

# 基于专家系统的工业炉节能控制系统研究

谢 鑫, 邓通通, 邱淑建, 陶丽杰  
(中国联合工程公司, 浙江 杭州 310022)

**摘 要:** 针对加热炉燃烧过程中热值变化、燃气流量和空气流量变化导致燃烧不稳定的缺点, 介绍了利用专家控制系统动态改变空燃比的控制方式, 使加热炉在各种燃烧工况条件下, 燃料在烧嘴内充分混合, 从而提高燃烧效率, 节约能源, 减少氧化烧损。

**关键词:** 工业炉; 节能控制系统; 变空燃比; 专家系统; 氧化烧损

**中图分类号:** TG307 **文献标识码:** B **文章编号:** 1001-6988(2018)01-0062-03

## Research of Energy Saving Control System in Industrial Furnace Based on Expert System

XIE Xin, DENG Tongtong, QIU Shujian, TAO Lijie  
(China United Engineering Corporation, Hangzhou 310022, China)

**Abstract:** Aiming at the disadvantages caused by the change of heating value in the combustion process of the heating furnace, and combustion instability lead by the changes of gas flow and air flow, the control mode of dynamic change of air-fuel ratio base on expert system is introduced, which can make fuel full mixed in burner in various combustion conditions of furnace and improve combustion efficiency, save energy and reduce oxidation loss.

**Key words:** industrial furnace; energy saving control system; variable air-fuel ratio; expert system; oxidation loss

燃气加热工业炉由于其燃烧过程受随机因素干扰且影响因素多、具有大惯性、滞后的非线性特点, 要以数学方法建立加热炉这种复杂、粗糙对象的模型是十分困难的; 其次, 燃料热值波动大。因此实际过程中往往不能保证稳定的充分燃烧, 钢坯加热氧化烧损严重, 同时浪费大量能源。针对这种状况, 本文对工业加热炉的燃烧特性进行了深入分析, 构建了基于专家控制系统的 PID 控制算法, 能够使燃烧处于较佳状态, 从而提高炉温控制精度, 保证钢锭按设定曲线达到出钢温度, 节约能源, 减少氧化烧损。

### 1 专家控制系统的构造方法

专家系统是一种设计用来对人类专家的问题求解能力建模的计算机程序, 其内部含有大量的某个

领域专家水平的知识与经验, 能够利用人类专家的知识 and 解决问题的方法来处理该领域问题。也就是说, 专家系统是一个具有大量的专门知识与经验的程序系统, 它应用人工智能技术和计算机技术, 根据某领域一个或多个专家提供的知识和经验, 进行推理和判断, 模拟人类专家的决策过程, 以便解决那些需要人类专家处理的复杂问题。简而言之, 专家系统是一种模拟人类专家解决领域问题的计算机程序系统。它可以模拟存储工业炉大量工况变化及相应最佳燃烧的规则, 在外界工况发生变化时调用、触发相关设备。专家系统的结构是指专家系统各组成部分的构造方法和组织形式。系统结构选择恰当与否, 是与专家系统的适用性和有效性密切相关的。选择什么结构最为恰当, 要根据系统的应用环境和所执行任务的特点而定。

试图在专家系统中采用专家的两种主要优点建模: 专家的知识 and 推理。要实现这一点, 专家系统必

收稿日期: 2017-11-08

作者简介: 谢 鑫(1977—), 男, 工程师, 主要从事热处理设备的控制技术开发与设计工作。

须有两个主要模块:知识库和推理机。图1表示专家系统的简化结构图。

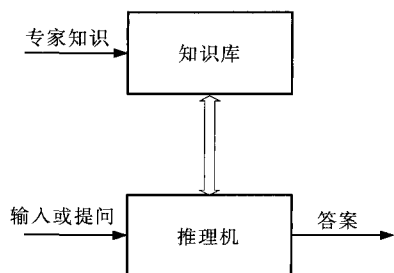


图1 专家系统简化结构示意图

专家系统将专家的领域知识集中存储在知识库模块中,包括事实、可行操作与规则等。为了建立知识库,要解决知识获取和知识表示问题。知识获取涉及知识工程师如何从专家那里获得专门知识的问题;知识表示则要解决如何用计算机能够理解的形式表达和存储知识的问题。工作内存是专家系统包含执行任务时发现的问题事实的部分。推理机是专家系统的知识处理器,它用于记忆所采用的规则和控制策略的程序,使整个专家系统能够以逻辑方式协调地工作,根据知识进行推理和导出结论,而不是简单地搜索现成答案。它将工作内存中的事实与知识库中的领域知识相匹配,以得出问题的结论。推理机处理工作内存中的事实和知识库中的领域知识,以提取新住处。它搜寻约定与工作内存里的住处之间的匹配规则,当找到匹配时,就把规则的结论加入到工作内存中,并继续扫描规则,寻求新的匹配。

建立系统的一般步骤如下:

(1)设计初始知识库。知识库的设计是建立专家系统最重要和最艰巨的任务。

(2)原型机的开发与试验。在选定知识表达方法之后,即可着手建立整个系统所需要的实验子集,它包括整个模型的典型知识,而且只涉及与试验有关的足够简单的任务和推理过程。

(3)知识库的改进与归纳。反复对知识库及推理规则进行改进试验,归纳出更完善的结果。经过相当长时间的努力,使系统在一定范围内达到人类专家的水平。

这种设计与建立步骤,如图2所示。

基于规则的专家系统是知识工程师构建专家系统最常用的方式,基于规则的专家系统是个计算机程序,该程序使用一套包含在知识库内的规则对工作存储器内的具体问题信息进行处理,通过推理机

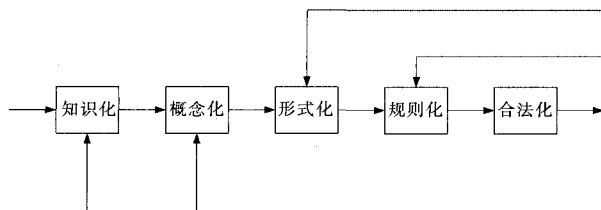


图2 建立专家系统的步骤示意图

推断出新的信息。产生式规则是一个以“如果满足这个条件,就应当采取某些操作”形式表示的语句。例如,规则:如果,某种动物是哺乳动物,并且吃肉,那么,这种动物称为食肉动物。

正向链接推理进行以下步骤,直到问题得到解决或找不到任何一个规则的IF部分可被当前的情况满足为止:

(1)收集IF部分被当前情况满足的规则。如果不止一个规则的IF部分被满足,那么应用冲突解决策略选择优先级最高的规则,并删除其余规则。

(2)执行所选规则THEN部分的操作。

## 2 专家系统PID控制系统硬件设计

本文根据太钢某厂加热炉项目设计为参考,控制硬件系统采用一套SIEMENS S7-300系列PLC作为中央控制设备,现场操作台采用ET200分布式从站,该ET200作为1#炉台PLC的从站;设置一套工控机及WINCC组态软件组成的人机界面系统(HMI),实现对三个炉子及公用部分的在线监视、操作及管理。远程I/O、与主PLC的连接采用PROFIBUS-DP网络,三个主控PLC及HMI的连接采用工业以太网Ethernet,实现各单元设备的数据通讯及自动控制,如图3所示。

台车式热处理炉控制系统从功能上可分为如下几个系统:计算机监控管理系统、过程控制系统、燃烧控制系统、动力控制系统、报警连锁控制系统。

## 3 专家系统PID控制系统软件功能设计

专家系统智能控制模块是工业炉控制的一部分,实现规则的采集、设备的监控、智能推理、智能控制等功能,在STEP编程操作系统下用STL语言编写,通过应用程序接口供其它功能模块调用。应用原则是“用最优的设定温度满足生产要求,用最少的燃料消耗达到设定温度;用最佳的空燃配比实现合理燃烧,系统可以实现如下功能:

(1)逻辑推理自学习

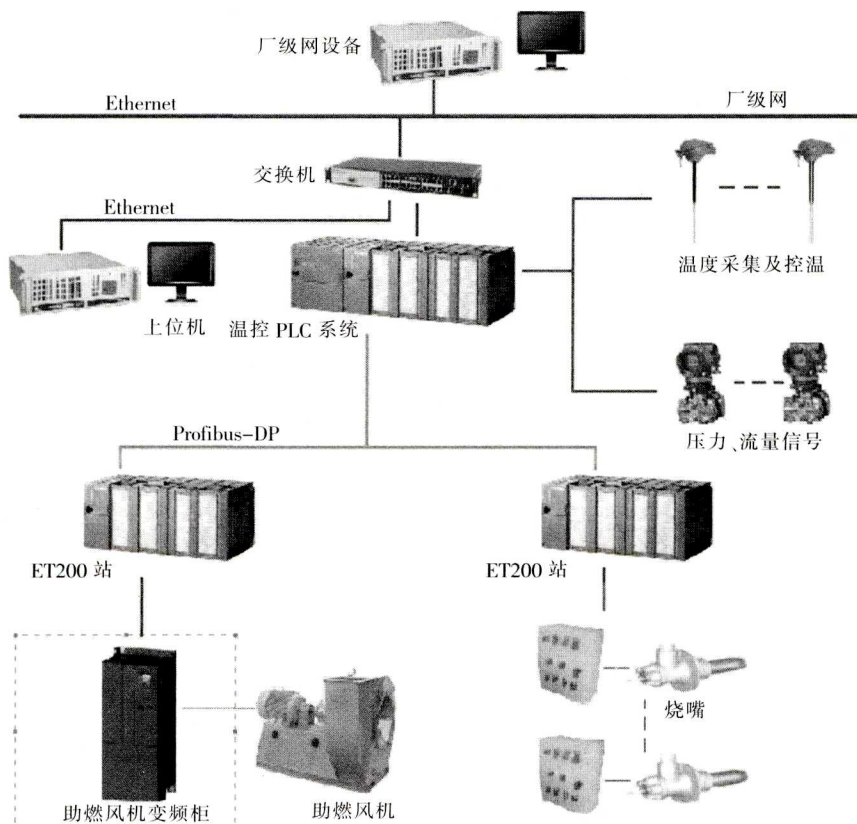


图3 太钢某厂加热炉控制硬件系统图

根据易测的已知量,加以自动逻辑推理判断,自学习归纳得出许多重要的判据来。

#### (2)控制规律的在线自动选择

控制规律应随着工况的变化而自动变换,例如:在加热升温阶段时,重点在于自动搜索并跟踪调节最佳空气燃料配比,因而采用自寻优的控制规律。在保温阶段,重点在尽量减少保温的偏差,保持合适的保温气氛,则可用智能PID调节或相关程序控制。

#### (3)工作参数的在线自动整定

有区别于在常规PID中,控制都是由人工整定的,该专家控制系统则可根据工况来自动整定,保持最佳的工作参数和良好的调节品质

#### (4)设定值的自动修正

常规的设定值都是人工给定不变的,在实际生产中往往不能满足工况的变化要求,该专家控制系统则可根据工况来自动修正设定值

#### (5)优化燃烧

采集排烟风机、助燃风机、燃气流量等数据采集形成一套系统,将压力、温度等各监视点采集的数据输入到专家系统,当炉内热负荷发生变化和扰动时,

专家系统对收集到的数据进行全面分析判断,优选策略,对排烟风机、助燃风机自动控制联动,优化燃烧达到节能效果。

## 4 结语

智能控制是仿人控制,即将人的知识、经验融合于自动控制之中,从而解决常规控制无法解决的控制难题。加热炉智能控制也是如此。尽管过去的加热炉自动化系统投运率很低,然而生产照样进行,人工操作也能完成,说明操作工/加热站长脑子里有加热炉控制模型,但这种模型更多是知识性模型。而人工智能技术是专门描述知识性模型的计算机实现,因此在加热炉自动化系统中尤有用武之地。

#### 参考文献:

- [1] 王秉铨.工业炉设计手册[M].北京:机械工业出版社,1996.
- [2] 林尧瑞,张饮,石纯一.专家系统原理与实践[M].北京:清华大学出版社,1988.
- [3] 武波,马玉祥.专家系统[M].北京:北京理工大学出版社,2001.
- [4] 池桂兴.工业炉节能技术[M].北京:冶金工业出版社,1994.
- [5] 金作良.加热炉基础知识[M].北京:冶金工业出版社,1985.