

DOI: 10.19344/j. cnki. issn1671-5276.2023.03.030

老人助手的设计与实验

任丰兰^{1,2}

(1. 常德职业技术学院 机电系, 湖南 常德 415001; 2. 中南大学 机电工程学院, 湖南 长沙 410083)

摘要:针对老年人越来越多、年轻人的压力越来越大、很多时候根本无暇顾及老人的问题,设计一款老人助手。它能帮助老年人独立生活起居,减轻年轻人的负担。对老人助手的总体结构进行设计,建立老人助手的三维模型,运用 ANSYS 软件对老人助手的结构进行有限元分析,采用 UG 软件对其进行运动仿真,并对试制产品进行实验,从理论和实践上验证了老人助手设计的合理性和可行性,为老人助手的研究和应用提供理论和实验依据。

关键词:老人助手;设计;杨森行走机构;智能化装置;传动装置

中图分类号:TP391.9 **文献标志码:**A **文章编号:**1671-5276(2023)03-0128-04

Design and Experiment of Elderly Assistant

REN Fenglan^{1,2}

(1. Mechanical and Electrical Department, Changde Vocational Technical College, Changde 415001, China;

2. School of Mechanical and Electrical Engineering, Central south University, Changsha 410083, China)

Abstract: With the growing elderly population and the increasing pressure for young generations, an elderly assistant device helping the elderly to live independently and reducing the burden of the young is designed. The overall structure of the elderly assistant is designed, and the three-dimensional model of the device is built. ANSYS software is applied to analyze the finite element of the assistant structure, on which the motion simulation is carried out by UG software. The experiments performed on the trial production products verify the rationality and feasibility of the design, which provides a theoretical and experimental basis for the research and application of elderly assistants.

Keywords: elderly assistant; design; Janssen walking mechanism; intelligent device; transmission

0 引言

21 世纪,人口老龄化呈现出全球化的趋势。随着现代社会工业化的发展,科学技术、医疗卫生技术及物质生活水平的提高^[1],使全球人口老龄化程度不断递增。作为占有世界人口比例最多的中国,人口老龄化更为严重^[2]。照顾老人是子女的责任,但是目前我国大部分家庭基本上都是一个子女,大多都在为自己的生活奔波,很多的时候根本无暇顾及老人^[3]。如何让老人独立生活起居,并享有独立和有质量的健康生活,已经成为社会面临的关键问题。老人助手就是依据此而设计的,它具有帮老人在室内行走、预防其跌倒、方便进行物品整理与存取、进行康复训练、提醒吃药、随时进行休息等多种功能,这对提高老年人生活质量、照顾老年人独立生活起居,减轻年轻人的负担有着重要意义,有利于缓解我国的经济和社会压力,实现经济、社会的可持续发展。

1 老人助手的总体结构设计

老人助手能帮助老人独立生活起居^[4],如安全地在室内行走、如厕,并能预防其跌倒、提醒其吃药,方便帮助老人进行物品整理与存取,甚至在行走无力的时候给老人提供助力,让其享有独立和有质量的健康生活,其总体结构如图 1 所示,它包括行走机构、传动装置、如厕结构、康复训练装置、物品整理和存取结构、辅助装置等 6 大部分,其各部分的组成和作用如表 1 所示。

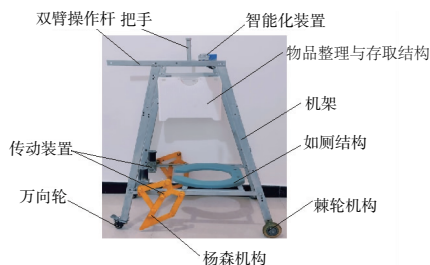


图 1 老人助手的总体结构

基金项目:湖南省自然科学基金资助项目(2020JJ7001);常德市科技创新发展指导性计划项目(2020ZD64)

作者简介:任丰兰(1976—),男,湖南永州人,副教授,硕士,研究方向为老人设备的研究和应用。

表1 老人助手各部分组成及其作用

结构	结构组成及功能	作用
行走机构	由 Jansen's linkage(杨森连杆)机构、传动装置和单片机、传感器等组成。它由电机驱动,通过采集老人平时的行走姿态和行走的速度,来自动判别老人的状态,自动调节行走的速度	在老人行走无力的时候给老人提供助力,引导老人行走
如厕结构	整合了蹲厕改坐厕的设计,方便老人如厕起身	解决老人如厕时起身困难的问题
智能化装置	由智能手表与自动定位系统等组成,可通过语音自动设置提醒,能与子女进行语音通话、音乐播放、日常生活安排,能进行自动定位等,比如提醒老人什么时间吃药	让子女随时掌握老人动态,操作简单,十分方便
康复训练装置	由双臂操作杆、把手和机架等组成,可通过双臂操作杆帮助老人进行康复训练,如平衡力和关节活动训练	提高老人手脑协调能力,维持老人关节活动度和灵活性等
物品整理和存取结构	由储药、储物篮等组成,可方便老人储药和把物品从一个地方搬运到另一个地方,比如把晒干的衣服从阳台搬运到卧室	方便、省力
辅助装置	它包括万向轮、棘轮装置、推车把手、座椅等。万向轮主要在不用行走机构的时候方便老人推着行走;棘轮机构的设计是为了防止老人助手后溜,预防老人跌伤;安装座椅的目的是让老人在行走的过程中便于休息;推车把手主要注重的功效是握手的舒适度,支撑推车把手的杆为伸缩杆结构,其高度可调节进而适用于不同的使用者	辅助支撑

2 老人助手尺寸分析

2.1 老人群尺寸分析

就人体工程学而言,在设计一个与用户行为息息相关的产品时,必须先考虑到所设计的产品在人类生活和工作中的合理性和安全性,在两者具备的情况下再满足舒适性和效率。尤其是为老年人设计使用的产品时,首先要考虑的就是人机工程学中安全性和舒适性的原则;协调产品的高度,符合老人自然状态的舒适性,适当降低工作面和触摸高度,尽可能做到省力^[5]。所以在产品最初的方案生成之前,要确定产品的人机尺寸参数。

人的骨骼变化会随着年龄的增加而不断降低,老年科学研究结果表明,人的身高巅峰在 28 岁~30 岁,在 35 岁~40 岁之后开始出现衰减,年龄每增加 10 岁,身高就会相应降低 1~2 cm,一般情况下 70 岁的老年人身高会比年轻时降低约 2.25%,女性有时最大可达 4%^[6]。老人助手产品的设计应该尽可能适用于所有老年人,所以应选取清华大学和宝洁公司联合开展的“中国老年人行为仿真”中的最新老人人体尺寸测量数据表中的男性 95th 百分位人体测量数据和女性 5th 百分位人体测量数据之间的数据作为参考^[7],结合老人助手尺寸要点对数据归纳总结,分为站姿尺寸和坐姿尺寸数据两类,如表 2 所示。

表2 老年人姿态身体尺寸表 单位:mm

尺寸测量项目	男性(95th 百分位)	女性(5th 百分位)
身高	1 761	1 412
肘高	1 118	845
肩宽	361	245
坐姿膝高	528	395
坐姿肘高	301	194
坐姿臀宽	418	328

2.2 老人助手尺寸参数

根据上述老年人站姿与坐姿两个尺寸数据及功能校正,将老人在使用老人助手不同状态下所产生的身体和产品尺寸关系归纳得出表 3 的数据。

表3 人体、老人助手尺寸关系表 单位:mm

人体尺寸	范围	老人助手部件尺寸	尺寸
肘高	854~1 118	总体高度	950
坐姿臀宽	332~418	坐垫宽度	460
坐姿膝高	395~528	坐垫高度	420
肩宽	249~361	宽度(两轮之间)	430

2.3 老人助手材质的选择

用户在老人助手使用的过程中会发生亲密的肢体接触,因此在选材上要根据老年人的安全性和舒适性需求,选择具有理想中的性能、触感以及质感要素的材料^[8]。在设计老人助手时一定要在安全性、适用性、人机合理性方面多加重视,考虑产品的承重与受力状况,其框架材料应选择强度高的合金,其余辅助器具在选材时应考虑舒适性和耐用性^[9],选择的材料如表 4 所示。

表4 老人助手材质选择表

结构	选用材料
主体支架结构	6061-T651 铝合金材料
行走机构	45 钢
把手	PVC
座椅的椅面	透气性好的纺织材料

3 老人助手部分结构设计

3.1 行走机构的设计

行走机构的设计是关键,由于杨森连杆机构对行走具

有较好的可控性,所以该行走机构采用杨森连杆机构+电机的结构^[10]。电动机的类型决定了机器生产的效率以及特性,老人助手对电机的启动要求平稳,转速不能太高,所以选择 ZY 系列永磁有刷直流电机就可以满足要求,它具有调速性能好、可靠性高、控制方法简便、过载能力大及价格便宜等优点。参照电动车车辆行驶方程式^[11]:

$$F_i = F_r + F_w + F_i + F_j \quad (1)$$

式中: F_i 为驱动力; F_r 为滚动阻力; F_w 为行驶时空气阻力; F_i 为行驶时加速阻力; F_j 为上坡时坡道阻力。

而老人助手一般是在平稳平坦的路面上缓慢行驶,因此, F_w 、 F_i 和 F_j 均不作讨论,从而得

$$F_i = F_r \quad (2)$$

根据经验公式得

$$F_r = f \cdot G \quad (3)$$

式中: f 为阻力系数,常取 0.4~0.6; G 为老人助手的自质量即总质量,kg。

老人助手的驱动力是通过电机输出转矩 M ,直接传到杨森机构上的驱动转矩 M_i ,使杨森机构和地面产生相互作用力,这样就使老人助手产生了驱动力:

$$F_i = M_i / r \quad (4)$$

式中: M_i 为驱动转矩,Nm; $M_i = M\eta$,其中 M 为电机输出转矩,Nm, η 为老人助手传动效率,常取 $\eta = 0.97 \sim 0.98$; r 为驱动轮半径,m。

一般来说,老人的质量在 60~80 kg 之间^[12],本文取 70 kg,老人助手的质量 10 kg;正常人的运行速度一般是 1 m/s,对老年人来说,可以适当减慢,转化为转速大约为 40 r/min;驱动轮半径不能太大,本文取 6 mm; η 取 98%。根据公式 $P_m = M \cdot n / 9549$,其中: n 为电机转速,r/min; P_m 为电机的输出功率,kW,得 $P_m = M \cdot n / 9549 = f \cdot G \cdot r \cdot n / (\eta \cdot 9550) \approx 20.12$ (W)。最终选择取电机输出功率为 21 W,选出的型号为 5840-31ZY 直流型电机。

3.2 辅助装置设计

1) 万向轮的设计

万向轮安装在脚轮轮子的支架上,能在运动或静态载荷下水平 360°旋转,安装脚轮支架必须有足够的强度,以满足使用时的承载质量,其功能不受安装位置的影响。万向轮脚轮支架材料采用不锈钢,由于无耐高温、抗酸性要求,选用尼龙万向轮,其具有超耐磨和承载能力强的特点,如图 2 所示。

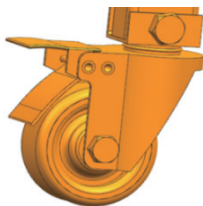


图 2 万向轮

2) 推车把手的设计

根据人体工程学,在把手能够为老人提供持握感的前提下,同时又考虑老人在行走过程中可能需要支撑,本文将推车把手设计在框架上方。同时,因为老人的身材、体

型差异,支撑推车把手的支架为伸缩杆结构,其高度可调节进而适用于不同的使用者。

3) 棘轮机构的设计

棘轮机构主要由摇杆、棘爪和外棘轮所组成。摇杆为主动件,棘轮为输出构件。当摇杆逆时针摆动时,驱动铰接在杆上的棘爪插入棘轮的齿内,推动棘轮同向转动。当摇杆顺时针摆动时,棘爪在棘轮的齿上滑过,棘轮停止转动。这样,当摇杆作连续的往复摆动时,棘轮便得到单向的间歇运动,达到防止老人助手后溜,预防老人跌伤的目的,如图 3 所示。

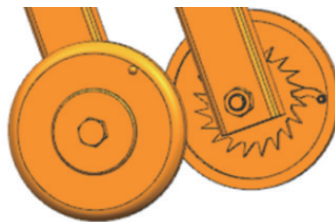


图 3 棘轮

4 老人助手的有限元分析及运动仿真

老人助手的设计主要是对结构框架、行走机构和坐垫进行受力分析,所以略去把手及轮子、如厕结构,把如厕结构换成了一个座椅,其模型如图 4 所示。对创建的几何模型进行有限元分析,进而对其进行性能上的检测、优化,以保证产品设计的精密性。同时,老人助手产品结构材料的强度和刚度是保证产品达到舒适性的基础条件,也是老人助手在用户安全方面必须要先考虑到的基础条件。



图 4 老人助手模型图

4.1 机架受力分析

根据几何尺寸建立有限元模型,首次分析其材料如下:支架由铝合金材料通过加工得到,其截面尺寸分别为 44 mm × 29 mm、40 mm × 25 mm、29 mm × 29 mm、25 mm × 25 mm,坐垫由铝合金板加工,板厚 5 mm。通过查找资料,得知铝合金的材料属性取决于材料中合金成分和比例,有限元分析计算过程采用的是 6061-T651,其材料的属性如表 5 所示。在关键点分别约束 UX、UY、ROTY,通过施加载荷在这个范围使用节点上。通过浏览有限元计算仿真结果,得到老人助手在两种工况下的最大应力和最大位移情况,如图 5、图 6 所示。

表 5 铝合金材料属性表

材料	弹性模量 E / MPa	泊松比 μ	屈服强度 $[\sigma]$ / MPa	密度 ρ / (g/cm^3)
6061-T651	6.98×10^{10}	0.33	276	2.73

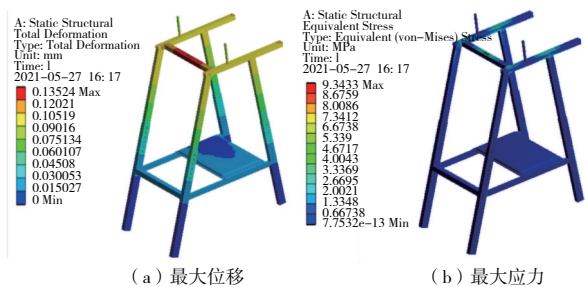


图 5 双臂操作杠施加力时最大位移和最大应力图

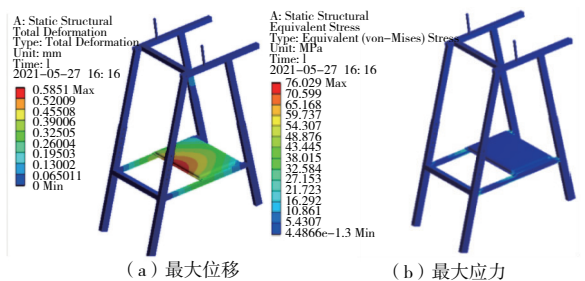


图 6 座椅施加力时最大位移和最大应力图

由图 5 可知,最大应力值为 9.34 MPa,最大变形量为 0.14 mm,满足设计要求;由图 6 可知,最大应力值为 76.03 MPa,最大变形量为 0.58 mm,满足设计要求。

4.2 行走机构受力分析

行走机构材料的截面尺寸为 50 mm×5 mm。查找资料得到钢的材料属性取决于碳成分和比例,有限元分析计算过程采用的是 45 钢,如表 6 所示。根据几何尺寸建立有限元模型,在关键点分别约束 UX、UY、ROTY,通过施加荷载在这个范围使用节点上,求解分析得到老人助手行走机构的最大应力和最大位移情况,如图 7 所示。

表 6 45 号钢材料属性表

材料	弹性模量 E / MPa	泊松比 μ	屈服强度 $[\sigma]$ / MPa	密度 ρ / (g/cm^3)
45 钢	2.09×10^{11}	0.269	355	7.85

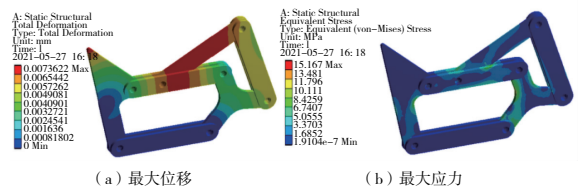


图 7 行走机构施加力时最大位移和最大应力图

由图 7 可知,最大应力值为 15.17 MPa,最大变形量为 0.01 mm,满足设计要求。

综上,老人助手的结构设计是满足要求的。

4.3 基于 UG 的运动仿真

通过设置相关参数,如[时间]设置为 17,[步数]设置为 350,进行仿真计算等步骤进行仿真,如图 8 所示。仿真结果表明:老人助手也可以在行走机构的带动下进行运动,符合设计要求。

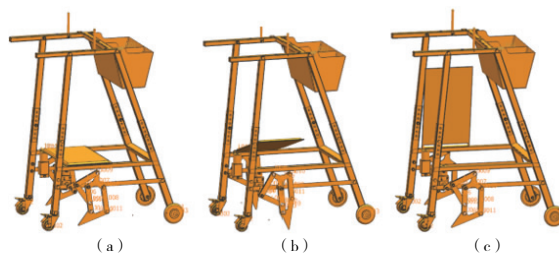


图 8 老人助手行走运动仿真

5 老人助手的实验

所设计的老人助手经过设计、仿真、试制,成功地做出了产品,并对其进行部分实验。图 9 所示是学生在进行老人助手的行走训练模拟,在老人行走不动的时候,只要扶着老人助手,通过杨森机构+电机的共同作用,就可以被带着行走,达到方便、省力的目的。图 10 所示是模拟老人如厕,在老人行走不便又起身困难的时候,解决老人如厕难等问题,从而方便老人如厕起身,尤其是对于一些高血压老人来说,大大提高了其安全性。



图 9 老人助手的行走训练图



图 10 老人助手的如厕训练图

(下转第 148 页)

5 结语

本文设计了一种针对绳驱并联机构的逆运动学求解算法,所取得的结论主要包括以下方面。

1)本文设计了绳驱并联机构样机,并建立了其运动学模型,分析了利用牛顿迭代进行逆运动学计算时面临的计算误差大和稳定性差的缺陷。虽然本文的研究对象是2自由度样机,但是建模方法与结论具有普适性,适用于同类更加复杂的机构。

2)基于模糊决策和机构运动学模型,构建了关节角度与测量绳长之间的隶属度函数,并运用模糊算法可抑制测量噪声对计算结果的干扰。

3)相比于牛顿迭代,当存在测量噪声干扰时,在运动极限位置附近,利用模糊算法进行绳驱并联机构的逆运动学计算精度较高,且当噪声信号增强时,模糊求解得到的误差分布范围小于牛顿迭代,具有更强的计算稳定性。

参考文献:

- [1] 马曙光,于强,王培栋,等. 绳驱空间机械臂动力学建模与仿真效率分析[J]. 飞控与探测,2020,3(1):37-41.
- [2] 严盼辉. 基于视觉的绳驱柔性机械臂形状测量与目标定位方法[D]. 哈尔滨:哈尔滨工业大学,2019:1.
- [3] 陈学生,陈在礼,孔民秀. 并联机器人研究的进展与现状[J]. 机器人,2002,24(5):464-470.
- [4] 沈惠平,辛秀梅,张会芳. 并联运动机械工业应用研究的最新

进展[J]. 机械设计,2007,24(1):1-3.

- [5] HILLER M, FANG S Q, MIELCZAREK S, et al. Design, analysis and realization of tendon - based parallel manipulators [J]. Mechanism and Machine Theory, 2005, 40(4) : 429-445.
- [6] MERLET J P. Parallel robots [M]. Dordrecht: Springer Netherlands, 2000.
- [7] 欧阳波,尚伟伟. 6 自由度绳索驱动并联机器人力封闭工作空间的快速求解方法[J]. 机械工程学报,2013,49(15):34-41.
- [8] 杨斌. 三自由度绳驱并联机器人的建模与控制[D]. 哈尔滨:哈尔滨工业大学,2019:3-5.
- [9] 张立勋,王克义,张今瑜,等. 基于绳索牵引的骨盆运动并联康复机器人的可控性研究[J]. 哈尔滨工程大学学报,2007,28(7):790-794.
- [10] BUTCHER J. Numerical methods for ordinary differential equations[M]. Chichester, UK: John Wiley & Sons, 2003.
- [11] 刘欣. 两种并联机器人的机构性能分析与运动控制研究[D]. 西安:西安电子科技大学,2009.
- [12] PRIMROSE E J F. On the input-output equation of the general 7R-mechanism [J]. Mechanism and Machine Theory, 1986, 21(6) : 509-510.
- [13] 代小林,王鹏,宫大为. 基于免疫遗传算法的冗余并联机构多目标优化[J]. 哈尔滨工程大学学报,2018,39(12):2033-2039.
- [14] 杨鹏,梁利华,李国斌. 改进蚁群算法在并联六自由度平台优化设计中的应用[J]. 哈尔滨工程大学学报,2007,28(11):1236-1241.

收稿日期:2021-11-24

(上接第 131 页)

6 结语

设计老人助手的目的是在子女繁忙根本无暇顾及老人的时候帮助老人独立生活起居,它能安全地帮助老人在室内行走、如厕,并能预防其跌倒,提醒其吃药,而且方便帮助老人进行物品整理与存取。本文对老人助手的总体结构进行了设计,对杨森行走机构、辅助机构进行了详细设计,并运用 ANSYS 软件对老人助手进行了有限元受力分析,运用 UG 软件进行了运动仿真;对设计的产品进行了试制,并对其功能进行实验。设计和实验表明:老人助手的设计是合理的,是可行的。如果把试制的产品再进行改进、推广及应用,这对提高老年人生活质量,减轻年轻人的负担有着重要意义。

参考文献:

- [1] 葛虹言. 轻中度活动受限老人的行动辅助产品设计研究[D]. 成都:西南交通大学,2019.
- [2] 常莹. 老龄化社会环境下的包容性智能助行器设计研究[D]. 哈尔滨:哈尔滨理工大学,2022.
- [3] 王子卿. 可持续设计理念下的老年人智能助行器创新设计研

究[D]. 广州:广东工业大学,2019.

- [4] 任丰兰. 一种老年康复训练用助行器:中国, CN215536303U [P]. 2022-01-18.
- [5] 张思怡,徐月花,汤阿毛,等. 一种多功能助行器的设计[J]. 护理与康复,2020,19(10):99-100.
- [6] 王悦希. 迟暮之幸——老年人的家庭照护类产品设计研究[D]. 成都:西南交通大学,2018.
- [7] 杨秋颖. 基于老年人居家活动的助力产品设计研究[D]. 北京:北方工业大学,2018.
- [8] 黄群,钟煜岚. 基于认知老化的高龄者智能产品设计要则[J]. 包装工程,2018,39(12):75-80.
- [9] 陶琪,段晓迪,叶建伟. 老年生活方式和行为特征研究[J]. 设计,2016(23):38-39.
- [10] 任丰兰,谭博,邱冰月,等. 一种多功能老人助手装置:中国, CN213758029U [P]. 2021-07-23.
- [11] 刘伟男,卜建新. 电动自行车主要参数的计算[J]. 摩托车信息,1999(2):44.
- [12] 饶旭日. 老年人无动力助行器设计研究与实践[D]. 北京:北京工业大学,2020.

收稿日期:2022-01-11