

文章编号:1674-8190(2020)03-326-06

基于任务的舰载机驾驶舱人为因素适航 评估方法研究

孙世东^{1,2}, 黄丹¹, 马庆林², 邱朝群²

(1. 上海交通大学 航空航天学院, 上海 200030)

(2. 航空工业第一飞机设计研究院 适航与通用质量特性研究所, 西安 710089)

摘要: 军用飞机飞行安全的主要影响因素由技术因素向人为因素转变, 特别针对舰载机的起降模式、飞行条件和视觉环境等特殊情景下, 减少舰载机驾驶舱人为因素导致的飞行事故, 对确保完成规定的飞行和作战任务, 提高舰载机飞行安全水平具有重要意义。结合舰载机特点, 通过对人为因素适航标准包括美军标、国标、国军标、SAE 等标准的分析, 提出舰载机驾驶舱人为因素适航设计准则; 根据飞机研制阶段的特点, 提出基于任务的舰载机驾驶舱人为因素评估方法。该方法可为舰载机驾驶舱人为因素适航评估提供思路和方法。

关键词: 舰载机; 驾驶舱; 人为因素; 适航; 任务

中图分类号: V271.4⁺92

文献标识码: A

DOI: 10.16615/j.cnki.1674-8190.2020.03.005

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Human Factor Airworthiness Evaluation Method for Carrier-based Aircraft Flight Deck

SUN Shidong^{1,2}, HUANG Dan¹, MA Qinglin², QIU Chaoqun²

(1. School of Aeronautics and Astronautics, Shanghai Jiao Tong University, Shanghai 200030, China)

(2. Department of Airworthiness and General Quality Characteristics, AVIC The First Aircraft Insitute, Xi'an 710089, China)

Abstract: The key factor of military aircraft flight safety is changed from technology reasons to human factors. Especially in the situations of carrier-based aircraft taking-off modes, flight conditions and visual environment, decreasing the flight accidents resulting from flight deck human factors is of great importance to ensure the carrier-based aircraft finishing flight and fighting tasks and enhancing flight safety. In combination with the characteristics of carrier-based aircraft, the human factor airworthiness regulations, including US military standards, SAE standards, China standards and China military standards, are analyzed, and the framework of human factor criterions on flight deck airworthiness design is given. According to the characteristics of military aircraft development phases, an evaluation method of carrier-based aircraft flight deck human factors is proposed. The method can provide new idea and means for carrier-based aircraft flight deck human factors airworthiness evaluation.

Key words: carrier-based aircraft; airplane flight deck; human factor; airworthiness; task

收稿日期:2019-08-29; 修回日期:2019-11-08

通信作者:孙世东, king_ssd@163.com

引用格式:孙世东, 黄丹, 马庆林, 等. 基于任务的舰载机驾驶舱人为因素适航评估方法研究[J]. 航空工程进展, 2020, 11(3): 326-331.

SUN Shidong, HUANG Dan, MA Qinglin, et al. Human factor airworthiness evaluation method for carrier-based aircraft flight deck[J]. Advances in Aeronautical Science and Engineering, 2020, 11(3): 326-331. (in Chinese)

0 引言

影响飞行安全的因素很多,包括机体、飞行环境、人为因素、意外因素(鸟撞)等。据美国 Plane-CrashInfo 网站对同一时间段内发生事故的统计分析,表明由飞行员差错导致的致命事故占比达到 58%,机械故障以 17% 的占比次之^[1];民航资源网统计显示,2017~2018 年共发生的 33 起民航事故中,人为差错导致的事故达到 80% 以上,飞行员人为差错成为导致航空事故的主要原因^[2]。由此可见,如何有效提高人为因素的可靠性是飞机设计中需要关注的重要问题。人为因素研究范畴包括组织中的人为因素和个体人为因素两部分。组织中的人为因素包括公司政策、激励机制、企业文化,个体人为因素包括人体机能限制、人机界面设计、人为差错预防。其中人机界面设计和人为差错预防属于设计因素,而其他内容属于非设计因素。本文针对设计因素开展研究。

国外 Boeing 公司在 Boeing777 驾驶舱设计的各个阶段,考虑飞行员的主观需求和客观生理心理限制,提出以人(飞行员)为中心的创新设计方法 CCDP(Crew-centered Design Philosophy),指出了基于人为因素的驾驶舱设计原则,包含飞机的最终操控权属于飞行员,自动化设备和装置是减轻飞行员负荷并不是代替飞行员操作等^[3]。国内人为因素研究方面,钮松等^[4]总结了国内外驾驶舱人为因素设计研究成果,构建了民用飞机人为因素设计的准则基本框架体系;Li Yinxia 等^[5]采用权重分析法对飞机驾驶舱的人为因素设计相关因素进行综合分析和重要度评价;余昆^[6]研究了飞机驾驶舱的人机交互界面,利用 SHELL 模型建立了人为因素评价模型,提出了人机交互综合评价方法。以上研究成果主要针对民用飞机,是本文研究的重要基础和参考。但舰载机的飞行条件、视觉环境与运输类飞机差异较大,机组在进行舰面起降时,不仅需要与航母、导引设备和起降设备等进行相互作用,还需要与操作员、舰面管制人员进行多方沟通协调,其驾驶舱人机交互过程比运输类飞机更为复杂。

本文在借鉴民用飞机 AMC 25.1302 人为因素适航要求^[7]及评估验证思路的基础上,针对舰载机特殊的使用模式和严酷的使用环境,研究飞行操

作中的人为因素相关安全要素,确定舰载机驾驶舱适航人为因素设计准则,提出合理的驾驶舱人为因素评估方法,以期为舰载机驾驶舱人为因素适航评估提供思路和方法。

1 人为因素相关标准分析

民用飞机适航标准在驾驶舱人为因素方面,EASA 和 FAA 在条款的细节上略有出入,但整体思想是一致的。除了 AMC 25.1302 和 AC 25.1302-1^[8]之外,CAAC 与 FAA、EASA 的相关条款保持一致^[9]。通过对适航规章和咨询通告的分析可知,驾驶舱人为因素的适航要求包括:(1)飞机驾驶舱交互界面的设计必须充分考虑机组可预见的效能、能力和限制;(2)正常和非正常操作期间机组任务和工作负荷的分配;(3)在特种天气和驾驶舱微环境条件下飞行时,不会过多分散机组人员的注意力;(4)提供信息、通过显示系统状态来清晰反馈系统状况、故障情况、指示延迟或过多补偿的行为等;(5)考虑高能转子发生非包容性破坏时不会危及飞行员安全、损坏驾驶舱内关键设备。

SAE(Society of Automotive Engineers)标准与飞机驾驶舱人为因素相关的标准有:SAE ARP4101/1《驾驶舱座椅和约束系统》,SAE ARP4101/4《驾驶舱环境》,SAE ARP4102/4《驾驶舱报警系统》,SAE ARP4102-7《电子显示器》等。SAE 标准从飞机驾驶舱硬件设施设计、飞机驾驶舱控制系统设计、显示系统信息显示方式等方面进行了人为因素设计的顶层设计规划,每条标准条款针对特定的安全要素提出相应的设计要求。例如针对系统的性能要求、接口要求和功能需求状况,提出相应的信号特征设计要求、响应特征设计要求。

ISO(国际标准化组织)和 IEA(国际工效学协会)共同颁布了“工效学”国际标准 ISO TC159。结合人体生理学、工程心理学等多学科综合分析为背景,以提高人使用设备的舒适性和健康程度为目标,ISO 标准从听觉、视觉、危险信号、语音信号等方面提出了人为因素设计标准。

美国军用标准中对飞机驾驶舱人为因素设计的标准为 MIL-STD-1472G《人机工程》,其余相关的 MIL 标准包括 MIL-HDBK-516C《美军适航设

计准则》和 MIL-HDBK-759C《人机工效设计指导》等。MIL-STD-1472G 适用于军民用系统、子系统及设备的人机工效设计,提出了例如人机工程设计要求、失效安全设计要求、简化设计要求、交互设计要求等一般要求,以及控制、视觉显示器、语音系统、标记、警告、维修可达性等细节要求。

国家标准与人为因素相关的标准现已形成国家工效学标准系列 GB/T 01-22,只是顶层的通用性强的设计要求,没有限定具体的设计对象。

国家军用标准中与飞机驾驶舱人为设计有关的标准为 GJB 2873-97《军事装备和设施的人机工程设计准则》、GJB 3207-98《军事装备和设施的人机工程要求》和 GJB/Z 201-2001《军事装备和设施的人机工程设计手册》。GJB 2873-97 和 GJB 3207-98 从顶层设计和实施程序领域对军用设施人机工效设计提出了要求,GJB 2873-97 适用于军用系统等的设计研究,GJB 3207-98 适用于军事装备与设施的研制与订购,GJB/Z 201-2001 从技术层面对军用系统、子系统和设备设施的设计提出了规范和指导。

行业标准中与飞机驾驶舱人为因素有关的包括:HB7587-1998《飞机座舱信息显示基本要求》,HB7650-1999《歼击机座舱眩光基本技术要求及测试方法》,HB7788-2005《飞机增压座舱温度控制系统通用规范》等。上述行业标准包含空间布局、信息显示、控制装置和物理环境等方面的要求。物理环境方面又可以分为座舱温度和光环境两类标准。

根据对以上标准内容的分析,从驾驶舱人为因素设计要素和标准应用方面考虑,AC 25.1302-1、MIL-STD-1472G 和 GJB 系列可以作为舰载机人为因素设计准则的主要参考标准^[10],并结合舰载机飞行员在特殊海洋环境和舰面起降环境下的生理和心理特征考虑^[11],识别对安全有影响的特殊因素与机理,对标准内容进行适当的剪裁和补充。

2 人为因素设计准则

2.1 安全影响因素

舰载飞机按机翼类型可分为固定翼和旋翼两大类,按用途可分为歼击机(战斗机)、攻击机(强击

机)、轰炸机、侦察机、运输机、教练机、预警机、电子战飞机、反潜机、空中加油机、武装直升机等。结合舰载机任务需求背景,舰载机驾驶舱飞行员安全影响因素主要包括驾驶舱人机交互信息和交互方式等方面。

(1) 舰载机驾驶舱交互信息:舰载机作为多任务航空器,飞行员除进行常规的飞行操作外,还需要根据交互界面提示的信息进行其他操作。不同的飞机因为其任务需求不同,飞机结构和功能存在一定差异,需要显示的信息内容也存在着较大的差异。结合飞行/任务的特征,采用系统功能分析法,对各系统的工作原理和功能进行研究,整理出各系统的交互方式,即显示信息、控制方式等相关内容。信息按照飞行剖面划分,主要有起飞/着陆、飞行操纵、空陆/舰任务等状态。复杂系统的任务执行过程中,需要在满足相应的条件后才能进行,如起降飞行控制、预警探测控制。

(2) 舰载机驾驶舱信息交互方式:信息交互方式按照人的不同接受器官可分为视觉显示、听觉显示和触觉显示^[12]。视觉显示作为主要的显示方式,担负着近 70% 的信息传递任务。而听觉、触觉显示因其自身优势,在必要的情况下能够直接有效地提供重要的信息。视觉显示之外的其他显现方式一般都是作为辅助显示方式使用,但在不同的状态下优先级不同。例如当处在海天同色的海洋环境时,当信息所涉及的是时间形式的事件时,当视觉系统负担过重时,当语言通道已被完全占用时,听觉显示方式优于视觉显示方式。

2.2 安全影响机理

通过对舰载机典型飞行任务的分析,结合飞行员典型任务模型,影响舰载机安全的各类因素的影响机理以及多因素耦合的影响机理主要包括:

(1) 飞行员的生理特征和心理特征,包括视觉、听觉、触觉、味觉、嗅觉、本体觉、肌肉觉、前庭觉等;

(2) 人机交互对飞行员的影响机理,包括交互内容及方式、驾驶舱信息输入方式、显示器和驾驶舱控制功能等方面。

2.3 设计准则框架及内容举例

通过对舰载机驾驶舱飞行员安全影响因素和

影响舰载机安全的各类因素的影响机理研究,结合民用飞机适航规章、MIL 标准和 GJB 标准,舰载机驾驶舱人为因素设计准则内容包括:舰载机驾驶舱

信息显示,操纵装置和供机组使用的设备。舰载机驾驶舱操纵器件设计准则框架如表 1 所示。

表 1 舰载机驾驶舱操纵器件设计准则框架示例
Table 1 The framework of human factor criterion on flight deck

准则编号	准则名称	设计要点
C1	机组差错	操纵装置的设计能够减少潜在的机组差错。
C1.1	工作负荷	使用操纵装置的工作量是适当的。
C1.1.1	可用性	操纵装置是可用的。
C1.1.1.1	防误操作	操纵装置的设计能防止意外操作。
C1.1.1.2	可达性	操纵装置是视觉和物理可达的。
C1.1.1.3	移动限制	操纵装置的移动是不受限制的。
C1.1.1.4	操纵力	使用操纵装置无需过度用力。
C1.1.1.5	操作习惯	操纵装置的设计与驾驶员预期一致。
C1.1.1.6	可理解性	操纵装置的功能和使用方法是易于理解的。
C1.1.1.7	注意力	使用操纵装置无需过度的注意力。
C1.1.2	操纵显示兼容	操纵装置与相关操纵装置和显示装置一起是可用的。
C1.1.3	疲劳	操纵装置特性不会引起疲劳。
C1.1.4	使用技巧	使用操纵装置不需特殊的技巧。
C2	负面影响	操纵装置不会使驾驶员感到讨厌。
C3	预防伤害	操纵装置的设计能够减少潜在的物理伤害。

以操纵装置的 C1.1.1.1 防误操作为例,在所有预期运行条件下,操纵装置的设计需考虑防止发生意外操作,设计准则的内容如下:

①操纵装置应具有合适的操纵力和阻力:操纵力的大小应是合适的,操纵装置应具有保持在设定位置或状态的能力。

②操纵装置应位于合适的位置:操纵装置相对于驾驶员的位置应是合适的,操纵装置相对于其他操纵装置的位置应是合适的。

③操纵装置应具有合适的物理特征:操纵装置的表面形状和材质应是合适的,操纵装置的尺寸应是合适的。

④操纵装置应具有合适的操作方式:使用多步骤操作的方式,使用特定路径操作的方式。

⑤操纵装置应具有合适的防护措施:使用物理防护、锁定装置、凹槽布置等方式。

⑥操纵装置应提供必要的反馈:输入响应状态的反馈,问题、错误或故障条件的反馈。

⑦操纵装置应设计为在所有运行条件下防止意外操作:重点考虑弹射起飞,拦阻着陆,舰面复飞,舰面晃动,执行作战任务,尾流湍流和故障条件。

3 人为因素评估方法

舰载机驾驶舱人为因素工作评估流程主要包括识别人为因素关注对象,确定符合性验证方法,表明设计准则符合性和进行基于操作任务的人为差错影响分析等几个方面。人为因素关注对象是确定人为因素设计准则的适用对象,将设计准则落实到关注对象方案设计中的过程;确定符合性验证方法是确定设计方案检查、样机机上检查、模拟器评估、飞行验证等具体的验证方法;表明设计准则符合性和进行基于操作任务的人为差错影响分析是对人为因素设计和验证工作的落实检查。舰载机驾驶舱人为因素评估流程如图 1 所示。

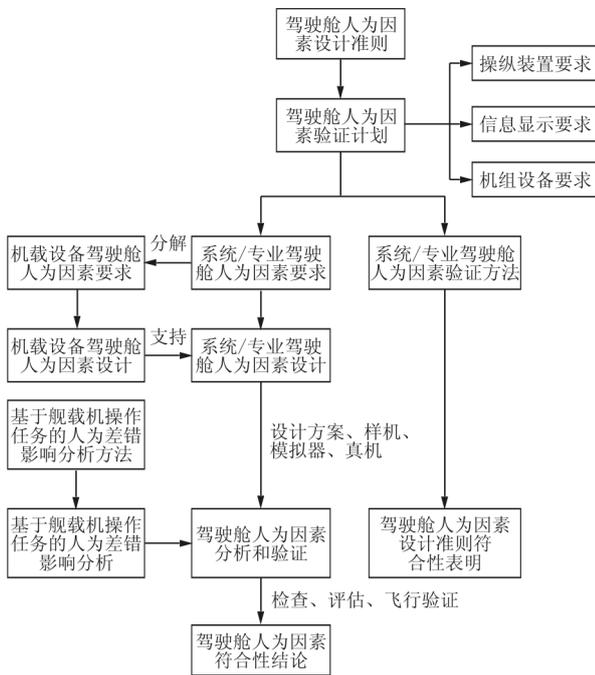


图 1 舰载机驾驶舱人为因素评估流程

Fig. 1 Process of aircraft flight deck human factors

舰载机驾驶舱人为因素评估工作包括：

① 识别出舰载机驾驶舱内供机组使用的操纵装置、显示界面和供机组使用的设备清单。以操纵装置对象为例，包括主飞行操纵器件（例如驾驶盘、侧杆、脚蹬）、应急操纵器件（例如起落架应急放手柄、开启应急出口的措施、弹射座椅、救生伞等）、任务系统操纵器件（例如拦阻锁装置）等。

② 在舰载机研制过程中，将驾驶舱人为因素设计准则分解到各关注对象/专业/系统，通过机载设备、系统/专业和飞机驾驶舱布置三个层次进行设计落实。

③ 确定符合性验证方法，明确符合性说明、计算分析、数模检查、样机检查、模拟器试验、机上检查、试飞等具体验证方法。

④ 飞机设计不同阶段，开展驾驶舱人为因素设计落实检查、评估和验证，以不断优化驾驶舱设计。

评估和验证工作分为以下两个方面：

(1) 驾驶舱人为因素设计准则符合性检查。根据驾驶舱人为因素设计准则编制评估检查单^[13]，对准则在设计中的落实情况进行检查，减少由设计导致的人为差错。符合性检查单的编制形式为提问与回答形式，例如 C1. 1. 1. 1 防误操作，评估检查单部分内容举例如下：

I 操纵装置操作后是否会引起设备损坏、人员伤害、系统性能下降，或导致任务关键设备系统关闭且需要一定时间重启；

II 操纵装置意外操作后，是否有信息协助机组识别错误；

III 操纵装置意外操作后，是否有合理的措施减缓意外操作发生后的影响；

IV 操纵装置防止意外操作的措施是否妨碍机组执行任务或妨碍系统正常运行。

(2) 基于操作任务的人为差错影响评估。根据机组执行任务的顺序和人为反应的局限，对飞行操作任务过程中的典型人为差错模式和差错影响进行分析，明确飞行任务相关人为差错的消除或减缓措施，验证所采取措施的有效性，减少任务操作流程中可能出现的人为差错，基于任务的人为差错影响评估方法如图 2 所示。

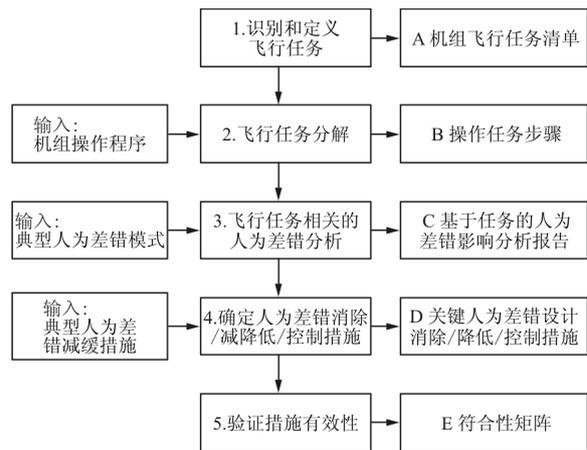


图 2 基于任务的人为差错影响评估方法

Fig. 2 Evaluation method of carrier-based aircraft flight deck human factors

基于舰载机任务的人为差错影响评估包括：

I 分析任务的目标和实施过程，明确实际操作的步骤和相关设备；

II 识别影响人为表现的因素，包括物理方面、系统任务、人员因素、软件/硬件和程序资料等；

III 考虑人在处理信息各阶段可能发生的人为差错，明确人为差错产生过程可能发生的所有差错模式；

IV 分析飞行阶段、操作任务、影响人为表现的因素、人为差错模式、影响等级等，并根据分析制定消除/降低/控制人为差错的措施。

4 结 论

(1) 本文综合全面地分析了军用飞机和民用飞机驾驶舱人为因素适航规章以及设计标准,得出了舰载机驾驶舱人为因素设计准则,同时分析舰载机驾驶舱人为因素影响因素与机理,得出了舰载机驾驶舱人为因素设计的内容。

(2) 针对舰载机研制的流程,将人为因素设计的各项内容融合在各个研制过程,分阶段分层次地规划舰载机驾驶舱人为因素设计。

(3) 提出了基于任务的舰载机驾驶舱人为因素评估方法,根据需求定义、设计和试飞阶段的特点,形成了舰载机驾驶舱人为因素评估流程。由于所涉及的内容比较多,知识面比较广,未来可以针对飞机研制的各个阶段,细化人为因素设计准则和相对应的评估方法,建立完整的设计—评估—改进设计的体系,完善舰载机驾驶舱人为因素设计准则和评估的方法。

参考文献

- [1] 刘选民,李凡.大中型运输机飞行事故[M].北京:航空工业出版社,2012:2-3.
LIU Xuanmin, LI Fan. Flight accident of transport airplane [M]. Beijing: Aviation Industry Press, 2012: 2-3. (in Chinese)
- [2] 柴晓岭,王有远,张金晶,等.基于Reason模型的飞机维修认为差错影响因素分析[J].内蒙古科技与经济,2019(16):98-99.
CHAI Xiaoling, WANG Youyuan, ZHANG Jinjing, et al. Analysis of the influence factors on aircraft maintenance based on reason model[J]. Inner Mongolia Science Technology & Economy, 2019(16): 98-99. (in Chinese)
- [3] 许为,陈勇.人机工效学在民用客机研发中应用的新进展及建议[J].航空科学技术,2012(6):18-21.
XU Wei, CHEN Yong. New progress and suggestions on the application of human mechanics in civil aircraft development[J]. Aeronautical Science & Technology, 2012(6): 18-21. (in Chinese)
- [4] 钮松,孙有朝.民机驾驶舱人机工效设计准则框架体系构建[J].飞机设计,2014(1):73-76.
NIU Song, Sun Youchao. The construction of the ergonomics criteria framework in civil aircraft cockpit design [J]. Aircraft Design, 2014(1): 73-76. (in Chinese)
- [5] LI Yinxia, GAO Junjie. Research on weight factors of the evaluation indexes of cockpit display ergonomics[J]. Journal of Applied Sciences, 2013, 13(17): 3574-3578.
- [6] 余昆.大型船舶驾驶室人机界面综合评估研究[D].哈尔滨:哈尔滨工程大学,2012.
YU Kun. Comprehensive evaluation of human-machine interface in cabin of large ships[D]. Harbin: Harbin Engineering University, 2012. (in Chinese)
- [7] EASA. Installed systems and equipment for use by the flight crew: AMC 25.1302[S]. Cologne: EASA, 2007.
- [8] FAA. Installed systems and equipment for use by the flight crew: AC 25.1302-1[S]. Washington: FAA, 2013.
- [9] 孙世东,张夏,孙有朝,等.民机驾驶舱人为因素适航符合性验证与审定方法[J].航空计算技术,2019,49(3):125-129.
SUN Shidong, ZHANG Xia, SUN Youchao, et al. Research on airworthiness verification of human factor in civil aircraft cockpit [J]. Aeronautical Computing Technique, 2019, 49(3): 125-129. (in Chinese)
- [10] 董大勇,俞金海,李宝峰,等.民机驾驶舱人为因素适航符合性验证技术[J].航空学报,2016,37(1):310-316.
DONG Dayong, YU Jinhai, LI Baofeng, et al. Airworthiness compliance certification technology of civil aircraft flight deck human factor[J]. Acta Aeronautica et Astronautica Sinica, 2016, 37(1): 310-316. (in Chinese)
- [11] 刘嘉,向锦武,张颖,等.舰载机着舰下滑段飞行员操纵策略研究[J].动力学与控制学报,2018,16(1):87-96.
LIU Jia, XIANG Jinwu, ZHANG Ying, et al. Research on piloting principle in carrier landing[J]. Journal of Dynamics and Control, 2018, 16(1): 87-96. (in Chinese)
- [12] 王涛,傅山,黄丹,等.基于深度图的驾驶舱内飞行员动作识别[J].电光与控制,2017,24(12):90-94.
WANG Tao, FU Shan, HUANG Dan, et al. Pilot action identification in the cockpit[J]. Electronics Optics & Control, 2017, 24(12): 90-94. (in Chinese)
- [13] 田磊,罗晓利,常松涛.民机驾驶舱设计中典型的人因工程学方法述评[J].中国民航飞行学院学报,2018,29(3):53-57.
TIAN Lei, LUO Xiaoli, CHANG Songtao. Review of classic human engineering methods in civil aircraft cockpit design[J]. Journal of Civil Aviation Flight University of China, 2018, 29(3): 53-57. (in Chinese)

作者简介:

孙世东(1983—),男,硕士研究生,高级工程师。主要研究方向:军民机适航技术,飞机人为因素。

黄丹(1980—),男,博士,副教授。主要研究方向:航空人为因素,网络控制系统。

马庆林(1982—),男,硕士,高级工程师。主要研究方向:飞机防除冰和通用质量特性。

邱朝群(1986—),女,硕士,工程师。主要研究方向:军民机适航技术,飞机人为因素。

(编辑:丛艳娟)