

# 基于Jack的手部残疾人多功能炉具需求研究及仿真分析

韩冬晨\*, 刘艳#, 陆琴, 莫安蕊, 王卫星

贵州大学机械工程学院, 贵州 贵阳

收稿日期: 2023年10月24日; 录用日期: 2023年12月31日; 发布日期: 2024年1月9日

## 摘要

近年来, 设计师开始将注意力从大众转向特殊群体, 深入了解他们的需求并为他们量身设计产品。尽管关注盲人和下肢残疾人士的产品日渐增多, 但手部残疾者的需求却被忽视了。手是我们日常生活中必不可少的一部分, 我们的日常衣食住行都需要它的参与。因此, 本文通过对手部残疾人身体参数和肌力变化的研究, 并在深入调查的基础上, 确定手部残疾人对炉具的功能和客观需求。针对功能需求建立炉具的基本模型, 并使用Jack软件对手部残疾者使用炉具时进行人机工程学仿真。此外, 还根据手部残疾者的客观需求分析炉具的舒适度、可视域、受力和可到达区域等方面的性能。经过分析结果表明, 炉具的人机工程学性能相对较好, 但仍需要改进某些方面。

## 关键词

手部残疾人士, 炉具设计, 虚拟仿真, 需求, Jack

# Research and Simulation Analysis on the Demand for Multifunctional Stoves for Hand-Disabled People Based on Jack

Dongchen Han\*, Yan Liu#, Qin Lu, Anrui Mo, Weixing Wang

School of Mechanical Engineering, Guizhou University, Guiyang Guizhou

Received: Oct. 24<sup>th</sup>, 2023; accepted: Dec. 31<sup>st</sup>, 2023; published: Jan. 9<sup>th</sup>, 2024

\*第一作者。

#通讯作者。

文章引用: 韩冬晨, 刘艳, 陆琴, 莫安蕊, 王卫星. 基于Jack的手部残疾人多功能炉具需求研究及仿真分析[J]. 建模与仿真, 2024, 13(1): 93-103. DOI: 10.12677/mos.2024.131010

## Abstract

In recent years, designers have begun to shift their attention from the masses to special groups, deeply understanding their needs and designing products tailored to them. Despite the growing number of products focusing on the blind and lower extremity disabled, the needs of hand-disabled people are neglected. Hands are an essential part of our daily lives, and their involvement is necessary for our daily clothing, food, housing, and transportation. Therefore, this article studies the physical parameters and muscle strength changes of hand-disabled people, and based on in-depth investigation, determines the functional and objective needs of hand-disabled people for stoves. The basic model of the stove is established according to the functional requirements, and the ergonomic simulation of the stove is carried out by using Jack software. In addition, the performances of the stove in terms of comfort, visual domain, force and reachable area are analyzed according to the objective needs of hand-disabled people. The results of the analysis show that the ergonomics of the stove are relatively good, but some aspects still need to be improved.

## Keywords

Hand-Disabled People, Stove Design, Virtual Simulation, Demand, Jack

Copyright © 2024 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

残疾群体中的人们，身体和心灵都受到严重创伤。人们戴着有色眼镜去观望，甚至进行人身攻击。随着国家经济飞速增长，国民素质的不断提高，人们对该群体的态度大幅改变，国家在政策上给予他们优惠，人们主动地去帮助他们，残疾人这一弱势群体得到社会众多关注。手部残疾人士在这一弱势群体中的数量占比很大，他们的生活中充满许多不便的地方，日常生活中普通人能轻易做到的事情，他们需要费很大力气或者请旁人辅助才能完成。近年来，甘艳[1]就对上肢残疾人的生活状况、现有市场针对其身体缺陷设计制作的生活辅助工具进行了分析，并以燃气灶为例，探讨了相关的设计问题。李爽[2]也对独臂残障人士心理和情感需求进行了讨论，并设计了独臂残障人士的就餐辅助工具。但是，市面上的辅助工具大多集中在假肢、餐具和交通工具三个方面，忽略了手部残疾人的其他生活需求。例如，洗衣做饭的工具、穿戴工具、写字上网工具等，这些都是手部残疾人急需的辅助工具。然而，当前市场情况显示，设计师和厂家对手部残疾人的生活情况了解不够，导致辅助工具市场狭小、品种不全。因此，弥补这些空缺是一个必须面对的问题。所以本文就对手部残疾人的做饭问题展开讨论，并用 Rhino 软件对多功能炉具建立数字模型，使用 Jack 软件进行仿真和人机分析，目的是为了解决手部残疾人士在烹饪过程中可能遇到的一系列问题，为手部残疾人提供更好的烹饪帮助。

Jack 软件[3]是一款在世界范围内被广泛应用于仿真和人机工效方面的成熟软件，其数字人体模型拥有 69 个部位(Segment)和 68 个关节(Joint)，共计 135 个自由度。在创建数字人体模型时，可以自定义各个尺寸数据，使人机功效分析更加针对性和准确。在我国，Jack 软件已广泛应用于交通运输、航天等领域的人机工效分析。然而，在炉具方面的应用相对较少，尤其是手部残疾人炉具的使用。因此，本文利

用 Jack 软件对设计的手部残疾人多功能炉具进行使用过程的仿真，并对其舒适度、可视域、受力和可达区域等方面进行分析。

## 2. 手部残疾人的需求分析

### 2.1. 手部残疾人的定义

根据手部伤残标准鉴定[4]和相关资料,此次设计对象定位为独臂人士和手部不完整人士(一手有单个或多个拇指缺失)。独臂残疾人的定义:独臂残疾人属于二级残疾,满足下述两点之一即属于独臂残疾人:1) 残肢只能提供有限的生活功能,而一只手臂则被截断;2) 一只手臂截肢或缺肢;单上臂截肢或缺肢。因为本文设计的为多功能炉具,排除未成年人以及老年人等缺乏自理能力的人群,所以手部残疾人的年龄定为 18~60 岁期间。

### 2.2. 手部残疾人的心理特点和身体情况

手部残疾人在日常生活和工作中受到了很大的限制,这种限制常常会导致他们的心理情况受到影响。手部残疾人可能会产生自卑感、孤独感、焦虑抑郁、敏感多疑等负面情绪[5]。此外,他们也可能受到社会歧视和排斥,这也会对他们的心理产生负面的影响。根据本文对手部残疾人的定义,此设计针对的群体为独臂人士与缺少拇指的人群,该人群拥有一定的自理能力,身体的其他部位是健全的,一只手臂是完整的,但因为残肢会导致在生活中有许多麻烦,该群体身体情况良好,能够独立完成烹饪工作。

### 2.3. 手部残疾人对多功能炉具的需求

手部残疾人多功能炉具是为手部残疾人设计的具有一定辅助功能的炉具。可以帮助手部残疾人更加方便和舒适地进行烹饪。在设计多功能炉具之前,我们先通过文献研究和问卷调查,发现手部残疾人的身体状况在烹饪过程中会对他们产生什么影响。为此,我们在康复中心和疗养院共收集了 118 份问卷,以探究他们对多功能炉具的需求,此次问卷询问人群年龄分布和职业分布如图 1 所示。此次调研人群中,18~30 岁人群占比最大,人群职业分布较为平均,有助于保证调研问卷的有效性和可靠性,本次调研人群中,涵盖了多种残疾类型的人群,通过问卷调研,让调研人群选择他们的残疾类型,选项设置为多选,调研发现肢体残疾人群占总人群的 45%左右,具体残疾类型及比例如表 1 所示。在问到残疾是否妨碍烹饪时,仅有 17.8%的人选择不妨碍,剩下的人群都认为了残疾妨碍了他们的烹饪,只是妨碍的程度不同,详细数据如图 2 所示。

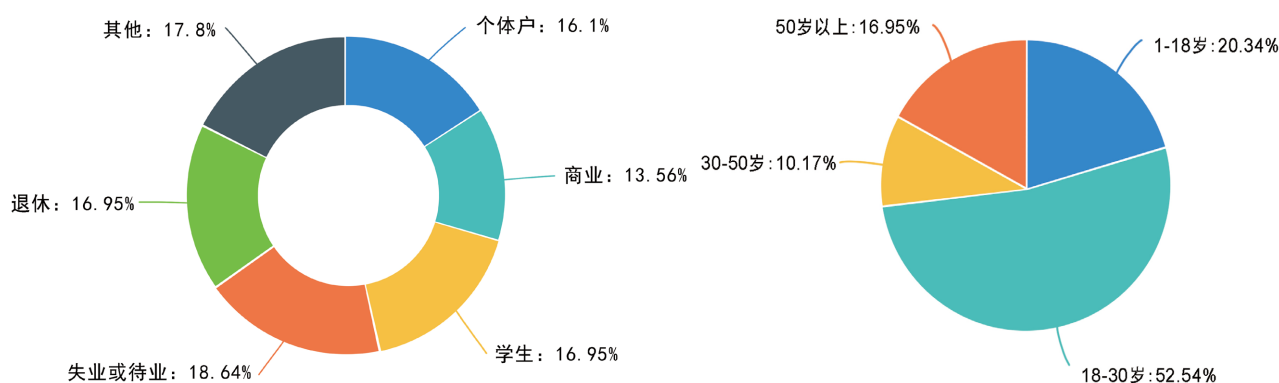
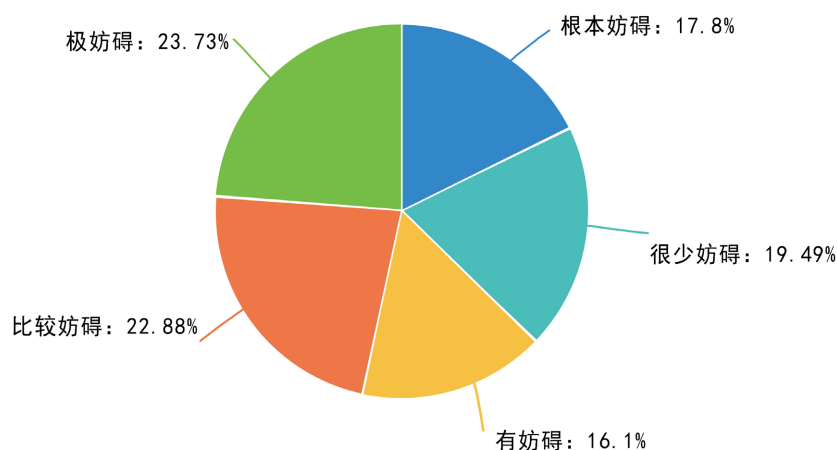


Figure 1. Age and occupation of the surveyed population

图 1. 调研人群年龄和职业分布图

**Table 1.** Proportion of disability types in the survey population  
**表 1.** 调研人群残疾类型占比表

选项	小计/人	比例
视力残疾	60	50.85%
言语残疾	55	46.61%
听力残疾	59	50%
智力残疾	54	45.76%
肢体残疾	53	44.92%



**Figure 2.** Map of the results of the survey population options  
**图 2.** 调研人群选项结果分布图

根据调研结果可知，残疾人因为自身原因，烹饪过程极其困难，但由于调查样本不全是手部残疾人，可能会导致结果有所误差，但总体来说，为手部残疾人设计一款使用的炉具是可行的。一般而言，烹饪过程包括三个步骤：1) 备菜，也叫切菜环节，这一环节需要把食物清理干净并处理好；2) 炒菜，这一环节是整个烹饪过程的主要部分；3) 盛菜，这一环节只需要将炒好的菜放进容器里。对于正常人来说，这三个环节是十分容易操作的，但手部残疾人因为上肢体缺失，会面临许多问题。在切菜时，会因为独臂而无法固定食物，导致食物在处理时会发生滚动；炒菜时，由于单手操作，会不容易掌控火候；在最后的盛菜环节，对于力气大的独臂残疾人来说，只需要单手就可以将食物导入容器，但对于女性用户来说，一旦食物较多，炒锅比较重时，是很难倾倒的，只能使用勺子盛出来，这种方式不仅会导致手臂肌肉疲劳，锅中的食物也会盛不干净。而且烹饪过程时间越长，人体的腰部、腿部、上肢肌肉和手腕关节都会酸痛。所以为了满足手部残疾人的烹饪需求，设计的多功能炉具将包含三个主要功能：切菜、炒菜和盛菜。由于手部残疾人身体的特殊性[6]，他们对多功能炉具的需求不仅仅是主观的功能需求，还应该考虑到他们肢体活动和受力方面的客观需求肌力作为衡量个人运动技巧的重要参考，其取决于个人的身高、身材、健康等多个原因。从基础的营养、锻炼、饮食习惯等多方面来看，每个人的健康都取决于其身体的健康水平，而肌力的高低则取决于个人的身高、身材、健康等多方面的综合情况。从幼儿(16~18岁)开始，肌力就开始逐渐提升，25岁左右，肌力将达到最高点，此后，随着年龄的延伸，肌力也将逐渐减弱，最终形成完美的身材随着年龄的增长，45岁以上的肌肉活动能力逐渐衰退，但到了50岁，这种衰退就变得非常明显[7]。尤其是在烹饪的过程中，肱二头肌的收缩和放松能力更为重要[8]。因此，当采用Jack软件对人机工程学模拟的方法，应该结合残障者的实际情况，精确调整其承重参数。

### 3. 仿真流程

在建立人机工程学仿真模型时，有两个必要条件。首先，需要建立仿真对象，即手部残疾人多功能炉具的数字模型。在本文中，我们将建立手部残疾人多功能炉具的三维模型作为第一个条件。其次，还需要建立仿真主体，即手部残疾人的数字人体模型。在本文中，我们将建立手部残疾人人体模型作为第二个条件。如果满足这两个要求，我们就可以将建立的多功能手部障碍者炉具模型和人体模型导入 Jack 软件，进行仿真，研究其在使用炉具时的舒适性、视觉范围、受力情况以及可达范围等方面的特点。

#### 3.1. 手部残疾人多功能炉具模型创建

本文旨在分析手部残疾人对炉具的帮助切菜、帮助炒菜和帮助盛菜的 3 个功能需求，并提出 2 种实现方式：自动切菜和辅助手动切菜。这些功能需求可以通过加装自动切菜器、辅助砧板以及智能炒菜技术来实现，同时还可以增加辅助机构来帮助手部残疾人进行盛菜。通过这些工作，可以更好地满足手部残疾人的实际需求，提高他们在烹饪过程中的生活质量和自理能力[6]。使用三维建模软件 Rhino 创建了手部残疾人多功能炉具的基础模型，多功能炉具的基本人机尺寸如图 3 所示。

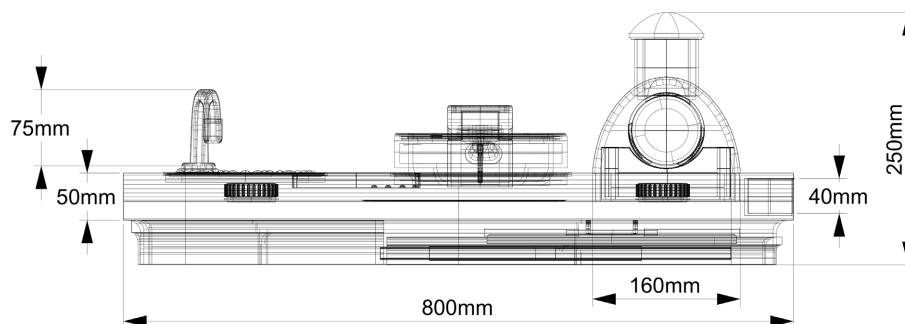


Figure 3. Man-machine dimension drawing of multi-functional stove

图 3. 多功能炉具人机尺寸图

#### 3.2. 仿真人体模型的创建

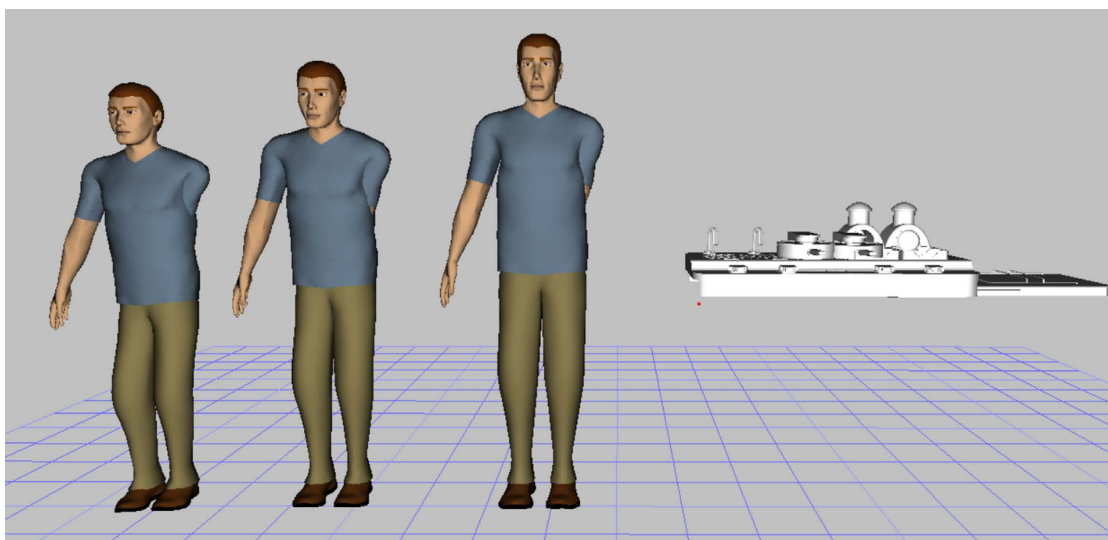


Figure 4. 5%, 50%, 95% digital models of people with disabilities in their hands

图 4. 5%，50%，95% 手部残疾人数字模型



通过 Jack 软件系统,我们能够对人机工程学做出模拟数据分析。这款工具拥有丰富的数据集,能够快速生成各种复杂的人机交互场景。它还能够根据不同的角度和方位,自定义和优化人机交互场景。通过利用 Jack 的 CINESE 数据库,我们能够创造一个 male、female 的手部残疾人的数字模型,我们统一将残疾人的左臂锁定以模拟左臂缺失的残疾人群体生活情况。它们的百分比分别是 5%、50%、95%。这样,我们就能够通过仅仅针对特定的肢体区域的运动来精确控制动作,而无需针对整个肢体区域的运动。通过应用 male,我们可以对 Human control 和 Jack 软件分别对 Chinese 数据库中不同百分比的 male 数据实施人机工学仿真分析,如图 4 所示,以探究不同类型的残疾者的特征及其相应的应对策略。

## 4. 基于 Jack 的仿真分析

### 4.1. 舒适性分析

#### 4.1.1. 炉具高度的舒适性分析

多功能炉具高度对于手部残疾的人群来说是个关键的因素。由于手部残疾人通常需要额外的努力来操作炉具,所以炉具的高度不当会在使用过程中给使用者的肌肉疲劳和不适感[9],同时也会限制使用者的活动空间,带来安全隐患。通过炉具高度的舒适性分析,我们可以根据直立状态下各关节的受力结果来判断炉具高度设计是否合理。

此次实验,我们通过 Jack 软件 OPT (Occupant Packaging Toolkit)模块中的舒适度评价(Comfort Assessment)功能,选择 Dreyfuss 2D 作为数据来源来研究炉具使用形式下的单关节舒适度。中国家庭常见炉具摆放高度为距地面 90 cm,炉具平均使用高度约为 12.5 cm [10],于是我们将仿真使用高度定为距地面 102.5 cm 进行简易仿真。

从图 5~7 可以清晰地看到,即使是站立的姿势,上半身的关节舒适度也没有超出指标限定值,但下半身的关节却基本无法达到舒适要求,Trunk Thigh Right 与 Trunk Thigh Left, Knee Included Right 与 Knee Included Left 这四项腿部数据的舒适度都不佳,这会对长时间使用的使用者造成伤害。这是因为炉具的使用高度不够,因此,需要通过后期调整炉具的摆放高度来提升关节的舒适性。

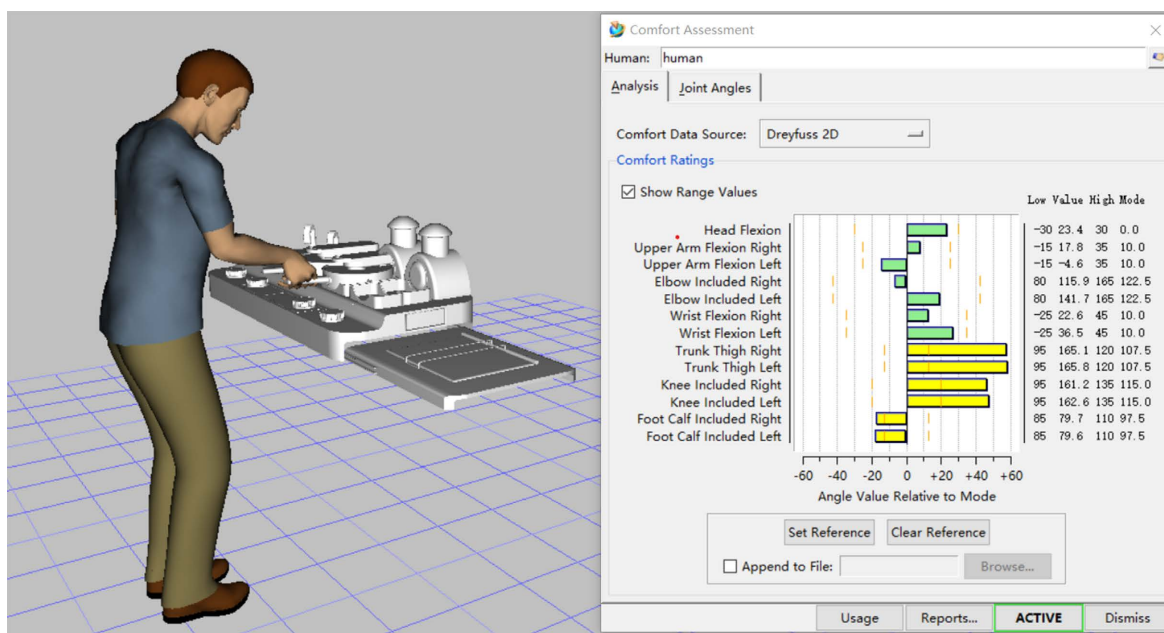


Figure 5. 5th percentile  
图 5. 第 5 百分位

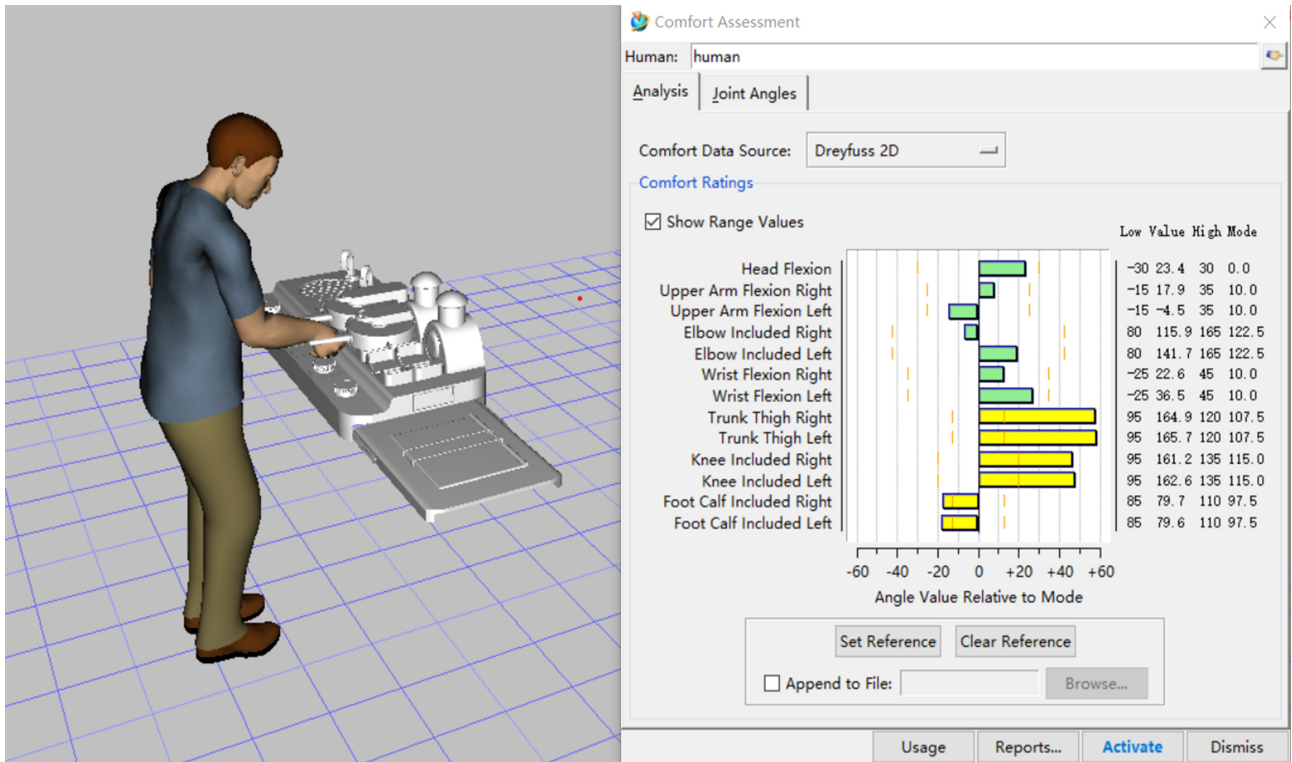


Figure 6. 50th percentile  
图 6. 第 50 百分位

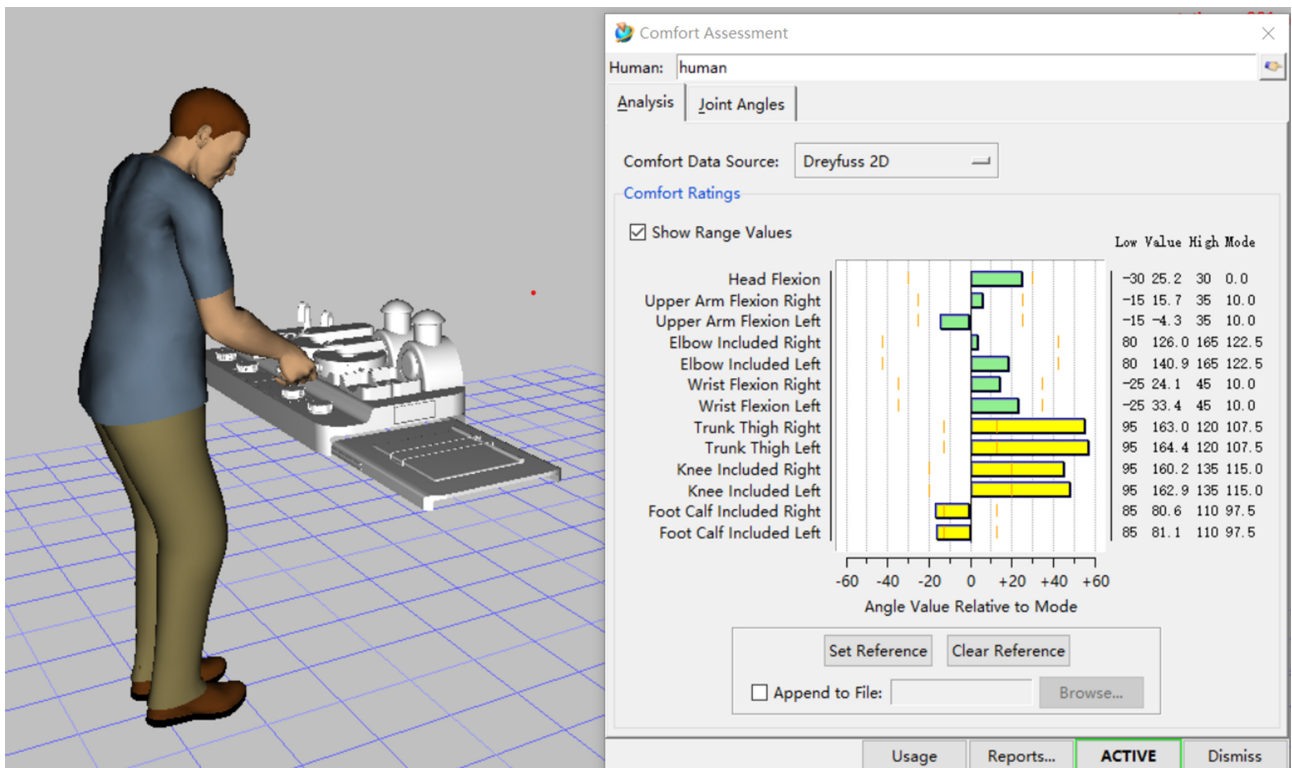


Figure 7. 95th percentile  
图 7. 第 95 百分位

#### 4.1.2. 使用状态舒适性分析

在本文中，手部残疾人多功能炉具的主要作用是协助使用者完成切菜和炒菜，这两种活动方式都需要使用者使用自己的手或腰腹部来承受力量和负荷[11]，由于手部残疾人的身体机能存在一定限制，当他们所承受的力量超出正常范围，就可能对身体造成不适和损伤[10]。设定炒菜锅的质量为 2 KG，在 Jack 软件中通过 ForceSolver 工具对使用者手掌施加向下的重力，如图 8 所示，模拟多功能炉具的烹饪过程进行仿真，受力结果如图 9 所示。



**Figure 8.** Apply wok weight to the hand joints  
**图 8.** 为手部关节施加炒菜锅重量

经过模拟实验和受力数据分析，我们发现手部残疾人使用多功能炉具烹饪时，各关节的 Capable 值都超过了 95%，这说明这种姿势下使用残疾人炒菜锅没有对人体各关节造成伤害，可以保障使用过程中的舒适性及安全性。因此，这种炉具可以为手部残疾人提供有效的帮助。



Ergonomic Analysis							
Sort by: Joint ▾		Angle convention: Jack ▾					
Joint/Axis	% Capable	Use	Moment (Nm)	Muscle Effect	Angle (deg)	Strength Mean (Nm)	Strength Std Dev (Nm)
R Wrist Flx	100	<input checked="" type="checkbox"/>	0.5	--	22.2	--	--
L Wrist Flx	100	<input checked="" type="checkbox"/>	0.0	--	-9.4	--	--
R Wrist Dev	100	<input checked="" type="checkbox"/>	-0.4	--	43.2	--	--
L Wrist Dev	100	<input checked="" type="checkbox"/>	-0.0	--	4.3	--	--
R Wr SuPr	100	<input checked="" type="checkbox"/>	-0.2	--	-10.4	--	--
L Wr SuPr	100	<input checked="" type="checkbox"/>	0.0	--	-39.6	--	--
R Elbow	100	<input checked="" type="checkbox"/>	-6.5	FLXN	51.6	72.6	17.8
L Elbow	100	<input checked="" type="checkbox"/>	-0.7	FLXN	25.9	65.9	16.2
R Sh AbAd	100	<input checked="" type="checkbox"/>	-9.4	ABD	15.0	79.9	19.7
L Sh AbAd	100	<input checked="" type="checkbox"/>	-1.6	ABD	15.0	93.5	23.0
R Sh FwBk	100	<input checked="" type="checkbox"/>	-3.1	FWD	0.0	108.8	29.7
L Sh FwBk	100	<input checked="" type="checkbox"/>	0.6	BKW	0.0	76.9	22.5
R Sh Hmrl	100	<input checked="" type="checkbox"/>	0.3	--	0.0	--	--
L Sh Hmrl	100	<input checked="" type="checkbox"/>	-0.2	--	0.0	--	--
Trunk Flx	100	<input checked="" type="checkbox"/>	-29.6	FLXN	7.8	250.0	78.8
Trunk Bend	100	<input checked="" type="checkbox"/>	8.6	LEFT	2.0	217.2	48.9
Trunk Twst	100	<input checked="" type="checkbox"/>	-0.8	CW	3.9	88.3	23.6
R Hip	99	<input checked="" type="checkbox"/>	-7.7	EXTN	6.9	195.9	78.7
L Hip	99	<input checked="" type="checkbox"/>	-8.7	EXTN	6.3	195.9	78.6
R Knee	100	<input checked="" type="checkbox"/>	3.2	EXTN	18.1	134.4	47.0
L Knee	100	<input checked="" type="checkbox"/>	1.5	EXTN	17.0	132.3	46.3
R Ankle	100	<input checked="" type="checkbox"/>	-19.7	EXTN	10.9	155.0	51.3
L Ankle	100	<input checked="" type="checkbox"/>	-20.8	EXTN	11.2	155.5	51.4

Figure 9. Force diagram of each joint

图 9. 各关节受力图

#### 4.2. 可视域分析

炉具具有切菜功能和炒菜功能，在烹饪过程中，许多工作都是同时进行的，在切菜的时候可能同时在进行炒菜，而且所设计的炉具带有智能菜谱的查询方式，手部残疾人在使用时还可能一边做菜一边看菜谱，这就要求手部残疾人的可视域范围要遍及整个炉具，才能便于使用者了解菜肴的烹饪状态，从而进行适时的调整，保证食物被烹饪到理想的状态。通过利用 Jack 软件中的 Visual Fields 工具，使用 50% 人物数据进行可视域仿真，模拟大多数使用者的体形，模拟手部残疾人使用多功能炉具的情况，可以清晰地看到其视野范围，如图 10 所示。

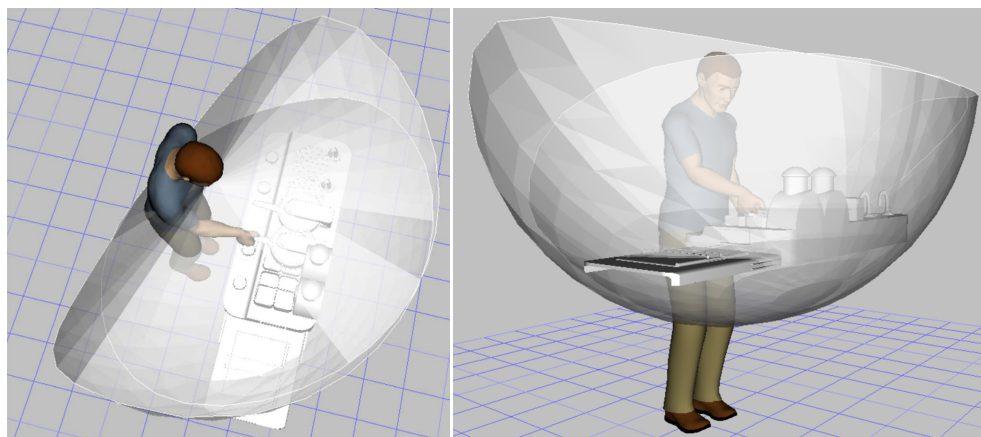


Figure 10. Field of view

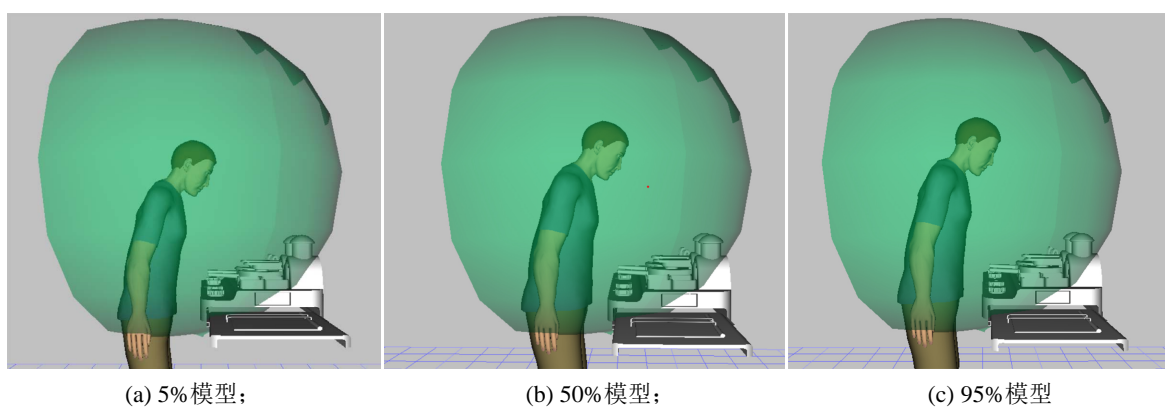
图 10. 视野范围

根据图 10 显示, 采用常规俯视角度(斜向下 45°)的视觉配置来进行仿真模拟, 能够确保使用者拥有宽敞且清晰的视野。这为手部残疾使用者提供了实时监控菜肴状态的可能性, 从而有助于确保烹饪效果和品质。

### 4.3. 可达域分析

当不同百分位手部残疾虚拟人体以站姿使用多功能炉具时, 所能够及时触碰的可达域主要集中在人体胸、腹的正前方与炉具操作台正上方相交的部分。通过使用 Jack 仿真软件对虚拟人体的上肢可达域进行分析, 使用 Analysis 模块中 Reach Zones 分析功能对三个不同百分位的人体进行右手可达范围的分析, 即取右手手掌为轨迹点, 建立右手的运动区域进行分析, 可以了解不同百分位手部残疾人在使用多功能炉具时的可达范围, 以确保手部残疾人能够快速有效地对多功能炉具中的各种功能版块和设备进行操作。

由图 11 可达域范围分析可以发现, 当手部残疾人以站姿使用多功能炉具时, 右手的运动范围是可以覆盖整个残疾人炉具的可操作部分, 5%, 50%, 95% 三种人体模型都可以在站姿情况下单手使用该炉具, 这证明该炉具的尺寸设计相对合理, 可以满足大部分残疾人单手使用。



(a) 5% 模型;

(b) 50% 模型;

(c) 95% 模型

Figure 11. Reachable domain range analysis

图 11. 可达域范围分析

## 5. 结束语

通过 Jack 软件的模拟, 我们成功地定制了一款专门为手部残疾人设计使用的多功能炉具, 以满足他

们的饮食需求。然而，我们也发现，这种设备的结构与实际情况不符，因此，我们建议采取更加科学合理的技术来优化它。经过精心设计调整，不仅有助于大幅度缩短制造周期，而且有效地降低制造费用。另外，这些调整的经验与建议，不仅有助于推动其他行业的技术创新，而且有助于促进该行业的持续发展。

## 基金项目

贵州省科学技术基金重点项目，编号：黔科合基础-ZK [2023]重点 015，面向车载终端自然人机交互控制的用户共识手势动作图像识别研究，2023-01-01~2026-12-31。

## 参考文献

- [1] 甘艳. 关于上肢残疾人生活辅助工具设计方法的探讨[J]. 设计艺术研究, 2012, 2(5): 38-42.
- [2] 李爽. 基于独臂残障人士心理的就餐辅具情感设计与研究[D]: [硕士学位论文]. 北京: 北京理工大学, 2021.
- [3] 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.
- [4] 中华人民共和国国家标准. 中华人民共和国国家标准职工工伤与职业病致残程度鉴定[J]. 化工劳动保护(工业卫生与职业病分册), 1997(2): 37-51.
- [5] 李静璇, 李圣刚. 社区残疾人的心理社会问题调查与分析[J]. 中国医药指南, 2012, 10(22): 374-377.
- [6] 王梓彤, 马松翠, 徐丽丽, 等. 肢体残疾人自我效能感、照顾质量与生活质量的关系[J]. 中国康复理论与实践, 2023, 29(3): 340-348.
- [7] 陈敏, 林轶凡, 孙建琴, 等. 老年人随年龄增加肌肉衰减变化特点研究[J]. 肠外与肠内营养, 2012(5): 13-16.
- [8] 邹钰婷, 邹洋, 张宇娇, 刘新有. 厨房产品的人体工程学分析与评价[J]. 包装与设计, 2020(6): 110-111.
- [9] 李晗京, 徐广琳. 肢体残疾人厨房用具设计研究[J]. 包装与设计, 2021(5): 138-139.
- [10] 张永桥, 方丽萍. 厨房里的人机工程学[J]. 工业设计, 2012(3): 215.
- [11] 丁玉兰. 人机工程学[M]. 北京: 北京理工大学出版社, 2005.