

重心可调包装机械手导轨寿命分析

黄立军

(杭州万向职业技术学院, 杭州 310023)

摘要: **目的** 分析不同重心位置对包装机械手寿命的影响,在不改变包装机械手原整体结构前提下,提高包装机械手使用寿命。**方法** 使用数学方法,计算并分析带负载的一自由度包装机械手在直线运动滚动导轨副中的水平运动。设定带载包装机械手在运动机构中的多个分布位置,并简化定位机构的负载重心,通过编制封装的面向对象语言C++计算程序,计算出二导轨四滑块直线运动滚动导轨副负载重心多个位置的理论额定寿命值。**结果** 根据计算获得的位置,将包装机械手抓取负荷的重心位置利用PLC控制及参数调整,实现了抓取包装机械手负载重心位置偏置。**结论** 通过实际应用,验证了理论计算的可靠性与可行性,负载包装机械手使用寿命得到了提高。

关键词: 包装机械手; 直线运动滚动导轨副; 重心位置; 导轨寿命

中图分类号: TB486+.03 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2014)15-0029-06

Life-span Investigation on Packaging Manipulator with Load of Barycentre Adjustment of Roolling Guide

HUANG Li-jun

(Hangzhou Wanxiang Polytechnic, Hangzhou 310023, China)

ABSTRACT: Objective The effects of different barycentre position on the life-span of the packaging manipulator were studied, and the life-span of the packaging manipulator was improved in the premise of not changing the packaging robot structure. **Methods** Using mathematical methods, the horizontal movement of the single freedom packaging robot with load in a linear motion roolling beraing system was calculated and analyzed. Multiple locations in motion mechanism were set for packaging robot with load, and the load barycentre of the positioning was simplified. Through the development of the package Object Oriented Programming C++ program, the rating life-span of multiple locations in the load barycentre of the linear motion rolling guide system with two tracks and four sliders was calculated. **Results** Based on the locations obtained by calculation, the barycentre of crawling load for the packaging robots was controlled by PLC and the parameters were adjusted. Biasing of load barycentre position for crawling packaging robots was realized. **Conclusion** Through practical application, the reliability and feasibility of theoretical calculation was verified, and the service life of the packaging robot with load was improved.

KEY WORDS: packaging robot; liner motion roolling beraing; barycentre position; life-span of tracks

PLC实训教室一般有多台一自由度包装机械手用于实训教学,对其使用寿命期望值较高。水平运动机构是承载包装机械手的工作机构,其导轨副系统为二

导轨四滑块结构,由直线运动滚动导轨副系统与水平运动平台构成。直线运动滚动导轨副的额定寿命直接决定了水平运动机构的使用寿命。影响直线运动

收稿日期: 2014-04-02

基金项目: 浙江省高职教育研究会基金项目(YB1134)

作者简介: 黄立军(1970—),男,浙江诸暨人,杭州万向职业技术学院讲师,主要研究方向为数控设备维护管理与电气控制。

滚动导轨副寿命的因素很多,如负荷大小及位置、材质、润滑、振动等^[10-11],这里主要分析负荷重心位置不同对直线运动滚动导轨副寿命的影响。依据疲劳寿命的累积损伤法,通过理论分析能够预测直线运动滚动导轨副的寿命^[12-14]。参考 GB/T 21559—2《滚动轴承—直线运动滚动导轨副:额定动负荷和额定寿命》,针对 PLC 实训教室一自由度包装机械手的结构特点和工作过程,分析一自由度包装机械手在抓取相同包装后,机械手往复运动在多个重心位置对导轨系统使用寿命的影响^[15-16]。

1 水平运动机构理论平均当量动负荷

包装机械手抓取包装后,回转到设定点再移动到指定位置将包装放下。大部分水平移动机构的结构是直线滚动导轨与滚珠丝杠结构。参考文献[1—4],将抓取包装后包装机械手的心简化为便于计算的结构,见图1。图1所示位置为任意偏载位置, G_1 为水平运动机构的重心, G_2 为包装机械手抓取包装后的重心, G_2 的最大偏载位置即是包装机械手抓取包装后移动的最大距离^[5-9]。图1中, l_1 为滑块1与滑块2间的距离; l_2 为滑块2与滑块3间的距离; l_3 为 G_1 与 G_2 的横向距离; l_4 为重心 G_1 与 G_2 的纵向距离; l_5 为 G_1 与滚珠丝杠中心的距离; l_6 为 G_2 与滚珠丝杠的中心距离。

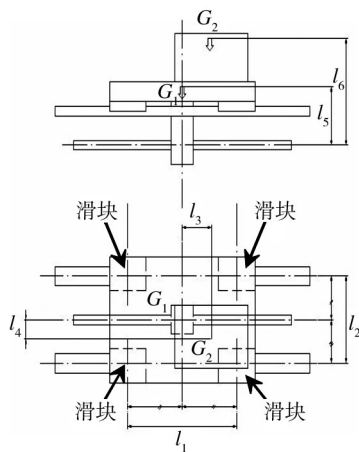


图1 包装机械手重心简化结构

Fig.1 Simplified structure of the barycentre of packaging robot

当运动机构处于水平状态时,根据负载包装机械手驱动力的位置、重心位置及停止和启动时加、减速导致的惯性力等外界条件的变化情况,作用于滑块及

导轨上的负荷可以采用空间力系6个平衡方程求解^[17]。一自由度包装机械手主要完成教学实训与实验,运动机构负荷主要由包装机械手、抓取的包装及水平运动机构组成。当水平运动机构以图2(t_1 为加减速时间, t_0 为运行时间, v 为运行速度, l_a 为加速运行距离, l_b 为减速运行距离, l_o 为匀速运行距离)的方式运动时,水平运动机构直线运动滚动导轨副的理论平均当量动负荷如下所述。

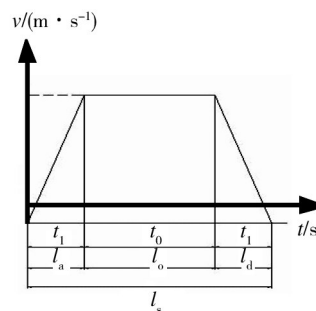


图2 水平运动机构减、加速曲线

Fig.2 Deceleration and acceleration curves of horizontal movement

1) 负载包装机械手匀速运动时加载在滑块上的负荷:

$$F_1 = \frac{m_1 g}{4} - \frac{m_2 g l_3}{2 l_1} + \frac{m_2 g l_4}{2 l_2} + \frac{m_2 g}{4} \quad (1)$$

$$F_2 = \frac{m_1 g}{4} + \frac{m_2 g l_3}{2 l_1} + \frac{m_2 g l_4}{2 l_2} + \frac{m_2 g}{4} \quad (2)$$

$$F_3 = \frac{m_1 g}{4} + \frac{m_2 g l_3}{2 l_1} - \frac{m_2 g l_4}{2 l_2} + \frac{m_2 g}{4} \quad (3)$$

$$F_4 = \frac{m_1 g}{4} - \frac{m_2 g l_3}{2 l_1} - \frac{m_2 g l_4}{2 l_2} + \frac{m_2 g}{4} \quad (4)$$

式中, F_1, F_2, F_3, F_4 分别为加载在滑块1—4上的负荷; m_1, m_2 分别为水平运动机构质量和包装机械手抓取包装后的质量; g 为重力加速度。

2) 负载包装机械手减速运动时加载在滑块上的负荷:

$$F_{d1} = \left| F_1 + \frac{m_1 g}{2} \cdot \frac{1}{g} \cdot \frac{v}{t_1} \cdot \frac{l_5}{l_1} + \frac{m_2 g}{2} \cdot \frac{1}{g} \cdot \frac{v}{t_1} \cdot \frac{l_6}{l_1} \right| + \left| \frac{m_2 g}{2} \cdot \frac{1}{g} \cdot \frac{v}{t_1} \cdot \frac{l_4}{l_1} \right| \quad (5)$$

$$F_{d2} = \left| F_2 - \frac{m_1 g}{2} \cdot \frac{1}{g} \cdot \frac{v}{t_1} \cdot \frac{l_5}{l_1} - \frac{m_2 g}{2} \cdot \frac{1}{g} \cdot \frac{v}{t_1} \cdot \frac{l_6}{l_1} \right| + \left| - \frac{m_2 g}{2} \cdot \frac{1}{g} \cdot \frac{v}{t_1} \cdot \frac{l_4}{l_1} \right| \quad (6)$$

$$F_{d3} = \left| F_3 - \frac{m_1 g}{2} \cdot \frac{1}{g} \cdot \frac{v}{t_1} \cdot \frac{l_5}{l_1} - \frac{m_2 g}{2} \cdot \frac{1}{g} \cdot \frac{v}{t_1} \cdot \frac{l_6}{l_1} \right| + \left| -\frac{m_2 g}{2} \cdot \frac{1}{g} \cdot \frac{v}{t_1} \cdot \frac{l_4}{l_1} \right| \quad (7)$$

$$F_{d4} = \left| F_2 + \frac{m_1 g}{2} \cdot \frac{1}{g} \cdot \frac{v}{t_1} \cdot \frac{l_5}{l_1} + \frac{m_2 g}{2} \cdot \frac{1}{g} \cdot \frac{v}{t_1} \cdot \frac{l_6}{l_1} \right| + \left| +\frac{m_2 g}{2} \cdot \frac{1}{g} \cdot \frac{v}{t_1} \cdot \frac{l_4}{l_1} \right| \quad (8)$$

式中, $F_{d1}, F_{d2}, F_{d3}, F_{d4}$ 分别为减速运动时加载在滑块1—4上的负荷; v 为运行速度。

3) 负载包装机械手加速运动时加载在滑块上的负荷:

$$F_{a1} = \left| F_1 - \frac{m_1 g}{2} \cdot \frac{1}{g} \cdot \frac{v}{t_1} \cdot \frac{l_5}{l_1} - \frac{m_2 g}{2} \cdot \frac{1}{g} \cdot \frac{v}{t_1} \cdot \frac{l_6}{l_1} \right| + \left| -\frac{m_2 g}{2} \cdot \frac{1}{g} \cdot \frac{v}{t_1} \cdot \frac{l_4}{l_1} \right| \quad (9)$$

$$F_{a2} = \left| F_2 + \frac{m_1 g}{2} \cdot \frac{1}{g} \cdot \frac{v}{t_1} \cdot \frac{l_5}{l_1} + \frac{m_2 g}{2} \cdot \frac{1}{g} \cdot \frac{v}{t_1} \cdot \frac{l_6}{l_1} \right| + \left| +\frac{m_2 g}{2} \cdot \frac{1}{g} \cdot \frac{v}{t_1} \cdot \frac{l_4}{l_1} \right| \quad (10)$$

$$F_{a3} = \left| F_3 + \frac{m_1 g}{2} \cdot \frac{1}{g} \cdot \frac{v}{t_1} \cdot \frac{l_5}{l_1} + \frac{m_2 g}{2} \cdot \frac{1}{g} \cdot \frac{v}{t_1} \cdot \frac{l_6}{l_1} \right| + \left| +\frac{m_2 g}{2} \cdot \frac{1}{g} \cdot \frac{v}{t_1} \cdot \frac{l_4}{l_1} \right| \quad (11)$$

$$F_{a4} = \left| F_4 - \frac{m_1 g}{2} \cdot \frac{1}{g} \cdot \frac{v}{t_1} \cdot \frac{l_5}{l_1} - \frac{m_2 g}{2} \cdot \frac{1}{g} \cdot \frac{v}{t_1} \cdot \frac{l_6}{l_1} \right| + \left| -\frac{m_2 g}{2} \cdot \frac{1}{g} \cdot \frac{v}{t_1} \cdot \frac{l_4}{l_1} \right| \quad (12)$$

式中, $F_{a1}, F_{a2}, F_{a3}, F_{a4}$ 分别为加速运动时加载在滑块1—4上的负荷。

4) 带载包装机械手整个运动行程内滑块的理论平均当量动负荷:

$$F_{m1} = \sqrt[3]{\frac{1}{l_3} (F_{a1}^3 l_a + F_1^3 l_o + F_{d1}^3 l_d)} \quad (13)$$

$$F_{m2} = \sqrt[3]{\frac{1}{l_3} (F_{a2}^3 l_a + F_2^3 l_o + F_{d2}^3 l_d)} \quad (14)$$

$$F_{m3} = \sqrt[3]{\frac{1}{l_3} (F_{a3}^3 l_a + F_3^3 l_o + F_{d3}^3 l_d)} \quad (15)$$

$$F_{m4} = \sqrt[3]{\frac{1}{l_3} (F_{a4}^3 l_a + F_4^3 l_o + F_{d4}^3 l_d)} \quad (16)$$

式中, $F_{m1}, F_{m2}, F_{m3}, F_{m4}$ 分别为滑块1—4的理论平

均当量动负荷。

2 带载包装机械手的理论额定寿命

分析直线运动滚动导轨副的导轨面温度、硬度、接触情况及使用状态, 将当量动负载 P 进行相应处理, 引入理论负荷 F_m , 则水平运动机构的直线运动滚动导轨副4个滑块的额定寿命计算公式为^[18-19]:

$$L_1 = (C/P_1)^3 = 50 \left(\frac{f_H f_T f_C}{f_W} \cdot \frac{C}{F_{m1}} \right)^3 \quad (17)$$

$$L_2 = (C/P_2)^3 = 50 \left(\frac{f_H f_T f_C}{f_W} \cdot \frac{C}{F_{m2}} \right)^3 \quad (18)$$

$$L_3 = (C/P_3)^3 = 50 \left(\frac{f_H f_T f_C}{f_W} \cdot \frac{C}{F_{m3}} \right)^3 \quad (19)$$

$$L_4 = (C/P_4)^3 = 50 \left(\frac{f_H f_T f_C}{f_W} \cdot \frac{C}{F_{m4}} \right)^3 \quad (20)$$

式中, P_1, P_2, P_3, P_4 分别为滑块1—4上的当量动负载; C 为包装机械手直线运动滚动导轨副的额定动负荷; f_W 为负载系数(见表1), 指运动速度、负载引起的惯性力改变对使用寿命的影响; f_T 为温度系数(见图3), 指导轨副系统的温度高于100℃时, 额定使用寿命随导轨滚动面温度升高而下降的修正系数; f_H 为硬度系数(见图4), 指滚动钢珠与滚道表面的硬度高低对额定动负荷大小的影响; f_C 为接触系数(见表2), 指直线运动滚动导轨副由2个或2个以上的滑块组合应用时, 负载分布均匀性的影响系数。

表1 负载系数 f_W

Tab.1 Loading coefficient

使用条件	载荷系数 f_W
无外部冲击或振动的低速运动场合, 速度小于15 m/min	1.0 ~ 1.5
无明显冲击或振动的中速运动场合, 速度为15 ~ 60 m/min	1.5 ~ 2.0
有外部冲击或振动的高速运动场合, 速度大于60 m/min	2.0 ~ 3.5

3 带载包装机械手重心变化的额定寿命计算

根据图1所示的水平运动机构重心 G_1 与负载包装机械手重心 G_2 、图3的加减速曲线, 以及公式(1)—

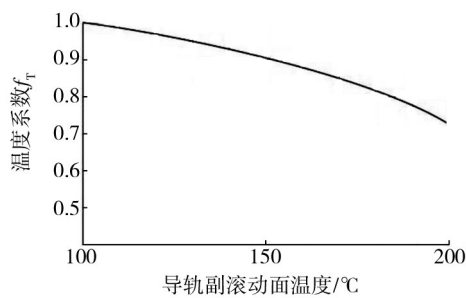


图3 温度系数 f_T
Fig.3 Temperature coefficient

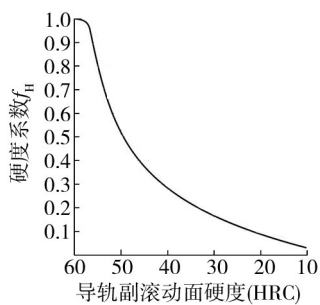


图4 硬度系数 f_H
Fig.4 Coefficient of hardness

表2 接触系数 f_c
Tab.2 Contact coefficient

滑块数量	1	2	3	4	5
接触系数 f_c	1.0	0.82	0.73	0.67	0.62

(20),使用面向对象方法封装由C++语言编制的直线运动滚动导轨副额定寿命计算程序,计算负载包装机械手重心变化时滚动导轨副的额定寿命。直线运动滚动导轨副参数:水平运动机构重心负荷 G_1 为14.3 N,包装机械手重心负荷 G_2 为24.3 kN,水平运动机构质量 m_1 为75 kg,带负荷包装机械手质量 m_2 为173 kg,滑块1与滑块2间距离 l_1 为217 mm,滑块2与滑块3间距离 l_2 为198 mm, G_1 与 G_2 横向距离 l_3 为51 mm, G_1 与 G_2 纵向距离 l_4 为变量, G_1 与滚珠丝杠中心距离 l_5 为147 mm, G_2 与滚珠丝杠中心距离 l_6 为197 mm。

包装机械手的直线运动滚动导轨副的导轨滚动面硬度为61 HRC, $f_H=1$;测试导轨滚动面温度在运行16 h后温度为120 ℃,则 $f_T=0.98$, $f_c=0.67$ 。包装机械手运动机构运动速度大于1.5 m/s,加速度 $\alpha=10\text{ m/s}^2$,则 $f_w=1.5$ 。

包装机械手抓取包装后在全行程以图3的加减速曲线往复运行,当设定不同的 l_4 (即包装机械手抓取包装后的不同重心位置)时,按照工作台运行16 h/d,每年运行365 d,得到运算结果见表3。

表3 带载包装机械手重心位置变化时导轨副的寿命值
Tab.3 Life-span of rolling guide with change of barycentre position of the packaging robot with load

距离 l_4 /mm	距离寿命/km	时间寿命/h	时间寿命/a
0	32 185	83 815	14.35
5	30 419	79 213	13.56
10	28 797	74 942	12.83
15	27 523	70 972	12.15
20	25 834	67 278	11.52
25	24 513	63 836	10.93
30	23 280	60 625	10.38
35	22 128	57 625	9.87
40	21 051	54 820	9.39
45	20 042	52 195	8.93
50	19 098	49 734	8.52
55	18 211	47 426	8.12

通过分析表4,当包装机械手抓取包装处于最大偏载位置($l_4=55\text{ mm}$)时,计算出使用寿命为8.12 a。如果控制抓取包装的包装机械手重心 G_2 移动到水平运动机构重心 G_1 重叠位置($l_4=0\text{ mm}$)时,包装机械手的使用寿命就提高到14.35 a。在不改变包装机械手整体结构,将包装机械手抓取包装重心 G_2 位置再多偏置55 mm,那么包装机械手滚动导轨副寿命就可以提高6 a,增加了2/3的使用寿命。依据文献[20—21],分析重心位置,测定与计算包装重心最优偏置轨迹。包装机械手抓取任意形状包装时,能按照不同包装自动执行不同的重心偏置子程序,从而最大限度地提高包装机械手的使用寿命。

4 结语

通过上述分析与计算,在不调整包装机械手运动机构的结构、不改变包装机械手运动机构使用条件的前提下,只偏置包装机械手抓取包装重心 G_2 的位置,理论上能够提高包装机械手运动机构的使用寿命。

根据上述计算依据,通过调用增加的包装机械手重心偏置子程序以及更改控制程序参数,实现了实训

教室包装机械手运动机构抓取包装后包装机械手执行重心位置的偏置,提高了包装机械手在实训教室的预期使用寿命。

参考文献:

- [1] 刘功,葛玉琛,丁微波.产品重心缓冲包装计算机辅助设计法[J].包装工程,1992,13(4):163—169.
LIU Gong, GE Yu-chen, DING Wei-bo. CAD of the Packaging for Cushioning the Gravity Centre of Product[J]. Packaging Engineering, 1992, 13(4): 163—169.
- [2] 梁燕飞,梁旦宇.包装机横封机构平衡问题的研究[J].包装工程,2000,21(2):28—29.
LIANG Yan-fei, LIANG Dan-yu. Investigation on Equilibrium of End Sealer of Wrapping Machine[J]. Packaging Engineering, 2000, 21(2): 28—29.
- [3] 孙凤兰,马喜川.包装机械概论[M].北京:印刷工业出版社,1998.
SUN Feng-lan, MA Xi-chuan. Introduction to Packaging Machinery[M]. Beijing: Printing Industry Press, 1998.
- [4] 张继忠,张艳平,王晓东.包装机供料机构方案设计与分析[J].现代制造工程,2008(10):97—98.
ZHANG Ji-zhong, ZHANG Yan-ping, WANG Xiao-dong. Scheme Analysis and Design of Feeding Mechanism in Packaging Machine[J]. Modern Manufacturing Engineering, 2008(10): 97—98.
- [5] 黄国栋,陈杰.ID3算法在包装机器人自动分拣中的应用[J].包装工程,2012,33(11):84—87.
HUANG Guo-dong, CHEN Jie. Application of ID3 Algorithm in Automatic Sorting of Packaging Robot[J]. Packaging Engineering, 2012, 33(11): 84—87.
- [6] 贺兵.基于虚拟样机技术的包装机械系统仿真研究[J].包装工程,2008,29(2):47—49.
HE Bing. Simulation Study of Packaging Machine Based on Virtual Prototyping[J]. Packaging Engineering, 2008, 29(2): 47—49.
- [7] 赵加洋,石秀东,薛兵财,等.灌装机械手运动与动力特性分析[J].包装工程,2013,34(3):59—62.
ZHAO Jia-yang, SHI Xiu-dong, XUE Bing-cai, et al. Dynamic and Kinematical Analysis of Filling Manipulator[J]. Packaging Engineering, 2013, 34(3): 59—62.
- [8] 安江波,于富强,王龙.三自由度水下机械手研制[J].现代机械,2008(6):32—34.
AN Jiang-bo, YU Fu-qiang, WANG Long. Research on Underwater Manipulator with Three DOF[J]. Modern Machinery, 2008(6): 32—34.
- [9] 刘会杰,焦志刚,陈伟.三杆式驱动机械手的设计与分析[J].沈阳理工大学学报,2008,27(1):61—65.
LIU Hui-jie, JIAO Zhi-gang, CHEN Wei. Design and Analysis of Three-rod Drive Manipulator[J]. Transactions of Shenyang Ligong University, 2008, 27(1): 61—65.
- [10] 董月香,高增梁.疲劳寿命预测方法综述[J].大型铸锻件,2006(3):39—41.
DONG Yue-xiang, GAO Zeng-liang. General Description of the Fatigue Life Prediction Method[J]. Heavy Castings and Forgings, 2006(3): 39—41.
- [11] 戚国胜.工程结构元件疲劳寿命的估计[J].山东科技大学学报:自然科学版,2003,22(z1):98—100.
QI Guo-sheng. Estimation to Fatigue Life of Engineering Components[J]. Journal of Shandong University of Science and Technology: Natural Science, 2003, 22(z1): 98—100.
- [12] SHAN Dong-ri, LI Yan-dong. The Finite Element Analysis on Static and Dynamic Performance for the Welded-structure Column of a Certain Horizontal Machining Center [C]// New York: IEEE ICIME, 2010.
- [13] SHAN Dong-ri, HAN Yu-hua. Static & Dynamic Performance Analysis and Optimization Design for the Whole Casting Column of a Certain High-speed Horizontal Machining Center Using ABAQUS [C]// New York: IEEE ICIME, 2010.
- [14] OSEIBRYSON K. Post-Pruning In Decision Tree Induction Using Multiple Performance Measures[J]. Computers & Operations Research, 2007, 11(34): 2731—2745.
- [15] 徐起贺,刘极峰,孙健利,等.滚动直线导轨额定寿命计算的研究[J].组合机床与自动化加工技术,2000,35(12):21—23.
XU Qi-he, LIU Ji-feng, SUN Jian-li, et al. Researching on Specified Life Calculation of Linear Rolling Guide System[J]. Modular Machine Tool & Automatic Manufacturing Technique, 2000, 35(12): 21—23.
- [16] 吴同喜,仲梁维,黄一晴,等.基于ADAMS模切机新型间歇机构的性能分析[J].包装工程,2012,33(7):101—104.
WU Tong-xi, ZHONG Liang-wei, HUANG Yi-qing, et al. Performance Analysis of New Intermittent Mechanism of Die-cutting Machine Based on ADAMS[J]. Packaging Engineering, 2012, 33(7): 101—104.
- [17] 成大先.机械设计手册[M].北京:化学工业出版社,2008.
CHENG Da-xian. Machinery Design Handbook[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2008.
- [18] 姜大志,高飞,孙俊兰.直线滚动导轨的寿命分析[J].机床与液压,2007,35(10):192—195.
JIANG Da-zhi, GAO Fei, SUN Jun-lan. Analysis on the Life

- of Linear Motion Ball Guide[J]. Machine Tool & Hydraulics, 2007, 35(10): 192—195.
- [19] 肖诗俊. 医疗平台专用车设计与研究[D]. 成都: 西华大学, 2012.
- XIAO Shi-jun. Medical Platform Design and Study of Special Vehicles[D]. Chengdu: Xihua University, 2012.
- [20] 周小燕, 高峰, 鲍官军, 等. 基于IAGA的机械手时间最优轨迹规划[J]. 机电工程, 2009, 26(8): 1—3.
- ZHOU Xiao-yan, GAO Feng, BAO Guan-jun, et al. Time-optimal Trajectory Planning for Robot Manipulators Based on Improved Adaptive Genetic Algorithm[J]. Mechanical & Electrical Engineering Magazine, 2009, 26(8): 1—3.
- [21] ATRAMENTOV A, LEIVA H, HONAVAR V. Learning Decision Trees from Multi-Relational Data[C]// Proceedings of the 13th International Conference on Inductive Logic Programming, 2003.

(上接第28页)

- TANG Zhi-ping. Discussion on Application of Paper Corner Protector in Packaging Design of the Electric Appliances Products[J]. China Appliance Technology, 2014(3): 83—85.
- [5] 杨文涛. 嵌入式定长剪切控制系统的研究及发现[D]. 大连: 大连理工大学, 2010.
- YANG Wen-tao. The Research and Implementation of an Embedded and Constant Length Cut Control System[D]. Dalian: Dalian University of Technology, 2010.
- [6] 蔡锦达, 孙云峰, 付翔, 等. 飞刀式纸护角裁切机构[J]. 机械设计与制造, 2011(4): 52—53.
- CAI Jin-da, SUN Yun-feng, FU Xiang, et al. Design of New Crank Edge Board Machine[J]. Machinery Design and Manufacture, 2011(4): 52—53.
- [7] 郝俊强, 夏滨, 何小书. 铝管材横切机组及飞剪的电气控制技术[J]. 轻合金加工技术, 2001, 29(3): 27—29.
- HAO Jun-qiang, XIA Bin, HE Xiao-shu. Electric Control Technique of Cut to Length Machine and Rotating Flying Shear for Aluminum Sheet[J]. Light Alloy Fabrication Technology 2001, 29(3): 27—29.
- [8] 葛延津, 陈栋, 高峰. 飞剪的定位控制[J]. 控制与决策, 2003(9): 604—606.
- GE Yan-jin, CHEN Dong, GAO Feng. Position Control of Flying Shear[J]. Control and Decision, 2003(9): 604—606.
- [9] 胡姣, 钱晓龙, 王策, 等. 基于运动控制器的飞剪定长切割系统的实现[J]. 仪器仪表学报, 2005(8): 247—249.
- HU Jiao, QIAN Xiao-long, WANG Ce, et al. The Application of Flying Shear Used to Cut to Specified Length Based on Motion Controller[J]. Chinese Journal of Scientific Instrument, 2005(8): 247—249.
- [10] 蒋利佳. 位置伺服控制在飞剪控制系统中的分析与应用[D]. 武汉: 武汉科技大学, 2002.
- JIANG Li-jia. Analysis and Application of the Position Servo Control System[D]. Wuhan: Wuhan University of Science and Technology, 2002.
- [11] 韩提文. 瓦楞纸板横切机控制系统的研制[D]. 天津: 天津大学, 2013.
- HAN Ti-wen. Study on the Control System in the Corrugated Cardboard Crosscut Machine[D]. Tianjin: Tianjin University, 2013.
- [12] WU Hua-zhu, LUO Nai-hao, WANG Chang-you. Study on Control Strategy of the Rotary Synchronous Fixed-length Cutting System[J]. Journal of Vibroengineering, 2013(6): 713—725.
- [13] 郑长春, 赵莉华. 飞剪运动控制系统速度与位置参数整定[J]. 机电设备, 2008(1): 17—19.
- ZHENG Chang-chun, ZHAO Li-hua. Adjustment of Speed and Position Parameters on Motion Control System of Start-stop Shear[J]. Mechanical and Electrical Equipment, 2008(1): 17—19.
- [14] 蔡锦达, 尤黔琳, 黄树根, 等. 基于台达PLC的纸护角控制系统[J]. 包装工程, 2010, 31(15): 77—80.
- CAI Jin-da, YOU Qian-lin, HUANG Shu-gen, et al. Control System of Paper Corner Protector Machine Based on Delta PLC[J]. Packaging Engineering, 2010, 31(15): 77—80.
- [15] 卢英, 赵亮, 陈登峰, 等. 交流伺服位置控制系统的研究与应用[J]. 伺服控制, 2008(8): 41—43.
- LU Ying, ZHAO Liang, CHEN Deng-feng, et al. The Research and Application of AC Servo Position Control System[J]. Servo Control, 2008(8): 41—43.