技术专论

飞剪式纸护角定长剪切机系统的研制

刘劲阳，蔡锦达，杨宝山
（上海理工大学，上海 200093）

摘要：目的 根据纸护角生产线的生产要求，设计一种满足纸护角连续送料时定长剪切的飞剪式定长剪切机构。**方法** 运用旋转式飞剪原理，采用伺服系统的闭环控制，使飞剪式定长剪切机构能实现在定长剪切过程中对纸护角跟踪的“速度-位置双同步”。**结果** 飞剪式定长剪切机构省去了传统机构在送料过程中剪切所需的停顿时间，大幅度提高了生产效率。同时，可以对不同厚度、不同长度以及不同送料速度的物料进行定长剪切。**结论** 飞剪式定长剪切机构结构简单、使用方便、成本低廉，可广泛用于多种产品的定长剪切。

关键词： 纸护角；旋转式飞剪机构；伺服系统；定长剪切
中图分类号： TH122　　**文献标识码：** A　　**文章编号：** 1001-3563(2014)15-0025-04

Development of Flying Shear Type Paper Corner Fixed-length Cutting Machine System

LIU Jing-yang, CAI Jin-da, YANG Bao-shan
(University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093, China)

ABSTRACT: Objective According to the production requirements of paper corner production line, this paper focused on designing of a flying shear type paper corner fixed-length cutting machine system with continuous feeding. **Methods** The principle of rotating flying shears was used, and a closed-loop servo control system was adopted to achieve "speed - Position Dual Sync" in fixed-length shearing process of tracing paper corner. **Results** This flying shear type cutting machine could eliminate the pause time in the traditional fixed-length cutting process and greatly improve the production efficiency. Meanwhile, fixed-length cutting could be realized for materials with different thickness, different length and different material feeding speed. **Conclusion** Flying shear type paper corner fixed-length cutting machine has simple structure, convenient operation and low production cost, and is widely applicable for fixed-length cutting of a variety of products.

KEY WORDS: paper corner; rotary flying shear mechanism; servo system; fixed-length cutting

纸护角又称为纸包角或者护角纸板、边缘板、纸角钢等，是由多层纱管纸和牛卡纸经过多道滚轴压合胶粘，再通过护角机定长剪切成型。纸护角多为包装件棱边的包装护角，可以增加对包装物边缘的支撑力以保护包装件，常与打包带一起使用并打紧，使整体包装更加坚实牢固；同时，提升整体纸箱间的叠放压力，避免在运输过程中产生不必要的伤害[1—4]。纸护角作为优秀的包装辅助材料，广泛运用于家电产品、大型电子产品、家具等大型产品的包装。

目前，市场上的护角机多为往复式动态剪切机

收稿日期： 2014-04-11
基金项目： 上海市研究生创新基金项目(JWCXSL1402)
作者简介： 刘劲阳(1990—)，男，重庆人，上海理工大学硕士生，主攻机械自动化控制。
通讯作者： 蔡锦达(1963—)，男，上海人，上海理工大学教授，主要研究方向为机械电子及其自动化。

构，通过其实现对纸护角的动态定长剪切。在该机构中，刀架需要1台伺服电机驱动跟踪进料，保证切刀与进料速度一致（即两者相对静止）；同时，还需要1台电机实现对纸护角的剪切动作。另外，由于实现剪切动作的电机多由气压、液压驱动，在剪切过程中切刀对导轨产生的冲击较大，易缩短整个机构的寿命[5—6]。为此，提出一种飞剪式纸护角定长剪切机构，由伺服驱动，通过1台伺服电机带动偏心轮运转，使切刀在1个圆周运动轨迹内完成同步跟踪，并对纸护角进行剪切，实现对不同进料速度和不同厚度的纸护角进行定长（剪切长度可设定）剪切。

1 机械结构设计

飞剪式定长剪切机构结构见图1，包含机架部分和剪切部分。机架部分包括固定在机床床身的伺服电机，以及底部的水平导轨；剪切部分由伺服电机所拖动的偏心轮机构及所连接的切刀、移动刀架和侧端的垂直导轨组成。

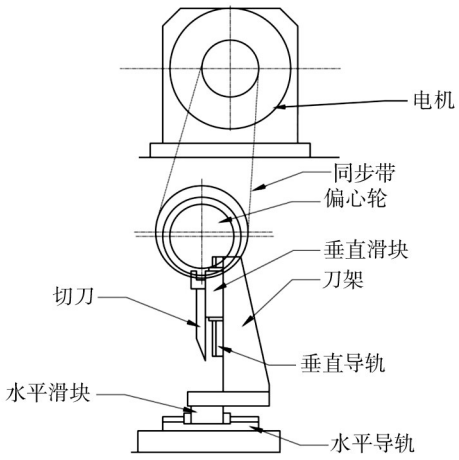

图1 飞剪式定长剪切机构结构

Fig.1 Structure of flying shear type paper Angle fixed-length cutting machine system

固定在机床上的伺服电机通过同步带与偏心轮的转轴连接，带动偏心轮运动；切刀驱动端与偏心轮相连接，使其保持相对静止；切刀通过垂直滑块与移动刀架侧面滑动连接，可使切刀在刀架侧端垂直导轨上作上下往复运动；移动刀架通过水平滑块与固定在机床上的水平导轨滑动连接，使得移动刀架可在水平导轨上做前后方向的水平往复运动。

伺服电机拖动转轴，通过同步带带动偏心轮转动。由于切刀可在垂直导轨上作竖直运动，移动刀架可在底部水平导轨上作水平运动，因此可以使切刀在偏心轮的带动下作平行于进料方向的圆周运动，从而实现对纸护角的定长剪切。

2 工作原理

飞剪式定长剪切机构可根据设定长度对连续送入的纸护角进行定长剪切，即纸护角的剪切动作在运动中完成，无需传统机构剪切时的停顿时间。这要求切刀在1个圆周运动轨迹内完成同步跟踪纸护角和切断纸护角的一系列动作。

在动态剪切中，为实现纸护角设定长度的定长剪切，切刀需要对纸护角进行跟踪，到达相应的切断点进行剪切。进入同步跟踪区后，需要保证切刀所作圆周运动的水平分速度与进料速度一致，即实现速度同步。在同步过程中，如果切刀水平分速度不等于进料速度，切刀将沿斜线方向（非垂直）剪切纸护角，易造成纸护角端口不平整、不垂直。由此，在实际生产过程中，要求飞剪式定长剪切机构在每次剪切过程中满足切刀对速度和位置的双同步跟踪，以实现对纸护角的精确定长剪切[7—11]。

2.1 运动过程

切刀在飞剪过程中所作的圆周运动可以分为待切、同步和退刀等3个状态（见图2）。在图2中，机构起始参考点记为A点，此时切刀所处位置位于圆周轨迹最高点后方，切刀处于待切状态。伺服电机拖动转轴带动偏心轮转动后，偏心轮带动切刀作逆时针圆周运动。当切刀与纸护角处于咬合状态，将此时切刀所在位置定义为B点，即切刀进入同步状态。当切刀运动到最低点（即切刀与底部导轨咬合）时，定义该点位置为C点，此时切刀切断纸护角，此刻为切断时刻。伺服电机继续拖动切刀作逆时针圆周转动，使切刀与底部水平导轨分离，切刀开始进入退刀状态。随着偏心轮转动，切刀继续转动，再次回到起始点A，完成退刀，即完成1次整个定长剪切动作，等待下次剪切。

2.2 控制方式

该纸护角定长剪切机构采用动态剪切方式，要求

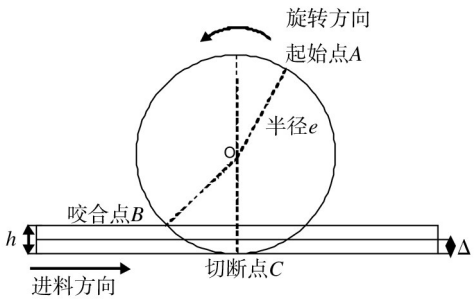

图2　切刀运动轨迹

Fig.2　The motion trail of the cutter

整个传动系统的响应快，控制精确，能实现切刀对纸护角高精度的速度和位置同步[12—13]。为此，采用伺服电机控制形成闭环系统，可以精确地控制电机转动，提高切刀的运动精度。

切刀的运动轨迹见图2，在切刀的1个运动周期内，可将其划分为同步区与非同步区。BC弧段为同步跟踪区，其中B点为切刀开始进入同步区时的位置（咬合点），C点为切刀处于切断点的位置。在同步区内，切刀的水平分速度v_1要求等于送料速度v_0；BAC弧段为非同步区，其中CA弧段为退刀区，对于较长的定长剪切，需要切刀在起始点A处等待。对于较短的定长剪切，则直接进入AB弧段。AB弧段为位置跟踪区，当切刀运动到C点（该位置恰好为预设的纸护角切断点），随后纸护角和切刀进入同步区，两者保持相对静止运动到C点时完全切断，随后进入CA弧段，直到切刀运动到A点，完成退刀。

2.2.1　位置同步

通过控制器中的高速计数器对测长编码器的脉冲信号进行计数，实现在切刀运动到B点（咬合点）时，纸护角恰好运动到预设的切断点。设切刀转1圈需要控制器给伺服电机的脉冲总数为N，测长编码器走过预设纸护角长度L发出的脉冲总数为$N_{编码}$：

$$N=N_{AB}+N_{BC}+N_{CA}=K_1\cdot N_{编码AB}+K_2\cdot N_{编码BC}+K_3\cdot N_{编码CA} \tag{1}$$

$$N_{编码}=N_{编码AB}+N_{编码BC}+N_{编码CA}+N_{等待} \tag{2}$$

式中，N_{AB}，N_{BC}，N_{CA}分别为切刀运动在对应弧段内需要发给伺服电机的脉冲数；$N_{编码AB}$，$N_{编码BC}$，$N_{编码CA}$分别为切刀运动在相应弧段测长编码器发出的脉冲数；$N_{等待}$为切刀需要在A点等待的脉冲数；K_1，K_2，K_3分别为测长编码器发出的脉冲数与切刀运动在对应弧段内需要发给伺服电机脉冲数之间的比例系数。

设A点为切刀运动起始点，此时相关输出脉冲计数清零并重新计数。通过输出脉冲计数可以得到切刀从A点运动到B点之间需要发给电机的脉冲数N_{AB}。

根据纸护角的厚度与剪切时切刀露出护角的溢量之和h和切刀运动轨迹的半径（偏心距）e，可以得出B、C两点之间的圆心角α（即“同步角”）：

$$\cos\alpha=\frac{e-h}{e} \tag{3}$$

通过同步角a可得到切刀从B点运动到C点之间需要发给电机的脉冲数N_{BC}：

$$N_{BC}=\frac{\alpha}{2\pi}\cdot N \tag{4}$$

由此，可由式(1)得到N_{CA}。

为了保证对纸护角的定长剪切，则在AB弧段内，输出脉冲数与测长编码器发出的脉冲$N_{编码AB}$满足：

$$N_{AB}=K_1\cdot N_{编码AB} \tag{5}$$

式中，K_1可设定为固定值，使得在B点处切刀与纸护角所咬合的位置正好为预设的切断点，从而实现该机构在剪切过程中的位置跟踪。同理，在退刀区CA弧段内，K_3也可设定为固定值。

2.2.2　速度同步

切刀达到B点后即进入同步区，该区域内需保持切刀的水平分速度与纸护角进料速度相同，直到退出同步区D点。在同步区CB弧段内，为保证切刀水平分速度保持不变，随着切刀走过弧长所对应的圆心角逐步增大，需要切刀在此过程中竖直分速度逐步减小；当切刀运动到B点时，竖直运动分速度减小为0，此时切刀线速度仅等于水平分速度，纸护角完全切断，完成剪切动作；随后切刀进入退刀区再次回到A点，等待下次剪切。

由此，在切刀进入同步跟踪区之后，切刀作变速运动，即同步区内 时刻变化。通过建立在该区域内的变化关系，控制伺服电机做变速运动，达到切刀在该区域内与纸护角的速度同步，实现切刀的动态剪切。

2.2.3　同步区内比例系数变化关系

该飞剪机构所采用的测长编码器每转脉冲数为2500，设测长编码器与物料相切的直径为d，则测长编码器1个脉冲所走的距离为L_1：

$$L_1=\pi d/2500 \tag{6}$$

由此，切刀从B点运动到C点测长编码器所发出的脉冲数$N_{编码BC}$：

$$N_{编码BC}=L_{BC}/L_1=e\cdot\sin(\alpha/L_1) \tag{7}$$

在整个过程中，纸护角作直线运动，而切刀作圆周运动，两者的脉冲当量统一。当切刀运动到B点时，测长编码器1个脉冲（即进入同步区测长编码器发出的第1个脉冲）对应切刀所走的长度为l_1，所对应的圆心角为θ_1：

$$l_1 = \frac{L_1}{\cos\alpha} = K_{21}\cdot\frac{2\pi e}{N} \tag{8}$$

由于K_2时刻在变化，因此在同步区内测长编码器1个脉冲切刀所对应走的长度、角度时刻不等，则第2个脉冲对应切刀所走的长度为：

$$l_2 = \frac{L_1}{\cos(\alpha-\theta_1)} = K_{22}\cdot\frac{2\pi e}{N} \tag{9}$$

θ_1对应的长度为l_1，则式(9)可变为：

$$l_2 = \frac{L_1}{\cos(\alpha-K_{21}\cdot 360°/N)} = K_{22}\cdot\frac{2\pi e}{N} \tag{10}$$

当第3个脉冲来到时，切刀对应所走的长度l_3为：

$$l_3 = \frac{L_1}{\cos(\alpha-K_{21}\cdot 360°/N-K_{22}\cdot 360°/N)} = K_{23}\cdot\frac{2\pi e}{N} \tag{11}$$

由上述推导可知，在BC弧段内，第n个脉冲对应切刀所走的距离l_n为：

$$l_n = \frac{L_1}{\cos\left(\alpha-360°/N\cdot\sum_{i=1}^{n-1}K_{2i}\right)} = K_{2n}\cdot\frac{2\pi e}{N} \tag{12}$$

当测长编码器发出第$N_{编码BC}$个脉冲时，此时切刀达到切断点C点，切刀相对于B点走过的圆心角为a。该瞬时点的切刀运动轨迹与进料运动轨迹均为直线，所以在C点处1个脉冲所对应的切刀圆周长度为$l_{n编码BC}$：

$$l_{n编码BC}=L_1=K_{N编码BC}\cdot\frac{2\pi e}{N} \tag{13}$$

根据K_2的变化情况，调整伺服电机在同步区作变速运动，保证切刀与纸护角在同步区内满足速度时刻相等。

3 装置特点

该飞剪式定长剪切机构通过伺服系统控制偏心轮运转，实现了速度和位置的同步跟踪，满足了高精度定位剪切的要求，相对于传统的纸护角机构而言存在如下特点。

1）1台伺服电机控制偏心轮的运转，使切刀以偏心距为半径作圆周运动。通过调节伺服电机的转速，使剪切在同步区内，其线速度的水平分量恰好等于进料速度，避免了纸护角端口不平整的现象。

2）根据测长编码器发出的信息，控制器调节伺服电机的转速，使得切刀在到达切断点时实现位置同步，从而对纸护角进行精确的定长剪切。

3）该机构可满足不同长度、进料速度的纸护角生产线高精度剪切的要求。

4）该机构所采用的伺服驱动方式具有精确度高、响应快、可靠性高、维修方便等优点，使得剪切机构具有结构简单、使用方便、剪切位置灵活可变、剪切精度高等特点[14—15]。

4 结语

针对纸护角生产线，设计了基于伺服驱动的飞剪式定长剪切机构，利用1台伺服电机实现了位置-速度的双同步跟踪，能够满足对不同厚度、不同尺寸以及不同送料速度纸护角的定长剪切要求，并省去传统剪切所需的停顿时间。通过保持纸护角的连续进给，大幅度提高了生产效率。此外，整个机构不仅可以用于纸护角的定长剪切，对于其他材料（包括纸板、塑管等连续生产的带材或管材）均适用。

参考文献：

[1] 韩春阳，马步庄，富瑶. 纸护角抗压性能 [J]. 包装工程，2009，30(4)：21—24.
HAN Chun-yang, MA Bu-zhuang, FU Yao. Research on Compressive Strength of Paper Angle Based[J]. Packaging Engineering, 2009, 30(4): 21—24.

[2] 彭国勋. 瓦楞包装设计[M]. 北京：印刷工业出版社，2007.
PENG Guo-xun. Corrugated Packaging Design[M]. Beijing: Printing Industry Press, 2007.

[3] 楼雪飞. 新型包装材料：纸质护角板[J]. 上海包装，2001(4)：34—35.
LOU Xue-fei. New Packaging Materials: Paper Corner Protector Plate[J]. Shanghai Packaging, 2001(4): 34—35.

[4] 汤志平. 浅谈纸护角在家电产品包装设计中的运用[J]. 家电科技，2014(3)：83—85.

（下转第34页）

of Linear Motion Ball Guide[J]. Machine Tool & Hydraulics, 2007,35(10):192—195.

[19] 肖诗俊. 医疗平台专用车设计与研究[D]. 成都:西华大学, 2012.
XIAO Shi-jun. Medical Platform Design and Study of Special Vehicles[D]. Chengdu:Xihua University,2012.

[20] 周小燕,高峰,鲍官军,等. 基于IAGA的机械手时间最优轨迹规划[J]. 机电工程,2009,26(8):1—3.
ZHOU Xiao-yan,GAO Feng,BAO Guan-jun,et al. Time-optimal Trajectory Planning for Robot Manipulators Based on Improved Adaptive Genetic Algorithm[J]. Mechanical & Electrical Engineering Magazine,2009,26(8):1—3.

[21] ATRAMENTOV A,LEIVA H,HONAVAR V. Learning Decision Trees from Multi-Relational Data[C]// Proceedings of the 13th International Conference on Inductive Logic Programming,2003.

(上接第28页)

TANG Zhi-ping. Discussion on Application of Paper Corner Protector in Packaging Design of the Electric Appliances Products[J]. China Appliance Technology,2014(3):83—85.

[5] 杨文涛. 嵌入式定长剪切控制系统的研究及发现[D]. 大连:大连理工大学,2010.
YANG Wen-tao. The Research and Implementation of an Embedded and Constant Length Cut Control System[D]. Dalian: Dalian University of Technology,2010.

[6] 蔡锦达,孙云峰,付翔,等. 飞刀式纸护角裁切机构[J]. 机械设计与制造,2011(4): 52—53.
CAI Jin-da,SUN Yun-feng,FU Xiang,et al. Design of New Crank Edge Board Machine[J]. Machinery Design and Manufacture,2011(4): 52—53.

[7] 郝俊强,夏滨,何小书. 铝管材横切机组及飞剪的电气控制技术[J]. 轻合金加工技术,2001,29 (3): 27—29.
HAO Jun-qiang, XIA Bin, HE Xiao-shu. Electric Control Technique of Cut to Length Machine and Rotating Flying Shear for Aluminum Sheet[J]. Light Alloy Fabrication Technology 2001,29 (3): 27—29.

[8] 葛延津,陈栋,高峰. 飞剪的定位控制[J]. 控制与决策,2003(9): 604—606.
GE Yan-jin, CHEN Dong, GAO Feng. Position Control of Flying Shear[J]. Control and Decision,2003(9):604—606.

[9] 胡姣,钱晓龙,王策,等. 基于运动控制器的飞剪定长切割系统的实现[J]. 仪器仪表学报,2005(8):247—249.
HU Jiao,QIAN Xiao-long,WANG Ce,et al. The Application of Flying Shear Used to Cut to Specified Length Based on Motion Controller[J]. Chinese Journal of Scientific Instrument, 2005(8):247—249.

[10] 蒋利佳. 位置伺服控制在飞剪控制系统中的分析与应用[D]. 武汉:武汉科技大学,2002.
JIANG Li-jia. Analysis and Application of the Position Servo Control System[D]. Wuhan: Wuhan University of Science and Technology,2002.

[11] 韩提文. 瓦楞纸板横切机控制系统的研制[D]. 天津:天津大学,2013.
HAN Ti-wen. Study on the Control System in the Corrugated Cardboard Crosscut Machine[D]. Tianjin: Tianjin University, 2013.

[12] WU Hua-zhu, LUO Nai-hao, WANG Chang-you. Study on Control Strategy of the Rotary Synchronous Fixed-length Cutting System[J]. Journal of Vibroengineering, 2013(6):713—725.

[13] 郑长春,赵莉华. 飞剪运动控制系统速度与位置参数整定[J]. 机电设备,2008(1):17—19.
ZHENG Chang-chun, ZHAO Li-hua. Adjustment of Speed and Position Parameters on Motion Control System of Start-stop Shear[J]. Mechanical and Electrical Equipment, 2008(1):17—19.

[14] 蔡锦达,尤黔琳,黄树根,等. 基于台达PLC的纸护角控制系统[J]. 包装工程,2010,31(15):77—80.
CAI Jin-da, YOU Qian-lin, HUANG Shu-gen, et al. Control System of Paper Corner Protector Machine Based on Delta PLC[J]. Packaging Engineering,2010,31(15):77—80.

[15] 卢英,赵亮,陈登峰,等. 交流伺服位置控制系统的研究与应用[J]. 伺服控制,2008(8):41—43.
LU Ying, ZHAO Liang, CHEN Deng-feng, et al. The Research and Application of AC Servo Position Control System [J]. Servo Control,2008(8):41—43.