

东北大学

硕士学位论文

首钢高炉专家控制系统的研究

姓名：周检平

申请学位级别：硕士

专业：控制工程

指导教师：关守平;胡丕俊

20060701

首钢高炉专家控制系统的研究

摘 要

由于高炉冶炼过程的复杂性,长期以来高炉过程的控制主要依赖于人们在生产实践中所积累的种种经验。随着控制理论的提高和信息产业的发展,人们结合数据库技术,人工智能理论和神经网络知识来研究高炉的冶炼过程。七、八十年代日本人建立了几十个数学模型,在原燃料稳定的情况下,模型的效果是显著的。之后日本人又将专家控制系统技术用于高炉过程控制并取得了可喜的成就。芬兰 Rautaruukki 公司的高炉专家控制系统是在引进日本专家控制系统的基础上加以提炼而成。为提高首钢高炉自动化控制水平和提升高炉工长的冶炼水平,2001 年首钢决定与芬兰 Rautaruukki 公司联合开发高炉过程控制技术。首钢高炉专家控制系统是一种基于规则的系统,模拟工长思维过程,利用工长和专家的经验对复杂过程进行跟踪,控制和管理。通过计算炉热指数,预报铁水温度和铁水含硅量来监测和控制炉温;通过计算炉墙热负荷,炉缸侵蚀模型,判断渣皮的形成与脱落等现象来控制和管理炉型;通过高炉煤气利用情况,煤气流的变化和分布,滑料孔现象,滑料现象,悬料现象,管道形成,压损的变化,透气情况,原燃料质量的变化,高炉边缘和中心区的活跃情况来控制炉况的顺行。同时还研究了根据碱度平衡来计算炉渣成分的炉料计算模型,根据炉料运动轨迹来分析的炉料分布模型和根据计算理论产铁速度和实际出铁速度来分析的炉缸渣铁平衡模型。模型是对高炉局部的分析,是专家控制系统的组成部分和必要的补充。首钢二号高炉专家控制系统于 2002 年 10 月份通过验收。之后工长经过一个月左右的跟踪和验证,发现高炉专家控制系统对炉温的预报方面达到了令人满意的结果。炉缸中渣铁平衡的控制与管理由于原始数据不完备,该功能没有达到理想的效果。

各个功能的实现离不开大量的技术计算,推理规则和用户界面,本文将从高炉专家控制系统分析,设计,知识表达与推理机设计与实现,用户界面设计与实现,数学模型的实现,数据采集与有效性判断,技术计算领域详细探索高炉专家控制系统的研究,开发与实现过程。

关键词: 专家控制; 炉况; 推理机; 数学模型

The research of Shougang blast furnace expert control system

Abstract

Owing to the complexity of BF producing process , the controlling of it depended on the collecting experience of productive practice.As for advancement of controlling theory and information industry, the operating of BF had been researched by use of Data Base, artificial intelligence theory . During 1970s in last century the Japanese do a favor to research the operating of BF and bring forward some maths model, they get a good result while the raw materials are consistent. After that, the Japanese apply the expert system in producing of BF, and get a good effect. The expert system of Rautaruukki had been developed after studying the Japanese .In order to improve the automation of BF in Shou Steel and the operating level, Shou steel and Rautaruukki empolder expert of BF. It was based on rules, it simulates the thought of the operator, it controls and manages the process by the experience of the operator and the expert. It supervises the temperature of the BF by caculating thermo index and predicting the percentage of silica in hot metal. It controls and manages the shape of BF by calculating the heat load of brickwork, establishing erosion model of hearth, judging the slag shell. It judges furnace condition by CO gas utilization ration, gas distribution, slip, hanging, pipeline of charge, pressure drop ,ventilation of charge, quality of charge and activity of BF. Further more, calculating model of charge had been researched by basicity balance, Charge distribution had been got by analyzing moving charge. Slag-metal balance model had been got by casting metal. The model analyzed a part of BF, it is a necessary component of the expert system. The expert system of No2 BF had been checked and accepted in Oct. 2002. After one month application, the expert system got a good result in predicting temperature. Controlling and management of slag-metal balance did not got the expectation lack of data.

All functions need lots of calculation, inference rules and interfaces. In this paper ,the main task is analyzing and designing of BF expert system, expressing of knowledge, designing and implementing of inference, designing of interface, establishing of maths model ,collecting and judging of data .

Key words: Expert Control; Condition of blast furnace; Reasoning Machine; Maths Model

独创声明

本人声明所呈交的学位论文是在导师的指导下完成的。论文中取得的研究成果除加以标注和致谢的地方外，不包含其他人已经发表或撰写过的研究成果，也不包括本人为获得其他学位而使用过的材料。与我一同工作的同志对本研究所做的任何贡献均已在论文中作了明确的说明并表示诚挚的谢意。

学位论文作者签名：

签字日期：

学位论文版权使用授权书

本学位论文作者和指导教师完全了解东北大学有关保留、使用学位论文的规定：即学校有权保留并向国家有关部门或机构送交论文的复印件和磁盘，允许论文被查阅和借阅。本人同意东北大学可以将学位论文的全部或部分内容编入有关数据库进行检索、交流。

(如作者和导师不同意网上交流，请在下方签名；否则视为同意)

学位论文作者签名：

导师签名：

签字日期：

签字日期：

第一章 绪论

1.1 高炉专家控制系统的产生和发展

高炉专家控制系统一直是高炉操作开发的热点。日本是最早研究高炉专家控制系统的国家之一，并取得一定的成绩，其原因主要有：高炉检测仪表品种齐全、性能可靠；高炉操作水平高、经验丰富；系统可同时调用高性能的数学模型以处理炉况较稳定时的判断和控制问题；配备了推理速度快的 AI 计算机；综合应用模糊推理、神经网络等其他先进的 AI 技术，以及应用事例学习法提取知识^[1]。日本川崎公司采用神经网络技术辨识和控制三并罐式无钟炉顶的布料作业，以获得理想的煤气流分布。为了稳定铁口深度，保证出铁安全及时，该厂还应用 ES 向炉前作业人员提供关于打铁口和堵铁口的时机、铁口深度和直径、打泥量、是否需要换铁口出铁等专家建议，这些建议是根据当前铁口的状况和高炉炉况而作出的^[2]。

除了日本以外，几乎所有的主要产钢国都已经或正在开发自己的高炉专家控制系统。瑞典钢铁公司(SSAB)于 1992 年将一种专家控制系统原型(或称雏型)在线应用在 Lulea 厂 2 号高炉上，初期的功能是判断当前炉热水平，并根据炉况和已采取的措施，向工长提供当前需要调整操作参数的专家建议^[3]。现正在努力使系统增加炉热预报、塌料等异常炉况预报和控制、事例学习法获取知识、设备故障诊断等功能。芬兰 Rautaruukki 公司在引进的 GO-STOP 系统的基础上为 Raahe 厂高炉开发了一个专家控制系统，具有 600 多条规则，对炉热和异常炉况等实行全面的控制。瑞典 ABB 公司开发的高炉出铁管理专家控制系统具有和日本川崎公司的 ES 类似的功能，它的开发使用了 GZ 开发工具，并曾利用 ZOOH 的操作数据进行 T 检验^[4]。英国钢铁公司采用专家控制系统开发工具 ART 为 Redcar 高炉开发的 ES，1989 年初开始投入使用，它的功能是帮助工长进行日常操作，并可预报塌料、悬料等异常炉况。澳大利亚 BHP 公司以动态物质平衡和热平衡模型和专家知识为基础的，它于 1991 年开始使用，其主要功能为炉热平衡控制。韩国 POSCO 公司 1990 年 3 月开始在已有的高炉计算机系统上装备帮助操作的 ES，特点是具有检测数据三级预处理子系统，通过诊断和防止高炉下部产生不活跃区和不稳定的煤气流来达到炉况顺行的目的。比利时国家冶金研究中心(CRM)开发的高炉专家控制系统 ACCES 的主要功能是预报和防止炉凉和炉缸冻结、诊断结瘤和渣皮脱落等异常炉况^[5]。

进入九十年代末和 21 世纪初，全国又掀起了一股高炉专家控制系统热，武钢，本

钢，昆钢先后引进了芬兰的 Rautaruukki 公司的高炉专家控制系统，攀钢则引进奥钢联的高炉专家控制系统。莱钢引进浙江大学的高炉专家控制系统。

1.2 课题的背景和意义

2005 年我国的钢产量已经达到 3.5 亿吨，稳居世界第一。我国已经成为一个钢铁大国，但还不是一个钢铁强国。在能量消耗、产品质量、劳动生产率等方面，我们和世界先进水平还有很大的差距。尽快研究和在实际生产中应用人工智能和专家控制系统技术，是缩小及消除这些差距的主要手段之一。高炉工长的主要任务是保持炉况的稳定，当炉况出现异常时，借助高炉专家控制系统的建议，采出适当的调制措施。专家控制系统正是帮助工长提高炉况判断的可靠性，避免操作失误，统一三班高炉操作的有效工具^[6]。高炉专家控制系统具有以下几点主要优势：

(1) 可同时对大量的高炉过程信息进行快速分析和综合判断；

(2) 可应用本公司炼铁专家在长期生产过程中所积累的水平最高的操作经验，对炉况及其走向的判断更正确、更客观，可避免三班作业的不一致，实现标准化操作。

(3) 可将人类专家的经验与“传统数学模型”及其他人工智能技术综合应用，从而使对炉况的判断及调剂动作的决策建立在更为科学的基础上。

客观地分析，专家控制系统直接产生经济效益的方面至少有以下三点：铁水质量改善，高炉可以在更为经济的较低炉温下工作，不仅降低了能耗成本，而且改善了铁水质量，这对后续转炉炼钢过程将产生明显的经济效益；避免炉况重大失常，专家控制系统可保证炉况顺行，避免大的炉况失常，这对高炉特别是大型高炉十分重要；高炉寿命延长，专家控制系统可保证炉况稳定顺行，工作炉型合理，这有利于延长高炉寿命，不仅可以使高炉一代炉龄产铁量增加，而且生铁成本也随之下降。高炉专家控制系统产生效益的准确数值，不仅和专家控制系统本身的性能有关，而且和高炉原来的操作水平有很大关系。操作水平较差的高炉，上专家控制系统以后，所产生的经济效益越大。芬兰罗德罗基公司认为，应用专家控制系统可以使燃料比从当时已经很低的 445 kg/t 的水平再降低 4kg/t。根据武钢的保守估计，专家控制系统可以使燃料比降低 2%左右，产量提高 3%左右。

1.3 本文工作

1.3.1 主要研究任务

高炉生产过程是一个集炉内气、液、固三相混合的非常复杂的综合反应过程，是一

个典型的多入多出的相互影响的复杂系统。因此，到目前为止，高炉生产过程不能象传统的控制系统一样形成全自动的闭环控制。高炉专家控制系统充分利用冶炼知识和有经验的冶炼专家对于高炉生产过程中可能或已经出现的异常波动，进行分析和认知，从而进行判断，最后给出相应的警告或行动建议。主要内容为^[7]：

(1) 数据采集：数据采集是研究高炉专家控制系统的基础和桥梁。专家控制系统的信息采集一般分三个部分。第一是常数部分，也就是高炉专家控制系统中的目标值和部分参数的上下限值，这些值一般在开发和调试过程中就已经输入，之后，根据实际情况还可以适当修改。第二部分是人工输入部分，比如：出铁情况，原料成分分析等等。第三部分是自动采集的数据，需要做一些预处理，比如：5分钟获30秒的平均值，还有一些最大值和最小值^[8]。

(2) 技术计算：也就是通常所说的数据处理，又叫量化过程。这一过程是高炉专家控制系统研究的两大核心之一。技术计算过程就是提取原始数据按照一定的公式进行计算，然后将计算结果又存到另外的表中。应用到大量的理论计算公式和部分微分差分计算公式。

(3) 数据存取：高炉专家控制系统的数据库存取是建立在大型关系数据库 Oracle 或 SQL Server 等的基础，数据库是高炉专家控制系统开发的基础和载体。需要建立大量的表，过程，函数和触发器等。同时建立不同的用户和角色，分配角色不同的权限。

(4) 推理过程：推理过程实际上就是建立知识库，建立大量的推理规则。根据高炉的实际情况，冶炼专家的经验 and 冶炼知识，对炉况进行全面，仔细的分析，通过将检测点的值与理论值（或极限值）进行比较和综合，从而判断炉况波动的现象，根据工长的操作习惯给出相应的消除波动的建议，从而达到既稳定炉况又节约，降耗，提高生产率的目的。在首钢二高炉专家控制系统中我们着重研究了以下炉况波动现象，并给出相应的指导高炉操作的建议：

- (a) 塌料现象
- (b) 炉腹渣皮的脱落和形成
- (c) 管道的形成
- (d) 塌料孔的形成和消失
- (e) 炉墙热负荷
- (f) 煤气分布变化
- (g) 炉缸平衡和出铁延迟的操作

- (h) 压损
 - (i) 热状态的控制 等等
- (5) 人机界面:用来显示高炉专家控制系统经过技术计算和推理以后所产生结果,是高炉专家控制系统的窗口。按其功能来分,主要分为以下几个部分:
- (a) 主界面:包括信息显示和高炉冶炼周期的计算结果显示。
 - (b) 模型部分:首钢二高炉专家控制系统主要有六个模型,即炉料计算模型,炉料分布模型,炉缸渣铁平衡模型和炉缸侵蚀模型,物料平衡和热平衡模型。
 - (c) 数据输入部分:主要包括出铁数据输入界面,炉料分析输入界面,喷吹物分析输入界面和筛分分析输入界面。
 - (d) 参数修改部分:主要包括技术计算参数和规则参数。
 - (e) 趋势显示部分:所有的数据库的字段都可以进行趋势显示。
 - (f) 系统维护部分:包括应用软件错误日志显示,趋势定义显示和原料的列表显示。
 - (g) 数据有效性诊断:对自动采集的数据或输入的数据进行有效性判断,对于错误的或者不准确的数据进行提示或报警。

1.3.2 涉及的主要工作

本课题涉及的主要工作如下:

- (1) 通讯程序的开发:主要包括:数据的预处理,数据的采集,数据的判断和报警信息的存储。
- (2) 数据库的建立:主要包括:用户,权限,角色,函数,程序,过程,程序包,同义词和各种表的建立。
- (3) 趋势控件的开发。
- (4) 技术计算的开发和调试。
- (5) 推理规则的建立和调试。
- (6) 模型的研究和应用。
- (7) 用户界面的开发和应用。

第二章 高炉专家控制系统功能分析

2.1 高炉炼铁工艺及控制现状

高炉炼铁工艺复杂且设施庞大，高炉炼铁通常有广义和狭义之分，广义上的高炉炼铁包括高炉主体及其外围设施。外围设施主要包括原燃料采购，原燃料加工，原燃料供应，动力供应等部分。

2.1.1 高炉工艺介绍

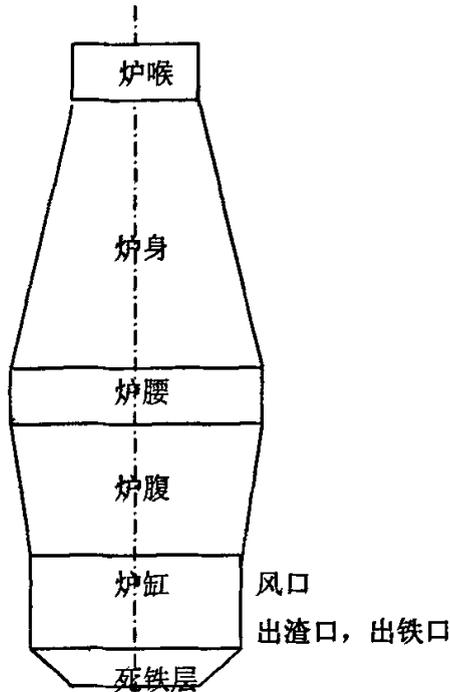


图 2.1 高炉结构示意图
Fig. 2.1 Structure of Blast Furnace

高炉按照炉内的体积不同，分为特大型高炉，大型高炉，中型高炉和小型高炉，不管是哪种高炉，其形状是相似的。主要由图 2.1 所示的几部分组成^[9]。

高炉冶炼是在密闭的竖炉中进行的。高炉的冶炼过程：焦炭，铁矿石和熔剂等固体炉料从高炉上部装入。到达风口的焦炭被从风口鼓入的热风中的氧燃烧而产生平均温度为 1700℃左右的高温煤气，同时燃烧的还有随鼓风一道喷入的煤粉，重油，煤水混合物，天然气等辅助燃料。高温煤气自下而上地流动，温度不断下降，含氧量不断增加，最终从炉顶排出。而铁矿石在从上而下的运动过程中不断被煤气加热和还原，温度不断升高，含氧量不断下降。根据炉料的温度，化学成分和物理形态，高炉可以分为块状带，软熔带，滴下带，风口燃烧带和炉缸五大部分。由于软熔带内的矿石层处于软化和熔融状态，

对煤气有很大的阻力，所以煤气在软熔带内基本上只能从焦炭层，即所谓的焦炭气窗中流过。滴下带内的焦炭柱又可以划分为活动焦炭区和死料柱两部分。焦炭主要是在活动焦炭区内向下运动而最终到达风口燃烧带，死料柱中的焦炭主要消耗于 FeO 和锰，硅，磷等元素的还原，生铁的脱落和渗碳等。在块状带和软熔带内，铁矿石中的铁氧化物差不多已经全部还原，脉石和熔剂发生反应生成低熔点的熔渣。在滴下带内，液态渣铁要发生分离。熔渣中的氧化亚铁在穿过焦炭柱时被还原成金属铁，而熔铁在滴下的过程中继续被渗碳并吸收硫，硅，锰，磷等合金元素，最终在炉缸内汇积储存起来。铁水和炉渣定期或连续的从铁口/渣口中排出^[10]。

由此可见高炉冶炼是在高温条件下进行的复杂的物理化学反应，并充满了动能，热量与质量传输过程等复杂现象，要准确地，及时地判断炉内发生的情况是很困难的，因为高炉是密闭的，连续的逆流反应器，对反应过程的变化要进行直接的观察与测试都难以进行，人们主要依靠间接的仪表反应与实践的经验来进行操作^[11]。

2.1.2 高炉自动控制与常规过程控制的区别

常规系统和专家控制系统的区别：常规系统具有程序，运算法则，数字，评价操作，数据访问等功能，而专家控制系统不仅具有以上功能而且还有启发，象征功能，专家控制系统有知识库和推理驱动，专家控制系统外壳特点是快速的原型和开发。例如规则的自动化，询问询问窗口，会话跟踪和立即执行，专家控制系统是有计划的模仿专家的问题解决能力。主要构成：推理驱动与知识库；规则开发与用户；数据库；用户-接口-KE 开发和外部扩展。专家控制系统是组合了规则与对象向导系统两者的技术和概念的工具，推理-规则-对象-表示，嵌入专家控制系统对象。

常规的过程控制通常分为开环和闭环两种，所谓的开环控制就是根据对象的需要控制器直接给出阀位的开度，而不知道控制对象的实际变化情况，这种控制通常用在控制精度要求不高或则系统复杂不能实现闭环控制的场合；而闭环控制则是将对象变化以后的实际值反馈给控制器，再与控制器的设定值作偏差，将偏差放大再输出，直到偏差为 0，这种控制通常用在控制精度高的过程控制场合。根据被控对象的不同特点和复杂程度，常规的过程控制又分为单回路控制，比值控制，前馈控制，串级控制等等。适用于这些控制的被控对象的一个最大特点是影响被控对象变化的因数较少，而且存在一定的规律。锅炉汽包水位的控制在常规的过程控制中算复杂系统了，只要将蒸汽流量和给水量考虑进来采用三冲量控制就能实现锅炉汽包水位的自动控制，也就是说影响汽包水位

变化的因数有蒸气量和给水量。然而作为被控对象的高炉就很不一样了。

与常规过程控制相比高炉的控制具有以下特点：

(1) 冶炼过程复杂，炉内发生的大量的物理化学反应都很难定量的计算，影响高炉冶炼过程的因素很多。从原燃料的质量，品位，粒度开始到风温，风量，喷煤量，空气湿度，矿石和焦炭的含水量，加料时间和出铁时间等等都影响高炉的冶炼过程。

(2) 工艺设备庞大，子系统太多且相互影响，而不象常规的过程控制对象那样单一。

(3) 冶炼周期长，也就是说控制手段发生作用的延迟时间很长。通常情况下，一批料从炉顶加入，到冶炼成铁水大约需要 3-6 个小时不等，冶炼周期跟高炉容积和原燃料特性有关。冶炼周期有两种表示法，其一以炉料停留时间表示，公式如下：

$$\tau = \frac{24 V_0}{P \cdot v \cdot 0.875} \quad (2-1)$$

V_0 ：为高炉有效容积，P 高炉日产铁量，v 冶炼每吨生铁的炉料体积，0.875 体积收缩系数。

从上述公式不难看出， V_0 为高炉有效容积，可以精确计算和测量，而 P 为高炉日产铁量。另一方面，v 为冶炼每吨铁的炉料体积，0.875 体积收缩系数。

其二以容纳料批数表示，也就是说高炉料线到风口中心线之间的炉内容积能够容纳多少批炉料，其公式如下：

$$n = \frac{V}{v' \cdot (1 - c)} \quad (2-2)$$

c 为炉料在炉内的压缩率，一般取 12%-13%；（限制取值范围为 12%-13%），V 为高炉的工作容积，需要根据高炉设计计算出来，计算方法为：

风口中心线到料线的高度的体积（V）= V1+V2+V3+V4+V5，其中 V1 为炉腹体积，V2 为风口风口带以上体积，V3 为炉腰体积，V4 为炉身体积，V5 为炉喉装料体积，料线深度：1.2-1.3m，v' 为每批料的体积，它由每批料的矿石（包括熔剂）质量（矿石批重），焦炭质量（焦炭批重），除以各自的堆积密度加合得到。物料的堆积密度通常取：天然矿石（生矿）2.2t/m³；烧结矿，石灰石，白云石 1.6t/m³；焦炭 0.5t/m³ [12]。

(4) 典型的多入多出系统，对高炉冶炼过程产生影响的控制过程有：

- (a) 原燃料的质量控制和成分化验
- (b) 风量控制

- (c) 风温控制
- (d) 加湿蒸汽控制
- (e) 喷煤控制
- (f) 上料控制
- (g) 炉料分布控制
- (h) 出铁, 出渣控制
- (i) 炉顶除尘控制
- (j) 冷却水控制

还有一些其它控制, 如顶压控制, 炉顶打水控制等等。这些控制都能够单独的进行控制, 但是如何协调各个子系统, 正是高炉工长所要做的, 也是高炉专家控制系统需要完成的任务。

专家控制系统 (Expert System) 是人工智能领域中的一个重要分支。所谓专家控制系统, 实际上是以知识库为核心进行问题求解的计算机程序, 即基于知识的智能系统。人们往往把它看成是一个基于逻辑心理模型的物理符号系统, 用来模拟人的逻辑思维行为, 他在某一特定领域具有人类专家水平的解题能力。一个高炉专家控制系统的核心部分是知识库 (Knowledge Base) 和推理机 (Inference Engine)。世界各国在开发高炉专家控制系统的实践中发现, 知识库是决定专家控制系统成败与否和性能高低的关键。

总之, 常规过程控制是高炉专家控制的基础, 高炉专家控制是常规过程控制的统率和灵魂。

2.1.3 高炉自动控制的难点

由于高炉冶炼是在一座密闭的竖炉中进行的, 炉内发生的变化是看不到的, 也是很难检测的, 许多现象难以用传统的数学方法准确的描述, 过程控制在很大程度上依赖于操作者的个人经验^[13]。从控制论的角度看, 高炉过程是一种时间常数大的非线性系统^[14]。

高炉控制系统分析:

(1) 高炉鼓风系统: 高炉鼓风机通常使用大功率的电机, 通过 PLC 编程控制高炉的风量很容易实现, 但是如果频繁的改变风量, 可能会对电机造成影响。通常情况下, 风量的检测是在风机的出口, 鼓风量经过加热炉以后再送入高炉, 其间可能存在漏风现象, 所以不管风量检测仪表精度多高, 入炉风量的实际值与检测值还是存在着误差。还有一个影响因数就是风温发生了变化, 检测的是冷风的风量, 而实际入炉的是热风风量,

在高温下，鼓风的体积肯定要增加。应该做温压补偿，也就是说用入炉风量的温度和压力作补偿才正确。

(2) 热风炉的自动燃烧控制：高炉的热风炉自动燃烧控制也是一个难题，由于热风炉的燃料为高炉煤气和焦炉煤气，通常情况下为了节约能源更多的采用高炉煤气。如果高炉生产不顺需要提高风温，而这时的热风炉就需要消化更多的高炉煤气，高炉不顺，可能高炉产生的高炉煤气就少，这样相互制约着。另外高炉煤气的成分发生变化也将影响高炉煤气的热值，进而影响热风炉的自动燃烧。

(3) 高炉加湿蒸气量的控制：简单，好控制。但是高炉加湿到底对高炉冶炼有多大的作用，这个值得研究和探讨。首钢以前曾经用过蒸气加湿，后来取消了，现在又有人试图恢复它。

(4) 喷煤量的控制：由于对固体流量的检测没有好的手段，所以在线计量喷煤量好象比较困难。有人试图通过喷煤罐在喷吹过程中重量的减少来计算实时喷煤量，这种做法我曾经尝试过，效果不好。喷吹罐刚装满煤时处于纯喷吹过程，当煤量很少时，需要减压从储煤罐中得到煤粉，这个过程叫倒罐。这时候倒罐和喷吹两个过程同时存在，这时的罐重不是越来越轻而是越来越重。所以操作工通常采用估算储煤罐一罐煤喷完大概需要多少时间，然后来作一个平均，计算小时喷煤量。这样算出来的数据即使准确，也太滞后了，这就是串罐式结构的弊端。

(5) 入炉原燃料的控制：包括烧结矿质量，球团矿质量的控制和焦碳质量的控制。涉及到烧结系统的自动控制，球团系统的自动控制和焦化系统的自动控制。

(6) 上料系统的控制：将料罐中原燃料和熔剂按照事先配好的比例进行上料，送到炉顶的料罐中，通过相应的 PLC 或 DCS 编程就能够实现这种比例控制。

(7) 炉料分布控制：通过事先设定的布料环数和角度来控制溜槽的动作，布料的均匀性和形状直接影响冶炼过程。

(8) 炉顶煤气量没有控制，需要相应的检测仪表来在线分析高炉煤气成分的变化。

(9) 出铁量和出渣量的控制：通常都是操作工手动来完成的。

以上控制系统是影响高炉连续生产的子系统。要想对高炉实现全自动控制以上子系统必须完善，可靠。高炉作为一个整体，有它的控制目标：在炉矿稳定的前提下实现优质，高产，低耗和长寿的目标。

高炉自动控制的难点：

(1) 既要确保炉矿稳定，同时还要实现优质，高产，低耗和长寿的目标，又要实

现多任务，多目标的优化控制，以达到理想的控制效果。这些目标并不是一致而是自相矛盾的。比如高产和长寿，低耗和优质等等。

(2) 系统复杂，相互影响。

(3) 检测数据不够完善。如焦碳，矿石的含水量的实时检测，炉腹和炉顶煤气成分分析和流量计量，料面形状检测，分钟喷煤量的计量，炉渣的计量等等。

(4) 输入数据（原，燃料，渣，铁）成分分析和重量等不够全面，准确，可靠和及时。

(5) 需要人工干预的环节多。

(6) 冶炼周期长，且不能精确计算。

(7) 高炉内的各种变化看不到，摸不着，许多的现象难以用数学方法准确的描述和量化。

(8) 系统庞大，投入很大。

(9) 原燃料的变化，对高炉冶炼的影响很大。精料是高炉炼铁的基础，用“七分原料三分操作”来说明精料对高炉生产的决定性作用^[16]。

2.2 高炉专家控制系统的主要内容

首钢高炉专家控制系统是一种基于规则的系统，模拟工长思维过程，利用工长和专家的经验对复杂过程进行跟踪，控制和管理。专家控制系统是对整个高炉进行控制和管理，而数学模型是对高炉的局部进行分析，是专家控制系统的组成部分和重要补充。如：布料模型仅仅分析炉料在高炉内的分布形状，帮助工长更好的了解布料的均匀性，从而避免一些异常炉况的发生。首钢二高炉专家控制系统主要包括四个方面的内容：

(1) 炉温的管理和控制：通过计算炉热指数，预报铁水温度和铁水含硅量来监测和控制炉温。

(2) 顺行的管理和控制：通过高炉煤气利用情况，煤气流的变化和分布，滑料孔现象，滑料现象，悬料现象，管道形成，压损的变化，透气情况，原燃料质量的变化，高炉边缘和中心区的活跃情况等等来控制炉况的顺行。

(3) 炉型的管理和控制：通过计算炉墙热负荷，炉缸侵蚀模型，判断渣皮的形成与脱落等现象来控制和管理炉型。

(4) 模型分析和控制：通过炉料计算来指导上料，控制炉渣碱度，预测渣铁成分，负荷，焦比等；通过炉料分布模型来分析料面形状，从而指导布料；通过炉缸渣铁平衡

模型来了解和分析炉缸中的渣铁量,理论产铁速度等,从而更好的指导出铁和排渣;通过炉缸侵蚀模型来了解和分析炉缸的侵蚀和结厚情况。

2.3 高炉专家控制系统的主要功能分析

按时间来分,高炉专家控制系统主要分为以下三个水平的控制功能:

(1) 长期控制 长期控制又叫“生产方针”,“生产计划”或“操作规范”。长期控制的任务是帮助经理和管理人员在原料,燃料种类或市场对生铁品种和数量的需求发生变化时,或者当工序中出现了薄弱环节时(如上料和装料系统的设备故障,一座热风炉损坏等),快速而准确地分析生产条件的变化对利用系数,燃料比,生铁质量,生铁成本和炉况等可能产生的影响,决定响应的高炉操作制度。

(2) 中期控制 高炉的状况会随着炉龄的延长而缓慢的变化。原料,燃料性质长期微小的变化也会对炉况发生影响。中期控制的任务是定期核查炉热水平,控制软熔带,以及对塌料,悬料,管道等异常炉况进行预报和控制。

(3) 短期控制 由于原料,燃料的性质和入炉重量总是不可避免地要发生变化而且偏离设定值,大气温度和湿度等环境因素也经常发生变化,所以高炉炉况总是处于不断的变化之中。短期控制的任务是尽早地把握高炉过程的动态变化,采取必要的调节手段,保证炉况顺行和生铁的质量^[16]。

按内容和结构来分,高炉专家控制系统主要分为以下5个控制功能:

(1) 数据自动采集和有效性判断:高炉检测数据庞大,要使高炉专家控制系统顺利的进行,首先必须对高炉检测数据进行自动采集和相应的预处理,比如:5分钟或30秒的平均值,还有一些最大值和最小值等等。同时还要对自动采集的数据和手动输入的数据进行有效地判断。最后将有效数据和报警信息保存到数据库中。

(2) 用户界面:包括数据输入部分,信息提示,趋势显示和模型四个部分。数据输入又包括规则和技术计算的临界值输入,原料,燃料和熔剂的成分分析输入,炼铁数据的输入等等。信息提示主要包括高炉专家控制系统通过技术计算和推理规则对高炉进行判断推理给出的指导高炉操作的建议,包括高炉滑料,渣皮形成,渣皮消失,热状态条件下CO/CO₂升高等40类高炉常见炉矿和145种具体现象,同时还建议工长加煤2吨,提高风温10℃等高炉操作。趋势显示,包括所有的进机的变量都可以在界面上显示曲线,数学模型用来分析高炉局部变化情况,通常有炉料计算,炉料分布,炉缸平衡和炉缸侵蚀检测,物料平衡和热平衡模型等等。

这一部分的功能是：将高炉专家控制系统所有的工作结果都以友好的视图，界面呈现给操作者，以便快速准确的了解炉况。

(3) 技术计算：也就是通常所说的数据处理，又叫量化过程。这一过程是高炉专家控制系统研究的两大核心之一。技术计算过程就是提取原始数据按照一定的公式进行计算，然后将计算结果又存到另外的表中。这一部分工作量很大。应用到大量的理论计算公式和部分微分差分计算公式。比如：热状态指数的计算就包括六个部分即风温的热量，由碳燃烧所产生的热量，风中水分的分解热量，熔损热量和喷吹物的裂解热量。而每一部分的热量又有相应的计算公式。

这一部分的功能是：将原始数据进行量化，加工，处理形成具有一定意义的数，为推理提供依据。

(4) 推理过程：是研究高炉专家控制系统的两大核心之一，也是研究高炉专家控制系统成功与否的关键所在。推理过程实际上就是建立知识库，建立大量的推理规则。根据高炉的实际情况，冶炼专家的经验 and 冶炼知识，对炉况进行全面，仔细的分析，通过将检测点的值与理论值（或极限值）进行比较和综合，从而判断炉况波动的现象，根据工长的操作习惯给出相应的消除波动的建议，从而达到既稳定炉况又节约，降耗，提高生产率的作用。在首钢二高炉专家控制系统中我们着重研究了以下炉况波动现象，并给出出现相应的指导和建议：

这一部分的功能是：将经过技术计算以后的数据和一定的参数进行比较，推理，最后形成指导高炉操作的专家建议。如：加风 10%，增加喷煤 2 吨/小时等建议。

(5) 数据库：高炉专家控制系统就是建立在大型关系数据库 oracle 或 SQL server 等的基础上进行数据的存取，是高炉专家控制系统开发的基础和载体。在高炉专家控制系统开发过程中，将要建立大量的表，过程，函数和触发器。同时建立不同的用户和角色，分配角色不同的权限。

第三章 高炉专家控制系统设计

3.1 概论

高炉计算机控制的实现离不开各种各样的数学模型。高炉计算机控制的功能强弱和在生产中所能产生的作用和经济效益,基本上取决于所采用的数学模型的性能。从70年代开始,各国的炼铁专家坚持不懈地努力,通过大量的实验和理论研究,开发并在实际生产中应用了许多高炉数学模型,包括最初的数理统计模型、机理及半机理模型、从现代控制理论中引进的时间序列模型等等。这些模型现统称为“传统数学模型”,它们在高炉的中长期控制方面取得了很大成功,对于帮助高炉工长和工厂技术管理人员认识复杂的高炉现象、制订生产计划、优化作业参数、规范和强化生产管理,已经并正在发挥着十分重要的作用。但是,在高炉工长最关注的短期控制方面,“传统数学模型”无论是从计算精度还是从计算结果可靠性角度来看,还不能完全适应高炉复杂而难以把握的动态变化,所取得的成功十分有限。长期以来,在引进专家控制系统和其他人工智能技术以前,高炉的短期控制问题一直没有取得根本性的进展^[17]。

所谓人工智能(Artificial Intelligence,简称AI)系统,系指与人类专家行为类似,具有获取知识、运用知识并解决各种实际问题的能力计算机系统,而专家控制系统、人工神经网络、模式分解、智能机器人等则是AI技术的重要分支。专家控制系统(Expert system,简称ES)是应用于某一特定领域的复杂计算机软件,它能够利用人类专家的经验 and 知识,模拟人类的思维和推理方式,对问题进行求解和决策。最适合应用专家控制系统的领域是复杂而且主要依赖人的经验进行控制的各种过程,例如医疗诊断、航天飞机发射、地质勘探等^[18]。

为了从根本上解决高炉的短期控制问题,1986年日本NKK公司最先尝试将专家控制系统技术应用到高炉炼铁领域上来。自此以后,各国钢铁企业开始了开发和应用高炉专家控制系统的热潮。

一个高炉专家控制系统的开发,通常需要经过以下几个步骤^[19]:

(1) 确定系统的目标。根据生产中亟待解决的问题、有无解决问题所需要的专家经验、高炉的装备水平、检测仪表的配置等基本条件,确定待开发专家控制系统将要具备的功能,并界定系统的工作范围。目标一定要符合实际情况,可以先解决那些最需要解决的问题,待开发出可以成功运行的系统以及获得开发经验之后,再不断增加新的功能。

(2) 获取知识。知识的获取十分重要,但又十分困难。知识获取有三方面的途径,

即研究高炉操作规程、分析操作数据和采访高炉专家。一般需要选定 2-3 名高炉专家和几名知识工程师参加这项工作。通过采访高炉专家，可以直接得到需要的知识、规则，但更大量的是各种不确定性知识和丰富的工程案例。知识和规则通常必须用实际操作数据调试和验证，以确定规则中的有关参数；而不确定知识则需要经过模糊数学的方法进行处理。对大量工程案例的分析，可以借助于数理统计方法，或寄希望于神经元网络方法等。

(3) 建立知识库。

(4) 构建系统原型，包括建立“黑板模型”、实时和测试系统等。

(5) 离线调试和检验，利用测试数据检验系统的稳定性和调试确定性因子等。

(6) 在线调试和完善，通过在高炉生产中的实际运行，确认系统所使用的规则，增添新的规则。

高炉专家控制系统通常和早期开发的高炉监控系统共同构成高炉的二级，即过程控制级系统，前者安装在专家控制系统专用计算机上^[20]，而后者安装在过程控制计算机上。专家控制系统从过程计算机读取所需要的、通常已经过处理的高炉操作数据。根据经过再次处理的这些数据和从人一机界面输入的信息^[21]，专家控制系统调用知识库中的知识，运用推理机的推理逻辑进行推理判断，确定当前炉况或求解待解决的问题，最后再运用知识库中的知识对调剂炉况的动作种类、动作量和时机作出决策。

3.2 高炉专家控制系统的特点和构成

高炉专家控制系统实际上是一种计算机软件系统，它根据计算机科学中的专家控制系统与神经网络原理，依靠由优秀高炉冶炼专家提供的经验和知识所建立的知识库，凭借系统的推理机进行逻辑推理和判断，去模拟高炉冶炼专家处理高炉冶炼过程中出现的各种复杂问题的能力，从而对高炉生产进行指导，其特点如下：

(1) 利用专家控制系统可以大大减轻高炉操作人员的负担，随生产的发展，高炉操作人员所面临的压力越来越大，人员越来越小，而对高炉操作稳定性的要求越来越高，这就迫切需要将高炉操作人员从一般性的事务中解放出来，一些常规的，重要的管理工作，如水温差的测定，热负荷的计算等让计算机控制系统去完成，而高炉操作人员则专注于根据各种信息对高炉过程进行分析与判断，从而发现问题的症结所在。

(2) 高炉专家控制系统主要是由高炉操作人员的经验和知识所构成的知识系统，参照操作条件和管理条件的变化，使炉矿判断定量化，可以避免漏判和误判，达到比较

准确控制高炉的目的。

(3) 高炉专家控制系统是一种开放性的知识库，高炉操作人员可以根据高炉状况的变化及时修改知识库中的内容，从而确保系统的可靠性，提高系统的命中率。

(4) 利用专家控制系统提供的大量信息，可以加快对高炉操作人员的培养过程，丰富他们对高炉过程的认识。

高炉专家控制系统具有以下特殊功能的程序模块：

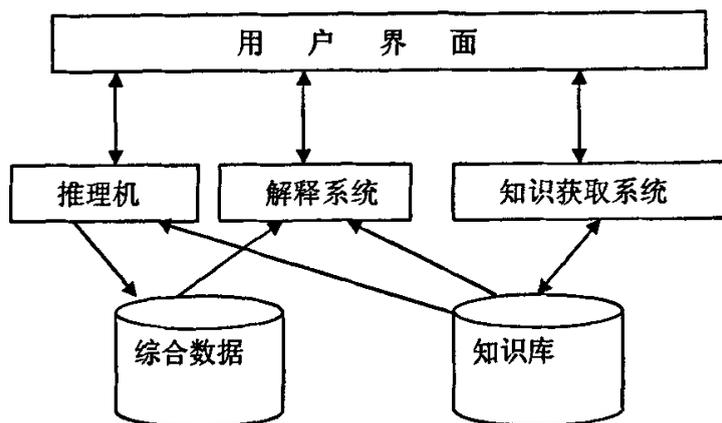


图 3.1 专家控制系统功能图

Fig3.1 Function Picture of Blast Furnace Expert Control System

(1) 知识库：用于存取和管理所获取的高炉知识及高炉操作经验，供推理机用。由技术计算来完成。

(2) 推理机：用于对知识库内的知识进行搜索推理，求出问题的答案。由推理规则来完成。

(3) 数据库：用于存放系统运行过程中所需要和产生的信息，包括界面输入的信息，高炉过程检测信息和系统运行的中间结果等。

(4) 用户界面：高炉操作人员与高炉专家控制系统进行交流的通道，负责将用户所输入的信息转换成系统内部的表达形式，同时将系统内部的信息转换成用户易于理解的外部输出形式。

(5) 知识获取子系统：它起着对知识库进行编辑，修改，更新等作用，由用户界面来完成。

(6) 解释子系统：用于对推理结果进行解释，由用户界面来完成。

3.3 高炉专家控制系统的程序模块设计

为了完成上述特殊功能模块程序的开发，高炉专家控制系统需要做以下方面的具体工作。

(1) 数据采集与预处理：包括高炉检测点的自动采集和预处理和人工输入的数据。第七章的数据采集和有效性判断将详细研究高炉检测点的自动采集和预处理。第五章的用户界面实现部分将详细研究人工输入的数据。

(2) 数据的存储：主要指数据库的详细设计，在本章的最后部分有一些介绍。

(3) 推理数据的处理：主要指第八章的技术计算部分。

(4) 知识的形成：主要指第四章的知识表达与推理机的设计与实现。

(5) 信息提供：主要指第五章的用户界面的报警信息，趋势显示，指导建议。

(6) 数学模型：主要指第六章的数学模型的实现。

高炉专家控制系统程序模块图如下：

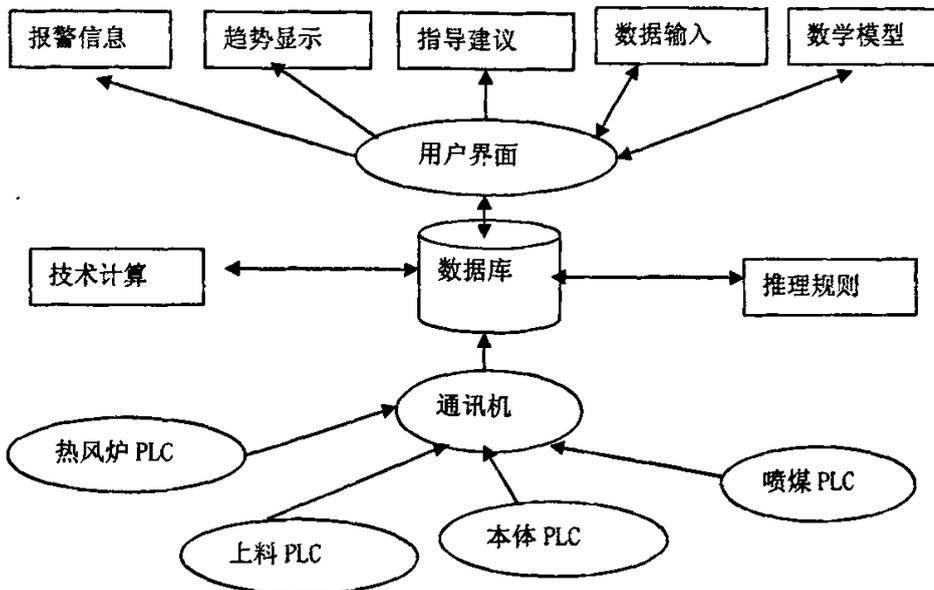


图 3.2 程序模块图
Fig3.2 Picture Of program module

为区别其他的管理系统和专家控制系统，以下是首钢高炉专家控制系统的数据流程图：

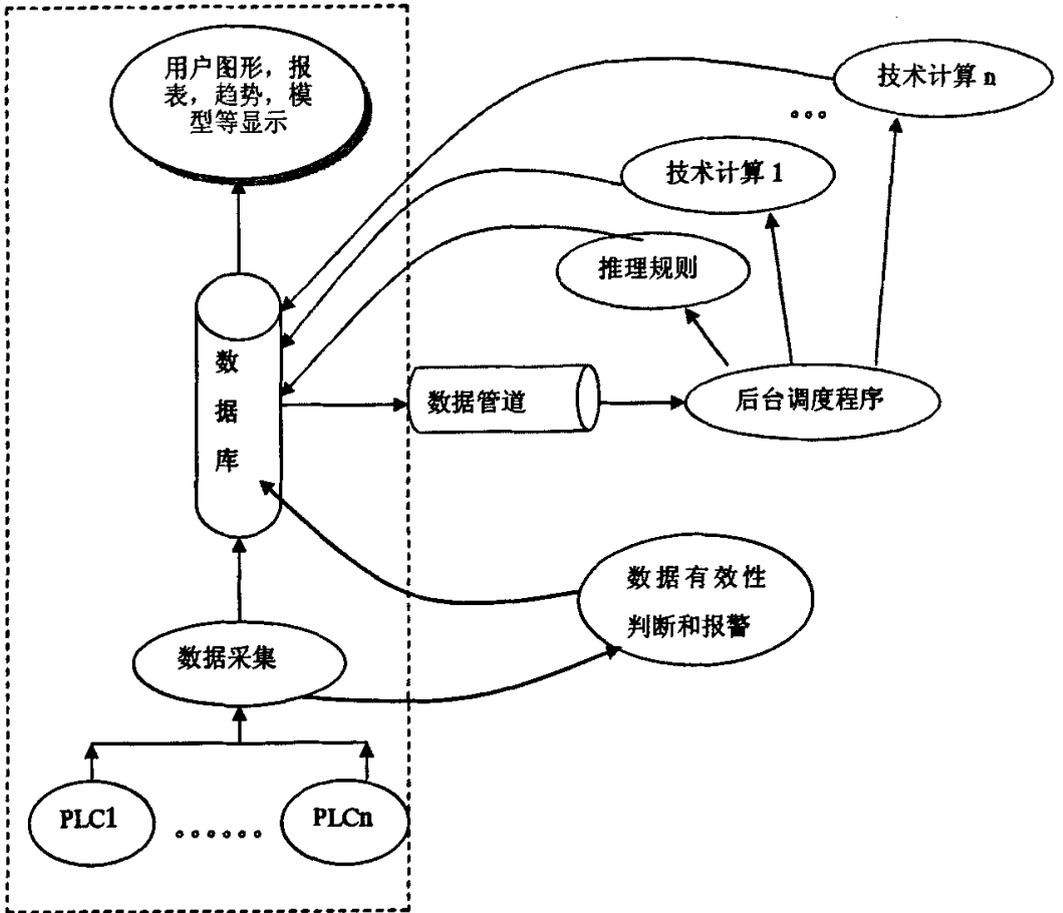


图 3.3 数据流程
Fig3.3 Flow Of Data Process

以上是首钢开发的高炉专家控制系统数据流程图，虚线框内为普通的管理机系统数据流程图，除去数据有效性判断和报警这一部分是一般的专家控制系统数据流程图。

3.4 高炉专家控制系统的硬件设计

高炉专家控制系统涉及到的点多，面广，整个系统比较复杂。主要包括以下几个方面的内容。一级系统数据采集，处理和通讯；数据存储；数据处理及计算；推理系统和规则的建立；数学模型；历史趋势显示，规则参数的修改和出铁数据的输入等等。因此选择一套高性能的计算机硬件系统是很必要的。

3.4.1 硬件配置

本系统采用 C/S 网络服务体系，星型网络拓扑结构，具体硬件配置和网络拓扑如下：

(1) 服务器硬件配置

型号:HP LH3000R, 双 CPU PIII1G 内存,128M 显存,24VDC 键盘/鼠标, (1280*1024) 85HZ 65K 彩色显卡, HP RAID 双工驱动 可以灵活配置 RAID0, RAID5, RAID1, 40G*6 10000 转/分钟带热插拔的 SCSI 硬盘, HP 15 纯平彩色显示器, HP DLT 40/80G 磁带机, Intel® PRO/100s SERVER ADAPTER 和 HP NETSERVER 10/100TX PCI LAN ADAPTER 双网卡, 其中 Intel® PRO/100s SERVER ADAPTER 供高炉专家控制系统推理协议专用。六块物理硬盘, 分成二个逻辑盘, 六个逻辑分区。其中, 二块硬盘利用 RAID1 做成磁盘双工, 逻辑分区为 C 和 D, 用于安装操作系统软件和应用软件; 而其它的四块硬盘则做成 RAID5 磁盘阵列, 逻辑分区分别为 E, F, G, H 用于存储数据。

磁盘双工通常又叫 RAID 1 就是计算机磁盘读写控制器同时往两块盘中存储相同的内容, 相当于一用一备, 一旦一块硬盘损坏, 另外一块硬盘也能够正常工作, 只要在第二块硬盘损坏之前, 将一块新的硬盘带电插拔替换下被损坏的硬盘, 被替换上去的新硬盘就能够自动热备原磁盘里的全部内容。热备之后, 两块硬盘又拥有相同内容。这样就确保了操作系统和应用软件的稳定性。

RAID5 使用至少三块硬盘来实现阵列, 它既能实现 RAID 0 的加速功能也能够实现 RAID 1 的备份数据功能, 在阵列当中有三块硬盘的时候, 它将会把所需要存储的数据按照用户定义的分割大小分割成文件碎片存储到两块硬盘当中, 此时, 阵列当中的第三块硬盘不接收文件碎片, 它接收到的是用来校验存储在另外两块硬盘当中数据的一部分数据, 这部分校验数据是通过一定的算法产生的, 可以通过这部分数据来恢复存储在另外两个硬盘上的数据。另外, 这三块硬盘的任务并不是一成不变的, 也就是说在这次存储当中可能是 1 号硬盘和 2 号硬盘用来存储分割后的文件碎片, 那么在下次存储的时候可能就是 2 号硬盘和 3 号硬盘来完成这个任务了。可以说, 在每次存储操作当中, 每块硬盘的任务是随机分配的, 不过, 肯定是两块硬盘用来存储分割后的文件碎片另一块硬盘用来存储校验信息。这个校验信息一般是通过 RAID 控制器运算得出的, 通常这些信息是需要一个 RAID 控制器上有一个单独的芯片来运算并决定将此信息发送到哪块硬盘存储。RAID 5 同时会实现 RAID 0 的高速存储读取并且也会实现 RAID 1 的数据恢复功能, 也就是说在上面所说的情况下, RAID 5 能够利用三块硬盘同时实现 RAID 0 的速度加倍功能也会实现 RAID 1 的数据备份功能, 并且当 RAID 5 当中的一块硬盘损坏之后, 加入一块新的硬盘同样可以实现数据的还原。下面来分析一下 RAID 5 如何实现数据的还原, 举个例子来说, 使用 3 块硬盘来构成一个 RAID 5 阵列, 用户定义的分割文件大小

为 64K, 此时需要存储的文件大小为 128K。首先, 当 RAID 控制器接收到这部分数据之后利用一定的算法得出校验信息, 然后将这 128K 的文件分割成两个大小为 64K 大小的文件碎片, 然后将这两个文件碎片同时分别放往 1 号硬盘和 2 号硬盘, 最后校验信息被发往 3 号硬盘。如果这个阵列当中某个硬盘损坏了, 还是可以恢复原来的数据: 如果上面用来存储校验信息的 3 号硬盘损坏了, 可以通过 1 号和 2 号硬盘来重新生成校验信息; 如果损坏的是 1 号或者 2 号硬盘, 可以利用 3 号硬盘上存储的校验信息重新生成原来的文件碎片。RAID 5 模式并不是一一些都好, 如果阵列当中某块硬盘上的信息发生了改变的话, 那么就需要重新计算文件分割碎片, 并且, 校验信息也需要重新计算, 这时, 三个硬盘都需要重新调用。同样, 如果要做 RAID 5 阵列的话, 最好使用相同容量相同速度的硬盘, RAID 5 模式的有效容量是阵列中容量最小的硬盘容量乘上阵列中硬盘数目减去一后的数, 这里硬盘数目要减去一是因为其中有一块硬盘用来存放校验信息。

RAID 5 既能够实现速度上的加倍, 同时也能够保证数据的安全性, 所以在很多高端系统当中都使用这种 RAID 模式。本系统中主要用 RAID 5 来备份数据库的数据文件。

磁带机: 能够备份系统和数据, 一旦磁盘阵列出现问题, 就可以用磁带机来恢复系统和数据。这是本系统中的双保险。在实际的应用中磁带机备份还是起到很重要的作用的。因为在磁盘阵列中不管是 RAID1 还是 RAID5 如果出现两块硬盘同时损坏的情况下, 就没有办法恢复了。

(2) 客户机硬件配置

四个工作站硬件配置都一样。工业微机 (研华原装) IPC610, CPU PIII1G, 256M 内存, 40G 硬盘, (128*1024) 85HZ 65K 彩色显卡, PHILIP 21 SXGA(1280*1024) 显示器, 3COM 905 10/100 自适应网卡。

(3) 通讯机硬件配置

工业微机 (研华原装) IPC610, CPU PIII1G, 512M 内存, 40G 硬盘, (1280*1024) 75HZ 65K 彩色显卡, PHILIP 21 SXGA(1280*1024) 显示器, 3COM 905 10/100 自适应网卡。

(4) 打印机

HP LASER JET 4550 +16MB 内存, 10/100M 自适应网卡, 网络打印机。

(5) 交换机: INTEL 24 口 10/100 自适应。

3.4.2 硬件网络拓扑结构

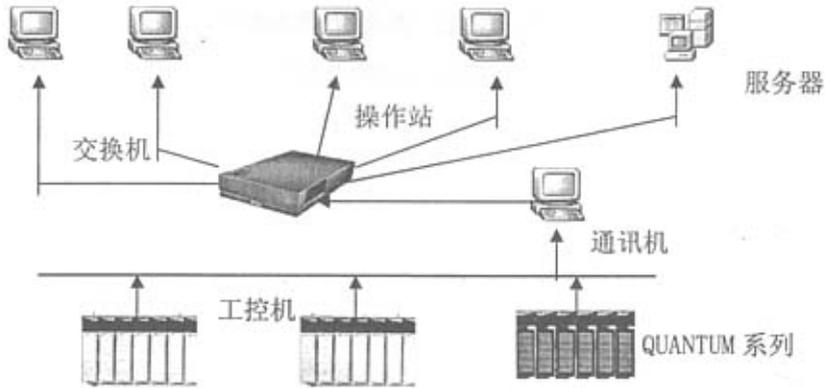


图 3.4 硬件配置流程图
Fig3.4 Hardware Configuration Flow Chart

3.5 高炉专家控制系统的软件设计

要使高炉专家控制系统稳定运行和不断扩充，一个好的软件开发环境和数据流程是很必要的。高炉专家控制系统软件环境应该具有以下特点：

稳定性：这是最基本的条件，如果系统的架构不合理或者软件质量较差，就会导致系统经常出现这样或那样的故障，最终导致开发软件的失败。

简单化：并不是指功能的简单化，而是指用户操作的简单化，通常情况下，用户不愿意看到或者做较复杂的操作。这就要求开发的软件尽可能减少人工干预环节。

灵活性：由于不同的人有不同的操作习惯，所以开发的软件应当尽量满足客户的需要（比如键盘，鼠标都能操作，图形，数据都能显示等等）。

可扩展性：由于高炉不确定因数太多，所以在开发高炉专家控制系统时应该具有很灵活的可扩展性，从而不断的添加和修改开发内容。软件的结构应该是一种“积木式”。每一个模块都能够单独运行。

3.5.1 高炉专家控制系统的软件环境

首钢高炉专家控制系统 HP3000 服务器是建立在 Windows2000 Server 操作系统平台上，用 Oracle Enterprise8.1.7 数据库作为数据存储，用 Vc++6.0 作界面开发工具和技术计算工具，用 Elements Environment 2.1.4 即 EE 来编制规则进行推理。

3.5.2 数据库设计

本系统数据库采用 Oracle8.1.7 版本。数据库及数据仓库，用来存储大量数据，便于计算，分析和推理。为其它软件提供数据和存储运算结果，是其它软件应用的核心。

为了便于管理和存储好数据,本数据库系统创建了大量的表,用户,角色,触发器,函数,程序包,程序包体和同义词。不同的表属于不同的用户,不同的用户属于不同的角色,不同的角色拥有不同的权限。角色既是一组用户的集合又是一定权限的集合。Oracle是依赖于同一个应用程序内的多线程工作的,而不是为每一个任务运行不同的可执行程序或应用程序,它的优点是在一定的性能水平上,其硬件要求很低,不像多进程会消耗可观的系统资源。多线程系统对于给定的硬件平台而言是更加有效的,多线程任务由数据库执行本身进程管理,线程的操作由数据库引擎来制定,并在最终执行时把这些指令发给操作系统。

关系数据库是一种所有用户可见数据都严格按表的形式组织起来的表,且所有库操作都是针对这些表进行的。关系数据模型是以集合论中的关系概念为基础发展起来的数据模型。当前实际的数据库系统中所支持的主要模型有:层次模型,网状模型,关系模型。关系数据库通过关系,按给定的选择条件,选出符合条件的元组,比较灵活。关系数据库是通过数学方法来处理数据的,与层次模型、网状模型相比,有很大进步^[2]。

本系统根据实际需要,定义了5个用户:专家级用户 expert,开发者用户 developer,规则用户 ruler,操作员用户 operator,工长用户 foreman,一级通讯用户 levell。

根据需要本系统建立了5个角色:工程师角色 engineers,拥有者角色 owner,工长角色 foremen,操作员角色 operators,通讯角色 communication。

权限: expert 用户拥有资源和连接的系统权限,有创建同义词和执行程序(包括函数,过程,包和包体)的权限。

角色 Owner 拥有创建公共同义词的权限, engineers, foremen, operators, communication 拥有会话的权限。

用户 developer 属于 engineers 角色,用户 ruler;属于 engineers 角色,用户 expert 属于 owner 角色,用户 foreman 属于 foremen 角色,用户 operator 属于 operators 角色,用户 levell 属于 communication 角色。

communication 角色拥有对一些表操作的权限。engineers 角色拥有对一些表操作的权限。同时 expert 具有读数据管道的权限。

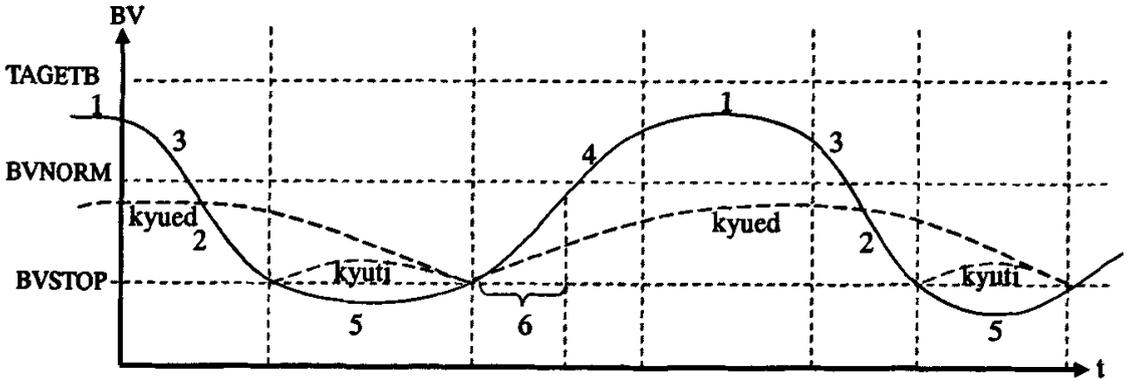
不同的用户拥有对不同表的操作权限。本系统中有以下五大类表,其中, expert 用户拥有对所有表的操作权限。用户 levell 拥有从一级系统来的所有数的临时表的操作权限。表名及作用如下:第一类表是除去这些后缀以外的表,是专家控制系统进行技术计算,推理,模型,界面显示常用的表。第二类表: _PLC, 是表名加后缀_PLC 类型的

表,是指用于暂时存放直接从一级 PLC 系统中取来的数据的表,将记录存入相应的表中,此表只存放最新的一条记录;第三类表: _VAX,是表名加后缀_VAX 类型的表,是指用于暂时存放直接从信息管理系统中取来的数据的表,只存放最新的一条记录;第四类表: _DESC,是表名加后缀_DESC 类型的表,是对相应表中变量的描述,所有表的结构都一样,每一条记录是相应表中一个变量的描述;第五类表: _HIST,是表名加后缀_HIST 类型的表,用于存放相应表的历史值。

按照时间和种类来分这些表又分为 5 秒钟的表, 30 秒的表, 5 分钟的表, 15 分钟的表和 1 天的表, 加料批的表, 出铁信息表, 规则参数表, 技术计算参数表, 数据有效性判断参数表, 模型用表, 提示信息表, 原燃料成分表等等。

第四章 知识表达与推理机设计与实现

高炉专家控制系统的核心之一就是制定推理规则，推理规则的好坏将直接决定高炉专家控制系统对炉况现象的判断和对炉况的指导。



4.1 高炉操作风量变化过程模拟图

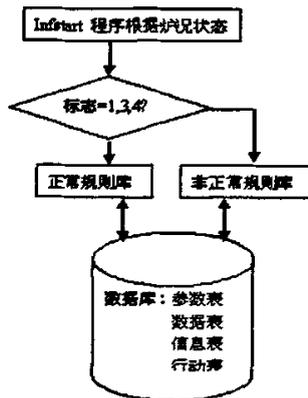
Fig 4.1 Simulation Of Blast Furnace Volume Operation Change Process

由上图可以看出高炉状态标示分为 6 个部分，其含义如下：

状态 1 为高炉计划（正常的加减风）操作过程；状态 2 为高炉停炉操作过程；状态 3 为高炉减风操作过程；状态 4 为高炉加风操作过程；状态 5 为高炉停炉检修操作过程；状态 6 为高炉送风操作过程。在专家控制系统中将高炉的 1, 3, 4 状态列为高炉正常状况，将其它列为非正常状况。

4.1 推理机原理和软件介绍

4.1.1 推理过程数据流程



4.2 推理过程流程图

Fig 4.2 Flow Chart Of Reasoning Process

4.1.2 推理机原理

专家控制系统是人工智能最重要的应用之一，它的目的是让电脑在某种程度上帮助或者替代某个领域的专家解决问题。高炉专家控制系统是以高炉冶炼专家知识和操作人员经验为基础的高炉操作指导系统。

有人把专家控制系统分为四类：骨架系统、知识获取工具、通用知识表示语言、模块组合式开发工具。

(1) 骨架系统：由已有的成功的专家控制系统演化，抽取出原系统的骨架（知识库及推理机结构），并赋之以具体领域的知识，从而生成新的专家控制系统。

优点：继承性强，开发效率高。

缺点：通用性较差，为迁就原来骨架，会割舍具体领域知识。

(2) 知识获取辅助工具：一种半自动化的知识获取辅助工具，提高知识库建造的速度（传统的做法是由领域专家或是系统用户人工构建，效率低下）。

(3) 通用知识表示语言：例如 LISP, PROLOG, CLIPS, JESS 等开发语言。

(4) 模块组合式开发工具：为用户提供各种用于知识表示推理、知识库管理、推理机制和有关辅助工具的预制构件的模块以用于组合所需的模块。

首钢所引进的高炉专家控制系统属于骨架系统的一种，他的推理软件是 Elements Environment 2.1.4 and Expert 4.1.4，是由 CASNET 抽去原有医学领域知识而形成，它采用产生式规则，并有三种形式：FF(Finding to Finding rule)、FH(Finding to Hypotheses Rule)、HH(Hypotheses to Hypothesis Rule)，采用近似启发式的推理机制。当然，这中间再经过日本和芬兰的冶炼专家和计算机专家进行量化，开发和发展，最终成了芬兰 Rautaruukki 公司拥有的高炉专家控制系统，首钢高炉专家控制系统，就是在此基础上合作开发而成的。

专家控制系统的基本原理是基于能被专家描绘的规则知识库，这些规则能被发现和直接表现出来，这个工作的准确性是基于认知心理学的认知经验。

4.1.3 推理软件介绍

Elements Environment 2.1.4 and Expert 4.1.4 软件是神经元数据有限公司 (Neuron Data, Inc) 1993 年推出的推理软件。目前世界上合法用户达 25000 多个，可以在 Microsoft Windows 95, 98, 2000, or NT 4.0 下运行，需要软件协议或者硬件狗。他是基于推理规则开发环境的商业应用软件，完整的软件开发环境有以下组件：

(1) 智能的规则元素：在不需要复杂过程语言的情况下，让你捕获到数据模型和商业逻辑，在商业环境中，你能够很方便的修改基于规则的应用程序。

(2) 开放的接口元素：在不依赖于窗口环境的情况下，让你创建简便的用户接口界面，包含一个可扩展的工具包提供重建用户接口界面的对象（GUI objects）和丰富的用户接口应用程序接口（GUI API）库提供独立的所有系统平台。

(3) 数据访问元素：让你创建数据库访问对象来访问独立的数据源，包括平台下文件和关系型数据库。

(4) 网页元素：可以将网页集成到你的应用程序，允许你的用户浏览互联网，它提供嵌入式的网页浏览和网页链接导航。

专家控制系统应用实例，该专家控制系统在全球授权的超过 25000 个。主要应用在以下方面：

- (1) 鼓风机震动顾问：确定鼓风机故障问题并去提供帮助的修理技师
- (2) 网络监控：监控，诊断和预报网络问题
- (3) 工具选择
- (4) 人员调度
- (5) 环境与成本分析
- (6) 空间航天飞机失败分析
- (7) 肾病诊断系统
- (8) 高炉专家控制系统

推理软件 EE 是一款成熟的商业软件，需要合法的授权，并且每一个授权只能装一台电脑。本文对推理软件的机理和应用作一下介绍。经过编制后的规则可以.KB 与.TKB 两种格式保存文件，.KB 是经过编译后的规则代码，只能在该推理软件环境下打开和修改，而以.TKB 保存的文件可以用别的编制软件打开和编制（如：记事本），最终用推理软件编译得.KB 文件。推理软件 EE 是用 C 语言开发的，援用 C 的类，对象，方法，属性等特性，也可以用推理软件 EE 创建类，子类，对象，方法，属性和规则，类，子类，对象，方法，属性都是为制定规则服务的。

(1) 主菜单包括以下内容：

FILE：处理文本文件，设置环境，打印设置，退出系统。

EDIT：编辑 KB 库信息。

EXPERT：处理 KB 库的装载/关闭/保存/运行。

BROWSERS: 图形显示知识库规则, 对象, 交叉参数及 GUI 创建工具; 全部知识库资源的文本列表。

REPORT: 显示各方面的调试报告。

WINDOWS: 当前打开窗体列表。

WINDOWS 特殊菜单条目: 选择当前窗体的特殊菜单。

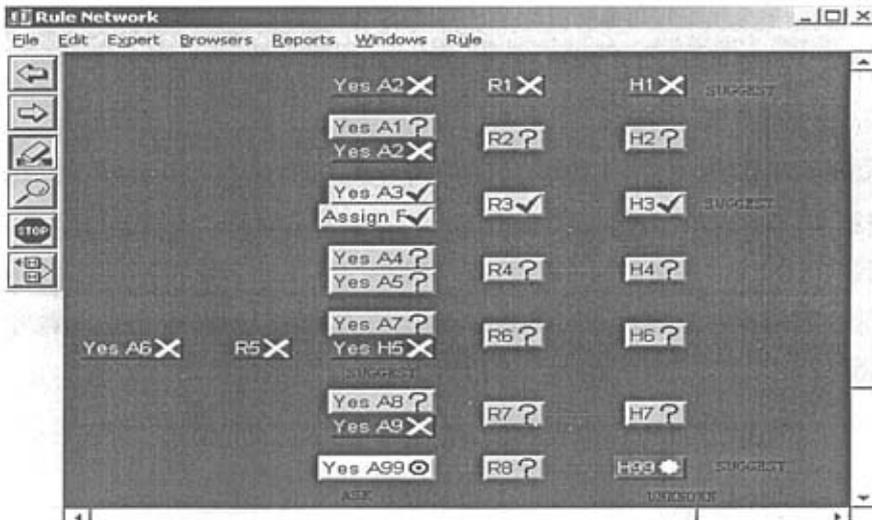
METAL-SLOT 预置参数: 执行结果: TRUE, FALSE, NOT KNOWN, UNKNOWN(未执行)

Conclusions 结论 hypothesis 假设 CONDITIONS 条件 INFERENCE 推论

(2) 规则相关内容介绍:

(a) 规则定义: 描述知识库, 定义推理, 制造条件, 执行动作, 确认数据, 测试条件, 得到结论, 执行动作。如果: 条件 (分析), 则执行: 动作 1, 否则执行: 动作 2。

(b) 推理链接: 推理方向有前向链接, 后向链接和混合链接三种, 前向推理就是先假设条件, 再得出结论; 而后向推理则是先假设结论, 再看那些条件合适, 也就是从结论到条件的过程; 混合向后和向前链接就是向后链接能被子目标启动, 当子目标启动时, 向后链接通常会从子目标开始向前链接。以下是规则网络图, 用户编制完规则后可以模拟显示和调试。



4.3 规则网络图

Fig 4.3 Chart Of Ruler Network

(c) 规则处理过程: 当数据被输入, 规则的假设涉及被研究并放置在议程表中的

数据。规则有下面的状态：

UNKNOWN：（未知的）规则的假设可能不在议程表中；将来它不会被研究和存在。

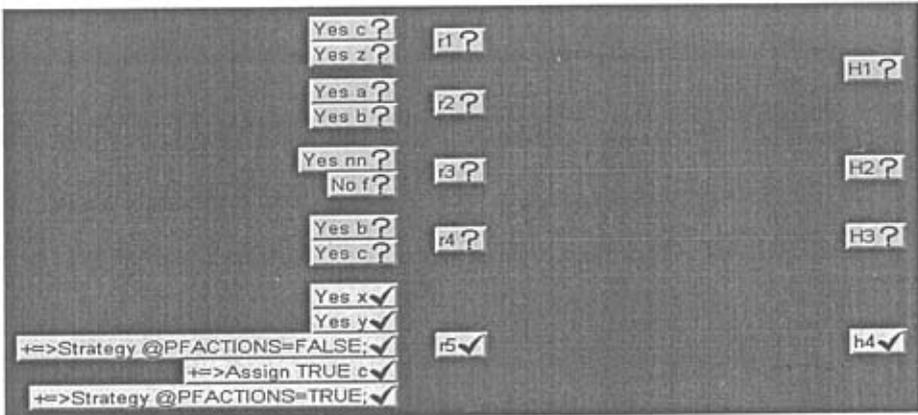
RELEVANT：（有关的）规则的假设在议程表中，但尚未被研究。

EVOKED：（引起的）当前被研究的。

EVALUATED：（赋值的）完全的被研究，结果是 TRUE，FALSE 或 NOTKNOWN 之一。

FIRED/APPLIED：（解雇的/应用的）赋值的规则结果为 TRUE，则动作被执行。

（d）规则中策略的例子：



4.4 规则中策略的例子

Fig 4.4 Sample Of Ruler Strategy

可通过策略操作来改变策略的设置。如上例：先将策略中 RULES GLOBAL 设为 OFF，再去给 C 赋值 TRUE，这样系统就不会去向前链接与 C 相关的其它假设，之后再将策略设回到 ON，系统正常运行。也就是通过改变策略操作设置来控制假设的处理顺序。

（e）推理优先级介绍：

推理优先级是能被缚到假设，规则，数据的优先级数，并被推理驱动用于控制假设，规则和条件的赋值顺序。

议程表是区分优先次序的等待被赋值的假设的列表，推理驱动取得最高优先级的假设离开议程表去赋值。其次，几个规则可以通向相同的假设，推理驱动选定规则去赋值。最后，规则可能有几个条件，推理驱动选定条件去赋值。推理优先级被赋值并按这三个优先级别求值：假设，规则，数据。前后关系(CONTEXT)假设是依照他们的优先权区分优先次序的。最大数的推论优先权是最高优先权。推理优先级分为静态与动态，静态优先级是永久设置的缺省值为 1。动态优先级被称为推论优先级槽，这个槽值像推论优先级

一样使用。动态优先级优于静态推理优先级。推理优先级范围能从-32000 到 32000。设置规则的推理优先级为确定的数，无论是静态的还是动态都能改变将被处理的规则。

第一种：改变假设优先级，假设推理优先级影响在议程表中的假设的优先级。通过 METASLOT 编辑器改变，通常，假设是按他们被 SUGGEST 的顺序赋值的。

第二种：改变规则优先级，推理驱动选择假设从议程表求值后，规则的推理优先级用来确定哪个规则首先被赋值。如果几个规则通向同一个假设，规则的推理优先级会确定哪一个被赋值。但是，被提取离开议程表后的假设对规则推理优先级有一些影响，规则推理优先级从未确定哪个假设是下一个被选择的。规则优先级只在同一个假设中起作用，并按规则优先级顺序执行。

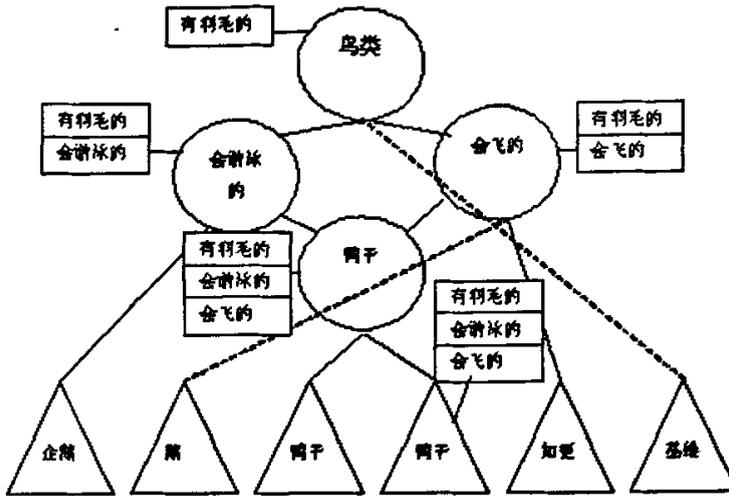
第三种：改变假设与规则优先级，现在我们赋值假设推理优先级。假设的推理优先级影响议程表中假设的优先级。推理驱动选择假设从议程表求值，规则的推理优先级用来确定哪个规则首先被赋值。如果几个规则通向同一个假设，规则的优先级会确定哪一个被赋值。但是，被提取离开议程表后的假设对规则优先级有一些影响，规则优先级从未确定哪个假设是下一个被选择的。议程表中的假设是按假设优先级顺序执行。当执行到有多个规则组成的假设时，会按规则的优先级顺序执行。

综上所述：推理的优先级顺序是假设类，规则类，数据类；如果是同类，同一优先级，则会由下一优先级类中的优先级顺序执行。以此类推。直到所有推理完成。

(3) 类，对象内容介绍：

专家控制系统提供对象导向程序和对象导向知识设计。对象导向程序中对象的目的与对象导向知识设计中的目的是不同的。

知识设计中对象的目的 是供给通过使用遗传的缺省值来执行自动推理的全局模型。这个对象模型也同样被检查来确定关系，专家规则就能推理相关的关系。最后介绍的是关于对象导向程序 OBJECT ORIENTED PROGRAMMING(OOPS)。



4.5 对象导向程序例子

Fig 4.5 Sample Of Object Oriented Programming

(a) 对象导向知识:

让我们用直觉来看看上面的模型，类是鸟类，会游泳的鸟类，会飞的鸟类和鸭子类。类是在世界中能用来分类实体的抽象的种类。它抽象分类实体本质的属性。这些可以是相当广泛的分类实体(实体=对象)的成员属性。这个分类实体的例子是生物学分配生物体到各领域门，子门，类，序，族，种，类的分类学，这是个基于自然关系的种类的分等级系统。鸟类有两个子类：会游泳的鸟和会飞的鸟。所有会游泳的鸟和会飞的鸟的对象都是鸟。从父类间的对象来区别子类的对象的类似和不同之处。这个链接表现了 IS_A 的关系：A PENGUIN IS_A SWIMMING_BIRD, A SWIMMING_BIRD IS_A BIRD 对象可以切实的东西(类的实例)，事件(交易)，位置，概念(企业)。类中的对象有相同的属性和行为。定义类属性是常常(不一定)向下继承到子类和对象的。即属性的继承性。使用这个模型，我们能回答像这样的问题：多少鸟是大的？(记得：子类的对象也是被考虑到父类的成员。查找那些被包括在其中的对象?)或那些会游泳的鸟哪些是大的？根据属性的隶属关系很容易找到答案。所有对象都要加一个尺寸的属性来确定。对象模型也执行自动缺省推理。类的属性的值是被向下继承到对象的，并被用作为缺省值。这个遗传过程像这样替代规则：

```
IF DUCK1.SIZE IS UNKNOWN THEN SET_DEFAULT_DUCK_SIZE ASSIGN "SMALL"
DUCK1.SIZE
```

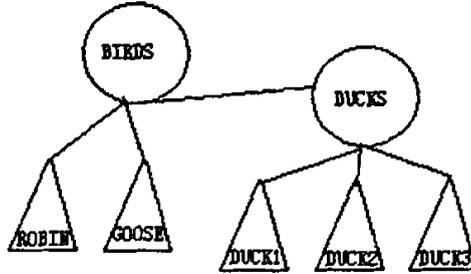
(b) 类和对象的关系:

对象结构被用来表现由规则推理知识。提供结构到模型世界。对象结构是个网络-不是树。在对象网络中有两种关系能被表现:

X IS A TYPE OF Z X 是 Z 的一种类型

X IS A COMPONENT OF Y X 是 Y 的组成成分

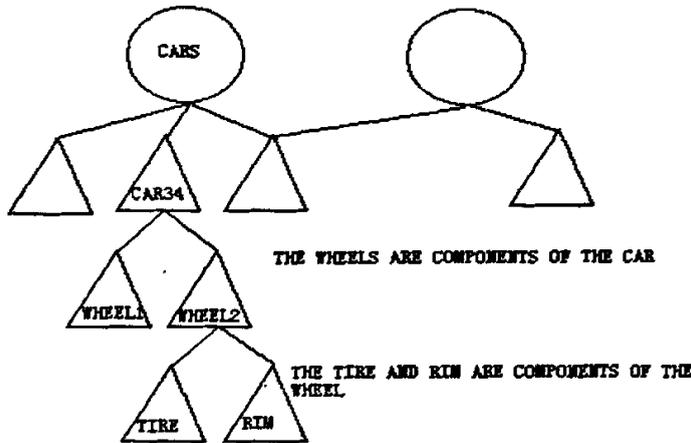
缺省的, 专家控制系统视从类到子项的链接像这个链接的类型一样:



4.6 类和对象的关系图

Fig 4.6 View Of Class And Object Relation

注意: 专家控制系统视 DUCK 对象为鸟类的成员! 专家控制系统的属性继承缺省的和查找的策略这是个基础。缺省的, 专家控制系统视从对象到子项的链接像这个组成的链接一样:



4.7 对象到子项的链接图

Fig 4.7 View Of Object To Items Link

专家控制系统链接也能被用来表现对象间的联合 (ASSOCIATIONS)。链接是不分类的。专家控制系统允许对象间链接的方法有两种父/子链接。循环遗传不会发生。

(c) 规则 and 对象: 规则编辑器创建规则和对象, 规则中的每个变量都是槽 SLOT, 如果你指定的变量没有明确的槽, 专家控制系统规则编辑器会赋缺省的槽名为值。值

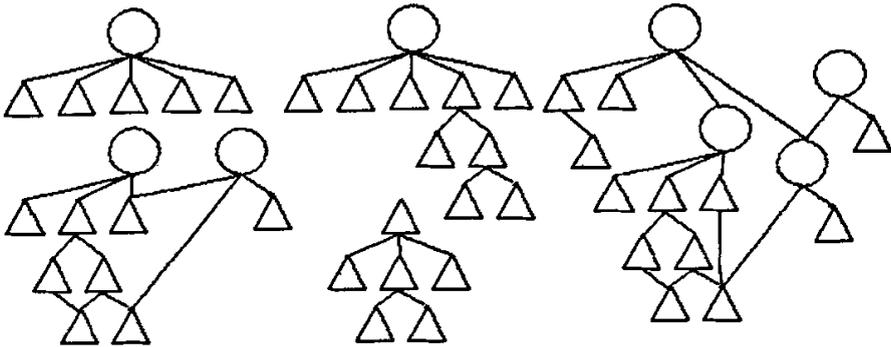
的数据类型是专用的,因为它只能被用于在不同的位置中给不同的数据类型的属性。在规则中明确显示的所有数据槽是有对象的,但在规则中明确被使用的一些对象可以没有槽。

(d) 对象网络:

独立的类-没有对象和子类: ○

独立的对象-没有成员类的类,这是非常普遍的。△

对象网络的例子

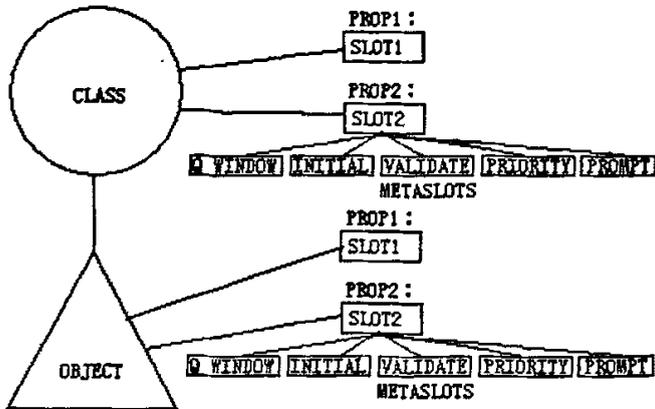


4.8 对象网络的例子

Fig 4.8 Sample Of Object Network

类和对象结构,包括关系链接,被保存在知识库。

(e) 对象和属性



4.9 对象和属性关系图

Fig 4.9 View Of Object And Property Relation

值是存储在槽中-不是对象。一些槽中的数据值是不被保存到知识库中的(除了初始值外)。数据值能被保存到数据库中。对象是被用于描述知识库内部的单一项目。对象是事物的类的实例,子对象是构成其它对象的对象被称为那个被构成对象的子对象。子

对象是对象它们自己^[27]。例如：对象：身体,子对象：胳膊,腿,血等。类一组用来结合基于相似特征的对象集合。类是广义的,对象是类考虑的实例。在规则编辑器中,类是在类名周围用竖条括起来显示的(|CLASS|)。这条只是在第一次需要。EE 将不允许类和对象具有相同名字。有用的命名协定是用名字的复数来显示类。例如：类：|形状|,对象：正方形,圆形,长方形。子类,属于其它类的类是子类,子类是类的特殊化。例如：类：|车|,子类：|跑车|,|家用车|。属性就是缚与类和对象所具有的品质和特征,被用来描述的详细项目。属性有名字和类型;他们也能被缚于指定的：格式,数据确定和方法列表。例如：类：|车|,属性：价格(F=FLOAT),颜色(S=STRING),数量(I=INTEGER),速度(S)。属性被指定为类级别的能被用到类和对象级别。对象：福特,属性：价格(F),颜色(S),数量(I),速度(S)。

(f) 属性和槽:

当属性被缚到对象和类时,它会创建一个槽,属性和槽是不同的。在 EE 中, SLOTS 拥有值:类,对象和属性不拥有值,但表现知识组织和命名协定。因此,如果值被赋到对象上,每个对象必有属性。

4.2 正常知识库规则

首钢二高炉专家控制系统规则库包括正常规则库和非正常规则库。正常规则库存在 BF2_Normal.tkb中,非正常规则库存在BF2_Unstate.tkb中。

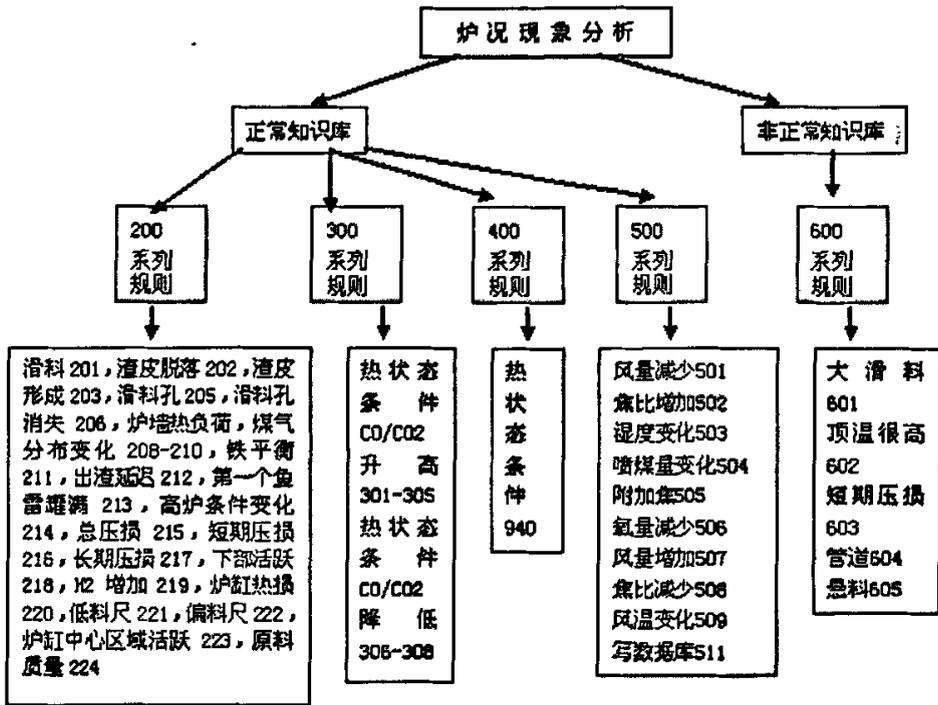
编辑规则时程序简单框图:



4.10 编辑规则的流程图

Fig 4.10 Flow Chart Of Edit Rule

正常知识库主要从以下几个方面来分析炉况现象



4.11 炉况现象分析图

Fig 4.11 Chart Of Blast Furnace Hyphenomna Analyzing

以滑料为例的炉况分析图

规则 201	滑料		执行周期: 5分钟				
监视变量	现象认识	滑料等级	初级动作判定				
再次加料时料流变化 (MSLIP) (m)	参数	值/单位		风量 (Nm ³ /min)	焦炭比 (kg/tHM)	附加集	
	≥SLIP_2	0.5 m	1	规则201C01			
	<SLIP_3	2.0 m	1	规则201C02	SLIP BV201C01		
	≥SLIP_3	2.0 m	2	规则201C03	SLIP BV201C02		SLIP BC201C00
炉顶煤气成分 N2 偏差 (当前值-30分钟内最小值)	≥N2_VAR_1	2% 渣皮减风	2	规则201C04	SLIP BV201C02		
	<N2_VAR_2	4% 有塌料趋势	2	规则201C05	SLIP BV201C03	SLIP CR201C01	SLIP BC201C01
	≥N2_VAR_3	4%	3	规则201C06	SLIP BV201C03	SLIP CR201C01	SLIP BC201C01
	<N2_VAR_4	5%	3	规则201C07	SLIP BV201C03	SLIP CR201C01	SLIP BC201C01
规则 201B02 炉热TQ指数 (TQ, DTQ) [MJ/HM]	≥N2_VAR_5	5% 严重塌料趋势, 气流	4	规则201C09	SLIP BV201C04	SLIP CR201C02	SLIP BC201C02
	≥N2_VAR_5	5% 严重塌料趋势, 气流	4	规则201C11	SLIP BV201C04	SLIP CR201C02	SLIP BC201C02
	≤N2_VAR_5	5% 严重塌料趋势, 气流	4	规则201C10	SLIP BV201C04	SLIP CR201C02	SLIP BC201C02
规则 201B03 透气性指数 1000 /DPV [kp/N m ² /min]	≤SLIP_TQ_1	200 MJ/HM	5	规则201C015	SLIP BV201C05	SLIP CR201C03	SLIP BC201C03
	≤SLIP_DTQ_1	50 MJ/HM	5	规则201C13	SLIP BV201C05	SLIP CR201C03	SLIP BC201C03
规则 201B01 风量/料速 (t/h)	≤SLIP_DTQ_1	50 MJ/HM	6	规则201C17	SLIP BV201C06	SLIP CR201C04	SLIP BC201C04
	≤SLIP_DTQ_1	50 MJ/HM	6	规则201C12	SLIP BV201C06	SLIP CR201C04	SLIP BC201C04
炉顶煤气成分 n2(co+co2+h4)	≥SLIP_DTQ_1	50 MJ/HM	3	规则201C06	SLIP BV201C03	SLIP CR201C01	SLIP BC201C01
	≥SLIP_DTQ_1	50 MJ/HM	3	规则201C08	SLIP BV201C03	SLIP CR201C01	SLIP BC201C01
	≥SLIP_DTQ_1	50 MJ/HM	4	规则201C10	SLIP BV201C04	SLIP CR201C02	SLIP BC201C02
	≥SLIP_DTQ_1	50 MJ/HM	4	规则201C12	SLIP BV201C04	SLIP CR201C02	SLIP BC201C02
	≥SLIP_DTQ_1	50 MJ/HM	5	规则201C16	SLIP BV201C05	SLIP CR201C03	SLIP BC201C03
炉顶煤气成分 n2(co+co2+h4)	≥SLIP_DTQ_1	50 MJ/HM	5	规则201C14	SLIP BV201C05	SLIP CR201C03	SLIP BC201C03
	≥SLIP_DTQ_1	50 MJ/HM	6	规则201C18	SLIP BV201C06	SLIP CR201C04	SLIP BC201C05
	≥SLIP_DTQ_1	50 MJ/HM	6	规则201C18	SLIP BV201C06	SLIP CR201C04	SLIP BC201C05

4.12 滑料现象分析图

Fig 4.12 Chart Of Blast Furnace Slip Hyphenomna Analyzing

规则片断解读:

(1) 从数据库中读取数据部分程序如下:

No: 001a

NAME: Start_Meta_Rule_001a

INTERVAL: 5 min

CONDITIONS:

Reset cursor.ival

Retrieve "@V(DB_access_string.str)"

@TYPE="ND Oracle 7 Driver";

@BEGIN="alter session set nls_date_format = 'dd.mm .yyyy hh24:mi:ss'";

@END="";

@FWRD=FALSE;

@SLOTS= flbf.val,kyued.val,kyutim.val,flag15m.val,flag24h.val;

@FIELDS="tc05m.flbf","tc05m.kyued","tc05m.kyutim","tc05m.flag15m","tc05m.flag24h";

@QUERY="tc05m where tc05m.timestamp = '@V(inference_time.date)";

@CURSOR=cursor.ival;

Assign inference_time.date time_now.date

HYPOTHESIS: Start.trigger

ACTIONS:

Assign TRUE Rule_Group_Control.trigger

INFERENCE PRIORITY: 1

以上程序解释:

规则编号: No: 001a

规则名: NAME: Start_Meta_Rule_001a

时间间隔: INTERVAL: 5 min

条件: CONDITIONS:

游标复位: Reset cursor.ival

从数据库中取数据: Retrieve "@V(DB_access_string.str)" 包括用户名和密码

数据库驱动类型: @TYPE="ND Oracle 7 Driver"; 为Oracle数据库驱动

改变日期格式为: 日.月.年 时:分:秒

@BEGIN="alter session set nls_date_format = 'dd.mm .yyyy hh24:mi:ss'";

@END="" ;

@FWRD=FALSE;

推理用的变量：将数据从数据库中取出送到推理变量中

@SLOTS= flbf. val, kyued. val, kyutim. val, flag15m. val, flag24h. val;

相应的数据库字段，格式为：表名. 字段名

@FIELDS="tc05m. flbf", "tc05m. kyued", "tc05m. kyutim", "tc05m. flag15m", "tc05m. flag24h";

查询条件：技术计算表tc05m的时间=当前推理的时间

@QUERY="tc05m where tc05m.timestamp = '@V(inference_time.date)'" ;

@CURSOR=cursor. ival;

分配推理时间给时间变量：Assign inference_time.date time_now.date

假设： HYPOTHESIS: Start.trigger

行动： ACTIONS:

将规则组控制触发器置真 Assign TRUE Rule_Group_Control.trigger

推理优先级：为 1 INFERENCE PRIORIT Y: 1

(2) 情况分析：

No: 202a05

NAME:Individual_Actions_Scaffold_Descent_202a05_Situation_Analysis

INTERVAL: 15 min

CONDITIONS:

>= n2d3.val raised_brick_temp_n2d3_1.val

< n2d3.val raised_brick_temp_n2d3_2.val

HYPOTHESIS: St_Scaffold_A.occur

ACTIONS:

Assign TRUE Solution_Loss_Is_Almost_Constant.statement

INFERENCE PRIORIT Y: 4

COMMENTS: N2 content's 15 minute average's increase is small (-0.5% - +2.0%).

以上程序解释：

规则编号：No: 202a05

规则名：NAME:Individual_Actions_Scaffold_Descent_202a05_Situation_Analysis

时间间隔：NTERVAL: 15 min

条件: $\geq n2d3.val \text{ raised_brick_temp_n2d3_1.val}$
 $< n2d3.val \text{ raised_brick_temp_n2d3_2.val}$

假设: **HYPOTHESIS:** St_Scaffold_A.occure

行动: 熔损反应几乎不变置真

Assign TRUE Solution_Loss_Is_Almost_Constant.statement

推理优先级为 4: **INFERENCE PRIORITY:** 4

注释: 炉顶煤气氮气含量在 15 分钟内增加的很少, (-0.5% - +2.0%)

以上仅仅是高炉推理规则很少的一部分, 以上程序通过推理软件编制, 然后形成一个*.kb 的知识库文件, 再由后台程序调用。

4.3 非正常知识库规则

当高炉状态标志除 1, 3, 4 以外时都是调用非正常知识库, 由于高炉处于非正常状况, 所以只对以下现象进行分析。大滑料, 顶温很高, 短期压损, 管道, 悬料。相关的规则类似正常知识库, 规则编好后也形成一个*.kb 的知识库文件。

第五章 数学模型的实现

5.1 炉料计算模型

炉料计算的主要任务：就是求出在满足炉渣碱度要求条件下，冶炼规定成分生铁所需要的矿石，熔剂和焦炭数量。炉料计算模型是高炉最实用的模型之一。在没有炉料计算模型的情况下，工长通常是用计算器手工计算，加加，减减，不断拼凑，大致得出一个结果。这样工作量很大，而且很繁琐，这种拼凑的方法并不是所有的人都掌握。

5.1.1 炉料计算方法

已知值：首先设定变料批数，铁水中的含 Si 量，炉渣碱度，负荷，矿批，焦丁量，喷煤量，瓦斯灰比，铁的分配系数（默认 0.997），S 的分配系数和气化分配系数，P 的分配系数，Mn 的分配系数，Ti 的分配系数。

选择量：在已知负荷和矿批的情况下，入炉的焦碳重量也就确定了，焦碳重量=矿批重量/负荷，然而加什么种类的焦炭呢？每种焦炭的重量又是多少呢？就需要通过用户来选择，在我们的炉料计算模型中用户可以选择三种不同的焦炭进行组合，在首钢通常情况为一到二种。在我们的炉料计算中用户可以同时选择六种入炉矿石，假设选定 N 种矿石，则需要确定 N-2 种矿石的重量，然后剩下两种矿石进行配比。根据各种元素的分配系数和炉渣碱度，列一个平衡方程，最后求出两种矿石的配比。如果用户需要添加熔剂，也可以选择熔剂的种类和重量。

计算结果：炉料计算都是按干成分计算的。

(1) 批铁量的计算：根据输入的数据，求和铁水中各元素的重量，得到批铁量。

(a) 铁含量的计算：主要从焦碳带入的铁量，喷煤带入的铁量，矿石中带入的铁量，瓦斯灰带走的铁量来考虑。

(b) 硅含量的计算：等于设定的目标值。

(c) 硫含量的计算：主要包括焦碳带入的硫量，喷煤带入的硫量，矿石中带入的硫量，在根据气化系数和分配系统，计算铁水中含硫量。

(d) 磷含量的计算：根据焦碳带入的磷量，矿石中带入的磷量和分配系数来计算。

(e) 锰含量的计算：根据矿石中带入的锰量和分配系数来计算。

(f) 碳含量的计算：根据经验公式：

$$[C] = 4.3 - 0.27[Si] - 0.32[P] - 0.32[S] + 0.03[Mn] \quad (5-1)$$

式中[C], [Si], [P], [S], [Mn]分别为铁水中的碳, 硅, 磷, 硫和锰的含量, 还有其他微量元素的计算等等。

(2) 炉渣成分的计算:

- (a) 渣中含铁量: 以 FeO 形式存在, 根据入炉铁量和分配系数来计算。
- (b) 渣中含钙量: 以 CaO 形式存在, 包括入炉的所有含钙量。
- (c) 渣中含硅量: 以 SiO₂形式存在, 等于入炉总硅量-铁中含硅量。
- (d) 渣中含镁量: 以 MgO 形式存在, 等于入炉总镁量。

还包括渣中含铝量, 渣中锰含量, 渣中含硫量, 渣中钛含量, 渣中萤石含量等元素的计算, 炉渣重量等于以上各元素重量之和。

(3) 炉渣碱度的计算:

(a) 二元碱度计算公式:

$$R_2 = \frac{(CaO)}{(SiO_2)} \tag{5-2}$$

(b) 三元碱度计算公式:

$$R_3 = \frac{(CaO) + (MgO)}{(SiO_2)} \tag{5-3}$$

式中 (CaO), (SiO₂), (MgO) 分别为炉渣中氧化钙, 氧化硅和氧化镁的百分含量。

(4) 其他量的计算: 包括渣铁比的计算, 矿石量, 焦比, 煤比, 燃料比等的计算。

5.1.2 炉料计算模型界面



图 5.1 炉料计算模型
Fig 5.1 Model Of materials calculation

5.1.3 炉料计算程序框图

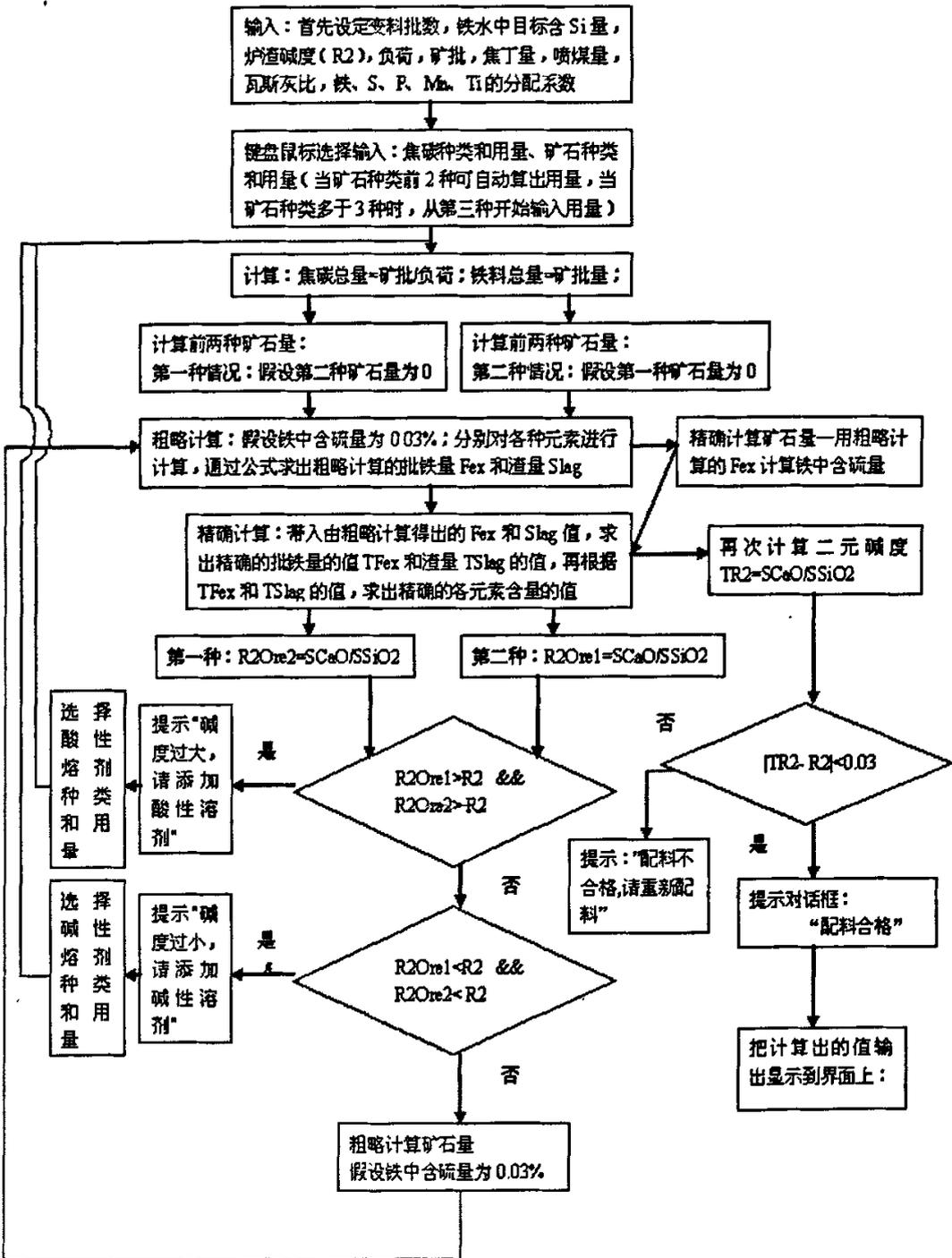


图 5.2 炉料计算模型程序流程图

Fig 5.2 Flow Chart Of Materials Calculation Model Program

5.2 炉料分布模型

炉料分布模型是通过计算炉料在炉内的运动轨迹和最后的落点情况来描绘炉料在炉内的分布情况，使工长能在线观察到炉内冶炼状况和设备的运行情况，从而更好地操控高炉，变被动操作为主动操作，避免事故的发生，使高炉实现安全、稳产、高产、低耗和长寿的目标，取得良好的社会效益和巨大的经济效益。

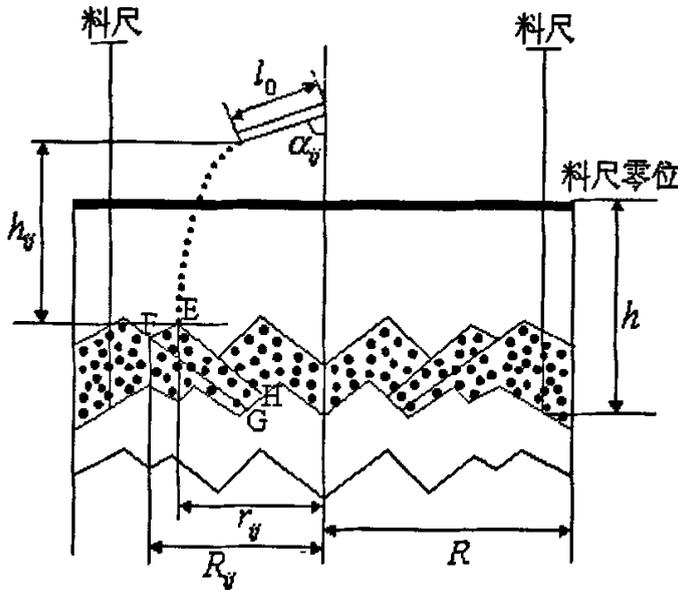


图 5.3 炉料运动过程

Fig 5.3 Material Move Process

从上图可以知道炉料（矿或焦）在溜槽第 j 环位上运动及在炉内初始分布情况。

模型描述：已知溜槽有效长度为 l_0 ，溜槽的转速为 ω ，料尺距高炉中心的距离为 r ，料线深度为 h 。GH 为初始料面（给定一组点，这些点从小到大依次用直线连接，设从左到右两条直线为一组）。给定布料制度，求：炉料在炉喉内的分布情况。根据炉料分布规律，可以推导出以下的炉料落点距中心的距离 r_{1j}

$$r_{1j} = \sqrt{l_0^2 \sin^2 \alpha_y + 2l_0 \sin \alpha_y l_x + \left(1 + \frac{\omega^2 l_0^2}{v_y^2}\right) l_x^2} \quad (5-4)$$

以上公式忽略了高炉煤气流对炉料下降的影响，有专家证明煤气流对炉料直径大于 5mm 的炉料下降的影响很小，通常情况下炉料小于 5mm 的是很少的一部分，可以忽略。

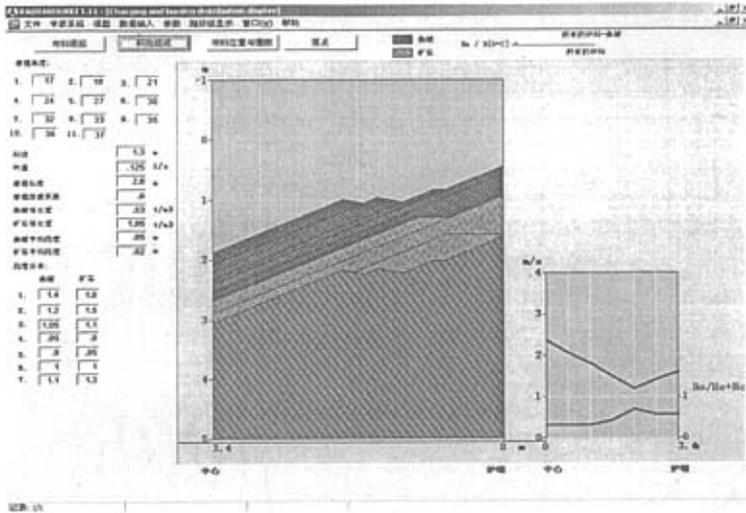


图 5.4 炉料分布模型

Fig 5.4 Material distribution model

5.3 炉缸平衡模型

炉缸平衡显示出给定的目标生产率、出铁事件和炉缸平衡所需的信息。当打开画面时，最近 8 小时的出铁数据就从数据库中调出来，以条状的形式显示出来。由铁次来标明哪一个是最远的出铁铁次，最大数铁次是最后一次铁。

应用这个显示可以对生产率及炉缸内的液体渣铁水平进行定夺和调整。显示的铁水量和炉渣量有助于操作者决定是否要开铁口。

炉缸平衡图显示出最近的出铁情况。两个图显示给定的最近 8 小时内出铁情况：出铁时间，出铁速度，炉渣量和出渣延迟。在一个趋势图内也显示出了最近 8 小时内铁水温度和铁水重量。显示炉缸内渣铁数量的图上，炉缸平衡是可视的。出铁速度，生产率和炉渣重量，铁水重量，出铁时间，出铁开始时间，出铁结束时间，从上次出铁到现在的时间都可以显示。

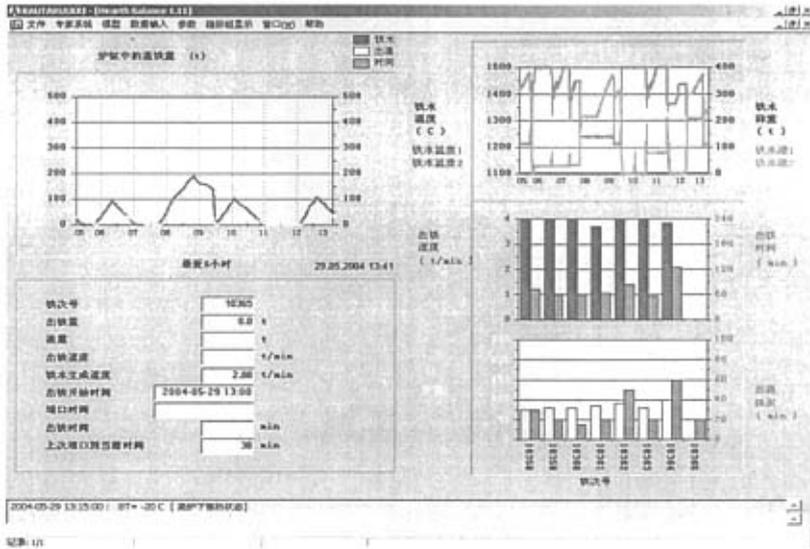


图 5.5 炉缸平衡模型

Fig 5.5 Hearth Balance Model

5.4 炉缸侵蚀模型

炉缸侵蚀监控用户界面上依靠用黄色表示的热电偶温度来进行计算并显示出砖衬厚度。当显示界面打开时，从数据库中得到最新的数据。

最初的砖衬厚度用黑色标出，目前的炉缸尺寸用实心来填充。可能的渣皮厚度用暗灰或暗红标出。

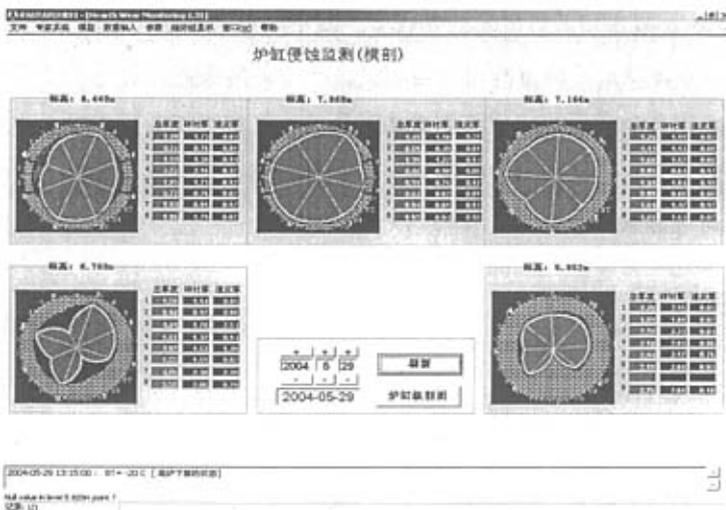


图 5.6 炉缸侵蚀监测模型

Fig 5.6 Hearth Wear Monitoring Model

炉缸内部的热电偶计算出来的炉缸侵蚀线，用 1150℃和 800℃等温线来表示。如果炉底的温度坏了，则可用上一层的温度来画。在显示当前值的底部，也给出从 7 个在不同的点计算出的最小的炉衬厚度和渣皮的厚度。

5.5 物料平衡模型

物料平衡模型是在炉料计算基础上进行的，主要包括鼓风量，煤气量以及物料收支总量等项内容的计算，物料平衡有助于对高炉过程进行全面的定量的分析和深入研究，并为热平衡计算作准备^[27]。在我们开发的高炉专家控制系统中是以每加一批料计算一次物料看是否平衡，然后统计一天的物料和一个月的物料看是否平衡。高炉在物料收入方面有：矿石，焦炭，熔剂，喷煤和鼓风量；在物料支出方面有：铁水，炉渣，煤气，煤气中含水和炉尘，通常情况下，炉渣，煤气量，煤气中含水量是没有计量的，只能通过理论计算来完成。

(1) 煤气量的计算：是根据碳平衡来计算的。计算公式如下：

$$C_g = C_f + C_v + C_p - C_i - C_c \quad (5-5)$$

其中 C_g 表示每批料的气化碳量， C_f 表示焦炭和喷煤中所含的碳量， C_v 表示焦炭挥发粉带入的碳量， C_p 表示熔剂（包括矿石）带入的 CO_2 中碳量 C_p ， C_i 表示炉尘中含碳量， C_c 表示铁水中渗碳量。然后根据公式：

$$V_g = \frac{22.4 * C_g}{12 * ([CO_2] + [CO] + [CH_4])} \quad (5-6)$$

式中 $[CO_2] + [CO] + [CH_4]$ 为炉顶煤气中的 CO_2 ， CO ， CH_4 体积百分含量之和。通过求出煤气的密度来计算煤气的重量。计算公式为：

$$M_g = V_g * \rho_g \quad (5-7)$$

式中 M_g 为煤气重量， V_g 为煤气体积， ρ_g 为煤气密度。煤气密度 ρ_g 的计算公式为：

$$\rho_g = \frac{44 * [CO_2] + 28 * [CO] + 16 * [CH_4] + 28 * [N_2] + 2 * [H_2]}{22.4} \quad (5-8)$$

式中 $[CO_2]$ ， $[CO]$ ， $[CH_4]$ ， $[N_2]$ ， $[H_2]$ 为 CO_2 ， CO ， CH_4 ， N_2 ， H_2 在煤气中体积百分含量。

(2) 鼓风量的计算：通过高炉中氮的平衡来计算每加一批料需要耗多少风。

(3) 煤气中水量的计算：根据氢的含量来计算，需要假设氢的还原度。

表 5.1 一批料的物料平衡模型

Tab 5.1 One Charge materials Balance Model

物料收入		物料支出	
项目	数量/吨	项目	数量/吨
矿石	累加一批的矿石量	生铁	计算批铁量
焦炭	累加一批的焦炭量	炉渣	计算批渣量
煤粉	累计一批的喷煤量	煤气	计算批高炉煤气量
熔剂	累计一批的的熔剂量	煤气中水	计算煤气中含水量
鼓风	需要计算一批料的耗风量	炉尘	统计炉尘量
总计	累加物料总收入	总计	累加物料总支出

物料平衡误差:

绝对误差=物料收入总计-物料支出总计;

相对误差=绝对误差/物料收入总计, 标准规定: ±2%。

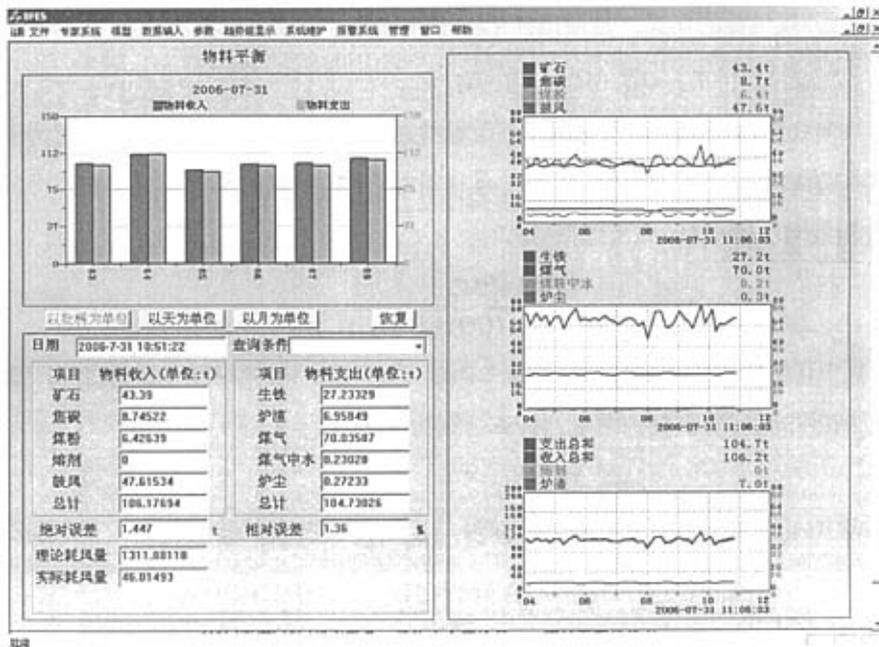


图 5.7 物料平衡模型

Fig 5.7 Materials Balance Model

从图中可以看出当前的物料平衡模型的总收入为 102.21 吨,而物料支出为 101.77, 所以绝对误差为: 102.21-101.77=0.44 吨, 相对误差为=0.43%

5.6 热平衡模型

热平衡计算是炼铁工艺计算中的最重要组成部分。通过高炉冶炼过程在热量方面的收入与支出情况的计算，能够了解高炉内热量消耗状况，分析高炉冶炼过程的优劣，探讨进一步改善能量利用，降低燃料消耗的途径。

高炉热平衡计算可以分为：全炉热平衡计算和区域热平衡计算。全炉热平衡是以整个高炉为对象的热平衡计算，计算方法有多种，列举两种常用的方法，方法一：它是按热化学的盖斯定律^[28]，依据入炉物料的最初形态和出炉的最终形态，来计算产生和消耗的热量，而不考虑高炉内实际的化学反应过程；方法二：按高炉内实际发生的还原过程来计算热量消耗的，这种方法更能说明高炉冶炼能量利用的实际状况。区域热平衡计算多是以高炉下部的高温区为研究对象。高温区是对高炉冶炼有决定性影响的区域。这种高温区热平衡计算更能反映高炉热交换的本质^[28]。

有冶炼专家认为在高温区域增加或者减少 1kJ 的热量与在其它部位增加或者减少 1kJ 的热量的意义是不一样的，因此现在高炉专家控制系统通常研究高温区域热平衡。

高温区域热平衡计算表：（每 15 分钟计算一次，以分钟为单位）

表 5.2 热平衡模型
Tab 5.2 Hot Balance Model

热量收入 单位: MJ/tmin		热量支出 单位: MJ/tmin	
项目	数量	项目	
风口前碳素燃烧放热	Q_1	铁及合金直接还原耗热	Q_2
鼓风带入的有效热	Q_2	碳酸盐分解耗热	Q_3
		铁水带走热量	Q_4
		炉渣带走热量	Q_5
		煤粉升温及分解耗热	Q_7
总计	Q_{in}	总计	Q_{out}

计算方法：高温区域的热量收入：

(1) 碳素在风口前燃烧放出的热量 Q_1 公式：

$$Q_1 = \frac{4.18 * 2340 * C_b}{1000} \quad (5-9)$$

式中 C_b ：为风口前燃烧的碳量，通过入炉风量中的氧充分燃烧来求出消耗的碳量，

根据化学反应式： $2C + O_2 = 2CO$ (5-10)

$$C_b = \frac{O_{in} * M_c}{M_o} \quad (5-11)$$

其中 O_m 为入炉的总氧量, M_c 为碳的原子量 12, M_o 为氧的原子量 16。

(2) 鼓风带入的有效热量 Q_2 : 是扣除鼓风湿分分解耗热后, 当鼓风温度为 $t_b(^{\circ}C)$ 时, 相对于高温区界限温度 $950^{\circ}C$ 所能带给高温区得有效(净)热量, 其算式为:

$$Q_2 = 4.18 * (BVC * (1 - \phi) * (C_{11} - C_{12}) - 2580 * \phi) \quad (5-12)$$

式中, ϕ 为体积湿度, BVC 为吨铁耗风量, C_{11} 为当前风温下热熔, C_{12} 为 $950^{\circ}C$ 风温下热熔。

高温区域的热量支出:

(1) 铁及硅、锰、磷等元素直接还原耗热 Q_3

Q_3 这里只考虑 FeO 被 C 及 H_2 还原消耗热量及 Si、Mn、P 的还原耗热。对于 H_2 代替 C 参加还原反应, 有意义的温度是 $1000-1200^{\circ}C$ 之间, H_2 只起加速还原应用, 氢的还原耗热应按参与 FeO 还原的氢量计算, 计算公式:

$$Q_3 = 4.18 * \{649.1 * Fe.r * rd + 295.5 * H_{2r} + 12480 * [Mn] + 53600 * [Si] + 62750 * [P]\} * F_{emin} \quad (5-13)$$

式中 F_{emin} 为每分钟的产铁量, Fe.r 为每吨生铁的含铁量, H_{2r} 为每吨生铁参与浮士体还原的还原氢量, m^3 (约占全部还原氢量的 90%-100%); 炉料中的含氢量-炉顶煤气中甲烷的含氢量, [Mn], [Si], [P] 为生铁当中相应元素的百分含量。

(2) 碳酸盐在高温区分解耗热 Q_4 , 这部分基本上不用。

(3) 铁水带走的热量 Q_5

Q_5 表示生铁由 $950^{\circ}C$ 升温时所需要的热量, 它由生铁两个温度下的比焓计算:

$$Q_5 = 1000 * (q_p - q_{p0}) \quad (5-14)$$

式中: q_p 为铁水出炉温度时的比焓, q_{p0} 为高温区界限温度 ($950^{\circ}C$) 时生铁比焓。

(4) 炉渣带走热量(物理热) Q_6 : 表示炉渣由 $950^{\circ}C$ 升温至炉温时所需要的热量, 其计算公式:

$$Q_6 = U * (q_s - q_{s0}) \quad (5-15)$$

式中 U 为每分钟产渣量, q_s 为炉渣出炉时的热焓, q_{s0} 为高炉界限温度时的炉渣热焓。

(5) 喷吹燃料的升温、分解耗热 Q_7 : 喷吹燃料由风口进入时有两个由常温升到高温的过程, 也要消耗热量, 这部分升温耗热在全炉热平衡中是不计算的, 但在高温区热平衡计算中, 喷吹燃料的升温、分解耗热量为:

$$Q_7 = winj * (q_m - q_{m0}) \quad (5-16)$$

式中 $winj$ 为每分钟的喷煤量, q_m 为煤粉分解耗热, q_{m0} 为煤粉升温到界限温度时耗热。

第六章 数据采集和有效性判断

6.1 数据采集

高炉专家控制系统所有的数据来源有二条途径：第一条途径就是从一级 PLC 系统中自动采集得到的数据，这部分的数据大约 800 个左右；第二条途径是从人机界面中输入的数据。根据数据对高炉的影响程度自动采集的数据分为以下几个部分：

(1) 采数频率为 30 秒钟的量：也就是每 30 秒钟采集一个数据，这一部分的数据能够直接快速的反映高炉状态的变化。通常包括：热风压力，冷风压力，风量，顶压，顶温，料线，氧量，指数，风温，料批，压差，炉顶煤气成分，顶温中最大值，出铁重量，铁水温度，探尺状态，理论燃烧温度等等，这一部分数据主要用于画趋势曲线，工长根据曲线的变化来判断高炉的状况，从而采取相应的操作，这一部分数据存放在 av30s_plc 表中。

(2) 采数频率为 5 分钟的量：主要包括变化缓慢的炉腹板温度，冷却水系统压力，流量和温度，炉缸炉底温度等等。用于存放这一部分数据的表有 av05m_plc，av05m_liningtc_plc，av05m_hearth_plc，av05m_cool_plc。av05m_plc 表存放包括 30 秒钟所有的量和炉身静压力等 60 多个量；av05m_liningtc_plc 表存放炉腹板温度，排水管温度等 200 多个量；av05m_hearth_plc 表存放炉缸炉底温度 150 个量；av05m_cool_plc 表存放冷却水系统的温度，压力和流量等 300 多个量。

(3) 实时加料的料批代号和重量等数据存放在 batchhis_plc 表中。

(4) 用于存放热风炉状态变化的表为 stoves_plc。

(5) 用于存放滑料深度和时间的表为：slip_plc。

(6) 用于存放报警代码和信息的表为：alarm_status, alarm_message。

为了完成这一部分工作，我们专门用了一台通讯机来进行数据采集，处理，有效性判断和数据的传输。

现以首钢二高炉专家控制系统的 iFIX 实时数据库与 Oracle 关系数据库的通讯为例，详细讲述通过 ODBC 手段建立通讯的具体步骤：

第一步：iFIX 实时数据库的设计

(1) iFIX 实时数据库的基本设计

在 iFIX 实时数据库的基础上，增加 9 个 SQT 触发器标签，46 个 SQD 数据块，如 AV5MSQT01 5 分钟平均值触发器，带有 AV5MSQD01, AV5MSQD02, AV5MSQD03, AV5MSQD04

数据块。

(2) SQT, SQD 的具体操作和设计技巧

首先, 打开 iFIX 实时数据库 PDB, 然后点击鼠标右键或菜单的块选择增加块, 用鼠标选择 SQT 块如图 6.1, 完成具体操作; 选择 SQD 块如图 6.2, 完成具体操作。



图 6.1 SQT 块
Fig 6.1 SQT mass



图 6.2 SQD 块
Fig 6.2 SQD mass

(a) SQT 的具体操作:

如图 6.2, SQT 块共有二页, 在基本页中, 标签名跟其他块名类似, 在实际应用中最好取一个有意义的标签名, 如本例中的 AV5MSQT01, 即表示 5 分钟的平均值触发器, 根据性质不同, 有 4 个 5 分钟的平均值触发器, 所以用 01 来区分。标签描述 (如: 5

分钟平均值触发器), 前一块不填, 下一块接 SQD 数据块, 如本例中的 AV5MSQD01。SQL 定义中的 SQL 名是指在 ORACLE 数据库中, 储存命令的表 SQLLIB 中的 SQLNAME 字段名, 这两个名字必须取同一个名字。SQL 定义中的数据库 ID 如果是 ORACLE 数据库, 则指 ORACLE 数据库的实例名, 默认为: 数据库名, 对于其他数据库, 则指数据库名。扫描设置中的指扫描时间, 相位. 日期选项和时间事件可以根据不同要求而设定。(本系统中不用) 块事件中的 时间标签和确认标签中用同一标签 AV05.f_cv 或 AV30S.f_cv, 一个开关量。控制传送数据的时间间隔, 本例中 AV05 为 5 分钟的时间间隔, AV30S 为 30 秒钟的时间间隔。时间类型中选低到高. 在 ADVANCE 页中采用默认设置即可^[23]。

(b) SQD 的具体操作:

如图 6.2, 在标签名中输入一个标签, 如 AV5MSQD01, 在下一块中输入下一个 SQD 数据块, 如 AV5MSQD02。在标签域中输入被传数据的标签名。

(c) 设计技巧:

每一个 SQT (SQL TRIGGER) 能带一个以上的 SQD (SQL DATA) 数据块, 每一个 SQD 数据块最多可以带 20 个标签, 标签最好用.f_cv, 如果用.a_cv 则数值小于 1000。如果有多个 SQT 触发器, 此时的 SQLNAME 字段名千万不要重复, 一旦重复, 则 ORACLE 数据库中的相应表中将出现乱码或重行, 在调试过程中, 不要的 SQT 触发器应该删除。如果一个开关量来触发 SQT 块, 则必须在时间类型 中选低到高或高到低, 通常用低到高。

第二步 ORACLE 的客户端建立与主机相连的字符串即服务名, 系统终端程序通过该监听访问数据库。

(1) 用鼠标点击开始菜单中的程序, 在 Oracle-Orahome81 的 Network Administration 下的点击 Net8 Configuration Assistant, 然后进行配置。

(2) 按照提示, 一步步进行操作, 在图中输入服务名 shoughf2, 再按下一步。

(3) 然后输入主机名包括数据库所在的计算机名或 IP 地址。再选择默认端口 1521。

(4) 进行连接测试。

第三步 ODBC 的配置

(1) 点击 WINDOWS2000 控制面板的管理工具的数据源。

(2) 在 ODBC 数据源管理器中, 选择添加用户 DSN, 则出现 ‘创建新数据源’ 窗口。

(3) 在 ‘创建新数据源’ 窗口中选择 Oracle ODBC Driver, 再点击完成, 则出现 ‘Oracle8 ODBC Driver Setup’ 窗口。

(4) 在 ‘Oracle8 ODBC Driver Setup’ 窗口中, 输入数据源 (Data Source Name)

名称 shougbf2, 描述(Descriptions)可以不输入。数据服务名(Data Source Service Name)为 shougbf2, 用户名称(User ID)为 level1。

注意: 数据源名也就是数据库的名字, 与数据服务名不是一个东西, 数据服务名也就是第二部分讲的与数据库连接的连接字符串, 它可以与数据库同名, 也可以不同名。其它的采用默认值即可^[24]。

第四步 iFIX 的 SCU 配置

(1) 在 IFIX-SCU 的系统配置菜单中的任务栏中添加后台进程及参数 WSQLBODC.EXE /LD300 /CL4000 /CA30 和 WSQLODC.EXE /LD300 /CL4000 /CA30 前者用于测试, 后者用于通讯, 注意每一参数前必须留一空格, 其中 /LD300 指装载时间为 300 秒钟, 最大为 3600 秒; /CL4000 指 SQL 指令中最大字节数为 4000 个字节, 根据不同的版本最大值不一样, /CA30 指缓存器个数(cache), 最大可以达到 100。

(2) 在 IFIX-SCU 的系统配置菜单中的 SQL 任务栏中添加配置的账户, 操作如下:

在‘SQL 帐户的已配置帐户’窗口中点击添加或配置, 则出现‘SQL 帐户的 SQL 注册信息’窗口, 在注册信息窗口中输入数据库类型: ORACLE, 用户名: level1, 密码: level1 数据库 ID: shougbf2, 然后点击确定, 返回‘SQL 帐户的已配置帐户’窗口。在已配置帐户窗口中点击配置 SQL 任务, 出现‘SQL 帐户的 SQL 任务组态’窗口如图 4.5, 在任务组态窗口中选择 SQL 支持为启用, 数据库 ID: shougbf2

SQLLIB 是 SQL 命令表, SQLERR 是错误记录表, 这些值是根据不同情况而设定的。

第五步 SQLLIB 和 SQLERR 的设计: 在 ORACLE 数据库中创建命令表和错误表, 表结构及建表命令如下:

```
create table SQLLIB ( sqlname varchar2(8) NOT NULL PRIMARY KEY,sqlcmd
varchar2(4000) NOT NULL);
```

```
create table SQLERR ( td date NOT NULL, node varchar2(8) NOT NULL, tag
varchar2(10) NOT NULL, sqlname varchar2(8) NOT NULL PRIMARY KEY,sql_err
varchar2(250), iFIX_err varchar2(100), prog_err varchar2(100));
```

上述命令向 SQLLIB 表中插入一条记录, 该记录负责将 30 秒平均值的数据从 iFix 的 SQL 过程中取出送到 Oracle 数据库的 av30s 表中。SQLLIB 表中存储有九条类似的记录。负责将其它的数据从其他的从 iFix 的 SQL 过程中取出送到 Oracle 数据库的相应的表。

6.2 数据有效性的判断

准确的数据是高炉专家控制系统稳定运行的基础，基于这个原理，我们在开发自己的高炉专家控制系统时增加了数据有效性的判断这一部分内容。它至少有四个方面的作用：第一，确保自动采集的数据准确，及时；第二，确保手动输入的数据准确无误，减少人为失误；第三，帮助维护人员及时发现检测仪表的损坏情况和分析数据出现偏差的原因；第四，帮助炼铁操作工简单判断高炉炉况和知道每一个量的变化情况例如：通过高炉的四个炉顶温来判断管道，如果有 1, 2 个顶温在规定的时间内连续升温达到设定值，则向操作工提出报警：边缘管道形成，可能出现塌料；如果有 3, 4 个顶温在规定的时间内连续升温达到设定值，则向操作工提出报警：中心管道形成。实现方法：

(1) 基础判断：针对所有的自动采集的量和手动输入的量，有一个最基本的判断，就是判断该量是否在正常的工作范围之内。如果是手动输入的量，就提示操作者，应该输入**~**范围内的值。如果是自动采集的数据，超出了工作范围，就及时报警，告诉操作者仪表故障或偏高偏低等信息。

(2) 炉况判断：对于高炉冷却水系统来说，进水流量跟出水流量应该一致，如果出水流量大于进水流量说明检测仪表出现故障，如果出水流量小于进水流量一定值时，则可以提示高炉冷却系统有可能漏水。

以下是对顶温进行有效性判断的一个例子：用 $ttop1sx'$ 表示 $ttop1s1 \sim ttop1s4$ 连续三次测量值，用 $cttop1sx$ 表示当前值-上一值的差值。

(a) 顶温连续 3 次测量值小于有效范围的下限或大于有效范围的上限时，提示表异常，公式如下：

$$ttop1sx' < ttset1 \text{ OR } ttop1sx' > ttset4 \quad (6-1)$$

$x=1$ 顶温 1 仪表异常； $x=2$ 顶温 2 仪表异常 $x=3$ 顶温 3 仪表异常； $x=4$ 顶温 4 仪表异常

(b) 顶温连续 3 次测量值小于异常状态下限时，提示顶温偏低，公式如下：

$$ttset1 < ttop1sx' < ttset2 \quad (6-2)$$

$x=1$ 顶温 1 偏低； $x=2$ 顶温 2 偏低； $x=3$ 顶温 3 偏低； $x=4$ 顶温 4 偏低。

(c) 顶温连续 3 次测量值大于异常状态上限时，提示顶温偏高，公式如下：

$$ttset3 < ttop1sx' < ttset4 \quad (6-3)$$

$x=1$ 顶温 1 偏高； $x=2$ 顶温 2 偏高； $x=3$ 顶温 3 偏高； $x=4$ 顶温 4 偏高。

(d) 3 或 4 个顶温同时连续 3 次差值(当前值-上一个值)>阈值 (ttset5), 提示中心管道形成, 1 或 2 个顶温连续 3 次差值(当前值-上一个值)>阈值 (ttset5), 提示边缘管道形成, 有塌料可能。公式如下:

$$cttop1sx' > ttset5 \tag{6-4}$$

以下是报警系统实现过程中需要用到的参数修改界面和报警查询截面。



图 6.3 报警参数修改界面

Fig 6.3 Interface Of Alarm Parameters Modification



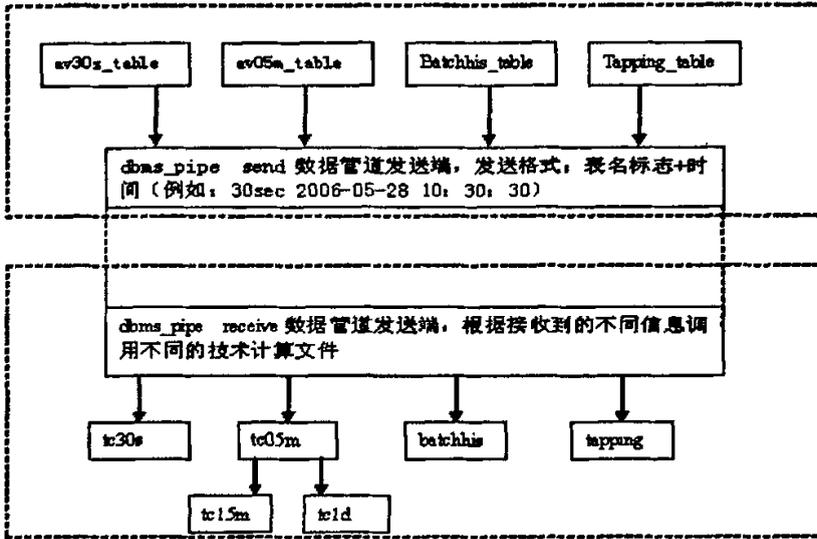
图 6.4 报警信息查询和确认界面

Fig 6.4 Interface Of Alarm Message Search and Confirmation

第七章 技术计算

对高炉炉况的判断，分析和推理需要大量的依据，技术计算就是形成这些依据的重要途径，依据时间和事件来分将技术计算分为 30 秒钟的技术计算，5 分钟的技术计算，15 分钟的技术计算，一天的技术计算，出铁时的技术计算和加料时的技术计算。

技术计算数据流程：



7.1 技术计算流程图

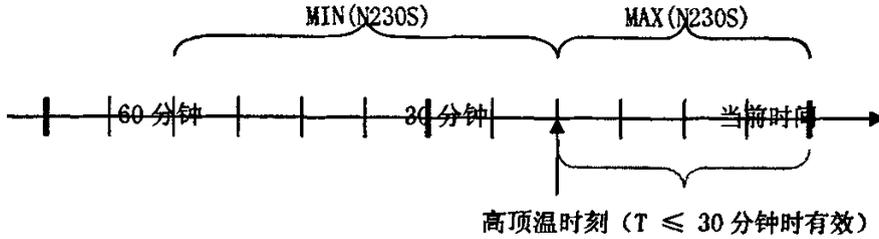
Fig 7.1 Flow Chart Of Technic Calculation

从上述流程图中不难看出，当高炉专家控制系统正常运行时，通讯机采集高炉数据，不断的送到数据库的不同表中，同时通过相应表的触发器，触发数据库的数据管道，将表名标志和时间发送到数据管道，后台服务程序不断的接收数据管道中的信息，通过分析这些信息调用不同的技术计算程序。

7.1 30 秒钟的技术计算

在首钢的高炉专家控制系统中 30 秒的技术计算包括：风压，高炉炉腹煤气压力损失，风压快速上涨，总压损，炉顶煤气 CO/CO2 比值，炉顶煤气 CO/CO2 比值的偏差，高顶温条件下的炉顶煤气 N2 含量的偏差值，悬料标志，近 1 分钟内的顶温偏差，最大下料速度，下料速度 1，下料速度 2，出铁率。例加风压的计算，由于热风炉换炉会导致风压短期波动，这种波动必须被屏蔽过滤掉，否则就会对高炉炉况判断提供非人为的错误信息，从而影响高炉专家控制系统的正常判断。其计算方法为：实时检测热风炉的工作状态，当热风炉处于冷风充压准备换炉状态时，以其冷风旁通阀的开极限由 0→1

为状态判断点，专家控制系统自动拷贝上次风压值；如高顶温条件下的炉顶煤气 N2 含量的偏差值的计算：如下图：首先搜索前 30 分钟时间内是否出现顶温值大于设定的高顶温值，如果出现则搜索当前时间到高顶温出现时刻的氮含量的最大值，再搜索从高顶温出现到高顶温出现以前的 30 分钟内的氮含量的最小值，最大值与最小值之差就是所要的计算结果。

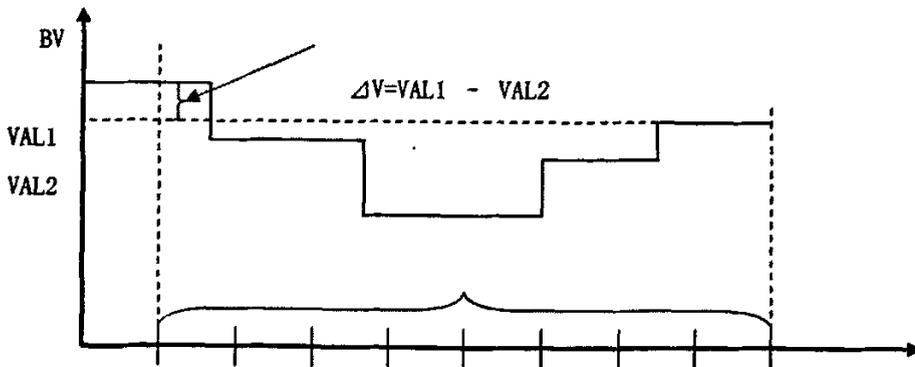


7.2 氮气偏差示意图

Fig 7.2 Difference Of N2 Sketch Map

7.2 5 分钟的技术计算

在首钢的高炉专家控制系统中 5 分钟的技术计算量很大，主要包括，炉腹煤气量，15 分钟的时标，24 小时的时标，滑料深度的最大值，料线最浅值，过去 15 分钟内料线低于门槛值 1 的标志等等 200 多个量，主要用于编制推理规则。计算量太多，举 2 个例子加以说明：例 1 计算过去 2 小时内的减风值 ΔV ，如下图所示， $\Delta V = VAL1 - VAL2$ ，过去 2 小时内风量的减少值，如果未减风，则该值置 0。这种量属于简单类型的计算，相关量少，但是不好理解，也容易出错。



7.3 2 小时内风量偏差示意图

Fig 7.3 Difference Of Blast Volume Sketch Map in 2 Hour

例 2 高炉炉腹煤气压损的 DBP 计算公式：

$$DPB = (BP5M - TP5M) / VBSG * 1000 - PDPV * (TAEGETBV - BV5M) \quad (7-1)$$

这种量属于较难类型的计算，相关的量较多，其中 BP5M 为高炉实测的风压值，TP5M

为高炉实测的顶压值, PDPV 是一个经验值, 存于参数表中, TARGETBV 目标风量值, 也存于参数表中, BV5M 是 5 分钟风量的平均值, 也来自于下位 PLC, VBSG 为炉腹煤气量, 需要计算。炉腹煤气量 VBSG 的计算, 炉腹煤气量 = 进入风口 N_2 量 + 进入风口的 H_2 量 + 进入风口的 CO 量。从上面不难看出, 炉腹煤气量的计算又跟进入风口 N_2 量, 进入风口的 H_2 量, 进入风口的 CO 量有关。

进入风口的 H_2 量 VBSh₂ 的计算:

$$VBSh_2 = BV5M * (MOI/18) * 22.4/1000 + (WINJ * 1000/60) * (INJH/100/2) * 22.4 \quad (7-2)$$

由上面可以看出进入风口的 H_2 量 VBSh₂ 的计算不仅跟 5 分钟的平均风量 BV5M 和鼓风湿度 MOI 有关, 还跟 5 分钟的喷煤量 WINJ, 煤粉中的氢含量 INJH 有关。

进入风口的 N_2 量 VBSN₂ 的计算:

$$VBSN_2 = (BV5M + BVINJ - BVO/60) * 0.79 + N_2INJ \quad (7-3)$$

由上面可以看出进入风口的 N_2 量 VBSN₂ 的计算不仅跟 5 分钟的平均风量 BV5M 和富氧量 BVO 有关, 还跟喷煤时带入的氮气的量 N_2INJ 和压缩空气量 BVINJ 有关。

风口前煤气生成量的计算:

$$VBSCO = W01 * 22.4 * 1000/60/16 \quad (7-4)$$

式中, W01 为进入风口的氧量, 需要计算, 22.4 为标态下的体积摩尔数, 16 为氧原子摩尔数, W01 为进入风口的氧量, 也需要计算。

7.3 15 分钟的技术计算

在首钢的高炉专家控制系统中 15 分钟的技术计算量很大, 主要包括: 富氧开始以来的持续时间, 砖衬区域水箱各温度测量点 15 分钟的平均值, S-1 和 S-2 区域高温电偶的数量, S-3 和 S-5 区域高温电偶的数量, S-6 和 S-9 区域高温电偶的数量, S-1 和 S-2 区域的温度上升的电偶的数量, S-3 至 S-5 区域的电偶温度上升的数量, S-6 至 S-9 区域的电偶温度上升的数量, 水箱温电偶度上升的数量, 水箱高温电偶的数量, 鼓风热焓, C 燃烧生成热, 鼓风湿份分解热, 熔损反应耗热, 炉腹热损, 喷吹物分解热, 热状态指示等等 300 多个量。15 分钟的技术计算是在 5 分钟自动采集的数据和经过 5 分钟技术计算的数据的基础上再加工的, 都是为推理服务的。计算的方法跟 5 分钟的类型, 举 2 个例子加以说明。

比较简单的技术计算, 例 1: 高炉炉腹煤气压力的标准偏差的计算:

$$Sx = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Xi - X_0)^2}{N - 1}} \quad (7-5)$$

其中 X_0 表示一小时内的均值。 X_i 表示一小时间的值，由上面的公式可以看出：程序的执行周期是 15 分钟，一小时内就有 4 个值，也就是 $n=4$ ， X_i 表示一小时内的 4 个值。

复杂的技术计算如理论燃烧温度的计算，理论燃烧温度又叫风口理论燃烧温度，根据风口局部热平衡计算出来的，把燃烧区看成是绝热体，不与周围介质发生热交换。理论燃烧温度是一理想化的而非实际的燃烧温度。虽然如此，但它仍然是评价燃料燃烧过程好坏的重要标志^[26]。通常有三种计算方法，以风口前燃烧 1 公斤碳素来计算；按 $1m^3$ 鼓风来计算；按 1t 铁计算。我们采用的就是第三种。

根据风口局部热平衡公式：

$$Q_1 + Q_2 + Q_3 - Q_4 - Q_5 = V_g * C_p * T \quad (7-6)$$

式中 Q_1 为风口燃烧 C 放热， Q_2 为热风带入物理热， Q_3 为焦炭物理热， Q_4 为鼓风燃料分解热， Q_5 为喷吹燃料分解热， V_g 为炉缸煤气量， C_p 为炉缸煤气平均热容， T 为风口理论燃烧温度。分以下几个步骤来加以说明：

(1) 风口燃烧 C 放热 Q_1 的计算：

首先，求出全部气化碳量 C_g ：

$$C_g = M * M_c + K * K_c - 10 * [C] \quad (7-7)$$

式中 K 为焦比， M 为煤比， K_c 为焦炭中含碳量， M_c 为煤粉中含碳量， $[C]$ 是吨铁含碳量。

其次，碳素燃烧率系数 n 的计算：利用炉顶煤气成分分析，根据 N_2 平衡来计算：

$$n = 2 * N_2 / (CO + CO_2 + CH_4) * O_{2b} / N_{2b} \quad (7-8)$$

式中 N_2 ， CO ， CO_2 ， CH_4 分别为高炉煤气中氮，一氧化碳，二氧化碳和甲烷的含量。 O_{2b} 为入炉总氧的百分含量， N_{2b} 为入炉总氮的百分含量。

最后，确定风口燃烧碳的数量 C_b 和计算 Q_1 ：

$$Q_1 = 2340 * 4.187 * C_b * n \quad (7-9)$$

(2) 热风带入的物理热计算：

$$Q_2 = BVC * BT * 1.437 \quad (7-10)$$

式中， BVC 为吨铁耗风量， BT 为风温，1.437 为鼓风热含。

(3) 为焦碳物理热的计算:

$$Q_3 = (n * C_g - M * Mc * \eta) * 550 * 4.187 \quad (7-11)$$

式中 η 为煤粉燃烧率 (常设 0.9)。

(4) 鼓风湿份分解热的计算:

$$Q_4 = BVC * MOI * 2580 * 4.187 \quad (7-12)$$

(5) 煤粉分解耗热的计算:

$$Q_5 = M * M_{H2O} * 22.4/18 * 2580 + M * Mc * 250 * 4.187 \quad (7-13)$$

式中 M_{H2O} 为煤中含水量。

(6) 吨铁炉缸煤气量的计算:

(a) 炉顶煤气 STOVE_CO 的计算:

$$STOVE_CO = BVC * 2 * O_{2b} + 2 * 22.4 * M * INJO/32 \quad (7-14)$$

(b) 炉顶煤气 STOVE_H₂ 的计算:

$$STOVE_H_2 = BVC * MOI + 22.4 * M * INJH/2 + (M * 0.033 + 0.008 * 2/18) * 22.4/2 \quad (7-15)$$

(c) 炉顶煤气 STOVE_N₂ 的计算:

$$STOVE_N_2 = BVC * N_{2b} + 22.4 * M * INJN/28 \quad (7-16)$$

(d) 炉缸煤气量 V_g 的计算:

$$V_g = STOVE_CO + STOVE_H_2 + STOVE_N_2 \quad (7-17)$$

式中 INJH, INJO, INJN 分别为煤粉中氢, 氧, 氮的百分含量。

(7) 炉缸煤气平均比热容的计算:

根据炼铁常用气体热容数据

$$C_p = a + bT + cT^2 \quad (7-18)$$

表 7.1 常用气体热容数据
Tab 7.1 Table Of Gas Specific heat Volume

气体	a	b*10 ³	C*10 ⁻⁵	温度范围/°C
N ₂	6.66	1.02	----	25~2200
H ₂	6.52	0.78	0.12	25~2700
CO	6.79	0.98	-0.11	25~2200

$$Q = \int_{273+25}^{t+273} (a + bT + cT^2) dT = [aT + bT^2/2 - cT^{-1}]_{298}^{t+273} \quad (7-19)$$

根据公式 (7-19) 可以求出当前各种气体放热:

$$Q_{CO} = 6.79 * (T - 298) + (0.00098 * (T * T - 298 * 298)) / 2 - 11000 * (1/T - 1/298) \quad (7-20)$$

$$Q_{H_2} = 6.52 * (T - 298) + (0.00078 * (T * T - 298 * 298)) / 2 - 12000 * (1/T - 1/298) \quad (7-21)$$

$$Q_{N_2} = 6.66 * (T - 298) + (0.00102 * (T * T - 298 * 298)) / 2 \quad (7-22)$$

当前温度下各气体平均热焓

$$CP_{CO} = 4.187 * Q_{CO} / 22.4 / (T - 298) \quad (7-23)$$

$$CP_{H_2} = 4.187 * Q_{H_2} / 22.4 / (T - 298) \quad (7-24)$$

$$CP_{N_2} = 4.187 * Q_{N_2} / 22.4 / (T - 298) \quad (7-25)$$

炉缸煤气平均热焓:

$$[CO] = STOVE_CO / V_g \quad (7-26)$$

$$[H_2] = STOVE_H_2 / V_g \quad (7-27)$$

$$[N_2] = STOVE_N_2 / V_g \quad (7-28)$$

$$C_p = [CO] * C_{PCO} + [H_2] * C_{PH_2} + [N_2] * C_{PN_2} \quad (7-29)$$

(8) 将上述计算的结果 $Q_1, Q_2, Q_3, Q_4, Q_5, C_p$ 和 V_g 代入 (7-7) 可以推算出一个关于理论燃烧温度的一个三次方程: $aT^3 + bT^2 + cT + d = 0$, a, b, c, d 为相应的常数。

(9) 通过构造一个函数 $f(T) = aT^3 + bT^2 + cT + d$ 来求解理论燃烧温度, 如果这个函数在某个温度 t_1 下 $f(t_1) > 0$, 在 t_2 下 $f(t_2) < 0$, 则在两者之间必然有个值能等于零。
 $root(t) = (t_2 * f(t_1) - t_1 * f(t_2)) / (f(t_2) - f(t_1))$, 采取逐步逼近的方法, 直到 $f(t)$ 约等于 0, 从而找到近似解。注意这里计算出来的是华氏温度, 应该减去 273 才是所要的理论燃烧温度。

第八章 系统实现和现状评估

8.1 系统实现概述

首钢高炉专家控制系统是一个复杂而庞大的软件系统，其核心是知识库的形成和推理规则编制，作者把这一部分内容放在了第四章重点论述。数学模型作为高炉专家控制系统的一部分，一个具体的模型是对高炉专家控制系统的某一方面进行模拟和分析。模型判断的结果又被推理规则综合判断，从而得出对高炉炉矿的正确分析和准确的指导建议，有关模型的分析，实现和作用作者在第五章中有详细的论述；专家控制系统要进行推理，需要大量的高炉检测数据，在第六章中详细的描述了数据的自动采集和有效性判断过程。专家系统要进行推理不是对直接检测的数据进行判断和推理，而是需要大量的技术计算，包括：滤波，比较，求偏差，均方根等一系列的运算公式^[20]，作者在第七章中已有论述。推理，模型，数据自动采集和技术计算等都在服务器的后台自动进行。所有这些后台运行的结果最后都要通过人机界面表现出来，同时人机界面还是专家控制系统获得原燃料成分分析，出铁数据，参数修改等数据的重要来源。

8.1.1 专家控制系统界面

包括主界面和信息提示界面。主界面由趋势，高炉模拟和当前指导信息三部分组成。趋势图：很直观的反映高炉最近8小时内的状态变化和对高炉操作的变化。第一幅趋势图反映高炉炉顶煤气成分的变化；第二幅趋势图反映高炉小时喷煤量变化，风温变化和对风温进行的操作情况；第三幅图反映炉热情况，包括热状态指数，热状态指数的变化，铁水含硅量和铁水温度；第四幅图反映高炉风量，风量行动和高炉状态（在技术计算中有说明）；第五幅图反映焦比设定值和焦比行动；第六幅图反映附加焦行动和喷煤行动；第七幅图反映富氧量和富氧行动。风温，风量，焦比，附加焦，喷煤量和富氧行动为高炉专家控制系统通过对炉况的综合判断经过一系列的计算，推理给出的指导高炉操作的建议。

高炉模拟：显示高炉当前状况下的冶炼周期，能量，实际风速，理论燃烧温度和风口面积，高炉内的料批碱度，焦比，炉料下降情况和炉缸内的渣铁量。让高炉操作人员直观的了解炉内炉料状况，从而更好的把握高炉操作，如：当前的冶炼周期是多少？要是发生了变化是什么原因引起的？是下料速度变慢了还是料批加大等等；同时可以很方便的知道什么时候加进去的料到达风口了，该变成铁水了，某一时刻加进去的料到达高

炉的什么位置了，什么时候才能化成铁水；一旦发现了炉料的碱度和焦比发生了变化，就应该查找原因等等；可以通过观测炉缸中的渣铁量来指导操作人员及时出铁，当然专家控制系统也会有相关的提示信息。

信息提示：显示专家控制系统对高炉的指导情况，如：高炉下部热状态，需减风温 20℃等信息。信息提示界面：可以按照时间查询所有的提示信息。

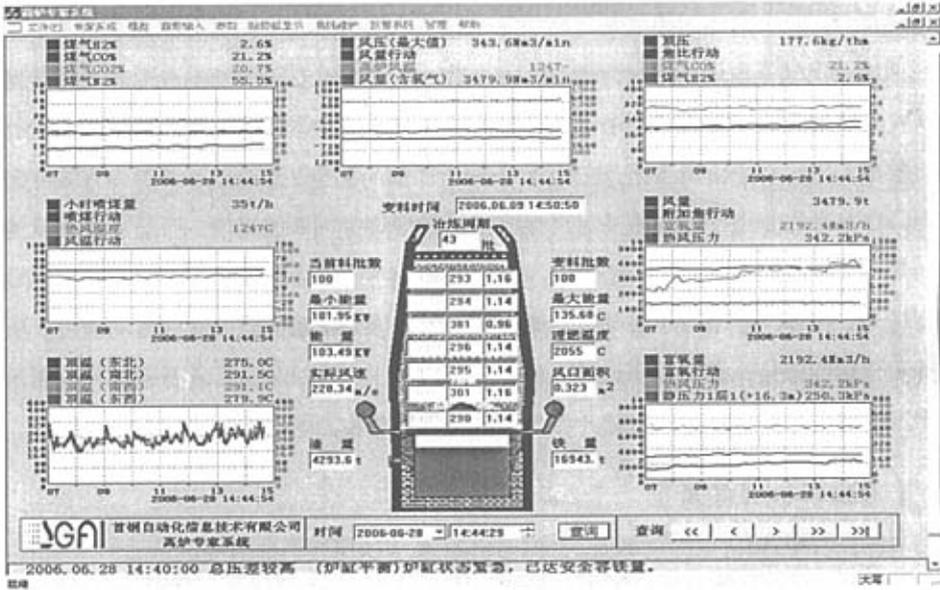


图 8.1 高炉专家控制系统主界面
Fig8.1 Main Interface Of Furnace Expert System

8.1.2 数据输入界面

高炉专家控制系统要想高效运行，必须要确保数据准确及时，自动采集的数据只要数据有效性判断和通讯程序运行正常就可以做到准确和及时；然而还有一部分数据如铁水重量，铁水成分，原料成分，燃料成分等不能自动采集，就只有靠人工输入了。可见数据输入界面，是高炉专家控制系统获取数据的又一途径，数据的准确性和及时性，将直接影响到高炉专家控制系统对高炉炉况的准确判断。主要包括：

针对高炉原料，燃料，熔剂等成分的不同，我们为了减少输入界面，提高输入界面的通用性，开发了以下通用的参数输入界面和查询界面。在这一个界面中可以添加不同的原料成分也可以添加不同的燃料成分，同时还可以添加不同熔剂的成分，该界面通用性强。同时还可以根据原料，燃料或熔剂的编号代码或名称查询成分，当成分

输入完后，还有自动补齐和判断功能，如果成分不合格，则提示录入人员重新录入。



图 8.2 原燃料成分输入界面
Fig 8.2 Input Interface Of Material And Fuel Elements

8.1.3 参数修改界面

高炉专家控制系统的参数就是高炉冶炼专家的经验 and 冶炼知识，高炉在不同的时期，高炉参数也有所不同。不同的高炉，高炉参数也不一样，因此高炉专家控制系统绝不仅仅是一个简单的自动控制的问题，高炉专家控制的参数也不是调试完了以后就不变了，需要高炉操作人员不断的摸索和修改，才能不断的完善。



图 8.3 规则组参数修改界面
Fig 8.3 Interface Of Rule Group parameter modification

8.1.4 趋势显示界面

趋势图是最直观的表达方式，高炉操作人员希望通过趋势图来观察和发现高炉出现的问题，因此在我们开发的高炉专家控制系统中有二种趋势图，第一种是变量随时间变化的趋势图；第二种是棒状图，不同的量在同一时间的变化比较图。

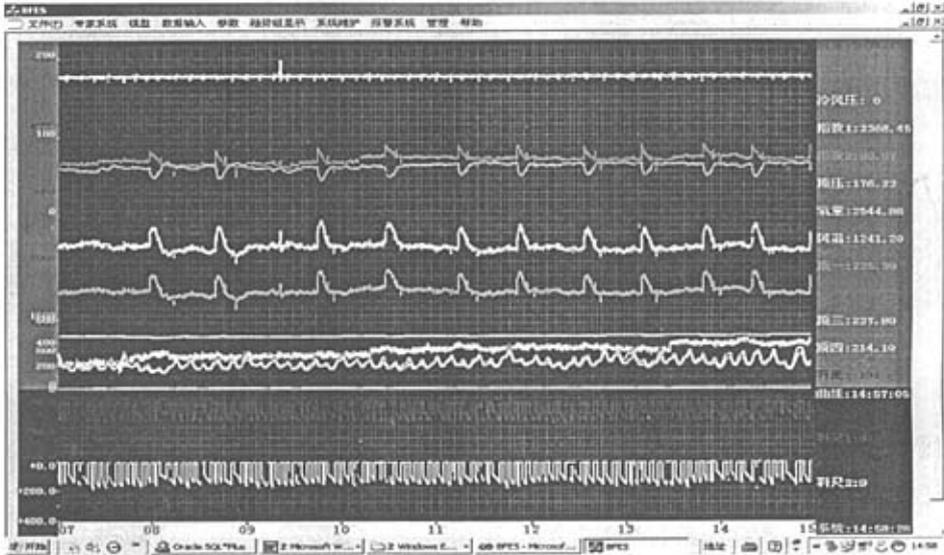


图 8.4 工长操作曲线
Fig 8.4 Trend Of formen operation

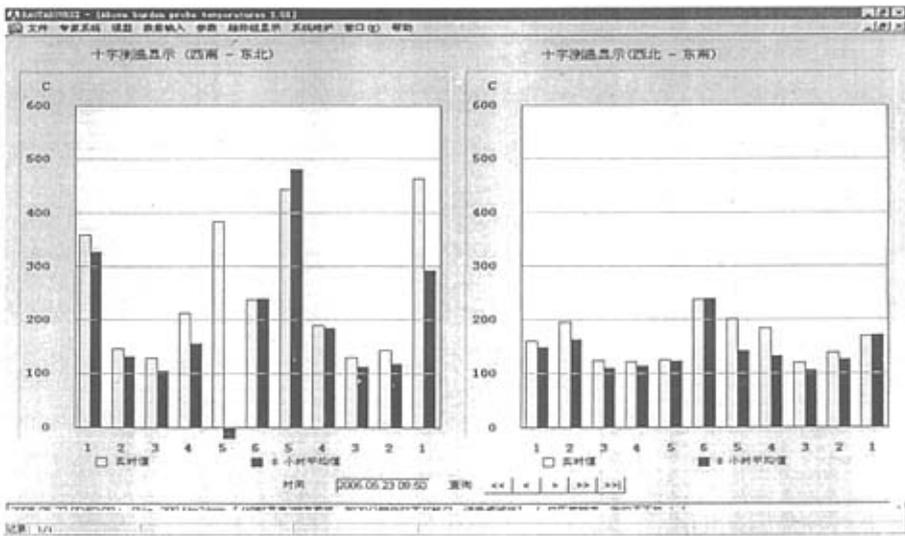


图 8.5 十字测温趋势图
Fig 8.5 Trend Of Cross Temperature

从图 5.4 可以很清楚的看到同一变量在不同时刻的变化趋势。同时也可以跟图内的

其他变量比较，图 5.5 则反映的是 21 个十字测温点的在同一时刻的温度变化情况。

8.1.5 管理系统界面

长期控制又叫“生产方针”，“生产计划”或“操作规范”。长期控制的任务是帮助经理和管理人员在原料，燃料种类或市场对生铁品种和数量的需求发生变化时，或者当工序中出现了薄弱环节时（如上料和装料系统的设备故障，一座热风炉损坏等），快速而准确地分析生产条件的变化对利用系数，燃料比，生铁质量，生铁成本和炉况等可能产生的影响，决定响应的高炉操作制度。通常情况下，高炉要保持稳定顺行，需要一定的规范，也就是说每天的操作条件基本不变，保持相对稳定，除非出现了炉矿异常情况，才采取相应的调制措施。

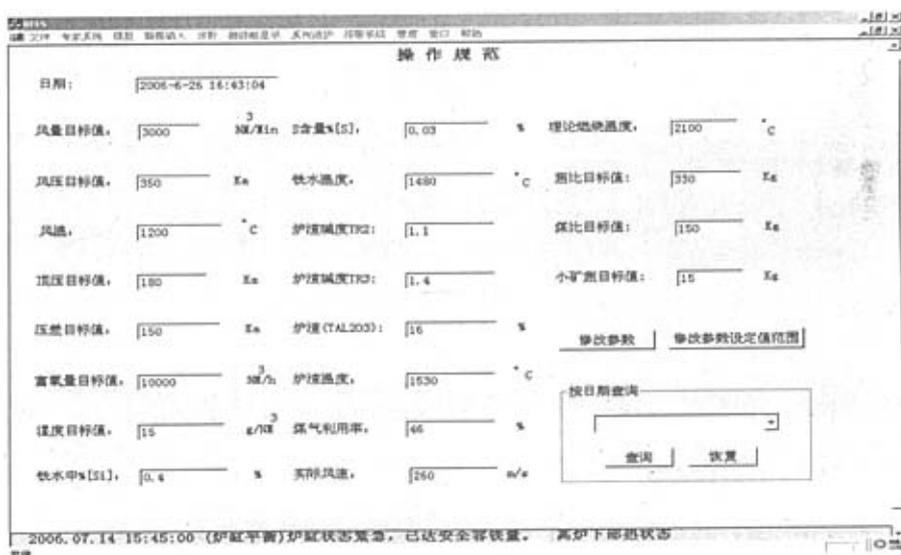


图 8.6 操作规范界面
Fig 8.6 Interface Of Target Modification

8.2 现状评估

首钢高炉专家控制系统从 2001 年 7 月份开始与芬兰 Rautaruukki 公司联合开发 5 个月，2002 年 3 月份第一次开始调试，同年 10 月份第二次调试，2003 年 3 月份验收。从系统运行情况来看软件系统运行良好，况且很少出现故障，维护量也少；高炉专家控制系统每天都有炉矿预报和指导建议，从炉矿预报的情况来看没有达到预期的效果。自从高炉专家系统投入使用以后，高炉操作人员经过一个月左右的跟踪和验证，发现高炉专家控制系统对炉温的预报方面达到了令人满意的结果；炉缸中渣铁平衡的控制与管理由

于原始数据不完备, 该功能没有达到理想的效果; 还有炉型管理方面, 由于温度检测元件的损坏, 所以预报的炉缸侵蚀与结厚也存在着差距; 还有布料模型, 由于不是在线的, 而是离线仿真的, 况且布料模型没有考虑到煤气流的影响, 料面渗透和塌陷, 料面变形等情况, 所以布料模型没有真正起到作用。

第九章 结束语

9.1 高炉专家控制系统主要功能总结

(1) 基本管理功能：高炉专家控制系统具有一般管理机所具有的功能。具体包括：数据的采集，数据的存储和数据的处理功能，专家控制系统可以根据用户的要求将有效的数据保存到15年或以上。另外，还有报表，数据输入，打印，趋势显示等功能。

(2) 特有功能：所谓的特有功能就是一般的管理机所不具备的功能，具体体现在：对炉况进行动态认知，根据炉况的具体情况预报铁水温度，炉热情况，可能发生或已经发生的异常情况，并给出相应的警告或行动建议来指导操作人员进行操作^[30]。

9.2 高炉专家控制系统有待改进的地方

(1) 高炉专家控制系统并不具备自学习功能：一提到高炉专家控制系统，大家就会很自然地想到人工智能，是的，高炉专家控制系统是人工智能的一部分，但是它并不具备人工智能的自学习功能，要真是这样，那高炉就会实现全自动的闭环控制了。

(2) 高炉专家控制系统不对外部的波动进行指导，如：加料设备故障，漏水或停炉。

(3) 高炉专家控制系统不能预报由外部原因导致的变化，如烧结矿或焦炭质量改变时所引起的变化。

9.3 如何用好高炉专家控制系统

(1) 正确认识高炉专家控制系统。大多数人缺乏对高炉专家控制系统的全面了解，对高炉专家控制系统期望过高，首先，全盘肯定高炉专家控制系统的功能，把高炉专家控制系统看得过于神秘，如某些商家所说的人工智能啦，自学习啦，神经网络啦等等，误以为有了高炉专家控制系统，就可以实现或接近自动炼铁了。其次，一旦高炉专家控制系统达不到理想的效果，又全盘否定高炉专家控制系统，认为高炉专家控制系统一点作用都没有。大家为什么会有这样一种心态？主要是缺乏对高炉专家控制系统的认识和理解。要想用好高炉专家控制系统，首先必须在认识上有所突破，必须认识到高炉专家控制系统有什么功能和不具备什么功能，什么事是高炉专家控制系统做的，什么事是工长，操作人员或维护人员做的。比如，高炉专家控制系统不能预报由外部原因导致的变

化,如烧结况或焦炭质量改变时所引起的变化。操作者可以根据经验和理论知识对这些变化采取措施,高炉的管理者也要在计划这段时间内就基本参数做出决定,如产量,能源消耗和原料情况等,还有高炉专家控制系统不对外部的波动进行指导,如:加料设备故障,漏水或停炉。这就要求我们的维护人员,及时修好这些设备。其次,必须充分的应用它和相信它,在实践中总结高炉专家控制系统有那些优点和不足。汽车是一个好的交通工具,但是它对不喜欢车的人来说却是一种负担。

(2) 做好高炉专家控制系统的维护工作。高炉专家控制系统是一个很复杂的系统,不像一般的管理系统和控制系统,程序作完,调试以后就不用再改动了。高炉专家控制系统需要根据高炉在不同的负荷和生产条件下修改高炉的参数(技术计算和规则用的参数)。同时,需要保证外部测量的数据准确和及时。由于高炉专家控制系统自动采集和人工输入的数据量很大,所以需要一支高水平的维护队伍。

(3) 做好高炉专家控制系统的消化,吸收和开发工作。目前,高炉专家控制系统达不到理想的效果的一个原因就是操作人员和维护人员没有真正的掌握高炉专家控制系统的指导思想,更谈不上对高炉专家控制系统的消化和吸收了,因为不能对高炉专家控制系统进行必要的修改,所以操作人员只能很机械的接收专家控制系统的警告或动作建议。原因并不是我们的操作人员和维护人员不愿意去学习和吸收它,而是,我们的商家(不管国内的还是国外的)对核心技术进行保密,所以,想要深入了解高炉专家控制系统的精髓,达到消化,吸收的程度很困难。这样就存在一个矛盾,操作人员必须消化吸收高炉专家控制系统的核心技术和精髓,才能熟练掌握高炉专家控制系统的指导思想和行动建议,而商家必须保守高炉专家控制系统的核心技术,才能保护他们的知识产权。购买者组织技术力量,进行技术攻关,消化,吸收别人的经验和指导思想。结合自己高炉的特点,由自己的冶炼专家提出自己高炉专家控制系统的构想,然后,由自己的冶炼专家和计算机专家来合作开发。只有这样的高炉专家控制系统才能真正发挥它的应有的作用。需要公司的大力支持,包括人力,物力和财力方面的支持,同时还需要有政策上的激励措施和良好的机制。

(4) 不断完善高炉专家控制系统的功能: 现有的高炉专家控制系统很少有对自动采集的数据和人工输入的数据进行有效性判断的,在我们新开发的高炉专家控制系统中就加入了这一部分功能,我认为至少起到三个方面的作用: 第一保证进入高炉专家控制系统的都是有效的和准确的,从而提高高炉专家控制系统的精度; 第二帮助高炉工长了解高炉设备运行状况; 第三便于维护人员查找故障。

参考文献

1. 高贤成, 张国营, 殷玉祥等. 炼铁优化专家控制系统在济钢高炉上的应用 [J], 钢铁, 2000年(6): 6-9
2. 刘祥官, 刘芳, 李满喜, 高贤成等. 炼铁优化专家控制系统在济钢高炉的应用[J], 冶金自动化, 2000(2):15-19.
3. 陈令冲. 我国高炉专家控制系统开发的现状[J], 炼铁, 2001, 20 (4) :25-29.
4. J.Y.F.Yam, T.W.S.Chow. A Weight Initialization Method for Improving Training Speed in Feedforward Neural Network[J], Neurocomputing, 2000, 30:219-232
5. James R Coakley, Carol E. Brown. Artificial Neural Networks in Accounting and Finance: Modeling Issues. International Journal of Intelligent Systems in Accounting[J], Finance & Management, 2005, 9:119-120
6. 刘祥官, 刘显著, 蒋美华等. 智能控制专家控制系统在莱钢高炉的应用[J], 冶金自动化, 2002(6):15-19
7. 冯震, 董世泽. 高炉专家控制系统在本钢五号高炉的应用[J], 本溪冶金高等专科学校学报, 2003, 5 (4) : 29-31
8. 胡仁安. 钢铁工业自动化的新技术(下) [J], 冶金自动化, 2001(2): 6-9
9. 周传典. 高炉炼铁生产技术手册[M], 冶金工业出版社, 2003:242.
10. 毕学工. 高炉过程数学模型及计算机控制[M], 冶金工业出版社, 1996, 1-3.
11. 宋建成. 高炉炼铁理论与操作[M], 冶金工业出版社, 2005, 1.
12. 那树人. 炼铁计算[M], 冶金工业出版社, 2005, 296.
13. Kosko B. Neural network and fuzzy systems [M]. A dynamical approach to intelligence .NJ. Prentice-Hall. 1992:102-105
14. Patrikar A, Provence J. A self-organizing fuzzy controller for dynamic process using neural network techniques[J]. American Control Conference 1989:359-364
15. 周传典. 高炉炼铁生产技术手册[M], 冶金工业出版社, 2003, 1.
16. 毕学工. 高炉过程数学模型及计算机控制, 冶金工业出版社, 1996 (1) : 5.
17. G. Brunnbauer, B. Runner, H. Nogatnig. The fully automatic blast furnace-only a version[J], Both Iron making Conference Proceedings, 2001, 3:677-688.
18. K. Otsuka et al. expert system for blast furnace operation[J], The sumitomo search. 1992, 7(50):43-50.

19. 毕学工.高炉专家控制系统的研究与开发(二)[J],炼铁, 2000, 19(3): 50-54
20. 刘云彩, 张宗民, 杨天钧.人工智能高炉冶炼专家控制系统的开发[M],北京:电子工业出版社, 1995: 49
21. 万谷志.钢铁冶炼[M],北京:冶金工业出版社, 2001,99-105
22. Robin Cowan.Expert system:aspect of limitations to the codifiability of knowledge[J],Research Policy.2001, 30:1355 — 1360
23. 毕学工.高炉专家控制系统的研究与开发(二)[J].炼铁,2000, 3(19):50-55
24. 那树人.炼铁计算[M], 冶金工业出版社, 2005, 102-128.
25. V.R.Radhakrishnan, A.R.Mohamed.Neural networks for identification and control of blast furnace hot metal quality[J].Journal of Process control.2000,10:509-524.
26. 刘人达.冶金炉热工基础[M], 北京: 冶金工业出版社, 1980, 438-442.
27. Alfons Schuster, Mary Shapcott, et al. A Multiple Approach to Data Analysis in Knowledge-Based Systems and Uncertainty Management[J],Int.J.of Intelligent Systems, 2005, 15:93-116
28. A.P.Engelbrecht, R Brits, Supervised Training Using an Unsupervised Approach to Active Learning[J],Neural Processing Letters, 2005, 15:246-260
- 29.Hiroshi Tsukimoto.Pattern Reasoning:Logical Reasoning of Neural Networks[J], Systems and Computers in JaPan, 2005, 32(2):2-6
30. 王万森.人工智能原理及其应用[M], 电子工业出版社, 2000,118-124

致 谢

在本论文完成之际，首先要感谢我的指导老师关守平副教授，对我撰写论文所给予的悉心的指导，热情的帮助和鼓励。我的论文是在老师高屋建瓴的指导下、认真细致的批改下、循循善诱的教导下才得以顺利完成。充分体现了老师科学严谨的治学风范和知行合一的精神楷模。

感谢胡丕俊高工，周卫同事在繁忙的工作之余对我完成论文的鼎力相助。还要感谢首钢炼铁厂老冶炼专家齐树森以及有关人员对我们完成项目试验给予的大力支持。感谢在我编写论文期间给予我支持与帮助的同学和同事们。