

基于 JACK 的多屏显控台人机工程设计与优化

侯爱军

中国电子科技集团公司第三十八研究所，国家级工业设计中心 安徽合肥

【摘要】研究的目的是：为提升操作员使用多屏显控台的效率和人机交互体验，利用 JACK 仿真模块进行了详细的人机工程分析和设计优化。研究的方法：首先对操作员的操作姿态和显控台模块的布局进行仿真建模，随后结合人机工程学理论对多屏显控台进行系统性设计、校核与评估。研究的结果：优化后的显控台在作业空间、视野范围、维修空间及操作范围等关键指标上均满足国家军用标准，同时显著改善了操作员的舒适度。研究的结论：JACK 不仅提供了精确的人体工程数据，还通过直观的校核方法为多屏显控台设计提供了科学依据^[1]，控制台人机工效评估始终贯穿设计全流程，通过“设计—仿真—设计”的循环验证方式，明确人因设计输入，及时更正人因设计误差，为最终基于人因工程的控制台设计输出提供设计支撑^[2]。有效弥补了传统设计中的不足，为人机交互复杂系统的显控终端设计提供了有益参考。

【关键词】JACK；显控台；人机工程；设计校验

【收稿日期】2025 年 11 月 6 日

【出刊日期】2025 年 12 月 30 日

【DOI】10.12208/j.jer.20250403

Human engineering design and optimization of JACK's multi-screen display and control console

Aijun Hou

China Electronics Technology Group Corporation 38th Research Institute, National Industrial Design Center, Hefei, Anhui

【Abstract】 Objective of the Study: To enhance the efficiency of operators using multi-screen display and control consoles and improve the human-computer interaction experience, a detailed ergonomics analysis and design optimization were conducted using the JACK simulation module. Methodology: Initially, simulation modeling was performed for the operator's posture and the layout of the display and control console modules. Subsequently, systematic design, verification, and evaluation of the multi-screen display and control console were carried out in conjunction with ergonomics theory. Results: The optimized display and control console meets national military standards in key indicators such as working space, field of view, maintenance space, and operational range, while significantly improving operator comfort. Conclusion: JACK not only provides precise ergonomics data but also offers a scientific basis for the design of multi-screen display and control consoles through intuitive verification methods^[1]. The ergonomics evaluation of the console runs throughout the entire design process, employing a "design-simulation-design" cycle verification approach to clarify human factors design inputs, promptly correct human factors design errors, and provide design support for the final human factors engineering-based console design output^[2]. This effectively addresses the shortcomings of traditional design and provides a valuable reference for the design of display and control terminals in complex human-computer interaction systems.

【Keywords】JACK; Display console; Human Machine engineering; Design verification

引言

针对现有显控台存在造型设计同质化、操作体验不佳、工作效率低下等问题，同时为了提高显控台研制过程中的设计迭代效率，提出一种基于 JACK 仿真评价辅助设计的显控台人机工效设计方法。在结构初步

设计阶段，根据相关设计约束确定显控台尺寸，利用 PROE 建立初版数模，将数模导入 JACK 分析软件中，并选用不同百分位数人体模型模拟操作员的标准工作姿态，对其开展视野分析、可触及范围评价、舒适性测评、上肢快速评估（RULA）以及维修性分析，指出了

作者简介：侯爱军（1996-）男，硕士，工程师，安徽合肥，中国电子集团科技公司第三十八研究所，研究方向为工业设计、人机工程。

显控台布局设计中的人机工程问题,从显控装置结构布局、交互设备布局、脚踏等部件的人机尺寸等方面提出改进建议,并根据数字化仿真评估结果优化相关设计。该设计方法可提高显控台人机工效的合理性,为后续详细设计奠定基础。

1 人机仿真及优化流程

JACK 是一款集三维仿真、虚拟人体建模、人因工效分析等主要功能于一体的仿真软件^[3]。本文主要通过 JACK 对多屏显控台使用过程进行仿真,首先调整显控台模型尺寸结构与布局并完成显控台模型和数字人模型仿真环境搭建,随后开展人机工程仿真检验与分析,评估其使用过程中的可视、可达域与舒适度等维度的合理性,以验证初始设计的显控台数字人在进行工作维修时姿态是否在舒适范围内,并对现有人机工程问

题开展方案溯源与优化。

2 显控台人机尺寸设计

设计显控台时需要留给操作人员足够的活动空间,以避免操作人员长时间保持一个姿势而引起疲劳^[4]。根据国军标 GJB2873-1997 第 5.7.3.2 条规定,显控台面工作范围应满足四肢活动范围,垂直作业域应在坐姿上肢可达域内,显控台台面高度应不低于 700 毫米,深度应大于 400 毫米,底部空间高度需大于 640 毫米。同时,水平作业域宽度须大于操作者两肘间距,并保证足够的膝部容纳空间。为了保证作业人员拥有最佳视野范围,上下显示屏各倾斜 10° ,操作人员垂直面内舒适视野范围最大视角 105° ,最佳视野范围 66° 和主要视野范围 30° 均符合国军标要求,具体尺寸设计如图 1 所示。

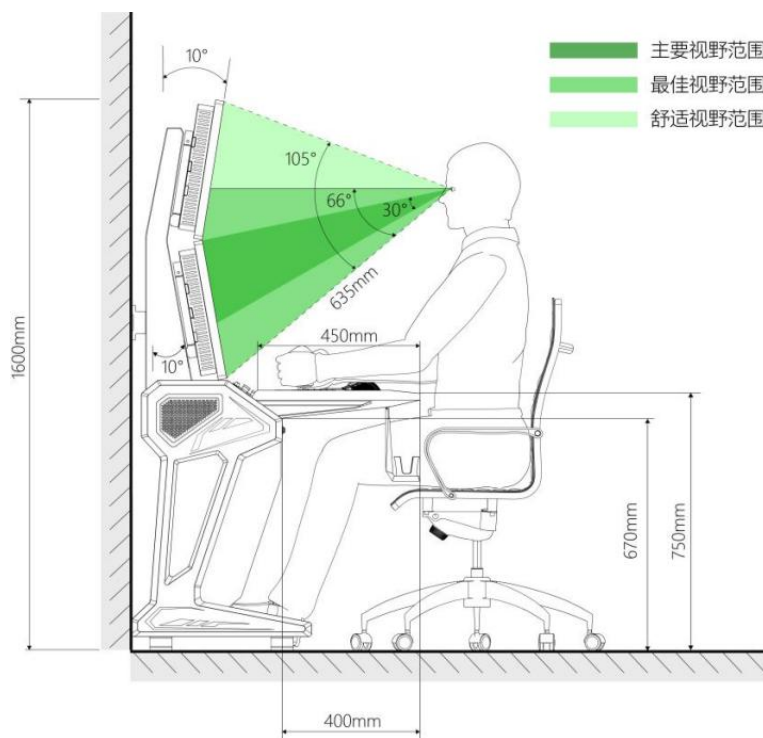


图 1 显控台人机尺寸设计

3 人机工程仿真评价

JACK 软件之所以在数字人模型仿真软件中占有主导地位,其主要原因是软件通过运动学算法和生物学算法本身可以自定义业界最精确的人体生物学模型以及准确编辑数字人模型身体的各个尺寸^[5]。其中包含欧美、亚洲等主要工业强国的三维人体测量数据库^[6],可以为仿真任务提供不同性别、各个尺寸的精确的数字人模型,同时独特的生物学算法可以将数字人模型调整为最为真实的仿真姿态。

3.1 创建数字人模型

在 JACK 软件中,可生成具有第 1、5、50、95 及 99 百分位身高或体重的男性与女性人体模型,此外还能够对数字人 26 个部位的尺寸和 25 个关节的角度进行修改以建立精确尺寸的数字人模型^[7]。为创建更为准确的中国人的实际身材尺寸,本文参照国军标 GJB2873-1997 中人体测量数据,在 JACK 仿真软件中导入装备及设备的数字模型,依次创建第 5 分位(身高 162.9cm,体重 50kg)、第 50 分位(身高 169.2cm,

体重 60kg)、第 95 分位(身高 178.3cm, 体重 75kg)中国男性人体模型作为评估主体人员, 通过调整人体模型对应身体姿态, 开展维修及操作任务仿真及分析。

为了更好地进行人机工程仿真评估, 在 JACK 软件中将显控台与各典型体型操作员的数字模型进行匹配, 确定操作员作业时的关键姿态^[8]:

(1) 操作 A: 左手与右手交替敲击键盘, 同时双眼注视屏幕输入区;

(2) 操作 B: 左手支撑台面, 右手操作任务区, 双眼注视交互屏幕;

(3) 操作 C: 左手支撑台面, 右手操作按键, 视线跟随右手动作。

3.2 仿真评价内容

(1) 可视域评估

显控台显示器区域的设计应考虑人员对显示器的观察视距是否合理。通常情况下, 视距在 560mm 处最为舒适, 视距不足 380mm 时会产生晕眩, 超过 760mm 时则看不清细节内容。上屏标准视距为 580mm, 下屏标准视距为 630mm, 上下屏均不满足国军标 GJB2873-1997 中关于人眼与显示屏视角之间的关系, 尤其下屏视距过大, 视野清晰度较差。

使用第 50 百分位数字人体模型模拟操作 A, 在水平台面边缘上方设置参考眼位点, 将人体模型两眼瞳孔的水平中心点移动至该眼位点, 并基于 560mm 舒适视距生成 70° 圆锥角的视锥体^[9]。视锥可覆盖双屏主要区域, 满足基本视野需求, 但屏幕四周信息无法完全覆盖。

(2) 可达域评估

采用第 5 百分位数字人模型仿真操作 B 与 C, 并生成右手可达包络面。操作 B 仿真结果显示, 该包络面可覆盖下屏按键区域、右侧任务编辑键以及中控屏等区域, 坐姿状态下, 操作员可触及所有显控按键, 可达性符合要求。模拟操作 C 中, 右手只能覆盖上下屏部分按键区。

(3) 舒适度评价

运用舒适度评估工具分析各关节舒适性是否达标。采用第 50 百分位数字人模型分别仿真操作 A 与 B, 测量关节角度, 重点记录双侧上臂及肘部弯曲等 4 项上肢数据, 并参照 Porter 数据库标准进行比对, 舒适性分析工具评价结果的数值越接近 0 表明舒适性越高, 反之, 则舒适性越低。结果显示作业人员在使用台面斜岛区域任务编辑区时, 右上臂弯曲、右肘部弯曲合格, 左手关节的舒适度不合格。

4 设计方案优化

4.1 方案布局改进设计

根据初版设计评估结果, 提出以下优化建议:

(1) 为了视锥体可覆盖上下显示屏全部显示面积, 应加大上下屏倾斜角度;

(2) 为提升维护便捷性, 在保证容膝空间的前提下, 增加下台体空间设计, 将机箱位置向下扩充。

(3) 为扩大上肢的操作空间, 减少斜岛区域任务编辑区的倾斜角度, 将编辑按键、旋钮、中控屏安装在离操作员更易操作的位置。优化设计过程与最终方案展示。

4.2 优化后的方案仿真验证

将优化后的显控台模型导入 JACK 并搭建仿真环境, 按 3.2 小节方法进行以下分析:

(1) 可视性评估显示, 调整双屏倾角后, 在 560 毫米视距与 70° 视锥下可完全覆盖显示区域, 操作员无需改变姿态即可查找和观察信息。

(2) 可达性评估中, 在限定肩带后模拟操作 B 与 C, 生成右手的可达域包络面。在模拟操作 B 过程中, 右手可达域可以覆盖斜岛任务编辑区、中控屏等设备, 减少斜岛区域任务编辑区的倾斜角度后, 可达域仍满足要求; 模拟操作 C 中, 右手可以覆盖上下屏全部按键区。

(3) 舒适性分析显示, 经模拟操作 A 和 B, 各关节角度偏差均降至黄色标线内, 数值条呈绿色, 舒适性良好。

(4) 对优化后的仿真环境进行快速上肢评估 (RULA), 模拟操作 A 和 B 时总分均下降 1 分, 表明多数用户操作该显控台时上肢劳损风险降低。

对比初版设计方案, 调整优化后的设计方案在可视性与可达性指标更符合人机工效设计要求, 同时兼顾了下台体容膝空间与维修空间, 肢体各部位的舒适度在可接受范围内, 满足人因工程的舒适性设计要求。

5 结论

本研究基于人机工程学理论, 采用 JACK 软件对显控台操作人员的多种作业姿势进行仿真分析, 重点评估其可达性、可视性和舒适性。仿真结果表明, 经过改进设计后, 操作人员的工作姿势舒适性显著提高, 整体工作效率也得到提升。本方法在产品初期设计阶段引入, 可有效考虑用户需求, 确保人机工程设计要求的实现, 从而减少后续设计迭代成本。该研究为多屏显控台的高效、舒适设计提供了参考依据, 同时也为设计人员在验证和评估类似产品时提供了有价值的参考。

参考文献

- [1] DK 公司远程监控系统的工效学分析赵义格-《燕山大学硕士论文》-2018-05-01
- [2] 侯爱军,张亚玓,戴伟.基于人因工程的多屏一体化控制台设计研究[J].工业设计,2022,(12):31-33.
- [3] 朱桐,宋端树,张善超,等.基于 Jack 的老年电动代步车人机工程设计与优化[J].包装工程,2024,45(04):107-114.
- [4] 某车载显控台的结构设计与人性化设计秦沛阳;-《机械》-2017-01-25.
- [5] 陈蔡山林.基于视觉和可达性的单兵系统人机工效研究[D].南京理工大学,2017.
- [6] 基于人因工程仿真的智能天车操作手柄设计张玉-《湖南大学硕士论文》-2023-04-26
- [7] 基于视觉和可达性的单兵系统人机工效研究陈蔡山林-《南京理工大学硕士论文》-2017-03-01
- [8] 李博,任重熙,刘玉荣,等.基于 Jack 与 NSGA-II 的井下工程机械人机布局优化设计[J].机械设计,2025,42(10):211-217.
- [9] 基于数字建模的机载显控台人机工效设计王环;陈慧娟;李晓东;庄迁政;-《第五届中国航空科学技术大会论文集》-2021-11-09

版权声明：©2025 作者与开放获取期刊研究中心(OAJRC)所有。本文章按照知识共享署名许可条款发表。

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

