

[新设备·新材料·新方法]

DOI:10.3969/j.issn.1005-2895.2017.06.014

粉粒及块状物料包装流水线自动封口机设计

张震宇,程武山

(上海工程技术大学,机械工程学院,上海 201620)

摘要:针对粉粒及块状物料的大容量包装流水线中灌装至封口环节普遍存在一定脱节,需要人工全程干预,存在劳动强度大、生产效率较低等现状,设计了粉粒及块状物料包装流水线自动封口机。自动封口机的压紧部分采用双边驱动的平行四边形连杆机构,实现包装袋袋口热封后的密合;通过对进料口、封口、出料及调姿部分的机械结构设计,配合以STM32芯片作为自动控制的核心,辅以各相关传感器的信号采集与处理,实现粉粒及块状物料包装流水线自灌装到封口流程的全程自动化运行。通过对关键部件的静力学与运动学仿真分析及核心机构的试制与调试,验证了所设计设备具有良好的运行稳定性与可靠性。该设计能够降低劳动成本,提高生产效率。

关键词:物料包装;包装流水线;粉粒及块状物料;封口;平行四边形机构

中图分类号:TB486.1 文献标志码:A 文章编号:1005-2895(2017)06-0062-06

Design of Self-Adaptive Sealing Machine for Silt and Dump Material Packaging Line

ZHANG Zhenyu, CHENG Wushan

(School of Mechanical Engineering, Shanghai University of Engineering Science, Shanghai 201620, China)

Abstract: A certain disjunction exists in the process from filling to sealing of large packets' silt and dump material packaging line, with high labor intensity, low efficiency and whole course artificial intervention. A self-adaptive sealing machine for silt and dump material packaging line was designed to solve the above problems. The packaging bag's lura successfully sealed up after being heated seal by using a double-sided driving parallelogram mechanism in the part of lura pressing section. By coordinating the mechanical structure design in inlet part, sealing part, discharge part and posture alignment part with the using of STM32 chip which served as the core of control system and responsible for collecting and analyzing information from the sensor all around the machine, the automatic operation was realized for the filling to sealing of large packets' silt and dump material packaging line. The sealing machine had been proved to have a good running stability and reliability by kinematics and statics simulation with prototype trial and commissioning for key parts. The process in silt and dump material packaging line from filling to sealing can reduce labor cost and improve production efficiency.

Keywords: material packaging; packaging line; silt and dump material; sealing; parallelogram mechanism

国内包装机械行业起步较晚,经过近二十年来的发展,所生产的包装机器已基本能满足国内的需求^[1],但与发达国家相比仍然存在着明显的差距,主要体现在生产技术、相对品质、技术创新能力及自动化程度等方面。国内中小企业普遍靠购买技术含量较低的机械产品进行生产作业,这些机械产品存在着自动

化程度不高、操作及维护复杂、不同工况下适应能力较差等问题。而这些问题都与未来包装机械发展的控制智能化,结构高精度化,机械设备更加简易方便等趋势相违背^[2-3]。

以针对粉状、粒状及块状物料的包装流水线机械设备为例,对于小袋包装的产品,普遍采用灌装及封口

收稿日期:2017-05-17;修回日期:2017-08-25

基金项目:上海市科学技术委员会重点攻关项目(16030501200)。

第一作者简介:张震宇(1993),男,湖北武汉人,硕士研究生,主要研究方向为机电一体化。E-mail:947197957@qq.com

一次成型的小型自动化包装机械或灌装后手工操作的小型流水线封口机械^[4-9]。小型自动化包装机械在技术水平上已较为成熟,在包装行业已被广泛采用。然而在生产大包装粉粒及块状物料的包装设备,普遍存在灌装和封口环节脱节、灌装后需要靠人工操作进行封口等问题,不利于连续生产,且封口设备往往受安装位置、包装袋材质等因素的制约,在不同工况下的适应度较差。

在上述背景下,课题组开发设计了一种针对粉粒及块状物料包装流水线的自动封口机。它具有传动机构简单、运行稳定性高及自动控制的特点,能极大地解决大包装下粉粒及块状物料包装流水线灌装与封口环节脱节的问题,且通过机械调姿部分的设计,使封口设备能够满足不同尺寸及方位布置的流水线使用。通过控制部分的开发,使设备能够全自动无干预的运行,并能针对包装材料的不同,调整封口环节各参数的设置,实现对不同材料都能较好的完成密封。

1 总体布局设计

封口机的实际应用布局效果如图1所示。图中展示了封口机的实际应用场景和在包装流水线中的位置布局,封口机位于流水线进料传送带和出料传送带之间。

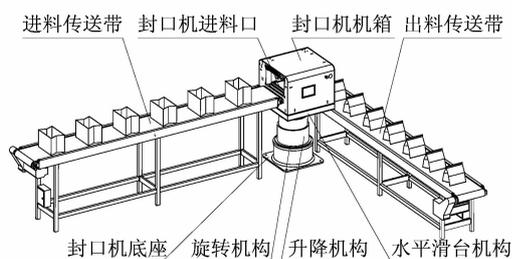


图1 包装流水线布置

Figure 1 Packaging line layout

图中所示机体主要由底座、升降台和机箱3部分组成,底座由地脚螺栓固定在地面上。封口机可自动调整,使进料口适应流水线进料传送带的高度及离传送带的距离。

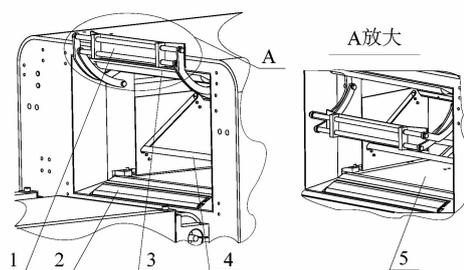
2 机械结构设计及系统实现

封口机的系统设计分为机械结构设计和系统实现2个部分,其中机械结构设计包括进料口模块、压紧模块、封口模块、出料部分及机械调姿部分设计5个部分。

2.1 进料口模块

进料口模块是封口机设计最重要的部分,它负责将待封口的包装袋传送进封口机内。为了确保包装袋能平稳的进入封口机,避免发生倾覆、导致包装袋内的

物料洒落在包装机内的问题,采用了传送带、传动滚轮、物料导引杆及物料推板4种机械结构配合布局的形式,如图2所示。



1—物料推板;2—传送带;3—传动滚轮;4—物料导引杆;5—封口平台。

图2 进料口机构

Figure 2 Feed port mechanism

传送带将包装袋输送至封口平台,传动滚轮负责将上袋口顺畅的过渡进入封口平台上的封口压杆内,此处传送带及传动滚轮与进料口接合处均设置有过渡结构,防止包装袋被卷入接合处。

物料导引杆的设置是为了防止包装袋在传送带传送进封口平台的过程中发生向前倾覆。系统通过光电传感器实时检测包装袋的位置并控制物料导引杆伴随包装袋运动,若发生前覆,物料导引杆可通过斜向上运动的方式将包装袋袋口提升到封口机构上方,使封口流程顺利的进行。

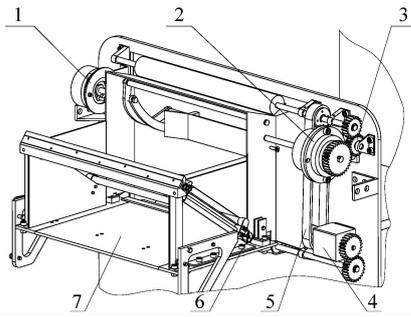
物料推板的设置是为了防止包装袋在运送至封口平台时发生向后倾覆。当包装袋随传送带向封口平台运动时,光电传感器会实时检测包装袋的位置并通过控制系统操控物料推板运动,有效防止包装袋向后倾覆并辅助将包装袋推进封口平台。

进料口模块使用了一个双输出轴步进电机和一个微型步进电机进行驱动。驱动机构选用了皮带轮、皮带、齿轮、小型塑料丝杆滑台、小型双轴磁粉离合器和小制动器等,具体布置方式如图3所示。

双输出轴电机的一端通过安装皮带轮及皮带将转矩传递给上方同样安装了皮带轮的传动滚轮轴,带动传动滚轮转动;双输出轴的另一端安装了齿轮,通过与下传动轴的齿轮啮合,将转矩传递给下传动轴,带动下传动滚轮转动并同时带动从动轮及套在主、从动轮上的传送带转动。

图3中小型双轴磁粉离合器的外侧输出轴及上传动滚轮轴外侧均配合有齿轮并分别通过与特定位置的过渡齿轮啮合实现将转矩从双输出轴电机转换至双轴磁粉离合器上。离合器另一侧的输出轴与物料推板机

构的某一铰接轴相连,物料推板由2个双边对称的平行四边形杆件机构驱动。



1—制动器;2—双轴磁粉离合器;3—过渡齿轮;4—双输出轴步进电机;5—皮带;6—小型塑料丝杆滑台及步进电机模块;7—封口平台。

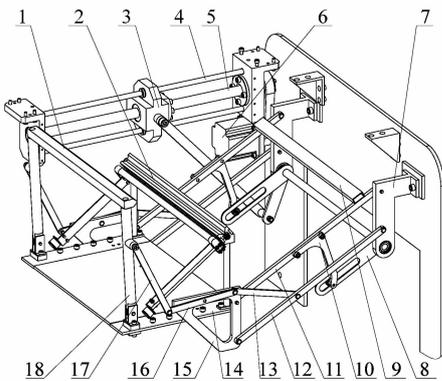
图3 进料口驱动机构

Figure 3 Feed port driving mechanism

为了更好地完成进料流程,可选用带隔板的流水线进料传送带来输送包装袋^[10-11]。

2.2 压紧模块

包装机压紧模块设计旨在将包装袋袋口压紧,为封口流程做准备。此处机构设计要求在有限的机箱空间内完成封口机构及其驱动机构的位置布置并通过最简单的机构形式实现物料包装袋的压紧。同时需要考虑使相关机构适应进料口的空间布局及物料包装袋的进料形式。因此压紧模块的设计选用并联机构和串联机构协同布局的形式,实现了在运动过程中完成包装袋口压紧的功能。相关机构布置形式如图4所示。



1—压杆;2—热封组件;3—螺母滑块;4—光轴;5—丝杆;6—步进电机;7—连杆座;8—双边传动杆;9—加固杆;10—推杆及滑轮模块;11—上支撑杆;12—下支撑杆;13—连杆3;14—载物板;15—载物板侧板;16—连杆2;17—连杆1;18—转动杆。

图4 压紧模块机构

Figure 4 Compress module mechanism

载物板侧板、上支撑杆、下支撑杆及连杆座一起构成一组平行四边形机构。2组对称布置的平行四边形

机构分别通过载物板与加固杆固定连接,从而搭建成一个双边平行四边形机构框架。每组平行四边形机构分别通过一组串联杆件与转动杆相连,每组杆件由连杆1、连杆2及连杆3组成。

图4中驱动机构由固定在电机座上的步进电机、丝杆、光轴及配合在丝杆和光轴上的螺母滑块组成。螺母滑块带动与其相铰接的拉杆运动;拉杆拉动双边传动杆发生转动;双边传动杆通过带滑槽的贴片推动固定在上支撑杆上的推杆及滑轮模块运动,从而完成对压紧模块机构的驱动。

压紧模块框架由一对并联平行四边形机构和2组串联连杆机构组成,其机构简图如图5所示。

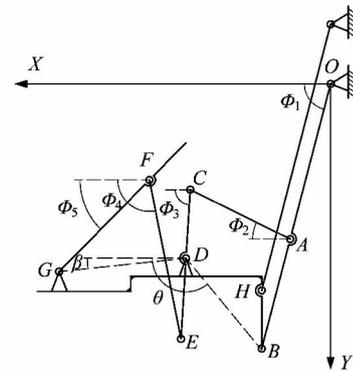


图5 机构简图

Figure 5 Mechanism sketch

图5中, $L_{DB} = 112 \text{ mm}$; $L_{BA} = 120 \text{ mm}$; $L_{DC} = 54 \text{ mm}$; $L_{CA} = 115 \text{ mm}$; $\theta = 143.50^\circ$; $L_{FG} = 125 \text{ mm}$; $L_{FE} = 140 \text{ mm}$; $L_{ED} = 66 \text{ mm}$; $L_{CD} = 120 \text{ mm}$; $\beta = 5.74^\circ$ 。其中 L_{DB} , L_{BA} , L_{DC} , L_{CA} , L_{FG} , L_{FE} , L_{ED} , L_{CD} 分别表示 DB , BA , DC , CA , FG , FE , ED , GD 的长度。

已知机构自由度

$F = 3n - 2P_L - P_H = 3 \times 7 - 2 \times 10 - 0 = 1$, 即机构只具有1个自由度。

式中: n 为构件数; P_L 和 P_H 分别指机构所具有的低副和高副的个数。针对运动输出杆件 L_{CF} 的角度及角速度变化进行计算分析。

$$\text{由 } DC + CA = DB + BA,$$

得到复数形式:

$$L_{DC}e^{i\phi_3} + L_{CA}e^{i\phi_2} = L_{DB}e^{i\theta} + L_{BA}e^{i\phi_1}。$$

用欧拉公式展开并使实部虚部相等,得到

$$\begin{cases} L_{DC} \cos \phi_3 + L_{CA} \cos \phi_2 = L_{DB} \cos \theta + L_{BA} \cos \phi_1, \\ L_{DC} \sin \phi_3 + L_{CA} \sin \phi_2 = L_{DB} \sin \theta + L_{BA} \sin \phi_1. \end{cases}$$

联立方程组可以解出:

$$\phi_3 = \arccos \frac{1 + 1.62 \cos(53.5 - \phi_1)}{\sqrt{1.14 + 1.13 \cos(53.5 - \phi_1)}} +$$

$$\arctan \frac{15 + 20\sin \phi_1}{11.1 + 20\cos \phi_1} \quad (1)$$

同理由 $FG + GD = FE + ED$ 得到:

$$L_{FC}e^{i\phi_5} + L_{CD}e^{i\beta} = L_{FE}e^{i\phi_4} + L_{ED}e^{i\phi_3}$$

同样用欧拉公式展开并使实部虚部相等,得到:

$$\begin{cases} L_{FC}\cos \phi_5 + L_{CD}\cos \beta = L_{FE}\cos \phi_4 + L_{ED}\cos \phi_3, \\ L_{FC}\sin \phi_5 + L_{CD}\sin \beta = L_{FE}\sin \phi_4 + L_{ED}\sin \phi_3. \end{cases}$$

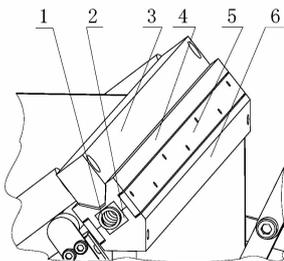
$$\dot{\phi}_3 = \left\{ \frac{0.57\sin(143.5 - \phi_1)[1 + 1.62\cos(143.5 - \phi_1)] - 1.62\sin(143.5 - \phi_1)[1.14 + 1.13\cos(143.5 - \phi_1)]}{[1.14 + 1.13\cos(143.5 - \phi_1)] \cdot \sqrt{0.14 - 2.11\cos(143.5 - \phi_1)} - 2.62\cos^2(143.5 - \phi_1)} + \frac{400 + 222\cos\phi_1 + 300\sin\phi_1}{748.2 + 444\cos\phi_1 + 600\sin\phi_1} \right\} \cdot \dot{\phi}_1 \quad (3)$$

$$\dot{\phi}_5 = \left\{ \frac{2.28\sin(\phi_3 - 185.74)[-1 + 4.55\cos(\phi_3 - 185.74)] - 4.55\sin(185.74 - \phi_3)[5.39 - 4.55\cos(\phi_3 - 185.74)]}{[5.39 - 4.55\cos(\phi_3 - 185.74)] \cdot \sqrt{4.39 + 4.55\cos(\phi_3 - 185.74)} - 20.7\cos^2(\phi_3 - 185.74)} + \frac{121 - 218.9\cos\phi_3 - 22\sin\phi_3}{521 - 437.8\cos\phi_3 - 44\sin\phi_3} \right\} \cdot \dot{\phi}_3 \quad (4)$$

由公式(3)和(4)可知运动输出杆 L_{CF} 的运动规律由主动杆 L_{BO} 的运动唯一决定,给出杆 L_{BO} 的角度或角速度即可得到 L_{CF} 的角度及角速度。继续对公式(3)和(4)求导即可得到杆 L_{CF} 由主动杆 L_{BO} 决定的加速度变化规律。

2.3 封口模块

封口模块的作用是将压紧后的物料包装袋袋口进行密封并在包装袋上印上生产日期或批号等信息。物料包装袋的封口机构采用了压合热封的形式,物料包装袋应具有热封性。如图6所示,模块由6部分组成。



1—电阻丝;2—石棉包裹层;3—压杆;4—模杆;
5—固定片;6—载杆。

图6 封口模块组件

Figure 6 Sealing module component

在压紧模块运行时,压杆倒向模杆,将物料包装袋袋口压在压杆与模杆之间,模杆上有可拆卸更换的压码模块,通过更换数字及字母来完成对包装袋的打码工作。

模杆通过固定片与载杆相固定,模杆和载杆间布置有高导热性能电阻丝,电阻丝与模杆、载杆间填充包裹有石棉,模杆由高导热性的铜合金制成,当电阻丝通电发热时,热量会通过石棉层均匀的传导到模杆上,此时压杆在设定温度下压紧特定时间即能完成对物料包装袋的热封。

解方程组可得

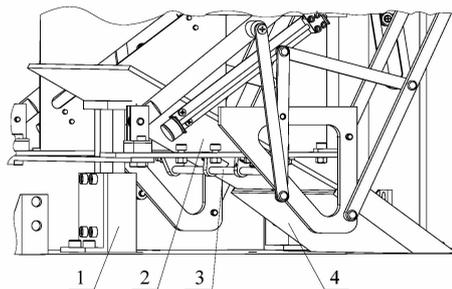
$$\phi_5 = \arccos \frac{-1 + 4.55\cos(\phi_3 - 5.74)}{\sqrt{5.39 - 4.55\cos(\phi_3 - 5.74)}} +$$

$$\arctan \frac{2 - 11\sin \phi_3}{19.9 - 11\cos \phi_3} \quad (2)$$

将公式(1)和(2)分别求导并联立即可得到运动输出杆 L_{CF} 绕 G 点转动的角速度:

2.4 出料部分

出料口的作用是将完成热封后的物料包装袋排出封口机并转移至流水线出料传送带上。此部分的设计承接前面所述的压紧模块与封口模块,它由小型直线气泵、载物板翻板、转动轴和出料坡道4个部件组成,如图7所示。



1—小型气缸;2—载物板翻板;3—转动轴;4—出料坡道。

图7 出料部分

Figure 7 Discharge part

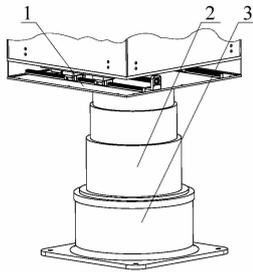
载物板翻板通过转动轴与载物板相铰接。封口流程结束后,系统控制压紧模块电机反转一定圈数,使压紧模块松开,小型气缸向上运动,将载物板翻板顶起相应距离,使物料包装袋从载物板滑向出料坡道并最终转移至封口机外的出料口流水线传送带上。

2.5 机械调姿部分

封口机在安装及运行过程中,进料口及出料口的位置时常会受到流水线布局、操作环境等一些外在因素的限制,机械调姿部分的设计旨在针对上述外在因素做出相应调整,使机体相对进、出流水线传送带的位置保持在合适的范围之内,保证物料包装袋的封口流程顺利进行。

机械调姿包含3个部分:角度、高度和距离。3个部分的机构均布置在底座及机体平台上,如图8所示。

底座内部由电机及行星齿轮构成,可以旋转,用来调整封口机的角度。升降机构位于底座之上,由3段套筒式外罩层层叠落而成,通过电机驱动丝杆进行升降操作,完成对封口机高度的调节。进料口离进料传送带的距离或出料口离出料传送带的距离可进行微调,弥补因客观条件限制带来的安装上的水平误差。此距离调整通过水平滑台机构实现。机构由2个水平布置的滑轨、一根丝杆、一台电机及滑台组成,封口机机箱置于滑台上,由滑台进行支撑与移动。



1—水平滑台机构;2—升降机构;3—底座。

图8 机械调姿部分

Figure 8 Mechanical posture alignment

2.6 控制系统的实现

封口机的控制系统用来协调机器的正常运转。文中选用STM32芯片作为控制系统的核心,各部分的流程化运行通过编程来实现,同时增设人机交互界面,机身上设置有一块触摸屏,可对封口机的相关运行参数做出修改。运行过程中通过实时采集各传感器的信号将运行情况反馈给处理器,处理器对信号进行分析后通过控制系统对机身运行状态做出相应调整^[12-15]。

流程化运行前,先通过触摸屏对物料包装袋的材质、物料平均质量等相关参数进行初始化设置。材质决定了热封时间长短、压紧力大小及热封温度等相关工艺参数;物料平均质量则决定了出料时载物板翻板被小型气缸顶起的角度及运行速度等参数。所有相对应的工艺参数均被设置在控制芯片中,初始化选择完成后即可对同一批次的产品进行流程化封口操作。相关控制系统流程图如图9所示。

3 仿真分析与试制调试

封口机的压紧模块设计中采用了几组串联与并联机构,这些机构中存在着许多转动副,每个铰接点的运行可靠性决定着整个串并联机构运行的稳定性,因此需要对串并联机构框架的运行稳定性做仿真分析和实际试制及调试分析,验证所设计机构运行的合理性与可靠性。

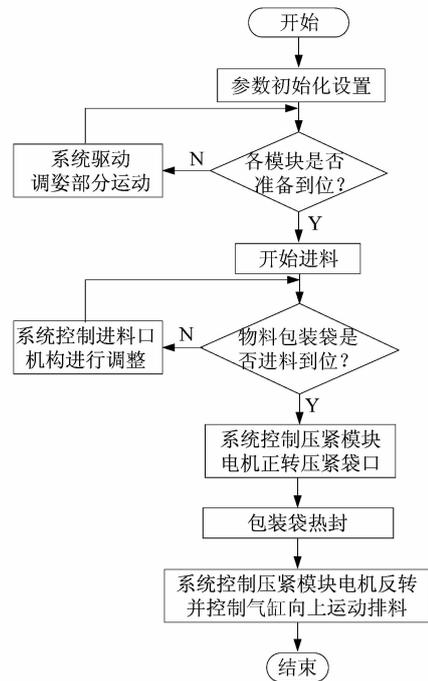


图9 控制系统流程图

Figure 9 Flow chart of control system

3.1 仿真分析

为了能够直观的分析压紧模块机构运行的合理性,借助ADAMS软件进行运动学仿真分析。将运动机构模型导入ADAMS中并进行相关参数的配置,如图10所示。

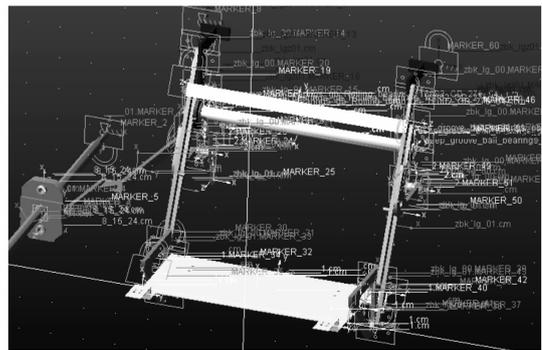


图10 Adams配置

Figure 10 Adams configuration

分析时首先按螺母滑块设计运行速度0.06 m/s对仿真驱动电机进行配置,使机构进行动态运行。通过对机构动态仿真结果的分析,证明了机构框架的运行姿态符合预期,达到了相关设计的功能要求。

接着选取几个重要的铰接点进行受力分析。文中选取拉杆与双边传动杆上贴片相连的铰接点进行示例分析,由于这个铰接点承载着由螺母滑块传递过来的

驱动拉力,因而是个重要的受力点,其在 X, Y, Z 方向上的受力及合力情况如图11所示。

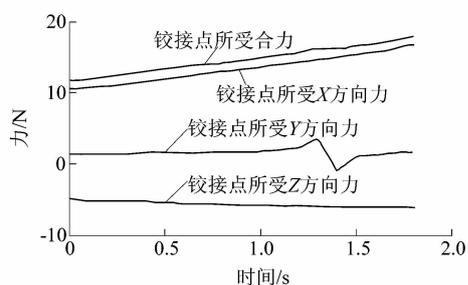


图11 铰接点受力情况

Figure 11 Force condition of joint

由图11可知,空载时单个方向上的受力最大不超过16 N,合力不超过18 N,相铰接的拉杆和贴片材料均选用普通的碳钢。为了验证铰接处强度的可靠性,选取最大受力时刻,借助SolidWorks中的Simulation对铰接点进行静力学分析,应力分布如图12所示。

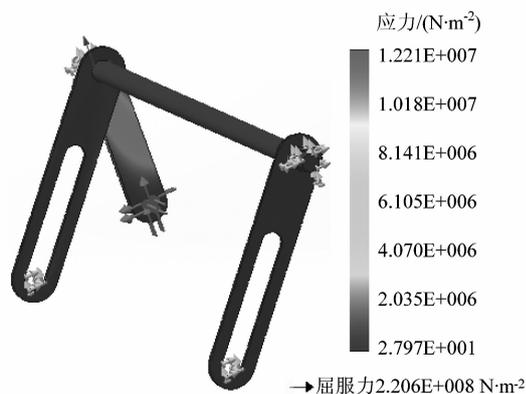


图12 关键部位静力学分析

Figure 12 Static analysis of critical part

应力分布表明铰链处所受应力远小于材料的屈服极限,由此证明了此处铰链具有运行安全性和可靠性。机构其他铰接点的仿真分析均与上述分析类似,不再赘述。

3.2 试制及调试

为了验证压紧模块的设计机构在实际运行中的稳定性与可靠性,对这一模块进行了机构的试制。在样

机的运行调试过程中,初步验证了机构设计的合理性与运行稳定性,达到了设计预期。

4 结语

课题组设计开发的粉粒及块状物料包装流水线自动封口机,采用模块化的设计理念,并以STM32为核心的控制系统统一指令下,实现了封口流程的全自动化运行,极大地解决了大包装下的粉粒及块状物料包装流水线灌装和封口环节脱节并需要人为干预的问题,具有较好的市场应用前景。

参考文献:

- [1] 雷文斌. 我国包装机械行业发展现状研究[J]. 中国包装工业, 2015(8):98-100.
- [2] 李三江, 李亚娜. 国外包装机械的现状和发展趋势及国内包装机械的发展策略之我见[J]. 科技资讯, 2015, 13(35):154-156.
- [3] 吴超. 我国包装机械现状及发展趋势[J]. 中国包装工业, 2015(7):58.
- [4] 宁波中策科银电子有限公司. 塑料袋封口机:CN202508321U[P]. 2012-10-31.
- [5] 惠州市雅诗办公用品有限公司. 一种全自动多工位电热式塑料袋封口机: CN204726749U[P]. 2015-10-28.
- [6] 绵阳积富塑料包装彩印有限公司. 一种塑料袋封口装置: CN205499515U[P]. 2016-08-24.
- [7] 尤松, 王续跃, 王连吉. 自动纸箱胶带封口装置[J]. 轻工机械, 2014, 32(1):82-86.
- [8] 吴双. 果蔬自动包装机的设计与开发[D]. 临安: 浙江农林大学, 2014:7-50.
- [9] 周林辉. 软包装自动充填封口机的结构设计探讨[J]. 包装与食品机械, 2005, 23(2):23-26.
- [10] 陶大君. 改进型波形挡边输送带[J]. 世界橡胶工业, 2009, 36(5):32-33.
- [11] 王鹰, 刘强, 侯亮. 波状挡边带式输送机输送带的新结构[J]. 起重运输机械, 2012(8):19-22.
- [12] 岳艺. 食品包装机械的自动化控制[J]. 轻工科技, 2016, 32(1):77-78.
- [13] 刘晏宇, 史颖涵, 黄蒙中, 等. 基于红外感应识别的多工位纸箱包装机设计[J]. 包装工程, 2016, 37(17):182-186.
- [14] 曹岩, 孙凤茹. 流水线产品计数及包装微机自动控制系统[J]. 自动化与仪器仪表, 2014(9):72-73.
- [15] 候蕊. 基于单片机的灌装生产线成率率计算装置设计[J]. 电子技术与软件工程, 2016(19):259.