

包装机械

基于SolidWorks Motion的灌装机分瓶机构凸轮曲线设计

韩庆红, 张锁怀, 陈香利
(上海应用技术学院, 上海 201400)

摘要: **目的** 对新型分瓶机构进行运动分析, 并采用新方法设计组合机构的凸轮曲线, 以提高设计效率。 **方法** 通过对此分瓶机构的运动分析, 对从动件的运动原理深入了解的基础上, 应用三维软件SolidWorks建立了简化机构模型, 根据凸轮设计的反转原理, 利用软件中的Motion分析功能, 为梅花瓣构件及从动齿轮附加满足工程需求的驱动, 然后进行了运动仿真。 **结果** 通过Motion分析中的“跟踪路径”功能对凸轮滚子中心点进行路径跟踪, 得到了其轨迹曲线即凸轮的轮廓曲线。 **结论** 根据生成的凸轮曲线建立三维实体模型, 与原有机机构进行装配并仿真分析, 验证了凸轮曲线的正确性, 也验证了利用Motion分析进行凸轮曲线设计的高效性。

关键词: 分瓶机构; 凸轮曲线设计; SolidWorks; Motion分析; 跟踪路径

中图分类号: TH112; TB486 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2016)05-0110-05

Design of the Cam Curve for Filling Machine Sub-bottle Mechanism Based on SolidWorks Motion

HAN Qing-hong, ZHANG Suo-huai, CHEN Xiang-li
(Shanghai Institute of Technology, Shanghai 201400, China)

ABSTRACT: The motion of new type of sub-bottle mechanism was analyzed and a new method that can improve design efficiency was adopted to design the cam curve of the combination mechanism. Through the motion analysis of the new sub-bottle mechanism, the movement principle of the plum petals followers was elucidated clearly. The three-dimensional software SolidWorks was applied to build the simplified mechanism model, and according to the reversal principle of the CAM design, the motion simulation was conducted using the Motion analysis function of the software to add drives that met the project needs for plum petals member and driven gear. Through the "tracking path" function of the Motion analysis, the path of the cam roller center point was obtained and the path curve was also the cam profile curve. Based on the generated cam curve, the 3D model of cam was built, and the simulation analysis was carried out after the cam was assembled with the original mechanism. The result verified the accuracy of the cam curve and the efficiency of cam curve design using Motion analysis was also proved.

KEY WORDS: sub-bottle mechanism; cam curve design; SolidWorks; Motion analysis; tracking path

灌装机在食品与制药行业中应用极为广泛, 尤其是饮料、糖浆、注射剂、口服液等瓶装类产品生产过程中必不可少的装备^[1]。在产品灌装之前要对瓶子进行分瓶, 分瓶的目的是使瓶子间的距离与注射泵间的距

离相匹配, 以方便多个注射泵能同时准确地进行注射。目前在生产过程中应用最广泛的分瓶方式有双转盘分瓶、螺杆转盘分瓶, 这2种分瓶机构在分瓶及将瓶子传递到注射泵的过程中多是匀速运动^[2]。为了提

收稿日期: 2015-08-31

基金项目: 国家自然科学基金(51475311)

作者简介: 韩庆红(1989—), 男, 河南商丘人, 上海应用技术学院硕士生, 主攻凸轮组合机构设计。

通讯作者: 张锁怀(1962—), 男, 陕西人, 博士, 上海应用技术学院教授, 主要研究方向为机械系统动力学和系统仿真等。

高生产效率设计了一种新型的“梅花瓣分瓶机构”,此机构是凸轮、双摇杆以及齿轮机构的组合机构,可使瓶子在传递过程中具有多种运动状态。而要实现不同阶段的运动状态,凸轮曲线的设计是一个重点与难点,传统的凸轮曲线设计方法以图解法和解析法为主^[3-4],图解法受作图精度影响一般精度较低;解析法虽然计算精度较高,但计算量较大^[5-6]且设计周期过长,尤其是对这种组合机构解析法更是费时费力。为了缩短设计周期,提高设计精度与质量,可根据凸轮设计的反转原理,通过SolidWorks中的Motion仿真分析模块应用“跟踪路径”功能得到凸轮曲线。

SolidWorks Motion分析是SolidWorks的一个插件,是一种虚拟样机的仿真分析工具^[7],可以对复杂的机构进行运动学和动力学仿真,得到机构的速度、加速度、作用力^[8]等,并能通过数据、图标、动画等形式表现出来,能很好地反映机构的运动特性^[9]。而“跟踪路径”作为Motion中“位移/速度/加速度”图解结果中的子类别功能,可图形化显示运动零件上某点的路径轨迹,并且跟踪到的轨迹曲线可以被复制到参考零件中生成二维轮廓曲线^[10],方便凸轮的三维建模,也能以数据的形式输出到csv格式的文件中,为凸轮的加工提供坐标数据。可以说利用Motion分析设计凸轮曲线的方法,在很大程度上提高了凸轮的设计效率。

1 梅花瓣分瓶机构分析

1.1 梅花瓣分瓶机构动作过程

分瓶动作见图1,传送带上的瓶子通过圆形转盘上的圆弧槽依次被分开,初次被圆形转盘分开的灌装瓶在梅花瓣与圆形转盘啮合时由圆形转盘上的圆弧槽传递到梅花瓣上的圆弧槽中,同理,灌装瓶再通过梅花瓣传送到移动板上。当梅花瓣上的瓶子传递完后,移动板将西林瓶传送到灌装泵处,然后放瓶返回准备接收下一个梅花瓣上的瓶子。在此过程中圆形转盘作匀速转动,而为了提高效率梅花瓣在周转过程中有多种运动状态,其运动主要有以下4个阶段。

1) 匀速段1。梅花瓣与圆形转盘啮合并其边缘切点位置线速度相同,此时圆形转盘上的灌装瓶依次传递到梅花瓣上的圆弧槽中。

2) 急进段。梅花瓣上的灌装瓶向移动板上传递,传递过程为梅花瓣边缘线速度与移动板速度的同步加速运动。

3) 匀速段2。梅花瓣传递药瓶后与回程段间的过

渡阶段。

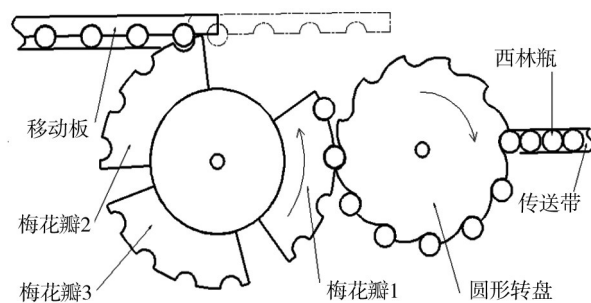


图1 分瓶动作流程

Fig.1 Flowchart of sub-bottle operation

4) 回程段。返回到匀速段1,开始准备下一次的循环运动。

梅花瓣分瓶机构的传动部分是由凸轮、双摇杆、齿轮机构组合而成,要得出满足要求的凸轮曲线,首先要清楚机构的运动原理。

1.2 机构运动原理分析

从图1可知机构中有3个梅花瓣构件,且3个构件的转轴通过套合的方式装配在一起,梅花瓣的运动状况相同只是相位不同,而且此机构比较巧妙之处是双摇杆机构并不是固定的,摇杆机构在摆动的同时时刻跟随从动齿轮作周转运动,整体机构见图2。

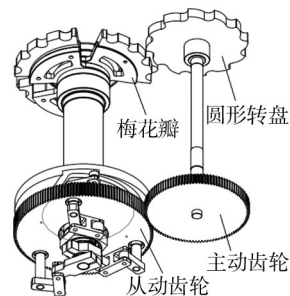


图2 梅花瓣分瓶机构三维图

Fig.2 The three-dimensional diagram of the plum petals mechanism

分瓶机构中电机转轴与圆形转盘转轴同轴直接驱动主动齿轮,同时又通过从动齿轮以及凸轮双摇杆机构将运动传递给梅花瓣。其传动机构运动简图^[11]见图3。

梅花瓣摇杆1,1',1''与梅花瓣转轴及梅花瓣构件三者固连。凸轮摇杆3,3',3''一端通过凸轮滚子4,4',4''与固定槽凸轮7接触,另一端与连杆2,2',2''铰接,而且凸轮摇杆3,3',3''还与从动齿轮5形成转动副,即摇杆3,3',3''绕固定在齿轮5上的转轴

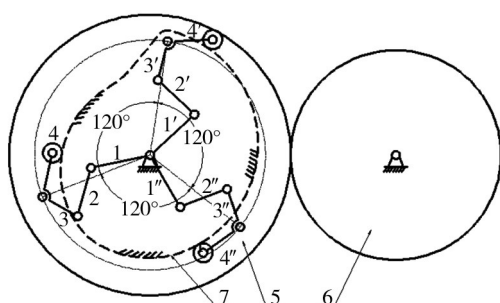


图3 机构运动简图

Fig.3 Mechanism motion diagram

旋转。电机直接带动主动齿轮6实现圆形转盘的匀速转动,同时通过齿轮传动将运动传递给从动齿轮5,从动齿轮带动摇杆机构运动。因为凸轮摇杆与齿轮间有转动副,而且凸轮摇杆的一端通过凸轮滚子约束在凸轮曲面上,所以凸轮摇杆既有摇杆机构产生的摆动,又有随从动齿轮绕轴心的周转运动,因此梅花瓣摇杆1,1',1''也有两种运动,而正是因为摆动与圆周运动的叠加使梅花瓣产生了不同的运动状态。决定梅花瓣摇杆摆动规律的是凸轮曲线,因此要实现梅花瓣在工程上的运动规律,最重要的就是凸轮曲线的设计。

2 凸轮曲线的设计

利用Motion分析设计凸轮曲线的原理为:从动件附加理想的运动,利用仿真分析^[12-13]生成凸轮滚子中心的轨迹路线,从而得出凸轮曲线。由于3个梅花瓣的运动情况相同,选取其中一个梅花瓣传递机构作为研究对象建立简化三维模型。

2.1 双摇杆初始位置的确定

对双摇杆机构进行单独分析,已知双摇杆机构的杆长分别为 $AB=40\text{ mm}$, $BC=50\text{ mm}$, $CD=60\text{ mm}$, $AD=115\text{ mm}$,其中 AB 为凸轮摇杆长度, CD 为梅花瓣摇杆长度,机构运动简图见图4。通过作图可知,双摇杆机

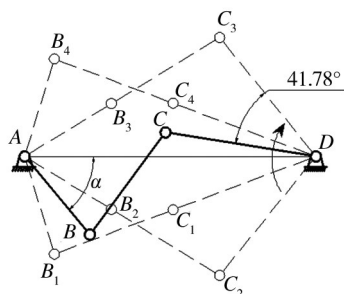


图4 双摇杆机构运动简图

Fig.4 Motion diagram of double rocker mechanism

构共有4个极限位置运动较复杂,而且根据工程需求梅花瓣摇杆的摆动范围为 $30^\circ \sim 40^\circ$,为了避免摆动过程中2个摇杆的运动不确定性,选择图4中双摇杆 $ABCD$ 为初始位置,其中 $\alpha=50^\circ$ 摆动方向为图示方向,此时 AB 的摆动范围处于 AB_1 与 AB_3 之间,且 $\angle CDC_3=41.78^\circ$,满足梅花瓣摇杆的摆动范围。

2.2 SolidWorks 简化模型的建立

在SolidWorks中分别绘制零部件,将零部件导入新建的装配体中,凸轮基体设置为“固定零件”,其他零件设置为“浮动”,根据运动类型添加相应配合关系^[14],并根据2.1节中双摇杆机构的初始位置调整好各杆件的相对位置,装配体见图5。添加SolidWorks Motion插件,并将装配体从模型窗口切换到运动算例窗口,算例类型选择“Motion分析”。

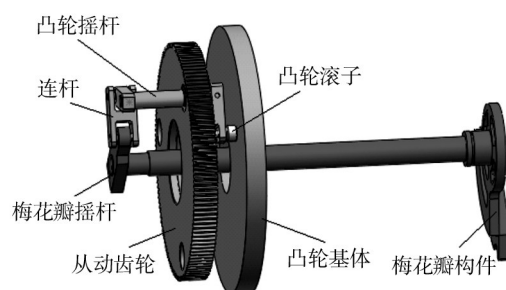


图5 SolidWorks 简化模型

Fig.5 SolidWorks simplified Model

2.3 运动参数设定

根据机构的运动原理分析可知整体机构的从动件为梅花瓣构件,梅花瓣构件有4个运动阶段,而且梅花瓣的运动是从动齿轮匀速转动与摇杆摆动的叠加,所以在简化模型中应分别为梅花瓣和从动齿轮添加马达,梅花瓣上马达的转速即为实际生产所需求转速,匀速段时梅花瓣角速度应等于从动齿轮角速度,此时凸轮曲线应该为圆弧,因此从动齿轮上马达的转速应该与梅花瓣匀速转动时相等。

梅花瓣摇杆与梅花瓣构件通过转轴固连在一起,因此运动规律相同,为了方便观察在梅花瓣摇杆上添加旋转马达,在“运动(M)”项中选择“线段”进入“函数编制程序”界面,对不同时间段马达的角速度进行编辑,马达的驱动参数见表1。

对应的梅花瓣角速度曲线见图6,同样在从动齿轮添加旋转马达,运动类型为“等速”,转速为 $60(^{\circ})/s$,方向与梅花瓣转动方向相同。

表1 梅花瓣马达驱动参数
Tab.1 Motor drive parameters for plum petals

起点 时间/s	终点 时间/s	转速/ ($^{\circ}$) $\cdot$ s $^{-1}$	分段 类型	梅花瓣 运动阶段
		60	初始	
0	1	60	Linear(Default)	匀速段1
1	1.2	130	Linear(Default)	急进段
1.2	2	60	Linear(Default)	
2	2.4	60	Linear(Default)	匀速段2
2.4	3.4	25	Linear(Default)	回程段
3.4	4.4	60	Linear(Default)	
4.4	6	60	Linear(Default)	匀速段1

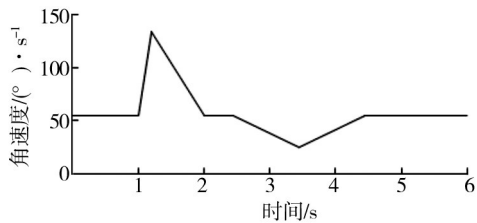


图6 梅花瓣角速度曲线
Fig.6 The angular velocity curve of plum petals

2.4 凸轮曲线生成

将算例中时间轴上的键码拖至6 s处,使从动齿轮及梅花瓣构件转过的角度为360°,正好为一个转动周期,执行“计算”命令计算运动算例,生成运动仿真结果,选择“结果和图解”命令,在“位移/速度/加速度”子类别中选择“跟踪路径”,选取跟踪点为凸轮滚子圆形端面中心点,指令窗口见图7。确定指令并“从头播放”算例仿真,在仿真过程中可显示出凸轮滚子中心点路径轨迹,跟踪结果见图8,图中跟踪到的路径轨迹即为槽凸轮的轮廓曲线。

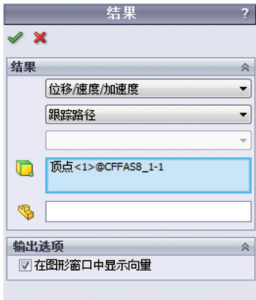


图7 “跟踪路径”指令
Fig.7 Tracking path" command

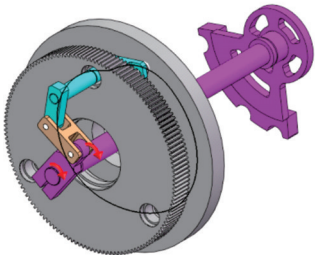


图8 生成凸轮曲线
Fig.8 The cam curve generated

2.5 槽凸轮实体模型的建立

在 MotionManager设计树中找到“结果”项,从子项目里选择“图解 1<跟踪路径 1>”,点击鼠标右键得到如图9所示的指令窗口,选择“在新零件中从路径生成曲线”将凸轮轮廓曲线导入到新建零件中,在新建零件中插入凸轮基体,选择凸轮基体端面为草图平面,应用“转换实体引用”命令将导入的凸轮轮廓曲线投影到草绘平面中^[15],利用“等距实体”命令在轮廓曲线两侧作出等距轮廓曲线,等距距离为凸轮滚子半径,删除中心处的原有曲线从而得到凸轮槽轮廓草图,选择“拉伸凸台/基体”命令生成槽凸轮实体模型,见图10。

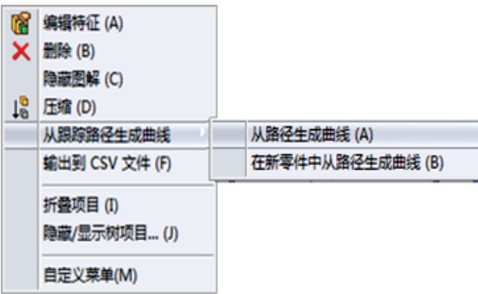


图9 曲线导出
Fig.9 Curve derivation

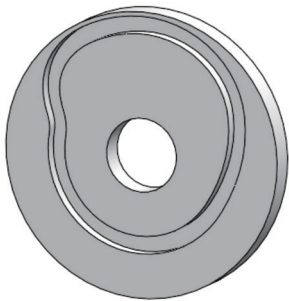


图10 凸轮实体
Fig.10 The cam entity

3 凸轮曲线的验证

将新生成的槽凸轮导入装配体中替换凸轮基体,并添加凸轮滚子与凸轮槽曲面的相切配合关系。新建运动算例,选择 Motion 分析,在从动齿轮上添加旋转马达,运动类型“等速”角速度为10 r/min,仿真时间设置为6 s,计算运动算例,选择“结果和图解”命令,在“位移/速度/加速度”子类别中点选“角速度”并设置测量方向为“Z分量”,选取梅花瓣作为测量对象,确定指

令得到梅花瓣角速度曲线,见图11,同理可得出梅花瓣的角加速度曲线,见图12。

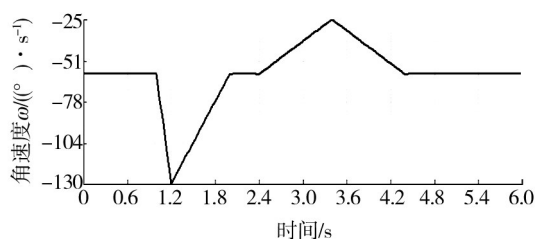


图11 梅花瓣角速度曲线

Fig.11 The angular velocity curve of plum petals

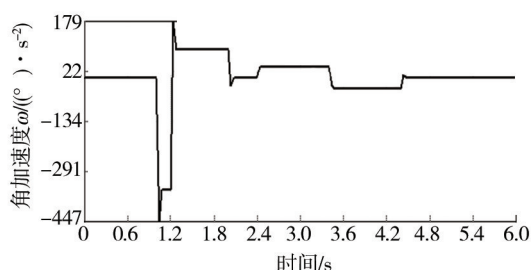


图12 梅花瓣角加速度曲线

Fig.12 The angular acceleration curve of plum petals

通过新生成的槽凸轮实体进行仿真分析,得到的梅花瓣角速度曲线与实际需求的梅花瓣速度曲线(图6)对比可知,其结果是一致的,而且通过梅花瓣角加速度曲线可看出,在仿真过程中角加速度突变不大,即产生的冲击力较小,表明通过 SolidWorks Motion 分析的方法生成的凸轮曲线是准确的,而且性能是良好的。

4 结语

通过对新型梅花瓣分瓶机构的运动分析,对从动件梅花瓣的运动原理有了深入的了解,并在设计凸轮曲线的过程中巧妙应用 SolidWorks 软件中 Motion 分析的一些功能,通过给从动件梅花瓣添加实际生产过程中的运动规律,并给从动齿轮添加相应驱动,利用 Motion 分析的求解功能,得到凸轮滚子中心点的路径轨迹,从而得出凸轮的轮廓曲线。这种结合设计软件设计凸轮曲线的方法相比传统的理论计算设计方法而言,在很大程度上缩减了设计时间,尤其是对一些组合机构更能凸显其设计优势,而且求解出的凸轮曲线还可以直接利用图9中的“输出到CSV文件”命令得到曲线的坐标数据,在工程应用中具有显著的实用价值及经济效益。

参考文献:

- [1] 高玉莹. 灌装机进瓶方式的探讨[J]. 机电信息, 2006(8): 35—38.
GAO Yu-ying. Discussion on The Way of Filling Machine[J]. Mechanical and Electrical Information, 2006(8): 35—38.
- [2] 黎书文. 旋转型灌装机结构及运动方案设计[J]. 河南科技, 2014: 80—81.
LI Shu-wen. Structure and Motion Scheme Design of Rotary Filling Machine[J]. Journal of Henan Science and Technology, 2014: 80—81.
- [3] 李晓晓, 董万福, 吴昊荣. 滚子从动件盘形凸轮的三维快速精确设计[J]. 成都大学学报(自然科学版), 2013, 32(1): 68—70.
LI Xiao-xiao, DONG Wan-fu, WU Hao-rong. Quick and Accurate Design on Roller Follow Disc Cam[J]. Journal of Chengdu University (Natural Science), 2013, 32(1): 68—70.
- [4] 方芳, 黄松和, 林刚. 基于 Matlab 和 SolidWorks 的凸轮轮廓设计及性能分析[J]. 矿山机械, 2010, 38(6): 39—42.
FANG Fang, HUANG Song-he, LIN Gang. Design and Performance Analysis of the Cam Profile Based on Matlab and Solid-Works[J]. Processing Equipment, 2010, 38(6): 39—42.
- [5] 李雅昔, 王宏斌, 李晓莉. 基于 SolidWorks 与 MATLAB 的凸轮机构设计与仿真运动分析[J]. 河北工业科技, 2015, 32(3): 253—256.
LI Ya-xi, WANG Hong-bin, LI Xiao-li. Design and Simulation of the Cam Profile Based on MATLAB and SolidWords[J]. Hebei Journal of Industrial Science and Technology, 2015, 32(3): 253—256.
- [6] 郭飞, 杨绿云. 凸轮机构轮廓曲线在 Matlab 中的实现[J]. 煤矿机械, 2010, 31(7): 221—222.
GUO Fei, YANG Lv-yun. Cam Profile Curve in Realization of Matlab[J]. Coal Machinery, 2010, 31(7): 221—222.
- [7] 李大磊, 赵玉奇. SolidWorks 高级功能与工程应用[M]. 北京: 北京邮电大学出版社, 2009.
LI Da-lei, ZHAO Yu-qi. SolidWorks Advanced Functions and Engineering Applications[M]. Beijing: Beijing University of Posts and Telecommunications Press, 2009.
- [8] 杨树川, 邵金龙, 杨术明, 等. 基于 SolidWorks & SimMechanics 的机构运动分析与仿真[J]. 河北工业科技, 2011, 28(4): 221—225.
YANG Shu-chuan, SHAO Jing-long, YANG Shu-ming, et al. SolidWorks/SimMechanics-based Mechanism Kinematic Analysis and Simulation[J]. Journal of Hebei Industrial Science and Technology, 2011, 28(4): 221—225.
- [9] 卫江红. 基于 SolidWorks 的连杆机构的运动分析与仿真[D]. 大连: 大连理工大学, 2005: 15—19.
WEI Jiang-hong. Kinematic Analysis and Simulation of the Linkages Mechanism Based on SolidWorks[D]. Dalian: Dalian

(下转第119页)

- Fixtures[J]. Journal of Manufacturing Science and Engineering, 2001, 123(4): 708—719.
- [10] 田韶鹏, 黄正东, 吴森, 等. 多工位共用安装的夹具定位布局优化设计[J]. 武汉理工大学学报, 2005(8): 80—82.
TIAN Shao-peng, HUANG Zheng-dong, WU Sen, et al. Design and Optimization of Fixture Layout Optimization for Multi Station Sharing[J]. Journal of Wuhan Technology University, 2005(8): 80—82.
- [11] 长春北方仪器设备有限公司. 一种用于钢桶的视觉寻址封盖系统及其视觉寻址封盖方法: 中国, 2012105922228[P]. 2015-06-17.
Changchun North Instrument Equipment Co., Ltd. A Capping System and Method of Visual Addressing for Steel Drum: China, 2012105922228[P]. 2015-06-17.
- [12] 天津绿博特环保设备制造股份公司. 钢桶翻转装置: 中国, 2013104084092[P]. 2013-12-18.
TianJin Lvbote Environmental Protection Equipment Manufacturing Stock Co., Ltd., Drum Turning Device: China, 2013104084092[P]. 2013-12-18.
- [13] 天津绿博特环保设备制造股份公司. 卧式钢桶移位输送装置: 中国, 2013104078937[P]. 2013-12-11.
TianJin Lvbote Environmental Protection Equipment Manufacturing Stock Co., Ltd. Horizontal Steel Barrel Shifting Transmission Device: China, 2013104078937[P]. 2013-12-11.
- [14] 宇华机械(南通)有限公司. 钢桶传输装置: 中国, 2010206519245[P]. 2011-10-12.
YuHua Machinery (NanTong) Co., Ltd. Drum Transmission Device: China, 2010206519245[P]. 2011-10-12.
- [15] 天津绿博特环保设备制造股份公司. 钢桶移位装置: 中国, 2008200742745[P]. 2008-12-31.
TianJin Lvbote Environmental Protection Equipment Manufacturing Stock Co.Ltd. Drums Shift Device: China, 2008200742745[P]. 2008-12-31.
- [16] 梅瑛, 李瑞琴. 金属包装容器的结构设计[J]. 机械管理开发, 2005(2): 17—19.
MEI Ying, LI Rui-qin. Structural Design of Metal Packaging Containers[J]. Machinery Management Development, 2005(2): 17—19.
- [17] 天津绿博特环保设备制造股份公司. 气动送桶装置: 中国, 2013104247051[P]. 2013-12-18.
TianJin Lvbote Environmental Protection Equipment Manufacturing Stock Co., Ltd. Pneumatic Barrel Device: China, 2013104247051[P]. 2013-12-18.

(上接第 114 页)

- University of Technology, 2005: 15—19.
- [10] 陈超祥, 胡其登. SolidWorks Motion 运动仿真教程[M]. 北京: 机械工业出版社, 2012.
CHEN Chao-xiang, HU Qi-deng. SolidWorks Motion Simulation Tutorial[M]. Beijing: Machinery Industry Press, 2012.
- [11] 孙恒, 陈作模, 葛文杰. 机械原理[M]. 北京: 高等教育出版社, 2006.
SUN Heng, CHEN Zuo-mo, GE Wen-jie. Mechanical Principles[M]. Beijing: Higher Education Press, 2006.
- [12] 孙召瑞, 孙贵斌, 李传红, 等. 基于 COSMOS/Motion 的反转摆动从动盘形凸轮机构运动仿真[J]. 机电产品开发与创新, 2010, 23(4): 120—122.
SUN Zhao-rui, SUN Gui-bin, LI Chuan-hon, et al. Emulation of Reverse Swing Driven Cam Mechanism Motion Based on COSMOS/Motion[J]. Development & Innovation of Machinery & Electrical Products, 2010, 23(4): 120—122.
- [13] 欧长劲, 姚斌, 田国华. 摆动滚子从动件共轭凸轮的参数化设计[J]. 轻工机械, 2010, 28(3): 48—51.
OU Chang-jin, YAO Bin, TIAN Guo-hua. Parametric Design of Oscillate Roll Driven Part Conjugate Cams Mechanism[J]. Light Industry Machinery, 2010, 28(3): 48—51.
- [14] 姜岳健. 基于 SolidWorks Motion 运动仿真跟踪路径的应用[J]. 机械研究与应用, 2014, 27(2): 187—188.
JIANG Yue-jian. Application of Tracking Path of Motion Simulation Based on SolidWorks[J]. Mechanical Research & Application, 2014, 27(2): 187—188.
- [15] 詹迪维. SolidWorks 2012 机械设计教程[M]. 北京: 机械工业出版社, 2012.
ZHANG Di-wei. SolidWorks 2012 Mechanical Design Tutorial [M]. Beijing: Machinery Industry Press, 2012.