

工业窑炉分布式控制系统的设计

杨盛泉, 姚全珠

(西安理工大学 计算机科学与工程学院, 陕西 西安 710048)

摘要: 针对目前窑炉行业运行控制中普遍存在能源浪费、低效、精度差、周期长等缺点, 提出了开发工业窑炉分布式控制系统; 此系统建立统一窑炉控制模型, 将窑炉控制整体上分割成为若干个自治系统实现对每个温区的分别单独控制; 自治系统内部运行中通过严谨而又科学的数学计算与软件 PID 技术, 实现对每一温区高效、精确的控制; 系统同时具有丰富的人机对话、安全防爆警示等功能; 工程实践表明, 此系统为工业窑炉控制行业提供了良好的模型和方法, 具有很大的实际应用价值。

关键词: 工业窑炉; 分布式控制; 自治系统; 温区

Design of Distributed Control System of Industry Kiln

Yang Shengquan, Yao Quanzhu

(School of Computer Science and Engineering, Xi'an University of Technology, Xi'an 710048, China)

Abstract: A distributed control system (DCS) of industry kiln is proposed and developed to overcome disadvantages such as wasting energy sources, low efficiency, bad precision and long periods, etc on the current kiln control industry. This system puts forward a unified model for industry kiln control, and the total control of kiln divided into many autonomy systems, which can make it possible controlling of every temperature zone separately. In the inner of autonomy system, it can control every temperature zone with high efficiency and high precision by logical and scientific math computation and software PID techniques. Simultaneously, the system possesses of abundant functions such as man-machine interface, alarm against explosion. Engineering practice indicates that this system provides a good model and method for industry kiln control, and it has very powerful practical application value.

Key words: industry kiln; distributed control system (DCS); autonomy system; temperature zone

0 引言

工业窑炉是一种利用燃气、燃油等为燃料燃烧的工业加热设备, 被广泛地应用于陶瓷、耐火材料、砂轮、电瓷、铸造和建筑材料等行业, 对很多相关企业正常工作生产起到非常关键性的作用。工业窑炉按运转的方式可以分为连续式窑炉、间歇式窑炉两种。工业窑炉在控制运行过程中, 窑内温度、气氛、压力及各种流量, 往往会由于外界条件或内部因素的变化而发生变化, 为了使这些变化了的参数符合烧成工艺要求, 必须实时根据这些变化了的情况对窑炉各控制设备做出快速、合理又整体协调地控制; 传统的窑炉控制基本都是靠人工操作和调节或计算机参与辅助监控。这种控制方式的缺点是体力劳动繁重, 烧成周期长, 有滞后性, 而且受主观因素的影响, 调节精度不高, 导致工业窑炉烧成合格率低^[1]。因此, 充分将热工技术与计算机控制技术相结合, 研究与开发工业窑炉分布式控制系统 (DCS), 对于减轻工人劳动强度, 改善劳动条件, 降低能源消耗, 提高装烧产品的产量和质量, 控制生产成本, 保证设备的安全运行都具有十分重要的意义。

1 工业窑炉烧成工艺

1.1 连续式窑炉

装烧产品一般都放置于窑炉内部的若干窑车车台面上面,

窑炉的推拉机构按照一定的速度推动这些窑车连续向前移动。连续式窑炉一般表现为长龙型的建筑外观, 其结构在工艺上又分为预热带、烧成带和冷却带, 每个带位的控制设定温度不同。一般来说, 窑炉的所有温度控制点都是定值调节, 即随着时间的变化, 窑炉内部某一点的温度要求保持恒定。所有的控制点的设定温度表现为装烧产品的工艺烧成曲线。其典型的代表有隧道窑和辊道窑等。

1.2 间歇式窑炉

间歇式窑炉典型代表通常有时效炉、实验电炉、工业梭式窑和钟罩窑等。它同样也有若干控制温区, 但其每一控制温区的温度设定跟随装烧产品的工艺曲线, 表现为随着时间动态变化。同一时刻窑内所有控制温度点 (控制温区) 的实际温度值理论上必须相等, 即保持窑内温度与气氛均匀。间歇式窑炉的建筑外型一般表现为长方体。

2 工业窑炉控制系统设计

不同行业以及不同的装烧产品, 窑炉的烧成工艺要求有差异, 然而其控制组成比较相似。连续式窑炉和间歇式窑炉控制上都可以分为若干个温度控制点和辅助控制点进行分别控制, 形成分布式控制系统。连续式窑炉和间歇式窑炉控制的不同点主要是对于各自温度点的控制要求不一样, 前者的设定温度为恒定的, 而后的设定温度为变化的。

2.1 建立统一窑炉控制模型

抽取所有窑炉的相同点, 建立一个统一窑炉控制模型。它由窑体、窑车、空气管道、燃气管道、燃烧设备、风机等组成; 燃烧设备中主要的是高速烧嘴, 空、燃气在烧嘴燃烧腔内成比例混合燃烧, 一般要求空、燃气混合效果好、燃烧要充分, 需达到节

收稿日期: 2004-08-15; 修回日期: 修回日期: 2004-09-21。

基金项目: 辽宁省科学技术基金资助项目 (001005)

作者简介: 杨盛泉 (1974-), 男, 硕士, 主要从事 MIS 系统、智能控制等方向的研究。

姚全珠 (1960-), 男, 博士, 副教授, 主要从事 MIS 系统、智能控制等方向的研究。

约燃料的目的;调温风与燃烧产物的同轴流股在任何温度段均可喷出高速射流,可提高窑内温度、气氛均匀性。如图1所示,8个温区控制的窑炉控制模型,它具有一定的代表性,能够覆盖所有的间歇式窑炉与连续式窑炉控制的主要特点。

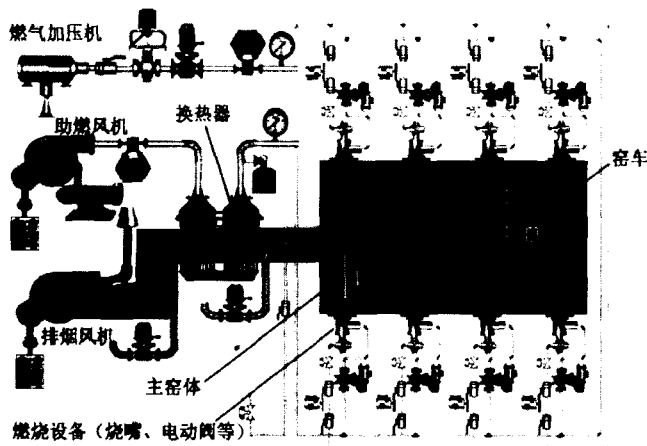


图1 统一窑炉控制模型图

2.2 窑炉分布式控制宏观设计^[2]

如图2所示,系统硬件由温度采集模块、I/O采集控制模块、A/D采集模块、D/A控制模块及工业级的控制计算机等组成。这些模块为若干个自治温区服务,每一个温区控制系统形成一个相对独立的区域,具有自动调控、自动决策、自动安全监控等功能。

A/D实时采集窑炉各温区电动执行机构的当前阀位值并且分别发送给每一个自治系统,D/A根据每一自治系统的输出

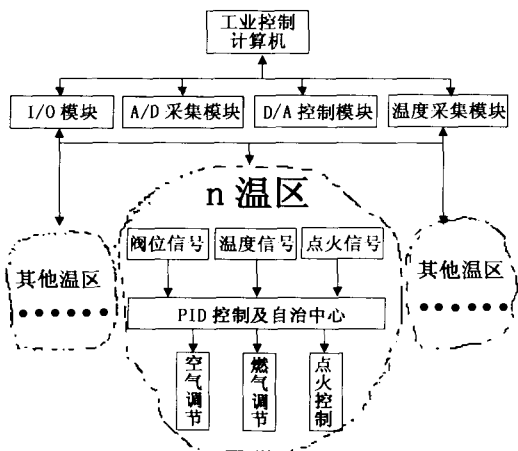


图2 窑炉分布式控制(DCS)硬件组成图

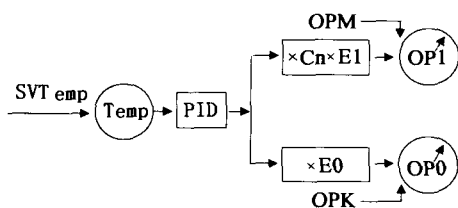


图3 自治系统控制原理图

量分别对窑炉各电动执行机构进行控制;温度采集模块为每一个自治系统调节窑炉温度决策时提供必需的参数;I/O模块为每一个自治系统提供当前窑炉的状态量采集指示,同时又是每一个自治系统的输出控制量的通道;工业控制计算机是整个分布式控制(DCS)系统的宏观调度与指挥中心。

3 系统软件主要设计要点

3.1 温区自治系统PID

自治系统跟踪设定曲线的过程,就是不断地调节其内部空气与燃气阀位以达到实际温度与设定温度动态一致的过程。自治系统跟踪设定曲线原理^[3]如图3所示。

其中, T_{emp} 表示温度, S_v 表示设定值,PID表示自动调节控制器, C_n 表示空/燃比值系数, E_1 表示燃气调节系数, E_0 表示空气调节系数, OP_M 、 OP_K 表示燃气、空气二次干预量, OP_1 、 OP_0 表示燃气、空气执行机构当前位置值。

自治系统的调节算法PID,它由比例调节器 m_P 、积分调节器 m_I 、微分调节器 m_D 和向前微分器 m_C 构成。

即: $OP_{PID} = m_P + m_I + m_D + m_C$

从而可得自治系统的输出控制量:

$$OP_0 = OP_{PID} \times E_0 + OP_K$$

$$OP_1 = OP_{PID} \times C_n \times E_0 + OP_M$$

下面重点介绍PID各部分的功能。

3.1.1 比例调节器 m_P

表示式为 $m_P = P_n \times (S_P - T)$

其中: P_n 为比例增益($P_n = 0.00 \sim 9.99$), $S_P - T$ 为温度偏差值,当 $P_n = 1.00$ 时,表明温度偏差为 1°C 时,自治系统的输出控制量变化了 1.0% 。 P_n 越大,比例作用就越强, P_n 越小表明比例作用越小。当 $P_n = 0$ 时,比例作用无效。

比例调节的优点就是反应快,有偏差信号输入时,输出立刻就与它成比例的变化,偏差越大,输出的调节作用就越强。

3.1.2 积分调节器 m_I

当对调节质量有更高的要求时,就需要在比例调节的基础上,再加上能消除余差的积分调节作用。积分调节作用的输出变化量 m_I 与输入偏差 e ($e = S_P - T$ 温度偏差值)的积分成正比。公式表示为: $m_I = K_I \int e dt$,表明其调节作用随着时间的积累才逐渐增强的,所以调节动作缓慢,会出现调节不及时,当对象惯性较大时,被调参数将出现大的超调量,过渡时间也将延长。

在本系统中,采取每一秒钟对温度偏差 $S_P - T$ 积分一次,当累计值大于积分常数 $K_I \times 10$ 时,阀位的输出值将改变 0.1% 。

3.1.3 微分调节器 m_D

对于惯性比较大的对象,常常希望能够根据被调参数变化的快慢来调节,微分调节器恰好能够满足此要求,即要求输出信号与偏差信号的变化速度成正比。

公式表示为: $m_D = T_D \frac{de}{dt}$,其中 T_D 为微分时间, $\frac{de}{dt}$ 为微分信号的变化速度。

在本系统中,每秒钟驱动调节微分一次,实际采取的表示计算形式为:

$$m_{DN} = m_{DN-1} \times R_{ate} + (T_{N-1} - T_N) \times D_T$$

其中: m_{DN} —本次微分结果输出值; R_{ate} —前次微分结果

影响驱动率; D_T —微分增益; T_N —本次温度值; T_{N-1} —上次温度值; $m_{DN-1} \times R_{ate}$ 为前次微分结果影响驱动项, 而 $(T_{N-1} - T_N) \times D_T$ 为微分强度项。

3.1.4 向前微分器 m_c

为了更好的改善调节性能, 调节过程中, 让系统将历史输出变化的影响同时考虑进来。系统每秒钟对温度变化过程进行检测, 根据温度变化趋势对输出阀位进行调节, 从而使得自治系统调节速度变快, 精度增强。计算形式为:

$$m_c = C_R \times (T_{X-1} + T_{X+1} - 2 \times T_X)$$

其中: C_R 为向前微分调节系数, X 为步长; T_X 为某步时的温度值。

3.2 数据采样

本控制系统的所有的原始数据都是通过外部模块通过通道采样得到的。系统每秒对 I/O 模块、A/D 模块和温度模块采样最高达 1 000 次左右, 得到的原始数据为每秒钟的测控样本。在实际生产过程中, 由于干扰的存在和其他偶然的因素存在, 所得到的数据总是有波动、有差异的, 它与实际值比较, 肯定存在误差, 所以很有必要通过严谨的数学计算和统计检验来决定本次样本接受与否。

3.2.1 正态分布

在实际生产和科学实验中, 采样数据基本都服从正态分布规律。正态分布曲线是一条高峰位于中央 (即样本均数所在处) 两侧逐渐下降并完全对称、两端永远不与横轴相交的钟形曲线^[4]。其表达式为:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}}$$

其中: σ 为总体标准差, μ 为总体平均差, $\sigma > 0$, x 为测试值。

3.2.2 采样数据统计检验

系统中采用样本的平均值作为每秒的采样目标值, 然后确定此采样目标值是否可信。根据统计检验理论可以得到按照服从正态分布的检验方法 (U 检验) 的简要步骤如下: (1) 计算样本的平均差和标准差得到公式; (2) 根据 U 检验查表判断采样目标值是否可信。

由于篇幅有限, 统计检验具体计算原理步骤参照文献 [4]。

3.3 能源消耗计算

工业窑炉控制还有一个重要的目标就是要节能, 评价系统是否节能, 就必须首先将窑炉运行所消耗的能源精确的计算出来。我们假设窑炉所使用的燃料为燃气或燃油, 那么根据流量变送器的 A/D 反馈值, 计算机可以采集转换得到燃气的瞬时流量值, 从而可以科学地计算出系统实际燃料消耗量。

流量值往往是动态变化的, 求实际的消耗量就必须对流量进行数值积分。其定积分的数学表达式为: $V = \int_{T_a}^{T_b} f(x) dt$ 其中: V 表示能源消耗量, T_a 表示计算时间开始点, T_b 表示计算时间结束点, $f(t)$ 为流量随时间变化的函数。

系统中将积分计算离散化, 我们通过复化 Simpson 公式来求解, 将积分区间 $[T_a, T_b]$ 分成 n 等份, 取等距节点 $X_k = a + kh$, $k=0, 1, \dots, n$, $h = (T_b - T_a) / n$ 。

$$V = \int_{T_a}^{T_b} f(t) dt = \frac{h}{6} [f(T_a) + f(T_b) + 2 \sum_{k=1}^{n-1} f(X_k) + 4 \sum_{k=1}^{n-1} f(X_{k-\frac{1}{2}})]$$

$$\text{其中: } X_{k-\frac{1}{2}} = \frac{X_{k-1} + X_k}{2} = T_a + (k-1/2) h$$

算法代码如下:

```
function Integral (a, b; Real; n; integer;): Double;
// 针对 Simpson 公式进行复化积分
// a, b 为积分区间; n 为分段数
// f (t) 表示 t 时间点采样得到的流量值
var i; integer; h, s; Double; // 定义变量 begin h:=
(b-a) / n;
// 曲线分段 s:=f (a) + f (b);
// 运用 Simpson 公式进行复化积分 for i:=1 to n-1 do
// 第一次循环 s:=s+2*f (a+i*h);
for i:=1 to n do // 第二次循环
s:=s+4*f (a+(i-0.5)*h);
s:=s*h/6;
Result:=s; // 返回计算值 end;
```

3.4 系统电气连锁及防爆控制

这一项对于企业的安全生产起到非常重要的作用。系统控制外部设备启动顺序依次为排烟机→助燃风机→燃气总管电磁阀→燃气放散电磁阀→点火许可。每步之间有几秒钟时间间隔, 上一步不执行, 下一步不得电。即启动顺序实现了电气连锁。燃气总管、空气总管、排烟机入口都装有压力开关, 运行过程中如果压力变化异常, 发出声光报警, 提醒操作人员处理问题, 甚至系统可以暂停运行, 保障窑炉和产品安全。若系统发现窑炉过载或燃气压力超高, 立刻关断所有燃料供应开关或阀门, 确保不出大的安全事故。

4 系统实现

我们用 Borland Delphi7.0 实现了工业窑炉控制系统的软件开发。将自治系统用统一的类来表示, 每一个温区的自治系统是它的实例 (对象)。自治系统类有一个很重要的 TTimer 时间触发器, 它负责为自治系统内部数据管理、事务处理、控制输出等工作^[5]。本系统的实现总体框图如图 4 所示。

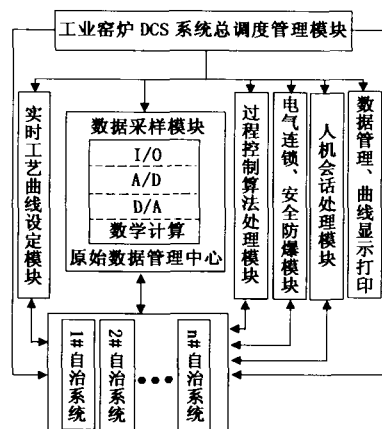


图 4 窑炉分布式控制 (DCS) 软件实现总框图

5 结束语

本文论述的工业窑炉分布式控制系统简单易行, 具有很强的
(下转第 717 页)

的内部系统总线时序。如图5所示。

该指令的目的地址是内部RAM还是SFR由DESTIN_ADDR进行辨别。如是SFR则NDESTIN_WE无效一直为高电平。SFR_WRITE在C2P2处有效为高电平,在C2P2末尾即下一个时钟的上升沿处把数据SFR指定的地址中。如果目的地址指向的是内部RAM,则SFR_WRITE无效一直为低电平,NDESTIN_WE在C2P2处有效为低电平,在C2P2末尾即下一个时钟的上升沿处把数据写进内部RAM指定的地址中。而该指令的源操作数为寄存器间接寻址,即在C1P1处根据源地址总线上Rn的地址取出Rn地址中的数据放到源数据总线上,C1P2时刻再把该数据作为存储单元的地址放到源地址总线上,并取出该地址中的数据输出到源数据总线,在

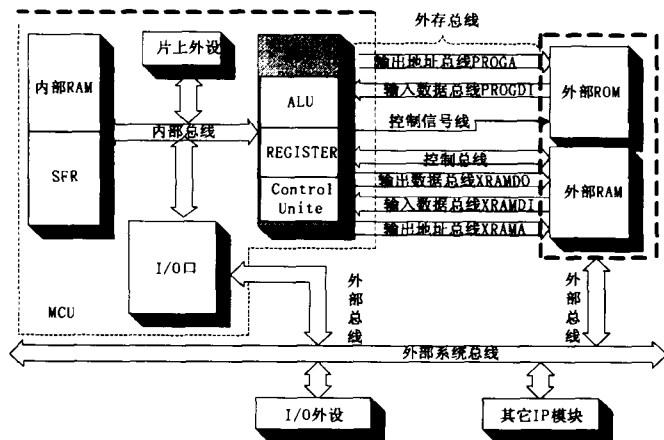


图6 SDZX_8051 MCU 外部总线结构框图

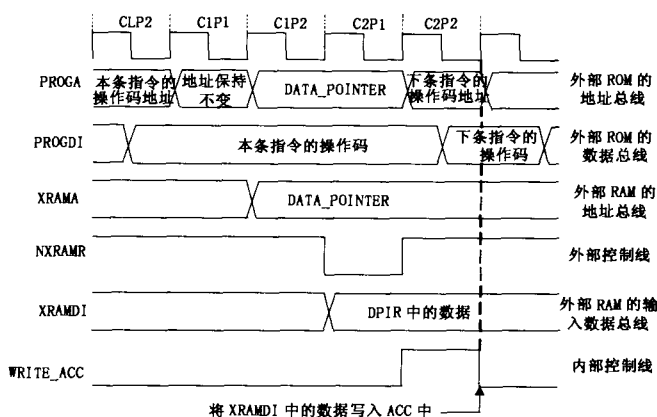


图7 MOVX A, @DPTR 的外部总线时序

(上接第679页)

的通用性,为工业窑炉控制行业提供了较好的模型和方法,具有很强的实际应用价值。

作者已将此系统在企业中投入实际生产运用,取得了非常良好的经济效益,而且在一定程度上改变了工业窑炉行业传统控制过程中表现出的温差大、能耗多、烧成质量差的落后状况。

参考文献:

[1] 王国强,王志安,杨盛泉,等.全自动控制时效炉的设计与应用

C2P2末尾即下一个时钟的上升沿处把数据写进由目的地址总线指定的内部RAM或SFR的地址中。

1.3 外部系统总线的设计

SDZX_8051采用双总线结构的外部系统总线。即除MCU与外部存储器各自挂接在外部总线上外二者之间也有专用的外存总线使之相连,SDZX_8051MCU采用专用总线访问外部存储器。如图6所示。

SDZX_8051访问外部ROM的地址直接由PROGA送出,地址线宽度为16位,可寻址64kB的外部ROM寻址空间。数据在控制信号NPSEN有效的前提下直接放到PROGDI数据线上,避免了锁存和分时复用的时间,极大地提升了SDZX_8051的指令执行速度,降低了CPI,从而使SDZX_8051每个机器周期两个时钟的时序得以实现。访问外部RAM的数据总线拆分成输入数据总线XRAMDI和输出数据总线XRAMDO。如图7所示为MOVX A, @DPTR的外部总线时序。

该指令为单字节双周期指令。该指令的源操作数为寄存器间接寻址,在C1P2时数据指针DPTR中的数据加载到XRAMA外部地址总线上对外部RAM进行寻址操作,C2P1时外部RAM的读信号NXRAMR低电平有效,将指定的外部RAM中的数据传送到输入数据总线XRAMDI上,并在C2P2的末尾即下一个时钟的上升沿处将数据写入ACC中。

2 总结

总线是提高系统效率的一种重要结构,根据系统性能要求可以采用不同的组织方法、传输格式和结构实现。

本文主要是针对8位MCU内核进行的总线设计,结合课题设计了一种并行的同步总线,具有以下特点:(1)内部ALU的设计采用三总线结构;(2)系统总线采用并行单总线结构;(3)外部总线采用双总线结构。采用本文提出的总线结构的MCU经系统验证具有良好的工作性能并使系统的工作速度大大提高。本文提出的总线结构设计充分发挥了MCU内核的工作效率,经验证完全符合每周期两个时钟的CPI时序,完全适用于嵌入式高性能MCU的设计。

参考文献:

- [1] Seceleanu T, Plosila J, Liljeborg P. On-chip segmented bus: a self-timed approach [SOC] [A]. ASIC/SOC Conference. 2002, 15th Annual IEEE International [C]. 2002, 216 - 220.
- [2] 薛胜军. 计算机组成原理 [M]. 武汉: 华中科技大学出版社, 2000.
- [3] 马鸣锦, 赵秋霞, 曾光裕. 高性能个人计算机硬件结构及接口 [M]. 北京: 国防工业出版社, 2001.
- [4] 任艳颖, 王彬. IC设计基础 [M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 2003.
- [5] Musliner D J, Krebsbach K D. Adjustable autonomy in procedural control for refineries [EB/OL]. http://citeseer.ist.psu.edu/musliner99adjustable.html, 1991.