

## 摘 要

核子秤作为一种非接触式的计量仪器，具有适应环境能力强、计量精度高等优点，这使得它被广泛地应用到国民生产中。它的工作原理是放射性同位素发出的射线穿过被测物质时强度衰减，测量透射后的强度并通过计算可以实现对被测物质的计量。

本文在分析本实验室以及国内外核子秤系统研究成果的基础上，对核子秤系统的采集控制电路、控制算法以及软件系统进行了改进，研究、设计了一种新型的核子计量控制系统。它是以 PC 为主机、以 Win98 为软件平台的闭环控制系统，它不仅可以同时实现十六台秤的在线计量和实时控制，还可以实现多种不同物料之间的配比。

本文共有六章，第一章介绍核子秤系统的发展、现状和应用前景；第二章叙述核子秤的工作原理，并讨论了放射源、核辐射探测器和前置放大电路；第三章给出系统的硬件接口电路、硬件工作时序以及 PCB 板的设计；第四章阐述 PID 数字调节器的设计、实现以及对 PID 数字调节器的改进；第五章介绍软件系统的设计以及具体实现；第六章提出未来核子秤发展的几种趋势。

## Abstract

Nuclear Weight Scale and Control System has been applied in manufacture as a non-touched measure instrument because of it's high precision, adaption to work surrounding and so on. When ray come through a certain substance, the strength of ray will decrease. According to this character, the mass of substance can be measured by computing the strength of ray.

After carefully analysing the outcome in the research areas of Nuclear Weight Scale and Control System, I improved it's data acquisition and control circuit, control method and software. The new-type nuclear weight scale and control system I developed is a close-loop flux control system, whose host is a PC. This system, whose software is based on Win98, realized not only the on-line measurement and real-time control of 16 scales but also the percentage of different substance.

This thesis includes five chapters. Chapter I gives a brief introduction of the development, current situation and prospect of the nuclear weight scale and control system; The principle of nuclear weight scale and control system is deduced, and the souce, nuclear detector and pre-amplifier are discussed in Chapter II. Chapter III introduces the interface circuits, timing diagram and design of PCB. In Chapter IV, the design and realization of PID digital controller and it's improvement are given. Chapter V introduces the design and realization of the software system. Chapter VI discusses the trend of development of nuclear weight scale and control system.

## 致 谢

本论文是在张永明老师的指导下完成的。张老师在此论文的完成过程中给予我耐心细致的指导和关心。张老师丰富的理论知识和实践经验使我受益匪浅。另外，张老师严谨的工作作风、平易近人的态度以及生活上对我的关心都给了我很大的鼓励和支持。在此我向张老师表示最诚挚的谢意！

感谢本实验室的刘士兴同学在我做论文期间给予的帮助和支持。刘士兴具有丰富的现场经验，他在系统的设计以及硬件调试方面给了我很大的帮助。

# 第一章 绪论

## 第一节 核子计量控制系统发展概况

核子计量控制系统是一种新型的散装物料在线计量装置，它是核技术、控制技术和微机技术相结合的产物。它是利用物料对射线吸收的原理进行工作的，是一种动态、非接触、在线计量的计量仪器。简称核子秤。

工业计量史上，第一代计量仪器地磅秤和第二代计量仪器电子皮带秤（简称为电子秤）都在不同的历史时期起到过积极的作用。尤其是电子皮带秤，因其精度高而倍受欢迎。但是电子皮带秤是接触式的计量，适应恶劣环境的能力差。核子秤是非接触式的计量仪器，而且适应恶劣环境的能力明显要比电子秤强，所以作为新型计量仪器的核子秤已经得到了广泛的应用。它主要的优点有以下几个方面：

1. 不受物料的物理化学性质的影响，不受皮带张力、震动、厚度、惯性、冲击、跑偏等因素的影响。
2. 动态测量精度高、性能稳定、工作可靠。
3. 结构简单、安装维修方便。
4. 可在恶劣的环境下工作。
5. 适应范围广，除皮带输送机外，还可以用于其它的物料输送机构。

象其它计量仪器一样，核子秤也有一定的局限性与适用范围。核子秤是利用物料对 $\gamma$ 射线的吸收原理进行计量的，如果物料厚度、粒度、成分、水分、堆积形状变化过大，对 $\gamma$ 射线的吸收就不完全相同，从而可能影响核子秤的精度。但根据大量的实验表明，如果实物定标时的流量与正常流量相似，那么，即使物料的物理形状有较大的变化，流量在正常流量附近相当宽的范围内变化时，核子秤仍能保证秤的精度。

最初的核子秤由单片机控制，由单片机控制的核子秤叫做单片机核子秤。近十几年微机得到了迅猛发展，微机具有运算速度快、功能强、可构建良好的用户界面等优势。因此，随着微机性能价格比日益增高，微机被应用到核子秤系统中，并逐渐取代了单片机核子秤，由微机控制的核子秤称为微机核子秤。表 1.1 是电子秤与这几种秤的比较。

核子秤不仅是一种计量工具，它还可以根据配料方案和控制算法实现各种物料流量的控制，从而达到配料的目的。当物料成分变化时，更改配料方案就能适应新的生产。由此可见，核子秤不仅仅是个计量仪器，而且是一套自动控制系统。

在国外，核子秤的使用每年处于上升之势，典型的代表有：德国波索尔德(Berthold)公司的 LB330 型核子秤，美国伽瑞公司(Day-Ray MC)的 6000X 型核辐射式核子秤，英国爱弗里公司(AVERY)的 9000 型核子秤以及美国拉姆斯公司(RAMSEY)的 WS 型核辐射皮带秤。

	电子秤	单片机核子秤	微机核子秤
计量精度	很好	很好	很好
计量方式	接触式	非接触式	非接触式
环境要求	高	低	低
可操作性	好	一般	好
主控制器	单片机	单片机	微机
实时性	好	一般	好

表 1.1 几种工业计量仪器的比较

在国内，核子秤正处于开发和初步使用阶段，典型代表有：清华大学的华海公司研制的系列核子秤，中国科技大学近代物理系核微机应用实验室研制的 KD-418 系列微机核子秤。

本实验室较早对核子秤进行了深入的研究，并于 1993 年开发出了 KD-418IV 型单片机核子秤系统。其原理如下所示：

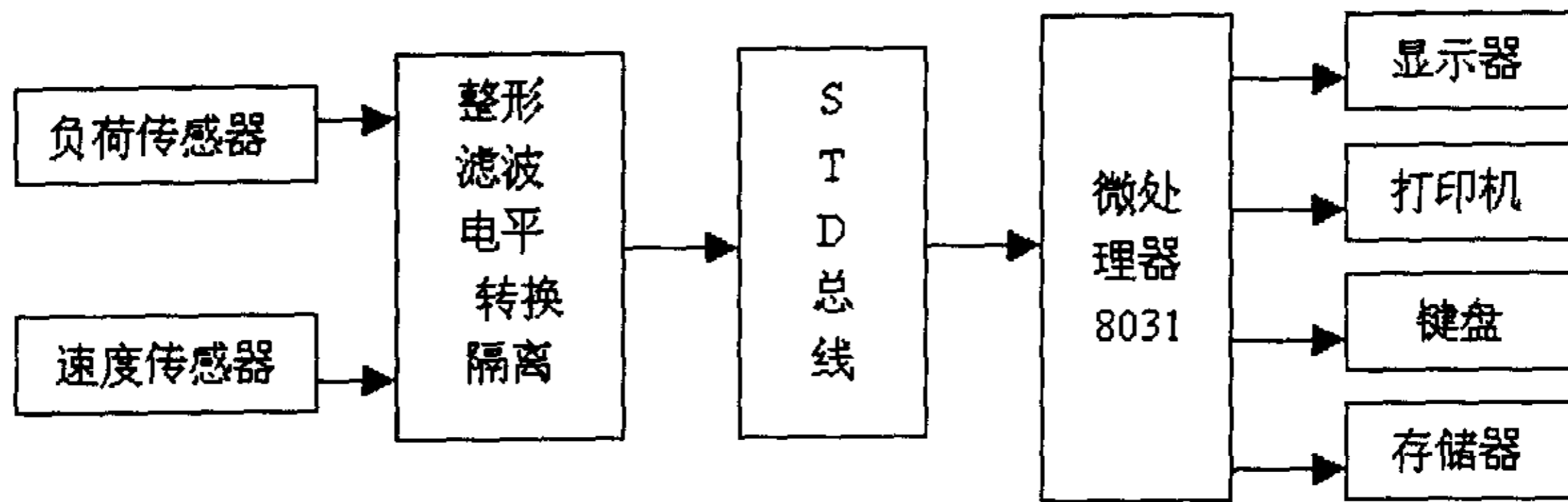


图 1.1 KD-418IV 核子秤原理框图

在此基础上又开发出用工业 PC 机控制十六台核子秤的计量系统以及配备上回控输出的配料系统，KD-XVI 型核子秤系统。

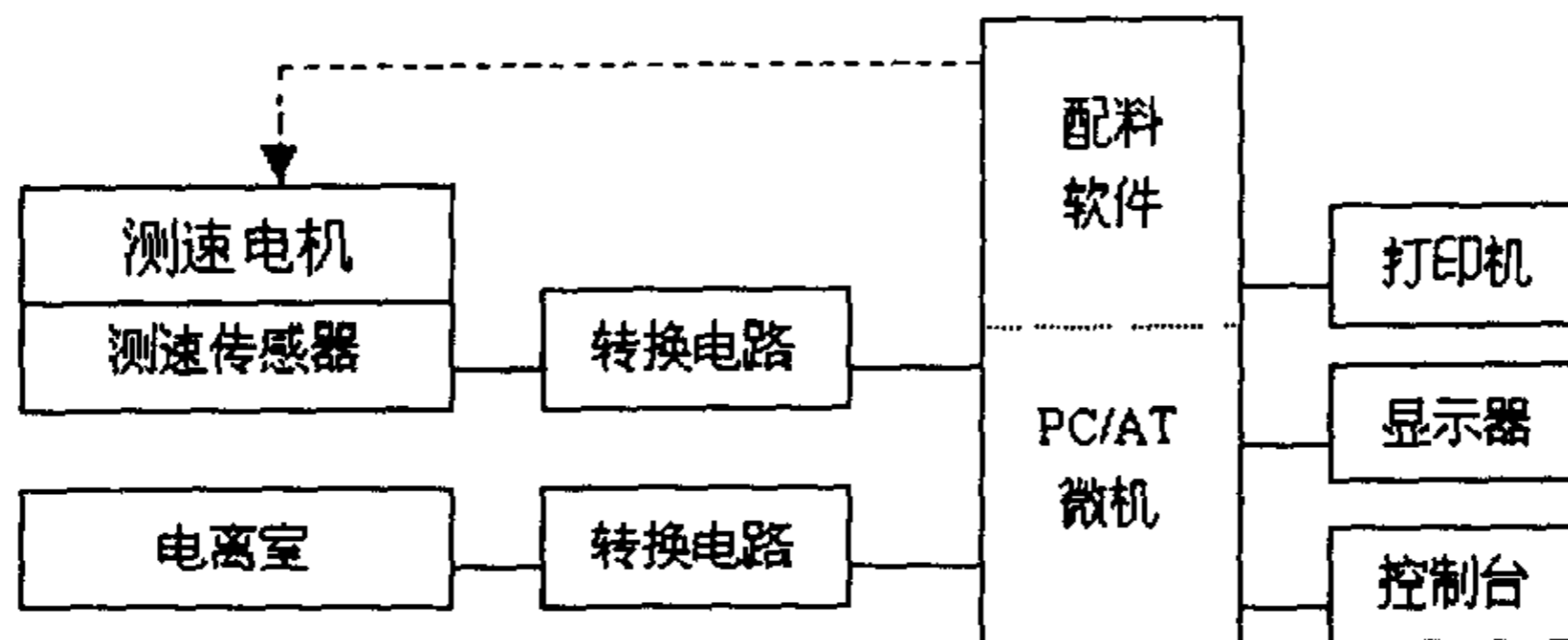


图 1-2 核子计量与配料系统框图

## 第二节 本论文的工作

核子秤系统的精度一直是开发者和使用者非常关心的问题。若精度不够，不仅会造成计量误差，而且不能达到很好的控制效果，从而导致产品不合格。我曾经到肥西水泥厂实地考察过多次，生产水泥时，要加入萤石粉助燃，该物料只占总物料的 0.5%，由于他们用的自动配料系统精度不高，萤石粉的配料总是不能达到实际要求，经常造成生产出的水泥不合格。他们只能在生产时靠有经验的老工人对萤石粉实行手动配料，这不仅给工人增加了工作量，也失去了自动配料的意义。本论文工作的创新点有：

### 一. 提高系统计量精度

早期的核子秤大多采用脉冲电离室，在实际应用中，电离室计数率多为 300 左右，而计数本身存在  $\pm 1$  个脉冲的误差，因此，从理论上讲，这种核子秤的精度不可能做的很高。在我们新研制的核子计量控制系统中，我们采用输出信号为模拟量的电离室，重新设计了核子秤的采集控制卡，使用高分辨率的 A/D 转换器，这样可以大大提高系统的计量精度。

### 二. 改进系统控制算法

另外由于早期的软硬件对系统功能的限制，配料回控部分只能使用简单的算法，因此回控精度不够。KD-418 XVI 型微机核子秤采用了传统的 PID 控制算法，获得了较好的效果，但是系统仍然存在控制时间滞后较大、动态性能较差的等缺点。我们对原核子秤的控制算法作了一些改进，将模糊控制运用到核子秤系统中，使得系统的控制精度有了很大改善。但是，模糊控制是建立在一个控制规则库的基础上的，而一个有效、实用的规则库需要经过反复试验和优化等过程才能得到，还要在长期的实际应用中不断整定。因此，这种经验知识库的建立还有待时日。我在进行了实地考察和充分调研的基础上，提出了一种改进的 PID 控制算法，使得系统的控制精度和动态性能得到了很好的改善。

### 三. 研制新的软件系统

控制软件的效率和稳定性对系统的整体性能有重要影响。在 Windows 普遍使用的今天，早期 DOS 下的核子秤控制软件使人感到陈旧和不便，而且不利与核子秤的进一步推广使用。我在 Window 9x 平台上，使用 Visual C++6.0，编写了处理模拟信号的采集控制软件。该软件在用户界面、效率和功能上都有了很大提高。

### 第三节 核子秤的应用前景

核子秤主要应用于皮带输送机、输送管道，如履带、刮板、螺旋、链斗等工业物流的计量、统计，甚至可以对煤炭、矿石、水泥、化肥、粮食、盐、烟草等多种物料进行配比控制。和配料软件系统一同工作，可以降低原料消耗，提高产品质量，因此有着广泛的应用前景。

核子秤能够在高温、高压、强冲击振动、粉尘、污染等恶劣环境下工作，计量精度达到国家一级秤的要求。

微机技术和核子秤技术相互渗透，使得核子秤的应用更为广泛，智能控制等自动控制方法更是给核子秤的应用提供了更精确的控制方法。

## 第二章 核子秤的原理

### 第一节 基本原理

核子计量是利用 $\gamma$ 射线穿透物质时射线强度呈指数规律衰减的性质无接触地在线测量输送机械传送的物料的质量。射线衰减的幅度与被测物质的厚度有关。其原理图如图 2.1 所示。

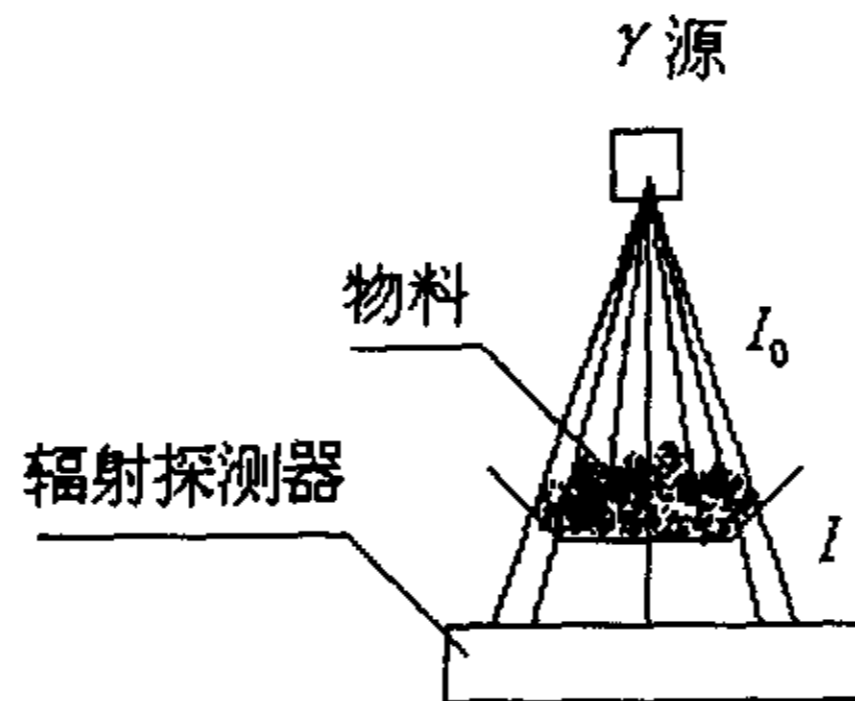


图 2.1 核子秤原理图

由射线与物质的相互作用我们知道，一定强度的 $\gamma$ 射线在穿透输送机及输送机上的物料时，其强度会减弱，物料越多，减弱得越厉害，核辐射探测器接收到的 $\gamma$ 射线强度也越弱，核辐射探测器输出的电信号越小；反之，物料越少，穿透的射线越多，核辐射探测器接收到的 $\gamma$ 射线强度越强，核辐射探测器输出的电信号就越大。核辐射探测器输出的电信号幅值随 $\gamma$ 射线强度成正比关系。所以，核辐射探测器输出的电信号的变化就反映了输送机上物料多少的变化。

对于某一单能的窄束 $\gamma$ 射线，当其通过厚度为 $d$ 的吸收物质后，其强度按指数规律减弱。如果入射射线束不严格满足窄束条件，而被测物质均匀，那么入射射线通过被测物质时仍遵循指数衰减规律：

$$I = BI_0 e^{-\mu_m d_m} \quad (2.1)$$

其中  $I_0$  为入射射线束的强度，

$I$  为穿过被测物质后，透射射线束的强度，

$B$  为修正因子，与 $\gamma$ 射线能量吸收物质原子序数和厚度、有关，

$d_m$  是等效厚度(单位： $g/cm^2$ )。

$$d_m = \rho \cdot d \quad (2.2)$$

$\rho$  是被测物质的密度(单位： $g/cm^3$ )，



$d$  是被测物质的厚度(单位:  $cm$ ),

$\mu_m$  是该物质的质量吸收系数(单位:  $cm^2/g$ )。

$B$  修正因子的情况比较复杂, 可根据具体情况加以确定, 通常设  $B=1$ 。

设传输皮带宽度为  $H$ , 皮带上的物料重量为  $Q$ , 长度为  $L$ , 则物料的密度为:

$$\rho = Q / LHd \quad (2.3)$$

皮带上物料的等效厚度为:

$$d_m = \rho \cdot d = Q / HL = \ln(I_0 / I) / \mu_m \quad (2.4)$$

设单位皮带长度上的物料为  $q$ , 则由(2.4)

$$q = Q / L = \ln(I_0 / I) \cdot H / \mu_m \quad (2.5)$$

对于特定的皮带传输机而言, 皮带的宽度  $H$  为常数; 而且对于特定的物料而言, 吸收系数  $\mu_m$  也是一个常数。因此可以把两个常数归为一个常数, 令  $k_q = H / \mu_m$ , 则

$$q = k_q \cdot \ln(I_0 / I) \quad (2.6)$$

$k_q$  称为负荷系数, 其数值可以通过现场标定得出, 其单位为  $g/cm$  或  $kg/cm$ 。

如果负荷探测器输出与射线强度  $I$  成正比的电压信号  $U$ , 则

$$q = k_q \cdot \ln(U_0 / U) \quad (2.7)$$

设皮带速度为  $V(cm/s)$ , 则利用(2.7)求出单位时间内皮带运输物料的重量, 即物料流量  $J(g/s)$

$$J = vq = K_q v \ln \frac{U_0}{U} \quad (2.8)$$

设从时间  $t_1$  开始不断地运送物料至时间  $t_2$ , 那么在时间  $t_1$  至  $t_2$  之间物料的累积重量:

$$Q = \int_{t_1}^{t_2} q \cdot v dt = \int_{t_1}^{t_2} k_q v \ln(U_0 / U_t) dt \quad (2.9)$$

或者

$$Q = \sum_{i=1}^n k_q V_i \Delta t \ln \frac{U_0}{U_i} \quad (2.10)$$

其中  $n$  满足  $n = (t_2 - t_1) / \Delta t$ ,  $\Delta t$  为两次采样的间隔,  $V_i$  由速度传感器进行测量,

即

$$V_i = K_v U_v \quad (2.11)$$

其中  $K_v$  为速度比例系数,  $U_v$  为速度传感器输出信号的幅度大小, 把(2.11)代入(2.10)得到:

$$Q = \sum_{i=1}^n K_v \cdot K_q \cdot U_v \cdot \Delta t \ln \frac{U_0}{U_i} \quad (2.12)$$

每隔  $\Delta t$ , 采集  $U_i$  与  $U_v$  即可算出  $\Delta Q_i$ , 不断累加即可得到重量  $Q$ , 以上内容即系统工作的理论依据。

## 第二节 放射源及射线

放射源及其屏蔽铅室构成了核子秤的放射源部件。放射源提供测量用的  $\gamma$  射线, 该放射源被固定在铅室内。经准直孔限束后,  $\gamma$  射线射到核辐射探测器的测量范围内。除准直孔以外, 铅室的屏蔽层厚度足以把  $\gamma$  射线屏蔽掉。在本系统中我们将放射源封装在  $\Phi 8 \times 9 \text{ mm}$  的不锈钢筒内, 然后装入铅罐内, 铅罐屏蔽层厚度大于  $7 \text{ cm}$ , 保证放射性计量达到防护标准。由旋转活塞控制射线的输出, 射线经一扇型准直孔以  $40^\circ \times 7^\circ$  射出。其示意图如图 2-2 所示。另外,

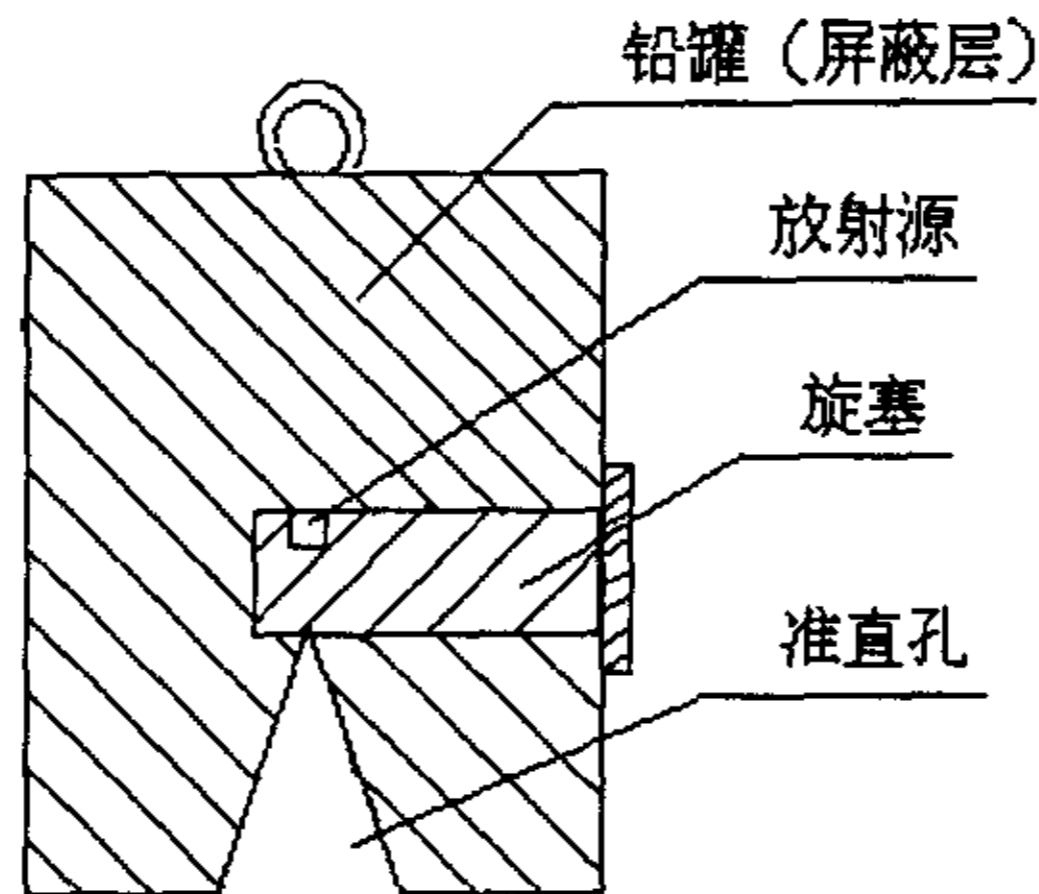


图 2-2 放射源铅罐示意图

铅罐具有明显的放射性危险标志和源的开关位置, 而且在旋塞开关处加锁, 以防他人乱动, 保证运输机及使用时的安全。

从探测效率、稳定性、防护及实用的角度来看, 源及射线须满足下列要求:

(1) 放射源具有适当的放射性活度, 以使用最小的放射性活度达到核子秤精确测量的技术指标, 活度过大会使得防护难度加大, 活度过小会影响计量精度。

(2) 放射源具有较长的半衰期, 半衰期越长, 射线的强度就越稳定, 从而核子秤的计量准确度就越高。

(3) 射线具有合适的能量, 能量过低就不能完全穿透被测物质, 从而给计量带来误差, 能量过大, 则不容易防护。

(4)放射源的成本较低。

我们选用 $^{137}\text{Cs}$ 作为放射源，活度为 $3.7\text{GBq}$ ， $\gamma$ 射线的能量为 $0.662\text{Mev}$ ，半衰期30.1年，满足上述要求。

### 第三节 核辐射探测器及前置放大

#### 一. 核辐射探测器

核辐射探测器种类很多，测量的机理也不尽相同。但在核子秤领域应用较多的有电离室、闪烁计数器和正比计数管三种探测器。下面对三种探测器各自的优缺点做一下简要比较。

	优点	缺点
电离室	测累积电流，性能稳定、可靠，测量动态范围大，线性好，工作电压低，输出信号不受电源波动影响，抗机械冲击能力强，寿命长，抗干扰能力强，能适应恶劣工作环境，工作温度范围宽。使用点源，易屏蔽，安全性好，并且电离室可根据要求制造成不同的长度和直径。	制造工艺复杂，造价高，技术要求高，要求源的强度大。
闪烁探测器	脉冲工作方式，探测灵敏度高，前端线路简单，制造成本低，适合于做点探测，轻便。	易受外来电磁场干扰，抗机械冲击能力差，易潮解，工作电压较高。使用线源，屏蔽困难，且线源难制做。
正比计数管	脉冲工作方式，输出信号脉冲幅度大，前端线路简单，可以做成不同的长度。	易受外来电磁干扰，对工作电压要求高，抗震动能力差，动态范围小。

表 2-1 三种核辐射探测器的对比

由以上对比可以看出，电离室综合性能较好，它已经成为国内外核子秤中应用最多的探测器。在本系统中，我们也选用电离室作为核辐射探测器。

电离室将接收到的 $\gamma$ 射线转换成电流信号，它的性能好坏直接影响信号的质量，从而对整个系统的精度产生重要影响。我们可以从以下几个方面来考察电离室的性能：

#### 1. 电离室的灵敏度

电离室的灵敏度是指电离室探测入射 $\gamma$ 射线的灵敏程度。它与电离室室壁或电极的材料以及工作气体的成分、压力有关。电离室的灵敏度越高，在同样条件下的输出电流信号越大，对被测物料的变化引起的射线吸收变化也越灵敏，也就是说，对物料变化的探测分辨程度越高。高灵敏度的电离室对于提高核子秤的测量精度是很有利的，同时也有利于前端线路对信号的处理。

## 2. 电离室的响应时间

当 $\gamma$ 射线强度发生变化时, 电离室的电流信号也随之变化。电流变化滞后于射线强度变化的时间就是电离室电流信号的响应时间。这个响应时间通常是非常小的, 取决于电离室内的离子收集时间。

## 3. 电离室的均匀性

核子秤电离室的均匀性是指在电离室轴向上电离室灵敏区内各段产生电流的一致性。如图 2-3 所示。若电离室的均匀性很好, 由于物料跑偏引起的核辐射测量误差就很小。

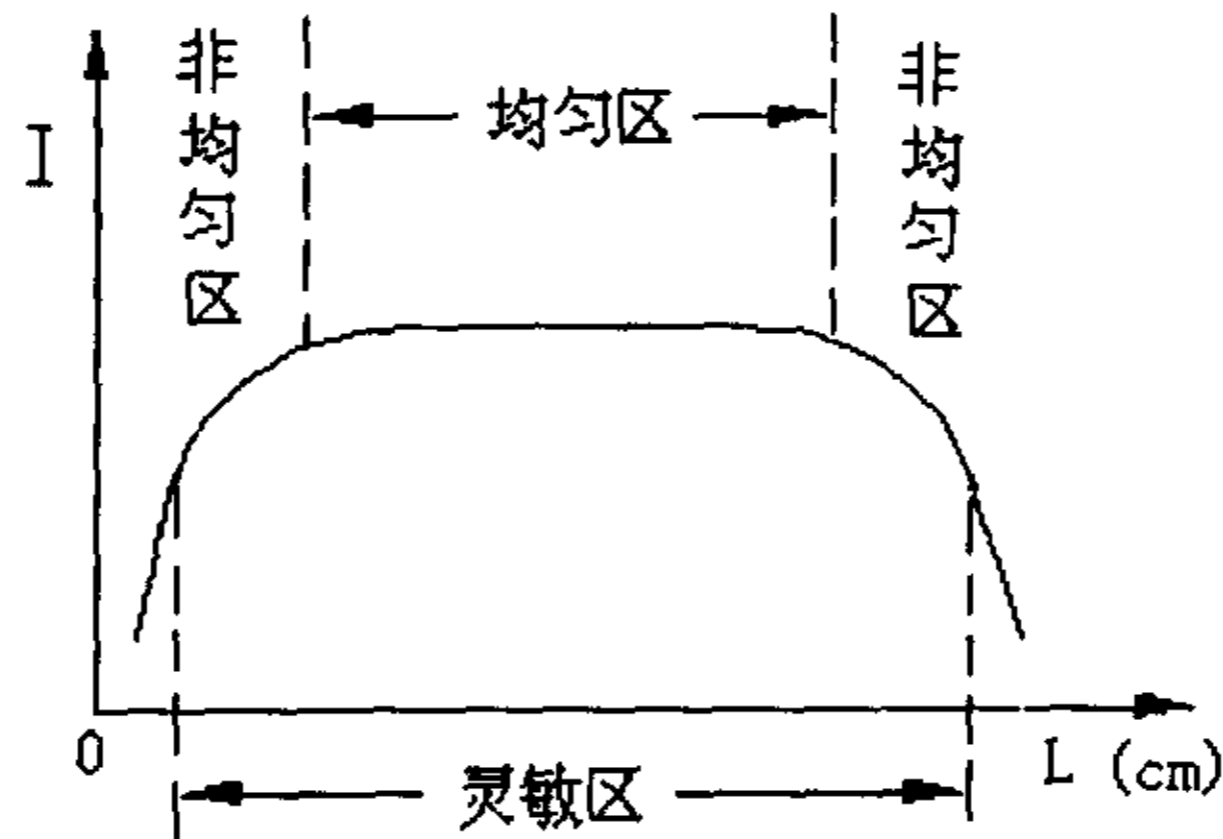


图 2-3 电离室的均匀性

## 4. 电离室的温度效应

电离室的温度效应指在其它条件不变得情况下, 电离室的温度变化引起的输出信号变化的大小。理论上讲, 当射线覆盖电离室灵敏区时, 对一只理想的电离室(主要指全灵敏区均匀性一致), 温度变化引起的信号变化取决于电离室灵敏体积的变化和气体平均电离能的变化。这种变化通常是很小的。但是, 由于材料选择不当、结构设计不合理、工艺不严格等, 往往会造成较大的温度效应, 而工业现场往往温度变化范围很大, 所以电离室在设计、生产时要严格考核这一性能指标。

## 二. 前置放大器

核子秤电离室的输出信号可以看作是一种很小的直流电流信号, 电流值通常为  $10^{-9}$ A 量级。对如此小的电信号, 任何仪表或计算机都无法直接采集或处理, 必须经过放大或转换。

前置放大器是输出信号预处理的一部分特殊电子线路, 探测器的输出信号经前置放大器处理后供给数据采集系统。前置放大器可以提高系统的信噪比, 减小信号经电缆传输时外界干扰的影响。前置放大器与电离室连接处存在分布电容  $C_s$ , 分布电容  $C_s$  的大小对系统的信噪比至关重要,  $C_s$  越大, 信噪比越小,

$C_s$  越小，信噪比越大。减少  $C_s$  的一个主要措施就是将前置放大器尽量靠近电离室的输出端以减少分布电容。因此，我们把前置放大器紧靠电离室，安装在电离室信号输出端的一个屏蔽腔内，这样就减少了  $C_s$ ，同时提高了其抗外界干扰的能力。前置放大器的输出信号沿电缆传输受到外界干扰时，由于信号已经放大，干扰对信号的影响相对减少很多。

前置放大器由高增益、高输入阻抗、低噪声组件构成。如图 2-4 所示。这

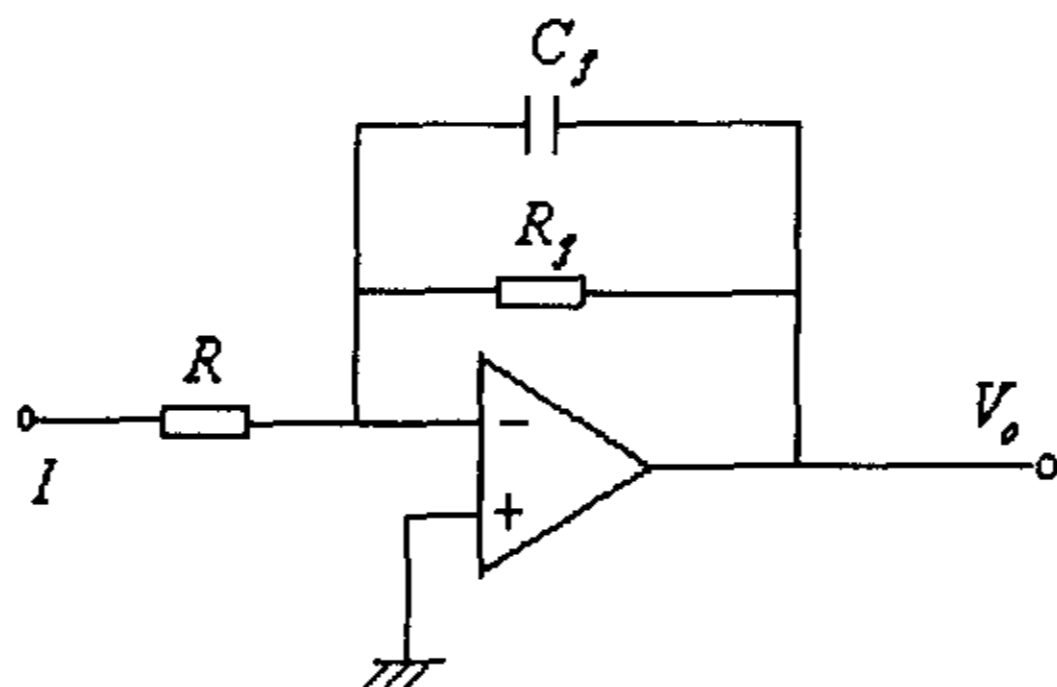


图 2-4 前置放大器原理图

是一个电流灵敏前置放大器，它把电离室输出的弱电流信号  $I$  转换成易于测量的电压信号  $V$ 。电流  $I$  很小（约  $10^{-9}\text{A}$ ），放大后的电压  $V$  应该在  $1\text{V}$  量级，这就要求放大器的放大倍数很大，反馈电阻  $R_f > 10^9 \Omega$ 。为了减小放大器本身对输出信号的影响，是输出电压  $V$ 。真实地反映输入电流  $I$  的特性，放大器必须选用高输入阻抗的线性放大器。

## 第三章 硬件设计

### 第一节 系统简介

微机核子计量控制系统是一个数据采集和闭环控制系统，它连续地采集电离室和速度传感器的信号，并且送到微机进行处理，得到物料的流量和累计量，另外通过对物料的实时控制达到配比的目的。一个典型的微机计算机控制系统的硬件一般由微型机、外部设备、输入输出通道和操作台等组成，如图 3-1 所示。

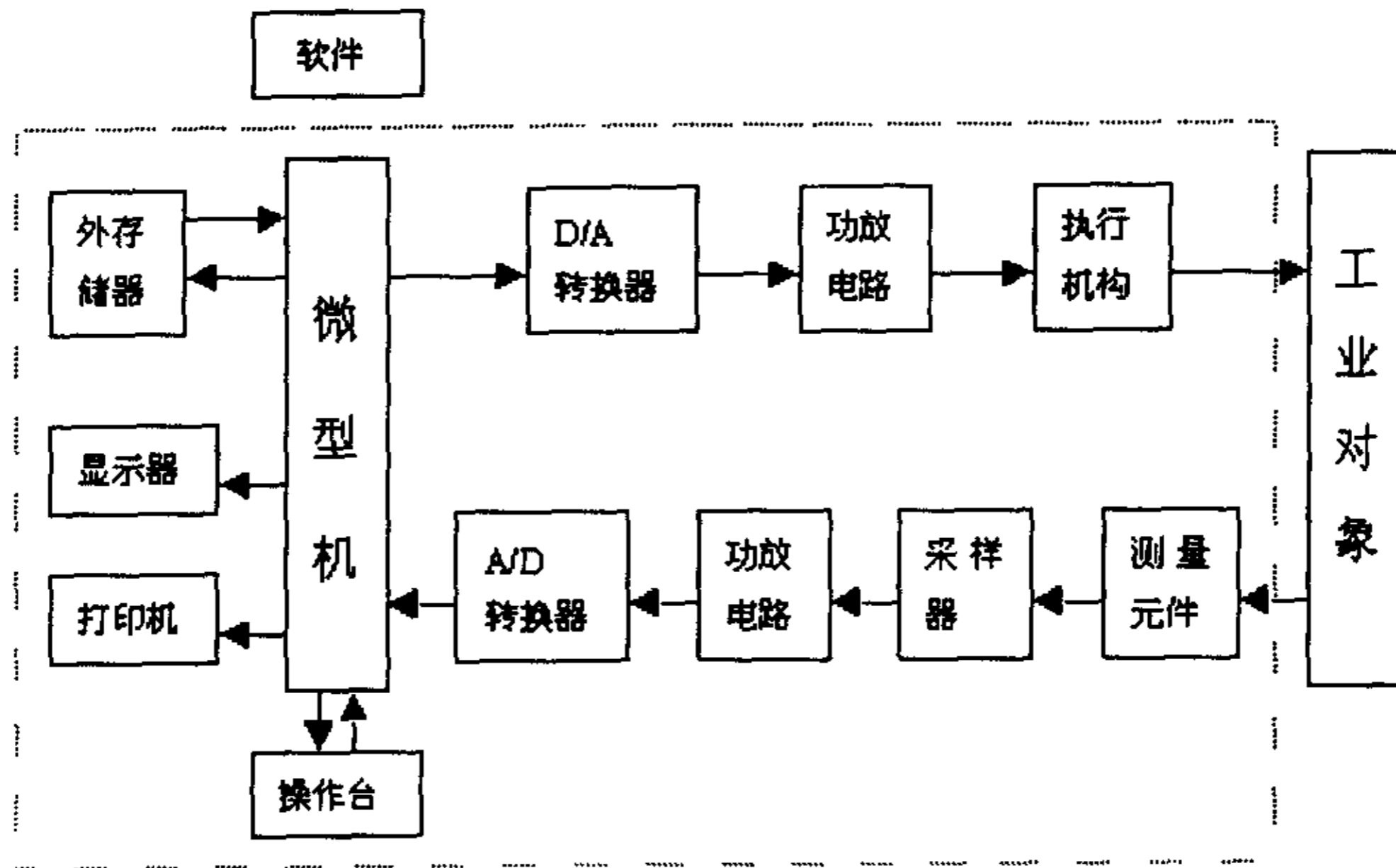


图 3-1 微型计算机控制系统的基本组成

微型机是整个系统的核心，它完成相应的运算、信息处理，并协调系统各部分的工作。外部设备实现微型机和外界交换信息的功能，一般包括输入设备（键盘、光电输入机等）、输出设备（显示器、打印机等）和外存储器等。输入输出通道是计算机和生产过程之间设置信息传递和变换的连接通道，它一方面将工业对象的生产过程参数取出，经传感器变换计算机能够接受和识别的代码；另一方面将计算机输出的控制命令和数据，经过变换后作为执行机构的控制信号，以实现生产过程的控制。有的系统使用数字量输入输出通道，这里仅画出了模拟通道。

在微机核子计量系统中，考虑到现场的实际应用环境，以及满足硬件模块化的要求，我们将 A/D 转换，D/A 转换以及对模拟信号的处理等功能都集成到一块采集控制卡上，利用微机的扩展槽实现微型机和工业对象的信息传递。微机核子计量控制系统的系统结构示意图如 3-2 所示。

图中电离室作为传感器，通过测量射线穿过物料衰减后的强度，得到称重

信号，称重信号与从控制电机测得的速度信号一起便可以计算出一定时间所流过的物料的重量。同时，可根据一定的控制算法，输出回控信号，通过控制电机的转速而实现物料回控和配比功能。图中只画了一台称体，实际系统可同时监控 16 台称体。

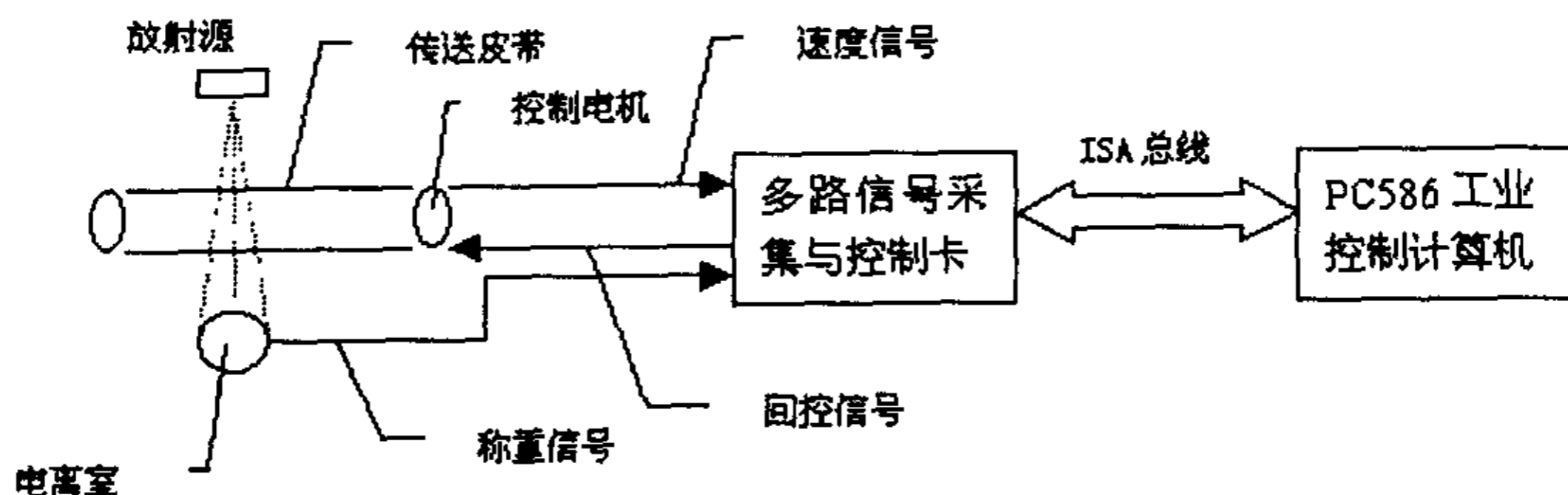


图 3-2 微机核子计量系统结构示意图

### 第二节 多路信号采集控制卡的设计

由图 3-2 可知，要实现同时监控 16 台称体，多路信号采集与控制卡必须能同时采集 32 路模拟信号（16 路称重信号和 16 路速度信号），并输出 16 路回控信号。此卡在研制过程中充分考虑了系统的精度和可靠性，又兼顾了控制卡的成本和体积空间，在经过大量调研后，采用了许多新型芯片，使电路大大简化，并将数据采集和输出回控做在同一块卡上。其结构框图如图 2。

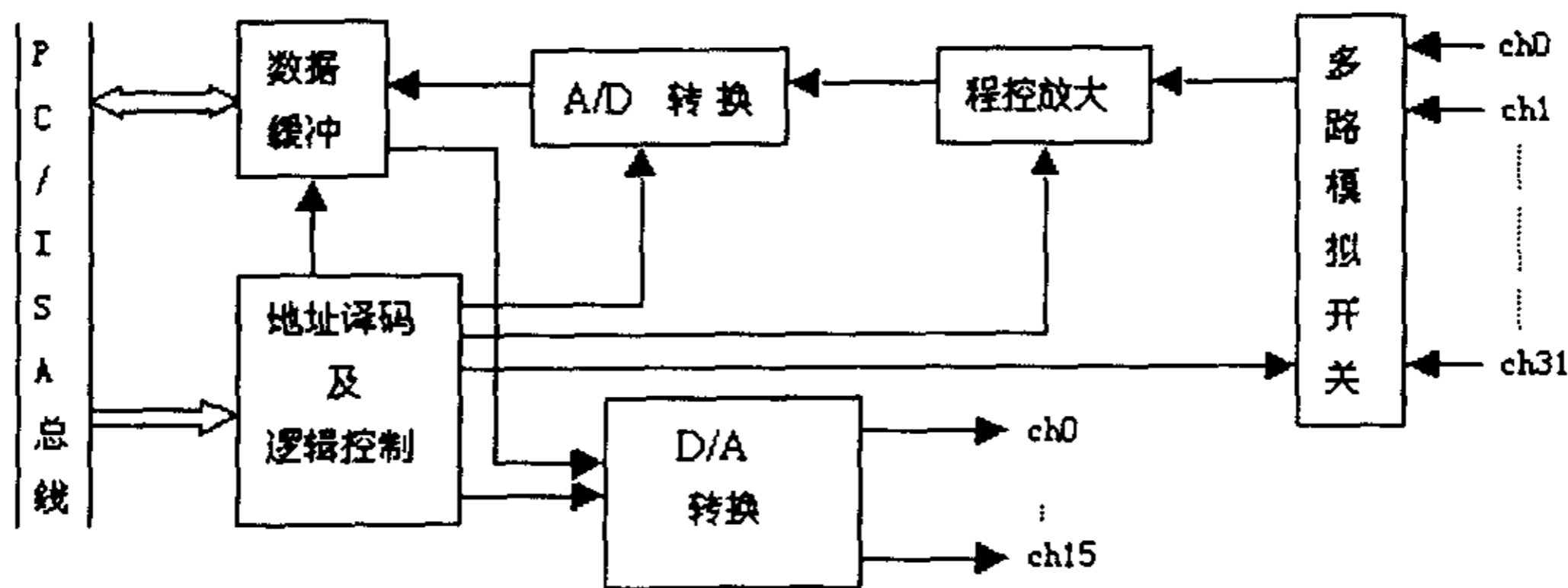


图 3-3 多路信号采集控制卡原理框图

32 路模拟信号首先经过多路模拟开关，哪一路被选通可由程序设定，然后，被选通的信号进入程控放大，放大倍数也可由程序设定，这样就大大拓宽了输入信号的范围，最后，被放大后的信号经 A/D 转换，通过数据缓冲与 PC 总线相连。要输出的回控信号可直接经 D/A 转换（选用自带锁存的 D/A 器件）输出 16 路模拟信号。以上各模块都由地址译码及逻辑控制模块进行选通和控制。

### 一、多路模拟开关

这部分由 4 片 MAX382 数控开关组成，MAX382 是一种 8 通道单端输出自带锁存的数控开关。图 3-4 给出了其功能结构图。

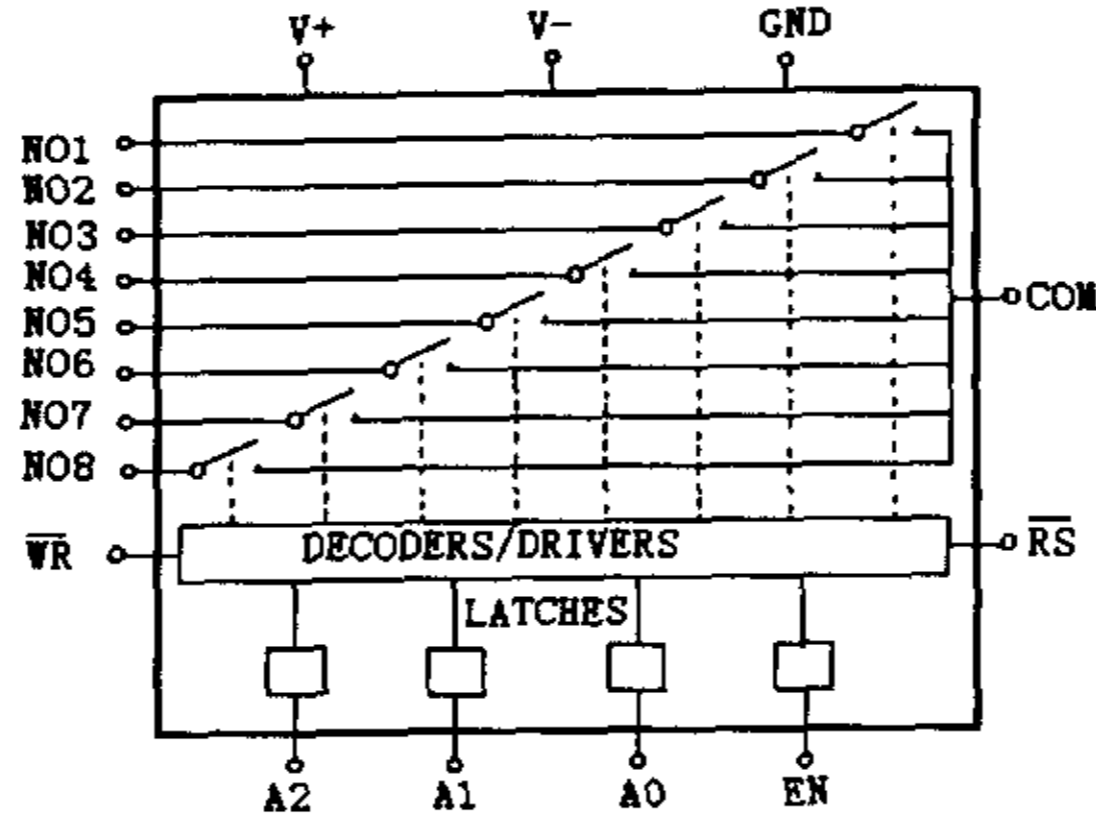


图 3-4 MAX382 功能结构图

NO1, NO2.....NO8 可接入 8 路模拟信号，COM 为公共输出端，A2, A1, A0 的值决定哪一路比被选通，因此，若 A2, A1, A0 分别与数据总线的三位相连，便可以通过向数据总线写入数据来选通某一路。芯片自带锁存，并带有复位信号。EN 为使能控制端，只有当 EN 脚为高电平时芯片才能工作，该引脚使芯片的扩展成为可能，利用它可以比较方便的扩展成 16 路或更多路的数控开关。多路模拟开关就是由 4 片 MAX382 扩展而成的。图 3-5 给出了其结构框图。

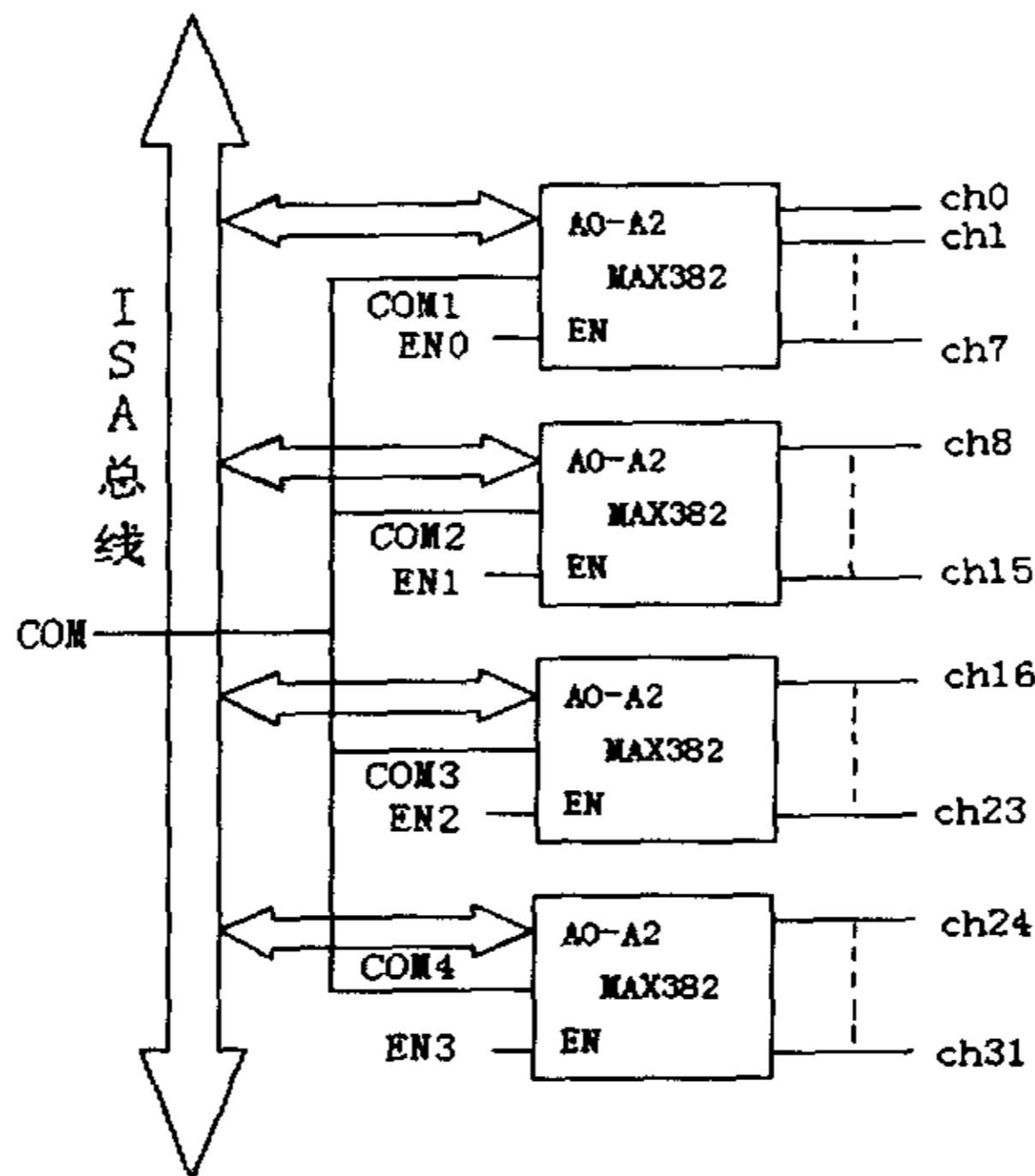


图 3-5 多路模拟开关结构框图



每一片 MAX382 接 8 路模拟信号，4 个芯片的公共端连在一起，某一特定时刻只有一路被选通。EN0, EN1, EN2, EN3 由地址译码及逻辑控制部分对不同的地址进行译码而得来。因此，向不同的地址写入数据便启动某一特定芯片，而数据总线上（与 A2, A1, A0 相连）的值决定该芯片上的哪一路被选通，从而实现 32 路模拟开关的功能。

## 二、程控放大部分

从现场采集到的信号往往幅度相差比较大，而为了节约成本采集板只使用一块，这就存在当信号较小时 A/D 利用率不高，达不到转换精度的要求，当信号较大时，有可能超过 A/D 的量程，得到错误的数字。因此我们在电路中设计了程控放大器，扩大了输入信号的动态范围。这部分由一片运算放大器和一片 MAX382 及电阻组成，中间加低通滤波，图 3-6 给出了其结构框图。MAX382 每一路分别与  $R_{x1}, R_{x2}, \dots, R_{x8}$  相连，因此向数据总线写入数据便可以选通某一路，使得该路电阻与  $R_2$  并联，进而确定放大倍数：

$$A = 1 + (R_2 // R_x) / R_1$$

其中  $R_x$  为  $R_1, R_2, \dots, R_8$  之一（即被选通的那一路电阻值）。所以，选用不同的  $R_x$  值，便得到不同的放大倍数，实现了程控放大。另外，在信号进入运放前，先通过低通滤波电路，滤掉信号在传输过程中带来的高频噪声。

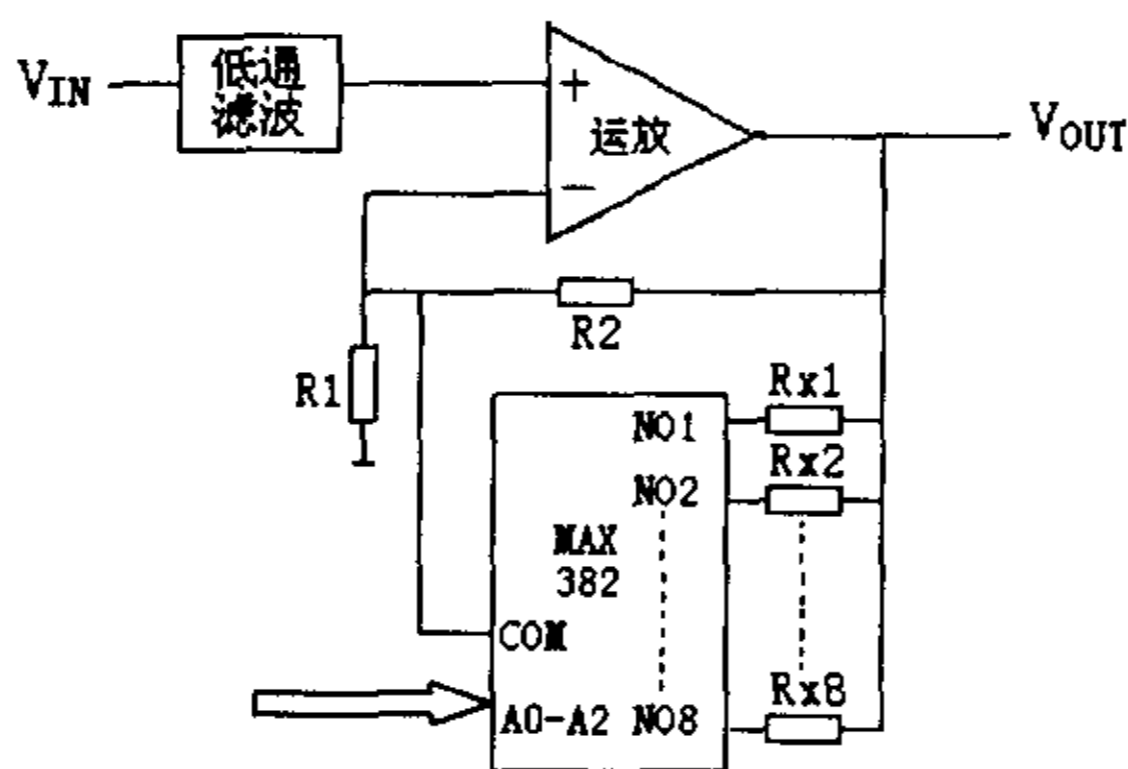


图 3-6 程控放大部分结构框图

## 三、A/D 转换部分

核子计量是一种非接触的在线测量，采样时间不能过长，而且在两次采样之间要留出足够的时间对上次采到的数据进行处理。这就对 A/D 转换时间提出了较高的要求，因此我们选用了 AD 公司生产的快速 12 位逐次比较式 A/D 转换器件 AD574A，它的主要特点是：



当  $CE=1$ ,  $\overline{CS}=0$  同时满足时, AD574A 才能处于工作状态, 分别与  $CE$ ,  $\overline{CS}$  相连的  $ADCE$ 、 $\overline{ADCS}$  信号由地址译码及逻辑控制部分而来, 用以控制 AD574A 的工作状态。  $R/\overline{C}$  信号与总线  $\overline{IOW}$  信号相连, 当 AD574A 处于工作状态时,  $R/\overline{C}=0$  时启动 A/D 转换,  $R/\overline{C}=1$  时进行数据读出。  $12/\overline{8}$  和  $A0$  端用来控制传输字长和数据格式。  $A0$  与地址总线  $A0$  相接,  $A0=0$  时启动转换, 则按完整的 12 位 A/D 转换方式工作, 如果  $A0=1$  时启动转换, 则按 8 位 A/D 转换方式工作。  $12/\overline{8}$  接地, 使得当 AD574A 处于数据读出工作状态时, 输出格式按 8 位双字节输出。 STS 是 AD574A 的工作指示端。 STS=1 时表示转换器正处于转换状态, STS 返回低电平时, 表示 A/D 转换完毕。 该信号送入地址译码及逻辑控制部分, 由该部分发出中断请求信号, 使得在 A/D 转换结束时, 通知 CPU 及时把数据取走。

#### 四、 D/A 转换部分

这部分由 2 片 MX7228 组成, 由 2 个 LM136 稳压器提供 +5V 基准电压。 图 3-8 为 MAX MX7228 芯片图, 使用它后简化了整个输出电路, 并且节约了成本。

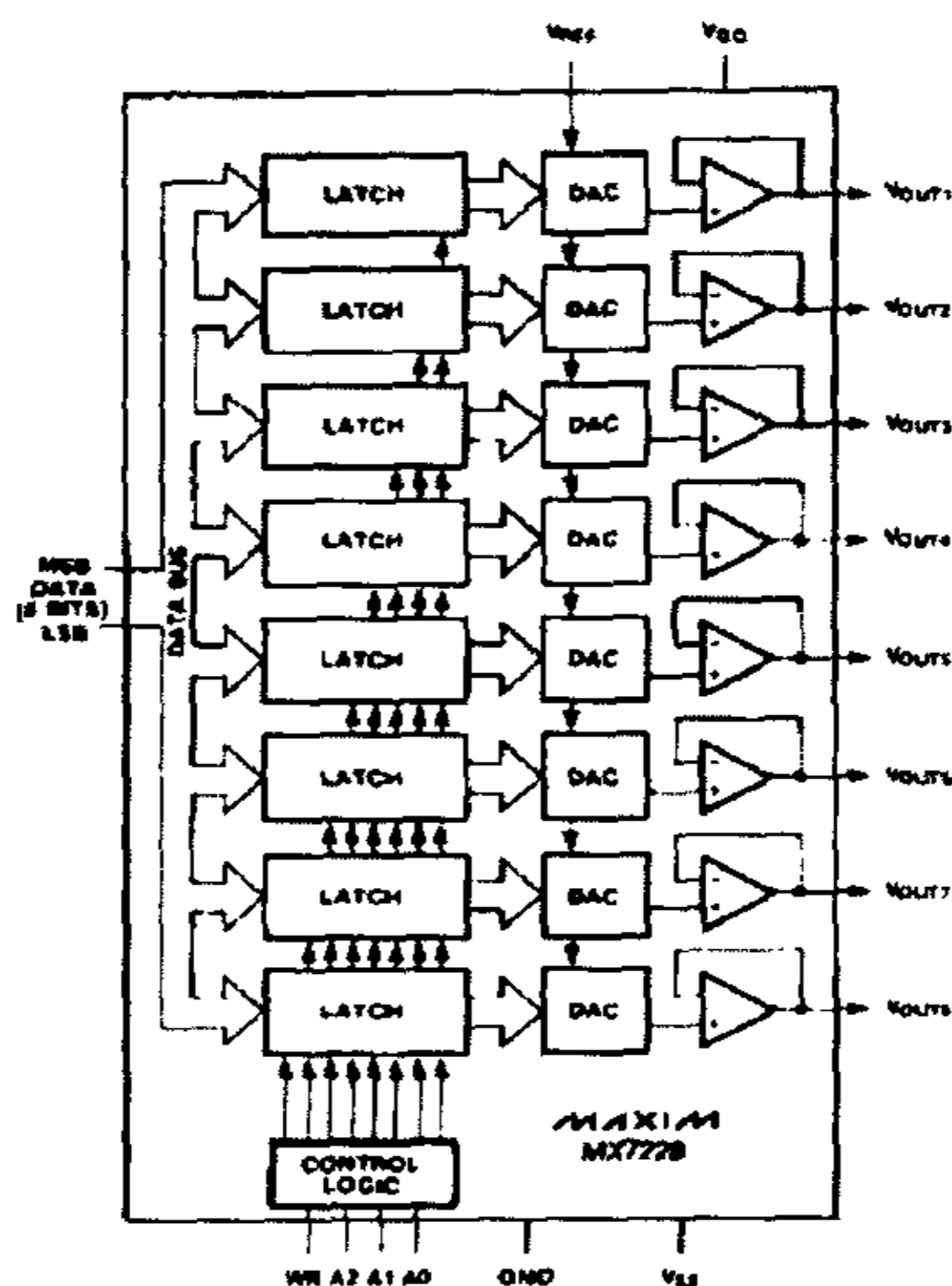


图 3-8 MX7228 功能结构图

芯片简介: MAX MX7228 芯片

MAX MX7228 是 MAXIM 公司生产的 8 位 8 通道 DAC 芯片, 它的主要特点是:

1. 输出为电压信号并自带输出缓冲器
2. 和微处理器兼容

3. 和 TTL CMOS 两种逻辑兼容
4. 勿须外部校准
5. 分辨率: 8 位
6. 通道数: 8
7. 单双电源

VOUT1.....VOUT8 为片内 8 个 DAC 的输出端, 当 WR 信号到来时, A2, A1, A0 的值决定片内哪一个 DAC 被启动。因此, 使用两片 MX7228, A2, A1, A0 分别与地址总线的 A2, A1, A0 相连, 实现片内 8 个通道的选择, 由地址译码及逻辑控制部分输出不同的译码信号与 WR 相连, 实现片选, 从而实现 16 路 D/A 转换。

## 五、地址译码及逻辑控制部分

这一部分我们用两片 GAL 器件实现各个芯片的地址译码及其逻辑控制, 并进入了手动开关, 实现中断可调, 避免了与工控微机上其他外围设备的中断向量号相冲突。

### 第三节 V/I 转换电路

在微机核子计量控制系统工业现场, 经常会遇到主机与现场控制单元有较远距离的情况。把模拟电压控制信号进行长距离的传输, 会使得电压信号有很大的衰减, 不能达到控制目的。所以需要 V/I 转换电路, 将电压信号转换成电流信号加以传送, 再由现场控制单元将电流信号转成电压信号去控制电机转速。另外, 有些特殊的工业现场会直接用到电流信号。因此我们设计了 V/I 转换电路, 将其单独做成一块 V/I 转换卡, 在安装的时候可根据现场的实际情况, 决定是否选用此转换卡。

V/I 转换卡输出 4—20mA 电流信号, 符合工业控制标准。它主要由电源和 V/I 转换电路两部分组成。V/I 转换是采用 AD 公司的 AD694 芯片来完成的。下面对 AD694 做一下简要介绍。

AD694 是 AD 公司生产的一种 4—20mA 电压/电流转换器, 适当接线也可以输出 0—20mA 电流信号。其主要特性如下:

- 输出信号范围: (4—20mA) 或 (0—20mA)
- 输入信号范围: (0—2V) 和 (0—10V)
- 工作电源范围: (+4.5 — +36V)
- 输入端带有缓冲放大器
- 典型的非线性度: 0.002%

AD694 的功能框图如图 3—9 所示。它主要由四部分组成: 缓冲放大器、V/I

转换器、4mA 偏移电流发生器和参考电压。缓冲放大器是一个单电源放大器，即可以作为缓冲器，又可以作为放大器来放大输入信号，它使得 AD694 输入端可以直接连接 D/A 转换器的输出信号。V/I 转换器将输入缓冲放大器的输出电压信号转换成电流信号，并把电流信号放大到 0—16mA。这部分电路还有增大输出端驱动能力的功能。4mA 偏移电流发生器使得在输出端产生 4mA 偏移量，从而使得 0—16mA 电流信号转变成 4—20mA。参考电压部分产生 2V 和 10V 的参考电压供用户使用。

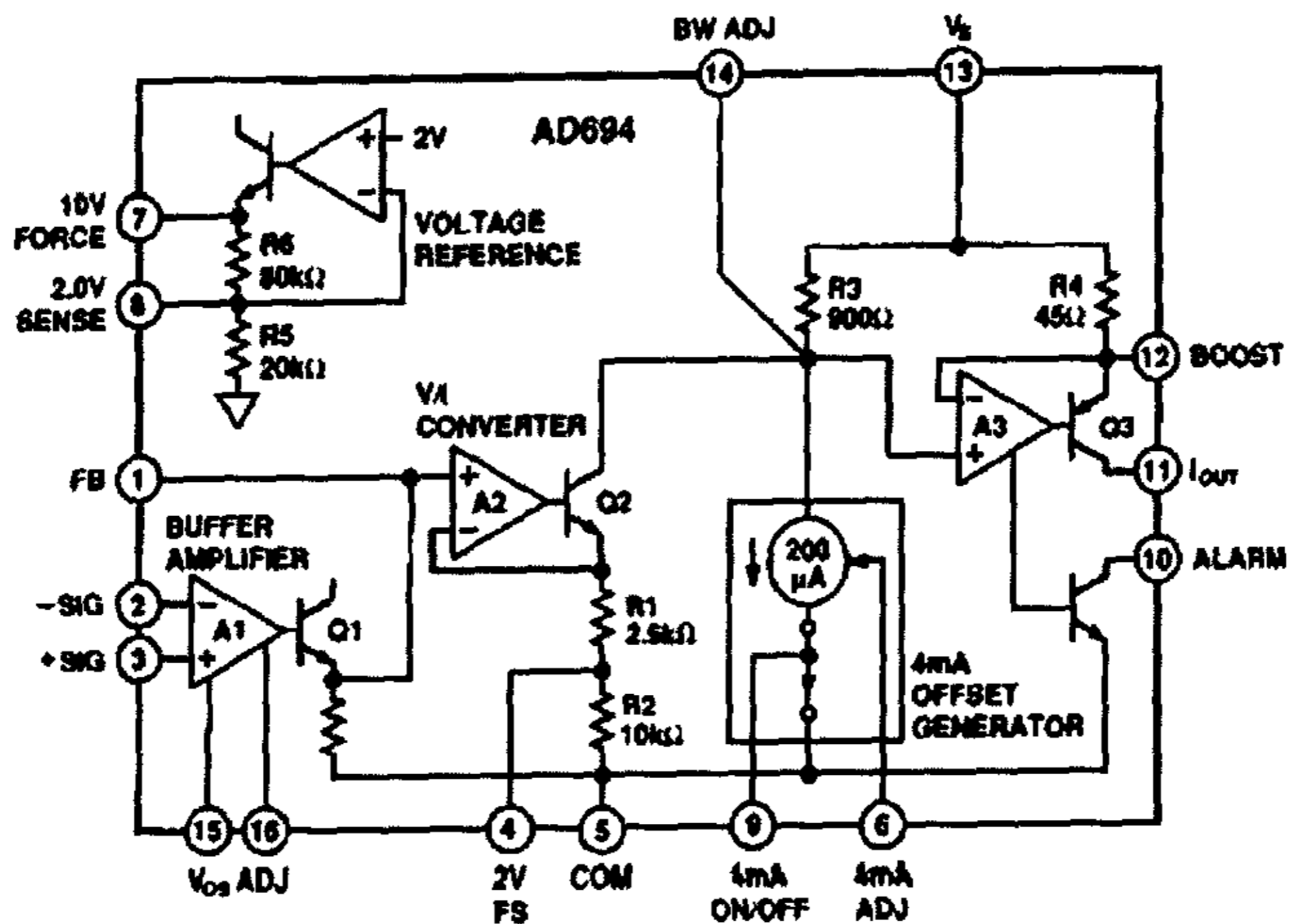


图 3-9 AD694 功能框图

#### 第四节 工作过程及硬件时序

微机核子计量控制系统是一套数据采集和实时控制系统，其工作是一个不断采集数据并对数据进行实时处理的反复过程。下面介绍一下硬件的工作过程，图 3-10 给出了一次采样中工作流程图。

1、选通某一路。向要采集的信号所对应的 MAX382 所在地址写数据，确定输入信号及放大倍数。

我们通过数据线的 D0~D2 来选通要采集的某一路，通过 D3~D5 来确定放大倍数，D6、D7 为无效位。当 D3、D4、D5 分别为 1、1、1 时放大一倍，为 0、1、1 时放大 3 倍，为 1、0、1 时放大 6 倍，其余为 11 倍。

例如：现在要选通第 9 路，且放大倍数为 6，则需要向 100000010 号 I/O 口写入 xx101000 (x 为无效位)，时序如 3-11 所示。

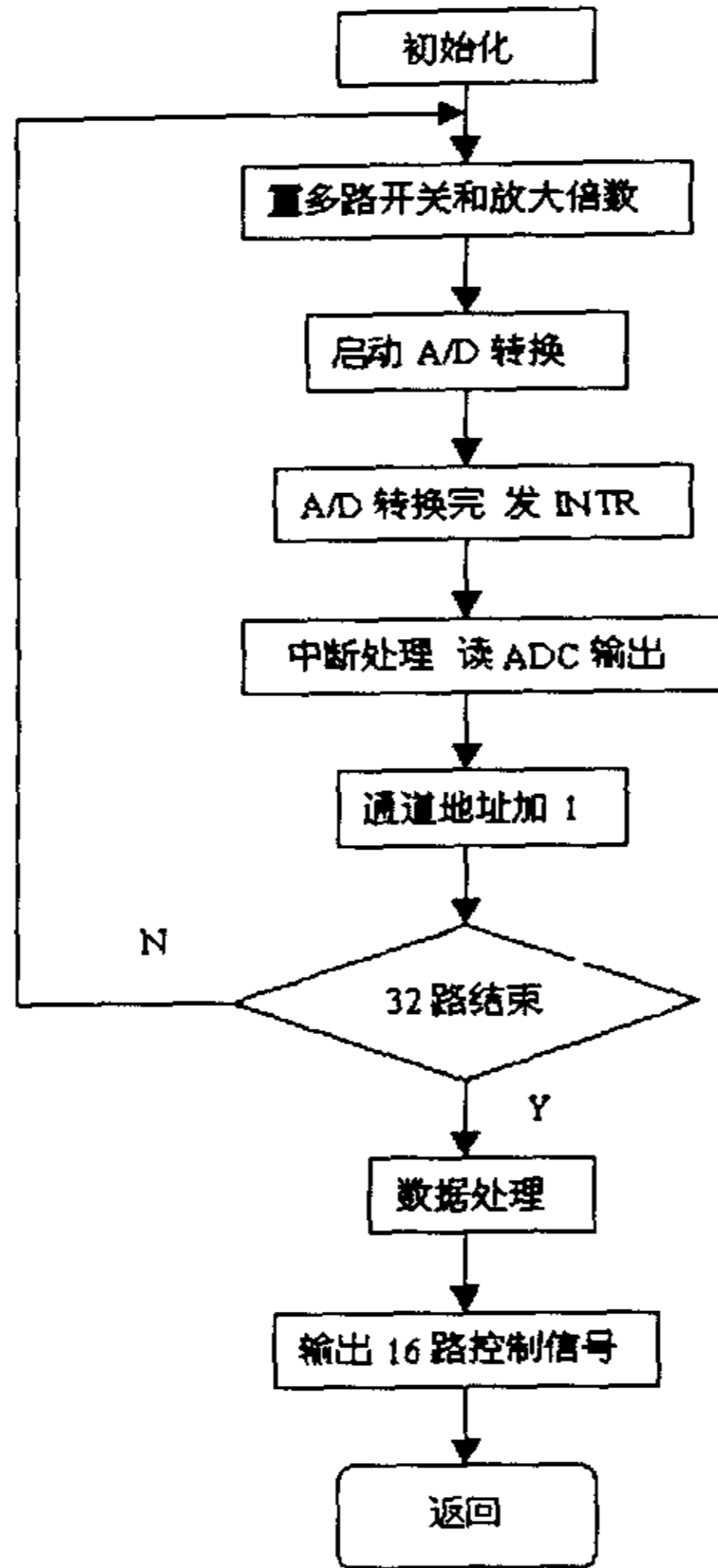


图 3-10 一次采样中多通道流程图

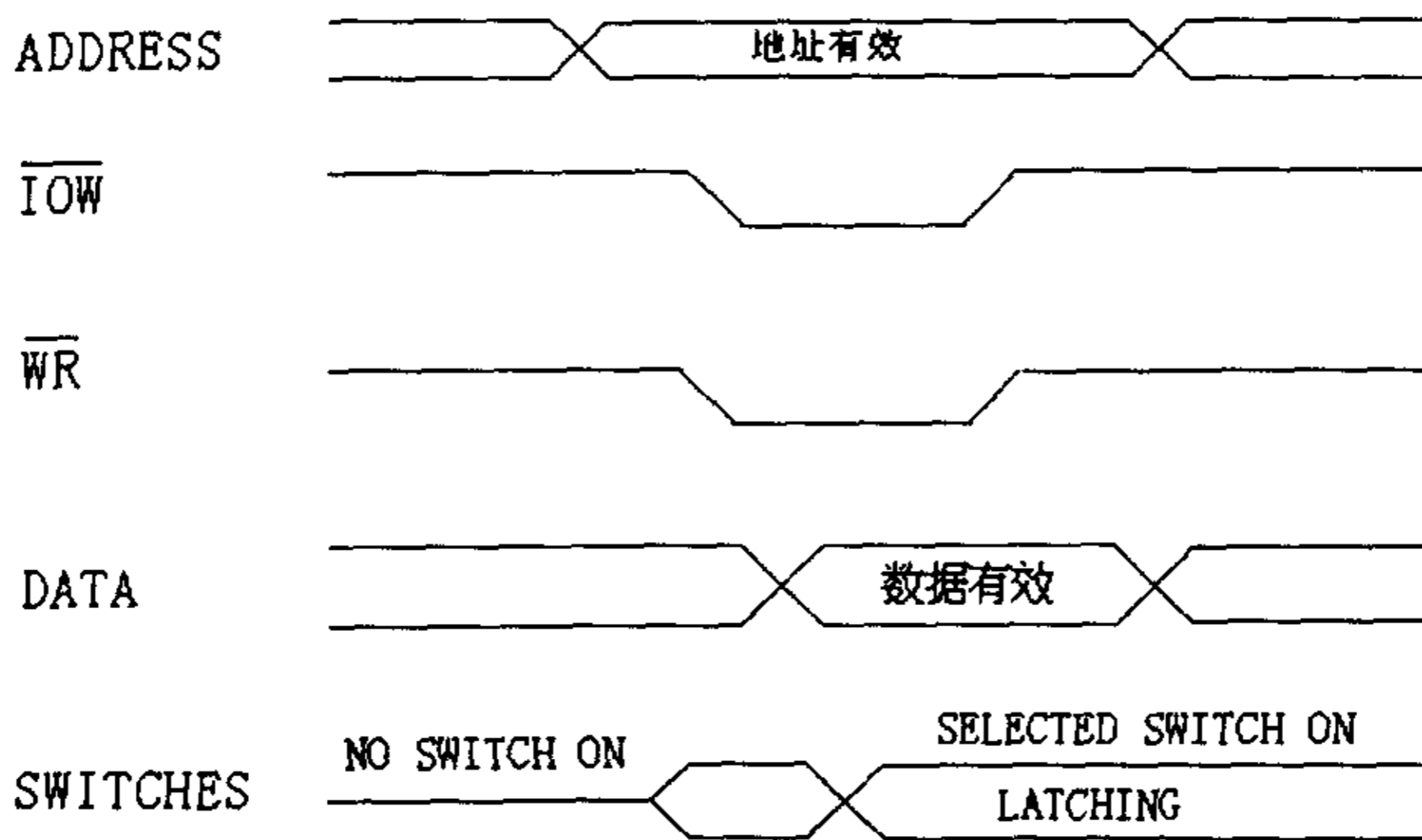


图 3-11 选通和确定放大倍数时序图

2. 启动 A/D 转换。向分配给 A/D 的 I/O 口地址写任意数，此数据无效，写脉冲为转换开始信号。时序如 3-12 所示。

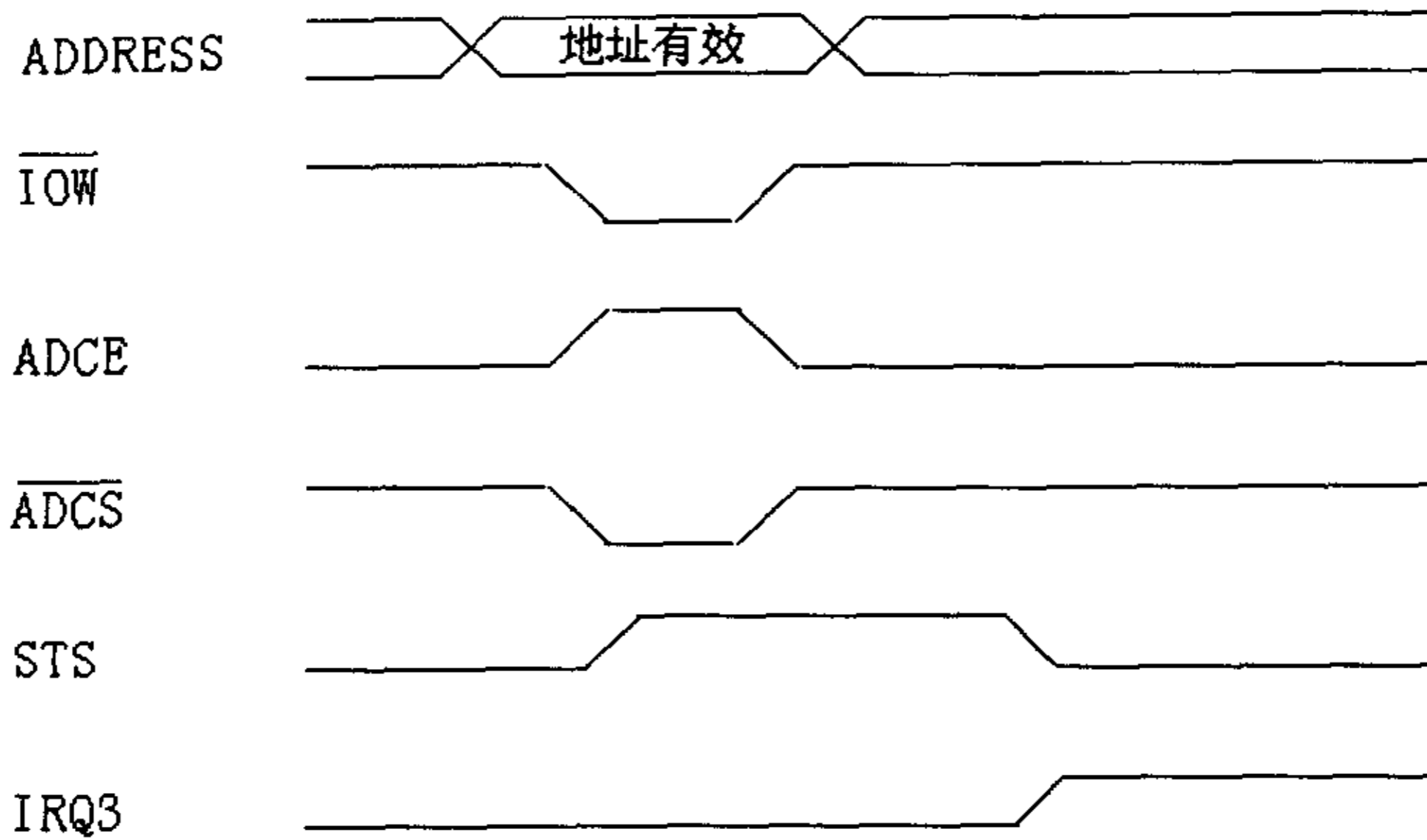


图 3-12 启动 A/D 转换时序图

ADCE、 $\overline{\text{ADCS}}$  信号由地址译码及逻辑控制部分而来，分别与 AD574A 的 CE、 $\overline{\text{CS}}$  相连用以控制 AD574A 的工作状态。STS 是 AD574A 的工作状态指示端。STS = 1 时表示转换器正处于转换状态，STS 返回到低电平时，表示 A/D 转换完毕。因此，在这里我们利用 STS 的下降沿来产生中断请求信号 IRQ3，当 A/D 转换结束时马上进入中断处理程序来采集数据。

3. 读取数据。A/D574A 是 12 位的 A/D 转换器，它既可以和 8 位的数据总线相连也可以和 16 位的数据总线相连。在本系统中采用的 ISA 总线，是一种 8 位的数据总线。因此数据的读取必须分两次读。其数据格式如 3-13 所示。

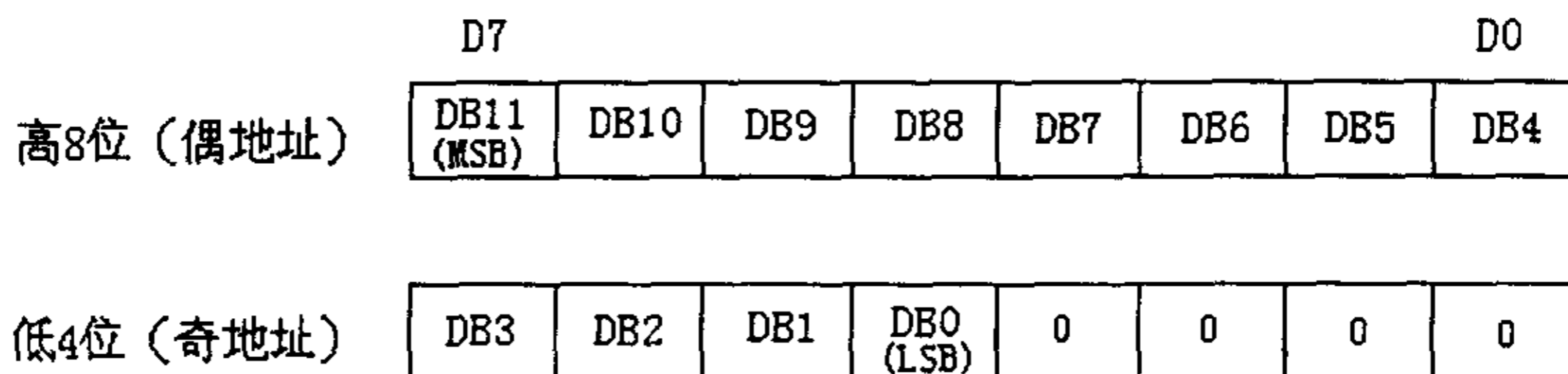


图 3-13 接 8 位数据总线时 A/D574A 的数据格式

偶地址时都 A/D574A 的高 8 位，奇地址时读低 4 位加 4 个 0。其时序图如 3-14 所示。

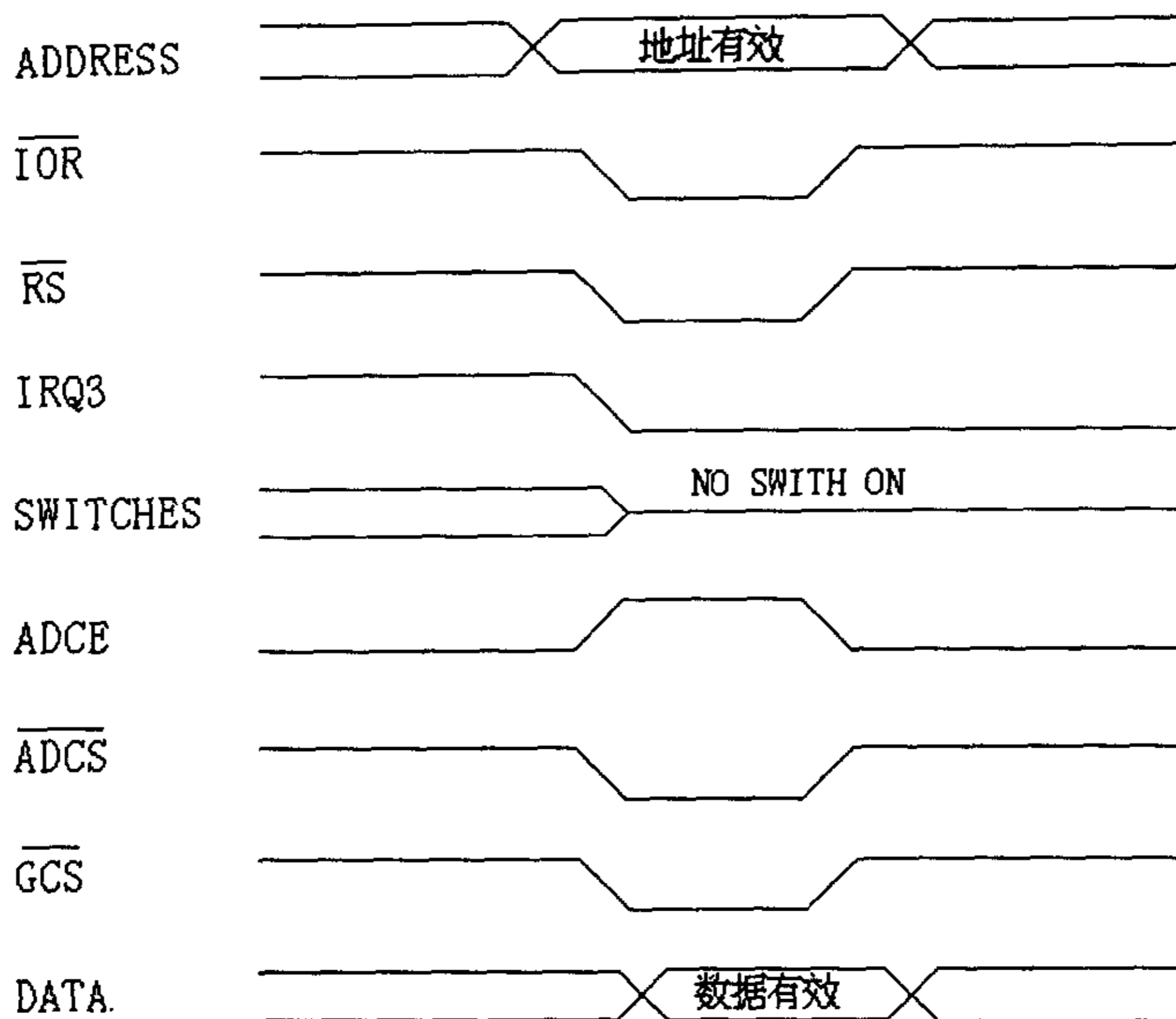


图 3-14 读数据时序图

当读脉冲到来时,中断请求取消,恢复低电平,同时将RS置低,关闭MAX382通道。

4、输出控制信号。向输出信号对应地址写数据,经D/A转换输出控制信号。时序如3-15所示。

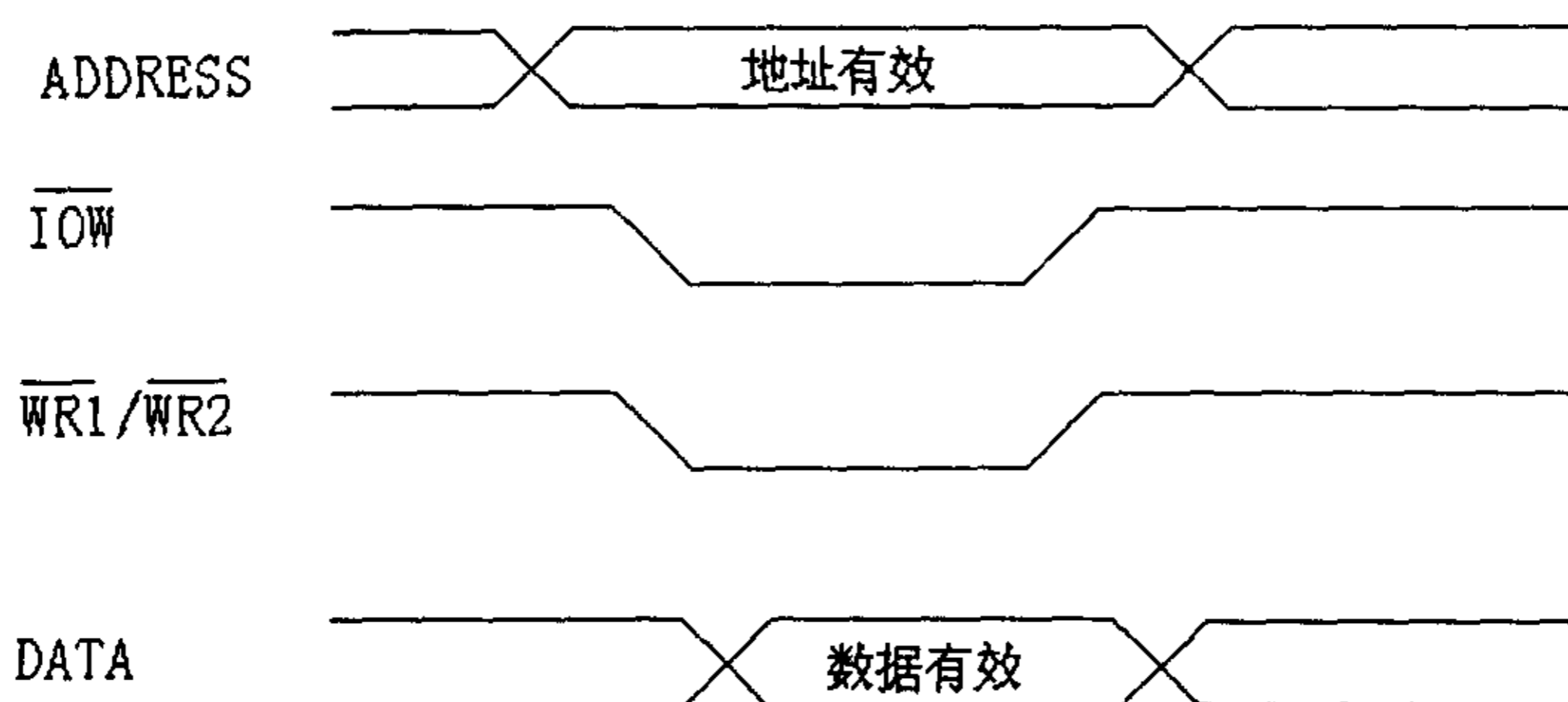


图 3-15 输出控制信号时序图



## 第五节 PCB 板的设计

电路板(PCB)是电子产品中电路元件和器件的支撑件,它提供电路元件和器件之间的电气连接。随着电子技术的飞速发展,PCB 的密度越来越高。PCB 设计的好坏对抗干扰能力影响很大。因此,在进行 PCB 设计时,必须遵守 PCB 设计的一般原则,并应符合抗干扰设计的要求。

### 一、PCB 设计的一般原则

要使电子电路获得最佳性能,元器件的布局及导线的布设是很重要的。为了设计质量好、造价低的 PCB,应遵循以下一般原则:

1、布局。首先,要考虑 PCB 尺寸大小。PCB 尺寸过大时,印制线条长,阻抗增加,抗噪声能力下降,成本也增加;过小,则散热不好,且邻近线条易受干扰。在确定 PCB 尺寸后,再确定特殊元件的位置。最后,根据电路的功能单元,对电路的全部元器件进行布局。

在确定特殊元件的位置时,要遵守以下原则:

(1) 尽可能缩短高频元器件之间的连线,设法减少它们的分布参数和相互间的电磁干扰。易受干扰的元器件不能相互挨得太近,输入和输出元件应尽量远离。

(2) 某些元器件或导线之间可能有较高的电位差,应加大它们之间的距离,以免放电引起意外短路。带高电压的元器件应尽量布置在调试时手不易触及的地方。

(3) 重量超过 15g 的元器件,应当用支架加以固定,然后焊接。那些又大又重、发热量多的元器件,不宜装在印制板上,而应装在整机的机箱底板上,且应考虑散热问题。热敏元件应远离发热元件。

(4) 对于电位器、可调电感线圈、可变电容器、微动开关等可调元件的布局应考虑整机的结构要求。若是机内调节,应放在印制板上方便于调节的地方;若是机外调节,其位置要与调节旋钮在机箱面板上的位置相适应。

(5) 应留出印制板定位孔及固定支架所占用的位置。

根据电路的功能单元,对电路的全部元器件进行布局时,要符合以下原则:

(1) 按照电路的流程安排各个功能电路单元的位置,使布局便于信号流通,并使信号尽可能保持一致的方向。

(2) 以每个功能电路的核心元件为中心,围绕它来进行布局。元器件应均匀、整齐、紧凑地排列在 PCB 上,尽量减少和缩短各元器件之间的引线和连接。

(3) 在高频下工作的电路,要考虑元器件之间的分布参数。一般电路应尽可能使元器件平行排列。这样,不但美观,而且装焊容易,易于批量生产。

(4) 位于电路板边缘的元器件,离电路板边缘一般不小于 2mm。电路板的

最佳形状为矩形。长宽比为 3:2 或 4:3。电路板面尺寸大于 200x150mm 时,应考虑电路板所受的机械强度。

2、布线。布线的原则如下:

(1) 输入输出端用的导线应尽量避免相邻平行。最好加线间地线,以免发生反馈藕合。

(2) 印制导线的最小宽度主要由导线与绝缘基板间的粘附强度和流过它们的电流值决定。当铜箔厚度为 0.05mm、宽度为 1~15mm 时,通过 2A 的电流,温度不会高于 3°C,因此,导线宽度为 1.5mm 可满足要求。对于集成电路,尤其是数字电路,通常选 0.02~0.3mm 导线宽度。当然,只要允许,还是尽可能用宽线,尤其是电源线和地线。导线的最小间距主要由最坏情况下的线间绝缘电阻和击穿电压决定。对于集成电路,尤其是数字电路,只要工艺允许,可使间距小至 5~8mm。

(3) 印制导线拐弯处一般取圆弧形,而直角或夹角在高频电路中会影响电气性能。此外,尽量避免使用大面积铜箔,否则,长时间受热时,易发生铜箔膨胀和脱落现象。必须用大面积铜箔时,最好用栅格状。这样有利于排除铜箔与基板间粘合剂受热产生的挥发性气体。

2、焊盘。焊盘中心孔要比器件引线直径稍大一些。焊盘太大易形成虚焊。焊盘外径  $D$  一般不小于  $(d+1.2)$ mm,其中  $d$  为引线孔径。对高密度的数字电路,焊盘最小直径可取  $(d+1.0)$ mm。

## 二、本系统采集控制卡的 PCB 及电路抗干扰措施

印制电路板的抗干扰设计与具体电路有着密切的关系,以下是在微机核子计量控制系统中,对多路信号采集控制卡的 PCB 板所采取的几项抗干扰措施。

1、电源线设计。根据印制线路板电流的大小,尽量加粗电源线宽度,减少环路电阻。同时,使电源线、地线的走向和数据传递的方向一致,这样有助于增强抗噪声能力。

2、地线设计。在微机核子计量控制系统中,既有模拟电路,也有数字电路,两者的接地是设计过程中要考虑的重要因素。在不合理的接地情形下,数字部分的噪声会引入模拟电路,电源的纹波和噪声也会对电路产生影响。虽然数字信号本身对变化的地电势有一定的宽容性,但许多敏感的模拟电路或含有模拟部分的元器件(如本系统中的 AD574A)都需要有“干净的”地。地线设计主要考虑了以下三个方面:

(1) 数字地与模拟地分开。线路板上既有模拟电路又有数字电路,而数字逻辑由于其“0”和“1”电平相差将近 5V,在其切换时不可避免得会产生高频噪声,而数字逻辑中这种切换又是很频繁的,数字地就会有较大的高频噪声。为避免其对模拟地的干扰,数字地和模拟地应在电路中完全分开,仅在电源处

相连。

(2) 接地线尽量加粗并采用大面积的地平面。若接地线用很细的线条，则接地电位随电流的变化而变化，使抗噪性能降低。因此应将接地线加粗，使它能通过三倍于印制板上的允许电流。一个低阻的大面积地可以有效地降低噪声。它不仅仅为系统中的高频电流提供了一个低阻的回流线路，而且可以把电磁干扰和辐射干扰降至最小。

(3) 接地线构成闭环路。这样能大大提高抗噪声能力。

3、退藕电容配置。良好的退藕是保证元器件有足够精度的重要环节，同时它对于降低系统噪声，保持信号低失真、低畸变都是十分重要的。因此，我们在 PCB 板的各个关键部位配置适当的退藕电容。

## 第四章 控制算法的应用研究

一个系统采用什么样的控制算法是由该系统受控过程的特点决定的。微机核子计量控制系统的主要功能是计量和配料，其中回控功能是核子秤的一大特色，它可以有效地提高产品质量和节约原料。其受控过程具有以下特点：

- (1) 具有严重的非线性；
- (2) 时间滞后大；
- (3) 特性参数随环境变化大。如原料的粒度、温度等；
- (4) 干扰严重。现场检测到的流量信号夹杂大量的低频信号（皮带运动不平衡）及高频信号。

目前国内外的核子秤系统大都采用 PID 控制算法。PID 调节器的技术比较成熟，能够较好地兼顾系统动态控制性能和静态性能，取得了较好的控制效果。但是 PID 调节器仍然存在积分饱和、时间滞后较大等问题。

我们实验室对模糊控制做了一些研究，并将它运用到核子秤系统中，使得系统的控制精度有了一定改善。模糊控制的基本思想是用机器去模拟人对系统的控制，它对于那些非线性较大、难以建立数学模型的系统有较好的控制作用。但是，要建立一种实用、高效的经验知识库需要在长期的实践中不断完善。

基于以上考虑，在本系统中我们仍然采用了 PID 控制的基本思想，并根据 PID 调节器存在的问题和系统自身的特点，对 PID 控制算法做了一些改进。

### 第一节 数字 PID 调节器的设计

PID 调节器的控制机理已为控制系统领域的人们所熟悉，将传统的 PID 调节器用计算机予以实现，是设计计算机控制系统的一种简便、常用的方法。

在连续系统中，模拟 PID 调节器输入与输出之间的关系可用下面的微分方程表示：

$$u(t) = K_p \left[ e(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(t) dt + T_D \frac{de(t)}{dt} \right] \quad (4.1)$$

式中

$e(t)$  为调节器的输入，即系统的偏差；

$u(t)$  为调节器的输出；

$K_p$  为比例系数；

$T_i$  为积分时间常数；

$T_D$  为微分时间常数。

因为式(4.1)表示的调节器的输入函数和输出函数均为模拟量,计算机无法对其进行直接运算。为此,必须将连续形式的微分方程化为离散形式的差分方程。

取 $T$ 为采样周期, $k$ 为采样序号, $k=0, 1, 2 \dots i, \dots k$ ,因为在微机核子计量控制系统中,采样周期 $T$ 相对于信号变化周期是很小的,这样可以用矩形法算面积,用先后差分代替微分,即

$$\int_0^t e(t) dt = \sum_{i=0}^k e_i T$$

$$\frac{de(t)}{dt} = \frac{e(k) - e(k-1)}{T}$$

于是式(4.1)可写成

$$u(k) = K_p \left[ e(k) + \frac{1}{T_I} \sum_{i=0}^k e_i T + T_D \frac{e(k) - e(k-1)}{T} \right] \quad (4.2)$$

式中  $u(k)$  为采样时刻 $k$ 时的输出值;

$e(k)$  为采样时刻 $k$ 时的偏差值;

$e(k-1)$  为采样时刻 $k-1$ 时的偏差值。

式(4.2)即是PID控制规律的离散化形式。按式(4.2)计算 $u(k)$ 时,输出值与过去所有状态有关,计算时要占用大量的内存和花费大量的时间,而微机核子计量控制系统是一种实时系统,实时性是它的一项重要指标,因此我们应该想办法尽量减少计算量。为此,可以将式(4.2)化成递推形式:

根据式(4.2)写出采样时刻 $k-1$ 的输出值

$$u(k-1) = K_p \left[ e(k-1) + \frac{1}{T_I} \sum_{i=0}^{k-1} e_i T + T_D \frac{e(k-1) - e(k-2)}{T} \right] \quad (4.3)$$

用式(4.2)减去式(4.3),经整理后可得

$$u(k) = u(k-1) + K_p \left\{ e(k) - e(k-1) + \frac{T}{T_I} e(k) + \frac{T_D}{T} [e(k) - 2e(k-1) + e(k-2)] \right\} \quad (4.4)$$

按式(4.4)计算在时刻 $k$ 时的输出量 $u(k)$ ,只需用到采样时刻 $k$ 的偏差值 $e(k)$ ,以及向前推一次及两次的偏差值 $e(k-1)$ 、 $e(k-2)$ 和向前推一次的输出值 $u(k-1)$ ,这大大节约了内存和计算时间。

当按照式(4.4)计算输出量 $u(k)$ 时,还存在一点不足:即当计算机或者系

统出现故障时, 输出量的大幅度变化, 将显著地改变被控对象, 可能会给生产造成损失。为此, 可以采用增量型控制, 即输出量是两次采样之间调节器的输出增量  $\Delta u(k)$ 。由式 (4.4) 可得:

$$\begin{aligned} \Delta u(k) &= u(k) - u(k-1) \\ &= K_p \left\{ e(k) - e(k-1) + \frac{T}{T_i} e(k) + \frac{T_D}{T} [e(k) - 2e(k-1) + e(k-2)] \right\} \quad (4.5) \end{aligned}$$

式 (4.5) 和式 (4.4) 在本质上是一样的, 但增量算式具有以下优点:

- (1) 计算机只输出控制增量, 即执行机构的变化部分, 误动作影响小。
- (2) 在进行手动-自动切换时, 控制量冲击小, 能够较平滑的过渡。
- (3) 增量型 PID 算法不会出现积分饱和问题, 因为积分项的值为  $K_i e(k)$ , 始终为一有限值。

## 第二节 数字 PID 调节器算法的改进

用数字调节器对系统进行控制, 一般说来控制质量不如采用模拟调节器对系统进行控制。这是因为:

1. 模拟调节器进行的控制是连续的, 控制作用每时每刻都在进行, 而对于数字控制器, 在保持器作用下, 控制量在一个周期内是不变化的。
2. 由于计算机的数值运算和输入输出需要一定的时间, 控制作用在时间上有延滞。
3. 计算机的有限字长和 A/D、D/A 转换器的转换精度使控制有误差。

因此如果单纯地用数字调节器去模仿模拟调节器, 往往并不能获得很理想的控制效果。但是我们可以利用计算机运算速度快、逻辑判断功能强和编程灵活等优势, 对 PID 控制算法进行改进, 建立一些模拟调节器难以实现的特殊控制规律, 这样就能获得很好的控制效果, 并在控制性能上超过模拟调节器。

### 一. 采用不完全微分 PID 数字调节器

微分作用有助于控制系统减少超调, 克服振荡, 使系统趋于稳定。同时加快系统动作速度, 减小调整时间, 有利于改善系统的动态性能。但在数字 PID 调节器中, 微分部分的调节作用并不很明显, 甚至没什么调节作用, 我们可以从以下的分析中看出。

为分析数字 PID 调节器中的微分作用, 由式 (4.2) 中得出微分部分的输出  $u_D(k)$  与偏差的关系:

$$u_D(k) = \frac{T_D}{T} [e(k) - e(k-1)]$$

对应  $z$  变换为

$$u_D(z) = \frac{T_D}{T} E(z)(1 - z^{-1})$$

当  $e(t)$  为单位阶跃函数时,  $E(z) = \frac{1}{1 - z^{-1}}$

所以  $u_D(z) = \frac{T_D}{T}$

从中得出微分部分的输出序列为

$$u_D(T) = \frac{T_D}{T}, \quad u_D(2T) = u_D(3T) = \dots = 0$$

微分部分输出序列说明, 从第二个采样周期开始, 微分部分输出变为零。可见, 对于单位阶跃输入函数, 标准 PID 数字调节器的微分作用仅在第一个采样周期存在。而在连续控制系统中, PID 调节器的微分部分能在较长的时间内起作用, 如图 4-1 所示。

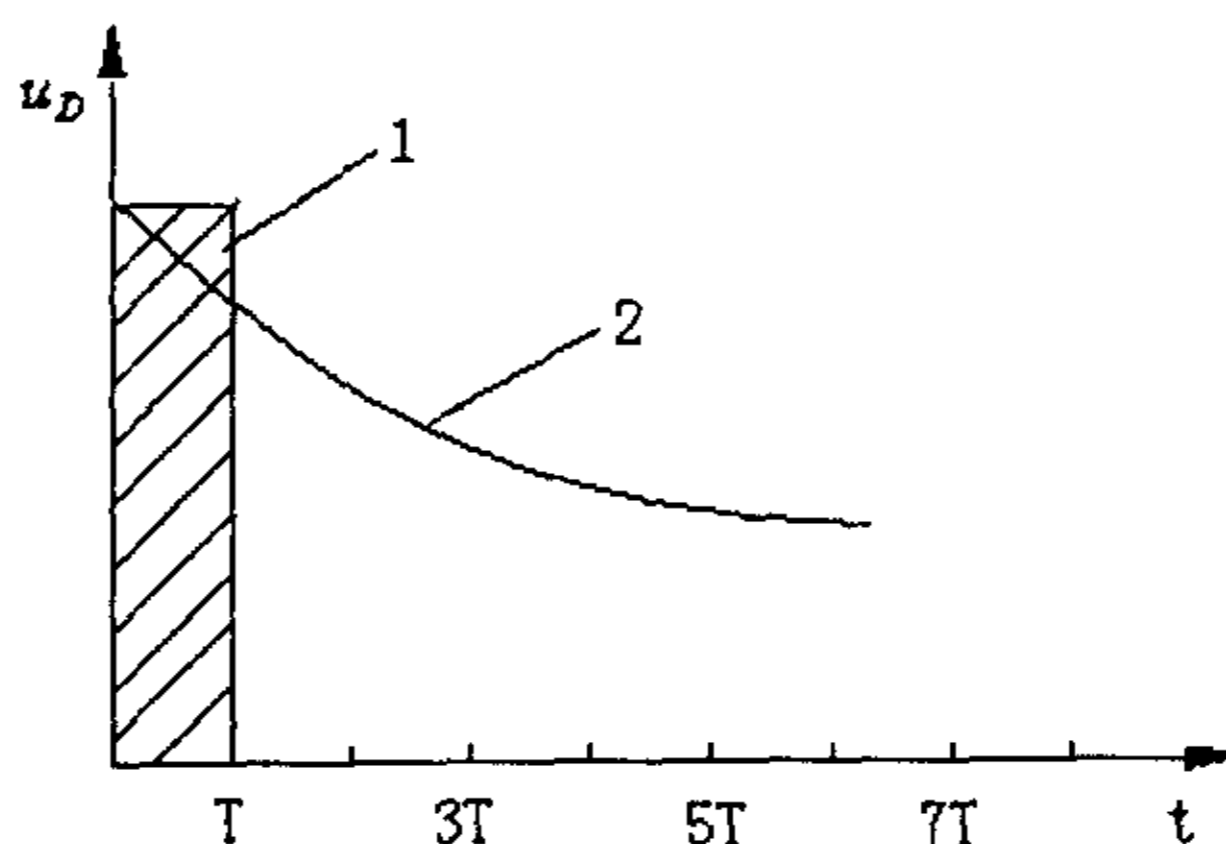


图 4-1 微分作用比较

通常, 一个采样周期相对于控制系统的过渡过程时间来说是很短的, 并且由于输出装置受到驱动能力的限制, 输出的幅度不会无限大, 所以微分作用的控制能量 (阴影部分的面积) 往往是很小的, 不足以克服系统的惯性, 因此对系统的控制作用也是很明显的。数字微分器的这种控制作用与连续微分调节器的控制作用相比相差甚远, 达不到期望的控制效果。相反, 对于频率较高的干扰信号又比较敏感, 使系统极易受到噪声信号的污染。微机核子计量控制系统的惯性比较大, 对于这样的系统来说, 数字调节器的微分作用极需改进。此

外, 标准 PID 数字调节器的另一个问题是: 当瞬时偏差  $e(k)$  较大时, 调节器的输出  $u(k)$  在偏差产生的那一个采样周期内, 输出的数值很大, 容易造成溢出。

在标准 PID 数字调节器算式中, 加入一惯性环节构成不完全微分数字调节器, 这样就可以避免上述问题。它不仅可以平滑微分产生的瞬时脉动, 而且能加强微分对全控制过程的影响。下面推导不完全微分数字调节器的算式。

一阶惯性环节的传递函数为

$$W_f(s) = \frac{1}{T_f s + 1} \quad (4.1)$$

标准 PID 调节规律的传递函数为

$$W(s) = K_p \left( 1 + \frac{1}{T_i s} + T_D s \right) \quad (4.2)$$

由式(4.1)和式(4.2)得到不完全微分的 PID 调节规律

$$W(s) = \frac{K_p}{T_f s + 1} \left( 1 + \frac{1}{T_i s} + T_D s \right)$$

$$\text{设} \quad T_f = aT_2 \quad K_p = \frac{K_1(T_1 + T_2)}{T_1}$$

$$T_i = T_1 + T_2 \quad T_D = \frac{T_1 T_2}{T_1 + T_2}$$

$$W(s) = \frac{U(s)}{E(s)} = \frac{K_1(T_1 s + 1)(T_2 s + 1)}{T_1 s(aT_2 s + 1)} = \frac{T_2 s + 1}{aT_2 s + 1} K_1 \left( 1 + \frac{1}{T_1 s} \right) \quad (4.3)$$

式中  $a$  为微分增益, 调节  $a$  的值, 可以调节微分作用的时间。  $K_1$  为比例系数,  $T_1$  为积分时间常数,  $T_2$  为微分时间常数。我们可以把不完全微分调节器看成由几个环节组成, 如图 4-2 所示。

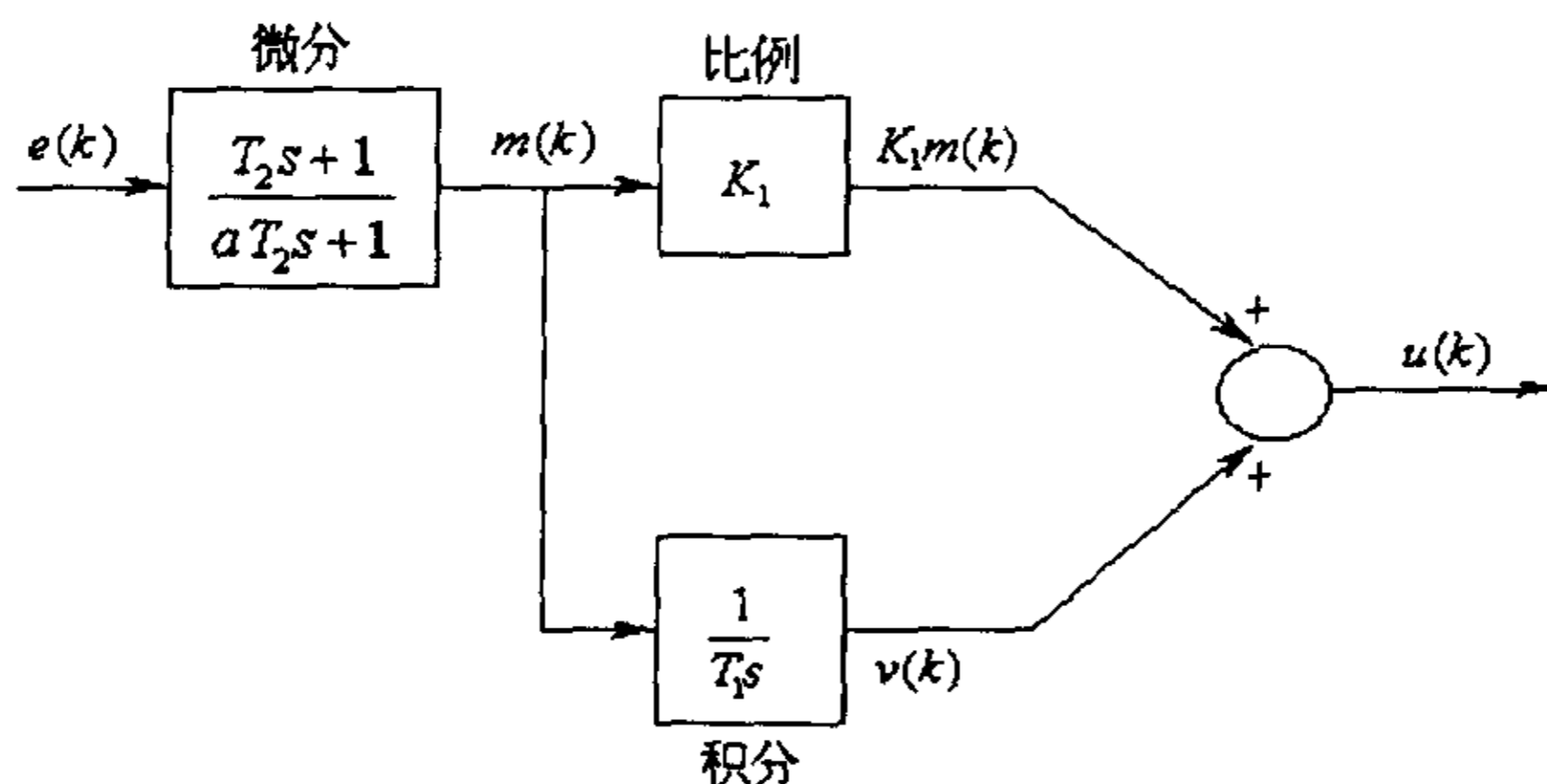


图 4-2 不完全微分 PID 调节器结构图



下面分别分析比例、积分、微分部分的算法，将其化成计算机容易实现的形式。

### 1. 微分部分

$$\frac{M(s)}{E(s)} = \frac{T_2 s + 1}{a T_2 s + 1}$$

化成差分方程为

$$m(k) = m(k-1) + \frac{T_2}{a T_2 + T} [e(k) - e(k-1)] + \frac{T}{a T_2 + T} [e(k) + m(k-1)]$$

对于比较小的采样周期  $T$  ( $T \ll T_2$ )，上式可简化成

$$m(k) = \left(1 - \frac{T}{a T_2 + T}\right) m(k-1) + \left(\frac{1}{a} + \frac{T}{a T_2 + T}\right) e(k) - \frac{1}{a} e(k-1) \quad (4.4)$$

2. 积分部分 积分部分的输入为微分部分的输出  $M(s)$ ，积分部分的输出为  $V_I(s)$ ，于是

$$\frac{V_I(s)}{M(s)} = \frac{K_I}{T_I s}$$

将上式化成微分方程形式并用一阶差分法离散化，得到差分方程

$$v_I(k) = v_I(k-1) + \frac{K_I T}{T_I} m(k) \quad (4.5)$$

3. 比例部分 比例部分的表达式为微分作用的输出乘以  $K_1$ ，即比例部分的输出为

$$K_1 m(k)$$

4. 不完全微分 PID 数字调节器的输出 由式 (4.4)、(4.5) 可得

$$u(k) = K_1 m(k) + v(k) \quad (4.6)$$

## 二. 加入纯滞后补偿环节

在微机核子计量控制系统中，计算机的运算和电动机转速的改变都会造成时间延迟，这使得被控对象具有纯滞后的性质。对象的这种纯滞后性质常引起系统产生超调或者振荡。国内外很多人对生产过程中纯滞后对象进行了深入的研究。施密斯提出了一种纯滞后补偿模型，但由于模拟仪表不能实现这种补偿，致使这种方法在工程中无法实现。现在我们利用微型计算机可以方便地实现纯滞后补偿。

1. 施密斯补偿原理 在图 4-3 所示的单回路控制系统中， $W(s)$  表示调节

器的传递函数，用于校正  $G_p(s)$  部分； $G_p(s)e^{-\tau s}$  表示被控对象的传递函数， $G_p(s)$  为被控对象中不包含纯滞后部分的传递函数， $e^{-\tau s}$  为被控对象纯滞后部分的传递函数。

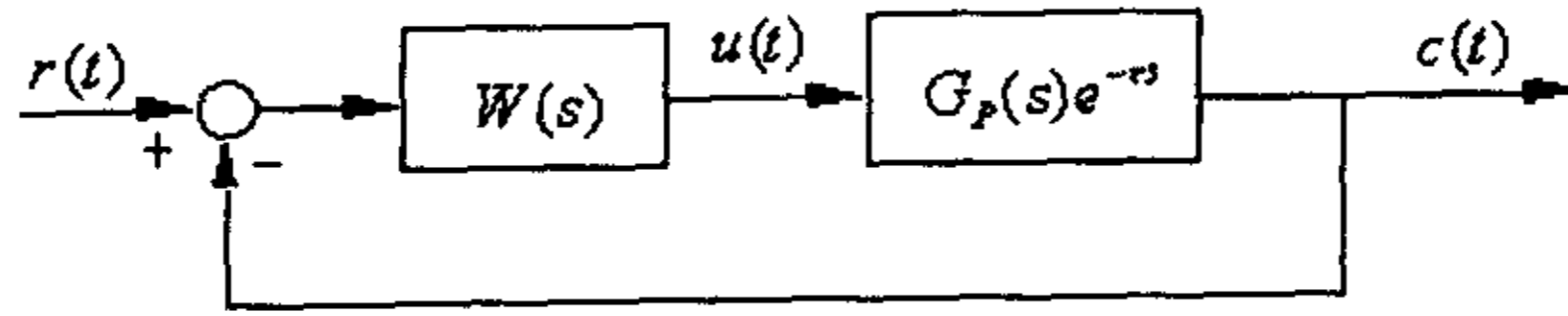


图 4-3 带纯滞后环节的控制系统

施密斯补偿的原理是：与  $W(s)$  并接一补偿环节，用来补偿被控制对象中的纯滞后部分。这个补偿环节称为预估器，其传递函数为  $G_p(s)(1-e^{-\tau s})$ ， $\tau$  为纯滞后时间，补偿后的系统框图如 4-4 所示。

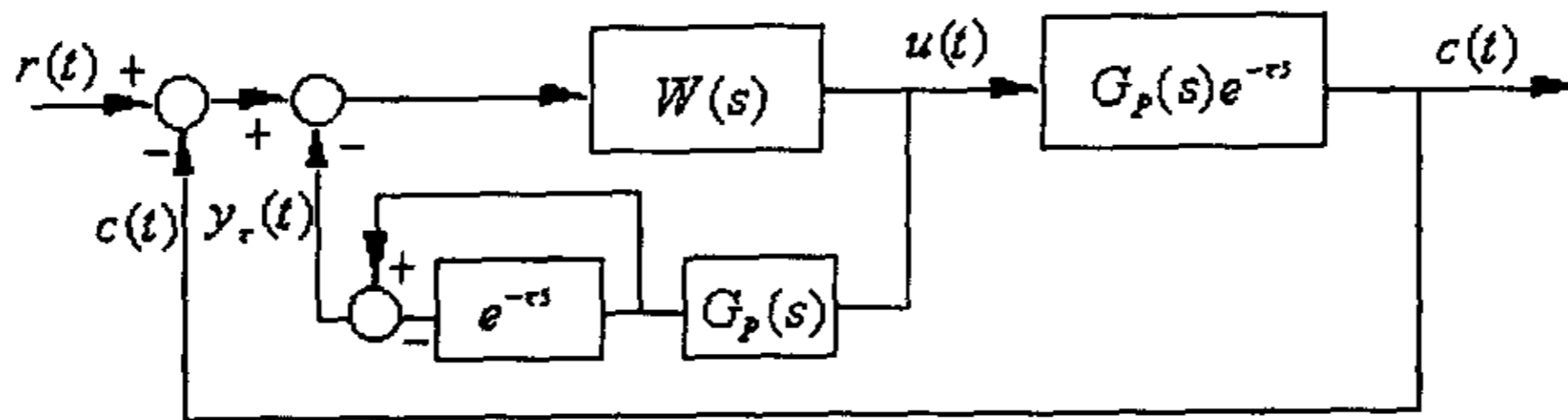


图 4-4 带施密斯预估器的控制系统

由施密斯预估器和调节器  $W(s)$  组成的补偿回路称为纯滞后补偿器，其传递函数为  $W'(s)$ ，即

$$W'(s) = \frac{W(s)}{1 + W(s)G_p(s)(1 - e^{-\tau s})}$$

经补偿后的系统闭环传递函数为

$$\Phi(s) = \frac{W'(s)G_p(s)e^{-\tau s}}{1 + W'(s)G_p(s)e^{-\tau s}} = \frac{W(s)G_p(s)}{1 + W(s)G_p(s)} e^{-\tau s} \quad (4.7)$$

由式(4.7)可以看出，加入纯滞后补偿环节以后，原来被控对象中的纯滞后环节已被等效地移到了闭环之外。换句话说，控制系统闭环传递函数的分母中不再包含滞后环节了，因此系统的稳定性不再受滞后环节的影响；只是系统的输出在时间上滞后了一个时间  $\tau$ ，而调节器的设计及参数选择和没有滞后环节的一样。

2. 具有纯滞后补偿的数字调节器的实现 在前面不完全微分数字调节器的基础上加入纯滞后环节。微机核子计量控制系统的控制部分原理图如 4-5 所示。这时数字调节器由两部分组成：一部分是不完全微分数字 PID 调节器；一部分是施密斯预估器。

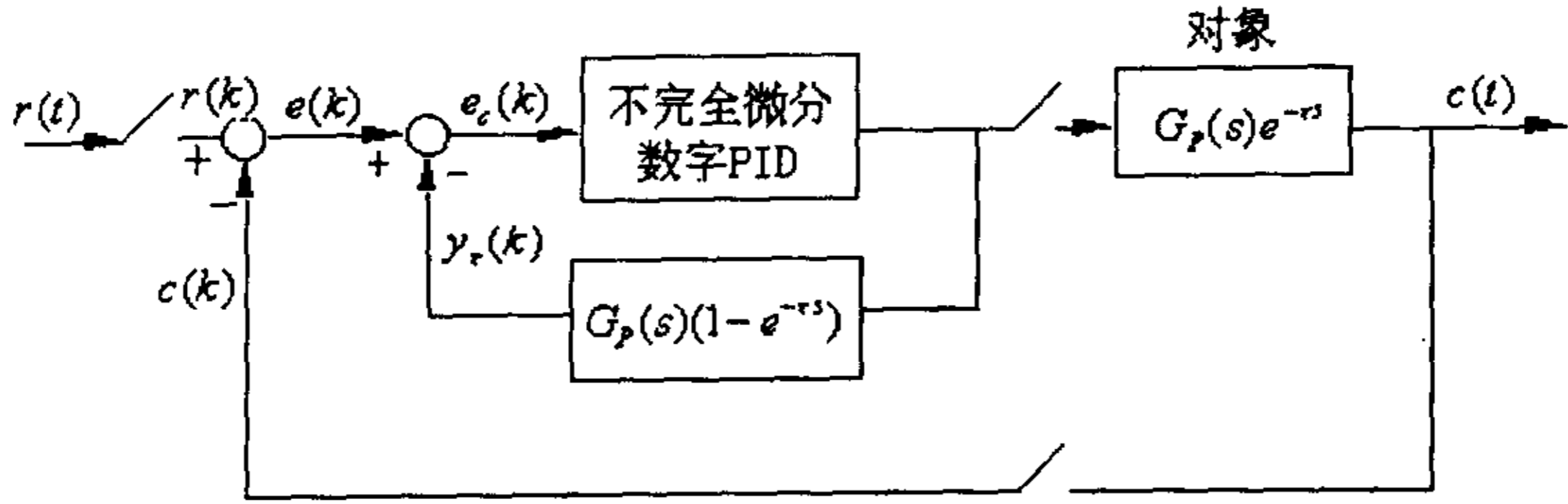


图 4-5 加入纯滞后补偿的控制系统

施密斯预估器如图 4-6 所示，它的输出由两部分组成。一部分是被控对象的模型函数  $G_p(s)$  在控制量作用下的输出  $m(k)$ ；另一部分是  $m(k)$  经过延迟因子  $e^{-\tau s}$  以后的输出  $m(k-N)$ 。

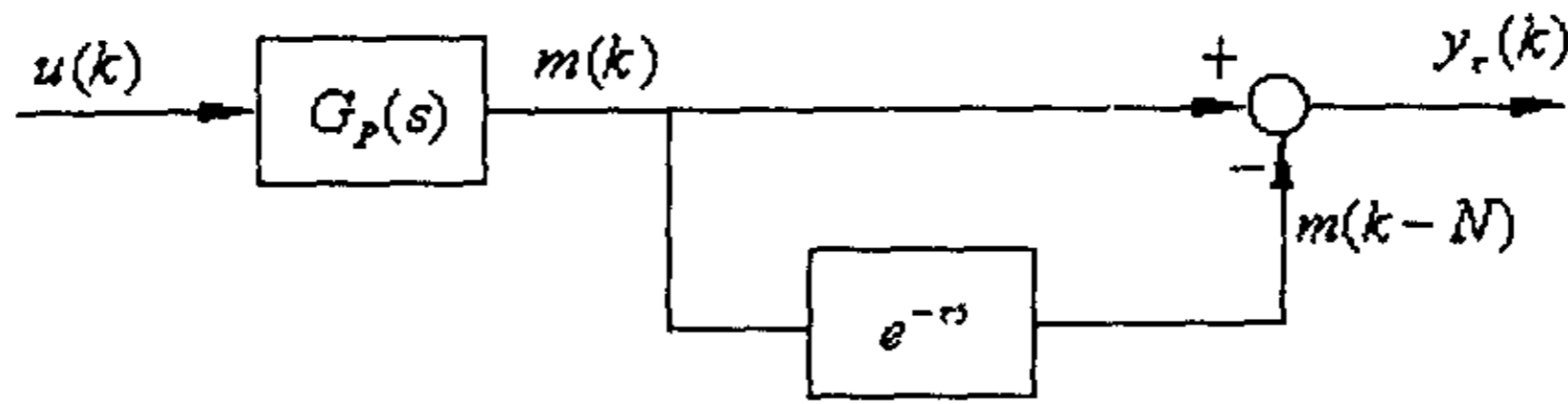


图 4-6 施密斯预估器方框图

滞后环节使信号延迟，为此，在内存中专门设定  $N$  个单元作为存放信号  $m(k)$  的历史数据，存贮单元的个数  $N$  由下式决定

$$N = \tau / T$$

式中  $\tau$  为纯滞后时间， $T$  为采样周期。

每采样一次，把  $m(k)$  记入 0 单元，同时把 0 单元原来存放数据移到 1 单元，1 单元原来存放数据移到 2 单元...，以此类推。从  $N$  单元输出的信号，就是滞后  $N$  个周期的  $m(k-N)$  信号。

在图 4-6 中， $u(k)$  是不完全微分 PID 数字调节器的输出， $y_r(k)$  是施密斯预估器的输出。从图中可以看出，必须先计算传递函数  $G_p(s)$  的输出  $m(k)$  后，才能计算预估器的输出

$$y_r(k) = m(k) - m(k-N)$$

许多过程控制对象的动态特性可以近似地用一个一阶惯性环节和一个纯滞后环节的串联来表示

$$G_C(s) = G_p(s)e^{-\tau s} = \frac{K_f}{1+T_f s} e^{-\tau s}$$

式中  $K_f$  为被控对象的放大系数;  
 $T_f$  为被控对象的时间常数;  
 $\tau$  为纯滞后时间。

预估器的传递函数为

$$G_r(s) = G_p(s)(1 - e^{-\tau s}) = \frac{K_f}{1 + T_f s} (1 - e^{-\tau s}) \quad (4.8)$$

其中

$$e^{-\tau s} = \frac{1}{1 + \tau s + \left[ \frac{(\tau s)^2}{2!} \right] + \dots} \approx \frac{1}{1 + \tau s + \frac{(\tau s)^2}{2!}} \approx \frac{1}{(1 + \tau s/2)^2} \quad (4.9)$$

将式(4.9)代入式(4.8)得到

$$G_r(s) = \frac{K_f}{1 + T_f s} \left[ 1 - \frac{1}{(1 + \tau s/2)^2} \right] \quad (4.10)$$

根据式(4.10)可得施密斯预估器的近似框图如图4-7所示。

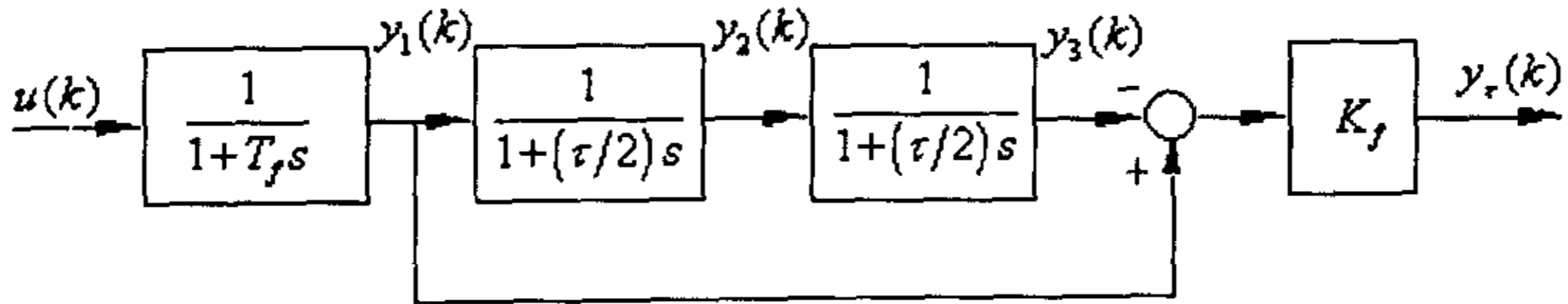


图4-7 施密斯预估器近似框图

下面写出各个环节的差分方程

$$y_1(k) = \left( 1 - \frac{T}{T_f} \right) y_1(k-1) + \frac{T}{T_f} u(k)$$

$$y_2(k) = \left( 1 - \frac{2T}{\tau} \right) y_2(k-1) + \frac{2T}{\tau} y_1(k)$$

$$y_3(k) = \left( 1 - \frac{2T}{\tau} \right) y_3(k-1) + \frac{2T}{\tau} y_2(k)$$

而预估器的输出为

$$y_r(k) = K_f [y_1(k) - y_3(k)] \quad (4.11)$$

施密斯预估器和不完全微分数字 PID 调节器两部分的综合输出即为加入纯滞后补偿的数字调节器的输出。从图4-5可以得到

$$e(k) = r(k) - c(k)$$

$$e_c(k) = e(k) - y_r(k) = r(k) - c(k) - y_r(k)$$

对偏差信号  $e_c(k)$  不完全微分 PID 计算, 便可以得到采用不完全微分 PID 并加入纯滞后补偿的数字调节器的输出。将  $e_c(k)$  代入式 (4.4) 得到微分部分的算式:

$$m(k) = \left(1 - \frac{T}{aT_2 + T}\right) m(k-1) + \left(\frac{1}{a} + \frac{T}{aT_2 + T}\right) e_c(k) - \frac{1}{a} e_c(k-1) \quad (4.12)$$

而积分部分和比例部分的算式不变。这就是我们改进后的 PID 数字调节器。

### 第三节 改进型 PID 控制规律在系统中的应用

微机核子计量控制系统除了可以实现基本的计量功能外, 还可以用来进行流量控制。该系统流量控制大体有两种: 一种是流量定值控制, 另一种是配比控制, 它们都是在计量功能基础上实现的。下面介绍一下改进型 PID 控制算法在两种控制方法中的应用。

#### 一. 流量定值控制

如图 4-3 所示。流量定值控制就是计算机将核子秤测量出来的物料实际流量同所要求的给定流量  $P_0$  进行比较, 由此控制输送机的输送速度, 从而控制物料使之逼近给定流量  $P_0$ 。例如若核子秤测出物料流量小于给定流量  $P_0$ , 则计算机控制输送机转速使输送机速度加快, 流量加大; 若核子秤测出物料流量大于

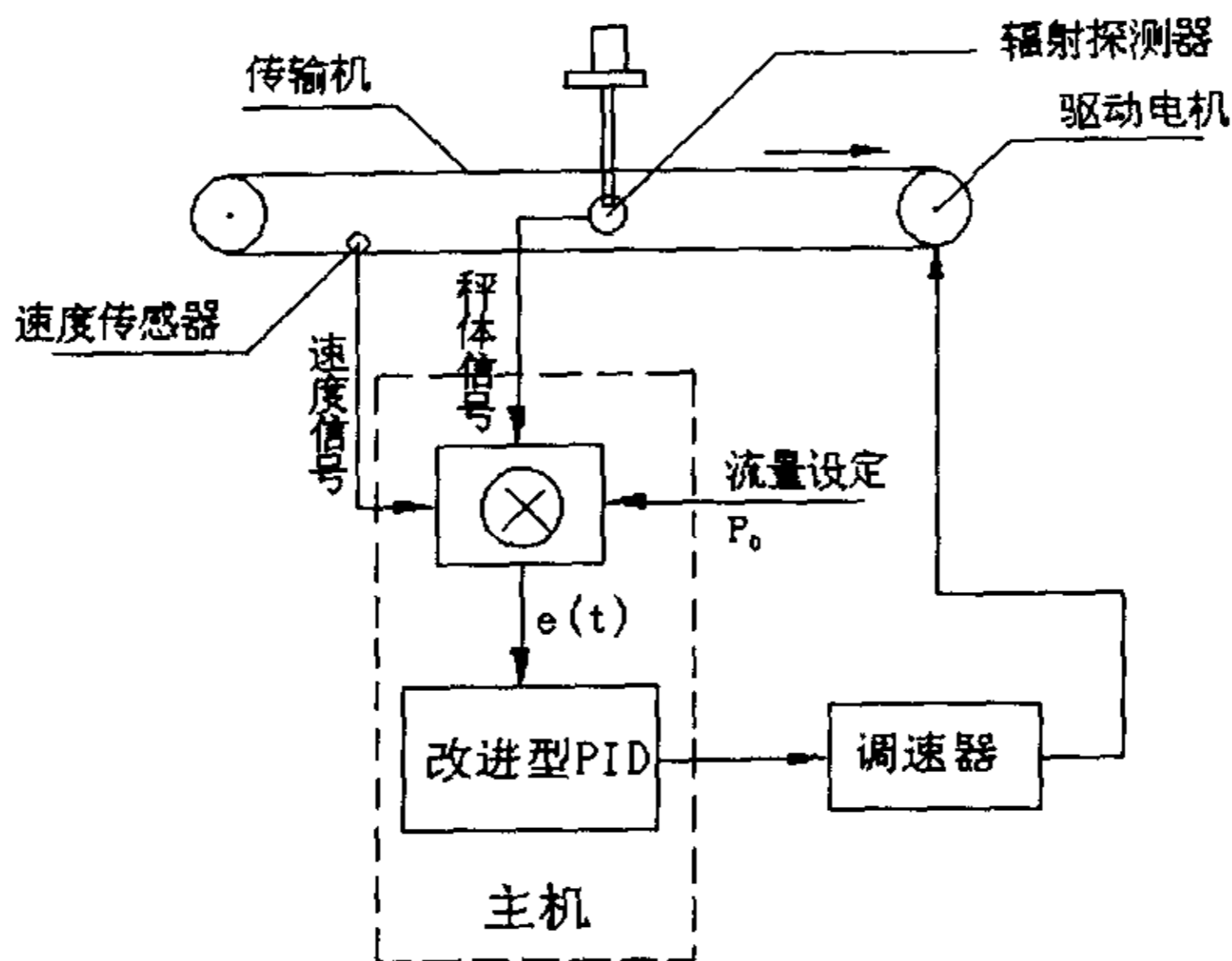


图 4-3 流量定值控制原理图

给定流量  $P_0$ ，则计算机控制输送机转速使输送机速度减慢，流量减小，从而控制物料流量在给定值  $P_0$  附近。

核子秤测量出输送机上物料流量值  $P$  后，再与流量给定值  $P_0$ ，得出差值  $e(t)$ ，计算机根据差值  $e(t)$  进行改进型 PID 计算，算出回控量，并将其转换成相应信号输出给调速器，用以改变调速电机的转速，从而改变皮带机上物料流量，使其与给定值  $P_0$  接近，达到流量定值控制的目的。

流量定值控制系统一般用于要求控制产量的场合，另外如果几台秤的几种不同物料按不同的流量给定值工作可以构成配料系统，同时也控制了生产产量，使之按计划、按比例运转。

## 二. 配比控制

配比控制可以采用流量定值控制或随机跟踪控制两种配比控制方法。下面做一下分别介绍（以 4 台秤的配比为例）。

### (1) 流量定制控制配比工作状态

此种状态和流量定值控制相似，只是各秤流量给定值  $P_{0A}$ 、 $P_{0B}$ 、 $P_{0C}$ 、 $P_{0D}$  均按配比要求给定，每台秤都工作在流量定制控制状态。由于每台的流量都被控制在各自给定的流量  $P_0$  附近，从而达到整个系统的配比要求。其工作原理如图 4-4 所示。

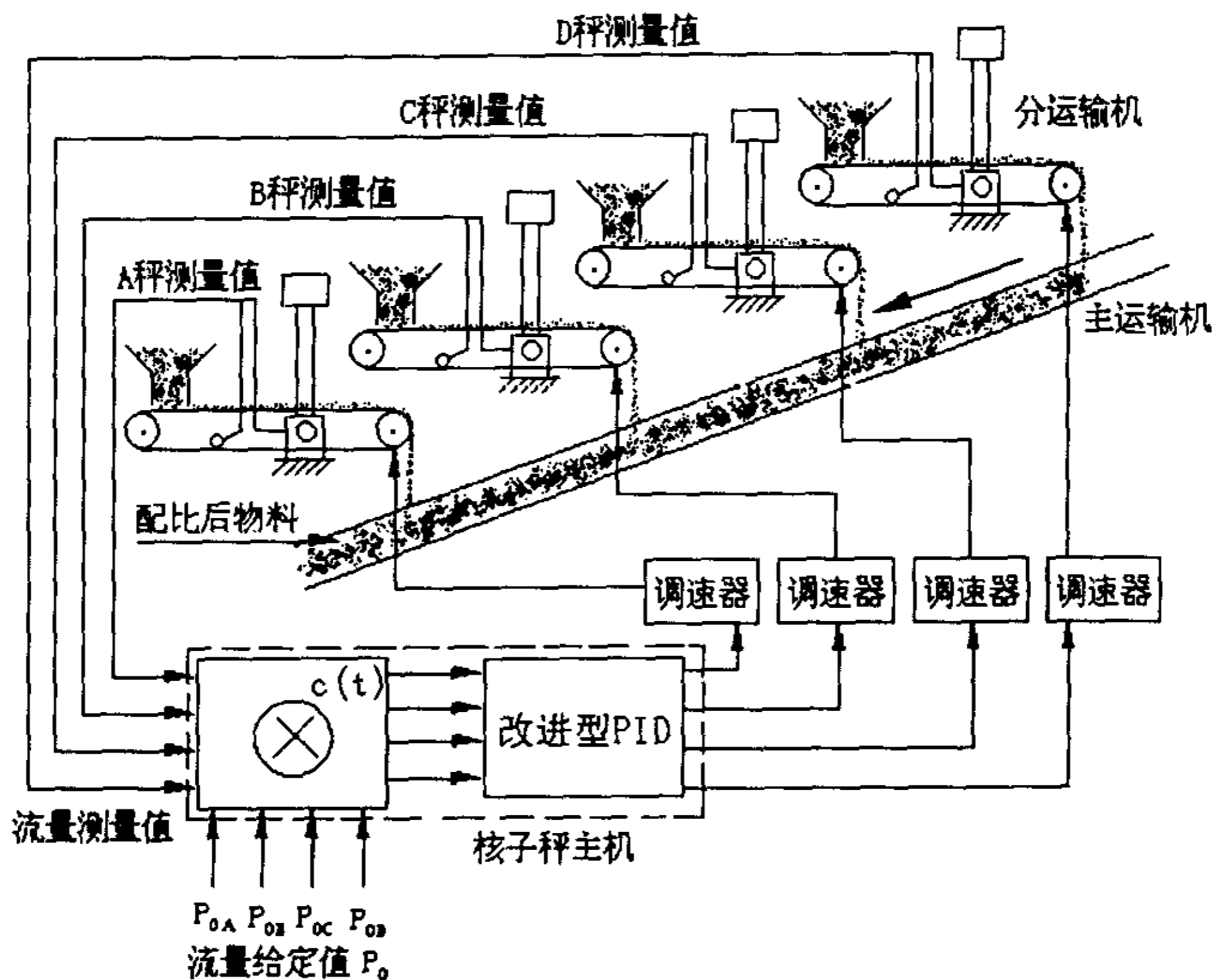


图 4-4 配比控制原理图（流量定值控制方式）

## (2) 随机跟踪配比工作状态

流量定值控制方式配料时每台秤分别控制各自的流量，相互独立，如果某一种物料因为某种原因不能保证流量控制时（如断料、卡料等），其它物料仍旧按原定流量配料，这样比例就会不对。而随机跟踪配比就不会出现这一问题，它是选定一台秤上的物料流量作为主导秤流量，其它秤上的物料流量跟踪主导秤上的物料流量按比例变化，几台秤相互关联，在参数给定时只需各种物料的百分比而不需要定其流量，这样在某一种物料断料或卡料时其它各物料自动停机并报警。

假设选定 A 秤为主导秤，A 秤的物料流量为  $P_A(t)$ ，则各秤的给定值为：

$$P_{0A} = P_A(t)$$

$$P_{0B} = P_{0A} \times P_{1B} \div P_{1A}$$

$$P_{0C} = P_{0A} \times P_{1C} \div P_{1A}$$

$$P_{0D} = P_{0A} \times P_{1D} \div P_{1A}$$

四台秤的流量给定值  $P_{0A}$ 、 $P_{0B}$ 、 $P_{0C}$ 、 $P_{0D}$  随主导秤的流量  $P_A$  而变化，而  $P_{1A}$ 、 $P_{1B}$ 、 $P_{1C}$ 、 $P_{1D}$  是 A、B、C、D 四种物料的配比系数，即重量百分比，一般有  $P_{1A} + P_{1B} + P_{1C} + P_{1D} = 100\%$ 。

计算机根据主导秤测量的  $P_A(t)$  值及各种物料的配比系数  $P_{1A}$ 、 $P_{1B}$ 、 $P_{1C}$ 、 $P_{1D}$  计算出各秤的给定值  $P_{0B}$ 、 $P_{0C}$ 、 $P_{0D}$ ，再根据  $P_{0B}$ 、 $P_{0C}$ 、 $P_{0D}$  对各秤进行流量定值控制，以保证各物料的配比要求。

## 第五章 软件系统的设计

### 第一节 操作系统及开发工具的选择

#### 一、操作系统的选择

操作系统的选择我们主要从以下几个方面来考虑：

1、稳定性。微机核子计量控制系统是一种在线测量和实时控制系统，它需要能够长期稳定工作，系统一旦启动，常常要连续运行几个月甚至一年以上，因此，操作系统以及整个系统软硬件的稳定性显得尤为重要。

2、通用性。计算机技术是近几十年才发展起来的，尤其是在国内，整个计算机的水平还比较低，甚至一些工程技术人员对计算机也知之甚少。因此，考虑到客户的方便，我们必须选择一种易于操作的通用的操作系统。考虑到这一点，Windows9x 是目前微型计算机上最为流行的操作系统。

3、良好的技术支持。任何操作系统都或多或少存在某些缺陷，生产厂家会定期发布一些补丁程序甚至更新版本，因此，选择信誉好、实力强的厂家的操作系统是很有必要的。另外，这些厂家的操作系统一般应用广泛、发展前景好，在此平台上开发的软件不会很快过时。

表 5-1 是对几种常用操作系统的比较。

	Windows98	WindowsNT	UNIX
稳定性	一般	好	很好
主要用途	个人计算机	服务器	服务器
网络功能	一般	好	很好
可操作性	很好	好	一般
安全性	一般	好	很好
经济性	很好	好	一般

表 5-1 几种操作系统的比较

基于以上几个方面的考虑，我们选择 Windows98 作为开发平台。Windows98 是世界上最大的计算机软件厂商 Microsoft 的产品，它的稳定性好，易于操作，是目前微型计算机上最为流行的操作系统，而且我们可以从 Microsoft 公司获得良好的技术支持。

#### 二、开发工具的选择

我们选用了 Visual C++6.0 作为开发工具，主要是从以下几个方面考虑的：



1、灵活性。使用 Visual C++ 主要的原因之一在于它的灵活性。开发者可以彻底地控制整个开发环境。其它语言则更多地趋向于庇护程序员，当要做一些基本的东西时，它们会做得很好。但是，当你需要使用像 C++ 这样的语言删除编程中的繁文缛节，并把任务完成时，这种保护作用就变成了开发工作的障碍。

2、高效性。长期以来，Visual C++ 一直拥有能够创建短小高效程序的美誉。使用这种语言编写的程序几乎可以与用汇编语言编写的程序达到相同的运行速度，并且避免了汇编语言存在的各种问题。因此，在编写对时间要求很高的实时系统时，Visual C++ 是一个很有用的工具。C++ 实际上是介于汇编语言中寄存器编程的神秘莫测和像 Pascal 这种保护型编程环境方便性之中间难度的语言。

3、实用性。Visual C++ 功能十分强大，它提供了许多在其它产品中找不到的特性。正因为如此，虽然它比 VB、Delphi 等开发工具要难学的多，它仍然成为很多程序员首选的工具。

4、安全性。如果使用的开发工具有很多 Bug，无论开发者的水平有多高，开发出来的应用程序也是不安全的。我们既然选择了 Windows98 作为操作系统，我们就必须选择一个在该平台上很稳定的开发工具。Visual C++ 也是 Microsoft 的产品，Visual C++ 的开发者们当然更清楚 Windows 的运行机制，因此也就更容易开发出高效安全的开发工具。实践也证明 Visual C++ 比其他工具具有更好的安全性。

5、持久性。程序员大都关心计算机界某些公司的未来。因为这些公司以后能否对其开发工具产品提供强有力的支持将影响到应用程序的生存期。而深感担忧。开发人员不仅今天需要、而且未来也需要得到强有力的支持。由于 C++ 的每种实现都存在一些细微的差别，特别是在使用厂商提供的特有特性的情况下，应用程序便与开发工具产品的命运联系在一起了。Microsoft 是目前世界上最大的软件公司，使用它的产品可以更容易地获得技术支持和升级自己的应用程序。

## 第二节 软件设计

微机核子计量系统的采集控制软件不仅要具备数据采集、数据处理、显示以及打印等功能，由于工业现场的环境和用户的操作水平等因素要求软件还要具有可靠性高、操作简易、容错性好和效率高等特点。要设计一个好的软件必须要采用好的设计方法。在整个软件的设计过程中，我使用了软件工程科学、规范的面向对象的分析方法去设计软件，力求用较少的投资获得高质量的软件，这不仅有助于提高软件的质量，而且使得程序具有良好的可读性和可扩充性。

软件工程概念的提出以及结构化方法的广泛应用对近几十年来出现的“软件危机”起了一定的缓解作用，但远未充分解决软件危机。在此情形下，人们研

软件工程概念的提出以及结构化方法的广泛应用对近几十年来出现的“软件危机”起了一定的缓解作用，但远未充分解决软件危机。在此情形下，人们研究了一种新的设计方法——面向对象的分析方法，该方法显示了强大的生命力，并逐渐成为当前软件开发的主流方法。

结构化方法强调过程抽象和模块化，将现实世界映射为数据流和加工，加工之间通过数据流进行通信，数据作为被动的实体被主动的操作所加工，是以过程（或操作）为中心来构造系统和设计程序的。而面向对象方法把世界看成是独立对象的集合，对象将数据和操作封装在一起，提供有限的外部接口，其内部的实现细节、数据结构以及对他们的操作时外部不可见的，对象之间通过消息相互通信，当一个对象为完成其功能需要请求另一个对象的服务时，前者就向后者发出一条消息，后者在接受到这条消息后，识别该消息并按照自身的适当方式予以响应。面向对象方法和结构化方法相比，具有以下优点：

(1) 面向对象方法强调把问题域的概念直接映射到对象以及对象之间的接口，符合人们通常的思维方式，减少了结构化方法从问题域到分析阶段的映射误差。

(2) 面向对象方法从分析到设计再到编码采用一致的模型表示，后一阶段可以直接复用前一阶段的工作成果，弥合了结构化方法从数据流图到模块结构图转换的鸿沟，减少了工作量和映射误差。

(3) 在客观世界以及作为它的映射的软件系统中，实体的结构是相对稳定的。面向对象方法通过把属性和服务封装在“对象”中，当外部功能发生变化时，保持了对象结构的相对稳定，使改动局限于一个对象的内部，减少了改动所引起了系统波动效应。所以，按照面向对象方法开发的软件，具有易于扩充、修改和维护的特性。

(4) 面向对象方法具有的继承性和封装性支持软件复用，并易于扩充，能较好的适应复杂大系统不断发展和变化的要求。

面向对象的分析、设计方法已有很多种，我是采用 Rumbaugh 等人提出的 OMT (Object Modeling Technology) 方法来设计微机核子计量系统采集控制软件的。

## 一、面向对象需求分析

面向对象分析方法是通过各种模型来描述某个特定应用领域的对象，以及各种各样的结构关系和通信关系。OMT 方法是通过三种模型即对象模型、动态模型和功能模型来表示整个系统的。

### 1、建立对象模型

(1) 问题描述：微机核子计量系统是以工控微机为主机，配合核子秤，在

线测量输送机械传送的物料的重量。整个系统可同时监控 16 台秤体，根据从核子秤测得的称重信号和从传送电机测得的速度信号，可算出一定时间内流过的物料重量，并实时显示该重量和每条传送机械的流量曲线，还可以根据一定的控制算法，输出回控信号，通过控制电机的转速而实现控制和配比功能。

(2) 建立对象模型

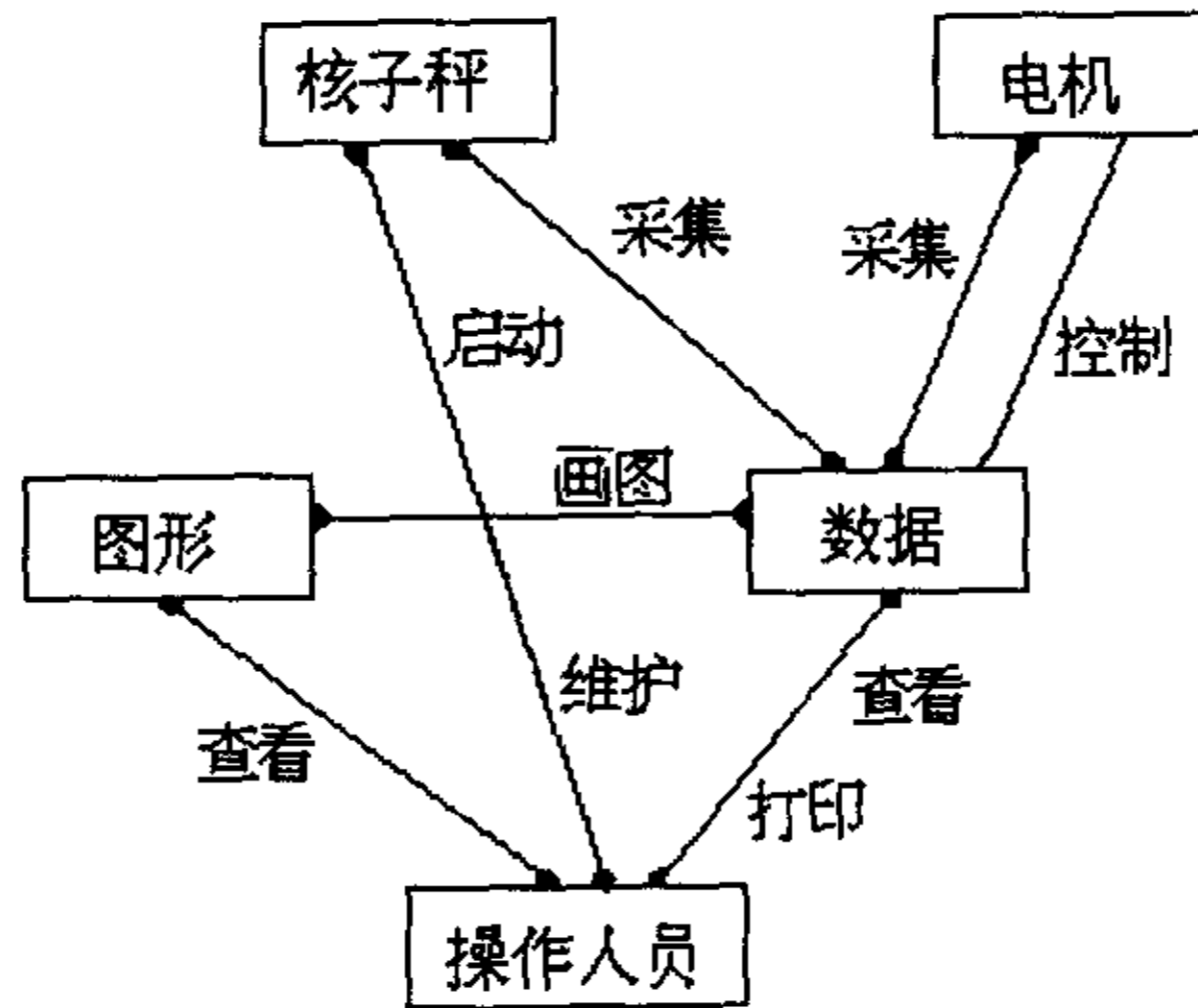


图 5-1 核子计量控制系统对象模型图

2、建立动态模型

建立动态模型就是画出主要事件轨迹图和状态转移图。

(1) 数据采集事件轨迹图

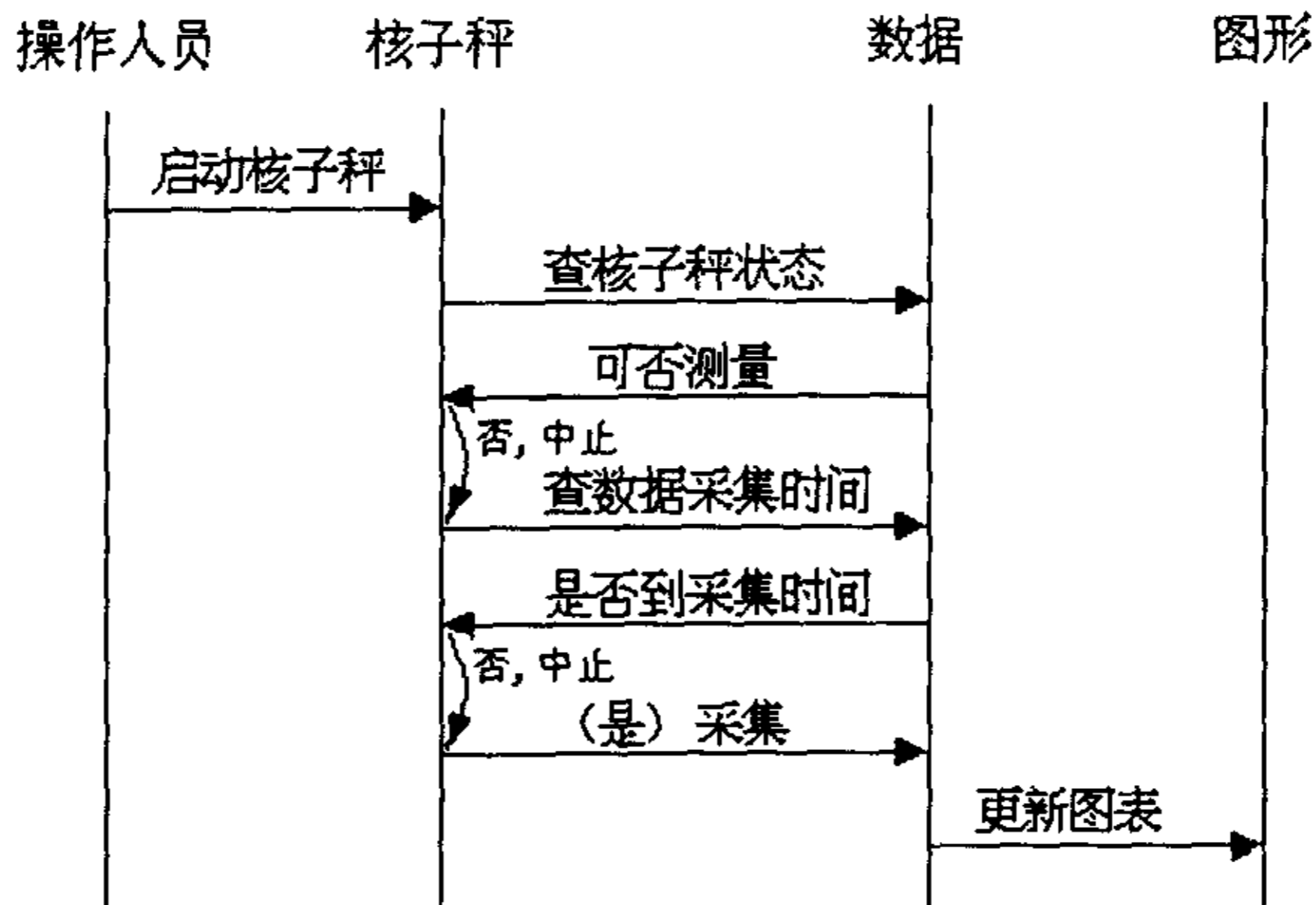


图 5-2 数据采集事件轨迹图

(2) 核子秤的状态图

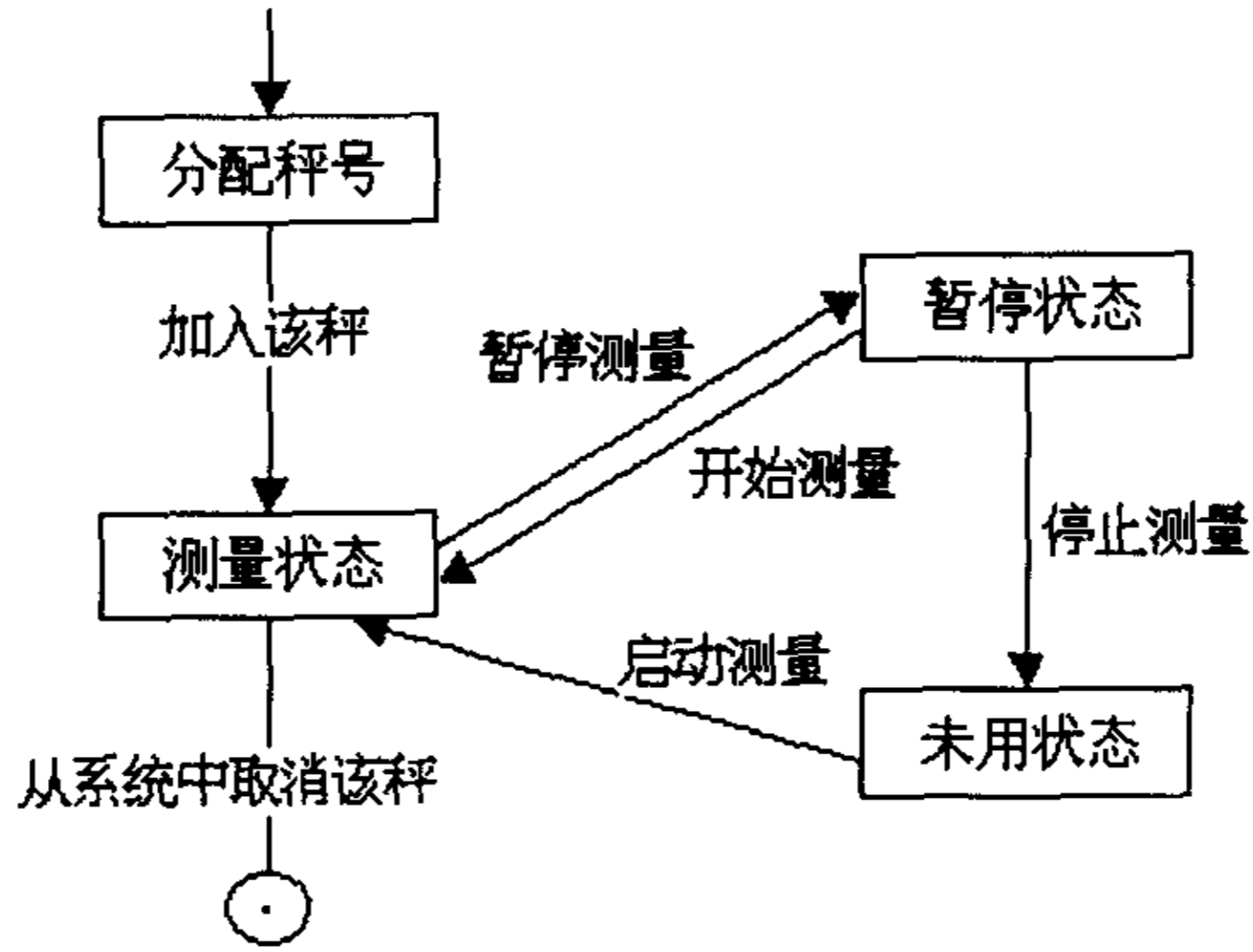


图 5-3 核子秤的状态图

3、建立功能模型

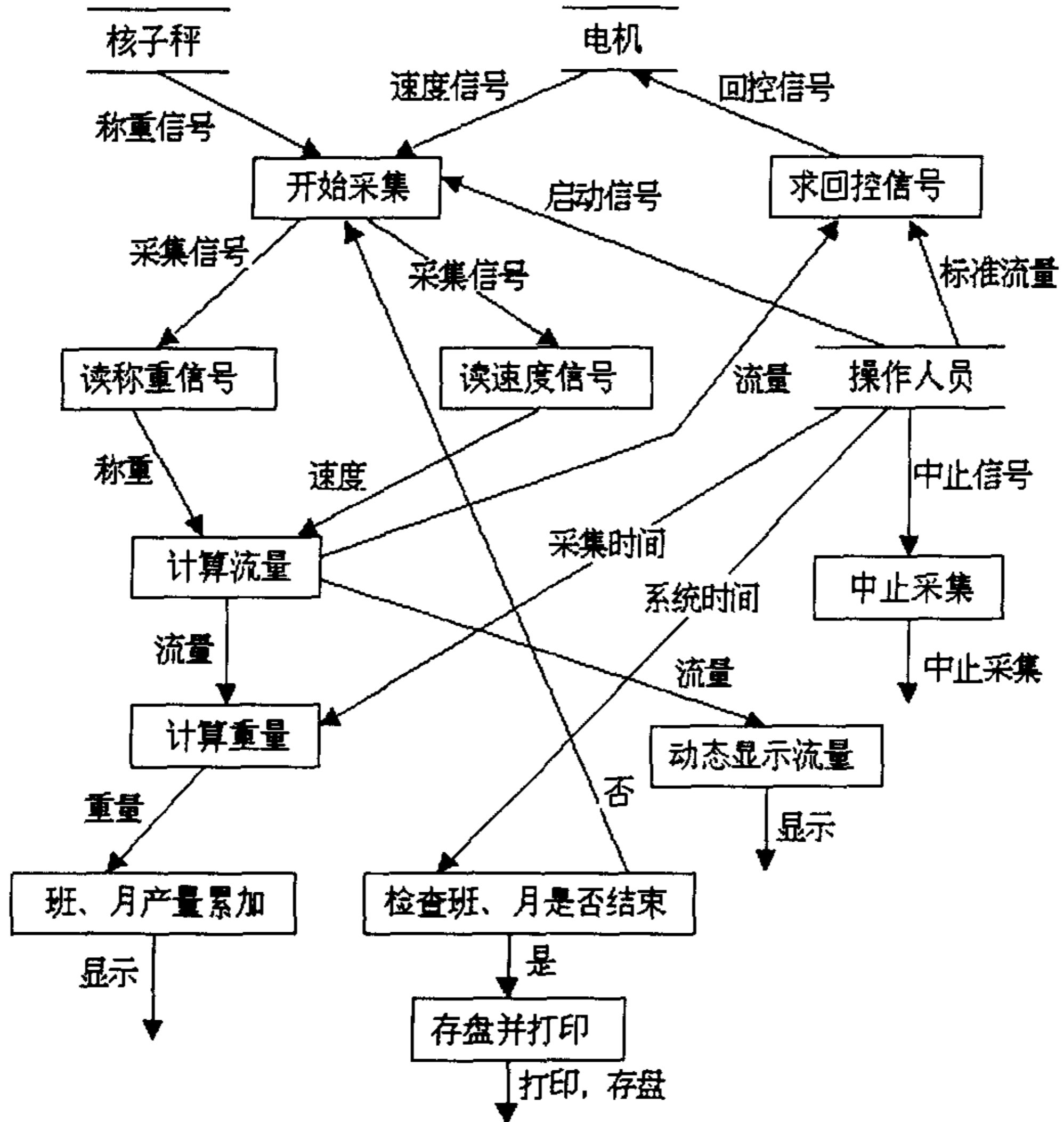


图 5-4 数据流图

## 二、面向对象设计

### 1、系统设计

整个微机核子计量控制系统可分为三个子系统：数据采集、数据处理和文件管理，如图 5-5 所示。

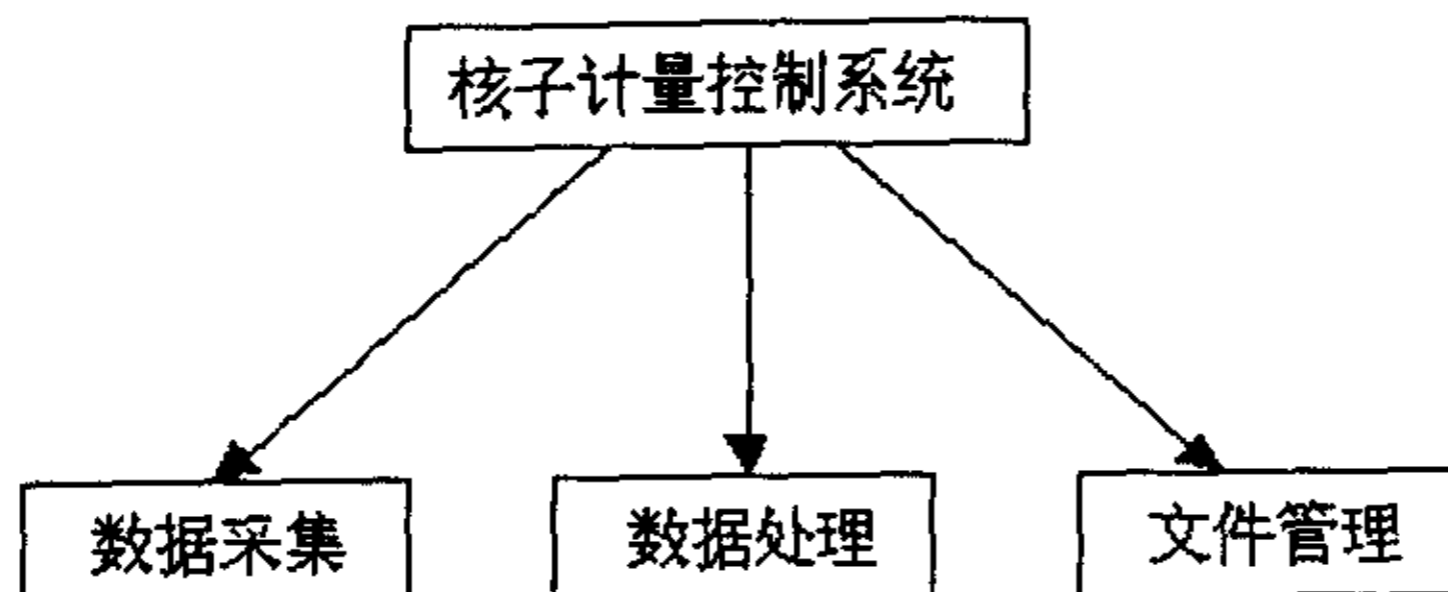


图 5-5 软件系统框图

数据采集采用中断方式，每隔一段时间开始一次采集，每次采集结束后发出中断，通知 CPU 及时把数据取走，在两次采集之间对上一次采集到的数据进行处理，并将处理结果写入文件。

面向对象设计实际上是面向对象分析的扩展，根据前面的需求分析很容易得到软件系统设计的总体模块结构图，如 5-6 所示。

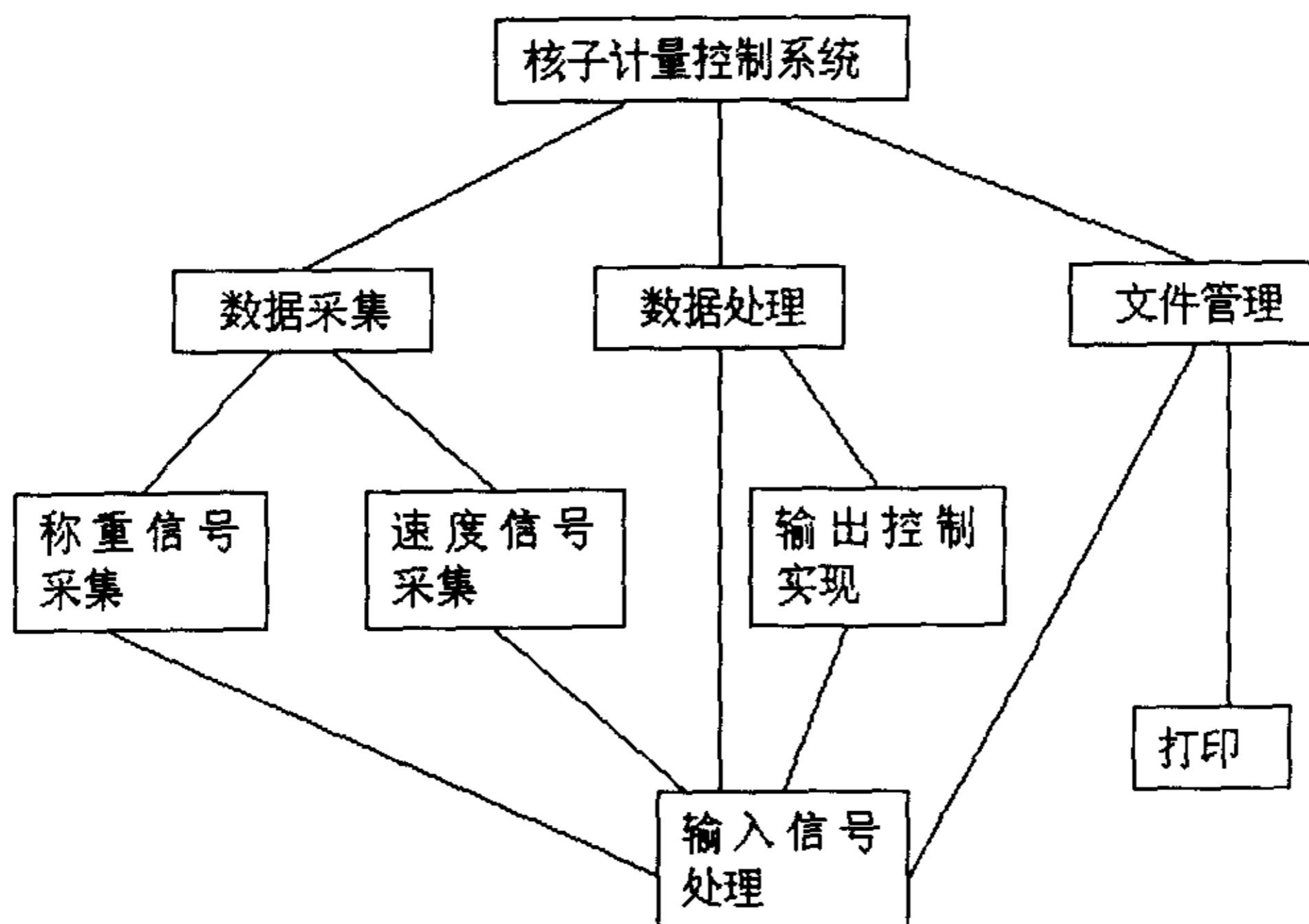


图 5-6 总体模块结构图

### 2、详细设计

总体设计确定软件的模块结构和接口描述，而详细设计则是给出软件模块结构中各个模块的内部过程描述。软件详细设计的表示形式种类很多，常用的

有流程图、伪码、IPO(Input-Process-Output)图、Warnier-Orr图、PAD(Problem Analysis Diagram)图和判定表等，它们在表示能力、结构化、可读性等方面各有优缺点，其比较如表5-2所示。

表示法 准则	流程图	伪码	IPO	W-O	PAD	判定表
易用性	优	优	中	差	良	中
逻辑表达能力	中	良	良	良	良	优
机器可读性	中	中	差	差	中	差
易转换程序代码	良	优	差	良	良	良
结构化	差	良	中	优	优	差
易修改性	差	良	中	良	差	良
数据表达能力	差	中	差	中	中	中
易验证性	差	中	中	中	中	中
使用频率	高	高	低	低	低	低

表5-2 详细设计各种表示形式对比表

从表5-2可以看出，PAD图在结构化、易用性、逻辑表达能力等方面有明显优点。下面是数据采集模块和输出控制模块的PAD图。

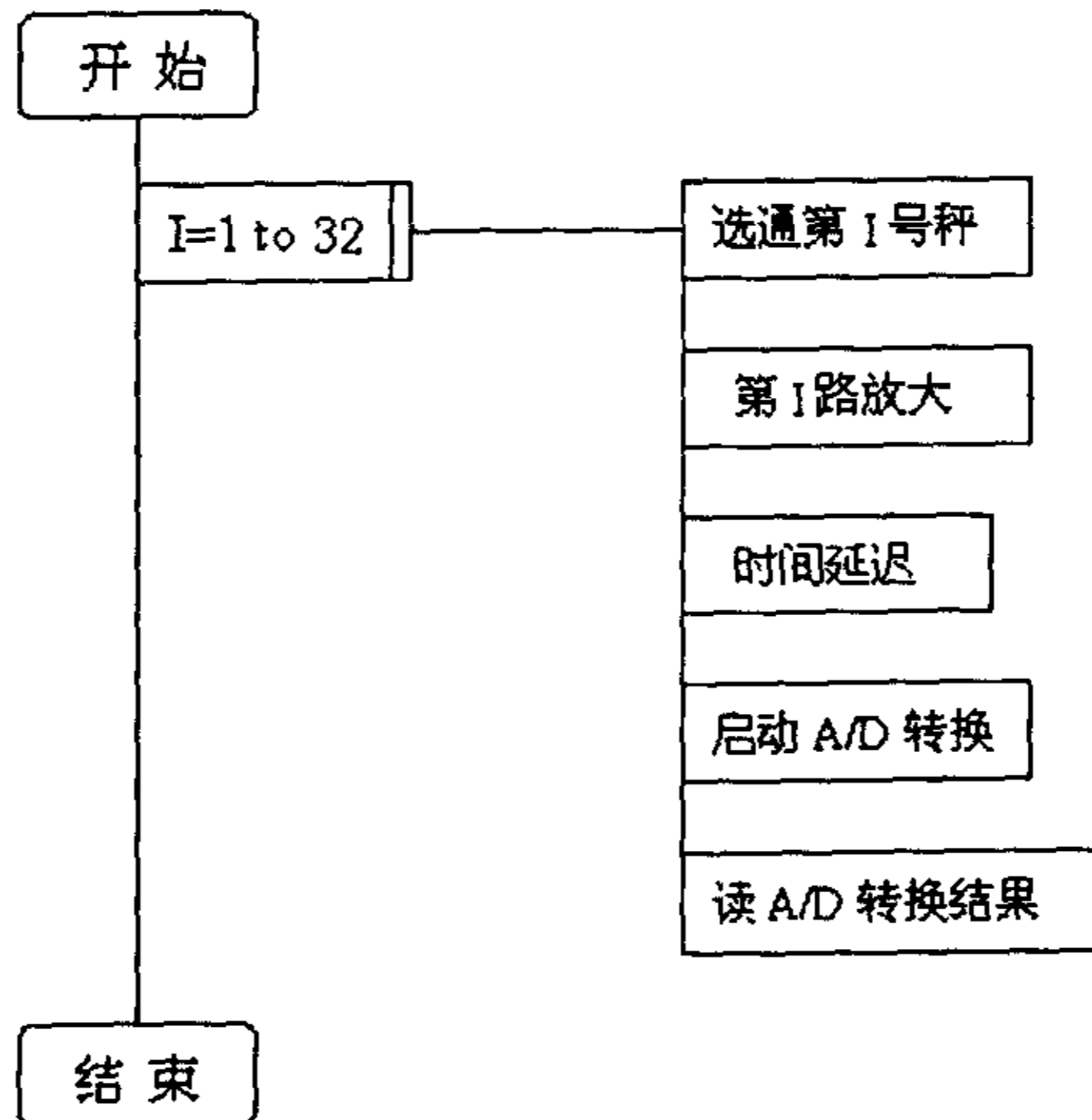


图5-7 数据采集模块 PAD图

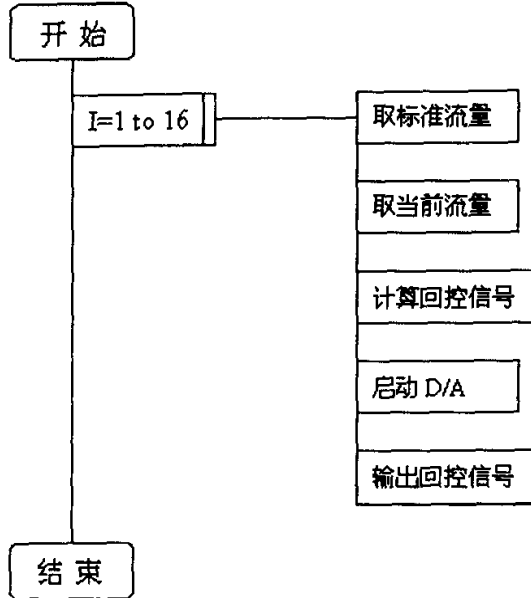


图 5-8 输出控制模块 PAD 图

### 第三节 软件的具体实现

#### 一、软件的接口

软件的功能与操作系统有着密切的关系。Windows98 是一种工作于 32 位保护模式下的多任务的 PC 机操作系统，支持强大的图形处理和计算机网络功能。它的这些特性，使得工作于 Windows98 上的数据采集软件相对于 DOS 下的软件在功能上有了很大提高，表现在：数据的图像处理能力大大提过；网络通讯功能增强，采集到的数据可以直接与数据库软件接口，也可以通过网络传输给其他计算机处理；多任务机制可以使得多种功能并行执行。

Windows98 提供了 Win32 编程接口，根据该接口规范，程序员无需了解操作系统内核就可以开发出完美的顶层应用程序，但是当程序员要对操作系统内核或者系统硬件资源编写代码时，将受到 Windows98 操作系统的 32 位保护机制的限制。微机核子计量控制系统的数据采集是通过中断来实现的，这必然涉及对系统硬件资源的操作，而 Win32 编程接口和 Visual C++ 都没有提供对中断的处理，因此，我们必须编写设备驱动程序来建立起应用程序和操作系统内核之间的桥梁。

我选用 WinDriver 编写了该系统的设备驱动程序。WinDriver 是一个很好的设备驱动程序开发工具，它使得 Windows 程序员可以象开发其它应用层程序一样来设计底层程序，程序员即使对操作系统、内核编程、DDK 和设备驱动等知

识不十分了解,也能够较短的时间内开发出基于 PCI/ISA 总线的驱动程序,而且 WinDriver 可以直接生成 C 语言代码文件,这样就可以把该文件放到 VC 编译器下同其它文件一起编译。

在微机核子计量系统中,要实现硬件操作,用户应用程序必须先调用 WinDriver 编写的驱动程序,通过驱动程序建立起操作系统内核对硬件的处理。它们之间的关系如图 5-9 所示。

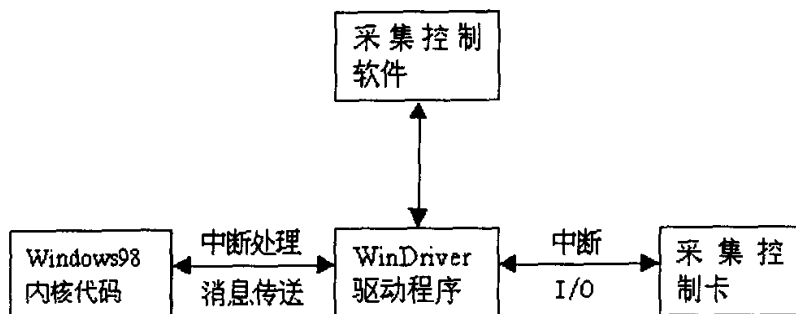


图 5-9 微机核子计量控制系统软件结构关系示意图

用 WinDriver 编写设备驱动程序大体要经过以下几个步骤:

- (1) 检测系统硬件资源,包括内存范围、寄存器、可用中断等。
- (2) 自动生成设备驱动程序框架代码。
- (3) 添加自己的代码并编译该程序。
- (4) 在用户模式下调用该程序。

## 二 软件的具体实现

由于工业现场环境比较恶劣,干扰因素很多,因此在软件设计上要结合系统的硬件,使二者协调工作,保证系统有可靠性高,抗干扰能力强的特点。工业控制系统还要求具有显示直观、操作方便、避免误操作等特点,因此我们采用面向对象的设计方法,使数据的封装性增强,模块之间的接口减少,从而增强了软件的整体性能。

由于 A/D574A 数据传输方式为中断方式,这要求软件的数据获取部分要采用中断服务子程序的形式。整个软件可分为前台和后台两部分,数据处理部分做成后台运行,便于实时控制,而前台则实现参数输入、实时监控、数据打印等功能。软件主界面如图 5-10 所示。

该界面除了显示主菜单外,还实时监测称重信号、速度信号、回控信号、流量和速度,并显示系统时间、秤号、秤体状态、物料名称、班产量和累计量。微机核子计量控制系统工作时,可用此界面来监视整个系统的工作情况。



秤号	状态	物料名称	秤重信号	速度信号	空秤信号	重量	速度	好产量	累计量
1	定量	煤	0	0	0	0	0	0	0
2	定量	黄土	0	0	0	0	0	0	0
3	定量	萤石粉	0	0	0	0	0	0	0
4	定量	石灰石	0	0	0	0	0	0	0
5	定比	煤	0	0	0	0	0	0	0
6	下秤	黄土	0	0	0	0	0	0	0
7			0	0	0	0	0	0	0
8			0	0	0	0	0	0	0
9			0	0	0	0	0	0	0
10			0	0	0	0	0	0	0
11			0	0	0	0	0	0	0
12			0	0	0	0	0	0	0
13			0	0	0	0	0	0	0
14			0	0	0	0	0	0	0
15			0	0	0	0	0	0	0
16			0	0	0	0	0	0	0

图 5-10 微机核子计量控制系统主界面

下面简要介绍一下各菜单所实现的功能。

1. 系统设定

包括系统公用参数的设定、各秤体使用状态和秤体对应物料名称设定以及设总产量等功能。

(1) 设定公用参数 如图 5-11 所示。该系统可以同时检测控制 16 台秤体，但用户往往用到的秤体数往往小余 16，主界面显示实际设定的秤体数量。当系统用作定比控制时，必须以某一台秤为基准，该秤便为主导秤。另外，用户可

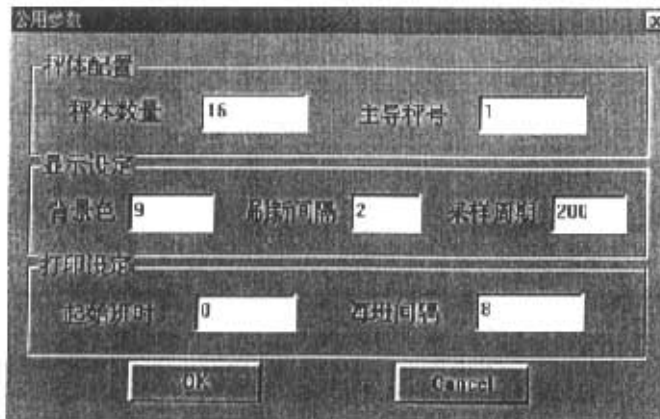


图 5-11 设定公用参数

以根据自己的喜好或现场实际情况来设定背景色、刷新闻隔、采样周期、起始班时和每班间隔。

(2) 秤体设定 在微机核子计量控制系统中, 每台秤都可以用作计量、定值控制和定比控制, 在此处设定每台秤的使用状态以及每台秤测量的物料的名称。(见图 5-12)



图 5-12 秤体设定

(3) 设总产量 设定总台时产量。

## 2. 参数修改

包括修改计量参数和配比参数。因为参数的改变将影响系统的运行, 所以在此处设立密码, 只有输入正确的口令, 才能获得修改的权限。

(1) 修改计量参数 如图 5-13 所示。各参数含义如下:

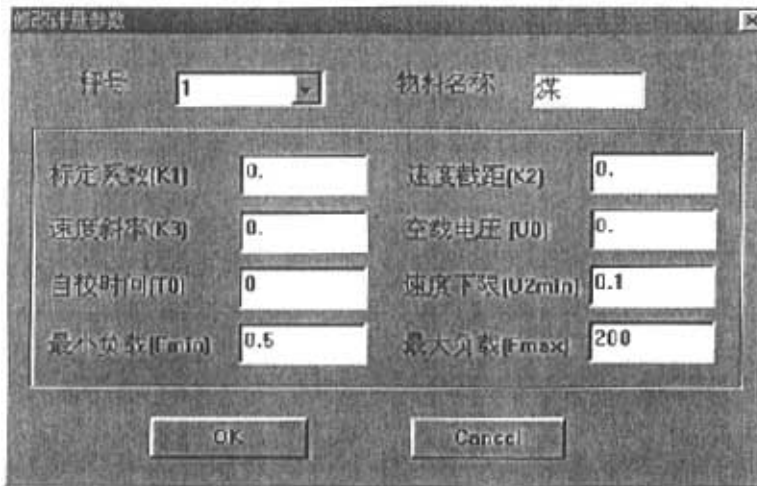


图 5-13 修改计量参数

**标定系数 (K1):** 物料吸收系数, 需要用实际物料来进行标定。

**速度截距 (K2):** 测速发电机输出电压和输送机速度成正比, K2 是速度截距, 一般取零。

速度斜率 (K3): 测速发电机输出电压和输送机速度成正比, K3 就是比例系数。

空载电压 (U0): 输送机在没有物料时电离室前置放大器的输出电压。

自校时间 (T0): 校正 U0 或标定速度时的检验时间默认值。

速度下限 (U2min): 测速下限电压, 速度电压小于 U2min 时判定输送机为停止状态。

最小负载 (Fmin): 当输送机负载小于 Fmin 时微机判定为空料, 并在界面上显示空载状态。

最大负载 (Fmax): 当输送机负载大于 Fmax 时微机判定为超载, 并在界面上显示超载状态。

(2) 修改配比参数 见图 5-14, 各参数含义如下:

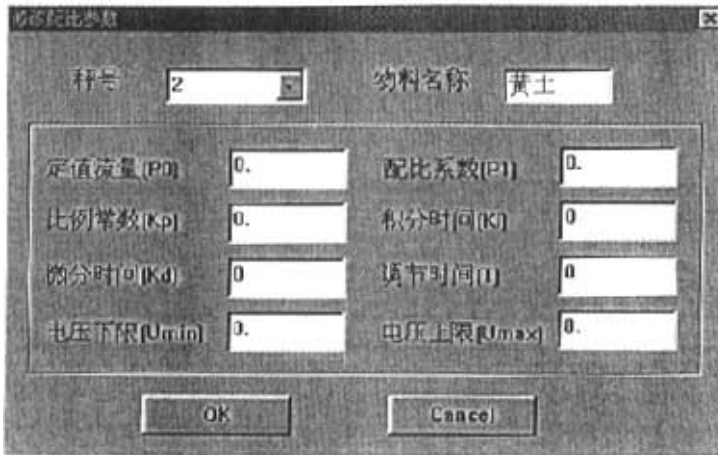


图 5-14 修改配比参数

定值流量 (P0): 即流量给定值, 微机核子计量控制系统自动控制输送机给料, 保证实际流量等于 P0, 定值方式时有效。

配比系数 (P1): 微机核子计量控制系统可以实现不同物料之间的配比, P1 为各物料含量的百分比。

比例常数 (Kp): PID 调节比例系数。

积分时间 (Ti): PID 调节积分时间常数。

微分时间 (Kd): PID 调节微分时间常数。

调节时间 (T): PID 调节周期, 通常为 1 秒。

电压下限 (Umin): 即控制电压下限。

电压上限 (Umax): 即控制电压上限。

### 3. 校验标定

(2) 校验 U0 见图 5-15, 界面上实时显示最近时间内的六次采样电压, 信号电压 6 为最近时间, 以此往前类推, 并显示剩余校正时间和当前均值电压。



图 5-15 校验 U0

(2) 校验速度 同校验 U0 类似，在主界面上实时显示采样得到的实时电压、校正时间和均值电压。(见图 5-16)

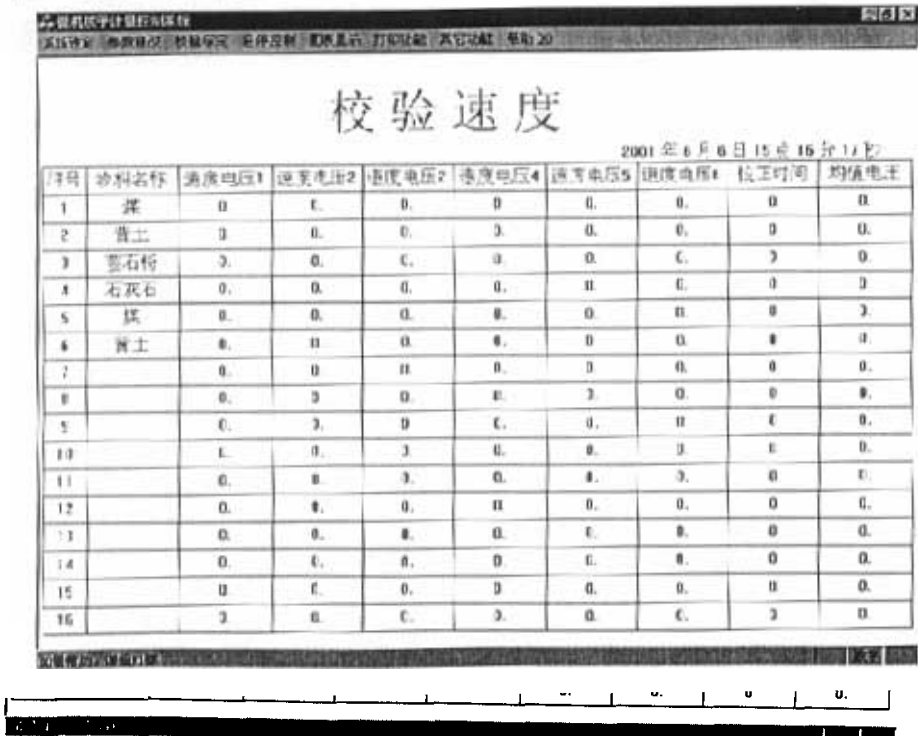


图 5-16 检验速度

4. 启停控制 在这里控制系统的启动或停止。

#### 5. 图表显示

(1) 信号监测表 系统启动后自动进入该表, 用来监测系统运行状态, 如前面图 5-10 所示。

(2) 动态显示流量 该图可以动态显示任一秤体的流量, 如图 5-17 所示。横坐标为时间, 纵坐标为流量, 图中实线为标准流量, 实线上面的虚线为超载线, 下面的虚线为欠载线, 因此通过该图可以看到流量随时间的变化情况, 并清楚地显示超载或欠载情况。

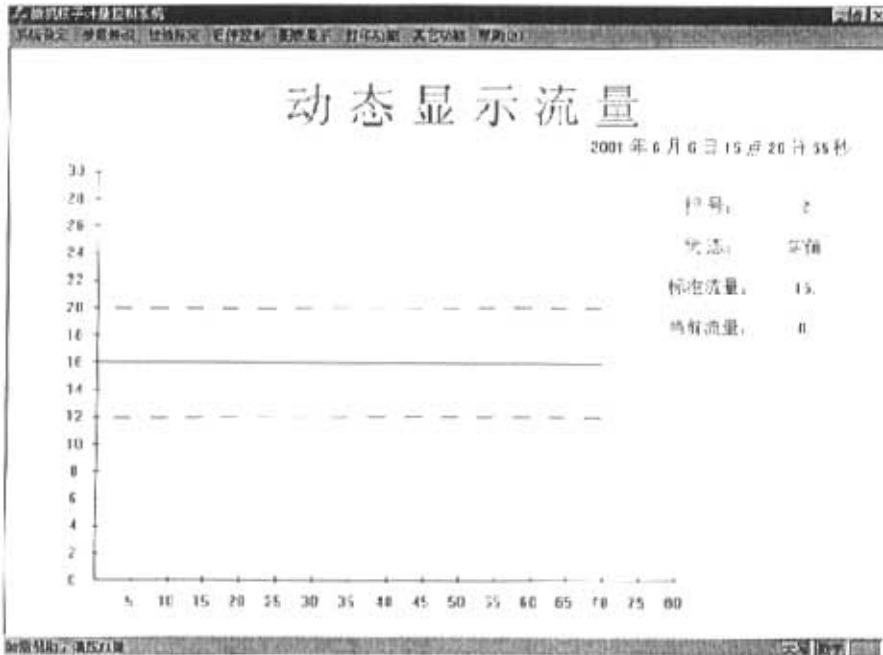


图 5-17 动态显示流量

#### 6. 打印功能

该软件可以打印多种图表。

(1) 打印产量 选择该项可以打印一张产量统计表, 包括各种的班产量、月产量、年产量、累计量以及运行时间等。

(2) 打印参数 系统的各种参数一旦确定, 一般不会轻易改变。因此当校验标定结束后, 最好将各种参数打印留底, 这样当系统出现故障或者工作人员不小心改动了参数, 就可以很容易的恢复各参数, 而不必要重新标定。在此处可以打印系统设定的各种计量参数和配比参数。

(3) 打印信号 可以打印各台秤的称重信号、回控信号和流量等信号量, 当系统出现故障时, 便于分析问题, 也方便了客户和核子秤研究人员的交流, 核子秤设计者可以不必亲到现场就可能根据提供的数据找出问题的所在。

另外，该软件还设计了打印预览和打印设置等功能。

#### 7. 其它功能

(1) 清累计量 用户可以根据需要，在适当的时候清除各种的累计量。

(2) 单独清零 用户可能有时候只想清除某一台或几台秤的累计量和班产量，因此我们设计了单独清零，可以对任一秤进行清零。如图 5-18 所示。

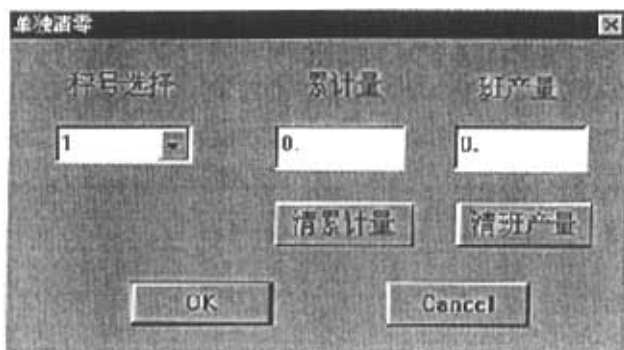


图 5-18 单独清零

8. 帮助 在此处用户可以查看该系统的各种关于安装、校验和维护等的各种信息。

## 第六章 发展动向展望

本论文对核子秤系统的硬件电路、控制算法以及软件系统进行了较大地改进,但仍然存在很多不足。而且随着微型计算机、集成电路、网络以及软件开发工具地不断发展,核子秤系统也将不断地改进。通过本论文的完成,我对国内外核子秤系统的现状有了较为深刻的认识,同时对核子秤系统的后续工作和今后的发展动向产生了一些想法。在本章将这些想法表述出来,希望对以后的研究者有所帮助。

### 一. 进一步提高精度

目前,校正后的核子秤精度可以达到 0.5%甚至更高,但是当环境或者物料改变时,核子秤将会出现较大误差。因此核子秤的应用还主要是局限对计量精度要求不太高的场合。核子秤的精度严重制约了它的应用范围,它一直是开发者和使用者最为关心的焦点。以后可以从以下两个方面进行研究:

1. 对各种误差源进行理论研究 影响核子秤系统精度的主要因素有:放射源的衰减、物料的水分含量、化学成分、物料在运输带上的截面形状、物料的粒度等。在理论上对各种因素对系统精度的影响程度进行研究,一旦有了理论上的计算,我们就可以发挥微机计算能力强的优势,采用相应的补偿算法,从而提高核子秤的精度。

2. 进一步改进系统各个环节 核辐射探测器、速度传感器、前置放大电路、采集控制电路以及计算机内的数据处理对系统的精度都有影响,可以对系统各部分作进一步地改进。

### 二. 发展低辐射的核子秤

目前核子秤系统还主要是用来测量对射线吸收较强的高密度物质,如煤、石灰石等。而对于一些低密度物质(如烟丝),由于这些物质对射线吸收较少,射线穿过它们后强度衰减较少,因此射线穿过物料前后探测器的输出信号变化较小,甚至没有变化,从而使得系统很难达到计量精度要求。

对于低密度物质的测量,采用低强度的放射源,再配以高灵敏度的核辐射探测器,就能够对物质进行较好的计量。发展低辐射小剂量的核子秤系统的关键是放射源和探测器的选择以及前置放大电路对信号的处理。放射源的剂量和活度一定要小,而且半衰期要比较长,这样才能得到强度比较小且长期稳定的射线,这是对低密度物质进行计量的关键。由于射线强度比较小,这就要求探测器要有很高的灵敏度,而且探测器的均匀性也要比较好。射线强度小导致探测器输出信号较小,这就加大了后续电路对信号进行处理的难度。因此前置放大和主放大电路

的设计也很关键。

另外，发展低辐射小剂量的核子秤系统，可以减少核辐射对工作人员的伤害，有利于核子秤的推广。

### 三. 发展网络核子秤

近几年网络发展迅速，并开始渗透到各个领域，很多企业都建立了局域网。未来的核子秤系统不仅仅是计量和控制的工具，它必然要建立在网络之上，成为企业目标管理的一部分。

发展网络核子秤的关键是开发真正建立在网络上的核子秤软件系统。它是局域网中的一部分，遵守统一的网络协议。



# 附 录

## 参考文献

- [1] 王炳元 主编 《核探测微机称重技术》 原子能出版社 1996
- [2] 王玉 《核子计量与配料系统中模糊控制的应用研究》 中国科学技术大学硕士学位论文 1999
- [3] 刘懋洲 《HC KD-418XVI 型微机核子秤配料系统》 中国科学技术大学硕士学位论文 1994
- [4] 虞孝麒 主编 《核电子学方法》 中国科学技术大学出版社 1996
- [5] 董渭清 王换招 《高档微机接口技术及应用》 西安交通大学出版社 1995
- [6] 王俊省 主编 《微计算机检测技术及应用》 电子工业出版社 1996
- [7] 王秀玲 编 《微型计算机 A/D D/A 转换接口技术及数据采集系统设计》 清华大学出版社 1984
- [8] 周永钊 张雷 陈铭等 《通用逻辑阵列 GAL》 中国科学技术大学出版社 1992
- [9] Maxim Inc. 《Maxim integrated Products》 2000
- [10] Analog Device Inc. 《Amplifier Reference Manual》 2000
- [11] 程凡等 编著 《Protel 98 for Windows 电路设计应用指南》 人民邮电出版社 1999
- [12] 戴梅萼 主编 《微型计算机技术及应用》 清华大学出版社 1991
- [13] 刘松强 编著 《数字信号处理系统及其应用》 清华大学出版社 1996
- [14] 王立福 张世琨 朱冰 编著 《软件工程》 北京大学出版社 1997
- [15] 汤庸 编著 《结构化与面向对象软件方法》 科学出版社 1998
- [16] 尹彦芝 《C 语言常用算法与子程序》 清华大学出版社 1993
- [17] David J. Kruglinsk, Scot Wingo, George Shepherd 《Programming Visual C++ 6.0》 Microsoft Press 2000
- [18] 曹柱中 徐薇莉 编 《自动控制理论与设计》 上海交通大学出版社 1995
- [19] 黄一夫 主编 《微型计算机控制技术》 机械工业出版社 1996
- [20] 张晋格 主编 《计算机控制原理与应用》 电子工业出版社 1995

## 主要发表文章

1. 冀延庆, 张永明, 杜先彬, 吴瑞生, 刘士兴, 《微机核子计量系统多路信号采集/控制卡研制》, 核电子学与探测技术, 2001. 5;
2. 冀延庆, 张永明, 《新型微机核子秤软件系统设计》, 待发表;
3. 冀延庆, 张永明, 《异步 FSK 无线数据通信接口的研制》, 通信技术, 已送审;
4. 刘士兴, 张永明, 杜先彬, 吴瑞生, 冀延庆, 《高灵敏低源强微机核子秤的研制》, 核电子学与探测技术, 已接受。