

# 可折叠如厕洗浴辅助椅运动-静力分析与实现

潘澳,张永鸿,陶丽佳,陈蒙蒙,吴亚莲

(江苏科技大学 苏州理工学院,江苏 张家港 215600)

**摘要:**针对老人在家如厕时下蹲或久坐后起立困难、洗浴时不便移动、在湿滑地面站立易摔倒且背部擦洗较为吃力等生活不便的情况,研制一种可折叠辅助如厕和洗浴的多功能椅。基于运动学和静力学仿真对该结构的合理性和安全性进行分析,通过实物验证仿真分析结果的正确性。结果表明:所设计的辅助椅能平稳辅助老人站起,且其关键零件也在安全性能范围内,有助于减少老人独居时的安全风险。

**关键词:**辅助如厕洗浴;助老机械;多功能椅;结构设计

**中图分类号:**TP391.9 **文献标志码:**A **文章编号:**1671-5276(2022)05-0034-05

## Kinematic Static Analysis and Implementation of Foldable Toilet Bathing Assistant Chair

PAN Ao, ZHANG Yonghong, TAO Lijia, CHEN Mengmeng, WU Yalian

(Suzhou Institute of Technology, Jiangsu University of Science and Technology, Zhangjiagang 215600, China)

**Abstract:** To improve the inconvenient life for the elderly, such as squatting toilet or standing up from long time sitting, difficult movement when bathing, easy tumbling on wet and slippery ground, and labourious back scrubbing in bathing, a folding multifunctional chair with auxiliary toilet and bathing was developed. Based on the kinematics and statics simulation, the rationality and safety of the structure were analyzed, and the correctness of the simulation results was verified by physical object. The results show that the designed auxiliary chair can help the elderly stand up steadily with its key parts qualified for safety performance, which helps to reduce the safety risk of the solitary living elderly.

**Keywords:** auxiliary toileting and bathing; elderly care machinery; multifunctional chair; structural design

## 0 引言

随着人类老龄化趋势逐渐加重,目前失能老人的问题已经广泛引起社会关注<sup>[1]</sup>。老年人随着年龄的增长或受疾病的影响,日常生活自理能力逐渐下降。比如洗浴时浴室地面湿滑易导致老人摔倒且擦洗背部时较为吃力;老人骨密度低,心血管调节反应较差,肌肉等器官老化。因此如厕久坐后站起容易发生脑缺血,稍有不慎会造成肌肉损伤甚至骨折,这都给老人的独立生活带来了很大的困难与风险。

为解决上述问题,越来越多的助老机械被研制出来。李永田设计的“一种多功能淋浴椅”,将淋浴喷头安置在椅子上方,设置有水温显示和放置物品的托盘<sup>[2]</sup>,减少老人洗浴时拿东西走动产生的危险,但忽略了老人背部清洗困难和从椅子上站起的不便。林如珊等的“老年护理用具多功能洗澡椅的研制”拥有辅助洗澡和如厕多种功能<sup>[3]</sup>,但是没有调节腿部位姿,不能辅助老人站起。刘坤等设计了多功能坐站辅助型如厕轮椅机械结构,通过变杆长及变杆位的线性联动设计,使系统内外支撑杆对座位托举上升实现人体站起和迎候式辅助人体坐下的功能,扶手装置可实现准确控制外支杆定点纵向位移<sup>[4]</sup>。滕兵等的

“轮椅床的结构设计”,通过一系列机械机构实现轮椅到床的转变,完成使用者从坐姿到躺姿的全过程变化<sup>[5]</sup>。朱亚坤等对电动轮椅进行联网化设计,可实时监测使用状态和远程控制轮椅,使电动轮椅安全性提高,更加智能地保障使用者安全<sup>[6]</sup>。然而这些机构没有兼具淋浴时自动擦背和辅助如厕后站起两种功能。

为改善独居老人的生活质量,针对其日常生活的不便,本文研制了一款可辅助老人如厕后站起,淋浴时擦背,且可进行折叠的助老椅,并对其进行运动学和静力学分析,以保证该椅子能平稳辅助如厕和洗浴,并保证其安全性。

## 1 功能需求分析与方案设计

### 1.1 功能需求分析

基于老人日常生活的需求和市场调研结果,本文所设计的可折叠如厕洗澡辅助椅具有以下功能。

1) 辅助如厕后站起功能。

2) 背部清洗功能:老人由于其骨骼较脆弱,洗澡时手部很难弯曲到背后擦洗背部,因此需要背部擦洗机构,同时该结构应能适应不同身高的老人对擦背范围的需求。

3) 自动刹车功能:老人随着年龄的增长记忆力减退,

**基金项目:**江苏省高校自然科学基金面上项目(19KJB460016)

**第一作者简介:**潘澳(1999—),女,安徽宿州人,学士,研究方向为机械结构设计。

所以刹车机构要尽可能简便、自动化,避免老人忘记刹车导致椅子移动而造成的各类风险。

4) 折叠功能:设计的结构应保证折叠后所占空间尽可能小,以便不用时存放或外出使用时携带。

本多功能椅的设计应适合大部分老人,因此需根据多数老人的身高和坐姿舒适度来确定多功能椅的尺寸。具体设计参数如表 1 所示。

表 1 多功能椅的主要设计参数

参数名称	参数值
擦背行程/mm	400
擦背高度调节范围/mm	0~180
腿部位姿角度范围/(°)	0~45
椅面高度/mm	500
承重范围/kg	30~100

## 1.2 方案设计

该多功能椅的设计方案如图 1 所示,包括:背部清洗机构,折叠机构,辅助站起机构,刹车机构。背部清洗机构安装在椅背部分,折叠机构安装在底板附近,辅助站起机构安装在底板上方,刹车机构安装在前定向轮上。

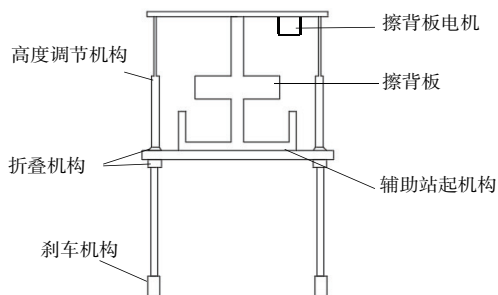
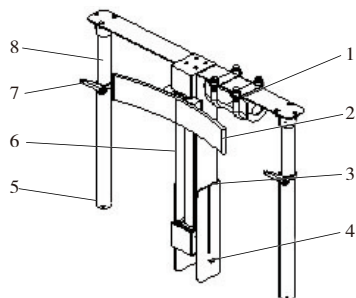


图 1 总体结构示意图

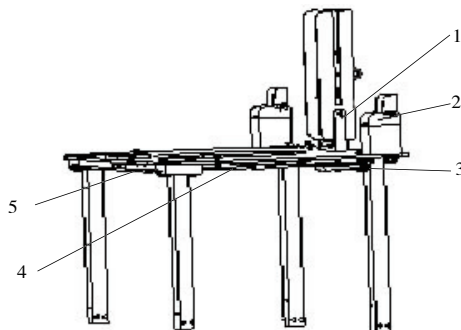
1) 背部清洗机构如图 2 所示。直流电机驱动带轮转动,使固定在同步带上的擦背板上下往复运动,完成擦背;内圆管套进外圆管内部,通过座管夹固定位置,方槽底部套入滑槽内部,通过松紧调节器固定。提拉或下按固定板,可同时改变方槽套入滑槽深度和内圆管套入外圆管深度,可调节背部清洗机构的高度,以适应不同背长的老人。



1—擦背板电机;2—擦背板;3—同步带;4—滑槽;  
5—外圆管;6—方槽;7—座管夹;8—内圆管。

图 2 擦背部分简图

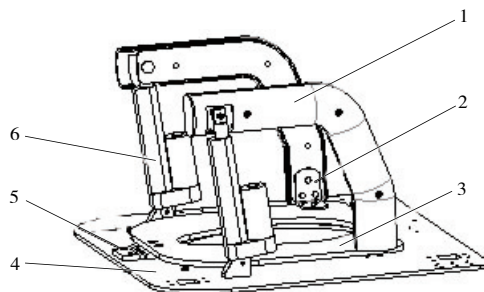
2) 折叠机构如图 3 所示,可分为腿部的上收和背部清洗机构的翻折。背部清洗机构翻折原理为两侧的外圆管通过折合铰链向前翻折 90°,中间的滑槽通过轴销与 U 型件连接完成向前翻折。腿部的上收原理为:钩销与叉销的钩部分别穿过前后支撑腿,用来固定支撑腿伸出后的位置。拉杆的两端通过万向节分别与钩销端部连接,拉动拉杆完成钩销和叉销从支撑腿中脱离,此时椅子的上部依靠自身重力沿支撑腿下滑,根据相对运动实现椅子支撑腿的上收。



1—U 型件;2—折合铰链;3—叉销;4—钩销;5—拉杆。

图 3 折叠机构图

3) 辅助站起机构如图 4 所示,翻转板通过铰链铰接在底板前侧,电动推杆底座固定在底板上,电动推杆顶部与扶手连接。扶手底部与翻转板固定。通过按钮控制电动推杆的伸缩使翻转板进行翻转,辅助老人如厕后站起。



1—扶手;2—连接件;3—翻转板;  
4—底板;5—铰链;6—电动推杆。

图 4 辅助站起机构图

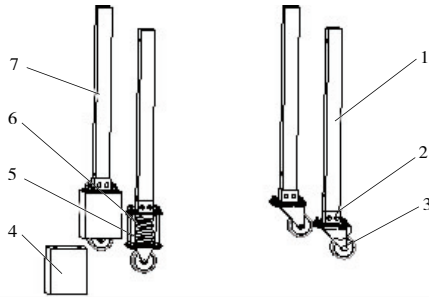
4) 刹车机构如图 5 所示,为防止老人使用前忘记操作刹车,把刹车机构设置成可自动刹车。刹车原理为:刹车方槽通过方管连接件与前支撑腿固定,刹车方槽内部穿过 4 根导向管并与刹车弹簧一端焊接,刹车弹簧另一端与定向轮上面的安装部件焊接。使用者坐上椅子后,由于重力作用使刹车弹簧压缩,前支撑腿和刹车方槽一起沿着导向管向下移动,刹车方槽接触地面,达到刹车效果。

## 2 总体结构设计 with 关键部件选型

### 2.1 总体结构

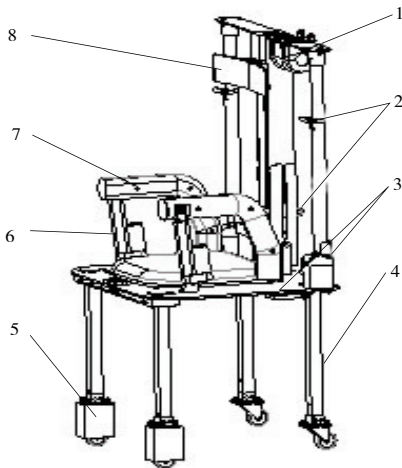
通过对各结构的设计分析,确定多功能助老椅包括移动与支撑部分、刹车部分、翻转部分、折叠部分和擦背部分

(图6)。移动与支撑部分主要包括前轮定向轮、后轮万向轮、支撑腿;翻转部分主要包括翻转板、电动推杆、扶手;折叠部分主要包括折合铰链、拉杆与钩销和叉销;擦背部分主要包括擦背板、高度调节等。



1—后支撑腿;2—方管连接件;3—万向轮;4—刹车方槽;  
5—刹车弹簧;6—导向管;7—前支撑腿。

图5 刹车机构图



1—擦背驱动电机;2—高度调节部分;3—折叠部分;4—支撑腿;  
5—刹车部分;6—电动推杆;7—扶手;8—擦背板。

图6 总体结构图

## 2.2 刹车弹簧选型与校核

多功能椅可承受的最大质量为 100 kg, 最小质量为 30 kg。椅子自身质量(含蓄电池和电机)为 10 kg。前轮采用刹车弹簧,后轮采用脚踩式刹车,所以一根弹簧载荷为 269.5 N。由于弹簧在一般载荷下工作,所以可选第三类弹簧来计算。选用材料为 C 级碳素弹簧钢丝,初始估计弹簧丝直径为 4 mm。经过查表得  $[\tau_T] = 0.5\sigma_B$ ,  $\sigma_B = 1569 \text{ MPa}$ , 于是  $[\tau_T] = 784.5 \text{ MPa}$ ,  $[\tau_T]$  为弹簧工作时的切应力,  $\sigma_B$  为材料的抗拉强度。

根据以上条件参考《机械设计》选定弹簧旋绕比  $C$  为 10。

$$k = \frac{0.615}{C} + \frac{4C-1}{4C-4} = 1.14$$

$$d = 1.6 \sqrt{\frac{kCF_{\max}}{[\tau_T]}} = 3.17$$

式中:  $k$  为弹簧曲度系数;  $d$  为弹簧丝直径,  $F_{\max}$  为最大载荷。

根据《弹簧设计手册》取第一系列标准值,  $d$  取 3.2 mm, 再根据以下公式算出弹簧中径  $D_2$  和弹簧外径  $D$ , 单位为 mm。

$$D_2 = Cd = 10 \times 3.2 = 32$$

$$D = D_2 + d = 32 + 3.2 = 35.2$$

计算弹簧的有效工作圈数  $n$ , 根据设计手册查得  $G = 80000 \text{ MPa}$ , 弹簧的工作圈数为

$$n = \frac{Gd^4 \lambda}{8F_{\max} D_2^3} = \frac{80000 \times 3.2^4 \times 70}{8 \times 269.5 \times 32^3} = 8.3$$

式中:  $G$  为材料的切变模量;  $\lambda$  为弹簧的轴向变形量。取弹簧  $n$  为 9。弹簧的总圈数为

$$n_0 = n + 2 = 9 + 2 = 11$$

验算载荷与变形, 计算最小载荷与最大载荷相应的变形量, 单位为 mm。

$$\lambda_{\min} = \frac{8F_{\min} D_2^3 n}{Gd^4} = \frac{8 \times 100 \times 32^3 \times 9}{80000 \times 3.2^4} = 28.1$$

$$\lambda_{\max} = \frac{8F_{\max} D_2^3 n}{Gd^4} = \frac{8 \times 269.5 \times 32^3 \times 9}{80000 \times 3.2^4} = 75.8$$

式中  $F_{\min}$  为最小载荷。

综上所述, 刹车弹簧的压缩变形均大于起压缩效果时的压缩量 25 mm, 可以达到刹车方槽与地面接触, 完成刹车。

## 2.3 电动推杆选型

由表 1 可知加上椅子翻转部分的自质量, 如厕辅助机构中的翻转部分所需承受的总重力约为 1010 N, 参考运动生物力学翻转板翻转 45° 可辅助老人站起, 通过三维运动模型绘制出翻转示意图(图 7)。图中, 翻转板长 300 mm, 电动推杆收缩后加底座长 228 mm, 翻转 45°。

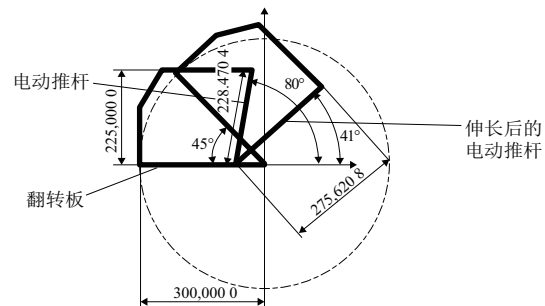


图7 翻转示意图

正常情况下老人常坐在坐垫的中间位置, 此时:

开始翻转时:  $M(\text{重力}) = G \times R = 150 \times 1010 \text{ (N} \cdot \text{mm)}$

$$M(\text{推力}) = F \times R_1$$

$M(\text{推杆}) > M(\text{重力})$ , 得出  $F > 1443 \text{ N}$ 。

翻转终止时:  $M(\text{重力}) = G \times R \cos 45^\circ = 107060 \text{ (N} \cdot \text{mm)}$

$$M(\text{推杆}) = \frac{R_1}{2} \times F = 75 \times F$$

$M(\text{推杆}) > M(\text{重力})$ , 得到  $F > 1427 \text{ N}$ 。

式中:  $M(\text{重力})$  为人加翻转板总质量绕铰链旋转所用力矩;  $M(\text{推杆})$  为电动推杆提供力矩;  $G$  为人和翻转部分总

质量; $R$ 为总重力到铰链的垂直距离; $R_1$ 为电动推杆的推力到铰链的垂直距离; $F$ 为电动推杆的推力。

同理算出老人坐在靠近后端和靠近前端时所需最大力分别为 2886 N 和 1010 N。因为采取两侧安装两个推杆的方案,所以电动推杆的推力选 1500 N。

采用画图法量出电动推杆伸长后长为 294.3 mm,由于原长为 228 mm,所以电动推杆的行程选 100 mm。

### 2.4 驱动擦背板电机的选型

根据一个成人的后背长度确定带轮中心距为 450 mm,擦背板高度为 80 mm,擦背模块可调节高度 180 mm,擦背板的行程为 370 mm。带轮直径为 40 mm 周长为 125.6 mm。

$$S = \frac{L}{C} = \frac{370}{125.6} = 2.95$$

式中: $S$ 为所需圈数; $L$ 为擦背板行程; $C$ 为带轮周长。

可得在擦背板一个行程内带轮转 3 圈。根据人擦背的舒适度调查,擦背速度约为 74 mm/s。

$$T = \frac{L}{V} = \frac{370}{74} = 5$$

式中: $T$ 为单行程电机所用时间,s; $L$ 为擦背板行程,mm; $V$ 为擦背板所需速度,mm/s。

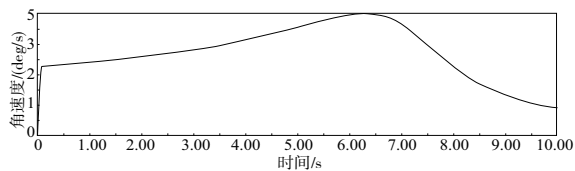
即电机转 3 圈需 5 s,可得直流电机转速约为 35 r/min,功率 35 W,额定转矩 32.5 kg·cm。

## 3 主要部件的运动分析和静力分析

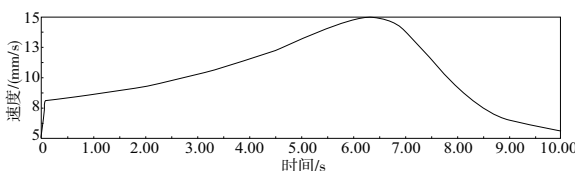
### 3.1 翻转部分的运动分析

基于 SOLIDWORKS 中的 Motion 分析翻转板的加速度和速度,以检验该椅子能否辅助老人平稳地从椅子上站起。

首先根据 2 个电动推杆的选型设定推力为 3000 N,运动行程 100 mm。经过 Motion 分析得到速度、角速度随时间变化图像,如图 8 所示。翻转板的角速度波动范围为 1 deg/s~5 deg/s,推杆的速度波动范围为 6 mm/s~15 mm/s,两者都在合理范围内,因此可以保证平稳辅助老人站起。



(a) 翻转板角速度时间图形



(b) 推杆速度时间图形

图 8 参数随时间变化图

### 3.2 静力学分析

使用者在使用本多功能椅时,翻转板承受主要质量。所以对翻转板和连接件进行有限元分析,以保证选用材料能够承受足够的载荷,本多功能椅预承受人的质量为 100 kg,主要分布在支撑面的中部,在 Ansys 中对翻转板进行面分割,施加载荷进行受力分析,保证使用时的安全。

通过 Ansys 分析得到图 9 应力云图,可知翻转板承受的最大应力为 0.043 225 MPA,小于硬铝 2A11 的许用应力 370 MPA,选材符合要求。

由于电动推杆的推力通过连接件传递到翻转板,连接件将承受很大的载荷,需要对其进行应力分析。从应力云图(图 10)可知所承载荷最大应力为 82.395 MPa,所选材料 Q235B 屈服点为 235 MPa,符合要求。



图 9 翻转板应力云图

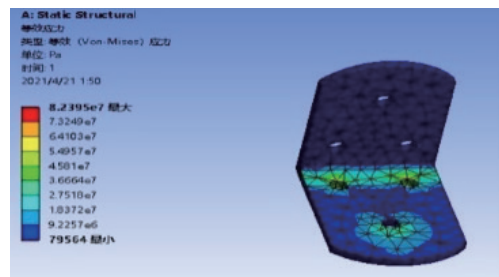


图 10 连接件应力云图

对刹车弹簧进行瞬态分析(图 11),可得到最大载荷和最小载荷时的最终压缩量,分别为 102.52 mm、34.287 mm,均大于起压缩效果时的压缩量 25 mm。

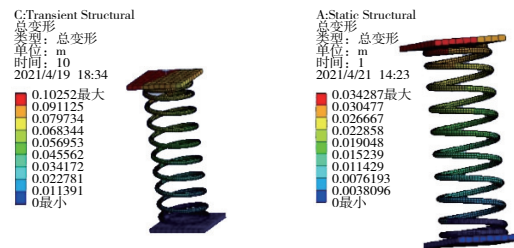


图 11 刹车弹簧瞬态分析云图

## 4 辅助椅的实现

基于上述模型所制作的多功能椅实物如图 12 所示。本助老椅的实体框架材料选用铝合金,模型部分构件采用 3D 打印。





图 12 实物图

使用时,老人坐在此多功能椅上按下黑色按钮,控制两电动推杆同时伸缩驱使扶手板带动翻转板转动一定角度,改变老人腿部位姿,实现辅助老人如厕后站起的功能。翻转后如图 13 所示。

按下折合铰链的触发机关,使擦背模块向前翻折 90°。拉动拉杆,使椅子支撑腿上收。折叠后椅子长 500 mm、宽 640 mm、高 490 mm。如图 14 所示。



图 13 翻转后实物图

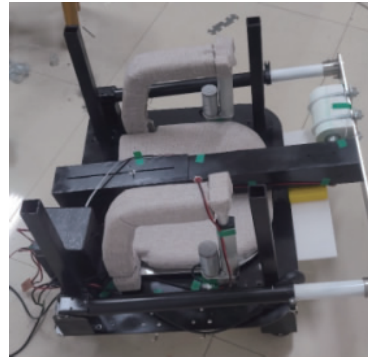


图 14 折叠后实物图

## 5 结语

该助老椅大大降低了老人在沐浴时的滑倒风险及如厕后站起时老人肌肉损伤的风险,同时本产品也提供了较为便捷的擦背模块及折叠模块,可携带于室内以外的公众场合使用。随着老龄化的到来,公共场所等也可以普及使用,应用前景较为广阔,具有较大的推广价值。

### 参考文献:

- [1] 仲瑞娟. 中国失能老年人构成及长期护理需求分析[J]. 中西医结合心血管病电子杂志, 2018, 6(32): 17, 20.
- [2] 李永田. 一种多功能淋浴椅: 中国, CN201720308155.0 [P]. 2018-06-15.
- [3] 林如珊, 周颂华, 黄静君, 等. 老年护理用具多功能洗澡椅的研制[J]. 医药前沿, 2018(36): 367-368
- [4] 刘坤, 吉硕, 孙震源, 等. 多功能坐站辅助型如厕轮椅机械结构设计与优化[J]. 吉林大学学报(工学版), 2019, 49(3): 872-880.
- [5] 滕兵, 陈静涛, 黄鑫海. 轮椅床的结构设计[J]. 机械制造与自动化, 2015, 44(3): 75-76.
- [6] 朱亚坤, 姚立纲, 徐业良, 等. 基于物联网的电动轮椅控制系统研究[J]. 机械制造与自动化, 2019, 48(2): 164-168.

收稿日期: 2021-05-07

(上接第 29 页)

- [4] 徐九华. 钛合金切削磨削加工技术研究进展[J]. 金刚石与磨料磨具工程, 2020, 40(5): 1-4.
- [5] 盛晓敏, 唐昆, 宓海青, 等. TC4 钛合金高效深磨磨削力及磨削能特征研究[J]. 中国机械工程, 2009, 20(1): 24-28.
- [6] DE MELLO A, DE SILVA R B, MACHADO Á R, et al. Surface grinding of Ti-6 Al-4 V alloy with SiC abrasive wheel at various cutting conditions[J]. Procedia Manufacturing, 2017, 10: 590-600.
- [7] ZHAO T, SHI Y Y, LAAKSO S, et al. Investigation of the effect of

grinding parameters on surface quality in grinding of TC4 titanium alloy[J]. Procedia Manufacturing, 2017, 11: 2131-2138.

- [8] LI J, JIA Y K, SHEN N Y, et al. Effect of grinding conditions of a TC4 titanium alloy on its residual surface stresses[J]. Strength of Materials, 2015, 47(1): 2-11.
- [9] 曹克. 微晶刚玉砂轮的钛合金磨削性能试验研究[D]. 大连: 大连理工大学, 2016.

收稿日期: 2021-03-31