

# 基于Jack的自行式C型房车人机工程仿真研究

呼东龙<sup>1</sup>, 林 丽<sup>2</sup>

<sup>1</sup>贵州大学现代制造技术教育部重点实验室, 贵州 贵阳

<sup>2</sup>贵州大学机械工程学院, 贵州 贵阳

收稿日期: 2022年5月9日; 录用日期: 2022年6月13日; 发布日期: 2022年6月20日

## 摘 要

为提升房车旅行时乘客起居和休息过程中的舒适度, 通过对乘客在房车居住舱内的行为活动进行分析, 确定乘客行为活动的典型姿势和人机工程分析维度。以人机工程分析软件Jack为工具, 通过构建自行式C型房车三维模型和乘客数字人体模型搭建房车居住舱虚拟仿真环境。通过模拟房车乘客日常行为活动, 进行舒适度、可达域和通过性分析, 以发现房车居住舱空间布局设计存在的问题, 并提出优化改进建议。改进后提升了房车居住舱的舒适度和安全性, 为房车居住舱的空间布局设计提供依据。

## 关键词

房车, 人机工程, Jack, 虚拟仿真, 舒适度

# Research on Ergonomics Simulation of Self-Propelled C-Type RV Based on Jack

Donglong Hu<sup>1</sup>, Li Lin<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Key Laboratory of Advanced Manufacturing Technology of the Ministry of Education, Guizhou University, Guiyang Guizhou

<sup>2</sup>School of Mechanical Engineering, Guizhou University, Guiyang Guizhou

Received: May 9<sup>th</sup>, 2022; accepted: Jun. 13<sup>th</sup>, 2022; published: Jun. 20<sup>th</sup>, 2022

## Abstract

In order to improve the comfort of passengers during their daily life and rest during RV travel, the typical postures and ergonomic analysis dimensions of passengers' behavior and activities were determined by analyzing the behavior of passengers in the RV living compartment. Using the er-

gonomic analysis software Jack as a tool, a virtual simulation environment of the RV living cabin is built by constructing a three-dimensional model of a self-propelled C-type RV and a passenger digital human body model. By simulating the daily behavior and activities of RV passengers, the comfort, reachable area and passability are analyzed to find out the problems in the layout design of the RV living compartment, and propose optimization and improvement suggestions. The improvement improves the comfort and safety of the RV living cabin, and provides a basis for the spatial layout design of the RV living cabin.

## Keywords

RV, Ergonomics, Jack, Virtual Simulation, Comfort

Copyright © 2022 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

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



Open Access

## 1. 引言

近年来, 随着人们旅游度假理念由传统观光型逐步向自由、休闲、融入式的深度旅游转变[1], 房车旅行因其自由度高、方便快捷、体验好等优势迅猛发展。房车融合房与车的主要功能特点[2], 为旅行者的出行、休息、生活和观光提供便利。房车旅行成为一种全新的旅居体验形式, 越来越受到人们的追捧, 作为房车旅行的载体, “房车”近年来也发展迅速。中国房车起步于 2000 年, 直至 2007 年中国房车保有量也仅有一千余台, 随着居民收入水平提升、旅行观念转变以及房车相关技术的发展, 到 2021 年底, 中国房车保有量已达约 19 万辆[3]。未来, 受到新冠疫情、人口老龄化和房车营地不断完善的影响[4] [5], 房车仍具有广阔的市场潜力。

房车是旅行者旅途中“移动的家”, 要能够满足旅行者衣、食、住、行、娱乐等需求[6]。因此, 房车不仅要能够保证旅途中的安全性, 也要满足旅行者起居和休息时的舒适性需求。目前, 市场上已经推出许多房车产品, 这些产品一般选用较为成熟的底盘作为基础, 例如依维柯、大通、福特等卡车或商务车底盘, 基本能够保证旅途中的行车安全性。而房车居住舱则由各房车厂家自行设计, 但由于设计规范模糊、销售宣传需求、市场竞争压力等因素, 房车厂家往往在狭小的居住舱空间内添加过多功能模块, 缺乏从实际居住者和人机工程学的角度考量, 导致居住舱空间布局合理性差, 不能有效满足旅居者居住的舒适性需求。

人机工程学是一门以心理学、生理学、解剖学、人体测量学等学科为基础[7], 从人的身体构造和心理、生理特点出发设计人-机-环境系统, 以达到人-机-环境系统的和谐。人机工程学已经在汽车、工程机械、航空航天等多个领域广泛应用[8], 其中许多学者运用 Jack 虚拟仿真系统对多种场景展开人机工程分析。例如, 刘李明[9]等运用 Jack 软件对游船驾驶舱的可视域、可达性和舒适性进行分析, 基于分析结果对驾驶台显控部件布局、座椅尺寸等提出改进意见, 提升了驾驶室的易操作性和舒适度。周艾[10]等从工业搬运车作业时的安全性出发, 结合 Jack 软件对驾驶员的静态强度、舒适度等进行仿真分析, 并提出驾驶室的优化方案。李晓英[11]等结合 Jack 仿真和有限元分析法, 对手术转移床进行人机系统分析并进行改进设计, 提升了手术转移床操作的舒适性与安全性。

鉴于上述背景和原因, 本文通过对房车居住舱内乘客主要活动的行为分析, 明确影响乘客舒适度的关键姿势和分析维度。结合 Jack 软件对房车居住舱舒适度、可达域和通过性进行人机仿真分析研究, 并提出相应的改进意见, 从而指导和优化房车居住舱的设计, 提升乘客的居住体验。

## 2. 房车居住舱乘客行为分析

房车居住舱是乘客起居和休息的主要活动空间[12], 乘客在房车居住舱内的行为涉及多个方面, 本文以发生频率高和舒适度要求强为标准, 选取最能代表房车居住舱生活的几项行为展开分析, 包括卡座沙发就坐、上下额头床、额头床上物件取放、储物仓存取物品、居住舱的进出以及舱内行走。通过分析上述乘客在居住舱内行为活动的动机和过程, 从而确定各项行为的人机工程仿真要素和典型姿势。

### 1) 卡座沙发就坐

房车居住舱内的卡座沙发是乘客使用频率较高的区域, 乘客就坐在卡座沙发上进行休息、阅读、就餐等各项活动, 就坐时的舒适度非常影响乘客的体验, 因此针对该活动展开舒适度分析。卡座沙发就坐主要为静态行为, 典型姿势为乘客端坐在卡座沙发上。因此, 卡座沙发的表面高度、进深、两沙发之间的间距设计是否符合乘客坐姿时的身体尺度需求都是影响乘客就坐舒适度的重要设计要素。

### 2) 上下额头床

额头床是睡觉和休息的主要区域, 乘客每天都需要通过爬梯上下额头床。因此, 额头床爬梯的设计能否保证乘客舒适和轻松地上下额头床, 影响着房车居住舱的居住体验。针对乘客上下额头床进行动态仿真, 并选取上下额头床过程中的爬梯和下梯 2 个典型姿势进行舒适度分析。

### 3) 额头床上物件的取放

由于房车居住舱内面积有限, 额头床在非就寝时间也是重要的物品存放区域, 从额头床上取放物品也是一项高频活动。该活动为动态活动, 乘客需行走至额头床前, 取下或放置物品到额头床上, 额头床应该满足乘客的手部上举操作域的需求。因此, 针对此项行为展开可达域的分析。

### 4) 储物仓存取物品

房车行驶过程中的颠簸导致大量生活用品必须存储于带有卡扣的储物仓内, 日常生活中乘客需要常常从储物仓中存取物品。储物仓主要排列于房车居住舱侧边墙面高处, 存取物品时对于乘客的手部上举操作域有一定的要求。因此, 针对从储物仓存取物品展开可达域的分析。

### 5) 居住舱的进出

房车居住舱主要是从侧面舱门进出, 房车底部距离地面有一定的距离, 进出居住舱需要上下两节台阶。同时, 居住舱舱门一般也较为狭窄, 是否可以让各种体型的乘客顺利进出尤为关键。因此, 针对此活动需评估居住舱舱门的通过性和进出舱门的舒适度。

### 6) 舱内行走

该活动为动态姿势, 需评估卡座沙发与墙面之间通道的宽度、卫生间于厨房区域通道的宽度以及进出卫生间内部活动是否满足乘客站姿、行走时的空间尺寸需求。

## 3. 基于 Jack 的人机工程仿真分析

基于 Jack 的人机工程仿真分析主要分为三步, 首先需要明确仿真分析的对象, 在三维软件中构建分析对象的三维数字模型, 本文中即为房车居住舱三维模型。其次, 根据仿真主体的实际情况, 构建数字人体模型, 即构建房车乘客的人体模型。将上述两个模型导入 Jack 软件中, 共同构成虚拟仿真环境。之后, 基于房车居住舱乘客行为分析结果, 对乘客在居住舱内各项活动的舒适度、可达性和通过性展开分析。房车居住舱人机工程仿真分析流程如图 1 所示。

### 3.1. 房车乘客人体模型创建

Jack 软件具备强大且成熟的数字人体库模型[13], 可以提供准确的人体生物学模型, 根据模拟仿真实验的需求可以直接在 Jack 软件中进行人体模型创建。本研究主要聚焦于中国房车的设计与研发, 中

国房车车主年龄层次主要集中于 30~50 岁[14]。因此, 本次仿真实验以 Jack 软件所提供的中国人体模型库为基础, 选用女性第 5 百分位和男性第 95 百分位的人体模型进行仿真分析, 人体模型和参数设置如图 2 所示。

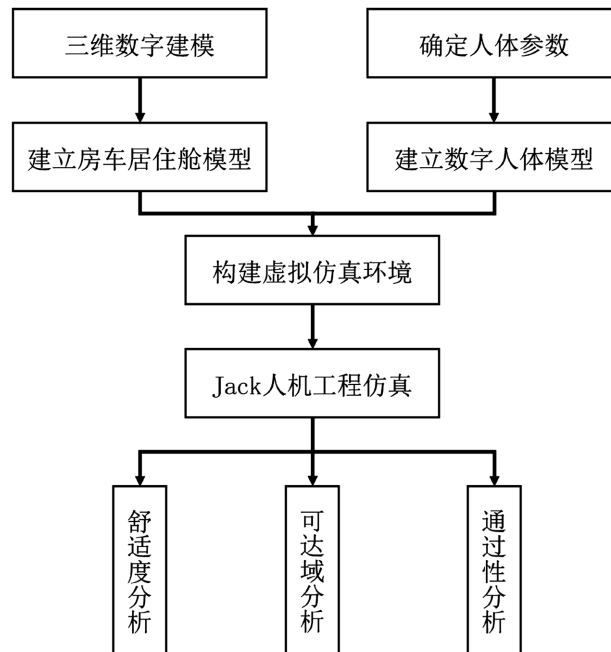


Figure 1. Ergonomic simulation analysis flowchart  
图 1. 人机工程仿真分析流程图

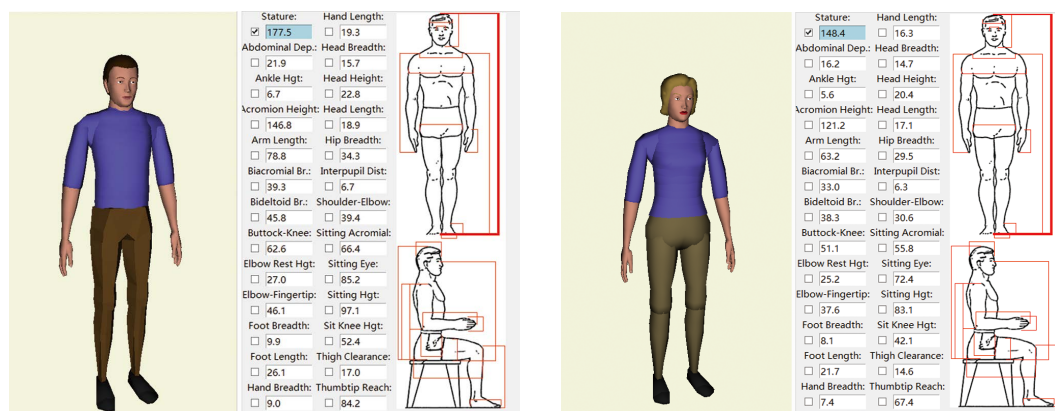


Figure 2. Human body digital model and parameter settings  
图 2. 人体数字模型和参数设置

### 3.2. 房车居住舱三维模型的构建

房车主要分为自行式房车和拖挂式房车, 目前, 自行式房车占据国内房车保有量的 92.3%。自行式房车是指本身具有机动性, 可依靠自身牵引力前进行驶的房车[15]。如图 3 所示, 根据功能设计和外观特点的不同, 自行式房车又可分为 A 型房车、B 型房车和 C 型房车[16]。其中 C 型房车保有量是自行式房车里最高的, 占据自行式房车保有量的 73.2%。因此, 本文选用最具有代表性的自行式房车 C 型作为研究的样本。



Figure 3. Comparison chart of self-propelled RV

图 3. 自行式房车对比图

本文选取市场上热销的某 C 型房车作为研究目标, 根据厂商提供的相关设计图纸和尺寸, 运用 3Dmax 进行会客厅、卫生间、厨房区、额头床、驾驶舱等模型的构建。将房车居住舱模型存储为 .stl 格式文件导入到 Jack 软件中。最终, 将房车居住舱模型与经过姿态调整的数字人体模型组合, 共同构成房车居住舱虚拟仿真环境, 如图 4 所示。

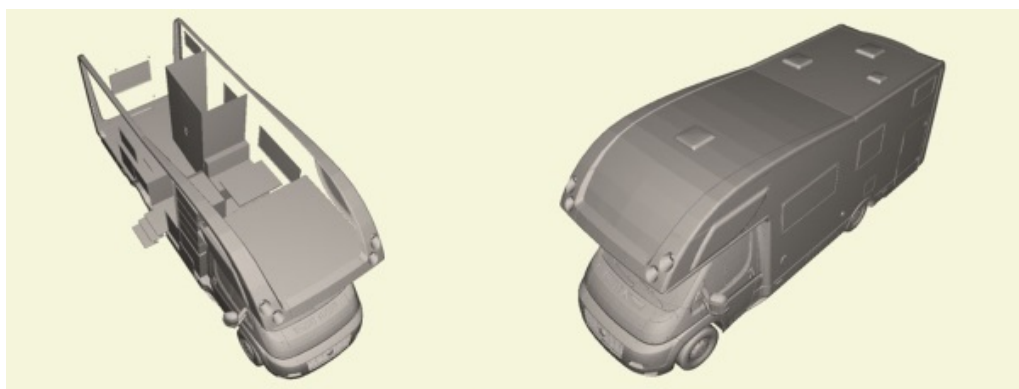


Figure 4. Virtual simulation environment of RV living cabin

图 4. 房车居住舱虚拟仿真环境

### 3.3. 舒适度分析

舒适度分析[17]通过数字人在特定姿势下的舒适值与参考值范围的比较, 从而判断数字人的舒适程度。本文采用 Krist 模块分析舒适度, 分析结果以图表的形式呈现, 数据条左边为各关节名称, 右边“Rating”值为舒适度值, 表示各关节在特定姿势下的舒适度。“Comfort”值为当前姿势总体舒适度值。“Fatigue”值为在当前姿势总体疲劳程度。各关节舒适度值显示低于“40”时, 表明人体的舒适度在合理的范围内, 当舒适度值超过“40”时, 表明人体明显感到不舒适。房车居住舱需要进行舒适度分析的行为活动主要包括从爬梯上下额头床、卡座沙发就坐以及居住舱的进出。因此, 本文选取爬梯和下梯、端坐卡座沙发、登上舱门楼梯四个典型姿势对三项活动展开舒适度分析。

卡座沙发是房车居住舱内乘客工作、吃饭和坐下休息的主要区域, 乘客要长时间的在卡座沙发就坐, 就坐的舒适度直接影响整个房车生活的体验。如图 5 所示, 卡座沙发整体就坐舒适度高于 40, 疲劳度也高于 40, 乘客就坐时总体来说不够舒适。臀部和背部的舒适度数值均超过 30, 是影响舒适度的主要因素。

额头床是房车居住舱内唯一的睡觉区域, 乘客每天都需要通过爬梯上下额头床, 上下爬梯过程中的舒适度非常重要。选取爬梯和下梯两个典型姿势进行舒适度分析。如图 6 和图 7 所示, 爬梯的总体舒适度和疲劳度均处于 40~50 之间, 处于较不舒适的区间, 但考虑到爬梯作为动态活动会对舒适度产生一定的影响, 所以总体来说爬梯过程是较为舒适的。下梯的总体舒适度和疲劳度均远高于舒适度中位数, 表明下梯的过程极为不舒适。

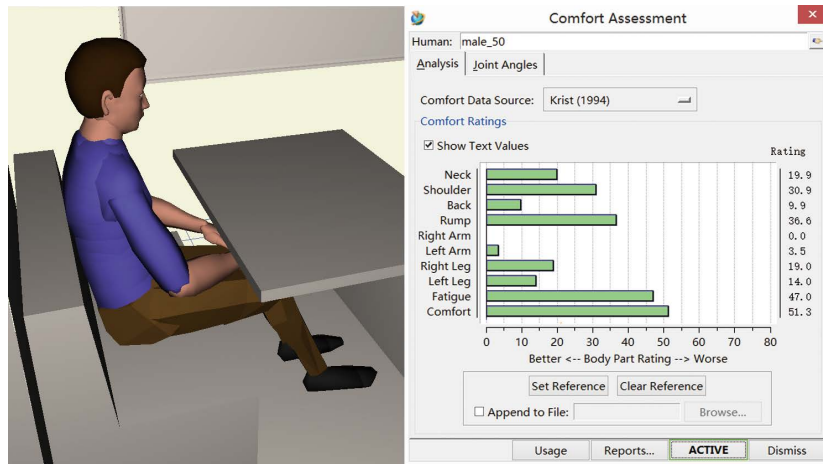


Figure 5. Comfort analysis of the cardseat sofa  
图 5. 卡座沙发的舒适度分析

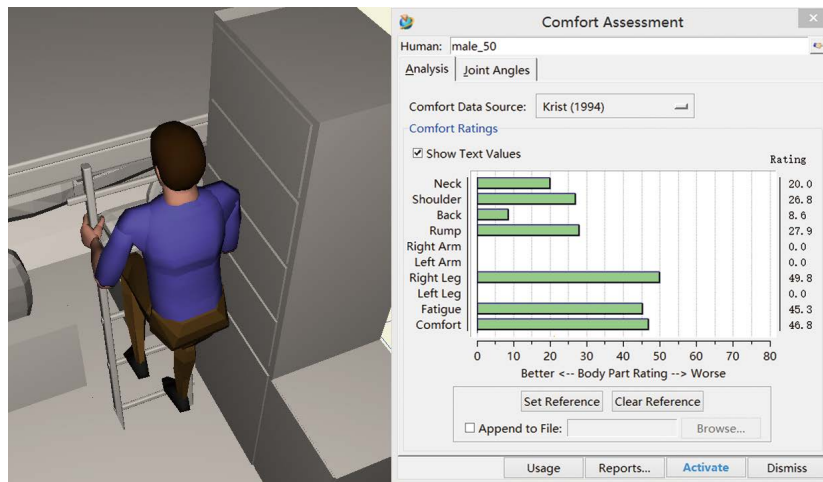


Figure 6. Comfort analysis of climbing stairs  
图 6. 爬梯过程的舒适度分析

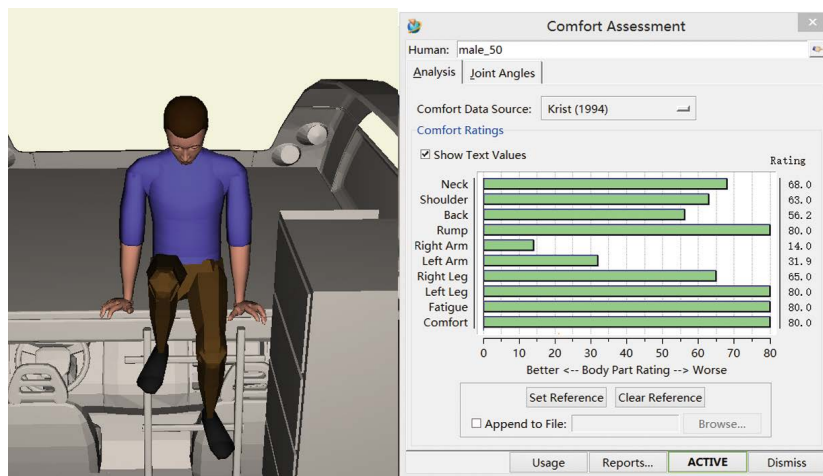


Figure 7. Comfort analysis of descending stairs  
图 7. 下梯过程的舒适度分析

针对房车居住舱舱门进出, 选取登上舱门楼梯的姿势作为典型姿势进行舒适度分析。如图 8 所示, 上舱门楼梯的总体舒适度和疲劳度都远高于舒适度中位数, 表明上舱门楼梯的过程极为不舒适, 需要对于舱门进出楼梯进行优化设计。

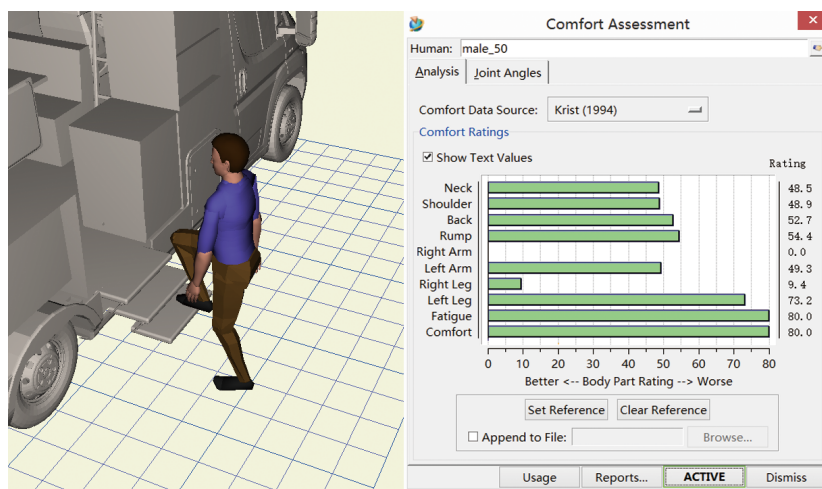


Figure 8. Comfort analysis of entry and exit doors  
图 8. 进出舱门的舒适度分析

### 3.4. 可达域分析

在 Jack 中, 利用 Reach Zone (可达域) 仿真进行模拟, 可达域分析结果可以生成一个着色区域, 此区域为数字人双肩和腰部动的联合驱动最大可达区域。房车居住舱的可达性分析包括额头床和储物仓物品存取行为的分析。从额头床和储物仓存取物品的可达性分析选取 P5 的女性人体模型进行分析。

建立数字人模型在存取物品时左右手的运动区域, 左手区域为红色, 右手区域为绿色。如图 9 所示, 当乘客想要在储物仓中存取物品时, 手部无法触及储物柜的最高一层, 储物舱的高度设计影响乘客的日常使用。如图 10 示, 当乘客想要从额头床取物品时, 手只能触碰到额头床边缘部位, 额头床的物品只要稍微深入, 乘客就无法取出。因此储物柜和额头床高度的设计不能充分满足乘客存取物品的需求。

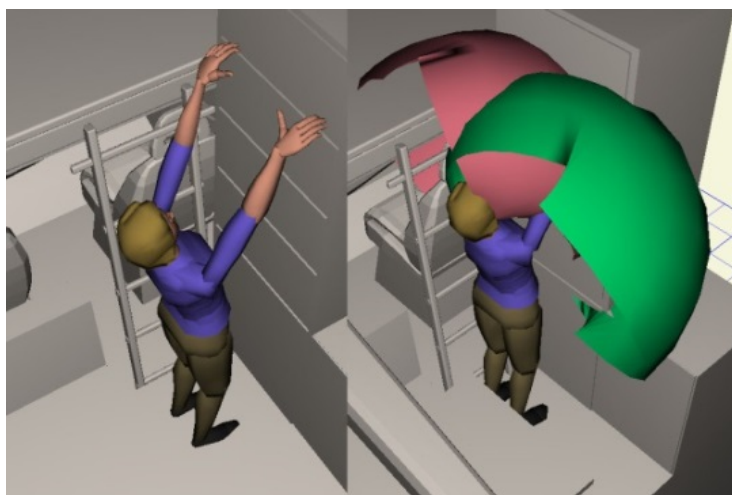


Figure 9. Accessibility analysis of storage compartments  
图 9. 储物舱的可达域分析

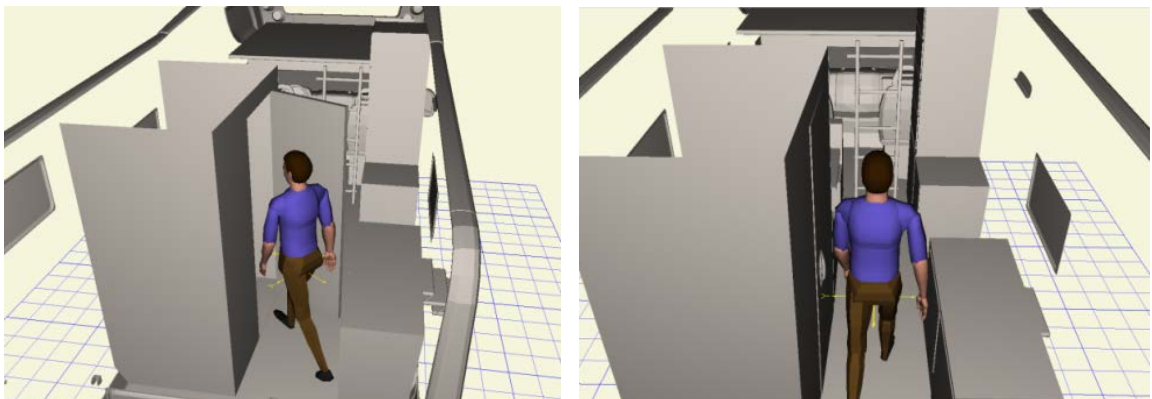


**Figure 10.** Accessibility analysis of accessible items on the forehead bed  
**图 10.** 额头床存取物品的可达域分析

### 3.5. 通过性分析

房车居住舱的设施空间布局设计不应影响乘客在舱室内的正常通行。因此乘客通行性分析主要通过用男性第 95 百分位人体尺寸数据的乘客模拟正常行走的动作, 用 Jack 软件中 Collision Detection 工具 9 检测乘客是否会行走时碰撞到设施。乘客通行性分析主要包括进出舱门、书桌与侧墙之间通道通行以及卫生间的进出三种情况。

如图 11 所示, 男性第 95 百分位身材的乘客能够顺利和轻松地在书桌与侧墙之间通道通行以及进出卫生间, 未发生与物件碰撞的情况。鉴于选用的数字人模型为男性第 95 百分位, 所以居住舱内的空间能满足乘客舱内日常活动的通行性需求。



**Figure 11.** Passability analysis of living cabins  
**图 11.** 居住舱的通过性分析

乘客进出舱门时通过性的仿真如图 12 所示, 乘客在直立姿势下进入舱门时与舱室舱壁会发生碰撞, 男性第 95 百分位身高想要通过舱门需要较大幅度的弯腰和低头, 舱门整体的通过性较差。因此, 需要根据人体尺寸对居住舱舱门的高度进行优化设计。

## 4. 居住舱优化与建议

通过对于房车居住舱内乘客行为活动的仿真分析, 发现现房车设计中存在的问题。针对各项问题, 本文提出以下改进方案和优化建议。

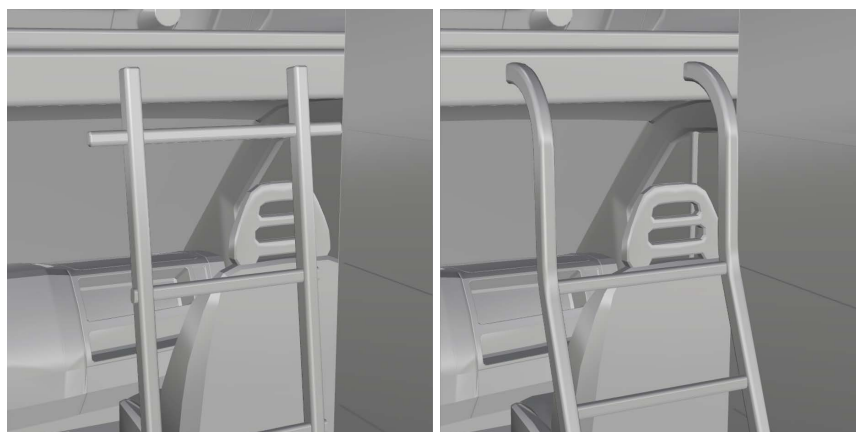




**Figure 12.** Virtual simulation environment of RV living cabin

**图 12.** 房车居住舱虚拟仿真环境

1) 上下额头床爬梯是乘客每日必经的活动, 但仿真结果表明下梯的过程较为不舒适。因此, 依据上肢舒适度和可达域分析将梯子上端抓取处进行重新设计。如图 13 所示, 改进方案将爬梯上端与护栏结合使用, 让乘客在下梯过程中能够先抓护栏再抓住梯子上端, 不但提升下梯过程的舒适度, 同时也增加了下梯时的安全性。另外, 爬梯的改进设计让乘客站在爬梯上拿取床铺深处物品成为可能, 一定程度上解决了乘客难以从额头床存取物品的问题。针对改进方案进行验证实验, 结果表明该方案能提升乘客下梯的舒适度。



**Figure 13.** Improved design of climbing ladder

**图 13.** 爬梯的改进设计

2) 由于储物柜的高度过高, 女性第 5 百分位的数字人无法从最高层的储物柜中存取物品。针对这一问题, 根据人体尺寸百分位数的选择原则, 储物柜最佳高度的设计尺寸 = 女性 P05 站立摸高 - 功能修正量 - 心理修正量。建议将储物柜的高度改进为 1692 mm (1912 mm - 100 mm - 120 mm)。

3) 针对乘客进出居住舱舱门会碰头的问题进行如下优化: 由于中国男性 P95 身高为 1775 mm, 根据人体尺寸百分位数的选择原则, 门的最佳高度设计尺寸 = 人体尺寸男性 P95 + 功能修正量 + 心理修正量。因此, 建议舱门的设计高度应为 1920 mm = 1775 mm + 25 mm + 120 mm。

4) 鉴于房车内部空间狭小, 对于提升卡座沙发区域乘客就坐的舒适度, 建议从座位和靠背角度、卡座沙发布局和座椅尺度的角度出发, 对于卡座沙发进行优化设计。

## 5. 结束语

本研究从人机工程学的角度出发,通过 Jack 软件对房车居住舱内乘客日常起居活动进行了仿真分析,发现了储物柜、舱门和额头床爬梯设计上存在的问题,针对存在的设计问题提出了优化设计建议,并验证了优化设计的合理性。为缩短设计周期、提升用户体验和改善房车居住舱空间布局与功能设计提供了重要的参考依据。

## 参考文献

- [1] 文彤, 张玉林. 房车旅游: 流动中“家”的体验与营造[J]. 旅游科学, 2021, 35(6): 18-32. <https://doi.org/10.16323/j.cnki.lykx.2021.06.002>
- [2] 左莎莎, 张久美, 林椿松. 基于模块化的房车内部空间优化设计研究[J]. 工业设计, 2022(3): 155-157.
- [3] 曾伟, 尹丽, 陈志斌, 张丙鑫. 浅谈我国旅居车行业现状及发展趋势[J]. 时代汽车, 2020(16): 4-5.
- [4] 刘斌, 杨钊, 刘永婷, 刘世杰. 老骥伏枥: 中国老年“房车游牧族”群体形成机制初探[J]. 旅游学刊, 2021, 36(12): 86-98. <https://doi.org/10.19765/j.cnki.1002-5006.2021.12.012>
- [5] Pearce, P.L. and Wu, M.Y. (2018) A Mobile Narrative Community: Communication among Senior Recreational Vehicle Travellers. *Tourist Studies*, **18**, 194-212. <https://doi.org/10.1177/1468797617723469>
- [6] 魏雷, 朱竑. 房车旅行与流动的家[J]. 旅游学刊, 2021, 36(11): 7-9. <https://doi.org/10.19765/j.cnki.1002-5006.2021.11.004>
- [7] 郭伏, 孙永丽, 叶秋红. 国内外人因工程学的比较分析[J]. 工业工程与管理, 2007, 12(6): 118-122.
- [8] Carayon, P., Wooldridge, A., Hose, B.Z., et al. (2018) Challenges and Opportunities for Improving Patient Safety through Human Factors and Systems Engineering. *Health Affairs*, **37**, 1862-1869. <https://doi.org/10.1377/hlthaff.2018.0723>
- [9] 刘李明, 彭博, 刘昊, 包泓. 基于 Jack 的游船驾驶室人机工程改进设计[J]. 机械设计, 2021, 38(12): 122-127. <https://doi.org/10.13841/j.cnki.jxsj.2021.12.017>
- [10] 周艾, 张建敏, 杨勤, 张达敏, 王卫星. 基于 JACK 的工业搬运车驾驶室人机工程仿真分析[J]. 机械设计, 2020, 37(1): 26-34. <https://doi.org/10.13841/j.cnki.jxsj.2020.01.005>
- [11] 侯利敏, 虞慧岚, 宋明亮. 面向低龄老人的拖挂式房车无障碍设计研究[J]. 设计, 2021, 34(4): 140-142.
- [12] 李晓英, 唐凡, 谢逸飞. 基于 Jack 仿真的手术转移床人机工程设计[J]. 机械设计, 2020, 37(5): 130-133. <https://doi.org/10.13841/j.cnki.jxsj.2020.05.022>
- [13] Hardy, A. and Gretzel, U. (2010) Why We Travel This Way: An Exploration into the Motivations of Recreational Vehicle Users. *Drive Tourism*, Routledge, 208-223.
- [14] 杨勤, 王嘉斌, 王卫星. 基于 Jack 的老年人辅助座椅需求研究及仿真分析[J]. 计算机与现代化, 2020(9): 106-111.
- [15] 宋明亮, 刘建军, 靳春宁, 胡平. 浅析房车内部空间设计[J]. 设计, 2017(1): 12-13.
- [16] 陈晶. 房车的发展与选择[J]. 科技创新与应用, 2020(17): 55-56.
- [17] 钮建伟, 张乐. Jack 人因工程基础及应用实例[M]. 北京: 电子工业出版社, 2012.