

# Application of Digital Human Techniques in Emergency Evacuation Simulation of Civil Airplane

Wei Zhang, Jie Li, Zhi Ma

School of Aeronautics, Northwestern Polytechnical University, Xian, China

Email: weizhangxian@nwpu.edu.cn

**Abstract:** The application techniques for Emergency Civil Airplane Evacuation Simulation under the Airworthiness Standards requirement were studied in this paper. According to the methodology of two dimensional evacuation simulation models and the principle of DELMIA Human mode for Digital Human founding, the simulating system framework was established, and Passenger's evacuating behavior under emergency can be analyzed visually in details combing with Human Factors Engineering Evaluation. The process that adult bringing children get away from the cabin was considered to verify the validity of simulation, it shows that the results conform with the FAA actual test. In conclusions, Digital Human Techniques applying to emergency civil airplane evacuation simulation could be more advantageous for the evacuation system optimization and the evaluation of airworthiness conformance verification.

**Keywords:** civil airplane; emergency evacuation simulation; DELMIA; digital human

## 数字化人体技术在民机应急疏散仿真中的应用

张 炜, 李 杰, 马 智

西北工业大学, 西安, 中国, 710072

Email: weizhangxian@nwpu.edu.cn

**摘 要:** 研究了基于适航条例规范的民用飞机应急疏散仿真应用技术, 建立了二维模型与 DELMIA 人机工程模块相结合的仿真系统框架和流程。通过分解人员的疏散行为并结合人机工程评估, 实现了民用飞机应急撤离过程中数字人体行为的三维动态可视化仿真及分析。仿真验证结果表明, 该项技术有利于民用飞机应急撤离系统设计的适航符合性评估和优化。

**关键词:** 民用飞机; 应急疏散; DELMIA; 数字人体仿真

### 1 引言

随着我国民用飞机工程的启动, 有关适航取证研究工作也随之展开, 而乘员应急撤离救生系统适航设计是其中非常重要的内容。中国运输类飞机适航标准中规定, 新研制飞机都必须依从相应的安全规则, 其中最关键的就是要求乘员从飞机撤离的最大时间不超过 90 秒<sup>[1]</sup>, 即所谓的“黄金 90s”。通常飞机疏散系统 (Airplane Evacuation Simulation, AES) 的设计和验证的方法是由飞机制造商提供真人实验演示, 但该方法容易对实验者造成人身伤害, 最后得到的实验结果代价昂贵且不能重复使用<sup>[2]</sup>。近年来, 运用计算机数字仿真技术进行飞机应急撤离过程模拟与评估的研究得到了国内外飞机设计机构和研究人员关注, 这种方法的

优点是可以方便、低成本、短周期、可重复性地对各类人员的安全疏散过程进行评估<sup>[3]</sup>。目前在飞机应急撤离仿真中应用较多的是社会力模型和元胞自动机模型。其中元胞自动机模型应用最为广泛, 主要因为该模型直接利用易懂的行为规则来建立行人之间的相互作用模型, 并且非常适合于进行大规模的计算机仿真, 仿真的速度也非常快<sup>[4]</sup>。但是该模型属于二维模型, 无法表现疏散场景或舱内空间布局, 以及个体的行为对疏散过程的影响。所以, 需要突破的关键技术是细化和完善飞机应急撤离过程各类模型, 建立三维可视化仿真分析方法, 使得仿真结果更接近于实际, 指导飞机总体方案和应急撤离系统的优化设计, 以满足适航条例的相关规定。本文通过运用数字人体模型技术, 结合 DELMIA 软件的相关功能, 对应急撤离过程中个体行为特性的可视化仿真方法进行探索性研究。

资助信息: 本文得到国防科工委民机预研项目资助

## 2 仿真系统构建

### 2.1 飞机应急疏散仿真的二维模型

飞机应急撤离仿真场景与其它公共场景仿真相比有所不同，一是舱内障碍物多，撤离路径仅有一条主通道且空间狭窄，乘客分布密度大，人员冲突严重。二是舱内出口相对较多，普通出口在疏散时作为主要出口，应急出口仅起分流作用。常用于一般公共场所应急疏散仿真的元胞自动机模型无法解决元胞冲突及疏散出口与网格不匹配问题。因此，我们在吸引力模型中增加了个体竞争力系数、出口元胞随机系数及出口参数，建立了二维网格吸引力概率模型，从而细化了网格吸引力概率计算权值，使得元胞移动更为规则有序。仿真验证结果接近于实际情况，见文献[5]。

### 2.2 DELMIA 人机工程模块

DELMIA 人机工程™是非常强大的人体建模工具，用来创建高级的自定义数字人体模型，并进行校验和仿真<sup>[6]</sup>。该模块是针对人体姿态、运动和任务的分析工具，它提供了人体模型创建、人体模型编辑、人体姿态分析、人体动作分析和人机任务仿真等人因分析的相关工具。Delmia/Human提供了第5、50和第95百分位的男女人体模型库，这些模型都带有根据人体生物力学特性设定的人体反向运动特性。可修改人体各部位的形体尺寸以适应各种人群和特殊仿真需求。可以在虚拟环境中快速建立人体运动原型，并对设计的作业进行人体工程分析。检验各种百分位数人体的可达性，座舱乘坐舒适性，对人体从一个位置移动到另一个位置运动所需要的时间，消耗的能量自动进行计算。

### 2.3 基于 DELMIA 的应急撤离仿真系统框架

对于大飞机设计而言，影响乘员安全救生的因素除了与飞机应急救援系统的设计有关外，还与飞机舱内的布置和人的因素有关，包括：可开放的出口数量、位置、大小；座位数量；走廊布局；旅客个体特性；机组人员的技能、自信心、训练水平等<sup>[5]</sup>。在应急撤离仿真中，人的个体特性、舱内空间布局及应急出口之间的关系是最基本的问题。本文综合网格吸引力概率二维仿真模型和 DELMIA 功能，构建了可进行飞机应急疏散仿真的三维数字人体动作仿真分析的框架模型，见图 1。模型中的主要流程包括：

- 确立疏散路径。首先使用二维模型进行疏散仿真计算，通过确定的疏散方案提取元胞的疏散路径坐标。在三维模型中按照二维元胞尺寸进行网格划分，导入所提取的疏散路径坐标，以确定舱内人员疏散路线。
- 建立人员行为数据库。为了保证疏散行为简洁高效，对疏散人员的行为动作设立了动态数据库。
- 仿真行为设置。舱内人员按照规定区域位置向对应的疏散舱门撤离，区域位置划分由舱门位置和大小决定，撤离速度根据二维模型中的速度进行设定。
- 仿真过程分析。对干涉、行为、约束、任务等环节的分析，对照适航符合性要求确定改进方案，完成优化设计过程。

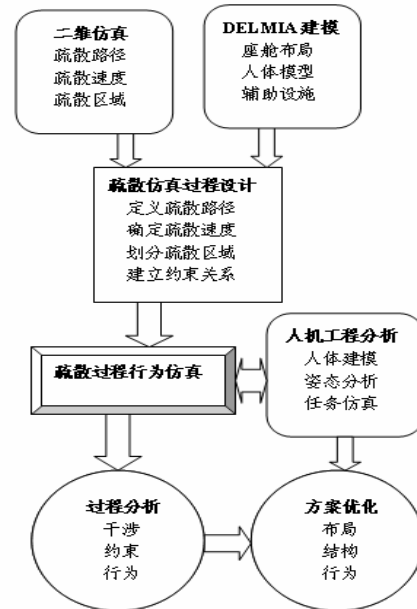


图 1. 仿真系统框架模型

## 3 建模与仿真验证

### 3.1 飞机应急疏散系统的一般要求

对于新飞机服役或者飞机内部布局有重大改装的运输机，进行应急疏散演示验证时需要按照中国民用航空规章附录 J 中包含关于模拟演示验证的细节规定来执行。即对于客座量大于 44 座的飞机都必须验证其在出口位置和尺寸一定的情况下，乘员能在应急情况

下 90 秒钟内从飞机撤离至地面<sup>[1]</sup>。此外还规定了由正常健康人组成有代表性的载客状况：至少 40% 是女性；至少 35% 是 30 岁以上的人；至少 15% 是女性，且 50 岁以上；旅客携带 3 个真人大小的玩偶（不计入总的旅客装载数内），以模拟 2 岁或不到 2 岁的真实婴孩。

据统计，婴幼儿搭乘飞机的数量大约占总搭客人数的 1%<sup>[2]</sup>，且在应急事件中关于婴幼儿的疏散规范却少见。一些研究显示突发事件中对人员反应决策影响最大的关键因素就是旅客须知，包括对复杂疏散信息的强调说明和带小孩的乘客疏散规范<sup>[3]</sup>。为方便对比验证，本论文的实例研究是对照美国航空管理局（FAA）民用航空医学研究所进行的一次真实场景模拟实验<sup>[2]</sup>，以应急疏散中成人如何携带婴幼儿进行撤离的过程作为仿真研究对象，得到的结果对于客机在紧急事件下婴幼儿疏散规范的制定也能提供一定的参考。

### 3.2 对象飞机三维建模

参照B-737客机的平面布置图，在DELMIA平台中进行建模，得到了虚拟样机模型如图2所示。建模过程中遵循了适航条例中关于III型或IV型应急出口的相关规定：对应急出口一侧相邻的每排不超过2个座椅的舱内布局，必须提供宽度至少为254毫米的无障碍通道作为通路；而对该区域相邻的每排座椅为3个座椅的布局，则上述宽度至少为510毫米。通道宽度必须在相邻座椅调节到最不利位置时测定。所要求的通道宽度中心线相对应应急出口中心线的水平偏离不得大于127毫米<sup>[1]</sup>。模型中的III型出口高度为965.2mm，宽度为508mm；舱内跨度为482.6mm，舱外跨度为609.6mm；舱内III型出口处放置两排座椅，排距为787.4mm，见图3。

### 3.3 数字人体建模

假定虚拟人体模型年龄分布为 18-52 岁之间，其

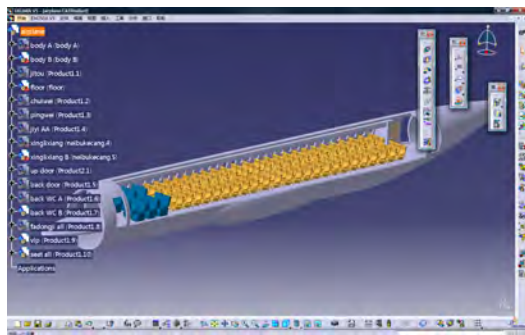


图 2. B-737 客机虚拟样机模型

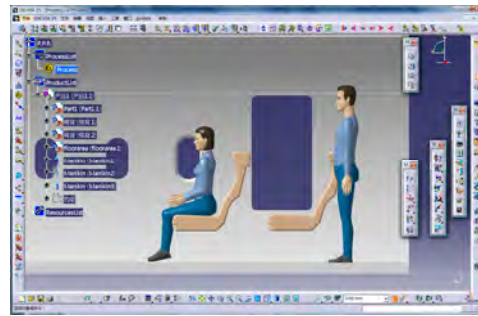


图 3. 舱内应急出口处座椅分布

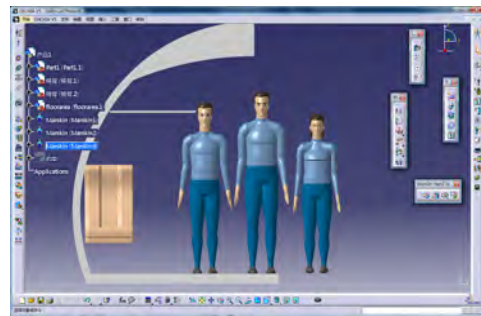


图 4. 不同属性人体模型

中男 5 名女 3 名，在 DELMIA 人体参数库中调用欧美不同属性的人体参数进行建模，见图 4；

设定 8 个大小不一，重量不同的几何模型分别代表 2-24 个月大的婴幼儿。表 1 为模型中使用的婴幼儿人体数据<sup>[7]</sup>。

表 1. 婴幼儿人体数据

模型编号	重量 (公斤)	身高 (厘米)	年龄 (月)
1	4.9	42.5	2
2	4.7	42.5	2
3	7.7	62.2	6
4	8.1	66.0	6
5	11.1	83.8	18
6	11.5	78.7	18
7	13.0	78.7	24
8	13.5	78.7	24

### 3.4. 仿真结果

仿真实验共进行 8×8×3 组，每组实验考察应急事件中不同成人采用横抱、竖抱、传递三种姿势携带儿童通过 III 型应急门撤离的过程见图 5。仿真实验最后



调用 DELMIA 平台对每个人体模型的动作做出的动作舒适度评估和能耗评估结果, 见表 2。仿真时间历程记录的是从 III 型应急门准备疏散开始到顺利出舱为止的过程片段。

表 2. 评估结果

报送方式	行走距离 (米)	时间 (秒)	能耗 (千卡)
横抱	2.339	2.3	0.162
竖报	2.420	2.2	0.158
传递	1.836	3.1	0.176

经过数据统计处理, 得到了婴幼儿报送方式对应急疏散时间及舒适度影响的关系, 见图 6 和图 7。

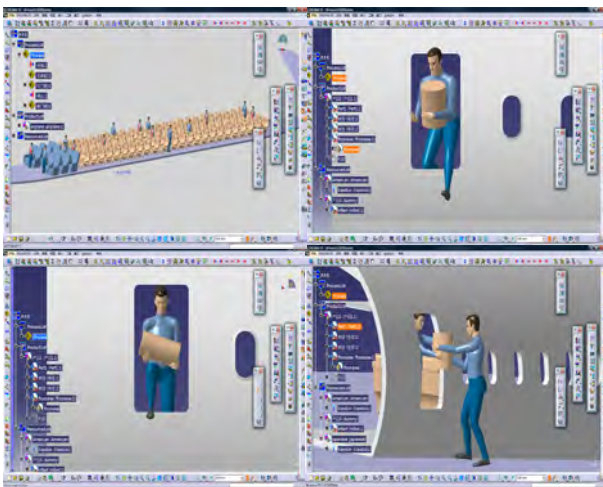


图 5. 不同疏散行为动作仿真

## 4 讨论

仿真结果表明:

- 对 III 型应急门的疏散速度产生主要影响作用的因素是抱送动作和模型尺寸;
- 对于同一个婴幼儿模型, 在能耗和速度方面, 疏散人员以竖直方式抱送更为简单省力, 疏散时间更短, 效率更高, 但 2 岁大的小孩除外;
- 在舒适和安全方面, 婴幼儿疏散也首选竖直方向报送, 因为竖直报送可以有效的保护婴幼儿的头部, 并且受 III 型应急出口大小的影响制约较小, 使得疏散更有效率。

在 FAA 进行的真人验证实验后进行的问卷调查结果中<sup>[2]</sup>, 竖直报送婴儿的方式在舒适性评价中得票最多达 65%, 水平报送方式为 25%, 传递方式 10%; 动

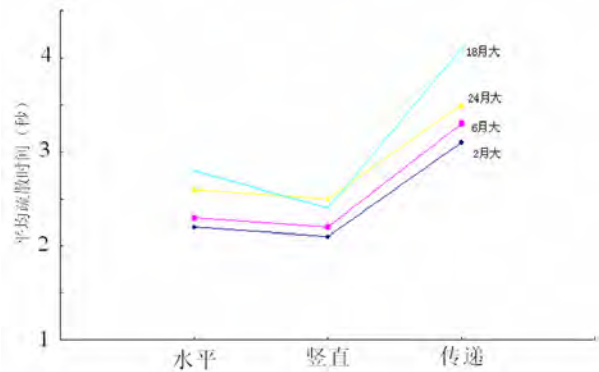


图 6. 婴幼儿年龄与报送方式对疏散时间的影响

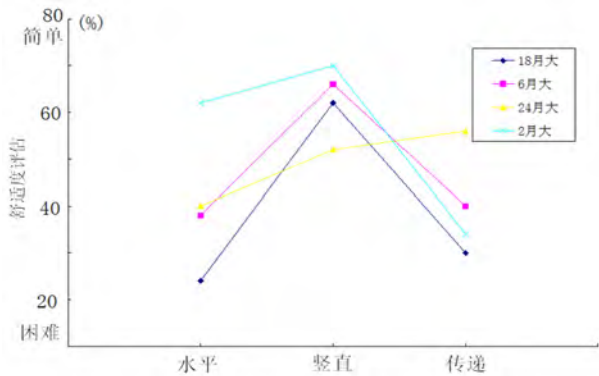


图 7. 报送方式与人员舒适度的影响

作快速评价中竖直报送方式得票率为 58%, 水平报送方式为 8%, 传递方式 34%; 最后推荐的动作为竖直报送方式。可见本文所得结论与其基本一致。

## 5 结论

本文应用数字人体技术建立的民用飞机应急疏散仿真的方法, 较好地结合了二维模型算法的优点, 可以在三维虚拟环境中动态直观地定义整个疏散过程中的路径、速度、区域和约束条件。可实现的分析及评估的功能包括: 通过 DELMIA 人机工程模块的应用, 可详尽地分析疏散过程中人员的移动行为, 评估疏散效率等, 最后生成完整的模拟和分析结果报告; 通过对应急疏散过程的模拟, 分析飞机布局以及其辅助设备对整体疏散的影响, 提出改进飞机座舱设计的可行性建议; 根据仿真分析报告完善座舱布局, 协调多种影响因素, 使疏散环境和人员行为匹配等方面达到最优组

合。本方法可在民用飞机总体初期方案设计中进行应急疏散过程的预先评估、优化设计和适航符合性研究,具有直观、快速、成本低的优点,工程应用价值显著。

## 致 谢

本文研究工作得到了中航集团第一飞机设计院在 DELMIA 软件环境应用方面的大力支持,在此表示感谢。

## References (参考文献)

- [1] CCAR-25-R3: Airworthiness Standards:Transport Category Airplanes, 2001(3).  
CCAR-25-R3: 运输类飞机适航标准[M]. 2001, 第三次修订.
- [2] Cynthia L. Corbett. Caring for Precious Cargo, Part II: Behavioral Techniques for Emergency Aircraft Evacuations With Infants Through the Type III Overwing Exit[M]. FAA Civil Aerospace Medical Institute, 2005.3.
- [3] C.Burstedde, K.Klauck, A.Schadschneider, etc. Simulation of pedestrian dynamics using a two-dimensional cellular automaton [J]. *Physical A*, 2001, 295 (3-4):507-525.
- [4] XU Gao. Simulation Study of Emergency Evaluation[D]. Chengdu: Southwest Jaotong University, 2003, 3-4.  
许高.人群疏散的仿真研究[D].成都:西南交通大学, 2003.3-4.
- [5] LI Jie, ZHANG Wei. Simulation of Passenger Evacuation under Emergency in large civil aircraft[J]. *Aeronautical Computing Technique*, 2010, 40(2).  
李杰, 张炜.大型民用飞机应急撤离模型与仿真方法研究[J].航空计算技术 2010. V40(2).
- [6] LI Jie, ZHANG Wei. Study of Emergency Evaluation Modeling Based on DELMIA System[J]. *Aeronautical Computing Technique*, 2010, 40(3).  
李杰.张炜.基于 DELMIA 的应急疏散模型应用研究[J].航空计算技术.2010. V40(3).
- [7] V.M. Predtechenskii, A.I.Milinskii. Planning for Foot Traffic Flowin Buildings, published for the National Bureau of Standards [M]Amerind Publishing Co, 1978. Translated from the Russian Publication which appeared in 1969, STROIZDAT Publishers: Moscow, Russia, 1969.