



# 增益预估自适应纯滞后补偿控制器

王连铮 张建华 孟庆贤

(鞍钢职工工学院自控系 鞍山 114001)

**关键词** 对象参数变化检测, 动态增益自适应, 理想增益自适应, 鲁棒镇定, 纯滞后补偿.

## 1 引言

在具有大纯滞后对象的工业控制中, 通常采用 Smith<sup>[1]</sup>和 Giles<sup>[2]</sup>法来补偿纯滞后带来的控制不稳定问题. Smith 法要求对象精确的数学模型, 在实际生产中由于存在多种不可测扰动, 很难建立精确的数学模型. 而 Giles 提出的控制器是利用系统输出  $Y$  与预估模型的输出  $Y_m$  之比  $k$  来修正控制器增益, 这样必须等到对象增益变化引起系统输出  $Y$  变化时才起增益调节作用, 具有很大的滞后性. 特别是在预估器模型与实际对象参数不匹配, 即对象参数时变时将引起超调量增大, 振荡次数增加, 严重时将导致系统振荡.

本文提出: “增益预估自适应纯滞后补偿控制器”. 它用系统输出的变化率与预估器输出变化率之比  $k_1$  来辨识被控对象增益的变化趋势, 同时在线修正控制器增益和预估模型增益, 实现动态增益预估自适应; 同时它利用实际系统输出  $Y$  与理想参考模型输出  $Y_i$  之比  $k_2$  来在线修正控制器增益, 实现理想增益自适应. 总之, 保证系统总增益恒定, 保证系统鲁棒镇定, 实现期望的系统性能指标.

## 2 控制器的设计

增益预估纯滞后补偿控制器框图如图 1 所示.

设被控对象为一阶惯性加纯滞后环节, 传递函数为  $G_0(S) = \frac{K_0 e^{-\tau S}}{1 + T_0 S}$  (1)

控制器为比例积分环节

$$G_c(S) = \frac{K_c(1 + \tau_c S)}{\tau_c S} \quad (2)$$

可以根据常用的 1/4 振荡衰减条件整定系统, 即保证系统开环总增益恒定, 即

$$|G_c(S)| \cdot |G_0(S)| = |G_c(S)| \cdot K_0 \cdot |G_0'(S)| = \text{常数} \quad (3)$$

由于对象参数时变, 且具有较大纯滞后, 本控制器采用了对象参数  $K_0, T_0$  变化的检

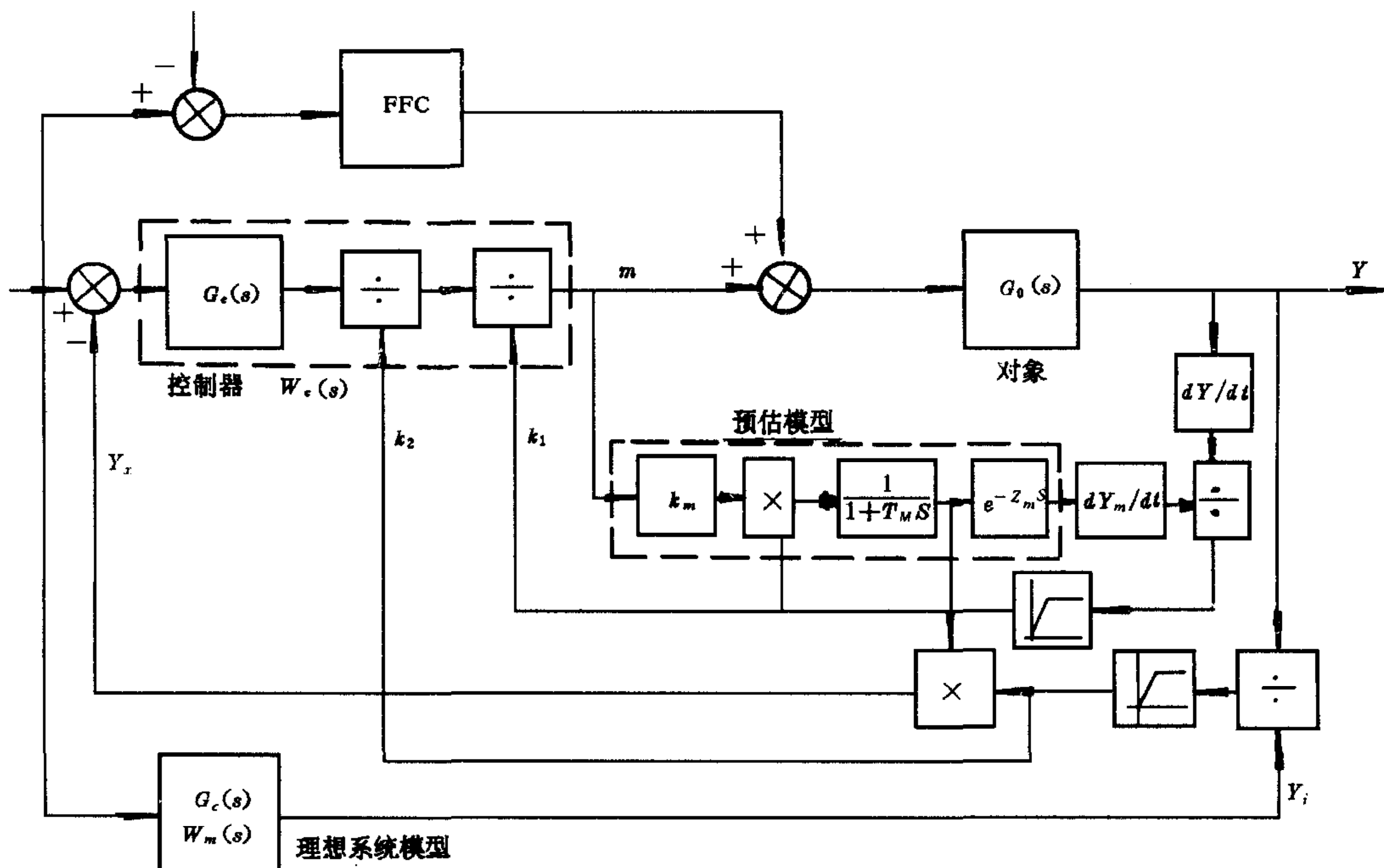


图 1 增益预估纯滞后补偿控制器

测;动态预估增益自适应;理想增益自适应;预估反馈信号的附加自适应;补偿了纯滞后的影响,实现了系统特性不受对象参数时变的影响。

本控制器采用被控对象输出的微分与预估模型输出微分之比  $k_1$  预测对象参数的变化,即

$$dy/dt = m \cdot \frac{K_0}{T_0} \cdot e^{\frac{t}{T_0}} \tag{4}$$

$$dy_m/dt = m \cdot \frac{K_m}{T_m} \cdot e^{\frac{t}{T_m}} \tag{5}$$

$$k_1 = \frac{dy/dt}{dy_m/dt} \approx \frac{T_m \cdot K_0}{K_m \cdot T_0} \tag{6}$$

显然  $k_1$  大小反应了对象参数的变化,因此  $k_1$  辨识了对象参数的变化趋势. 为了保证  $k_1$  的抗干扰能力,将  $k_1$  加一限幅器,当噪声干扰时  $dy/dt$  将增大,而  $dy_m/dt$  不变, $k_1$  增大,限幅抑制噪声干扰. 用  $k_1$  在线修正控制器增益,保证系统总增益不变. 当  $T_0 = T_m$  时最明显,系统总增益是:

$$\frac{|G_c(S)|}{k_1} \cdot |G_0(S)| = |G_c(S)| \frac{K_m}{K_0} \cdot K_0 |G'_0(S)| = |G_c(S)| K_m |G'_0(S)| \tag{7}$$

它与对象参数无关,从而保证了系统鲁棒镇定,实现了动态增益预估自适应控制。

预估模型增益的预调整. 为了克服纯滞后问题,采用预估信号作为反馈信号. Giles 法中预估模型的增益不变 ( $K_m$ ), 很难准确预估对象输出,当对象的增益改变时,控制器与预估器组成的系统开环增益为

$$\frac{|G_c(S)|}{k_1} \cdot |G_m(S)| = |G_c(S)| \cdot \frac{K_m}{K_0} \cdot K_m |G'_m(S)| \tag{8}$$

式中对象增益  $K_0$  的改变将导致输出不稳定,  $K_0$  变小时总增益将变大(这就是有时系统振荡的原因). 本控制器用  $k_1$  修正预估模型增益, 使其跟随对象增益变化, 其预估输出为

$$Y_x = K_m \cdot k_1 \cdot \frac{1}{1 + T_m S} \cdot k_2 = K_0 \cdot \frac{1}{1 + T_m S} \cdot k_2 \quad (9)$$

显然预估模型输出与对象输出一致, 较准确, 而且系统开环增益为

$$\frac{|G_c(S)|}{k_1} \cdot K_m \cdot k_1 |G'_m(S)| = |G_c(S)| \cdot K_m \cdot |G'_m(S)| \cdot \quad (10).$$

显然系统开环总增益不变, 与对象参数变化无关, 克服了 Giles 法的缺点.

上式中  $k_2$  是实现理想模型跟踪的校正信号, 因为系统反馈信号采用预估信号  $Y_x$ , 系统实际输出  $Y$  没有参与反馈控制, 实际系统是开环的. 为了使  $Y$  达到给定的性能指标, 本控制器加入了理想增益自适应. 设系统理想模型传递函数为  $W_m(S)$ , 则理想系统输出和实际系统输出是

$$Y_i(S) = G_c(S) \cdot W_m(S), \quad (11)$$

$$Y(S) = W_c(S) \cdot G_0(S) \quad (12)$$

根据模型完全匹配条件

$$W_c(S) \cdot G_0(S) = G_c(S) \cdot W_m(S), \quad (13)$$

整理得系统等效控制器

$$W_c(S) = \frac{G_c(S) \cdot W_m(S)}{G_0(S)} = \frac{G_c(S)}{G_0(S)/W_m(S)} = \frac{G_c(S)}{Y/Y_i} = \frac{G_c(S)}{k_2} \quad (14)$$

理想模型自适应是在系统内模稳定情况下的外环调节, 使系统输出满足性能指标.

### 3 应用

本控制器应用于钢铁厂含酸废水 pH 值控制取得了满意效果, 运行曲线如图 2.

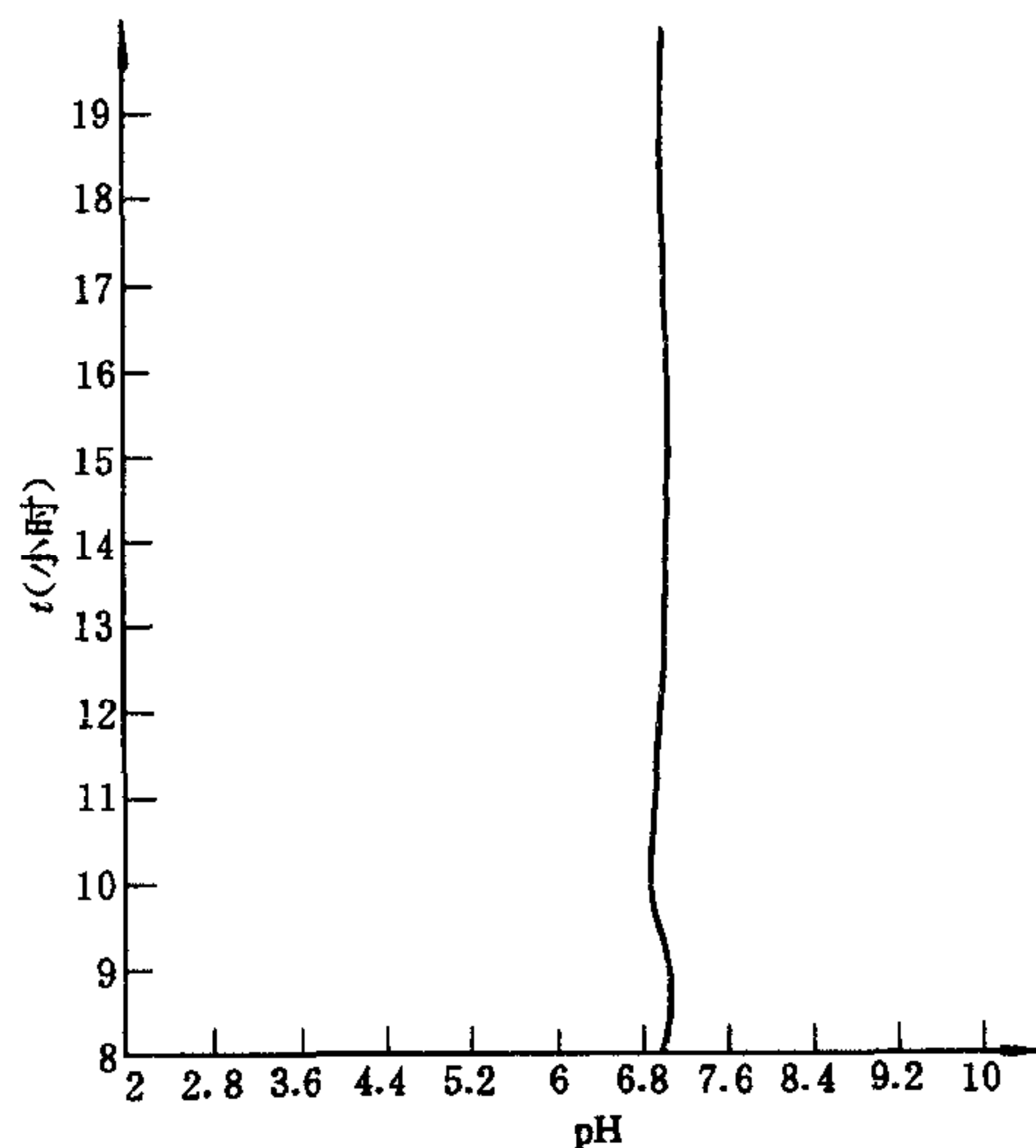


图 2 本控制器在废水 pH 控制曲线一部分



各轧钢厂因酸洗钢材工艺不同,用酸种类不同,含酸废水 pH 值在 4—7 之间波动.实测  $K_0$  变化 10 倍左右,  $T_0$  在 6—12 分钟之间变化,为快速抑制扰动又采用了前馈控制,从图 2 看出,处理后水的 pH 值曲线平稳,保证了水的中性,可以回收循环使用,节水、节电、经济效益、社会效益显著.

### 参 考 文 献

- [1] Smith O J H. A controller to overcome dead time. *ISAJ*. 1958, (2):28—33.  
[2] Giles R F. Gain adaptive dead time compensation. *ISA Trans*. 1977, (1).

## GAIN PREDICTIVE ADAPTIVE CONTROLLER WITH DEAD TIME COMPENSATION

WANG LIANZHENG ZHANG JIANHUA MENG QINGXIAN

(Anshan Iron and steel complex Institute of Technoloty, Dept. of Automatic Control, Anshan 114001)

**Key words** Process parameter varying detect, dynamic gain adaptation, ideal gain adaptation, robust-stabilization, dead time compensation.