

A thesis submitted to
Zhengzhou University
for the degree of Master

**The research and application of high precision multi-step
inspection screen control system**

By Zheng Hua Dong

Supervisor: Zhang Jian Li

Mechanical Manufacturing and Automation

School of Mechanical Engineering

May 2013



原创性声明

本人郑重声明：所呈交的学位论文，是本人在导师的指导下，独立进行研究所取得的成果。除文中已经注明引用的内容外，本论文不包含任何其他个人或集体已经发表或撰写过的科研成果。对本文的研究作出重要贡献的个人和集体，均已在文中以明确方式标明。本声明的法律责任由本人承担。

学位论文作者：**郑华栋**

日期：**2013年5月31日**

学位论文使用授权声明

本人在导师指导下完成的论文及相关的职务作品，知识产权归属郑州大学。根据郑州大学有关保留、使用学位论文的规定，同意学校保留或向国家有关部门或机构送交论文的复印件和电子版，允许论文被查阅和借阅；本人授权郑州大学可以将本学位论文的全部或部分编入有关数据库进行检索，可以采用影印、缩印或者其他复制手段保存论文和汇编本学位论文。本人离校后发表、使用学位论文或与该学位论文直接相关的学术论文或成果时，第一署名单位仍然为郑州大学。保密论文在解密后应遵守此规定。

学位论文作者：**郑华栋**

日期：**2013年5月31日**

摘要

随着高炉大型化、高效化、低成本操作、煤比不断提高和高炉寿命的不断延长,对原燃料的质量要求不断提高。同时,随着矿产资源变化和国内球团技术的发展,炉料结构也在不断地调整和优化。送入高炉的原燃料粒度不同,高炉煤气流分布差别就会很大,为了改善透气性和提高利用率,上料系统的物料的粒度的大小显得尤为重要。

本文针对郑州大学联合河南省新乡县四达有限公司特为首钢京唐公司设计的四套 DSP0740-04 高精多步粒度检验装置展开分析和研究,对首钢京唐一号高炉和二号高炉的返焦返矿物料的粒度进行检测,不但方便工人的检修,同时也能够提高资源的利用率。本文结合实际工况和现场需求,对物料粒度检测设备的结构原理,电气控制程序进行了研究,并对称重系统进行了理论分析。

论文首先介绍了 DSP0740-04 高精多步粒度检验装置的结构特点和原理,分析了其关键技术和主要技术指标,以及安装调试方法。该检验装置具有筛分精度高,结构紧凑,占地面积小,结构简单,筛板更换方便等特点,通过三台振动电机的不同组合来实现对物料的筛分、剔卡和输送三个工序,通过对振动电机运行时间的调整来提高筛分效率。

论文根据检验装置的工作原理和电机的运行顺序对自动化电气控制部分进行了设计,包括以下几点:(1)返焦、返矿物料粒度检测筛分控制系统的组成;(2)PLC 控制程序的设计;(3)组态画面的设计;(4)通讯的设计;(5)数据的保存。

论文对物料检测设备的称重系统进行了理论分析和仿真,为控制系统程序编写提供了理论依据,使采集到的数据准确可靠。

四套物料粒度检测设备已经安装调试成功,到目前为止,在京唐公司炼铁部已成功应用六个多月,设备的自动化程度高,程序可读性强,控制操作简便,采集数据准确,上料系统检修方便,不但提高了操作工人的工作效率,也给整个公司尤其是上料部门带来了很大的经济效益。

关键词: 检验筛; 电气控制; 通讯; 可编程逻辑控制器; 数据采集

论文类型: 应用研究

Abstract

Along with large-scale and high efficient development, low cost operation, coal ratio improvement and increase of life-span of the blast furnace, the original fuel quality requirement is enhanced unceasingly. At the same time, along with change of mineral resources and development of domestic pellet technology, the charging structure is adjustment and optimization continually. The particle size of charging original fuel which becomes more and more important to improve the permeability of air and the utilization rate of gas affects the gas stream distribution of blast furnace.

This paper analyzes and researches four sets of high precision DSP0740 - the more step size inspection screen detection system which are designed by Zhengzhou University and Xinxiang Sida Company and used in Shougang Jingtang company. This equipment is used to test the particle size of the returned material 1# and 2# feeding systems of blast furnaces in Shougang. It is not only more convenient for works to examine and repair the feeding systems, but also can improve the utilization rate of resources. In this paper are the structure and principle of material particle size detection equipment and electric control procedure designed, are the weighing systems analyzed in theory combining with the actual working condition and the demand of the scene.

The paper first introduces the structure characteristics and principle of DSP0740 - the high precision step size inspection screen, analyzes the key technology and main technical indicators and provides the installation debugging method, this test equipment has the characteristics of screening high precision, compact structure, a small area covered, simple structure, easy to change screen plate etc. Through the different combination of three vibration motors to realize the three process of material screening, eliminating plugging material and conveying material, through adjusting the vibrating motors running time to improve screening efficiency.

The part of automatic electric control is designed based on the working principle of inspection screen and motor operation sequence in this paper, the designs are

mainly as follows: (1) the composition of material particle size detection screen control system to test returned coke and ore; (2) the design of PLC control program; (3) the excogitation of configuration picture; (4) the design of communication; (5) the way of data preservation.

The theoretical analysis and simulation of the weighing system of material test equipment are finished in this paper, which provides a theoretical basis for programing and making the collected data accurate and reliable.

Four sets of material particle size detection equipment has been finishing installation and debugging successfully. The system has been running at the ironmaking department of Shougang Jingtang company, automation degree is high, the program is readable, control operation is simple, data collection is accurate, and feeding system maintains convenience, which not only improves the operating efficiency of the workers, but also brings lots of benefits for the company especially feeding department.

Key words : Inspection vibrating screen; electric control; configuration; programmable logic controller; data collection

TYPE OF THESIS: Applied Research

目 录

| | |
|--|----|
| 摘要 | I |
| Abstract..... | II |
| 目录 | IV |
| 1 绪论 | 1 |
| 1.1 引言 | 1 |
| 1.1.1 高炉炼铁简介 | 1 |
| 1.1.2 高炉炼铁的关键技术..... | 1 |
| 1.2 课题来源 | 2 |
| 1.3 论文内容及意义 | 3 |
| 2 DSP0740-04 高精多步检验装置的结构与原理 | 4 |
| 2.1 DSP0740-04 高精多步检验装置的结构特点..... | 4 |
| 2.1.1 检验装置型号说明 | 4 |
| 2.1.2 DSP0740-04 高精多步检验装置的关键技术..... | 4 |
| 2.1.3 DSP0740-04 高精多步检验装置的主要技术指标 | 5 |
| 2.2 DSP0740-04 高精多步检验装置的工作原理..... | 5 |
| 2.2.1 检验装置的组成 | 5 |
| 2.2.2 检验装置的安装与调试..... | 7 |
| 3 物料检测设备电气控制系统的设计 | 9 |
| 3.1 返焦、返矿物料粒度检测筛分控制系统的组成 | 9 |

| | |
|---|----|
| 3.1.1 控制系统的主要组成元件..... | 9 |
| 3.1.2 控制系统组成元件明细表..... | 10 |
| 3.1.3 整个系统 I/O 点总数及备用 | 11 |
| 3.2 PLC 程序的设计 | 12 |
| 3.2.1 自动控制系统 | 12 |
| 3.2.2 烧结矿筛分动作顺序..... | 13 |
| 3.2.3 焦炭筛分动作顺序 | 13 |
| 3.2.4 手动控制系统 | 14 |
| 3.3 组态画面的设计 | 15 |
| 3.3.1 组态的发展 | 15 |
| 3.3.2 组态软件的特点和功能..... | 16 |
| 3.3.3 FactoryTalk View SE 组态软件的简介 | 18 |
| 3.3.4 组态画面的编写 | 19 |
| 3.4 通讯 | 23 |
| 3.4.1 规划 PLC 通讯..... | 24 |
| 3.4.2 数据的处理和保存 | 27 |
| 4 称重系统的仿真分析 | 32 |
| 4.1 称重系统的组成 | 32 |
| 4.1.1 称重仪表 | 32 |
| 4.1.2 称重传感器 | 33 |
| 4.1.3 接线盒 | 38 |
| 4.1.4 信号隔离器 | 40 |
| 4.2 传感器的特性分析 | 41 |
| 4.2.1 静态特性分析 | 41 |
| 4.2.2 动态特性分析 | 44 |
| 4.3 仿真的原理 | 46 |
| 4.3.1 仿真的分类 | 47 |
| 4.3.2 仿真的作用和意义 | 48 |

| | |
|---------------------------|----|
| 4.4 称重系统的仿真 | 48 |
| 4.4.1 Simulink 概述..... | 48 |
| 4.4.2 系统仿真的具体步骤..... | 49 |
| 4.4.3 称重系统的仿真过程..... | 49 |
| 5 结论和展望 | 53 |
| 5.1 结论 | 53 |
| 5.2 展望 | 54 |
| 参考文献 | 55 |
| 致 谢 | 57 |
| 附录 A 电器主电路和控制电路图 | 58 |
| 附录 B PLC 程序见光盘 | 64 |
| 个人简历及攻读硕士学位期间取得研究成果 | 65 |

1 绪论

1.1 引言

1.1.1 高炉炼铁简介

高炉炼铁是在高温下，铁矿石同焦炭，空气中的氧气发生化学反应，最终除去铁矿石中的氧元素，将原来的铁矿石还原得到铁和杂质，通过高炉的特殊结构，将铁和各种杂质分开送倒炉外进行进一步的生产加工，一般情况下，铁粉和焦炭在进入上料系统之前，要在烧结厂进行一定的加工，通过加入各种化学元素，烧结成具有一定粒度大小的形状，可以提高物料在高炉燃烧时候的透气性和利用率，为了保证生产的健康高效的运行，整个过程中对高炉的送风情况，上料系统所送的物料大小，除尘系统等都有比较高的要求。

1.1.2 高炉炼铁的关键技术

随着钢铁企业产业规模的不断扩大，市场的不断扩张，企业需要根据市场变化，采用资源的综合利用，节能减排，循环使用等措施，保证企业和资源的综合发展，不断地提高生产率、保证高炉的使用寿命、降低生产成本来增强企业的市场竞争力^[1]。影响高炉生产的要素有很多，包括企业的管理模式、自动化水平、原料的性能指标、设备条件、生产环境等诸多因素，其中原料的性能指标对高炉生产影响最大，然而信息技术的发展，新能源、新技术的产生为解决上述问题提供了很好的方法，为高炉高效、低成本的理念指明了发展的方向，精料技术就是其中一个很重要的发展方向，精料技术为上料系统物料的选取提出了许多指标和要求，保证了企业高效生产、节能减排、降低成本的发展，实现经济效益和环境保护的最优化^[13, 17]。

精料技术主要从以下三个方面提高高炉炼铁的高效性和经济性^[1]：1.炉料和原料的配比，通过选择合适的铁矿石、焦炭和溶剂，可以降低炼铁的成本；2.入炉原料的性能指标，主要包括原料的品位和还原性；烧结矿具有很高的品位和还原性，通过选择性能指标和品位比较高的原料可以提高炼铁的技术经济指标；3.入炉原料粒度的大小的要求，当矿石和焦炭在进入高炉之前会经过具有一定筛孔尺寸的筛分系统，将达到要求的物料送入高炉，不合格的物料返回烧结

厂，从而可以保证入炉原料的均匀性、干净度，尺寸合适的要求，提高物料的透气性和燃烧效率，提高工厂的经济效益。

除了精料技术之外，自动化检测和控制技术也给高炉炼铁带有了很大的经济效果，随着信息技术、通讯技术的快速发展，无人车间、远程监控、故障报警在工厂中得到了广泛的应用，为故障诊断和检修带来了很大的方便，尤其是在环境恶劣、危险、诸多不确定因素的钢铁企业，自动化技术的应用，使企业实现了对生产过程的全自动控制和设备运行状态的实时监视，提高了工厂的自动化水平和生产效率。

1.2 课题来源

首钢京唐是一个具有国际先进水平的钢铁联合企业，在矿石和焦炭进入两座 5500 立方米高炉之前，要进行筛分，焦炭和矿石需要经过相应的焦炭筛网和矿石筛网筛除小颗粒的焦炭和矿石，避免小料入炉，影响炼铁料柱的透气性，大于 25mm 的焦炭和大于 6mm 的矿石直接进入高炉，其余的小物料要返回烧结厂，目前，每个高炉有 10 个矿石筛和 9 个焦炭筛，筛网由于容易磨损经常会出现漏料现象，加上筛分设备分散，数量又多，现场检修极其不方便，一旦出现问题，不但影响矿石和焦炭的利用率，而且现场工人的检修任务量大，效率低。

为解决以上问题，郑州大学联合河南新乡四达有限公司特为首钢京唐公司设计制造了四套 DSP0740-04 高精多步粒度检验装置，对一号高炉和二号高炉的返焦返矿物料的粒度进行检测，从而方便工人的检修，同时也能够提高资源的利用率。DSP0740-04 高精多步粒度检验装置主要有以下部分组成：全自动液压驱动取样小车、总称重料斗、振动筛、四个小称重料斗、电气控制系统、液压与气压驱动系统。通过一套 PLC 来控制四套检测设备，通过对液压站的控制来实现取样小车的来回取样，通过控制三台激振电机的动作顺序和运行时间来实现对物料的筛分，刷卡和输出等动作，通过对气动系统的控制来实现料斗闸门的打开和关闭。该系统作为控制系统环网的一个分支，接入到一号高炉的总服务器中。控制界面导入到总控室的计算机上以后，能够实现整个物料筛分系统的手自动控制，设备的运行状态能够在组态界面上实时显示，为了能够和首钢已有的控制系统兼容，通讯软件、组态软件、PLC 编程软件均采用 AB 公司的配套软件。整个检测系统的控制过程和状态均通过组态画面来实现和显示，该系

统一共设计出六个组态控制界面，分别显示 1#炉返焦控制系统和 1#炉液压站控制系统、1#炉返矿物料粒度检测控制系统和 1#炉液压站控制系统，2#炉的返焦控制系统和液压站控制系统、2#炉返矿物料粒度检测画面和液压站控制系统。最终开发出来的控制界面要作为子画面放入总控制画面中，操作工人可以方便直观的看到整个系统的运行过程和状态。

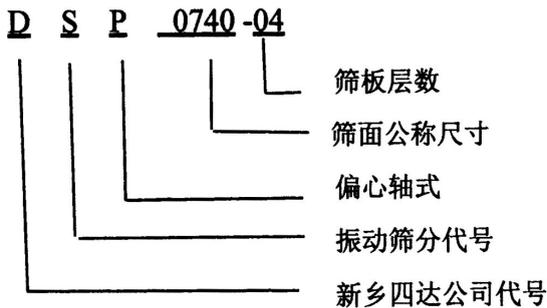
1.3 论文内容及意义

- 1.论文首先介绍了整套检测装置的主体振动筛的结构及其原理，从关键技术到结构组成再到原理，以及各个部件的作用都做了详细的介绍；
- 2.设计出了四套电器控制，主要包括：主电路的组成，控制电路的组成，PLC 控制程序的编写，组态画面的制作，数据的保存以及生成报表；
- 3.设计出了可靠有效的通讯系统，通讯是现场设备跟控制室之间连接的关键，只有通讯正常，才能保证控制指令跟现场设备之间的信息交流；
- 4.对整个称重系统进行了仿真分析，为程序的编写提供了理论依据，通过在现场进行的实验和采集到的数据的验证，整个系统稳定可靠，检测准确。

2 DSP0740-04 高精多步检验装置的结构与原理

2.1 DSP0740-04 高精多步检验装置的结构特点

2.1.1 检验装置型号说明



DSP0740-04 高精多步粒度检验装置最早是根据生产检化验原料试验的实际需求，由郑州大学联合新乡四达有限公司开发研制的专门用来实现物料粒度精确分级的振动筛。

2.1.2 DSP0740-04 高精多步检验装置的关键技术

- 1.在同一台设备上同时安装三组激振器，保证振动筛具有多种振动方式，可以在一台振动筛上在不同的时间段先后完成筛分、剔卡和物料输送三种工艺，同时各个工序的操作时间长度可以根据筛分工艺的要求来灵活地进行调整，能够有效地保证各种物料的筛分精度和消除物料对筛孔的堵塞。
- 2.采用四层筛板结构，可以同时完成物料五种粒度的分级，具有非常高的效率，另外，设备结构紧凑，占地面积小。
- 3.筛板采用不锈钢或不粘聚氨酯材料，具有很好的耐磨性和弹性，通过在筛板上加工倒八字的筛孔，可以有效地防止筛孔卡料现象的发生，从而可以延长筛板的使用寿命。
- 4.筛板采用抽拉式的安装结构，筛板的紧固采用凸轮加螺栓双加紧方式具有快速安装和可靠性高两个特点。
- 5.在振动筛入料口后端的振动筛堵板和振动筛侧板上设有观察和清堵孔，可以方

便地观察物料在振动筛内部的振动和筛分情况，同时当个别筛孔出现堵孔的时候，可以方便地对筛孔进行清理。

2.1.3 DSP0740-04 高精多步检验装置的主要技术指标

- 1.筛分效率： $\geq 90\%$
- 2.损失率： $< 2\%$
- 3.电机功率： $2*7.5Kw+11Kw$
- 4.激振频率： $16Hz$
- 5.筛网层数：四层

该机筛分效率高，性能稳定可靠，具有筛分、剔卡、输送等多种功能，填补了我国在粒度精确筛分技术领域的空白^[15, 19]。

2.2 DSP0740-04 高精多步检验装置的工作原理

2.2.1 检验装置的组成

DSP0740-04 振动筛为二次减振四层振动筛，主要组成元件：1 振源系统、2 振动筛体、3 筛板、4 减振弹簧、5 隔振架。具体结构如下图所示：

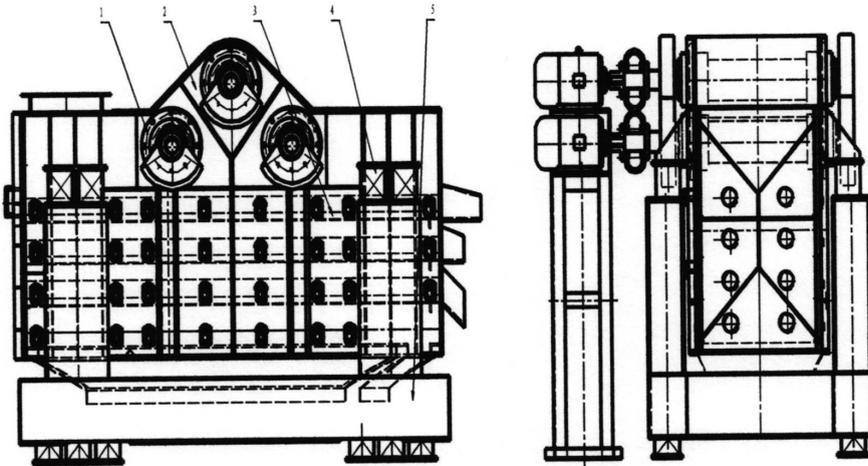


图 2.1 检验筛结构图



图 2.2 现场设备图

振源系统 1 包括三套新型偏心轴式激振器，由三台电机分别通过柔性联轴器驱动。其中一台运行时，振动筛作圆振动；另两台反向运转时振动筛作直线振动，如图所示：



图 2.3 振动筛偏心轴式激振器

筛体 2 为焊接结构，筛体后门采用侧开方式，并在连接处有密封件，连接可靠，更换筛板简单方便。

筛板 3 的紧固方式为侧拉式，其中一侧由螺栓紧固，另一侧由自锁凸轮机

构紧固。安装或拆卸筛（盲）板时只需扳动凸轮机构压紧或松开即可，既方便又可靠。

减震弹簧 4 为橡胶弹簧，实物如图 2.4 所示，具有噪音低，性能稳定，安全可靠的特点，如下图所示：



图 2.4 给料机上的橡胶弹簧

该筛机充分利用了圆振筛和直线筛的运动特性，根据筛分工艺要求，独创性地提出了先圆振筛分，再剔卡，然后直线筛分输送物料的筛分原理，完成整个筛分过程。

筛板共分四层，物料进入筛机后就可迅速按粒级分开，并分别分布于相应的筛面上，部分应透筛而未透筛的物料，经振动筛分后，可以得以充分筛分透筛。因此，该筛机具有较高的筛分效率。

2.2.2 检验装置的安装与调试

- 1.筛机安装前应根据检验筛安装图，在安装场合上予埋钢板作为基础，并且应保证各予埋钢板在同一平面内，高度差不大于 3mm。
- 2.安装前应清点各零部件是否齐全，是否有因运输或起吊碰撞而损坏的零部件。
- 3.安装筛机时，应按安装图尺寸安装。
- 4.各地脚板应平整且在同一平面内，高度差不大于 3mm。
- 5.对称点弹簧高度差不大于 3mm，刚度差不大于 5%。
- 6.振动器轴线与相应电机轴线平行，电机轴线不能高于振动器轴线，高度差不大于 4mm。柔性带法兰间距误差不大于 4mm。

- 7.料斗及溜槽安装时，只允许在预先设置的筋板上焊接，不允许直接在料斗或溜槽上焊接，以免损坏有机材料衬板。
- 8.所有电、气焊接应避免筛（盲）板、橡胶弹簧、有机材料衬板等，以免损坏。
- 9.所有不参与振动的零部件应该与筛体保持一定的间距，以免筛机启动、工作或停机时碰撞，影响正常工作，甚至造成筛机损坏。
- 10.安装完成后，应完成接电调试。先开机后投料，一个过程的总运行时间为 3 分钟或 5 分钟；1 号激振器运转 20 秒停机开 2 号激振器运转 30 秒停机重开 1 号，交替运行 2 分钟或 4 分钟，然后同时开 2 号与 3 号激振器，运行 1 分钟，这样就完成一个工作过程。（该筛分工艺过程可根据实际物料要求灵活改变）。
- 11.空车试运行一段时间，如无异常现象，可投料调试。投料试车的目的在于确定圆运动振动及直线振动运动的时间长短。
- 12.保证电机及相应振动器按指定转向旋转。

以上调试过程结束，各种标准达到后，筛机就可以投入使用。在寒冷冬季条件下筛机工作前应预转动至润滑油达到正常工作温度。

3 物料检验装置电气控制系统的设计

电气自动化控制主要由以下几个部分组成：1.四套物料粒度检验装置电路的设计；2.PLC 控制程序的设计；3.组态画面的设计；4.通讯的设计；5.数据的保存^[10]。

通过对以上几个方面的设计，最终实现全对自动物料检测设备的自动化过程控制。

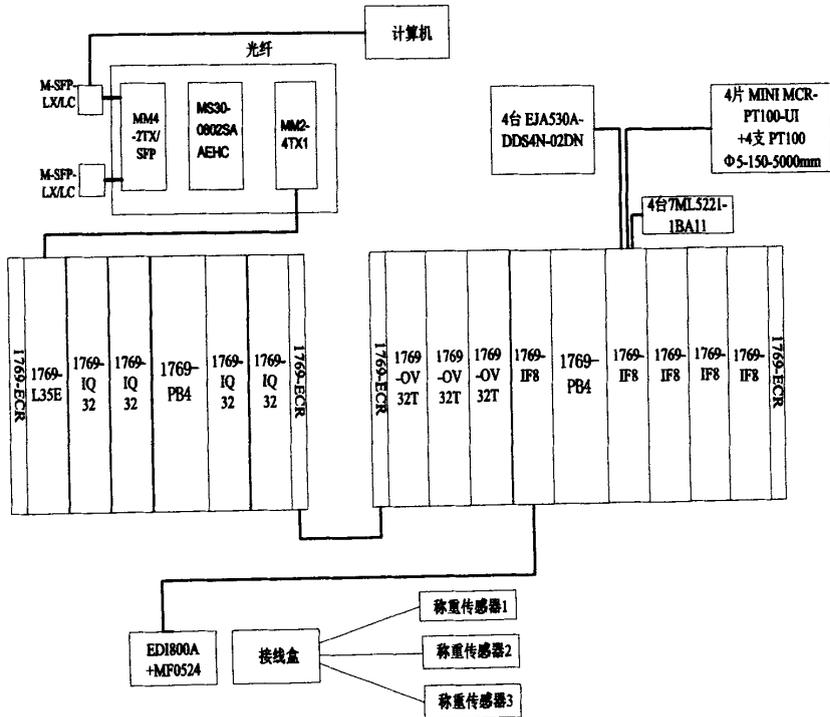
3.1 返焦、返矿物料粒度检验装置筛分控制系统的组成

1#、2#两座高炉四台返焦、返矿物料粒度检验装置共用一套 Rockwell PLC，由该 PLC 控制对应的 1#炉和 2#炉焦炭、矿石的取样、筛分、称重、返回等动作，该控制系统接入到一炉 PLC 控制环网中。PLC 与上位机之间采用通过 Ethernet/IP 网络接口通讯连接。PLC 预留千兆通讯端口，并保证通讯正常和施工质量。所有过程具有手动和自动两种控制方式，方便现场的安装调试和故障的排除。

整个测试过程的动作、测试数据，设备运行状态均在组态画面上实时动态显示，画面组态采用美国 AB 公司 FactoryTalk View Site Edition 组态软件。开发出来的界面分别显示 1 号炉和 2 号炉的返焦界面以及各自的液压驱动控制界面、1 号炉和 2 号炉返矿物料粒度检测界面以及各自液压驱动控制界面。将控制画面放入 1#炉上料画面控制环网中。用户和管理人员能够直观地观察到检测过程、设备运行状态以及检测结果。测试结果以报表形式保存，方便分析，对以后的生产计划具有指导意义^[10]。

3.1.1 控制系统的主要组成元件

控制系统的主要元器件包括：罗克韦尔 PLC 一台及其各个扩展模块、MS30 交换机及其光纤接口模块和电接口模块各一套、压力、温度、重量变送器、信号隔离器、以及其他辅助元件、常规电气元件等。整体系统组成图如下页视图所示：



3.1 PLC 控制系统图

三个传感器为一组并联，连接一个称重料斗组成一个小的称重系统进行称重，称重传感器通过接线盒连接到 EDI800 称重仪表的输入接口，称重仪表不但能够显示实时的重量数据，还能通过滤波，放大等处理过程将电压信号转换成 4-20mA 的标准电流信号，标准电流信号经过信号隔离器之后连接到 PLC 的模拟量输入模块，然后设备的所有状态、重量等数据和信号会通过交换机，经光纤在总控室的计算机上实时显示，操作人员也可以在总控室给设备下达各种指令。

3.1.2 控制系统组成元件明细表

组成返焦、返矿物料粒度检验装置电气控制系统的主要电气元件名称、规格、生产厂家如下表：

3 物料检测设备电气控制系统的设计

表 3.1 主要电器元件明细表

| 序号 | 名称描述 | 型号 | 数量 | 产地 |
|----|--|---|------|---------------------|
| 1 | AB PLC | 1769-L35E | 1 台 | 美国罗克韦尔公司 |
| 2 | 输入模块 | 1769-IQ32 | 4 个 | |
| 3 | 输出模块 | 1769-OV32T | 3 个 | |
| 4 | 模拟量输入模块 | 1769-IF8 | 5 个 | |
| 5 | 交换机 | MS30-0802SAAEH C | 1 台 | 德国赫斯曼电子公司 |
| 6 | 直流电源 | QUINT-PS-100-240 AC/24DC/20A | 1 台 | 德国菲尼克斯 |
| 7 | 500 称重传感器 (及附件) | TSC-500 | 12 套 | 梅特勒托利多公司 |
| 8 | 100 称重传感器 (及附件) | TSC-100 | 24 套 | |
| 9 | 50 称重传感器 (及附件) | TSC-50 | 24 套 | |
| 10 | 称重显示仪 | EDI800A | 20 台 | 北京首昌衡器有限公司 |
| 11 | FT VIEW STUDIO HMI 组态开发版软件 (英文授 权) | FactoryTalk View Site Edition (CPR9) 型号: 9701VWSTENE RSLOGIX 5000 | 1 套 | 美国罗克韦尔公司 |
| 12 | RSLOGIX 5000 中文标 准版 (英文授权) | PRO EDITION 型 号: 9324RID700NX2HF | 1 套 | |
| 13 | 通讯软件 RSLINX GATEWAY (英文授权) | RSLINX GATEWAY 型号: 9355WABGWENE | 1 套 | |
| 14 | 不间断电源 | 索科曼 UPS NRT-U7000 | 1 台 | 北京索科曼正卓智能电 气有限公司 |

3.1.3 整个系统 I/O 点总数及备用

整个系统共有 4 个 1769-IQ32 数字量输入模块, 实际应用 44 个 I 点, 留有 84 个备用 I 点, 所占比例为:

$$I_{\text{保留}} = \frac{84}{128} \times 100\% = 66\%$$

备用模拟量 I 点

整个系统共有 5 个 1769-IF8 模拟量输入模块, 实际应用 32 个 I 点, 留有 8 个备用模拟量 I 点, 所占比例为:

$$A_{\text{保留}} = \frac{8}{40} \times 100\% = 20\%$$

整个系统共有 3 个 1769-OV32T 数字量输出模块，实际应用 65 个 O 点，留有 31 个备用 O 点，所占比例为：

$$O_{\text{保留}} = \frac{31}{96} \times 100\% = 32\%$$

所用保留备用 I/O 点的比例都在 20% 以上。

3.2 PLC 程序的设计

该控制系统分为手动和自动两种控制形式，焦炭、矿石分别进行取料、筛分、称重过程，该过程可自动实现，也可手动点击控制画面上的控制按钮实现。

3.2.1 自动控制系统

在油泵电机 M1、给料机 M2，M3、振动电机 M4，M5，M6 全部停止的情况下，才能在控制界面上按下“系统自动”按钮，实现下面的控制过程。

系统取样：取样系统由一个液压马达、一个电磁溢流阀，控制液压马达转动的三位四通电磁换向阀和一个油泵电机组成，负责从上料皮带上取料，并送至一级称重料斗内。

整个液压系统对如下部分设置自动检测和控制：

油箱内液压油温度：10-65℃，由上海涌纬自动控制成套设备有限公司 PT100 温度传感器检测液压油温度，经由菲尼克斯 MINI MCR-PT100-UI-NC 温度变送器转换后，该数值实时、动态在控制界面上显示。

油箱上设置有西门子公司 7ML5221-1BA11 超声波液位计，油液高度实时、动态在控制界面上显示。

油泵出口压力设定在 3-26MPa 之间，由重庆横河 EJA530A-DDS4N-02DN 压力变送器实时检测液压系统工作压力，该数值实时、动态地在控制界面上显示。

由于每台检测装置的取样筛分设备相距较远，受液压流量、压力的限制，每台检测装置分别采用独立的液压系统。

自动状态时，根据取料要求，在控制界面上“取样次数”按钮处，输入取样次数，按下计算机键盘上“Enter”键，确认输入的参数，取样次数传入 PLC。

按下“油泵自动启动”按钮，油泵电机 M1 启动，5s 之后，电磁溢流阀得电，液压系统加载，3s 之后，根据取样器所处的位置不同，电磁换向阀左位或右位电磁铁得电，取样器前进或后退，进行取料，压下另一端行程开关后，根据输入的取样次数，停止或者自动返回，实现循环取料，达到要求的取样次数后，取样器停止不动，油泵停止工作。

筛分控制：筛分系统主要有振动筛、振动电机、防护罩等组成。

由于烧结矿和焦炭的可筛分性不同，为了达到理想的筛分效果，筛分烧结矿和焦炭的动作顺序、筛分时间是不一样的。

3.2.2 烧结矿筛分动作顺序

在正确读取一级称重料斗的重量数据后，延时约 30s，KM5 吸合，启动振动筛电机 M5(7.5Kw)，再经过约 5s，KM2，KM3 吸合，一级称重料斗下部的电磁振动给料机电机 M2、M3(两个 0.75Kw 电机)同时工作，将试样从一级称重料斗内送到振动筛内，输送的同时进行筛分。M2、M3 工作时间在 20s 左右(输送试样 100Kg/次)，保证将一级称重料斗内的试样全部送出。当 M2、M3 停止工作后，进行下列动作：

1. 试样筛分：M5 继续工作约 60s，然后 KM5 断电，KM10 吸合，M5 反接制动，反接制动时间 0.4s，KM10 断电。
2. 剔卡：KM10 断电后，KM4、KM6 吸合，振动筛电机 M4(15Kw)、M6(7.5Kw)启动，工作约 30s，KM4、KM6 断电，KM9、KM11 通电吸合，KM4、KM6 反接制动，反接制动时间 0.4s，KM9、KM11 断电。

重复进行 1 和 2 动作一次。

3. 试样输出：KM5、KM6 吸合，振动电机 M5、M6 启动，工作 60s，输出试样。

以上程序控制时间和电机运行顺序可以根据现场物料工况和筛分效率进行适当调整。

3.2.3 焦炭筛分动作顺序

在正确读取一级称重料斗的重量数据后，延时约 30s，KM4 吸合，启动振动筛电机 M4(15Kw)，再经过约 5s，KM2，KM3 吸合，一级称重料斗下部的电磁振动给料机电机 M2、M3(两个 0.75Kw)同时工作，将试样从一级称重料斗内送到振动筛内，输送的同时进行筛分。M2、M3 工作时间在 20s 左右(输送试样

100Kg/次), 保证将一级称重料斗内的试样全部送出。当 M2、M3 停止工作后, 进行下列动作:

1. 试样筛分: M4 继续工作约 20s, 然后 KM4 断电, KM9 吸合, M4 反接制动, 反接制动时间 0.4s, KM9 断电后, KM5 吸合, M5 工作约 40s,

2. 剔卡: M5 工作约 40s 后, KM4 再次吸合, 振动筛电机 M4、M5 同时工作约 40 秒, KM5 断电, KM10 通电吸合, KM5 反接制动, 反接制动时间 0.4s, KM10 断电。

重复进行 1 和 2 动作一次。

3. 试样输出: KM5、KM6 吸合, 振动筛电机 M5、M6 启动, 工作约 60s, 输出试样。

以上程序控制时间和运行顺序同样可以根据现场物料工况和筛分效率进行适当的调整。

3.2.4 手动控制系统

在手动状态时, 通过操作总控制室的返焦、返矿控制画面上的按钮、开关, 可对各个元件进行单独操作。

在手动状态时, M1、YV1, 可以采用组态画面上的按钮开关(ANL01, ANL02, ANL03, ANL04)进行启动和停止。

在手动状态时, M2 和 M3(给料机动作), M4(15Kw 电机单动), M5(7.5Kw 电机单动), M5 和 M6(两个 7.5Kw 电机同时动作)可由带信号灯的按钮开关启动(ANL07, ANL09, ANL11, ANL13)和停止(ANL08, ANL10, ANL12, ANL14)。在压合 ANL10, ANL12, ANL14 时, M4, M5, M5 和 M6 分别进行反接制动, 经过 0.4 秒钟, 反接制动停止。控制画面上设置有急停按钮 AN02, 各元件无法正常停止时, 可以通过压合 AN02 紧急停机。

四个小称量斗气缸闸门由四个二位四通电磁换向阀控制, 每个换向阀对应两个位置开关, 用来限制闸门的极限位置。每个闸门的开启与关闭动作由两个按钮开关控制。

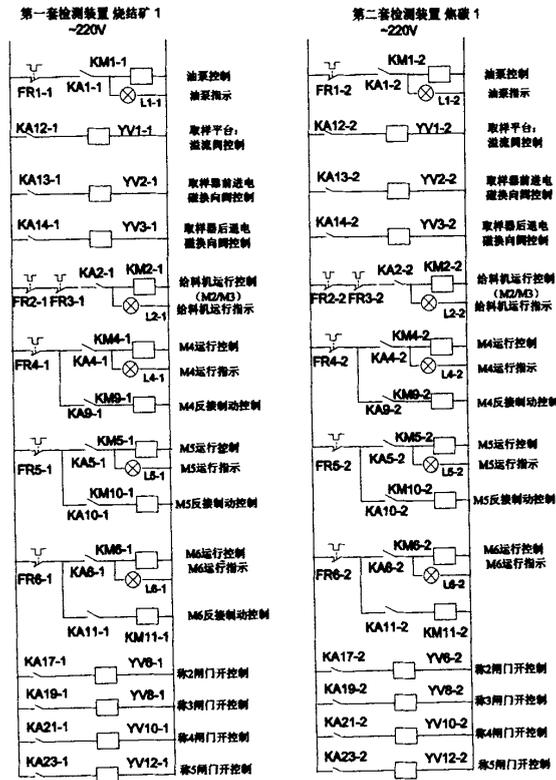


图 3.2 第一、二套检测装置电气控制系统原理图

取样装置的总控制原理图见附录 A，该设备的 PLC 控制程序采用美国罗克韦尔公司的 RSLogix5000 产品进行编写，“RSLogix 5000”编程软件具有双存储能力的新型控制装置“ControlLogix”以及用于“Allen-Bradley-CompactLogix”系列控制装置的新型模块。^[2·4·5·52]为了和首钢目前正在使用的系统兼容，选择 16 版本的编程软件，程序包括：主程序，四套设备的手动和自动程序各一个，共 9 套程序，详见附录 B。

3.3 组态画面的设计

3.3.1 组态的发展

随着信息技术、通讯技术和传感器技术的快速发展，新理念、新技术的不断产生，为工业自动化水平的提高奠定了基础，恶劣，复杂，难以预料的现场

环境使工业自动化工业自动成为一种趋势，这就导致传统的硬件设备和软件的更新换代。比较简单的方法就是对传统的控制程序和代码进行修改以减少开发周期，这就要求编程人员对源程序非常熟悉，如果开发人员中间更换，或者开发项目需要优化，都将给更新源程序带来困难，另外由于不同公司的硬件和软件可能存在很大的不同，兼容性不好，原来用一种软件开发好的程序在另外一个项目中就不能使用，这就加大了系统开发的周期。随着人力，物力的投资势必会增加工厂的开发成本。工厂智能化的提高，自动化发展的道路崎岖但是又是未来发展的必然趋势。根据这种需求许多自动化公司开发出了能够有效解决以上各种问题的组态软件，在解决传统工业转型过程中遇到的各种实际问题，充分表现出了它的强大功能和优点，用户能根据现场实际情况对软件和硬件进行组态，顺利完成自动化项目的开发和应用。

3.3.2 组态软件的特点和功能

组态软件又称组态监控系统软件。英文缩写 SCADA(Supervisory Control and Data Acquisition)。通常是指一些数据采集和过程控制的专用软件。组态为自动化项目提供了开发环境，为控制和监控程序的实现提供了相应的软件平台，用户可以根据项目实际需要，充分利用组态软件全方位灵活多变的特点快速地搭建自动化控制平台。由于组态软件在工业领域表现出来的优点越来越突出，而且能够切实解决很多问题，大力推动工业自动化的发展，使其在水利系统，电力系统，石油化工等诸多领域都得到了广泛的应用。通用组态软件主要有以下几个特点：

- 1.方便更新和升级。用户利用组态软件搭建的自动化监控平台，在组态环境下开发的项目程序需要优化升级时，或者需要对原来的硬件设备和软件系统进行结构调整时，用户只需要做简单的修改和调整就能方便地解决问题，而不需要对源程序做修改或者更换系统；
- 2.功能的封装。由于通用组态软件的功能非常多，为了方便用户的使用，组态软件对其能够完成的所有功能都进行了封装，对于开发程序的用户来说，并不需要太强的语言编程能力，就能根据需要方便地开发出一个复杂的工程项目程序；
- 3.兼容性好、通用性强。由于项目需求不同，用户需要搭建的软件平台和环境不同，组态的硬件产品也可能来自不同的厂家和公司，利用为通用组态软件所提供的底层设备：智能模块、可编程逻辑控制器（PLC）、变频器、采集卡、智能

仪表等的 I/O 接口驱动、在组态软件中通过调用用户函数，图库和界面制作工具包可以开发出具有控制和报警功能的界面，在进行实时数据显示，数据趋势图显示时可以直接调用组态软件数据库中从外部采集和保存的数据，利用其通讯接口可以实现远程监控，在许多企业和工厂都得到了广泛的应用。

组态软件是工业自动化的专用软件，主要用来实现数据的采集和保存，设备的状态显示和过程控制的功能，为用户自动化程序的开发提供软件平台。组态软件的组态方式都非常灵活，使用方法简单，通过调用图库中的示意图，可以形象生动地反映出现场设备的运行状态和过程，方便用户的监控，系统报警后的维修和调整。组态软件自身带有许多软件模块，分别实现通讯，监控等功能，为项目程序的开发提供相应的软件平台，并且能够同时支持不同硬件厂家和公司的自动化控制产品，与飞快发展的工业网络系统和高可靠性的工控机相结合，为上位机，监控层和管理层提供功能齐全的软件驱动和硬件接口，实现自动化控制系统的集成。组态软件通常有以下几方面的功能：

1.丰富的界面功能。目前，工控组态软件大多都运行在 Windows 系统环境下，充分利用 Windows 系统自带的图形工具，可以开发出来更加美观的界面，人性化的设计，友好的界面显示，丰富的功能工具，操作人员可以根据项目的变化和功能的完善，直接进入开发状态进行修改和优化，不但减轻了开发人员的工作量还提高了工作效率。组态软件中自带了各种丰富的图库和作图工具，不但为用户提供了可以直接应用的图形，而且为用户界面开发提供了向导，使用户可以根据实际情况和不同的需求方便地绘制出各种控制显示界面，并且很方便就能进行修改和编辑，提高了工作效率，减轻了程序开发人员的工作负担。组态软件中的动画连接方式也非常多：颜色变化，填充、移动等等，使绘制出的界面形象生动、直观，同时也给现场操作人员提供了方便，使他们很容易就能进行操作并且可以实时地观察现场设备的运行状态。

2.强大的兼容性。兼容性是衡量一个软件好坏的重要指标，工业化大生产的特点就是多样化，用户在开发项目程序和配置硬件设施的时候，所配置的仪器仪表和其它元器件不可能来自一个公司和厂家，组态软件提供了很好的解决办法，兼容了各种采集卡、传感器和控制器，支持多种通讯方式，成为上位机和下位机的连接桥梁，执行上位机命令，为管理层提供下位机的各种数据信息。

3.丰富的功能模块。组态软件提供了多种自动化控制功能库，图形功能模块主要为用户提供一些可以经常用到的图形，数据功能模块具有采集数据和保存数据

功能，用户在界面中的实时数据曲线和历史数据曲线可以直接从数据库中调用，通讯功能模块主要负责上位机和下位机之间的通讯，HMI 标签模块，标签可以在界面中新建，也可以直接引用控制器中的标签。用户应用组态软件提供的各个模块功能，开发出来的人机界面功能强大，方便操作，易于监控，能够运行于单机集中式控制、DCS 分布式控制，由于其支持多种通讯方式，也可以实现远程测控系统。

4.数据库非常强大。组态软件的数据库具有采集和保存外部数据的功能，当用户需要实时显示趋势图或历史曲线图是可以直接调用数据库中的数据，简单方便。当某个标签的数据值达到一定的限度的时候，发生报警或者直接对外部设备进行控制。同时可以对数据进行保存，并且打印生成报表。

5.具有多种语言的连接接口。组态软件结合 C++、VB 等高级编程语言，强化了组态软件的功能，用户可根据自己熟悉的编程语言开发系统程序，设置控制功能，绘制显示界面。

6.可靠性、安全性高。在开发应用程序的时候，利用组态软件的安全设置，可以对程序进行多层次的加密，为了系统能够安全可靠地运行，为不同的操作者，赋予不同的权限。

7.仿真功能。在开发自动化项目的时候，用户利用组态软件的仿真功能，在很大程度上缩短了项目系统开发和实现的周期，降低了投资成本，提高了工作效率。

3.3.3 FactoryTalk View SE 组态软件的简介

由 FactoryTalk View SE、RSLink、RSlogx5000 三个软件分别实现组态、通讯和 PLC 程序的编写，这三个软件都是罗克韦尔自动化的软件产品，由它们以及其它的 FactoryTalk 产品构成的自动化控制系统，均使用 FactoryTalk 服务，称之为 FactoryTalk 系统^[3]。

FactoryTalk View SE 软件的特点有以下几点：

1. FactoryTalk View SE 组态软件可以开发 DCS 分布式应用程序，多个服务器可以分布于控制环网中不同的计算机上，用户在所具有的权限内可以从不同的客户端同时访问和操作应用程序。
- 2.用户根据工厂实际项目需求，开发单机应用程序，虽然不方便组网，但是控制过程相互独立，互不影响。
- 3.用户利用软件提供的图形库和图形编辑工具可以方便地进行组态界面的设计

和参数的设置。

- 4.可以方便地从组态软件自带的软件图形库或者从第三方的绘图软件包,例如: Adobe Photoshop 等图形编辑软件,直接导入到绘图编辑框内。
- 5.使用 FactoryTalk View 的 ActiveX 开放性的集成平台,使组态软件的功能更加强大。例如:将 Visual Basic ActiveX Controls 或其它的 ActiveX 对象嵌入组态显示界面来扩展 FactoryTalk View 的功能。
- 6.使用 FactoryTalk View SE Client Object Model 和 Visual Basic for Application 与其它第三方的数据处理软件共享数据,不但方便记录数据,而且容易生成报表,方便技术工人对数据进行分析 and 处理。
- 7.使用 FactoryTalk View 的命令向导,标签浏览器等工具和命令,可以高效快速地开发应用程序。
- 8.可以方便运用 PLC 的标签。当通讯成功之后,FactoryTalk View SE 通过数据库直接浏览到 PLC 的在线便签,也可以通过定义 Off-tag 的路径来浏览到离线时的 PLC 程序标签,在给画面做相应动画的时候可以直接引用这些标签,简捷、方便,而且不会重复定义标签。
- 9.使用 FactoryTalk View 故障报警功能来监视具有多种不同程度的过程事件。通过汇总报警信息,建立报警数据库,方便用户观察到特殊的报警信息。
- 10.可以创建过程变量与时间关系的趋势图。在一个趋势图中可以同时定义多个变量,通过不同颜色和线型的曲线进行区分,分别显示不同变量的数据信息。
- 11.数据有两种保存形式,一种是数据内部文件集,趋势图可以方便调用文件集的数据进行显示;另一种是保存到 ODBC 数据库中,可以被第三方软件直接打开和编辑这些数据;通过高级语言进行二次开发之后可以方便的进行数据的自动采集和保存。并且可以生成便于观察分析的报表。
- 12.通过禁用 Windows 键盘来锁定操作员只能够进行 FactoryTalk View SE Client (FactoryTalk View SE 客户端)操作,防止其它信息对控制系统的干扰,造成误操作。^[3]

3.3.4 组态画面的编写

在进行控制画面设计的时候首先要确定画面在项目中所处的位置,是一级画面还是次级画面,确定画面之间切换的方式,复杂系统应尽量做成层级结构,并且能够方便引导操作人员进行相应的操作;在同一个项目中,应有相应的模

板，同一个项目的不同画面应该确保统一性。为了能够开发出结构清晰、方便操作的组态画面，应该按照下面的设计规范进行设计：

1.一致性

确保使用图形大小、位置和颜色的一致性，确保同一个项目的不同画面中同类型的按钮应在相同的位置，确保画面的一致性，避免操作人员根据经验操作导致的事故发生。例如：在一个画面的某一个位置上设置了“启动按钮”，就应该在同类型的画面中设置“启动按钮”，应避免设置成执行其它操作动作的按钮。

2.清晰性

尽量使用简单容易看懂的标示或图形，一般软件图形库里面都会有一部分图形模型，它们均符合惯例的标准结构，用户可以通过拖拽或者复制直接应用。确保画面的图形结构和颜色都符合便于用户理解的名称和容易识别的颜色，避免将停止按钮设置成绿色，将启动按钮设置成红色，另外还要考虑到色盲和色弱的用户，在开发设置画面的时候应选择对比度比较强的背景和图形，也可以在部分按钮上通过文字进行简单的说明。

3.可用性

设计的画面目的就在于使用，如果终端设计的触摸屏，必须保证操作工能够方便、准确的进行操作，一方面应保证重要按钮的最高权限，不能被其它的任何窗口遮挡，另一方面应将操作频繁的按钮设计的足够大，放在最方便操作的位置，即使操作人员带着工作手套的时候也能够进行操作，最后还要保证画面之间方便清晰的进行切换。

在编写画面的时候必须首先非常熟悉现场设备的工作流程，要想设计出一个安全可靠、便于部署和维护的应用程序，需要进行多方面的规划，熟悉设备运行过程，通讯方式、冗余系统、报警信息、数据采集、HMI 数据库标签、层级显示等多方面的因素^[3]。

以上的设计原则并不是在一个程序里面全部要求的，下面先对四套物料粒度检测设备的返矿、返焦的工作顺序进行介绍：

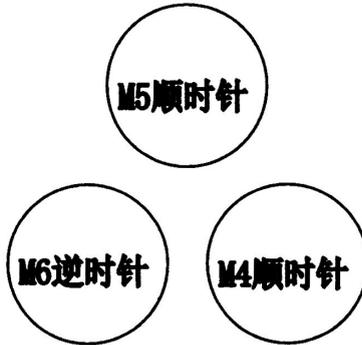


图 3.3 返矿振动筛上三台电机的名称以及转向

首先启动油泵电机 M1, 5s 之后启动溢流阀为系统加载, 然后启动取料小车, 取料的次数操作员可以根据需求任意输入, 稳定一段时间之后对 1#称重料斗中的物料进行称重, 启动振动电机 M5 运行 80s, 同时启动给料机 M2 运行 20s, 80s 之后 M5 反接制动的同时启动 M4 和 M6 进行剔卡, 运行 30s 后反接制动, 同时再次启动 M5 运行 60s 之后再次进行剔卡 30s, 反接之后 M5 和 M6 同时运行 60s 输送物料, 最后分别对 2#, 3#, 4#和 5#料斗进行称重, 点击电机采集数据按钮, 对四个不同粒度的物料重量进行采集, 同时也采集下它们所占的比例, 在控制画面上都有显示。

返焦的工作过程如下:

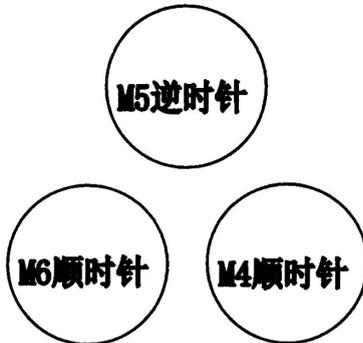


图 3.4 返焦振动筛上三台电机的名称以及转向

首先启动油泵电机 M1, 5s 之后启动溢流阀给系统加载, 然后启动取料小车, 取料的次数操作员同样可以根据需求任意输入, 接着就是稳定一段时间之后对 1#称重料斗中的物料进行称重, 启动振动筛 M4 一共 40s, 同时启动给料机 M2 运行 20s, M4 反接制动的同时启动 M5, 然后 M4 和 M5 同时运行 40s, 接着再

从 M4 循环运行一次, M4 和 M5 第二次运行 40s 后反接制动, 反接之后 M5 和 M6 同时运行 40s 输送物料, 最后分别对 2#, 3#, 4#和 5#料斗进行称重, 同时采集四个不同粒度的物料重量以及所占的比例值。

根据设备的运行顺序和控制过程, 针对 DSP0740-04 高精多步检验筛设计出了两套共四个组态画面, 分别对应 1#炉的返焦、返矿和 2#炉的返焦、返矿, 这四个组态画面被称作二级控制画面, 还有一个一级控制画面, 点击一级控制画面中相对应的按钮, 可以进入二级控制画面中, 由于两个炉的程序类似, 下面以 1#炉为例进行说明, 根据控制要求, 在返焦画面中有共有 16 个控制按钮, 8 个工作状态指示按钮, 8 个数值显示按钮和一个数值输入窗口, 其中 16 个控制按钮分别控制: 1 系统自动, 2 系统手动, 3 自动油泵启动, 4 手动启动油泵, 5 停止, 6 启动溢流阀, 7 停止溢流阀, 8 取料按钮, 9 循环一次, 10 启动给料机, 11 启动 M4, 12 启动 M5, 13 启动 M4 和 M5, 14 启动 M5 和 M6, 15 料斗 2-5 闸门开, 16 退出; 还有 8 个指示这些控制按钮工作状态的指示灯, 8 个数值显示按钮分别显示 1#-5#称的重量数值, 液压站的压力, 温度, 和油液高度, 还有 1 个输入取样次数的数值输入窗口。画面如图所示:

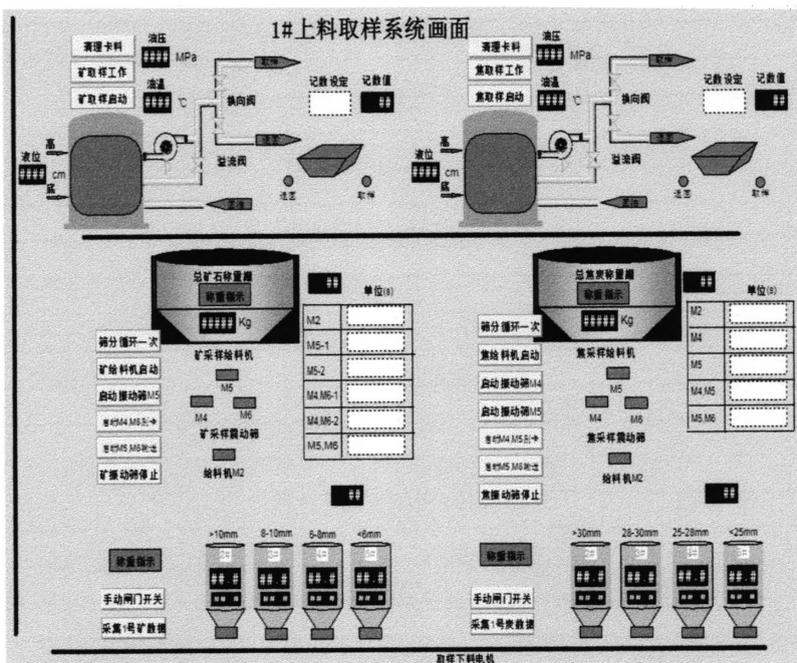


图 3.5 1#上料系统控制界面

为了画面的简捷和操作人员的操作方便，把整个控制系统中的液压站控制部分单独做成了二级画面，点击主画面中的矿取样工作可直接进入二级控制画面中，其中包括七个控制按钮和两个运行状态指示，分别为：系统手动，系统自动，手动油泵启动，自动油泵启动，系统加载，系统卸载，电机停止按钮，油泵电机运行指示和系统加载状态指示，如下图所示：

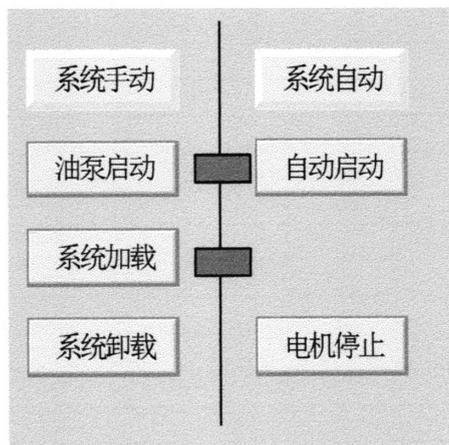


图 3.6 液压站控制系统

3.4 通讯

PLC 通讯，常用的有串行通讯，以太网通讯，现场总线通讯。串行通讯里分为：D 口和 USB 口。D 口为九针口型，针的叫公型口，口的叫母型口，有三种协议，分别为：RS232，RS422 和 RS485。不同的通讯协议，链接方式也不一样。就像电脑的针型口为 RS232，三菱 PLC 自带的圆形口为 RS422，西门子 PLC 的为 RS485。串行通讯，一般为点对点链接，比如一个 PLC 和一个或多个屏，不允许多个 PLC 和多个屏。USB 口的通讯协议和 D 口的一样，只是 D 口的可以自己焊接，但 USB 的却只能购买，而且不同的厂家，不能兼容。

工业以太网是以工业标准为基础，应工业控制自动化的现场需求，专门针对工业自动化网络的一种通讯标准，再加上交换机的广泛使用，大大提高了工业控制通讯的安全性和可靠性，为用户的组态通讯，组网提供了切实可行的软件标准和使用工具。一般可分为光纤接口传输和电接口传输，光纤接口用于整

体环网之间的大数据传输，光纤接口用于各个分支系统相对较小的数据传输，为上位机的管理层进行决策提供了大量的数据^[44-50]。

现场总线类别业非常多，现在整个电气行业总共有 9 种，常见的有 MOD 和 PROFIBUS，使用的协议都是保密的，虽然接口都是 D 口(和串行口一样)，但选择的通信方式具有专一性，主要用来链接现场的多种控制器，比如多个 PLC 和多个屏，允许多个主站和从站^[51]。

3.4.1 规划 PLC 通讯

在工业自动化控制系统中，PLC 网络通讯可分为并行通信和串行通信两种方式，可编程逻辑控制器的内部一般采用并行通讯，例如：有的 PLC 中可能采用多个 CPU，这种情况下 CPU 之间的通讯采用内部通讯，PLC 内部 CPU 同其它模块的 CPU 之间的通讯也采用并行通讯。PLC 内部主要是利用 CPU 的处理功能，在 PLC 内部存储区内通过共享实现处理器相互之间的数据传递；PLC 同模块之间的数据交换则是经过背板总线通过双口 RAM 实现通信功能。PLC 的并行通信由于发生在 PLC 内部，而工程技术人员主要是应用软件，实现对外部传感器和仪器仪表数据的采集，然后再执行相应的控制命令，所以对于工程技术人员来说，采用串行通讯的外部数据之间的交换要比内部数据交换更加重要。

在规划通讯前，要首先了解控制器的类型、参数，设备的运行顺序，各个部分之间的通讯方式，需要的数据服务器的数量，如何访问 PLC 中的变量标签，可以在组态软件中新建标签，然后同可编程控制的变量连接起来，也可以直接引用控制器中的标签。对控制器中数据的访问方式是自动周期访问还是手动采集都需要提前规划好，这样在开发应用程序的时候会得心应手，效率高，不容易发生错乱。

论文中采用的通讯软件是 RSLinx，通讯方式为工业以太网，一般来说 RSLinx 的产品分为 Lite, Single Node, OEM, SDK, Professional, Gateway。根据需要选择，GATEWAY 功能多一些，但一般用 Professional 就足够，除非需要远端客户端，才用到 Gateway 版。设置 RSLinx 只要从菜单对应相应的设备即可，并不复杂^[21, 22]。

RSLinx 是罗克韦尔公司特为工业自动化需求开发出来的通讯软件，为所有 AB 的产品提供通讯驱动，为搭建自动化控制平台提供了必要的软件驱动和环境，通过该软件用户可以看到整个 AB 控制架构的信息，RSLinx 成为 AB 网络

系统的交通枢纽，RSLinx 不但提供了最快速的 OPC，DDE 等数据接口，还能为用户提供了各种类型的故障诊断工具包，用户可以根据反馈回来的信息快速高效地排除故障，其内部的驱动程序还能支持各种类型的通讯方式，包括与控制器的连接和与控制环网的连接。

RSLinx Gateway 包含标准 RSLinx 的所有功能和特点，并且通过交换机可以方便地实现远程通讯，RSLinx Gateway 将 AB 的工业控制网络直接同 TCP/IP 协议的网络连接起来，扩展了以往工厂内部局域网的通讯范围。RSLinx Gateway 驱动程序能够完美地支持 TCP/IP 客户与 AB PLC，SLC 和 MicroLogix 处理器的连接。RSLinx Gateway 同样可以支持与远程 OPC 进行通讯。系统整体结构如下图所示：

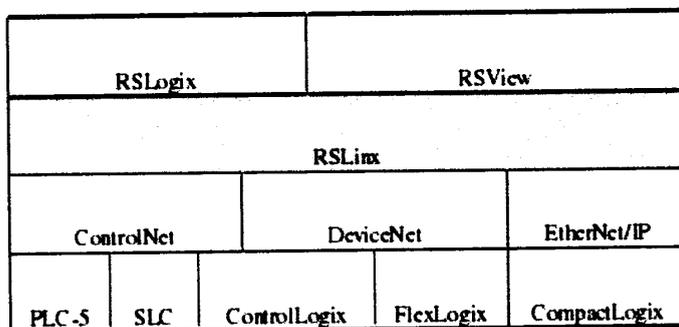


图 3.7 RSLinx 通讯网络系统结构图

下面主要介绍如何用 RSLinx 来完成主要任务，按以下步骤进行：

1. 收集设备通讯组网的方式，网络设备的配置信息，网络和连接到网络的设备的信息，在设置 RSLinx Gateway 软件或其它 OPC 服务器时需要用到这些信息。
2. 确定需要用什么样的 OPC 服务器来进行通讯，可以使用下面任意的 OPC 服务器：(1)任何 OPC-DA 2.0 兼容的服务器；(2)RSLinx Classic；(3)RSLinx Enterprise；本文选用的使 RSLinx Classic。
3. 设置 RSLinx Classic，首先要组态一个驱动程序(Driver)。驱动程序是软件与硬件设备的接口，主要用于 RSLinx 与处理器之间的通信。可以通过选择 Communications>Configure Drives 菜单或单击工具栏中的图标组成驱动程序到 RSLinx。
4. 创建一个主题(Topic)，先创建一个 RSLinx 项目(Project)，再创建一个主题(Topic)。可通过选择 DDE>Topic Configure 菜单或单击工具栏中的图标进入主题

创建。在通讯软件中，为 DDE 项目创建主题，从而设置浏览或者引用逻辑控制器的路径，一个项目中可是创建多个主题，不同的主题代表不同的访问路径。用户通过新建按钮可以为项目新建一个主题，将其和相应逻辑控制器的 CPU 对应起来之后就设置了新的路径，通过列表中的主题属性，用户可以对已有的主题进行修改。在 Data Source 表中选择需要通信的设备，用户可在 Data Collection 表属性框中输入有关指定主题的详细的信息，也可以在 RSLinx 的 RSWho 菜单中找到相应的网络点，通过单击鼠标右键来打开 DDE/OPC Topic Configuration 对话框，如果使用这种方法，RSLinx 会自动给主题命名，用户也可以自己改变主题名。然后将 OPC 数据服务器添加到应用程序。

5. 在 FactoryTalk View Studio 中，添加一个指向 OPC 服务器，OPC 数据服务器应该指向正在运行的 RSLinx Classic 的计算机。

6. 用户有两种创建标签的方式，用户可以打开 HMI 标签编辑器，创建设备标签，通过在数据服务器中添加设备引用，输入标签名，用户便可以在画面对象中访问该标签，如果通讯成功之后，用户也可以通过标签浏览器，直接访问 PLC 的各个模块设备和程序中用到的标签，只要把画面中的各个按钮分别对应相应的标签就可以实现按钮的控制或者显示功能。

传统的 HMI 开发软件在创建 HMI 和 PLC 通讯的项目时会要求在 HMI 上先创建变量，然后创建设置这些变量与 PLC 物理地址的对应关系，最后还要设置把图形画面与相对应的变量连接起来。Allen-Bradley 控制器设备没有创建任何变量，而是在通讯成功之后直接引用存在于 PLC 控制器中的标签，驱动程序是硬件设备的软件接口。在 RSLinx Classic 中首先建立一个 OPC 服务器的设备引用，用于访问控制器中的数据和标签，然后再在 FactoryTalk View SE 的通讯功能模块中创建该设备应用的快捷方式，并将其指向运行着 RSLinx 的计算机。

由于通讯距离远，数据大，中间需要一个交换机，在这里采用赫斯曼的 MS30-0802SAAPHC 千兆模块化工业以太网交换机。交换机的所有端口都需要模块扩展才能实现，它本身是不具有任何通讯接口的，该设备内部有各种基本介质模块，包括电源模块、两个千兆光纤接口模块和八个百兆电接口模块。交换机的通讯端口需要通过光口或电口介质模块来进行扩展才能实现，设备留有连接介质模块的多种接口。该交换机为二层路由交换机，24VDC 双路冗余供电，0-70℃工作温度，卡规式安装。

该系统共有 一个主服务器和两个客户端，主服务器负责控制和数据的采集

保存，并保证两个客户端能够从服务器中查询数据和监控画面，该系统通讯方式采用工业以太网，需要分别给主服务器，两个客户端以及交换机分配相应的 IP 地址，只有通讯成功了才能进行信息的交流。连接图如图所示：

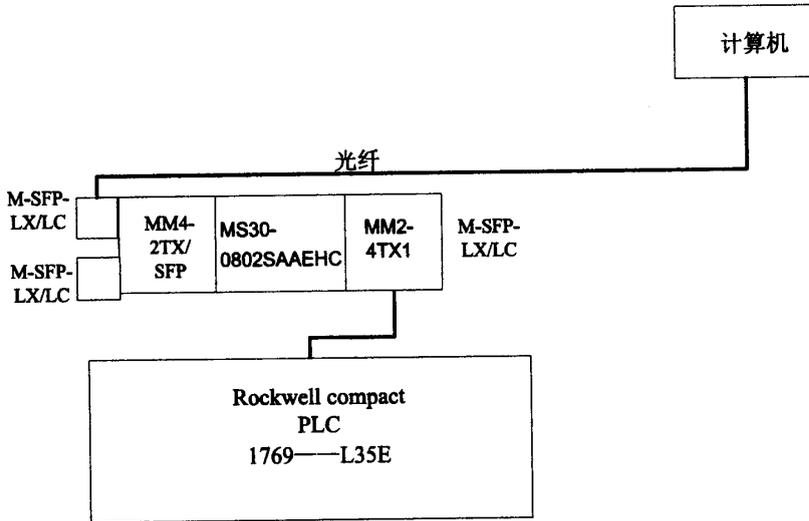


图 3.8 通讯结构图

3.4.2 数据的处理和保存

利用组态软件数据功能模块，可以从控制器标签采集到外部的数据，并在组态画面上动态显示，数据保存在组态软件的数据库中，并且随时可以调用历史数据库查看历史数据，最后要生成报表，数据传递的所有过程都需自动完成。

1.该系统主要采集 16 个数据，分别为一号返焦返矿不同粒度物料的重量值和二号返焦返矿不同粒度物料的重量值，这些信号数据的采集主要通过传感器感受信号，将外界的压力信号转换成相对应的电信号，经过接线盒（由于传感器自身误差，加上环境因素、安装方式等因素的影响，并联组称存在不平衡问题，为了保持称体的平衡，需要进行有效的调节，使采集的数据更加准确，本文选用四进一出接线盒，通过调节传感器系数与传感器输出阻抗之比($mV/V/\Omega$)，接线盒内有对应传感器的微调开关，使每个传感器接近一致，最终保证整个秤体的平衡，信号然后从信号隔离器传到 PLC，经过软件滤波之后的数据信号，通过 D/A 转换将数字信号还原成模拟信号在界面上输出显示。

2.数据的保存，FactoryTalk View SE 组态软件的数据存储有两种格式：数据可以

存储于内部文件集，趋势图可以直接调用内部文集中的数据在组态画面中显示，可从趋势图中查看历史数据和实时数据，不能用第三方软件直接打开；也可以存储于 ODBC 兼容数据库中，该方法可以用第三方软件打开。两者均支持手动和自动新建数据文件、删除历史数据的功能^[14, 16, 18]。

本文采用了 ODBC 兼容数据库，ODBC 数据源的建立步骤如下：

(1)打开 FactoryTalk View Studio 软件，首先选择项目类型 SE(network)或者 SE(local)，——建立 HMI 服务器(新建，复制，导入等任选其一)；

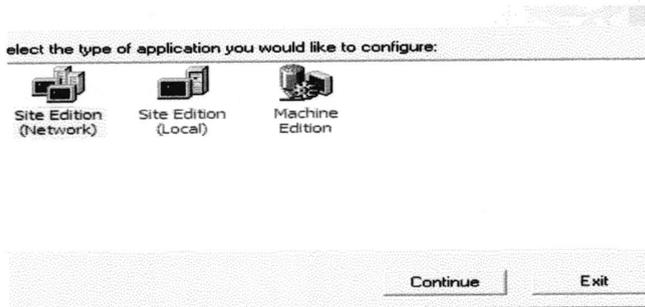


图 3.9 工程类型选择

(2)新建一个 HMI 服务器和一个数据服务器；

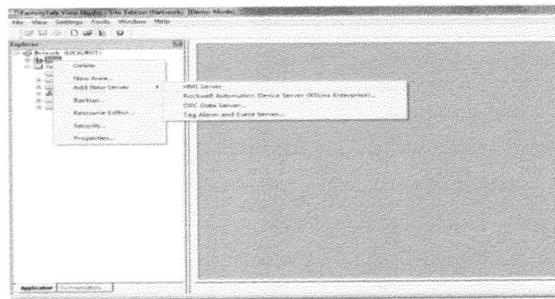


图 3.10 建立 HMI 服务器

(3)建立数据服务器，建立好画面，这是准备工作，具体来介绍一下 ODBC 的数据源，点击数据模型 Date log models 在设置的存储模式里面选择 ODBC；

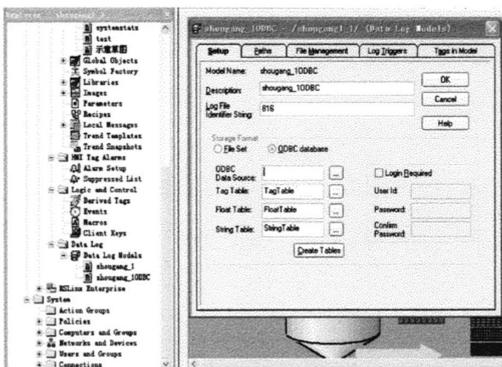


图 3.11 设置数据模型的类型

(4)点击右边的浏览窗口——选择 New 新建;

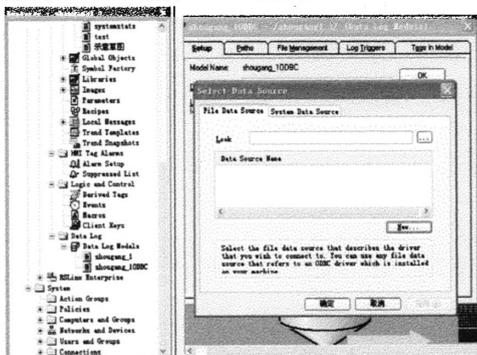


图 3.12 设置数据模型的基本参数

(5)新建——下一步——选择 Microsoft Access Driver(*.mdb);



图 3.13 选择数据源的驱动程序类型

(6)浏览保存 ODBC 数据源的位置并输入文件保存名——保存——下一步——完成;

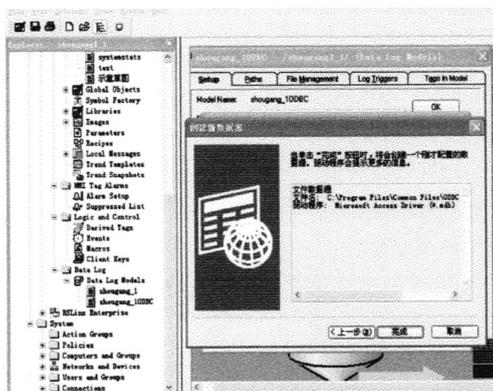


图 3.14 浏览数据源信息

(7)点击创建——把左上角的*换成要保存的数据名单击确定；

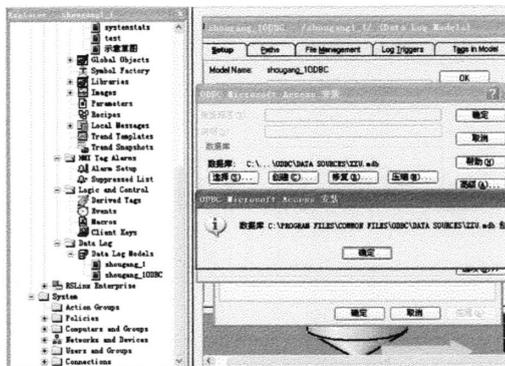


图 3.15 成功建立数据源模型

(8)到此 ODBC 数据源建立成功。

然后回到数据模型的设置窗口打开左边的浏览窗口，选择刚才建好的 ODBC 数据源点击确定——单击生成表格，则会在数据源里面自动生成三个表格 (TagTable、FloatTable 和 StringTable)到此数据源及与其相对应带字段的标签表格生成，双击刚才建的 ODBC 数据源可以看到这三个表格(可以用 Excel 打开，由于新建的文件还没进行数据采集，表格中只有进行数据采集的字段)；

在保存数据的时候需要设置三个参数值，数据保存的路径、需要采集的数据标签、数据采集的触发方式，本文中的四套设备并不是同时运行的，所以数据采集不需要同时全部进行采集，企业需要保存和分析的数据主要包括每个称的重量数据，数据采集的触发方式也分为三种，根据需要本文采用 On Demand

采集方式，当用户执行采集命令或某个标签的数值发生变化，达到某个值时，进行一次数据采集，这样可以避免了由于数据采集频繁造成通讯拥堵，同时也节省了不少计算机资源，为以后生成简捷便于分析的报表打下基础。

3.生成报表，生成报表可以便于对采集数据进行分析，该组态软件自身并不能直接生成报表，需要同第三方软件相结合，才能完成，利用编程语言可以编写一个数据采集的程序，将组态软件中显示和保存的数据按照清晰、规范的要求自动地保存到对应的表格中，组态软件提供了对应的软件接口，最终生成便于用户查看和分析的报表。而且表格中需要采集的数据需要增加或较少时，可以很方便进行修改。

为了便于查看和分析，数据最后处理的形式该非常清晰，使技术人员看起来非常方便，最终数据处理的形式如下表所示：

表 3.2 数据报表

| 采样日期及时间 | 1号返矿 | | | | 1号返焦 | | | |
|------------------|-------|--------|-------|-------|-------|---------|---------|-------|
| | >10mm | 8-10mm | 6-8mm | <6mm | >30mm | 28-30mm | 25-28mm | <25mm |
| 2012/12/20 8:27 | 1.60 | 4.91 | 16.76 | 76.73 | 13.79 | 3.64 | 17.66 | 64.91 |
| 2012/12/20 10:33 | 2.01 | 4.12 | 18.40 | 75.47 | 16.24 | 4.06 | 17.20 | 62.50 |
| 2012/12/20 14:05 | 2.36 | 4.71 | 18.99 | 73.94 | 14.52 | 4.24 | 17.07 | 64.17 |

4 称重系统的仿真分析

称重系统是整个系统的重要组成部分，本章详细介绍了称重系统的各个组成元件和结构特点，以仿真分析为理论基础，根据项目实际情况，运用 simulink 仿真软件建立了仿真模型，对称重系统进行了仿真分析，最后得到了称重系统的动态特性，为 PLC 称重部分控制系统的程序编写奠定了理论基础。通过现场实验验证，仿真得出的动态特性参数可以应用。

4.1 称重系统的组成

整个称重系统主要有称重仪表，称重传感器，接线盒，信号隔离器，PLC 模拟量输入模块组成。

4.1.1 称重仪表

称重仪表采用 EDI-800A，如下图所示，EDI-800 是日本大和研制的智能型、多功能称重控制仪表。该仪表的主要性能特点有：1.高速度/高准确度/高分辨率；2.存储 100 种产品信息；3.三段投料，计量高速准确；4.慢加料补偿自动调整；5.操作界面友好，可以人机交互；6.连接 PLC 功能；7.零位/秤量/初始负荷键盘标定；8.自我诊断功能；9.出错纪录；10.设定值记忆备份。

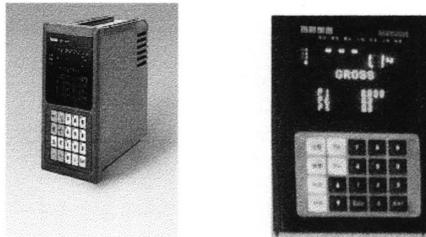


图 4.1 EDI-800 称重仪表

由于 EDI-800A 仪表的精度和可靠性高、质量好等优点，使其在工业自动领域，尤其是料斗秤装置得到了广泛的应用。

4 称重系统的仿真分析

表 4.1 EDI-800 称重仪表的性能指标和基本参数

| 参数名称 | 数值 |
|----------|---------------------------------|
| 供 桥 | DC10V 250mA |
| 输入范围 | 0-30mV |
| 转换方式 | Σ - Δ (连续时间的模数转换) |
| 转换速率 | 100 次/s |
| 转换精度 | 150000/30mV |
| 灵 敏 度 | 0.2uV/分度 |
| 电 源 | AC220V/20VA/ 50HZ |
| 工作温度 | 0°C-50°C |
| 工作湿度 | 45%-85%RH |
| 储存温度 | -10°C-60°C |
| 外形尺寸 | 110mm(W)167mm(H)*225mm(D) |
| 重 量 | 1.5kg |
| 输入点 | 7 个 |
| 最大输入电流 | 3.5mA |
| 输出点 | 14 个 |
| 集电极开路方式 | DC30V |
| 称重仪表显示类型 | VFD 荧光显示屏 |

EDI-800 称重仪表的标定方法:

称重仪表的标定主要标定两个参数，一个是零点的标定，另一个是量程增益的标定，标定之前还要对仪表的部分参数进行设置。具体步骤如下:

- 1.首先进入仪表的设置项，对标定的砝码重量和标定的量程进行设定;
- 2.进入设置项对 4mA 和 20mA 电流分别对应的重量值进行设定;
- 3.将待标定的料斗清理干净之后进行零点标定;
- 4.然后将相对应的砝码均匀放置在料斗里面，进行量程增益的标定;
- 5.完成标定之后退出系统即可。

该仪表 A/D 转换速度快、精度高。A/D 转换速度最快可达 100 次/秒，可以根据不同的应用场合选择相应的转换速度; 30mV 输入信号可以转换 150000 显示码值，分辨率 0.2 μ V。VFD 荧光显示屏，6 位重量显示，重量单位可选; 7 位计量状态显示; 10 个 7*5 点阵字符组成的提示行; 15*4 行参数显示。

4.1.2 称重传感器

称重传感器是一种主要用在衡器上的力传感器，按转换方法可以分为以下

几种：1.光电式：通过发生变化的莫尔条纹的数量计算出光栅转动的角度，进而得出被测物体的质量；2.液压式：通过测定液压油压力的增加值从而得出被测物体的质量，结构简单、可测范围大，但是准确度较低；3.电磁力式：利用杠杆原理，通过测出使系统达到平衡状态所需的电磁力，从而测得物体的质量；4.电容式：通过振荡电路的频率变化求得被测物体的质量；5.振动式：通过测出弹性元件固有频率的变化即可求出弹性元件上承受的物体的质量；6.陀螺仪式：利用测频率的方法测出内框中转子的角速度，求出外力即可得到被测物体的质量；7.电阻应变式：在受力的情况下，粘贴在弹性元件上的电阻应变片会随着弹性体同时发生弹性变形，电阻应变片发生弹性变化之后，其电阻值也会发生相应的变化，通过测量电路测出阻值的变化量，通过一定的电路将其转换成电流或电压信号，这样就将力信号转换成了电信号，方便以后的分析和应用。电阻应变式称重传感器测量范围广，准确度和可靠性高，在工业电子衡器领域得到了广泛的应用^[36-41]。

从电阻应变式传感器的工作原理可以看出其主要是由三部分组成，分别为电阻应变片、弹性元件和测量电路，下面针对这三个主要的组成部分的工作原理做一下详细的介绍：

1.电阻应变片；电阻应变片可以分为丝式和箔式两种，它能将应变的变化量转换成电阻的变化量，通过按照一定的规律粘贴在弹性元件的不同位置来达到测量的目的。主要参数是灵敏度系数 K 。

设有一个金属电阻丝，其长度为 L ，其横截面面积为 S ，横截面半径为 r ，其电阻率为 ρ ，该金属材料的泊松系数是 μ 。当这根电阻丝没有受到外力作用时，它的电阻值为 R ：

$$R = \frac{\rho L}{S} \quad (4-1)$$

当电阻丝两端受拉力 F 作用时，将会被拉长变细，也就是说产生变形。设其伸长量为 ΔL ，其横截面积则缩小 ΔS ，它的截面圆半径减少 Δr 。根据电阻原理属性，其电阻率也会随着应变片的变化而变化，其变化值记为 $\Delta \rho$ 。

为了得出电阻丝的变化与电阻值变化的关系，对式 (4-1) 求全微分，可以得到下式：

$$\Delta R = \frac{\Delta \rho L}{S} + \frac{\Delta L \rho}{S} - \frac{\Delta S \rho}{S} \quad (4-2)$$

用式 (4-1) 去除式 (4-2) 得到：

$$\frac{\Delta R}{R} = \frac{\Delta \rho}{\rho} + \frac{\Delta L}{L} - \frac{\Delta S}{S} \quad (4-3)$$

另外，导线的横截面积 $S = \pi r^2$ ，则 $\Delta S = 2\pi r * \Delta r$ 所以

$$\frac{\Delta S}{S} = \frac{2\Delta r}{r} \quad (4-4)$$

由材料力学可得：

$$\frac{\Delta r}{r} = -\frac{\mu \Delta L}{L} \quad (4-5)$$

其中，负号表示应变片被伸长时，半径变小。 μ 是表示材料横向效应泊松系数。把式（4-4）、（4-5）代入（4-3），有：

$$\begin{aligned} \frac{\Delta R}{R} &= \frac{\Delta \rho}{\rho} + \frac{\Delta L}{L} + 2\frac{\mu \Delta L}{L} \\ &= (1 + 2\mu + \frac{\Delta \rho L}{\rho \Delta L}) * \frac{\Delta L}{L} \\ &= K * \frac{\Delta L}{L} \end{aligned} \quad (4-6)$$

其中

$$K = 1 + 2\mu + \frac{\Delta \rho L}{\rho \Delta L} \quad (4-7)$$

式（4-6）说明了电阻应变片的电阻变化率与应变片的灵敏度系数成正比，与电阻丝的伸长率成正比。

由（4-7）可以看出灵敏度系数 K 的大小跟应变片的尺寸大小、形状都没关系，它是制作应变片的金属材料的固有属性。同一材料不同形状尺寸的应变片灵敏度是一样的，灵敏度系数没有量纲。

在材料力学中 $\frac{\Delta L}{L}$ 被称作应变，记为 ε ，为了计算分析方便，常常用它的百万分之一作为单位，记作 $\mu\varepsilon$ 。这样，式（4-6）常写作：

$$\frac{\Delta R}{R} = K\varepsilon \quad (4-8)$$

2.弹性体；弹性体受到外力后能够发生弹性变形，并且具有比较特殊的机构。弹性体要具备两个功能，首先要能感受外界信号，产生反作用力使系统处于静平

衡状态，另外还要作为应变片的基体，帮助那些按一定规律粘贴的应变片完成力信号向电信号的转换。

3.检测电路：当弹性体受力发生弹性变形时，应变片的电阻值发生相应的变化，检测电路能够将应变片的电阻变换转变成电流或者电压信号进行输出。电阻应变式传感器的检测电路一般都采用惠思登电桥电路，它受温度和侧向力的影响比较小，利用这一特点可以有效地解决称重传感器的补偿问题，使其在称重传感器中得到了广泛的应用。

称重传感器一般都采用全桥式的电路，主要是因为全桥式的灵敏度最高，而且受到外界干扰的时候，每个臂上受到的影响是一样的，可以相互抵消。

在选择称重传感器的时候应该参考传感器的灵敏度、最小检测分度值、测量范围、输入输出阻抗等指标，结合项目实际情况，在达到项目需求的前提下，综合考虑其安全性，可靠性和经济性进行选择。

1.传感器的数量和量程

在选择传感器的数量和量程时，一方面要考虑所要承受的最大的负载，应保证传感器的承载能力大于物料落到料斗中的最大重量值；另一方面要考虑称体的平衡，当称体达到平衡时需要几个支撑点就选用几个称重传感器作为支撑点。

传感器的量程除了考虑系统的最大称量值之外，还要考虑整个称重系统的振动，称体的自动，物料对称体的冲击等各种因素，一般都会留有一定的余量，但是为了保证称重的准确性，余量不能选择太大，应该选择传感器数量和量程的时候应该综合考虑测量的准确性和传感器的寿命。经过大量的实验和理论计算得出了下面的经验公式：

$$C = \frac{K_0 \times K_1 \times K_2 \times K_3 (W_{Max} + W)}{N} \quad (4-9)$$

式中：

C ——单个传感器的额定量程

W ——秤体自重

W_{Max} ——被称物体净重的最大值

N ——秤体所采用支撑点的数量

K_0 ——保险系数，一般取 1.2-1.3 之间

K_1 ——冲击系数

K_2 ——秤体的重心偏移系数

K_3 ——风压系数

公式(4-9)给出了选择传感器量程时的经验公式，充分考虑了现场环境的各个因素，具有很好的现实意义。

2.传感器的准确度等级选择

称重传感器的准确度指标主要包括传感器的灵敏度、非线性、重复性、滞后、蠕变等。一般传感器的等级越高，价格就会越贵，所以在选用称重传感器的时候不能一味地追求高等级，应该综合考虑准确度和成本。一般情况下，用所选称重传感器的非线性、滞后和重复性三个指标的均方根值来表示传感器的总精度，它比称重系统的精度略高。

3.各种类型传感器的使用范围

称重传感器类型的选择一方面要考虑其应用的场合，安装的方式，应该能保证方便安装和更换，满足测量需求；另一方面要参考传感器厂家的使用说明，不同厂家生产出来的不同材质、不同结构的传感器可能安装范围和应用场合都有很大的不同。

4.使用环境

称重传感器是将重量信号转换成方便测量的电信号进行输出，在使用传感器之前，为了使传感器能够安全可靠地工作，首先要搞清楚传感器的应用环境，粉尘较多，密封不好，时间长了可能影响测量的准确度；潮湿的环境可能造成传感器内部短路；高温环境下可能造成弹性体和应变片发生变形，电磁场比较强的场所可能对传感器的输出产生干扰。这就要求我们必须根据实际需要和现场环境选择合适的传感器，达到安全、准确测量的目的。

根据现场环境和实际需求设计，本文采用梅特勒托利多公司的 TSC/TSB 系列称重传感器，形状如下图所示：



图 4.2 TSC 称重传感器

该系列负载单元属于张力测量传感器，它可用来做静态测量，也可以用来做动态测量，测量精度好，安全可靠。它的测量电路被一整块金属密封起来，上面开有螺纹安装孔，尺寸小，方便安装，其点部测量结构降低了负载的不平衡带来的误差。多传感器并联的典型应用有：称重料斗、储藏箱、大的称重平台。外壳采用不锈钢结构使其在石油、化工领域也得到了广泛的应用。

表 4.2 TSC 称重传感器主要技术指标

| 指标 | 单位 | 数值 |
|----------|----------|-------------|
| 额定称量 TSC | Kg | 50,100 |
| 灵敏度 | mV/V | 2+0.002 |
| 输入阻抗 | Ω | 381 \pm 4 |
| 输出阻抗 | Ω | 350 \pm 1 |
| 建议激励电压 | V(DC/AC) | 5-15 |
| 最大激励电压 | V(DC/AC) | 20 |
| 安全过载 | %R.C. | 150 |
| 极限过载 | %R.C. | 300 |
| 电缆长度 | m | 5 |

4.1.3 接线盒

由于选用的传感器即使是同一批生产的，也不能保证完全一样，加上现场复杂的环境，安装方式的不同，给多个传感器并联组秤带来了不平衡的问题。为了使传感器的灵敏度系数与传感器的输出阻抗之比($mV/V/\Omega$)接近一致，从而保证整个称重系统的平衡，可以利用接线盒对每个传感器进行调节。由于机械台面和基础一般都有不同程度的变形，传感器使用时间越长，变形程度越严重，从而造成传感器受力不均匀，单靠电位器的补偿不能将称体调节平衡，因此应先调整传感器的位置高度，在差值(20-40)Kg 范围内，再用电位器补偿微调到基本一致，由于机械台面的变形，调节其中一个角可能影响另外两个角或者三个角，该过程应该反复进行直到称体达到平衡^[35]。

通过对多传感器系统接线盒内可调电阻的调节，较小传感器输出之间的差异，使称体达到平衡。传感器有 4 芯和 6 芯之分，接线盒也有不同种类和个数

的接线桩，本文采用的是三只传感器接入接线盒，再加总线接出共要用到四个接线桩，接线盒原理图如图 4.3 所示，其中 J1, J2, J3, J4 为输入，J 为输出，这里只用到三个输入，每个输入和输出都有七个接线端子，分别为 EX 桥压+(激励+)、EX 桥压-(激励-)、SN 反馈+、SN 反馈-、SG 信号+、SG 信号-、SHD 屏蔽。

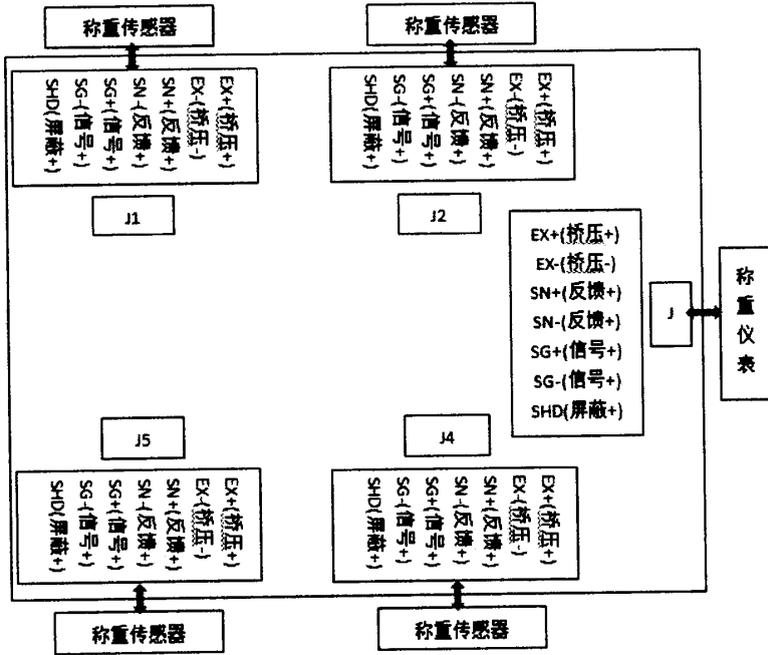


图 4.3 LCC 接线盒原理图

现场接线图如下所示：

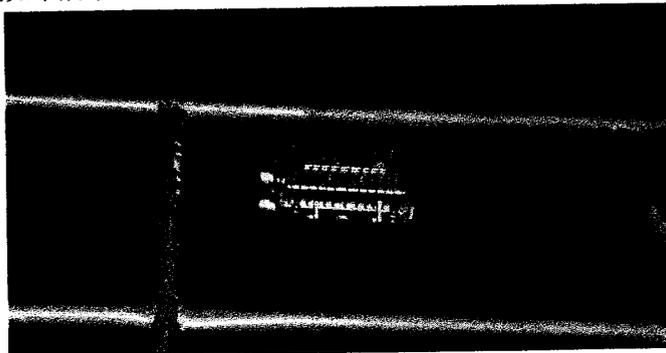


图 4.4 接线盒

4.1.4 信号隔离器

信号隔离器的工作原理是首先将来自变送器或者仪表的电流或者电压信号，通过半导体器件进行调制变换之后经光感或者磁感器件进行隔离转换，然后再通过解调还原信号，提高输入、输出、电源之间的电气隔离性能。信号隔离器主要分为以下三种：

- 1.隔离器：为了提高仪表的负载能力，保证连接同一信号的仪表之间互相不干扰，提高电气系统的安全性能，因此要求将输入的电压、电流等信号进行采集、放大抗干扰等处理之后，然后将处理之后的信号送给二次仪表或者 PLC 等使用。
- 2.配电器：工业现场一般都需要采用两线制传输方式，既要给变送器等仪器仪表提供 24V 的配电电源，还要对输入的电流、电压等信号进行采集、放大、运算等处理，然后再将处理好的信号输出给仪器仪表或者其它的仪器设备使用。
- 3.安全栅：安全栅主要用在一些特殊的工业现场(如化工厂和燃气公司)，这些场合不但要求两线制的输出，还要求配电电源具有信号隔离和防火花防爆的功能，安全栅通过遏制电源功率、防止电源、信号及地之间的点火，限流降压等作用把危险场所的能量限制在安全定额范围之内。

本文采用的信号隔离器为德国菲尼克斯 Phoenix Contact 隔离器 MINI MCR-SL-RPS-I-I 输入信号和输出信号均为：4-20mA，环境温度：-20°C-60°C。

该模块可用于隔离器和馈电隔离器操作中，工作电源(19.2VDC-30VDC)可由电源模块直接提供，也可由 DIN 导轨连接器提供，如下图所示：

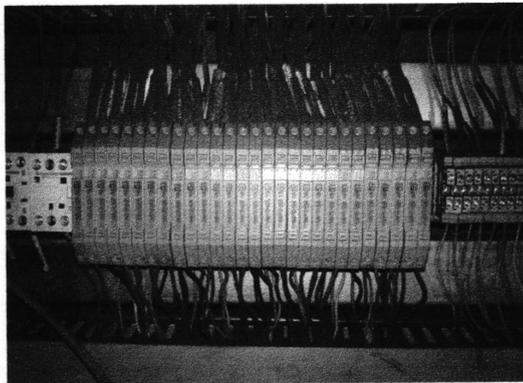


图 4.5 信号隔离器

该控制系统中的 PLC 共有 5 个模拟量输入模块，能够满足系统的需求，并且留有足够的余量。

4.2 传感器的特性分析

传感器的特性主要是指传感器所特有性质的总称。而传感器的基本特性是输入-输出特性,通常把传感器作为二端网络研究时,输入-输出特性是二端网络的外部特性,即输入量和输出量的对应关系。由于输入作用量的状态(静态、动态)不同,同一个传感器所表现的输入-输出特性也不一样,因此有静态特性、动态特性之分。由于不同厂家的传感器,其内部参数各不一样,它们对应的动、静态特性也表现出不同的特点,使用范围和对测量结果的影响程度也各不相同。因此分析传感器的外特性入手,分析它们的工作原理、输入-输出特性与内部参数的关系、误差产生的原因、规律、量程关系等是一项重要的内容^[29]。

4.2.1 静态特性分析

衡量传感器静态特性的主要指标是线性度、迟滞、重复性、分辨力、稳定性、灵敏度、抗干扰特性等。

1.线性度:是指传感器输入-输出之间的校正曲线与其拟合直线之间的最大偏差程度,一般用 γ_L 表示:

$$\gamma_L = \pm \frac{\Delta L_{\max}}{y_{FS}} \times 100\% \quad (4-10)$$

ΔL_{\max} ——非线性最大偏差;

y_{FS} ——满量程输出

由此可见,可以通过拟合直线来计算非线性度误差的大小,拟合的方法不同,所得到的直线度就不一样,常用的拟合方法有:理论拟合、端点拟合、过零旋转拟合、端点平移拟合和最小二乘法拟合,其中工程中最常用的最小二乘法,求得的数据点与实际数据之间的误差的平方和最小。

2.灵敏度

灵敏度:传感器输出的变化量 Δy 与引起该变化的输入变化量 Δx 之比即为其静态灵敏度,其表达式为:

$$k = \frac{\Delta y}{\Delta x} \quad (4-11)$$

由此可见,传感器拟合曲线的斜率就是传感器的灵敏度,线性传感器的特性就是斜率处处相同,即灵敏度 k 是个常数,与输入量的大小无关。

3.迟滞

迟滞：传感器在正(输入量增大)行程中输入输出曲线与反(输入量减小)行程中输出与输入曲线不重合现象称为迟滞，迟滞特性可以通过试验的方法测得。迟滞误差一般以满量程输出的百分数表示，即：

$$\gamma_H = \pm \frac{1}{2} \frac{\Delta H_{\max}}{y_{FS}} \times 100\% \quad (4-12)$$

ΔH_{\max} ——正反行程间输出的最大差值。

4.重复性

重复性：是指传感器在输入按同一方向连续多次做全量程变动时所得特性曲线不一致的程度，表达式为：

$$\gamma_R = \pm \frac{\Delta R_{\max}}{y_{FS}} \times 100\% \quad (4-13)$$

ΔR_{\max} ——正反行程最大重复性偏差。

通常用绝对误差来表示重复性误差，可同时选取几个测试点进行测试，对应每个测试点连续多次从同一个方向接近，最终从所有重复性偏差中找出最大的作为最终的重复性偏差。

通过搭建称重部分的实验平台，我们可以采集到一些实验数据进行理论分析，实验所需要的设备、仪器元件包括：特勒托利多 TSC 系列传感器、EDI800 称重仪表、信号隔离器、PLC 控制器、交换机、料斗和支撑架等。

实验步骤可按照以下进行：

1.在计算机上运用相应的软件编写一个称重系统的 PLC 程序和组态画面显示程序；

2.把不同重量的砝码进行编号，然后将砝码按照编号的顺序一个一个的加到料斗里面，分别记录计算机和仪表上的显示数值；

3.按照逆序的顺序把砝码卸掉，并记录计算机和仪表上的数值；

4.重复进行多次，记录相应的数据进行比较分析。

实验平台接近现场的称重系统，在后期的实物实验中得到了验证，用另外的称重设备对物料进行了二次称重，两次测得的数值基本吻合，在允许的误差范围内。下面选取了一些实验中的数据，对整个称重系统的静态特性进行了分析。

4 称重系统的仿真分析

表 4.3 正行程对应输入输出数据

| 变量名称 | 数值 | | | | | | | |
|--------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 输入 | 0.00 | 7.10 | 10.91 | 17.01 | 27.78 | 33.17 | 43.76 | 49.60 |
| 输出 (1) | 4.01 | 6.29 | 7.42 | 9.42 | 12.87 | 14.60 | 17.99 | 20.00 |
| 输入 | 0.00 | 7.10 | 10.91 | 17.01 | 27.78 | 33.17 | 43.76 | 49.60 |
| 输出 (2) | 4.01 | 6.30 | 7.52 | 9.47 | 12.91 | 14.64 | 18.03 | 20.10 |

表 4.4 负行程对应输入输出数据

| 变量名称 | 数值 | | | | | | | |
|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|
| 输入 | 49.6 | 43.76 | 33.17 | 27.78 | 17.01 | 10.91 | 7.10 | 0.00 |
| 输出 (1) | 20.00 | 17.99 | 14.60 | 12.88 | 9.43 | 7.48 | 6.29 | 4.01 |
| 输入 | 49.60 | 43.76 | 33.17 | 27.78 | 17.01 | 10.91 | 7.10 | 0.00 |
| 输出 (2) | 20.10 | 18.04 | 14.64 | 12.92 | 9.47 | 7.52 | 6.30 | 4.01 |

利用最小二乘法拟合计算静态特性指标，可以设拟合直线的方程式为：

$$y = kx + b \quad (4-14)$$

若实际校准测试点有 n 个，则第 i 个校准数据 y_i 与校正直线上相应值之间的残差为：

$$\Delta_i = y_i - (kx_i + b) \quad (4-15)$$

根据最小二乘法的原理 $\sum \Delta_i^2$ 为最小值即 $\sum \Delta_i^2$ 对 k 和 b 的一阶偏导数等于零，即：

$$\begin{cases} \frac{\partial}{\partial k} \sum \Delta_i^2 = 2 \sum (y_i - kx_i - b)(-x_i) = 0 \\ \frac{\partial}{\partial b} \sum \Delta_i^2 = 2 \sum (y_i - kx_i - b)(-1) = 0 \end{cases} \quad (4-16)$$

简化之后得:

$$\begin{cases} k = \frac{n \sum x_i y_i - \sum x_i \cdot \sum y_i}{n \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2} \\ b = \frac{\sum x_i^2 \sum y_i - \sum x_i \cdot \sum x_i y_i}{n \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2} \end{cases} \quad (4-17)$$

将表格中实验中得到的数据代入可得: $k = 0.32$, $b = 3.96$, 从而可以得出拟合曲线为: $y = 0.32x + 3.96$, 灵敏度为: $k = 0.32$ 。

由式(4-15)可得

$$\Delta_1 = 0.050, \Delta_2 = 0.058, \Delta_3 = -0.031, \Delta_4 = 0.017, \Delta_5 = 0.020, \Delta_6 = 0.026,$$

$$\Delta_7 = 0.027, \Delta_8 = 0.168,$$

由线性度公式可得:

$$\begin{cases} \gamma_L = \pm \frac{\Delta L_{\max}}{y_{FS}} \times 100\% = 0.84\% \\ \gamma_H = \pm \frac{1}{2} \frac{\Delta H_{\max}}{y_{FS}} \times 100\% = 0.15\% \\ \gamma_R = \pm \frac{\Delta R_{\max}}{y_{FS}} \times 100\% = 0.50\% \end{cases}$$

通过对静态特性的分析计算, 求出了静态特性指标, 从而确定了测量系统的输入-输出关系, 可以通过调整, 降低系统误差改善测量系统的正确度。

4.2.2 动态特性分析

现实中, 大部分的被测量信号都是动态信号, 输出能否准确, 快速地反映输入量的变化, 也是非常重要的问题, 因此对传感器的动态特性的研究也显得尤为重要, 研究传感器的动态特性主要从时域和频域两个方面采用瞬态响应法和频率响应法来研究分析, 动态特性好的传感器应该具有很短的暂态响应时间或者具有很宽的频率响应特性。首先建立称重系统模型如下图所示:

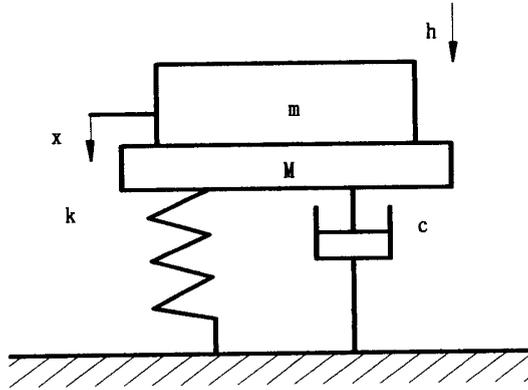


图 4.6 称重系统力学模型

分析其受力分别有：

弹性力（ k 为弹簧的劲度系数， x 为振子偏离平衡位置的位移）：

$$F_s = -kx \quad (4-18)$$

阻尼力（ c 为阻尼系数， v 为振子速度）：

$$F_d = -cv = -c\dot{x} = -c \frac{dx}{dt} \quad (4-19)$$

假设系统不再受到其它外力的作用，可利用牛顿第二定律写出该振动系统的振动方程：

$$\sum F = (m+M)a = (m+M)\ddot{x} = (m+M) \frac{d^2x}{dt^2} \quad (4-20)$$

其中 a 为加速度。

为了表示出位移 x 同时间 t 的函数关系，将上式化成二阶微分方程的形式，得到系统的运动微分方程如下所示：

$$(m(t)+M)\ddot{x} + c\dot{x} + kx = m(t)g + F(t) \quad (4-21)$$

$m(t)$ ——物料的重量值

M ——称斗的重量值

c ——称重系统的阻尼系数

- k ——称重系统的刚度系数
 x ——称重系统相对于平衡点的位移
 g ——重力加速度
 $F(t)$ ——物料下落的冲击力

由式(4-21)可以看出此系统是一个时变非线性系统,无法直接对其进行分析,所以本文假设在一个很小的时间段内,认为落入料斗里面的物料质量 $m(t)$, $F(t)$ 是常数,并将二者看成一个整体 G ,将其转换成线性的方程,然后在进行分析处理。

将式(4-21)变为:

$$(m+M)\ddot{x} + c\dot{x} + kx = G \quad (4-22)$$

此方程为一个典型的二阶线性系统,对其进行拉氏变换可得:

$$(m+M)s^2x(s) + csx(s) + kx(s) = G(s) \quad (4-23)$$

整理可得称重系统的传递函数为:

$$H(s) = \frac{x(s)}{G(s)} = \frac{1}{k} \frac{w_n^2}{s^2 + 2\zeta w_n s + w_n^2} \quad (4-24)$$

$$\text{其中, } w_n = \sqrt{\frac{k}{m+M}}, \quad \zeta = \frac{c}{2\sqrt{(m+M)k}}$$

因此可以算出有阻尼的系统固有频率 $w_d = w_n \sqrt{1-\zeta^2}$,

为了能够生动,直观地反映出系统的动态特性,为该称重系统加入各项参数,进行仿真分析也显的非常必要。

4.3 仿真的原理

仿真以相似原理、信息技术、控制论及相关领域的有关知识为理论基础,以计算机和各种专用软件驱动为工具,借助系统模型对真实系统进行实验研究的一门综合性技术。它利用物理或者数学方法建立各种需要数学模型、物理模型。静态模型、动态模型、离散模型和连续模型。由于仿真与实际设备或现场具有相似性,使其在机械、电气、化工、经济、生态、社会等领域都得到了广泛的应用。

仿真主要的理论依据就是相似原理。所谓相似,是指各类事物或对象间存在的某些共性。仿真的本质过程就是运用相似原理,建立相似模型,设定接近

实际的参数和变量，进而反应实际情况的近似状态。

仿真的重要工具是计算机，计算机仿真的研究对象可以是实际的系统，也可以是设想中的系统。仿真是一种实验性的技术，这是与其它计算方法的最大区别。仿真过程主要包括建立仿真模型、进行仿真实验两个步骤^[6]。

4.3.1 仿真的分类

仿真可以按照不同原则分类：

1.按照实现方式不同可以分为以下几类：

(1)物理仿真：是最早采用的仿真模式，它是指研制某些实体模型，通过设置于实际现场相似的温度、压力、振动等参数使之能够重现真实系统的各种状态所以又被称为实物仿真。由于其参数难调整、灵活性差、想构建一个比较理想的模型周期比较长，而且投资比较大，使其应用受到了一定的限制。

(2)数学仿真：数学仿真就是运用数学符号和语言对系统进行描述和编程，进而对系统的各个状态进行研究的过程。通过该方法将一个系统用微分方程，状态方程进行表述，用解析模型和统计模型代替原系统进行仿真，仿真过程灵活，可以很方便地改变系统的参数和结构，仿真过的各个过程都很快，实际系统很长时间的动态演变过程通过编程可以在很短的时间内得到仿真结果，仿真的精度也可以根据需要进行设定，重复性好，可以很简单地再现仿真过程。

(3)数学物理仿真：是将物理模型、数学模型结合起来，建立的仿真模型更接近实际的情况，仿真结果的可信度更高，更具有现实参考价值，这种在仿真环节中存在实体的仿真称为半物理仿真或者半实物仿真。许多模拟器或军用装备、飞机等都采用这种仿真模式。

2.按照仿真系统与实际系统时间尺度上的关系，又可分为以下几种：

(1)实时仿真：仿真时钟与系统实际时钟完全一致。应用专用的仿真硬件，在实时操作系统的环境下，可以方便地实现实时性的仿真。

(2)欠实时仿真：当没有严格要求需要实时性的时候，可以采用仿真时钟比实际时钟慢的模型进行仿真，这样不但达到了仿真的目的，而且节省了仿真成本，降低了仿真系统的复杂性。

(3)超实时仿真：仿真时钟比实际时钟快。当实际系统周期太长时，若采用实际时钟就变得毫无意义，这时就要进行超时仿真^[6]。

4.3.2 仿真的作用和意义

由于仿真大都在计算机上进行，安全、经济、便于操作的特点使其在诸多领域，尤其是实物实验危险性大，成本高的行业和领域得到了广泛的应用，充分体现了它的科学研究价值，带来的经济效益。归纳起来，仿真技术主要在以下几点充分体现出其强大的功能：

- 1.优化系统设计。仿真的各个模块间的软性连接，参数可以方便改变，所以在搭建实物系统之前，可以通过建立仿真模型，通过调节系统参数，观察仿真结果，得到最优的系统参数，实现系统的优化设计。
- 2.系统故障重现，查找故障原因。实际系统故障的重现比较危险、复杂，结果难以预料，不但不安全，而且会增加工厂或公司的投资资金，如果采用仿真系统来实现故障重现不但方便、安全可靠，而且节省成本。
- 3.验证系统设计的可行性，通过设置与实物设计相同的参数，得出仿真结果可以对系统进行性能评价和分析。物理仿真大多采用这种模式，如飞机的疲劳试验；为管理决策和技术决策提供支持。

由于做仿真实验需要购买数据采集卡以及相应的配套设备，不但增加项目成本，而且延长项目开发周期，本文通过仿真实理论分析，得出系统的动态特性参数，在现场安装调试的时候，运用仿真分析的结果进行单机在线实验，验证了仿真分析的结果，在一定程度上对控制系统进行了优化，降低了项目的开发成本，缩短了开发周期，并且达到了预期的效果。

4.4 称重系统的仿真

4.4.1 Simulink 概述

Simulink 是一种以 MATLAB 为基础的实现动态系统建模、仿真与分析的软件包，也是 Math Works 公司开发的 MATLAB 里的工具箱之一，其主要功能是实现动态系统建模、仿真和分析。

Simulink 可以采用鼠标拖放和复制的方法来建立系统模型，其图形交互界面良好；通过 Simulink 提供的各种功能模块可以迅速地创建系统的模型，不需要书写代码；Simulink 还支持 Stateflow 用来仿真事件驱动过程。因此在实际工程中的系统建模、分析和仿真中得到了广泛的应用^[26]。

利用 Simulink 进行系统的建模仿真，采用交互式、图形化的建模环境，其最大的优点是上手比较快，易学易用，并且能利用 MATLAB 提供的丰富的仿真资源。^[6]

需要仿真的系统，仿真模型和计算机是计算机仿真的三个要素，而仿真模型的建立和参数设置又是其关键，构成一个仿真模型的基本元素一般为：信号源，仿真的系统模块和仿真结果显示模块。

4.4.2 系统仿真的具体步骤

- 1.在仿真之前首先要了解清楚要仿真的问题是什么，然后才能明确仿真的目的，确定系统的仿真边界和约束条件；
- 2.建立数学模型：根据系统的实验所得的数据、先验知识及其机理研究，采用物理原理、资料查询、系统辨识等方法，确定模型的结构及参数，最终建立一个安全可靠、切实有效的数据模型；
- 3.仿真模型的建立：根据数学模型，运用计算机在相应的仿真软件上建立各种模块，设置相应的参数和变量就能建立，连接之后就构成了仿真模型；
- 4.仿真分析，运行仿真模型，分析仿真结果，根据实验需求和仿真目的对仿真模型进行修改。

4.4.3 称重系统的仿真过程

在对物料检测设备的控制系统进行编程的时候务必要考虑料斗受到物料冲击之后的稳定时间，什么时候采集数据，什么时候采集是准确的，操作工人距离现场又比较远，不容易观察，设定的时间太短，采集的数据不准确，设定的时间过长，又降低了检测的效率，为此需要对称重系统进行仿真分析。每个料斗上有三个称重传感器，三个橡胶弹簧，系统力学模型已经在第二小节完成，主要有料斗重量 M ，物料重量 m ，橡胶弹簧的弹性系数 k 和阻尼系数 c 。

假如质量为 m 的物料从高 h 落下，缓冲的材料为线弹性的材料，弹性系数为 k ，阻尼比为 c ，物料没有落下的时候系统是稳定的，以落料刚落到料斗的时候为初始条件，可以得出系统的运动方程的初始条件： $x(0)=0$ ， $\dot{x}(0)=\sqrt{2gh}$ ，

本文采用状态变量法，引入新的变量 x_1 ， x_2 ，则可得状态方程为：

$$\begin{cases} \dot{x}_1(t) = x_2(t) \\ \dot{x}_2(t) = G - \frac{c}{m+M}x_2(t) - \frac{k}{m+M}x_1(t) \end{cases} \quad (4-25)$$

已知返矿物料的比重为: $m = 40\text{Kg}$, $M = 30\text{Kg}$, $\rho = 1800\text{Kg}/\text{m}^3$, 高度 $h = 1.5\text{m}$, 初速度 $v_0 = 0\text{m}/\text{s}$, 小车进料口的宽度: $B = 0.1\text{m}$, 实际进入小车的物料的宽度为 $B_0 = 0.02\text{m}$, 物料均匀时的厚度: $D = 0.05\text{m}$, 末速度为 $v_1 = \sqrt{2gh} = 5.42\text{m}/\text{s}$, 可以求出物料从皮带落入料斗的时间 $t = 0.39\text{s}$, 在 15m 高度的物料的重量为: $m_{\text{空}} = B_0 D h \rho = 5.4\text{Kg}$,

$m_{\text{均}} = \frac{m_{\text{空}}}{t} = 13.84\text{Kg}$, 也就是说 13.84Kg 的力, 以 $5.42\text{m}/\text{s}$ 的速度在称斗上作用了 0.39s , 有动量定理可得:

$$Ft = m_{\text{均}}v_1 \quad (4-26)$$

$$F = \frac{m_{\text{均}}v_1}{t} = 192.34\text{N}$$

由机械手册可以查出橡胶弹簧的刚度系数 $k_0 = 137200\text{N}/\text{m}$, 由于是三个弹簧并联, 所以总刚度 $k = 3k_0 = 411600\text{N}/\text{m}$, $\zeta = 0.05 - 0.15$ (机械设计手册单行本机械振动机架设计, 17-59) [25], 其中,

$$w_n = \sqrt{\frac{k}{m+M}} \quad (4-27)$$

$$\zeta = \frac{c}{2\sqrt{(m+M)k}} \quad (4-28)$$

因此可以算出有阻尼的系统固有频率 $w_d = w_n \sqrt{1 - \zeta^2} = 76.7$,

$$w_n = 76.68, \quad c = 536.77 \sim 1610\text{N} \cdot \text{s}/\text{m},$$

$$w_d = w_n = 76.68, \quad G = mg + F = 231.54\text{N}$$

方程(4-25)中的第一个方程可以认为是将 $x_2(t)$ 的信号作为一个积分器的输入端， $x_1(t)$ 为积分器的输出端，同样，在第二个方程中， $G - \frac{c}{m+M} x_2(t) - \frac{k}{m+M} x_1(t)$ 可以作为信号积分器的输入端， $x_2(t)$ 则为信号积分器的输出端，根据 Simulink 的仿真原理和提供的各种模块可以设计出描述该状态方程的框图^[31-34]，如下图所示：

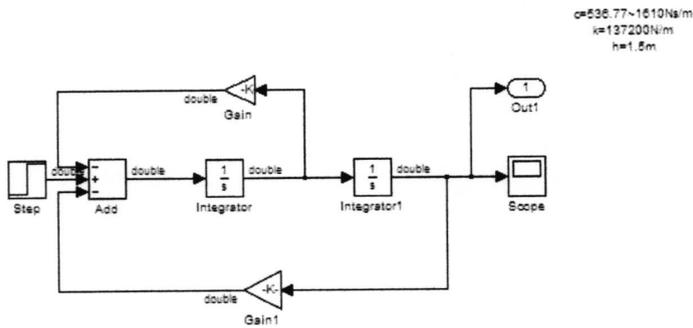


图 4.7 物料称重系统仿真模型

在上边的系统称重仿真模型中，需要确定几个模型参数，由于物料料层的厚度，大小都不均匀，取料的质量也是不确定的，为了分析不同质量时物料落入料斗的稳定性，参数分别取为： $m = 40kg$ 、 $c = 536.77 \sim 1610N \cdot s / m$ ， $k_0 = 137200N / m$ ， $h = 1.5m$ ，启动仿真，进行仿真，可以得到仿真结果曲线，如图所示：

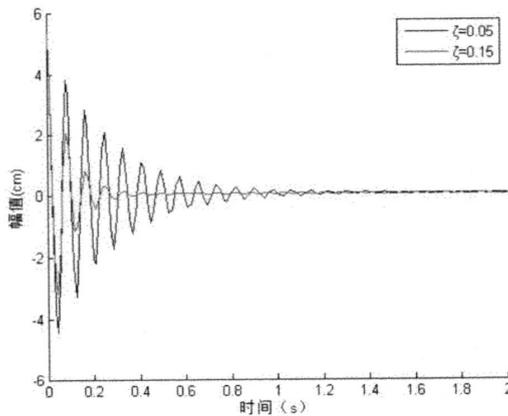


图 4.8 仿真曲线图

当 $\zeta = 0.05$ 时，需要大约 0.6s 的时间，如果 $\zeta = 0.15$ 时，需要大约 1.6s 才能稳定，当料斗稳定之后采集数据才是比较准确的，根据现场复杂的工况，恶劣的环境，粉尘多，噪声大，在实际编程设计的时候将采集数据的时间设定在物料输出大于 10s 之后再采集数据，现场已经进行实验和验证，结果表明采集的数据比较准确，能够帮助技术人员分析，把料斗的稳定时间从原来的 2 分钟提高到 10s，大大提高了检测和数据采集的效率，同时也给操作工人带来了方便。

5 结论和展望

5.1 结论

本文根据实际工程需求，结合高炉炼铁的发展趋势，用相应的软件平台和理论知识，综合运用理论计算，仿真分析，实验验证等多种方法，设计出了四套物料粒度检测设备，分别从三个方面进行了分析设计：

1.论文介绍了 DSP0740-04 高精多步检验装置的结构与原理，特点以及关键技术，安装调试方法，该设备通过控制三个激振器的运行顺序和方向的不同组合来实现“振动筛分，剔除卡料，物料输出”三个工序，并且激振器的运行时间可以根据现场实际情况进行设置，该设备依靠其稳定性，高效性，经济性等优点已经得到了企业和市场的认可。

2.论文根据现场需求，设备工作原理，各运动部件的动作顺序设计出了一整套电气自动化控制程序，主要包括五个方面的内容：(1)返焦、返矿物料粒度检验装置筛分控制系统的组成；(2)PLC 控制程序的设计；(3)组态画面的设计；(4)通讯的设计；(5)数据的保存和生成报表。从调试安装成功到现在设备的运行情况来看，控制程序准确可靠，自动化程度高，操作方便。

3.论文对系统的称重部分做了详细的分析和介绍，给出了称重系统的组成结构和原理，介绍了称重仪表的标定方法，各个组成部分的原理和作用，搭建与现场相近的实验平台，采集称重数据，通过理论分析得出了称重系统的静态特性；运用 Simulink 对称重部分进行了建模和仿真分析，得出了称重系统的动态特性，并在现场通过了实验验证，对系统的控制程序进行了改善和优化，采集的数据准确，可靠，能够反应现场的实际情况，工程人员可以根据计算机采集到的数据进行理论分析。

目前，程序和控制界面已经导入首钢京唐公司自动化总控制系统中，正常运行六个多月，自动化程度高，程序可读性强，控制操作简便，采集数据准确，上料系统检修方便，设备到目前为止运行可靠，不但大大提高了工人的工作效率，也给工厂带来了很大的效益。

5.2 展望

由于时间和工期的限制，对整个设备的结构和控制进行的理论分析和优化还不够，主要表现在以下两个方面：

1.在对电控柜里面进行设计的时候，把 PLC 和交换机公用了一路电源，虽然交换机不容易坏，但是一旦坏掉，需要断电更换的时候，PLC 也同时断电，影响设备工作，举一反三，以后设计其它电路，特别是比较关键的设备和元器件尽量用多路供电，可靠性更高。

2.对称重部分进行仿真分析的时候忽略了现场的一些因素，比如：温度，粉尘，振动等因素的影响，只是对在理想的状态下分析的结果给予方宽，并留有一定的余量，要想得到非常准确的数值还需要进一步的分析和验证。

随着科学技术的高速发展和研究的进一步深入，最终以上问题都能得到解决，进而提高设备的运行可靠性和安全性。

参考文献

- [1] 唐安萍. 首钢国际工程公司创新特大型高炉料仓和无中继站上料系统并在首钢京唐钢铁厂成功应用[N]. 钢联资讯, 2012-01-18.
- [2] Rockwell国际有限公司. Allen-Bradley PLC说明书.
- [3] Rockwell国际有限公司. Factory Talk View SE说明书.
- [4] Rockwell国际有限公司. AB初学者教材.
- [5] 1769-L35E CompactLogix用户手册, 2004年 Rockwell International Corporation.
- [6] 夏玮, 李朝晖, 常春藤. 控制系统仿真与实例详解.北京: 人民邮电出版社, 2008.
- [7] 侯建民, 矿用箕斗动态定量称重系统的研究[D]. 陕西: 西安科技大学, 2009.
- [8] 李小丽, 非线性缓冲包装系统冲击特性的仿真研究[D]. 陕西: 西安理工大学, 2004.
- [9] 孙浩朱, 超甫. 基于全并联方式的多个方传感器共同称重研究[J]. 传感器世界2008, (3): 6-10.
- [10] 张建立, 郑华栋. 组态软件在物料检测设备中的应用[J].制造业自动化.2012.
- [11] 李磊, 动态称重系统关键技术研究[D]. 长安大学, 2008.
- [12] 吴向峰, 动态粒状物料定量称重技术研究[D]. 北京: 中国计量科学研究院.2006.
- [13] 贺万才, 张福明, 李长兴, 王代军. 首钢京唐烧结厂降低生产工序能耗的实践[J]. 中国冶金2012, 22 (1): 20-24.
- [14] 康英, 辛亚军, 刘志远, 王圣齐. 利用VBA实现Factory Talk View SE报表功能[J]. 电气传动自动化, 2011, 33(5): 47~48.
- [15] 马胜钢, 祁建中, 马泳涛. 高精液控分步振动筛的应用研究[J]. 机床与液压, 2002(06): 110-112.
- [16] 蔡思文. 基于网络技术的数据采集与监控系统的研究和设计[D]. 武汉: 武汉理工大学, 2007.
- [17] 李进军, 王柏军. AB计算机在包钢6#高炉上料系统的应用[J]. 包钢科技, 2011, 37(2)45-47.
- [18] 李桔, 快堆换料监控系统人机界面和数据库功能的开发[D]. 大连: 大连理工大学2005.
- [19] 乔垒垒, 马胜钢, 范松柏. 粒度精确分级振动筛剔卡效率的试验研究[J]. 矿山机械, 2010, 38(21): 98-101.
- [20] 吴炳胜, 苏茹茹, 李文选等. 基于ANSYS的ZK450振动筛动态特性的分析[J]. 煤矿机械, 2012, 33 (3) : 97-99.
- [21] 陆文娟. ControlNet与EtherNet/IP总线的性能研究与分析能[D]. 浙江: 浙江大学电气工程学院, 2008.
- [22] 李雪松. 基于罗克韦尔自动化NetLinx的泵站远程监控[D]. 上海: 上海交通大学. 2006.
- [23] 张海. 梅钢焦炉焦车控制系统的设计与实现[D]. 大连: 大连理工大学, 2009.
- [24] 薛定宇, 陈阳泉, 基于MATLAB/Simulink的系统仿真技术与应用[M]. 北京: 清华大学出版社. 2011.
- [25] 成大先, 机械设计手册单行本机械振动机架设计[M]. 北京: 化学工业出版社, 2004.

- [26] 邓华, MATLAB通信仿真及应用实例详解[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2003.
- [27] 邵忍平, 机械系统动力学[M]. 北京: 机械工业出版社, 2005.
- [28] 王伟, 赖永星, 苗同臣, 李静斌. 振动力学与工程应用[M]. 河南: 郑州大学出版社, 2008.
- [29] 陈杰, 黄鸿, 传感器与检测技术[M]. 北京: 高等教育出版社, 2008.
- [30] 刘文刚, 常志方, 韩保. 电压跌落模拟器峰值冲击电流校准的SIMULINK仿真研究[J]. 中国计量, 2011(10): 89-90.
- [31] 陈雪. 二阶串联谐振系统 Matlab/Simulink 仿真[J]. 长春工业大学学报, 2011.32(3):243-246.
- [32] 耿道霞, 刘家彬. 基于MATLAB的Simulink仿真环境在控制系统设计中的应用[J]. 电脑知识与技术, 2007(14): 519-520.
- [33] 孙祥, 等. MATLAB 7.0基础教程[M]. 北京: 清华大学出版社, 2005.
- [34] 吴四清. 基于MATLAB的二阶系统仿真与分析[J]. 咸宁学院学报, 2009, 29(3): 79-80.
- [35] 史贤林, 唐岩, 朱报平. 称重传感器并联组秤的偏载调试技术[J]. 衡器, 2011. 9(4): 32-34+42.
- [36] 赵广平, 孙雯萍, 孙建军. 电子称重技术现状及发展趋势[J]. 仪表技术与传感器, 2007(7): 76-77.
- [37] 陈正亮. 电子称量装置在过程控制应用中的应用与发展[J]. 中国资源综合利用, 2004(10): 36-38.
- [38] 马洪斌. 机电一体化技术在高精度称重系统中的应用研究[D]. 四川: 四川大学, 2005.
- [39] 付家才. 工业控制工程实践技术[M]. 北京: 化学工业出版社, 2003.
- [40] 刘海. 基于以太网的动态称重系统的软件研究与实现[D]. 南京: 南京理工大学, 2008.
- [41] 杨宝清. 现代传感器技术基础[M]. 北京: 中国铁道出版社, 2001.
- [42] Lin, Youhong etc, Study on dynamic weighing of powder materials Wuhan Gangtie Xueyuan Xuebao[N]. Wuhan: Wuhan Iron and Steel University, 2000(3): 263-264.
- [43] Hiromit S U, Shimaka W A, George D O. Real-Time Reactions in Supervisory Control According to Data Freshness. Real-Time Systems, 2001.20(1):19-39.
- [44] 胡寿松. 自动控制原理[M]. 北京: 科学出版社, 2001.
- [45] 腾青芳, 范多旺. 自动控制原理[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2008. 2.
- [46] 陈冠玲, 吴小滔. 基于以太网的控制系统[J]. 中国仪器仪表, 2004, 4(2): 1-3.
- [47] 邱公伟. 可编程控制器网络通信及应用[M]. 北京: 清华大学出版社, 2000.
- [48] 曹燕萍, 谢剑英. 基于现场总线的监控系统设计[J]. 自动化仪表, 2004, 5(1): 23-26.
- [49] Allen K C, Lee W H, Yung K L. Inheritance and polymorphism in real-time monitoring and control systems[J]. Journal of Intelligent Manufacturing, 2000, 11(4): 285-294.
- [50] 罗华阳. 基于PLC的大型机房智能管理系统的设计与开发[D]. 长沙: 湖南大学, 2009.
- [51] 阳宪惠. 工业数据通讯与控制网络[M]. 北京: 清华大学出版社, 2001.
- [52] 薛迎成. 罗克韦尔PLC技术基础及应用[M]. 北京: 中国电力出版社, 2009.

个人简历及攻读硕士学位期间取得研究成果

个人简历:

郑华栋, 男, 汉族, 1987年5月1日生, 河南郑州人, 中共党员, 2010年6月毕业于安阳工学院, 获得工学学士学位。

在学期间发表的论文:

[1]张建立, 郑华栋. 组态软件在物料检测设备中的应用[J].制造业自动化.2012年第9期.

[2]Zhang Jianli, Zheng Huadong.THE DESIGN OF DSP SCREEN OF HIGH PRECISION SIZE INSPECTION[C]. Mchatic Systems and Material Application:2012

[3]张建立, 郑华栋.高精度全自动物料粒度检验装置的研究[J].煤矿机械.2013年第2期.

获奖情况:

郑州大学 2011—2012 学年“三好研究生”;

郑州大学 2011-2012 学年百优研究生科研奖 1 次(全校百名博士、硕士研究生);

郑州大学 2013 届优秀毕业生。

致 谢

论文在历经两年半的时间终于顺利完成了，回首生命中最重要最充实的三年研究生生活，感慨万分。衷心的感谢在我求学道路上帮助过我的老师、家人、同学以及河南新乡县四达有限公司的同事们，谢谢你们！

本文从选课题到参与实践再到理论方法的研究最后到论文的完成，每个阶段都倾注了导师张建立的心血。三年研究生学习期间，导师在学习上给了我难得的锻炼机会，生活中得到了导师的无微不至的关怀。在最困难的时候是导师的鼓励给了我很大的动力，让我一次次的克服了各种困难。几年来的进步、收获都凝聚着导师的智慧和心血，导师渊博的科学知识、严谨的科研态度、敏锐深邃的技术洞察力以及忘我的工作精神都将使我终生受益。在研究生学习期间，在接受导师指导的三年时间里，他那渊博的知识、高尚的师德、活跃的思维、朴实无华、待人和蔼可亲的作风给我留下了深刻的印象，使我领略到了许多做学问的方法和做人的道理、开阔了视野、丰富了学识，并将受益终身。和导师一起在车间现场调试程序到深夜，是我一生中最为珍贵的经历，导师“办法总比困难多”，“难走的都是上坡的路”的经典话语我一生都不会忘记，三年期间，张老师不但在学术上教给了我许多，也像一位父亲一样在我的人生路上给了我很大的帮助！至此论文完稿之际，想对张老师由衷地说一句：老师您辛苦了，谢谢您！

感谢李成院长、马胜钢教授、张洛明教授、庄森教授、李大磊副教授、王栋副教授、陈中中副教授、郑艳萍老师、冯静老师及机制教研室各位老师在学习和生活上给予了热心的关心和帮助，并对课题的研究提供了许多宝贵的意见和建议。在此，向各位老师表示衷心的感谢！

感谢父母和哥哥，他们是我成长的坚强后盾和精神支柱，使他们用无私的付出换来我一次又一次的成功，衷心地祝愿父母身体健康，哥哥家庭和睦。

感谢尹跃峰、陈广飞、张拓、王鹏彪等同学在日常学习和生活中给予热心的帮助！感谢师弟葛义鹏在论文完成过程中的大力协助和支持，以及给予的很好的修改意见！

衷心感谢河南省新乡县四达有限公司一起工作过的同事们！

祝：

张老师及全体郑州大学机械工程学院教职工工作顺利、身体健康、家庭和睦、万事如意！

祝：

2010级全体研究生前程似锦！

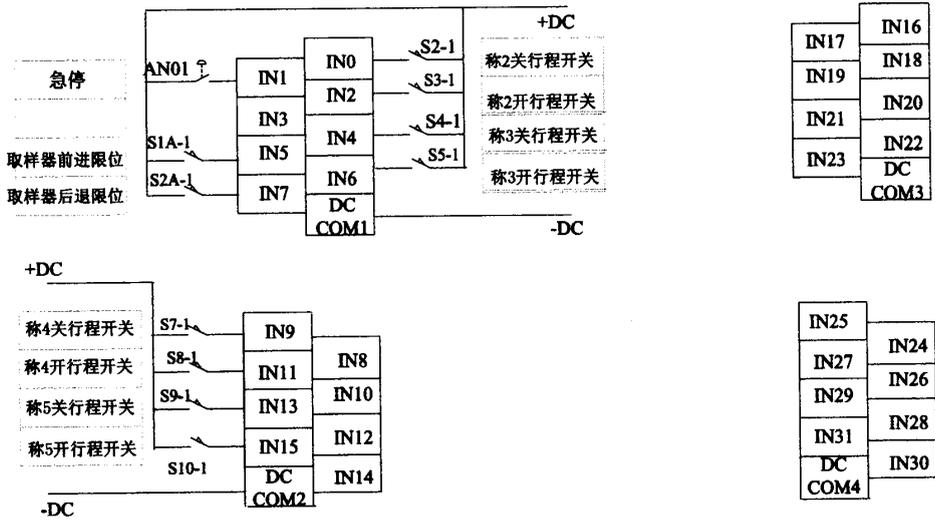
祝：

师弟师妹们学业有成、梦想成真！

最后，感谢参与论文评阅的所有老师，谢谢你们对论文提出的宝贵意见和建议！

附录 A 电器主电路和控制电路图

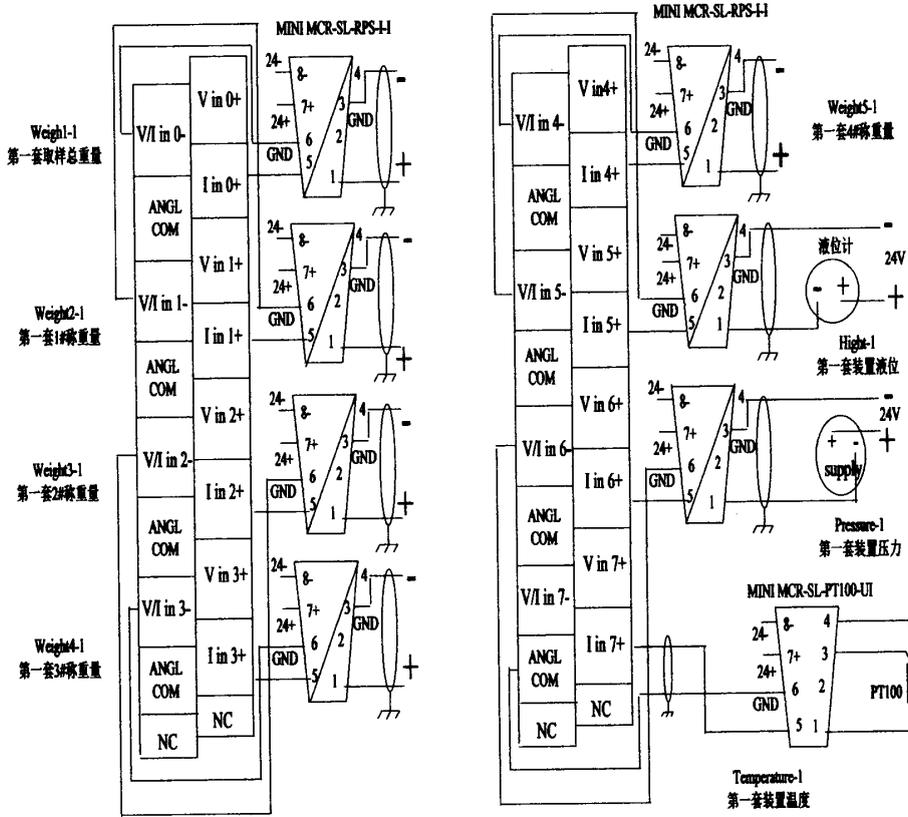
1769-IQ32接线图 (1) 标签: local: 1: I.Date.0~local: 1: I.Date.31
烧结矿 1



本控制系统共有4套取样、筛分、输送装置，其对应的符号分别为“**—1”，“**—2”、“**—3”、“**—4”。

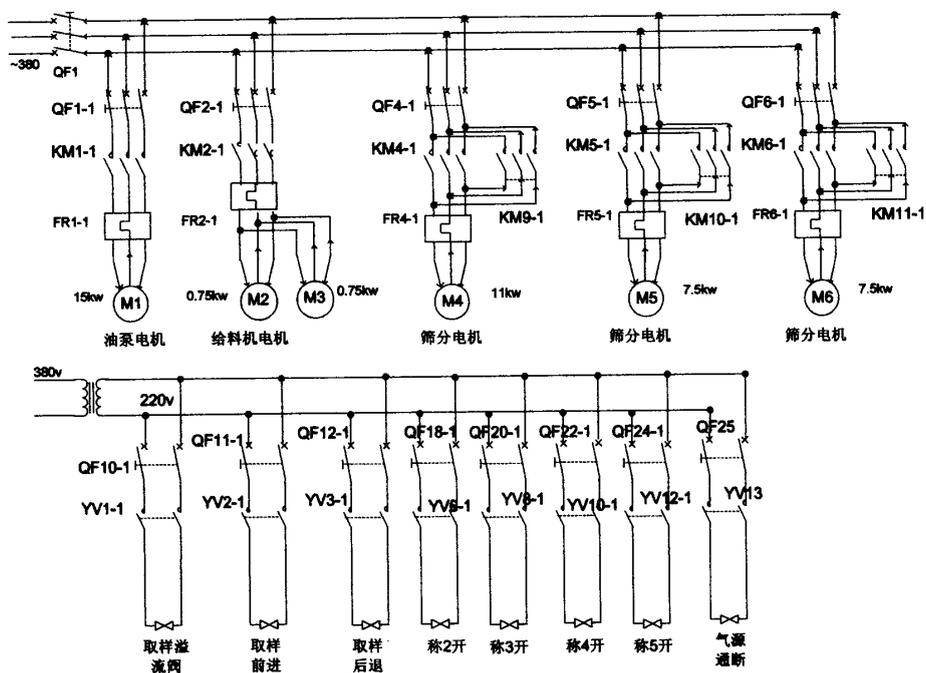
附录

1769-IF接线图 (1) 标签: local: 8: LCH0Date~local: 8: LCH7Date
烧结矿 1

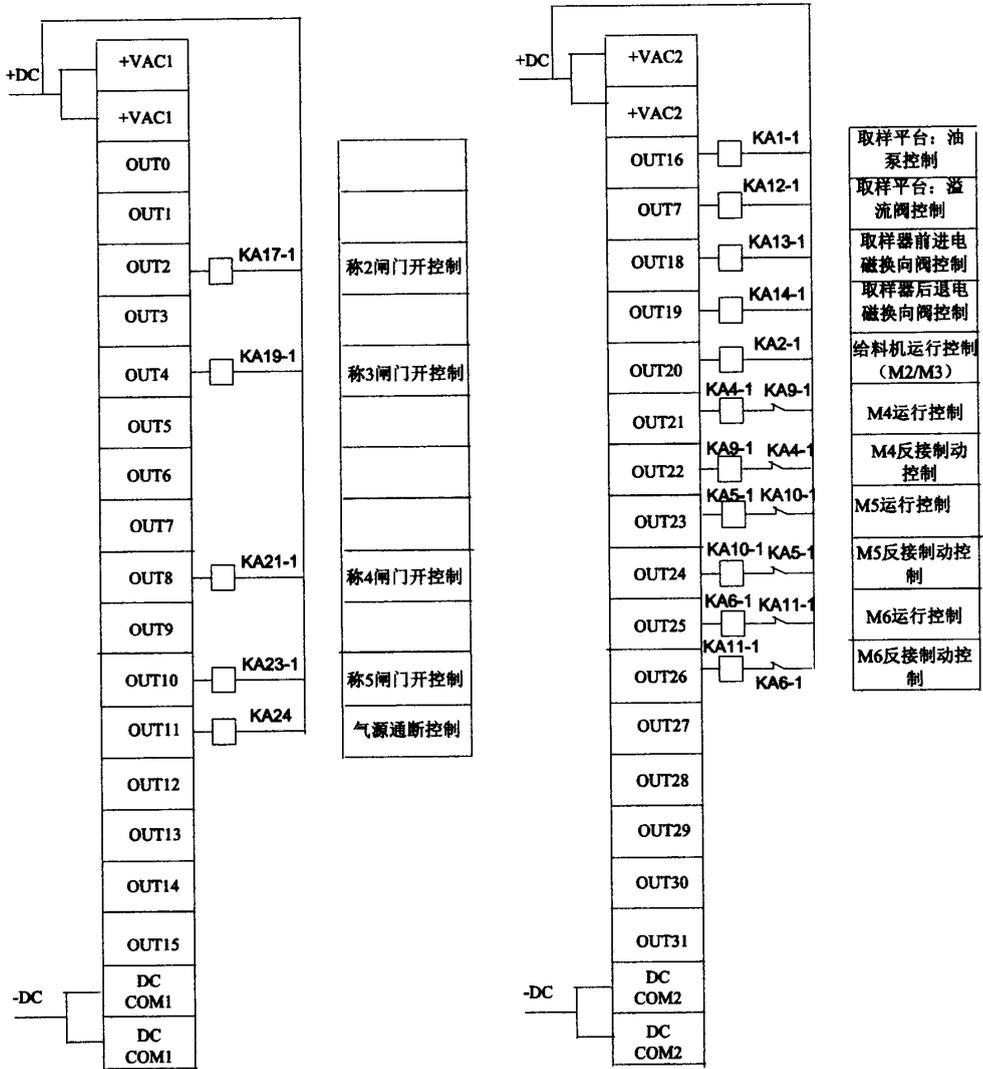


本控制系统共有4套检验装置, 其对应的符号分别为“**—1”, “**—2”、“**—3”、“**—4”。

第一套检测装置主电路图 烧结矿1

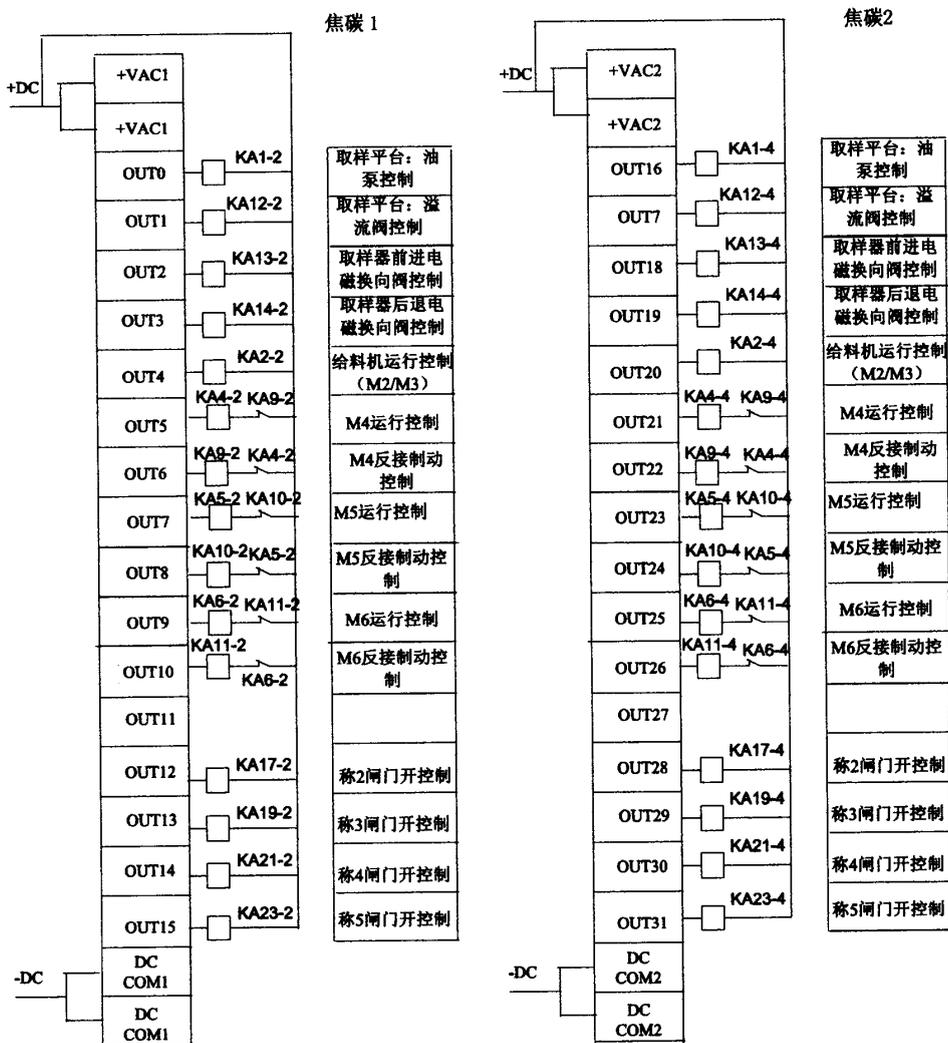


1769-OV32T接线图 (1) 标签: local: 5: O.Date.0~local: 5: O.Date.31
烧结矿 1



本控制系统共有4套取样、筛分、输送装置，其对应的符号分别为“**—1”，“**—2”、“**—3”、“**—4”。

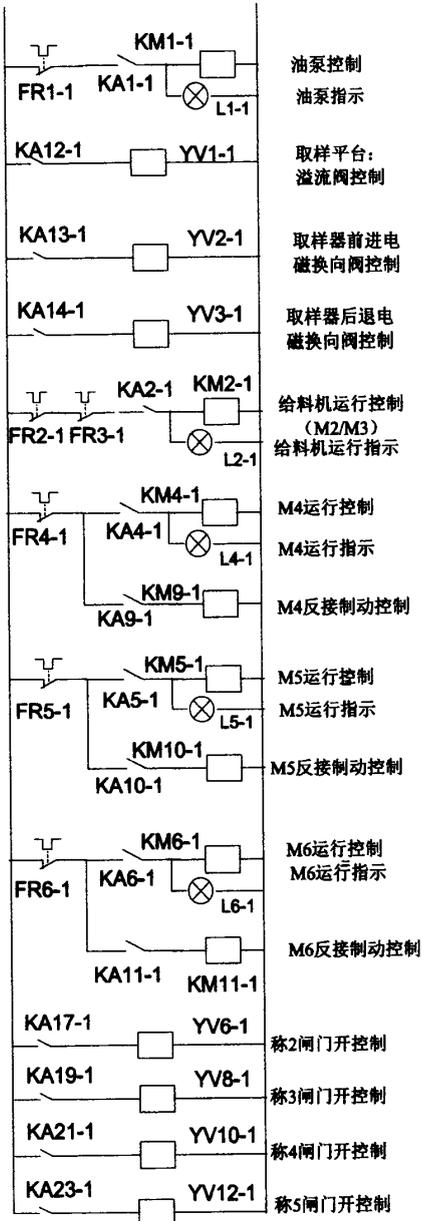
1769-OV32T接线图(2) 标签: local: 6: O.Date.0~local: 6: O.Date.31



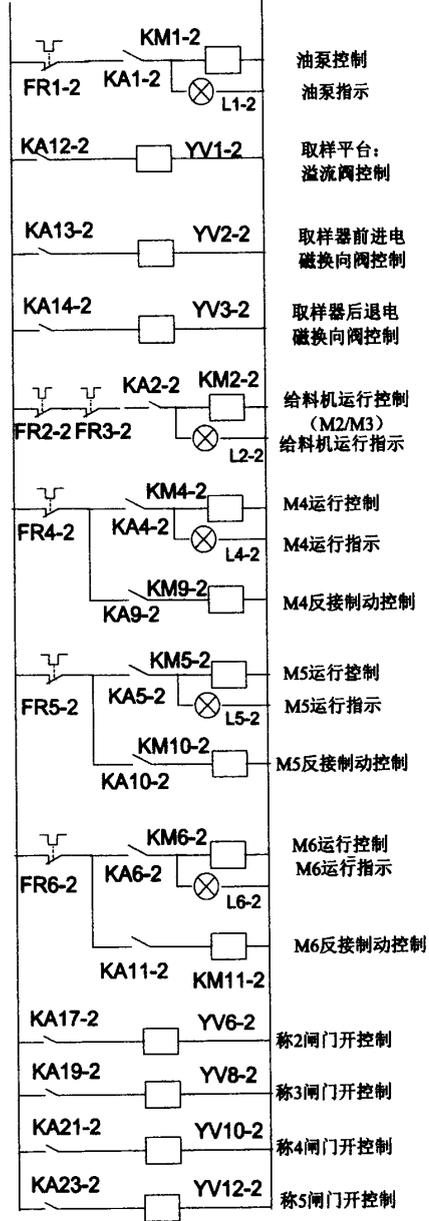
本控制系统共有4套取样、筛分、输送装置，其对应的符号分别为“**—1”，“**—2”、“**—3”、“**—4”。

第一、二套检测装置电气控制系统原理图

第一套检测装置 烧结矿 1
~220V



第二套检测装置 焦炭 1
~220V



附录 B PLC 程序见光盘