

# 冶金自动化系统浅析

中国工控网 (www.gongkong.com)

冶金生产过程的自动控制包括对采矿、选矿、冶炼、浇铸、轧材等主体生产过程和供水、电、热、氧、气等辅助生产过程的控制。现代冶金企业采用计算机把生产过程控制和生产管理结合成统一的整体，大大提高了自动化程度。20世纪50年代在冶金生产过程控制中开始采用顺序控制器和模拟调节器。60年代英国首先建立全线采用计算机控制的热连轧机。随着微型计算机的推广，冶金企业已经采用计算机建立完整的计算机控制和管理系统。在我国冶金自动化及企业信息化系统中，企业资源管理ERP、制造执行系统MES、生产过程控制系统PCS已经建立，并日渐完善和成熟。目前国内常把冶金自动化系统分为5级，即企业管理级（L4级）、生产控制级（L3级）、过程控制级（L2级）、基础自动化级（L1级）、电气和液压传动控制系统（L0级），见图1所示。纵览冶金企业5级自动化系统，可以看出自动

化软件、PLC、DCS、IPC、现场总线、高低压变频、传感器与仪表等自动化产品已经应用到冶金生产的多个环节，处处彰显冶金自动化技术应用的价值和发展空间。实现冶金自动化，可以大大提高劳动生产率 and 产品质量，减少流动资金的占用，改善劳动条件，获取很高的经济效益。

## 1. L0级

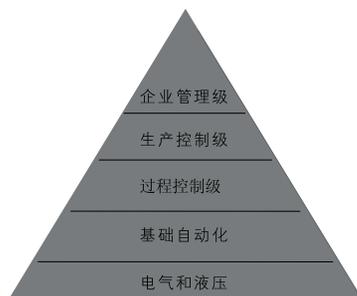


图1 国内冶金系统自动化分级

L0传动级主要完成传动设备本身的控制、I/O控制和管理。在现代化的控制系统中，变频器、直流调速器、执行机构等传动设备由本体CPU数字装置控制和监视，并与L1

级在网进行数据通讯。

## 2. L1级

L1级基础自动化系统完成冶金轧线、高炉等顺序控制、逻辑控制和设备控制，通常使用PLC、DCS和IPC。完成炉区、粗轧机、热卷箱、精轧机、液压活套、层流冷却、卷取机、运输机等设备的位置、压力、速度、张力等控制功能。包括可逆轧制控制、热卷箱控制、飞剪控制、精轧速度控制、液压活套高度及张力控制、液压HAPC控制、精轧液压HAGC控制、终轧温度控制、卷取速度张力控制、液压助卷辊自动踏步控制（AJC）、自动厚度控制（AGC）、自动位置控制（APC）、自动宽度控制（AWC）、板形控制（ASC）、卷取温度控制（CTC）等。

在基础控制方面，以PLC、DCS、IPC为代表的计算机控制取代了常规模拟控制，已在冶金企业全面普及。

## 3. L2级

L2过程控制级完成过程数据的收集、过程监视、原燃料管理、专家系统数学模型、生产操作指导、数据通讯、历史数据存储和处理、报表打印等功能。L2过程控制级的核心内容在于各种数学模型，包括：粗轧模型、精轧模型、板形模型、CTC模

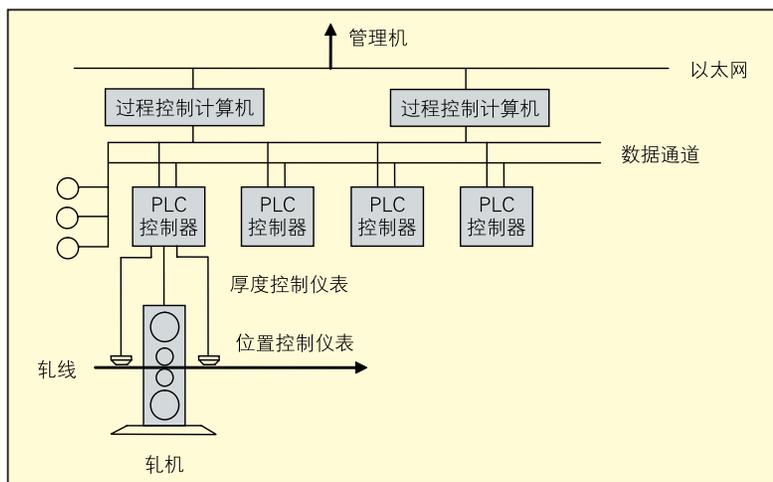


图2 冶金生产过程自动控制系统

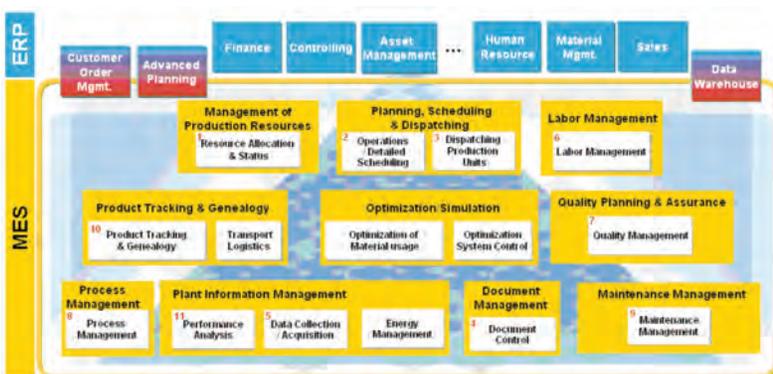


图3

型和自学习模型等。精轧设定模型、卷取温度控制模型、卷取设定模型、板形设定和控制模型、自动宽度控制模型、加热炉自动燃烧控制模型。一般采用高性能PC服务器担任过程控制计算机，完成模型设定和计算以及自学习功能。主要功能包括：板坯初始数据及轧制计划管理、加热炉数据跟踪、轧制节奏计算、设定计算、模拟轧钢和轧辊数据及生产数据管理和历史数据管理，还可以生成班报、日报、工程记录和生产报告（包含质量分类报告）等各种类型的报表。

#### 4. L3 级

作为企业信息建设的重要组成部分，L3级生产控制级，MES系统包含多种不同的功能。功能的取舍，取决于特定的工厂环境以及所期望的效益。冶金企业MES肩负着L2和L4

之间的桥梁作用，完成数据交互，进行设备维护管理、生产计划管理功能。

目前从功能上来讲，MES用于信息集成和事务处理的层面多一些，决策支持和动态管理控制作用还没有完全发挥出来。近年来，冶金企业逐步认识到MES（制造执行系统）的重要性，在综合应用运筹学、专家系统和流程仿真等技术，协调生产线各工序作业，进行全线物流跟踪、质量跟踪控制、成本在线控制、设备预测维护等方面取得了初步成果。

以Siemens MES为例，见图3所示，包括以下功能：

资源分配、操作/详细排产、分配生产单元、文件控制、数据采集、劳动力管理、质量管理、生产管理、维护管理、产品的宗谱与产品跟

踪、性能分析等。

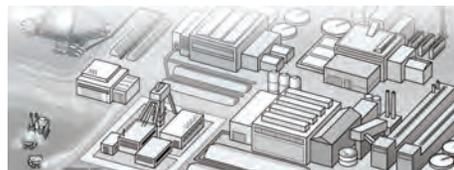
#### 5. L4 级

L4级企业管理级，主要用于实现计划管理、质量管理、实绩跟踪、轧辊管理、板、方、管精整管理、板、方、管库场管理、发货执行管理、报表及设备状态管理、通讯管理、调度管理等等。

随着企业管理水平的不断提高，“信息化带动工业化”在冶金企业成为共识，企业信息化方兴未艾，受到企业领导高度重视，各企业纷纷开始信息化规划和建设，很多企业已经构造了企业信息网，为企业信息化奠定了良好的基础。ERP不仅仅涉及MES，甚至和L2级、L1级关系也很大。水平涉及所有业务流程：原燃料采购、运输、计量、质检、收货流程，焦化、烧结、炼铁等投料、产出和质检流程，炼钢的投料、产出和质检流程，型棒、线材、中板、卷板等轧钢的投料、产出和质检流程，半成品和产成品的入库、移库、出库、计量、运输等流程；纵向涉及L0，L1，L2，L3级自动化。ERP是建立在信息技术基础上，以系统化的管理思想整合企业内部资源，对采购、生产、成本、库存、销售、运输进行计划，从而达到最优及最佳资源组合，为企业提供决策运行手段的管理平台。

本文将重点对冶金系统选矿、高炉、转炉、连铸、连轧机的基础自动化和过程自动化控制系统进行说明。

#### 选矿自动化



对矿石的破碎、磨碎、分级、选别、过滤脱水、精矿出厂和尾矿处

理等过程进行的自动控制。实现选矿生产过程自动化，可以大大提高劳动生产率，提高选矿回收率和精矿品位，改善劳动条件，降低药剂和电能的消耗，使选矿生产更加经济合理。

20世纪50年代前就已实现了选矿机械化。60年代初，开始应用选矿过程工艺参量自动检测仪表，如金属探测器、浓度计、pH计等。70年代初，检测金属含量的在线X射线荧光分析仪和计算机配合，实现了对浮选过程的实时控制。与此同时，以利用计算机研究选矿过程特性和确立数学模型为基础的最优控制随之用于生产。目前各种新技术，如超声波、激光、红外、微波和放射性同位素等，在自动检测技术中得到了广泛的应用。采用在线矿浆粒度分析仪直接对磨碎产品粒度进行分析和控制，提高了磨碎产品的分级效率。

选矿自动化系统按其功能分为自动操纵系统、自动监视保护系统、自动检测系统、自动调节系统和调度管理系统。

### 1. 自动操纵系统

按预先设计的程序自动操纵某些生产设备进行周期性操作，在破碎过程中对某些设备（如各段破碎机、皮带运输机、振动筛、油泵等）按流程要求进行顺序的启动或停机，按照规定的时间顺序或逻辑顺序依次完成各种操作。

### 2. 自动监视保护系统

利用各种信号连锁装置和工业电视对破碎机、磨碎机、皮带运输机等运转状态进行监测，对生产过程中各储矿仓排矿口和皮带转载漏斗等关键部位及料流进行监视。借助流程模拟盘、工业电视或屏幕显示器监视整个系统的运行状况。当某一工艺参数超出允许范围时，监视保护系统便自动地发出声光信号，进行报警或

预报警，同时自动打开安全机构并停车。

### 3. 自动检测系统

对重要工艺参量（如矿物粒度、矿浆浓度、矿仓料位、泵池和浮选机的液位、矿浆酸碱度、金属含量、矿量、水量、药剂量、电耗量等）进行连续测量、分析、指示或记录，同时将上述参量转换成电信号，以便计算机进行处理和储存，实现选矿过程和调度管理的自动化。

### 4. 自动调节系统

在选矿过程中，各种工艺条件（如原矿硬度和粒度、磨碎机和分级机补加水的水压等）变化很大，为了使某一工艺参量在受到外界干扰影响时能恢复和保持在规定的数值范围内，需要采用各种专用自动检测仪表，控制设备或计算机与被控对象一起组成自动调节系统，对某些关键工艺参量进行自动调节。选矿厂的主要生产过程都在不同程度上实现了自动调节，其中以磨砂分级和浮选过程的自动调节最为重要，因为这两个过程决定选矿产品的产量、质量、金属回收率和电能消耗。

图4表示一个典型的磨碎分级过程。计算机自动控制系统的控制目标

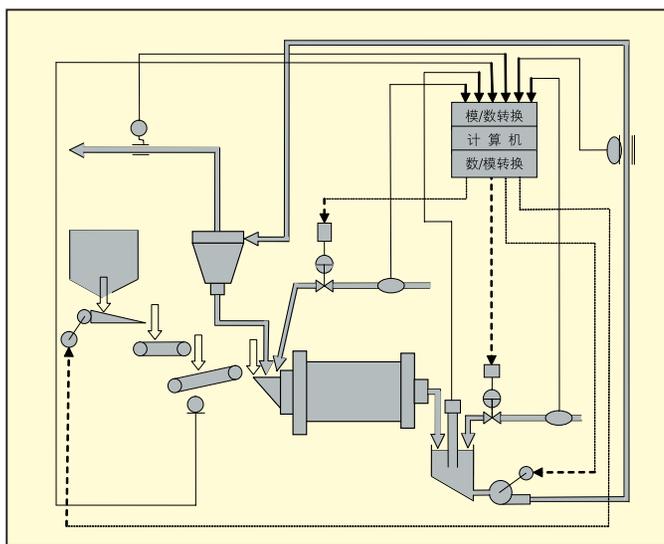


图4 磨碎分级过程自然调节系统流程图

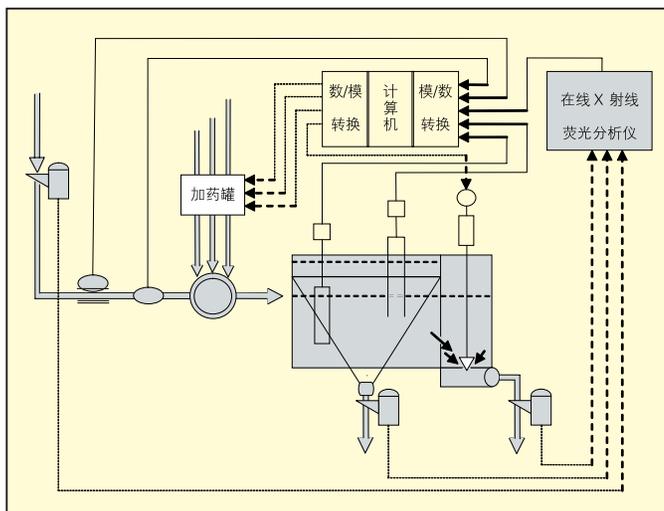


图5 浮选过程自动调节系统流程图

是：保证水力旋流器溢流矿浆粒度合格，使有用矿物与脉石达到单体分离，满足选别过程要求；保证磨碎分级过程稳定，使球磨机处理能力最大。在线自动检测仪表连续检测主要工艺参量并将其转换成电信号，送给计算机。计算机则根据事先建立的数学模型计算出原矿给矿量以及球磨机和矿浆池给水量的最优值；向给矿机的调速电动机、调节阀的电动机执行机构和矿浆泵的变速装置发出执行信号，自动调节球磨机的给矿量、球磨机和砂浆池的给水量、给入水力旋流器的砂浆量，以保证磨砂分级过程的

阶段产品合格。

图5为浮选过程自动调节系统的流程图。它利用浓度计、流量计、pH计、液位计和在线X射线荧光分析仪在线检测入选的砂量、砂浆的pH值、浮选机矿浆的液位和矿浆的原矿、精矿和尾矿的品位；计算机则根据矿量和品位等在线测量结果，并利用预先建立的浮选过程数学模型进行参量计算，自动调节各种药剂的添加量和浮选机的液位，以便获得最好的浮选结果。

选矿自动化的发展集中于：在自动检测方面主要研究直接测量矿石的类型、轻金属含量、矿浆泡沫层厚度、矿物离解度和矿浆粘度等问题。在选矿过程控制方面主要研制多变量控制器，解决在磨碎分级过程控制中多变量相互影响的问题；用卡尔曼滤波器辨识矿石硬度扰动并对其进行补偿，实现最优控制。在浮选过程控制中，利用计算机在线连续估计模型系数，按最小方差目标不断修改系数，实现自校正控制。用多台微型计算机组成集中分散控制系统，对选矿各生产过程实行集中管理下的分散控制，则是选矿自动化的又一明显趋向。

## 高炉自动化



现代化的高炉炉容已超过 5000 立方米，日产生铁1万吨以上，实现高炉自动化对于降低能耗、提高产量和质量具有重要意义。20世纪50年代，高炉已采用了程序控制上料和仪表控制热风的技术，60年代中期开始用电子计算机对高炉进行局

部控制。从70年代中期起，世界上已有40%左右的高炉使用计算机控制炉况，并进一步实现高炉管理的最优化。高炉自动控制系统由检测仪表、控制装置、程序控制器、微处理机和过程控制计算机组成，按功能可分为装料、布料、送风、炉况、炉顶煤气等自动控制系统。

DCS, PLC, IPC是自动控制领域的三大支柱，它们之间竞争激烈，但又取长补短和相互渗透，相互融合。冶金行业高炉监控作为较典型的工厂自动化决定了其开关量逻辑控制的主导地位，同时模拟量的处理多为简单的显示和给定，控制回路基本上为并不复杂的单回路调节，目前市场以PLC为主导地位。例如常见的高炉控制系统分为2类，一类为PLC：如Schneider Modicon Quantum、Siemens S7-400、Rockwell ControlLogix等组成，另一类为DCS：如Siemens PCS7（太原钢铁1800立方米高炉）、ABB FREELANCE2000（马钢四铁厂1#高炉TRT）和AC-800F（宣钢7#高炉）、Westinghouse公司的WDPF II Plus（上钢一厂2500立方米高炉）等。

### 1. 装料自动控制

为保证高炉冶炼过程正常进行，必须使炉料保持一定的高度。一般采用探料尺在垂直方向周期地从炉顶探测料面高度和炉料下降速度（采用微波式的或激光式的探料尺可连续探测）。当炉料低于规定料面高度时，上料系统开始装料。机械式探料尺和上料系统采用无触点的程序控制器或可编程序控制器控制。为了提高装料的精度，广泛采用小型计算机控制炉料重量，并把每次实际装入漏斗的原料数量记录下来，求出与装料规定量之差，在下次称量时自

动给以补正。计算机控制装料还可将单位时间内各种原料的给定量、总重量、水分含量、各原料仓的库存量等装料数据打印制表。

### 2. 布料自动控制

高炉料面的M型分布是否匀称，直接影响炉内气流分布和炉况反应。现代化大型高炉的炉喉直径超过10米，若炉内反应不均匀，炉料下降速度不一致，料面便会偏斜，因此需要用布料装置来控制料面形状。一般用固定式探料尺检测料面高度，并用程序控制器或微处理机控制布料。钟阀式炉顶通过改变炉料批量、料面和装料顺序，无钟炉顶通过改变旋转溜槽的倾角和旋转方式来实现自动布料。布料控制中的关键问题是料面形状检测，可在炉喉圆周的6个位置装设固定探杆，吊有重锤的金属链条在炉喉不同的半径处从探杆上下垂到料面，根据其下垂长度测出料面的轮廓，每测一次需一分钟，测量精度约为±50毫米。

另一种方法是根据料面温度分布来实现布料控制。料面温度场出现热点时，说明炉内出现了“管道现象”，此时需要通过控制布料来加以消除。常用的测量料面温度场的仪器有热像仪，可测温度范围为50~800℃。还可在炉喉部分装入固定的带有温差电偶的十字形测温梁，在梁内装有10几个温差电偶，以测量炉料的温度分布。

### 3. 送风自动控制

从风口鼓入约1000~1200℃的热风使焦炭燃烧。为保持炉温恒定，炉况平稳，须对热风的温度、湿度和富化处理进行控制。

1) 热风温度控制：冷风经热风炉加热后的风温并不是恒定的，开始时风温高，以后则逐渐降低，用风温调节器控制掺入的冷风量便可使风温

保持恒定。热风炉在换炉时用交叉并  
联送风的工作方法可使风温波动在  
 $\pm 1\%$ 以内。

2) 热风湿度控制: 湿度调节器  
能保持鼓风中湿度恒定, 避免水分引  
起炉况波动。常用的方法为加湿调节  
和脱湿处理两种。

3) 鼓风富化处理: 对于大型高  
炉, 常在鼓风中加入氧气以提高高炉  
的冶炼强度。为了降低燃料比, 有时  
在风口处喷入重油、天然气或煤粉  
等。有时还在大型高炉风口前装上带  
有高速摄影装置的工业电视, 用以监  
视和记录风口前热风 and 焦炭的燃烧  
和运动情况。

#### 4. 炉顶煤气的检测和控制

炉顶煤气的压力和成分直接反  
映炉内的冶炼情况。炉顶压力调节装  
置控制炉压恒定, 是确保炉料平稳下  
降的重要措施。顶压调节可通过减压  
阀组或余压涡轮来实现。炉顶煤气是  
高炉冶炼的直接产物, 其成分反映炉  
内的还原反应和还原气体的利用率。  
利用连续采样的气体色谱分析仪周期  
测定煤气中 $\text{CO}$ 、 $\text{CO}_2$ 、 $\text{H}_2$ 、 $\text{N}_2$ 的含  
量, 可掌握炉中的反应情况。炉喉煤  
气成分分布直接反映炉内不同直径处  
的反应, 故常在大型高炉炉喉的料面  
下径向插入(或固定安装)采样探  
杆, 采集分析炉内气样。

#### 5. 渣铁参数检测

铁水的生成量、成分、温度是  
极为重要的参数。出铁时铁水罐车停  
在装有轨道电子秤的轨道上, 可连续  
检测出铁量。铁水温度可在出铁过程  
中用快速温差电偶检测。铁水成分是  
在出铁过程中从铁水沟中取样, 然后  
用快速荧光分析仪分析。现代化大型  
高炉日产出铁1万吨以上, 有4个出  
铁口轮流输出铁, 测量渣铁的温度、成  
分和生成量就能及时获得高炉中的冶  
炼信息。这一过程现代已由微处理机

来实现。

#### 6. 炉况自动控制

炉内反应过程的参数不能直接  
检测, 所以控制系统尚未达到完善的  
程度, 但已有数种炉况控制系统(如  
炉热模型系统, GO-STOP系统)在  
高炉上获得应用, 其中以炉热模型构  
成的系统应用较多。炉热模型系统以  
高炉炼铁过程的物理化学反应为基  
础, 把高炉分为风口燃烧带、直接还  
原带和间接还原带, 根据输出输入高  
炉的各种参数(如矿石焦炭装入量、  
风量、风温、喷吹量、炉顶煤气成  
分、渣铁成分和生成量等)列出各反  
应区间的物料平衡和热量平衡方程  
组, 然后求解这些方程组, 便可得出  
炉中直接还原反应带的固体温度和气  
体温度。这些温度代表炉热的状态,  
根据炉热的变化自动调节送风参数  
(如风温、喷吹量等), 改变风口送  
入的热量, 将炉热控制在最佳状态。  
为提高系统的控制效果, 有时将理论  
模型与统计模型结合使用。这种闭环  
控制系统已被采用。GO-STOP系  
统是以系统辨识方法来判断炉况并构  
成闭环控制系统的。由于炉况控制过  
程中有大量的计算工作, 这种系统需  
要使用电子计算机。炉身静压力的变  
化也是炉况的重要参数, 常在炉身不  
同高度的圆周上检测炉身的静压力。  
这一静压力反映炉料的透气性、气流  
分布和软熔带根部位置的高度, 是判  
断炉况的重要依据之一。根据炉料的  
透气性, 以炉顶压力为调节手段可组  
成炉料透气性调节系统。保持透气性  
恒定有助于炉料顺利下降, 保持炉况  
稳定。

#### 7. 高炉的计算机管理

计算机除用于上述各种控制系  
统外, 还用于数据处理、生产管理、  
操作指导等。它采集高炉上的大量过  
程参数, 输入存储器中, 并将这些数

据编辑成各种生产记录表和具有操  
作指导作用的画面, 在工业电视上显  
示出来。这样, 操作者便可根据存储  
器内的数据对过去的生产过程作出连  
贯的分析, 对变化趋势作出预报。在  
现代化的大型高炉上, 全部显示记录  
仪表已被计算机所代替, 各个控制系  
统由计算机实现, 在高炉控制室中炉  
长通过工业电视与计算机对话, 计算  
机可向炉长提供所需的多种信息。这  
样的控制系统在国内外都有应用, 效  
果良好。例如, 中国首都钢铁公司高  
炉改用计算机控制系统后, 利用系数  
达2.2, 焦比降到384千克。

#### 8. 高炉炉体设备管理

为延长高炉寿命, 需要对炉体  
和设备进行监控。常用各种热传感器  
监视炉缸、炉身、冷却壁等炉体各部  
位的温度, 超限时作出报告; 或用触  
发响应法对耐火砖残存厚度进行测量  
监视。风口是关键设备, 需要经常监  
视。用卡门流量计或双管电磁流量计  
检测风口冷却水的进出流量差, 就能  
检查风口冷却套是否破损。

### 转炉自动化



氧气转炉冶炼周期短、产量  
高、反应复杂, 但用人工控制钢水终  
点温度和含碳量的命中率不高, 精度  
也较差。为了充分发挥氧气转炉快速  
冶炼的优越性, 提高产量和质量, 降  
低能耗和原料消耗, 需要完善的自动  
化系统对它进行控制。典型的氧气转  
炉自动化系统由过程控制计算机、微

型计算机和各种自动检测仪表、电子称量装置等部分组成。按设备配置和工艺流程分为供氧系统、主、副原料系统、副枪系统、煤气回收系统、成分分析系统和计算机测控系统。转炉基础自动化系统的控制范围包括：散状料、转炉本体、汽化冷却、烟气净化及风机房五部分。有些大型的转炉自动化系统除了有转炉本身的控制系统外，还包括有铁水预处理系统、钢水脱气处理系统和铸锭控制系统等。

### 1. 供氧系统

在转炉吹炼中，供氧系统主要用于控制吹氧量和氧枪位置（即氧枪与钢水液面的距离），完成以下功能：

- 测量氧气压力、流量、氧耗量、氧纯度等参数，并对氧流量进行闭环控制。

- 测量氧枪冷却水温度、压力和流量。

- 采用电子逻辑或微型机控制装置在吹炼不同阶段改变氧枪位置，其定位精度为 $\pm 10$ 毫米。

### 2. 主、副原料系统

转炉主原料（铁水和废钢）和副原料（石灰、白云石、矿石、萤石、铁皮等）的称重误差和成分误差，直接影响炼钢终点命中率和钢的质量。这个系统用以保证主、副原料的准确称量。它包括3个部分。

- 电子秤：用以对铁水、废钢、铁合金和钢水进行称重，并能自动去皮；

- 副原料称重和上料控制：当高位料仓中的副原料用光时，可自动地将地下料仓的副原料送入高位料仓，它采用料位检测器检出料仓料位信号，用皮带秤称重，用电子逻辑或微型机控制上料；

- 副原料自动配料控制：根据人工设定和计算机设定的副原料的配

比，入炉副原料由料斗秤称量后自动按量装入。

### 3. 副枪系统

在吹炼过程中用于测量钢水温度和含碳量的检测装置，主要包括两个部分。

- 测温定碳装置：它由测温定碳和测液面复合探头、温度和碳变送器、微型机和阴极射线管显示器等组成。测试时，副枪将探头插入钢水内测温、取样，测出的温度和含碳量信号经微型机处理后，在显示器上显示并传送到过程计算机。

- 副枪顺序控制装置：它由探头、电子逻辑线路或微型机构成。副枪系统自动给出所需的探头，自动装探头，检查探头是否接通，然后自动快速下枪，移动到变速点时则由快速改成慢速，当移动到测试点时便准确停车，定位精度为 $\pm 10$ 毫米。待取样完成后，快速提升，到变速点时改为慢速提升，到达最高点时则自动停车。待定碳信号出现后，则自动拔掉旧探头。

### 4. 煤气回收系统

用以保证煤气回收正常运行，它由各种变送器、分析仪和微型机组组成。首先进行炉口微压差（ $\pm 50$ 帕）测量和自动控制，炉中微压差经变送器变成标准电信号后，由调节器控制煤气管道的闸板阀，使炉口保持正压，防止吸入空气。其次进行煤气中CO、O<sub>2</sub>含量的分析和CO回收的自动控制，采用红外线CO分析仪、磁氧分析仪（精度为 $\pm 1\%$ ）或质谱仪分析CO、O<sub>2</sub>含量，用可编程序控制器来控制煤气回收的操作。最后进行煤气流量测量。所用方法是先在废气管道中取出差压信号，然后再用差压变送器将此信号变为电信号进行测量。

### 5. 成分分析系统

用直读光谱仪或X荧光分析仪

来分析铁水和钢水的成分。X荧光还能分析矿石、炉渣的成分。专用计算机对分析值进行处理后将结果打印出来，并将它们传送到过程控制计算机，为控制作准备。钢水中的溶氧量则用氧化锆定氧探头测出。

### 6. 计算机测控系统

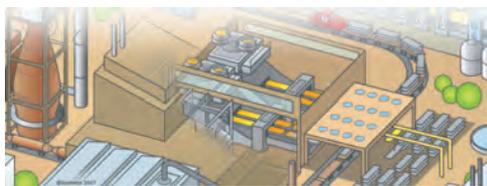
用计算机控制铁水和废钢的准备、吹炼以及钢水成分调整的冶炼全过程。检测出来的各个工艺参数一并输入计算机中。计算机根据冶炼钢种的不同要求和数学模型计算出装入炉内的铁水和废钢的重量以及吹炼中加入的副原料重量和吹氧量，选定合适的供氧制度和造渣制度，自动进行吹炼直至终点。出钢后，计算机还计算出应加入钢水的铁合金量，以保证成品钢的成分合格。计算机控制的主要要求是保证在吹炼终点时，钢水温度和含碳量都同时命中目标值，有静态和动态两种控制方式。静态控制是根据大量冶炼操作数据，按照热平衡和物料平衡原理，通过理化计算、统计回归分析或按操作经验建立起的数学模型进行预测控制。它实际上是按照前一段冶炼炉次的操作规律来对本炉次进行控制。这种控制方式对生产条件和操作方法的变动适应性较差，终点命中率较低，最高仅达60~70%。动态控制是通过某些动态测试手段（如副枪）在吹炼过程中测得钢水温度和含碳量，按动态模型对控制参量进行修正。这种方式的适应性较强，终点命中率较高，可达90%以上。在生产中，这两种控制方式常常结合使用；在吹炼前期和中期按静态控制；在吹炼后期用副枪测温定碳，进行动态控制。

为了进一步提高转炉的生产效率和质量，用计算机实现动态控制越来越引起人们的重视。转炉自动化的范围也从控制吹炼过程本身扩大到整

个转炉车间，形成以计算机为中心的全车间综合自动化系统。除控制转炉车间各工艺过程外，还增加了协调生产作业等管理功能。随着转炉对自动化要求的提高以及计算机技术的发展，转炉计算机系统在结构上也有所变化。过去对三吹二的转炉一般都采用一台过程控制计算机进行集中控制，现代已开始采用信息集中化、控制分散化的集散式系统或分级式计算机系统控制。各检测装置和局部控制装置都用微型机或带微型机的过程控制器来收集数据和进行控制。由它们得到的信息传送到上级计算机（过程机），进行数学模型计算、信息管理，并对下级机监控。为了与其他工艺流程配合，转炉过程计算机还与炼铁、连铸、初轧等车间的过程计算机进行数据通信。有关信息还传送到生产管理计算机去进行生产管理计算。

转炉冶炼工艺不断发展，除氧气顶吹转炉外，相继出现了底吹和顶底吹相结合的转炉。这些新型的转炉对自动化都有些特殊的要求，如除要求控制吹氧外，还要求控制吹氩（或氩），并要求控制它们的切换等。

## 连铸自动化



连铸自动控制系统主要由生产管理级计算机、过程控制级计算机、设备控制计算机、各种自动检测仪表和液压装置等组成。它能完成7种控制功能：中间罐和结晶器液面控制；结晶器保护渣装入量控制；二次冷却水控制；拉坯速度控制；铸坯最佳切

割长度控制；铸坯跟踪和运行控制；连铸机的自动起铸和停止控制。

### 1. 液面控制

液面控制包括中间罐液面控制和结晶液面控制两方面。前者是将中间罐钢水液面控制在一定范围内，使注入结晶器内的钢水压力稳定，为结晶器液面控制创造条件。通常用称重法间接测出或用电磁感应法直接测出中间罐钢水液面并进行控制。后者是将结晶器内钢水液面控制在一定范围内，保证钢水在结晶器内有稳定的热交换，形成良好均匀的坯壳。通常用液压装置控制流过中间罐滑动水口的钢水量的方法来控制液面。结晶器液面检测有同位素法、热电偶法、涡流法、电磁感应法、激光法和超声法等。

### 2. 保护渣装入量控制

为防止钢水在结晶器内氧化和减少铸坯与结晶器表面的摩擦，通常要在结晶器钢水液面上覆盖一定厚度的保护渣，它还起到使钢水表面散热稳定的作用。通过测量保护渣层面上的热辐射来控制保护渣的加入量。

### 3. 二次冷却水控制

连铸坯从结晶器拉出后，其坯壳较薄，中间仍是钢水，尚需喷水继续冷却，这就是二次冷却。通常根据钢种、铸坯厚度、拉速来控制二次冷却水量。二次冷却水量调节系统中的主要设备是微型计算机，它利用钢坯的热传导方程作为数学模型，并用铸坯表面温度作为反馈信号来对二次冷却水量进行控制。二次冷却水量控制合适，可避免铸坯产生裂纹。因此二次冷却水控制是无缺陷铸坯生产过程的关键环节。

### 4. 拉坯速度控制

根据钢种、铸坯尺寸、钢水温度和产量要求来确定铸坯的拉速。连铸生产过程要求拉速保持一定，以便

使铸坯有稳定的热交换。拉矫机上有速度调节系统，可以保证拉速稳定。当结晶器液面超过上限，液面调节系统无法调节时，为防止钢水外溢需要加快拉速；同样，如果结晶器中钢水低于下限，为防止漏钢则需要减慢拉速。在这两种情况发生时均有报警，并会作出相应处理。

### 5. 最佳切割长度控制

将连铸坯切割成一定的长度以便轧制。为避免最后出短坯，增加钢水的收得率，可根据铸坯尺寸、钢水量、拉速和允许的铸坯长度范围来计算最佳切割长度。到铸锭后期还可进行修正，以保证最后的铸坯长度合适。

### 6. 铸坯跟踪和运行控制

对铸坯进行跟踪，并将其存放地点和数量记录下来并在铸坯上打印编号，以便轧制时有该铸坯的生产数据。铸坯跟踪和运行控制系统由钢坯探测器和微型计算机组成。各铸坯的堆放地点和原始数据均存入计算机，当需要某铸坯时，随时可从微机中查出并通知吊车司机，按地址送往下一道工序。由于连铸坯在校直辊之前还未完全凝固，机械强度甚小，为了避免受外力影响而产生裂纹，需要及时检测各支承辊和拉矫辊的开口度，将其调整到合适的尺寸。

现代连铸生产过程中的检测手段尚不完善，正在研究的项目有铸坯结壳厚度检测、拉漏预报、钢水夹渣报警、铸坯表面缺陷在线检测等。这些项目的实现将使连铸过程控制的精度大大提高。铸坯热传导数学模型的进一步完善，也将会提高无缺陷铸坯的成品率。连铸连轧新工艺是节能的良好途径，因而必须保证连铸生产无缺陷铸坯，连铸计算机控制是达到这种目的的手段，连铸连轧工艺将逐步取代铸坯

冷却后再加热的工艺。

### 连轧机控制系统



随着人们对产品质量和产量的要求日益提高，如轧制每卷重45吨的冷连轧薄带钢卷，要求厚度公差为±(5~50)微米，冷连轧机最高轧速达40米/秒以上，热连轧年产量达500万吨以上，冷连轧年产量达100万吨以上，对连轧机控制系统提出了更高的要求。图6为5机架冷连轧机利用17台计算机组成集散控制系统，在主控制台的控制下，分为过程监控、操作监控和设备监控三级，包括各种自动检测仪表、电子装置、液压装置等组成的局部控制系统。按功能来分，整套轧机控制系统分为速度调节系统、压下位置控制系统、轧制力调节系统、张力调节系统、厚度调节系统，以及自动制动系统、弯辊数字控制系统、板型控制系统、侧导板自动控制系统、自动换辊系统、进出料自动控制系统等。从上卷、穿带、轧制参数设定直到轧制厚度控制和数据记录打印等已全部实现自动化。

#### 1. 速度调节系统

用于控制连轧机的速度。所有机架都按轧制规范所规定的速度同步运行，协调升速或降速，以避免堆料和断带。为了保证前后各架轧出的钢带流量相同，要求转速调节系统的调节精度很高。它通常由模拟和数字双重调节系统组成，模拟系统保证调节响应的快速性，而数字系统则保证调节的精确性，一般调节精度可达千分之一左右。设定值按规定曲线变化，

以防止速度突变引起轧机的损坏和断带。为了保证轧机有宽广的调速范围和快速的响应性能，总功率达数万千瓦的整套连轧机的主传动电机都采用可控硅装置供电，调速系统的响应频宽为3~5Hz。

#### 2. APC 位置控制压下位置控制系统

用以快速准确地调节轧机辊缝的开口度。现代大型轧机的轧辊机构重达几十吨，为了适应高速轧制的快速响应需要，一般采用液压伺服调节系统。它由微型计算机或电子调节线路、电液伺服阀、能产生上千吨压力的大型液压缸、精密位移传感器等组成，其位置调节分辨率达1~2微米，响应频宽一般为8~12Hz。是轧线系统中的关键部分之一，要求具有较好的系统结构及系统的快速响应，保证位移精度等各项工艺要求。位置控制是将被控对象调节到设定的位置，要求在最短的时间内，使被控对象完成定位动作，且符合技术要求规定的位置精度要求。

轧机压下控制根据位置控制指令，驱动压下装置来实现。轧制计划事先存储在轧线计算机中，轧制时根

据不同的轧制要求，由计算机选择相应的轧制计划送往SPC及APC控制用PLC，当接受新系统计算机来的轧制计划信息后，首先自动更新当前压下控制和推床位置的设定值，同时不断采集两者位置的实际值（反馈值），经CPU运算后求出 $\Delta S$ 位置偏差值，根据期望的运动曲线不断刷新电机的速度给定值，当 $\Delta S$ 进入定位精度范围内，电机速度给定为零，实现系统APC的位置控制。

#### 3. 轧制力调节系统

主要用以补偿轧辊偏心所造成的轧制力波动。由测压头或油压测量传感器测出轧制力值，再将其转换为电信号，输入微型机或电子调节线路去调节液压压下位置，使压下系统能跟随轧辊的偏心运动而实现轧制力的补偿调节，减少由于轧制力波动所造成的周期性厚度偏差。轧制力调节系统的设定值一般由张力或厚度调节系统给定。

#### 4. 张力调节系统

用于调节各轧机间带钢的张力并使其保持稳定。冷轧机处于大张力轧制状态时，各架轧机间的带钢张力可达10吨以上。过大的张力波动会

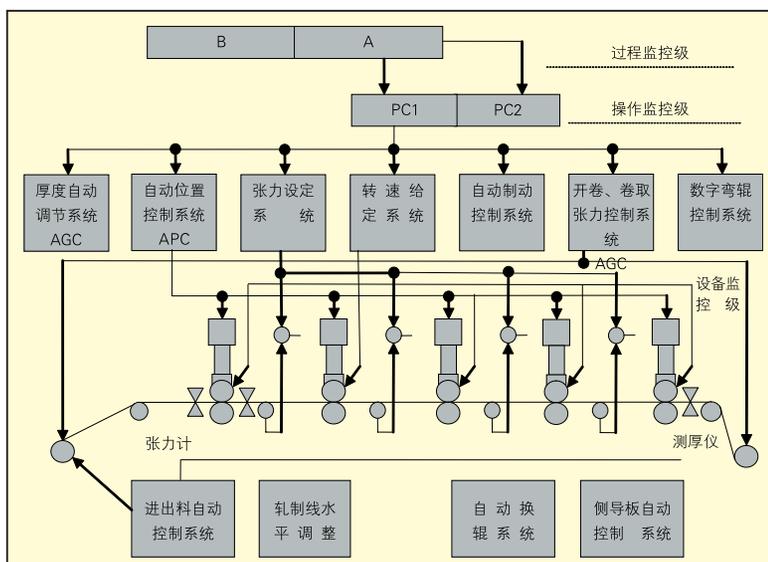


图6 五机架冷连轧机自动控制系统

造成断带或叠轧等事故。一般用张力辊直接检测机架间的带钢张力，由电子计算机通过调节后一机架的液压压下位置来达到调节张力的目的。如果机架间张力低于工艺控制数学模型所选定的最佳张力给定值，则可以增大后一架轧机的辊缝开口度，使轧出带钢的体积流量增大，由此产生的带钢弹性张力积分效应便使机架间带钢张力随之升高，达到给定值。如果轧机控制系统中具有轧制力调节系统，则张力调节系统的调节量就被输出作为轧制力调节系统的给定值，同样也能达到调节和稳定张力的目的。开卷机和卷取机产生的带钢张力，通过调节其传动电机张力电流的方法来加以调节。在张力设定值不变的情况下，钢卷直径随着轧制进程不断发生变化。因此，由计算机组成的张力调节系统也要不断计算，得出新的张力电流给定值，以保持开卷机和卷取机的张力稳定。

### 5. 厚度调节系统

用以保证连轧机轧出的带钢在整个长度范围内均匀一致或达到预定的厚度范围。调节系统一般分为入口段厚度和出口段厚度调节两个部分。

● 轧机入口段的厚度调节系统  
带钢坯料刚开始轧入轧机时，材料加工硬化尚不显著，容易产生塑性变形，因此由坯料带入的大部分厚度不均匀偏差都尽量在入口段厚度调节系统中加以消除。通常在轧机入口处装设 $\gamma$ 射线测厚计，测量进入轧机的带钢厚度，并将测得的厚度偏差信号送至计算机。计算机根据模型计算所得出的带钢塑性系数，可以算出第一架轧机液压压下位置的前馈调节量。如果计算机计算模型准确，则部分来料厚度偏差可以通过前馈调节补偿克服。剩余厚度偏差由装在第一架和第二架轧机间的 $\gamma$ 射线测厚计测出，并

通过信号反馈调节来进一步消除。这一带钢厚度偏差信号同时也可用于实现第二架轧机的前馈厚度调节。

● 轧机出口段的厚度调节系统  
经过入口段调节以后，带钢厚度偏差已经大部分被克服。为了进一步提高轧出带钢的质量，使厚度公差保持在 $\pm(5\sim 10)$ 微米以内，最后在第4、第5架轧机上再设置厚度精调系统。带钢经过前几架轧机轧制，加工硬化效应使带钢塑性系数增大，带钢变得很硬，很难依靠调节轧机的压下位置来精调厚度，所以一般应用轧机出口处的 $\gamma$ 射线测厚计所测得的厚度偏差作为反馈信号来调节第4、第5架轧机的张力。把改变张力作为主要的调节手段，而把改变轧制力作为辅助的调节手段。

用户不仅对带钢长度方向的尺寸要求严格，对横向尺寸公差的要求也日益提高，因此带钢横截面板形的测量和控制系统也开始应用。它通过测量带钢横向分段张力的方法来计算板形，并对液压弯辊装置反馈控制以调节板形。另外，压下负荷分配的合理选择，对改进板形也有一定的成效。全连续式的冷连轧机在入口侧加了焊接钢卷的焊机和存储钢带的活套车。由电子计算机控制整个轧制过程，可自动改变轧制规格和轧机的设定值。轧后由飞剪切断、分卷，轧制每卷钢带时无需穿带和甩尾，能节省换卷间隙时间，消除钢卷头尾厚度超出公差的废品，提高带材轧制精度和收得率。80年代的连轧机自动控制系统趋于采用多级计算机控制，把轧钢自动控制系统与工厂或公司的自动控制系统相联，构成一个大系统，应用大系统理论和系统工程的方法和技术，实现整个工厂或公司的最优控制和管理。

起源于上个世纪60年代初的带

钢热连轧计算机控制系统，经历了几十年的发展历程，目前，已经发展得日臻成熟。从系统的分级与基本结构来看，它主要经历了单机控制、多机分级分区集中控制、分散系统控制这样几个阶段。它的发展特点主要集中在以下5个方面。

(1) 计算机系统的结构逐步分散化

系统的结构从最初的单机集中控制，发展到后来的多级分区的集中控制，再发展到分散控制，这种变化过程是为了更好地满足生产技术发展的需要，也是随着计算机和电气传动技术的发展不断变化的。

(2) 控制功能不断完善

控制功能从最初的代替人工操作的设定控制，发展到生产全线的自动控制、产品质量控制、节能控制，再发展到设备故障诊断，以及近年来的产品的微结构性能预报、性能控制。控制功能不断完善，从简单到复杂，从低级到高级，这些也是来自于提高产品质量、降低生产成本、减少环境污染等方面的需求。

(3) 控制精度不断提高

随着控制功能的不断完善，对产品的控制精度也在不断提高。

(4) 控制范围不断扩大

早期，以控制精轧机为主，主要是进行压下位置和轧机速度的预设定。后来，控制范围扩大到加热炉、粗轧机、精轧机、卷取机。到了上世纪80年代，控制范围又扩大到板坯库、钢卷库、成品库和热平整线、热剪切线，从而覆盖了整个热轧厂

(5) 硬件标准化、应用软件产品化

基础自动化级使用高性能专用控制器和PLC。较为著名的有美国GE公司的INNOVATION系统、

转p18

厚板文件，同时将实绩信息上传L4计算机，根据实绩信息中提供的质量数据，可以对板坯和钢板进行工序自动合否判定处理，以及封锁/释放处理。同时提供后备输入功能，对生产实绩进行增/删除/修改的处理。

**中间库管理：**接收上到工序的生产实绩后，根据要求形成入库吊车指令，钢板在中间库的搬送都形成吊车命令，并且推荐最优的板坯堆放垛位，同时将吊车命令传送给吊车无线终端，吊车无线终端将吊车卸下的实绩上传L3系统，L3系统自动处理钢板的垛位信息，时刻保持实物和信息的一致性，中间库的板坯倒垛/出库处理。中间库的设备L3系统不进行控制。

**成品库管理：**接收成品收集装置的入库请求后，根据要求形成入库吊车指令，钢板在成品库的搬送都形成吊车命令，并且推荐最优的板坯堆放垛位，同时将吊车命令传送给吊车无线终端，吊车无线终端将吊车卸下的实绩上传L3系统，L3系统自动处理钢板的垛位信息，时刻保持实物和信

息的一致性，成品库的板坯倒垛/出库处理。成品库的设备L3系统不进行控制。

**质量管理：**生产都是在一贯质量管理模式下进行控制生产，从原料入库到成品出厂都在质量管理下进行的，板坯/钢板在每一道工序生产时，除了根据过程机提供的质量数据进行判定外，也提供画面进行人工表面判定，同时根据判定的结果，操作工可以决定是否要追加工序。对板坯有封锁/释放/报废处理，对钢板有封锁/释放/判次/报废处理。

**发货管理：**接收L4下发的板坯/钢板的准发计划/出厂计划，对准发计划确认后上传L4系统，对出厂计划进行装车/离库确认后，形成发货实绩，并且上传L4系统，并且将已经发货的板坯/钢板进行信息删除操作，打印出厂码单。

**轧辊管理：**对厚板厂的磨辊件设备包括轧辊、轴承、轴承箱进行部件使用的全过程使用周期进行管理，同时接收磨床的轧辊磨削实绩，以及轧

线的轧辊生产实绩。每次换辊提供轧辊与机架的配对关系，同时将需要使用的轧辊数据下发给轧线过程机。

**报表管理：**提供板坯库、中间库、成品库的入/出库班、日、月报，库存统计报表，各个机组的生产综合日报，以及在线计划和实绩、库存清单。

**通信管理：**厚板L3与外部通信接口通过xcom接收外部数据后，存储到通信子表中，同时发送的电文也存储到通信子表中，这样与外部通信就可以方便灵活的进行查询/重发/重收。

本项目是随着沙钢5000mm轧机工程项目而同步进行的，在上海宝钢公司领导的直接关心和江苏沙钢集团各部门领导的直接指导下，于2007年6月25日一次投运成功，沙钢5000mm厚板L3项目的成功实施，填补了沙钢应用厚板L3系统的空白，为沙钢第二条5000mm厚板生产线MES系统的实施打下了良好的基础。■

### 接p13

VMIC控制器；德国Siemens公司的SIMATIC TDC系统、SIMADYN-D系统；日本三菱公司的MELPLAC系统；日本三菱公司的V系列；法国ALSTOM公司的ALSPA系统等。过程控制级过去使用专用服务器，现在逐步使用标准PC服务器。硬件产品标准化，应用软件产品化，可以适应各种类型的热轧生产线。

为了达到“十一五”规划对冶金行业提出的节能要求，冶金企业正在逐步建立先进的检测和控制系統，对风机、水泵、皮带机等电气传动设备进行变频节能改造，采用数学模型和先进控制理论，建立生产管理信息化系統，实现准确预报、信息反馈、信

息追踪、决策调整，同时针对电力、燃气、水等能源建立现代化能源管理中心，冶金行业正在迎来对自动化与信息化的更多新需求，进一步向管理、监测和控制的一体化、智能化和最优化的方向发展。使用计算机管理和控制的范围将继续扩展。例如在板坯、备件仓库的堆垛和取料方面，已经开始采用计算机实现无人操作和管理。机械设备和电气设备的运行状态也开始用计算机自动诊断，如果发生故障，除能自动分析故障的性质和部位外，还能自动切换、启动备用装置以保证设备正常运转，象转炉熔炼的成分控制、高炉的炉况和料位控制这样一些较困难的环节也可采用计算机

自动进行。冶金自动化的发展趋势是从局部到全局组成一个控制系统，从生产计划、备料到整个生产过程融合成一个完美的整体。

综上所述，我国冶金自动化技术取得了很大的进步，为冶金工业的发展做出了贡献，但与国际先进水平相比，还有相当大的差距。钢铁工业在数量和质量方面的发展为冶金自动化技术的发展既提供了机遇，也提出了新的挑战。面对冶金企业花巨资大量引进的国外软硬件产品、先进技术和自动化系统，我国冶金自动化工作者任重道远。在自动化技术的推动和冶金行业技术需求的拉动的双重机制作用下，冶金自动化技术必将取得进一步进展。■