

DOI:10.3969/j.issn.1001-4551.2015.03.014

# 基于模糊 PID 与智能联动控制 的空压机恒压供气系统

李晓庆<sup>1</sup>, 王海舰<sup>2</sup>

(1. 同煤浙能麻家梁煤业有限公司 液压车间, 山西 朔州 036000;  
2. 辽宁工程技术大学 机械工程学院, 辽宁 阜新 123000)

**摘要:**针对煤矿空压机组母管压力的稳定性问题,对空压机的控制方法进行了研究,采用模糊 PID 控制和联动控制相结合的方法,以可编程序控制器 PLC 为硬件开发平台,设计并研发了基于模糊 PID 与智能联动控制的空压机的恒压供气控制系统,对空压机模糊 PID 控制的关键程序进行了研究,采用 Matlab/Simulink 软件对空压机模糊 PID 控制系统进行了建模,对空压机在初启动、负载突增以及压力设定值改变的 3 种不同工况进行了仿真分析。研究表明,基于模糊 PID 与智能联动控制空压机恒压供气系统能够根据空压机系统母管的压力变化进行快速的控制调节,具有良好的动态性能和静态性能,保证了空压机的恒压供气的稳定性,大大节约了煤矿的电能消耗,提高了煤矿的生产效率。

**关键词:**空压机;模糊 PID;联动控制;恒压;Matlab/Simulink

中图分类号:TH45;TH39

文献标志码:A

文章编号:1001-4551(2015)03-0366-04

## Constant pressure air supply system of air compressors based on fuzzy PID and linkage control

LI Xiao-qing<sup>1</sup>, WANG Hai-jian<sup>2</sup>

(1. Hydraulic Workshop, Ma Jialiang of Zheneng coal industry Co., Ltd., Shuozhou 036000, China;  
2. College of Mechanical Engineering, Liaoning Technical University, Fuxin 123000, China)

**Abstract:** Aiming at the problem of the coal mine air compressors' pressure stability, the control method of air compressors was researched, the method of combination of fuzzy PID control and linkage control was used, the programmable controller PLC was used as the developing platform of the hardware, the air compressors' constant pressure air supply control system was designed and researched based on fuzzy PID and linkage control, the fuzzy PID control key process of air compressors was researched, and the software of Matlab/Simulink was used to construct the air compressors' fuzzy PID control system modeling, the three different operating conditions include the beginning, load surges and pressure set value change were simulated and analyzed. The results indicate that, the air compressors based on the fuzzy PID and the intelligent linkage control can be controlled rapidly according to the pressure variation, the system has good dynamic and static performances, the stability of constant pressure air supply is ensured, the electric energy consumption in coal mine is saved greatly. the efficiency of coal production is improved.

**Key words:** air compressor; fuzzy PID; linkage control; constant pressure; Matlab/Simulink

## 0 引 言

空气压缩机是煤矿生产中重要的动力设备,井下大量的作业设备(例如风镐和风钻等)均由空压机提

供动力<sup>[1]</sup>。因此矿用空压机能否安全、长期稳定地运行,对整个煤矿的作业生产起着至关重要的影响。空压机全功率运行时耗电量大,当井下用风量小时,长期以全功率运行的空压机浪费了大量的电能,造成了一

收稿日期:2014-11-20

作者简介:李晓庆(1986-),男,辽宁本溪人,助理工程师,主要从事矿山机电方面的研究. E-mail:18341864272@163.com

通信联系人:王海舰,男,博士研究生,工程师. E-mail:qingseyuji2010@163.com.

大笔无功的经济消耗<sup>[2-3]</sup>。

为了保证空压机的恒压供气和节能降耗,本研究以西门子PLC为控制核心,采用模糊PID与联动控制相结合的综合智能控制方法,构建空压机的恒压供气控制系统<sup>[4]</sup>。

### 1 恒压供气控制思想

空压机恒压供气控制系统以PLC为控制核心,根据空压机母管压力的反馈值与系统压力设定值的比较,得到压力偏差和偏差变化率,再根据偏差范围进行分类控制,当偏差在一定范围内变化时,笔者采用模糊PID控制方法,通过改变空压机变频器的输出频率来改变电机的转速,实现对母管压力的调节<sup>[5]</sup>。当管道压力过高或过低,通过变频调速无法实现压力趋于期望值,从而需要进行停机或启动控制时,可采用联动控制实现空压机的智能启停控制,其控制原理图如图1所示。

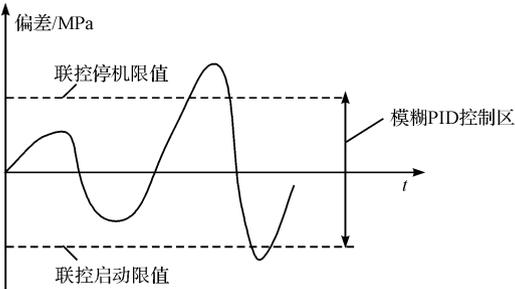


图1 空压机恒压供气控制原理图

### 2 模糊PID控制关键程序设计

空压机恒压供气模糊PID控制系统采用离线计算在线查询的方法将复杂的模糊PID控制计算融入查询表中,通过查表的方法对控制参数进行查询,很大程度上减少和节省了计算的时间,同时简化了系统的控制算法<sup>[6]</sup>。空压机的恒压供气模糊PID控制系统的PLC程序主要包括偏差 $e$ 和偏差变化率 $e_c$ 的模糊量化、比例系数 $K_p$ 、积分系数 $K_i$ 和微分系数 $K_d$ 的模糊控制表查询和去模糊化以及PID参数控制4部分<sup>[7-8]</sup>。模糊PID控制规则表查询程序如图2所示。

### 3 模糊PID系统建模

参数自整定PID模糊控制原理是:使 $K_p$ 、 $K_i$ 和 $K_d$ 的值可以根据偏差 $e$ 以及偏差变化率 $e_c$ 的变化而进行自适应调节,通过大量的实际经验并结合专家知识,建立一个完备的模糊控制规则,保证系统对于不同的 $e$

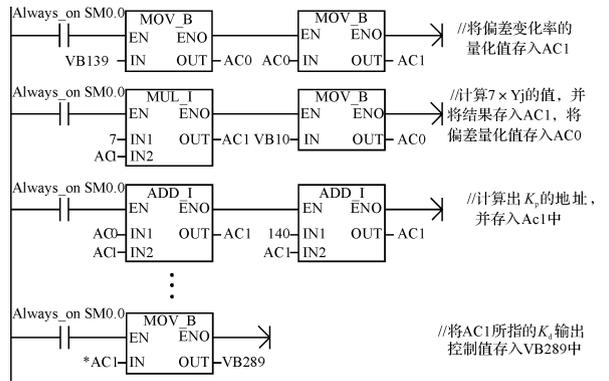


图2  $K_p$ 、 $K_i$ 和 $K_d$ 的模糊控制表查询程序

和 $e_c$ ,都能够快速地自行调整,输出最优化的PID调节参数<sup>[9-12]</sup>。根据参数自整定PID模糊控制的规则,构建参数 $K_p$ 、 $K_i$ 和 $K_d$ 的模糊规则表如表1~3所示。

表1  $K_p$ 的模糊规则表

| $K_p$ | $E_c$ |    |    |    |    |    |    |
|-------|-------|----|----|----|----|----|----|
|       | NB    | NM | NS | O  | PS | PM | PB |
| NB    | PB    | PB | PM | PM | PS | O  | O  |
| NM    | PB    | PB | NM | PS | PS | O  | NS |
| NS    | PM    | PM | PM | PS | O  | NS | NS |
| O     | PM    | PM | PS | O  | NS | NM | NM |
| PS    | PS    | PS | O  | NS | NS | NM | NM |
| PM    | PS    | O  | NS | NM | NM | NM | NB |
| PB    | O     | O  | NM | NM | NM | NB | NB |

表2  $K_i$ 的模糊规则表

| $K_i$ | $E_c$ |    |    |    |    |    |    |
|-------|-------|----|----|----|----|----|----|
|       | NB    | NM | NS | O  | PS | PM | PB |
| NB    | NB    | NB | NM | NM | NS | O  | O  |
| NM    | NB    | NB | NM | NS | NS | O  | O  |
| NS    | NB    | NM | NS | NS | O  | PS | PS |
| O     | NM    | NM | NS | O  | PS | PM | PM |
| PS    | NS    | NS | O  | PS | NM | PM | PB |
| PM    | O     | O  | PS | NM | PM | PB | PB |
| PB    | O     | O  | PS | PM | PM | PB | PB |

表3  $K_d$ 的模糊规则表

| $K_d$ | $E_c$ |    |    |    |    |    |    |
|-------|-------|----|----|----|----|----|----|
|       | NB    | NM | NS | O  | PS | PM | PB |
| NB    | PS    | NS | NB | NB | NB | NM | PS |
| NM    | PS    | NS | NB | NM | NM | NS | O  |
| NS    | O     | NS | NM | NM | NS | NS | O  |
| O     | O     | NS | NS | NS | NS | NS | O  |
| PS    | O     | O  | O  | O  | O  | O  | O  |
| PM    | PB    | PS | PS | PS | PS | PS | PB |
| PB    | PB    | PM | PM | PM | PS | PS | PB |

系统输入的隶属度函数图如图3(a)所示,本研究选用三角形隶属函数,分辨率较高,而输出的隶属度函数图如图3(b)所示,两端采用高斯型隶属函数,其余的采用三角形隶属函数<sup>[13]</sup>。

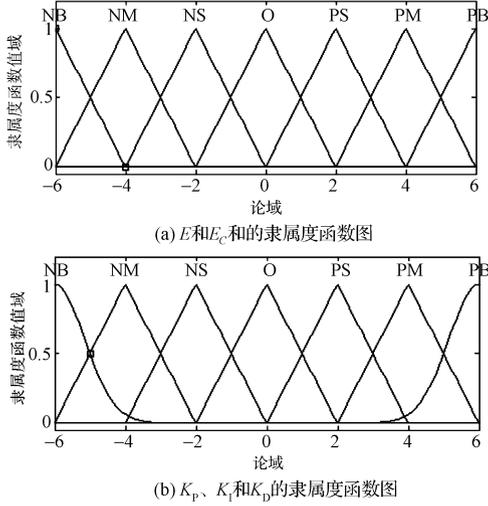


图 3 隶属度函数图

根据表 1~3 构建的 PID 参数  $K_p$ 、 $K_i$  和  $K_d$  的模糊规则表,采用 Mamdani 的模糊决策推理方法,建立模糊控制系统的控制规则,得出模糊控制器的  $K_p$ 、 $K_i$  和  $K_d$  的输出曲面及矢量图分别如图 4(a~c) 所示。

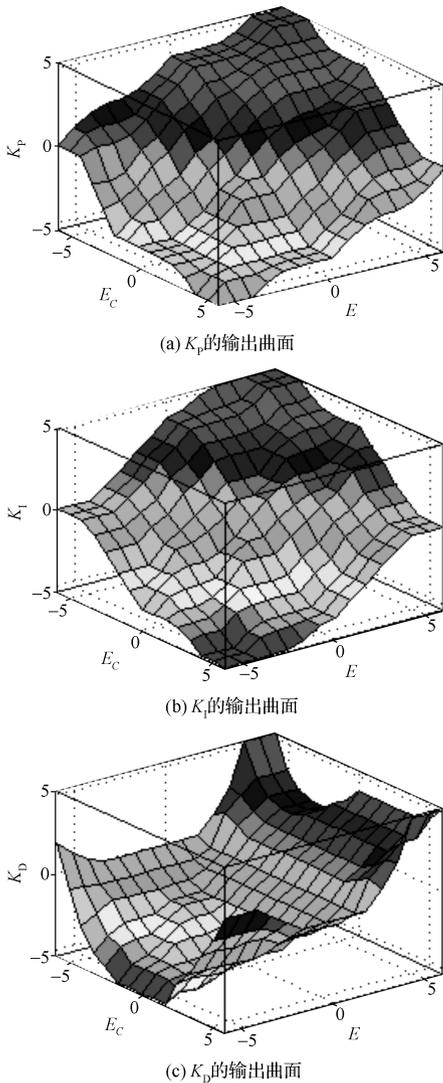


图 4  $K_p$ 、 $K_i$  和  $K_d$  的输出曲面

### 4 不同工况仿真分析

由于空压机工作特性比较复杂,无法获得十分精确的数学模型,空压机系统的数学模型可近似看作一个二阶系统  $12/s^2 + 5s + 6$ 。本研究采用 Simulink 模块分别构建系统的常规 PID 控制系统模型和参数自整定的模糊 PID 控制系统模型。笔者将常规的 PID 控制系

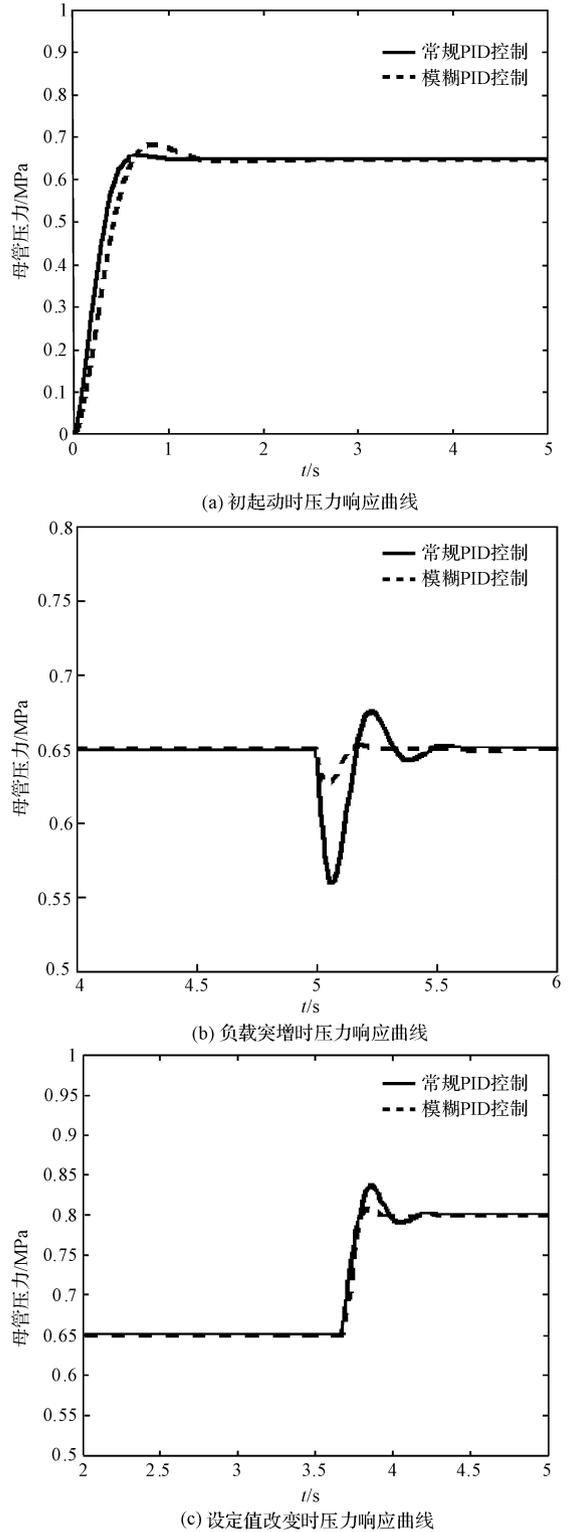


图 5 不同工况下的系统仿真响应曲线

统和参数自整定的模糊PID控制系统进行同步仿真,对不同工况下的两系统响应进行仿真分析<sup>[14]</sup>:

(1)空压机在初始启动时,其管道压力趋势近似于仿真系统的单位阶跃响应曲线,常规PID和模糊PID控制系统的单位阶跃响应曲线进行比较分析如图5(a)所示。

(2)系统负载突然增加,管道瞬间有较大压降时的常规PID和模糊PID控制的对比响应曲线如图5(b)所示。

(3)系统压力设定值有0.65 MPa改变为0.8 MPa时的常规PID控制和模糊PID控制的响应曲线如图5(c)所示。

通过对3种不同工况下的系统响应曲线的对比可知,采用参数自整定的模糊PID控制方法的系统能够更快地进行调节,超调量小,系统响应速度很快;当负载突增时采用模糊PID控制方法的系统体现出了非常好的自适应、自调节的性能;当系统输入的设定值由0.65 MPa改为0.8 MPa时,采用常规PID控制的响应曲线产生了较大的超调,可能会引起系统的不稳定,而且达到稳态过程的时间较长。而采用参数自整定的模糊PID控制方法的控制系统能够快速地进行自适应调节,保证了系统的稳定输出。

## 5 结束语

针对煤矿空压机母管压力的核变性问题,本研究采用Matlab/Simulink软件对空压机模糊PID控制系统进行了建模,在不同工况下进行了仿真分析。

仿真结果表明,基于参数自整定模糊PID控制的空压机系统能够根据系统输入以及空压机设备的实际情况进行自适应调节,给出最优化的控制参数,提高系统的响应速度,降低系统的超调量,保证系统的安全运行和空压机恒压供气的稳定性。同时可以根据系统压力的实际情况对空压机进行变频调速控制,大大节约了能源,避免了不必要的损失,提高了矿山的能源利用率。

## 参考文献(References):

- [1] 唐超礼,黄友锐,凌六一. 煤矿压风机监控系统的设计与实现[J]. 煤炭工程,2008(4):109-110.
- [2] 王慧,王海舰. 基于单片机与组态软件的停车场远程监控系统[J]. 计算机系统应用,2011,20(10):252-254.
- [3] WU Xing, CHEN Jin, LI Ru-qiang, et al. Web-based remote monitoring and fault diagnosis system[J]. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*,2004(1):62-63.
- [4] 吴金雷,林楠,陈焰. 模糊自整定PID参数在空压机控制系统中的应用[J]. 工业仪表与自动化装置,2011(5):62-63.
- [5] 王志凯,郭宗仁,李琰. 用PLC实现模糊控制的两种程序设计方法[J]. 工业控制计算机,2002,15(2):61-63.
- [6] 赵笑笑. 基于模糊理论与常规PID控制的模糊PID控制方法研究[J]. 山东电力技术,2009(6):54-56.
- [7] 王麟,张科. 基于Matlab的自整定模糊PID控制系统[J]. 探测与控制学报,2008,30(2):73-76.
- [8] 王庆明,孙怡. 基于模糊PID控制的直流电机同步控制系统[J]. 机电工程,2012,29(5):493-496.
- [9] 王国玲,李振宇,范自道. 无刷直流电机自适应模糊PID控制系统[J]. 机电工程技术,2013(2):30-33.
- [10] 段铁群,王萍,黄宇辉,等. 基于PLC的模糊自整定PID参数控制器在变频调速恒压供气系统中的应用[J]. 电机与控制学报 2003,7(4):348-351.
- [11] 周力. 基于PLC的变频恒压供水模糊控制系统设计[J]. 机电工程,2005,22(3):14-17.
- [12] 张向南,周丽娟,李金俊. 模糊自适应PID在气液增压缸压力控制中的应用[J]. 兵工自动化,2013(8):71-74.
- [13] 王瑾辉,孔建益,孔平,等. 基于模糊控制的空压机恒压供气控制研究[J]. 化工自动化及仪表,2011,38(6):689-690.
- [14] 何凤有,鲍卫宁,刘西超. 基于模糊PID控制器的空压机恒压供气系统的设计[J]. 工矿自动化,2010(1):91-92.

[编辑:李辉]

### 本文引用格式:

李晓庆,王海舰. 基于模糊PID与智能联动控制的空压机恒压供气系统[J]. 机电工程,2015,32(3):366-369.

LI Xiao-qing, WANG Hai-jian. Constant pressure air supply system of air compressors based on fuzzy PID and linkage control[J]. *Journal of Mechanical & Electrical Engineering*, 2015,32(3):366-369.

《机电工程》杂志: <http://www.meem.com.cn>