

4. 元件、装置及电机相互配套问题

随着近代交流调速的飞跃发展,将促使元件、装置及电机三者组成新型交流调速装置的一个整体,故对半导体功率器件的生产,电控装置的装配,以及电机的设计制造,要求相互间有很好的配套和结合。元件生产的规格、品种和系列要满足交流调速装置的要求。电机和装置更要紧密地配合,应设计制造出最佳结构新型系列的电机。随着变频技术的进步与发展,对调速的交流电机在设计制造上不断提出新的要求,诸如:

(1) 绕线式异步电动机应力图适合串级调速装置(包括双馈调速)的要求,如转子参数电压高些,电流小些,允许的工作转速提高些。

(2) 大力发展同步电动机,特别是永磁同步机,并在轴上装有磁极位置检测器。

(3) 鼠笼式异步电动机的转子导条选

用电阻低的材料,定子三相绕组六个端头全都能抽出来,铁芯务必使附加损耗最小。或研制适应可控硅变频器的新型方波磁场电机。

(4) 设计制造低速、高转矩及大容量调速传动用的新系列同步电动机和鼠笼式异步电动机。

参 考 文 献

[1] 佟纯厚主编,近代交流调速,1983,5,东北工学院出版。

[2] 刘宗富,变频调速技术的现状及其发展趋势,(1984年6月中国金属学会冶金自动化学术委员会会议论文)。

[3] 中国电工技术学会电控系统与装置专业委员会,风机水泵交流调速节能技术,1984,8。

[4] 中野孝良,调速电机的驱动装置(讲学提纲),1984,4,(北工大一分校)。

[5] 丁蕴石,交流调速技术在冶金工业中应用的现状和前景,(1984年6月中国金属学会冶金自动化学术委员会会议论文)。

现代加热炉过程控制技术 及其数学模型

陈 南 岳

(冶金部自动化研究所)

一、前 言

从73年能源危机以来,节能、开发新能源成为各国极其重视的课题。能源利用率引起各企业的重视,钢铁行业尤为如此。冶金生产属高温作业,是能耗的大户,据日本西欧先进工业国统计,其能耗在各行业中首屈一指,占总能耗的20%强。

加热炉是冶金、机械、军工等部门常用的耗能主要设备。在钢铁企业除高炉炼铁用焦炭外,加热炉耗能占25%。据了解我国钢铁部门有连续式加热炉及均热炉约750座,加上其他类型炉子数量更多。目前除其中极少数外,都由人工操作,加之设备管理方面的

问题,普遍能耗较大。因此,若能重视这种情况,合理解决燃烧的问题,提高燃料利用率,搞好生产管理及前后工序间的配合,效益将是显著的。

近年来各企业开始重视经济效益问题,节能及加热炉的燃烧控制已经引起重视。由于国外微型机等先进技术的引进,个别企业应用微型机作加热炉的燃烧控制,虽然系统仍不很完善,却也取得了较人工操作节能10~20%的效果,仅节能一项即可于半年到一年内收回全部自动化投资。若把减少氧化烧损提高成品率,减少修炉提高作业率等都估计进去,效果更为可观。

当前我国各企业部门正计划应用这些新

技术, 搞好各种加热炉的技术改造, 为适应这一形势, 本文介绍了这方面的技术, 并对有关问题作些探讨, 以供参考。

二、加热炉过程控制技术的基本内容

加热炉主要包括燃烧与热交换两大物理化学过程。众所周知, 燃烧过程中空气过剩率 μ 与燃烧的热效率直接相关, $\mu=1.02\sim1.10$ 热效率最高, 为最佳燃烧域^[1], 否则不是因空气不足不完全燃烧, 造成黑烟, 就是空气过剩, 使废气带走的热损失增大, 同时产生大量的 NO_x , SO_x , 污染环境, 因此就燃烧过程本身, 有一个如何使其在各种状态下, 特别在燃烧负荷变化的动态过程中, 保持最佳燃烧的问题。

此外, 还有与燃烧密切相关的热交换过程, 即加热工件与燃烧后的灼热气体及炉壁间的热交换。从整个生产工序看, 加热炉又是局部环节, 在钢铁生产轧制线, 加热炉的生产节奏必须服从于轧机。因此如何根据生产轧制节奏, 组织加热炉的燃烧与加热过程, 从而降低能耗提高成材率这又是一个问题。

以上两个方面就构成了现代加热炉过程控制的基本问题, 也是当前加热炉过程控制与节能技术考虑的焦点。再加上现代电子技术微型机特别是微集散系统的应用, 就形成了现代加热炉控制技术的基本特色。而其过程控制的基本内容有如下几个主要方面。

1. 最佳燃料控制

- (1) 温度燃料空气流量串级调节
- (2) 废气残 O_2 闭环修正空燃比
- (3) 炉膛压力等附属调节回路及参数修正

2. 加热过程控制的数学模型

3. 加热炉顺控操作

最佳燃烧控制在以往的仪表控制系统中也有, 但不完备, 实现困难, 加热过程控制

的数学模型及顺控部分则几乎是在计算技术发展后才实现的。

三、最佳燃烧控制

1. 温度燃料空气流量串级调节

过去仪表控制系统中, 在处理燃料与空气的关系上通常采用配比调节, 即按一定的配比, 使空气与燃气流量保持某种比例。由于燃料与空气调节回路的响应速度不一致, 流量测量孔板也有误差, 燃气的热值又不稳定以及烧嘴特性等的变化, 这种配比关系是无法保证的, 特别是在燃烧负荷发生急剧变化的情况下, 更无法保持最佳配比, 使燃烧状态最佳, 并防止黑烟等。为解决这些问题, 产生了三种处理空燃关系的交叉制约法^{[1][2][3][4][5]}。

(1) 单交叉制约法

(2) 双交叉制约法

(3) 改进型双交叉制约法

图1中, A01~A06运算模块(实线部

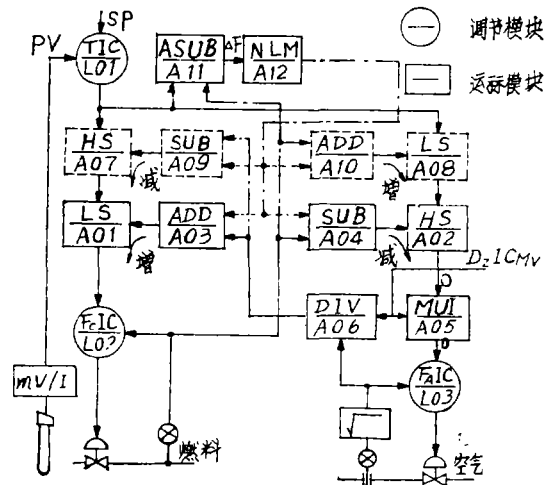


图1 交叉制约原理图

TIC—温度调节模块; FIC—流量调节模块;
LXX—调节模块号; AXX—运算模块号; HS—
高选运算; LS—低选运算; ADD—“+”运算
($x_0 = x_1 + kx_2 + a$); SUB—“-”运算($x_0 = x_1 - kx_2 - a$); MUL—“×”运算($x_0 = \mu x_1$);
DIV—“÷”运算($x_0 = x_1 / \mu$); ASUB—“-”
运算, 取绝对值; NLM—非线性运算; μ —空燃
比; a—最小偏置值

分)属单交叉制约网路,加上A07~A10后(虚线部分)构成双交叉制约。这两种控制方式已有文章介绍,这里重点介绍第(3)种改进型双交叉制约,它是在双交叉法框图上再加上A11、A12运算模块(点划线部分)。

单、双交叉制约法较之通常的配比调节,有下列几个优点:

(1)使系统于燃烧负荷增加或要求升温时,实现空气先行,燃料跟随;燃烧负荷降低或降温时,燃料先行,空气跟随,以达到防止黑烟污染环境。

(2)使系统在调节的动态过程,保持空气-燃料间的相互跟随关系,控制空燃配比,特别是双交叉制约的作用更好。

(3)使系统在供风设备一旦发生故障停风时,能自动关闭燃料调节阀,具有自保护功能。

但这两种方法的缺点是响应速度较慢,且偏置量在各种运行域为恒定值K(满刻度流量的百分率),与温度偏差大小及运行区无关,温度设定值越低,需要的燃料越少,偏置K所占实际比值越大。在改进型双交叉制约的情况,A11作取绝对值减运算,求得瞬时的燃料流量与目标燃流差值 ΔF 。A12为非线性运算模块,对偏差比例运算加以限幅,结果送A03、A04、A09及A10,对各运算模块的偏置系数K进行修正,使K与 ΔF 在一定范围内成比例,下面分三种状况加以说明。

A. 炉温处于稳定状态 $T_{pv} = T_{sp}$

TIC温度调节模块 M_v 要求的目标燃流 F_{gsp0} 与实际的燃流 F_{g0} 相等($F_{gsp0} = F_{g0}$),则 $\Delta F = 0$,这时如通常的双交叉制约,经高低选运算,不论燃料侧、空气侧均选温度调节输出 F_{gsp0} 为设定值。

B. 炉温低于设定 $T_{pv} < T_{sp}$

要求升温,TIC温度调节模块 M_v 输出增大, $F_{gsp} = F_{gsp0} + \Delta F_{gsp}$ 。而这时燃流仍未变化,为 F_{g0} ,运算模块A11输出为:

$$X_{0A11} = |F_{gsp} - F_{g0}| = |F_{gsp0} + \Delta F_{gsp} - F_{g0}| = |\Delta F_{gsp}|$$

若 ΔF_{gsp} 小于比例限幅范围,则A03、A04、A09及A10的偏置项 KX_2 将与 ΔF_{gsp} 成比例,偏差越大,偏置项 KX_2 越大。当 ΔF_{gsp} 超出限幅范围时,取其最大限制值 KX_{2MAX} ,使偏置值受到限制。

这样在空气侧,经低选A08和高选A02运算,选A10的输出作空气侧设定

$$X_{0A10} = X_1 + (KX_2 + a) = F_{g0} + (K\Delta F_{gsp} + a)$$

燃流侧,经A07和A01运算,选A03输出作设定:

$$X_{0A03} = X_1 + (KX_2 + a) = F_{A0}/\mu + (K\Delta F_{gsp} + a)$$

上两式中: F_{g0} ——为变化前一刻的燃料流量

F_{A0} ——为变化前一刻的空气流量

C. 炉温高于设定 $T_{pv} > T_{sp}$

要求降温,减少燃流,同理可得:

空气侧选A04输出作设定:

$$X_{0A04} = X_1 - (KX_2 + a) = F_{g0} - (K\Delta F_{gsp} + a)$$

燃流侧选A09输出:

$$X_{0A09} = X_1 - (KX_2 + a) = F_{A0}/\mu - (K\Delta F_{gsp} + a)$$

从上述推导中得出,改进型双交叉制约,不但具有双交叉制约的优点,实现双向限幅,空燃比范围精确,同时使偏置值与偏差大小成比例,提高系统的动态性能。图2示出各种控制方法所取得的效果,改进型效果最佳。据报导,这种方法可节能4~7%,其空燃比控制精度不超过 ± 0.02 。缺点是系统较复杂,用的运算模块多,但在现代的集散系统中实现是容易的。

2. 残 O_2 闭环控制

废气中的残 O_2 量受燃烧负荷及其成分的影响,为保持低过剩空气率的燃烧,减少

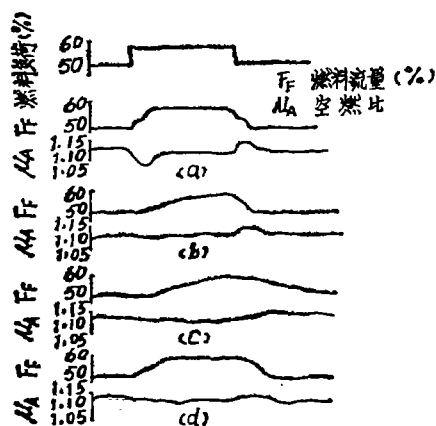


图 2 各种控制方法的比较

- (a) 用模拟仪表的燃料先行串联串级系统
- (b) 单交叉制约燃烧控制系统
- (c) 双交叉制约燃烧控制系统
- (d) 改进后的双交叉制约燃烧控制系统

热损失，没有残O₂量对空燃比系数的闭环修

正是不可能保持最佳燃烧的。除此之外，保持低过剩空气的燃烧还可以降低钢坯在炉内的氧化烧损，提高成品率。因此残O₂闭环修正空燃比构成了最佳燃烧控制又一个不可缺少的组成部分。在以往仪表控制系统中，空燃比往往由人工设定。现在由于残O₂分析仪的实用化，且响应时间已提高到7秒，从而给残O₂闭环奠定了牢固的基础。用氧化锆测定残O₂量，O₂IC调节输出修正空燃比，以达到低过剩空气量的燃烧，表1和表2示出这一闭环的经济技术效果。

在钢铁企业部门，大部分加热炉为多段式，各段互有影响，如图3。为此在各段都单设残O₂控制回路，并充分发挥现代微型机系统功能，估算各段间影响，采用多变量控制，通过计算求得残O₂调节回路的设定，

表 1 空燃比修正与燃料节约率%

废气温度 ℃	修正前的 μ	修正后的空燃比 μ			
		1.30	1.20	1.10	1.00
700	1.40	3.76	7.27	10.5	13.5
900	1.40	5.94	11.27	16.0	20.2
1100	1.40	9.43	17.3	23.8	29.4

表 2 空燃比修正与单耗

炉子类型	原单耗 10 ⁴ Kcal/t	μ的修正情况	改革后的单耗	节约率%	年节约率K1	备注
锻造炉	200	1.3→1.1	152	23.9	88.9	重油
		1.3→1.1	119	40.3	150.0	
连续热处理炉	71.4	1.3→1.1	63.8	10.7	70.3	灯油
		1.3→1.1	55.5	22.3	146.5	

修正空燃比，图4为这一控制系统框图，残O₂控制回路设定值用下式进行计算^{[2][7]}：

$$SV_j = 20.6 \left[\frac{\sum_i LSV_i A_0 (\mu_{A_i} - 1) V_{ij}}{\sum_i LSV_i \{G + A_0 (\mu_{A_i} - 1)\} V_{ij}} \right] + f_j(x) \quad (1)$$

式中：SV_j——第j号调节回路残O₂浓度设

定值；

LSV_i——i段燃料流量设定值；

μ_{Ai}——i段空燃比；

f_j(x)——侵入空气的校正项；

G——理论废气量；

V_{ij}——i段对j号残O₂含量的影响系数；

A₀——理论空气量。

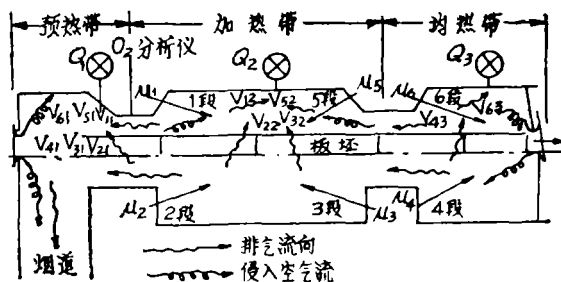


图3 多段式加热炉内气流流向示意图

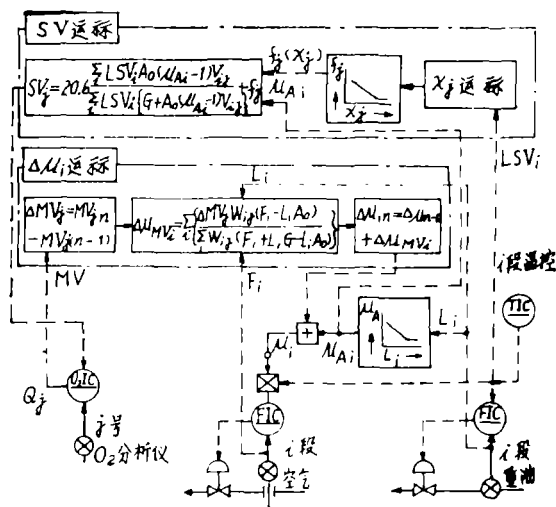


图4 控制系统框图

(1) 式右边第一项分子为 j 号的残 O_2 量, 分母为 j 号总废气量, 第二项为受负荷影响的侵入空气量校正项, 从而得出 j 号 O_2 回路的设定值。而各段空燃比的修正作用按下式求得:

$$\Delta\mu_{MV_i} = \sum_j \left[\frac{\Delta MV_j (F_i - L_i A_0) W_{ij}}{\sum_i \{L_i G + F_i - L_i A_0\} W_{ij}} \right] \quad (2)$$

式中 ΔMV_j ——为 j 段 O_2 控制回路输出增量;

$\Delta\mu_{MV_i}$ —— i 段空燃比修正量;

W_{ij} ——分配系数;

F_i —— i 段实际的空气流量;

L_i —— i 段实际燃料流量;

$\Delta\mu_{in}$, $\Delta\mu_{i(n-1)}$ ——分别为 n , $n-1$ 时刻对 i 段空燃比修正量。

3. 附属回路及参数修正

在加热炉燃烧控制中, 除了温度流量串级及残 O_2 修正空燃比主要回路外, 还有为减少炉外冷空气侵入及火焰外喷的炉压调节; 保障流量调节回路稳定的燃气及空气总管压力调节以及为保证稳定的空燃比而进行的温度、压力及燃气的热值修正, 这都是保证最佳燃烧所不可缺的, 在今天的微集散系统中, 进行这些补正是轻而易举的, 这里不再详述。

四、加热炉钢坯升温控制的数学模型

前述内容为燃烧过程控制问题, 解决最佳燃烧, 是从燃烧过程本身的控制探求节能与提高产品质量等问题。这无疑是加热炉过程控制的重要基础。但正如前面指出的, 加热炉只是轧制工序的组成部分, 其生产节奏必须服从于轧机的生产安排, 它应按轧机的要求适时地提供合格的钢坯, 显然加热炉过程控制不能只局限于燃烧过程本身, 应从加热到轧制的整个过程, 考虑到钢坯在炉内的加热过程来全面综合进行, 只有这样才能真正达到节能与提高产品质量的目的。钢坯升温过程的数学模型就是要根据变化着的轧制生产情况 (包括轧制节奏, 进料情况等), 估算钢坯在炉内的加热情况, 控制燃烧过程。

由于加热钢坯温度测量上的困难, 通常都用计算机对钢坯在炉内的升温过程进行计算, 过去这方面通常采用多元回归的方法, 如武钢引进的热连轧加热炉钢坯升温控制的数学模型为^[6]:

$$T = T_3 - (T_3 - T_{00}) \exp \{ -H \Delta t_{TS}^2 \cdot \exp(A_3 t_{TS} + A_4) \} + (T_{A0} - T_0) \cdot (B_1 + B_2 H + B_3 t_{TS} + B_4 H t_{TS}) + (T_{A1} - T_1) \cdot (B_5 + B_6 H + B_7 t_{TS} + B_8 H t_{TS}) + (T_{A2} - T_2) \cdot (B_9 + B_{10} H + B_{11} t_{TS} + B_{12} H t_{TS}) + (T_{A3} - T_3) \cdot (B_{13} + B_{14} H + B_{15} t_{TS} + B_{16} H t_{TS}) +$$

$$+ B_{17} \quad (3)$$

式中 T ——板坯出炉目标温度 (平均值
℃);

H ——板坯厚度 (mm);

t_{Ts} ——板坯在炉内时间 (sec);

T_{00} ——板坯初始温度;

T_1 、 T_2 、 T_3 ——分别为第 1、2 预热
段及均热段设定温度;

$T_{A0} \sim T_{A3}$: 第 1、2 预热段及均热段炉
气平均温度;

$A_1 \sim A_4$, $B_1 \sim B_{17}$: 回归系数。

多元回归模型的缺点是准确性差, 特别
在条件与轧制节奏发生变动时。其次为系数
较多, 而且这些系数不少没有任何直接的物
理意义。所以目前较多的都采用热交换方程
计算钢坯在炉内的加热情况。

用热交换原理推算板坯升温过程绝大部
分为一维的热传导方程^{[7]~[10]}, 这时往往
认为长度与宽度方向的温度梯度为零, 仅考
虑厚度方向的热传导。可是从准确度考虑,
特别是考虑到板坯与水冷滑道接触部分存在
水印, 以及高速微型机系统的产生, 已可采
用二维热传导方程:

$$\rho c \frac{\partial T}{\partial \tau} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\lambda \frac{\partial T}{\partial y} \right) \quad (4)$$

若忽略钢坯热特性及相变等的影响, 则有

$$\frac{\partial T}{\partial \tau} = a \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \right) \quad (5)$$

上式中, ρ , ρ , λ , a 分别为钢材的热容、
密度、导热、导温系数。

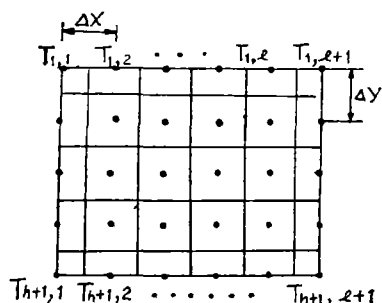


图 5 钢坯横切面示意图

应用泰勒展开式及有限差分法, 将钢坯
横切面分成 $h \times l$ 个网格 (见图 5), 忽略截断
误差, 加以整理得下列差分方程:

$$\begin{aligned} & T_{(l, h)j+1} (1 + 2A + 2B) - AT_{(l-1, h)j+1} \\ & - AT_{(l+1, h)j+1} - BT_{(l, h-1)j+1} - BT_{(l, h+1)j+1} \\ & = T_{(l, h)j} \end{aligned} \quad (6)$$

式中 $T_{(l, h)j}$ ——为第 (l, h) 网格在 j 时
的温度;

$T_{(l-1, h)j+1}$ ——为第 $(l-1, h)$ 网格
在 $j+1$ 时的温度;

$T_{(l, h)j+1}$ ——为第 (l, h) 网格在 $j+1$
1 时的温度;

.....

$\Delta \tau$ ——采样周期;

$$A = \frac{a \cdot \Delta \tau}{\Delta x^2};$$

$$B = \frac{a \cdot \Delta \tau}{\Delta y^2}.$$

由于边界层网格数取 $1/2 \Delta x$ 及 $1/2 \Delta y$,
这样共有未知数个数为 $(l+1)(h+1)$, 而
上述差分方程只有 $(l-1)(h-1)$ 个, 余下
的 $2(l+h)$ 个未知数通过 $2(l+h)$ 个边界方
程求得, 这样总共可列出 $(l+1)(h+1)$ 个
方程组, 解此方程组, 便能求出钢坯各点温
度。

而边界方程则应根据钢坯在炉内的位
置、炉内状况, 以第二类或第三类边界条
件, 计算边界层温度, 当然这是依赖于时间
和空间的热流变化:

$$-\lambda \frac{\partial T}{\partial n} = q(\tau, x, y) \quad (7)$$

显然, 式中的热流 q 在预热段和加热段、均
热段是不同的。

在加热段、均热段:

$$q = \sigma \cdot F \phi \left[\left(\frac{T_g + 273}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_{sj} + 273}{100} \right)^4 \right] \quad (8)$$

在预热段: $q = \alpha [T_{fj} - T_{sj}] \quad (9)$

这样按照内部层同样的办法, 列出差分方程, 代入上述的边界方程, 可以导出如下矩阵方程:

$$XT_{j+1} - T_{j+1}Y - ZT_{j+1} = T_j + Q \quad (10)$$

式中:

$$\begin{aligned} X &= \begin{bmatrix} (1+2A+2B) & & & 0 \\ & \ddots & & \\ 0 & & (1+2A+2B) & \\ & & & (h+1)(h+1) \end{bmatrix} \\ T_{j+1} &= \begin{bmatrix} T_{1,1} & T_{1,2} & \cdots & T_{1,l+1} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ T_{h,1} & T_{h,2} & \cdots & T_{h,l+1} \\ T_{h+1,1} & T_{h+1,2} & \cdots & T_{h+1,l+1} \end{bmatrix}_{(h+1)(l+1)} \\ Y &= \begin{bmatrix} 0 & A & & & 0 \\ 2A & 0 & \cdot & & \\ 0 & A & \cdot & \cdot & \\ & \cdot & \cdot & \cdot & A & 0 \\ & & \cdot & \cdot & 0 & 2A \\ 0 & & & & A & \\ & & & & & (l+1)(l+1) \end{bmatrix} \\ Z &= \begin{bmatrix} 0 & 2B & & & 0 \\ B & 0 & B & & \\ & \cdot & \cdot & \cdot & \\ & & \cdot & \cdot & \cdot \\ 0 & & & B & 0 & B \\ & & & 2B & 0 & (h+1)(h+1) \end{bmatrix} \\ Q &= \begin{bmatrix} (C+D)q_{1,1} & Dq_{1,2} & \cdots & Dq_{1,l} & (D+C)q_{1,l+1} \\ Cq_{2,1} & 0 & \cdots & 0 & Cq_{2,l+1} \\ \vdots & \vdots & \cdots & \vdots & \vdots \\ Cq_{h,1} & 0 & \cdots & 0 & Cq_{h,l+1} \\ (C+D)q_{h+1,1} & Dq_{h+1,2} & \cdots & Dq_{h+1,l} & Dq_{h+1,l+1} \end{bmatrix}_{(h+1)(l+1)} \quad (11) \\ C &= A \frac{2\Delta X}{\lambda}, \quad D = B \frac{2\Delta Y}{\lambda}, \end{aligned}$$

如果上部空间全部 q 同为 q^u , 而下部空间除与滑道接触部分外全部为 q^D , 则 Q 为:

$$Q = \begin{bmatrix} (C+D)q^u & Dq^u & \cdots & Dq^u & (D+C)q^u \\ Cq^u & 0 & \cdots & 0 & Cq^u \\ \vdots & \vdots & \cdots & \vdots & \vdots \\ Cq^u & 0 & \cdots & 0 & Cq^u \\ (C+D)q^D & Dq^D & \cdots & Dq^D & (C+D)q^D \end{bmatrix} \quad (12)$$

解此矩阵方程是复杂的, 需要时间, 而从控制考虑, 根据炉内横断面温度场分布来看, 只要计算出两个主要部位的温度分布:

1. 横断面中心线厚度方向温度分布

这里如前所述, 如果板坯上部热流 q^u 一致, 下部除滑道附近外也一致为 q^D , 则可认为

热传导只沿厚度方向进行, 即按 y 轴方向, x 轴方向温度一致, 板坯内热传导方向转变为一维, 矩阵方程 (10) 变为:

$$X'T_{cj+1} - ZT_{cj+1} = T_{cj} + Q_{cj+1} \quad (13)$$

上式中:

$$X' = \begin{bmatrix} (1+2B) & & 0 \\ & \ddots & \\ 0 & & (1+2B) \end{bmatrix}_{(h+1)(h+1)} \quad Q_{cj+1} = \begin{bmatrix} Dq^u \\ \vdots \\ Dq^D \end{bmatrix}_{(h+1)}$$

再加整理得:

$$T_{cj+1} = W^{-1}T_{cj} + W^{-1}Q_{cj+1} \quad (14)$$

式中

$$T_{cj+1} = \begin{bmatrix} T_{1,C} \\ T_{2,C} \\ \vdots \\ T_{h+1,C} \end{bmatrix}_{(h+1)} \quad W = \begin{bmatrix} (1+2B) & (-2B) & & & 0 \\ (-B) & (1+2B) & (-B) & & \\ & \ddots & \ddots & \ddots & \\ & & \ddots & \ddots & (-B) & (1+2B) & (-B) \\ 0 & & & & (-2B) & (1+2B) \end{bmatrix}_{(h+1)(h+1)}$$

解此方程还是容易进行的。

2. 滑道附近黑印温度计算

假若滑道位于 K 列上, 这样 K 列内网格不仅从板坯上下方吸收热量, 而且通过热传导从 $K-1$ 和 $K+1$ 相邻网格吸收热量, 如果取这两相邻列温度分布相同, 都如中心点的温度, 则这时的矩阵方程如:

$$XT_{kj+1} - Y'T_{cj+1} - ZT_{kj+1} = T_{kj} + Q_{kj+1} \quad (15)$$

整理得:

$$\begin{bmatrix} (1+2A+2B) & (-2B) & & & 0 \\ (-B) & (1+2A+2B) & (-B) & & \\ & \ddots & \ddots & \ddots & \\ & & \ddots & \ddots & (-B) & (1+2A+2B) & (-B) \\ 0 & & & & (-2B) & (1+2A+2B) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} T_{(1,K)j+1} \\ T_{(2,K)j+1} \\ \vdots \\ T_{(h,K)j+1} \\ T_{(h+1,K)j+1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} T_{(1,K)j} \\ T_{(2,K)j} \\ \vdots \\ T_{(h,K)j} \\ T_{(h+1,K)j} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} Dq^u + 2AT_{(1,c)j+1} \\ 2AT_{(2,c)j+1} \\ \vdots \\ 2AT_{(h,c)j+1} \\ Dq^s + 2AT_{(h+1,c)j+1} \end{bmatrix} \quad (16)$$

上式中: q^s 为滑道热流

这样可以运用前面求得的板坯中心线温度分布, 继续求得滑道黑印温度, 使两部分的运算密切结合。

加热模型的计算:

前面的推导, 解决了如何运用现有的生产数据 (轧制节奏, 现有各段炉温, 钢坯尺寸和其物理性能、目标钢坯温度等) 计算钢坯的升温模型问题, 而更重要的是运用计算的结果, 控制加热过程, 对加热模型进行

设定,以保证钢坯的加热质量,取得节能与提高成品率的效益。

根据资料^[11],钢坯在800℃以上,其烧损率(δ_c)与温度有直接的关系,如图6所示,温度超过1200℃时,钢坯烧损率的增长速度更为明显,在同样的气氛与温度条件下,烧损与时间的平方根成比例。一般在不熔化及氧化铁皮不爆裂的情况下,钢坯在炉内的烧损厚度可按式计算:

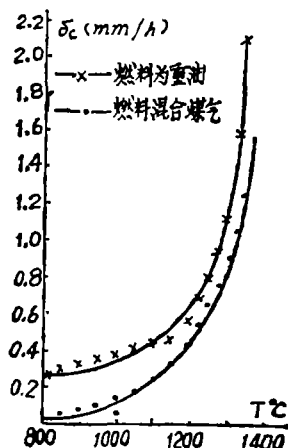


图6 烧损率与温度的关系曲线

$$\delta^2 = \delta_1^2 \tau_1 + \delta_2^2 \tau_2 + \dots + \delta_n^2 \tau_n$$

式中: δ ——钢坯烧损厚度mm;

δ_i ——炉内各段的烧损mm/h;

τ_i ——钢坯在*i*段停留时间。

无论从节能或提高成品率方面考虑,应当按轧制生产节奏决定的在炉时间,用尽可能低的温度加热钢坯显然是有利的,当然应满足轧制要求温度。此外还有各段能源分配问题。加热上游区(按废气流向)比重大对热效率有利,但受设备允许温度限制及段间温差限制,而均热段的设定温度往往由轧制温度决定,不能过高,否则影响钢坯温度均匀性。因此计算所得的加热模型设定应受下列几方面限制:

1. 出炉钢坯代表温度 T_p 应大于目标设定温度 T_{am} ,均热段设定温度不得高于轧制温度 $T_m + \Delta T_w$ (ΔT_w ——工艺要求的等待轧制所需温度)。

2. 出炉钢坯温度差(表面与中心或最高与最低点温度差) T_{sa} 应小于要求温差(温度均匀性)。

3. 各段设定温度不得超过设备允许温度,段间温差不得超过要求温差。

4. 此外,为使加热模型设定变化不致过于频繁,在 $\pm \Delta T$ 范围内可不作重新设定。

上述限制的数学表达式为:

$$T_p = \sum_{j=1}^i C_j V_j \rho \cdot T_j / \sum_{j=1}^i C_j V_j \rho \geq T_{am}$$

$$T_{sa} \leq T_m + \Delta T_w$$

$$T_s - T_c \leq T_{sa}$$

$$(T_{i+1} + \Delta T_{i+1}) - (T_i + \Delta T_i) \leq \Delta T_{i,i+1}$$

$$T_{imin} < T_i + \Delta T_i < T_{imax}$$

$$\Delta T_i \leq \Delta T$$

上式中 C_j , V_j , ρ , 分别为钢坯网格热容, 体积, 密度;

T_{sa} : 均热段设定温度;

T_s , T_c : 分别为钢坯表面与中心温度;

T_i : *i*段设定温度;

$\Delta T_{i,i+1}$: *i*与*i*+1段允许温度差;

T_{imin} , T_{imax} : 分别为*i*段高低限温度;

ΔT : 允许不作重新设定的温度范围。

这样钢坯升温控制的加热模型设定计算流程如图7所示,上位计算机每隔一段时间起动这一程序,计算钢坯在各炉各段的停留时间,计算现有炉温设定模型能否满足现有状态变化的要求,如果满足不了,再行估算新的设定模型,并按限制条件逐条核查合格后,再分别送给下位分散控制系统,进行加热模型的重新设定。在现代的微集散系统的条件下,实现这一设想是容易的,所有的温度串级调节与残氧闭环、炉膛压力及必要的顺控功能均由下面分散控制部分执行实现,而上位机担负复杂的数学模型运算数据处理,CRT显示等。

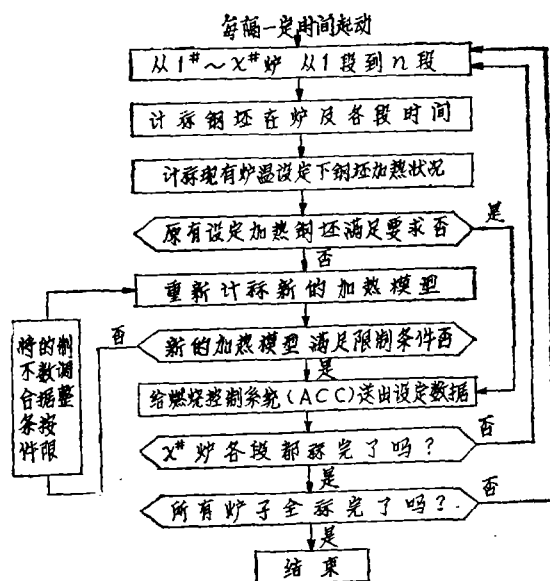


图 7 加热模型设定计算流程框图

五、发展我国加热炉自动化的几点意见

〔1〕加热炉的自动化是实现其节能与提高成品率、延长炉子寿命提高作业率的主要措施之一，加热炉的自动化有两个主要部分，一为最佳燃烧控制，二为用相应的数学模型控制钢坯的加热过程。我们应在这两方面同时开展工作。

〔2〕为搞好这方面的工作，我国应加快微集散系统的研制工作，以便为此提供可靠的物质基础。在我国的以微处理机为基础的微集散系统未研制成功前，可以先行引进集散系统核心部分，其余大部采用国内配套的办法，先行开展重点企业的加热炉自动化的工作，这样不但可使国民经济及早得到效益，同时又使我们在实践与理论上尽快赶上甚至超过世界先进水平。

〔3〕发展这一自动化工作应坚持两条腿走路的方针，一是自力更生，自己用微型机进行研制，二是引进国外先进技术的核心部分——微集散系统与国内仪表配套的办法。前者着重在微型机的应用与微集散系统

的研制，后者重点在系统实践与数学模型研制，这二方面都是我们所需要的。

〔4〕对加热炉数学模型的研究与现代控制理论的应用给以足够的重视，并使之与实践紧密结合，这样才能真正有助于这方面工作与学术理论的发展。

〔5〕重视抓好两头（即检测与执行机构）的研制改进工作，特别应重视发展下列几个方面的研究：

（1）氧化锆分析仪研制定型。目前我国可以说仍没有一个厂家真正定型的，就寿命与可靠性方面（还有响应速度）也还存在问题。

（2）燃烧过程空燃配比检测方法除废气成分分析（氧化锆，CO仪）外，还有微压振动法及火焰温度极值法。后两种方法，特别是微压振动法，目前日本已进入实用阶段。在均热炉、连续加热炉上正式应用〔14〕。我们应结合现代微电子技术开展这方面的研究。

（3）各种调节阀的改进。调节范围、寿命等都存在较大的距离。

（4）煤气热值仪的研制。目前我国仅有冶金自动化仪表厂生产这种可供过程控制用的热值仪，但其可靠性及其它方面仍待改进，以适应长期运行的要求。

（5）钢坯表面温度测量。特别是炉内钢坯表面温度的测量。

（6）炉壁热流计的研制。

上述（5）（6）两个测量项目对于数模的简化与准确性有较大的意义，而热流计在我国仍是个空白，长期无人过问，可否结合这一课题加以解决呢？

参 考 文 献

- 〔1〕柴田敏彦，“计装”，81年2月，p. 47.
- 〔2〕大久保尚武，“计装”，81年2月，p. 51.
- 〔3〕J. E. Doss et, “ISA”，1982, vol 20 No 4, p. 77.
- 〔4〕井上雄一郎，“计装”，1981年1月，p. 88.

- [5] 陈南岳等,“冶金自动化”,1985,1. p. 8.
- [6] 李明玉,“冶金自动化所资料”,1980,1.
- [7] H. Amano,“IFAC第8届世界大会 钢铁自动化论文集”,(中文版),p. 181.
- [8] M. Ono,“IFAC第八届大会钢铁自动化论文集”,p. 188.
- [9] M. Kamata,“IFAC第八届大会钢铁自

动化论文集”,p. 197.

[10] Y. Iwahashi,“IFAC第八届大会钢铁自动化论文集”,p. 206.

[11] Слывак, эц,“Нагревательщик Методических Печей Прокатных Станов” 1976.

[12] 大谷启一等,“工业加热”,1983. 9, p. 35.

计算机在太钢科技档案检索中的应用

高德

(太钢电子计算中心站)

一、引言

为了充分发挥科技档案这一技术资源的作用,以适应生产和科研的需要,这就要求对科技档案的查阅检索、统计分析等具有及时准确、灵活方便和分秒必争的能力。这对日产值数百万元的大型联合企业来说,是十分重要的。特别是当事故停产、抢修、检修等而急需查阅科技档案时,更有很大的经济价值。为此,使用计算机管理是十分必要的。

档案管理是企业管理的一个组成部分。电子计算机在档案管理中的作用如下:

- (1) 存贮档案资料,建立数据库;
- (2) 档案检索;
- (3) 编制档案的各种目录索引;
- (4) 对档案进行统计和分析;
- (5) 管理档案的借阅工作;
- (6) 分析档案的内容,进行“自动检索”;
- (7) 管理档案的检索词表;
- (8) 复制数据库,组织档案交流;
- (9) 进行档案的专题汇编工作;
- (10) 利用终端进行远距离网络检索和管理;
- (11) 在我国,可按部、委或更大系统与下属各厂、矿企业以及企业内部厂、矿之

间进行相互检索查询,共享档案资源;

(12) 在条件允许时,可进行普通缩微和激光缩微、放大制图、复原档案资料等。

应用电子计算机进行档案检索的优点是:

- (1) 能够科学地建立完整统一的档案资源系统;
- (2) 灵活方便、快速准确;
- (3) 便于建立内外网络,共享资源,充分发挥档案资源的利用率和效能;
- (4) 可以进行远距离检索;
- (5) 如通过缩微处理,可大大缩小档案的存贮体积,便于管理、保存和复制。

二、程序设计及其检索功能

1. 程序设计的指导思想

根据我公司计算机的性能和档案工作中统一管理的情况,在程序设计上有以下特点:

本系统是在DJS-154计算机上实现的,在数据的组织结构和处理上,基本上采用了由数据结构类型集合、操作集合和完整性约束条件集合三部分组成的类似于关系数据模型。这是一个不太完整不太成熟的简单数据库,其中的数据定义不明显包括物理布置和存取路径。根据检索内容及特点这里也部分地采用了笛卡尔集和组合数学中的一些方

本期内容摘要

国外有色金属工业 应用电子计算机的水平及发展动态

赵显富

《冶金自动化》1985年第3期P1~6

本文论述了国外有色金属工业应用电子计算机的概况,即三个时期(六十、七十、八十年代)的发展特点。并对计算机在有色金属矿山生产、冶炼及电解过程、有色金属加工等方面的应用做了详细介绍。对今后计算机的发展的动态也作了论述。文中附有40个应用项目及其效果一览表。

主题词 有色金属工业;计算机应用;冶炼;电解;金属加工;节能;国外。

近代交流调速技术发展动向

佟纯厚

《冶金自动化》1985年第3期P7~12

该文系统地论述了交流调速拖动的特点,综述了国内外新的交流调速方式。以可控硅变频系统为主干,以矢量变换控制和微机控制为核心,介绍了近代交流调速的发展动向。最后指出了半导体功率变换装置存在的主要问题和改进措施。

主题词 交流调速;可控硅变频系统;矢量控制;微机控制

现代加热炉过程控制技术 及其数学模型

陈南岳

《冶金自动化》1985年第3期p12~22

加热炉是冶金、机械、军工等部门常用的耗能主要设备,搞好各种加热炉的技术改造、提高其能源利用率已引起各企业的重视。本文对加热炉过程控制中实施最佳燃烧控制的二个方案:改进型双交叉制约控制和残 O_2 闭环控制进行了分析汇总;并且着重介绍了钢坯升温过程的数学模型的设定计算,该模型系基于热交换原理推算出的二维热传导方程,经简化运算所得。

主题词 加热炉;燃烧控制;数学模型;热交换。

计算机在太钢科技档案检索中 的应用

高德

《冶金自动化》1985年第3期P22~26

在大型企业发挥科技档案这一技术资源的作用,经济收益甚大。本文介绍用计算机来管理科技档案的作用、优点、程序设计及检索功能、操作方法和应用举例(以天车为例),文末着重说明效果(若档案管理不科学,一天损失150万元)与价值。

主题词 计算机管理;档案检索;科学管理;钢铁工业

微型机系统在红冶钢厂 生产管理中的应用

胡文艳 王育

《冶金自动化》1985年第3期P~

本文介绍一个适用于中小钢厂生产管理的微型机系统,已在北京红冶钢厂投入使用。采用DATAMAX-8000微型机(CPU为Z80A),CP/M操作系统,dBASE-II数据库管理系统,冶金部自动化研究所的汉字系统。使用的软件是“主要技术经济指标统计月报”,“产值、产量月(季)报”等。系统已鉴定,工作效率提高5~10倍,且数据准确。

主题词 计算机管理;科学管理;钢铁工业;微型机应用

应用微机对轧机传动系统 动态参数的检测

刘国生

《冶金自动化》1985年第3期p29~31

本文介绍用一台TP-801单板机配置适当硬件设备,构成智能检测系统,对轧机传动系统动态参数进行采样和数据处理,以实现传动系统参数的连续在线检测和故障自诊断,对故障进行报警和提供故障分析的依据。文中还对用软件提高抗扰性作了较详细介绍。

主题词 轧机;动态参数检测;单板机应用;软件抗干扰