

基于网络的风机防喘振控制系统设计

田海, 梁茂玉

(内蒙古科技大学 信息工程学院, 内蒙古 包头 014010)

摘要: 针对某钢厂转炉煤气加压站大风机电机采用工频加变频的恒压闭环运行方式, 变频风机极易发生喘振的现象, 为了确保大风机稳定、安全的运行, 在风机喘振的预防和控制方法上进行改进; 采用两台风机同步变频调速与最小极值流量法的模糊 PID 控制相结合的防喘振控制方法, 同步变频调速控制策略有效地预防喘振的发生, 最小极值流量法的模糊 PID 控制策略最大限度的扩大了风机的运行区间, 通过 MATLAB 软件仿真, 证明模糊 PID 的动态响应速度和鲁棒性较常规 PID 有较大的改良; 控制系统通过工业网络完成现场设备和远程的通讯, 使控制系统达到高水平的智能自动化。

关键词: 大风机; 防喘振控制; 模糊 PID; 工业网络

Design of Fan Anti-surge Control System Based on Network

Tian Hai, Liang Maoyu

(College of Information Engineering, Inner Mongolia University of Science and Technology, Baotou 014010, China)

Abstract: For a steel converter gas compression station, big fan motor with power frequency and frequency conversion constant pressure closed-loop operation mode, the fan frequency conversion can easily surge phenomenon, in order to ensure the stable, safe operation of the fan, the prevention and control methods to improve on fan surge. Two fans adopt synchronization frequency conversion and minimum maximum flow method combined the surge of the fuzzy PID control method, synchronous frequency control strategy effective in preventing the occurrence of surge, Minimum extremes flow method of fuzzy PID control strategy to the greatest extent expanded the fan operating range, by MATLAB software simulation proved fuzzy PID dynamic response speed and robustness than the conventional PID greater improvement. Control system to complete the field devices and remote communications through industrial networks, the control system to achieve a high level of intelligent automation.

Keywords: big fan; anti-surge control; fuzzy PID; industrial network

0 引言

我国的钢产量逐年递增, 其中转炉炼钢已经成为了粗钢的主要冶炼方式。转炉炼钢过程中, 铁水中的碳在高温下和吹入的氧生成一氧化碳和少量二氧化碳的混合气体。为提高资源的利用率, 对转炉煤气进行回收, 通过煤气加压站使煤气形成具有稳定气源供给下游用户使用。进行回收的煤气质量并不稳定, 所以控制系统在加压过程中风机容易发生喘振。喘振会对设备造成一定的损害, 并且造成严重的经济损失, 甚至发生严重的工业事故。目前我国对风机喘振的预防和控制大多采用打开回流阀的控制方式, 调节风机的入口流量以达到预防和控制喘振的目的。其中主流的控制方法有两种, 一种是传统 PID 控制, 这种传统的方法的主要缺点是只采用固定参数进行控制, 鲁棒性差, 动态响应速度慢, 对非线性和时变参数的控制系统难以达到良好的控制效果; 另外一种模糊控制, 单独的模糊控制无法消除系统的静差, 控制的稳态精度较差。本文对风机喘振的预防及控制的策略进行了改进, 采用两台风机同步变频调速和模糊 PID 相结合的控制方案以确保风机在运行过程中, 有效的预防喘振的发生, 一旦有喘振发生时可进行精确的控制, 同时减少了能源浪费。

1 系统工艺及喘振

1.1 系统的控制工艺

原煤气加压系统使用三台风机每台配置 315 kW 的交流电机, 运行方式采用两用一备, 生产工艺需要同时运行两台风机, 一台始终处于工频运行状态, 另外一台处于变频运行状态, 为保证下游用户的煤气压力恒定, 采用常规 PID 控制。根据实际的运行记录, 原有控制系统中处于变频运行中的风机极易发生喘振, 对设备及工艺造成严重的危害。现将原控制系统进行改造, 将两台处于运行的风机采用同步变频的方式运行, 有效地减少了风机电机低频运行的可能, 极大的减少了喘振发生的次数。

1.2 喘振的原因及危害

风机在运行过程中有很多因素会导致风机喘振, 其中常见的因素又可以分为内因和外因。内因主要有: 一是电网质量不好, 电压出现波动使动力不稳; 二是空分系统的切换故障, 造成风机排出压力超高; 这两种情况均会造成风机的旋转失速, 使风机的工况点迅速进入喘振区^[1]。外因主要有: 一是进气口的过滤器长期未清理, 增大了进气阻力, 减小了入口的进气流量; 二是出气口堵塞, 增大了管网阻力; 这两种情况均会造成出口压力急剧波动, 导致气体倒灌, 使风机发生喘振^[2]。

风机发生喘振时主要表现为出口压力先升高而后急剧下降, 并成周期性波动, 有时会出现气体倒灌的现象, 拖动风机的电机电流和功率出现波动, 风机以及相连的设备产生强烈的振动, 同时发出异常的噪声。

喘振对风机造成的危害十分严重, 主要有以下几个方面:

收稿日期: 2014-10-13; 修回日期: 2014-11-20。

基金项目: 内蒙古自治区自然科学基金项目(2013MS0921)。

作者简介: 田海(1968-)男, 副教授, 硕士研究生导师, 主要从事低压电气传动、网络控制及智能控制系统的应用方向的研究。

1) 喘振发生引起的压力和流量的波动, 会破坏工艺系统的稳定; 2) 喘振会导致与风机相连的一些检测设备受到不同程度的冲击, 降低了测量仪表的准确性和使用寿命, 干扰工作人员的正常判断; 3) 喘振会对风机级间密封造成巨大的压力, 硬件磨损, 造成气体有外泄的可能, 引发爆炸火灾等严重事故的潜在威胁。当风机发生喘振时, 应及时调节控制使风机尽快离开喘振区进入安全区域运行, 以免造成经济损失、设备报废, 甚至是人员伤亡^[3]。

2 系统配置及监控网络的设计

系统为了实现工业自动化的要求, 控制网络结构可分为三层, 分别是现场设备层, 监控层和信息管理层^[4]。系统控制网络拓扑结构如图 1 所示。

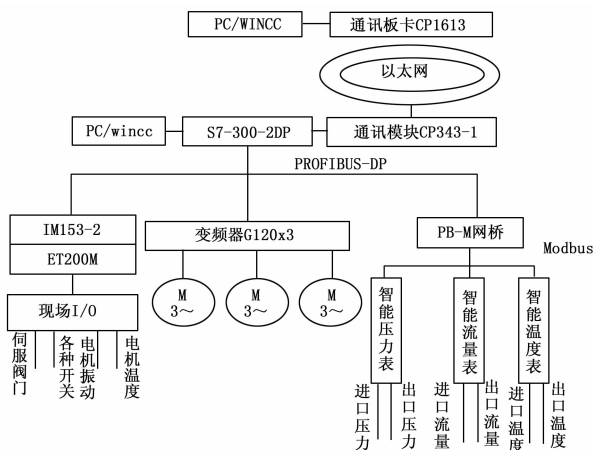


图 1 控制网络拓扑结构图

现场设备层的主要功能是将各个现场设备以网络节点的形式连接到现场总线上, 传送监控层的命令进行操作^[5]。由于本项目是一个改造项目, 大量底层设备需要利旧, 现场设备大致分为三类, 分别是支持 Profibus-DP 协议, 支持 Modbus 协议和非智能设备, 现场设备作为从站集成到控制系统中。主干网络采用 Profibus-DP 协议, 原有支持 Modbus 的设备通过 PB-M 网桥将数据转换传送到 Profibus-DP 网络, 非智能的设备可通过西门子分布式 I/O 模块 ET200M 集成到 Profibus-DP 网络。

监控层的主要任务就是完成现场设备的信息采集和控制、运行状态的监控以及设备的故障报警。选择西门子 S7-300PLC 作为主站, 所选 CPU 型号为 CPU315-2DP, PLC 作为监控层的主站, 使用 Profibus-DP 总线集中传输主从站之间的监控数据。

信息管理层是基于工业以太网建立的网络控制系统的最顶层。通过工业以太网将监控层的主站 PLC 所采集到的信息, 根据信息管理层的管控需求有选择性的上传。使管理层能够实时的实现远程的监控、调度和管理任务。

系统正常工作时, 闭环变频调速控制系统根据下游用户工艺的变化, 及时调节管道中的煤气流量保持压力的恒定, 以保证用户的实际需求。在主站 PLC 中设置 PID 参数, PID 的输出信号同时传送给两台同步运行电机的变频器 G120, 使其对风机的转动频率进行控制。

在整个控制系统中存在着许多物理量, 如电流、电压、压力、流量以及电机的振动和温度参数^[6]。为了保证系统的安全

稳定的运行, 工作人员要时刻能监视到各个参数的数据变化情况, 通过 PLC 对这些数据进行采集处理, 并且通过工业以太网将系统处理过的实时信息进行上传, 以实现控制系统的远程监控。

3 喘振的控制策略

为了防止喘振的发生, 就要保证风机在任何转速下的流量值都不小于该转速下所对应的喘振流量值。两台风机同步变频的运行特性线如图 2 所示。

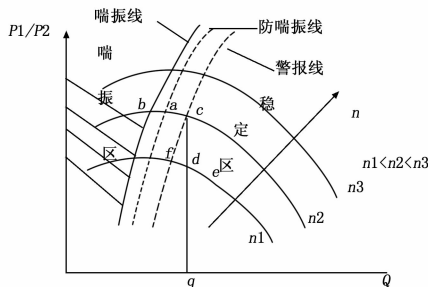


图 2 两台风机同步变频的运行特性曲线

3.1 传统控制方案

现在工业生产过程中主要是采用固定极限流量法和可变极限流量法。

固定极限流量方法是指, 始终保证风机的入口流量大于最大转速下的风机喘振点流量值, 从而保证风机的安全运行^[7]。此方法投资少, 只适合一些固定转速的场合, 风机运行区域较窄。

可变极限流量法是指, 风机在不同的转速下, 其喘振的流量极限值是不同的, 只要满足风机的入口流量值不小于当前转速下的喘振流量极限值即可^[8]。这种方法是建立一条安全的控制线, 即图 2 中的警戒线, 每当风机越过警戒线即将发生喘振时, 打开回流阀, 增大入口流量使风机避开喘振区。这种控制方法增大了风机的运行区域。

以上两种控制方案的防喘振控制主要是靠打开回流阀增大风机入口的流量, 而回流阀的控制方式主要采用常规 PID 或者模糊控制, 而单独采用这两种方法中的任何一种都存在无法避免的缺陷。

3.2 喘振预防和控制方案的改进

由于控制对象无法建立精确的数学模型, 新的控制方案采用两台风机同步变频调速与模糊 PID 相结合的控制策略。

图 2 中横坐标为风机流量, 竖坐标为出口压力和进口压力之比。风机正常运行时为稳定区域, 采用两台风机同步变频的控制方式, 保持恒压状态。当风机工况点到达警戒线上的 c 点, 并继续向 a 点方向移动时, 表明风机有可能即将发生喘振, 应立即退出当前恒压运行模式, 用户对供气压力有一定的允许波动范围, 事先测出两台同步变频风机在满足最低生产需要的最低转速 n_1 , 该转速对应最小极值流量喘振点, 将速度降到能保证工艺需求的最低转速 n_1 , 远离同步变频转速时对应的喘振点, 达到预防喘振的作用。这时会有两种情况, 一是风机运行曲线在最低转速线 n_1 上由 d 点向 e 点移动, 表明风机躲过喘振, 此时经过延时后, 两台风机切换到正常工作时的同步变频恒压方式; 第二种情况就是风机运行曲线由 d 点向 f 点移动, 当风机超过 f 点时, 采用模糊 PID 控制方式, 启动

回流阀控制，增大进口流量，使风机避开喘振区。同步变频调速与模糊 PID 相结合增大了调速范围，同时减少了回流阀开启的次数，减少了能源的浪费。

4 模糊 PID 防喘振控制器的设计

4.1 模糊 PID 控制器的构造

模糊 PID 控制系统的结构如图 3 所示，根据控制精度和难度系数的综合考虑，采用了二维模糊控制器。由给定流量值 r ($n1$ 转速下对应的防喘振流量) 和实际的反馈流量值 y 进行运算，得到偏差 e 和偏差变化率 Δe 作为二维模糊控制器的输入。将输入进行模糊化，从而得出模糊量 E 和 E_c ，并将模糊量的大小划分为 {负大，负中，负小，零，正小，正中，正大} 7 个模糊子集，记作 {NB, NM, NS, ZO, PS, PM, PB}，即将 E 和 E_c 量化到 $(-3, 3)$ 的区域里。经过模糊控制规则的运算，反模糊化输出得到控制量^[9]。

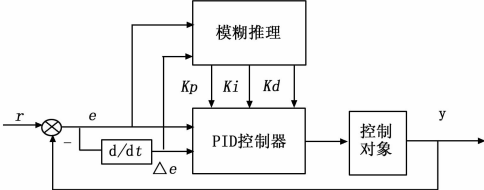


图 3 模糊 PID 控制系统结构

经过模糊运算得到合适的 Kp 、 Ki 、 Kd 传送给 PID 控制器，根据偏差 e 和偏差变化率 Δe 在线修改 PID 控制器的参数，达到更好的控制效果。根据 PID 的控制原理和经验，其参数的模糊控制规则表 1~3 所示。

表 1 Kp 的模糊控制规则

ΔKp $E \backslash E_c$	NB	NM	NS	ZO	PS	PM	PB
NB	PB	PB	PM	PM	PS	ZO	
NM	PB	PB	PM	PM	PS	ZO	NS
NS	PM	PM	PS	PS	ZO	NS	NS
ZO	PM	PM	PS	ZO	NS	NS	PM
PS	PM	PS	ZO	NS	NS	NM	PM
PM	PS	ZO	NS	NS	NS	NM	NB
PB	ZO	NS	NS	NM	NM	NB	NB

表 2 Ki 的模糊控制规则

ΔKi $E \backslash E_c$	NB	NM	NS	ZO	PS	PM	PB
NB	NB	NB	NB	NM	NM	NS	ZO
NM	NB	NB	NM	NM	PS	ZO	ZO
NS	NM	NM	NS	NS	ZO	PS	PS
ZO	NM	NS	NS	ZO	PS	PS	PS
PS	NS	NS	ZO	PS	PS	PM	PM
PM	NS	ZO	PS	PM	PM	PM	PB
PB	ZO	ZO	PS	PM	PM	PB	PB

4.2 模糊 PID 控制在 S7—300 中的实现

在控制系统中用 A/D 转换模块将输入量采集到 S7—300PLC 中，由 D/A 转换模块输出对执行机构进行控制。在

表 3 Kd 的模糊控制规则

ΔKd $E \backslash E_c$	NB	NM	NS	ZO	PS	PM	PB
NB	PS	PS	ZO	ZO	PS	PM	PB
NM	NS	NS	NS	NS	PS	PS	PM
NS	NB	NB	NM	NS	PS	PS	PM
ZO	NB	NM	NM	NS	ZO	PS	PM
PS	NB	NM	NS	NS	NS	PS	PS
PM	NM	NS	NS	NS	NS	PM	PS
PB	PS	ZO	ZO	ZO	NS	PM	PB

PLC 中使用功能块 FB 和 DB 数据块来实现模糊控制算法，同时西门子 PLC 内部带有软件 PID 集成只需赋值参数即可。在模糊控制中，模糊控制规则表的查询最为关键，本文将模糊论域的元素 {−3, −2, −1, 0, +1, +2, +3} 按控制结果从上到下，由左到右一次存入 PLC 内的数据寄存器中。主程序 OB1 完成信号的采集时，根据 e 和 Δe 的值进行查询，将参数赋值给 PID 程序，完成模糊 PID 的运算^[10]。

4.3 传统 PID 与模糊 PID 的仿真对比

本文通过 MATLAB 软件的模糊控制箱设计模糊控制器，用 Simulink 进行仿真，仿真结果标明，在工况运行过程中受到阶跃信号的干扰，模糊 PID 的控制效果要比传统 PID 的动态响应速度明显加快，控制效果更加理想。如图 4 所示，其中实线为模糊 PID，虚线为传统 PID。

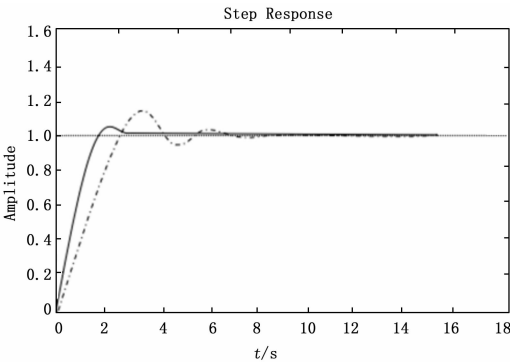


图 4 传统 PID 与模糊 PID 的阶跃响应曲线

5 结束语

本文针对原煤气加压控制系统经常发生喘振这一现象进行改造，采用同步变频调速和模糊 PID 控制相结合的策略，在满足工艺需求的前提下，不仅能够提前调节，预防风机在运行的过程中发生喘振，而且能够在风机发生喘振时及时调节消除喘振，保证风机的安全和稳定的运行。本文中的控制策略与原有的工频与变频相结合的控制策略相比，新的控制方法更加的稳定有效，极大的减少了喘振发生的次数，达到了节能降耗的目的；模糊 PID 的控制策略在发生喘振时对喘振阀的控制的动态响应速度和稳态精度都得到较大的改善。

参考文献：

[1] 陈毅夫. 高炉鼓风机防喘振控制方法的研究 [D]. 杭州：浙江大学，2013.

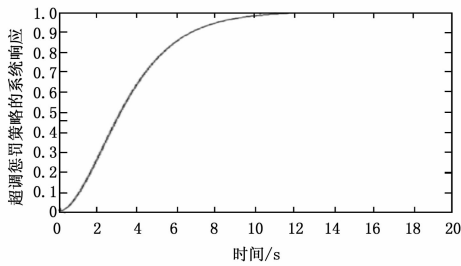


图 5 采用超调惩罚策略的系统响应

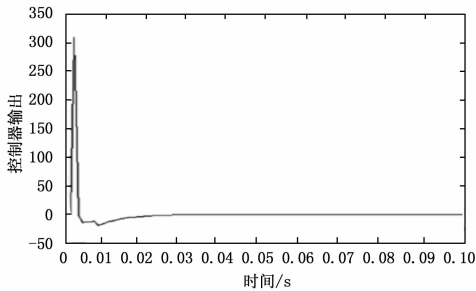


图 6 控制器输出

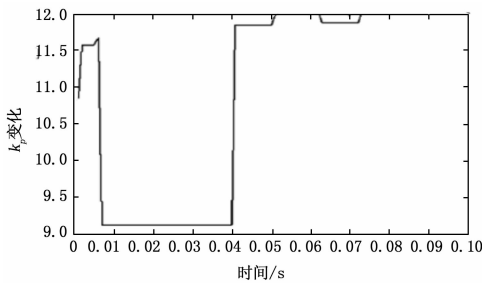


图 7 参数整定过程中 k_p 变化

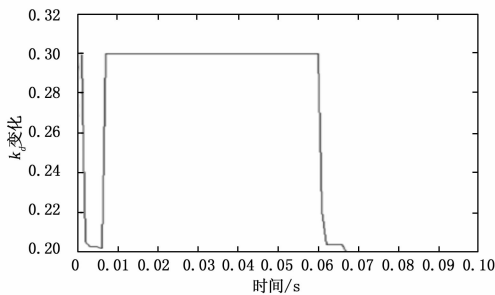


图 8 参数整定过程中 k_d 变化

控制对非线性时滞系统有良好的控制效果。

3 结论

文中提出的带灰色预估的遗传算法 (GA) 参数整定控制策略把全局寻优算法与预测控制相结合, 并利用 BP 神经网络对系统的滞后时间进行辨识。以被控对象的输出和时滞辨识的结果作为灰色预估器的输入来对系统进行预测控制, 把灰色预估器的输出作为控制器的输入, 再利用 GA 对 PID 控制器参数进行优化。经过在一个具有时滞、非线性等特性模型的仿真表明, 该控制方法对非线性时变滞后系统的过程控制有比较好的控制效果。

参考文献:

- [1] Khashei M, Reza Hejazi S, Bijari M. A new hybrid artificial neural networks and fuzzy regression model for time series forecasting [J]. Fuzzy Sets and Systems, 2013, 159 (7): 769-786.
- [2] Moghaddamnia A, Ghafari Gousheh M, Piri J, et al. Evaporation estimation using artificial neural networks and adaptive neuro-fuzzy inference system techniques [J]. Advances in Water Resources, 2014, 32 (1): 88-97.
- [3] 罗伟. 基于灰色预测的参数自校正构架电阻炉温度模糊控制系统 [J]. 计算机测量与控制, 2013, 21 (4): 965-967.
- [4] 吴裕高, 朱学峰, 史步海. 基于灰色预测的大时滞过程的控制研究 [J]. 控制与决策, 2012, 14 (3): 278-280.
- [5] 陆燕, 杜继宏, 李春文. 延迟时间未知的时延系统神经网络补偿控制 [J]. 计算机测量与控制, 2012, 38 (9): 67-69.
- [6] 王军平, 王安, 樊文侠, 等. 延迟时间未知的时延系统灰色预测控制 [J]. 测控技术, 2012, 21 (3): 39-41.
- [7] Wang J Z, Wang J J, Zhang Z G, et al. Forecasting stock indices with back propagation neural network [J]. Expert Systems with Applications, 2014, 38 (11): 14346-14355.
- [8] 陈星, 李东海. 基于遗传算法的分布参数对象 PID 控制器设计 [J]. 自动化学报, 2012, 47 (8): 1356-1360.
- [9] Chang G W, Chen C I, Liang Q W. A two-stage ADALINE for harmonics and interharmonics measurement [J]. Industrial Electronics, IEEE Transactions on, 2013, 56 (6): 2220-2228.
- [10] 吴裕高, 朱学峰, 史步海. 基于灰色预测的大时滞过程的控制研究 [J]. 控制工程, 2012, 14 (3): 278-280.
- [11] 尹琦, 袁小平. 基于灰色预测可变裕度 PID 网络自适应算法 [J]. 计算机应用研究, 2012, 29 (2): 711-713.
- [12] Cubitt R P, Drouvelis M, Gächter S. Framing and free riding: emotional responses and punishment in social dilemma games [J]. Experimental Economics, 2013, 14 (2): 254-272.

(上接第 1577 页)

- [2] 袁国利, 郎兵. 三冗余 PLC 在压缩机防喘振控制中的应用研究 [J]. 自动化仪表, 2011, 32 (1): 54-57.
- [3] 张婉悦, 唐健, 孙以雷, 等. 污水处理过程中鼓风机防喘振控制的设计与实现 [J]. 计算机测量与控制, 2006, 14 (2): 217-218.
- [4] 黄丽梅, 李鸣, 张宇. 基于 PLC 的鼓风机防喘振控制系统 [J]. 电气传动, 2012, 42 (8): 73-76.
- [5] 付华, 孙树生. 基于 PLC 和模糊控制的矿井供风系统的改进方法研究 [J]. 煤矿机械, 2006, 27 (1): 139-141.

- [6] 崔坚. 西门子工业网络通信指南. [M]. 北京: 机械工业出版社, 2004.
- [7] 苏昆哲. 深入浅出西门子 S7-300 PLC [M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2004.
- [8] 孙增圻. 智能控制理论与技术 [M]. 北京: 清华大学出版社, 2003.
- [9] 张经周, 杨伟静, 张安祥. 模糊自适应 PID 控制的研究及应用仿真 [J]. 计算机仿真, 2009, 26 (9): 132-135.
- [10] 瞿枫, 徐中宏, 孙冀. 基于西门子 S7-300 PLC 的模糊控制实现 [J]. 南京师范大学学报, 2007, 7 (4): 23-27.