

# 压力机智能温控系统设计和仿真研究

陈若愚,孙宇,孔令成

(南京理工大学 机械工程学院,江苏 南京 210094)

**摘要:**针对压力机在运行过程中因温度过高造成的轴承研伤及失效损坏等问题,设计了一套智能化的压力机温控系统。该系统采用模糊PID控制,利用PLC及扩展模块,结合触摸屏操作组态软件对模块进行编程,并对模糊PID控制结果进行MATLAB仿真,通过实验加以验证,实现了对温度的实时监测、显示和控制。

**关键词:**压力机;模糊PID;PLC;温控系统;MATLAB

**中图分类号:** TG315.5   **文献标志码:** A   **文章编号:** 1671-5276(2021)04-0092-05

## Design and Simulation of Intelligent Temperature Control System for Press

CHEN Ruoyu, SUN Yu, KONG Lingcheng

(College of Mechanical Engineering, Nanjing University of Science and Technology, Nanjing 210094, China)

**Abstract:** Regarding the bearing bruises and failure damage caused by excessive temperature during the operation of the press, an intelligent press temperature control system was designed. In the system, fuzzy PID control was applied, PLC and its expansion module was programmed by integrating touch screen operation configuration software, and MATLAB simulation of the fuzzy PID control results was carried out. Through the verified experiments, real-time monitoring, display and control of temperature have been realized.

**Keywords:** press; fuzzy PID; PLC; temperature control system; MATLAB

## 0 引言

机械压力机是锻压生产常用设备,其在工作过程中,曲轴与轴承、滑块与导轨、传动轴前端与轴承以及离合制动器中的摩擦片温度不断升高,运动副间隙变小,摩擦力变大,引发轴承、轴瓦等关键零件失效损坏及离合制动器功能不足等问题,造成设备工作受阻,引发故障,甚至报废<sup>[1-2]</sup>。压力机生产精度需适应于不断提高的技术标准要求,零部件的生产误差、热变形、压力值、运动副间隙等都是影响其精度的关键因素,其中热误差占机床总误差40%~70%,成为影响机床加工精度最重要因素,越来越受到人们的关注<sup>[3]</sup>。因此针对上述问题,围绕压力机关键部位展开温度的实时监测、控制,以便了解压力机运行状况,确保压力机能够高效、安全、稳定地运行。

## 1 系统硬件设计

### 1.1 系统总体结构

整体方案设计框图如图1所示。

### 1.2 主要的硬件

要对压力机实现温度控制,需要配备开关量输入 8

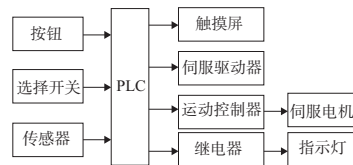


图1 整体方案设计框图

个,开关量输出4个;模拟量输出8个,温度采集点16个。

因此就需要选用合适的控制器和温度传感器。由于PLC控制性能稳定、抗干扰能力强和通信实时性等特点,所以本文拟选用PLC作为系统的下位机,触摸屏用于现场参数的实时显示。

#### a) PLC的选型及配置

选型时避免贪大求全,要以满足系统功能需要为原则,需注意以下几方面:

1)在工作条件良好、工艺不变的场合,考虑选择整体型结构PLC;其他场合则选用装配灵活,安装维修方便的模块型PLC<sup>[4]</sup>。

2)对以开关量为主、模拟量需求较少并且无需考虑控制速度时,可选择带A/D及D/A转换、简单逻辑运算和数据传输的低档机。而对需要进行PID及闭环控制、通信联网等复杂控制时,选择中档或者高档机较为合理。

3)在大企业选择控制系统时,应尽量保证PLC型号一致,不仅同机型PLC模块可作备份、方便采购和管理,而且利

基金项目:江苏省重点研发计划项目(BE2015011-3)

第一作者简介:陈若愚(1995—),男,江苏南京人,硕士研究生,研究方向为复杂系统的智能检测与智能控制技术。

于管理人员技术培训、操作水平提高与功能开发<sup>[5]</sup>。

4)在确定 I/O 数量时,要考虑到 I/O 点的损坏、失效等因素,提高 10%~20%的备用量,同时尽可能选用 PLC 内置继电器和寄存器,以便节约 I/O 资源。本文的模拟量对象是温度,考虑在 PLC 上加装温度扩展模块<sup>[6]</sup>。

鉴于以上几方面的选型原则和压力机需要的逻辑控制点数,拟选择西门子 S7-200 PLC 较为合适。

b)温度传感器的选型

在熟悉和掌握了某集团压力机运动副温度测量的实际需求后,分析了运动副结构特点,明确了温度测点的分布和数量。根据各个温度测点的安装位置和结构特征,选取相适应的传感器类型。压力机运动副温度测点分布如表 1 所示。

表 1 压力机运动副温度测点分布

测点位置	测点数	传感器类型
曲轴前支承	2	端面型温度传感器
曲轴后支承	2	
曲轴轴瓦	2	
机床导轨	6	螺钉安装式温度传感器
离合器摩擦片表面	1	在线式红外测温仪
卸荷套远机身端轴承	1	端面型温度传感器
飞轮轴承	2	端面型温度传感器+无线测温模块

1) 支承结构测温传感器

端面型传感器型号为 WZPM-201B (也可选用 A 级铂电阻),主要参数如下:

Pt100 铂电阻,测温范围为-150℃~200℃,允许偏差为 B 级 $\pm(0.30+0.005|t|)$ ,响应时间 $\leq 6s$ 。

安装尺寸:传感器结构尺寸见图 2。保护管直径  $d$  可选择  $\Phi 8.7$  或  $\Phi 6$ ;保护管长度  $L$  依据具体安装位置进行选择;压紧弹簧  $L_s$  自由状态为 12mm,压紧后不宜 $< 6mm$ 。其安装方式见图 3。

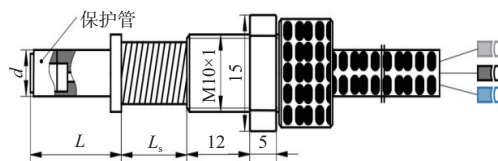


图 2 端面热电阻尺寸规格

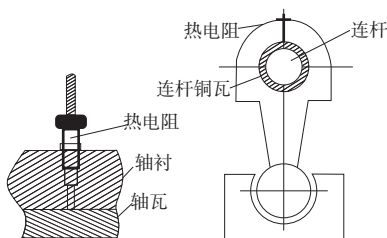


图 3 传感器安装示意图

2) 导轨测温传感器

传感器型号为 WZPT-261PG,主要参数如下:

Pt100 铂电阻,测温范围为-150℃~200℃,允许偏差为 B 级 $\pm(0.30+0.005|t|)$ ,响应时间 $\leq 6s$ 。

安装尺寸:导轨实际壁厚为 13mm,选用 M6x1 的安装螺纹。传感器保护管尺寸  $L$  可选择为 20mm,以探头接近导轨中心为宜,其传感器结构尺寸和安装示意图分别如图 4、图 5 所示。

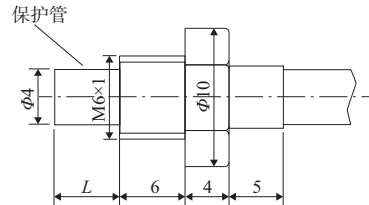


图 4 导轨测温传感器尺寸规格

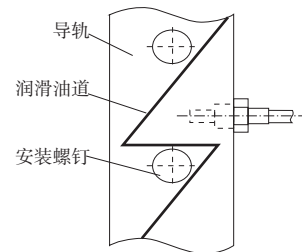


图 5 螺钉式传感器安装示意图

3) 飞轮轴承测温传感器

传感器:选用 WZPM-201B 端面型测温传感器。

无线模块:选用 PT59-LI-A10 型无线 Pt100 温度采集器,选用 RE59-M-485 型多路温度接收器。

无线测温系统结构见图 6。



图 6 无线测温系统

c) 通信的实现

温控系统系统硬件组成如图 7 所示<sup>[7]</sup>。

PLC 通过通信端口 1,经 MPI 电缆与触摸屏相连;触摸屏经 PC/PPI 电缆和上位机相接,该电缆也与通信端口 2 相接;温度传感器把测得温度信号通过温度变送器的信号转换和放大传送到 PLC 的温度控制模块;PLC 把温度控制信号传递给驱动模块,驱动模块实施温控操作,并与温度传感器相连,构成一个闭环系统。该系统实现了 PLC 和触摸屏的组态通信,同时上位机与 PLC 与触摸屏可实现实时的监测控制、信息的上传与下载,易于管理。

1.3 系统主要控制器的组成

系统的主要控制器包括 PLC、触摸屏和上位机。

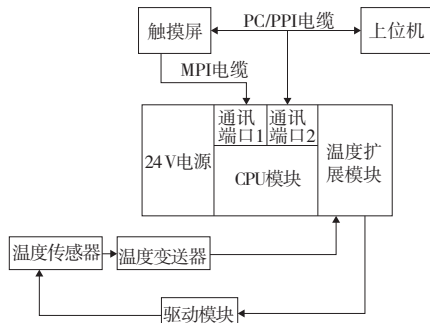


图7 温控系统硬件组成图

PLC 选用西门子 S7-200, PLC 控制关键是其 CPU 模块 CPU 224XP CN, 其他包括 24 V 电源模块 PS 207、通信模块和温度扩展模块 EM 231 等。触摸屏采用西门子 SMART 700, 包括人机交互模块、报警模块和数据存储模块等。上位机采用工业 PC 机。

## 2 系统软件设计

该系统设计具体思路如下: 首先对运动副各测点设定温度阈值, 温度初始值设为 0 并在触摸屏上实时显示。在实时显示过程中, 用温度传感器检测各测点温度并把温度信号传送给 PLC, 并判断各测点温度是否大于设定值, 如果未超过设定值, 则判定运动副温度正常, 不采取温控操作; 如果超过设定值, 则判定运动副温度异常, 发出温度过热报警信号。在触摸屏上显示过温测点对应构件, 便于操作人员管理。同时触发温控信号, 对下层的润滑冷却系统进行调控。调整比例阀开度大小和油泵流量以此来控制润滑油流量, 从而达到降温效果。系统把过温控制的历史数据进行存储, 发送给上位机和远程操作平台并进行显示<sup>[8]</sup>。

温度测控方案、PLC 梯形图温控程序(部分)如图 8、图 9 所示。

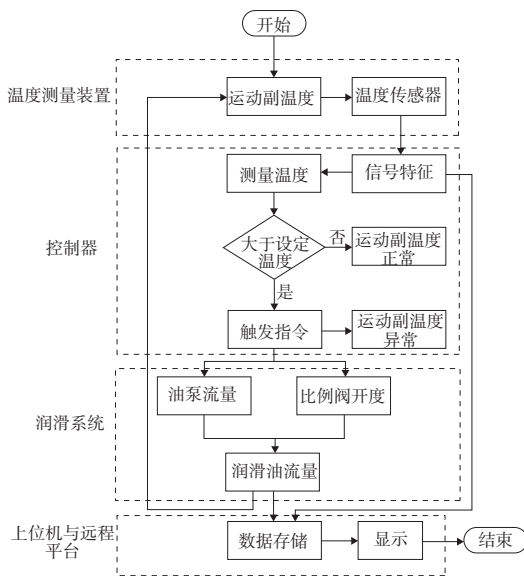


图8 温度测控方案图

触摸屏 WinCC Flexible 的组态温度监测界面和温度测点数据类型与地址(部分)如图 10 和表 2 所示。

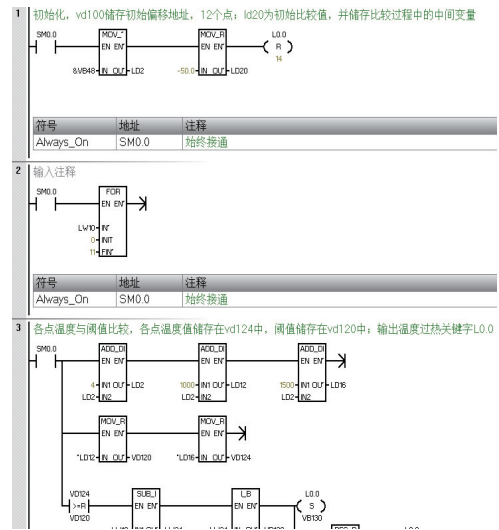


图9 温控程序图(部分)

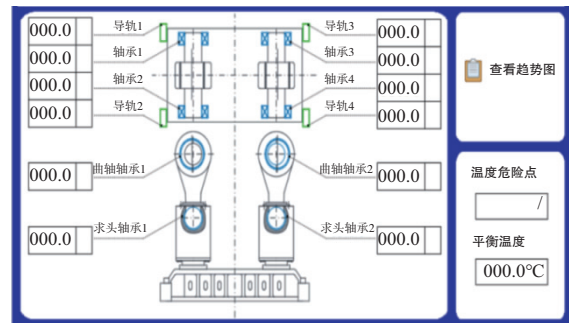


图10 温度监测界面

表2 温度测点数据类型与地址(部分)

名称	数据类型	地址
导轨 1	Real	VD1532
导轨 1_阈值	Real	VD1032
导轨 2	Real	VD1536
导轨 2_阈值	Real	VD1032
导轨 3	Real	VD1540
导轨 3_阈值	Real	VD1032
导轨 4	Real	VD1544
导轨 4_阈值	Real	VD1032
过热关键字	Word	VW1112
球头轴承 1	Real	VD1508
球头轴承 1_阈值	Real	VD1008
球头轴承 2	Real	VD1512
球头轴承 2_阈值	Real	VD1008
温度趋势 ID	UInt	—

## 3 系统算法仿真与优化

PLC 温度控制系统利用 PLC 中的 PID 模块控制润滑油路比例阀开度大小, 从而达到控制温度的效果。因此选择合适的 PID 算法尤为重要。本文把 S7-200 PLC 温控

系统作为研究对象,组建上位机与 PLC 间通信网络,通过 MATLAB 软件完成初始参数的在线整合、算法程序和 M 文件的编写等<sup>[9]</sup>,将传统 PID 与模糊控制 PID 控制通过 MATLAB 软件完成仿真,根据仿真效果对比选择更合适的算法。

传统 PID、模糊 PID 控制原理分别如图 11、图 12 所示<sup>[10]</sup>。

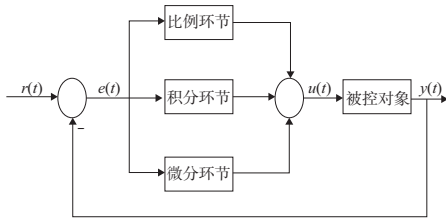


图 11 传统 PID 控制原理图

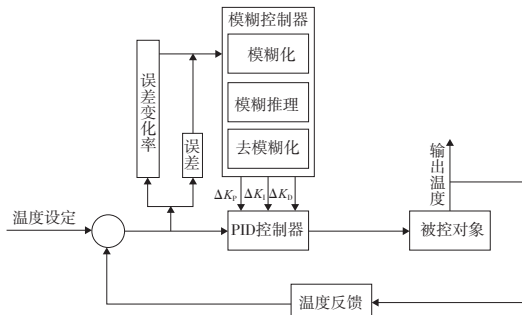


图 12 模糊 PID 控制原理图

首先,从 MATLAB 软件中调用模糊 PID 控制器,把偏差  $e$  与偏差变化  $ec$  作为输入端,  $\Delta K_p$ 、 $\Delta K_i$ 、 $\Delta K_d$  作为输出端,利用模糊规则和隶属度关系把输入输出参数模糊化处理,这里不做具体阐述<sup>[11]</sup>。然后,从 MATLAB 内 simulink 仿真功能中,调用已编辑好的模糊 PID 控制器,设定被控对象为  $\frac{1.62}{30s+7} \cdot e^{-5s}$ ,设置 PID 参数<sup>[12]</sup>:  $K_p = 2.1$ ,  $K_i = 1.3$ ,  $K_d = 0.15$ ,搭建仿真模型,在仿真模型中加入传统 PID 控制器,便于比较两种控制算法效果。最后,模型建好之后进行仿真,在示波器中查看两种算法控制效果。

传统 PID 与模糊 PID 仿真模型与其仿真效果分别如图 13、图 14 所示。

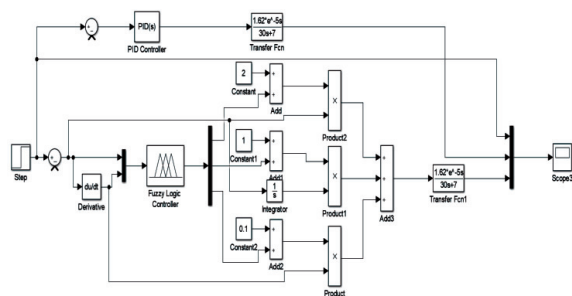


图 13 传统 PID 与模糊 PID 仿真模型

根据仿真效果对比可知,模糊 PID 控制较传统 PID 控制有以下优点:

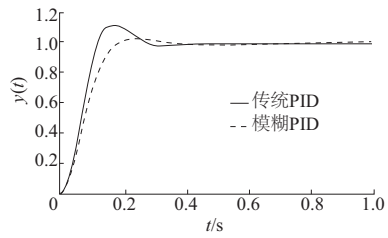


图 14 传统 PID 和模糊 PID 控制效果图

- 1) 系统稳定,对环境的适应性强。
- 2) 控制效果好,响应速度快、超调量低。
- 3) 系统鲁棒性能好,各项参数均达到设定要求,具有良好的推广价值<sup>[10]</sup>。

鉴于以上优点,本文选用模糊 PID 控制算法更为合理。

## 4 实验

设计好温度控制系统的软硬件后,在实验室已有条件下搭建温控系统实验平台(图 15),准备好不同温度的同种等量润滑油(油液 A 为 25℃、油液 B 为 35℃,室温大约 17℃)、小型油箱、油路比例阀和油管若干。在系统中预设温度上限为 20℃,分别采用传统 PID 控制和模糊 PID 控制算法,通过温度传感器测量 A 和 B 的油液温度,观察触摸屏温度变化曲线并且记录各项参数数据。由表 3 可知,模糊 PID 控制较传统 PID 控制的调节速度更快,几乎没有明显震荡,超调量更小,控制精度更高。



图 15 实验平台

表 3 两种 PID 算法下的油液温控参数

油液	调节时间/s	超调量/%	最高温度/℃	控制精度/℃
A(传统 PID)	16	1.60	22.3	2.3
A(模糊 PID)	14	0.40	20.1	0.1
B(传统 PID)	23	1.33	22.8	2.8
B(模糊 PID)	20	0.26	20.4	0.4

## 5 结语

本文针对压力机因温度过高造成的轴承研伤及失效损坏等问题,采用 PLC、触摸屏组态和模糊 PID 算法设计了机械压力机智能温控系统,实现了对压力机升温部件较为精确的控制。利用 MATLAB 软件实现控制算法的仿真

并加以实验验证,仿真结果和实验数据都表明模糊 PID 控制算法具备更良好的控制效果,这样不仅节约了 PLC 程序与目标硬件的调配时间,而且还降低了研发成本,提高了生产效益。

#### 参考文献:

- [1] 徐超明,吴青,刘志兵. 基于单片机的曲柄压力机测控显示系统的设计和仿真研究[J]. 锻压装备与制造技术, 2010, 45(5):55-60.
- [2] 沈炜. 机械压力机上梁温度监测系统研究[J]. 一重技术, 2017(4):25-29.
- [3] POPA M S.Advanced thermal measurements of modern manufacturing systems[A]. XIX IMEKO World Congress: Fundamental and Applied Metrology[C]. [S.I.]: Lisbon, 2009.
- [4] 张琦. 电磁阀控制系统的耐久设计[J]. 数字化用户, 2014, 29(3): 95.
- [5] 吴春雷,赵景昱. PLC 可编程逻辑控制器的选择方法[J]. 民营科技, 2013(3):62.

- [6] 张桂香,张志军. PLC 的选型与系统配置[J]. 微计算机信息, 2005, 21(19):81-82,36.
- [7] 叶军,刘海雄,廖勇锋. 基于 S7-200 PLC 和 WinCC Flexible 2008 的 PID 温度控制系统[J]. 实验科学与技术, 2017, 15(4):14-17.
- [8] 王晖,杨挺. 应用 FPGA 的传感器信号采集系统的设计[J]. 科学技术与工程, 2009, 9(11):3144-3147.
- [9] 卢勇威. 模糊神经网络 PID 在 PLC 温度控制系统中的应用研究[J]. 科技通报, 2018, 34(1):155-158.
- [10] 闵军,蒋文萍. 自整定模糊 PID 算法在精密温控系统中的运用[J]. 工业仪表与自动化装置, 2019(4):35-38,130.
- [11] 李珍珍,朱浩铭. 模糊 PID 控制器的设计[J]. 通信电源技术, 2019, 36(11):48-50.
- [12] 李腾飞. 模糊控制在过程控制系统中的应用研究[D]. 石家庄:河北科技大学, 2013.

收稿日期:2020-07-13

(上接第 70 页)

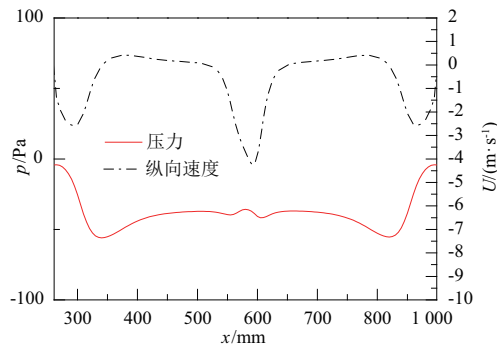


图 13 特征线上压力及纵向速度  
量化值(等距型)

图 14 给出了等距型管路支管附近流线及纵向速度分布,可发现主管内气流通过挡板后流出,2 个支管气流流向管内并通过共用出口汇入主流,且 2 个支管内纵向速度一致,这进一步证明了等距型管路产生均匀吸力的有效性。

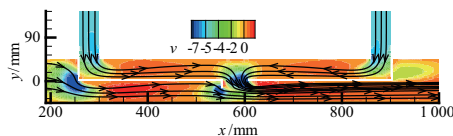


图 14 截面流线及纵向速度(等距型)

## 4 结语

为了设计出一款能够满足铝箔剪切机碎屑收集要求、加工工艺简单的管路结构,文中使用数值方法计算了不同

挡板结构且考虑挡板厚度时的管路流场,获得了压力-速度耦合特征,并分析了各流态出现的原因。通过本文数值计算主要得出以下结论:

1) 设置 1 个挡板时,虽然 2 个支管附近均产生负压,但速度值相差达 150%,无法满足支管吸力均匀要求。

2) 设置 2 个挡板时,第 2 个挡板会对第 1 个支管后部气流产生“阻挡”作用,形成较大低速回流区,并导致第 1 个支管气流流出管外,无法产生吸力。

3) 优化后等距型管路 2 个支管负压利用较均匀,支管口气流速度差异非常小,吸力相同,可满足工业生产需求。

#### 参考文献:

- [1] 辛达夫. 当代铝箔生产工艺及装备[M]. 北京:冶金工业出版社, 2013.
- [2] 李会荣,王广林. FQ1850 大卷径铝箔分切机开卷锥头的优化设计[J]. 机械制造与自动化, 2018, 47(1):58,96.
- [3] 江开伦,商雨. 1700 mm 铝箔分切机剪切装置的改进[J]. 有色金属加工, 2020, 49(3):47-49.
- [4] 郑晓杰,胡海庆,时超凡. 铝箔废边剪切机吸收打碎装置:中国, CN209682296U[P]. 2019-11-26.
- [5] 祁金胜,曹洪振,石岩,等. 虾米腰弯管内置导流板优化[J]. 山东大学学报(工学版), 2020, 50(5):64-69,76.
- [6] 叶卫东,张岩,候宇,等. 基于 FLUENT 的变径防气抽油泵性能数值模拟及研究[J]. 机械制造与自动化, 2020, 49(4):133-135,144.
- [7] 杨叶. 吸尘设备发展概况与展望[J]. 科技资讯, 2019, 17(16):67-68.
- [8] 吴子牛. 计算流体力学基本原理[M]. 北京:科学出版社, 2001.
- [9] 刘跃,管小菜,徐诚. 不同 SST 模式在细长体绕流模拟中的应用比较[J]. 工程力学, 2016, 33(11):240-248.

收稿日期:2021-02-01