

[新材料·新设备·新方法]

DOI:10.3969/j.issn.1005-2895.2023.04.010

悬挂组合式自行车停车系统设计

张锦涛, 苏晨曦, 王娅萱, 张 艺, 谢长雄, 王建臣*

(衢州学院 浙江省空气动力装备技术重点实验室, 浙江 衢州 324000)

摘 要:针对现有小区停放空间不足引发的自行车停车难问题,课题组设计了一种封闭式自行车库,利用汽车停车位上方的闲置空间,实现自行车自动化存取、防盗。车库的机械部分主要由自行车存取系统和自行车悬挂系统组成。自行车存取系统由水平和竖直方向的联动丝杆螺母机构组成,形成2轴联动;自行车悬挂系统由链轮链条带动挂钩滑块运动,挂钩滑块通过滚子在环型导轨上循环运动。车库的控制部分采用指纹识别方式启动PLC控制系统实现自行车停、取智能化。模拟实验表明设计的停车系统实现了车辆存取自动化,且有效节省了空间。课题组的研究为小区自行车停车难题提供一种有效的解决方法。

关 键 词:自行车停车系统;悬挂式;环型导轨;指纹识别;PLC

中图分类号:TH39;U491.7 文献标志码:A 文章编号:1005-2895(2023)04-0075-07

Design of Suspension Combination Bicycle Parking System

ZHANG Jintao, SU Chenxi, WANG Yaxuan, ZHANG Yi, XIE Changxiong, WANG Jianchen*

(Key Laboratory of Air-Driven Equipment Technology of Zhejiang Province, Quzhou University, Quzhou, Zhejiang 324000, China)

Abstract: Aiming at the problem of parking difficulty caused by insufficient bicycle parking space, an enclosed self-parking garage was designed. Using the spare space above the car parking space, the automatic bicycle access and theft prevention were realized. The mechanical part of the garage was mainly composed of a bicycle access system and a bicycle suspension system. The access system was composed of a horizontal and vertical linkage screw nut mechanism, forming a two-axis linkage. The suspension system was driven by sprocket chain to move the link slider, which moved in a circular way on the ring guide through the roller. The fingerprint identification method was adopted in the control part to start the PLC control system to realize intelligent parking. Simulation experiments show that the designed parking system has the functions of vehicle access automation and space saving, which provides an effective solution to the bicycle parking challenge in the community.

Keywords: bicycle parking system; hanging; annular guide rail; fingerprint identification; PLC (Programmable Logic Controller)

减少交通工具气体排放量是当今社会绿色环保的主题之一,各国都积极提倡自行车低碳出行^[1]。然而,自行车保有量的不断上升却给其在现有小区停放方面带来了一系列问题,如停放空间狭小,易破坏自行车外表,占用消防通道而存在安全隐患,人行道与自行车车道设计重叠而阻碍交通,及停放点监管不严使被

盗率高等^[2]。所以,节省土地、提高空间利用率和停车安全是自行车车库设计过程需要重点考虑的因素^[3]。

葛宜元等^[4]和贾蕴发等^[5]设计了双层自行车停放架,相比较于螺旋式和卡位式停放架,双层停放架具有更高的空间利用率,但都缺乏防盗功能,且存取车依靠人力。周哲等^[6]设计了悬挂式停车装置,挂钩上增

收稿日期:2022-10-11;修回日期:2023-05-10

基金项目:国家自然科学基金(51605253);国家级大学生创新创业训练计划(201811488025);校企合作教学团队项目(HZTD201701)。

第一作者简介:张锦涛(2003),男,浙江绍兴人,本科,主要从事机器人设计。通信作者:王建臣(1980),男,江苏赣榆人,硕士,副教授,主要研究方向为数控装备自动化技术。E-mail:chenyd@xpu.edu.cn

加电子锁,具有防盗功能,车棚能避免自行车暴晒和雨淋;卢正等^[7]设计了一种悬挂式立体自行车停车位,该装置主要由底座、旋转装置和设置在旋转装置上的升降装置组成。杨玲等^[8]研究表明悬挂式空间利用率高,具有较大的设计空间。

课题组针对小区自行车停放空间狭小、乱停乱放、阻碍交通及停车安全性差等问题,提出一种悬挂组合式自行车停车系统。在不影响汽车停车情况下,充分利用小区汽车停车位的上层空间,设计了自行车机械执行系统,主要由举升机构、推送机构和链轮传动机构组成,控制系统采用指纹识别与 PLC 结合实现停车系统的自动化运行,从而实现省时省力、安全存取和提高空间利用率的目的。

1 机械结构设计

悬挂组合式自行车停车系统机械结构由电机、同步带、主轴、副轴、挂钩滑块、直线模组、举升部件、滚珠丝杆套装、铝型材、环形导轨和链轮链条等构成,停车库三维结构如图 1 所示。

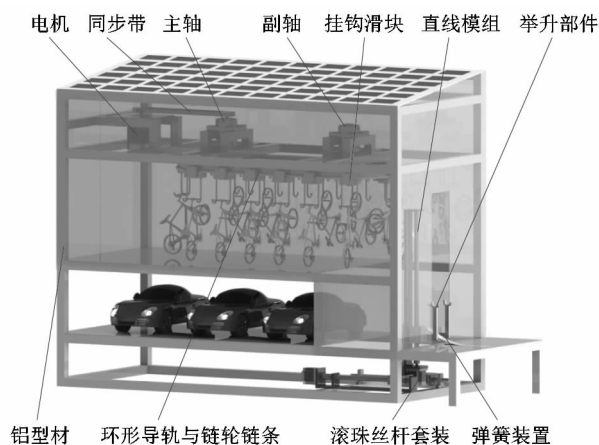


图 1 车库三维结构设计示意图

Figure 1 Schematic diagram of garage structure design

1.1 机械模块设计

自行车悬挂系统如图 2 所示,由电机通过同步带带动链轮转动,链轮链条带动挂钩滑块运动,挂钩滑块通过滚子在环形导轨上作循环运动。挂钩滑块与链条插槽连接,并依靠链条节距均匀分布,实现链轮链条与挂钩滑块的同步运动;链条只有传动作用,环形导轨作为承载件,挂钩滑块依靠 4 个滚轮在导轨中低摩擦滚动。挂钩滑块与环形导轨的连接如图 3 所示。

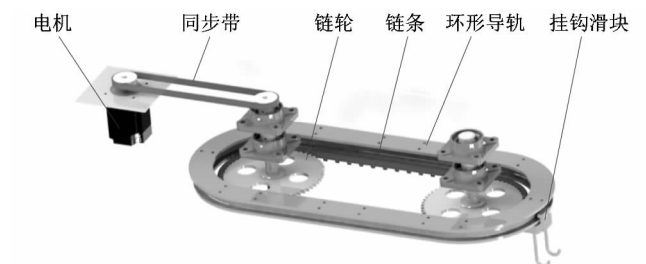


图 2 自行车悬挂系统

Figure 2 Bike suspension system

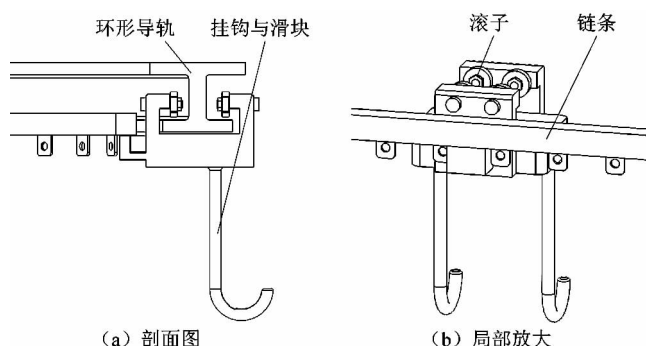


图 3 挂钩滑块与环型导轨的连接

Figure 3 Connection between hook slide and ring guide

自行车存取系统主要由水平和竖直方向的联动丝杆螺母机构组成,举升电机和推送电机同时运转,节省车库停放和存取运行时间。举升部件上设有与直线模组滑块对应的螺纹孔,举升部件通过螺栓连接在直线模组滑块上,丝杆带动举升部件升降,从而实现 z 方向直线运动自由度;模组连接板连接直线模组和滚珠丝杆套装,使举升部件拥有 y 方向直线运动自由度。存取系统如图 4 所示。

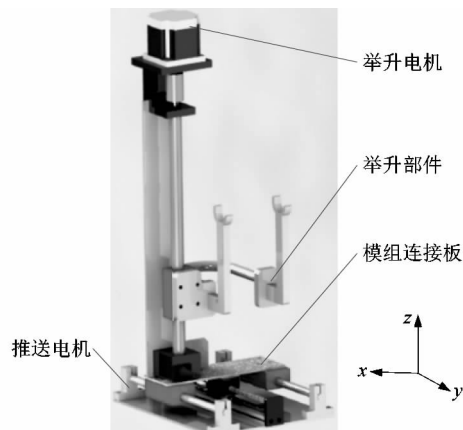


图 4 自行车存取系统

Figure 4 Bicycle access system

1.2 理论计算

1.2.1 框架尺寸

课题组的调查数据显示目前小区的单个汽车停车位大多为 $2.4\text{ m} \times 5.4\text{ m}$ 、民用小汽车高度多在 1.8 m 以下。设计的悬挂组合式自行车停车系统实际尺寸为 $7.5\text{ m} \times 5.4\text{ m} \times 4.4\text{ m}$ (封闭式储存空间高度为 2.2 m), 下方可停 3 辆汽车, 上方可停自行车 16 辆, 还可以进一步延长扩展。车库尺寸如图 5 所示。

1.2.2 自行车尺寸数据

目前市面上自行车尺寸(自行车车轮直径)主要有 3 种: 508.0 mm (20 in)、 609.6 mm (24 in) 和 660.4 mm (26 in), 质量在 $10 \sim 30\text{ kg}$ 。

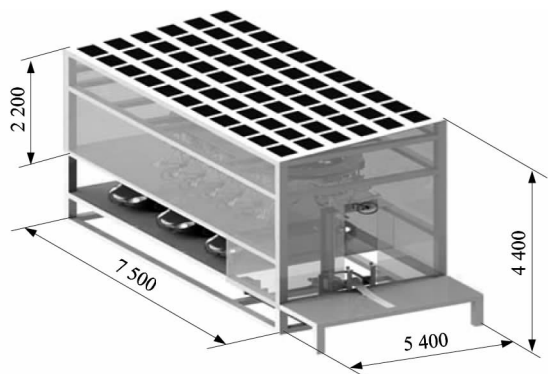


图 5 自行车车库尺寸

Figure 5 Garage size schematic

通过调研获取常见家用自行车规格(自行车正常立在地面时)参数如表 1 所示。

表 1 常见自行车规格参数

Table 1 Common bicycle specifications

						mm
自行车车轮直径	整车长	车把宽度	轮毂直径	车把与车座距离	车座高度	车把高度
508.0	1 480	510	420	460	550 ~ 700	580 ~ 800
609.6	1 700	560	520	510	650 ~ 850	900 ~ 1 000
660.4	1 790	620	580	520	750 ~ 900	900 ~ 1 100

举升部件和挂钩滑块的尺寸设计参考了大量不同规格的自行车, 现代自行车设计符合人机功能学原理, 大部分自行车在车把结构中都有相近的水平尺寸, 如表 1 所示。根据表 1 中各个尺寸的自行车车把的长度设计, 考虑用最短的自行车车把来确定举升部件和悬挂吊钩尺寸。

1.2.3 设计尺寸

部件设计根据自行车车轮直径为 508.0 mm (20 in)、车把长为 510 mm , 设计举升部件 2 个卡槽间距为 450 mm , 且钩子的厚度为 25 mm , 以便车把平稳放置。挂钩滑块 2 个钩子的间距设置为 400 mm 。承载部件如图 6 所示。

1.2.4 有限元验证分析

在自行车存取的过程中, 自行车整车重力完全作用在举升部件上, 为了保证自行车能被平稳可靠地存取, 故需要对举升部件的强度和刚度进行分析。通过有限元静力学分析, 获得结构在稳态载荷作用下的响应, 如位移、应力等, 即结构受到外力后变形、应力的大小。

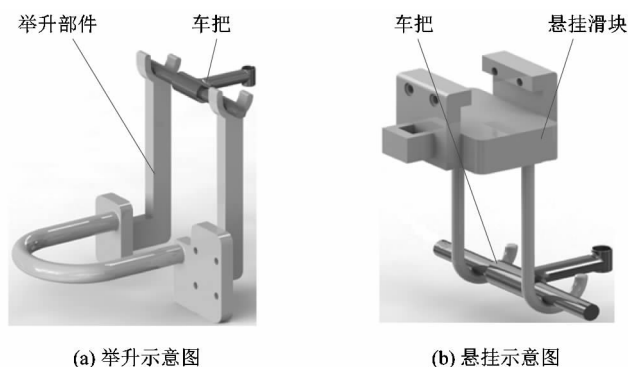


图 6 承载部件

Figure 6 Bearing parts

将 SolidWorks 建好的三维装配体转化为通用格式, 导入 ANSYS 有限元软件中的静力学模块; 然后, 对主轴系统装配体采用四面体网格进行网格划分, 由于举升部件为分析的主要部件, 所以对其进行网格加密处理, 最后生成了 27 013 个单元和 109 990 个节点。在举升部件和车把的接触线上添加最大载荷来模拟工作环境中的极限情况, 并在螺栓联接固定的一端添加固定约束。现实条件下, 自行车的质量为 $10 \sim 30\text{ kg}$,

课题组设置载荷为 300 N; 举升部件材料为 6061 铝合金, 弹性模量 $E = 69 \text{ GPa}$, 屈服强度 $\sigma_s = 275 \text{ MPa}$, 密度 $\rho = 2\,700 \text{ kg/m}^3$, 举升部件约束设置如图 7 所示。

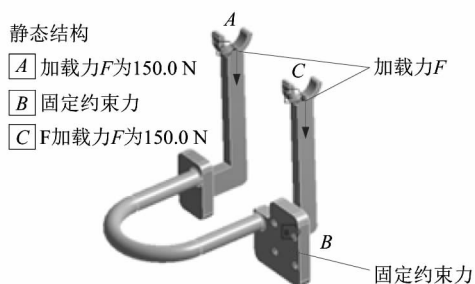


图 7 举升部件约束设置

Figure 7 Lift member constraint settings

经过分析计算得到举升部件的总变形云图和等效应力云图如图 8 和图 9 所示。

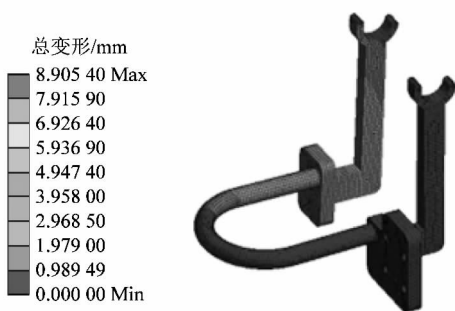


图 8 举升部件总变形云图

Figure 8 Total deformation nephogram of lifting parts

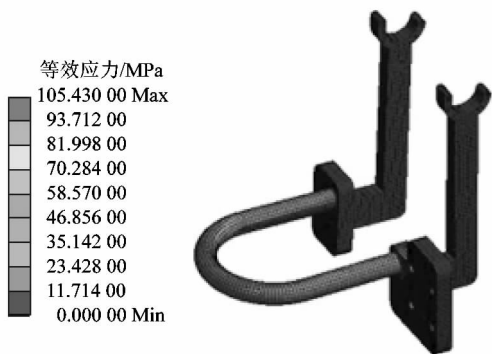


图 9 举升部件等效应力云图

Figure 9 Equivalent stress nephogram of lifting parts

ANSYS 有限元分析结果数值为: 最大总变形量为 8.905 4 mm; 最大等效应力为 105.45 MPa。根据铝合金许用应力的公式 $[\sigma] = \sigma_s / n_s$, 取安全系数 $n_s = 2.0$,

可得许用应力 $[\sigma] = 137.5 \text{ MPa}$, 大于最大等效应力 105.45 MPa。

综上, 自行车长度一般在 1 480 ~ 1 790 mm, 最大变形量为 8.905 40 mm 与自行车尺寸相比可忽略; 又最大等效应力小于许用应力, 可见该方案可以满足结构强度和刚度要求。

1.2.5 链轮传动机构设计

链轮齿形应能平稳而自由地进入和退出啮合, 受力良好, 不易脱链, 便于加工制造。课题组选择常用链轮端面齿形类型为三圆弧-直线齿形, 链轮参数如表 2 所示^[9]。

表 2 链轮参数

Table 2 Sprocket parameters mm				
分度圆直径	齿顶圆直径	齿根圆直径	分度圆旋齿高	齿侧凸缘直径
1 840.0	1 896.0	1 784.0	22.8	$\leq 1\,680.0$

1.2.6 存取位置确定

主动轮与从动轮尺寸相同, 链条与主、从动轮啮合, 呈环形结构, 不仅能够最大程度利用停车位上方闲置空间, 还可以达到“直线紧凑, 圆弧放大”的效果。直线运动时, 挂钩滑块之间距离小, 显得紧凑, 运动到曲面时, 2 挂钩滑块相对距离变大。利用这个特点, 存取装置放置于其中圆弧导轨的侧下方, 可使得机构具有较大的运动空间, 停/取车机构位置平面示意图如图 10 所示。

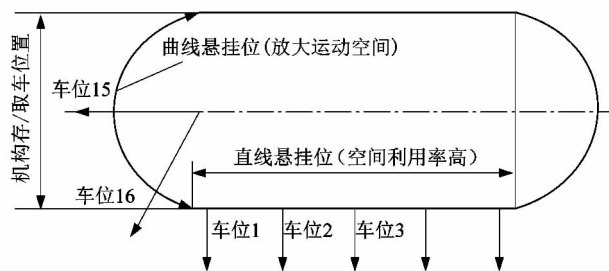


图 10 存取位置示意图

Figure 10 Access position diagram

2 控制系统设计

悬挂组合式自行车停车系统 2 个子系统配合运行, 将自行车停放至车库上层空间, 通过预先在指纹识别系统中录入用户指纹进行识别, 实现停放和存取车,

使小区停车便捷、安全、高效。

在指纹识别模块中^[10],指纹扫描后,与模块中的录入指纹进行内部对比识别,对比成功后输出编码信号,信号通过 MODULEBUS 通信链接到 PLC 数据端口,启动 PLC 控制系统。具体的指纹识别流程如图 11 所示。

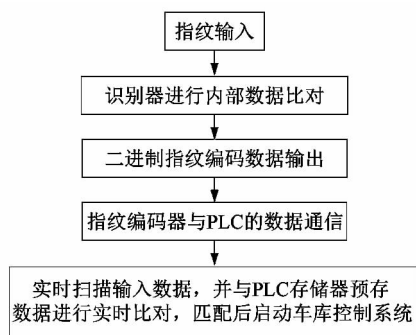


图 11 指纹识别流程图

Figure 11 Fingerprint identification flow chart

存取车过程分为 3 个部分:车位运动、存车过程和取车过程。存取车控制流程如图 12 所示。

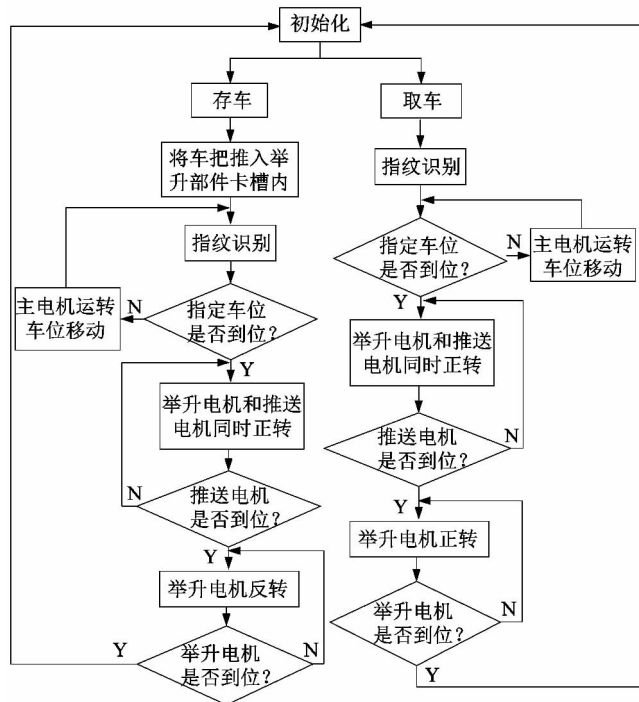


图 12 存取车控制系统流程图

Figure 12 Control system flow chart of bicycle access

2.1 车位运动

车位运动主要由链轮链条结合环形导轨及导轨上

挂钩滑块实现的。每个挂钩滑块都是一个车位,在停放车点装有光电传感器;电机通过同步带与主传动轴啮合,带动链轮链条运转,链轮链条带动挂钩滑块部件运动,定点激发传感器使得控制系统接收到信号,确定挂钩滑块的编号进行车位定位。用户可通过指纹识别调取所需车位,系统自动将所需车位移动至停放车点,完成车库内车位的调取过程。

2.2 存车

用户将自行车行驶至车库存取车位置,在自行车自身重力作用下通过弹力维持装置将车把自动卡入举升部件卡槽内,指纹识别启动控制系统,等车位到达后,举升电机与推送电机同时正转,竖直方向与水平方向的丝杆滑块带动举升部件向斜上方运动到达预设位置;推送电机停止正转,举升电机反转,举升部件下降,下降过程中由于举升部件卡槽内间距比挂钩滑块内间距小,故自行车将被放置于挂钩滑块上。最后举升部件回到初始位置,存车过程结束。

2.3 取车

指纹识别启动控制系统,等车位到达后,举升电机与推送电机同时正转,将举升部件运行至车位下方;推送电机停止,举升电机继续正转,举升部件上升,举升部件卡槽托起自行车脱离挂钩滑块,举升电机停止;举升电机与推送电机同时反转,将自行车向斜下方运送至弹力维持装置内,电机停止运行,用户将自行车取走。取车过程结束。

采用 S7-200 SMART ST60 PLC 为主控制器,具有可靠性高、体积小和抗干扰能力强的优点。相关元器件控制电路如图 13 所示。

3 试验

课题组完成了实物模型的试制,并通过模型完成了功能及运行平稳性验证。设计的车库运行平稳性主要在于步进电机^[11]速度的控制,步进电机运行包括启动加速、运行、减速停止 3 个阶段,影响车库运行平稳性主要在启动与停止 2 个阶段。课题组通过 Simulink 对以步进电机为驱动的丝杠举升装置和车库转位运动进行仿真,获得 2 种控制算法下的车库平台的速度曲线如图 14 所示,对比直线型与指数型加速的速度仿真曲线可以发现指数型加速在调节时间和超调量上优于直线型,输出平稳性更好。

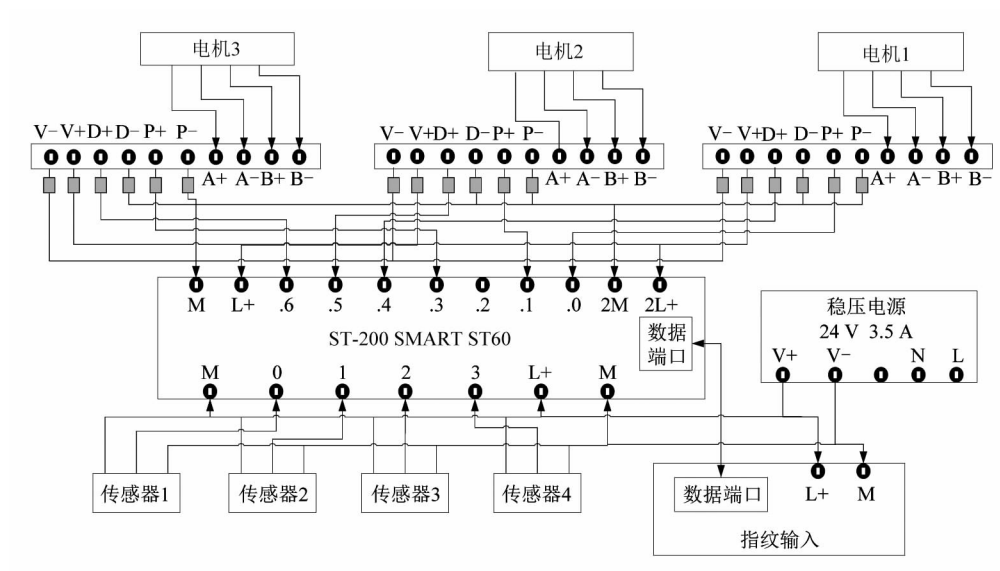
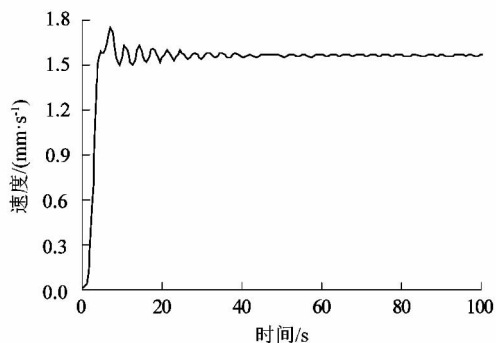
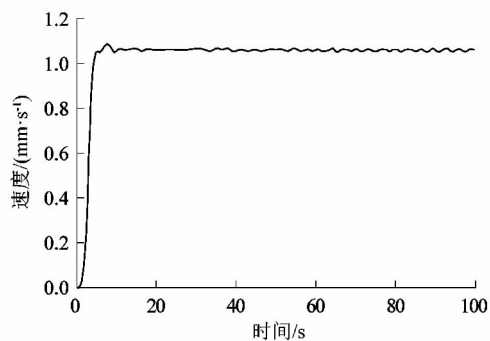


图 13 控制电路

Figure 13 Control circuit



(a) 直线型加速



(b) 指数型加速

图 14 运动速度仿真曲线

Figure 14 Motion speed simulation curve

通过反复试验测试,确定步进电机驱动器的细分数为8,启动频率为5 kHz时,系统的振动最小、运行最平稳,实物模型如图15所示。



图 15 自行车停车系统实物模型

Figure 15 Physical model of bicycle parking system

工作运行的平稳性主要取决于 x 轴方向的横移运动和 z 轴方向的举升运动,在实验平台进行存取空载和负载(有车)操作时,在调整脉冲频率后,车库运行都十分平稳。对车库系统中环形导轨上的不同车位存取车动作耗费时间的随机试验统计如表3所示,可以看到效率较高。

表 3 车库存取车时间随机统计

Table 3 Random statistics of garage access time

车位号码	存取车所用时间/s
1	15
4	20
8	30
12	30
9	35
16	30

4 结论

课题组设计了一种悬挂组合式自行车停车系统,实现了自行车停放和存取全自动化。研究成果可为解决小区自行车停车难题提供一种有效的方法,符合当今社会的发展趋势。

该停车系统的机械部分主要由自行车存取系统和自行车悬挂系统组成,其中自行车存取系统主要由水平 x 轴和竖直 z 轴方向的联动丝杆螺母机构组成,形成 2 轴联动;自行车悬挂系统主要由链轮链条带动挂钩滑块运动,挂钩滑块通过滚子在环型导轨上循环运动;控制部分采用 S7-200 SMART ST60 PLC 为主控制器,结合指纹识别方式启动控制系统。系统主要有 4 个优点:

- 1) 利用小区汽车停放区域上方闲置空间,节省小区宝贵的土地;
- 2) 采用全封闭式结构,实现车辆安全存放,还能为下方汽车遮阳;
- 3) 结合指纹识别方式启动控制系统,实现防盗以及停放和存取车自动化;
- 4) 机构可低成本扩展,可随时应对自行车停车数量的增加。

参考文献:

- [1] 李滨杉,顾晓锋,陈建业. 国外自行车交通发展战略对我国的启示[J]. 交通运输研究,2020,6(4):71.
- [2] 高永祥. 一种全自动通用型立式自行车停放装置的设计[J]. 机械设计与制造,2021,369(11):28.
- [3] 祁宇明,谢兵,王刚,等. 紧凑型自行车立体车库结构设计及控制系统研究[J]. 工程设计学报,2020,27(4):525.
- [4] 葛宜元,温晓鑫,周远航,等. 智能式双层自行车停放架设计[J]. 农机使用与维修,2014(5):17-19.
- [5] 贾蕴发,刘杨,李超,等. 新型双层自行车停放架设计[J]. 机械设计,2016,33(9):121-124.
- [6] 周哲,冯万浩,张振东. 一种新型自行车停靠装置的设计[J]. 农业装备与车辆工程,2017,55(4):64-67.
- [7] 卢正,刘磊. 一种悬挂式立体自行车停车位的设计[J]. 机电信息,2017(6):77-78.
- [8] 杨玲,张明春. 城市自行车停放设施设计探析[J]. 室内设计,2010,25(1):19.
- [9] 马钦. 单件小批三圆弧-直线链轮的加工[J]. 甘肃有色金属[J]. 甘肃有色金属,1994,3(6):30-33.
- [10] 向晓汉. S7-200 SMART PLC 完全精通教程[M]. 北京:机械工业出版社,2013:319-336.
- [11] 韩志强,刘晓婷. 步进电机 PLC 控制的研究设计[J]. 轻工机械,2006,24(4):114-115.

[信息·简讯]

· 行业简讯 ·

西门子发布《西门子工业 5G 全连接工厂白皮书》

西门子近日于 2023 西门子电子行业客户高端论坛期间,正式发布了《西门子工业 5G 全连接工厂白皮书》(以下简称“白皮书”),结合 5G 技术应用环境和市场需求的演变,梳理自身在工业领域探索 5G 应用落地的成功实践。白皮书通过解读西门子在汽车、物流、钢铁、电子、食品饮料等行业的应用案例,深度解析西门子如何将自身前沿技术和成熟生态与 5G 网络相结合,为工业 5G 落地更多行业提供指引。

“作为一项面向未来的技术,工业 5G 不仅是构筑智能工厂的关键基础设施,还能够为人工智能、边缘计算等关键技术的规模应用创造更多可能。随着 5G 技术规模化应用加速,如何挖掘更多应用场景成为了工业 5G 发展的重中之重。”西门子(中国)有限公司执行副总裁、西门子大中华区数字化工业集团总经理王海滨表示,“在这本白皮书中,西门子总结了自身在工业 5G 领域的关键技术和行业经验,为 5G 技术落地千行百业提供知识和经验赋能。未来,我们期待与更多中国行业伙伴携手挖掘 5G 全连接工厂的巨大潜力,共同描绘激动人心的未来工业新图景。”

西门子先进的数字化技术与 5G 相结合,能够进一步加速数据驱动生产与运营转型升级,助力中国工业企业提高数字化水平。例如:5G 与 PROFINET 的融合能够建立起开放性的工业自动化网络生态,更好地实现 IT 与 OI 的融合;5G 与西门子边缘计算相结合,能够建立面向行业的局域生态系统,在架构层、部署层、调度层深度融合,更好地满足工厂内网络、计算和数据处理需求;利用 5G 低延时、高可靠性的优势,西门子能源管理系统能够更快、更安全地将能耗数据上传至企业数字化平台,助力企业实现可持续发展。

(刘若梦)