



# 工业设计中显控台的人体工效学方法研究

于 钊, 林 迅

(上海交通大学设计学院, 上海 200240)

**摘 要:** 随着中国工业设计的发展, 工业产品对人性化需求越来越高, 现阶段的显控台亟待在造型上进行人体工效学的再设计。在显控台产品设计中要加入更多的人性化设计, 需要探索显控台的人体工效学方法。通过分析国内外研究现状, 从人体尺寸、工作空间、视野范围等方面对显控台的尺寸数据进行分析, 并绘制示意图, 同时对显控台操作员的生理及心理特性进行了分析, 并总结了显控台设计的常用研究方法和数学模型。常用研究方法有主观问卷调查法、实测实验法、模拟器实验法、计算机数值仿真法和数学模型分析法, 所采用的数学模型有生物力学模型、模糊评价模型、灰色关联评价模型。

**关键词:** 人体工效学; 显控台; 造型设计; 方法; 数学模型

中图分类号: J506

文献标志码: A

文章编号: 1673-3851 (2019) 04-0171-07

## Research on ergonomics of display console in industrial design

YU Zhao, LIN Xun

(School of Design, Shanghai Jiao Tong University, Shanghai 200240, China)

**Abstract:** With the development of industrial design in China, the demand for humanization of industrial products is becoming higher and higher. At this stage, the ergonomic redesign of display console is needed in terms of the shape. More humanized designs should be incorporated in the design of the display console, and the ergonomic method for the display console needs be explored. The size data of display console were analyzed from human body dimensions, the working space and the scope of vision, and the schematic diagram was drawn. At the same time, the physiological and psychological characteristics of display console operators were analyzed. Some common research methods and mathematical model on display console design were summarized. The common research methods include subjective questionnaire survey, actual measurement experiment method, simulator experiment method, computer numerical simulation method and mathematical model analysis method. The mathematical models include biomechanics model, fuzzy evaluation model and grey relational evaluation model.

**Key words:** ergonomics; display console; modeling design; method; mathematical model

显控台作为信息接收、发送与监测设备运作等不可缺少的设备被广泛用于在舰艇与各种项目工程中<sup>[1]</sup>。随着各国武器装备的研究升级, 以及设计对人性化的更高要求, 现阶段的舰载多功能显控台亟待在造型和界面上进行人体工效学的再设计。一方

面, 显控台的尺寸大小要符合人的操作使用要求及生理与心理特性, 如显控台中旋钮、按钮、操作面板、手柄等操作件, 其尺寸应与手手的尺寸相协调; 另一方面, 显控台的界面设计要考虑到操作员的视觉疲劳与认知负荷, 对界面信息分布、交互方式以及光度

收稿日期: 2018-07-04 网络出版日期: 2018-12-05

作者简介: 于 钊 (1991—), 男, 河南汤阴人, 博士研究生, 主要从事工业设计方面的研究。

通信作者: 林 迅, E-mail: 13033893398@163.com

亮度等进行调节。随着新的设计理念的发展,显控台的造型与布局设计都有了很大的变化,在显控台的整体设计中<sup>[2]</sup>,既要对显控台本身的性能和造型进行提升,更要对显控台人性化设计的开展和检验进行探究,对新的设计方向进行探索,使显控台的造型和功能能够适应现在人性化的设计<sup>[3]</sup>,并且能够逐渐形成一套完整的设计与检验流程。随着作战任务的复杂化,显控台需要显示的内容逐渐增多,操作人员短时间内处理的信息量也逐步上升,他们的工作负荷也大幅增加<sup>[4]</sup>。因此,如何降低显控台操作人员的工作负荷和疲劳度就显得尤为重要。

从工业设计研究角度出发,运用人体工效学的理论和方法,针对显控台操作员的生理心理特性,以科学的设计方法,结合工效学检测设备,发现影响操作员工作表现的生理需求和心理需求。运用人体工效学的相关知识,在保证显控台基本功能的情况下,与先进的结构造型技术有机结合,使显控台造型设计和功能设计符合人体工效学原理,使操作员得以轻便快捷、迅速准确地完成任务<sup>[5]</sup>;结合工业设计方法,对显控台的造型进行设计,提升其外观美感,体现良好的视觉效果,既减轻操作员的心理负荷和疲劳度,又增加产品的艺术价值<sup>[6]</sup>。

通过对人体工效学文献与国家标准的分析,本文把显控台设计中的尺寸数据分为操作员的人体尺寸、显控台附属部件、人眼特性和工作空间相关的四种数据,通过绘制数据变化示意图,归纳这些数据的可用性,结合人体的生理和心理特性,提出显控台设计中各部件运用这些数据的方法和数学模型,希望对相关研究提供一定的参考。

## 一、相关研究综述

国内关于显控台与人体工效学的研究起步较晚,且相关研究较少。根据中国知网的统计数据,1981—2017年,国内“显控台”方面的研究论文共发表288篇,其中2008年发文量最多;“人体工效学”的研究论文共发表287篇,1996年达到最热;而将“显控台”与“人体功效学”或相关的“人机工程学”结合起来的研究论文仅有7篇<sup>[7]</sup>。

目前国内外学者将人体工效学或者类似设计理念应用到显控台的造型设计的代表性研究较少。陈华<sup>[8]</sup>结合人机工程学原理和人机交互技术的相关数据,提出了固定式显控台造型设计思路及人性化设计的方法,使产品增加了安全性、实用性和美观性

等。李文志等<sup>[9]</sup>结合工业设计中的人机工程学原理及人体测量学相关数据,对如何正确处理人、机、环境三大要素间的关系进行了详细地论述。余昆<sup>[10]</sup>分析了人机界面综合评估研究的必要性及发展现状,针对驾驶室人机界面的评估模型、评估要素和评估准则、综合评估指标系统构建、评估权数分配和综合评估理论方法及评估技术方法等关键问题展开了研究。Wang等<sup>[11]</sup>模拟了显控台的环境,运用人机工学和驾驶员的操作姿势提出了一种评价显控台布局的方法。Hall等<sup>[12]</sup>对轨迹球和键盘等输入设备分别进行了研究,进而提出了总体造型设计。

国内外研究现状表明,单独研究显控台设计或人体工效学的成果较多,但将二者结合的研究较少,大多数研究只停留在理念阶段,付诸实际产品设计并验证其原理的文献资料较少,尤其缺乏系统应用人体工效学的显控台设计指导方法。有关计算机和显控台系统结合的研究在2000年左右比较热门,而结构、可靠性、HCI(Human-Computer interaction)方面的研究虽然不是特别热门,但一直未中断。随着使用者对各式装备效能的要求提高,显控台作为核心控制装置亟待发展,特别是针对其结构设计的人体工效学研究要深入开展。

近些年显控台的设计理念、设计过程以及设计风格都有了巨大发展。对于某些排水量较大的舰艇,比如美国生产的一些舰艇,空间足,负担小,为了舒适实用,可以选择较笨重的设计。对于我国的舰艇来说,设计过于稳重对舰艇负担太大,轻巧的型号稳定性和可用性又低。所以,我们应该借鉴和学习国外先进机型设计经验,从产品美学、人机学、可用性、舒适性、交互性等方面,全面细致地分析国内外优秀显控台的设计优点,广泛吸收各类先进设计理念,力求设计出体型合适、人机设计先进的舰载显控台。

## 二、显控台相关尺寸数据分析

影响显控台尺寸的相关因素主要有:操作员的身体尺寸、座椅操作器等部件的尺寸、操作员工作空间的大小。根据这些要素,对显控台相关的人体工效学尺寸进行梳理,并分析其数据范围。

### (一)人体尺寸

根据人体工效学文献整理的与显控台相关的人体尺寸类别如图1所示<sup>[8-9,13-14]</sup>。

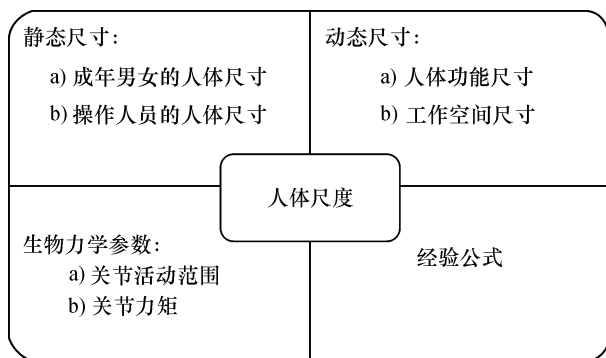


图1 与人体尺度相关的尺寸类别

图1中不同类型的人体尺寸对于显控台设计具有不同的作用。静态尺寸一般是指人体处于站、坐等姿态下的尺寸<sup>[15]</sup>,动态尺寸即人处于操作过程中不同动作下的尺寸。在显控台的设计中,静态尺寸和动态尺寸是对整体设计影响最大的两种尺寸,二者相互联系,共同决定了显控台操作空间的大小等参数。动态尺寸对于研究操作员使用显控台的各阶段数据采集起着重要作用。比如,操作员工作时手可触及的范围不仅仅由其手臂长度决定,还往往与关节转动角度、身体屈伸幅度有关。

除此之外,显控台的操作涉及到一些较精准的动作与生物力学参数有关,比如人体躯干与关节的转动等细节数据。因此,生物力学参数对显控台的设计特别是按钮和旋钮的设计有一定作用,但它们对于显控台整体设计的参考价值较低。

最后是来自经验公式的尺寸,即一直以来显控台相关从业人员约定俗成的一些尺寸范围。虽然这些尺寸来源于经验和工业生产的便利,有些不符合人的生理特征,但经过长期使用已形成习惯,在未形成新的尺寸设计标准或规范之前,部分显控台在生产和设计中还会参考这些尺寸数据。

## (二) 部件空间尺寸

大多数工业产品的研究都会参考使用者的静态尺寸,如身高、臂长等,但使用者在操作时往往不是静止不动的,因此需要根据其操作动作分析设备的部件空间尺寸,这样才能准确把握实际操作时的尺寸数据。这里以显控台的座椅、工作空间及操作员工作时的尺寸范围为例,根据国家标准和人体工效学文献进行分析,并绘制动态尺寸示意图。

### 1. 座椅尺寸

显控台操作员工作姿态一般为坐姿,所以座椅的尺寸设计对操作员的身体负荷有重要影响。座椅设计一般需遵循以下原则:a)应尽可能使操作员维持自然的姿态;b)座椅的空间和结构应尽量有支

撑,可以使人体长时间保持某以坐姿;c)要与整体的空间设计结合起来,比如座椅要与操作台高度、宽度、距离相匹配;d)要与使用者本身的尺寸相适应。

有关座椅的舒适性,一般分为静态与动态两种。静态舒适性是指座椅的尺寸和结构能否与人和空间的尺寸相适应,需要为用户提供一个舒适的操作空间。动态舒适性主要与座椅减缓、吸收使用者震动和冲击的能力有关,可通过座椅的坐垫或椅背的材料和角度进行调整。表1为文献[9]结合工业设计中的工程力学原理及人体测量学相关数据研究出的工作座椅的适宜尺寸。

表1 工作座椅的适宜尺寸

尺寸类型	工作座椅参考数值
座高/mm	360~480
座深/mm	370~420,推荐值 400
靠背长/mm	320~340,推荐值 330
靠背转动半径/mm	400~700,推荐值 550
倾覆半径/mm	195
椅面倾角/(°)	0~5,推荐值 3~4
靠背倾角/(°)	95~115,推荐值 110

### 2. 工作空间大小

操作间是操作员使用显控台、执行操作任务的主要场所,操作间的尺寸设计直接影响到操作员的工作效率和生命安全。一般情况下,舰艇上的操作间环境条件较差,空间狭小,这对显控台的设计与使用提出了更高的要求。要在节省空间的前提下保证操作员舒适、轻松、高效、安全地完成操作任务,必须遵循机械设计准则和人机工程准则,使显控台的设计与操作员的工作环境协调一致。如图2是文献[13]进行JACK驾驶舱仿真及人机工效分析时得出的舰艇上显控台操作员工作空间的相关尺寸数据。

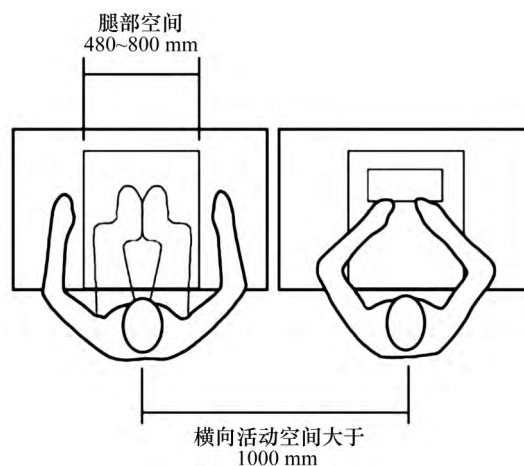


图2 操作员工作空间的相关尺寸

### 3. 工作尺寸范围

根据显控台座椅尺寸和操作人员工作空间尺寸两种数据,可以对显控台使用状态下座椅、平台、操作空间等数据进行适宜范围的划分,绘制在座椅和工作空间尺寸适宜时操作员的工作尺寸。

图3为坐姿情况下显控台相关部分的尺寸示意图。

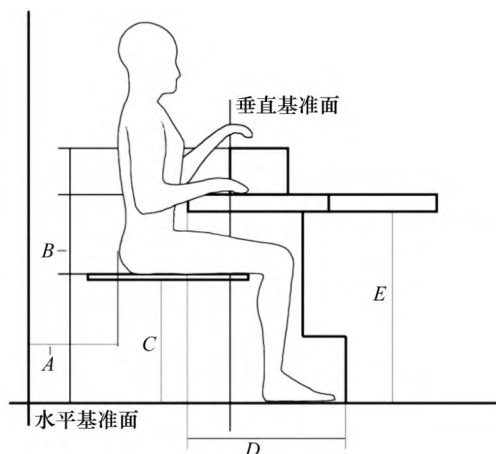


图3 坐姿下操作显控台的尺寸示意图

注:A表示操作员后部活动空间,B表示坐姿工作高度,C表示座位面高度,D表示脚部空间进深,E表示工作平面高度。

图3涉及到的相关尺寸数据如下<sup>[13]</sup>:操作员坐姿时的后部活动空间不得小于1000 mm,工作高度一般在700~1100 mm之间,最适宜的座位面高度在550~760 mm之间,坐姿脚部空间进深一般不小于530 mm,操作员在工作平面高度600~900 mm之间较舒服。

如图4为站姿情况下显控台相关尺寸示意图。

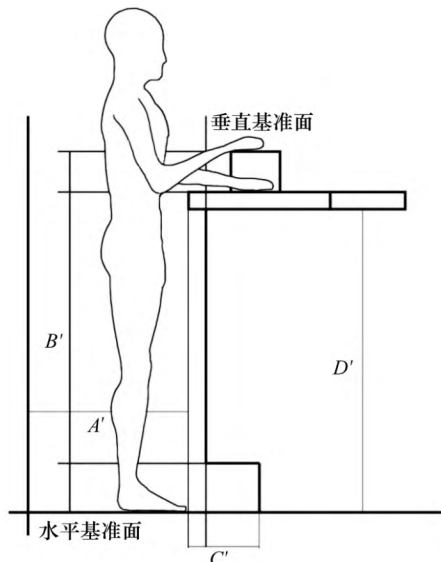


图4 站姿下操作显控台的尺寸示意图

注:资料来源于文献<sup>[13]</sup>。A'表示操作员站姿时后部活动空间,B'表示站姿工作相对高度,C'表示脚部空间进深,D'表示工作平面高度。

图4涉及到的相关尺寸数据如下:操作员站姿后部活动空间不得小于1000 mm,工作相对高度一般在850~1300 mm之间,脚部空间进深一般不小于150 mm,操作员站姿时工作平面高度在650 mm~1100 mm之间才最舒服。根据坐姿和站姿状态下操作员的工作尺寸,可以分析研究显控台的空间尺寸。

### 三、显控台操作员的生理及心理特性分析

#### (一) 显控台操作员的生理特性分析

在执行显控台的操作任务时,操作员的生理与心理特性对其工作效率和准确度的影响不容忽视。操作员是显控台操作过程中的行为主体,操作员通过视觉、听觉接受信息,经过大脑处理通过手、脚来操作显控台。而人的感觉具有有限度,低于下限难以感知到刺激,高于上限会出现不适和疲劳。

显控台操作任务中,半数以上的刺激要靠操作员的视觉进行获取,因此需要对人的视觉特性进行分析。视觉方面与显控台相关的指标主要有视野、距离、视觉疲劳等<sup>[14]</sup>。其中与显控台工作关系最密切的是视野,即眼睛所能观察到的区域,和视野表现关系最大的有眼睛的转动,眼睛运动速度和视线,根据这些因素可以将视野分为静、动、注视视野,静视野即头不动,眼睛静止时的可见区域,其中动视野的区域最大,但在操纵显控台与观看显示屏时,通常以静视野为分析的标准,因为在这种情况下视觉疲劳较少。

图5和图6是文献<sup>[16]</sup>关于雷达显控台的人机工程与造型设计研究中,研究者通过眼动实验绘制的人眼横向和纵向的静视野区域。

在显控台的操作过程中,操作员持续或不正确的操作方式会感觉疲劳、降低工作效率甚至造成失误,所以要针对操作员的生理特性进行显控台尺寸设计。

#### (二) 显控台操作员的心理特性分析

在显控台执行任务过程中,除了操作员的生理特性受影响造成不良的工作状态外,操作员心理方面的变化也会引起工作效能的降低和疲劳程度增加。这些心理疲劳主要来自人的精神层面,一般难以检测到相关指标的变化,所以除了适时地与显控台操作员保持沟通外,还需要从一些生理指标中提前观察到操作员的心理负担,事先对显控台或操作工作进行设计或调整。表2是陈华<sup>[8]</sup>研究显控台的造型设计与人性化设计时,发现的可测量的人体机能与心理负荷的关系。

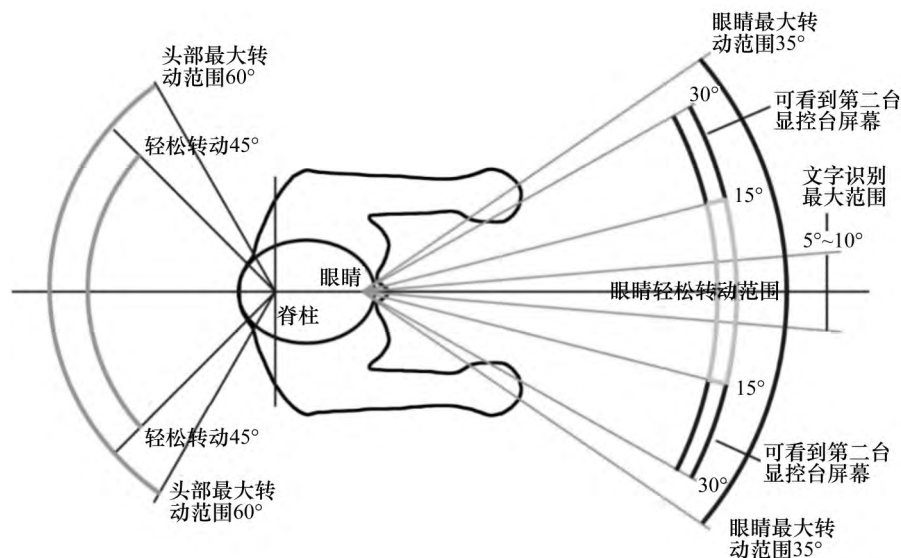


图 5 人眼横向静视野区域

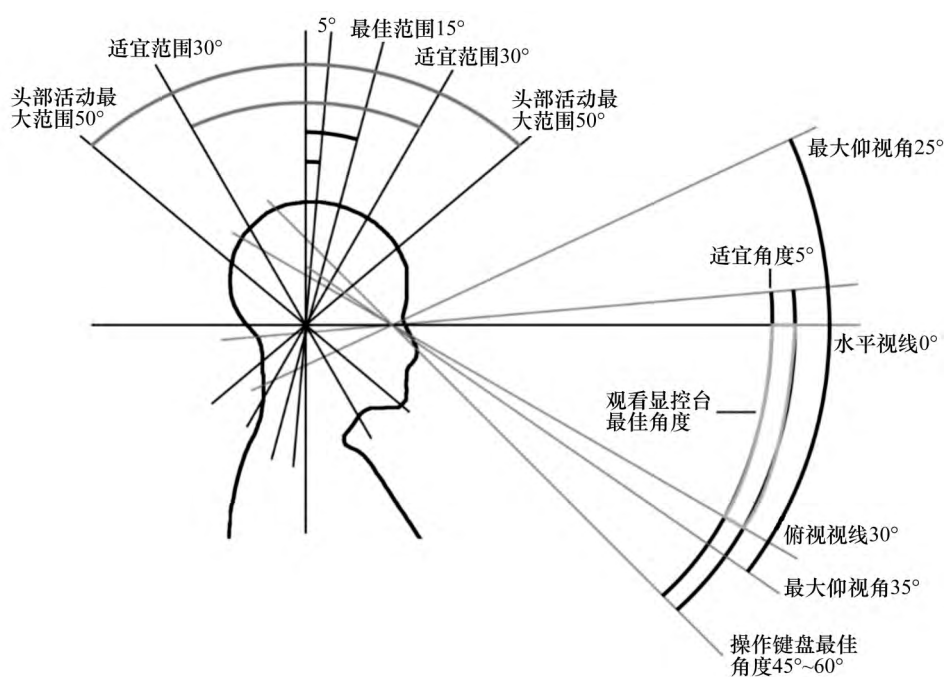


图 6 人眼纵向静视野区域

表 2 人体机能与心理负荷的关系

机能类型	测量项目	心理负荷	疲劳程度
循环系统	心电图	可测量,有反映	—
呼吸机能	呼吸中的氧气浓度	无反映	有影响
脑神经系统	脑电位图	可测量,有反映	—
视觉机能	眨眼	可测量,有反映	有影响
运动机能	肌电图	可测量,有反映	有影响
新陈代谢	体温	无反映	—

根据以上分析,可以了解心理疲劳在不同人体机能上是否会有所反映,根据相关生理指标的测量结果对操作员是否产生心理疲劳进行预测,从而对

显控台设计与任务安排进行相应的调整。比如,通过对眨眼的指标测量,可分析操作员处于疲劳或兴奋的状态。

#### 四、常用的人体工效学评价方法

获得显控台的人体工效学尺寸数据、操作员生理和心理指标测量数据之后,即可对显控台的人机工效学指标进行设计和评价,改善设计中不符合人体工效学的地方。进行人体工效学评价方法的研究,其主要目的是将人的舒适度、疲劳值这些感觉量通过定性定量的方法转化为可直观表达的数据以资比较,在有限的时间与成本约束下分析与评价采集显控台设计中最需要的数据。针对人体尺度、生理特性和心理特性等显控台设计的指标,比如人眼的注视时间、系统的工作负荷等,往往难以通过文献分析等方法得出,需要一些具有针对性的研究方法。以下总结了目前在显控台设计中一些常用的人体工效学评价方法。

##### (一)主观问卷调查法

主观问卷调查大致可以分为问卷调查和量表评价两种。其中,问卷调查是传统人体工效学评价最常用的方法,适用范围广,可以对各种定性的指标进行分析,不论是设计的便捷性、操作性,还是心理负荷、疲劳程度都可以通过问卷进行分析,它是获得主观评价最基础的一种方法。如美国兰德公司提出的德尔菲法,具有循环往复、统计群体意见的特点,是问卷调查方法中一种较为有效的研究方法。但问卷调查也存在一定的缺陷,比如,如何设置问卷才能采集到具有代表性的数据,被试的主观回答能否作为设计的标准,因此需要设计者对问卷调查方法和指标了如指掌。

一般的问卷调查对于定性研究比较有效,而显控台的设计中往往会涉及到定量指标,所以经常使用量表评价方法,主要有CH量表、SWAT量表和NASA-TLX量表等。这些量表通过问题设置对工作负荷程度进行分级,由被试对各项指标进行排序得出相关信息,因此适当地改动后可直接用于显控台设计中的人体工效学评价。

主观问卷调查法操作简单,实用性强,在人机工程学领域已经应用了30多年,可以有效提供被试的许多主观心理指标。但由于各种量表的标准不一,主观性过强,难以通过实验验证。

##### (二)实测实验法

对显控台操作员在执行任务时的各项生理特性需要专门的设备进行检测。除了通过心电仪等测试普通的生理特性如视野、心跳、脉搏等,针对显控台特殊的实验需要,市场上已有较多专业的实验仪器,

如眼动仪和脑电仪。随着眼动及脑电等特殊实验的逐步成熟,市场上的眼动仪和脑电仪功能越来越强大,规格更小巧,同时对被试的侵入性也在减少,逐渐成为模拟实验的主要设备。

##### (三)模拟器实验法

建立实物模型器进行实验测评是设计研究中常用的方法之一。在基本完成产品设计或为了使被试的主观感受更贴近真实时,设计者往往会对设备各部件进行模型设置,在研究被试反应时间、工作效率与疲劳时间有较明显的效果。

##### (四)计算机数值仿真法

以前人体工效学评价采用真人操作实物模拟的样机进行测评,耗费时间精力,最终效果往往实用性不够。近年来,结合3D建模与虚拟评价软件进行基础的人体工效学评价能够快速发现设计的缺点,可以节省设计的时间和精力,有效降低经济成本。如图7为犀牛软件建模后在JACK软件中进行人体工效学测试的示意图。

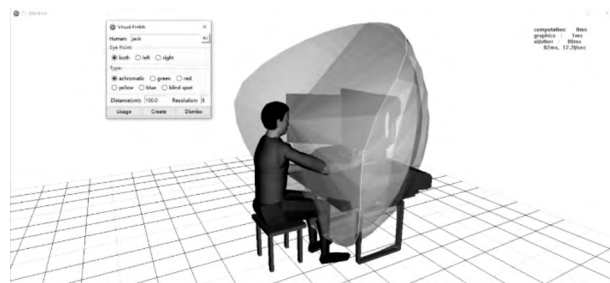


图7 人体工效学仿真软件JACK的模拟界面

人体工效学运用软件进行虚拟仿真一般基于两种模型:一是显控台的3D模型,二是操作员的人体模型。将这两种数字模型导入CATIA或JACK等虚拟评价软件,可以有效地处理设计中操作员受力分析、视觉区域和操作范围等指标。随着3D打印等技术的成熟,虚拟仿真后期可以与实物仿真有效结合,更加全面、有效地评价设计方案。

##### (五)数学模型分析法

显控台的人体工效学评价涉及到各要素指标的布局、权重等问题,因此统计学方法可以应用到显控台设计中,结合主观评价的德尔菲法可以有效地对显控台设计的各要素进行排序和评价。许多人体工效学研究的文献涉及到数学模型的,在显控台设计中可采用的数学模型主要有三种。

###### 1. 生物力学模型

生物力学模型主要利用数学模型来建立人机连接部分,将人体的关节和四肢视为机械中的杠杆,利用工效学原理来研究其受力情况,对操作员工作状

态进行分析<sup>[23]</sup>。

### 2. 模糊评价模型

模糊评价模型可以通过建立评价矩阵,对需要研究的多种因素进行全面评价,建立模糊集合表示最终的评价结果,加入权重概念得出显控台的多级评价模型,一般采取由低级的模型开始,逐渐向上进行直到最高层。

### 3. 灰色关联评价模型

灰色关联评价模型在人体工效学的评价中应用也非常广泛,它可以通过设计方案建立的数据与标准数据的比较判断其关联程度,分别建立线形图,两者的线形越接近,说明设计方案的设计越接近设计标准。对于显控台这一类有严格尺寸规格的产品设计来说,灰色关联评价数学模型有很多用途和使用方法<sup>[5]</sup>。

以上三种数学模型可以应用于不同的情形。当实验有固定标准时,可以采用模糊评价模型和灰色关联评价模型来测试设计方案与设计标准的相似度;当实验没有设计标准时,可以利用生物力学模型来测试工效学角度上设计方案的受力和表现,进行主观评价。

人体工效学的评价方法是基于人体工效学的显控台设计的核心部分,方法种类繁多,且各有侧重。由于人机评价的过程繁琐且主观性强,目前还没有一种方法能够全面、方便地对设计进行评价,所以需要针对设计的侧重点选取合适的方式进行有效的工效学评价。

## 五、结 论

对于新一代显控台产品设计,除了传统的设计方法外,还要加入更多人体工效学方法,将工效学理念融入显控台检测、设计、评价的整个设计流程。本文结合相关文献中的人体工效学尺寸,对显控台设计的人体工效学内容进行梳理,并对显控台相关尺寸数据和操作员的生理心理特性进行了总结。此外,本文在现有研究的基础上梳理出了显控台设计的人体工效学评价实验方法,包括:主观问卷调查法、实测实验法、模拟器实验法、计算机数值仿真法、数学模型分析法;其中常用的数学模型有生物力学模型、模糊评价模型、灰色关联评价模型。本文虽有一定的研究广度,但研究深度不足,在以后的研究中,将通过具体的显控台设计方案和指标测试来对人体工效学进行深入分析,使研究方法和结论更加实用和有针对性。

## 参考文献:

- [1] 顾金良,李敬东.舰艇多功能显控台的未来发展展望[J].仪表技术,2011,11(7):60-63.
- [2] 滕克难.舰空导弹通用化显控台设计与工程实现[J].弹箭与制导,2007,27(4):236-239.
- [3] 孙帆.机载碳纤维显控台的设计研究[D].南京:南京理工大学,2013:67-68.
- [4] 沈张帆.基于风格意象的机柜辅助设计系统研究[D].南京:东南大学,2013:49-53.
- [5] Alan H S. Synchronous and asynchronous presentations of auditory and visual signals: Implications for control console design [J]. Applied Ergonomics, 2006, 37(4): 131-140.
- [6] 许建平,曹宁生.国外舰艇多功能显控台的现状和发展趋势[J].舰船电子工程,2008,28(7):1-3.
- [7] 中国知网.显控台计量可视化分析报告[EB/OL].(2018-09-28) [ 2018-09-28 ]. <http://kns.cnki.net/kns/Visualization/VisualCenter.aspx>.
- [8] 陈华.固定式显控台的造型设计与人性化设计研究[J].新技术新工艺,2013(1):73-76.
- [9] 李文志,于扬.基于人机工程学的机载显控台结构设计[J].电子机械工程,2010,26(4):28-30.
- [10] 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,2012:76-77.
- [11] Wang L, Wei X, He X, et al. The virtual evaluation of the ergonomics layout in aircraft cockpit[C]// IEEE, International Conference on Computer-Aided Industrial Design & Conceptual Design, 2009. IEEE, 2010: 1438-1442.
- [12] Hall K, Weaver M, Surtan N, Melissa W. Usability testing of console components: Trackball, number entry, and gross navigation [J]. Proceedings of the Human Factors & Ergonomics Society Annual Meeting, 2006, 50(5): 704-708.
- [13] 刘社明,王小平,陈登凯,等.基于 JACK 的驾驶舱仿真及人机工效分析[J].计算机与现代化,2013,8(11): 46-50.
- [14] 乔媛媛.人机交互技术在舰船综导显控台中的应用研究[D].哈尔滨:哈尔滨工程大学,2013:83-85.
- [15] Weaver M, Burton N, Hall K, et al. Supporting the navy sailor through console design[J]. Proceedings of the Human Factors & Ergonomics Society Annual Meeting, 2006, 50(24): 2590-2594.
- [16] 唐明,薛澄歧.雷达显控台的人机工程与造型设计研究[J].包装工程,2009,30(9):123-125.

(责任编辑:陈丽琼)