

基于真空吸盘提升技术实现瓦楞纸箱自动码垛

王悦¹, 张惠忠¹, 智明丹², 卢立新², 潘嘹²

(1. 达成包装制品(苏州)有限公司, 苏州 215155; 2. 江南大学, 无锡 214122)

摘要: **目的** 研究在自动线包装末端如何将包装件快速、准确地放置在预定位置。**方法** 采用真空吸盘提升码垛技术, 建立提升运行系统, 完成包装箱抓取、搬运、平移、升降等动载运作。建立透气度、真空度、时间模型, 确定运行系统各参数关系值。**结果** 当已知真空泵抽速即所能达到的最大真空度, 可确定纸箱的最大透气度, 反之, 当已知纸箱透气度, 可确定所需的最小真空度。**结论** 采用真空吸盘提升技术, 防透气涂布瓦楞纸箱可广泛应用于自动包装线末端的自动码垛。

关键词: 真空吸盘提升; 防透气涂布瓦楞纸箱; 真空度; 透气度

中图分类号: TB484.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2016)23-0111-05

Automatic Stacking of Corrugated Carton by Lifting Technology with Vacuum Sucker

WANG Yue¹, ZHANG Hui-zhong¹, ZHI Ming-dan², LU Li-xin², PAN Liao²

(1. Tat Seng Packaging (Suzhou) Co., Ltd., Suzhou 215155, China; 2. Jiangnan University, Wuxi 214122, China)

ABSTRACT: The work aims to research on how to quickly and accurately place the packages in the desired location at the end of the automatic packing line. Vacuum sucker lifting technology for stacking was used. Lifting system was established. Grabbing, handling, moving evenly, lifting & dropping and other dynamic operations of packaging box were completed. Air-permeability, vacuum and time model were established to determine the relationship of all parameters of running system. Vacuum pumping speed (i.e. maximum vacuum to be achieved) could determine the maximum air permeability of carton; on the contrary, when the air permeability of carton was known, the minimum vacuum required could be determined. With vacuum sucker lifting technology, non-breathable coated corrugated cartons can be widely applied in automatic stacking at the end of the packing line.

KEY WORDS: vacuum sucker lifting; coated non-breathable corrugated carton; vacuum; air permeability

纸箱堆垛是产品包装的最后环节,也是物流链的开端,长期以来,在国内纸箱堆垛主要靠人工进行,随着“人口红利”的消失,产能产量的扩大,特别是有些有毒有害化工品或粉尘类产品的包装工位,戴着防毒面具码垛的情况已越来越少,很多工厂纷纷将“人工包装”升级为“自动线包装”,其末端往往有真空自动提升的工序,它可完成包装箱抓取、搬运、平移、升降等三维空间的一系列移栽动

作,并把包装件快速、准确地放置在预先设定的位置(如托盘)。瓦楞纸板的表面,粗看很平整,但实际上它有很多空隙,当真空吸盘提升时,压缩空气会从空隙中泄漏,不能满足必要的吸附力,造成提升失败^[1-3]。

真空吸盘提升码垛技术的研究,目的是建立提升运行系统,确定提升时所需吸附力,建立透气度、真空度、时间模型。如果纸箱毛质量额定时,那么

收稿日期: 2016-05-24

作者简介: 王悦(1986—),女,满族,吉林人,硕士,达成包装制品(苏州)有限公司研发工程师,主要研究方向为特种瓦楞纸箱的生产和新品研发。

已知真空泵抽速即所能达到的最大真空度,就可确定纸箱的最大透气度,反之,当已知纸箱透气度,就可以确定所需要最小真空度。

1 真空吸盘提升系统的建立及所需吸附力的确定

1.1 包装箱的搬运与堆垛运动顺序

目前主流的机器人搬运顺序^[4-5]:机器人在初始位置, z 轴下降至最小高度 h ,接触到纸箱,用时 t_1 ;等待真空度检测信号,确保吸盘吸牢纸箱,用时 t_2 ;在工作台上方,需要先提升至最高点 H , z 轴上升 $(H-h)$,加速度为 $a_{\text{上升}}$,用时 t_3 ;吸盘与被吸持物体作为整体做旋转运动,旋转角度为 φ ,旋转半径为 r ,重力加速度为 g ,吸持时间为 t_4 ;到达放置点,释放纸箱,用时 t_5 ,回到原始位置继续下一次循环,流程见图1。

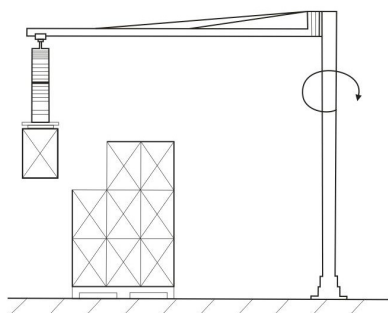


图1 纸箱搬运堆码操作流程

Fig.1 Carton handling stacking operation flow chart

1.2 提升运行系统的建立及所需吸附力的确定

真空吸盘产生的压力与提升旋转系统无直接关系,只需满足 $W_{\text{真空}} \geq W_{\text{所需}}$,所以搬运提升旋转系统可以简化为平动系统,即只考虑提升时的加速度和水平运动时的加速度^[6-8]。根据目前主流的运行程序,确定提升运行过程(见图2—3)。

1) z 轴下降,接触到纸箱,用时 $t_1=200$ ms。

2) 等待真空度检测信号,确保吸盘吸牢纸箱,用时 t_2 。

3) z 轴需要先提升至最高点, z 轴上升250 mm,加速度为 3 m/s^2 ,用时 $t_3=2000$ ms,停留 $t_3'=5000$ ms。

4) 水平运动1400 mm,加速度为 3 m/s^2 ,用时 $t_4=2000$ ms,停留 $t_4'=5000$ ms。

5) 下降,吸盘释放纸箱,用时 $t_5=200$ ms。

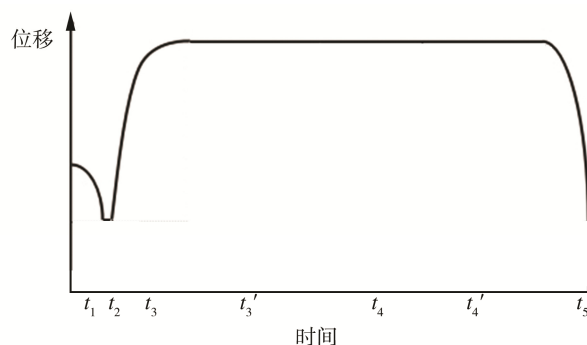


图2 系统运行时间-位移

Fig.2 System running time-displacement diagram

提升运动时:

$$W_1 \text{ 所需} - mg = ma_{\text{上升}}$$

$$W_1 \text{ 所需} = m(g + a_{\text{上升}})$$

水平运动时,吸盘与纸箱发生滑动摩擦的临界状态:

$$F_{\text{静}} = ma_{\text{水平}}$$

$$(W_2 \text{ 所需} - mg)\mu = ma_{\text{水平}}$$

$$W_2 \text{ 所需} = m(g + a_{\text{水平}}/\mu)$$

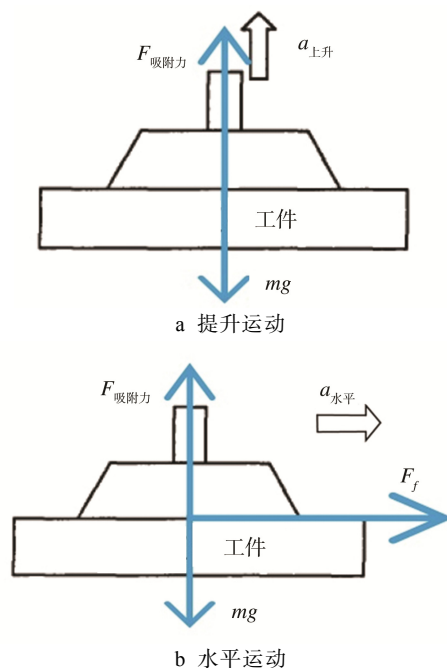


图3 提升运动和水平运动时的受力分析

Fig.3 Force analysis of lifting motion and horizontal motion

式中: μ 为摩擦因数取0.6,确定最终吸盘所需的吸附力时需考虑安全系数 b ,一般取2~3,以确保真空吸附力能满足运行时所需的吸附力,此处 $b=2$ 。 $W_2 \text{ 所需} > W_1 \text{ 所需}$,得到 $W_{\text{所需}} = 2W_2 \text{ 所需}$ 。

2 真空度-透气度-时间模型建立

真空系统就是抽除容器中的各种气体, 可以把被抽容器中所产生的各种气体的流量称为真空系统的气体负荷^[9-12]。当真空泵启动之后, 真空系统即对被抽容器抽气。根据动态平衡, 可得真空系统抽气方程, 见式(1)。

$$pS = -Vdp/dt + Q \quad (1)$$

式中: V 为被抽容器的容积; S 为真空系统对容器的有效抽速; p 为容器中的压力; Q 为容器内气流量, 包括放气流量 Q_f 、渗透气流量 Q_s 、蒸发的气流量 Q_z 和漏气流量 Q_l ; pS 为真空系统将容器内气体抽出的气流量, 故可进一步得到式(2)。

$$pS = -Vdp/dt + Q_f + Q_s + Q_z + Q_l \quad (2)$$

对于一个设计、加工制造良好的真空系统, 抽气方程(2)中的放气 Q_f 、渗气 Q_s 、蒸气 Q_z 和漏气 Q_l 的气流量都是微小的。对于纸箱、纸板等具有一定透气度的材料, 气体渗透泄漏量较大, 不能忽略, 所以在计算抽气量时需要考虑纸板的渗透泄漏量。

对于纸板的透气度 D 指在规定的条件下, 在单位时间和单位压力差情况下, 单位面积的纸或纸板所通过的平均空气量。纸板透气的泄漏量 Q 为:

$$Q = pAD\Delta p \quad (3)$$

式中: p 为真空系统内的压强; A 为吸盘有效面积; Δp 为真空系统的内外压差。

将式(3)代入式(1)中得到:

$$pS = -Vdp/dt + pAD\Delta p \quad (4)$$

压强由大气压 p_0 变为 p , t 为达到 p 的时间, 即为抽真空时间。代入式(4)得:

$$pS = -Vdp/dt + pAD(p_0 - p) \quad (5)$$

$$Vdp/dt = p[(p_0 - p)AD - S] \quad (6)$$

$$\frac{dp}{p[(p_0 - p)AD - S]} = \frac{dt}{v} \quad (7)$$

$$\ln \left[\frac{p}{(p - p_0)AD + S} \cdot \frac{S}{p_0} \right] = \frac{p_0AD - S}{v} t \quad (8)$$

式中: t 为抽真空所需要的时间(s); D 为纸板透气度($\text{m}/(\text{Pa} \cdot \text{s})$); V 为真空容积(m^3); A 为真空吸盘有效面积(m^2); S 为真空泵抽速(m^3/s); p 为真空吸盘内最终达到平衡的压强(Pa); p_0 为标准大气压。其中 p , D , t 未知, 由于抽真空的时间太小, 一般为 0.2 s 左右, 难以检测, 所以需要对时间 t 做进一步安全系数处理, 即在理想情况下, 不考虑纸板透气度, 真空系统的气体负荷主要是容器内原有的空间大气, 得到抽气方程:

$$pS = -Vdp/dt \quad (9)$$

压强由大气压 p_0 变为提升所需的最低压强 p_1 时, 抽真空时间 t_0 为:

$$t_0 = \frac{V}{S} \ln \frac{p_0}{p_1} \quad (10)$$

由于纸板具有透气度, 存在一定的泄漏量, 所以达到平衡压强时的时间会延长, 加入安全系数 b , 得到抽真空时间 t :

$$t = b \frac{V}{S} \ln \frac{p_0}{p_1} \quad (11)$$

将 t 代入式(8)中得到最终的真空度-透气度数学模型方程:

$$\ln \left[\frac{p}{(p - p_0)AD + S} \cdot \frac{S}{p_0} \right] = \frac{p_0AD - S}{S} b \ln \frac{p_0}{p_{\text{所需}}} \quad (12)$$

式中: D 为纸板透气度($\text{m}/(\text{Pa} \cdot \text{s})$); A 为真空吸盘有效面积(m^2); S 为真空泵抽速(m^3/s); b 为安全系数; p_0 为大气压强(Pa); $p_{\text{所需}}$ 为提升所需要的压强(Pa); p 为真空吸盘内最终达到平衡的压强(Pa)。其中, 吸盘的有效面积一般为最大尺寸的 80%, 真空度一般取最大值的 90%, 安全系数一般取 2~3, 以确保真空吸附力能满足运行时所需的吸附力。

需要说明的是, 真空吸附时瓦楞纸板面纸的品种不同, 会造成真空保压效果差异很大, 国产纸一般纤维短、填充料多、紧度大(压得密实)、高压气体泄漏少, 而高档进口纸则正好相反(如美卡)。

3 实际应用

已知真空泵抽速及所能达到的最大真空度, 根据式(12)可以得到所能吸附的最大透气度的纸箱; 已知所吸附的纸箱透气度, 根据式(12)可以得到吸附该纸箱所需要的最小真空度。按照上述计算公式和实践验证可得: 化工厂常用的 25 kg 装粉料纸箱, 如采用最常见的吸盘与真空泵, 提升时间为 7 s, 单箱毛质量小于 30 kg, 则纸箱的透气度应保证小于 $3.5 \mu\text{m}/(\text{Pa} \cdot \text{s})$ (见图 4)。

目前研制开发一种“防透气涂布瓦楞纸箱”的新技术——在纸箱表面涂布一层防透气涂料, 使纸箱外表面形成一层阻隔膜, 改变纸板透气性, 效果显著, 成本低廉, 具有很好的推广价值。

从美国进口的 MRC-1000 型涂布机 (见图 5), 幅宽为 2.8 m, 涂布速度为 250 m/min, 采用滚式



图4 纸箱透气度测试仪
Fig.4 Permeability tester

定量精密涂布技术,涂布原理是整卷原纸的表面定量涂上特种防透气涂料,经过可调压力滚轮挤压,高温烘干,涂料中的有效成分被纸张表面吸收,在纸张的浅表层形成了1个新的物质层(见图6),涂料中的水分则在烘干时蒸发。原纸表面的涂层厚度可控、精确、均匀,与原纸结合牢固,可有效改变原纸表面的物理与化学性能^[13-15]。



图5 精密滚式涂布机
Fig.5 Precision roller coater

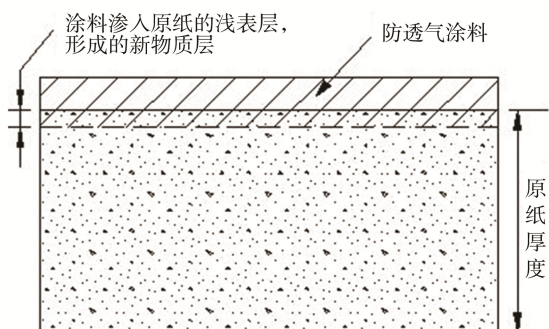


图6 涂布后表面
Fig.6 Surface diagram after coating

目前,经过涂布处理的真空提升纸箱已大量应用在国内各类自动包装线上,还大量出口发达国家(见图7—8)。



图7 9箱(3×3)整体提升
Fig.7 Overall lifting



图8 单箱提升
Fig.8 Single box lifting

4 结语

该款新产品与传统人工操作相比,具有显著优势,实现自动无人化生产、保障操作者安全、提高生产效率、节省劳动力、降低包装成本等方面都有积极作用,被越来越多的客户所认可和使用。

参考文献:

- [1] 徐雪萌,张永宇,张映霞,等.瓦楞纸箱板自动码垛机机械手设计初探[J].包装工程,2015,36(9):82—85.
XU Xue-meng, ZHANG Yong-yu, ZHANG Ying-xia, et al. Design of Manipulators for Corrugated Box Board Automatic Palletizing System[J]. Packaging Engineering, 2015, 36(9): 82—85.
- [2] 李晓刚,刘晋浩.码垛机器人的研究与应用现状、问题及对策[J].包装工程,2011,32(3):96—102.
LI Xiao-gang, LIU Jin-hao. Research and Application Situation, Problems and Solutions of Palletizing Robots[J]. Packaging Engineering, 2011, 32(3): 96—102.
- [3] 李金泉,段冰蕾,南倩. TH50型码垛机器人动态静力学分析[J].北京科技大学学报,2011,33(4):504—508.

- LI Jin-quan, DUAN Bing-lei, NAN Qian. Kineto-static Analysis on a TH50 Type Palletizing Robot[J]. Journal of University of Science and Technology Beijing, 2011, 33(4): 504—508.
- [4] 王建军. 搬运机械手仿真设计和制作[J]. 机械设计与制造, 2012(9): 146—148.
WANG Jian-jun. Simulation Design and Manufacture of Handling Manipulator[J]. Machinery Design & Manufacture, 2012(9): 146—148.
- [5] 张有良, 徐强, 常晓煜, 等. 码垛机械手运动轨迹的研究[J]. 包装与食品机械, 2011, 29(3): 20—23.
ZHANG You-liang, XU Qiang, CHANG Xiao-yu, et al. The Research on Stacking Manipulator Movement Locus[J]. Packaging and Food Machinery, 2011, 29(3): 20—23.
- [6] ARAKELIAN V, SARGSYAN S. On the Design of Serial Manipulators with Decoupled Dynamics[J]. Mechatronicss, 2012, 22(6): 904—909.
- [7] RETHMANN J, WANKE E. Stack-up Algorithms for Palletizing at Delivery Industry[J]. European Journal of Operational Research, 2001, 128(1): 74—97.
- [8] 刘继展. 番茄采摘机器人真空吸持系统分析与优化控制研究[D]. 镇江: 江苏大学, 2010.
LIU Ji-zhan. Analysis and Optimal Control of Vacuum Suction System for Tomato Harvesting Robot[D]. Zhenjiang: Jiangsu University, 2010.
- [9] 叶晖. 全自动纸箱码垛系统机器人与夹具的选型[J]. 自动化博览, 2014(6): 58—59.
YE Hui. Robotics and Gripper Selection of the Automatic Carton Palletizing System[J]. Automation Panorama, 2014(6): 58—59.
- [10] 孙牧青. 托盘码垛包装设备自动化技术的发展和应
用[J]. 中国包装工业, 2007(10): 41—44.
SUN Mu-qing. Pallet Packaging Equipment Development and Application of Automation Technology[J]. China Packaging Industry, 2007(10): 41—44.
- [11] 杨传民, 田少龙, 杨锰, 等. 码垛机器人末端执行器的设计[J]. 包装工程, 2014, 35(3): 60—63.
YANG Chuan-min, TIAN Shao-long, YANG Meng, et al. Design of End-effector of Palletizing Robots[J]. Packaging Engineering, 2014, 35(3): 60—63.
- [12] 潘继生, 李扬, 黎勉, 等. 一种新型真空吸附装置的研究[J]. 机电工程技术, 2012(7): 57—59.
PAN Ji-sheng, LI Yang, LI Mian, et al. Research on a New Vacuum Adsorption Device[J]. Mechanical & Electrical Engineering Technology, 2012(7): 57—59.
- [13] 张惠忠. 运用涂布工艺实现瓦楞纸箱的特殊功能[J]. 印刷技术, 2015(16): 34—36.
ZHANG Hui-zhong. Using the Coating Process and Realize the Special Function of Corrugated Paperboard[J]. Printing Technology, 2015(16): 34—36.
- [14] 张惠忠. 防划伤涂布瓦楞纸箱的研制与测试[J]. 中国包装, 2014(1): 34—36.
ZHANG Hui-zhong. Research and Test of Anti Scratch Coating Corrugated Paperboard[J]. China packaging, 2014(1): 34—36.
- [15] 张惠忠. 重型瓦楞包装与涂布功能纸箱[J]. 上海包装, 2015(8): 42—47.
ZHANG Hui-zhong. Heavy Duty Corrugated Carton Packaging and Coating Function[J]. Shanghai Packaging, 2015(8): 42—47.