

DOI:10.3969/j.issn.1001-4551.2019.05.014

一种多功能举升爬楼拖车的设计*

冬之阳¹, 王启萱², 王 丰³

(1. 北京理工大学附属中学, 北京 100089; 2. 北大附中朝阳未来学校, 北京 100080;
3. 北京理工大学 自动化学院, 北京 100081)

摘要:针对现有日常及生产拖车设备的结构繁重、操作复杂、耗费体力问题,设计了一款六自由度多功能助力拖车。针对所设计的多功能手拖车进行了结构分析与工作原理说明,论述了新型拖车结构上的优势与工作模式的特点,并对关键结构部件设计的合理性进行有限元分析与验证;在搭建了控制硬件框架的基础上,设计了基于 DSP 56F8037 控制、直流电机驱动及 CAN 总线通讯的拖车硬件系统;最后通过实验分别测试了多功能手拖车空载和带负载时运输、爬楼、举升等性能。实验结果表明:所设计的多功能手拖车能够有效带载 40 kg 以上,在爬楼及举升货物过程中效率能够提高 20% 以上,具有结构简单、效率高、省力的优点。

关键词:多功能拖车;结构设计;有限元分析;硬件设计;样机实验

中图分类号:TH122;TH39

文献标志码:A

文章编号:1001-4551(2019)05-0519-05

Design of multifunctional lifting and climbing trailer

DONG Zhi-yang¹, WANG Qi-xuan², WANG Feng³

(1. High School Affiliated to BIT, Beijing 100089, China; 2. Chaoyang Future School of Affiliated Middle School of Peking University, Beijing 100080, China; 3. School of Automation, Beijing Institute of Technology, Beijing 100081, China)

Abstract: Aiming at the heavy structure, complex operation and physical consumption of the existing daily and production trailer equipment, a six-degree-of-freedom multifunctional trailer were designed. The structure and working principle of the designed multi-functional hand trailer were analyzed. The advantages of the new type of trailer in structure and the characteristics of its working mode were discussed. The rationality of the design of key structural components was analyzed and verified by finite element method. On the basis of setting up the control hardware framework, the trailer hardware system based on DSP 56F8037 control, DC motor driving and CAN bus communication was designed. Finally, the performance of multi-functional hand trailer in no-load and with load was tested by experiments. The experimental results show that the designed multi-functional hand trailer can effectively carry more than 40 kg, and can improve the efficiency of workers by more than 20% in the process of climbing and lifting goods. It has the advantages of simple structure, high efficiency, time-saving and power-saving.

Key words: multifunctional trailer; structural design; finite element analysis; hardware design; prototype experiment

0 引 言

因为造价低廉、维护简单、操作方便、自重轻,手拖车仍是目前不可缺少的搬运工具。但是,普通拖车也有一些问题:(1)将一些货物进行上下楼运输时遇到

较大困难;(2)普通手推车不能将货物从低处抬升到高处,仍要利用人力搬运。

目前,市场上带有爬楼功能的手推车通常采用星形轮,但上下楼时会发生颠簸,不利于货物运输;文献[1]中所设计的推车可以保证上下楼时的倾斜角度一

收稿日期:2018-11-18

基金项目:国家自然科学基金资助项目(61873035)

作者简介:冬之阳(2000-),男,北京人,主要从事自动化设备控制方面的研究。E-mail:BIT_sarobot@163.com

通信联系人:王丰,男,博士研究生。E-mail:wfbt063500@163.com

致,但还需要人力进行搬运;文献[2]的结构可以将货物竖直向上抬升一定的高度,但该推车的托架板无法水平移动,装卸货物时仍需要人力辅助;文献[3]设计了一款轮组式爬楼机器人,通过轮组交替变换的方式实现机器人的爬楼功能,但是该结构复杂、运动模式繁琐,操作不便;文献[4]提出了变形轮式爬楼越障机器人,行走时通过齿轮进行传动,但结构复杂、爬楼效率低。

综合来看,目前市场上传统的拖车由于结构及功

能的局限性,导致搬运效率低、人力成本高。因此,本文设计一款新结构的手拖车工具,实现手拖车省力爬楼、平稳搬运、高效举升等功能。

1 多功能拖车结构设计

多功能手拖车装置主要功能包括货物举升以及上下楼梯搬运^[5]。本文研制的多功能拖车机械结构如图 1 所示。

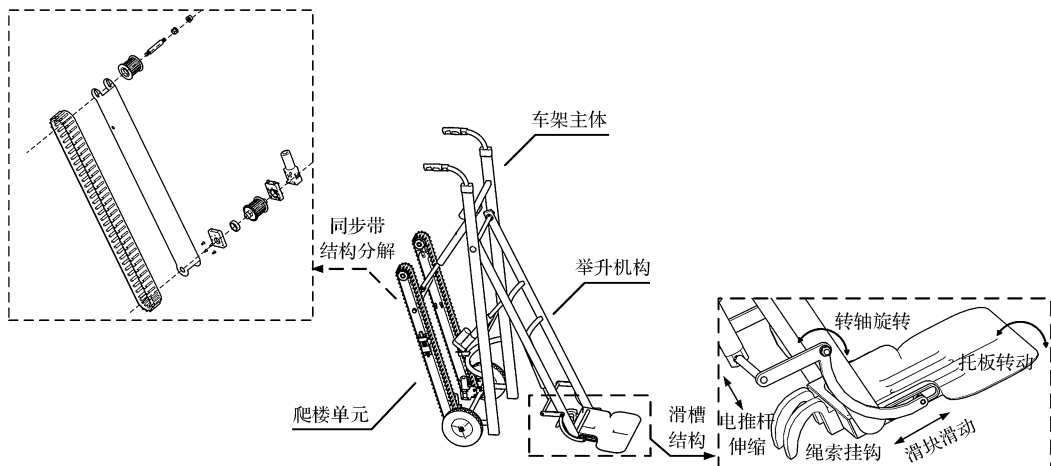


图 1 多功能拖车机械结构

其中,滑槽结构由支臂横梁、托板转轴、托板电推杆、支臂曲柄、滑槽、支臂滑块、托板、挂钩组成。托板电推杆伸缩端与支臂横梁相连,用于控制托板旋转。在托板后部两端各有一个挂钩,用于在利用举升模式时固定货物的绑带。托板和挂钩通过托板电推杆的伸缩,带动支臂曲柄旋转,改变支臂滑块在滑槽中的位置,从而达到通过托板托举货物模式与通过挂钩挂货物模式的转换。

同步履带结构包括履带梁、履带支撑杆、上同步轮、下同步轮、同步履带、驱动电机、履带下支架。同步履带套在履带梁上,上同步轮安装在履带梁的上端的内槽,下同步轮安装在履带梁下端的内槽。

为了使履带运转平稳,上同步轮与下同步轮,同步履带上平行均匀排布内外双层齿。内齿与上同步轮和下同步轮咬合,外齿与楼梯的台阶相咬合。履带爬楼装置工作时,驱动电机带动与其咬合的内齿,从而带动同步履带转动,使外齿与楼梯发生相对位移,从而使拖车进行移动。

1.1 举升结构设计原理

举升机构由两个传动结构和一个托挂结构组成,传动机构一主要控制举升臂的运动,传动机构二则用于对托板的转动控制,两个传动机构分别由两个电动推杆驱动^[6]。

举升机构如图 2 所示。

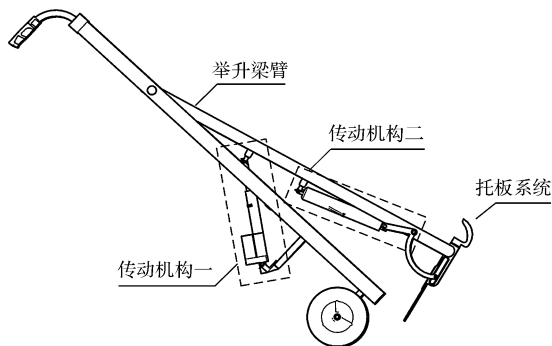


图 2 举升机构

在传动机构一中,由于电推杆一端固定在举升臂上,在伸缩过程中会有一定的旋转,为了给处于收起状态的托板电推杆提供空间,下轴要有一定的弧度。而在传动机构二中,为了实现托板旋转,支臂曲柄采用了特殊的弧形造型,便于电动推杆在伸缩过程中,支臂曲柄带动托板旋转,其末端的支臂滑块嵌在托板上的滑槽中^[7]。

举升机构主要用于抬升或降低货物。当需要把货物举升到一定高度时,使用者只需保持拖车平衡,举升货物的力由举升电推杆承担,不需要额外出力举升货物,当货物达到适合高度时,通过移动车轮将货物放置到所指定位置;当需要将货物从高处取下时,可以先升高举升装置,使举升装置可以装载货物,之后收回举升装置,举升装置带动货物下降,将货物放置到地面。

多功能拖车举升模式原理示意图如图 3 所示。

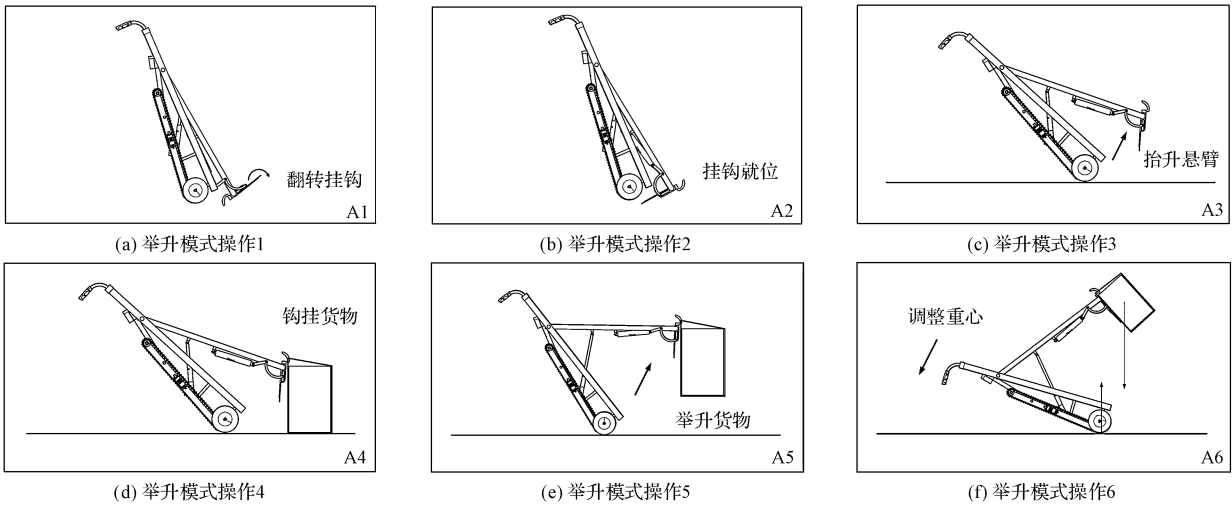


图 3 多功能拖车举升模式原理示意图

图 3 中:A1 为拖车的普通运输模式;A2 前为利用托板电推杆伸长,将托板与挂钩的位置翻转,A2 为完成后的状态;A3 时利用举升电推杆将举升臂举升一定的高度,是为了将货物在静止状态下通过绑带挂到拖车上;A4 时为已将货物上的绑带挂到拖车挂钩上;A5 为举升电推杆继续工作,将货物举升,同时使用者利用把手控制拖车的平衡;A6 时为最省力的搬运方法,即压降将货物的重心尽量穿过车轮的轴线,举升货物的力主要由拖车的支持力承担,使用者只需通过车把调

整拖车的角度保持该状态即可。

1.2 爬楼单元结构设计原理

爬楼运动单元包括同步履带和驱动电推杆两部分^[8],电动推杆控制同步履带的角度调整,而同步履带则实现上下楼梯时的助力运动。当需要上下楼时,可将履带爬楼装置放下,使爬楼运输货物更加省力。当在平地运输,可将履带爬楼装置收回,紧靠车架方便在平地搬运货物。

多功能拖车爬楼模式原理图如图 4 所示。

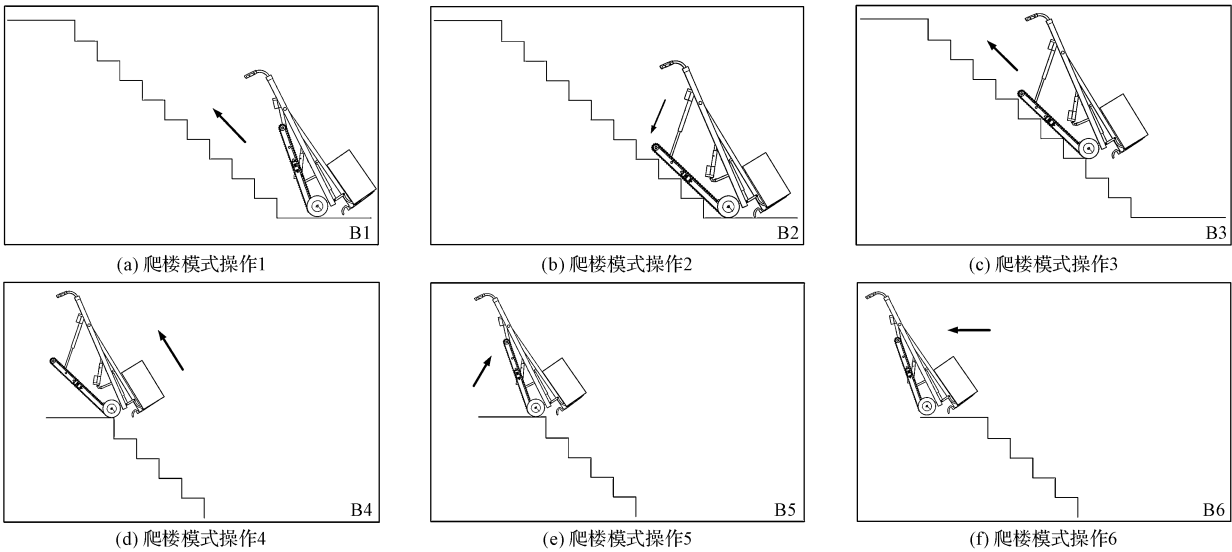


图 4 多功能拖车爬楼模式原理图

拖车携带货物从楼梯下向楼梯上运动,B1 时拖车处于普通运输状态;B2 时,当拖车移动到楼梯附近时,通过控制履带电推杆伸长,从而调整履带倾斜角度,使其与楼梯接触,便于履带能更好的与楼梯边缘咬合,增大履带与楼梯之间的力;B3 时,通过电机驱动履带运动,从而获得一个履带和台阶之间的反作用力,从而在将拖车拉上楼时减少使用者自身给予拖车的拉力,且

履带与楼梯台阶边缘之间通过锯齿机构相契合,不会出现打滑的现象;B4 时,拖车车轮接触楼梯顶部,爬楼任务完成,此时履带驱动电机停止;B5 时,通过控制电推杆将履带收回,恢复到普通运输状态;B6 时,拖车以运输模式继续工作。爬楼同步带可根据爬楼状态自由切换滚动助力的方向,根据实际需求无脉动进行变速,根据楼梯不同的陡峭参数宽范围调节收放角度。

1.3 举升模式下运输时受力分析

对于拖车爬楼模式来说,由于有了同步履带的助力,提高了运输效率,在举升模式下,当货物抬高时,此时在移动运输过程中通过调整拖车重心姿态,达到节省体力的目的。

拖车举升模式如图 5 所示。

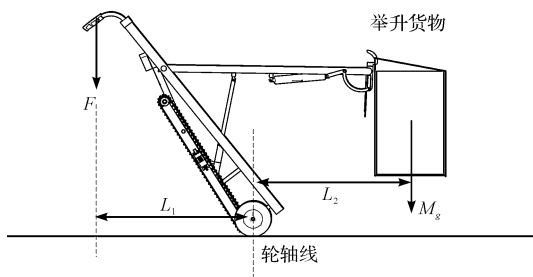


图 5 举升模式

当货物被举升之后,人手、车轮与货物之间形成以车轮为支点的类杠杆结构,即:

$$F \cdot L_1 = M \cdot g \cdot L_2 \quad (1)$$

式中: F —使用者施力; L_1 —从拖车手柄处到货物车轮的直线距离; L_2 —货物中心到车轮直线距离; M —搬运货物质量; g —重力加速度。

可见,当 L_2 越小时,人所施加的力就会越小。所以,在举升模式下,当货物抬高之后,通过调整拖车姿态,使其货物重心尽可能靠近车轮中心线,使得 L_2 尽可能小,以有效节省人力。

2 手拖车有限元分析

为了分析手拖车关键结构设计的合理性,本研究首先建立手拖车的三维模型,其次将模型导入 ANSYS 仿真软件中,设定各个单元的材料属性,对模型进行网格剖分,建立其有限元模型^[9-11]。

托板施加 40 kg 负载,设置举升臂的电动推杆速度为 0.2 m/s,设定拖车举升运动时间为 5 s。举升模式运动结束时应力分布云图如图 6 所示。

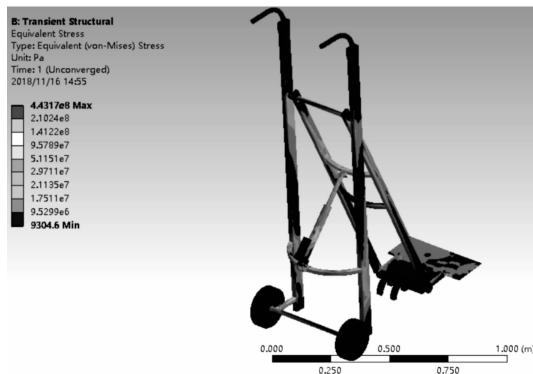


图 6 举升模式应力分布云图

从图 6 中可以看出,拖车在举升货物时,主要受力为电动推杆底座的固定梁和推杆带动的推动梁两部分。其中,固定梁平均应力为 50 MPa,推动梁平均应

力为 60 MPa,最大应力位于电动推杆与举升臂连接处,为 443 MPa,小于 45# 刚屈服应力 471 MPa,满足强度要求。

3 多功能拖车硬件系统

手拖车的硬件部分采用飞思卡尔公司的 DSP 56F8037 为控制芯片,整个硬件系统由电源转换模块^[12]、电机驱动模块、传感器检测模块^[13],以及通讯控制模块 4 部分组成。

3.1 电源电路设计

电源部分主要为拖车的动力系统以及硬件电路的控制芯片供电。24 V 转 15 V 电源芯片采用 DC-DC 转换模块 LM2576-15 V 完成。LM2576-15 V 输入电压范围为 7 V ~ 40 V,输出电压为固定的 +15 V 电压; +15 V 转 +5 V 电源芯片采用 LM2576-5 V。

3.2 电机驱动电路设计

拖车动力系统由直流电机提供^[14]。永磁直流电机的驱动采用的是 H 桥全桥驱动,可实现对电机的正反转的控制以及电机转速的调节。主控芯片发出的控制信号,经过驱动电路,驱动 H 桥中的 MOSFET 导通和关断。

电机驱动及主控电路设计如图 7 所示。

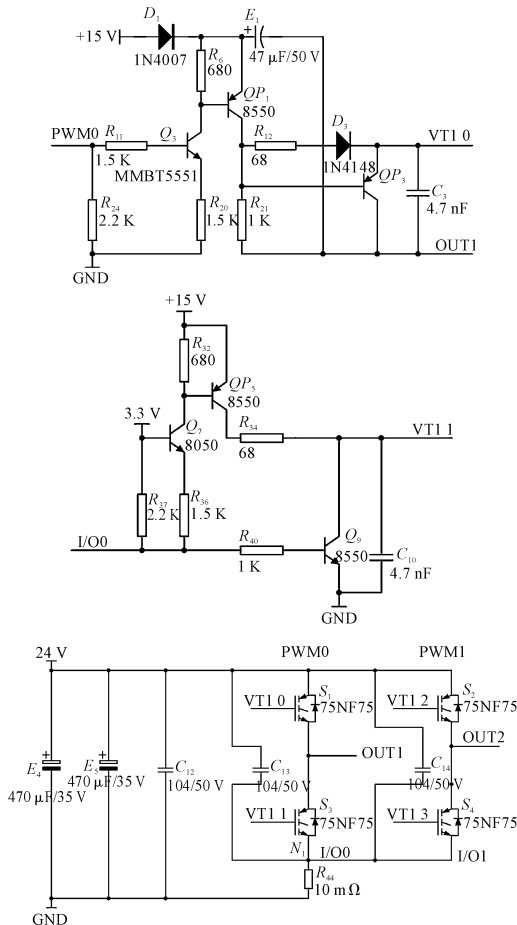


图 7 电机驱动及主控电路

3.3 总线通讯电路

系统中主控板与各个单元的从机之间的通讯采用 CAN 总线通讯,总线通讯采用 TJA1050 芯片,实现爬楼单元、举升单元、主控机三者的实时交互通讯,以及关键部分传感器的数据传输。

拖车的硬件电路总体结构如图 8 所示。

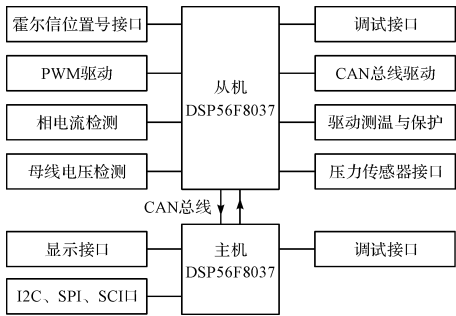


图 8 硬件电路总体结构

4 多功能拖车实验及结果分析

多功能拖车的样机及举升、爬楼测试结果如图 9 所示。

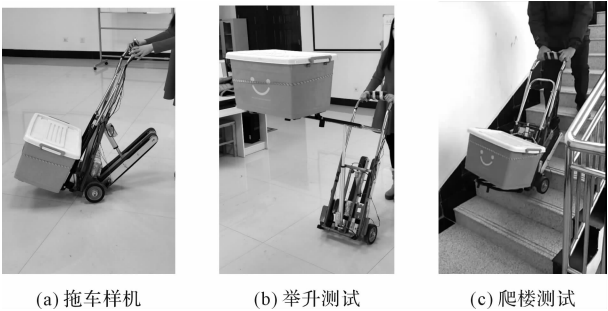


图 9 多功能拖车样机及举升、爬楼测试

图 9 表明:在爬楼时,多功能拖车可以在普通楼梯及不规则形楼梯上保持平稳状态,有一定的助力效果,且在下楼时的爬楼速度相对上楼速度较快。在平坦路面具有较强的灵活性,在平坦路面上不会损坏收起的爬楼装置;当多功能拖车进行举升作业时,可以保证车体平稳,有效节省体力。

5 结束语

本文设计了一款六自由度多功能助力拖车,该拖

车具备助力爬楼与助力托举货物的功能;详细分析了拖车的结构特点以及工作原理,并利用 ANSYS Workbench 对手拖车运动过程中的受力变化情况进行了仿真分析;对系统的硬件控制进行了简要设计,并通过多组实验测试证明了所设计设备的实用性。

实验结果表明:本文所设计的拖车能够实现爬楼和举升货物功能,特别适用于短途的高效运输。

参考文献(References):

[1] 孙孟琴. 分层手拉车[J]. 科技视界,2016,51(25):209.
[2] 张海明. 多功能手拖车[P]. 中国:201610588265. 7,2016-07-25.
[3] 李正中,张青松,邓 翱. 轮组式爬楼机器人的设计与实现[J]. 制造业自动化,2013,35(9):74-75.
[4] 魏军英,袁 苑. 变形轮式爬楼越障机器人分析与设计[J]. 机械传动,2018,42(5):96-99.
[5] 户 硕. 搬运机器人的设计与制作[J]. 煤矿机械,2015,36(8):18-20.
[6] 毛立民,梁 虎. 全方位水平姿态爬楼机器人机械系统研究[J]. 机械传动,2014,38(3):31-34.
[7] 陈玉龙,张 亮. 某拖曳水池重型拖车系统设计[J]. 机电工程,2017,34(9):1004-1008.
[8] 于苏洋,王 挺,王志东. 采用单节变形履带机构的新型轮椅机器人[J]. 机械工程学报,2013,49(13):40-47.
[9] 赵林木,尹玉珍. 擦桌机器人的运动学分析与仿真[J]. 机械,2017,44(1):55-58,80.
[10] 张毅勃. 基于 ANSYS 的机器人系统龙门行走装置有限元分析[J]. 科技与创新,2018,10(3):52-54.
[11] 徐建飞,范纪华,任 亮,等. 基于 ADAMS 和 ANSYS 工业机器人运动仿真与有限元分析[J]. 机床与液压,2018,48(15):24-27.
[12] 聂万芬,陈广华. 搬运机器人控制系统设计研究[J]. 现代信息科技,2018,2(8):189-190.
[13] 周伯英. 工业机器人设计[M]. 北京:机械工业出版社,1995.
[14] 刘 朋,王 琨,黄银花. 搬运机器人智能控制系统的设计[J]. 数字技术与应用,2018,36(8):5-7.

[编辑:张 豪]

本文引用格式:

冬之阳,王启萱,王 丰,等. 一种多功能举升爬楼拖车的设计[J]. 机电工程,2019,36(5):519-523.

DONG Zhi-yang, WANG Qi-xuan, WANG Feng, et al. Design of multifunctional lifting and climbing trailer[J]. Journal of Mechanical & Electrical Engineering, 2019,36(5):519-523.
《机电工程》杂志: <http://www.meem.com.cn>