

DOI:10.3969/j.issn.1001-4551.2015.09.008

多功能护理床结构设计研究*

张建云¹, 陶卫军^{1*}, 吴卫兵², 白慧芳³, 贾永祥¹

(1. 南京理工大学 机械工程学院, 江苏 南京 210094; 2. 中国石油天然气管道局第一工程分公司, 河北 廊坊 123104; 3. 中北大学 机械与动力工程学院, 山西 太原 030051)

摘要:为解决长期卧床不起的病人和老年人护理难的问题,对专门用于病人看护的护理床进行了研究;通过对国内外相似用途的护理床设备的功能和结构进行归纳,提出了一种专门用于家庭的多功能健康护理床。通过控制4根电动推杆协调工作,实现了护理床的翻身功能和床-椅折叠功能;通过直流电机带动丝杠螺母机构和杠杆机构,实现了护理床的大小便辅助处理功能。对护理床后床板折叠过程和便盆提升过程中的力学进行了分析,得到了电动推杆轴向力和电机驱动力矩,并进行了仿真计算。利用研制的多功能健康护理床样机进行了运动试验。实验结果表明,该多功能护理床能实现所要求的功能,可以满足卧床病人或老年人的便利看护使用。

关键词:多功能护理床;健康护理;力学分析;仿真试验

中图分类号:TH122;TH772

文献标志码:A

文章编号:1001-4551(2015)09-1186-06

Structure design and research of a multi-functional nursing bed

ZHANG Jian-yun¹, TAO Wei-jun¹, WU Wei-bing², BAI Hui-fang³, JIA Yong-xiang¹

(1. School of Mechanical Engineering, NUST, Nanjing 210094, China;
2. First Engineering Branch of China Petroleum Pipeline Bureau, Langfang 123104, China;
3. School of Mechanical and Power Engineering, NUC, Taiyuan 030051, China)

Abstract: Aiming at the problems that it is difficult to take care of the long-term bedridden patients and the elderly, a multi-functional nursing bed, which is suitable for the health care for the patient, was designed and manufactured. Through summarizing the similar nursing bed equipment both home and abroad, a dedicated multi-functional nursing bed using at home was proposed. By controlling four linear actuators to work in a coordinate mode, nursing bed's functions of turning over and bed-chair folding could be achieved. And through the feed screw drove by a DC-motor, the nursing bed's function of supplementary processing urination and defecation was realized. Moreover, the nursing robot's mechanics for the folding process of post-bedplate and the process of lifting the toilet was analyzed and the linear actuator's axial force and motor driving torque was obtained through the simulating calculation. Finally, the prototype of the nursing bed was manufactured and its motion function experiments were done. The results indicate that the nursing bed can meet the design requirements and is suitable for taking care of patients and elderly.

Key words: multi-functional nursing bed; health care; mechanical analysis; simulation

0 引 言

长期卧床不起的病人和老年人,由于行动不便、无力翻身等原因,后背和臀部长期局部受压,造成血液循环不畅,导致褥疮发生,严重危害病人健康。Kosiak 的

实验证明,高压比低压引起褥疮,所需时间更短。而局部组织受剪切力导致的损伤,比垂直方向的压力更具危害性^[1-2]。同时病人长期得不到锻炼,肌肉容易产生废弃性萎缩,关节挛缩和僵硬,可导致多种并发症的产生^[3]。精心准确的家庭护理对于长期卧床患者

收稿日期:2015-04-22

基金项目:国家自然科学基金资助项目(51275244)

作者简介:张建云(1989-),男,湖北天门人,主要从事机械电子工程方面的研究. E-mail:982260040@qq.com

通信联系人:陶卫军,男,副教授. E-mail:taoweijun01@163.com

非常重要^[4]。

传统的解决办法通过护士或者家人为病人翻身,工作量较大,且需要长期看护^[5]。由此,国内外许多研究者都致力于护理床的研究与开发,已取得了很多研究成果。但目前高端的多功能护理床技术只掌握在欧美、日本等少数的发达国家。D. B Foster 等人^[6]开发的多功能电动遥控护理床由主床体与电动轮椅组成,电动轮椅藏在床体内,可以变形;不工作时,轮椅伸展开成为一个平面与床体平面融为一体。病人可以坐在轮椅上离开床体四处活动。A. Garg 等人^[7]开发的多功能护理床与轮椅真正的融为一体,病人可以通过人机界面实现卧姿与坐姿之间的自由变换;呈现轮椅状态时,病人可以自如的操作护理床四处活动。这些护理床技术先进,但价格昂贵,普通患者无法享用。国内研制的护理床,相对于国外产品,更符合我国实际的经济情况。江豪等人^[8]设计的多功能护理床采用不锈钢的钢材制作床体,使用无刷电机以最大限度的减少噪声,并以语音提示和灯光信号提示,确保操作的正确性,同时将病人的多项生理参数传输给医生的服务处理软件,解决了病人躺在护理机器人上的洁便问题。张春梅等人^[9]设计的多功能医疗护理机器人,包括床体、开设在床体上的孔洞、设置在孔洞内的孔盖及设置在床体下的便盆,适合行动不便或卧床不起的病人使用,具有省力、卫生、方便的特点。吴新玲^[10]设计的多功能护理车,病人用遥控器可使靠背、护理车前板升降,病人可躺、坐,随心调整自己的理想姿势,大小便时,遥控可以使便孔垫自动移开,便盆自动移来,便后复位。这些护理床在帮助病人翻身、辅助处理大小便、声音控制、防止病人坠落等方面起到一定的辅助效果。国内研究者开发的这些护理床在帮助病人翻身、辅助处理大小便、声音控制、防止病人坠落等方面的机械结构合理并最大限度地实现人性化,但是,其在实用性、灵活性、自动化等方面仍存在许多不足之处。

本研究中设计的可变形健康护理床在总结已有护理床优缺点的基础上,对护理床的机械结构进行改进优化和创新,能同时具备床-椅自动转换、自动起坐与自动翻身、辅助处理大小便等功能。

1 工作原理

健康护理床主要由床板折叠机构、便盆升降机构、移动机构 3 部分组成。床板折叠机构由 12 块床板(其中 4 块为抽拉床板)、4 根电动推杆(其中 21 与 20 对称布置,11 与 10 对称布置)、床架等组成。系统通过 4 根电动推杆之间的协调配合,来实现床-椅自动转换、

自动起坐与自动翻身功能,多功能健康护理床如图 1 所示。

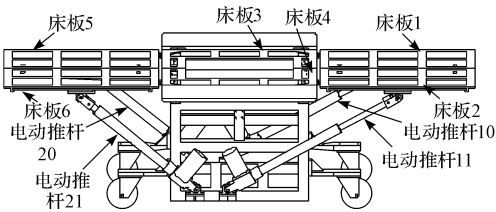


图 1 多功能健康护理床

便盆升降机构由直流电机、齿轮、丝杆螺母机构、直线导轨、杠杆机构、便盆框、移动便盆组成,通过直流电机的正反转来实现便盆盖板的打开与关闭,便盆的上升与下降,从而达到辅助处理大小便的功能。其三维结构图如图 2 所示。

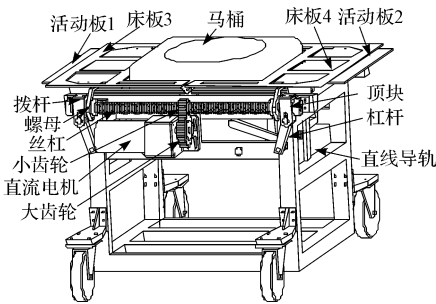


图 2 便盆升降机构三维结构图

移动机构由 4 根轮子杆、2 个定向轮、2 个万向轮组成。通过移动机构,可实现护理床的锁定与移动。

基于该结构,该健康护理床的工作原理如下:在设定初始状态床板水平的情况下:

(1)左翻身动作的实现。控制电动推杆 20 和电动推杆 10 伸长,推动床板绕床板转轴旋转,实现左翻身动作。

(2)右翻身动作的实现。通过电动推杆 21 和电动推杆 11 伸长,推动床板绕床板转轴旋转,实现右翻身动作。

(3)床-椅折叠的实现。电动推杆 10 和电动推杆 11 缩短,带动床板绕床板铰链向下翻折;同时,电动推杆 21 和电动推杆 20 伸长,带动床板绕床板铰链向上翻折;床板折叠成轮椅。在其由轮椅转换成床时,电动推杆动作相反。

(4)便盆提升功能的实现。直流电机通过齿轮把运动传递给梯形丝杠,梯形丝杠将推动螺母向前运动。拨杆将螺母和活动板连接在一起,螺母运动时,活动板也一起运动。螺母运动到一定位置时,便与顶块接触并推动顶块运动。顶块沿与其固连的滑块的直线导轨运动,推动短杠杆摆动,短杠杆通过杠杆轴将摆动传递

给长杠杆,长杠杆向上摆动,从而抬升便盆框,带动便盆上升。

如上所述,通过 4 根电动推杆的协调运动和一个直流电机的正、反转,最终实现了健康护理床的床-椅自动转换、自动起坐与自动翻身、辅助处理大小便等功能。

2 系统设计与实现

2.1 机械结构设计

健康护理床机械结构可分为床板折叠机构、便盆升降机构。其主要由 6 块可活动床板、4 根电动推杆、床架等组成。电动推杆通过轴承和床架连接,通过铰链与床板连接,如图 1 所示。

系统通过电动推杆 10,11 的缩短与伸长对前床板进行折叠与还原,通过电动推杆 20,21 的伸长与缩短对后床板进行折叠与还原,当前、后床板都处于折叠状态时,护理床实现床-椅转换,帮助病人坐起。通过电动推杆 10,20 的伸长与缩短对左床板进行折叠与还原,实现左侧翻身;通过电动推杆 11,21 的伸长与缩短对右床板进行折叠与还原,实现右侧翻身。

便盆升降机构要求实现两个功能:活动板打开,便盆升起;活动板关闭,便盆下降。其结构如图 2 所示。

直流电机通过大齿轮、小齿轮啮合将旋转运动传递给梯形丝杠,由于直线导轨的滑块和螺母通过连接板固连,梯形丝杠将推动螺母向前运动。梯形丝杠两端螺纹旋向相反,所以螺母运动方向相反。因为拨杆将螺母和活动板连接在一起,螺母运动的同时,活动板也一起运动。当活动板打开到一定位置时,螺母便与顶块接触并推动顶块运动。顶块沿与其固连的滑块的直线导轨运动。顶块向前运动时,将推动短杠杆摆动。短杠杆通过杠杆轴将摆动传递给长杠杆。长杠杆向上摆动,从而抬升便盆框。便盆框将沿着与其固连的滑块的直线导轨垂直运动,从而带动便盆向上运动。便盆下降时,各部分动作正好相反。基于上述结构,本研究所开发的多功能健康护理床样机如图 3 所示。



图 3 多功能健康护理床样机

2.2 控制系统设计

健康护理床控制系统采用 AVR 系列 Atmge16A

单片机,通过与单片机相连的红外线接收模块接收的红外信号来控制直流电机和 4 根电动推杆对机器人进行控制。整个控制系统还包括 5 个直流电机驱动模块、光电开关(2 个)、红外遥控器(1 个)、直流电源等辅助器件,整个控制系统的硬件构成如图 4 所示。

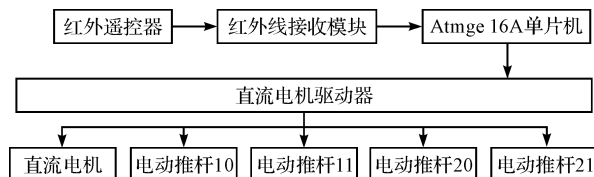


图 4 多功能健康护理床控制系统的硬件构成

AVR 单片机是控制系统的核心,负责识别遥控器按键、输出驱动模块控制信号、接收处理位置反馈信号。红外线接收模块将遥控器发出的红外信号解调,AVR 单片机通过读取固定位置的数据以识别该遥控器按键值。系统根据不同的遥控器按键值,将控制信号传输给特定的驱动模块。驱动模块接收到控制信号之后,驱动直流电机正转或反转,从而使电动推杆伸长或缩短。在电动推杆运动的同时,与其固定连接的位置传感器连续地将位置信号模拟量传输给 AVR 单片机的固定端口。模拟信号经过 A/D 转换成数字信号,通过比较数字信号与设定数字量的大小,以确定输出何种控制信号给特定的驱动模块,从而控制电动推杆运动。在电动推杆的整个运动过程中,一旦触发 INTO 中断,AVR 单片机仍然会响应中断,以判断按键是否为急停键,从而输出刹车信号。便盆运动的控制流程与电动推杆的类似,区别在于便盆的位置检测只检测上升或下降终点,而电动推杆的位置检测是全程检测。光电开关用于检测便盆是否运动到上升或下降终点。程序流程如图 5 所示。

3 力学分析

3.1 后床板折叠机构

后床板折叠机构的运动较慢,可假设在运动的每一时刻,床板都处于静力学状态。建立力学模型如下:假设后床板均匀受压, G_1 (人体背部重量以及后床板重量)方向垂直向下,作用在后床板的几何中心。电动推杆的伸长量为 x ,且处于初始位置时原长为 l_0 ,则 $\overline{AB'} = x + l_0$,受力分析如图 6 所示。

由静力学矢量平衡方程有:

$$\vec{F}_2 + \vec{G} = \vec{F}_1 \quad (1)$$

由式(1)可得:

$$F_1 \cos\left(\frac{\pi}{2} - \beta\right) = G + F_2 \sin\theta \quad (2)$$

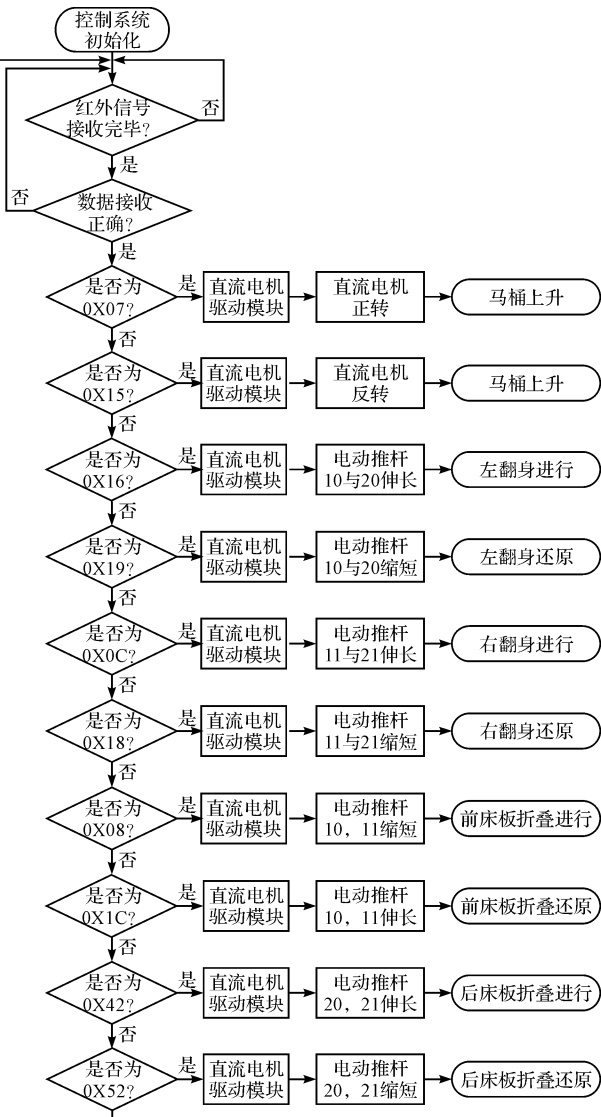


图5 程序流程图

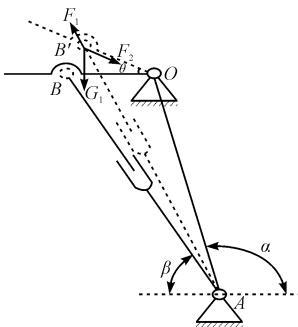


图6 后床板受力分析图

F_1 —电动推杆轴向力; F_2 —杆 OB' 对铰链 B' 的力; θ —后床板的转角; β —电动推杆与水平面的夹角

$$F_1 \cos \beta = F_2 \cos \theta \quad (3)$$

由式(2,3)可得:

$$F_1 = \frac{G \cos \theta}{\sin(\beta - \theta)} \quad (4)$$

因为支撑后床板的两根电动推杆对称布置,电动

推杆轴向力为:

$$F = \frac{1}{2} F_1 = \frac{G \cos \theta}{2 \sin(\beta - \theta)} \quad (5)$$

又因为 OAB' 组成矢量三角形,有:

$$\vec{OA} + \vec{AB'} = \vec{OB'} \quad (6)$$

由式(6)可得:

$$\vec{OA} \cos \sigma + \vec{AB'} \cos \beta = -\vec{OB'} \cos \theta \quad (7)$$

$$-\vec{OA} \sin \sigma + \vec{AB'} \sin \beta = \vec{OB'} \sin \theta \quad (8)$$

由式(7~8)可得:

$$\beta - \theta = \arccos \frac{\vec{OB'}^2 + \vec{AB'}^2 - \vec{OA}^2}{2 \vec{OB'} \vec{AB'}} \quad (9)$$

$$\theta = \sigma - \arccos \frac{\vec{AB'}^2 - \vec{OB'}^2 - \vec{OA}^2}{2 \vec{OA} \vec{OB'}} \quad (10)$$

3.2 便盆升降机构

由于直流电机匀速转动并通过齿轮带动丝杠匀速转动,与丝杠啮合的螺母的运动为水平方向匀速直线运动。假设便盆和便盆框的重量为 $2G_2$, 方向垂直向下。螺母与顶块接触瞬间受力分析如图7所示。以杠杆1为研究对象,受力分析如图8所示。由力矩平衡可得:

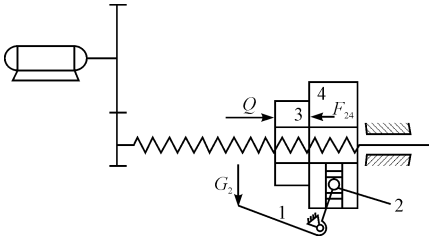


图7 便盆提升过程中的受力分析图

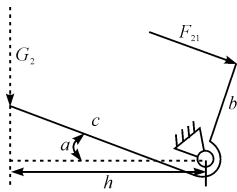


图8 杠杆1受力分析图

F_{21} —滑块2对杠杆的力,方向垂直于杠杆指向右下方

$$G_2 \times h - F_{21} \times b = 0 \quad (11)$$

$$h = c \times \cos \alpha \quad (12)$$

由式(11,12)可得:

$$F_{21} = \frac{G_2 \times c \times \cos \alpha}{b} \quad (13)$$

再以滑块2为研究对象,在水平方向上,受力平衡如图9所示。

$$Q = F_{24} = F_{42} \quad (14)$$

又:

$$F_{42} = F_{12} \times \cos \beta \quad (15)$$

由式(14,15)可得:

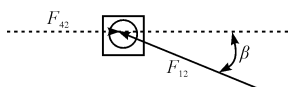


图 9 滑块 2 受力分析图

F_{12} —杠杆对滑块 2 的力; F_{42} —滑块 2 对顶块 4 的力

$$Q = \frac{G_2 \times c \times \cos a \times \cos \beta}{b} \quad (16)$$

又:

$$a = \beta \quad (17)$$

由式(16,17)可得:

$$Q = \frac{G_2 \times c \times \cos^2 a}{b} \quad (18)$$

建立力学模型如图 10 所示。

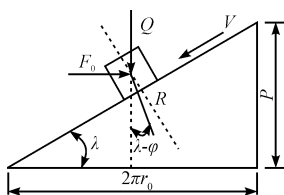


图 10 螺旋传动力学模型

$$M_1 = F_0 \times r_0 \quad (19)$$

$$F_0 = Q \tan(\lambda - \varphi) \quad (20)$$

式中: M_1 —丝杠的驱动力矩, Q —丝杠对螺母水平方向的力, F_0 —驱动力矩 M_1 的假想力, λ —螺旋升角, φ —摩擦角。

设电机的额定转矩为 M_0 , 电机的转速为 n_0 , 丝杠的转速为 n_1 :

$$M_0 \times n_0 = M_1 \times n_1 \quad (21)$$

$$M_0 = \frac{M_1 \times n_1}{n_0} = \frac{M_1}{i_{01}} = 2M_1 \quad (22)$$

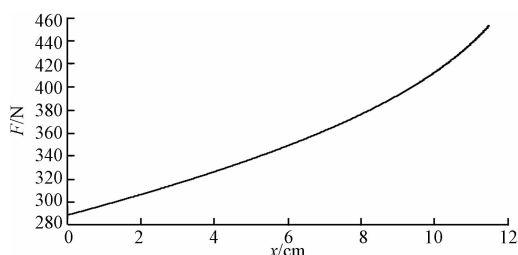
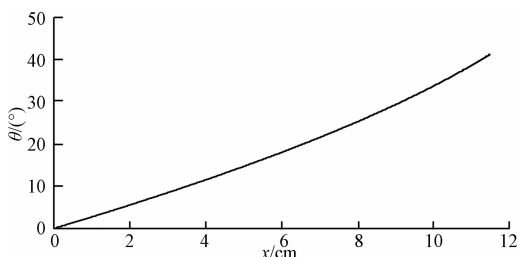
由式(18~22)可得:

$$M_0 = \frac{2G_2 \times c \times \cos^2 a \times \tan(\lambda - \varphi) \times r_0}{b} \quad (23)$$

4 仿真计算及实验

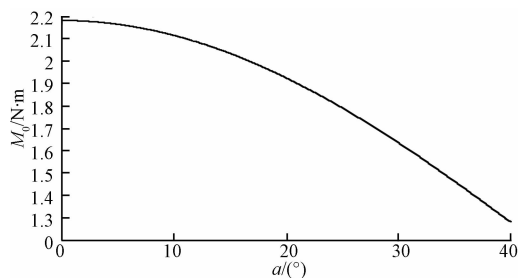
测得人体背部重量以及后床板重量 $m_1 = 41$ kg, 电动推杆 11 的原长为 $l_0 = 59$ cm, 参数 $\overline{OB'} = 30$ cm, $\overline{OA} = 43.5$ cm, σ 约为 106° 。基于上述参数, 根据式(5, 9, 10)对电动推杆的伸长量 x 与电动推杆的轴向力 F 进行仿真计算, 结果如图 11 所示。本研究根据式(10)对电动推杆伸长量 x 与后床板转角 θ 进行仿真计算, 结果如图 12 所示。

由图 11 可见, 电动推杆轴向力最大约为 452 N, 而样机选用电动推杆所能提供的最大轴向力为 900 N, 完全能满足使用要求。由图 12 可见, 床板转动角度 θ

图 11 伸长量 x 与电动推杆轴向力的关系图 12 伸长量 x 与床板转动角度 θ 的关系

的最大值约为 41° , 基本符合设计要求。

本研究测得便盆和便盆框的质量 m_2 约为 10.5 kg, 参数 $c = 16.5$ cm, $b = 9$ cm, 丝杠的螺旋升角为 $\lambda = 30^\circ$, 摩擦角约为 $\varphi = 7.97^\circ$, 丝杠的平均直径为 $r_0 = 14$ mm。基于上述参数, 本研究根据式(23)对杠杆转角 a 与电机驱动力矩 M_0 进行仿真计算, 结果如图 13 所示。

图 13 杠杆转角与驱动力矩 M_0 的关系

由图 13 可见, 直流电机驱动力矩最大约为 2.181 N·m, 而样机选用直流电机的额定力矩为 3.42 N·m, 因此完全能满足使用要求。

实验测得主要性能如下: 护理床能够实现床-椅变形和翻身功能。其中, 前床板可向下折叠 45° , 后床板可向上折叠 40° 。翻身时, 左右床板可向上翻折的角度都是 20° 。通过齿轮传动、梯形丝杠、杠杆机构, 可实现活动板的开合和便盆升降动作, 简单实现处理病人大、小便功能。

5 结束语

本研究针对长期卧床不起的病人和老年人的护理要求提出了一种多功能健康护理床, 经过前期调研, 比较已有类似产品的优缺点, 讨论并确定了护理床的整

体设计方案。其特点是床板采用分块模式,可实现多种折叠组合;通过电动推杆的协调配合实现床板折叠和翻身动作,结构更加简单,控制更加便捷;同时,护理床整体占据空间小,灵活性好,便于移动;采用梯形丝杠和杠杆串联机构实现活动板开合和马桶升降动作,结构紧凑。笔者对护理床运动过程中的力学进行了分析与仿真计算,并通过所研制的护理床样机进行了实验,验证了护理床运动功能的有效性。今后,还需要进一步结合实际,对其结构优化和可靠性问题进行研究。

参考文献(References):

- [1] YARKONY C M. Pressure ulcers: A Review[J]. **Arch Phys Med Rehabil**, 1994, 75(8): 908-917.
- [2] GOSSENS R H. Nursing care of the decubital[J]. **Clin Physiol**, 1994, 14(1): 111.
- [3] 李国康,李永维,周卓. 多功能医疗护理床的设计与研究. 沈阳理工大学学报[J]. 2013, 32(3): 91-94.

- [4] 夏晓萍. 浅谈长期卧床病人的家庭护理[J]. 世界最新医学信息文摘, 2013, 13(16): 474.
- [5] 刘倩倩. 多功能护理床的结构设计与力学分析[D]. 北京: 中国地质大学机械与电子工程学院, 2011.
- [6] FOSTER D B, CALDWELL H, HARRIS K, et al. Multiple position adjustable day night patient bed chair: US, 5230113[P]: 1993-07-27.
- [7] GARG A, QWEN B, BELLER D, et al. A biomechanical and ergonomic evaluation of patient transferring task: bed to wheelchair and wheelchair to bed[J]. **Ergonomics**, 1991, 34(3): 289-312.
- [8] 江豪,王威,刘永平. 多功能护理床的研究与开发[J]. 微计算机信息, 2006, 22(7-2): 117-119.
- [9] 张春梅,张灿灼. 多功能医疗护理床的研制与应用[J]. 医疗设备信息, 2006, 21(8): 15-16.
- [10] 吴新玲. 介绍一种多功能护理车[J]. 当代护士, 2003(5): 15-16.

[编辑:李辉]

本文引用格式:

张建云,陶卫军,吴卫兵,等. 多功能护理床结构设计研究[J]. 机电工程, 2015, 32(9): 1186-1191.

ZHANG Jian-yun, TAO Wei-jun, WU Wei-bing, et al. Structure design and research of a multi-functional nursing bed[J]. **Journal of Mechanical & Electrical Engineering**, 2015, 32(9): 1186-1191.

《机电工程》杂志; <http://www.meem.com.cn>

(上接第 1169 页)

模精密铸造工艺相结合,直接以 3D 打印树脂原型替代蜡模作为熔模,节省了模具制造环节,有效降低了制造成本,缩短了生产周期,且该技术具有很强的通用性,尤其适用于具有复杂结构形状零件的单件、小批量快速制造。

笔者研究的基于 Procast 及 3D 打印技术的快速铸造技术,所制造的闭式离心泵叶轮金属铸件的尺寸精度可达 CT4 级,表面粗糙度可达 $Ra 6.3 \mu m$ 以下。

本研究将闭式叶轮及其浇注系统设计成整体模型直接 3D 打印成形,省去了传统熔模精密铸造过程中人工粘制蜡浇注系统这个工序环节,减少了工人劳动强度,缩短了叶轮制造周期。

本研究采用 ProCAST 软件对叶轮铸造工艺进行了模拟仿真,根据充型模拟结果及凝固模拟结果可有效预测缩孔、缩松、浇不足等铸造缺陷,据此优化设计浇注系统,并优化铸造工艺参数,提高铸件质量。

参考文献(References):

- [1] 唐文静. 离心泵关键零部件快速建模技术研究及应用

- [D]. 淄博: 山东理工大学机械工程学院, 2005.
- [2] 黄久晖,陈宗民. 离心泵叶轮铸件起模问题的探讨[J]. 铸造, 2006, 55(6): 626-628.
- [3] 薛旷华. RP 技术在熔模铸造中的应用研究[D]. 无锡: 江南大学机械工程学院, 2007.
- [4] 王忠宏,李扬帆,张曼茵. 中国 3D 打印产业的现状及发展思路[J]. 经济纵横, 2013(1): 90-93.
- [5] 赵伟国,盛建萍,杨军虎,等. 离心泵叶轮主要几何参数与反作用之间的关系研究[J]. 流体机械, 2014(12): 17-21.
- [6] 宗学文,刘亚雄,魏罡,等. 光固化立体造型熔模铸造工艺的研究[J]. 西安交通大学学报, 2007, 41(1): 87-90, 95.
- [7] 李日. 铸造工艺仿真 ProCAST 从入门到精通[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2010.
- [8] 姜耀林,邵中魁,郭嘉. 基于 3D 打印技术的离心泵叶轮快速精铸工艺研究[J]. 制造业自动化, 2015(2): 153-156.
- [9] 杨永强,刘洋,宋长辉. 全属零件 3D 打印技术现状及研究进展[J]. 机电工程技术, 2013(4): 4, 8-14.
- [10] 李峰,郑福生,王刚,等. 基于 ProCAST 的叶轮熔模铸造凝固过程数值模拟[J]. 热加工工艺, 2013, 42(7): 55-57.

[编辑:李辉]