

文章编号 1004-924X(2012)04-0752-08

## 高速点阵式脉冲喷射发生器的无传感器控制

邓成钢, 项占琴\*

(浙江大学 现代制造工程研究所, 浙江 杭州 310027)

**摘要:**为提高标识设备关键部件—高速点阵式脉冲喷射发生器的性能以改善喷印效果,在建立喷射器数学模型的基础上,设计了滑模观测器。通过观测器构成反馈系统,在不增加硬件成本的前提下实现对高速脉冲喷射器的无传感器控制,使其能够准确跟踪理想轨迹,降低阀芯与静铁的冲击速度,并消除振动和噪音。实验结果表明,喷射器工作过程中阀芯与定位静铁的冲击速度由开环控制的 0.55 m/s 降到了闭环控制的 0.02 m/s,振动和噪音基本消失,喷射效果明显改善。对钢铁产品进行的喷码实验显示,设计的喷射器的性能可以满足实际生产需要。研究过程为高速脉冲喷射器控制单元的设计提供了理论基础。

**关键词:**点阵式脉冲喷射发生器;滑模观测器;无传感器控制;喷印

**中图分类号:**TG96;TP273 **文献标识码:**A **doi:**10.3788/OPE.20122004.0752

### Sensorless control of high-speed dot-matrix pulse jet generator

DENG Cheng-gang, XIANG Zhan-qin\*

(Institute of Modern Manufacture Engineering, Zhejiang University, Hangzhou 310027, China)

\* Corresponding author, E-mail: xzq128@yahoo.com.cn

**Abstract:** To improve the performance of a high-speed dot-matrix pulse jet generator in a printing machine and to optimize the printing effect of the machine, a mathematical model for the high-speed pulse jet generator was established and a sliding mode observer was designed. By building a feedback system based on the observer, the sensorless control of the high-speed pulse jet generator was realized to track the desired trajectory exactly, reduce the seating velocity of the valve core and to eliminate the vibration and noise greatly without increasing the cost of hardware. The experimental results show that the seating velocity has been reduced from 0.55 m/s for open loop control to 0.02 m/s for close loop one, the vibration and noise are almost eliminated, and the jet printing effect is improved obviously. The design result meets the industrial production demand when it is applied to a marking system for steel products and it provides theory foundation for design of the control units of high-speed pulse jet generators.

**Key words:** dot-matrix pulse jet generator; sliding mode observer; sensorless control; printing

收稿日期:2011-11-08;修订日期:2011-12-25.

基金项目:国家自然科学基金资助项目(No. 60801011)

## 1 引言

液滴喷射是一种利用外力迫使待喷液体分裂成液滴的形式从小孔喷嘴中射出的技术,其原形可以追溯到1878年Rayleigh提出的液流分裂成液滴的设想,而实用的喷射设备直到1951年才出现<sup>[1]</sup>。液滴喷射从技术上可以分为连续喷射和按需喷射2种,连续喷射以电荷控制型为代表,而按需喷射按工作方式又可分为气泡式、压电式和电磁阀式等。液滴喷射由于缺乏明确的应用,长期以来发展较为缓慢,直到喷墨打印机的问世,才得以较快发展。近年来,液滴喷射以其结构简单、定位准确、节省原料等优点在产品包装、无模具成型、生物芯片等领域得到了广泛应用。

本文研究的高速点阵式脉冲喷射发生器(简称脉冲喷射器)是一种电磁阀式按需喷射发生器。其主要用于包装行业的标识系统,以钢铁行业的喷码设备为代表,属于大字符喷码的范畴。为了适应现代化生产和市场化营销需要,钢铁企业对标识设备的需求与日俱增,但是国内标识产品的发展相对滞后,普遍存在开发技术落后、稳定性差、功能单一等问题<sup>[2]</sup>,对于标识设备的核心部分高速脉冲喷射器的研究也尚不深入。因此,深入研究高速脉冲喷射器特性,从控制方面改善其性能,对于推动标识设备国产化,突破国外厂商行业垄断有着战略性意义,同时对液滴喷射在其他领域的应用也可以起到借鉴作用。而无传感器控制的应用使脉冲喷射器在减少诸如碰撞产生的未建模因素影响,减少噪音,优化运动轨迹的同时,降低了设备成本和故障率,对其在工业现场的推广非常有益。

## 2 高速脉冲喷射器工作原理

由于电磁阀具有结构简单、制造和维护成本低、抗污染能力强以及与电子电路配合好等优点<sup>[3]</sup>,因此在工业现场得到广泛应用。本文讨论的高速脉冲喷射器就是由若干高速开关电磁阀有序排列组成,其阀芯的质量和动作行程都很小,对控制信号响应快,便于跟电控系统配合实现点阵字符的喷印。

高速脉冲喷射器的工作原理为开关阀驱动线圈在控制信号的驱动下输出电磁力,致使阀芯按照一定频率上下运动,在喷嘴处形成有规律的开合状态,阀腔内的压力液体在阀芯抬起瞬间从喷嘴喷射而出,每一个开合动作形成一个喷点。在实际应用中,利用生产线的控制系统使脉冲喷射器与目标工件产生相对运动,同时上位PC机根据相对运动速度以及喷印信息控制需要工作的脉冲喷射开关阀以设定频率做开合动作,喷嘴处便以相应间隔和规则喷射出圆点,在工件表面形成点阵字符。图1为脉冲喷射器工作示意图。

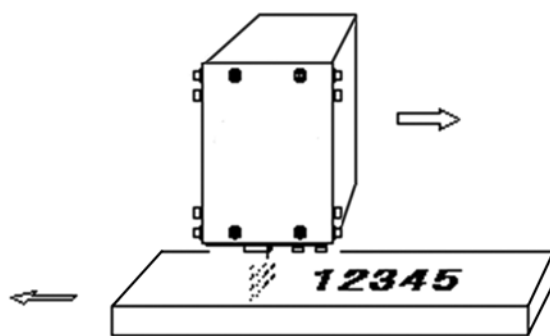


图1 脉冲喷射器工作示意图

Fig. 1 Working diagram of pulse jet generator

## 3 高速脉冲喷射器数学模型

由于高速脉冲喷射器由一系列高速脉冲喷射开关阀组成,所以高速脉冲喷射开关阀的特性即为脉冲喷射器的特性。高速脉冲开关阀是一种数字式电液控制元件,快速响应是其最重要的特性。脉冲喷射开关阀一般采用脉冲流量控制方式,根据一系列的电信号产生开关动作。直接设计脉冲喷射开关阀这种非线性耦合的系统是非常困难的,因此本文首先按功能将其划分为机、电、磁、液4个子系统,然后对每个子系统分别进行分析。由于本文研究的高速脉冲开关阀的流量很小,所以忽略液动力的影响<sup>[4]</sup>,且根据研究目的,建立的高速脉冲喷射开关阀系统的数学模型中省略“液”子系统的动态方程。图2为高速脉冲开关阀子系统耦合关系图。

根据脉冲喷射开关阀的受力分析(图3所示),假设阀芯动作过程只受到弹簧和压力液体的阻尼,并且弹簧一直处于线性区,建立阀芯抬起过

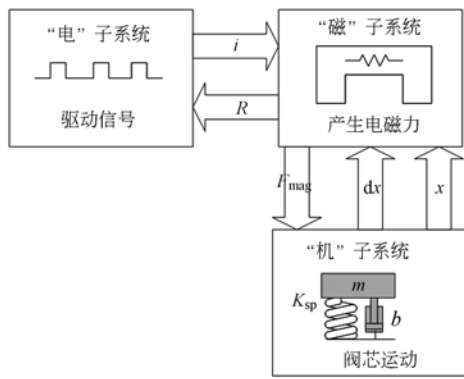


图 2 脉冲喷射开关阀耦合关系图

Fig. 2 Coupling relationship of pulse jet on-off valve

程的动态方程,即为“机”子系统的动态方程:

$$\ddot{x} = \frac{1}{m} (F_{\text{mag}} - F_{\text{spl}} - b\dot{x} - mg - k_{\text{sp}}x), \quad (1)$$

式中  $x$  为阀芯开启过程的位移,  $m$  为阀芯和弹簧的等效质量,  $F_{\text{mag}}$  为螺线管产生的电磁力,  $F_{\text{spl}}$  是复位弹簧的预拉力,  $b$  为阀芯运动的阻尼系数,  $k_{\text{sp}}$  为弹簧的刚度系数。

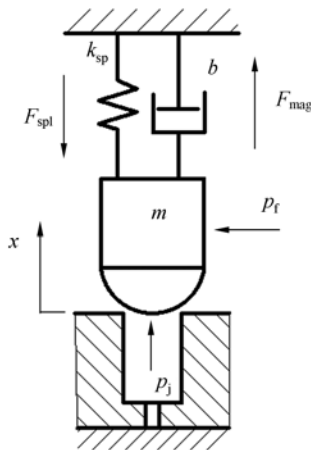


图 3 脉冲喷射开关阀受力分析

Fig. 3 Stress analysis of pulse jet on-off valve

“电”子系统的工作过程是通过给螺线管线圈施加电压,使线圈中产生励磁电流,以此产生电磁力。不计外围电路电感驱动电压的表达式为:

$$U_s = R(T_c) i + \frac{d\psi}{dt} = R(T_c) i + L \frac{di}{dt}, \quad (2)$$

式中,  $U_s$  为线圈的驱动电压;  $R(T_c) i$  为电阻上的压降;  $R(T_c)$  为线圈及外围电路电阻,是温度的函数。

“磁”子系统的功能是通过电磁效应产生能够驱动阀芯运动的电磁力。电磁力的计算公式为:

$$F_{\text{mag}} = \frac{1}{2} i^2 \frac{dL(x)}{dx} = \frac{1}{2} \frac{\psi^2}{L^2(x)} \frac{dL(x)}{dx}, \quad (3)$$

式中,  $\psi$  为磁链,  $L(x) = L_m(x) + L_l$  为线圈电感,包括磁化电感和漏电感,其中磁化电感的计算公式为:

$$L_m(x) = \frac{N^2}{R_m}, \quad (4)$$

式中  $R_m$  为磁化路径的总磁阻。

以阀芯位移  $x_1$ 、阀芯速度  $x_2$  及磁链  $\psi$  为状态变量,驱动电压  $U_s$  为系统输入,线圈电流为输出变量建立系统状态方程为:

$$\begin{aligned} \dot{x}_1 &= x_2 \\ \dot{x}_2 &= \frac{1}{m} \left[ \frac{1}{2} \frac{\psi^2}{L^2(x_1)} \frac{dL_m(x_1)}{dx_1} - F_{\text{spl}} - m - k_{\text{sp}}x_1 - bx_2 \right] \\ \dot{\psi} &= U_s - R(T_c) \frac{\psi}{L(x_1)} \\ y = i &= \frac{\psi}{L(x_1)}. \end{aligned} \quad (5)$$

#### 4 脉冲喷射开关阀滑模观测器设计

因为上节所建立的系统状态方程的可观性格拉姆矩阵是满秩的,所以系统状态中的阀芯位移和速度是可以通过电流的测量值进行重建的。若磁链初始值为 0,其值便可通过系统状态方程式(5)中的第三个方程积分获得。这样,就可以对非线性系统设计一个降阶的滑动模态观测器,通过电流这个唯一的测量值,估算出阀芯的位置和速度。虽然积分过程会产生累积误差,但可以简化滑模观测器的设计,减轻计算上的负担。脉冲喷射开关阀的滑模观测器结构设计如下<sup>[5]</sup>:

$$\begin{aligned} \dot{\hat{x}}_1 &= \hat{x}_2 - L_1 s - M_1 \text{sgn}(s) \\ \dot{\hat{x}}_2 &= \frac{1}{m} \left[ \frac{1}{2} \frac{\hat{\psi}^2}{L^2(\hat{x}_1)} \frac{dL_m(\hat{x}_1)}{d\hat{x}_1} - F_{\text{spl}} - mg - k_{\text{sp}}\hat{x}_1 - b\hat{x}_2 \right] - L_2 s - M_2 \text{sgn}(s), \end{aligned} \quad (6)$$

其中

$$\hat{\psi} = \int_0^t \left[ U_s - R(T_c) \frac{\hat{\psi}}{L(\hat{x}_1)} \right] dt + \hat{\psi}(i_0, \hat{x}_0), \quad (7)$$

$\text{sgn}$  为符号函数,定义为:

$$\text{sgn}(s) = \begin{cases} +1, & s > 0 \\ -1, & s < 0 \end{cases}.$$

由于电流为唯一可测值,设计滑模面的方程为:

$$s = \frac{dL(\hat{x})}{d\hat{x}} (\hat{i} - i) = \frac{dL(\hat{x})}{d\hat{x}} \left( \frac{\hat{\psi}}{L(\hat{x})} - i \right), \quad (8)$$

可以证明该系统满足滑动模态的可达性条件  $s\dot{s} < 0$ 。观测误差  $\tilde{x} = \hat{x} - x$  的状态方程为:

$$\begin{cases} \dot{\tilde{x}}_1 = \tilde{x}_2 - L_1 s - M_1 \operatorname{sgn}(s) \\ \dot{\tilde{x}}_2 = N - L_2 s - M_2 \operatorname{sgn}(s) \end{cases}, \quad (9)$$

其中

$$N = \frac{1}{m} \left( \frac{1}{2} \frac{\dot{\tilde{\psi}}^2}{L^2(\tilde{x}_1)} \frac{dL_m(\tilde{x}_1)}{d\tilde{x}_1} - \frac{1}{2} \frac{\dot{\tilde{\psi}}^2}{L^2(x_1)} \frac{dL_m(x_1)}{dx_1} - F_{\text{sp}} - mg - k_{\text{sp}} \tilde{x}_1 - b\tilde{x}_2 \right). \quad (10)$$

若设  $M_1$  和  $M_2$  为 0, 且保证系统极点  $d_1$  和  $d_2$  在理想的位置, 并设  $p_1$  和  $p_2$  为理想的特征值, 即特征值的选取保证系统能够达到充分阻尼<sup>[6]</sup>, 所以取:

$$p_1 \geq 10d_1, \quad p_2 \geq 10d_2. \quad (11)$$

为验证滑模观测器的稳定性, 设计一个正定 Lyapunov 函数:

$$V(\tilde{x}_1, \tilde{x}_2, \tilde{\psi}) = \frac{1}{2} (\tilde{x}_1^T \tilde{x}_1 + \tilde{x}_2^T \tilde{x}_2 + \tilde{\psi}^T \tilde{\psi}), \quad (12)$$

对以上 Lyapunov 函数求导得:

$$\dot{V} = |\tilde{x}_1| [|\tilde{x}_2 - L_1 s - M_1 \operatorname{sgn}(s)| + |\tilde{x}_2| |N - L_2 s - M_2 \operatorname{sgn}(s)| + |\tilde{\psi}| \dot{i}R], \quad (13)$$

若对  $M_1$  和  $M_2$  的取值做如下限制:

$$M_1 \geq |\tilde{x}_2|, \quad M_2 \geq |N| + \frac{|\dot{\tilde{\psi}}| \dot{i}R}{|\tilde{x}_2|}, \quad \text{则 } \dot{V} < 0, \quad (14)$$

即观测误差状态方程是渐近稳定的, 当状态轨迹到达切换面  $s=0$ ,  $\tilde{x}_2$  以  $\frac{M_1}{M_2}$  为时间常数指数衰减到 0。也就是说在选择了合适的参数的前提下, 误差方程的状态轨迹将以理想的速率收敛于切换面。

## 5 基于滑模观测器的无传感器控制

上节设计的滑模观测器在动态过程中随着液隙的减小直至与定位静铁发生碰撞或者在阀芯复位撞击阀座的过程中可观测性将严重衰减。这是因为在撞击的过程中, 撞击表面将成为系统的一部分, 这部分将成为系统模型中难以建模的不确定项。消除这部分不确定因素干扰的有效方法就是设计理想的阀芯运动轨迹, 使其实际工作轨迹尽可能地与设计轨迹相吻合, 渐进地靠近撞击表面, 避免振动。同时理想的运动轨迹也能降低开关阀能耗, 减少工作噪音, 延长其使用寿命。

由于滑模控制系统的滑动模态对系统参数摄

动及外部干扰具有不变性<sup>[7]</sup>, 所以, 本文从系统的性能、成本及空间等方面综合考虑, 采用基于滑模观测器的无传感器控制策略实现阀芯运动轨迹对理想曲线的跟踪。滑模观测器的位移观测值作为系统反馈, 组成闭环系统, 实现无传感器状态下输出位移的精确控制。

首先, 选取理想的参考轨迹如下:

$$x_d = x_{\text{max}} - x_{\text{max}} \exp\left(-\frac{\eta t^2}{2}\right), \quad (15)$$

式中  $x_d$  为目标轨迹,  $x_{\text{max}}$  为理想状态下阀芯的最大行程。通过对参数  $\eta$  的合理选择该理想轨迹可以使阀芯以理想速度和加速度接触定位静铁, 尽量避免了撞击和振动。图 4 为阀芯上升阶段的参考轨迹, 图 5 为该轨迹下理想速度曲线, 显然, 该轨迹可以保证阀芯与定位静铁碰撞时有很小的接触速度, 避免了撞击时的振动和噪音。

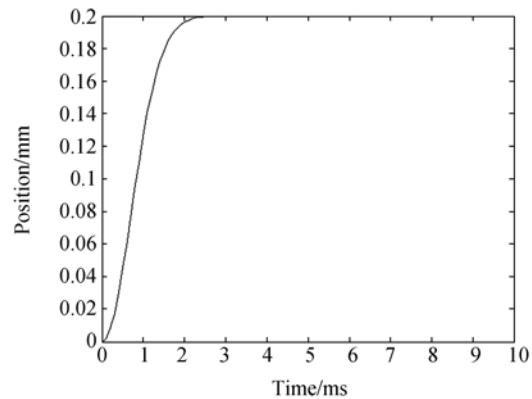


图 4 阀芯上升阶段理想轨迹

Fig. 4 Ideal trajectory of valve core on rising phase

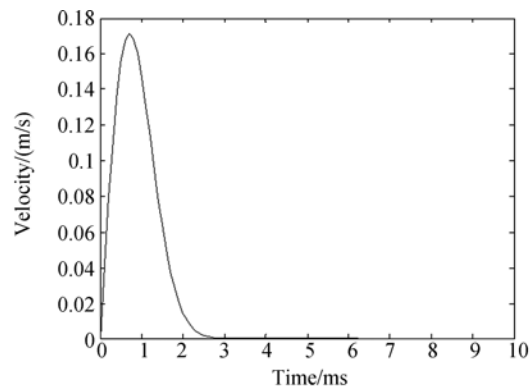


图 5 阀芯上升过程速度曲线

Fig. 5 Speed curve of valve core on rising phase

然后,利用分离原理分别对观测器和控制器进行设计,循迹误差定义如下:

$$\begin{aligned} e_1 &= \hat{x}_1 - x_d \\ e_2 &= \dot{e}_1 = \dot{\hat{x}}_2 - \dot{x}_d \\ \dot{e}_2 &= \ddot{e}_1 = \ddot{\hat{x}}_2 - \ddot{x}_d \\ \dot{e}_3 &= \ddot{e}_2 = \ddot{\hat{x}}_2 - \ddot{x}_d, \end{aligned} \quad (16)$$

$n_1, n_2, n_3$  为方程中未知参数的上界,定义如下:

$$\begin{aligned} \left| \frac{\hat{\psi}}{L^2(\hat{x}_1)} \frac{dL_m(\hat{x}_1)}{dx_1} \right| &\leq n_1 \\ \left| \frac{1}{2} \left[ \frac{\hat{\psi}^2}{L^2(\hat{x}_1)} \frac{d^2L_m(\hat{x}_1)}{dx_1^2} - \frac{2\hat{\psi}\dot{\psi}}{L^3(\hat{x}_1)} \left( \frac{dL_m(\hat{x}_1)}{dx_1} \right)^2 \right] \hat{x}_2 - \frac{\hat{\psi}^2}{L^3(\hat{x}_1)} \frac{dL_m(\hat{x}_1)}{dx_1} R(T_c) \right| &\leq n_2 \\ |\dot{e}_2| &\leq n_3, \end{aligned} \quad (18)$$

参照 Slotine<sup>[8]</sup>方法设计滑模面为:

$$\sigma(e_1, t) = \left( \frac{d}{dt} + \beta \right)^2 e_1 = \dot{e}_2 + 2\beta e_2 + \beta^2 e_1, \quad (19)$$

切换控制为系统的驱动电压:

$$\dot{\sigma} = \sigma \left( \frac{1}{m} [n_2 - k_{sp} e_2 - bn_3 - k_{sp} \dot{x}_d - b\ddot{x}_d] - \ddot{x}_d + 2\beta e_3 + \beta^2 e_2 + \frac{n_1}{m} U_s \right), \quad (21)$$

如果  $\frac{m}{n_1}$  非奇异,并且选取适当的  $V$  值,使

$$V \geq \frac{m}{n_1} \left| \frac{1}{m} [n_2 - k_{sp} e_2 - bn_3 - k_{sp} \dot{x}_d - b\ddot{x}_d] - \ddot{x}_d + 2\beta e_3 + \beta^2 e_2 \right|, \quad (22)$$

则系统满足滑模运动的存在条件。跟踪误差轨迹将被限制在切换面  $\sigma(e_1, t) = 0$  内做滑模运动,运动方程降阶为:

$$\ddot{e} + 2\beta\dot{e} + \beta^2 e = 0, \quad (23)$$

以上二阶微分方程的解为重根:

$$e_1(t) = e_1(t_1)te^{-\beta(t-t_1)} + e_2(t_1)e^{-\beta(t-t_1)}, \quad (24)$$

式中  $t_1$  为到达滑模面的时间,  $e_1(t_1)$  和  $e_2(t_1)$  为初始条件。显然,跟踪误差的状态方程是渐进稳定的,  $\beta$  值的大小决定状态方程收敛的速度。

理想状态下,系统进入滑动模态,跟踪误差及其高阶导数都为 0,即误差的动态方程在进入滑动模态后始终沿着切换面运动,到达理想终点时满足  $\sigma=0$  及  $\dot{\sigma}=0$ ,所以对式(19)求导可以得到等价控制的表达式为:

$$u_{eq} = -n_1^{-1} (n_2 - k_{sp} e_2 - bn_3 - k_{sp} \dot{x}_d - b\ddot{x}_d - m\ddot{x}_d + 2m\beta e_3 + m\beta^2 e_2). \quad (25)$$

系统的误差状态方程为:

$$\begin{aligned} \dot{e}_1 &= e_2 \\ \dot{e}_2 &= \frac{1}{m} \left[ \frac{1}{2} \frac{\hat{\psi}^2}{L^2(\hat{x}_1)} \frac{dL_m(\hat{x}_1)}{d\hat{x}_1} - F_{xpl} - mg - k_{sp} e_1 - b e_2 \right] - \frac{k_{sp}}{m} x_d - \frac{b}{m} \dot{x}_d - \ddot{x}_d \\ \dot{e}_3 &= \frac{1}{m} [n_1 U_s + n_2 - k_{sp} e_2 - bn_3] - \frac{k_{sp}}{m} \dot{x}_d - \frac{b}{m} \ddot{x}_d - \ddot{x}_d, \end{aligned} \quad (17)$$

$$U_s = -V \operatorname{sgn}(\sigma), \quad (20)$$

将式(19)求导并与原式相乘:

由于控制系统存在惯性,而且电磁驱动器受到未建模的饱和以及磁滞现象的影响,所以理想的滑模状态不可能存在,实际上系统的状态轨迹不断穿梭于切换面,导致高频的抖振出现<sup>[9]</sup>。为

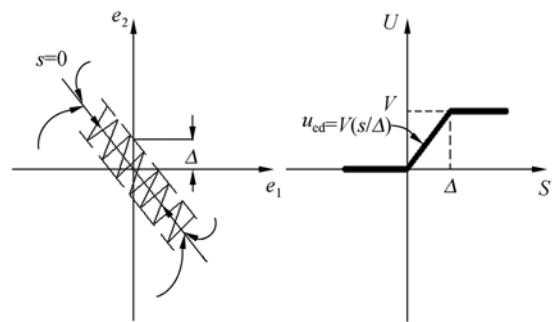


图 6 饱和函数及边界层的几何解释

Fig. 6 Geometrical interpretation of saturation function and boundary

了尽可能减少甚至消除抖振的影响,本文采用被称为边界层法<sup>[10]</sup>的平滑算法,即在切换函数的边界层内,用饱和函数替代符号函数。替代后的输入控制项的表达式为:

$$U_s = u_{eq} - V_{sat} \left( \frac{\sigma}{\Delta} \right), \quad (26)$$

边界层的定义与几何解释见图 6。因为在脉冲喷射开关阀实际工作过程中负电压没有意义,最低的驱动电压值为 0,所以饱和函数的输出最小值也为 0,定义饱和函数形式如下:

$$\text{sat} \left( \frac{\sigma}{\Delta} \right) = \begin{cases} +1 & \frac{\sigma}{\Delta} \geq +1 \\ \frac{\sigma}{\Delta} & 0 < \frac{\sigma}{\Delta} < +1 \\ 0 & \frac{\sigma}{\Delta} \leq 0 \end{cases} \quad (27)$$

等价控制是由系统参数决定的线性反馈控制项,用于保证边界层中系统状态的误差轨迹接近滑模面。如果  $V$  的取值足够大,如式(22),所有的状态轨迹将趋向于切换面<sup>[11]</sup>,产生滑模运动。

## 6 系统应用

以天津钢管集团有限公司的大字符喷码系统为应用对象,确定高速脉冲喷射器的性能参数如下:

- (1) 喷射器由 16 个脉冲喷射开关阀组成;
- (2) 喷嘴之间间距为 3 mm;
- (3) 脉冲喷射开关阀的动作频率为 200~400 Hz。

Hz。

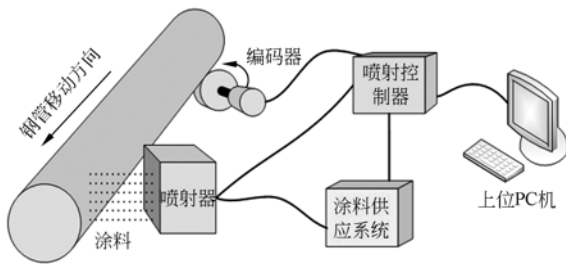


图 7 喷码系统工作方式示意图

Fig. 7 Schematic of working mode of printing system

大字符喷码系统的构成及工作方式如图 7 所示。当钢管到达喷码工位,上位 pc 机根据从企业网络获得的信息将需要喷印的内容传递给喷射控

制器,喷射控制器根据编码器数据确定起喷位置和喷印速度,进而控制喷射器以及涂料供应系统协调工作完成喷印。

将基于滑模观测器的无传感器控制应用于脉冲喷射器的目的是使喷射过程中阀芯具有理想的运动轨迹,减小冲击速度,避免振动和噪音,延长设备使用寿命。同时阀芯理想的运动轨迹能够保证喷印效果,避免拖尾现象。图 8 为阀芯上升过程开环和闭环控制的速度曲线对比,从实测结果可以看出闭环控制下阀芯对静铁的冲击速度由开环时的 0.55 m/s 降到了闭环控制的 0.02 m/s。图 9 给出了 80 m/min 的喷射速度下,实际喷印中开环和闭环控制的喷印效果对比,图中上半部分为开环控制时的喷印效果,可以看出有明显的拖尾,而下半部分为无传感器闭环控制的喷印效果,喷点明显清晰。

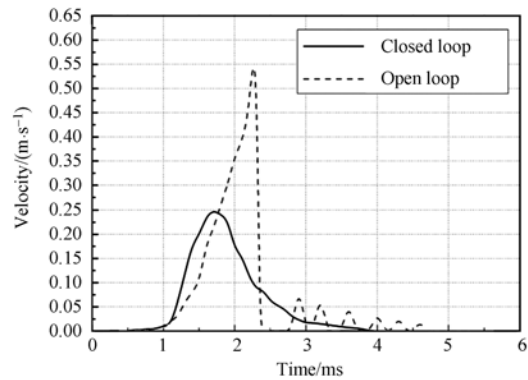


图 8 开环与闭环控制结果对比

Fig. 8 Comparison of open loop and closed loop controls



图 9 喷印效果对比

Fig. 9 Comparison of printing results

## 7 结 论

本文以高速脉冲喷射器在钢铁行业喷码系统

的应用为背景,探讨了脉冲喷射器的无传感器控制。首先,设计了滑模观测器,并验证了其收敛性。其次,在不增加位置传感器的前提下,以滑模观测器的观测值作为反馈,实现对阀芯的闭环控制,使阀芯跟踪理想的参考轨迹运动,改善其动态特性。在实际应用中阀芯与定位铁芯的碰撞速度

得到了很好控制,从开环时的 0.55 m/s 下降到闭环控制的 0.02 m/s,脉冲喷射器的振动和噪音得到有效控制,消除了喷印字符的拖尾现象,喷印效果得到明显改善。在天津钢管集团有限公司的钢管生产线上试用后证明,喷射器的性能完全可以满足实际生产的需要。

#### 参考文献:

- [1] 高琛,黄孙祥,陈雷,等.液滴喷射技术的应用进展[J].无机材料学报,2004,19(4):714-722.  
GAO CH, HUANG S X, CHEN L, *et al.*. Progress in inkjet technique and its applications[J]. *Journal of Inorganic Materials*, 2004, 19(4): 714-722. (in Chinese)
- [2] 邓成钢,项占琴,谢剑操,等.钢铁产品在线标志系统的设计与研究[J].计算机集成制造系统,2010,16(9):1859-1865.  
DENG CH G, XIANG ZH Q, XIE J C, *et al.*. Design and study on marking system online for steel products[J]. *Computer Integrated Manufacturing Systems*, 2010, 16(9): 1859-1865. (in Chinese)
- [3] 刘少军,李庆春,罗松宝.高速开关电磁阀在工程机械方面的应用分析[J].矿业研究与开发,2000,20(1):35-36.  
LIU SH J, LI Q CH, LUO S B. Application of high speed on-off solenoid valve in engineering machinery[J]. *Mining R & D*, 2000, 20(1): 35-36. (in Chinese)
- [4] 张胜昌.高速电磁开关阀的性能分析和优化设计的基础研究[D].上海:上海交通大学,2002.  
ZHANG SH CH. *Basic research on performance predicting and optimization of high-speed on/off solenoid valve* [D]. Shanghai: Shanghai JiaoTong University, 2002. (in Chinese)
- [5] SLOTINE J J E, HEDRICK J K, MISAWA E A. On sliding observers for nonlinear systems [J]. *Journal of Dynamic Systems Measurement and Control*, 1987, 109: 245-252.
- [6] 高为炳.变结构控制理论基础[M].北京:中国科学技术出版社,1990.  
GAO W B. *Variable Structure Control Theory* [M]. Beijing: China Science and Technology Press, 1990. (in Chinese)
- [7] 赵章荣,邬义杰,顾新建,等.用神经网络结构实现超磁致伸缩智能构件滑模控制[J].光学精密工程,2009,17(4):778-786.  
ZHAO ZH R, WU Y J, GU X J, *et al.*. Implementation of sliding mode control of giant magnetostriuctive smart component by neural network [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2009, 17(4): 778-786. (in Chinese)
- [8] SLOTINE J J, LI W P. *Applied Nonlinear Control* [M]. New Jersey, USA: Prentice Hall, 1991.
- [9] 马晓军,袁东,李匡成,等.基于扩张状态观测器的炮控系统串联滑模控制[J].光学精密工程,2011,19(10):2409-2418.  
MA X J, YUAN D, LI K C, *et al.*. Series sliding mode control for gun control system based on extended state observer [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2011, 19(10): 2409-2418. (in Chinese)
- [10] 赖志林,刘向东,耿洁,等.压电陶瓷执行器迟滞的滑模逆补偿控制[J].光学精密工程,2011,19(6):1281-1290.  
LAI ZH L, LIU X D, GENG J, *et al.*. Sliding mode control of hysteresis piezoceramic actuator based on inverse Preisach compensation [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2011, 19(6): 1281-1290. (in Chinese)
- [11] LIN F J, FUNG R F, WANG Y C. Sliding mode and fuzzy control of toggle mechanism using PM synchronous servo motor drive [J]. *IEEE Proceeding Control Theory and Applications*, 1997, 144(5): 393-402.

## 作者简介:



邓成钢(1978—),男,山东莱州人,博士研究生,主要从事机电一体化、精密机械及控制等方面的研究。E-mail: dengchg@163.com

## 导师简介:



项占琴(1946—),男,浙江武义人,教授,博士生导师,毕业于浙江大学机械系,主要从事机电一体化、数控技术、装备自动化领域的研究。E-mail: xiang-zq128@yahoo.com.cn

## 光学前沿——第四届全国信息光学与光子器件学术会议 Optics Frontier—The 4th China Information Optics and Photonic Devices Conference (征文通知)

光学前沿——第四届全国信息光学与光子器件学术会议(CIOC2012)由中国科学院上海光学精密机械研究所中国激光杂志社主办,昆明理工大学承办,预计参会人数300人,本届会议将于2012年7月23—28日在云南昆明举行。

CIOC2012继续以光信号处理技术、光电子技术、光子器件、新型光功能材料、能源光子学、机器视觉及应用等领域作为主题,面向全国高等院校、研究院所以及高新技术企业征集高水平中、英文论文。

通过全文审稿的文章将发表在Chinese Optics Letters(正刊或增刊,正刊SCI收录,增刊Ei收录)、《光学学报》(正刊或增刊,Ei收录)、《中国激光》(正刊或增刊,Ei收录)、《强激光与粒子束》(正刊或增刊,Ei收录)、《激光与光电子学进展》正刊(中文核心期刊,最快60天出版)、《光学与光电技术》正刊、《红外技术》正刊。本次会议将在会前审稿,全文通过审稿的代表可在会议报到时领取论文录用通知单,被录用的每篇文章至少需要一名代表注册参会。(出版详情参见会议网站)

**会议时间:**2012年7月23—28日

**会议地点:**云南昆明昆明理工大学

**指导单位:**中国光学学会

**主办单位:**中国科学院上海光学精密机械研究所中国激光杂志社

**承办单位:**昆明理工大学 中国激光杂志社

**协办单位:**云南省光学学会

**会议文章出版:**Chinese Optics Letters,《光学学报》、《中国激光》、《强激光与粒子束》、《激光与光电子学进展》、《光学与光电技术》、《红外技术》

**征文要求:**中文投稿参考《光学学报》投稿模板,英文投稿参考Chinese Optics Letters 投稿要求

**投稿地址:**中国光学期刊网 <http://www.opticsjournal.net/CIOC2012.htm> 在线投稿

**重要日期:**

**投稿截止时间:**2012-7-13(2012-5-25之前的投稿可在2012-6-25前收到审稿结果,2012-5-26之后的投稿安排在会后审稿)

**预注册截止时间:**2012年7月13日(需网上登记并交费)