

浅析大兴国际机场高级地面引导系统防跑道侵入功能的实现

Analysis of the Implementation of the Runway Intrusion Prevention Function of the Advanced Ground Guidance System at Daxing International Airport

柴鑫

Xin Chai

中国民用航空华北地区空中交通管理局大兴空管中心 中国·北京 100000

North China Regional Air Traffic Management Bureau Daxing Air Traffic Control Center, Civil Aviation Administration of China, Beijing, 100000, China

摘要: 论文详细探讨了高级地面引导(A-SMGCS)系统在防止跑道侵入方面的重要性的方法。通过监视数据处理、路由规划和灯光引导模块等功能, A-SMGCS系统有效地防止了航空器在地面保护区域的错误出现,从而大大降低了跑道侵入事件的发生概率。论文还指出了系统目前存在的一些不足之处,并提出了未来的发展方向。

Abstract: This paper extensively discusses the importance and methods of Advanced Surface Movement Guidance and Control System (A-SMGCS) in preventing runway incursions. By incorporating functionalities such as monitoring data processing, route planning, and lighting guidance modules, the A-SMGCS system effectively mitigates the occurrence of aircraft errors within ground protected areas, significantly reducing the probability of runway incursion incidents. The article also points out some current shortcomings of the system and proposes future directions for development.

关键词: 民航安全; A-SMGCS系统; 跑道侵入预防

Keywords: safety of civil aviation; A-SMGCS system; runway intrusion prevention

DOI: 10.12346/etr.v5i11.8752

1 引言

跑道安全向来是民航安全管理中最重要的部分,中国民航局发布的《民用航空器事故症候》将跑道侵入定义为:在机场内任何航空器、车辆、人员错误的出现或存在指定用于航空器着陆或起飞的地面保护区的情况。

为了尽可能减少跑道侵入事件,民航局主要从人、机、环、管四个方面分别制定对应措施进行防跑道侵入管控,论文就高级地面引导(A-SMGCS)系统中如何实现防跑道侵入功能进行详细阐述。

2 防跑道侵入功能的研究意义

近年来,随着航空运输业的快速发展,航班量飞速增长,多地机场都会同时启用多条跑道同时执行起降任务,随之跑道侵入事件的也在逐年上升,因此防跑道侵入成为民航安全工作的重要部分。

跑道侵入事件发生的原因一般可以分为以下三个方面:

飞行员因素;空管因素;机场相关车辆和人员因素。

根据数据统计,大约三分之一的跑道侵入事件是空管原因引起的。针对跑道侵入发生的原因,作为空管部门,我们不仅要管制流程方面制定相应的手册和应急处置程序,还要从技术角度出发,不断优化与完善高级地面引导系统中的防跑道侵入功能,通过人防和技防两个维度,防止跑道侵入事件发生^[1]。

3 A-SMGCS系统中防跑道侵入的关键技术

A-SMGCS系统中的监视数据处理模块、路由规划处理模块、灯光引导处理模块均能实现防跑道侵入功能。航空器进行滑行时,系统自动规划的路由以及相应的灯光均不会延展到地面保护区,从根本上抑制跑道侵入的发生。即使由于机组滑行错误进入地面保护区,系统也能通过计算,在A-SMGCS系统态势界面上发出告警,进而提醒管制员进行人工干预。

【作者简介】柴鑫(1993-),男,中国内蒙古人,硕士在读,从事民航空管通导监设备维护维修、设备升级、新技术研发应用研究。

4 监视数据精准监视技术与告警处理模块

4.1 监视数据精准技术

4.1.1 基于地理信息和雷达回波的虚假目标识别方法

大兴机场 A-SMGCS 系统在雷达探测目标航迹自动起始阶段, 利用构建的雷达多径易发区域辅助地理先验信息, 判别潜在多径虚假目标与真实目标的几何拓扑关系, 结合多方面因素综合处理、判决, 抑制由多径假回波引起的虚假目标航迹, 从而显著提高机场目标航迹自动化起始的正确率。

4.1.2 基于运动学特征建模的目标跳变抑制方法

大兴机场 A-SMGCS 系统利用动力学原理, 采用目标匀速模型、匀加速模型、当前统计模型、匀速转弯模型等, 结合物理地形和历史航迹的运动趋势, 对信号源报告的小幅度位置误差进行纠错和抖动抑制, 并通过平滑滤波算法提高综合航迹的平稳性和平滑度, 从而抑制目标跳变。

4.2 告警处理模块

基于 A-SMGCS 系统的监视数据精准技术, 系统实现了跑道侵入告警、目标丢失告警、限制区侵入告警、速度告警、滑行道冲突告警等功能, 为管制员地面目标监控和冲突解脱提供参考和依据。

系统在接收到各监视源送来的监视数据后, 采用卡尔曼滤波算法和变融合窗口机制进行信号融合, 通过航迹位置优选和智能优化计算, 结合各融合因子加权得到更精准的综合航迹。然后根据航迹位置, 与 ASMGCS 系统离线参数配置 (DBMS) 中设置的地面保护区进行比较, 若该航空器或者车辆的航迹位置即将进入地面保护区, 系统就会在态势界面上显示 RIW (跑道侵入) 告警, 并且发出告警音, 从而提醒管制员进行应急处置^[2]。

5 路由规划处理模块

5.1 规划模式

系统路由规划的模式分为三种, 分别是自动规划、默认路由规划和人工规划。

自动规划, 是系统使用关键点、滑行道、限制条件等离线数据, 按照最优路径原则规划出路由结果。默认路由规划, 是系统按照离线已设定的跑道至停机位间滑行道, 规划出指定的路由结果。人工规划, 是系统按照人工选择的必经点、滑行道等条件, 规划出路由结果。

5.2 触发条件

系统自动路由规划的主要条件包括: 针对进港航班, 当航班接地后或停机位、穿越道口等发生变化, 执行自动路由规划; 针对离港航班, 当航班推出或跑道、跑道入口、穿越道口等发生变化, 执行自动路由规划。

5.3 基础数据

系统基于以下基础数据进行路由规划的计算:

路由关键点, 是路由规划中最关键数据, 主要包括 id、名称、位置坐标、相邻关系等, 用于最短路径的计算, 和最终滑行道路由的组合产生。

机场要素, 辅助进行路由规划的计算, 包括跑道、脱离道口、跑道入口、滑行道、停机位、穿越道口等。

限制信息, 确保路由规划结果满足机场运行规则, 包括限制区、滑行道方向和限制、除冰信息等。

默认路由, 用于跑道至停机位间的默认进港和离港路由规划。

5.4 核心算法

系统自动路由规划采用了迪杰斯特拉 (Dijkstra) 经典算法, 用于跑道至停机位间最优路由的计算。该算法为单源最短路径算法, 用于计算一个节点到其他所有节点的最短路径, 以起始点为中心向外层层扩展, 直到扩展到终点为止。前文中提到的路由关键点, 即该算法中用于计算的各节点, 各节点间距离和关系也需在离线数据中进行定义。为了提升算法效率, 系统对 Dijkstra 算法进行优化, 将单源最短路径改为单步多源最短路径, 并根据地理位置关系筛选关键点, 减少了算法遍历次数和耗时。系统在计算最短路由的过程中, 还要考虑滑行道方向和限制、限制区等运行规则, 根据限制信息不断舍弃不符合要求的路由结果, 最终得到符合要求的最优路由。算法示意如图 1 所示。

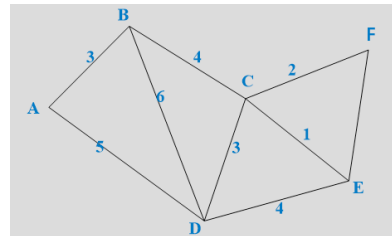


图 1 算法示意图

以 A 为起点, 以 F 为终点, 逐步以 B、D 为中间点, 以 C、E 为中间点进行计算, 最终得到结果如下:

$$A \rightarrow A=0$$

$$A \rightarrow B=3$$

$$A \rightarrow D=5$$

$$A \rightarrow B \rightarrow C=7$$

$$A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow E=8$$

$$A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow F=9$$

即计算出起点 A (如停机位) 到终点 F (跑道入口) 的距离为 9, 为最短路径。

5.5 路由的筛选

当每条滑行道的 begmin、begmax、endmin、endmax 都确定后, 需要整理出一条最后的路由。考虑到真正的场监环境不可能出现两个 beging 点之间存在 end 点, 或者两个 end 点之间存在 begin 点的情况, 因此筛选原则是这样的, 选择每条路由上靠得最近的两个 end 和 beg 点。这样也就是选择了在每条滑行道上经过的路由点数最少的情况。根据这样的原则, 得出的路由具体示例如下:

路由的第一个点是航班的起始点, 对于滑行道 K, endmax 与 begmin 之间的点数最少, 所以 K 滑行道的路由

顺序是 $endmax[0], \dots, begmin[0]$; 对于滑行道 G, $endmin$ 与 $begmax$ 之间的点数最少, 所以 K 滑行道的路由顺序是 $endmin[1], \dots, begmax[1]$; 对于滑行道 H, $endmax$ 与 $hold\ short\ off$ 之间的点数最少, 所以 H 滑行道的路由顺序是 $endmax[2], \dots, Hold$, 如图 2 所示。

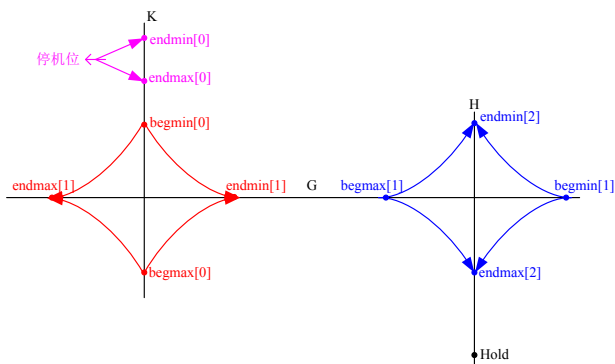


图 2 路由筛选示意图

5.6 防跑道侵入功能实现

在进行路由规划时, 不论是自动规划还是人工规划, 系统算法除了考虑最短路径、避开滑行道限制区外, 还考虑在穿越跑道时, 穿越道口是否关闭, 同时禁止经过当前跑道运行方向下不可使用的穿越道, 从根本上避免跑道侵入等不安全事件的发生。

6 灯光引导模块

6.1 基础数据

大兴机场 A-SMGCS 系统与助航灯光控制系统通过网络方式进行互联, 控制的灯光单元主要分为滑行道中线灯、停止排灯两类, 控制的方式为灯光段方式 (灯光段由 1 至 7 个单灯组成)。大兴机场目前约有 22000 余个停止排灯及滑行道中线灯, 被划分成 4000 余个灯光段。所有滑行道中线灯、停止排灯、灯光段的名称、位置、对应关系都要在系统离线数据中进行定义。此外, 灯光引导计算用到的 VSP 参数和机场要素, 也要进行定义。

6.2 基本算法和冲突解脱

灯光引导的判断条件为进港航班规划路由后, 脱离跑道进入脱离道; 或离港航班推出规划路由后, 开始滑行。当路由和航迹都存在且位置相差在一定距离范围内, 滑行中线灯会自动打开, 在设定的引导灯光长度内, 若未存在冲突, 则引导灯光长度内的停止关灯关闭。目标走完一段灯光段会自动关闭, 停止排灯自动打开。

系统根据航空器引导灯光前方是否有地面目标、打开的滑行中线灯、打开的停止排灯, 来判断是否存在冲突。当多个航空器在交叉路口有冲突时, 系统自动控制交叉路口的停止排灯, 进行放行-阻挡操作, 先到的航空器将被优先放行。系统也允许通过人工操作修改放行的先后次序。

6.3 防跑道侵入功能实现

针对灯光引导模块, 管制员通过更改电子进程上的计划

状态, 当航班计划状态由联系塔台 (CNT) 变为等待起飞 (LIN), 系统即向灯光站发送打开进入道口前的停止排灯的消息, 从而引导航空器进入或者穿越跑道, 防止发生跑道侵入事件。

当航空器未遵守引导灯光规则, 强行通过打开的停止排灯时, 系统上将显示航空器闯停止排灯告警 (RED), 同时停止排灯前方的滑行道中线灯也不会开启, 进而阻止飞行员继续滑行, 降低发生跑道侵入事件发生的可能。

7 存在的不足与前景展望

偶发由场监雷达产生的不明信号漂移到地面保护区范围内, 也会触发产生跑道侵入 (RIW) 误告警, 给管制员造成干扰。后续准备在场监雷达录取器前端增加过滤, 屏蔽该类不明信号的录入, 尽可能避免因不明信号造成跑道侵入误告警。

A-SMGCS 系统灯光引导处理模块与助航灯光站之间的交互消息偶尔也会发生延迟, 即 A-SMGCS 系统发出开灯或关灯指令给助航灯光站后, 由于灯光站消息回复延迟, 造成停止排灯以及滑行道中线灯不能及时开启或关闭, 给飞行员产生干扰, 容易造成跑道侵入。需要助航灯光站进行消息处理的优化, 避免因灯光延迟问题造成跑道侵入事件。

目前 A-SMGCS 系统仍处于四级灯光引导试运行模式, 四级运行模式下, 只有管制员可以在态势界面上看到已经规划好的路由, 而飞行员无法看到。未来新的研究方向为 A-SMGCS 系统五级态势感知运行模式, 只需更新机载设备并且建立相应传输链路进行数据传输即可。该运行模式下, 飞行员也能实时看到 A-SMGCS 系统规划好的路由, 从而减少滑行时偏离路由情况的发生, 避免造成航空器冲突以及跑道侵入等不安全事件^[3]。

8 结语

建设“强安全, 强智慧, 强协同, 强效率”的四强空管一直是全空管人的共同目标。而防跑道侵入一直是空管安全工作中的重心, 大兴机场开航至今, 从未发生过跑道侵入事件。

人防是关键, 技防也同样重要。A-SMGCS 系统的监视数据与告警处理模块、路由规划模块以及灯光引导模块功能联动处理, 从技术层面上给管制员提供了一个可靠、有效的防跑道侵入手段, 极大程度降低了跑道侵入事件发生的概率, 真正意义上实现了建设智慧空管的目标。

参考文献

- [1] 谢大勇. 如何有效预防跑道侵入事件的发生[J]. 军民两用技术与产品, 2015(18):2-2+7.
- [2] 徐乃付, 王旭辉, 许玉斌. 防跑道侵入技防手段优劣分析[J]. 中国民用航空, 2020(9):46-49.
- [3] 黄真. 建设面向态势感知的智能防跑道侵入系统[J]. 中国民航飞行学院学报, 2021, 32(4):10-14.