

〈系统与设计〉

单手握持便携式热像仪的人体工学设计

韩 强¹, 孙 娟^{1,2}, 张宏坤¹, 苏 雷^{1,2}, 吴红梅¹, 何 浚^{1,2}

(1. 昆明北方红外技术股份有限公司, 云南 昆明 650217; 2. 昆明物理研究所, 云南 昆明 650223)

摘要: 从单手握持便携式热像仪的作业分析入手, 研究单手握持便携式热像仪的人体工学设计方法。通过对热像仪的操作过程、人机功效因素进行分析, 确定人机工程设计要求, 运用人体工学原理和方法进行设计, 使单手握持便携式热像仪最大限度地满足操作者的舒适性、方便性和安全性要求。

关键词: 热像仪; 人体工学; 工业设计; 手持便携

中图分类号: TN216 文献标识码: A 文章编号: 1001-8891(2018)07-0684-07

Ergonomic Design of the Single Handheld and Portable Thermal Imager

HAN Qiang¹, SUN Juan^{1,2}, ZHANG Hongkun¹, SU Lei^{1,2}, WU Hongmei¹, HE Jun^{1,2}

(1. Kunming North Infrared Technology Co., LTD, Kunming 650217, China;

2. Kunming Institute of Physics, Kunming 650223, China)

Abstract: The design method of the manned-machine engineering of a single handheld and portable thermal imager is researched for the operation analysis. Analyses are conducted on the operation process and ergonomic factors of the single handheld and portable thermal imager, and the design requirements for the manned-machine engineering are determined. Using the principles and method of ergonomic design, the man-machine interface of the handheld thermal imager is designed to maximally meet the requirements of safety and comfort for convenient operation.

Key words: thermal imager, ergonomic, industrial design, handheld and portable

0 引言

热像仪利用光电转换效应获取景物和目标的温度, 将目标和背景的红外辐射实时转换成人眼可识别的图像, 成功地将人眼的视觉范围从可见光扩展到红外波段。这一特性, 使热像仪在夜间观察等领域得到了广泛的应用^[1]。

热像仪是复杂的光机电产品, 制造技术涉及半导体技术、红外技术、微电子技术、红外光学技术、精密机械技术等多种技术门类。早期, 由于技术局限性, 热像仪体积庞大、沉重, 仅在车载、机载场合固定安装使用。近年来, 随着非制冷焦平面探测器制造技术日渐成熟, 体积小、重量轻、成本低的非制冷焦平面探测器已批量生产; 微电子技术的飞速发展, 集成电路片上处理功能越来越强, 信号处理电路的体积越来越小, 功耗越来越低; 红外光学技术的进步, 设计制

造小尺寸、高性能红外光学系统成为可能。随着这些技术的发展和进步, 使小型化热像仪的设计开发成为可能, 手持热像仪将是未来热像仪发展的一个重要方向。

随着热像仪的体积、重量减小, 热像仪由固定安装向人手握持发展, 开发设计手持热像仪时, 必须考虑人体工学设计。为保证手持热像仪能有效地完成观察功能, 有必要研究相应的设计技术, 根据应用需求选择握持方式和操作方式。例如, 设计单兵用手持热像仪时, 尽量减小纵向尺寸、增加横向尺寸, 便于双手握持、操作和携带^[2]。

本文从单手握持便携式热像仪的作业分析和功效分析入手, 运用人体工学的基本原理和设计理念, 研究手持热像仪外形设计原则方法, 使设计的产品外形适合人手的握持和操作, 达到使用舒适、操控便捷和安全可靠的目的。

收稿日期: 2017-04-26; 修订日期: 2018-06-28.

作者简介: 韩强 (1992-), 男, 工程师, 主要研究方向为光电产品人体工学设计。

1 手持产品人体工学设计国内外发展现状

人体工学是一门多学科综合的新兴边缘学科,以人的生理、心理特征为依据,应用人体测量学、人体力学、劳动生理学、劳动心理学的相关知识,从产品设计的角度,将人的需求和能力融合在产品功能和性能设计中,以人、机器、环境为三要素,分析三者的相互作用,实现三者的优化组合。

手持产品靠人手支撑、操作,这类产品的人体工学设计使产品更人性化。手持产品人体工学设计以人作为研究基础,以手的基本结构和运动特征为参考依据,着重考虑手持产品与人手接触部分的造型结构,包括手对产品功能的参与以及与产品形态的交流方式,体现在产品的指示性、创造性等方面。在设计方法上,主要包括手持产品人体工学数据采集、数据分析,确定设计原则,进行人体工学设计等环节。在有条件的情况下,通过肌电图等测量方法评价操作的精确度和各种握持可能的方式等设计结果。

目前,国内外热像仪研发生产企业都开始设计开发手持类热像仪。美国 Leupold 公司推出基于 206×156 VO_x UFPA 的低成本手持猎用红外瞄准镜,美国 Seak Thermal 公司推出名为 Reveal Pro 的新型手持式热像仪/手电筒。在 2014 年印度国际防务展上,英国热技术系统公司推出 TICAM750 手持式双目镜热像仪,能够探测 2 km 外的人员目标,可以满足军事侦察、目标捕获、部队防护以及一般的战场态势感知等需求,同时还可

以用于边防、缉毒以及警用监视等领域。

美国 FLIR 等公司已设计开发出满足不同需求的手持热像仪,图 1 是 FLIR 等公司的手持式热像仪。

人体工学研究的重点,是如何使人获得便捷舒适的操作,使工作效能达到最佳。不同国家和地区的人在身体尺度上差异较大。因此,国外研究成果并不能拿来直接使用。国内也非常重视手持设备的人机工程研究,取得了一些成果^[3-7]。有从事热像仪研究开发的机构,开始重视手持热像仪的人机工程设计。湖北久之洋公司艾飞从产品外观、操作方便性和界面设计实用性等方面论述了人机工程学在红外热像仪中的重要性^[8];华中光电技术研究所陈利从使用的舒适性出发,探讨手持热像仪按键布置的合理性^[9];石家庄军械工程学院潘攀将人机工程学引入热像仪结构设计中,提出了有利于设备安全性和使用舒适度的结构设计方案^[10];这些研究缺少系统分析,仅从外观、尺寸和颜色方面作简略介绍。

2 手持类产品人体工学设计的基本要求

手持类产品是一种以手部操作为主的工业仪器,与车载、机载设备相比,具有便携移动性强、有利于人机交流等特点,在设计上要适应人手的结构功能特性,符合人体工学的基本要求。基本要求有以下几个方面^[11-12]。

1) 应与操作者身体相适应,工作设计应使操作者发挥最大效率,能有效地实现预定功能。



图 1 手持热像仪产品

Fig.1 Handheld thermal imager

2) 作业姿势不能引起过度疲劳。应使操作者使用时保持手腕处于顺直状态, 手腕顺直操作时, 手腕处于正中的放松状态, 使手腕部受力状态最佳, 避免掌部组织承受过大压力, 避免静态肌肉负荷。

3) 色彩在产品中的应用会引起人们心理、情绪和情感上的认知, 设计用色应与产品的使用场合、产品的整体功能特性等合理搭配, 产品的整体、按键颜色及附件的颜色选择, 都要考虑人性化的设计效果, 同时还要遵守国际通用标准。

4) 显示界面颜色的选取应使操作者的眼睛感到舒适, 图像亮度应满足操作者观察的要求。

操作界面应具有良好的人机交互性, 便于操作者使用。

操控器的类型、设计和配置应适合控制任务, 按键功能应易于辨别、避免混淆。

5) 安全性要求

设计时应考虑使用安全性和产品安全性, 既要确保使用时不对操作者产生人身伤害, 又要避免意外滑落造成产品损坏。

3 作业分析和人机功效分析

3.1 单手握持便携式热像仪组成和功能要求

单手握持便携式热像仪由物镜系统、探测器、信号处理系统、操控系统和显示系统等组成, 产品组成

如图2所示。

物镜系统接收目标的红外辐射, 投射到探测器上, 经信号处理, 在显示系统上再现目标景物的红外辐射特征图像。通过操控系统, 实现对热像仪的操作, 例如, 亮度调节、图像模式切换等。

单手握持便携式热像仪主要用于野外夜间观察, 如单兵侦察、狩猎等, 要求便于携带, 使用时便于人手握持, 使操作者能观察到清晰的图像, 操作和携带方便。

3.2 作业分析

单手握持便携式热像仪的人-机系统图如图3所示。

操作者和手持热像仪之间通过显示系统和操控系统来实现人机信息交换闭环控制, 达到以最佳方式观察目标的目的。

目标景物图像经热像仪传送到显示系统, 操作者观察显示系统上的图像, 将得到的目标信息馈送到大脑, 大脑对观察到的热图像的满意度进行判断和决定, 然后指挥操作者对操控系统进行相应的操作。操作者的手指驱动作业, 经操控系统转换, 传递给热像仪, 按指令改变热像仪的状态, 新状态下产生的目标图像又传送到显示器上, 实时呈现给操作者目视观察。再重复以上操作, 直至满足图像观察要求为止。

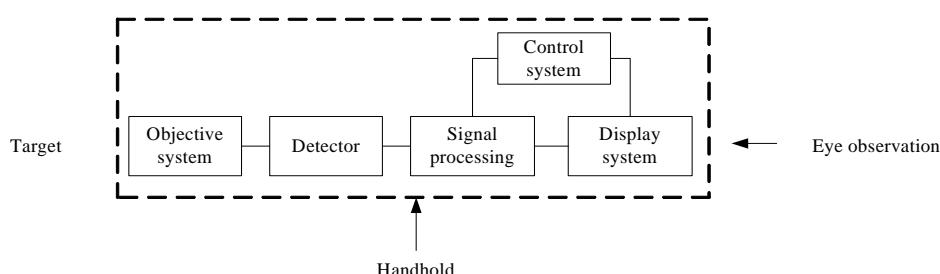


图2 单手握持便携式产品组成图 Fig.2 Structure of the single handheld and portable thermal imager

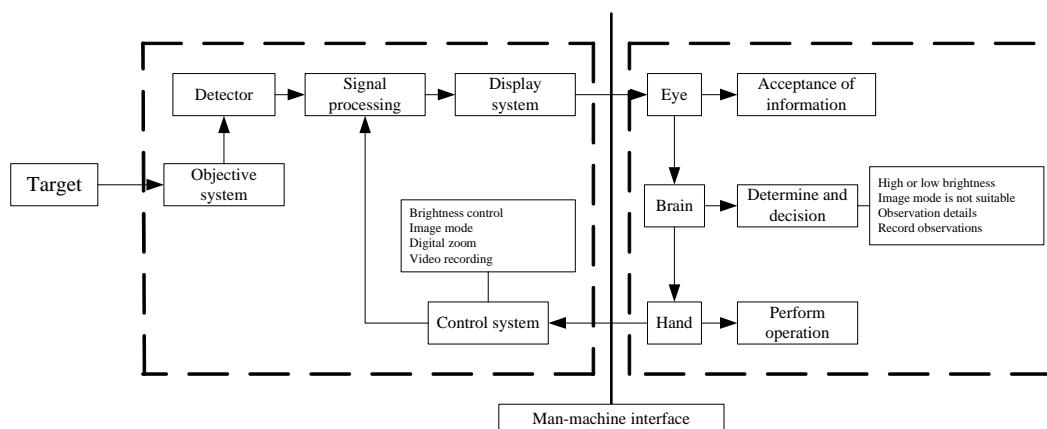


图3 单手握持便携式热像仪的人-机系统图

Fig.3 Man-machine system diagram of the single handheld and portable thermal imager

3.3 人机功效分析

单手握持便携式热像仪人机交互界面有:人手握持、人眼观察和人手操控3个部分。人机界面,包括视觉和触觉两个通道。用户使用时,手掌握住热像仪,手指按压完成相应的控制操作,眼睛观察显示器里的目标图像。人机相互之间的信息交流活动,主要有控制器接收人手指发出的信息和显示器向人眼发出的目标图像信息。

人体工学研究表明,人的调节时间、准确性和人机系统可靠性是衡量操控系统功效最重要的指标。操作者是人机系统中最佳的信息接受者,但是,在操作速度以及准确性方面,特别是长时间连续保持一定工作状态的能力方面,都落后于机器,是影响功效的主要因素。

1) 人的调节时间

从图2可看出,手持热像仪的操作过程包括人眼观察显示器、手指驱动操控系统、热像仪接收控制信息做出反应、显示器响应输出4个环节,完成一次调节所需的时间T可表示为:

$$T = \sum_{i=1}^4 t_i \quad (1)$$

式中: t_i 是各环节的停滞时间。

人的反应时间是以1/10 s、1 s甚至以分来计算,而机器的反应时间更快捷以微妙计算。因此,完成一次调节的时间T主要取决于人的反应时间。

2) 准确性

表1给出使用单手握持便携式热像仪操控准确性调查分析结果。

从表1可看出,操作者动作的准确性是决定其功效的重要影响因素,而动作准确性又与控制过程的特性、操作流程设计和人的工作能力有关,在疲劳状态下,人的感觉机能变弱、灵敏度变低,会严重影响动

表1 影响单手握持便携式热像仪操控准确性因素调查表

Table 1 The influence on control accuracy of the single handheld and portable thermal imager

Procedure	Subject	Situation	Accuracy evaluation
Observation	Human	Identify and use information; Eye strain affect image observation.	Effect of body situation
Operation control system	Human	Response latency; Poor identification; Effect of position, usage and shape in the operation; Poor precision motion in the repetitive operation; Fatigability, limited operation duration; Requirement of comfortable.	Effect of body situation
Thermal Imager receive control information and response	Thermal Imager	To work in the program design; To adapt to harsh environments.	Accurate with hardware reliability
The display system responses to the output of thermal imager	Thermal Imager	To display image as per design requirements; To adapt to harsh environments.	Accurate with hardware reliability

作的准确性。

3) 人机系统可靠性

从图2可看出,单手握持便携式热像仪的人机接口是连接操作者和热像仪之间唯一的桥梁。它设计的优劣与可靠性的高低,均直接影响手持热像仪人机系统的效能^[13]。

单手握持便携式热像仪人机系统的可靠度R由热像仪的可靠度 R_I 和人的操作可靠度 R_M 构成,通常情况下人为串联系统:

$$R = R_I \times R_M \quad (2)$$

由式(2)可见,单手握持便携式热像仪人机系统可靠度是热像仪可靠度 R_I 和人操作可靠度 R_M 的乘积, R_I 和 R_M 均小于1, R 小于 R_I 和 R_M 。即使花费大量的人力和物力去提高热像仪的可靠度,而不提高人的操作可靠度,热像仪人机系统的可靠度仍不会得到明显的改善^[14]。

使用单手握持便携式热像仪时,人必须完成观察图像和操控两个动作,显示器、操控器的位置、尺度等参数都会影响人操作的可靠度。

综上所述,根据操作者的人体特征进行单手持热像仪的外形和造型尺度设计,合理设计显示系统,尽量减少操作者的肢体和视觉的过早疲劳,提高动作速度、操作准确性和可靠性;有利于改善手持热像仪人机功效。

4 单手握持便携式热像仪的人体工学设计

4.1 人体工学设计要求

单手握持便携式热像仪的人体工学设计要求如表2。根据GB/T 12985-1991,手持热像仪属III型产品,为一般工业品。选用百分位数50作为产品设计的依据^[15]。

表2 单手握持便携式热像仪的人体工学设计要求

Table 2 Ergonomic design requirements for the single handheld and portable thermal imager

Item	Requirements of ergonomic design
Using objects	Adult male
Operating environment	Field work
Holding posture	Accurate grip and control by right hand
Operation posture	Stand posture
Key	Power、brightness control and torch、Video Recording、Image mode、Digital zoom
Observation method	Close observation with single eye

对于多波段手持热像仪、连续变焦手持热像仪、多视场手持热像仪，由于功能复杂，零部件较多，外形尺寸和重量都会大一些。在选择握持方式时，首先应根据技术设计确定握持部分的最大外径，当最大外径大于操作者单手能握持的最大外径时，应选择双手握持方式；其次分析计算热像仪的重量和重心位置，根据计算结果选择握持方式。当热像仪的重量超过人体单手握持负重能力极限时，不适宜选择单手握持方式。为便于操作者使用热像仪进行持续观察和精准操作，在进行热像仪内部零部件布局设计时，应同时考虑人手握持部位的设计方式，确保手的握持位置位于热像仪重心的位置。

4.2 人手握持部位的设计

单手握持便携式热像仪的结构造型，必须与人手拿持的形状相一致，外形设计简化为柱状方形锥台，锥体母线设计成一曲率半径较大的弧线，方形截面四角倒圆，保证手握持舒适自然不易掉落。

手的握持位置选择在重心的位置，使手的腕部受力状态最佳，以减少由于受力状态不合理而造成的腕部损伤。尽可能使手的腕部处于自然舒适的状态，有利于持续观察和精准操控。被握表面与掌心之间留有空隙，作为手指压按施力的空间。

根据 GB 10000-1988，百分位 50 的中国成人手宽 82 mm、手长 183 mm；含拇指的手掌宽度为 104 mm。因而，设计选取手握持部位的尺寸为 100 mm^[16]。

根据 GB/T 16252-1996，采用半围握、上部操作，取握持部分最大外径为 80 mm^[17]。

握持示意图如图 4 所示。

4.3 功能按键部分的设计

688

为避免手指关节的运动造成手掌疲劳，按键选择触压操作方式，操控区域和握持区域处于同一位置，通过手指操作控制按键实现操作。按键位于手指的工作空间内，确保操作者的指尖能够触及到控制按键^[18]。按键间距与人手指间距相匹配。



图 4 握持示意图 Fig.4 Held schematic

根据 GB 10000-1988，百分位 50 的中国成人食指近位指关节宽为 19 mm，远位指关节宽 16 mm，取按键尺寸 19 mm × 15 mm，按键间距 20~21 mm。

按键布局以使用频次、手指操作灵活性来分布，将使用频率高的按键布置在单手握持下最灵活手指的操作位置，使得操作方便准确，把使用频次不高的布置在非灵活手指的操作位置。

独立 20 次使用，观察各功能按键操作频次调查统计值如表 3。按键布局如图 5 所示。

表 3 功能按键操作频次及手指选择

Table 3 Function key operation frequency and finger appropriation

The key name	Times	Average	Finger selection
Digital zoom	240	12	Index finger
Image mode	200	10	Middle finger
Video Recoding	160	8	The ring finger
Brightness control and torch	20	1	Little finger

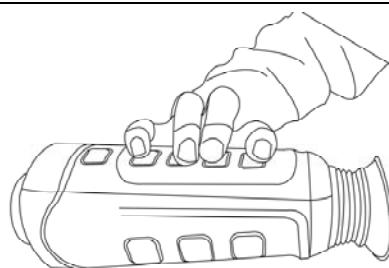


图 5 按键布局图 Fig.5 Function key layout

按键标识符号采用形象的图形符号，便于推广。各按键标识符见表 4。

4.4 观察部位的设计

人眼近距观察目镜里 LCD 显示器呈现的灰度图像, 设置目镜护眼罩与人脸眼部形状相似, 有效遮蔽隔离背景光, 避免外部光线影响观察, 使操作者的眼睛感到舒适。

设计完成的单手握持便携式外形图如图 6 所示。

表 4 各按键标识符 Table 4 Key identification sign

The key name	Symbol
Digital zoom	🔍
Image mode	Ⓜ
Video Recoding	📹
Brightness control and torch	☀️

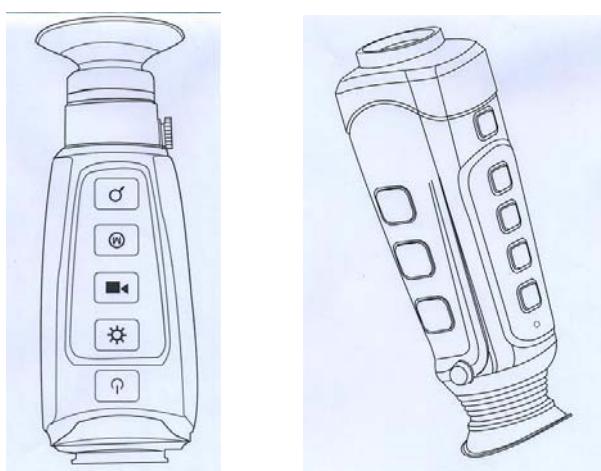


图 6 单手握持便携式外形图

Fig.6 The single handheld and portable thermal imager profile

4.5 色彩分析

色彩可以表现产品的特质, 色彩的应用会引起人们心理、情绪和情感上的认知, 也可以调节操作者的心理状况, 提高工作效率。必须周全考虑设计用色与产品应用场合、产品的整体功能特性的合理搭配。

单手握持便携式热像仪的色彩设计, 包括产品整体色彩、防滑保护色彩和按键识别色彩。根据单手握持便携式热像仪的功能和应用场合, 色彩的搭配不宜过度兴奋与刺激, 还要遵守国际通用标准, 例如开关按键的颜色必须为红色。整体色彩的选择应考虑隐蔽性, 例如选择迷彩色。

5 结论

从作业分析和功效分析入手, 运用人体工学的基本原理和设计理念, 进行单手握持便携式热像仪外形

设计, 能有效地满足人的使用要求。实践证明:

1) 在外观和造型设计时, 充分考虑人机因素, 最大限度地满足操作者的舒适性、方便性和安全性要求, 有利于提高操作的准确性和可靠性。

2) 由于人体尺寸的变化范围较大, 要设计适合所有人群使用的手持热像仪是困难的, 只能针对使用对象, 折中选择设计参数。

3) 手持热像仪的人体工学设计是实践性较强的工作, 由于人体结构的复杂性, 给设计工作带来了极大的挑战, 只有深入了解产品的应用需求、使用环境, 不断积累经验, 才能设计出满意的产品。

参考文献:

- [1] 常本康, 蔡毅. 红外成像阵列与系统[M]. 北京: 科学出版社, 2006.
CHANG Benkang, CAI Yi. *Infrared imaging array and system*[M]. Beijing: Science Press, 2006.
- [2] 蔡毅, 王岭雪. 红外成像技术中的 9 个问题[J]. 红外技术, 2013, 35(11): 67-683.
CAI Yi, WANG Lingxue. Nine issues associated with infrared imaging technology[J]. *Infrared Technology*, 2013, 35(11): 67-683.
- [3] 薛艳敏, 白蕊. 基于人机工程学的手持设备造型设计研究[J]. 机械科学与技术, 2013, 32(9): 1348-1352.
CAI Yanmin, BAI Rui. The Interface Design of the Hand-held Instrument Based on Ergonomics[J]. *Mechanical Science and Technology for Aerospace Engineering*, 2013, 32(9): 1348-1352.
- [4] 罗道江. 便携式手持设备结构设计综述[J]. 电子世界, 2013, 13: 81-82.
LUO Daojiang. Review of Structural Design of Portable Handheld Devices[J]. *Electronics World*, 2013, 13: 81-82.
- [5] 浦远强. 便携式手持设备的设计与应用研究[D]. 西安: 西安建筑科技大学, 2015.
PU Yuanqiang. The design and applied research of portable hand-held devices[D]. Xi'an: Xi'an University of Architecture and Technology, 2015.
- [6] 白蕊. 基于人机工程学的手持设备设计研究[D]. 西安: 西安理工大学, 2013.
BAI Rui. Design and research of hand-held devices based on the man-machine engineering[D]. Xi'an: Xi'an University of Technology, 2013.
- [7] 陈亮. 手持设备背后交互技术可用性研究[D]. 成都: 电子科技大学, 2015.
CHEN Liang. Usability study on back-of-device interaction[D]. Chengdu: University of Electronic Science and Technology of China, 2015.
- [8] 陈利. 基于人机工程学的手持红外热像仪设计[J]. 现代商贸工业, 2016, 37(18): 192.
CHEN Li. The design of hand-held infrared camera based on the man-machine engineering[J]. *Modern Business Trade Industry*, 2016,

- 37(18): 192.
- [9] 艾飞. 手持红外热像仪工业设计中的人机工程学分析[J]. 科技传播, 2015, 7(24): 26-27.
AI Fei. The man-machine engineering of the design of hand-held infrared camera[J]. *The Public Communication of Science & Technology*, 2015, 7(24): 26-27.
- [10] 潘攀, 崔秀梅, 陆旭光. 基于人机工程学的手持式军用红外热像仪结构的优化设计[J]. 红外, 2005, 26(7): 18-22.
PAN Tu, CUI Xiumei, LU Xuguang. Optimum design of military hand-held infrared thermal camera based on human engineering[J]. *Infrared*, 2005, 26(7): 18-22.
- [11] 中国标准化与信息分类编码所. GB/T 16251-1996 工作系统设计的人类工效学原则[S]. 北京: 中国标准出版社, 1996.
China Standardization and information classification coding institute. GB/T 16251-1996 Ergonomic principles of work system design[S]. Beijing: China Standards Press, 1996.
- [12] 王雁, 刘苏. 手持产品的体工学设计[J]. 人类工效学, 2011, 17(2): 52-55.
WANG Yan, LIU Su. Ergonomic design of handheld products[J]. *Chinese Journal of Ergonomics*, 2011, 17(2): 52-55.
- [13] 杨为民, 盛一兴. 系统可靠性数字仿真[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 1990.
YANG Weimin, SHEN Yixin. *System Reliability Digital Simulation*[M]. Beijing: Beihang University Press, 1990.
- [14] 丁玉兰. 人机工程学[M]. 第4版. 北京: 北京理工大学出版社, 2011.
DING Yulan. *Ergonomics*[M]. 4th Version. Beijing: Beijing Institute of Technology Press, 2011.
- [15] 杭州大学心理研究所. GB/T 12985-91 在产品设计中应用人体尺寸百分位数的通则[S]. 北京: 中国标准出版社, 1992.
Hangzhou University Institute of Psychology. GB/T 12985-91 The general rule of the percentage of human dimension of the application in product design[S]. Beijing: China Standards Press, 1992.
- [16] 中国标准化与信息分类编码所. GB 10000-88 中国成年人人体尺寸[S]. 北京: 中国标准出版社, 1989.
China Standardization and information classification coding institute. GB 10000-88 The body size of Chinese adult[S]. Beijing: China Standards Press, 1989.
- [17] 国家标准化管理委员会. GB/T 16252-1996 成年人手部号型[S]. 北京: 中国标准出版社, 1996.
Standardization Administration of China. GB/T 16252-1996 The hand shape of adult[S]. Beijing: China Standards Press, 1996.
- [18] 崔建昆. 人体食指工作空间研究[J]. 上海理工大学学报, 2002, 24(3): 226-229.
CUI Jiankun. On the workspace of the index finger[J]. *Journal of University of Shanghai for Science and Technology*, 2002, 24(3): 226-229.