工调整钢筋位置或补加垫块或定位筋，整改后重新检测，直至合格。验收时，需对棱角处、变截面衔接处的保护层厚度进行复核，签署验收意见后方可进入下个环节。

2. 模板安装环节：稳固成型，避免挤压钢筋。模板安装质量直接影响保护层厚度，需从“选型+加固+检测”三方面控制：选用定制化钢模板，根据六边形索塔截面尺寸精准加工，确保模板拼接缝紧密，避免漏浆导致保护层“露筋”；模板内侧粘贴厚海绵条，进一步封堵缝隙。安装后，用全站仪复核模板垂直度和内空尺寸进行复核，检查支撑体系的稳固性，针对六边形棱角处模板受力集中的特点，额外增设斜撑，间距不易过大，防止浇筑时模板变形挤压钢筋；若发现模板偏移，立即调整支撑丝杆，重新复核合格后方可固定。

3. 混凝土浇筑环节：全程旁站，防止保护层位移。在混凝土浇筑过程中，保护层易因振捣、模板变形出现位移，需实施“分层浇筑+旁站监控”：采用分层浇筑工艺，每层厚度≤300 mm，避免因浇筑高度过高导致混凝土挤压力较强；振捣时使用Φ50振捣棒，采用“斜向振捣法”（振捣棒与钢筋呈45°角），距离钢筋≥50 mm，防止直接触碰导致垫块脱落、钢筋偏移。旁站人员全程坚守现场，观察模板有无鼓胀、垫块是否位移，每浇筑1 m混凝土，利用预埋检测点随机抽取3处检测保护层厚度，若发现垫块脱落或钢筋偏移，立即暂停浇筑，通过“补加垫块+调整钢筋位置”进行整改。

3.3.3 事后改进：数据驱动迭代，形成管理闭环

事后改进是持续提升保护层合格率的关键，需通过“数据复盘+责任追溯+体系优化”，将问题转化为改进动力，构建“发现—解决—预防”的良性循环。

1. 验收数据统计分析：精准定位问题根源。每段索塔施工完成后，系统统计保护层合格率（合格点/总检测点×100%），并按“棱角处、平面处、变截面处”分类统计不合格点分布——通常棱角处不合格率

较高，多因模板加固不足或振捣不当；平面处不合格多为垫块固定不牢。同时，记录不合格点的具体偏差值（如+8 mm、-6 mm），结合施工日志分析成因，形成《保护层质量分析报告》，明确“人、机、料、法、环”中的关键影响因素，为后续整改提供数据支撑。

2. 问题整改与责任追溯：压实质量责任。针对不合格点，制定“一问题一方案”的整改措施：如模板加固不足导致的棱角处保护层偏差，需增加斜撑数量并优化支撑间距；垫块固定不牢则调整绑丝长度（从150 mm增至200 mm），确保垫块与钢筋绑扎紧密。整改完成后，由质检员重新检测，直至合格率达标。同时，追溯相关岗位责任：若因钢筋工未按要求固定垫块，对其进行二次专项培训；若因质检员未检出问题，纳入月度绩效考核，通过责任追溯强化全员质量意识。

3. 管理体系迭代优化：持续提升管控能力。每月召开质量复盘会，汇总各段索塔的保护层质量数据，梳理高频问题（如某类垫块易脱落、某班组合格率偏低），将其纳入《管控重点清单》。针对高频问题优化管理措施：如垫块脱落率高，可更换为“带凹槽”的定制垫块，增强与钢筋的贴合度；某班组合格率低，则调整作业流程，增加班组内互检环节。同时，更新专项技术方案和培训内容，将典型不合格案例纳入培训教材，让作业人员直观了解风险点，实现管理体系的动态迭代，确保保护层合格率稳步提升^[5]。

4 结束语

围绕六边形索塔保护层控制难点，以施工全过程管理为核心，构建“事前—事中—事后”三维保障体系。事前通过定制专项方案、严控人料机质量、压实岗位责任，从源头规避风险；事中聚焦钢筋绑扎、模板安装、混凝土浇筑关键工序，以实时检测、即时整改杜绝偏差累积；事后依托数据复盘、责任追溯与体系优化，形成管理闭环。通过该体系有效保障保护层合格率稳定达标，为同类异形结构施工提供可参考的质量管控经验。

参考文献：

- [1] 许云聪.混凝土结构钢筋保护层厚度检测及质量控制措施研究[J].工程技术研究,2024(17):70-72.
- [2] 何克亮.桥梁墩柱钢筋保护层厚度检测及质量控制研究[J].工程技术研究,2023(21):107-109.
- [3] 木玉泉.墩柱钢筋保护层厚度控制[J].科技创新与应用,2020(20):126-127,130.
- [4] 郑克强.混凝土结构中钢筋保护层厚度检测及控制研究[J].工程技术研究,2025(06):154-156.
- [5] 石宏,刘注,樊志程.索塔塔柱钢筋保护层厚度在施工中的控制[J].中国会议,2022(03):226-228.