

民用飞机应急撤离试验仿真模型浅析

Simulation Model Analysis of Civil Aircraft Emergency Evacuation

李海涛 王敏 吴洋 / Li Haitao Wang Min Wu Yang

(上海飞机设计研究院,上海 201210)

(Shanghai Aircraft Design and Research Institute, Shanghai 201210, China)

摘要:

结合国内民机研制的发展,回顾了国内外对应急撤离试验仿真模型的研究,对应急撤离试验仿真模型建立方法进行了分析,初步建立了民机应急撤离试验仿真模型,后续对仿真模型进一步完善后,仿真结果可以为飞机顶层设计提供概念和方法指导,降低地面验证试验的风险。

关键词:民用飞机;应急撤离;仿真

中图分类号:V223

文献标识码:A

[Abstract] With the development of domestic civil aircraft, this paper analyses and studies the emergency evacuation simulation model. Based on the analysis of domestic and overseas emergency evacuation test simulation model and the method of establishing the simulation model, this paper established the civil aircraft emergency evacuation simulation model. After improving simulation model, the simulation results can provide concept and guidance for aircraft conceptual design, so as to reduce the risk of ground test.

[Key words] civil aircraft; emergency evacuation; simulation

0 引言

在民机研制中,安全性、经济性、舒适性等一直是人们关注的焦点,其中安全性是民众和局方最关心的方面,保证飞机安全性是所有设计人员永恒的目标。飞机发展至今虽然安全性已得到了极大的提高,然而由于飞机设计系统的复杂性,仍然会出现不可预知的故障。

军机在发生紧急情况下飞行员可通过弹射救生的办法逃生,而民机则只能采取迫降的方法,飞机迫降成功后,最重要的过程就是存活的乘客如何能够快速安全地从飞机中疏散,这就是民用飞机的应急撤离。

根据国际民航组织(International Civil Aviation Organization,简称 ICAO)的统计数据,在 1998-2007 年,世界范围内发生的飞机事故中有 8 759 位机上人员死亡,1 164 位机上人员受到重伤,2 012 位机上人员受到轻伤,77 249 位机上人员未受到损伤,约 90% 的乘客(8 万

人)借助应急撤离的方式得以脱险生还^[1]。

因此,为了保证飞机在故障情况下乘客能在一定效率下撤离,FAA、EASA 和 CAAC 等对影响撤离的一些飞机设计因素进行了限制,如出口数量、出口尺寸、过道宽度等,并要求设计的飞机进行应急撤离适航符合性演示试验,在规定的应急撤离场景下 90s 内完成撤离,即俗称的“黄金 90s”^[2-4],应急撤离试验的成功是飞机研制合格的必要条件之一。

然而,90s 适航符合性演示试验存在一定风险。首先,真人验证非常危险,特别是有大量参试人员参与的情况,参试人员包括各个年龄层次、文化层次的人员,容易发生人身安全隐患,如 1991 年 10 月,MD-11 飞机撤离适航演示时一位 65 岁女性参试者在撤离滑梯上滑下时头部首先着地,引起永久性瘫痪^[5];其次,试验费用较大,目前应急撤离适航演示试验平均需要花费 230 万美元,时间周期也较长^[6]。基于上述因素限制,对于新研制的飞机,规章制度只需进行一次撤离适航符合性演示。由于

受到撤离过程参试者随机行为的影响,撤离结果并不能代表飞机的真实撤离性能,从使用角度讲,并不能证明是否满足要求;从设计角度讲,没有足够的信息来指导设计使客舱布置达到最优。

为了弥补上述缺陷,国外通过分析现有飞机的撤离试验演示录像,在对大量影响撤离试验因素进行分析的基础上,通过计算机对民机应急撤离过程进行仿真。通过仿真可掌握各种影响因素对应急撤离的影响规律,提出乘员撤离时飞机客舱布置的瓶颈和缺陷所在,检验飞机是否满足撤离适航要求,可为改进民机的设计提供参考。进行仿真研究还具有节约开发费用、缩短设计周期等优点^[7]。随着国内自主研发民机的发展,民机应急撤离的需求日益紧迫。因此,对民机应急撤离的研究既有重要的理论意义,也有重大的工程实用价值。

1 民机应急撤离适航要求

对新研飞机型号进行合格审定时,必须采用全尺寸应急撤离演示来表明飞机具备 90s 的撤离能力,通过试验来证明飞机满足相应适航规章要求。

1.1 CCAR25.803(应急撤离)

中国民用航空总局(CAAC)颁布的 CCAR25.803(c)规定:“客座量大于 44 座的飞机,必须表明其最大乘坐量的乘员能在 90s 内在模拟的应急情况下从飞机撤离至地面,该乘坐量包括申请合格审定的中国民用航空局有关营运规定所要求的机组成员人数在内。对于这一点的符合性,必须通过按本部附录 J 规定的试验准则所进行的实际演示来表明,除非中国民用航空局适航部门认为分析与试验的结合足以提供与实际演示所能获得的数据等同的数据资料^[4]。”

1.2 美国联邦航空局(FAA)颁布的 FAR25.803(C)

“It must be shown that the maximum seating capacity, including the number of crewmembers...can be evacuated from the aeroplane to the ground under simulated conditions within 90 seconds^[2].”

1.3 AC25.803-1A Emergency Evacuation Demonstrations

This advisory circular (AC) provides guidance on means, but not the only means, of compliance with Title 14, Code of Federal Regulations (14 CFR) part 25 concerning: (1) conduct of full-scale emergency evac-

uation demonstrations, and (2) use of analysis and tests in lieu of conducting an actual demonstration. ...

2 国内外现状

目前,民机应急撤离试验只能通过地面试验来进行验证,为了解决撤离试验参试者随机行为对撤离结果的影响,一些学者提出使用计算机对应急撤离过程进行仿真作为研究民机撤离问题的方法^[8]。通过计算机仿真分析,在型号研制初始阶段,可以对飞机客舱布置进行优化,可以初步分析 90s 撤离分析等;通过仿真分析可以有效降低后续地面试验的风险,缩短试验周期,降低试验成本。

2.1 国外现状

国外民机研究机构结合型号研制,至今已发展了 8 种模型,最具代表性的是 airEXODUS(主要用于飞机设计、90s 撤离分析、乘务员训练、撤离方案优化、事故研究等),见表 1。仿真模型的正确性通过真人实验及大量型号民机应急撤离试验的结果进行验证和修正,后续希望通过大量试验数据对试验模型进行完善,使有效的计算机数值仿真方法代替实物试验方法,证明飞机应急撤离适航符合性,降低应急撤离试验成本和风险。

表 1 国外主要仿真模型

年代	开发机构	模型
1970-1980	FAA	GPSS (General Purpose Simulation System)
1987-1992	Gourary Associates	GA 模型(Gourary Associates)
1990-1994	Aviation Research Corporation(美国航空研究公司)	AIREVAC/ARCEVAC
1994-1996	Cranfield University(英国克莱菲尔德大学)	Macey 风险评估模型(Macey's Risk Assessment Model)
1996-1996	University of Oklahoma Norman(美国诺曼的奥克拉荷马大学)	Oklahoma 面向对象模型(Oklahoma Object Orientated Model)
1989 年至今	Greenwich University(英国格林威治大学)	airEXODUS
2001 年至今	Strathclyde University(英国斯特拉斯克莱德大学)	Robbin 离散元素模型 ^[17]
2008 年至今	Buffalo University(美国纽约州立大学布法罗分校)	VacateAir

2.2 国内现状

由于国内民机研制比较少,需求不大,飞机应急撤离试验仿真分析方面的研究很少。中国航空信息中心仅对中国境内发生的飞机事故进行过调查统计,其主要内容也仅涉及到飞机本身的安全性及环境对安全性的影响,而针对飞机应急撤离方面的调查研究没有涉及。国内民机制造厂商曾做过某支线飞机的适航撤离演示试验,但未进行仿真模拟研究。国内某大学曾采用元胞自动机理论对民机应急撤离进行过初步的仿真研究,但对仿真结果的正确性尚未进行试验验证。随着国内民机研制工作的进一步深入,国内对应急撤离试验仿真分析的需求也将越来越迫切。

3 应急撤离模型建模方法和仿真模型

3.1 建模方法

现有民机撤离模型从本质上可以分为两类:

(1)只考虑人的运动。假设人立即停止其它任何活动,自动开始撤离,撤离方向和速度是由物理环境决定的(如人群密度、出口流量等)。这类模型的一个例子是将人群看作大量粒子的撤离模型。

(2)人的运动与行为联系。考虑物理环境属性,将人看作是可以对外部环境做出反应、带有个人行为特征,如反应时间、出口选择等的智能体。

按照建模的思想,从模型的应用目标,物理环境表示方法,人群属性和人员行为四个方面对现有模型的建模方法进行分析。图1为航空领域现有撤离模型不同方面的分类^[11]。

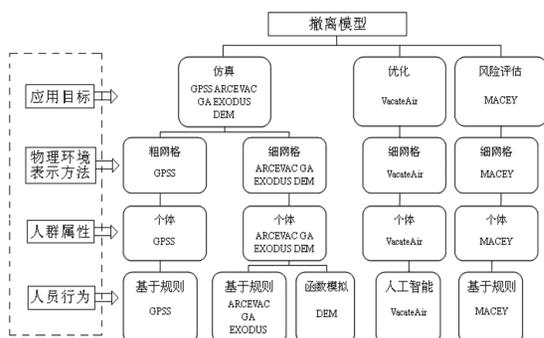


图1 撤离模型分类

民机应急撤离的主要数字仿真方法有元胞自动机模型、格子气模型、社会力模型、流体动力学模型、基于智能体模型等^[9]。

其中元胞自动机模型、格子气模型,在时空方面都是离散的,具有很高的计算效率,适合描述复杂的

群体行为;社会力模型、流体动力学模型,在时空方面都是连续的,适合描述高密度的群体行为;与前四种模型相比,基于智能体模型计算效率最低,但它能简单且比较准确地模拟个体(或群体)的不同属性。

3.2 仿真模型

民机应急撤离问题基础是行人流问题,行人的流动受到各种规则、环境、位置以及行人自身的心理等多种因素的共同影响,是一个十分复杂的非线性系统^[10]。在系统中,各行人之间具有相互作用,并且由于行人在心理和生理上的个别差异,其行为在很大程度上具有随机性;但是行人的心理特点又是具有共性的,比如在运动过程中对目的地的倾向,对碰撞的避免,对喜好物体的关注等。因此可以根据行人的各种心理特点来建立模型,将行人的“智能”性弱化,使之成为“机械”的个体,这使许多随机性因素转化成确定性因素,从而为行人流的模拟和研究提供了依据。

通过仿真方法的对比分析,采用了基于多智能体和元胞自动机两种模型相结合的方法,互相取长补短,对民用客机应急撤离主要影响因素进行单因素分析,掌握不同因素的影响规律,从而建立仿真模型。模型建立方法分类如图2所示^[11]。

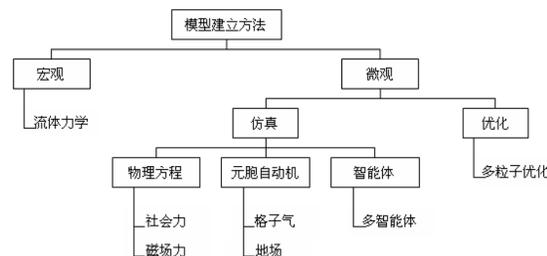


图2 模型建立方法分类

基于多智能体和元胞自动机的应急撤离模型是在元胞自动机应急撤离模型的基础上建立起来的,表示人员的元胞由于自身的特性无法表达人员的智能性及属性之间的差异,因此引入多智能体理论。某一智能体(人员)与周围其他智能体和环境之间构成了局部状态,即所谓的智能体的信念;根据这些状态信息和智能体的目标(意图)进行判断,实现智能体的愿望,并付诸行动(行为),而行动能力受智能体各种属性的制约。应急撤离试验模型逻辑框如图3所示^[12]。

根据飞机应急撤离过程的假设,从“人-机-环境”系统角度出发,搭建应急撤离仿真的框架。假设撤离过程中:

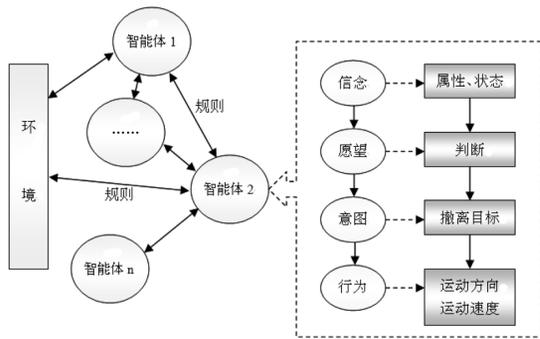


图3 试验模型逻辑框图

- (1) 旅客撤离过程表现为最短距离行为模式；
- (2) 个人十分不愿意偏离其意愿的行进方向，即使该方向已经比较拥挤；
- (3) 每个出口准备时间为国外撤离适航验证中的典型时间分布；
- (4) 旅客移动速度为国外撤离适航验证中的典型速度分布，并考虑部分因素如性别、年龄、照明条件等对速度的影响；
- (5) 总撤离时间计算至最后一名旅客撤离完毕为止，不包含乘务员和机长的撤离时间。

该仿真模型主要包括7个部分组成——人的特性模块、机的特性模块、环境特性模块、“人-机”关系模块、“人-环境”关系模块、“机-环境”关系模块、“人-机-环境”系统模块。仿真功能组成和模块逻辑关系如图4所示^[12]。

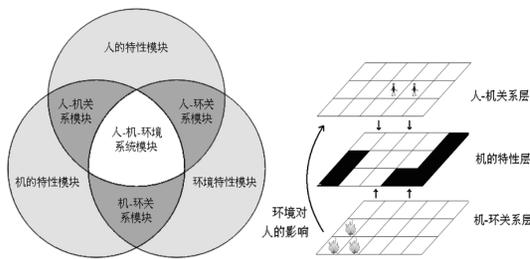


图4 仿真功能组成和模块逻辑关系

通过该试验模型进行仿真分析，某型民机的应急撤离试验仿真结果为62s，而实际地面试验结果为57s，仿真分析结果与实际试验结果比较相近，初步证明了该仿真模型的有效性。

4 结论

本文回顾了国内外对应急撤离试验仿真模型的研究，对应急撤离试验仿真模型建立方法进行了分析，初步建立了民机应急撤离试验仿真模型，并结合某型民机的研制进行了验证，后续需要更多型

号的试验数据进行验证。

同时，本仿真模型的建立注重探索单因素对应急撤离的影响规律，比如出口位置、出口高度、出口处座椅排距、过道宽度及隔板宽度等对撤离的影响。实际上，人员能否成功撤离是受所有因素共同影响和制约的。后续的研究应在多因素耦合影响机制上进行重点研究，揭示不同组合的多因素耦合对应急撤离的影响机理，提出针对应急撤离的多因素耦合的优化方法，为飞机顶层设计提供概念和方法上的参考与指导。

参考文献：

- [1] Safety Regulation Group. CAP 780: Aviation Safety Review -2008[M]. England: Civil Aviation Authority, 2008.
- [2] FAR Part 25. Appendix J Airworthiness Standards: Transport Category Airplanes [S]. Including amendment 25 - 98 as published in the Federal Register on February 8th, Wash DC, USA. , 1999.
- [3] JAR Section 1 Part 25. 807 Large Aeroplanes: Subpart D Design and Construction, as published in Joint Aviation Requirements (Change 15) [S]. London, 2001.
- [4] 中国民用航空局. 中国民用航空规章第25部: 运输类飞机适航标准[S]. 中国: 中国民航总局, 2009.
- [5] McCauley, H. W. MD11-Emergency Evacuation Demonstration -Human Factors Analysis[R]. MDC 92K1206, 1992.
- [6] OTA. Aircraft Evacuation Testing; Research and Technology Issues. Background Paper[C]. Proceedings, Office of Technology Assessment Congress of the United States, TR OTA-BP-SET-121, 1993.
- [7] Galea, E. R. Proposed Methodology for the Use of Computer Simulation to Enhance Aircraft Evacuation Certification [J]. Journal of Aircraft, 2006, 43(5): 1405-1413.
- [8] Galea, E. R., Owen M., Lawrence, P. J. et al. Computer Based Simulation of Aircraft Evacuation and its Application to Aircraft Safety[C]. Proceedings, 1998 International Aircraft Fire and Cabin Safety Research Conference, 1998.
- [9] 郑小平, 钟庭宽, 刘梦婷. 用于群体疏散的数字仿真方法研究[J]. 系统仿真学报, 2009, 21(12): 3503-3508.
- [10] Helbing, D., Farkas, L., Vicsek, T. Simulating dynamical features of escape panic[J]. Nature, 2000, 407(28): 487-490.
- [11] 张玉刚, 宋笔锋, 薛红军. 民机应急撤离过程仿真模型研究进展[J]. 航空工程进展, 2010, 1(1): 55-61.
- [12] 张玉刚, 宋笔锋, 薛红军, 张晓燕. 民用客机客舱布置应急撤离影响因素仿真分析[J]. 计算机仿真, 2011, 28(6): 62-65.