

融媒体演播室机械升降灯系统的电气控制与安全保护策略

许美河

哈密市融媒体中心

DOI:10.32629/etd.v7i4.20238

[摘要] 融媒体演播室是集节目录制、直播、后期制作于一体的核心空间,机械升降灯作为布光系统的关键执行设备,其运行稳定性、控制精准度与安全可靠性直接影响节目制作质量与现场人员安全。本文以融媒体演播室机械升降灯系统为研究对象,围绕电气控制架构、驱动与调速方案、位置与状态检测、安全保护逻辑、运维管理等方面展开系统研究,结合GY 5045-2006《电视演播室灯光系统设计规范》、GY 5070-2013《电视演播室灯光系统施工及验收规范》等行业标准,提出适配融媒体场景的电气控制设计方法与多级安全保护策略,为升降灯系统稳定运行、故障防控与安全运维提供工程实践参考。

[关键词] 融媒体演播室; 机械升降灯; 电气控制; 安全保护; 限位保护; 防坠落

中图分类号: F416.45 **文献标识码:** A

Electrical control and safety protection strategies for the mechanical lifting light system in a converged media studio

Meihe Xu

Hami City Media Convergence Center

[Abstract] A converged media studio is a core space integrating program recording, live broadcasting, and post-production. Mechanical lifting lights, as key equipment in the lighting system, directly impact program production quality and on-site personnel safety due to their operational stability, control precision, and reliability. This paper focuses on the mechanical lifting light system in a converged media studio, conducting a systematic study on electrical control architecture, drive and speed regulation schemes, position and status detection, safety protection logic, and operation and maintenance management. Based on industry standards such as GY 5045-2006 "Design Specification for Lighting Systems in Television Studios" and GY 5070-2013 "Construction and Acceptance Specification for Lighting Systems in Television Studios," this paper proposes an electrical control design method and multi-level safety protection strategy adapted to converged media scenarios, providing engineering practice references for the stable operation, fault prevention, and safe operation and maintenance of the lifting light system.

[Key words] converged media studio; mechanical lifting lights; electrical control; safety protection; limit protection; fall protection

1 引言

随着媒体深度融合发展,高清直播、虚拟演播、多机位录制等新型制作模式广泛应用,演播室灯光系统向自动化、智能化、网络化升级。机械升降灯承担灯具高度调整、角度定位、场景快速切换等功能,是实现精准布光的核心装备。在连续直播与高强度录制工况下,升降灯面临频繁启停、负载波动、电磁干扰、误操作等风险,传统控制方式存在定位不准、保护单一、联动性差等问题,难以满足融媒体演播室安全高效运行需求。

电气控制系统是机械升降灯的“神经中枢”,负责驱动执行、信号采集、逻辑运算与指令输出;安全保护体系是防范冲顶、坠

落、过载、短路等事故的最后防线。构建稳定可靠的电气控制架构与闭环安全保护策略,对保障演播室连续运行、人员设备安全、节目制作质量具有重要意义。本文立足工程实践,系统阐述融媒体演播室机械升降灯电气控制设计要点与全维度安全保护方案^[1]。

2 融媒体演播室机械升降灯系统总体构成

机械升降灯系统由机械执行机构、电气控制系统、安全保护装置三部分组成。机械执行机构包括升降电机、减速机、钢丝绳/链条传动机构、吊杆、灯具挂载组件;电气控制系统由PLC主控制器、变频驱动模块、操作终端、位置检测单元、信号传

输网络构成;安全保护装置涵盖机械限位、电气限位、过载保护、松断绳保护、防冲顶、紧急停机、漏电保护等组件。

融媒体场景对系统提出特殊要求:支持多灯组联动控制、场景参数一键调取、运行状态实时上传、故障信息可视化报警;适应7×24小时连续运行,抗干扰能力强,不影响音频、视频信号传输;保护逻辑冗余化,任何单一故障不引发安全事故。系统设计遵循安全优先、精准控制、稳定可靠、易于运维的原则,实现升降动作平稳、定位精准、保护全面、响应迅速^[2]。

3 机械升降灯电气控制系统设计

3.1 控制架构设计

采用PLC+变频驱动+分布式I/O的三级控制架构,满足单机独立控制、多机编组联动、中央集控调度需求。主控制器选用工业级PLC,具备高速运算、抗干扰、多扩展接口能力,负责逻辑运算、指令分发、状态采集与故障判断。变频驱动模块实现电机软启动、软停止与无级调速,避免启停冲击导致灯具晃动或机械损伤。分布式I/O模块就近安装于升降机构附近,减少信号线缆长度,提升抗干扰能力^[3]。

操作层设置中央控制台、现场手持遥控器、应急操作盒三级操作模式。中央控制台实现编组控制、场景存储、参数设置、状态监控;手持遥控器满足现场近距离精准调试;应急操作盒部署于演播室关键位置,支持紧急停机与手动点动操作,实现控制权限冗余互备。

3.2 驱动与调速系统设计

升降电机选用带电磁自锁制动的三相异步电机,制动响应时间 $\leq 0.1s$,断电立即锁止,防止溜车坠落。驱动方式采用变频调速,根据运行阶段设置三段速度:启动加速段、匀速运行段、接近限位减速段,接近上下限位时自动降至低速,提升定位精度与运行平稳性。电机回路配置热继电器、断路器、接触器,实现过流、短路、缺相保护,符合演播室低压配电安全规范。

针对多吊杆同步升降需求,系统采用速度闭环+位置同步控制算法,通过编码器实时反馈各吊杆位置,PLC动态调整变频器输出频率,确保同步误差 $\leq 5mm$,避免因不同步导致钢丝绳受力不均、灯具倾斜等问题。

3.3 位置检测与信号采集设计

位置检测采用绝对值编码器+行程开关双冗余方案。绝对值编码器实时采集升降高度,精度达1mm,实现数字量精准定位;行程开关作为电气限位,触发后强制切断驱动回路,形成双重位置保障。信号采集涵盖电机电流、温度、制动状态、钢丝绳张力、限位开关状态、急停信号等,所有模拟量与开关量信号经隔离处理后接入PLC,防止干扰导致误动作。

信号传输采用屏蔽电缆与RS485/以太网双链路,控制信号与动力电缆分层敷设,屏蔽层可靠接地,避免调光设备、变频器产生的谐波干扰音频与视频系统。

3.4 网络化与智能化控制

适配融媒体集中管控需求,系统支持Modbus-TCP、DMX512协议,可接入演播室总控平台,实现灯光、音响、摄像机、升降

设备联动控制。支持场景参数存储与一键调用,满足不同节目类型快速布光需求;具备运行数据记录功能,可追溯升降次数、运行时长、故障历史,为预防性运维提供数据支撑。

4 机械升降灯多级安全保护策略

4.1 位置与行程三重保护

遵循软限位→电气限位→机械硬限位三级防护逻辑。软限位由PLC根据编码器数据预设,到达阈值前自动减速并禁止越界运行;电气限位采用独立行程开关,回路独立于控制逻辑,触发后直接切断接触器线圈电源;机械硬限位采用防撞缓冲与机械挡块,作为终极防护,防止冲顶、越程事故。按规范要求,上限位距顶棚不小于1m,冲顶极限高度不小于0.6m,下限位距地面1.2-1.5m。

4.2 防坠落与机械安全保护

防坠落是核心安全底线,系统配置松绳/断绳检测装置、电磁制动、机械防坠器三重防护。松断绳传感器实时监测钢丝绳张力,张力异常立即报警并制动;电机自带电磁自锁制动,断电即锁;吊杆配置专用防坠器,运行速度异常或钢丝绳失效时瞬时锁止,确保吊杆不坠落。钢丝绳承载力不小于总提升重量的10倍,卷绳筒预留不少于3圈安全余量,防止脱槽。

4.3 电气与过载安全保护

电气回路实施分级保护、漏电闭锁、接地保护。总回路配置漏电保护器,动作电流 $\leq 30mA$;电机回路配置过流、过载、缺相、短路保护;所有金属外壳、吊杆、机架采用TN-S系统可靠接地,接地电阻 $\leq 1\Omega$,防止触电事故。

过载保护采用重量传感器+电流监测双判据,设定阈值为额定载荷的110%,超载时禁止上升并声光报警,避免电机烧毁与机械结构变形。

4.4 紧急停机与安全链保护

构建独立安全链回路,串联演播室所有急停按钮、限位开关、过载信号、防坠信号,任何节点触发立即切断所有升降动力电源,实现断电安全。急停按钮采用红色常闭触点,分别部署于控制台、现场、设备层,响应时间 $\leq 0.05s$ 。安全链回路独立于PLC控制逻辑,即使控制器故障仍能可靠动作。

4.5 抗干扰与环境适应性保护

演播室变频器、调光硅箱易产生电磁干扰,系统采取信号隔离、屏蔽接地、电源滤波措施:控制信号加装光耦隔离器;动力线与信号线分槽敷设;控制回路加装电源滤波器,确保升降控制不影响音视频信号质量。同时适应温湿度、粉尘环境,关键电气部件采用防尘防潮设计,保障长期稳定运行。

5 工程实施、调试与运维管理

5.1 安装与布线规范

融媒体演播室机械升降灯系统的安装与布线是保障系统长期稳定运行的基础环节,必须严格遵循国家及行业相关标准,做到机械安装精准、电气布线规范、防护措施到位。在机械安装环节,吊杆作为承载灯具的核心部件,其安装精度直接影响升降平稳性,要求吊杆水平偏差严格控制在 $\leq 5mm$ 以内,避免因倾斜

导致受力不均、钢丝绳磨损或运行异响等问题。吊杆固定支座、悬挂结构、卷扬机构等安装点位必须具备足够的机械强度,满足额定载荷及冲击载荷的双重安全要求,杜绝松动、变形、脱落等安全隐患。

电气布线需严格按照演播室电气施工规范执行,所有动力电缆与控制电缆统一采用穿管或封闭式桥架敷设,做到排列整齐、走向合理、防护严密。电缆穿越墙体、楼板时必须采用防火封堵材料进行密封处理,满足消防防火要求,防止火灾蔓延。接线端子需压接牢固、无虚接、无松动,所有线路按照功能进行清晰标识,便于后期检修与维护。动力回路与控制回路实行物理分离敷设,避免电磁干扰导致控制系统误动作,同时严格按照TN-S三相五线制规范构建接地系统,所有金属机架、吊杆、电机外壳均可靠接地,确保接地电阻符合安全标准,从根本上杜绝漏电、触电风险。所有设备的安装位置需兼顾运行稳定性与后期维护便利性,为检修、更换、调试提供充足操作空间。

5.2 系统调试流程

系统调试是验证机械升降灯电气控制与安全保护功能是否达标的关键步骤,需按照空载调试→负载调试→联动调试→安全校验四阶段标准化流程逐步开展,确保每一项功能均满足设计与使用要求。空载调试阶段,在无载荷状态下测试升降方向正确性、运行速度稳定性、软启动与软停止效果,同时验证限位开关、制动装置动作是否灵敏准确,排除机械卡滞、控制异常等问题。负载调试按照100%额定载荷开展满载测试,重点检测运行平稳性、多吊杆同步精度、定位准确度,确保满载状态下无溜车、无抖动、无过载现象。

联动调试阶段针对融媒体演播室多灯组、多场景应用需求,测试多台升降灯同步运行、分组控制、场景一键调取、控制台与遥控器切换等联动功能,确保系统响应迅速、切换顺畅。安全校验作为最后一道验收环节,需逐项对紧急停机、上下限位保护、防坠装置、过载保护、松断绳保护等核心安全功能进行实测试验,确保所有保护装置动作及时、可靠、有效。全部调试过程需做好详细数据记录,形成完整调试报告,经多方验收合格并签字确认后,系统方可正式投入使用。

5.3 运维与故障处置

为保障融媒体演播室7×24小时高强度连续运行,必须建立日常巡检、定期保养、应急处置三位一体的全周期运维管理机制。日常巡检以每日检查为主,重点确认急停按钮、限位装置、

制动系统工作状态,确保无异常报警、无松动异响。月度检测需使用专业仪器测量电机运行电流、电缆绝缘性能、钢丝绳磨损程度,及时发现潜在隐患。季度维护需对整个安全保护系统进行全面测试,模拟故障场景验证保护逻辑可靠性。年度校准则针对编码器、限位开关、传感器等精密元件进行精度校正,保证位置检测与控制指令准确无误。

同时,演播室需建立标准化备件库,储备制动模块、限位开关、接触器、传感器等易损部件,缩短故障修复时间。建立完整故障台账,对故障现象、原因、处置方案进行记录分析,形成故障快速处置指南。运维人员需经过专业培训,熟练掌握系统原理、操作流程及应急处理方法,确保出现异常时能够快速定位、及时排除,最大限度减少对节目录制与直播工作的影响。通过规范化、常态化、专业化的运维管理,可显著提升系统可用性与安全性,为融媒体演播室持续稳定运行提供坚实保障。

6 结论

融媒体演播室机械升降灯系统的电气控制与安全保护是保障节目制作、设备与人身安全的关键。基于PLC+变频驱动的控制架构可实现精准、平稳、智能的升降控制;三级位置保护、三重防坠、独立安全链、电气分级保护等策略,构建全维度冗余安全体系。严格遵循行业标准进行设计、施工、调试与运维,能够有效防范冲顶、坠落、过载、触电、干扰等风险,满足高清直播、连续录制、多场景切换的融媒体生产需求。随着演播室智能化升级,机械升降灯将向更精准的数字定位、更高效的联动控制、更智能的预测性维护方向发展。持续优化电气控制算法、完善安全保护逻辑、强化网络化管理能力,将进一步提升系统可靠性与适应性,为融媒体行业高质量发展提供坚实支撑。

[参考文献]

[1]谢志坤.虚拟演播室摄影机器人结构设计 with 优化[D].江苏:南京理工大学,2019.

[2]曾锦玉.数字化虚拟演播室的优化设计和实现[D].湖北:华中科技大学,2005.

[3]周月华,王璇,杨渊,等.大型演播室舞台机械使用详解[J].影视制作,2014,20(3):82-85.

作者简介:

许美河(1991--),女,汉族,新疆哈密人,大学本科,初级职称,研究方向:广播电视技术。