

东北大学

---

硕士学位论文

---

套筒窑原料混配自动称量的微机控制与实现

---

姓名：徐连君

---

申请学位级别：硕士

---

专业：机械制造及其自动化

---

指导教师：高航;冯建设

---

2002. 3. 1

## 套筒窑原料混配自动称量的微机控制与实现

## 中文摘要

在冶金石灰生产中，应用微机控制技术是提高产量和质量的最佳选择。针对首钢第二耐火材料厂的实际需要，设计和实现了原料配料微机监控系统。本文详细地介绍了系统的总体方案、硬件组成、控制运算、软件设计以及安装与调试的全过程。系统采用前、后台机可独立完成控制任务。系统控制采用输入总给定和手动两种方式。

（本系统投入生产中的意义较大。不但使原料配比准确，从而提高了产品的质量，而且还使我厂的管理水平有了一个很大的飞跃，使全厂的职工在管理现代化的理念上有了一个很大的提高。

本系统所采用的硬件不需要很高级，但完全能满足该系统的控制需要，以为控制系统投入成本不大，随着软硬件的更新，本系统将还会采用一些功能更全，性能更优良的硬件设备作控制。

关键词： 石灰，配料，微机，控制，前台机，后台机

The Microcomputer Control and Realization of Lime Row Material  
Burden Metaged Automatically

## Abstract

In the process of lime production, to apply microcomputer control technology is the best choice rising output and quality. On basic of the practical needs of the second refractory plant of Shougang group, we have designed that the microcomputer monitor and controlling system for raw material burden. This paper introduced that the overall plan of the component of hardware .the algorithm of control, the designation of software .the whole process of installation and debugging, in detail .the system adopted running way of a stage computer and a backstage computer .The stage computer accomplishes controlling. The backstage computer accomplishes monitor and management for the stage computer. They adopted full duplex serial asynchronous communication. While the backstage computer quitted, the stage computer can execute controlling task. The system has two ways for controlling, one is to input total quantity ,another is for hand controlling.

Keywords: lime burden, microcomputer control, stage computer, backstage computer

# 第一章 绪论

## 1.1 课题的来源及研究的目的和意义

我厂为首钢冶金石灰的生产基地，现有 5 座竖窑，日产 1000 吨，该种竖窑由于建立时间较早，其上料采用传统的时间继电器控制方式。单斗上料的全过程靠工人紧密地监督与控制，并且对单斗上料的情况既没有统计又没有显示，由于工人的责任心的状况不同，到了中夜班有时发生各种石灰石配比不准或者是上料间隔不对的问题，因而使得产品的质量经常发生波动，不是生烧就是过烧，从而影响钢水脱硫、脱磷的效果。我厂目前在解决这个问题上仍没有太好的办法，在分析会上经常出现领导与岗位工人互相扯皮的现象，既不便于管理，又给钢厂正常造成影响。为了对上料的各种数据有一个客观的显示，最大限度地排除人为因素，即建立了一套上料的自动控制系统，对上料的数据进行存储，同时对反馈而来的信号进行自动调整，使得整个上料系统均衡稳定地工作，并且提高了自动化程度，大大减少了岗位工人的劳动强度，同时产品质量也得到良好的控制而趋于稳定。我厂的石灰套筒窑工程主体技术引自德国的贝肯巴赫公司，在这项工程上将采用本文所介绍 *CRT* 显示前后台机控制<sup>[1]</sup>方式彻底改变我厂现有的模拟盘操作方式，同时对每班、日的上料有显示，有存储，便于分析产品的质量状况，同时依据热值分析仪的数据反馈信号给前台机，进而控制煤气烧嘴的电动执行机构，调节煤气的供应量，从而最终保证产品的质量<sup>[4]</sup>。

为了完成该项工程的自动控制的设计方案，成立了以首钢设计院、计控公司、二耐火厂为主的攻关小组，先后对国内相关的单位，例如马钢、梅钢、宝钢等，进行了调研与考察，然后提出了设计要求。我厂的主要要求是技术先进、功能齐全、成本适中，并能完成一定的日常管理工作。从收集到的资料与调研情况来看，现有类似项目的控制系统不能满足我厂的需要。所以正是基于这一点，我们提出研制不同于一般的分布式控制的一种新的系统，新系统引进上下位机（前，后台机）技术，前台机主要负责控制任务，后台机用于管理，监视前台机，二者分工协作有机结合在一起。在后台机退出系统时，前台机能独立完成控制任务。

该系统于 2001 年 9 月 31 日正式投入运行，实际效果较理想，本论文从系统的总体方案、硬件组成、控制算法、软件设计及实现安装调试等方面进行了论述。

## 1.2 冶金石灰生产过程及其技术发展综述

对于冶金石灰的生产除了原料开采外主要可以划分为原料混配、原料煅烧和成品生成三个阶段。原料的混配是石灰生产的基础，也是石灰生产的关键环节，其生产控制的优劣直接影响着石灰的产量与质量，但原料的配制工作靠人工不易控制，所以要进行微机控制。冶金石灰就是化学上所称的氧化钙，在水中吸水硬化，它在炼钢工艺中的作用是脱硫、脱磷、造渣。石灰按工艺流程可分为原料开采、生料制备、煅烧、石灰烧成等阶段。我厂的原料主要有首钢密云石矿、河北三河白云石矿、首钢鲁家山矿，粒度为 40-80 毫米。原料的开采主要由供应方完成，在煅烧时还要配上千分之三的氯化钠，由于来自各矿的矿石不同，并且每期的矿石的成分也会有一定的差别，因此只有在化验的基础上把以上的原料按适当的配比混匀后，才可煅烧出合格的优质冶金石灰。原料的制备主要是通过把各种物料按照科学的配比较配在一起，用单斗提升机送入窑内进行煅烧。煅烧阶段是原料进入窑之后在循环热风的作用下，进行高温分解而得到石灰。

目前国内生产石灰的设备主要有竖窑、麦尔兹窑、套筒窑<sup>[4]</sup>。竖窑在煅烧过程中易发生过烧，生烧的现象；麦而兹窑因为是双炉膛超作易造成不均衡，故障较多；套筒窑是近三年以来发展起来的一种节能，环保，高效的石灰生产窑。在首钢的科技创新前提下，我厂决定建一座套筒窑逐渐淘汰我厂现正在使用的竖窑，使我厂真正成为首钢的石灰生产基地。石灰的生产工艺过程如图 1.1。

冶金石灰的生产，就是根据各种原料的化学成分，按一定的比例配合，经煅烧后得到各种化学元素合理搭配的高质量的石灰的过程。生料配料就是这一经无数次试验的所确定的科学配比，因此必须注重生料配料，否则生产高质量的石灰将是不现实的。影响生料配料的因素很多，但可归纳为两大类。(1)生产条件方面的因素。主要包括生产石灰所使用原料的性质（如组成结构及其它物理性质）、生产所用的设备（如煅烧设备）等。这类因素对于特定工厂来说，一般情况下是难以改变的；(2)生产控制方面的因素。一是石灰的生料的制备及转炉煤气的质量，如生料粒度、均化程度及燃料的发热量和灰分等；二是生料的矿物组成；三是食盐的纯度及粒度情况。这类因素既是生产技术问题，又是管理问题，在生产过程中任何工厂都可以加以控制和改变，应用微机控制技术就是一个很好的改善途径，本系统的应用就已经得到了很好的证实，它既使我厂在很大程度上提高了生产技术水平，又取得了良好的经济效益。原料的混配过程其实质就是控制氧化钙、氧化镁的含量与细度来实现的。为了提高石灰的质量，原料的成分需稳定，原料合

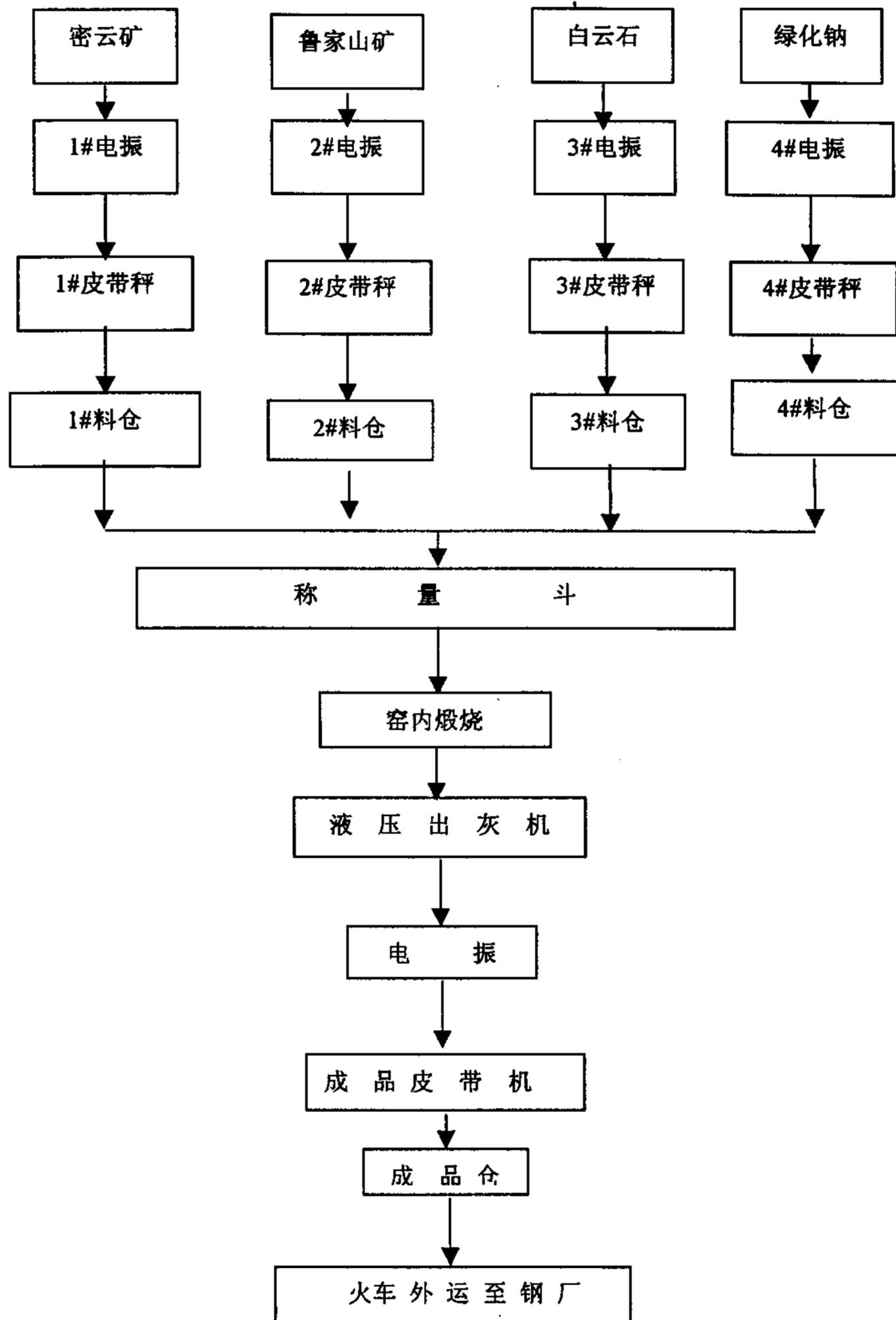


图 1.1 套筒窑的生产工艺流程

Fig.1.1 Production technics flow chart of lime Kiln

格率要高。生料配料的各组分包括：

- (1) 密云石灰石，是石灰中氧化钙的主要来源，用量最高在配料中约占 50%。
- (2) 鲁家山矿石，也是石灰中氧化钙的主要来源，占配料的 25%。
- (3) 三河白云石，是石灰中氧化镁的主要来源，约占配料的 25%。
- (4) 辅助原料 (NaCl)，占配料总量的千分之三，其主要功能是提高石灰的活性。

在生产控制中，各个原料独自成仓，料仓的个数由实际生产决定。另外，燃料在本系统中虽未直接参与配料，但也根据热值分析仪反馈回来的结果，通过电动执行机构调节喷嘴的进气阀门。我厂每班对成品灰进行取样，分析其化学成分，其结果作为修正配比和给料量的依据，这样周而复始的工作。各下料量的精确度直接影响成品灰的化学成分，因此进行微机配料系统设计时，必须对他们进行整体考虑。

### 1.3 连续物料自动称量技术及其发展现状分析

工业窑炉的自动化称量技术开始于 70 年代，在西方国家里体现的较明显，德国的 BALTHARP ET COTTE 公司就是 70 年代实现自动化称量的。称量自动化技术的实现大大减轻了岗位工人的作业强度，并使各项管理工作有据可循，从而使各大公司大量裁员，而产品的质量却趋向于逐步提高。寻根溯源自动称量技术的发展经历了以下三个阶段：

第一阶段，从有人看管到无人看管的转变。这个阶段是自动化称量的本质阶段，这个技术发展的结果是大大减轻了岗位工人的劳动强度，取消夜班及周末岗位，使得公司所需人力大减。但该阶段仍存在安全可靠的问题，因为这个阶段各种控制元件还比较落后，经常发生控制失灵，因此该阶段的控制从根本上说还离不开人的控制。

第二阶段，完善与补充阶段。有了自动控制这个良好的发展方向，人们当然不会放弃对它的追求。在这个阶段里人们对经常发生的故障进行分析与统计，研制出了许多新型的传感器，进一步简化了控制盘的线路。在这个阶段各个公司也都制定了培训计划，提高员工的自动化专业水平。

第三阶段，用普遍采用的工控机代替了模拟盘。该阶段的发展是在计算机普及的基础上才飞速发展的。计算机对数据的快速反应与处理，对所存储的数据及时打印出来，根据数据进行分析调整控制方案，这个阶段的技术成果正被我们今

天广为采用。

## 1.4 本论文研究的主要内容

正如标题所表达的情况,我厂在经历了将近 30 年的粗放式的配料、称量管理,发展到今天这套称量管理方式,已不再适应当今竞争日益激烈的市场要求。冶金行业的发展在全国乃至全世界范围内呈一个逐步下降的态势,那么冶金石灰作为炼钢工艺的附属品,市场对其需求越来越少,其发展也肯定在走下坡路,在这种情形之下,首钢内部的三个石灰生产厂也展开了激烈的竞争。在这种背景下,我厂引进了德国成熟的冶金石灰生产工艺技术,在配料控制方面完全由各种控制硬件完成,达到计量准确、可靠性高、始终如一,从而真正排除了人为的因素,使冶金石灰的质量趋于稳定。

在冶金石灰的整个生产过程中,有两个关键点,一个是配料;一个是煅烧控制。料配的好坏直接影响产品的成分比例,有些时候配料成分差异较大时,会造成原料粒级失衡,从而也会造成产品出现溜块或生烧、过烧。煅烧是石灰高温分解的关键一步,该工艺步骤的核心技术是控制燃烧室的温度范围,关于煅烧的温度控制情况在本文不作重点介绍。

本论文研究的另一个重点内容是如何解决物料称量中的数据存储问题,该问题的解决使我厂对白灰窑配料的管理提高了一大步,前面一直说的尽最大可能减少人为因素,主要指的就是这一点。那么这些问题是靠什么解决的呢?这是一个软件支持问题,这些问题的解决都是通过合理设计软件来实现的,同时硬件的设计是软件设计的基础。把二者很好地结合起来,就可以达到本论文的所提目标。

综上所述,本论文要研究的主要内容是物料混配的自动称量与物料称量数据的累加、存储与打印的管理工作。

## 第二章 套筒窑自动称量系统的总体设计<sup>[2]</sup>

### 2.1 原料系统生产工艺流程及其主要设备的作用

在连续微机配料系统中，执行器为电磁振动给料机，用以控制下料多少，物料下入皮带秤进行测量。

#### 2.1.1 电磁振动给料机

在石灰生产工艺中，该设备用于将料仓中的物料通过振动从漏斗定量均匀连续地送到受料装置中，下料多少由振幅值决定，而振幅由外部供给电流大小决定。电流越大振幅越大，反之振幅就小，本系统采用 DZ 系列电磁振动给料机。其结构简图如图 2.1 所示

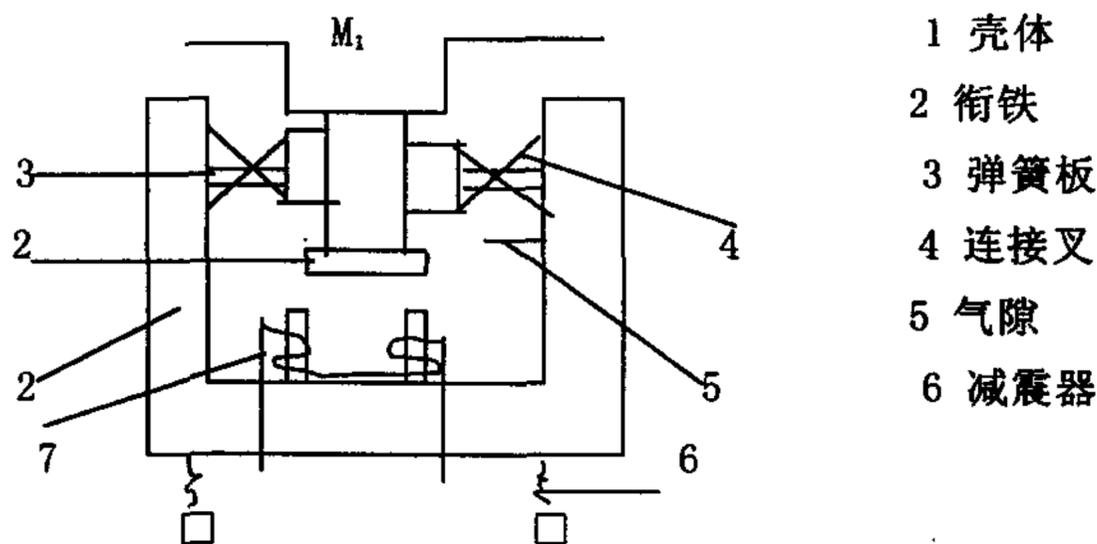


图 2.1 DZ 系列磁振机结构简图

Fig.2.1 The structure sketch map of DZ series magnetic vibration machine

图 2.1 是一个双质点强迫振动的弹性系统。质点  $M_1$  由料槽、联叉、衔铁和料槽中物料的 10%-20% 等质量组成；质点  $M_2$  由震动器，壳体，铁心，和线圈组成。 $M_1$ 、 $M_2$  这两个质点用一束弹簧板连在一起，形成一个双质点定向弹性系统。根据机械振动的频谱原理，将给料机自振动频率  $\omega_0$  调整到与电磁铁振动的频率  $\omega$  相近，使其比值  $z = \omega_0 / \omega = 0.85 \sim 0.7$  而处于低临界近共振的工作状态下。

给料机电磁振动器的电磁线圈是由单项交流电源经整流后供给脉冲电流的(如图 2.2)。当线圈流过正半波电流时,就产生脉冲电磁力而吸引衔铁,与衔铁连接的弹簧板受力弯曲后就带动联接叉和料槽向线圈方向运动。在负半波时,线圈没有电流通过,弹簧恢复原来位置,使衔铁和料槽离开线圈向相反方向运动。料槽就这样在脉冲电磁力的作用下,以交流电源的频率往复运动(交流电源电压位 220 伏,频率为 50HZ)。我们可通过可控硅来控制供给电振机电流的大小。

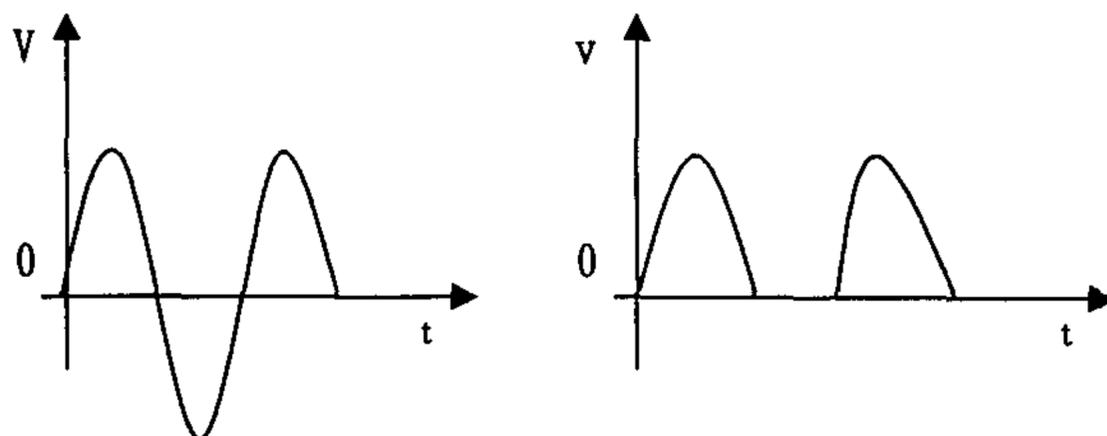


图 2.2 交流电源整流前后的波形

Fig.2.2 Rectified wave of alternating current

### 2.1.2 电子皮带秤与荷重传感器

#### (1) 电子皮带秤<sup>[17]</sup>

电子皮带秤是一种连续称量的装置,它一方面能传输固体散装物料,如煤炭、粘土、矿石和粮食等;另一方面边输送边称量。它不但称出某瞬间所输送物料的重量,还可以称出某段时间内输送物料的总和。电子皮带秤可分为单托辊、多托辊、悬臂式和整机式四种,本系统采用的是悬臂式皮带秤,它是主要测控对象。其结构如图 2.3 所示。

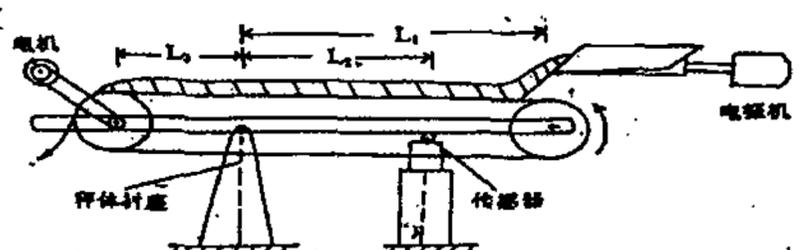


图 2.3 悬臂式皮带秤受力示意图

Fig.2.3 The loading sketch map of cantilever belt balance

图中  $L_1$ 、 $L_2$  和  $L_3$  为秤体上的三个区段的长度，其用法及测量数学描述见后面章节“4 自动称量系统控制的算法与参数整定”。物料流量通过荷重传感器测的信号，经前置放大器放大，A/D板转到主机进行处理。

(2) 荷重传感器

荷重传感器的弹性元件为双孔复合梁形式结构，如图 2.4 所示。

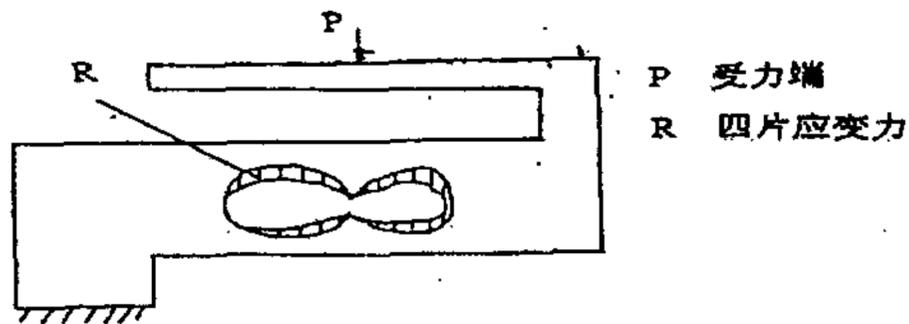


图 2.4 荷重传感器内部示意图

Fig.2.4 The inner sketch map of load sensor

传感器转换原理为： $\Delta U = K_1 \times K_2 \times F \times U$

其中， $\Delta U$  为传感器输出的毫伏级信号；

$K_1, K_2$  分别为应变梁的结构参数和店主应变片的灵敏系数；

$F$  为传感器的受力值；

$U$  为传感器的桥压。

公式中  $K_1, K_2, U$  为常数，所以传感器输出信号与受力值成正比。图 2.5 为根据由电桥原理组成的传感器内部图。其中虚线部分为温度补偿电阻在内的接线。

### 2.1.3 提升机和称量斗

各种物料通过电子皮带秤汇入大皮带，然后通过皮带进入称量斗，经称量斗称量后由单斗提升机提到窑顶进行布料，提升机处于停止状态时才可使给料机下料，提升机启动时应停止下料，为了使配料生产更自动化，也为了减轻工人的劳动强度和提高了安全性，应监测提升机的开、停以此作为配料开、停的一种必要条件，显然提升机开、停是一种开关量输入信号。此外还应对提升机负

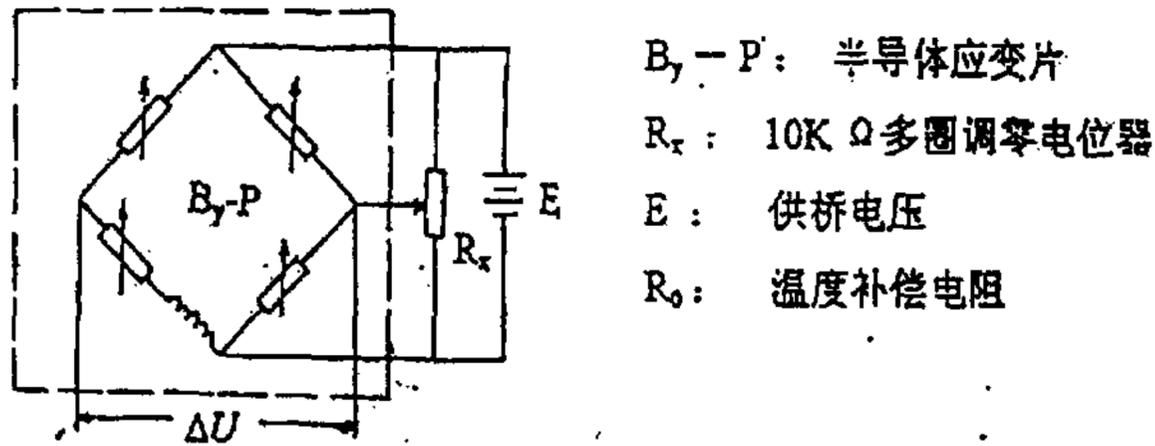


图 2.5 荷重传感器电路图

Fig.2.5 The circuit diagram of load sensor

荷进行监测，在负荷很大时，即出现了异常情况（如机械卡阻）时，应立即停车通过检测电流实现监测。称量斗是配料中的一个关键环节，所有物料在进入单斗提升机之前都要经过称量斗的称量，根据称量斗所反馈的信号来控制给料机的给料量的大小。其生产工艺流程图如下：

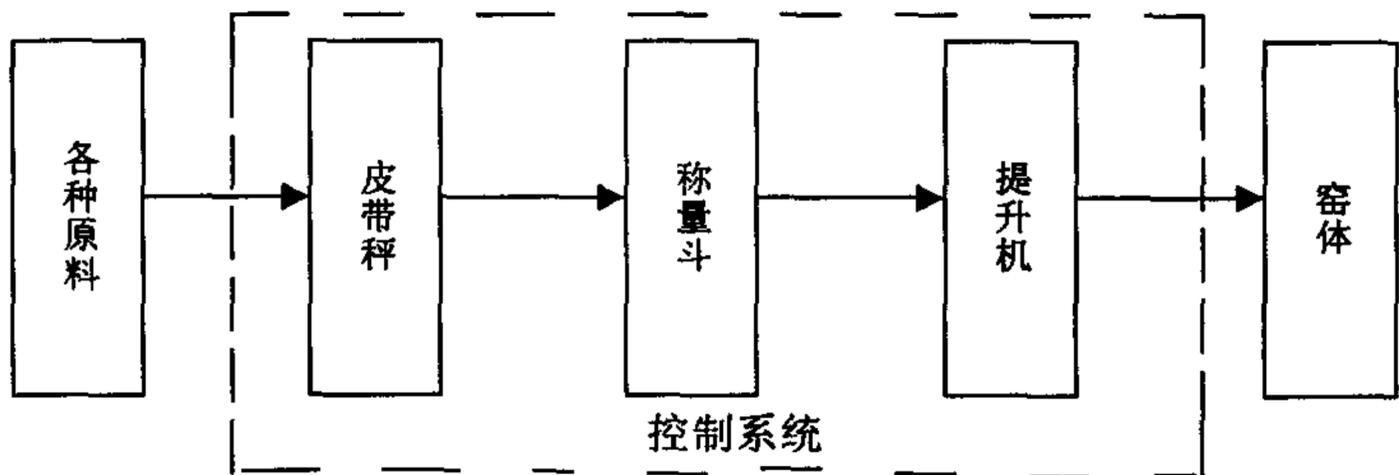


图 2.6 套筒窑配料系统生产工艺流程示意图

Fig.2.6 Production technics flow chart of lime kiln distributive system

## 2.2 原料自动称量方案的确定

本系统的方案不同于已有的微机配料系统，本系统采用前后台机的工作方式，前台机主要用于生料配料控制，后台机用于完成对前台机的监控和管理。

至于具体的控制方式，可以按照生产需要，向用户提供多种方案以便选择。

### 2.2.1 系统设计要求

根据实际需要，我厂提出了系统的设计目标，即计量准确、技术先进、可靠度高、性能价格比高、功能齐全、使用维护方便。在此基础上提出了系统要求，主要包括：

- 1) 实用性强、超作简便、易于掌握；
- 2) 可进行人工修正配比，也可自动进行修正配比；
- 3) 各种检验值、参数的输入与修改；
- 4) 工矿运行参数的显示；
- 5) 产量累计及班、日生产报表和配表的打印；
- 6) 可根据称量的反馈信号对电振进行控制；
- 7) 可按台时产量实施控制；
- 8) 提供任意秤手动配料的操作，实现手动/自动无扰切换皮带秤最多扩充为4个；
- 9) 具有校称、测皮重、测传感器特性的功能；
- 10) 实现各秤的声光报警；
- 11) 事故紧急连锁；
- 12) 产量累计可保存一年或更长时间。
- 13) 各种操作（如修改参数，打印报表等）必须在线进行；
- 14) 可同时完成其他管理工作（如车间工资发放等）；
- 15) 便于联网和长距离通讯。

### 2.2.2 系统总体方案设计

从对多个钢厂类似工程实地调研，以及收集的配料方面的资料看，石灰微机配料系统均是单机系统，按照所用的机型可分为三种。第一种是采用PC及其兼容机，如本溪钢铁公司耐材公司所购买的原料配料系统，显然这种机型可靠性较差，不能长时间连续运行，但其内存大，系统软件和使用软件多，能使用高级语言编程，软件开发较方便；第二种是采用PC工业控制机或相兼容的

STD 总线工控机, 如 IPC386, V40 系统, 这种方案可靠性较高, 也能较长时间连续运行, 并具有第一种方案的优点, 但成本较高; 第三种是采用 STD 总线的 MCS-56/96 系统, 其特点是抗干扰能力强, 可靠性高, 整个微机采用标准模块化结构, 使用维护方便, 并且价格较低。但是该机不全具备前两种机器的优点。这三种方案各有千秋, 控制效果也不错, 但都不能完全满足我厂的设计要求。

经过上面的分析, 我们提出一种新的设计方案, 即采用前, 后台机 (上, 下位机) 双机方式。前台机采用 STD 工业控制机, CPU 为 MCS-51 系列的 8031, 后台机采用我们常用的 486、386 机, 这样的方案既综合了上述三种方案的优点<sup>[9]</sup>, 又能完全满足设计要求, 由于可以不必选用奔腾系列的微机, 所以其造价不高于第二种方案。

由设计要求, 我们可以看出: 模拟量输入信号由四个皮带秤的压力信号和一个称量的压力信号, 模拟输出为四个皮带秤得给定量和称量的给定量, 开关量输入信号有四个手动/自动转换, 一个给料开/停信号, 一个提升机开/停信号, 开关量输出有四个秤的指示, 一个警笛信号和一个监控运行指示灯, 面板上设置手动/自动转换, 手动给定, 传感器调零, 开/停以及报警指示等。后台机进行管理工作 (如修改参数, 显示运行情况, 打印报表等), 还可进行联网或远程通讯。在后台退出系统运行时, 前台机可独立完成控制任务, 这样后台机就可并行地完成其他管理任务。系统属闭环控制其组成原理框图如图 2.7 所示。

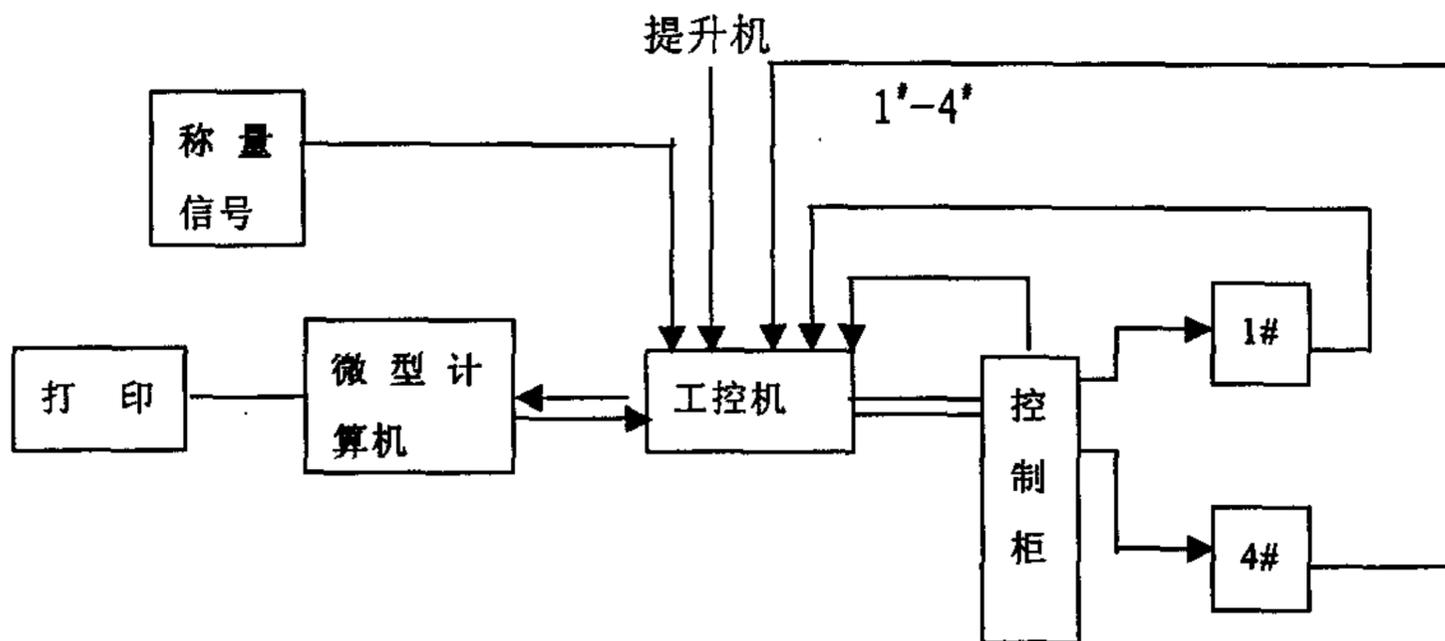


图 2.7 系统组成原理图

Fig.2.7 Compositive principle sketch map of the system

### 2.3 系统控制方式

考虑到实用性和先进性，为用户提供多种控制方式，以便按需选择（如图 2.8 所示）。图中， $P_1 - P_5$  为各给料机下料量及提升机的目标值， $F_1 - F_5$  为各给料机下料流量及提料的瞬时测量值， $G_1 - G_4$  为 1# - 4# 为给料机的传递函数框， $r_1 - r_5$  为压力传感器，光电传感器的传递函数框。

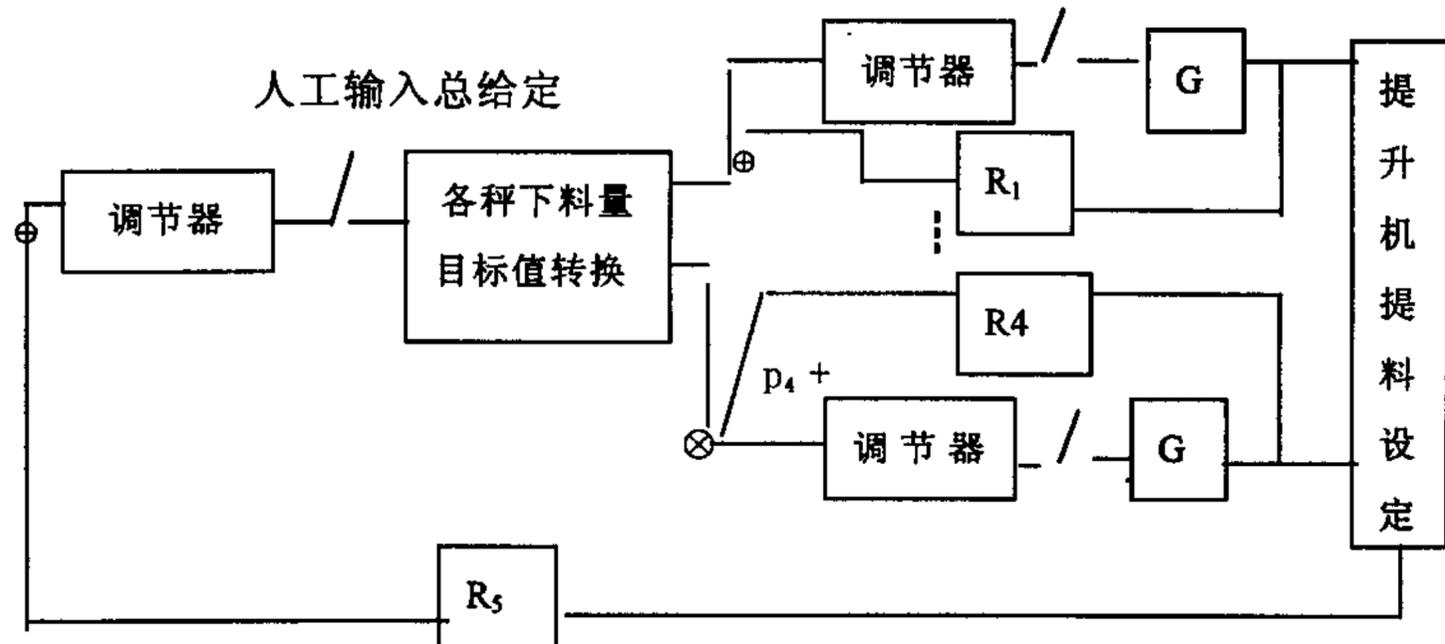


图 2.8 系统控制原理图

Fig.2.8 Control principle sketch map of the system

#### (1) 手动配比控制方式

打开  $K_2$ ，凭工作经验调整给定电位器实现各称下料和总给料控制。可根据生产岗位操作需要，任意选择一些秤处于手动状态，即不参与自动控制。

#### (2) 人工输入总给料量控制方式

这种方式实质上为单回路控制，其过程为：打开  $K_1$ ，并合上  $K_2$  人工输入的总给料量即通过各称下料量目标值转换环节，由机器自动计算出各秤的目标下料量，然后通过调节器 1-4 不断地调整 1#，4# 称的下料量使之达到或最接近于目标值。

#### (3) 提升负荷控制总给料量方式

本方式为串级控制，合上  $K_1$  和  $K_2$ ，通过调节器不断地调整总给料量，然后通过各秤的下料量目标值转换环节和各秤的调节控制环节，不断地调整各秤的下料流量，最终使提升物料达到或最接近于目标值。

一般来说,在微机有故障不能实施控制时,可选择方式 1,在提料光电测试系统不太正常时,可选择方式 2;正常情况下应选择方式 3,此时为最佳控制。

## 第三章 硬件系统的开发与实现

上一章介绍了系统总体方案设计,从中可看出,硬件组成主要包括各类板卡,前台机机箱及动力控制柜等。

### 3.1 控制系统硬件的选用

前台机(工控机)除机箱、机笼和电源外就是一些板卡和连线以及其它的小配件(如旋钮)。下面根据第二章介绍的输入/输出信号来分析系统硬件主要组成。

#### (1) 前置小信号放大板

来自传感器的信号是毫伏级信号,需经前置放大板放大,才可送至工控机,然后CPU进行处理。

#### (2) A/D板

送给A/D板信号,除5路负荷传感器信号外,还有提升机的电流信号。对提升机的电流直接监视,而不用功率传感器监测其负荷,既是设计要求,也是处于经济方面的考虑。对于开关量输入信号,先将其转换为模拟量,然后送至A/D板。这样可以不购置专门的开关量输入板,节省开支。另外自制这样的转换板要比开关量输入板容易。此外4路D/A输出(跟踪信号)也应送至A/D。

#### (3) D/A板

工业控制机按照控制算法,要控制电振机下料多少,相应的5路信号由D/A板输出。

#### (4) 可控硅控制板

由D/A输出的信号通过可控硅控置板控制可控硅导通角,从而达到控制电振机电流大小,共4路。

#### (5) 开关量输出板

6路报警信号由此板驱动相应的报警器(含监控运行指示灯)。

系统硬件结构如图3.1所示。

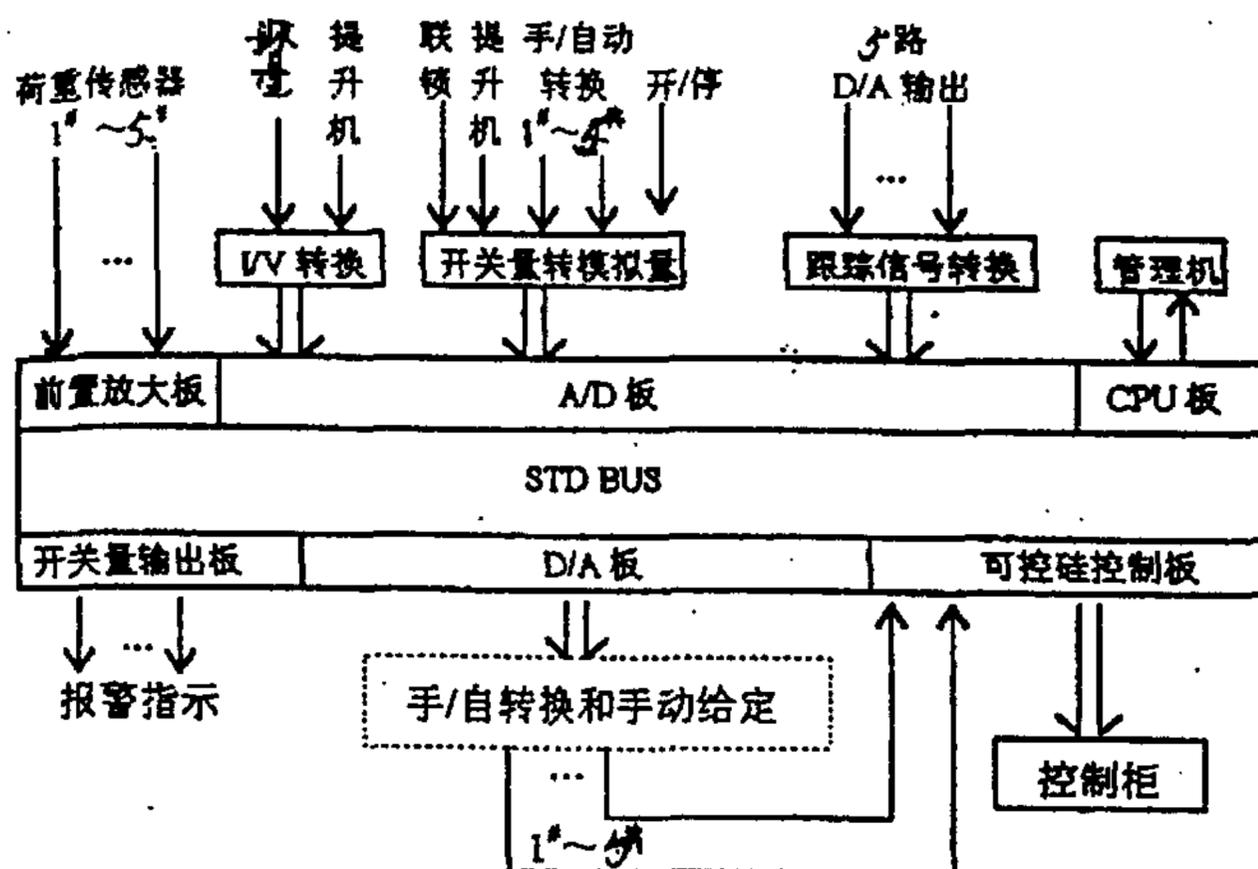


图 3.1 系统硬件结构图

Fig. 3.1 Hardware structure sketch map of the system

本系统板卡的选择遵循以下原则，即在可靠保证的条件下，自己能制的则自制，不能自制的板卡外购。需外购板卡如下：

(1) STD5055CPU板

本板采用8031CPU板，主频为11.59HZ，外部程序存储器和数据存储器可扩充至64KB，SRAM有后备电池保护。提供两路16位定时/计数器，有5路中断源。外部中断可通过STD总线扩展，提供2路RS-232C接口，以便与PC通讯，该板加电自动复位，电源位+5V、±12V。该板内存最大容量（可扩充）中断源个数，串行口等均符合本系统要求。

(2) STD5482光隔8位32路A/D

此板为通用高速I/O模板，兼容性好。该板输入通道单端32路，双端16路，最大允许输入电压为±15V伏；分辨率为8位，量程为0~15伏（单极性）和-5伏~+5伏（双极性），A/D转换非线性误差<1LSB，转换时间为<20μs，采样速率可达15k/s；机内电源为+5伏，外接电源为±15伏。该板采用光耦隔离，使模块信号及A/D转换电路与总线完全隔离，从而免除了公共地线所引起的各种干扰及地环流的问题。

(3) STD5485通用光隔8位5路D/A板

具有 5 路各自保持独立的电压和电流输出端，该板采用光电耦合器件，使得计算机系统电源与现场连接的  $D/A$  转换电路电流隔离，因而可消除公共地线所引起的干扰。在电流输出端接有保护二极管。电压输出为 0~15 伏，0~10 伏，电流输出为 0~10 mA。

(4)  $STD5378$  光隔离开关量功率输出板。

该板是一种带光电耦合器件的开关量输出板，它可以实现  $STD$  总线与被测工业设备之间的完全隔离，以消除公共地线和电源的干扰。具有较强的输出驱动能力和电平转换能力，可直接驱动继电器和电磁阀等。提供 16 个开关量输出，占用两个连续的口地址，各通道具有 +24 伏、200mA 的驱动能力。并具有锁存功能，内电源 +5 伏，外电源 +5 伏以上。

(5)  $STD5464$  前置缓冲放大器板

该板具有 8 路相对独立的双端输入、单端输出信号功能。由于前级采用了高性能的自校零放大器，通过变换输入、反馈电阻，可将微弱信号放大到  $\pm 5$  伏，放大信号可从由 0.1 倍变化到几百倍。第二级采用了有源低通滤波器，可以有效地抑制交流干扰，输入双端 8 路，信号为  $-5 \text{ 伏} \leq V \leq +5 \text{ 伏}$ 、 $I \leq 20 \text{ mA}$ ；输出单段 8 路 0~ $\pm 5$  伏；噪音为  $\leq 50 \text{ W}$ ；精度  $\leq 0.2\%$ ；共膜电压  $\pm 0.6 \text{ V}$  伏，电源为 +12 伏、45mA、-12 伏、32mA。

### 3.2 部分自制硬件电路的设计

(1) 传感器电源板

该板功能是将外围电源的 15 伏电压转换为负荷传感器所需的 9 伏电压，共需 5 路。某一路的设计如图 3.2 所示：

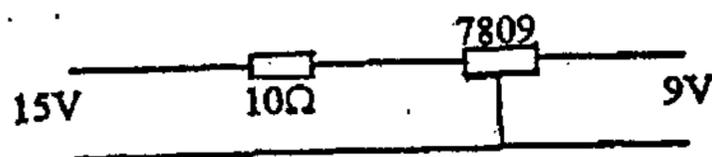


图 3.2 一路传感器电源线路

Fig.3.2 Electrical source circuit diagram of one sensor

图中电阻为金属膜电阻，此电阻的特点是体积小、精度高，在-55~70度的环境温度中，可按100%的额定功率使用。7809为稳压集成块，作用是将电压稳定在9伏，供给传感器使用。

将图3.2的线路并列5个，即为传感器电源板。

(2) I/V 转换板

在称量斗的输出信号(0~10mA)转换为电压信号时，为了防止干扰应加电容进行滤波，之后将电流信号转换为电压信号(0~5V)如图3.3所示

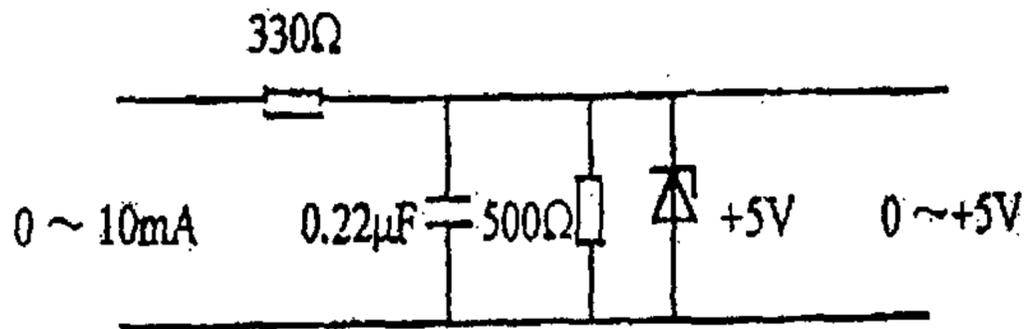


图 3.3 I/V 转换线路图

Fig.3.3 I/V conversion circuit diagram

图中稳压管的作用是防止过电压。对于单斗提升机的电流，因其信号较大(0~5V)，并且是电流信号所以应进行分流和整流，最后转换成直流电压信号，见图3.4

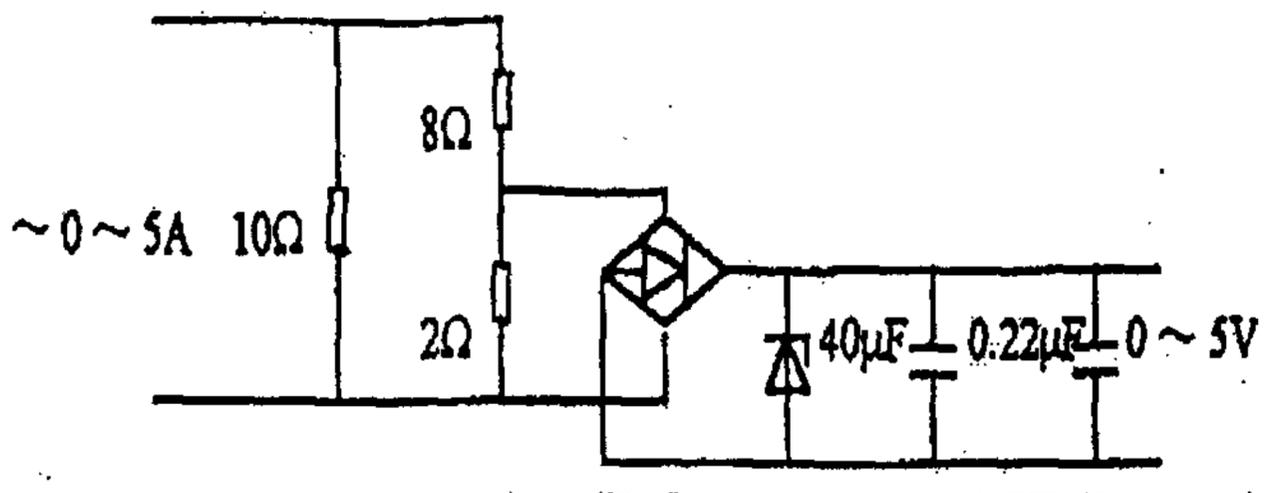


图 3.4 I/V 转换线路二

Fig.3.4 The second I/V conversion circuit diagram

图中，输入端信号来之电流互感器，2欧电阻为自己绕制的。

(3) 开关量转换模拟量板

该板的作用是把连锁，手动/自动转换、/停等开关量转换为模拟量。开关量转换只是把开关信号（0 或 10V）转换为 0 或 5V 模拟信号。某一路线路图设计为图 3.5 所示。

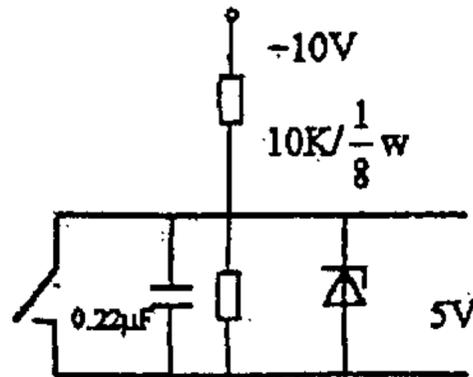


图 3.5 开关量转模拟量线路

Fig.3.5 The circuit diagram of switch value converting to analog signals

(4) 跟踪信号转换板

在使用手动配料控制方式时，通过人工调动电位器而改电压（范围为 0~10V），这一电压信号一方面去可控硅控制板，另一方面经该板转换后达到 A/D 板，以便实现无扰切换和其他跟踪处理（如测下料、累计产量）。某一路跟踪信号转换线路的设计如图 3.6 所示。

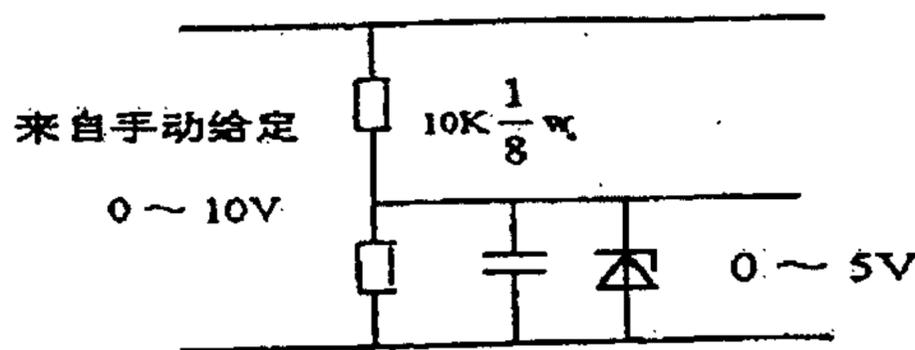


图 3.6 跟踪信号转换电路

Fig.3.6 Tracking signal conversion circuit diagram

从图中可以看出，手动给定信号（0~10 mA）经分压再滤波，输出为 0~5V。5 个秤相应的跟踪转换信号线路并列起来即构成跟踪信号转换板。

(5) 可控硅控制板

这个板卡的作用是将 D/A 板输出的或手动给定的电压信号（0~10V）转

换成控制可控硅导通角的同期信号，可控硅装在控制柜中，为单向可控硅，同步信号由同步变压器产生。构成可控硅控制板的核心元件是航天部六九一厂生产的 KJ001 可控硅移相电路，该电路采用双列直插 C-14 线白瓷外壳封装（也有其他封装），外形尺寸符合电子工业部颁发的标准，该电路由锯齿波形电路，移相电压、偏移电压和锯齿形波电压综合比较放大电路及移相触发脉宽调节电路三部分组成。具有温漂小，移相线性好、宽脉冲触发等优点。主要电参数如下：

- (1) 电源电压 直流 +15V。-15V，允许波动 ±5% 时功能正常。
- (2) 电源电流 正电流 ≤ 15mA，负电流 ≤ 10mA。
- (3) 同步电流 交流 10V（有效值）。
- (4) 移相范围 ≥ 150°
- (5) 锯齿波幅度 ≥ 10V（以据此波平顶为准）
- (6) 输出脉冲
  - ① 宽度：100 μs ~ 3.3ms
  - ② 幅度：≥ 13V（输出接 1000 欧电助负载）
  - ③ 最大输出能力：15mA（吸收电流）
  - ④ 输出电压： $BV_{\infty} \geq 18V$
- (7) 同步输入端反压：≥ 15V

根据 KJ001 的上述参数和所用的电振机的特性，可控硅的控制板的线路设计如图 3.7 所示。

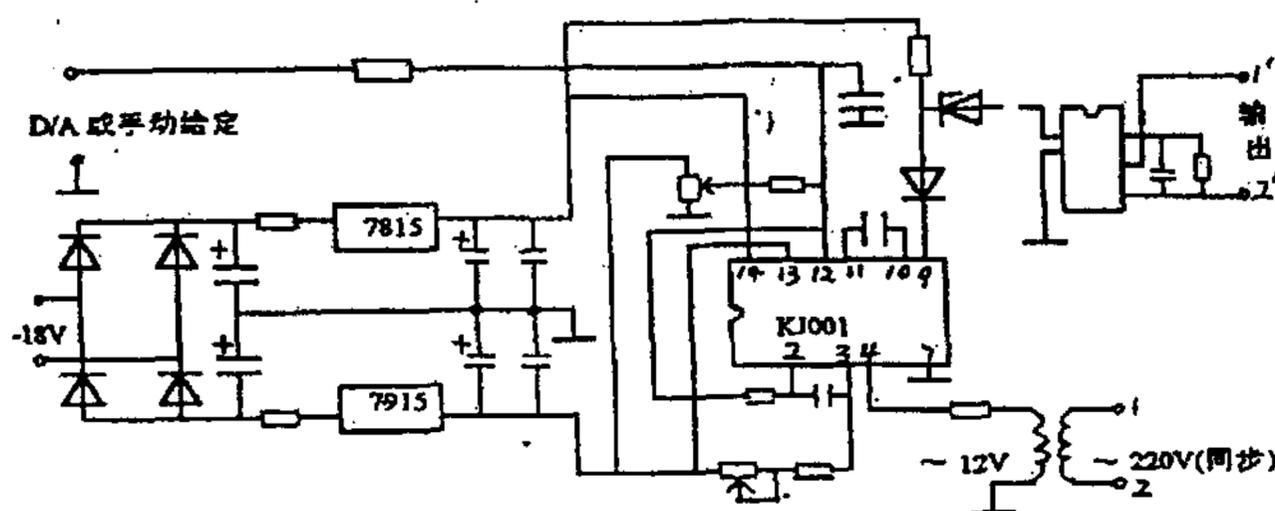


图 3.7 可控硅控制板原理图

Fig.3.7 The principle sketch map of control silicon panel

图中 -18V 为前置变压器，220V/8V 的输出，整流、滤波后经稳压集成块

7815 和 7915, 分别得到 +15V 和 -15V 的电压, 滤波后分别接至 KJ001 的 14 脚和 13 脚。12 脚为比较放大输入端。调节 3 脚外接电位器, 可改变锯齿波斜率。2 脚为锯齿输出端。输出同步脉冲信号接与可控硅的阳极、阴板和门极。产生同步脉冲信号经光耦、滤波输出。此处, 光耦的作用是用来隔离强电荷弱电, 防强电压信号串入可控硅控制板, 起安全保护作用。滤波起抗干扰作用。

## 第四章 自动称量系统控制的算法与参数整定

本章对被控对象各环节作了较为详细的控制分析,针对其特点,按照设计要求选择了较适宜的控制算法和参数整定方法。皮带秤控制采用不完全微分PID调节器。此外,本文提出了采样周期和控制周期的概念。

### 4.1 被控环节分析

由图 2.8 可以看出,称量调节器的输出作为各秤调节器给定量校正和,而各秤调节器输出作用于电磁振动给料机,并且是并列的。因此整个系统是并列的串级控制。主回路是负荷控制,副回路是并列的若干秤的下料控制。在选择人工输入总给定控制方式时,称量斗负荷不再为控制目标,此时是单向并列控制系统。不论选择那一种控制方式,其效果最终取决于各秤的下料量。为此先分析副回路的给量系统,然后再分析主回路环节。

#### (1) 回路给量系统

在该回路中给料机是执行机构,下料随其振幅的改变而改变,它对控制效果起比较大的作用。给料机的下料量还和物料的粒度、湿度及仓压的大小有关,对其控制进行精确地数学描述还比较困难,而且也没有太大的必要。一般情况下,别的因素是次要的,在给料机的输入量(电流)变化时,输入量(下料量)也随着变化,并且载荷重传感器上立即反映出来。因此可将此回路近似地看成无滞后的比例环节。再考虑别的外在因素,给料机具有一阶惯性,其传递只能通过比例惯性近似的给出。皮带秤的皮带是以恒速(极线速度设为 $V$ )转动的,故电振给料机下的料在皮带上是均匀分布(可近似将下料看作均匀粒状),设其每米下料量为 $G_m$ ( $kg/m$ )。将图 2.3 简化为图 4.1。则根据转锯平衡原理 $\sum M = 0$ 可得到下面的等式:

$$G_1 \times L_1 \div 2 = F \times L_2 + G_2 \times L_3 \div 2, \quad G_1 = G_m \times L_3, \quad G_2 = G_m \times L_3$$

$$\text{故 } F = (L_1^2 - L_3^2) \times G_m \times L_2 \div 2$$

由此可以得到一个很重要的参数 $K_c$ :

$$K_c = (L_1^2 - L_3^2) \times L_2 \div 2$$

$K_c$ 称为杠杆系数,因为 $L_1, L_2, L_3$ 对于具体的皮带秤可以实测出,并且不再

变化，故  $K_c$  是固定的常数。

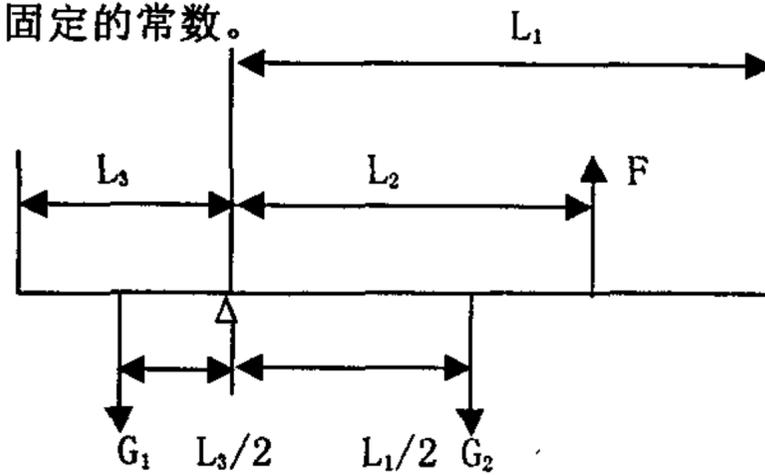


图 4.1 悬臂式皮带秤简化受力图

Fig.4.1 The loading sketch map of cantilever belt balance

悬臂式皮带秤的传输速度  $V_c$  是已知的（铭牌上有标注），单位为  $m/s$ ；总给料量（台时产量） $T$ ，可由人工输入，单位为吨 / 小时；配料比  $D$  按生产实际情况确定后，在一段时间内（往往一小时）也是已知量，所以可计算每米下料量  $G_m$ 。 $G_m = (1000 \times D \times T / 3600) / V_m / 100$ ，其中， $T$  乘以 1000 除以 3600 是将单位换算为  $kg/m$ ， $D$  除以 1000 后为百分比。故荷重传感器受力值为： $F = K_c \times G_m$ 。至此可以计算出一个至关重要的数值量  $X$ 。 $X = F \times B_b \times K_c + M$ ，其中  $B_b$  为修正系数，按称重情况进行修正； $K_c$  为输入特性系数，它反映了荷重传感器、放大器和  $A/D$  板的综合特性，由实测得到。 $M$  为秤的皮重，是由程序自测的。由上面的数学分析可以看出，各秤的对应的调节器的设定量不应该是  $G_m$  也不应该是流量（即  $G_m \times V_m$ ），因为他们不包含  $B_b, K_c$  和  $M$ 。压力值  $F$  可有上式计算出来，从而逆推出流量，然后送屏幕显示。荷重传感器对给料机的下料很敏感，皮带调节秤的作用就是不断地测试数字  $X$ ，然后与设定值  $X$  比较，使二者趋于一致。但二者较长时间保持一致是不可能的，因为给料机具有一阶惯性。而且物料的物理特性很有可能在变化着（变化大小由开采、破碎等前道工序决定，如粒度，一般尽量使之呈均匀状），这就给控制增添了一定的困难。

## (2) 回路称量系统

按照配比计算出的各秤每次下料量应该是固定的，因此称量斗称出的料重应与设定值相符，但前面章节所述物料也随开采、破碎、温度等的不同而使称量斗内物料发生变化，把称量斗取下的称量信号反馈给主机，其控制方式与单条皮带秤的控制原理一致。

## 4.2 控制算法<sup>[19]</sup>

在控制系统中，选择何种控制算法至关重要。当前控制算法的理论研究取得了不少的成果，如自适应控制，人工智能控制，但它们不是控制规律难以掌握，就是需要占用较多的计算机资源，计算起来比均困难，故在实际应用中不易实现。模糊控制虽然迅猛发展，也在不少场合获得了应用，但往往和人的主观性联系较大，如求隶属度、划分档次等，并且各种表格占据的存储空间也较大，计算量也较大，技术还不是太成熟。在本系统中采样周期远小于对象的时间常数（两次波动问题），可把时间离散系统近似为连续时间系统，采用模拟调节器数字化的方法是可行的。在 DDC 系统中，如果系统要求尽快地消除偏差，这采用具有最快相应的无波纹系统较适宜。对于纯滞后调节系统采用大林算可能较好。但它们在直接数字控制设计时需要描述出系统的数学模型。由前面分析知道，配料系统的数学模型很难给出。但是 PID 调节系统不要求出数学模型，并且是连续系统理论中技术最成熟、应用最广泛的一种方法。它因算法简单、使用方便、控制效果好，至今仍为人们所喜爱，此外，还有各种变种、改进型 PID 调节。因此本系统决定采用改进型 PID 调节算法。根据控制理论，连续 PID 算式可表示为：

$$U(t) = K_p \left[ e(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(t) dt + T_d \frac{de(t)}{dt} \right] \dots\dots\dots (4-1)$$

式中， $e(t)$ ——调节器输入函数，即给定量与输入量的偏差， $U(t)$ ——调节器输出函数，即控制量， $K_p$ ——比例系数， $T_i$ ——积分时间常数， $T_d$ ——微分时间常数。

(4-1) 式表示的调节器输入函数及输出函数均为模拟量，故必须将其离散化，用数字形式的差分方程代替连续系统的微分方程，用数字求和代替积分。设采样周期为  $T_s$ ， $n$  为采样序号（ $n=0, 1, 2, \dots$ ）这样可得到离散的 PID 算式：

$$\begin{aligned} u(n) &= K_p \left\{ e(n) + \frac{T_s}{T_i} \sum_{j=0}^n e(j) + \frac{T_d}{T_s} [e(n) - e(n-1)] \right\} \\ &= K_p \left\{ e(n) + K_i \sum_{j=0}^n e(j) + K_d [e(n) - e(n-1)] \right\} \dots\dots\dots (4-2) \end{aligned}$$

式中,  $K_i = K_p \frac{T_s}{T_i}$ , 称为积分系数;  $K_d = K_p \frac{T_d}{T_s}$ , 称为微分系数;  $u(n)$  为采样时刻  $n$  时的输出值;  $e(n), e(n-1)$  分别为时刻  $n-1, n$  时的偏差值。(4-2) 式称为位置型算式。为了实现方便, 可写成增量型算式, 即计算前后两次控制量之差  $\Delta U(n) = U(n) - U(n-1)$ , 通过 (4-2) 式算出  $u(n-1)$ , 然后用 (4-2) 式减去它, 则有  $\Delta u(n) = K_p [e(n) - e(n-1)] + K_i e(n) + K_d [e(n) - 2e(n-1) + e(n-2)]$  因此  $n$  时刻  $PID$  调节器的实际输出为:

$$u(n) = u(n-1) + \Delta u(n) \dots\dots\dots (4-3)$$

(4-3) 式称为增量型算式, 在计算机直接数字控制系统中已普遍采用。上面介绍的为标准  $PID$  算式, 当有阶跃输入信号时, 微分项输出急剧增加, 容易引起控制过程的振荡, 往往引起调节品质下降, 亦即容易引起高频干扰, 微分效果差。实际应用时, 必须加以改进, 一般采用实际微分  $PID$  调解器。

实际微分  $PID$  调节器也称为不完全微分的  $PID$  调节器, 它是在标准  $PID$  调节器算式中加入一阶惯性环节构成的。下面对该调节器的递推形式进行推导。一阶惯性环节的传递函数为:

$$W_f(s) = \frac{1}{(T_f \times s + 1)} \dots\dots\dots (4-4)$$

式中,  $T_f = T_d / K_d$ 。标准  $PID$  调节器的传递函数为:

$$W(s) = \frac{U(s)}{E(s)} = K_p \left[ 1 + \frac{1}{T_i s} + T_d s \right] \dots\dots\dots (4-5),$$

由式 (4-4), (4-5) 可得到实际微分  $PID$  调节器的传递函数:

$$\begin{aligned} W(s) &= \frac{K_p}{T_f s + 1} \left[ 1 + \frac{1}{T_i s} + T_d s \right] \\ &= \frac{1 + T_d s}{1 + T_f s} \times K_p \times \left[ 1 + \frac{1}{T_i s} \right] = \frac{1 + T_d s}{1 + \frac{T_d}{K_d} s} \times K_p \times \left[ 1 + \frac{1}{T_i s} \right] \dots\dots\dots (4-6) \end{aligned}$$

由式 (4-6) 把实际微分调节器看成几个环节组成, 如图 (4-2) 所示。下面分别分析比例、积分、微分部分的算法。

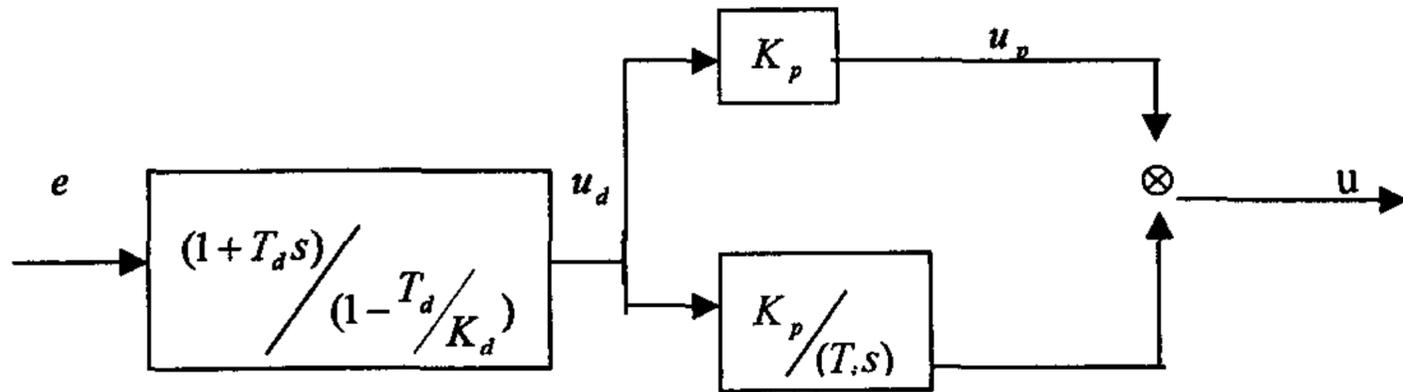


图 4.2 实际微分调节器

Fig.4.2 Actual differential adjuster

(1) 微分部分的传递函数为  $\frac{U_d}{E(s)} = (1 + T_d s)(1 + \frac{T_d}{K_d} s)$

$$\text{化为差分方程为 } u_d(n) + \frac{T_d}{K_d} \times \frac{u_d(n) - u_d(n-1)}{T_s} = e(n) + T_d \frac{e(n) - e(n-1)}{T_s}$$

$$\text{稍加整理可得 } u_d(n) = a_1 u_d(n-1) + a_2 e(n) + a_3 e(n-1) \dots \dots \dots (4-7)$$

$$\text{式中, } a_1 = \frac{T_d}{K_d T_s + T_d}, \quad a_2 = \frac{K_d(T_d + T_s)}{K_d T_s + T_d}, \quad a_3 = \frac{-K_d T_d}{K_d T_s + T_d}$$

(2) 积分部分的传递函数为  $\frac{U_i(s)}{U_d(s)} = \frac{K_p}{T_i s}$

$$\text{化成差分方程为 } T_i \frac{u_i(n) - u_i(n-1)}{T_s} = K_p u_d(n)$$

$$\text{稍加整理得 } u_i(n) = u_i(n-1) + a_4 u_d(n) \dots \dots \dots (4-8)$$

$$\text{式中 } a_4 = \frac{K_p T_s}{T_i}$$

(3) 比例部分的差分方程

$$u_p(n) = K_p u_d(n) \dots \dots \dots (4-9)$$

将式 (4-8) 和式 (4-9) 相加得位置型算式为:

$$u(n) = u_p(n) + u_i(n) = K_p u_d(n) + u_i(n)$$

由此, 可整理得增量型算式为:  $\Delta u(n) = K_p \Delta u_d(n) + \Delta u_i(n)$

通过上述推导, 可得到实际微分 PID 调节器的递推差分方程式为:

$$u_d(n) = a_1 u_d(n-1) + a_2 e(n) + a_3 e(n-1)$$

$$u_i(n) = u_i(n-1) + a_4 u_d(n)$$

$$\Delta u_d(n) = u_d(n) - u_d(n-1)$$

$$\Delta u_i(n) = u_i(n) - u_i(n-1)$$

$$\Delta u(n) = K_p \Delta u_d(n) + \Delta u_i(n)$$

$$u(n) = u(n-1) + \Delta u(n)$$

对实际微分 PID 算法和标准（基本）PID 算法的阶跃响应进行试验和理论分析可知，实际微分 PID 调节器的控制品质较好，微分项的阶跃响应较原料慢，作用时间能持续多个采样周期。由于实际微分 PID 算法中含有一阶惯性环节，具有数字滤波能力，因此抗干扰能力较强。

### (1) 回路的控制算法

各皮带秤调节器直接采用上面推导的结果，即实际微分 PID 算式的递推公式。实际编程时，还需加入抗积分饱和以及积分分离等改进措施，抗积分饱和是一种限幅措施，由于长期存在偏差较大，控制量有可能溢出或小于零，此时  $U(n)$  取 FFH 或零。

积分分离，指偏差  $e(n)$  较大时取消积分作用，偏差  $e(n)$  较小时才将积分作用投入。即当  $|e(n)| > \xi$  时用 PD 控制，当  $|e(n)| \leq \xi$  用 PID 控制。

### (2) 回路的控制算法

本系统的主回路是称量斗下面的称重信号，其作用原理与上述皮带秤控制原理一样。

### (3) 串级控制系统 PID 算法的计算

控制进行时，从外面的回路向内依次进行。其步骤如下：

#### (a) 计算主回路偏差 $e(n)$

$$e(n) = R(n) - y(n)$$

式中， $R(n)$  为主回路设定值， $y(n)$  为主回路被控参数， $n$  为本次采样序号。

(b) 若控制作用时间到，并且选到了一定值，则进行第 3 步否则转第 1 步。

(c) 计算主回路的增量值  $\Delta U_1(n)$

(d) 计算主回路的位置输出  $U_1(n)$

$$U_1(n) = U_1(n-1) + \Delta U_1(n)$$

(e) 计算各秤调节器的设定值

$$R_2^{(1)}(n) = D_1 * U_1(n)$$

$$R_2^{(2)}(n) = D_2 * U_1(n)$$

$$R_3^{(2)}(n) = D_3 * U_1(n)$$

$$R_4^{(2)}(n) = D_4 * U_1(n)$$

式中， $D_i$ ——第  $i$  个称的对应的配比的百分值 ( $i=1-4$ )

(f) 计算副回路偏差

$$e_1^{(1)}(n) = R_2^{(1)} - y_2^{(1)}(n)$$

$$e_2^{(2)}(n) = R_2^{(2)} - y_2^{(2)}(n)$$

$$e_3^{(3)}(n) = R_2^{(3)} - y_2^{(3)}(n)$$

$$e_4^{(4)}(n) = R_2^{(4)} - y_2^{(4)}(n)$$

式中,  $y_2^{(I)}$  为第  $I$  个称的测量值 ( $I=1-4$ )

(g) 计算副回路的增量值  $\Delta U_2^{(I)}(n)$  ( $I=1-4$ )

(h) 计算副回路的位置输出

$$U_2^{(1)}(n) = U_2^{(1)}(n-1) + \Delta U_2^{(1)}(n)$$

$$U_2^{(2)}(n) = U_2^{(2)}(n-1) + \Delta U_2^{(2)}(n)$$

$$U_2^{(3)}(n) = U_2^{(3)}(n-1) + \Delta U_2^{(3)}(n)$$

$$U_2^{(4)}(n) = U_2^{(4)}(n-1) + \Delta U_2^{(4)}(n)$$

上面增量值和位置输出的计算均按前边的实际微分 PID 调节器的递推公式进行。

## 4.3 参数整定

DDC 系统中 PID 法的参数整定任务是决定  $K_p$ ,  $T_i$ ,  $T_d$  及采样周期  $T_s$  这四个参数, 本系统中由  $K_1$ ,  $K_d$  可计算出  $T_i$ ,  $T_d$ 。

### 4.3.1 概述

一般说来, 基本参数的整定可以按照模拟调节器的整定方法加以扩充, 然后在实践中加以检验和修正。按照整定调节器参数所需的数据分类有以下三种整定方法。

(1) 闭环整定方法。它基于纯比例调节器的过程控制系统进行临界振荡试验, 所得数据即临界比例带  $\delta k$  和临界振荡周期  $T_k$ , 通过经验公式计算出调节器的最佳整定参数, 这就是控制工程熟知的临界比例度法 (或稳定边界法)。

(2) 开环整定方法。它以被控对象阶跃响应曲线的特征值 (如纯迟延时间  $\tau$  常数  $T$  和阶跃系数  $K$ ) 为基础, 按照经验公式计算出调节器的最佳整定参数, 控制工程界称之为“对象动态特性参数法”。

(3) 频率响应整定法。这是一种以控制系统开环频率特性或对数频率特性(Bode)图为基础。确定调节器最佳整定参数的图解分析法,调节器的参数 $K_p$ ,  $T_i$ 和 $T_d$ 的整定直接影响系统的动静特性,影响控制质量。其一,增大比例系数 $K_p$ ,将加速系统的响应,有助于减少静差,但是 $K_p$ 过大会使系统的响应大而引起超调,甚至产生振荡,使稳定性变差;其二,加入积分环节可消除静增长,但容易增加系统的不稳定性,增大积分时间 $T_i$ (即减少积分作用),对减小超调和减小振荡都是有利的,能使系统的静增长的消除随之减慢;其三、增大微分时间 $T_d$ ,这样使得微分作用加强,有力加速系统的响应,减少超调,增加稳定性。但降低了系统对扰动抑制能力,使系统对扰动过于敏感。

### 4.3.2 本系统采用参数整定法<sup>[20]</sup>

本系统采用扩充临界比例度法和优选法相结合来整定PID的参数,至于采样周期 $T_s$ 后面专门叙述。首先应用扩充临界比例度法粗略整定 $T_s$ 、 $K_p$ 、 $T_i$ 、 $T_d$ (通过 $T_i$ 、 $T_d$ 可算出 $K_i$ 、 $K_d$ ),然后根据实际确定应用优选法进一步整定 $K_p$ 、 $T_i$ 、 $T_d$ 。

扩充临界比例度法是简易工程整定方法之一。使用时首先选择一个足够短的采样周期 $T_{min}$ 。然后采用模拟调节器通常所用的临界比例度法,求出临界比例度 $\delta_k$ 和临界振荡周期 $T_k$ 。方法是让DDC作纯比例控制,逐步缩小比例度(即比例带,为放大系数的倒数),直到系统发生等幅振荡,此时比例度即为临界比例度 $\delta_k$ ,振荡周期即为临界振荡周期 $T_k$ 。接着选择控制度,它是模拟调节器为基准,将DDC的控制效果和模拟调节器的控制效果做比较。通常当控制度为1.05时表示DDC系统与模拟控制效果相当,最后根据控制度与表4-1即可求 $T$ 、 $K_p$ 、 $K_d$ 的值。

我们采用Roberts PO提出的简化临界的比例度法。这是参数整定过程大大简化Liegler—Nichle条件:

$$\text{取 } T_s=0.1T_k$$

$$T_i=0.5T_k$$

$$T_d=0.125T_k$$

将上述条件代入增量式PID算式,这样只需整定一个参数 $K_p$ 。调试整定时,改变 $K_p$ 以观察控制效果,直到获得满意效果。

表 4-1 扩充临界比例度法整定参数表

Table 4-1 The parameter table made by expansion critical proportional method

控制度	T	$K_p$	$T_i$	$T_d$
1.05	$0.14T_k$	$0.638 \delta_k$	$0.49T_k$	$0.14T_k$
1.2	$0.043T_k$	$0.470 \delta_k$	$0.47T_k$	$0.16T_k$
1.5	$0.09T_k$	$0.368 \delta_k$	$0.43T_k$	$0.20T_k$
2.0	$0.16T_k$	$0.270 \delta_k$	$0.4T_k$	$0.22T_k$
模拟调节器		$0.700 \delta_k$	$0.50T_k$	$0.13T_k$

使用上述方法只是得到  $T_s$ ,  $T_p$ ,  $T_i$ ,  $T_d$  的理论值, 与实际应用还有差别。我们按实际控制情况, 先确定采样周期  $T_s$ , 然后用优选法进一步确定  $K_p$ ,  $T_i$ ,  $T_d$ 。优选法只将这一数学中的思想, 应用到参数整定中, 是经验法的一种, 其方法是先将  $K_p$ 、 $T_i$ 、 $T_d$  中任意两个参数固定不变, 然后用 0.618 法对第三个参数进行优选, 待选出最佳参数之后, 再换另一个参数进行优选, 待选出最佳参数后, 再换另一个参数进行优选, 直到所有的参数被选定完为止。具体实现为: 在后台机的调整画面对某一个秤的 PID 进行调试, 先将两个参数 (如  $K_i$ ,  $K_d$ ) 设置为大概值固定不变, 观察动态特性曲线, 若发现  $K_p$  较小, 设其为  $X_1$ , 则另设置一个较大的  $K_p$  值, 设为  $X_2$ , 然后取  $K_p$  值为  $X_3 = X_2 - (X_2 - X_1) \times 0.618$ , 再观察  $K_p$  为  $X_3$  的控制效果, 若  $X_3$  较小, 则对  $X_3$  加上  $X_2$  和  $X_3$  之差的 0.618 作为新的  $K_p$  值如此观察修正  $K_p$ , 直到满意为止。将这三个参数 (画面上是  $K_p$ 、 $K_i$ 、 $K_d$ ) 用优选法整定好后, 多观察动态特性, 若还不满意则再按经验进行调整定。

(4)、周期的确定

连续控制系统常规调节器与离散控制系统数字化调节器参数的整定的主要区别, 是数字化调节器参数整定时必须考虑附加参数—采样周期  $T_s$  的影响, 因此在离散控制系统中采样频率的选择是一个十分重要的问题, 但要归纳出一种合理的选择采样周期的方法相当困难。事实上, 大多数离散控制系统都存在一个最优的采样周期 (或最佳整定参数)。遗憾的是到目前为止尚无法定量计算出最优的采样周期, 一般认为流量选 1~2s, 压力选 3~5s, 温度选 15~20s。

香农 (shannon) 定理指出采样频率应满足  $\omega_s \geq 2\omega_{max}$  以上即采样期  $T_s$  应该小些, 这样更接近连续系统, 再者, 从控制系统的动态特性的抗干扰特性来看,  $T_s$  也应该小些。但  $T_s$  也不能太小, 主要原因如下:

(A) 采样周期与执行元件相关联, 而执行元件具有惯性, 需要输出信号保持一定的宽度, 才能保证有正确的动作输出, 采样周期太小将导致输出控制动作过于频繁, 增加执行机构的磨损。

(B) 采样频率太高将增加计算机的工作量, 也将影响控制的路数, 这就要求使用机器高档化, 势必增加投资、提高成本。

(C) 采样频率高, 使得两次测量结果不能反映实质。解决措施是降低采样频率或选择字长较长的  $\mu c$  或 A/D。

总之各种因素对采样周期的要求不同, 有的还相互矛盾。因此在确定采样周期时应根据具体情况和要求, 权衡利弊, 进行选择, 在本系统中, 根据配料的实际情况确定皮带秤的采样周期为 4s, 称量斗的周期取为 30s。因为系统的特殊性, 以后将采样周期称为控制周期。在每个这样周期内都要多次采样, 只是为了跟踪显示和累计产量。所以两次采样间隔小于 4s, 统一定为 2s, 以后将这个间隔称为采样周期, 即控制周期有多个采样周期组成的, 只有到了控制周期才有可能改变控制量。

## 第五章 软件系统的设计

在一个控制系统中，软件占有举足轻重的地位。控制任务完成如何，人-机画面操作如何，最终通过软件表现出来。一个软件的优劣，不仅体现在是否高效率地完成了设计要求，而且还体现在软件的可靠性和可维护性。本系统由双机组成，前台负责具体的控制任务，后台机负责人-机对话，对前台机实施管理。本章对这两套软件分别介绍。

### 5.1 下位机(又称前台机)控制软件

从完成的任务来看，控制软件是整个系统的核心，其可靠性，安全性至关重要。控制程序采用 MCS-51 汇编语言编制，能满足系统的实时性，并占用内存量较小，有利简化硬件系统。在设计软件时为了保证可靠性就得保证易读性和可维护性，此外为了调试的方便性，我们采用了自顶向下，逐步求精的设计方法，程序具有模块化结构形式，各模块以子程序的形式出现。

按照功能、调用，控制软件可归纳出下面的几类程序模块：

#### (1) 程序

对于非组态式控制软件来说，就是一个主程序调用各功能模块来实现所设计的控制系统。我们的主程序是一个无限循环的结构，依次调用其他的功能模块。其流程较简单，如图 5.1 所示。

#### (2) 流程控制通用子程序

主要包括测皮重、爬坡、数据采集、称量 PID 给定值计算、皮带秤 PID 给定值计算、皮带秤 PID 运算及输出、工程量转换、产量累计、上下限报警、紧急情况停车、数字滤波、参数计算和通讯传输等子程序。

#### (3) 一般性通用类子程序

各功能模块经常调用一些更低一层的子程序，主要是浮点数的运算，包括各种数的四则运算、开方运算、数的转换（定点数与浮点数之间原码数与补码数之间的转换，浮点数的规格化等）。

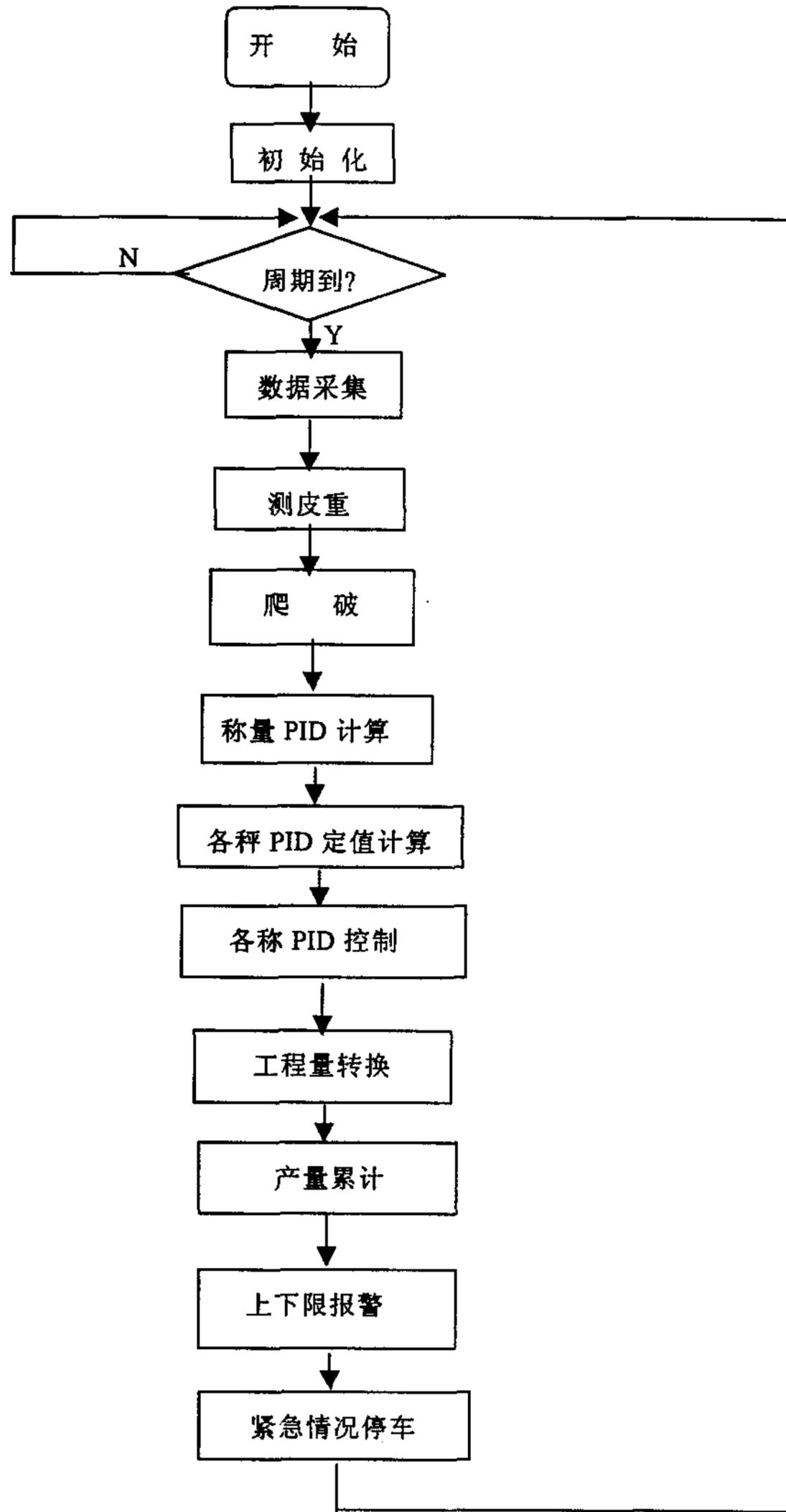
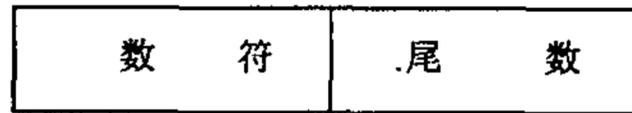


图 5.1 控制软件主程序流程

Fig.5.1 The main program flow chart of control software

在工控机中，采用两种数的表示方法，即定点表示法和浮点表示方法。定点表示法指小数点的位置固定不变，在机器中的表示通常有如下的两种。

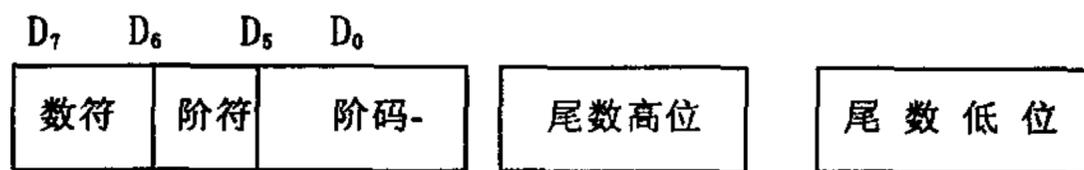
纯小数表示法：



整数表示法：



在我们的控制系统中，用的最多的定点数是单字节、双字节和三字节整数。在浮点数中，小数点的位置不是固定的，而是浮动的，我们采用是三字节浮点数格式：



第一字节 D<sub>7</sub> 位数的符号位，D<sub>6</sub> 为阶码的符号位，1 表示正，0 表示负；D<sub>5</sub>-D<sub>0</sub> 为阶码，阶码以补码表示，范围为+63—64。第二字节为尾数高 8 位，第三字节为尾数低 8 位，尾数以原码表示。这样浮点数表示的范围为±(5.4×10<sup>-20</sup>-9.2×10<sup>18</sup>)。存储时，按第一、二、三字节依次存储。

采用三字节浮点数的目的是为了节省内存空间，缩短程序执行时间与系统的 4 字节浮点数相比，虽然运算精度有所降低，但对于过程控制的实际要求来说，三字节浮点数的运算精度也是绰绰有余的。

这类子程序在一般的 MCS-51 单片机实用子程序中都有提供，故以后不再介绍下面介绍各功能模块的功能和设计。

### (1) 初始化子程序

这个子程序完成的工作如下：

- (a) 2s、4s、和 30s 等计数单元清零。
- (b) 将工程整定的 K<sub>p</sub>、K<sub>i</sub>、K<sub>d</sub> 等送入相应的存储区，包括称量信号 PID 和 4 个秤的 PID 和 4 秤的 PID 所需的这些参数。
- (c) 堆栈指针 SP 将各秤的 PID 的 U (n-1) 和 e (n-1) 等清零。
- (d) 复位各种标志，设置控制字存储单元，如：系统开/停标志、串行口请求信号计数器及其标志等。凡涉及接收后台机发送数据的各种更新标志均存在此复位。
- (e) 初始化串行口和定时器 T<sub>0</sub>，将 STD5055 模板上的 8251 串口的初始化成：- 串行帧格式为一个起始位、8 个数据位和一个停止位，无奇偶校验位，串口使

用方式 1, 波特率为 4800, 允许接收和发送。设置定时器  $T_0$  时间常数, 50ms 中断一次。开发定时器和串口中断。

### (2) 数据采集子程序

在每个采样周期, 数据采集子程序将所有的模拟量和开关量采集 10 次, 并存入相应的存储区, 然后调用数字滤波子程序, 得到真实的数字。由硬件系统可知, 模拟量和开关量均来自于 A/D 板。采集的模拟量为 8 位二进制原码(0~255 对应电压 0~5v), 需要转换三字节浮点数, 再进行防脉冲干扰平均值滤波和一阶惯性滤波。采集的开关量扩展为双字节整数经防脉冲干扰滤波后, 若值小于 120, 则认为是零(关), 否则, 认为是 5v(开)。滤波后的数字再送到各种量对应的单元, 以便其他程序模块处理。该子程序流程如图 6.2 所示。

A/D 控制字(三字节)的每一位对应一个通道, 由其状态(0 或 1)可识别出采集的是模拟量还是开关量, 进而确定是转换为浮点数还是扩展为双字节整数, 相应的也确定了采用何种滤波。

### (3) 爬坡子程序

在系统开机时, 各秤下料量不能一下子调到给定值否则易损坏设备。因此, 必须按照一定的爬坡速率增加控制量, 直到给定值和测量值的偏差符合要求为止。爬坡速率相当于 PID 积分调节器的积分系数, 其值越大, 爬坡越快, 实际取值根据原料的粒度、品位、干湿来确定, 范围为大于零且小于 1 的一个纯小数。结束偏差不要取得太小或太大, 按照经验一般取 10, 当某个秤的给定值减去测量值之偏差  $\leq$  结束偏差时, 该秤停止爬坡, 转为自动控制。爬坡子程序的流程如图 5.3 所示。

在图 5.3 中  $x_i$  为第 I 号秤的给定值  $x_i$  为测量值偏差为  $e_i = x_i - x_i$ ;  $U_i(n)$  和  $U_i(n-1)$  为控制量,  $U_i(n-1)$  的初始值由测皮重子程序清为零,  $V_i$  为爬坡速率,  $e_i'$  为结束偏差。爬坡控制字由测皮重子程序置位。

### (4) 测皮重子程序

在系统开机时, 自动测 20s 皮重。即在 10 个采样周期内将各秤的测量值作为皮重保存起来。其流程如图 6.4 所示。测皮重标志由系统开/停转为开的时候置位, 测皮重计数器也由它置初值, 这个初值乘以 2 称为总的测皮重时间(单位为秒)。

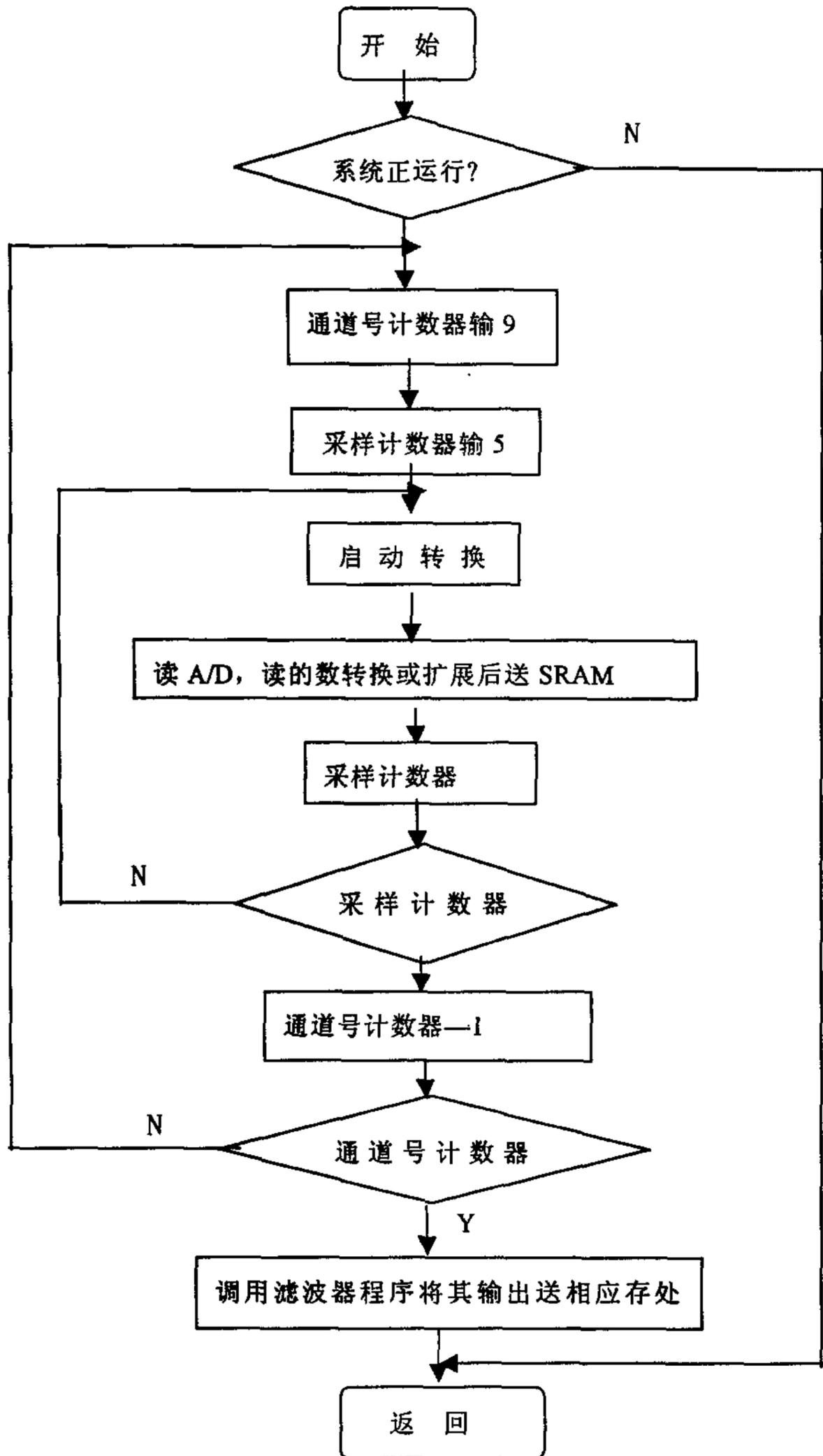


图 5.2 数据采集程序流程图

Fig.5.2 Date colleting program flow chart

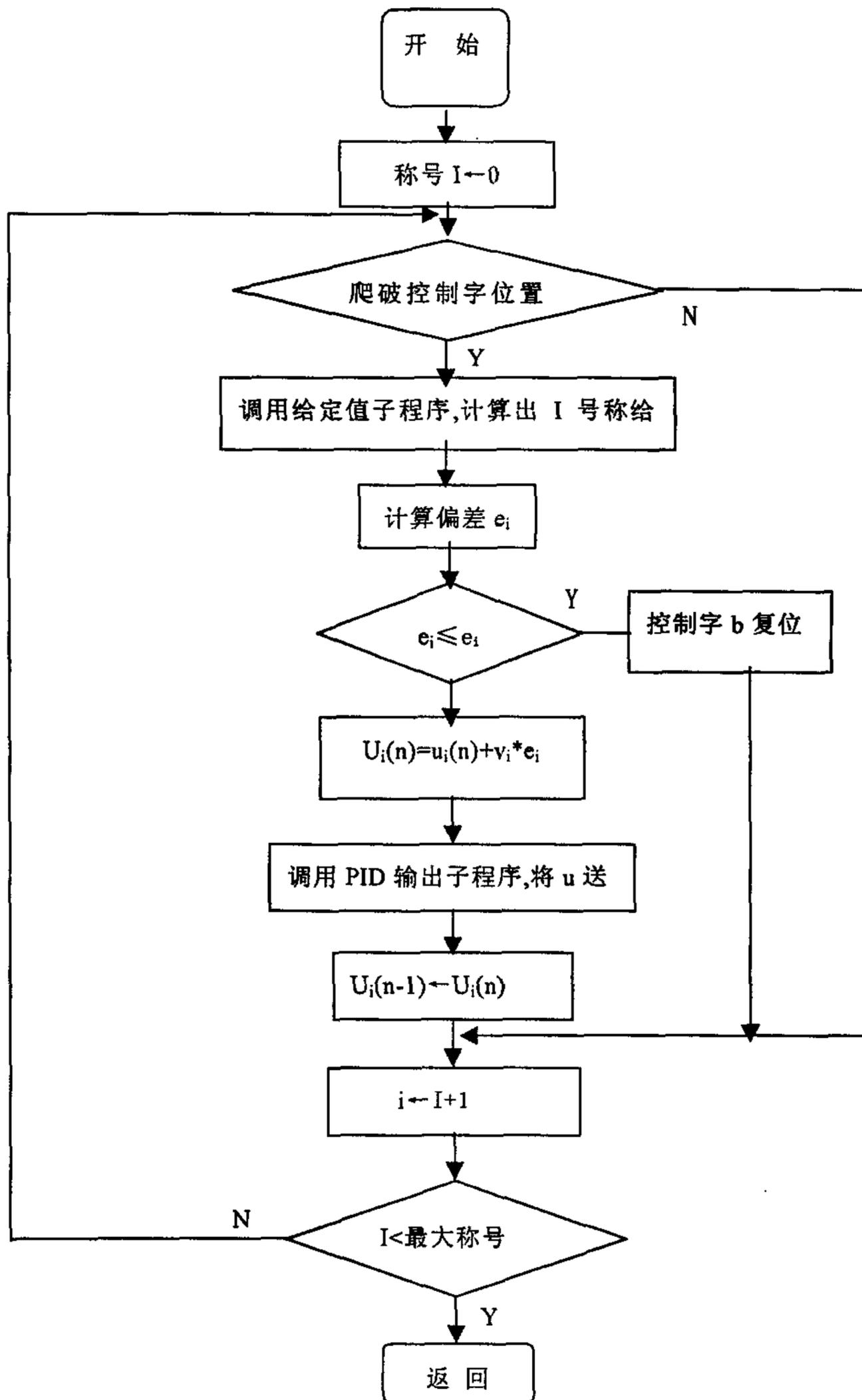


图 5.3 爬坡子程序流程图

Fig.5.3 Mounting subprogram flow chart

(1) 称量斗调节器子程序

系统开机时若处于称量符合控制方式时,应将总给定送至称量 PID 调节器的  $U(n-1)$  存储单元,转换之后根据称量给定值和测量值去修正总给定。称量 PID 调节器的位置输出就是修正后的总给定,即  $U(n) = U(n-1) + \Delta U$ ,上式为 PID 的增量式,  $\Delta U$  为调节量,  $U(n)$  为修正后的总给定,  $U(n-1)$  为上一次修正后的总给定,其初值为跟踪得到的总给定。每修正一次总给定,都要使  $U(n-1) \leftarrow U(n)$ 。其流程如图 6.5 所示。

(2) 计算皮带秤给定值子程序

该子程序在改变总给定时要被调用,它的功能就是计算出每个秤的给定值,并送到指定的单元。因此,它是一个循环结构(循环次数最多为 5),循环体是根据上一章节介绍的“给定量数学模型而调用相应的浮点运算子程序”进行的。其基本操作步骤如下:

- (a) 根据总给定的其他参数算出每个秤的每米下料量  $G_m$ ;
- (b) 算出该荷重传感器的压力值  $F$ ;
- (c) 算出该秤的给定数值量  $X$ ;
- (d) 将  $x$  送到指定的存储单元。

(3) PID 计算子程序

该子程序用到的一些小数在一段时间内是常数,为了提高程序的执行效率,只有在后台机通讯传输时,才由相应的子程序进行计算。因此,这个子程序的主要工作就是计算 PID 的位置输出  $U(n)$ 。这样称量(主回路)也可调用该子程序。主程序调用 PID 计算子程序的必要条件是:系统正在运行(控制下料)且不在测皮重,也不在爬坡。在该必要条件被满足并且皮带秤周期到时,主程序循环执行下面的工作:

首先,将某个秤的 PID 的有关参数按规定送到该子程序的工作区;其次,调用该子程序;再其次,将某些参数回送到该秤 PID 的参数区;最后将浮点数转换为单字节整数,进行数出限幅(0~245)后送 D/A 板。由前一章节介绍的 PID 递推算式可知,该子程序工作区的数据包括:  $a_1$ 、 $a_2$ 、 $a_3$ 、 $a_4$ 、 $K_p$ 、 $e(n)$ 、 $e(n-1)$ 、 $U_d(n-1)$ 、 $U_d(n)$ 、 $U_i(n-1)$ 、 $\Delta U_i(n)$ 、 $U(n-1)$ 、 $U(n)$ 、 $\Delta U(n)$ 、 $I$ (正反作用标志)、 $\zeta$ (积分分离限)、给定值。

在编制 PID 计算子程序时,考虑到当  $e(n) > \zeta$  时,只有比例作用或比例加积分作用。这两种控制规律都是有差的,该稳态偏差仍可大于  $\zeta$ 。若不采取某种措施,就可能总加不进积分作用而不能消除残差。我们采取的措施是,  $\zeta$

取得稍高些，并且设置一个有效周期计算器来限制积分分离的次数。因此这个工作区中还有一个计数器。PID 计算子程序的基本步骤是：先根据是正作用还是负作用（皮带秤是负作用，称量控制是正作用），计算  $e(n)$ ，然后按照递推公式依次计算出  $U_d(n)$ ， $U_i(n)$ ， $\Delta U_d(n)$ ， $\Delta U(n)$ ， $U(n)$ 。在计算

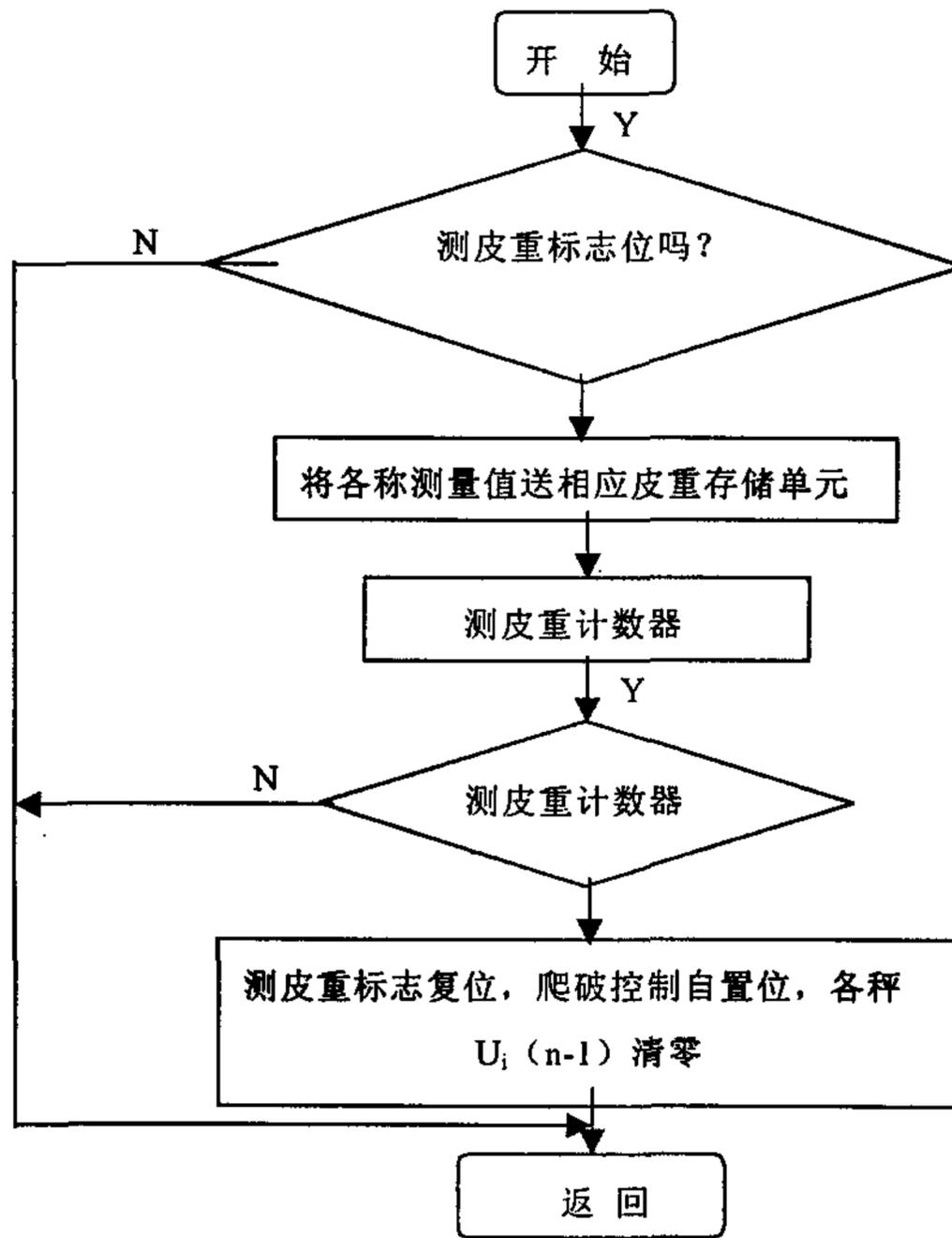


图 5.4 测皮重子程序流程图

Fig.5.4 The taring subprogram flow chart

$\Delta U(n)$  时是否使用  $\Delta U_i(n)$ ，由  $\zeta$  和有效周期计算器来决定，调用 PID 计算子程序之后回送的参数有  $e(n)$  送入  $e(n-1)$  单元  $U_d(n)$ 。  $U_i(n)$  和  $U(n)$  依次送入  $U_d(n-1)$ ， $U_i(n-1)$ ， $U(n-1)$ 。

#### (4) 工程量转换子程序

工程量转换子程序包括两部分：

(a) 根据称量测量 A/D 的输出计算测量值公式为:

$$A_x = A_0 + (A_m - A_0)N_x / 255$$

式中,  $A_x$  为称量值 (db),  $A_0$  为称量量程起始值,  $A_m$  为称量斗量程的终点值,  $N_x$  为测量值对应的 A/D 值 (滤波后的值)。

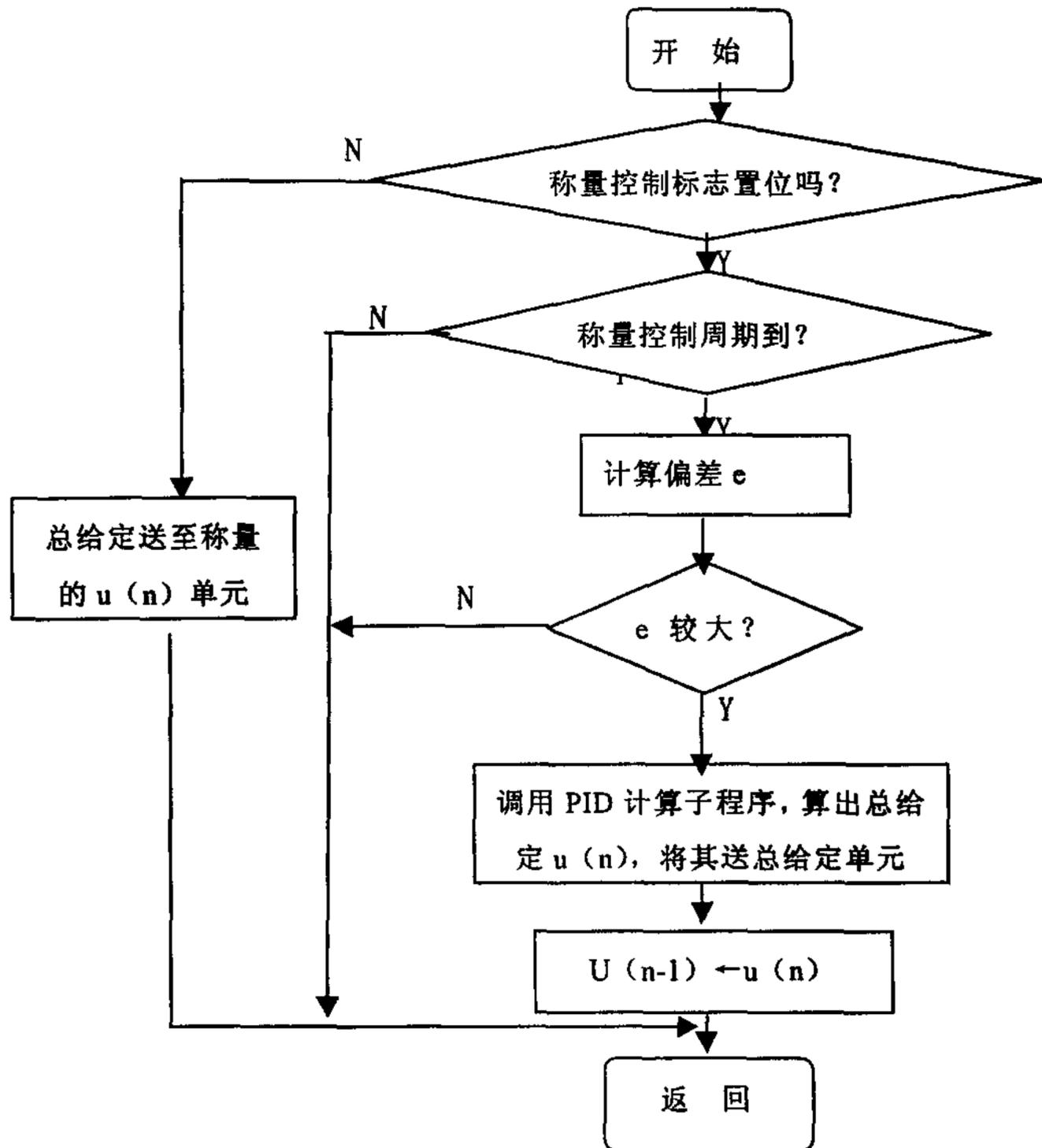


图 5.5 称量调节器流程

Fig.5.5 The flow chart of metaging sensor

(b) 根据皮带秤的给定值和测量值计算出给定流量和测量流量, 二者方法一样。其步骤如下:

- a、由公式  $X = F \times B_b \times K_G + M$  计算出的  $X$  可为给定值, 也可为测量
- b、由公式  $F = K_c \times G_m$  计算出  $G_m$

c、计算流量  $G = G_m \times V_v$  (kg/s)

(4)产量累计子程序

一个班为 8 个小时，每个秤的产量用 8 个存储单元存放，对应一个班的第几个小时产量。另设置 8 个单元存储一个班的每个小时内系统运转时间。产量累计的基本方法是，测量值流量  $\times 2s$  为一个采样周期的下料量。系统运转时间累计是一个采样周期加  $2s$ 。在用户送新班次时，将这些累计单元清零。若新班次送的晚，则一班的最后 1 小时的累计单元一直累加，直到溢出为止。

(5)上下限报警子程序

PID 输出的上下限规定为 230，下限规定为 15。在一个皮带秤控制周期内该子程序检查 PID 的输出量，如果某个秤超过上下限，则对应的指示灯送“1”，否则送“0”。手动时，对应的秤不报警显然这个子程序输出的都是开关量。

(6)紧急停车子程序

系统紧急情况有：称量信号很小、系统开/停为停、提升机开/停为停、提升机电流接近满负荷、连锁等。

(7)数字滤波子程序

包括两种：(1)、防脉冲干扰平均值滤波，即在一个采样点连续采样 10 次，去掉最大和最小的，然后求平均值。(2)一阶惯性滤波，使用的公式为： $Y(n) = \beta Y(n-1) + (1-\beta) X(n)$ ，式中， $Y(n)$  为本次滤波输出值， $Y(n-1)$  为上一次滤波输出值， $X(n)$  为本次采样值， $\beta$  取  $1/4$ 。

对模拟量先进行防脉冲干扰平均值滤波，在进行一阶惯性滤波；对开关量只进行防脉冲干扰平均值滤波。最后，大体介绍一下数据区的分布情况。

- ①、0740-----074FH 积分时单元
- ②、0750-----07FFH 标识 A/D 板各通道对应的模拟量或开关量以及滤波后的数字值。
- ③、0800-----09FFH PID 计算子程序工作区
- ④、0A00-----0AFFH 各秤的皮重， $K_c$ ， $K_c$ ， $B_b$ ，线速度，满量程等参数。
- ⑤、0B00-----0BFFH 各秤的 PID 输出值。
- ⑥、0C00-----DEFFH 各秤的给定值，测量值，偏差以及 PID 的各种系数等。
- ⑦、1000-----10FFH 各秤给定值计算工作区。
- ⑧、1200-----12FFH 提升机以及称量的有系数。
- ⑨、1400-----18FFH 滤波缓冲区。

⑩、1F00-----30FFH 通讯数据缓冲区。

## 5.2 上位机(又称后台机)管理软件

后台机是直接面向用户的,其关键任务是人一机对话。用户对该程序的评价是以画面的关键性操作的简便性、掌握容易性以及实用性等方面来考虑的。为此设计成西文 DOS 下的汉字下拉菜单和弹出菜单,全部汉字提示和打印。这样使用的操作键很单纯,数量也较少,并且不使用字母键,对于文化层次较低的工人来说,易于掌握。具体设计时除了完成前台机的管理任务外,做到画面使人赏心悦目,布局整齐得体。从功能上来分,本软件包括十大类,它们构成主菜单。各自又包含若干子菜单项,其菜单结构如图 5.6 所示。程序使用 Borland, C2.0 编制, C 语言满足结构程序化设计,而且具有较丰富的图形处理功能。程序运行环境为 MS-DOS, VGA 彩显或单显,内存 1M 以上,硬盘不小于 40M。下面介绍软件的功能。再介绍公用类函数,最后介绍模块化设计。

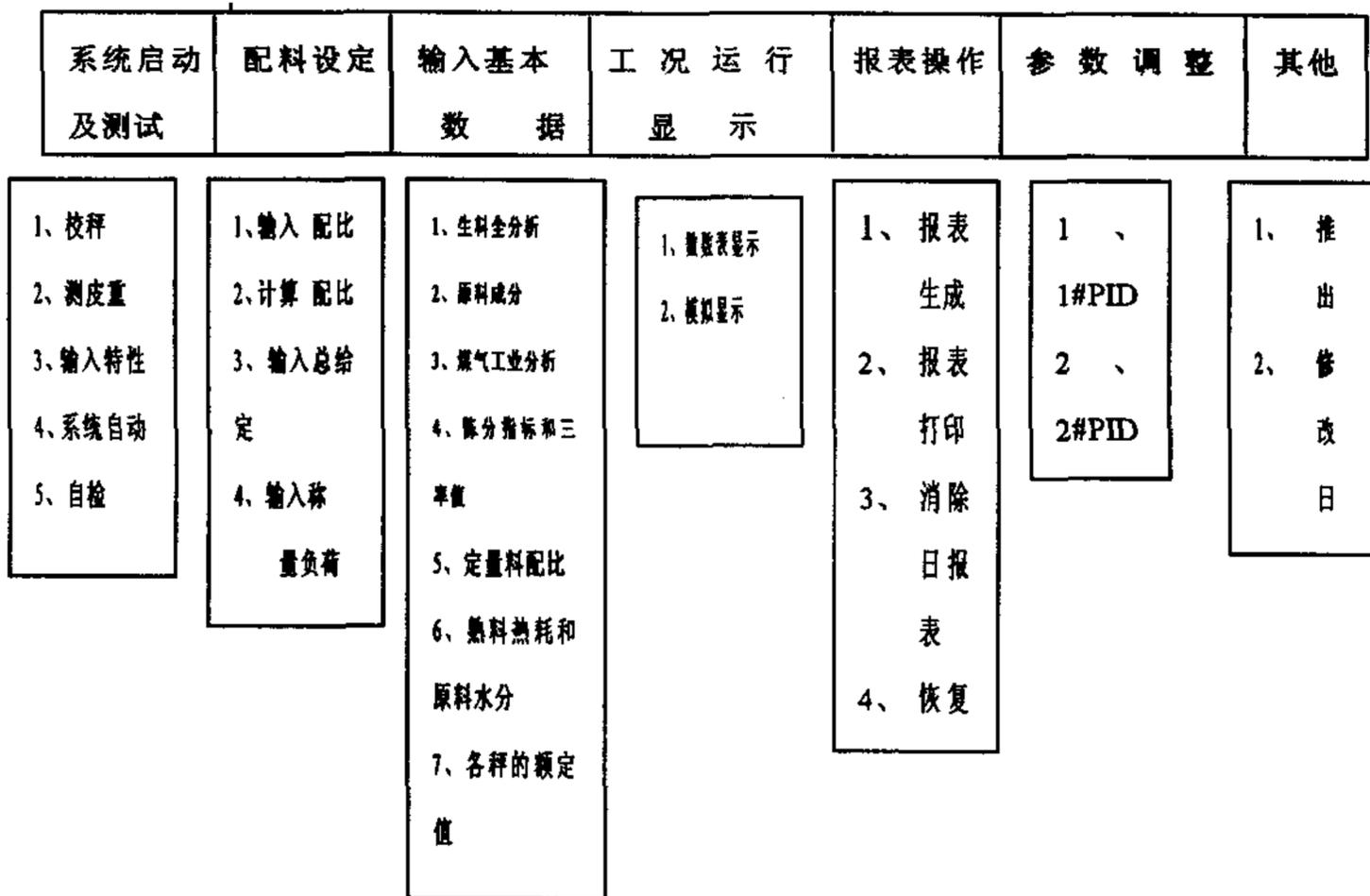


图 5.6 管理软件菜单结构

Fig.5.6 The menu structure of manage software

## 5.2.1 软件功能

### (1) 系统起动及测试

#### (a)、校秤

在校秤传感器零点（支起皮带秤）和皮带秤机械零点（停开，并放下皮带秤）时使用该画面。

#### (b)、测皮重

在皮带秤空转时，测皮重。此为人工测皮重，目的是保证皮重为合适数（不为零，且较小）。班次也在该画面修改，为了提醒用户每班都应测下皮重。

#### (c)、输入测试

测试  $K_c$  值

#### (d)、系统启动

通电启动时，使用该画面启动前台机的程序运作。

#### (e)、自检

对 A/D 板，D/A 板和开关量输出板以及串行口等进行诊断检测。

### (2) 设定

#### (a)、输入配比

人工按化验结果计算配比后，使用该画面进行修改。

#### (b)、计算配比

因为使用方法的不同，及其自动计算配比（算法见后，较人工计算配比要准）。

#### (c)、输入总给定

用户输入总给定（台时产量），选择人工输入总给定控制方式。

#### (d)、输入称量负荷

用户输入称量负荷，选择称量自动控制方式。

### (3) 输入基本数据

#### (a)、生料全分析

包括  $\text{CaO}$ ， $\text{Fe}_2\text{O}_3$  和细度等化验结果，机器自动计算出合格率。

#### (b)、原料成分

输入原料化学成分干燥基，供自动计算配比用。包括各种原料地烧失量  $\text{CaCO}_3$ ， $\text{MgO}$ ， $\text{SiO}_2$ ， $\text{Al}_2\text{O}_3$ ， $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 。

(c)、成分指标和三率值

包括  $\text{CaCO}_3$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , 以及  $\text{KH}$ ,  $n$ ,  $p$  二者输入一种, 另一种清为零供自动计算配比用。

(d)、定量料配比

定量料不需输入化学成分入  $\text{NaCl}$ , 在此输入固定配比, 供自动计算配比用。

(e)、成品灰热耗和原料水分为零

(f)、各秤的额定值

包括传感器得满量程, 修正系数和  $K_c$  值等。

(g)、其他控制软件使用

(4) 工况运行显示

(a)、数表显示

显示各种物料的配比, 动态显示各皮带秤的给定流量(理论上计算的流量)、实际流量的测量值和二者的相对误差以及总流量, 动态显示本班各秤已下料量及总下料量, 动态显示本班的运转时间。

(b)、模拟显示

模拟皮带秤、给料机和提升装置动态显示每个皮带秤的实际流量、总流量。

(5) 报表操作

(a)、报表生成

在交接班时, 让机器自动计算产量、台时产量、运转时间和产量累计等, 并生成相应的报表格式, 以便打印。

(b)、报表打印

打印生产班报表、日报表和配比报表。

(c)、清除日报表

日报表含有产量累计栏, 若一月清除这为月累计, 若一年清除则为年累计。

(d)、恢复报表

可以恢复报表生成之前所有报表, 也可只恢复清除前的日报表。这样在用户出现错误操作时, 也可纠正。

(6) 参数调整

这是为技术人员配备的功能, 可以调整的参数包括 PID 的  $K_d$ 、 $K_T$  和  $K_i$  以及  $I$  和  $\xi$ 。该画面一边用数字形式显示调节器的给定值、反馈值和输出值, 也对这三个数值用曲线仿真, 方便用户观察, 参数调整对控制效果的影响。

## (7) 其他

(a)、修改时间和日期;

(b)、输入爬坡速率和结束偏差用户可根据产量的高低,电压的高低和原料的干湿,适应地调整爬坡速率和偏差结束值的大小,以使爬坡更符合实际情况。

## 5.2.2 公用类函数的设计

为了减少程序编码,也为了提高可维护性和程序效率,在设计管理时,特将一些公用类函数专列出来进行通用设计。程序执行时自动将屏幕设置为图形方式,各种函数的执行都是在图形方式下进行的。

## (1) 汉字显示函数

所有的画面都有汉字显示的操作,有时需要设置前景与背景色,有时需要放大。这样汉字显示函数的原型设计为:

(a)、`int Puthz16 (int x, int y, int z, Char* hz, int kcolor, int Color, int h, int v);`

(b)、`int Puthz24 (int x, int y, int z, Char*hz, int Color, int kcolor, char hzk, int h, int v)` 其中,  $x, y$  为显示位置的坐标,  $z$  为间距,  $hz$  为指向要显示的汉字字符串,  $Color, kcolor$  为汉字的前显和背景色,  $H, v$  为汉字的横相及纵向放大倍数。

函数 `Puthz16` 以  $16 \times 16$  点阵显示汉字, 返回值为最后一个含字显示, 返回值为最后一个汉字显示后的横向坐标, 函数 `Puthz24` 以  $24 \times 24$  点阵显示汉字参数  $hzk$  指定汉字字体, 字体有“S”(宋体), “F”(仿宋体), “k”(楷体)和“h”(黑体) 函数返回值若为-1 则说明  $hzk$  指定的不是这四种字体之一, 否则为最后一个汉字显示后的横向坐标。

汉字在机内用两个字节的内码表示, 最高位都为 1, 以便和 ASCII 码区分开。汉字字模(点阵形式)组成汉字库, 并划分为若干区, 每个区 94 个汉字, 每个汉字在字库中有确定的区和位, 即区位码。按照区位码可以很方便地找到汉字在汉字库中的字模。

在西文下显示汉字时, 采用的是 `ccDos2.13h` 系统的汉字库。即 `hzk16, hzk24s, hzk24f, hzk24k, hzk24h`。这些汉字库结构一样, 一个  $16 \times 16$  点阵的汉字模占 32 个字节,  $24 \times 24$  点阵的汉字字模占 72 个字节, 将字模看成记录, 则可按下面的方法确定每个汉字的记录号 `rec`。设汉字内码为 `qqww`, 则:

区号  $c_1 = qq - 0 \times a_1$ , 位号  $c_2 = ww - 0 \times a_2$ , 对于 2.13H 系统,  $rec = (c_1 - 23) \times 94 + c_2 - 23$  将字模读到数组中, 若 Kcolor 不为零, 则按放大倍数 h 和 v 计算一串汉字所占据屏幕范围, 再将此范围添充为背景色。具体显示汉字时, 用函数 Putpixe 进行。

### (2) 字段编辑器

在输入电子秤的线速度和原料配比时, 屏幕显示格式一样。操作也一样。因此, 将这样的字段编辑器写成一个通用函数, 供不同的场合使用。函数原型为: `Void field-edit (int x, int y, char str[][15]`, 其中 x, y 为编辑器图形框左上角坐标, 二维字符数组 str 为要编辑的字符串, 行数为 8。在 field-edit 函数的开头定义并初始化了一些参数, 如字符显示的位置数组、光标的初始位置 (行号和列号)、当前编辑的字符和序号等。在该函数中充分利用了 bioskey 和 outextry 函数的功能。

### (3) 显示各秤参数的函数

除了字段编辑器调用该函数外, 校秤、测皮重等画面也要调用它。函数原型为 `Void out-chenges (int x, int y, char*title, char*str[s][15]` 其中 x, y 为显示框的左上角坐标; title 指向标题字符串 (通常为汉字串) str 为要显示的参数 该函数和字段编辑器都要弹出式窗口系统的函数。

### (4) 弹出式系统的函数

弹出式窗口, 是指在屏幕上开一个矩形区, 它的颜色与屏幕背景色或被其覆盖的窗口有所区别, 或许它还有个边框把自己同周围的环境区分开。在一个屏幕上可以弹出许多窗口, 他们彼此覆盖或并列出现, 以满足不同的要求。弹出式窗口直观醒目, 符合人的视觉习惯, 很受用户的欢迎。为了弹出许多窗口在 pubfun 中定义了窗口结构, 窗口堆栈和堆栈指针: `Struct Gwindow {int vleft, vtop, vright, vbottom, int cpx, cpy; char*savearea; int drawcolor; };`

```
#define Numiwindows10
struct Gwindow*windowstack[NWNwindows];
int gwindowptr;
```

其中, vleft, vtop, vright, vbottom 表示窗口位置, (cpx, cpy) 是窗口中隐含光标的位置 (绝对坐标); saveanea 指向存储被窗口覆盖部分的屏幕信息的内存区, 以便恢复; drawcolor 是窗口前景色; 其他同英文字母所表示的。本窗口系统共有 5 个函数, 它们如下:

(a) `int savewindow (int left , int top, int right, int bottom)`。将被弹出窗口覆盖的屏幕区保存起来，其内存区域存入 `window stack[I]savearea` 中。返回值为 0，则表示内存不够。

(b) `int gpopup (int left, int right, int bodertype, int bordercolor, int backfile, int backcolor)`。前四个参数指定窗口位置，`bodertype` 和 `backcolor` 是背景色的填充形式和颜色。该函数通过与后 4 个参数的合理搭配，可以产生许多不同形式的新窗口。丰富多彩，该函数要调用函数 `savewindow`，其返回值若为 0，则说明成功的生产新窗口。其流程粗框如图 6-9 所示。

(c) `int gunpup (void)`。删除当前窗口，恢复被窗口覆盖的屏幕区，返回值若为零，说明栈已空。

(d) `void unpopall window (void)`。删除所有窗口，重复调用 `gunpop` 函数。

(e) `void intit windows (void)`。初始化窗口函数，使 `gwindowptr` 为零在管理软件中，有不少地方要调用窗口系统的函数。

#### (5) 文件读写函数

大多数画面都要用到文件读写操作，如人工输入配比、自动计算配比、输入总给定合称量负荷、输入基本数据、报表操作、参数调整等。文件读写，函数的应用频率仅低于汉字显示函数，函数原型为：`int file—read (char*filename, char*str[], int n); int file—write (char*filename, char*str[], int n)`。式中，字符串 `filename` 表示被读写的文件名，`str` 用来存储读取的 `n` 个字符，或者存储要写入的 `n` 个字符串。返回值若为零，则表示遇到故障而未读写完。此外还有两类通用函数。一类是比较简单的函数，如三字节浮点数和字符串之间的转换；另一类是有关通讯的函数。将在后面章节介绍。

### 5.2.3 主程序和各程序模块设计

主程序实质上是西文 `Dos` 下的汉字下拉菜单，其结构前已述。它是模仿 `Boland c` 的下拉菜单设计的，效果比 `Turboc` 的要好。用户可使用 `←`，`↑`，`→`，`↓` 等键移动菜单上的光棒，或左右移动具有可循环的特点。此外，每个菜单项前标有数字或字母键，以使用户快书移动光棒。选中某个菜单项后，打回车则调用其所对应的程序模块（函数）。

各程序模块都是一些函数，为了完成自己的任务；它们往往调用一些公用函数和专用函数。因为篇幅所限，下面使用汉字叙述的方法来介绍主程序和某些程序模块的流程概况。

### (1) 主程序设计

主程序由 main 函数和自己的专用函数组成，其中也调用了一些公共函数。为了使得程序通用，在设计时不指定菜单项及其显示位置，由程序自动计算。对菜单项的删、改、增，提供了极大的方便。主要数据结构如下：

```
char*pop2[]={
    "2 配料设定"
    "1 输入配比"
    "2 计算配比"
    "3 输入总给定"
    "4 输入称量负荷"
Null}; int hotkz[]={1, 1, 1, 1, 1};
Char**menuptr[]={pop1, pop2, pop3, pop4, 0};
int*hotkp[]={hotk1, hotk2, hotk3, hotk4, 0};
void (*funname[MAX])();
```

有几个主菜单项，就有几对 pop 和 hotk 数组。另外对菜单项属性（前，背景色、选择色等）也定义了数据结构，这主要是为了编程和调试的方便以及增加通用性。在用于其他系统时，这样的数据结构可不修改。粗略流程为：

(a) 初始化，对一些变量数组赋初值，并设置屏幕为图形格式。如将各流程模块的函数赋给 funname 数组计算屏幕分辨率，设主汉字高和宽的象素点及行间距等。

(b) 计算各子菜单的项数，最长菜单项的长度及各主菜单项的起始位置。

(c) 计算最长菜单项的项数点以及最多项数的子菜单的纵向项数点，并进行修正（考虑修饰）。

(d) 计算子菜单删除，弹出以及移动光棒时，所需的最大的内存空间。

(e) 若内存空间不够，则提示信息并返回到 DOS，否则继续执行。

(f) 显示菜单项并修饰。

(g) 设置主菜单项的光棒起始位置，显示光棒，并置热键为高亮度。

(h) 等待击键。

(i) 若击下的键不是 ←, ↑, →, ↓ 或回车键，则转第 8 步，否则若是 ←,

或→或热键，则移动光棒。并修饰光棒的位置；若是↓或回车键，则往下继续进行。

(j)弹出子菜单。

(k)等待击键

(1)若击键不合法，则转第 11 步，否则，若↑、↓或热键，则计算光棒的新位置，并移动光棒，若是←、→键则删除该子菜单，并在计算出的新位置弹出子菜单；若是回车键，则根据光棒在子菜单和主菜单上的新位置，计算出相应的功能模块函数在 funname 中的序号，然后删除该子菜单，并通过 funname 间接调用该函数之后恢复子菜单；若是 ESC 键则删除该子菜单，并转第 11 步。

(2)计算配比程序模块设计

本模块具有按率值配方和化学分配方两种方案，其原理如下：  
料的化学成分转换成灼烧量  $X=X*(100-a)$  式中，X 为某种原料的某种成分，a 为该种成分的烧失量。

需用煤气量=QA=B×原料配比（%）计算出来的灼烧量如表 5-1 所示。

表 5-1 原料成分分配比表

Table 5-1 The ration table of raw material ingredient

原料 成分	S <sub>1</sub> O <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaCO <sub>3</sub>	MgCO <sub>3</sub>
Y <sub>1</sub>	S <sub>1</sub>	A <sub>1</sub>	F <sub>1</sub>	C <sub>1</sub>	M <sub>1</sub>
Y <sub>2</sub>	S <sub>2</sub>	A <sub>2</sub>	F <sub>2</sub>	C <sub>2</sub>	M <sub>2</sub>
Y <sub>n</sub>	S <sub>n</sub>	A <sub>n</sub>	F <sub>n</sub>	C <sub>n</sub>	M <sub>n</sub>
煤气	S <sub>q</sub>	A <sub>q</sub>	F <sub>q</sub>	C <sub>q</sub>	M <sub>q</sub>

(3)列方程

(a)按化学分配方时

$$\begin{pmatrix} C_1 & C_2 & \dots & C_n \\ A_1 & A_2 & \dots & A_n \\ \cdot & & & \\ 1 & \dots & 1 & \dots & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} C - C_q QA \\ A - A_q QA \\ \cdot \\ 100 - QA \end{pmatrix}$$

其中，X1—Xn 为要求的各原料灼烧基配比，C，A 等为成分指标每一个平衡成分有一个方程，最后一个为总量平衡方程。

(b)按率值配方时

$$KH = (CaCO_3 - 1.65A - 0.35Fe) / (2s) \quad (P > 0.64)$$

$$KH = (CaCO_3 - 1.10A - 0.70Fe) / (2s) \quad (p < 0.64)$$

$$N = s / (A + Fe)$$

$$P = A / Fe$$

把生料化学成分代入上述三个方程, 加上总料平衡方程共得 4 个方程式:

$$a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \dots + a_{1n}x_n = b_1$$

$$a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \dots + a_{2n}x_n = b_2$$

$$a_{31}x_1 + a_{32}x_2 + \dots + a_{3n}x_n = b_3$$

$$x_1 + x_2 + \dots + x_n = 100 - QA$$

其中,  $a_{1j} = 2.8KH - S_j + 1.65A_j + 0.35F_j - C_j \quad (p > 0.64)$

$a_{1j} = 2.8KH - S_j + 1.10A_j + 0.70F_j - C_j \quad (p < 0.64)$

$a_{2j} = n(A_j + F_j) - S_j$

$a_{3j} = P \times F_j - A_j$

$b_1 = -QA(2.8KH - S_q + 1.65A_q + 0.35F_q - C_q) \quad (p > 0.64)$

$b_1 = -QA(AQ \times 2.8KH \times S_q + 1.10A_q + 0.75F_q - C_q) \quad (p < 0.64)$

$b_2 = -QA(A_q + F_q - S_q)$

$b_3 = -QA(P \times F_q - A_q)$

(4) 解方程

当方程个数等于未知数个数时用消元法, 当方程个数多于未知数的个数时用最小二乘法。通过解方程可以求得各原料的灼烧基配比设为:  $X_{灼1}, X_{灼2}, \dots, X_{灼n}$ 。

(5) 求干燥基配比, 并转换成百分配何比。

$$X_{干I} = X_{灼I} \times 100 / (100 - Qi) \quad (I=1, 2, \dots, n)$$

转换成百分配何比:

$$X_{干I} = X_{干I} \times 100 / \sum_{I=1}^n X_{干I} \quad (I=1, 2, \dots, n)$$

其中,  $ai$  为第  $I$  种原料的烧失量; 若有定量原料, 则 100 应为 100-定量原料配比。求各种指标。

(a) 按率值求配比时, 可根据灼烧基配比求得生料基化学成分指标。

$$C = \sum_{I=1}^n (C_i' \times X_{灼I}) / 100 \quad (C' \text{ 表示化学成分})$$

(b) 按率值求配比时, 可依据干燥基配比求得生料干燥基化学成分指标。

$$C = \sum_{I=1}^n (C_i' \times X_{干I}) / 100 \quad (C' \text{ 表示化学成分})$$

(c) 按生料化学成分指标求配比时, 可求得  $KH, n, P$  及  $TCaCO_3, KH, n, p$  计算公式见前。

$TCaCO_3=1.75CaO+2.48MgO$  若适应基,则把干燥基配比转换成应用基配比,并转换成百分配比  $X_{应I}=X_{干I} \times 100 / (100 - \text{水份})$  ( $I=1, 2, \dots, n$ ) 百分配比  $X_{应I}=X_{干I} \times 100 / \sum_{I=1}^n X_{干I}$  ( $I=1, 2, \dots, n$ )。

在设计该程序模块时,为了安全可靠,也为了方便用户,首先利用公用函数弹出一个更低一级的菜单,让用户选择使用哪种方案计算配比。然后调用相应的函数解方程计算出干燥基配比及各种指标,并显示在屏幕上。如果用在输入基本数据画面输入了原料水分,则按应用基处理,即将干燥基配比转换成应用基配比,当用户要求保存则存盘立即送至前台机,之后按新配比进行控制。

### (1) 报表生成模块

首先屏幕提示用户回答是否到交接班时间;然后通讯,接收每个秤每小时的下料量,通讯分四次进行,每次为4个秤2个小时的下料量数据共有8个。用数组保存起来,计算出每个秤8个小时的下料量,以及每个小时的下料和。之后分别生成班,日报表。

(a) 班报表生成,将原报表保存起来用新数据覆盖原报表,数据排列9行,每一行9个数据。第一行为本班第一小时各秤下料量及其和,依此类推,最后一行为各秤8小时下料量合计及总和计。

(b) 日报表生成,将原报表另外保存起来,文件名为SNRB2.DAT,将原报表(SNRB1.DAT)以写方式打开SNRB2.DAT以读方式打开。日报表共有四行,前三行对应一天三班,最后一行为累计。由班次可得出当班是第几行若是零点班,则以新数据(台时产量,总产量几各秤当班下料量)重行第一行,第二行,第三行清除。若是8点班,则读SNRB2.DAT的第一行,并写入SNRB1.DAT的第一行,若写入SNRB1.DAT的第一行,将新数据添入第二行,第三行清除。若是十六点班类是。若到了交接班时间,则更新累计行。

### (2) 报表打印模块

首先弹出一个二级菜单,提出各种报表选择。按照用户的选择调用相应的函数,打开响应的数据文件,进行读操作,并打印输出。报表打印模块的各函数比较容易编写,但需要打印汉字。汉字打印一般有两种方法,其一使用带有硬字库的打印机,不用中文DOS就可以打印汉字;其二使用中文DOS;其三自己编写一套汉字打印程序。第一种方法成本提高,第二种方法往往发生中文DOS和C语言图形画面不太兼容的情况。第二种方法费时费力,难度较大,为了节省成本,本系统配置的打印机不带硬字库在实现汉字打印时,分析了几种中文DOS,如CCDOS2.13,UCDOS,CCDOS4.0等,发现CCDOS2.13H的图形方式和

C 语言的兼容性较差,但其打印程序可单独使用。这样不必进入 CCDOS2.13H 的汉字画面,就可打印汉字,并避免了图形不兼容。设置 AUTOEXEC.BAT 为:

```

FILE1    A2
INT 10 F
YX1
PRTA) NUL
FILE 16B
FILE24A  1SFHK
FILE 40A  1SFHK
ZF24B
PATH C: \; C: \213
    
```

这一种方法可打印出各种字体的汉字,报表打印效果最好。

### 5.3 通讯程序

对于双机控制系统,前后台机通讯较为重要,在本系统中,二者采用全双工串行异步通讯方式,可以相互发收。因距离很近,为使用调制解调器,而采用三根线连接方式,如图 6-10 所示。需要通讯时,由后台机提出申请。前台机配合完成,为了安全可靠就得制定一套通讯协议,并分别编写出前台机的通讯程序。

#### (1) 通讯协议

双机通讯时串行帧为 1 个起始位,8 个数据位,一个停止位。无奇偶校验,波特率为 4800,每次通讯都是由后台机先提出申请,前台机回答。回答信号按通讯数据的不同进行不同的约定。一些例子如下

通讯数据	请求信号	回答信号
配比	EE	E
总给定	QQ	Q
给定流量	GG	G
测量信号	CC	C

在后台机画面上,除了报表打印清除日报表、恢复报表和时间、日期校正外,其他画面都涉及到通讯,可见要通讯的数据很多,但有些很少用,如线速

度，杠杆系数，输入特性等，通讯数据传输格式为：

数据 1	数据 2	---	数据 n	累加和
------	------	-----	------	-----

每个数据位三个子节（即 MCS-51 采用的浮点数格式），累加和也为三个字节，是 n 个数据按三个字节整数相加的结果，溢出位不予考虑，对一串通讯的数据，其字节数  $3(n+1)$  是双方预约好的，如果收到的字节数和预约的不相等，则考虑本次通讯失败，对接收到的数据不予处理。此外收方要按照规定计算 n 个数据的累加和，进行累加和校验，以保证通讯正确。

### (2) 前台机通讯程序设计

前台机通讯采用中断方式，（优先级低于时钟中断），便于后台机随时对它进行监控和管理，在通讯过程中，前台机始终处于被动从属位置。通讯失败时，它只能向后台机反映情况，而无法进行根本性的解决。当响应串口中断时，在通讯中断服务程序中，首先保护现场，其次判断是接收中断还是发送中断，然后分别处理。如果是接收中断，则还要区别请求信号和传输的数据，请求信号是两个字节，以第二个为准。在接收流程图中，请求信号计数器用来表示的是请求第 n 个字符，若是第一个，则让计数器加 1；若是第二个字符则将请求信号标志置位。表示以后接收中断不是请求信号，同时保存该请求信号，以便识别收（或发）的是哪一种数据，最后发回答信号。若是发请求信号，则将要发送相应数据，在相应的发送缓冲区中按规定排列好，并设置缓冲区首址，调用发送子程序发第一个字节，修改缓冲区指针。当请求信号标志置位时，说明本次中断是让前台机接收数据的，故将接收到的字符送到相应的接收缓冲区，并将接收字节计数器加 1。如果接收的是最后一个字节，则将请求信号计数器，接收字节计数器和请求信号标志置位时，说明本次中断是让前台机接收数据的，故将接收到的是最后一个字节则将请求信号计数器，接收字节计数器和请求信号标志清零，为以后接收做好准备，并且发送自己计算的累加和，以便后台机检测通讯的正确性。然后进行累加校验，若校验正确，则设置相应的控制字。在一个控制周期内，要判断一次控制字是否置位，若置位，则调用相应的子程序到缓冲区读取数据，并进行处理，之后将该控制字复位。

如果本次中断是发送中断，则根据最近保存的请求信号识别出发送是否结束。若本类数据发送完了，则清除发送字节计数器，然后中断返回，若发送完了，则清除发送字节计数器，然后中断返回，若位发送完则调用发送子程序发送一个字节，将发送字节计数器加 1，并修改发送缓冲区指针，然后中断返回。

### (3) 后台机通讯程序设计

由前面章节的叙述可知,后台机不进行实时性的工作,并且通讯的数据类别很多。为了让前台机集中精力搞好控制工作,不增加其通讯时间,我们尽量让后台机多完成些通讯方面的工作,在介绍管理软件我们知道后台机在屏幕上显示数据和用户输入的数据都是字符串,而且在计算时它所用的实型数(Float 类型占 4 个子节, double 类型占 8 个字节)格式也和前台机的三字节浮点数格式不同。因此在通讯时,要进行数据格式转换,即三字节浮点数与字符串及实型数之间的相互转换,由于后台机的实型数和字符串之间的转换,有专门的 c 语言库函数,因此我们只考虑三字节浮点数之间的转换和字符串之间的转换,而不考虑实型数和三字节浮点数之间的转换。后台机通讯函数如下:

(a) 通讯请求函数

原型: `Char comrq (char*q);` 该函数将字符串 q 的前两个函数依次发送给工控机,然后检测串行口状态。若准备好,则读取回答信号,并返回。经一段延时后,还不能读取字符,说明串行口或通讯电缆或前台机可能有问题。此时返回零。

(b) 发送数据函数

原型: `int send (unsigned char*data[], intn);` 该函数发送几个字符串,(三字节浮点数)后,接收前台机计算的累加和,与发送的累加和比较,如果相等,则说明通讯成功返回 1; 否则返回 0。

(c) 接收数据函数

原型: `int recive (unsignd char*data[], intn);` 该函数接收 n 个字符串(三字节浮点数),存于数组 data 中,并按照通讯协议计算累加和进行累加和校验。如果通讯成功返回 1; 否则返回 0。

(d) 字符串转换为三字节浮点数函数

原型: `void stromcs (char*data[], unsignd char*f3b[], int n);` 该函数将 data 指向的 n 个实型数字字符串转换为 n 个三字节浮点数,存于 f3b 中。

(e) 字符串转换为三字节浮点数,转换为字符串函数,

原型: `Void mcstostr (unsigned char f3b[], char*data[], int n);` 该函数先将 f3b 中的 n 个三字节浮点数转换成实型数,然后在转换为字符串,存于 data。

我们知道,在通讯过程中,后台机处于主动地位,只有它才能提出通讯申请。因此后台机必须对接收,发数据进行检验,解决出现的问题。发送数据时,

首先调用 `stromcs` 函数，将待发送的若干实型数字字符串转换为三字节浮点数，并变为通讯数据格式（含累加和），然后调用 `comrq` 函数按预约好的请求信号进行请求。如回答正确，则调用 `send` 函数进行发送；否则重新请求，经过若干次请求后未收到正确的回答信号，则在屏幕上提示出错误信息。发送完后，检查 `send` 函数的返回值，若不成功，则重新请求发送直到成功为止。

后台机接收时，首先调用 `comrq` 函数进行请求类使的发送请求。若回答正确时调用函数 `recive` 接收，并进行累加和校验。如果校验正确，则去掉累加和后，调用 `mcstostr` 函数转换为实型数进行计算。若累加和校验错，则重新申请接收，直到正确为止。

## 第六章系统的安装与调试

安装与调试分两个场合进行，先在实验室，后在现场。本章将简单介绍安装与调试的过程及出现的主要问题和解决措施。

### 6.1 硬件系统的安装与调试

在实验室，先将各部分调试好，然后再连接到块，进行整体调试。

#### (1) 后台机

将管理程序的通讯部分暂时去掉，然后操作各画面，其调试任务主要是数据输入、修改、计算和打印，采用的数据是从现场收集来的。为了调试的方便性，文件读/写以字符串的二进制进行，这样可随时调看数据文件。

#### (2) 串行口通讯

为了调试通讯，专门编写了两个独立的前台机通讯程序。方法是一台机器向另一台机器发送，然后再接收原数据，观察有无异常，这样频繁、长时间的调试，发现前台机收、发均无问题，但有时后台机发送的一串数据中的首字符出错。解决办法是，将请求信号改为两个字符，以第二个字符为准。

#### (3) 前台机

先将控制柜通电检查，然后将前、后台机和控制柜连在一起。调试手动时，在可控硅上连接灯泡，同时观看灯泡的明暗和屏幕上显示的数据。调试自动时，在传感器上施加压力，观看PID特性调试和数据显示画面。此外，调试产量运转时间累计、报警、联锁等。各个部分都正常后，整个系统较长时间运行，没发现什么问题。

### 6.2 软件的调试

在对硬件调试完后，由对现场的了解知道，控制室在风机房的上面。干扰很强，包括电源干扰，空间和通道干扰，因此在设计硬件和软件时已做了考虑，如采用光电隔离、去藕电容、稳压管和数字滤波等。在运转时，使交流稳压源的输出经隔离变压器和滤波器，再到直流稳压源；信号线与电源线分开走，信号线全部采用屏蔽线。但干扰问题还是不能完全解决，如屏幕晃动等。主要发

现两个问题。

(1) 通讯有时不正常，经过跟踪，单独执行后台机通讯软件，发现串行口有时有异常字符，经分析不是由软件和硬件产生的，而是由干扰引起的，硬件没办法解决，只有通过软件来想办法，因前台机设计的局限性，不得不放在后台机上进行分析，解决依次使用 NT n, outport, bioscom 等方法来修改通讯程序，没获得成功，后来在改为发送请求信号之前，检查串行口状态，若有字符则读取，但也未彻底成功。最后加上重新初始化串行口，较满意得解决了这个问题。

(2) 前台机 EPROM 中的程序有时在启动时死机，更换 EPROM 和 CPU 板，还是偶尔有死机现象，经过试验，发现控制程序存入外部数据存储器 SRAM 中，运行很可靠，既没有死机，程序也没飞。启动由此改为用后台机程序，控制程序的 m.obj 文件也存于硬盘上，这样还多了一个好处，如果长时间以后万一程序飞掉，用户也可自行装入，减少了维护工作量。

总之，现场情况千变万化，有时问题因其客观性不能完全根除，这就需对多种方案进行试验，分析和比较，最后解决之，亦即解决实际问题靠的是理论，实践和经验。

### 6.3 称量系统的综合调试与试称量

本系统从 2001 年 9 月 15 日投入运行后，实际效果比较理想，既减轻了工人的劳动强度，又能给技术管理者带来原始的管理依据，提高了石灰的产量和质量。因为该系统对一些空气的压力、温度都进行了实时观测，因此整个套筒窑系统中发生故障的部位会在电脑上实时的显示，该配料系统从投产以来，白灰的质量一直比较稳定，受到了我厂用户的好评。

前面已经提到，现场会有噪音干扰问题，经过近两个月的试生产，对整个配料控制系统进行了调试，确实有时因为噪音干扰，而导致数据发生紊乱，因此摆在我们前面的问题是采取一切好的办法尽量减少噪音的干扰。但从整个试生产阶段来看，称量效果较好，解决了我厂多年来存在的管理问题，也大大减轻了工人的劳动强度。

## 第七章 结论与建议

从调试到试生产这一过程，经过了很多挫折，在调试过程中，经常会发生某一个环节行不通了，解决的办法就是修改参数，或改变某些设备动作的先后顺序，但最终解决了套筒窑生产配料的实际问题。通过进行该控制系统的设计与学习，我深刻地体会到电子技术与机械知识相结合的重要性，当今时代机电一体化已是必然，通过对该论文的总结，使我对自动化技术有了一些初步了解，受益非浅。总结起来有如下几点结论：

(1)该控制系统在现有的硬件配置条件下，能较好的完成上料控制任务。各个参数运行平稳。

(2)上料自动存储报表能准确记载每班的上料情况，真正完成了管理数据化。确保产品质量运行平稳。

几点建议如下：

(1) 随着硬件，软件的更新换代，做好控制系统的配置更换。

(2) 对受控机械设备，做好跟踪，不断更新换代确保控制精度。

## 致谢

本论文的全部工作都是在导师高航的精心指导下完成的，字里行间都凝聚着导师的心血。导师的亲切教导和严谨的学风以及渊博的知识将使我受益终生。论文能够顺利完成是与导师对论文工作的全过程所给与的全面的具体的指导分不开的，

在论文工作期间得到了我厂冯厂长的多方指导与热心帮助，在论文完成期间还得到了高级工程师王庆吉的指导与帮助，在论文的调试期间还得到了套筒窑车间全体职工的大力配合。

值此，我谨向支持、关心和帮助我的老师、领导、广大同事和朋友们致以崇高的敬意和诚挚的谢意。

## 参 考 文 献

1. 李国平, 宋瑞生, 孙桂生等, 《数学模型与工业自动控制》(第一卷) [M], 武汉: 湖北人民出版社, 1978。
2. 周培森, 《自动检测与仪表》[M], 北京: 清华大学出版社, 1987。
3. 师克赛, 黄峨, 《过程参数检测》[M], 中国计量出版社, 1990。
4. 中国金属学会, 冶金自动化学会等编《全国工业窑炉自动学术会议论文集》, (第二届) 1990。
5. 黄君, 《半导体变流技术》[M], 北京: 机械工业出版社, 1980年8月。
6. 齐占光, 《机床控制技术》[M], 北京: 机械工业出版社, 1994年5月。
7. 康华光, 《电子技术基础》[M], 北京: 高等教育出版社, 1980年1月。
8. 向利民, 《mcs-51/96 系列单片机应用系统配置与接口技术》[M], 北京: 航空航天大学出版社, 1990年4月。
9. 沈得全, 《mcs-51 系列单片机接口电路应用程序控制实例》[M], 北京: 航空航天大学出版社, 1990年4月。
10. 薛钧义等, 《mcs-51/96 系列单片微型计算机及其应用》[M], 西安: 西安交通大学出版社, 1990年6月。
11. 徐用等, 《微型机在控制中的应用》[M], 北京: 清华大学出版社, 1989年6月。
12. 潘新民《微型计算机控制技术》[M], 北京: 人民邮电出版社, 1988年3月。
13. 黄一天, 《微型计算机控制技术》[M], 北京: 机械工业出版社, 1988年6月。
14. 钱宗宇, 《微机通讯技术》[M], 成都: 电子科技大学出版社, 1992年9月。
15. 徐金梧等, 《tubo, c 使用大全》[M], 北京: 北京科海培训中心, 1991年10月。
16. 伊彦芝, 《c 语言高级教程》[M], 北京: 清华大学出版社, 1991年10月。
17. 郭寺英, 微机控制的配料皮带秤《自动化仪表》[J], 1999年第7期。
18. 丁恩杰等, 微机监控系统抗干扰方法研究与设计[J], 《煤矿自动化》, 1999年第3期。

19. 李泉, mcs-51 在数字 pid 调节器中的应用[J], 《自动化仪表》, 1999 年第 5 期。
20. 王自荣等, 石灰生料粒径与速烧工艺[J], 《硅酸盐学报》, 2000 年第 2 期。
21. 崔义飞, 用 GWBASIC 语言与 mcs-51 通讯[J], 《自动化仪表》, 1999 年第 5 期。
22. 胡敏文等, std 工控机在烧碱蒸发过程中的应用[J], 《自动化仪表》, 1995 年第 5 期。
23. 尤兆生等, 水泵运行参数采集显示与打印系统[J], 《电子测量技术》, 1999 年第 4 期。
24. 赵建新, 浅谈工业控制领域中的微机选型[J], 《自动化仪表》, 2000 年第 11 期。
25. 宋占华, 微型计算机应用系统的抗干扰设计[J], 《电子自动化》, 1998 年第 6 期。
26. 刘伯强等, 单片机控制系统中的算法的处理与应用[J], 《电气自动化》, 2000 年第 2 期。
27. 王玉琦, MCS-51 指令系统中易出错的转移、调用指令[J], 《电子与自动化》, 1999 年第 6 期。
28. 路朝晖, 数字 PID 控制中饱和问题的研究[J], 《自动化仪表》, 1998 年第 12 期。
29. 周林富, 模拟信号光藕离方法及应用分析[J], 《工业仪表与自动化装置》, 1999 年第 6 期。
30. 任忠孝, XHY 持久炉微机集散控制系统[J], 《电子自动化》1999 年第 6 期。
31. 刘伯春等, 分布式微机数据采集系统, 《自动化仪表》, 2000 年第 3 期。
32. 鲍海燕, 计算机总线[J], 《计算机应用》, 1998 年第 4 期。
33. 何克忠, 郝恩等, 《计算机控制系统分析与设计》[M], 北京: 清华大学出版社, 1988。
34. 刘豹, 《现代控制理论》[M], 北京: 机械工业出版社, 1983。
35. 胡家耀, 赵亚军, 《现代控制理论基础》[M], 北京: 轻工业出版社, 1990。
36. Clothill. J. R, Gokcen. N. A, Morral. J. E, computerized Metallurgical Database[J], Warrendale, pa: AIME, 1998
37. George Blickley. PID Tuning without The Math, Control Engineering [J], VOL37NO. 2 Feb 1990:17-18

38. Vance J. Vandoren. Examining The fundamentals of PID Contral  
[J]. Control Engineering , vol43 NO. 2, Feb, 1996;51-54.