

模糊控制在冷却机上的应用^{*}

方 千 山

(华侨大学电气技术系, 泉州 362011)

摘要 冷却机具有特殊的结构和工作条件决定其工作性质的复杂性——难以确立的研究模型以及精确的数学方程来表达. 文中介绍应用模糊控制思想, 建立双模结构的系统控制方式, 以提高冷却机的处理能力和热交换效率.

关键词 冷却机, 模糊控制, 双模结构

分类号 TQ 051.501

冷却机是水泥生产工艺线的关键设备之一. 生料经窑炉内煅烧成为熟料, 通过冷却机将其从上千度的高温冷却至近百度; 熟料在冷却机内与空气进行充分的热能交换, 热风经过二次余风管道又被返送入窑炉内煅烧新的熟料. 因此, 热交换效率的高低, 直接影响着水泥生产的能耗指标. 如何进一步提高热能交换效率, 并将熟料充分冷却, 正是我们所关注的技术焦点.

1 冷却机结构及工作原理

图1所示, 即为水泥窑炉工艺线上的 LBT 篦式冷却机的结构示意图.

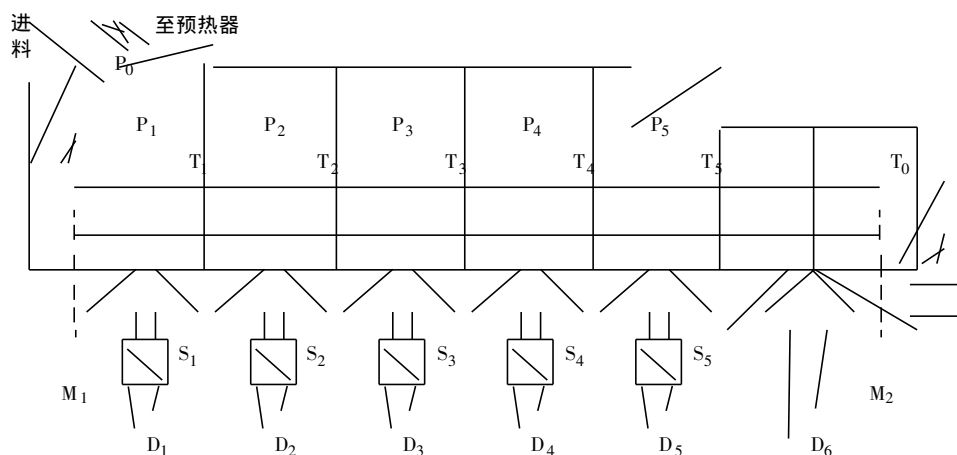


图1 LBT 篦式冷却机结构示意图

在图1中, 冷却机长15.8 m, 宽3.2 m, 高5.6 m; 整机分成7个室, 前5个室分别用5台高压离心风机($D_1 \sim D_5$)进行送风; 其相应的控制进风量的5个风阀($S_1 \sim S_5$), 由电动执行机构来完成

风阀的开度;后两个风室共用一台风机 D_6 作为补风. 在5个风室中, 分别设置了5套温度检测装置($T_1 \sim T_5$)及压力检测系统($P_1 \sim P_5$), 并在冷却机的出风口及出料口设置了压力检测装置 P_0 及温度检测 T_0 , 篦式传动带则采用两台直流电动机($M_1 \sim M_2$)的双端驱动方式.

来自窑炉内的熟料, 从进料口播撒在篦式传动带上到出料口的整个输送过程中, 得以逐步地冷却降温. 特别是前五个风室($I \sim V$)其进风量通过电动风阀来实现, 而风量的调节要根据各风室的温度及风室内篦式传动带上下的压力差来综合控制.

按工艺要求, 冷却机的设计处理能力要比熟料的生产能力大, 并且留有适当的裕量. 篦式传动带采用直流传动的目的, 就是要使整条生产系统易于实现自动控制. 通过对出口风压及出口料温(P_0, T_0 装置)的检测, 比较反馈, 选择最佳的系统调节系数. 通过 PID 调节器, 使直流传动装置处于最佳的运行速度范围; 使冷却机在熟料产量波动时, 不至于因出料温度过高而降低传动速度, 致使熟料堆积在冷却机内而产生“堆料”的严重现象(或因负压太大而使细状熟料随风夹带出出风口, 出现“跑料”的恶性循环现象). 具体系统的设计, 此不赘述.

2 模糊控制思想

在冷却机控制系统中, 由于该系统各风室的温度、压力物料量等的波动变化等, 使得热交换过程很难用精确的数学方程表达或建立起相应的模拟型式. 因此, 对其采用传统的控制方法和手段是难以达到令人满意的结果, 甚至得不偿失. 于是, 应用模糊控制的思想, 对冷却机系统中各风室的进风量进行控制, 使其摆脱繁重而复杂的人工控制方式, 实现自动控制, 以期达到更高的冷却处理能力及热能交换效率的目的.

模糊控制与一般的 PID 控制的根本区别之处, 是在于模糊控制并不需要建立控制过程的精确的数学模型, 而是完全凭人的经验知识“直观”地进行控制. 它是扩展了传统的控制, 并且非常适合于那些难以建立精确的数学模型、非线性和大滞后的过程^[1]. 模糊控制的基本原理如图2所示.

综上所述, 我们对冷却机系统各风室风量的控制过程作进一步分析研究后发现, 当冷却机传动带上物料量增大时, 其料层必然增厚, 可见鼓风机的一次风难以从传动带的下部向上部流动, 它势必在传动带上下方空间产生较大的风室差压. 这样, 我们可以通过设置在传动带上下空间的压力传感器得以捕获, 其差压的大小即可表明物料层的厚

薄. 因此, 我们采用差压变送器方便地将这一信号得以检测, 差压越大, 料层越厚. 这说明物料越多, 其所需的一次风量就越大, 风阀的开度也就越大; 反之亦然. 物料温度的高低, 可以通过设在各风室的温度检测装置方便地确定. 温度高, 就需加大一次风量, 开大风阀; 反之就关小风阀. 显然, 对于冷却机系统的过程控制就是对一次风风阀开度的控制. 在模糊控制上, 它就成了典型的二输入、一输出的控制. 现以其中一个风室为例, 我们可以列出它在各种工况下的控制规划, 如附表所示.

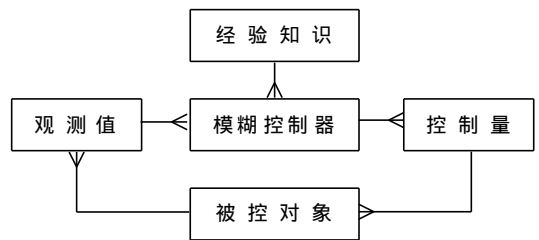


图2 模糊控制原理框图

附表 风阀开度模糊控制规则表

P	NL	NM	IE	PM	PL
NL	NL	NL	NL	NM	IE
NM	NL	NL	NM	NE	PM
IE	NL	NM	IE	PM	PL
PM	NM	IE	PM	PL	PL
PL	ZE	PM	PL	PL	PL

取差压的模糊集为

$$\mathbf{P} = \{ \text{NL}, \text{NM}, \text{ZE}, \text{PM}, \text{PL} \},$$

温度的模糊集为

$$\mathbf{T} = \{ \text{NL}, \text{NM}, \text{ZE}, \text{PM}, \text{PL} \},$$

风阀度的模糊集为

$$\mathbf{S} = \{ \text{NL}, \text{NM}, \text{ZE}, \text{PM}, \text{PL} \}.$$

上述论域上的各模糊子集的隶属函数假定为正态型, 其函数表达式为

$$F(x) = \exp \left\{ - \left(\frac{x - a}{c} \right)^2 \right\},$$

式中 x 表示函数的元素, a 表示隶属函数的窄度, c 为模型参数, 其取值的大小直接影响隶属函数曲线的形状. 隶属函数曲线的形状会导致不同的控制特性, 形状越尖, 分辨率就越高. 因此, 在误差较大的区域采用低分辨率的模糊集, 在误差较小时, 选用高分辨率的模糊集.

在经验控制的基础上, 我们通过优化, 取消了

$$\text{IF } \{ (\text{T} = \text{NL AND P} = \text{NL}) \text{ OR } (\text{T} = \text{NM AND P} = \text{NL}) \text{ OR } (\text{T} = \text{NL AND P} = \text{NM}) \}$$

THEN

$$\text{S} = \text{NL}$$

这三条规则, 对于一个风室的控制过程共有22条模糊控制规则, 其模糊判决则采用 MAX-MIN 推理法.

3 模糊控制的实现

当确定了温度、差压、阀门开度的模糊量、模糊判断推理及规则优化之后, 我们就可以根据系统的实际工况及生产工艺要求, 建立起过程控制的模糊结构. 图3所示, 即为冷却机系统过程控制的模糊结构框图.

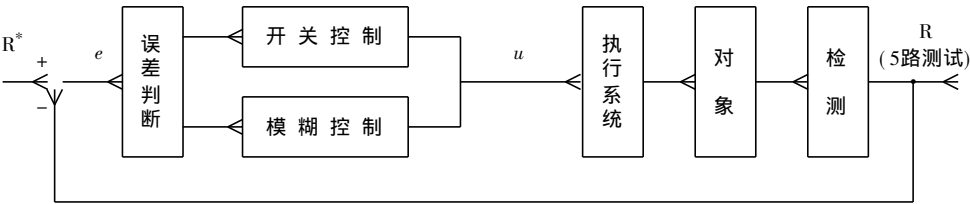


图3 双模结构框图

在结构上, 我们采用双模型式^[1]. 当误差 $e > E_m$ 时 (E_m 为模糊控制偏差临界值), 系统进

入开关状态,控制量实现非线性开关控制,阀门全开或全关.将此信号送至直传动系统以极限速度运转,避免发生生产事故.当误差值逐渐减少,小于临界值时即 $e = E_m$,便实现模糊控制.这样,既加快了过渡过程又能保证控制过程的超调量小,从而获得良好的调节品质,并兼顾了系统生产过程的安全性.

4 结束语

该模糊控制系统首次在 BLT32, 158 篦式冷却机上应用成功,经现场运行测试,各项技术性能指标均满足生产过程的实际要求,使得该冷却机的处理能力从原来的 37 t h^{-1} 增加至 45 t h^{-1} . 冷却效果即热能交换率有了明显的提高,使生产水泥的综合电耗指标从原来的 124 kW h t^{-1} 降至 114 kW h t^{-1} . 一条年生产能力为 $60 \times 10^4 \text{ t}$ 的生产线,年可节约电耗 $600 \times 10^4 \text{ kW h}$,其节能效果十分显著.

对于水泥生产过程的模糊控制,丹麦大学 Ostergaard 在 1980 年就研制成功,其后在美国、特别在日本得以应用和发展.目前国内市场上均记录有欧、美、日本的技术产品,而国内在水泥工业上开发和应用模糊控制技术方面的报道尚为数不多,有待我们进一步地探索和研究.

参 考 文 献

- 1 戎月莉. 计算机模糊控制原理及应用. 北京: 北京航空大学出版社, 1995. 27~35
- 2 李士勇. 模糊控制和智能控制理论与应用. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学出版社, 1990. 32~48

Application of Fuzzy Control Technique to a Cooler

Fang Qianshan

(Dept. of Electric Technique, Huaqiao Univ., 362011, Quanzhou)

Abstract A cooler has its special structure and operating conditions, for which the complexity of its working properties is difficult to be expressed by formed research model and precise mathematical equation. By applying fuzzy control thinking, a system control mode of bimodule structure will be established. Thus ability to treat and heat exchange efficiency of the cooler will be improved; and a good economic effect will be obtained.

Keywords cooler, fuzzy control, bimodule structure