

# 局部系统的统一与集成\*

任 秀 珍

(华侨大学科研处, 泉州 362011)

**摘要** 对连铸连轧生产线的自控制系统, 按系统学优化协调与分解的观点, 提出整体化集成的方法, 可供其他工业生产过程控制系统参考.

**关键词** 集成系统, 最优控制, 连铸连轧

**分类号** TP 271.6

统一与集成系统的控制效果大于局部最优系统的控制效果的总和, 这个观点可由连续铸锭与连续轧钢的集成系统来证明. 对于一个统一集成的系统, 其关键步骤是寻找主控制变量, 然后通过协调器, 使局部系统的被控制变量与主控制变量相匹配. 本文提出这类系统匹配的若干原则.

## 1 局部优化

连铸连轧生产线包括: 结晶器冷却过程; 多段喷雾过程; 拉辊调速过程; 飞剪定长过程; 粗坯传送过程; 粗坯预热、加热过程; 钢板厚度行星轧机轧制过程; 卷取过程等九个部分. 每个部分都有若干过程参数控制系统.

### 1.1 结晶器冷却过程的局部优化控制

结晶器安全生产中的一个问题是防止拉漏事故产生, 因此提出稳定冷却水流量问题. 当冷却水流量保持在某一数值上, 在结晶器凝固钢水就可以形成足够厚度的凝固层外壳. 许多工厂冷却水都尽可能开大, 不仅造成浪费, 而且拉漏现象不时产生, 这就需要从本质上改造控制系统. 例如, 重钢三厂以往冷却水消耗在结晶器上约  $60 \text{ t} \cdot \text{h}^{-1}$ , 每星期都有 1~2 次拉漏事故产生.

从优化控制的观点分析, 选择冷却水流量控制是不合适的, 原因是冷却水大并不能保证结晶器内钢水的凝固层厚度大. 最理想的控制是使结晶器达到最佳的生产效率, 而结晶器的生产效率取决于结晶器的传热效率, 即

$$Q_7 = C(W, \nu) \cdot W(\theta_2 - \theta_1) \quad (1)$$

式中,  $W$  为结晶器冷却水流量,  $\theta_1$  与  $\theta_2$  分别为出口和入口的冷却水温度,  $C(W, \nu)$  作为传热系数是  $W$  与拉速  $\nu$  的函数,  $Q_7$  为单位时间传热量.

\* 本文 1993-08-13 收到; 机械工业部重点科研项目

试验证明,  $Q_r$  为  $W$  的非线性函数, 且有极值存在. 因此, 控制的目标在于使  $Q_r$  为极大值.  $C(W, v)$  不为常数是结晶器传热过程 1 个重要特点, 因为冷却会使结晶器内的钢水及凝固层收缩, 形成 1 个不容易传热的空气夹层, 阻止更多热量的传递. 我们曾研制 1 种方向搜寻方式的极值调节器, 并与温差  $(\theta_2 - \theta_1)$  变送器、冷却水流量  $W$  变送器, 按  $\bar{Q}_r = C_w W (\theta_2 - \theta_1)$  构成 1 个  $\bar{Q}_r$  极值控制系统.  $W$  的控制量由极值条件决定, 即

$$\begin{cases} \frac{\partial \bar{Q}_r}{\partial W} = 0, \\ \frac{\partial^2 \bar{Q}_r}{\partial W^2} \leq 0, \end{cases} \quad (2)$$

式 (2) 的功能由极值调节器  $\bar{Q}_r$  来实现. 自动最优冷却水量的搜寻过程是发出 1 个  $\Delta W_n$  的搜寻信号,  $\Delta W$  的符号由前 1 次  $\Delta Q_{r-1}$  与  $\Delta W_{r-1}$  的符号决定. 即  $\Delta W_n = -\beta, \Delta Q_{r-1} / \Delta W_{r-1}$ .

$\beta$  的实验值为  $\beta \leq 0.656$ , 它是系统平稳操作的条件, 使这个系统投运效果良好, 不仅不会拉漏, 还节省 30% 左右的冷却水.

## 1.2 多段喷雾过程的模型化控制

优化喷雾过程是喷雾水冷却后, 铸锭钢坯具有最优的飞剪切断温度, 材料温度内外均匀, 并具有理想的冶金特性. 在拉速  $1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  的条件下, 喷雾水模型为

$$W_i = W_{xi} + W_i(0), \quad (3)$$

其中,  $i=1, 2, 3, 4$ , 代表 1~4 段的序号,  $W_{xi}$  为同拉速有关的量,  $W_i(0)$  为初始值.

## 1.3 飞剪定长过程顺序控制

根据 1 次浇铸过程的钢水量, 计算钢坯的每次最合适裁剪长度, 并自动地按规定的裁剪长度与定长计数器组成 1 个符合信号发生器. 每当 1 个符合信号产生之时, 发生一系列的飞剪顺序操作动作, 包括钢坯夹持 → 飞剪剪切 → 飞剪复位 → 钢坯松夹.

## 1.4 预热与加热模型

由于钢坯从铸钢工段传送到轧制工段, 经露天条件的自然冷却过程, 在进入行星轧机之前需要预热与加热, 获得满意的冶金材料特性与允许开轧的温度. 虽然连续轧制过程的钢坯预热与加热是在强化条件下进行的, 但为保证钢坯的内外部分的温度均匀, 各段温度过程均需要控制两个参数 (温度与停留时间). 图 1 为典型预热与加热过程的温度与停留时间的控制曲线. 其中  $\theta$  表示控制的温度,  $t_1, t_2, t_3$  和  $t_4$  为各段的计时点, ( $t_4$  是轧机要求的轧制温度所对应的计时点). 一般地说,  $\theta_{t_1}, \theta_{t_2}, \theta_{t_3}$  是可变的, 而  $\theta_{t_4}$  则是恒值. 即

$$\theta_{t_i} = f_i(v), \quad (4)$$

$\theta_{t_i}$  为轧制速度的函数, 轧制速度快,  $\theta_{t_i}$  应调高, 以保证达到轧制所要求的温度. 因此, 预热与

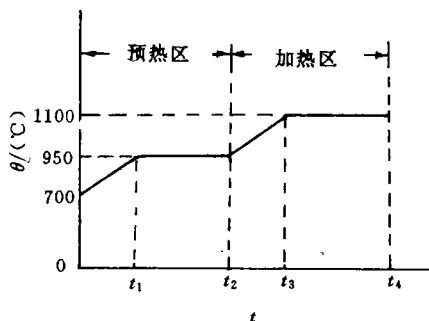


图 1 典型轧制预热与加热曲线

加热过程是 1 个按模型分配各加热段与区的温度控制系统设定值, 即温度 SPC 控制系统。

### 1.5 轧制过程钢板厚度控制

行星轧机的压下量是钢板厚度粗调节量, 平整机的压下量是厚度的细调量。这种控制对象有两个特点: (1) 对象调节难度大, 若将对象特性近似于  $G(s) = K_x e^{-\tau s} / TS + 1$ , 则  $\tau/T$  比值相当大。由于  $T \approx 0$ , 因此  $\tau/T \rightarrow \infty$ 。工业过程系统的控制难度一般用  $\tau/T$  比较来衡量; (2) 对象有两个执行机构—行星轧机的压下量  $m_1$  操作机构与平整机压下量  $m_2$  操作机构, 前者粗调引起对象的静态增益变化大, 后者为精调产生的对象静态增益小, 系统实施方法: (a) Smith 预估补偿控制方法, 克服  $\tau/T$  比值太大调节的困难; (b) 采用分程调节方式协调 1 个系统两个执行机构的动作; (c) 采用变比例增益 PI 调节模型, 克服对象静态增益  $K_x$  的变化, 使系统始终维持在最优的调节状态下。其控制系统及有关功能切换系统的组成如图 2 所示。这是 1 种集预估、控制和安全决策的综合性高品质控制系统。

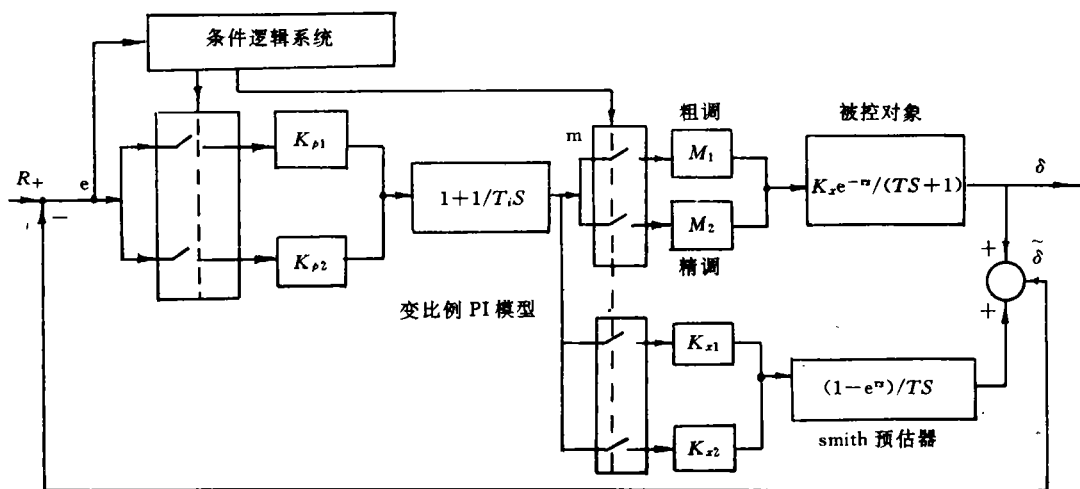


图 2 钢板厚度综合控制系统

## 2 集成化统一系统

现代控制理论中的优化理论（如动态规划）说明的 1 个核心思想是“1 加 1 等于 2”，即所有子系统均优化控制相当于全大系统的优化控制。集成化统一系统的 1 个核心思想是“1 加 1 大于 2”，即统一的优化系统应大于局部优化子系统所产生的效果。连铸连轧线的 9 个局部子系统优化，并通过协调集成统一的系统，可以比原来的系统大大提高生产效率。我们认为设计集成化统一系统有几个原则是必须遵守的。

### 2.1 选好主控变量或主控向量

连铸连轧生产线的整体控制目标是在产品质量合格的条件下，尽可能获得最高的产量。

所谓钢板质量合格包含两方面意义:(1)钢板材质符合规定标准的冶金特性;(2)钢板厚度符合要求.生产线的产量决定于轧机速度,它受两个条件的限制:(a)轧机本身允许的最高速度  $v_{\max}$ ,  $v \leq v_{\max}$ ; (b)生产线保证维持连续运转的条件,即

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^n (F_i - W_i) = \sum_{j=1}^n (\zeta_j A_j v_j + \eta_j) \\ W_{\min} \leq W_i \leq W_{\max} \\ v_j \leq v_{\max}, \end{cases} \quad (5)$$

式中,  $F_i$  为每次进生产线的净原料量,  $W_i$  为中间堆料场的库存量,  $A_j$  为钢坯截面积,  $v_j$  为轧制速度,  $\zeta_j$  为原料折算系数,  $\eta_j$  为损失量. 因此最优的轧制速度由式 (5) 决定, 通过动态规划可以求出  $v_j$  的现行值. 这个生产线只有 1 个主控变量, 在化工炼油过程有时主控变量不止 1 个, 因此就形成 1 个主控向量.

## 2.2 关键变量与主控变量的协调

各个局部优化系统集成成为一个统一的大系统, 其局部关键变量就需要同主控变量协调. 例如, 多段喷雾过程的喷雾水模型式 (3), 可修改为

$$W_i = C_i v + W_i(0), \quad i = 1, 2, 3, 4. \quad (6)$$

式中模型待定系数  $C_i$ ,  $W_i(0)$ , 通过数据测试与回归分析可以确定. 我们曾从钢坯材质检验中, 找出品位较高的 1 组数据与相应的喷雾水流量数据, 得到附表所示的模型

附表 喷雾水模型常数  $C_i$  与初始值  $W_i(0)$

项目	段数 $i$			
	1	2	3	4
$C_i$	0.121	0.125	0.120	0.200
$W_i(0)$	0.446	0.483	0.447	0.524

型系数. 原来的喷雾水各段定值控制系统, 更改为 SPC 喷雾模型随动设定给定值的系统. SPC 模型是  $v$  与  $W_i$  的协调部分, 与  $W_i$  的联系框图, 如图 3 所示.

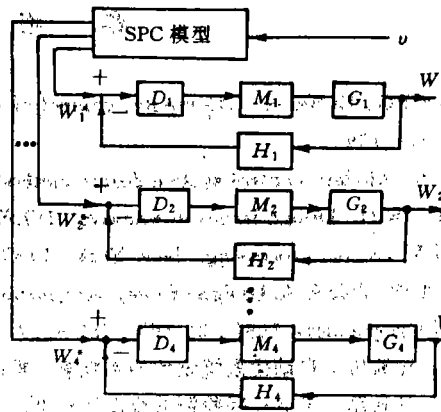


图 3  $v$  与  $W_i$  的联系框图

预热和加热模型, 同样存在着与  $v$  的协调问题. 当  $v$  增加时, 钢坯在预热炉和加热炉里停留时  $v$  增大而变小, 此时为使钢坯达到预期的效果, 各个时间点 ( $t_1$ ,  $t_2$ ,  $t_3$  与  $t_4$ ) 对应的控制温度必须相应提高. 于是,  $v$  与  $\theta_n$  有 1 个 SPC 模型联系的协调部分.

卷取过程是一个物料平衡过程, 即

$$Av = h\delta v_1, \quad (7)$$

式中,  $A$  为钢坯截面积,  $v$  与  $v_1$  为轧机进料速度与卷取速度,  $h$  为钢板长度,  $\delta$  为钢板厚度. 因此, 卷取速度的 SPC 系统的设定值为

$$v_1^* = \frac{A}{h} \cdot \frac{v}{\delta} = C \frac{v}{\delta}, \quad C = \frac{A}{h} \text{ 为常数.}$$

连铸连轧生产线的其它局部优化子系统, 均可按上述的方法, 产生同主控制变量的协调函数.

### 2.3 及时修改内模参数

一条生产有许多关联系统和内模函数, 如框图(图 2)中的 Smith 预估器  $K_r(1-e^{-s})/(TS+1)$ , 是属于被控制对象范围之外, 也是装设在控制装置中的内模型. 当这种内模与对象输出并联, 可以得到 1 个不包含纯滞后  $e^{-s}$  特性的广义被控制对象.

## 3 小结

集成统一化系统是在总体目标模型指导下, 设置 1 个或若干个主控变量, 由这个变量或向量通过协调网络修改局部优化子系统, 使这些子系统统一成 1 个集成化系统, 其效果必定大于局部优化子系统的效果总和. 这是因为局部子系统的优化是以总目标相适应的, 这种适应不仅是数学函数的分解等价(目前优化设计仅局限于这一步骤), 而且与生产过程的动态相适应. 同时, 系统信号有一定最大能力的运行范围, 控制信号有最大的调节范围. 这种突出总体考虑局部潜力与限制, 是本文的核心构想, 希望对后人有所帮助.

本文为任秀珍同志遗作, 由王永初同志整理定稿.

## 参 考 文 献

- 1 Bollinger J G, Duffie N A. Computer control of machines and processes. New York: Addison-wesley, 1988. 132~139
- 2 Bonie J A. Modern control system design methods. New York: Prentice-Hall, 1986. 443~502
- 3 Middleton R H. Design issues in adaptive. IEEE Trans. in Automatic Control, 1988, 33 (1): 50~58
- 4 Candy J V. Signal processing. New York: McGraw-Hill, 1988. 351~395
- 5 Naylor A W, Volz R A. Design of integrated manufacturing system control software. IEEE Trans. on System and Cybernetics, 1987, 32 (6): 881~897
- 6 王永初, 任秀珍. 自动化系统设计的系统学. 重庆: 重庆出版社, 1989. 518~520
- 7 王永初, 任秀珍. 工业过程控制系统设计范例. 北京: 科学出版社, 1986. 379~386

## Unification and Integration of Local Systems

Ren Xiuzhen

(Sci. Res. Adm. Off., Huaqiao Univ., 362011, Quanzhou)

**Abstract** For the use of automatic control system in a production line of continuous steel-casting steel-rolling, a method of global integration is proposed. The method is based on the viewpoint of optimized coordination and disintegration in systematics. It may serve the reference of other industrial productive processes.

**Keywords** integrated system, optimal control, continuous steel-casting and steel-rolling