

DOI: 10.7672/sgjs2025210104

多维动态荷载分散型吊篮安装技术 在坡屋面施工中的应用*

吴柏松^{1,2}, 周建峰^{1,2}, 张述^{1,2}, 任吉卫^{1,2}, 郭嘉寅^{1,2}

(1. 中国建筑第六工程局有限公司, 天津 300171; 2. 中建六局第六建设有限公司, 江苏 苏州 215000)

[摘要] 采用传统吊篮安装技术进行坡屋面高空作业时,常面临荷载分布失衡、作业稳定性不足等难题。为此,研发多维动态荷载分散型吊篮安装技术,采用荷载分散机制形成多维空间锚固体系,并采取双重防护措施保障锚固体系可靠性,减轻了单个悬挂点受力负担,提高了吊篮整体稳定性和安全性。采用智能调控系统进行动态适配调节,可实现角度精密调节、张力动态平衡、荷载快速响应、安全冗余设计。采用软连接件与钢丝绳橡胶软管组合的柔性缓冲结构实现多级减振,达到良好的减振效果。采用标准化构件形成高效装配体系,实现了“一栓式”组装,降低了人工成本,提高了施工效率。

[关键词] 屋面;吊篮;荷载分散;安装;锚固;模块化;安全

[中图分类号] TU74

[文献标识码] A

[文章编号] 2097-0897(2025)21-0104-05

Application of Multi-dimensional Dynamic Load Dispersion Hanging Basket Installation Technology in Slope Roof Construction

WU Baisong^{1,2}, ZHOU Jianfeng^{1,2}, ZHANG Shu^{1,2}, REN Jiwei^{1,2}, GUO Jiayin^{1,2}

(1. China Construction Sixth Engineering Bureau Co., Ltd., Tianjin 300171, China; 2. China Construction Sixth Bureau Sixth Construction Co., Ltd., Suzhou, Jiangsu 215000, China)

Abstract: When using the traditional hanging basket installation technology to carry out the high-altitude operation of the slope roof, it is often faced with problems such as unbalanced load distribution and insufficient operation stability. Therefore, the installation technology of multi-dimensional dynamic load dispersion hanging basket is developed. The load dispersion mechanism is used to form a multi-dimensional space anchorage system, and double protective measures are taken to ensure the reliability of the anchorage system. This reduces the stress burden of a single suspension point and improves the overall stability and safety of the hanging basket. The intelligent control system is used for dynamic adaptive adjustment, which can realize angle precision adjustment, tension dynamic balance, load fast response and safety redundancy design. The flexible buffer structure combined with soft connector and wire rope rubber hose is used to realize multi-stage shock absorption and achieve good shock absorption effect. The standardized components are used to form an efficient assembly system, which realizes one-bolt assembly, reduces labor costs and improves construction efficiency.

Keywords: roof; hanging basket; load dispersion; installation; anchorage; modularization; safety

0 引言

现代建筑设计风格愈发多样,坡屋面因兼具美观与实用价值,不仅提升了建筑视觉效果,还在排水、隔热等方面发挥着关键作用。然而,采用传统

吊篮技术施工坡屋面复杂的空间结构时,暴露出诸多问题,如荷载集中现象较突出,导致吊篮固定点承受过大压力,易引发结构变形甚至损坏;固定点对不同坡度和形状的坡屋面适应性差;安全储备不足,增加了施工安全隐患点,进而造成施工效率低下、结构稳定性难以保证,严重时可能引发安全事故。

* 济宁市创新型课题,坡屋面支架软连接拉结式电动吊篮安装方法创新(FJ/QC2023-0801)

[作者简介] 吴柏松,工程师,E-mail:18602487748@163.com

[收稿日期] 2025-04-12

针对上述问题,本文提出多维动态荷载分散型吊篮安装技术。该技术将空间多点拉结体系与动态适配调节机制相结合,实现荷载的智能分散与多维协同受力,旨在解决坡屋面施工中“稳不住、调不准、拆不快”的难题。该技术已在多个项目中得到应用,其采用的软连接设计与标准化模块应用为高空作业装备智能化升级提供了参考,借助多维动态荷载管理理念,不仅实现了复杂造型建筑高品质建造,形成可推广的技术模式,还提高了施工安全性,提高了施工效率,降低了垂直运输成本。

1 关键技术与功能特点

1.1 多维空间锚固体系

本技术采用荷载分散机制形成多维空间锚固体系,即采用非对称多点拉结布局,在单侧设置工作钢丝绳和安全钢丝绳各1根。这种独特的布局方式结合 BIM 模型优化悬挂点定位,能够控制定位偏差 $\leq 5\text{mm}$ 。通过这种方式,形成了空间网状荷载传递路径,使荷载分散率 $\geq 85\%$ 。这种高效的荷载分散机制减轻了单个悬挂点受力负担,提高了吊篮整体稳定性和安全性。

为进一步保障锚固体系的可靠性,采取双重防护措施。一是钢丝绳穿特定规格橡胶软管,该软管耐压性能良好,可缓冲钢丝绳与其他部件的摩擦,减少磨损,延长使用寿命;二是在关键节点采用双道绳卡固定,严格控制扭矩,提升锚固可靠性,防止吊篮运行过程中出现松动或脱落。

1.2 动态适配调节技术

采用智能调控系统进行动态适配调节,可实现角度精密调节、张力动态平衡、荷载快速响应、安全冗余设计。其中,自适应调控装置融合双轴倾角感知模块(量程 $\pm 90^\circ$)与液压伺服执行机构,通过闭环控制算法实现调控功能。该系统可保证拉结角度实时纠偏精度达 $\pm 0.5^\circ$,基于模糊 PID 控制策略保证张力波动幅度 $\leq 3\%$,控制荷载突变至恢复平衡耗时 $(2.8 \pm 0.2)\text{s}$ 。

为实现安全冗余设计,配重系统采用模块化配重单元(基础单元重 25kg)与抗风揭增强设计,40个独立配重块组合,支管设计高度超配重块 50mm (以形成杠杆抗倾覆力矩),通过有限元分析确定最优堆叠方式。这种设计确保了吊篮抗风揭能力 ≥ 12 级,倾覆系数 ≥ 3 ,符合 GB/T 19155—2017《高处作业吊篮》要求,即使在恶劣的天气条件下,也能有效防止吊篮发生倾覆事故,保障施工人员安全。

1.3 软连接柔性缓冲结构

采用软连接件与钢丝绳橡胶软管组合的柔性

缓冲结构实现多级减振,减振效果较好,符合相关规范要求。同时,闭环防护采用特定规格橡胶软管和卡扣,控制界面接触压力,能够有效吸收吊篮运行中的振动和冲击力,减小对结构的损伤,提升施工舒适性和安全性(见图1)。

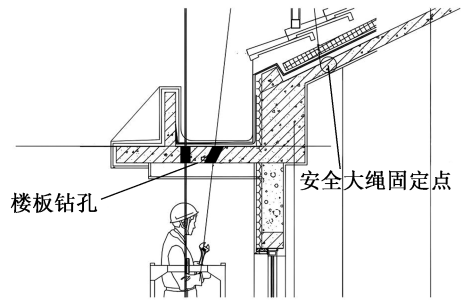


图1 柔性缓冲节点

Fig. 1 Flexible buffer node

1.4 模块化快速拆装工艺

本技术采用标准化构件形成高效装配体系,实现了“一栓式”组装。这种设计简化了安装过程,单点拆卸时间 $\leq 15\text{min}$ 。同时,在安装过程中能够控制垂直度偏差 $\leq 1\text{‰}$,不仅缩短了施工周期,还降低了人工成本,提高了施工效率。

2 技术优势

1) 工效提升

采用本技术单吊篮安装时间为 2.5h ,异形坡屋面调整频次为 $1\text{次}/100\text{m}^2$,而采用传统安装技术单吊篮安装时间为 4.2h ,异形坡屋面调整频次为 $3\text{次}/100\text{m}^2$,可见本技术在单吊篮安装时间和异形坡屋面调整频次方面均具有显著优势,单吊篮安装时间缩短使整体施工进度得到有效提升,屋面调整频次大幅度减少进一步提高了施工效率,避免了因频繁调整造成的时间浪费和成本增加。

2) 质量有效控制

本技术能够有效控制结构最大变形,保证建筑结构稳定性和安全性。对屋面常见的开裂和渗漏问题控制效果较好,大幅度降低了开裂率和渗漏率,提升了屋面防水性和耐久性。

3) 安全性能升级

本技术采用多维锚固和智能预警系统相结合的多重防护体系,实现了“双零”目标,即零倾覆和零坠落。在面对复杂的施工环境和多种不确定因素时,能够有效保障施工人员生命安全和设备安全运行。荷载发生突变时,系统能够迅速做出响应采取相应措施,确保吊篮稳定性和安全性,避免因荷载突变引发的安全事故。

4) 经济效益提升

采用本技术非标构件成本为 80 元/m², 屋面加固费用为 50 元/m², 综合造价为 220 元/m², 而采用传统安装技术非标构件成本为 120 元/m², 屋面加固费用为 80 元/m², 综合造价为 260 元/m², 可见本技术在非标构件成本、屋面加固费用和综合造价上均有明显降低。本技术通过标准化构件应用降低了非标构件成本, 通过合理的荷载分散和结构设计降低了屋面加固费用, 多方面因素共同作用降低了综合造价, 在保证质量和安全的前提下实现了经济效益最大化。

3 施工工艺原理

3.1 基于空间力学原理的吊篮受力体系重构

多维动态荷载分散型吊篮安装技术基于空间力学原理, 对传统吊篮受力体系进行重构。通过非对称多点拉结布局, 将吊篮承受的荷载分散到多个悬挂点上, 形成复杂的空间网状荷载传递路径(见图 2)。每个悬挂点承受的荷载相对均匀, 避免了传统单点或多点固定方式中荷载集中的问题。

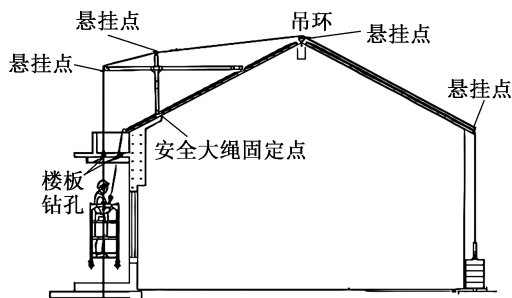


图 2 多维动态荷载分散型吊篮安装示意

Fig. 2 Installation of multi-dimensional dynamic load dispersion hanging basket

BIM 模型在悬挂点定位过程中发挥了重要作用, 通过对建筑结构三维建模和力学分析, 能够精确确定每个悬挂点最佳位置, 确保荷载传递的合理性和高效性。这种基于空间力学的重构设计理念, 使吊篮在复杂的坡屋面环境下能够保持稳定受力状态, 提高了结构安全性和可靠性。

3.2 智能调控原理

智能调控系统是本技术的核心部分, 基于先进的传感器技术和液压控制技术实现智能调控。倾角传感器实时监测吊篮倾斜角度, 当角度变化时, 信号迅速传输给液压微调装置, 根据信号精确调整拉结角度和张力, 确保吊篮始终处于平衡。

荷载平衡响应机制是智能调控的关键, 当屋面曲率变化或荷载分布不均时, 系统能够快速响应, 自动调整各悬挂点受力, 使荷载重新达到平衡, 不

仅提高了施工效率和质量, 还增强了施工安全性, 减少了人为因素或环境变化导致的安全事故。

4 施工工艺及操作要点

4.1 施工工艺

施工工艺流程: 软连接钢丝绳安装、调试→悬吊平台安装、调试→提升机、安全锁、电气箱安装→穿绳检查→重锤安装→安全绳安装→钢丝绳固定检查→配重块安装→试验检查。

施工前详细勘察施工现场, 了解屋面坡度、形状、结构等信息, 根据施工图纸和现场情况准备材料和设备, 确保其质量和性能达标。对施工人员进行技术交底和安全培训, 使其熟悉施工工艺和安全生产注意事项。

按设计要求组装吊篮, 首先安装支架和悬挂机构并确保牢固; 然后铺设和固定钢丝绳, 注意穿管和绳卡安装质量; 最后安装吊篮平台并调试, 检查各项性能指标是否满足要求。

吊篮安装完成后进行荷载调试, 通过加载不同质量的物体, 模拟实际施工中的荷载情况, 检查吊篮受力状态和智能调控系统运行情况。根据调试结果, 对悬挂点位置和张力进行调整, 确保荷载分散均匀及吊篮运行稳定。

荷载调试合格后开始正式施工, 操作人员严格按照规程操作, 关注吊篮运行状态和智能调控系统提示信息, 定期检查和维护吊篮, 保证其安全可靠。

施工完成后按照规定程序拆除吊篮, 先移除平台上的物品, 再逐步拆除钢丝绳、悬挂机构和支架等部件, 拆除过程中注意保护设备和材料。

4.2 操作要点

1) 悬挂点定位与安装

在悬挂点定位过程中, 严格按照 BIM 模型确定的位置进行施工, 控制定位偏差 $\leq 5\text{mm}$ 。安装悬挂机构时, 确保其水平度和垂直度符合要求, 螺栓拧紧力矩达到规定值。

2) 钢丝绳安装与固定

钢丝绳铺设顺畅, 避免出现扭曲和打结现象。穿管时确保橡胶软管安装质量, 防止其脱落。绳卡安装时按照规定的数量和扭矩进行操作, 双道固定须牢固可靠。

3) 智能调控系统调试

智能调控系统调试时校准倾角传感器和液压微调装置, 确保测量和控制精度。设置荷载平衡响应参数, 进行多次模拟测试, 检查系统响应速度和调节效果。

4) 施工过程中的监测与维护

施工过程中安排专人对吊篮进行监测,包括悬挂点受力情况、钢丝绳磨损情况、智能调控系统运行情况等。定期对吊篮进行维护保养,如清洁、润滑、紧固螺栓等,及时发现和处理潜在的安全隐患。

5 施工材料与设备要求

5.1 材料要求

1) 钢丝绳

选用高强度、耐腐蚀的钢丝绳,其规格和性能符合相关规范要求。钢丝绳直径、破断拉力等参数根据吊篮设计荷载和使用环境进行合理选择。

2) 橡胶软管

用于缓冲钢丝绳摩擦的橡胶软管具有良好的耐压性和耐磨性,其内径、壁厚和耐压强度满足设计要求,确保在长期使用过程中不会出现破裂或脱落情况。

3) 绳卡

绳卡材质和规格符合要求,其强度和拧紧力矩能够保证钢丝绳固定牢固。使用过程中定期检查绳卡紧固情况,防止松动。

4) 配重块

配重块采用质量均匀、密度较大的材料制作,其质量和尺寸符合标准化设计要求。配重块表面平整,无裂缝和破损等缺陷。

5.2 设备要求

1) 智能调控系统

集成倾角传感器和液压微调装置的智能调控系统须具备高精度的测量和控制能力,系统响应速度要快,能够实时调整吊篮拉结角度和张力。同时,系统须具备良好的稳定性和可靠性,能够在恶劣的施工环境下正常运行。

2) 激光跟踪仪

采用激光跟踪仪进行实时动态跟踪,激光跟踪仪测量精度高,能够实时监测结构变形情况,测量范围和精度须满足施工要求,为施工质量控制提供准确数据。

6 施工质量控制

6.1 质量控制标准

1) 吊篮安装

吊篮安装指标须满足设计文件和施工验收规范要求,包括支架安装垂直度、钢丝绳张力偏差、吊篮平台水平度等。

2) 荷载分散

各悬挂点荷载实测值与设计值偏差应控制在 $\pm 15\%$ 以内,不平衡系数 ≤ 1.2 。应通过经校准的荷

载传感器进行同步监测,确保受力均匀,杜绝荷载集中。

3) 结构变形

控制结构最大变形 $\leq 2\text{mm}$,采用激光跟踪仪等高精度设备进行实时监测。施工过程中如发现变形超过要求,及时采取措施进行调整和处理。

6.2 质量控制措施

1) 施工过程控制

加强施工过程中的质量检查,建立严格的质量检验制度。每道工序完成后均须进行质量验收,合格后方可进行下道工序。对于关键工序和隐蔽工程,须进行重点监控,确保施工质量符合要求。

2) 材料和设备控制

对进入施工现场的材料和设备进行严格的质量检验,确保其质量和性能符合要求。材料须有质量合格证明文件,设备须进行调试和试运行,检查其运行情况是否正常。

3) 人员培训与管理

加强对施工人员的技术培训和质量意识教育,提高其操作技能和质量意识。施工人员熟悉施工工艺和质量标准,严格按照操作规程进行施工。同时,建立质量奖惩制度,对质量工作表现突出的人员进行奖励,对违反质量规定的人员进行处罚。

7 施工安全控制

7.1 安全风险分析

1) 高处坠落风险

吊篮作业属于高处作业,施工人员若未正确佩戴安全带或吊篮发生故障,易发生高处坠落事故。

2) 吊篮倾覆风险

在强风、暴雨等恶劣天气或吊篮锚固系统出现问题时,吊篮可能发生倾覆,造成人员伤亡和设备损坏。

3) 荷载突变风险

施工过程中如遇到突发情况导致荷载突然变化,而智能调控系统未能及时做出响应,可能会引发安全事故。

7.2 安全保障措施

1) 个人防护措施

施工人员须正确佩戴安全带,确保安全带固定点牢固。在吊篮平台设置防护栏杆,防止人员意外坠落。为施工人员配备安全帽、防滑鞋等必要的安全防护用品。

2) 锚固系统安全措施

加强对锚固系统的检查和维护,定期检查悬挂点受力情况和钢丝绳磨损情况。在恶劣天气条件

下,如强风、暴雨等,须停止吊篮作业,并对吊篮进行加固。

3) 智能预警措施

完善智能预警系统,当出现荷载突变、倾角过大等异常情况时,系统可根据预设的三级(提醒级、警示级、危险级)预警机制发出声光报警,并视情况采取自动限速、锁定动作或紧急制动等措施,同时将报警信息推送至相关人员,启动应急响应程序,从而实现了对安全风险的实时感知、超前预警与快速处置。

8 结语

当代建筑设计日益多元,坡屋面凭借其独特造型与实用功能,在公共建筑、商业综合体及高端住宅中应用广泛。为克服传统安装技术存在的问题,本研究研发适用于坡屋面施工的多维动态荷载分散型吊篮安装技术,通过多维锚固与智能预警系统相结合,实现了零倾覆和零坠落,能够应对恶劣天气,在荷载突变时可迅速响应,大幅度提高了高空作业安全水平。采用标准化构件形成高效装配体系,实现了“一栓式”组装,提高了施工效率。该技术能够有效控制结构最大变形,对屋面常见的开裂和渗漏问题控制效果较好,大幅度降低了开裂率和渗漏率,提升了屋面防水性和耐久性。

参考文献:

[1] 张鹏,钟生平. 坡屋面吊篮无配重安装施工技术[J]. 施工技术(中英文),2025,54(2):103-107.

(上接第96页)

[5] 金文华,黄文明,张正伟,等. 复杂市域环境高架延伸大交通量交通导改研究[J]. 交通世界,2023(S2):1-3.

JIN W H, HUANG W M, ZHANG Z W, et al. Study on traffic guidance and reform of high traffic volume in complex urban environment[J]. TranspoWorld,2023(S2):1-3.

[6] 陈杰,吴裕照. 基于BIM的高速公路改扩建工程交通导改研究[J]. 城市建筑,2023,20(2):150-152.

CHEN J, WU Y Z. Research on traffic diversion and reconstruction of expressway renovation and expansion project based on BIM[J]. Urbanism and architecture,2023,20(2):150-152.

[7] 刘海强,王永胜. BIM技术在交通导改中的应用研究[J]. 市政技术,2020,38(5):40-43,292.

LIU H Q, WANG Y S. Applied research of BIM technology in traffic diversion[J]. Municipal engineering technology, 2020, 38(5):40-43,292.

[8] 陈志,杨艳群,杨秀靖,等. BIM技术在公路改扩建工程交通导改中的应用[J]. 交通工程,2019,19(5):6-10.

CHEN Z, YANG Y Q, YANG X J, et al. Application of BIM technology in traffic guidance and reconstruction of highway reconstruction and expansion project[J]. Journal of transportation

ZHANG P, ZHONG S P. Construction technology of slope roof hanging basket without counterweight installation [J]. Construction technology,2025,54(2):103-107.

[2] 于光卫,李丽丽,李建光,等. BIM在非标准高处作业吊篮外墙施工中的应用[J]. 建筑技术,2024,55(13):1579-1581.

YU G W, LI L L, LI J G, et al. BIM application in exterior wall construction with basket at non-standard height[J]. Architecture technology,2024,55(13):1579-1581.

[3] 李延杰. 无支架吊篮搭设施工要点及其安全控制措施[J]. 四川水泥,2024(7):125-127.

LI Y J. Key points and safety control measures of scaffolding without support hanging basket [J]. Sichuan cement, 2024(7):125-127.

[4] 姚建平. 结构复杂工况下非标吊篮施工安装技术的应用[J]. 上海建设科技,2024(3):51-55.

YAO J P. Application of construction and installation technology of non-standard suspended platform under complex structure conditions[J]. Shanghai construction science & technology, 2024(3):51-55.

[5] 于海祥,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(2):69-71,77.

YU H X, LI Z Q. Analysis on the unconventional installation method of hanging basket under special shape conditions of roof and facade[J]. Chongqing architecture,2024,23(2):69-71,77.

[6] 闫旭,苏渊渊,杨天宇,等. 异型屋面结构吊篮施工技术[J]. 建筑机械化,2022,43(8):20-22.

YAN X, SU Y Y, YANG T Y, et al. Construction technology of basket for special roof structure[J]. Construction mechanization, 2022,43(8):20-22.

engineering,2019,19(5):6-10.

[9] 李俊. 地铁施工围挡设置与交通导改设计研究[J]. 福建建筑,2019(8):130-134.

LI J. Study on enclosure setting and traffic guidance design of metro construction[J]. Fujian architecture & construction, 2019(8):130-134.

[10] 刘明才. 大型枢纽互通跨线施工临时交通导改方案设计[J]. 西部探矿工程,2011,23(1):219-223,226.

LIU M C. Design of temporary traffic diversion scheme for overpass construction of large hub interchange[J]. West-China exploration engineering,2011,23(1):219-223,226.

[11] 马海燕,李莱,赵远. BIM技术在市政工程交通导改中的应用[J]. 市政技术,2018,36(4):43-44,48.

MA H Y, LI M, ZHAO Y. Application of BIM technology in traffic diversion of municipal project [J]. Municipal engineering technology,2018,36(4):43-44,48.

[12] 潘鸿宝,栾福杰,黄诚,等. 城市立交桥拆除改造技术[J]. 施工技术,2011,40(6):21-23.

PAN H B, LUAN F J, HUANG C, et al. Demolition and reconstruction technology of urban overpass [J]. Construction technology,2011,40(6):21-23.