

球团厂二系列回转窑的温度自动控制

郭科研

(首钢矿业公司计控室)

摘要: 阐述了在首钢球团厂二系列链篦机—回转窑—环冷机生产工艺中如何应用数学建模得到回转窑热平衡系统,超前预测燃料系统中煤气与煤的使用量。同时介绍了在 PLC 控制系统中如何应用模糊控制器控制回转窑窑尾温度这一时变、大惯性、大滞后对象。从而通过预测控制和模糊控制实现了回转窑系统的温度控制。

关键词: 模糊控制; 回转窑; 热平衡

1 前言

首钢球团厂二系列位于河北省迁安市,是亚洲大型球团生产线之一,年生产能力为 200 万 t/年。隶属于首钢矿业公司,首钢总公司的原料基地之一。团二系列是 2002 年由首钢设计院进行工艺设计,并成功开发的链篦机—回转窑生产球团矿的新工艺,碱性球团矿虽然在国内外生产和高炉使用具有丰富经验,但在我国利用链篦机—回转窑生产碱性球团矿没有经验。2007 年,首钢矿业公司联合北京科技大学完成了系统热平衡测试试验,在此基础上建立了回转窑热平衡系统的数学模型,同时基于放散气体回收工程改造后使用煤气、煤粉两种燃料。我们在球团生产线的热平衡系统中引入模糊控制和自适应预测控制,以最终达到稳定回转窑温度,保证焙烧过程,提高球团矿质量的目的。

2 控制系统概况

首钢球团厂回转窑自动喷煤系统目前采用西门子 PLC 模块采集处理现场数据,使用 Wincc 组态软件制作人机交互界面。采用 SPF 转子秤对喷吹煤粉进行在线监测和调整,并通过 DP 方式连接至控制系统;对风量以及主要燃料煤气的在线监测使用威力巴流量计及横河系列差压变送器连接至控制系统;HP—F 型气体、固体两用燃烧器,实现对煤和煤气的喷吹;利用热电偶、热电阻接至控制系统实现各部位温度的在线自动监测;通过化验室实现对机头球、窑头球亚铁含量的周期性检测;操作工通过人机交互界面录入化验室检测数据及煤气、煤的发热值到控制系统。

上述数据全部作为 PLC 系统控制的基本参控参数。通过 CPU 的逻辑模糊运算输出控制数据。喷煤系统喷煤气采用气动调节阀控制,喷煤系统喷煤采用 2 台助燃风机,2 台喷吹风机控制,通过 SPF 转子秤下料实现自动定量调节,根据物料、风量、温度、干球亚铁含量窑尾温度变化量、变化率实现喷煤气、喷煤量的模糊控制。以目标窑尾温度作为系统控制的数据中心,由操作工在控制计算机输入回转窑窑尾温度目标温度值,控制系统根据当前生产工艺参数回转窑料量、风量、各部位温度、窑内氧化亚铁量、燃料消耗量、回

转窑散热量计算出当前所需喷吹燃料(煤气、煤)量,喷吹燃料(煤气、煤)量,同时利用孔板流量计、SPF 转子秤、热电偶实时监测燃料喷吹后的煤气喷吹量、喷煤量、实际温度值,与计算煤气喷吹量、喷煤量、目标温度进行比较,通过模糊控制器对喷吹燃料(煤气、煤)量进行修正,确保温度满足生产需求。

3 回转窑系统热平衡数学模型

回转窑系统数学模型建立在回转窑热平衡基础之上。即系统热量的收入与支出相等而平衡。回转窑系统热平衡的主要热收入分为:①进窑球带入热,②亚铁氧化放热,③、助燃罗茨风带入热,④、环冷机—冷段带入热,⑤、氮气带入热,⑥、燃料燃烧放热。主要热支出分为:①、出窑球带走热,②、窑尾烟气带走热,③ 回转窑散失热,④ 窑冷却风带走热。收支平衡即可得到等式,把燃料放热作为其中的要求量,从而得到指导煤粉量或煤气量并且根据实际情况有三种选择,1、焦炉煤气使用,2、塔楼煤粉使用,3、气煤混合使用。(煤气优先,把实际的煤气量作为已知量,求得煤粉量)基于上述热平衡数学模型,结合生产实际分析,在我们的工控系统中共涉及到变量 21 个,其中从现场采集实时变量 11 个,手动输入一级参数 3 个(正常生产中有化验室化验而得数据),二级参数 7 个(经过长期现场摸索而得的数据,季节变更或工艺改变后更改的数据,调试完毕后一般不需要更改)。工控画面如下图所示(此人机交互界面采用西门子公司 Wincc 组态软件,该软件内嵌微软公司 VC 语言,界面友好,功能强大),见图 1 球团二系列回转窑热平衡画面。

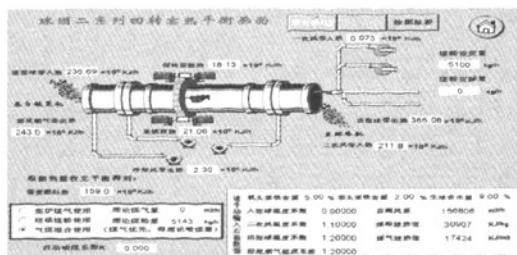


图 1 二系列回转窑热平衡画面

4 模糊控制系统

回转窑热平衡系统得到的指导喷煤量是用入链篦机料量推算入窑球质量,经过一系列计算(包括水分,返料,业铁增重等)和延时得出。上述理论喷煤量数据的得出超前预测出了燃料用量,从根本上解决了回转窑温度这一时变、大惯性、大滞后对象的控制问题。理论喷煤量作为回转窑热平衡系统数学模型的输出,应用于实践从理论上讲没有任何问题。然而数学建模采用的各种变量或常量,都是从现实对象中抽象出来的,随建立数学模型人员的不同得到的结果也不同,并且数学建模的指导思想是抓主要矛盾,忽略次要矛盾。任何一个模型都不是十全十美的,所以不能完全相信理论喷煤量,很多外界因素会对系统造成不可预料的影响。基于上述分析,引入窑尾温度这一最主要的对象作为反馈调整,并引入模糊控制器从而保证了系统的稳定可靠。

模糊控制器原理图如图 2 所示。

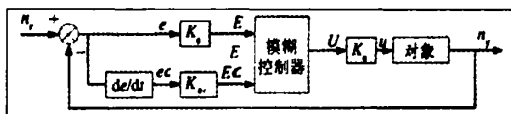


图 2 模糊控制器原理图

以偏差 e 、偏差变化 ec 为输入量, u 为输出系统控制值。论域及模糊语言变量词集分别是回转窑窑尾温度偏差作为 e , 离散化模糊语言变量 E 的论域为 $X=\{-6,-5,-4,-3,-2,-1,0,1,2,3,4,5,6\}$ 。回转窑窑尾温度偏差变化作为 ec , 离散化模糊语言变量 EC 的论域为 $X=\{-6,-5,-4,-3,-2,-1,0,1,2,3,4,5,6\}$ 。回转窑喷吹燃料控制量作为 u , 离散化模糊语言变量 uc 的论域为 $X=\{-7,-6,-5,-4,-3,-2,-1,0,1,2,3,4,5,6,7\}$ 。取回转窑窑尾温度偏差 E 的语言变量词集为 $\{NB, NM, NS, NO, PO, PS, PM, PB\}$, 偏差变化 EC 和燃料量调节 UC 的语言变量词集为 $\{NB, NM, NS, O, PS, PM, PB\}$ 。离散化了的精确量与表示模糊语言的模糊量采用三角形隶属函数, 模糊控制规则使用 Mamdani (马丹尼) 控制规则, 如表 1 所示。

表 1 回转窑加燃料量模糊控制规则表

	NB	NM	NS	O	PS	PM	PB
NB	PB	PB	PB	PB	PM	O	O
NM	PB	PB	PB	PB	PM	O	O
NS	PM	PM	PM	PM	O	NS	NS
NO	PM	PM	PS	O	NS	NM	NM
PO	PM	PM	PS	O	NS	NM	NM
PS	PS	PS	O	NM	NM	NB	NB
PM	O	O	NM	NB	NB	NB	NB
PB	O	O	NM	NB	NB	NB	NB

据此方法推出的回转窑燃料控制规则表如下表 2 所示。

输出量的解模糊由模糊推理获得的控制量是模糊语言变量 U 论域上的模糊子集, 通过逆模糊化运算得到控制量的量化值 U , 乘以比例因子获得控制量的精确值 u , 最终由 D/A 转换输出施加给被控对象。

5 结语

上述控制的实现, 首先基于热平衡数学建模结果, 即理论指导喷煤量的准确性, 要求建模所得结果趋近实际, 越精确越好。其次是应用了模糊控制器实现了对回转窑窑尾温度这一大惯性对象的控制。通过对回转窑窑尾温度的预测控制、窑尾温度的模糊控制实现了燃料喷吹量的自动控制, 解决了人工经验操作所造成的判断不准确、调整不及时、温度稳定率差的问题。自 2007 年 12 月份安装后, 煤粉调整精度得到提高, 窑尾温度波动范围降低了 40%。最终达到了优化球团焙烧过程、稳定温度控制、提高焙烧效率、降低岗位劳动强度等目的。

参考文献

- [1] 李少远, 李宁. 复杂系统的模糊预测控制及其应用. 科学出版社, 2003. 1~168

表 2 回转窑燃料喷吹控制规则表

U	EC												
	-6	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6
-6	7	7	7	7	7	7	7	4	3	1	0	0	0
-5	7	7	7	6	6	6	6	3	2	1	0	0	0
-4	6	6	6	5	5	5	5	3	1	1	0	0	0
-3	6	5	5	4	4	4	4	2	1	0	-1	-1	-1
-2	5	4	4	4	4	4	4	1	0	0	-1	-1	-1
-1	5	4	4	3	3	3	1	0	0	0	-1	-2	-3
0	4	4	3	1	1	1	0	-1	-1	-1	-2	-3	-3
1	2	2	2	1	0	0	-1	-2	-2	-2	-3	-3	-4
2	2	2	1	1	0	-1	-3	-3	-3	-3	-3	-3	-5
3	1	1	1	0	-1	-2	-4	-4	-4	-4	-5	-5	-6
4	0	0	0	-1	-1	-3	-5	-5	-5	-5	-6	-6	-6
5	0	0	0	-1	-2	-3	-6	-6	-6	-6	-7	-7	-7
6	0	0	0	-1	-3	-4	-7	-7	-7	-7	-7	-7	-7