

演艺灯光设备智能化安装调试关键技术与应用研究

张济邦¹, 雷喜文², 戎杰青³

1. 杭州亿达时科技发展有限公司, 浙江 杭州 310051

2. 美高电气科技有限公司, 浙江 湖州 313000

3. 杭州之江开关股份有限公司, 浙江 杭州 311234

DOI:10.61369/EPTSM.2025010023

摘 要 : 本文围绕演艺灯光设备智能化安装调试的关键技术与应用路径展开研究, 重点分析了基于“感知 传输 控制 执行”架构的自动化调试原理, 并结合某大型文化综合体项目的实际案例, 探讨了灯具定位、功能测试、光束聚焦、参数优化及数据反馈等核心技术环节的具体实现方式。研究表明, 智能化安装调试技术能够显著提升灯光系统的部署精度和运行效率, 实现从灯具安装到参数调节全过程的自动化控制。通过引入激光扫描、图像识别、闭环反馈算法等手段, 有效减少了人工干预, 提升了调试质量。

关 键 词 : 演艺灯光; 智能安装; 自动调试; 精准定位

Research on Key Technologies and Applications of Intelligent Installation and Debugging of Performing Arts Lighting Equipment

Zhang Jibang¹, Lei Xiwen², Rong Jieqing³

1. Hangzhou Yidashi Technology Development Co., Ltd. Hangzhou, Zhejiang 310051

2. Meigao Electric Technology Co., Ltd. Huzhou, Zhejiang 313000

3. Hangzhou Zhijiang Electric Switch Co., Ltd. Hangzhou, Zhejiang 311234

Abstract : This paper studies the key technologies and application paths of intelligent installation and debugging of performing arts lighting equipment, focusing on the analysis of the principle of automated debugging based on the perception – transmission – control – execution architecture, and combining the actual case of a large-scale cultural complex project, discusses the specific implementation methods of core technical links such as lamp positioning, functional testing, beam focusing, parameter optimization and data feedback. The study shows that intelligent installation and debugging technology can significantly improve the deployment accuracy and operation efficiency of the lighting system, and realize automated control of the entire process from lamp installation to parameter adjustment. By introducing laser scanning, image recognition, closed-loop feedback algorithm and other means, manual intervention is effectively reduced and the debugging quality is improved.

Keywords : performing arts lighting; intelligent installation; automatic debugging; precise positioning

引言

随着舞台演艺产业的持续发展和表演需求的日益多元化, 表演灯光系统在视觉效果和舞台气氛营造方面所扮演的角色越来越重要。传统的照明设备配置和调试方法已经很难满足现代演出的精确性、时效性和智能化的需求, 特别是对于大型表演、文旅项目和多功能剧院, 灯光系统的自动化和智能化是提高演出质量和工程效率的重要环节。同时, 5 G通信、物联网、人工智能等技术的飞速发展, 为演艺灯光设备智能化安装调试提供了新的技术途径与实现途径, 促进舞台技术向集成化、高效率 and 数字化方向发展。本文探讨演艺灯光设备智能化安装调试的关键技术与实际应用路径。

作者简介:

张济邦, 男, 汉族, 本科, 中级工程师, 杭州亿达时科技发展有限公司, 研究方向: 演艺专业安装工程;

雷喜文, 男, 汉族, 本科, 中级工程师, 美高电气科技有限公司, 研究方向: 机电制造集成服务;

戎杰青, 男, 汉族, 本科, 杭州之江开关股份有限公司, 研究方向: 电气成套设备制造。

一、演艺灯光智能安装调试的基础原理

现代演艺灯光智能安装调试依托于“感知 - 传输 - 控制 - 执行”四层架构。利用视觉定位传感器、红外线测距仪和激光扫描仪等设备,实时获取灯具的三维位置和方位信息;同时,通过分布式传感节点采集环境光照强度、色温以及舞台边缘等数据^[1]。在此基础上,将采集到的感知数据通过有线或无线网络汇聚到中央控制单元,利用 TCP/IP 协议或低时延协议实现高频数据的高速传输,以保证数据的时效性和完整性。在控制和执行层次上,该系统内建有标准化的接口和模块化的驱动程序,可以按照预先设定的照明布局模型,自动寻址和参数分配。在智能化调试中,中心控制器根据预先标定的舞台坐标,利用闭环反馈算法,对灯具的俯仰角、水平角和焦距进行自动修正,以确保照明位置符合设计要求。该算法的核心是最小二乘拟合,卡尔曼滤波和深度学习优化,前者用于初始定位,后者用于动态补偿和提高精度,整个过程不需要人工干预^[2]。

二、项目概况

项目位于国内一座新建的文化综合体内,建筑面积达到5万平方米,包含多个功能性演出厅、音乐厅和多用途展演空间。剧院采用国际先进的舞台技术和智能设备,力求为观众提供高品质的视听体验和创新的舞台演出环境。该工程的核心部分是剧院的灯光系统,它包括舞台灯光、环境灯光、背景灯光等,并且与音响、视频、舞蹈表演等设备有很好地整合和协调。由于场地复杂,演出需求多样,对灯光设备的安装调试提出了高精度、高时效性的要求。

目前,剧院的照明设备以多种品牌的高端智能灯具为主,包括追光灯、射灯、投影灯、染色灯等,每一种都具有遥控和智能调整的功能。传统的人工调试方式已不能满足照明精度、调节速度以及控制灵活性等方面的需求。为此,本项目拟引入智能化安装调试系统,将自动化设备集成于一体,优化调试算法,实现照明系统的高效部署与调试。该系统不仅可以大大提高安装调试的准确性和效率,而且可以为未来的演出提供更加有效和可控的照明管理。

三、智能化安装调试的关键技术要点

(一) 灯具定位与安装

智能灯具安装的第一步就是保证灯具的准确定位和安全安装。在传统的调试方法中,照明灯具的位置及角度一般采用人工测量的方式进行测量,过程繁琐且容易产生误差。在智能化安装中,采用激光扫描仪和三维定位传感器等高精度设备,实现了灯具空间坐标的实时采集,并将数据传送到中央控制系统。系统自动计算,保证每个灯具的安装位置都符合预先设定的参数,避免人为因素引起的误差。在安装灯具时,也要特别注意灯具支架的稳固和安全。智能装配系统可与建筑信息模型(BIM)对接,预先评估灯具安装位置对结构的影响,保证灯具在安装过程中不会对建筑结构造成不良影响。在此基础上,采用智能优化的方法,克服了人工检验可能遗漏的关键因素,从而提高了支护的可靠性。对于需要悬吊、旋转等复杂灯具,智能装配技术可以准确模拟其安装过程,利用传感器监测

安装进度,保证安装效率和安全性。

(二) 灯具调试与功能测试

灯具安装完毕后,进行调试是保证整个照明系统正常运转的重要环节。传统的照明调试方式常常要求调试人员对每一种灯的功能进行逐一检查,同时对灯的亮度、角度、色温等参数进行手动调节。这样做既浪费精力又浪费时间,而且很容易漏掉一些细节,造成最后的效果不理想。在智能调试过程中,通过自动控制系统,调试人员只需要对整个系统进行一次设置,系统就可以按照预先设定的参数,自动地对灯具的开关、亮度、色温、光束角度等功能进行测试。智能化系统能实时反馈调节,使每一盏灯都能精确调整,达到设计要求。

智能调试系统采用内置的自动识别技术,先确定灯具是否安装到位,能否正常启动。同时,该系统还可以根据现场的实际情况,自动调整亮度,光束范围,色温等参数。具体来说,智能系统将与传感器数据相结合,对照明参数进行实时监测与调整,以保证灯具在不同的使用环境下,能够实现理想的照明效果与照明光分布。比如,该系统可以根据剧院内不同的表演需要,自动调节灯光的亮度、色温等,甚至还可以根据观众席的分布,调节灯光的投射角度。该方法不需要人为干预,可以极大地提高调试效率,减少人工操作带来的误差与遗漏,从而达到准确高效地调试目的。

(三) 光束定位与聚焦

对于要求精确投影的舞台照明设备,如追灯、射灯等,需要精确调焦。传统调焦方式主要依靠人工,调焦员仅凭目测来调整灯具的角度和焦距。这种人工调整不仅效率低下,而且容易出现误差,不能保证每一盏灯射出的光束都能精确地聚焦在指定区域。人工调焦往往耗时较长,在剧院、演出等环境下,由于多次操作,灯光角度、焦距调节会出现偏差,从而影响最终的灯光效果。为了克服这些问题,智能化调试技术的引入为聚焦过程提供了自动化解决方案。

智能调试系统采用激光定位与自动调焦技术相结合的方式,实现了对光源光束方向及焦距的准确计算与自动调节。具体操作上,该系统内置影像辨识与雷射感测器,可即时追踪射束的位置,并精确定位。该系统可根据预先设定的舞台模型和不同演出场景的需要,自动计算出每一盏灯的最优光束聚焦点。系统采用电动调整装置,可精确控制光源角度、焦点,自动调节光束。相对于传统的人工调试方式,智能调试在提高效率、精度、降低人为误差方面具有重要意义。尤其是在动态的演出环境下,该系统可以实时调整灯光聚焦,保证每一种灯光都能准确地投射到舞台上。这不仅提高了舞台灯光的稳定性和灯光效果,而且使灯光系统可以更灵活地适应不同的演出需要,使调试人员的时间和精力得到极大地节约,确保演出前的准备工作能以最快的速度进行。

(四) 自动化参数调整与优化

在智能化调试过程中,为了保证照明系统的高效率运行,必须进行自动调试。每一盏灯的亮度,色温,光束的角度,都要根据剧院的环境以及演出的需要来调整。传统的人工调试多依靠人工经验,而智能系统可以根据环境信息,实现实时、自动地优化调试。该智能系统可以根据不同的环境条件,对不同环境下的灯光、温度、湿度等参数进行自动识别,从而实现对灯光参数的动态调整。比如白天表演时,系统能根据外界环境的变化,自动调节灯光的亮度、色温;晚上演出时,系统会自动加强灯光强度与

反差，使舞台效果更佳。同时，系统还可以根据不同的场景，自动调整灯光的色温、亮度等，使得每一场演出的灯光效果都更符合导演的创意要求。

（五）调试数据记录与反馈

智能调试系统在提高调试效率的同时，具有较强的数据采集与反馈功能。在传统的灯具调试过程中，调试人员主要依靠人工记录灯具的调试数据，这样很容易出现故障或丢失的情况。智能系统可以在调试时自动收集每一盏灯的各项参数，如亮度，角度，色温等，并实时上传到云数据库中。

利用这些数据，调试人员可随时了解每一种灯具的调试状态及参数变化情况，保证了每一次调试过程的正确性和可追溯性。并能对设备进行详细的调试报告，并对设备的运行状况、调试结果以及今后的维修提出建议。另外，在调试过程中所获得的全部数据均可与设备厂商的技术支持系统进行对接，进行远程诊断和优化，进一步提高了调试的准确性和效率。这种智能化的数据记录和反馈方式，不但提高了调试质量，而且为以后的维护和管理打下了良好的基础。

四、智能化安装调试技术的推广与标准化建议

（一）建立行业统一标准与规范

由国家或行业主管部门牵头，联合标准化机构和龙头企业，共同制定技术规范和实施标准，以促进演艺灯光智能化安装调试技术在业界的推广应用。本标准应从设备选择、安装工艺、数据接口、通讯协议和安全保障几个方面对不同类剧场（多功能厅、音乐厅、露天表演场所）的技术参数及验收标准进行界定^[1]。同时，应充分借鉴国际成熟标准（如 ANSI E1.20、DMX512-A 等），结合国内工程实践进行本土化修订，以保证规范既具前瞻性，又切合实际需求。

在具体内容上，行业标准要求对智能安装调试过程中的各个环节进行细化，包括 BIM 预安装数据格式，激光定位精度，自动调焦误差范围，网络通讯延时上界，系统容错能力等。在此基础上，对数据存储和接口的格式进行明确（如 JSON、XML 等），提出统一的设备寻址和参数下发规范，保证不同品牌、不同厂家的设备之间的无缝集成和互联。建立健全的标准体系，为项目的实施提供可复制和可量化的技术基础，促进产业整体水平的提高。

（二）组织培训与人才培养

智能化安装与调试技术的普及，除了要有技术规范外，还要有大批专业人才作为支持。鼓励产学研深度合作，鼓励高等院校、高职院校在舞台工艺、自动控制、通讯网络等专业课程中增加智能照明安装与调试模块；同时，企业与设备供应商可以合作建立培训基地或网上教学平台，对设备的使用、调试算法的应用以及数据分析等方面进行系统地培训。通过校企合作，不仅提高了学生的实践能力，同时也为企业培养了合格的技术人才。

在人才认证方面，可以建立分级考核和职业资格认证制度，为从事智能调试工程师、系统集成专家、维修维护人员设置不同

的技能等级标准和考试内容。定期组织行业研讨会，技术沙龙，案例比赛，评选“智能灯具安装调试示范工程师”等，以激励员工学习和创新的积极性。同时，鼓励相关专业人员考取中高级职称，把智能安装调试技能纳入职称评定体系，为人才的职业生涯发展提供动力。

（三）推广示范工程与案例分享

示范工程是技术推广的重要抓手。各地文化演艺场所、文旅综合体和重点影院要优先采用智能化安装调试技术，打造一批标杆示范工程。在示范工程中采用统一标准，收集调试数据，对运行效果进行评价，形成详细的项目报告，在专业刊物、行业会议和网络平台上广泛传播。该示范项目既能充分发挥智能技术的优势，又能为后继项目提供可复制的实施路径与经验模板^[4]。

同时，还需要搭建行业层面的案例共享和经验交流平台，对不同类型灯具的选择、安装、调试、性能优化等方面的成功经验进行汇总整理，定期发布相关白皮书或技术指南。该平台可以帮助项目负责人、设计方和安装方迅速掌握新技术的使用要点，并以视频直播、虚拟模拟演示等方式进行。通过示范与共享，促进智能安装与调试技术向更广阔的市场渗透。

（四）促进技术生态与供应链协同

构建开放共赢的技术生态，促进设备制造商、系统集成商、软件开发商和维护服务商的协同创新，才能实现智能化安装调试技术的可持续发展。为此，通过组建产业联盟、技术联盟等方式，共同制定模块化硬件接口规范及软件开放 API，以减少多品牌设备间的集成成本，提高系统的兼容性和可扩展性。同时，引入第三方检测认证机构，专门验证硬件兼容性及软件接口，以保证技术落地后的稳定性和可维护性。在供应链层次上，要加强上下游企业的合作，促进标准化模块化产品的研发和生产，提高部件互换性，提高生产效率^[5]。与云计算远程维护平台相结合，实现设备制造、安装调试和后期维护的闭环服务，能够在降低项目总体成本的同时，实现对系统运行状态的实时监控，为技术升级、标准优化提供数据支撑，构建健康可持续的产业生态体系。

五、结语

演艺灯光设备智能化安装调试技术能够显著提升舞台灯光系统的精度、效率与自动化水平，满足现代演出对高质量视觉呈现和高效工程实施的双重需求。通过激光定位、自动聚焦、闭环反馈控制及数据智能分析等关键技术的应用，灯光系统的部署方式正从传统人工操作向高集成化、数字化方向转型。随着 5 G、物联网、人工智能等技术的不断发展，智能化的安装调试系统必将在越来越多的文化演艺场所推广应用。随着行业标准体系的不断完善和人才培养机制的完善，该技术将进一步实现规模化应用，促进照明工程管理向精细化和可追溯的方向发展，将为照明系统的长周期运行提供可靠的支持，推动整个行业的技术水平与服务水平不断提高。

参考文献

- [1] 裴国梁, 陈灿, 蒋琪. 舞台灯光与电力设备的融合与创新研究 [J]. 光源与照明, 2023, (09): 156-158.
- [2] 朱建书. 基于 PLC 的舞台灯光设备智能控制系统 [J]. 自动化与仪器仪表, 2022, (09): 97-101.
- [3] 赵永建, 田文, 郭建功. 剧场舞台灯光工程设备监理质量控制要点 [J]. 演艺科技, 2021, (03): 52-56.
- [4] 陈美燕. 演播厅灯光设备技术的现状与应用 [J]. 中国传媒科技, 2021, (02): 120-122.
- [5] 李嘉. 现代舞台灯光设备在戏剧表演中的运用与融合 [J]. 戏剧之家, 2021, (02): 30-31.