

民用飞机驾驶舱 人为因素适航验证导论



揭裕文 朱 亮 郑弋源 刘 勋 编著



北京航空航天大学出版社
BEIHANG UNIVERSITY PRESS

民用飞机驾驶舱人为因素 适航验证导论

揭裕文 朱 亮 郑弋源 刘 勋 编著

北京航空航天大学出版社

内 容 简 介

本书从适航审定的角度,对民用运输类飞机设计与审定过程中的驾驶舱人为因素问题进行全面阐述,内容以民用运输类飞机人为因素相关的理论和设计知识为基础,结合多种飞机型号的工程开发和适航审定实践经验,通过多轮研究、探讨、修正和完善后编撰完成,希望能够为读者提供专业的飞机驾驶舱人为因素设计与适航审定方面的帮助。本书的理论与实践相结合,采用了许多飞机设计与适航审定中的实例,大大增强了可读性和实用性。

本书适用于从事飞机设计与适航审定方面工作的专业技术人员,也可供从事人为因素研究的科研人员以及对飞机和飞行感兴趣的广大读者参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

民用飞机驾驶舱人为因素适航验证导论 / 揭裕文等
编著. -- 北京:北京航空航天大学出版社, 2017.3

ISBN 978-7-5124-2359-6

I. ①民… II. ①揭… III. ①民用飞机—座舱—适航
—人为因素—研究 IV. ①V223

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 046062 号

版权所有,侵权必究。

民用飞机驾驶舱人为因素适航验证导论

揭裕文 朱 亮 郑弋源 刘 勋 编著

责任编辑 赵延永 胡绥霞

*

北京航空航天大学出版社出版发行

北京市海淀区学院路 37 号(邮编 100191) <http://www.buaapress.com.cn>

发行部电话:(010)82317024 传真:(010)82328026

读者信箱:goodtextbook@126.com 邮购电话:(010)82316936

涿州市新华印刷有限公司印装 各地书店经销

*

开本:710×1 000 1/16 印张:15.5 字数:330 千字

2017 年 3 月第 1 版 2017 年 3 月第 1 次印刷 印数:2 000 册

ISBN 978-7-5124-2359-6 定价:68.00 元

若本书有倒页、脱页、缺页等印装质量问题,请与本社发行部联系调换。联系电话:(010)82317024

前 言

驾驶舱人为因素适航性设计和验证是民用运输类飞机产品研发和适航取证中的关键问题，它是通过在驾驶舱设计中对人为因素的设计理念、设计原则、设计标准的有效贯彻与实施，验证驾驶舱的设计满足与人为因素相关的适航标准要求，以保证飞机的飞行安全。随着科学技术的不断进步，更多新颖、独特的设计被应用到民用飞机驾驶舱中，驾驶舱人为因素对飞行安全的重要性日益突显，从而对驾驶舱人为因素适航性设计和验证提出了更加严格的要求。

虽然我国在人因学的理论研究方面已经取得了一定的成就，但是在民用航空领域对人为因素的设计和验证实践经验还比较欠缺，与欧美先进水平有不小的差距，在民用飞机驾驶舱人为因素的设计和适航验证等方面，还需要进一步总结和提高。

本书的作者包括从事飞机设计与适航验证数十年的工业界专家，以及以人为因素为研究方向的科研人员。本书从适航验证的角度，对飞机设计与验证过程中需要关注的驾驶舱人为因素问题进行阐述，希望能够为读者提供专业的民用飞机驾驶舱人为因素设计与适航验证方面的帮助。

全书共6章。第1章为民用飞机驾驶舱发展与人为因素考虑，第2章为民用飞机设计流程与适航管理，第3章为与驾驶舱人为因素直接相关条款解析，第4章为需要考虑人为因素问题的相关条款解析，第5章为民用飞机驾驶舱人为因素适航验证，第6章为最小飞行机组工作负荷符合性验证。此外，本书还包含4个附录。

最后，感谢为本书顺利出版给予关心、帮助和支持的所有人。

由于作者学识水平有限、时间仓促，书中可能存在不足和差错之处，恳请各位读者批评指正。

作 者

2017年1月于上海

目 录

第 1 章 民用飞机驾驶舱发展与人为因素考虑	1
1.1 飞行员飞行感知的发展	1
1.2 民用飞机驾驶舱的发展	2
1.2.1 “传统的”驾驶舱	2
1.2.2 玻璃驾驶舱	3
1.2.3 波音 B-787 和空客 A-380 驾驶舱	4
1.3 民用飞机驾驶舱人为因素考虑	6
1.3.1 人体测量学	6
1.3.2 人的生理特点以及人的感知和认知能力	6
1.3.3 环境因素	7
1.3.4 构造布局	8
1.3.5 硬件和设备	8
1.3.6 人机界面	8
1.3.7 人与自动化系统角色	9
1.3.8 人为差错	13
第 2 章 民用飞机设计流程与适航管理	18
2.1 一般生命周期的划分	18
2.2 民用飞机设计流程	20
2.3 民用飞机设计不同阶段人为因素关注的问题	20
2.3.1 需求定义	20
2.3.2 概念设计	20
2.3.3 总体设计	21
2.3.4 详细设计	22
2.3.5 试飞取证	22
2.3.6 交付运营	22
2.4 适航与适航管理	23
2.5 适航法规体系	23
2.6 航空器型号合格审定过程及分析	24
2.6.1 航空器型号合格审定过程	24

2.6.2	各审查方型号合格审定过程的分析	29
2.6.3	人为因素相关的适航规章要求和审定政策	33
第3章	与驾驶舱人为因素直接相关条款解析	35
3.1	25.143 操纵性和机动性总则	35
3.1.1	条款原文	35
3.1.2	条款解析	37
3.1.3	符合性验证方法	38
3.2	25.671 控制系统总则	38
3.2.1	条款原文	38
3.2.2	条款解析	39
3.2.3	符合性验证方法	41
3.3	25.771 驾驶舱	41
3.3.1	条款原文	41
3.3.2	条款解析	42
3.3.3	符合性验证方法	42
3.4	25.773 驾驶舱视界	43
3.4.1	条款原文	43
3.4.2	条款解析	44
3.4.3	符合性验证方法	46
3.5	25.777 驾驶舱操纵器件	46
3.5.1	条款原文	46
3.5.2	条款解析	47
3.5.3	符合性验证方法	48
3.6	25.785 座椅、卧铺、安全带	48
3.6.1	条款原文	48
3.6.2	条款解析	50
3.6.3	符合性验证方法	51
3.7	25.1141 动力装置的操纵器件总则	52
3.7.1	条款原文	52
3.7.2	条款解析	53
3.7.3	符合性验证方法	54
3.8	25.1301 设备功能和安装	54
3.8.1	条款原文	54
3.8.2	条款解析	54
3.8.3	符合性验证方法	55

3.9	25.1302 供飞行机组使用安装的系统和设备	56
3.10	25.1309 设备、系统及安装	56
3.10.1	条款原文	56
3.10.2	条款解析	57
3.10.3	符合性验证方法	61
3.11	25.1321 仪表安装布局和可见度	63
3.11.1	条款原文	63
3.11.2	条款解析	64
3.11.3	符合性验证方法	65
3.12	25.1322 警告灯、戒备灯和提示灯	65
3.12.1	条款原文	65
3.12.2	条款解析	66
3.12.3	符合性验证方法	66
3.13	25.1357 电路保护装置	66
3.13.1	条款原文	66
3.13.2	条款解析	67
3.13.3	符合性验证方法	69
3.14	25.1381 仪表灯	70
3.14.1	条款原文	70
3.14.2	条款解析	70
3.14.3	符合性验证方法	70
3.15	25.1523 最小飞行机组	71
3.16	25.1543 仪表标记总则	71
3.16.1	条款原文	71
3.16.2	条款解析	71
3.16.3	符合性验证方法	72
3.17	25.1555 操纵器件标记	72
3.17.1	条款原文	72
3.17.2	条款解析	73
3.17.3	符合性验证方法	73
第4章 需要考虑驾驶舱人为因素的相关条款解析		74
4.1	25.105 起飞	74
4.1.1	条款原文	74
4.1.2	条款解析	75
4.1.3	符合性验证方法	75

4.2	25.109 加速—停止距离	75
4.2.1	条款原文	75
4.2.2	条款解析	78
4.2.3	符合性验证方法	78
4.3	25.125 着陆	79
4.3.1	条款原文	79
4.3.2	条款解析	80
4.3.3	符合性验证方法	81
4.4	25.145 纵向操纵	81
4.4.1	条款原文	81
4.4.2	条款解析	82
4.4.3	符合性验证方法	82
4.5	25.149 最小操纵速度	83
4.5.1	条款原文	83
4.5.2	条款解析	85
4.5.3	符合性验证方法	85
4.6	25.173 纵向静稳定性	86
4.6.1	条款原文	86
4.6.2	条款解析	86
4.6.3	符合性验证方法	87
4.7	25.181 动稳定性	87
4.7.1	条款原文	87
4.7.2	条款解析	87
4.7.3	符合性验证方法	88
4.8	25.233 航向稳定性和操纵性	88
4.8.1	条款原文	88
4.8.2	条款解析	89
4.8.3	符合性验证方法	89
4.9	25.253 高速特性	89
4.9.1	条款原文	89
4.9.2	条款解析	90
4.9.3	符合性验证方法	91
4.10	25.672 增稳系统及自动和带动力的操纵系统	91
4.10.1	条款原文	91
4.10.2	条款解析	92
4.10.3	符合性验证方法	92

4.11 25.809 应急出口布置	94
4.11.1 条款原文	94
4.11.2 条款解析	95
4.11.3 符合性验证方法	98
4.12 25.941 进气系统、发动机和排气系统的匹配性	98
4.12.1 条款原文	98
4.12.2 条款解析	98
4.12.3 符合性验证方法	99
4.13 25.1329 飞行导引系统	100
4.13.1 条款原文	100
4.13.2 条款解析	101
4.13.3 符合性验证方法	103
第5章 民用飞机驾驶舱人为因素适航验证	105
5.1 驾驶舱人为因素适航验证的审定计划	105
5.1.1 背景	105
5.1.2 审定计划的总体要求	105
5.1.3 人为因素审定计划内容	107
5.2 驾驶舱人为因素适航验证的相关设备	114
5.2.1 工程模拟器	114
5.2.2 人体生理参数测量采集设备	120
5.3 平视显示器的人为因素适航验证	122
5.3.1 概述	122
5.3.2 平视显示器功能描述	123
5.3.3 相关的适航条款	123
5.3.4 符合性验证方法	123
第6章 最小飞行机组工作负荷符合性验证	129
6.1 最小飞行机组适航要求和解析	129
6.2 机组工作负荷设计与评估中的主要任务	131
6.2.1 工作负荷分析	131
6.2.2 评估试验的计划和准备	132
6.2.3 参试人员的选拔和确定	132
6.2.4 评估策略的确定	136
6.2.5 测量方法的确定	137
6.2.6 场景设计	139

6.2.7 数据采集、处理和分析	141
6.2.8 评估结果批准和/或认可	141
6.2.9 第三方参与	141
6.3 机组工作负荷分析和测量的方法	142
6.3.1 机组工作负荷的分析方法	142
6.3.2 机组工作负荷的测量方法	142
6.4 某型号飞机最小飞行机组审定计划	154
6.4.1 引言	154
6.4.2 范围	154
6.4.3 依据性文件	155
6.4.4 系统安全性要求	156
6.4.5 构型管理	156
6.4.6 运行要求	156
6.4.7 审定基础	156
6.4.8 符合性验证	157
附录1 25.1302 供飞行机组使用安装的系统和设备的设计与审定	163
1 25.1302 条与其他适航条款的关系	163
2 25.1302 条款实施	164
3 25.1302 条款符合性方法	189
附录2 AC23.1523 最小飞行机组	196
1 前言	196
2 目的	196
3 背景	196
4 适用性	197
5 相关规章与条例	198
6 基本审定事项	199
7 验证程序	200
8 附件	204
附录3 AC25.1523 最小飞行机组	216
1 目的	216
2 FAR 相关条款	216
3 背景	216
4 讨论	216

5 验证程序	217
6 事件清单	221
附录4 某型号飞机最小飞行机组审定试验飞行场景	222
1 人工手动飞行	222
2 标准仪表离场	222
3 非精密进近(紊流气象条件)	223
4 非精密进近(正常气象条件)	224
5 过 V_1 后的单发失效	224
6 两套液压系统失效	225
7 TCAS 告警(一名飞行员失能)	226
8 燃油不平衡	227
9 发电机失效	228
10 侧风条件下复飞	229
11 飞行控制系统直接模式	230
12 发动机着火	231
13 标准仪表进场	232
14 结冰环境	232
参考文献	234

第1章 民用飞机驾驶舱发展与人为因素考虑

民用运输类飞机驾驶舱伴随着科技水平的进步而不断地持续发展。飞机驾驶舱从布满专用的计量器或刻度盘到使用大屏幕的显示器,从机械操纵系统到电传操纵系统,从纯手动控制到大量的工作由自动化系统完成,这些变化和发展极大地减轻了飞行员的工作负荷,但同时增加了他们其他方面的责任。本章首先介绍飞机驾驶舱的发展历程,包括飞行员飞行感知和驾驶舱设备的发展,然后阐述民用飞机驾驶舱中人为因素的考虑。

1.1 飞行员飞行感知的发展

早期飞行员驾驶飞机更多依靠身体和感知完成任务。第一代飞机极其不稳定,需要飞行员在飞行过程中持续地对飞机保持控制。飞行控制依赖于对“操纵杆和方向舵”的操作,飞行员需要知道飞机本身的特性,并通过身体感知操纵飞机所需的各种信息。因此,早期的航空研究集中关注解决手动控制与运行相关的问题。飞行员通过感官感受(视觉和触觉)的方式判断自然和物理空间的情况,尤其是通过目视进行问题诊断、导航以及发现其他飞机或障碍物,这种飞行称为“接触式”飞行。“接触式”飞行的重点在于准确判断环境中的各个目标对象,包括地面上障碍物的高度、飞机离地高度、云团内外风暴活动的强度、地标位置,并做出准确的响应(如通过机动躲避障碍物或风暴云、准确降落等)。

外界环境和可用线索的特征会影响判断的准确性。晴朗的天气、清晰易辨的线索有利于做出判断,如果有高耸的建筑物作参照,飞行员能够很容易地识别 5 mile^① (8 000 m)外的报告点;阴暗的天气、昏暗或模糊的线索则会对判断产生阻碍,如果地标建筑被雾遮挡或被很多类似的建筑所遮蔽,飞行员就难以发现报告点。随着飞行经验的增加,飞行员能更准确地感知外界条件,进而做出更准确的反应,还能够尽量规避影响准确感知的各种情况,如云团或连续的黑暗区域。

早期的航空邮件飞机的飞行员通常依靠铁路引导飞行,飞机下部会倾斜地安装一个着陆灯,便于在夜间识别铁轨。后来,信标系统被发明,它能够在夜间照亮 902 mile 范围内的航路。1929 年,美国空军中尉 James H. Doolittle 在仅使用仪器设备(包括 1 个高度计、1 个陀螺仪和 1 个人工水平仪)和特殊的无线电接收器的情况下

^① 1 mile=1 609.344 m。为了方便读者,遵从民航工作人员的习惯,本书保留了所引用资料的英制单位,并用页下注给出与国标单位的换算值。

实现了 15 min 的飞行,证明了在完全没有外部目视参考的情况下能够安全飞行,这是一个历史性的突破,对实现通过设备引导飞行是一个重要的里程碑。

相对过去而言,现在大部分飞行任务则较少依赖于身体感知。随着飞机的不断发展,部分飞行任务已经实现了自动化(如自动驾驶仪的应用),飞行需要的身体素质不再像以往那样严格。自动化系统可以代替飞行员完成很多以前需要飞行员完成的飞行任务。随着全天候飞行能力需求的出现,用于避免可能影响飞行员情境意识准确性的设备不断涌现。例如,当看不到地面的时候,视觉和前庭觉间的冲突会让飞行员产生空间定位障碍,从而造成错误的控制输入,而通过借助驾驶舱内的人工水平仪或高度表可以解决这一冲突。此外,导航设备可以帮助飞行员克服夜间视觉上的限制。飞机上越来越多的信息(如高度表、空速表、告警和警告系统)补充或替代了飞机外部的线索,这极大地减少了飞行员对感知线索的依赖性(如统计概率)。驾驶舱设备所提供的数据比飞行员自身感知的更加准确,因此飞行员变得越发依赖这些设备。随着航空业逐渐成熟,很多相关研究都开始转向确定和克服人类在察觉和识别、夜间视觉以及视觉-前庭觉交互方面的局限性。在这一时期,人类感知和信息处理能力占据了航空研究的主导地位。人类感知能力的限制(如夜间视力的下降、难以发现和识别远处的大型飞机)和人类信息处理能力的限制(如注意力和记忆力能力的限制)成为此类研究的焦点。在现代飞机的驾驶舱中,有很多设备和技术手段来辅助解决上面所提到的人类本身的局限性。需要指出的是,在技术不断的发展过程中,驾驶舱内会加入更多的外界环境数据,显示更可靠和精确的信息,以减少飞行员对模糊的、有歧义的信息的依赖。每次技术进步都可以让飞行员更少地关注驾驶舱外部情形,而将注意力更多地集中到驾驶舱内的系统和显示信息上。

在最新的飞机中,在驾驶舱内可以找到所有驾驶飞机从 A 点飞到 B 点所需的信息,这极大地减少了飞行员对动态感知或观察驾驶舱外界信息的需求。事实上,使用可靠的设备,飞机完全可以在低能见度或者是不可见的条件下进行飞行,不管驾驶舱外界条件如何,飞行员都可以从驾驶舱显示仪表上读取准确的位置信息。在某些飞机上,由于“电传”控制取代了传统的液压作动控制,飞行员的触觉感知大大减少,而触觉反馈也基本消失了。最新的飞机相较于早期飞机有本质上的不同,驾驶这些飞机不但需要感知外部的能力,还要有了解内部因素的能力。

1.2 民用飞机驾驶舱的发展

1.2.1 “传统的”驾驶舱

“传统的”驾驶舱包括波音 B-727、麦道 DC-10 以及早期的波音 B-747 的驾驶舱。这一类驾驶舱中的人-机交互界面使用了大量的专用显示器件,一个数据的显示就要用一个专用的计量器或是刻度盘,比如在波音 B-747-300 的飞机上总共安装了 132 个仪表。这样的飞机也使用了相对较少的自动化系统。“传统的”DC-10 的

驾驶舱如图 1-1 所示。这些飞机都有简易的自动驾驶仪,通常在每个轴上提供一个或几个简单的模式。总的来说,一个简单的设备指示来自于一个简单的传感器参数,在极少数的情况下(如水平状态指示器),一个单独的设备指示来自于几个传感器的横滚输出。不管怎样,对于这样的飞机,飞行机组需要监视所有的这些设备,并且应意识到设备参数是否出现异常情况。这样的飞机上会有一个简单的告警系统,它只覆盖了最严重的系统失效。通常在“传统的”驾驶舱中需要有 3 名飞行机组成员操作,其中 2 名机组成员负责操控飞机,另 1 名机组成员则负责监视和操作飞机仪表。



图 1-1 麦道 DC-10 驾驶舱人-机交互界面

1.2.2 玻璃驾驶舱

玻璃驾驶舱包含了波音 B-747-400,空客 A-320/330/340,F-70/100,麦道 MD-11 以及波音 B-777 等机型的驾驶舱。这一代玻璃驾驶舱中主要的仪表面板上广泛地使用了阴极射线管 CRT(cathode ray tube)和液晶显示器 LCD(liquid crystal display),主要飞行信息都使用阴极射线管 CRT 或液晶显示器 LCD 进行显示,并且集成在几块屏幕上。在这一代的驾驶舱中,还有一些飞行控制系统和自动驾驶仪的集成,也就是说,飞行机组的命令既可以输入给飞行管理系统也可以输入给自动驾驶仪,它们之间会自动进行转化。

在这一代的飞机驾驶舱中具有很多飞机系统自动化等级,这一变化减少了飞行机组在飞行过程中的操作数量,降低了操作复杂程度,颠覆性地改变了飞行过程中的人-机交互行为,大幅度减少了飞行机组的工作负荷。例如,麦道 MD-11 的燃油系统可以承受一定的故障,并自动采取正确的操作,除非当系统故障会影响飞机的表现,或者在机组必须进行干预时。这一代飞机驾驶舱的告警系统包含对故障的概要

显示。有一些驾驶舱由于使用了电传控制系统,如空客 A-320/330/340,虽然飞机的大小和飞行品质是不同的,但是对于飞行员的操作来说却是相似的。此外,波音 B-777 飞机在显示器上加入了光标控制,允许飞行机组使用一个触摸板与显示器进行交互。

波音 B-777 飞机可以称得上是驾驶舱显示界面发展的一个新的里程碑,它用液晶显示器 LCD 取代了阴极射线管 CRT。波音 B-777 飞机共有 6 块液晶显示器,其中主飞行显示采用典型的“T 型”分布,如图 1-2 所示。



图 1-2 波音 B-777 驾驶舱人-机交互界面

随着飞机驾驶舱设计的不断进步,飞行员获取和管理信息的方式也不断改变,从而导致了人-机交互模式的不同。在“传统的”驾驶舱中,布满了专用的计量器和刻度盘,每一个显示只对应一份信息。而在玻璃驾驶舱中,引入了更多的信息元素,飞行员需要用一种全新的方式获取信息,有些信息被综合成一种让飞行员更加容易理解的形式(如移动地图显示),以减少人-机交互的复杂度。

1.2.3 波音 B-787 和空客 A-380 驾驶舱

波音 B-787 和空客 A-380 代表了目前世界上最先进的飞机生产水平,也可以认为是最先进的制造业的生产水平。虽然它们是竞争机型,但是它们同时代表了目前飞机驾驶舱设计和制造的最高水平,也是目前驾驶舱人-机交互模式的发展方向。

在空客 A-380 驾驶舱中,最明显的变化就是引入了 8 块 15 cm×20 cm 的可更换的液晶显示器 LCD,如图 1-3 所示。其中包括 2 块主飞行显示器,2 块导航显示器,1 块发动机参数显示器,1 块系统显示器和 2 块多功能显示器。

这8块显示器分布在视平线周围,代替了以前所使用的3个多功能控制和显示单元。多功能显示器在信息存储方面发挥了很大的作用,可以作为网络系统服务器的显示器,而网络系统服务器则存储了所有的飞行信息。

空客A-380驾驶舱的一个全新的特点是完全无纸化,这样就取消了飞行地图和技术手册。在空客A-380上,所有有用的信息都被转成电子文档,代替纸质文件存储于网络系统服务器,当飞行机组需要使用时,很容易就可以获得。网络系统服务器连接着多功能显示器,从而可以让飞行机组直接通过显示器进行信息选择,而不需要去翻阅文档。



图1-3 空客A-380驾驶舱人-机交互界面

波音B-787的驾驶舱信息显示在主飞行显示器上,主飞行显示器位于飞行员的正前方,它显示了所有必要的飞行信息以及一个虚拟的水平面,用以帮助飞行员进行导航。

相较于波音B-777,波音B-787使用4块显示器取代了5块显示器,这样可以增加50%的显示区域。波音B-787的4块大屏幕总共可以达到 546 in^2 ^①的显示面积,这比波音B-777大了1倍。利用大尺寸的屏幕可以显示移动机场地图,包含了详细的通用机场的布局,使得地面滑行更加安全。

与空客A-380不同的是,在波音B-787上安装了2块抬头显示器,主驾驶和副驾驶各1块。波音B-787的驾驶舱显示如图1-4所示。抬头显示器是可收缩的显示组件,可提供各种飞行数据,如空速、速度偏离和高度等。

① $1\text{ in}=25.4\text{ mm}$; $1\text{ in}^2=645.16\text{ mm}^2$ 。

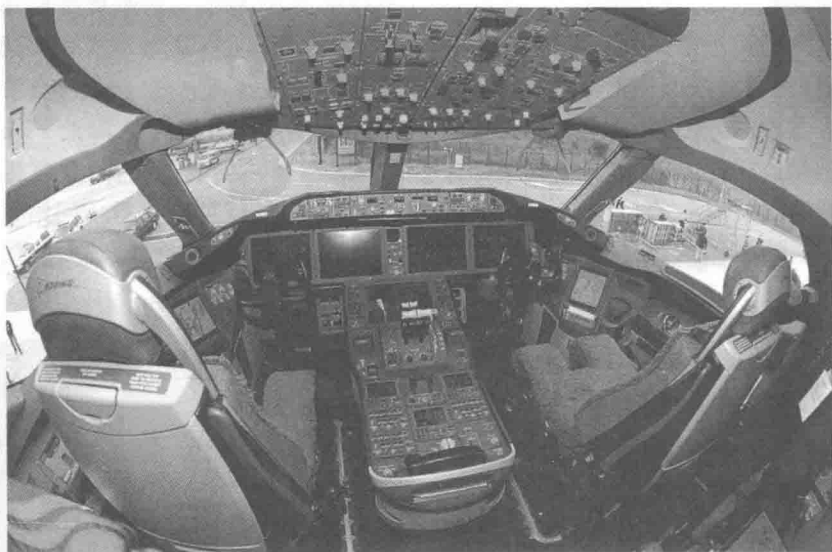


图 1-4 波音 B-787 驾驶舱人-机交互界面

1.3 民用飞机驾驶舱人为因素考虑

民用飞机驾驶舱的人为因素问题需要考虑多个方面的因素,包括人体测量学、人的感知和认知能力、环境因素、构造布局、硬件与设备、人机界面、人与自动化、人为差错等。

1.3.1 人体测量学

当设计工作空间和设备时,考虑使用者的物理尺寸、形状、可达和运动范围以及力量是非常重要的。这主要是从如何使用这些信息帮助设计硬件的角度出发,使得产品能更好地适应于使用者。涉及的信息包括:

- ① 人体测量数据,包括身高、体重、姿势等;
- ② 运动的范围,包括人体的大位移、身体各部分的运动和关节的运动;
- ③ 可达性包线,应用于手和足控制器的设计;
- ④ 人体表面范围,可应用于热环境控制和估计人体的辐射量;
- ⑤ 人体体积,包括人体各部分的体积,用于空间设计和三维人体测量学分析。

1.3.2 人的生理特点以及人的感知和认知能力

设计人员应当了解使用者在感知和认知能力方面的局限性,这样才能在使用者的能力范围内分配任务和设计系统。人的感知能力包括看和听的能力,认知能力包括推理、记忆、交流和理解的能力,具体涉及的内容包括: