

先进设计技术平台与包装机械虚拟样机

袁清珂¹, 李龙刚¹, 冯竞浩², 廖卫平², 骆少明³, 张湘伟¹, 李俊清⁴

(1. 广东工业大学, 广州 510006; 2. 广东一鼎科技有限公司, 佛山 528061; 3. 仲恺农业工程学院, 广州 510225; 4. 东莞市南兴家具装备制造股份有限公司, 东莞 523948)

摘要: **目的** 研究先进设计技术平台的构成、包装机械虚拟样机的开发过程。**方法** 采用先进设计技术与工具, 规划平台建设方案, 建设数字设计、数字仿真、数字测量、数字制造等4个模块构成的先进设计技术平台, 制定设计型教学实践项目7个、综合型教学实践项目4个、自主型教学实践项目3个。结合实际研究课题, 以打包机上砖装置为例, 通过方案设计与3D建模, 虚拟样机机构与运动建模, 虚拟样机仿真求解, 虚拟样机仿真优化等4个步骤, 完成虚拟样机开发, 并投入实际生产。**结果** 先进设计技术平台在数字设计与仿真、数字测量与制造等2个方面能有效地支持教学和科研。**结论** 平台能够训练研究生掌握先进设计技术与工具, 培养其产品创新思维 and 创新能力。虚拟样机是促进产品创新的有效技术与方法, 能提高产品开发质量、缩短产品开发周期。

关键词: 先进设计; 虚拟样机; 创新能力; 实践环节

中图分类号: TB486 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2014)19-0059-06

Advanced Design Technique Platform and Packaging Machinery Virtual Prototype

YUAN Qing-Ke¹, LI Long-gang¹, FENG Jing-hao², LIAO Wei-ping², LUO Shao-ming³, ZHANG Xiang-wei¹, LI Jun-qing⁴

(1. Guangdong University of Technology, Guangzhou 510006, China; 2. Guangdong Eding Science Company Limited, Foshan 528061, China; 3. Zhongkai University of Agriculture & Engineering, Guangzhou 510225, China; 4. Dongguan Nanxing Furniture Machinery & Equipment Company Limited, Dongguan 523948, China)

ABSTRACT: **Objective** To investigate the constitution of advanced design technology platform and the development process of the packaging machinery virtual prototype. **Methods** By employing advanced design technologies and tools, the platform construction scheme was planned, and the platform consisted of four modules: digital design, digital simulation, digital measurement, and digital manufacturing. A total of 7 designed-style teaching practice programs, 4 integrated-style teaching practice programs, and 3 autonomous-style teaching practice programs were developed. Combined with practical research projects, taking the loading brick device of the baler as an example, the development of virtual prototype was completed and put into the actual production after the 4 steps of virtual prototype scheme design and 3D modeling, virtual prototype mechanism and motion modeling, virtual prototype simulation and solving, and virtual prototype simulation and

收稿日期: 2014-05-14

基金项目: 广东省学位与研究生教育改革研究项目(09JGXM-ZD10); 广东省战略性新兴产业LED专项(2012A080303002); 广东省产学研专项(2009B090300340, 2011B090400119, 2010B090400079, 2012B091000033); 广东省数控一代专项(2012B011300009, 2012B011300049)

作者简介: 袁清珂(1963—), 男, 山东青岛人, 广东工业大学教授, 主要从事机电一体化与机电控制、知识工程与智能设计、多体动力学与计算机仿真、企业信息化等方面的教学与科研工作。

optimization. **Results** The advanced design technology platform could effectively support teaching and research in the aspects of digital design and simulation, digital measurement and manufacturing. **Conclusion** The platform could train graduate students to master advanced design techniques and tools, and develop their creative thinking and innovative product capabilities. The virtual prototyping technology is an effective method and tool to promote product innovation, improve product development and quality, and shorten the product development cycle.

KEY WORDS: advanced design; virtual prototype; innovation ability; practice programs

实践环节是培养研究生综合应用所学理论知识,提高观察、分析、解决问题能力的重要途径,是培育研究生综合素质和创新能力的有效环节^[1]。为了提高机械工程研究生的产品设计创新能力,在培养过程中,建设了先进设计技术平台,开设了数字设计与仿真,数字测量与制造等知识环节的实践课程,通过实践锻炼来提高研究生的产品创新能力。

1 先进设计技术平台的规划与建设

国内外机械工程学科著名大学都非常重视研究生的实践能力培养,美国麻省理工大学、斯坦福大学、加州大学机械工程学科都开设了研究生实践课程^[2]。研究生在学习专业课程的同时,以典型实际系统为对象,通过所学知识、利用课余时间完成一个小型研究课题,并进行专题讨论与汇报,会作为课程成绩的一部分。清华大学、西安交通大学、上海交通大学、华中科技大学的机械工程学科研究生,也以课程实验的方式,开设了实践环节课程,配合专业课程的教学,取得了良好的效果^[3]。

对于机械工程专业研究生来说,应重点突出产品创新和制造创新两大基本能力,简单来说就是,“设计出具有创新性的好的产品”、并能够采用先进制造工艺与技术“制造出具有创新性的好的产品”,因此,学习先进设计技术的理论与方法,并通过实践掌握这些理论与方法是非常重要的。为此,结合学校和学科建设实际情况,以广东省教育厅先进设计技术重点实验室为实验条件依托,在重点实验室、211重点学科的支持下,购置了先进的测量、分析、设计、制造等设备与软系统,构建了研究生先进设计技术实践平台。

主要仪器设备包括:三坐标测量机,意大利,ARES775 测量行程为 650 mm × 700 mm × 500 mm,测量精度为 2.5+4L/1000 μm;光学立体扫描设备,德国,COMET C200/C400Vario,测量范围为 400 mm × 400 mm 与 200 mm × 200 mm;快速成形机,美国,Dimen-

sion SST,成形精度为 ± 0.254 mm,成形尺寸为 300 mm × 200 mm × 200 mm;触觉式设计系统,美国,Free-Form Modeling system Plus V8.1 自由造型模型系统;UG CAD/CAM/CAE NX3.1,美国;UG-Imageware10.1 软件,美国;计算机辅助工程 CAE 系统, MSC.Patran, MSC.Dytran, MSC.Nastran, 美国;Adams 多体系统动力学分析软件,美国;图像测量系统软件 PhotoModeler 5, 加拿大;高性能计算机、服务器等。

先进设计技术实践平台由 2 个模块组成:数字设计与仿真,数字测量与制造,其整体功能与主要流程见图 1。数字设计与仿真模块能够实现产品结构快速设计,产品建模与产品可视化,产品结构力学分析与性能仿真,产品运动学动力学分析与仿真。数字测量与制造模块能够实现产品反求测量,图象处理计算与分析,产品造型设计与重构,快速原型材料、控制与实现。

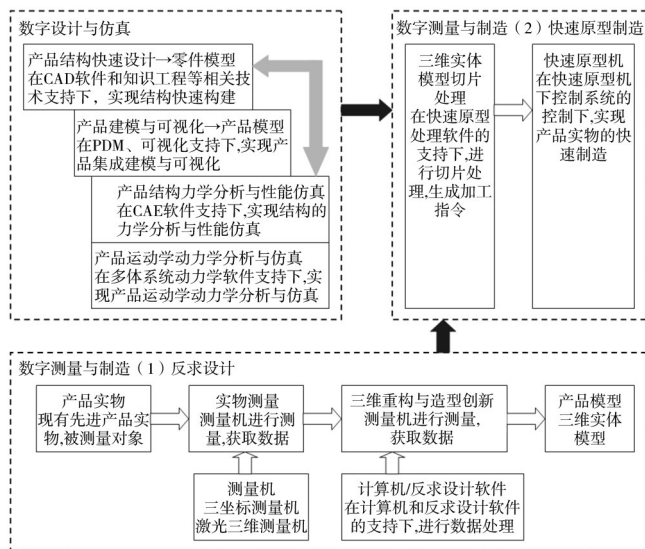


图1 先进设计技术实践平台

Fig.1 The practice platform of advanced design technologies

2 合理设置实践项目,培养研究生产品创新能力

先进设计技术实践平台具备数字设计、数字仿

真、数字测量、数字制造等功能,其整体流程见图1。

根据实践平台的功能,面向研究生创新能力培养,从提高基础实践能力和综合实践能力两方面开展课程建设。

1) 7个设计型教学实践项目(产品结构设计与造型设计,PDM与产品集成设计,结构有限元建模与力学分析,运动学动力学建模与分析,产品形状测量,产品三维造型重构,产品快速成形制造)。

2) 4个综合型教学实践项目(产品建模及其力学性能分析,产品(机构)创新设计及其运动学动力学性能分析,产品实物测量与三维重构及造型创新,产品三维实体模型切片处理与快速原型制造)。

3) 3个自主型教学实践项目(虚拟产品创新设计,产品虚拟设计与快速原型制造,产品反求设计与快速原型制造)。

研究生通过以上实践项目的锻炼,一方面可以掌握先进设计技术的实践技能,另一方面可以针对自己的研究方向开展小型实际项目的研究开发,提高其综合实践能力。

3 实践项目实例:包装机虚拟样机设计与开发

虚拟样机是指在产品设计与开发过程中,将各个零部件装配在一起,在计算机上创建产品的整个数字化虚拟模型^[4],并对该数字化模型进行各种工况下的仿真分析,从而预测产品性能、改进设计方案、优化设计参数的产品设计与开发技术,并且可以用数字化形式代替传统的实物样机试验,涉及到多体动力学、数值计算方法、CAD/CAM、软件工程等学科。机械工程中的虚拟样机技术又称为机械系统动态仿真技术,可以进行机械系统的静力学分析、运动学分析^[5]、动力学分析^[6]。目前的商业化CAD软件大多都带有基于多体动力学或机构学的仿真分析模块,如SolidWorks/Simulation、ProE/Mechanism等^[7],目前最流行且广泛使用的虚拟样机专业软件是Adams^[8-9],Adams可以与有限元分析软件集成,完成更多的分析工作^[10]。虚拟样机也可用于教育培训和设备维护^[11-12],结合虚拟现实技术,虚拟样机可进行虚拟现实环境下的用户交互体验^[13-14]。

虚拟样机的设计与开发通常有4个主要步骤:方案设计与三维建模,虚拟样机建模,虚拟样机仿真求

解,虚拟样机仿真优化。

3.1 打包机的方案设计与三维建模

瓷砖自动打包机由翻抬上砖、降垛分砖、双侧加纸板、顶升折箱、双带推包等工序组成^[15],见图2,根据流程设计的总体方案^[16]见图3。

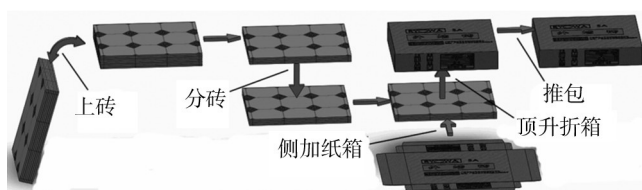
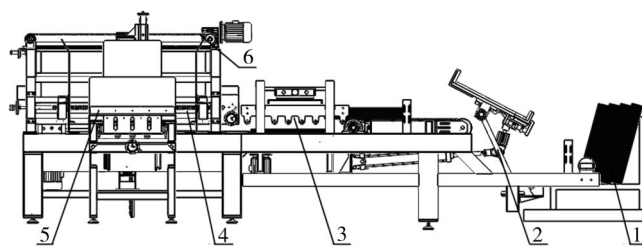


图2 打包机主要工序

Fig.2 The major procedures of the packaging machine



1.堆叠的瓷砖 2.上砖装置 3.分砖装置 4.折箱装置 5.纸箱仓及送纸装置 6.推包装置

图3 打包机总体方案

Fig.3 The architecture of the packaging machine

用Solidworks进行三维实体建模,其主要装置和整机三维模型见图4—5。

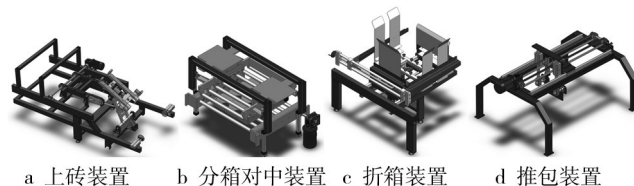


图4 主要装置的三维模型

Fig.4 The 3D models of the main assembly parts

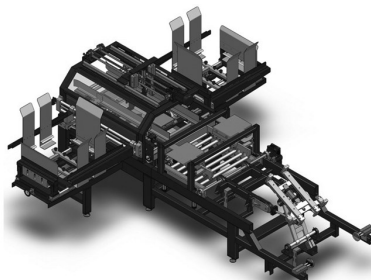


图5 打包机整机三维模型

Fig.5 The 3D model of the packaging machine

3.2 打包机的虚拟样机建模

下面以打包机的上砖装置为例,介绍虚拟样机的建模过程与技术。

1) 简化三维实体模型,建立虚拟样机的机构模型。去掉分析运动学不必要的构件、简化其三维模型,建立运动分析的机构模型,并导入到Adams软件系统,见图6。

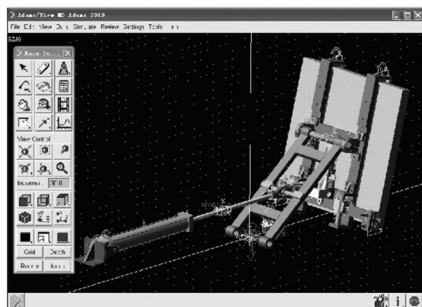


图6 虚拟样机的机构模型

Fig.6 The mechanism model of the virtual prototype

2) 设置物理属性,施加约束,建立虚拟样机的运动模型。设置物理属性包括零件材料、泊松比、弹性模量等。施加约束包括各运动副的约束类型和位置、载荷、驱动、输入运动的函数规律等。构建虚拟样机的运动模型见图7。

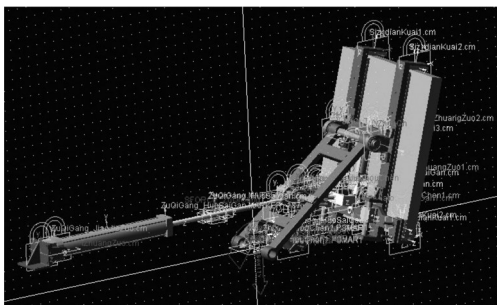


图7 虚拟样机的运动模型

Fig.7 The motion model of the virtual prototype

3.3 虚拟样机的仿真求解

虚拟样机建立之后,设置求解步长、仿真时间、输出变量等计算求解要求,启动Adams求解器,即可完成仿真求解,并输出求解结果。求解过程可以直观地观看虚拟样机的运动、求解结果的数字和曲线的动态显示,见图8(各方案的参数见3.5节)。

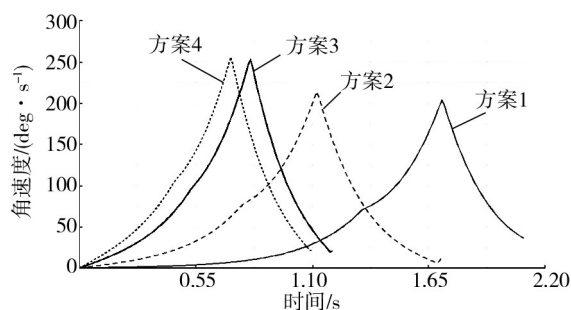


图8 4种方案的瓷砖重心的角速度变化曲线

Fig.8 The angular velocity of the ceramic tile for the four schemes

3.4 虚拟样机的仿真优化

3.4.1 可行参数的计算

上砖机构原理见图9,其中夹取头2的下夹爪设计为活动的,通过控制其向上移动和限定长度来实现瓷砖的夹紧和分离。夹取头2的角度由气缸 q_1 的伸缩来调整,以适应瓷砖摆放角度的变化。在瓷砖翻抬到最高位置后,再继续翻转一个小角度,便可实现瓷砖与夹头的分离和前夹爪的隐藏,让瓷砖顺利通过。瓷砖与夹爪翻转臂3的2个极限位置构成的三角形 $\triangle ABD$ 为等腰三角形,这样气缸 q_2 的行程就最短,可以节省时间和压缩空气用量,提高效率。另外需考虑翻转臂3在过了竖直位置线 $\overline{AC}$ 后,重力也开始做正功,瓷砖速度加大,会有冲击。这个问题可以通过采用PLC-PWM气动高速开关阀控制双作用气缸 q_2 来实现速度的控制和缓冲进行解决^[15]。

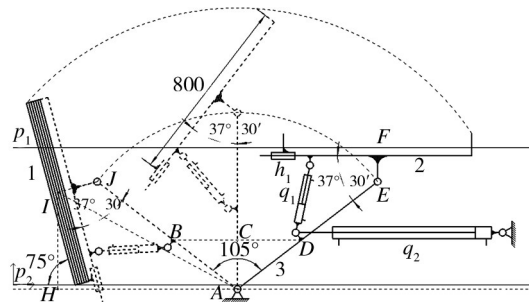


图9 上砖机构的设计参数

Fig.9 The design parameters of the loading mechanism

根据上砖机构设计要求和机械原理基本计算得到的关键参数,见表1。气缸可根据亚德客气动元件选型手册来选择标准气缸,这里所选择的气缸型号为SC系列标准气缸。根据设计经验和设计要求,主翻转抬升气缸的缸径可选为 $\phi 80$ mm, $\phi 100$ mm,行程为

表1 上砖机构关键参数

Tab.1 The key parameters of the loading mechanism

给定已知参数	根据几何关系求出的参数	需仿真确定的参数
$\overline{p_1 p_2}=576.50\text{ mm}$	翻转臂与夹头角度 37.5°	$\overline{BD}$ 长度
瓷砖摆放角度 15°	$\angle BAD=105^\circ$	$\overline{AC}$ 长度
瓷砖长度 600 mm	$\overline{AE}=545.38\text{ mm}$	气缸 q_1 行程和缸径, 气缸 q_2 缸径
瓷砖质量 90 kg	$\overline{AH}=696.11\text{ mm}$	
压缩空气压强 0.4 MPa		

500, 600, 700 mm 的标准气缸; 助力气缸 q_1 可选缸径为 $\phi 63\text{ mm}$, $\phi 80\text{ mm}$, 行程为 50 mm 的超薄气缸, 故气缸初始参数见表2。

表2 气缸可选参数

Tab.2 The variable parameters of air cylinder

	缸径/mm	行程/mm
翻转气缸 q_2	80	500
		600
		700
	100	500
		600
助力气缸 q_1	63	50
	80	

气缸 q_2 参数的选择必须保证升举瓷砖的初始力矩大于重力矩, 即使得:

$$M_1 \geq M_2 \quad (1)$$

$$\text{升举力矩: } M_1 = PA \cdot AC \cdot s_1 \cdot s_2 = PA \cdot \frac{BD}{2} \cdot$$

$$\tan(\angle CAB) \cdot \delta \quad (2)$$

$$\text{重力矩: } M_2 = (m_1 + m_2)g \cdot AH = 759.28\text{ N} \cdot \text{m} \quad (3)$$

式中: P 为气缸 q_2 中的气压; A 为气缸活塞面积; δ 为安全系数; BD = 气缸行程 - 40 mm, 其中 40 mm 为用来预留隐藏夹爪和缓冲的行程; m_1 瓷砖的质量为 90 kg; m_2 夹取头的质量为 21.3 kg。

根据条件(1), 并综合考虑实际结构情况, 可选组合方案有 4 种, 见表3。

3.4.2 优化参数的确定

为优化上砖装置中的机构尺寸参数, 根据实际经验, 选取影响其运动学特性的关键构件(q_1, q_2)为优化变量, 根据设计计算, 初步确定了 4 种设计方案供仿真优化选择, 见图9和表1。根据设计计算, 初步确定了 4 种设计方案供仿真优化选择, 见图9和表1。

表3 气缸 q_1 和 q_2 的组合方案

Tab.3 The variable feasible scheme of air cylinder

方案	q_2 缸径/mm	q_2 行程/mm	q_1 缸径/mm	q_1 行程/mm
1	80	600	80	50
2	100	500	80	50
3	100	600	63	50
4	100	600	80	50

根据每种方案的设计参数, 改变虚拟样机中 q_1, q_2 的参数, 进行仿真计算, 得到每个方案的仿真计算结果, 汇总于图8, 然后进行方案优选。

由图8可知, 方案2的最大角速度较小(惯性小), 瓷砖到达传送带时角速度接近零(冲击小), 且气缸 q_2 的行程最短(效率高), 因此方案2是最优方案。

该产品是研究生结合企业实际需要, 在先进设计技术实践平台上开发的, 目前已投入实际生产, 见图10。



图10 投入生产的实际产品

Fig.10 The manufactured product in practical production

4 结语

研究生创新能力是衡量研究生学术水平的重要指标, 实验环节对此至关重要, 也是必不可少的关键环节。机械工程学科的研究生首先要求有 2 大方面的创新能力: 产品设计创新、产品制造创新。通过先进设计技术实践平台, 可以培养研究生掌握先进的设计技术与方法, 先进测量、造型、快速制造等设备的操作动手能力。通过先进设计技术实践平台, 可以拓展研究生对产品创新的思考, 培养产品方案创新、构成创新、力学计算创新等多方面的产品创新能力。虚拟样机技术可以实现产品开发阶段对产品的仿真验证, 确保产品一次开发成功, 大大提高了新产品的开发效率。

参考文献:

- [1] 俞莉莹. 新模式在创新实验室建设中的作用[J]. 实验室研究与探索, 2009, 28(6): 5—6.
YU Li-ying. Function of New Model in the Construction of Innovative Lab[J]. Research and Exploration in Laboratory, 2009, 28(6): 5—6.
- [2] 关雪. MIT 机械工程系研究生培养类型及借鉴[J]. 中国电力教育, 2009(2): 238—239.
GUAN Xue. MIT Mechanical Engineering Graduate Training Types and Reference[J]. China Electric Power Education, 2009(2): 238—239.
- [3] 宋继忠, 喻子敬. 机械类专业学生创新素质培养的探索与实践[J]. 高等教育研究报, 2010, 33(1): 97—99.
SONG Ji-zhong, YU Zi-jing. Exploration and Practice of Creativity Cultivation of the Cadets of Mechanical Specialties[J]. Journal of Higher Education Research, 2010, 33(1): 97—99.
- [4] WANG Yu-xing, TANG Yan-qin, HU Hai-sheng. Design and Dynamic Simulation to Virtual Prototype of the Fast Hitching and Unhitching Device[J]. Mechanic Automation and Control Engineering, 2011(3): 84—87.
- [5] QIU Shi-yin, WU Hai-tao, LIU Hong-bin. Design and Kinematic Simulation of Ratchet Mechanism Based on ADAMS[J]. Mechatronic Science, 2011(11): 167—173.
- [6] 钟孟春, 李程, 李华. 基于虚拟样机的固定机构优化设计研究[J]. 机械工业自动化, 2014(2): 68—70.
ZHONG Meng-chun, LI Cheng, LI Hua. Optimization Design of Fixing Mechanism Based on Virtual Prototype[J]. Mechanical Engineering & Automation, 2014(2): 68—70.
- [7] ZHU Kai, JIANG Gui-zhi. On Modeling and the Interface Technology of the Reduction Device Based on Pro/E and ADAMS[J]. Digital Manufacturing and Automation, 2011(2): 35—41.
- [8] QIU Shi-yin, WU Hai-tao, LIU Hong-bin. Design and Kinematic Simulation of Ratchet Mechanism Based on ADAMS[J]. Mechatronic Science, 2011(11): 167—173.
- [9] MSC Software Co Ltd. ADAMS-view Guide[M]. California: MSC Software Co Ltd, 2011.
- [10] ZHANG Jing-jun, ZHONG Ji-tao, GAO Rui-zhen. The Application of Co-simulation of Technology of ANSYS and MSC. ADAMS in Structural Engineering[J]. Mechanic Automation and Control Engineering, 2010(6): 175—179.
- [11] 赵志强, 陈虹. 基于虚拟印刷故障培训系统的学习模块研究[J]. 包装工程, 2011, 32(13): 86—89.
ZHAO Zhi-qiang, CHEN Hong. Study of Learning Module Based on Virtual Printing Problems Training System[J]. Packaging Engineering, 2011, 32(13): 86—89.
- [12] 曹淮, 龙生, 吴磊. 交互设计中实体设备虚拟化研究[J]. 包装工程, 2010, 31(16): 52—55.
CAO Huai, LONG Sheng, WU Lei. Research on the Physical Equipment Virtualization in Interface Design[J]. Packaging Engineering, 2010, 31(16): 52—55.
- [13] 陈志刚, 李世国. 虚拟环境中的三维用户界面研究[J]. 包装工程, 2010, 31(2): 37—44.
CHEN Zhi-Gang, LI Shi-guo. Research on the 3D User Interface in the Virtual Environment[J]. Packaging Engineering, 2010, 31(2): 37—44.
- [14] 周亚男, 葛正浩, 袁泥娟. 基于逆向工程的产品交互式虚拟展示研究[J]. 包装工程, 2011, 32(12): 43—46.
ZHOU Ya-nan, GE Zheng-hao, YUAN Ni-Juan. Product Interactive Virtual Exhibition Based on Reverse Engineering[J]. Packaging Engineering, 2011, 32(12): 43—46.
- [15] 陈勇亮, 张国全. 全自动瓷砖包装机翻砖机理研究[J]. 包装学报, 2009(1): 49—53.
CHEN Yong-liang, Zhang Guo-quan. Research on Overturning Tile Mechanism of Automatic Ceramic Tile Packaging Machine[J]. Packaging Journal, 2009(1): 49—53.
- [16] 李俊清. 瓷砖自动包装线裹包系统的设计与开发[D]. 广州: 广东工业大学, 2012.
LI Jun-qing. Design and Development of the Packaging System of the Ceramic Tiles Automatic Packaging Line[D]. Guangzhou: Guangdong University of Technology, 2012.

欢迎订阅

欢迎投稿