

DOI:10.20033/j.1003-7241.(2026)02-0034-07

智慧养老用多功能护理床的模块化设计

万立莉, 陈雷, 田素玲

(黑龙江东方学院 机电工程学院, 黑龙江 哈尔滨 150066)

摘要: 为了符合智慧养老护理床的发展趋势, 结合用户的实际需求, 制定多功能护理床的总体设计方案, 以模块化的设计思路对多功能护理床进行机械结构设计。在符合人机工程学原理的基本原则下, 针对床体模块和轮椅模块的功能划分, 对翻身执行机构、起背机构、支腿机构进行结构研究, 分别建立相应的运动数学模型, 通过 Solidworks 建模的同时进行运动学仿真分析验证机构设计的合理性。经验证, 此护理床在保证有翻身、起背、支腿功能的同时, 可实现床体模块和轮椅模块的高度分离。

关键词: 护理床; 智慧养老; 模块化; 运动学分析; 建模

中图分类号: TP273; TP391.9

文献标志码: A

文章编号: 1003-7241(2026)02-0034-07

Modular multifunctional nursing bed design for smart elderly care

WAN Lili, CHEN Lei, TIAN Suling

(College of Mechanical and Electrical Engineering, East University of Heilongjiang, Harbin 150066, Heilongjiang, China)

Abstract: To align with the development trend of smart elderly care beds and to meet actual user needs, an overall design scheme for a multifunctional nursing bed was formulated. The design adopts a modular approach for the mechanical structure of the bed. Based on the principles of ergonomics, the functions of the bed body module and wheelchair module are delineated. The turning execution mechanism, backrest mechanism, and leg support mechanism were structurally studied, and their respective motion mathematical models were established. Solidworks modeling and kinematic simulation analysis were conducted to verify the rationality of the mechanism design. The nursing bed not only ensures the functions of turning, backrest adjustment, and leg support but also achieves a high degree of separation between the bed body module and wheelchair module.

Keywords: nursing bed; smart elderly care; modularization; kinematic analysis; modeling

随着全球老龄化趋势的不断加剧, 老年人口比重逐年上升^[1]。党的二十届三中全会通过的《中共中央关于进一步全面深化改革、推进中国式现代化的决定》中提出的“积极应对人口老龄化, 完善发展养老事业和养老产业政策机制”, 为智慧养老的发展提供了强有力的政策支持和广阔的市场空间。多功能护理床作为智慧养老设施的重要组成部分, 其研发和应用对于推动智慧养老产业的发展具有重要意义^[2-3]。

目前, 多功能护理床的设计趋势在于追求功能的多样性, 但这种趋势往往导致结构变得复杂, 增加了制造和维护的成本。同时, 结构上的交叉嵌套限制了未来的设计拓展性。智慧养老用护理床需要依托智能系统控制和大数据采集, 以满足个性化需求^[4]。在结构设计上, 这就要求护理床不仅要独立, 还要能够实现功能的融合, 模块化设计思想因此变得不可或缺^[5]。尽管现有的模块化护理床设计已经能够实现各组成机构的独立和区分, 但在可分离性方面仍有不足^[6-7]。本文的研究将深入探讨模块化设计在多功能护理床结构研究中的应用, 护理床主体结构不

仅仅是结构的折叠变形, 而是在不影响其他功能的前提下, 轮椅功能在结构上可以和主床体上完全剥离, 进而实现科学合理的模块划分与组合。本文旨在实现多功能护理床的高效、灵活与个性化设计, 为智慧养老床的智能化发展提供结构上的支持和保障。

1 总体设计方案

1.1 设计思路及方案

遵循人机工程学原理^[8-9], 本文设计的多功能护理床运用模块化的设计理论, 将护理床整体结构划分为2个具有相对独立的模块, 即床体模块、轮椅模块。每个模块都承担着特定的功能任务, 这种模块化的设计方式, 不仅使得各功能模块可以独立开发、测试和维护, 从而提高了设计效率, 而且为功能的灵活组合与扩展提供了可能, 为多功能护理床深入的智能化做好充足准备。

床体模块和轮椅模块之间既相互独立又相互关联, 满足日常护理和应急的需求, 其二者高度可剥离的设计思路, 使其更为灵活, 为满足设计要求, 轮椅模块采用锂电池

收稿日期: 2024-11-24; 录用日期: 2024-12-31

基金项目: 黑龙江东方学院校科研项目(HDFKY200121)全自动功能护理床

作者简介: 万立莉(1989—), 女, 硕士, 工程师, 研究方向: 自动化设备、机械设计。

引用本文: 万立莉, 陈雷, 田素玲. 智慧养老用多功能护理床的模块化设计[J]. 自动化技术与应用, 2026, 45(2): 34-39, 132. (WAN Lili, CHEN Lei, TIAN Suling. Modular multifunctional nursing bed design for smart elderly care[J]. Techniques of Automation and Applications, 2026, 45(2): 34-39, 132.)

供电。依据设计方案,通过 Solidworks 软件建立三维模型,如图 1 所示。

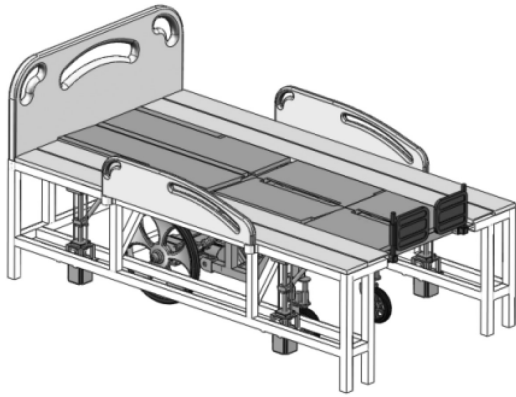


图 1 多功能护理床整体方案模型图

Fig. 1 Overall planning model of the multifunctional nursing bed

进一步基于模块化结构设计思路,各模块中的执行机构相互独立,即翻身执行机构、起背机构、支腿机构,均通过独立的电动机作为动力驱动装置。其中翻身执行机构安装在床体模块上,起背机构和支腿机构安装在轮椅模块上。这些机械设计机构能够配合或独立工作,适用于不同的应用场景。

1.2 护理床智能控制系统方案

本多功能护理床的研发设计着眼于“智慧养老”的现实需求,其模块化设计为控制系统的智能化服务^[10-11]。本控制系统利用微型信号处理器,对多维感知传感器采集信号和大数据采集处理数据进行处理,经单片机将控制信号传递给护理床各模块的运动机构,实现用户需求的目标达成,如翻身、起背、支腿、行走等,同时利用物联网对机构运动数据进行采集并构建大数据平台,形成大数据来智能地指导护理床工作,最终为用户提供精准且舒适的服务,如图 2 所示。

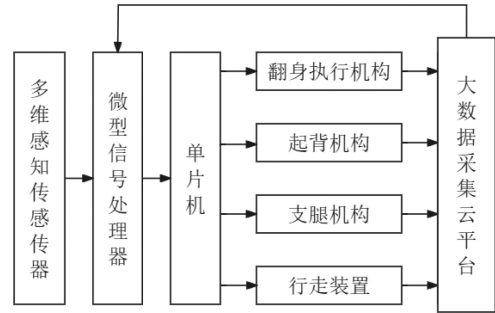


图 2 智能控制系统方案图

Fig. 2 Intelligent control system diagram

1.3 床面布局

床面由若干个床板组成,床板布置于护理床的最上层,是受护理人员床上的直接活动区域,也是多功能护理床的各功能动作的执行末端部件。为了实现床板的多功能性,床板被分割成多个部分,为了更好地帮助读者理解,对床面布局进行详细说明。

床面整体尺寸确定为 1 100 mm×1 980 mm。为满足功能多样性,将其划分成 10 个分区,根据设计方案,这些床板分别隶属于床体模块和轮椅模块。床面布局示意简图见图 3 所示,各分区床板的主要设计尺寸及说明见表 1 所示。床面上各分区床板的实际尺寸根据具体结构设计需要有细微调整,图 3 和表 1 展示床面的布置形式和功用。

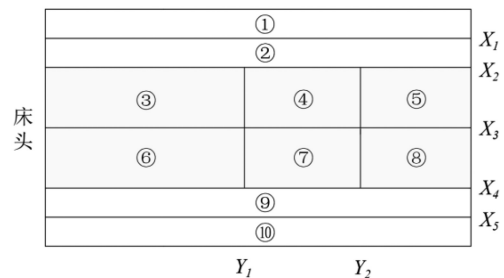


图 3 床面布局示意简图

Fig. 3 Schematic diagram of bed surface layout

表 1 床面各分区主要尺寸及说明

Tab. 1 Main dimensions and descriptions of each bed section

分区	床板代号	床板尺寸	说明
床体模块	①	135 mm×1 980 mm	床板①和⑩对称布置,固定安装在主床架体上,将其始终固定在主床架体上,用于保证整体床面的宽度方向的尺寸。
	⑩	135 mm×1 980 mm	
	②	135 mm×1 980 mm	又称翻身板,床板②和⑨对称布置,此板作为多功能护理床翻身动作的执行零件,与翻身执行机构推杆相连。
	⑨	135 mm×1 980 mm	
轮椅模块	③	280 mm×925 mm	又称背板,床板③和⑥对称布置。当执行翻身动作时,其绕着轴 X ₃ 翻转;当其执行起背动作时,其绕着轴 Y ₁ 翻转。
	⑥	280 mm×925 mm	
	④	280 mm×540 mm	又称坐板,床板④和⑦对称布置,作为轮椅的坐板时,固定在轮椅的臀部支撑架上;当执行起背动作时,其绕着轴 X ₃ 翻转。
	⑦	280 mm×540 mm	
	⑤	280 mm×515 mm	又称支腿板,床板⑤和⑧对称布置,当执行翻身动作时,其绕着轴 X ₃ 翻转;当其执行支腿动作时,其绕着轴 Y ₂ 翻转。
	⑧	280 mm×515 mm	

2 多功能护理床结构及功能实现

2.1 床体模块结构设计

床体模块结构主要包括主床体和翻身执行机构两大部分组成。

主床体呈U形对称结构,主要包括主床框架和床板及必要的附件床头护栏、床侧护栏等组成,如图4所示。其中主床框架主要采用碳钢管焊接而成,保证多功能护理床的整体稳定性。主床框架地脚部分与地面固定,保证护理床在执行不同动作(如侧翻身、轮椅驶入驶出等)时,床体不发生位移、晃动等。

翻身执行机构用于辅助受护理者实现侧翻身的功能。主要通过四组丝杠连杆组件作为驱动机构,均固定安装在主床体上,如图5(a)所示。丝杠连杆组件两两一组同步动作,分别对称布置于主床体两侧,负责左侧翻身、右侧翻身动作的驱动,从而实现平躺和翻身的自动切换。

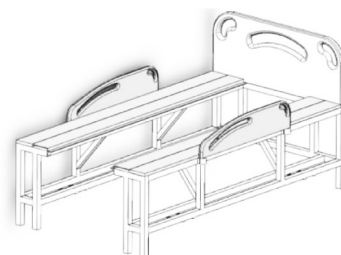
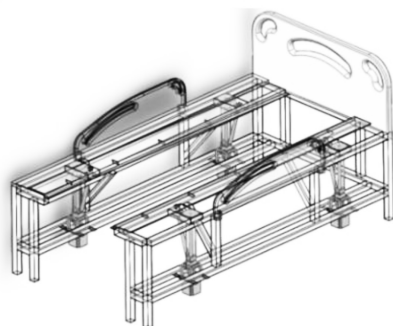


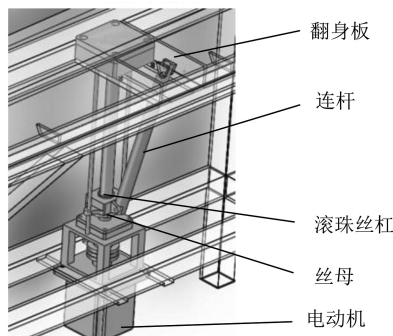
图4 主床体结构设计模型

Fig. 4 Main bed structure design model

其中,电动机把接固定在主床体上,连杆与丝母铰接,连杆另一端与翻身板铰接,床板③、④、⑤(或⑥、⑦、⑧)分别铰接在轮椅模块上,可以绕着护理床对称中心 X_3 进行翻转。翻转执行机构的工作原理为,电动机驱动滚珠丝杠旋转带丝母直线运动,进而带动连杆将翻身板掀起,翻身板将与其搭接在一起的床板③、④、⑤(或⑥、⑦、⑧)一同掀起,使其绕着铰接处翻转,进而实现翻身动作,如图5(b)所示。



(a) 全局视角



(b) 局部视角

图5 翻身执行机构设计模型

Fig. 5 Design model of the turning actuator

该机构设计为连杆机构,绘制机构简图如图6所示。其中件3为原动件,相当于电动机驱动丝母直线移动,已知该机构包括3个构件及3个转动副、1个移动副,该机构的自由度 $F = 3n - 2p_1 - p_h = 3 \times 3 - 2 \times 4 - 0 = 1$,其中 p_1 为低副的数目, p_h 为高副的数目,故本翻身执行机构具有确定的运动条件,结构合理,满足设计要求。

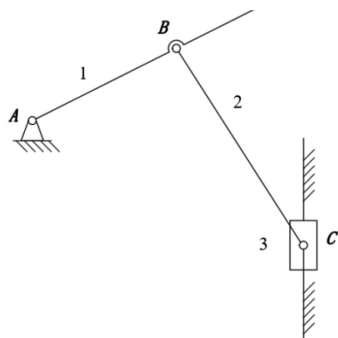


图6 翻身执行机构简图

Fig. 6 Schematic diagram of the turning mechanism

2.2 轮椅模块结构设计

轮椅模块是多功能护理床的可分离模块,能够独立完成自动起背、支腿、行走功能,并与床体模块配合完成翻身

动作,主要由轮椅主架体构件、起背机构、支腿机构组成,三维模型如图7所示。



图7 轮椅模块结构设计模型

Fig. 7 Wheelchair module structural design model

轮椅主架体构件用于直接支撑受护理人员的身,承担人体大部分载荷,主要由轮椅支撑框架、坐板、行走前轮、行走后轮及电机减速装置、减震装置组成。轮椅支撑框架由方钢管焊接而成,确保轮椅结构的稳定性和可靠性。坐板安装在体轮椅支撑框架上侧,为能够配合护理床翻身动作,故两块坐板分别铰接在支撑架体上,可绕着二者对称中心翻转一定角度,在非翻身状态下,两块坐板通过电磁铁牢牢吸附在轮椅支撑框架上。

安装在轮椅支撑框架上的行走前轮和后轮可实现轮椅的自由行走,可脱离床体模块,其中电机减速装置直接驱动后轮,作为轮椅模块的行走动力源,前轮为万向轮,可改变行走方向,前后轮均配有减震装置,保证行走的平稳性和自适应性。

2.2.1 起背机构结构设计

起背机构搭建在轮椅支撑框架上,主要由起背框架、背板、电缸组成,用于将处于平躺模式的护理床切换成起坐模式。起背框架由方钢管焊接而成,通过铰链安装在轮椅支撑框架上,电缸作为动力装置,其缸体固定端连接在支撑框架上,其推杆铰接在起背框架上,电缸驱动起背框架绕铰支座轴线转动完成起背动作。同样,为能够配合护理床翻身动作,将两块背板分别铰接在起背框架上,可绕着二者对称中心翻转一定角度,在非翻身状态下,两块背板通过电磁铁牢牢吸附在起背框架上。

该机构设计为连杆机构,绘制机构简图如图 8 所示。其中件 3 为原动件,相当于电动机驱动的丝母直线移动,已知该机构包括 3 个构件及 3 转动副、1 个移动副,该机构的自由度 $F = 3n - 2p_1 - p_h = 3 \times 3 - 2 \times 4 - 0 = 1$,故本起背机构具有确定的运动条件,满足设计要求。

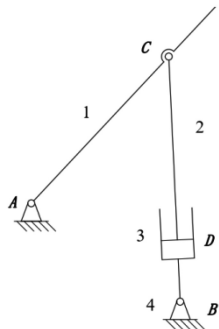


图 8 起背机构简图

Fig. 8 Schematic diagram of the lifting mechanism

2.2.2 支腿机构结构设计

支腿机构同样搭建在轮椅支撑框架上,主要由支腿框架、支腿板、电缸组成,用于完成轮椅模式时对受护理人员起到角度可调腿部支撑作用。支腿框架由方钢管焊接而成,通过铰接在轮椅支撑框架上,电缸作为动力装置,其缸体固定端铰接在轮椅支撑框架上,其推杆铰接在支腿框架上,电缸驱动支腿框架绕铰支座轴线转动完成支腿动作。支腿板为能够配合护理床翻身动作,与背板连接方式相同。支腿机构和起背机构的设计原理基本相同,该机构设计简图如图 9 所示,支腿机构由 3 个构件及 3 转动副、1 个移动副构成,其中电动推杆为原动件,该机构的自由度 $F = 3n - 2p_1 - p_h = 3 \times 3 - 2 \times 4 - 0 = 1$,故本支腿机构具有确定的运动条件。

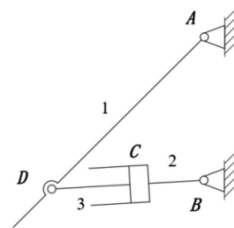


图 9 支腿机构简图

Fig. 9 Schematic diagram of the leg mechanism

3 护理床功能分析与实现

护理床采用了模块化的设计思路,通过各个机构的独立动作和协同工作,实现了护理床的多功能性。根据用户需求,护理床提供 5 种工作模式,分别是。平躺模式、翻身模式、起背模式、轮椅模式、转运模式。

每种模式都经过精心设计,以确保操作的简便性和安全性。通过这些模式的灵活切换,护理床能够满足不同用户的个性化需求^[12-15]。为了表述清楚各模式的工作状态,并将其归结如表 2 所示。

表 2 护理床功能应用分析

Tab. 2 Analysis of nursing bed function applications

名称	功能应用分析	示意图
平躺模式	当护理床处于平躺模式时,所有床板处于水平状态,所有机构电缸均处于收缩状态,电磁铁处于吸附状态。适用于需要完全平躺休息的情况。	
翻身模式	分为左、右翻身两个姿态,床板②、③、④、⑤(或⑥、⑦、⑧、⑨)构成翻身支撑面,对应床板上的电磁铁处于非吸附状态。便于用户在床上翻身,以改善舒适度或预防压疮。	
起背模式	通过起背机构工作,可实现平躺模式与起背模式之间相互切换,背板与水平面之间的相对夹角为 0°~75°。帮助用户坐起,适用于进食、阅读或观看电视等活动。	
轮椅模式	起背机构和支腿机构参与,机构各电缸伸出,电磁铁均处于吸附状态,背板与水平面之间的相对夹角为 0°~65°,支腿板与水平面相对夹角为 0°~75°,便于用户移动和外出。	
转运模式	床板③至⑧保持在同一水平面上。为了实现卧姿患者的快速转移,特别适合在紧急情况下将患者从护理床转移到手术床或其他应急设施上。这种模式不仅提高了转运效率,还确保了转移过程中患者的安全和舒适。	

4 各机构运动学模型

4.1 翻身执行机构运动学模型

护理床的侧翻身执行机构工作时,其背板直接作用于受护理人员身体,与身体直接接触,故需要对侧翻身执行机构的机构运动参数进行详细分析,包括翻身板1的角位移 θ_1 、角加速度 ω_1 和角速度 α_1 。

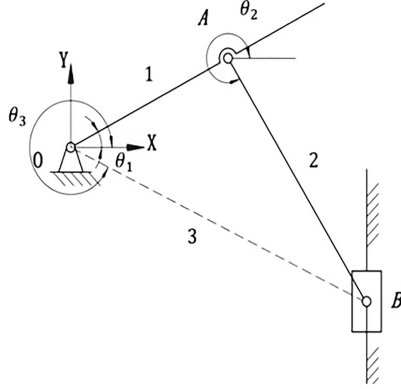


图 10 翻身执行机构运动学数学模型

Fig. 10 Kinematic mathematical model of the turning actuator

如图 10, 设 $\vec{L}_1 = \vec{OA}$, $\vec{L}_2 = \vec{AB}$, $\vec{L}_3 = \vec{OB}$, 三者构成封闭三角形 $\triangle AOB$, 建立矢量方程为 $\vec{L}_3 = \vec{L}_1 + \vec{L}_2$

式(1)用复数形式表达为

$$L_3 e^{i\theta_3} = L_1 e^{i\theta_1} + L_2 e^{i\theta_2} \quad (2)$$

式中, θ_i 为 L_i 与 X 轴正方向夹角; L_i 为杆 i 的长度。

运用欧拉公式 $e^{i\theta} = \cos \theta + i \sin \theta$ 将式(2)的实部和虚部分离可求得

$$\theta_1 = 180^\circ - \theta_3 + \arccos \frac{L_1^2 + L_3^2 - L_2^2}{2L_1 L_3}$$

对式(2)进行时间 t 求导可得

$$i\omega_3 L_3 e^{i\theta_3} = i\omega_1 L_1 e^{i\theta_1} + i\omega_2 L_2 e^{i\theta_2} \quad (3)$$

运用欧拉公式 $e^{i\theta} = \cos \theta + i \sin \theta$ 将式(3)的实部和虚部分离可求得

$$\omega_1 = \frac{L_3 \omega_3 (\theta_3 - \theta_2)}{L_2 \sin(\theta_1 - \theta_3)}$$

对式(3)进行时间 t 求导, 并运用欧拉公式 $e^{i\theta} = \cos \theta + i \sin \theta$ 将其实部和虚部分离可求得

$$\alpha_1 = \frac{L_1 \omega_1^2 \sin(\theta_3 - \theta_1) + L_2 \omega_2^2 \cos(\theta_3 - \theta_1)}{L_1 \sin(\theta_3 - \theta_1)} - \frac{L_2 \omega_2^2 \cos(\theta_2 - \theta_3) + L_3 \omega_3^2}{L_1 \sin(\theta_3 - \theta_1)}$$

4.2 起背机构运动学模型

在起背机构中,对背板1的主要参数即角位移 θ_1 、角加速度 ω_1 和角速度 α_1 ,进行详细分析,建立起背机构数学模型如图11所示。

设 $\vec{L}_1 = \vec{AB}$, $\vec{L}_2 = \vec{OB}$, $\vec{L}_3 = \vec{OA}$, 三者构成封闭三角形 $\triangle AOB$, 建立矢量方程 $\vec{L}_2 = \vec{L}_1 + \vec{L}_3$, 同理可求得

$$\theta_1 = 180^\circ - \theta_3 + \arccos \frac{L_1^2 + L_3^2 - L_2^2}{2L_1 L_3}$$

$$\omega_1 = \frac{L_3 \omega_3 (\theta_3 - \theta_2)}{L_2 \sin(\theta_1 - \theta_3)}$$

$$\alpha_1 = \frac{L_2 \omega_2^2 \sin(\theta_3 - \theta_2) + L_1 \omega_1^2}{L_2 \sin(\theta_1 - \theta_3)} + \frac{L_1 \omega_1^2 \cos(\theta_1 - \theta_3)}{L_2 \sin(\theta_1 - \theta_3)}$$

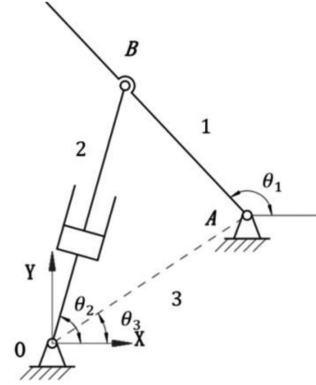


图 11 起背机构运动学数学模型

Fig. 11 Kinematic mathematical model of the back-lifting mechanism

4.3 支腿机构运动学模型

在支腿机构中,对支腿板1的主要参数即角位移 θ_2 、角加速度 ω_2 和角速度 α_2 ,进行详细分析,建立支腿机构数学模型如图12所示。

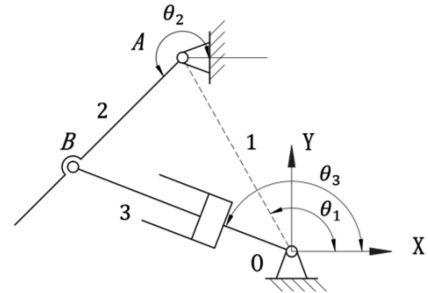


图 12 支腿机构运动学数学模型

Fig. 12 Kinematic mathematical model of the leg mechanism

设 $\vec{L}_1 = \vec{OA}$, $\vec{L}_2 = \vec{AB}$, $\vec{L}_3 = \vec{OB}$, 三者构成封闭三角形 $\triangle AOB$, 建立矢量方程 $\vec{L}_3 = \vec{L}_1 + \vec{L}_2$, 同理可求得

$$\theta_2 = \theta_1 - \arccos \frac{L_2^2 + L_1^2 - L_3^2}{2L_1 L_2}$$

$$\omega_2 = \frac{L_1 \omega_1 (\theta_3 - \theta_1)}{L_3 \sin(\theta_2 - \theta_3)}$$

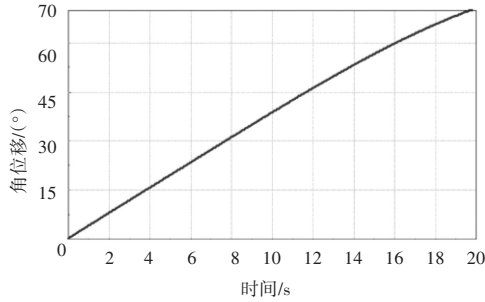
$$\alpha_2 = \frac{L_1 \omega_1^2 \sin(\theta_2 - \theta_1) + L_3 \omega_3^2}{L_2 \sin(\theta_3 - \theta_2)} + \frac{L_1 \omega_1^2 \cos(\theta_1 - \theta_2)}{L_2 \sin(\theta_3 - \theta_2)}$$

5 各机构运动学仿真分析

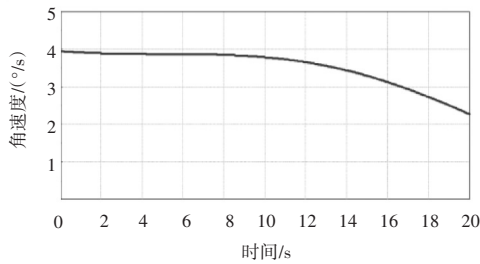
5.1 翻身执行机构运动仿真分析

现运用 Solidworks 软件 Motion 插件对护理床各运动机构进行运动学仿真分析,通过分析数据得出各机构的运动情况。

翻身执行机构由丝母直线驱动作为原动件,通过仿真得到翻身板的角位移、角速度与时间的关系曲线,如图13所示。



(a) 翻身板角位移与时间的关系曲线



(b) 翻身板角速度与时间的关系曲线

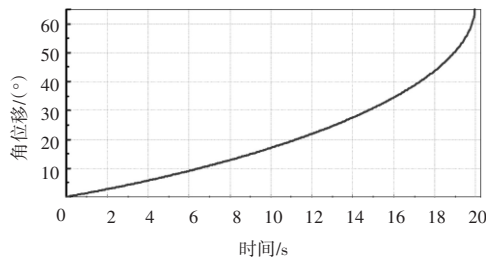
图13 翻身执行机构运动仿真分析

Fig. 13 Simulation analysis of turnover actuator motion

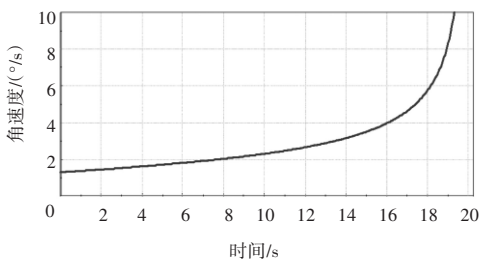
当翻身执行机构电缸缸杆匀速伸出时,翻身板逐渐由0°变化至70°,初始翻转速度为4°/s,逐渐降低,角速度曲线变化趋势平滑,故翻身执行机构变化稳定,运动过程中无明显冲击,满足设计要求。

5.2 起背机构运动仿真分析

起背机构由电缸作为原动件,通过仿真得到背板的角位移、角速度与时间的关系曲线,如图14所示。



(a) 背板角位移与时间的关系曲线



(b) 背板角速度与时间的关系曲线

图14 起背机构运动仿真分析

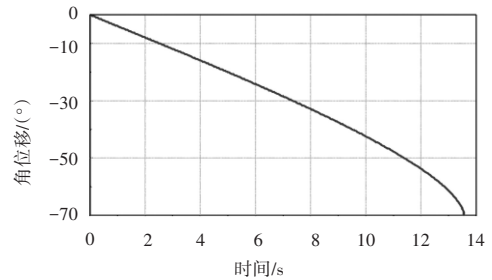
Fig. 14 Simulation analysis of back-lifting mechanism motion

当起背机构电缸缸杆匀速伸出时,背板逐渐由0°变化至60°,初始翻转速度为1.81°/s,逐渐升高,角度速度最高达到10°/s。起背机构变化相对稳定,能够满足设计要求。

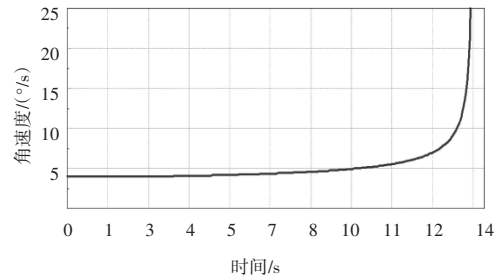
5.3 支腿机构运动仿真分析

支腿机构由电缸作为原动件,通过仿真得到支腿板的角位移、角速度与时间的关系曲线,如图15所示。

当支腿机构电缸缸杆匀速伸出时,翻身板逐渐由0°变化至70°,初始翻转速度为4.62°/s,逐渐升高,角度速度最高达到25°/s以上。翻身执行机构变化较为稳定,能够满足设计要求。



(a) 支腿板角位移与时间的关系曲线



(b) 支腿板角速度与时间的关系曲线

图15 支腿机构运动仿真分析

Fig. 15 Simulation analysis of leg mechanism movement

6 结论

本设计为一款智能养老用的新型多功能护理床,与传统护理床相比,“床”与“轮椅”相互转换在不增加结构复杂的基础上,保证了护理床的功能的必要性和可靠性,又增加了应用的灵活性。针对模块的各运动机构建立运动学数学模型,分析机构的运动参数,对重要部件进行运动学仿真,特别是利用Solidworks软件完成建模和仿真,精炼设计过程,最终设计完成一款可完全分离的模块化护理床结构,自由支配度高,符合设计要求。下一步将进行结构的精细化产品设计,特别是控制系统设计,使其更契合智能养老的主题,符合护理床朝着智慧化的发展方向。

参考文献

[1]刘尚君. 高质量发展背景下的人口老龄化应对——论“十五五”时期我国积极应对人口老龄化的战略重点[J]. 人口与发展, 2024, 30(5):7-14.

[2]李素皎,朱华瑞,胡冰山,等. 多功能护理床智能技术的研究进展[J]. 生物医学工程研究, 2021, 40(4):440-447.