

研究简报

# 一个准断续自寻优控制应用例子

时广礼

(山东工业大学自动化系 济南 250014)

**关键词:** 稳态连续, 采样控制, 自寻优, 随机噪声.

文献[1]介绍了静态连续和静态采样(下称断续)自寻优控制系统. 本文将两者结合起来, 并成功地用于层燃煤炉燃烧控制系统. 在这个系统中, 调节量是空气-燃料比  $m$ , 目标函数为综合热效率  $y$ , 控制作用是在无需充分了解燃烧过程情况下通过断续试探寻求  $y$  的极大值.

## 1 静态连续自寻优

在文献[1]中, Shinskey 将静态连续自寻优问题归结为使过程静态增益  $k_p$  跟踪规定值  $k_r$ , 如图1所示.  $k_p$  根据试探输入  $m$  及响应  $y$  推算, 然后与期望值比较, 按偏差确定控制输出.

目标函数对调节量的响应为

$$dy = k_p g_p dm,$$

$g_p$  为过程动态增益, 本例取  $e^{-\tau s}/Ts + 1$  形式, 其中  $\tau = 1$  分,  $T = 2$  分.

将  $dy$  除以经动态补偿后的输入, 获得  $k_p$

$$\frac{dy}{g_p dm} = \frac{k_p g_p dm}{g_p dm} = k_p.$$

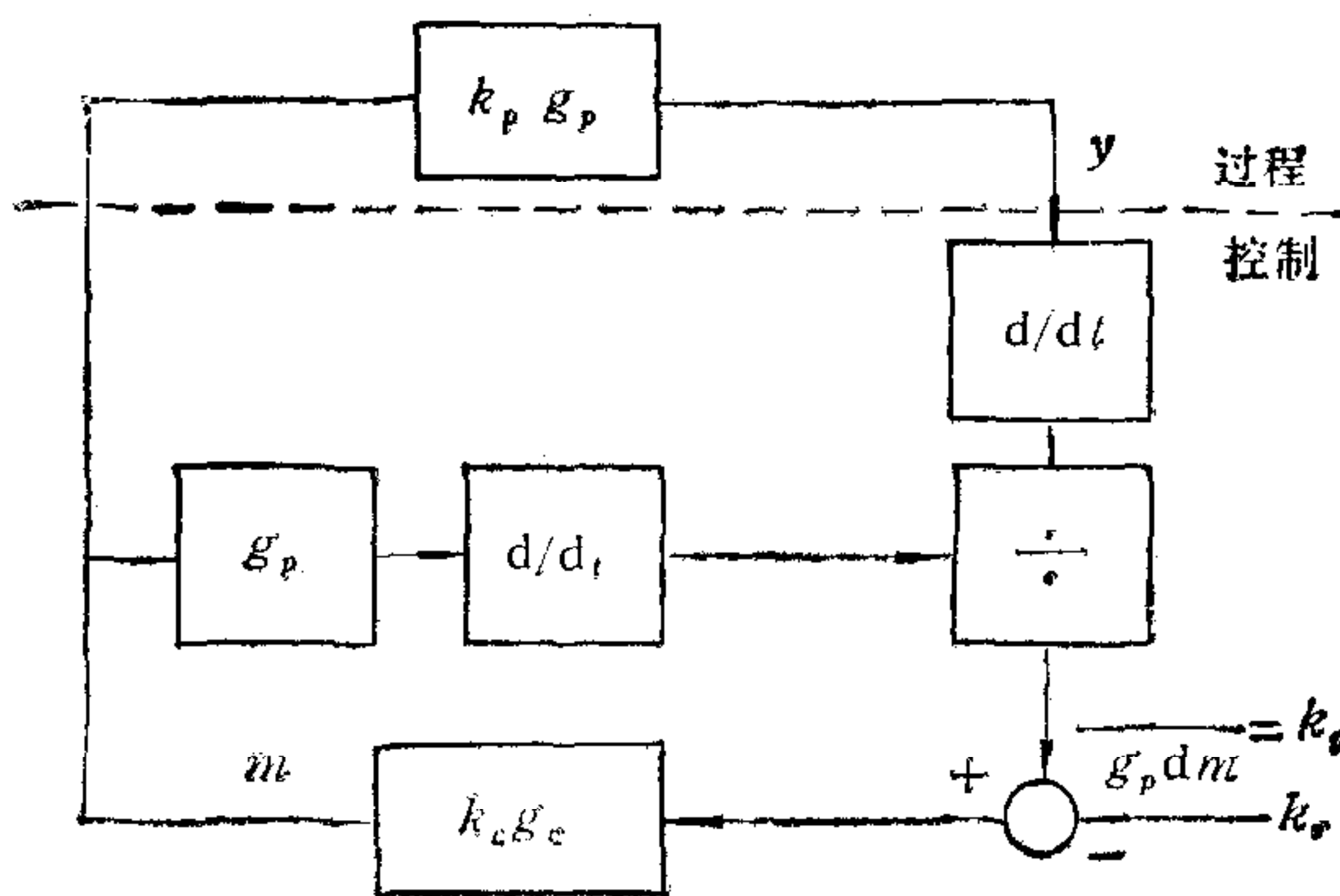


图1 静态连续自寻优框图

控制作用可以在任何希望的斜率上实现,只要在过程的运行范围内该斜率只出现一次。本例要求  $k_r = 0$ , 即寻求  $y$  的极大值。当寻优过程越过极大值时控制作用将反相。图 1 模型能实现这一功能。

## 2 静态断续自寻优

前述过程静态增益的求取立足于微分,这种运算颇不精确,对噪声很敏感,且动态补偿模型也要求准确。所以文献[1]曾给出了断续(采样)试探法,即取一个寻优周期的差分代替微分:

$$\frac{\Delta y}{\Delta m} = \frac{dy}{dm},$$

寻优周期  $T_c$  需足够长,本例  $T_c = 10(\tau + T) = 30$  分,使得控制输出每变化一次后过程能回到新的平衡状态,然后确定  $k_p$  及下一寻优周期的试探步长

$$e_n = k_p - k_r = \frac{\Delta y_n}{\Delta m_n},$$

$$\Delta m_{n+1} = k_c e_n \text{ (只考虑比例作用)}.$$

## 3 静态准断续自寻优

断续法避免了微分运算和动态补偿,但  $\Delta y_n$  是每个  $T_c$  结束瞬间采样值,它往往不能代表试探响应。

图 2 所示为燃煤量固定,  $m$  向最优值大步长阶跃时  $y$  的过渡过程。图 3 为燃煤量固定,不同  $m$  下  $y$  稳态拟合曲线。噪声可能来自煤粒度、含土量、炉排上烧结状态等随机变化<sup>[2]</sup>。

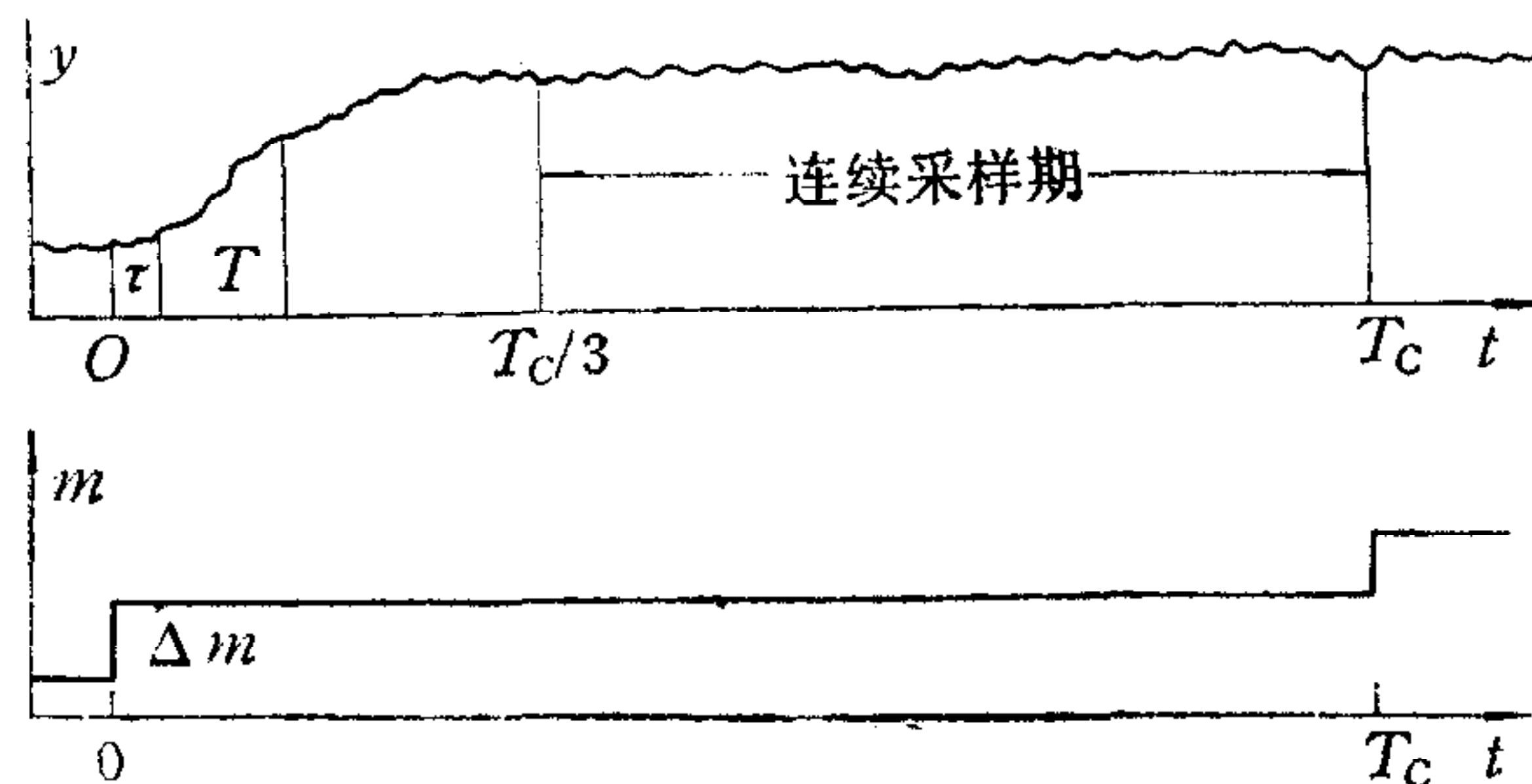
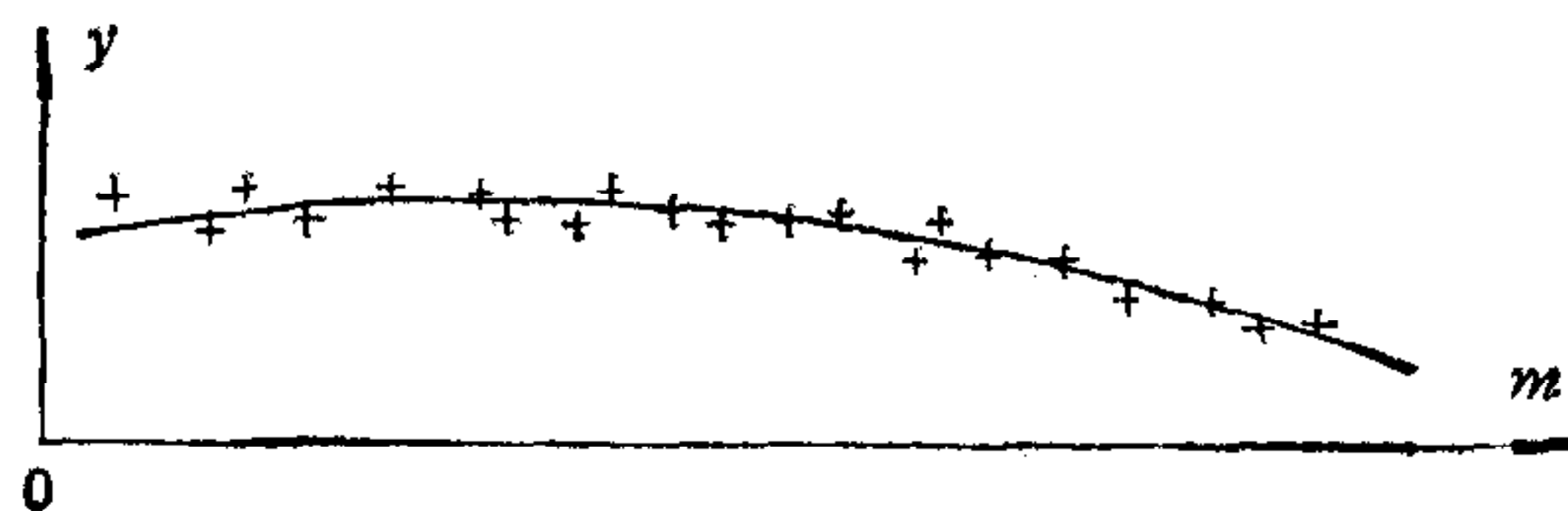


图 2  $y-\Delta m$  的响应曲线

分析图 2、3 的燃烧过程记录曲线,可知:

1) 由于噪声的影响,  $y$  与  $m$  之间无确定的瞬时值对应关系。  $y$  存在极大值仅反映出一种统计规律。

2) 当寻优步长很小或接近极值点时,寻优响应会湮没在噪声中。只有在整个寻优期

图3  $y-m$  稳态值拟合曲线

间内  $y$  的积分(热功值)才能充分反映寻优响应。而且,为了滤除噪声影响寻优周期要足够长。

这里所说的准断续寻优,其控制作用是断续的,但目标函数值却是通过连续采样及滤波处理获得的。如图2所示, $y$ 的采样自每个寻优周期  $T_c/3$  后开始,以绕过动态过滤时期。本例是一供暖热水锅炉,热效率与循环水流量  $Q$  及进出口温差  $\Delta\theta$  成正比,与煤流量  $W$  成反比。在第  $n$  次寻优周期中

$$\bar{y}_n = \frac{\int_{T_c/3}^{T_c} \Delta\theta Q C dt}{\int_{T_c/3}^{T_c} W dt} = \frac{\sum_{i=1}^{300} \Delta\theta_i Q_i C T_s}{\sum_{i=1}^{300} W_i T_s},$$

$$e_n = \frac{\bar{y}_n - \bar{y}_{n-1}}{\Delta m_n},$$

$$\Delta m_{n+1} = \begin{cases} 0 & , |e_n| \leq \varepsilon, \\ k_c |e_n| & , e_n > \varepsilon, \\ -k_c |e_n| & , e_n < -\varepsilon, \varepsilon \text{ 为正数。} \end{cases}$$

其中  $T_s = 4$  秒为采样周期; $C$ 为循环水比热。

寻优自最优空燃比估计值开始,并约束在  $m$  可行范围内,以缩短寻优过程及防止越出寻优范围。本例使用了一台可编程单回路调节器实现寻优功能,无需增加检测仪表,系统构成简单、运行可靠。

该方法模仿人的行为,即根据某一段时间的平均热效率自动调节风量,滤除较高频率的噪声,并能适应慢速变化的干扰。因此,选取合理的寻优周期是很关键的。此外,热负荷变化过快会影响寻优效果。供暖热水锅炉的特点是负荷变化缓慢、热效率容易测准,这些特点是该方法能够成功应用的条件。

### 参 考 文 献

- [1] Shinsky F G, Process-control System. Second edition. New York Mc Graw-Hill Book Company. 1979, 156—164.
- [2] 杨火柴. 锅炉的节能控制概述. 自动化与仪器仪表, 1987, (1): 4—7.
- [3] 范柏樟. 企业节能. 节能技术, 1986, (6): 73—78.

## AN EXAMPLE OF INTERMITTENT SELF-OPTIMIZING CONTROL

SHI GUANGLI

(Department of Automation, Shandong Polytechnic University, Jinan 250000)

**Key words:** Steady-state continues, sampling control, self-optimizing, random noise.

(上接第 717 页)

张 玲	张洪才	张立明	张兆璞	张忻中	迟惠生	初学导	孟 波
金以慧	金元郁	佟明安	肖德云	陆汝龄	陆维明	周思永	周其节
周鸿兴	周春晖	郑毓蕃	郑君里	郑 峰	郑应平	郑维敏	郑大钟
郑丕谔	欧阳楷	林建祥	林尧瑞	林行刚	林作铨	林元烈	岳超源
范玉顺	法京怀	庞国仲	易继锴	易允文	茅于杭	罗宗虔	罗乔林
罗曼丽	段广仁	钟秋海	钟宜生	钟延炯	项国波	施颂椒	赵希人
赵南元	赵克友	赵致琢	赵 怡	赵似兰	洪奕光	洪家荣	姚增起
姚 蓝	姚 郁	俞铁成	俞 斌	姜启源	胡保生	胡文瑾	胡恒章
胡寿松	胡庭姝	胡维礼	胡 军	胡建崑	胡道元	胡顺菊	贺星剑
贺 军	贺建勋	谈大龙	倪茂林	倪先锋	秦化淑	郭 雷	郭余庆
郭 波	顾启泰	顾基发	顾兴源	顾发及	徐树方	徐光佑	徐衍华
徐立鸿	徐道义	徐建闽	徐德民	贾培发	贾沛璋	贾英民	高为炳
高东杰	高 龙	高玉琦	祝明发	钱大群	柴天佑	席裕庚	袁震东
袁保宗	袁曾任	涂序彦	涂 健	涂莘生	夏绍伟	夏小华	夏国洪
黄 琳	黄秉宪	黄志同	黄心汉	黄俊钦	黄圣国	黄泰翼	阎醒民
阎平凡	曹晋华	曹曙光	曹 立	曹长修	崔保民	龚 伟	龚 俭
韩忠昭	韩志刚	韩曾晋	韩正之	韩京清	韩慧君	韩文秀	舒迪前
程 侃	程 一	程民德	程 鹏	程兆林	傅佩琛	蒋慰孙	蒋昌俊
疏松桂	葛成辉	彭群生	彭商贤	谢绪凯	谢惠民	谢新民	谢胜利
裘聿皇	解学书	雷渊超	雍炯敏	褚家晋	熊光楞	廖炯生	廖晓昕
谭维康	谭 民	瞿寿德	蔡自兴	蔡季冰	蔡鹤皋	蔡茂诚	缪尔康
滕云鹤	潘士先	潘 弘	薛劲松	薛景瑄	戴汝为	戴冠中	戴国忠
戴忠达	魏湘曙	霍 伟	常文森	董世海	焦秀成	楚天广	张钟俊
徐南英	徐文立	袁著祉					