

基于 Jack 的老年电动代步车人机工程设计与优化

朱桐, 宋端树*, 张善超, 白道靖, 刘立
(江苏师范大学, 江苏 徐州 221116)

摘要: **目的** 满足行动不便的老年用户群体复杂的出行需求, 提高电动代步车类工具使用过程中的舒适度。**方法** 在传统老年电动代步车的基础上附加辅助站立结构, 创新设计出一款坐、立两用的新型电动代步车, 并借助 Jack 仿真软件, 对老年用户坐姿驾驶和辅助站立支撑状态下的舒适度、可达域、可视域, 以及上车过程中 L4/L5 下背部的受力情况进行分析, 以验证关键人机交互结构、尺寸设计的合理性及舒适性。**结论** 通过验证和调整, 对电动代步车的初期设计方案进行改进, 优化后的方案为老年电动代步工具的设计提供了参考, 可以为满足老年用户复杂的出行需求、提高电动代步车类工具使用过程中的舒适度和安全性提供帮助。

关键词: 工业设计; 人机工程学; 老年代步车; Jack

中图分类号: TB472 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-3563(2024)04-0107-08

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2024.04.011

Structural Design and Layout Optimization of Electric Scooter Based on Jack

ZHU Tong, SONG Duanshu*, ZHANG Shanchao, BAI Daojing, LIU Li
(Jiangsu Normal University, Jiangsu Xuzhou 221116, China)

ABSTRACT: The work aims to meet the complex travel needs of elderly users with limited mobility and improve the comfort of electric scooter tools during use. On the basis of traditional electric scooters for the elderly, an auxiliary standing structure was added to innovate in the design of a new type of electric scooter that could be used for both sitting and standing. With the help of Jack simulation software, the comfort, accessibility, and visibility of elderly users in sitting and auxiliary standing support states, as well as the stress on the lower back of L4/L5 during the boarding process, were analyzed to verify the rationality and comfort of key human-machine interaction structures and size designs. Through verification and adjustment, the initial design scheme of electric scooters has been improved. The optimized scheme provides a reference for the design of electric scooters for the elderly, which can meet the complex travel needs of elderly users and improve the comfort and safety of electric scooter tools during use.

KEY WORDS: industrial design; ergonomics; elderly scooter; Jack

电动代步工具的普及和发展, 为下肢活动不便的老年人提供了方便, 成为确保老年用户自主出行的有效手段。研究表明, 电动代步车对老年人的活动度、社会参与度和生活质量均有显著影响。国内外对电动代步车的研究局限于外观造型^[1-3]、使用需求^[4-6]和技术可实现性^[7]方面的研究, 缺乏对

人机合理性的研究。此外, 老年群体久坐后易发生难以站立的情况, 代步类工具中的辅助站立结构能够促使老人进行间接的站立活动, 从而缓解此类症状^[8-9], 然而, 现有的代步车大多为坐姿驾驶模式, 没有兼顾到用户坐、立两用的复杂需求。综合上述问题, 结合老年用户的特征, 设计出一款坐姿驾驶和辅助站立功能相结合的

收稿日期: 2023-09-08

基金项目: 江苏师范大学研究生科研与实践创新计划项目(2022XKT0361); 江苏省重点研发计划(社会发展)项目(BE2016651); 徐州市重点研发计划(社会发展)项目(KC22281)

*通信作者

电动代步车，并借助 Jack 仿真软件对该款电动车的主要交互结构进行人机合理性的验证，以提高功能集成后该设计的合理性、安全性和舒适性。

1 Jack 的人机仿真验证流程

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^[10]。用户能够自行导入三维模型来构建虚拟的仿真环境，对具有生物力学特性的虚拟人分配任务，并通过分析其行为来获得所需信息。范沁红等^[11]利用 Jack 的碰撞检测分析工具，验证了虚拟人的背部与座椅靠背的贴合度；Liu 等^[12]通过分析 Jack 软件中采集的仿真行为数据，得出人机操作过程中人体负荷的变化规律和趋势预测；张文彦等^[13]通过 Jack 的运动仿真功能对比分析出不同坐姿位置的舒适度；王年文等^[14]借助 Jack 软件分析座椅使用时对腰椎的受力情况，分析得出座椅的相对舒适角度区间。本文主要通过 Jack 对老年用户使用电动代步车的行为进行仿真，评估其使用过程中的舒适度、可达域、可视域等方面，以验证文中所设计的电动代步车结构的合理性和舒适性，并对存在的人因问题进行改正和方案优化。文中所涉及的仿真与验证流程如图 1 所示。

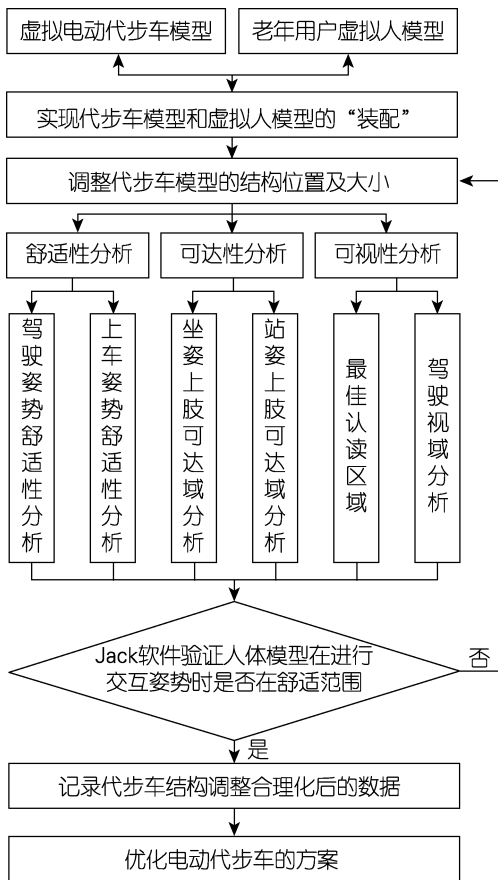


图 1 Jack 仿真及验证流程
Fig.1 Jack simulation and verification process

2 设计方案

2.1 电动代步车的适老化设计

通过调研分析老年人群的日常生活习惯，了解老年人的基本生理特点和心理特点，以及影响老年电动代步车设计的相关因素。相关研究表明，老年用户在生理方面出现身体尺寸变化、感官退化、肢体僵硬老化、活动能力变差等现象。与此同时，其在心理方面由于处理信息的能力与效率降低，容易出现自卑、焦虑和孤独等负面情绪。因此，在设计时可以从舒适性、安全性、易用性、轻便性、灵活性等设计原则出发，在保证电动代步车基本功能的同时，使其设计更加适老化。本文老年用户特征所对应的设计原则、设计要素及后续评估要素，如表 1 所示。

2.2 电动代步车的设计方案

根据市场上现有老年代步工具的基本结构和功能的调研，结合表 1 中用户特征及设计因素分析进行电动代步车再设计。所设计的电动代步车结构可概括为操控部分、驱动部分和传动部分。操控部分主要由操纵把手、膝板、胸托、座椅、扶手和安全带等组成，如图 2 所示；驱动部分包括操纵把手的升降及转向控制、座椅抬升控制和车轮控制等功能；传动部分由离合器、变速器、主减速器和差速器等部件组成，电动代步车由上述三部分共同协作以实现正常行驶。

该电动代步车以坐姿驾驶和辅助站立支撑两种状态为主，通过电动控制操作把手和座椅自主抬升，以实现上述两种主要状态的自由切换。此外，面对下肢存在功能障碍的老年用户的特殊需求，此款电动代步车两侧设有扶手、可前后水平位移的椅面及可旋转调节角度的靠背，以实现用户自主地完成在日常坐具与代步车之间的迁移。本文主要依据表 1 中的评估要素，在 Jack 软件中对所设计的电动代步车操控部分的关键结构，进行人机工效方面的验证。

3 人机工程仿真分析

3.1 虚拟人模型建立

在 Jack 软件的虚拟人尺寸数据库里中国人的尺寸是 1989 年 18~60 岁男性和 18~55 岁女性成年人体尺寸信息，不符合本文研究老年用户的尺寸需求。目前，我国在老年人体尺寸方面的研究不够完善，尚未建立一个能够满足适老化设计需求的人体尺寸数据库。所以本文在验证时，所需的虚拟人尺寸数据参考了胡海滔^[15]研究的中国老年用户身体尺寸。为验证该代步车可以最大程度地适应不同身高体型的老年用户，在 Jack 中所创建的被测虚拟人选取 65~69 岁年龄组中第 95 百分位男性老年用户人体尺寸作为设计上限，第 5 百分位女性老年用户人体尺寸作为设计下限，如图 3 所示。

表 1 老年用户特征及相应的设计与评估要素
Tab.1 Characteristics of elderly users and corresponding design and evaluation elements

老年用户特征	设计原则	设计要素	评估要素
生理特征 身体尺寸变化、感官退化、 肢体僵硬老化、活动能力变 差、处理信息的能力与效率 降低	舒适性	座椅面、把手等与肌肤相接触的地方选择舒 适性较高的材质；腿脚预留伸展空间	舒适性分析（关节舒 适度分析、下背部受 力分析）
	安全性	防滑处理、安全带装置、减震装置、制动装 置对用户的保护作用	安全配件的完整性、 适配性
	易用性	老年用户在无需他人帮助的情况下独立完 成上下车、驾驶等动作	上肢可达域分析
心理特征 容易出现自卑、焦虑和孤独 等负面情绪	可视性	根据老年用户视力下降、触觉退化等特点， 将标识设置为与其日常生活习惯相贴近的 简单易懂的图形；以物理按键及操纵杆代替 触摸屏	操作界面设计、可视 域分析
	灵活性	确保用户可根据不同需求进行结构调整；避 免与众不同的外观造型，与周围环境相适 应，克服老年用户因身体机能下降而产生的 自卑心理	整体布局规划、造型 统一

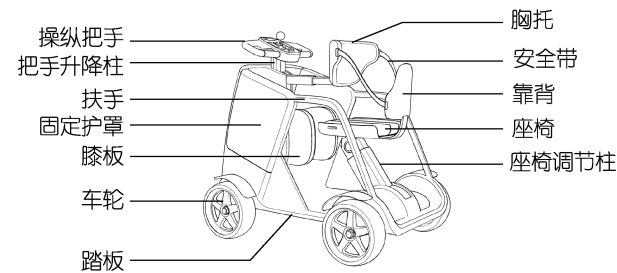


图 2 电动代步车的基本结构
Fig.2 Basic structure of electric scooter

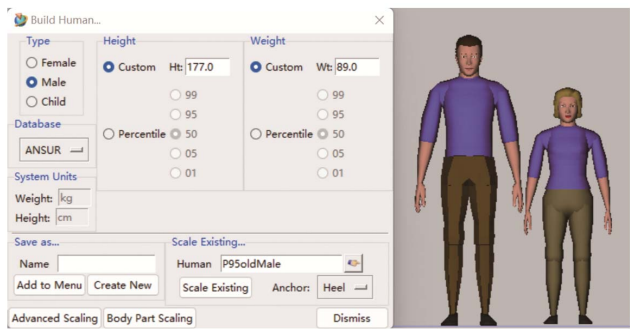


图 3 P₅女和P₉₅男虚拟人模型建立
Fig.3 P₅ female and P₉₅ male virtual human models

3.2 舒适度分析

3.2.1 驾驶姿势舒适度分析

电动代步车分为坐姿驾驶和辅助站立支撑两种主要交互模式，需要保证其在这个过程中姿势的舒适度。借助 Jack 中的关节舒适度分析工具（Comfort Assessment）和静态强度预测工具（Static Strength Prediction）分别对坐姿驾驶状态和辅助站立支撑状态进行舒适度分析，以此验证图 2 中代步车结构的合理

性并确定相关尺寸范围。为方便研究，将验证过程中的数据量化，相关零部件的主要参数定义为：操纵把手至足底踏板的垂直高度为 L_1 ，座椅靠背与操纵把手中心点的距离为 L_2 ，座椅椅面中心至足底踏板的高度为 L_3 ，座椅两侧扶手距离水平地面的高度为 L_4 ，座椅椅面与座椅调节柱的夹角为 α ，座椅调节柱与踏板水平面的夹角为 β ，操作把手与水平面的夹角为 γ ，如图 4 所示。

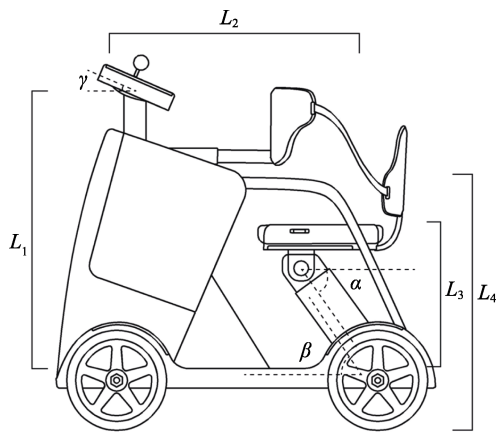


图 4 电动代步车结构的相关参数定义
Fig.4 Definition of relevant parameters for the structure of electric scooters

根据试验对象 P₅女、P₉₅男虚拟人的相关尺寸数据^[15]绘制表 2。在验证坐姿舒适度时，通过将座椅角度 α ， β 和座椅高度 L_3 设置为定量，将操纵把手的高度 L_1 设置为变量，以验证 L_1 在调节范围内的合理性。依据表 2 中的尺寸数据及杨浩等^[3]对代步车尺寸的研究， L_1 的验证范围设计为 780~820 mm； L_3 设定

为被测虚拟人自然坐姿下小腿加足高, 另外加 30 mm 的修正量^[9], 即在验证 P₅ 老年女性时将 L₃ 调整为 333 mm, 在验证 P₉₅ 老年男性时将 L₃ 调整为 483 mm; α 和 β 的角度设定为在 L₃ 相应的高度下保证座椅面水平即可。

表 2 P₅ 女和 P₉₅ 男与坐姿相关的身体尺寸
Tab.2 Body dimensions related to sitting posture for P₅ female and P₉₅ male mm

尺寸测量项目	P ₅ 女	P ₉₅ 男
坐姿肘高	196	309
坐姿膝高	393	530
坐深	399	496
坐姿臀宽	330	424
小腿加足高	303	453
坐高	771	935
肘高	866	1 142
髂嵴高	843	1 025
腰节点高	894	1 074

通过使用 Comfort Assessment 分析工具, 判断各个关节的舒适度是否合格, 可参照该分析工具中 Poter (1998) 数据库的推荐值, 数值条呈现为绿色即为合格, 呈现黄色则表示超出合理范围。在验证上述 L₁ 在 780~820 mm 变化范围内的舒适度时, 数据栏中显示: 除左右膝盖舒适度数值条为黄色, 其余关节舒适度数值条均为绿色。图 5 所示是选取的 L₁ 为 780 mm 时 P₅ 女和 P₉₅ 男的关节舒适度分析数据。经上述分析, 为适应不同身高体型的老年用户的使用需求, 在坐姿状态下, 操作把手高度 L₁ 的调节范围可设置为 780~820 mm, 座椅高度 L₃ 的调节范围可设置为 343~493 mm, 但需要给用户在坐姿状态下扩展一定的容脚空间。

根据表 2 中站姿相关尺寸数据, 结合崔腾飞^[8]等对辅助站姿结构的研究, 以及在 Jack 软件中被测虚拟人与电动代步车的匹配情况, 将辅助站立支撑状态下 L₁ 的尺寸范围设计为 866~1 142 mm, L₃ 尺寸范围设计为 722~836 mm, 借助静态强度预测工具 Static Strength Prediction 对老年用户在辅助站立支撑状态下的舒适度进行分析, 以验证该状态下 L₁、L₃ 尺寸设计范围的合理性。

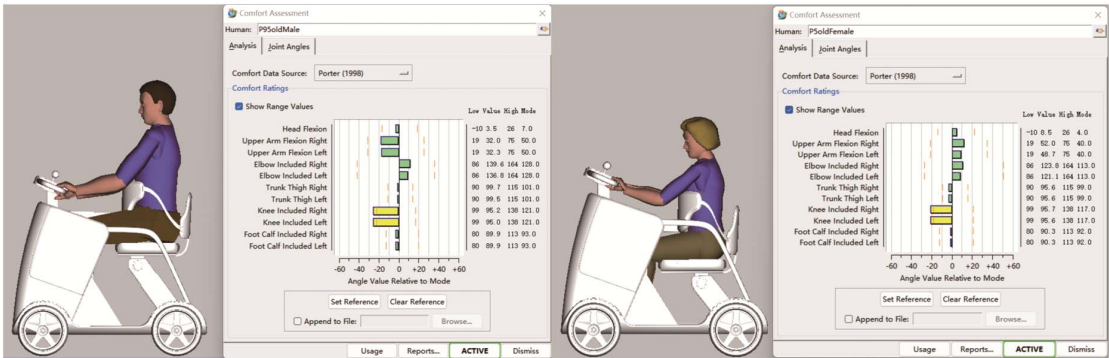


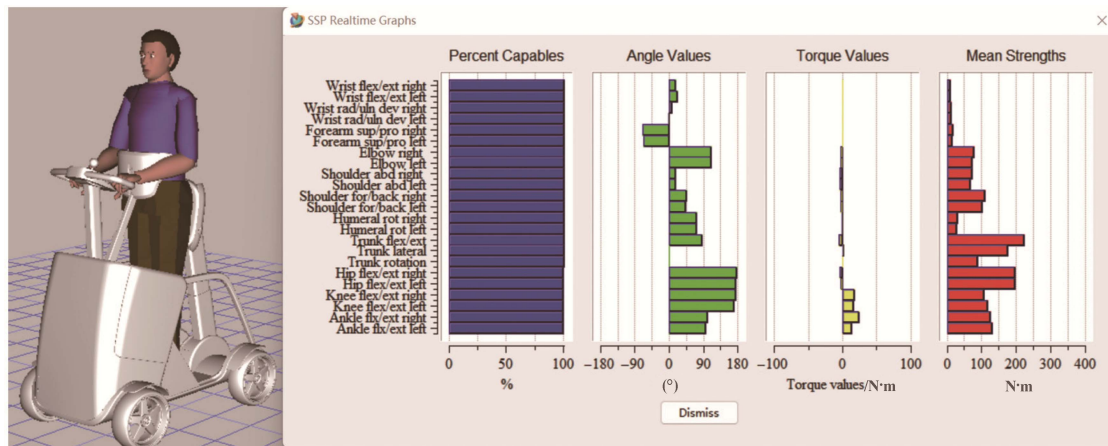
图 5 坐姿舒适度分析图
Fig.5 Analysis of sitting comfort

在静态强度预测分析工具 (Static Strength Prediction) 的分析结果中, 显示被测虚拟人在研究状态下的关节强度值百分比、角度、关节转矩及平均强度值四类图表。经验证得到在上述尺寸范围内, 虚拟人的关节角度为 $-180^{\circ} \sim 180^{\circ}$, 处于正常范围; 关节转矩值为 $-100 \sim 100 \text{ N} \cdot \text{m}$, 处于正常范围; 在平均强度测试中, 躯干弯曲和躯干剪力均未超过 400 N。以 L₁ 为 1 142 mm、L₃ 为 836 mm 时, P₉₅ 男性的辅助站立支撑状态为例, 测试结果如图 6 所示。表示老年用户在辅助站立支撑时, 身体部位均处于健康的状态。因此, 在辅助站立支撑状态下, L₁ 和 L₃ 的调节范围分别可设计为 866~1 142 mm、772~836 mm。

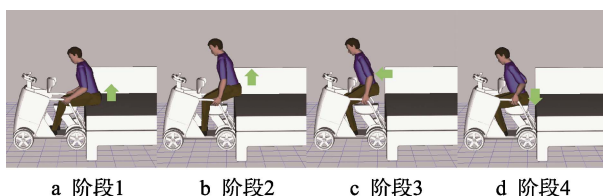
3.2.2 上车过程动态仿真分析

该代步车的创新设计部分包括座椅椅面可平移及靠背可翻转, 使下肢功能障碍的用户可借助两侧扶

手实现从日常坐具迁移至代步车上, 因此, 保证这一过程中的舒适性和安全性尤为重要。上车过程描述: 上车前, 用户可通过按动座椅底部相应的按钮, 将靠背向外侧旋转 150° 至座椅底部支撑柱相平行的位置, 座椅椅面两端向下折叠, 座椅椅面可以根据需求向后平移, 完成该系列准备后用户从代步车后侧进行迁移。在用户完成迁移上车并调整好坐姿之后, 可按动座椅下方的按键, 靠背、椅面可恢复原来位置。最后, 手动调节胸托至舒适位置并锁定, 连接靠背安全带。为使产品更适用于老年用户日常居家生活情景, 本文选取用户从床转移到电动代步车上的过程来研究, 借助 Jack 中的动画制作工具 Animation 进行动态仿真, 并利用下背部受力分析工具 (Lower Back Analysis) 分析下背部 L4/L5 的受力情况, 以验证迁移过程中的舒适性。

图 6 P₉₅男在站立支撑状态下静态强度分析图Fig.6 Static strength analysis of P₉₅ male under standing support

在验证前搭建好完整的仿真环境, 在 Jack 中导入电动代步车的 3D 模型、标准单人床 2 000 mm×1 500 mm×610 mm 的 3D 模型, 与被测虚拟人模型进行匹配。在 Animation 动画制作窗口依次添加虚拟人从床上转移到代步车上的过程动作, 以完成该流程的动态仿真设计。以 P₉₅ 老年男性用户为例, 将用户从床上转移到代步车上的过程简化为四个阶段, 分别为: 阶段 1, 坐姿前伸双手分别触及两侧扶手; 阶段 2, 双手支撑扶手起身; 阶段 3, 支撑扶手身体前移; 阶段 4, 双手支撑扶手缓慢坐下。如图 7a~d 所示。

图 7 P₉₅男从床上转移到代步车的过程Fig.7 Process of P₉₅ male transferring from bed to a scooter

在仿真动画制作完成后, 分别对这四个阶段进行受力分析, 可将受力情况简化, 如图 8 所示, 并满足式 (1) ~ (2)。

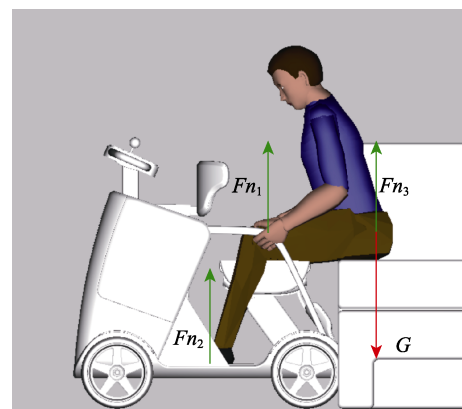
$$Fn = G \quad (1)$$

$$Fn = Fn_1 + Fn'_1 + Fn_2 + Fn'_2 + Fn_3 \quad (2)$$

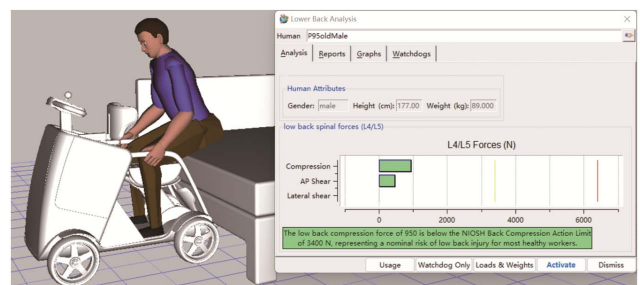
式中: Fn_1 、 Fn'_1 为左、右手部支撑力; Fn_2 、 Fn'_2 为左、右脚部支撑力; Fn_3 为臀部支撑力; G 为重力。

假设迁移过程中虚拟人为匀速运动, 将该过程中的受力情况简化, 双手双脚平均受力, 即受力大小分别为被测虚拟人体重的 1/4, 方向为竖直向上。以 P₉₅ 男进行迁移过程为例, 验证代步车的 L_4 为 740mm 时下背部 L4/L5 的受力情况。P₉₅ 男的体重 G 为 89 kg, 根据式 (1), 其迁移过程中所受总支撑力 $Fn = G = 890$ N。根据上述分析及式 (2), 其在做迁移动作时左右手、左右脚上所受支撑力的大小分别为 $Fn_1 = Fn'_1 = Fn_2 = Fn'_2 = 1/4 Fn = 222.5$ N, 方向为竖直

向上。利用 Loads and Weights 模块将所得支撑力的大小和方向分别添加到被测虚拟人双手双脚所对应的位置, 再进行迁移过程的动态仿真及 Lower Back Analysis 验证分析。

图 8 P₉₅男上车姿势静力学分析图Fig.8 Statics analysis diagram of P₉₅ male boarding posture

Lower Back Analysis 工具中 NIOSH 标准规定 L4/L5 所受的最大压力不能超过 3 400 N, 否则将会对人体造成危害。经验证, L_4 为 740 mm 时, 被测用户在迁移过程中受力情况均符合 NIOSH 标准。如图 9 所示, 为 P₉₅ 老年男性在进行阶段 2 的动作时, 下背部 L4/L5 脊椎处所受压力情况。

图 9 P₉₅男在阶段 2 时的 L4/L5 受力情况Fig.9 L4/L5 stress situation of P₉₅ male at stage 2

为避免试验结果的偶然性，调整扶手的高度 L_4 ，参考顾余辉等^[16]、陆剑雄等^[17]对坐具辅助起立的扶手高度以及常规座椅两端扶手高度的研究，本试验分别选取 L_4 的高度为 680、700、720、740、760、780 mm 来验证 P_5 老年女性用户和 P_{95} 老年男性用户在迁移上车阶段其 L4/L5 所受压力分析，结

果记录在表 3 中。由表 3 中的数据可知，在上述扶手高度范围，内被测对象在四个阶段动作中 L4/L5 所受压力均未超过 3 400 N，符合 NIOSH 的标准。综合分析表格数据，为满足不同身高体型人群各阶段的使用需求，代步车两端的扶手高度 L_4 可设置为 740 mm。

表 3 双手受力为被试者体重的 1/4 时各阶段的 L4/L5 受力情况

Tab.3 L4/L5 stress situation at each stage when the stress on both hands is 1/4 of the subject's body weight

扶手高 L_4 /mm	阶段 1		阶段 2		阶段 3		阶段 4	
	$F_{P_5女}/N$	$F_{P_{95}男}/N$	$F_{P_5女}/N$	$F_{P_{95}男}/N$	$F_{P_5女}/N$	$F_{P_{95}男}/N$	$F_{P_5女}/N$	$F_{P_{95}男}/N$
680	695	1 247	619	869	63	298	370	672
700	705	1 466	630	915	75	308	411	675
720	715	1 571	640	935	81	331	417	689
740	733	1 624	643	950	84	337	425	696
760	736	1 637	644	957	90	355	432	703
780	776	1 643	648	968	92	359	447	710

3.3 可达域分析

操纵把手作为使用频率较高的装置，包含了转向、变速、刹车、鸣笛、模式切换等重要功能，因此设计时需保证这些装置在用户的最佳操作空间内。借助 Jack 中的可达域分析工具 Research Zones 进行验证。在验证操作可达性时， L_1 与 L_3 尺寸的选取均在前文所验证的舒适度的合理范围内。在坐姿验证时，被测虚拟人 P_5 女与 P_{95} 男背部均呈直立状态，验证结果： P_5 女勉强触碰到操作盘的内侧把手及部分操作按键，而 P_{95} 男双腿已经抵到代步车膝板结构时，仍无法轻松碰触到操控盘的外侧把手及部分操作按键，如图 10a~b 所示。在站姿验证时，操作可达性也存在一定问题，见图 10c~d。此外，座椅靠背也缺少一定的人体贴合性。因此，操纵把手与座椅的间距，以及座椅靠背的人体贴合度，需要重新调整与再验证。

3.4 可视域分析

操纵把手上的界面是用户与代步车进行人机交互的重要媒介，通过对用户的可视域进行虚拟仿真，可以得到合适的操作界面的大小及位置，提高产品结构的易操作性。本文选用视域分析工具 Visual Fields 功能创建双眼网格化视域范围，选用视锥工具 View Cones 创建被测虚拟人的视锥，将视锥角度设为人最理想的视角范围 40° ，视锥长度设为 540 mm^[18]，得到双眼最佳可视区域和视觉画面，如图 11 所示。由验证可知，除操控盘前端的方向指示灯界面距离过远以外，其余皆在最佳视角范围内。可以通过调整前侧指示灯的布局位置，或操控盘与水平面的角度 γ 来解决此问题。

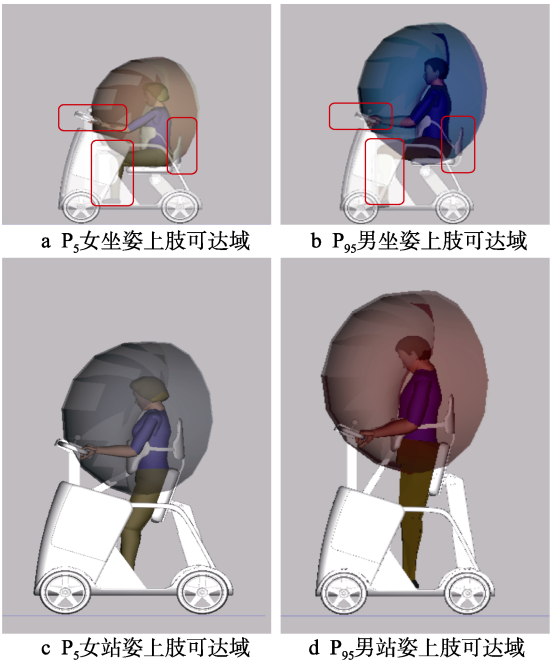


图 10 虚拟人上肢可达域分析图
Fig.10 Analysis of reachable regions of virtual human upper limbs

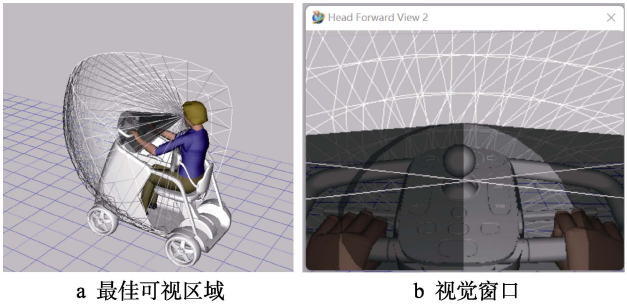


图 11 P_5 女可视域分析图
Fig.11 Viewable domain analysis of P_5 female

4 方案设计优化

4.1 方案优化概述

上述分析结合人机工程学的相关规定与推荐值^[18], 对该款电动代步车的初期设计方案进行人机优化, 以确保不同身高体态的老年用户能够轻松地实现对该款代步车的操控, 改进前后的对比尺寸如表 4 所示, 优化后的方案如图 12 所示。

表 4 方案优化前后的尺寸对照
Tab.4 Comparison of dimensions before and after scheme optimization

主要部件布局	改进前	改进后
操纵把手与水平面的夹角/(°)	23	30
操控面板宽度/mm	130	200
座椅前后的位移量/mm	0	100
两侧扶手高度/mm	560	740
两侧扶手半径/mm	37	48
膝板水平位移调节量/mm	0	200
座椅靠背与水平面的夹角/(°)	90	100
固定护罩的高度/mm	743	517



图 12 优化后的方案效果图
Fig.12 Effect of optimized scheme

1) 视野性能的改进。操纵界面布局重新优化并将其宽度扩大至 20 mm; 固定护罩形状优化并将其高度修改为 517 mm, 避免身高较矮、视线较低的用户忽视前端视野盲区障碍物。在固定护罩的形式上, 考虑到用户上下车的便利性, 防止过程中造成不必要的磕碰, 方案删减掉固定护罩和踏板间的三角形连接装饰物。

2) 两侧扶手的改进。经过前文验证两侧扶手的固定高度设置为 740 mm 时, 对不同用户的适应性最佳, 因此优化后的方案选用该高度, 且仍采用后侧上下车的方式。此外, 依据人机工学抓握要求, 将半径修改为 48 mm, 且附加一定面积的防滑橡胶材质, 以便于用户在使用过程既省力又安全。

3) 座椅靠背的改进。在驾驶过程中, 舒适的驾驶坐姿座椅靠背的角度在 100°~110°, 将靠背默认角度调整为 100°, 并可进行灵活调节; 根据人体背部骨

骼及肌肉特征, 并为更好地贴合用户身形将座椅靠背结构前移 54 mm。安全性方面, 安全带设置在座椅靠背的两侧, 可伸缩调节, 与胸托两侧的卡扣相连接, 卡扣与卡槽处内置磁吸结构, 方便用户在使用时可自主定位连接位置。

4) 操作把手与座椅的水平间距改进。座椅与操纵把手之间的舒适距离通常为 250~350 mm, 座椅设置为可前后调节结构, 前后可水平位移量为 100 mm, 两侧留有充分的容脚空间; 此外, 原固定件膝板设计为前后可水平位移的结构, 位移量设置为 200 mm。

4.2 优化后的方案验证

对优化后的电动代步车的结构再次通过 Jack 进行人机仿真, 验证结果总结如表 5 所示。结果表明: 优化后的电动代步车的舒适度、可达性、可视性在一定程度上都得到改善。

表 5 优化方案验证结果
Tab.5 Validation result of optimized scheme

验证类别	改良结果
舒适性	在坐姿驾驶状态与辅助站立支撑状态下, 各关节舒适度均为合格
可达性	操作把手、操作盘上的按键等交互结构均在上肢可达域的范围
可视性	驾驶操作交互结构均在最佳认读区域内

5 结语

通过分析老年用户特性和使用需求, 在传统电动代步车的基础上添加了辅助站立支撑等适老化结构。借助 Jack 软件验证了设计过程中所参考的尺寸范围的合理性, 并依据验证结果, 对电动代步车进行人机方面的优化。有效提高了老年电动代步车的安全性和舒适性, 为今后设计人员验证和评估此类产品提供了参考。在验证中虚拟人物尺寸所参考的老年用户数据库具有一定的局限性, 后续研究中将选取更具代表性的尺寸数据, 以进一步优化电动代步车的人机适配性。

参考文献:

[1] 孙利, 覃忠志, 吴俭涛, 等. 多维意象下产品造型满意度预测模型研究[J]. 机械设计, 2023, 40(1): 127-134.
SUN L, QIN Z Z, WU J T, et al. Research on the Prediction Model of Product Modeling Satisfaction under Multi-Dimensional Imagery[J]. Journal of Machine Design, 2023, 40(1): 127-134.
[2] 王新亭, 王灿, 王欢欢, 等. 基于数量化 I 类理论的电动代步车造型设计[J]. 机械设计与制造, 2020(7):

- 165-169.
- WANG X T, WANG C, WANG H H, et al. Modeling Design of Electric Scooter for the Elderly Based on the Theory of Quantification-1 Type[J]. Machinery Design & Manufacture, 2020(7): 165-169.
- [3] 杨浩, 严扬, 胡也畅. 基于驾驶操作行为分析的宜老型代步车原型设计研究[J]. 机械设计, 2018, 35(6): 105-112.
- YANG H, YAN Y, HU Y C. Study on Prototype Design of Elderly-Oriented Scooters Based on Driving Operation Behavioral Analysis[J]. Journal of Machine Design, 2018, 35(6): 105-112.
- [4] KU F L, CHEN W C, CHEN M D, et al. The Determinants of Motorized Mobility Scooter Driving Ability after a Stroke[J]. Disability and Rehabilitation, 2021, 43(25): 3701-3710.
- [5] MCMULLAN K, BUTLER M. Self-Regulation when Using a Mobility Scooter: The Experiences of Older Adults with Visual Impairments[J]. British Journal of Occupational Therapy, 2019, 82(8): 512-521.
- [6] 池宁骏, 王弓月. 基于卡诺模型和极端用户法的电动代步车设计[J]. 包装工程, 2022, 43(16): 162-169.
- CHI N J, WANG G Y. Design of Electric Scooter Based on Kano Mode and Extreme User Method[J]. Packaging Engineering, 2022, 43(16): 162-169.
- [7] 郁明, 杨柳, 杨荣立. 电动代步车鲁棒故障检测与容错控制[J]. 电子测量与仪器学报, 2022, 36(3): 38-46.
- YU M, YANG L, YANG R L. Robust Fault Detection and Fault-Tolerant Control of Electric Scooter[J]. Journal of Electronic Measurement and Instrumentation, 2022, 36(3): 38-46.
- [8] 崔腾飞, 李浩源, 王玥, 等. 基于人体站立分析的辅助站立移位机研究[J]. 中国康复医学杂志, 2018, 33(1): 86-89.
- CUI T F, LI H Y, WANG Y, et al. Research on Auxiliary Standing Shifter Based on Human Standing Analysis[J]. Chinese Journal of Rehabilitation Medicine, 2018, 33(1): 86-89.
- [9] 董宝莲. 基于老年人生理特点的辅助站立椅设计与研究[D]. 天津: 天津大学, 2019.
- DONG B L. Design and Research of Auxiliary Standing Chair Based on Physiological Characteristics of the Elderly[D]. Tianjin: Tianjin University, 2019.
- [10] 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.
- NIU J W, ZHANG L. Jack Human Factors Engineering Foundation and Application Examples[M]. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2012.
- [11] 范沁红, 江星辰, 武学良, 等. 基于理想压力的机车座椅优化设计与舒适度试验研究[J]. 机械工程学报, 2022, 58(10): 383-394.
- FAN Q H, JIANG X C, WU X L, et al. Experimental Research on Optimization Design and Comfort of Locomotive Seat Based on Ideal Pressure[J]. Journal of Mechanical Engineering, 2022, 58(10): 383-394.
- [12] LIU X, LV J, XIE Q S, et al. Construction and Application of an Ergonomic Simulation Optimization Method Driven by a Posture Load Regulatory Network[J]. Simulation, 2020, 96(7): 623-637.
- [13] 张文彦, 陶庆, 李兆波, 等. 采用动作捕捉与 JACK 软件的坐姿评价方法研究[J]. 机械设计与制造, 2022(9): 32-36.
- ZHANG W Y, TAO Q, LI Z B, et al. Research on Evaluation Method of Sitting Posture Using Motion Capture and JACK Software[J]. Machinery Design & Manufacture, 2022(9): 32-36.
- [14] 王年文, 陈明含, 谭晓萌, 等. 坐式下肢康复训练机器人人机舒适度设计[J]. 包装工程, 2021, 42(20): 125-131.
- WANG N W, CHEN M H, TAN X M, et al. Improved Comfort Design of Sitting Lower Limb Rehabilitation Training Robot[J]. Packaging Engineering, 2021, 42(20): 125-131.
- [15] 胡海滔. 老年人的人体测量[D]. 北京: 清华大学, 2005.
- HU H T. Anthropometric Measurement of the Elderly[D]. Beijing: Tsinghua University, 2005.
- [16] 顾余辉, 简卓, 喻洪流. 可躺可立式电动轮椅结构设计与运动学仿真[J]. 中国康复医学杂志, 2012, 27(12): 1129-1132.
- GU Y H, JIAN Z, YU H L. A Design and Kinematics Simulation of a Stand-Able and Lie-Able Electric Wheelchair[J]. Chinese Journal of Rehabilitation Medicine, 2012, 27(12): 1129-1132.
- [17] 陆剑雄, 张福昌, 申利民. 坐姿与座椅设计的人机工程学探讨[J]. 人类工效学, 2005, 11(4): 44-46.
- LU J X, ZHANG F C, SHEN L M. Discussion on Ergonomics of Sitting Posture and Seat Design[J]. Chinese Ergonomics, 2005, 11(4): 44-46.
- [18] 丁玉兰. 人机工程学[M]. 北京: 北京理工大学出版社, 2017.
- DING Y L. Man Machine Engineering[M]. Beijing: Beijing Insititute of Technology Press, 2017.