

基于 MATLAB GUI 的飞机载重配平仿真教学平台设计

王博¹ 李行¹ 陈清²

1 昌吉学院, 新疆维吾尔自治区昌吉回族自治州, 831199;

2 山东航空股份有限公司, 山东济南, 250000;

摘要: 在民航运输领域, 飞机载重配平是保障飞行安全与经济性的关键环节。然而在传统教学中, 学生难以直观理解和掌握这一复杂的实际工作应用。为解决这一问题, 本文聚焦民航一线运行需求, 设计了一款基于 MATLAB GUI 的飞机载重配平仿真教学平台。平台精心构建了飞机重量计算与控制、重心计算与控制、电子舱单三大模块, 实现了航班载重信息的数字化管理与存储, 提升了数据处理的便捷性和规范性。这一设计极大地简化了教学流程, 为任课教师提供了高效的教学工具, 也为学生创造了便捷的学习条件。实践表明, 该仿真教学平台显著激发了学生的学习兴趣, 有效提升了课堂教学质量, 为培养适应民航一线需求的高素质专业人才奠定了坚实基础。

关键词: MATLAB GUI; 载重配平; 仿真教学平台

DOI: 10.69979/3041-0673.25.09.008

绪论

飞机载重配平相关知识体系来源于航空公司的重量与平衡控制业务工作, 其合理性不仅关系到民航飞机的安全飞行, 也对航空公司运营效益有着重要影响。作为民航从业者必备的知识技能之一, 该知识体系内容丰富且实践应用能力较强, 但高校因缺少相关设施设备, 导致任课教师在教学上面临挑战。传统教学中主要以课堂讲解为主, 教学形式单一、内容枯燥, 实践练习仅依靠简单图表供学生计算重量与重心位置, 既难以激发学生主动学习的兴趣, 又与航空公司普遍使用的电子舱单放行飞机的实际操作存在较大差距, 无法满足学生培养需求。

基于这一背景, 利用 MATLAB GUI 图形用户界面设计飞机载重配平仿真教学平台, 学生通过输入航班基本信息即可对飞机的重量重心进行计算, 不仅简化了手工舱单计算步骤、减少计算时间, 还能直观呈现飞机的重量重心数据及电子舱单。MATLAB GUI 作为图形用户界面工具, 具有可视化交互式特点, 同时 MATLAB 软件具备高性能的数值计算环境、丰富的函数库和强大的算法开发能力, 非常适合用于飞机载重配平系统的设计与实现。

1 仿真平台的设计与实现

仿真平台的设计严格遵循民航一线载重配平的实际操作流程, 将软件功能划分为三个逻辑清晰、功能互补的核心模块, 形成覆盖“重量计算—重心控制—合规放行”的完整业务链条。

第一个模块聚焦“飞机重量计算与控制”, 通过集

成旅客、货物、燃油等业载数据输入接口, 结合飞机基本空重、最大起飞重量等技术参数, 构建精准的重量核算模型, 解决“飞机能承载多少业载”的基础问题, 为后续重心分析提供数据支撑。

第二个模块围绕“飞机重心计算与控制”展开, 基于第一个模块生成的重量数据, 引入力矩计算与重心位置动态分析算法, 通过可视化的重心包线图实时呈现重心变化范围。

第三个模块以“电子舱单生成”为核心, 依据民航规章对航班放行文件的规范要求, 将前两个模块的计算结果自动整合成符合行业标准的电子舱单, 确保航班载重配平结果的合规性与可追溯性, 完整复现航空公司签派放行的核心文档生成流程。

三个模块既相互独立又深度耦合, 通过标准化的数据交互接口实现业务流程的无缝衔接, 形成从数据输入、智能计算到合规输出的闭环管理体系, 为用户提供贴近民航实际工作场景的仿真操作体验。平

1.1 飞机重量计算与控制模块

飞机在运行过程中由于自身使用材料的结构强度、客货舱容积及飞行性能等因素的限制, 飞机制造厂商为了保证飞行安全, 在设计时规定了结构限制的飞机的最大起飞重量、最大着陆重量、最大无燃油重量^[1]。航空器公司在运营时为了保证安全, 不允许实际重量超过上述重量的限制, 否则飞机的结构就会遭到破坏。

飞机无燃油重量由飞机的干使用重量 (DOW) 和本次航班的业载 (PL) 组成, 如公式一所示。飞机的干使

用重量是飞机做好营运准备前的飞机重量，一般将飞机的干使用重量作为大型运输飞机舱单填写和载重平衡的计算基础。飞机的业载由旅客、行李、货物和邮件重量组成。

$$ZFW = DOW + PL \quad (\text{公式一})$$

起飞重量是指飞机开始起飞滑跑时的实际重量，由干使用重量、业载和起飞燃油 (TOF) 组成，如公式二所示。

$$TOW = DOW + PL + TOF \quad (\text{公式二})$$

着陆重量是指飞机正常着陆时的实际重量，由起飞重量减去飞机飞行过程中的航程用油 (TF)，如公式三所示。

$$LDW = TOW - TF \quad (\text{公式三})$$

根据上述基本原理，设计的重量计算与控制模块的界面如图一所示：软件界面设计贴合一线操作场景，学生使用时只需选择航班日期、航班号、飞机号，点击“提取航班数据”即可自动同步后台旅客、货物、邮件、行李信息，同时软件支持手动调整载量以匹配实际装载情况。参数校验通过后，点击“计算航班重量”可实时生成各类载量及重量数据。若出现超载或重量超限，系统自动弹出警告框并提供减载建议，直至载量符合安全标准，确保航班重量控制全程可追溯、可校验。



图一 飞机重量计算与控制模块界面

1.2 飞机重心计算与控制模块

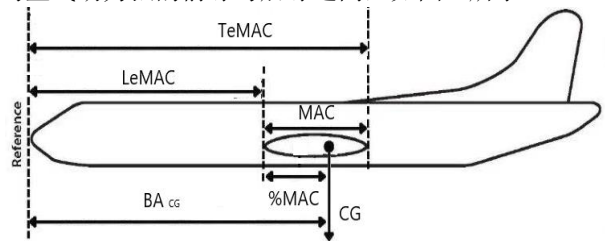
飞机重心是影响飞行安全与性能的核心参数，其位置不仅决定飞机的稳定性、操纵灵敏度，更与燃油效率、起降安全密切相关。飞机配载的核心任务是通过科学规

划旅客、行李、货物、邮件等业载的空间分布，确保飞机的实际重心数据处于许可的安全范围内，从而保障飞行操纵性能与结构安全^[2]。

为了计算飞机的重心位置，需要在飞机纵轴上确定一个参考基准，用来描述飞机上各组成部分与基准的相对距离，飞机的基准一般由飞机制造厂商或航空公司运营人确定。飞机上各组成部分到基准的法向距离称为力臂。假设飞机共有 n 部分 (机身、机翼、尾翼、起落装置、动力装置、前后货舱、不同排的旅客等) 组成。假设第 i 部分的重量为 W_i ，每部分到基准的力臂为 L_i ，根据合力矩定理即可求出重心到基准的距离，如公式四所示。

$$BA_{CG} = \frac{\sum_{i=1}^n W_i \times L_i}{\sum_{i=1}^n W_i} \quad (\text{公式四})$$

目前民航上普遍采用的是平均空气动力弦参照法 (%MAC) 来表示飞机重心位置。平均空气动力弦是来自某一假想矩形机翼的翼弦，这个假想矩形翼的面积、翼展宽度和俯仰力矩等特性与原机翼相同^[3]。它的前缘被记为 $LeMAC$ ，它的后缘被记为 $TeMAC$ ，重心位置位于平均空气动力弦的前缘与后缘之间，如图二所示。

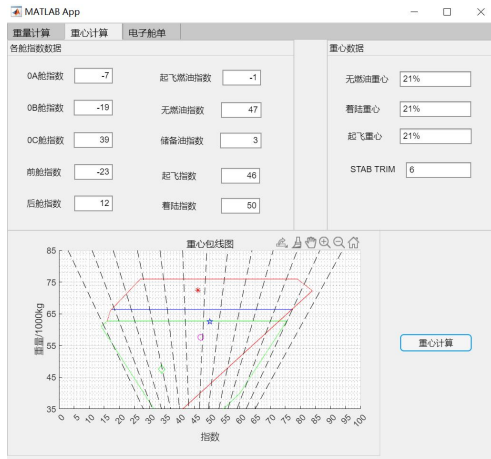


图二 重心 (%MAC) 示意图

飞机重心在 MAC 上的投影到 $LeMAC$ 的距离与 MAC 长度的百分比为重心的平均空气动力弦参照法，记为 %MAC，具体关系如公式五所示。

$$\%MAC = \frac{BA_{CG} - LeMAC}{TeMAC - LeMAC} \times 100\% \quad (\text{公式五})$$

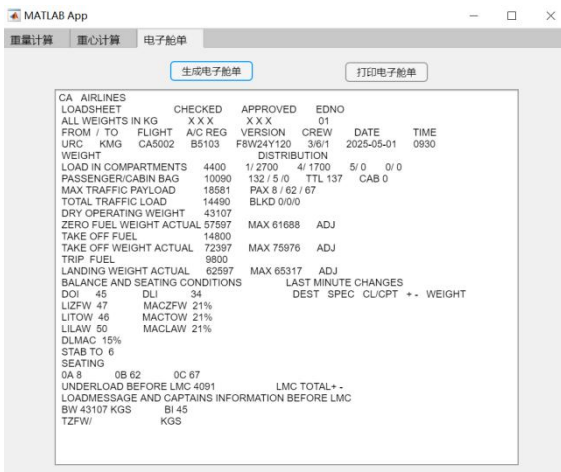
依据上述重心计算理论与步骤，设计重心计算模块的界面如图三所示，学生点击重心计算按钮，即可根据航班装载信息和飞机相关后台数据，自动计算航班的指数信息和重心数据，同时自动生成重心包线图及重心位置，可供学生判断飞机的重心的相对位置。若因业载分布不合理导致重心坐标超出机型对应的重心包线范围，软件则启动重心超限告警，以醒目的弹窗提示“重心异常”，引导配载人员通过调整货物、旅客舱位分布等方式修正重心，提升了载重配平工作的安全性与可靠性。



图三 飞机重心计算与控制模块界面

1.3 电子舱单生成模块

航班电子舱单作为航班运行的核心电子文档，承载着记录载重平衡数据、保障飞行安全的重要使命，是航班起飞前机长必须确认的关键随机文件与签派放行依据。依托前期精密的算法设计与编程实现，电子舱单模块实现了从数据采集、智能计算到文档生成的全流程自动化。如图四所示，只需点击“生成电子舱单”按钮，即可无缝对接重量计算与重心控制模块的输出结果，自动整合业载分布、力矩参数、安全边界校验等关键信息，生成符合民航标准的电子舱单文档，完美复现航空公司实际运营中的舱单使用场景，架起了理论教学与民航一线操作的桥梁，助力学生理解电子舱单在航班放行中的核心作用，切实提升专业实践能力。



图四 电子舱单界面

2 仿真平台的封装

为提升仿真平台的实用性与便携性，使其能够脱离 MATLAB 开发环境独立运行，借助 MATLAB 内置工具，将

基于 GUI 开发的文件源码一键封装为可跨平台运行安装的 .exe 可执行文件。这一技术处理彻底消除了用户对专业软件环境的依赖，学生或教师无需安装 MATLAB 程序，只需双击 .exe 文件即可启动平台，实现“即装即用”的轻量化操作体验，形成“开发-封装-应用”的完整技术闭环。经实际测试，封装后的程序运行稳定，数据处理精度与原平台一致，兼具专业性与易用性，为构建“教-学-练”一体化的实践教学体系提供了坚实的技术支撑。

3 结语

基于对民航载重配平理论的深入研究与工程实践需求的精准把握，依托 MATLAB 软件开发环境，成功构建了一套功能完备的飞机重量重心计算仿真平台。该平台以清晰直观的 GUI 界面为载体，集成航班信息智能提取、装载数据动态录入、重量重心精准计算、异常状态智能告警及电子舱单自动生成等核心模块，形成了覆盖载重配平全流程的数字化解决方案。

实践表明，该仿真平台不仅为相关课程提供了高效的教学工具，更通过“教-学-练-评”一体化设计，显著提升了课堂教学的实效性专业性。未来研究可进一步探索与航空公司实际运行系统的数据对接，深化动态载重优化算法，推动平台向更具工程价值的方向迭代升级，为培养兼具理论素养与实操能力的民航专业人才提供智力支持。

参考文献

- [1] 王彩霞, 杨威, 等. 飞机配载管理系统的设计与开发[J]. 价值工程, 2010, 29(05): 121-122.
- [2] 贾磊. C919 飞机纵向重心自动调控系统设计与实现[D]. 哈尔滨工业大学, 2018.
- [3] 陈惠蓉. 基于性能的飞机配载平衡研究[J]. 民航学报, 2023, 7(06): 81-84+92.

作者简介: 王博 (1994.1-), 男, 汉族, 山东菏泽, 助教, 研究生, 研究方向: 民航交通运输

项目的来源: 1. 昌吉学院 2024 年度校级教学研究与改革项目; 编号 24JYYB003 和名称: 产教深度融合视角下《航空公司运行管理》实践改革

昌吉学院 2023 年校级一流本科课程; 编号 (2023) 63 号; 项目名称: 线下一流课程《空中交通管理基础一流课程》