

# 虚拟现实技术在飞机设计中的应用

## Application of Virtual Reality Technology in Aircraft Design

中航工业第一飞机设计研究院 姚雄华 李 磊  
西北工业大学机电学院 张 杰



姚雄华

硕士, 现任中航工业第一飞机设计研究院副总设计师、研究员。曾参与多种军、民机结构, 强度设计与研究工作, 并主管飞机数字化设计等预研课题工作。

20世纪60年代, 人们提出虚拟现实(Virtual Reality, VR)概念。随着计算机图形、仿真、人工智能和多媒体等技术的发展, VR技术在80年代后逐步兴起, 在军事和航空航天领域的模拟和训练中起到举足轻重的作用, 且在其他民用行业也逐步得

到了较广泛应用, 如3D电影、远程医疗、虚拟驾驶、虚拟演播等。VR利用计算机技术生成一个逼真的, 具有视、听、触与力感等多种感知的虚拟环境, 具有实时三维空间表现能力和人机交互的操作环境, 给人带来身临其境的感受, 有效扩展了人类认知手段和领域, 必将使众多传统行业和产业发生革命性的改变。

到了较广泛应用, 如3D电影、远程医疗、虚拟驾驶、虚拟演播等。VR利用计算机技术生成一个逼真的, 具有视、听、触与力感等多种感知的虚拟环境, 具有实时三维空间表现能力和人机交互的操作环境, 给人带来身临其境的感受, 有效扩展了人类认知手段和领域, 必将使众多传统行业和产业发生革命性的改变。

VR具有3-I特征, 即沉浸(Immersion)、交互(Interaction)和构想(Imagination)。它借助交互设备可以使产品设计者以接近自然的方式与虚拟环境中的设计对象进行交互, 对用户的位置、姿态和语言等做出实时响应, 并能方便展开创新联想。VR实现“人在回路”的虚拟设计与仿真, 具有替代物理样机的巨大

潜力, 是21世纪军事科技中最有可能从根本上改变武器系统研制方式的技术。

### VR技术在飞机设计中的应用现状

现代飞机技术越来越复杂、性能要求也更加苛刻, 而研制周期却越来越短, 应用VR技术已成为确保飞机研制成功最关键的手段之一。在飞机设计过程中, 应用VR技术提前开展性能仿真演示、人机工效分析、总体布置、装配与维修性评估, 能够及早发现、弥补设计缺陷, 实现“设计-分析-改进”的闭环迭代。VR技术对飞机设计能力的促进作用体现在以下3个方面:

(1) 让用户在产品初期进

行沉浸式虚拟体验,增强用户信心,抢占市场先机;

(2)基本取代实物样机,变“后实物验证”为“先虚拟体验”,大量节省飞机研制经费、缩短研制周期,符合绿色航空设计和低碳经济理念;

(3)避免将设计缺陷带入后续研制阶段,大大减少反复更改活动,真正实现了设计一次成功,提升飞机质量。

目前,欧美先进航空企业,尤其是波音、空客等公司在飞机设计中的很多业务领域都采用了VR技术。用VR技术虚拟设计波音747获得成功,是近年来引起科技界瞩目的一件大事。波音747飞机有300多万个零件组成,这些零件以及飞机的整体设计在一个由数百台工作站的VR环境系统上进行。设计师戴上头盔显示器,就能穿行于这个虚拟的“飞机”中,去审视“飞机”的各项设计。过去为设计一架新型的飞机必须先建造两个实体模型,每个造价约为60万美元。应用该技术后,不仅节省了研制经费、缩短了研制时间,而且保证了机翼和机身对合的一次成功<sup>[1]</sup>。

继波音747后,2008年基于VR技术设计的波音787飞机正式试飞。波音787的研制技术基本代表了发达国家目前先进设计技术的水平和应用现状。另外,在波音777和空客A380的设计过程中,以VR为代表的新一代数字化先进设计技术将整体项目进度和飞机研制成本缩短、降低了将近一半。

此外,欧直公司从2010年起在德国多瑙沃特建立VR工作室,可在一个6m×2.5m尺寸的屏幕上以互动、沉浸的方式操作整个直升机或各个部件,开展多专业协同设计与设计效果体验评估。总体来说,西方发达国家已充分认识到了VR技术对飞机研制的重要意义,并将VR技术纳入方案设计阶段的设计流程,使工

程师沉浸于虚拟环境中提前开展设计优化与分析评估。

近十几年来,我国飞机数字化设计技术已取得很大的突破,几个主要的飞机设计单位也初步建立了投入型VR环境,如中航工业第一飞机设计研究院在型号研制中尝试使用VR技术进行座舱布置设计、虚拟拆装和人机工效分析(图1),取得了一定的效果。但是,当前国内还没有将VR技术与数字化设计流程进行有效地结合,只针对于设计流程上的单点环节和个别专业进行了局部的工程应用,而更多的应用偏重于产品演示,使用效果非常有限。问题的原因在于:现有的VR应用通常针对飞机设计过程中的某一单点需求进行,对于VR环境中产品信息的获取和输入、仿真分析结果的输出和反馈、设计/仿真数据综合管理、业务过程控制、设计业务使能工具等关键问题,国内还没有给出完整的解决方案,更没有形成基于VR的飞机设计与仿真技术体系;另一方面,国内尚未建立完整的分布式桌面型VR环境,限制了多专业实时协同设计。这使得VR设计与仿真平台难以与现有的飞机设计业务密切关联,迫切需要改变。

### VR技术在飞机设计中的应用需求

在飞机研制的整个历程中,设计工作主要集中在方案论证、初步设计、详细初步设计和工程研制等4个阶段。采用VR技术进行产品设计的特点是进行“先虚拟体验”,这在整个设计阶段都有相应的应用需求。在方案论证阶段,应用VR技术虚拟构造、演示飞机总体性能和技术特征,让用户直观了解将要购买的飞机;在工程研制阶段,飞机各专业的设计方案已基本确定并开始工程试制,这时VR技术适合应用于设计更改评估和空地勤人员演示培训等方面。比较而言,VR技术应用需求最

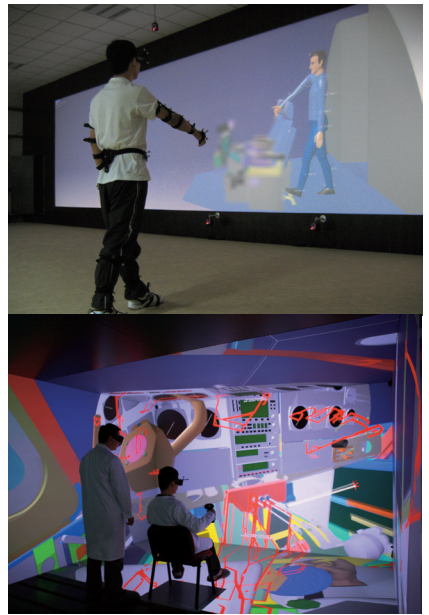


图1 VR技术初步应用

多的是在初步设计和详细初步设计阶段,这两个阶段的部分应用需求罗列如下:

(1)驾驶舱人为因素、人机工效分析与评估。包括驾驶舱整体布局美观度、飞行员视野与头部活动空间、操纵手柄(或按钮)与显示器等布置合理性、仪表板反光影响、显示屏亮度舒适性及驾驶员飞行疲劳等分析与评估。

(2)舱门、通风窗功能分析与评估。包括拆装过程工艺性,手柄操纵力与操纵舒适度、手感,应急逃离使用过程模拟,安全性与适航性评估等。

(3)座舱舒适性分析与评估。包括灯光布置、光源颜色、内装饰色彩、座椅舒适度和舱内噪声评估等。

(4)可装配性、维修性分析与评估。包括碰撞检测,装配、维护和维修通路,可达性和照明条件等模拟,装配、维护时间评估和装配、维护施工顺序规划设计等。

(5)飞行仿真。包括飞行特性研究、控制率设计<sup>[2]</sup>、飞行模拟器仿真<sup>[3]</sup>等。

采用VR技术的验证环节必须与可靠性、维修性、安全性、各专业

功能分析等工作一样纳入设计流程,只有通过该阶段的 VR 评估后才能转入下阶段工作。

### 飞机设计流程中的 VR 体系框架

依据飞机研制单位的数字化水平和应用需求,可结合飞机设计流程构建 VR 体系框架,作为分阶段、分目标开展 VR 技术应用的基础。当前,基于网络的分布式桌面型 VR 系统具有多专业多人协同、可远距离实时交互的特点,只需以现有的工作站或个人计算机为基础,适当补充一些外部设备就可建立虚拟可视环境,并形成分布式 VR 系统,成本相对低廉。因此,分布式桌面型 VR 系统较适合大规模应用于飞机设计这类较复杂的设计活动。但是,桌面型 VR 系统沉浸感不强,所以对于复杂系统还需要建立投入型 VR 系统进行功能补充。可预计,一般 VR 系统的整体构架应以投入型 VR 系统为中心,并使之与多点分布式桌面型 VR 系统通过网络进行整合,完成并行协同工作,见图 2。

实现 VR 技术与飞机设计流程的完美结合,必须借助飞机数字化设计,产品数据管理、仿真、检测和多媒

体等前沿技术,集成必要的分析软件,并建立基础数据库。

飞机设计流程中的 VR 体系框架采用图 3 所示的分层结构,分为界面层、应用层、对象层和资源层等 4 个层次。

(1) 界面层。界面层是用户与 VR 系统交互的接口,包括输入与输出界面。输入界面用于接受用户的

输入指令,如响应用户通过 3D 鼠标、数据手套和人体跟踪系统的输入,捕获用户的肢体动作。输出界面用于将应用层处理的结果以图像、声音、触感或力感等方式通过头盔显示器、3D 眼镜、耳机和力反馈等虚拟外设反馈给用户。

(2) 应用层。应用层是 VR 系统的核心,主要包括 VR 样机建模、

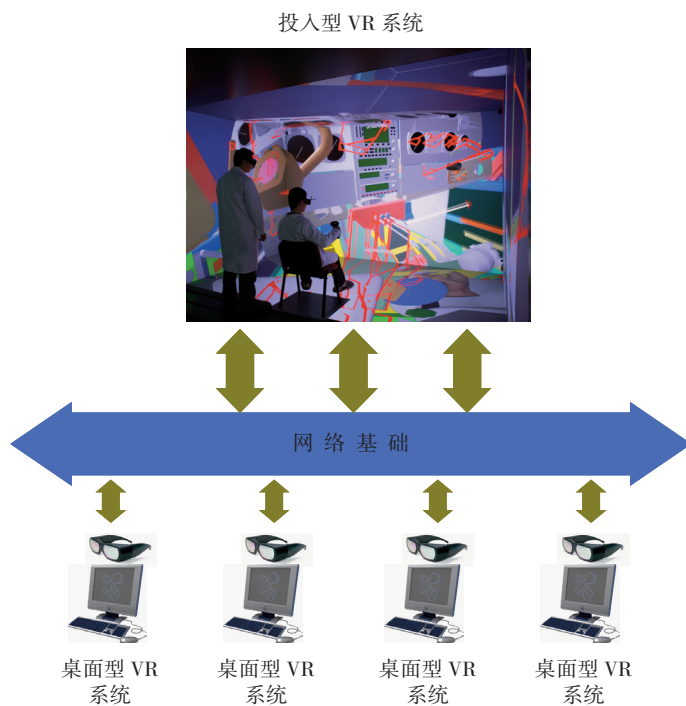


图2 分布式VR系统构架

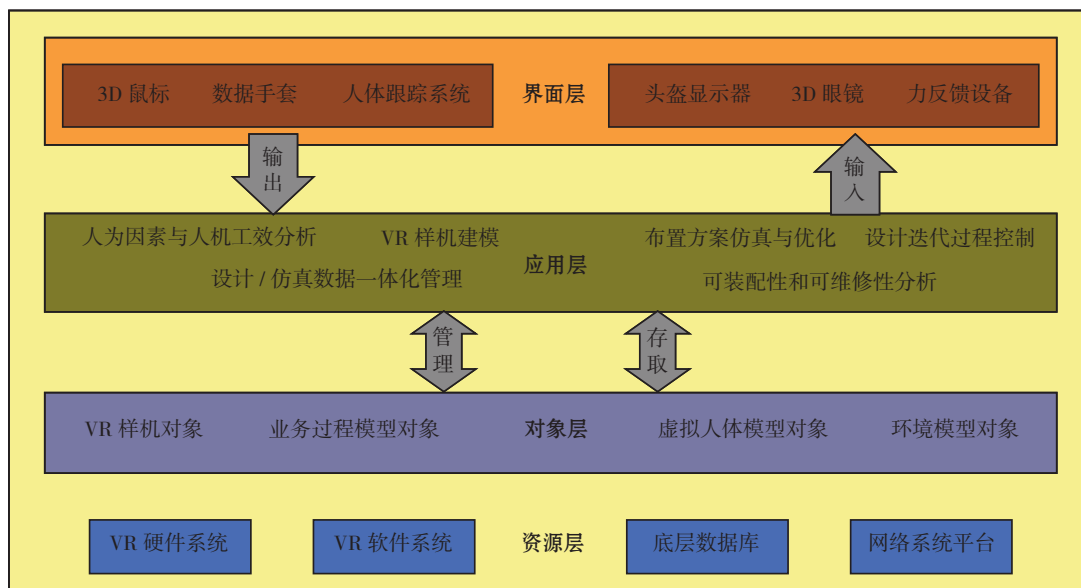


图3 VR系统体系框架

设计/仿真数据一体化管理、设计迭代过程控制、人为因素与人机工效分析、布置方案仿真与优化、可装配性和可维修性分析,以及相应使能工具的开发。

(3)对象层。对象层用于存取、生成、维护和管理VR系统运行过程中的VR样机对象、业务过程模型对象、虚拟人体模型对象和环境模型对象,提供系统数据支持,完成模型对象的数据组织、存储与提取。

(4)资源层。资源层是VR系统所需软硬件、各种数据库和网络平台的集成,是VR系统各使能工具应用的基础。

### VR在飞机设计中应用的关键技术

VR技术仍在发展之中,要完成VR技术与我国飞机设计流程的有效融合,并实现多专业协同、跨地域大范围使用,还要突破以下一些关键技术:

(1)基于VR的飞机设计与仿真技术体系。研究基于VR的飞机设计与仿真技术体系,确定VR技术在飞机设计各阶段融合的切入点;研究VR系统与现有PDM等系统的关联特点,明确3D数据传递和“轻量化”转换的要求,确定数据在设计迭代过程中的业务状态控制方法;根据飞机设计的实际业务过程,明确基于VR的业务使能工具集的需求、形成平台搭建方法;研究提炼基于VR的飞机设计与仿真应用技术规范,为VR技术在飞机设计过程中的系统应用提供支持。

(2)VR系统建模技术。VR系统建模是实现VR技术应用的基础。在飞机设计过程中,VR系统建模以三维视觉建模为主,包含几何、运动、物理属性和对象行为建模等。几何建模是基础,数据来源于、但不等同于飞机3D设计数据,必须针对设计对象的3D数据进行适当的“轻量化”

处理,以消除因视觉延迟给用户带来的仿真障碍。运动建模必须真实模拟物体、人体,如自由落体、行走、物体位置不能重叠和人不能穿墙而过等自然特性。物理属性建模是对象重量、表面变形和软硬度等物理属性的体现,是VR系统中较高层次的建模,它需要物理学与计算机图形学配合,涉及力的反馈问题。对象行为建模是处理物体的运动和行为的描述,能真正体现出虚拟环境的特征<sup>[4]</sup>。

(3)VR与PDM系统数据关联与业务迭代控制技术。围绕PDM与VR设计环境的数据双向传递需求,研究设计与仿真数据的结构和规范;研究VR环境与协同设计平台的在线数据集成接口技术,实现PDM与VR系统的数据关联,建立业务数据分析、传递和追溯的基础;研究面向VR的飞机多专业协同迭代流程定义和建模方法,建立VR业务节点与一般飞机设计业务节点的关联,并有效地控制和优化设计迭代过程,最终将VR业务融入当前飞机设计业务的闭环迭代过程。

(4)碰撞检测技术。飞机座舱、设备舱的空间十分紧张,要保证结构、系统设备的可装配性、维修性和驾驶员操纵飞机的舒适性,碰撞检测是VR中不可避免的问题之一。碰撞检测的技术关键是检测算法的实时性、物体与人体自然属性模拟的真实性。对于越来越复杂的飞机产品,虚拟场景规模越来越大,同时人们对交互实时性、场景真实性的要求也越来越高,这使得实时碰撞检测成为研究热点。

(5)人机交互技术。人机实时交互是实现VR场景沉浸感的关键,主要难点包括:虚拟实体的选择和定位问题、基于数据手套的手势识别问题、基于位置跟踪器的传感器定位精度和响应延迟问题、虚拟触觉与虚拟力反馈的灵敏度问题等。

(6)人机工效设计与仿真技术。

通过研究多通道体感融合人机工效与仿真方法,建立基于VR的飞机人机工效设计与仿真准则、规范,制定基于VR的人机工效设计流程;通过构成人-机-环系统下人机工效测定和评估系统,完成人机工效设计和人在虚拟环境系统中的交互仿真,支持飞机总体布置、驾驶操纵和控制等方面的人机工效设计研究,从而实现飞机研制中人机界面的快速设计。

(7)虚拟装配、维修仿真与分析技术。围绕基于产品装配及维修的设计需求,研究VR环境中模型的实时操作控制技术,奠定操作人员与虚拟环境的交互操作基础;分析VR环境中产品可装配性及可维修性验证与评估手段,并建立其评价指标体系;研究基于VR的装配与维修仿真技术,对飞机可装配性与可维修性实施定性与定量评估。

### 结束语

VR技术被公认为是21世纪影响人类活动的重要发展学科和技术之一,具有良好的应用和发展前景。如果,我国通过关键技术攻关,实现VR技术与飞机设计的完美结合,必将大幅度降低飞机研制经费,缩短研制周期,顺应绿色航空和低碳经济的发展潮流,同时对我国缩短与西方先进飞机设计水平的差距具有重大的意义。

### 参考文献

- [1] Deviprasad T, Kesavadas T. Virtual prototyping of assembly components using process modeling. *Journal of Manufacturing System*, 2003, 22 (1): 16-27.
- [2] 朱江,安刚,陈吉华. 基于虚拟现实技术的空中加油仿真系统. *西安:飞机工程* 2008(2):20-23.
- [3] 马登武,叶文,于凤全,等. 虚拟现实技术及其在飞行仿真中的应用. 北京:国防工业出版社, 2005.
- [4] 张菁. 虚拟现实技术及应用. 北京:清华大学出版社, 2011.

(责编 亦非)