

文章编号:1671-251X(2014)10-0098-04 DOI:10.13272/j.issn.1671-251x.2014.10.027
李昊.基于改进型PID算法的机电硐室降温系统[J].工矿自动化,2014,40(10):98-101.

基于改进型PID算法的机电硐室降温系统

李昊

(安徽理工大学 电气与信息工程学院,安徽 淮南 232001)

摘要:针对深部开采矿井存在的机电硐室的高温热害问题,设计了一套机电硐室用低风速、低湿度、可实现冷量自动调节的降温系统,详细介绍了系统的硬件设计和上位机软件设计,同时重点介绍了PLC内嵌的带死区增量型数字PID算法。实际应用结果表明,该系统可有效降低机电硐室内的温度,实现了冷量的自动控制、地面监控、报警预警等功能。

关键词:机电硐室;降温系统;空冷器;改进型PID算法

中图分类号:TD727.2 文献标志码:A 网络出版时间:
网络出版地址:

Cooling system of electromechanical chamber based on improved PID algorithm

LI Hao

(School of Electrical and Information Engineering, Anhui University of
Science and Technology, Huainan 232001, China)

Abstract:In view of problem of high temperature thermal damage of electromechanical chamber of deep mining mines, the paper designed a set of cooling system for electromechanical chamber with low wind speed and humidity, which can realize automatic adjustment of cooling capacity. It introduced hardware design and PC software design of the system, and described dead zone incremental digital PID algorithm embedded in PLC in details. The application results show that the system can effectively reduce indoor temperature of electromechanical chamber, and achieves functions of automatic control of cooling capacity, ground monitoring, alarming and warning.

Key words:electromechanical chamber; cooling system; air cooler; improved PID algorithm

0 引言

随着煤矿开采深度的增加、围岩温度的提高,矿井热害问题越来越突出。尤其井下机电硐室内运行着大量的机电设备,发热量很大,容易引起环境温度上升,危及井下作业人员的身体健康和机电设备的安全稳定运行,严重影响安全生产^[1]。目前井下多采用集中降温方式,这种方式较粗犷,很难针对机电硐室的特点单独降温。因此,本文设计了基于改进型PID算法的机电硐室降温系统。首先根据机电硐室的风速、面积、设备发热量等参数计算并选用合

适功率的空冷器,然后通过井下环网将硐室内采集到的数据传到上位机监控软件,实现远程实时监控。该系统结合机电硐室环境以及冷量控制系统硬件特点和节能要求,对传统PID算法进行改进,形成了带死区增量型数字PID算法;将改进型算法内嵌到PLC中,结合上位机组态软件,实现了冷量自动控制、地面监控、报警预警等功能。

1 系统硬件设计

1.1 系统结构

机电硐室降温系统通过温度传感器、湿度传感

器及流量传感器采集机电硐室的室内温度、湿度以及空冷器的进出水温度、流量等 6 路信号,经变送器将信号变为 4~20 mA 的电流信号,通过 PLC 的 8 路模拟量采集模块得到相应的电流值,再通过软件计算出相应的物理量。系统软件对比当前的采集量和预定量的差别,用 PLC 内嵌的 PID 算法计算出相应的控制量,将控制信号送入执行机构电动调节阀,以控制制冷剂的输入,达到冷量自动控制的目的。LUT311F 系列光纤串口服务器将 RS485 信号转换为以太网数据包并入井下光纤环网,实现与监控中心上位机的通信;上位机软件利用脚本程序嵌入数据存储、监控和报警功能,实现数据的实时监控和报警。系统结构如图 1 所示。

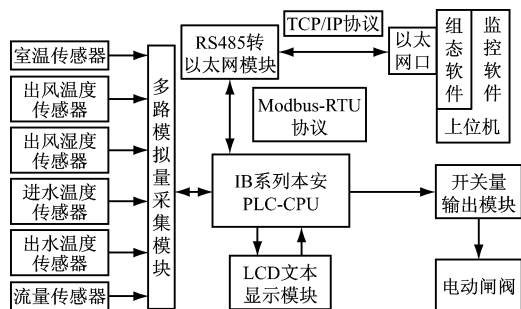


图 1 机电硐室降温系统结构

1.2 设备选型

以淮南矿业集团顾桥煤矿 11-2 上山采区中部变电所为例介绍相关设备的选型。该变电所的具体情况:硐室空气温度 $t_0=38\text{ }^{\circ}\text{C}$,湿度为 95%,空气焓值 $i_0=99.33\text{ kJ/kg}$,空气密度 $\rho=1.2\text{ kg/m}^3$,硐室风速 $v=0.8\text{ m/s}$,硐室工作面截面积 $S=7\text{ m}^2$,则硐室总风量 $Q=3\ 600vS=20\ 500\text{ m}^3/\text{h}$ 。根据热工公式估算单位时间内冷水所能吸收的空气中的热量:

$$E=M(i_c-i_0)+i_k D+q(i_b-i_a) \quad (1)$$

式中: M 为 A—B 剖面处的空气流量,kg/s; i_c 为 A—B 剖面处湿空气的焓值,kJ/kg; i_k 为从空冷器排出凝结水的焓值,kJ/kg; i_b, i_a 为进、出水口的焓值,kJ/kg; D 为凝结水流量,kg/s; q 为空冷器进出水流量, m^3/min 。

由于焓值的计算较为繁琐,不再一一列出,最后计算出理论上冷水每小时能够吸收的热量约为 $E=6.19\times 10^5\text{ kJ}$ 。按混合比 $a=0.375$ 计算,则空冷器处理过的风量 $Q_x=aQ=2.13\text{ m}^3/\text{s}$ 。根据混合关系,结合 $22\text{ }^{\circ}\text{C}$ 温度水平线与 95% 的相对湿度线,可确定空冷器的冷却功率为

$$W|_{\text{kW}}=aQ_x\rho E=165 \quad (2)$$

结合硐室风速、湿度等参数要求,最终选用

WK81 型空冷器。该空冷器设计冷却功率为 180 kW,可在低风量条件下同时实现降温和除湿的目的,其核心部件由铜管制作,是为在多粉尘条件使用下而特别研发的,并配置了自动清洗装置,可用于运行中的铜管的清洗。

考虑到设备均在井下运行,应满足煤矿本质安全、防爆等要求,选用以下设备:

(1) IB 系列本质安全型 PLC。PLC 作为整个系统的控制核心,其主要功能:多路传感器型号的采集,带死区增量型数字 PID 算法的实现,通过开关量输出模块控制执行机构电动闸阀的动作,通过液晶显示模块显示硐室内相关参数,进行参数设置和简单的启动停车控制,将系统参数以 Modbus-RTU 协议传送到光纤串口服务器。

(2) GWD200 矿用隔爆型温度传感器。该传感器主要负责采集硐室内的温度及空冷器进出水温度。

(3) LCZ-803 矿用隔爆兼本质安全型超声波流量传感器。该传感器采用速度差法测量圆管内液体的流量,主要负责采集空冷器出水流量。

(4) JWSM-2AT 防爆型温湿度变送器。该传感器集温度测量与湿度测量为一体,主要负责采集空冷器的出风温度与湿度。其温湿度测量范围分别为 $0\sim 50\text{ }^{\circ}\text{C}$, $0\sim 100\%$,输入电压为 24 V,输出信号为 4~20 mA 电流信号。

(5) SZ941HQ-64C-65 煤安防爆型电动闸阀。该电动闸阀为系统执行机构,PLC 开关量输出模块配合电动闸阀的就地控制箱控制电动闸阀的开合,从而控制冷却液的流量,达到冷量控制目的。

(6) LUT311F 系列光纤串口服务器。串口服务器主要负责将 PLC 的 Modbus 协议格式的 RS485 电平信号转换为 TCP/IP 的以太网光信号,通过井下光纤环网传到地面监控室的上位机。

2 系统软件设计

系统软件设计主要包括 3 个部分:下位机 PLC 的软件设计;下位机与上位机的通信设计;上位机监控软件设计。下位机的编程环境为 IB 系列本质安全型 PLC 的配套编程软件 EasyLad,下位机软件主要实现传感器的数据采集与转换、算法实现、输出控制和通信设置等功能。上位机监控软件基于中文 Windows XP 平台,采用组态王 6.5 开发^[5-6]。在 PLC 和监控中心软件中均固化了串口通信协议和通信程序。上位机监控软件部分界面如图 2 所示。

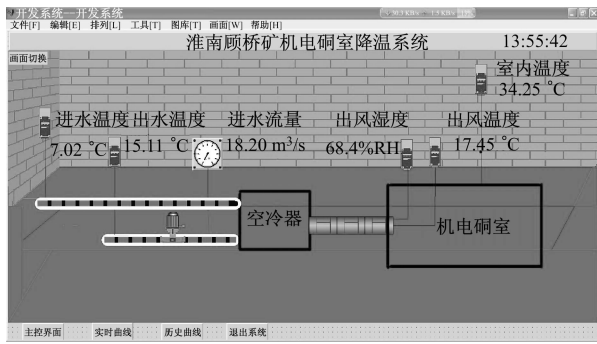


图2 上位机监控软件界面

3 带死区增量型数字 PID 算法

机电硐室内的温度控制存在着环境复杂、参数多变、运行惯性大、控制滞后等特点。因此,将机电硐室内的温度控制归为时滞温控。根据时滞系统的特点,选用 PID 控制作为降温系统的核心算法。PID 算法具有原理简单、使用方便、适用性强、鲁棒性强等特点,被广泛应用于各种温控系统中^[2-3]。PID 算法的动态方程表达式为

$$u(t) = K_P \left[e(t) + \frac{1}{T_I} \int_0^t e(t) dt + T_D \frac{de(t)}{dt} \right] \quad (1)$$

式中: $u(t)$ 为系统输出; K_P , T_I , T_D 分别为比例系数、积分系数和微分系数; $e(t)$ 为差分量, $e(t) = r(t) - c(t)$, 其中 $r(t)$ 为输入量, $c(t)$ 为反馈量。

由于以 PLC 为控制核心,因此,要将传统 PID 算法改为数字 PID。用数值逼近的方法实现 PID 控制规律,用求和代替积分,用后向差分代替微分,使模拟 PID 离散化为差分方程:

$$u(n) = K_P \left\{ e(n) + \frac{T}{T_I} \sum_{i=0}^n e(i) + \frac{T_D}{T} [e(n) - e(n-1)] \right\} + u_0 = u_P(n) + u_I(n) + u_D(n) + u_0 \quad (2)$$

与式(1)相比,式(2)将微分方程 $e(t)$ 替代为了差分方程 $e(n)$ (n 为当前项数, $n-1$ 表示上一项, $n+1$ 表示下一项),其中 $u_P(n)$, $u_I(n)$, $u_D(n)$ 分别为替代后的比例、积分和微分的差分子方程; $\frac{T}{T_I} \sum_{i=0}^n e(i)$ 为积分项, T 为周期; u_0 为系统初始状态。

考虑到 PLC 的计算能力相对较弱,选用增量型数字 PID 算法,以减少计算量,提高系统可靠性。式(3)为增量差分方程,以差分方程的形式表达出系统的增量:

$$\Delta u(n) = a_0 e(n) + a_1 e(n-1) + a_2 e(n-2) \quad (3)$$

式中: a_0 , a_1 , a_2 分别为系统 3 次连续差分值的系数, $a_0 = K_P (1 + \frac{T}{T_I} + \frac{T_D}{T})$, $a_1 = -K_P (1 + \frac{2T_D}{T})$, $a_2 = -K_P \frac{T_D}{T}$ 。

由式(3)可知,只需计算出系统前后 3 次测量的偏差值,就可以求出控制量(即增量)。为了避免执行机构电动闸阀动作过于频繁,引起过度磨损、疲劳以至于影响到使用寿命,引入了一个带死区的非线性环节^[4],构成了带死区增量型数字 PID 算法:

$$\Delta u(n) = K_P (e_n - e_{n-1}) + N K_I e_n + K_D (e_n - 2e_{n-1} + e_{n-2}) \quad (4)$$

$$N = \begin{cases} 1, & |e_n| \leq B \\ 0, & |e_n| > B \end{cases} \quad (5)$$

$$U_n = U_{n-1} + \Delta U_n \quad (6)$$

式中: U_n 为当前控制输出; U_{n-1} 为上一次控制输出; ΔU_n 为带死区的增量值。

式(4)在式(3)的基础上引入了非线性环节 N , 当差分量大于上限值 B 时, $N=0$ (即积分系数 K_I 不再起调节作用,而比例系数 K_P 和微分系数 K_D 则不受影响)系统进入死区,避免了系统对输出量的频繁调整。

4 系统应用

将设计的机电硐室降温系统安装投入到顾桥煤矿 11-2 上山采区中部变电所当中,观察运行前后机电硐室内温度和湿度的变化,结果如图 3 所示。

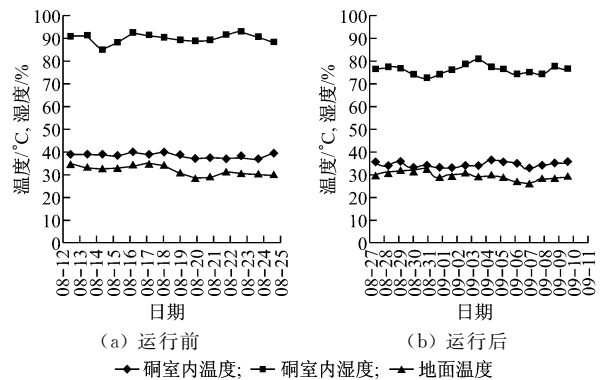


图3 系统运行效果

从图 3 可以看出,从 8 月 12 日到 9 月 11 日,地面温度基本维持在 30°C , 上下变化不大。但是在安装运行了机电硐室降温系统以后,室内湿度由平均 90% 下降到 75%, 下降了约 16%, 而硐室内温度由平均 39°C 下降到了 35°C , 下降了约 10%。湿度、

温度均有较大程度的下降,尤其是温度,虽然下降幅度只有 4 °C,然而由人体难以承受的 39 °C 下降到体温以下的 35 °C,人体所感受到的降温效果十分明显,加上湿度的下降,基本解决了煤矿井下机电硐室内高温热害问题,达到了预期的设计效果。

5 结语

从硬件、软件和算法 3 个角度介绍了机电硐室降温系统,并对系统的应用效果进行了论述。机电硐室降温系统的研究可弥补目前我国现有井下降温系统的不足。该系统适用于不同的煤矿环境条件,能够在低风量条件下,降低井下机电硐室环境温度,实现煤矿机电设备安全、高效运行,提高劳动生产率,确保了设备安全正常运行及人员安全。

参考文献:

[1] 刘忠宝,王浚,张书学. 高温矿井降温空调的概况及进展[J]. 真空与低温,2002,8(3):8-12.

[2] 边琳. 时滞温度控制系统控制方法的研究[D]. 长春:吉林大学,2007.

[3] 张林. PID 技术研究应用[M]. 北京:电子工业出版社,1988.

[4] 张孝兵,沈晓红. PLC 在步进电机控制中的应用[J]. 机电工程技术,2008,37(1):104-106.

[5] 李双科,王淑红,黄晓峰. 基于组态王的过程控制综合实验测控装置[J]. 仪器仪表用户,2005,12(6):143-144.

[6] 刘东科,任子晖,石莹. 基于 S7-200 PLC 和组态王的煤矿通风机监测系统的设计[J]. 工矿自动化,2010,36(6):112-113.