

连续酸洗线带钢对中控系统的实验研究

上海工业自动化仪表研究所 罗绍基



在冶金、造纸、纺织、塑料、橡胶等工业部门的连续生产线上和皮带运输机上,都希望运动中的带材能按照预定的路线运行。但由于带材本身的厚薄不均,形状不正(如产生剪刀弯)和张力不稳定,以及送料机械安装误差等原因,都会使带材产生忽左忽右的跑偏现象。有些作业线(如冶金工业中的连续酸洗、连续退火、镀锌、镀锡等机组)运行速度较高,如果不能解决跑偏问题,就会使设备无法正常工作,严重地影响产品质量和设备安全。

带钢对中控系统的目的,就是要使带钢运行中心线与送料机械的中心线基本重合,使作业线能安全工作。

一、连续酸洗线带钢对中控系统的工作原理

1. 酸洗线的特殊环境条件

连续酸洗线作业线是现代化大型冷轧带钢厂的咽喉部分。从热轧厂进来的全部带钢,必须经酸洗后才能轧制。为保证机组能安全、高速运转,对中控系统设计时,必须考虑如下特殊条件:

(1) 为防止漏酸,全线是密封的。

(2) 对中控系统工作段,酸槽内充满盐酸酸雾(浓度 $>15\%$)。因带钢边缘位置传感器必须有良好的抗腐蚀性能。磁电式传感器用耐酸树脂完全封起来后,具有这种性能,是一种比较理想的传感器。

(3) 传感器长期工作温度为 $65\sim 80^{\circ}\text{C}$,短期内可达 95°C 左右。

(4) 带钢运行速度高达 60 m/min 。

(5) 机组振动大,传感器结构必须非常牢固。

(6) 全线总长为 300 m ,带钢容易产生左右跑偏。

2. 对中控系统的工作原理

图1为电-液边缘对中控系统示意图。它主要由边缘位置传感器、差动放大、功率放大、电-液伺服阀、液压缸及调整辊等组成。

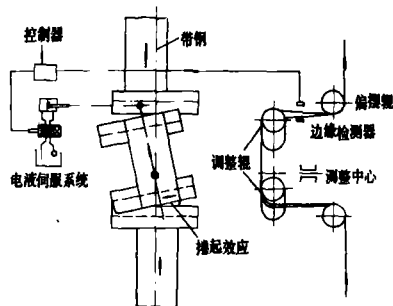


图1 电液边缘对(纠偏)控制系统

为了便于说明工作原理,根据图1绘出对中控系统方块图。

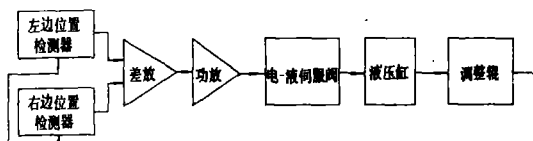


图2 对中控系统方块图

在带钢的左右两侧的对称位置上,分别装有边缘位置传感器。每个传感器发出与边缘位置成比例的信号,一齐输入差动放大器。若带钢中心线与送料机械的中心线相符,两位置传感器的输出信号相等,差动放大器输出为0,后面各环节不动作。带钢跑偏时,两传感器输出信号不等,差动放大器的输出经功率放大后,使电-液伺服阀动作以控制液压缸活塞,进而推动调整辊时带钢产生纠偏作用,直到带钢中心线与送料机械的运行中心线相符为止。

把左、右两边的位置传感器看作互为反馈的部件,则这个系统实际上是一个闭环控制系统。

二、系统各单元

1. 带钢边缘传感器

为了适应酸洗线的恶劣工作环境,满足线内带钢边缘检测的要求,特设计了一种电磁感应式传感器。它由一个发送线圈和接收线圈组成。当发送线圈通过稳定的交流电时,它产生的磁力线与接收线圈耦合,在接收线圈中产生感应电势。带钢插入两线圈之间,一部

分磁力线被它挡住,感应电势则减小,因此感应电势的大小与带钢边缘位置有关。电磁感应传感器具有如下特点:

- (1) 结构简单、牢靠。
- (2) 可用树脂完全密封、耐酸性能好,适于酸洗线内酸雾环境中工作。

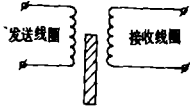


图3 传感器的工作原理图

(3) 选用高强度漆包线绕制线圈,传感器能在100°C以下正常工作。

(4) 反应速度较快,在带钢高速运行情况下,能对带钢跑偏迅速作出反应。

(5) 灵敏度较高,有利于简化放大线路。

2. 放大器

放大器的主要任务是对两边传感器信号进行差动放大和功率放大,输出±300 mA 直流电流,推动电-液伺服阀。

3. 电-液伺服阀和液压缸

动圈式电-液伺服阀由两个激磁线圈和两级滑阀组成。当功率放大器有差动电流输出时,通过阀内两个激磁线圈的电流便不相等,衔铁被吸引到电流较大的一边。衔铁位置的改变,使左、右两喷嘴的背压发生变化,液压缸的活塞上下出现压力差,使之上、下移动。活塞杆推动调整辊,完成纠偏作用。

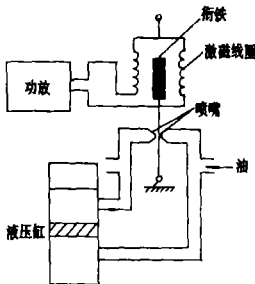


图4 伺服阀和液压缸的工作原理图

4. 调整辊

系统中,调整辊起着执行机构的作用。如图5所示,当偏差信号到来时,调整辊产生侧向位移,使带钢保持在控制点上。

这种结构是一种比例作用环节,但在调整辊偏离水平位置时,由于所谓的卷起效应,也会产生轻微的分作用。

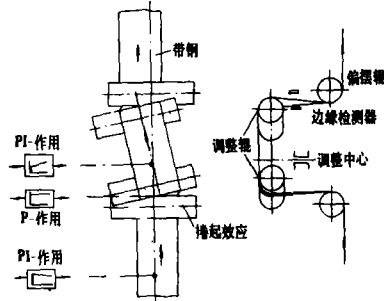


图5 P-作用调整辊

三、系统特性的实验研究

由于系统(图1)各环节中,有许多系数难于计算,(如油管的摩擦系数、电-液伺服阀的滞后、调整辊轴承的摩擦系数等),我们着重用模拟试验方法来研究系统的稳定性。

1. 对中控制系统的传递函数

分析图2所示可知,边缘位置传感器、放大器都可看作是比例环节,而电-液伺服阀、液压缸和调整辊是一阶惯性环节,它们的传递函数分别具有如下形式:

$$W_2(S) = K_1 \text{ (边缘位置传感器)}$$

$$W_2(S) = K_2 \text{ (差放、功放)}$$

$$W_3(S) = \frac{1}{T_1 S + 1} \text{ (伺服阀、液压缸)}$$

$$W_4(S) = \frac{1}{T_2 S + 1} \text{ (调整辊)}$$

于是,可以得到用传递函数表示的系统方块图

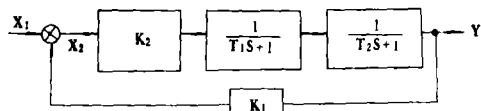


图6 控制系统方块图

整个系统的传递函数为

$$W(S) = \frac{K_2 \frac{1}{T_1 S + 1} \frac{1}{T_2 S + 1}}{1 + \frac{K_1 K_2}{(T_1 S + 1)(T_2 S + 1)}} = \frac{K_2}{S^2 + T_a S + K_T}$$

式中

$$T_a = \frac{T_1 + T_2}{T_1 T_2}; \quad K_T = \frac{1 + K_1 K_2}{T_1 T_2}$$

2. 开环试验

前面已从理论上探讨了系统各单元和整个系统的传递函数,今后就要用实验加以证实,因此分别测试关键环节的滞后和有关因素,对掌握系统的特性大有帮

助。

在开环试验中，对于比例环节许多书刊都有详细介绍，在此从简从略，而着重研究两个一阶惯性环节的过渡过程，所以开环试验的具体目的如下：

- (1) 求电-液伺服阀、液压缸和调整辊的运动轨迹。
- (2) 求有关环节的静滞后（包括死滞后和惯性滞后）。
- (3) 求供油压力对平均纠偏速度的影响。

试验时，用阶跃信号发生器，分别产生 100、200、300 mA 的电流输给电-液伺服阀。用流量传感器测出电-液伺服阀的流量输出；用位移传感器测出调整辊的位移信号；用秒表测出调整辊走完全程所需的时间。把供油压力固定在某一数值，把流量和位移传感器的信号分别输给示波器，拍出上述三种阶跃电流的示波图(图 7)。

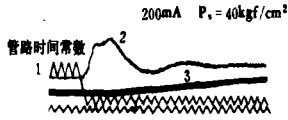


图 7 开环试验的典型示波图

在示波图中，曲线 1 是阶跃信号发生器的输出信号波形。曲线 2 是流量传感器的输出波形，它表明伺服阀接到一阶跃信号后流量突增，然后趋于稳定，最后保持在比原先略高的水平上。曲线 3 是调整辊的位移信号，其轨迹是递增的直到走完全程。根据示波图可以量出包括伺服阀、调整辊以及管路的滞后时间。

改变供油压力，重复上述试验，求得一组曲线，并根据这些曲线作出如下两组曲线(图 8 和图 9)。从图 7、8、9 三个图中，可以得出下列三点结论：

- ① 静态滞后时间随阶跃电流增加而减少。
- ② 提高供油压力可以提高平均纠偏速度和减少滞后。
- ③ 伺服阀、液压缸和调整辊的运动轨迹近似一阶环节的轨迹。在前面分析各环节的传递函数时，根据

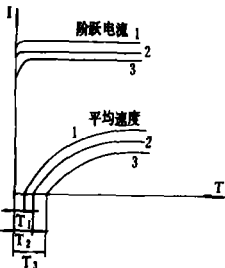


图 8 阶跃电流与活塞平均速度及系统滞后时间的关系

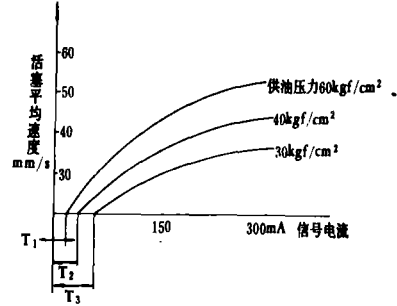


图 9 供油压力对活塞平均速度的影响

运动规律，认为上述三个环节都是一阶环节，即在单位阶跃函数的作用下其过渡过程 $C(t)$ 是具有单调上升的指数曲线，即 $C(t) = (1 - e^{-t/T})$ 。从曲线看来，证明上述分析是正确的。

四、系统模拟试验

稳定性是任何一个反馈控制系统的主要要求，此外还必须满足阻尼作用程度、反应输入信号的速度及控制精确度等方面的要求。对此通常用系统响应特定的输入信号(或叫试验信号)的过渡过程及稳态的一些特征值来说明。在连续酸洗线上，常钢跑偏虽然是没有什么规律的，但也可以分为突然和渐变两种情况加以概述，因此在模拟试验中，以单位阶跃信号模拟带钢跑偏的突变，(如镰刀弯)，以正弦输入信号模拟带钢跑偏的渐变。我们要着重分析①在单位阶跃信号作用下控制系统的过渡过程，②在正弦信号的作用下控制系统的幅频特性和相频特性。

1. 单位阶跃信号作用下控制系统的过渡过程

对于二阶系统来说，在单位阶跃信号的作用下，具有如图 10 所示的过渡过程。

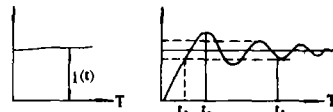


图 10 二阶过渡过程

根据自动调节理论，按过渡过程评定控制系统的指标是：①过渡过程的时间 t_s 。 t_s 越小，说明系统从一个稳态过渡到另一个稳态所需要的时间越短，反之则越长，所以 t_s 是表征系统对输入信号的反应速度的一项指标。②达到第一个极值的时间 t_p 。③超调量 σ_p 。 σ_p 越小，则说明过渡过程进行得越平稳。④振荡次数 N 及阻尼误差。总而言之， t_s 和 t_p 表征系统的快速性能， σ_p 和 N 表示系统的阻尼性能，而稳态误差则表示稳定性能的另一项指标。

这项试验的方法如下：把 0~25 mm 的电感式位移传感器装在活塞杆上，以测量调整辊的位移（活塞杆与调整辊刚性连接，活塞杆的位移即为调整辊的位移，这一位移也是反馈输入信号）。用电磁继电器的吸铁吸动一块钢板，其瞬时移动位移则作为阶跃输入信号。把位移传感器、放大器以及继电器的信号接入示波器，绘出示波图（图 11）。



图 11 阶跃输入时的典型示波图

图 11 中的曲线 1 是继电器的电流波形，未通电前是一条直线，通电后是一条 50 Hz 的等幅波曲线，这说明钢板产生一位移后，即保持不动。曲线 2 是放大器的输出波形，扰动一个半周后其稳定值与动作前相同，表示放大器输出为 0。示波曲线 3 为活塞的位移信号。动作后移动了一段距离。由图 11 实测可以得下列几个数据：

$$T_r \approx 200 \text{ ms}, T_p = 225 \mu\text{s}, t_s = 0.6 \text{ s}, N = 1.5,$$

据公式：

$$\sigma_p = \frac{C(t_p) - C(\infty)}{C(\infty)} \times 100\% = \frac{15(\text{格}) - 13(\text{格})}{13} = 0.154 = 15.4\%$$

系统的滞后时间为 100 ms 左右。

2. 在正弦信号的作用下，系统的幅频特性和相频特性

(1) 试验目的

这一试验的目的是研究系统对正弦输入信号的稳态反应。它是用于描述系统性能的一种广泛使用的工程方法，通常叫做频率法。

设正弦输入信号为 $x(t) = x \sin \omega t$ ，经推导得出输出信号为

$$y(t) = y \sin(\omega t + \phi)$$

根据自动调节理论，系统在正弦输入信号 $x \sin \omega t$ 的作用下，线性定常数系统的输出信号的稳态分量 $y \omega(t)$ 是正弦输入信号同频率的函数，其振幅 y 与正弦输入的振幅 x 的比值 $y/x = |G(j\omega)|$ 是角频率 ω 的函数，它描述系统对于不同频率的输入，在稳态条件下的衰减（或放大）特性。这一振幅比依赖于频率 ω 的函数定义为系统的幅频特性。输出信号的稳态分量 $1/\omega(t)$ 对正弦输入信号 $x(t)$ 的相移 ϕ 定义为该系统的相频特性，它描述系统的稳态输出对于不同频率的正弦输入信号在相位上产生的相角滞后（对应 $\phi < 0$ ）或相角超前（对应 $\phi > 0$ ）的特性。上述的幅频特性 $|G(j\omega)|$ 及相频特性 $\text{LG}(j\omega)$ 统称为系统的频率特性，记为

$$G(j\omega) = |G(j\omega)| e^{j\text{LG}(j\omega)}$$

(2) 试验方法

正弦位移信号发生器，由直流电动机、齿轮组、偏心轮和位移传感器组成。它带动一块钢板插入电磁或边缘位置检测器的两线圈中间，以模拟带钢的跑偏运动，其运动规律由位移传感器测出，作为输入信号。于是边缘位置检测器的输出信号经放大后，输给电-液伺服阀，从而控制液压缸活塞杆作周期性往复运动，活塞的运动规律由另一位移传感器测出，作为输出信号。由于系统存在惯性、摩擦、滞后等因素，输入与输出间存在相位差 ϕ ，它将随输入频率增加而增加；输出与输入的振幅比值 k 也将随之减少， ϕ 到一定值后， $k \rightarrow 0$ ，

$$\text{设 } \phi = \phi_{\text{出}} - \phi_{\text{入}}; \quad k = \frac{A_{\text{出}}}{A_{\text{入}}}$$

式中 $\phi_{\text{出}}$ 为输出相位； $\phi_{\text{入}}$ 为输入相位；
 $A_{\text{出}}$ 为输出幅值； $A_{\text{入}}$ 为输入幅值。

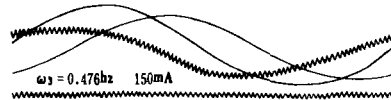


图 12 正弦输入时的典型示波图

通常把输入角频率接近于 0 时的幅值比 k 作为 1。根据各种不同频率下的示波图，可以求得下列数据（表 1 和表 2）及幅频、相频特性曲线（图 13、14）。

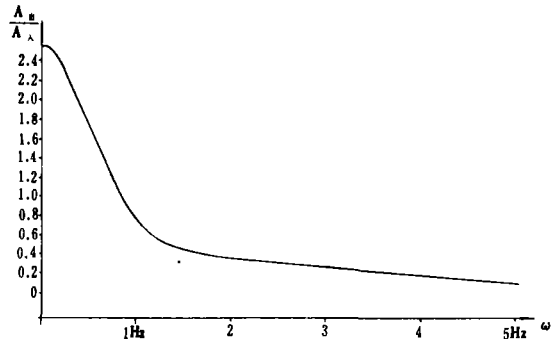


图 13 幅—频特性曲线

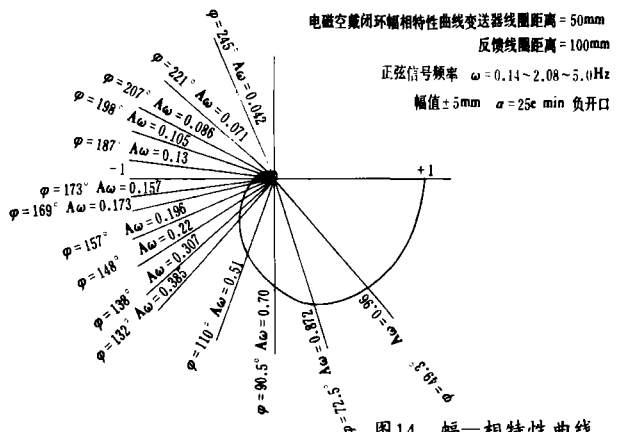


图 14 幅—相特性曲线

表 1 空载闭环幅相特性试验数据

序号	角频率 ω (Hz)	相位差 φ (度)	幅值比 $k = \frac{A_{出}}{A_{入}}$	A_{ω}	根据曲线取 $\omega \rightarrow 0$ 时, $A_{\omega} = 1$
1	0.14	49.3	2.45		0.96
2	0.30	72.5	2.22		0.872
3	0.46	90.5	1.78		0.700
4	0.60	110	1.29		0.51
5	0.83	132	1.00		0.385
6	0.96	138	0.78		0.307
7	1.11	148	0.56		0.22
8	1.25	157	0.50		0.196
9	1.43	169	0.44		0.173
10	1.57	173	0.40		0.157
11	2.08	187	0.33		0.130
12	2.63	198	0.27		0.105
13	3.22	207	0.22		0.086
14	3.84	221	0.18		0.071
15	4.50	245	0.11		0.042
16	5.00	270	0.067		0.026

表 2 负载闭环幅相特性试验数据

序号	角频率 ω (Hz)	相位差 φ (度)	幅值比 $k = \frac{A_{出}}{A_{入}}$	A_{ω}	根据曲线 $\omega \rightarrow 0$ 时, $A_{\omega} = 1$
1	0.139	40	1.155		0.97
2	0.278	68	1.11		0.934
3	0.403	78.4	1.07		0.90
4	0.521	97.5	1.00		0.84
5	0.658	123	0.845		0.71
6	0.833	144	0.578		0.468
7	0.885	154	0.512		0.437
8	1.09	172	0.444		0.377
9	1.19	188.5	0.422		0.355
10	1.14	203.5	0.333		0.28
11	2.18	227	0.222		0.187
12	3.30	252	0.12		0.10
13	4.17	285	很小		很小
14	4.55	290	↓		↓
15	5.27	322	↓		↓

(上接第 5 页)

有效的管理决策可根据这些信息制订。对于制定常规的管理决策,有可能设计一套可以编程装入计算机的法则,从而形成所谓分级控制。该控制同样需要运用数学模型和仿真的手段,对过程进行离线研究分析。

所有的数学模型及仿真工作,无论是用于自动控制包括分级控制,用于对过程的研究和分析,或作为制订高级决策的工具,都要求建模工作者具有相当的智力水准,使用类似的技巧与设备。当然不可能绝对一致。
(未完待续)

五、试验小结

1. 从试验取得的表征系统特性的数据—— T_r 、 T_p 、 t_3 、 N 、 σ_p 的分析,说明系统是稳定的,快速性也是好的。

2. 证明了预先对系统传递函数的分析是正确的——系二阶系统。根据这些数据,可以进一步计算出系统的阻尼比 ξ 和无阻尼时的自振荡频率 ω_n 。

由

$$\frac{n\xi}{\sqrt{1-\xi^2}} = \ln \frac{1}{\sigma_p} = \ln \frac{1}{0.154},$$

得 $\xi = 0.514$ 。

又从

$$\omega_n = \frac{\pi}{t_p \sqrt{1-\xi^2}}$$

求得 $\omega_n = 18.97$ 弧度/秒。

3. 系统能满足连续酸洗线的带钢对控制要求(实际运行也证明了这一点)。整个系统能对频率为 3.3 Hz 的带钢跑偏作出反应,实现对中控制。

参 考 文 献

- [1] 李友善主编,自动控制原理(上册)
- [2] AEG—Tetefunken Electric and Electronic Exhibition Beijing 1981: Electrohydraulic Control System.

(上接第 34 页)

或 J_{11-1} 接通, J_3 吸合,电机逆时针旋转,同样通过 G 、 J_{3-5} 达到电路自锁,直到旋转 90° ,挡光片挡光后解除自锁才停转,这样就保证阀门按预定程序顺时针旋转两次 90° ,逆时针旋转两次 90° 。 K 与 B' 、 C' 、 D' 、 A' 接通时, J_{13} 、 J_{14} 、 J_{13} 、 J_{12} 相应吸合,使生产流程模拟指示灯亮,指示出生产程序。

(3) 过载保护 为防止机械故障,采取了过载保护装置。当 J_2 或 J_3 吸合时,时间继电器 J_s 亦同时吸合。如因机械故障而超过规定时间,阀门仍不能到位,挡光片挡不住光, J_{s-1} 就自动断开,全系统失电,达到保护的日的。

TB-1 C 型自控站也可适用于 6 个程序的水煤气生产,只需调换印刷电路板即可,原理完全一样。

本期内容摘要

过程工业数学模型的建立与计算机仿真

约翰·曼

《自动化仪表》1985年第二期 p 1~5

建立过程工业的数学模型和进行计算机仿真的目的,是利用模型仿真的结果来分析和理解工业过程的特性;应用为工业过程所设计的自动控制方案;估计对工业对象进行附加投资将创造大约多少利润。当对一个新的工厂进行投资时,同时必须考虑改变老的同类工厂的操作方式或产品种类,这样,老厂的效率便会降低;而数学模型恰好可以对总的效益作出评价。建模与仿真工作需要培训有素的技术人员,但它可以使过程的效益回收远大于进行这项工作所花费的成本。

Land 红外温度计的新动向

姜世昌

《自动化仪表》1985年第二期 p 6~8

本文简要介绍了英国 Land 红外温度计公司的部分新产品及其设计、应用情况,以及经营管理中的经验,可供有关人员参考。

连续酸洗线带钢对中控制系统的实验研究

罗绍基

《自动化仪表》1985年第二期 p 9~13

本文概述了大型冷轧带钢厂中连续酸洗线的带钢对中控制系统及其各单元的工作原理、性能和特点。描述了各单元和系统的传递函数,着重探讨了各单元特性的实验测试方法和系统模拟试验方法。

中温黑体炉结构及其有效发射率的计算

高魁明 王玲生 李丽杰

《自动化仪表》1985年第二期 p 14~17

黑体辐射源(黑体炉)广泛用于分度各种辐射温度计和作为测量各种物质发射率的标准辐射源。本文结合作者近期的实验和计算介绍了陶瓷圆筒形腔体中温黑体炉和不锈钢圆筒形腔体红外标准辐射源的结构及其特性,并提供了这两种圆筒形黑体空腔有效发射率分布的计算结果。

液态化压力输送煤粉系统中参数的微型计算机采集

王世英

《自动化仪表》1985年第二期 p 20~23

研究气固两相流动机理的气力输送理论以及开发气固两相流量计,都必须建立一个工作压力、气固流量等参数能在较大范围内随意调节的装置。本文介绍了这种装置,并着重介绍了微型计算机在该系统中的应用,文中提供了装置系统图、微机测量系统方块图及系统工作流程图,并附有 BASIC 语言编制的程序表。

利用微型电脑进行汽水流量补偿

何文廷等

《自动化仪表》1985年第二期 p 24~26

锅炉汽水流量不平衡是一个带有普遍性的问题。为提高效率,必须进行补偿。本文介绍了流量补偿的数学模型以及利用微型电脑进行这种补偿的系统框图、程序流程图、程序,提供了实际运行所测得的数据。实践证明,这种补偿系统效果是令人满意的。

(continued from p.45)

computer measuring system and the flowcharts of system operation have been provided, additionally a routine table programmed with BASIC language is attached.

Compensation for Aqueous Vapour Flowrate by Means of Microcomputer

He Wen-Ting

Unbalance of the boiler aqueous vapour flowrate is a common problem. In order to raise

efficiency, it must be compensated. The mathematic model for flowrate compensation and the block diagrams of system, the program flowcharts and the programs that using microcomputer to make such compensation are described, moreover the data measured during practical operations are provided. The satisfaction of this compensation system has been proved through practice.

Abstracts of Main Articles in This Issue

Mathematical Modelling and Computer Simulation in the Process Industries

John Mann

Mathematical modelling and computer simulation are used in the process industries for analysing processes to understand their behaviour, for applying automatic control schemes for the processes, and to evaluate the likely profitability resulting from additional plant investment. The effects of additional investment in new plant on the future operation of the existing plant can also be evaluated. These activities demand well trained graduates, but can make process cost savings very much greater than the cost of the modelling and simulation exercise.

The Latest Tendency of LAND Infrared Thermometers

Jiang Shi-Chang

Part of the new products produced by the LAND Infrared Thermometers Company and the related design and application as well as the experience in management and administration of the company are briefly introduced, which may be used as reference for those concerned.

Experimental Research on Strip Steel Centering Control System in Continuous Acid Pickling Line

Luo Shao-ji

Principles of operation, performance and features of a strip steel centering control system and units in continuous acid pickling line at a large scale cold rolling strip steel plant are briefly summarised. Transfer functions of different units and the system are described, emphasis is given to the discussion of the methods

of experimentally testing the properties of each units and the methods of system simulation tests.

The Construction of Medium Temperature Blackbody Furnace and The Calculation of Its Active Radiant Emittance

Gao Kui-Ming, Wang Ling-Sheng, Li Li-Jie
Blackbody radiant source (blackbody furnace) has found a wide use in dividing different kinds of radiant thermometers. It can be used as a standard radiant source for measuring radiant emittances of different materials. Combined with the author's recent experiments and calculation, the construction and the properties of medium temperature blackbody furnace with ceramic columnar cavity and standard infrared radiant source with stainless steel columnar cavity are described. The results of calculation of active radiant emittance distribution of this two columnar blackbody cavities are also provided.

Acquisition of the Parameters by the Microcomputer in the Pressurized Fluidic Pulverized Coal Feeding System

Wang Shi-Ying

An equipment, with its parameters such as operating pressure, pneumatic and solid flow-rates can be regulated randomly in a larger range, must be established for the research of the pneumatic transfer theory of both gas and solid phases flowing mechanism and for the development of both gas and solid phases flow-meters. Such kind of equipment is introduced, the stress is put on the application of a micro-computer in the system. The equipment's systematic diagrams, the block diagrams of micro-
(to be continued on p.44)