

# 纺纱自调匀整装置的机械变速 执行机构的设计计算

何 述 曾

(南通纺织工学院)

## 提 要

本文由纺纱机器自调匀整基本方程及锥形带轮无级变速传动原理, 推导出了用 $i_{\max}$ 及 $i_{\min}$ 表达的锥形轮半径。并根据传动带的定长、打滑及厚度作了修正, 从而提高了锥形轮曲线的精确度。所推导公式的表达形式便于计算机辅助设计。最后, 利用非周期性特性曲线来确定变速装置的过渡时间。

**关键词:** 自调匀整装置, 变速执行机构, 设计计算。

自调匀整装置是一种自动控制装置。机械式自调匀整装置在纺织生产中应用已有一百多年历史, 远在1861年Edward Lord就获得了清棉机控制棉卷均匀度的天平调节装置的专利。铁炮(锥形带轮)变速原理一直沿用至今, 作为一种机械式变速执行机构应用于牵伸自调匀整装置和卷绕机构中。

铁炮变速装置所以仍较广泛应用于自调匀整系统中, 由于它与电机调速相比, 主要是具有机械特性曲线硬度大, 低速传动时传递力矩大的优点, 避免了设备在启动或停转时因传动装置中可调和不可调部分的加速或制动而造成产品不匀; 其次, 结构简单, 工作稳定可靠, 使用维护方便。

铁炮变速装置简图为图1所示, 下铁炮1为常速件, 由皮带叉4强制皮带3沿铁炮轴移动, 从而使上铁炮2以变速传出。皮带叉是按调节要求来移动的, 铁炮的外形是根据调节要求和调节方法, 可以是双曲线锥体或直线锥体。

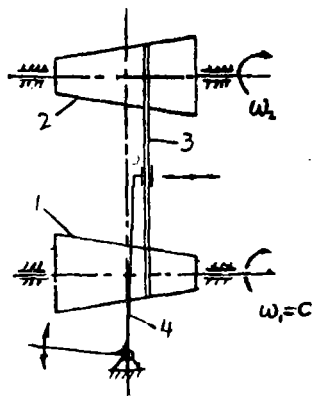


图 1

## 一、自调匀整基本方程

纺纱生产中, 为了控制产品品质和实现生产连续化和自动化, 自调匀整有两种基本方式: 自动调节给棉量和自动调节牵伸倍数。

### 1. 自动调节给棉速度, 保证均匀给棉

清棉机要制成均匀棉卷, 须具有控制并调节棉卷均匀度的装置, 因为棉卷的均匀度直接关系到最终成纱的质量指标。

设 $dt$ 时间内喂入机器的棉量为

$$dQ = h \cdot b \cdot \rho \cdot ds$$

(1)

式中:  $h$ 、 $b$ ——喂入棉层的厚度和宽度;

$\rho$ ——喂入棉层在承受一定压力下的密度;

$ds$ ——在 $dt$ 时间内喂入棉层长度。

则均匀给棉条件为

$$\frac{dQ}{dt} = h \cdot b \cdot \rho \cdot \frac{ds}{dt} = h \cdot b \cdot \rho \cdot v = \text{常数} \quad (2)$$

式中:  $v$ ——喂入机件的线速度。

棉层宽度 $b$ 对一定的清棉机是定值; 棉层由于喂入时受到一定压力的紧压, 其密度 $\rho$ 可以近似地认为是常值, 于是式(2)成为

$$hv = C \quad (3)$$

式(3)为等轴双曲线, 是均匀给棉的基本方程, 表明给棉速度 $v$ 必须随喂入棉层厚度 $h$ 作反比例变化。

由于喂入棉层密度 $\rho$ 实际上不可能是常值, 故按式(3)均匀给棉基本方程调节, 并不是按棉层重量, 而是按棉层体积。

## 2. 自动调节牵伸倍数, 保证产品均匀

在梳理机牵伸或罗拉牵伸中, 依据喂入或输出品单位长度重量与规定标准值的偏差, 自动改变喂入机件或输出机件的线速度, 从而自动调节机器牵伸倍数, 减小输出品单位长度重量波动, 提高制品的均匀度。

设不计牵伸过程中纤维损失, 则单位时间内喂入品重量与输出品的重量应相等, 即

$$g_1 v_1 = g_2 v_2 \quad (4)$$

式中:  $g_1$ 、 $g_2$ ——喂入、输出品单位长度重量;

$v_1$ 、 $v_2$ ——喂入、输出速度。

由式(4)可知, 改变喂入速度 $v_1$ 或输出速度 $v_2$ 、即可调节牵伸倍数, 从而控制了输出品单位长度重量。

当采用改变输出速度 $v_2$ 的调节时:

$$v_2 = g_1 v_1 / g_2 = k_1 g_1 \quad (5)$$

即输出速度 $v_2$ 应与喂入品单位长度重量 $g_1$ 成直线关系。

当采用改变喂入速度 $v_1$ 的调节时:

$$v_1 = g_2 v_2 / g_1 = k_2 / g_1 \quad (6)$$

即喂入速度 $v_1$ 应与喂入品单位长度重量 $g_1$ 成双曲线关系。

显然, 直线关系调节要比双曲线关系调节容易实现。因输出速度比喂入速度大得多, 故采用改变输出速度的调节会比改变喂入速度的调节精确。当然, 亦可采用同时改变喂入速度和输出速度的调节。目前, 由于还不能可靠确定牵伸过程中纤维运动特性和产品不均匀结构变化规律, 要完善地解决牵伸装置的整体调节问题有待进一步研究, 故大多数的牵伸自调匀整装置是按喂入品的单位长度重量偏差来调节的。

图2是一种最基本的牵伸自调匀整装置原理图。为了实现按喂入品的单位长度重量偏差

的调节,采用一种最简单的机械式检测装置,如图3所示,当制品在两个回转罗拉1(具有沟槽)及2之间通过时,由于沟槽宽度 $b$ 不变,并假定在一定的 $Q$ 力作用下棉条的密度 $\rho$ 不变,如喂入品的单位长度重量变动,必将反映为喂入品厚度 $h$ 变化,使罗拉2随之发生位移,这一位移便成为一种与改变牵伸倍数相关的信号,通过放大、转换,使变速装置对喂入罗拉(或输出罗拉)施加相应的变速。

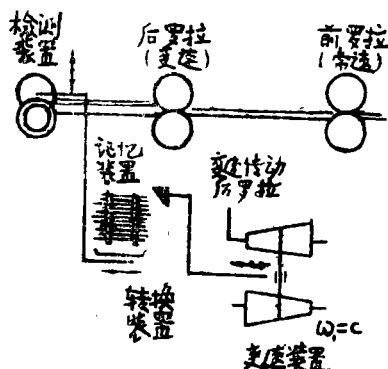


图 2

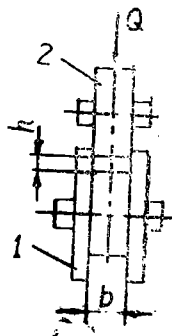


图 3

因为,喂入品单位长度重量为

$$g_1 = \rho \cdot b \cdot h$$

则式(5)和式(6)可分别写成为 $v_1$ 、 $v_2$ 与棉条厚度 $h$ 的关系式:

$$v_2 = k_1 g_1 = k_1 \cdot \rho \cdot b \cdot h = \alpha_1 h \quad (7)$$

$$v_1 = k_2 / g_1 = k_2 / \rho \cdot b \cdot h = \alpha_2 / h \quad (8)$$

式(7)、(8)即为牵伸自调匀整基本方程。由此可知:当采用输出罗拉调速时,其速度 $v_2$ 应与喂入品厚度 $h$ 成正比;当采用喂入罗拉调速时,其速度 $v_1$ 应与喂入品厚度 $h$ 成反比。如采取输出处检测,亦可推导得相应的牵伸自调匀整的关系式。

## 二、铁炮设计

要满足 $h v = C$ 或 $h v_1 = \alpha_2$ ,可采用各种变速执行机构,如:机械的,电气的,液压的,但目前应用较泛的仍是机械变速机构。机械变速机构中又分别有锥形轮(铁炮变速装置)、链式(或带式)及行星齿轮变速器。现以清棉机的天平调节装置为例,介绍铁炮变速装置的一种简捷的设计计算方法,它适用于电子计算机计算。

清棉机天平调节装置简图如图4所示。其工作原理如下:棉层1是通过天平罗拉2和天平杆3之间喂入机内,天平杆共有16根,并列在清棉机的整个宽度上,用来检测横向各区段的喂入棉层厚度,当棉层有任何变化时,各根天平杆相应绕刀口 $O_1$ 摆动,各根天平杆的尾端位移,通过链环(机械积分装置)8,将各天平杆尾端位移综合成算术平均值,使综合杠杆4绕支点 $O_2$ 摆动,经连杆,移动皮带叉5。下铁炮为常速件,皮带位移,使上铁炮7转速相应变化,从而调节由上铁炮传动的天平罗拉速度,实现天平罗拉在单位时间内喂入的棉量恒定。天平调节装置从本质上讲,属于开环系统,因检测在输入处,变速在输出处。

### 1. 铁炮曲线基本方程

设: 下铁炮为常速件, 转速 $n_c$ , 作用半径 $R$ ; 上铁炮为变速件, 转速 $n_x$ , 作用半径 $r$ 。如不考虑皮带打滑, 则铁炮变速装置的传动比为:

$$i_x = \frac{n_x}{n_c} = \frac{R}{r}$$

如假定天平杆到皮带叉的杠杆比变化不大, 而上铁炮到天平罗拉的传动比不变, 则式(3)可写成皮带位移 $X$ 与铁炮变速装置传动比 $i_x$ 的关系式:

$$\lambda \cdot i_x = C_1 \quad (9)$$

式(9)即是按均匀给棉条件确定的铁炮曲线基本方程, 其关系如图5所示。

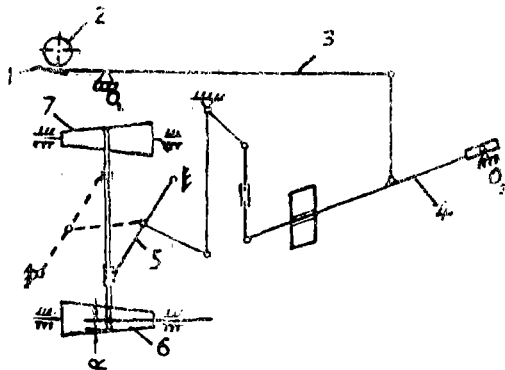


图 4

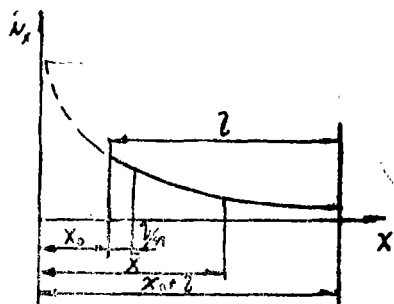


图 5

### 2. 铁炮理论曲线

如图5所示, 根据皮带在铁炮两端的极限位置与传动比 $i$ 的关系, 式(9)可写成为:

$$\begin{cases} i_{\max} X_0 = C_1 \\ i_{\min} (X_0 + l) = C_1 \end{cases} \quad (10)$$

式中:  $X_0$ ——铁炮左端面至 $i_x$ 轴距离;

$l$ ——铁炮工作长度, 从保证调速灵敏性,  $l$ 不能取得太大, 从保证皮带与铁炮曲面很好贴合,  $l$ 又不宜太小, 一般取:  $l = 300 \sim 400$ 毫米。

解式(10)得:

$$X_0 = \frac{l}{\frac{i_{\max}}{i_{\min}} - 1}$$

$$C_1 = \frac{l}{\frac{1}{i_{\min}} - \frac{1}{i_{\max}}}$$

为了便于计算绘制, 将铁炮工作长度 $l$ 作 $n$ 等分, 则由图5可知, 皮带各相应位置上的横坐标:

$$X_i = X_0 + \frac{l}{n} j$$

式中:  $j = 0, 1, 2, \dots, n$ 。

根据式(9), 则铁炮传动比为:

$$i_{xi} = \frac{R_i}{r_i} = \frac{C_i}{X_i} = \frac{C_i}{X_0 + \frac{1}{n} j} \quad (11)$$

将  $C_i$ 、 $X_0$  值代入, 得:

$$i_{xi} = \frac{i_{max}}{1 + \left( \frac{i_{max}}{i_{min}} - 1 \right) \frac{j}{n}} \quad (12a)$$

因变速比为

$$\beta = \frac{(n_x)_{max}}{(n_x)_{min}} = \frac{(n_x)_{max}/n_c}{(n_x)_{min}/n_c} = \frac{i_{max}}{i_{min}}$$

$$\text{则 } i_{xi} = \frac{i_{max}}{1 + (\beta - 1) \frac{j}{n}} \quad (12b)$$

式(12b)即为按给定的  $\beta$ 、 $i_{max}$  值所确定的铁炮曲线方程。根据曲线精确性的要求取定  $n$  值, 按:  $j = 0, 1, 2, \dots, n$  即可依次求得相应的  $i_{xi}$ 。

根据生产实际, 清棉机天平罗拉喂入棉层厚度变化范围不超过4倍, 故一般取  $\beta = 4$   
 $i_{min} = 0.5$ ,  $i_{max} = 2$ 。

### 3. 铁炮理论工作半径

铁炮设计另一个条件是保证皮带定长, 为此, 应使铁炮半径之和为常值, 即

$$R_i + r_i = R_{max} + r_{min} = R_{min} + r_{max} = 2\bar{r} \quad (13)$$

式中:  $\bar{r}$ ——铁炮平均半径

由式(13)

$$R_i \left( 1 + \frac{r_i}{R_i} \right) = 2\bar{r} \quad , \quad r_i \left( 1 + \frac{R_i}{r_i} \right) = 2\bar{r}$$

$$\text{则 } \begin{cases} R_i = \frac{2\bar{r}}{1 + \frac{1}{i_{xi}}} \\ r_i = \frac{2\bar{r}}{1 + i_{xi}} \end{cases} \quad (14)$$

式(14)即为主、被动铁炮理论工作半径的表达式。将求得的各  $i_{xi}$  及根据带传动允许最小带轮半径选定的  $F$  代入, 即可求得两铁炮各个相应的理论工作半径。

### 4. 铁炮实际工作半径

(1) 考虑皮带滑动的修正

由式(12b):

$$i_{xi} = \frac{i_{max}}{1 + (\beta - 1) \frac{j}{n}} (1 - \eta) \quad (15)$$

式中 $\eta$ ——因皮带滑动而引起的速度损失, 当曲锥面传动时,  $\eta = 0.05 \sim 0.10$ 。

(2) 保证皮带在各位置时的张力恒定, 根据皮带定长的修正

已知: 当两带轮中心距为 $H$ , 开口皮带传动的皮带长度为

$$L = \pi(R_i + r_i) + \frac{(R_i - r_i)^2}{H} + 2H$$

而铁炮传动时, 因 $(R_i - r_i)^2$ 不可能是常值, 故皮带张力不能保持恒定。为此, 应对铁炮理论工作半径 $R_i$ 、 $r_i$ 进行修正。

近似计算时, 假定主、被动铁炮半径之和为常值, 皮带的长度:

$$L' = \pi(R_i + r_i) + 2H$$

故两者皮带长度差值

$$L - L' = (R_i - r_i)^2 / H$$

设:  $R_i'$  和  $r_i'$  为按皮带定长修正后的主、被动铁炮新半径, 为了使修正后仍保持原来的传动比, 则

$$\begin{cases} i_{x1} = \frac{R_i'}{r_i'} = \frac{R_i + \Delta_{1i}}{r_i + \Delta_{2i}} = \frac{R_i}{r_i} \\ \Delta_{1i} + \Delta_{2i} = (R_i - r_i)^2 / \pi H = \delta \end{cases} \quad (16)$$

式中:  $\Delta_{1i}$  及  $\Delta_{2i}$  — 主、被动铁炮半径  $R_i$  及  $r_i$  的修正量。

解上式, 得  $\Delta_{1i} = \frac{\delta}{(1 + \frac{r_i}{R_i})}$

$$\Delta_{2i} = \frac{\delta}{(1 + \frac{R_i}{r_i})}$$

再根据皮带的定长修正和皮带厚度 $b$ 的修正, 至此, 即可得到较精确的铁炮实际工作半径:

$$\begin{cases} R_i'' = R_i + \Delta_{1i} - \frac{b}{2} \\ r_i'' = r_i + \Delta_{2i} - \frac{b}{2} \end{cases} \quad (17)$$

根据最后求得修正后的主、被动铁炮实际工作半径 $R_i''$ 和 $r_i''$ , 即可绘制铁炮的实际外形曲线。

直线铁炮设计原理和方法与曲线铁炮设计雷同, 且比较简单, 故不再赘述。

### 三、铁炮变速装置的过渡特性

在自调系统中, 铁炮变速装置是一非周期性环节(惯性环节)。被动铁炮输出的角速度 $\omega_2$ 与输入的皮带位移 $x$ 关系可用线性微分方程表示:

$$\tau \frac{d\omega_2}{dt} + \omega_2 = kx \quad (18)$$

式中:  $\tau$ ——变速装置的时间常数,

$k$ ——变速装置的放大系数。

解方程式(18), 得:

$$\omega_2 = kl(1 - e^{-t/\tau})$$

式中:  $l$ ——皮带从铁炮中间位置移到一端的最大位移。

非周期性环节的过渡曲线如图6所示。由图可确定其时间常数 $\tau$ , 即过渡曲线点 A 切线 AA' 的投影值就是 $\tau$ 。由图可知,  $\tau$ 越大, 使输出值达到 $\omega_{2\max}$ 的过渡时间越长。

过渡过程时间一般为:  $T = 3\tau$ 。

为了使自调匀整装置能快速作用, 设计铁炮变速装置时, 应尽可能减小时间常数 $\tau$ , 通常采取高转速、窄皮带和选用铝合金材料。

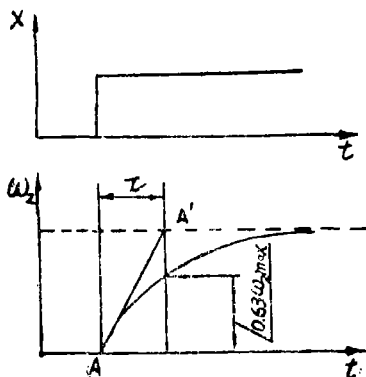


图 6

### 参 考 文 献

- [1] 机械工程手册编辑委员会 机械工程手册 第33篇 带链、摩擦轮及螺旋传动 机械工业出版社 1978
- [2] 刘裕宣 陈人哲: 纺织机械设计原理 纺织工业出版社 1982
- [3] 阮忠唐 机械无级变速器 机械工业出版社 1983
- [4] Manual of Cotton Spinning II, The Textile Institute and Butterworths, Manchester and London 1976
- [5] М.А.Холов: Изменение схемы педального регулятора трепальной Машины Ж. «технология текстильной Промышленности» No. 3, 1964
- [6] [苏] В.П.哈夫金等: 纤维材料的自调匀整 纺织工业出版社 1981

# DESIGN AND CALCULATION OF MECHANICAL STEPLESS DRIVER OF AUTOLEVELLER OF SPINNING MACHINERY

He Shu-Ceng

(Nan-Tong Textile Institute)

## Abstract

Beginning with the autolevelling fundamental equation of spinning machinery and the principle of stepless driver, the paper deduces cone radius values expressed with  $i_{\max}$  and  $i_{\min}$ . The cone radii are revised in response to length, creep and thickness of the belt, thereby increasing precision of cone drum curve. The expressed formulae are convenient for CAD. The transition time of stepless driver is determined by the use of the aperiodic response curve.

**Key words:** Autoleveller,

Mechanical stepless Driver, Design and calculation.

1