

文章编号:1674-8190(2015)02-222-06

基于人机工效的民机驾驶舱设计原理

舒秀丽,董文俊,董大勇

(中国商用飞机有限责任公司 上海飞机设计研究院,上海 201210)

摘要: 民机驾驶舱的人机工效设计是以“飞行员—驾驶舱—环境”整体作为研究的基本对象,以提高民机飞行安全的设计。从民机驾驶舱的显示界面、控制器件布置和光环境等角度,详细阐述民机驾驶舱人机工效设计的概念,研究相关设计方法,并进行实际应用。所论述的相关设计方法对未来先进民机驾驶舱的设计具有一定的借鉴意义。

关键词: 民机驾驶舱;人机工效设计;飞行安全;显示界面;控制器布置;光环境

中图分类号: R857

文献标识码: A

Ergonomics Design Principle of the Civil Flight Deck

Shu Xiuli, Dong Wenjun, Dong Dayong

(Shanghai Aircraft Design and Research Institute, Commercial Aircraft Corporation of China, Ltd., Shanghai 201210, China)

Abstract: The ergonomics design of the civil flight deck is such a design philosophy which takes the loop of “pilot-flight-environment” as an entire object in order to improve the flight safety. The ergonomics design philosophy and corresponding methods of the civil flight deck are demonstrated from aspects of display interface, arrangements of control devices and light environments in the civil flight deck, while some practical examples are also illustrated to show the effective result of the design method. It is expected that the design of future advanced civil flight deck can significantly benefit from the method performed.

Key words: civil flight deck; ergonomics design; flight safety; display interface; arrangements of control devices; light environments

0 引言

从人类进入动力航空时代以来,飞机驾驶舱设计一直是飞机工程的设计重点。随着驾驶舱进入封闭时代,驾驶舱更是飞行员与飞机交互的唯一界面,是飞行员感知飞行姿态、飞行高度、飞行速度和操控飞机等唯一的途径,因此驾驶舱设计在飞机设计过程中的重要性变得愈加突出。目前,飞机系统的集成度和复杂度越来越高,驾驶舱则是飞机复杂度和集成度的集中体现。近年来,大量的航空事故调查统计表明,人为因素已经占到飞行事故致因因

素的75%左右^[1-2],多数事故与机组人员的不安全行为具有直接关系,因而民机驾驶舱的人机工效设计日益受到重视。

国外,航空安全中人为因素作用的研究起步较早。20世纪60年代开始,波音公司聘请人因专家从认知心理学、行为学、生理学、视觉观察力和人体工程学等角度对操纵程序,通信、导航和监视/空中交通管理界面,失误管理等进行设计,以期提高飞行员操纵效率和飞行安全水平^[3]。欧洲成立由合格审定专家、人因专家、飞行测试专家和运行专家组成的工作组,对民机驾驶舱的设计进行可用性评估,发现界面设计存在的问题,并提出人机工效改善方案^[4]。

目前,我国在航空人为因素方面取得了一定的进展,但总体仍处于起步阶段。开展驾驶舱人机工

收稿日期:2015-03-27; 修回日期:2015-04-28

通信作者:董文俊,195025159@qq.com

效研究,对我国民机驾驶舱设计应用基础技术的进步和大型民机的研制具有重要的现实意义。

本文从驾驶舱显示界面工效学设计、控制器件工效学设计和光环境工效学设计等方面,阐述民机驾驶舱人机工效设计涉及的原理和要求,并列举若干实际工程中的人机工效设计应用实例。

1 民机驾驶舱人机工效设计概述

民机驾驶舱人机工效设计是以“飞行员—驾驶舱—环境”整体作为研究对象,结合人机工效设计一般理论,致力于提高飞行安全为目的的设计方法。人机工效学是 20 世纪 40 年代后期跨越不同学科和领域,应用多种学科的原理、方法和数据发展起来的一门新兴的交叉学科^[5]。将驾驶舱设计与人机工效设计相结合,综合考虑人的特性、自动化系统和驾驶舱人机界面(显示、控制、告警)等因素,使飞行机组能够安全、舒适、高效地操纵飞机是先进民机驾驶舱设计的发展方向。

2 民机驾驶舱人机工效学设计

现代民机驾驶舱集成系统主要包括航电系统、电源系统、起落架系统、飞行控制系统、燃油系统、环控系统、氧气系统、内设系统、防火系统等^[6],而现代民机驾驶舱典型分为主仪表板、遮光罩、中央操纵台、顶部控制板和侧操纵台,所有飞机飞行状态、操纵部件和通信部件均在上述区域中安装,如图 1 所示。因此,驾驶舱设计的合理性是飞行安全的首要因素,而驾驶舱合理性设计的表现形式则称为驾驶舱人机工效设计。

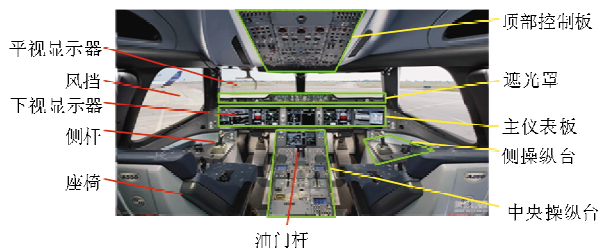


图 1 现代民机驾驶舱典型布置(A350)

Fig. 1 A classic layout of a modern civil flight deck(A350)

2.1 民机驾驶舱人机工效设计的人体测量学基础

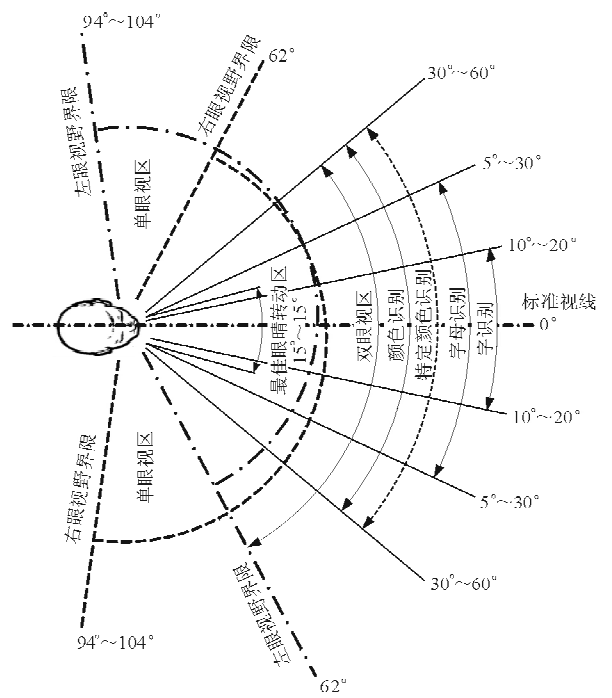
在“飞行员—驾驶舱—环境”系统中,处于核心

地位的是飞行员。人在飞行安全或者应急事件处置中占据不可替代的地位。现代民机驾驶舱均设计为有人驾驶,因此民机驾驶舱人机工效设计以对飞行员的研究作为核心。

民机驾驶舱设计是以设计眼位为基准展开^[7],以第 5 和第 95 百分位数人体的静态构造尺寸、动态人体功能尺寸和人体视域等生理参数为依据,对驾驶舱内的显示界面、操控界面等进行信息显示和布局设计。民机驾驶舱设计需满足以下要求:①设计净空间尺寸必须提供基于第 95 百分位数男性数据分布;②极限设计尺寸,例如可达距离、控制运动、显示和控制位置、测试点位置和扶手位置等受身体尺寸限制的设计尺寸,应基于女性人体尺寸的第 5 百分位数。

除了人体构造生理参数外,人体可视域也是民机驾驶舱设计的重要基础之一。人体可视域指人处于某一位置时,人眼所能观察到的空间范围。通常称之为视野,可分为静视野和动视野。静视野指在头部和眼部固定不动的情况下,眼睛观看正前方无提示所能看见的空间范围;动视野则指头部固定不动而眼球可以转动的情况下所能看见的空间范围。

人体水平视域与垂直视域,如图 2 所示^[5]。



(a) 水平视域

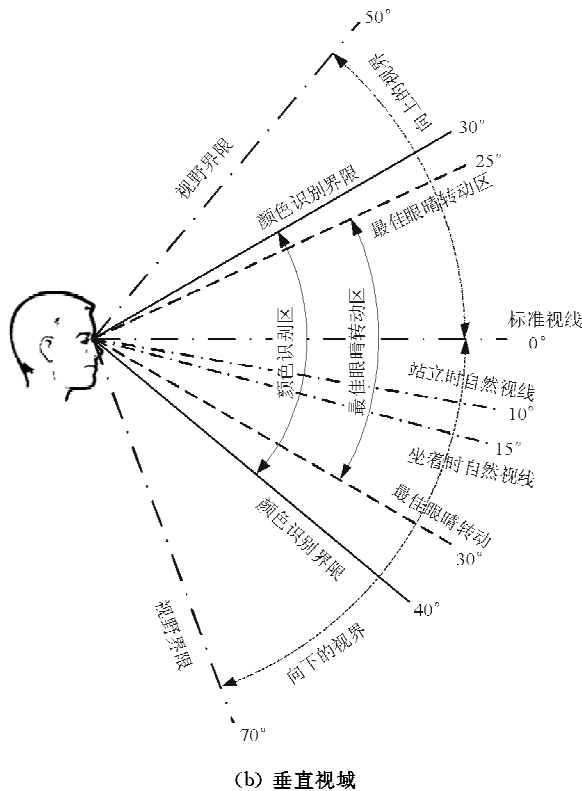


图2 人体水平视域与垂直视域

Fig. 2 Horizontal and vertical view of human

通常情况下,人体在水平面视野是:双眼区域大约在左右 60° 以内;最敏感的视力是在标准视线每侧 1° 的范围内;单眼视野在标准视线每侧 $94^\circ\sim 104^\circ$ 。人体在垂直平面视野是:最大视野界限为标准视线以上 50° 和标准视线以下 70° ,颜色辨别界限在标准视线 30° 和标准视线以下 40° 。

充分了解飞行员人体生理构造是民航驾驶舱人机工效设计的基础,我国的人体测量学参数主要依据为 GB/T1000-1998《中国成年人人体尺寸》、GJB2873-1997《军事装备和设施的人机工程设计准则》和 GJB4856-2003《中国男性飞行员人体尺寸》^[8-10],详细的人体生理参数见文献[5]和相关标准。

2.2 民航驾驶舱显示器件及显示界面的工效学设计

现代民航驾驶舱的主要显示界面包括主飞行显示、导航显示、发动机指示和机组告警、飞行管理显示界面和系统状态显示等,各类显示界面为飞行

员提供安全飞行所必须的飞机状态信息。

现代民航驾驶舱由机械仪表座舱向玻璃化座舱演变,集成度和复杂度越来越高,因此显示器件的总体布局设计既要充分考虑自动化水平、人机功能分配以及人眼生理参数、眼球运动规律的特性和注意力分配等,又要充分理解和分析飞行操纵任务,并综合运用系统工程、人机工效学以及心理学等多学科知识,实现最优的显示器件布局设计。经过工程设计人员的长期研究和努力,先进民航驾驶舱显示器件的布局设计愈加表现出趋同性。某民航在充分考虑设计工效后的驾驶舱显示器件布局设计方案,如图3所示。



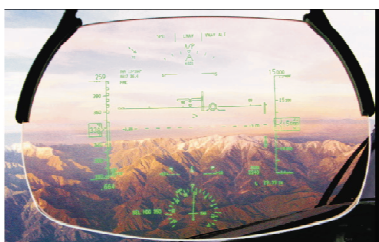
图3 某民航驾驶舱显示器件典型布局

Fig. 3 A classic display layout of a civil flight deck

与显示器件布局设计相同,显示界面的设计也需考虑人眼生理参数、眼球运动规律的特性和注意力分配等。人体工程学表明,飞行员的视觉能力在视线向下 $0^\circ\sim 30^\circ$ 范围内最强,在此范围内飞行员出现差错的概率最小,超过此区域飞行员读取显示器上信息出错的概率将大幅增加^[6],因此与飞行安全关系最为密切的飞行姿态显示必须放置在该视域范围内。根据人的视觉信息加工过程和视觉行为特点,信息的信道设计应该尽可能少,以减轻脑力负荷,因而显示界面图标的颜色不能过于绚丽。对于重要的信息显示,尽可能使用引起飞行员视觉注意的颜色、图标等。图标形状的优劣次序为三角形、圆形、梯形、方形、长方形、椭圆形、十字形等^[11-12],较好的主显示器(Primary Flight Display,简称PFD)和平视显示器(Head Up Display,简称HUD)显示界面的工效学设计如图4所示。



(a) PFD



(b) HUD

图 4 PFD 和 HUD 显示界面工效学设计

Fig.4 Ergonomic design of the PFD and HUD display interface

2.3 民机驾驶舱控制器件的工效学设计

驾驶舱内的控制器件可分为飞行控制器件和系统控制器件,其中飞行控制器件主要包括驾驶杆(盘)、油门、襟缝翼手柄、扰流板手柄、脚蹬、起落架收放手柄、前轮转弯手柄等,主要分布于侧操纵台和中央操纵台;系统控制器件主要包括防火、液压、燃油管理、电气、空调、风挡加热、防冰、除雨、照明、压力调节、氧气等,主要分布于顶部控制板。驾驶舱内控制器件的数量相当可观,必须通过合理的控制器件排列组合设计以提高飞行员的工作效率,保证飞行安全。尽管与飞行安全相关的飞行控制器件和系统控制器件的排布、动作方向和外形已有适航条款^[18](CCAR25.777、CCAR25.779 和 CCAR25.781 等)做了详细的规定,例如:CCAR25.777(e)规定襟翼和其他辅助升力装置的控制器件必须设置在操纵台上部,油门杆之后,对准或右偏于操纵台中心线并在起落架控制器件之后至少 254 mm(10 ft)。但随着民机驾驶舱不断引入新技术,飞机设计人员必须掌握在上述规定基础上设计优化的能力。

控制器件的排布设计需充分考虑人的运动操

纵规律。经 Fitts 和 Peterson 等研究,运动操纵规律通常满足 Fitts 定律:

$$MT = a + b \log_2 \left(\frac{2D}{W} \right) \quad (1)$$

式中:MT 为动作时间;D 为运动幅度(运动起点到目标点的距离);W 为操纵目标(例如一个按钮)的宽度;a 和 b 为与运动操纵类型有关的经验系数。

基于 Fitts 定律,先后提出了 Welford 模型、MacKenzie 模型、Crossman 反复修正模型、Connelly 控制模型、Gan 模型和目标截止模型以及 Liu-Yuan 修正模型^[14]。由式(1)可知,运动幅度越小、操纵目标物越大,则动作时间越小。因此,为了保证操纵效率,控制器件应越大并布置得离人体越远。例如,引擎防火和 APU 防火按钮布置于驾驶舱顶部控制板后部,驾驶员正常驾驶位置后方,距离较远,为了保证在应急情况下的操纵效率,按钮的设计尺寸需大于一般控制器件,如图 5 所示。

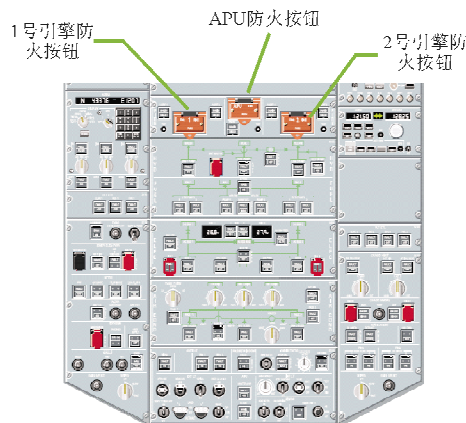


图 5 引擎和 APU 防火按钮布置(A320)

Fig.5 Fire safety buttons' layout of the engine and APU(A320)

通过对人的运动操纵规律的研究,通常驾驶舱控制器件的布置可采用如下方法以提高飞行员的操纵效率。

(1) 对于使用频率高、重要性等级高的控制器件,应布置在飞行员易于可达的位置,重要度等级和使用频率越高,其安装位置的可达性和抓握特性应越好,即最重要和最频繁使用的控制器件,安装的位置应是最可达和抓握的地方。

(2) 控制器件的大小、外观以及标识功能字符的颜色、大小等需根据与座椅参考点或者驾驶舱设

计眼位的距离进行合理地调整;控制器件必须对飞行员的操纵具有信息反馈的能力。

(3) 驾驶舱控制器件的安装和设计在不影响飞行员正常使用的前提下,应采取操纵器的保护措施以防止错误操作。采取的防差错保护方法通常包括物理保护、滑脱阻力、手部稳定、逻辑保护、复杂运动、触觉提示和器件锁定机构等。

基于人的认知特点,与特定显示信息密切关联的控制器件应当与对应的显示器件组合在一起;功能相似或相同的主要控制器件的排列方式,在各个系统、设备的控制面板之间应保持一致。综合优化后某民航驾驶舱内的控制器件布置设计,如图6所示。



图6 某民航驾驶舱顶控板和中央操纵台控制器件布置设计

Fig. 6 Layout of controllers on the top control panel and the pedestal in a civil flight deck

2.4 民航驾驶舱光环境的工效学设计

民航飞行时间长、航程远造成飞行员进行长时间视觉作业,因此民航驾驶舱的光环境与飞行安全紧密联系。一个优秀的驾驶舱照明环境工效设计

既要使得安全运行所必需的每个仪表、操纵控制器件或者其他设备易于判读,还必须采取措施遮蔽直射驾驶员眼睛的光线,并且不能存在对驾驶员有害的反光,否则,不舒适的照明环境引起驾驶员的视觉疲劳,影响飞行员的心理或生理活动,进而影响飞行安全。因此,每个工程技术人员必须考虑设计具有光环境舒适性高的驾驶舱照明系统。

民航驾驶舱的光环境通常可分为外部光环境和内部光环境。外部光环境主要有机场外部灯光、太阳光等;内部光环境主要有驾驶舱灯光照明、导光板光、机载显示设备光、内饰材质的反光等。对于外部光环境,可采用设计合适的遮光罩、遮阳帘等方法减弱其影响;对于内部光环境,通常需要通过驾驶舱照明灯具的布置设计和光色选择减弱其影响。

设计内部照明系统的总原则是:在保证飞行员看清各操纵面板的前提下,尽可能使光线柔和,避免眩光,提供舒适的光环境^[15]。心理学家发现,光色舒适性与照度水平具有一定的关系:在很低的照度下,舒适的照明光色是接近火焰的低色温光;在偏低或中等照度下,舒适的光色是日出后、日落前色温较高的光;在更高照度下,舒适的光色是接近中午的日光;蓝白光照明辨认色标比白炽灯光有利;蓝白光照明判读工效比白炽灯光好^[15]。因此,仪表板、左右操纵台、中央操纵台和顶部控制板采用导光板显示,并且使光色和亮度可调,某大型客机驾驶舱灯具的初步布置方案效果如图7所示。

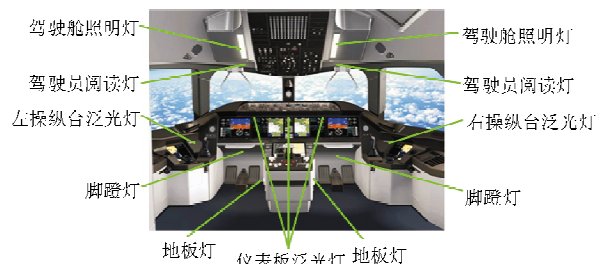


图7 某民航驾驶舱照明灯具布置效果图

Fig. 7 A layout drawing of lights in a civil flight deck

3 结束语

随着航空技术的不断发展,基于人机工效的民航驾驶舱设计概念愈加受到重视。本文从民航驾驶舱的显示界面、控制器件和光环境等工效设计角度出发,论述了基于人机工效的民航驾驶舱设计概

念和方法。人机工效设计属于多学科设计,涉及到飞行员的心理、生理、文化背景等主客观影响因素,因此在民机驾驶舱的设计过程中采用虚拟仿真评估、工程样机评估等办法对驾驶舱的工效设计进行评估,尤其需要航线飞行员参与设计过程,以保证工效设计的有效性和成本控制。

目前,民机驾驶舱设计工效的水平已成为飞机先进性的直接体现。只有将“飞行员—驾驶舱—环境”作为有机结合的整体考虑,综合运用人体工程学、心理学、统计学、统筹学和系统工程学等交叉学科知识,充分优化设计显示界面、控制器件布置等,才能设计出安全、舒适、高效的民机驾驶舱。

参考文献

- [1] Wiegman D A, Shappel S A. A human error analysis of commercial aviation accidents using the human factors analysis and classification system(IIFACS)[M]. USA: Federal Aviation Administration, 2001.
- [2] 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, 34(1): 73-76.
Niu Song, Sun Youchao. The construction of the ergonomics criteria framework in civil aircraft cockpit design[J]. Aircraft Design, 34(1): 73-76. (in Chinese)
- [3] 柯特·格雷伯. 人素工程在提高航空安全中的作用[J]. 民用航空, 2002(2): 63-65.
Curt Graeber. The role of human factors in improving aviation safety[J]. International Aviation, 2002(2): 63-65. (in Chinese)
- [4] John Wiley. The autopilot challenge[J]. Air Transport World, 1995(6): 16-18.
- [5] 丁玉兰. 人机工程学[M]. 北京: 北京理工大学出版社, 2005.
Ding Yulan. Ergonomics[M]. Beijing: Beijing Institute of Technology Press, 2005. (in Chinese)
- [6] 艾玲英. 人机工效在飞机驾驶舱设备布置中应用研究[J]. 飞机设计, 2012, 32(1): 78-80.
Ai Lingying. Ergonomics-apply-research on cockpit's equipment arrangement[J]. Aircraft Design, 2012, 32(1): 78-80. (in Chinese)
- [7] 苏润娥, 薛红军, 宋笔锋. 民机驾驶舱工效布局虚拟评价[J]. 系统工程理论与实践, 2009, 29(1): 186-191.
Su Run'e, Xue Hongjun, Song Bifeng. Ergonomics virtual assessment for cockpit layout of civil aircraft[J]. System Engineering-Theory & Practice, 2009, 29(1): 186-191. (in Chinese)
- [8] 国家质量监督检验检疫总局. GB/T1000-1988 中国成年人人体尺寸[S]. 北京: 中国标准出版社, 1988.
General Administration of Quality Supervision, Inspection, and Quarantine of People's Republic of China. GB/T1000-1988 Human dimensions of Chinese adults[S]. Beijing: China Standard Press, 1988. (in Chinese)
- [9] 国防科学技术工业委员会. GJB2873-1997 军事装备和设施的人机工程设计准则[S]. 北京: 航空航天工业部第三〇一研究所, 1997.
Commission on Science, Technology, and Industry for National Defense. GJB2873-1997 Human engineering design criteria for military equipment and facilities[S]. Beijing: 301 Institute of Ministry of Aerospace Industry, 1997. (in Chinese)
- [10] 中国人民解放军总装备部. GJB4856-2003 中国男性飞行员人体尺寸[S]. 北京: 总装备部军标发行部, 2003.
Chinese PLA General Armament Department. GJB4856-2003 Human dimensions of Chinese male pilot population[S]. Beijing: Military Standard Publishing Department of General Armament, 2003. (in Chinese)
- [11] 张慧姝, 庄达民, 马丁, 等. 飞机座舱显示界面目标图符的设计和评价[J]. 包装工程, 2011, 32(10): 89-92.
Zhang Hui-zhu, Zhuang Damin, Ma Ding, et al. Design and evaluation of target icons of the cockpit display interface[J]. Package Engineering, 2011, 32(10): 89-92. (in Chinese)
- [12] 王丽, 杨春信, 龙升照, 等. 显示器布局对人的视觉识别能力影响的研究[J]. 人类工效学, 2003, 9(1): 11-14.
Wangli, Yang Chunxin, Long Shengzhao, et al. Study on the influence of space-related distribution of display on human recognizing capability via seeing[J]. Chinese Journal of Ergonomics, 2003, 9(1): 11-14. (in Chinese)
- [13] 李家祥. 民航局令第209号, 中国民用航空规章第25部[S]. 5版. 北京: 中国民用航空局, 2011.
Li Jiaxiang. Order of Civil Aviation Administration No. 209. Civil aviation regulation of china part 25[S]. 5th ed. Beijing: Civil Aviation Administration of China, 2011. (in Chinese)
- [14] Liu Wei, Yuan Xiugan, Wang Ligang, et al. Human movement characteristics of target acquisition[J]. Space Medicine & Medical Engineering, 2001, 14(5): 313-317.
- [15] 罗燕. 驾驶舱照明设计与分析[J]. 电子测试, 2013(15): 27-30.
Luo Yan. Cockpit lighting system design and analysis[J]. Electronic Test, 2013(15): 27-30. (in Chinese)

作者简介:

舒秀丽(1963—),女,高级工程师。主要研究方向:系统工程、人机工效。

董文俊(1983—),男,工程师。主要研究方向:系统工程、人机工效。

董大勇(1975—),男,高级工程师。主要研究方向:系统工程、人机工效。

(编辑:赵毓梅)