

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

$$Q_{\gamma} = C(W, \nu) \cdot W(\theta_2 - \theta_1) \quad (1)$$

式中, W 为结晶器冷却水流量, θ_1 与 θ_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 ν 的函数, Q_{γ} 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_7 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_7 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 $\bar{Q}_7 = C_w W (\theta_2 - \theta_1)$ 构成 1 个 \bar{Q}_7 极值控制系统。 W 的控制量由极值条件决定，即

$$\begin{cases} \frac{\partial \bar{Q}_7}{\partial W} = 0, \\ \frac{\partial^2 \bar{Q}_7}{\partial W^2} \leq 0, \end{cases} \quad (2)$$

式 (2) 的功能由极值调节器 \bar{Q}_7 来实现。自动最优冷却水量的搜寻过程是发出 1 个 ΔW_n 的搜寻信号， ΔW 的符号由前 1 次 ΔQ_{7-1} 与 ΔW_{7-1} 的符号决定。即 $\Delta W_n = -\beta, \Delta Q_{7-1} / \Delta W_{7-1}$ 。

β 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 → 钢坯松开。

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 θ 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 θ_{t_4} 则是恒值。即

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

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

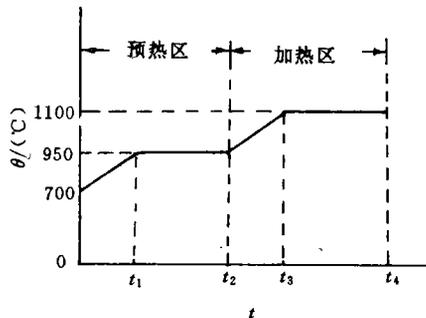


图 1 典型轧制预热与加热曲线

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 τ/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 τ/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 τ/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.

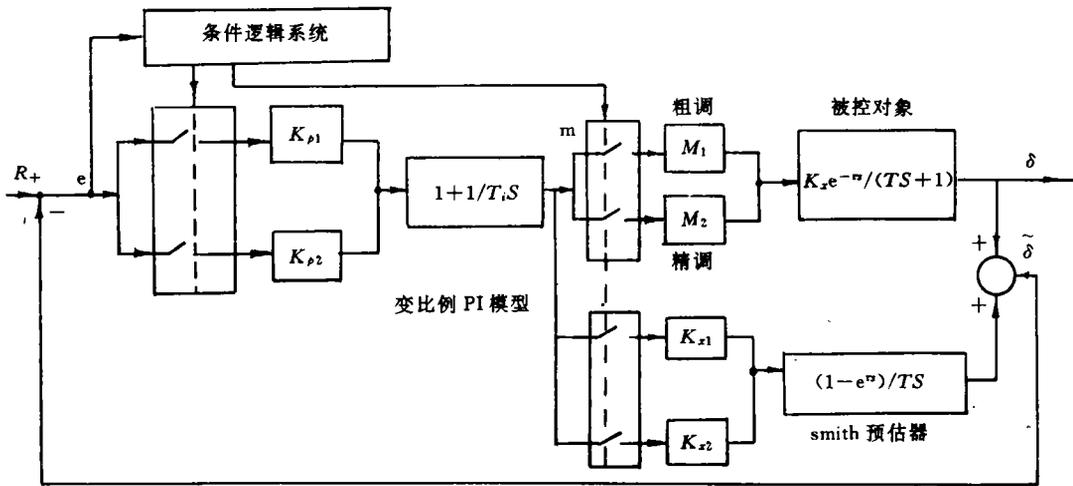


图2 钢板厚度综合控制系统

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， ζ_j 为原料折算系数， η_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， v 与 W_i 的联系框图，如图 3 所示。

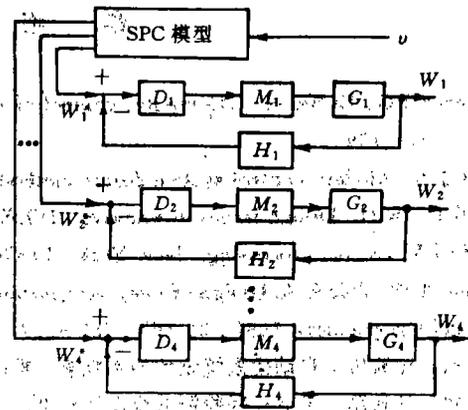


图 3 v 与 W_i 的联系框图

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 θ_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， δ 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 $K_c(1-e^{-sT})/(TS+1)$,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^{-sT} 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