

## 复合机铝箔换卷中的速度损失研究

徐兵<sup>1</sup>, 徐培忻<sup>2</sup>

(1. 苏州信息职业技术学院, 苏州 215200; 2. 苏州工业园区职业技术学院, 苏州 215123)

**摘要:** **目的** 减少铝箔复合机换卷时的速度降幅及变化,改善降速换卷中容易断幅的问题,从而提高设备的综合效率(OEE)。**方法** 通过对实验数据的5W1H和张力的分析,建立复合机铝箔换卷时铝箔张力的动力模型,探讨了张紧辊张力、压辊压力、铝箔偏心度、运动离心力方向角和速度差等影响铝箔张力的因素,并对实际操进行了实验改进。**结果** 铝箔在换卷时速度变化得到改善,改善了断幅的问题。**结论** 调整影响铝箔张力等一系列因素,综合效率(OEE)达到92.1%,提高了生产效率。

**关键词:** 复合机; 铝箔换卷; 速度损失; 综合效率

中图分类号: TB486 文献标识码: A 文章编号: 1001-3563(2014)21-0059-05

### Speed Loss during Reel Change of Aluminum Foil in Compound Device

XU Bing<sup>1</sup>, XU Pei-xin<sup>2</sup>

(1. Suzhou College of Information Technology, Suzhou 215200, China;

2. Suzhou Industrial Park Institute of Vocational Technology, Suzhou 215123, China)

**ABSTRACT: Objective** To reduce the speed deceleration and change during reel change of aluminum foil compound device, and solve the problem of broken pieces of aluminum foil during reel change, so as to improve the overall equipment efficiency (OEE). **Methods** Based on the analysis of the experimental data by the methods of 5W1H and tension analysis, a dynamic model was established on the foil tension during reel change of the aluminum foil compound device. The research explored many factors that affected the foil tension such as roller tension and pressure, foil eccentricity, direction angel of centrifugal movement, speed difference and so on. The practical operation was experimentally improved. **Results** The speed variation during the reel change of the aluminum foil was improved and the problem of broken pieces was solved. **Conclusion** Through the adjustment of many factors that affected the foil tension, the OEE reached 92.1% and the production efficiency was improved.

**KEY WORDS:** compound device; reel change of aluminum foil; speed loss; OEE

机械设备在生产过程中,经常由于大量失效,如设备故障与调整等,影响生产率,降低设备综合效率(Overall Equipment Effectiveness,简称OEE)。针对设备OEE的现状,采取有效改进措施,对于提高设备产能有着非常重要的意义<sup>[1]</sup>。

某企业复合机在铝箔换卷过程中,需要从正常运行速度550 m/min降至380 m/min。通过测量,发现其速度损失达6.95%,质量损失达0.84%,材料损失达0.78%。特别是在降速换卷中,常常出现断幅现象,导

致OEE进一步减小。为了降低换卷带来的OEE损失,企业质量管理部门提出了将换卷时的速度提升至480 m/min,这样可以实现OEE有0.7%的补偿。在此,以该企业复合机铝箔换卷过程为例,对复合机铝箔换卷中的速度损失问题进行研究。

### 1 原因分析

为分析降速引起铝箔断幅的原因,进行实验研

收稿日期: 2014-03-01

作者简介: 徐兵(1966—),男,江苏如皋人,硕士,苏州信息职业技术学院副教授,主要研究方向为机械工程。

究,对铝箔规格、同步卷直径、切刀压力、换卷张力、接铝箔直径以及断幅现象进行采集,见表1。

表1 铝箔断箔实验数据

Tab.1 Experimental data of aluminum foil broken into pieces

铝箔箱号	铝箔幅宽/mm	同步卷直径变化/mm		切刀压力值/N	橡胶压辊压力值/N	吹气压力值/MPa	换卷张力/N	换卷车速/(m·min <sup>-1</sup> )	接铝箔直径/mm	失败模式:A接之前;B接之后
		最大值	最小值							
608042017	1504	799	790	6.6	3.4	0.66	190	480	304	
608062027	1504	790	781	3.4	6.6	/	480	304	336	A
608062034	1504	801	792	3.4	6.6	/	480	304	336	
604302024	1504	799	790	3.4	6.6	/	460	304	336	
608042012	1504	785	776	3.4	6.6	/	470	304	336	
607302211	1504	778	769	3.4	6.6	/	470	304	336	
608062035	1504	765	756	3.4	6.6	/	480	304	336	
607302019	1504	782	773	3.4	6.6	/	460	304	336	
608062031	1504	799	790	3.4	6.6	/	480	304	336	
68062032	1504	780	771	3.4	6.6	/	480	304	336	
60806029	1504	779	770	3.4	6.6	/	480	304	336	
608062030	1504	783	774	3.4	6.6	/	460	304	336	B
607302205	1504	801	795	3.4	6.6	/	460	304	336	
608062033	1504	799	793	3.4	6.6	/	470	304	336	
608042017	1504	785	779	3.4	6.6	/	500	304	336	
608062027	1504	778	772	3.4	6.6	/	460	304	336	
608062034	1504	765	759	3.4	6.6	/	460	304	336	
608042018	1504	782	776	3.4	6.6	/	460	304	336	

注:实验中,接铝箔前均无异常,翻转直径均为336 mm。

## 1.1 采集数据分析

降速换卷工作原理见图1,铝箔张力形成原理见图2。通过实验数据的采集,运用5W1H得出如下结论。

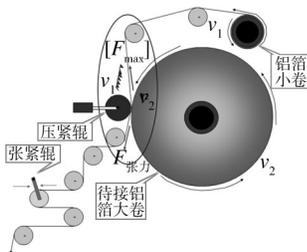


图1 降速换卷工作原理

Fig.1 Working principle of the reel change at a lower speed of the aluminum foil

WHO:与人无关系,因为各班都有出现。

WHAT:与材料无关系,所有铝箔及不同批号都出现接后断幅现象。

WHERE:复合机接铝箔单元(压辊、切刀、双面

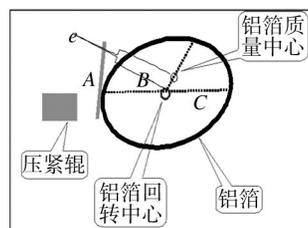


图2 铝箔张力形成原理

Fig.2 Formation principle of the foil tension

胶、铝箔大卷、在跑铝箔)。

WHICH:在铝箔接头的瞬间,在图1划圈区间内发生断幅。经检查,双面胶粘性没问题,有时断头在双面胶前,有时断头在双面胶后。在断铝箔后,马上产生整幅报废,必须立刻降速,重新引入铝箔。

WHEN:在压辊动作前,不会断幅。断幅常常发生在压幅动作后和待接卷开始保持张力之时。

HOW:将车速降低后有好转。

## 1.2 降速换卷时铝箔张力分析

铝箔在降速换卷过程中,发生断幅的原因是实际工作应力大于许用应力,而实际工作应力增大的主要原因来自于换卷降速所带来的变化。根据供应商提供的数据,铝箔的抗拉强度为60~75 MPa。由此推算出<sup>[2-7]</sup>铝箔许可张力:

$$[F]=p \cdot S=568 \sim 710 \text{ N}$$

式中, $p$ 为抗拉强度,MPa; $S$ 为铝箔横截面积, $\text{m}^2$ 。

铝箔中的张力主要由张紧辊张力、新旧卷瞬间速度差引起的张力、接铝箔间因摩擦加强的张力等3个

部分组成,用公式表示为:

$$F_{\text{张力}}=F_1+F_2+F_3 \quad (1)$$

式中,  $F_1$ 为张紧辊张力,其设定值为200 N;  $F_2$ 为新旧卷瞬间速度差引起的张力,  $F_2=f_2(v_1-v_2)$ , 其中  $v_1, v_2$ 分别为换卷瞬间旧卷和新卷的速度;  $F_3$ 为接铝箔瞬间因摩擦加强的张力,  $F_3=F_{\text{摩}}=\mu N$ ,  $\mu$ 为铝箔卷与压辊的摩擦系数,  $N$ 为铝箔与压紧辊之间的压力。  $N$ 的计算公式为:

$$N=N_{\text{压辊}}+F_{\text{离心}}=f(N_{\text{压辊}}, F_{\text{离心}}, \alpha)$$

式中,  $F_{\text{离心}}$ 为铝箔卷的离心力,  $F_{\text{离心}}=me\omega^2$ ,  $m$ 为新铝箔卷的质量,  $\omega$ 为运转铝箔偏心率,  $e$ 为铝箔卷的角速度;  $N_{\text{压辊}}$ 为压紧压力,即压辊本身压向铝箔的压力;  $\alpha$ 为运动离心力方向角。由此:

$$N=f(N_{\text{压辊}}, m, e, \omega^2, \alpha)$$

$$F_3=f_3(\mu, N_{\text{压辊}}, m, e, \omega^2, \alpha)$$

$$F_{\text{张力}}=F_1+f_2(v_1-v_2)+f_3(\mu, N_{\text{压辊}}, m, e, \omega^2, \alpha) \quad (2)$$

根据实际操作实验,对设备操作改进的影响因素进行分析。

1) 张紧辊张力  $F_1$ 。根据加工工艺要求,设定张紧辊张力为200 N,不论张紧辊位移有多大,该值保持不变。

2) 压辊压力  $N_{\text{压辊}}$ 。指压辊压上新铝箔卷到离开新铝箔卷时,对所压铝箔速度影响的作用力。其大小和压辊质量、设备所施加给压辊的压力成正比关系,而压辊质量不能变化,因而,压力减小是正确的调整趋势。

3) 铝箔偏心率  $e$ 。由铝箔在绕制过程中不均匀或铝箔材质不均匀导致,指运动铝箔卷重心偏离其回转中心的程度(图2)。偏心率是决定离心力大小的因素,运转的新铝箔卷偏心率越大,离心力也越大。

4) 运动离心力方向角  $\alpha$ 。指在铝箔运动过程中其质心的离心力与压紧辊压力之间的角度,范围为  $0 \sim 360^\circ$ 。运动离心力方向角决定离心力的方向,其张力影响情况见表2。故降低偏心率是降低离心力的方法之一。

5) 速度差  $(v_1-v_2)$ ,指跑铝箔速度  $(v_1)$ 与铝箔卷线速度  $(v_2)$ 的差值。因接铝箔前在线速度保持不变,故  $v_1$ 是不变量。由于铝箔卷线速度  $v_2$ 波动(见图3),因此需对  $v_2$ 进行研究,通过调整使  $v_1$ 与  $v_2$ 的差值接近0。

铝箔同步驱动原理见图4,可分析得出影响因

表2 运动离心力方向角对张力的影响

Tab.2 Effects of the centrifugal force direction angle on the tension

方向角 $\alpha / (^\circ)$	示意图	影响情况
0 和 360		铝箔离心力作用在接头上的张力最小。
0~180 和 180~360		铝箔离心力作用在接头上的张力在一定范围。
180		铝箔离心力作用在接头上的张力最大。

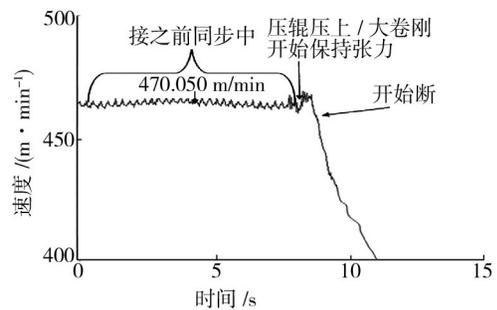


图3 换卷所引起的速度变化

Fig.3 The speed change during the aluminum foil unwind real change

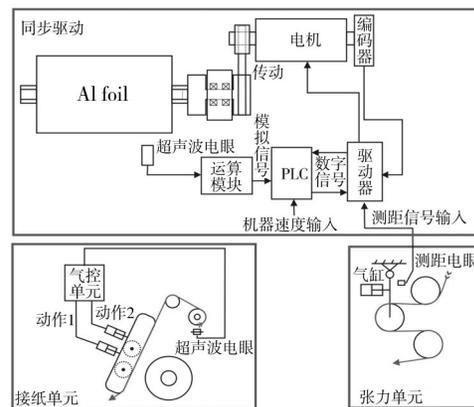


图4 铝箔同步驱动原理

Fig.4 Principle diagram of aluminum foil synchronous driving 素<sup>[8-15]</sup>,见图5。

## 2 实验调整

根据铝箔降速换卷中可能存在的问题,进行一系

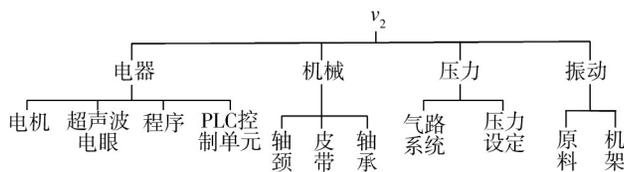


图5 铝箔卷线速度影响因素

Fig.5 Analysis of the influencing factors of  $v_2$

列实验改进研究,具体情况见表3。

通过实验改进,铝箔速度差由原来的5~10 m/min降为1~3 m/min。在工厂只能监测铝箔最大直径与最小直径差值的变化,铝箔偏心度由其原来的4~9 mm变为1~3 mm。对其车速与铝箔速度进行跟踪测量,其测量数据见图6—7。

表3 铝箔换卷改进实验情况

Tab.3 Improvement of aluminum foil reel change

可能的问题	评估机器、人员、材料和方法的影响		改进方法	
	一级原因	二级原因	最佳条件	测量(方法/工具)
$v_1 \neq v_2$ , 在跑铝箔速度和待接铝箔速度差异大	电机输出不稳定	PLC控制控制速度	出现错误信号为:	PLC程序检查
		系统有问题	Module defective	与新编码器实验比较
	马达传动系统不稳定	编码器测速误差大	齿条高度不小于2.5 mm	
		皮带打滑	齿条高度不小于2.5 mm	卡尺检查
待接新铝箔卷运行时离心力大	待接新铝箔卷	带轮运行时偏心度大	正常位移小于2 mm/s	测震仪检测
	运行时偏心度大	新铝箔卷自身偏心度大	直径误差小于4 mm	卡尺检查
压辊阻力大	气缸压力太大	检查超声波电眼位置不准确	直径最大误差小于5 mm	卡尺检查
		检查铝箔卷偏心度大	偏心度小于0.3 mm	调整绕卷应力 55 MPa
		气缸压力设定太大	偏心度小于4 mm	到45 MPa
			0.25 MPa	降低设定值

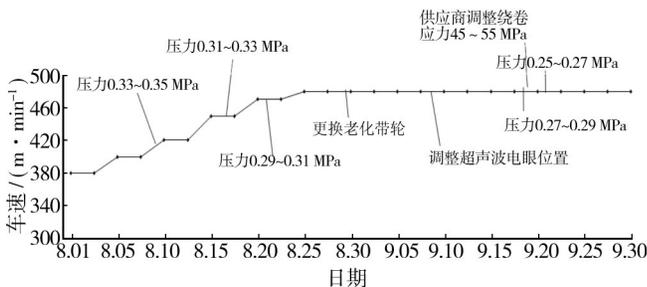


图6 车速变化

Fig.6 The speed change chart

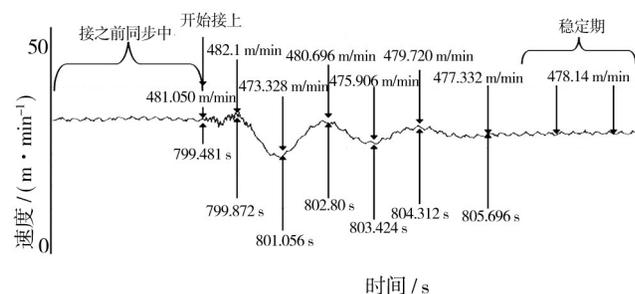


图7 改进后铝箔换卷时铝箔速度变化

Fig.7 The speed change during the reel change of aluminum foil after the improvement

### 3 结语

通过对复合机铝箔换卷的速度损失进行实验研究,可以得知,通过调整影响速度差的一系列因素,采用减小压辊压力、铝箔偏心度等措施,不但可以减少换圈时的速度降幅,而且可以使换卷时的速度变化减小,改善了降速换卷中容易断幅的问题,OEE达到92.1%,提高了生产效率。

### 参考文献:

[1] 沈昕,严新民.设备使用效率测评方法研究[J].机床与液压,2007(5):75—79.  
SHEN Xin, YAN Xin-min. Research on Measurement of Equipment Utilization Factor[J]. Hydromechanics Engineering, 2007(5):75—79.

[2] 张磊.复合机生产线中的恒张力控制系统[J].电气自动化,2003(5):70—73.  
ZHANG Lei. The Control System of Constant Strain in Compound Product Line[J]. Electrical Automation, 2003(5):70—73.

- [3] 韩翠艳,李大纲.干式复合机张力控制的研究[J].包装工程,2004,25(4):184—186.  
HAN Cui-yan, LI Da-gang. Study on Tension Control of Dry Compound Machine[J]. Packaging Engineering, 2004, 25(4): 184—186.
- [4] 禹恒洲,鲁五一,郭爱红,等.复合机恒张力控制系统[J].电气传动,2007(3):37—40.  
YU Heng-zhou, LU Wu-yi, GUO Ai-hong, et al. Compound Device Constant Tension Control System[J]. Electric Drive, 2007(3):37—40.
- [5] 宋晓亮,张伟,许卓.立式铝箔分切机主控制系统分析[J].制造业自动化,2012,34(12):127—129.  
SONG Xiao-liang, ZHANG Wei, XU Zhuo. Vertical Analysis of Main Control System for Aluminum Foil Slitting[J]. Manufacturing Automation, 2012, 34(12): 127—129.
- [6] FUNATO H, KAWAMURA A. Proposal of Variable Active-passive Reactance[C]// IECON' , 1992 Proceedings, 1992: 381—388.
- [7] FUNATO H, KAWAMURA A. Analysis of Variable Active-passive Reactance[C]// PCC-Yoko Hama' 1993, 1993: 647—652.
- [8] 蔡建,詹永富,胡秉飞.复合材料密封包装容器干燥控湿设计研究[J].包装工程,2014,35(3):112—116.  
CAI Jian, ZHAN Yong-fu, HU Bing-fei. Moisture-proof and Humidity-control Design of Sealed Composite Packages[J]. Packaging Engineering, 2014, 35(3): 112—116.
- [9] 江谷.复合软包装材料与工艺[M].南京:江苏科学技术出版社,2003.  
JIANG Gu. Materials and Technology of Compound Soft Packaging[M]. Nanjing: Jiangsu Science and Technology Press, 2003.
- [10] 刘海江,段思斌. Pesemel 全自动钢卷包装生产线工艺研究分析[J].包装工程,2013,34(21):61—65.  
LIU Hai-jiang, DUAN Si-bin. Pesmel Fully Automatic Coil Packaging Line[J]. Packaging Engineering, 2013, 34(21): 61—65.
- [11] JACSSENS L, DEVLIEGHERE F, VANDER S C, et al. Effect of High Oxygen Modified Atmosphere Packaging on Microbial Growth and Sensorial Qualities of Fresh-cut Produce[J]. International Journal of Food Microbiology, 2001, 71(2-3): 197—210.
- [12] BONIFACIO G, LO S A, MARINO P, et al. A New DSP Controlled Shunt Active Filter for Non Ideal Supply Conditions [C]// IEEE PESC' 2000:2000
- [13] HINGORANI N G. Introducing Custom Power[J]. IEEE Spectrum, 1995, 32(6):41—48.
- [14] 杨祖彬,曾莉红.基于食品安全的我国食品包装机械技术发展路径探讨[J].包装工程,2011,32(13):117—121.  
YANG Zu-bin, ZENG Li-hong. Discussion on Technical Development Path of China's Food Packaging Machine Based on Food Safety[J]. Packaging Engineering, 2011, 32(13): 117—121.
- [15] 蔡锦达,蒋振飞.基于WebSocket的印刷包装机械远程监控方法的研究[J].包装工程,2013,34(15):87—90.  
CAI Jin-da, JIANG Zhen-fei. Remote Monitoring and Control Method for Printing and Packaging Machinery Based on WebSocket[J]. Packaging Engineering, 2013, 34(15): 87—90.

(上接第29页)

- LU Fu-de, TAO Wei-ming, GAO De. Dynamic Response of a Series Cushioning Packaging System Made of Multi-layer Corrugated Paperboard[J]. Journal of Vibration and Shock, 2012, 31(21):30—32.
- [10] 卢富德,陶伟明,高德.串联缓冲系统冲击响应与结构优化分析[J].浙江大学学报(工学版),2012,46(10):1773—1777.  
LU Fu-de, TAO Wei-ming, GAO De. Impact Response of Series Cushioning System and Structure Optimization Analysis [J]. Journal of Zhejiang University (Engineering Science), 2012, 46(10): 1773—1777.
- [11] 卢富德,高德.考虑蜂窝纸板箱缓冲作用的产品包装系统跌落冲击研究[J].振动工程学报,2012,25(3):335—341  
LU Fu-de, GAO De. Study on Drop Impact of Packaging System Considering the Cushioning Action of Honeycomb Paperboard Box[J]. Journal of Vibration Engineering, 2012, 25(3): 335—341.
- [12] 彭颀,薛飞,周强.道路不平顺激励下车辆运输非线性包装系统动力学响应[J].包装工程,2014,35(7):17—21.  
PENG Ting, XUE Fei, ZHOU Qiang. Dynamic Response of Transport Nonlinear Packaging Systems to Uneven Road Excitation[J]. Packaging Engineering, 2014, 35(7): 7—10.