

VR 在航空器应急撤离的应用 展望及适航审定研究

敖文伟* 付双检 李宏 李保良

(中国民用航空江西航空器适航审定中心,南昌 330098)

摘要: 适航规章对民用航空器提出了应具备应急撤离的能力,明确了应急撤离演示试验的要求。针对民用航空器应急撤离的验证,当前普遍采用地面演示试验的符合性方法,传统的地面演示试验存在着试验开展安全保障难度大、成本高、对设备场地依赖强等局限性。而随着VR技术的出现与成熟,为航空器应急撤离验证提供了一种全新的方法。根据航空器应急撤离对应的适航条款,梳理了应急撤离演示试验的要求,分析了VR技术应用于航空器应急撤离验证的可行性和优点,研究了民用航空器应急撤离演示试验、航空器数字建模以及VR的技术特点等方面,提出了VR应用于航空器应急撤离验证时适航审定的主要审查内容、重点关注要素和技术审查要点,为建立VR应用于航空器应急撤离的适航审定方法提供参考。

关键词: 应急撤离;演示试验;符合性方法;VR技术;适航审定

中图分类号: V221.91

文献标识码: A

OSID:



0 引言

民用航空器的安全性,一直是备受各个国家高度重视的,也是社会和民众高度关注的问题。对于航空器在应急着陆情况后,如何确保机上人员快速、安全地从航空器上撤离至地面,即对于航空器在应急着陆情况下的应急撤离能力,FAA、EASA和CAAC都在其适航规章中对撤离时间、过道宽度、应急出口的类型、尺寸、数量和布置、标识标记、应急照明、撤离路线、撤离辅助设施等提出了明确要求,同时,规章附录和相关的咨询通告中对应急撤离演示试验也给出了准则和程序^[1]。

对于适航规章中对应急撤离的要求,国外开展了大量的应急撤离试验方面的研究工作。为表明航空器对应急撤离的符合性,国内外普遍采用的是机上地面演示试验的符合性方法。从前期国内外多个民机型号的适航取证经验来看,机上地面演示验证试验存在一定的安全风险,且成本高,

准备和组织耗时长,同时也存在不能模拟如坠撞、起火等特殊的迫降环境条件和缺乏真实性,不能真实反映参试人员在应急情景下的行为特征,单场景、少次数的应急撤离演示试验不能充分地、真实地表明航空器的应急撤离能力等问题^[1]。因此,通过模拟或虚拟仿真对民用航空器的应急撤离能力进行研究,以辅助或替代应急撤离演示试验来分析评估验证航空器的应急撤离能力是将来的发展趋势和方向。

目前,国外研究机构针对航空器应急撤离仿真开展了很多研究并形成了建模基础,提出了环境决定法、元胞自动机法等方法,建立了GPSS、GA、DEM等模型。基于上述方法建立的航空器应急撤离模型都是复杂的、多维度的、非线性系统的,多数模型只侧重某一方面要素。因此,撤离模型的合理性、有效性和准确性还有待进一步完善和提高。

国内对于航空器应急撤离方面研究起步较晚且较少,基础较为薄弱,目前开发的航空器应急撤

* 通信作者. E-mail: aoww@jxaacc.org

引用格式: 敖文伟,付双检,李宏,等. VR在航空器应急撤离的应用展望及适航审定研究[J]. 民用飞机设计与研究,2023(1): 134-139. AO W W, FU S J, LI H, et al. Application of VR and airworthiness certification technology research on civil aircraft emergency evacuation[J]. Civil Aircraft Design and Research, 2023(1): 134-139 (in Chinese).

离的仿真模型较少。西北工业大学对民用客机应急撤离的出口及数量等主要因素进行了分析,获取了一些影响规律^[2]。中国民航大学开发了基于元胞自动机和多智能体理论的民机客舱应急撤离仿真模型,引入了危险状况下成员应急撤离的竞争行为^[1]。随着国内民用航空器型号研制进程不断地加紧、加快,以及传统的演示试验、现阶段的模拟仿真存在的不足,使得应急撤离的符合性验证方法的创新和研究更加迫切。

随着VR技术的出现和成熟,为航空器应急撤离验证提供了一种全新的方法。VR是一种模拟环境的仿真技术,通过沉浸式的手段,结合声音、图像以及触觉感知等传感系统,让用户体验到身临其境的感觉^[3],具有高度的沉浸感和交互性,能有效解决传统演示试验缺乏真实性,仿真模型偏一化、理想化的问题。为此,本文根据航空器应急撤离对应的适航条款和应急撤离演示试验的要求,分析了VR技术应用于航空器应急撤离验证的可行性、思路和优点,提出了适航审定时的主要审查内容、重点关注要素和技术审查要点,建立了一套VR应用于航空器应急撤离的适航审定方法。

1 适航条款要求

1.1 适航条款的要求

对于应急撤离,我国的《正常类、实用类、特技类和通勤类飞机适航规定》(CCAR-23-R3)第23.803条,《运输类飞机适航标准》(CCAR-25-R4)第25.803条、《运输类旋翼航空器适航规定》(CCAR-29-R2)第29.803条都提出了航空器申请合格审定的最大客座量的成员在90 s内完成从机上升到地面的撤离要求,这是对航空器型号合格审定申请人提出的要求。《大型飞机公共航空运输承运人运行合格审定规则》(CCAR-121-R7)第121.161条则是对飞机运营人提出的要求。同时,CCAR-25在其附录J,CCAR-29在其附录D中给出了应急撤离演示试验的准则和程序。本文以CCAR-25为研究对象,对应急撤离条款和应急撤离演示试验的准则和程序进行研究。

1.2 演示试验的要求

对于应急撤离演示试验的要求,包括照明、人员组成、离地高度、应急出口使用、障碍物、使用设备等方面。对于照明,要求为飞机应急照明系统提

供的照明,但在其工作前,外部灯光不超过3.229 lx。对于离地高度,要求为飞机处于正常地面停机状态(起落架放下正常的停机压缩状态)。对于参试人员,要求为正常健康人,其中至少40%是女性,至少35%是50岁以上的人,50岁以上的女性占比至少15%,携带3个真人大小的玩偶,以模拟2岁或不到2岁的真实婴孩。对于应急出口,要求至少使用一个与地板齐平的出口,使用每对出口中的一个。对于障碍物,要求必须将总平均量一半左右的随身携带的行李、毯子、枕头或者其他类似物品分别放在过道和应急出口通道上的若干地点。对于设备,要求必须装齐飞机运行所要求的应急设备,不得使用不属于飞机应急撤离设备的其它设备来协助参试者下到地面^[4]。

2005年4月,空客A380成功首飞,为了取得载客量为853人的双层超大型运输机的适航认证,空客做了包括试验飞机、试验场地和设施、试验志愿者征集等大量的前期准备工作,于2006年3月26日,在位于德国汉堡的芬肯韦德工厂进行了A380飞机的全尺寸应急撤离试验。使用的是系列号为MSN007架机,参试人员包括853名乘客,18名乘务员和2名驾驶员共873人,使用了上层3个,下层5个共8个应急出口(每层客舱的一半出口),光照模拟“漆黑的夜里”。试验时FAA和EASA适航管理人员在现场监督,最终撤离时间为78 s,此次试验的成功对于A380获得FAA和EASA型号合格证起到了至关重要的作用^[5]。

A380应急撤离与其他型号飞机的撤离试验主要有以下三方面的难度:

- (1) 飞机总高度24 m,上层客舱应急出口的高度对乘员会产生心里恐惧感;
- (2) 乘员在上下层客舱之间的楼梯运动,会增加安全风险;
- (3) 由于乘员人数多,平均每个出口需要撤离近110名人员,大大增加了成员在撤离时相互干扰和相互拥挤的可能性。

2 VR技术应用于航空应急撤离试验的可行性和思路

2.1 VR技术应用的可行性

VR技术是一种能够创建和体验虚拟环境的计算机仿真技术,利用计算机生成一种交互式的三维

动态视景,利用实体行为的仿真系统能够使用户沉浸到虚拟环境中^[6]。目前在世界范围内的 VR 技术应用非常广泛,尤其是动漫、教育、旅游、房地产行业,随着 VR 技术的不断发展和成熟,越来越多的行业在尝试和应用 VR 技术。

沉浸式 VR 技术,使用头盔(含立体显示和立体声耳机),将用户的视觉和听觉封闭起来;使用数据手套,将用户的触感封闭起来;使用头部、手部、眼部跟踪器,追踪各部位的运动轨迹,使系统实现实时性。总的来说,通过沉浸式的手段,结合图像、声音、触觉及追踪系统,让用户体验更加真实、沉浸感强,交互具有实时性,可以体验到身临其境的感觉。将沉浸式 VR 系统网络化、多机化后,可以使多个用户同时共享一套虚拟环境,实现群体——虚拟环境交互式体验系统。

综上所述,在当前 5G 迅速发展的大背景下,将 VR 技术应用到航空器应急撤离试验,实现适航规章中对应急撤离演示试验的要求,具备了可行性。

2.2 VR 技术应用于航空器应急撤离的思路

沉浸式虚拟航空器应急撤离,以 VR 技术为核心,依据适航规章中应急撤离演示试验的要求,设计航空器应急撤离系统架构。系统结构由数据层、基础层和资源层构成,如图 1 所示。数据层由三维建模技术,立体显示技术,人机、人人交互技术,数据分析技术支撑;基础层由 HTC Vive 设备与 steam VR 平台搭建;资源层包括 3D 角色和场景模型。数据层为资源层提供技术支撑,基础层为实现人机、人人交互提供平台和设备,资源层为应急撤离演示试验提供试验条件。

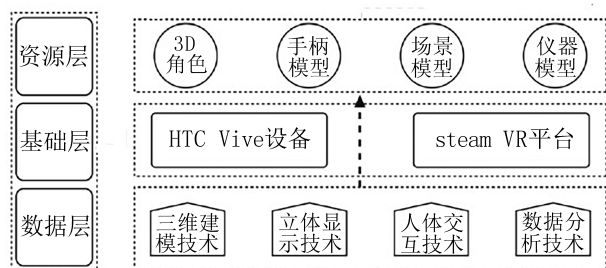


图 1 沉浸式虚拟航空器应急撤离系统架构

当前,国内外航空器研制商,基本都是采用了全三维数字化设计,建立了 1:1 尺寸的三维数模,为 VR 中三维立体场景模型的构建提供了便利条件。为增强航空器及内饰的立体视觉效果,可采用计算

机图形技术对三维模型进行渲染。三维模型中航空器外形尺寸、应急出口、座椅的尺寸和布置,过道宽度都与真机一致。场景模型中可以对场景进行设置,如照明、障碍物、火情、毒气、可使用的应急出口等,以便对各种试验工况进行试验。

人物角色,进入系统前,参试者根据自身的实际性别、年龄、体重、身体状况以及是否携带婴儿等情况填写相关信息,同时对参试者进行拍照扫描,并进行参试者人体模型建立和录入系统。人员的行为能力可通过辅助设备直接读取或在系统中进行具体设置。

交互设备包括头盔、体感数据服和控制器,使用实现人机和人人交互。头盔具有立体显示和立体声功能,实现参试者的视觉和听觉。体感数据服具有感知系统和定位系统,实现参试者触觉、追踪和定位。控制器用于实现参试者的运动和动作。

VR 平台用于实现虚拟环境与交互设备的连接,实现虚拟场景的设置和人员角色的选择。

2.3 沉浸式 VR 技术应用于应急撤离试验的优势

利用 VR 技术,可以构建多种不同的场景,没有人与人的直接接触,应用于模拟航空器应急撤离试验,其优势主要在以下几个方面:

(1) 高沉浸无安全隐患。航空器应急撤离的虚拟场景在 VR 系统中,可以达到高沉浸效果,使参试者有身临其境之感,提高试验的真实性。同时,为增加应急撤离时机上人员之间的接触、挤压,以及人员与机上物体接触、挤压的真实触感,要求参试者穿上体感数据服,该服装通过内部压力的变化来实现参试者接触、挤压物体的触感。这种方式既可真实地反映和演示应急撤离时的真实场景,又能避免参试人员之间、人员与机上物体之间在试验过程中的直接接触,能有效保证参试者的安全,避免事故隐患。

(2) 低成本可拓展。以最大乘坐量为 100 人的某型飞机开发研制 VR 应急撤离试验模型为例,其成本包含:软件方面(涵盖飞机舱内虚拟平台、空间定位系统、多人互动系统、5G+VR 云推流系统等)约需 200 万;硬件方面(头盔、体感数据服、控制器、数据处理器和显示屏等)约需 300 万;参试人员可通过网络招募志愿者的方式选取。虽然首期一次性投入需要 500 万左右,但是软件系统可根据型号需求灵活设置和切换,数字建模,无需搭建材料,快

速配置出不同型号、不同构型、不同工况的场景;硬件设备通用性强,不限于某一个型号、某一次试验,可重复、多次使用。平台系统开发研制后,应用的型号越多,使用的次数越多,平均的成本就越低。总的来说,由于VR应急撤离试验平台具有很强的拓展性,使得其能有效降低试验成本。

(3) 场地依赖性弱,试验开展协同性强。5G+VR云推流技术借助5G网络大宽带、高传输率低时延、高同步的优势,可使参试者们不受地域的限制,通过网络连接进入到相同的试验场景中进行异地参试。同时通过空间定位系统和VR动作捕捉技术,实现参试者在虚拟场景中的实时定位和运动捕捉。共用一个系统平台,一人一套设备,借助5G+VR云推流技术和定位和运动捕捉技术,即可实现多人交互模拟试验,场地依赖性弱、协同性强。

3 适航审定要求

3.1 符合性验证思路

3.1.1 构型的确认

客舱内部布置和相关撤离辅助设备直接影响到航空器的应急撤离能力。同时也能为后期型号可能出现的设计更改,应急撤离能力影响分析与评估提供基础。

最大乘坐量对应的座椅(含约束系统)及其分布,过道和通道的宽度和分布,应急出口的类型、分布和开启方式,应急撤离辅助设施及其分布,应急撤离路线的指示标识,应急照明等这些都将影响应急撤离能力。此外,整机外部特征也会对应急撤离产生影响,如发动机、机翼、起落架外形尺寸和安装位置,它们将影响整机地面停机状态下各应急出口离地高度、应急撤离路线等。为此,航空器上这些影响应急撤离的航空器外部和内部特征的构型,必须明确,并根据试验大纲中的构型要求,对VR场景中的相关要素进行核实和确认。

3.1.2 试验大纲的审批

采用VR进行应急撤离演示试验,与地面试验相比较,由于都是按照CCAR-25在其附录J的试验要求进行,所以试验目的、依据、对象、步骤和合格判据等方面基本都一致,主要是试验场地、试验设备和测试设备上的差异,这些差异部分主要被沉浸式VR系统所代替,所以在试验大纲中必须明确沉浸式VR系统的版本。

此外,如座椅约束系统的解锁,应急出口的开启,应急撤离滑梯(如适用)的展开和充气都是需要一定的时间,由于虚拟场景的因素,这些设备的操作或工作都是虚拟的,与设备实际实现操作或工作会存在一定的差异性,对其的操作时间会存在一定的差异,为此,在试验大纲中需要在应急撤离时间计算和合格判据中考虑这些因素。

3.2 审查关注要素

对于应急撤离演示试验,不论采用地面试验(MC5)还是模拟器试验(MC8),适航条款的要求是一致的,但是由于真实环境的实体和虚拟环境中的虚体的差异,使得在对应急撤离虚拟环境下开展演示验证审查时,需要重点关注几个方面。

3.2.1 离地高度

航空器三维建模时,起落架为全伸展状态,如以前、主轮胎最低点所在平面来确定飞机高度,不符合航空器实际地面停机状态。应急出口离地高度的增加,会增加成员从机上撤离至地面的时间。为此,在审查时,应关注离地高度是否根据航空器重量(含参试人员和行李)和对应地面静反力载荷下前、主起落架(缓冲器和轮胎)的压缩量来确定的,并在VR模型中进行对应的离地高度设置。

3.2.2 刚性物体

座椅、通道两边的隔板(或物体)、应急出口的外形轮廓直接影响到过道、通道的宽度,应急出口的宽度和高度,以及跨上、跨下距离,在实际环境中都是刚体,可以有效可靠地保证试验时其尺寸是满足机上实际要求的。如VR系统中刚性物体起不到刚性约束的作用,会导致参试者在撤离路线上,可以扩大一定的运动范围,等同于扩大了过道的宽度,以及应急出口的外形尺寸。这些对应急撤离的时间计算是不利的。现阶段的技术只能通过参试者穿戴的设备中,给予参试者一个与刚性物体接触的反作用力的反馈,或通过增加试验辅助设备来确保刚性接触。为此,在审查时,应关注系统对刚性物体的定义和设置,是否能起到刚性的约束,或VR系统中所采取的手段能否达到等效刚性的目的。

3.2.3 人员行为能力

对于航空器应急撤离来说,由于机上空间小、应急出口少、可移动范围小、人员密度大,因此应急撤离过程中,因人员紧张、恐慌导致的挤压、拥挤不

可避免,而系统中个体差异的设置,对应急撤离的竞争关系和拥挤程度会产生一定影响。VR 系统中对参试人员行为能力的设置,一般有两种方式。一种是通过设备和平台的交互,直接读取参试者的实际行为能力。另一种是在角色模块中对人物的力量、行走速度、弯腰等行为能力,根据人物角色(性别、年龄)来定义和设置的。审查时,对于第一种方式,要关注 VR 场景中的行为能力与实际是否有差异(行走速度、力量等)及实时性。对于第二种,关注不同人群行为能力设置的合理性以及个体的差异性是否有体现。

4 结论

VR 技术沉浸性强、扩展性强、协同性强,在 5G 技术迅速发展的大背景下,VR 技术在航空器应急撤离试验中将具有很好的应用和发展前景。本文分析了相关规章对应急撤离的适航要求:申请合格审定的最大客座量的成员在 90 s 内在模拟应急情况下完成从机上到地面的撤离。梳理了 CCAR-25 附录 J 中应急撤离演示试验的要求,结合 VR 技术特点、发展现状和趋势,分析了 VR 技术应用于航空器应急撤离验证的可行性,并给出了应用思路,分析了 VR 技术应用于应急撤离试验的优势:(1)高沉浸无安全隐患;(2)低成本可拓展;(3)场地依赖性弱,试验开展协同性强。同时,给出了 VR 应用于航空器应急撤离验证的符合性验证思路,提出了适航审定要重点关注几个方面:(1)场景中离地高度;(2)应急撤离路线上的刚性物体;(3)参试人员行为能力。

参考文献:

- [1] 邹田春,潘庭,杜月娟,等. 基于多智能体和元胞自动机民机应急撤离仿真[J]. 计算机仿真, 2015, 32(9): 56-60.
- [2] ZHANG Y G, SONG B F, XUE H J. Design of civil airplane emergency evacuation simulation system based

on improved cellular automata [J]. Aircraft Design, 2011, 31(1): 45-50;60.

- [3] 刘扬. 初探逆向与虚拟现实技术在非物质文化遗产上的应用[J]. 当代图书馆, 2020(2): 19-21.
- [4] 中国民用航空局. 运输类飞机适航标准:CCAR-25-R4[S]. 北京:中国民用航空局, 2011.
- [5] 汪萍. 空客 A380 应急撤离试验[J]. 民用飞机设计与研究, 2006(3): 10-13.
- [6] 尹范琪,吴灿琴,宋晓丹. VR 技术在教育领域中的应用[J]. 科技创业月刊, 2021,34(1): 126-128.
- [7] 王敏,吴洋,周琳. 提高应急撤离地面演示参试者安全性的研究[J]. 民用飞机设计与研究, 2017(2): 20-24.
- [8] 交通运输部. 大型飞机公共航空运输承运人运行合格审定规则:CCAR-121-R7 [S]. 北京:交通运输部, 2021.
- [9] 张振伟,刘明. 民用飞机应急撤离地面演示试验构型研究[J]. 科技视界, 2016(17): 279-280.
- [10] 赵锋,程科. 沉浸式 VR 在红色教育资源开发中的实践应用[J]. 科技风, 2021(12): 90-92.
- [11] SHARMA S, SINGH H, PRAKASH A. Multi-agent modeling and simulation of human behavior in aircraft evacuations[J]. IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, 2008, 44(4): 1477-1488.
- [12] Federal Aviation Administration. Emergency evacuation demonstration;AC 25.803-1A[S]. USA: Federal Aviation Administration, 2012.
- [13] 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, 40(2):40-42;45.

作者简介

敖文伟 男,硕士,高级工程师。主要研究方向:民用航空器结构适航审定。E-mail:aoww@jxaacc.org

付双检 男,硕士,高级工程师。主要研究方向:民用航空器强度适航审定。E-mail:fusj@jxaacc.org

李宏 男,高级工程师。主要研究方向:民用航空器适航审定管理和适航审定技术研究。E-mail:lih@jxaacc.org

李保良 男,正高级工程师。主要研究方向:民用航空器适航审定管理和适航审定技术研究。E-mail:libl@jxaacc.org

Application of VR and airworthiness certification technology research on civil aircraft emergency evacuation

AO Wenwei* FU Shuangjian LI Hong LI Baoliang

(Jiangxi Aircraft Airworthiness Certification Center of CAAC, Nanchang 330098, China)

Abstract: In the civil aviation regulations, an aircraft is required to have the ability of emergency evacuation, and the requirements of emergency evacuation demonstration test are given. For the verification of emergency evacuation of civil aircraft, the compliance method of ground demonstration test is widely used at present. The traditional ground demonstration test has some disadvantages, such as difficult to carry out safety guarantee, high cost, strong dependence on space and so on. With the emergence and maturity of VR technology, it provides a new method for aircraft emergency evacuation verification. According to the regulations, this paper combs the requirements of emergency evacuation demonstration test, analyzes the feasibility and advantages of VR technology applied to aircraft emergency evacuation verification, and studies the civil aircraft emergency evacuation demonstration test, aircraft digital modeling, and the technical characteristics of VR, and puts forward the main review contents, key concerns and technical review points of airworthiness certification, which provides a reference for establishing the airworthiness certification method of VR applied to aircraft emergency evacuation.

Keywords: emergency evacuation; demonstration test; mean of compliance; VR technology; airworthiness certification

* Corresponding author. E-mail: aoww@jxaacc.org