普通高校本科生赛道-方案设计类

基于机载指示的客机快速下客方案

作者：沈思成 杨皓宇 石涵宇 谢雨航 徐智豪

指导教师：×××

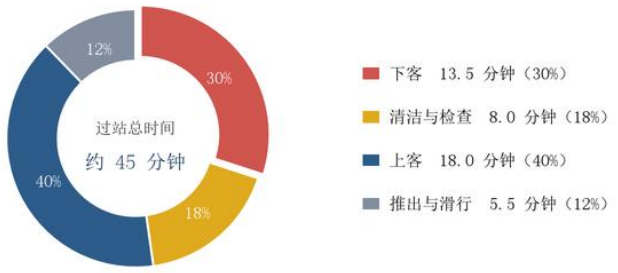
（中国民用航空飞行学院 飞行技术学院，四川 广汉 618307）

摘要：客机下客拥堵是航班地面周转的主要瓶颈之一。当前窄体机单舱门下客普遍需要 12~15 分钟，乘客无序起身、过道客流交叉、廊桥承载与客舱放行不匹配等问题导致下客效率低下。本文提出一种基于机载指示与廊桥优化的客机快速下客方案，采用“上客顺序复刻下客+分区智能指示灯”的技术路径，支持线上小程序提交提前下机申请，兼顾头等舱旅客优先权益与老弱病残孕等特殊旅客出行需求，通过客舱座椅上方三色 LED 指示灯实现分区可视化引导，以上客时记录的分区登机顺序反向作为下客顺序。经估算，该方案可将单舱门下客时间从约 12~15 分钟压缩至约 10 分钟，单次节省约 3 分钟，按 30%转化率保守测算单架窄体机年增收约 167 万元，全行业 3000 架窄体机潜在年经济效益超 50 亿元。方案改装成本低、不涉及飞机结构变更、适航认证难度小，同时充分保障特殊群体与两舱旅客权益，具有较强的可行性和推广价值。

关键词：民航客机；快速下客；智能指示；客流调控

1 研究背景

飞机过站时间是影响民航航班运行效率和航空公司经济效益的关键因素，而下客环节是过站流程中的重要组成部分。其效率直接影响后续清洁、上客等环节的启动时间。



分析当前下客流程，主要存在以下四方面问题：一是乘客无序起身，飞机停稳后大量乘客同时起身取行李，造成过道客流交叉拥堵，后排乘客需等待前排乘客通过才能移动；二是人工广播引导精度差，乘务员仅能通过广播笼统地提示“请您耐心等待”，乘客无法准确判断自己所在区域的下客时机，前后排旅客一起上下机，取放行李过道拥堵，容易提前起身造成混乱。

国内外学者和航空公司对登机流程优化进行了大量研究，提出了多种分区登机策略，但针对下客流程优化的研究相对较少。在工程实践方面，部分航空公司开始尝试电子登机牌引导等措施，但尚未形成系统化的客舱指示。本文针对上述问题，提出一

种基于机载指示快速下客方案，通过机载智能指示系统规范客舱内部秩序，从而显著提升下客效率。

2 设计原理

2.1 总体思路

本方案采用"上客顺序复用+智能灯光指示"的总体技术路径，核心思想是将上客阶段已经验证有效的分区登机逻辑反向复用到下客阶段，配合机载指示灯实现可视化精准引导、按区有序放行；将头等舱、经济舱划分为两套独立分区单元分别执行本套上下客逻辑，并配套小程序实现老弱病残孕特殊旅客提前下机申请。系统总体流程如图 1 所示。



图 1 客机快速下客系统总体流程图

方案的运行逻辑为：上客阶段，机载系统自动记录各分区的登机顺序（通常为后区先登、中区次之、前区最后）；飞机到达机位、舱门开启后，系统将上客分区顺序反向作为下客顺序（前区先下、中区次之、后区最后），通过座椅上方三色指示灯逐区放行，未放行区域保持红灯提示乘客在座位等待，避免全体乘客同时起身造成的过道交叉拥堵。

（1）硬件设计。在每个座椅上方的旅客服务单元（PSU）集成三色 LED 指示灯：绿色表示该区域乘客可起身下机，黄色表示预备等待（下一区即将放行），红色表示请在座位上等待。同时在客舱前部和后部各增设一块小型显示屏，实时展示当前放行区域、预计等待时间和下客进度。指示灯和显示屏均通过客舱内部无线网络与机载控制单元通信，尽量避免改动飞机原有线路，仅需在 PSU 模块上加装 LED 灯条和控制模块，显示屏同时会标注特殊优先放行席位提示，便于乘务员识别。

（2）核心算法——上客顺序复刻下客。系统在上客阶段通过登机口扫描数据或舱门传感器自动记录各分区的登机顺序，建立"分区登机时序表"。下客时，系统将该时序表反向复用，即最后登机的分区最先下客、最先登机的分区最后下客。这一逻辑的合理性在于：上客时后区先登是为了避免后排乘客经过就座的前排乘客时造成过道拥

堵；下客时前区先下同样是为了让前排乘客先离开，避免前排乘客下机时后排乘客提前下机造成拥堵。上客顺序复用的原理如图 2 所示。



图 2 6 上客顺序复用与标准化下客秩序示意图

由于民航窄体机普遍只配备一个前舱门，本方案按单舱门设计：所有乘客均经前舱门下机，系统按前区先下、中区次之、后区最后的顺序由前向后逐区放行；前排清空后，中、后区乘客即可沿已清空的过道快速依次离机，通过分区控制避免全体乘客同时起身造成的严重拥堵。

（3）放行逻辑。系统按分区依次点亮绿灯，每个区域的放行持续时间根据该区域乘客数量和历史通行速度动态调整。未到区域保持红灯，即将放行的区域提前 30 秒切换为黄灯提示乘客准备。当某区域乘客未在规定时间内完成下客时，系统自动延长该区域绿灯时间并推迟下一区域放行，确保不出现催促旅客现象。乘务员可通过手持终端手动干预放行节奏，应对特殊乘客（轮椅旅客、无人陪伴儿童等）需求。

（4）特殊旅客与头等舱放行规则

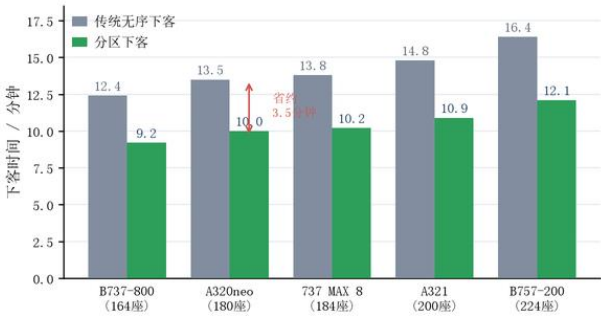
本系统支持小程序线上申报机制，孕妇、老弱病残等特殊人群可通过配套协同小程序提交提前下机申请，申请信息同步至机载控制系统。机载系统标记对应座位，在分区放行流程中优先对该席位点亮绿灯放行，乘务员终端同步接收提醒。

头等舱与经济舱采用两套相互独立的“后区先登，前区先下”分区运行模式，头等舱享有整体优先下机权。上客时机舱系统对头等舱、经济舱分别记录各自分区登机时序；下客阶段，优先启动头等舱分区下客流程，头等舱内部依旧执行“后区先登、前区先下”逻辑；头等舱旅客大部分完成离机后，再启动经济舱的分区下客流程，既保留头等舱优先权益，又在舱位内部沿用本方案有序下客机制。

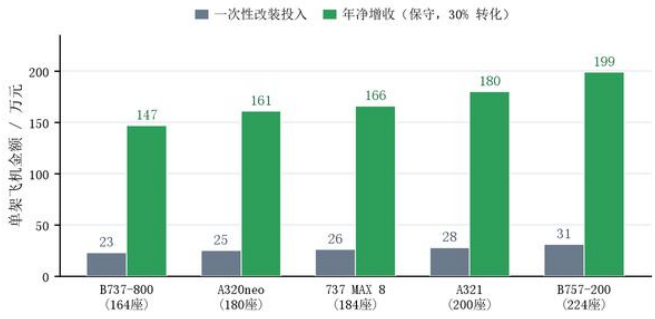
2.2 效率测算

以 180 座窄体机、80%客座率（约 144 名乘客）为测算对象。本方案在单舱门条件下，下客时间可压缩至约 9~12 分钟（取约 10 分钟），与传统模式相比单次平均节省约 3 分钟。在经济效益方面，按窄体机日均 5 个航班、每航班平均飞行 2 小时、平均票价 850 元、客座率 80%计算，每航班收入约 12.24 万元，每小时收入约 6.12 万元。

单架飞机每天节省下客时间约 15 分钟（3 分钟×5 班），折合 0.25 小时，按时间价值折算每天增收约 1.53 万元，年增收约 558 万元。



注：80% 客座率；传统约 5 秒/人、分区下客约 3.5 秒/人（含固定环节 1.5 分钟），单架次省约 3~4 分钟。



注：年净增收＝年增收（30% 保守转化）－改进后年成本（改装投入按 5 年摊销＋运维）。

改装投入 23~31 万元/架（含 STC 认证及按座位计的 LED 灯条、控制单元、显示屏）；回收期约 57 天。

2.3 可行性论证

（1）技术可行性。本方案所采用的三色 LED 指示灯、无线通信等均为成熟技术，在轨道交通（地铁车厢指示灯引导下车）、建筑智能化（智能照明）等领域已有广泛应用。将这些技术集成到民航客舱中，技术难度低，不存在原理性障碍。

（2）适航可行性。机载 LED 指示灯和显示屏的改装属于客舱内饰改装，不涉及飞机结构、飞行控制系统或动力装置的变更，适航认证难度较低。根据中国民用航空局（CAAC）相关规定，客舱内饰改装可通过补充型号合格证（STC）或改装设计批准书（MDA）方式获得适航批准，认证周期通常为 6~12 个月。

（3）乘客行为可行性。关于乘客是否会遵守指示灯引导的问题，本方案采用"三重保障"机制：一、视觉引导，三色指示灯清晰明确，乘客可直观判断自身状态；二、广播配合，系统在切换放行区域时自动播放语音提示，如"现在请后排旅客起身下客，前排旅客请稍候"；三、乘务员引导，乘务员在客舱内现场巡视，对不遵守秩序的乘客进行口头提醒。参考地铁客流引导灯带引导下车的实践经验，绝大多数乘客会遵守可视化引导，乘客配合度有保障。针对小程序提交申请的特殊旅客，系统会将信息同步乘务手持终端，进一步保障特殊人群出行权益。

3 创新特色

（1）理念创新——上客顺序复刻下客。首次提出将上客阶段已经验证有效的分区登机逻辑反向复用到下客阶段，建立"上客记录、下客复用"的标准化通行秩序，打破了传统下客流程中乘客无序起身的混乱状态，实现了上客与下客秩序的逻辑统一。

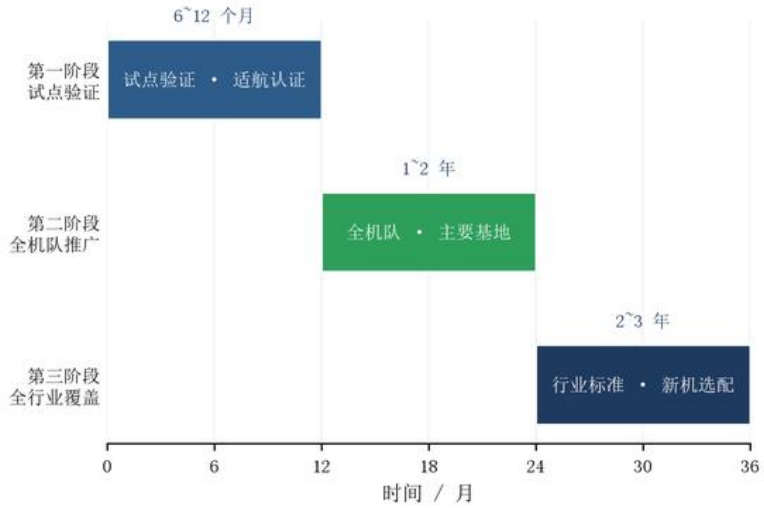
（2）技术创新——机载分区智能指示系统。将三色 LED 指示灯集成到座椅上方旅客服务单元，配合客舱显示屏实现分区可视化精准引导，替代了传统的人工广播笼统提示，使乘客能够准确判断自身所在区域的下客时机，从根源上减少无序起身和过道拥堵。

4 应用前景

（1）适用场景广泛。本方案适用于所有配备双舱门的窄体机和宽体机，优先在繁忙机场的近机位推广应用。对于仅配备单廊桥的机位，方案可退化为单门分区放行模式，仍可获得一定效率提升。 远机位（使用摆渡车和登机梯）可配合便携式指示灯实现同样的分区引导。低成本航空公司由于航班密度大、过站时间敏感，是本方案的优先推广对象。

（2）未来可进一步结合人脸识别、蓝牙定位等技术，实现对个体乘客的精准引导，对接小程序申请数据自动识别特殊旅客、完成头等舱分区管控，落实特殊旅客优先保障。

（3）推广路径清晰。建议采用分阶段推广。



参考文献

[1] 中国民用航空局. 2025 年民航行业发展统计公报[R]. 北京: 中国民用航空局, 2026.

[2] 张宁, 李艳伟. 航空公司航班过站时间优化研究[J]. 交通运输系统工程与信息, 2024, 24(3): 156-163.

[3] 王勇, 刘光才. 基于并行工程的机场地面保障作业优化[J]. 中国民航大学学报, 2023, 41(5): 45-51.

[4] Steffen J H. Optimal boarding method for airline passengers[J]. Journal of Air Transport Management, 2008, 14(3): 146-151.

[5] 中国民用航空局. 民用航空器改装设计批准书(MDA)颁发管理程序[Z]. AP-21-AA-2022-10, 2022.

[6] 春秋航空股份有限公司. 2025 年年度报告[R]. 上海: 春秋航空, 2026.

[7] 中国航空运输协会. 民航地面服务保障规范[M]. 北京: 中国民航出版社, 2024.

[8] 刘雪妮, 彭峥. 民航旅客登机效率影响因素与优化策略[J]. 航空计算技术, 2023, 53(4): 78-82.