

全国工业炉窑自动控制学术会议论文集(第二届)

中国金属学会 冶金自动化学会
中国自动化学会应用专业委员会
全国节能情报网



1990.6.1~4 于湖南大庸市



封面 冶金工业部自动化研究院

全国工业炉窑自动控制学术
会议论文集(第二届)

沈阳市图书馆印刷

开本 787×1092 毫米 1/16 印张 30 字数 720,000

印数: 1—500

辽出临图字[1990]第 77 号

前 言

中国金属学会与中国自动化学会曾于 1987 年夏在昆明联合召开了第一届全国工业炉窑自动控制学术会议，有一百多位从事这方面工作的专家和科技人员与会。学术交流活动取得了很好的效果，编印的论文集也先后销售一空，当时在会有不少同志提出，希望每隔二、三年就举行一次这样的会议，以推进我国工业炉窑自动控制科技工作的发展。

这次时隔三年，由中国金属学会冶金自动化学会、中国自动化学会应用委员会、全国节能情报网联合发起并将于 1990 年 6 月 1 日~4 日在湖南大庸召开的“第二届全国工业炉窑自动控制学术会议”是第一届会议的继续和发展。本论文集收集编印了已录取并在会上发表的 79 篇论文，内容包括近二、三年来我国各种工业炉窑自动控制科技工作的成果、新近的科技发展、工业应用经验的总结、综述与评论等方面。其中有的论文成果已达到国际水平，有不少是国内先进水平。通过论文集的内容可以看到，我国工业炉窑自动控制科技工作在研究、开发和工业应用诸方面都正在不断地取得新的成就，适合于不同装备水平的自动控制系统正在不断得到开发与应用，在工业生产中已经取得了显著的技术、经济效益。

工业炉窑是耗能大户，我国工业炉窑与国外发达国家的能耗水平相比尚有很大差距。通过科技进步，不断进行技术改造将是降低工业炉窑能耗水平的主要途径。已经有越来越多的人认识到，采用自动控制技术是降低能耗实现优化燃烧的主要技术手段之一。各地的经验也已表明，要达到特等炉的生产运行水平，就必须采用自动控制技术，我们希望通过这次会议和这本论文集的交流推广，能在推进我国工业炉窑自动控制的发展方面起到一些作用，由于编印的时间较为仓促，错误之处请读者批评指正。

编 者

1990 年 5 月 31 日

于北京冶金部自动化研究院

冶金工业部自动化研究院简介

我院是冶金工业部直属的、唯一的从事自动化应用研究的科研机构，主要任务是：根据冶金工业生产工艺流程和企业管理的需要，提供有关的自动化系统的科研成果，工程设计、成套先进技术装备和产品；承包新建和改造工程项目；开展经营服务；兼为其他行业提供技术服务；并与国内外进行广泛的技术交流与合作。

现拥有自动控制、计算机应用、仪器仪表、电气传动、机械液压和冶金计量等专业技术人员 800 多人，其中高级专业技术人员 130 多人。院内设有：传动研究设计所、计量仪表研究设计所，交流伺服系统研究设计所和冶金设计所；仪表研究设计部；冶炼、轧钢、连铸、炉窑、设备开发、管理计算机、机械等研究室；计算机系统开发实验室；情报资料室。还有 15 个相应的试验室及电控装置、仪器仪表、晶闸管、热工元件等产品的生产车间。

建院以来，我院的科研水平不断提高。把微电子技术和计算机技术广泛地应用于生产过程控制、企业管理、检测仪表、计算机辅助设计和仿真技术等方面。生产过程控制已由单机、局部自动控制装置发展成为多机、综合自动控制系统；研制的多种精度很高的检测仪表广泛地采用了微处理器的技术，并朝着数字化回路、集散控制系统发展；在电气传动方面，正由各种直流调速传动技术的开发研究，发展到各种形式的交流电动机变频调速的开发研究；液压传动、自动机械和机械仪表方面的开发研究工作也得到很大发展。

十七年来我院取得比较重大的科研成果 170 多项，广泛地应用于冶金系统炼铁、炼钢、连续浇铸、电冶金、工业炉窑、冷热连轧等工艺流程，在实际生产中发挥了显著经济效益，其功能及主要技术指标，多数达到了国内外先进水平。突出的成果有：双机驱动调速系统、长距离水下顶管工程分布式网络控制系统、双流水平连铸微机控制系统，国内最大功率(4600 千瓦)晶闸管可逆交流供电传动装置等，分别荣获国家发明奖和科技进步奖。机器人和数控机床的关键装置——高新技术交流永磁无刷伺服电机及其控制系统，已开发出科研成果，并已批量转产，荣获 1989 年国家火炬杯优秀产品的奖状和奖章。ICS—03 型铝电解微机控制系统，在全国工业控制机优选机型评比中，列为专用机类第一名。

十七年来，我院承包了冶金企业改造和新建工程 100 多项。承包工程的综合能力有了很大发展；承包工程的自动控制水平已由单机、局部自动控制装置发展为“三电”(电子计算机、电气传动、检测仪表)综合自动控制系统；承包工程的领域包括：炼铁、炼钢、电冶金、连续浇铸、工业炉窑、冷热连轧等生产工艺流程；承包工程的业务范围，也扩大到开发设计、设备制造和安装调试等。1989 年我院高质量、高水平、高速度地完成了四项独立承包的具有八十年代国际先进水平的综合自动化大型工程，它们是：重钢 1200M³ 大型高炉综合自动控制系统，唐钢高速线材轧机自动控制系统，宝钢 2 号高炉自动控制系统软件及辅助机组、成套硬件软件分交任务，鞍钢四机架冷连轧晶闸管电气传动系统。这标志着我院完成了由单机自动化向系统自动化的过渡，跨进了独立承包现代化大型工程“三电”系统的新阶段。

我院还建立了自己的“三电”自动化硬件生产基地，具有较强的产品生产能力，采用先进技术和装置，生产有关自动控制产品，每年生产产值达 2000 多万元。我院为冶金企业提供了有关自动化产品近 1 万台，用 800A / 4000V 晶闸管制造的供电装置，达到八十年代国际同类产品的先进水平，目前已有 500 多套 25 万多千瓦可逆和不可逆晶闸管传动装置在冶金企业生产中投入了可靠运行。我院生产炉窑用重油流量计、煤气热值仪、冷轧带钢接触式测厚仪、卡门流量计、真空高温金属内耗仪等产品，也以其质优价廉取得市场竞争的绝对优势。我院已成为生产这些产品的独家企业。还同国外建立了合资企业，共同开发生产可编程序控制器。

我院开发和推广的科研成果，承包的工程项目，销售的各种产品，开展的技术服务，不仅遍及全国 28 个省、自治区和直辖市，而且推广到国外，甚至越过重洋到达遥远的非洲。所做出的贡献，已使全国 120 多个城市的几百家冶金企业和其他行业，每年获得总计一亿多元的经济效益。

我院有工业自动化专业工学硕士学位授予权。1978 年恢复研究生制度以来，共招收培养了 100 多名研究生，并和外单位合作培养博士学位研究生。我院还派出一些科技人员出国进修和培训。

我院主持编辑出版了国内外公开发行的部级刊物《冶金自动化》期刊，同时编辑出版了《冶金计量》刊物。

我院还与美国、日本、联邦德国、荷兰、英国、法国、意大利等 20 多个国家和地区的企业、科研单位、高等学校、学术团体进行广泛的学术交流和业务合作，并派出 270 余人次的科技人员出国考察、学习、参加学术交流和进行技术合作。

我院还挂靠了两个专业学术团体，即：中国金属学会冶金自动化学会和中国自动化学会应用专业委员会。

我院现在已经发展成为一个学科专业比较齐全，仪器设备比较先进，科研水平比较高的冶金工业自动化的科学研究基地，成为冶金工业自动化技术的行业中心。

我院与国内外更加密切地合作，积极承接冶金系统和国民经济各部门、各行业(如造纸、玻璃、轻工、食品、城市建设及建筑材料等)委托的有关自动化和计量方面的科技开发、工程承包、技术改造、产品制造、技术咨询和技术服务等任务，以便更好地推动科技进步，提高经济效益，为冶金自动化技术的提高和我国经济建设的发展做出更大的贡献。

(科研处供稿)

本院地址：北京丰台路 84 号
邮政信箱：北京 919 信箱
邮政编码：100071

科研处电话：371558 或 372931-218
电报挂号：4283
电 传：22225ARSCCN

炉窑自动化研究室概况

冶金部自动化研究院的炉窑自动化研究室是专门从事加热炉、均热炉、焦炉、电炉等过程自动化的开发研究的研究室。已在各企业 30 多座炉子上实现了各类型的自动控制(见附表)。并取得了较好的控制效果和经济效益,从已通过部级和省级鉴定的成都无缝加热炉、本钢初轧均热炉、天津无缝加热炉和江西新余加热炉等的应用情况来看,一般都能节约能耗 10% 左右,氧化烧损下降 40% 左右,年经济效益可将设备投资收回。成都无缝加热炉微机控制项目分别获得冶金部和四川省科技进步二等奖。我所提供的燃烧控制系统采用国外先进的集散系统(美国泰勒公司的 MOD30 或 MOD300)和国内Ⅲ型仪表组成,还可根据用户需要配置操作站进行实时监控。控制系统稳定、可靠、编程容易、性能/价格比高见效快。

经过多年的推广、应用,我院炉窑室建立了一支技术力量强、应用经验丰富的队伍,能承担炉窑系统设计、软件设计、软件编制、配套设计、控制柜设计、安装、配线人员培训、现场调试等技术服务。也可和用户合作共同研制和开发,项目现场投运后一年之内免费服务。

在铁合金埋弧电炉上实现微机控制,首先是我院吉林铁合金厂使用研制成功的,它包括电极控制系统,配料控制系统,上位机,监督控制系统。经济效益显著,在工艺操作等条件配合下,电极控制部节电 4%,增产 3%,品极率提高 4%,配料部分节电 5%,增产 9%,品极率提高 8%,两项合计一台 16500KVA 硅锰电炉直接经济效益 100 万元以上,后来推广多台。该项目于 85 年荣获冶金部重大技术进步二等奖,86 年受到三委一部“六五攻关成绩显著表彰”。

冶金工业部自动化研究院工业窑炉自动化装备供货表

序号	厂 名	控 制 内 容	投产日期	备 注
1	北京钢厂小型轧材加热炉	炉温、空燃比、炉压等控制	1975	使用模拟仪表,ZLJ-I 型流量计,HT 型恒流阀
2	车底式退火炉	炉温、炉压控制、温度程控	1975	使用模拟仪表 PRT-100 程序设定器
3	成都无缝钢管厂 133 车间环形炉	温度、流量串级控制各段炉温间解耦 空燃比交叉制约、废气残 O ₂ 控制、总	1983.1	使用日本北辰 HOMAC 数字仪表
4	133 车间盘式炉	管压力炉压控制、烘炉程控、安全燃	1983.1	
5	216 车间环形炉	烧连锁、上下限报警	1985.1	
6	216 车间盘式炉	温控、空燃比控制、炉压、煤气、空	1985.1	同 上
7	本钢初轧均热炉, 1 [#] ,2 [#] 坑	气、压力控制、残氧控制、系统连 锁顺控、报警(坑盖开启时连锁)集中	1984.6	
8	同上,3 [#] ,4 [#] 坑	管理、显示、打印报表	1986.2	HOMAC 数字仪表, 带上级机 H-1160
9	天津无缝钢管厂加热炉	与序号 3 类似,另 CRT 显示 和管理打印报表	1987.2	日本横河 YEWPACK MARK-II
10	广州钢厂加热炉	同 上	1986	同 上
11	鞍钢大型厂 1 [#] ,2 [#] 加热炉	同上,但有 μ VAX-II 过程控制机, 附数学模型	1987 年底 ~1988 年初	使用美泰勒公司 MOD30, MOD300 控制装置
12	鞍钢大型厂 3 [#] 加热炉	同 上	待定	"
13	江西新余钢厂中板厂加热炉	类似序号 9	1988	使用 MOD30 控制装置

续 表

序号	厂 名	控 制 内 容	投产日期	备 注
14	酒泉钢铁公司加热炉	同 上	待定	使用 MOD30 控制装置
15	天津一轧厂加热炉	同 上	1987	使用菲利浦公司 PCS-3000 集散系统
16	长城钢厂一分厂锻造车间 两座锻造加热炉	同 上	1988	使用 MOD30 控制装置
17	吉林铁合金厂 103 号 铁合金炉(16500kva)	电极压放、功率控制	1984	使用 Cromenco SCC 总线(Z-80)
18	同 上	上料控制水份, 批量补正	1985.7	使用 Cromenco-3(Z-80)
19	同 上	数据采集、显示记录	1986	使用 DJS-040
20	邯郸铁合金厂 (1800kva 铁合金炉)	功率控制、数据采集、显示打印	1985	APPLE-II E-80
21	四川汶川铁合金厂, (1800kva 铁合金炉)	同 上	1986	同 上
22	四川青川铁合金厂, (1800kva 铁合金炉)	同 上	1987	同 上
23	辽阳铁合金厂 12500kva 铁合金炉 401, 402 号炉	配料, 上料, 功率调节, 电极压放, 数据显示, 打印报表	1988	使用西门子 PLC S5-115U
24	广西八一锰矿 12500kva 1#, 2# 铁合金炉	电极压放, 功率控制, 上料, 水份, 料批补正, 数据采集, 显示, 打印	1988	使用美 A/D 公司 MACSYM-350 系统, 共三台计算机
25	鞍钢四炼焦焦炉	热工控制, 数据采集, 显示, 打印	1988	IBM-PC 及 PLC S5-115U
26	唐山机车车辆厂电弧炉	电 极 控 制	1988	IBM-PC Z-80
27	各厂各矿共 3323 台	ZLJ-I, II 型旋转活塞式流量计	1975 ~1987	
28	各厂各矿共 1083 台	ZLJY 型流量积算器	1977 ~1987	
29	各厂各矿共 3059 台	GL 型过滤器	1975 ~1987	
30	各厂各矿共 345 台	HT 型恒流阀	1975 ~1987	
31	各厂各矿共 22 台	QY-01 型 ZrO_2 残氧分析仪	1985 ~1987	
32	各厂各矿	RZE-1, -2 型热值仪, W.I 热值指数仪	1979 ~1987	

目 录

冶金炉窑计算机控制的经验与策略	马竹梧	1
沈阳市工业炉窑控制系统现状及发展对策	李春泉	9
工业炉窑过程控制的新系统——MICROMAX	石景作	15
略论节能与节能控制	杨火柴	22
变结构加热炉计算机控制策略	杨永耀等	31
环形加热炉自校正控制系统	袁著祉等	37
加热炉钢坯温度数学模型及炉温最佳设定	袁著祉等	44
TDCS-2000 在我厂可控气氛退火炉上的应用	张兆璞等	51
多座锻造加热炉 MOD30 联网控制系统	沈曾平等	56
MOD30 微集散控制系统在加热炉燃烧控制中的应用	周 康等	61
特钢加热炉计算机控制系统	宋熙俊	67
辊底式连续退火炉的计算机控制	杨达先等	74
加热炉的节能控制	吴坚刚等	81
试论上位操作站在系统热调试中的作用	何 艾	84
连续式加热炉废气残氧控制	曾 捷	88
连续式加热炉热工控制及余热利用	游开兰	91
自动控制系统在工业窑炉中的节能作用分析	王丹宇	94
宝钢 2050m / m 热轧厂步进式加热炉燃烧控制系统	张启昌	102
宝钢 2050mm 热轧带钢厂加热炉数学模型	朱彤煦	109
500 轧机加热炉节能改造	陈世海等	121
JZTB-40 智能式四回路调节器用于燃油均热炉控制系统 中的组态设计	滕叙俊	127
工业热处理炉可编程温控系统	施菊明	138
STD 总线工业控制机在均热炉上的应用	罗才安等	141
QTS-STD8086 控制机及其应用	何克忠等	146
工业窑炉电脑温控仪	寿庆余等	151
30m 炉微机自动控制系统 30m-MCS	邱 治等	153
水泥立窑 Fuzzy 控制的研究	于长官等	159
热煤气马蹄焰玻璃窑炉的计算机控制	张福义等	166
水泥回转窑热工过程控制系统研制报告——Fuzzy 建模及控制 的应用	高玉琦等	172
玻璃熔窑料道直接电加热温度控制方案的讨论	吴嘉培	178
略论回转窑自动控制系统	闫德刚等	183
可编程序控制器在抽屉窑控制中的应用	张海燕	187
焦炉加热 LQG 自校正控制器	严德昆	191
搜索式间接自校正控制器(SISTC)在焦炉温控系统中的应用	吴石林等	200

焦化炉加热微机优化控制系统的研制	刘丹平等	207
自校正控制在倒焰窑温度系统上的应用	于长官等	218
专家控制在离子渗金属炉中的应用	张忠怀等	229
两万 KVA 电石炉生产过程的微机控制系统	陆培新等	236
基于非确定性产生式规则的埋弧炉监控系统	顾兴源等	241
唐钢铁合金矿热炉电极自控微机集散系统	李功荣等	247
黄磷电炉的自动控制系统	马宏远等	256
冶炼铅锌的密闭鼓风炉底部热风流量测量的 探索与实践	韩瑞琪	260
模糊控制电石电弧炉的微机系统	彭佩珍	262
中频感应加热的新技术横向磁场加热金属带的 成功应用	王万如	267
线性回归在线性变温微机控制系统中的应用	韩九强等	273
单片机控制工频电炉	党虹	279
一种新的自适应控制方法在电阻炉温度控制系统中 的应用	王晓平等	282
铁合金电炉分布式控制系统	李大达等	287
热处理电炉微机自适应控制系统	张昌凡	293
无超调最佳控制系统的设计	李镇铭等	297
感应加热用可控硅中频电源	俞松尧	305
碳纤维生产的微机温度控制系统设计	王保秀等	309
蒸汽锅炉热交换系统的试验建模	曾晓明等	316
锅炉燃烧系统智能控制器	宋春红等	324
糖厂渣煤混烧锅炉计算机控制系统	郑苏民等	329
4T / H 链条排式燃煤锅炉微机控制系统	申国荣等	334
微机在 20T / H 锅炉控制系统中的应用	张川渝	340
微计算机锅炉炉膛安全监控系统	沈新	344
工业燃煤锅炉燃烧过程建模和控制方法的研究	朱文忠	349
工业锅炉控制算法及生产软件的研究	郭兴安等	355
适用于一类工业炉窑对象的自适应 PID 控制方法	郑士忠等	361
工业链条炉计算机控制模型——介绍 GRK—计算机 控制系统	刘伏生	368
10T / h 燃油锅炉 Fuzzy 控制的试验研究	毛宗源等	373
循环流化床锅炉专家控制系统设计	李重远	381
节能型锅炉给水自动控制系统	张海波	389
35T / H 循环流化床发电锅炉分析及 DCCS—100 型分布式微机 控制系统简介	周创世等	394
循环流化床锅炉燃烧控制模型的研究	唐涛等	400
液态排渣炉的数学模型	丁萃菁	408

多变量非线性辨识在除氧器上的应用*	林瑞桑等	413
一种管理决策模型和自适应 PI 数学模型	车培轩	420
TI530C 可编程序控制器在工业苯生产中的应用	杨溪林等	425
一类新型最优控制器及其在间歇控制系统中的应用	于长官等	429
EFMS-1 型电弧炉炼钢微机控制系统	罗福州等	433
预测控制在电弧炉炼钢过程中的应用	李静如等	439
微机钢水快速测温系统	衣成斌等	444
炼钢电弧炉吹氧降碳过程建模与仿真研究	孙彦广等	450
测温定碳仪在微机控制系统中的应用	刘伟等	457
N-90 控制系统在烧结炉点火器上的应用	李道新等	462
多功能分布式微型计算机控制系统的设计	陈欣等	471

冶金炉窑计算机控制的经验与策略

马竹梧

冶金部自动化研究院

本文扼要地叙述冶金炉窑计算机控制的效益,有关发展冶金炉窑计算机控制的关键,即系统、硬件、软件和人员问题,提出了目前空白的、难以控制的加热炉控制方案以及监控机的有效功能。文中最后提出了发展冶金炉计算机控制所应采用的策略。

一、前言

各种工业炉窑是冶金企业的主要设备,它存在于各个工艺过程并处于关键位置,直接影响产品的产量、质量和成本。我国钢铁工业的能耗很大,占全国总能耗的 18% 左右,是工业部门的最大耗能户,而冶金炉窑耗能占极大比例,仅热轧过程中的均热炉和加热炉的能耗就占该厂的总能耗 60% 以上,而冶金炉窑数量又非常之多,据不完全统计,主要冶金企业至少有加热炉五百多座,仅上海冶金局就有 62 座,故其有效操作是很必要的,据有关资料统计我国现有工业炉窑只要提高效率 1%, 每年就可节约相当于 300 万吨标准煤。

多年经验证明,加热炉采用微型计算机控制以后,可以收到如下的效益:

1) 节约能源 采用微机控制炉温、炉压、空燃比和残氧以后,一般能节能 10~20% 左右,最近鉴定的江西新余钢铁厂和冶金工业部自动化研究院(简称 ARIM)共同开发的该厂中板厂加热炉微集散控制系统运行结果表明,它比之手动控制时,每吨原料燃气消耗节约 85.4m^3 , 即 32%, 仅全年节约煤气 1098.43 万 m^3 一项就可创效益 96.92 万元。

2) 减少钢坯的氧化烧损 加热炉采用微机控制以后,一般能减少氧化铁皮 1% 左右,对于一个中型厂的每座加热炉来说,经济效益每年达数十万元。

3) 提高加热质量 采用微机控制特别是采用监控级过程机内数学模型进行优化供热控制,由于加热钢温波动小,能与轧机很好配合,出炉钢温稳定而使轧制稳定,断辊次数减少。

4) 延长炉体寿命,减少修炉次数及提高作业率 根据成都无缝钢管厂在其 216、133 车间统计,可以提高作业率约 5%, 减少修炉 4 次(年经济效益 6 万)。

5) 提高操作水平和管理水平,减轻工人劳动强度 在监控级中采用各类技术计算而随时监视燃料利用率及热效率等,并借助各类表报利用对炉子作科学的分析,采用 ARIM 的存贮式测温仪测量在整个钢坯自入炉至出炉整个加热周期的温度变化曲线而有利修正加热制度以改进操作水平,采用加热炉钢坯跟踪技术而能实现出钢批号自动管理和预报,消除差错以及落后的放置一块耐火砖作为记号的方法而提高管理水平。

从以上叙述表明,使用微机控制炉窑的效益已是没有怀疑的了,它已为国务院电子振兴办列为推广项目,故目前问题是如何有效的推广和发展的问題。

1. 炉子的可控性

这是至关重要的，主要是指炉子的先决条件，即具有较好的炉型，炉壁材料(具有高热辐射能力的材料作炉体炉衬及涂料等)与隔热(良好的炉顶绝热)，足够的烟囱抽力及可控闸门，合理的烧咀布置，即正确的均热段与加热段的管道分段和足够容量的风机，正确性选择调节阀的直径以获得近乎线性的特性等。

2. 合理的自动控制系统结构和足够的功能

多年来的实践经验以及国内外最新的进展和趋向，可以认为自动控制系统应该是数字化，电脑化和一体化的系统，其结构将如图 1 所示，除基础自动化以外，还须有监控级的两级三电(仪控、电控、监控计算机)一体化的系统是合适的⁽¹⁾，这种系统具有高度的精确性(数字化)，灵活性(可编程，便于扩展)，完整性(可作为全厂一环，可作为一个站连于上级网络之中)和安全性以及可靠性(危险分散和自诊断)。这样做既保证设备级正确控制，使炉窑各参数严格控制在所规定数值上，且在过程级实行监视炉窑的状态，包括显示工艺流程，各种参数的瞬时值，趋势曲线，报警状态，计算表征炉子各种操作指标的复合参数，打印各类报表，和上级通讯以致最优化控制而收到最大效果。

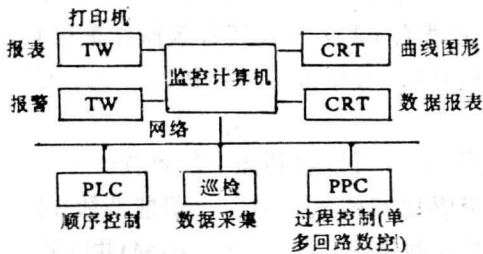


图 1 炉窑三电系统图

该系统适合于各种炉窑使用，就是因各种炉窑控制回路数目的不同和工艺要求不同而略有数目上的变化和数学模型、技术计算公式以及收集数据和处理量不同而使应用软件有所变化。对于常用冶金加热炉似乎专门设一巡回检测数据收集装置并不总是必须的，而作为电控用的可编程序逻辑控制器(PLC)则将视控制须要(例如是

否须自动控制推钢、出钢机械和辊道等)而决定取舍。

有关系统的功能，应该是先进的，满足工艺要求的，以冶金加热炉为例应该满足合理的燃烧和合适的供热和其他满足工艺的次要项目，它除了常规的炉压、炉温和煤气，空气串级交叉控制，煤气和空气总管压力控制以及安全连锁(煤气、空气总管压力低时自动切断煤气总管阀门和停止风机，空气温度过高时实现自动放散，关烧咀时先关煤气后关空气，开烧咀时先开空气后开煤气阀门等顺序操作)以外，下列两项证明是必须的而且很有效的：

(1)残氧闭环控制 文献〔2〕指出，保持恰当的空燃比使残氧处于低氧下燃烧(1~2%)时是最优燃烧区，即热效率最高，总热损失最少(即烟囱走的热损失和不完全燃烧的热抽失较低)，公害也最少，而靠人工设定空燃比，往往由于根据火焰开关、透明度和颜色而不难辨别缺氧，但空气超量却不易察觉，测量重庆钢铁公司的许多加热炉表明，大多数炉子废气中氧浓度约为 8~10%，而当氧含量达 8%时为氧含量 1%时增耗燃料 20%，因此有自动控制残氧才能使之在低氧中燃烧而收到节能效果，此外还将降低钢坯在炉内的氧化烧损而提高产量与改善质量。

残氧闭环控制是用氧化锆氧分析仪检测炉内气氛的含氧量，再根据测得的值对空燃比进行一定的修正。由于加热炉是多段控制的，在理想情况下应在每一段都检测含氧量分别

修正各段的空燃比，由于均热段，加热段的温度很高非通常的氧化锆分析仪可以解决，ARIM 生产的 QY-01 型氧化锆炉壁式残氧分析仪可以用于气氛温度 1400℃ 下，用此可以满足要求。然而由于氧分析器较贵，故更常用的是只在预热段安装一台氧分析仪以检测炉内气氛含氧量，然后根据工艺要求对各段解耦，分别修正各段的空燃比。修正算法为

$$\mu_i = a_i O_2 Q_p + b_i, \quad i = 1, 2, 3$$

式中， μ_i 为各段空燃比的修正系数； $O_2 Q_p$ 为残氧控制回路的输出值； a_i 为三段空燃比的变化范围； b_i 为三段最低空燃比。

此外由于残氧检测滞后时间较大，故要对其进行滞后时间补正，通常是用斯密特预估的方法。

所有这些计算，借助于数字仪表是毫无困难的。

(2) 煤气热值补正 由于混合煤气的热值波动较大，在波动时将导致炉温变化以破坏最优的空燃比，而单纯借助于炉温自控系统和残氧闭环控制系统来校正，将导致炉温波动以及残氧值波动，难以获得很稳定和控制良好的结果，因而对煤气流量引入下式的热值补偿方法

$$F_g = F'_g \cdot f(Q) \cdot f(T)$$

式中 F_g 为补正后的流量； F'_g 为补正前的流量； $f(Q)$ 和 $f(T)$ 分别为热值修正函数和温度修正函数。在新余钢铁厂中板加热炉就是采用 ARIM 生产的 RZB-1 型热值仪组成煤气热值补正系统而获得良好效果。

3. 良好的硬件和丰富的支持软件

控制系统硬件的选择主要应从性能 / 价格比和可靠性 / 价格比这两方面来考虑。表 1 列出了目前炉窑控制硬件的几种可能选择。

表 1 炉窑控制硬件的几种方案

名称	投资	支持软件	语言	编程人员 要求	硬件抗干 扰可靠性	扩展性
TP801 型等单板机	较低	差	Z80 汇编语言等	有一定软 件知识	差	差
用各种模板 (如 01-6809; Intel 8080 等模板)	中	差	各种语言		中	中
工业可编程 过程控制器	高	丰富, 有自 诊断功能	面向用户语言	组态无须专 门软件知识	好	好

表 1 所列的三种方法目前在我国炉窑中均有使用，且不少人争论认为单板机价廉，可以应用，然而国内外的趋向和经验表明第一、二种已经日渐淘汰而趋向于第三种，ARIM 开展加热炉多年，开始是用单板机，接着使用 Intel 公司的 SBC 板组成系统，现在已经不再使用这两种方法，而使用单回路或多回路可编程过程控制器组成微型、大型集散系统，前者用以控制一般冶金加热炉，后者控制更复杂例如回转窑等较大型炉窑。不少工厂例如重庆钢铁公司五厂中板加热炉，最初使用 M6809 的模板组成系统，使用一段时间以后便全部拆除而改用 KMM 型单回路数字控制器，在国外日本钢管公司开始也使用 Intel 公司

的 SBC 板组成各类微机控制系统，而现在也已不再使用而采用工业集散系统。这不仅由于这种集散系统是专门设计为工业控制用，具有高度的可靠性(MTBF 超过 10000 小时)，很强的功能，良好的特性和很强的面向用户的支持软件，而且大多数公司已经组成成套集散系统了(表 2)，如 ARIM 推荐并已在十多个工厂的加热炉均热炉使用的美泰勒公司的 MOD-30 系统，它如图 2 所示结构，每个 MOD30 系统可分为 8 个控制组，每个控制组可包括 15 台 MOD30 仪表(控制器，顺控器，运算器或记录单元，任选 15 台)，一个 MOD30 系统最多可拥有 120 台仪表，它可以通过仪表通讯网络 ICN 使各仪表连起来并上通监控机，亦可作为 MOD-300 大型集散系统的高速 DCN 网(通讯速度达 1MB/s)的一个结点，ICN 最长传输距离可达 2000 英尺，传输速度为 31.25K 波特。它有丰富的支持软件，除了单回路控制器的各种运算，PID 等算法的常规软件外，其监控机除了原 IBM-PC 的操作系统等软件以外，还有作为组态用的软件，实时操作软件，仿真软件等，它可作为监控，也可作为编程器和仿真器，它有各种图形生成器，容易形成各种图形以及汉字等。它的性能价格比比之国内同类型数字仪表更便宜和功能更强而适合于炉窑控制。

表 2 几种微集散系统

各装置特性 系统名称	单回路控制器	监控机	最大回路数
美泰勒公司 MOD-30 系统	XL	IBM-PC	120
西德西门子 Teleperm-D 系统		Sicomp 16	32
日本的山武-霍尼韦尔	KMM	NEC PC-9801	50
美 Fisher&Control		IBM-PC	
美 Foxboro	750	IBM-PC	

虽然它的投资比之单板机模板要高些，但系统组态方便、可靠、故障少、功能强、上马见效快，且投资很快回收，根据新余钢铁厂中板厂加热炉的经验表明，用 MOD30 微集散系统控制的结果，年经济效益为 160 万元，即年内可收回系统投资额近 5 倍，因此仍然是最可取的。

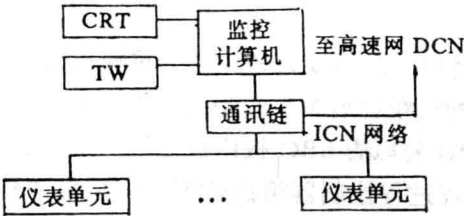


图 2 MOD-30 微集散系统结构

4. 人员

它是指使用部门要有一支热心计算机控制，有一定技术知识，经过短时培训能解决硬件软件维护和修改的队伍，它是使系统能良好运行和发挥效益的先决条件，与研究设计部门共同开发，各发挥所长是使炉窑自动化快上马、见效快、长久运行的关键。

三、发展炉窑自动化的策略及今后展望

炉窑自动化的效益和必要性已经没有争议了,然而现实的情况是能够说得上且见效果的自动化炉窑仍然不算太多,大部分处于手动控制和高消耗之中,因而必须制定相应的促进发展的策略和解决尚未解决的问题,下面的几点是关键的:

1. 要有一个功能完善可靠并投资少,国内可解决的和易于上马的硬件系统
炉窑自动化硬件的取得有表 3 所列的几种方法。

表 3 解决炉窑自动化硬件的几种

序号	名称	成套性	实现难易	外汇	维修用 硬件	投资
1	国外成套 硬件、软件	好	极易	需要	易以预料	极贵
2	仅引进国 外硬件	好	尚可	要或不要 外汇均可	尚可取得	少
3	国内市场采购	差	难	不要外汇	易取得	少

第一种方法由于国外软件与硬件之比约为 3 比 1,总投资过大而不可取,第三种方法要组成很强功能系统有一定困难,虽然国内已生 DZT-01 型通讯转换器,可以把多台 KMM 单回路数字仪表与长城 0520 个人计算机连接起来成为两级系统,但要达到 MOD-30 那样的功能和这么易于上马还有较大距离,且 KMM 事实上虽名为国产实质大部分部件还是进口,故价格往往比第二种方法还贵,所以目前条件之下硬件采用第二种方法或第三种方法是可取的。但是今后的策略应该是开发全部自己的硬件系统。

发展硬件采用什么策略呢?不少单位甚至七·五集散系统高速网的攻关多采用从头开始自行设计的方法,看来这是费力不讨好的方法,因此应采用下列的策略:

(1)消化移植 世界上的物质都是互相借鉴在此基础上创新以达到最高水平,日本就是这种方法,我们应选取一种国外认为性能较好的集散系统,按此仿制创新。

(2)吸收国际上许多公司发展硬件的方法,即一个公司不是全部部件,模板都自行制作,而是利用社会上其他公司的物质基础和产品,购买 OEM 产品,然后稍作补充,开发软件成为完整的工业控制系统,这种方法日本、西德的公司基本不采用,因为他们国内市场没有这类产品,且公司规模大,故自成一体全部均自己生产,而美国则不然,有大量 OEM 产品,从特殊组件(利用标准的有千多个门的芯片,设计逻辑,自行连线封装成为新组件)到成套系统不少公司走这一道路,例如美泰勒公司的先进的多回路分布式控制系统,其大部份插板是标准 OEM 产品, CRT、打字机更是标准产品,只不过开发一些软件,作一个外壳,贴上 MOD-300 的商标。再分析一下 MOD-30 系统,其监控机虽然有 MOD-30 标签,实质上是一台 IBM-PC / AT 型个人计算机,内加四块小板(高分辨图形显示板,图形存储扩充板,带 128K 内存的 Intel AT 故障板,串行接口),在软件方面除原有 IBM-PC / AT 机原来所带软件外,本控制系统还附加 AT 机组态软件,实时操作软件和仿真软件等。AT 机键盘上的功能键具有新的含意,即 F₁: 状态目录键; F₂: 趋势显

示键; F_3 : 前一画面显示键; F_4 : 用户画面显示键; F_5 : 报警确认键; F_6 : 斜坡上升键; F_7 : 向前/后选择键; F_8 : 斜坡下降键; F_9 : 手动键; F_{10} : 控制键。另外, 当数字键和 ALT 键同时按下时也有着新的含义, AT 机在实时操作时有 8 种标准显示: 标志目录, 状态目录, 状态, 报警概况, 趋势目录, 趋势, 历史趋势, 调整状况等。它的 ICN 网络是使用仪表通讯键来执行, 是标准的 Motorola 公司的插板, 仅三块(I/O 接口板、CPU 处理板和仪表通讯网络接口板)而做成, 它只制造 XL 调节器(国内可用 KMM 代替), 程序器, 运算器等就组成新系统。因此发展炉窑自动化硬件的策略应用国内已有数字仪表, 模板, 开发软件而组成高性能的集散系统, 此外还须适应更大的炉窑需要, 应开发如图 1 所示和巡回检测和 PLC 的接口以形成国内完整系统。

2. 关于监控计算机功能的策略

目前加热炉计算机控制基本是设备级, 很少有监控级, 就是有的话, 其功能也很差, 有限的曲线表格或只表现工艺流程的画面, 因此作用不大; 那么如何发展监控机的功能, 下面几点是主要的。

(1)要有较多的较丰富的能作为操作指导易看、易懂、易解析的画面。

(2)要大力发展技术计算 由于数学模型开发困难, 且其技术较复杂, 掌握不易, 修改不易, 精度和适应性较差, 故策略上应首先实行上马易而效果大, 能作为操作指导, 监视炉子状态和便于科学分析以改进操作的各种技术计算, 而收到较大经济效益, 然后积累数据再进一步开发数学模型。

技术计算包括简单的计算如钢耗燃料量, 小时、班、日的生产率等技术经济指标, 以及复合的计算, 如按下列公式计算燃料利用率 η_f 和热效率 η

$$\eta_f = 100 - 42L_0 / Q_{dw}^y \{ [V_0 / L_0 + 0.891(\alpha - 1)] (t_f - 100) - dC_a t_a / 0.42 \}$$

$$\eta = \eta_f \cdot t_f / (t_f + \beta)$$

式中 L_0 为单位燃料完全燃烧所需的理论空气量; V_0 为单位燃料燃烧后生成的理论废气量; α 为过剩空气系数; t_f 为烟气温度; C_a 为空气比热; t_a 为空气预热温度; Q_{dw}^y 为燃料热值; β 为热损失换算温度。

依下式计算钢坯存贮的热 H_{PETN}

$$H_{PETN} = STMHT - (FGLOSS + WATLOSS) + HRECOV + \sum_{i=1}^5 HTIN(I)$$

式中, STMHT 为蒸汽带入热; FGLOSS 为废气热损失, WATLOSS 为冷却水热损失; HRECOV 为预热器回收热; $\sum_{i=1}^5 HTIN(I)$ 为输入炉子每一区的热。

(3)要开发带辅助专家系统(ESAI)的数学模型 从 70 年代中我国武钢从日、法引进的 1700 工程, 冶金加热炉已经由数学模型控制, 以后国内也开发一些数学模型, 基本上两类方法, 即以工艺理论为基础和工艺理论辅以现代控制理论, 前者如武钢 1700mm 从日本引进的热连轧, 其加热炉是最佳加热曲线, 热状态模型, 出炉钢坯温降模型从面计算最佳设定值以组成加热炉最佳定值控制系统, 以后国内开发的由钢坯温度分布模型, 热平衡模型, 正常轧制工况炉温优化设定模型和介轧延迟非正常工况炉温控制模型, 以得出精确钢坯出炉平均温度和最大温差以满足工艺要求, 都属这类方法。后者如天津轧钢五厂的加热炉模型优化技术的递阶计算机控制系统, 它首先利用差分及系统分解方法将描述钢坯不稳定导热的偏微分方程和相应边界条件转化为离散状态方程而建立加热炉动态数学模

型, 并以满足轧制条件为约束, 实现以降低能耗为间接指标的非线性优化求解加热炉关键点炉温设定值。重钢 2450 轧板厂的加热炉启发式优化策略亦属这类模型。

虽然这些数学模型也起了一定作用, 由于这些模型, 虽然理论上无大问题, 但大都较复杂, 且在我国条件下, 原料多变, 操作不标准, 适应性差, 且模型修改困难, 故迄今为止, 模型起作用仍有限, 不少用一段就不好用, 且难以推广, 因此要求解决这个问题。

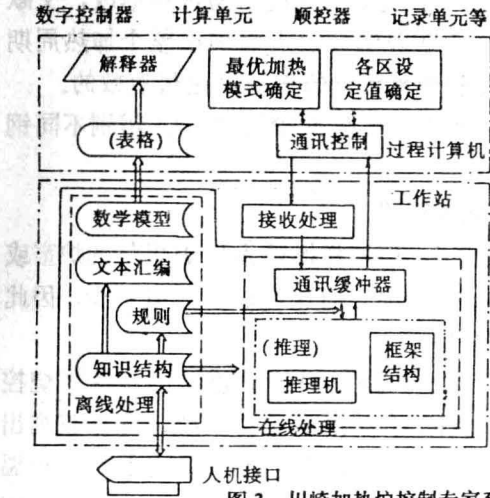


图 3 川崎加热炉控制专家系统

由于国外人工智能的发展和实用化, 特别是模糊控制和专家系统(ES)取得成功, 例如炉控方面, 水泥窑模糊的优化控制, 日本川崎制铁的加热炉也搞专家系统进行加热炉燃烧控制, 以炉子耗能最小, 钢坯的目标抽出温度和时刻的最优控制, 即炉内各钢坯的抽出图表制作要满足钢坯的制约条件使消费能量最小的升温模式, 并和钢坯实际计算温度比较而确定设定值, 它是如图 3 所示, 即按有经验的操作人员知识, 并参照数学模型计算结果而进行推理的专家系统。在国内这类人工智能

虽然有研究, 但都是基础自动化性质, 如模糊控制器则仅用以代替 PID 控制的负反馈系统, 并且由于其非标准形式, 形成规则(If...then...)也较复杂, 往往与 PID 控制结果相比看不出有多大优越性。至于专家系统主要是低层次的, 即只单纯根据工人的操作经验用规则式方法组成知识库推理机进行直接操作指导, 而很少考虑自控发展经验, 即由于生产

表 4 专家系统和常规程序之间差别

专家系统	常规程序
采用符号计算过程, 对词、词表进行操作	采用数值计算过程对数值进行操作
启发式搜索控制, 失败则回溯寻求别的路径	被算法控制, 运行步骤按照一定条件排好
控制结构和知识分开, 便于增删	控制结构和数据紧密相关, 交织在一起
在程序执行过程中可以中断, 方便向系统询问, 寻求解释	除外在动态调试排错时, 运行中解释毫无意义
通常可接受满意回答不止一个, 取决于所用目的	最佳解释是唯一的答案
用户不正确回答, 系统可接受, 但通常导致提示性参考信息	只有正确回答(数据)才具有意义

过程参数很多, 操作员难以综合, 而利用计算机并按一定数学模型计算出结果来指导或直接控制生产, 甩开数模的专家系统必然是功能不强, 因此我们应认真研究数学模型, 并研究他们的缺点, 再附加工人的操作经验以提高模型精度即组成如图 3 所示的, 亦可名为“带辅助专家系统的数学模型”才是最有效的。如表 4 所示, 专家系统的优点显然是由于控