

授予单位代码
学号或申请号
密 级

10459

200612020080201008

郑 州 大 学

硕 士 学 位 论 文

新型高速取样装置速度稳定性的理论分析与研究

院 系 名 称： 机械工程学院

学 科 门 类： 工 学

专 业 名 称： 机械制造及其自动化

作 者 姓 名： 董贯中

导师姓名、职称： 马胜钢 教授

二零零九年五月

摘 要

本文介绍了郑州大学和新乡四通公司承担的国家重点工程首钢 5700cm³ 炼铁高炉前所用的物料取样装置,并对其在取样过程中的速度稳定性问题进行了详细的理论分析和实验研究,得出了一些有益的结论,为进一步改进该系统、使取样装置的性能达到更优奠定了基础。

该文以初步设计制造的取样装置为研究对象,以 AMESim 为仿真平台,建立了该新型取样装置的仿真模型。为验证仿真模型的正确性,作者搭建了该取样装置的实验平台,利用微机测试系统,作了大量的模型验证实验。实验结果表明,作者所构建的仿真模型是正确的,可以作为进一步研究的依据。由于系统取样物料的真实性,很大程度上取决于取样小车的速度稳定性,所以作者根据仿真模型对取料过程中的速度稳定性问题进行了详细的研究,得出了一些重要的结论。

主要工作包括:

1) 介绍取样系统的总体结构和工作原理,建立了该系统的仿真模型,并利用该模型分析了取样过程中的速度负载特性;

2) 根据实验目的,设计了相关实验测试平台,并利用实验结果完成对仿真模型的验证分析;

3) 本文利用仿真模型和实验数据的对比分析,找出理论和实验中影响负载特性的主要参数,并得到使该系统速度性能达到较为理想状态下的各类参数。

本文的建模、仿真方法和结论,能够对进一步研究、设计和分析类似的取样系统提供有用的参考。

关键词: 液压控制; 建模仿真; AMESim 软件

论文类型: 应用研究

Abstract

The thesis firstly introduces a sampling device materials was introduced made by Zhengzhou University and XinXiang Sida company for the 5700cm³ Blast furnace of Shougang's item in the National key project. A lot of Theoretical Analysis was done and experimental to research the Speed stability in the Sampling process, some useful conclusions was got in order to improving the system further. so that the performance of sampling devices can achieve a better foundation.

The preliminary design and manufacture of a sampling device for the study to AMESim for the simulation platform, the new simulation model of the sampling device was set up. To verify the correctness of simulation model, the author of the sampling device structures of the experimental platform to test the use of computer systems, and made a lot of model validation tests. The experimental results show that the simulation model build by the author model correct, can be used as a basis for further study. Materials as a result of the authenticity of the sampling system, for a large extent depend on the sampling rate of vehicle stability, so the author of the simulation model in accordance with the process of reclaiming the speed stability of a detailed study, to get some important conclusions.

The research is summarized as follows:

- 1) The overall structure of the sampling device and the working principle was introduced, a system simulation model was set up of the device and in terms of speed-load characteristics was analyzed using this model system;
- 2) The trial was designed to test the experimental platform and the completion of the experimental results using simulation model verification;
- 3) In this paper, comparative analysis of simulation model and experimental data, in order to find out the impact of theory and experiment load characteristics, and to identify the main parameters has been to make the most ideal performance parameters.

In this paper, the modeling, simulation methods and conclusions, provide a useful reference for the further research, design and analysis of the same sampling system.

KEY WORDS: Hydraulic control ;Simulation ;AMESim

TYPE OF THESIS: Applied Research

目 录

1 绪论	1
1.1 课题的工程背景	1
1.2 课题的提出	2
1.3 课题解决的关键问题	3
1.4 课题的研究现状及意义	5
1.4.1 国内外研究概况	5
1.4.2 课题的意义	5
2 取样装置概述	7
2.1 物料取样的基本要求和取料现场的条件限制	7
2.2 取样装置结构及工作原理	8
2.2.1 液压回路	8
2.2.2 机械传动回路	11
2.3 本章小结	12
3 系统参数计算	13
3.1 物料流横截面	13
3.2 小车取料过程中的外负载	13
3.3 系统主要参数	14
3.4 本章小结	18
4 系统仿真模型的确定	19
4.1 系统仿真方法概述	19
4.2 AMESim 系统简介	20
4.2.1 模型库	21
4.2.2 AMESim 模块介绍	22
4.3 系统的仿真模型	23
4.3.1 仿真子元件选择	23
4.3.2 仿真实验	23
4.4 本章小结	26
5 实验平台与微机测试系统	27
5.1 实验装置	27
5.1.1 实验目的	27
5.1.2 本实验装置介绍	27
5.2 微机测试系统	30
5.2.1 测试系统组成	30
5.2.2 测试程序简介	31
5.3 实验项目与实验方法	32
5.3.1 实验台的工作过程	32
5.3.2 实验方法和步骤	33
5.4 实验结果分析	34
5.5 仿真结果和实验结果对比总结	36
5.6 本章小结	37

5-

6 影响速度稳定性的主要因素理论分析与实验研究	38
6.1 外负载影响分析	38
6.2 钢丝绳刚度影响分析	44
6.3 取样装置质量影响分析	46
6.4 系统设计改进建议	52
6.5 本章小结	53
7 总结与展望	54
7.1 工作总结	54
7.2 工作展望	54
致谢	56
参考文献:	57
攻读学位期间取得的科研成果	59

1 绪论

1.1 课题的工程背景

炼铁工业中，为了提高炼铁生产的质量和效率，不仅要求那些进入炼铁高炉前的物料（铁矿石、焦炭、辅料等）质量需要按照一定的比例，而且对物料粒度组成和分布的要求也较为严格。一般条件下，入炉前物料由形状和粒度各不相同的颗粒组成，这些颗粒可能具有不同的物理特性、化学性质和粉尘含量。如果将不同粒度的物料混合一起后直接投入高炉，其内部的大量粉尘将不利于高炉内矿石和焦炭的充分燃烧，从而影响炼铁的质量和效率。为此，钢铁企业需要对所有入炉物料粒度进行取样检测（图 1-1），准确把握入炉物料的品位和质量，以指导炼铁生产，提高经济效益。

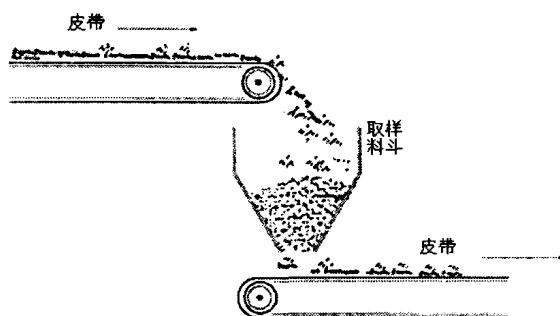


图 1-1 输送皮带取样示意图

另一方面，目前我国高炉炼铁部分生产设备陈旧、技术落后、大都采用手动操作、自动化程度低下，并没有合适的高炉入料粒度检测系统，导致操作人员无法精确把握入炉铁矿石的品位和质量，直接造成炼铁产品质量较差，生产效率低下^[1]。随着现在冶金行业的不断发展，迫切需要一种高炉入料粒度全自动检测机械系统，所采样品是否有代表性，关系到买卖双方的经济利益^[2]。

基于上述基本情况，经多方调研和深入研究，我校与新乡四达公司联合为首钢集团在曹妃甸新建 5700m³ 高炉设计了一套粒度在线检测装置。该项目在国际上属首创，同时该项目也是涉及到国家重点工程首钢迁移曹妃店工程能否顺利竣工的关键设备之一。这套粒度在线检测装置安装在转运站头轮部下面平台上。

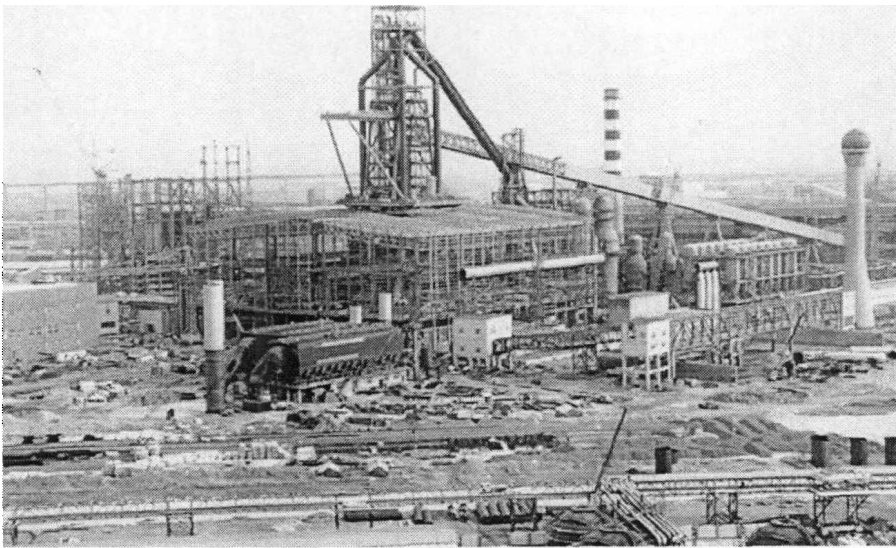
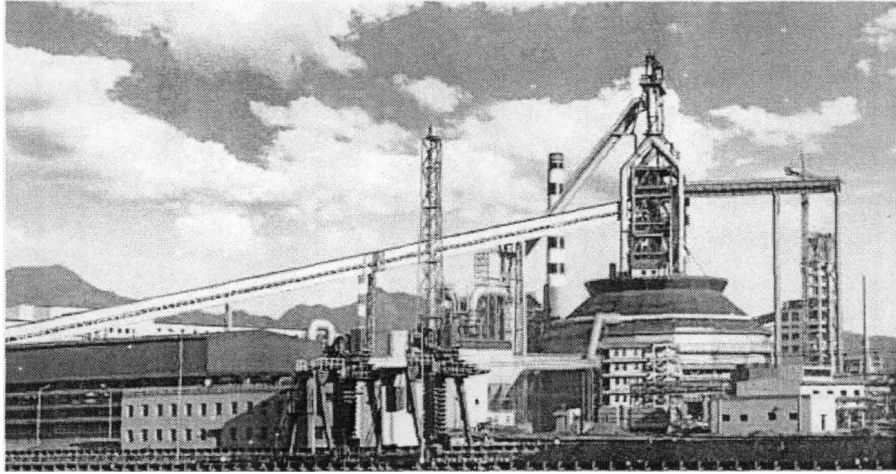


图 1-2 首钢高炉项目

1.2 课题的提出

这套粒度在线检测装置包括取样装置和安装于其下面主机架上并依次上下连通的称重料仓、筛分机构和分级称量机构。取料装置是该系统的关键部件。

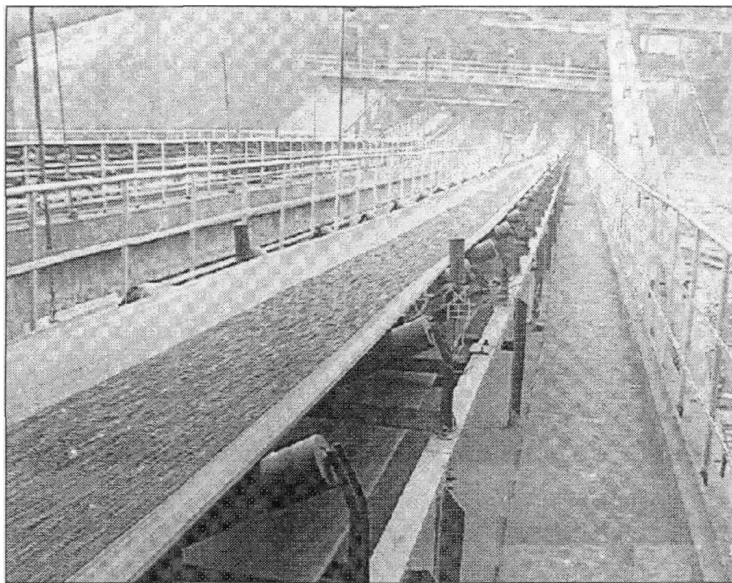


图 1-3 物料传输皮带

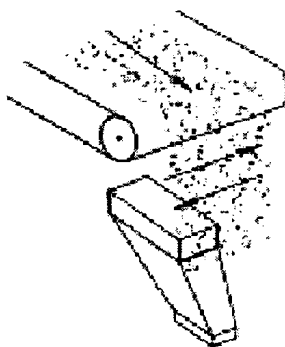


图 1-4 溜槽型取样机

该装置采用常用的溜槽型取样机(图 1-4)。在该套系统的取样装置中,要满足输送带输送物料的速度为 2m/s , 输送量达到 5700t/h 的参数要求, 如此高速、大输送量传送的物料在下落过程中必然会给取样小车以猛烈的冲击。另一方面, 由于整个取样装置占地空间有限, 所以对沿副机架上设置的导轨的长度有一定限制, 这就直接导致了取样小车的行程受限, 为了能在有限的行程范围内准确取到规定质量的物料, 要求取样小车的速度最高时达到 2m/s , 其匀速运行时间最低为 0.8s 。为此需要运用适当的分析方法对该取样车的速度稳定性问题进行深入的研究, 为下步分析相似的取样系统和完善该装置提供理论依据。

1.3 课题解决的关键问题

由于物料在输送皮带机头轮部的横截面呈对称分布(图 1-5), 如果取料车在取料过程中速度稳定, 将会得到图 1-6 (a) 截面, 否则得到图 1-6 (b) 截面, 使结果失真。因此保证在高速运行条件下取料装置的匀速问题则是该装置成功与否的关键。

该系统采用调速阀调节的液压回油节流调速回路能够保证驱动机构的速度

稳定性，但机械机构仍属于质量——弹簧系统，当外负载变化时会直接影响取料装置速度的稳定，所以详细研究整个系统的速度——负载和性能参数匹配是非常重要的。

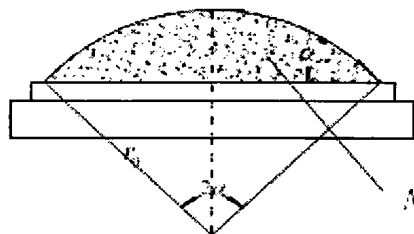


图 1-5：运输皮带上物料截面图

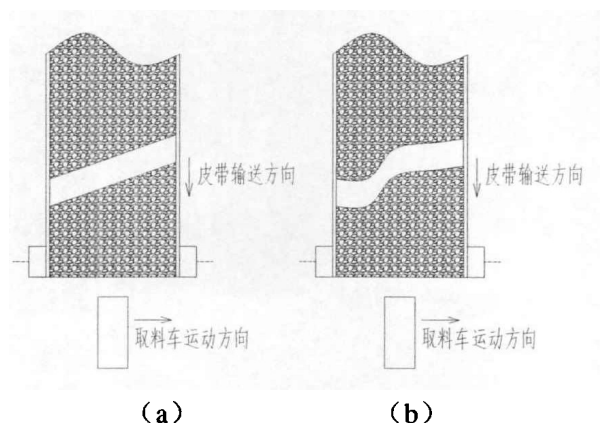


图 1-6 理论取样截面 (a) 与失真取样截面 (b)

首钢（迁移曹妃店工程）新建高炉中采用的系统在理论上能够完全合乎技术规定，但在实验过程中仍然存在着一些细节偏差，本课题就是针对于此，在理论分析与实验数据相结合的基础上，专门解决取料小车速度稳定的问题。

为了对该系统的速度负载特性进行很好的研究，本论采用建模仿真和实验研究相结合的方法，以期获得较为深入分析的目的。基于建模过程的复杂性以及给仿真研究带来的不便，近几年来国外陆续研制出一些更为实用的液压、机械系统仿真软件，并获得了成功的应用，如 AMESim。本文即基于 AMESim 建立起系统的仿真模型，对系统取料过程中的负载特性进行了分析。

主要工作包括：

- 1) 介绍取样装置的总体结构和工作原理，建立了该装置系统仿真模型，并利用该模型分析了系统的速度负载特性；
- 2) 根据实验目的，设计了实验测试平台，并利用实验结果完成对仿真模型的验证；
- 3) 本文利用仿真模型和实验数据的对比分析，找出理论和实验中找出影响负载特性的主要参数，得到使性能达到最为理想状态的参数。

本课题是在该取样系统的物理模型上，对取料小车稳速过程中的影响因素进行理论分析，以寻求更合理的参数匹配和结构组成，获得更佳的工作性能。

1.4 课题的研究现状及意义

1.4.1 国内外研究概况

(1) 取样设备

自动取样设备一般可分三个主要的类别：初级取样机、次级取样机和试样分配器。如果物料流量较小，次级取样机可以履行初级取样机的工作；如果物料流量很大，初级取样机也可做次级取样机来用^[3]。

次级取样机的各种类型包括：Vezin 型，它截取的是物料径向断面；有槽皮带、轻载荷链一斗和回转试样分配器。

试样分配器分为简单式及装有分度装置型。后者除了通过分度装置从选择的综合试样中组成试样外，就和简单式的分配器一样了^[4]。

(2) 研究方法

针对本系统的复杂性，我们应该使用一种便捷的方法来方便分析其系统特性。这样能够为改进系统设计，极大地缩短了设计周期、降低了设计成本^[5]。

系统仿真技术，从 20 世纪 50 年代以来逐渐形成了一门新兴科学技术。机械/液压系统仿真技术经过几十年的研究和发展，通过前人的不懈努力和刻苦的钻研，迄今为止已积累了不少宝贵的经验。

在上世纪七十年代初期，国外开始进行机械/液压系统和元件的计算机数字仿真研究，七十年代后期，随着计算机的广泛应用，已经能够通过理论或实验方法建立系统的分析数学模型。七十年代末期以来，西欧和美国又相继开发了许多精度高、速度快、功能方便的各类机械/液压系统静动态特性通用仿真软件。

AMESim 是法国 Imagine 公司推出的基于键合图的机械/液压系统建模、仿真及动力学分析软件。它以其强大的仿真和分析能力在各个领域得到了广泛的应用。

MATLAB 中的 Simulink 工具箱就是一种应用较为广泛的建模仿真软件^[6]。Simulink 是一个建模、分析和仿真多种多样的物理和数学的软件环境，它为图形用户界面提供动态系统的结构方块图模型。

国内的浙江大学、清华大学、大连理工大学、北京航空航天大学和华南理工大学等院校同时也进行着对仿真技术的研究工作，并取得了一些较大的进展^{[7][8][9][10]}。

1.4.2 课题的意义

针对该专用的取样系统。本论文对该系统进行了深入分析基础后，建立专业的仿真环境，对以后设计、完善同类系统具有指导作用，也为从事该领域研究的

科研人员提供理论依据。

1. 本文所研究的取料系统已通过实验验证，能够实现短距离内匀速取样的要求，保证取样结果的准确和科学性；
2. 本文的建模、仿真方法和结论，能够对进一步研究、设计和分析类似的取样系统提供有用的参考。

2 取样装置概述

2.1 物料取样的基本要求和取料现场的条件限制

为了满足取料的科学合理真实性,该取样装置安装在带式输送机的转运头轮部,能够达到理论上设计的要求,使被检测物料流的所有部分都能在相同的几率下被取样,然后为物料粒度的分析提供科学依据。

实际生产现场的硬性条件和技术要求为:

1) 工况现场矿石物料采用输送带运输,输送带的全部带宽为 2.2m,输送量为 5700T/h;矿石自由落差应最小,以减少对该批矿石粒度的破坏,使粒度分布偏差达到最小。因此应该把物料取样机安装在尽量靠近装载处或卸载点;从下落的矿物流取样时,从而得到该批物流的全截面;

2) 由于振动筛筛分能力有限,应该保证每次所取物料的最大量不超过 200Kg;

3) 输送物料的主要成分为铁矿石和烧结矿,其最大粒径为 60mm;取样机应该能够适应矿石最大公称粒度和流量的需要。

4) 由于工况场地有限,取样整套设备的宽度不应大于 5m,取料车小车高速运行的整个过程就要启动快,中途稳,制动准;取样机应匀速通过下落物料流,在有限的空间内取样机的前后两侧面应完全通过矿物流的横截面;

5) 每次随机取料,以方便地按需要截取不同的取料量;

6) 现场中由于取样机直接接触矿石原料,污染严重,存在大量粉尘以及高速下落的不同尺寸规格的物块。因此取样机应该有较长的寿命和抗冲击性。

配合现场环境,根据现场的工作条件,由于带式输送机的速度较高,单位时间内的运送物料流量很大,取样系统的设计应做到:

1) 取样装置应有足够的能力在截取全部份样时不应出现流失或溢出。

2) 取样系统应该有足够大的能力来处理在工作过程中更多不可预知的操作和不利的原生环境。

3) 取料小车在取料的过程中应保持匀速运行,保证截取物料的科学性。

4) 保证样品免受污染,保持原有样品的尺寸和模样,例如减少粒度破损。

5) 作为整套取样系统,包括其料斗、溜槽、给料机等所有设备,应该允许尽可能减少维修量,提高寿命。

2.2 取样装置结构及工作原理

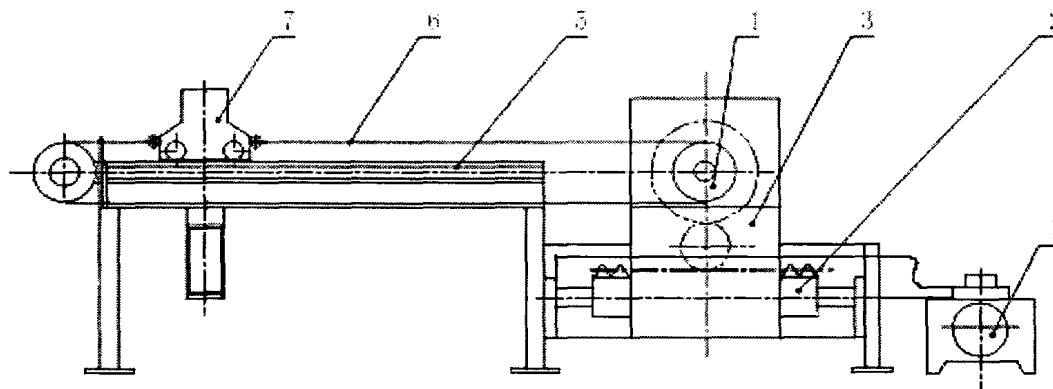


图 2-1 取料系统结构简图

该装置的结构简图如图 2-1 所示，主要结构为供油系统 1、双出杆杆液压缸 2、增速机构 3、绳轮 4、导轨 5、钢丝绳 6 及取料小车 7 等部分。

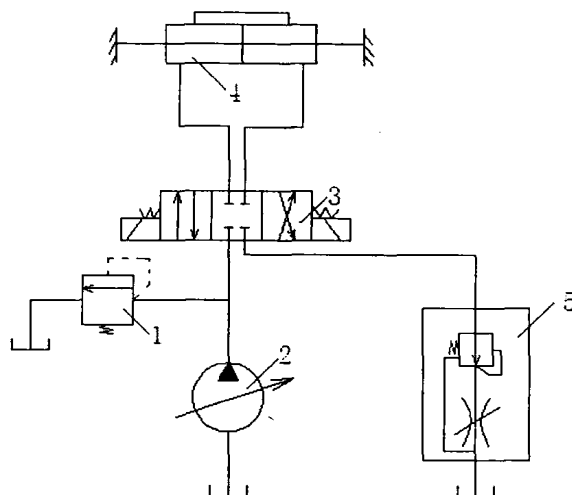
为了达到取料小车启动快，取料过程稳，制动准的要求，液压缸安装双向活塞杆，活塞外端固定。液压缸上焊接的齿条与增速机构的齿轮相连。增速机构连接取料车两端绳轮，绳轮绕过驱动轮和张紧轮后拉动取料车往复运动。液压系统通过增速机构能够实现取料小车中途的匀速运行。取料小车上部为敞口式，底部为斜开口形式，方便物料的及时导出到下方的溜槽中，提高生产效率。

2.2.1 液压回路

综合上述物料取样的基本要求，我们知道该取料系统中最关键的技术是保持高速取样过程中取料小车速度的稳定性。为此，我们采用节流调速回路的液压控制系统，从原理上实现取料小车无极调速和匀速运行的功能要求。

液压回路的工作原理为：系统工作时，电机在溢流阀卸荷的情况下空载起动。当电机运转稳定后，溢流阀加载，换向阀左端电磁铁通电，油液经换向阀口进入液压进油腔，忽略阀块内油液的沿程压力损失和局部压力损失，泵的出口压力基本为溢流阀的调定压力，液压缸进油口压力等于溢流阀调定压力。液压缸出油腔连接换向阀、调速阀后直通油箱。

该液压缸活塞杆两端固定，液压缸将会在两端液压油压力差的状态下运动。当调速阀的进出口压差达到 0.5MPa 时，调速阀开始正常工作，通过调速阀的流量基本为一定值，从而保证液压缸运行速度的稳定。其中液压缸的运动速度由调速阀的刻度值大小保证。



1-溢流阀；2-油泵；3-电磁换向阀；4-液压缸；5-调速阀

图 2-2 液压回路示意图

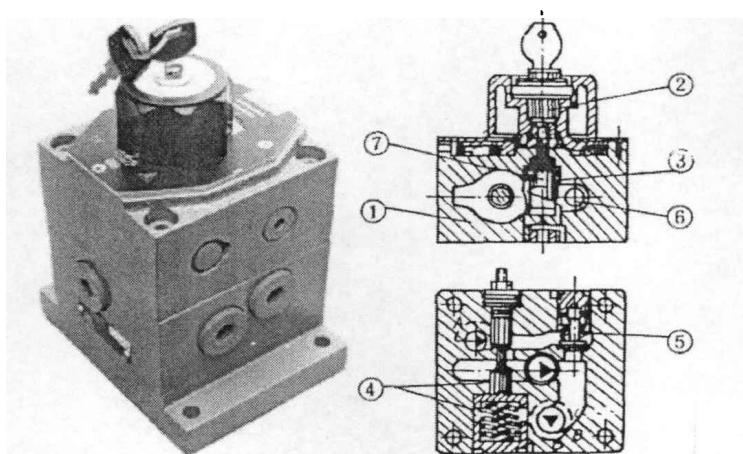
(1) 液压泵：

液压泵的作用是将机械能转换成液压能，为液压系统提供具有一定压力和流量的液压油，液压泵性能的好坏直接影响液压系统工作的可靠性和稳定性。

液压泵构成的容积调速回路是通过改变回路中泵的排量来实现调速的。其主要优点是容易实现无级调速、功率损失小、效率高，在输出相同功率的条件下，能优化理论设计且其工作压力随负载而变化，适用高速、大功率系统。

(2) 调速阀：

2FRM 型调速阀为两通流量控制阀，阀体由减压阀和节流阀串联而成。液压油流进调速阀后，首先经过减压阀减压，再由节流阀节流。因为减压阀对节流阀进行了压力补偿，所以能够保证调速阀的流量不受负载变化的影响，保持稳定。同时结构内节流窗口设计成薄刃状，这样能够让油液流量受温度变化较小。当调速阀与单向阀并联时，油液能反向回流。



1-阀体；2-调节元件；3-薄刃孔；4-减压阀；5-单向阀；6-节流窗口；7-节流杆

图 2-3 调速阀外观及结构简图

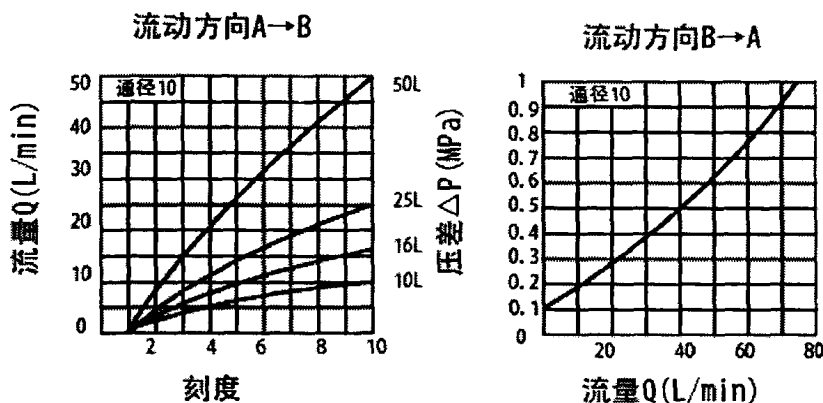


图 2-4 2FRM10-20 调速阀特性曲线

(3) 回油节流调速回路的优势:

在回油节流调速回路中, 由于回油路上节流阀小孔对液压缸的运动有阻尼作用, 同时空气也不易渗入, 可使液压缸获得更为平稳的运动速度。

(4) 选择液压驱动的优势:

1) 简单、安全、经济。一般来说, 液压传动系统所使用的运动部件较少, 因此系统简单、紧凑且便于操作和维护, 同时增加了经济性、安全性和可靠性。

2) 理想的增力系统。液压系统是一个简单而且高效的增力系统, 它无需借助笨重的机械传动(如杠杆、滑轮等), 可以轻而易举地实现增力和增大扭矩。

3) 易于控制且控制精确。只要简单地操作手柄按钮, 操作人员即可实现对液压系统及其执行机构的动作控制, 如启动、停机等, 或在任何时候、任何位置控制执行机构的反向运动或反转。此外由于几乎不受执行机构和机械系统运动惯性的影响, 液压系统具有较高的控制精度。

4) 可以实现复合传动与控制。

5) 液压系统工作平稳、冲击小。在液压传动装置中, 由于油液的压缩量非常小, 在通常压力下可以认为不可压缩, 依靠油液的连续流动进行传动。油液有吸振能力, 在油路中还可以设置液压缓冲装置, 故不像机械机构因加工和装配误差会引起振动和撞击, 使传动十分平稳, 便于实现频繁的换向, 因此它广泛地应用在要求传动平稳的机械系统中。

6) 液压油具有流动性、黏性和几乎不可压缩性等特点, 更容易实现执行元件运动速度和位移的精确控制, 提高系统的响应灵敏度和动态特性。

7) 具有负载敏感特性。与其他传动方式不同, 液压系统中工作压力与油泵的输出压力取决于负载的变化, 在流量不变的情况下, 消耗的动力也随负载变化, 这一特点减少了能源浪费, 提高了传动系统经济性。

8) 系统设计柔性化。由于液压油等液体介质具有自由改变形状的特性和向所有方向传递力和功率的能力, 故提高了液压传动与控制系统设计的柔性化。设计人员可以根据传动的目的和控制要求, 充分利用各种执行元件、控制元件和动力元件的功能, 任意加大自由想像空间, 充分发挥想像力、创造力和智慧, 通过研究、比较, 确定更高效更优化、更经济的设计方案。

主要缺点：

1) 液压元件制造精度要求高。由于元件的技术要求高和装配比较困难，使用维护比较严格。

2) 实现定比传动困难。液压传动是以液压油为工作介质，在相对运动表面间不可避免的要泄漏，同时油液也不是绝对不可压缩的，因此不宜应用在在传动比要求严格的场合。

3) 油液受温度的影响。由于油的粘度随温度的改变而改变，故不宜在高温或低温的环境下工作。

4) 不适宜远距离输送动力。由于采用油管传输压力油，压力损失较大，故不宜远距离输送动力。

5) 油液中混入空气易影响工作性能。油液中混入空气后，容易引起爬行、振动和噪声，使系统的工作性能受到影响。

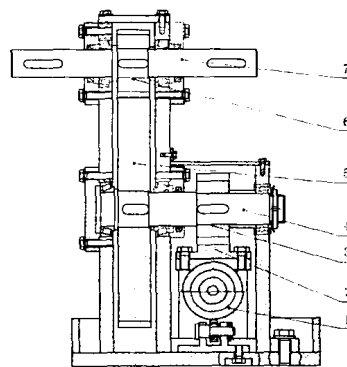
总的来说，液压传动优点是主要的。其某些缺点将会随着科学技术的发展、设计制造水平的提高而逐步得到解决，液压传动将会得到更广泛地应用。

2.2.2.机械传动回路

(1) 增速机构

1.增速装置的结构

由于液压缸最高速度有限，而取料车实际速度要求较高，液压缸运行速度最高约为 $0.2m/s$ ，为了满足取料小车最大 $2m/s$ 运行速度的要求，我们在液压缸和取料小车之间增加了一个增速装置，其具体结构如下图 2-5 所示。



1-液压缸；2-齿条；3-齿轮；4- I 轴；5-齿轮 2；6-齿轮 3；7-II 轴

图 2-5 取料系统增速装置

2.增速装置的工作原理

由于液压缸两端为固定结构，缸体做往复运动，当液压油充满液压缸进油腔时，液压缸在液压油压差的作用下运动，由于液压缸与其上端的齿条连为一体，于是齿条带动齿轮 1 转动，在结构上，齿轮 1 和齿轮 2 为同一轴上固定件，因此齿轮 2 和齿轮 1 转动角速度相同。接着齿轮 2 带动齿轮 3 运动，齿轮 3 通过轴 II、

联轴器，使驱动轮的旋转运动转化为钢丝绳的直线运动。

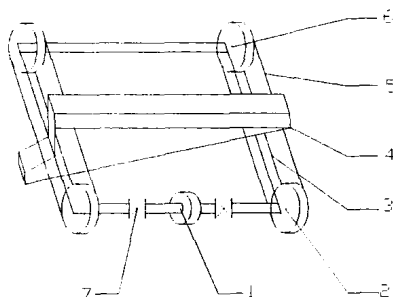
3.齿轮传动的优点：1) 瞬时传动比恒定，工作平稳性较高；2) 传动比变化范围大，适用于减速或增速传动；3) 传递功率范围大，承载能力高；4) 传动效率高；5) 结构紧凑，可缩小部件的设计尺寸；6) 维护简便。

4.增速机构的优点：

- 1) 体积小、质量小，结构紧凑，承载能力高；
- 2) 传动效率高；
- 3) 结构简单、易于维修；
- 4) 运动平稳、抗冲击和振动的能力较强。

(2) 取样机构

在本文所研究的取样装置中，取料车的往复运行是通过牵引钢丝绳实现的。我们在取样装置副机架尾端设置两个张紧轮，具体结构如下图 2-6 所示，其能够将小车牵引钢丝绳拉紧并使其始终处于张紧状态，从而使小车运行平稳，减少小车在起制动时的晃动，保证小车停车位置准确。



1-增速装置中的齿轮 6；2-绳轮；3-导轨；4-取样小车；5-钢丝绳；6-张紧轮；7-联轴器

图 2-6 取样装置的机械传动部分

选择钢丝绳牵引的理由：

- 1) 强度高、自重轻、能承受振动载荷、能卷绕成盘、弹性好、成本低。
- 2) 能够远距离输送动力，极少骤然断裂、高速下运行平稳等。

2.3 本章小结

本章首先介绍了工况现场中取样设备的基本要求，在此基础上，接下来重点介绍了取样装置的工作原理及装置中各组成部件的结构和原理，确立研究对象。

3 系统参数计算

3.1 物料流横截面

结合工况物料的实际分布, 输送皮带头轮部的物料在落料前的近似分布如图

3-1, 根据输送能力 $Q = 3600v_{\text{带}}A\rho c$, 则物料的横截面面积为:

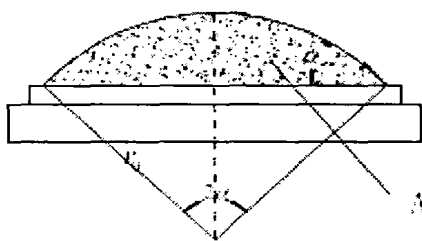


图 3-1 物料在输送带偷轮部的截面形状

$$A = \frac{Q}{3600v_{\text{带}}\rho c} \quad (3-1)$$

式 3-1 中:

Q ——输送带的输送能力 5700T/h;

A ——在输送带上堆积物料的横截面面积;

$v_{\text{带}}$ ——输送带的带速 2m/s;

ρ ——堆积物料的密度, 约为 $2.2 \times 10^3 \text{ Kg/m}^3$;

c ——倾斜胶带输送能力系数, 在这我们取 0.93。

$$\text{计算得: } A = \frac{Q}{3600v_{\text{带}}\rho c} = \frac{5700 \times 10^6}{3600 \times 2 \times 2.2 \times 0.93} = 386934 \text{ mm}^2 [11]。$$

3.2 小车取料过程中的外负载

为了保证取料小车在取料过程中能够稳定、匀速地运行, 必须对小车在取料过程中的受力情况进行分析。在这里我们所说的系统的外负载主要是取料小车工作过程中所受到的阻力之和。在水平方向小车主要受的阻力有: 取料小车与下落物料的碰撞时, 物料对取料小车前侧挡板在水平方向上的撞击分力 F_1 , 取料小车

与下落物料的碰撞时，物料对取料小车后侧挡板在水平方向上的撞击分力 F_2 ，取料小车的驱动轮与导轨之间的摩擦力 f_s （如图 3-2）。

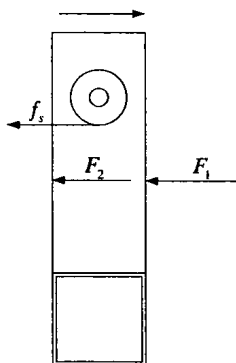


图 3-2 取料车受力示意图

计算分析得知，在取料小车取料过程中，取料车所受到的外负载主要是下落物料对其前后侧挡板在水平方向上的撞击分力 F_1 和 F_2 之和。经过一系列计算，我们把在同一时刻的 F_1 和 F_2 相加，得出取料小车的合外力随时间变化的曲线，此曲线拟合过程由另篇论文予以详细说明，在此不再赘述。变化曲线如图 3-3 所示。

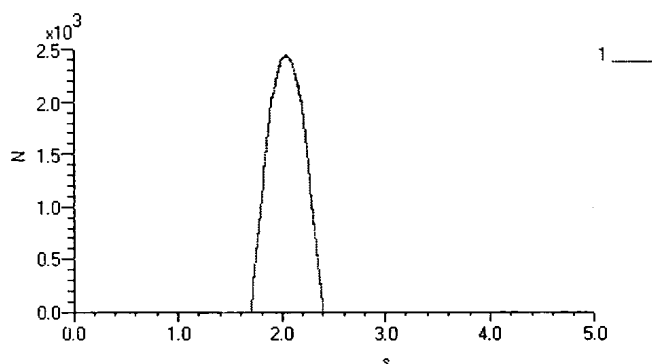


图 3-3 取料小车合外力随时间变化曲线

图 3-3 中可以看出，取料小车在取料过程中，外负载影响时间为 1.7 至 2.4s，在 2.05s 左右达到最大幅值。

3.3 系统主要参数

由于取样装置比较复杂，整体参数很多，如把所有影响因素全部考虑，会增加系统仿真建模的困难程度，因此必须对系统进行简化计算，对一些次要因素，在建模时可不予考虑或暂时忽略，再在仿真工具中加以适当的约束条件或等量条件给予补偿。

1) 液压泵

该套取样装置中, 液压泵型号为 25SCY14—1B 的手动变量轴向柱塞泵, 其理论排量为 $25\text{ml}/r$, 额定转速为 $1500r/\text{min}$ 。根据本系统的实际设计, 选择泵的机械效率 $\eta_m = 0.98$, 容积效率 $\eta_v = 0.96$ 。

2) 液压油

通常石油基液压油的密度为 $0.85\sim 0.95\text{g}/\text{cm}^3$ ^[12], 取样装置中对传动介质的要求不高, 采用一般液压油即可满足系统要求, 因此仿真参数中液压油的密度选择 $0.85\text{g}/\text{cm}^3$ 。

当油液中混入有不溶解的气体时, 则其体积弹性模量的有效值将显著降低。一般液压系统中很难避免混入气体, 而实际系统的含气量并不易确定, 因此 K 值难以取得准确, 另外油液的体积弹性模量还与温度、压力有关。一般当压力 $P \geq 30\text{MPa}$ 时, 体积弹性模量值变化很小, 可视为常量, 当压力 $P < 30\text{MPa}$, 体积弹性模量的值随压力的降低而减小, 而且压力越低 K 值减小越剧烈。一般在液压控制系统的动态特性的计算中常取 $K=1.7 \times 10^8 \text{N}/\text{m}^2$ 。其余参数为默认值。

3) 液压缸

设计中的液压缸参数为: 内孔径为 63mm , 活塞杆直径为 40mm , 活塞杆的有效行程为 295mm 。

根据理论计算得知当取移动构件液压缸作为等效构件时, 系统的等效质量 m_e 的表达式为^[13]

$$m_e = \sum_{i=1}^n \left[m_i \cdot \left(\frac{v_{si}}{v} \right)^2 + J_{si} \cdot \left(\frac{w_i}{v} \right)^2 \right] \quad (3-2)$$

式中:

m_i ——系统中第 i 个移动构件的质量 (kg)

v_{si} ——系统中第 i 个移动构件的平移速度 (m/s)

v ——等效构件的平移速度 (m/s)

J_{si} ——第 i 个转动部件的转动惯量 ($\text{kg} \cdot \text{m}^2$)

w_i ——第 i 个转动部件的转动角速度 (rad/s)

n ——系统中所有平移和转动部件的数量

根据以上公式, 有:

$$m_e = m + J_1 \cdot \left(\frac{w_1}{v} \right)^2 + J_2 \cdot \left(\frac{w_1}{v} \right)^2 + J_3 \cdot \left(\frac{w_2}{v} \right)^2 + 2J_4 \cdot \left(\frac{w_2}{v} \right)^2 \quad (3-3)$$

式中:

m ——液压缸的质量 (kg)

J_1 ——齿轮齿条机构中小齿轮 1 的转动惯量 ($kg \cdot m^2$)

J_2 ——增速机构中大齿轮 2 的转动惯量 ($kg \cdot m^2$)

J_3 ——增速机构中小齿轮 3 的转动惯量 ($kg \cdot m^2$)

J_4 ——绳轮的转动惯量 ($kg \cdot m^2$)

w_1 ——轴 I 的转动角速度 (rad/s)

w_2 ——轴 II 的转动角速度 (rad/s)

v ——液压缸的平移速度 (m/s)

并且，系统中的各部件的速度和角速度的关系为：

$$v = r_1 w_1, r_2 w_1 = r_3 w_2 \quad (3-4)$$

式中：

r_1 ——齿轮齿条机构中小齿轮 1 的半径 (m)

r_2 ——增速机构中大齿轮 2 的半径 (m)

r_3 ——增速机构中大齿轮 3 的半径 (m)

所以式 (3-3) 整理后可得：

$$m_e = m + \frac{1}{r_1^2} (J_1 + J_2) + \frac{r_2^3}{r_1^2 r_3^2} (J_3 + 2J_4) \quad (3-5)$$

经查阅相关资料，可知常用旋转体的转动惯量的近似计算公式为^[14]：

$$J = \frac{KMD_e^2}{4} \quad (3-6)$$

式中：

M ——旋转体质量 (kg)

K ——相关系数，对齿轮， $K = 0.6$ ；对飞轮， $K = 0.55$

D_e ——旋转体的计算直径 (m)，对齿轮， $D_e = D$ ，其中 D 为分度圆直径

由上述公式，可求得各旋转体的转动惯量分别为：

$$J_1 = \frac{0.6m_1 d_1^2}{4} = 2.619 \times 10^{-3} (kg \cdot m^2)$$

$$J_2 = \frac{0.6m_2d_2^2}{4} = 5.086 \times 10^{-1} (kg \cdot m^2)$$

$$J_3 = \frac{0.6m_3d_3^2}{4} = 2.128 \times 10^{-3} (kg \cdot m^2)$$

$$J_4 = \frac{0.6m_4d_4^2}{4} = 1.314 \times 10^{-1} (kg \cdot m^2)$$

经计算取液压缸质量近似值： $m = 9.571kg$ ，将各参数值代入式（3-2）得系统的等效质量的近似值为：

$$m = 1860kg$$

4) 钢丝绳

由于取样装置中钢丝绳的刚度设计值较大，单位长度变形量相对较小，因此可以把钢丝绳的刚度作为定值来考虑。钢丝绳的弹性变形量基本符合虎克定律，故其伸长值的计算为^[15]

$$\Delta s = \frac{TL}{E_s A} \quad (3-7)$$

式中：

Δs ——钢丝绳的弹性伸长值（mm）

T ——钢丝绳拉力（N）

L ——钢丝绳长度（mm）

E_s ——钢丝绳的弹性模量（N/mm²）

A ——钢丝绳的金属断面积（mm²）

根据机械系统中柔度的定义，有：

$$C_3 = \frac{\Delta s}{T} = \frac{L}{E_s A} \quad (3-8)$$

取样系统中取用6×19S线接触钢丝绳，同向捻，钢丝绳公称直径为8mm，得到钢丝绳的金属断面积的值为：

$$A = K \cdot \frac{\pi d^2}{4} = 0.46 \times \frac{\pi \times 8^2}{4} = 23.12mm^2$$

上式中，K为充满系数，本系统中取K=0.46。

理路计算中，钢丝绳的弹性模量近似取 $E_s = 90KN/mm^2$ ，本系统中钢丝绳的长度为 $L = 9145mm$ ，得到钢丝绳的柔度为：

$$C_3 = \frac{L}{E_s A} = \frac{9145}{90 \times 10^3 \times 23.12} = 4.39 \times 10^{-6} m/N$$

5) 其余参数

液压系统中连接阀块和液压缸的软管长度为 330mm，内径为 10mm，外径 28mm。绳轮和张紧轮的直径均为 258mm。取样小车的质量取 300Kg。

3.4 本章小结

本章基于所要研究的系统，对主要参数进行了介绍和计算处理。由于本课题需要研究外负载的影响大小，因此外负载的变化予以图示以增强直观性。

4 系统仿真模型的确定

4.1 系统仿真方法概述

由于系统的仿真模型是对实际所研究系统的抽象，是对实际系统本质的描述，所建立仿真模型的正确与否也直接关系到最终仿真结果的正确性和精确性，所以能够建立正确合理的仿真模型是研究该取料系统的关键问题之一。

(1) 解析法建模

利用解析法建模时，要应用到物理学、流体力学、运动学、动力学或热力学的定律及方程来对各元件及其组成的系统进行分析，同时考虑到液体的可压缩性、黏性阻尼和摩擦特性的因素影响，因此在分析过程中，对于不同的研究对象，所采用的方法和手段也略不相同^[16]。

(2) 状态空间法建模

基于经典控制理论的微分方程模型和传递函数模型只适用于描述单输入、单输出、初始条件为零的动态系统中。而基于现代控制理论的状态变量模型，完全克服了上述缺点和局限性，从理论上解决了多输入、多输出和非线性时变系统的动态分析问题。适应了研究高速、高精度复杂系统动态特性的需要^[17]。

(3) 功率键合图法

功率键合图法(Power Bond Graph)是近 20 年发展起来的一种描述动力系统动态结构的有效建模工具，其主要是一组由有限符号组成的双信号流图，用一系列键和简单符号就能够形象地描述系统能量网络中功率流的流向和分配，能量的汇集和转换等，清晰准确地表达系统结构特征及各种影响因素，且与基于现代控制理论的状态变量数学模型之间存在严密、一一对应内在逻辑联系^[18]。

自从键合图建模技术的问世以来，因其直观、简便，易于理解、容易推导状态方程并能够描述多种能量流等诸多优点，已受到国内外各类工程技术领域的普遍重视，并在各类动态分析中得到了广泛的应用。

最后，键合图模型中如果仿真结果与实际相差较大，可以很方便地修改键合图中各模型参数，而不需要改变模型中的大致结构，因此更能适应现代快速、复杂的系统设计。当然，键合图也并非万能，同样存在微小不足，正因为如此，在应用它解决实际问题的过程中，仍在进一步的发展和完善，并不断推广到其他新的领域。

(4) “灰箱”建模法

“灰箱”建模法将系统视为“灰箱”，其中有些参数是已知的，而有些性能参数则是待定的。利用数学分析方法根据元件在系统中的功能和作用来建立元件的仿真模型，然后将子模型组成仿真系统模型。子模型或仿真系统模型中待定的

参数则利用对元件或相关系统辨识而获得^[19]。

总之，传统上的建模、仿真方法通常使用 Fortran77、C 语言、VC 等软件，虽然这些软件在建立简单的模型时比较容易，但面向复杂系统时，工作量大，出错后纠正较为困难。例如日本油空压学会开发、研制并完善了动力系统仿真软件 BGSP，但用户在使用时需要先将流体动力系统转换成键合图，并且在制作动力系统仿真输入程序时，需要严格遵循 BGSP 的程序书写格式^{[20][21]}。而 AMESim 软件则是一个非常优秀的液压/机械系统建模、仿真软件，能够给用户带来很多便捷。

4.2 AMESim 系统简介

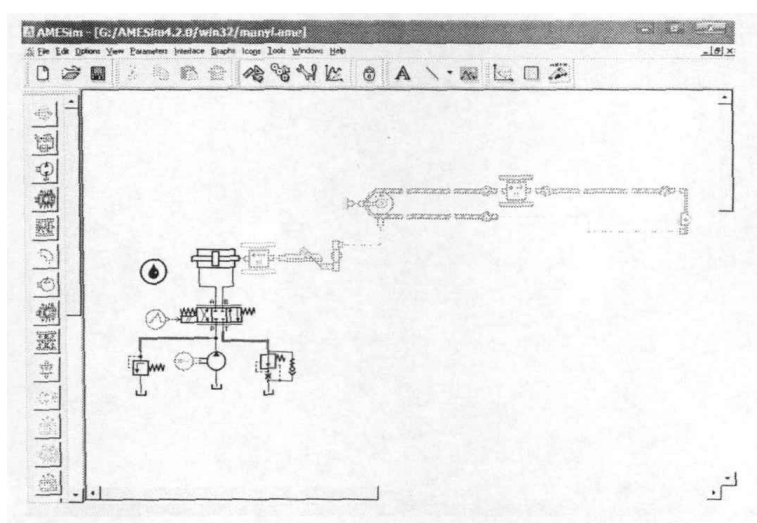


图 4-1 AMESim 软件界面

AMESim(Advanced Modeling Environment for per-forming Simulation of engineering systems)是法国 Imagine 公司于 1995 年推出的基于键合图的液压 / 机械系统建模、仿真及动力学分析软件。已成功应用于航空航天、动力传动、排放系统、流体元件设计、装载起重机械等解决方案中。

AMESim 软件是专门用于液压/机械系统建模、仿真及动力学分析的软件，与传统的仿真软件相比，它具有很多优势：

1) AMESim 软件仿真环境中可以从元件模型库中直接拖出元件，连接接口后加入输入信号，设定初始的模型参数，即可进行仿真。

2) AMESim 软件用户界面友好，元件图标采用国际上标准的液压/机械元件符号，短期熟悉后即可运行操作。

3) AMESim 软件的每个元件模型都含有自己的内部动力学方程，这些动力学方程会自动地转化成元件模型的源程序代码，并根据需要，修改元件的内部动力学方程和程序，设计出自己所需要的元件模型。

4) AMESim 软件具有通用性，可以省去许多重复劳动，只需修改其元件参数就可以进行建模仿真，所以 AMESim 软件能得到事半功倍的效果。

综上所述, 可以看到 AMESim 软件是非常优秀的液压/机械系统建模、仿真软件, 与传统的建模、仿真软件相比, 能够在工作中给用户带来很多便捷。

AMESim 使得用户从繁琐的数学建模中解放出来, 从而能够专注于物理系统本身的设计。基本元素的概念, 即从所有模型中提取出的构成工程系统的最小单元使得用户可以在模型中描述所有系统和零部件的功能, 而不需要书写任何程序代码。

虽然 AMESim 是一款较为成熟的软件, 但它目前也有部分缺点:

1) 在信号的处理方面不够灵活。

2) 元件模型需要设置许多参数。

3) 仿真元件比较固定, 当系统仿真人员需要一个比较特殊的元件时, 就需要拥有非常专业的编程技巧和经验, 不利于普通技术人员的使用。目前还不能应用到其他更为广泛的领域。

4.2.1 模型库

AMESim 为用户提供了丰富的模型库, 基于结构单元建模, 所以对模型层次的理解显得非常直接和直观, 可进行多学科的建模与仿真, 其中用于液压系统建模仿真的主要有液压库, 液压阀库, 液压元件设计库等。在系统的建模过程中, 还常用到的有 AMESim 模型库中的机械库, 控制及信号库, 液压管道库, 液阻库等。

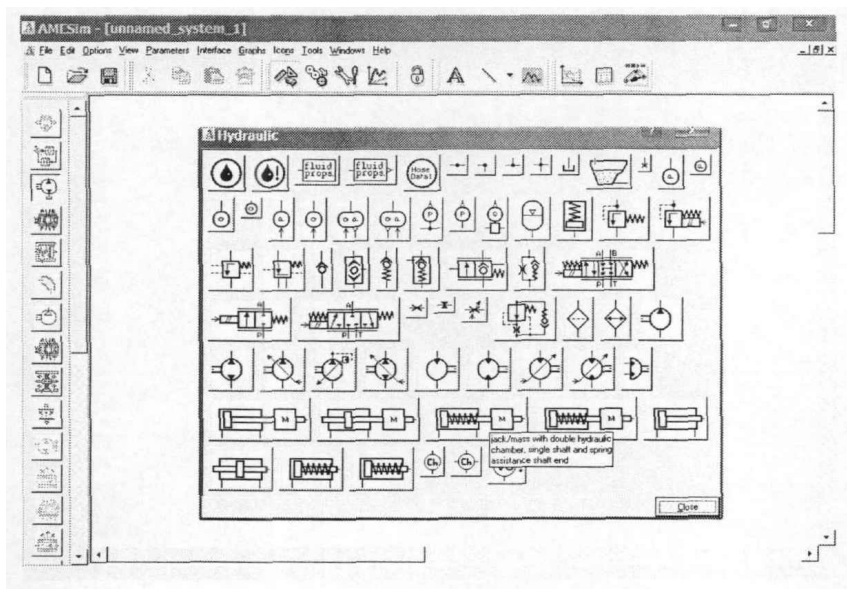


图 4-2 AMESim 液压库

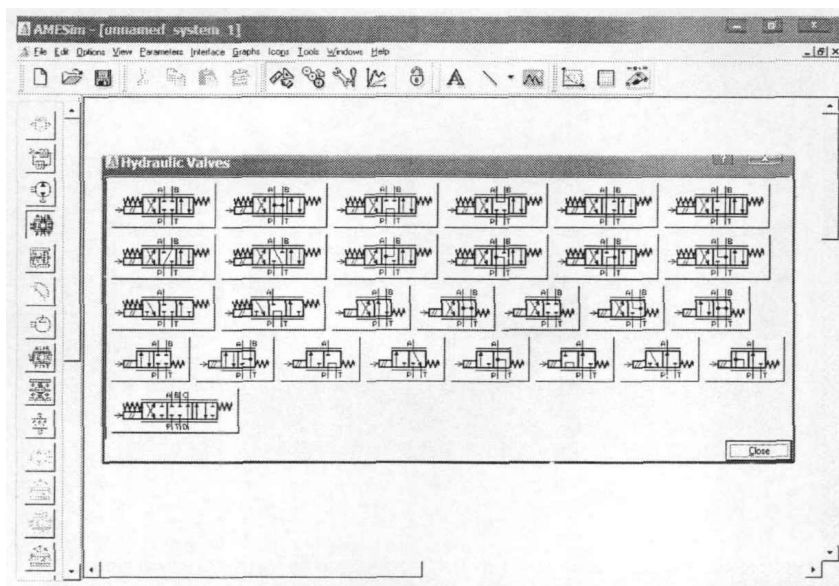


图 4-3 AMESim 液压阀库

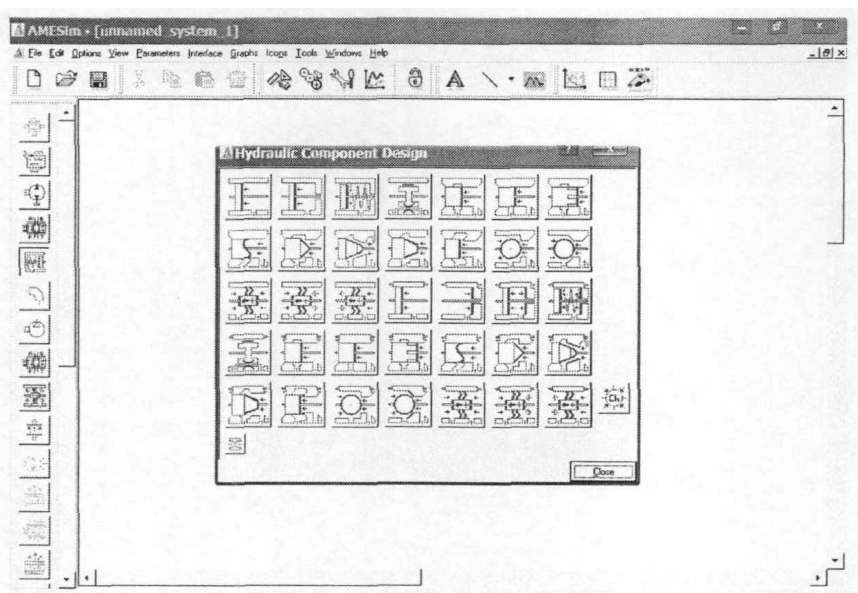


图 4-4 AMESim 液压元件设计库

4.2.2 AMESim 模块介绍

AMESim 由 AMESim、AMESet, AMECustom 及 AMERun 等基本环境组成。

AMESim（系统建模、仿真和分析平台）是系统工程建模与仿真平台，它提供了工程系统设计的完整平台，在此平台上，工程师可在同一平台上建立复杂的多学科领域系统的模型，并在此基础上进行仿真计算和深入的分析，研究任何元件或者系统的稳态和动态性能。

AMESet（模型、文档生成器，高级二级开发平台）是子模型编辑工具，可以提供 AMESim 所有子模型的源代码模板，方便地扩充 AMESim 应用库。通过 AMESet 创建的模型库具有标准化、可重复使用以及易于维修等特点。AMESet

为用户的开发过程带来了质量的保证。

AMECustom（模型定制工具，定制、封装和加密平台）是 AMESim 的定制工具。可以通过它建立专用的、具有定制用户界面和参数设置的模型数据库。此外，还可以利用 AMECustom 的加密功能对敏感信息进行加密。

AMERun（现存模型仿真分析平台）是 AMESim 的只运行版本，提供了参数设置、仿真分析功能。

AMEDesk（数据库管理平台）是 AMESim 的数据库管理工具。不同平台之间、不同部门之间和不同单位之间的工程师能够协同工作和数据共享。

4.3 系统的仿真模型

4.3.1 仿真子元件选择

（1）泵子模型选择带有容积效率和机械效率的子模型。

电磁换向阀模型选择三位四通液压控制阀模型。

液压缸子模型中，综合考虑液压缸的质量、液压缸的内泄露量等，采用活塞杆固定的双出杆液压缸，忽略活塞杆的质量、液压缸内的摩擦等，。

取样小车的子模型中，将其简化为考虑摩擦力的质量块。因其具有一定质量，在运动状态发生改变时会储存或消耗一部分能量，而且质量越大，能量转换越多。

管道子模型中，选择可压缩的液压软管 HL01 作为仿真系统中的管道子模型。其中已考虑到管道内油液的可压缩性和管道的变形。

（2）其它子模型

仿真系统中各元件的子模型可按系统默认的第一子模型选择。取样装置中的其它元件均按 AMESim 软件中液压库和机械库中的各模型来选取，至此，仿真模型中所有元件的子模型选择完毕，仿真模型初步建立。

4.3.2 仿真实验

取样装置是由驱动装置、增速器、联轴器、绳轮、钢丝绳、取样小车、张紧轮等所组成，将驱动装置、增速器等部件进行等效处理，建立取样装置机械传动部分的简化力学模型如图 4-5 所示。

对其中各元件作如下假设：

- 1) 除钢丝绳外其它部件均视为刚体。
- 2) 钢丝绳的横向振动不予考虑。
- 3) 考虑到实际处理过程的复杂性，将钢丝绳的动态弹性模量视为常量。

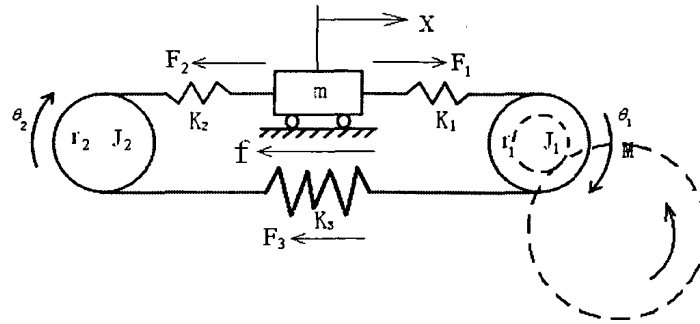
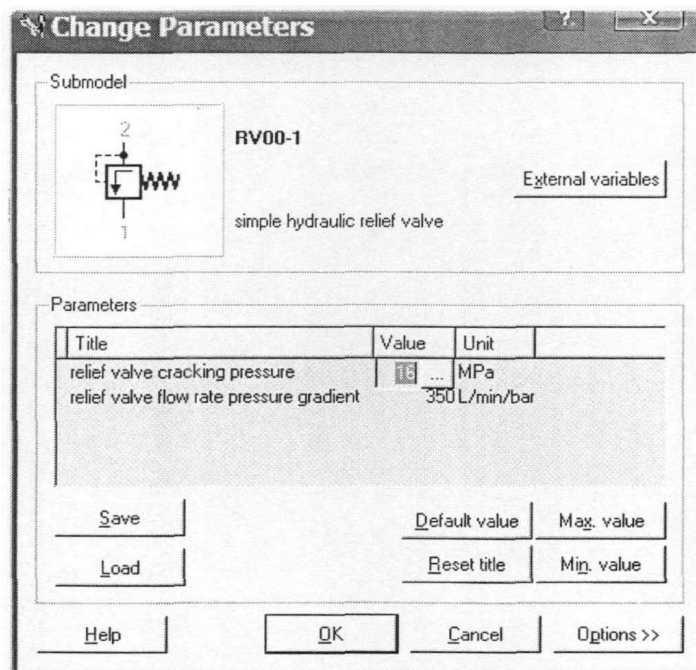


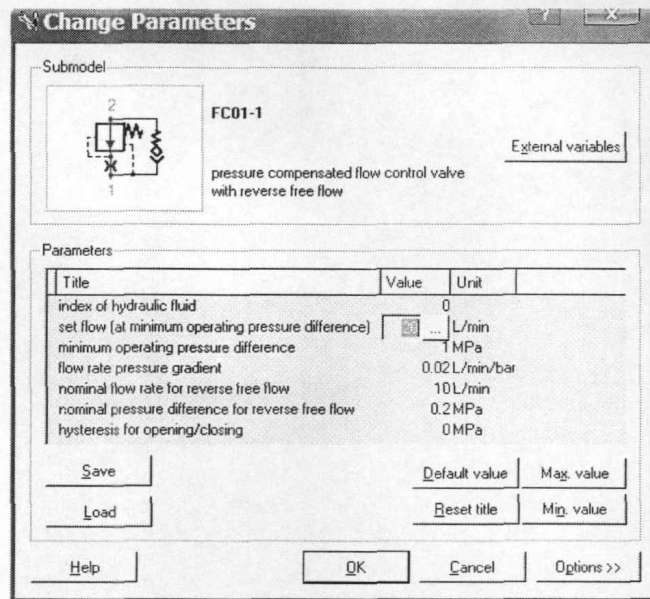
图 4-5 取样装置机械传动部分力学模型

依照取样装置的工作原理，将取样装置中的各组成元件用 AMESim 软件中的符号来代替。其中用一个质量块 M 代替取样小车；将增速机构质量和液压缸质量合并为一等效质量；把齿轮-齿条机构、增速器中大小齿轮以及绳轮的转动惯量化作等效质量作为液压缸的负载。工作原理图中的换向阀用电信号控制，这是由于在 AMESim 软件中没有表示其它控制方式的符号，而各种控制方式对于仿真结果并无影响，因此可以通用；另外，在仿真模型图中没有出现压力表，这是因为在仿真过程中系统中各点的压力可以通过图表显示出来，仿真时不需要再接压力表。

由第三章系统参数并结合本系统仿真主要参数：取样小车质量为 300Kg；液压油缸进口压力为 16MPa（图 4-6a）；调速阀液压油流量为 20L/min（图 4-6b）；钢丝绳刚度为 $1e+006$ N/m；系统工作时间为 2.5s。其它参数以实际工况为准，得到仿真结果。

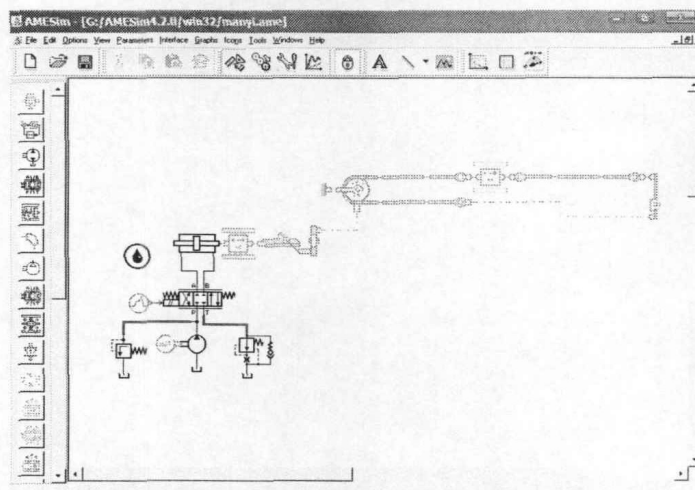


(a)

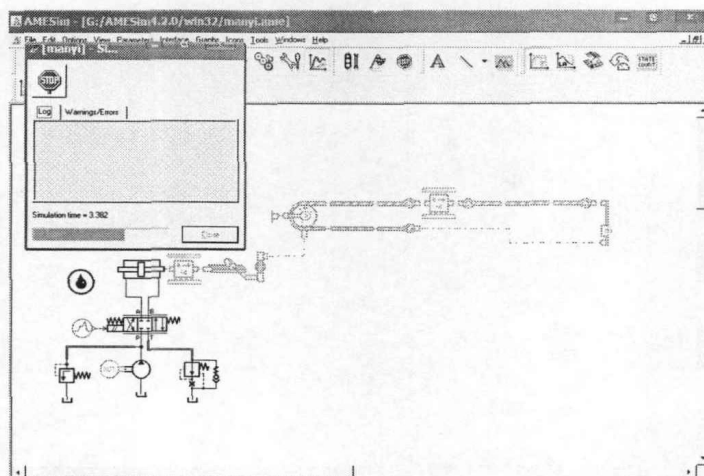


(b)

图 4-6 参数设置界面



(a)



(b)

图 4-7 系统仿真界面 (a) 及运行界面 (b)

系统无负载工作时，液压缸进出口压力变化曲线如图 4-8 示。

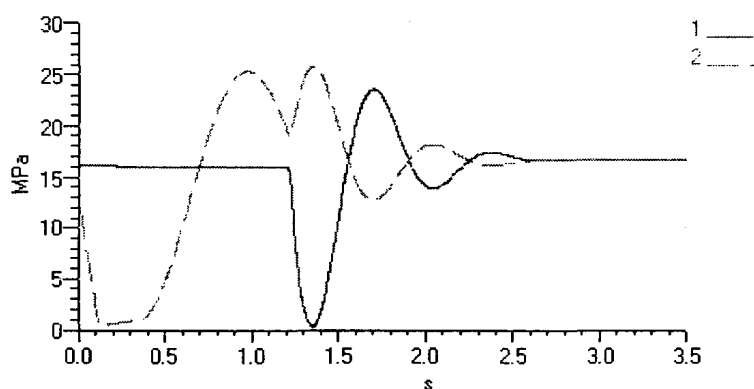


图 4-8 液压缸进口压力为 16 MPa、系统流量为 20L/min 条件下压力曲线

图 4-8 中，实线 1 为液压缸进油腔的压力变化曲线，虚线 2 为液压缸出油腔的压力变化曲线。

仿真结果显示，液压缸从开始运行到结束，进口压力保持恒定，出口压力由于质量——弹簧系统的影响略有波动，出口压力范围从 0~26MPa，直到液压缸在 1.2s 碰到行程开关后，进出口压力几乎成对称衰减变化，衰减周期为 0.8s。

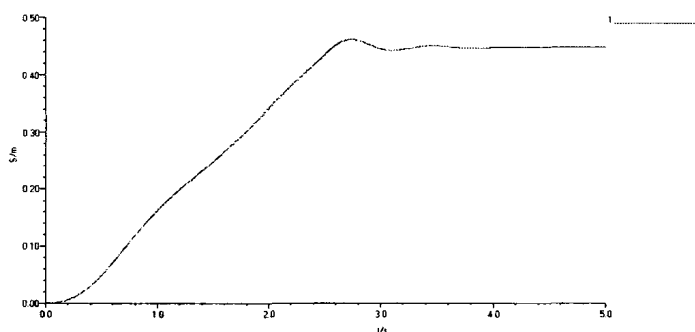


图 4-9 液压缸活塞杆位移

液压缸活塞位移图如图 4-9 所示，可以看出液压缸运行较为平稳，仿真模型的效果得到初步验证。

4.4 本章小结

本章介绍了常用的仿真分析工具，说明了仿真方法的普遍性。然后介绍该仿真模型的确定过程，展现出 AMESim 作为高级液压/机械建模仿真软件的简便性、直观性、高效性。最后，对该系统进行了仿真模拟分析。

5 实验平台与微机测试系统

5.1 实验装置

5.1.1 实验目的

由于仿真与现场实验的分析过程中，对比方法很多，比如在仿真和现场实验中分别采集压力变化曲线、速度变化曲线、流量变化曲线的趋势走向图等来对比分析，但由于现场实验条件有限，现场实验中主要是采集液压缸进出口压力变化曲线，来完成对仿真模型实验的验证过程的。

- 1) 通过现场实验能够获得在进行理论分析计算时无法得到的参数；
- 2) 理论和仿真数据的真实性与准确性必须经过现场实验对比来验证，才能作为进一步分析问题的依据；
- 3) 现场实验结果能够补充理论设计、仿真分析方面的不足，更好地完善实际生产。

5.1.2 本实验装置介绍

为了能够实现本现场实验的目的，对该装置的基本要求为：

- 1) 实验方法应能如实准确地反应取料系统的动态特性；
- 2) 为了保证测量数据的准确性，现场实验系统的测试装置应具有要求的精度；
- 3) 为了突出取料系统的特性，减少其它影响因素，现场实验系统结构应与设计和仿真系统的结构相同。

为了测试本现场实验压力变化的数据，需要对该理论系统设计出专门的测试系统，并在原机上增加测压点。为了模拟工况现场的物料流抛落效果，还专门设计了一实验效果较好的抛料斗。实验设备的安装如图 5-1 所示。

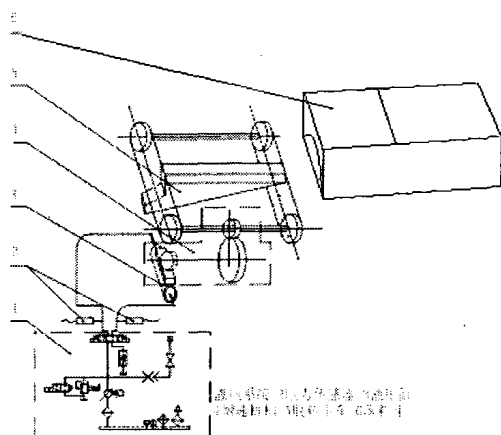


图 5-1 实验台组成

(1) 液压系统

液压系统的结构和工作原理已在本文 2.2.1 节中做过介绍，此处不再重复，这里只介绍实验中所用到的实验实物设备。

1) 泵源

采用型号为 25SCY14-1B 的手动变量轴向柱塞泵，其公称排量为 25ml/r，额定压力为 31.5MPa，额定转速为 1500r/min，容积效率 $\eta_v \geq 92\%$ 。

2) 液压缸

实验中液压缸由液压缸体、活塞杆、活塞以及一些密封元件组成，其中液压缸缸体尺寸长度为 413mm，缸体外径为 86mm、内径为 63mm，活塞杆直径为 40mm，液压缸的有效行程为 $\pm 295\text{mm}$ 。液压缸上壁焊接齿条机构，与机械系统中增速装置的小齿轮相连，然后通过增速装置、驱动轮，将动力传递给取料小车。

其工作要求为：

- 1) 使用合适粘度的机械油。
- 2) 工作时油温范围为 5°C 至 65°C 之间，以避免密封件加速老化。
- 3) 保证液压油清洁，油液污染度指标应在国家标准 19/16 级。

3) 溢流阀

采用型号为 DBW10A-1-30/31.5XAW220Z5L 的先导式溢流阀，其通径为 10mm，调定压力范围为 0~31.5MPa。

4) 调速阀

采用的是型号为 2FRM10-20/50LB 型调速阀。该调速阀是由减压阀和节流阀串联构成。压力油从进油腔进入调速阀后，先经过减压阀减压，再由节流阀节流，由出油腔流出调速阀。由于减压阀对节流阀进行了压力补偿，所以调速阀的流量不受负载变化的影响，保持稳定^[22]。

(2) 机械系统

1) 增速装置

该增速装置的传动比为 $i=9.8$ ，能够将液压缸的低速运行转化为取样小车的高速运行，满足取样小车的 $2m/s$ 运行速度的要求。

增速装置的结构及工作原理已在 2.2.2 中介绍，这里不再赘述。

2) 导轨

导轨长度为 $5m$ ，两条导轨之间的距离为 $1.5m$ 。其位置安装在落料斗的正下方，起导向、支撑取料车作用，保证取样小车能在水平方向上完全截取下落物料流的一次全截面，从而保证取料的科学、精确和可靠性。

3) 取样小车

实验中取样小车质量经测量约为 $300Kg$ ，上开口宽度为 $240mm$ ，在结构设计上底部采用斜面侧开口的结构形式。取样小车上开口与落料斗开口处的距离为 $1000mm$ 。

4) 钢丝绳

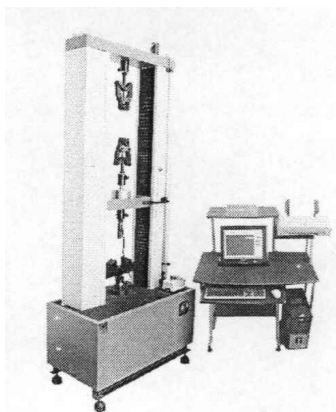


图 5-2 钢丝绳拉伸实验台

在弹性范围内钢丝绳的拉伸性能服从虎克定律，即变形与受力成正比。纵向应力与纵向应变的比例常数就是钢丝绳材料的弹性模量 E ，弹性模量的单位为 N/m 。钢丝绳的弹性模量与其结构、新旧程度、钢丝绳长短及钢丝绳所受拉力大小有关^[23]。现场实验中，为了测试钢丝绳的刚度，在选作实验测试对象的钢丝绳下端挂上一经过测量过的质量块，上端固定，然后准确测出钢丝绳形变量，即可得钢丝绳刚度值。

现选取实验中质量分别为 $685Kg$ 、 $868Kg$ 、 $1150Kg$ 的三组数据作为对比：

表 5-1 新乡四达有限公司钢丝绳刚度系数实验数据（2008-07-13）

质量块重量 (Kg)	形变长度 (mm)	钢丝绳刚度值 (N/m)
685	46	145934.8
868	52	163584.6
1150	57	197719.3

5) 取料斗

实验中抛料斗结构如图 5-3 所示。抛料斗前部有一弧形开口，开口宽度为

1900mm，中间高度 $h=295\text{mm}$ ，这一尺寸是根据相关计算出的物料在输送带上的截面形状所确定。

将抛料斗安装在一水平高台上，前端可以绕固定轴旋转，完全能够模拟首钢高炉输送带转运头轮部的物料下落要求，抛料斗尾部与起吊吊车相连，当将内部物料从弧形抛料口抛出时，只需把吊车吊起一定角度即可。取料车在落料口抛料能力与输送带单位时间内输送能力相当的时间段内匀速通过物料流，获取合适的样品，为下步分析提供原材。

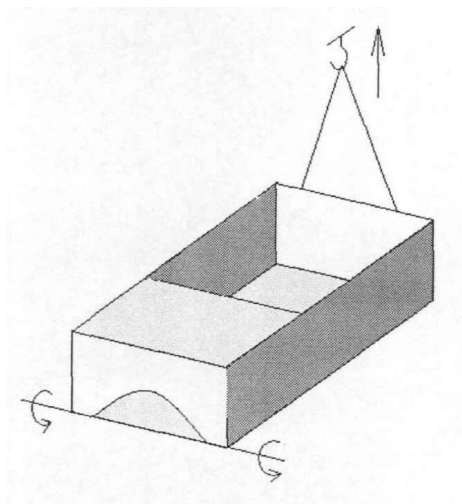


图 5-3 物料取料斗

(3) 其它

实验时所用的矿石为粒度大小不同的石灰石成分，其中最大颗粒的直径达 60mm，能够代表实际工况的颗粒组成，完全达到满足实际工作环境的要求。

5.2 微机测试系统

5.2.1 测试系统组成

实验中采用的测试系统是运用 BIMP/C 微机系统来采集和显示数据的，其显著特点是可以详细、精确地测定系统动态响应过程中每个参数的具体数值，同时在处理微机上绘制出对应的实验测量曲线，能够将整个的记录结果方便地保存，为以后的调用查询以及分析对比提供真实素材。实验中测试设备的主要组成有：压力传感器，数据采集卡，输出设备等^[24]。

工作原理流程如下图 5-4 所示。

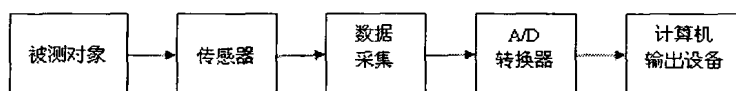


图 5-4 测试系统工作原理

(1) 压力传感器：

实验中所采集压力的专用压力传感器由航天科技集团公司七〇一所生产,型号为 AK-4 型应变式压力传感器,适用对象为各种气体、液体介质的动态和静态压力测量。该型号的传感器固有频率范围为 15-120KHz,并且基本误差仅为 0.5%,测得的压力范围为 0-30MPa。

(2) 数据采集卡(模数转换卡):

实验中使用的数据采集卡是中泰计算机技术研究所生产的 PC-6340 型号高速模入接口卡。其内部的 A/D 转换启动功能可以选用定时器触和程序触发式等。该卡在设计上设置了 16 个采样通道,可同时向外连接 16 个传感器进行数据采集。

5.2.2 测试程序简介

本实验中用到的测试程序用 Delphi 编制而成, Delphi 语言是 Windows 操作环境下一种面向对象的程序语言。

此测试程序的主要功能为:

- 1) 设置各类采样参数: 如采样频率、基址和采样总时间等;
- 2) 建立传感器和采集通道之间的一一对应关系;
- 3) 采集数据, 通过内存里开辟的缓冲区功能, 从模数转换卡提供的接口来读取数据, 并将采得数据存放于缓冲区之内;
- 4) 缓冲区内调用实验数据并绘制出测试数据的曲线, 采样结束后, 通过“显示数据”功能来及时的将采集的实验数据绘制成曲线, 非常直观;
- 5) 数据存储, 将缓冲区内的实验数据保存于预先指定好的数据文件中, 以备实验结束后将来调用分析用途;
- 6) 查看历史存储数据, 可以将以往保存过的实验数据和曲线变化重新调出, 以进行对比和分析。

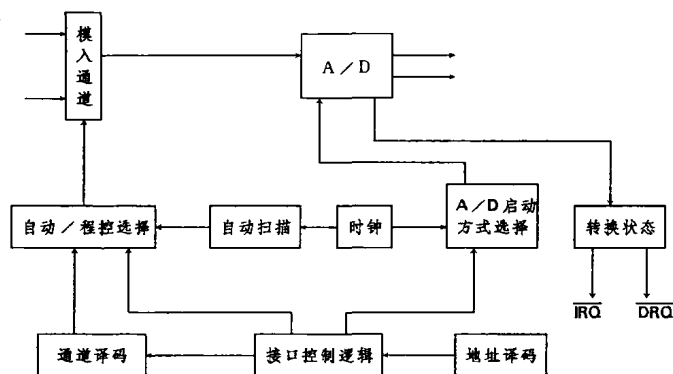


图 5-5 工作原理框图

工作原理简介:

PC-6340 高速模入接口卡主要由地址译码电路、通道转换电路、高速 A/D

转换电路、接口控制逻辑电路及时钟电路等部分组成。

1) 地址译码电路:

接口卡的 I/O 地址由地址总线 A3~A9 决定, 用户可根据需要通过开关 K1 自行确定初始基地址。此地址确定后, 地址译码电路在程序驱动本接口卡时将产生板选取有效信号, 同时由地址总线 A0~A2 译出本接口卡所需的各端口地址, 配合 $\overline{\text{IOW}}$ 和 $\overline{\text{IOR}}$ 等信号完成各种不同的控制功能。

2) 通道转换电路:

通道转换电路包括通道开关、通道译码、自动扫描 / 程序控制选择等部分, 在程序控制方式时, 电路可将程序选定的任一路外部模拟信号送入 A/D 转换电路进行转换。在自动扫描方式时, 电路将连续自动完成从通道 0 到通道 N (N 由用户指定, 不得大于 15) 的逐个扫描选择。

3) 高速 A/D 转换电路:

接口卡的高速 A/D 转换器件选用美国 AD 公司出品的 AD678 芯片。芯片内部自带精密基准源和采样保持电路, 并经激光修调, 具有高达 200KHz 的转换速率, 以及较高的转换精度等。A/D 转换器可由程序触发启动, 其方法为在基地址+1 的端口地址上任写一个数据, 也可在事先对定时电路进行编程后由定时电路自动定时触发启动。A/D 转换器的转换状态可由程序读出, 也可在转换结束后自动通过中断申请或 DMA 申请通知主机读取数据。

A/D 转换后的输出代码形式由跨接器 KJ1 选择, 可根据模拟输入信号的性质分别输出单极性二进制原码或双极性二进制补码。A/D 转换后的数据输出是以字的方式完成的, 即 16 位数据(12 位有效数据+高 4 位空数据) 一次读出。

4) 接口控制逻辑电路:

接口控制逻辑电路产生完成各种功能的控制信号, 是其它各个电路模块的管理系统。

5) 时钟电路:

接口卡的时钟电路由 2MHz 晶振及可编程序定时 / 计数器 8253 芯片组成, 用以产生定时触发或自动通道扫描所需要的时钟信号。

5.3 实验项目与实验方法

5.3.1 实验台的工作过程

现场实验中液压控制系统通过双出杆液压缸上的齿轮——齿条机构驱动增速装置, 通过联轴器与绳轮连接, 钢丝绳两端绕过绳轮和张紧轮后分别与取料小车两端连接, 从而带动取料小车做直线运动。当双出杆液压缸以某个调定速度作直线运动时, 通过增速, 钢丝绳会以 9.8 倍的速度拉动取料小车沿水平方向快速

运动，满足取料小车高速取样速度的要求。将液压缸换向运动，实现取料车的往复运行。

5.3.2 实验方法和步骤

为了实现能够完全真实模拟生产现场工况的目的，并保证实验数据结果的真实有效性，对实验设备操作的要求是：

1) 取料应该选取落料口抛料能力与输送带单位时间内输送能力相当的时间段内。

2) 为了保证物料流出时能够充满整个弧形抛料口，应在系统工作前将落料斗内部全部充满物料。

根据工况取料要求，我们实验的具体步骤为：

1) 打开电机、使液压泵正常工作，此时调节泵出油口处的溢流阀，保证泵口出口压力稳定在 16MPa，并把调速阀刻度调整为 4；

液压系统中使用的是 2FRM10-20 型调速阀，由其特征图 2-4 得知，当调速阀刻度为 4 时，可以查得调速阀流量约为 21L/min，从而算得液压缸速度 $V_{缸} = 0.2m/s$ 。

由于取料小车运行速度 $V_{车}$ ： $V_{车} = iV_{缸}$

式中：

i ——增速机构的传动比， $i = 9.86$ 。

代入上式得 $V_{车} = iV_{缸} \approx 2m/s$ ，满足实验和生产现场的要求。

2) 用起吊吊机将落料斗拉升大约倾斜 43.7° 方向角（此角度已由理论验证得出符合现场工况要求），物流流即在充满整个弧形抛料口的状态下抛出（空载实验中可直接跳至第 3 步）。

3) 当物流流达到最大时（落料口抛料能力与输送带单位时间内输送能力相当的时间段内），使电磁换向阀开始工作，取料小车匀速通过下落物流流区，截取要求物料；

4) 此采集过程中，固定于液压缸进出口的数据采集压力传感器连续测量出数据的瞬时值，读入微机，形成二进制文件，绘制成图，得到测量结果。

5) 取料车碰到行程开关，数据采集结束，保存数据文档，方便以后调用和对比。

5.4 实验结果分析

实验中的数据采集采用计算机辅助测试技术（CST），用计算机来显示实测结果并绘制出大量的不同实验条件下液压缸进出油腔的压力变化曲线。实验条件与理论设计与仿真环境中的参数相同，现取其中任意一组相同条件下的实验曲线如图 5-6 所示。

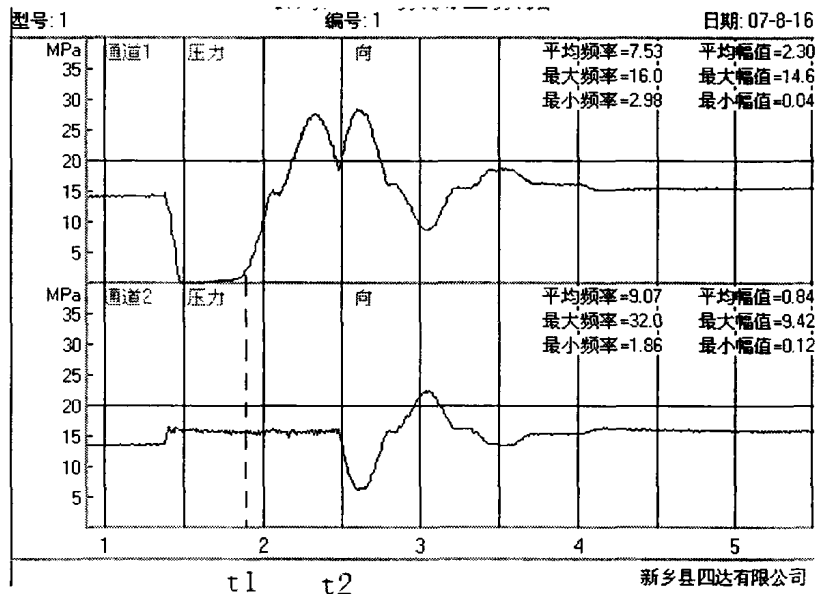


图 5-6 液压缸进口压力为 16 MPa、系统流量为 20L/min 条件下压力实验曲线

曲线中，进油腔在 2s 之前压力低于 16 MPa 的原因是此时溢流阀尚未工作，测得的压力值为管道内封存的压力值大小。

上图中：通道 1 显示的是液压缸出油腔的压力变化曲线，通道 2 显示的是液压缸进油腔的压力变化曲线。经过分析比较，曲线可分为以下几个阶段：起动阶段、匀速运行阶段，制动阶段。

启动阶段为 1.4s 至 1.8s 的时间段，由于给换向阀电磁铁通电导通后，液压泵输出流量经过换向阀阀口进入液压缸进油腔，其余一小部分流回油箱。由于溢流阀的保压作用，忽略阀口及管道的微量压力损失值，液压缸进油腔压力迅速上升为溢流阀调定压力值。液压缸出口压力由于较大的外负载作用，压力值出现先降后升的趋势。这是因为启动阶段系统中各个阻力值较大，比如取料车与导轨之间的静摩擦力等，同时还有克服各个传动件的惯性影响，有理论分析得知，液压缸出油腔首先迅速下降，然后逐渐回升，受装置中各弹性因素的影响，呈现波动趋势。由于液压缸活塞杆两端的压差作用，液压缸开始缓慢运动，并带动其他部件的运动，由于各种阻力值较小，如取料车与导轨之间的静摩擦力转变为动摩擦力，出油腔压力将会出现稳定趋势。

如果忽略阀口及管道的微量压力损失值，各个时刻时，调速阀的进口压力值会近似与液压缸出油腔的压力值相等，调速阀进出口压力差达到其工作压力

0.5MPa 时, 调速阀就开始正常工作, 从而保证通过调速阀的流量为一确定值。使液压缸的运动速度不受外界外负载变化的影响, 通过增速装置, 来保证取料小车的速度运行平稳。由于该系统能够保证 1.8s 至 2.5s 时间段的稳速要求, 因此符合满足实际采样的技术规格。

在匀速运行阶段, 液压缸进油腔压力由溢流阀的调定压力来保证, 出油腔压力随着外负载的减小而增大。当不受外负载影响时, 液压缸出油腔压力值近似等于进油腔压力值, 并保持稳定。

液压缸端部在 2.5s 时碰触行程开关, 使换向阀断电, 液压缸进出油口油液由于受换向阀中位机能的影响而开始截止, 液压泵的流量由于溢流阀的泄荷作用而流回油箱。在液压缸两端装有制动橡胶弹簧, 来减缓液压缸的高速运动, 将液压缸的动能转变为橡胶弹簧的内能, 液压缸处于制动过程, 由于取料小车较高的惯性力、各类弹性因素的影响, 液压缸进出油口的压力将呈现对称振荡变化状态, 反映到数据采集微机上, 进出口压力出现微量的对称衰减曲线, 直至液压缸停止运动, 取料小车完成采样过程。

在实验曲线中, 由于液压缸密封腔两端的压力振荡, 液压缸出油腔曲线先上升后下降, 进油腔曲线先下降后上升, 这是由于油液的压缩性和取料小车较大的惯性力造成的。

溢流阀进口压力不变, 仍为 16MPa, 将系统流量调整为 22.5L/min, 取料车增重 50Kg 条件下, 得到的液压缸进出口压力变化曲线如图 5-7 所示。

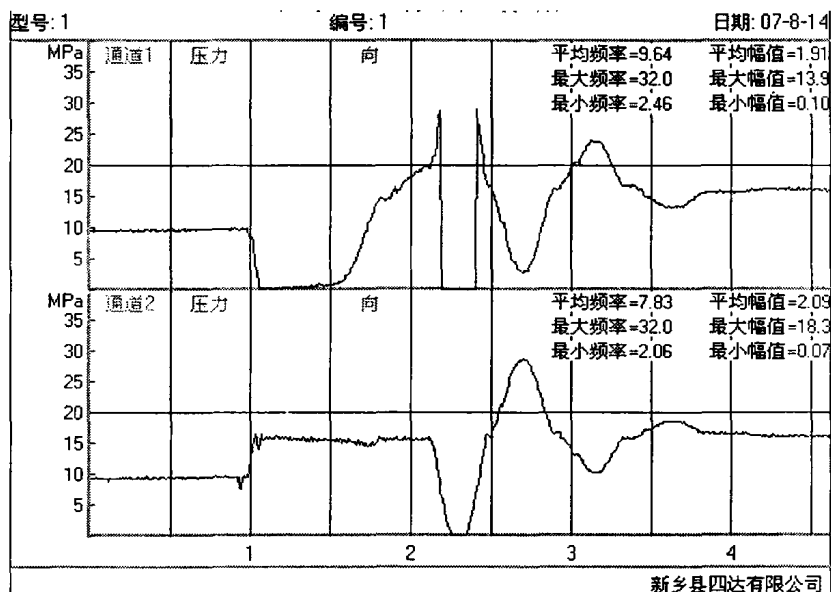


图 5-7 液压缸进口压力为 16 MPa、系统流量为 22.5L/min 条件下压力实验曲线

图 5-7 曲线中 2.2s-2.4s 段没有波峰的原因是, 该压力波动范围超出压力传感器的压力采样范围, 因此以两条竖线显示。从曲线中可以得知, 液压缸启动时间段比上一曲线中的时间段延长, 从 1.1s 至 1.6s, 从调速阀流量上可以得知, 调速阀流量为 22.5L/min, 尽管比上一实验条件中的流量有所增加, 但由于给取料车增加了 50Kg 的重量, 使启动时间延长, 稳速时间段为 1.6s-2.2s, 达不到稳速需

要的 0.8s 时间，因此不能保证取料车在取料过程中结果的科学性，使取样结果失真。液压缸 2.2s 之后开始制动，由于加重后的取料车运动惯性增加、速度增加，因此在液压缸制动后，液压缸内部封存的压力变化震荡加剧，高于图 5-6 中压力的变化幅度，受各类摩擦阻力的影响，液压缸运动逐渐停止，取料结束。

在钢丝绳与取料小车之间加入弹簧，适当降低钢丝绳刚度，来分析进出口油口压力变化趋势，如图 5-8：

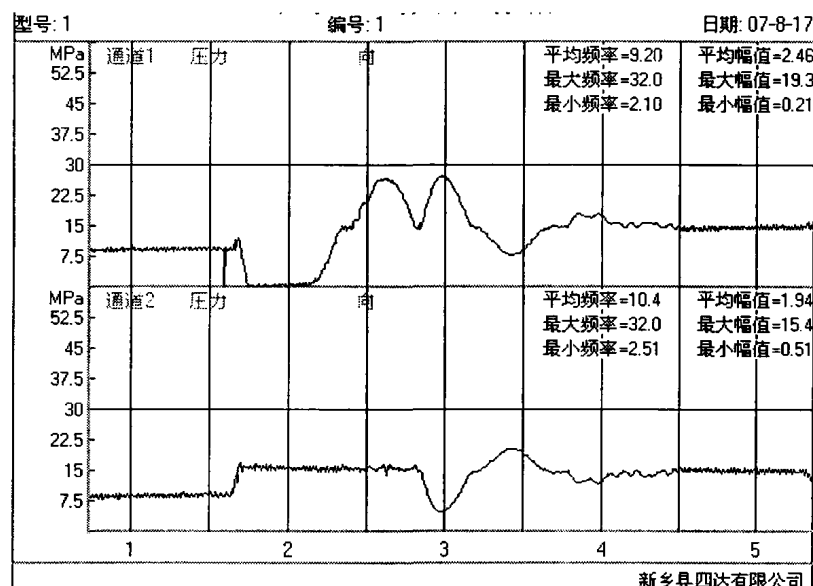


图 5-8

分析得知，从曲线中可以看出，液压缸启动时间段同样比图 5-6 曲线中的时间有所延长，从 1.65s 至 2.2s，由于钢丝绳刚度的降低，使该取样装置的压力、速度曲线波动周期增大，造成稳速过程时间段较短，稳速时间段为 2.2s-2.8，达不到稳速需要的 0.8s 时间，因此不能保证取料车在取料过程中结果的科学性，使取样结果失真。液压缸 2.8s 之后开始制动，由于钢丝绳刚度降低的影响，进出口压力曲线逐步衰减，直至液压缸停止运动，整个取料过程结束。

5.5 仿真结果和实验结果对比总结

图 4-8 仿真结果显示，液压缸从开始运动到换向阀处于中位位置止，进口压力保持恒定，出口压力由于质量——弹簧系统的影响略有波动，出口压力范围从 0~26MPa，直到液压缸在 1.2s 碰到行程开关后，进出口压力几乎成对称衰减变化，衰减周期为 0.8s。

实验曲线图 5-6 中，压力数据采集总时间为 1.4s~2.5s。实验曲线中，进口压力保持恒定，出口压力范围从 0~26MPa，液压缸碰到行程开关后，压力波动周期为 0.9s。

系统仿真结果和实验结果对比表明，液压缸进出口压力变化幅值、频率、趋势较为吻合，该仿真模型是正确可行的。仿真曲线和实验曲线存在一定的误差，

这是由于忽略因素的影响和计算误差而造成的。

这些误差主要包括：

1) 建立仿真模型过程中忽略的一些次要因素。

为了简化模型，在建模时忽略了一些较小影响因素，如液压泵及各种阀的泄漏、摩擦等。

2) 测试仪器的误差。

在实验测量的过程中，测量装置本身存在误差，如仪器本身的精度、仪器的抗干扰性等。

3) 计算机计算和测量过程中产生的误差。

计算机在运算的过程中，会对数据进行舍入，这种误差的积累也是仿真曲线和实验曲线不完全一致的原因之一。

根据仿真结果与实验对比可知，采用 AMESim 建立的仿真模型是正确的，能够代替要研究的取样装置，可以作为进行下一步分析的依据。在系统的其它参数一定的情况下，实验中取溢流阀的压力 16MPa、流经调速阀流量 20L/min、钢丝绳刚度 $1e+6$ N/m、小车质量 300Kg 时系统可以等到较好的稳速效果。

5.6 本章小结

本章根据实验的目的，设计了实验装置和测试系统，搭建与理论设计相配套的实验平台，并介绍了实验设备的工作过程，确定了实验中的一些工作参数，得到实验曲线，与仿真曲线相比，实验曲线对仿真结果进行了较好的验证和补充。最后分析了在实验中的误差因素。

6 影响速度稳定性的主要因素理论分析与实验研究

通过以上分析，仿真模型能够模拟正确的设计系统设计要求，建模方法简单可靠、真实感强，为验证仿真实验结果，设计了现场实验平台，说明了仿真模型的正确可行性，综合得知，影响取样小车速度稳定性的主要因素是取料过程中的外负载变化、牵引钢丝绳刚度大小、取料车质量变化等。

我们可以在仿真系统对主要影响参数改变其参数值，总结其对稳速性能的影响大小，得出更加系统的认识，为以后更加深入的分析和研究提供重要的参考价值。同时也对整个机械/液压系统优化处理等做好铺垫，系统和元件优化设计的目的主要有：提高效率、改善技术性能、提高可靠性、降低成本等^{[25][26]}。

6.1 外负载影响分析

仿真主要参数：取样小车质量为 300Kg；液压油缸进口压力为 16MPa；调速阀液压油流量为 20 L/min；钢丝绳刚度为 1e+006N/m；其它参数以实际工况为准，得到仿真结果。

这里的外负载主要是取料小车在取料过程中水平方向上所受到的下落物料对其前后挡板的撞击力。仿真环境中，在取样车上增加外负载符号如下图 6-1，并运行仿真环境。

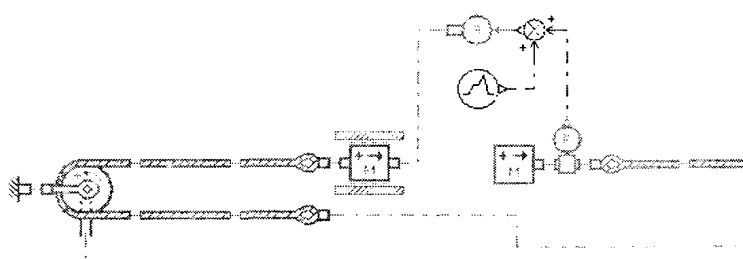


图 6-1 增加外负载图示

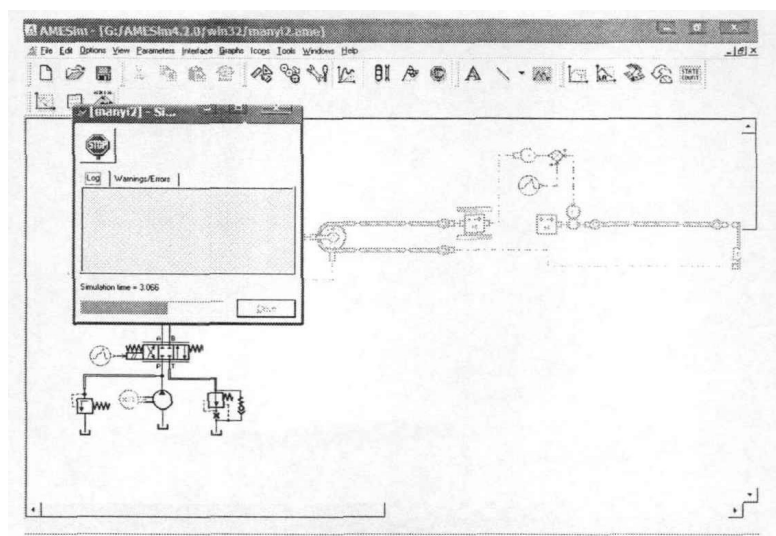


图 6-2 有外负载条件下运行界面

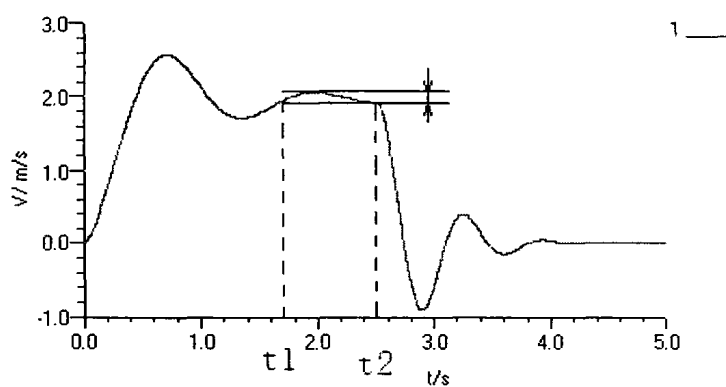
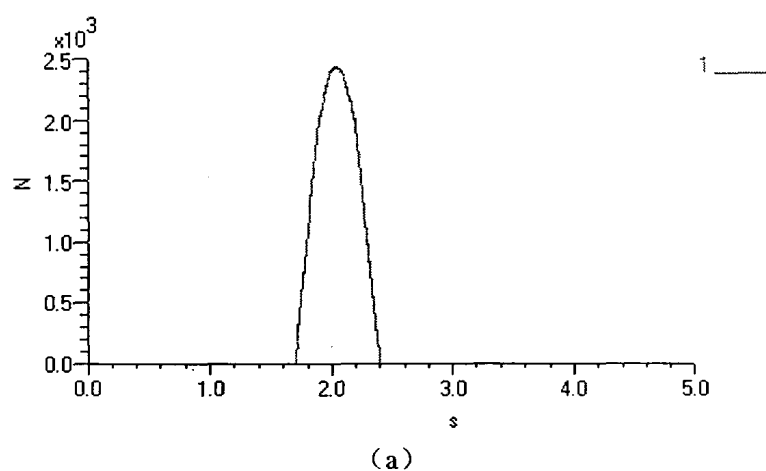
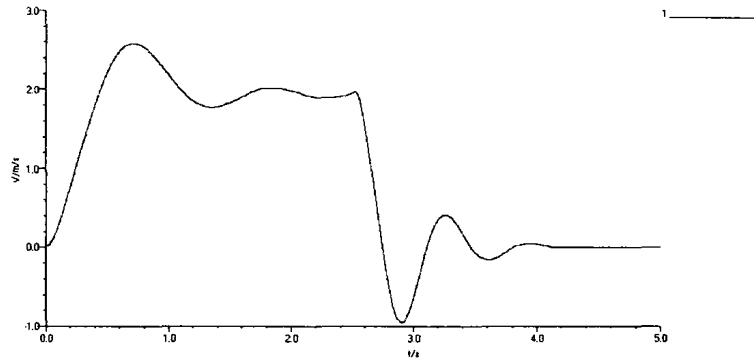


图 6-3 进口压力为 16 MPa、调速阀流量为 20L/min 条件下取料小车空载速度曲线

经过计算和实验验证，本系统中取样小车在水平方向上所受外负载大小的变化如图 6-4 (a) 所示：





(b)

图 6-4 取样车在水平方向上所受外负载大小 (a) 和考虑外负载后 (b) 取料车速度变化曲线
在取料过程中，改变取料小车速度后对取料过程中速度的影响：

在仿真主要参数：取样小车质量为 300Kg；液压油缸进口压力为 16MPa；调速阀
液压油流量分别为 15 L/min 、20 L/min、22L/min；钢丝绳刚度为 1e+006N/m；其它参
数以实际工况为准，得到仿真结果。

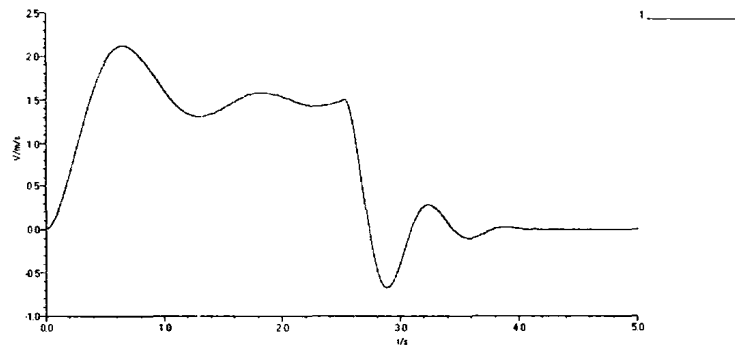


图 6-5 调速阀流量为 15 L/min 条件下取料小车速度曲线

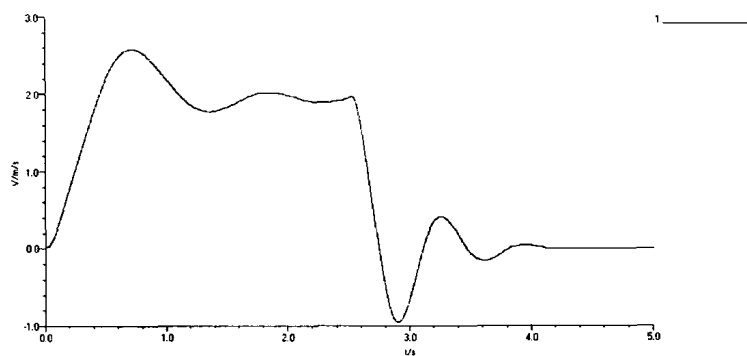


图 6-6 调速阀流量为 20 L/min 条件下取料小车速度曲线

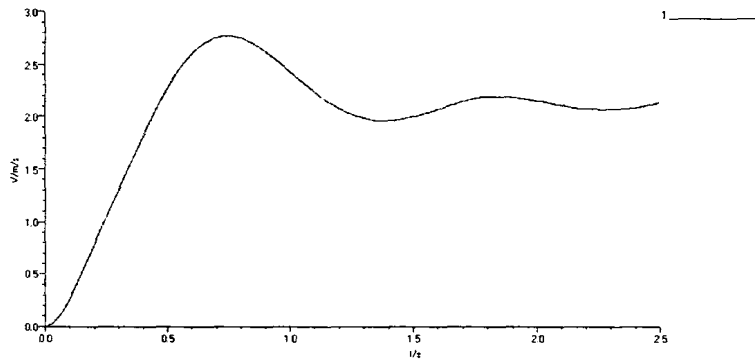


图 6-7 调速阀流量为 22 L/min 条件下取料小车速度曲线

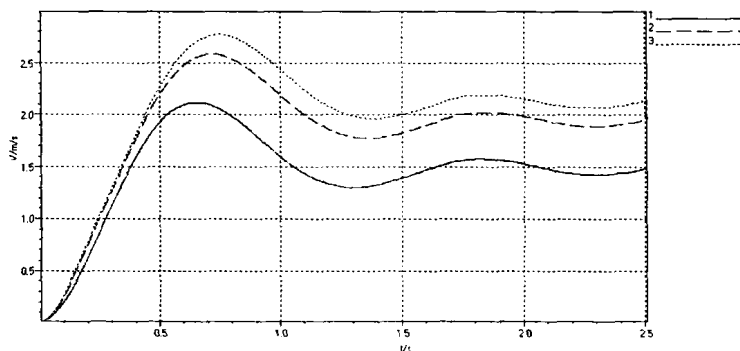


图 6-8 取料车不同速度条件下实验曲线叠加分析

为了满足设计要求, 取料系统应该有一定的抗外负载特性, 仿真和现场实验都表明, 取料小车在取料过程中碰到下落物料时, 速度的变化不大, 其波动在满足系统性能要求的允许范围之内。如果外负载大小根据工程的实际要求继续增大时, 其取料阶段小车速度的波动也将随之变大。因此, 应采取有效措施减小系统的外负载对取料小车受力影响和改变系统其它参数来提高整个系统性能的稳定性。提高和降低取料车运行速度时, 取料阶段速度波动将会随之增大和减小。

理论分析:

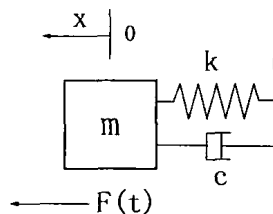


图 6-9 取料装置系统简化

如果将该系统中的取料装置考虑为一弹簧——质量系统 (图 6-9), 得其运动方程为:

$$m\ddot{x} + c\dot{x} + kx = F(t) \quad (6-1)$$

式中:

m ——取料车质量;

c ——系统阻尼;

k ——钢丝绳刚度

在式 $x(t) = \frac{1}{m\omega_d} \int^t F(\tau) e^{-\xi\omega_n(t-\tau)} \sin \omega_d(t-\tau) d\tau$ 中:

ω_n ——系统无阻尼固有频率, $\omega_n = \sqrt{\frac{k}{m}}$

ξ ——系统的阻尼比, $\xi = \frac{c}{2\sqrt{mk}}$

ω_d ——有阻尼固有频率, $\omega_d = \sqrt{1-\xi^2} \omega_n$

在取料车运行过程中的某一时刻我们可设 $F(\tau)$ 为常量, 因此上式可简化为:

$$x(t) = \frac{F}{k} \left[1 - \frac{e^{-\xi\omega_n t}}{\sqrt{1-\xi^2}} \cos(\omega_d t - \varphi) \right] \quad (6-2)$$

式中:

$$\varphi = \arctan \frac{\xi}{\sqrt{1-\xi^2}}$$

上式两边对 t 求导:

$$\dot{x}(t) = \frac{F e^{-\frac{c}{2m}t}}{\sqrt{4mk - c^2}} \sin \omega_d t \quad (6-3)$$

从式 6-3 中可以看出, 取料车速度的波动与系统的弹簧刚度 k 、激振外力 F 等因素有关。因此提高 k 值和降低 F 值都可以降低其对速度波动的影响。如果在此装置中保持 k 值一定, 则影响取料小车速度稳定的主要因素就是外负载变化。因此应该在仿真系统中得出该外负载对取料装置速度波动影响能力大小, 如果超出系统允许的稳速范围, 则应该考虑通过设法减小外负载对取料小车在取料过程中的受力影响来改进设计。

从图 6-3 中可以看出, 取样车空载运行时, 速度波动经过 1.5s 左右的调整, 在 1.7s~2.5s 之间保持速度稳定, 即 t_1 - t_2 时间段。该波动范围满足装置的稳速设计要求。

在仿真模型中加入外负载后如图 6-4 (a), 该系统在取料过程中速度曲线如图 6-4 (b) 所示, 从图 6-4 中可以看出, 在此过程中, 外负载的变化对取料车的影响大小在允许范围之内。当外负载幅值继续增大时, 速度的波动也将随之变大。因此, 应采取有效措施减小系统的外负载对取料车受力的影响。

在有外负载影响的条件下, 从图 6-8 对比得知, 如果提高取样小车的运行速度, 在取料过程中, 其对取料车的速度影响稍大, 低速情况下效果较不明显, 因此应当适

当降低取料车运行速度，但速度降低之后也会带来一系列问题，比如需要改进取料机构设计，在低速运行下，所取物料样本质量会大于高速运行条件下的所取样本质量，因此需要对取料小车的上端开口度等结构进行改进，同时也会带来一系列的其他问题。因此，在满足设计要求的前提下，该 2m/s 的运行速度完全满足工程指标，抗外负载影响能力较强。

由于该回路使用的调速阀是由减压阀与节流阀串联而成，只要调速阀进出口压力差达到其工作压力（0.5MPa），其输出流量就由调速阀的开口来决定。通过节流阀的流量公式：

$$q = C_d A_0 \sqrt{\frac{2\Delta P}{\rho}} \quad (6-4)$$

$$q = Av \quad (6-5)$$

式中：

q ——通过节流阀的流量；

C_d ——流量系数，此处为一定值；

A_0 ——节流阀小孔的界面值；

ΔP ——节流阀进出口两端的压力差；

ρ ——油液密度，为一定值；

A ——液压缸活塞杆截面面积；

v ——液压缸运行速度。

可以看出， C_d 、 A_0 、 ρ 都为常量，由于减压阀的压力补偿作用，节流阀进出口的压力差 ΔP 为一定值，那么上式中通过节流阀的流量 q 就为一定值，又由 A 为定值知，液压缸的运行速度 v 为一定值，保持不变。

另外，在液压系统的设计中，为保证执行元件的最小稳定速度。必须保证通过执行元件的最小稳定流量。

稳定措施：使调速阀正常工作，或采用结构改进式设计的调速阀设备。

在液压阀正常工作情况下，液压缸的泄漏将会降低工作小车的运动速度。液压缸的泄漏一般分为内泄漏和外漏两种情况^[27]。内泄漏容易出现压力不足、运动速度缓慢和工作不平稳等现象，外漏还将导致环境的污染。另外通过泄漏量也可判断出液压缸内磨损的情况^[28]。

图 6-10 为液压缸泄漏示意图，进油端流量 Q_1 ，压力 P_1 ，出油端流量 Q_2 ，压力 P_2 ，

泄漏压力为 ΔP ，泄漏流量为 ΔQ 。

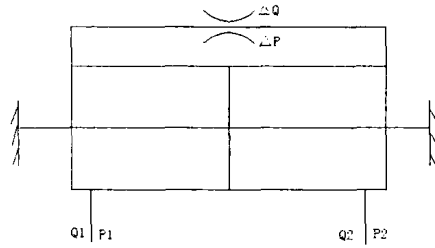


图 6-10 液压缸泄漏示意图

由于 P_1 值由溢流阀保持恒定， $P_1 A = P_2 A + F_{\text{负}} + F_{\text{阻}}$ ，当负载力增大时， P_2 将会相应降低，从而使 ΔP 、 ΔQ 升高。并且出油端 $Q_2 = AV + \Delta Q$ ，但通过调速阀的流量为一定值，根据公式： $V = \frac{Q_1}{A}$ 知，造成小车速度 V 的降低。实验中通过发现及解决液压缸的泄漏问题，使测量结果能够得到正确的压力变化曲线。

稳定措施：消除液压缸的故障和泄露，使液压缸运动平稳^{[29][30][31][32]}。

6.2 钢丝绳刚度影响分析

仿真主要参数：取样小车质量为 300Kg；液压油缸进口压力为 16MPa；调速阀液压油流量为 20 L/min；将取料装置中的钢丝绳刚度降低为 $1e+005\text{N/m}$ ，其它参数以实际工况为准，得到仿真结果曲线如图 6-11 所示：

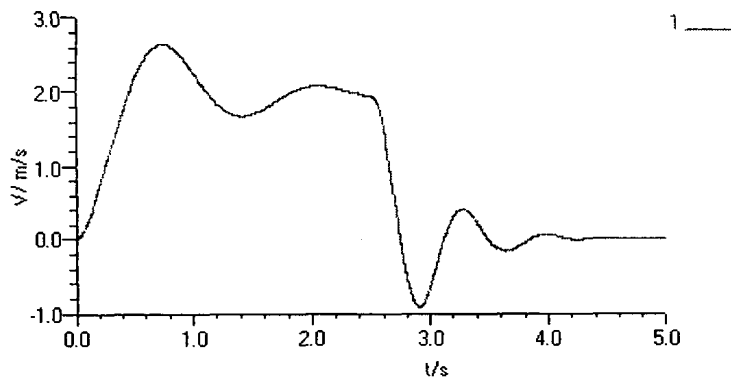


图 6-11 钢丝绳刚度为 $1e+005\text{N/m}$ 时取料小车速度曲线

改变钢丝绳的刚度，分别改为 $1e+5\text{N/m}$ 、 $1.5e+5\text{N/m}$ 、 $1e+6\text{N/m}$ 、 $1.5e+6\text{N/m}$ 、 $1e+7\text{N/m}$ 后，得到一系列速度仿真曲线，叠加分析如图 6-13。

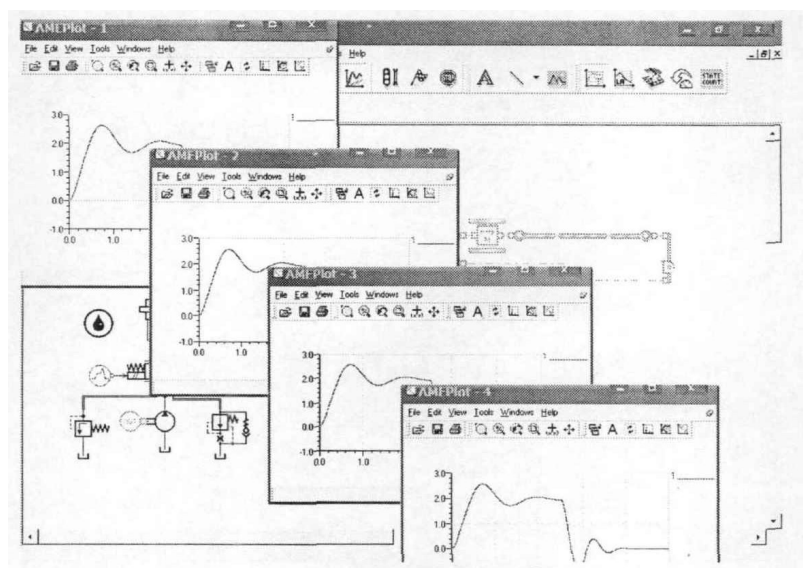


图 6-12 多次仿真结果

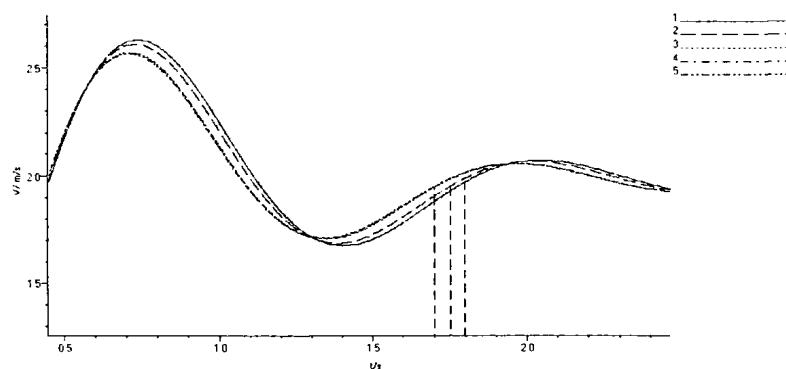


图 6-13 速度曲线叠加分析

表 6-1 钢丝绳不同的刚度下达到稳速时间

钢丝绳刚度	达到稳速时间	能否满足稳定时间要求
1e+5N/m	1.8s	不能
1.5e+5N/m	1.75s	不能
1e+6N/m	1.7s	能
1.5e+6N/m	1.7s	能
1e+7N/m	1.7s	能

在取料过程中，改变钢丝绳刚度后对取料车速度影响：

由表 6-1 中，在满足稳定时间段的要求下，取钢丝绳刚度 1e+6N/m 为该系统的标准刚度，其效果已于图 6-6 予以显示，作为对比，现更改钢丝绳刚度为 1e+7N/m 后，在取料过程中的速度变化趋势：

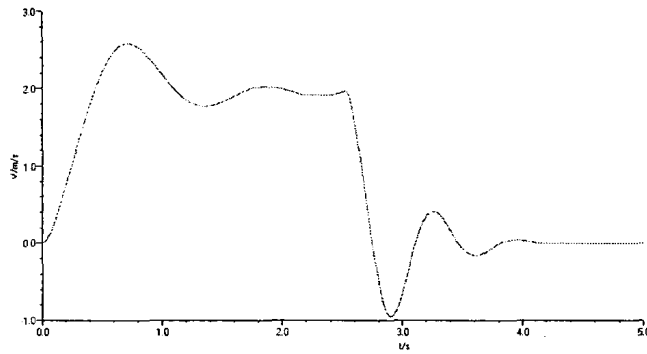


图 6-14 钢丝绳刚度为 $1e+7\text{N/m}$ 时取料过程中小车速度曲线

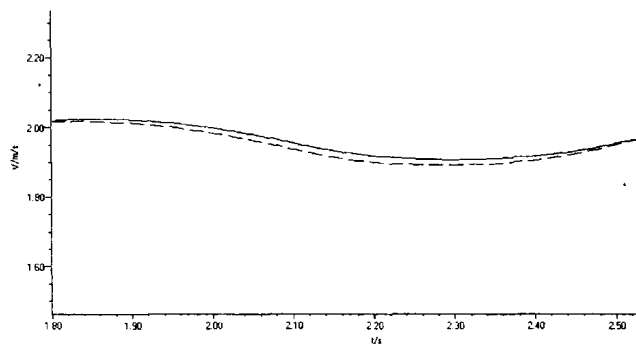


图 6-15 刚度分别为 $1e+7\text{N/m}$ (线 1) 、 $1e+6\text{N/m}$ (线 2) 效果对比分析

为了满足取料车有一定的匀速运动时间段，应该选择合适的钢丝绳刚度，钢丝绳刚度减小时，速度波动周期变大，稳速时间短，不能满足速度稳定所需时间。在取料过程中为了满足整体系统的抗外负载能力，应该适当提高钢丝绳刚度，在一定程度上改善取料车速度降低程度。

根据式 6-3 知，取料车速度的波动与系统的弹簧刚度 k 等因素有关，改变 k 值大小将会影响取样装置速度波动的固有频率等。为了降低速度的波动影响，应当适当提高钢丝绳刚度。

根据表 6-1 可知，当系统的其它参数一定时，当钢丝绳的刚度分别为 $1e+5\text{N/m}$ 、 $1.5e+5\text{N/m}$ 时，其稳速时间分别开始于 1.8s 和 1.75s，不能满足 1.7s 至 2.5s 之间的稳速过程。当系统的其他参数一定时，钢丝绳刚度减小时，速度波动周期变大，启动时间增长，不能得到满足要求的稳速时间。多次仿真发现，当钢丝绳刚度大于 $1e+006\text{N/m}$ 后，其对稳速时间的影响将几乎不再变大。因此应该根据时间工作条件要求，采用刚度合适的钢丝绳。对本系统而言，取钢丝绳刚度为 $1e+006\text{N/m}$ 对稳速时间段和稳速效果都比较符合设计要求。

6.3 取样装置质量影响分析

仿真主要参数：液压油缸进口压力为 16MPa；调速阀液压油流量为 20 L/min；钢丝绳刚度为 $1e+006\text{N/m}$ ；改变取样小车质量的大小，分别为 200Kg、250Kg、300Kg、

400Kg、500Kg, 其它参数以实际工况为准, 得到仿真结果如图 6-16、6-17、6-18、6-19、6-20。

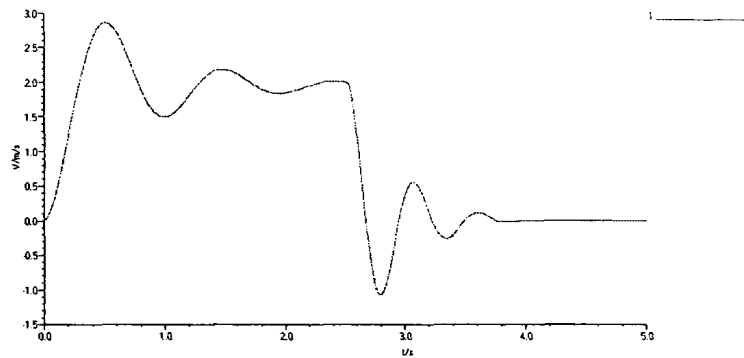


图 6-16 取料小车质量为 200Kg 条件下的速度曲线

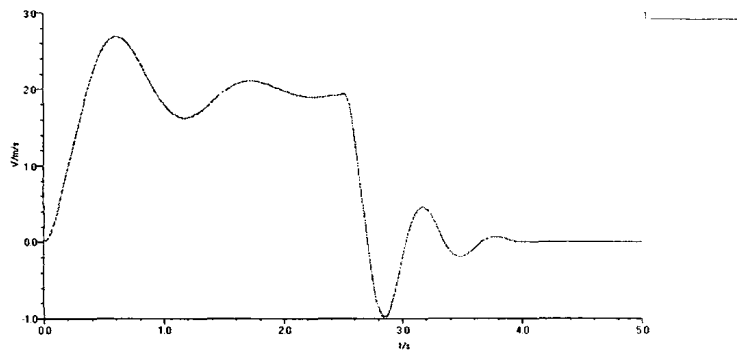


图 6-17 取料小车质量为 250Kg 条件下的速度曲线

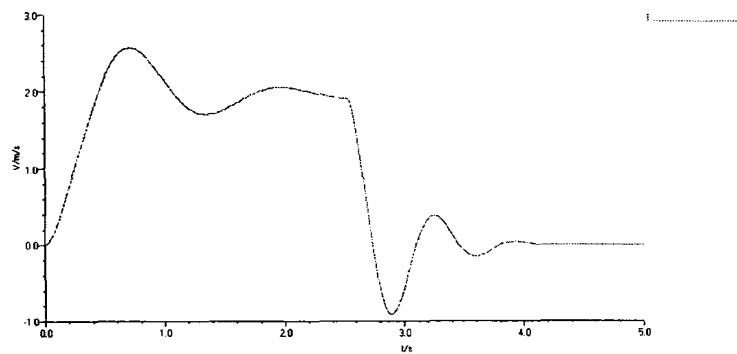


图 6-18 取料小车质量为 300Kg 条件下的速度曲线

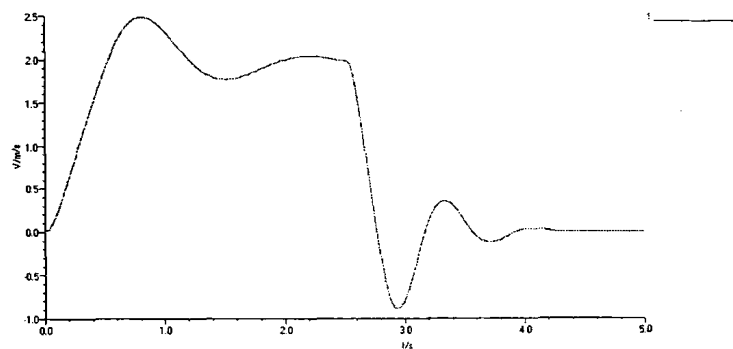


图 6-19 取料小车质量为 400Kg 条件下的速度曲线

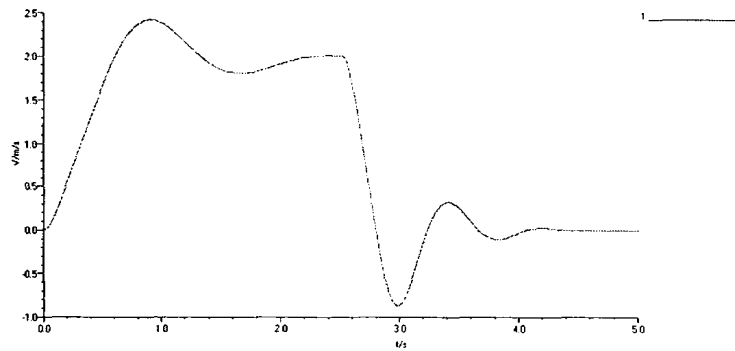


图 6-20 取料小车质量为 500Kg 条件下的速度曲线

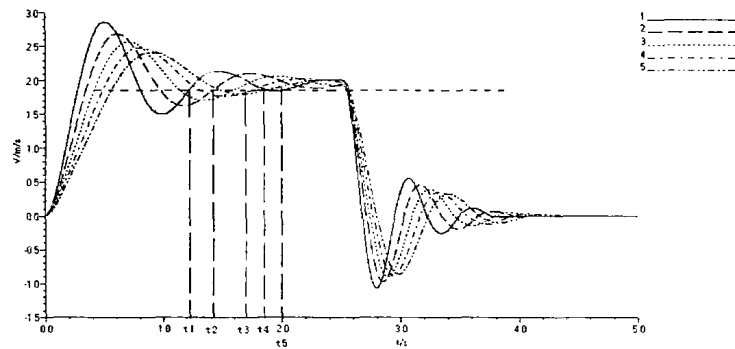


图 6-21 曲线叠加分析

表 6-2 取样车不同的质量下取料车达到稳速时间

取样车质量	达到稳速时间	能否满足稳速时间要求
200Kg	1.25s	能
250 Kg	1.45s	能
300 Kg	1.7s	能
400 Kg	1.85s	不能
500 Kg	2s	不能

在取料过程中，改变取料小车质量后对取料小车的速度影响：

改变取样小车质量的大小，改为 250Kg，其它参数以实际工况为准，得到仿真结果如图 6-22。

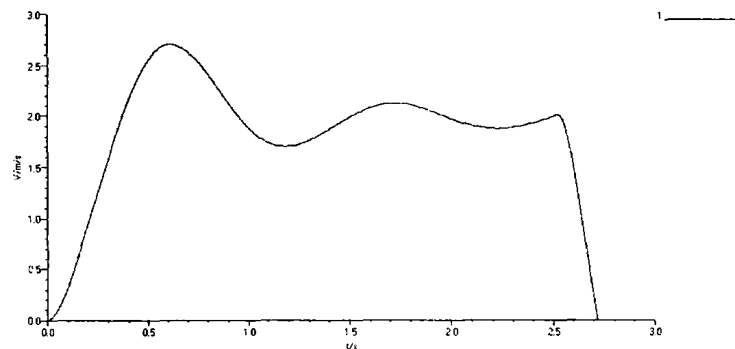


图 6-22 取料小车质量为 250Kg 时在取料过程中的速度变化曲线

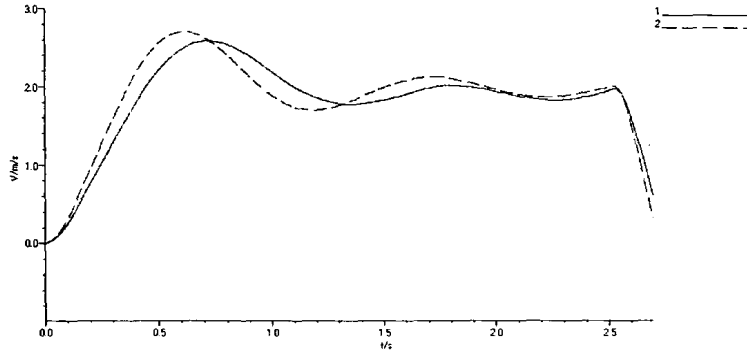


图 6-23 质量分别为 300Kg (线 1)、250Kg (线 2) 效果对比分析

为了满足取料车有一定的匀速运动时间段, 应该选择合适的取料车质量, 取料车质量较小时, 启动时间缩短, 速度波动周期变小、波峰增加; 取料车质量较大时, 启动段较长, 速度波动周期变大, 稳速时间短。在取料过程中为了满足整体系统的抗外负载能力, 应该适当减小取样车质量, 来得到较好的速度稳定效果。

由 6-3 式知, 取料车速度的波动与取料装置中的取料车质量等因素有关。取料小车质量的改变将会影响取样装置速度波动曲线的固有频率和峰值等。因此改变取料车质量可以改变其对速度波动的影响。

从表 6-2 可以看出, 取料小车质量为 200Kg 时, 速度波动周期变小, 起动时间缩短, 在 1.25s 时刻速度即达到 2m/s。但速度波动较大, 稳速效果较差。取样小车质量为 500Kg 时, 速度波动周期变大, 速度波动较小, 但起动时间延长, 稳速时间短, 不能满足取样要求。在取料过程中, 适当减小取料车质量, 对速度稳定性较好。同时考虑到取料车本身的刚度设计, 取料车质量不可能无限减小, 因此应该根据理论设计来适当减小取料车质量。对本系统而言, 取料车质量取 300Kg 对稳速时间段和稳速效果较好, 比较符合工程实际设计要求。

另外, 在现有系统参数的允许范围内, 改变系统中摩擦力等其他因素大小可知, 对取样小车的速度影响不大。

综合以上影响因素可知, 在 1.7s-2.5s 短距离匀速取料过程中, 外负载的变化对取样小车的速度影响最大, 在现场工作中应设法减小外负载对取料车受力的影响, 增加钢丝绳刚性和适当减小取料小车质量, 提高取样小车速度的稳定性。

通过大量对比仿真曲线和实验结果可知, 当溢流阀调定压力大于 16MPa 时, 对起动时间影响不大, 但会增加起动过程中的速度波动, 因此可认为液压缸进口压力为 16MPa、调速阀流量为 20L/min 时对本系统较为合适, 这也与实验结果相符。

为了研究对起动过程中速度波动的影响, 在取样装置其他参数不变的情况下, 通过改变溢流阀的调定压力, 得到一系列仿真曲线, 仿真主要参数: 取样小车质量为 300Kg; 液压油缸进口压力分别为 3MPa、7MPa、16MPa、25MPa; 调速阀液压油流量为 20 L/min; 钢丝绳刚度为 $1e+006$ N/m; 其它参数以实际工况为准, 得到仿真结果。

不同的溢流阀调定压力下取样车运行速度变化图如图 6-24、6-25、6-26、6-27 所示:

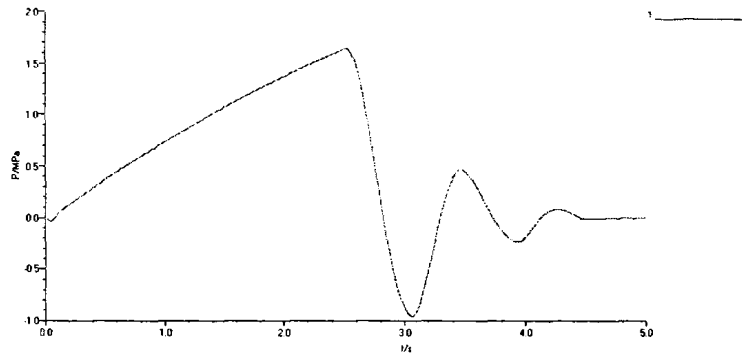


图 6-24 溢流阀调定压力在 3MPa 条件下的速度曲线

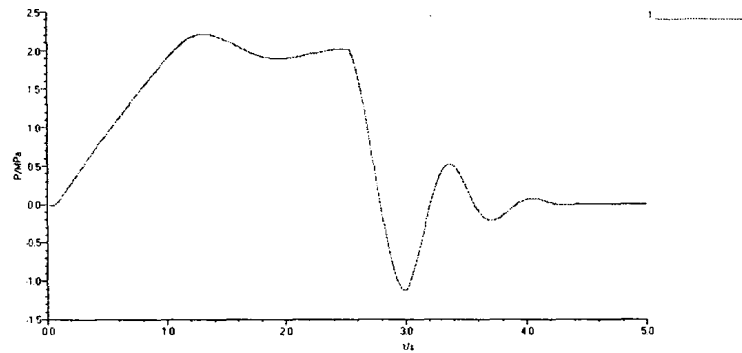


图 6-25 溢流阀调定压力在 7MPa 条件下的速度曲线

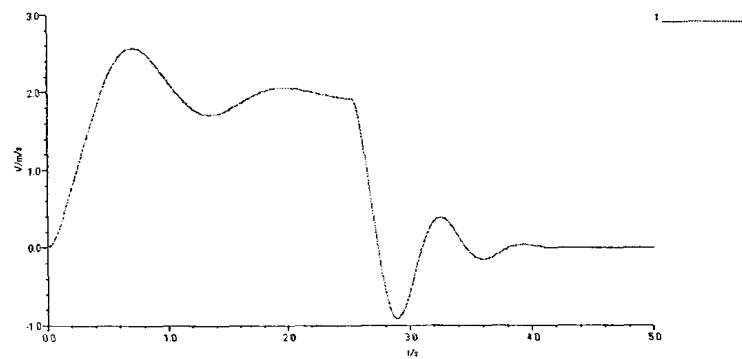


图 6-26 溢流阀调定压力在 16MPa 条件下的速度曲线

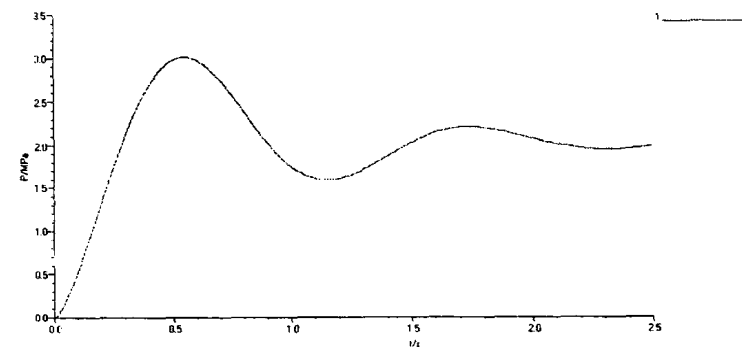


图 6-27 溢流阀调定压力在 25MPa 条件下的速度曲线

综合以上曲线，对比分析如图 6-28 所示。

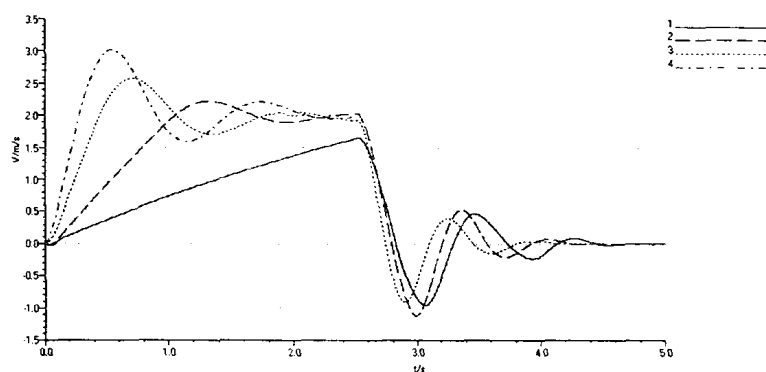


图 6-28 取样车速度曲线对比图

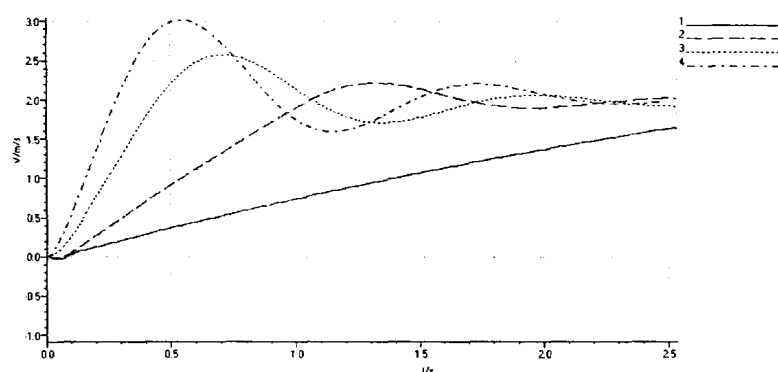


图 6-29 运行阶段局部放大图

由上图 6-29 对比可知, 不同的溢流阀调定压力下对取样车运行速度变化影响如表 6-3 所示。

表 6-3 溢流阀不同调定压力下对稳速的影响

溢流阀调定压力	达到稳速时间	能否满足稳定效果要求
3 MPa	大于 2.5s	不能
7 MPa	1.6s	能
16 MPa	1.7s	能
25 MPa	1.4s	能

同时考虑到液压缸进出口压力的冲击影响(图 6-30、图 6-31), 对比效果已由另篇论文详细说明, 此处仅列举大致效果图示:

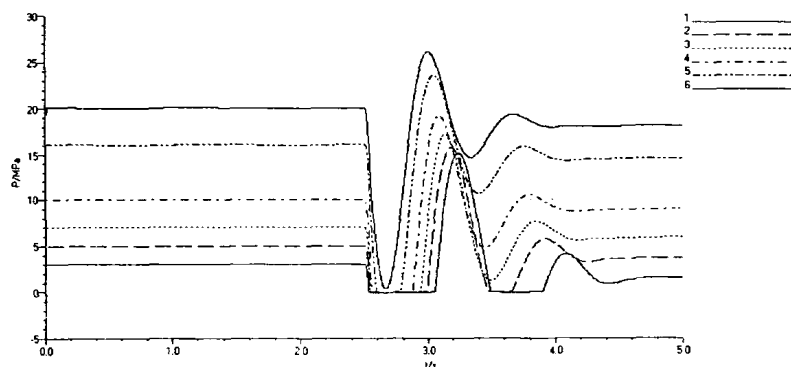


图 6-30 液压缸进口压力冲击

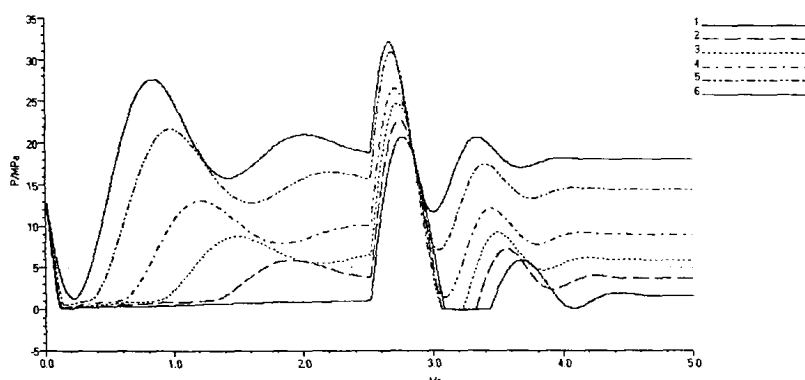


图 6-31 液压缸出口压力冲击

由以上综合分析得知：

(1) 溢流阀调定压力过低如 3MPa 时，取料小车达到稳速时间段的时间较长。当溢流阀的调定压力过低时，取样小车在有效行程范围内，将无法达到速度稳定的要求（图 6-24），造成取样失真。

(2) 溢流阀调定压力较高时能够使取样装置很快达到稳定运行状态，得到的稳速时间段较长，从而保证取样小车最低 0.8s 的稳定时间。但当溢流阀的调定压力超过 16MPa 时，会造成系统压力的急剧变化（图 6-30、6-31），造成较大的液压冲击，超出设计要求许可范围，同样应该舍弃。

可知，系统在溢流阀调定值越大时，启动较为迅速，稳速时间段较长，但液压缸进出口压力同时冲击也较大，故不宜过大，针对本系统的设计要求，液压缸的进口压力选取 16MPa 较为合适。

6.4 系统设计改进建议

为了减少系统的外负载对取料过程中取料车速度稳定性的影响，我们提出几种改进方案：

(1) 将取料斗向取料运动方向倾斜适当角度。

在取料过程中我们可以将该取料车朝其运行方向倾斜一定的合适角度，其效果等同于减小下落物料对取料车前侧面的撞击力（图 6-32）。

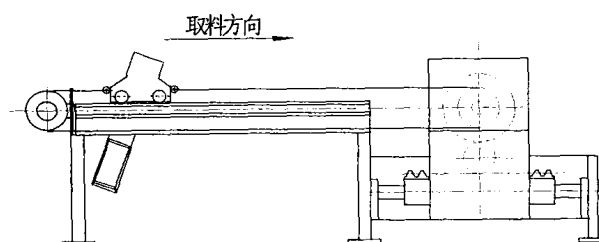


图 6-32 将取料斗倾斜一合适角度

当取料车按图 6-32 示方向经过下落物料流时，实验中可以得出，下落物料对后侧面的撞击力将会水平方向上产生一个分力，这个分力能够产生对取料车的加速影响，从而大大减少了对取料车的速度影响。

(2) 在取料车两侧各增加一“帽檐”。

如果在取料车两侧各增加一倾斜帽檐(如图 6-33 所示),在取料过程中,下落物料落会撞击前侧倾斜挡板,效果表明能够保证取料车的前侧面不受物料流的撞击,减少了水平方向上对取料车的阻力值,等同于改善稳速性能。

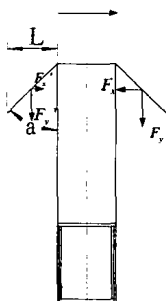


图 6-33 取料车增加“帽檐”

分析得知,竖直方向上的分力只增加取料车与导轨之间的摩擦力,由于取料车与导轨之间的接触属于滚动摩擦,计算出的摩擦力很小,因此可以忽略不计。总之,此方案简单、容易实验,从而较好地改善系统性能。

(3) 适当提高该取样装置的刚性和减小取料车的质量。此方法可以从实验和仿真中进一步深入研究。以期获得更佳的原始设计参数。

6.5 本章小结

本章首先在理论上分析了影响取料小车的影响因素,然后对该机械/液压系统进行了仿真分析,通过对主要影响因素的修改和仿真,并对结果进行了对比与分析。得出了系统合适的运行参数。最后提出几点改进建议,同时也可以作为本课题深入研究的方向。

7 总结与展望

7.1 工作总结

本文对郑州大学和新乡四达有限公司联合为首钢研制的一套在线粒度检测系统中的取样装置作为研究对象,并进行了深入的研究,结合理论分析和实验验证,对取样装置取料过程中的稳速问题进行了研究。根据取样装置的工作原理图,作者选择了合适的子模型,利用 AMESim 软件对该系统的速度负载特性进行了仿真分析,得出合适的系统各参数值。同时,利用相关实验平台和微机测试系统对仿真模型的正确性进行验证。并利用仿真结果对系统中影响取料过程中速度稳定性的主要参数进行分析,得出如下结论:

1、由仿真结果可以看出,所建立的仿真模型比较准确,可以作为下步分析的依据;

2、综合考虑各因素影响,在其它参数一定的情况下,取溢流阀的压力 16MPa、流经调速阀的流量 20L/min、钢丝绳刚度 $1\text{e}+6\text{N/m}$ 、小车质量 300Kg 时系统能够获得比较满意的稳速性能要求,性能较好;

3、利用已经建立的仿真模型可以对具体各参数进行改进设计,并通过模型仿真曲线指导结构设计,从而可以大量减少设计中的错误并节省研制费用,缩短研究周期,减小研制成本。

4、AMESim 软件简单易学,是一个非常优秀的液压/机械系统建模、仿真软件,非常有必要在今后的产品设计、研制工作中进一步使用;

7.2 工作展望

本课题可在以下方面进一步展开研究:

1) 对于影响速度稳定过程中的参数,可采用优化技术进行进一步匹配,使系统性能达到最佳。

2) 可采用 AMESim 与 MATLAB / Simulink 的联合仿真。采用 AMESim 和 Simulink 联合仿真技术能够运用了两个仿真软件各自的特点,相互取长补短,既体现了 AMESim 在液压控制系统建模的直观、简便,又利用了 Simulink 强大的数据处理能力。并且在 MATLAB 里能够详细的考虑对整个系统影响的各个因素,如容性元、惯性元等,改变具体的每一参数,得到更加全面的分析。

3) 可以在 AMESim 中,建立更加精细的模型,使仿真曲线更加接近实际,以减小仿真产生的误差。在现场实验中加入测速仪,以分析对比更加真实的速度变化。

4) 可以尝试其他仿真工具。

致谢

本论文是在导师马胜钢教授的精心指导下完成的，不管是在该课题的准备、研究和完成的各个阶段，马老师都对我给予认真的指导和帮助，导师渊博的专业知识、严谨的治学态度以及平易近人的人格魅力，都给我在整个研究过程中留下深刻印象，让我明白了一位研究者所拥有的崇高品质。导师对知识的敏锐把握、对问题的独到见解以及深刻的洞察力都给人以启迪，不仅让我感受到学术的严谨和客观的性质，而且让我学会了更多的社会经验，懂得如何做人，所有的这一切都会让我终生受益，在此论文圆满完成之际，谨向马老师致以我最诚挚的敬意和深深的感谢！

感谢新乡四达公司的领导和职工们的大力帮助。四达公司为了本实验的顺利完成，调配专门的人力、物力、财力支持本现场实验作业，实验的顺利完成也包含着他们的巨大功劳。在此，向他们表示衷心的感谢。

感谢所有机制教研室的老师们在我攻读硕士学位期间对我无私的帮助。

感谢董万城师兄对该系统装置的前期分析，为该课题的深入研究做好铺垫。感谢卢丽、黄志建同学三年来对我的照顾和帮助，同时感谢师弟赵俊波、师妹付盼娣以及张智慧同学的大力帮助。

同时，衷心地感谢我的其他同学们，是他们陪伴我度过了研究生三年的美好时光，让我感受到了家的温暖。

特别感谢养育我、关心我的父母和家人多年来对我的细心关怀和爱护。他们的支持和鼓励是我人生中最大的精神支柱。

最后，感谢所有关心、支持和帮助我的人们！祝他们幸福安康！

参考文献:

- [1]史志远, 朱真才. 煤流采样机开发[J]. 煤矿机械, 2006.1(1): 118-120.
- [2]张鸿玉. 带式输送机自动定时采样机的研制与应用[J]. 福建能源开发与节约, 2002(4): 13-18.
- [3]Zaitsev VD, Sclyar PT. New equipment for sampling minerals[J]. Tyazheloe Mashinostroenie.1991(06):38-39.
- [4] E Jordison. 自动取样机的展望[J]. Chem Eng.1978, 1985(24):103-107.
- [5]吴亚锋, 郭军. 基于 AMESim 的飞机液压系统仿真技术的应用研究[J]. 沈阳工业大学学报, 2007.8(29): 368-371.
- [6]李华聪, 李吉. 机械 / 液压系统建模仿真软件 AMESim [J]. 计算机仿真, 2006.12(12): 294-297.
- [7]吴跃斌. 液压仿真软件 ZJUSIM 的开发与参数优化研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2004: 3-7.
- [8]Eko Andianto. Modeling, simulation and control of an earthmoving vehicle powertrain simulator[D]. U.S.A: Texas A&M University, 1997, 4.
- [9]陈鹰. 面向创新的液压仿真技术[J]. 液压气动与密封, 2003(4): 16-20.
- [10]W.Backe, W.Hoffmann. DSH-Program System for Digital Simulation of Hydraulic Systems[A]. The 6th International Fluid Power Symposium, 1981:95-114.
- [11]董万城. 一种新型高速取样装置外负载特性的理论分析与实验研究[D]. 郑州: 郑州大学, 2008.
- [12]何存兴. 液压元件[M]. 北京: 机械工业出版社, 1981: 5.
- [13]孙恒, 陈作模. 机械原理[M]. 北京: 高等教育出版社, 2003: 162-163.
- [14]机械设计手册. 第四卷/机械设计手册编委会编著[M]. 北京: 机械工业出版社, 2004.8.
- [15]刘鸿文. 材料力学. 北京: 高等教育出版社[M], 2004: 40-41.
- [16]江玲玲. 基于 AMESim 的液压系统动态特性仿真与优化研究[D]. 西南科技大学, 2007: 9.
- [17]刘海丽. 基于 AMESim 的液压系统建模与仿真技术研究[D]. 西北工业大学, 2006: 43.
- [18]T.kohda, T.Nakada. Introduction of Bond Graph Simulation Program (BGSP)[J]. Fluid Power (Proceedings of the Second JHPS International Symposium on Fluid Power), 1993, 173-182.
- [19]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.
- [20]Frank M.White. Fluid Mechanics[M]. 北京: 清华大学出版社, 2004.
- [21]S.R.Hull, D.E.Bowns. The Development of an Automatic Procedure for the Digital Simulation of Hydraulic Systems[J]. Computer Aided Design in High Pressure Hydraulic Systems, 1983: 67-72 Pressure Hydraulic Systems, 1983: 67-72.
- [22]机械设计手册. 第四卷/机械设计手册编委会编著[M]. 北京: 机械工业出版社, 2004, 8.
- [23]周新年. 架空索道理论与实践[M]. 北京: 中国林业出版社, 1996: 14—27.
- [24]王伯雄, 王雪, 陈非凡. 工程测试技术[M]. 北京: 清华大学出版社, 2006.
- [25]Tollenaere, M. Benefits of an Object Based Approach for the Development of an Intelligent CAD

System[A].Proceedings of AIENG'92 Applications of Artificial Intelligence in Engineering, 1992.

[26]Schechner,Y.CAD Shines in Hydraulic Manifold Design[J].Hydraulics&Pneumatics, 1990,43(3) : 16-17.

[27]姚碎全. 浅谈液压缸的泄漏问题[J] . 液压气动与密封, 2003,(2) : 29-32.

[28]梁彪, 徐莉萍. 液压缸内泄的检测及修复[J] . 工程机械, 1997,(4) : 34.

[29]周恩涛, 李建勋, 林君哲. 液压缸活塞密封性能的有限元分析[J]. 润滑与密封, 2006,4(4) : 84-89.

[30]彭国君, 刘振明, 王 翀. 液压缸密封装置的分析与研究[J]. 煤矿机械, 2001,(1) : 33-34.

[31]杨存智. 液压缸运动平稳性分析与研究[J]. 煤矿机械, 2005 (11): 62-64.

[32]张磊. 实用液压技术 300 题[M] . 北京: 机械工业出版社, 2002.

[33]邓习树. 当前液压系统仿真技术发展现状及趋势[J] . 机床与液压, 2003(1): 20-22.

攻读学位期间取得的研究成果

- [1]董贯中, 马胜钢, 卢丽, 黄志建. 新型高速取样装置速度稳定性的分析与研究. 机床与液压, 2009 年第 12 期
- [2]黄志建, 马胜钢, 董贯中, 卢丽. 粒度精确分级筛筛分效率的实验研究. 矿山机械, 2008 年第 19 期