

高炉过程控制与专家系统

王茂华, 汪保平, 惠志刚

(马鞍山钢铁股份公司, 安徽 马鞍山243000)

摘要: 简要回顾了国内外高炉操作过程控制及专家系统开发历程, 介绍了国内外开发的高炉专家系统的基本构成及应用情况, 并对系统功能作了简要对比。

关键词: 高炉; 过程控制; 专家系统

中图分类号: TF325.6 文献标识码: A 文章编号: 1004-4620 (2005) 03-0004-04

Process Control and Expert System for Blast Furnace

WANG Mao-hua, WANG Bao-ping, HUI Zhi-gang

(Maanshan Iron and Steel Co., Ltd., Maanshan 24300, China)

Abstract: The development course of process control and expert system for the operation of BF is reviewed in brief. The basic information of expert systems and their application on the relevant BF are also introduced, and the functions of the systems are compared briefly.

Keywords: blast furnace; process control; expert system

1 前言

在现代高炉炼铁技术发展进程中, 操作过程控制及专家系统的开发研究, 迄今大致可分为三个阶段:

(1) 1950~1970年。该阶段在物料平衡、热量平衡基础上, 采用配料计算、工程计算、Rist操作线等对高炉操作进行静态热力学分析, 给出各种变动因素对焦比影响的分析。炉况的判断及调控, 主要依靠高炉操作者的实际经验进行。(2) 1970~1985年。该阶段以日本为代表, 由高炉系统获得大量冶炼数据输入信号, 利用动力学模型、控制模型或炉况判断模型, 借助过程计算机对炉况进行数据与信息的处理、分析与判断。与前第一阶段相比, 高炉操作控制技术上已有长足进步, 基本上可防止因操作者的因素而造成的炉况判断失误。(3) 1985年~迄今。该阶段在高炉操作计算机控制技术中, 运用人工智能与知识工程技术, 汇集经验操作者的智慧和冶炼理论研究专家的成果, 构成多种专家系统, 预测炉况发展趋势并给出操作指示。

目前, 在国内外一些高炉上, 运用专家系统进行炉身压力、低硅操作、软熔带形状、炉身气流分布、装料制度等方面的控制, 已取得较好的效果。

2 国外开发应用概况

1985年以来, 日本先于其它国家开发了用于高炉操作控制的BAISYS、SAFAIA、YBRID及Go—Stop等专家系统, 并在实际中得以应用(见表1), 系统一般结构见图1, 各专家系统构成见图2。

表1 日本部分高炉专家系统应用概况

厂家	应用高炉及时间	系统名称	应用范围	特征	
新日铁	君津	3号炉,1988.1 4号炉,1988.7 2号炉,1993.12	ALIS系统	日常操作, 异常操作, 休风及设备故障指导	具有广泛的规则支持, 运用启发式, 易调整
	大分	2号炉,1988.12 1高炉,1992.12	SAFAIA系统	日常短期操作诊断, 中长期操作诊断, 预报突发性异常	运用神经元方式判别, 中长期操作诊断
	名古屋	3号炉,1990.2 1高炉,1991.12	AGOS系统	日常操作, 异常操作预知, 设备故障指导	运用炉况指数和学习功能进行调整, 低成本
川崎	2号炉 4号炉	高级Go-Stop系统	日常管理, 异常预知及对策	实际操作动作编入推理, 诊断均经过一次、二次判定	
福山厂5号炉		BAISYS系统	异常炉况诊断, 炉热控制	知识库采用产生式、框架式	
住友鹿岛厂1高炉		YBRID系统	短期、中长期操作诊断	混合型专家系统	

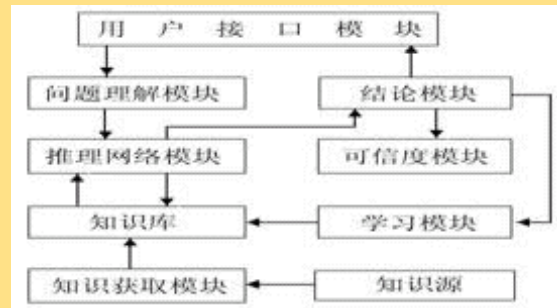


图1 专家系统一般构成示意图

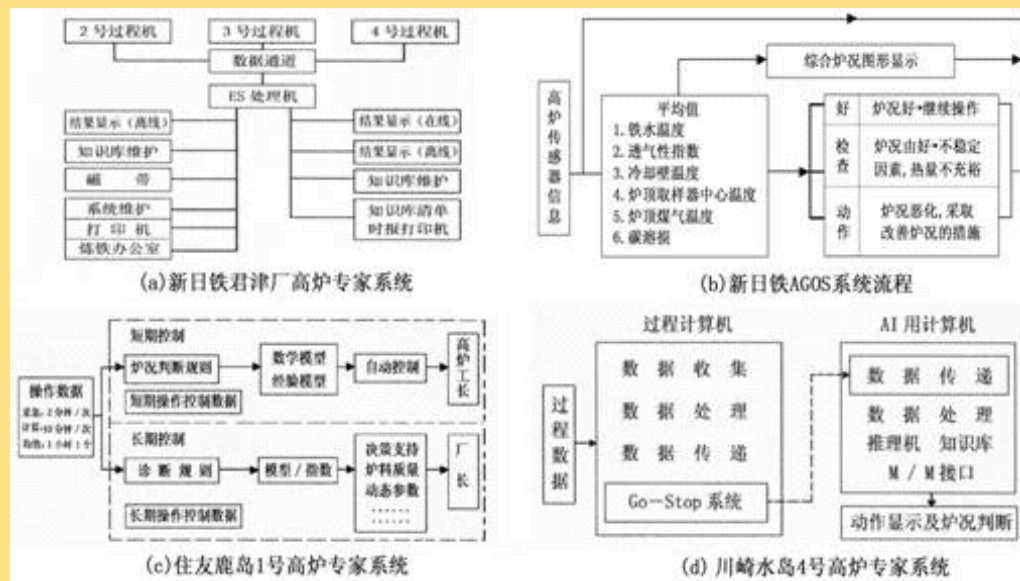


图2 日本相关高炉专家系统构成示意图

2.1 新日铁高炉专家系统

君津厂专家系统构成如图2 (a) 所示, AGOS系统流程见图2 (b)。高炉现场数据由过程计算机收集, 经数据通讯通道传送到专用处理机去进行处理分析, 其结果再返回现场显示。系统设有二个知识库, 一为在线使用, 一为离线使用。

2.2 鹿岛1号高炉专家系统

该系统为数模—专家结合型系统 (HYBRID系统), 系统构成如图2 (c) 所示。其运行特点是将数学模型和实际规则两者相结合, 操作数据采集为2min一次, 计算为10min一次, 取小时平均值。短期控制时, 操作数据用于判断炉况。正常炉况下 (约80%~85%时间), 喷煤比、风温及湿度等均用炉热指数TS数模控制, 异常炉况下 (15%~20%时间), 由经验规则来实施控制。专家知识库中含1200条规则。铁水硅含量[Si]与铁水温度的预测命中率达85%~90%。长期控制时, 操作数据用于诊断炉况, 然后由生产决策者判定长期操作的方针与相关参数控制值。

2.3 水岛4号高炉专家系统

该系统为Go-Stop模型的改进型炉况判断专家系统，见图2（d）。动态模型在给定时间间隔内作一次运算，对过程、状态做出判断，静态模型离线运行，产生的信息给工程师、管理者作判断用。系统管理范围为修复风指导、异常炉况的操作、日常操作指导（炉体热负荷控制、炉底温度控制、无钟炉顶使用方法、低硅冶炼、防止炉缸不活跃）等方面。

2.4 模型集成系统

新日铁大分厂2号高炉上的模型集成系统（SAFAIA系统），是以软融带推断模型为主建立的。整个系统包含532个传感器，8种软融带模式，1个专家知识库（内含5850条规则）。在过程控制应用中，系统采样时间间隔1s（采集1200条过程数据），给出操作指示的时间间隔为5s。

京滨1号高炉（4907m³）上的模型集成系统，是以无钟炉顶炉料布料模型为主建立的。该系统的专家知识库，是由装料制度、煤气流状态、炉体温度场、风量、风压、透气性等重要影响因素组成。

2.5 炉温炉况判断系统

日本钢管福山厂5号高炉上的在线实时型专家系统（BAISYS系统），主要用于炉温预报与异常炉况判断。整个系统包含900个检测点，1个专家知识库（内含炉热预报规则500多条，炉况判断规则200多条）。在高炉实时应用中，2min进行一次预测异常炉况（包括管道现象和崩料等），20min进行一次炉热状态推断。

2.6 芬兰拉赫厂高炉专家系统

芬兰罗德洛基公司拉赫厂2号高炉的控制模型，是20世纪90年代以后，在日本川崎Go-Stop系统的基础上发展起来的，由动态模型与静态模型组成，目标是保持高炉下部的热平衡，防止高炉出现不稳定和异常炉况。主要功能为装料监控（及配料计算）、煤气分布与煤气利用率（CO/CO₂）分析、非正常炉况识别（塌料、崩料、滑料、结瘤、悬料等）、铁水温度、[Si] 及出铁控制等，系统构成见图3。

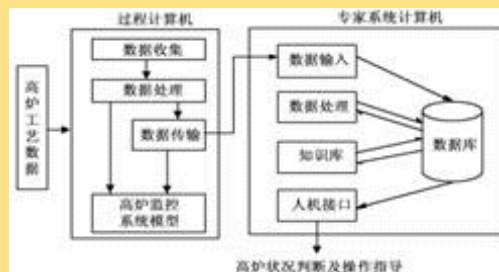


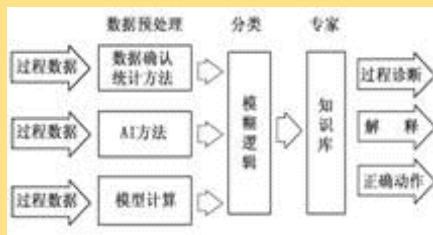
图3 拉赫厂2号高炉专家系统

专家系统知识库包括两个经验库，共有850条判断规则，一个经验库用于高炉的正常操作，另一个用于故障后的再启动、休风后的鼓风操作和诊断出炉况突然发生异常变化时的启动操作。系统操作诊断分为：30s、5min、15min短周期高炉状况判断；8h中周期诊断，监视周期炉况趋势；长周期诊断，评估前一天炉况及趋势，确定当天的操作方针。

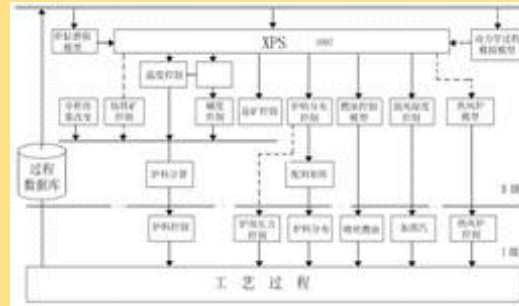
2.7 奥钢联林茨厂高炉专家系统

该系统为奥钢联工程技术公司与林茨厂联合开发（见图4），自1997年以来，专家系统在2772m³高炉上以闭环方式成功地运行，在无操作人员任何介入的情况下，每天24h对燃料比、炉料碱度、燃油喷吹、加蒸汽及炉料分布等实施自动控制。控制系统最显著的特点是对原燃料条件无苛刻要求，能适应原燃料条件变动的短期调整。

此外，比利时、瑞典、澳大利亚、美国、俄罗斯等国也都相继开发应用了自己的高炉专家系统，并以其作为推动炼铁技术进步、挖掘高炉生产潜力、实现节能降耗的重要措施。



(a) 系统基本组成



(b) 系统自动化结构

图4 奥钢联林茨厂高炉专家系统

3 国内开发应用概况

多年来，在资金、技术、基础设施条件等与国外相差甚大的情况下，国内也一直致力于高炉过程控制技术与专家系统的开发研究工作，且多以厂校（或院、所）合作的方式进行。

3.1 首钢高炉专家系统

20世纪90年代初北京科技大学与首钢合作开发的系统，由炉热状态判断（[Si]预报）、炉况顺行判断（悬料，崩料，滑料等）和炉体状态判断（炉墙结瘤、冷却壁烧穿及漏水等）三个子系统组成。

首钢人工智能高炉冶炼专家系统，当时居国内领先水平，1998年曾获得国家专利，并应用在首钢1726m³高炉上。因未随计算机技术进步继续深入开发和完善提高，2000年被首钢引进的芬兰高炉控制专家系统所取代。

3.2 鞍钢高炉专家系统

鞍钢4号（1000m³级）高炉专家系统（见图5），由数据库、推理机、知识库、动态数据模型和机理模型、炉热判断、解释和预报结果显示，以及知识自学习系统构成。含硅预报部分，依靠专家系统将炉况分类，根据其正常、异常和波动程度选用不同的模型确定生铁含硅量。专家系统部分，根据知识库存储的冶炼理论规则和高炉操作经验，推理、预测炉热变化趋势和幅度，并给出操作指导。

1995年立项的鞍钢10号（2580m³）高炉专家系统，为原冶金部重大课题，由北京科技大学、东北大学和鞍钢三家合作开发。历时6年后，在专家知识库、炉况诊断等方面取得相应成果。

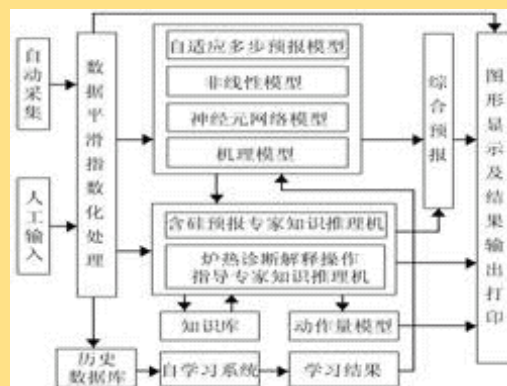


图5 鞍钢4号高炉专家系统构成

3.3 马钢2500m³高炉炉况诊断专家系统

该系统为原冶金部自动化研究院与马钢合作开发的专家系统。其在原有VAX计算机基础上，加上工业微机作为人工智能(AI)处理机，进行模型运算和专家系统推理,系统类似于日本Go-Stop系统。

3.4 宝钢高炉专家系统

1986年，宝钢2号（4503m³）高炉引进日本Go-Stop系统，在消化吸收引进技术的基础上，1991年宝钢与复旦大学合作开发了炉况监视和管理系统，在1号高炉（4063m³）上使用至1995年停炉大修。

1995年,宝钢在2号高炉上开发应用高炉人工智能专家系统,1997年通过了专家技术鉴定。因国内一般大型高炉在技术装备条件和原燃料条件方面均达不到宝钢高炉水平,建立在此基础上的宝钢专家系统,难以在国内一般高炉上推广应用。

3.5 武钢等引进的国外高炉专家系统

1997年,武钢4号高炉(2516m³)引进芬兰罗德洛基公司的高炉控制专家系统,1998年投入生产应用,并取得技术经济成效。此外,继武钢之后,首钢、本钢、昆钢、攀钢等大型高炉也相继引进芬兰、奥地利的高炉专家系统。

3.6 高炉炼铁优化专家系统

该系统为浙江大学开发,系1999年国家科技部批准的《国家级科技成果重点推广计划》项目,并在杭钢、济钢、新临钢和莱钢等企业的合作下,推广应用至多座350m³、380m³和750m³高炉上。该系统以冶金机理和应用数学知识为基础,以专家数据库为智能源,对高炉进行工艺参数系统优化、炉温预报及异常炉况判断。因其立足于国内一般条件,较符合国内高炉原燃料条件和监测、自动化水平相对较差的高炉情况,投资省,拥有我国独立知识产权,其与国外有关系统的简要比较见表2。

表2 高炉专家系统功能简要对比

项 目	高炉炼铁优化专家系统(浙江大学开发)	芬兰高炉控制专家系统(武钢引进)	日本Go-Stop系统(宝钢引进)
应用高炉	多座350m ³ ~750m ³ 高炉	2516m ³	4063m ³
原燃料要求	正常原燃料条件,优化改进	入炉原燃料质量要求较高	入炉原燃料质量、稳定性高
基础自动化	基础自动化与信息化	检测点多,要求高	检测点多,要求高
系统思路	系统优化,寻求高炉最佳状态下的智能控制,避免炉况异常状态发生	在线详细采集数据,在专家知识基础上推理判断	建立详细的专家知识规则,进行炉况异常判断
数据库	50张数据表存储全炉役历史数据,含原始数据库、专家知识库和优化参数库等	实时数据、局部历史数据库、专家知识库	实时数据、局部历史数据库、专家知识库
配料优化计算	3种配料计算与优化模型	配料计算与焦比计算	未见报道
智能监控	炉体温度场、煤气曲线等多种智能化软件仪表	冷却壁展开图等	未见报道
异常炉况诊断与报警	炉墙结厚结瘤、管道、悬料、炉缸堆积等4种主要异常炉况诊断	滑料、结瘤、管道、崩料、悬料异常识别和CO/CO ₂ 等详细诊断	通过炉况状态雷达图,评分判断Go-Stop-BACK
系统优化决策	设计7类优化模块,寻求生产过程优化挖潜规律	包括热平衡/煤气流变化分析等方面	无此功能
管理统计报表	自动生成15张作业管理报表,取代《高炉作业日志》	无汉字管理报表	无汉字管理报表
炉温[Si]数值预报模型	时间序列混合模型与神经网络算法	神经网络模型	炉热指数模型
炉温智能控制	通过炉温控制方程多阶段计算炉温预测控制的成效	定量计算炉热调剂的焦比变动量	炉热控制原则指示
信息化	铁区局域网,终端联网,技术管理控制三位一体应用	专家系统用于高炉主控室	专家系统用于高炉主控室
软件费用	软件开发费用约为国外引进专家系统的1/3~1/5	专家系统1100万元,配套装备需2000多万元	软件系统需100万美元
预期技术经济效益	承诺一般高炉提高利用系数0.1t/d.m ³ ,降低焦比10kg/t	不承担效益保证	不承担效益保证

4 结 语

高炉专家系统开发应用历程表明,不同时期、不同阶段、不同水平、不同形式的开发应用,一直在促进着现代高炉炼铁技术的进步,现已步入闭环控制开发应用阶段,成为高炉冶炼实现“高效、节能、低耗、长寿”的重要途径之一。在高炉装备水平与原燃料客观条件存在明显差距条件下,借鉴国外经验,立足国内高炉条件,自主开发投资省、应用效益显著的实用型专家系统,使其在技术性能上适应国内操作者的传统操作

习惯，在功能上满足高炉需求，以便在国内高炉上普遍推广应用。

[返回上页](#)