

# 供墨系统中墨水粘度及负压控制系统设计\*

吴昊

(浙江工业大学 特种装备制造与先进加工技术教育部浙江省重点实验室, 浙江 杭州 310014)

**摘要:** 供墨系统中墨水粘度随温度降低而提高,造成墨水流动性差,易导致喷头堵塞故障和成像模糊;喷头负压不足则会造成漏墨,而负压过大又阻碍墨滴喷射。为解决上述问题,开展了墨水粘度分析,建立了墨水粘温之间关系,提出了对墨水控温以保证其粘度的方法,并结合 XJ500 喷头的工作需求,提出了通过墨盒内液位控制负压供给的方法。进行了温度、液位控制系统设计,在供墨系统中进行了试验。试验结果表明,该方法起到了较好的粘度、负压控制效果。

**关键词:** 供墨系统;粘度;负压

中图分类号: TH39;TH69

文献标志码:A

文章编号:1001-4551(2012)02-0204-04

## Viscosity and negative pressure control system design for ink supply system

WU Hao

(Key Laboratory of E&M, Ministry of Education & Zhejiang Province,  
Zhejiang University of Technology, Hangzhou 310014, China)

**Abstract:** In order to solve the problems of nozzle block and low image quality caused by viscosity decrease and ink-jet obstructed by unappropriate negative pressure, the viscosity and negative pressure control system was investigated. After the analysis of the relationship between viscosity and temperature, and the relationship between negative pressure and ink level, a system was presented to control viscosity and negative pressure by ink level and temperature separately. The system were tested on XJ500 ink supply system. The experimental results show that the viscosity of ink and negative pressure are well controlled.

**Key words:** ink supply system; viscosity; negative pressure

### 0 引 言

对于工业喷墨打印系统,低廉的运行成本与可靠的连续工作能力是两大重要需求。由于工业喷头价格昂贵,性能优异,使用寿命较消费级喷头高出好几个数量级,为降低运行成本,工业喷墨打印系统通常采用打印头与供墨系统分离的形式。

在实际应用中,墨水粘度是影响喷头喷射过程以及墨点成像效果的重要因素。粘度过高则墨水流动性变差,墨水会堵塞喷嘴,影响打印连续性,同时在介质上难以形成圆润的墨点,导致成像模糊粗糙。而粘度过小则容易在喷头处产生阻尼振荡,影响喷射速度,

同时墨水流动性增强,容易发生流墨现象,并且在介质上会产生渗透现象,导致成像模糊不清。另外,对喷头负压供给不足会造成漏墨、白线等现象,而过大又会影响喷射速度甚至喷射不畅。因此,为保证打印系统高质量长时间地连续工作,供墨系统必须保证墨水合适的粘度和负压供给<sup>[1-6]</sup>。

目前,供墨系统对油墨粘度控制主要通过搅拌和添加溶剂两种方法。前者通过搅动墨水改善其流动性,降低粘度;后者则通过稀释墨水,降低其粘稠度。以上两种方法虽能一定程度改善墨水粘度,但均结构复杂,同时前者搅拌叶与墨水接触易引起反应,造成墨水物化特性改变;后者更是不可逆控制,易造成墨

收稿日期:2011-09-26

基金项目:浙江省科技重大专项资助项目(2009C11G2020108)

作者简介:吴昊(1987-),男,浙江杭州人,主要从事喷墨打印技术方面的研究。E-mail:edwh66@163.com

水粘度过低。而供墨系统对负压控制主要为负压泵控制,该方法虽控制精确,但需额外机构,使得供墨系统复杂化。

在此,笔者通过分析墨水粘温特性,提出通过墨水温度控制粘度的方法;并根据喷头需求,提出通过墨水高差控制负压供给的方法,以简化供墨系统结构,实现较好的墨水粘度和喷头负压控制。

## 1 墨水粘度控制

### 1.1 墨水粘温特性分析

粘度表征液体的内聚力,而温度变化使得液体内聚力发生变化,因此液体的粘度对温度的变化十分敏感。油墨的粘温特性方程如下:

$$\ln\eta=A+\frac{E\eta}{T} \quad (1)$$

式中: $A, E, \eta$ —粘度特性参数; $T$ —温度。

可见,温度升高则粘度下降。本研究对某油墨在不同温度进行粘度检测,其结果如图1所示,与式(1)相符。

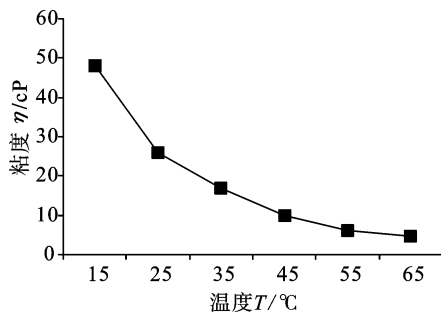


图1 墨水粘温关系

### 1.2 供墨系统粘度控制方法

由上述分析可知,墨水粘度与温度呈负相关对应关系,特定的温度范围决定了墨水的粘度范围。对喷墨打印来说,不同的喷头有不同的墨水最佳粘度范围,对应到具体的墨水即为特定的温度范围。因此,通过控制墨水温度,能够有效地控制墨水粘度。

墨水温度主要受季节和早晚温差影响,特别是低温墨水的高粘度对喷头影响较大,易造成堵头故障,不仅造成打印中断,而且要清洗喷头,造成大量时间和墨水的损失。且高温天气下,工作场所一般都有空调降温,墨水温度不会太高。因此,供墨系统的温度控制为加热控制。

## 2 喷头负压控制

### 2.1 高差负压分析

高差负压即通过喷头和墨盒液位的高度差产生喷头所需负压,如图2所示。

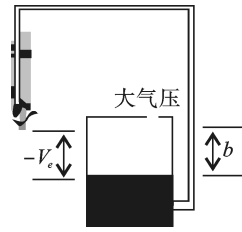


图2 高差负压

产生的负压记为 $-V_e$ ,负压计算公式如下:

$$-V_e = \rho_{\text{墨}} gh \quad (2)$$

式中: $\rho_{\text{墨}}$ —墨水密度, $h$ —墨水液面与喷头的液位差。

### 2.3 负压控制方法

由式(2)可知,在喷头固定的情况下,负压大小由墨盒内墨水液位 $h$ 所决定,因此通过墨水液位控制能够准确有效地调节喷头负压。通过将墨水液位控制在一定范围内,即可得到喷头正常工作所需负压范围。

## 3 控制系统硬件设计

### 3.1 控制对象和控制系统框架介绍

本研究基于笔者设计的XJ500喷头供墨系统(其框架结构如图3所示),控制对象为次级墨盒内墨水的温度及液位。次级墨盒的长宽高分别是10 cm, 6 cm, 10 cm, 容积较小为0.6 L,易于实现对墨盒内墨水温度和液位的较好控制,墨盒内设有温度传感器和压力传感器,用以采集墨水温度和墨盒底部墨水压强,并根据系统需求,控制墨盒底部加热片及油墨泵的的开关,调节墨水温度和墨水液位。XJ500喷头进墨孔管径3.9 mm,供墨负压需求为 $-0.1 \text{ kPa} \sim -0.5 \text{ kPa}$ ( $1 \text{ kPa} = 10 \text{ mbar} \approx 100 \text{ mm}$ 墨水)。墨水粘度要求为15 cP左右,温度在 $30^\circ\text{C}$ 为佳。

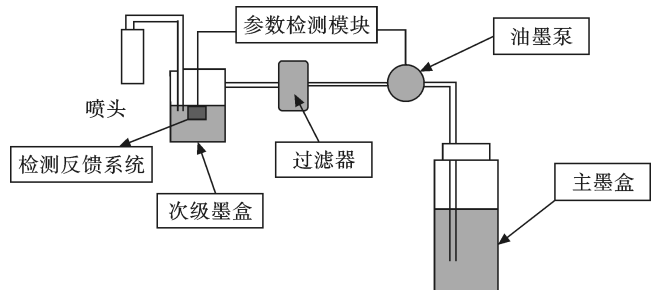


图3 供墨系统框架结构

由上述分析可得,次级墨盒温度监控区间为 $0 \sim 100^\circ\text{C}$ ,液位监控范围为 $0 \sim 10 \text{ cm}$ 。在此范围内,铂热电阻的精度最高,同时又具有测量范围大、稳定性好、示值复现性高以及耐氧化等优点,符合要求,故本研究在此选用铂热电阻PT100作为温度传感器。摩托罗拉MPX2010GS压力传感器精度高,模拟输出电压正比于输入的压力值和电源偏置电压,具有极好的线性度,且灵敏度高,在 $0 \sim 85^\circ\text{C}$ 具有温度补偿。符合液位监控

要求,故本研究选其为液位传感器。微处理器则采用STC12C5628AD系列单片机,其价格便宜、性能可靠、运行速度快,内部集成4路PWM,8路高速10位A/D转换,几乎包含了数据采集和控制中所需的所有单元模块,功能齐全且性价比较高。控制系统结构框图如图4所示。

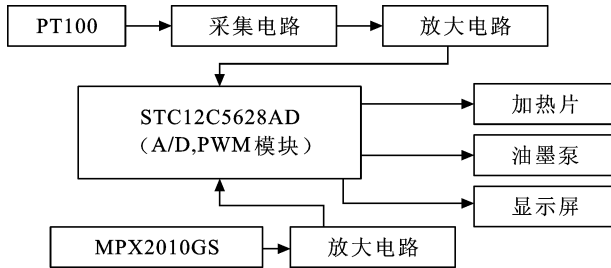


图4 控制系统框架

控制系统通过铂热电阻和压力传感器将温度和液压转换为电信号,经过放大送入单片机进行模数转换,通过软件校正得出温度和液位数据。然后对于温度,通过PID运算转换为PWM波的占空比,输出至控制电路,控制加热片的开关,调节墨水温度;对于液位,则通过控制电路控制油墨泵的开关,调节供墨负压。

### 3.2 温度检测电路

PT100热敏电阻具有正温度系数,阻值随温度的升高而增加,在此采用恒流源电路进行温度电压转换,令通过PT100的电流*I*恒定为1 mA,则输出信号电压*V*与PT100阻值成正比关系*V*=*I*×*R*<sub>PT100</sub>。恒流源采用精密稳压二极管TL431构成。TL431具有低动态电阻、低噪声电压的优点,可稳定输出2.5 V参考电源,并具有1 mA~100 mA的灌电流能力,通过改变串联电阻阻值来调节输出电流。

PT100在0~100℃内阻值为100Ω~138.51Ω,得到信号电压为100 mV~138.51 mV。在送入STC12C5628AD单片机自带10位A/D转换器前需进行放大处理,以使0℃,100 mV对应A/D输入0 V,100℃,138.51 mV对应A/D输入5 V,信号电压范围38.51 mV对应输入电压范围5 V。因此,放大倍数*G*=5 V/38.51 mV=129,同时补偿负电压129×100 mV=12.9 V,使得放大电压线性平移到0~5 V区间,与A/D模拟输入电压区间匹配。从而得到温度分辨率γ=100/1024=0.1℃/AD\_Data<sup>[7]</sup>。

放大电路采用仪表放大器AD620,其采用经典三运放设计,只需一个外接电阻即可实现对增益的精确编程。增益公式为:

$$G = \frac{49.4 \text{ k}\Omega}{R_c} + 1 \quad (3)$$

式中:*G*—放大倍数,*R<sub>c</sub>*—外加电阻。

同时,本研究采用低噪声高精度运放OP07构成减

法电路,平移AD620输出放大电压区间,得到A/D模拟输入电压*V<sub>in</sub>*。

### 3.3 液位检测电路

MPX2010GS在工作压力范围内输出电压与输入压力呈正比关系,且在0~85℃范围内自带温度补偿。传感器灵敏度为2.5 mV/kPa,在5 V电源电压下,满量程输出为12.5 mV,测量压力范围为0~10 kPa。由于次级墨盒液位范围为0~10 cm,传感器测量压力范围为0~1 kPa,输出电压满量程为1.25 mV。由于传感器具有±1 mV的零点漂移,为避免负偏移造成工作特性的非线性,在传感器正输出端添加5 mV的初始补偿电压。放大倍数*G*=5 V/(5 mV+1.25 mV)=800,直接采用AD620放大后送入A/D转换。通过计算可得对应的A/D\_Data分别为:0 mm是819,100 mm是1 024,因此液位分辨率γ=100/(1 024-819)=0.48 mm/A/D\_Data,满足控制需求。

### 3.4 控制输出电路

检测信号经A/D转换后,经过微处理器运算产生控制信号,分别对油墨泵和加热片进行控制。控制电路采用门电压为3 V的NMOS管IRF530为开关,并且为防止执行机构24 V工作电压对单片机电压的干扰,分别采用光隔进行电气隔离。

## 4 控制系统软件设计

控制系统软件部分即单片机接收到经过模数转换的采样信号,通过既定算法对其进行处理,并产生输出。

首先是对温度进行标度转换。PT100在0~100℃内温阻关系式为*R<sub>t</sub>*=100+0.396 8*T*-0.000 058 477 *T*<sup>2</sup>呈二次关系非线性,故需转换为一次线性关系式。经最小二乘法处理后,得到*T*=2.557 5*R*-255.75,最大误差0.249 1℃。因此可得标度转换式如下:

$$T = 2.557 5 \left[ \frac{U_{AD}}{I \times G} + R_0 \right] + 255.75 \quad (4)$$

式中:*T*—摄氏温度;*U<sub>AD</sub>*—送入A/D的信号电压;*I*—恒流源产生的电流;*G*—信号放大倍数;*R<sub>0</sub>*—PT100在0℃时的阻值,100Ω;

其次,对温升过程进行控制。温控系统是个非线性、大惯性的时滞系统,难以建立精确数学模型。对于此类系统,采用PID控制算法具有结构简单、调整便捷、性能可靠等优点,能达到很好的效果。本研究在微机中通过数字PID算法程序来实现:

$$\Delta u(k) = k_p \Delta e(k) + k_i e(k) + k_d (\Delta e(k) - \Delta e(k-1)) \quad (5)$$

式中:*k<sub>p</sub>*,*k<sub>i</sub>*,*k<sub>d</sub>*—PID控制参数;*e(k)*,*Δe(k)*—温度偏差

与偏差变化量。

单片机按采样周期 $T$ ,将温度偏差代入上式中,经过PID运算由输出量决定PWM方波占空比,进而控制加热片的工作时间和实际功率。为提高初期温度响应和降低稳态超调,可对温控过程进行分段处理。本研究设定一温度阈值 $T_{set}$ ,当温度低于 $T_{set}$ 时,加热片全时工作,不必对其进行PID控制,当温度高于 $T_{set}$ 时则对其

介入PID调控,以确保稳态精度和减少超调<sup>[8-9]</sup>。

再次,本研究将检测到的液位高度与设定值对比,若液位低于设定值 $H_L$ 则开启油墨泵补墨,当液位快达到墨盒高度9.5 cm时,关闭油墨泵,停止输墨。

程序流程图如图5所示。

## 5 实验结果

本研究将所设计的温度和液位控制系统应用于笔者设计的XJ500供墨系统中,在白天气温25℃及晚上10℃环境下分别运行1 h,得到液位始终保持在设定范围内,温度在29.8℃~30.5℃之间波动,温度误差小于0.5℃,此范围内墨水粘度对喷头较佳。

## 6 结束语

本研究通过墨水温度和液位控制,实现了对墨水粘度和供墨压力的有效控制,保证了喷墨打印过程的连续可靠性和高质量打印效果,提高了工业喷墨打印的工作效率和稳定性,具有一定的实际应用价值。

### 参考文献(References):

- [1] 石利琴. 影响喷墨印刷质量的关键因素分析 [J]. 包装工程, 2005, 26(4): 45-47.
- [2] 陆 迪. 喷墨打印墨水的研究[D]. 西安:西安理工大学材料科学与工程学院, 2008.
- [3] JANG D, KIM D, MOON J. Influence of fluid physical properties on ink-jet printability [J]. *Langmuir*, 2009, 25(5): 2629-2635.
- [4] 王振宁, 唐正宁. 液体表面张力和粘度对压电喷射液滴形成过程影响的数值模拟[J]. 包装工程, 2010, 31(7): 24-27.
- [5] 燕 文, 周雪琴, 张邦彦. 喷墨打印墨水的技术现状与进展 [J]. 影像技术, 2005(5): 41-45.
- [6] SHIN P, SUNG J, LEE M H. Control of droplet formation for low viscosity fluid by double waveforms applied to a piezoelectric inkjet nozzle [J]. *Microelectronics Reliability*, 2011, 51(4): 797-804.
- [7] 郭少朋, 吴岚军, 刘 鸿. 铂电阻多点测温控温设计[J]. 传感器技术, 2004, 23(1): 67-69.
- [8] 张宝伟. 基于PID算法的高精度温度控制系统[J]. 电子质量, 2010(8): 16-17, 26.
- [9] 魏英智, 丁红伟, 张 琳, 等. 数字PID控制算法在温控系统中的应用[J]. 现代电子技术, 2010, 33(17): 157-159.

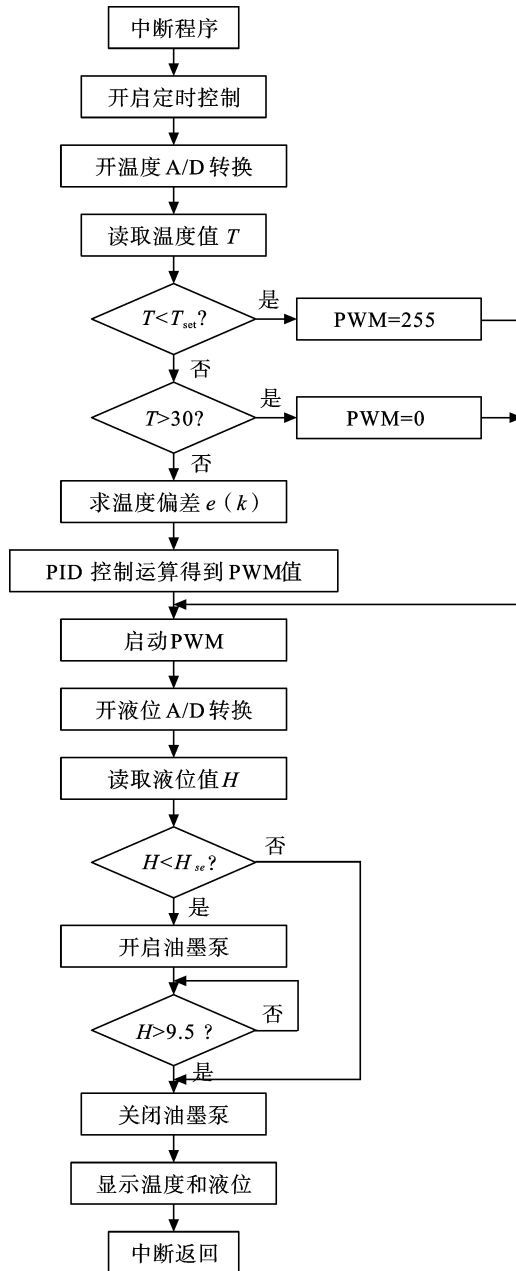


图5 中断控制程序框架

[编辑:李 辉]