

doi: 10.7690/bgzdh.2018.03.009

基于间歇分页原理的纸盒成型机

钟金龙, 王敏, 王胜

(中国兵器装备集团自动化研究所智能制造技术研发中心, 四川 绵阳 621000)

摘要: 针对吸盘吸附式分页及摩擦连续分页存在的问题, 设计一种基于间歇分页原理的纸盒成型机。阐述纸盒成型机的原理及其结构, 详细介绍间歇分页机构、成型机构等的设计方法及相应的控制硬件和软件。结果表明: 该纸盒成型机能提高纸盒包装设备的自动化程度, 且人工成本低, 具有良好的适应性。

关键词: 间歇; 分页机; 纸盒成型

中图分类号: TP23 **文献标志码:** A

Carton Forming Machine Based on Intermittently Delivering Cardboard Principle

Zhong Jinlong, Wang Min, Wang Sheng

(Research & Development Center of Intelligent Manufacturing Technology,
Automation Research Institute of China South Industries Group Corporation, Mianyang 621000, China)

Abstract: To solve the problems of sucker suction delivering cardboard and friction succession delivering cardboard, design a kind of carton forming machine based on the principle of intermittently delivering cardboard. Describe the principle and structure of carton forming machine. Introduce the design methods of the intermittently delivering cardboard mechanism and the forming mechanism, and the control hardware and software as well. The result shows that the design can improve the degree of automation of the carton packaging products, reduce the labor costs, and have good adaptability.

Keywords: intermittently; delivering cardboard mechanism; carton forming

0 引言

在产品包装线上, 常采用美卡纸盒进行初步包装。这种盘式折叠纸盒的原料为具有良好透气性的不规则纸板, 目前一般采用冲模冲压成型的方式将单张的纸板一次冲压成型^[1]。而冲模冲压成型的关键因素之一就是成堆的纸板原料分成单张, 以实现纸盒的冲压成型。针对目前采用吸盘吸附式^[2]分页原理的纸盒成型机纸板易变形、重纸率过高和成型质量差等缺点, 笔者设计了一种基于间歇分页原理的纸盒成型机, 具有纸板变形小、重纸率低、结构紧凑和生产节拍可调范围大等特点。

1 纸盒成型机的总体结构及工作原理

纸盒成型机由机械结构和电气控制 2 部分组成, 包括机架、触摸屏、分页机构、推纸机构、成型机构、传输线及胶机和控制柜等主要部分, 如图 1。

纸盒成型机工作原理: 纸盒成型机工作流程大致可分为分纸、推纸、成型和输出 4 个步骤, 其成型流程如图 2 所示。

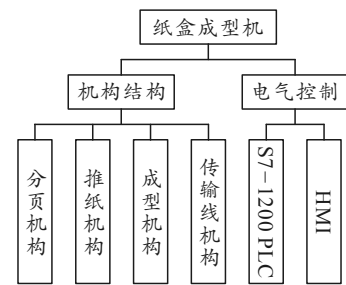


图 1 纸盒成型机系统组成

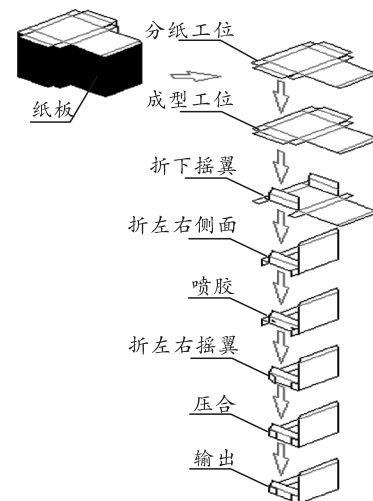


图 2 纸盒成型流程

收稿日期: 2017-12-23; 修回日期: 2018-01-29

作者简介: 钟金龙(1988—), 男, 四川人, 硕士, 从事机械设计研究。

工作时，将成垛的纸板原料放于纸盒成型机分页机构的料仓中。在分页皮带和逆反轮的作用下，成垛的纸张被间歇地分成单张，到达推纸机构处，推纸机构将纸板推送到成型工位，曲柄滑块机构将纸板冲压成型，成型后的纸板通过传输线输出到下一工序，完成纸盒的自动成型^[3]。

2 机械方案设计

2.1 间歇分页机构的设计

间歇分页机构由传动机构和分页机构组成。

2.1.1 传动机构

由于纸张在分页过程中会产生碎屑，同时考虑到纸盒成型机主要配套于枪弹包装线，因此驱动部件采用防爆型三相异步电机+减速机，分页轮、逆反轮、压辊之间通过同步带构成传动链，分页轮和逆反轮之间存在一定的速比，产生速度差，配合分段皮带，实现纸板的间歇分出，如图 3 所示。采用同步带传动可实现恒定的传动比，传动时准确、平稳、噪音低；同时维护方便，不需要润滑，避免了纸屑对传送链的影响。

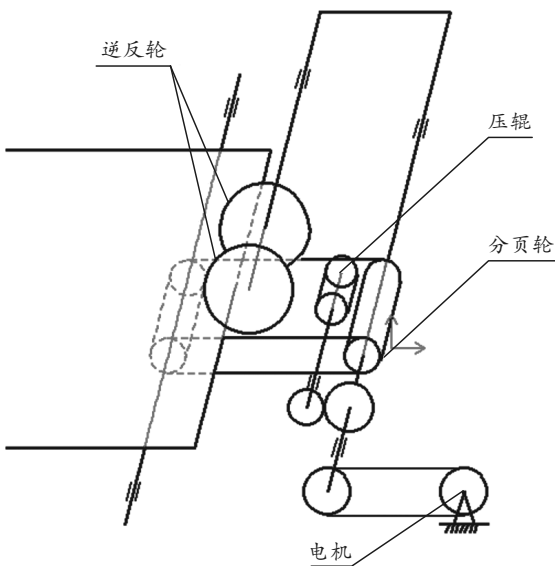


图 3 纸盒成型机分纸机构传动结构

三相异步电机的额定转数为 $n_{电}=1\ 440\ \text{r/min}$ ，生产节拍为 $S=15\ \text{个/min}$ ，取纸板规格中长度最大的纸板 $L_{纸}$ ，分页轮的直径为 d_1 ，则可得总的传动比

$$i_{总} = \frac{\pi d_1 n_{电}}{S L_{纸}}$$

考虑到生产节拍可能变动，同时便于三相异步电机的控制，使用 ACS150 型变频器，其频率 f 可在 $0\sim 50\ \text{Hz}$ 之间调节，设定变频器频率 f_1 ，

则可得最终的 $i_{总}$ 。设计分页轮和逆反轮之间速比为 $3:1$ ，在保证分页准确性的同时保证纸板的完整性及降低逆反轮的磨损^[4]。

2.1.2 分页机构

分页机构主要由分页轮、逆反轮以及分页皮带组成。分页轮通过同步带与减速机输出端相连，带动分页皮带转动，分页惰轮处设置有调节装置，可以沿径向调节分页皮带的张紧。逆反轮与分页轮间通过同一根同步带连接，实现二者间稳定的速比。逆反轮位于分页皮带上，其旋转方向与皮带运行方向相反，起反向搓纸作用。

1) 分页皮带。

为达到间歇分页的目的，笔者采用分段式分页皮带，既避免了传统分页机构因增加一级送纸机构而使纸盒成型机尺寸过大的问题，又避免了通过电机的频繁启停来达到间歇分页带来的寿命降低问题，还避免了使用步进电机带来的成本上升问题，同时，使分页节拍的调节范围进一步增大。所设计的纸盒成型机分段式皮带结构如图 4 所示。

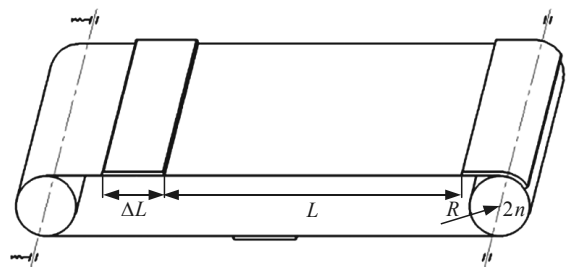


图 4 分页皮带结构

设纸盒成型机的节拍为 S ，纸板最大长度 $L_{纸}$ ，则所需分页速度 $v = S L_{纸}$ ，分页轮和惰轮直径分别为

$$d_1 = \frac{v}{\pi n_1} = \frac{S L_{纸}}{\pi n_1}, \quad d_2 = i d_1 (1 - \varepsilon)$$

其中， i 为分页轮与惰轮速比， ε 为弹性滑动率， n_1 为分页轮转速。为了简化设计，假设分页轮直径和惰轮直径相同。皮带中心距 $a \geq L_{纸} + L'$ ， L' 为第一级分页片距纸板离开分纸机构距离。因此，分页皮带长度为 $L_{皮带} = 2a + \pi d_1$ 。皮带由 m 段组成，即 $L_{皮带} = m(\Delta L + L)$ ， ΔL 为皮带凸出部分长度，则凸出部分的间距为 $L = \frac{v}{S} - \Delta L$ ， ΔL 的长度应不小于第一级分页片到逆反轮间的距离且不超过最小纸板的长度。结合电机转速 $n_{电}$ ，总传动比为 $i_{总}$ ，变频器

额定频率为 f ，设定分页时频率为 f_1 ，因此可以得到分页节拍为 $S' = n_{电} i_{总} \frac{f_1 \pi d_1}{f L_{皮带}} m = mn_{电} \frac{f_1 \pi d_1}{f L_{皮带}}$ 。可见，

采用分段式皮带实际节拍所能达到的范围是使用整条皮带节拍的 m 倍，具有更大的调节范围，适应性更广泛。

2) 逆反轮。

逆反轮和纸板间保持一定的摩擦角，通常为 $8^\circ \sim 15^\circ$ ^[4]，若摩擦角再增大，将直接影响纸板的送进。逆反轮与皮带之间需要留有一定的间隙，间隙过小，逆反轮变形增大，对纸板的摩擦力同时增大，容易导致纸板受损，同时加重逆反轮的磨损，降低分纸稳定性^[5]。

对于形状方正的纸板而言，单个逆反轮对纸板的作用力刚好位于纸板中心，不易使纸板在分页过程中产生倾斜。而枪弹包装用纸盒盒型为典型的插入式纸盒，其成型前为不规则的纸板，逆反轮将在纸板中心的一侧产生一个偏置力，在这个偏置力的作用下，纸板将向某侧倾斜；因此，采用双列逆反轮并置结构，防止纸板在分纸过程中斜倾。

3) 分页片。

设计二级分页片，使进入的纸板逐级减少。第一级分页片主要用于将过多的纸板挡住；第二级分页片为弹性压片，其上端为平面、下端为圆弧状。

第二级分页片对进入的纸板施加一个斜向后方方的力，让纸板和皮带充分接触，如图 5 所示。当纸板到达第二级分页片时，纸板沿分页片圆弧切线方向 τ 前进，其接触点 A 所在的圆弧法线 n 与竖直面存在一夹角 φ ，夹角 φ 即为摩擦角。由于摩擦角与摩擦系数 μ 相关^[6]，当纸板与第二级分页片的接触点所在法线与竖直面夹角 φ 大于 $\arctan\mu$ 时，纸板将不再进入；因此，通过第一级分页片的纸板总高度 L_1 不应超过 $R_1 - R_1 \cos\varphi$ 。

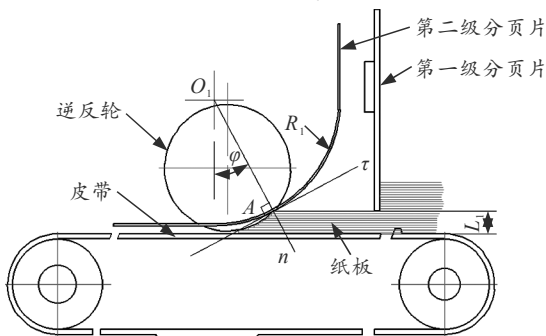


图 5 分页片结构

2.2 推纸机构设计

分出的纸张末端距离成型工位中心的距离为 ΔS ，纸板末端距纸板中心距离为 $S_{末}$ ，而纸板的长度规格分别为 181、199、235、265 mm 等。为了减少气缸行程，笔者设计了由气缸和 2 个推块组成的双工位步进式推纸机构，2 个推块分别固定在无杆气缸上推杆的前后两端。推纸时，气缸带动推块后端的后推块动作，将纸板推送到原来前推块的位置，完成步进的第一步；气缸回程，后推块返回接纸板位置；然后气缸重复上一次的推动动作，推块前端的前推块将前一次动作时后推块已经推到前推块处的纸板推送到下一个工位即成型工位，同时后推块再次把纸板推送到前推块位置，完成步进第二步。由于采用单气缸双工位结构，气缸选用行程为 $L_{气缸} \leq \Delta S / 2$ 的无杆气缸即可，则可得相应纸板所需推杆和前推块的长度 $L_{杆} = \Delta S - L_{气缸} - S_{末}$ 。此结构在更换纸盒规格时，只需更换相应推块即可。

2.3 成型机构的设计

成型机构采用回转冲模冲压成型方式。成型工艺流程为：冲模下压—折底部摇翼—折左右侧面—喷胶—折左右摇翼—压合—吹气—脱离，如图 6。

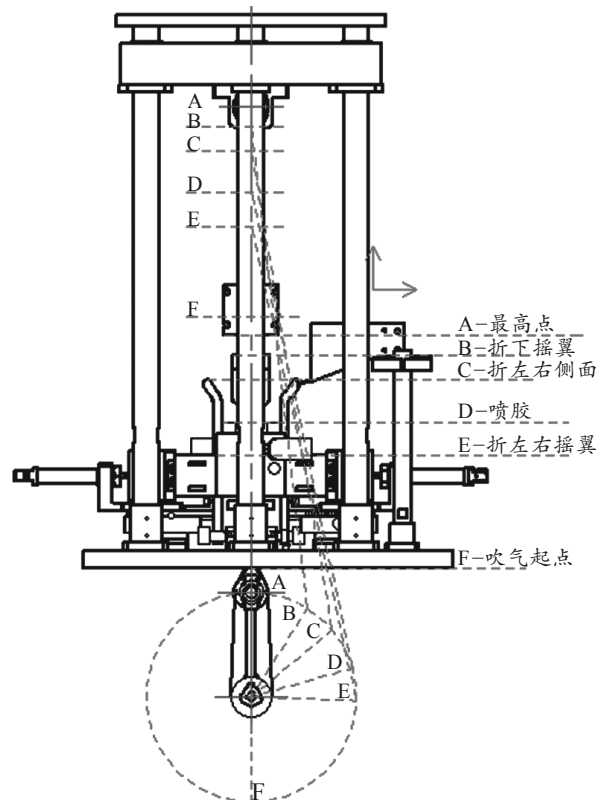


图 6 成型机构工艺过程

成型机构采用曲柄滑块机构原理：电机带动曲柄，曲柄驱动连杆，连杆推动成型模，成型模在导向柱限制下作周期性上下运动。在图 6 中字母 ABC 等对应了滑块位置和执行的工艺动作，并对应到图中曲柄轨迹圆中的角度。其角度代表了每个工艺过程所用的最大时间，是成型分析的基础和对象。通过分析成型机构工艺过程可知，从纸板到达成型工位到开始折下摇翼的时间约为曲柄轨迹上的 AOB 夹角，推纸机构动作的时间范围远小于 AOB 夹角，满足生产需要。点胶机喷胶对纸盒成型有着重要影响，其喷胶动作时间越长越好，实际情况多为 100 ms 左右，根据工艺过程计算其动作时间约为 170 ms，即曲柄轨迹上的 DOE 夹角，远远满足点胶机喷胶动作时间。

2.4 传输线机构设计

传输线机构用于将成型后的纸盒输出，主要由驱动电机、导向滑板、输送皮带、宽度调节机构、检测装置和推盒机构等组成，如图 7 所示。导向滑板处设有 FT-42 光纤开关，用于检测纸盒是否脱离。输送皮带用于将成型后的纸盒输出至下一工位，同时缓存多余的纸盒。皮带上方设有光纤检测开关，用于纸盒位置的检测，同时监控传输线上的纸盒数量。皮带两侧设有宽度调节机构，可适应不同规格的纸盒。皮带末端设有推盒机构，用于将纸盒推送至下一工位。

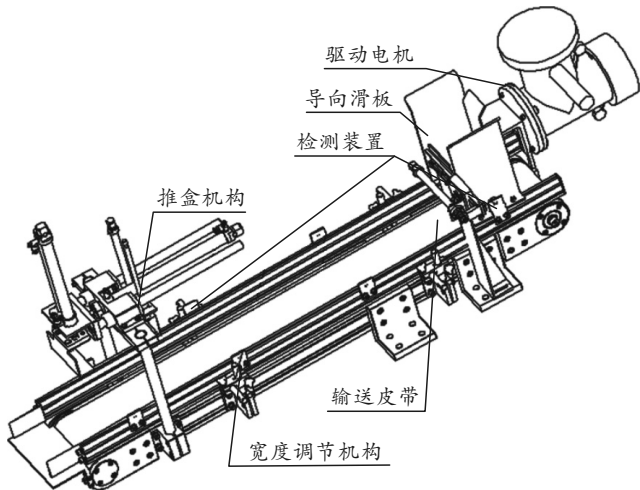


图 7 传输线机构

3 控制系统设计

纸盒自动成型机控制系统主要由 PLC(programmable logic controller)+HMI 人机界面组成^[7]，如图 8 所示。

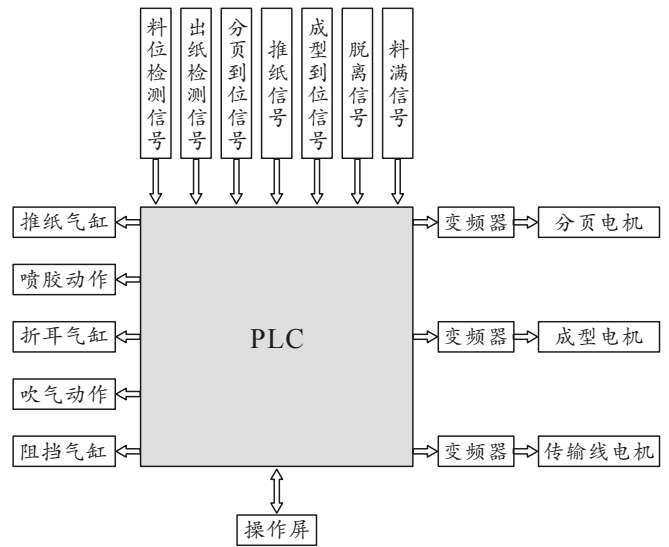


图 8 纸盒成型机控制系统

3.1 硬件设计

为满足纸盒成型机的可靠性、稳定性及良好的时序控制性，控制系统核心选用西门子公司 S7-1200 系列 CPU 1215C 可编程控制器，具备 14 个数字量输入点和 10 个数字量输出点；为保证留有 20% 余量，另扩展 2 个西门子数字量输入输出模块 SM1223(16DI/16DO)；系统的操作面板采用 GP-4501TW 触摸屏，具有友好的人机交互界面，同时提供急停、复位、声光报警和实时监控等功能；PLC 和触摸屏通过 6ESP1 332-1SH71 开关电源提供 24 V 直流电源；SM1223 数字量输入输出模块由 6EP1333-3BA00 开关电源提供 24 V 直流电源；配有 3 套 ACS150 变频器，实现分页、成型、传输线机构的驱动；配有 SMT-8M-A-ZS-24V-E-5.0-OE-EX2 行程开关、FT-42 对射式光纤等检测开关对系统各机构状态进行监控。

3.2 软件设计

使用西门子 TIA Portal V13 软件编写纸盒自动成型梯形图程序^[8]，系统工作流程如图 9 所示。



图 9 纸盒成型机工作流程

4 结论

该纸盒成型机已应用于某自动包装线中，具有纸盒变形小、成型质量可靠和结构紧凑、人工成本低等特点。操作者仅需定时上料，便可完成纸盒的自动成型，有效地提升了纸盒加工行业的生产效率，推动了纸盒包装行业自动化、智能化技术的发展。通过更换相应的成型冲模，可实现不同规格包装用纸盒的自动成型，具有良好的适应性。

参考文献：

[1] YOSHIKI K, DAVE M, MASAOKI K. Carton Bottom Folding Assembly[P]. United States Patent, 0060965. 2005-3-24.

[2] 武吉梅. 单张纸平板胶印印刷机[M]. 北京：化学工业出版社, 2005: 52-53.

[3] 李昂, 钟顺金, 胡翔. 电雷管热封覆膜包装安全性分析[J]. 兵工自动化, 2017, 36(3): 63-65.

[4] 李志诚, 朱征, 郑秀. 高速激光打码分页机的设计[J]. 天津科技大学学报, 2008, 23(4): 59-62.

[5] 许天河. 送纸机构之动力分析与测量[D]. 台湾：台湾国立清华大学, 2001: 6-28.

[6] 邓学晶, 薛世峰. 摩擦角与摩擦自锁的一般性解释[J]. 山西建筑, 2010, 36(23): 223-224.

[7] 王胜, 龚运环, 景富军. 基于 PLC 的纸盒成型机全自动控制系统设计[J]. 兵工自动化, 2017, 36(3): 24-27.

[8] 朱永强, 王文山, 译. PLC 工业控制[M]. 北京：机械工业出版社, 2015: 40-140.