

飞机机库智能照明系统的机电控制方案研究

石曦铭

上海东航工程建设有限公司 上海 200030

【摘要】以东航武汉天河机场基地1#飞机维修厂房为例，本文通过深入剖析核心机电控制技术，涵盖控制技术与亮度调节技术，构建出完整的智能照明系统机电控制方案，包括系统架构设计和场景化照明模式设计。经实验验证，该方案在节能效益、照明质量提升以及智能化管理便捷性方面优势显著，但也面临初期投资成本高和技术维护难度大等挑战。研究成果为飞机机库智能照明系统的推广应用提供了技术参考与实践依据。

【关键词】飞机机库；智能照明系统；机电控制；节能；照明效果

引言

在航空领域，飞机机库作为保障飞机维护、检修等作业的关键场所，照明系统的性能至关重要。以东航武汉天河机场基地建设项目（北区地块）1#飞机维修厂房为例，该厂房建筑面积达9764平方米，结构复杂，涵盖机库大厅及附楼。机库大厅空间开阔，尺寸较大，附楼功能多样，各区域对照明的要求不尽相同。随着机电一体化技术和智能控制技术的不断发展，开发智能照明系统机电控制方案成为提升飞机机库照明质量、降低能耗的有效途径。通过本研究不仅有助于提高机库运营效率、保障作业安全，还顺应当前绿色航空、智慧航空的发展趋势，具有重要的现实意义。

1 飞机机库智能照明系统核心机电控制技术

1.1 控制技术

飞机机库智能照明系统的控制技术是实现高效照明管理的核心所在。在东航武汉天河机场基地1#飞机维修厂房的机库场景下，控制技术借助先进的控制算法与通信接口达成智能照明控制。机库内分布着多种传感器，如光照传感器可实时监测机库内外部光照强度，人员活动传感器能精准捕捉机库内人员的行动轨迹和位置信息，飞机作业状态传感器则可获取飞机维修、停放等作业状态数据。中央控制单元运用模糊逻辑控制算法对复杂的输入数据进行解析，例如，当光照传感器检测到外部光线较强，且人员活动传感器显示机库内特定区域无人时，控制算法会自动降低该区域的照明亮度；若飞机作业状态传感器反馈飞机正在进行关键维修作业，控制算法则会增强维修区域的照明亮度，并调整光线角

度，以满足作业对照明的严苛要求。通信接口采用有线与无线相结合的方式，以太网保证数据传输的稳定性，Zigbee无线通信技术则为分布广泛的传感器和灯具提供便捷的连接，进而实现整个机库照明系统的智能化、精准化控制。

1.2 亮度调节技术

在东航武汉天河机场基地1#飞机维修厂房的智能照明系统中，亮度调节技术依托先进的环境光传感器和可编程控制系统，达成对机库不同区域光照强度的精准调控。环境光传感器以高灵敏度实时监测机库内外部光照条件的变化，无论是白天阳光透过机库大门或采光区域的自然光照变化，还是夜晚机库内不同作业场景下对照明的不同需求，传感器都能迅速捕捉并将数据传输给控制系统。

在机库大厅，当飞机处于维修作业状态时，系统通过算法计算出所需的精确亮度值，对该区域的灯具进行针对性调节，保证维修区域光照充足且均匀，同时避免光线对周边区域造成干扰^[1]。对于附楼部分，在日常通行与巡检场景下系统依据人员活动情况动态调整亮度，人员经过时自动提高亮度，人员离开后逐渐降低亮度。

2 飞机机库智能照明系统机电控制方案设计

2.1 系统架构设计

(1) 硬件组成

智能灯具作为核心设备，选用高亮度、高显色性且具备调光调色功能的LED灯具能精准还原物体真实色彩，满足飞机维修等对色彩辨识度要求高的作业需求。在机库大厅和附楼各区域合理分布这些灯具，依据空间大小、功能需求及照明标准确定灯具的安装密度和角度。环境光传感器采用高精度型号能精确感知0 - 2000Lux光照强度变化，实时监测机库内外光照情况，为亮度调

作者简介：石曦铭（1983.12-）男，汉族，上海人，本科，工程师，一级建造师，研究方向：电气工程管理和项目管理。

节提供数据支持。人体红外传感器用于检测人员活动，360°全方位探测，探测距离达10米，可及时发现机库内人员位置和行动轨迹，实现有人时自动照明、无人时自动关闭或降低亮度的节能控制。中央控制单元作为系统“大脑”，具备强大数据处理和运算能力，以太网接口用于稳定高速的数据传输，连接各个设备；Zigbee无线通信模块则负责与分散的传感器和灯具进行无线通信，确保指令及时准确传达，协调各硬件设备协同工作。

(2) 软件系统

采用分层架构设计，底层为设备驱动层，负责与硬件设备进行交互，实现对灯具、传感器等的直接控制；中间层是数据处理与逻辑控制层，接收并分析传感器数据，依据预设的控制策略和算法生成相应的照明控制指令；上层为人机交互界面层，通过简洁直观的图形化界面，机库管理人员可远程监控照明系统运行状态，实时查看各区域光照强度、灯具工作状态等信息，还能自定义不同场景下的照明亮度、色温，灵活调整照明计划，实现对整个智能照明系统的智能化管理。

2.2 场景化照明模式设计

(1) 维修作业场景

对于飞机机身维修，灯具采用多角度布置，通过精准的光束控制技术，使光线从不同方向汇聚于维修部位，避免产生阴影影响维修人员对飞机部件细节的观察。例如，利用可调节角度的LED投光灯可根据维修位置和部件形状，将光线精确投射到所需区域。在维修发动机等关键部件时，照明系统不仅要提供高亮度照明，还需具备高显色性，以准确辨别部件颜色、材质纹理等特征^[2]。对于精密电子部件维修降低色温至4000K左右，营造柔和、舒适的光环境，减少视觉疲劳；对于机械部件维修适当提高亮度和色温，增强光线的穿透力和清晰度。

(2) 日常通行与巡检场景

当人员进入通道时，人体红外传感器检测到人体信号，智能照明系统迅速将通道照明亮度提升至预设的通行亮度，如150Lux，确保人员行走安全。人员离开后，灯具亮度逐渐降低至50Lux的低能耗状态，但仍能满足基本的巡检需求。为了避免频繁开关灯具造成的能源浪费和灯具损耗，系统设置了合理的延迟时间，根据通道长度和人员行走速度进行优化。

在巡检过程中，若巡检人员长时间停留在某一区域，照明系统会维持该区域的照明亮度；若巡检人员在不同区域移动，系统能根据人员位置实时调整相应区域的照明亮度，实现动态照明控制。此外，在白天自然光充足时，智能照明系统可自动关闭部分或全部通道照明灯具，利用自然采光满足通行需求；在夜晚或光线较暗时，自动开启照明灯具，并根据环境光强度自动调节亮

度，实现智能化节能管理

(3) 应急照明场景

当机库发生火灾、停电等紧急情况时，应急照明灯具采用独立的备用电源系统可以确保在主电源故障时能持续工作。在机库布局上，应急照明灯具沿疏散通道、安全出口、楼梯间等关键位置均匀布置，保证疏散路线清晰可见。疏散通道的应急照明亮度不低于5Lux，安全出口处设置明显的指示标志灯，亮度不低于10Lux，确保人员在紧急情况下能迅速找到安全出口。

当火灾报警系统发出警报时，应急照明系统还可通过灯光闪烁等方式引导人员疏散；门禁系统在紧急情况下自动打开相关通道门，确保疏散通道畅通无阻。应急照明系统还具备远程监控和故障检测功能，能实时监测应急灯具的工作状态，一旦发现故障及时发出警报，以便及时维修和更换。

3 飞机机库智能照明系统实验验证

3.1 实验准备

在模拟机库环境中，针对智能照明系统所涉及的各种设备进行严格选型，选用与预期应用一致的LED灯具，例如，具有宽色温调节范围（2700K - 6500K）和高亮度输出（最大1200流明）的型号，以确保能模拟多种照明场景。环境光传感器和运动传感器分别采用检测精度高、响应速度快的型号，环境光传感器灵敏度覆盖0 - 2000Lux，运动传感器检测范围达半径10米且角度为360°，能够精准监测实验环境中的光照变化和人员活动情况。同时，配备高速数据记录器，实时记录实验过程中产生的大量数据，在实验设备安装完成后，对所有设备进行全面校准和调试，为后续实验的顺利开展提供坚实保障。

3.2 实验过程与数据分析

针对不同的光照条件，设置低光环境、中光环境和高光环境，在每个光照环境下，分别测试系统在无人状态、不同人员密度以及模拟飞机维修作业等多种工况下的表现。例如，在模拟维修作业场景时，根据维修区域的实际需求设定特定的照明亮度和色温要求，观察智能照明系统能否快速准确地响应并达到相应指标^[3]。

对采集到的数据进行深入分析，在响应时间方面，统计不同光照环境和工况下系统从接收到指令到完成亮度调节的时间，评估系统的反应速度；在亮度调节精度上，对比设定亮度与实际测量亮度之间的偏差，判断系统的调节准确性；在能耗数据处理上，计算智能照明系统在不同场景下的能耗，并与传统照明系统在相同场景下的能耗进行对比，得出节能比例。通过这些数据的综合分析，全面评估飞机机库智能照明系统机电控制方案的有效性和性能优劣。

4 飞机机库智能照明系统机电控制方案的优势与挑战

4.1 方案优势

(1) 节能效益显著

该方案通过智能控制技术和精准的亮度调节实现了能源的高效利用。在东航武汉天河机场基地 1# 飞机维修厂房的应用场景中，当外界光线充足时，系统自动调暗或关闭部分灯具，充分利用自然采光，减少人工照明能耗。在夜间或光照不足时，系统依据人员活动和作业需求动态调整灯具亮度。以机库通道为例，当人员经过时，灯具自动亮起并调整到合适亮度，人员离开后则逐渐降低亮度甚至关闭，避免了无人区域的无效照明。智能照明系统在低光环境下节能比例可达 40%，中光和高光环境下节能比例分别为 35% 和 30%。

(2) 提升照明质量

飞机维修作业场景中，智能照明系统的 LED 灯具具有高显色指数，能精确还原物体真实色彩，使维修人员能清晰辨别飞机部件的细微差异和缺陷。例如，在检查飞机发动机叶片时，高显色性的照明让叶片表面的裂纹、磨损等情况一目了然，避免了因照明不足或色彩还原不准确而导致的误判。同时，系统通过合理的灯具布局 and 精准的亮度调节，减少了阴影和眩光的产生。在维修区域，多角度的灯具布置和可调节光束角设计，消除了传统照明可能存在的照明死角，为维修人员提供了清晰、舒适的视觉环境。

(3) 便捷的智能化管理

在监控界面上，能实时查看各区域灯具开关状态、亮度、色温等参数的工作状态，及时发现灯具故障并进行预警。管理人员还能根据不同的作业需求和时间安排，灵活设置多种照明场景模式，如维修作业场景、日常通行场景、应急照明场景等^[4]。此外，系统还支持与其他机库管理系统的集成，根据维修任务的安排自动调整照明设置可以实现机库照明管理的智能化和自动化。

4.2 面临挑战

从技术集成难度来看，不同技术之间的兼容性和协同工作存在难题，例如，环境光传感器、人体红外传感器等采集的数据量庞大且类型多样，要求控制算法能够快速、准确地处理这些数据并做出合理决策，这对算法的优化和硬件的运算能力提出了极高要求。同时，多种通信方式在机库复杂环境中的信号干扰问题也较为突出，无线通信易受机库内金属结构、电气设备的影响，

导致信号传输不稳定，影响照明系统的实时控制性能。

成本问题也是阻碍该方案广泛应用的关键因素，一方面，智能照明系统的硬件设备成本较高，例如，智能灯具、高精度传感器、功能强大的中央控制单元等，相较于传统照明设备价格大幅提升。另一方面，软件系统的开发、维护以及与硬件的适配也需要大量资金投入。在东航武汉天河机场基地 1# 飞机维修厂房这类大规模机库建设中，照明系统的全面智能化改造意味着高昂的初期投资，这对于部分资金预算有限的机场或机库运营方来说，是一项不小的负担。

智能照明系统技术复杂，一旦出现故障，维修难度远高于传统照明系统。例如，当系统出现通信故障或控制算法异常时，需要专业的技术人员具备电子、通信、计算机等多学科知识，才能准确诊断和修复问题。目前，相关专业技术人才相对匮乏，无法及时恢复照明，影响机库的正常运行。

5 结论

飞机机库智能照明系统机电控制方案的核心机电控制技术，有效提升了照明系统的智能化水平；系统架构设计的硬件与软件协同工作，场景化照明模式满足了机库多样化需求；实验验证也证实了该方案在节能、照明质量及智能化管理方面优势显著。未来，应聚焦于攻克技术难题，研发更高效的算法与抗干扰通信技术，降低硬件成本，培养专业维护人才，推动智能照明系统在飞机机库领域的广泛应用，为实现照明系统的高效节能与智能化管理的长远目标。

参考文献

- [1] 李章平, 黄玉芬. 计算机视觉视域下智能照明控制系统开发 [J]. 中国照明电器, 2025, (01): 109-114.
- [2] 惠艳玲. 智能照明系统中的技术优化与能效提升研究 [J]. 中国照明电器, 2025, (01): 137-139.
- [3] 董海芳. 基于无线网络的 LED 智能照明控制系统研究 [J]. 中国照明电器, 2025, (01): 140-142.
- [4] 唐维, 潘云. 基于图像识别的照明自动调节系统研究 [J]. 中国照明电器, 2025, (01): 159-161.