

Y . 817853

分类号: U464-39

密级: \_\_\_\_\_

U D C: \_\_\_\_\_

编号: \_\_\_\_\_

西南林学院 2005 届硕士研究生学位论文

# MC68HC908 单片机在发动机台架试验中的 应用研究

Application and Research of MC68HC908 Microcontroller in  
Engine Test-bed Experiment

蚩小霞

指导教师: 赵龙庆 教授

申请学位级别: 工学硕士

学科专业名称: 森林工程

论文提交日期: 2005 年 5 月

论文答辩日期: 2005 年 6 月 5 日

学位授予单位: 西南林学院

学位授予日期: 2005 年 7 月 18 日

2005 年 5 月

**摘要:** 随着发动机电控技术的发展,对发动机测试提出了更高的要求。发动机试验的自动化成为提高发动机测试效率和质量的重要方法。本文在调查研究国内外发动机自动测试技术的基础上,提出了用单片机实现发动机台架试验的自动化的方案,完成了硬件配置设计并研制了测试与控制软件,为实验室测试的自动化打下了基础,系统的开发方法具有推广价值。

硬件采用了模块化的设计方法。层次式原理图设计使得开发周期短,管理与修改方便;在 PCB 设计上,将模拟电路与数字电路分开,以提高可靠性。

在软硬件设计的过程中,还采取了多种抗干扰措施,以提高系统的电磁兼容性。开发调试时,使用了自制的编程适配器,配合清华大学开发的 MC68HC908GP32 编程器、监控程序 initial.s19 和 MOTOROLA 公司的仿真软件包 ICS08GPZ In-Circuit Simulator 进行了在线非实时开发与仿真。

本文研制完成的方案有以下几个特点: 1. 以性能试验为主要研究对象,满足发动机测试的主要要求; 2. 考虑通用性、实用性和经济性,采用 PC 机为测试控制工作机,选用符合工业标准的配件,引进监督曲线,实时监控试验情况; 3. 采用 MC68HC908GP32 单片机用于控制数据测试和测功器,满足测试控制工作高精度、高速度和高效率的要求; 4. 在 WINDOWS 环境下采用 DELPHI 开发出的系统软件,界面友好,显示直观,操作方便灵活,图表功能强; 5. 该系统不仅提高了台架试验的测量精度、可靠性,而且还可以完成以往人工调节无法完成的变工况测试;

**关键词:** 单片机, 发动机台架试验, 测试与控制

**Abstract:** With the development of the research on electronic control engine, new requirement has been put forward to the engine test. The automatization of engine test has become one of the most important methods to improve the efficiency and quality of the engine test. After investigating various automated measurement techniques home and abroad, a microcontroller –based automated data acquisition and control system of engine test is given in this dissertation, and the acquisition and control program is accomplished. This research has made a foundation for the automatization for our engine laboratory. The development method of the system is valuable for popularizing.

*Hardware designing has been modularized. Hierarchy schematic diagram can not only shorten the design period, but also make management and correction easy. In PCB, analog circuits are divided from digital circuits, which improve the stability of the system.*

In course of hardware and software being designed, many anti-jamming measures have been adopted to improve EMC. To finish the development, on-line, non-real-time emulation and debugging is done with self-made Programmer Adapter, MC68HC908GP32 Programmer and Monitor ROM developed by Tsinghua University and emulation software kit made by MOTOROLA Inc.

This microcontroller control engine test system has some characteristics as follows:

- 1.The performance test is engine test chief research object and meets the main demands of the engine test.
- 2.It has considered the practicality, interchanges ability and economy, uses a PC microcomputer as the system kernel, selects other parts meeting industry standard. It also introduces the “supervising curve”, so the test engine could control the test momentarily.
3. It uses a MC68HC908GP32 to control the data acquisition and the dynamometry. This system can meet the demands of current engine test which are high precision, high speed and high efficiency.
4. We developed the entire software by Delphi under Windows operating system. It has friendly graphic user interface, flexible operating manner, and powerful data processing function.
- 5.This test system can not only largely improve testing precision and reliability, but also accomplish experiments of variable working condition that can not be completed under manual control.

**Key words:** Microcontroller, Test-bed engine, Measurement and control

## 声明

本人声明所呈交的论文是我个人在导师指导下（或我个人）进行的研究工作取得的研究成果。尽我所知，除了文中特别加以标注和致谢的地方外，论文中不包含他人已经发表或撰写过的研究成果，也不包含为获得西南林学院或其它教育机构的学位或证书而使用过的材料，与我一同工作的同志对本研究所做的任何贡献均已在论文中作了明确的说明并表示了谢意。

签名： 崔小霞 日期： 2005.6.21

## 关于论文使用授权的说明

本人同意：西南林学院有权保留论文的复印件，可以采用影印、缩印或其他复制手段保存论文；提交论文一年后，允许论文被查阅和借阅，学校可以公布论文的全部或部分内容。

（保密的论文在解密后应遵守此规定）

签名： 崔小霞 导师签名： 王树强 日期： 05.6.21

## 1 绪论

### 1.1 前言

汽车工业作为现代工业的一个支柱产业，是一个国家工业现代化发展水平的标志。近年来，随着我国国民经济的发展和人们生活水平的提高，人们对汽车的需求量的日益增多，人们对汽车性能的要求也不断提高。发动机作为汽车及其它动力机械的心脏，除了从结构设计、制造工艺方面改进外，对其性能指标及可靠性测试的要求也越来越严格。发动机的台架试验是对发动机的性能进行测试的主要手段，在测试过程中可以观察到发动机的一些细微变化，精确地测量在稳定工况及一些变工况下发动机的各种性能指标。试验的结果直接反映了产品性能的优劣，并指导工程技术人员改进发动机的设计和制造工艺<sup>[1]</sup>。

发动机测试技术的高低是衡量汽车工业现代化程度的一个重要标志，汽车工业水平的发展离不开发动机测试技术。我国内燃机制造企业有数百家，每家企业都拥有数量不等的发动机试验台架，再加上各有关科研院所以及高等院校，各大小发动机试验台架有上千台。但其发展水平参差不齐，有些试验台架还处于手工调整工况，目测读数手写记录状态，已经远远不能满足现代汽车行业对发动机性能的测试要求。为此，在目前计算机控制技术迅速发展的背景下，能否依靠现有的测试设备，运用先进的控制技术，把原有的发动机台架的各个测试设备联系起来组成一套完整的自动化测控系统，做到花钱不多，而效果与成套的自动化测试设备相同或接近，是一项很有意义的课题。

近年来，随着微电子和自动化技术的不断革新，发动机的测试技术也得到了相应的发展，具体地表现为测试设备的功能越来越强大，智能化程度也越来越高，使对发动机某些性能指标的测量手段得到了改进，然而并没有解决发动机的自动化测试问题。这次我们对发动机的试验台架进行改造，在充分利用原有台架试验设备的基础上，引入先进的单片机控制技术，把单片机与各测试设备相连，用最新的 Delphi 平台开发一套完整的监控软件，实现了发动机台架试验的自动化。

### 1.2 发动机台架试验的种类及意义

发动机台架试验按任务的不同大体上可分为生产方面的试验、新产品的鉴定试验

以及用于研究开发方面的试验。生产试验主要以控制产品质量为目的，它的特点是试验的产品固定、试验项目固定，测试的方法、参数也较少变化，要求设备必须可靠，适应长期运转。鉴定试验是对某一项技术或某一新产品由权威部门组织有关专家进行鉴定，以确认新技术是否成功或新产品是否可以生产，特点是测试设备的精确度高，且必须经法定计量部门检验。研究方面的试验要求能对发动机进行一些专门项目的试验，设备要能适应不同项目的测试。随着发动机测试技术的发展，测试设备仪表的精度、可靠性有了很大提高，功能不断改善，因此这三种类型试验的界限已不太明显了。

发动机在工作时，气缸内部进行着复杂的物理化学过程，在工作循环过程中又受许多因素的影响，对这一过程的描述，单靠数学计算远不能满足要求，即使借助于计算机，也必须有许多假设前提，描述的结果与实际情况可能有很大出入。因此在研究设计发动机的过程中，还必须借助于试验手段。发动机的试验对于发动机的设计、开发、制造都是必不可少的。

台架试验是发动机性能的主要试验手段。在国内外无论是研究单位还是制造单位，研究水平愈高，其台架试验设备也越先进。近年来随着对汽车产业节约能源和环境保护的要求的不断提高，对试验台架的功能要求也越来越多，试验台架不仅要能进行稳定工况试验，还要能进行变工况试验；不但能进行耐久性试验，还应能够进行工况变化的瞬态试验；不但能测量发动机的动力性和经济性，还要能进行排放和其它特殊项目的测试。因此发动机的台架试验是研究和提高汽车发动机整机及其零件、部件质量的不可缺少的手段。

发动机台架试验的测试项目主要包括：(1)功率的测试，通过测功器及其控制装置测试发动机输出的转速和扭矩，并控制发动机的油门和负荷；(2)油耗的测试；(3)冷却水温度的测试，并通过温度调节机构控制冷却水温度；(4)润滑油压力和温度的测试；(5)排气温度的测试；(6)环境参数，包括大气温度、大气压力和相对湿度等的测试。此外某些专项试验还有其它测试项目。

### 1.3 常见发动机特性曲线的制作

在发动机性能试验中，一般制取速度特性曲线、负荷特性曲线、调速特性曲线和万有特性曲线。本设计中仅考虑速度特性、负荷特性和万有特性。

以及用于研究开发方面的试验。生产试验主要以控制产品质量为目的，它的特点是试验的产品固定、试验项目固定，测试的方法、参数也较少变化，要求设备必须可靠，适应长期运转。鉴定试验是对某一项技术或某一新产品由权威部门组织有关专家进行鉴定，以确认新技术是否成功或新产品是否可以生产，特点是测试设备的精确度高，且必须经法定计量部门检验。研究方面的试验要求能对发动机进行一些专门项目的试验，设备要能适应不同项目的测试。随着发动机测试技术的发展，测试设备仪表的精度、可靠性有了很大提高，功能不断改善，因此这三种类型试验的界限已不太明显了。

发动机在工作时，气缸内部进行着复杂的物理化学过程，在工作循环过程中又受许多因素的影响，对这一过程的描述，单靠数学计算远不能满足要求，即使借助于计算机，也必须有许多假设前提，描述的结果与实际情况可能有很大出入。因此在研究设计发动机的过程中，还必须借助于试验手段。发动机的试验对于发动机的设计、开发、制造都是必不可少的。

台架试验是发动机性能的主要试验手段。在国内外无论是研究单位还是制造单位，研究水平愈高，其台架试验设备也越先进。近年来随着对汽车产业节约能源和环境保护的要求的不断提高，对试验台架的功能要求也越来越多，试验台架不仅要能进行稳定工况试验，还要能进行变工况试验；不但能进行耐久性试验，还应能够进行工况变化的瞬态试验；不但能测量发动机的动力性和经济性，还要能进行排放和其它特殊项目的测试。因此发动机的台架试验是研究和提高汽车发动机整机及其零件、部件质量的不可缺少的手段。

发动机台架试验的测试项目主要包括：(1)功率的测试，通过测功器及其控制装置测试发动机输出的转速和扭矩，并控制发动机的油门和负荷；(2)油耗的测试；(3)冷却水温度的测试，并通过温度调节机构控制冷却水温度；(4)润滑油压力和温度的测试；(5)排气温度的测试；(6)环境参数，包括大气温度、大气压力和相对湿度等的测试。此外某些专项试验还有其它测试项目。

### 1.3 常见发动机特性曲线的制作

在发动机性能试验中，一般制取速度特性曲线、负荷特性曲线、调速特性曲线和万有特性曲线。本设计中仅考虑速度特性、负荷特性和万有特性。  
万有特性曲线。本设计中仅考虑速度特性、负荷特性和万有特性。

1.3.1 发动机的速度特性:

是指将汽油机节气门,柴油机喷油泵的拉杆或齿条保持在一定位置(最大或部分功率位置),逐步变更速度,测定在不同转速下发动机的扭矩  $M_e$ , 功率  $N_e$  和燃料消耗  $G_T$  及有效燃油消耗率  $g_e$ 、排气烟度、噪声、排汽温度、点火或喷油提前角及汽油机进气管真空度、燃料的辛烷值或十六烷值、柴油低热值及馏程。根据所得的数据,既可以绘制  $M_e = f(n)$ 、 $N_e = f(n)$ 、 $g_e = f(n)$  等曲线,这就是速度特性曲线。我们称  $n$ 、 $M_e$ 、 $G_T$  为一次数据,绘制出的曲线称原始曲线。而称  $N_e$ 、 $g_e$  为二次数据,利用二次数据绘制出的曲线为再制曲线。 $N_e$ 、 $g_e$  曲线必须与  $n$ 、 $M_e$ 、 $G_T$  曲线对应。速度特性曲线表示有效功率  $N_e$  (千瓦)、扭矩  $M_e$  (牛顿米)、比燃料消耗率  $g_e$  (克/千瓦小时) 随发动机转速  $n$  而连续变化的特性。

当汽油机节气门完全开启(或者柴油机喷油泵在最大供油量时)的速度特性,称为发动机的外特性,它表示发动机所能得到的最大动力性能。从外特性曲线上可以看到发动机所能输出的最大功率、最大扭矩以及它们相应的转速和燃料消耗量。汽车产品说明书上大都采用发动机外特性曲线图,但一般只标出功率和扭矩曲线,如图 1-1 所示。

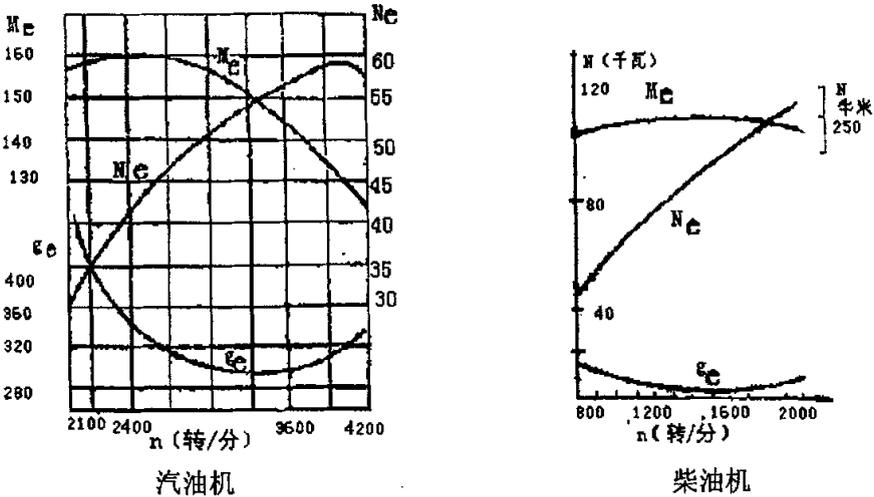


图 1-1 速度特性曲线图

Figure 1-1 velocity characteristic figure

发动机外特性曲线,是在发动机完好的工作状态下能使发动机发出最大功率的情况下测出来的。它表现的曲线特征是,功率曲线和扭矩曲线都呈现凸形曲线,但两者表现是不一样的,在汽油发动机外特性曲线中,功率曲线在较低转速下数值很小,但随着转速增加而迅速增长,但转速增加到一定区间后,功率增长速度变缓,直至最大值后就会下降,尽管此时转速仍会继续增长;扭矩曲线则与功率曲线相反,它往往在较低转速下就能获得最大值,然后随转速上升而下降;比油耗率指千瓦小时的耗油量,它随转速的增长而呈现一个凹形曲线,在中间某一转速下达到最小值,转速增大或者减少,都会使比油耗率增大。柴油机外特性曲线表现与汽油机有所不同,它的功率 $N_e$ 、扭矩 $M_e$ 和油耗率 $g_e$ 随转速 $n$ 而变化,但功率 $N_e$ 曲线是随转速上升而上升,差不多到了最大转速(标定转速)仍未出现曲线的最高点,扭矩 $M_e$ 曲线变化平缓,在不同转速位置变化量不大,比油耗率 $g_e$ 曲线不但起点数值低,而且比较平坦(与汽油机比较)。

虽然各种型号汽油或柴油发动机外特性曲线不会完全一样,但基本还是呈现上述的形态,通过发动机外特性曲线图可以了解发动机的性能和特点;了解功率、扭矩、耗油量和转速之间关系,并找出发动机最佳的工作区域。回答诸如为什么要根据负荷变化换档,为什么中等转速最经济,为什么柴油机能承受较大的负荷,柴油机与汽油机在性能上有什么不同等问题。并能够评定发动机在全负荷下的动力、经济等性能。

### 1.3.2 负荷特性:

是指当发动机转速一定时,其经济性指标随发动机负荷的变化关系。汽车以一定的速度沿阻力变化的道路行驶时,就是这种情况。此时必须改变内燃机油门,来调整有效扭矩,适应外界阻力矩变化,保持内燃机转速不变。

当转速不变时,由内燃机各参数之间的函数关系可知,有效功率 $N_e$ 与有效扭矩 $M_e$ 、平均有效压力 $P_e$ 互为成正比,因此负荷特性的横坐标负荷可用 $N_e$ 、 $M_e$ 或 $P_e$ 表示。纵坐标主要是每小时燃油消耗量 $G_T$ 或比燃油消耗率 $g_e$ 。负荷特性曲线如图1-2所示。

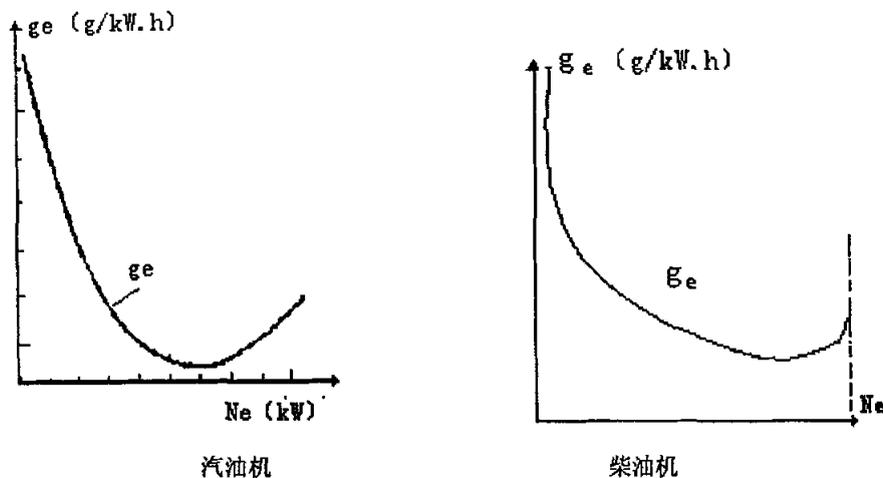


图 1-2 发动机负荷特性曲线

Figure 1-2 load characteristic figure

由于发动机转速是经常变化的，需要测定发动机不同转速下的负荷特性，才能全面评价不同转速和不同负荷下发动机的燃油经济性。发动机负荷特性的读取在试验台上进行。在 50%—80% 的额定转速下进行，发动机转速不变，从小负荷开始，逐渐开大油门，测量进气状态、转速、扭矩、燃料消耗量、汽油机进气真空度、燃料的辛烷值或十六烷值、柴油低热值及馏程，直至油门全开，适当分布 8 个以上的测量点。得到不同负荷和转速下的燃油消耗量。不同转速下的发动机负荷特性曲线变化的趋势是差不多，只是具体数值的不同。普通汽油机负荷特性曲线的特征：开始启动时  $g_e$  最大（此时需要浓混合气），但随节气门逐渐开启负荷增大而  $g_e$  减少直至最低点，此时节气门接近全开，继续开大节气门， $g_e$  又会开始上升，曲线呈现一条内凹抛物线。曲线的最小  $g_e$  值越低越好，同时  $g_e$  随负荷的变化越平缓，发动机在不同负荷下工作的经济特性越好。从曲线的形状，可以分析出哪一个负荷区域是最经济的。

柴油机负荷特性曲线的走向特征与汽油机基本一样。但两者对比，柴油机的负荷特性曲线比较平坦，这也就是为什么柴油机比汽油机省油的重要原因。

利用这一变化曲线，可最全面地确定发动机在各种负荷和转速时的经济性<sup>[2]</sup>。

### 1.3.3 万有特性试验

由于负荷特性和速度特性只能表示某一节气门开度时内燃机参数间的变化规律,而车辆的工况变化范围非常广泛,要分析各工况下的性能就需要各种转速和不同油门位置下的许多负荷特性或速度特性图,这样很不方便,为了能在一张图上较全面地表示内燃机的性能,经常用多参数的特性曲线,称为万有特性曲线。绘制万有特性曲线时,需测量进气状态、转速、扭矩、燃料消耗量,排气温度、油门开度及汽油机进气管真空度、燃料的辛烷值或十六烷值、柴油低热值及馏程。

万有特性曲线的绘制可在下列两种方法任选其一。

- a. 负荷特性法: 在发动机工作转速范围内均匀地选择 8 种以上的转速, 参照负荷特性试验试验方法的规定, 在选定的各种转速下进行负荷特性试验。
- b. 速度特性法: 根据额定功率的百分数, 适当地选择 8 种以上油门开度, 在一种油门开度下, 在发动机工作范围内, 顺序地改变转速进行测量, 适当地分布 8 个以上的测量点, 然后再进行其他油门开度的速度特性试验。万有特性曲线如图 1-3 所示。

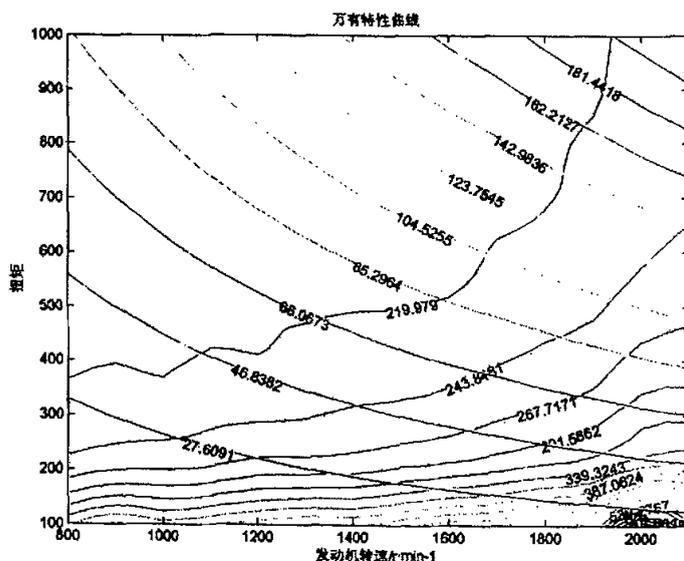


图 1-3 万有特性曲线  
Figure 1-3 universal characteristic figure

万有特性是以转速  $n$  为横坐标, 平均有效扭矩  $M_e$  为纵坐标而画出的等功率 ( $N_e$ )、等比油耗率曲线 ( $g_e$ ), 评定发动机在各种工况下的经济性, 为选用汽车发

动机提供依据。

## 1.4 台架试验的历史

早期的发动机试验台架多采用水力测功机,这种测功机没有控制器,其负荷的调整完全靠手动调节完成,再配合油门调节实现对转速和扭矩的控制,操作都在现场进行。扭矩的测量是借助于加载磅锤的偏转所形成的力矩,由偏转的表针在表盘上对应的读数来反映扭矩的大小。在这种完全手控的操作方式下,要想形成一个稳定工况需要花费较长的时间,且操作、读数记录都必须在现场进行,很不方便。

后来人们对测功机进行改进,配置控制器,增加传感器和水门、油门执行机构。测量装置利用转速、扭矩传感器将转速、扭矩转换成电信号传给控制器并通过数字显示器显示,操作可以通过调节控制器面板上的旋钮来改变发动机的转速和扭矩的大小。然而,这种情况仍然需要试验人员在发动机运转过程中不断手工调整水门、油门大小,不能实现自动调整工况。

随着电子工业的发展和自动控制技术的推广应用,发动机台架试验所用的试验设备也不断得到改进,测量的精度、可靠性、操作的灵活性都有了很大提高。现在的测功机无论是水力、电力或电涡流式的,都有一套自动调节和控制系统,可以进行恒定转速、恒定扭矩下控制发动机的运转。用户只需调整转速、扭矩至某一设定值,控制器就可以通过自动控制、反馈装置来维持发动机在某一稳定工况下运行,在稳定工况下操作人员不再担心转速和负荷的改变,改善了操作条件,提高了测量的稳定性和测量的精度,也缩短了测量时间。

虽然电子和自控技术的应用使测功机的性能得到了改进,但从试验的过程来看,目前发动机台架试验的试验方法部分仍处于传统的人工调节控制、目测读数手写记录阶段。即先调节发动机至一个测量工况,稳定一段时间后再分别读取发动机的扭矩、转速、温度、压力、油耗值等各参数,然后再改变扭矩、转速等参数调节发动机到另一个工况,稳定后再记录各项参数。最后测得的数据还要人工计算处理,生成数据表格,用曲线板手工绘制或手工输入计算机由计算机拟合相应的特性曲线。可见,目前台架试验的全部过程为:调节发动机在某一个工况下运转——检查是否稳定——确认稳定后记录各仪表显示数据——调整发动机至另一个工况——……(重复以上步骤)——测完全部工况后——计算并填写数据表格——画曲线图(外特性、负荷、万有等),其中大部分过程都是人工操作,这样的试验效率低,耗费了大量的人力、物力,操作

人员的劳动强度很大，测量精度不高。

## 1.5 台架试验的现状

近年来，随着计算机技术的广泛应用，测试仪器和设备的自动化、智能化程度得到进一步的提高，由单板机、单片机支持的集高速数据采集、处理、分析和自动控制为一体的各种测试设备也不断更新，测试的功能、范围也越来越大。如有的生产厂家在油耗仪中接入单片机，不仅能测量油耗、转速，还能进行各种计算，通过接口直接将计算结果、数据曲线输出至打印机，操作人员很快就能得到最终所需要的一些测试结果，省去了不少记录、计算、绘制图形、表格的工作。然而，虽然这些测试设备的自动化程度更强了，但他们都各自为政，只能对部分参数进行采集、显示、控制，不能形成成套自动测控系统，造成相互之间缺乏协调性，有时候功能又显得重复，例如转速由测功机的控制器测量，而有些油耗仪也附带测转速的功能。由此可见，虽然测试设备不断得到改进，但依然需要手工操作来完成试验工况，因此，只有利用先进的计算机控制技术，才能实现对台架的自动控制<sup>[9]</sup>。

使用了计算机测控系统以后，在整个试验过程中，操作员不再需要人工调节工况，记录数据，而只是对系统进行监控，大部分工作都由计算机来完成了，从而减少了操作员的人数，提高了测试效率，也减轻了劳动强度。试验完毕后，计算机再对记录的数据进行处理，生成厂家、研究人员所需要的数据表格、曲线图等。另外，计算机控制下的试验台架，还可以完成以前手工无法完成的变工况试验，如发动机变工况可靠性试验、道路模拟试验，十五工况、九工况及环保方面的测试，从而扩大了发动机台架试验的范围。目前国内外的一些发动机生产厂家和研究单位已研制出了不同类型的成套的自动化试验台架，并在一些发动机试验单位得到了应用，使用效果显著。

然而，无论是国外还是国内的成套试验设备都价格昂贵，要订购这些成套的试验设备需要大量的资金，比如配置一套 AVL670 就需要五十万美元，国内厂家生产的成套设备也需十几万甚至几十万人民币，这对于大多数发动机生产厂家和研究单位来说是一笔不小的数目，即使他们买进了这些成套设备，也只能用于少数试验，大量的试验还是要靠老试验台架来完成。因此，从我国的国情出发，从发动机行业的实际情况来看，各个生产厂家、各级研究单位以及各高等院校都有许多老的试验台架还在使用，要他们花大量的资金将老试验台都换成新的自动化台架试验系统是不现实的，因为那

样会造成仪器设备的很大的浪费。所以针对这种情况,若能利用各单位现有的测试设备,运用微机来实现试验的自动测控和数据处理,对现有的设备进行改造,则可以减少投资和浪费,是一种经济可行的方案<sup>[4]</sup>。

## 1.6 单片机改造台架试验的意义

近年来,国内的一些生产和科研单位也在从事对原有的发动机测功设备的改造工作,并开发出了一些内燃机台架试验的计算机测控系统,但大部分都只局限于数据的采集,能实现试验过程的自动控制的比较少,数据处理的功能也不强,说明国内这方面的工作还不成熟,有待于进一步的开发。

针对目前多数科研和生产单位以及高等院校实验室都有了进行试验的必要设备,若能利用各单位现有的测试设备,利用单片机和微机来进行试验的自动测控和数据处理,则可减少投资和浪费,是一种切实可行的方案。基于这种观点,我们认为在发动机实验室现有的通用设备的基础上,以单片机为下位机,计算机为上位机进行控制系统的改造。改造后的台架能对发动机性能试验进行自动数据采集和自动控制,并对实验数据进行自动记录和处理,不失为一种理想的方案。

许多发动机实验室的试验台,一直采用落后的人工数据采集和人工数据处理方式,难以适应科研教学发展的需要。其一,人工采集和处理,增加了产生人为误差的概率,影响实验数据的准确性。其二,如果试验数据量很大,并要求绘制大量的特性曲线,人工数据采集和处理的工作量很大,工作效率低,难以保证及时完成实验内容。其三,由于没有及时的试验特性曲线监视功能,试验过程中很难及时发现试验中出现的异常数据并及时处理。其四,不能实现动态的数据采集和处理。因此,为从试验手段上确保实验数据的科学性、公正性、准确性和适时性,有必要尽快为发动机试验台架配备单片机与微机的控制系统<sup>[5]</sup>。

如果对试验台架进行改造,引入先进的单片机控制技术,让单片机来完成试验中的大部分采集、控制、记录和数据处理工作,就可以大大减轻试验人员的工作强度,提高工作效率,提高试验水平,改善试验条件。同时也使测量数据的精确度得到了提高。

## 1.7 重点要解决的问题

本课题研究目的是要把由操作员操作测功机控制器的模式,改成由单片机控制控制器从而控制发动机的运转,由各测量仪表孤立地测量显示各点的参数,改造成由单片机集中测量各点的参数值。设备改造完毕,将各测试设备与计算机连接起来,形成了一个完整的发动机台架试验系统后。包括硬件与软件的开发。系统硬件的设计充分考虑振动冲击、电磁兼容、高低温、电源变化等对系统的影响。

总体方案确定后,对软硬件各自需完成的功能进行分配,即明确哪些部分用硬件完成,哪些部分用软件完成。就硬件系统来讲,下位机硬件电路设计中电路的各部分都是紧密相关、互相协调的,任何一部分电路的考虑不充分,都会给其它部分带来难以预料的影响。

## 2 发动机台架试验的组成、原理

在系统开发研制之前，先就发动机台架试验的组成、原理作简单的论述。

### 2.1 台架试验的总体组成

典型发动机试验台架的组成及布置简图如图 2-1 所示。它主要包括试验台架、辅助系统和各种测量仪器、仪表及操纵台等。

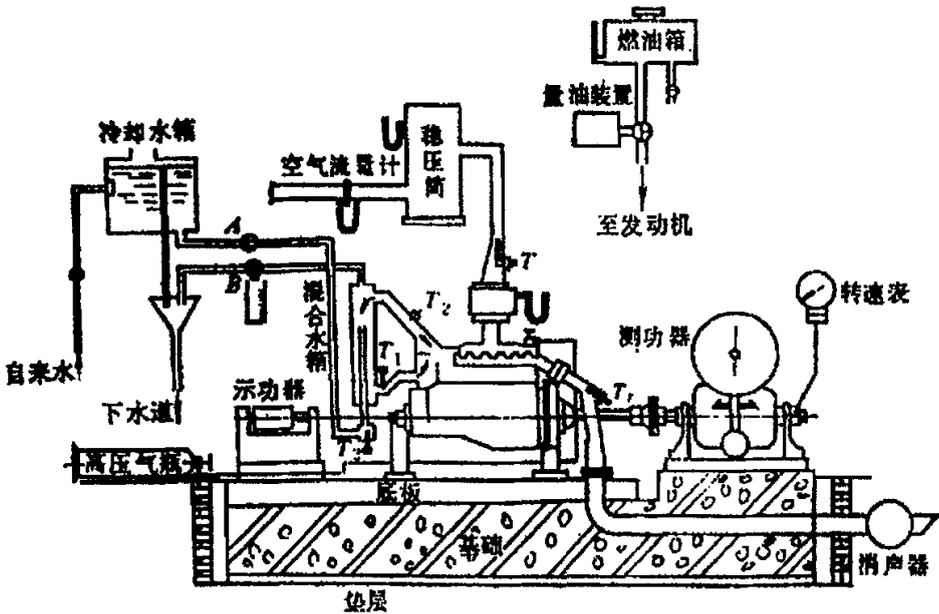


图 2-1 发动机试验台架简图

Figure 2-1 engine test-bed structure figure

#### 2.1.1 试验台架

它是将待测发动机与测功器用联轴节连接，并固定于坚实、防震的水泥基础上，基础振幅一般不大于 0.05-0.1mm。安装发动机的铸铁支架和底板常做成高度和位置可调节的型式，以便迅速拆装和对中。

## 2.1.2 辅助系统

发动机试验台辅助系统主要由几个大的部分组成：

### 1) 发动机冷却水系统

冷却水系主要由水箱、预热装置、板式换热器、膨胀水箱、电动调节阀与相应的泵、阀以及管路等组成。

### 2) 发动机润滑油系统

润滑油系统主要由油箱、预热装置、板式换热器、油滤以及相应的泵、阀与管路等组成。

### 3) 发动机燃油系统

主要由燃油箱、热交换器、油耗仪以及相应的泵、阀与管路等组成。油耗仪采用重量法测量发动机油耗。

### 4) 发动机进气系统

主要由进气集流管、“水—气”热交换器、管路等组成。

### 5) 发动机的排气系统

排气系统主要由排气总管（发动机排气管到高温引风机之间）、高温引风机和排气烟囱等组成。

### 6) 循环水系统

配套循环水系统有热水池、冷水池、高温差冷却塔 2 台置在泵房顶上，泵房内有冷水泵 2 台、备用泵 1 台、阀与各种管路。循环水量最大可达  $90\text{ m}^3/\text{h}$  [6]。

## 2.1.3 各种测量仪器、仪表及操纵台

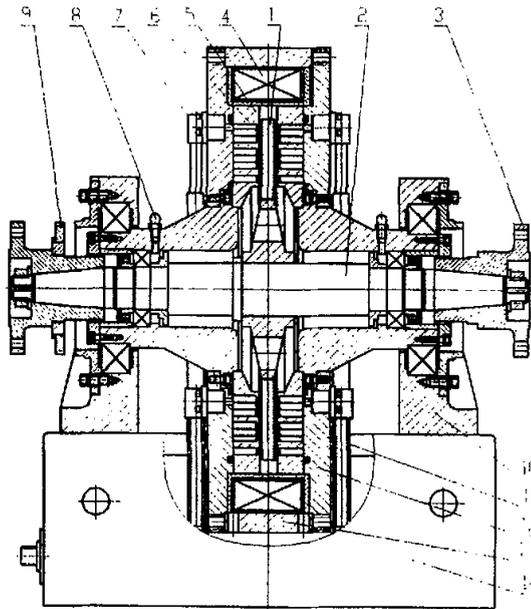
电涡流测功机是用来测量发动机的扭矩与转速信号。功率是指物体在单位时间内所做的功，它与发动机转速成正比关系，转速越快功率越大，反之越小，它反映了发动机在一定时间内的做功能力。扭矩是使物体发生转动的力，在功率固定的条件下它与发动机转速成反比关系，转速越快扭矩越小，反之越大，它反映了发动机在一定范

范围内的负载能力。

电涡流测功机主要由旋转部分（感应盘）、摆动部分（电枢和励磁部分）、测力部分和校正部分组成。其结构简图如图 2-2 所示。

由结构图可知，感应盘形状犹如直齿轮，产生涡流地方在冷却壁上。励磁绕组通上直流电后，则围绕励磁绕组产生一个闭合磁通。当感应盘被原动机带动旋转时，气隙磁密随感应盘的旋转而发生周期性变化，在冷却室表面及一定深度范围内将产生涡流电势，并产生涡流，该涡流所形成的磁场又与气隙磁场相互作用，就产生了制动转矩。该转矩通过外环及传力臂传至测力装置，由力传感器将力的大小转换成电信号输出，从而达到测量转矩的目的。

在转速测量上，采用非接触式的磁电式转速传感器，将转速信号转换成电信号输出<sup>[7]</sup>。



- 1、感应盘，2、主轴，3、联轴器，4、励磁线圈，5、冷却室，6、气隙，7、出水管道，8、油杯，9、测速齿轮，10、轴承座，11、进水管，12、支撑环，13、外环，14、底座

图 2-2 电涡流测功机结构简图

Figure 2-2 eddy current dynamometer structure figure

### 油耗仪的原理

能源是发展生产和提高生活水平的物质基础。汽车的主要能源是石油产品中的汽油和柴油。随着我国汽车保有量的逐年增加到2005年汽车保有量预计超过2500万辆,意味着石油消耗的增长。1996年我国汽油产量的76.7%和柴油产量的26.6%用于汽车,而我国石油产量增长较慢。自1996年成为纯石油进口国后,1996年虽然生产1.55亿吨,但仍进口2500万吨,2000年进口3000万吨。石油能源短缺迫使人们关注汽车燃料经济性。

对汽车燃油经济性的评价,一般是通过发动机台架试验来确定的。检测汽车燃油消耗量常通过燃油消耗检测仪测定燃油消耗量的容积或质量。重量式油耗仪由称量装置、计数装置和控制装置组成,如图2-3所示。

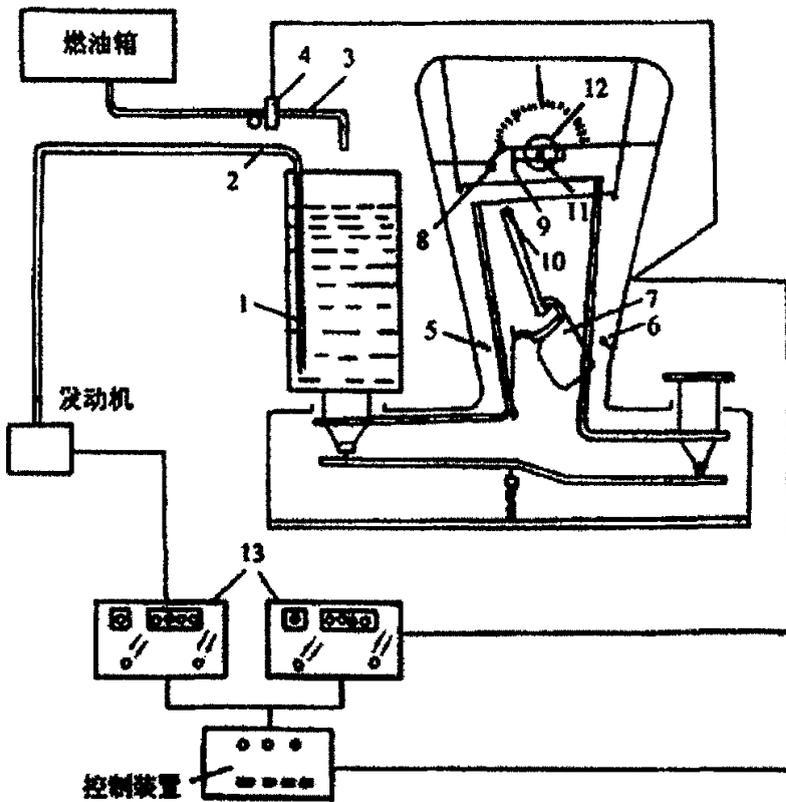
在测量消耗一定质量的燃油所需的时间后,即可按下式算出单位时间内发动机的燃油消耗量。

$$G=3.6w/t$$

式中:  $w$ —燃油质量, g;

$t$ —测量时间, s;

$G$ —燃油消耗量, kg/h;



1. 油杯 2.出油管 3.加油管 4.电磁阀 5、6.限位开关 7.限位器  
8、9.光电二极管 10.光源 11.鼓轮机构 12.鼓轮 13.计数器

图 2-3 重量式油耗仪的结构原理

Figure 2-3 weight type fuel consumption meter's structure figure

称量装置通常利用台秤改制，称量误差为 $\pm 0.1\%$ 。称量装置的秤盘上装有油杯 1，燃油经电磁阀 4 加入油杯。电磁阀的开闭由装在平衡块上的行程限位器 7 拨动两个微型限位开关 5 和 6 来控制。光电传感器给出油耗始点和终点信号，它由两个光电二极管 8、9 和装在棱形指针上的光源 10 组成，光电二极管 8 为固定式，光电二极管 9 装在活动滑块上，滑块通过齿轮齿条机构移动，齿轮轴与鼓轮 12 相连，计量的燃油量通过转动鼓轮 12 从刻度盘上读出。计量开始时，光源 10 的光束射在光电二极管 8 上，光电二极管发出信号，使计数器 13 开始计数，随着油杯中燃油的消耗，指针移

动。当光束射到光电二极管 9 上时,光电二极管 9 发出信号,使计数器停止计数。上述质量式油耗仪有一个系统误差,即测量时油杯中油面高度发生变化,伸入油杯中的油管浮力的反作用力也变化,造成称量时的系统误差。此项系统误差必须根据汽车耗油量及油杯液面高度变化进行修正<sup>[7]</sup>。

## 2.2 试验台工作原理

试验台的控制原理框图如图 2-4 所示。单片机系统是试验台的主控部分,通过单片机系统以控制有关发动机运行参数数据(如油门开度、转速、扭矩)的采集与控制。控制对象是发动机和电涡流测功器。控制量是发动机油门开度和测功器的激磁电流。设定量对发动机油门随动系统是转速  $n$ 、扭矩  $M$ 、油门开度  $d$ ,测功器的随动系统是转速  $n$ 、扭矩  $M$ 、激磁电流  $I$ 。在整个控制系统中,转速的控制主要是通过控制油门执行机构的步进电机来实现,扭矩的控制主要是通过控制电涡流测功器的可控硅来实现。

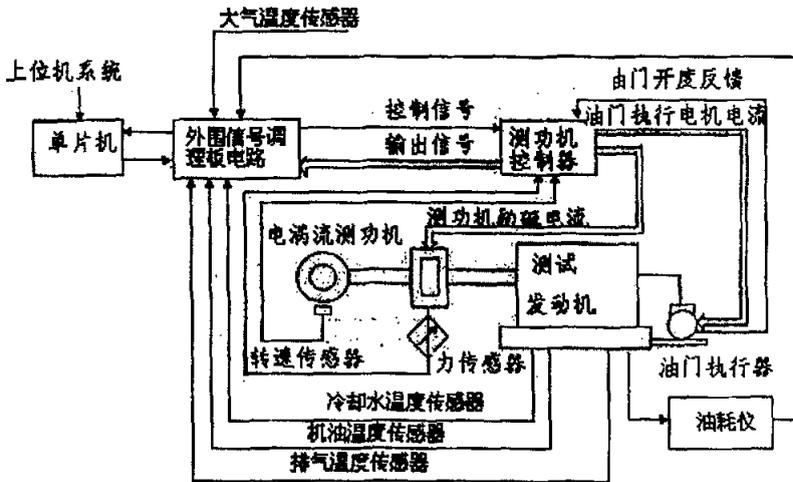


图 2-4 实验台的控制原理图

Figure 2-4 tester control principle figure

### 3 系统概述

#### 3.1 情况简介

测功机选择的是 PWC110 电涡流测功机, 及配套的 CWK-4 控制器。转速和扭矩的测量是通过转速传感器和拉压传感器完成的, 转速传感器把发动机的转速转变为电信号再接线输入到控制器中, 而拉压传感器把扭矩转变为电信号输入控制器, 再分别以数字形式显示在仪器面板上。油门开度通过控制器面板上表针指示。控制器对发动机的控制是通过油门执行机构和改变测功机内部激磁绕组的激磁电流来实现的, 输出的油门控制信号通过一个步进电机来控制发动机的油门开度, 控制器内部自动调节装置产生的激磁电流信号输出到测功机的激磁绕组中, 在涡流环的表面产生的涡电流将对发动机的运转产生制动作用, 因此在一定的油门、激磁电流的作用下, 发动机将在一定的工况下运转。

在 CWK-4 控制器的背面有一个模拟信号输出接口, 转速、扭矩的模拟电压信号由此接口输出, 这为单片机采集创造了条件, 另外还有转速、油门模拟控制信号的输入接口, 为单片机进行控制创造了条件。因此控制器的控制方式有两种, 内部控制和外部控制。在通常的内控方式下, 调节控制柜面板上的各种开关和旋钮, 能够实现对发动机的恒定转速、恒定扭矩(电流)的控制; 而当选择外控方式时, 转速、油门的给定值由外部输入的控制信号来决定。带模拟输出接口 YHY-04 瞬态油耗仪是台架试验中常见的一种采用重量法测量发动机运转时的小时油耗的设备。

#### 3.2 改造原理

##### 3.2.1 硬件设备改造

本次改造的目的是要把由操作员操作测功机控制器来控制发动机的运转, 改造成由单片机调节控制器的控制参数以控制发动机的运转; 由各测量仪表孤立地测量显示各点的参数, 改造成由单片机集中测量并通过 PC 显示各点的参数值。因此需要在试验系统中引入单片机控制系统作为系统的监控核心, 并增加一块外围信号调理板, 把各测量信号经过调理板输入单片机, PC 就可以通过单片机读取各点的实时参数值。PC 计算出的控制量经过单片机转换成模拟信号, 经调理板输出到测功机控制器的外

部控制接口，控制器再依照输入的控制信号完成对发动机的控制。

转速和扭矩的信号，已由控制器相应的输出接口给出，此 0-10V 的输出信号送入调理板中调理为 0-5V；而其它测量信号需要经过调理板放大滤波后为 0-5V 才能进入单片机 A/D 转换。至于油耗仪，输出 0-10V 的小时油耗量信号也直接送入调理板转换为 0-5V。可见，此信号调理板能满足单片机 A/D 转换输入信号范围的要求和输出控制的要求，它可对采集的信号放大到 A/D 输入的测量范围之内和对单片机输出的控制信号进行变换。

### 3.2.2 软件的开发

设备改造完毕，将各测试设备与 PC 连接起来，形成了一个完整的发动机台架试验系统后，下面的主要工作就是软件的开发了。选择合适的软件开发工具，根据系统的要求编制相应的数据采集、过程控制程序，实现台架试验系统的自动数据采集、自动控制运转；编制数据处理程序，以完成对数据记录的计算处理，进行数据文件存储，最终得到发动机试验的数据表格和特性曲线图。

## 3.3 系统开发基础

### 3.3.1 开发的软硬件基础

近年来计算机和单片机技术的高速发展，给系统的改造提供了便利条件。单片机的普及使我们减少了设备改造的投资，软件开发工具的丰富和发展更是大大方便了系统的软件开发工作。如今微型计算机的操作系统早已从字符界面的 DOS 进入了图形界面的 Windows 时代，以 VC, VB 可视化开发工具等为代表的编程工具已成为 Windows 环境下开发软件的主流。借助于这些强大的软件开发平台，程序开发人员可以很方便地利用其现成的程序框架以及许多内含的库函数，使软件开发的工作量得到减小。针对本台架试验计算机控制系统的要求，结合当今计算机软件技术的最新发展，我们选择在 Windows XP 操作系统的平台上，用 Borland 公司的 Delphi7 来开发整个系统。

Delphi 是 Borland 公司的重要产品，是一个集成度很高的软件开发工具，适合多种形式的软件开发。它把原来 C 语言中的许多函数封装在一起，方便了用户使用。

应用程序向导(AppWizard)为程序设计人员构造了一个程序设计的框架,程序员只需添加少量的代码就可以完成一个工程,这样使得程序员把精力放在编制具体应用程序部分上,而不必再重复地做创建窗口界面、生成菜单等工作,大大减轻了程序员的负担。由于 Windows XP 的支持, Delphi 能够实现的功能也很强大,数据处理、曲线图的绘制都更加方便、精确。借助于 Delphi 和数据库之间的连接,用户还可以方便地把试验数据传到数据库中去,或利用数据库中得数据在 Delphi 中绘制图表和对数据进行处理。

### 3.3.2 开发原则

我们这次改造的目的是在原有的试验设备基础上,通过添置少量硬件设备,运用先进单片机控制技术,完成对测试设备的智能化改造。因此,在满足可靠性、使用要求的前提下,充分利用原有设备的功能,尽量减少投资是我们改造的一个原则。另一个原则是开放性的原则,这主要是对整个系统软件的开发而言。开发时要注意使该软件适用于不同类型的台架试验,不同测试设备的量程,满足不同用户的要求,以及今后版本升级的需要,因此开发出的系统应该是开放式的和通用性的。

## 3.4 系统的总体方案

### 3.4.1 系统结构

发动机试验台单片机控制系统结构如图 3-1 所示。MC68HC908GP32 下位机为控制计算机,是核心控制单元,它对发动机的油门和测功机进行双回路控制,以调整发动机的转速、扭矩,或保持发动机油门、测功机励磁电流位置,同时,采集发动机的水温、油温、排气温度等参数,并采集大气环境参数和油耗参数。同时它还包括一个外围信号调理板电路。

整个测控系统采集的和控制的信号都是模拟量。测试现场的冷却水温度信号、机油温度信号、大气温度信号和排气温度信号直接送入外围信号调理板电路,转速和扭矩信号送入控制器,油耗信号送入油耗仪。我们采集的转速、扭矩模拟量参数是从控制器的中取得,油耗的模拟量是从油耗仪中取得的。转速、扭矩、油耗的模拟电压值为 0-10v,经外围信号调理板电路后为 0-5v 进单片机内的 A/D 转换,其他信号经外

围信号调理板电路后为 0-5v 进单片机内的 A/D 转换，计算机通过串行通信协议 RS232C 从单片机读取数据，然后可以完成实时显示数据、存储数据、数据处理、打印等功能。

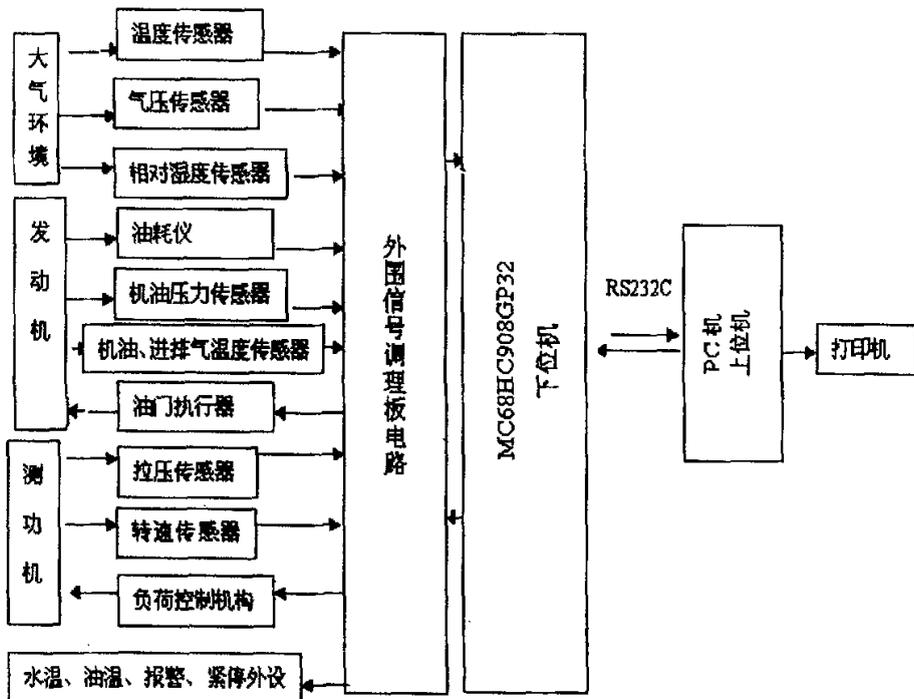


图 3-1 发动机试验台单片机控制系统结构

Figure 3-1 engine tester microcontroller control system structure figure

同时，上位机计算机把采集到的参数值与设定的工况参数值对比，根据一定的控制算法由串行通信协议，通过单片机和信号调理板输出一定的模拟电压量(转速、油门)给控制器，控制器把设定的模拟量与采集的模拟量进行比较，利用其自动调节回路，最终输出一定的激磁电流信号给测功机，实现对负荷或转速的控制，输出一定的油门开度信号给油门执行机构，实现对发动机油门的控制，试验过程中还将检查采集到的参数值是否超过设定上下限，超过则要报警，进行相应的处理，如紧急停车，并显示报警信息。

### 3.4.2 系统需要采集的参数

发动机台架试验所需要的测量参数由不同的试验类型、不同的试验要求所决定。对于外特性试验和负荷特性试验，需要测量发动机的转速、扭矩、小时油耗量、机油压力、机油温度、出水温度、排气温度、点火提前角、进气管真空度，以及大气压力、干球温度、湿球温度等环境参数。目前改造后的台架试验系统计算机可以采集的参数有转速、扭矩、油耗、机油温度、出水温度、排气温度，大气温度，大气压力八个基本参数。

#### 1) 转速 $n$

转速信号取自 CWK-4 控制器后面板上模拟输出接口 X2 的第 4 号引脚，输出的信号是 0-10 V 的电压，电压大小与转速值成正比，对应测功机的转速测量范围 0-10000 转/分(rpm)，需经外围信号调理板电路后进单片机。

#### 2) 扭矩 $M$

扭矩信号取自 CWK-4 控制器后面板上模拟输出接口 X2 的第加号引脚，输出的信号也是 0-10 V 的电压，电压大小与扭矩值成正比，对应测功机的扭矩测量范围 0-600 牛顿·米(N.m)，需经外围信号调理板电路后进单片机。

#### 3) 小时油耗量 $G_f$

小时油耗量信号取自油耗仪的模拟输出接口，输出的信号范围是 0-10 V 的电压，电压大小在测量范围内与油耗值成正比，对应小时油耗 0-100 千克/小时 (kg/h)，需经外围信号调理板电路后进单片机。

#### 4) 机油温度 $T_b$

机油温度信号取自 Pt100 热电阻传感器，输出的信号范围是电阻，电阻大小在测量范围内与温度值成正比，对应温度范围是-50-150℃。由于采到的信号值较弱，因此需要经过外围信号调理板电路转换成 0-5V 的电压信号再送入单片机。

#### 5) 冷却水温度 $T_w$

出水温度信号取自 Pt100 所配热电阻传感器，以电阻的形式给出，电阻大小在测量范围内与温度值成正比，测量范围是-50-150℃，信号需要外围信号调理板电路处理。

#### 6) 排气温度 $T_r$

排气温度信号取自 K 型镍铬—镍硅热电偶传感器，以 mV 电压的形式给出，电

压大小在测量范围内与温度值成正比，测量范围是 0-1000℃。采到的排气温度信号也需要进入外围信号调理板电路后读入单片机。

#### 7) 大气温度

大气温度信号取自实验室已有的大气温湿度传感器，以 mA 的形式给出，电流的大小在测量范围内与温度之值成正比，测量范围-50-100℃。采集到的信号也需经外围信号调理板电路后输入单片机。

#### 8) 大气压力

大气压力信号取自 24PCDFAGD 大气压力传感器，以 mV 电压的形式给出，电压大小在测量范围内与压力值成正比，测量范围是 2-30psi。采到的信号也需要外围信号调理板电路后再读入单片机。上述 8 个模拟量测量点的参数说明见表 3.1。

表 3.1 系统测量参数说明

Table 3.1 system measure parameter specification

序号	参数名称	信号来源	信号范围	对应量程
1	扭矩	控制器输出接口	0-10v	0-600N·m
2	转速	控制器输出接口	0-10v	0-10000rpm
3	油耗	油耗仪	0-10v	0-100kg/h
4	机油温度	Pt 100 所配热电阻传感器	80.3-157.3	-50-150℃
5	出水温度	Pt 100 所配热电阻传感器	80.3-157.3	-50-150℃
6	排气温度	K 型热电偶传感器	0-41.3mv	0-1000℃
7	大气温度	大气温湿度传感器	4-20mA	-50-100℃
8	大气压力	24PCDFAGD 大气压力传感器	0-300mv	0-2bar

#### 3.4.3 系统需要控制的参数

控制系统对测功机的扭矩、转速以及发动机的扭矩、转速、油门分别进行控制。所以系统需要控制的参数有转速、油门开度和扭矩。

##### 1) 转速

转速控制信号接入控制器后面板的接口输入，信号范围是 0-10v 的电压，电压值与控制转速的大小成正比，对应发动机的转速范围是 0-10000 rpm。

## 2) 油门

油门控制信号接入控制器后面板的接口，输入的信号范围也是 0-10v 的电压，电压值与控制油门的开度成正比，对应油门开度是 0-100%。

## 3) 扭矩

扭矩控制信号接入控制器后面板的接口，输入的信号范围也是 0-10v 的电压，电压值与扭矩的值成正比，对应扭矩是 0-600 N m。

上述 3 个模拟量控制点的参数说明见表 3.2。利用这三个输出控制信号可实现发动机转速和扭矩的控制，从而可完成不同工况要求的试验<sup>[6]</sup>。

表 3.2 系统控制参数说明

Table 3.2 system control parameter specification

序号	参数名称	信号去处	信号范围	对应量程
1	转速	控制器输入接口	0-10v	0-10000rpm
2	油门	控制器输入接口	0-10v	0-100%
3	扭矩	控制器输入接口	0-10v	0-600 N.m

## 4 控制系统外围信号调理电路板硬件配置

### 4.1 传感器的选择

传感器的作用与选择要求: 传感器是借助于检测元件(敏感元件)接受一种信息, 并按一定的规律把它转换成另一种信息的装置, 它获取的信息, 可以使各种物理量, 化学量和生物量, 而转换后的信号也有各种形式。无论何种传感器, 作为测量与控制系统的首要环节, 通常都必须具有快速、准确、可靠且有经济的实现信息转换的基本要求。因此, 对传感器有以下要求:

(1) 足够的容量。传感器的工作范围或量程足够大; 具有一定的过载能力。

(2) 与测量或控制系统相匹配性好, 转换灵敏度高, 线性程度好。

(3) 反应快, 工作可靠性高。

(4) 精度适当且稳定性好, 传感器的静态响应与动态响应的准确度能满足要求且长期稳定。

(5) 适用性与适应性强, 动作能量小, 对被测量量的状态影响小; 内部噪声小而又不受外界干扰的影响, 使用安全等。

(6) 使用经济。既成本低, 寿命长, 且易于使用、维修和校准。

完全能满足上述要求传感器是很少有的, 我们根据应用的目的、使用环境、被测对象状况、精度要求和信号处理等具体条件全面综合考虑选择所需的传感器。按照传感器的选择要求, 本系统所选传感器如表 4.1 所示。

表 4.1 所选传感器的信号

Table 4.1 select sensor's signal

1	机油温度	Pt 100 所配热电阻传感器	80.3-157.3	-50-150℃
2	出水温度	Pt 100 所配热电阻传感器	80.3-157.3	-50-150℃
3	排气温度	K 型热电偶传感器	0-41.3mv	0-1000℃
4	大气温度	大气温湿度传感器	0-20mA	-50-150℃
5	大气压力	24PCDFAGD 大气压力传感器	0-300mv	0-2bar

## 4.2 所用传感器简介

### 4.2.1 温度传感器介绍

温度测量是发动机测试的主要项目之一，在发动机中，进排气温度、燃烧气体温度以及冷却水温度、润滑油温度等都是影响发动机性能的重要参数。要提高发动机的工作能力，正确控制过程的进行，就必须对发动机的工作介质和传热介质的温度进行测量。此外，随着发动机的不断强化，零件热负荷日益突出，因而零件温度的测量也越来越重要。因此，温度测量在发动机科研和生产、使用中都是不可缺少的测试项目。

温度传感器是通过物体随温度变化而改变某种特性来间接测量的。温度传感器随温度变化而引起的物理参数变化的有：膨胀、电阻、电容、热电动势、磁性能、频率、光学特性及热噪声等等。在设计中，我们要用到的温度传感器为金属热电阻和热电偶传感器。

#### 1) 金属热电阻

热电阻传感器主要是利用物质的电阻值随温度变化而变化这一特性来测量温度及与温度有关的参数。在温度检测精度要求比较高的场合，这种传感器比较适用。目前较为广泛的热电阻材料为铂、铜、镍等，它们具有电阻温度系数大、线性好、性能稳定、使用温度范围宽、加工容易等特点。用于测量 $-200^{\circ}\text{C}\sim+500^{\circ}\text{C}$ 范围内的温度。这里我们选用铂电阻 Pt100 来测量发动机的出水温度和机油温度。

铂热电阻的阻值与温度之间的关系近似线性，再实际测量中，只要测得铂热电阻的阻值便可从分度表中查出对应的温度。铂热电阻阻值与温度的关系如 4.2 表所示。

表 4.2 铂热电阻阻值与温度的关系

Table 4.2 the relation between platinum thermistor resistance and temperature

温度 c	-50	-25	0	25	50	75	100	125	150
阻值	80.31	90.19	100	109.73	119.40	128.98	135.50	147.94	157.31

#### 2) 热电偶

热电偶的测温范围宽，一般为 $-50^{\circ}\text{C}\sim 1600^{\circ}\text{C}$ ，最高可达 $2800^{\circ}\text{C}$ ，有较高的测量精

度。另外，热电偶已标准化、产品系列化、易于选用。各种热电偶都有相应的分度号，可以用模拟法调整电路或仪表，也方便用冷端温度补偿器作非线性补偿。因此在工业测温中用得极为广泛。

热电偶的基本工作原理是基于热电效应。如图 4-1 所示，将 A、B 两种不同的导体，组成闭合回路，若二连接点温度( $T, T_0$ )不同，则在回路中就产生热电势，形成热电流，这种现象叫做热电效应。把 A、B 二导体的组合称为热电偶，A、B 称为热电极，接触热场的 T 端称为工作端或热端，另一端  $T_0$  称为自由端或冷端。T 与  $T_0$  的温差愈大，热电偶的输出电势愈大。

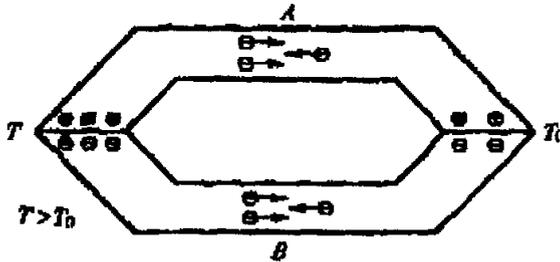


图 4-1 热电偶的工作原理

Figure 4-1 thermocouple's working principle

因此，可用热电势的大小衡量温度的大小。热电偶温差产生的热电动势可用下式表达

$$E_{AB}(T, T_0) = E_{AB}(T) - E_{AB}(T_0) \quad (4.1)$$

式中  $E_{AB}(T, T_0)$ ——热电偶的热电势 (v)

$E_{AB}(T)$ ——温度为 T 时的热电势 (v)

$E_{AB}(T_0)$ ——温度为  $T_0$  时的热电势 (v)

由 (4.1) 式可知，热电势  $E_{AB}(T, T_0)$  是两个节点温度的函数，为此，必须固定其中冷节点的温度，才能确立电势与测温端的对应关系。目前热电偶统一规定  $t = 0^\circ\text{C}$  的条件下，给出热端温度与热电势的数值对照表（称为分度表）。因此当使用热电偶时，若将冷端保持在  $0^\circ\text{C}$ ，则测出的热电势可通过查对应的分度表，即可查所测温度。

在实际使用中,要求冷端在  $0^{\circ}\text{C}$  是不方便的,而希望在室温下测定,这需要加冷端补偿。能用来制造热电偶的材料很多,但常用的材料只有几种:铁—康铜热电偶,镍铬—镍硅热电偶,和铂铑—铂热电偶。热电偶的结构型式很多,一般有工业用热电偶、铠装式热电偶和薄膜热电偶等三类。热电偶的典型结构如图(4-2)所示。热电偶的应用要考虑测温范围,环境气氛(氧化性、微氧化性、腐蚀性还是还原性等气体)、测温精度和响应时间以及经济性因素。本系统中热电偶传感器用于测发动机的排气温度,其温度范围在  $0\text{--}1000^{\circ}\text{C}$ 。故采用了 K 性热电偶<sup>[9]</sup>。

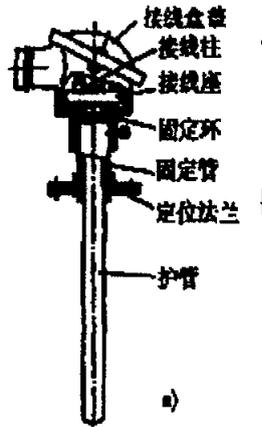


图 4-2 热电偶的典型结构

Figure 4-2 thermocouple's typical structure figure

#### 4.2.2 压力传感器

在发动机试验中,大气压力也是影响发动机性能的一个主要因素。云南高原地区海拔高、空气稀薄、含氧量低,以海拔高度  $3000\text{m}$  为例,其大气压力为内地的  $70\%$ ,空气密度为内地的  $74\%$ ,汽车在高原地区行驶时海拔高度增加大气压力降低使空气密度降低,经空气流量计进入的质量流量就降低,为了避免混合气过浓与油耗过高,应根据大气压力传感器输入的信号,对大气压力进行修正,提供给发动机电脑一个喷油的修正值,海拔高度不一样,喷油量也不一样。空气压力传感器它可以检测大气的压力,对大气压力修正提供依据。

力传感器是指将力学量转换成电压、电流等电信号的传感器，根据测量原理的不同，力传感器可以分为应变式力传感器、压阻式力传感器、压电式力传感器及压磁式力传感器等几种。我们在测量大气压力时选用的是压阻式压力传感器。

压阻式压力传感器是指当半导体材料在某一方向上受到应力作用时，它的电阻率会发生显著的变化，这种现象被称为半导体压阻效应。压阻式传感器是根据半导体材料的压阻效应，在半导体材料的基片上经扩散电阻而制成的器件。压阻式传感器的灵敏度要比金属应变片的灵敏系数大 50—100 倍。有时压阻式传感器的输出不需要放大就可以直接用于测量。此外，它还具有如下特点：分辨率高、尺寸小、横向效应小、滞后和蠕变小，响应频率高，适合于动态测量，但是压阻式传感器对温度变化比较敏感，所以压阻式传感器必须要有温度补偿，或是在恒温条件下使用<sup>[10]</sup>。

压阻式力传感器的工作原理如图 4-3 所示，在硅片上制造出的四个等值电阻，组成电桥电路。没有压力作用时，输出电压为零；当有压力作用时，则有电压输出，且输出的电压与所受的压力成比例，因而根据输出电压的大小就可以得出压力的大小。另外，为了减小温度对电阻阻值的影响，最好使用恒流源供电方式，而不采用恒压源的供电方式。本设计中选用 24PCDFAGD 传感器用于测量大气压力。

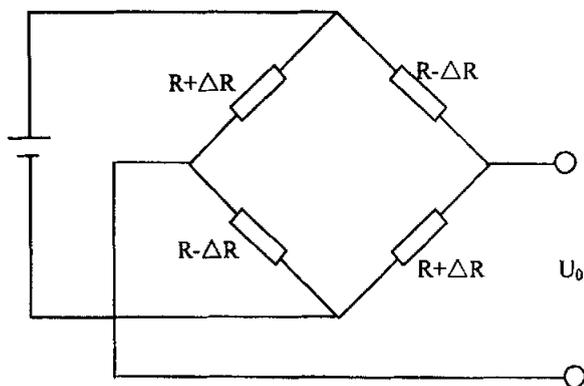


图 4-3 压阻式压力传感器原理图

Figure 4-3 Piezoresistive pressure sensor schematic figure

24PC 系列的特点：

(1)专业的导电密封内联系统消除了传统的导线粘结和带状连接，增强了介质的测量兼容性。

- (2) 2mA 的恒流供电可以显著改善灵敏度温漂。
- (3) 可以测量负压和正压。

表 4.3 24PCDFAGD 参数

Table 4.3 24PCDFAGD parameter

压力范围	0-2bar
最大过压	4bar
电源电压	10-12VDC
工作环境	-40℃-85℃
输出信号	0-330mV
灵敏度	11 mV
精度	0.2%

#### 4.2.3 转矩传感器

发动机输出功率的测量公式为：

$$\begin{aligned}
 P &= M \cdot \omega = \frac{2\pi \cdot M \cdot n}{60} (\text{瓦}) \\
 &= \frac{M \cdot n}{9549.3} (\text{千瓦}) \\
 &= \frac{M \cdot n}{7023.5} (\text{马力})
 \end{aligned}$$

可见在发动机测功率测量中，扭矩 M 和转速 n 是基本的物理量，而扭矩对功率测量精度的影响很大。本测控系统中，扭矩量的测定精度要求比较高，因为扭矩的微弱变化正反映了所测发动机输出功率的大小，而发动机输出功率的大小是发动机生产者和使用者共同最关心的问题，因此扭矩的测量要求精确。

扭矩测量的方法是电涡流测功机产生了制动转矩。该转矩通过外环及传力臂传至测力装置上，由力传感器将力的大小转换成电信号输出，从而达到测转矩的目的。

#### 4.2.4 转速传感器

在发动机试验研究中,转速是一个重要的特性参数。发动机曲轴转速的测量,可以用来计算发动机的有效功率;可以由此判定或控制发动机工况的稳定程度,如通过耐久试验测定较长时间内的转速变化情况,用来计算转速波动率和不稳定度;有时,还需要测定发动机瞬时转速变化情况,如起动、停车过程中瞬时速度的测定,用来评定发动机个别部件的性能。虽然在本设计中,转速信号来源于测功机控制器。下面介绍最常见的转速传感器。

##### (1) 电磁式转速传感器结构

传感头的结构如图 4-4 所示,它由永磁体 2、极轴 5 和感应线圈 4 等组成。极轴头部结构有凿式和柱式两种。齿圈 6 旋转时,齿顶和齿隙交替对向极轴。在齿圈旋转过程中,感应线圈内部的磁通量交替变化从而产生感应电动势,此信号通过感应线圈末端的电缆 1 输入控制器。当齿圈的转速发生变化时,感应电动势的频率也变化。<sup>[11]</sup>

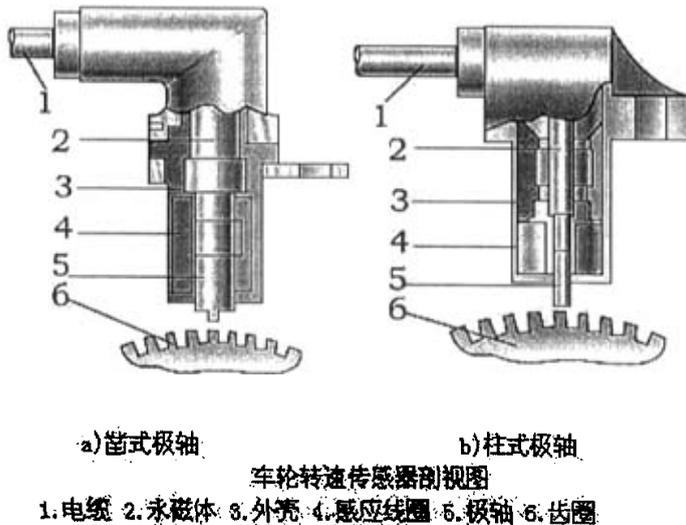


图 4-4 电磁式转速传感器结构

Figure 4-4 electrical-magnet rotation sensor structure figure

## 4.3 外围信号调理板中的输入电路设计

### 4.3.1 总体方案

传感器接口电路对于传感器和监测系统是一个非常重要的联结环节,其性能直接影响到整个系统的测量精度。在实际应用中,传感器接口电路位于传感器和监测电路之间,起着信号预处理的连结作用。接口电路的选择是根据传感器的输出信号特点及用途确定的。不同传感器的输出信号不同,因此,接口电路可以是一个放大器,也可能是一个信号转换电路或其他电路。

传感器输出有如下特点:

- (1) 因种类繁多,传感器的输出形式各式各样。
- (2) 输出信号一般比较微弱。
- (3) 输出阻抗比较高,这样会使传感器信号输入到测量电路是产生较大的信号衰减。
- (4) 传感器的动态范围很宽。
- (5) 传感器的输出随着输入物理量的变化而变化,但他们之间的关系不一定是线性关系。
- (6) 输出量回路受温度的影响,有温度系数存在。

根据传感器输出信号的特点,采用不同的信号处理方法来提高测量系统的测量精度和线性度是传感器信号处理的主要目的。在本设计中采用模块化设计的方法对各路信号分别设计调理电路,使信号变成 0-5v 的电压输出,将其送入单片机的 A/D 口,以便测量和控制。对输出信号的基本要求是:

- (1) 在测量范围内,输出 0-5V 的模拟信号。
- (2) 信号的线性度高,信号受干扰跳变不大。
- (3) 信号经过过滤具有良好的稳定性。

传感器接口电路通常是有一些模拟单元组成。这些单元电路主要有:各种信号的放大电路、滤波电路、绝对值监测电路、峰值保持电路、采样保持电路,A/D 及 D/A 变换电路、V/F 及 F/V 变换电路、调制解调电路、温度调理电路、温度补偿电路及非线性补偿电路等。对传感器接口电路的基本要求如下:

- (1) 在与传感器连接上,要考虑阻抗匹配的问题,必要时加一级电压跟随器,并要考虑电缆的电阻,电容的影响以及噪音的影响。

- (2) 放大器的放大倍数要满足显示器、A/D 变换器或 I/O 接口的要求。
- (3) 要满足仪器、仪表或自动控制系统的精度要求、动态性能以及可靠性要求。
- (4) 电路中采用的集成电路和其他元器件要满足仪器、仪表或自动控制装置的一般环境要求（如湿度、温度等），或某种特殊要求。
- (5) 应考虑外部或内部的温度影响，必要时加温度补偿电路。
- (6) 应考虑电磁场干扰，要采用相应措施解决，如加屏障、加光电隔离等等。
- (7) 电路的结构、尺寸要与仪表、仪器或自动控制系统整体相协调。
- (8) 电路的电源电压、功耗要与总体相协调。
- (9) 电路的设计要考虑成本，满足经济性要求，使产品更具有竞争力。

以下就各种电路进行了具体的分析和设计，应用 Protel99 电路板设计软件绘制原理图和印刷电路图。在设计中，确定了电路的输入值与输出值之间的关系，并将试验与理论设计结合通过实验调整电路达到最终重要要求<sup>[12]</sup>。

#### 4.3.2 保护电路的设计

发动机运转时遇到的情况是相当复杂的，运用于发动机上的电路应该考虑到各种可能出现的情况，这就要求设计者要尽可能保护电路中的各个元器件，从而保护整个电路的正常运行。因此，在设计中尽可能完善电路，使电路的通用性更强，更有效地运行。保护电路分为输入保护和输出保护。

- 1) 输入保护 在每个电路中，由于传感器输出的信号在输入电路第一级运放前应进行保护。因为运放的通信输入端和反向输入端之间是“虚短”的，也就是说运放正常工作时，这两端的电压应是相等的，但在特殊情况下，如当运放输入级的共模或差模输入电压过高时，或是输入级的相关三极管被击穿，造成运放的损坏；有时即使没有损坏运放，但是运放的输出对输入信号不再反映，发生“堵塞”或“自锁”。这里选用两个二极管放置在一级运放前进行保护。当两端电压差超过 0.7V 时，这两个二极管必有一个导通，起到保护运放的作用<sup>[13]</sup>。
- 2) 输出保护 提供给单片机的 A/D 口的电压信号必须在 0-5V 之间，因此必须保护电路的输出正常。但当电路出现问题时，比如小于 0V 或大于 5V，都会使最终的结果出现错误，甚至损坏元器件。通常可以在输出端加一个 5V 的稳压管，但稳压管的稳压数值随工作电路和温度的不同而略有改变，即使对于统一类型的稳压管来说，它的稳压也不固定，而有一定的分散性，同时对于负电压、稳压管难

起保护作用。这就要求设计寻求更好的保护电路。

在本设计中，设计的保护电路如图 4-5 所示。它是有两个 NPN 和两个 PNP 三极管组成的。因为提供给三极管的 P1 的电源为 5V，所以在这个电路中两个 PNP 的基极电压为 4.3V，而由于处于下边的三极管 N1 的发射极接地，所以两个 NPN 的两个基极电势为 0.7V。当电路输出的电压超过 5V 时，P2 的发射极与基极电势差大于 0.7V，P2 导通，将电流直接导出，使输出电压不能超过 5V。而当输出电压低于 0V 时，因

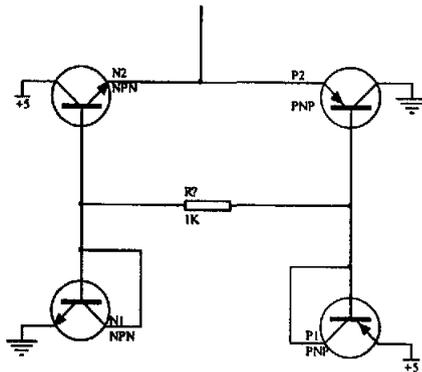


图 4-5 输出保护

Figure 4-5 output protection circuit

为 N2 基极与发射极的电势差超过了三极管的死区电压 0.7V，N2 导通，使输出的电压最终大于 0V<sup>[8]</sup>。另外，为了保护输出端放大器，还应在输出电路中串联一个 1K 的电阻。

### 4.3.3 PT100 的调理电路

铂电阻 PT100 是电阻性的温度传感器件，它有较高的测量精度及较好的线性度。在 0°C 时，阻值  $R_t = 100\Omega$ 。本测量系统用它测量冷却水温度与机油温度。为了把它们的电阻转换成电压以便显示，记录和反馈控制。需要设计一个电阻-电压变换电路。变换电路的方法是使用电桥，由于电阻电桥电路较简单，并具有较高精确度和灵敏度，因此在测量装置中被广泛采用。如图 4-6 所示， $R_t$  为被测铂电阻，输出电压  $U_t$  随  $R_t$  变

化而变化。表 4.4 中列出了 PT100 的阻值与温度之间的关系。电桥电路输出的电压：

$$U_c = \frac{\Delta R_t}{4R_t + 2\Delta R_t} U_0 \quad (4-1)$$

表 4.4 PT100 的阻值与温度之间的关系

Table 4.4 relation between PT100's resistance and it's temperature

温度 °C	-50	-25	0	25	50	75	100	125	150
阻值 Ω	80.31	90.19	100	109.73	119.40	128.98	135.50	147.94	157.31

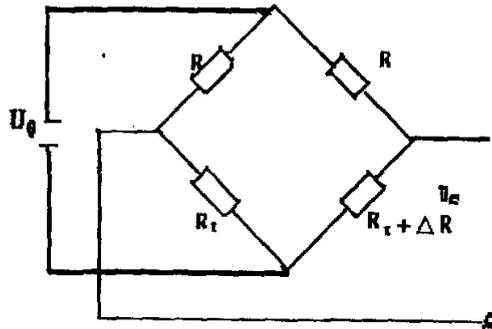


图 4-6 电桥测量电阻

Figure 4-6 bridge measure resistance

因为 PT100 测量的温度范围为 -50—150 °C，其对应的电阻为 80.3—157.3 Ω，电阻值与温度的关系如公式 4-2 所示：

$$R_t = R_0 (1 + At + Bt^2 + Ct^3 + \dots) \quad (4-2)$$

根据 IEC-751 标准，可近似有

$$R_t = R_0 (1 + At + Bt^2) \quad (4-3)$$

式中:  $A=3.90802 \times 10^{-3}$

$B=-0.5802 \times 10^{-5}$

$R_t$  是温度  $t$  时的电阻值 (单位:  $\Omega$ )

由于电阻值与温度之间存在微小的非线性关系, 在实际测量电路中采用了线性变换电路, 为了减少导线带来的误差, 采用了三线制。电路如图 4-7 所示。

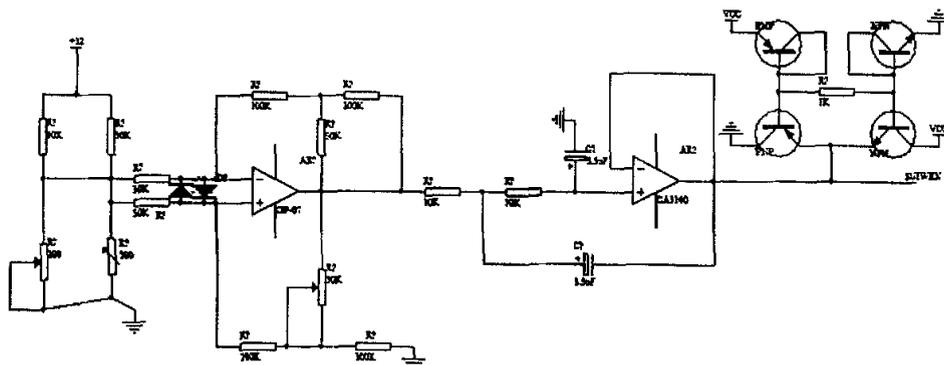


图 4-7 PT100 测温电路

Figure 4-7 PT100 measure temperature circuit

在温度为  $0-150^{\circ}\text{C}$  时, 测量电桥的输出电压为  $0-556.7\text{mV}$  (灵敏度为  $8.9\text{mV}/^{\circ}\text{C}$ )。温度信号由测量电桥输出进入, 调理电路由运放 OP07、3140 组成。运放 OP07 为比例放大器。调整电桥的可变电阻可使在  $0^{\circ}\text{C}$  时, 放大器输出为零(它既调整了电桥的平衡, 同时也补偿了 OP07 的失调电压)。可以通过调整 OP07 的可调电阻来调整放大器的增益 (8-12 倍之间), 使输出电压在  $0-5\text{V}$  范围内<sup>[14]</sup>。3140 组成二阶低通滤波器, 可将有害的杂波信号滤掉 (对直流来讲, 它相当一个电压跟随器)。

#### 4.3.4 k 型热电偶调理电路

由于热电偶产生的信号较弱 (毫伏级), 一般需对信号进行放大, 因此热电偶测温电路中要有放大环节。

热电偶分度表是在冷端温度为  $0^{\circ}\text{C}$  时测定的, 热电偶在实际测量中, 当冷端温度不是  $0^{\circ}\text{C}$  时, 就不能直接利用分度表或分度曲线得知温度值, 因此必须对热电偶冷端

进行温度补偿修正。冷端温度补偿的方法很多，工业上常采用冷端温度补偿器(补偿电桥)，或其他温度传感器制作的补偿电路。温度补偿方法一般有模拟补偿和数字补偿，模拟补偿采用模拟电路来实现。数字补偿利用单片机对热电偶输出和冷端温度变化同时采集，按在补偿规律运算处理，得到修整结果。

本系统采用热电偶测量排气温度，热电偶选用分度号为 k 的热电偶，测温范围：0-1000℃，测温电路输出：0-5V，采用 AD590 集成温度传感器实现冷端模拟温度补偿，冷端温度补偿范围为 0-50℃，调理电路如图 4-8 所示。

上述电路中，调理电路的输入电压  $U_i$  为

$$U_i = E(t, t_0) + (t_0 + 273.15)KR P_1 - U_B \quad (4-5)$$

式中， $t$  为测量端温度， $t_0$  为冷端温度， $K$  为 AD590 的温度系数(1uA/k)， $E(t, t_0)$  为热电偶输出电动势。

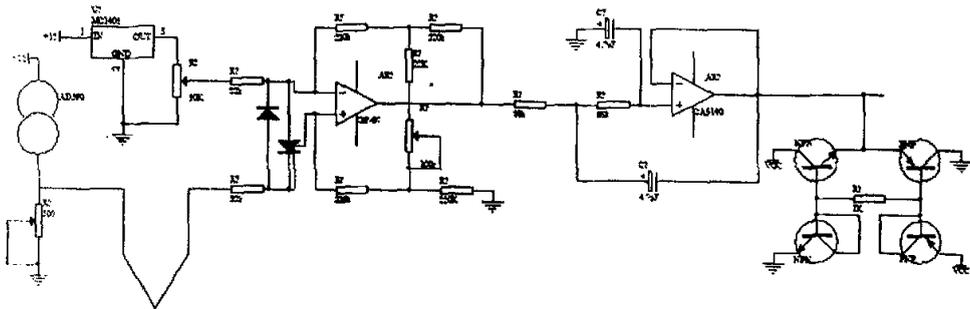


图 4-8 K 型热电偶调理电路  
Figure 4-8 K type thermocouple conditional circuit

调整  $R P_1$  使  $E(t, t_0) = t_0 K R P_1$ ，调整  $R P_2$  使  $U_B = 273.15 K R P_1$ ，则 (4-5) 式为

$$U_i = E(t, t_0) + E(t_0, 0) = E(t, 0) \quad (4-6)$$

从而实现温度补偿。

电路中低温漂，高精度集成运算放大器 OP07 保证较高的输入阻抗及测量精度，增益可调放大电路 (56-220 倍)，放大倍数为  $5V/41.3mv=121$ ，实现 1000℃ 时 5V 输出。CA3140 组成低通滤波器，消除外界干扰，并有较好的负载能力<sup>[10]</sup>。

#### 4.3.5 大气压力信号调理电路

由于大气压力传感器输出的信号是 0-300mv，且 24 系列的压力传感器不包含温度补偿电路，所以电路中需要温度补偿电路与增益可调的放大电路。24 系列的温补电路资料由其配套的资料获得，而电路的放大倍数  $5/0.3=17$ ，由此得出大气压力信号的放大电路。大气压力调理电路如图 4-9 所示。

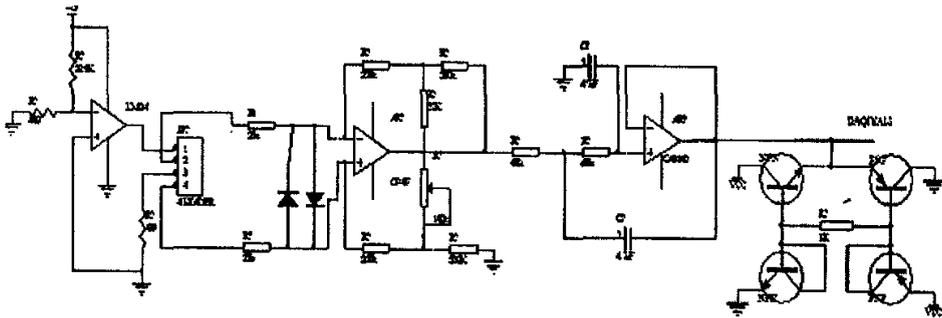


图 4-9 大气压力调理电路

Figure 4-9 atmospheric pressure conditional circuit

#### 4.3.6 大气温度信号的调理电路

本设计中大气温度传感输出的信号为 0~20mA 的标准直流电流信号，而单片机能处理的只能是电压信号。因此，调理电路的任务是将传感器输出的电流信号转换成能满足单片机输入要求的标准电压信号。所以，我采用如图 4-10 所示的简单的 I/V 转换形式，即利用一个 250Ω 的精密电阻，将温度传感器输出的 0~20mA 电流信号转换成 0~5V 的电压信号。在输出端接了一个电压跟随器作为缓冲器。

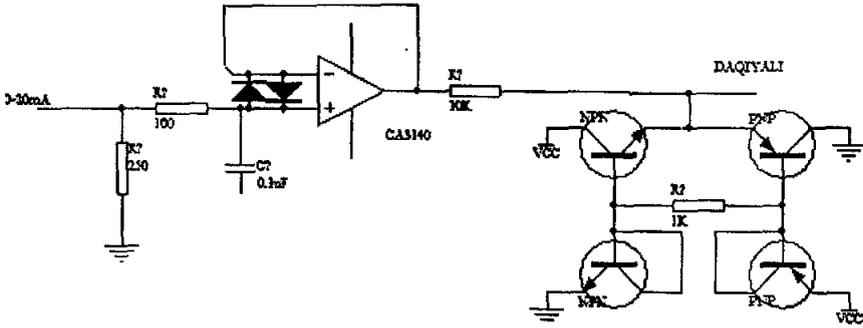


图 4-10 大气温度调理电路

Figure 4-10 atmospheric temperature conditional circuit

#### 4.3.7 扭矩、转速、油耗的调理电路

本设计中来自控制器的扭矩、转速信号与来自油耗仪的油耗信号都是 0~10V 的电压信号，而单片机处理的只能是 0~5V 的电压信号。因此，调理电路的任务是将这些 0~10V 的电压信号转换成单片机输入要求的 0~5V 的电压信号。因此，我们采用如图 4-11 所示的电路，0~10V 电压经两个 15kΩ 的电阻分压后在同向输入端得到 0~5V 的输入电压，输出电压只与输入电压和分压电阻有关，其精度和稳定性较高<sup>[13]</sup>。

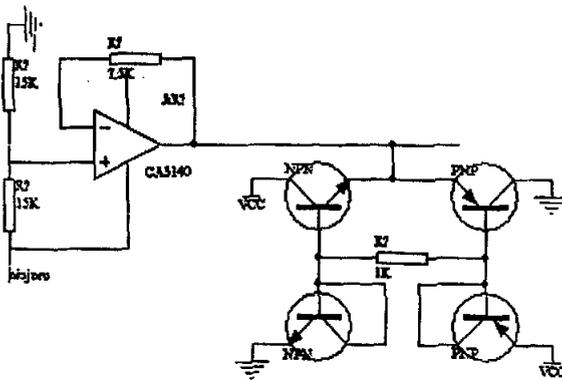


图 4-11 扭矩、转速、油耗的调理电路

Figure 4-11 torsion, speed, fuel consumption conditional circuit

#### 4.4 外围信号调理板中的输出控制电路设计

##### 4.4.1 输出控制的信息传递

控制程序把要控制的转速和油门开度的实际值由上位机通过 RS232C 串口通信协议传给单片机，单片机通过内部定时器的脉宽调制输出（0-5V）模拟信号送到信号调理板，此模拟信号在输出控制电路中经放大（0-10V）滤波后分别接入控制器的后面板上相应的转速和油门控制接口，控制器对油门位置和转速的命令值与实测值进行模拟运算，测功器加载和油门位置执行器发出控制信号，调节测功器的激励电压和发动机油门位置，来实现对发动机转速和油门开度的控制，从而获得所需工况。发动机转速和油门的控制信号的流程见图 4-12。

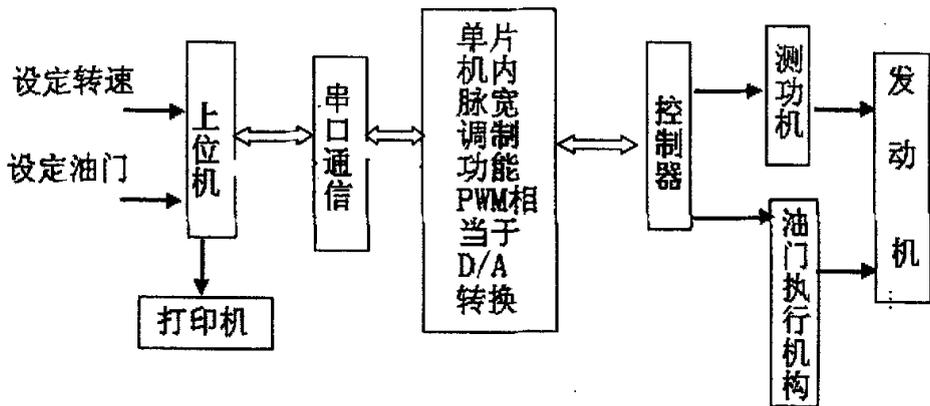


图 4-12 转速、油门控制信息流程图

Figure 4-12 speed, accelerograph control information-flow figure

##### 4.4.2 转速、油门的控制电路

由于转速和油门的外部控制方式都是通过由上位机发出的信号经单片机后、由外围信号调理板中的输出控制电路转换为 0-10V 电压后输入测功机控制器，所以转速和油门的控制电路完全相同。电路如图 4-13 所示。

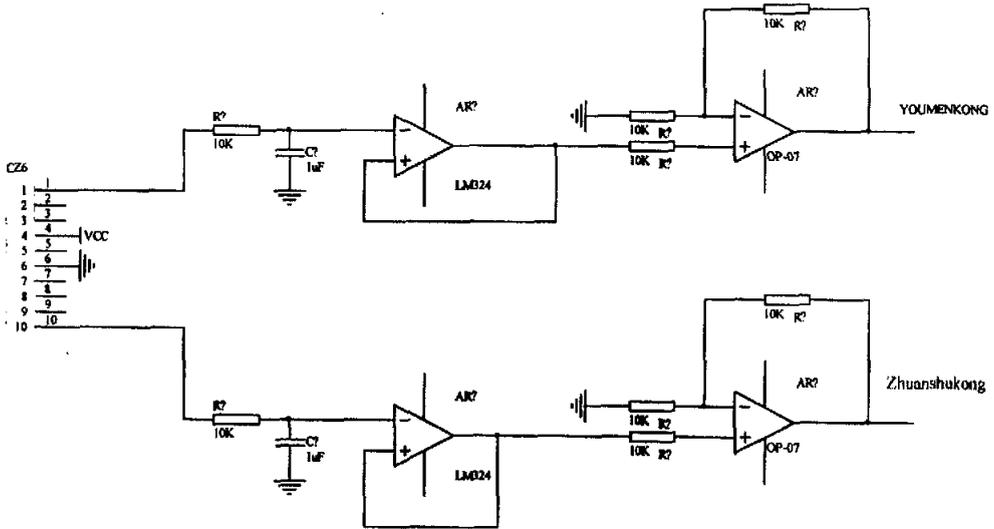


图 4-13 转速、油门的控制电路

Figure 4-13 speed, accelerograph control circuit

#### 4.5 外围信号调理板实物图

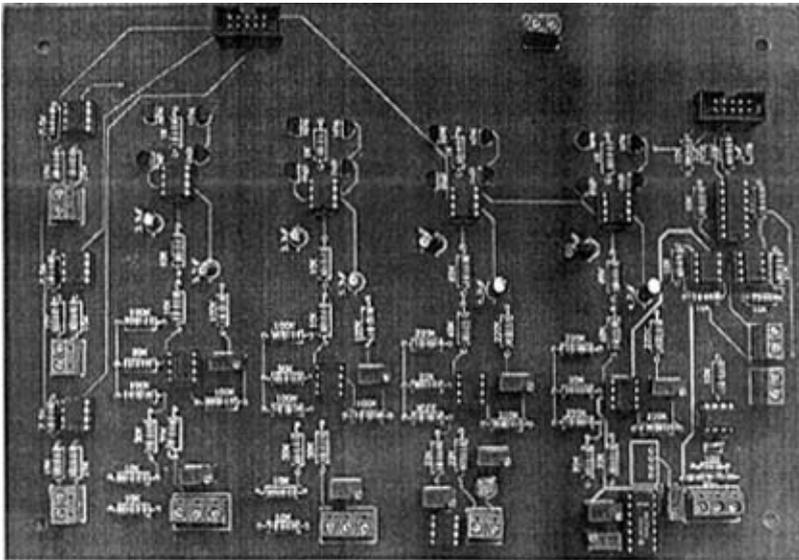


图 4-14 外围信号调理板实物图

Figure 4-14 outside signal conditional board figure

## 5 MC68HC908GP32 控制系统

MC68HC908GP32 单片机主芯片及外围逻辑控制电路是控制系统电路的核心，单片机接收输入的信号，根据发动机控制软件的控制策略和所标定的数据进行分析、计算，输出控制量到控制器。这部分电路由一个单片机和一些外围电路组成。

MC68HC908GP32（以下简称 GP32）是 Motorola 公司 99 年新推出的高性能 8 位微控制器，具有强大的功能和广阔的市场前景。GP32 采用了锁相环频率合成器作为时钟发生电路，可以在外部使用 32.768 kHz 晶振时通过编程产生 8MHz 的内部时钟，并可以通过软件编程进行精确控制。它具有 32K 的片内 FLASH ROM 和 512B 的片内 RAM，可以很方便地进行在线编程。用户既可利用编程器将代码写入芯片，并且反复擦写进行调试，也可以利用驻留在芯片内的监控 ROM 来与 PC 机进行简单通讯，完成程序的在线下载和调试工作。

### 5.1 MC68HC908GP32 控制系统的硬件设计方法

在原理图的设计上，我们采用了层次电路设计方法，层次式电路是在工作实践中提出的，随着计算机技术的发展而逐渐形成的一种原理图设计方法。这种方法是把一个大的原理图分成若干个子系统，子系统下面可划分为若干功能模块，功能模块再细分为若干基本模块，设计好基本模块，定义好模块之间的连接关系，即完成了整个原理图的设计。其优点是结构清楚，概念清晰，设计效率高、修改方便。

层次电路设计可以有两种方法。一是自顶向下的方法：从系统原理图开始，逐渐向下进行；二是自底向上的方法：从基本模块开始，逐渐向上进行。层次式电路的概念很像文件管理的树状结构，在实际应用时，必须使用方块电路划分整个电路<sup>[15]</sup>。

在这里采用自顶向下进行层次电路设计方法，方块电路如图 5-1 所示。

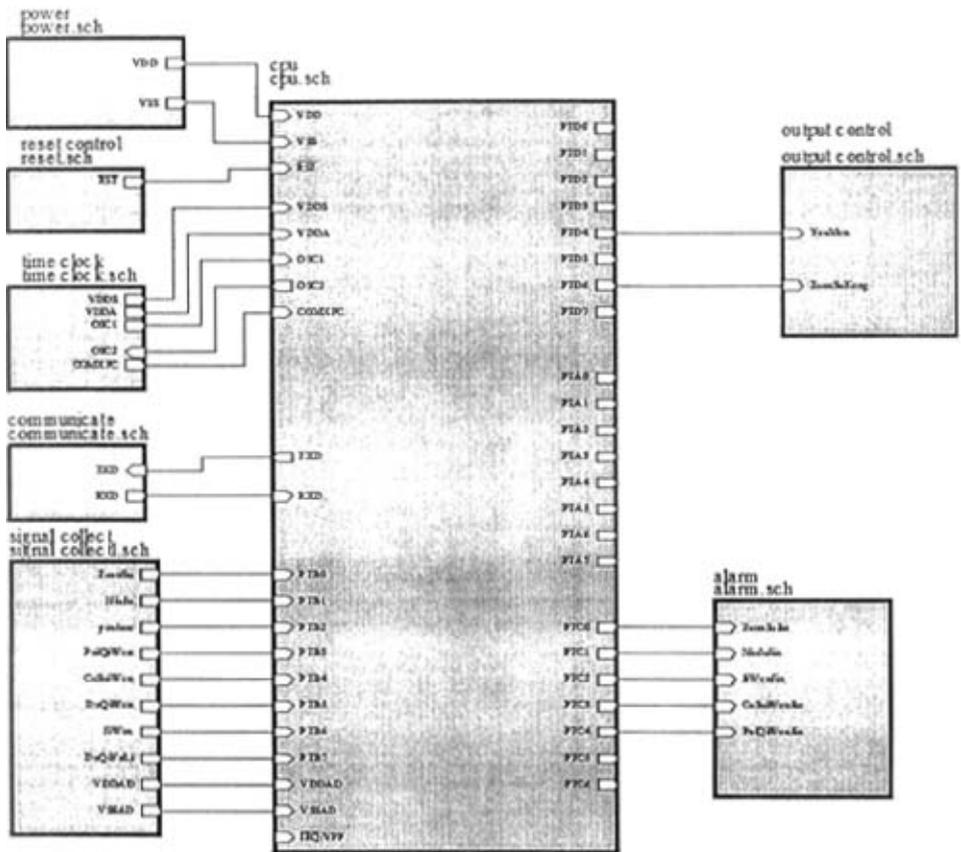


图 5-1 方块电路

Figure 5-1 rectangle circuit

## 5.2 GP32 的封装和引脚说明

GP32 有 DIP (40 引脚)、PDIP (42 引脚)、QFP (44 引脚) 三种封装形式, 40 脚与 42 脚只有一个定时器, 44 脚有两个定时器, 考虑到定时器问题, 这里采用 QFP 封装, 芯片外形如图 5-2 所示, 各引脚功能如下<sup>[16]</sup>:

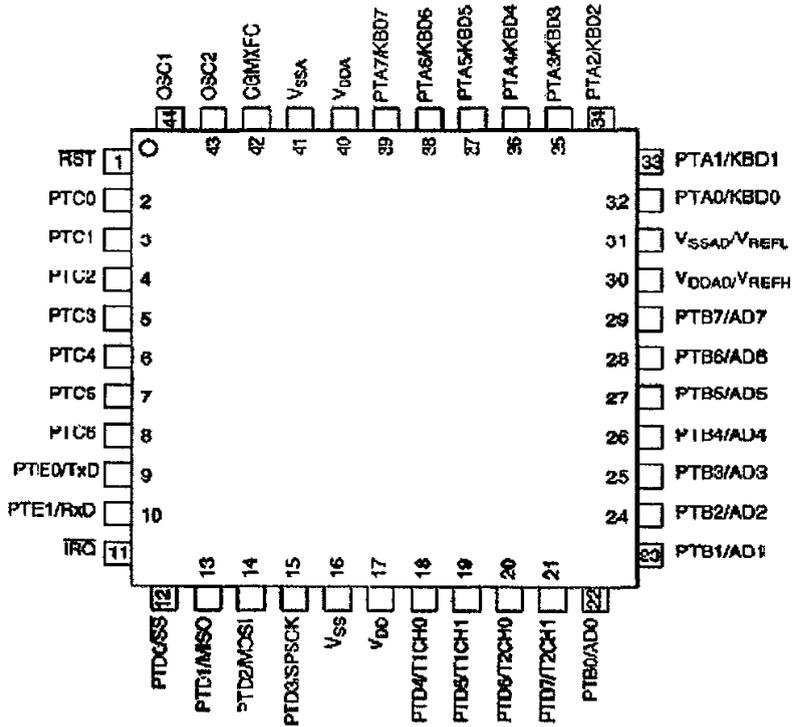


图 5-2 44 脚 QFP 引脚图

Figure 5-2 44 leg QFP leg figure

- (1)  $V_{DD}$  和  $V_{SS}$ : 电源供给端。
- (2) OSC1 和 OSC2: 片内振荡器引脚。
- (3)  $\overline{RST}$ : 外部低有效复位输入或输出脚, 有内部上拉电阻。
- (4)  $\overline{IRQ}$ : 外部中断输入脚, 有内部上拉电阻。
- (5)  $V_{DDA}$  和  $V_{SSA}$ : 时钟发生器模块 (CGM) 的电源供给端。
- (6) CGMXFC: CGM 的外部滤波电容连接脚。
- (7)  $V_{DDAD}$  和  $V_{SSAD}$ : A/D 转换器电源供给端。
- (8)  $V_{REFH}$  和  $V_{REFL}$ : A/D 转换器的高和低参考电压输入端。
- (9) PTA7/KBD7—PTA0/KBD0: 8 位通用双向 I/O 口, 作输入时, 每个引脚可通过软件选择有上拉电阻。
- (10) PTB7/AD7—PTB0/AD0: 8 位通用双向 I/O 口, 可用作 A/D 输入。
- (11) PTC6—PTC0: 7 位通用双向 I/O 口。作输入时, 每个可选择有上拉电阻。
- (12) PTD7/T2CH1— $\overline{PTD0}/SS$ : 8 位特殊功能、双向 I/O 口。也可作为 SPI、

TIM1、TIM2 等特殊 I/O 线。

- (13) PTE1/RxD、PTE0/TxD: 2 位通用双向 I/O 口。它们可用作 SCI 脚。作输入时可接内部上拉电阻<sup>[17]</sup>。

### 5.3 GP32 的总体结构

图 5-3 给出了 GP32 的系统结构框图。从图中我们可以看出 GP32 主要有如下的一些功能模块：

◆ 中央处理模块 CPU08

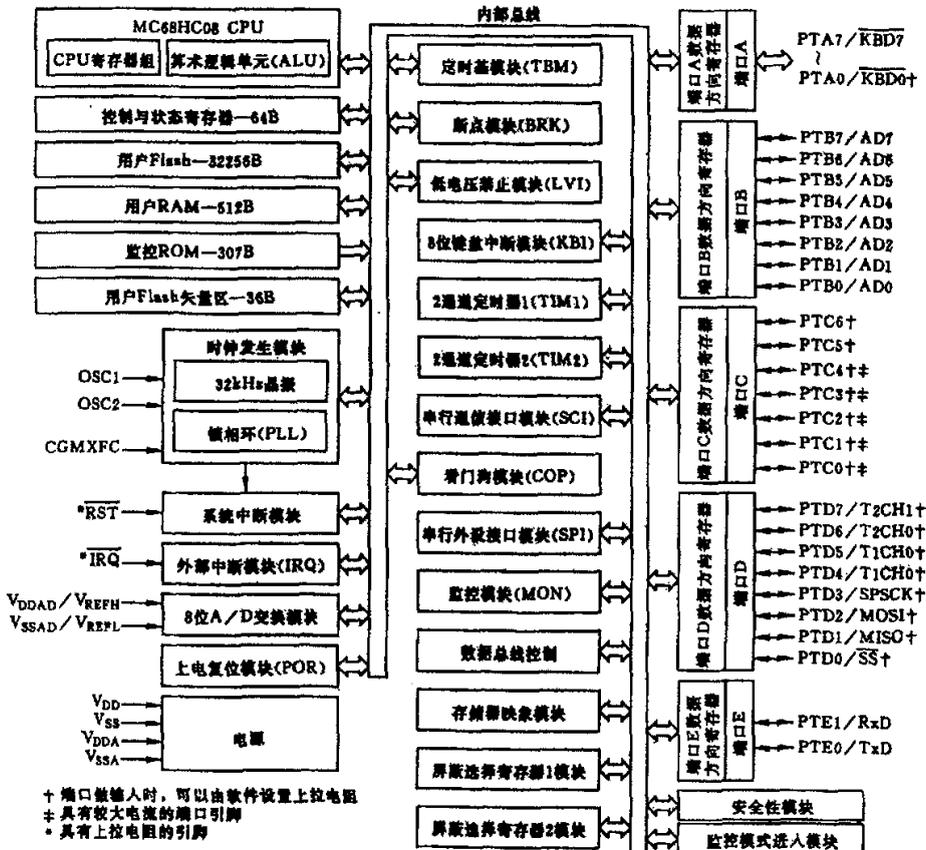


图 5-3 MC68HC908GP32 系统结构框图

Figure 5-3 MC68HC908GP32 system structure figure

- ◆ 时钟发生模块 CGM
- ◆ 存储器模块 MEMORY
- ◆ 模数转换模块 ADC
- ◆ 多功能定时接口模块 TIM1 和 TIM2
- ◆ 时基模块 TBM
- ◆ 串行通信模块 SCI
- ◆ 串行外围器件扩展接口 SPI
- ◆ 并行接口 PTA、PTB、PTC、PTD 和 PTE
- ◆ CPU 正常工作监视模块 COP
- ◆ 电源电压监视模块 LVI
- ◆ 节电模块、系统集成模块和监控模块等。

### 5.3.1 GP32 的 CPU 结构

GP32 的中央处理器单元 CPU08 具有功能强，速度快的特点。内部总线时钟频率高达 8MHz，最小的指令执行时间为 125ns，最长的除法指令指令周期也只有 875ns。指令系统功能强，寻址方式多，编程方便<sup>[22]</sup>。CPU08 和其它 CPU 一样，内部包含有指令寄存器，译码器等控制逻辑、算术逻辑运算部件 ALU 以及 CPU 寄存器等。但仅从用户应用的角度看 CPU08 的结构（编程结构）如图 5-4 所示。

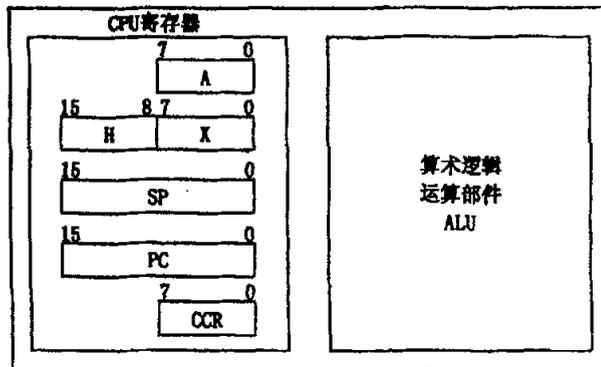


图 5-4 GP32 中央处理器结构

Figure 5-4 GP32 CPU structure figure

算术逻辑运算部件 ALU 是由加法器等部件组成的，实现数据的算术运算、逻辑运算、数据传送等处理功能。

### 5.3.2 GP32 的存储器配置

GP32 的存储空间为 64K 字节，它将程序存储器 (FLASH ROM)、数据存储器 (RAM)、I/O 寄存器和控制寄存器全部统一在这 64K 字节空间内编址。使 CPU 对 I/O 寄存器的操作 (输入或输出) 和对存储器的操作一样快速和方便<sup>[23]</sup>。其存储映像如表 5.1 所示。

表 5.1 存储映像

Table 5.1 memory reflection

\$0000~\$003F	I/O 寄存器 64B
\$0040~\$023F	RAM 数据寄存器 512B
\$0240~\$7FFF	保留区 (无物理单元) 32192B
\$8000~\$FDFF	FLASH 存储器 (用户存储器) 32256B
\$FE00~\$FE0C	控制状态寄存器 14B
\$FE0D~\$FE1F	保留区 (无物理单元) 3B
\$FE20~\$FE52	监控 ROM 307B
\$FE53~\$FE7D	保留区 (无物理单元) 43B
\$FE7E	FLASH 块保护寄存器 1B
\$FF7F~\$FFDB	保留区 (无物理单元) 93B
\$FFDC~\$FFFF	复位和中断向量区 (FLASH 矢量区) 36B

需要注意的是：

- 1) FLASH 存储器分两部分, \$8000~\$FDFF(32256B)为用户程序寄存器。\$FFDC~\$FFFF 为复位和中断向量区, 存放用户定义的复位和中断服务程序的入口地址。其中 \$FFF6~\$FFFD 这 8 个字节也是 FLASH 的加密字节。
- 2) GP32 有 512 字节的 RAM, 其中 0 页的 192 字节 RAM (\$40~\$FF) 寻址方式多,

操作速度快，一般用作使用频率最高的数据缓冲器和程序的工作标志单元，而堆栈一般设在\$23F~\$1FF的区域。这样可提高效率，方便程序设计。

- 3) 绝大多数 I/O 寄存器位于零页 (\$00~\$40)，这使得 CPU 对 I/O 寄存器操作灵活、方便、快速。
- 4) GP32 出厂时，在\$FE20~\$FF52 的 307 字节 ROM 内固化了“MON”监控程序，使 CPU 工作于监控状态时具有简单的通信功能和命令执行功能。MON 中有些程序也可以被用户调用<sup>[19]</sup>。

#### 5.3.4 GP32 的 I/O 资源

##### 1) GP32 的 I/O 资源

GP32 有 5 个并行的双向 I/O 口，分别为 A、B、C、D 和 E 口，其中 A、B、D 口为 8 位，当用作输入时可通过软件设置内部上拉。C 口为 7 位，E 口为两位。由于封装和引脚的限制，除了 C 口为单一功能的双向 I/O 口外，其余并口都与其它功能模块复用<sup>[16]</sup>。

B 口可定义为 8 路 A/D 转换器的模拟量输入引脚。

D 口与 SPI 和定时器输入捕捉、输出比较引脚公用。

E 口与 SCI 口公用。

图 5-5 所示为 GP32 的双向并行口的结构，其中，并行口引脚的方向（输入或输出）由对应的方向寄存器的对应位决定；A 口、C 口和 D 口均具有内部上拉电阻，并各有一上拉控制寄存器，需要时通过设置相应上拉寄存器的控制位，使与之对应的输入上拉。

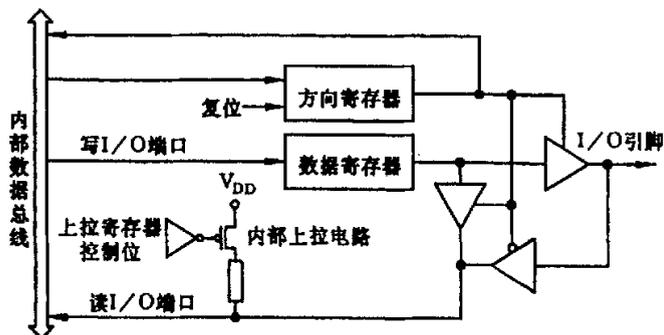


图 5—5 并行 I/O 口结构

Figure 5-5 Parallel I/O Port structure figure

## 2) GP32 的资源分配

根据 GP32 各 I/O 口的特点和功能, 结合 MCG 对输入输出的要求, 这里对 GP32 的 I/O 资源进行了合理的分配, 分配情况如表所示 5.2 所示。

表 5.2 GP32 的 I/O 分配情况

Table 5.2 GP32 I/O Port distribute

I/O 口	方向	功能	控制位	对应模块
PTB0	输入	发动机转速输入信号	DDRB .0	signal collect
PTB1	输入	发动机扭矩输入信号	DDRB .1	
PTB2	输入	油耗输入信号	DDRB .2	
PTB3	输入	排气温度输入信号	DDRB .3	
PTB4	输入	冷却水温度输入信号	DDRB .4	
PTB5	输入	大气温度输入信号	DDRB .5	
PTB6	输入	机油温度输入信号	DDRB .6	
PTB7	输入	大气压力输入信号	DDRB .7	
PTC0	输出	转速报警信号	DDRC .0	alarm
PTC1	输出	扭矩报警信号	DDRC .1	
PTC2	输出	机油温度报警	DDRC .2	
PTC3	输出	冷却水报警	DDRC .3	
PTC4	输出	排气温度报警	DDRC .4	
PTD4	输出	由门位置控制	DDRD .4	output control
PTD6	输出	转速控制	DDRD .6	

## 3) GP32 内部集成的 A/D 转换器

功能较强的微控制芯片 GP32 内部集成了模拟量与数字量之间的转换。B 口可定义为 8 路 A/D 转换器的模拟量输入引脚。所以, 输入信号调理板的信号由 B 口进入微控制器进行 A/D 转换。

A/D 转换器需要内部时钟协调各部分的操作, M68HC08 的 A/D 时钟可直接来自晶体振荡电路, 也可以由锁相环产生的总线时钟来提供, 并经过分频电路使得 A/D 的

转换速率约为 60kHz。

#### 4) GP32 内脉宽调制功能 (PWM) 代替数模转换器 (D/A)。

本控制系统没有外接 D/A 转换芯片的原因就是，根据定时器的脉宽调制输出原理，由于通道寄存器中的预置数据能控制脉冲宽度，而将不同占空比的脉冲信号通过滤波平滑后可转换成相应的直流电平，这就达到了数字到模拟电压输出的转换目的<sup>[28]</sup>。图 5-6 给出了一个最简单的输出接口电路，PWM 经缓冲器后通过 RC 滤波器平滑脉冲波形<sup>[29]</sup>。

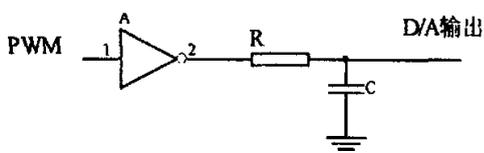


图 5-6 用 PWM 实现 D/A 的简单输出电路

Figure 5-6 use PWM realize D/A output circuit

### 5.3.5 GP32 的中断系统

GP32 的中断功能能够在当前指令执行结束时响应中断。发生中断时微控制器将 CPU 寄存器的值压入堆栈保存，进入中断处理例程。在中断处理例程结束时，将保存的值弹出堆栈，继续执行进入中断以前的程序。GP32 中断系统有 24 个中断源（每个中断源都有一个中断标志位、中断允许位）、17 个中断向量。

## 5.4 MC68HC908GP32 外围电路

单片机外围逻辑电路由时钟电路、复位电路、外中断电路、片内 FLASH 编程电压控制电路和调试用外部总线组成。

### 5.4.1 时钟电路

#### 1) 电路设计

时钟电路采用下述元件：晶振 X1、电容 C1 和 C2、反馈电阻 Rb、串行电阻 Rs。

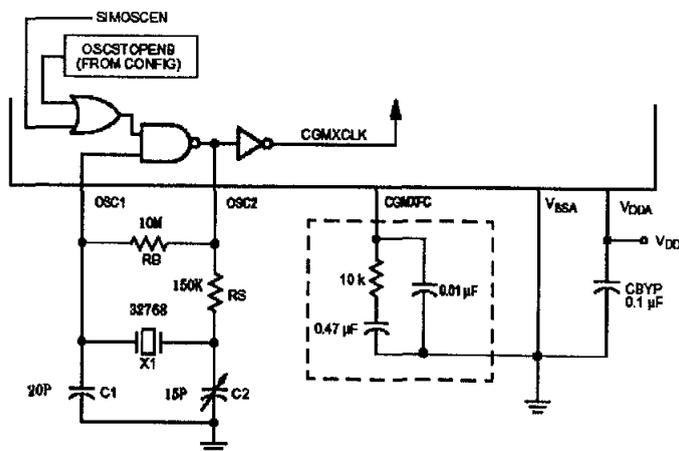


图 5-7 时钟发生电路的外部连接

Figure 5-7 clock occur circuit exterior connection

C1 和 C2 的取值一般是参考厂家给出的典型值，一般取 10-36pF。C1 与 C2 的值该略有差异，以利于晶振电路起振，在这里采用：C1=20P，C2=15P。典型情况下，Rs 取 330kΩ，Rb 取 10MΩ。晶振采用 32.768KHz。连接电路如图 5-7 所示<sup>[18]</sup>。

## 2) 锁相环频率合成器

M68HC08 的时钟不仅可以由外部晶振的分频得到，还可以由内部锁相环频率合成 PLL(Phase Locked Loop) 提供，它可以在外接 32kHz 晶振的情况下，通过软件编程得到多种总线时钟频率，最高可达 8MHz。

由于本系统的监控程序使用的是清华大学开发的应用于 GP32 IDK 上的监控程序，此程序已把系统时钟设定为 8MHz，故本系统不再考虑通过软件编程得到多种总线时钟频率<sup>[33]</sup>。

## 5. 4. 2 复位电路

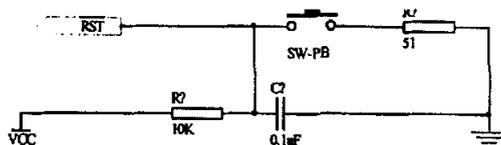


图 5-8 复位电路原理图

Figure 5-8 reposition circuit principle figure

复位电路的功能是在复位键按下时，有一段时间的逻辑低电平，或者说是加一个负脉冲，加在 RST 引脚上，产生外部复位。外部复位将 SIM 复位寄存器中的 PIN 位置为逻辑 1。据此要求，设计如图 5-8 所示复位电路。

#### 5.4.3 片内 FLASH 编程电压电路控制和调试用外部总线

向 GP32 芯片内写程序时，需要一定的硬件条件，这个硬件条件实际上就是编程电路，即给相应的管脚上加上相应的电压，MC68HC908GP32 Programmer 就是给芯片提供这么一个编程电路，而且预留了一个叫 Extension Module 的 10 针的扩展接口，因此只要在 Programmer Adepter 上也设计一个与之一一对应的接口，并将编程器要求的管脚一一从 GP32CFB 引出到这个接口，这样就可以用 10 针的扁平电缆将两者的接口连接起来。GP32 编程电路需要引出的管脚有 8 个，它们分别是：PTC3、PTC1、PTC0、RST、PTA0、OSC1、PTA7、IRQ，再加上要提供 GND 和 VCC，一共是 10 个。据此设计了如图所示的各 10 针编程座，此编程接的各针是与编程器上的编程扩展接口一一对应的<sup>[19]</sup>。

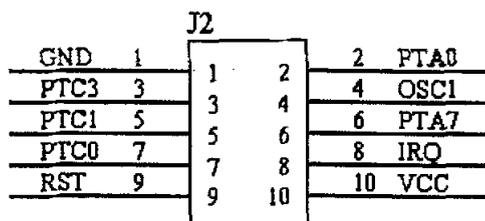


图 5-9 编程接口电路图

Figure 5-9 programmed interface circuit

前文已经提到过，GP32 在编程与工作状态下所要求的硬件环境是不同的，在编程状态时，要求 VDDA、VDD、VDDAD 都连到 VCC 上，而 VSSA、VSS 和 VSSAD 都连到 GND 上；而在工作状态时要求 VDDA、VDD 与 VDDAD 是分开的，VSSA、VSS 和 VSSAD 也不能连在一起，这就需要在 Programmer Adepter 上进行跳线处理，这里设计了一个跳线接口，如图 5-10 所示。

图中所示为工作模式下 VDDA、VDD、VDDAD、VSSA、VSS、VSSAD 的电路联接状态。

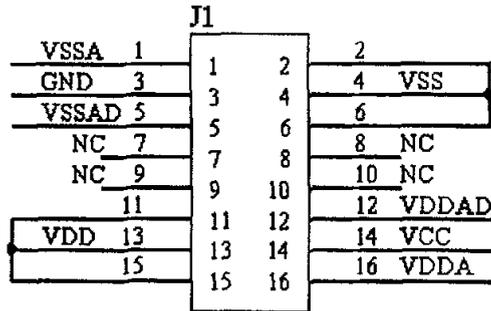


图 5-10 跳线接口电路图

Figure 5-10 slip string interface circuit

编程模式可以用两孔短接插座分别将 1-2, 3-4, 5-6, 11-12, 13-14, 15-16 短接, 从而使 VDDA、VDD、VDDAD 接 VCC; VSSA、VSS、VSSAD 接 GND<sup>[19]</sup>。

#### 5.4.4 通讯模块电路设计

由于系统要求本控制器要能够与上位机进行必要的数据传输, 所以需要进行通讯接口电路设计。

通信的类型通常有两种: 并行通信 (Parallel Communication) 和串行通信 (Serial Communication)。

串行通信方式又有同步通信和异步通信之分, 同步通信需要同时提供时钟线、片选线等信号线, 电路较复杂, 因此多用于单片机与外设之间, 单片机之间也有少量采用。单片机与 PC 机通信时, 大都采用异步串行通信方式。

异步串行通信有不同的标准接口。所谓标准接口, 就是明确定义若干信号线, 使接口电路标准化、通用化。借助串行通信标准接口, 不同类型的数据通信设备可以很容易实现它们之间的串行通信连接。标准异步串行通信接口有以下几类:

- ◆ RS-232C, RS-232E
- ◆ RS-449 (RS-422, RS-423 和 RS-485)
- ◆ 20mA 电流环
- ◆ USB 及 IEEE-1394

为了保证可靠性的通讯要求, 在选择接口标准时, 须注意以下二点:

##### 1) 通讯速度和通讯距离

通常的标准串行接口的电气特性, 都有满足可靠传输时的最大通信速度和传送距离指标, 但这两个指标之间具有相关性, 适当地降低通信速度, 可以提高通信距离, 反之亦然。

## 2) 抗干扰能力

通常选择的标准接口, 在保证不超过其使用范围时都有一定的抗干扰能力, 以保证可靠的信号传输。但在一些工业测控系统中, 通信环境十分恶劣, 因此在选择通信介质、接口标准时要充分考虑其抗干扰能力, 并采取必要的抗干扰措施。

在高噪声污染环境中, 通过使用光纤介质减少噪声干扰, 通过光隔离提高通信系统的安全性都是一些行之有效的办法<sup>[20]</sup>。

其中 RS-232C 是由美国电子工业协会 (EIA) 1969 年公布的、在异步串行通信中应用最广的标准总线。适合于短距离或带调制解调器的通讯场合。在这里我们采用异步串行 RS-232C 通信。

本控制器通讯模块电路采用 MAXIM 公司生产的 MAX232CPE 通用接口芯片, 用于实现 SCI 信号在 RS232 总线上的输入输出。

MAX232 是 MAXIM 公司生产的, 与 EIA-RS-232-E 在电气特性上兼容的串行通信收发器和驱动器, 可将 GP32 的 SCI 信号与 RS232 总线信号相连接, 从而实现单片机通过 SCI 与 PC 机的通信。

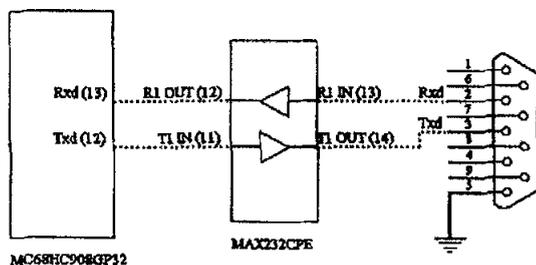


图 5-11 通信模块原理示意图

Figure 5-11 communication module principle figure

在控制器上是以 9 引脚的 DB9 公头引出, 要进行的另外一项工作是将单片机控制系统上的 DB9 的 2、3 引脚与 PC 机 COM 口的 DB9 的 2、3 引脚交叉连接 (图 5-12 所示), 本设计中在标准 RS-232 串口电缆上加接一个自制的经过图 5-8 所示跳线

的空“MODEM”，从而成功地实现了标准 RS-232 串行通信<sup>[27]</sup>。

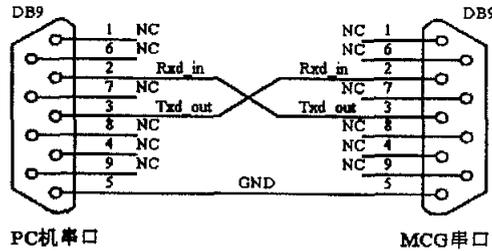


图 5-12 MCG 与 PC 机的通信连接图

Figure 5-12 communicate connection between MCG and PC

#### 5.4.5 电源管理模块电路

控制器共需要两种电压：

- ◆ +5V：提供给单片机及其外围芯片
- ◆ +12V：提供给传感器电路和功率驱动模块

为了给 GP32 提供高精度、高稳定性的 5V 电源。这里选用 MC7805 稳压块，其输入电压范围在 5—18V，输出电压为  $5 \pm 0.2\text{V}$ ，满足 GP32 要求。

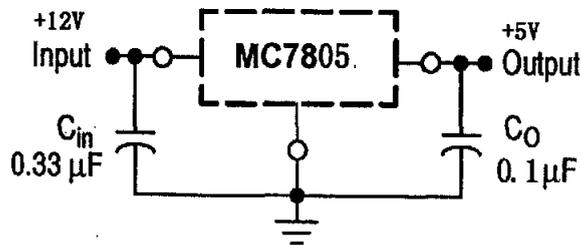


图 5-13 电源管理模块原理图

Figure 5-13 power manage module circuit

在本设计中，由于电源距稳压块 MC7805 还有一定距离，因此在输入端加一  $0.33\mu\text{F}$  的滤波电容  $C_{in}$ ，以提高抗干扰能力。

为了提高输出电压的瞬态响应性，在输出端加一  $0.1\mu\text{F}$  的电容<sup>[21]</sup>。

#### 5.4.6 状态监控报警模块电路

一个好的控制系统，不仅要实现用户所需的全部功能，而且要求对各个功能模块的工作状态和外围信号调理电路作实时监控，让用户能随时监测整个系统有无故障，故障在哪里，这就需要有一个专门的模块来对整个系统进行管理和监测，这就是状态监控模块。

在本控制器中，我们主要是用发光二极管实时显示电源模块和传感器报警信号（用发光二极管的闪烁表示）。电路如图 5-14 所示。

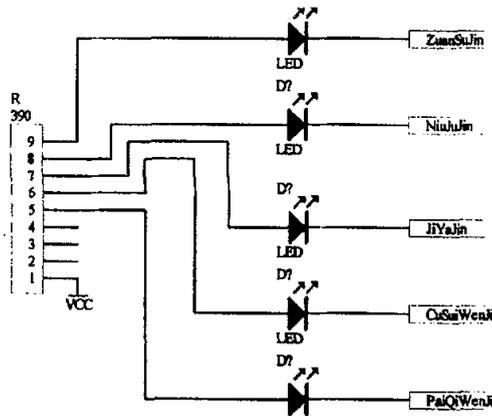


图 5-14 状态监控报警模块电路

Figure 5-14 state monitoring and alarm module circuit

### 5.5 系统硬件设计的可靠性

本系统中，由于控制系统离发动机试验台很近，应用环境比较恶劣，噪声和震动较大，发电机的电磁干扰，电源波动、环境的等因素都会影响控制系统工作的稳定性。因此在本系统中，软、硬件方面都应同时考虑使用必要的抗干扰措施。在硬件方面的抗干扰措施有：接地技术、滤波技术。

#### 5.5.1 接地技术

控制系统中地线结构大致有数字地和模拟地。如图 5-15 所示，接地技术采用了以下几种：

- 1) 数字地和模拟地分开。
- 2) 接地线构成闭环，增加抗噪声能力。

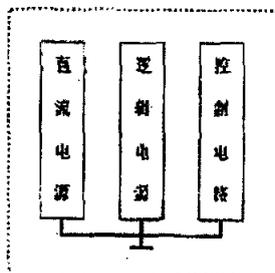


图 5-15 系统接地示意图

Figure 5-15 system grounding figure

### 5.5.2 滤波技术

利用电容、电感等储能元件可以抑制因负载变化而产生的噪声，通常把这种作用称之为滤波或去藕。本系统，在每个集成电路电源线与地线之间都并联几个电容器到很好的滤波作用。如图 5-16 所示<sup>[14]</sup>。

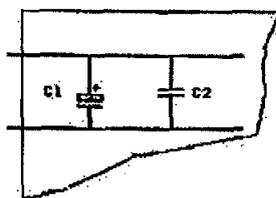


图 5-16 电源滤波

Figure 5-16 power filter

### 5.5.3 供电系统抗干扰技术

台架系统的供电系统是非常重要的一环，系统中的设备大多数是用 220V, 50Hz 的市电，由于我国电网的频率与电压波动很大，都会对台架系统产生干扰。为了消除和抑制电网端给系统的干扰，可以采用交流变压器，用来保证交流供电的稳定性，防

止交流电源的过压或欠压。对发动机台架试验系统来说，这是普遍采用的抑制电网电压波动的方法。同时，应保证有一定的功率储备。

#### 5.5.4 信号调理电路的技术

对于采集的模拟信号，使用硬件电路，既有源低通滤波器进行信号的放大、滤波，以消除信号在传输过程中的衰减和滤波干扰成分。信号电路的具体设计和功能见外围信号调理板电路部分。

#### 5.6 MC68HC908GP32 控制系统实物图及总图

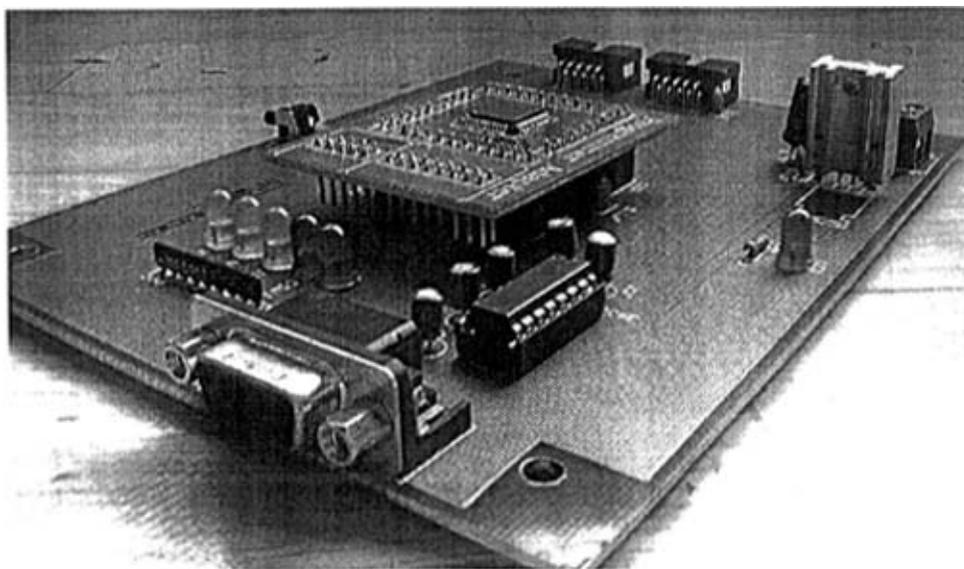


图 5-17 MC68HC908GP32 控制系统实物图

Figure 5-17 MC68HC908GP32 control system real figure

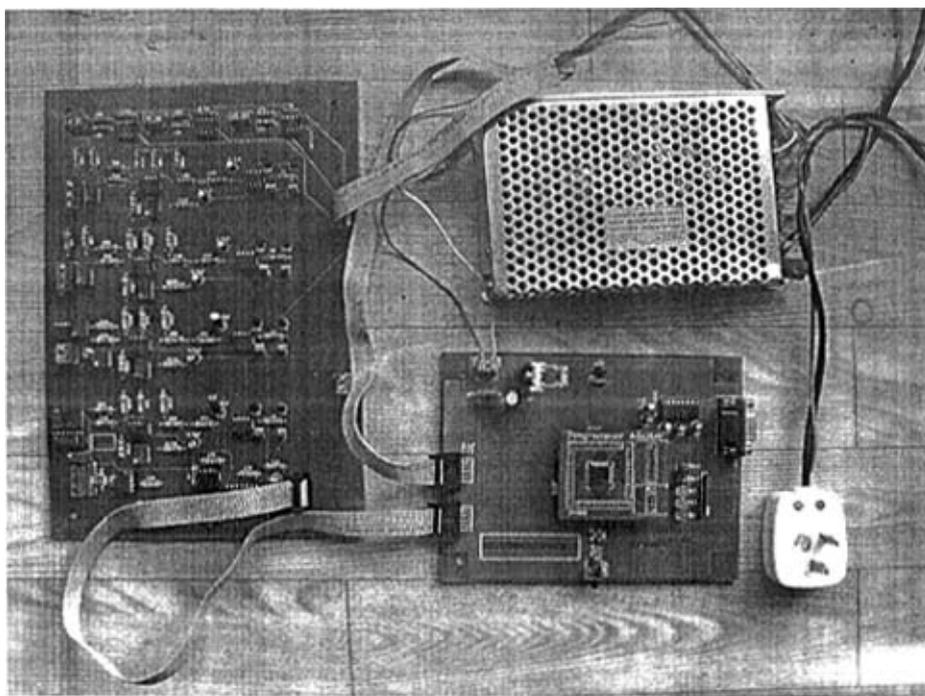


图 5-18 连接实物图

Figure 5-18 connect real figure

## 5.7 小结

本章就各模块的工作原理、设计重点和难点、设计方法等问题进行了深入的探讨。模块化的电路设计方法是整个硬件设计的一大特点；层次式原理图设计使得图纸管理科学，电路修改方便；整个控制系统的双层 PCB 设计使模块化设计更加容易实现；模拟电路区与数字电路区分开；控制驱动电路、信号输入电路与控制系统分离。这种模块化的电路设计方法使控制系统的各个功能模块既相对独立，又相互联系，协调工作。

## 6 系统的标定试验<sup>[8]</sup>

在本系统的设计中, 标定电路板是其中最重要的工作之一, 对每一路信号都要单独进行标定, 标定的内容主要是: (1) 保证在传感器输入信号很小时, 调理电路的输出电压为 0V, 而在传感器输入的信号最大时, 电路输出的电压为 5V。(2) 当传感器输入值在指定的范围内变化时, 电路的输出在 0-5V 范围内变化。(3) 验证当传感器信号变化时, 输出电压随输入信号基本成线性变化。

在电路板的标定中, 具体的步骤为:

第一步: 用理想的模拟信号先对电路进行初步标定。对温度信号标定时, 因为其理想信号是一个在 80.3-157.3 之间变化的电阻信号。故采用电阻箱模拟传感器信号。对压力的信号进行标定时, 根究传感器的理想信号输入, 采用了理想的电压源作为输入信号, 其调节的范围为 0-5V。

第二步: 再用具体的传感器进行信号标定, 将传感器按要求接入输入信号调理板的放大电路, 并置于不同的环境下测量。对于温度信号放大电路还要进行水域标定, 其方法是将传感器置于水中, 并逐步加热, 测得不同水温下传感器的输入以及调理电路的输出。对于压力信号调理电路, 还需要活塞压力计来标定<sup>[8]</sup>。

第三步: 记录数据、标定。

在本设计中, 使用一元线性回归法求出输入与输出的线性关系, 一元线性回归法只产生一个简单的一元线性函数  $f(x)=ax+b$ , 但是其中的常数  $a$  和  $b$  则是在构造函数时利用  $n$  个数据点  $(x_i, y_i)$  ( $i=0, 1, \dots, n-1$ ) 通过一元线性回归运算的办法得到的。给定  $n$  个数据点  $(x_i, y_i)$  ( $i=0, 1, \dots, n-1$ ) 寻找一条直线  $y= ax+b$  使得此直线到各点的差的平方和为最小, 因此称为最小二乘法, 也就是使

$$Q = \sum_{i=0}^{n-1} [y_i - (a_i x + b)]^2$$

达到最小。根据极值定理,  $a$  与  $b$  满足下列方程:

$$\frac{\partial Q}{\partial a} = 2 \sum_{i=0}^{n-1} [y_i - (a_i x + b)](-x_i) = 0$$

$$\frac{\partial Q}{\partial b} = 2 \sum_{i=0}^{n-1} [y_i - (a_i x + b)](-1) = 0$$

从而得解

$$a = \frac{\sum_{i=0}^{n-1} (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sum_{i=0}^{n-1} (x_i - \bar{x})^2}$$

$$b = y - ax$$

其中  $\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=0}^{n-1} x_i, \bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{i=0}^{n-1} y_i$ .

以下是各路信号标定的结果:

1) 大气压力传感器标定

表 6.1 大气压力传感器标定

Table6.1 atmospheric pressure sensor calibration

压力 (Mpa)	传感器输入值 (V)	输出电压 (V)
0.014	0.000	0.12
0.046	0.050	0.93
0.070	0.100	1.75
0.110	0.150	2.50
0.142	0.200	3.42
0.175	0.250	4.26
0.207	0.300	4.98

经一元线性回归计算, 输出电压与压力的关系函数为:

$$y=25.4427x-0.2282 \quad (0.014 \leq x \leq 0.207 \text{ Mpa})$$

2) 大气温度传感器标定

表 6.2 大气温度传感器标定

Table6.2 atmospheric temperature sensor calibration

温度 °C	传感器输入值 (mA)	输出电压值 (V)
-50	0	0.07

-40	1.2	0.24
-30	2.4	0.60
-20	3.5	0.95
-10	5.9	1.32
0	7.1	1.66
10	8.2	2.02
20	9.4	2.37
30	10.6	2.72
40	11.8	3.06
50	12.9	3.42
60	14.1	3.77
70	15.3	4.12
80	16.5	4.46
90	17.6	4.81
100	20	4.99

经一元线性回归计算，输出电压与温度的关系函数为：

$$y=0.03436x+1.67838 \quad (-50 \leq x \leq 100)$$

3) 排气温度 (k 型热电偶) 传感器

表 6.3 排气温度 (k 型热电偶) 传感器标定

Table 6.3 exhaust temperature sensor calibration

温度℃	传感器输入值(mV)	输出电压值 (V)
0	0.0	0.14
100	4.1	0.63
200	8.1	1.12
300	12.2	1.62
400	16.4	2.12

500	20.6	2.63
600	24.9	3.17
700	29.1	3.67
800	33.3	4.19
900	37.3	4.68
1000	41.3	4.99

经一元线性回归计算，输出电压与温度的关系函数为：

$$y=0.00498x+0.14136 \quad (0 \leq x \leq 1000 \text{ } ^\circ\text{C})$$

#### 4) 机油温度传感器(Pt100)标定

表 6.4 机油温度传感器(Pt100)标定

Table6.41 oil temperature sensor calibration

温度 $^\circ\text{C}$	传感器输入值( $\Omega$ )	输出电压值 (V)
-50	80.3	0.11
-40	84.3	0.33
-30	88.2	0.59
-20	92.2	0.87
-10	96.1	1.13
0	100.0	1.39
10	103.9	1.65
20	107.6	1.91
30	111.7	2.18
40	115.5	2.44
50	119.4	2.70
60	123.2	2.95
70	127.1	3.21
80	130.9	3.47

90	134.7	3.73
100	138.5	3.98
110	142.3	4.24
120	146.1	4.50
130	149.8	4.75
140	153.6	4.96
150	157.3	5.00

经一元线性回归计算，输出电压与温度的关系函数为：

$$y=0.02551x+1.39537 \quad (-50 \leq x \leq 150 \text{ } ^\circ\text{C})$$

5) 冷却水温度传感器(Pt100)的标定

表 6.5 冷却水温度传感器(Pt100)的标定

Table6.5 exhaust temperature sensor calibration

温度 $^\circ\text{C}$	传感器输入值( $\Omega$ )	输出电压值 (V)
0	100	1.4
10	103.9	1.66
20	107.8	1.92
30	111.7	2.18
40	115.5	2.44
50	119.4	2.70
60	123.	2.96
70	127.1	3.22
80	130.9	3.48
90	134.7	3.74
100	138.5	3.99
110	142.3	4.24
120	146.1	4.50

130	149.8	4.75
140	153.6	4.96
150	157.3	5.00

经一元线性回归计算，输出电压与温度的关系函数为：

$$y=0.02549+1.4019 \quad (0 \leq x \leq 150 \text{ } ^\circ\text{C})$$

6) 扭矩标定 (从控制器引出)

表 6.6 扭矩标定

Table6.6 torsion calibration

扭矩 (N.m)	输入值 (V)	输出电压 (V)
0.0	0.00	0.09
100.0	1.00	0.49
200.0	2.00	1.00
300.0	3.00	1.49
400.0	4.00	1.99
500.0	5.00	2.49
600.0	6.00	2.99
700.0	7.00	3.49
800.0	8.00	3.99
900.0	9.00	4.49
1000.0	10.00	

经一元线性回归计算，输出电压与扭矩的关系函数为：

$$y=0.00494x+0.02682 \quad (0 \leq x \leq 1000 \text{ N.m})$$

7) 油耗标定 (从控制器引出)

表 6.7 油耗标定

Table6.7 fuel consumption calibration

油耗 (kg/h)	输入值 (V)	输出电压 (V)
0.00	0.00	0.10
4.00	1.00	0.49
8.00	2.00	1.00
12.00	3.00	1.50
16.00	4.00	1.99
20.00	5.00	2.49
24.00	6.00	2.99
28.00	7.00	3.50
32.00	8.00	3.99
36.00	9.00	4.49
40.00	10.00	5.00

经一元线性回归计算，输出电压与油耗的关系函数为：

$$y=0.1238x+0.02773 \quad (0 \leq x \leq 40 \text{ kg/h})$$

8) 转速标定 (从控制器引出)

表 6.8 转速标定

Table6.8 speed calibration

转速 (rpm)	输入值(V)	输出电压 (V)
0	0.00	0.09
500	0.50	0.25
1000	1.00	0.49
1500	1.50	0.75
2000	2.00	1.00

2500	2.50	1.25
3000	3.00	1.49
3500	3.50	1.75
4000	4.00	1.99
4500	4.50	2.25
5000	5.00	2.49
5500	5.50	2.75
6000	6.00	2.99
6500	6.50	3.25
7000	7.00	3.49
7500	7.50	3.75
8000	8.00	3.99
8500	8.50	4.25
9000	9.00	4.49
9500	9.50	4.75
10000	10.00	4.97

经一元线性回归计算，输出电压与油耗的关系函数为：

$$y=0.000494x+0.0268 \quad (0 \leq x \leq 10000rpm)$$

## 7 控制系统软件设计

控制系统的软件设计包括两个部分，一是单片机控制软件，二是上位 PC 机采集控制软件，二者通过串口通讯结合在一起。

### 7.1 单片机控制软件的编制

单片机控制软件的设计是软件开发的主要内容之一，是控制系统工作的核心，控制软件的开发环境为摩托罗拉公司提供的在线仿真软件 ISCO8GPZ In-Circuit Simulator。编制采用的是 M68HC08 单片机汇编语言。该软件采用摩托罗拉公司特有的背景调试方式，抛弃了传统开发器的概念，大大节约了开发的成本及时间<sup>[33]</sup>。

#### 7.1.1 单片机控制软件设计方案

控制软件的设计采用模块化的设计方案，按照系统的功能将整个程序分成若干个模块，不同功能的程序分别编写和存放。控制系统软件实现的主要功能有：

- 1) 采集并处理传感器的输入信号。
- 2) 控制软件与计算机监测程序进行通讯。
- 3) 根据计算机的控制要求，用 PWM 控制输出。
- 4) 软件设计具有模块化、标准化和实用化的特点，且软件具有可扩张性。

#### 7.1.2 主程序

主程序流程图如图 7.1 所示，系统的主要功能模块包括：

- 1) 初始化模块——对单片机各个功能，包括时钟、异步串行通信、A/D 转换、PWM 控制、通用 I/O 初始化以按要求实现各部分功能。
- 2) A/D 转换处理模块——处理单片机 8 位 A/D 转换功能所采集的数字量。
- 3) 通讯模块——完成通讯协议所规定的功能，实现与计算机的实时通讯。
- 4) PWM 模块——完成计算机的控制要求，把控制命令转化为模拟量输出。

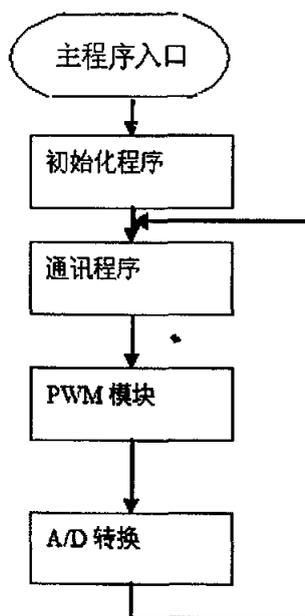


图 7.1 主程序流程图

Figure 7-1 main program flow figure

### 7.1.3 初始化程序

初始化模块包括时钟、异步串行通信、A/D 转换、PWM 控制、通用 I/O 初始化等。

在本系统中，由于监控软件采用了摩托罗拉 GP32 IDK 中的 initial.asm，此监控软件已将系统内总线部时钟定为 2.45756MHz，因此在本设计中不再考虑对总线时钟进行初始化。

异步串行通行的初始化主要是完成波特率、收发数据格式、通信方式等的设置。由于监控程序已对波特率寄存器设定为 9600bps；串行控制寄存器 1 设定为串行通信允许，字符长度为 8 位，无校验；串行通信寄存器 2 设定为允许发送器和接收器，不允许中断。我们设定串行通信寄存器 3 为接收器错误中断禁止；串行通信状态寄存器 1 和串行通信状态寄存器 2 无需设置，他们的值表明串行通信的状态。串行通信数据寄存器具有双重功能：读是接受寄存器；写是发送寄存器。

A/D 转换初始化主要考虑的是 A/D 时钟选择寄存器的设置，为了得到可靠的 A/D

转换的结果，需要为 A/D 转换器选择合适的时钟源和分频系数，使 A/D 时钟频率为 1MHz 左右，本系统中选内部总线时钟为 A/D 时钟源，分频系数为 2，可使 A/D 时钟频率达到要求。A/D 通道的选择根据采集时需要的数据进行设定<sup>[22]</sup>。

统用 I/O 端口的初始化，就是根据端口资源的分配，把端口设置为相应的输入与输出。

#### 7.1.4 通讯程序

通讯程序是系统调试和采集数据的重要工具，它将单片机和 PC 机的工作连接在一起。通讯初始化程序确定了通信参数后，下位机的编程比较简单，无非就是按照以上确定的通信参数初始化 SCI 各寄存器后，便可以发送和接收数据了。子程序如图 7-2 和图 7-3 所示。发送数据可以监测系统的运行状况，接受数据可以实现在线控制。

要发送一个数据，首先根据状态寄存器 SCS1 的 D7（要 SCTE）判断是否可以向数据寄存器 SCI 送数，SCTE=1，则可以送数，处理程序将 A 中的数发送出去：

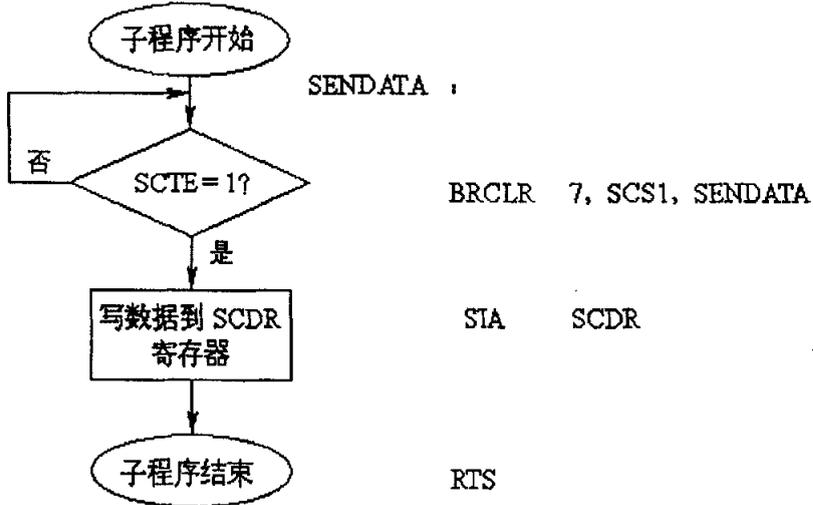


图 7-2 发送子程序

Figure 7-2 send sub-program

要接收一个数据，首先通过状态寄存器 SCS1 的 D5（SCRF）判断是否有数据可收，SCRF=1，表明可收，下面程序等待串行口发来一个数，接收后放入 A 中<sup>[23]</sup>。

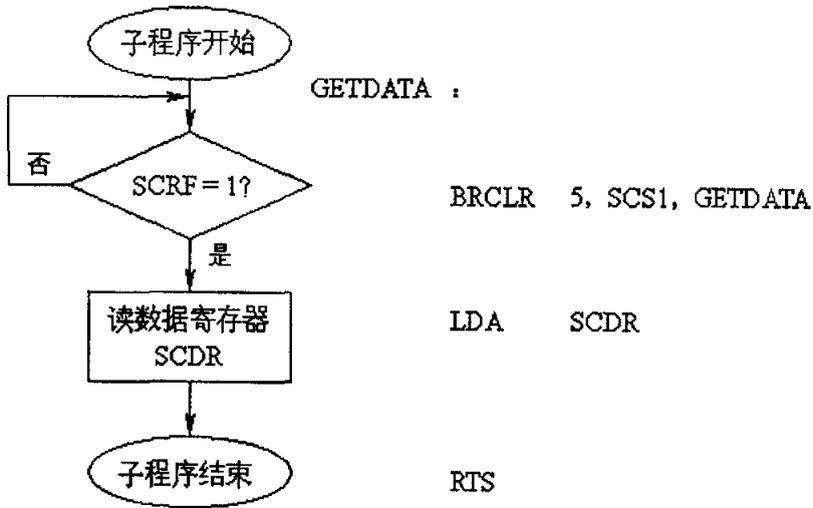


图 7-3 接收子程序

Figure 7-3 receive sub-program

### 7.1.5 PWM 模块

PWM 模块接受机算计传来的控制信号，从而控制发动机的转速和油门位置。所以通过在串行通信接受子程序后就是 PWM 模块，首先置位计数器停止位，然后置位计数器的复位，从新开始计数器的计数；在预置计数器寄存器中写入希望的脉宽调制波的周期值，本系统中周期设为 5s；在对应通道的输出比较寄存器中写入计算机传来的脉宽调制波的脉宽值，即占空比；在对应的通道的状态和控制寄存器中，设置为不带缓冲的脉宽调制，置位溢出翻转，设置输出极性<sup>[24]</sup>。

### 7.1.6 A/D 转换程序

各传感器的模拟信号转换通过单片机的 8 位 A/D 转换功能来实现，程序首先在初始化中将 A/D 转换方式设为单次采样方式，最高转换速率为 1MHz，A/D 转换主要包括滤波，流程图如图 7-4 所示：

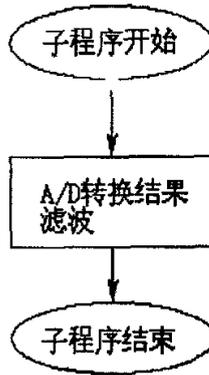


图 7-4 A/D 转换子程序

Figure7-4 A/D transformation sub-program

### 7.1.7 通讯程序

通讯程序是系统调试和检测采集数据的重要工具，它将单片机和 PC 机的工作连接在一起。单片机与 PC 的通讯过程主要是通过代表特定意义的字符的收发来完成的。为此首先确定通讯协议。通讯开始时，

```

GETDATA:  BRCLR 5,SCS1,GETDATA
          LDA SCDR
          CMP #53
          BNE GETDATA
  
```

单片机首先判断数据寄存器是否满，如不满，等待接受数据；如满，判断 PC 发来的是否是 S，若是 S，就从通道 0 开始依次把 8 个通道的数据通过通讯数据寄存器发给 PC 机，若不是 S，等待接受数据。为了能在 PC 上显示 0 和 1，每一个通道的数据都必须经过如下变换：

```

LDX #08
SEND:
      ASLA                ;算术左移
      BCC SENDDATA0      ;判断第 7 位是否为“0”
                          ;是则显示 0，否则显示 1
  
```

SENDDATA1:

BRCLR 7,SCS1,SENDDATA1

MOV #\$31,SCDR ;在终端上显示“1”

JMP NEXT

SENDDATA0:

BRCLR 7,SCS1,SENDDATA0

MOV #\$30,SCDR ;在终端上显示“0”

NEXT:

DECX

BNE SEND ;判断是否将8个数据完全送出显示

PC 机软件每一秒发送一次 S，所以每秒采集一遍所有通道，程序如下。

procedure TMain.Timer1Timer(Sender: TObject);

var

NewID:integer;

begin

if mscomm1.PortOpen then begin

mscomm1.Output:='S';

with dmform.wendu do begin

append;

FieldByName('suiwen').AsString:=a;

FieldByName('paiqiwen').AsString:=b;

post;

end;

if dmform.wendu\_temp.RecordCount<40 then

begin

with dmform.wendu\_temp do begin

last;

```

        NewID:=FieldByName('sjid').AsInteger;
        append;
        FieldByName('sjid').AsInteger:=NewID+1;
        FieldByName('suiwen').AsString:=a;
        FieldByName('paiqiwen').AsString:=b;
        post;
    end;
end
else begin
    with dmform.wendu__temp do begin
        first;
        edit;
        delete;
        last;
        NewID:=FieldByName('sjid').AsInteger;
        append;
        FieldByName('sjid').AsInteger:=NewID+1;
        FieldByName('suiwen').AsString:=a;
        FieldByName('paiqiwen').AsString:=b;
        post;
    end;
end;
end;
end;

```

PC 机接到的 8 位 0 和 1，通过二进制转换为十进制，存入到数据库。

```

procedure Tmain.MSComm1Comm(Sender: TObject);
var
    recstr:string;
    aa,a1,a2,a3,a4,a5,a6,a7,a8:integer;
    bb,b1,b2,b3,b4,b5,b6,b7,b8:integer;

```

```

begin
  if MSComm1.CommEvent=2 then
    begin
      recstr:=MSComm1.Input;
      //二进制->十进制：将每一位数字乘以2的（位数减一）次方，然后加起来
      即可如 100110:  $1 * \text{pow}(2,5) + 1 * \text{pow}(2,2) + 1 * \text{pow}(2,1) = 38$ 
      a1:=Strtoint(recstr[1]);
      a2:=Strtoint(recstr[2]);
      a3:=Strtoint(recstr[3]);
      a4:=Strtoint(recstr[4]);
      a6:=Strtoint(recstr[6]);
      a5:=Strtoint(recstr[5]);
      a7:=Strtoint(recstr[7]);
      a8:=Strtoint(recstr[8]);
      b1:=Strtoint(recstr[10]);
      b2:=Strtoint(recstr[11]);
      b3:=Strtoint(recstr[12]);
      b4:=Strtoint(recstr[13]);
      b6:=Strtoint(recstr[14]);
      b5:=Strtoint(recstr[15]);
      b7:=Strtoint(recstr[16]);
      b8:=Strtoint(recstr[17]);
      aa:=a1*128+a2*64+a3*32+a4*16+a5*8+a6*4+a7*2+a8*1; //在 0-255 变化
      bb:=b1*128+b2*64+b3*32+b4*16+b5*8+b6*4+b7*2+b8*1; //在 0-255 变化
      // 转换为物理含义
      a:=floattostr(round(0.353*aa+20));
      b:=floattostr(round(1.961*bb+300));
    end;
  end;
end;

```

通讯过程主要分为对单片机的读和写两部分，读可以监测系统的运行状态，

写可以控制系统的运行。

## 7.2 PC 机采集软件的编制

采集测试软件是在 Delphi 集成开发环境下编制的。Delphi 是一个面向对象的可视化编程平台。通过控件的属性、方法、事件及事件句柄来实现应用程序的开发。软件设计中运用了线程类、图形类混生、Delphi 动态链接库等方法。Delphi 整个软件包括参数设置、试验执行控制、数据与图形实时显示、数据处理与报告输出四个部分。Delphi 是 Borland 公司 1995 年推出的 Windows 环境下可视化编程语言。它是目前最为流行的面向对象开发工具软件之一。Delphi 结合了可视化技术、面向对象技术、组件扩展技术、数据库开发技术、网络开发技术等多种先进的软件编程技术和思想。所有这些特点使得 Delphi 可以快速、高效地开发出基于 Windows 环境的各类应用程序。Delphi 也因此成为“第四代编程语言”的杰出代表。IT 界流传的“smart programmers use Delphi”形象地说明了 Delphi 的强大功能和易用性<sup>[32]</sup>。

### 7.2.1 参数设置

#### 1. 系统参数设置

系统参数设置包括试验项目选择及生成试验报告文件的各种参数。试验项目选择决定试验控制参数、测试台工作方式、图形显示等根据实验要求不同而不同。系统参数设置界面如图 7-5 所示：

系统参数设置

报告名称: \_\_\_\_\_

测试时间: 2005-06-08 03:06:53 测试单位: \_\_\_\_\_

试验项目: 怠速试验 试验人员: \_\_\_\_\_

发动机名称: \_\_\_\_\_ 试验编号: \_\_\_\_\_

发动机型号: \_\_\_\_\_ 测功器型号: \_\_\_\_\_

额定功率: \_\_\_\_\_ 千瓦 燃油规格: \_\_\_\_\_

额定转速: \_\_\_\_\_ 转/分 油耗仪: \_\_\_\_\_

取消 确定

图 7-5 系统参数设置界面

Figure 7-5 system parameter setting interface

## 2. 试验参数设置

试验参数设置主要对要进行的试验作出提示,帮助试验操作人员了解整个试验过程,为试验执行阶段做好准备。试验操作提示界面如图 7-6 所示,涉及到的试验参数如下:

试验参数设置

速度特性试验 | 负荷特性试验

准备

1. 检查发动机燃油管路, 机油油量和冷却水。
2. 启动发动机并在一定的转速下加载适量负荷, 待机油温、机壳温达到平衡以上。

试验

1. 固定燃油供给控制阀杆。
2. 将油门位置调整到所需角度位置, 测功器调为恒转速方式, 将测功器调到额定转速, 使发动机在额定转速下稳定运转。
3. 此时作为第一测量点, 待发动机工作稳定后, 开始测量并记录各参数。
4. 调节测功器, 逐步调低转速, 分别使转速达到额定转速的 95%、90%、80%、75%、70%、65% 左右。
5. 待转速稳定后, 测量各参数。
6. 计算功率、燃油消耗率, 打印准备单。
6. 绘制速度特性曲线。

确定

7-6 试验操作提示界面

Figure 7-6 testing operation hint interface

(1) 测试台有四种工作方式可供选择。

控制系统对测功机的扭矩、转速以及发动机的扭矩、转速、油门分别进行控制，从而可以实现四种工作方式的运行，如表 7.1。

表 7.1 四种工作方式  
Table 7.1 four working style

工作方式 控制对象	1	2	3	4
测功器	转速	转速	扭矩	扭矩
发动机	油门位置	扭矩	油门位置	转速

对与负荷特性试验，选择第四种工作方式，测功器恒扭矩——油门恒转速方式，根据扭矩的命令值和实测值调节测功器负载来控制扭矩，根据转速的命令值和实测值调节发动机油门来控制转速。在整个试验过程中，控制转速保持一定值不变，使扭矩按试验要求的工况序列变化。

对速度特性试验，选择第一种控制方式：测功器恒转速——油门恒位置，根据转速的命令值和实测值调节测功器负载来控制转速，根据油门位置的命令控制发动机油门位置。在整个试验过程中，控制油门位置保持一定值不变，使转速按试验要求的工况序列变化<sup>[36]</sup>。

(2) 运行步数。运行步数是确定试验执行阶段发动机所要进入的工况点数。根据试验需要确定工况点数，一般来说，测量的点数在 8 个以上。

(3) 速度、扭矩、油门位置允差范围。这三个参数对发动机进入的工作状态是否达到要求提供了一个判定依据。如果多次测量的被测量值都在允差范围内，则确认发动机进入要求的稳定状态。给定的允差值越小，对控制精度的要求越高，而发动机进入要求的工作状态的调整时间也越长，甚至有可能达不到要求的工作状态。所以，每次试验要考虑精度和调整时间这两方面的因素。

(4) 稳定时间。稳定时间是指每次工况调整后，等待发动机状态稳定的时间。

### 3. 通讯参数设置

如图 7-7 所示，通讯参数设置窗口用于设置通讯端口、传输波特率、校验位、停

止位、字节个数。通讯参数的设置保证了 PC 机、单片机与硬件的协调工作。



图 7-7 通讯参数设置窗口

Figure 7-7 communication parameter setting windows

### 7.2.2 试验执行控制及数据、图像显示

(1) 工作状态稳定判断：在等了一个稳定时间后，多次采集被控制量，根据给定的允差范围，判断被控量是否进入要求的工作范围之内。如果有连续几次（定为 5 次）采集的被控量都在要求范围之内，就认为发动机工作状态符合要求，程序进入数据采集阶段。否则，调整工作状态。

(2) 调整工作状态：根据最后一次采集到的被控量与工况控制量的偏差，微调控制量，则发动机进入调整后的工作状态，用上述同样的方法判定工作状态是否符合要求。如果经过多次调整还没有使发动机工作状态进入规定的范围，则调整失败，发动机回怠速工作状态。这时选择两种运行方向，一种是返回运行的中断工况点，重新判断，调整工作状态，继续按工况序列列表做试验。另一种是改变参数设置，重新开始试验。

(3) 数据采集：当工作状态符合要求，程序转入这一阶段。首先延迟一定时间（根据发动机试验规范，不应少于 30s）等待发动机状态稳定，然后循环采集试验数据并存储在数据文件中。根据发动机试验规范，这一数据采集过程亦不少于 30s。

(4) 屏幕实时显示：在数据采集过程中，程序自动按数据标定公式计算出各种被测

量的物理量值，在屏幕上实时显示。程序还有在屏幕上绘制实时跟踪曲线的功能，直观的观察试验进行的情况。根据试验的不同，可绘制不同的曲线。

(5) 补加工况点功能：每一工况的测量任务完成之后，在进入新的工作状态之前，如果有必要，可以补加工况点。这对于试验中根据具体情况，灵活测量发动机某些工作状态，更全面了解发动机性能，很有必要。例如在通过试验寻找发动机速度特性中最大扭矩点或最小燃油消耗率点时，可以加密最大扭矩点或最小燃油消耗率点附近的工作状态，以寻找较精确的最大扭矩点或最小燃油消耗率点。

(6) 重新测试某一工况点：当各工作状态进行完毕时，若根据监控曲线对某一工况点的测量值不满意时，可重做这一工况点。

测试系统的主工作界面如图 7-8 所示，包括实时数据显示区和监督曲线显示区及各种状态的控制按钮、菜单栏、工具栏等。

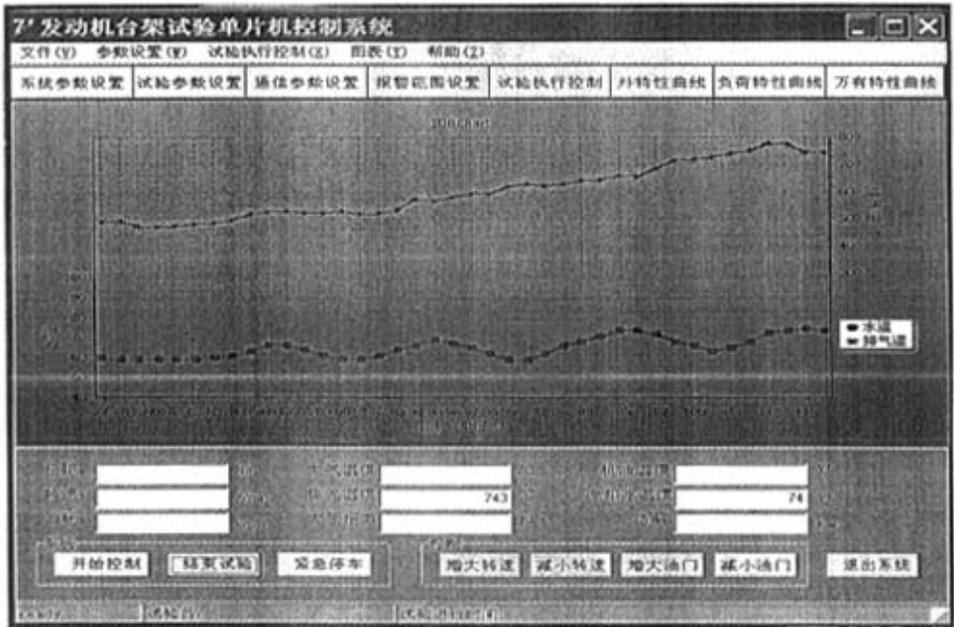


图 7-8 测试系统的主工作界面

Figure 7-8 testing system main working interface

## 7.2.3 数据处理和报告输出

通过人机对话方式输入一个数据文件名，程序就将各工况测量值以数据文件形式存入磁盘，留待进一步分析、处理。最后可生成一定形式的报告，其内容包括试验参数、各工况的测量数据和试验曲线<sup>[37]</sup>。

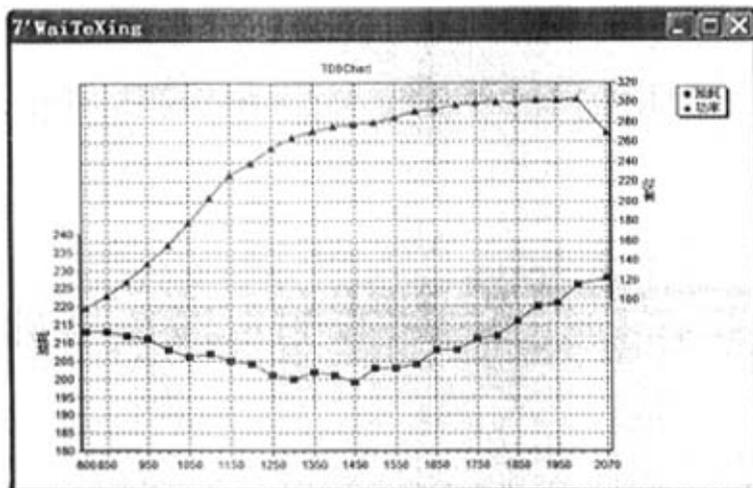


图 7-9 发动机外特性曲线  
Figure 7-9 engine outer characteristic figure

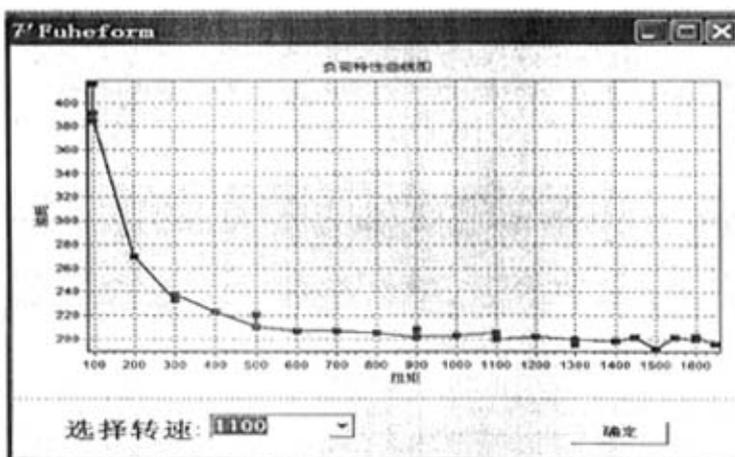


图 7-10 发动机负荷特性曲线  
Figure 7-10 engine load characteristic figure

表 7.2 数据库中的数据  
Table 7.2 data in database

温度				
ID	riqi	sjian	suwen	daiqiwen
131	2005-6-4	12:50	77	205
132	2005-6-4	12:50	84	197
133	2005-6-4	12:50	92	199
134	2005-6-4	12:50	95	216
135	2005-6-4	12:51	100	221
136	2005-6-4	12:51	103	222
137	2005-6-4	12:51	108	215
138	2005-6-4	12:51	110	224
139	2005-6-4	12:51	104	212
140	2005-6-4	12:51	100	209
141	2005-6-4	12:51	95	201
142	2005-6-4	12:51	90	206
143	2005-6-4	12:51	91	206
144	2005-6-4	12:51	93	208
145	2005-6-4	12:51	95	209
146	2005-6-4	12:51	97	227
147	2005-6-4	12:51	97	226
148	2005-6-4	12:51	95	214
149	2005-6-4	12:51	96	213
150	2005-6-4	12:51	96	220

## 8 结论与展望

### 8.1 总结

本课题通过对台架试验的单片机控制系统的研究，完成了以下工作：

- (1) 发动机台架测控系统的方案研究。
- (2) 传感器的选用和调理电路的设计。
- (3) 控制板的设计与调试。
- (4) 输出控制信号的设计与调试。
- (5) 系统的标定试验。
- (6) 信号采集与输出控制软件的开发与调试。

通过以上所做的工作，本系统基本实现发动机台架试验的单片机控制，减轻了试验人员的劳动强度，提高了测试工作效率，降低了试验成本，为最终实现发动机试验全自动化打下了基础。

本系统开发时始终都贯彻着模块化设计这样一个原则，它使得软硬件得开发更具有通用性，易维护性及可扩充性。尽量应用目前较新的软硬件进行开发。这是本系统得两大特点。

### 8.2 展望

在研制工作的后期，随着研究工作的不断深入，随着已有问题的不断解决，新的问题不断出现，自己对系统的要求也越来越高，但苦于研究生期间时间和条件的限制，只能有待于今后的努力了。

软件的测试需要花费相当的时间和精力，对采集控制软件也同样需要在今后的实际工作中不断检验和完善。对采集控制软件的通用性需要进一步的下功夫研究，目前国内搞台架试验自动化的单位并不少，但很多都缺少通用性，也缺乏充分的系统测试。加强虚拟仪器的研究，虚拟仪器是指在计算机屏幕上以图形的方式显示各种测试仪器和数据，并进行控制。

## 参考文献

- [1] 徐小金. 发动机台架试验计算机测控系统的研发. 研究生论文(北京工业大学), 2001 年
- [2] 张志沛. 汽车发动机. 大连海运学院出版社, 1993 年 5 月
- [3] 石晶. 发动机台架试验数据采集与管理系统. 辽宁工学院学报, 1997 年 6 月
- [4] 方志宏. 发动机台架自动控制系统的设计与实现. 机械工业学报, 1997 年 3 月
- [5] 王绍增. 发动机台架试验微机测控系统的开发. 林业机械与木工设备, 2001 年 1 月
- [6] 倪计民. 汽车内燃机实验技术. 同济大学出版社, 1998 年 9 月
- [7] 赵恒侠. 汽车发动机测试技术. 湖北科学技术出版社, 1985 年 12 月
- [8] 林菁. 发动机试验台架自动数据采集测试系统开发. 研究生论文(北京理工大学), 2003 年
- [9] 杨宝清. 现代传感器技术基础. 超星数字图书馆, 2001 年 6 月
- [10] 赵继文. 传感器与应用电路设计. 超星数字图书馆, 2002 年 9 月
- [11] 苏铁力. 传感器及其接口技术. 超星数字图书馆, 1998 年 7 月
- [12] 传感器选用原则. 中国电器论坛, 2003 年 11 月
- [13] 秦曾煌. 电工学下册. 高等教育出版社, 2000 年 7 月
- [14] 唐金秋. 拖拉机作业机组合仿真试验台发动机节能监控系统的研究. 研究生论文(中国农业大学), 2000 年
- [15] 余家春. Protel99SE 电路设计实用教程. 中国铁道出版社, 2003 年 1 月
- [16] MC68HC908GP32 Technical Data. MOTOROLA Databook. MOTOROLA. Inc, 2001 年
- [17] 张友德. M68HC08 系列单片机原理与应用. 复旦大学出版社, 2001 年 9 月
- [18] MOTOROLA Application. MOTOROLA. Inc, 2001
- [19] M68EML08GP32 Emulation Module User' s Manual/D(Design Specification) Rev.1. MOTOROLA. Inc, 1999
- [20] 李朝青. PC 机及单片机数据通讯技术. 北京航空航天大学出版社, 2000 年 12 月
- [21] Three Terminal Positive Voltage Regulators. Semiconductor Components Industries. LLC, 2001
- [22] 谢瑞和. Motorola 68HC08 微控制器与嵌入式系统基础. 清华大学出版社, 2003 年 11 月

- [23] 刘慧银. Motorola 微控制器 MC68HC08 原理及其嵌入式应用. 清华大学出版社, 2001 年 8 月
- [24] 刘大生. 工程机械工况参数监测及故障报警系统的研究与开发. 研究生论文(大连理工大学), 2000 年
- [25] 王绍增. 发动机台架试验计算机测控系统的研究. 研究生论文(东北林业大学), 2001 年
- [26] 孙诚民. 发动机台架试验数据处理及性能曲线绘制的计算机应用系统. 扬州科技, 1996 年 4 月
- [27] 高建平. 基于 MC68HC908GP32 的温室控制器的研制与开发. 研究生论文(西南林学院), 2003 年
- [28] 俞峰. 用单片机实现低成本高精度 A/D 与 D/A 转换. 51 开发网
- [29] 邢丽娟. 数字信号处理器中 D/A 功能的实现. 国外电子元器件
- [30] 姚光霖. 用 Delphi 实现与单片机的串行通信. 贵州工业大学学报, 2002 年 2 月
- [31] 汤勃. Delphi 环境下利用 MSComm 控件开发串口通信程序. 电脑开发与应用, 2002 年 3 月
- [32] 王清亮. 用 Delphi 实现上位机和单片机的串行通信. 计算机与现代化, 2002 年 2 月
- [33] MC68HC908GP32IDK 在线编程开发系统(实验评估板 1.1 版)用户手册. 清华 MOTOROLA 单片机应用开发研究中心, 2001 年
- [34] 王彦平. Prote199 电路设计指南. 清华大学出版社, 2000 年 6 月
- [35] 谢宋和. Motorola 单片机原理及应用开发技术. 北京航空航天大学出版社, 1999
- [36] 严兆大. 内燃机测试技术. 浙江大学出版社, 1986 年 9 月
- [37] 马丽. 利用 Delphi 实现对下位机监控系统的设计. 微机算计信息, 2003 年 5 月

## 致谢

本论文是在赵龙庆老师的悉心指导和帮助下完成，赵老师严谨的治学态度、渊博的知识、丰富的经验以及认真负责的工作精神给我留下了深刻的印象，这也对我以后的学习工作树立了榜样。借此机会，向赵老师表示衷心的感谢。

在日常的学习和毕业论文的设计过程中，何超老师也给予了我多方面的指导与帮助，在此表示衷心的感谢。

作者: [蚩小霞](#)  
学位授予单位: [西南林学院](#)

### 参考文献(37条)

1. [徐小金](#) [发动机台架试验计算机测控系统的研发](#)[学位论文]硕士 2001
2. [张志沛](#) [汽车发动机](#) 1993
3. [石晶](#) [发动机台架试验数据采集与管理系统](#) 1997
4. [方志宏](#) [发动机台架自动控制系统的设计与实现](#) 1997
5. [王绍增](#), [肖增文](#), [关强](#), [江立春](#) [发动机台架试验微机测控系统的开发](#)[期刊论文]-[林业机械与木工设备](#) 2001(1)
6. [倪计民](#) [汽车内燃机实验技术](#) 1998
7. [赵恒侠](#) [汽车发动机测试技术](#) 1985
8. [林菁](#) [发动机试验台架自动数据采集测试系统开发](#)[学位论文]硕士 2003
9. [杨宝清](#) [现代传感器技术基础](#) 2001
10. [赵继文](#), [何玉彬](#) [传感器与应用电路设计](#) 2002
11. [苏铁力](#) [传感器及其接口技术](#) 1998
12. [传感器选用原则](#) 2003
13. [秦曾煌](#) [电工学](#) 2000
14. [唐金秋](#) [拖拉机作业机组仿真试验台发动机节能监控系统的研究](#)[学位论文]硕士 2000
15. [余家春](#) [Protel99SE电路设计实用教程](#) 2003
16. [MC68HC908GP32 Technical Data](#).MOTOROLA Databook 2001
17. [张友德](#) [M68HC08系列单片机原理与应用](#) 2001
18. [MOTOROLA Application](#) 2001
19. [M68EML08GP32 Emulation Module User' s Manual/D\(Design Specification\) Rev.1](#) 1999
20. [李朝青](#) [PC机及单片机数据通讯技术](#) 2000
21. [Three Terminal Positive Voltage Regulators](#) 2001
22. [谢瑞和](#), [杨明](#) [Motorola 68HC08微控制器与嵌入式系统基础](#) 2003
23. [刘慧银](#) [Motorola微控制器MC68HC08原理及其嵌入式应用](#) 2001
24. [刘大生](#) [工程机械工况参数监测及故障报警系统的研究与开发](#)[学位论文]硕士 2000
25. [王绍增](#) [发动机台架试验计算机测控系统的研究](#)[学位论文]硕士 2001
26. [孙诚民](#) [发动机台架试验数据处理及性能曲线绘制的计算机应用系统](#) 1996
27. [高建平](#) [基于MC68HC908GP32的温室控制器的研制与开发](#)[学位论文]硕士 2003
28. [俞峰](#) [用单片机实现低成本高精度A/D与D/A转换](#)
29. [邢丽娟](#) [数字信号处理器中D/A功能的实现](#)
30. [姚光霖](#), [文方](#) [用Delphi实现与单片机的串行通信](#)[期刊论文]-[贵州工业大学学报\(自然科学版\)](#) 2002(1)
31. [汤勃](#), [徐立伟](#), [饶润生](#) [Delphi环境下利用MSComm控件开发串口通信程序](#)[期刊论文]-[电脑开发与应用](#) 2002(3)
32. [王清亮](#), [万国金](#), [李迟生](#), [况家花](#) [用Delphi实现上位机和单片机的串行通信](#)[期刊论文]-[计算机与现代化](#) 2002(2)
33. [MC68HC908GP32IDK在线编程开发系统\(实验评估板1.1版\)用户手册](#) 2001
34. [王彦平](#) [Protel99电路设计指南](#) 2000
35. [谢宋和](#) [Motorola单片机原理及应用开发技术](#) 1999
36. [严兆大](#) [内燃机测试技术](#) 1986

## 相似文献(10条)

- 会议论文 李洪伟, 徐跃荣 8098单片机在发动机防喘监控中的应用 1998**  
 发动机喘振是造成飞机飞行事故的原因之一。该文提出的发动机喘振监控系统以8098单片机为核心, 以已经建立的数学模型为基础, 充分利用单片机的内部资源, 实现了对发动机喘振的实时控制, 并具有抗干扰性强、精度高和便于维护等优点。
- 期刊论文 郑轶, 张红光, 金波, 戎辛, 王道静, 刘凯, ZHENG Yi, ZHANG Hong-guang, JIN Bo, RONG Xing, WANG Dao-jing, LIU Kai 基于AVR单片机的发动机信号模拟发生装置的研制 -车用发动机2009(2)**  
 自主开发了一套发动机信号模拟发生装置, 该装置应用ATmega16L单片机进行开发, 通过滑动变阻器旋钮可以在线修改各路传感器信号的模拟输出, 并将传感器信号的量值实时地显示在数码管上, 同时还可以通过串行通信接口将信号量值回传到PC机上, 便于用户的监控与调试; 该装置既可以采用12 V外部电源供电, 又可以采用PC机上的USB接口供电; 软件程序采用C语言进行编写。试验结果表明, 自主开发的发动机信号模拟发生装置能够灵活地输出发动机传感器的组合模拟信号, 对发动机ECU软件逻辑调试和故障测试起到了良好的辅助作用。
- 会议论文 杨再春, 严东超 基于单片机的飞机发动机起动机设计 2001**  
 本文针对现役飞机发动机的继电器式起动机的实际情况, 利用目前单片机技术、大通道实时数据采集与处理及控制驱动等先进成果, 提出了以MCS-51系列单片机为核心的飞机发动机起动机的设计方案, 并对系统的硬件电路结构和软件设计原理进行了详细的讨论, 经验证, 弥补了现役飞机发动机的起动机的缺陷。
- 学位论文 耿琦 车速里程表和发动机转速表寿命试验系统的研究和开发 2004**  
 在计算机和电子技术飞速发展的今天随着国内汽车电子化水平的快速提高, 特别是计算机技术在汽车仪表中的广泛应用, 汽车仪表逐渐走出了传统的气式仪表的模式, 正向数字化和智能化方向发展。汽车仪表电子化的趋势和发展, 要求我们的测试技术手段也不断地发展, 也利于我们利用现代的电子和计算机技术来完成仪表的测试和实验。信息时代为测试和评估技术的发展提供了先进的技术手段和发展空间。通过对现有汽车仪表测试技术的分析, 结合国内外测试技术的发展趋势, 提出本课题的测试技术的方案设计、关键点和发展方向。 本文通过对试验对象——当前汽车上使用的车速里程表和发动机转速表的结构原理和测试手段的分析, 不仅提出了新的试验原理, 而且从不断增长的车型工况的实际情况和用户的方便性出发, 设计了能够进行设定工况, 编辑和输入工况数据处理和工况显示的用户系统, 为了保证信号输出的准确性和实时性, 设计与用户通过USB口进行数据通讯的单片机应用系统。 这个课题的研制和开发, 不仅解决了在不断增加的车型工况下自动完成车速里程表和发动机转速表的可靠性试验的问题, 为试验部门提供了比较科学的测试手段和鉴定标准, 而且对于提高仪表厂家的产品质量, 对实验人员建立比较完善的试验方法和工况标准有着重要的意义。 本系统主要解决的技术问题是开发智能式车速里程表和发动机转速表的可靠性试验台, 用软件进行仪表工况的分别选择和设定; 数据通讯和数据通讯接口模块的设计和应用; 数据处理; 实现计算机完成工况实验等。 本文做了如下工作: 1. 绪论, 阐述本论文的研究目的和进行的主要工作。在对车速里程表和发动机转速表的可靠性试验中, 我们以往采用的手动调整模拟车速信号和发动机转速信号输入的脉冲信号的频率的方式无法满足实际的比较复杂的工况要求。另外, 引进的试验台也无法满足不断变化的不同车型的工况, 而车速里程表和发动机转速表的可靠性试验又是国家强制的, 作为汽车上电气产品必做的检测项目, 所以, 开发一个能自动完成不同车型工况的车速里程表和发动机转速表的可靠性试验台成为一汽技术中心汽车电气仪表试验部门迫切需求。在分析了国内外汽车组合仪表及其试验技术的发展和国内外现状后, 说明我们所要实现的系统的功能和结构组成, 以及确定我们所要进行的主要工作有三个方面: 用户系统的开发、通讯端口的应用和单片机应用系统的开发。 2. 对汽车上常用仪表的结构和原理进行了分析。 本文对当前汽车上常用组合仪表及其传感器的结构进行了仔细的分析, 比照在里程表和转速表试验中以往使用的测试方式和控制原理, 利用现代计算机技术设计出简单而有效的基本控制原理——数字式变频扫描电路。除此之外, 也对另外三种表的结构进行了分析, 同时设计出用变化D/A的输出来控制电子式负载电流的方式达到模拟真正仪表传感器从而对仪表进行测试试验的目的。为未来完成全部五种组合仪表试验台的研制奠定了基础。 3. 用户系统的开发 用户系统的是以486DELL计算机为处理器, BorlandC++Builder作为软件开发环境的面向用户的试验系统。用户系统要完成对不同车型的工况的选择, 录入和存储, 完成工况试验的实时显示和监控; 完成按照所选择的工况所对应扫描频率的转换和输出; 完成与单片机用户系统的数据通讯并按照工况要求通过USB口发送给应用系统要输出的频率值和控制命令。在用户系统中测重的是界面的设计, 工况文件的操作和工况的设定以及数据通讯和工况显示。运用到了很多编程技术和VCL所提供的功能复杂的控件。程序设计力求图可视化, 结构化, 做到直观, 方便, 准确, 可靠。 首先了解标准串口USB的特点和结构, 对其工作原理和总线协议也作了大概的了解, 在此基础上, 掌握USB100通用串行总线模块的特性结构, 与单片机的硬件连接和在上下微机系统之间通讯的编程方式。从而充分利用USB在通讯中的高速性和方便性来解决程序中数据传输的端口问题。 5. 应用系统的开发 应用系统是以AT89C2051单片机为中央处理器的变频扫描信号发生器。包括数据传输接口USB100通用串行总线模块, 定时计数器8253、输入输出接口8255作为控制接口、稳压电源块7805、触发器741S74、输出驱动三极管C9013。其中USB100与单片机相连, 作为计算机与单片机之间的数据通讯接口, 单片机接受微机的指令在每隔一定时间就产生的外部中断中改变控制8253产生变频信号, 经过驱动电路来驱动里程表和发动机转速表进行试验。 6. 系统试验 这套系统已经在电气实验室进行了多种车型的仪表的抗疲劳实验, 比如轻型车和中型改装车的实验等等, 也建立了多种不同仪表的工况文件, 经试验人员证明, 用户界面方便美观, 其中仪表工况设定给试验人员带来了方便和实验的准确性, 成为同行业仪表实验方法的一种独创。
- 期刊论文 高文敏 测试发动机功率油耗的单片机辅助系统 -现代机械2004(2)**  
 介绍了一种测试发动机功率油耗的单片机的辅助系统、测试系统的组成及单片机实现技术。
- 期刊论文 赵传伟, 徐钰琨 基于PIC单片机的发动机监控系统 -科技资讯2009(21)**  
 介绍采用PIC系列单片机进行发动机的监控。发动机监控系统实时监控发动机的气缸温度、发动机转速、喷油量的大小、节气门开度, 氧传感器、进气压力、电源电压和点火提前角。本系统通过外国采集电路, 将被控参数采集整理输入单片机中进行计算处理, 得到发动机的实际状态值。随后, 把数据从单片机发送到PC机, 并通过一个监控软件进行数据显示或保存。
- 期刊论文 曲金玉, 任桂周, 侯树展, 刘大权, QU Jin-yu, REN Gui-zhou, HOU Shu-zhan, LIU Da-quan 基于C8051F单片机的发动机转速测量 -拖拉机与农用运输车2007, 34(6)**  
 介绍了一种基于C8051F单片机的发动机转速实时测量方法, 给出了测量系统的实现技术和硬件结构, 并进行了软件设计及实验。该方法在实际测量中取得了良好的效果, 为发动机动力性能研究提供了重要的参考依据。
- 期刊论文 周永军, ZHOU Yong-jun 基于单片机的发动机油门瞬态控制器 -微计算机信息2008, 24(23)**  
 应用单片机和滚珠丝杠副, 研制了发动机瞬态工况试验研究用的油门瞬态控制器。介绍了控制器的总体方案、硬件组成以及软件开发。控制器具有精确控制油门打开的速度与加速度的功能, 具有精度高、人机界面可视化等特点。实用证明该控制器性能能满足实际应用的要求。
- 期刊论文 韩清 PIC单片机在煤层气发动机上的应用 -电脑知识与技术(技术论坛) 2005(9)**  
 随着现今电子控制技术的发展, 对发动机ECU要求也越来越高, 要达到控制要求, 首先要考虑的是微处理器的性能, 但又要兼顾经济性, 所以选择一种适合发动机控制要求并有好的综合性能的微处理器是十分有意义的。
- 期刊论文 兰琳, 陈钊, LAN Lin, CHEN Zhao 发动机起动机性能单片机测试系统 -机械设计与制造工程2001, 30(1)**  
 利用单片机设计了一套汽车发动机起动机性能的测试系统, 介绍了该系统的硬件电路和软件构成, 并对系统的功能、输入/输出量及各种显示信息作出了详细的说明。

本文链接: [http://d.g.wanfangdata.com.cn/Thesis\\_Y817853.aspx](http://d.g.wanfangdata.com.cn/Thesis_Y817853.aspx)

下载时间: 2010年1月11日