

## 摘 要

针对目前国产的汽车驻车制动操作手柄总成试验系统普遍存在控制精度低、测试项目少、自动化程度低等现象,本文采用机电伺服、气动伺服闭环控制等技术对其进行设计研究。

首先,本文对操作手柄总成的结构及工作原理进行了分析研究,并依据 46210—D82A0 驻车制动操纵手柄总成试验大纲试验项目评价标准,确定了试验系统主要由冲击强度试验台、高低温环境性能试验台和总成强度试验台三部分组成,并由一套控制系统分别来进行控制。然后对试验系统的机械结构、加载系统和测力测变形系统分别进行了设计。最后对试验系统的电气控制部分进行了设计,并通过框图形式对试验系统的工作流程、软件控制流程及各系统软件模块进行了研究设计。

**关键词:** 驻车手柄 试验系统 伺服系统 闭环控制

## **ABSTRACT**

View of the current China-made cars in parking brake operating handle assembly test system common control accuracy is low, a small test project, the phenomenon of low degree of automation, this paper, electromechanical servo-pneumatic servo-loop control technology to design their research.

First of all, the paper operating handle assembly structure and working principle was analyzed ,and based on 46210-D82A0 parking brake control handle assembly test program pilot project evaluation criteria to determine an experimental system mainly consists of the impact strength test-bed, high-low temperature performance test stations and assembly strength test bench composed of three parts, respectively, by a control system to control it. Then the mechanical structure of the test system, loading system and measuring deformation measurement system has been designed, respectively. Finally, the electrical control part of the test system has been designed, and block diagram form of the test system through the workflow, the software control flow and the system software modules of the research and design.

**Keywords: Parking Handle Test System Servo System Closed-loop control**

## 长春理工大学硕士学位论文原创性声明

本人郑重声明：所呈交的硕士学位论文，《驻车制动操作手柄总成试验系统》是本人在指导教师的指导下，独立进行研究工作所取得的成果。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作品成果。对本文的研究做出重要贡献的个人和集体，均已在文中以明确方式标明。本人完全意识到本声明的法律结果由本人承担。

作者签名：韩吉 2010年 3月 24日

## 长春理工大学学位论文授权使用授权书

本学位论文作者及指导教师完全了解“长春理工大学硕士、博士学位论文版权使用规定”，同意长春理工大学保留并向国家有关部门或机构送交学位论文的复印件和电子版，允许论文被查阅和借阅。本人授权长春理工大学可以将本学位论文的全部或部分内容编入有关数据库进行检索，也可采用影印、缩印或扫描等复制手段保存和汇编学位论文。

作者签名：韩吉 2010年 3月 24日  
指导导师签名：李振辉 2010年 3月 24日

# 第一章 绪论

## 1.1 课题研究的必要性

现如今，汽车在人们日常生活中早已经成为不可或缺的交通运输工具，它在为人们带来舒适、快捷、便利的生活方式的同时，也为人类经济社会的发展和社会的进步做出了巨大的贡献。在人们的心目中，汽车早已经成为人类社会文明和进步的重要标志之一，彻底地改变了人类发展的历史进程。

汽车工业代表着一个国家工业发展水平的综合实力，通过优先大力发展一个国家的汽车产业，可以实现全面带动包括钢铁、机械、橡胶、石化、电子、纺织、保险、金融、销售、维修、加油站、餐饮、旅馆等 100 多个相关产业的发展，汽车工业产业链条之长是其它各产业都无法与之比拟的。总之，汽车工业代表着一个国家工业发展的最高水平，是国家工业中最具附加值并可实现规模经济效益的技术密集型产业<sup>[1]</sup>。

然而，在汽车为人类社会带来舒适与便捷的正面效应的同时，也同样为人类社会带来了严重的社会负面效应，交通事故就是其中最为严重并且危害最大的负面效应之一。据有关报导，自从有机动车道路交通事故死亡记录以来，全世界已有 3200 余万人死于各种原因造成的交通事故，而由于交通事故而造成的伤残者数目更是无法估计，而且在人类社会经济飞速发展的今天，全球汽车保有量仍然在持续增涨，所以交通事故造成的伤亡必然会有继续增涨的趋势。

能够造成交通事故的原因有很多，主要包括人的因素、管理的因素和车辆因素。其中人的因素和管理的因素都是由于人为原因而造成的，只要人们在日常生活中密切关注并严格执行道路交通安全法规，无数的交通事故是完全可以避免的；而车辆因素则是由于汽车自身的质量原因而造成的，而且由于车辆因素而造成的交通事故一般都是后果极为严重的，可以说汽车自身质量性能的好坏直接关系到人民群众的生命安全和财产安全。

据有关统计，在所有的交通事故中，由于车辆的机械故障而造成交通事故的比例大约占总量的 5% 左右，而由于汽车的制动原因直接引起的交通事故却占机械故障交通事故数总量的 60% 左右，可见车辆制动系统在车辆的安全性能方面具有着极为重要的作用<sup>[2]</sup>。

本课题重点研究的驻车制动操作手柄总成<sup>[3]</sup>，是汽车驻车制动系统中的重要组成部分，是驾驶者执行汽车驻车制动的首要环节，因此研制一套具有完善试验检测功能的试验系统对驻车制动操作手柄总成的质量性能进行严格把关具有极为重要的现实意义和研究价值。

## 1.2 课题研究的意义

驻车制动操作手柄总成是汽车驻车制动系统的重要组成部分之一，也是涉及汽车

安全性能的关键部件之一。但是，在汽车的驻车制动过程中，由于使用操作手柄总成的频率较高因而材料磨损比较严重，严重影响着操作手柄总成的稳定性和可靠性，可以说驻车制动操作手柄总成的质量性能是直接影响着交通安全的重要因素之一，因此对它的质量性能进行试验检测就显得极为重要。在通常情况下，企业需要根据权威机构制定的试验标准来对驻车制动操作手柄总成等汽车零部件的质量性能进行试验检测，常用的试验方法主要分为以下几种，包括小样试验方法和台架试验方法等。其中小样试验方法通常用于对少量产品的材料和质量进行分级和控制，并在新产品开发过程中也经常得到应用。由于这种试验方法的准确度相对较低，所以限制它的应用推广，但是这种方法的成本相对较低，所以在一些中小型企业中还是得到了广泛的应用。而台架试验方法由于具有测试精度高、功能完善、测试项目丰富、自动化程度高等优势，现已成为目前质量检测中最具权威性的试验方法，已逐渐成为对驻车制动操作手柄总成的质量性能进行严格把关的主流试验方法。

我国的试验设备由于发展起步较晚，技术基础较为薄弱，尤其在先进控制理论和控制方法的应用研究等方面与国外有着巨大的差距。目前，国产的台架试验设备普遍存在着控制精度不高、采集及处理关键数据的精度较低等问题，而国外的同类设备价钱十分昂贵，因此严重制约了我国零部件产业的快速发展，所以我们必须通过吸收学习国外发达国家的先进技术并开发具有自主知识产权的台架试验设备，尽快缩小与发达国家的差距，避免在关键技术方面受制于人<sup>[4]</sup>。

## 1.3 课题研究的目标和主要内容

### 1.3.1 课题研究的目标

驻车制动操作手柄总成作为汽车驻车制动系统的重要部件，其质量性能的好坏直接影响着整车的制动性能。为了对驻车制动操作手柄总成进行全面的性能检测，并针对当前的驻车制动操作手柄总成台架式试验系统的控制精度低、测试项目少、自动化程度低等现状，本课题系统研究的试验系统可以完成驻车制动操纵手柄总成的动静强度、冲击强度、高低温性能等试验测试，而且试验系统采用机电伺服、气动伺服闭环控制技术，并且采用计算机对试验的全过程进行控制管理，因此具有控制精度高、操作简单、自动化程度高、性能稳定、维护简单方便等特点<sup>[5]</sup>。

该试验系统采用工业控制计算机、机电伺服和气动伺服闭环控制技术<sup>[6]</sup>，主要用来实现驻车制动操纵手柄总成以下的试验测试功能：

- (1) 完成手柄总成的静强度试验测试。
- (2) 完成手柄总成的冲击强度试验测试。
- (3) 完成手柄总成的连续高负荷强度试验测试。
- (4) 完成手柄总成的操纵面板性能试验测试。
- (5) 完成手柄总成的强制解除耐久性能试验测试。
- (6) 完成手柄总成的满行程性能试验测试。

(7) 完成手柄总成的齿啮合性能试验测试。

(8) 完成手柄总成的高低温环境下手柄拉脱特性,手柄抗扭转特性,按钮拉脱力等性能试验测试。

为了能够满足并实现上述试验测试功能,要求驻车制动操作手柄总成试验系统能够达到以下的技术指标:

(1) 要求试验过程完全依据 46210—D82A0 驻车制动操纵手柄总成试验大纲试验项目评价标准。

(2) 力传感器精度:  $\pm 1\%FS$  (20%满量程超标定 5 点)。

(3) 位移传感器精度:  $\pm 1\%$  (20%满量程超标定 5 点)。

(4) 环境试验箱温度:  $-30^{\circ}C \sim 80^{\circ}C$ 。

(5) 温度波动度:  $\pm 1.5^{\circ}C$ 。

(6) 计算机控制:

计算机控制试验的全过程;可以采集、处理、显示和记录试验参数,并可绘制显示试验波形。

① 具有负荷计算机自动调零、换档,位移、负荷的 PID 计算机调节。

② 控制过程可编程并自动记录。

③ 具有计数、计时功能,计数器总容量  $10^7$  次,虚拟面板具有予置、清零及予置数,到数可停止试验等功能。

④ 具有极限设定保护功能。

### 1.3.2 课题研究的主要内容

本课题研制的驻车制动操作手柄总成试验系统采用工控机对试验全过程进行控制与管理,其中试验设备主要由操作手柄冲击强度试验台、操作手柄高低温环境性能试验台和操作手柄总成强度试验台三部分组成,并且采用机电伺服、气动伺服闭环控制系统对试验过程进行精确加载,使得试验系统能够真实反映操作手柄总成的实际工作特性。在试验加载过程中,计算机通过各类传感器对试验数据进行控制与测量,并可根据试验要求绘制相应的各种受力状态下的力与变形曲线图。

该试验系统要满足多品种操作手柄总成的试验检测,并且使之具有控制精度高、操作简单、自动化程度高、性能稳定、维护简单方便等特点,因此我们将对试验系统的设计进行了较为深入的研究,主要的研究内容如下:

1、首先通过介绍汽车制动系统和驻车制动系统引出驻车制动操作手柄总成作为驻车制动系统关键部件的重要性,然后通过综合分析驻车制动操作手柄总成的结构及其工作原理,并根据国家驻车制动操纵手柄总成试验大纲的相关要求和标准,确定完整的专门用于操作手柄总成检测的试验标准和内容。

2、研究驻车制动操作手柄总成试验系统的总体设计,主要包括机械结构设计、加载系统设计和测力测变形系统设计。首先合理的机械结构和材料选择不仅可以为试验系统提供稳定可靠的基础支撑平台,还可以提高试验系统的柔性,使试验系统可以实

现对多品种操作手柄总成的试验检测需求。其次为了真实反映操作手柄总成的实际工作状态并对其工作特性进行全面检测，因此如何实现对操作手柄总成的精确加载并对涉及的设备进行分析选型也有着重要的意义。最后测力测变形系统是计算机实现控制管理试验全过程的关键，它的合理设计是对加载系统中负荷的控制和测量以及实现绘制各种受力状态下的力与变形曲线的重要保证。

3、试验系统的电控部分的设计,主要分为系统硬件设计和系统软件设计两部分。其中硬件部分的合理设计是获得准确可靠试验结果的基础支撑，而软件部分通过控制系统硬件不仅可以使系统中各组成部分能够按照系统指令协调一致地进行工作，也可以通过计算机对返回的各类信息进行综合分析处理求得试验结果，并对其进行显示、保存，再有可以根据试验需要绘制相应的力与变形曲线图。

## 第二章 驻车制动操作手柄总成试验系统的分析设计

### 2.1 汽车制动系统和驻车制动系统的概述

在一辆汽车的配置中，制动系统是每辆汽车必须具备的重要组成部分，它直接关系到驾乘者的生命安全和财产安全，因而越来越受到人们的普遍关注。鉴于制动系统的重要性，所以有必要在文章的开始阶段对汽车制动系统的定义和分类进行简要的叙述。

汽车制动系统是汽车上用以使外界路面在汽车的车轮上施加一定的力，从而对其进行一定程度的强制制动的一系列专门装置，主要可分为行车制动系统、驻车制动系统、应急制动系统及辅助制动系统等。其中用以使行驶中的汽车降低速度甚至停车的制动系统称为行车制动系统；用以使已经停驶的汽车驻留原地不动的制动系统则称为驻车制动系统；在行车制动系统失效的情况下，保证汽车仍能实现减速或停车的制动系统称为应急制动系统；在行车过程中，辅助行车制动系统降低车速或保持车速稳定，但不能将车辆紧急制停的制动系统称为辅助制动系统<sup>[7]</sup>。

因此，为了避免发生溜车等危险现象的发生，对汽车驻车制动系统的质量性能进行试验检测具有重要的意义。

### 2.2 驻车制动系统的分类及其原理

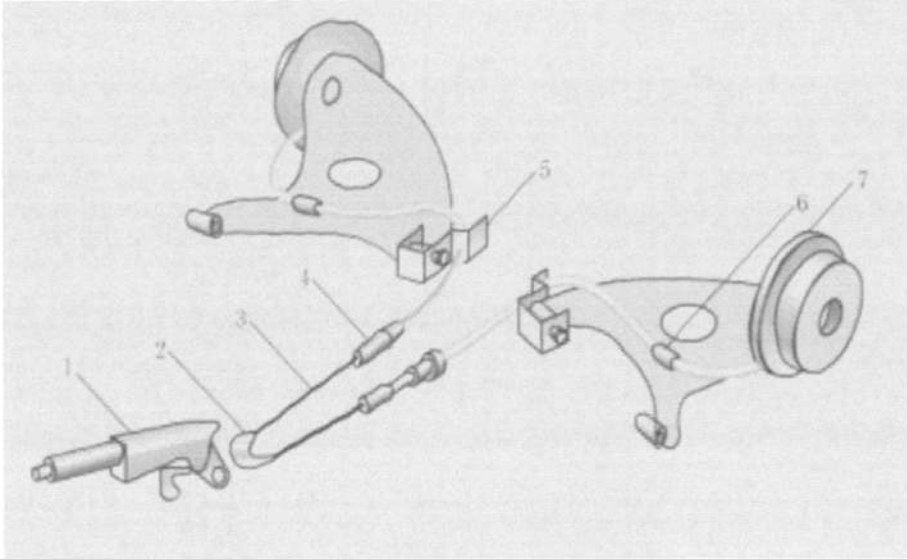
目前，轿车的驻车制动系统主要分为机械式和电子式两种，下面分别对它们的工作原理进行简要叙述。

1、机械式的驻车制动系统，俗称手刹，它的主要作用是给已经停驶的汽车一定的阻力，以防止汽车发生溜车现象。一般的轿车驻车制动系统的机械传动装置组成如下图 2.1 所示。

当执行驻车制动时，驾驶员需要向上扳起驻车制动操纵杆，并通过与之连接的平衡杠杆拉紧驻车制动操纵缆绳，在操纵缆绳的拉动下带动两个后轮制动器。此时棘爪与棘爪齿板处于啮合状态，由于棘爪的单向作用，因而操纵杆不能够反转，从而使得整个驻车制动系统的机械传动装置被可靠地被锁定在制动位置，达到驻车制动的目的。

当解除驻车制动时，需要先将驻车制动操纵杆向上扳起少许，再压下操纵杆端头的压杆按钮，通过棘爪压杆使棘爪离开棘爪齿板，然后再将操纵杆向下推到解除制动位置，并使棘爪得以将整个驻车机械制动杆系锁止在解除制动位置。由于驻车制动系统必须可靠的保证汽车在原地停驻，这一点只有用机械锁止方法才能实现，因此驻车制动系统多用机械式传动装置<sup>[8]</sup>。





1-操纵杆 2-平衡杠杆 3-拉绳 4-拉绳调整接头  
5-拉绳支架 6-拉绳固定头 7-制动器

图 2.1 驻车传动机构组成示意图

2、电子手刹也即电子驻车制动系统<sup>[9]</sup>，电子驻车制动系统(EPB: Electrical Park Brake)是指将行车过程中的临时性制动和停车后的长时性制动功能整合在一起，并且由电子控制方式实现停车制动的技术。EPB 技术的优点归纳如下：

舒适与方便：

- (1) 提高了驾驶与操纵的舒适性与方便性。
- (2) 为车厢内留出更多的空间，可用来安装装饰部件及便利的设施等。
- (3) 原来中间传动轴手制动装置的区域空间可自由配置其他设备。
- (4) 坡上自由起步：由于驻车制动由电子控制，起步时可按下 EPB 按钮，系统直接指示 EPB 松开驻车制动，帮助驶离。
- (5) EPB 系统可以在发动机熄火后自动施加驻车制动。
- (6) 不同驾驶员的力量大小有别，手驻车制动杆的驻车制动可能由此对制动力的实际作用不同。而对于 EPB，制动力量是固定的，不会因人而异，出现偏差。

安全性高：

- (1) 全面优化的踏板区域，无额外的踏板。
- (2) 不会溜车，总能施加最大驻车夹紧力。
- (3) 电子模块具有自我诊断功能。
- (4) 后轮动态模式时具防抱死制动功能，即在汽车行驶状态时，后轮具有防抱死制动功能。

(5) EPB 系统可以设计为发动机熄火后自动施加驻车制动。

成本合理：

(1) 设计简介，体积小而紧凑。

(2) 仅采用一个作用器单元，可适用于所有车型和制动类型，组装时无须特殊调整。

但是从目前的发展来看，短时间内电子驻车制动系统不可能完全取代传统的机械手刹，特别是在一些汽车电子技术装备较少的车辆上。一方面，因为从它的工作原理上看，电子驻车制动系统的电控单元需要与整车控制器局域网通讯，但是目前在很多低端车型上并没有采用局域网控制，主要是成本和可靠性问题，因此如果将来汽车电子技术进一步普及，也许会广泛采用，但仍然不会完全取代机械手刹。另一方面，电子驻车制动系统的可靠性还有待检验，所以限制了技术的普及<sup>[10]</sup>。因此研究传统机械驻车制动系统的试验设备更有其现实目的和需求。

### 2.3 驻车制动操作手柄总成的结构

驻车制动操作手柄总成是汽车驻车制动系统的关键部件，它主要由按钮总成、操纵杆、棘爪、棘轮、开关总成、拉杆螺栓、拉线夹等部分组成<sup>[11]</sup>。如图 2.2 所示的是一种典型的汽车驻车制动操作手柄总成的组成结构图。

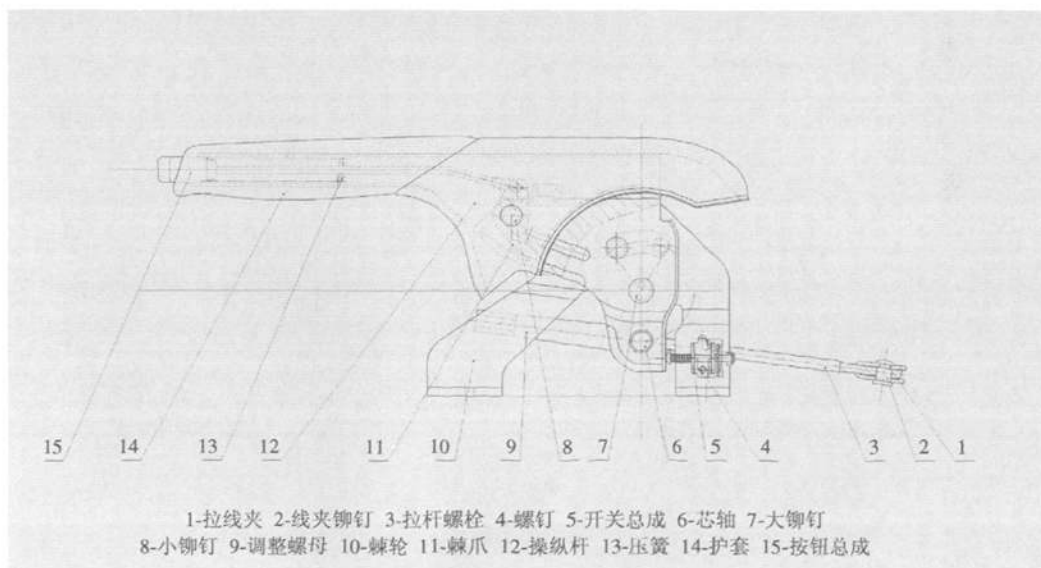


图 2.2 操作手柄总成结构图

### 2.4 驻车制动操作手柄总成的评价标准

由于任何零件在长期频繁使用时，都存在效用降低的现象，因此随着使用时间的增加，手刹的磨损会越来越严重，质量性能也会越来越差，主要表现为失效和不灵敏

两种状态，严重威胁着驾驶者的生命安全和财产安全<sup>[12]</sup>，因此制定出一套完善的试验评价标准专门用来对驻车制动操作手柄总成的质量性能进行试验检测非常具有现实意义。该试验系统依据国家 46210—D82A0 驻车制动操纵手柄总成试验大纲<sup>[13]</sup>，通过对驻车制动操作手柄总成的结构和工作原理等因素的深入研究，并参考了国内外同类的驻车制动操作手柄总成试验系统的试验方法和项目内容，经过分析总结从而制定出本试验系统在试验中主要依据的综合评价标准，归纳如表 2-1 所示。

表 2-1 驻车制动操纵手柄总成试验系统评价标准

类别	试验项目	试验条件	测定项目	评价标准	
强度耐久性	静强度	向上拉	棘爪处于第四齿位置，拉杆固定；在手柄加载点向上逐级加载直至断裂（或损坏）。100N 载荷时位移为 0。	每加载 100N 进行测定，并绘制载荷-位移图；测定出破坏载荷的数值。	加载 400N 载荷时弹性变形在 10mm 以下，而 500N 时永久变形在 10mm 以下。
		向下压	棘爪处于第四齿位置，拉杆自由；在手柄加载点向下加载至 1 000N；100N 载荷时位移为 0。	每加载 100N 时进行测定，并绘制载荷-位移图。	1 000N 负荷时无异常。
		横向	拉杆弹性固定，在手柄加载点向上加载，至第四齿时载荷为 200N；向手柄左右两个方向分别加载至 400N，加载 50N 时位移为 0。	每次加载 50N 负荷并测定位移，直至加载至 400N 并绘制载荷-位移图。	加载到 400N 时弹性变形在 25mm 以下，而永久变形在 10mm 以下。
	冲击强度	拉杆弹性固定，在手柄加载点向上加载，至第四齿时载荷为 200N；从手柄加载点上方自由落体—2kg 重物。棘齿：完全破坏。	测定破坏高度	破坏高度需要达到至少 600mm 以上。	
	连续高强度	拉杆弹性固定，在手柄加载点向上加载至 700N（第十二齿），往复循环 30 次。拉起时按钮应不压下。		操作手柄总成各部件无变形、破损等现象发生。	
	操作耐久	拉杆弹性固定，在手柄加载点向上加载，至第五齿时载荷为 300N，往复循环 100 000 次，行程为从下极限位置至第五齿，拉起时按钮就不压下。		操作手柄无变形、破损、异常等现象并且操作手感良好。	

	强制解除耐久	拉杆弹性固定, 在手柄加载点向上加载, 至第四齿时载荷为 200N; 拉起操纵杆至第四齿, 加载, 强制释放, 往复循环 20 000 次。		操作手柄无变形和破损等现象发生。
	满行程	拉杆弹性固定, 在手柄加载点向上加载, 至第 12 齿满行程时载荷为 500N, 操作 1 次, 操纵杆拉起时按钮应不压下。		破坏力需要达到至少 800N 以上。
性能特性	棘齿啮合性能	在最小/最大额定操作力和齿数条件下, 在驻车设定操纵力为 100N 及正常啮合情况下的释放特性。	测定按钮的释放力及按钮释放行程。	操作力为 100N 时, 释放载荷最小 80N, 释放行程 1.5mm 以上, 但不允许受外力震动 (撞击)。
其它	手柄拉脱特性	1、常温中 2、高温中 (70°C×0.5h) 3、高低温 4 个交变循环 80°C 23°C -30°C 23°C 15.5h 0.5h 7.5h 0.5h 4、耐热试验 (80°C×48h)		手柄最大拉脱力需达到 400N 以上。
	手柄抗扭转特性	试验条件同上		手柄抗扭扭矩需达到 1 000N.cm 以上。
	按钮拉脱力	试验条件同上	测定按钮脱落时的扭矩。	

## 2.5 本系统检测项目和内容

由于本试验系统在试验时需要完成的项目种类繁多, 并且内容复杂, 很难在一个实验台上全部给予完成, 因此通过对试验项目和内容的特点进行分析研究, 本试验系统将采用由操作手柄总成强度试验台、操作手柄总成冲击试验台、操作手柄总成高低温环境试验台组成的实验台系统来完成全部的试验的项目和内容。下面分别对实验台系统的三个组成部分的试验功能进行说明。

1、在操作手柄总成强度实验台中, 需要完成对驻车制动操作手柄总成的静强度、连续高负荷强度、操作耐久、强制解除耐久、满行程和棘齿啮合性能等方面的试验检测。实验台采用工控机通过各类传感器对试验数据进行采集、处理、显示和存储, 并且可以做出各种受力状态下的力与变形的曲线, 并通过试验测出其破坏负荷及其疲劳寿命。

2、在操作手柄总成冲击实验台中，通过在驻车制动操作手柄总成的手柄加载点上放置一个自由落体重物，在冲击锤的冲击下直至棘齿完全破坏，此时工控机通过位移传感器对冲击高度的数据进行采集、处理、显示和保存，即达到测定破坏高度的目的，并根据试验评价标准中对破坏高度的规定判定被试操作手柄总成的抗冲击性能是否达到设计要求。

3、在操作手柄总成高低温环境实验台中，通过对驻车制动手柄总成的手柄和按钮在评价标准的基础上设定相应的拉脱力和扭矩，并且高低温环境箱按照实验大纲试验条件的规定通过变换环境箱内的温度，从而验证操作手柄和按钮在相应的温度环境中的拉脱力和抗扭特性是否达到设计标准。

## 2.6 本章小结

驻车制动操作手柄总成在汽车产品中属于驻车制动系统的关键部件，所以在本章首先对汽车制动系统和驻车制动系统的定义及分类进行了叙述。

其次对驻车制动操作手柄的组成结构和工作原理进行了分析研究，从而得出驻车制动操作手柄总成质量性能的好坏在整个汽车制动系统具有的重要意义的结论。

再次依据国家 46210—D82A0 驻车制动操纵手柄总成试验大纲，通过对驻车制动操作手柄总成的工作原理等因素的深入研究，并参考研究了国内外同类的驻车制动操作手柄总成试验系统的试验方法和项目内容，经过分析总结从而制定出本试验系统试验的试验评价标准。

最后，通过分析研究的试验系统的试验项目和内容，得出全部的试验项目和内容很难在一个实验台中完成的结论，因此本试验系统将采用由操作手柄总成强度实验台、操作手柄冲击实验台和操作手柄高低温环境性能实验台组成的实验台系统共同来实现完成试验项目和内容，并根据试验评价标准来判断产品质量是否合格。

## 第三章 驻车制动操作手柄总成试验系统的总体设计

为了真实反映操作手柄总成的实际工作状态，并对其工作特性进行全面的试验检测，所以必然有种类繁多、内容丰富的试验项目予以支持。由于本试验系统很难由一个独立的实验台完成所有的试验项目和内容，因此根据试验项目和内容的特点，把试验内容划分为三个部分，分别由操作手柄冲击强度试验台、操作手柄高低温环境性能试验台和操作手柄总成强度试验台完成实现，并且这三个实验台均由一套控制系统分别进行控制，这样不仅可以方便对试验全过程的控制与管理，而且也可以使三个实验台和控制系统形成统一的试验整体<sup>[14]</sup>。

在本章中，我们将系统详细的阐述驻车制动操作手柄总成试验系统的总体设计方案，主要由机械结构设计、加载系统设计和测力测变形系统设计三部分构成。下面根据各个实验台的功能和特点分别对上述三个部分进行分析研究。

### 3.1 试验系统机械结构的设计

#### 3.1.1 操作手柄总成强度实验台机械结构的设计

操作手柄总成强度试验台专门用于完成对操作手柄总成的静强度试验、疲劳强度试验及破坏性试验，结构简图如图 3.1 所示。

该实验台采用卧式床身结构，它作为实验台的基础支撑部分，主要由工作台和底座通过焊接方式连接构成。这种结构不仅设计简单，而且可以把试验过程中的复杂受力分散于床身之上，对实验过程中的平稳起着巨大的作用。其中工作台设计为整平面，这种平面设计结构非常便于试验件及加载及测力测变形系统的安装；底座采用型钢焊接结构，这种结构可以在充分减轻实验台重量的情况下能够获得较高的静刚度和适当的固有频率<sup>[15]</sup>。

由于该实验台对被试件的整个加载过程采用摇臂式加载，加载臂是整个实验台的加载系统的关键部分，它是否具有足够的刚度直接关系到试验加载过程的精度和可靠性。因此实验台的加载臂采用铝合金材料，其上设有 T 型槽，这样不仅可以使加载臂具有足够的刚度，而且可以使得安装其上的各装置均可以随意移动调整加载，以适应能够对多种操作手柄总成的试验需要。

试验件采用间接安装结构，首先操作手柄总成被安装在固定安装底板上，然后安装底板再与工作台进行刚性固定。由于固定操作手柄总成的底板是设计为可更换的，因此这种设计结构不仅可以使得实验台能够适应多品种操作手柄总成的试验要求，而且可以提高实验台的工作效率，还可以通过减小工作台的磨损达到延长工作台的使用寿命的目的<sup>[16]</sup>。

实验台的横向加载系统是通过可调支承弯板与工作台固定在一起的，可以通过调整可调支承弯板实现加载系统高低的位置变化，实现对多品种操作手柄总成的试验目的。

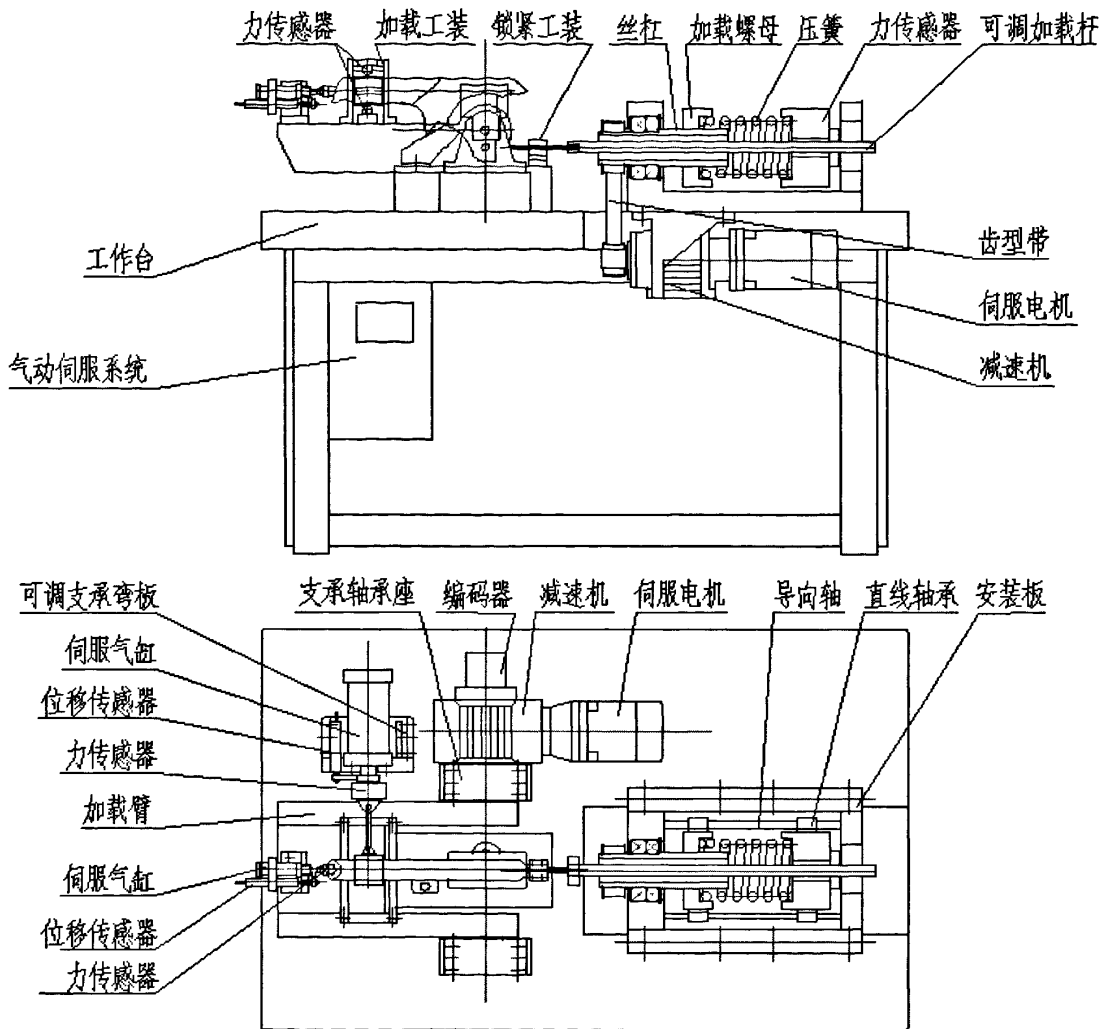


图 3.1 操作手柄总成强度试验台结构简图

### 3.1.2 操作手柄冲击强度实验台机械结构的设计

操作手柄冲击强度实验台专门用于操作手柄总成在预载荷条件下的冲击试验，结构简图如图 3.2 所示。

该试验台同样采用卧式床身结构，可以很好的满足冲击强度实验对于床身稳定性的设计要求。

焊接固定在工作台上的机械框架采用高强度铝合金型材机械组装结构，这种结构不仅外观十分美观，而且支撑刚度也足够大，还可以有效地降低设备的重心高度。

导向轴采用进口光轴和直线轴承，用于对实验台的电磁释放机构、冲击锤和激光对中装置<sup>[17]</sup>三个部分的精确导向。

固定操作手柄总成的底板同样设计为可更换的结构，并且与工作台进行刚性固定，不仅可以方便对多品种操作手柄总成的试验需求，而且可以提高工作效率并延长工作台的使用寿命。

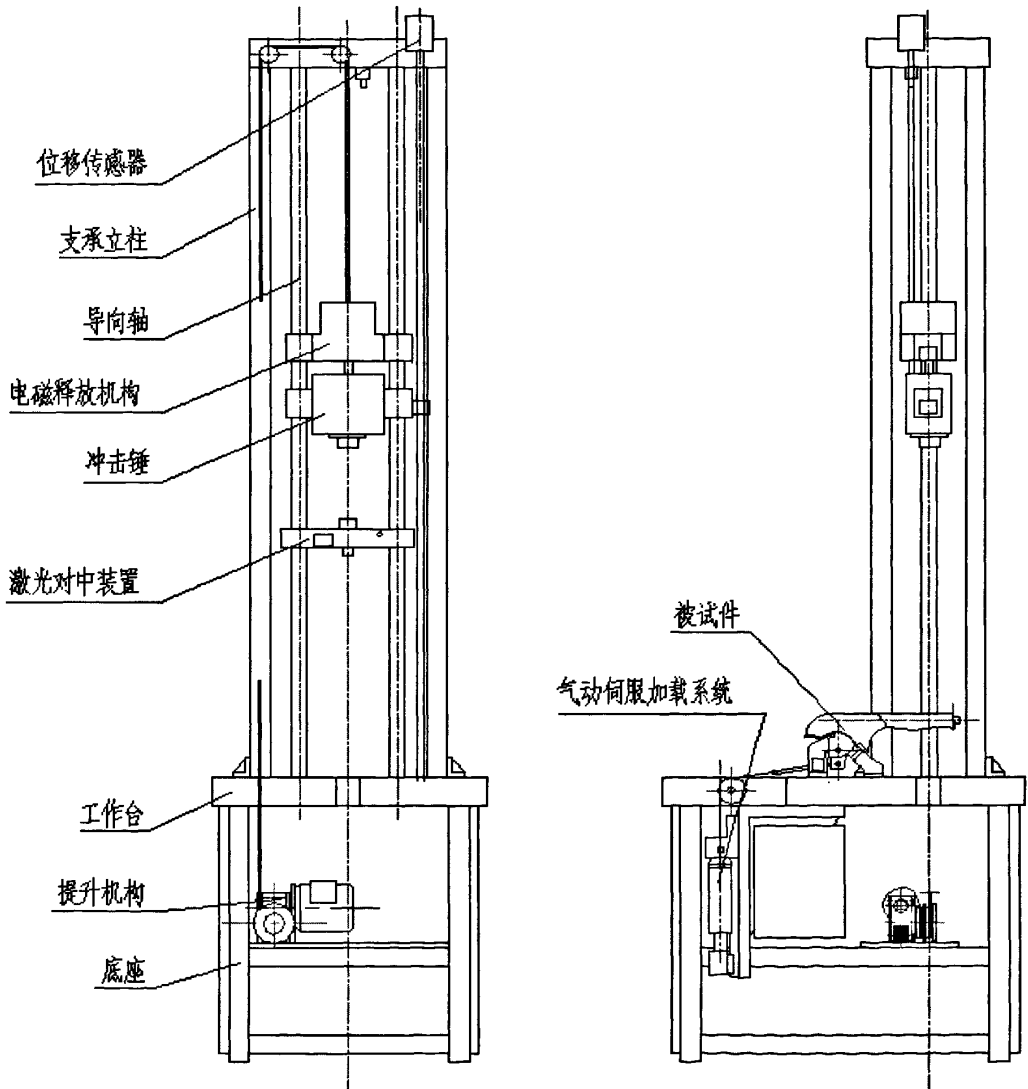


图 3.2 冲击强度试验台结构简图

### 3.1.3 操作手柄高低温环境性能实验台机械结构的设计

操作手柄总成高低温环境性能试验台主要完成操作手柄总成在高低温环境中的手柄拉脱力、手柄抗扭特性和按钮拉脱力的试验测试，结构简图如图 3.3 所示。

该试验台采用和前面两个实验台一样的卧式床身结构，可以很好的满足高低温环境性能实验对于床身稳定性的要求。



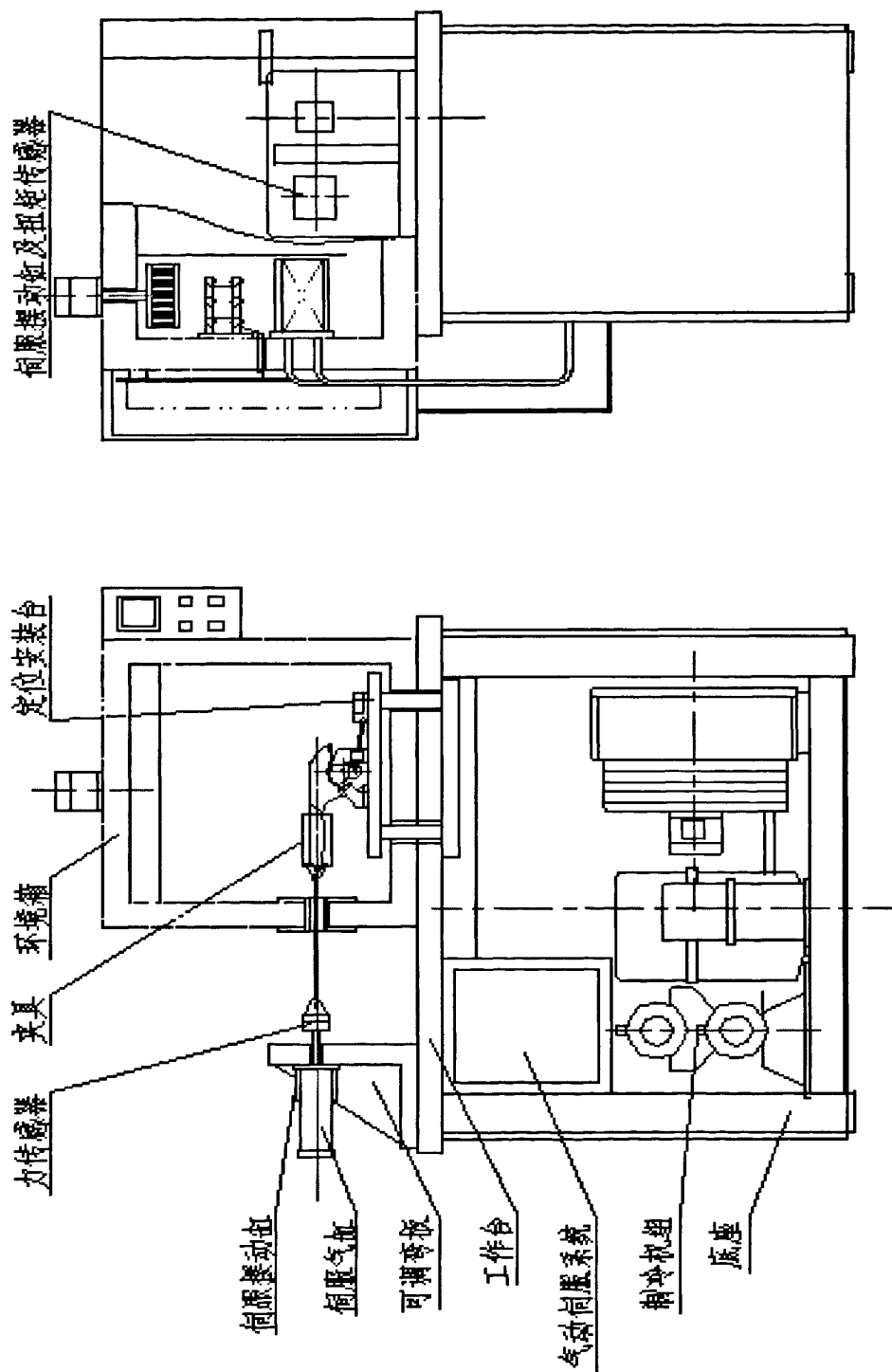


图 3.3 高低温环境性能实验台的结构简图

被试件也采用间接安装结构，首先被试件被紧固在承载用的定位安装台，该固定安装台的平板通过四个立柱与工作台刚性固定，这种结构可适用多种型号的被试件的安装固定。

该实验台的气动加载系统是通过可调支承弯板与工作台固定在一起的，可以通过调整可调支承弯板实现加载系统高低的位置变化，用以实现对多品种操作手柄总成的试验目的。

### 3.2 试验加载系统的设计

加载系统是操作手柄总成试验系统的重要组成部分，是能否实现对被试件实际工况进行模拟并对其质量性能进行检测的关键。加载的方式有很多种，主要分为机电加载、液压加载和气动加载等<sup>[18]</sup>。根据试验系统对加载的要求的不同，主要选择机电加载和气动加载两种方式，并采用闭环控制技术，所以能够实现对被试件加载的精确控制。下面分别对两种加载方式进行分析研究。

#### 3.2.1 机电加载的设计

在试验系统中，为了对反馈的试验加载结果进行测量、监控和反馈，使以达到精确加载的目的，系统采用按偏差调节的闭环控制方式，不仅可以避免外界的干扰对试验加载的影响，也可以精确的控制试验中的加载值为试验要求的定值。

目前，按偏差调节的闭环控制方式是应用最为广泛的一种控制系统。这种控制方式的主要特点是，由于被控量要反馈回来与系统给定值进行比较，所以控制信号必须沿前向通道和反馈通道往复循环地进行闭路传送，形成闭合回路。其中反馈回来的信号与给定值相减，称为负反馈，反之称之正反馈。系统就是采用负反馈并根据被控量与给定值之间的偏差实现对试验过程的控制，只要被控量偏离系统给定值，系统就会产生一个相应的控制作用去减小或消除这个偏差，直至使被控量与给定值达到一致，从而达到对被控对象进行精确控制的目的<sup>[19]</sup>。控制原理如图 3.4 所示。

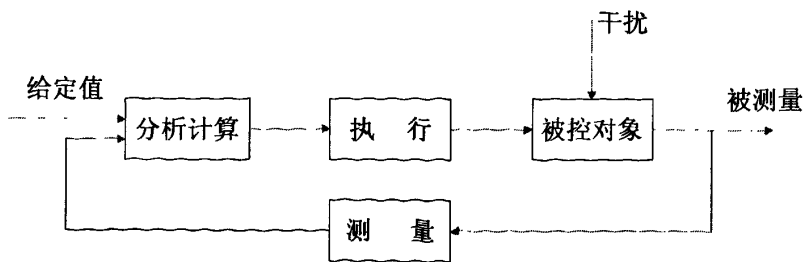


图 3.4 按偏差调节的系统原理框图

一般地，机电伺服闭环控制系统<sup>[20]</sup>的构成大致可以分为 4 个部分，包括控制部分、执行部分、检测部分和机械部分。下面分别对上述各个部分进行设计研究。

#### 1、控制装置的设计

控制装置是机电控制系统的中枢部分和核心部分，它的主要作用是对试验给定的控制信息和反馈回来的检测信息进行综合计算处理，并向执行装置发出指令。

在工业自动化控制中，工控机是目前应用广泛的控制装置。由于它具有实时的信息转换和控制功能、完善的人机交互功能、丰富的机电部件接口和对控制软件运行的良好支持等特点，符合并满足本试验系统对控制核心的设计要求，因此采用工控机作为试验系统的控制核心是一种很好的选择。

## 2、执行装置的设计

机电控制系统的执行装置是各类机电系统必不可少的驱动元件，它是机电控制系统中的能量转换元件，即可以在控制装置的控制指令下，将输入的各种形式的能量转换为机械能，并完成系统所要求的动作。

伺服电动机是目前工业控制中应用较为广泛的一种驱动装置，其主要作用是可以将输入的电信号转换为输出轴上的转角或转速，从而带动控制对象。伺服电动机的最大特点是转矩和转速信号受电压控制，可以执行频繁变化的位置或速度指令，而且伺服电动机的响应速度快，并具备良好的起动、制动和调速特性。常用的伺服电动机有直流伺服电动机和交流伺服电动机两种。其中直流伺服电机由于存在机械换向器和电刷，从而降低了电机运行的可靠性，加重了维护和保养负担。而交流伺服电动机由于具有结构简单、成本低廉、无电刷磨损、维修方便等优点，被公认为是一种理想的伺服电机，并以其优良的控制性能和高可靠性得到了越来越广泛的应用。所以采用交流伺服电动机作为试验系统的执行装置能够很好的满足试验的要求。下面以感应电动机为例介绍交流伺服电动机的工作原理并根据试验的设计要求对试验系统的执行装置进行选型。

### (1) 交流伺服电动机的工作原理

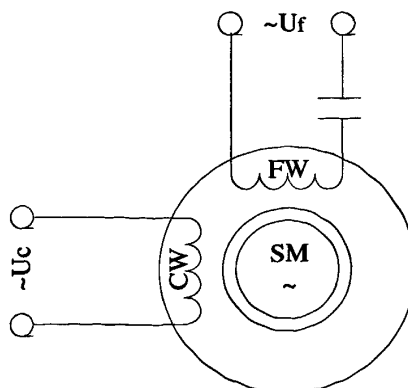


图 3.5 交流伺服电动机接线示意图

如上图 3.5 所示，励磁绕组接到电压一定的交流电网上，控制绕组接到控制电压  $U_c$  上，当有控制信号输入时，两相绕组便产生旋转磁场。该磁场与转子中的感应电流相互

作用产生转矩，使转子跟着旋转磁场以一定的转速转动起来。转子的转向与旋转磁场的旋转方向相同，把控制电压的相位改变 180°，则可改变伺服电动机的旋转方向。转子的转速为

$$n = 60 \frac{f(1-s)}{p} = (1-s)n_0$$

式中，f 为电源频率；p 为磁极对数；n<sub>0</sub> 为电动机旋转磁场转速；s 为转差率。

## (2) 交流伺服电动机的选型

为了获得精确、稳定、可靠的动力输出，我们采用美国 A-B 公司出品的 1326 系列交流伺服电动机作为试验系统的驱动元件。经过试验测试，这种进口伺服电动机可以很好的满足试验的要求，其主要技术参数如表 3-1 所示。

表 3-1 主要技术参数

电动机类型	永磁同步
电动机系列名	1 326
电动机转矩(N·m)	1.8~47.4
电动机功率(Kw)	0.3~7.5
驱动器系列名	1 391
驱动方式	正弦波
调制频率(Hz)	2 500

## 3、传感器的设计

在机电控制系统中，传感器的主要作用是将检测对象的状态、性质等信息转换为相应的物理量以供控制系统分析处理之用。有关传感器的分析及选型将在后面的测力测变形系统设计中进行系统叙述。

## 4、机械部分的设计

机械部分是机电伺服系统的基本支撑，主要由机械传动部件和连接件等组成。其中传动装置的主要功能是传递转矩和转速，它是使执行元件与负载之间在转矩与转速方面得到最佳匹配的关键。因此要求它具有较高的定位精度和良好的动态响应特性。

为了使试验系统具有良好的伺服特性，必须对传动部件进行合理的设计选型，并且在设计过程中应选择传动间隙小、精度高、体积小、重量轻、运动平稳、传递转矩大的传动部件。因此试验加载系统采用带传动、丝杠传动和减速机等传动部件，它们不但可以改变速度，也可以改变转矩。

在传动装置中，减速机是最为关键的动力传达部件，它利用齿轮的速度转换器，将电机的回转数减速到所要的回转数，并得到较大的转矩的机构。在工业控制中应用的减速机的种类有很多，主要分为齿轮减速机、行星齿轮减速机和蜗轮减速机等几种。

本试验系统基于对试验加载系统的特点、空间布局和性价比等综合因素的考虑，采用蜗轮蜗杆减速机作为试验系统的传动机构。这种减速机的主要特点是拥有较大的减速比，并且输入轴与输出轴不在同一轴线上，可以很大程度的节省布局空间，而且具有反向自锁功能。

通过对查阅相关产品的资料并对其进行分析比较，我们选用上海长城减速机厂有限公司生产的 RV 系列蜗轮蜗杆减速机，该产品的主要性能优势是：

- (1) 机械结构紧凑、体积轻巧、小型高效。
- (2) 热交换性能好、散热快、安全可靠性能大。
- (3) 安装简易、联结型式灵活、性能优越、易于维护检修。
- (4) 传动速比大、扭矩大、承载力高。
- (5) 运行平稳、噪音小、经久耐用、适用性强。

经过对 RV 系列蜗轮蜗杆减速机的试验检测，该产品无论从技术参数还是质量性能，都能很好的满足试验系统的设计要求，其主要技术参数如下：

- (1) 传动比7.5~100
- (2) 输入功率0.04~15KW
- (3) 输出转矩10~1500N·m

在本试验系统中，机电伺服加载主要应用在手柄总成强度实验台，用于完成对手柄总成中的手柄和拉杆的加载。为了方便对试验系统中机电加载方式的理解，下面对试验中的机电加载的实现方式进行叙述。

(1) 在对操作手柄总成纵向加载时，采用了伺服电机、减速机、加载臂及传感器的结构。在控制系统的指令下，伺服电机将输入的电信号转换为轴上的转速，然后在减速机对转速进行降速的同时提高了输出扭矩，从而带动加载臂的摆动，由于加载臂上装有加载工装，加装工装上装有测力传感器，所以加载臂的摆动会带动加载工装的摆，也即实现了对操作手柄的纵向加载。由于整个加载过程采用闭环控制方式，因此对操作手柄的施加载荷是可按照试验要求进行控制的。

(2) 在操作手柄总成在手柄加载时，要求其拉杆处有时要固定，有时要加一定数量的负荷，因此在拉杆后面设有一套加荷机构，该机构由伺服电机、减速机、齿形带、丝杠及传感器组成。当对手柄总成拉杆施加载荷时，该机构的伺服电机通过减速机、齿形带带动丝杠旋转，丝杠上的螺母沿导向轴移动压缩弹簧，在弹簧后座上装有负荷传感器，传感器通过可调加载杆与拉杆相连，从而实现了对拉杆加载。由于整个加载过程采用闭环控制方式，因此可以实现对拉杆的精确加载。

### 3.2.2 气动加载的设计

由于气动系统与生俱来的缺点，如稳定性差、输出力不大、润滑性能不好等，使得对气动系统的精确控制具有较大的难度。但是随着微电子技术和控制理论的快速发展，气动伺服控制系统的精确控制性能已经得到了很大的提高。

在试验加载系统中的某此环节，系统对驱动装置的输出力要求不是很高，并且考

虑到气动加载装置具有价格低廉、安全性好和工作环境适应性强等特点，所以在这些环节中应用气动伺服控制技术是一种很好的选择。

气动伺服控制系统<sup>[21]</sup>是一种包括电气信号处理部分和气动功率输出部分的闭环控制系统，主要由输入给定元件、反馈测量元件、比较元件、转换放大元件和气压执行元件组成，原理框图如图 3.6 所示。

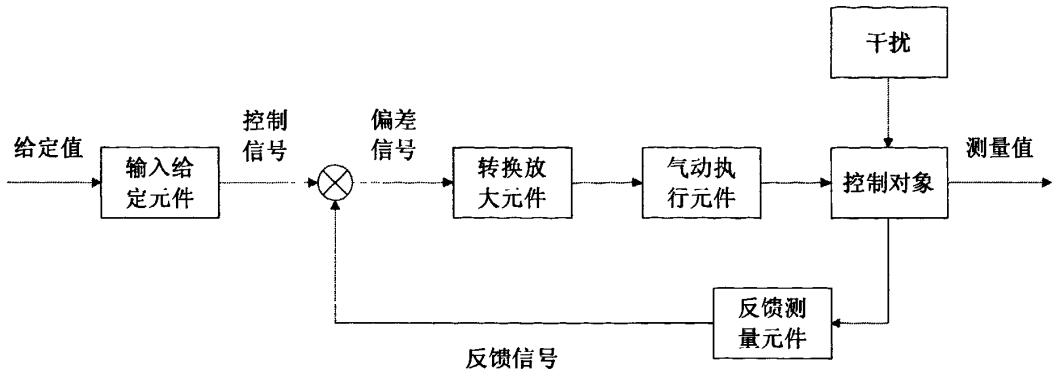


图 3.6 气压伺服系统的原理框图

气动伺服控制系统首先通过比较元件将输入的控制信号与反馈的测量信号进行比较，并把产生的偏差信号加于转换放大元件，然后转换放大元件再将偏差信号的能量形式进行变换并加以放大，并输入到气压执行元件，最后由气压执行元件产生调节动作施加于控制对象上以实现调节任务。

为了实现试验气动加载的精确控制，所以对气动伺服闭环控制技术的控制部分和驱动执行部分进行合理设计和选型是非常必要的。

### 1、控制部分的设计

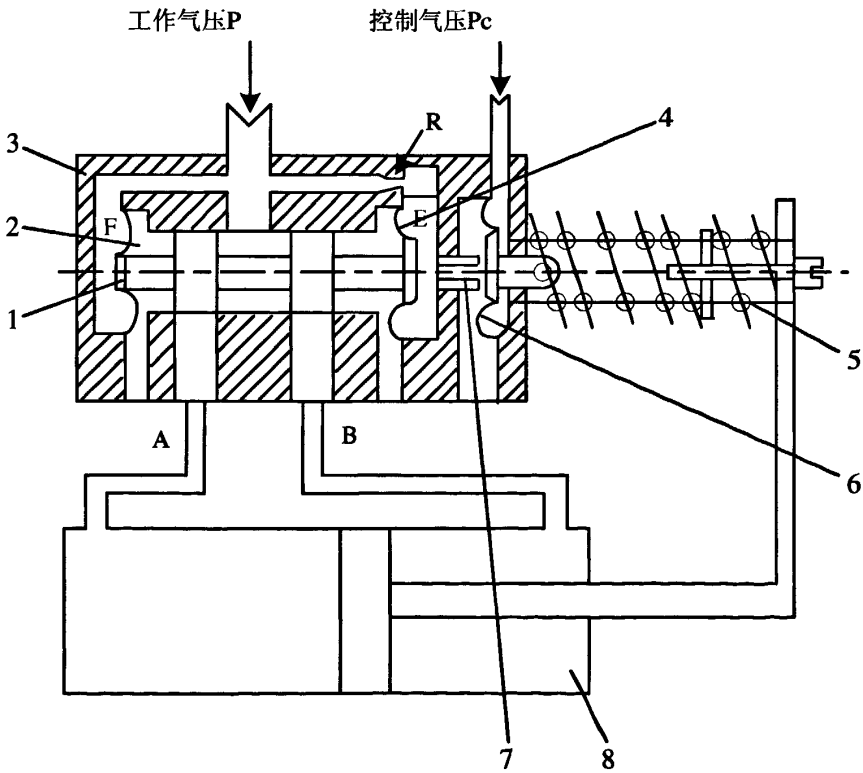
该试验系统的控制部分主要由工控机、气动伺服控制卡及传感器组成，其中工控机作为系统的控制核心，通过 ISA 总线与气动伺服控制卡直接进行通信。而气动伺服控制卡是一个带有单片机的智能控制板卡，它采用 PID 控制方式<sup>[22]</sup>与外部的传感器构成闭环回路，并通过控制气动伺服阀使气缸按照工控机的控制指令进行运动，在气缸的带动下实现对被试件的精确加载。

### 2、驱动执行部分的设计

试验系统采用目前自动调节系统中应用较为广泛的伺服气缸作为驱动执行元件。伺服气缸的主要作用是将输入的气压信号成比例地转换为活塞杆的机械位移，它主要有两种构成方式：一种是由一个低摩擦双作用普通气缸和整体安装的气动伺服阀构成；另一种是由一个低摩擦双作用普通气缸和位置定位器构成。出于对产品性价比等因素的考虑，本试验系统选择第一种由气动伺服阀构成的伺服气缸作为气动伺服控制系统的驱动部分。下面对这种伺服气缸的工作原理及其选型进行叙述。

#### (1) 伺服气缸的工作原理

这种伺服气缸是根据力平衡原理工作的，结构原理如图 3.7 所示。在初始工作状态时，压缩空气分三路进入伺服阀：一路向右经节流气阻  $R$ 、喷嘴流入大气，腔室  $E$  内无气压作用；一路向左流入腔室  $F$ ，作用在膜 2 上，把阀心推向右侧，打开第三路压缩空气至气缸腔室的通路，于是  $B$  腔进气， $A$  排气，气缸活塞杆退回到零位。若输入某定值的控制压力  $P_c$ ，则  $P_c$  作用在信号腔膜片 6(挡板)上，使膜片靠近喷嘴。背压室  $E$  的有效面积大于膜片 2 的有效面积，把阀心推向左边，将气缸  $A$  口打开， $B$  口关小，使气缸活塞杆向右位移，同时把反馈弹簧拉伸相应的长度。当气缸活塞杆达到与控制压力  $P_c$  成比例的位置时，这时由反馈弹簧产生的力正好和控制压力  $P_c$  作用在膜片 2 上的力相平衡。气缸活塞杆在全行程的每个位置上都保持这种平衡状态。一旦控制压力  $P_c$  降低，在此瞬间由弹簧产生的力就大于作用在膜片 2 上的气压力，阀心向右移动， $A$  口关小， $B$  口打开，活塞杆向左退回，直到弹簧力再次与作用在膜片 2 上的气压力相平衡为止。



1-阀心 2, 4, 6-膜片 3-伺服阀 5-弹簧 7-喷嘴 8-低摩擦气缸

图 3.7 伺服气缸结构原理

## (2) 伺服气缸的选型

根据试验系统对气动伺服加载的设计要求，选用上海新益气动元件有限公司出品的 XQGSF 系列伺服气缸，如图 3.8 所示。该伺服气缸是一个由自润滑低摩擦双作用气

缸和气动伺服阀整体安装的组合装置。当输入某一定值的控制压力  $P_c$  后，由于喷嘴挡板的放大作用，在阀芯两端产生压差，其作用使活塞产生位移，最后经活塞杆与反馈弹簧的作用力达到平衡状态，使气缸的位移  $S$  与控制压力  $P_c$  保持对应关系，即达到精确定位的目的。

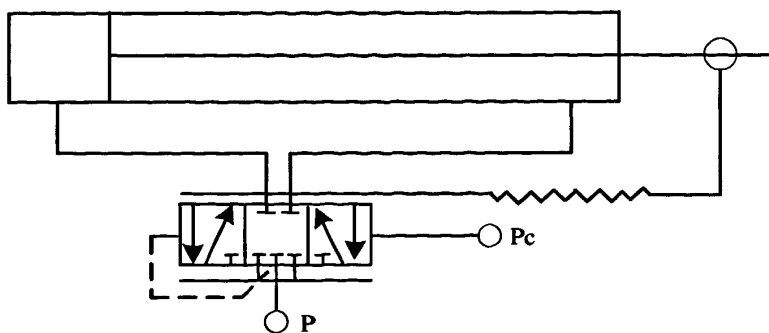


图 3.8 XQGSF 系列伺服气缸示意图

XQGS 系列伺服气缸具有工作稳定、定位精确等特点。经过试验检测，它能够很好的满足试验系统对精确伺服加载的设计要求，其主要技术参数如表 3-2 所示。

表 3-2 XQGS 系列伺服气缸主要技术参数

工作压力(MPa)	0.3~0.7
控制压力(MPa)	0.02~0.1
介质温度(°C)	-10~60
环境温度(°C)	5~60
灵敏度(%)	≤0.5
线性度(%)	≤0.2
滞后性(%FS)	<1
再现性(%FS)	≤1
标准行程(mm)	100

由于气动伺服加载在本试验系统的应用较多，为了方便对试验气动加载过程的了解认识，下面分别对每个实验台的气动加载实现方式进行叙述。

(1) 在操作手柄总成强度实验台中，气动加载主要用于完成对操作手柄总成的横向加载。横向加载装置由伺服气缸、拉压传感器、差动变压器及可调弯板等组成，试验中，手柄专用夹具通过拉压传感器与伺服气缸相连，伺服气缸在系统指令的控制下实现气缸的拉伸运动，在气缸的带动下，即实现对操作手柄总成的横向精确加载。

(2) 在操作手柄冲击强度实验台中，操作手柄总成的加载也采用气动伺服闭环控制



技术完成，可以使被试件的预载荷为试验要求的定值。

(3) 在操作手柄高低温环境性能实验台中，气动加载主要用于以下两方面：第一，在进行手柄拉脱力试验时，手柄护套夹具通过不锈钢钢丝绳与力传感器前端的工装相连接，并且工装与伺服气缸相连接，所以工控机采用力闭环控制方式控制伺服气缸就可以实现对被试件的精确加载；第二，在进行手柄抗扭矩特性试验时，手柄护套夹具通过软轴式钢丝与扭矩传感器前端的工装相连接，工装安装于摆动伺服气缸上，所以工控机通过控制摆动气缸即可以实现对被试件的精确加载。

### 3.3 测力、测变形系统的设计

测力测变形系统是试验系统实现对试验全过程精确控制与管理的关键部分，它主要由传感器、放大器及 AD 测量卡和工控机等组成，其中工控机是试验系统的控制核心和中枢，而放大器及 AD 测量卡是一种兼具有放大器功能和数据采集功能的接口板卡，它们都将在后面的电控系统设计部分进行详细叙述。

传感器是本试验系统中信号输入通道的第一道环节，它是决定整个测量系统性能的关键环节之一。由于传感器技术的发展非常迅速，各种各样传感器应运而生，所以大多数设计者只需从现有的传感器产品中正确地选用而不必自己另行研制传感器。要正确选用传感器，首先要明确所设计的试验系统需要什么样的传感器，即系统对传感器的要求；其次是要了解现有传感器厂家有哪些可以选择的传感器，把同类产品的指标和价格进行对比，从中挑选合乎要求的性能价格比最高的传感器<sup>[23]</sup>。

本试验系统中，为了实现对操作手柄总成实际工况的全面模拟并对其工作特性进行试验检测，系统需要完成包括静强度试验、连续高负荷强度试验、操作耐久试验、强制解除耐久试验、满行程试验、棘齿啮合性能试验、冲击强度试验、手柄拉脱力试验、手柄抗扭转特性试验和按钮拉脱力试验等各类繁多的试验项目和内容，所以试验过程中不仅需要测量力和位移等常见机械量，还需要对角位移和扭矩等进行测量。传感器作为测力测变形系统的重要组成部分，它能否获得正确的信息，直接关系到测力测变形系统的精度，如果传感器的误差很大，即使后面环节的精度很高，也难以提高并满足试验系统对精确的设计要求，所以传感器的合理分析选型对测力测变形系统有着重要的意义<sup>[24]</sup>。

通过对试验系统的试验项目和内容进行分析研究，系统需要以下四种类型传感器，包括测力传感器、位移传感器、光电式编码器和扭矩传感器，其中力传感器和扭矩传感器都属于有模拟输出型的传感器，而测量角位移的光电式编码器属于数字输出型的传感器。另外根据试验系统的设计要求，采用的位移传感器分为模拟输出型和数字输出型两种。整个测力测变形系统的总体设计方案如图 3.9 所示。

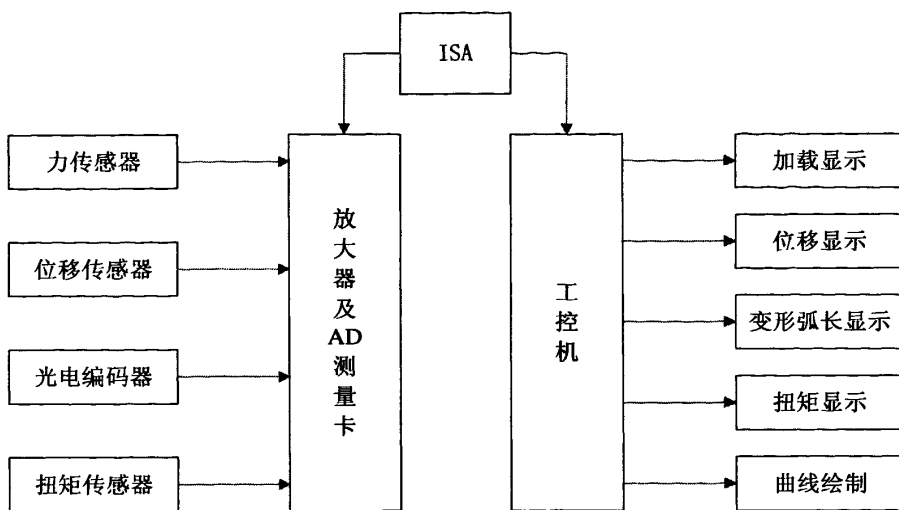


图 3.9 测力测变形系统的总体设计框图

### 3.3.1 力传感器的原理及选型

本试验系统中，测力传感器和扭矩传感器主要应用在以下试验过程中：

- (1) 对操作手柄总成在静强度试验中的负载进行测量，包括向上拉、向下拉和横向三个加载过程。
- (2) 对操作手柄总成拉杆加载时的载荷进行测量。
- (3) 测量操作手柄总成的按钮脱开时的力值。
- (4) 对操作手柄在高低温环境下的最大拉脱力进行测量。
- (5) 对操作手柄及按钮在高低温环境下的扭矩进行测量。

在机电工程领域里，力、压力和扭矩是经常用到的机械参量，所以如何对这些机械参量进行测量一直受到人们的普遍关注。在本试验系统中，很多试验测试过程都需要对力和扭矩进行测量，其中测力环节是实现试验过程精确加载的关键。针对力的测量的传感器数量很多，从力传感器的工作原理角度考虑，主要分为弹性式、电阻应变式、压电式、位移式和相位差式等几种。通过对各种力传感器的原理及特点进行分析研究，本试验系统主要采用压电式和电阻应变式两种类型的传感器对试验过程中的力和扭矩进行测量。

#### 1、压电式力传感器的原理及选型

在本试验系统中，压电式力传感器<sup>[25]</sup>作为一种能量转换型传感器，既可以将机械能转换为电能，又可以将电能转化为机械能，是试验系统实现自动化控制的关键。

##### (1) 压电式力传感器的原理

压电式力传感器的工作原理是基于某些晶体受力后，在其表面产生电荷的压电效应。压电效应是指当沿着一定方向对某些电介质施力而使它变形时，内部就产生极化现象，同时在它的两个表面上便产生极性相反的电荷，当外力去掉后，又重新恢复成

不带电状态，当作用力方向改变时，电荷的极性也随之改变。人们把这种机械能转换为电能的现象，称为“正压电效应”。相反，当在电介质极化方向施加电场，这些电介质也会产生几何变形，这种现象称为“逆压电效应”。很明显，压电材料能够实现机-电能量的相互转换，如图 3.10 所示。

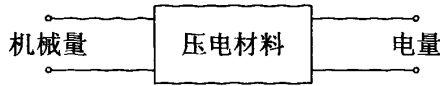


图 3.10 压电效应可逆性

通常把具有压电效应的材料统称为压电材料，压电材料主要分为压电晶体和压电陶瓷两大类。在自然界中大多数晶体都具有压电效应，比如石英晶体、钛酸钡、铬钛酸铅等材料都是性能优良的压电材料。

因为石英晶体材料具有其他材料无可比拟的特性，所以本试验系统采用石英晶体为压电材料的压电式传感器，它的主要特性有以下几种：

- ① 石英晶体具有理想的线性，在一般情况下无滞后现象。
- ② 刚性好，石英弹性模量  $E = 8000 \text{ kg/mm}^2$ ，可以极大的提高了传感器的固有频率。
- ③ 频率响应范围宽，特别适用于动态测量。
- ④ 稳定性好，时间老化率低，无热释电现象。
- ⑤ 居里点高，对温度的敏感性比电阻、电感类要低得多，因此灵敏度变化极小。
- ⑥ 具有较高的绝缘阻抗，体积电阻率大于  $10^{12} \Omega \cdot \text{m}^2 / \text{m}$ 。

(2) 压电式力传感器的选型

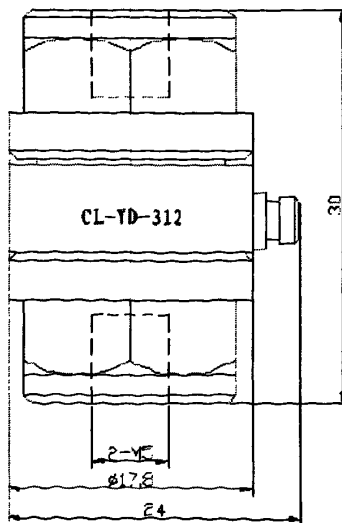


图 3.11 产品外形尺寸示意图

试验系统选用江苏联能电子技术有限公司出品的型号为 CL-YD-312 的压电式力传感器，如上图 3.11 所示。该产品的主要特点是动态测量响应快、静态校准持续时间长、拉压灵敏度误差小，其静态误差曲线如图 3.12 所示。

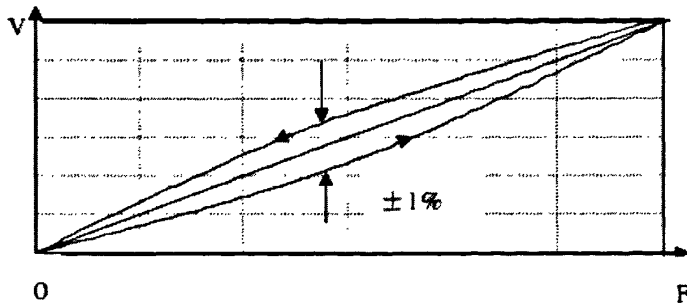


图 3.12 典型静态误差曲线（三次取平均值）

经过试验分析检测，型号为 CL-YD-312 的压电式力传感器可以很好的满足系统对力传感器的设计要求，其主要技术参数如表 3-3 所示。

表 3-3 CL-YD-312 压电式力传感器主要技术参数

电荷灵敏度 (pC/N)	0~3
拉压灵敏度误差(%)	≤2
测力范围(N)	±5 000
过载能力(%)	120
线性度(%F·S)	≤1
迟滞(%F·S)	≤1
重复性(%F·S)	≤1
电容(pF)	18
绝缘电阻(Ω)	>1 013
谐振频率(kHz)	50
工作温度范围(°C)	-196~+200

## 2、电阻应变式传感器的原理及选型

### (1) 电阻应变式传感器的原理

电阻应变式传感器是利用电阻应变片将被测物理量(如应变、力、位移、加速度、扭矩等)转换成电阻变化的传感器。电阻应变式传感器的工作原理是“电阻应变效应”，金属丝的电阻随着它所受的拉伸或压缩的大小而发生相应的变化的现象就称为金属的“电阻应变效应”。

若设一根金属电阻丝的电阻值为  $R$ ，长度为  $l$ ，截面积为  $S$ ，电阻率为  $\rho$ ，则其电阻值为

$$R = \frac{\rho l}{S}$$

图 3.13 所示为金属电阻丝受到拉力  $F$  作用时的示意图，由于电阻丝的长度  $l$  和截面积  $S$  发生了变化，所以其阻值也发生了相对变化。能过数学推导可得，在金属电阻丝拉伸的极限范围内，电阻值的相对变化与应变成正比，而应变与应变力也成正比，这就是利用金属应变片测量电阻应变的基本原理<sup>[26]</sup>。

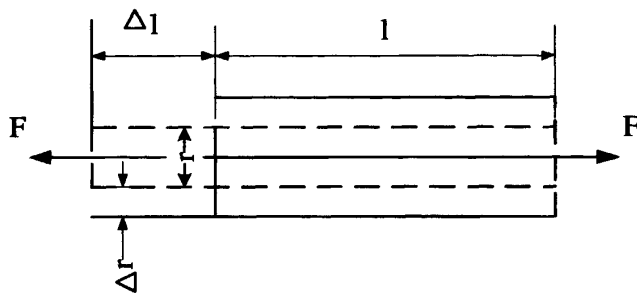


图 3.13 金属电阻丝应变效应

## (2) 电阻应变式传感器的选型

经过对试验系统的结构、特点及设计标准的分析研究，并通过查阅大量的相关资料，我们采用北京泰泽科技发展有限公司生产的 AKC 系列中型号为 AKC-98B 的静态扭矩传感器，如图 3.14 所示。该产品根据电阻应变原理，可以把扭转力产生的变转换成与其成线性关系的电信号，主要技术参数如表 3-4 所示，可以满足试验系统对扭矩的测量要求。

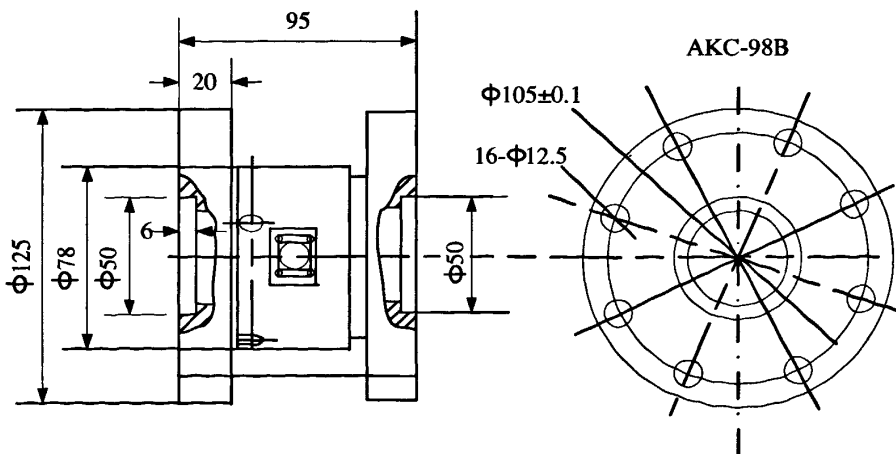


图 3.14 AKC-98B 外形结构尺寸

表 3-4 AKC-98B 静态扭矩传感器主要技术参数

技术参数	技术指标
量程(N·m)	2 000
灵敏度(%)	1
非线性(%FS)	0.1
重复性(%FS)	0.1
滞后(%FS)	0.1
供桥电压(V)	12
输入电阻( $\Omega$ )	350±20
输出电阻( $\Omega$ )	350±10
绝缘电阻(M $\Omega$ )	≥1 000
工作温度范围(°C)	-20~+60
热零点偏移(%FS°C)	0.1
热灵敏度偏移(%FS°C)	0.1
允许过负荷(%FS)	120

### 3.3.2 位移传感器的原理及选型

位移传感器是一种在工业中应用较多的传感器，在本试验系统中，位移传感器主要应用在以下几个测量环节：

(1) 在操作手柄总成强度实验台中，测量对操作手柄总成横向压加载时产生的弹性变形位移。

(2) 在操作手柄总成强度实验台中，测量操作手柄总成按钮脱开时的位移。

(3) 在操作手柄冲击强度实验台中，测量冲击锤的冲击高度。

能够测量位移的传感器有许多种，根据输出类型主要分为模拟型和数字型两种。本试验系统主要应用到差动变压器式和磁致伸缩式两种位移传感器，其中差动变压器式位移传感器属于模拟型输出量的传感器，主要对前两个环节的位移进行测量；而磁致伸缩式位移传感器属于数字型输出量的传感器，主要在操作手柄冲击强度实验台中对冲击锤的冲击高度进行测量。下面分别对它们的工作原理和选型进行介绍。

#### 1、差动变压器式位移传感器

##### (1) 差动变压器式位移传感器的原理

差动变压器式位移传感器是由同心分布在线圈骨架上的一个初级线圈 P、两个次级线圈 S1和 S2组成。线圈组件内有一个可自由移动的杆装磁芯(铁芯)，当铁芯在线圈内移动时，改变了空间的磁场分布，从而改变了初、次级线圈之间的互感量 M，当初级线圈供给一定频率的交变电压时，次级线圈就产生了感应电动势，随着铁芯的位置不同，次级产生的感应电动势也不同，这样就将铁芯的位移量变成了电压信号输出。同

时为了提高传感器灵敏度，改善线性度，实际工作时是将两个次级线圈反串接，故两个次级线圈电压极性相反。于是，传感器的输出是两个次级线圈电压之差，其电压差值与位移量成线性关系<sup>[27]</sup>，其工作原理如图3.15所示。

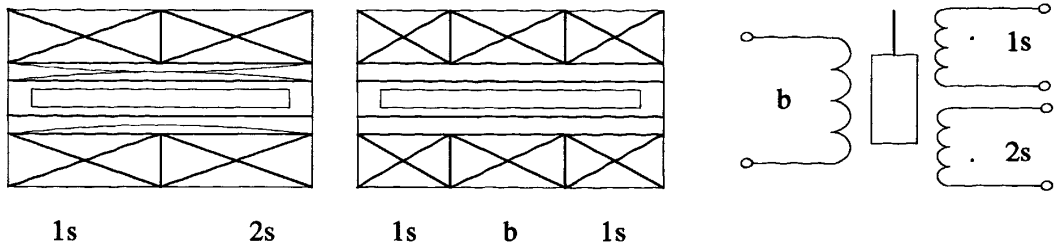


图3.15 差动变压器式位移传感器原理

## (2) 差动变压器式位移传感器的选型

我们选用西安新敏电子科技有限公司生产的 WYDC 系列差动变压器式位移传感器，如图3.16所示。

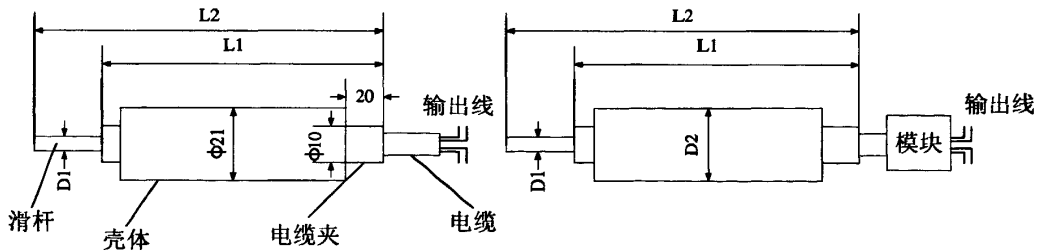


图3.16 外形结构尺寸

该产品具有环境适应能力强、使用寿命长、灵敏度和分辨高等特点，可在潮湿、大电流或强磁场等恶劣环境下工作。使用时只要把壳体夹固在参照物上，其测杆顶夹固在被测点上，就可以直接测量物体的位移，能够很好的满足试验系统对位移传感器的性能要求，其主要技术指标如下表3-5所示。

表 3-5 WYDC 系列位移传感器主要技术参数

量程(mm)	0~1 000
线性度(%FS)	0.1
分辨率(%FS)	0.01
供电电压(V)	$\pm 12 \sim \pm 18$

输出信号(V)	0~±5
温度系数	0.005
输出纹波(mV)	<1
环境温度(°C)	-10~+60

## 2、磁致伸缩式位移传感器

### (1) 磁致伸缩式位移传感器的原理

磁致伸缩位移传感器的工作原理如图 3.17 所示。该产品是应用“磁致伸缩”技术研制而成的，主要由测杆、电子仓和套在测杆上的非接触的磁环或浮球组成。测杆内装有磁致伸缩线(波导丝)，测杆由不导磁的不锈钢管制成，可靠地保护了波导丝。工作时，由电子仓内电子电路产生一起始脉冲，此起始脉冲在波导丝中传输时，同时产生了一沿波导丝方向前进的旋转磁场，当这个磁场与磁环或浮球中的永久磁场相遇时，产生磁致伸缩效应，使波导丝发生扭动，这一扭动被安装在电子仓内的拾能机构所感知并转换成相应的电流脉冲，通过电子电路计算出两个脉冲之间的时间差，即可精确测出被测的位移<sup>[28]</sup>。

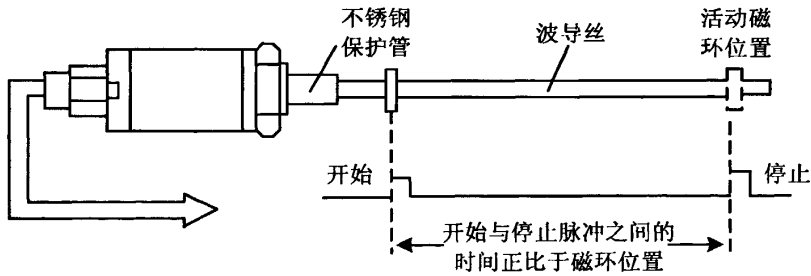


图 3.17 磁致伸缩位移传感器工作原理

### (2) 磁致伸缩式传感器的选型

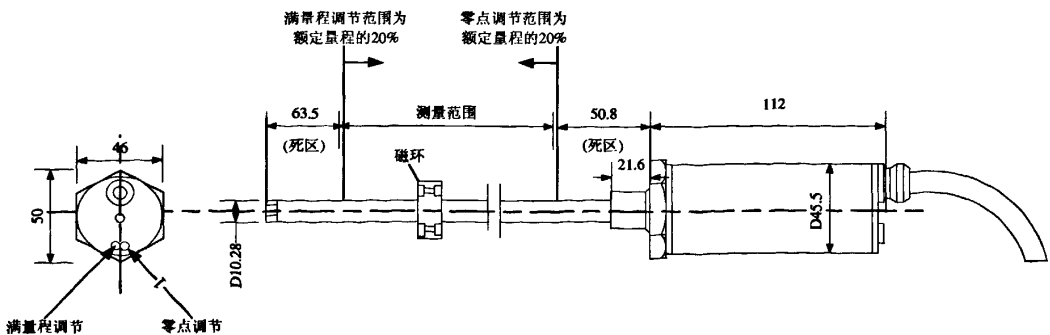


图 3.18 普通型的外形结构尺寸



本试验系统选用康宇公司的 KYCM-L 型磁致伸缩线性位移传感器(普通型), 如上图 3.18 所示。该产品具有精度高、重复性好、稳定可靠、非接触式测量、寿命长、安装方便、环境适应性强等特点, 能够很好的满足试验系统的设计要求, 其主要技术参数如表 3-6 所示。

表 3-6 KYCM-L 普通型主要技术参数

量程范围(mm)		1 000
工作温度(°C)		-25~+80
纹波 (mV)	低噪声环境	有效值<2
	伺服工作状态	有效值<6
非线性误差(%FS)		±0.05
重复性误差(%FS)		优于 0.002
分辨率(%FS)		优于 0.002
迟滞(%FS)		优于 0.002
温度影响(%FS/°C)		±0.07
零点调整范围(%FS)		20
满量程调整范围(%FS)		20
频率响应时间(ms)		0.2~5

### 3.3.3 角度编码器的原理及选型

在总成强度实验台中, 在对施加在操作手柄总成上的载荷进行测量的同时, 还需要对加载过程中的角度进行测量, 以便通过计算求得被试件的变形弧长, 并根据试验标准做出相应的力与位移曲线图。

在角度测量中, 光电码盘编码器在现实中的应用最为常见, 它是用光电方法把被测角位移转换成数字代码形式表示的电信号的转换部件, 具有测量精度和分辨率高、抗干扰能力强、非接触式测量、工作寿命长以及能直接输出某种码制的数码等特点, 可以很好的满足本试验系统对角度测量的设计要求。

#### 1、光电码盘编码器的原理

光电码盘的工作原理如图 3.19 所示。由光源 1 发出的光线, 经柱面镜 2 变成一束平行光或会聚光, 照射到码盘 3 上。码盘由光学玻璃制成, 其上刻有许多同心码道, 每位码盘上都有按一定规律排列着的若干透光和不透光部分, 即亮区和暗区。通过亮区的光线经狭缝 4 后, 形成一束很窄的光束照射在元件 5 上。光电元件的排列与码道一一对应。当有光照射时, 对应于亮区和暗区的光电元件的输出相反, 如前者为“1”, 后者为“0”。光电元件的各种信号组合, 反映出按一定规律编码的数字量, 代表了码盘转角的大小, 从而达到对角位移的测量目的<sup>[29]</sup>。

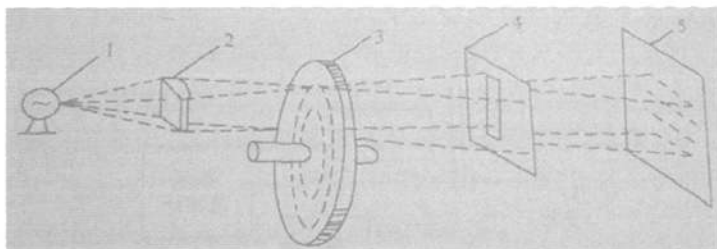


图 3.19 光电码盘工作原理示意图

## 2、光电码盘编码器的选型

根据试验系统的设计要求和特点，经过对许多厂家相关产品的比较分析，采用施科公司的绝对值型旋转编码器，它是集光、机、电精密技术于一体的结晶。通过光电转换，可将输出轴的旋转位移等转换成相应的数字量，具有体积小、重量轻、品种多、功能全、高频率、分辨能力高、承载能力强、力矩小、耗能低、性能稳定可靠、坚固耐用、使用寿命长等特点。

该公司的系列产品中，ASS 绝对值型旋转编码器能够满足试验系统的设计需求。该产品小巧轻便、坚固耐用，并备有格雷式、BCD、二进制多码设计，最适合在复杂环境中使用，其主要技术参数如表 3-7 所示。

表 3-7 ASS 绝对值型旋转编码器主要技术参数

输出码		二进制负逻辑	BCD 码负逻辑	格雷码负逻辑
分辨率(bit)		8、10	360(10)	8、10
输出形式	电压输出	5~12	—	5~12
	开放集电极输出	5~12	5~12	5~12
	开放集是极输出	24	—	24
	推拉输出	—	—	—
	长线驱动输出	—	—	—
最高响应频率(kHz)		10	10	20
启动力矩(N·m)		$<9.8 \times 10^{-3}$		
轴负荷(N)	轴向	29.4		
	径向	98		
最高转速(r/min)		5 000		
使用温度(°C)		-10~+70		

## 3.4 本章小结

本章首先介绍了操作手柄总成试验系统的总体设计方案，主要包括机械结构、加

载系统和测力测变形系统三个部分的设计。

其次对试验设备的三个实验台的机械结构和工作原理分别进行了分析和研究，并得出加载系统和测力测变形系统在本试验系统中的重要性。

再次介绍了试验系统对被试件加载的实现方式，即机电加载和气动加载两种方式。然后对机电加载和气动加载的实现过程分别进行了叙述，并对加载过程中的关键部分，如伺服电机、减速机、伺服气缸等进行了简要叙述。

最后通过介绍试验系统的试验项目和内容，得出传感器在测力测变形系统中的重要性，并且总结了测力测变形系统的总体设计方案，然后分别对总体设计方案中所涉及的传感器的原理和选型进行了分析研究。

## 第四章 驻车制动操作手柄总成试验系统的电控系统设计

该试验系统主要由机械结构、加载系统、测力测变形系统和电气控制系统四部分构成，其中前三个部分已经在上一章进行了设计研究，在这一章我们将主要对试验系统的电气控制部分进行研究。

本试验系统是在机械结构、加载系统和测力测变形系统等硬件支持的基础上，通过配以电控系统，才能实现对试验全过程的控制与管理。在试验系统的大部分功能的实现过程中都有着电控系统的身影，因此可以说电控系统是系统控制、数据处理以及人机交互的中枢和核心<sup>[30]</sup>，它在试验系统中的主要任务包括：

(1) 数据的综合处理：主要对试验过程中传感器返回的测量信号进行记录、保存和计算，并绘制相应的力与变形曲线图。

(2) 试验系统的自动化控制：主要对交流伺服控制器、气动伺服阀、提升机构和电磁释放机构等顺序动作进行控制。

(3) 辅助管理功能：主要包括设置试验检测参数、对试验全过程进行控制与管理、保存及管理检测结果及试验数据等。

(4) 提供界面友好、操作简便的人机交互环境，方便操作者与试验设备之间的信息交流。

电气控制系统主要由硬件支持部分和软件支持部分构成。为了使试验系统具有高效、稳定和可靠等特点，所以必然要有设计合理的系统硬件和系统软件对其予以支持。试验时，系统软件通过控制系统硬件，不仅可以使系统各组成部分能够协调一致地按照系统指令进行工作，也可以通过工控机对返回的各类信息进行分析处理求得试验结果，并将其显示、记录和保存，此外也可以根据试验要求绘制相应的力与变形曲线图。下面分别对电控系统的硬件部分和软件部分进行设计研究。

### 4.1 控制系统的硬件设计

控制系统的硬件部分主要由工控机、各接口板卡及高低温控制器等组成，其中工控机是试验系统的控制核心，它通过 ISA 总线与 I/O 控制卡、放大器及 A/D 测量卡、气动伺服控制卡和交流伺服卡直接进行通信。下面对系统硬件各组成部分进行简要介绍。

#### 4.1.1 工控机的特点

我们选用了目前工业自动化控制中应用最为广泛的工控机作为试验系统的控制核心。一般地，工业现场的环境都是比较恶劣的，除了具有较大的噪音、震动和工业粉尘之外，由于大量设备同时运转而产生的电磁干扰也是非常强烈的，工控机正是一种专门为适应工业现场恶劣环境而设计的计算机。另外大多数工厂通常都是不间断连续作业的，除非设备出现故障否则是不会停止设备运行的，因此工控机与普通的家用和商用计算机相比必须具备以下特点：

- (1) 机箱采用全钢结构，使其具有较高的防磁、防尘和防冲击的能力。
- (2) 机箱内设有专用底板，并且其上具有丰富的 PCI 和 ISA 插槽。
- (3) 机箱内设有专用电源，使之具有较强的抗干扰能力。
- (4) 必须具备长时间连续工作的能力。

虽然工控机与普通的家用和商用计算机相比，具有许多无法比拟的优势，但其劣势同样十分明显：

- (1) 数据处理能力差。
- (2) 配置硬盘容量小。
- (3) 数据安全性低。
- (4) 存储选择性小。
- (5) 价格较高

由于该试验系统使用的计算机需要与多种接口板卡直接进行连接通信，因此必须具备丰富的 PCI 和 ISA 插槽等接口插槽。另外试验过程中需要采集处理的数据相比普通的家用和商用计算机要少得多，并且对计算机的运算处理能力的要求也比较低，因此选择具有丰富接口而且结实耐用的工控机是可以很好的满足试验系统的设计要求的 [31]。

#### 4.1.2 I/O 控制卡的应用

该试验系统设计选用的 I/O 控制卡是一种分别具有 16 路输入和输出的开关量控制卡。它通过工控机底板上的 ISA 插槽与工控机连接通信，并由工控机直接对其进行控制。它在试验设备中的主要作用分别为：

- (1) 在操作手柄冲击强度试验台中，主要控制提升机构的启动或停止和电磁释放机构的提取或释放。
- (2) 在操作手柄总成强度试验台中，主要控制操作手柄总成按钮释放气缸的动作。

#### 4.1.3 气动伺服控制卡的应用

该试验系统使用的气动伺服控制卡是一个集成有单片机的智能控制卡。它通过工控机底板上的 ISA 插槽与工控机相连接，并且采用 PID 控制方式 [32]，与外部的传感器构成闭环回路，通过控制气动伺服阀，使气缸按照计算机的指令要求进行运动。此控制卡具有 5 个独立通道，在试验设备中的主要控制作用分别为：

- (1) 在操作手柄冲击强度试验台中，主要控制气动伺服预加载系统。
- (2) 在操作手柄总成强度试验台中，主要控制横向加载的伺服气缸和手柄释放气缸的工作。
- (3) 在操作手柄高低温环境性能试验台中，主要控制拉脱伺服气缸和摆动疲劳伺服气缸的工作。

#### 4.1.4 放大器及 A/D 测量卡的应用

该试验系统使用的放大器及 AD 测量卡是一种兼具放大器功能和数据采集功能的多用途控制卡。它通过 ISA 总线与工控机直接进行通信，而未采用单片机或 PLC 等二

级控制方式，因此能够更加准确快捷地采集试验过程中的数据信号。它的主要作用是自动采集从传感器返回的非电量或者电量信号，并对采集的信号进行放大和处理，然后送至工控机并对其进行分析处理。

该试验系统的测量环节所需传感器的类型比较多，根据输出类型主要分为模拟型和数字型两种，所以该放大器及 AD 测量卡根据传感器的这些类型，专门设计有模拟测量通道和数字测量通道，以应对多种不同类型数据信号的采集和处理。其中模拟测量通道有 8 路，每个通道采用 16 位的 AD 转换器；数字通道为 4 路，每路计数长度为 20 位。另外，根据模拟型传感器的放大要求，该卡还配备相应的测量放大器。

#### 4.1.5 交流机电伺服控制卡的应用

该试验系统使用的交流机电伺服控制卡采用光电隔离的 V/F 转换接口方式与计算机的控制接口直接连接通信，且具有抗干扰强、控制稳定、精度高的特点。它的主要作用是通过控制交流伺服控制器，实现伺服电机按照工控机的控制指令进行运动，并通过减速机等传动部件实现对操作手柄及拉杆的加载。

#### 4.1.6 高低温环境控制器的应用

该试验系统使用的高低温环境控制器是一种采用目前技术较为成熟的多段智能型控制仪表。它具有标准的 232 串行通用接口，可以直接与计算机进行通讯控制，可以精确控制环境箱内的温度为试验设定的温度。

### 4.2 操作手柄总成试验系统的设计原理

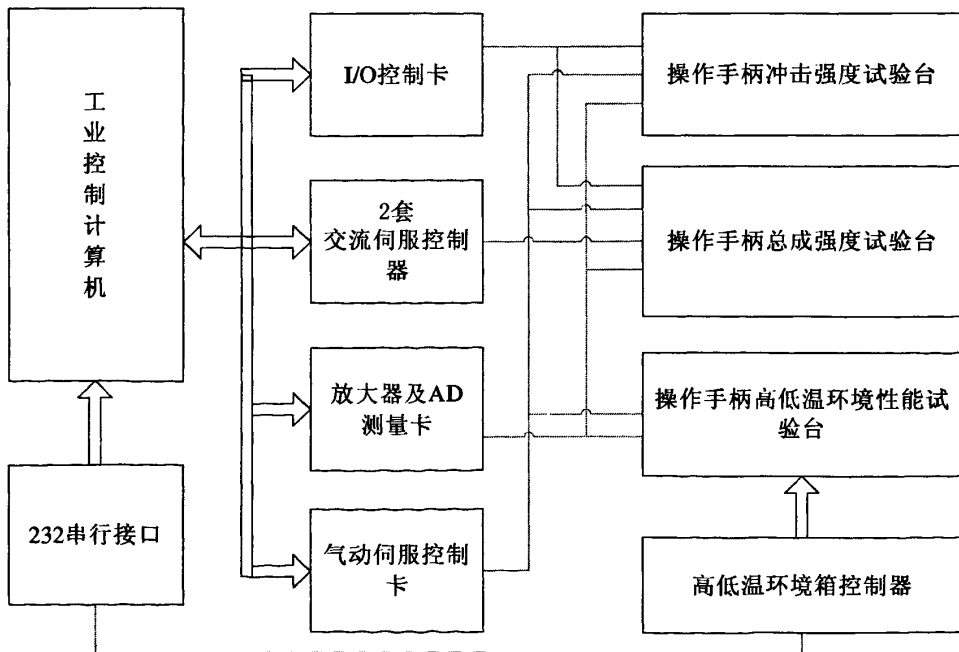


图 4.1 控制原理框图

该试验设备主要由操作手柄冲击强度试验台、操作手柄高低温环境性能试验台和操作手柄总成强度试验台三部分组成，并且均由一套控制系统分别来进行控制，其中控制系统是由工控机、I/O 控制卡、交流伺服控制卡、气动伺服控制卡、放大器及 AD 测量卡、交流伺服控制器、高低温环境控制器以及各类传感器组成，原理框图如上图 4.1 所示。为了方便对试验系统控制原理的理解，下面分别对上述三个实验台的工作流程进行分析设计。

#### 4.2.1 操作手柄总成强度实验台的设计原理

操作手柄总成强度实验台的试验过程主要由操作手柄的纵向加载、操作手柄拉杆的加载、操作手柄的横向加载以及测量操作手柄按钮的力与位移变化四部分组成，设计原理大致如图 4.2 所示。

首先，选择适合固定被测手柄总成的安装底板并使两者安装夹紧，之后将安装底板与实验工作台进行刚性固定，完成被试件的固定安装工作，然后调整棘爪到试验要求的啮合位置，最后根据试验要求调整拉杆是否处于固定状态。整个安装调整过程要求操作手柄总成的转轴和加载臂的回转中心线必须处于同一轴线上，以确保试验的精度和稳定。

当完成上述的试验准备之后，下面将通过试验控制系统对试验过程加以控制实现。在试验过程中，首先需要对系统进行初始化，然后按照试验要求进行试验参数设置，并由工控机根据试验参数向各接口控制卡发送控制指令，驱动试验执行装置进行运动。其中交流伺服控制器在系统指令的控制下，发送脉冲给伺服电机使之按照控制指令的要求进行工作，然后通过减速机的降速增矩，再经由齿形带、丝杠等传递机构实现对被试件的加载，而气动伺服阀在系统指令的控制之下，通过活塞杆使气缸按照控制指令进行运动，在气缸的带动下实现对被试件的加载。上述机电伺服加载和气动伺服加载都采用闭环控制方式，在反馈的控制作用下可以实现对被试件的精确加载。在试验加载过程中，工控机同时对试验数据进行记录、保存并给予显示。另外，根据试验要求，要以通过编制的软件对测量数据进行分析处理，从而达到绘制、显示和保存各种受力状况下的力与变形曲线图的目的。

另外，操作手柄总成按钮的前面装有一套由气缸、力传感器和差压变压器型位移传感器组成的测力测变形系统。试验时，工控机通过 I/O 控制卡对气缸的开关状态进行控制，可以实现对按钮脱开时的力和位移进行测量，从而完成操作手柄总成的棘齿啮合性能试验。

根据设计要求，该操作手柄总成强度实验台可以完成对操作手柄总成的静强度、连续高负荷强度、操作耐久、强制解除耐久、满行程、棘齿啮合性能等多方面的试验项目和内容。

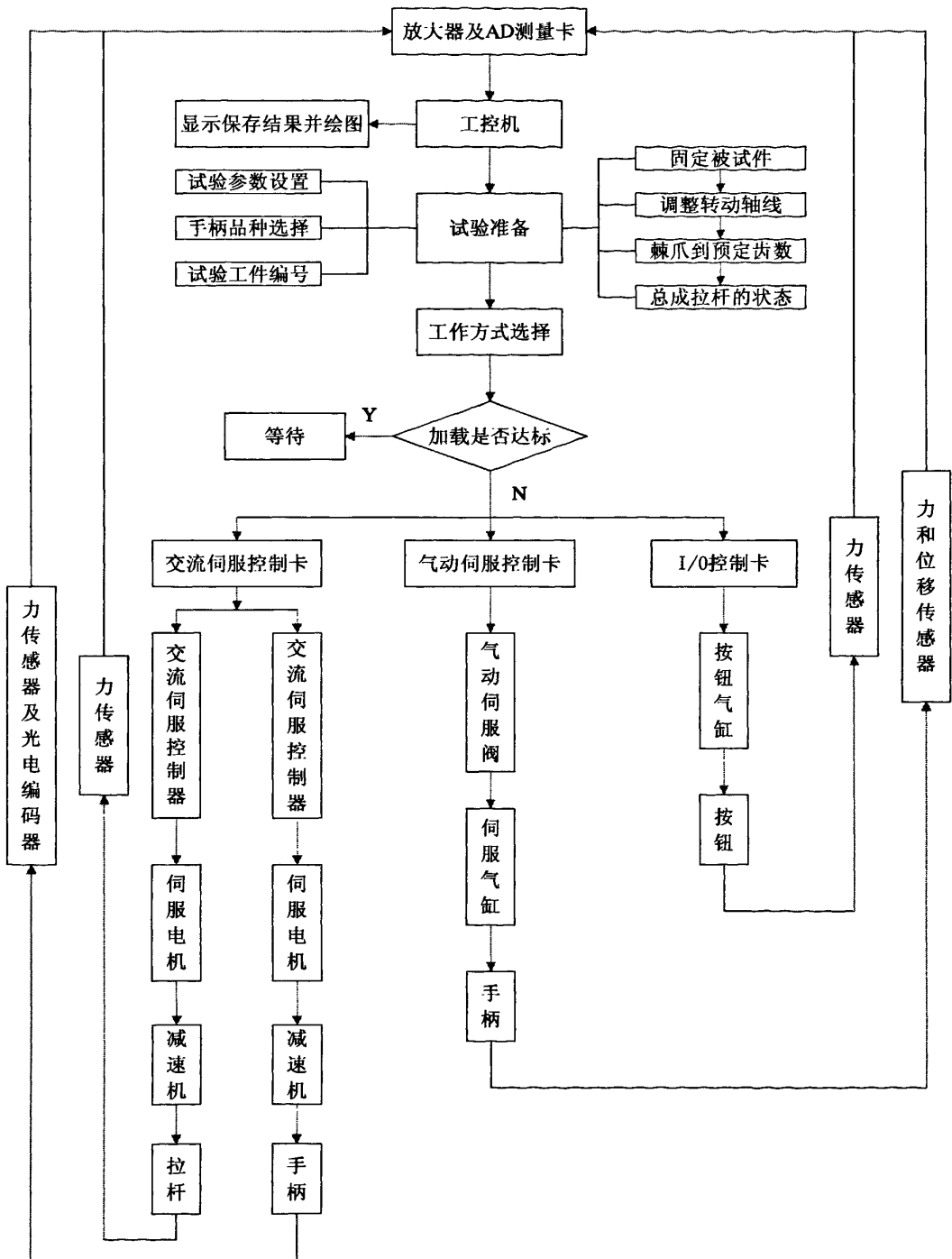


图 4.2 操作手柄总成实验台的原理框图

#### 4.2.2 操作手柄冲击强度实验台的设计原理

操作系统手柄冲击强度实验台专门用于完成对操作手柄总成在预载荷下冲击实



验，它主要由气动加载、提升机构、电磁释放机构、激光对中装置及测力测变形等部分组成，设计原理如图 4.3 所示。

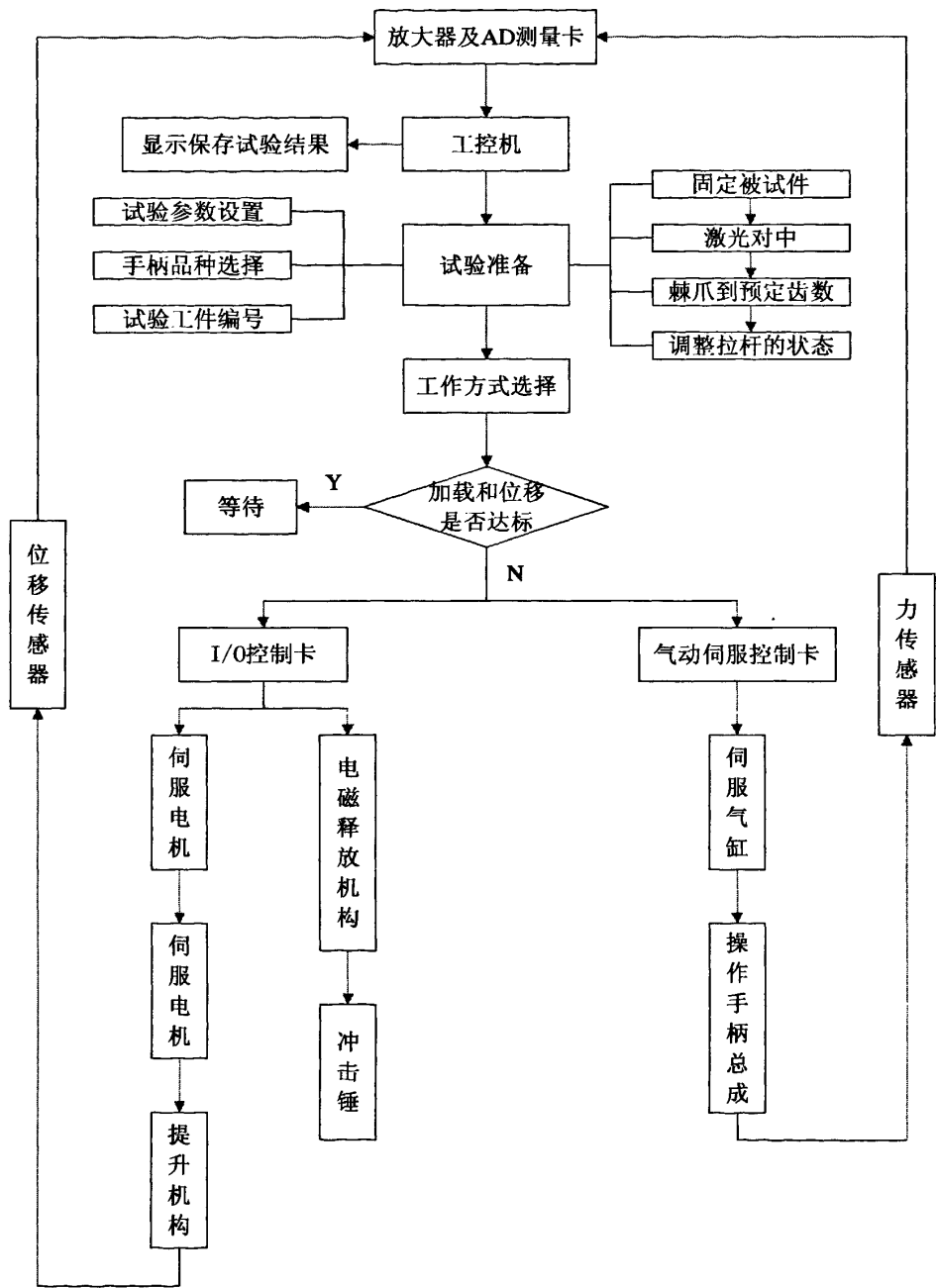


图 4.3 操作手柄总成冲击实验台的原理框图

首先，挑选合适的安装底板，将被试手柄总成与其固定夹紧，并采用激光对中装

置对试验冲击点的位置进行校正,之后再安装底板与工作台进行刚性固定,完成被试件的固定安装工作,然后调整棘爪到试验要求的啮合位置,最后根据试验要求调整拉杆是否处于固定状态。

当完成上述的试验准备之后,下面将通过试验控制系统对试验过程加以控制实现。在试验过程中,首先需要对系统进行初始化并根据试验要求进行试验参数设置,工控机直接对 I/O 控制卡和气动伺服控制卡进行控制。其中工控机通过 I/O 控制卡直接控制提升机构的启动和停止和电磁释放机构的提取和释放,而气动伺服阀在系统指令的控制之下,通过活塞杆使气缸按照控制指令进行运动,在气缸的带动下实现对被试件的加载。由于试验加载采用闭环控制技术,可以实现试验加载的精确控制。试验过程中,工控机通过 I/O 控制卡控制电磁释放机构使冲击锤自由落下,当手柄总成的棘齿完成损毁时,此时安装于实验台框架的磁致伸缩型位移传感器把采集的位移数字信号,经由放大器及 AD 测量卡传到工控机,然后由工控机分析处理并对求得的位移值进行记录、显示和保存,也即求得了试验要求的破坏高度,最后通过判断测得的破坏高度是否达到试验大纲评价标准要求的高度,从而验证操作手柄总成的抗冲击特性是否达标。

#### 4.2.3 操作手柄高低温环境性能实验台的设计原理

操作手柄高低温环境性能实验台专门用于完成操作手柄总成在高低温环境中的手柄拉脱力、手柄抗扭特性和按钮拉脱力的试验测试,主要由气动加载、环境箱和测力测变形等部分组成,设计原理如图 4.4 所示。

试验时,被试手柄总成首先被紧固在承载用的定位安装台,该定位安装台的平板通过四个立柱与工作台刚性固定,然后调整可调弯板使伺服摆动气缸的回转中心线 and 操作手柄总成的对称中心线对准,此时紧固可调弯板的紧固螺钉,完成试验准备阶段。

完成被试手柄总成的安装校正之后,下面开始完成操作手柄总成在高低温环境箱中的试验测试项目和内容。试验时,首先需要对系统进行初始化并按试验要求进行参数设置,然后气动伺服阀在系统指令的控制之下,通过活塞杆使气缸按照控制指令进行运动,在气缸的带动下实现对被试件的加载。由于试验过程采用了力闭环控制方式,所以可以实现精确加载,因此也就可以测出手柄的最大拉脱力。另外工控机通过控制高低温环境控制器可以实现精确控制环境箱,使其按照试验规定的四个交变循环控制程序进行工作,从而实现工控机对操作手柄总成在规定温度下的最大拉脱力的测量、显示和保存等工作。同理,工控机也可以控制摆动气缸通过扭矩传感器按扭矩闭环控制方式进行加载试验,并由工控机对手柄和按钮在规定温度下的最大扭矩进行测量、显示和保存。

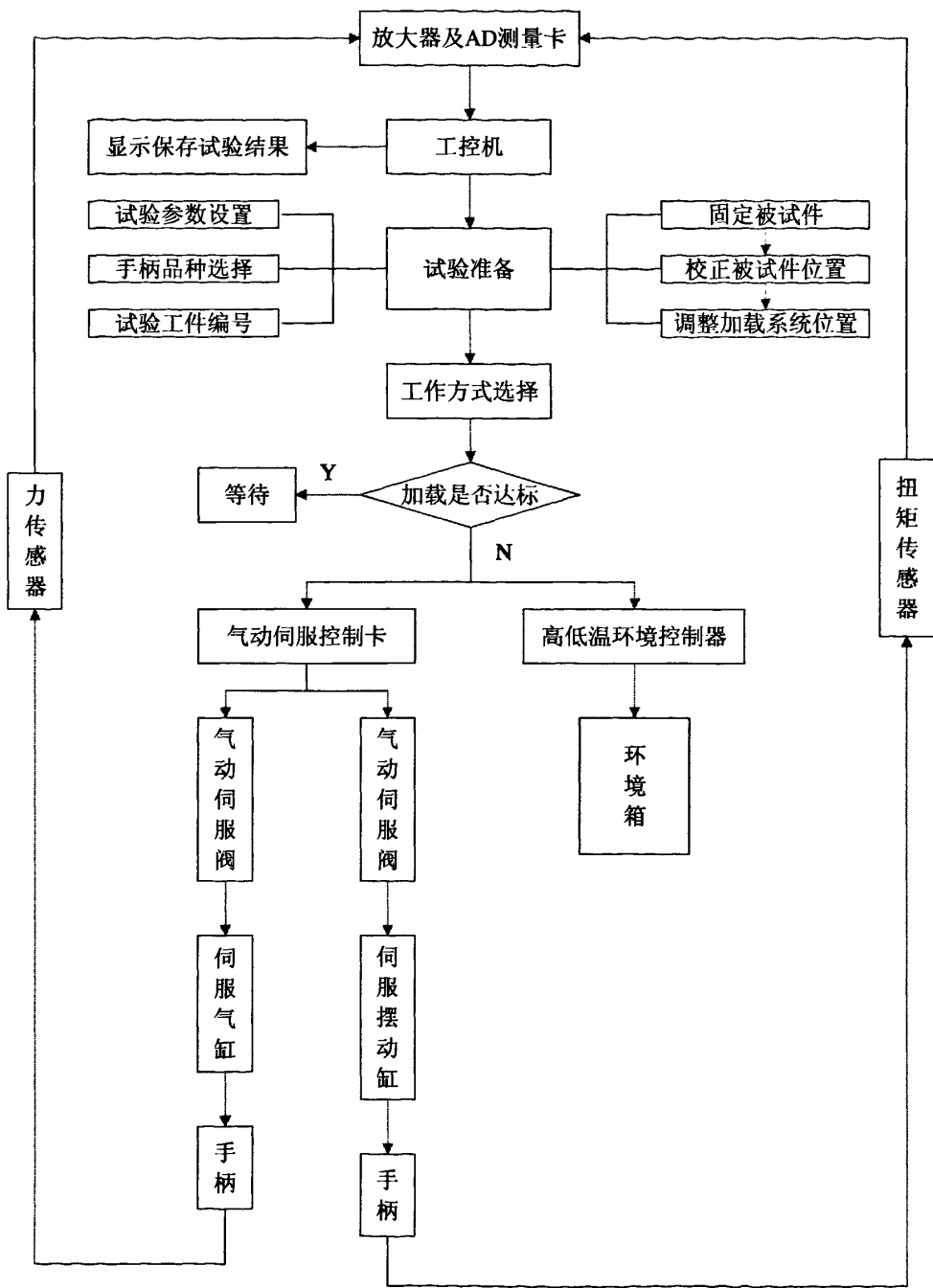


图 4.4 操作手柄高低温环境性能实验台的原理框图

### 4.3 试验系统电控数据的分类

在试验系统中，电控数据是能否实现对试验全过程精确控制与管理的关键。由于在试验过程中有多种类型的数据信号参与其中，因此对试验系统的数据进行整理分类

是十分必要的。

整个试验系统由工控机进行控制与管理，工控机下面直接连接各种硬件板卡，比如放大器及 AD 测量卡、I/O 控制卡等，为了能够更准确更快捷的采集试验中的信号，系统并没有采用单片机或者 PLC 等二级控制方式，而且由于接口板卡具有功能强大、扩展能力强，对于复杂的实验台控制系统是非常方便的<sup>[31]</sup>。放大器及 AD 测量卡在本试验系统中主要用来对传感器采集的信号进行放大处理，然后送至工控机对信号分析处理并将试验结果进行记录、显示和保存等，它主要采集三类信号，包括开关量信号、数字量信号和模拟量信号，采集过程如图 4.5 所示。

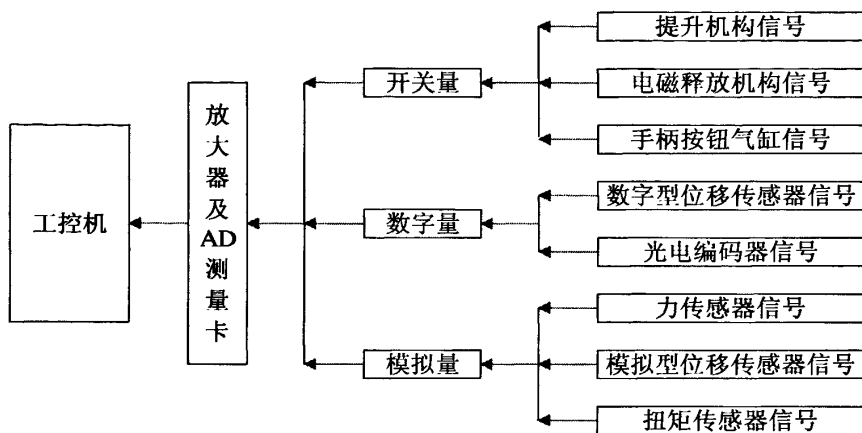


图 4.5 信号的分类

开关信号是不连续变化的信号量，它只有开和关，或者高电平和低电平两个状态，相当于二进制数码的 1 和 0。在试验系统中，负责控制开关量信号的 I/O 控制卡通过 ISA 总线直接与工控机进行通讯，因此工控机可以直接对各种开关量信号进行管理与控制。本试验系统需要采集的开关信号有以下几种：

- (1) 在冲击强度试验台中，需要采集冲击锤提升机构启动和停止的信号。
- (2) 在冲击强度试验台中，需要采集电磁释放机构中冲击锤提取和释放的信号。
- (3) 在总成强度试验台中，需要采集操作手柄总成按钮前气缸释放与否的信号。

模拟信号是随时间变化而连续变化的信号量，但模拟信号并不能够直接被计算机直接识别，而必须经过对其进行放大处理和信号转换才可以被计算机识别。本试验系统需要采集的模拟信号主要有：

- (1) 扭矩传感器信号。主要用于对高低温环境性能实验台中手柄总成的扭矩信号进行采集。
- (2) 力传感器信号。主要用于对试验加载过程中加载负荷的信号进行采集。
- (3) 模拟型位移传感器信号。主要用于采集试验加载过程的同时产生的相应的位移信号。

数字量信号是一种可以直接被计算机识别,并随着时间变化而连续变化的信号量。在本试验系统中,数字量信号主要有光电编码器的信号和数字型位移传感器的信号两种。

(1) 光电编码器信号。在总成强度实验台中,它用来采集由于对手柄纵向加载的同时而产生的加载臂的角位移信号,也就是操作手柄的角位移信号。

(2) 数字型位移传感器信号。在冲击实验台中,它用来采集冲击锤的冲击高度的位移信号。

#### 4.4 试验系统的控制软件设计

软件控制是系统控制的核心部分,它控制整个试验系统并与之形成统一整体,使试验系统能够按照既定的任务来完成试验的项目和内容。为了使控制系统具有友好的人机交互环境,系统软件将以人们日常生活中较为熟悉的 Windows XP 为开发平台,并采用简单易学、功能强大、应用范围广泛的编程语言 VisualBasic 6.0 为开发工具,整个软件程序大量运用模块化式设计方式,这种结构可以使系统软件不但具有良好的可靠性和稳定性,也方便以后对系统软件的改进和维护<sup>[32]</sup>。

本试验系统的软件控制设计原理如图 4.6 所示。首先,在启动试验软件程序之后,整个试验系统必须进行自检,以便检测工控机、各接口及板卡等硬件设备是否正常工作,如若存系统有异常,则试验结束,此时由人工查找并处理系统出现的问题,之后重新进行系统自检,直至系统正常工作。

其次,需要对系统进行初始化和参数设置,使系统处于预准备状态,然后根据试验项目和内容的要求,对实验台及试验部分等工作方式进行选择。当工作方式选择完毕之后,由工控机发送开启指令使伺服电机和伺服气缸等执行元件开始工作,同时由工控机对放大器及 AD 测量卡采集的数据进行读取,通过对各种灵气信息进行分析处理,求得实际测量值,并由工控机对测得数据进行记录、显示和保存,为绘制力与变形曲线图做数据准备。

再次,把测得数据和参数预设的极限数值进行比较,判断是否超限,若超限则试验结束,若未超限则进入下一个比较环节,判断测得数值是否与试验要求的定值吻合,若数值不吻合,则通过按偏差调节闭环控制技术,使得测得数据直至达到试验要求的定值,然后继续执行下面环节。

最后,在测得数据和试验要求的数据吻合的情况下,系统向下发送停机指令使伺服电机等执行元件停止工作,然后通过编制的系统软件对已测得数据进行分析处理,并绘制、记录和保存相应的力与变形曲线图。

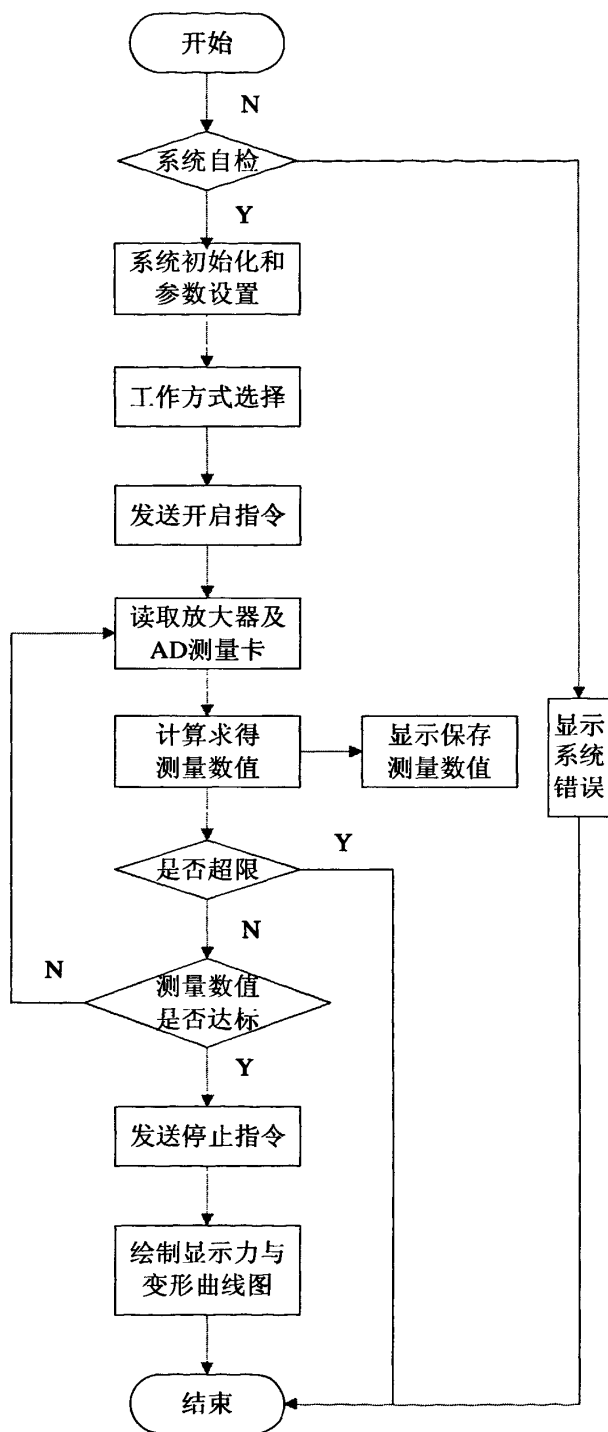


图 4.6 试验系统软件控制原理框图

## 4.5 电控系统软件模块的设计

本试验系统的软件控制程序采用模块式设计，主要由系统初始化模块、数据采集处理模块、数据系统的备份及保存模块、实时数据动态显示模块、系统帮助模块、系统参数及管理模块等组成。这种结构具有很好的稳定性和可靠性，也便于日后对程序的改进和修改<sup>[33]</sup>。

### 4.5.1 系统软件模块间的相互关系

在控制系统中，系统主控程序直接或者间接的控制其它模块，是各模块之间的控制核心和联系纽带。它在试验系统中的主要任务就是对试验数据进行采集、处理和保存并在操作面板上予以显示，以及判断测得试验数据是否达到试验初始时设置的定值等。该试验系统各主要软件模块之间的相互关系如图 4.7 所示。

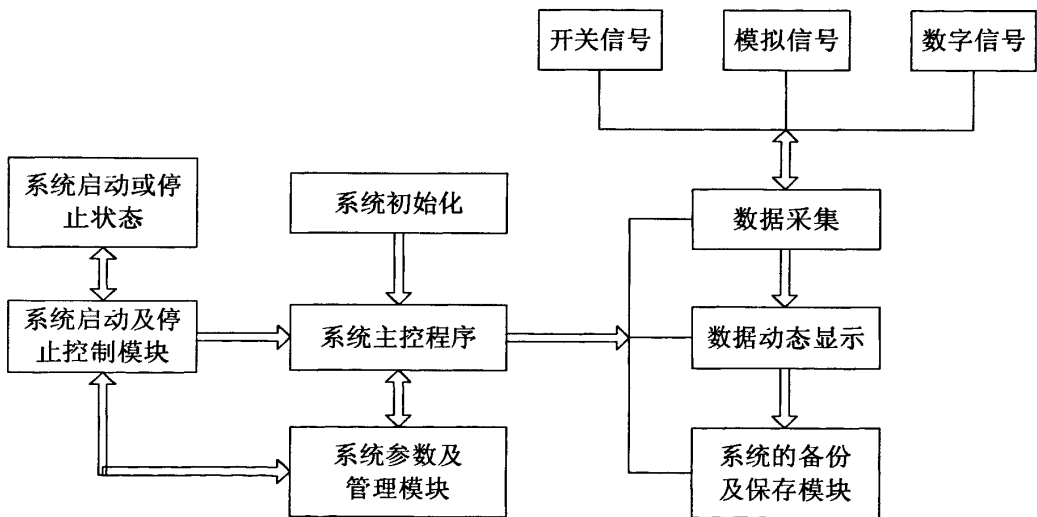


图 4.7 系统模块相互关系示意图

### 4.5.2 系统初始化模块的设计

系统初始化模块的主要工作是完成与系统数据库的建立和连接，并对各个寄存器进行清零复位，以便实现对实时数据的中转和存储。除此之外，系统还需要完成对与工控机相连接的各组成部分的初始化，使它们处于工作预准备状态，并在系统自检的过程中完成对系统各组成部分是否存在故障进行检查。本试验系统需要采集的数据端口主要有交流伺服控制卡端口、气动伺服控制卡端口、I/O 控制卡端口、放大器及 AD 测量卡端口和高低温环境控制器端口，主要目的就是要对上述各端口进行初始化参数设定，具体的初始化流程如图 4.8 所示。

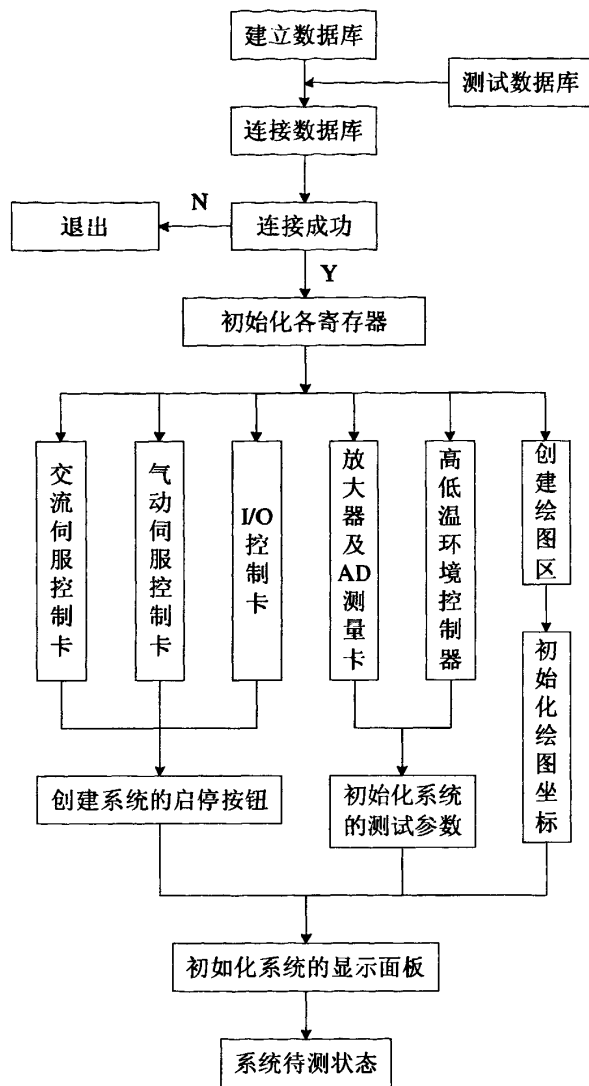


图 4.8 系统初始化模块工作流程图

### 4.5.3 系统数据采集处理模块的设计

本系统传感器采集的信号主要分为模拟信号和数字信号两种，其中数字信号是可以直接由计算机识别处理的信号，而模拟信号需要进行必要的信号转换才可以。下面以模拟信号为例对数据的采集过程进行简要叙述。

传感器首先把采集到的被测量信息转变为模拟的电信号，然后经过 AD 转换和可以把模拟的电信号转换为计算机可以识别的数字信号并送至计算机，最后由计算机对其进行分析处理并求得直观的被测值。另外，由于传感器在信号采集中是不可避免的受到许多外界干扰的影响，所以本系统综合考虑试验中的各种干扰因素，采用按偏差



调节闭环控制技术，用于减小外界对传感器的干扰影响，尽可能的避免数据失真，具体的信号采集及处理流程如图 4.9 所示。

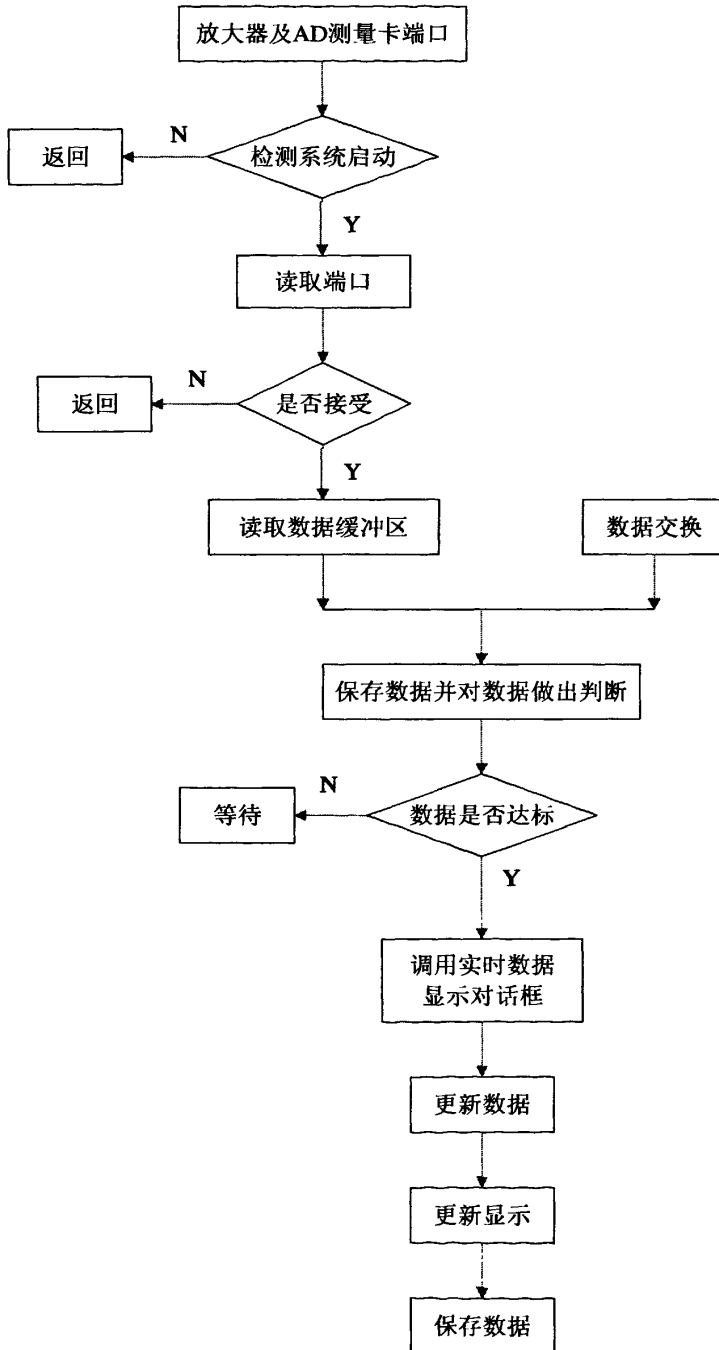


图 4.9 系统数据采集处理模块工作流程图

#### 4.5.4 系统其他检测模块的设计

除了上面介绍的系统初始化模块和数据采集处理模块之外，系统各组成软件模块中还包括系统参数设置及管理模块、系统数据的备份及保存模块和数据库连接模块等。

(1) 系统数据的备份及保存模块的主要作用是对试验过程中的测试数据进行适时的记录和保存，并且为了方便对测试数据的查询，系统会在备份试验数据的同时由系统主程序生成一个相应当前日期的数据库备份文件。

(2) 系统参数设置模块主要作用是对试验的参数进行设置，主要包括操作手柄总成的选型设置以及试验参数的设定等。由于该试验系统是为试验多种类型手柄总成而设计研制的，因此为了避免试验过程中试验数据的混淆，对试验手柄总成的型号设置是十分必要的。试验参数设定包括操作手柄总成的编号、加载的力值、冲击锤的冲击高度值、高低温环境箱内的温度值等，并且根据试验系统的状况和试验要求设置相应的极限加载或极限位移等，系统报警装置会根据当前检测的试验参数是否超出预设的极限参数判断是否进行系统提示。

(3) 数据库连接模块的主要作用是在对试验系统进行初始化时，实现与试验系统的数据库进行建立和连接。

#### 4.6 本章小结

在本试验系统中，电控系统是系统控制、数据处理以及人机交互的中枢和核心，它主要由硬件支持部分和软件支持部分组成。

首先，本章对电气控制系统的硬件支持部分进行了分析介绍，它主要由工控机、I/O控制卡、放大器及AD测量卡、交流伺服控制卡、气动伺服控制卡及高低温环境控制品等组成。试验系统采用工控机与各类接口板卡通过ISA总线直接通讯的方式来对整个系统加以控制，而未采用单片机或PLC等二级控制方式，因此该结构具有适时性强、可靠性高并且控制精确等优点。

其次，为了方便对试验系统的工作流程的理解，对试验系统的三个组成部分的工作原理分别进行了阐述，并根据它们的工作原理及对试验项目和内容的分析研究，总结并确立了试验系统的软件控制流程。

再次，电控数据是系统控制的关键，而控制主要是为了处理试验中的数据信号，因此在本章中对试验过程中几种类型的信号进行了归纳整理，并在此基础上对它们进行了详细分类。

最后，为了使系统软件具有较好的可靠性和稳定性，控制程序采用了模块式设计结构。在系统对试验数据信号进行采集和处理过程中，根据程序的不同功能可以将试验系统的控制软件模块分为系统初始化模块、系统主控模块和数据采集模块等，因此本章首先对系统各组成模块的相互关系进行了分析研究，然后在此基础上对几个主要软件模块的工作流程通过框图形式进行了阐述。

## 第五章 工作总结与展望

### 5.1 工作总结

本课题来源于企业工程项目，主要任务是设计一套具有多种试验功能的驻车制动操作手柄总成试验系统，可以实现对多种轻型车的制动手柄总成的质量检测。

驻车制动操作手柄总成是汽车驻车制动系统中的关键部件之一，它的质量是否合格，直接影响着整车制动性能的效果，而且还与驾驶者的人身安全密切相关，因此需要对操作手柄总成进行全方面的试验检测。根据国家出台的汽车驻车制动操作手柄检测试验标准大纲的规定，该试验系统需要完成的测试项目主要包括对操作手柄总成的静强度、冲击强度、连续高负荷强度、操纵面板性能、强制解除耐久性能、满行程性能、齿啮合性能以及操作手柄总成的高低温环境下手柄拉脱特性、手柄抗扭转特性、按钮拉脱力性能等进行试验检测。

由于本试验系统的试验项目和内容比较繁杂，很难在一个实验台中全部完成，因此通过对试验项目和内容的归纳整理，试验系统将通过三个不同的实验台共同来完成试验要求的项目内容，并且由于由于试验的标准也不统一，所以决定了操作手柄总成试验系统必然是非常复杂的。虽然三个实验台的试验功能并不相同，但是基本上都由机械部分、加载部分、测力测变形部分以及电器控制部分组成，而且由于三个实验台均由一套控制系统分别进行控制，所以决定了试验系统的自动控制有着较大的技术难度。

本文通过对驻车制动操作手柄总成试验系统做了深入的分析研究之后，取得了一定的成果，现对研究内容总结如下：

#### (1) 试验标准和内容的确定

根据企业要求，设计研制的操作手柄总成试验系统不仅能够试验多个品种的操作手柄总成，而且要求试验系统能够全面的模拟操作手柄总成的实际工况并对其的各种状态进行试验检测，并参照试验标准以确定手柄总成的质量是否合格。因此，研究设计时必须充分考虑到上面的部分。通过对驻车制动操作手柄总成的工作方式和原理的研究，并参考国家驻车制动操作手柄总成实验大纲，从而确定了操作手柄总成试验系统的试验标准和内容。

#### (2) 试验系统的总体设计

根据试验项目和内容的特点，试验系统总体设计分为机械结构部分、加载系统部分和测力测变形系统部分。机械结构部分是试验系统的基础支撑，为了使试验系统能够满足多品种操作手柄总成的试验需要，所以要求试验系统的机械结构部分要具有很好的柔性，另外为了便于加载及测力测变形系统的安装，机械结构要充分考虑到试验过程中的稳定性和可靠性；加载部分是试验系统实现试验项目和内容的前提，因此加载系统的传动机构必须具有很好的刚度和可靠性，另外加载系统的平稳加载是需要稳

定可靠的驱动装置为前提的，所以必须对其进行合理的选型；测力测变形系统主要由各类传感器组成，它是控制系统与试验系统机械部分联系的纽带，为了获得较高的试验测量精度，并且控制加载力为试验标准要求的定值，所以对传感器的合理选型也十分重要。在本文中对上述三个部分的设计思想和理论依据分别进行了系统阐述。

### (3) 试验控制系统的设计

为了实现对试验系统中三个实验台进行全程的控制与管理，并使其具有控制精度高、操作简单、自动化程度高、性能稳定、维护简单方便等特点。本文对控制系统的硬件部分和软件部分分别进行了研究设计，由于篇幅有限，只把具体的工作流程和控制流程用框图的形式进行了叙述。

## 5.2 工作展望

本课题设计的驻车制动操作手柄总成试验系统可以很好的满足国内企业对操作手柄总成质量性能的试验检测需要，但在先进控制理论及控制技术的应用方面仍与进口设备有着很大的差距，所以对试验系统继续进行产品优化是十分必要的。可是由于本人水平有限，不能在设计研究过程考虑其所有细节，所以仍然有大量的改进工作需要在今后继续完成。本人通过对研究设计过程的深思熟虑和仔细推敲，对这些问题总结如下：

(1) 由于我国的工业试验检测技术的应用研究方面起步较晚，所以在新材料的研制应用、新控制技术的应用开发和最新的计算机应用技术等方面，与国外发达国家仍然有着较大的差距，所以如何吸收和学习发达国家的先进技术和管理经验，并将其运用到本试验系统中，对试验系统的综合性能还有着较大的提升空间。

(2) 由于开发时间紧促而且开发经验不足，本人未对产品进行可靠性分析，因此在未来的试验系统使用过程中，可能会有很多的涉及稳定性和可靠性等的未知隐患出现，所以这是本次设计研究中最大的失误，有可能带来很多不必要的损失。因此需要大量的工作对产品的稳定性和可靠性进行分析研究。

## 致谢

本论文是在导师李振辉教授的悉心指导和帮助下完成的。在两年多的研究生学习期间，不仅在学业上得到了导师给予的耐心指导，而且在生活上也得到了导师的巨大帮助。在日常的交流之中，导师渊博的学识、严谨的治学态度、踏实的钻研精神及认真负责的工作作风使我受益匪浅，让我更加坚定了人生的奋斗目标。在此谨向我的恩师李振辉教授表达衷心的感谢。

另外要特别感谢曹国华教授、于正林教授和姜涛教授，他们在课题的研究和论文的撰写过程中提出了许多宝贵的建议，使我受益颇多。同时也要感谢隋鹏飞、段荣鹏同学和林志聪等同学在论文撰写过程中给予我的帮助。

最后，特别感谢我的父母和爱人，正是由于他们的支持关心，才使我度过了两年多的研究生学习生活，并且顺利的完成了硕士毕业论文。

## 参考文献

- [1] 黄向东, 周斯加. 中国汽车工业发展的思考经济问题. 经济问题. 2004, 9
- [2] 廖云霞. 制动器惯性试验台架的研究与开发: [硕士学位论文]. 陕西: 长安大学机械设计与理论专业, 2006
- [3] 王慧. 驻车制动手柄冲压工艺分析. 模具工业. 2001, 248 (10)
- [4] 魏义. 汽车制动器总成制动性能实验台测控系统关键技术的研究: [硕士学位论文]. 安徽: 合肥工业大学机械设计与理论专业, 2008
- [5] Qingdong, Automatic Control of Automobile Transmission Performance Test Stand[J]. Journal of Beijing Institute of Technology.1998, Vol.7, No.2
- [6] S.J.Shaffer. Commercial vehicles brake testing. SAE Paper 952762
- [7] 余志生. 汽车理论. 第4版. 北京: 机械工业出版社, 2006
- [8] 陈家瑞. 汽车构造(下册). 第2版. 北京: 机械工业出版社, 2001: 121~146
- [9] B.Maciuca, J.K.Hedrick, J.C.Gerdes. automatic braking control for IVHS. JSAE Review. 1995(16): 219
- [10] Yukio Nishizawa, Hironobu Saka. Electronic control cancelling system for a disc brake noise. SAE Paper 971037
- [11] 王成璞, 胡也平. 五千铃 NKR100P 驻车制动操纵机构简介. 汽车与配件. 1995(18)
- [12] 宋顺国. 汽车驻车制动检测不合格的原因分析和采取的措施. 辽宁交通科技. 1994, 2
- [13] 徐雪松. 浅谈汽车制动性能的评价. 科技资讯. 2005(27): 117~126
- [14] 陈立周. 稳健设计. 北京: 机械工业出版社, 2000
- [15] 王爱玲. 现代数控机床结构与设计. 北京: 兵器工业出版社, 1999: 292~324
- [16] 丁旭如, 王威雄. 用低成本取得高质量的途径—稳健设计. 中国机械工程. 1997, 8(1)
- [17] 杜希鹏. 激光对中测量系统的研究与开发: [硕士学位论文]. 陕西: 西北农业科技大学农业机械工程专业, 2005
- [18] 周斌. 汽车转向拉杆球接头试验台测控系统研究: [硕士学位论文]. 湖北: 武汉理工大学机械电子工程专业, 2009
- [19] 彭旭昀. 机电控制系统原理及工程应用. 北京: 机械工业出版社, 2006
- [20] 敖荣庆, 袁坤. 伺服系统. 北京: 航空工业出版社, 2006
- [21] 机械设计手册编委会. 气动传动与控制. 第4版. 北京: 机械工业出版社, 2007
- [22] Kowrk, D. P, Tam. P, Li. C, K. Wang. Analysis and design of fuzzy PID control systems[J]. Control 1991. International Conference. 1991(2): 955~960
- [23] 孙传友, 孙晓斌. 测控系统原理与设计. 第2版. 北京: 航空航天大学出版社, 2007
- [24] A.Fritz, W.Schiehlen. Nonlinear ACC in simulation and measurement. Vehicle System Dynamics. 2001, 36(2-3)
- [25] 徐科军. 传感器与检测技术. 北京: 电子工业出版社, 2004: 161~163
- [26] 孙宝元, 杨宝清. 传感器及其应用手册. 北京: 机械工业出版社, 2004: 73~77
- [27] 张家友. 大型盘磨机位移检测系统改造: [硕士学位论文]. 四川: 四川大学机械设计与理论专业, 2006
- [28] 李庆山, 潘日敏, 戴曙光等. 磁致伸缩位移传感器位移测量研究与实现. 仪器仪表学报. 2005, 26(8): 50~56

- [29] 张洪润, 邓洪敏. 传感器原理及应用. 北京: 清华大学出版社, 2008: 97~99
- [30] Kue.T.Y. An iterative learning control theory for a class of nonlinear dynamic systems. *Automatica*. 1992, 28(6): 1213~1221
- [31] ABDELNOUR GM. Design of A Fuzzy controller Using Input And Output Mapping Factors[J]. *IEEE Trans Syst Man Cybern*. 1992, 21(5): 952~960
- [32] Sunwoo. M, Cheok Ka C. Investigation of adaptive control approaches for vehicle active suspension systems. In: *Proceedings of the American Control Conference*. 1991, 1542~1547
- [33] 郑彩霞. 汽车主减速器实验台的研究: [硕士学位论文]. 安徽: 合肥工业大学机械设计与理论专业, 2007