

# 单自由度无级变步距输纸机的设计

陈朋飞, 蔡吉飞, 吕传东

(北京印刷学院 信息与机电工程学院, 北京 102600)

**摘要:** 为了使输纸装置能够满足不同类型输纸设备的要求, 输纸设备的输纸步距必须是可以改变的。对 V 形带式、行星环锥式、双电机控制式等几种无级变速机构原理进行了计算分析, 对其在输纸机上运用的可能性进行了探讨。结果表明, 要实现单自由度无级调速控制输纸机步距, 最好的方案是采用双组 V 形带式无级变速装置。

**关键词:** 变步距; 输纸机; 无级变速

**中图分类号:** TS803

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1004-8626(2011)04-0029-04

## Design of Single Freedom Stepless Variable Step Feeding Device

CHEN Peng-fei, CAI Ji-fei, LV Chuan-dong

(School of Information and Mechanical Engineering, Beijing Institute of Graphic Communication, Beijing 102600, China)

**Abstract:** In order to make the paper feed machine satisfying different types of equipment requirements, first of all, the step of the paper feed machine must be changeable. By giving an computational analysis and possibility discussion of different kinds of stepless speed institutions' organization principle such as V-belt, planetary ring cone, dual variable speed motor-control agencies, we find that the best program to realize the paper feed machine's single freedom stepless variable speed control is to use double V-belt stepless speed change device.

**Key words:** variable step; paper feed machine; stepless speed change

目前, 大部分输纸机的步距(相邻两张纸咬口之间的距离  $S_0$ ) 是固定不变的, 主要原因是输纸机的飞达和输纸板之间是固定传动比。要配置不同步距的印刷机, 就要调整飞达与输纸板的传动比, 由于传动比的不同, 可能会导致相应部件或结构的重新设计。覆膜机或数码标签印刷机等设备对输纸步距的要求是必须能够在大范围内进行无级调节。通常, 纸张步距的调节可能会达到纸张前进方向幅面尺寸的一半以上, 这样大的步距改变在传统

输纸机上通过改变齿轮或链轮的传动比来实现是非常困难的。要实现输纸步距的无级调节, 最简单的办法就是采用两个自由度机构单独控制飞达和输纸板上接纸辊的速度, 由于要增加一套控制系统, 电气成本会有较大提高。因此, 研制一种单自由度变步距的输纸机已经成为现在印刷设备市场的迫切要求。

文献[1]介绍了一种带式输纸机, 该输纸机采用棘轮机构实现多步距输纸功能, 其机构能实现集中固定步距调节, 但只适用于少数输纸类设备。文献[2]介绍了一种多步距输送带, 该输送带设计出了几种步距, 其步距的变化不是连续的, 主用应用于组合机床自动线。文献[3]介绍了一种可变步距自动送料装置, 该装置采用机械机构和气动元件相结合的方法实现可变步距自动送料, 但机构复杂, 且仅适用于简单的平面传送装置。文献[4]介绍了一种变步距平面传送冷床, 该设备主要通过偏心轮和可调摆杆机构实现步距的连续变化。文献[5]介绍了一种可变步距输纸设备, 该设备通过改变两个电机的速差实现无级可变步距输纸, 输纸效果好, 但控制元件增加, 成本高。文献[6]介绍了一种激光闭环变步距步进伺服系统, 该系统采用步进电机细分驱动原理实现步距间断性变化, 电器元件设计复杂, 适用于高精度数控机床。

本文通过对 V 型带式、行星环锥式、双电机控制式等几种无级变速机构进行计算分析, 研究其在无级变步距输纸机上运用的可能性, 以满足输纸类设备不同的输纸步距要求。

## 1 输纸机工作原理

输纸机是输纸类设备的重要组成部分, 按照其输纸步距大小可分为 3 种类型(见图 1~图 3), 分别适用于传统印刷机、覆膜机和数码标签印刷机。

### 1.1 印刷机的输纸机

从图 1 可以看出, 飞达和输纸板之间的传动比

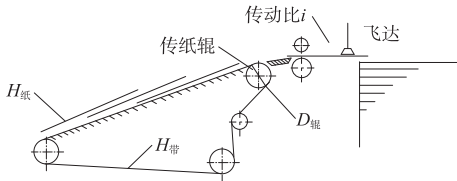


图1 印刷机的飞达和输纸板结构简图

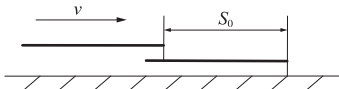


图2 覆膜机输纸示意图

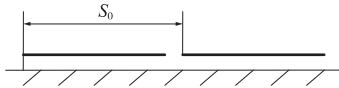


图3 数码标签印刷机输纸步距

是固定不变的。假定两部分之间的传动比为  $i$ , 接纸辊的直径为  $D_{\text{辊}}$ , 皮带厚度  $H_{\text{带}}$ , 纸张厚度  $H_{\text{纸}}$ , 则传纸辊带动纸张向前运动的距离, 即输纸步距为:

$$S_0 = (D_{\text{辊}} + 2H_{\text{带}} + 2H_{\text{纸}}) \pi \omega_{\text{飞达}} i$$

当纸张的厚度变化或输纸带磨损时, 输纸相位也会有所变化。不同幅面的印刷机, 输纸步距会有较大变化。

## 1.2 覆膜机的输纸机

如图2所示, 为了保证对不同幅面的纸张都能进行覆膜, 纸张尾部需要重叠 3~5mm 的距离, 且输纸步距必须任意可调。输纸步距的调节是通过安装在输纸机上的专用变步距调节电机实现的, 其步距调节范围小于最大纸张幅面即可。

## 1.3 数码标签印刷机的输纸机

如图3所示, 对于不同幅面的纸张, 前一张纸尾和后一张纸头的距离越小越好, 这样, 数码印刷设备的利用率就会更高。数码印刷机和上述两种印刷机不同, 有时其输纸机是间歇式的, 有时是连续的。因此, 其步距调节范围一般都比较大。

目前, 无级变步距输纸机均采用两个自由度机构单独控制飞达和输纸板上接纸辊的速度。考虑到成本因素, 若能用单自由度调速机构取代双自由度调速机构, 将给用户带来较大的便利。

## 2 常用单自由度无级调速机构原理分析

单自由度无级调速机构主要有两大类: 脉动式和摩擦式。迄今为止, 还没有找到按比例输出的单自由度无级调速机构。

### 2.1 脉动式无级调速机构(图4~图7)

图4所示为单自由度脉动杆式无级调速机构,

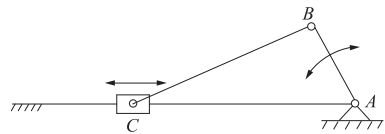


图4 单相曲柄摇杆无级变速

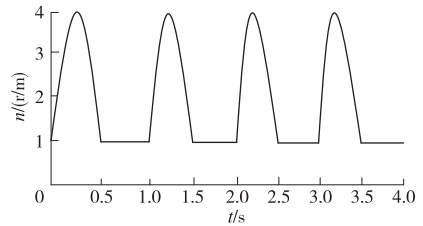


图5 单相曲柄摇杆输出曲线

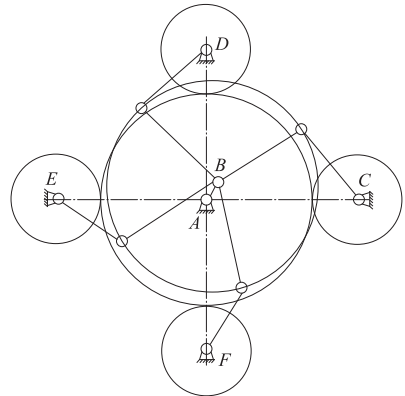


图6 四相行星曲柄摇杆无级变速

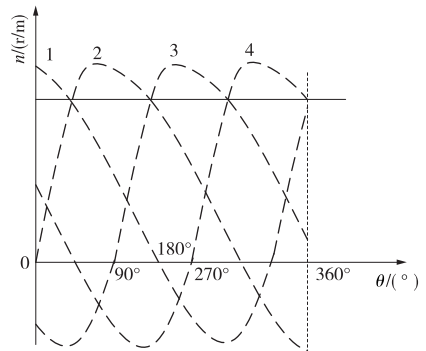


图7 四相曲柄摇杆输出转速脉动图

通过改变杆  $AB$  的长度, 从而使得滑块  $C$  向前输送的距离发生变化。曲柄摇杆式脉动无级变速器是脉动类无级变速器中结构简单的一种, 但其输出转速不平稳, 主要应用于平面传送机构、且步距不断变化的场合。

为解决输出转速不平稳的问题, 一些学者提出了多相曲柄摇杆同时驱动摇杆轴的理论, 如图6<sup>[7]8</sup>所示, 在输出轴上安装超越离合器, 通过 90°相位差的四相机构实现顺序工作, 能够实现连续输出。由图5<sup>[8]</sup>与图7<sup>[7]8</sup>输出曲线比较可知, 增加相数能够改善摇杆轴输出转速的平稳性, 但脉动特性

没有发生变化。

分析可知,曲柄摇杆相数越多,输出的转速越趋于平稳,通过增加曲柄摇杆的相数、改变杆的长度,就能够满足输纸机变步距的要求。不过,随着相数的增多,机构会变得复杂,成本也会相应增加。

## 2.2 摩擦式无级调速机构

### 2.2.1 摩擦带式无级调速机构

如图8(a)所示,通过改变V形带在锥盘轮上的工作直径来实现无级变速。该机构的主要优点是靠静摩擦摩擦力实现力传递,执行调速机构简单,制造成本低;缺点是在传动时对传动带的压力很大,V形带是柔性体,极易变形,传动效率不高,容易磨损、打滑。

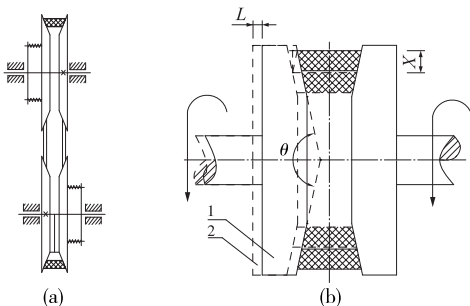


图8 V形带摩擦式无级调速机构

如图8(b)所示,当左端圆锥盘向左移 $L$ 时,此时,V形带垂直下降 $x = \frac{L}{2} \tan \frac{\theta}{2}$ 。

V形带的工作直径即输入锥盘工作直径为:

$$D_2 = D_1 - 2x = D_1 - L \tan \frac{\theta}{2}$$

变化后的传动比为

$$i_1 = \frac{D_1}{D_2} = \frac{D_1 - L \tan \frac{\theta}{2}}{D_2} \quad (0 < \theta < \pi) \quad (1)$$

式中: $D_1$ 为输出锥盘工作直径; $D_2$ 为输入锥盘工作直径; $\theta$ 为锥盘楔形角。

由公式(1)可知,传动比 $i$ 与锥盘所移距离 $L$ 成正比,与锥盘楔形角 $\theta$ 成正比。结构简单,但传动功率较小,调速幅度不大。当采用V形带进行无级变步距时,容易打滑,一般传递效率为90%;当采用金属带进行无级变步距时,传递效率较高,但其要求输入转速不能过小,一般不小于500r/min,传动比变化范围一般为0.5~2.5。

将V形带运用在输纸机上,当在需要将步距(一般印刷机步距为200mm左右)调大时,这时传动比增大。在采用对开纸张印刷时,纸张长度 $a =$

518mm,变化后的最大步距 $S_0 = 2.5 \times 200 = 500\text{mm}$ ,此时, $\frac{a}{2} < S_0 < a$ 时,不能满足传统印刷机重叠式输纸的要求;当需要将步距调小时,最小 $S_0 = 0.5 \times 200 = 100\text{mm}$ ,此时, $S_0 < \frac{a}{2}$ ,满足传统印刷机重叠式输纸要求,但不能满足步距变化要求更小的设备。

通过上述分析,这种装置步距的调节范围不能满足传统印刷机输纸步距的要求,在步距要求变化很大的设备上需要二级、三级带式无级调速装置。在精度要求不高的条件下,可以将V形带式无级变步距机构运用于覆膜、上光等设备。

### 2.2.2 环锥行星无级变速机构在输纸机上的应用

图9<sup>[9]</sup>所示为环锥行星无级变速工作原理图,主要由主动锥轮1、圆周均布5枚锥轮2,与行星锥轮内孔活接销轴4、输出锥轮5及只作轴向滑移的滑环3组成。当滑环3左移时, $D_3$ 增大, $i$ 减小。当滑环3右移时, $D_3$ 减小, $i$ 增大,实现无级调速。

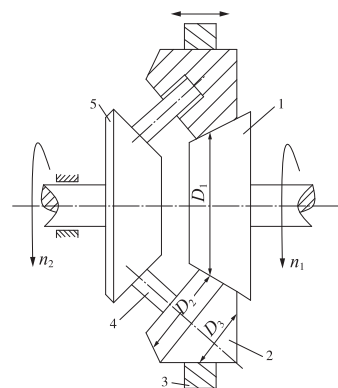


图9 环锥行星无级变速机构

传动比为:

$$i = \frac{D_2 D_4}{D_1 D_3} + 1 \quad (2)$$

式中, $D_1$ 是主动锥轮1有效直径, $D_2$ 是行星锥轮下锥面有效直径, $D_3$ 是行星锥轮上锥面有效直径, $D_4$ 是滑环3的直径。

设输入角速度为 $\omega_1$ ,则有输出角速度:

$$\omega_2 = \omega_1 \left( 1 + \frac{D_2 D_4}{D_1 D_3} \right) = \omega_1 + \frac{D_2 D_4 \omega_1}{D_1 D_3} \quad (3)$$

由公式(3)可知,输出锥轮5角速度 $\omega_2$ 与滑环移动变化的 $D_3$ 成反比例关系。该机构的优点是操作简单,传递效率较高,不宜打滑,当过载时能够起到安全保护作用;缺点是加工精度要求高且容易磨损。环锥行星无级变速机构的传动比调节范围一般为1~7。

将其运用于输纸机上时,由公式(2)可知,传

动比始终大于1,因此,该机构不能满足步距需要变小的设备。同样,取对开纸张时 $a=518\text{mm}$ ,最大 $S_0=7\times 200=1400\text{mm}$ ,此时, $S_0>\frac{a}{2}$ ,能够满足传统印刷机和数码标签印刷机的输纸要求。

通过分析,该环锥行星无级变速机构能够满足步距需要变化很大的设备。在覆膜机、数码标签印刷机上均能应用,但加工精度、装配精度要求仍然是其用于输纸机的瓶颈。

### 3 双V形带式摩擦机构在输纸机上的应用

考虑到一级V形带传动比无级调速范围小、环锥行星机构加工精度高等问题,本文设计了一种二级V形带无级调速机构,在一级V形带的基础上再增加一级V形带,这样,仍然满足单自由度要求,当第一级V形带不能满足调速范围时,可采用第二级V形带进行调速。

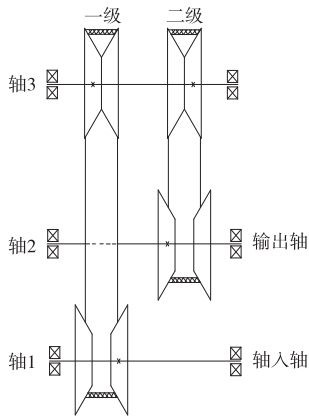


图10 双V形带摩擦式无级调速机构

图10所示为二级V形带摩擦式无级调速机构示意图,轴1为输入轴,轴2为输出轴,轴3为过渡轴,改变后的传动比为 $i_2=i_1^2$ 。在一级V形带传动比范围不够大时,采用二级皮带进行传动,原有传动比为 $0.5\sim 2.5$ ,采用二级皮带传动时,传动比变化为 $0.25\sim 5.25$ ,范围变大。同样,取对开纸张

$a=518\text{mm}$ ,此时,最大步距 $S_0=5.25\times 200=1250\text{mm}$ , $S_0>a$ ;最小步距 $S_0=0.25\times 200=50\text{mm}$ , $S_0<\frac{a}{2}$ 。

通过计算分析,该机构的步距调节范围能够满足印刷机、覆膜机、数码标签输纸机的变步距要求。

### 4 结论

1) 可变输纸步距输纸机是未来输纸机发展的重要方向,采用无级变步距调节机构,便于输纸机相关部件的标准化、通用化、系列化三化设计。

2) 与双自由度无级变速调节机构相比,单自由度无级变速调节机构可显著降低输纸机的控制成本。

3) 双V形带摩擦式无级变步距调节机构可实现大范围的步距调节,可以满足各种类型输纸机的变步距调节要求。

### 参考文献:

- [1] 刘向阳. 多步距带式输送机棘轮机构的优化设计[J]. 吉林工学院学报,2000,21(3):62-64.
- [2] 李小青,陈民,董振宇,等. 多步距抬起步伐式输送带[J]. 组合机床与自动化加工技术. 1998(6):39-41.
- [3] 吴宏元,王铁丽. 一种可变步距自动送料机构的设计及应用[J]. 机械设计与制造,2000(3):54-55.
- [4] 王小玲. 中型轧钢厂的新型冷床——变步距冷床[J]. 冶金设备,1995(4):53-54.
- [5] 曹慧. 影响胶印机输纸稳定性的关键因素[J]. 印刷杂志,2010(3):68-70.
- [6] 张强,邱明君,张承瑞,等. 激光闭环变步距步进伺服系统[J]. 测控技术,1998,17(2):48-50.
- [7] 钟瑜. 新型非摩擦连续作用无级变速器的分析与设计[D]. 重庆:重庆大学机械工程学院,2007.
- [8] 徐彦兰,王玉顺. 曲柄摇杆式脉动无级变速器的机构参数优化[J]. 山东工业大学学报,2010,30(4):363-370.
- [9] 徐太丰. 行星式无级调速机构[J]. 山东纺织科技,1984(3):54-255.

(责任编辑:邱林华)

(上接第28页)

- [3] 蔡吉飞,彭明,任慧,武淑琴. 印刷机规矩测试信号分析[J]. 北京印刷学院学报,2009,17(2):30-34.
- [4] 陈玉华,沈韶华,房瑞明,赵京. 印刷机递纸轴扭振测试方法[J]. 北京工业大学学报,2009,35(10):1297-1302.
- [5] 武淑琴,王仪明,蔡吉飞,张少华. 印刷机滚筒轴向串动测试方法研究[J]. 中国印刷与包装研究,2010,2(S1):273.
- [6] 贾玉玲,翟维国. 柔性版印刷机装配误差分析与改进研究[J]. 机电产品开发与创新,2010,23(6):36-38.

- [7] Lee Changwoo, Lee Jangwon, Kang Hyunkyoo. A Study on The Tension Estimator by Using Register Error in a Printing Section of Roll to Roll E-printing Systems [J]. Journal of Mechanical Science and Technology, 2009,23(1):212-220.
- [8] Kang Hyun-Kyoo, Lee Chang-Woo, Lee Jae-Min. Cross Direction Register Modeling and Control in a Multi-layer Gravure Printing [J]. Journal of Mechanical Science and Technology, 2010,24(1):391-397.

(责任编辑:邱林华)