

水泥工业技术革新经验汇编

第 三 辑

中国建筑工程出版社

水泥工业技术革新 经验汇编

第三辑

黄有丰 刘进之 编

中国建筑工业出版社

本书汇编了国内大、中型水泥厂水泥生产自动控制、计量及检测监视方面的重要技术革新经验十六项，可供水泥厂技术人员、工人和管理干部阅读参考。

水泥工业技术革新经验汇编

第三辑

黄有丰 刘进之 编

中国建筑工业出版社出版(北京西郊百万庄)

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

北京市昌平长城装订印刷厂印刷(北京市昌平县上苑)

开本: 787×1092毫米 1/32 印张: 11 字数: 246 千字

1986年6月第一版 1986年6月第一次印刷

印数: 1—3,100册 定价: 1.70元

统一书号: 15040·4919

目 录

年产100万吨水泥厂的自动化	1
新型干法水泥厂的计算机控制系统	144
对日产4000吨熟料水泥厂自动化评价	181
入窑生料的定量喂料和自动调节	209
微型计算机在预报熟料和水泥强度中的应用	221
水化热水槽恒温自动控制器	237
如何提高皮带电子秤的计量精度和长期运行 的稳定性	248
皮带称重和定量给料装置的标定和校验方法	256
采用电子计算器进行煤的计量	276
水泥机立窑配料自动调节系统和冲量式 流量计的应用	283
推荐重力翻斗秤的一种启闭机构	298
水泥回转窑胴体红外线扫描装置	306
设备运转的监视和电机保护	322
交流接触器直流运行的原理及应用	325
“看火”工业电视在水泥回转窑上的推广应用	335
CMOS电路窑尾下料检测器	342

年产100万吨水泥厂的自动化

合肥水泥研究院 刘进之 张宝祥^①

一、全厂自动化的概貌

(一) 主要工艺过程集中控制与某些工序单独控制相结合

主要工艺过程的集中控制，有利于生产过程的统一管理、调度和指挥，有利于提高企业的劳动生产率。

从原料配料开始，生料的制备、均化、贮存，经熟料煅烧、水泥粉磨，直到水泥入库，主要工艺过程都应该集中在中央控制室进行集中控制。这样做，不仅可以节省大量的操作人员，而且使整个水泥生产的主要过程情况，集中于中央控制室进行显示、报警、操作，使生产管理人员和调度指挥人员对全厂的生产情况一目了然，便于针对生产过程中出现的问题，及时进行调度指挥，保证产量质量计划的完成。

对于石灰石的破碎，石灰石、铁粉的输送和贮存，粘土和砂页岩的破碎，粘土的烘干，石膏的破碎等，又分别设立了五个控制室，对这些工序进行单独控制。对这些离厂区较远的原料破碎、输送，以及虽在厂区但无需三班作业，或一周只需四、五个工作日进行作业的工序，进行独立控制，既

^① 参加编写人还有江清如、付思问、方将来、倪美德、赵资亮、徐恕文、许荣康、吴平、张忠。

可以就近掌握生产情况，也可以使这些工序的作业更为灵活。

因此，采用中央集中控制和对某些过程分别进行单独控制相结合的方法来控制现代化水泥厂的生产，是一种普遍采用的控制方式。该厂的具体做法如下：

全厂设一个中央控制室和若干个分控制室。中央控制室位于回转窑靠近窑头的一侧，控制原料配料，生料制备、均化、贮存，生料入窑、预热，熟料煅烧、冷却、贮存，水泥粉磨、贮存等整个主要生产工艺过程。

在中央控制室内，设有计算机和荧光仪室、控制室、继电器室。计算机和荧光仪室内设有 ECAROM 800 微型过程控制机和 PW1600/10 分析仪。控制室内放有 17 块仪表屏，仪表屏上端有工艺流程模拟图，接着是各种信号灯、报警灯，然后是各种参数的显示仪表、记录仪表、调节仪表，各种开关按钮、连锁按钮、转换开关等。仪表屏内还有各种运算单元和电声报警器等。继电器室有继电器逻辑柜 20 个。

石灰石破碎控制室位于石灰石破碎车间，控制两台石灰石破碎机以及除尘、输送、给料等设备，并进行负荷的自动调节。

粘土、砂岩的破碎控制室位于粘土、砂岩破碎车间，控制粘土砂岩破碎机、板式给料机以及除尘、输送等设备，并进行粘土、砂岩混合比及破碎机负荷的自动调节。

石灰石、黄铁矿的输送、贮存控制室，位于石灰石预均化库一端，控制从破碎车间到均化库的石灰石输送、均化以及从预均化库取料并输送到配料站的工艺设备和除尘设备。

粘土和砂岩的烘干、输送、贮存控制室，位于粘土烘干机房，控制从粘土、砂岩破碎车间到粘土预均化库的输送、

均化，以及控制从预均化库取料、烘干并输送到配料站的工艺设备及除尘装置。

石膏破碎控制室位于石膏破碎车间，控制石膏的破碎、输送及除尘等设备。

（二）工艺参数的自动检测

对生产过程的各种参数如温度、压力、流量、物位、物料流量、物料成分、气体成分、电流、电压、功率、转速、位移、设备运行状态等进行自动检测，并在中央控制室或分控制室进行显示、报警，目的是向生产操作人员和管理人员提供设备运转和工艺过程的信息，使操作人员能立即进行正确的操作，使生产管理人员能根据这些信息去综合、分析生产情况，及时地解决生产中出现的問題，制定合理的生产计划。

在水泥的生产过程中，物料温度的变化，热气流温度的高低，对生产影响很大；设备运转过程中的温升，关系到设备运行的安全。因此，对温度的自动检测应当格外重视。

使用的测温仪表主要有：热电偶温度计、热电阻温度计、表面温度计、温度继电器（温度开关）、红外测温仪和比色高温计等。为了适应水泥工业测温的特殊需要，这些测温仪表有的还采用了一些专用的辅助装置，例如，用红外测温仪检测回转窑烧成带20米长的一段胴体温度时，采用了与回转窑同步的旋转扫描装置，既可显示胴体的温度，又可显示所测胴体的位置。

在水泥的生产中，有大量的气体参与生产工艺过程，对这些气体的压力（大多是负压）、流量要进行检测，以便加以控制。

常用的压力、流量检测仪表主要有：弹簧管压力计（高

压或中压)、钟罩式压力计(微低压)、薄膜式压力计(微低压)等,以及与之配套的差压变送器。流量检测主要采用阿纽巴管(一种钻石型均速管)。

物位检测主要采用:带称重传感器的金属计量仓、位式音叉料位计、旋转叶轮式料位计、倾斜料位开关以及连续检测料面的重锤式料面计等。

对粉、粒、块状物料的计量和定量给料,主要采用皮带式电子秤、溜槽式流量计和失重式电子秤等。

采用x射线分析仪分析原料、生料的化学成分。

气体的氧含量,采用热磁式氧分析器进行测定;一氧化碳和二氧化碳均采用红外线分析器进行测定。

全厂各车间和中央控制室使用的仪表(包括一次检测仪表、变送器、运算器、调节器、显示器等)数量如表1所列。

各车间和中央控制室使用的仪表数量 表 1

车 间	就地安装 (块)	就地盘装 (包括分控室盘装) (块)	中控室盘装 (块)	小 计 (块)
原料车间	72	30	18	120
生料车间	180	45	143	368
烧成车间	187	58	204	449
制成车间	246	48	126	420
合 计	685	181	491	1357

(三) 工艺过程的自动调节

水泥生产过程中,很多被控参数要求被控制在一定范围内才能保证下一工序的正常生产,才能使机电设备安全运转。因此,当被控参数由于干扰的出现而偏离或即将偏离其

要求值时，需对某些操作参数进行及时的调节，以使其不偏离或很快回到所要求的范围内。若由人工来操作这些参数，既耗费大量劳动力，又往往调节不及时。因此，在水泥厂的设计中，采用了不少自动调节回路，其中绝大部分是单回路自动调节系统，少数是比较复杂的调节回路，包括：

1. 温度调节回路：如生料磨出口的气流温度，增湿塔出口气流温度，水泥磨出口气流温度，热风炉出口温度等调节回路。

2. 压力调节回路：如窑尾排风机出口负压，冷却机篦下压，窑头负压，热风炉和烘干机燃烧室负压等调节回路。

3. 流量调节回路：如篦冷机1号、4号、7号室风量等调节回路。

4. 负荷调节回路：如石灰石破碎机负荷，粘土破碎机负荷，生料磨负荷，水泥磨负荷等调节回路。

5. 配比调节回路：如粘土、砂岩的混合比，一次风和燃料的混合比等调节回路。

6. 气体成分调节回路：如窑尾烟气的氧含量调节回路。

从原料破碎到水泥粉磨的整个生产过程中，共有上述调节回路30多个。这些调节回路对及时调节参数，稳定工艺过程，起了重要的作用。

（四）生料质量的计算机控制

对于干法生产，生料质量的好坏是影响水泥质量的关键因素，因此，生料质量的控制就格外重要。显然，只控制生料的碳酸钙含量是满足不了生料质量控制要求的，只有严格控制生料的几个率值，才能保证熟料具有符合要求的矿物组成，使水泥强度达到要求。为此，新型干法工艺线普遍采用计算机和多道X射线分析仪控制生料质量。这种控制技术，

在国际上已经很成熟，应用也很普遍。多道 x 射线分析仪主要用于快速、及时、准确地分析原料和生料的化学成分，计算机则根据分析仪的分析结果，进行配料计算，并输出控制信号，改变各原料之间的比例，使生料质量（生料的化学成分）合乎要求。

该厂采用 ECA ROM800 型微计算机、PW1600/10 x 射线分析仪和 Schenck 皮带电子秤，组成生料质量的自动控制系统。

用微型计算机控制生料质量是一种值得推广的方法，是水泥工业计算机控制的一个发展方向。

（五）机电设备的连锁和集中启停

水泥生产过程中要使用大量的主机、辅机和输送设备。这些设备的运行不是孤立的，而是相互联系、互相制约的。在全厂的所有设备中，有一些设备彼此联系很密切，一个设备出了故障，其它的设备就无法运行或没有必要运行，我们称这些设备为一个机组。这一机组与另一机组之间虽有联系，但不那么密切。对机组进行连锁，实现程序控制，在中央控制室进行集中启动和停车，不但可以提高劳动效率，方便操作，而且当其中的某一台设备发生故障时，可以自动停车，并且使受其影响的其它设备也相应地自动停车，以保证设备的安全运转。

现今的程序控制有三种方式，一是继电器逻辑控制，一是固体逻辑控制器控制，另一是微处理器逻辑程序控制器控制。淮海水泥厂采用继电器逻辑控制。

为了进行程序控制，需要检测设备的运行状态。如预均化堆场，需要检测堆料高度（用料位开关），当达到预定高度时，再移动卸料小车，或移动折叠式皮带。又如启动皮带

输送机时，需检测到下游皮带已经运行（用带速检测器），上游皮带才能自动启动。再如，只有检测到磨机高压油泵的压力达到某一数值后，磨机的电动机才能自动启动等。这些，都是程序控制的重要组成部分，是设备安全运转的重要保证。

（六）物料的自动计量和定量給料装置

在水泥生产过程中，有大量的原、燃料和半成品进入生产流程。对这些原、燃料和半成品，不仅要控制它们的数量，而且要控制它们的速度，也就是说，不仅要知道所消耗的原、燃料和半成品的数量，而且要按工艺的要求，进行定量給料。

主要的定量給料装置是皮带电子秤。仓式料斗秤使用也很多，主要用于标定皮带电子秤和流量计，以及控制料仓进料等。失重秤用作煤粉的定量給料装置。流量计用于计量回磨的粗粉量，以便控制磨机负荷。

二、自动检测仪表

（一）ARDOCOL比色高温计

比色高温计是一种非接触式的测温仪表，它是利用物体的热辐射来测量其温度的。这种测温方法的特点是，仪表不需要直接与被测介质相接触，因而不会破坏被测对象的温度场，也不会受被测介质的腐蚀和毒化等影响。它特别适用于冶金工业和水泥工业中测量处于运动状态的对象的温度和变化着的温度。该水泥厂利用ARDOCOL比色高温计来检测回转窑烧成带的熟料温度。

1. ARDOCOL比色高温计的结构和工作原理

ARDOCOL比色高温计是德意志联邦共和国西门子公

司的产品，它由插件目镜和手柄等组成。插件由物镜和固定在支架上的物镜系统组成。支架是两块对半的压铸件，它包括所有的光学部件，如光束分离设备、光导管、硅光电池、磷化铟晶体滤光片以及所有的瞄准系统。两块电子印刷线路板固定在物镜系统支架的旁边。插件的后面是用螺钉固定的连接板。

ARDOCOL比色高温计采用双通道光路系统，其工作原理如图1所示。辐射线经物镜聚焦并穿过部分透明的镜子进入光导管。在光导管内辐射线经过多次折射、混合，然后射在磷化铟晶体上。磷化铟晶体允许波长大于1微米的辐射线通过，并将波长小于1微米辐射线反射出来，从而使射线分为两部分。这两部分光分别被硅光电池4和5接收。硅光电池的光谱范围为： $\lambda_1=0.6\sim1.0$ 微米， $\lambda_2=1\sim1.2$ 微米（有效波长为0.888微米和1.034微米）。硅光电池的输出电压与辐射到电池上的光谱强度成比例，而光谱强度取决于射线的波长和辐射体的绝对温度。

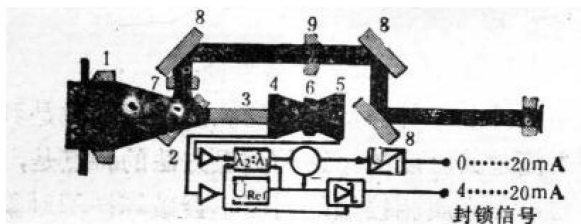


图1 ARDOCOL比色高温计的工作原理

1—物镜；2—部分透明的镜子；3—光导管；4—硅光电池(λ_1)；5—硅光电池(λ_2)；6—磷化铟晶体；7—观测窗；8—反射镜；9—目镜

$$E(\lambda, T) \propto \int_{\lambda_{\min}}^{\lambda_{\max}} L_{e\lambda}(\lambda, T) \cdot e(\lambda, T) \frac{S_{\lambda}(\lambda)}{S_{\lambda \max}} d\lambda$$

式中 $E(\lambda, T)$ ——硅光电池输出电压,

$\lambda_{\min}, \lambda_{\max}$ ——硅光电池的光谱范围,

$L_{e\lambda}(\lambda, T)$ ——单色辐射的光谱强度,

$\epsilon(\lambda, T)$ ——辐射系数,

$\frac{S_{\lambda}(\lambda)}{S_{\lambda \max}}$ ——辐射接收器的相对光谱灵敏度。

两个硅光电池的信号送到前置放大器中进行放大, 通过对数转换器将输入信号变成对数形式, 对数相减($\log E\lambda_1 \sim \log E\lambda_2$), 与一个参考电压的对数值进行比较, 然后取反对数, 产生一个比较电压, 这个电压就是 $T = f\left(\frac{E_{\lambda_1}}{E_{\lambda_2}}\right)$ 关系的测量值 (T 为比色温度), 再经输出放大器转换成 $0 \sim 20\text{mA}$ 或 $4 \sim 20\text{mA}$ 的输出电流。信号的选择可以通过接线板上的舌片 B_{r1} 决定, B_{r1} 打开, 输出 $0 \sim 20\text{mA}$; B_{r1} 闭合, 输出 $4 \sim 20\text{mA}$ 的电流。

如果在辐射通道上不存在辐射体时, 将有一个内在电路封锁输出信号, 输出一个 -1mA 电流 (相对于 $0 \sim 20\text{mA}$ 的输出) 或 $+2\text{mA}$ 电流 (对于 $4 \sim 20\text{mA}$ 的输出), 作为回零信号。

为了观察被测温的物体的辐射能否进入仪表的光学系统, ARDOCOL 比色高温计还设有瞄准系统, 它是利用部分透明的镜子的反射作用, 将一部分光反射到反射镜 8, 经目镜 9, 再经反射镜 8 的反射进入人的眼睛。

2. 均值形成器和峰值保持器

ARDOCOL 比色高温计的响应时间相当快 (< 40 毫秒), 在应用于水泥熟料的温度测量时, 由于受到辐射通道上中介介质的影响, 以及黑火头的干扰, 输出信号波动很大,

将影响以后的数据处理。为了克服这个缺点, ARDOCOL 比色高温计还配备有均值形成器和峰值保持器, 在输出放大器的输出端连接一个均值形成器 (如果只需要检测变化温度的峰值, 可连接一个峰值保持器), 对信号进行处理。

(1) 均值形成器

均值形成器主要用于信号周期的 (或者偶然的) 变化, 工作原理见图 2。

输入电流通过前置放大器 V_1 和互补晶体管 TS 转换为线性的输出电流, 对电容器充电。电位器 P_1 用以调整充电时间和延迟时间。通过开关 S_2 对大电容 C_2 的切换, 延迟时间可在 5~150 秒之间变化, 放大器 V_2 将延迟信号转换为输出电流。使用开关 S_1 可对输出电流 0~20 mA 或者 4~20 mA 进行选择。

(2) 峰值保持器

峰值保持器用于贮存被测物体的峰值温度, 克服黑火头以及热气流的干扰, 其工作原理见图 3。

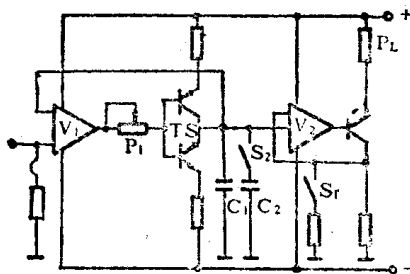


图 2 均值形成器的工作原理

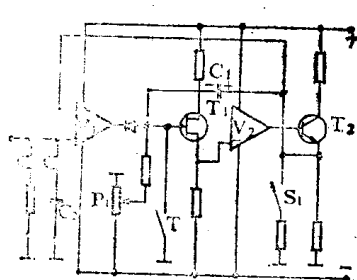


图 3 峰值保持器的工作原理

输入电压 (如为输入电流, 可经取压电阻转变为电压) 加到 V_1 的反向端, 当输入信号变大, 则 V_1 的输出电位变低, 二极管导通, 场效应管 T_1 源极电流下降, V_2 反相输入

端电位下降，从而使 T_1 输出电流上升，同时 C_1 很快充电，使输出较快地跟上输入。再当输入信号变小时， V_1 输出电位变高，二极管不通， T_1 的输出要等待 C_1 慢慢放电， T_1 栅极电位慢慢上升，当上升到一定值后，才能使二极管又导通，从而使 T_1 的输出跟随输入而变化。由于 C_1 的充电时间常数远大于放电时间常数，故 T_1 的输出能够实现峰值保持作用。

如果只要求很小的衰减，可以使用RC滤波电路，见图4。

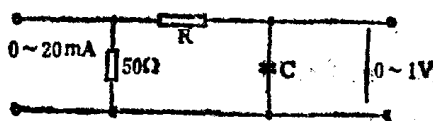


图4 RC滤波电路

RC滤波电路的近似公式是 $1mA \cdot 1\mu F = I_s$ 。

3. ARDOCOL比色高温计的应用

ARDOCOL比色高温计用于该厂回转窑烧成带熟料温度的测量。在煅烧熟料时，烧成带温度的高低关系到回转窑的安全运转和高产、优质、低消耗的重要参数，也是操作人员判断窑内工况和进行操作的主要依据。通过对烧成带与冷却带交界处熟料温度的测量，可以帮助我们掌握烧成带的温度，了解熟料煅烧的情况。ARDOCOL比色高温计安装于窑头罩喷煤管的右下侧，其目的是为了尽量避免火焰温度和黑火头所造成的测量误差，在现场安装时，应当与一个带水冷却套的测视管联在一起使用，这是为了防止周围辐射体的辐射能进入物镜，减少窑头罩对比色高温计的直接热辐射，以防止元件烧坏。另外，在测视管前还安装有电磁保护

装置，在冷却水突然停止供应的情况下，电磁保护装置能及时动作封锁比色高温计的测量通道，其动作原理见图 5。

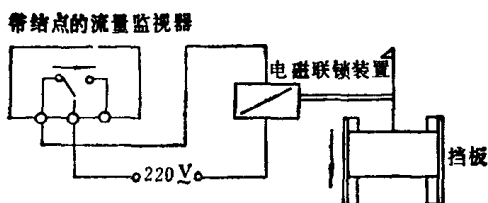


图 5 电磁保护装置的动作原理示意图

当水的流量低于某一数值时，流量监视器的结点动作，电磁保护装置失电，挡板依靠本身的重量向下运动，切断了测量通道，起到了保护作用。

4. 测温误差分析

比色高温计在测量实际物体的温度时，由于受到辐射体的辐射系数 ϵ 的影响，测量值与实际值之间总有一些误差。根据不同的辐射体，这一误差可正可负。

比色高温计的温度示值与两个波长的能量之比有关，即

$$T = f\left(\frac{E_{\lambda_1}}{E_{\lambda_2}}\right), \text{ 对于黑体来说为}$$

$$\frac{E_{\lambda_1}^0}{E_{\lambda_2}^0} = \left(\frac{\lambda_1}{\lambda_2}\right)^{-5} e^{-\frac{C_2}{T}\left(\frac{1}{\lambda_1} - \frac{1}{\lambda_2}\right)} \quad (1)$$

对于实际物体为

$$\frac{E_{\lambda_1}}{E_{\lambda_2}} = \frac{\epsilon_{\lambda_1}}{\epsilon_{\lambda_2}} \left(\frac{\lambda_1}{\lambda_2}\right)^{-5} e^{-\frac{C_2}{T}\left(\frac{1}{\lambda_1} - \frac{1}{\lambda_2}\right)} \quad (2)$$

式中的 C_2 为常数 ($C_2 = 1.44 \text{ 厘米} \cdot \text{度}$)。

按照比色高温计的定义：当温度为 T 的实际物体的两个波长下的能量比值与温度为 $T_{\text{比}}$ 的黑体的上述两个波长下的

能量比值相等时, $T_{\text{比}}$ 称为实际物体的比色温度。

因此, 将式(1)中的 T 以 $T_{\text{比}}$ 代入, 并使 $\frac{E_{\lambda_1}}{E_{\lambda_2}} = \frac{E_{\lambda_1}}{E_{\lambda_2}}$, 即可得到实际物体的 $T_{\text{比}}$ 与 T 之间的关系。

$$\frac{1}{T} - \frac{1}{T_{\text{比}}} = \frac{\lambda_1 \cdot \lambda_2}{C_2(\lambda_2 - \lambda_1)} \cdot \ln \frac{e_{\lambda_1}}{e_{\lambda_2}} \quad (3)$$

由此而得到的比色高温计的测量误差为:

$$\Delta T_{\text{比}} = T_{\text{比}} - T = -\frac{\lambda_1 \cdot \lambda_2 \cdot T \cdot T_{\text{比}}}{C_2(\lambda_2 - \lambda_1)} (\ln e_{\lambda_1} - \ln e_{\lambda_2}) \quad (4)$$

从上式可以看出, 比色高温计的测量误差取决于辐射体在波长 λ_1 和 λ_2 下的辐射系数 e_{λ_1} 和 e_{λ_2} 。就黑体来说, 因为 $e_{\lambda} = 1$, 从式(4)中不难看出 $\Delta T_{\text{比}} = 0$; 对于金属, 因为它们的 $e_{\lambda} < 1$, 而且大多数金属的 $\frac{e_{\lambda_1}}{e_{\lambda_2}} > 1$, 所以在一般情况下 $\Delta T_{\text{比}} > 0$ 。

水泥熟料在回转窑内可以近似地被看成为黑体。凡能全



图 6 构成黑体空腔的方法

部吸收入射辐射能的物体, 称为理想黑体。黑体是一个理想化的概念, 也就是说完全的黑体(理想黑体)是不存在的, 因为所有物体的表面都要反射一定数量的辐射能。但在某种意义上我们可以把一个开有小孔的空腔看成为一个黑体, 如图 6 所示。

一束入射的辐射线进入空腔后, 一部分辐射能为腔壁所吸收, 另一部分辐射能被反射后仍被其它的空腔壁所吸收,