

# 链板输送机拐点“变速效应” 损纸初探



作者简介：龙 梁先生，  
工程师；研究方向：输  
送包装设备。

龙 梁 欧 文 王 钊

(长沙长泰智能装备有限公司, 湖南长沙, 410117)

**摘 要：**提出了链板输送机拐点“变速效应”的概念，并对纸卷经过2台链板输送机结合部时由于拐点“变速效应”对纸卷造成损伤的过程进行分析，得出了链板输送机损纸只能适当减轻而无法免除的结论。

**关键词：**链板输送机；拐点“变速效应”；纸卷；损纸

**中图分类号：**TS734+.7 **文献标识码：**A **DOI：**10.11980/j.issn.0254-508X.2021.01.008

## Preliminary Study of Paper Damage Caused by Inflection-point-speed-change Effect on Slat Conveyor

LONG Liang\* OU Wen WANG Zhao

(Chaint Corporation, Changsha, Hu'nan Province, 410117)

(\*E-mail: longliang@chaint.net)

**Abstract:** This paper proposed a concept named as inflection-point-speed-change effect. It occurred at the inflection point of slat conveyor. By analyzing the process of paper damage at the joint part of two slat conveyors caused by this inflection-point-speed-change effect, it was concluded that this kind of damage was inevitable when the paper rolls were being conveyed by slat conveyor.

**Key words:** slat conveyor; inflection point speed change effect; paper roll; paper damage

链板输送机具有结构简单、承载能力强、维护方便等优点，在造纸行业得到广泛应用，但由于链板输送机自身的一些固有特性，决定了其在输送纸卷过程中会对纸卷表面产生不同程度的损伤，又称为“输送损纸”，常见的损伤有擦痕、褶皱（包括死纹和活纹）、破损等（见图1）。随着市场的发展，纸卷用户对纸卷外观由过去的对“输送损纸”的默许变为既不接受纸卷表层破损，也不允许表层出现轻微褶皱，造纸企业在成品纸卷出售后一旦出现“输送损纸”往往只能采取降低等级、价格打折甚至退货来处理，从而造成较大的经济损失和信誉损伤，为减轻或避免出现“输送损纸”，造纸企业往往会对链板输送机供应商提出降低损纸甚至不允许出现“输送损纸”的要求。由于相关行业内缺乏对链板输送机“输送损纸”的基础研究，对链板输送机“输送损纸”缺乏共识，造成链板输送机供应商在面对造纸厂家提出的难以实现的整改要求时，被迫开展大量无效的改进工作，造成不必要的浪费。为此，

本文提出了链板输送机拐点“变速效应”的概念，并对拐点“变速效应”导致“输送损纸”的过程进行具体分析，以明确链板输送机在纸卷输送过程中，特别是在相邻链板输送机之间的过渡区域出现某些类型的“输送损纸”是不可避免的，同时也为行业内分析链板输送机在输送纸卷过程中产生“输送损纸”提供支持。

### 1 链板输送机结构

造纸企业常用的链板输送机（结构见图2），主要由机架（头架、尾架、中间架）、轨道、输送链板（含顶板）、减速电机等组成。通常情况下纸卷自然摆放在输送链板顶板上，并随链板的运动而向前输送，在实际输送纸卷过程中，一般是多台链板输送机首尾相连构成一套纸卷链板输送线，并在对接的2台输送机之间设有过渡辊（见图3）或其他过渡装置<sup>[1-2]</sup>。

收稿日期：2020-08-24（修改稿）



(a) 活纹



(b) 破损

图1 常见输送损纸纸病

Fig. 1 Common kinds of paper damage

## 2 拐点“变速效应”

### 2.1 拐点“变速效应”的概念

图4为一种型号的链板输送机尾部示意图,图4中点 $a$ 、 $b$ 、 $c$ 、 $d$ 对应链板输送机导轨面上的4个点,其中 $ab$ 段为直线, $bc$ 段为圆弧, $cd$ 段为直线,点 $b$ 和点 $c$ 为拐点;点 $P1$ 、 $P2$ 、 $P3$ 、 $P4$ 对应链板输送机链节的滚轮中心;点 $O1$ 为导轨圆弧段的中心,点 $O2$ 为链节 $P2P3$ 的瞬心。假设链板输送机的链节顶板以 $24\text{ m/min}$ 的速度沿导轨面输送纸卷,当某一链节的两个滚轮都在 $ab$ 段时链板做平动,对应链节顶板的线速度为 $24\text{ m/min}$ ;当前滚轮通过 $b$ 点时链节开始做变心转动,其线速度由 $24\text{ m/min}$ 逐渐上升到 $31.75\text{ m/min}$ (指链节顶板输送面上距瞬心最远点的速度,下同);当后滚轮通过 $b$ 点时,链节做定心转动,其线速度为 $31.75\text{ m/min}$ ;当前轮通过 $c$ 点时,链节又开始做变心转动,其线速度由 $31.75\text{ m/min}$ 逐渐下降到 $24\text{ m/min}$ ;当后滚轮通过 $c$ 点时,链节又开始做平动,其线速度变为 $24\text{ m/min}$ 。由此可见,每当滚轮通过导轨的拐点(导轨面由直线变化为圆弧或圆弧变化为直线)时,

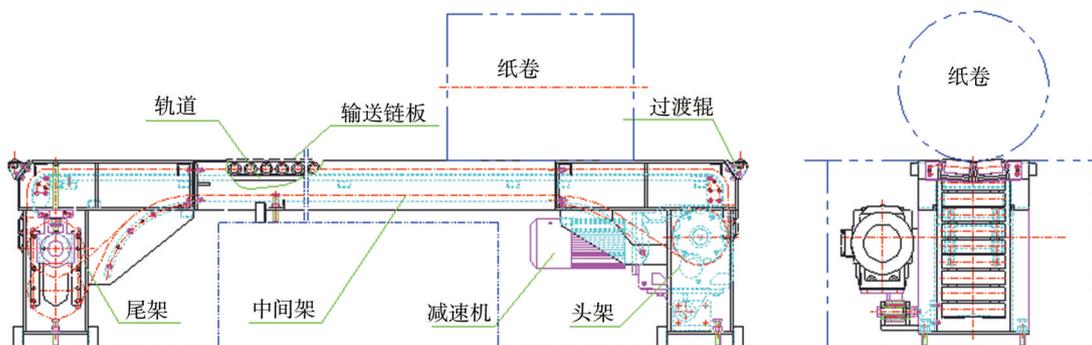


图2 链板输送机结构简图

Fig. 2 Structural sketch of slat conveyor

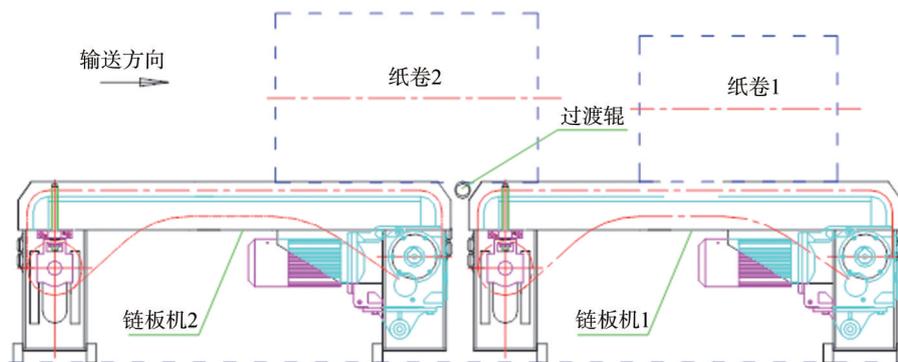


图3 链板输送机运纸示意图

Fig. 3 Paper rolls conveyed by slat conveyors



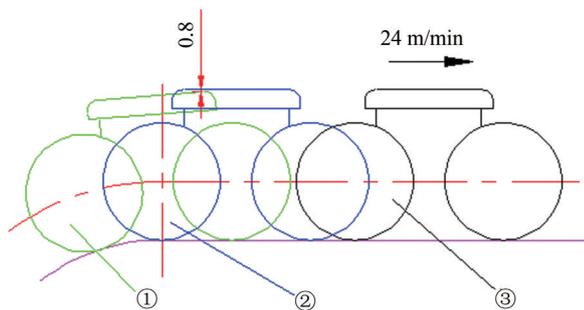


图6 链节在不同位置

Fig. 6 Chain link at different position

表1 不同变形量对应的相对滑动量

Table 1 Slip distance corresponding to the deformation

纸卷凸出量 /mm	名义输送速度 /m·min <sup>-1</sup>	接触点线速度水平分量/m·min <sup>-1</sup>	相对滑动量 /mm
0.80	24	28.24	2.87
0.50	24	26.94	1.64
0.30	24	26.73	1.17
0.15	24	25.93	0.59

面留下擦痕(见图7);反之,如果链节顶板与纸卷表层纸张之间的摩擦力大于表层纸张与内层纸张之间的摩擦力(暂不考虑表层纸张因相对滑动趋势而产生的拉伸张力),链节顶板与纸卷的相对滑动则发生在外层纸张与内层纸张之间,这种纸张之间的相对滑动会导致外层纸张在两块顶板之间的空档处产生隆起(见图8)。



图7 纸卷上的链板擦痕(拖影)

Fig. 7 Scratches on paper roll caused by chains

纸卷内、外层之间因相对滑动而产生的隆起高度与相对滑动量有关,同时还与纸张的伸长率、滞弹性等因素有关,本文仅考虑相对滑动量的影响。在图5(b)中,假设纸卷的有效凸出量为0.15 mm,表1的

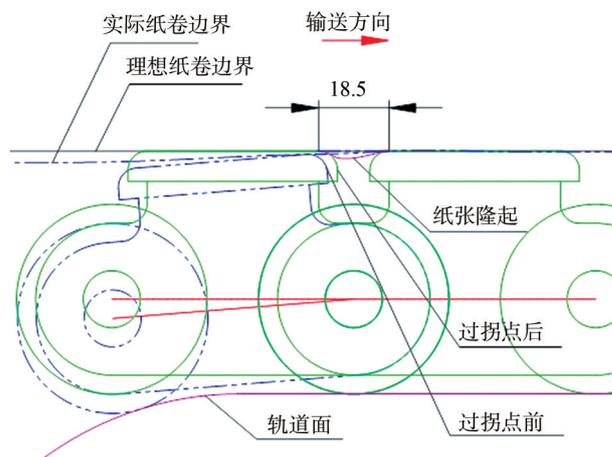


图8 纸张隆起过程示意图

Fig. 8 Process of paper protuberate

数据显示纸张之间将产生0.59 mm的相对滑动量,通过AutoCAD作图模拟得出隆起高度约为1.99 mm(见图9(a));如果有效凸出量为0.30 mm,同样作图模拟得出隆起高度则达到2.75 mm(见图9(b))。由此可见,纸卷即使只产生微小(如0.15 mm)的凸出变形,在拐点“变速效应”的作用下,纸卷表面也有可能产生明显的隆起,该隆起可能在纸卷表面直接形成死纹,或者先形成活纹然后随着纸卷经过多台链板输送机逐渐发展为死纹,造成“输送损纸”。

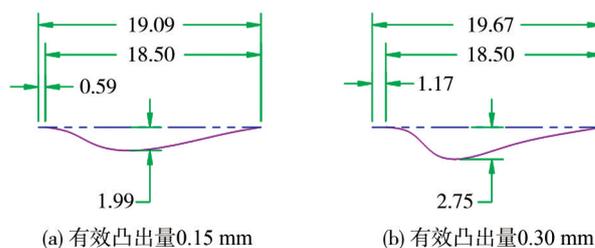


图9 隆起高度模拟图

Fig. 9 Height of paper protuberate by simulation

### 2.3 拐点“变速效应”的损纸特征

拐点“变速效应”对不同种类的纸卷会产生不同的影响,具体有褶皱、擦痕、破损等。拐点“变速效应”导致纸卷上产生的褶皱,一般具有如下特征。

#### 2.3.1 损纸纹路朝前

当纸卷通过2台链板输送机的过渡区域时,纸卷在离开前1台链板输送机或者进入后1台链板输送机,链节顶板在拐点处的速度均比纸卷的速度要快,即链节顶板相对纸卷均是向前滑动,由此产生的隆起则呈现向前倾倒的纹路。

褶皱纹路朝前是拐点变速效应引起褶皱的典型特征，与过渡辊碾压引起的褶皱纹路朝后有着明显区别。

### 2.3.2 损纸出现在纸卷两端

图10表示纸卷从左向右输送，纸卷前端面刚离开拐点一段距离的状态，并假定链节顶板与纸卷表层纸张之间的摩擦力显著大于表层纸张与内层纸张之间的摩擦力。此时，发生变速的链节会带动表层纸张相对内层纸张向右滑动，由于纸卷前端悬伸部分处于自由状态(不受链板承托)，向右滑动的纸张有足够的退让空间，因此不会隆起(不考虑自重引起的塌陷)。图11为纸卷骑跨在2台链板输送机之间的状态，此时，对于左侧输送机而言，当变速链节带动表层纸张相对内层纸张向右滑动时，该链节右侧的纸张也是自由状态(悬空部分不受链板承托)，滑动的纸张同样也有足够的退让空间(对于常规链板输送机纸卷悬空部分长度约380 mm)，因此也不会隆起。但是，对于右侧输送机而言，当变速链节带动表层纸张相对内层纸张向右滑动时，该链节右侧的纸张受链板承托，滑动的纸张失去了退让空间，只能在2块顶板之间形成隆起，进而发展为皱纹。与此同时，每形成1个隆起均会使悬空部分的表层纸张被拉伸1次，悬空部分表层纸张的内部张力也随之增大一些，在形成数个隆起之后，内部张力增大到可以阻碍纸层之间的相对滑动，隆起不再产生，纸卷表面也就不再产生新的皱纹。纸卷继续向右输送，当纸卷后端面与左侧输送机脱离接触时，纸卷内部张力得以释放，纸层之间的相对滑动重新产生，隆起和皱纹会重新出现。以上过程会反复出现在每台链板输送机的进出端。

如果2台输送机之间未设置过渡辊或者过渡辊安装位置过低，纸卷通过时悬空部分较长，由拐点“变速效应”引起的皱纹纹路会较多(一般会出现4~5道)。如果2台输送机之间设置过渡辊且高度合适，纸卷通过时悬空部分会缩短1/2，由拐点“变速效应”引起的皱纹纹路会减少(一般会出现2~3道)。需要注意的是，使用过渡辊往往会在纸卷表面留下纹路朝后的碾压皱纹造成另一种形式的损纸，因此是否使用过渡辊需要根据生产需求进行取舍。

以上对纸卷通过2台链板输送机过渡区域的过程进行分析，可以得出拐点“变速效应”引起的褶皱主要出现在纸卷两端的推论。

### 2.3.3 损纸的随机性

一般情况下，纸卷由拐点“变速效应”引起的褶皱都是随机出现，原因主要有3方面。

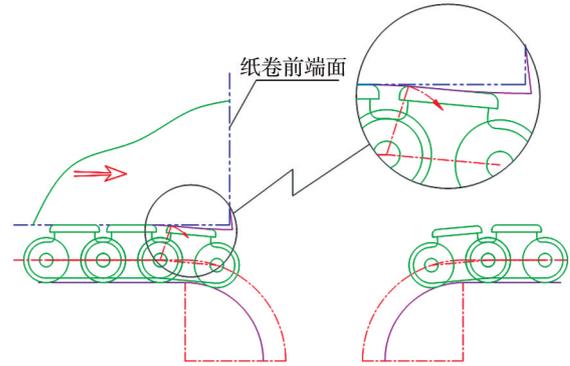


图10 纸卷开始离开左侧输送机

Fig. 10 Paper roll begins to leave the left conveyor

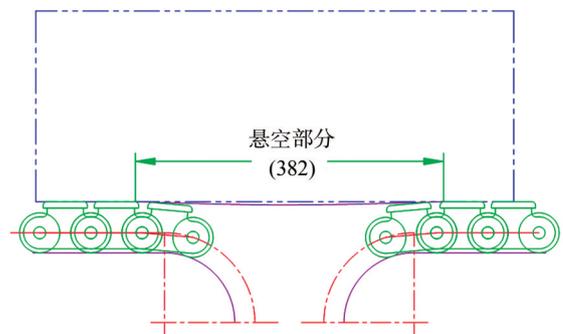


图11 纸卷骑跨2台输送机之间的过渡区示意图

Fig. 11 Paper roll across the transition zone between two conveyors

(1) 输送链板制造精度较低导致相邻链板之间存在高度差。当骑跨在2台链板输送机过渡区的纸卷塌陷变形量很微小时，拐点“变速效应”导致的纸卷与链节顶板之间的滑动不足以产生褶皱，但是由于相邻链节顶板的高度存在制造偏差(偏差一般为 $\pm 0.5$  mm)，较高的顶板会在图6所示位置②之前提前更多时间与纸卷接触，纸卷与链节顶板的相对滑动量变大，加剧拐点“变速效应”的后果，从而导致褶皱产生。考虑到较高链节顶板在输送机上出现的位置不确定，因此纸卷由于链节顶板高度偏差加剧拐点“变速效应”而引起的褶皱也是随机的。

(2) 多边形效应。在链传动中，即使主动链轮作等角速度回转，链条前进的瞬时速度也会周期性地由小变大又由大变小，这就是链传动的“多边形效应”<sup>[3]</sup>。链板输送机的输送过程本质上就是链传动，在实际使用中既不能消除“多边形效应”，也无法采用常规方法对多边形效应进行补偿<sup>[4]</sup>，因此常规的链板输送机必然存在多边形效应。每台链板输送机在运行时链轮的相位各不相同，如果2台对接链板输送机链轮的相

位差接近 $\frac{\phi}{2}$  ( $\phi$ 为链轮上单个链节对应的中心角),那么在纸卷通过时,“多边形效应”会导致纸卷与链板之间产生往复性滑动,对于常规链板输送机该往复滑动量最大约0.6 mm,按照上文的分析该滑动量会形成明显的皱纹。由于“多边形效应”导致纸卷与链板之间产生的往复滑动,约有50%的概率与拐点“变速效应”产生的滑动量相叠加从而加剧褶皱的产生;另有50%的概率使二者之间的滑动量相抵消从而减轻褶皱的产生。考虑到2台链板输送机的运行相位差为 $0 \sim \phi$ 之间的随机值,纸卷与链节顶板之间是否发生往复滑动以及往复滑动是否叠加均是不确定的,因此纸卷褶皱的出现与否以及出现褶皱的严重程度也是不确定的。

(3) 纸张的定量或厚度等不均匀。纸张的定量或厚度等不均匀,导致纸张之间摩擦系数不均匀,纸卷在相同条件下输送时,纸张之间是否产生滑动具有一定随机性,而且发生滑动后的滑动量也不确定,因此,褶皱的产生在纸卷输送过程中是随机的。

#### 2.4 纸卷直径的影响

上文为便于理解把输送链板的顶板简化为1个平面,纸卷横断面与链节顶板接触于1个点,而实际上链节顶板中部有1个V形面,纸卷与链节顶板存在2个接触点,且纸卷与链节顶板接触点的位置随不同直径的纸卷有所不同,输送的纸卷直径越大,接触点与滚轮中心线的垂直距离就越接近链节顶板顶面相对滚轮中心线的垂直距离,发生拐点“变速效应”时链节顶板与纸卷之间的相对滑动量就越接近上文简化模型下的计算结果。图12为直径分别为500、800、2000 mm的纸卷放置在输送机V形链板上,理论接触点与滚轮中心的垂直距离分别是33.03、34.18、38.75 mm,经计算,接触点的线速度分别为26.89、27.83、31.55 m/min,该组数值虽然未超过链节顶板最高点的线速度31.75 m/min,但是与链板输送机的

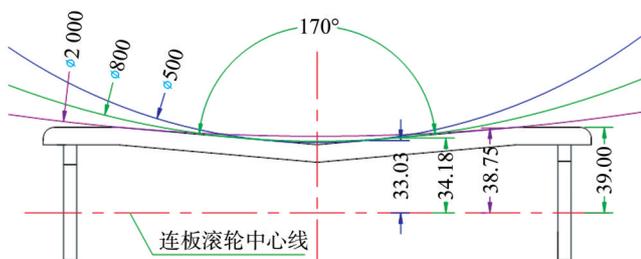


图12 不同直径纸卷与链板V形面接触示意图

Fig. 12 Paper rolls with different diameters contact with the surface of V-shaped chain

线速度24 m/min相比仍然较大,即使在实际生产中很少出现直径为500 mm小纸卷,其接触点的线速度26.89 m/min也比纸卷输送速度24 m/min明显要大,由此可见,无论纸卷直径大小如何,在使用链板输送过程中均存在拐点“变速效应”的影响。

### 3 结论

**3.1** 纸卷在输送过程中处于相邻输送机过渡区域时,即使只产生微小的塌陷变形,在链板输送机拐点“变速效应”的作用下,表层也可能产生较明显的损纸。

**3.2** 输送链板制造精度较低致使相邻链板之间存在高度差,会加剧拐点“变速效应”的发生,导致纸卷输送时损纸。

**3.3** 链传动产生的“多边形效应”不但会导致损纸,而且有50%的概率加剧拐点“变速效应”的影响,从而导致损纸的发生。

由于纸卷在输送过程中必然会产生微小变形、链板及顶板的制造精度难于做到零误差、链传动的“多边形效应”无法完全消除,因此,纸卷在通过前后2台链板输送机的过渡区域时拐点“变速效应”引起的损纸是客观存在的,如果造纸企业出现的损纸现象符合上文描述的特征,那么在排出链板输送机本身可能存在的原因后,不必继续从设备方面寻求解决方案,而应另辟新径采取设备之外的措施,比如在纸卷下加垫隔离物、更换包装纸种类、修改工艺提高纸张之间的摩擦系数等。

### 参 考 文 献

- [1] 美卓造纸机械公司. 卷处理设备:200890100211. 0[P]. 2011-04-13. Metso Paper Machinery Co., Ltd. Rolls Handling Equipment: 200890100211. 0[P]. 2011-04-13.
- [2] 李子江. 一种输送机过渡装置及输送机:201821401273. 7[P]. 2019-05-14. LI Z J. One Kind of Conveyor Transition Device and the Conveyor: 201821401273. 7[P]. 2019-05-14.
- [3] 西北工业大学机械原理及机械零件教研室. 机械设计[M]. 北京: 高等教育出版社,1996. Teaching and Research Section of Mechanical Principle and Mechanical Parts of Northwest Polytechnic University. Mechanical Design [M]. Beijing: High Education Press, 1996.
- [4] 李 晓,洪 林,李德胜. 链传动多边形效应的一种补偿方法[J]. 天津理工大学学报,2008,24(1):11-13. LI X, HONG L, LI D S. Compensation method for the polygon-effect of chain-transmission[J]. Journal of Tianjin University of Technology, 2008, 24(1): 11-13. CPP

(责任编辑:董凤霞)