

虹桥机场跑道状态灯系统的性能优化与提升策略研究

於毅俊

上海虹桥国际机场有限责任公司

DOI:10.12238/etd.v6i2.12947

[摘要] 本文聚焦虹桥机场跑道状态灯系统,详细阐述其性能优化的重要性。通过深入分析系统运行中存在的问题,提出针对性的提升策略,涵盖技术改进、施工与调试优化、运行管理强化等方面,旨在提高系统的可靠性、稳定性和运行效率,为机场安全高效运行提供有力保障。

[关键词] 虹桥机场; 跑道状态灯系统; 性能优化; 提升策略

中图分类号: V351.2 文献标识码: A

Research on Performance Optimization and Improvement Strategy of Runway Status Light System at Hongqiao Airport

Yijun Yu

Shanghai Hongqiao International Airport Co., Ltd

[Abstract] This article focuses on the runway status light system of Hongqiao Airport and elaborates on the importance of optimizing its performance. By deeply analyzing the problems existing in the operation of the system, targeted improvement strategies are proposed, covering technical improvements, construction and commissioning optimization, and operational management strengthening, aiming to improve the reliability, stability, and operational efficiency of the system, and provide strong guarantees for the safe and efficient operation of airports.

[Key words] Hongqiao Airport; Runway status light system; Performance optimization; Enhancement strategy

引言

在民航运输体系中,机场的安全与高效运行至关重要。跑道状态灯系统作为机场保障设施的核心部分,对降低跑道侵入风险、提升机场运行效率起着不可替代的作用。虹桥机场作为我国重要的航空枢纽,年起降架次众多,场面交通态势复杂。跑道状态灯系统的稳定运行能为飞行员和车辆驾驶员提供直观、准确的跑道状态信息,有效减少人为错误,降低跑道侵入风险,提升机场整体运行效率。然而,虹桥机场跑道状态灯系统在实际运行中面临诸多挑战,如复杂的场面环境干扰监视信号、多变的交通态势增加系统处理难度等,因此,对其性能进行优化与提升迫在眉睫。

1 虹桥机场跑道状态灯系统概述

1.1 系统构成与工作原理

虹桥机场跑道状态灯系统由控制处理系统、灯光子系统、灯具构成。控制处理系统为核心,融合场面监视雷达、多点定位、进近雷达等多种监视源信号,场监自动化系统集成多部相关信号源为其提供目标位置、速度等信息。经数据融合处理模块多子模块处理确保数据准确完整,结合跑道运行规则判断跑道安全状态,生成灯光控制指令。灯光子系统接收指令,控制跑道进

入灯(REL)和起飞等待灯(THL)亮灭,以此向飞行员和车辆驾驶员直观传递跑道占用情况,如下图1-1所示。



图1-1 跑道状态灯系统组成图

1.2 系统在机场运行中的作用

虹桥机场跑道状态灯系统在机场运行中发挥着至关重要的作用。在安全保障方面,该系统能实时监控跑道状态,当跑道存在不安全因素时,及时点亮相应灯光,提醒飞行员和车辆驾驶员,有效降低跑道侵入风险,系统总体方案如下图1-2。在2019-2020年的示范验证阶段,系统成功运行,对防止跑道侵入起到了积极作用,得到了相关部门的认可。在运行效率方面,系统为航空器提供准确的跑道使用信息,减少了航空器在地面的等待时间和滑行时间。例如,在未安装跑道状态灯系统前,航空器地面滑行时间较长,而系统投入使用后,通过优化灯光控制,使航空器能

够更加高效地完成穿越跑道、起飞等动作,提升了机场的整体运行效率。

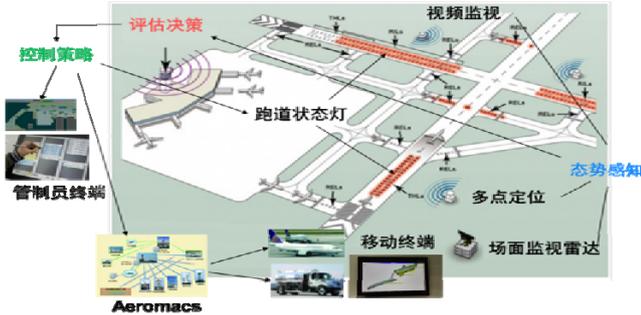


图1-2 系统总体方案

2 虹桥机场跑道状态灯系统性能问题分析

2.1 技术适配与集成难题

跑道状态灯系统与多种不同技术体系和数据格式的系统协同工作时面临诸多技术难题。数据传输方面,场面监视雷达和多点定位监视技术等不同系统的数据传输协议和格式差异大,如场面监视雷达用X或Ku波段,定位精度7.5米,更新率1Hz,多点定位技术定位精度高但数据格式不同,这使得数据传输易丢失、延迟或出错,影响对跑道状态的实时判断。接口匹配也很关键,跑道状态灯系统与场监自动化系统、空管指挥系统等接口需精确匹配,但各系统设计和更新进度不一致,像虹桥机场建设时就需升级场监自动化系统软件来满足通信接口要求,匹配难度大。

2.2 施工与调试复杂性

虹桥机场跑道道面结构复杂,既有原有的跑道照明设施、导航设施等,这给跑道状态灯的安装施工带来了极大挑战。在施工过程中,需要在不影响跑道正常使用的前提下进行作业,这对施工时间和技术要求极高。系统调试不能影响现场运行,这进一步增加了调试的复杂性。传统的调试方法可能会导致灯具亮灭,影响机场正常运行。为解决这一问题,虹桥机场采用了无感运行模式(影子模式),即系统实时反馈灯光情况,但不造成现场灯具亮灭。然而,在实际应用中,这种模式仍需要进一步优化,以确保反馈信息的准确性和及时性。

2.3 运行管理挑战

在虹桥机场跑道状态灯系统运行过程中,监视数据处理子系统、控制处理子系统和灯光监控子系统分别由华东空管局技术保障中心、空管部门和虹桥机场飞行区管理部等不同部门负责维护和管理。不同部门之间的职责划分不够明确,导致在系统运行出现问题时,容易出现推诿现象,无法及时解决问题。信息沟通不畅也是一个突出问题。各部门之间的信息传递存在延迟和不准确的情况,例如在设备故障时,维护部门不能及时将故障信息传达给管制部门,导致管制员无法及时采取措施,影响系统的正常运行。

3 虹桥机场跑道状态灯性能优化与提升策略

3.1 技术改进措施

3.1.1 优化数据融合算法

改进数据融合处理模块,提高对多种监视源数据融合精度。利用先进的机器学习算法,对不同监视源的数据进行深度分析和处理,识别虚假目标并进行有效过滤。例如,通过对历史数据的学习,建立虚假目标特征模型,当系统接收到新的数据时,自动比对特征模型,判断目标的真实性。同时,加强对数据质量的监测,实时评估数据的准确性和完整性,当数据质量出现问题时,及时进行修复或替换。通过这些措施,确保系统获取准确的场面交通态势数据,为灯光控制提供可靠依据。

3.1.2 完善控制决策算法

根据虹桥机场的实际运行情况,进一步优化跑道状态灯的控制决策算法。深入分析机场的航班起降规律、管制习惯以及跑道使用规则,结合这些因素对控制决策算法进行调整。例如,针对虹桥机场东跑道主要用于降落,西跑道主要用于起飞的特点,优化飞机起降过程中跑道状态灯的控制逻辑。同时,加强与管制员的沟通,收集他们在实际工作中的反馈意见,不断完善算法,使其更符合实际运行需求,避免灯光状态与管制指令冲突。

3.1.3 加强灯具检测与监控

研发更先进的灯具检测技术,提高灯具的可靠性和稳定性。采用新型的光学传感器和电子检测设备,对灯具的发光强度、光束扩散角等参数进行实时监测。例如,利用光纤传感器技术,实现对灯具内部温度、电流等参数的精确测量,及时发现灯具的潜在故障。完善单灯监控系统,为每个灯具配备独立的监控模块,实现对灯具运行状态的实时监测和故障预警。当灯具出现故障时,监控系统能够迅速发出警报,并定位故障灯具的位置,方便维护人员及时进行维修。

表3-1 虹桥机场跑道状态灯光级设定标准

昼间/夜间	能见度(m)	标准光级	状态灯光级
昼间	大于5000	4	5
	小于5000,大于1600	4	5
	小于1600	5	5
	小于800	5	5
夜间	大于5000	2	3
	小于5000,大于1600	3	4
	小于1600	4	5
	小于800	4	5

3.2 施工与调试优化

3.2.1 创新施工技术

针对跑道道面结构复杂的问题,研发专用的施工技术和设备。例如,研发专用开槽机,根据跑道状态灯的安装需求,精确控制开槽的深度、宽度和位置,减少对跑道结构的影响。同时,采用先进的管线铺设技术,提高施工效率和质量。在施工过程中,加强对施工质量的管理,建立严格的质量检测标准和验收制度,

确保每个施工环节都符合要求。例如,对灯光电缆的敷设进行严格的绝缘测试和接地检测,保证电缆的安全可靠运行。

3.2.2完善调试方法

进一步优化无感运行模式(影子模式),提高其反馈灯光情况的准确性。通过增加模拟场景的多样性和复杂性,对系统进行全面测试,确保在各种情况下系统都能准确反馈灯光状态。同时,加强对调试过程的管理和监督,制定详细的调试计划和流程,明确调试人员的职责和任务。在调试过程中,实时记录调试数据,对数据进行分析和评估,及时发现问题并进行调整。例如,在飞行验证过程中,对不同飞行场景下跑道状态灯的触发情况进行详细记录和分析,根据分析结果对系统进行优化。

3.3运行管理强化

3.3.1建立高效协调机制

明确各部门在跑道状态灯系统运行维护中的职责,制定详细的工作流程和规范。建立定期沟通和协调机制,例如每周召开一次协调会议,各部门汇报系统运行情况,共同讨论解决存在的问题。加强信息共享,建立统一的信息管理平台,实现各部门之间的数据实时共享。例如,当监视数据处理子系统发现异常数据时,能够及时将信息传递给控制处理子和灯光监控系统,以便各部门及时采取措施。

3.3.2加强相关人员培训

对涉及跑道状态灯系统运行的管制人员、飞行员、车辆驾驶员等进行全面、系统的培训。培训内容包括系统的工作原理、操作方法、灯光信号含义以及应急处理措施等。采用理论教学与实际操作相结合的方式,提高人员的操作技能和应急处理能力。例如,组织管制人员进行模拟演练,模拟各种复杂的跑道运行场景,让他们在实践中熟练掌握系统的操作和应对方法。同时,定期对人员进行考核,确保他们能够熟练掌握相关知识和技能。

3.3.3完善系统维护标准

借鉴国际先进标准,如FAA的相关标准,结合虹桥机场的实际情况,制定完善的跑道状态灯系统维护标准和规范。明确维护的内容、周期和方法,例如规定每日对灯具进行发光情况检查,每月对嵌入式灯具上盖进行检查等。同时,建立维护档案,对每次维护的时间、内容、结果等进行详细记录,便于对系统的维护情况进行跟踪和评估。加强对维护人员的培训和管理,确保维护工作按照标准和规范进行。

4 系统优化效果评估与展望

4.1优化效果评估方法

通过收集虹桥机场跑道状态灯系统优化前后的运行数据,

对比控制准确度、漏检率、错误触发率等性能指标来评估优化效果。优化前,系统控制准确度为99%,漏检率0.1%,错误触发率0.05%;优化后,控制准确度超99.9%,漏检率低于0.05%,错误触发率低于0.01%,成效显著。同时,采用问卷调查、座谈会等方式收集管制人员、飞行员和车辆驾驶员的反馈意见,从实际使用体验,如灯光信号清晰度、操作便捷性等方面,进一步评估优化效果。

4.2预期效果与展望

通过实施上述性能优化与提升策略,虹桥机场跑道状态灯系统的性能得到显著提升,控制准确度更高,漏检率和错误触发率更低,系统运行更加稳定可靠。这将进一步降低跑道侵入风险,提高机场的安全保障水平。同时,系统的优化将有助于提高机场的运行效率,减少航空器地面滑行时间。未来,随着技术的不断发展和机场运行需求的变化,跑道状态灯系统还需持续优化,进一步提升系统性能。

5 结论

虹桥机场跑道状态灯系统的性能优化与提升是一个系统工程,需要从技术改进、施工与调试优化、运行管理强化等多个方面入手。通过深入分析系统中存在的问题,提出针对性的提升策略,并充分利用实际运行数据进行优化和评估,能够有效提高系统的性能。在未来的发展中,应持续关注系统的运行情况,不断优化和完善相关技术和管理措施,确保跑道状态灯系统始终处于良好的运行状态,为机场的安全高效运行提供更加可靠的保障。

[参考文献]

- [1]马晓萱,张军峰,朱玲.复杂多跑道机场离场运行的动态协同调度[J].交通运输工程与信息学报,2024,22(4):154-165.
- [2]赵丁仪,齐心歌,汪磊.冲偏出跑道事件风险评估研究进展[J].航空工程进展,2025,16(1):1-8.
- [3]陈可嘉,司徒腾宽.考虑跑道复杂依赖关系的多目标飞机排序模型[J].南京航空航天大学学报,2023,55(6):1025-1032.
- [4]董兵,吴悦,郝宽公,等.基于位置误差模型的机场侧向跑道碰撞风险评估[J].航空计算技术,2024,54(01):27-31.
- [5]李明捷,黄欣宁.近距平行跑道机场绕行滑行道使用策略研究[J].科学技术与工程,2024,24(04):1715-1723.

作者简介:

於毅俊(1985--),男,汉族,宁波人,本科,电气专业工程师,研究方向:民航机场助航灯光技术。