

## 卷筒纸印刷机张力系统 虚拟匀速运转模型分析

作者：张铁锋、鲁国涛

【内容提要】卷筒纸印刷中，每个印张都是首尾相连，走纸过程中的各种波动和变形都将直接影响印刷质量。因此印刷过程中要控制纸张张力，减小纸张波动和变形。针对张力控制，可从简单张力模型逐渐向复杂模型进行分析。

卷筒纸印刷中，每个印张都是首尾相连，走纸过程中的各种波动和变形都将直接影响印刷质量。因此印刷过程中要控制纸张张力分切，减小纸张波动和变形。

针对张力控制，可从简单张力模型逐渐向复杂模型进行分析。在分析过程中假设纸张除受拉力作用外，不受任何客观因素的影响。并且，设纸张张力为  $T$ ，纸张弹性模量为  $e$ ，纸张被各影响张力结构分割的长度为  $L$ （纸张在自然状态下的长度），纸张受张力拉伸后的变形为  $\Delta L$ ，机器匀速运转时的速度为  $V$ （给纸部分向外输送纸张的速度），开卷处的制动力矩为  $M_1$ ，复卷部的力矩为  $M_2$  北人股份，纸张长度的变化率为  $n$ 。

### 开环张力控制模型

#### 1. 纸卷半径不变的双张力控制点系统

如图 1 所示，在这个模型中，纸张被分成 3 段，分别为  $L_1$ 、 $L_2$ 、 $L_3$ ，其对应的速度为  $V_1$ 、 $V_2$ 、 $V_3$  CTF，纸张的内应力为  $T_1$ ， $T_2$ ， $T_3$ ，张力由开卷部分的制动力矩  $M_1$  和复卷部的复卷力矩  $M_2$  产生， $M_1=M_2$ ，且保持恒定。下面分析这三段纸张的关系。设纸张张力  $T$ ，纸张处于稳定的状态。

图 1 卷纸半径不变的双张力控制点

$$A \times \Delta L / L = E \times A \times n \quad (\text{纸张的伸长率 } n = \Delta L / L),$$

当开卷部向外输送  $L$  长的纸张时，由于张力  $T$  的作用，实际通过第一机组的纸卷长为：

$$L_1 = L(1+n)$$

$$\text{该阶段纸张的内应力为：} T_1 = E \times A \times n$$

要保持纸张内应力不变，就必须保持纸张弹性变形不发生变化，即通过每个机组（包括复卷）的纸张长度必须严格等于  $L_1$ ，即

$$L_3 = L_2 = L_1 = L(1+n), \text{ 即}$$

$$V_3 = V_2 = V_1 = V(1+n)$$

从上面分析可知，要实现纸张在整个系统中由稳定的张力  $T$  控制，速度从第一印刷机组到复卷必须严格相等。

#### 2. 纸卷直径发生变化的双张力控制点系统

随着印刷的进行， $R_1$  将越来越小，且  $R_2$  越来越大，为了保持张力  $T$  恒定不变，由  $M_1 = T \times R_1$  和  $M_2 = T \times R_2$  可知网屏， $M_1$  与  $M_2$  间存在一个函数关系，即

$$M_2 = M_1 \times R_2 / R_1 \text{ CTF}$$

由于速度恒定，则半径变化为时间  $t$  的函数，同样  $M_1$  和  $M_2$  也是时间  $t$  的函数：卷筒纸长度  $L = \pi R_2 / \delta$ ， $\delta$  为纸张厚度。那么在单位时间  $t$  内 CTF，开卷部纸张的半径为：

$$R = [R_1^2 - (\delta / \pi) V t]^{1/2}$$

则开卷制动力矩关于时间的函数为：

$$M_1 = T [R_1^2 - (\delta / \pi) V t]^{1/2}$$

同理，复卷力矩关于时间的函数为：

$$M_2 = T [R_{202} - (\delta / \pi) V_t]^{1/2}$$

$R_{10}$  和  $R_{20}$  为纸卷初始计算半径。

从上面分析可以看出，在印刷过程中，如果仅靠开卷制动力矩与复卷力矩来控制纸张张力，必须严格按照上面的力矩方程控制力矩教育，这样一来，控制系统将会很复杂，且由于机械反应时间关系，张力的波动会很大。

### 3.多张力控制点系统

图 2 所示的多张力控制点系统为四张力控制点系统供墨，包括开卷制动力矩控制、前张力控制点、后张力控制点和复卷力矩等 4 个张力控制点。这个系统实际上是前面两个系统的综合。由前张力控制点、后张力控制点和两个印刷机组组成一个纸卷直径不变的系统（出纸量由前张力控制点向外送纸速度决定，收纸量由后张力控制点的向后输纸速度决定）。

图 2 四张力控制点

为  $T_4$ ，后张力控制点与复卷部间的纸张内应力为  $T_5$ ，速度为  $V_4$ ， $V_5$ 。

为了使纸张在运转过程中稳定胶片，我们必须保证纸张张力从前向后不能减小。所以应满足以下两个条件：

$$(1) V_4 \leq V_1, T_4 \geq T_1, \text{ 且 } V_4 \text{ 恒定}$$

$$(2) V_1 = V_2 = V_3 = V(1+n)$$

由于开卷部分的制动力矩只影响到  $T_4$ ，对印刷部分的张力没有影响，即张力被前印刷控制点完整分割。但随着印刷的进行 CTP，开卷部纸卷越来越小，制动力矩对  $T_4$  的影响逐渐加大，因此可设定制动力矩  $M_1$  相对于走纸长度  $V_t$  的简单函数  $M_1 = f(V_t)$ ，以减小其对  $T_4$  的影响幅度。

对于复卷部，由于复卷力矩为主动动力矩制版，要保证纸张在收卷过程中内应力均匀，必须使复卷力矩满足方程：

$$M_2 = g(V_t) = T [R_{202} - (\delta / \pi) V_t]^{1/2}$$

但是，如要使复卷力矩的变化符合上面方程是十分困难的，因此可采用控制速度的方式对复卷力矩进行控制，即保证复卷时纸卷表面线速度恒定为  $V_5$  爱普生，但必须严格控制复卷角速度  $\omega$  ( $\omega = V/R$ )。投资采购

将  $R = [R_{202} + (\delta / \pi) V_t]^{1/2}$  代入，可得角速度方程：

$$\omega = v / [R_{202} + (\delta / \pi) V_t]^{1/2}$$

从上面方程可以看出，复卷角速度  $\omega$  只与印刷走纸长度  $V_t$  有关，但要想实现角速度  $\omega$  按这一方程变化，必须采用电子运算方式进行控制，即现在通常使用的伺服电机及其驱动器。可通过伺服电机控制器的设定，对伺服电机进行转速控制，使其按照上面的方程进行驱动复卷，但应注意校核驱动伺服电机的扭矩。

### 闭环张力控制模型

闭环张力控制系统如图 3 所示，由于采用了现代电子监测控制技术，整个纸路的相应之处安装了张力检查装置对张力进行监测，当某个张力检查装置处张力不符合设定值时，检查装置将反馈电信号给控制中心，控制中心通过相应运算，对相应张力控制点的控制器运转方程进行修正。在图 3 所示的模型中企业，前张力控制点的速度方程为：

$$V_1 = V_C = V + f(x)$$

$$C_1 = f(x)$$

其中， $C_1 = f(x)$  为张力检查点通过检查前张力控制点的修正参数方程。

同样后张力控制点的速度方程为

$$V_1 = V + C_2 = V + f(x)$$

$$C_2 = f(x)$$

其中， $C_2 = f(x)$  为后张力检查点通过检查后张力控制点的修正参数方程。

同样如果在复卷部前面也加一个张力检查点，则可以得到复卷角速度方程：

$$\omega = v / [R_2 + (\delta / \pi) V_t]^{1/2} + f(x)$$

上式中  $f(x)$  为张力检查点通过检查给复卷伺服电机的运转修正参数方程。

### 图 3 闭环张力控制

刷机张力控制应用中，开环控制系统对机械的要求较高，张力的产生只能是在保证印刷套准（印刷滚筒运转角速度一致）的前提下，通过滚筒半径的差异实现，或者通过改变传动比来实现，且其张力是不可调的。因此机器可印刷承印物适应范围受到限制。

在闭环控制系统中，由于利用现代微电子控制技术方正，是通过对运转系统进行不断的驱动—修正—驱动的控制方式，实现对张力的控制。张力以设定张力为基准，在允许范围内不断波动，不受机械零部件误差限制，可根据需要设定张力大小印刷适性，从而机器可印刷承印物范围较大。但电气成本较高。