

瓷片包装立式箱坯成箱受力分析及参数优化

王婵, 李爱华, 张国全, 王北海

(武汉轻工大学, 武汉 430023)

摘要: **目的** 研究瓷片包装过程中箱坯成箱的失效原因及改进方式。**方法** 通过对立式箱坯成箱过程进行受力分析,建立数学模型,并进行优化设计。**结果** 通过计算得出了合适的吸盘位置($L_1=315$ mm, $L_2=105$ mm),保证了箱胚成形的稳定性。**结论** 经过优化的产品在工作过程中稳定性得到大大提高,满足了设计要求。

关键词: 瓷片包装; 立式箱坯成箱; 优化设计

中图分类号: TB486 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2014)01-0077-04

Vertical Box Billet Forming Force Analysis and Parameter Optimization in the Ceramics Packaging

WANG Luan, LI Ai-hua, ZHANG Guo-quan, WANG Bei-hai

(Wuhan Polytechnic University, Wuhan 430023, China)

ABSTRACT: **Objective** To analyze the failure in the box billet forming in the ceramic tile packaging process. **Methods** By calculating the stress during the process of box billet forming in the ceramic tile packaging process, a mathematical model was established for optimization of product design. **Results** The appropriate location of sucker ($L_1=315$ mm, $L_2=105$ mm) was obtained through calculation, which can improve the stability of box billet forming. **Conclusion** Practice showed that the stability of the product was greatly improved in the working process through the optimization, meeting the design requirements.

KEY WORDS: ceramic tile packaging; vertical box billet forming; design optimization

随着房地产市场的日益火爆,瓷片砖的需求量日益增大。目前我国陶瓷企业瓷片砖的包装大多采用人工方式,劳动强度大,生产成本低,生产效率低^[1]。在此背景下,项目组开发了一条全自动包装设备,利用假箱进行套袋套箱,实现立式箱坯开箱和套箱。笔者拟通过对立式箱坯成箱原理的研究,以弥补现有箱坯成箱的技术空缺,为后续的产品设计提供一定的理论和应用指导。

1 立式箱坯成箱工作原理

套箱时取坯开箱成形主要有机械手式和真空吸盘式。一般而言,机械抓手式纸箱取送装置存在力度

控制不精,易造成纸箱被破坏等问题,而吸盘式纸箱取送装置存在箱坯在取送过程中易掉落,或箱坯取送不到位等现象^[2]。该设计采用吸盘侧吸的方式吸取立式箱坯,整个取送箱坯过程:将压平的箱坯存放在供箱坯装置上,当箱坯被吸走后,形成一空位,一旦传感器检测不到箱坯,通过 PLC 控制电机驱动链轮前进,自动补给箱坯;箱坯到达指定位置后,吸箱组件在气缸的作用下伸出,直至与箱坯接触,为保证吸盘与箱坯间更好地贴合,在此适当地延长时间;吸箱气缸退回,箱坯在吸盘内的负压作用下克服上挡板的阻力离开供箱坯装置,其余箱坯则被挡板挡住,使其不至于向前倾覆;箱坯的下表面在导板的作用下逐渐展平;当箱坯到达左侧极限位置前,有挡板对它限位,确

保箱坯的位置精确;此时箱坯上方的压板下压,尽可能地使箱坯截面呈矩形,箱坯成箱完成;推箱板在成箱开口方向,推动箱坯两长侧折耳,并在气缸作用下将箱坯推到假箱上,完成套箱。工作原理见图1。

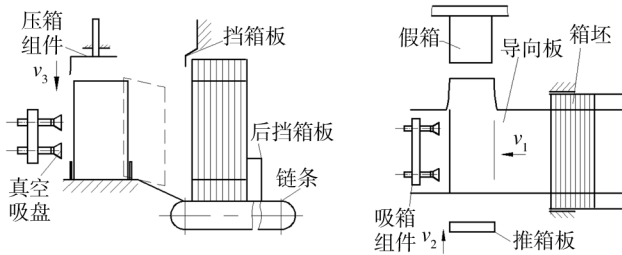


图1 套箱工作原理

Fig. 1 Working principle of boxing

通过分析箱坯成箱过程,发现箱坯在吸取过程中掉落的原因很多,比如吸盘与箱坯间的贴合度、真空度的大小,以及吸盘的结构等^[2]。文中假设这些不利因素在同等的情况下,对吸盘相对箱坯的位置进行优化,从而提高套箱的可靠性。

2 受力分析与分目标函数的建立

2.1 取箱受力分析

吸盘取箱坯时,因受挡板的阻碍有掉落的风险,因而对箱坯进行受力分析,见图2。

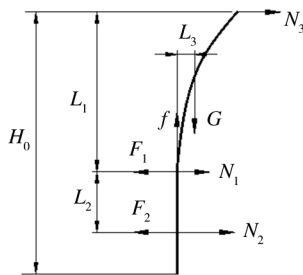


图2 吸附箱坯时的受力

Fig. 2 Analysis of the stress of the box

设各吸盘上的吸附力相等,即 $F = F_1 = F_2$, 并分别对 F_1 和 F_2 的受力点作力矩平衡方程,整理得:

$$N_1 = F - \frac{N_3(L_1 + L_2) + GL_3}{L_2} \quad (1)$$

$$N_2 = F + \frac{N_3L_1 + GL_3}{L_2} \quad (2)$$

式中: F 为吸盘对箱坯的吸附力; N_1, N_2 为吸盘

对箱坯的支撑力; N_3 为挡板对箱坯的阻力; G 为箱坯的重力; L_1 为上吸盘至箱坯顶部的距离; L_2 为上、下吸盘之间的距离。

由于 $N_1 < N_2$, 说明在 N_1 受力点处, 吸盘最有可能松脱, 导致吸箱失败, 所以应尽量使得 N_1 最大。考虑到箱坯的质量较轻, 箱坯的变形必须在挺度的范围内, 实际上 L_3 较小, 为简化计算将 GL_3 忽略不计。

将箱坯看作薄板, 假设要使得箱坯克服特定挡板的阻力脱离挡板时, 箱坯的最小变形为常数 $[\delta]$ 。由薄板强度理论知, 在 N_3 作用下的变形必须满足:

$$\delta = \frac{N_3L_1^3}{3EI} \geq [\delta] \quad (3)$$

式中: δ 为吸附时箱坯产生的变形位移; N_3 为挡板对箱坯的阻力; L_1 为上吸盘至箱坯顶部的距离; E 为箱坯的弹性模量; I 为箱坯沿厚度方向的惯性矩。

令 $3EI[\delta]$ 为常数 K , 取 $N_3 = K/L_1^3$, 得到取箱的目标函数为:

$$N_{1\max} = F - \frac{K(L_1 + L_2)}{L_1^3L_2} \quad (4)$$

2.2 箱坯成箱受力分析

箱坯经过导板时开始成形, 在导板对箱坯的阻力作用下箱坯有松脱的趋势, 并且箱坯与导板顶部接触时是最危险的状态。此时箱坯的受力分析见图3。

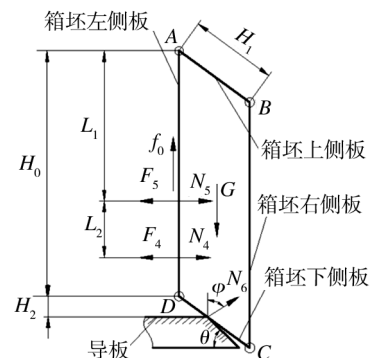


图3 箱坯与导板顶部接触时的受力分析

Fig. 3 Analysis of the stress of the box and the directional plate

对箱坯下侧板受力分析可得:

$$N_6 = \frac{H_1^2 + H_0H_1}{2H_2(H_1 + H_0)} G \cdot \cos \theta \cdot \sin(\varphi - \theta) \quad (5)$$

用 Solidworks 对箱坯经过导板时进行运动仿真^[3], 得到导板对箱坯总支撑力 N_6 的时间曲线见图4。 N_6 的大小与箱坯的运动速度 v, H_2, θ, ψ 等因素有

关, N_6 的优化问题文中不做讨论。由图4也可看出, 箱坯在与导板顶部接触时受力最大, 箱坯最容易松脱。

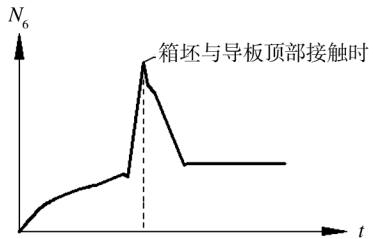


图4 支撑力 N_6 的时间曲线
Fig. 4 Support power-time curve

对箱坯左侧板进行受力分析可知, $N_4 < N_5$ 。说明在 N_4 受力点处, 吸盘最有可能松脱, 导致掉箱, 设计时应使 N_4 最大。建立箱坯成箱的目标函数为:

$$N_{4 \max} = F - \frac{(L-L_1)N_6 \sin \varphi}{L_2} \quad (6)$$

3 多目标函数的优化求解

3.1 优化方法的选择

多目标优化的方法较多, 文中将多目标优化转化为单目标优化, 使问题得到简化^[4]。文中根据单个目标函数重要性的不同, 引入加权因子, 运用线性加权求解, 总目标函数为:

$$F(X) = \sum_{i=1}^n \omega_i f_i \quad (7)$$

式中: ω_i 为权重因子; f_i 为分目标函数。实际工程设计中相对重要的权数取大些, 满足权数之和为1。根据实际经验, 取箱坯时的目标函数占主要位置, 所以取 f_{x_1} 及 f_{x_2} 的加权因子分别为: $\omega_1 = 0.6$, $\omega_2 = 0.4$ 。

3.2 统一目标函数的建立及求解

在包装箱材料、吸盘真空度、运动速度等外在因素相同的情况下, 吸箱的可靠性只与 L_1 和 L_2 有关, 取 L_1 和 L_2 为设计变量, 得到统一目标函数为:

$$f(x)_{\min} = \frac{0.6K(L_1+L_2)}{L_1^3 L_2} + \frac{0.4(L-L_1)N_6 \sin \varphi}{L_2} \quad (8)$$

考虑到吸盘尺寸以及吸盘杆的安装尺寸, 约束条件为: $200 \leq L_1 + L_2 \leq 420$, $100 \leq L_1 \leq 320$, $100 \leq L_2 \leq 320$ 。将相关参数代入式(8), 运用 Matlab 优化工具箱 fmincon 函数求解, 得到 $L_1 = 315$ mm, $L_2 = 105$ mm

时吸箱成形最可靠。

4 实际验证

根据上述计算, 设计了一套自动套箱装置(见图5)。当箱坯被吸走后形成空位, 传感器检测到空位后由 PLC 控制电机驱动链轮前进, 自动补给箱坯。吸箱组件在气缸的作用下伸出, 上吸盘至箱坯顶部的距离为 315 mm, 上、下吸盘之间的距离为 105 mm。待吸住箱坯后, 吸箱气缸退回, 箱坯的下表面在导板的作用下逐渐展平。当箱坯到达左侧极限位置前, 有挡板对它进行限位, 确保箱坯的位置精确。推箱组件中推箱板在气缸作用下将箱坯推到假箱上, 完成套箱。经现场连续运行, 箱坯易于成形, 取送过程稳定, 套箱成功率达到 99% 以上, 损箱坯率为 0%。

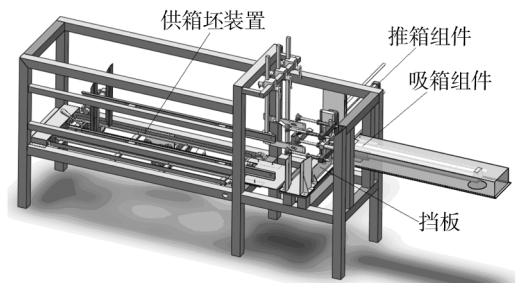


图5 自动套箱装置
Fig. 5 Automatic boxing device

5 结语

瓷片自动包装生产线是个复杂的系统, 笔者从包装工艺要求着手, 针对吸盘在吸取过程中箱坯成箱的问题进行了受力分析、优化求解, 保证了整个套箱工序的可靠性, 对利用真空吸盘取物时吸盘位置的确定有一定的参考价值。

参考文献:

- [1] 汪良贤. 二十世纪我国陶瓷墙地砖工业发展情况回顾 [N]. 陶城报, 2002-12-19.
WANG Liang-xian. Review of Floor Tile of Wall of Pottery and Porcelain Industry Development in Our Country in the 20th Century [N]. Taocheng Newspaper, 2002-12-19.
- [2] 滕红华. 真空吸盘吸持物体的动力学分析 [J]. 包装工程, 2004, 25(11): 68, 83.
TENG Hong-hua. Dynamics Analysis of Holding Force Applied to Objects by a Vacuum Disc Aspirator [J]. Packaging

- Engineering, 2004, 25(11): 68, 83
- [3] 美国 DS SolidWorks 公司. SolidWorks Motion 运动仿真教程(2012 版)[Z], 2012.
The DS SolidWorks Company. SolidWorks Motion Movement Simulation Tutorials (2012 Edition)[Z], 2012.
- [4] 贺冰. 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.
- [5] 秦磊, 禹鑫焱. 面向陶瓷行业的高速自动包装码垛生产线[J]. 自动化与信息工程, 2010, 31(4): 11—15, 19.
QIN Lei, YU Xin-yan. High Speed Automatic Packaging Stacking Line for Ceramic Industry[J]. Automation and Information Engineering, 2010, 31(4): 11—15, 19.
- [6] 陈宝江. 一种包装机械气动控制系统的研究[J]. 包装工程, 2008, 29(7): 14—16.
CHEN Bao-jiang. A Pneumatic Control System of Packaging Manipulator Research[J]. Packaging Engineering, 2008, 29(7): 14—16.
- [7] HOSSIENZADEH M, EBRAHIMZADEH A. An Efficient System for Automatic Sorting of the Ceramic Tiles[J]. Multimedia Technology and Its Applications, 2010, 6(1): 72—76.
- [8] TAKAGI M, WATA K, TAKAHASHI Y, et al. Development of a Grip Aid System Using Air Cylinders[J]. Robotics and Automation, 2009, 9(3): 12—17.
- [9] YANG Xiao-qing, WEI Jia-Xing. Mechanical Creation Design Based on 3D CAD[J]. Computer-Aided Industrial Design & Conceptual Design, 2009(9): 95—97.
- [10] MARJUDI S, SULAIMAN R, Amran M F M. A Study on CAD Systems for Food Package[J]. Open Systems (ICOS), 2011: 171—174.
- [11] 尹章伟, 毛中彦. 包装机械[M]. 北京: 化学工业出版社, 2006.
YIN Zhang-wei, MAO Zhong-yan. Packaging Machinery[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2006.
- [12] 胡兴军. 我国包装机械行业存在的主要问题[J]. 中国包装, 2008(2): 69—70.
HU Xing-jun. Main Problems of Packaging Machinery Industry in China[J]. China Packaging, 2008(2): 69—70.
- [13] CHEN Yong-liang, ZHANG Guo-quan. Automatic Mechanism of Ceramic Tile Packaging Machine Brick[J]. Package, 2009(1): 49—52.
- [14] 王北海. 瓷砖包装线自动翻砖机构设计[J]. 包装工程, 2009, 30(11): 39—43.
WANG Bei-hai. Packaging Line Automatic Ceramic Tile Brick Mechanism Design[J]. Packaging Engineering, 2009, 30(11): 39—43.
- [15] 任工昌, 齐鹏, 刘胜益. 包装机械的计算机辅助运动方案设计[J]. 包装工程, 2008, 29(12): 78—80, 124.
REN Gong-chang, QI Peng, LIU Sheng-yi. Computer Aid Kinematic Scheme Design of Packaging Machinery[J]. Packaging Engineering, 2008, 29(12): 78—80, 124.
- [16] 朱建平, 王鹏. 包装机械设计方法研究[J]. 包装工程, 2007, 28(7): 89—91.
ZHU Jian-ping, WANG Peng. Research on the Design Methods of Packaging Machinery[J]. Packaging Engineering, 2007, 28(7): 89—91.

(上接第 45 页)

- [11] E Yu-ping, WANG Zhi-wei. Effect of Relative Humidity on Energy Absorption Properties of Honeycomb Paperboards[J]. Packaging Technology and Science, 2010, 23(8): 471—483.
- [12] WANG Zhi-wei, E Yu-ping. Mathematical Modelling of Energy Absorption Property for Paper Honeycomb in Various Ambient Humidities[J]. Materials & Design, 2010, 31(9): 4321—4328.
- [13] E Yu-ping, WANG Zhi-wei. Plateau Stress of Paper Honeycomb as Response to Various Relative Humidities[J]. Packaging Technology and Science, 2010, 23(4): 203—216.
- [14] E Yu-ping, WANG Zhi-wei. Stress Plateau of Multilayered Corrugated Paperboard in Various Ambient Humidities[J]. Packaging Technology and Science, 2012, 25(4): 187—202.
- [15] GB/T 22895—2008, 纸和纸板——静态和动态摩擦系数的测定——平面法[S].
GB/T 22895—2008, Paper and Board—Determination of the Static and Kinetic Coefficients of Friction—Horizontal Plane Method[S].