

人机工效学在民用客机研发中应用的新进展及建议

Application of Human Factors in Developing Civil Aircraft and Recommendation

许为 陈勇 / 中国商飞上海飞机设计研究院

摘要: 通过介绍人机工效学在波音787飞机研发中的应用, 讨论其对国产民用客机研发的启发, 并结合参与国产民用客机研发的体会, 提出一个人机工效学在国产民用客机研发中应用的工作框架。

关键词: 人为因素; 波音787; 民用客机; 飞行安全

Keywords: human factors; Boeing 787; civil aircraft; flight safety

0 引言

人机工效学(也称人为因素、人类工效学)从人的因素角度出发, 通过研究人与机器以及工作环境的相互关系来达到三者间的最佳匹配。全球商用飞机重大事故的统计分析表明, 约70%的事故原因与机组人员的人为差错有关。如果考虑到与空管和地面维修相关的人为差错, 几乎绝大多数事故都与人的因素有关。在机载技术发展成熟和设备系统可靠性很高的今天, 提高整个机载人机系统的可靠性和安全性更多地取决于人的因素。由此可见, 人机工效学在航空领域中应用的重要性。

波音787飞机代表了当代大型商用飞机发展的先进水平, 其中人机工效学功不可没。本文结合人机工效学在波音787研发中的应用, 阐述了民用客机人机工效学研究的一些关键问题, 包括研究组织体系、研究方法、驾驶舱人机界面、客舱人机界面、可维修性和可生产性的人机工效等, 并总结

了国际上民用客机人机工效的一些最新设计、研究和评价技术。现结合参与现有国产民用客机研发的体会, 从人机工效学的角度, 对组织体系、标准体系、评价体系、设计技术、制造和维修技术等方面提出一些较为系统的框架性建议。

1 人机工效学的研究组织体系和研究方法

以波音公司为例, 该公司拥有近百人的人机工效学专家, 大多具有博士或硕士学位, 其中包括数位具有波音公司最高技术职称的波音院士(Boeing Technical Fellow)。波音公司采用人机工效学总工程师领导下的集中式中心部门与分布式(即人机工效学专家独立地工作在设计、研究、生产、培训和安全等部门)相结合的混合式结构, 这样既有利于在纵向上对方法和流程进行标准化管理, 又有利于在横向上有效地将人机工效学渗透到各功能组织和项目中。波音人机工效学部拥有各种人机工效学标

准, 包括驾驶舱总体布局、显示器、控制器、告警信号、可维修性等。这些标准有效地指导和规范了新机型的研发。

相对于波音777飞机的研发, 波音787的人机工效学目标更强调了面向所有用户(包括飞行员、乘客、地面维修人员、整机生产线上装配人员等)。波音787不仅要为飞行员提供安全和有效的驾驶舱人机系统界面, 为乘客提供安全舒适的客舱, 而且也要为整机生产线装配人员以及航空公司地面维修人员提供安全和易操作的工作空间和工具。波音787的人机工效学专家分别工作在驾驶舱、客舱、生产制造、地面维修、培训设计、试飞、适航论证、预研、事故分析等项目中, 他们将人机工效学的各种方法作为一个组合部分有机地整合在包括预研、总体概念定义、设计、测试、试飞以及适航论证等阶段的重要决策和流程中。

例如, 人机工效学专家利用模拟舱法在不同研发阶段以不同的方式为

设计决策提供了人机工效学实验依据。在早期研发阶段采用了视觉仿真,如对平视显示器字符显示画面的优化筛选实验;总体概念定义阶段采用了物理仿真,如利用人体测量数据模型对驾驶舱空间布局和可达性的评价;设计阶段采用了认知仿真,如对飞行员垂直导航状态情景意识的实验;测试阶段采用了动态仿真,如对垂直阵风波动补偿系统的人机工效学测评;最后,为准备适航认证试飞采用了全任务仿真,如对各飞行任务阶段飞行员工作负荷的测评等,来核实整体设计最终符合有关最小飞行机组工作负荷的适航规范要求。

2 驾驶舱人机界面

飞行操作的有效性和安全性很大程度上取决于驾驶舱人机界面(即飞行显示器、控制装置等)的设计。波音787的驾驶舱设计项目人员主要由工程师、人机工效学专家和波音飞行员等组成。设计初期设计组确定了设计原则,包括波音驾驶舱设计原则、与波音777驾驶舱设计的兼容性、飞行员操作通用性等,以便最终达到经济地与波音777等机型混编机队飞行的目标。

波音787的人—显示器界面设计在波音777的基础上有了新的突破。在设计初期,人机工效学专家对5种显示器尺寸和6种类型进行了人机界面易用性、成本、技术功能等方面的综合评价。波音787的最终设计充分体现了人机工效学的原则,其5个15英寸的大屏幕显示器既为飞行员提供2倍于波音777的信息量,又提供了灵活和易读的显示格式。其中3个显示器允许飞行员在不同飞行阶段灵活地切换成与当前任务匹配的多功能显示画面(导航、电子检查表等)。主仪表控制板上的

中央显控装置(CDU)多功能画面减少了飞行员的低头操作。首次作为基本配置的平视显示器,叠加在导航显示器上的垂直状态显示器(VSD),以及可在测显示器上显示的机场滑行道地图(AMM)都满足了飞行员在不同飞行阶段的信息需求,从而提高了安全性。另外,双电子飞行包(EFB)也有利于降低人为误差发生的概率。

波音787的人—控制器界面的设计也体现了人机工效学的贡献。在波音777引进触摸板控制装置以后,波音人机工效学专家一直在寻求更为直观、灵活和互动的人机界面操作,波音787的设计实现了这种人机工效学目标。例如,波音787的触摸板控制器可通过光标直接控制多功能显示画面;在导航显示画面上飞行员可直接控制菜单选择和航路点;电子飞行包也可直接通过触摸屏、边框按键、光标控制或键盘进行操作。另外,人机工效学的应用使得驾驶舱具有更大的窗外视野、更低的噪声、更多的座位调节空间和工作空间,为飞行员提供了一个更符合人体测量和生理学等方面需求的飞行操作环境。

波音787驾驶舱的人机界面新技术来自人机工效学的预研成果。例如,波音就平视显示器在商用飞机上的应用开展了多年的人机工效学研究,优化了显示符号格式的视觉工效和光学性能,帮助飞行员能同时获取舱内外信息,避免了在应急状态下的低头操作,提高了飞行员在低能见度条件下的情景意识。波音787垂直导航状态显示器也是波音在十年前就已开展的人机工效学预研项目。人机工效学专家对三维视景显示器、平视显示器和侧剖面垂直状态显示等方案进行了多次实验,最后选择了侧剖面显示方案,

使得飞行员在导航显示器上可同时获取水平和垂直导航状态信息。针对进场、着陆、滑行和起飞阶段的安全事故,为提高飞行员对机场跑道的情景意识,人机工效学专家通过对机场滑行道地图(AMM)各种显示画面格式的实验研究,选定了在导航显示器和侧显示器上具有最佳显示工效的方案。

3 客舱人机界面

客舱是乘客休息、娱乐、工作、社交以及应急情况下逃生的场所,乘客在体格、年龄、健康、文化、心理等方面的差异对设计者提出了挑战。波音一直开展针对乘客客舱环境的人机工效学研究,在对波音787客舱设计中人的因素给予了比以往任何机型更多的考虑。

波音与美国俄亥俄州立大学合作进行的高压氧舱人机工效学实验表明,置身于6000英尺以下客舱压力高度时的受试者报告疲劳感现象明显减少,而且乘客的血液还能多吸收约8%的氧气,从而减少了头疼和头昏等症状。波音787利用了其机身材料的50%以上为新型碳纤维合成材料和相应的高抗压性,将在43000英尺高度巡航时的客舱舱压从现役铝制机身飞机的8000英尺降至6000英尺,帮助乘客减少了头疼和头昏等症状,并在起降阶段帮助乘客缓解了耳内不适等症状。

波音对乘客晕机的人机工效学实验研究表明,在由阵风引起的飞行波动中,一定频率范围内产生的上下垂直波动对晕机影响最大。为此,波音787开发了阵风补偿系统。当机身外的传感器感应到阵风波动时,该系统的软件即驱动电传飞行控制系统来快速主动地补偿这种垂直波动,通过抑制波动来提高飞行的平稳性和舒适性。

为帮助乘客更自然地调节由于跨时区飞行引起的人体内生物节律和睡眠紊乱,波音787人机工效学专家与供应商合作,在客舱采用了大弧度的顶部拱形结构和动态LED自然光模拟照明系统,可自动或手动仿真自然天空昼夜的渐近变化,从而最大限度地减少对乘客生物节律和睡眠的影响。

波音787客舱在其他人的因素方面的改进还包括:利用新型气体过滤系统对空调系统进行改进来提供更为清新的空气;利用机身合成材料的高抗湿抗腐蚀性,将舱内湿度从以往的10%提高至20%~30%,有助于缓解乘客皮肤干涩的症状。

4 可维修性和可制造性的人机工效

可维修性是指波音787的设计能够为航空公司地面维修人员的操作提供一个安全、高效和舒适的作业环境。地面维修人员经常在高压以及狭小的空间作业,易造成操作上的人为差错、对部件的损伤以及维修人员本身的疲劳受伤。可维修性直接关系到航空安全、维修成本和航班准时性等。

人机工效学专家将维修人员作为整个人机系统评价的一部分,充分考虑他们的工作负荷、舒适性、安全性和易操作性,在对波音767飞机维修性可改进的环节和部件的基础上,开发了可维修性评价(MED)流程和工具。专家们还利用计算机辅助设计工具和人体建模软件系统对可维修性设计(如操作工具、可达性等)进行测试和核实。

可制造性是指波音787在设计中充分考虑了为整机生产线上装配人员提供高效、安全和舒适的作业环境和工具。人机工效学专家在设计初期就规

范了评审标准和流程,与设计人员密切合作,定义针对可制造性的设计要求,在装配流程和工具设计中充分考虑了装配中的人的因素。

在设计中,人机工效学专家采用数字人体建模方法对装配工具设计和制造流程的安全性和高效性进行人机工效学审核。例如,人机工效学专家与机翼工程师合作设计了一个可移动平台,以便装配人员安全和方便地进入波音787的主着陆轮控制系统附近的作业空间。人机工效学专家还利用虚拟现实(VR)技术来模拟装配流程,以便对工具和操作流程的设计进行验证和优化。VR技术有效地在设计初期以较低的成本来模拟评价作业空间的可达性和可视性,避免了后期改进可能带来的高成本支出。

5 对国产民用客机人机工效学应用的建议

1) 开展多维度的人机工效学应用并建立有效的评价体系

应从航空安全和国际市场的角度来重视人机工效学的应用,建立重视人机工效学的企业文化,并逐步建立有效的人机工效学组织。驾驶舱人机界面设计的兼容性、飞行员的操作通用性、乘客的舒适性以及航空公司的可维修性等都将在今后飞机进入国际市场的重要因素。美国联邦航空局(FAA)有专门的人机工效学专家委员会和部门来指导本国商用飞机企业的研发和适航认证。中国民航局(CAAC)有关部门和工业部门应建立人机工效学专家咨询委员会来指导企业人机工效学的开展。当前可以考虑通过开展人机工效学的专家评估来制定行动计划。

2) 将人机工效学的应用整合到项

目全周期研发流程和项目评估体系中

人机工效学应用的有效性很大程度上取决于人机工效学的方法和流程是否被有机地整合到现有的研发流程中。重要的与人的因素有关的设计决策必须考虑人机工效学,应将人机工效学纳入设计决策、研发流程和项目评估标准体系中。例如,从发展的角度应建立明确和一致的驾驶舱人机界面设计原则和交互模式、设计兼容性和操作通用性。

3) 建立必要的人机工效学软件、硬件和专业队伍

应设立必要的人机工效学实验室设施和软件系统。在中国,人机工效学还是一个新兴的学科,在航空领域中的应用相应较小。即使在国外,航空人机工效学的人力资源也是有限的。目前可考虑引进海外人才和建立专家咨询委员会。从长远角度出发,应该与国内有关院校合作培养所需的人才。

4) 建立健全人机工效学行业和企业标准体系

标准化是人机工效学应用的重要步骤之一。国产民用客机研发正处在自主创新的转变阶段,需要制定相应健全的国家和企业标准来指导研发、设计、试飞测试和适航论证,以避免在研发后期发生重大的设计错误。从国际化角度考虑,人机工效学标准应与国际规范标准接轨,既有利于获取国际上的适航认证,也能推动国产民用客机走向国际市场。

5) 开展必要的人机工效学预研

应从长远发展的角度出发,开展必要的人机工效学预研项目,包括政府资助、院校合作以及企业自主的预研项目。目前可考虑成立专家委员会以确定需要优先开展的预研项目。

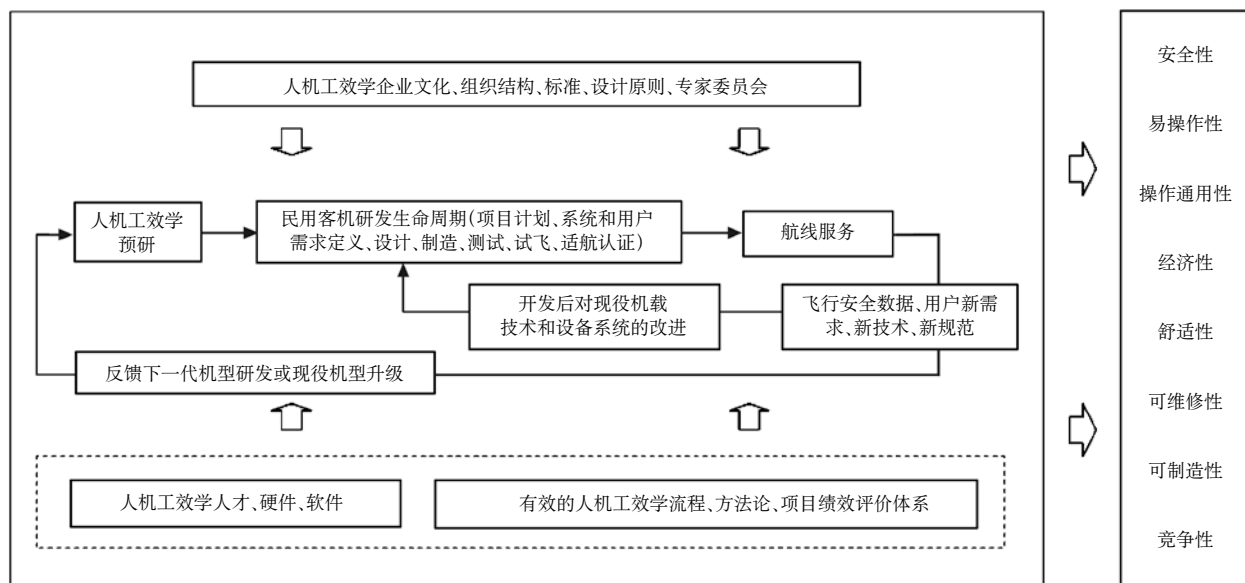


图1 人机工效学在国产生民用客机研发中应用的工作框架

6 总结

综上所述,本文提出了一个人机工效学在国产生民用客机研发中应用的工作框架,如图1所示。该工作框架强调建立一个重视人机工效学的企业组织文化环境,并在相应的人才、硬件、软件以及有效的流程和方法论支持下,将人机工效学的应用有机地整合到国产生民用客机研发的整个生命周期中,从而提高国产生民用客机的安全性、易操作性、操作通用性、经济性、舒适性、可维修性、可制造性和竞争性。

AST

参考文献

- [1] 许为. 人机工效学在大型民机驾驶舱研发中应用现状和挑战[J]. 人类工效学, 2004, 10(4): 53-56.
- [2] McMullin D, Jacobsen A, Carvan D. The Boeing 787 Dreamliner - a case study in large-scale design integration[C]. Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society 52nd Annual Meeting, 2008: 1670-1671.
- [3] Jacobsen A. 787 flight desk displays[EL/OL]. 2007. http://www.sidchapters.org/pacificnorthwest/meetings/dec14_05_presentation.pdf
- [4] 许为. 机载有源阵液晶显示器的人机工效学研究[J]. 国际航空, 2000(9): 57-60.
- [5] Neville R, Dey M. Innovative 787 flight deck designed for efficiency, comfort, and commonality[J]. Aero Magazine, 2012(1): 10-17.
- [6] 许为. 有关自动化飞机驾驶舱的人机工效学问题[J]. 国际航空, 2004, 5: 49-51.
- [7] Xu W. Identifying problems and generating recommendations for enhancing complex systems: Applying the abstraction hierarchy framework as an analytical tool[J]. Human Factors, 2007, 49(6): 975-994.
- [8] 许为. 自动化飞机驾驶舱中人-自动化系统交互作用的心理学研究[J]. 心理科学, 2003, 26(3): 523-524.
- [9] Carvan D. Maintainability on the Boeing 787 Dreamliner [EL/OL]. 2008. http://www.raes-hfg.com/reports/08oct08-HFGE_MakingDifference/08oct08-Carvan.ppt.
- [10] Gardner R. Ergonomics: A friend to the 787 [EL/OL]. 2007. http://www.boeing.com/news/frontiers/archive/2007/december/ts_sf03.pdf.

作者简介

许为, 上海飞机设计研究院合作海外专家, 留美人机工效学博士, 研究员。曾在国内从事飞机驾驶舱人机工效学预研, 并在美国波音公司驾驶舱工程部、飞行安全和适航部工作多年。研究方向为航空和计算机人机工效学。

陈勇, 上海飞机设计研究院副院长、ARJ21总设计师、研究员。曾从事过多个军、民用飞机的总体设计、综合航电系统设计。研究方向为飞机总体设计和综合航电系统设计。