

先进的机场场面导向和 控制系统浅析

Investigation and Analysis for Advanced Airport Surface Movement Guidance and Control System

丁汀 / Ding Ting

(上海飞航设计研究院, 上海 200232)

Shanghai Aircraft Design and Research Institute, Shanghai 200232, China

摘要:

放眼全球化的当今社会,航空交通密度日益增大,机场运营繁忙,部分枢纽型机场的吞吐量逐渐趋近饱和。这种现状对先进的机场场面导向和控制系统提出了更高的要求。与传统的机场导向和控制系统 SMGCS (Surface Movement Guidance and Control System) 相比,先进的机场场面导向和控制系统 A-SMGCS (Advanced-Surface Movement Guidance and Control System) 功能分为四部分:监视、路由、导向及控制。将对 A-SMGCS 的应用背景和发展状况给出较为全面的调研总结^[1],并结合 ICAO A-SMGCS Manual^[3] 论述对 A-SMGCS 提出详细功能需求,最后在此基础上提出 A-SMGCS 的系统功能架构。

关键词: 场面冲撞; 事故统计; 功能需求; 机场运行地图; 功能架构

[Abstract] Due to an increasing air traffic density all around the mordent world, some of the airport operations, with a SMGCS (Surface Movement Guidance and Control System) performance, are suffering overloads to their capacities. This project intends to search for a solution for the above difficulty. Compared with SMGCS, A-SMGCS (Advanced-Surface Movement Guidance and Control System) is facilitated with promoted functions spited as guidance, routing, navigation, and control. This paper gives a conclusion covering the investigation into the A-SMGCS application and development^[1]. Additionally, system performance requirements are outlined based on ICAO (International Civil Aeronautics Organization) A-SMGCS Manual^[2]. Finally, the A-SMGCS system architecture is developed in the paper. The introduction of A-SMGCS is capable to improve the airport operation efficiency and reduce the accident rate.

[Key words] Surface Collision; Accident Statistics; Performance Requirements; Function Architecture

1 机场场面交通运营情况

在过去的数十年内,全球民用航空产业经历了迅猛的发展,在如今这种交通密度下,机场的运营管理能力在各个方面都面临着巨大的挑战,例如滑行道堵塞、跑道或滑行道冲撞、机场构型复杂化以及航班延迟等情况。这一系列困难导致了机场的运营现状很难满足民航市场的需求。早在 2004 年,FAA 即对机场场面运营安全情况进行统计分析,在其跑道安全性报告^[1]中显示,从 1994 年至 2004 年

间,平均每 350 000 次航班运营就会发生一起严重的跑道冲撞情况发生,每 3.7 年就会发生一起因跑道冲撞而引发航空事故。

图 1 显示了从 1994 年到 2001 年的跑道冲撞统计数据,以及冲撞产生的原因分析^[2]。

图 1 的横轴为年度标识,纵轴为跑道事故的统计数据。由图 1 可知,引起事故的原因有:

- 1) 机场场面车辆/行人因素;
- 2) 飞行员因素;
- (1) 忽略了路口或滑行道指示;

- (2) 进行了一个错误转向;
- (3) 越过了预定的停止线。

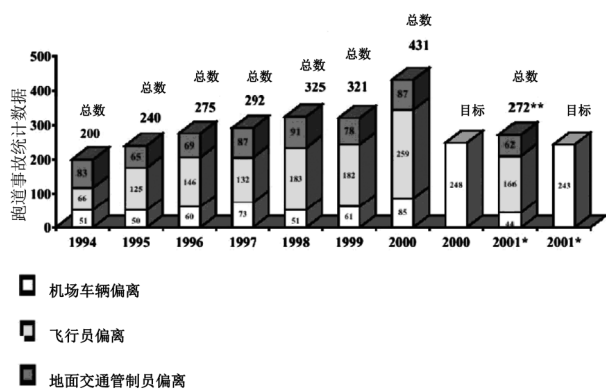


图1 1994-2001年度跑道冲撞分析^[2]

3) 运营因素:

- (1) 出港指令出错, 送给错误接受对象或是包含错误内容;
- (2) 对于飞行员返回的错误反馈, 没有进行验证或纠正。

图2的统计数据显示了在2000到2003年间因上述原因导致跑道事故的变化趋势。

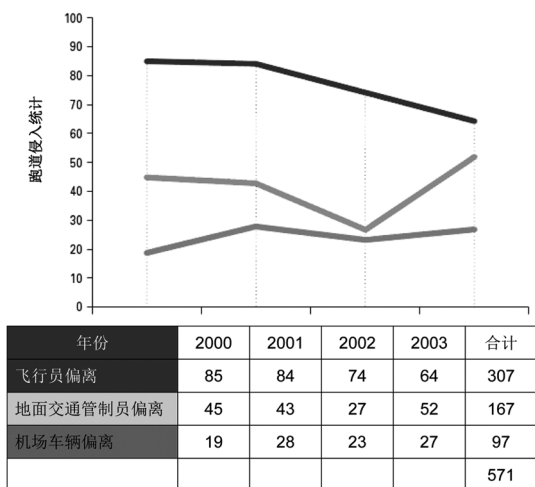


图2 FAA2004年度跑道冲撞事故调研

该统计数据取自2004年度FAA跑道安全性报告^[1], 调查对象针对至少一种机型。

除去人为因素的影响, 通信情况也会影响到机场场面的运营安全。主要是由于:

- 1) 通信频道堵塞;
- 2) 在着陆阶段滑行指令太长;
- 3) 专业术语不标准。

2 SMGCS 和 A-SMGCS

所有的机场都有某种形式的机场导向和控制

系统 SMGCS (Surface Movement Guidance and Control System) 技术。在传统的 SMGCS 下, 系统包括导向和路由两大功能。最原始的 SMGCS 仅提供纸质的滑行道导向标识, 而当今先进的机场导向和控制系统 (Advanced-Surface Movement Guidance and Control System, 简称 A-SMGCS) 可以提供最复杂的机场构型, 包括滑行道中央线和滑行道停止线。

传统的 SMGCS 有以下运营特点:

- 1) 地面交通管制员通过主监视雷达 (Primary Surveillance Radar, 简称 PSR)、机场雷达和飞行员语音报告掌握场面交通情况;
- 2) 地面交通管制员通过预设语音信道发送场面行动指令;
- 3) 飞行员在机场场面的行动须听从导航指令;
- 4) 飞行员接受到指令后与驾驶舱内配置的纸质路由表格对照执行;
- 5) 飞行员通过肉眼观察场面标识来判断前进方向;
- 6) 飞行员通过语音通信与地面交通管制员通信, 发送状态报告或提出请求。

基于上述几种情况, 传统的 SMGCS 给机场运营带来了限制和困难。

对于飞行员而言, 本机和别的飞机或障碍物之间没有最小隔离距离指示, 也没有实时的防撞告警, 飞行员必须通过肉眼判断场面标识, 这一点极易受到天气状况的影响; 飞行员和地面交通管制员之间的联系受到语音通信质量、速度和带宽的限制。

从地面交通管制员的角度出发, 他们通过传统的 PSR 雷达监视, 必然会受到雷达性能和天气状况影响, 一旦发生紧急情况需要变化预定的滑行道和跑道路由, 指令难以实时发送; 在配置路由的时候, 没有合理的人机功效接口 (Human Machine Interface, 简称 HMI) 加以支持。在低可见度的运行条件下, SMGCS 系统对场面交通计划规定具体的操作规程; 这些规程在不同的机场有所不同, 可能取决于空中交通管制 (Air Traffic Service, 简称 ATS), 机场人员职能分工和机场场面构型及支持设备等因素。在高密度的机场, 地面交通管制员面临着过大的工作量。

由此可见, 对于仅仅装备 SMGCS 的机场, 天气情况、语音通信能力、人为因素均会引起机场运营的延时和阻塞, 甚至导致冲撞事故发生, 极大地降低了机场运营效率和经济性。

针对这种情况,NASA 和其合作伙伴开发了 A-SMGCS,包括系统架构和操作规程。ICAO A-SMGCS 手册^[3]也对 A-SMGCS 的性能进行了各种规定,包括系统概念、应用说明、性能要求及优化评估。

A-SMGCS 能在机场视觉可操作水平(Aerodrome Visibility Operational Level,简称 AVOL)内,针对场面内的飞机和车辆,提供监视、路由、导向和控制功能,支持机场场面交通的有效性和安全性。因此,与 SMGCS 相比,A-SMGCS 最大的区别在于能够适应更广泛的天气条件、视野情况、交通密度和机场场面构型;同时也能提供更为精确的场面导向和控制,为运行在滑行道或跑道上的飞机确保安全间距。

A-SMGCS 的应用需要考虑到天气情况(在 AVOL 水平范围内)、交通密度、机场构型和其他的本地环境因素,并且最终取决于各子系统的支持条件、航空公司和机场的授权和配合。

机场常常对场面交通运营配置不同的控制权限。有些情况下,空中交通管制(Air Traffic Control,简称 ATC)拥有完全的控制权限,而在其他情况下,机场控制机制会代替机场授权执行全部或者部分控制权限。无论哪种情形,A-SMGCS 均应能提供从跑道到停机坪的全范围服务。

为了充分发挥 A-SMGCS 的功能,系统可以与空中交通管制(Air Traffic Management,简称 ATM)接口。A-SMGCS 协助制订机场场面交通计划,管理在机场内运行的飞机,以适应现代机场复杂的交通流。与之相关的功能包括:

- 1)进港和离港管理;
- 2)进港和离港协调;
- 3)对站队顺序和时间安排进行最优化;
- 4)对拖回顺序和时间安排进行最优化;
- 5)集成了飞行计划处理系统等,中央交通流处理单元等。

机场的运营可以认为是 ATM 的一个有机组成部分。机场地面的运营能力应该能与机场附近的飞行环境相匹配,因此 A-SMGCS 应该有能力和 ATM 实现信息无缝交换。

配备了 A-SMGCS 的 ATM 系统,可以提高以下几个方面效率:

- 1)地面交通管制效率;
- 2)维护效率;

- 3)通信资源消耗率;
- 4)可靠性;
- 5)未来改装的效率。

根据 ICAO A-SMGCS 手册^[3]的阐述,A-SMGCS 需要综合人机接口(Human Machine Interface,简称 HMI)的支持。HMI 能提供在计算机上的自动化操作,同时保持手动操作的能力,这种应用能够为飞行员及地面交通管制员减轻工作量。

与 SMGCS 相比较,A-SMGCS 能为机场场面运行带来以下几方面优势:

- 1)地面交通管制员和飞行员有明确的职能定义,这样能够减少两者在操作和运行中的交流误解及执行偏差;
- 2)使用了先进的场面监视手段,使得在视野不清晰、交通繁忙或机场构型复杂的情况下,地面交通管制员或飞行员仍然能得到良好的机场场面交通信息报告;
- 3)将先进的导向形式和有关操作作为系统要求的一部分,基于清晰的场面标识,飞行员在预定的路由下能够避免由于模糊的导向标识而产生的危险;
- 4)涵盖了机场场面上各种级别的飞机和交通工具。

综上所述,A-SMGCS 与 SMGCS 相比能够减少机场延迟、降低运行风险、增加系统可操作性和提高机场运营能力。

3 A-SMGCS 功能需求

构成 A-SMGCS 功能的主要因素可以从以下几点来考虑。

- 1)先进的监视功能:在 AVOL 条件下,保证地面交通管制员能接收到运行范围内所有飞机和其他交通工具的必要信息。
- 2)先进的显示功能:当机场能见度过低,影响地面交通管制员或飞行员判断场面情况时,为飞行员提供显示方式,实现对机场场面交通情况的掌握。
- 3)先进的路由设备:为地面交通管制员提供合理的 HMI,实现路由计划功能。
- 4)先进的场面导向:为飞行员提供清晰合理的场面路由标识,使得他们能够在 AVOL 条件下执行预定的路由计划。
- 5)先进的控制功能:对飞机在跑道和滑行道上的运行进行控制,实现冲撞预测、指示、告警,并能

提供解决方案。

由此可见,A-SMGCS 的基本功能可分为四类: 监视、路由、导向和控制。

A-SMGCS 的监视功能应能满足如下需求:

1) 向在飞机运营场面上运行的所有飞机提供准确的位置信息;

2) 对于被监视的飞机,在显示其位置的同时提供 ID 和其他标识;

3) 在系统涵盖的区域内,对静止和运行的飞机均提供监视功能;

4) 有更新时间和机场场面目标位置数据的能力,满足导向和控制的要求;

5) 不受天气变化和地形情况的影响。

系统应该能够监视系统的工作状态,一旦失效即产生告警,在运营区域里的控制系统也应该受到监控。

当飞机即将要进入跑道运行时(距跑道在一定距离内),包括穿越跑道和起降,A-SMGCS 应该能够对运行目标进行监视,以支持全面的管理。A-SMGCS 和机场附近的空中交通管理体系之间应存在无缝连接。

A-SMGCS 应该能够发现侵入运行区域的任何冲撞,对于侵入的场面目标,A-SMGCS 能提供持续的位置指示。指示的更新率能够保证系统作出有效反应。

无论是手动还是自动,A-SMGCS 的路由功能应满足:

1) 能对运行区域内的任何目标进行路由的预设;

2) 在任何时候支持目的地的变化;

3) 支持路由的变化;

4) 有能力满足复杂机场场面上的高密度交通路由需求;

5) 在飞机着陆后,不限制飞行员离开跑道进入滑行道的路径。

在半自动模式里,路由设置是由地面交通管制员来执行的。

在自动模式里,路由功能还包括:

1) 设置路由;

2) 在自动控制间断或出错时,允许人工介入。

在设置路由时,A-SMGCS 应该能够满足:

1) 在最高效的控制方式内选择最短的滑行距离;

2) 尽量减少交叉冲撞;

3) 能及时反映运行场面的变化(例如,跑道变化,因为维修而关闭的路由,临时的事故或障碍);

4) 使用标准的术语和标识;

5) 所有经过授权的使用者都能够使用;

6) 提供一种路由确认的反馈机制。

A-SMGCS 的导向功能应该包括:

1) 为所有运行中的路由提供必要的导向;

2) 为飞行员提供清晰的指示,以便跟从预定的路由;

3) 在预定的路由上,保证所有的飞行员能明确他们当前所处的位置;

4) 在任何时候能接受路由的变化;

5) 能够显示受限制或禁止使用的区域;

6) 对所有导向目标的工作状态提供监视。

当机场场面的视野情况能支持安全、有序、迅捷地运行时,导向功能主要由标准的场地视觉目标来实现。如果视野情况不佳,则需要额外的设备和系统来补充导向目标从而保证运营效率。

A-SMGCS 的控制功能应包括:

1) 支持最高运行效率(动态功能);

2) 对预定的运行需制订长达 1h 的计划(静态功能);

3) 能发现潜在冲撞并提供解决方案;

4) 根据预定的参数值确定场面目标之间的间隔距离,有关参数包括以下几方面。

(1) 速度;

(2) 有关方向;

(3) 飞机尺寸;

(4) 飞机发动机效应;

(5) 人工和系统反应时间;

(6) 减速性能。

5) 对侵入跑道或超越停止线的目标发出告警;

6) 对侵入敏感区域、受限区域及紧急区域运行的目标发出告警;

7) 包含基于计算机的交通管理工具;

8) 将地面交通管制员、飞行员和交通工具驾驶员的能力都包含在决定控制方案的机制内;

9) 结合运行方式,将场面运行目标的速度控制在一定范围内;

10) 能够支持在 AVOL 范围内的所有运行;

11) 能针对不同运行制订优先级;

12) 对起降飞机进行最优化列队,保证最小的

过站延迟和最高的机场功能利用率。

A-SMGCS 提供即时告警功能,能够支持下列有关操作。

1) 冲撞告警:当场面目标之间的预测距离等于或低于目标最小间距时,应立即触发告警。

2) 区域侵入告警:当运行目标有进入限制区域的危险时,立即触发告警。

3) 偏差告警:当计算出来的可能偏差距离大于最大偏差距离时,立即触发告警。

4) 跑道侵入告警:当运行目标有可能进入正在使用中的跑道时,立即出发告警。

5) 滑行道或停机坪侵入告警:当运行目标有可能进入不属于其路由计划里的滑行道或停机坪,且此滑行道或停机坪正在使用中时,立即触发告警。

A-SMGCS 还提供长期告警功能,保证以下有关补救措施能够预先实行:

- 1) 冲撞预测;
- 2) 冲撞检测;
- 3) 冲撞解决方案。

当被检测到有冲撞危险发生时,A-SMGCS 应能自动提供解决方案,或者向地面交通管制员发出请求,请求合理的解决方案。

4 A-SMGCS 功能架构

机场运行地图 AMM 是 A-SMGCS 人机接口的重要组成部分,集中体现了 A-SMGCS 的功能性。考虑到 A-SMGCS 的概念,在机场场面上运行的监视目标都需要在机场运行地图 AMM 上显示出来,

并不断更新位置以显示其运行状况。机场交通控制数据包括路由计划和接近告警,并以此来维持正常的机场运营。

根据 ICAO A-SMGCS 手册^[3],至少有下列基本信息需要在机场运行地图上得到显示:

- 1) 基本的机场场面构型;
- 2) 监视目标所处的运行通道(滑行道或者跑道);
- 3) 监视目标的位置及其更新;
- 4) 监视目标的标识;
- 5) 本机和其它飞机的过近告警;
- 6) 跑道使用中的告警。

为支持 AMM 显示,A-SMGCS 需综合具备监视、路由、导向及控制等各项功能。为实现各项功能,图3和图4提供了A-SMGCS的架构构想。

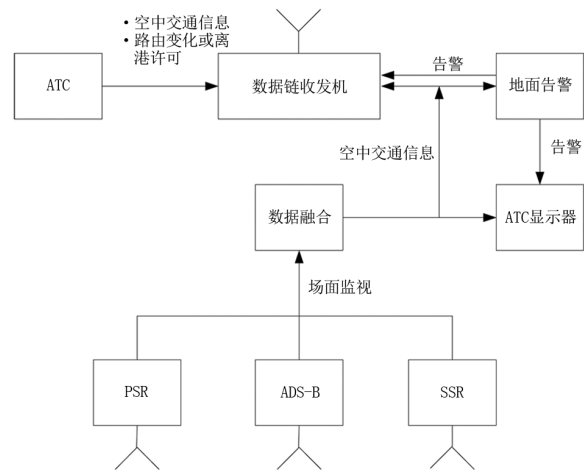


图3 A-SMGCS 地面系统架构

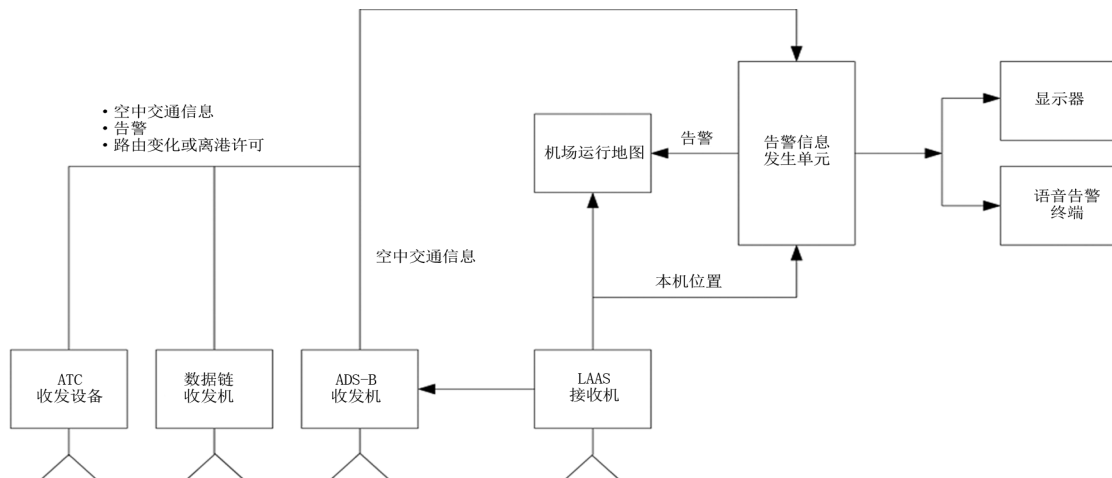


图4 A-SMGCS 机上系统架构

(下转第66页)

4 结论

根据民机研制的需求和适航要求,通过对材料/标准件国产化控制流程的研究,采取对潜在供应商实施综合能力评估的方式,帮助潜在供应商转变观念,适应民机研制特点,按照材料/标准件的标准及规范的要求,对潜在供应商在工程、质量、适航和特种工艺方面提出改进要求,完善现有质量管理体系,以满足适航符合性审定流程。

潜在供应商通过生产和检测设备改造、工艺流程优化、试验步骤及程序的完善、过程控制体系的建立等,逐步建立起符合产品标准、试验验证标准和适用的生产工艺标准要求的生产及检

验平台,以满足民用飞机的研制质量和适航控制要求。同时,根据材料/标准件实现国产化的经验和探索出的控制方法,为将来实现系统件国产化的有效控制打下基础,进一步实现民机产业国产化的愿望,生产出我国真正自主知识产权的民用飞机。

参考文献:

- [1] 总装备部电子信息基础部技术基础局. 国家军用标准 GJB9001A-2001 质量管理体系要求解释提纲与实施要点. 2001.

(上接第 48 页)

如图 3 所示,A-SMGCS 的地面系统包括下列组成部分。

- 1) 机场场面监视,即主监视雷达(PSR)、自动相关监视广播(ADS-B)、二次雷达(SSR);
- 2) 数据处理单元;
- 3) 基于地面的告警发生器;
- 4) 机场运行地图 AMM 显示单元;
- 5) 路由计划人机接口 HMI;
- 6) 机地数据通信。

图 4 则显示了 A-SMGCS 系统机上部分的架构,分别由下列单元组成:

- 1) 机地数据通信收发机;
- 2) 局域增强系统 Local Area Augmentation System(全球定位系统 Gps)收发机;
- 3) ADS-B 收发机(The ADS-B transceiver);
- 4) 机载告警发生器;
- 5) 机载机场运行地图 AMM 显示器;
- 6) 音频告警单元。

5 总结和展望

机场运行在当前被认为是空中交通管制(ATM)的瓶颈之一。机场的延误会造成 ATM 的总体延误。而在很多城市里,对机场扩建等工程实施的可能性都很低。因此,对机场能力进行最大限度的利用显得尤为重要。A-SMGCS 的出现和发展填补了“机场自动化管理”的空白,为缓解机场运营压力和提高 ATM 整体工作效率提供了行之有效的解决之道。

由于 A-SMGCS 的正常工作需要多方面子系统

的综合性支持,因此其当前的应用可能会受到装机设备和机场设施的限制,尤其以后者的影响更为明显。值得注意的一点是,与完备的系统架构相比,只具有部分配置的机场和飞机也能发挥一定程度的 A-SMGCS 功能。而且,在机场建设迅猛发展的今天,越来越多的机场和飞机已经配备了 A-SMGCS 所需的系统单元,因此由 A-SMGCS 带来的机场运营能力增强和相应的 ATM 效率提高,是可以预见的。

参考文献:

- [1] FAA Runway Safety Report. Runway Incursion Trends and Initiatives at Towered Airports in the United States. FY 2000 - FY 2003. August, 2004.
- [2] Singh G. K., Meier Christoph. Preventing Runway Incursions and Conflicts. Aerospace Science and Technology 8 (2004) 653-670. Received 1 July 2002; received in revised form 6 April 2004; accepted 6 August 2004; available online 15 September 2004.
- [3] Advanced Surface Movement Guidance and Control System (A-SMGCS) Manual. ICAO. Doc 9830. AN/452.
- [4] Advanced Surface Movement Guidance and Control System (A-SMGCS); Part 2: Community Specification for application under the Single European Sky Interoperability Regulation EC 552/2004 for A-SMGCS Level 2 including external interfaces. Draft ETSI EN 303 213-2 V1.1.1. December, 2009.
- [5] Cassell Rick, Evers Carl, Esche Jeff, and Sleep Benjamin. NASA Runway Incursion Prevention System (RIPS) Dallas-Fort Worth Demonstration Performance Analysis. NASA/CR-2002-211677. Rannoch Corporation, Alexandria, Virgin.