

# 可躺可立式电动轮椅结构设计与运动学仿真\*

顾余辉<sup>1</sup> 简卓<sup>1</sup> 喻洪流<sup>1</sup>

## 摘要

**目的:**为老年人以及下肢功能障碍的残疾人提供一种合适的代步工具。

**方法:**提出了一种可躺可立式电动轮椅结构设计的方案,分析其工作原理,并建立了数学模型。根据人机工程学中的人体结构测量数据及轮椅结构几何关系,设计了轮椅关键部位的尺寸参数。运用Solidworks 2010对轮椅结构进行了运动学仿真。

**结果:**获得运动过程中关键部件的角度曲线以及各铰链点的位移曲线。

**结论:**该结构设计合理,方案可行。

**关键词** 电动轮椅;结构设计;运动仿真

**中图分类号:**R496 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-1242(2012)-12-1129-04

**A design and kinematics simulation of a stand-able and lie-able electric wheelchair/GU Yuhui, JIAN Zhuo, YU Hongliu//Chinese Journal of Rehabilitation Medicine, 2012, 27(12): 1129—1132**

## Abstract

**Objective:** To provide a suitable means of transport for the elderly and people with disabilities of lower extremity dysfunction.

**Method:** This paper provided a design of a stand-able and lie-able electric wheelchair, and the working principle was analyzed and its mathematical model was established. The size parameters of wheelchair's key parts were decided with the ergonomical measurement data of human body and the geometric relationships of wheelchair's structure. The kinematics simulation of wheelchair's structure was carried out with Solidworks 2010.

**Result:** The angle curve of the key components and the displacement curve of each hinge point in the course of campaign was obtained.

**Conclusion:** The rationality and feasibility of the structural design were verified.

**Author's address** Institute of Biomechanics and Rehabilitation Engineering, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai, 200093

**Key word** electric wheelchair; structural design; kinematics simulation

截止至2006年,在我国人口中有8296万残疾人,占全国总人口的比例为6.34%,其中肢体残疾人数2412万,占29.07%<sup>[1]</sup>,中国60岁以上老年人口的数量增长到4亿以上,分别占中国人口总量的30%以上和世界老年人口总量的20%以上<sup>[2]</sup>。老年人除了身体功能衰退,肢体功能障碍是一个很大的问题。因而,残疾人和老年人这个庞大的弱势群体需

要一种适合他们心理和生理需求的代步工具,来满足日常生活及参与社会活动的需要<sup>[3-4]</sup>。

对于下肢残障者来说,由于下肢活动性的限制,坐姿是他们日常生活中最主要的行为方式,长时间坐在轮椅上会引起腹部肌肉松弛、下身肿胀、静脉压力增大、大腿局部受到压力增加血液回流阻力、脊柱不正常的弯曲,以及对某些体内器官的功能(如消化

DOI:10.3969/j.issn.1001-1242.2012.12.010

\*基金项目:上海市重点科技攻关项目(11441900500)

1 上海理工大学生物力学与康复工程研究所,上海,200093

作者简介:顾余辉,男,在读硕士研究生;收稿日期:2012-05-30

器官、呼吸器官)造成损害,并且坐姿会在人体的主要支撑面上产生压力,一段时间内就会引发不舒适的感觉<sup>[5-6]</sup>。因而,需要一种使用舒适并能够辅助他们改变身体姿态的轮椅来解决生活中的不便及身体康复问题。

我国市场上现有的多数轮椅车功能单一,对于残障患者所需要的平躺休息、站立康复训练等功能还没有很好地实现;相关可躺可立式电动轮椅的研究刚刚起步,还处于实验室研发阶段,主要研究单位有天津科技大学<sup>[7]</sup>、中南大学<sup>[3]</sup>和上海理工大学。国外在电动轮椅方面的研究比较成熟,比较典型的有韩国东义大学<sup>[8]</sup>,如今较多研究成果已投入产业化,但是对我国普通百姓来说价格过于高昂,不适应我国普通家庭购买力<sup>[9]</sup>。本文提出一种可躺可立式电动轮椅的结构设计方案,能够实现站立、平躺等换姿功能,更好地满足使用者生活活动的需求。

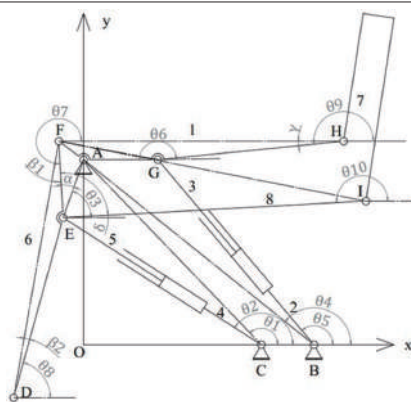
## 1 轮椅结构设计

本研究采用四边形连杆机构配合直线电机驱动,实现了可躺可立式电动轮椅的站立、平躺等换姿功能。该结构由两个直线电机控制,分别独立完成站立、平躺功能,也可协同控制进行任意位置舒适姿势转换。8个活动构件和10个低副的结构,自由度 $F=2$ ,锁定任意一个直线电机,都能使轮椅结构成为一个稳定的自由度 $F=1$ 的结构。该结构中,A、B、C为轮椅车架上的固定点,D为防前倾倒小轮,E为托脚架(6)与直线电机(4、5)的铰接点,直线电机另一端与轮椅车架连接于C点,F为托脚架与座位架(1)的铰接点,座位架与轮椅车架连接于A点,G为座位架与直线电机(2、3)的铰接点,直线电机(2、3)另一端与轮椅车架连接于B点,H为座位架与靠背架(7)的铰接点,H为连接杆(8)与靠背架的铰接点,连接杆另一端与托脚架连接于E点,E、F、H、I四点构成一个四边形,实现轮椅托脚架、座位架、靠背架在换姿过程中的联动。见图1。

该结构的工作原理如下: C、E两点间的直线电机驱动, E点的轨迹是以F点为圆心、EF的长为半径的圆弧;由于B、G两点间的直线电机锁定不动,故A、B、G三点构成稳定结构,F、H两点也稳定动; I点轨迹是以H点为圆心、HI的长为半径的圆

弧,以完成轮椅平躺功能。B、G两点间的直线电机驱动, G点的轨迹是以A点为圆心,AG的长为半径的圆弧,F点的轨迹是以A点为圆心,AF的长为半径的圆弧,H点的轨迹是以A点为圆心,AH的长为半径的圆弧;由于C、E两点间直线电机锁定不动,在四边形连杆结构的作用下,E点的轨迹为以C点为圆心,CH的长为半径的圆弧;I点也在四边形连杆结构的作用下,协同运动,以完成轮椅站立功能。另外, D点连接的防前倾倒轮在站立换姿的终状态与地面接触,形成支撑,保证站立时重心的稳定,从而保证了站立结构的安全性、稳定性。

图1 轮椅结构几何模型坐标系图



1 座位架; 2—5 直线电机; 6 托脚架; 7 靠背架; 8 连接杆

## 2 轮椅结构数学模型建立

建立如图1所示的坐标系,以过A点的垂线和过B、C两点的水平线的交点为坐标系原点O,OB为坐标系x轴正方向,OA为坐标系y轴正方向,夹角以逆时针方向为正。根据图中封闭向量的关系,利用矢量方程解析法可得到等式:

$$\overrightarrow{CE} + \overrightarrow{EA} = \overrightarrow{CA} \quad (1)$$

将向量分别向x、y轴投影,得到等式:

$$\begin{cases} x: |\overrightarrow{CE}| \cos \theta_2 + |\overrightarrow{EA}| \cos \theta_3 = |\overrightarrow{CA}| \cos \theta_1 \\ y: |\overrightarrow{CE}| \sin \theta_2 + |\overrightarrow{EA}| \sin \theta_3 = |\overrightarrow{CA}| \sin \theta_1 \end{cases} \quad (2)$$

消去 $\theta_2$ ,求解式(3)可得到:

$$\theta_1 = \theta_3 + \arccos \left( \frac{CA^2 + EA^2 - CE^2}{2|\overrightarrow{CA}||\overrightarrow{EA}|} \right) \quad (3)$$

$$\text{又有: } \theta_1 = \pi - \arctan \frac{|\overrightarrow{OA}|}{|\overrightarrow{OC}|} \quad (4)$$

上述格式中,GA是已知变量,可根据上述各式的关系,求得 $\theta_2$ 。

同理,还可求得 $\theta_4$ 、 $\theta_5$ 、 $\theta_6$ 。

根据各向量的几何关系,可求出以下各个位置参数表达式:

$$\theta_7 = \theta_3 + \pi + \alpha \quad (5)$$

$$\theta_8 = \theta_7 - \pi - \beta_1 - \beta_2 \quad (6)$$

$$\theta_9 = \pi + \gamma \quad (7)$$

$$\theta_{10} = \theta_3 + \pi + \alpha - \delta \quad (8)$$

其中 $\alpha$ 、 $\beta_1$ 、 $\beta_2$ 、 $\gamma$ 、 $\delta$ 均可由余弦定理求得,

$$\text{如 } \alpha = \arccos \left( \frac{FE^2 + EA^2 - FA^2}{2|FE||EA|} \right)$$

### 3 轮椅结构尺寸参数确定

对于上述结构,为使各个点运动轨迹和各个杆运动规律符合功能设计要求,并且结构尺寸符合中国成年人人体结构尺寸,需设计合理的机构各杆长。文中按照人机工程学原则设计结构的尺寸参数。

针对该结构,图1中杆1用于连接轮椅座面,A点为椅面旋转轴心,因而几何模型中椅座架、腿托架及靠背架的尺寸都应根据人体测量数据中坐深(臀部至膝盖长度)、膝腘高度(小腿加足高)及坐姿肩高来确定。按照GB10000-88中国正常成年人人体尺寸国家标准[10],选取我国成年男子第50百分位数据作为设计参考,其中坐深457mm,膝腘高度413mm,坐姿肩高598mm。为了使轮椅使用舒适,座面还要具有一定的座面倾角<sup>[11]</sup>,结合建立的结构几何模型,参照上述数据,椅座架长度设计为480mm,腿托架长度设计为425mm,靠背架长度设计为600mm。

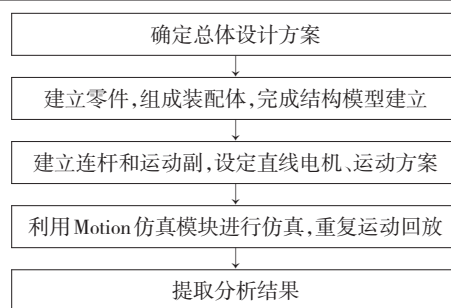
### 4 运动学仿真分析

在Solidworks中建立结构的运动仿真模型<sup>[12]</sup>,为使轮椅实现站立、平躺姿势转换的功能,在Motion分析(Motion分析解算器即ADAMS<sup>[13-15]</sup>的解算器)中设仿真运动条件为:平躺转姿时,直线电机推程150mm,速度为10mm/s,时间历程为15s;站立转姿时,直线电机推程150mm,速度为10mm/s,时间历程为15s。结构的仿真分析流程如图2所示。

通过提取仿真数据,可获得在站立、平躺换姿时

各关键部件相对车架水平方向的角位移曲线,如图3所示,可判断此机构可实现站立、平躺功能。另外,还可获得站立换姿过程中结构各铰链点在x和y方向上的位移曲线,如图4所示;以及平躺换姿过程中结构各铰链点在x和y方向上的位移曲线,如图5所示。从图中个点的位移曲线可以看出各杆件的运动空间及行程,从而判断此机构模型及设计参数是合理的。

图2 仿真分析流程图



### 5 结论

本文提出了一种可躺可立式电动轮椅的结构,建立了该结构的数学模型并进行了求解。基于人机工程学中人体尺寸和结构几何关系,确定了关键结构部件的设计参数,并通过运动学仿真验证了参数的合理性。

该结构很好地实现了电动轮椅站立、平躺等换姿功能,在站立换姿过程中通过四连杆结构实现托脚架、座位架与靠背架的联动,并且实现了托脚架上的防前倾倒轮下沉触地起支撑作用,保证了重心的稳定;在平躺换姿过程中通过四连杆结构实现托脚架与靠背架的联动。这种结构的设计较天津科技大学的设计而言,在保证站立换姿过程中保证重心稳定的前提下,解决了其平躺换姿过程中托脚架不能联动实现舒适平躺的问题。

另外,运用Solidworks 2010中的Motion分析仿真模块能够快速检验结构设计的合理性。该结构仿真模型的建立以二维形式创建,若要进行动力学分析和有限元静力学应力分析,应以三维形式创建模型并赋予材料属性、接触关系等特性,再做相关的仿真以进行校验。

图3 换姿时各关键部件相对车架角位移曲线

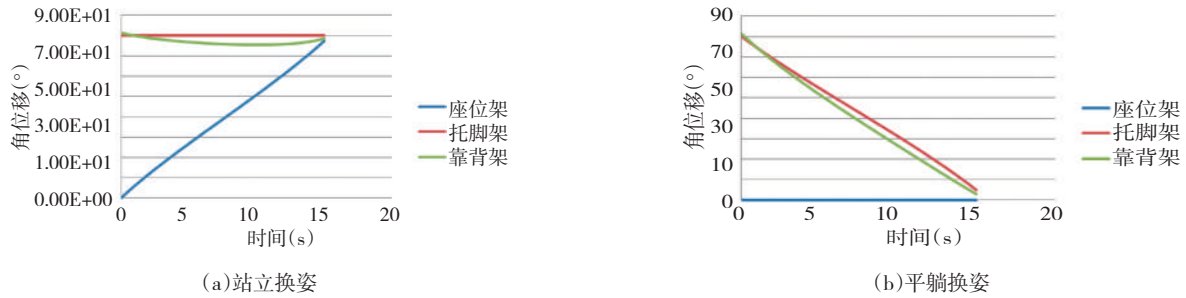


图4 站立换姿时各铰链点在x、y方向的位移曲线

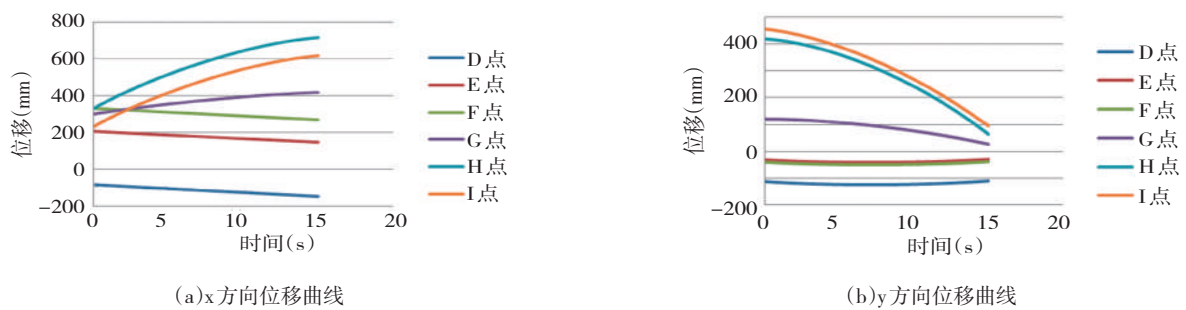
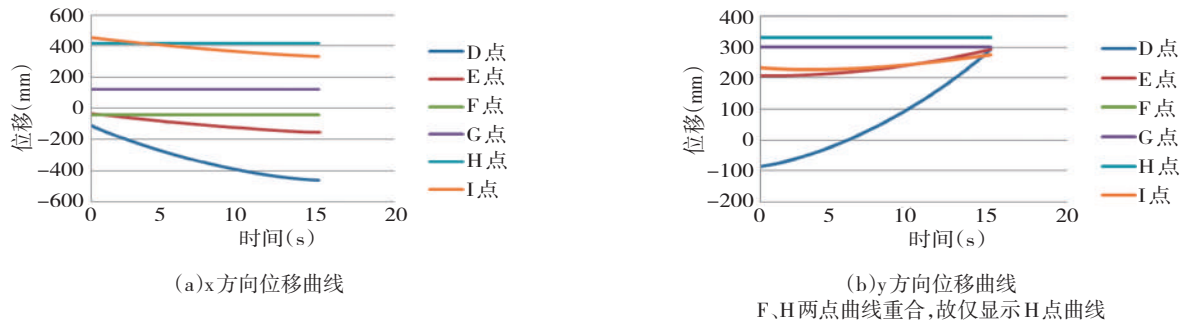


图5 平躺换姿时各铰链点在x、y方向的位移曲线



## 参考文献

- [1] 国家统计局、第二次全国残疾人抽样调查领导小组.第二次全国残疾人抽样调查发布数据公报[J].中国残疾人,2006,(12):5.
- [2] 中国老龄工作委员会办公室.中国人口老龄化发展趋势预测报告[J].中国妇运,2007(02):15—18.
- [3] 刘云,王艾伦.一种新型可卧立电动轮椅的研制与设计[J].机械与电子,2007(10):6—9.
- [4] 何清华,黄素平,黄志雄.智能轮椅的研究现状和发展趋势[J].机器人技术与应用,2003(3):12—16.
- [5] 陆剑雄,张福昌,申利民.坐姿理论与座椅设计原则及其应用[J].江南大学学报·自然科学版,2005,4(6):600—625.
- [6] 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—49.
- [7] 任怡,张峻霞,薛强,等.可站立式电动轮椅机构设计及运动学仿真[J]. 机械设计,2009,3(26):43—45.
- [8] Ju-hwan Bae, Inhyuk Moon.Design of Seat Mechanism for

- Multi-posture-controllable Wheelchair[C].International Conference on Control, Automation and Systems, Seoul, Korea, 2008.
- [9] 袁世奇,宫兴祯,唐宗军.一种具有全方向运动功能的电动轮椅的设计[J].沈阳工业大学学报,2004,(6):23—24.
- [10] 国家技术监督局.中国成年人人体尺寸国家标准GB10000—88[S].北京:中国标准出版社.
- [11] 丁玉兰.人机工程学[M].北京:北京理工大学出版社,2005.120—121.
- [12] 袁安富,薛金吉. 基于ADAMS的机器人性能分析和仿真[J].制造业自动化,2011,3(8):85—89.
- [13] 石博强.ADAMS基础与工程范例教程[M].北京:中国铁道出版社,2007:65—66.
- [14] 刘宏伟.基于ADAMS的五自由度机器人运动学仿真[J]. 机电产品开发与创新,2008,21(6):42—44.
- [15] 张海平,孔庆忠.基于Pro/E和ADAMS五自由度机器手的运动学分析及仿真[J]. 电气与自动化,2009,38(2):149—152.