

高处作业吊篮安全状态识别与监控技术研究

王洪兴

青海省建筑建材科学研究院有限责任公司 青海 西宁 810008

摘要: 高处作业吊篮作为高空作业核心设备, 结构复杂且安全风险突出, 易因部件损耗、违规操作等引发安全事故。本文结合吊篮结构特征与安全风险机理, 构建四级安全状态分类体系, 整合视觉识别、传感器检测技术, 提出多源数据融合识别方法, 搭建包含感知、传输、数据、应用四层架构的监控系统, 设计科学的预警阈值与分级响应策略, 实现吊篮安全状态的精准识别、实时监控与快速应急处置, 有效提升高空作业吊篮运行安全性, 为高空作业安全管控提供技术支持。

关键词: 高处作业吊篮; 安全状态识别; 监控系统; 预警机制

引言: 高空作业在建筑、市政等领域应用广泛, 吊篮作为便捷的高空作业设备, 其安全运行直接关系作业人员生命安全。当前, 吊篮多处于复杂高空环境, 受交变载荷、环境侵蚀、人为操作等因素影响, 钢丝绳断裂、安全锁失效、悬挂机构倾覆等安全隐患频发, 现有监控手段存在识别精度低、响应滞后等问题, 无法全面防范安全风险。因此, 开展吊篮安全状态识别与监控技术研究, 破解设备安全管控痛点, 弥补现有技术不足, 对减少高空作业安全事故、保障作业安全具有重要现实意义。

1 吊篮结构特征与安全风险机理

1.1 吊篮典型结构组成

高处作业吊篮属于非标准化起重设备, 由悬挂机构、提升机构、悬吊平台与电气控制系统四大模块协同运作、有机结合。悬挂机构设置于建筑屋面边缘, 由前梁、立柱支架与配重块组合而成, 主要承担整台设备及作业荷载的传递任务^[1]。提升机构安装在悬吊平台两端, 包含安全锁、钢丝绳与提升机三个关键部件, 安全锁在钢丝绳断裂时可自动锁止, 钢丝绳负责平台升降与载荷承载, 提升机提供动力输出。悬吊平台是作业人员的站立区域, 由篮框、安全护栏与底板焊接拼装而成, 护栏高度与底板强度直接影响人员坠落防护效果。电气控制系统集成于电控箱内部, 配备上下限位装置与随行电缆, 限位装置可防止平台超出行程极限, 电缆为各用电部件提供稳定电力供应。各模块之间通过机械连接与电气回路形成完整的功能闭环, 任何一个环节的失效都可能引发连锁反应, 因此充分理解各组成部分的功能定位与相互关系, 是开展安全状态识别研究的基础前提。

1.2 吊篮主要安全风险源

吊篮在高空作业环境中面临多重风险叠加影响。钢

丝绳长期承受交变载荷与锈蚀侵蚀, 断丝与磨损现象逐步累积, 承载能力持续下降, 一旦截面有效面积降至临界值, 就会发生脆性断裂。安全锁作为最后一道机械防护屏障, 锁止机构弹簧疲劳或绳槽磨损都会造成制动力不足, 无法在坠落工况下实现可靠制动。悬挂机构前梁伸出长度超标或配重不足时, 整机重心会发生偏移, 在风荷载作用下极易出现倾覆事故。悬吊平台在偏载或单侧提升机故障时会产生倾斜, 超载运行会进一步加剧结构变形。电气系统因线缆老化、接头松动易引发短路或漏电问题, 作业人员未按规程操作会进一步放大各类风险的发生概率。此外, 高温、暴雨、强风等恶劣天气会加速部件老化失效, 设备日常维护保养不到位、部件更换不及时, 也会使安全风险长期累积, 最终诱发安全事故, 威胁作业人员生命安全。

1.3 吊篮安全状态分类体系

结合设备运行参数与结构完好情况, 可将吊篮安全状态划分为4个等级。正常运行状态下, 各传感器数据维持在设计阈值范围内, 结构件无可见损伤, 设备可正常持续作业。预警状态表现为个别参数逼近报警限值, 比如钢丝绳张力波动幅度增大或提升机温度异常升高, 虽未达到停机条件, 但已呈现明显劣化趋势。危险状态指关键参数突破安全阈值, 安全锁制动力下降或悬挂机构位移超出限制, 设备需立即停止作业并开展检修工作。故障停机状态意味着某一核心部件完全失效, 比如提升机抱死或电控系统断电, 设备丧失作业能力, 需经过专业维修与检测合格后, 方可恢复使用。

2 吊篮安全状态识别技术

2.1 视觉识别技术

视觉识别技术通过高清工业相机与图像处理算法, 对吊篮关键部位实施非接触式检测。钢丝绳表面缺陷图

像采集采用高分辨率镜头捕捉绳体表面断丝、锈蚀与磨损区域,通过灰度分析与边缘提取算法完成缺陷定位与量化分析^[2]。悬挂机构变形视觉检测采用结构光或双目立体视觉方案,对前梁与支架的形变程度进行毫米级测量,判断结构件是否存在塑性变形。作业人员违规行为视频识别依托人体姿态估计与目标跟踪算法,自动识别人员未系安全带、超载站立等危险动作,并触发即时告警。针对夜间或低光照作业环境,可额外配置红外补光模块以增强图像质量。相较于传统人工巡检方式,视觉识别技术具备全天候、非接触、大范围覆盖的优势,能够在不干扰正常作业的前提下持续获取吊篮各部位的表面状态信息,为安全状态的实时感知提供了高效可靠的技术手段。

2.2 传感器检测技术

传感器检测技术从力学、姿态、环境与电气四个维度构建吊篮运行参数感知网络。载荷传感器安装在悬吊平台底部,实时采集平台承重数据,当荷载接近额定值90%时输出预警信号。倾斜传感器布置在篮体对角位置,持续监测平台姿态角变化,偏差超过设计允许范围即判定为危险状态。风速传感器架设在悬挂机构高处,捕捉作业区域风速与风向,风力达到限定等级时联动控制系统停止升降操作。位移传感器固定在前梁与支架连接节点,监测结构件相对位移量,异常位移通常预示连接松动或基础失稳。电流电压传感器嵌入电控箱内回路,检测电气系统运行参数,电流突变或电压跌落可快速定位短路与漏电故障。为保证传感器在复杂高空环境下的长期稳定性,所有采集单元均需具备防水防尘及抗振动设计。通过合理布设上述传感器,可实现对吊篮运行状态的连续、定量、高频率监测,为后续融合识别提供可靠的数据源头。

2.3 多源数据融合识别方法

单一传感器获取的信息存在明显局限,多源数据融合识别方法将视觉与传感器数据在时空维度上精准对齐,消除采样频率与坐标基准差异带来的信息偏差。多特征参数综合判定逻辑建立在贝叶斯推理或证据理论框架之上,将载荷、倾斜、风速、电流等多维特征映射至统一状态空间,避免单一指标导致的误报问题。动态权重分配与状态分级根据各传感器在不同工况下的贡献度自动调整权重系数,例如大风工况下提高风速传感器权重,超载工况下加大载荷传感器权重,让识别结果更贴合实际作业场景。此外,融合算法还引入时间序列分析模块,对参数变化趋势进行预测,提前识别隐性风险。融合方法将离散的传感器信号转化为连贯的安全状态描

述,为后续监控决策提供扎实数据支撑,显著提升了状态判别的准确性与鲁棒性。

3 吊篮运行状态监控系统构建

3.1 监控系统总体架构

吊篮运行状态监控系统采用四层分层架构设计,各层级功能清晰、数据流向明确。感知层负责前端数据采集,将各类力学传感器、倾角仪、风速仪与高清摄像设备部署在吊篮悬挂机构、提升机、悬吊平台及作业环境中,构建全方位感知网络^[3]。传输层承担数据搬运职责,有线网络保障指令传输的高可靠性,无线网络满足传感器节点的灵活接入需求,两种通道互为备份,确保通信链路稳定畅通。数据层融合边缘计算与云端存储两种模式,边缘节点就地完成数据清洗与特征提取,减轻上行带宽压力,云端实现海量历史数据的持久化存储与全局分析。应用层面向管理人员与操作人员,监控平台呈现吊篮实时运行画面与关键参数曲线,预警终端通过声光与短信方式推送分级告警信息。

3.2 关键参数实时采集方案

监控系统围绕吊篮五大核心部位部署专用采集设备。钢丝绳张力与磨损数据采集通过安装在绳端的微型拉力传感器与磁通量检测探头实现,拉力传感器输出实时张力值,磁通量探头捕捉绳体截面积变化,进而推算磨损程度。提升机运行电流与温度采集在电机供电回路中嵌入霍尔电流传感器,电机外壳粘贴热电偶测温片,两路信号以高频采样方式记录电机负载与散热状态。悬吊平台载荷与倾角采集在篮底四角布置称重传感器,篮体中部安装双轴倾角仪,载荷数据与倾斜角度经模数转换后送入主控单元。悬挂机构位移与应力采集在前梁根部与支架连接处粘贴应变片,配合拉线位移传感器监测结构件变形量。环境风速与温湿度采集在悬挂机构顶部架设超声波风速仪与温湿度复合传感器,为风力超标判定提供环境参数支持。

3.3 监控数据传输与处理

采集到的原始数据需经过多环节处理,才能用于状态判别。边缘端数据预处理与降噪采用数字滤波算法,去除传感器信号中的高频干扰与工频噪声,保留有效特征频段。异常数据筛选与标记通过设定各参数的上下限阈值,自动识别超出正常波动范围的数据点并标注告警标签,方便后端快速定位问题。实时数据流上传与同步采用轻量级通信协议,将处理后的数据包发送至云端,上传频率根据参数紧急程度动态调整,关键安全参数每秒上报1次,普通环境参数每10秒上报1次。历史数据归档与检索将全量运行数据按时间戳与设备编号分类存

储,支持按日期、参数类型与告警等级快速查询,为设备健康趋势分析与故障溯源提供完整数据链条。

4 吊篮安全预警与响应机制

4.1 预警阈值设定方法

预警阈值的科学设定是整个安全响应体系的基础。载荷超限预警阈值根据吊篮额定承载能力与安全系数计算确定,平台实时承重达到额定值85%时触发初级告警,达到100%时触发停机指令^[4]。倾斜角度预警阈值参照悬吊平台设计允许偏差范围,篮体倾斜超过3°即输出预警信号,超过5°判定为危险状态并立即执行保护动作。钢丝绳张力异常阈值通过采集正常工况下的张力基准值,设定上下浮动15%作为警戒区间,张力突降或骤升均视为断丝或卡绳的前兆信号。电气参数异常阈值涵盖电流过载与电压跌落两个维度,电机电流超过额定值110%或供电电压偏差超过 $\pm 10\%$,即判定为电气故障。风速超限预警阈值依据高处作业安全规程中的风力等级限制,风速达到12m/s时发出停作业通知,达到15m/s时强制停止一切升降操作。

4.2 分级预警响应策略

分级预警响应策略将告警信息按严重程度划分为三个等级,各等级对应不同处置动作。1级预警属于提示性预警,个别参数出现轻微偏离但未触及危险边界时,系统向作业人员推送语音与灯光提示,提醒关注当前异常但不干预设备运行。2级预警属于警告性预警,关键参数突破警戒阈值时,系统自动限制吊篮部分功能,比如禁止上升或下降操作,强制平台保持当前高度,需人工确认后才可恢复运行。3级预警属于紧急预警,参数越过安全红线时,系统立即执行自动停机并锁定控制回路,吊篮悬停于最近楼层,操作人员无法通过常规手段重新启动设备,需专业维护人员到场解除锁定。三级响应逐级升级,确保小问题不扩大、大风险不遗漏。在每个响应级别中,系统同步向现场监护人员与远程管理平台推送结构化告警报文,避免信息传递失真。在实际执行过程中,各等级预警的触发条件与响应动作均记录在案,形成完整的事件日志,便于事后复盘分析与持续优化预警策略的合理性和有效性。

4.3 远程干预与应急处置

远程干预与应急处置机制赋予管理人员跨越空间距

离的管控能力。远程指令下发与执行通过加密通信链路,将控制指令从监控中心传送至吊篮电控箱,管理人员可远程执行停机、复位或限速操作,指令延迟控制在毫秒级别。自动制动与安全锁触发联动在检测到钢丝绳断裂或平台失控坠落时,提升机制动器与安全锁在0.3秒内依次动作,将悬吊平台锁止于安全钢丝绳上,最大限度缩短坠落距离。故障定位与维修指引依托传感器数据自动生成故障诊断报告,标注异常部件与可能原因,缩短现场排查时间^[5]。作业人员撤离信号推送通过声光报警与手机短信双重通道通知篮内人员,引导人员沿预设路线有序撤离至安全区域,整个应急流程从触发到处置完毕控制在2分钟以内。此外,系统还支持多级联动告警,当单台吊篮触发3级预警时,周边相邻吊篮同步接收风险提示并减速运行。该机制显著提升了高空作业集群化施工场景下的整体安全性。

结束语

吊篮安全状态识别与监控技术研究从结构风险分析、状态识别方法、监控系统构建到预警响应机制,形成完整技术链条。视觉识别与传感器检测相结合的多源融合方法,有效克服单一感知手段的局限性;四层监控架构实现数据从采集到决策的全流程贯通;三级分级预警策略保障风险处置的及时性与针对性。该技术方案应用于工程现场后,可显著降低吊篮运行过程中的安全隐患,保障作业人员生命安全与设备结构完整,为高空作业安全管理提供可靠技术保障。

参考文献

- [1]高处作业吊篮安全状态识别与监控技术研究[J].安徽建筑,2026,33(3):138-141.
- [2]张晓伟,王新闻.AI智能化视频识别技术在高空作业吊篮安全监管中的研究与应用[J].工程与建设,2025,39(1):246-248.
- [3]罗东岳,李艳萍,朱家君,等.基于串联谐振的智能吊篮安全绳锁扣检测系统设计[J].计算机测量与控制,2024,32(10):32-38.
- [4]胡哲辉.高处作业吊篮安全管理分析[J].建筑安全,2022,37(11):79-81.
- [5]童挚婷.浅谈高处作业吊篮安全监督管理[J].建设监理,2024(7):107-109,130.