

摘要：重锤料位计是用于监测料斗、筒仓和其他类型容器内粉末、颗粒料位高度的传感器，直接测量料仓顶部无料空间距离，间接计算出料仓内的物料高度，能在大粉尘、湿度变化大等极端恶劣环境下准确测量，是这方面料位测量的首选工具。基于对传统重锤料位仪表基础上进行改进，采用系统状态机的思路对仪表固件程序进行重新设计和编写，自主设计和开发了一款新型的重锤料位计控制仪表。仪表具有测量、计算、设置、菜单、控制、报警、故障在线监测等多项功能，各项功能及技术指标均达到设计要求，现已成功应用于生产现场。

关键词：重锤料位计；固件程序；单片机

中图分类号：TP212

文献标识码：A

文章编号：1006-883X(2018)05-0035-05

收稿日期：2018-03-26

# 重锤料位计原理及其固件程序设计

杨中兴

辽宁建筑职业学院，辽宁辽阳 111000

## 一、引言

农业生产中，经常需要对固体状料面（如水泥、煤炭、化工、冶金、饲料、粮食等各种粉状、块状、颗粒状原料）的高度进行在线测量与控制，及时准确地测知物料高度对于生产管理、维持工厂安全高效运行具有重要意义。重锤料位计是一直用于监测料斗、筒仓和其他类型容器内粉末、颗粒料位高度的传感器。

重锤式智能料位仪主要由执行机构和智能控制两部分组成<sup>[1]</sup>。传统重锤料位计使用四位数码管显示料位高度数值，配合LED光条显示料位高度相对于料仓高度的比值，人机接口单一，显示界面不友好，可设置功能有限，几乎不提供菜单，使用过程很不方便。此外，传统重锤料位计对两个严重故障“丢锤”和“埋锤”不提供检测，为安全运行留下了隐患。针对传统仪表的诸多弊端，采用系统状态机和事件驱动的思想，重新设计固件程序，同时将显示界面更换为LCM12864，通过液晶屏可以提供丰富多彩的显示信息，多层级的菜单设置等功能，对重锤料位仪表的功能和产品设计取得了质的飞跃。

## 二、重锤料位计原理

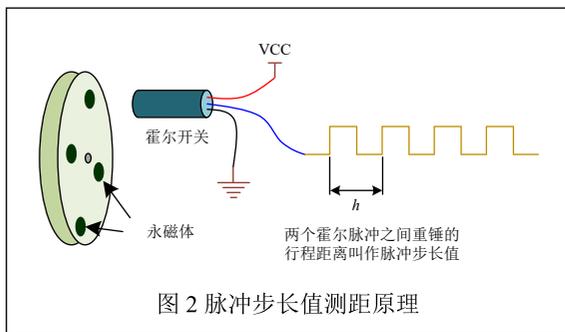
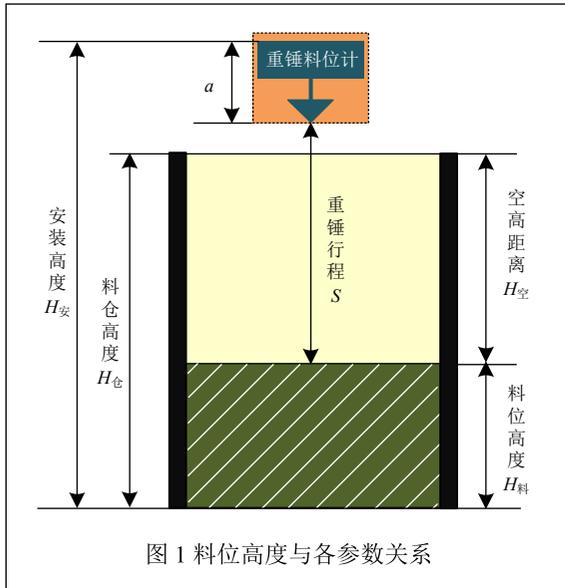
重锤料位计由一次侧传感设备（以下称一次仪表）和二次侧控制仪表（以下称二次仪表）构成。一次仪表主要由可逆电机、减速器、灵敏杠杆、行程开关和霍尔开关、滑轮（内嵌永磁体）、重锤和钢丝绳等组成。一次仪表安装在料仓顶部，由二次仪表对其传感器信号进行检测并对其电机施加控制。

重锤料位计的探测过程是：二次仪表发出启动测量信号，给出电动机正转信号，经减速机带动长齿轮和滑动绕线齿轮从仓顶开始放绳，测量单元的单片机同时记录磁信号编码器的转数脉冲信号经减速后带动绕线筒转动<sup>[2]</sup>。当重锤降至料面时被料面托起而失重，钢丝绳松弛，灵敏杠杆动作使微动开关接触，二次仪表得到该信号立即发出电机反转命令，重锤上升返回，直到重锤上升到接近原点处，触发霍尔开关，电机停转，重锤回到仓顶原点位置，完成一次探测过程。

料位高度的计算原理参见图1，公式如下：

$$H_{料} = H_{仓} - S + (H_{安} - H_{仓}) \quad (1)$$

$$H_{空} = H_{仓} - H_{料} \quad (2)$$



其中， $H_{料}$ —料位高度；  
 $H_{仓}$ —料仓高度；  
 $S$ —重锤行程；  
 $H_{安}$ —安装高度；  
 $H_{空}$ —空高距离。

图中  $a$  通常不会超过 10cm，而待测料位高度通常几米甚至十几米，所以  $a$  可以忽略不计。此外仓库底高度也可以忽略不计。

在此测量过程中，重锤下放过程会通过钢丝绳带动一次仪表绕线轴转动，绕线轴镶嵌有永磁体，会触发霍尔元件产生脉冲序列，二次仪表通过检测此脉冲序列个数计算出重锤从仓底到料面间的距离，经过上面公式的转换计算出料位高度，在液晶屏上显示，并在后面板端子上输出与料位高度对应的标准电流信号。

### 三、系统构成

#### 1、系统结构框图

重锤料位仪由重锤、牵引钢绳、驱动电机、控制驱动箱、开关与脉冲发生器以及仪表箱等部件组成<sup>[3]</sup>。仪表微处理器采用了 51 内核单片机 (STC89C58)，由程序控制传感器的整个探测过程的动作，并检测其信号进行计算，在面板上通过 12864 液晶屏显示料位高度数值和空高距离数值，以光柱形式显示高度比例，并有相应的 4mA~20mA 模拟电流信号输出，测量可定时自动进行，也可手动测量。

#### 2、固件程序设计思路

##### (1) 单片机信号采集和处理模块

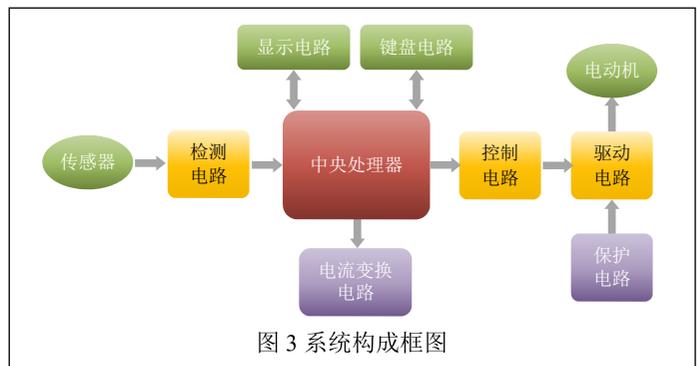
单片机信号采集和处理模块主要完成对一次仪表所有传感器信号的采集和处理，并控制电机的运行和停止，驱动液晶屏显示等。微控制器芯片采用 STC89C58 单片机，其内部程序存储器 (Flash) 可达 32K，E<sup>2</sup>PROM 达 29K，内置看门狗电路，可以满足项目设计要求。

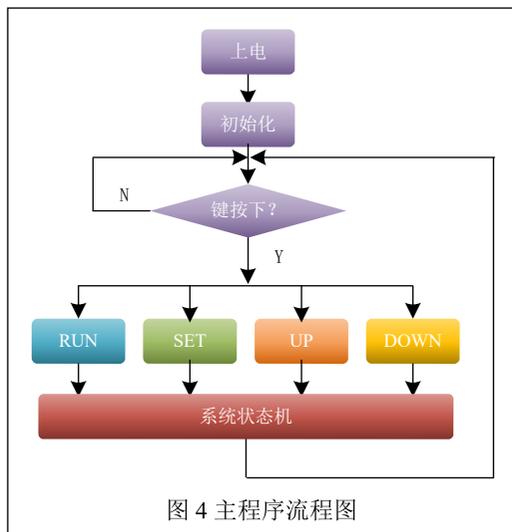
##### (2) 显示电路

传统料位仪表主要是以数码管提供显示功能，显示内容受限制。本仪表采用 LCM12864 液晶屏模组作为显示器，以点阵式取模为主要驱动方式，不仅可以显示字符、数字，还可以显示各种图形、曲线及汉字，并且可以实现屏幕上下左右滚动，动画功能，分区开窗口，反转，闪烁等功能，能够支持多级菜单的设计和复杂控制功能的显示。

##### (3) 控制策略

如何通过一次仪表内的放锤到位行程开关和收锤到位霍尔开关这仅有的两个位置传感器信号，判断重





锤是否出现丢锤、埋锤等故障状态，是对控制策略和程序设计的一个挑战。通过设计有限状态机（FSM）程序，解决了对重锤运行过程中可能出现的故障状态的监测、判断和处理过程。

#### （4）界面设计和多级菜单

为了提供良好的用户体验，在主界面中设计了动画、图标、公司 LOGO、汉字、数字、光标等元素；菜单设计借鉴以人为本的设计理念，以多级菜单展现仪表提供的诸多功能，操作方便，简单易用，使用者甚至可以在不看说明书的情况下直接完成仪表的设置和测量工作。

## 四、系统固件程序设计

系统软件的设计主要包括主程序流程、初始化程序、硬件设备的驱动程序，信号检测程序、系统状态机程序等子程序模块，采用 C 语言进行编程，下面依次介绍各主要子程序模块的功能和流程。

### 1、主程序模块

主程序工作过程：初始化 - 检测按键 - 启动系统状态机，流程如图 4 所示。

### 2、初始化流程

系统上电后即进入初始化程序，主要包括：液晶屏的初始化、重锤状态检测、E<sup>2</sup>PROM 初始化、DAC 及标准电流输出、绘制主界面和建立系统状态机。初始化流程如图 5 所示。



液晶屏的初始化：主要完成 12864 的复位和清屏操作。

重锤状态检测：是指仪表上电后应检测重锤是否在位，如果发现丢锤，应进入丢锤故障状态，禁用手动自动测量功能，同时给出报警信息，提示操作人员排除故障。检测策略为：如果刚上电（还未启动测量）即检测到放锤到位信号，意味着钢丝绳松弛，即可判断为丢锤。

E<sup>2</sup>PROM 初始化：用来读取重要配置和参数，例如重锤料位计的安装高度、料仓高度、手动自动测量

模式、自动测量的定时时间间隔、高位报警值、低位报警值、开机显示上一次最后测量值、管理员密码、以及一些状态信息标识位。设计中采用了 STC89C58 片内 E<sup>2</sup>PROM 空间。

DAC 和标准电流初始化：指读取并显示上一次通电最后一次测量值，同时标准电流给出对应输出信号。程序从 E<sup>2</sup>PROM 中读取到上一次断电前最后一次料位测量结果，通过料位高度值和料仓高度比例关系换算出对应的 0~255 之间的二进制数据，驱动 4mA~20mA 标准电流模块。

绘制主界面：仪表面板主要由一块液晶屏、四个按键和两个 LED 组成，系统开机后将显示公司 LOGO 及公司名称 2s，待开机进度条跑完，则绘制图 6 所示主界面。该主界面左侧以柱状图形式直观显示当前料位高度及料仓高度关系，中间显示料位高度值和空高距离（以米为单位），下边则分别显示标准电流值、系统工作状态和手动模式状态。



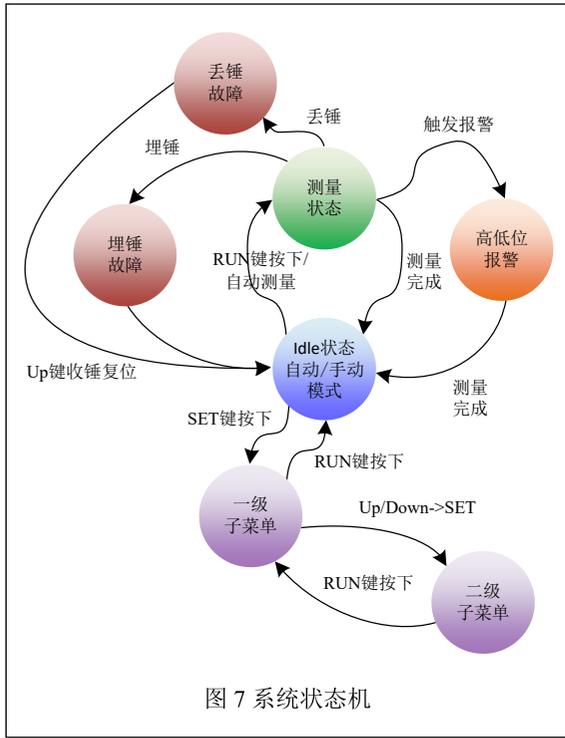


图7 系统状态机

建立系统状态机：系统状态机是仪表工作的有限状态子集集合以及状态之间的触发和转换条件，也称有限状态机（Finite-state machine, FSM）。本部分所占篇幅较长，将在下文详细论述。

### 3、系统有限状态机

有限状态机又称有限状态自动机，是表示有限个状态以及在这些状态之间的转移和动作等行为的抽象模型，有限状态机的输出取决于当前状态和当前输入。在重锤料位计二次仪表设计中，可驱动状态机切换的事件有按键和各传感器信号，以及它们之间的不同组合形式。可抽象出来的主要状态有：IDLE 状态、开始测量状态、一级子菜单等待设置状态、二级子菜单等待设置状态、高低位报警状态、丢锤故障状态、埋锤故障状态。

比如，仪表上电初始化后即进入 IDLE 状态，此时显示系统主界面。在 IDLE 状态可相应按键事件，进行手动测量从而进入测量状态，或者进入一级子菜单设置状

态。在测量状态，如果测量过程顺利完成，则回到 IDLE 状态，并更新数据显示；如果测量结果超过上下限报警范围，则进入高低位报警状态，显示报警信息；如果测量过程中出现丢锤、埋锤事件，则进入故障报警状态，在此状态下测量功能将被禁用。系统状态机如图 7 所示。

### 4、测量过程

当仪表处于 IDLE 状态，即显示主界面状态，可通过手动按键或者自动测量进入测量状态。启动测量后，程序将开启放锤到位中断，然后驱动电机正转放锤，同时液晶屏显示“测量中……”；此时如果收到放锤到位中断信号，即刻停止电机，程序根据接收到的脉冲步长信号个数，计算出重锤下放行程，再根据安装高度、料仓高度等参数，计算出出料位高度，并更新显示。然后开启收锤到位中断，进入收锤状态，驱动电机反转收锤。在收锤过程中，仍然需要检测脉冲信号，以判断是否发生埋锤；在收锤过程中仍然要保持放锤到位中断开启，以判断是否发生丢锤。如果没有故障发生，在收到收锤到位中断信号后，停止电机，完成本次测量，系统回到 IDLE 状态。测量过程流程如图 8 所示。

### 5、丢锤与埋锤

丢锤和埋锤是重锤料位计比较常见的严重故障状态，如何根据有限的传感器信号，判断丢锤与埋锤故障，

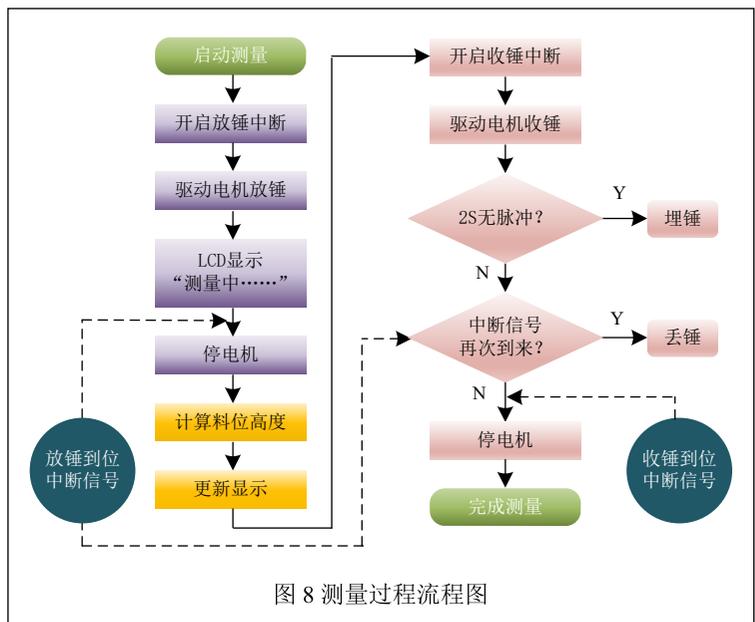


图8 测量过程流程图

是系统软件策略设计的一个难点。

#### (1) 丢锤故障的判定

根据已有的一次侧设备,只有放锤到位行程开关和收锤到位霍尔开关两个传感器信号用来标识重锤位置。其中放锤到位行程开关的动作,依靠放锤到底后,重锤所连接钢丝绳即变松弛,引起行程开关动作从而发出信号。据此可推知,在收锤过程中,在未收到霍尔开关信号前,如果检测到放锤到位行程开关信号,即意味着收锤过程中钢丝绳忽然松弛,可判定为丢锤故障。

#### (2) 埋锤故障的判定

在正常的收锤过程中,当单片机给出收锤信号,电动机即开始反转收锤,这时通过钢丝绳缠绕的滑轮(滑轮内嵌有永磁体,配合霍尔开关)可检测到脉冲信号。根据这个原理,如果在启动收锤过程后一定时间内检测不到脉冲信号,意味着重锤未被收回,应进入埋锤故障状态。在此状态下应使电动机停车,避免电动机过热烧毁。

## 五、测试与总结

本文针对传统重锤料位计进行技术改进,重新设计并实现了控制仪表的固件程序。创新性地将有限状态机应用于重锤料位计控制仪表的设计中,并改进显示器件,设计多级菜单,提高测量精度,增加丢锤、埋锤等故障处理功能,为仪表产品提供了友好的用户使用体验。该仪表现已投产并在多处生产现场运行良好。仪表上电实物图如图9所示。



图9 仪表上电实物图

## 参考文献

- [1] 黄成祥,王杰,傅波,谢永乐.重锤式智能料位仪的设计[J].四川大学学报,2000,5(32):51-53.
- [2] 朱志.智能料位仪的单片机硬件和软件设计[J].安徽大学学报,1997,9(21):56-60.
- [3] 商黔林,李尚柏,郑高群.单片机智能料位仪的设计[J].电气自动化,2000,04:43-47.

## Principle of Heavy Hammer Level Meter and Its Firmware Program Design

YANG Zhong-xing

(Liaoning Jianzhu Vocational College, Liaoyang 111000, China)

**Abstract:** Heavy-hammer level meter is type of sensor used to monitor the heights of powder or particles in hoppers, silos and other types of containers. The level meter directly measures the distance of free space at the top of the silo and indirectly calculates the height of the material in the silo. It can complete measurement accurately in the extreme bad environment, such as high dust concentration and humidity, which is the first choice of the level measurement in this field. Based on the improvement of the traditional heavy hammer level meter, the finite state machine model is adopted to redesign the firmware program. A new type of heavy hammer level control instrument is designed and developed independently. The instrument has many functions such as measurement, calculation, setting, system menu, control, alarm, on-line fault monitoring and so on, and all the functions and technical indexes reach the design requirements. The instrument has been applied to the production site successfully by now.

**Key words:** hammer position meter; firmware; single chip microcomputer

## 作者简介

杨中兴: 辽宁建筑职业学院, 讲师, 研究方向为应用电子技术, 智能控制技术。

通讯地址: 辽宁省辽阳市青年大街24号辽宁建筑职业学院

邮编: 111000

邮箱: starsyang@yeah.net