

基于 Siemens PLC 和自校正控制算法的 炭素回转窑系统的控制

王 莉¹, 周新东²

(1. 湖南商学院 计算机与电子工程系, 湖南 长沙 410205; 2. 长沙矿冶研究院, 湖南 长沙 410012)

摘 要: 在炭素回转窑煅烧生产过程中, 给料量和窑尾负压的有效控制是稳定煅烧带温度、优化煅烧过程的重要环节。以 Siemens 300 系列 PLC 为核心, 进行炭素回转窑自动控制系统的设计, 并采用基于 CARMA 模型和最小二乘法的自校正调节算法和经典 PID 算法分别进行给料量和负压的控制, 以保证生产过程在最优生产条件下进行。同时考虑到风机在生产过程中的重要性, 进行了风机故障诊断处理。系统于 2003 年底正式投入运行, 长期运行结果表明系统可靠性高、实用性好, 既稳定了生产, 又提高了产品质量, 实现了节能。

关键词: PLC; 负压控制; 给料量控制; 故障诊断

中图分类号: TP202

文献标识码: A

文章编号: 1006-754X(2008)01-0050-04

Application of Siemens PLC & self-adaptive control algorithm in auto-control system for rotary kiln

WANG Li¹, ZHOU Xin-dong²

(1. Department of Computer and Electronic Engineering, Hunan Business College,
Changsha 410205, China;

2. Changsha Research Institute of Mining and Metallurgy, Changsha 410012, China)

Abstract: In the process of carbon calcinations in rotary kiln, effective control of feeding flux and negative press is the most important to stabilize the calcine zone's temperature and optimize the calcinations process. Taking Siemens 300 series PLC as core, the auto-control system of rotary kiln is developed and the self-adjusting algorithm based on CAEMA model and least square method and classic PID algorithm is adopted to control the flux and negative pressure, which assures that production is under optimal condition. Meantime, considering the importance of exhauster during production, the exhauster diagnosis is also taken into account. This system was put into use at the end of 2003, and the long-term operation showed that this system was reliable and practical; besides, the product quality was improved with the reduction of energy consumption.

Key words: PLC; negative pressure control; feeding control; fault diagnosis

目前, 国内电解铝原料生产中大多采用回转窑进行炭素的生产, 这是因为它具有结构简单、产量大、机械化程度高和对原料适应性强等优点。其生产工艺流程为: 原料经料斗从窑尾送入窑内, 流动的物料与从窑头进来的煤气和空气的混合热气流逆向运动。窑尾处的引风机在窑内形成一定的负压, 使热气流从窑头向窑尾流动, 并与物料形成对流使物料得到充分燃烧。石油焦在这一阶段发生一系列的物理和化学变化, 其燃烧的挥发分经二次燃烧后, 进入冷却、净化系统。原料依次通过预热、煅烧、冷却三阶段

后进入小窑, 最终以锻后焦产品排出^[1-2]。

但是, 目前对回转窑的控制方式较落后, 通常由工人观察窑内火焰的颜色, 凭经验通过调节风门和料斗的开度来改变窑尾的负压和加料量, 操作水平低, 操作方式不完善。PLC 具有安全可靠、抗干扰性强、使用方便、维护简单等特点, 因此本文针对某厂炭素回转窑的生产实际情况, 采用一组 Siemens 300 系列 PLC 进行回转窑的控制, 不仅实现了回转窑中石油焦煅烧过程的在线监测, 而且实现了窑尾负压和料量的实时控制, 最终使得窑内煅烧带温度波动

收稿日期: 2007-03-12.

作者简介: 王 莉(1978—), 女, 湖北武穴人, 讲师, 硕士, 从事工业过程的计算机控制及智能化理论与技术研究, E-mail: WL111500@163.com.

减小, 煨后焦的质量得到提高。

1 PLC 资源配置

根据现场环境及其功能需要, 本系统需要 24 点模拟量输入(引风机转速、给料机转速、负压、当前料量和二次风流量等)、2 点模拟量输出(引风机和给料机转速控制信号)、24 点开量输入及 16 点开量输出。通过比较, 选用性价比较高的 Siemens 公司 300 系列的 PLC, 其配置如图 1 所示。

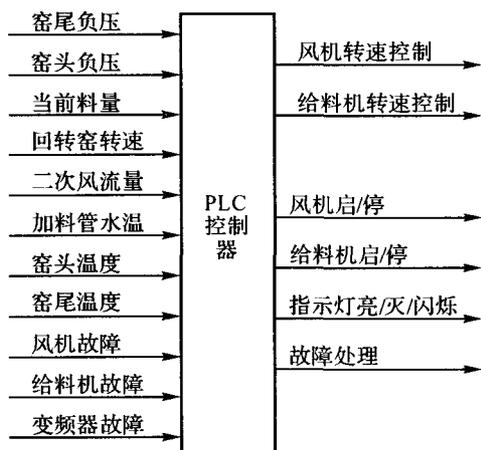


图 1 PLC 控制器输入/输出配置

Fig. 1 The I/O configuration of PLC

本系统采用 Siemens STEP 7 编程软件实现系统的自动控制功能, 主要有过程状态监测、控制算法实现、数据管理、故障报警和通信等部分组成。需要监测的参数有: 窑尾负压、窑头负压、当前料量、风机转速、给料机转速等。控制信号主要是对风机和给料机转速的调节, 风机、给料机和变频器启/停操作, 各指示灯工作状态(亮/灭/闪烁)以及控制方式间的切换等。报警信号有风机故障、给料机故障和变频器故障等。

2 控制功能的实现

在炭素煨烧生产系统中, 为了减少由工艺参数变化引起的工况不稳定, 稳定炉膛内煨烧带温度和长度, 需要对给料量和窑尾负压进行控制, 其控制性能的好坏直接影响煨后焦的质量, 关系到能否安全、优质、正常地生产^[3]。整个系统程序流程图如图 2 所示。

2.1 窑尾负压的控制实现

根据现场实际生产情况, 采用经典 PI 控制算法, 利用 PI 控制器结构简单、易于实现、可靠性高等优点, 进行负压的快速调节。负压实测值由安装在回转窑窑尾位置的压力传感器检测到, 与设定值比较后的偏差经 PI 控制器运算后, 通过改变 MM430 变频器的输出来改变风机的转速, 从而实现负压的恒

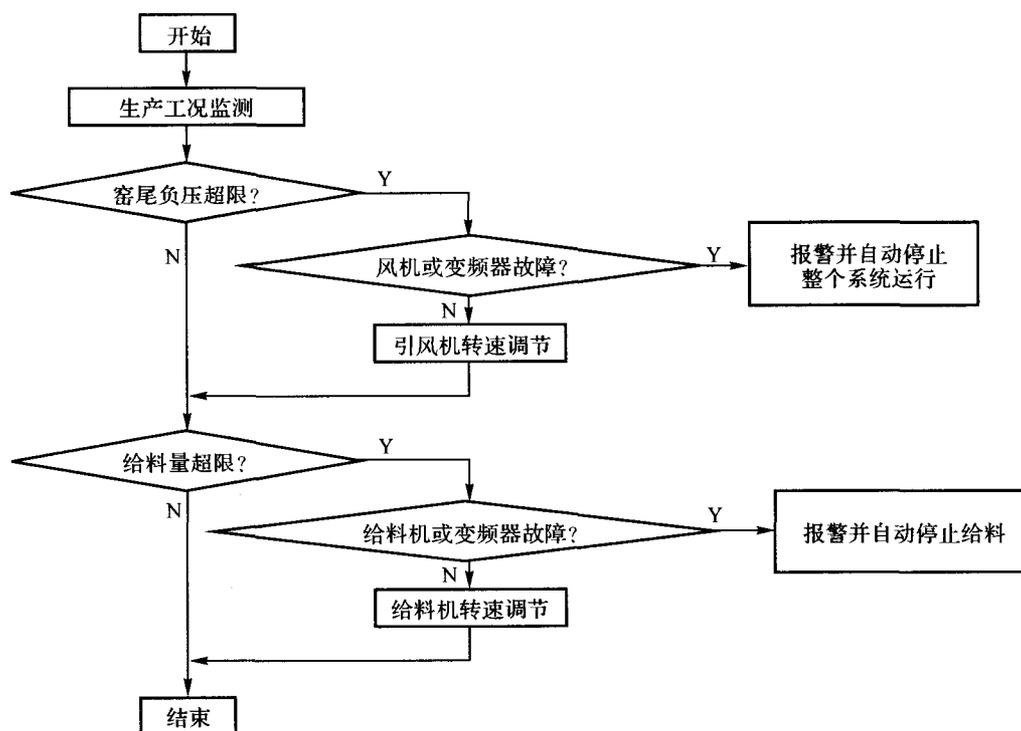


图 2 回转窑控制系统程序流程图

Fig. 2 The program flow of the rotary kiln control system

定. 根据工艺要求, 调节时窑尾负压最大不得超过设定值 5~20 Pa, 且为了避免电机的频繁动作, 调节周期为 1 min, 调节响应时间为 1~3 min, 最后采用工程整定法获得控制器的近似整定参数 K_p 和 T_i , 其算法公式为:

$$u(k) = K_p \left[e(k) + \frac{1}{T_i} \sum_{i=0}^k e(i) \right], \quad (1)$$

式中, u 为控制器输出, e 为设定负压与实际负压的偏差, K_p 和 T_i 分别为比例、积分系数.

2.2 给料量的控制实现

给料量控制系统通过判断检测的实际料量与设定料量的大小, 实时改变给料机的转速来实现给料量的恒定. 被控对象为物料, 具有很大的不确定性, 如颗粒大小、湿度等等, 并且控制过程中还有一定的时间滞后, 因此本文采用基于 CARMA 模型的自校正控制算法^[4-6]进行给料量的控制. CARMA 模型为受控自回归滑动平均模型, 它可描述为:

$$A(z^{-1})y(t) = z^{-d}B(z^{-1})u(t) + C(z^{-1})e(t), \quad (2)$$

式中: $y(t)$, $u(t)$, $e(t)$ 分别为被控对象的输出、输入和不可量测的扰动噪声; z^{-1} 为滞后一步算子, 即 $z^{-1}y(t) = y(t-1)$; d 为滞后步数; $A(z^{-1})$, $B(z^{-1})$, $C(z^{-1})$ 均为 z^{-1} 的多项式.

将式(2)改写为:

$$y(t+d) = \frac{B(z^{-1})}{A(z^{-1})}u(t) + \frac{C(z^{-1})}{A(z^{-1})}e(t+d). \quad (3)$$

丢番(Diophantine)方程为:

$$C(z^{-1}) = A(z^{-1})F(z^{-1}) + z^{-d}G(z^{-1}), \quad (4)$$

式中, $F(z^{-1})$, $G(z^{-1})$ 均为 z^{-1} 的多项式. 将式(4)代入式(3), 得

$$y(t+d) = \frac{1}{C(z^{-1})} [G(z^{-1})y(t) + F(z^{-1})B(z^{-1})u(t)] + F(z^{-1})e(t+d). \quad (5)$$

定义 $\hat{y}\left(\frac{t+d}{t}\right)$ 为 d 步向前输出最优预测值, 最优预测误差为:

$$\epsilon(t+d) = y(t+d) - \hat{y}\left(\frac{t+d}{t}\right) = F(z^{-1})e(t+d). \quad (6)$$

由式(6)得预测误差的方差为:

$$J = E[\epsilon(t+d)]^2 = E \left[\frac{G(z^{-1})y(t) + F(z^{-1})B(z^{-1})u(t)}{C(z^{-1})} - \hat{y}\left(\frac{t+d}{t}\right) \right]^2 + E[F(z^{-1})e(t+d)]^2 \geq E\{[F(z^{-1})e(t+d)]^2\}. \quad (7)$$

当式(7)左右两端相等时, 输出方差最小, 因此得到 d 步向前的最优预测模型为:

$$\hat{y}\left(\frac{t+d}{t}\right) = \frac{G(z^{-1})y(t) + F(z^{-1})B(z^{-1})u(t)}{C(z^{-1})}. \quad (8)$$

令

$$\hat{y}\left(\frac{t+d}{t}\right) = 0,$$

则

$$G(z^{-1})y(t) + F(z^{-1})B(z^{-1})u(t) = 0. \quad (9)$$

将式(9)变形后得到自校正调节器的调节律为:

$$u(t) = -\frac{G(z^{-1})}{F(z^{-1})B(z^{-1})}y(t). \quad (10)$$

根据实际现场运行情况, 可将给料系统对象描述为一个带有时滞的二阶模型, 如式(11)所示:

$$G_o(s) = \frac{K}{T_1 T_2 s^2 + (T_1 + T_2)s + 1} e^{-\sigma s}, \quad (11)$$

式中, $G_o(s)$ 为给料系统对象的传递函数, K 为系统的传递系数, T_1 为电机拖动系统的机电时间常数, T_2 为电机从静止状态加速到某一频率所需的时间, τ 为从给料机出料到皮带秤检测到重量发生变化时的延迟时间.

然后由式(11)和现场数据确定式(2)和式(4)中的 $A(z^{-1})$, $G(z^{-1})$ 等, 得到给料系统自校正调节律为:

$$u(t) = -\frac{0.16 - 0.02z^{-1}}{K(0.446 + 0.854z^{-1} + 0.55z^{-2} + 0.22z^{-3})}y(t). \quad (12)$$

自校正控制器如图 3 所示, 其中 $y_r(t)$ 为系统给定输入值.

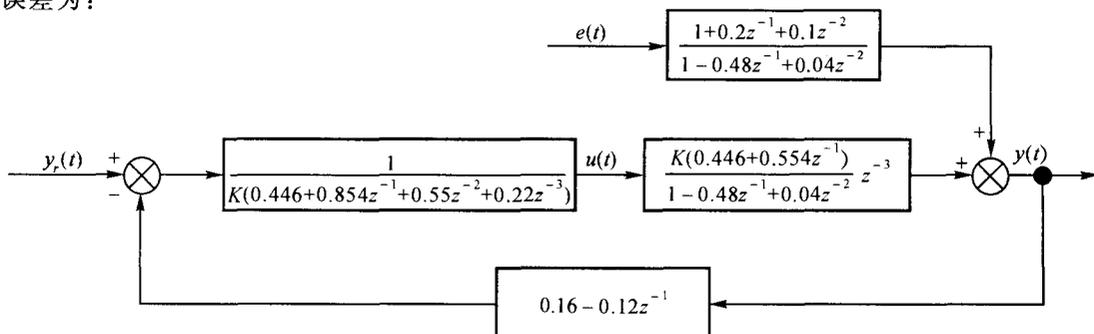


图 3 自校正控制器结构图

Fig. 3 The structure of the self-adapting controller

2.3 在线故障检测

本系统的在线故障诊断主要完成回转窑煅烧生产过程中出现的给料系统故障、引风机系统故障等一系列故障信息的监测和报警.其中以风机系统的故障最为重要,因为一旦出现异常情况(如风机停机),窑内的挥发分积聚将有可能引发回转窑爆炸,因此如何准确及时地检测出风机出现的故障成为 PLC 软件编制中的一个重要部分.程序流程图如图 4 所示.

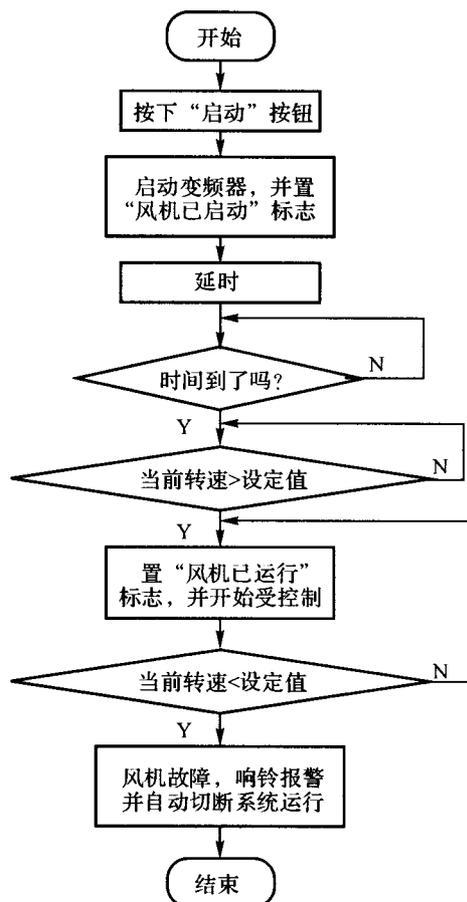


图 4 风机在线故障诊断流程图

Fig. 4 The flow of exhauster's on-line fault diagnosis

3 工业应用与效果

本控制系统在对回转窑工况实时监控的同时,对给料量和窑尾负压也进行了相应的控制,其主界面如图 5 所示.用户可通过主界面观测回转窑的各个环节是否正常,并由管理者根据权限进行界面之间的切换,负责工艺参数的修改、设定以及结果数据的分析.同时用户也可以对实时的给料量和窑尾负压进行独立或并行的监控,如改变工作方式、修改设定参数(如设定料量)等.

4 结 语

该系统于 2003 年底投入生产至今,长期运行表

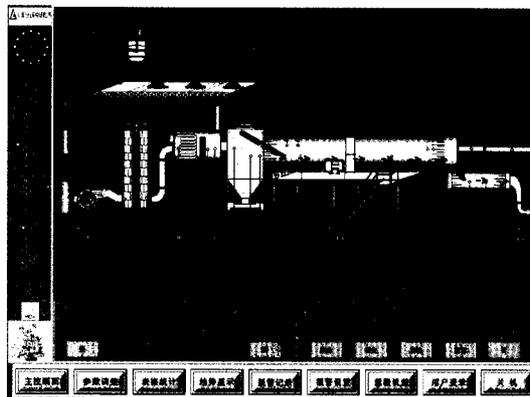


图 5 系统主监控界面

Fig. 5 The main interface of the system

明,该系统工作可靠、性能稳定.分析给料量和窑尾负压的历史趋势图可知,采用可编程控制器后,给料控制精度达到 $\pm 1\%$,窑尾负压控制精度达到 ± 5 Pa,煅烧带温度以及煅后焦的比电阻也有较为满意的效果.该系统有着广阔的应用前景,其采用的 PLC 控制及其控制算法可广泛应用于冶金、材料、建筑等生产用回转窑的控制中.

参考文献:

- [1] 李圣华,王平甫.石油焦煅烧概论.铝电解碳阳极技术(一)[M].北京:冶金工业出版社,2002.
LI Sheng-hua, WANG Ping-pu. Outline of petroleum coke calcination. Aluminium electrolytic carbon anode technology (I) [M]. Beijing: Metallurgic Industry Press, 2002.
- [2] 于进.浅谈回转窑工艺操作最佳化的途径[J].轻金属,1999(8):44-48.
YU Jin. Talk about the ways to optimize the operation of rotary kiln[J]. Light Metal, 1999(8): 44-48.
- [3] 崔东生.炭素回转窑的工艺设计与计算[J].炭素技术,2000,1:33-35.
CUI Dong-sheng. The process design and calculation for rotary kiln [J]. Carbon Techniques, 2000, 1:33-35.
- [4] 王迎春,耿长福,吴宏鑫.一种自适应模糊控制器及其在电解铝过程控制中的应用[J].航天控制,2001(4):22-28.
WANG Ying-chun, GEN Chang-fu, WU Hong-xin. An adaptive fuzzy controller and its application in the process control of aluminum electrolysis[J]. Aerospace Control, 2001(4):22-28.
- [5] 刘兴堂.应用自适应控制[M].西安:西北工业大学出版社,2003.
LIU Xing-tang. Applied self-adapting control[M]. Xi'an: Northwestern Polytechnical University Press, 2003.
- [6] Siemens AG. WinCC v5. The configuration manual and the communication manual [P]. Germany: Siemens, 2000.