

# 公共建筑花架梁屋面电动吊篮非常规安装施工技术研究

王朋飞

中国水利水电第十一工程局有限公司 河南郑州 450000

**摘要:** 针对公共建筑花架梁屋面结构复杂、常规电动吊篮安装难以适配的问题, 本文结合实际工程案例, 深入研究花架梁屋面电动吊篮非常规安装施工技术。通过分析花架梁屋面的结构特点与常规安装技术的局限性, 提出基于荷载计算优化、支架异形适配、锚固系统创新的非常规安装方案, 并详细阐述关键施工工序与质量控制要点。该技术可有效解决花架梁屋面吊篮安装难题, 满足公共建筑高空作业的安全与质量要求, 为同类工程提供技术参考。

**关键词:** 公共建筑; 花架梁屋面; 电动吊篮; 非常规安装; 荷载计算; 锚固系统

## 引言

随着现代公共建筑设计的多元化, 花架梁屋面因兼具装饰性与功能性, 被广泛应用于体育馆、展览馆、文化中心等建筑中。此类屋面多采用异形钢结构或钢筋混凝土结构, 存在梁体间距不规则、屋面坡度变化大、空间障碍物多等特点, 导致常规电动吊篮安装技术难以直接应用。电动吊篮作为高空作业的核心设备, 其安装质量直接影响施工安全与效率, 若采用传统安装方式, 易出现支架失稳、荷载超限、适配性差等问题, 甚至引发安全事故<sup>[1]</sup>。目前, 行业内针对平面屋面或规则结构的吊篮安装技术研究较为成熟, 但针对花架梁屋面的非常规安装技术缺乏系统研究与规范指导。因此, 深入探索花架梁屋面电动吊篮非常规安装技术, 解决结构适配、荷载平衡、安全锚固等关键问题, 对保障公共建筑高空施工安全、提升工程质量具有重要现实意义。

## 一、花架梁屋面结构特点与常规安装技术局限性

### (一) 花架梁屋面结构特点

结合实际工程案例, 公共建筑花架梁屋面主要呈现三大结构特征: 一是梁体布置不规则, 为满足建筑造型需求, 花架梁多采用弧形、折线形设计, 梁间距在1.2m ~ 3.5m之间波动, 且存在交叉梁、斜向梁等复杂节点; 二是屋面荷载限制严格, 花架梁多为空腹钢结构或薄壁钢筋混凝土结构, 设计均布活荷载通常不超过2.0kN/m<sup>2</sup>, 对吊篮支架的集中荷载承载能力提出更高要求; 三是空间障碍物密集, 屋面常设置通风口、采光带、消防管道等设施, 障碍物间距最小仅0.8m, 严重限制吊篮安装空间<sup>[2]</sup>。

### (二) 常规安装技术局限性

常规电动吊篮安装采用“屋面预埋锚点+标准支架”模式, 在花架梁屋面应用中存在明显不足: 其一, 支架适配性差, 标准支架长度固定, 无法适配花架梁不规则间距, 强行安装易导致支架悬挑长度超过规范限值, 引发支架倾覆风险; 其二, 荷载传递不合理, 常规安装将吊篮荷载集中传递至屋面局部区域, 当花架梁设计荷载低于3.0kN时, 容易发生梁体变形; 三是锚固可靠性不够, 常规预埋锚点都要穿透屋面防水层, 在花架梁薄壁处很难达到锚固深度要求, 而且容易破坏屋面防水结构, 造成后期渗漏。

## 二、电动吊篮非常规安装关键技术

### (一) 基于有限元分析的荷载精确计算

荷载计算是电动吊篮安装的一项最基础的步骤, 对于花架梁屋面这种荷载限制非常严格且结构较为复杂的场合, 荷载计算精准与否, 将直接影响后续安装方案的安全性及可行性。荷载计算模型构建时, 核心计算工具是midas Gen有限元软件, 它具有很强的结构分析能力, 能够精确地模拟花架梁与吊篮之间的力学耦合关系。建模时, 首先要对花架梁屋面的实际结构参数, 如梁体材质、截面尺寸、节点连接方式等进行全面采集, 并确保模型与实际结构高度一致。然后把吊篮系统的各类荷载转化为节点荷载输入模型, 其中吊篮自重包括平台、钢丝绳、配重等全部重量, 约取1.2kN/m<sup>2</sup>; 施工活荷载按建筑施工高空作业的常规要求, 按2.0kN/m<sup>2</sup>计算, 施工人员、工具设备等重量均匀分布; 风荷载结合工程所在地的气象资料, 取当地基本风压0.55kN/m<sup>2</sup>, 同时引入阵风系数1.4, 以应对瞬时强风对吊篮的影响。

通过该模型可以明确模拟不同安装位置下荷载在花架梁上的分布情况,确定荷载集中区域与薄弱环节,为后续优化提供依据。关键参数优化阶段,在荷载计算模型分析的基础上,对花架梁不同间距场景的参数要有针对性地做出优化方案。模型计算结果在花架梁间距为2.5m时,支架最大集中荷载为4.8kN,该荷载值已接近花架梁局部承载极限,此时需对梁体局部进行加固处理,加固方式可采用在梁体受荷区域增设加强肋或采用高强度钢板包裹的方法来提高梁体局部承载能力<sup>[9]</sup>。当梁间距超过3.0m,支架悬挑长度随之增加,如不采取措施易造成支架稳定性差,因此需增设中间支撑点,悬挑长度严控在1.2m以内。同时,验算支架弯矩值,要求其不大于12kN·m,选用的支架材料是Q235钢,其抗弯强度设计值为215N/mm<sup>2</sup>,通过验算可以保证支架在承受荷载时不会发生弯曲变形或断裂。

荷载验证试验是验证计算模型准确性的重要环节,通过实验室模拟试验能够减少现场施工的风险系数。试验前按工程实际花架梁的结构参数,搭建1:1的花架梁模型,模型材质、截面尺寸、节点构造与实际一致,试验条件与现场工况符合<sup>[4]</sup>。在试验过程中,分级施加与工况一致的模拟荷载,通过传感器实时采集梁体应力、位移等数据,并与荷载计算模型的理论计算值进行对比分析。试验结果表明,计算值与试验值误差≤5%,误差幅度在工程允许范围内,充分说明荷载计算模型的准确性,为以后现场安装施工提供了可靠的数据保障,避免计算偏差造成的安全隐患。

## (二) 异形支架定制与安装

异形支架的定制,必须充分结合花架梁屋面的间距与坡度特点,使得支架的匹配性与承载力良好。在支架结构设计方面,采用可调节式结构形式,以适应不同花架梁间距与角度的需求。支架主要由主承重杆、可调连接杆、防滑支座组成,主承重杆选用Φ89×5无缝钢管,该规格钢管强度与刚度高,能承受吊篮系统传递的竖向荷载;可调连接杆选用Φ60×4钢管,调节范围设定为0.8m~2.2m,通过杆体两端的伸缩接头可调节长度,并可调节不同间距的花架梁;防滑支座用10mm厚钢板加工制作。此外,支架各部件间采用可拆卸式连接,便于现场安装与调整,同时支架整体可做360°角度调节,可与弧形、斜向等各种造型的花架梁完美匹配,解决了常规标准支架不能适配异形结构的缺点。施工应严格按照规范流程运行,确保安装质量和结构安全<sup>[5]</sup>。第一步,为

安装前的准备工作,对花架梁表面进行全面的清理,清除表面的灰尘、杂物、锈蚀等,避免杂质影响支架与梁体的贴合度。同时在支座与梁体接触的部位涂上防腐涂料,防腐涂料要与梁体材质相匹配,能起到良好的附着力,防腐涂料能有效地防止支座与梁体接触部位受到雨水侵蚀或受到湿气的影响而产生锈蚀,延长支架的使用寿命。第二步是支架定位与调整,根据花架梁间距,通过可调连接杆调整支架整体长度,支架两端的防滑支座与梁体表面贴紧,贴合面应无空隙,调整支座位置,支座中心线与梁体中心线偏差≤5mm,使荷载向梁体均匀传导,防止中心线偏移引起梁体局部受力不均。第三步是支架固定,将支架和梁体采用M20高强螺栓进行连接,拧紧螺栓时要控制扭矩值,扭矩值要控制在300N·m,螺栓的间距要≤300mm,通过合理的螺栓布置,使支架与梁体构成一个牢固的连接整体,保证荷载能够均匀传递到梁体中,防止因局部应力集中造成梁体或支架损坏。

支架强度验算是支架安全使用的重要环节,对定制完成的支架要进行强度、稳定性验算。强度验算过程在强度验算过程中,采用结构力学分析方法,计算支架在承受最大荷载时各部件的应力值,验算结果显示,支架最大应力值为185N/mm<sup>2</sup>,而选用的Q235钢抗弯强度设计值为215N/mm<sup>2</sup>,支架最大应力值小于钢材抗弯强度设计值,表明支架具备足够的强度承受荷载,不会发生强度破坏。稳定性验算则对支架的整体及各部件的稳定性进行分析,包括支架在竖向荷载作用下的整体失稳、主承重杆的压杆稳定等,验算得到支架稳定性系数为2.3,规范要求稳定性系数≥1.5,支架稳定性系数满足规范要求,能保证支架在使用过程中不会发生失稳现象,保障吊篮系统的安全运行。

## (三) 创新锚固系统设计

免穿透锚固技术主要针对花架梁薄壁区域及屋面防水保护要求而开发,以“夹箍式锚点”为核心技术的免穿透锚固技术。能够确保锚固在不破坏屋面防水层的情况下实现可靠锚固。夹箍式锚点由上下夹箍与高强螺栓两部分组成,上下夹箍均用16mm厚钢板加工制作,钢板材质采用高强钢材,保证夹箍具有足够的夹持力。高强螺栓采用M24规格、40Cr材质,该种材质螺栓具有较高的抗拉强度与屈服强度,能够抵抗锚固过程中的拉力作用。上下夹箍安装在花架梁翼缘上、下两侧,夹箍必须贴紧翼缘表面,花架梁翼缘厚度≥12mm,以留足夹箍的夹持空间。然后拧紧高强螺栓,利用螺栓预紧力的

夹箍将花架梁翼缘抱紧，锚点固定，整个安装过程不需要穿透屋面，可避免常规预埋锚点穿透屋面防水层造成防水破坏问题。为检验夹箍式锚点的锚固性能，进行了专项试验测试，在测试过程中对锚点施加逐渐增大的拉力，直至锚点出现破坏，试验结果表明单个夹箍式锚点抗拉承载力为15kN，而吊篮工作拉力约为8kN，锚点抗拉承载力远大于工作拉力，能够完全满足吊篮系统的锚固需求。

组合锚固体系，主要是在花架梁交叉节点区，这个区域结构复杂，荷载传递途径多，单一锚固方式难以满足安全要求，采用“夹箍式锚点+预埋式锚点”的组合形式，形成双向受力体系，提高锚固可靠性。预埋式锚点设在梁体实心部位，该部位梁体壁厚 $\geq 200\text{mm}$ ，具有足够厚度达到锚固深度要求，锚固深度设置在200mm，以保证锚点能够钻入梁体内部形成可靠的锚固基础。预埋式锚点采用高强度锚杆，锚杆材质与梁体混凝土的粘结性好，可将荷载传入梁体内。夹箍式锚点设置在预埋式锚点附近，通过夹箍力通过花架梁翼缘的横向锚固力与预埋式锚点的竖向锚固力形成双向受力，共同承担吊篮系统传递的荷载。为验证组合锚固体系的性能，在试验时对组合锚点施加拉力，实时监测锚点受力与位移情况，试验结果表明组合锚固体系的极限承载力达28kN，安全系数为3.5，安全系数远大于规范要求，这充分保障了交叉节点区域锚固的可靠性，为吊篮在该区域的安全使用提供了保障。

#### （四）动态监测与调控

布置监测系统必须覆盖吊篮支架与花架梁的关键节点，从而全面、实时掌握结构受力与变形情况。监测系统主要由各类传感器、数据采集设备、无线传输模块及监控平台组成，其中传感器包括应变传感器、位移传感器、拉力传感器三类。应变传感器用于测量支架与花架梁关键部位的应力变化，其测量范围取值为 $-200\mu\epsilon - 200\mu\epsilon$ ，可以很好地捕捉结构在荷载作用下的细微应力变化；位移传感器用于测量梁体的位移，测量精度为0.01mm，可以实时的了解梁体是否有超出允许范围的变形；拉力传感器用于监测钢丝绳的拉力变化，测量范围取值为0-20kN，以确保钢丝绳的拉力在安全范围内，避免钢丝绳拉力过大传感器安装位置要精心选择，主要布置在支架主承重杆中部、花架梁跨中及支座处、钢丝绳与支架连接节点处等重要部位，使监测数据能够反映结

构的核心受力状态。

调控措施要在监测系统采集的基础上，根据不同的异常情况，制定出相应的处理方案，保证结构始终处于安全的状态。当监测系统显示支架应力超过 $180\text{N}/\text{mm}^2$ 预警值时，应立即停止现场作业，组织技术人员对异常原因进行分析。常见的应力超标原因有荷载分布不均、支架安装偏差、梁体局部承载能力不足等，针对不同的原因采取不同的措施：若荷载分布不均，通过调整施工人员与设备的位置，使荷载均匀分布；若支架安装偏差，需重新调整支架的位置与固定方式；若梁体局部承载能力不足，需通过增加配重的方式降低支架应力，经验表明，配重每增加100kg，应力可降低约 $15\text{N}/\text{mm}^2$ ，通过逐步调整配重，将支架如果梁体位移在5mm以上，说明梁体有超常的变形，要及时检查锚固系统，检查锚点是否松动、滑移，梁体是否存在裂缝等损伤。

#### 结论

本文通过对公共建筑花架梁屋面电动吊篮非常规安装施工技术的研究发现，由于花架梁屋面结构不规则，荷载限制严格，空间障碍密集等特点，使常规电动吊篮安装技术在实际应用中存在适配性差，荷载传递不合理，锚固不可靠等问题。而基于有限元分析的荷载精准计算、定制化异形支架、创新型锚固系统及动态监测调控构成的非常规安装技术，能够针对性解决这些难题，有效保障花架梁屋面电动吊篮安装的安全性及高效性，为同类公共建筑复杂屋面高空作业提供了可靠的技术参考。

#### 参考文献

- [1]黄毅波.异形建筑工程中的外幕墙吊篮施工技术[J].石材, 2025, (10): 113-115.
- [2]杜海荣, 宫体斌, 王迪迪, 李诚, 常伟平.异形建筑外幕墙外伸吊篮施工技术[J].山西建筑, 2025, 51(18): 77-82.
- [3]谢清文, 杨黎峰.垃圾焚烧发电厂非常规标准电动吊篮安装设计[J].科学技术创新, 2024, (05): 122-125.
- [4]于海洋, 李治强.屋面及外立面异形条件下吊篮非常规安装方法探析[J].重庆建筑, 2024, 23(02): 69-71+77.
- [5]吴刚, 吕国玉.后支架抱箍梁式非常规吊篮安装的结构与验算[J].建筑技术, 2023, 54(04): 419-422.