

A thesis submitted to
Zhengzhou University
for the degree of Master

**Research and Development of New Material Particle Size
Measurement System**

By Yipeng Ge
Supervisor: A.P. Jianli Zhang
Mechanical Engineering
School of Mechanical Engineering
May 2014



Y2545806

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：葛义朋

日期：2014年6月3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：葛义朋

日期：2014年6月3日

摘要

在钢铁冶炼行业，良好的物料透气性能使物料的物理和化学反应更加充分。这关乎到炼铁的质量和效率，因此需要对进入高炉的返焦返矿物料进行粒度检测。这是近年来国内外冶金行业普遍关注的重点技术之一。为此首钢京唐公司委托郑州大学机械工程学院和四达有限公司，研制一套新型物料粒度测量系统。作者对此展开研究，得出了一些有益的成果。

论文根据物料粒度测量系统的工作环境和主要技术指标，在充分研究分析了国内外取样和筛分技术现状的基础上，提出了在皮带输送机的头轮部用液压缸取驱动料小车来实现取样的新方案；采用三个惯性激振器组合的激振源来满足精密筛分要求的新型激振源配置方案；利用聚氨酯精密筛网来满足精密筛分和剔卡要求的设计方案，并对该方案的结构和工作原理及其特点进行了详细的分析和研究。上述各个方案进行组合就构成了新型物料粒度测量的机械系统。作者详细介绍了该机械系统的结构组成和工作原理。

根据京唐公司对新型物料粒度测量系统的要求，作者还对该系统的电气控制系统硬件进行了设计。京唐公司对该系统的测量精度提出了很高的要求，为了满足公司要求，作者慎重仔细的选择了称重传感器和 PLC 的型号。为了控制机械系统各环节动作，作者还设计了 PLC 控制系统，并编制了相对应的 PLC 控制程序。

作者还对称重系统建立了其数学模型，利用 Simulink 软件对其控制性能进行了详细的分析，得到了一些最佳的控制参数。

该新型物料粒度测量系统于 2013 年 12 月已在首钢京唐有限公司投入使用，各项技术指标和功能已达到预先研究的目的，运行良好。该系统提高了公司的生产效率，同时也给公司带来了可观的效益。

关键词：测量；电控；Simulink；仿真

论文类型：应用研究

Abstract

In the iron and steel smelting industry, good permeability can make a fuller physical and chemical response for all material. This relates to the quality and efficiency of iron, and therefore we need to detect mineral material and the coke that returned back to the blast furnace. Whether at home or abroad, it is one of the most important metallurgical technology. People always keep their eyes on the widespread concern technical. In this paper, Zhengzhou University and Xinxiang Sida limited company want to develop a new type of particle size measurement system for Shougang Jingtang Ltd .I made some research on the measurement system and obtained some useful results.

In this thesis, according to the environmental requirements and the main technical indicators of the particle size measurement system, after the full analysis of the sampling and screening technology, I proposed a new program that a hydraulic cylinder takes the car to achieve the expected sampling during the first round of the belt conveyor. I also used a combination of three inertial shaker excitation sources to meet the precise requirements of the new screening program excitation sources configuration. In order to meet the design requirements tick cards, I used the sophisticated polyurethane mesh sieve and precision. Finally, I carried out a detailed analysis and research on the structure and working principle and characteristics of the program. The combination of the new program after the preferred constituted a new particle size measurements mechanical system. Finally, I introduced the details of the structure and working principle of the system.

According to the requirements of new material particle size measurement system, I also research and design the electrical control system. I also analyze the accuracy requirements of the system and select the load cell and design weighing system.

According to various aspects of the operation of mechanical systems, I designed PLC control system and draw up PLC control program. In order to facilitate the operation and inspection, I draw up configuration screen based on configuration software.

I also established a mathematical system for the weighing model and use Simulink software to analyze its control performance in detail and got some best control parameters.

The new material particle size measurement system had been put into use in Shougang Jingtang Ltd in December 2013. Various technical indicators have reached the pre-study purpose and function. It has brought good results. This system not only improves efficiency, but also has brought huge benefits for the entire company.

Key Words: Measurement; Electronic control; Simulink; Simulation

Type of Thesis: Applied Research

目录

摘要	I
Abstract.....	II
目录	IV
1 绪论	1
1.1 课题的研究背景	1
1.2 国内外物料粒度测量系统的现状和发展趋势	2
1.2.1 国内外振动筛分装置的研究现状	2
1.2.2 国内外振动筛分装置的发展趋势	3
1.2.3 国内外物料取样装置的研究现状	3
1.3 课题的来源和意义	3
1.4 新型物料粒度测量系统的主要技术要求	4
1.5 课题的主要研究内容	4
1.6 小结	5
2 新型物料粒度测量的机械系统研究	6
2.1 新型物料取样装置的方案分析	6
2.2 物料筛分装置的激振方式方案分析	9
2.3 物料筛分装置筛网方案分析	11
2.4 物料测量的机械系统组成和工作原理	13
2.5 小结	14
3.新型物料粒度测量的电气控制系统硬件设计	15
3.1 称重系统主要元件的选择	15
3.1.1 称重传感器的选择	15
3.1.2 TSC 型称重传感器性能特点	18
3.2 PLC 型号的选择	19
3.2.1 PLC 输入/输出点数的计算.....	19

3.2.2 PLC 模块的选择	22
3.3 小结	26
4. 新型物料粒度测量系统 PLC 控制程序设计	27
4.1 Logix5000 软件授权的导入	27
4.2 PLC 控制程序流程框图	30
4.3 取样小车 PLC 控制程序设计	30
4.4 筛分系统 PLC 控制程序设计	33
4.5 称重系统 PLC 控制程序设计	38
4.6 小结	41
5 新型物料粒度测量的称重系统的仿真分析	42
5.1 称重系统的组成	42
5.1.1 称重仪表	42
5.1.2 称重传感器	43
5.1.3 接线盒	46
5.1.4 信号隔离器	47
5.2 建模方法研究	47
5.2.1 系统仿真建模的几种主要方法	47
5.2.2 Simulink 软件介绍	48
5.3 物料粒度测量称重系统的仿真模型	48
5.3.1 确定系统的研究对象	48
5.3.2 系统的数学模型	49
5.3.3 基于 Simulink 称重系统仿真模型	51
5.4 仿真分析	53
5.5 小结	54
6 结论和展望	55
6.1 结论	55
6.2 展望	55
参考文献	56

目录

致谢 58

个人简历 59

1 绪论

1.1 课题的研究背景

在高炉炼铁行业中，入炉物料的质量高低对于炼铁的质量和效率有着极大的影响。入炉物料粒度的组成不同、物料的成分不同，炼铁的质量和效率就不同。具有不同的物理性质、化学性质和粉尘含量的颗粒组成了进入高炉的物料。这些颗粒的形状和粒度一般都不相同，这对物料的燃烧性有着很大的影响。不同粒度和形状的颗粒组成的物料，由于它们带有大量粉尘，对物料的充分燃烧有着很大的阻碍，这就极大地影响了铁水的质量和炼铁的效率。由于物料燃烧不充分，造成能源极大地消耗和浪费^[1,10]。物料的透气性在得到保证之后，并且在加热物料时必须保证物料受热均匀，这样才能使物料得到充分的利用。为了提高生产率、降低能源的消耗，需要对物料的粒度进行检测。检测完成之后，为了使物料能够被循环利用，需要对物料进行槽下系统处理。这样就在最大程度上减少了物料的浪费，节省了资本。物料在经过上述过程的处理之后，质量得到了保证，而且也会对经济效益有着不小的提高^[27]。

料柱的透气性、焦炭的反应性和还原性在很大程度上是由物料粒度的组成决定的。良好的物料粒度组成可以保证物料燃烧充分，这样在冶炼时就会保证公司的经济社会效益。目前市场供应的炼铁燃料有很多种，质量在很大程度上不能得到保证，尤其是物料的粒度参差不齐，导致冶炼性能时好时坏。所以对入炉原燃料进行严格精确的粒度分级和检测势在必行。烧结矿和焦炭是两种主要的炼铁用的燃料，对其粒度组成必须进行检测以保证炼铁质量和经济效益。

为保证物料的质量，在物料进入高炉之前，要对其进行必要的粒度检测。物料成分的不同，进行筛分所使用的筛网就不同。首钢京唐炼铁所使用的原燃料的成分主要是矿石和焦炭。因此必须使用焦炭筛网和矿石筛网这两种筛网，分别对焦炭和矿石进行相应的筛分。小颗粒的焦炭和矿石在经过这两层筛网之后都会被筛除，避免了小料入炉对炼铁料柱透气性产生的影响，大颗粒的焦炭和矿石直接进入高炉。目前，由于公司的生产规模比较大导致筛分设备数量较多而且比较分散，一旦其中的一套筛分设备出现问题就会对焦炭和矿石的利用率产生很大的影响，而且会直接影响生产效率给公司造成很大的损失。由于设

备比较分散，工人师傅维修起来也十分不方便。

因此，在这种情况下京唐公司委托郑州大学机械工程学院联合四达有限公司设计一套新型物料粒度测量系统。这套系统既能提高了资源的利用率，又能方便工人师傅的检修。在查阅大量文献的基础上，作者对这套测量系统做了下面的研究：1、分析了新型物料粒度测量系统的机械系统的组成和工作原理，提出了在皮带输送机的头轮部用液压缸驱动取样小车进行取样的新方案、研究和分析了新型激振源的配置方案和精密筛网的设计方案；2、分析了系统的测量精度的要求，选择了称重传感器，确定了 PLC 的型号以控制机械系统各个环节。与此同时，作者还设计了 PLC 控制系统并编写了 PLC 控制程序用来控制机械系统各环节；3、对称重系统建立了其数学模型，利用 Simulink 软件对其控制性能进行了详细的分析，得到了一些最佳的控制参数。

1.2 国内外物料粒度测量系统的现状和发展趋势

物料粒度测量系统中最主要的机械设备是振动筛和物料取样装置。在科学技术飞速发展的 21 世纪，振动筛在矿产和能源领域的需求量越来越大。先进的筛分理论，良好的筛分工艺参数，先进的筛分技术可以使能源得到充分利用。因此开发处理量大、高性能的振动筛势在必行。

1.2.1 国内外振动筛分装置的研究现状

目前，先进的筛分技术主要由一些少量的发达国家掌握。德国能提供多种筛分设备，而且筛分设备种类比较齐全，其设备的最大处理量在振动筛分领域首屈一指。美国研制的高技术专利筛网在孔径尺寸和使用寿命上无人能及。通过把旋回和旋转运动结合起来，日本人生产出了垂直料流筛，可以筛分细料级物料。英国将超声波技术应用到物料筛分中。法国生产的振动筛可处理直径较大的物料^[5,6]。这些都是欧美和日本在振动筛设计和制造方面取得的主要进展。发达国家之所以在振动筛分领域处于领先地位，是因为它们不断开发新的生产工艺和 CAD 技术。它们设计出的振动筛性能良好，可靠运行的时间比较长，而且能适应不同的工作环境^[2,3]。

我国在建国初期由于工业基础比较薄弱，所以在振动机械筛分领域我国走的是一条边仿制边开发的道路。近些年来，我国的筛分机械行业飞速发展，

大大缩小了与发达国家之间的差距。我国成功开发了各种各样，不同种类，能满足各种筛分要求的振动筛，基本上接近或达到了发达国家的水平。同时在生产工艺、CAD 技术、精度方面取得了不错的成绩^[4]。

1.2.2 国内外振动筛分装置的发展趋势

作者总结分析国内外振动筛的发展历史和现状^[7,8]，认为其发展趋势可归纳为：（1）大型化、重型和超重型化的振动筛会越来越适应市场；（2）标准化、系列化、通用化的振动筛将会越来越多；（3）先进的筛分理论、筛分技术会越来越的被应用到新型振动筛的设计之中。

1.2.3 国内外物料取样装置的研究现状

德国和日本的著名冶金企业在上世纪末研制出能精确筛分出三种物料级别的具有两个激振器的高精度振动筛（京唐公司要求筛分的物料级别为五级），其物料取样装置采用的是在物料输送的皮带头轮部安装一台运动部件重达 3 吨的机械式取样装置^[9]。由于该取样装置质量大，速度低，不能满足大物流量输送皮带的输送要求（例如京唐公司皮带机输送量为每小时 5700 立方的输送量）和高速取样的要求（满足京唐公司要求取样量的取样小车速度达每秒两米）因此该取样装置和高精度振动筛均不能满足京唐公司炼铁高炉物料测量系统中物料取样的要求。

无论是国外还是国内都没有这种新型物料粒度测量系统，虽然德国和日本有精确筛分出三种物料级别的振动筛，但其性能并不能满足京唐公司的筛分技术要求，因此作者研究与设计了能精确筛分出五种物料级别的振动筛。

1.3 课题的来源和意义

京唐公司是一个生产钢铁的大型公司，其对炼铁用的物料需求量极大。物料粒度的组成不同，它们的燃烧性能就不同。这就需要在物料进入高炉燃烧之前，对其进行检测和筛分。京唐公司所用的物料组要成分是焦炭和矿石。焦炭和矿石大小不一，需要焦炭筛网和矿石筛网两种筛网分别对焦炭和矿石进行相应的筛分。小颗粒的焦炭和矿石在经过这两层筛网之后都会被筛除，这就避免了小颗粒的物料进入高炉对炼铁料柱透气性产生的影响。而直径相对较大的焦炭和矿石直接进入高炉^[18]。由于京唐公司的生产规模比较大，使用的筛分设备

数量就比较多，而且比较分散，一旦其中的一套设备出现问题就会对整个公司的生产效率产生较大的影响。由于筛分设备数量较多，把出现问题的设备检查出来就变得十分困难，增加了工人师傅的工作量不说，还会影响公司的效益。

因此，京唐公司委托郑州大学机械工程学院联合四达有限公司共同设计一套新型物料粒度测量系统。这套系统既能提高了资源的利用率，又能方便工人师傅的检修。新型物料粒度测量系统主要有取样系统、筛分系统、电气控制系统，这几个系统由同一套 PLC 系统进行控制。取样小车在液压缸驱动下，实现物料的取样功能。控制三个激振器的动作顺序和运行时间，实现对物料的筛分，剔卡和输出。论文对新型物料粒度测量系统的称重系统进行了理论分析和仿真，得到了一些有益的数据，对什么时候进行数据采集起到了指导作用。

1.4 新型物料粒度测量系统的主要技术要求

高精度物料粒度测量系统的主要技术要求有以下几点：

- 1 物料筛分精度大于 90%；
- 2 物料损失小于 2%；
- 3 测量精度等级正负 0.5%；
- 4 每批检测时间小于 6 分钟；
- 5 筛孔精度误差小于 0.1mm；
- 6 一次筛分物料等级 4 级（小于 6mm:6-10mm:10-15mm:15-20mm:大于 20mm）；
- 7 小车取样速度为 2m/s。

1.5 课题的主要研究内容

1.研究国内外物料取样及筛分技术现状，首钢集团对于物料粒度测量系统的技术要求，提出新的物料粒度测量系统的技术方案；

2.研究新的物料取样方案，高精度粒度检验筛的激振源的配置方案，高精度粒度检验筛筛网的配置方案以及新型物料粒度检测机械系统的设计方案；

3.对电气控制系统硬件进行选择，对新型物料粒度测量系统进行 PLC 控制程序设计；

4.利用 Simulink 软件对称重系统进行仿真分析，并得出一些数据指导生产。

1.6 小结

本章主要先介绍了课题的研究背景，接着在查阅大量文献的基础上系统介绍了国内外物料粒度检测的现状和发展趋势，最后介绍了课题的来源和意义以及新型物料测量系统的主要技术要求，并确定了课题的主要研究内容。

2 新型物料粒度测量的机械系统研究

对新型物料粒度测量机械系统的研究是由以下几个关键部分组成：取样装置的方案分析、确定筛分装置的激振方式、筛分装置的筛网型式的选择等^[29]。

2.1 新型物料取样装置的方案分析

物料的取样方式有很多，例如利用机械手在物料输送皮带上多次随机取料，这种取样的方法不仅需要制造一个精度要求较高的机械手，还需要在输送皮带上重复性多次取样，成本较高，取样随机性大，代表性差，不适合物料取样装置要求的取料检查。取样方案的好与坏决定着取样的准确度和精密度。取样方案要是错了就不可能得到有代表性的样品。好的取样方案要能使所有物料都有均等的机会成为取样样品的一部分。如果不能均等的进行物料取样，那么取出的物料就不具有代表性，就不能保证取样的准确度和精密度。作者考虑到现场工况，同时也为了满足取样要求，发现最好的取样位置是在物料输送机的转运站。因为在这里不仅可以很方便地截取到物料的全截面，而且截取的材料具有很高的代表性^{[14][16]}。

定速取样和变速取样是目前国内外常用的两种取样方式。定速取样机和变速取样机是分别对应这两种取样方式的取样机器。定速取样机的截取速度在整批物料输送期间都是固定的不变的。变速取样机的截取速度可以根据物料的流量按份依次进行调节，但是其截取速度在截取物料时是恒定的。

据粗略估计一次取样机的型式有很多种，其中截取式一次取样机因为结构简单，便于安装和维修，所以应用最为广泛。图 2.1 是截取式取样机的图解示例。

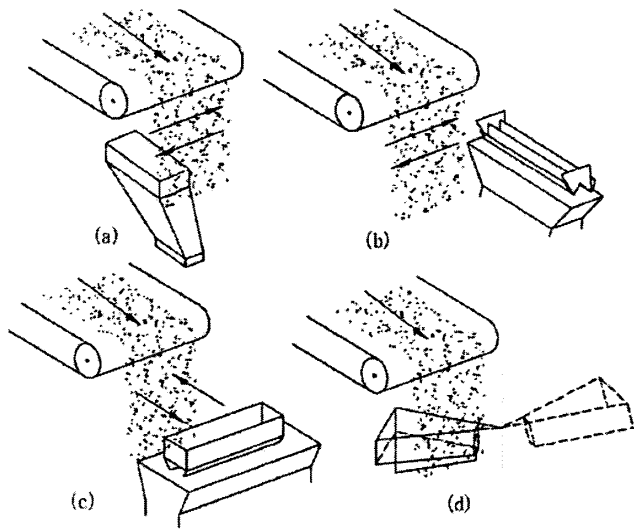


图 2.1 截取式取样机示例

(a) 溜槽截取型 (b) 斗式截取型 1 (c) 斗式截取型 2 (d) 摇臂截取型

作者对这四种取样机型经过详细的比较之后最终选定的是溜槽截取型。因为该结构简单，能满足物料粒度测量装置的技术要求，便于安装和维修。

该取样装置的结构组成如图 2.2 所示，它的位置正好处于物料输送装置的正下方，这样它能够根据测量需要截取入炉料的物料流中的一部分。它还能够做到自动截取物料、根据设定时间定时定量的对物料进行截取并且截取的物料是全断面处的物料。该取样装置在工作时，取样小车做直线运动，取样小车的动力源是由液压缸提供的。取样开始时，皮带输送机上的物料在重力的作用下落入到取样小车里，然后进入到取样小车的取料溜槽内，最后沿着振动筛的进料口进入到振动筛进行下一步的筛分工作。取样时采取了较高的取料速度，这样做是为了确保在取样过程中所取皮带截面上的物料全部及时的收集。在较高的速度下所取得的物料比较客观真实的反映物料的实际情况，这样也为准确的物料检测提供了可靠的保证。除此之外，改变取样小车的运行速度来控制取样量的多少。

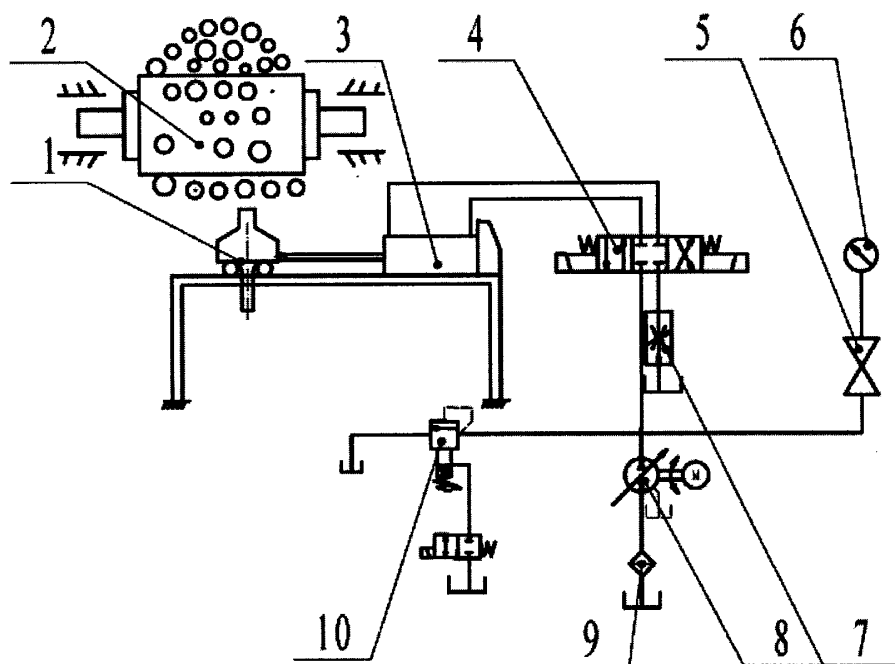


图 2.2 取样装置结构简图

- 1 取样小车 2 传输物料装置 3 液压缸 4 电磁换向阀 5 压力表开关
6 压力表 7 调速阀 8 变量泵 9 电加热器 10 电磁溢流阀

取样过程中要求取样小车具有稳定的速度，取样小车的动力来源于液压系统，该系统采用回油节流调速是为了保证每一次取样具有稳定相同的速度。在回油节流调速回路中，由于存在背压，活塞的运动平稳性好^[28]。

物料取样系统的工作原理：在取样小车进行取样之前，需要把液压系统中调速阀的开度、电磁溢流阀的系统压力调定到预设值。取样时，电动机在 PLC 控制系统发出启动指令后空载启动，电动机空载运行一定时间后，系统压力达到设定值，这时电磁换向阀左位接入系统，取样小车在液压缸的带动下向左运动，开始取料。当小车到达左极限位置时，压下左限位行程开关，并发出信号使电磁换向阀左端电磁铁断电，换向阀处于中位，进出油口截止，液压缸停止运动。当电磁换向阀右位接入系统时，液压缸带动取样小车向右运动，继续取料，当小车到达右极限位置时，压下右限位行程开关，并发出信号，小车停止运动，一个取料循环结束；此时电控系统自己比较是否达到设定的循环次数；

若达到则停止取料，否则开始一个新的取料循环。

取料速度的调节是通过调节调速阀的流量进行的。由于调速阀的流量可以无级调节，所以取料速度可以无级调速。取样小车进行匀速运动是靠调节调速阀的进出口的压力差值达到的。为了使取样小车匀速运动，必须保证液压缸运行速度的稳定，不受负载变化的影响。这就需要使流过调速阀的流量为一定值，这可以通过调节进出口的压力差值来实现。当进出口压力差值一定时，液压缸的速度就会稳定，这样就保证了取样小车速度的稳定。

2.2 物料筛分装置的激振方式方案分析

一般的振动筛有一个激振器或两个激振器，能实现圆振或直线振动，这样的振动筛在筛分过程中物料仅能从一个方向进另一个方向出，整个筛分过程是物料沿着筛网从一端走向另一端的筛分过程，这样的振动筛其筛分效率一般小于 70%，不能满足高精粒度振动筛的技术要求，我校与某企业结合物料的筛分要求，研制了一种新型的高精度物料粒度的检验筛，该筛机在设定好的一种工作程序下工作。筛分要求规定物料不仅仅是单一方向运动筛分，并且要做往返重复筛分。筛分过程中会有物料堵塞卡住筛网，所以还要剔卡。该筛机要求先直线振动筛分，再剔卡，然后物料反向运动，再剔卡，如此动作反复循环多次。在不同的循环之内，筛分、剔卡、物料反向运动的时间是不同的，其动作循环和工作时间由 PLC 控制完成；待被筛分物料按照不同粒度等级充分分离之后，分选后的物料经过不同的溜管进入称重料斗中。

为满足上述设计要求，该新型高精度物料粒度检验筛的激振源系统采用三套偏心轴式激振器，由三台电机分别通过柔性联轴器驱动。三台激振器中的一台单独运行时，振动筛作圆振动；上下两台反向运转时振动筛作直线振动；水平两台同时反向运转时做剔卡运动。由于该激振源组合振动的方式具有多样性，采用 PLC 控制激振源的动作方式可使物料的运动轨迹及筛分剔卡具有多种功能，这样就可以使物料得到精确的筛分^[23,24]。此激振源系统如图 2.3 所示。

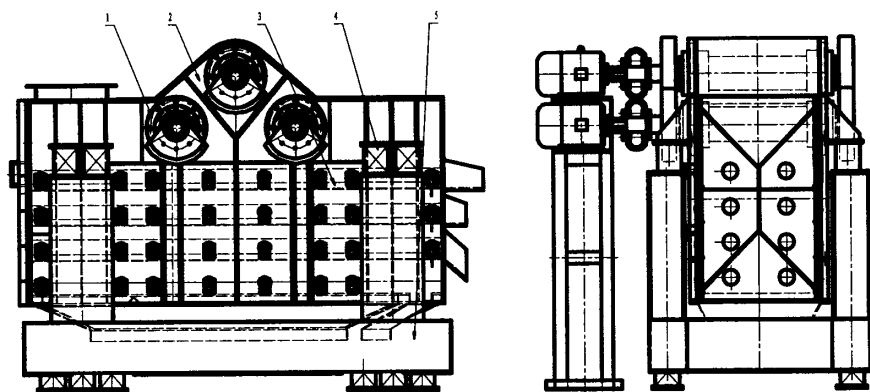


图 2.3 高精度物料粒度检验筛

惯性激振器在单轴工作时，产生沿圆周方向变化的激振力，使振动筛的运动轨迹为圆。三个激振器中上下两个组合工作时，该振动筛的运动轨迹为直线，此时该振动筛为直线振动筛。直线振动筛的工作原理是两根带偏心块的主轴做同步反向旋转从而带动振动筛工作^[34,35]。其工作原理如图 2.4 所示。

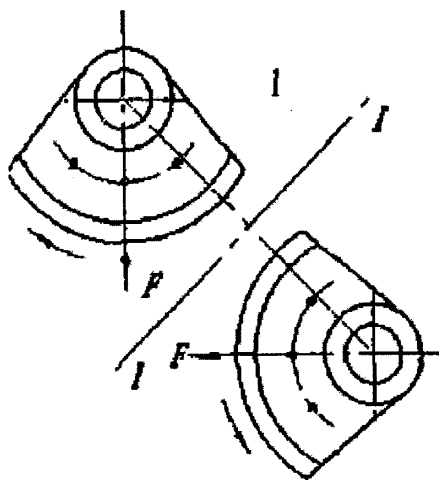


图 2.4 直线振动筛激振器工作原理图

剔卡运动是通过两个水平同等质量的偏心块来实现的。这两个偏心块作同步反向回转，产生大小相等的离心力。这个离心力在竖直方向的分力互相叠加，水平方向的分力相互抵消，最后形成沿竖直方向的激振力，这个激振力会使物料做上下运动，从而实现筛机的剔卡运动。其工作原理如图 2.5 所示。

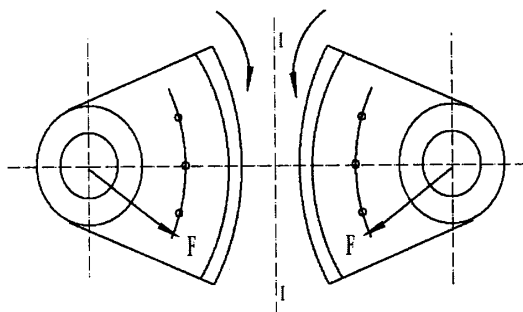


图 2.5 振动筛剔卡原理图

高精度检验筛在同一台筛体上安装了三台振动电机，使振动筛具有多种工作状态。在不同的时间内，三台振动电机的工况不同，依次完成物料筛分、剔卡和输送等工艺。各个工序的操作顺序、时间长短可以根据筛分工艺的要求，在 PLC 控制程序来灵活设定，具有较高的筛分效率。

高精度检验筛兼具圆型和直线振动筛的优点。根据物料粒度筛分的要求，作者创造性地提出了先朝一个方向筛分物料，再剔卡，然后使物料作反向运动的筛分方法。如此反复循环多次，在不同的循环之内，筛分、剔卡、物料反向运动的时间是不同的；待被筛分物料按照不同粒度等级充分分离之后，输出物料至相应的称重斗中。

2.3 物料筛分装置筛网方案分析

振动筛的筛网是影响筛分效率和物料破损率的重要因素之一，目前常用的振动筛网有钢板冲孔式、编织网式、聚氨酯筛板、弹性棒条式等。不同的筛网具有不同的性能：1、钢板冲孔式是在一个薄钢板上按照处理物料粒度的大小冲出具有较高精度尺寸的方形孔来满足筛分要求，其特点是网孔尺寸精度高，制造简单，但该网孔容易卡料和碎料，不适合高精度粒度筛分软材料的要求。2、编织网筛板特点是结构简单，不容易卡料，但是其网孔尺寸精度难以保证，不适合进行高精度物料筛分。3、聚氨酯筛板具有良好的弹性和耐磨性能，网孔尺寸在制造过程中容易保证，在筛分过程中还可减少物料的破损现象，因此比较适合进行高精度物料筛分。4、弹性棒条式筛板一般用于固定筛或重型振动筛，不适合进行高精度的物料筛分。因此，物料筛分装置的筛网采用了聚氨酯筛板。

在设计粒度精确分级筛时，如果网孔尺寸精度得不到保证，那么在筛分的过程中就会出现粘网、卡网以及堵网的问题。这是粒度精确分级筛设计的一大难点。聚氨酯筛板和盲板组合应用可以很好地解决这一难点。由于物料主要集中在振动筛的反复筛分区域，所以在此区域采用聚氨酯筛板。经过精确筛分的物料经出料端进入到溜管内，这时为了降低筛分成本，振动筛的出料端就采用盲板。

聚氨酯的弹性和耐磨性能在上面提到的几种材料中最好，而且聚氨酯在筛分过程中可以有效的减少物料的破损率。除了具有良好的弹性和耐磨性能之外，聚氨酯这种材质还具有不易与高炉炼铁所使用的物料粘接的特点。因此为了延长振动筛的使用寿命，振动筛内部与物料接触的部位都采用聚氨酯衬板保护。在筛孔的结构设计上采用倒八字孔型，如图 2.6 所示。这种设计方式可以有效的防止物料在筛孔中的卡堵。通过试验表明，这种筛板对物料的筛分比较充分，而且可以显著降低对物料的破坏，同时保证了物料的精确筛分^[21,30]。

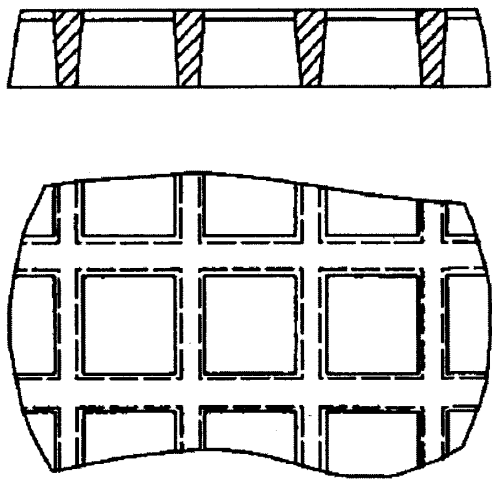


图 2.6 聚氨酯筛板的锥形筛孔

2.4 物料测量的机械系统组成和工作原理

物料测量的机械系统如图 2.7 所示，它主要有传输装置，取样装置，粒度振动筛，料斗称等几部分构成。

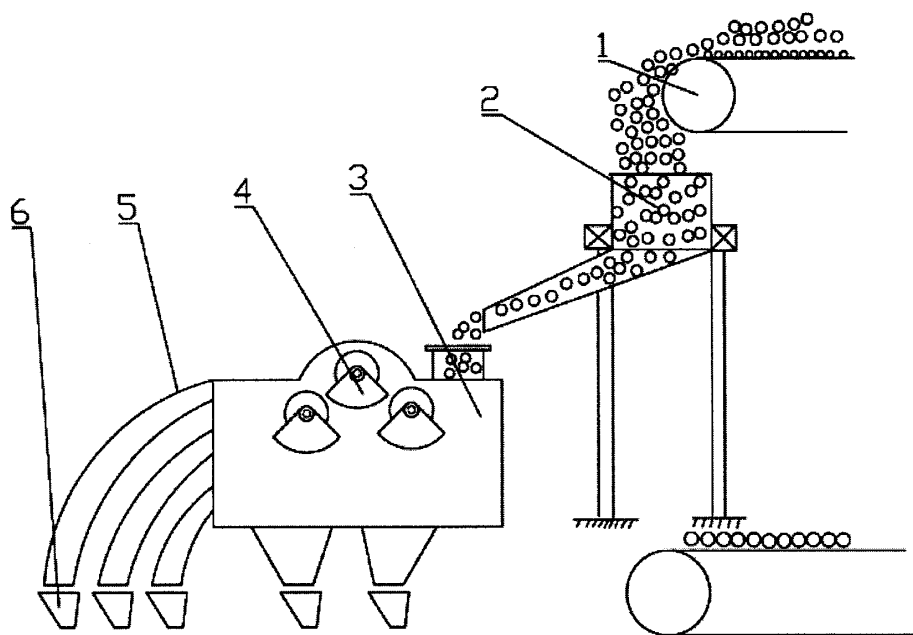


图 2.7 物料测量的机械系统简图

1 皮带轮 2 取样小车 3 振动筛 4 激振器 5 溜管 6 料斗称

物料测量机械系统的工作原理是：被运输到皮带轮头轮部的物料会下落到取样小车里，取样小车在液压缸的推动下做匀速直线运动，由于取样小车一直在振动筛的进料口上方运动，小车截取的物料从小车下方的溜槽处进入到振动筛。此时激振器开始工作，在不同的时间内，三台振动电机在不同工况分别完成物料筛分、剔卡和输送等工艺，然后精确筛分后的物料经过溜槽进入到料斗称进行称重。

2.5 小结

本章详细介绍了新型物料粒度测量系统机械系统的组成和工作原理。较详细地叙述了高精度物料测量机械系统取样方案的分析，筛分装置激振源的研究以及筛分装置筛分面设计。

3.新型物料粒度测量的电气控制系统硬件设计

新型物料粒度测量系统关键技术之一是如何检测到高精度的各级粒度物料的重量值，这也是其电气控制系统设计的关键环节之一。为了能够快速准确的测量出各级物料的重量值，选用何种型号的传感器和 PLC 模块至关重要。测定的各级粒度物料的重量值是否准确，称重传感器起着决定的作用。PLC 模块决定着称重测量系统的物料取样、粒度筛分的精度及数据的计算精度^[19,20]。本章主要阐述他们的规格选择依据、特点并给出了 PLC 模块的接线图、主控电路图。

3.1 称重系统主要元件的选择

首钢京唐公司技术要求规定烧结矿、焦炭的取样总重量小于 200Kg，各粒度的重量小于 50 Kg，称重测量系统的称重精度为 0.3%。为了满足公司要求，必须正确选择称重传感器。

3.1.1 称重传感器的选择

将被测物体的重量信号转变为电信号输出的元件叫做称重传感器。称重传感器按其转变方式可以分为许多种，但是称重传感器的输出方式只有模拟式和数字式两种方式。应当从以下几个方面对称重传感器进行选择^[36,43]：

(1)合理选择传感器的数量和量程

所测物料粒度重量不同、需要支撑称重料斗的点数不同，传感器数量就不一样。可以根据称重料斗几何重心和实际重心重合的原则确定支撑点数。支撑点最好处于正多边形顶点处。传感器最终数量是由支撑点数确定的，二者数量应该相等。

在对传感器的量程进行选择的时候，要首先考虑传感器的最大承载能力。一般来说，传感器的最大承载能力要大于落到料斗里面的物料的最大重量值。另外在对物料进行称重时，整个称重系统会发生震动，物料下落时会对称体有一个冲击力。为减小这些因素对称重准确度的影响，称重传感器的量程会留有一定的余量。经过大量实验验证和理论计算得出确定传感器的量程 S 的经验公

式:

$$S = \frac{K_0 \times K_1 \times K_2 \times K_3 \times (G_{\max} + G_{self})}{N} \quad (3.1)$$

式中: S —称重传感器量程,

G_{self} —料斗的重量,

$G_{\max}$ —最大物料重量,

N —料斗支撑点的数量,

K_0 —称重系统保险系数,

K_1 —物料冲击系数取 1.2,

K_2 —称重料斗的重心偏移系数, 取 1.05,

K_3 —风压系数, 取 1.02。

根据首钢京唐的实际情况, 一、二级称量料斗均采用三点支撑方式, 所以称重料斗所采用支撑点 N 的值为 3。一级称量料斗自重 G_{self} 为 500kg 左右, 被称粒度重量的最大值 $G_{\max}$ 为 200kg 左右, 根据式 3.1, 一级称量料斗传感器的量程 S_1 为:

$$S_1 = \frac{1.25 \times 1.2 \times 1.05 \times 1.02 \times (200 + 500)}{3} = 374.85\text{kg} \quad (3.2)$$

参考市面上出售传感器的量程, 可选 500kg 的传感器。

二级称量料斗自重 G_{self} 为 50kg 左右, 被称粒度重量的最大值 $G_{\max}$ 为 10~80kg 左右, 根据式 3-1, 二级称量料斗传感器的量程 S_2 为:

$$\begin{aligned} S_{2a} &= \frac{1.25 \times 1.2 \times 1.05 \times 1.02 \times (10 + 50)}{3} = 32.13\text{kg} \\ S_{2b} &= \frac{1.25 \times 1.2 \times 1.05 \times 1.02 \times (80 + 50)}{3} = 69.62\text{kg} \end{aligned} \quad (3.3)$$

参考市面上出售传感器的量程, 可分别选 50kg、100kg 两种量程的传感器。

(2)合理确定传感器的精确度等级

线性度、重复性、滞后误差、灵敏度是衡量传感器的精确度的主要技术指标。在选用称重传感器时, 应综合考虑这几个因素对称重传感器的影响。通常线性度、重复性和滞后误差是判断传感器的精度准确与否的三个技术指标。一般情况下, 选择传感器的精度要略高于这三个指标之和的均方根值。

(3) 确定合理的称重传感器的安装方式

称重的类型和安装空间决定了称重传感器的形式。安装时应该保证传感器本体处于自由状态，称重结果准确、可靠；另外可根据传感器生产厂家的建议进行传感器的安装。例如应变式称重传感器中，铝合金悬臂梁式应用于电子计价秤、平台秤、案秤等，钢结构悬臂梁式应用于电子皮带秤、分选秤等等。

(4)使用环境

传感器的工作性能、安全及使用寿命与传感器的实际工作环境有着密不可分的联系。因此在选择传感器时一定要弄清楚传感器的工作环境。一般情况下，高温、粉尘、潮湿、腐蚀性的工作环境、以至于电磁场等都会对传感器造成致命性的影响，导致测量结果不准确，增加测量成本和工作量。首钢京唐公司位于河北省唐山地区曹妃店（沿海岛屿），属于沿海盐雾地区。由于称重测量系统安装于塔楼之内，生产过程中产生的粉尘会对传感器的工作性能、安全以及寿命产生很大的影响。传感器本体、安装配置等必须适应特殊的自然条件。因此，应根据不同的安装环境采用不同的称重传感器。

本称重测量系统所处的生产环境恶劣，盐雾、粉尘多，所以对传感器要求的称量精度就比较高，精度为 0.3%。综合考虑上述各种因素，本称重测量系统选用勒梅特勒-托利多的 TSC 型称重传感器，型号分别为 TSC-500、TSC-100、TSC-50。

由于电阻应变式称重传感器称量范围较广，计量精确度较高，结构较简单，可靠性较好，在实际的称重测量系统中，使用最广，大部分衡器使用此类型称重传感器。

弹性体、电阻应变片、测量电路和传输电缆是电阻应变式称重传感器四个组成部分。电阻应变片在受到外力作用时发生变形，其电阻也随着发生改变。应变片粘贴在弹性体上，弹性体在作用力 G 作用下发生变形，应变片电阻丝的长度 L 、截面面积 A 均发生变化。当受拉力作用时，电阻丝的长度 L 增加，截面面积 A 减小；反之，受压力作用时，电阻丝的长度 L 减小，截面面积 A 增加；长度 L 、截面面积 A 的变化引起应变片电阻值 R 的改变，电阻值 R 的变化量 ΔR 与应变片承受的作用力 G 成一一对应关系。测量电路检测出 ΔR 值，把 ΔR 值换为相应的电压 U （或电流 I ）变化值 ΔU （或 ΔI ）输出。 ΔU （或 ΔI ）经过放大、滤波、A/D 转换电路，以数字量方式显示出被测物的重量 G 。

3.1.2 TSC 型称重传感器性能特点

梅特勒公司成立于 1945 年,是瑞士一位工程师创建的传感器生产厂家,1989 年与托利多公司联合,成立梅特勒-托利多联合公司。梅特勒-托利多之所以能在百年发展历程中立于不败之地是因为公司始终保持着技术和市场的领先性。如今,梅特勒-托利多的业务范围非常广泛,生产的传感器种类繁多,从高精度的微量分析仪器到千吨以上的称重衡器是应有尽有。TSC 型传感器是梅特勒-托利多的一款 S 型拉力传感器。其具体性能指标如表 3.1 所示

表 3.1 TSC 型称重传感器的性能指标

额定量程	kg	50, 100, 200, 300, 500, 1000
灵敏度	MV/V	2±0.002
重复性	%R. C.	≤0.01
滞后	%R. C.	≤0.02
非线性	%R. C.	≤0.02
蠕变 (30 分钟)	%R. C.	≤0.02
零点输出	%R. C.	≤1
温度系数	℃	-10~+40
工作温度范围	℃	-30~+70
输入阻抗	Ω	400±10
输出阻抗	Ω	352±3
建议激励电压	V (DC/AC)	10~12
最大激励电压	V (DC/AC)	15
安全过载	%R. C.	120
极限过载	%R. C.	150
防护等级		IP65
电缆长度	m	5m

它采用镀镍合金钢金属机体材质,结构紧凑,综合精度高,重量误差为±0.02%,能够满足现场称重精度 0.3%的要求。长期稳定性好,防护等级为 IP65,能够完全防止粉尘进入传感器本体,用水冲洗无任何伤害。在吊钩秤、配料称重控制、机械衡的机电改造等领域应用较多。

传感器的实际激励电压为 DC12V,由表 3.1 可知,传感器灵敏度为 2 mV/V,满量程输出毫伏数为:

$$\Delta U = 12 \times 2 \pm 0.002 = 24 \pm 0.024mV$$

3.2 PLC 型号的选择

PLC 控制系统控制整套称重测量系统运动部件的动作时间及顺序，称重数据的读取、滤波、运算，相关控制指令及数据的传输。PLC 控制系统控制取样小车的运动、检验筛 3 台振动电机的启停及组合状态，决定着粒度分离的精度，称重数据的准确性靠数据正确性及程序算法的合理性来保证，所以控制系统中 PLC 模块的合理选择、控制程序的正确编写都是至关重要的^[46,47]。

3.2.1 PLC 输入/输出点数的计算

根据现场生产实际，列出 PLC 输入/输出点数如表 3.2 所示

表 3.2 PLC 输入/输出点数表

代号	I/O 地址	含义
AN01	I0.6	急停
AN02	I0.7	急停
AN03	I1.0	急停
HK011	I0.0	取样平台自动
HK012	I0.1	取样平台手动
HK031	I0.2	振动筛平台自动
HK032	I0.3	振动筛平台手动
HK051	I0.4	输送平台自动
HK052	I0.5	输送平台手动
HK021	I1.5	取样平台：取样器前进选择
HK022	I1.6	取样平台：取样器后退选择
ANL011	I2.0	取样平台：油泵启动按钮
ANL021	I2.1	取样平台：油泵停止按钮
ANL031	I2.2	取样平台：溢流阀启动按钮
ANL041	I2.3	取样平台：溢流阀停止按钮
ANL051	I2.4	取样平台：取样器启动按钮
ANL061	I2.5	取样平台：取样器停止按钮
KM1 KA1	Q2.0	取样平台：油泵控制
YV1 KA12	Q2.1	取样平台：溢流阀控制
YV2 KA13	Q2.2	取样平台：（前进）电磁换向阀控制
YV3 KA14	Q2.3	取样平台：（后退）电磁换向阀控制
S1A	I1.1	取样平台：（前进）到位行程开关
S1B	I1.2	取样平台：备用（前进）到位行程开关

表 3.2 PLC 输入/输出点数表 (续)

S2A	I1.3	取样平台: (后退) 到位行程开关
S2B	I1.4	取样平台: 备用 (后退) 到位行程开关
ANL071	I3.6	振动筛平台: 给料机启动按钮 (M2/M3)
ANL081	I3.7	振动筛平台: 给料机停止按钮 (M2/M3)
ANL091	I3.2	振动筛平台: M4 启动按钮
ANL101	I3.3	振动筛平台: M4 反接制动按钮
ANL111	I3.4	振动筛平台: M5 启动按钮
ANL121	I3.5	振动筛平台: M5 反接制动按钮
ANL131	I3.0	振动筛平台: M5/M6 启动按钮
ANL141	I3.1	振动筛平台: M5/M6 反接制动按钮
S5	I6.2	振动筛平台: 称 2 闸门关行程开关
S6	I6.3	振动筛平台: 称 2 闸门开行程开关
S7	I6.4	振动筛平台: 称 3 闸门关行程开关
S8	I6.5	振动筛平台: 称 3 闸门开行程开关
S9	I6.6	振动筛平台: 称 4 闸门关行程开关
S10	I6.7	振动筛平台: 称 4 闸门开行程开关
S11	I5.0	振动筛平台: 称 5 闸门关行程开关
S12	I5.1	振动筛平台: 称 5 闸门开行程开关
KM2 KA2	Q2.4	振动筛平台: 给料机运行控制 (M2/M3)
KM4 KA4	Q2.5	振动筛平台: M4 运行控制
KM5 KA5	Q2.7	振动筛平台: M5 运行控制
KM6 KA6	Q3.1	振动筛平台: M6 运行控制
KM9 KA9	Q2.6	振动筛平台: M4 反接制动控制
KM10 KA10	Q3.0	振动筛平台: M5 反接制动控制
KM11 KA11	Q3.2	振动筛平台: M6 反接制动控制
ANL151	I4.0	输送平台: 皮带机启动按钮(M7)
ANL161	I4.1	输送平台: 皮带机停止按钮(M7)
ANL171	I4.2	输送平台: 斗提机启动按钮(M8)
ANL181	I4.3	输送平台: 斗提机停止按钮(M8)
HK061 ANL191	I5.2	输送平台: 称 1 闸门开按钮
HK062 ANL201	I5.3	输送平台: 称 1 闸门关按钮
HK071 ANL211	I5.4	输送平台: 称 2 闸门开按钮
HK072 ANL221	I5.5	输送平台: 称 2 闸门关按钮
HK081 ANL231	I5.6	输送平台: 称 3 闸门开按钮
HK082 ANL24-1	I5.7	输送平台: 称 3 闸门关按钮
HK091 ANL25-1	I4.4	输送平台: 称 4 闸门开按钮

表 3.2 PLC 输入/输出点数表（续）

HK092 ANL26-1	I4.5	输送平台：称 4 闸门关按钮
HK101 ANL27-1	I4.6	输送平台：称 5 闸门开按钮
HK102 ANL28-1	I4.7	输送平台：称 5 闸门关按钮
KM7 KA7	Q3.3	输送平台：皮带机(M7)控制
KM8 KA8	Q3.4	输送平台：斗提机(M8)控制
YV6 KA17	Q0.2	输送平台：称 2 闸门开控制
YV7 KA18	Q0.3	输送平台：称 2 闸门关控制
YV8 KA19	Q0.4	输送平台：称 3 闸门开控制
YV9 KA20	Q0.5	输送平台：称 3 闸门关控制
YV10 KA21	Q1.0	输送平台：称 4 闸门开控制
YV11 KA22	Q1.1	输送平台：称 4 闸门关控制
YV12 KA23	Q1.2	输送平台：称 5 闸门开控制
YV13 KA24	Q1.3	输送平台：称 5 闸门关控制
N_samp	VW0	数据采集点数
valve_acc	VD4	采集数据累加值
valve_B	VW8	总计量称值
valve_A1	VW12	分计量称 1 值
valve_A2	VW16	分计量称 2 值
valve_A3	VW20	分计量称 3 值
valve_A4	VW24	分计量称 4 值
valve_A5	VW28	分计量称 5 值
Bvalve_B	VW32	总计量称自重
Bvalve_A1	VW36	分计量称 1 自重
Bvalve_A2	VW40	分计量称 2 自重
Bvalve_A3	VW44	分计量称 3 自重
Bvalve_A4	VW48	分计量称 4 自重
Bvalve_A5	VW52	分计量称 5 自重
Cvalve_B	VW56	总计量称自重
Cvalve_A1	VW60	总计量称自重
Cvalve_A2	VW64	总计量称自重
Cvalve_A3	VW68	总计量称自重
Cvalve_A4	VW72	总计量称自重
Cvalve_A5	VW76	总计量称自重

数字量输入点数: 22 四组: $22 \times 4 = 88$

数字量输出点数: 16 四组: $16 \times 4 = 64$

模拟量输入点数: 8 四组: $8 \times 4 = 32$

根据现场控制扩展要求, 应该预留 25% 左右的 I/O 备用点。综合考虑并参照现有可编程控制器控制模块的现有规格, 实际确定应该选择具有 128 个数字量输入点、96 个输出点、40 个模拟量输入点的可编程控制器控制模块^[49]。

3.2.2 PLC 模块的选择

根据 PLC 模块的性能特点, 结合首钢京唐公司的实际要求, 选择 A-B CompactLogix 1968-L35E CPU, 它是小型到中型系统, 模块化平台, 集成了 EtherNet/IP 或 ControlNet 通讯模块, 0.75-1.5 Mbyte 用户内存, 编程软件为 RSLogix5000。1769-IQ32 是数字量输入模块, 需要 4 个, 每个输入模块有 32 个输入点, 一共有 128 个输入点。需要 3 个数字量输出模块 1769-OV32T, 三个输出模块加一起共有 64 个输出点。除此之外还需要 5 个模拟量输入模块 1769-IF8, 每个模拟量输入模块有 8 个输入点, 总共有 40 个输入点。

PLC 各组成模块型号、数量等如表 3.3 所示:

表3.3 PLC 各组成模块型号、数量

序号	名称描述	型号	数量	生产厂家
1	AB PLC	1769-L35E	1 台	美国罗克韦尔公司
2	输入模块	1769-IQ32	4 个	美国罗克韦尔公司
3	输出模块	1769-OV32T	3 个	美国罗克韦尔公司
4	模拟量输入模块	1769-IF8	5 个	美国罗克韦尔公司
5	端盖	1769-ECR	4 个	美国罗克韦尔公司
		1769-ECL	2 个	
6	电池	1769-PB4	2 台	美国罗克韦尔公司
7	扩展电缆	1769-CRR	3 根	美国罗克韦尔公司
		(1769-CRL)		
8	通讯电缆	1756-CP3	1 根	美国罗克韦尔公司

系统输入/输出点的冗余量为:

数字量输入点:

$$D_i = \frac{128 - 88}{128} \times 100\% = 31\% \quad (3.4)$$

数字量输出点:

$$Do = \frac{96 - 64}{96} \times 100\% = 33\%$$

(3.5)

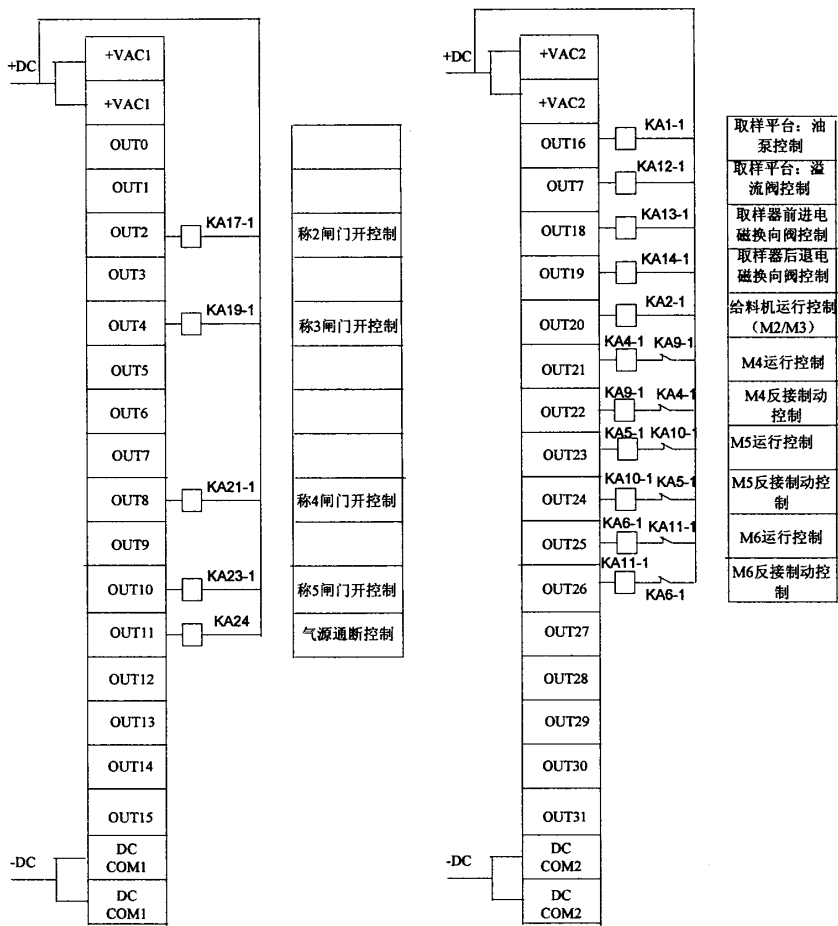
模拟量输入点:

$$Ai = \frac{40 - 32}{40} \times 100\% = 20\%$$

(3.6)

符合厂家预留 25%左右的 I/O 备用点的要求。

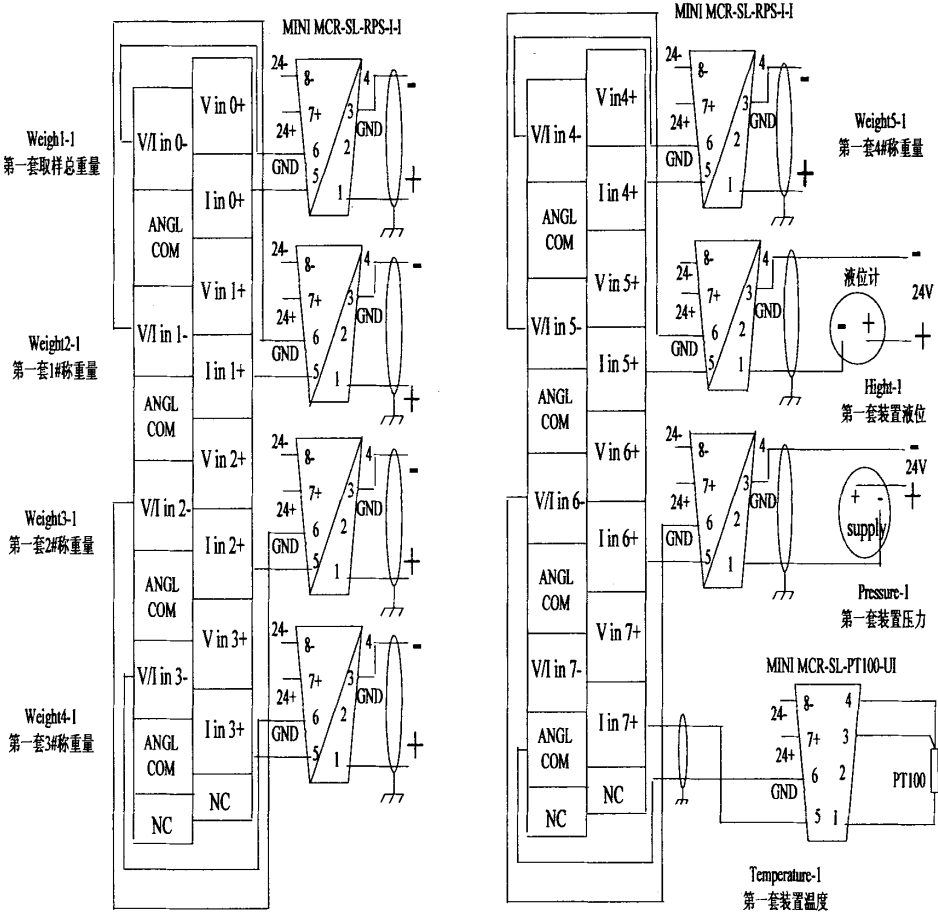
1769-OV32T接线图 (1) 标签: local: 5: O.Date.0~local: 5: O.Date.31
烧结矿 1



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”。

图 3.1 1#烧结矿数字量输出模块接线图

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”。

图 3.2 1#烧结矿模拟量输入模块接线图

第一套检测装置主电路图 烧结矿 1

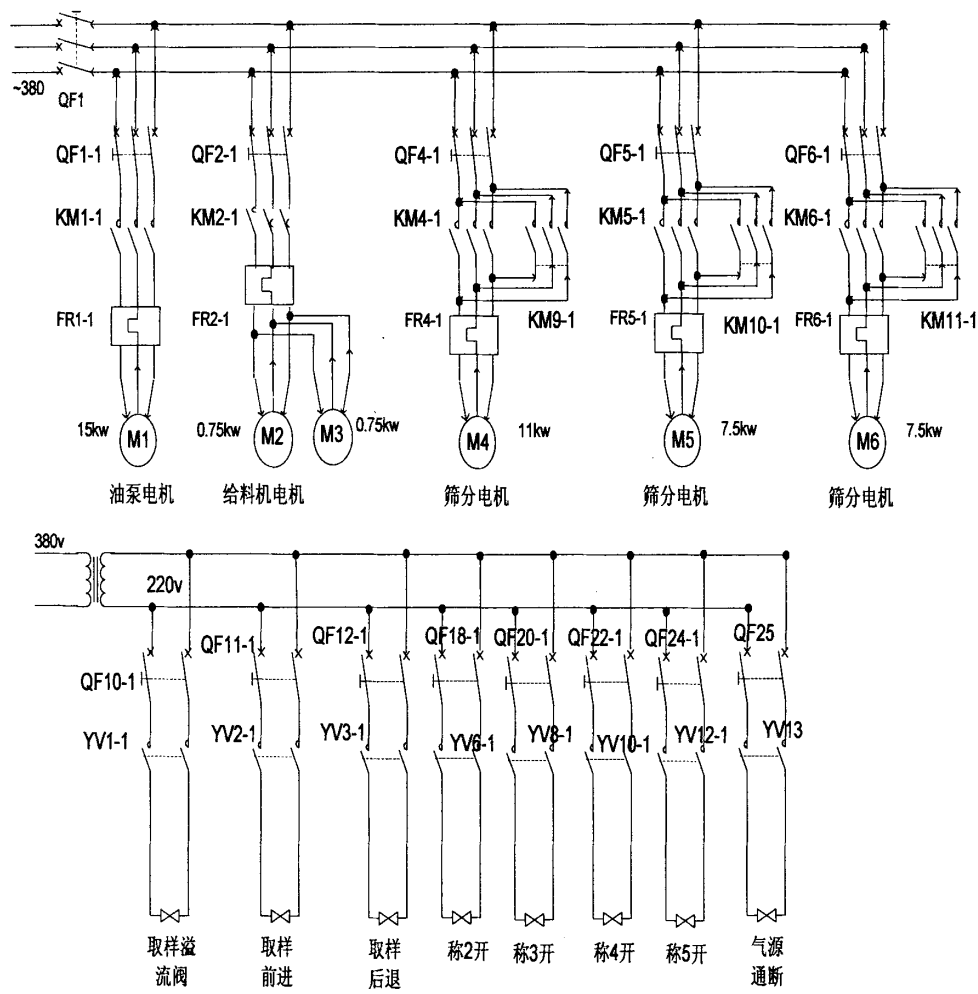


图 3.3 1#烧结矿主控电路图

1#烧结矿数字量输出模块接线图如图 3.1 所示, 1#烧结矿模拟量输入模块接线图如图 3.2 所示。1#烧结矿主控电路如图 3.3 所示, 其余 3 套的 PLC 接线图与主电路图与此类似。

3.3 小结

本章叙述了称重传感器的选择依据, PLC 各模块的选择依据及规格, 详细地对数字量输入/输出模块进行了介绍, 计算出了准确的模拟量数字量输入点数及冗余情况, 并给出了 1#烧结矿 PLC 模块的接线图、主控电路图。本节讲述的内容是下节 PLC 程序的设计的基础。

4. 新型物料粒度测量系统 PLC 控制程序设计

PLC 控制程序设计是测量系统控制系统软件设计的重要组成部分。作者在本章里面主要介绍 PLC 控制程序是如何设计的。可编程控制器控制程序分为两种，即手动控制和自动控制。自动控制在主控室完成。在取料平台、振动筛平台和地面上，各有一个电气控制柜。各电气控制柜采用旋钮开关进行手动和自动转换，同时在手动状态，可对各个元件进行单独操作^[44,45]。

4.1 Logix5000 软件授权的导入

可编程控制器使用的编程软件是 Logix5000。这个软件这能在授权之后才能使用。授权只能在一台计算上使用，当授权被导出之后，本台计算机不能再使用 Logix5000 进行编程。授权导入的步骤如下^[20,21]：

(1) 安装好 Logix5000 软件后，打开出现图 4.1(a)所示画面：

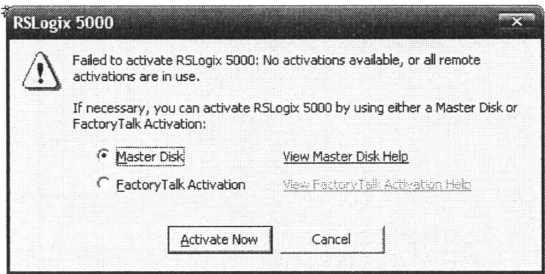


图 4.1(a) Logix5000 授权导入图 a

(2) 运行对应盘符下的授权文件：PrvDisk.exe 出现如图 4.1(b)所示画面：



图 4.1(b) Logix5000 授权导入图 b

“连接”，授权\mgy_ab173.dpd，密码是 mgyab173，点击打开，出现如图 4.1(c)所示画面：

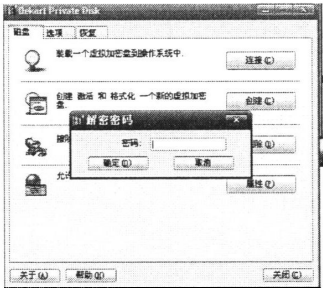


图 4.1(c) Logix5000 授权导入图 c
输入密码后，“确定”，出现如图 4.1(d)所示画面：



图 4.1(d) Logix5000 授权导入图 d
把这个画面最小化，点击下面画面（这个画面一定要首先打开，默认的选择是第一个“master disk”）中“activate now”，如图 4.1(e)所示画面

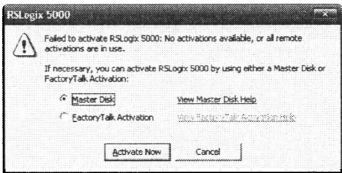


图 4.1(e) Logix5000 授权导入图 e
出现如图 4.1(f)所示画面：

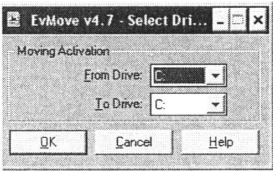


图 4.1(f) Logix5000 授权导入图 f

4. 新型物料粒度测量系统 PLC 控制程序设计

选择: from drive:Y (这是软件自动虚拟出来的盘号,也可能是其他的符号),如果看不到虚拟出乎来的盘符,如图 4.1(g)所示画面

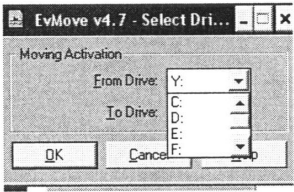


图 4.1(g) Logix5000 授权导入图 g

点击向下的黑三角, 出现如图 4.1(h)所示画面:

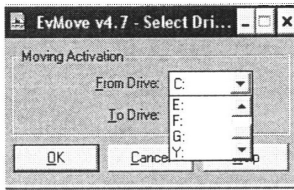


图 4.1(h) Logix5000 授权导入图 h

选择 Y 点击 “OK”, 出现如图 4.1(i)所示画面

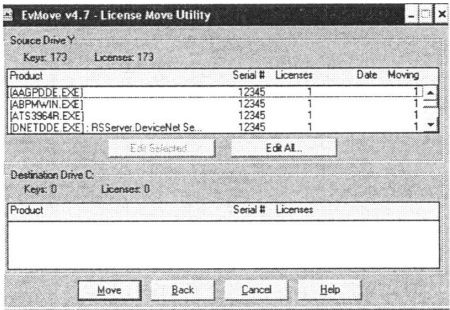


图 4.1(i) Logix5000 授权导入图 i

点击 “move” 出现如图 4.1(k)所示画面:

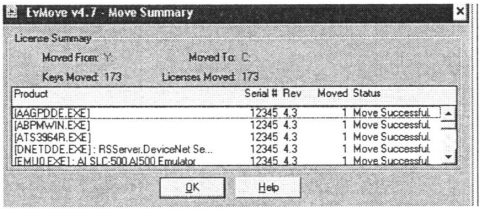


图 4.1(k) Logix5000 授权导入图 k

点击 “ok”, 授权成功。

4.2 PLC 控制程序流程框图

可编程控制器（PLC）的控制程序由 1 个主程序、8 个子程序组成。其中 8 个子程序分别控制 1#烧结矿、2#焦炭、3#烧结矿、4#焦炭的自动、手动控制取样、检测、称重动作。图 4.2 所示是 1#烧结矿的流程框图。流程框图简单明了，作用不言而喻。整个测量系统控制程序的先后顺序通过流程框图得到了很好地说明。另外 PLC 程序的编制也是以流程框图为基础的^[48]。

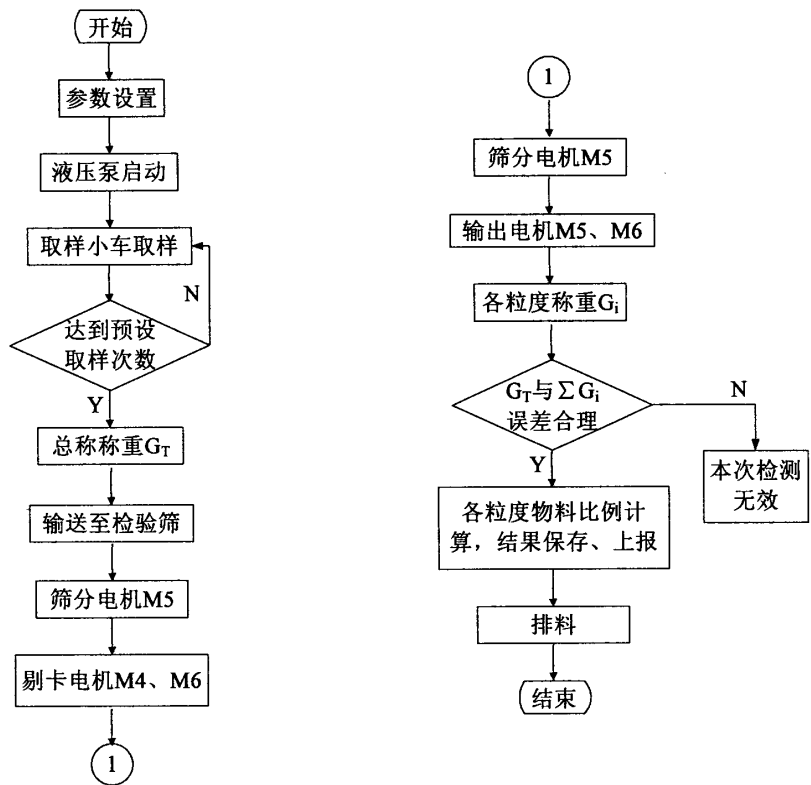


图 4.2 PLC 控制程序流程框图

4.3 取样小车 PLC 控制程序设计

取样小车 PLC 控制程序主要控制取样小车能够从输送皮带物料横断面上均匀地取到物料。取样小车的行程、取样次数都有程序控制。在取样之前先确定取样量的多少，根据取样量的多少来确定取样次数，然后再把取样次数输入到计算机中。取样之前应该先判断小车位置，以确定小车是向左运动或是向右运动，取样过程中记录取样次数，然后再与预先设定的取样次数比较，如果与预

4. 新型物料粒度测量系统 PLC 控制程序设计

先设定的取样次数相一致，取样小车停止动作^[46]。

取样系统由一个油缸、一个溢流电磁阀（YV1），控制油缸移动的三位四通电磁换向阀（YV2，YV3）和一个油泵电机（M1）组成。取样系统组主要负责从上料皮带上取料，并把取得的物料送至上部料斗内。

启动油泵电机 M1（15 千瓦，直接启动），延时 2 秒钟启动溢流电磁阀 YV1，待电机运转平稳，压力达到额定压力后（经过约 10 秒钟），电磁换向阀 YV2 通电吸合，液压缸动作，带动取样料斗运动，开始取样，当取样料斗压合行程开关 S1 后，电磁阀 YV2 断电，取样器停止运动，延时 2 秒，YV3 通电，液压缸反向运动，带动取样料斗返回，压合行程开关 S2，电磁换向阀 YV3 断电，并卸掉所取试样，第一次取样结束。如需第二次取样，延时 20 秒，YV2 通电，液压缸动作，开始二次取样，如此循环 1~6 次，直到取样量达到有关要求（取样重量和取样次数预先设定），取样过程完成。延时约 20 秒，YV1 断电，再延时 3 秒，M1 断电，油泵停止工作。1#烧结矿取样小车主要 PLC 程序如图 4.3 所示。

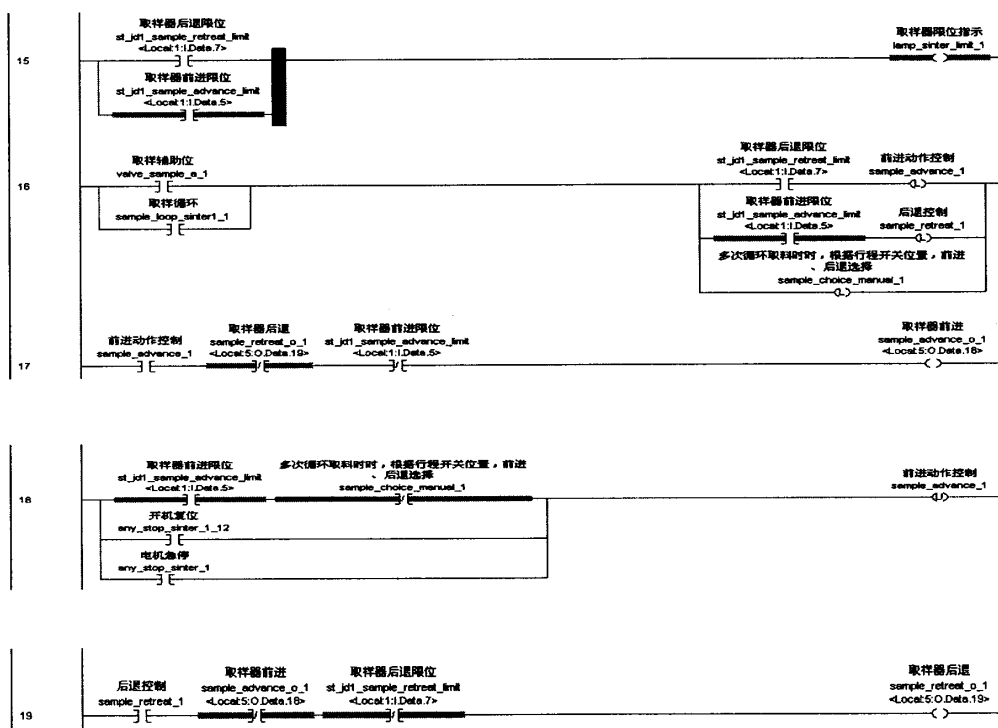


图 4.3(a) 1#烧结矿取样小车主要 PLC 程序

4. 新型物料粒度测量系统 PLC 控制程序设计

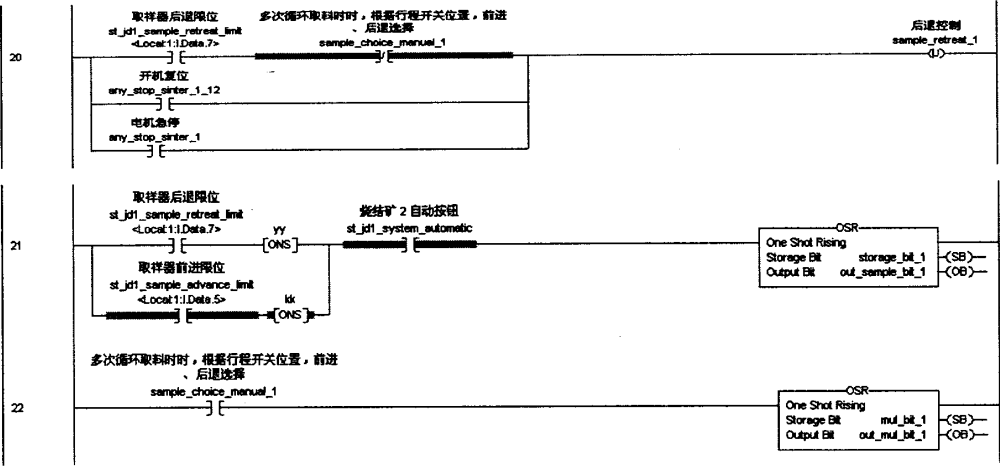


图 4.3(b) 1#烧结矿取样小车主要 PLC 程序

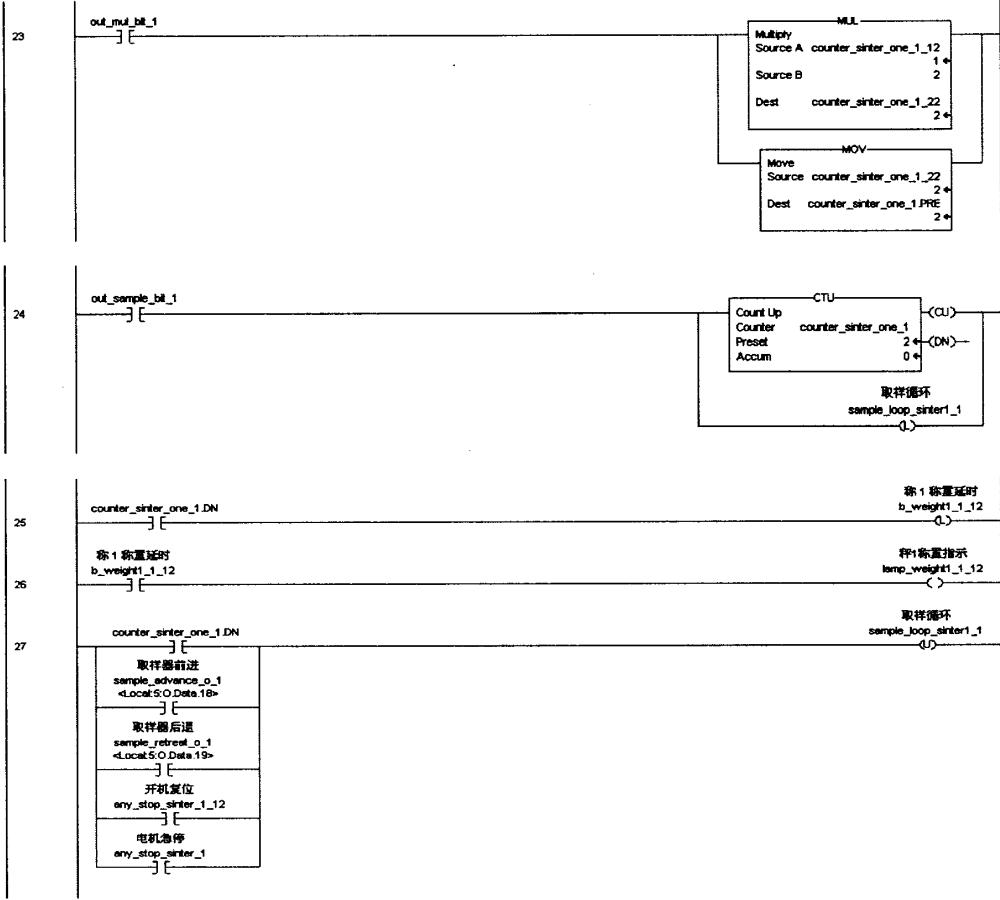


图 4.3(c) 1#烧结矿取样小车主要 PLC 程序

4.4 筛分系统 PLC 控制程序设计

物料测量系统筛分系统主要由振动筛、振动电机、防护罩组成。

京唐公司选用的物料成分主要是烧结矿和焦炭，这两者的可筛分性能有着很大的不同。为了保证物料的筛分达到理想效果，就需要对筛分烧结矿和焦炭的电动机启停顺序合理设置，需要对三台振动电机的运动组合进行合理分配，对三台电机的工作时间进行合理设定。

筛分系统由带三个称重传感器（FS1，FS2，FS3）的上部料斗，振动给料机（由振动电机 M2, M3 驱动），带三个电机（M4,M5,M6）的振动筛和振动筛下部的每个带有三个称重传感器（FS4~FS15）的四个称量料斗等组成。

在油泵电机动作 10 秒后，PLC 给出信号，读取上部料斗和下部料斗空重重量数据[称重传感器组 ZM01(FS1~3)和称重传感器组 ZM02~ZM09(FS4~15)]。当最后一次取样过程结束后，取样小车运动到终点，行程开关 S2 会在取样小车的作用下闭合。之后整个筛分系统会延时 5 秒，在这期间上部料斗重量数据经数据总线会传输至 PLC。数据传输完毕后，系统又会延时大约 2 秒，这时开关 KM4 吸合，振动筛电机 M4（7.5kw）会启动，等振动筛电机运行大约 5 秒钟之后，开关 KM2、KM3 吸合，大料斗下部的电机启动。振动给料机电机 M2、M3（两个 0.75Kw）同时工作，试样在两个给料电机的作用下被运送到振动筛内。物料在被运送到振动筛之后会被精确筛分。为了保证将大料斗内的物料全部送出，振动给料机的两个电机 M2、M3 同时工作的时间至少为半分钟，但要控制在四分钟以内。当 M2、M3 停止工作后，振动筛电机 M4 还要继续工作大约一分钟左右，然后开关 KM4 断电，系统延时约 2 秒钟，反接制动开关 KM9 吸合，电机 M4 反接制动，反接制动时间小于 0.5 秒，KM9 断电，延时 2 秒，KM5 吸合，振动筛电机 M5（5.5Kw）启动，工作约 30~90 秒，KM5 断电，延时 2 秒，KM10 通电吸合，M5 反接制动，反接制动时间小于 0.5 秒，KM10 断电，延时约 2 秒，KM4 重新通电吸合，M4 重新工作，经过 30~90 秒，KM4 断电，延时约 2 秒，KM9 通电吸合，M4 反接制动，反接制动时间小于 0.5 秒，KM9 断电，经过 2 秒钟，KM5、KM6 同时通电吸合，振动筛电机 M5, M6（两个一样，同为 7.5Kw）同时工作，持续约 90~600 秒，保证将筛分分级后的试样从振动筛上送出后进入到振动筛下部的称量料斗内，输送完成后，KM5、KM6 同时断电，延时 2 秒，KM10、KM11 通电吸合，M5、M6 反接制动，反接制动时间小于 0.5 秒，KM10、KM11 断电，振动筛停止工作。

4. 新型物料粒度测量系统 PLC 控制程序设计

物料在振动筛筛分完成之后，被分成了五个级别。这五个级别的物料经过溜管分别进入到各自对应的称量料斗内。称量料斗共有五个（标号分别为 1、2、3、4、5 号），其中四个是用来进行物料称重的，一个为备用。

在 M2、M3 停止工作后，PLC 再次读取上部料斗空重重量数据，并与第一次读取的数据对比，如果两者之间的差值小于 0.3%，数据有效。否则，PLC 发出报警信号，此组数据有效性待定。1#烧结矿筛分系统主要 PLC 程序如图 4.4 所示。

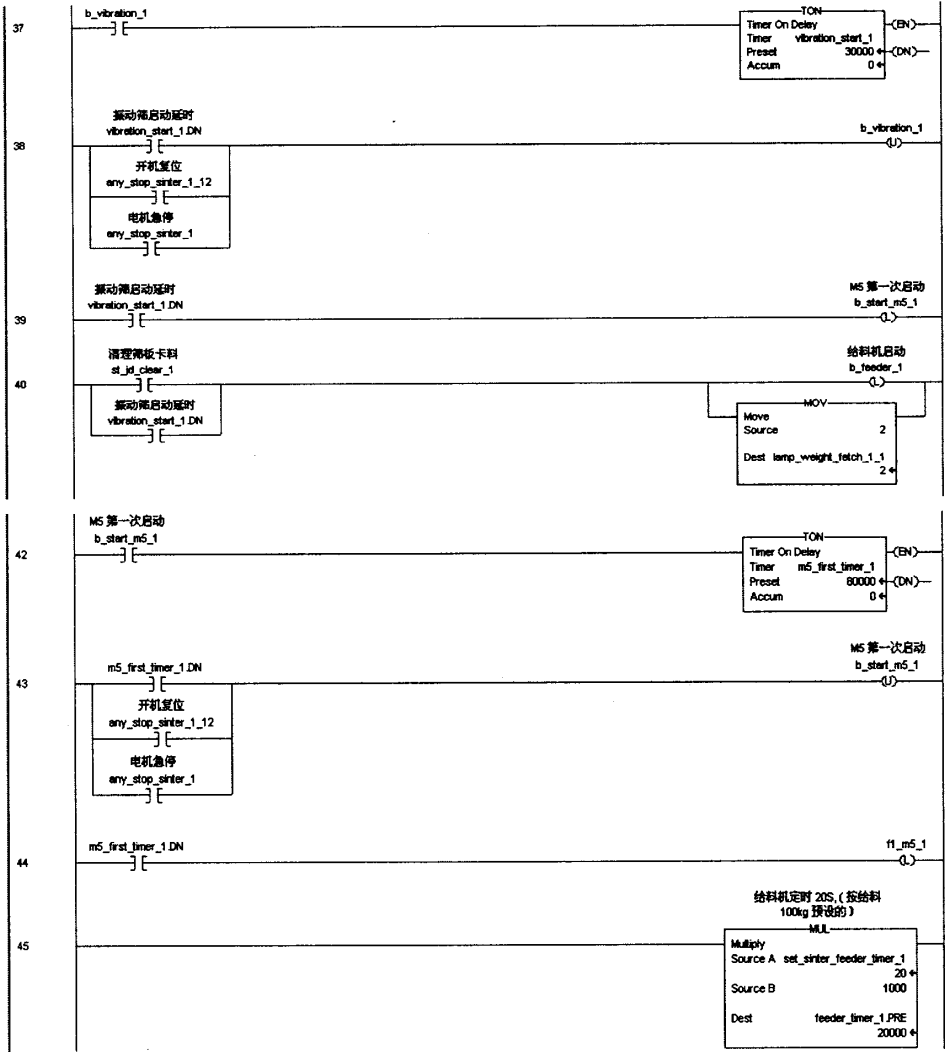


图 4.4(a) 1#烧结矿筛分系统主要 PLC 程序

4. 新型物料粒度测量系统 PLC 控制程序设计

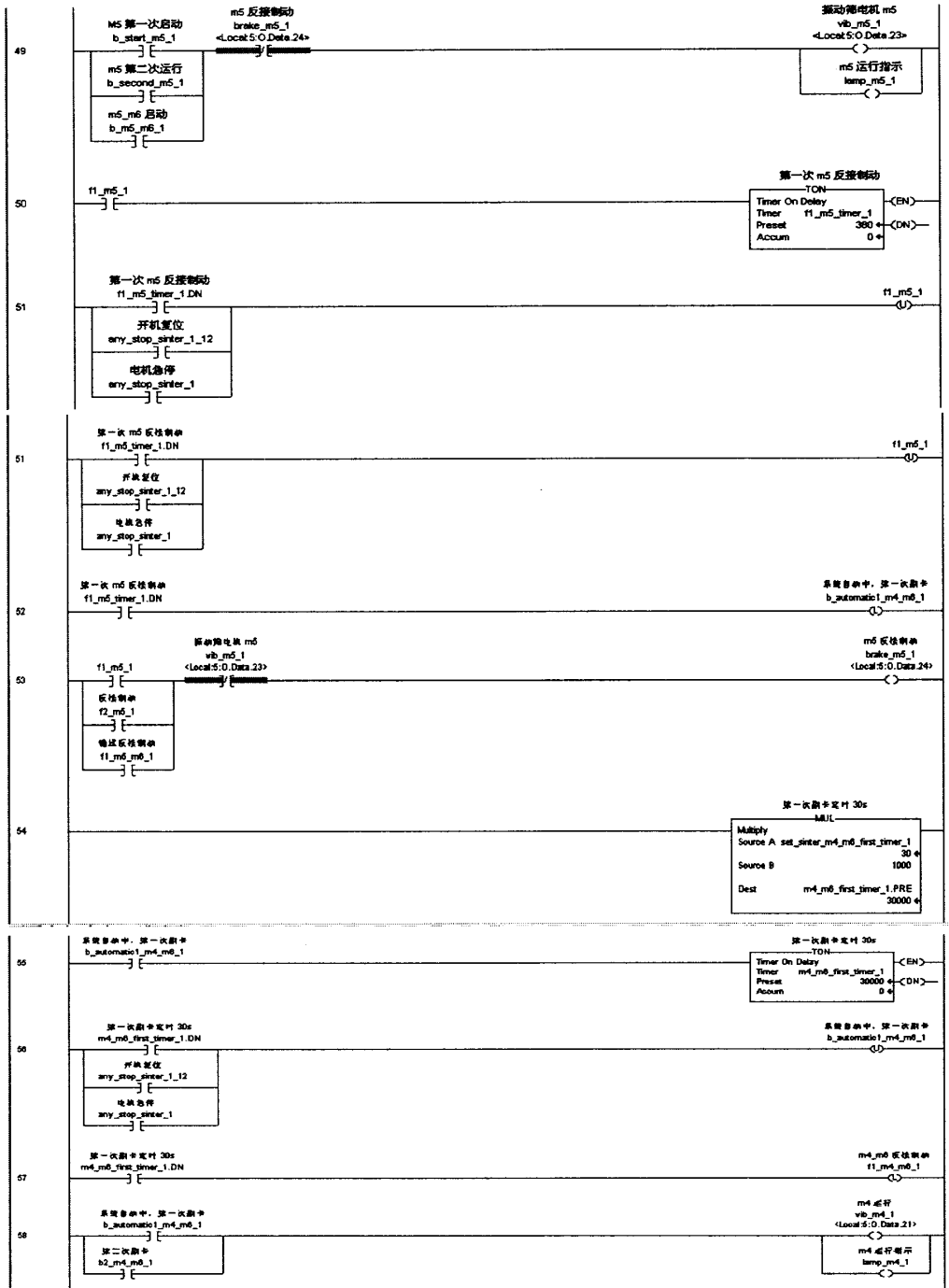


图 4.4(b) 1#烧结矿筛分系统主要 PLC 程序

4. 新型物料粒度测量系统 PLC 控制程序设计

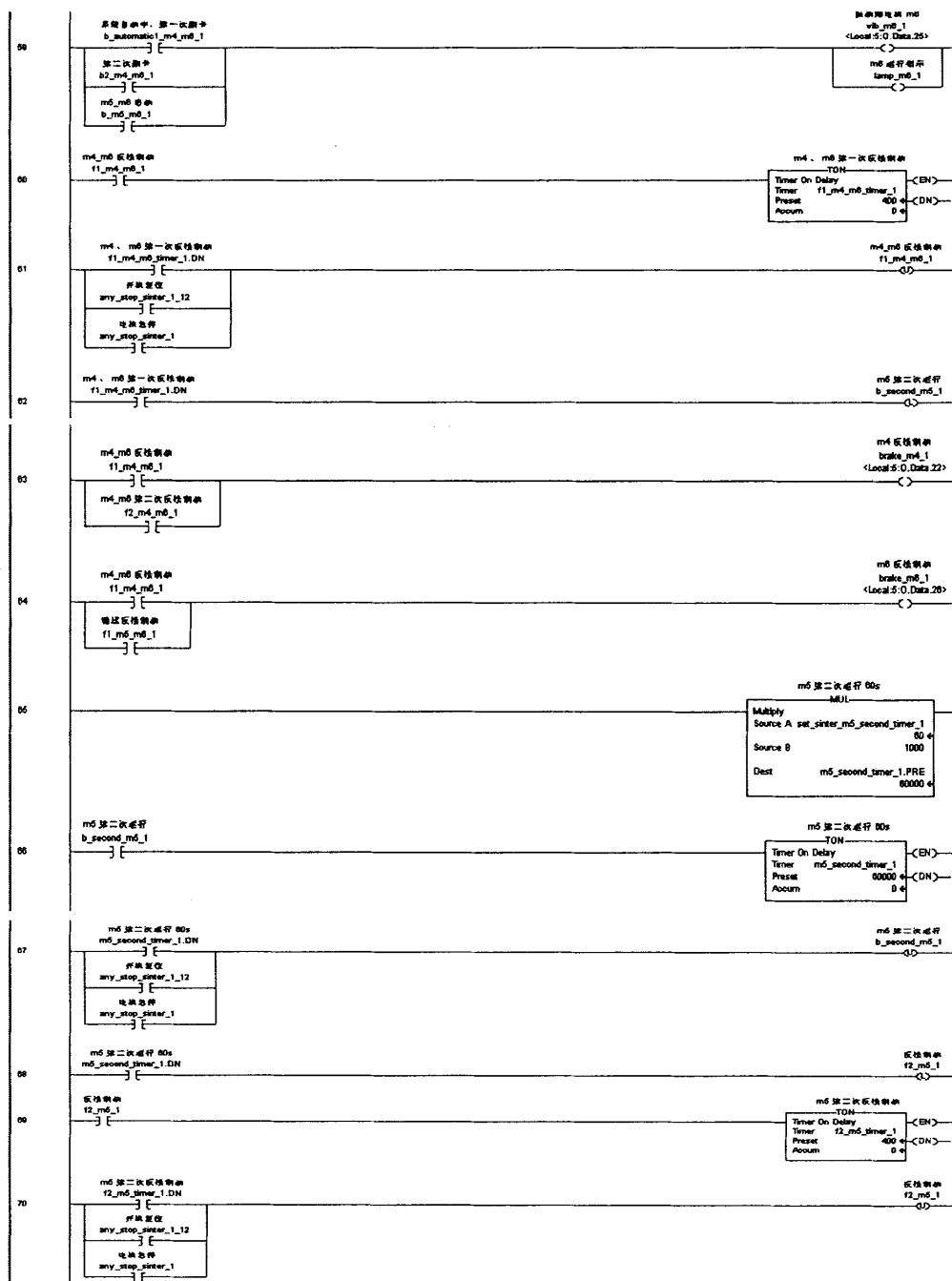


图 4.4(c) 1#烧结矿筛分系统主要 PLC 程序

4. 新型物料粒度测量系统 PLC 控制程序设计

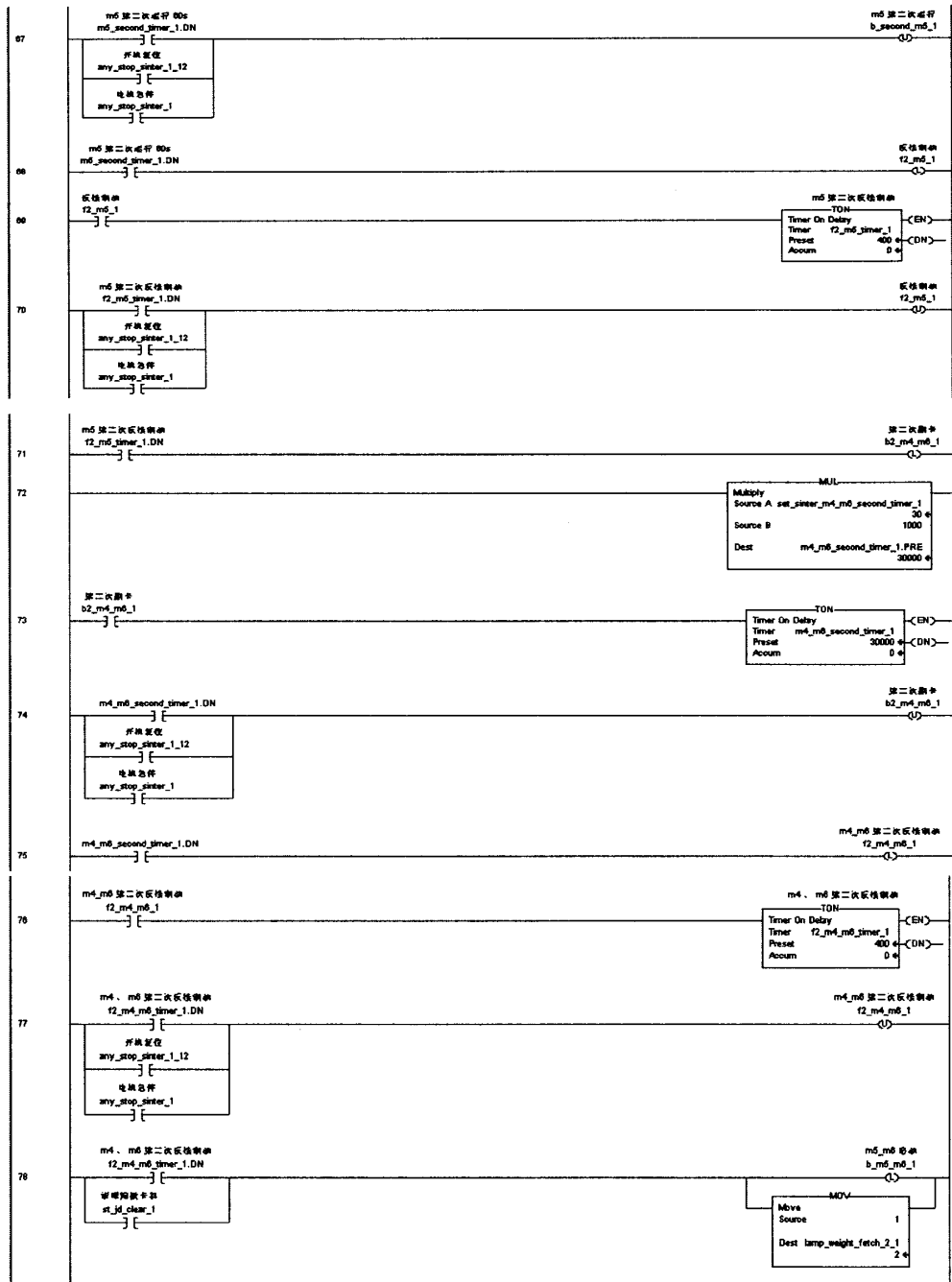


图 4.4(d) 1#烧结矿筛分系统主要 PLC 程序

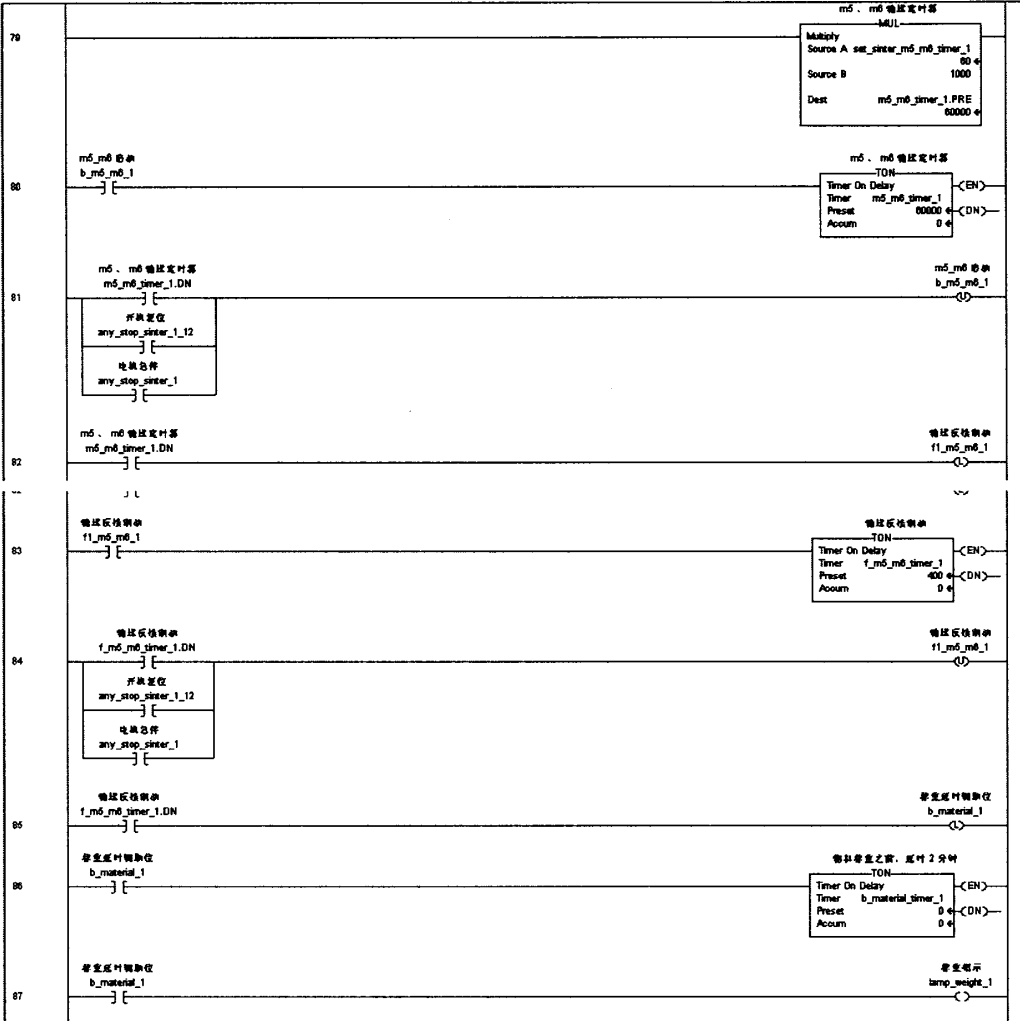


图 4.4(e) 1#烧结矿筛分系统主要 PLC 程序

4.5 称重系统 PLC 控制程序设计

称重系统 PLC 控制程序控制称重传感器重量信号的采集、处理和通讯，一级称重料斗物料的输送、二级称重料斗闸门的开关。每个称量斗配用三个传感器，上部料斗所用传感器单个量程为 500 Kg，三个并联使用，每个称量斗最大称重为 1500 Kg，下部称量斗所用传感器单个量程为 100、50Kg 两种规格，三个并用总量程为 300、150 Kg。各个料斗称量精度小于 0.05%。

4. 新型物料粒度测量系统 PLC 控制程序设计

二级称量料斗的闸门的开关是由气缸驱动的。每组自动闸门都是由两个气缸驱动的。每组气缸各有不同的三位四通电磁换向阀控制换向，每个电磁换向阀都带有限位开关，另外每个称量料斗都带有三个称重传感器。当 PLC 把筛分信号传至筛分系统后，振动筛对物料进行筛分。筛分完成之后，三位四通的电磁换向阀会通电吸合，振动筛下部的式样料斗的闸门会关闭，同时行程开关会关闭。这样会防止由于气缸内的气体泄漏引起的闸门自动开启。称重系统在接收到 PLC 传输的信号后对所取得的物料式样进行称重。1#烧结矿一级称量、二级称量主要 PLC 程序分别如图 4.5、4.6 所示。

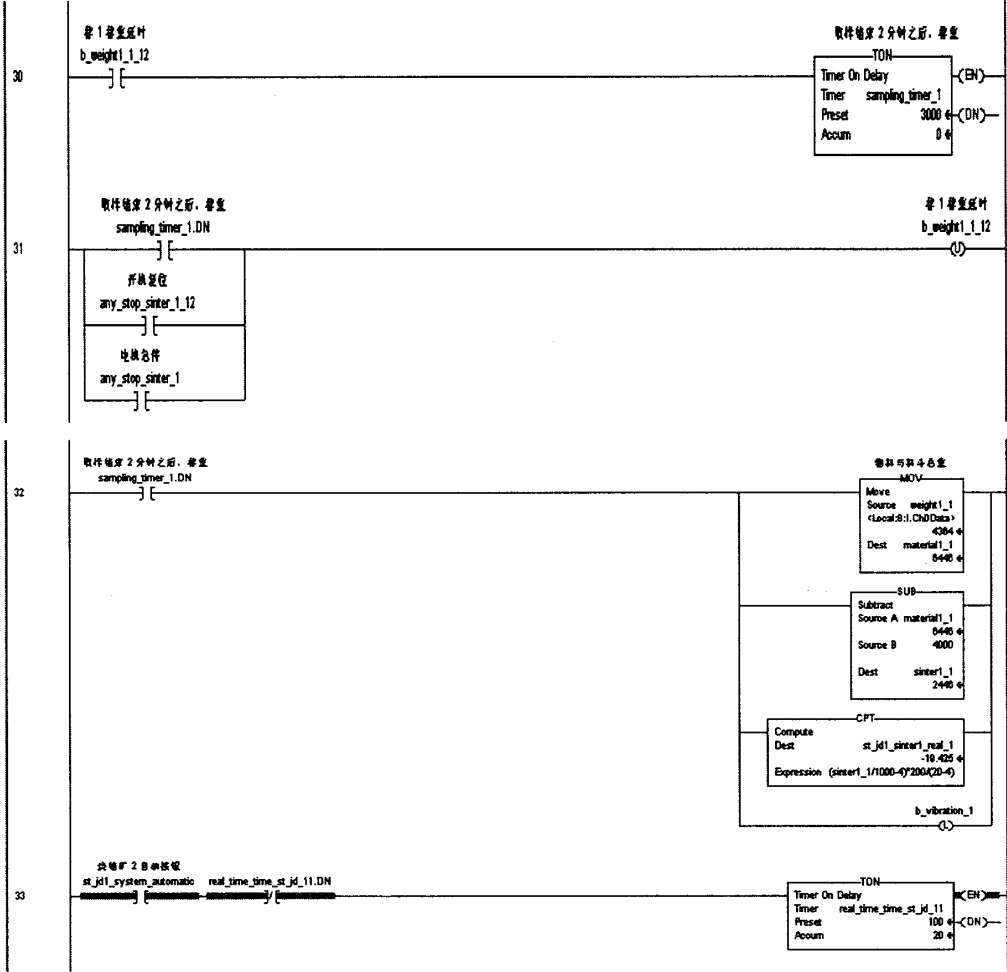


图 4.5 1#烧结矿一级称量主要 PLC 程序

4. 新型物料粒度测量系统 PLC 控制程序设计

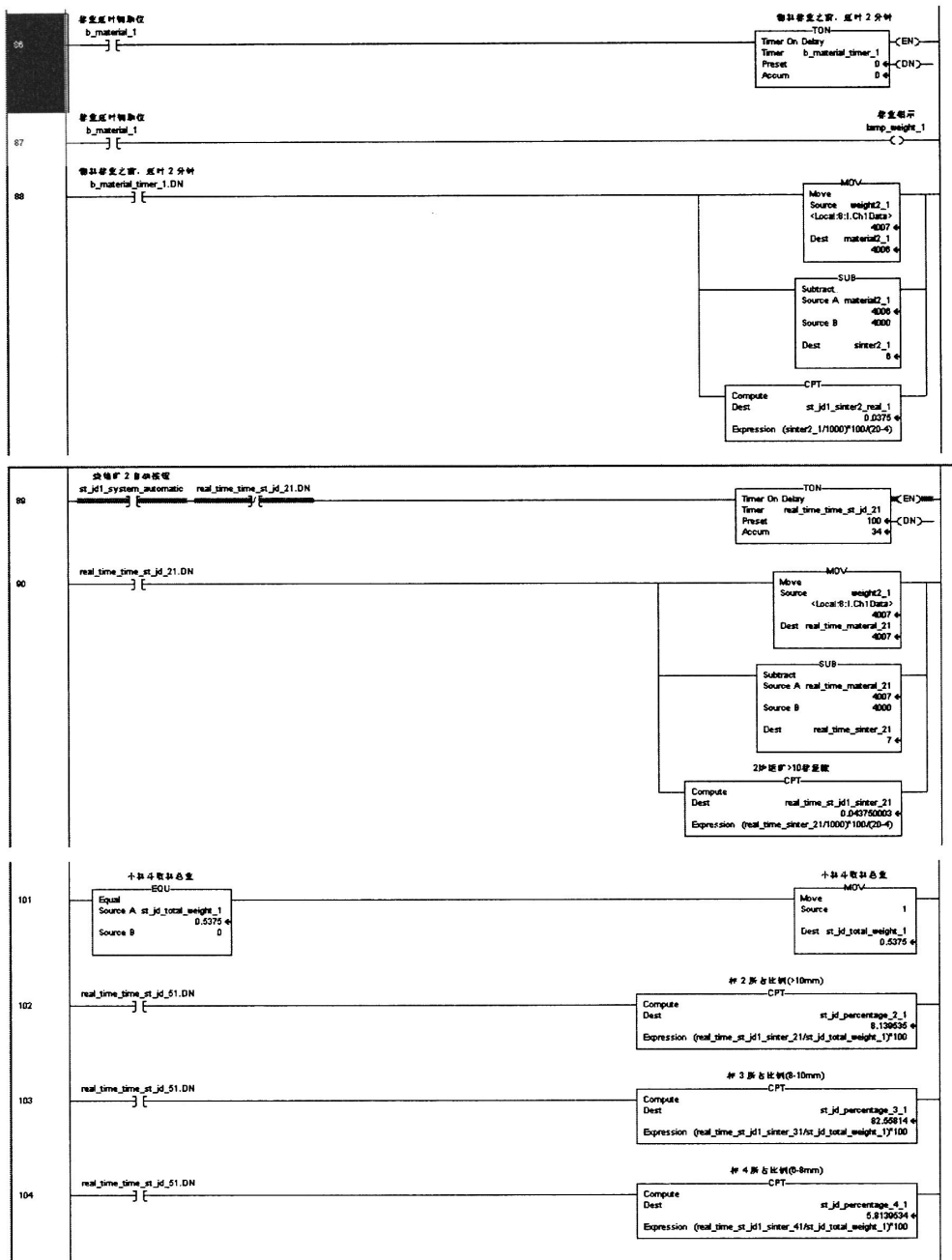


图 4.6 1#烧结矿二级称量主要 PLC 程序

4.6 小结

本章主要阐述了新型物料粒度测量系统控制系统 PLC 程序设计，首先叙述了 1769-L35E PLC 使用的编程软件是 Logix5000 以及它的授权导入，它是编程软件的使用基础。第二节说明了取样装置小车控制系统程序的设计思路，给出了 1#烧结矿称重测量系统小车主要 PLC 程序部分；第三节说明了筛分系统控制程序的设计思路，给出了 1#烧结矿筛分系统主要 PLC 程序部分；第四节说明了称重系统控制程序的设计思路，给出了 1#烧结矿称重系统主要 PLC 程序部分；其余三套取样系统程序设计与 1#烧结矿类似。

5 新型物料粒度测量的称重系统的仿真分析

物料在刚开始下落时，会对称重系统有一个冲击作用。这个冲击在刚开始的时候会造成称重系统的不稳定，那么这个时候采集的数据是不准确的。随着物料不断均匀的降落，称重系统会趋于稳定，这个时候采集的数据就比较准确。但是物料冲击趋于稳定的时间是多长呢？这就需要对称重系统进行仿真分析以确定最佳的数据采集时间^[22,25]。

5.1 称重系统的组成

称重系统主要由称重传感器、重量显示仪表、称量斗、接线盒、信号隔离器等组成；其作用是准确称出对应称重斗中物料的重量，重量值上传至 PLC。

5.1.1 称重仪表

重量显示仪表实物如图 5.1 所示。

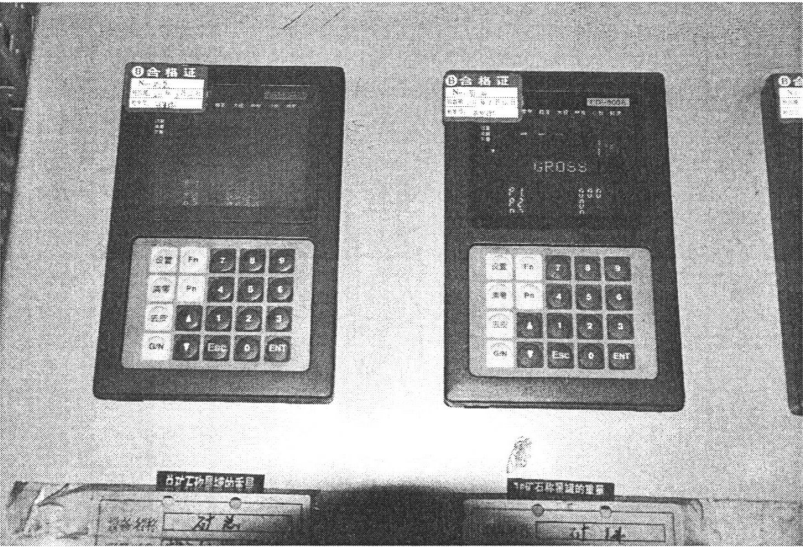


图 5.1 称重显示仪表实物图

称重仪表采用的是日本大和研制的智能型、多功能称重控制仪表 EDI-800A。它具有采集数据速度快，准确度高，分辨率高的特点。存储容量较大，计量方式准确，自动补偿调整等功能，这使它的应用越来越广泛。

EDI-800 在使用之前,要对称重仪表的部分参数进行标定。称重仪表参数的标定包括零点的标定和量程增益的标定。

该称重仪表主要有放大电路、滤波电路和 A/D 转换三大模块构成。众所周知 A/D 转换模块一般都具有很好地的转换速度和精度。该称重仪表转换速度有很多种,基本上满足了客户的使用要求。另外它还可以把输入信号进行转变之后显示出来。它的分辨率为 0.2uV,它使用的是 VFD 显示屏。

由于 EDI-800A 仪表的上述种种优点,工业自动化领域的很多方面都会应用到它,尤其是物料称重方面。

5.1.2 称重传感器

根据公司要求,本文采用的是 TSC 系列称重传感器,如图 5.2 所示:

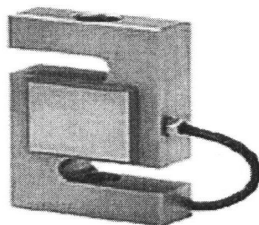


图 5.2 TSC 称重传感器

现实生活中有很多重量无法通过直接的方法测得,这就需要将信号转变为可测量的电信号,这就需要用到称重传感器。称重传感器就是把重量信号转变为可测量的电压信号的元件。称重传感器按转换方法可分为许许多多的类别,在这各种各样的类别当中,电阻应变式使用最广。电阻应变片、弹性体和检测电路是电阻应变式称重传感器的三个组成部分。

下面就这三方面简要论述电阻应变式称重传感器。

(1) 电阻应变片;电阻应变片主要有两种型式为丝式和箔式,应变的变化量不能直接测量,电阻应变片把它转换成可以直接测量的电阻的变化量。电阻应变片通常是按照一定的规律粘贴在弹性元件的不同位置进行测量的^[11]。

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

$$R = \frac{\rho L}{S} \quad (5.1)$$

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, 这间接引起电阻丝的长度 L 、截面积 A 、电阻率 ρ 产生变化。而长度 L 、截面积 A 、 ρ 的变化又将引起 R 的变化。当每一可变因素分别有一增量 dL 、 dA 、和 $d\rho$ 时, 所引起的电阻增量为:

$$dR = \frac{\partial R}{\partial L} dL + \frac{\partial R}{\partial A} dA + \frac{\partial R}{\partial \rho} d\rho \quad (5.2)$$

式中, $A = \pi r^2$, r 为电阻丝半径, 所以上式为

$$\begin{aligned} dR &= \frac{\rho}{\pi r^2} dL - 2 \frac{\rho L}{\pi r^3} dr + \frac{L}{\pi r^2} d\rho \\ &= R \left(\frac{dL}{L} - \frac{2dr}{r} + \frac{d\rho}{\rho} \right) \end{aligned} \quad (5.3)$$

电阻的相对变化

$$\frac{dR}{R} = \frac{dL}{L} - \frac{2dr}{r} + \frac{d\rho}{\rho} \quad (5.4)$$

式中 $\frac{dL}{L} = \varepsilon$ —电阻丝纵向应变;
 $\frac{dr}{r}$ —电阻丝横向应变。

当电阻丝沿轴向被拉长时, 在径向上电阻丝会缩小, 拉伸和缩短二者之间的关系可以有下面的式子表示:

$$\frac{dr}{r} = -\nu \frac{dL}{L} \quad (5.5)$$

式中 ν —电阻丝材料的泊桑比;

$d\rho / \rho$ —电阻丝电阻率相对变化, 与电阻丝轴向所受正应力 σ 有关。

$$\frac{d\rho}{\rho} = \lambda \sigma = \lambda E \varepsilon \quad (5.6)$$

式中 E —电阻丝材料的弹性模量;

λ —压阻系数, 与材质有关。

将式 (5.5)、式 (5.6) 代入式 (5.4)，则有

$$\begin{aligned}\frac{dR}{R} &= \varepsilon + 2\nu\varepsilon + \lambda E\varepsilon \\ &= (1 + 2\nu + \lambda E)\varepsilon\end{aligned}\quad (5.7)$$

分析式 (5.7)， $(1+2\nu)\varepsilon$ 项是由电阻丝受到径向或轴向的力导致电阻丝变形所引起的。对于同一电阻材料， $1+2\nu$ 为常数。 $\lambda E\varepsilon$ 项是由电阻丝的电阻率受到应变的影响发生了改变造成的。对于金属电阻丝来说， λE 是很小的，可忽略。这样式 (5.7) 简化为

$$\frac{dR}{R} \approx (1 + 2\nu)\varepsilon \quad (5.8)$$

式 (5.8) 表明了电阻相对变化率与应变成正比。比值 S_g 一般称为电阻应变片的应变系数或灵敏度

$$S_g = \frac{dR/R}{dL/L} = 1 + 2\nu = \text{常数} \quad (5.9)$$

电阻应变片的外形尺寸对它的灵敏度系数 s_g 不产生一点影响，这由上式可以看出。它只与制作应变片的金属材料有关，金属材料不同，应变片的灵敏度就不同，它是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。

(2) 弹性体

弹性体是电阻丝式称重传感器的重要组成部分，不可或缺。弹性体具有一个相当特殊的结构，当有外力作用在弹性体上时，它就会发生弹性变形。当有外界作用力作用在传感器上时，弹性体就能首先感受到这个作用力，然后产生与这个外界作用力相当大小的反作用力，这就能保证系统处于静平衡状态。弹性体本身就是电阻应变片的基体，在弹性体的作用下，电阻应变片按照一定的规律粘贴后就会把测得的力信号转换成电信号。它的工作原理是：把称重传感器感受到的外力通过它本身的一个高品质应变场转换为可测得的电信号。

(3) 检测电路

电阻丝式称重传感器受到外界的作用力作用，弹性体会在第一时间感受到

这个变化，并产生适当的弹性变形，这个弹性变形会引起电阻应变片的电阻值发生相应的变化。电阻应变片的电阻值变化不能直接测得，这就需要用到检测电路。检测电路的作用就是能够迅速及时的检测到这个变化，然后将电阻应变片的电阻值变换转变成可以直接测得的电流或者电压信号。检测电路在传感器测量中起着重要的作用，检测电路的对与错对信号的测量影响很大。因为惠思登电桥电路受温度和侧向力的影响比较小，所以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。这很好的解决了称重传感器的补偿问题。

5.1.3 接线盒

多个性能良好的传感器在出厂以后，人们很难说能保证它们之间在生产时的一致性。但是传感器的工作环境一般来说比较复杂，还用人们在安装传感器时安装方法单一，这就导致多个传感器并联时会出现不平衡的问题。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。接线盒在安装时接线端子一定要安装牢固，必须保证其有良好的焊接性；二极管的主要功能是单向导通功能。通过对多传感器系统接线盒内可调电阻的调节，缩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 5.3 所示。

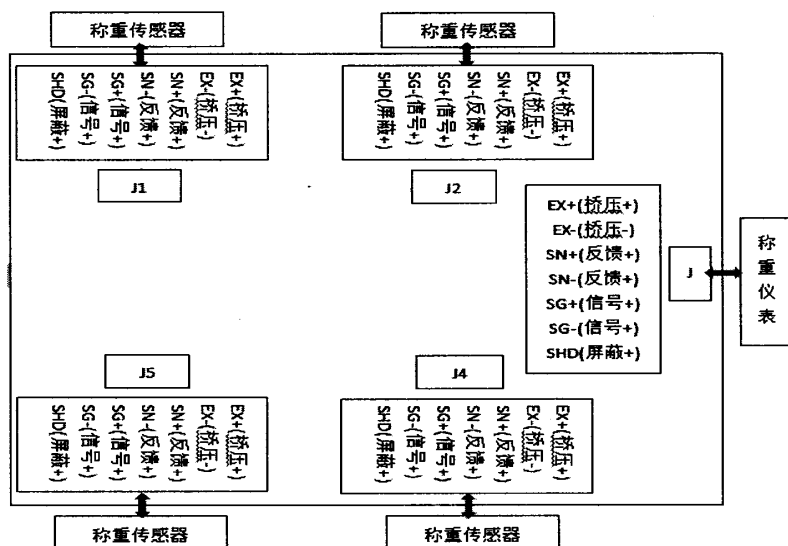


图 5.3 接线盒原理图

5.1.4 信号隔离器

半导体器件和光、磁感器件是信号隔离器的重要元件。信号隔离器的工作原理是：半导体器件用来调制变换电流或者是电压信号，光感或者磁感器件用来隔离转换调制变换后的电流或电压信号。最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。

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。如图 5.4 所示：

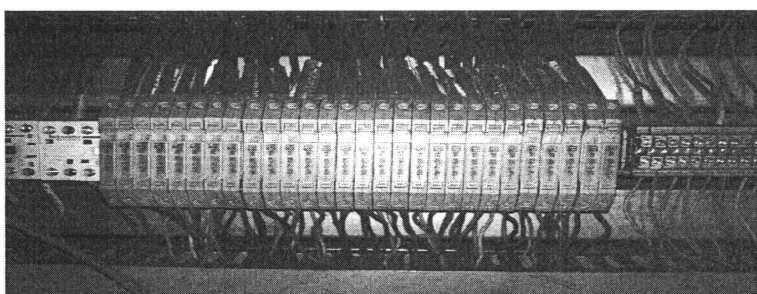


图 5.4 信号隔离器

5.2 建模方法研究

5.2.1 系统仿真建模的几种主要方法

传统方法、功率键合图法以及计算机辅助建模是现在常用的三种动力学建模方法^[12,13]。用传统的方法进行建模都是以求得的微分方程作为系统的数学模型。那么怎样才能得出系统的微分方程呢？这就需要用到达朗勃原理或牛顿第二定律。学过矢量学和影响系数的人都知道，系统在惯性力作用下会发生变形，分析研究所发生的变形就可以建立系统的微分方程。另外我们还可以从研究系统的动能和位能入手建立系统的运动微分方程。这两种方法都可以求得系统的运动微分方程。功率键合图法简单明了，掌握之后不失为一种很好地建模方法。功率键合图理论起源于 20 世纪 50 年代后期，其由功率键、键变量、变换器及回转器、节点等符号构成。利用这些符号可以很好地表明能量之间的转换，动力系统之间是怎么相互作用的，功率是怎么流动的^[14]。计算机辅助建模法，顾名思义就是利用各种各样的仿真软件来对系统进行建模和仿真。

在现实生活中会遇到各种各样的问题，这需要不同的仿真技术进行支持。这对我们提出了更高的要求。我们怎样才能更好地抽取事物的特征，寻求更好地建模方法。近些年来，越来越多的仿真技术应运而生，比如定性仿真、智能仿真和可视化仿真等。本文作者采用的是计算机辅助建模，利用 MATLAB 里面的 Simulink 建立称重系统的模型，设定参数，进行仿真。

5.2.2 Simulink 软件介绍

目前比较通用的仿真软件主要有 MATLAB SIMULINK, PRO/E、ADAMS 等^[15]。作者使用的软件为 Simulink。Simulink 是以 MATLAB 作为其软件的开发基础。人们主要用它来实现动态系统的建模和仿真。简而言之它是 MATLAB 里的工具箱之一，其主要功能特点是具有交互式、图形化的建模环境，用户可以不用编写任何代码，只需鼠标拖动各个模块，就可以很快的建立起系统的框图模型。另外它还具有交互式的仿真环境和专用模块库（Blocksets）。同时它还扩充了仿真库，这大大拓展了 Simulink 的适用范围。而且它与 MATLAB 工具箱进行集成的特性使用户可以充分利用 MATLAB 里面丰富的资源来对仿真模型进行建立、监控和分析。

由于 Simulink 简单易懂，所以应用比较广泛。而且由于它交互式、图形化的建模环境方便直观，并且能利用 MATLAB 提供的丰富的仿真资源^[33]，所以越来越多的用户利用它进行系统的建模仿真。

5.3 物料粒度测量称重系统的仿真模型

5.3.1 确定系统的研究对象

某些具有特定功能，相互联系和作用的元素结合在一起就构成了系统。这是比较广义的系统，包括自然界的种种现象。系统都有整体性和相关性，二者密不可分缺一不可。系统作为一个完整的个体存在，必须表现出一种特定的功能。然而组成系统的各个元素之间又是相互作用、相互关联的。这就表明每个系统都有整体性和相关性。自然界存在着各种各样的系统，大致可分为工程系统和非工程系统。我们在研究一个系统时，不能仅仅研究系统的实体属性活动，还需要研究系统所处的环境。自然界的实物之间是普遍联系的，系统是在外界环境的不断变化中产生活动的，因此研究系统所处的环境是十分必要的^[29,32]。

自然界的很多系统都是处于平衡状态的。但是很可能系统在受到外界的干扰之后会失去原来的平衡状态，在这个过程中系统会表现出一定的特性，这就是所谓系统的动态特性。研究对象并不是一个孤立的事物，它其实是一个系统。这个系统包括研究对象所处的工作环境，还有人为的对它的一些约束条件。只用弄清楚研究对象的工作环境、工作参数、约束条件才能对其进行动态特性分析。对系统进行动态分析就能使系统获得更好的工作性能。不同的系统，其动态特性也不尽相同。因此我们需要只对不同的研究对象运用不同的建模方法建立起仿真模型，最后对其仿真结果进行分析以得到一些有益的结论。

5.3.2 系统的数学模型

前面一节通过对物料粒度测量系统称重系统的分析，可知它主要由称重传感器、接线盒、信号隔离器、称重仪表等组成。物料粒度测量系统的称重系统可以简化一个如图 5.5 所示的一个由弹簧，阻尼器组成的二阶系统^[31,37]：

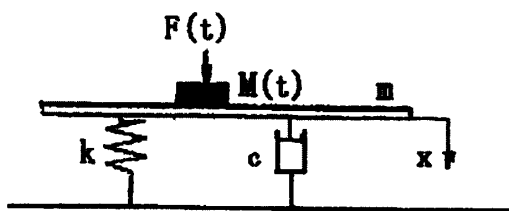


图 5.5 称重系统力学模型

对称重系统的力学模型进行分析可得：

$$[m + M(t)] \frac{d^2 x}{dt^2} + c \frac{dx}{dt} + kx = M(t)g + F(t) \quad (5.10)$$

式中， $M(t)$ —物料的质量；

m —称量斗的质量值；

c —阻尼系数；

k —刚度系数；

x —称重系统的位移；

g —重力加速度；

$F(t)$ —物料下落的冲击力；

式 (5.10) 表明了位移 x 和物料的质量 M 的关系。由于位移 x 在被传输到称重仪表上时, 会在称重仪表里面进行信号放大、A/D 转换, 最后在称重仪表上显示的是电压信号 V , 因此式 (5.10) 也表明了电压 V 与质量 M 的关系。

传统的控制理论无法对该称重模型进行分析, 目前也没有更好地处理方法。所以只能对其进行分段线性化处理。采用分段线性化法, 可以认为系统是一个线性时不变系统^[26]。在一个很短的时间间隔内, 可以假定下落在称体上的质量 M 不变, F 为常数, 则式 (5.10) 变为

$$(m + M) \frac{d^2 x}{dt^2} + c \frac{dx}{dt} + kx = Mg + F \quad (5.11)$$

令 $G=Mg+F$, 则

$$(m + M) \frac{d^2 x}{dt^2} + c \frac{dx}{dt} + kx = G \quad (5.12)$$

这就是系统的静态数学模型, 设系统的初始状态为零, 对式 (5.12) 做拉普拉斯变换得

$$(m + M)s^2 x(s) + csx(s) + kx(s) = G(s) \quad (5.13)$$

$$\frac{x(s)}{G(s)} = \frac{1}{k} \frac{\frac{k}{m + M}}{s^2 + \frac{c}{m + M}s + \frac{k}{m + M}} \quad (5.14)$$

$$\text{令 } \omega_n^2 = \frac{k}{m + M}, \quad 2\zeta\omega_n = \frac{c}{m + M}$$

则有

$$H(s) = \frac{x(s)}{G(s)} = \frac{1}{k} \frac{\omega_n^2}{s^2 + 2\zeta\omega_n s + \omega_n^2} \quad (5.15)$$

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

在实际的测量过程中, 物料不断落下, M 是随时间不断增加的, 可以看成为一斜坡信号^[38]。由于 M 是不断变化的就导致了系统的数学模型也是不断改变的。 ω_n , ζ 也随之变化, 并且随 M 的增加而不断减小, 系统是一个时变非线性系统^[39,40]。

5.3.3 基于 Simulink 称重系统仿真模型

由于落在取样小车内面的物料质量 $M(t)$ 是一个斜坡信号, 考虑到实际物料下落的速度大致为 4kg/s , 落在称体上的物料冲击力大致相当于 4kg 物体的重量, 因此输入信号可写为^[41,42]:

$$M(t) = 4t + 4 \quad (5.16)$$

由上一小节分析可得到新型物料粒度测量系统的称重系统的状态方程为:

$$\ddot{x}(t) = G - \frac{c}{m + M(t)} \dot{x}(t) - \frac{k}{m + M(t)} x(t) \quad (5.17)$$

下面将根据此称重系统的状态方程建立此二阶系统的模型并进行仿真分析。

首先根据状态方程, 选择对应的系统模块进行系统建模。这里所使用的系统模块主要有^[29]:

- (1) Sources 模块库中的 Ramp 模块: 用来作为系统的输入信号。
- (2) Math 模块库中的 Add 模块: 用来组合信号。
- (3) Continuous 模块库中的 Integrator 模块: 用来对信号进行积分。
- (4) Math 模块库中的 Gain 模块: 用来实现信号的增益。
- (5) Sinks 模块库里面的 Out1 模块: 用来作为系统的输出信号。
- (6) Sinks 模块库里面的 Scope 模块: 用来显示信号。

图 5.6 所示为新型物料粒度测量系统称重系统的系统模型。

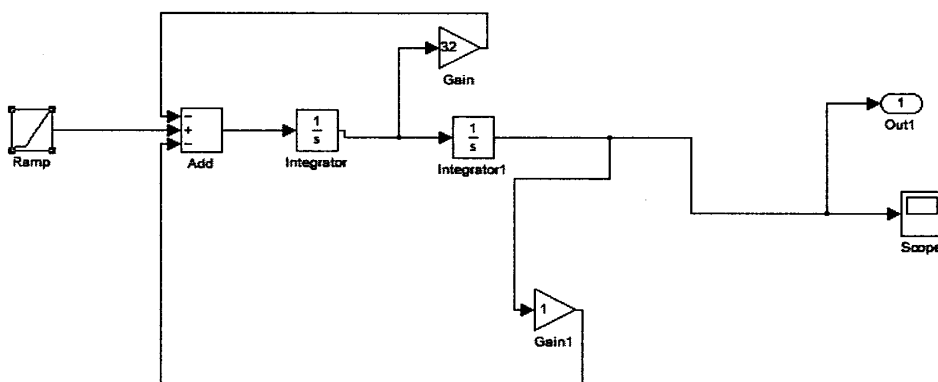


图 5.6 称重系统系统模型

在该称重系统中需要用到三个弹簧，并且三个弹簧是并联，所以总刚度 $k=3k_0=480.24\text{N/mm}$ ， $c=59.428\text{Ns/m}$ ， $G=Mg+F=39.2\text{N}$ ， $m=5\text{kg}$ 。

称重系统模型框图建好以后，需要合理的设置系统中各模块的参数。这里的采用的模块参数设置如下所述：

- (1) Ramp 模块：其参数设置为 4，如图 5.7 所示。
- (2) Gain 模块：其参数设置为 32，如图 5.8 所示。
- (3) Gain1 模块：采用 Simulink 默认的参数设置。
- (4) Integrator 模块：采用 Simulink 默认的参数设置。

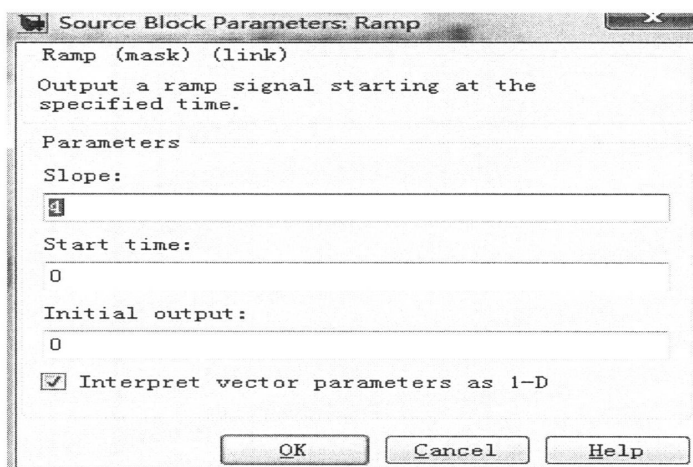


图 5.7 Ramp 模块参数设置

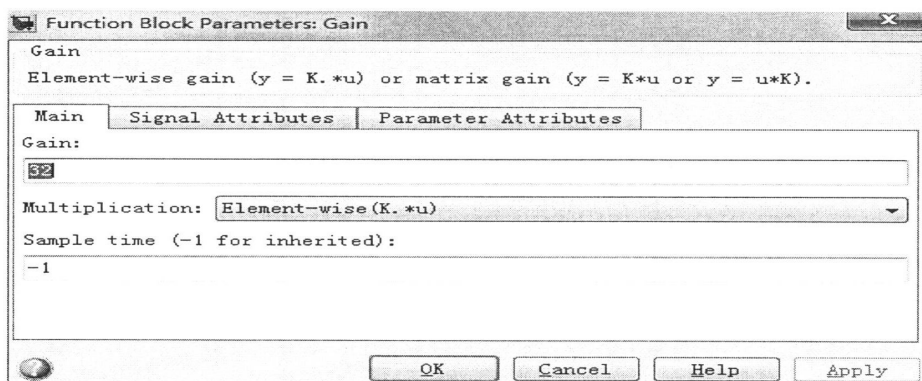


图 5.8 Gain 模块参数设置

5.4 仿真分析

启动仿真，得到仿真结果如图 5.9、5.10 所示。

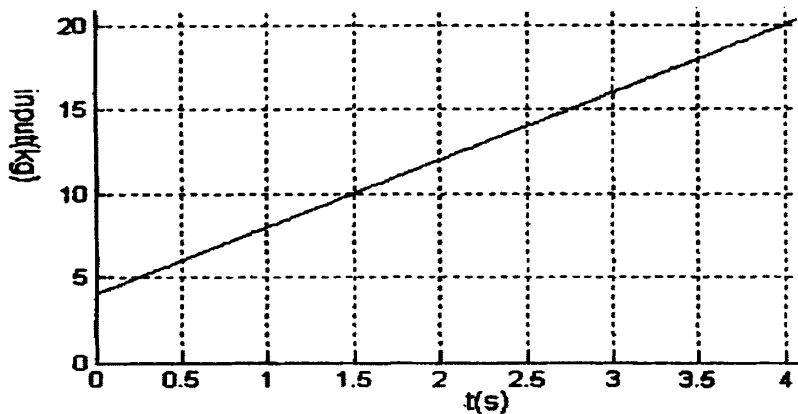


图 5.9 斜坡输入信号动态仿真曲线图

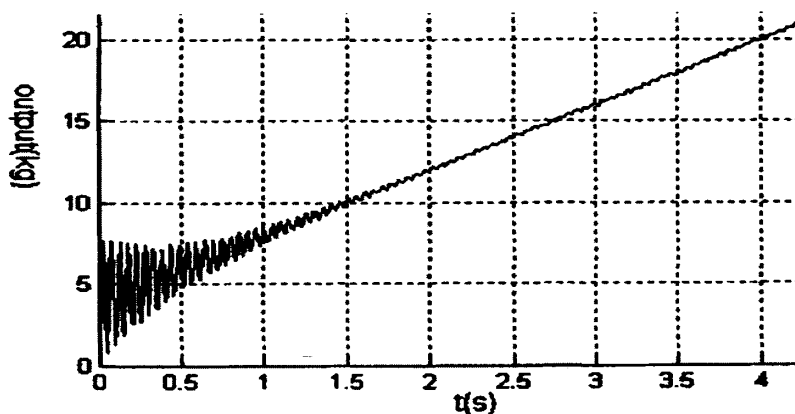


图 5.10 称重系统动态仿真曲线图

把图 5.9 斜坡输入信号动态仿真曲线图与图 5.10 称重系统动态仿真曲线图进行比较可以发现加料初始阶段料斗震动较大，误差也较大，随着震动趋于稳定，误差越来越小，从料斗震动较大到料斗趋于稳定的时间大约是 1.5s。这个结果可用来指导程序设计。在对控制系统进行程序编程时把数据采集时间设定在物料输出大于 1.5s 之后。这样采集到的数据比较准确，这在现场已经得到实验验证。通过仿真分析把进行数据采集的时间从原来的 30s 缩短到 1.5s，这在很大程度上缩短了检测和数据采集的时间，降低了工人的工作量。

5.5 小结

本章主要介绍了称重系统的组成，建立了称重系统的数学模型，利用 MATLAB 里面的 Simulink 建立了称重系统的仿真模型，设置了仿真参数，进行了仿真，并对仿真结果进行了分析，得到了一些有益的结果，大大缩短了采样时间，提高了工作效率。

6 结论和展望

6.1 结论

本论文在查阅大量文献的基础之上，对新型物料粒度测量系统进行了较为深入的研究。综合各方面，作者得出以下研究成果：

1) 提出了在皮带输送机的头轮部用液压缸驱动取料小车来实现取样的新方案；采用三个惯性激振器组合的激振源来满足精密筛分要求的新型激振源配置方案；利用聚氨酯精密筛网来满足精密筛分和剔卡要求的设计方案，并对该方案的结构和工作原理及其特点进行了详细的分析和研究。作者将优选后的新方案组合构成新的物料粒度测量机械系统，并详细介绍了该系统的结构组成和工作原理。

2) 根据新型物料粒度测量系统的要求作者还对该系统的电气控制系统硬件进行了设计。作者在分析了系统的测量精度的要求之后，选择了称重传感器和 PLC 的型号。作者还设计了 PLC 控制系统，编制了 PLC 控制程序以控制测量系统机械系统的各个环节。

3) 对称重系统建立了其数学模型，利用 Simulink 软件对其控制性能进行了详细的分析，得到了一些最佳的控制参数。

6.2 展望

本文在新型物料测量系统的机械系统、控制系统和称重系统的研究方面取得了一些的成果，但是还不够完善，还存在一些问题：

1) 机械系统还可以进行进一步的优化设计，可以进一步改善其机械性能。

2) PLC 和交换机公用了一路电源，如果交换机坏了，这时候需要断开电源更换交换机，那么 PLC 就会停止工作。因此，在以后设计电路过程中尽量用多路供电，可靠性高。

3) 对称重系统进行的仿真分析过于简单，一些影响因素没有考虑。比如周围环境对称重系统的影响，空中余料和冲击对称重系统造成的影响等。只是在理想的状态下对称重系统进行分析得到简单的结果，要想得到非常准确的数值还需要进一步的分析和验证。

参考文献

- [1] 郝素菊, 蒋武峰, 方觉.高炉炼铁设计原理[M].北京: 冶金工业出版社, 2003.6.
- [2] 郭年琴, 匡永江.振动筛国内外研究现状及发展[J].世界有色金属, 2009 (5): 26-27
- [3] 彭会清, 曹钊, 曹永丹.筛分机械与筛分机理研究的现状及发展[J].矿山机械, 2009, Vol.1.37(15):105-109
- [4] 杜鑫, 陈波.振动筛分机械发展现状与趋势[J].科技信息, 2010 (10): 109
- [5] Ray Singh.Vibratory separators still make the grade for screening dry bulk powders [J].Filtration&Separation,2004, (1/2):21-22
- [6] Liu Kuisheng, Tan Zhaozheng. Application and development of the screening mechanism[J].Mining Machinery,1998 (7): 56-57
- [7] 谭兆衡.国内筛分设备的现状与展望[J].矿山机械, 2004 (1): 34-37
- [8] 陆信, 张德生, 周峰等.矿山振动机械的新发展[J].矿山机械, 2008, Vol.36(17):97-102
- [9] 段斌修.振动筛分机械的应用与发展[J].武钢技术, 1999, Vol.37(5):3-5
- [10] 编委会.铁矿石质量检验新技术新工艺及分析测定新标准使用手册[M].北京: 北方工业出版社, 2008.3.
- [11] 黄长艺、卢文祥.机械制造中的测试技术.北京: 机械工业出版社.1981.
- [12] M Lizell.Dynamic Leveling A Low Power Active Suspension With Adaptive Control.Vehicle System Dynamics[J].1991(03).
- [13] 田永利,邹惠君等.机电一体化系统建模技术与仿真软件的研究与分析[J].机械设计与研究.2003(4):15-19
- [14] 冯海明.键合图在液压系统建模和仿真中的应用[J].北京工业职业技术学院学报,2002(1): 6-5.
- [15] Osman Balci, Richard EN.The simulation model development environment:an Overview[M].Winter Simulation Conf.1992:726-736.
- [16] 孙靖民.现代机械设计方法[M].哈尔滨:哈尔滨工业大学出版社,2003.
- [17] 陈国琳,黄亚农,刘义成.动压阻尼器设计及仿真[J].舰船科学技术,2000(6):55 — 60.
- [18] 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.
- [19] Rockwell 国际有限公司. Allen-Bradley PLC 说明书.
- [20] Rockwell 国际有限公司. AB 初学者教材.
- [21] 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.
- [22] 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.
- [23] 闻邦椿,刘凤翥,刘杰.振动筛、振动给料机、振动输送机的设计与调试[M]北京:化学工业出版社,1989 年
- [24] 彭琼梅,尹友中.自同步直线振动筛的动力学分析及实际应用[J].建设机械技术与管理,2005(9):84 — 86

- [25] 吴晓亮, 动态称重系统的分析与仿真[D]. 江苏大学, 2005.
- [26] 张海清,李宝安,定量下料问题的动态称重解决方案,计量学报,1998;19(3):221-224
- [27] 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(1): 20-24.
- [28] 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.
- [29] 姚俊, 马松辉.基于 MATLAB 6.X Simulink 建模与仿真.西安电子科技大学出版社.2002.
- [30] 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.
- [31] 徐科军.称重传感器自适应动态补偿方法.仪表技术与传感器.1997:6-8
- [32] 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.
- [33] 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.
- [34] 邵忍平, 机械系统动力学[M]. 北京: 机械工业出版社. 2005.
- [35] 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.
- [36] 陈杰, 黄鸿, 传感器与检测技术[M]. 北京: 高等教育出版社, 2008.
- [37] 李宝安,李行善等.动态称重系统计量误差的动态校正.仪器仪表学报.
- [38] 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.
- [39] 孙祥等. MATLAB 7.0 基础教程[M]. 北京: 清华大学出版社, 2005.
- [40] 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.
- [41] 毛健东.粉末状物料动态称重技术的研究.学位论文.西安理工大学,2004.4.
- [42] 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.
- [43] 杨宝清. 现代传感器技术基础[M]. 北京: 中国铁道出版社, 2001.
- [44] 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.
- [45] 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.
- [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] 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.
- [49] 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.

致谢

本论文的顺利完成离不开导师张建立副教授的悉心指导。导师渊博的专业知识,严谨的治学作风,勤勤恳恳的敬业精神,给了我很大的鼓舞,这对我以后的工作和学习起到很大的帮助。在整个课题的进行过程中,张老师都给了我很大的帮助。在最后论文的撰写阶段,张老师倾注了大量的精力和心血。在两年的研究生学习生涯中,张老师在学习、生活等方面也给了我很大的关怀和帮助,尤其是在课题遇到瓶颈时对我的指导和建议。在此,谨向导师表示崇高的敬意和衷心的感谢!祝导师工作一帆风顺,身体健康。

感谢马胜钢教授对我的毕业论文的精心指导,感谢机制教研室各位老师对我的课题研究提出的各种宝贵的意见及建议。感谢机械工程学院的各位领导在我两年的研究生学习期间对我的学习和生活上所给予了热心的关心和帮助。感谢研究生辅导员裴东杰老师在我最困难时对我的关心和开导,感谢代朝磊同学对我的论文所作出的帮助,谢谢你们。

感谢父母,他们在我的成长道路上倾注大量的心血,他们用无私的爱换来我一次又一次的收获,我爱你们。感谢姐姐及姐夫在我遇到困难时对我的帮助,祝姐姐、姐夫健康快乐。

感谢代朝磊、陈栋、刘娇、何宗海、刘晓瑞、尹威化、欧阳凯、罗伶俐等同学在我最困难的时候给予我的帮助,衷心的感谢你们!感谢师弟邵志恒在我的毕业论文完成期间对我的帮助!

最后感谢我的室友位永刚、张德龙、陈栋,在我学习和生活上遇到困难时你们总是热心帮我解决,谢谢你们,祝你们在以后的工作中一帆风顺。

最后,感谢所有帮助过我的人,谢谢你们对我的忠告和教诲!

个人简历

葛义朋，男，1990年6月生，汉族，共青团员，河南驻马店人。2012年7月毕业于郑州大学机械工程学院或得工学学士学位，2012年9月至今在郑州大学机械工程学院机械工程专业攻读工程硕士学位。