

工业燃煤锅炉燃烧自动化*

步子祥 夏钟银

(上海第五化学纤维厂)

摘 要

本文是对链条炉排工业燃煤锅炉实现燃烧自动化的技术总结。文中对工业燃煤锅炉燃烧过程特点做了分析,设计了突出风量作用的燃烧自动化方案。文中还提出工业燃煤锅炉燃烧自动化系统过渡过程的特殊要求,推荐了整定参数计算的具体方法,最后介绍了系统实际投运后的技术经济效果。

一、燃烧过程分析

工业燃煤锅炉一般均具有较大的热惰性,即在燃烧过程中,块煤进入炉膛后,不是立即全部烧尽,而是随着炉排前进而逐渐烧尽,燃料煤总是几乎铺满整个燃烧段平面,炉膛中瞬态变化很大程度上取决于送风量,而给煤量的变化对其影响比较缓慢;因此,瞬间汽压变化能否较有效地得到克服,同样在很大程度上取决于送风量。然而,长时间维持汽压稳定,既要靠送风量,又要靠给煤量,二者缺一不可。这是工业燃煤锅炉燃烧过程的基本特点。

工业燃煤锅炉燃烧过程必须注重经济性。所谓燃烧经济性,乃是保证汽压稳定的情况下,燃料煤的耗用量为最小,煤在炉膛内尽可能完全燃烧。为了使煤能完全燃烧,必须有足够量的空气,但过多量的空气,风量过大,必然大幅度地增加引风量,从而增加排烟热损失,使炉温降低,反而使燃烧不经济。所以,在经济性燃烧过程中,必须采用煤量与风量配比的办法,并且须按锅炉燃烧对过剩空气的特殊要求来进行。

设送风量为 Q , 给煤量为 W , 煤种品质因数为 k_1 , 炉膛漏风量为 q , 则

$$Q = k_1 W - q \quad (1)$$

又因为

$$q = k_2 \sqrt{|P_2|} \quad (2)$$

式中 P_2 为炉膛负压, k_2 为炉膛漏风系数,由(1)和(2)两式,即有

$$Q = k_1 W - k_2 \sqrt{|P_2|} \quad (3)$$

于是得煤风燃烧配料曲线 l , 如图 1 所示。令经常工作点为 $L_0(W_0, Q_0)$, 为了使煤风配比问题得以简化,用 OL_0 直线 l' 代替原燃烧配料曲线 l , 直线 l' 的方程,显然是

* 本文曾在 1979 年 11 月全国自动化技术应用学术年会上宣读。本文修改稿于 1980 年 3 月 13 日收到。

$$Q = \frac{Q_0}{W_0} W \quad (4)$$

由于 P_2 本身只有 $-2\text{mm H}_2\text{O}$, 故 $k_2 \sqrt{|P_2|} / k_1$ 很小, 所以 l 与 l' 的斜率很接近, 即

$$k_1 \approx \frac{Q_0}{W_0} \quad (5)$$

也就是说, 在煤风配比中, 完全可以忽略炉膛漏风不计, 而直接用过原点的直线 OL_0 来作为煤风配料曲线。

由于块煤在炉膛内燃烧过程比较缓慢, 因此, 燃烧经济性与煤风的瞬时比值关系不大, 而取决于一段时间内的煤风平均比值。同时,

烟气成份变化也比较缓慢, 烟气含氧量的瞬时值分析, 对燃烧经济性的指导意义不大, 而其平均值则有一定的意义。在一定煤风比值范围内, 总是有一部分氧气不参与燃烧, 而直接排入烟道, 一般工业燃煤锅炉的烟气含氧量均较大, 在炉膛烟气出口处约为 8% 左右。

一般工业燃煤锅炉均为负微压燃烧。若炉膛压力偏高, 烟气即向外喷出, 影响设备与工作人员安全; 若炉膛压力偏低, 炉膛漏风增大, 从而增加引风机负荷和排烟热损失, 影响燃烧经济性。因此,

希望炉膛压力尽可能稳定。其炉膛负微压, 不但与燃烧工况及排烟量有关, 且与送风量有关。

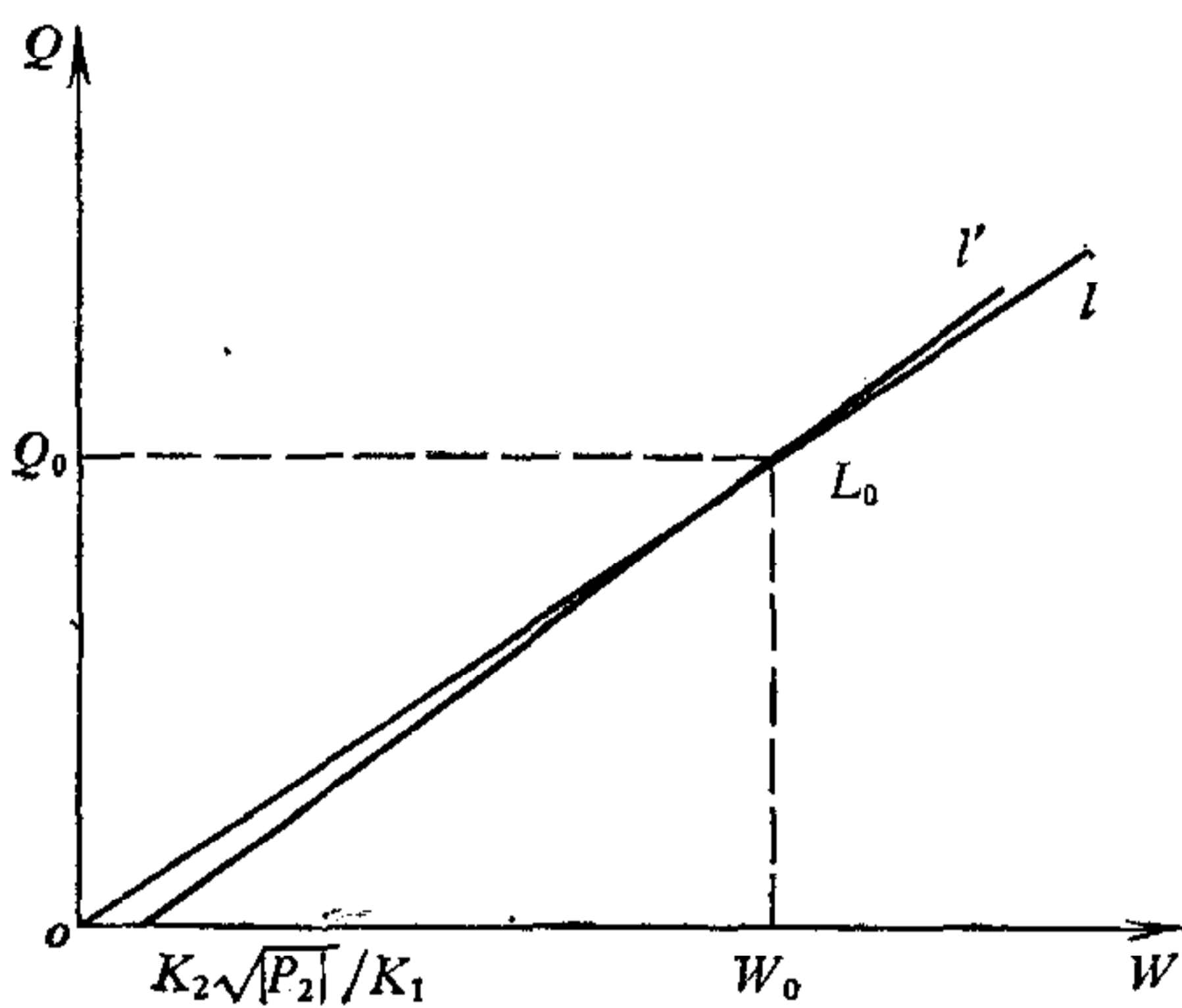


图 1 煤风燃烧配料曲线

二、方案组成

依据上述分析, 链条炉排工业燃煤锅炉燃烧自动化方案组成可如图 2 所示, 此方案在最高工作压力为 13 kg/cm^2 , 最大蒸发量为 20 T/H 的锅炉进行试验。方案由热负荷自动调节系统、燃烧经济性自动调节系统及炉膛负微压自动调节系统组成, 全部采用 DDZ-II 型电动单元组合仪表, 炉排拖动部分采用可控硅直流电动机调速装置。

热负荷自动调节系统是一个有前馈补偿的串级调节系统, 图 3 是其等效方块图。主参数蒸汽压力是锅炉运行中的主要指标, 依据工业燃煤锅炉燃烧过程的基本特点, 把送风量作为瞬时稳定汽压的直接调节参数, 这与把给煤量作为主要调节参数相比, 前者有效地减小了调节通道的滞后时间与时间常数, 在某种程度上克服了链条炉排燃煤锅炉燃烧过程瞬态响应差、反应速度慢等弱点, 使系统调节过程的超调量减小, 过渡过程时间缩短。这里采用串级调节系统的目的, 是提高系统调节作用的总放大倍数和工作频率, 从而增强了系统克服内扰的能力。蒸汽流量变化是本系统的主要外扰, 当蒸汽流量变化较大时, 它对汽压的稳定有明显的影响, 为此, 引进蒸汽流量信号作为前馈信号进行外扰补偿, 以进一步提高系统调节的快速性及汽压的稳定性。为了不让风量过大, 而使炉膛燃烧的过剩空气系数 α 变大, 必须对此调节系统的主调节器的输出进行适当限幅。

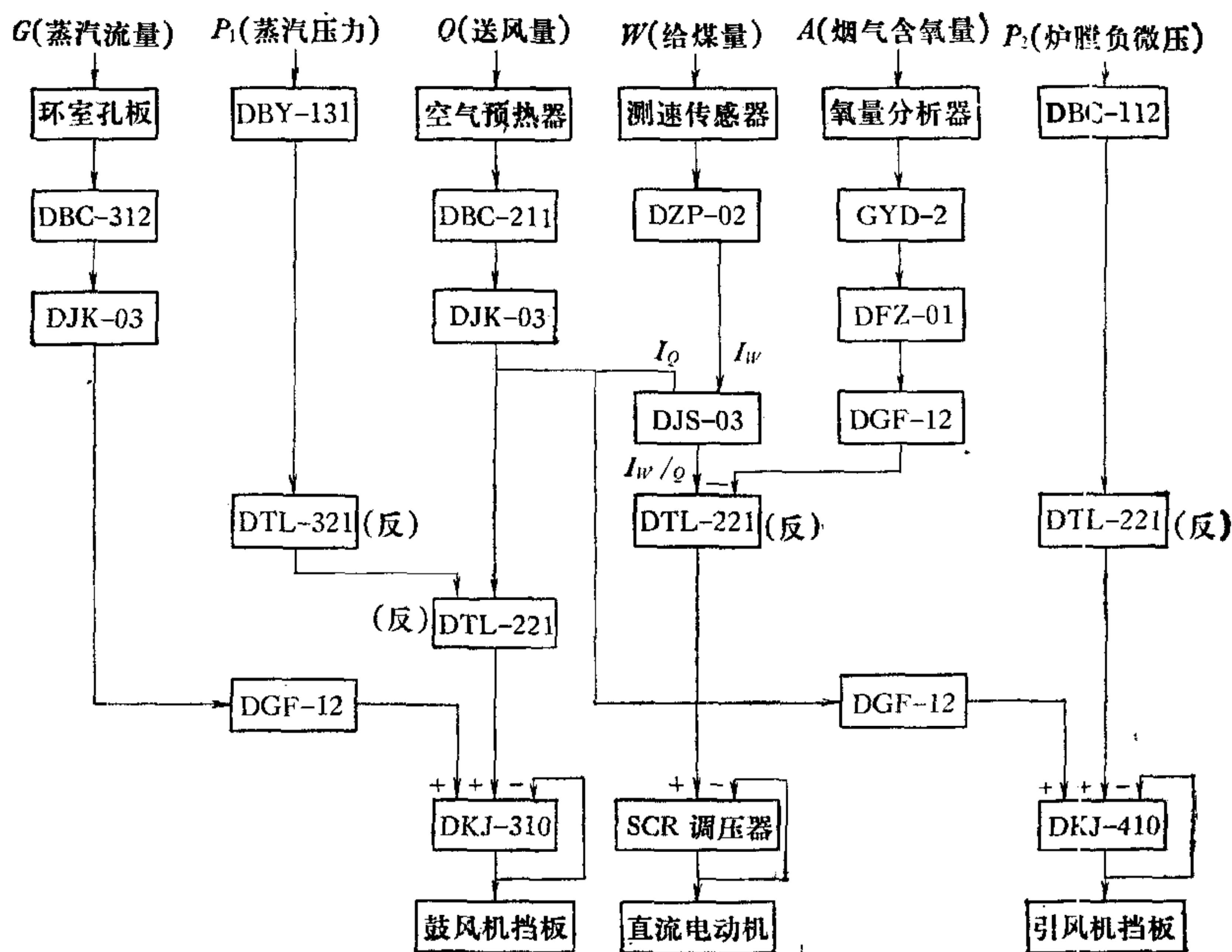


图 2 20T/H 链条炉排工业燃煤锅炉燃烧自动化方框图 (DDZ-II 型仪表)

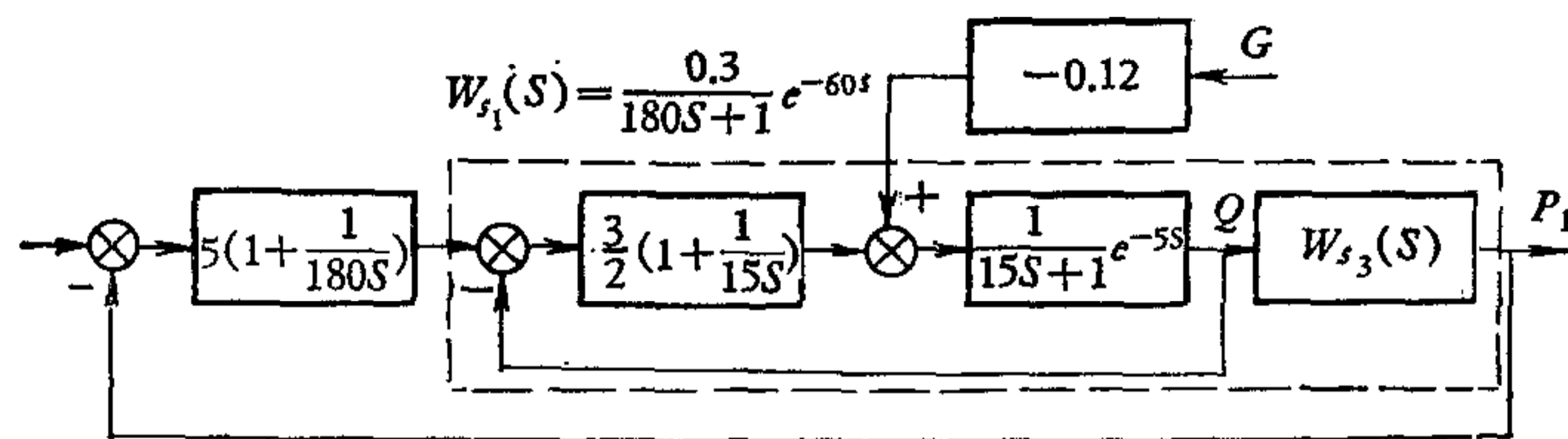


图 3 热负荷自动调节系统等效方块图

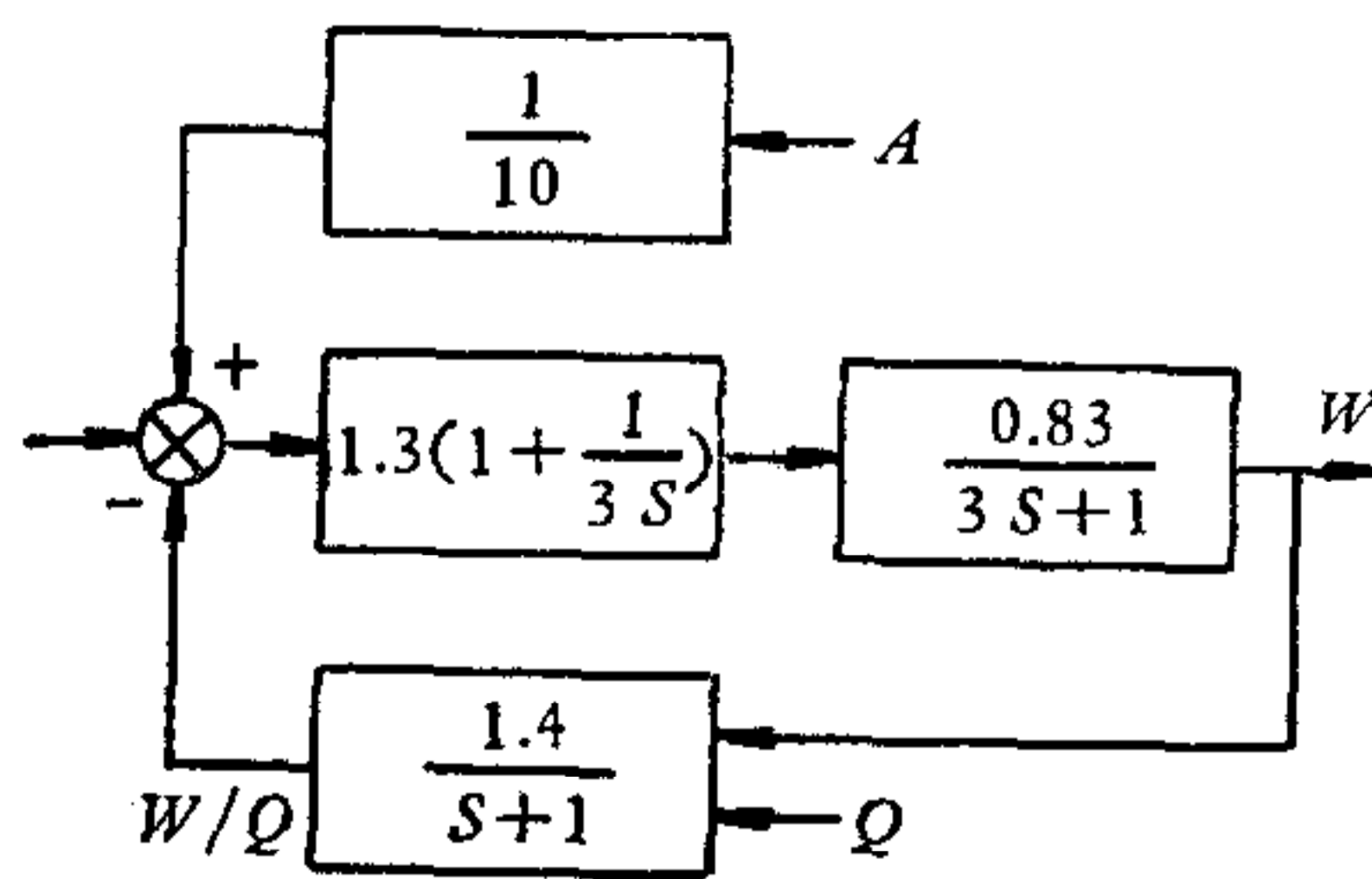


图 4 燃烧经济性自动调节系统等效方块图

燃烧经济性自动调节系统是一个有校正信号的串联型比值调节系统，图 4 是其等效方块图。采用串联型的目的是配合热负荷自动调节系统突出送风量的作用。在实际系统实施方案中，由于煤风比值调节器给定具体的煤风比值，其输入信号为除法器的输出信号 I_s ，且有

$$I_s = \frac{10 I_w}{I_Q} \tag{6}$$

式中 10 是除法器的系数。由于风量信号电流 I_o 由热负荷自动调节系统确定,因此,为校正比值而必须改变煤量信号电流 I_w ,即在燃烧经济性调节中,煤风比值在给煤通道中校正。在燃烧经济性自动调节系统中,煤量跟随风量的变化而变化,既要满足煤风的比值关系,又要间接地成为热负荷自动调节系统的另一个调节参数。由于给煤量、送风量测量误差及各种随机干扰因素的存在,单纯靠煤风比值调节,并不能得到理想的经济性燃烧,为此,在比值调节器的副通道上输入烟气含氧量信号电流 I_A 作为比值修正信号,以便在烟气含氧量偏高或偏低时,使给煤量相应地增加或减少,以利于更有效地实现燃烧经济性调节。烟气含氧量采用氧化锆氧分析器,带热电偶温度补偿,安装于锅炉的对流管束区。为解决氧化锆氧分析器灵敏度高,而检测点附近烟气及烟气内煤灰均处于剧烈的搅动状态,至使输出信号变动大,为了取得烟气含氧量大致上的平均值,在烟气含氧量变送装置后加入阻尼器。

炉膛负压自动调节系统是一个前馈-反馈调节系统,图 5 是其等效方块图。其通过引风机挡板开度的调节,即对排烟量的调节,来维持炉膛负压。送风量的变化是本系统的主要外扰,由于送风量是热负荷自动调节系统的调节参数,为稳定汽压,它的变化幅值有可能比较大,次数相对比较多,因此,为配合热负荷自动调节系统,使炉膛负压得到快速、稳定的调节过程,就有必要采用前馈补偿,以提高系统的调节品质。有必要提及的是,烟道上各装置对烟气的阻力大小,不但对炉膛负压的调节,同时对热负荷调节及燃烧经济性调节均有很大的影响;因为,当烟道上各装置对烟气的阻力大到一定程度时,引风机挡板的调节对烟气排出量的控制作用显著减弱,此时,实际炉膛燃烧工况已经变劣,这是一个非常值得注意的问题。为使燃烧自动化各系统能正常工作,必须尽可能降低烟道上各装置对烟气的阻力,并定期清灰。

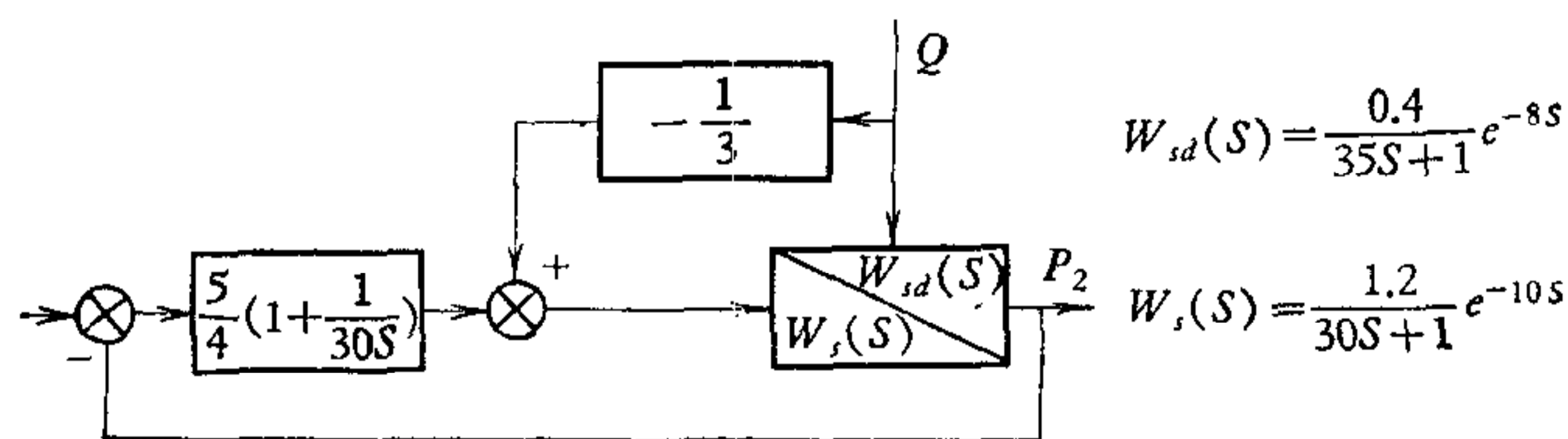


图 5 炉膛负压自动调节系统等效方块图

三、整定参数计算

工业燃煤锅炉广义对象的传递函数 $W_s(s)$ 一般均为高阶惯性环节,但为了简化问题的研究,均作一阶近似处理,即

$$W_s(s) = \frac{k}{TS + 1} e^{-\tau s} \quad (7)$$

由于工业燃煤锅炉广义对象一般具有低通滤波特性,滞后时间 τ 本身比较小或其相对于时间常数 T 比较小,因此,将滞后环节 $e^{-\tau s}$ 可近似为一阶惯性环节,即

$$e^{-\tau s} \approx \frac{1}{\tau S + 1} \quad (8)$$

上述处理方法,看来近似误差较大,但在工业燃煤锅炉燃烧自动化工程中使用颇为方便实用。

工业燃煤锅炉燃烧自动化系统基于其本身的特殊性,希望系统调节过程稳定一点,超调量小一些,以利于送风量、给煤量及排烟量的动态配合,保证炉膛燃烧工况相对稳定,不产生剧烈变化,为此,要求系统过渡过程是一个单调衰减过程,即要求系统过渡过程的衰减率为

$$\phi \approx 1 \quad (9)$$

具体调节器整定参数计算,采用二阶系统最佳工程设计^[1],既简单又引之有效,其广义对象传递函数为

$$W_s(s) = \frac{k}{TS + 1} e^{-\tau s} \approx \frac{k}{TS + 1} \cdot \frac{1}{\tau S + 1} \quad (7')$$

系统采用 PI 调节器,其传递函数为

$$W_R(s) = \frac{1}{P} \left(1 + \frac{1}{T_I S} \right) \quad (10)$$

且有

$$\begin{cases} P = \frac{2k\tau}{T} \\ T_I = T \end{cases} \quad (11)$$

经计算得,二阶系统最佳工程设计过渡过程衰减率

$$\phi = 1 - e^{-2\pi} \approx 1 \quad (12)$$

工业燃煤锅炉燃烧自动化系统中,由前馈调节理论^[2],前馈补偿器的传递函数为

$$W_{Rd}(s) = - \frac{W_{sd}(s)}{W_s(s)} \quad (13)$$

式中 $W_{sd}(s)$ 为广义对象干扰通道传递函数, $W_s(s)$ 为广义对象调节通道传递函数。为使前馈补偿器得以简化,故采用所谓静态前馈补偿,即

$$W_{Rd}(s) \approx - \frac{k_d}{k} \quad (13')$$

式中 k_d 为广义对象干扰通道放大系数、 k 为广义对象调节通道放大系数,此时,前馈补偿器只须采用一只分流器即可。

热负荷自动调节系统、燃烧经济性自动调节系统及炉膛负微压自动调节系统的广义对象特性、反馈调节器及前馈补偿器的传递函数,经实测及计算分别如图3、图4及图5所示。

四、调节品质

工业燃煤锅炉燃烧自动化各系统投运应有一定的顺序。一般情况下,先投炉膛负微压自动调节系统,再投燃烧经济性自动调节系统,最后投热负荷自动调节系统。各系统投运时,必须先使外扰补偿信号或校正信号分流器的分流系数置于零,投入自动后,再逐渐

增大至所需值。

炉膛负微压自动调节系统经现场试验后,实际参数整定为:调节器比例度约为80%,积分时间约为30秒,补偿器分流系数为0.20。

图6是在主要外扰送风量增大十分之一影响下,炉膛负微压的自动调节过程。它基本上是一个单调衰减过程,保证引风机挡板动作平稳。从过渡过程曲线可看出,实际超调量为2%,过渡过程时间为30秒。

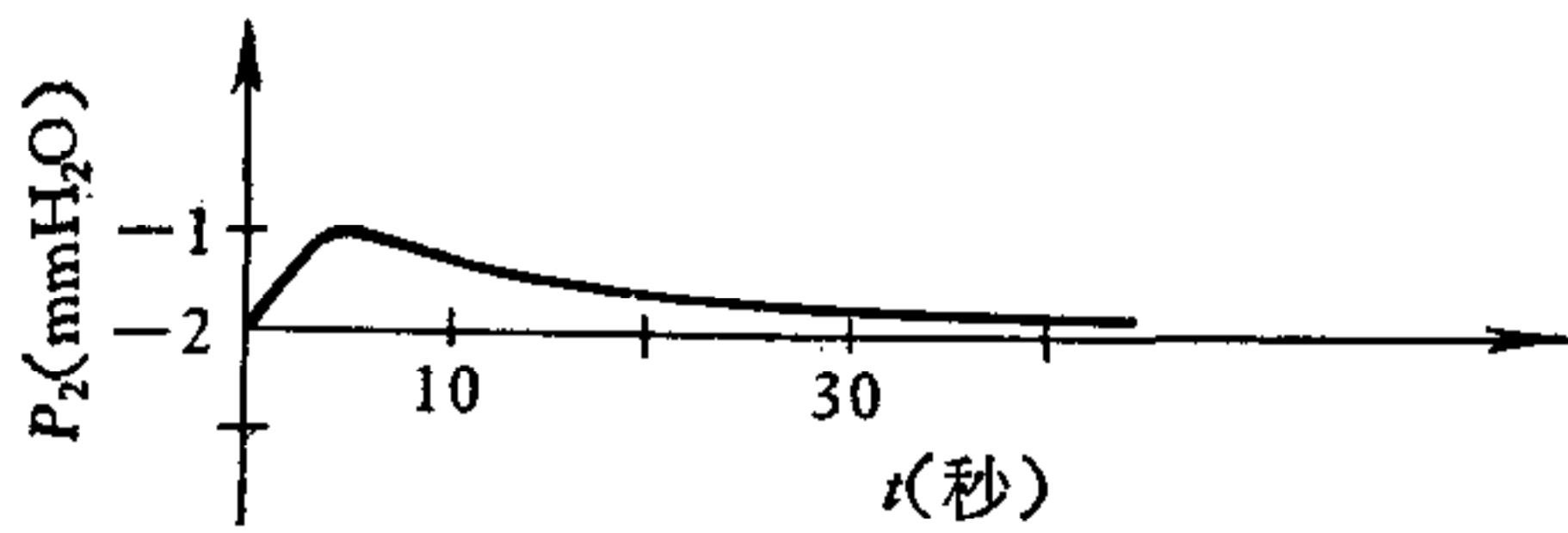


图6 送风量扰动下,炉膛负微压的调节过程

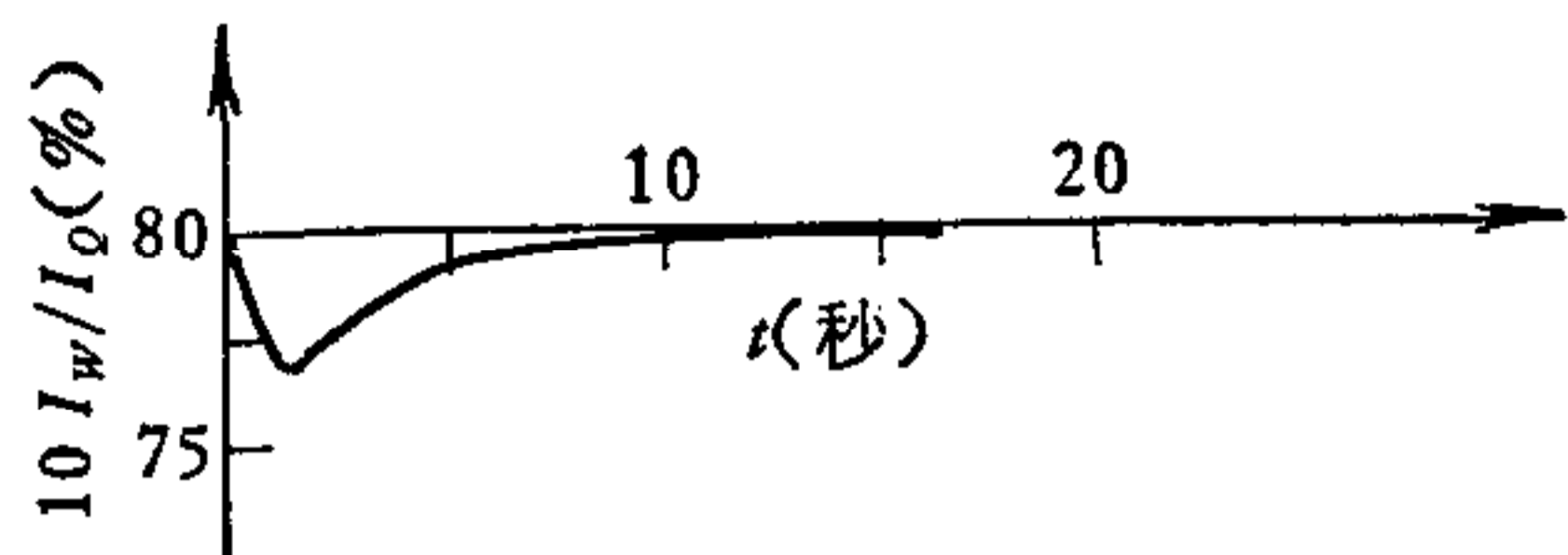


图7 送风量扰动下,煤风比值的校正过程

燃烧经济性自动调节系统经现场试验后,实际参数整定为:调节器比例度约为100%、积分时间小于6秒,校正器分流系数为0.10。

图7是在本系统外扰送风量扰动下,煤风比值在给煤通道中的自动校正过程。它也是一个单调衰减过程,实际当 I_0 减小较多时,校正过程出现衰减振荡过程。从图中可见,送风量有满量程十分之一的扰动时,比值校正最大超调量为3%,校正时间小于10秒。

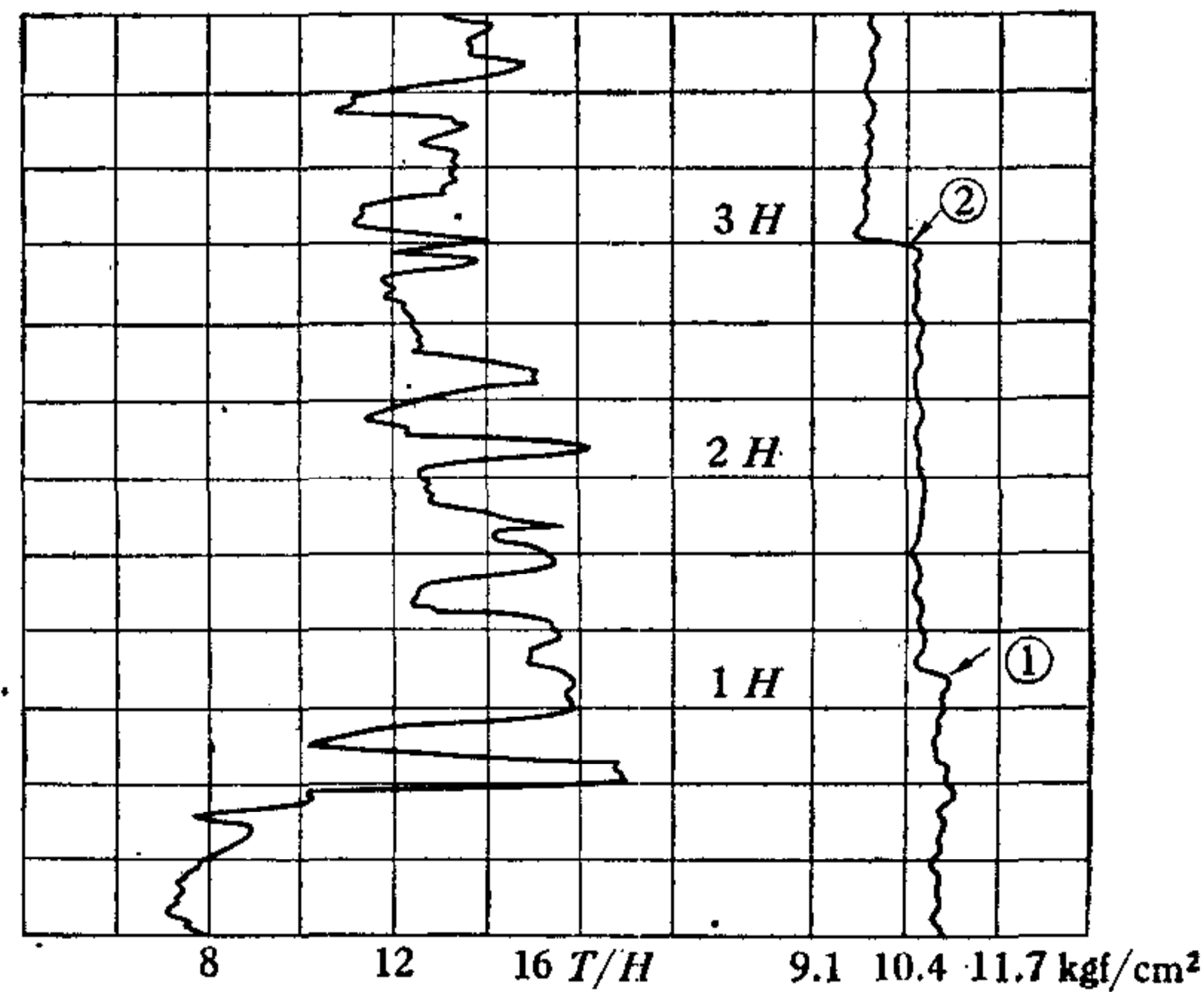


图8 蒸汽流量自然扰动下,汽压的调节曲线

① ② 处均为给定值降低

热负荷自动调节系统经现场试验后,实际参数整定为:主调节器比例度约为20%、积分时间约为150秒,副调节器比例度约为70%、积分时间约为15秒,补偿器分流系数为0.12。如果主调节器增加微分作用,则主调节器比例度约为15%、积分时间约为150秒、微分时间约为20秒。

图8是蒸汽负荷自然扰动下的汽压自动调节曲线(此时,燃烧经济性自动调节系统和炉膛负微压自动调节系统均投入自动),从图中可以看出,负荷变化量为4 T/H,即为负荷全量程的五分之一,调节过程甚为理想,超调量约为1.5%;负荷变化量为10 T/H,即为负荷全量程的二分之一,汽压仍有较满意的调节过程,此时超调量亦仅为3%左右,校正

时间仅为数分钟。

五、技术经济效果

这台锅炉过去由于手工操作, 蒸汽压力变化大, 汽泡水位波动大, 不能满足生产车间工艺用汽的要求, 锅炉自动化系统投运后, 蒸汽压力调节精度达 $\pm 0.15 \text{ kg/cm}^2$, 即使负荷有大幅度快速的周期性扰动, 汽压仍有较满意的调节效果; 减轻了司炉工的劳动强度; 能保持炉膛负压稳定, 利于生产管理, 延长了锅炉的寿命; 并使锅炉的热效率有显著提高。

手动工况时, 24 小时平均汽煤比 $\lambda_1 = 6.86$

自动工况时, 24 小时平均汽煤比 $\lambda_2 = 7.33$ 汽煤比的意义是一公斤煤实际能产生的蒸汽量, 则自动工况相对于手动工况锅炉热效率提高 6.85%

每天节煤

$$W_J = 24\beta G_E \left(\frac{1}{\lambda_1} - \frac{1}{\lambda_2} \right) \approx 3.37T \quad (14)$$

式中 β 为平均负荷率, G_E 为锅炉额定蒸发量, 此处取 $\beta = 75\%$, $G_E = 20\text{T/H}$. 全年节煤可达一千吨以上。

参 考 文 献

- [1] 陆道政、季新宝, 自动控制原理及设计, 上海科学技术出版社 (1978), P 149—159.
[2] 化工自动化编写组, 化工自动化(下册), 燃料化学工业出版社 (1973), P 278—285.

THE AUTOMATION OF COMBUSTION OF THE INDUSTRIAL COAL-FIRED BOILER

BU ZI-XIANG XIA ZHONG-YIN
(Shanghai 5th Chemical Fibre Factory)

ABSTRACT

This paper is the final report of the realization of the automation of combustion for the industrial coal-fired boiler with chain-belt. In this paper the features of the burning process of the industrial coal-fired boiler are analysed and the project of the automation of combustion is designed which lays emphasis on the action of the wind volume. Special requirements are proposed which are connected with the transitional process of the system of the automation of the industrial coal-fired boiler, and the concrete method of setting parameter calculation are introduced. Finally, the technical and economical effects are commented on after the system is put into practical operation.