

文章编号: 1001-0920(2003)05-0604-03

飞剪的定位控制

葛延津, 陈 栋, 高 峰

(东北大学 信息科学与工程学院, 辽宁 沈阳 110004)

摘 要: 针对飞剪剪切完后返回时的定位控制, 提出分段直线控制与抛物线控制两种方法, 使飞剪以最小的机械冲击力且不产生超调地返回原位。实践证明, 用这两种方法进行定位控制, 飞剪返回距原位不大于 $\pm 15^\circ$; 剪切棒材端面光滑, 误差不大于 2 cm, 剪切棒材的成材率大大提高。

关键词: 飞剪; 定位控制; 控制算法; 剪切精度

中图分类号: TP273

文献标识码: A

Position control of flying shear

GE Yan-Jin, CHEN Dong, GAO Feng

(School of Information Science and Engineering, Northeastern University, Shenyang 110004, China)

Abstract: Subsection line control method and parabola control method of the motor velocity are proposed to govern the position control of flying shear returning. Minimal driving torque is reached with out preter-velocity. Applications of the control methods show that the flying shear position has an interval to home position with no greater than $\pm 15^\circ$. The vertical cross sections are smooth, with the error less than 2 cm. The methods greatly improve the effects of the cutting hot rod-shape metal.

Key words: Flying shear; Position control; Control algorithms; Cutting accuracy

1 引 言

飞剪是安装在轧机后面的对轧件进行剪切的重要设备。在切头、切尾以及定尺剪切中, 轧件以匀速通过飞剪。在轧件达到设定速度且飞剪剪刀转动到轧件上时开始剪切。这样, 在运行中对轧件进行剪切, 不仅提高了生产效率, 而且提高了剪切精度。

飞剪由上下两个剪刀组成, 通过机械连接到电动机轴上, 如图 1 所示。在未进行剪切时, 剪刀静止在原位(HP)。如果轧件正以速度 V_m 匀速运动, 剪切时飞剪从原位开始加速。当剪刀接触到轧件时, 即对轧件进行剪切, 这个位置称为剪切位(CP)。此时, 飞剪与轧件的运行速度同步。飞剪继续转动, 在脱离轧件并将轧件推出时, 剪切完成, 这个位置称为剪切位(CRP)。此后飞剪开始减速, 并要求能准确地停

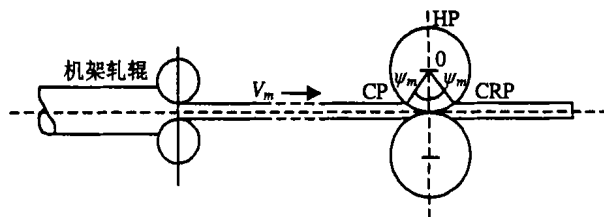


图 1 剪切结构与运动关系

在原位(HP)。当然, 要想十分准确地停在 HP 位是不可能的, 但只要飞剪停在 HP 位超前一点或落后一点的位置都可认为剪刀回到了原位。这个超前与落后量不能太大, 一般在 $\pm 15^\circ$ 以内便认为飞剪回到了原位^[1]。这样, 飞剪运行一周完成一次定尺剪切任务。

飞剪能否准确地回到 $\pm 15^\circ$ 以内的原位至关重要

收稿日期: 2002-09-23; 修回日期: 2002-11-18。

作者简介: 葛延津(1945—), 男, 辽宁大连人, 副教授, 从事计算机控制研究; 陈栋(1978—), 男, 辽宁沈阳人, 硕士生, 从事计算机控制研究。

要, 它关系到剪切过程中的剪切精度和轧件的剪切周期。

飞剪经过加速-匀速-减速运动一个周期回到原位, 这是一个定位过程, 需通过计算机按一定的控制算法才能很好地完成。

飞剪的定位过程如下: 轧件在匀速运动过程中, 未达到设定长度时, 飞剪在 HP 位处于静止状态, 它的偏差为 $S^{[2]}$; 当轧件通过飞剪走过长度接近定尺长度, 但未达到设定长度时, 飞剪开始恒加速启动; 当其速度达到与轧件运行速度同步时, 飞剪对轧件进行剪切, 然后以匀速运动到轧件脱离飞剪; 此后飞剪开始制动, 停车并返回原位。为使停车时间最短且停车准确, 飞剪的启动过程与制动停车过程非常关键, 因此, 在这两个阶段速度的设定值也是至关重要的。

2 飞剪速度的基准值^[3,4]

轧件是由连轧机末机架轧辊送出的, 轧辊的线速度为 V 。在轧制过程中, 轧件相对于轧辊有前滑, 考虑到前滑系数后的轧件速度为 V_m , 并以这个速度匀速进入飞剪。为避免在剪切轧件时发生堆钢, 应使飞剪剪刀在水平方向的分速度略高于轧件的速度。考虑到这个速度的超前因子 α , 飞剪在 CP 位的速度应为

$$V_p = \alpha \frac{V}{\cos \varphi_m} = \alpha \omega_m \frac{D}{D - M_D} \quad (1)$$

式中: D 为飞剪直径, M_D 为轧件直径, $\alpha = 1.05 \sim 1.15^{[2]}$ 。

3 飞剪加速阶段的位移^[3,4]

在飞剪加速期间, 应以飞剪电动机允许的最大恒转矩启动, 而飞剪电动机允许的最大转矩对飞剪机械部分而言应是最小转矩^[1]。这样可以防止飞剪机械的撞击, 以免损坏飞剪。

设飞剪电动机允许的最大转矩为 M_e , 则根据运动学原理, 有

$$M_e = \frac{Ji}{R} \frac{dV_b}{dt} \quad (2)$$

式中: M_e 为飞剪电动机允许的最大转矩, J 为折算到飞剪电动机轴上总的惯量, i 为减速比, V_b 为飞剪速度, R 为飞剪半径。

M_e 对飞剪机械而言要尽可能小, 而对飞剪电动机而言, 在飞剪启动和制动过程中则是允许的最大值。对式(2)两边积分, 得飞剪转速为

$$V_b = \frac{R}{Ji} M_e (t - t_0) \quad (3)$$

设在 t_0 时刻飞剪电动机以恒转矩 M_e 加速, 当飞

剪由静止位(HP)启动时, $t_0 = 0$ 。飞剪随时间 t 移动的距离为

$$S_b = \frac{R}{Ji} M_e \frac{t^2}{2} \quad (4)$$

将式(1)和(3)代入(4), 并整理得

$$M_e = \frac{Ji}{2R} \frac{\alpha^2 V_m^2}{S_b \cos^2 \varphi_m} \quad (5)$$

将式(5)代入(2), 得

$$\frac{dV_b}{dt} = a_m = \frac{\alpha^2 V_m^2}{2S_b \cos^2 \varphi_m} \quad (6)$$

式中 a_m 为飞剪电动机启动的恒加速度 (m/s^2)。

M_e 是恒定的, 所以飞剪电动机在加速阶段的加速度也是恒定的。当飞剪加速到 CP 位时进行剪切, 设此时的 $S_b = S_{b1}$, 则飞剪电动机以恒加速度启动, 其值为

$$a_m = \frac{\alpha^2 V_m^2}{2S_{b1} \cos^2 \varphi_m} \quad (7)$$

当飞剪在 CP 位的线速度达到 $V_p = \alpha(V_m / \cos \varphi_m)$ 时, 其位移为

$$S_{b1} = \frac{1}{2} \frac{\alpha^2 V_m^2}{a_m \cos^2 \varphi_m} \quad (8)$$

飞剪到达 CP 位的时间为

$$t_1 = \frac{V_p}{a_m} = \frac{\alpha V_m}{a_m \cos \varphi_m} = \frac{2S_{b1} \cos \varphi_m}{\alpha V_m} \quad (9)$$

飞剪经时间 t_1 后到达 CP 位, 此时的位置偏差为

$$S = S_0 - \frac{1}{2a_m} \frac{\alpha^2 V_m^2}{\cos^2 \varphi_m} \quad (10)$$

4 减速阶段的定位过程

4.1 位置偏差 $\Delta S = 0$ 时的 dV/ds

在同步剪切区内, 即在 CP 至 CRP 之间, 飞剪以略高于轧件的速度保持与轧件的匀速运动同步, 这段匀速运动的距离很容易计算。在 t_2 点飞剪开始减速。因为减速与加速的过程是对称的, 即减速度与加速度相同, 经历的时间也相同(见图 1), 因此其减速时的位移与加速时的位移也是相同的, 即

$$S_{b2} = S_{b1} = \frac{1}{2} \frac{\alpha^2 V_m^2}{a_m \cos^2 \varphi_m}$$

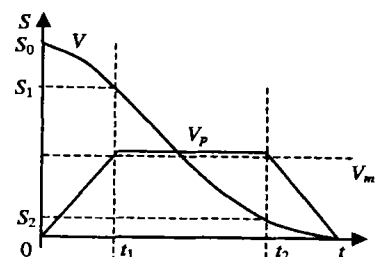


图 2 飞剪的位置与速度变化

由图 2, 飞剪减速是在剩余的位移 S_{b2} 开始的, 若仍以最大的恒减速 a_m 开始减速, 则飞剪的线速度应为

$$V_b = V_p - a_m (t - t_0) \tag{11}$$

位置偏差为^[5]

$$S = S_{b2} - \int_{t_0}^t V_b dt \tag{12}$$

由上两式得

$$V_b = \sqrt{2a_m S} \tag{13}$$

由式(13)可见, V 与 S 的关系为抛物线。如果将飞剪按圆周展开(见图 3), 则在 CRP 至 HP 阶段, V_p 的变化率恒定。这说明如果按恒减速度制动飞剪电动机, 在飞剪回到 HP 位置时, 虽然位置偏差逼近零, 但速度的变化率却很大, 即 $\lim_{s \rightarrow 0} dV/dS = \infty$ 。对控制系统而言, 在速度变化率很大的情况下, 很难在 $\Delta S = 0$ 时使飞剪电动机准确地停在原位。也就是说, 在飞剪电动机减速制动阶段, 不能采用恒转矩(电动机电流恒定)^[3] 的办法制动电动机。

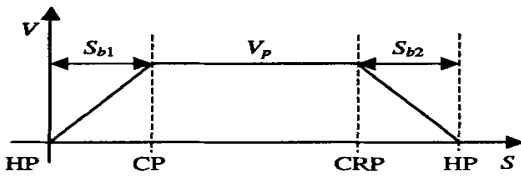


图 3 飞剪的速度与位置展开

4.2 $\Delta S = 0$ 时的停车措施

在飞剪电动机制动阶段, 电动机的转速曲线用抛物线取代直线, 这时飞剪电动机制动转矩(电流)按时间 t 线性变化(见图 4), 即

$$I(t) = K t - I_0 \tag{14}$$

式中 K 为电流减小的斜率。

由转矩平衡关系

$$\begin{cases} \Delta T = T_e - T_l = \frac{GD^2}{375} \frac{dn}{dt} \\ n = \frac{375c_m \phi}{GD^2} \int I(t) dt \end{cases} \tag{15}$$

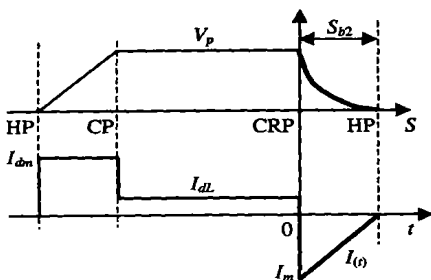


图 4 飞剪电动机减速时的电流曲线

式中 GD^2 为折算到电动机轴上的转动惯量。

由式(14)和(15), 得

$$\begin{cases} n = \frac{375c_m \phi}{GD^2} (K t - I_m) dt \\ n = n_0 - A \frac{1}{2} k t^2 \end{cases} \tag{16}$$

式中: $n_0 = A I(t) |_{t=0}, A = \frac{375c_m \phi}{GD^2}$ 。

在飞剪电动机制动期间, 电动机速度按抛物线函数下降, 而电动机的制动电流则按直线逐渐减小。用这种方法的好处是电动机转速在 HP 点不会超调, 有利于准停且制动过程平稳。它的缺点是由于制动转矩逐渐减小, 制动到准确停车位所用时间变长。但只要第 1 次剪切到第 2 次剪切的时间间隔允许, 这不失为一个好的方案。

另一种准停方法是停车过程中的抛物线用分段直线代替, 将其放在坐标系中(见图 5)。取 dV/dS 为一个可自由设定的常数^[2], 即

$$dV/dS = k \tag{17}$$

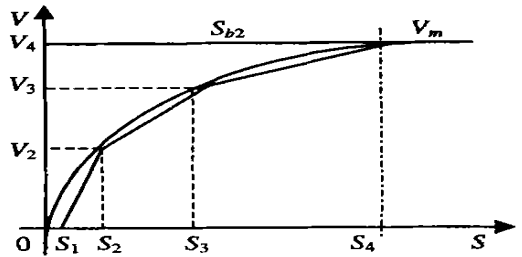


图 5 由位置确定速度

系统中有专门的单元分别决定 k_1, k_2 和 k_3 的斜率。同时也可以设定坐标 $S_1-V_1, S_2-V_2, S_3-V_3, S_4-V_4$ 。这样, 可按实际需要进行计算, 以控制系统在停车过程中的参数在要求的精度范围内(抱闸范围内)准确地定位在原位。

5 结 语

本文对飞剪运行一个周期的加速启动、匀速运动和减速停车的全过程进行了分析, 并给出了各阶段速度的设定值, 尤其对飞剪电动机回到原位的制动过程的准停问题提出了两种改进方法, 这两种方法在本钢和抚钢都得到了很好的应用。实践证明, 采用本文方法, 在飞剪剪切棒材时, 被剪切金属端面光滑; 不发生堆钢和拉钢现象; 剪切精度高, 误差一般不大于 2 cm; 定位准确, 完成剪切任务制动停车时, 每次都能准确停在抱闸范围内, 且离原位(HP)超前、滞后角度不大于 15° 。从而提高了剪切精度和剪切的成材率, 大大降低了不合格率。

(下转第 626 页)

$$y_d(s) = \frac{C_1}{s}, \quad d(s) = \frac{C_2}{s}, \quad C_1, C_2 \text{ 为常数}$$

假设 $\lim_{s \rightarrow 0} |l_m(s)| = C$ (常数), 则

$$e(s) = \lim_{s \rightarrow 0} e(t) = \lim_{s \rightarrow 0} s e(s) = \lim_{s \rightarrow 0} s \left[\frac{s^r + \beta_0 s^{r-1} + \dots + \beta_2 s}{s^r + \beta_1 s^{r-1} + \dots + \beta_1 + \beta_1 l_m(s)} \times \frac{C_1 - C_2}{s} \right] = 0$$

这表明在闭环系统稳定前提下, 系统可渐近无差跟踪阶跃信号并抑制确定有界的外界干扰。

6 仿真研究

考虑如下仿射非线性系统

$$\begin{cases} \dot{x} = \begin{bmatrix} -50x_1 - 10x_1^2 \\ 50x_1 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 10 - x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} u \\ y = x_1 \end{cases}$$

假设已知该系统的相对阶为 $r = 1$, 而 $f(x)$, $g(x)$ 未知。动态神经网络的阶数为 $n = 2$, 网络常数取为 $a_i = 0.3, \mu_i = 1.2, l_i = 1, \lambda_i = 0.3, i = 1, 2$ 。训练后网络模型的参数 $\tilde{g}_1 = 0$, 因此模型的相对阶为 1。参考信号 $y_d(t)$ 是幅值为 1 的阶跃信号, 滤波器参

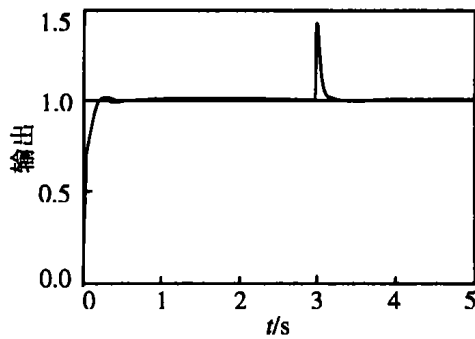


图 2 内模控制系统的阶跃响应

数 $\beta_1 = 20$ 。为了检验非线性内模控制结构的鲁棒稳定性, 有意缩短网络训练的时间使建模误差较大。假设系统在 $t = 3 \text{ s}$ 时受到外界幅值为 0.4 的常值干扰, 其闭环系统的仿真结果如图 2 所示。

仿真结果表明, 本文提出的非线性内模控制方法具有较强的鲁棒稳定性, 可渐近无差跟踪阶跃信号, 对确定性有界扰动也具有有良好的抑制作用。

参考文献(References):

[1] Henson M A, Seborg D E. An internal model control strategy for nonlinear systems [J]. *AIChE J*, 1991, 37(7): 1065-1081.

[2] Alvarez J, Zazueta S. An internal model controller for a class of single-input single-output nonlinear systems: Stability and robustness [J]. *Dynamics and Control*, 1998, 8(2): 123-144.

[3] Hunt K J, Sbrurburo D. Neural networks for nonlinear internal model control [J]. *IEE Proc-D*, 1991, 13(8): 431-438.

[4] Gorez R, Neyer M D, Barreto J. Fuzzy internal model control [A]. *Engineering Systems with Intelligence* [C]. Kluwer, 1991. 415-422.

[5] Isidori A. *Nonlinear Control Systems* [M]. 3rd ED. Berlin: Springer-Verlag, 1995.

[6] Kosmatopoulos E B, Polycarpou M M. A higher order neural network structures for identification of dynamical systems [J]. *IEEE Trans Neural Networks*, 1995, 6(2): 422-431.

[7] Wen Yu, Alexander S P. Indirect adaptive control via parallel dynamic neural networks [J]. *IEE Proc—Control Theory and Applications*, 1999, 146(1): 25-30.

[8] 朱瑞军. 非线性系统的状态估计和控制中的若干问题研究 [D]. 南京: 南京理工大学, 2000.

(上接第 606 页)

参考文献(References):

[1] Nedjeljko Perjc, Ivan Petrovic. Flying shear control system [J]. *IEEE Trans on Industry Applications*, 1990, 26(6): 1049-1056.

[2] 丁修堃. 轧制过程自动化 [M]. 北京: 冶金工业出版社, 1992.

[3] Günter W Rigler, Heinrich R Aberl, Wolfgang Staufer, et al. Improved rolling mill automation by means of advanced control techniques on dynamic simulation [J]. *IEEE Trans on Industry*

Applications, 1996, 32: 599-606.

[4] Brian Armstrong, Ronald Peres. Control laboratory program with an accent on discovery learning [J]. *IEEE Trans on Control Systems*, 2001, 21(1): 14-20.

[5] 葛延津. 模式飞剪 APC 控制系统 [J]. *钢铁*, 2002, 37(10): 60-64.

(Ge Y J. APC system of die set shear [J]. *Iron & Steel*, 2002, 37(10): 60-64.)