

Analysis of the Application of Runway Status Lights in Preventing Runway Invasion

Bing Dong, Wei Dai

Air Traffic Management College, Civil Aviation Flight University of China, Guanghan Sichuan
Email: dbcafuc@126.com

Received: Oct. 17th, 2019; accepted: Oct. 29th, 2019; published: Nov. 5th, 2019

Abstract

With the rapid increase of civil aviation traffic, runway incursions occur from time to time. How to prevent runway incursions has become an urgent problem for civil aviation industry. Runway status lights (RWSL) can effectively reduce the occurrence of runway intrusion by reducing human error. This paper introduces the basic composition and working principle of runway status light, the difference between FAA standard and ICAO standard, the operation evaluation and analysis of runway status light, and the analysis of the factors considered in China, providing reference for the application of runway status lamp in domestic airports.

Keywords

Air Transport, Runway Status Lights, Runway Intrusion

跑道状态灯在防止跑道入侵中的应用进展分析

董兵, 戴维

中国民用航空飞行学院, 空中交通管理学院, 四川 广汉
Email: dbcafuc@126.com

收稿日期: 2019年10月17日; 录用日期: 2019年10月29日; 发布日期: 2019年11月5日

摘要

随着民航运输量快速增加, 机场跑道侵入事件时有发生, 如何预防跑道侵入成为民航业急需解决的问题。跑道状态灯(RWSL)能够有效地减少跑道侵入事件中的人为差错, 从而减少跑道侵入情况的发生。本文介绍了跑道状态灯的基本组成和工作原理, FAA标准与ICAO标准的差异, 对跑道状态灯运行评估分析以及考虑因素进行了分析, 为跑道状态灯在国内机场的应用提供参考。

关键词

航空运输, 跑道状态灯, 跑道侵入

Copyright © 2019 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

随着航空运输业的快速发展, 大型机场运行饱和度增加, 各种安全问题越发突出, 其中跑道入侵正成为民航业的重要危险事件。2016, 虹桥“1011 跑道入侵事件”给中国民航敲响安全的警钟。为降低跑道侵入风险, 部分机场安装了跑道状态灯系统, 将其作为机场预防跑道侵入的防范措施之一, 以提高安全水平。目前, 跑道状态灯技术在国内的应用还处于初步研究阶段, 有必要对其进行介绍, 从而借鉴国外的先进的技术。

2. 跑道状态灯系统的研究及运行现状

2.1. 国外研究现状

为了满足在高流量机场有效安全的运行, 2001 年美国林肯实验室开始了跑道状态灯系统的模型研究, 从 2005 年开始, FAA 分别在波士顿洛根机场(BOS)、洛杉矶国际机场(LAX)等机场进行运营测试评估工作, 截至 2019 年初, 美国国内共计有 20 个机场的跑道状态灯系统投入运行。其它国家的机场, 如巴黎戴高乐机场、日本东京羽田国际机场、韩国仁川机场也已投入运行。

目前的研究成果多来自于美国林肯实验室和 FAA 的 RWSL 项目测试组[1]。林肯实验室的 Maria Picardi Kuffner 教授聚焦 RWSL 系统的人类学因素的研究[2], 研究人为因素在 RWSL 系统的可接受性, 为 FAA 的 RWSL 项目提供了技术支持; 地面监控组成员 Jessica Randazzo 等人提出了 RWSL 系统在试验阶段测试评估的创新方法[3], 列出测试机场通过测试所应该满足的基本指标。技术负责人 James R. Eggert 博士对地面交通监视系统进行了定量研究, 完成了洛根机场 RWSL 监视系统的原等型设计[4], 为 FAA 决策提供了重要参考, 监视系统组成员 Bradley R. Howes 等人对 RWSL 项目的运行和监视程序作出了相关的设计[5], 提高了 RWSL 项目的自动化水平。

FAA 主导下的跑道状态灯系统的大部分数据来自机场场面监控系统, 而美国机场主要应用的是“机场场面探测设备”, 简称为 ASDE-X (Airport Surface Detection Equipment, Model X), 经过近二十年的研发和试验, 具有极高的可靠性和准确性[6], 同时通过了欧洲和美国民航当局的技术认证, 能够完全满足空中交通管制的严格要求, 采用了 ASDE-X 数据的 RWSL 系统已被证明是安全有效的。

2.2. 国内研究现状

国内相关研究的文献较少, 主要进行综述性分析。研究内容包括对跑道状态灯技术发展的介绍, 分析了 RWSL 系统对各类人员的信息指示和操作要求; 对 RWSL 的系统架构进行了分析[7], 为目前国内民航机场 RWSL 框架建设提供参考。分析了 RWSL 在国内机场应用存在的问题, 详细分析了美国联邦航空局关于 RWSL 的设计和安装标准。2016 年, 民航二所进行了“防止跑道侵入技术与示范”的项目示范研究, 在虹桥机场开展基于跑道状态灯的防止跑道侵入技术的集成示范研究, 填补了国内 RWSL 技

术领域的空白。北京大兴国际机场的跑道灯光系统即将投入使用, 可为后续大型机场的改扩建提供有益的建议。从有关的 RWSL 系统的文献可知, 国外机场在研究 RWSL 新技术能否应用之前, 应充分调研机场的运行现状和运行环境; 在技术的测试阶段, 则进行了大量的工作, 对评估指标进行了定性和定量相结合的方法; 当通过测试, 满足相关指标后, 颁发文件, 确定 RWSL 灯组的技术规格; 最后在试点机场进行试运行, 总计和完善后才推广使用。

3. RWSL 系统新技术介绍

3.1. RWSL 定义

跑道状态灯是一个全自动化的系统, 主要目的是为了在减少跑道入侵的数量和降低跑道入侵严重程度, 防止跑道事故的发生, 同时不干扰机场运营。它旨在与现有程序兼容, 跑道状态灯由跑道入口灯(Runway Entrance Lights, REL)、起飞等待灯(Takeoff Hold Lights, THL)和跑道交叉口灯(Runway Intersection Lights, RIL)组成, 如图 1 所示。RWSL 系统具有全天候条件下自动运行的特型, 因此能在机场场面较差天气条件下, 直接向飞行员和机场车辆操作员提供跑道状况的指示, 增加他们的情景意识, 具备极强的运行能力。

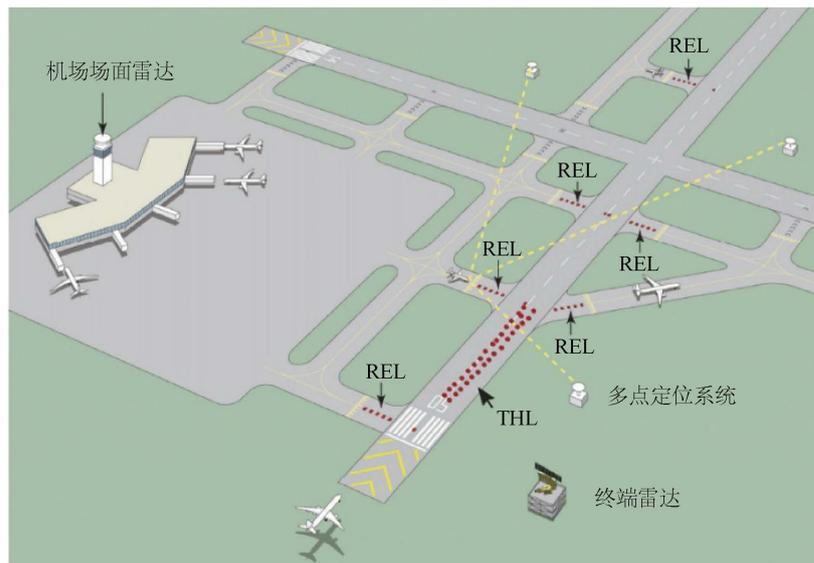


Figure 1. Schematic diagram of the RWSL system
图 1. RWSL 系统示意图

3.2. RWSL 工作原理

RWSL 系统由两个方面组成, 一方面是监视设备, 通过 ASDE-X 收集了来自地面动态雷达、多点定位系统 MLAT、ADS-B、终端自动化系统和飞机机载应答机的数据, 通过数据分析, ASDE-X 能确定出机场飞机和车辆的具体位置, 并以彩色地图的方式提供给机场管制员。另一方面是照明系统, 包括跑道入口灯(REL), 起飞保持灯(THL)和跑道交叉灯(RIL)。RWSL 系统通过数据信息处理, 评估跑道状态, 然后自动向照明系统(REL、THL 和 RIL)发送适当的灯光指令, 这些灯组收到激活命令后就会亮起照明。RWSL 整体工作原理可见图 2。

从图 2 中可见监视数据来自多点定位应答机, 场面追踪雷达和监视雷达的组合, 最后形成一个连贯的机场表面的交通图像[8]。其中多点定位系统(MLAT)根据飞机和车辆的应答机信号到达的时间差, 以及

多个多边接收器的位置信息,从而定位中飞机的位置。通过数据融合技术可消除 MLAT 与场面雷达的误差,并获取飞机的运动状态和趋势[9]。机场交通的运行状态(滑行,着陆,起飞等)由状态机来评估判断,光激活逻辑基于当前跑道的监视状态和运行参数,最终确定应打开跑道状态灯灯组,并且把交通状态和灯光状态显示在管制员控制器的评估显示屏上。

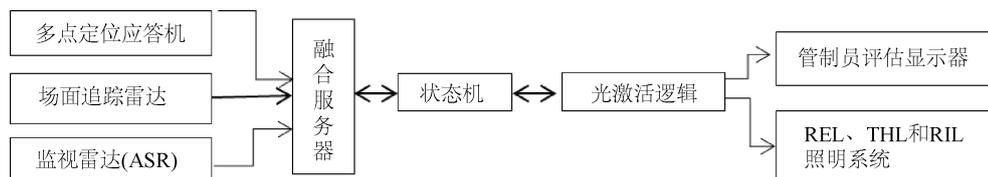


Figure 2. Schematic diagram of the operating principle of RWSL system
图 2. RWSL 系统工作原理简图

多点定位系统 MLAT 作为一种新型的场面监视技术,航空器无需额外增加机载设备,通过应答机信号并利用时间差即可对目标进行识别定位。另外 MLAT 系统受天气影响较小,可以满足恶劣天气下对场面监视的运行需求。MLAT 监视技术因其高定位精确度、高刷新率以及较低的成本的优势,现已成为了场面监视技术的较优选择。

3.3. FAA 标准与 ICAO 标准的差异

国际民航组织公约附件 14 机场(2016 年第七版)有对 RWSL 的描述内容:跑道状态灯是一种跑道侵入自主告警系统(ARIWS),由两个基本目视组成部分构成:跑道进入灯(REL)和起飞等待灯(THL) [10]。根据 ICAO 和 FAA 规章,RWSL 标准内容上大体一致,个别地方内容有出入。具体的差异见表 1。

Table 1. Differences between FAA standard and ICAO standard
表 1. FAA 标准与 ICAO 标准的差异

	跑道进入灯(REL)	起飞等待灯(THL)	跑道口交叉灯(RIL)
FAA 标准	设置在与跑道相交的滑行道,自 A 型等待位置标志至跑道中线标志设置与没有滑行道中线灯的一侧,至少有 6 个灯具组成(也可根据滑行道的长度适当减少或增加灯具数量)	朝向起飞飞机,沿跑道中线灯两侧对称设置在起飞跑道滑跑区域	自 A 型跑道等待位置标志或着陆和短时等待灯外侧起,沿跑道中线灯两侧对称设置在交叉跑道中线等两侧,朝向趋近跑道交叉口的机组和 2 车辆驾驶员
ICAO 标准	设置在与跑道相交的滑行道上,偏离滑行道中线 0.6m,自等待位置标志至	必须位于跑道中线灯两侧偏离中线灯 1.8 m 之处,并从距离跑道开始处 115 m 的一个点开始,向后成对延伸	

4. RWSL 系统运行评估分析

4.1. 美国跑道侵入运行结果分析

根据 FAA 的标准,跑道侵入分为以下 A、B、C、D 4 类,A、B 类为严重事件,具体分类定义见表 2,民航单位要尽可能避免此类事件的发生。

根据 FAA 的统计,2014 年至今,美国本土每年发生的各类跑道侵入事件平均 1500 余起,整体来看,侵入事件总量较多,而且近年来有增长的趋势。在 FAA 的跑道安全事故分析中,把事故原因分为 4 类:管制员错误(OI),飞行员偏差(PD),地面车辆和人员偏差(VPD),和其他原因(Other)。从表可以看出,人的因素是发生跑道侵入事故的重要原因,2018 年的统计为例,管制员错误(OI)的比例为 18.8%,而飞行

员偏差(PD)的比例达到了惊人的 62.3%，其他原因(Other)的比例只有 0.5%，具体统计结果见表 3。

Table 2. Classification of runway invasion
表 2. 跑道入侵分类

类别	描述
A 类	一个严重的事件，勉强避免了碰撞。
B 类	一种事故，间隔减少并且存在碰撞的可能性。
C 类	有着充足的时间和/或距离为特征的事件，以避免碰撞。
D 类	符合跑道侵入定义的事件。

Table 3. Statistics of runway incursions in the United States from 2014 to 2018

表 3. 2014~2018 美国机场跑道侵入事件统计

年份	管制员错误(OI)	飞行员偏差(PD)	地面车辆和人员偏差(VPD)	其他原因(Other)	总计
2014	258	764	234	8	1264
2015	323	881	252	2	1458
2016	332	943	278	8	1561
2017	306	1142	293	7	1748
2018	345	1142	335	10	1832

RWSL 能够减少人为因素在跑道侵入方面的影响，在预防跑道侵入方面能发挥出巨大的作用，RWSL 能自动向飞行员和地面车辆操作员提供清晰的跑道状态指示，提高管制员、机组人员和机场车辆驾驶员的情景意识，从而减缓跑道侵入的严重程度。

4.2. RWSL 系统运行评估分析

RWSL 系统在投入运营之前，需进行了大量的原型评估测试。RWSL 的运行评估分为跑道入口灯(REL)评价、起飞保持灯(THL)评价两部分，由于 RWSL 评估中最大的不确定因素之一是监视错误对 RWSL 系统评估的影响，所以整个系统的评估要求高质量的场面监视，所有车辆(包括静止和缓慢移动的飞机或车辆)在跑道和跑道 - 滑行道交叉口附近的滑行道上必须保持监视。

业务评估的目的是确定 RWSL 系统与机场的业务运行的兼容性，是否为用户(飞行员、车辆操作员和管制员)所接受。评估分为两个方面：1) 技术操作评估，对灯组照明异常的情况进行计数和分类，技术操作评估有 3 个重要指标：错误激活率、遗漏目标率和干扰率，这些指标将决定 RWSL 的安全水平；2) 操作反馈，通过征集来自不同类别的用户意见，例如飞行员，管制员，监管员和车辆驾驶员，对 RWSL 的可用性、可接受性和效益的影响进行分析。要评估 RWSL 系统，就必须让使用该系统的相关人员，包括空中交通管制员、飞行员和车辆操作员了解整个系统的运作。RWSL 在进行机场运营成本效益分析之前，需通过技术操作评估，以达拉斯沃斯堡国际机场(DFW)为例，其通过评估的指标如表 4 所示。

Table 4. Technical operation evaluation index of Fort Swarth international airport

表 4. 斯沃斯堡国际机场技术操作评估指标

	错误激活率	遗漏目标率	干扰率
运行评估指标	1/400	1/2000	1/1000

5. RWSL 在国内的应用分析

广州白云国际机场是平行三跑道设置, 在 RWSL 的应用上可在 02L/20R 跑道安装 REL 和 THL, 由于没有交叉跑道, RIL 无需安装。RWSL 是基于 ASDE-X 设计的, 但当前广州白云国际机场甚至国内机场都还没有安装 ASDE-X 机场探测设备, 还需从现有的场面监视设备中进行整体设计和集成系统。在 ASDE-X 所需的子监控系统中, 广州白云国际机场已经在运行的有场面监视雷达(ASR), 广播式自动相关监视系统(ADS-B), 而较为关键的多点定位系统(MLAT)还没有建成运行。具体实施条件差异见表 5。

Table 5. Comparison of RWSL implementation conditions at home and abroad

表 5. 国内外 RWSL 实施条件对比

	美国	中国
监视设备要求	ASDE-X 设备或类似 ASDE-X 的机场场面监视设备	机场本场可将现有的场面监视设备进行整合集成
人员培训	飞行员接受 6 个月含有 RWSL 内容的复训, 管制员、监管员、机场地面运动区域运营的驾驶员都接受了基本的 RWSL 培训车辆	飞行员、管制员、车辆驾驶员均未接收培训
行业法规	FAA 空中交通组织政策 JO 7110.65X 第 3-4-20 节对 RWSL 操作提出要求, FAA 64D 工程简报规范了 RWSL 设计和安装标准	局方还未出台跑道状态灯相关技术规范
技术试验验证	已经通过验证, 达到评估指标要求	2016 年上海虹桥机场开始试验验证

国内还没有 RWSL 的运行数据和运行反馈可供参考, 本文通过查阅大量 RWSL 设计和运营文献, 以及对相关民航业内人士进行问卷调查, 得出了几个影响 RWSL 在广州白云机场运行的主要因素, 分别是监视系统建设、停航施工、人员培训、规章体系、运行管理。在广州白云机场 RWSL 应用前, 应着重解决监视系统的集成建设, 同时评估不停航施工所带来的影响, 人员培训和规章体系也应逐步推进。

6. 结论

跑道状态灯(RWSL)可在一定程度上提高飞行员、管制员以及车辆驾驶员的情景意识, 减少人为差错, 从而减少跑道侵入情况的发生。由于跑道状态灯自动运行无需人工干预的特点, 降低了管制员和飞行员的工作负荷, 具有较好的应用前景。本文叙述了跑道状态灯在国外机场的应用, 为国内使用跑道状态灯系统提供参考。

参考文献

- [1] Eggert, J.R. (1994) Demonstration of Runway Status Lights at Logan Airport. *Lincoln Laboratory Journal*, 7, 169-186.
- [2] Kuffner, M.P. (2009) Human Factors Assessment of RWSL and FAROS-FAA Operational Evaluations at LAX, DFW and SAN. International Airline Pilots Association & Airport Ground Environment Group (AGE) Workshop.
- [3] AIAA (2007) Testing and Evaluation Methods of the Runway Status Lights System. Engineering Brief d/09.
- [4] FAA (2019) Runway Status Lights (RWSL) Sites. http://www.faa.gov/air_traffic/technology/rwsl
- [5] Eggert, J.R., Howes, B.R., Kuffner, M.P., et al. (2006) Operational Evaluation of Runway Status Lights. *Lincoln Laboratory Journal*, 16, 123-145.
- [6] 国际民用航空组织. 国际标准及建议措施附件十四机场[M]. 蒙特利尔: 国际民用航空组织, 2016: 5-82.
- [7] FAA Airport Engineering Division (2011) Runway Status Lights System—Engineering Brief 64D AAS-101.
- [8] Patterson, J. (2009) Runway Status Lights: Takeoff Hold Lighting System Evaluation DOT/FAA/AR-TN09/25. FAA Department of Transportation, Washington DC.
- [9] 许峰. 基于多监视源的跑道入侵防御技术研究[D]: [硕士学位论文]. 南京: 南京航空航天大学, 2018.
- [10] 李明捷, 刘玉红. 跑道状态灯在跑道侵入防范中的应用[J]. 中国民用航空, 2017(6): 61-63.