

文章编号: 1674-8190(2021)05-152-07

飞机客舱工业设计要素分析和设计方法研究

杨莉, 罗啸宇

(上海飞机客户服务有限公司 工业设计所, 上海 200241)

摘要: 安全、舒适、经济、美观的飞机客舱可为乘客提供良好的乘坐体验, 增强国产商用飞机的市场竞争力。本文学习国外成功经验, 研究飞机客舱工业设计的发展, 分析客舱工业设计的四个要素, 介绍三种适用于飞机客舱的工业设计方法; 结合航空市场趋势, 寻求客舱经济性和舒适性之间的平衡点, 确定合适的客座数和客舱座位布局; 采用感性工学设计法和虚拟现实设计法, 从安全、乘客需求、CMF和航空公司的角度, 以某宽体飞机为例, 设计其客舱内部空间及舱内设施设备。结果表明: 本文的设计方法正确、可行, 可为正在研制中的大型客机提供理论依据和设计参考。

关键词: 飞机客舱; 工业设计; 设计要素; 感性工学; 虚拟现实

中图分类号: V223+.2

DOI: 10.16615/j.cnki.1674-8190.2021.05.21

文献标识码: A

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Analysis of Industrial Design Elements and Design Methods of Aircraft Cabin

YANG Li, LUO Xiaoyu

(Industrial Design Institute, Shanghai Aircraft Customer Service Co., Ltd., Shanghai 200241, China)

Abstract: A safe, comfortable, economical and beautiful cabin can provide good aboard experiences for passengers. This will enhance the market competitiveness of domestic commercial aircraft. By studying foreign successful experience and the development of aircraft cabin industrial design, four elements of cabin industrial design are analyzed and three design methods are introduced. According to the trend of aviation market, a balance point between the economy and comfort of the cabin is sought in this paper, and the appropriate number of guest seats and cabin seating layout are determined. Adopting kansei engineering design method and virtual reality design method, the cabin interior space and board equipment are designed from the view of safety, passenger demands, CMF (color, material & finishing) and the airlines. Take a wide-body aircraft as an example, its cabin is designed to verify the accuracy and feasibility of the design method. The method will provide the theoretical basis and design reference for the jetliner in development.

Key words: aircraft cabin; industrial design; design element; kansei engineering; virtual reality

收稿日期: 2021-06-22; 修回日期: 2021-10-06

基金项目: 上海市科技计划项目(205111107000)

通信作者: 杨莉, yangli2@comac.cc

引用格式: 杨莉, 罗啸宇. 飞机客舱工业设计要素分析和设计方法研究[J]. 航空工程进展, 2021, 12(5): 152-158.

YANG Li, LUO Xiaoyu. Analysis of industrial design elements and design methods of aircraft cabin[J]. Advances in Aeronautical Science and Engineering, 2021, 12(5): 152-158. (in Chinese)

0 引言

我国商用飞机经过艰难曲折的研制历程,近年来取得了突破性进展。ARJ21-700支线客机安全运营,载客数量、交付数量持续增长;C919大型客机首飞成功,试飞验证工作进展顺利,即将交付首家航空公司;CRJ929宽体客机研制稳步推进。但国内对商用飞机客舱工业设计的研究较少,可参考的成功案例不多。就目前所查得的文献资料显示,陆峥^[1]是国内较早对客机座椅进行造型和色彩研究的人员之一。此后,左恒峰等^[2]、伍志湘^[3]分别从造型、色彩、材质等方面对客舱内装饰进行了研究;许为等^[4]、汪洋等^[5]对客舱内的人机因素进行了分析;徐江华^[6]和李虹等^[7]分别对客舱设备的安全性进行了研究;裴卉宁^[8]、许松林等^[9]、郭天鹏等^[10]对客舱的舒适性进行了研究。国产商用飞机进入市场的时间不长,尚未建立起完备的商用飞机工业设计技术体系和标准规范。而国外飞机工业设计技术已相当成熟,波音、空客等都设有独立的公司专门进行工业设计,形成了完备的工业设计技术体系和标准规范^[11-13]。

本文在研究飞机客舱工业设计内涵和发展的基础上,分析安全性、舒适性、经济性与舒适性的平衡和CMF(Color, Material & Finishing)设计要素,结合多种设计方法,设计某宽体飞机客舱。

1 飞机客舱工业设计的发展

1.1 工业设计的定义

工业设计起源于英国的工业革命,1919年德国魏玛市成立的“公立包豪斯学校”(Bauhaus)标志着世界第一所设计教育学校的诞生^[14]。工业设计发展迅速,其定义一直在迭代、演进,2015年国际工业设计联合会(The International Council of Societies of Industrial Design,简称ICSID)更名为国际设计组织(World Design Organization,简称WDO),第四次对工业设计定义进行了更新。工业设计是一种战略性解决问题的过程,通过创新产品、系统、服务和体验来引领创新,促进商业成功,并提供更高质量的生活。此次定义与前几次

定义的不同之处在于,把追求创新与促进商业成功明确为工业设计的本质属性。工业设计架起了需要与可实现之间的桥梁,把创新、技术、商业、研究及消费者紧密联系在一起,共同创造,共同解决问题,旨在创造一个更美好的世界^[15]。

1.2 飞机客舱工业设计的内涵

飞机客舱工业设计是对飞机客舱内部空间和设施设备的结构、形态、材料、色彩、表面处理等,从安全、功效、经济、艺术、环保的角度给予综合处理,营造美观、时尚、舒适、温馨的客舱环境,塑造飞机主制造商的品牌形象,增强飞机的市场竞争力。

1.3 发展历程概述

波音公司开创了飞机客舱工业设计的先河。1956年,美国设计师沃尔特·提格根据人机工程学原理,模拟飞行中的座椅、厨房、灯光和色彩等,设计了B707的客舱,使之成为当时最舒适的商用飞机^[16]。20世纪60年代,美国著名的工业设计师罗维对总统专机B707“空军一号”的客舱进行改进,深得肯尼迪夫妇喜爱。同期,波音通过对座椅、行李箱、天花板等相关设备的设计,使B737客舱变得美观、时尚、舒适,缓解了乘客飞行途中的无聊与疲劳。B737短程客机成为经济性、舒适性的典型代表,已延续至今。

现在波音和空客的客舱工业设计已经非常成熟,B737、B777、B787、A330、A350、A380等客舱深受乘客喜爱。工业设计使飞机客舱向个性化、定制化发展,除航线客机外,通过改装飞机,出现了私人飞机、公务机、医疗救援机、体育运动机、空中摄影机等。

2 飞机客舱工业设计的要素分析

2.1 安全性要素分析

安全性是客舱的首要属性,旨在有效保护舱内人员免受伤害,一旦发生飞行事故,增加逃生时间并帮助人员快速撤离飞机,减少人员伤亡^[17-18]。造成客舱不安全的因素主要有物(飞机及机载设

备)的状态或结构被破坏、物(舱内设施)的设计不合理、人(塔台人员、驾驶员、机组人员及乘客等)的不当行为或失误和不利的环境(天气等)。通过设计对不安全的因素进行提前预防,有效降低不安全事故的发生率。如设计合理的应急通道数量与位置、座椅间距、通道宽度等,可视化的应急设备(应急门手柄等)、鲜明的标识标志(出口指示)等,以保障人在紧急情况下易于操作,节省逃生时间;同时又要预防这些设备被乘客误操作。这就要求设计时要充分考虑操作的逻辑性、警示性,杜绝乘客误操作行为的发生。还要避免因不恰当的造型对乘客造成伤害,如在人员活动区域不应出现硬质突出或尖角物等,以免飞机加速、减速和颠簸过程中的惯性冲击对人体造成撞伤等。

2.2 舒适度要素分析

客舱舒适度的感知因人而异,视觉、触觉、听觉、嗅觉、文化、审美等多种因素影响着乘客对舒适度的评价^[8-10,19-21]。客舱舒适度一般分为环境舒适度、设备舒适度和心理舒适度三种。环境舒适度是指客舱空间的大小、舱内噪声、照明、压强、温度、湿度、气味及风速风量等给乘客的感知程度。设备舒适度是指舱内设备功能如座椅、娱乐单元、公共吧台、WIFI、电源插口、阅读灯、舷窗、行李箱等给乘客的体验程度。心理舒适度是指客舱空间及设备的造型、色彩、色块、图案、纹理、亮度、材质等给乘客的内在感受。应客观地对舒适度进行分析,获取设计依据。

2.3 经济性与舒适性的平衡要素分析

客舱的经济性和舒适性是乘客、航空公司和飞机主制造商共同关注的焦点,如何满足乘客和航空公司各自的需求,平衡好客舱的经济性和舒适性之间的关系^[22],是设计者必须重点考虑的问题之一。

一是合理的客舱座位布局。座位布局应主要考虑客舱拥挤度。乘客人均面积 AS 越大,客舱的拥挤度就越低,能享受的服务设施和服务水准越高,其乘坐的舒适度评价 CL 就越好。某型飞机的三舱布局如图 1 所示,头等舱每排 4 座,商务舱每

排 6 座,经济舱每排 9 座。



图 1 某型飞机的三舱布局

Fig. 1 The three-cabin layout of a certain aircraft

$$AS_{\text{头等舱}} > AS_{\text{商务舱}} > AS_{\text{经济舱}} \quad (1)$$

则:

$$CL_{\text{头等舱}} > CL_{\text{商务舱}} > CL_{\text{经济舱}} \quad (2)$$

$$TP_{\text{头等舱}} > TP_{\text{商务舱}} > TP_{\text{经济舱}} \quad (3)$$

$$NU_{\text{头等舱}} < NU_{\text{商务舱}} < NU_{\text{经济舱}} \quad (4)$$

式中: AS 为人均面积; CL 为舒适度评价; TP 为票价; NU 为购买人数。

二是考虑座椅空间。座椅排距 D 越大,座椅宽度 W 越大,座椅靠背可调节角度 α 越大,乘客在座位上的活动空间就越大,乘坐的舒适度评价 CL 就越好。但是,座椅空间越大,同一舱位内能容纳的座位数就越少,对航空公司的盈利不利。

三是客舱设备配置程度。由于智能化、信息化技术的迅速发展,互联网及其衍生产品的普及,人与机上智能产品、信息产品之间的关系已日趋紧密,尤其是客舱娱乐单元,深受年轻一代的喜爱。娱乐方式的多样化、机上网络互联配置程度、设备智能程度等,可选的情景模式越多,定制化程度越高,舒适度的评价就越好,但相应的设备制造成本、运营成本也就越高。

针对不同航空公司、不同航线的需求,对座椅布局、座椅空间、设备配置等进行综合考虑,找准经济性与舒适性之间的平衡点,既保证航空公司的经济收益,又使乘客获得较高的乘坐舒适度。

2.4 CMF 设计要素分析

CMF 是表面材质设计的综合体现,包括色彩、材料和表面处理三方面。客舱内的色彩设计应遵循如下基本原则:(1)客舱内整体色调应统一,色彩种类不应太杂,宜以中性色调为主,以上浅下深为原则;(2)应减少高饱和度或高对比度的色彩应用,以免造成视觉压迫;(3)应避免相关国家、地区和民族所忌讳的色彩;(4)关注流行色的运用,体

现时尚性;(5)选用色卡时尽可能参考国际通用标准及行业通用标准,如潘通色卡(Pantone)、联邦色卡(FED-STD)、劳尔色卡(RAL)等。

客舱内所用材质应具备轻量化、阻燃性和低VOC挥发的特性,常用材质主要有金属、织物、皮革、聚碳酸酯、聚氟乙烯和油漆等。相同的材质、造型和色彩,会因为不同的表面处理方式呈现出不同的装饰效果。舱内材质常用的表面处理方式及适用范围如表1所示。

表1 舱内材质表面处理方式及其适用范围
Table 1 Surface processing methods of interior material and their application scopes

材质种类	表面处理方式	适用范围
不锈钢	拉丝抛光、镜面抛光	座椅、厨房、行李箱、盥洗室、储物柜等的结构与装饰
铝合金	无色阳极化、金色阳极化	座椅、厨房、行李箱、盥洗室、储物柜等的结构与装饰
织物	细纹呢、粗纹呢、装饰纹呢	门帘、座椅装饰罩、分舱板、壁毯、地毯等
皮革	牛皮纹、羊皮纹、毛细泡纹、粗细橘皮纹等	座椅扶手、装饰罩等
聚碳酸酯	透明、磨砂、彩色	灯罩、标牌、按钮等
聚氟乙烯	贴膜、模压成型	天花板、侧壁板、行李箱、分舱板、厨房及盥洗室地板等
油漆	无光、有光、哑光	各种装饰件表面

3 客舱工业设计的方法

工业设计的方法很多,结合国产商用飞机的研制特点和现状,介绍以下三种方法用于客舱工业设计。

3.1 借鉴设计法

他山之石,可以攻玉;他人之事,我事之师。借鉴某一产品或某一领域的原理、功能、结构、造型、文化等运用到另一产品或另一领域上进行设计便是借鉴设计。借鉴并非简单的抄袭或模仿,而是将技术与原理进行推广和运用。通过参考已有的设计,在另一产品或另一领域进行创新再设计,获得新的活力。

目前,波音与空客的客舱工业设计水平全球

领先,而我国飞机客舱的工业设计刚刚起步,学习、借鉴波音与空客的客舱工业设计经验,融入中国设计元素与创意,创新设计,将有助于快速提高国产商用飞机客舱工业设计水平。部分宽体客机座椅的空间数据如表2所示。

表2 部分宽体客机座椅的空间数据
Table 2 Seat space data of some wide-body airliners

机型	舱位	座椅排距 D/cm	座椅宽度 W/cm	椅背调节 角度 $\alpha/(\text{°})$
A330	商务舱	147.32	50.29	165
	超级经济舱	93.98	44.96	101
	经济舱	81.28	44.96	101
A350	商务舱	109.22	58.42	180
	超级经济舱	96.52	47.75	180
	经济舱	81.28	44.45	105
B747	头等舱	210.82	67.31	180
	商务舱	152.40	53.34	180
	超级经济舱	101.60	49.02	105
B777	经济舱	83.82	46.48	105
	头等舱	210.82	67.31	180
	商务舱	152.40	53.34	180
B787	经济舱	81.28	46.99	100
	头等舱	210.82	67.31	180
	超级经济舱	101.60	49.02	105
	经济舱	81.28	43.94	105

3.2 感性工学设计法

感性工学(Kansei Engineering)起源于日本,是一种将用户的感受和意向转化为设计要素的转译技术^[23]。感性工学设计法将人的感受和意向与产品的本质属性相结合,以特定物的功能、造型、色彩、图案、材质等反映人的情感、兴趣,诠释以人为本的设计理念。

飞机客舱内部空间狭小、人员密度高、坐姿时间长、活动限制多、相互干扰大。因此客舱工业设计时采用感性工学设计法,在保证客舱基本功能的基础上,根据人的感官体验,分析坐姿习惯、活动规律及兴趣爱好等,逐层分析、研究、设计客舱设施造型、色彩、材质等细节特征,使人的生理需求和精神追求得到满足和尊重。对行李箱、座椅、储物柜、盥洗室、厨房等的使用特性进行工学分析,其中行李箱高度、入座高度、过道宽度、座椅宽

度等以成年男性的 P_{95} (第 95 百分位数) 尺寸作为参照标准, 如图 2 所示。采用成年男性的 P_{50} 作为参照标准, 设计高度与角度可调的多段位可变座椅头靠等。同时注重色彩、气味、干扰和隐私等特征, 最大限度地满足不同身高、不同体型及不同兴趣的乘客的生理需求和心理需求, 并获得良好的舒适体验。

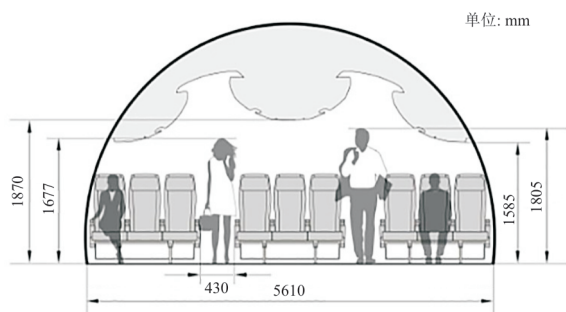


图 2 客舱感性工学分析示意图

Fig. 2 The schematic diagram of kansei engineering analysis in cabin

3.3 虚拟现实设计法

虚拟现实 (Virtual Reality, 简称 VR) 是一项全新的设计、展示方法, 集计算机图形学、数字图像处理、传感器技术、多媒体技术等多个信息技术于一体, 通过计算机生成一种虚拟环境, 实现人机交互, 使人如临其境^[24]。

飞机客舱是乘客空中活动和休息的全部区域。通过虚拟现实设计法, 首先将客舱的内部空间和设施设备通过计算机生成逼真的集视、听、触觉等于一体的特定范围的虚拟环境, 然后借助设备, 人进入这个环境, 移情意境, 与场景中的设备进行互动, 感受客舱的每一个细节。如体验舱内行径路线、情景灯光、娱乐单元、行李的放取、座椅的躺放、盥洗室的使用、舷窗外的景色等。

虚拟现实设计法具有直观性、交互性和真实性的特点, 把客舱空间的层次、造型、色彩、照明及设施设备的造型、功能、色彩、质感、光影等真实地表达出来, 最大限度地客舱信息传递给航空公司和乘客, 缩短客舱的设计周期并降低研制费用。

4 设计案例

随着中国经济持续高速发展和国际地位的提

升, 越来越多的人选择越洋飞行, 300 座级的飞机需求日益增加。因此本文设计某双通道宽体飞机, 以 300 座级为基础, 采用借鉴设计法, 充分考虑航空公司的经济性和不同层次的乘客需求, 确定客舱的客座数及座位布局, 如图 3 所示。按照乘坐舒适度由高到低的顺序, 划分为头等舱、公务舱和经济舱三舱, 共 281 座。各舱位的座位数、排列方式、座椅排距、宽度及椅背调节角度如表 3 所示。



图 3 某型飞机客舱布局

Fig. 3 The layout of an airliner cabin

表 3 某型飞机座椅的相关数据

Table 3 Seat data of an airliner cabin

舱位	座位数/个	排列方式	排距 D/cm	宽度 W/cm	椅背调节角度 $\alpha/(\circ)$
头等舱	8	1/2/1	198.12	71.88	180
公务舱	30	2/2/2	152.40	53.59	165
经济舱	243	3/3/3	81.28	45.72	105

布局确定后, 以“简约、舒适、品质、科技”为设计理念, 以“自然、温馨、现代”为设计风格, 以“平衡、和谐、硬朗、激昂”为设计语言, 充分考虑安全性、舒适性、经济性及市场流行趋势, 运用感性工学设计法, 对造型、色彩、材质进一步设计。客舱空间造型采用简洁、平衡、对称的柔性线条, 饱满流畅的曲面作为主要造型元素, 将天花板、行李箱和侧壁板融为一体, 引导乘客视线纵向延伸, 弱化结合处产生的割裂感, 提升客舱整体空间感。整体造型硬朗, 柔中带刚, 富有层次感。同时融入主制造商文化, 突出主制造商品牌。配色以冷色为主, 白、灰搭配, 对比鲜明, 传递科技信息。对称圆润的白色穹顶, 隔热、隔音、防紫外线的电子舷窗, 深灰色的底部通风口, 耐脏易清理的深色地毯等, 配以不同模式的情景灯光, 营造出优雅、温馨、静谧、时尚的高品质空间。

座椅是乘客在机上使用的主要设施, 乘客空中的休息、娱乐与进餐均在座椅上进行。针对不同层次的乘客进行不同的定位分析, 设计高贵典雅的头等舱座椅, 睿智质感的商务舱座椅和温馨舒适的经济舱座椅。机上配备 WIFI、USB 接口、

电源插口等,丰富旅途活动。娱乐功能丰富多彩,界面采用扁平化设计,主界面采用水平分割形式,具有较强的视觉稳定性,给人平静安稳的感觉。主推荐模块利用横向滑动的卡片式设计,起到清晰明确的引导作用,语言切换界面国际化,布局清晰,富有逻辑,方便操作。

团队采用法国 Lumiscaphe 公司生产的 Patchwork 3D 软件主程序、Patchwork SD ACCEL VR 模块和 VR 头盔,通过 5G 网络,设计师在云端与航空公司人员交流互动并设计渲染,头等舱、商务舱和经济舱的效果如图 4~图 6 所示。



图4 头等舱效果图

Fig. 4 The effect drawing of the first class



图5 公务舱效果图

Fig. 5 The effect drawing of the business class



图6 经济舱效果图

Fig. 6 The effect drawing of the economy class

5 结论

(1) 安全性、舒适性、经济性与舒适性的平衡和 CMF 设计要素既是进行飞机客舱工业设计时

必须重点考虑的因素,也是评估客舱工业设计方案符合性指标的重要组成部分。本文通过某型宽体飞机客舱的工业设计,验证了四个要素的合理性和必要性。

(2) 本文采用的借鉴设计法、感性工学设计法和虚拟现实设计法是适用的、可行性的,已应用于宽体客机、公务机和医疗机设计,可进一步向其他机型推广。

参考文献

- [1] 陆峥. 浅析民用飞机座椅造型和色彩设计[J]. 民用飞机设计与研究, 1990(3): 31.
LU Zheng. Analysis of civil aircraft seat shape and color design [J]. Civil Aircraft Design and Research, 1990(3): 31. (in Chinese)
- [2] 左恒峰, 彭露. 基于 CMF 的民用飞机内饰研究与设计创意[J]. 装饰, 2017(11): 100-103.
ZUO Hengfeng, PENG Lu. Civil airplane interior investigation and design innovation based on CMF [J]. Art & Design, 2017(11): 100-103. (in Chinese)
- [3] 伍志湘. 浅谈工业设计在民用飞机内饰设计的应用[J]. 民用飞机设计与研究, 2009(2): 45-50.
WU Zhixiang. Application of industrial design in interior design of civil aircraft [J]. Civil Aircraft Design and Research, 2009(2): 45-50. (in Chinese)
- [4] 许为, 陈勇. 人机功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. Application of human factors in developing civil aircraft and recommendation [J]. Aeronautical Science and Technology, 2012(6): 18-21. (in Chinese)
- [5] 汪洋, 余隋怀, 杨延璞. 基于 QFD 和 AHP 的飞机客舱内环境人机系统评价[J]. 航空制造技术, 2013(8): 86-91.
WANG Yang, YU Suihuai, YANG Yanpu. Evaluation of interior environment aircraft passenger cabin based on QFD and AHP [J]. Aeronautical Manufacturing Technology, 2013(8): 86-91. (in Chinese)
- [6] 徐江华. 飞机客舱设施造型安全人机设计研究[D]. 武汉: 武汉理工大学, 2018(12): 52-57.
XU Jianghua. Research on the design of mannequin safety of aircraft cabin facilities [D]. Wuhan: Wuhan University of Technology, 2018(12): 52-57. (in Chinese)
- [7] 李虹, 李可可. 浅析客舱安全的不确定性与应急训练的必要性[J]. 民航管理, 2018(10): 41-43.
LI Hong, LI Keke. The uncertainty of cabin safety and the necessity of emergency training [J]. Civil Aviation Management, 2018(10): 41-43. (in Chinese)
- [8] 裴弁宁. 基于工效学负荷理论的民航客舱乘坐舒适度评价方法[D]. 西安: 西北工业大学, 2017.

- PEI Huining. Study on evaluation method of comfort for civil aircraft cabin based on ergonomic exposure [D]. Xi'an: Northwestern Polytechnical University, 2017. (in Chinese)
- [9] 许松林, 周健, 樊彦予. 民用支线飞机客舱空间舒适性评价研究[J]. 航空科学技术, 2014(7): 17-22.
XU Songlin, ZHOU Jian, FAN Yanyu. Research on space comfort evaluation of cabin for regional aircraft[J]. Aeronautical Science and Technology, 2014 (7): 17-22. (in Chinese)
- [10] 郭天鹏, 孙学德, 汪光文. 基于调查统计的民用飞机客舱舒适性主观体验研究[J]. 科技视窗, 2017(4): 218-233.
GUO Tianpeng, SUN Xuède, WANG Guangwen. Study of cabin comfortability subjective sensation based on investigation and statistics [J]. Science & Technology Vision, 2017(4): 218-233. (in Chinese)
- [11] MAX K J. Airbus takes cabin design initiative [J]. Aerospace, 2005(3): 12.
- [12] ANDREW D. Airbus trumpets clean-sheet A350 cabin design [J]. Aerospace, 2005(4): 12.
- [13] BEAUCLAIR N. Airbus focuses on cabin layout [J]. Aerospace, 2005(10): 18-21.
- [14] 朱焘. 从包豪斯到乔布斯工业设计发展史上的两座丰碑及我们的思考[J]. 设计, 2012(6): 10-17.
ZHU Tao. Two monuments in the history of industrial design from bauhaus to steve jobs and our thinking [J]. Sheji, 2012(6): 10-17. (in Chinese)
- [15] 刘永琪. 国际设计组织宣布的工业设计新定义的内涵解析 [J]. 商场现代化, 2015(26): 239-240.
LIU Yongqi. Connotation analysis of the new definition of industrial design announced by the world design organization [J]. Market Modernization, 2015(26): 239-240. (in Chinese)
- [16] 彭露. 商用飞机工业设计进化史 [J]. 大飞机, 2019(1): 12-17.
PENG Lu. The evolutionary history of commercial aircraft industrial design [J]. Jetliner, 2019(1): 12-17. (in Chinese)
- [17] CAVKA I, COKORILO O, VASOV L. Energy efficiency in aircraft cabin environment: safety and design [J]. Energy and Buildings, 2016(115): 63-68.
- [18] MASTRIGT S H V, KAMP I, VEEN S V, et al. The influence of active seating on car passengers perceived comfort and activity levels [J]. Applied Ergonomics, 2015, 47: 211-219.
- [19] AHMADPOUR N, ROBERT J M, LINDGARD G. Aircraft passenger comfort experience: underlying factors and differentiation from discomfort [J]. Applied Ergonomics, 2016(52): 301-308.
- [20] VINK P, BAZLEY C, KAMP I, et al. Possibilities to improve the aircraft interior comfort experience [J]. Applied Ergonomics, 2012, 43(2): 354-359.
- [21] BRINDISI A, CONCILIO A. Passengers comfort modeling inside aircraft [J]. Journal of Aircraft, 2008, 45(6): 2001-2008.
- [22] FERGUSON J, HOFFMAN K, SHERRY L, et al. Airline response to changing economics and policy [C]// 2010 Integrated Communications Navigation and Surveillance (ICNS) Conference. [S.l.: s. n.], 2010: 1-12.
- [23] PIERRE L. Beyond kansei engineering: the emancipation of kansei design [J]. International Journal of Design, 2013, 7(2): 83-94.
- [24] MCDONAGH D, BRUSEBERG A, HASLAM C. Visual product evaluation: exploring users' emotional relationships with products [J]. Applied Ergonomics, 2002, 33(3): 231-240.

作者简介:

杨莉(1970-)女,博士,高级工程师。主要研究方向:客舱设备和工业设计。

罗啸宇(1986-)男,学士,工程师。主要研究方向:工业设计。

(编辑:马文静)