

球磨机制粉系统的多变量解耦PID控制

廖柏林¹, 王立刚²

(1. 吉首大学 物理科学与信息工程学院, 湖南 吉首 416000; 2. 上海东方海事工程技术有限公司, 上海 200011)

摘要: 中储式钢球磨煤机制粉系统具有多变量、强耦合、大惯性等特点, 使用常规的PID控制回路进行控制无法取得理想效果。针对这种情况, 提出了一种解耦PID控制策略。该方案在PID回路中加入解耦补偿器, 以实现多变量的解耦控制。仿真试验表明, 该策略有效地解决了多变量的耦合问题, 取得了较好的控制效果。

关键词: 钢球磨煤机; 解耦PID控制; 仿真模型

中图分类号: TP273

文献标识码: A

文章编号: 1673-9833(2007)05-0077-03

Multivariable Decoupling PID Control Strategy for Ball Mill Coal Pulverizing System

Liao Bolin¹, Wang Ligang²

(1. School of Physics Science and Information Engineering, Jishou University, Jishou Hunan 416000, China;
2. Shanghai Oriental Maritime Engineering Technology Co. Ltd, Shanghai 200011, China)

Abstract: Ball mill coal pulverized system is a multivariable system with great inertia and strong coupling, and its dynamic performance changes with working conditions. So according to these features, using general PID control can not match well. Under this condition, a new decoupling PID control strategy is proposed, which appended decoupling compensator in the PID loop. The simulation experiment shows that the proposed method resolved the problem of variable coupling effectively and got a perfect control result.

Key words: ball mill; decoupling PID control; simulation model

0 前言

20世纪50年代以来, 中储式钢球磨煤机因其可靠性高、寿命长和维修量小的优点, 已广泛用于国内外火力发电厂, 它是燃煤电站锅炉的重要辅助设备, 也是耗能较大的设备之一, 其用电量占厂总用电的15%~25%^[1]。对于设备已定型并投运的制粉系统, 要降低制粉电耗, 必须使磨煤机尽量维持在最佳运行工况。但是中储式钢球磨煤机制粉系统是一个多变量、强耦合、大惯性的被控对象, 其主要被控量是球磨机出口温度、入口压力、磨煤机存煤量等, 这些参量的影响是交织在一起的, 使得制粉系统成为一个多变量耦合、变量时滞和模型时变的控制对象, 改变给煤、热

风、再循环风中的任何一个量, 都会影响磨煤机的出口温度、入口压力、存煤量等, 造成该系统无法采用常规的PID控制回路实现自动控制^[2]。基于此种情况, 本文提出了一种解耦PID控制策略, 在PID控制回路中加入解耦补偿器, 较好地解决了变量间的耦合问题, 从而实现了对于制粉系统较为理想的控制效果。

1 球磨机制粉系统对象特性及控制要求

1.1 球磨机制粉系统对象特性

中储式钢球磨煤机制粉系统的主要调节量有给煤机转速、热风门及再循环风门, 主要被控量则有磨煤机出口温度、入口压力、存煤量等。以往的制粉控制

收稿日期: 2007-06-26

作者简介: 廖柏林(1981-), 男, 湖南衡阳人, 吉首大学讲师, 硕士, 主要研究方向为过程控制与智能控制。

系统,多以3套独立的单回路PID控制为基础,通过控制热风量来维持磨煤机出口温度,通过控制再循环风量来维持磨煤机入口压力,而通过调节给煤机转速来控制存煤量。但是,中储式球磨机制粉系统是一个复杂的多变量强耦合、大迟延、大惯性系统。具体表现在以下几个方面:

1) 当改变热风门开度以调节热风流量时,磨出口温度会因此发生改变,同时磨煤机的入口压力也会相应发生变化;同样的,当改变再循环风门开度调节磨煤机入口压力时,磨出口温度也会受到较大的影响。

2) 调节给煤机转速,改变了磨煤机的存煤量,会对磨出口温度有较大影响,同时还会影响磨煤机的入口压力。

3) 改变热风门开度以调节磨煤机出口温度,这是一个大惯性、大滞后的过程。

4) 磨煤机入出口差压在通风量一定时,与磨煤机存煤量有一定的关系,据此可近似代表鼓筒内的存煤量,但是由于系统运行过程中热、再循环风门开度不断改变,受通风量改变的影响,差压信号并不能很好地描述磨煤机内的存煤量信号。此外,差压信号动态响应相对较慢,因此很难根据这个信号使磨煤机负荷保持最佳。

近年来,采用磨煤机前轴垂直振动量信号来表征鼓筒内的存煤量,其性能更好。磨煤机干燥出力用磨煤机出口温度间接表示,是通过调节热风量实现控制的。再循环风量调节是使磨煤机入口压力在一定范围内变化,它与热风一起共同保持磨煤机的最佳通风量。

1.2 球磨机制粉系统的控制要求

通过1.1节的分析,从经济性、安全性角度出发,要求控制系统能使磨煤机运行在最佳工况下,对中储式钢球磨煤制粉系统的控制要求是:

1) 保证磨煤机内的煤量接近最佳存煤量。理论分析和实际经验表明,磨煤机的能耗和产粉量无关。因此,通过调整给煤机的给煤量来控制并保证球磨煤机内的存煤量尽可能接近最佳值,这是提高制粉系统经济性的关键。由于存煤量不能直接测量,一般可以通过磨煤机出入口差压、磨煤机燥声等间接反映其存煤量。

2) 磨煤机出口温度的高低,代表了原煤和煤粉的干燥程度,它与磨煤机内存煤的多少有关。同时影响磨煤机的出力和煤粉气流的着火稳定性。为了提高磨煤机的干燥能力应尽量提高干燥剂的温度,但为防止磨煤机送出的煤粉爆燃,又应保证出口温度不超过规定值。因此,要对磨煤机出口温度进行控制。

3) 磨煤机的最佳通风量,是保证磨煤机最大出力和煤粉细度的关键因素。由于通风量难于测量,一般

是靠维持磨煤机入口压力来实现的。

2 球磨机制粉系统的解耦PID控制

2.1 球磨机解耦PID控制系统结构

根据磨煤机制粉系统的工作特性及热风门、再循环风门对出口温度、入口压力的控制特性,设计出一种解耦PID控制策略。其原理如图1所示。图中 P_0 、 T_0 、 P 、 T 分别为入口压力、磨出温度回路的设定值和输出值;PID1、PID2分别为解耦后的入口压力、磨出温度回路的PID控制器; $K_{11}G_{11}(S)$ 为再循环风门作用下的压力对象特性; $K_{12}G_{12}(S)$ 为热风门作用下的压力对象特性; $K_{21}G_{21}(S)$ 为再循环风门作用下的温度对象特性; $K_{22}G_{22}(S)$ 为热风门作用下的温度对象特性; D_{12} 、 D_{21} 为解耦补偿器。

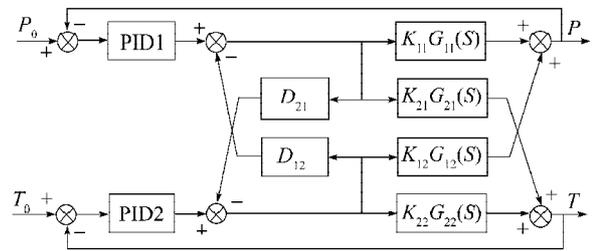


图1 球磨机解耦PID控制系统结构图

Fig. 1 Structure figure of ball mill decoupling PID control

根据解耦补偿原理有:

$$-D_{12}K_{11}G_{11} + K_{12}G_{12} = 0; \quad (1)$$

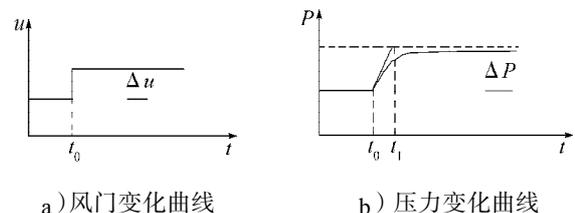
$$-D_{21}K_{22}G_{22} + K_{21}G_{21} = 0. \quad (2)$$

于是有: $D_{12} = \frac{K_{12}G_{12}}{K_{11}G_{11}}$, $D_{21} = \frac{K_{21}G_{21}}{K_{22}G_{22}}$ 。

对磨煤机来说,热风门与再循环风门对入口压力的影响几乎一样^[3, 4],故 $K_{11}G_{11}$ 和 $K_{12}G_{12}$ 可视为相同,得到 D_{12} 为1。 $K_{21}G_{21}$ 和 $K_{22}G_{22}$ 除增益不同外, G_{21} 、 G_{22} 可视为相同。这样只要测出 K_{21} 和 K_{22} ,就可以实现入口压力和出口温度的解耦控制。

2.2 控制对象特性的求取

经实践与试验表明,对磨煤机系统来说,入口压力对象可看成一个一阶惯性环节^[5]。在稳定情况下,分别对再循环风门和热风门作阶跃变化,然后记录压力变化趋势曲线,利用作图法可非常简单地求取对象特性参数。图2为压力在热风门阶跃下的变化曲线。



a) 风门变化曲线

b) 压力变化曲线

图2 压力对象特性的求取

Fig. 2 Acquiring the characteristic of pressure target

由图2可以计算出: $K = \frac{\Delta P}{\Delta u}$, $T = t_1 - t_0$ 。

温度对象可以看成一阶惯性加滞后环节。与压力对象相同, 分别对再循环门和热风门作阶跃变化, 然后记录温度变化曲线。如图3所示。其传递函数为:

$$G(S) = \frac{K}{TS+1} e^{-\tau s} \quad (3)$$

式(3)中: $K = \frac{\Delta T}{\Delta u}$, $T = t_2 - t_1$, $\tau = t_1 - t_0$ 。

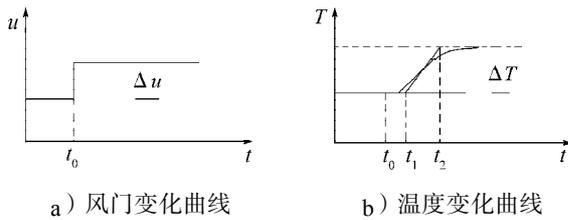


图3 温度对象特性的求取

Fig. 3 Acquiring the temperature target characteristic

3 仿真研究

分别以 $K_{11}G_{11}(S) = \frac{0.8}{10S+1}$, $K_{12}G_{12}(S) = \frac{0.8}{10S+1}$;

$K_{21}G_{21}(S) = \frac{0.3}{30S+1} e^{-10s}$, $K_{22}G_{22}(S) = \frac{0.9}{30S+1} e^{-10s}$ 作为

控制对象, 同时很好地调节PID参数以使球磨机输出较好地跟踪设定值, 进行MATLAB仿真。当系统中某一回路受到扰动时, 未采用解耦控制和采用解耦控制的结果, 分别如图4~7所示。

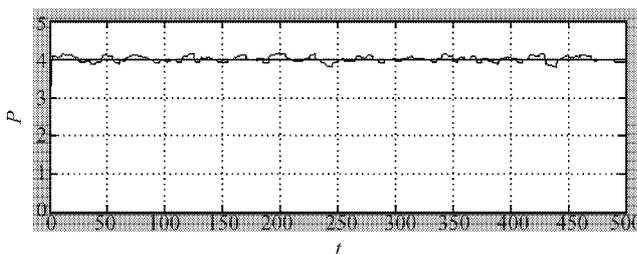


图4 未解耦时温度系统受扰动时的压力响应曲线

Fig. 4 Curves of pressure response with coupling

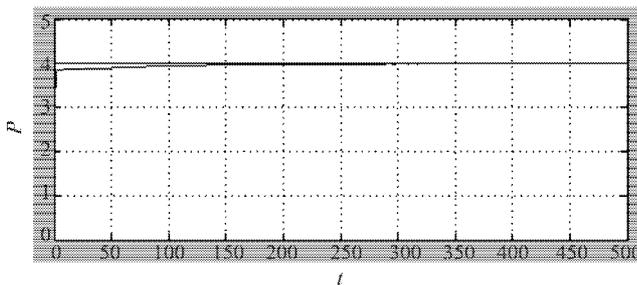


图5 解耦时温度系统受扰动时的压力响应曲线

Fig. 5 Curves of pressure response with decoupling

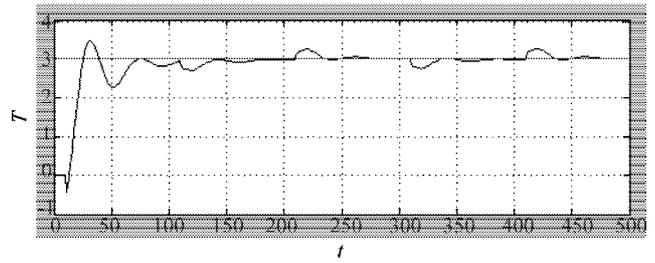


图6 未解耦时压力系统给定值扰动下的温度响应曲线

Fig. 6 Curves of temperature response with coupling

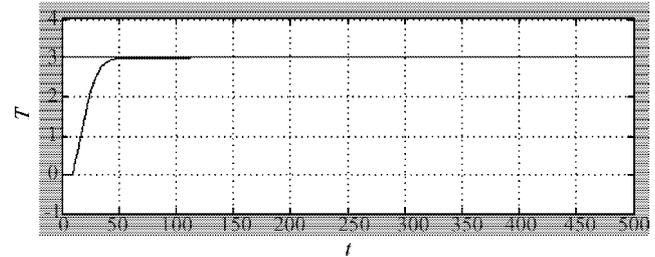


图7 解耦时压力系统给定值扰动下的温度响应曲线

Fig. 7 Curves of temperature response with decoupling

由仿真结果可以看出, 由于加入了解耦补偿器, 当一个控制回路受到扰动时, 与未作解耦补偿前相比, 对另一个回路的影响大大减小了。

4 结束语

针对燃煤电站钢球磨煤机制粉系统多变量、强耦合的特点, 提出了解耦PID控制策略。通过仿真研究表明: 两个耦合回路之间的耦合现象得到了很大的缓解, 取得了较好的仿真结果, 表明了该方法的有效性。但是该方法还存在一定的局限性, 解耦PID控制系统的设计是建立在精确建模的基础上, 因此, 对于球磨机制粉系统复杂多变的现场来讲, 要实际应用还需解决精确建模等问题。

参考文献:

- [1] 王东风. 钢球磨煤机制粉系统的优化控制[J]. 动力工程, 2002, 22(3): 1793-1797.
- [2] 刘全伟, 周洪, 余从容. 钢球磨煤机的模糊神经元解耦控制方法[J]. 华北电力技术, 2001(7): 34-36.
- [3] Yu C W, Lu Y Z. Decoupling fuzzy relational systems-An output feedback approach[J]. IEEE Trans Syst. Man. Cybern., 1989, 19(2): 414-417.
- [4] 王永健. 制粉系统专家解耦控制[D]. 保定: 华北电力大学, 2004.
- [5] 尚雪莲. 中储式钢球磨制粉系统控制及应用[D]. 保定: 华北电力大学, 2005.