

摘 要

随着无线远程通信、计算机网络、交流电机变频调速、单片机等技术的不断发展完善，供水行业的控制水平经历了革命性的飞跃。本文在现有的变频调速恒压供水系统基础上，提出了一种功能更加完善的供水系统——恒压供水远程监控系统，它具有远程通信功能、远程测试功能、远程控制功能和故障诊断功能。它不但能根据用水用户的实际要求进行远程控制，满足用户的实际要求，为用户提供高质量的供水服务，解决了当前存在的许多地方供水压力达不到要求的矛盾；而且还对该系统中的多种设备进行远程故障诊断，从而及时得到供水系统中的各种故障信息并对故障进行及时处理，保证该系统的正常运行，相信它将是现代供水系统的发展方向。该系统是无线远程通信技术、计算机网络技术、故障诊断技术、测试技术和单片机技术在设备测试系统中的具体应用。

该恒压供水远程监控系统采用的通信设备是自己研发的 GPRS 调制解调器，它是当前最热和最新的通信技术之一，它是无线远程通信技术、计算机网络通信技术和单片机技术相结合的产物。该设备的设计方法还处于萌芽和保密阶段，它的设计和应用是本课题的研究重点和创新之处。本文从工程角度综合考虑了该设备的易操作性、可移植性、通信可靠性及实际成本等诸多因素，其通信的可靠性和实际成本均在同行中处于领先水平，为恒压供水远程监控系统设计了高性能的通信设备，该设备也可以应用到其它工业设备和仪器仪表中。由于该设备采用了结构化程序设计方法，其嵌入在单片机中的 TCP/IP、PPP 程序代码还可方便地移植到单片机对 MODEM 等上网设备的控制系统中。本文所研究和设计的 GPRS 调制解调器通信可靠，硬件成本低，已在供水系统和仪器仪表中得到了实际应用，而且其应用效果很好。本文详细地介绍了该 GPRS 调制解调器的硬件、软件设计方法及其在恒压供水系统中的应用。

由于该系统的功能多，需测试的信号也比较多，包括压力、流量、温度、振动、液位、转速，本文详细地给出它们的硬件测试电路和软件处理方法，通过软件的校正处理提高了测试信号的精度。本文也对变频技术和故障诊断技术进行了一定的探讨，设计了变频器的硬件电路，对电动机的故障诊断方法也作了一定的探讨。

关键词：GPRS 调制解调器，TCP/IP，PPP，远程监控系统，故障诊断，恒压供水

ABSTRACT

With the development of the radio telecommunication technology, the computer network technology, the VF speed regulation technology of AC motor, the SCM technology, the controlling level of water supply industry experiences a revolutionary leap. This paper bring forward a new water supply system—constant pressure water supply remote monitor and controlling system basing on VF speed regulation constant pressure water supply system of exiting. It has telecommunication function, remote measuring and controlling function and fault diagnosis function .It can not only control according to the fact of consumer in the distance to solve the contravention of water supply pressure not enough ,but also found fault of it in time. I believe this system will be the development current of water supply system.

This system takes the GPRS modem, which was studied and designed by myself ,as its communication equipment. GPRS modem , whose design method is in the bud and secret phase ,is currently one of the most hot and new communication technology and its design and application are the research emphases and innovation point of this paper. This paper considers fully maneuverability, reliability and cost of the GPRS modem. Both the reliability and cost of the GPRS modem are keeping ahead. It designs high-powered communication for constant pressure water supply monitoring and controlling system. In addition, the GPRS modem can apply other fields, such as instrument and meter. This paper introduces in detail not only its design of hardware and software but also its application in water supply system.

Because the function of this system is mightiness, the signals, which need measure, include pressure, flux, temperature, vibration, he height of liquid, rotate speed. This paper designs theirs measure circuit and dealing with method of software. This paper also discusses the VF speed regulation technology of AC motor and the fault diagnosis technology.

The GPRS modem , which this paper studies and designs ,has application in water supply system and instrument and it works very well.

Keywords: GPRS modem, TCP/IP, PPP , remote monitor and controlling system, Fault diagnosis, Constant pressure water supply

1 绪论

1.1 课题的背景和发展现状及趋势

1.1.1 课题的背景

由于远程通信技术、计算机网络技术和故障诊断技术的发展，计算机网络技术、通信技术和故障诊断技术进入工业控制领域，使各种设备除了完成它们原先的功能以外，还具有远程通信功能和故障诊断功能，使其功能更加完善，更加稳定可靠。远程监控系统的出现使人们能够在远方实现对控制系统的远程测试和远程控制，避免了人们为了监视设备而处于非常恶劣的环境中，其优点是显而易见的。现在工业控制领域广泛使用的通信方式很多，通信距离有远有近，通信方式有有线通信和无线通信。当前人们广泛使用的通信技术主要有：红外线技术、蓝牙技术、电话调制解调器、无线数传 MODEM、手机和 GSM、GPRS 的短消息和无线数据通信等。

监测诊断技术日趋成熟，在各种大型设备中得到了广泛应用。基于模糊理论和神经网络的智能诊断技术也在实践中得到应用。开展监测诊断技术的意义主要有：可以避免重大事故；利用监测诊断系统的分析结果及预报情况可及时准备备品备件，及时处理有关故障，做到该修就修；如果设备有故障，通过监测诊断系统可以迅速查明故障原因、故障部位并能预测故障影响。监测诊断系统可实时动态显示各监测数据，向系统管理员及时提供测试信息，便于系统管理员的灵活处理。如果监控系统具有故障诊断功能，除了具有远程测量、控制功能以外，还能及时发现故障和确定故障部位，能及时维修故障设备，从而完全取代人的现场作用。

变频理论成熟，变频技术在供水系统中得到了广泛应用，实现了水泵电机的无级调速，并且各种专用和通用变频器纷纷走向市场。

1.1.2 课题的发展现状及发展趋势

当前的供水方式主要有水塔供水、水箱供水、压力供水，其中压力供水又包括气压供水和变频调速恒压供水。

水塔供水和水箱供水的技术基本上发展成熟，它们也是当前供水的主要方式。水塔、水箱供水的缺点是投资规模大，周期长，建筑施工困难，而且无法对某些地方供水，其优点是压力比较稳定且有储水。气压供水系统是用气压罐取代原来的水塔或水箱的作用，利用密闭压力水罐中的空气的压力作用把压力水罐中的储

水压到管网中去。气压供水系统的优点是灵活性大，建设快，无污染；其缺点是需用金属制造，投资大，压力变化大等。近年来随着交流电机变频调速技术的成熟、普及和应用，其产品已用来更新改造传统供水系统，使我国的供水行业技术的装备水平经历了一次飞跃。变频调速系统实现了水泵电机无级调速，根据水泵出口的压力情况自动调节水泵电机的转速，从而保持水压恒定以满足人们对供水系统的高要求。新型恒压供水系统（采用变频调速技术的供水系统）与传统的水塔、高位水箱或气压供水系统相比，无论是投资的规模，运行的经济性，可靠性，稳定性和自动化程度等方面都优于水塔供水系统和水箱供水系统，而且还有显著的节能效果。天津大学硕士安大伟^[35]和天津大学硕士王秀芝^[34]对变频调速恒压供水系统的控制理论和控制方法作了较为深入的探讨，把模糊控制理论应用到了恒压供水系统中，是恒压供水系统控制技术的发展方向。北京理工大学硕士黄鸿^[37]探讨了电力线载波技术在供水系统中的应用。采用电力线载波技术实现供水系统的通信功能，其运行成本虽然低，但它的通信可靠性比较差，该通信方式还未得到推广。郑应文^[36]对变频调速的控制算法进行了较为深入的研究，得到了节能的最优算法。

总之，新型恒压供水系统除了实现恒压供水外，还具有远程监控功能，但它们的功能还不够完善。本文在现有的变频调速恒压供水系统基础上，提出了一种功能更加完善的供水系统——恒压供水远程监控系统，它具有远程通信功能、远程测试功能、远程控制功能和故障诊断功能。它不但能根据用水用户的实际要求进行远程控制，满足用户的实际要求，为用户提供高质量的供水服务，解决了当前存在的许多地方供水压力达不到要求的矛盾；而且还对该系统中的多种设备进行远程故障诊断，从而及时得到供水系统中的各种故障信息并对故障进行及时处理，保证该系统的正常运行，相信它将是现代供水系统的发展方向。该系统是无线远程通信技术、计算机网络技术、故障诊断技术、测试技术和单片机技术在设备测试系统中的具体应用。

1.2 课题的创新的意义

课题的创新：一是提出了基于无线远程通信技术、变频技术、计算机网络技术和监测诊断技术的恒压供水远程监控系统，它是无线远程通信技术、变频技术、计算机网络技术和故障诊断技术在供水系统中的应用，实现了对恒压供水系统的远程监测和远程诊断；二是设计了当前最热和最新的通信设备—GPRS 调制解调器，它的设计和应用还处于萌芽和保密阶段，它是无线远程通信技术、计算机网络技术和单片机技术相结合的产物，为恒压供水系统设计了高性能的通信设备，

解决了恒压供水系统通信距离受到限制的矛盾。本文从工程角度综合考虑了该设备的易操作性、可移植性、通信可靠性及实际成本等诸多因素，其通信的可靠性和实际成本均在同行中处于领先水平，为恒压供水远程监控系统设计了高性能的通信设备，该设备也可以应用到其它工业设备和仪器仪表中。由于该设备采用了结构化程序设计方法，其嵌入在单片机中的 TCP/IP、PPP 程序代码还可方便地移植到单片机对 MODEM 等上网设备的控制系统中。本文所研究和设计的 GPRS 调制解调器通信可靠，硬件成本低，已在供水系统和仪器仪表中得到了实际应用，而且其应用效果很好。

课题的意义：首先，由于该系统的通信距离不受限制和不需要人员的现场作用，从而可以把恒压供水远程监控系统的供水设施深埋地下，再在该系统上面种上花草，达到了美化环境的作用；其次，提高了恒压供水系统的适应能力，该恒压供水远程监控系统的压力值可以根据用水用户的具体要求由上位机随时修改，解决了有些地方供水压力达不到要求的矜持，为用水用户提供高质量的供水服务；最后，由于该系统具有监测诊断功能，使该系统便于维护，系统出现故障后能及时维修，甚至做到提前维修，使系统的故障时间可大大缩短，保证了供水系统的正常运行。

1.3 课题的主要研究内容

- 无线远程通信技术和计算机网络技术 GPRS 调制解调器的软、硬件设计及其在恒压供水系统中的应用。
- 压力、流量、液位、温度、振动、转速的测试技术及智能传感器的校正处理方法
- 通信的可靠性 纠错码的原理和软件实现，主要是 CRC（循环冗余编解码原理及其软件实现）
- 工程信号分析处理原理及其软件实现（主要是 FFT 的 C 语言和汇编语言的软件实现）
- PID 控制
- 故障诊断技术 它包括交流电动机、单片机系统、通信系统、管网漏等的故障诊断

1.4 恒压供水远程监控系统（本文所研究和设计的）的组成

1.4.1 系统的组成

- ① 本文研究的恒压供水远程监控系统由恒压供水主控制系统（由计算机、上网设备和上位机软件等组成）、远程通信设备和恒压供水子系统组成。子系统除了完成恒压供水功能外，还将通过通信设备向主控制系统发回实际供水压力、水位、流量、温度、故障情况等重要信息，还包括向主控制系统发回开机自检和定期自检信息以及报警信息等。主控制系统应能根据子系统送回的实际压力值和水位信息对子系统的设定压力值进行调整，能对子系统发回的报警信息进行及时处理。
- ② 远程通信设备由 MC35 模块和单片机系统组成。
- ③ 本文研究的子系统由单片机系统、检测电路、变频电路、电机控制电路四部分组成。检测电路包括压力传感器、温度传感器、转速传感器、液位传感器、流量传感器和振动传感器，运算放大电路，脉冲信号处理电路、AD 转换电路组成；它完成相应信号的采集、放大、整形、AD 转换等处理。变频电路由 8253、555 振荡电路、SPWM 芯片、IPM 模块组成，它根据单片机送来的信号输出对应幅度、频率的三相交流电以供异步电动机用。电机控制电路由接触器、按钮开关等组成，根据单片机送来的控制信号启动异步电动机。单片机系统由看门狗、时钟电路、复位电路等组成；它对检测电路送来的信号作进一步处理，并根据测试信号和主

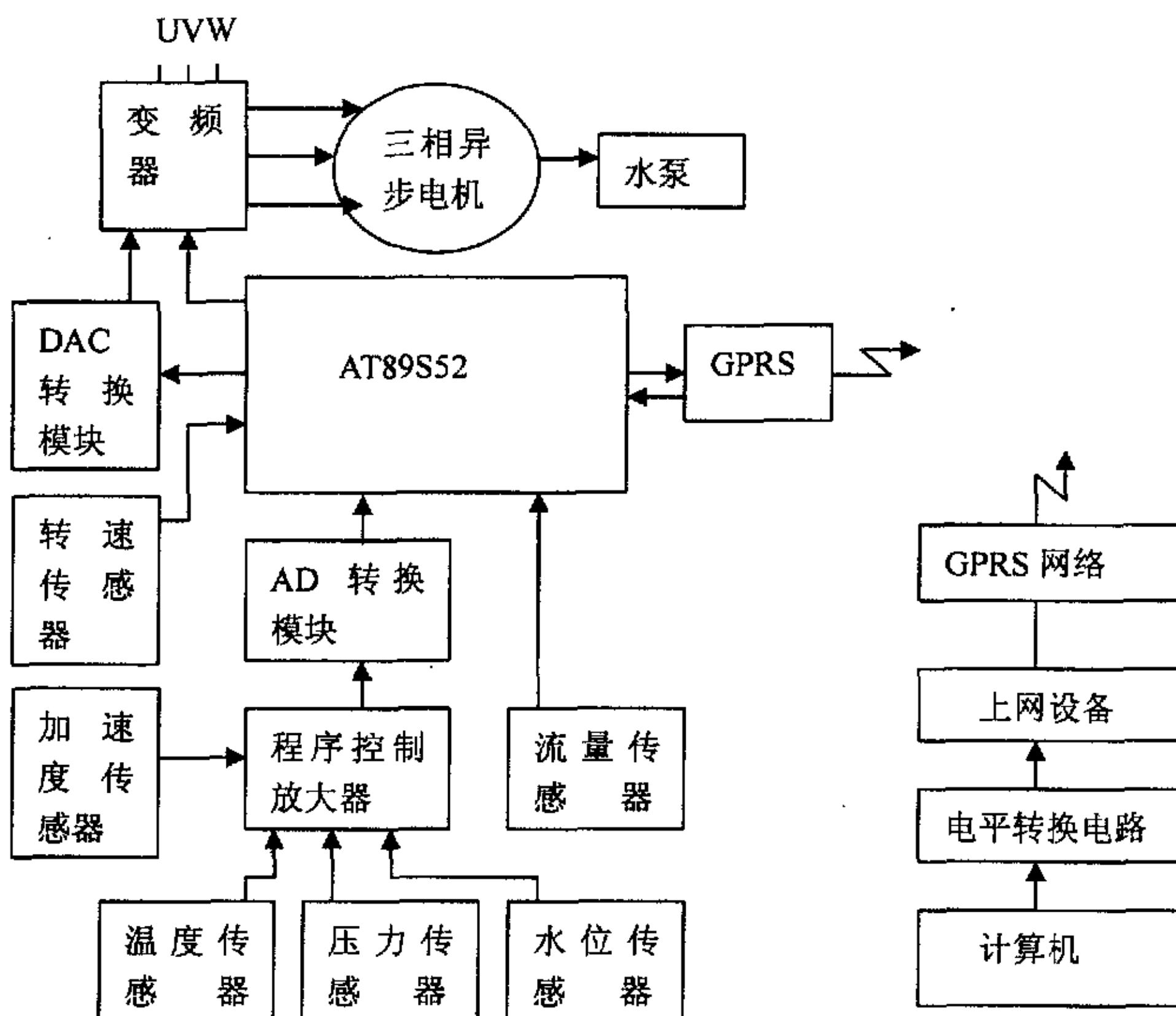


图 1-1 恒压供水远程监控子系统的组成框图

系统送来的控制信号对变频电路和电机驱动电路进行控制;根据电机的振动情况,采用故障诊断技术对电机进行故障诊断。

1.4.2 恒压供水远程监控子系统的组成框图

见图 1-1

1.4.3 恒压供水远程监控系统的组成框图

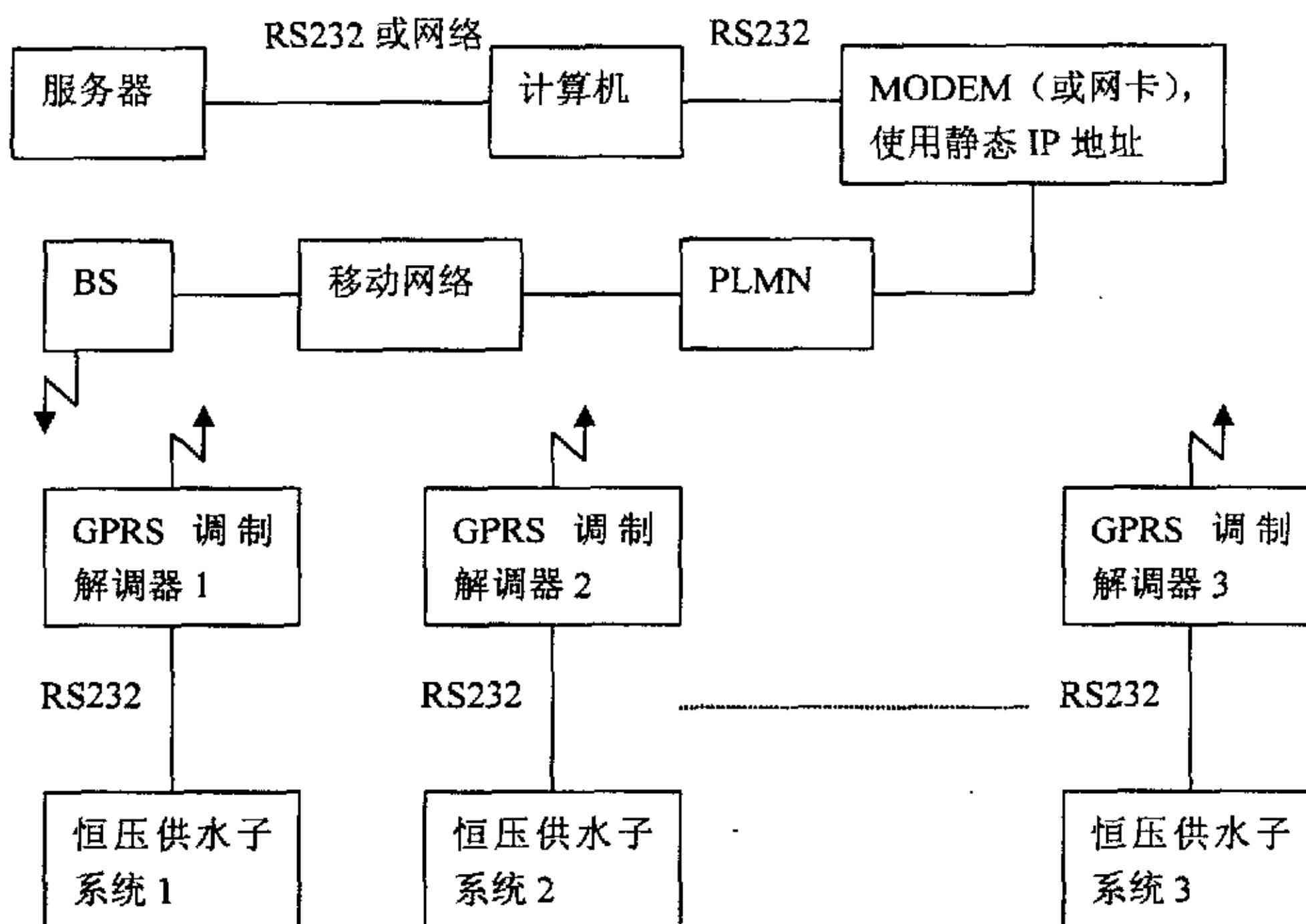


图 1-2 恒压供水远程监控系统的组成框图

1.4.4 恒压供水远程监控系统的功能

① 远程通信功能

由于该恒压供水远程监控系统采用 GPRS 调制解调器和 Internet 来实现监控中心和恒压供水子系统之间的通信, 故障其通信距离基本上不受限制, 真正实现远程通信, 并且不需要辅架线路。

② 远程检测和测试功能

通过对供水子系统中的流量参数测量, 实现了远程抄表并便于统计水资源的损耗情况; 能对该系统的出水压力进行检测, 从而通过 PID 控制方法实现恒压供水; 能对温度、电机的振动、转速进行测量, 从而对电机、管网等进行故障诊断; 能对液位进行测量, 从而防止电机无水时空转。

③ 变频功能

采用变频方式实现恒压供水，供水系统采用一台变频器，三台异步电动机进行恒压供水，从而实现节能；它和远程控制方构成闭环控制，主控制站可对供水系统的压力初始值进行设置，从而调节方便，可根据用户的具体情况随时对供水的重要参数进行修改。

④ 远程故障诊断功能

能根据温度、电机的振动情况对电机进行故障诊断；能根据变频器的工作情况对变频器进行故障诊断；能根据对存储器的读写操作情况对存储器进行故障诊断。

⑤ 远程控制功能

能选择远程控制和单片机恒压供水子系统自动控制，当通信系统出现故障时可由单片机子系统自动控制；能选择手动控制和恒压供水系统控制，当变频器出现故障后可选择手动控制，防止供水系统不能供水的情况；另外采用一台变频器，三台异步电动机进行供水，进一步防止一台电机故障后出现不能供水的情况。

2 恒压供水远程监控系统的通信系统

2.1 移动通信技术的发展

2.1.1 各种远程数据通信技术的优缺点及恒压供水监控制系统的通信特点

① 各种远程数据通信技术的优缺点

当前的远程数据通信技术中的有线通信方式有：MODEM、ADSL、宽带网等；无线通信方式主要有：无线载波通信、GSM 和 GPRS 的短消息、GPRS 的数据分组业务等。

有线通信中的宽带网、ADSL、MODEM 等的通信速度高，通信流量越大其通信费用则相对越低。宽带网的通信速度最快，通信费用通常以月进行计算；ADSL 的通信速度次之，其通信费用可以以包月方式或按上网时间进行计费，如果通信时间在 100 小时以内，它的通信费用比宽带网便宜一些；MODEM 是有线通信方式中通信速度最慢，通信费用最贵的一种。由于有线通信需要接线缆，它们不宜于嵌入到仪器仪表中。

无线通信方式中的 GSM 短消息是当前仪器仪表中使用得最多的一种通信方式，因为它通信不受距离限制，如果通信数据量少时其通信费用比较低，它不需要月租，但它的通信速度慢，如果通信数据多的话，如一个月内的通信容量达到 1MB，其通信费用将成为最贵。如果一个月的通信信息量在几十兆以内的话，采用 GPRS 的无线数据通信业务的话，其通信费用比有线通信方式便宜，而且它可时时在线，其通信费用按流量进行计算，如果通信流量太大的话，其通信费用比上述的有线通信方式贵。GSM、GPRS 由于采用的是公网，其组网方便，而且无网络维护问题。无线载波通信方式不需要通信费用，如果通信距离比较近，其硬件成本比 GPRS MODEM 稍微便宜一些，但如果通信距离比较远，它需要采用中继器进行中继，则其组网成本将大大增加，它的网络维护费用比较高。

② 恒压供水监控系统的通信特点

它的通信特点主要是要求时时在线，通信信息量不是很大。它的具体情况如下：由于恒压供水监控需要时时对供水系统的压力和各种工作设备进行监测和控制，它要求时时在线，要求各供水子系统与控制中心一直保持通信状态；恒压供水监控制系统要传送的信息主要有：压力、温度、液位、电机的振动和转速、流量、故障诊断信息和控制信息，压力如变化不大的话，可长时间不传送，只要液

位、温度在正常情况下，也可不传送，流量可一个月传几次就行了，电机的振动和转速可在一定时间内上传一次，也可由恒压供水子系统进行故障诊断后，上传故障诊断结果。总之恒压供水监控系统虽然要传送的信息比较多，但实际通信信息量并不很大。

③ 恒压供水监控系统的通信方式

根据该系统的特点，要求时时在线，通信信息量不大，采用 GPRS 的数据分组业务进行通信比较好，其通信费用一个月不会超过 50 元。

2.1.2 移动数据通信新技术

近年来，随着 Internet 的普及，Internet 上为数据业务（如 E-mail、文件传送、Web 浏览等）急剧猛增。另一方面，在移动通信领域，GSM 的全球用户数还在逐年增加，3G 系统的研发就已在紧锣密鼓地进行中，实现全球无缝漫游的个人宽带移动通信已经指日可待。在人们对移动性和各种数据应用业务不断提出需求的同时，推动了移动数据通信技术的向前发展。Internet 与移动通信的结合已经成为当前热点的研究课题之一。

移动数据通信的发展趋势主要是三个方面：一个是在以电话为主的蜂窝移动通信系统中增加传送数据的能力；另一个是移动 Internet 技术；还有就是第三代宽带移动通信技术。

2.1.3 移动数据通信的发展

① 第一代模拟移动通信中的CDPD系统

CDPD 是在 AMPS 模拟蜂窝移动电话网上提供分组数据服务的一种系统。它在不影响话音的前提下，利用蜂窝系统中未被使用的资源提供数据通信。CDPD 的信道速率为 19.2kbits，实际的信息传输速率只有 10~13kbits。CDPD 的基本原理是按一定的规则，把要传送的数据分割成若干定长的数据段，并给每一数据段加上收、发终端地址及其他控制信息，以“分组”为单位，在 AMPS 的空闲信道上进行传输。

② 第二代数字移动通信中的GPRS、CDGE

虽然目前 GSM 的用户数还在增加，但 2G 的制造商和运营商已经感受到 3G 即将面市的严峻挑战了，因此他们千方百计寻找增强第二代系统的技术，提高其无线数据传输能力和网络容量，开辟新的高速数据业务，以延长 2G 系统的生成时间，并为向 3G 平滑过渡作好准备。第二代向第三代演进的策略是把 IMT-2000 的部分服务引入到第二代系统中。然后在增加频谱有效性和灵活性的基础上演进或更新到 3G 宽带，以提供全部 IMT-2000 的服务。

GSM 演进中的高速数据服务主要有三种: HSCSD(高速电路交换数据业务)、GPRS(通用分组无线业务)和 EDGE(增强数据率的全球演进技术)。HSCSD 是电路交换方式的高速数据服务, 使用时隙捆绑技术, 最多可使用 4 个时隙, 使数据率达到 57.6kbit/s。GPRS 是分组交换方式的高速数据业务, 可占用 1~8 个时隙, 有 4 种编码方式, 信道速率最高可达 171.2dbit/s。EDGE 是一种提供更高数据速率的全球演进技术, 同样采用 TDMA 技术, 其帧结构与 GSM 相同。每载波带宽 200kHz, 采用 8PSK 调制, 使每时隙可传 48kbit/s 甚至 69.2dbit/s, 如集中 8 个时隙, 数据率可达到 384kbit/s。

③ 移动IP、WAP和Bluetooth

移动 IP 将是最终彻底实现移动接入 Internet 的一种网络协议, 它是基于 IPv6 的, 具有 128 位的地址空间。巨大的地址空间将足够为全球每一个手机(甚至包括其他家用电器)分配一个 IP 地址, 建立起点对点的连接。移动 IP 在 IP 网络中增加了移动节点、本地代理和外地代理 3 个功能实体。移动 IP 协议主要完成 3 个功能: 代理发现、注册和隧道技术。移动 IP 是 IP 网络宏移动性问题的标准, 不是针对微移动性的解决方案, 因此应用下一代无线网络结构中存在一些局限性, 主要是移动 IP 不支持无缝移动, 不支持永远在线被动连接, 不支持寻呼。

WAP 称为无线应用协议, 它是一套开放的统一平台, 使用户能够容易地获取各种互联网信息服务。WAP 定义了一整套软硬件接口, 使用移动电话来收发电子邮件及浏览 Internet。WAP 支持绝大多数无线设备和多种移动网络以及未来的第三代移动通信, 其标准的主要内容是: WAP 应用环境; WAP 通信协议; 无线电话应用。

Bluetooth 是一种小范围的无线通信标准, 它可以使各种通信设备、计算机及其终端设备、各种数字数据系统甚至家用电器用无线方法联接起来。它采用 2.4GHzISM 频段, GFSK 调制和跳频技术、前向纠错及 ARQ、TDD 方式, 基带协议为电路交换与分组交换相结合。TDMA 每时隙 0.625us, 基带数据速率能达到 1Mbit/s, 支持 64kbit/s 的实时话音传输。发射功率分为 1mw、2.5mW、3mW 三个等级, 传输距离 10~100m。蓝牙使用全球统一的 48 位设备识别码。蓝牙的组网原则为主从网络, 利用 TDMA 一个主站可同时和 7 个从站进行通信。

④ 第三代移动通信系统中的宽带移动数据通信

要提供高速数据服务, 最根本的条件还是要有足够的频率资源。IMT-2000 确定的基本带宽为 5MHz, 服务目标是在移动车辆环境下提供 144kbit/s, 在步行环境下为 384kbit/s, 在室内环境下为 2.048Mbit/s, 在卫星移动环境下为 9.6kbit/s。因此, 在第三代系统中, 将能更好地提供包括话音、文字、图像、视频在内的多媒体数据业务。

2.2 GPRS 调制解调器的设计

它包括 GPRS 调制解调器的硬件设计和软件设计。

2.2.1 GPRS 调制解调器的硬件设计

其硬件主要包括：微处理器 8758、看门狗芯片 5045，32k 的 RAM、西门子公司的 MC35、电平匹配电路和缓冲放大电路等组成。其具体组成框图如图 2-1 所示：

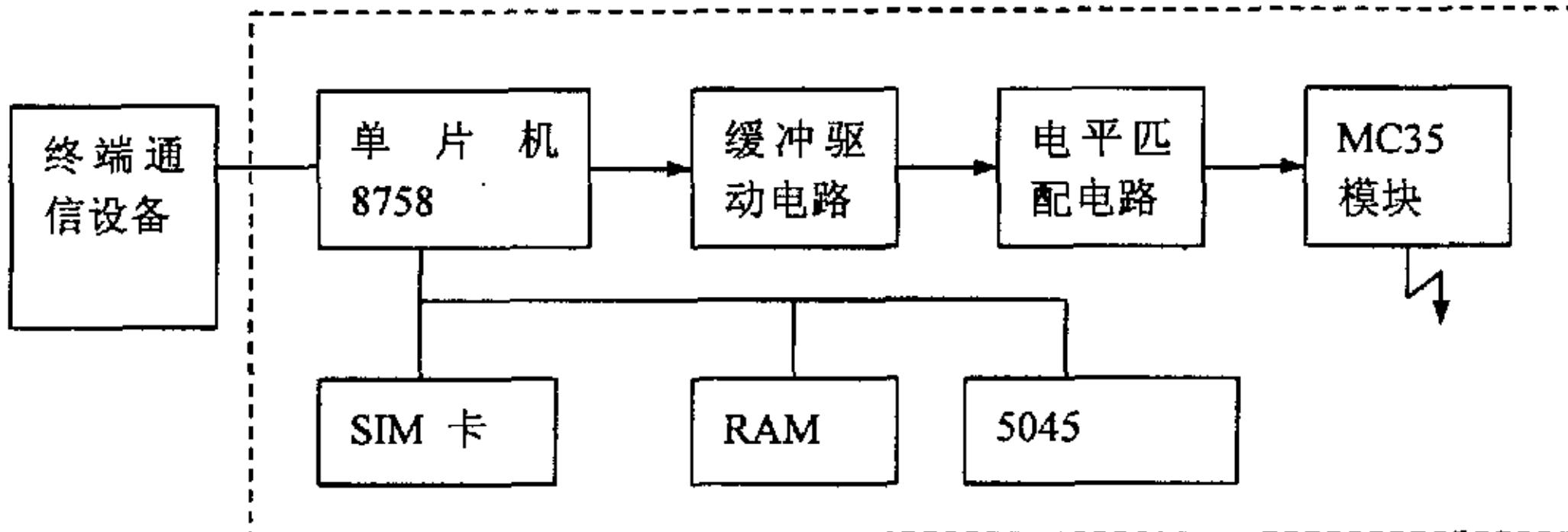


图 2-1 MODEM 硬件组成框图

各部分作用：微处理器 8758，它的主要配置如下：32kFlash，40 个可用引脚，3 个通用定时/计数器等，由于该单片机只有一个串口，故需扩展一个串口，一个用来和 MC35 通信，另一个用来和终端设备通信；缓冲驱动电路起放大和脉冲整形作用；电平匹配电路实现 5V 电源电压与 MC35 的 3.3V 供电电压的匹配；MC35 是西门子公司生产的 B 类 GPRS 模块，它除了 GSM 模块原有的功能外，还支持分组业务功能，其详细功能请见参考文献^{[5][6]}；SIM 卡，必须是支持 GPRS 业务的全球通等，并需在移动营业厅申请 GPRS 业务，可拨打 1860 进行电话咨询；看门狗芯片 5045，用来防止程序跑飞和保存 IP 地址、端口号等重要参数；RAM 用来保存临时数据；MAX232 实现单片机串口和计算机串口之间的电平匹配。

硬件电路的详细设计请见附录中的 GPRS 调制解调器的电路原理图。一些关键元件的作用介绍如下：单片机 8758，该设备的控制器件，它的串口和 MC35 模块的串口相连，实现 MC35 模块和单片机系统之间的通信，它的另外一个模拟串口和外设之间通信；双四选一芯片 4052，单片机系统可选择和 MC35 模块的串口或终端设备的串口；带施密特触发器 74HC14D，起缓冲和整形作用；放大电路 T2 用来激活 MC35 模块；放大电路 T1 用来 MC35 模块是否被激活；MAX232 实现单片机串口和计算机串口之间的电平匹配。

2.2.2 GPRS 调制解调器的软件设计

① 通信协议

单片机系统内嵌的主要协议有：TCP/IP 协议^{[7][9]}，它包括网络层协议 IP 协议，运输层协议采用面向连接的 TCP 协议，采用 TCP 协议的目的是提高数据通信的可靠性，链路层采用 HDLC（高级数据链路层协议）；PPP 协议^{[1][2][3][4]}（LCPs、NCPs、PAP 或 CHAP），用来实现数据通信的拨号功能，完成 MODEM 和网络之间必要的数据交换。

② 软件设计

1) 单片机系统的数据流程图

如图 2-2 所示，虚线框内为 GPRS 部分。

2) 软件设计的总体思路

整个软件采用模块化设计，以提高其可维护性和可重用性，软件包括初始化模块、数据分组业务模块（它又包括很多个子模块）和短消息模块。为了提高该软件的可移植性采用 C51 语言进行代码的编写；为了降低成本（主要是减少代码空间），采用自己编写的 PPP 和 TCP/IP 代码。由于该单片机系统只完成通信功能，故采用单线程机制（即基本上是等待接收数据，收到后进行处理并转发，转发后又等待接收数据），以提高可靠性和实时性。

3) 数据分组业务模块设计

该模块的主要功能：一是把终端设备上传的数据按 GPRS 要求的数据格式传给 MC35 模块，它的主要数据是：终端设备要求传送的数据，TCP 数据报头，IP 数据报头，数据帧帧头。二是对 MC35 模块送来的数据进行处理、应答、转发给终端设备，其处理的主要内容是：去掉数据帧帧头，IP 数据报报头，TCP 数据报报头。三是对 MC35 模块进行初始化。四完成 LCP 配置、完成 NCP 配置和 PAP 配置。五是和监控中心建立 TCP 连接。

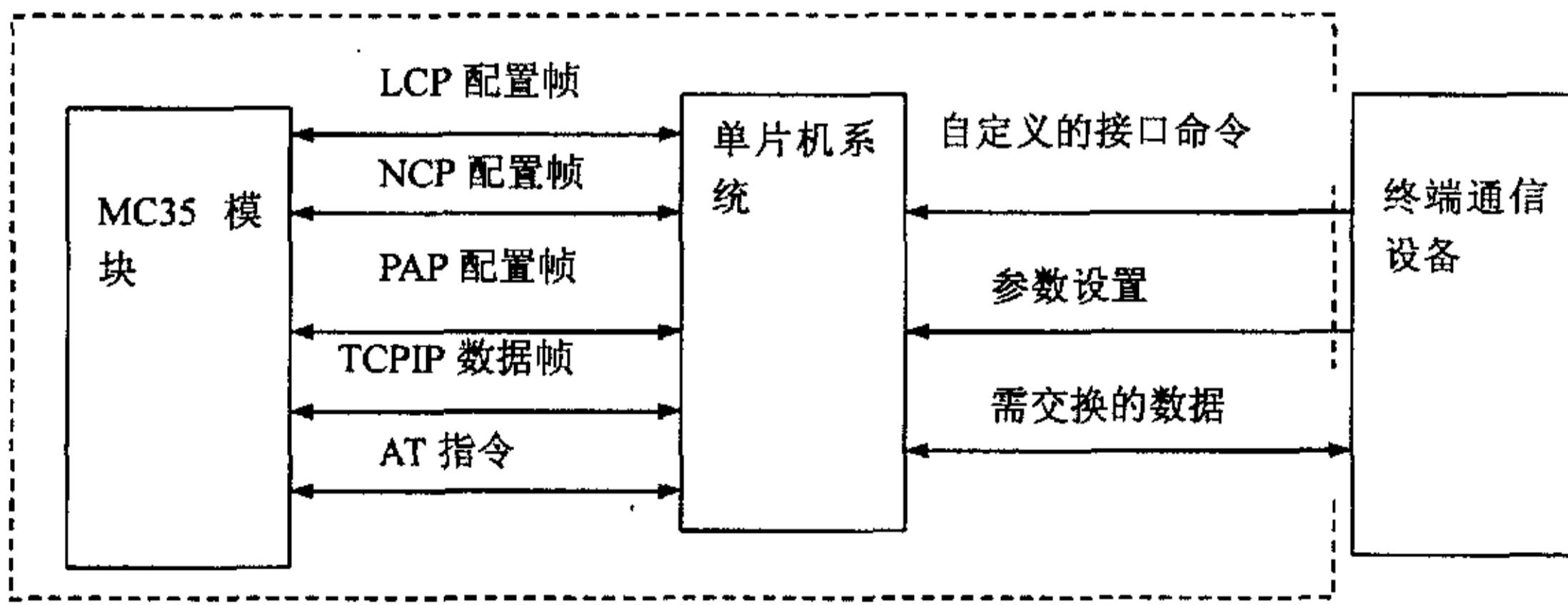


图 2-2 数据流程图

它的子模块主要有：AT 指令模块、主循环体模块、LCP 模块、鉴权模块、NCP 模块、串口中断处理模块、模拟串口中断处理模块、TCP/IP 模块，各模块的作用和设计见后面。

4) 各模块主要作用和处理过程

a. 主循环模块

它的主要作用是向 MC35 模块发送各种配置的初始化，并在规定的时间内判断该配置是否成功，如成功则向下执行，否则，发连接终止帧并返回初始状态，从而防止了程序进入死循环。它实际是数据分组业务功能模块的循环体，当 GPRS 调制解调器处于数据分组业务状态时，程序将一直在该循环体内运行。其处理流程图如图 2-3 所示：

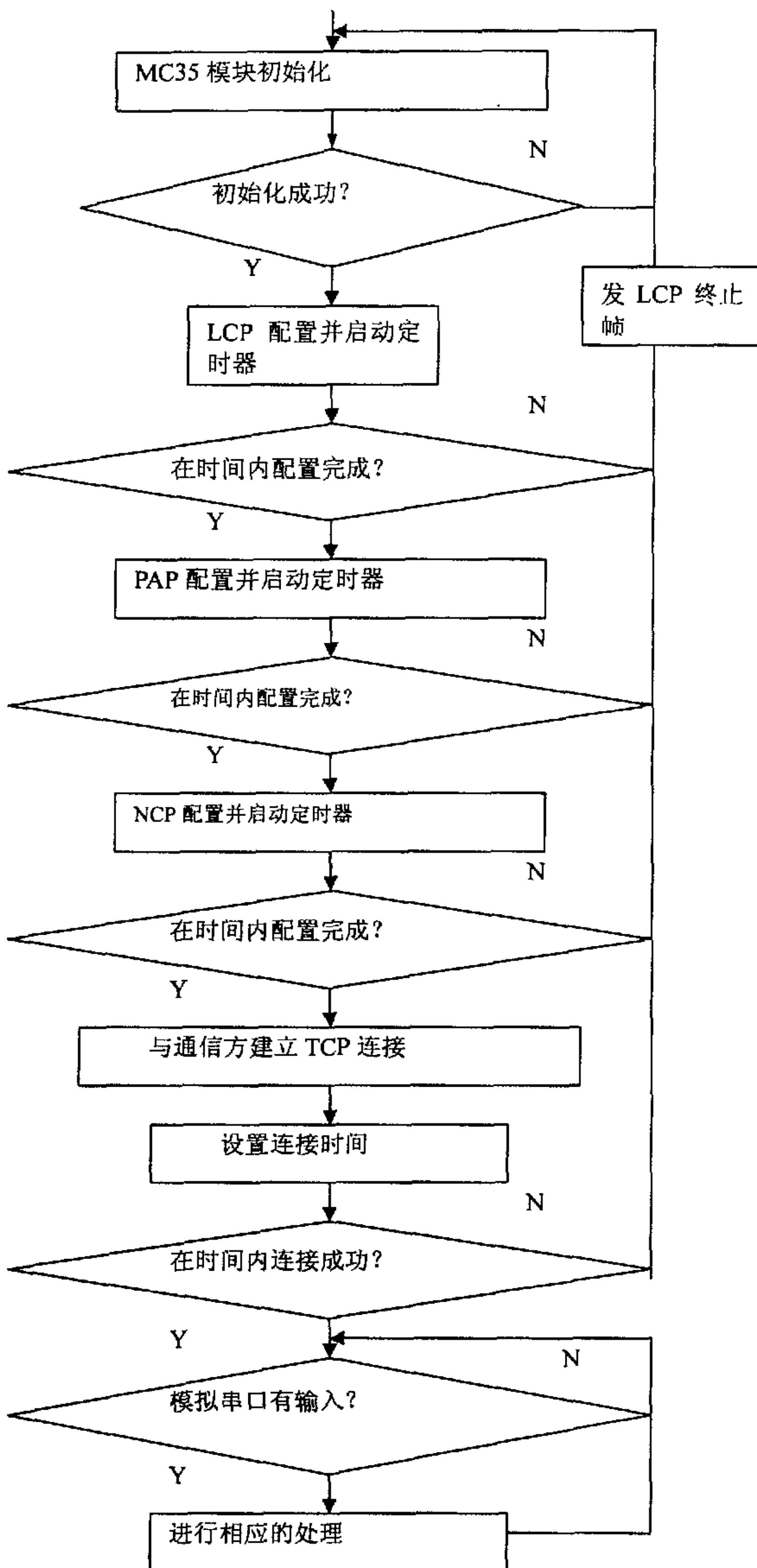


图 2-3 主循环模块

b. AT 指令模块

用 MC35 模块支持的 AT 指令对 MC35 模块进行初始化，并触发 LCP 配置，其初始化的 AT 指令主要包括 AT, ATZ, ATD 等。

c. TCP/IP 模块

对应用层传来的数据进行封装，对通信方送来的数据进行拆封以及连接、终止、同步（复位）、回答 ACK 信息。它由串口中断处理和模拟串口中断处理调用。它分发送模块和接收模块。发送处理模块的流程图如图 2-4 所示，接收处理模块的流程图，如图 2-5 所示：

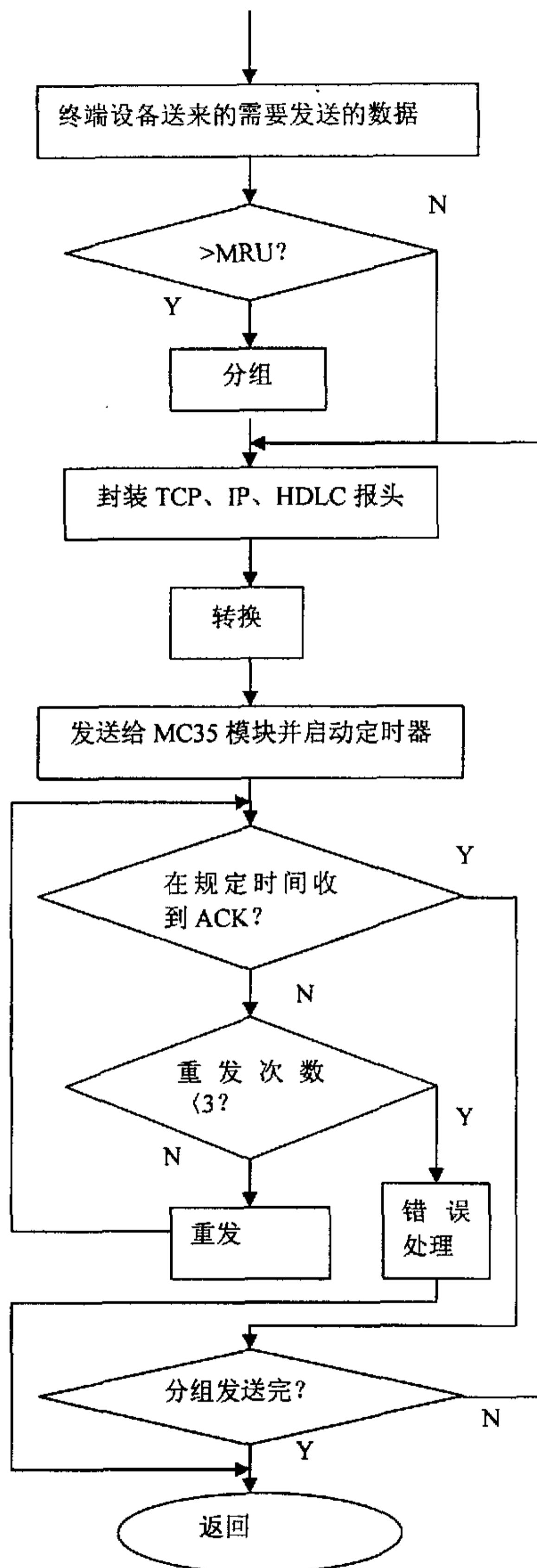


图 2-4 TCP/IP 发送模块组成框图

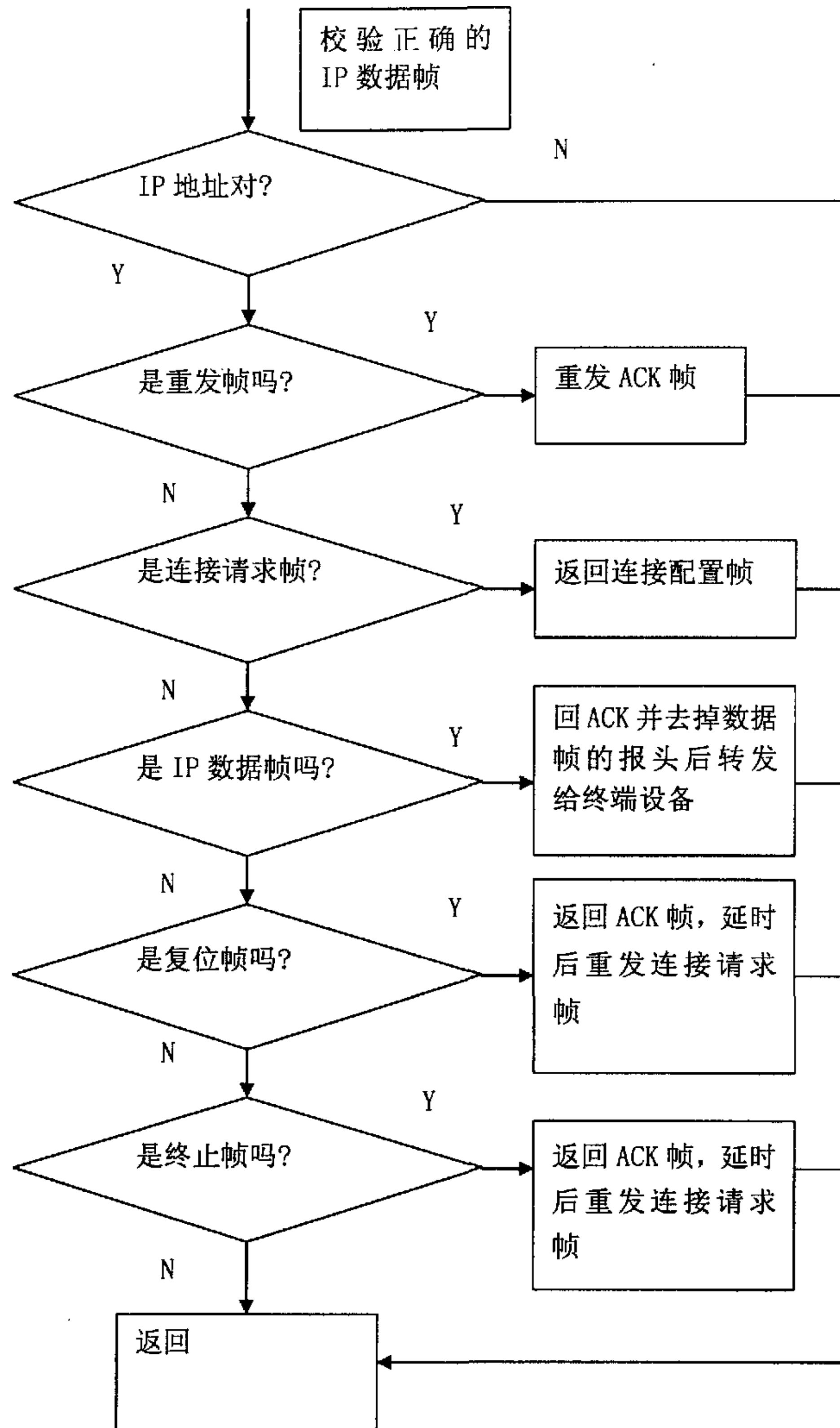


图 2-5 TCP/IP 接收处理流程图

d. 串口中断处理模块

为了提高通信处理的可靠性和实时性,当它接收到 MC35 模块送来 的数据帧后立即对它进 行处理,并在处理过程中 关中断。在处理过程中 不可避免会收到 MC35 传 来的数据或模拟串口传 来的数据,对 MC35 传 来的数据帧用 TCP 的重 传机制来保证其数据的 不丢失,对终端设备传 来的数据采用自定义的 确认机制来进行保证,从 而保证通信的可靠性(或 传输数据的不丢失)。该 处理方式的优点是:不用对 MC35 传来的数据进行 保存,节省存储空间;处 理方便。其处理流程图如 图 2-6 所示:

e. 其它处理模块简介

限于篇幅,其它模块

的处理过程这里只作简单介绍。LCP 模块:根据 MC35 模块送来的 LCP 数据帧作 出相应的响应,以完成 LCP 配置; PAP 模块实现鉴权功能; NCP 模块主要是取 回 IP 地址。

③ 短消息模块

实现短消息功能,已有许多文章对它作了较为详细的阐述,这里不再叙述。

2.2.3 GPRS 调制解调器设计中的注意事项

① PPP 报尾中的 FCS

PPP 报尾中的 FCS 采用的是 CRC 中的 CCITT 标准,而且信息流是低位在前,高位在后,而校验码(FCS)则相反。

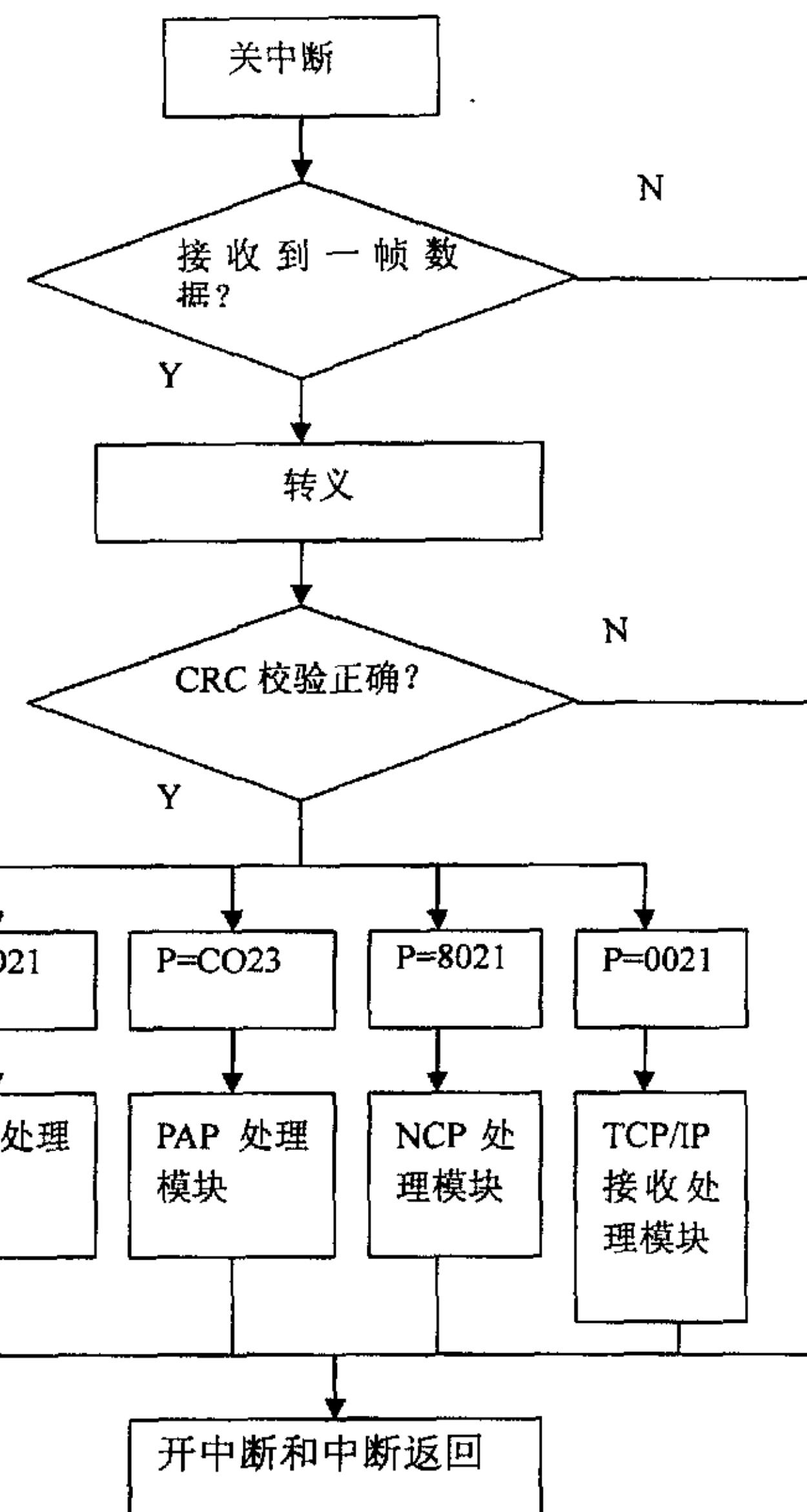


图 2-6 中断处理程序

② TCP 中的校验和

TCP 中的校验和，除了 TCP 报头和上一层数据中的各字相加外，还要加上其进位位和 IP 伪报头中各字的和，然后再求反，以上的相加都是以字（16 位，相邻的两个字节单元组合成一个字）为单位相加。

③ PAP (CHAP) 配置

PPP 协议的配置须序是 LCPs、PAP、NCPs，且 PAP (CHAP) 的配置应尽可能靠近 LCP 配置。

④ 通信的实时性和通信费用

当与 GPRS MODEM 通信的通信设备无故障时，实时性和通信费用两者是不矛盾的，但当与 GPRS MODEM 通信的通信设备出现故障时，两者将产生矛盾。如果实时性要求越高，则发送的无效分组必然越多，通信费用越高，为了获得最好的经济效益，可根据应用场合进行调整。

2.3 GPRS 调制解调器应用和组网方案

2.3.1 GPRS MODEM 和其它设备的软、硬件接口

由于该 GPRS modem 是专门针对恒压供水远程监控系统和仪器仪表，故它只有数据分组业务功能和短消息功能，而且数据分组业务在运输层采用可靠性高的面向连接的 TCP 协议。它的数据分组业务的通信速度由单片机系统和 MC35 模块共同决定：如果采用高性能的单片机或 DSP 芯片的话，其上、下传速度可达到 MC35 模块的速度指标；如果采用普通单片机的话，其上传速度可达到 57.6kbps

（由单片机决定），其下传速度可达到 21.4kbps(由 MC35 模块决定)，其实际通信速度受网络的影响也较大。它的体积比较小且采用无线通信方式，可直接嵌入到电力系统正在使用的各种仪器仪表或其它设备中。仪器仪表或其它工业设备等终端设备与该 GPRS 的硬件接口方式可选择 RS232 接口或 RS485 接口，如果是多个设备通过它发送和接收数据信息的话，可采用 RS485 接口；如果只有一个设备通过它发送和接收数据信息的话，可采用 RS232 接口。

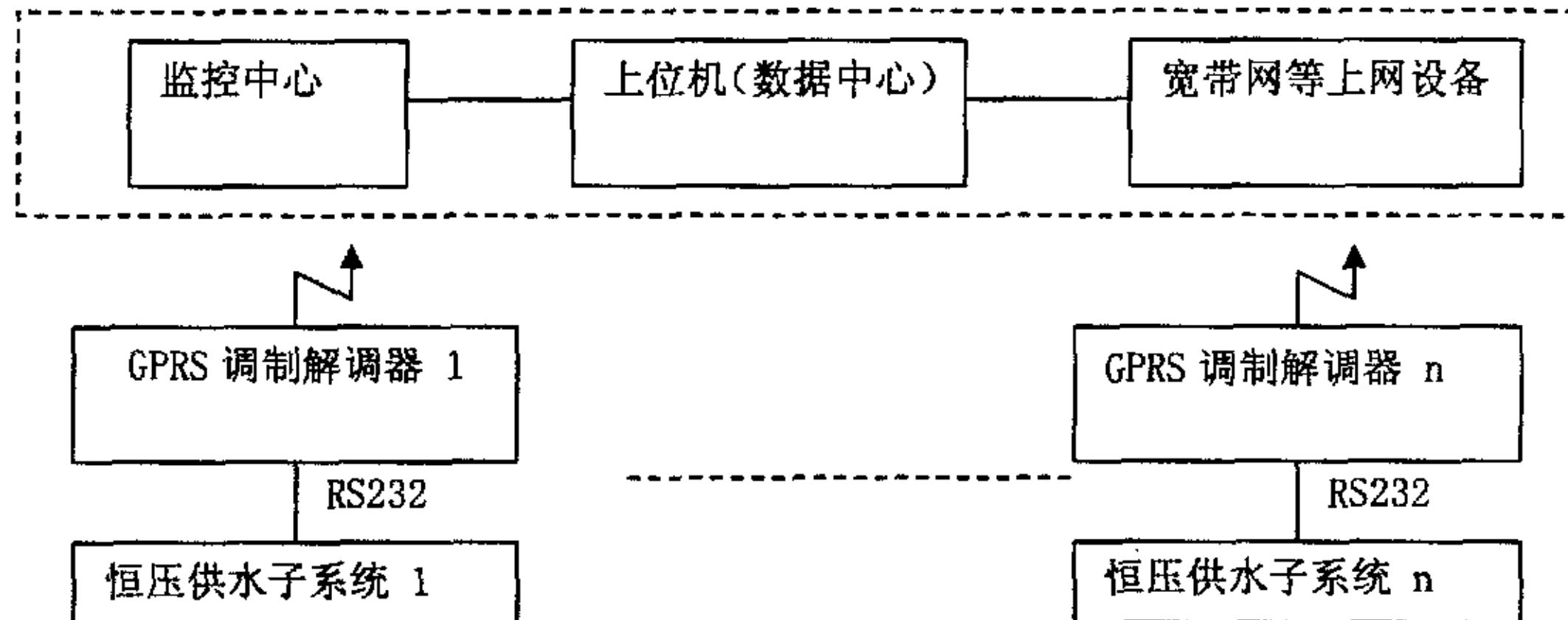
这里的软件接口指的是它和终端设备之间的接口方式。它主要有以下几条接口指令：AA 01 用户数据，用户数据指的终端设备需传回给数据中心的数据，该数据是透明的，所传即所得，而且传送的数据可以是任何数据，终端设备一次发送数据量的大小不受分组大小的限制，该模块一次发送的最大数据量是 8k 字节，它主要由 RAM 的存储空间大小决定，发送成功后返回 SEND OK，发送失败后返回 SEND ERROR；AA 02 数据中心的 IP 地址 数据中心的端口号 GPRS modem 的端口号，该接口指令用来修改或设置 IP 地址和端口号；AA 40，该指

令用来复位 GPRS modem ; AA 03 , 该项指令用来查询 GPRS modem 保存的数据中心的 IP 地址; AA 07 一个字节的数据(01 或 02 或 03), 01 使 GPRS modem 处于短消息方式, 02 使它工作在数据分组业务功能, 03 使它能在短消息和数据分组业务之间转换, 数据中心可用短消息方式发送它 IP 地址和端口号, 然后 GPRS modem 可根据该 IP 地址和端口号和数据中心建立 TCP 连接; 它的一些其它接口指令这里不在叙述。单片机系统收到 MC35 模块送来的数据经拆封处理后(如去掉 IP 报头、去年 TCP 报头), 自动从与终端设备接口的串口中透明输出。总之终端设备和它接口非常方便。

2.3.2 GPRS 调制解调器在恒压供水远程监控系统中的应用和组网方案

① GPRS 调制解调器的应用方案

由于 GPRS 无静态 IP 地址(或者说申请静态 IP 地址的费用较高, 一年上千), 故其它通信设备不能向它提出建立 TCP 连接请求。如 GPRS 调制解调器知道其它上网设备(如 ADSL、宽带网)的 IP 地址的话, 它可主动向其它上网设备提出建立 TCP 连接请求, 当它们连接好后, 即可交换分组数据。上位机软件可直接在 SOCKET 的基础上进行开发, 故上位机软件开发相对容易, 开发周期短。其应用系统(或者说组网方案)如图七所示。



图七 GPRS 调制解调器的应用方案

② 恒压供水子系统和 GPRS 调制解调器的硬件连接

如果一个 GPRS 调制解调器只负责一个终端设备和监控中心之间的通信, 它们之间可采用 RS232 总线进行连接; 如果一个 GPRS 调制解调器负责多个终端设备(恒压供水子系统)和监控中心之间的通信的话, GPRS 调制解调器可通过 RS485 总线和多个终端设备相连, 它们之间可通过端口号进行区分。

③ GPRS 调制解调器应用操作方法

发送数据操作：如果恒压供水子系统需要向监控中心发送数据，可先通过 GPRS 调制解调器的状态查询指令 AA05，查询 GPRS 的工作状态，如果当前它处于数据收发状态（其返回值应用是 4），则可立即发送相应的数据，但需在发送的数据前加上 AA01 两个字节，如果返回值是“SENDOK”，则发送成功，如返回值是“SENDERROR”，则表示该数据发送失败，需重新发送数据。

接收数据操作：GPRS 调制解调器收到监控中心发送来的数据时，GPRS 调制解调器把相应的数据立即转发给恒压供水子系统。

该设备的初始化：实际是通过 AA02 指令给 GPRS 调制解调器输入监控中心的 IP 地址，端口号和 GPRS 调制解调的端口号（最好大于 1024），其具体格式如下：AA02 监控中心 IP 地址（四个字节）监控中心的端口号（两个字节）GPRS 调制解调器的端口号（两个字节）。该项设置完成后，如果 GPRS 调制解调器处于 GPRS 状态的话，GPRS 调制解调器将主动和监控中心建立 TCP 连接，当 TCP 连接好后，该设备将返回“CONNECTIONOK”。连接好后即可按规定的格式和监控中心交换数据。

④ 该 GPRS 调制解调器的应用范围

由于该 GPRS 调制解调器基本上实现了数据的透明传输而且其体积小，故其应用范围比较广，它除了可用在恒压供水系统中外，还可嵌入到各种仪器仪表和其它工业控制设备中。

2.4 恒压供水远程监控系统的通信协议和通信规约的制定原则

尽量沿用恒压供水系统现有的通信协议和通信规约，以提高系统的兼容性，还没有制定的通信协议尽量参考其它的通信标准制定通信协议和通信规约。

3 恒压供水系统的信号检测处理

3. 1 检测系统概述

为了实现恒压供水并保证该系统正常工作，必须对水泵出口压力进行检测，以实现恒压供水的闭环控制；为了对电机进行故障诊断，需测试电机的转速、温度和振动情况；为了防止水泵无水工作，需检测液位情况；为了实现远程抄表，流量损耗统计和主管网破的故障诊断需检测流量。恒压供水子系统需要检测的参数有：温度、压力、振动、流量、液位、电机转速，其中温度、压力、振动为模拟参数，流量、液位、电机转速为数据参数（脉冲量）。

本系统的检测电路所需的传感器采用现有的传感器，不对传感器本身作专门的研究和设计，而只对它们的输出信号作进一步处理。由于模拟传感器的非线性和幅度达不要求，故需对它们的输出信号进一步作硬件和软件处理，硬件处理措施是采用集成放大电路图对传感器的输出信号进行放大和实现信号量程匹配，A/D 采样（采用专门的 A/D 芯片，从而提高该系统的可移植性），软件处理措施主要有：数字滤波（自被偿和噪声抑制），自校零、自校准以及非线性校正。通过上述处理措施可降低对模拟传感器的线性度和精度要求，从而降低整个系统的硬件成本。对脉冲信号（数字量）的处理主要有：硬件滤波，缓冲和整形，对流量信号还进行锁定，防止脉冲信号的丢失。

3. 2 各信号的检测和处理电路

3. 2. 1 流量传感器及其处理电路

流量传感器选 LWGY 型流量传感器。

LWGY 型传感器的工作原理，被测液体流经传感器时，传感器内叶轮借助于液体的动能而旋转。此时叶轮叶片使检出装置中的磁路磁阻发生周期性变化，因而在检出线圈两端就感应出与流量成正比的电脉冲信号，

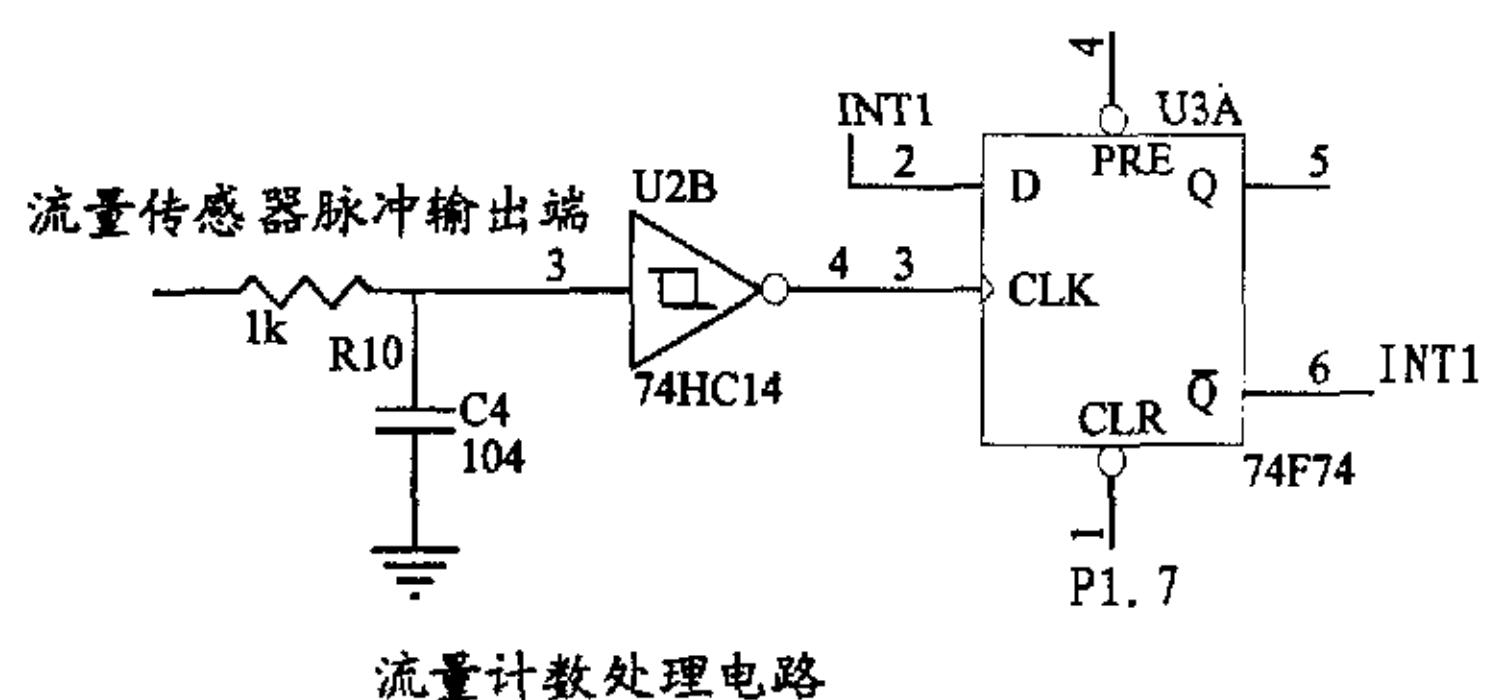


图 3-1

该信号经放大后送脉冲处理。

在测量范围内，传感器的流量脉冲频率与体积流量成正比，这个比值即为仪表系数，用 K 表示，

$$K = f/Q \text{ 或 } K = N/V$$

式中： f ——流量信号频率 (Hz)

Q ——体积流量 (m^3/h 或 L/h)

N ——脉冲数

V ——体积总量 (m^3 或 L)

由上式可得到：

$$V=N/K \text{ 或 } Q=f/K$$

每台传感器的仪表系数 K 由制造厂填写在检定证书中。通过把 K 值保存在非易失性存储器中，单片机系统根据该参数和接收到的单位时间内的脉冲数和总脉冲数据便可得到流经该系统的瞬时流量和体积总量，从而实现了流量检测和抄表功能。

脉冲处理电路如图 3-1 所示：

电路元件作用简介： R_{10} 和 C_4 组成积分电路进行滤波，滤除窄干扰脉冲；74HC14 起整形作用；D 触发器 (74F74) 对脉冲起锁定作用，防止脉冲丢失；D 触发器的反相与单片机的 INT1 和 D 触发器的输入端相连。

单片机的主要处理如下：中断后，对该引脚连续读三次进行软件抗干扰，计数后通过 P1.7 脚输出低电平使 D 触发器复位；计数到一定值后修改非易失性存储器的值并相应的 RAM 单元清零；并采用 CRC 编码存储技术进行存储和采用数据备份措施保证存储数据的可靠性；其具体处理见软件设计。

3.2.2 液位传感器及其处理电路

为了使操作简单和降低成本，液位传感器采用液位开关（小型浮球开关）。其工作原理如下：

- ① 多点连续的液位检测：测量管中有多个微型液位开关，浮子随水面升降沿管壁上下移动时，触动不同点的开关，与其连通的控制系统收到信息后，做出反应，1：读出液位，2：启动远处的泵、阀，排水或灌水，3：警戒提示。

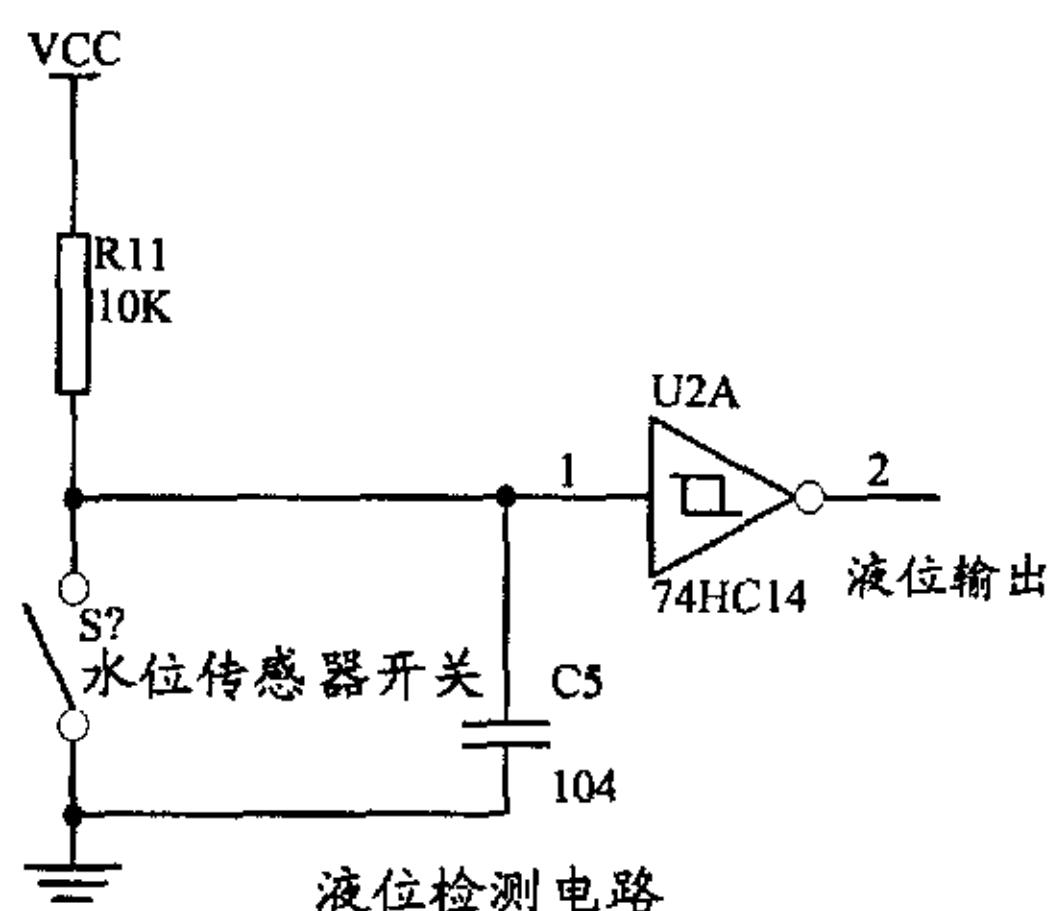


图 3-2

② 液位上升时自动倒空容器：液体进入容器，浮子随水面上升到限定高度，开关闭合，与开关相连的控制电路被接通，多点液位开关连通多个控制电路，一点可启动远处的泵阀进行排水，另一点可启动报警装置。

③ 液位下降时自动倒空容器：浮子随水面下降一定位置，开关闭合，与开关相连的控制电路被接通，多点液位开关连通多个控制电路，一点可启动远处的泵阀进行灌水，另一点可启动报警装置。

本传感器采用 c 方式的传感器。小型浮球开关的优点如下：它是一种结构简单，使用安装方便的液位控制器。它没有复杂的电路，不会受到干扰，只要材质选用正确，在任何环境下液体、压力或温度均可使用。

液位检测处理电路如图 3-2 所示：

电路简介： R_{11} 起限流作用，它还和 C_5 一起组成滤波电路，滤除窄干扰脉冲，74HC14 起整形作用。整形后的信号送入数据选择器，单片机系统分时对它进行处理。

单片机系统周期地对它进行检测，若为高电平，则作缺水处理，单片机从 P3.5 输出一高电平，使变频器停止工作，直到水位恢复正常；为低电平，则 P3.5 输出低电平。

3.2.3 转速传感器及其处理电路

采用 NZS 磁电式转速传感器，它是一种通用转速传感器，适用于测量任何旋转件的转速。该传感器的结构简单，体积小，输出为数字信号，便于远传。而且其精度高，测量范围不限和不需要电源。

由于供水系统采用三个电动机进行驱动，故需三个振动传感器。

转速传感器的处理电路如图 3-3 所示：电容 C 起滤除干扰作用，两个 74HC14 起整形和缓冲作用，整形后的信号送入数据选择器的输入端引脚，然后再由 T1 计数器对它进行计数。

其详细组成见检测电路原理图。

3.2.4 温度传感器及其放大处理电路

① 温度传感器

温度传感器采用线性比较好的集成温度传感器（AD590）。

工作原理和主要特性：

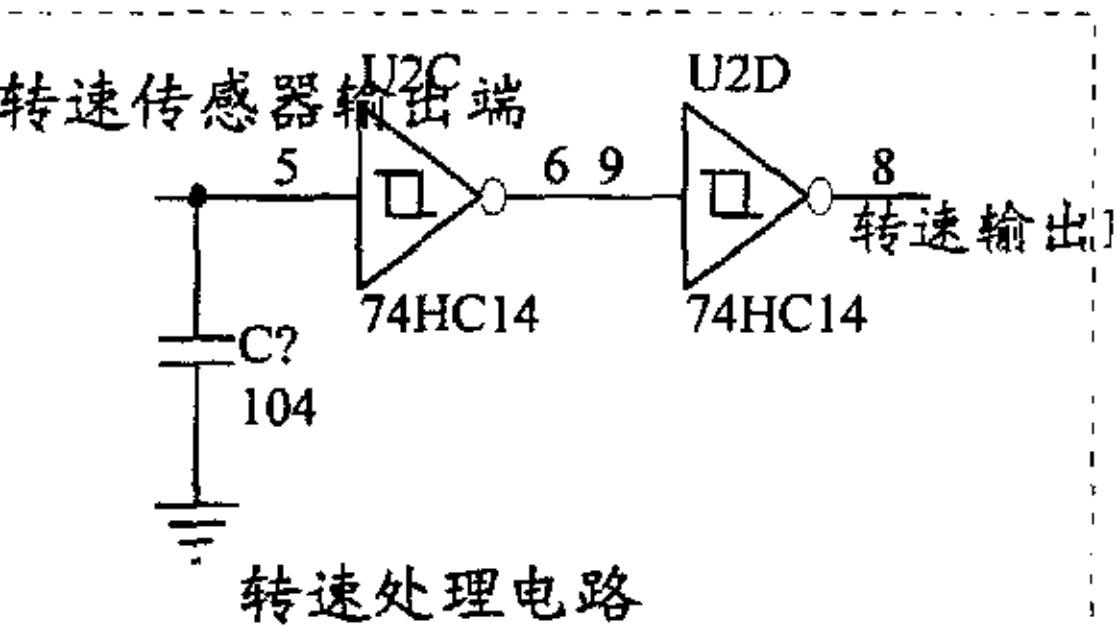


图 3-3

集成温度传感器实质上是一种半导体集成电路，它是利用晶体管的 b-e 结压降的不饱和值 V_{BE} 与热力学温度 T 和通过发射极电流 I 的下述关系实现对温度的检测：

$$V_{BE} = \frac{KT}{q} \ln I$$

式中，K—波尔兹常数； q—电子电荷绝对值。

集成温度传感器具有线性好、精度适中、灵敏度高、体积小、使用方便等优点，得到广泛应用。集成温度传感器的输出形式分为电压输出和电流输出两种。电压输出型的灵敏度一般为 $10mV/K$ ，温度 0°C 时输出为 0，温度 25°C 时输出 2.982V 。电流输出型的灵敏度一般为 $1\mu\text{A}/\text{K}$ 。

AD590 是美国模拟器件公司生产的单片集成两端感温电流源。它的主要特性如下：

1) 流过器件的电流 (μA) 等于器件所处环境的热力学温度 (开尔文) 度数，即：

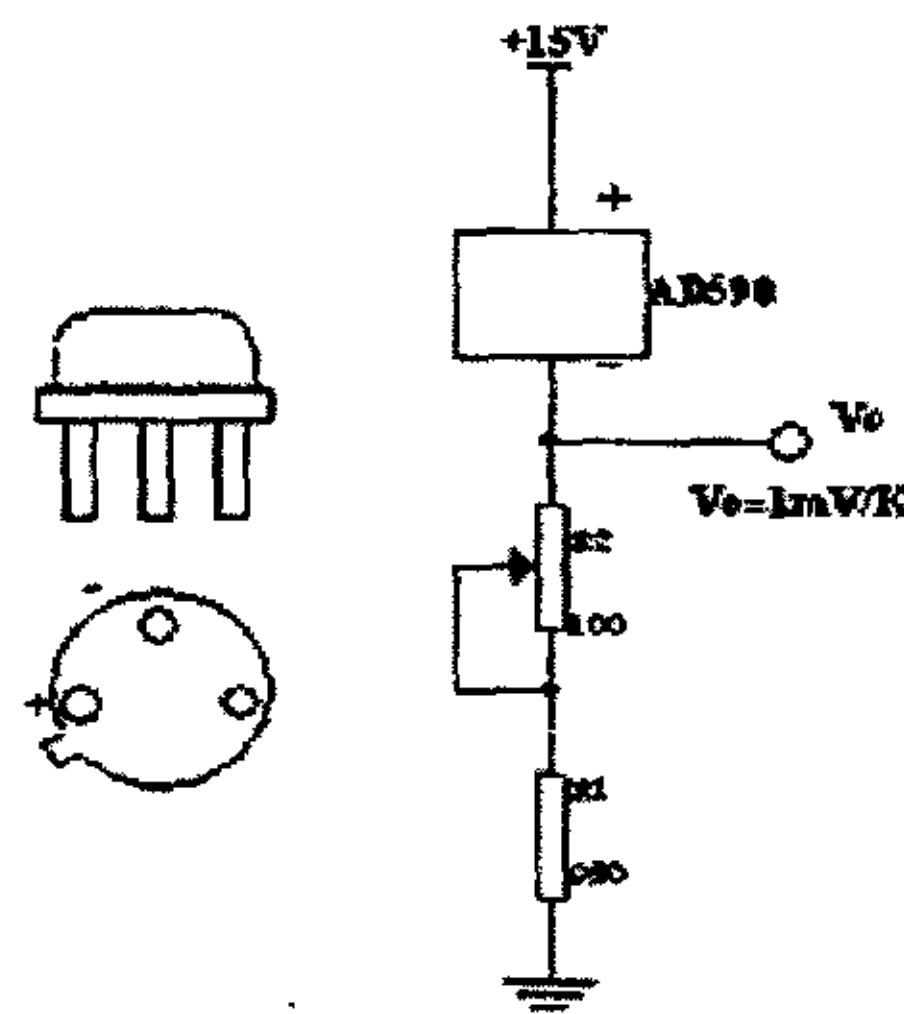
$$\frac{I_r}{T} = 1 \mu\text{A}/\text{K}$$

式中： I_r —流过器件 (AD590) 的电流，单位为 μA ；

T —热力学温度，单位为 K。

2) AD590 的测温范围为 $-55^{\circ}\text{C} \sim +150^{\circ}\text{C}$ 。

3) AD590 的电源电压范围为 $4\text{V} \sim 30\text{V}$ 。电源电压可在 $4\text{V} \sim 6\text{V}$ 范围变化，电流 I_r 变化 $1\mu\text{A}$ ，相当于温度变化 1K 。AD590 可以承受 44V 正向电压和 20V 反向电压，因而器件反接也不会被损坏。



(a) 封装形式 (b) 基本应用电路

图 3-4

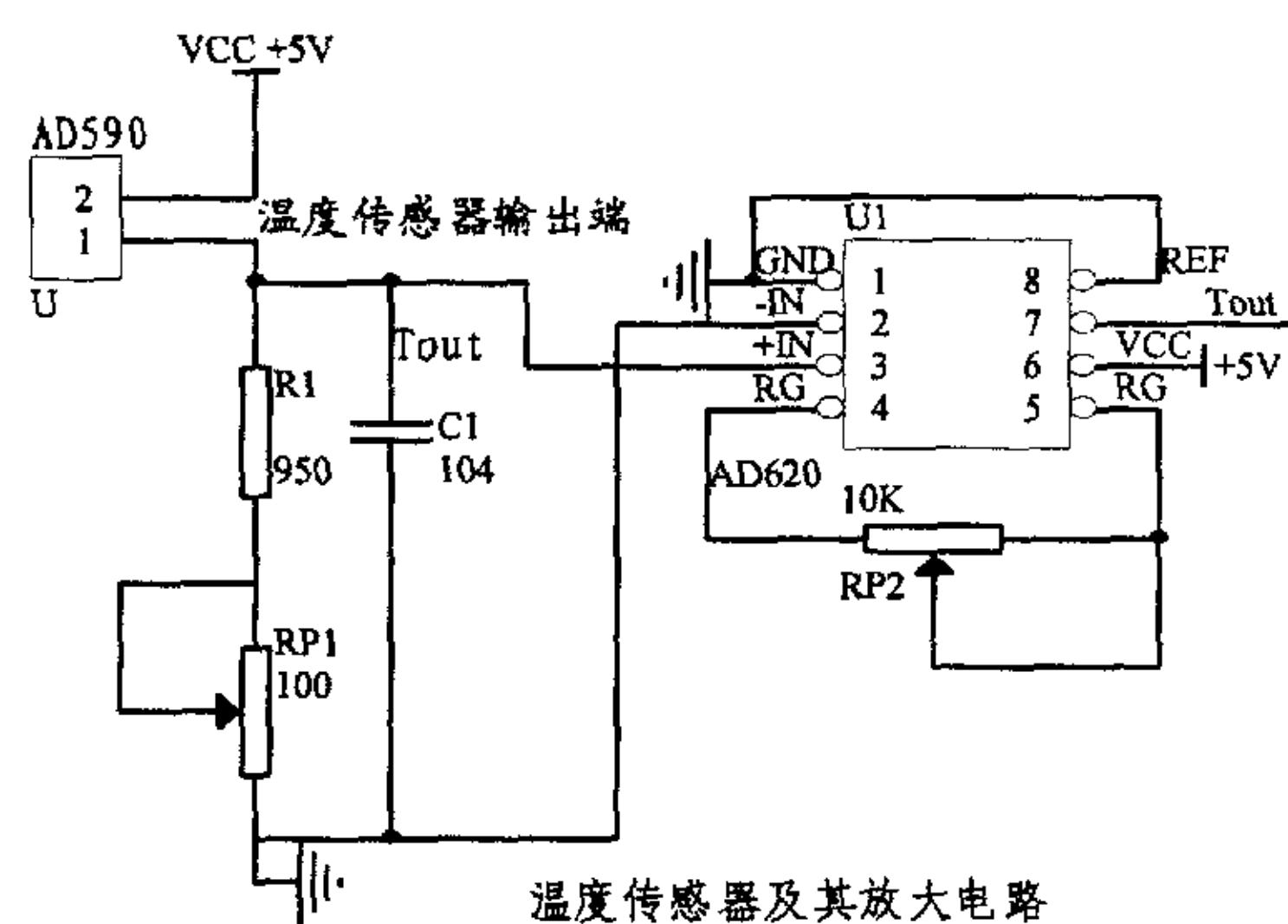


图 3-5

- 4) 输出电阻为 $710\text{M}\Omega$ 。
 5) 精度高。AD590 共有 I、J、K、L、M 五档，其中 M 档精度最高，在 $-55^{\circ}\text{C} \sim +150^{\circ}\text{C}$ 范围内，非线性误差为 $\pm 0.3^{\circ}\text{C}$ 。

AD590 的封装和其应用电路如图 3-4 所示：

② 放大处理电路

由于温度传感器的输出信号幅度比较小，需放大后才能送给 AD 转换电路进行 AD 采样。放大电路采用集成运算放大器，并采用 AD620 运算放大器芯片。

AD620 功能简介：它是一种高精度、低成本的集成运算放大器，而且其外围电路简单，只需一个增益调节电阻，通过改变该电阻的阻值，可使其增益在 1~10000 之间变化。

AD620 的外围引脚及放大电路如温度传感器及其放大电路如图 3-5 所示。放大后的信号从集成运算放大器的 7 脚输出并与 AD 芯片的输入通道相连。

3.2.5 压力传感器及其处理电路

① 压力传感器

压力传感器采用 MPM380 型压力传感器，它由外电路给它提供一个 $1.5\text{mA}\text{DC}$ 的恒流电源。其引脚接线图如图 3-6 所示：其中白线和黄线接一具阻值为 220 的电位器，电位器的中心抽头接恒流源的负端（电流输入端）；黑线接恒流源的正端（电流输出端）；蓝线是其信号输出的负极，红线是其信号输出的正极。

压力传感器及其放大电路和恒流源以及 2.5V 的基准电压源如图 3-7 和图 3-8 所示：

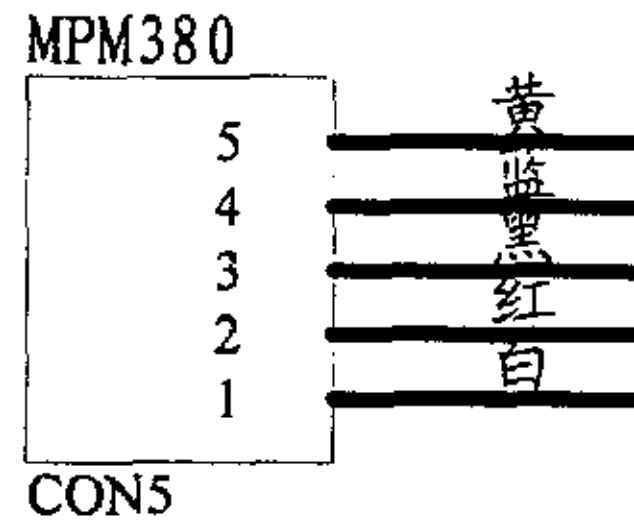


图 3-6

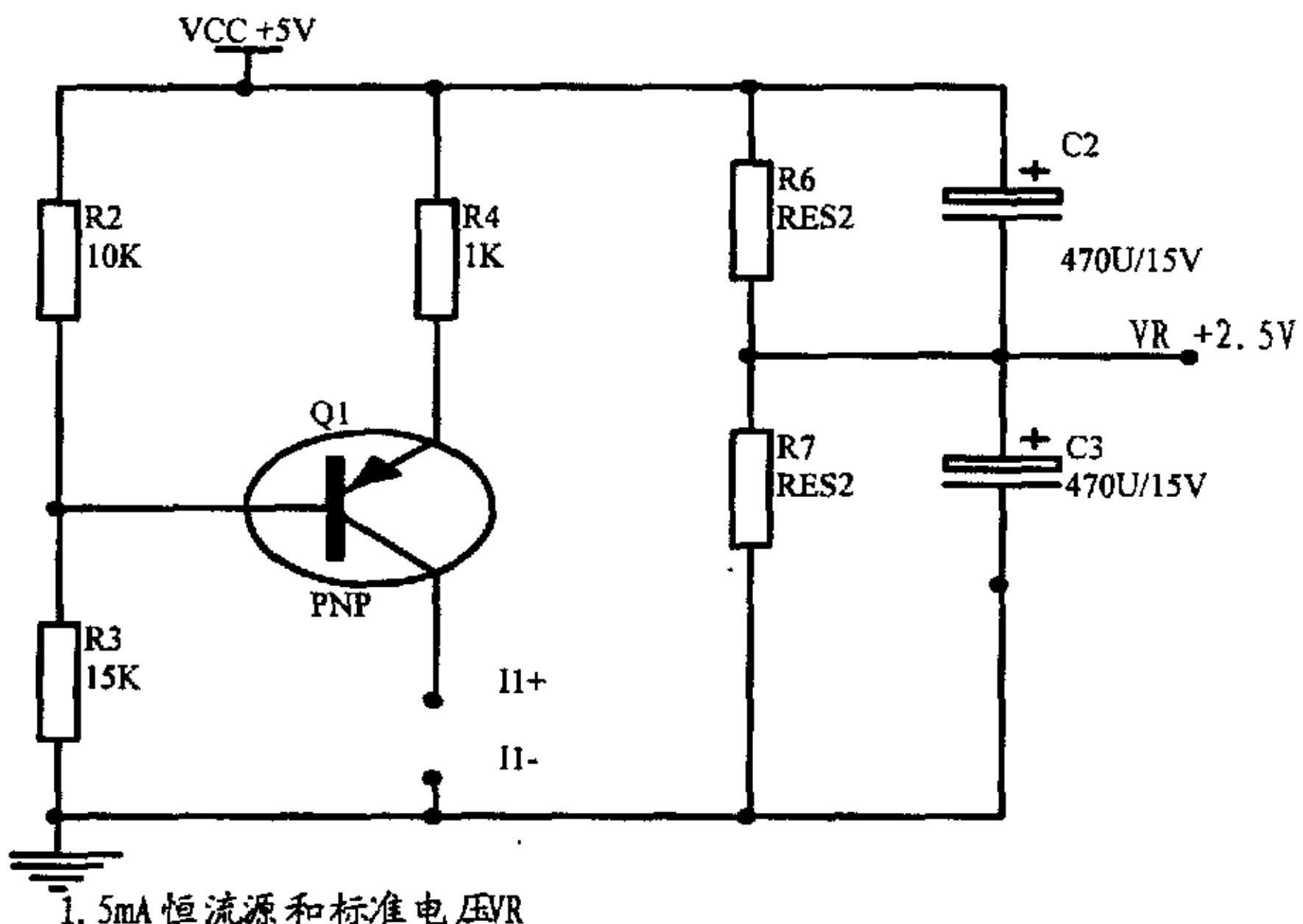
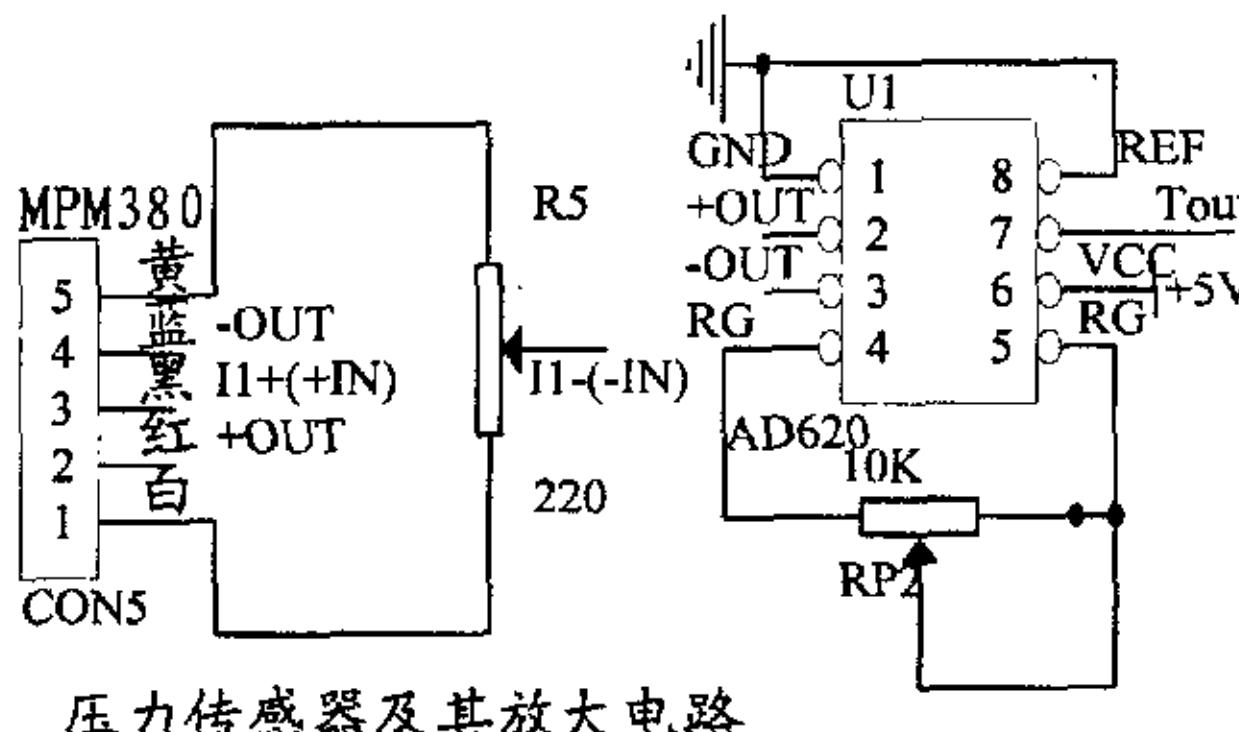


图 3-7



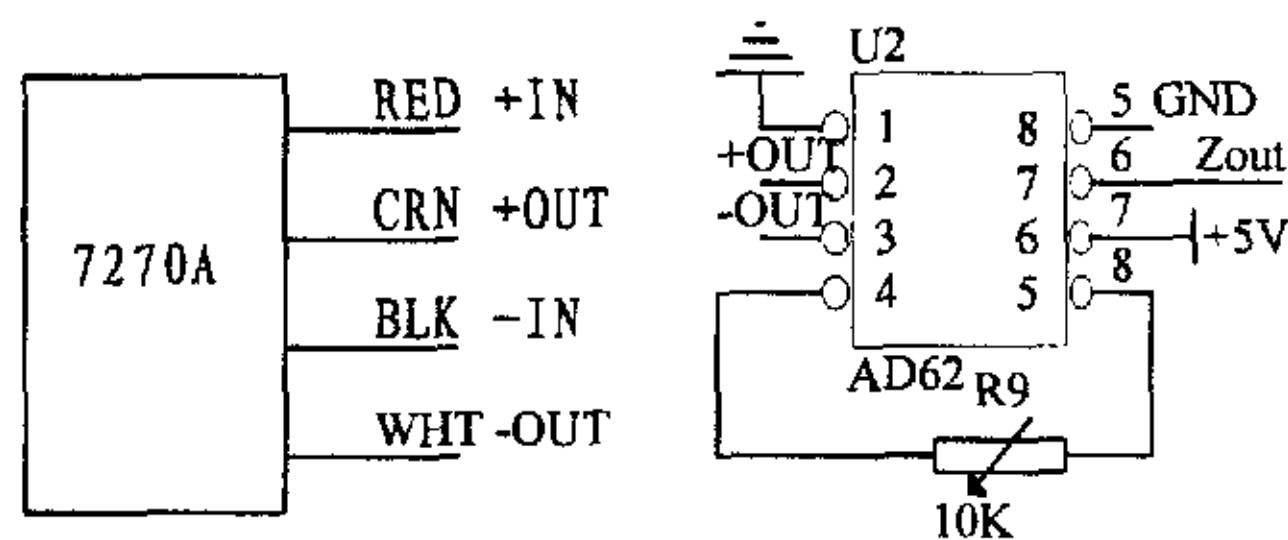
压力传感器及其放大电路

图 3-8

3.2.6 振动传感器及其放大处理电路

振动传感器采用压阻型
7270A

其电路如图 3-9 所示：



振动传感器及其放大电路

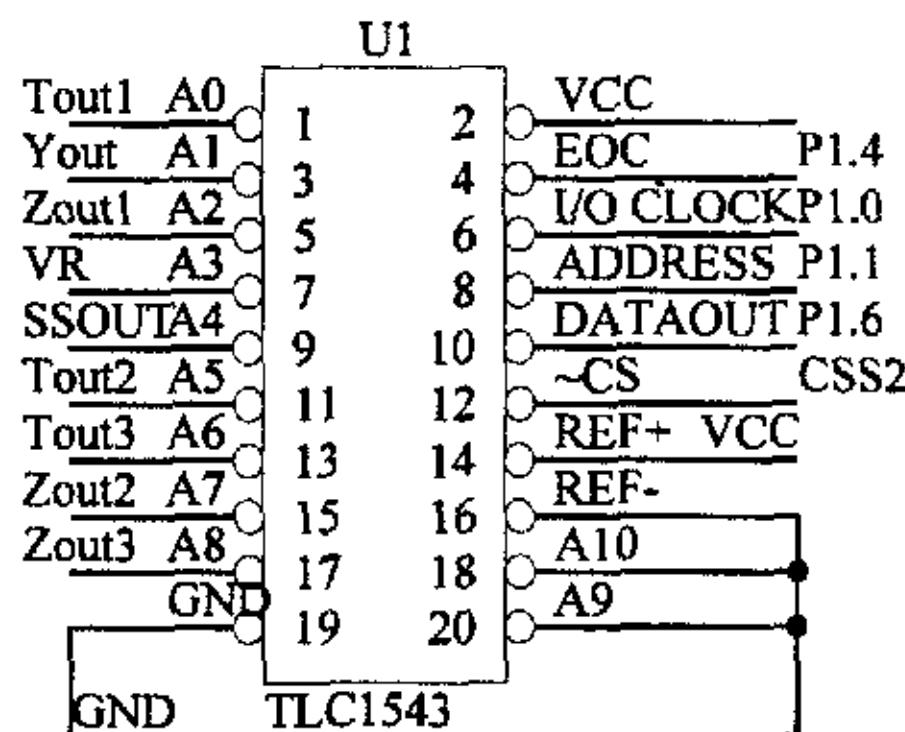
图 3-9

3.2.7 AD 转换电路

AD 转换电路采用
TLC1543 芯片，它的主要特点如下：

它是 10 位串行 AD 芯片，共有 11 个通道，通过 ADDRESS 引脚进行选择，转换的结果从 DATAOUT 引脚输出，它通过三个输入和一个输出(三态)和单片机进行接口。其接线图如图 3-10 所示：

其输入信号有 5 个：温度信号 Tout；压力信号 Yout；振动信号 Zout；标准电压信号 VR；零电压输入信号 GND；手动频率设置输出端 SSOUT。VR 和 GND 用来二标准值实时自校的两个标准信号。



A/D转换电路及接线

图 3-10

3.3 信号（模拟量）的校正处理

3.3.1 非线性校正

测量系统的线性度（非线性误差）是影响系统精度的重要因素。为了减小非线性误差，实现系统输入-输出特性直线化，即在满量程测量范围内灵敏度为一个常数。测量工作者、传感器工作者从传感器本身设计方面、从非线性校正器电路环节精心设计方面都花了大量心血。以软件实现非线性自校正智能化功能，不需要再对改善每个测量环节的非线性特性而耗费精力，不论测量系统中任一测量环节具有多么严重的非线性特性均能自动地按对应的反非线性特性进行转换，实现测量系统输入与输出的理想直线关系。非线性校正有两种方法查表法和曲线拟合法。

① 查表法

它是一种分段线性插值法，它是根据精度要求对反非线性特性曲线（如图 3-11）进行分段，用若干段折线逼近曲线。将折点坐标值勤 (u_i, x_i)

存入数据表中，测量时首先要判断被测量 x_i 的电压值 u_i 是在哪一段，然后根据那一段的斜率进行线性插值，即得输出值 $y_i = x_i$ 。以三段为例，折点坐标值勤为： $(u_1, x_1), (u_2, x_2), (u_3, x_3), (u_4, x_4)$ ，如上图所示。各线段的输出表达式为：

$$\text{第 1 段: } y(1) = x(1) = x_1 + (u_i - u_1) * (x_2 - x_1) / (u_2 - u_1)$$

$$\text{第 2 段: } y(2) = x(2) = x_2 + (u_i - u_2) * (x_3 - x_2) / (u_3 - u_2)$$

$$\text{第 3 段: } y(3) = x(3) = x_3 + (u_i - u_3) * (x_4 - x_3) / (u_4 - u_3)$$

则测量系统输出 $y=x$ 的表达式的通式为：
$$y = x = x_k + \frac{x_{k+1} - x_k}{u_{k+1} - u_k} (u_i - u_k)$$

式中 k —折点的序号，三条折线有四个折点， $k=1, 2, 3, 4$ 。

由电压值 u_i 求取被测输入量 x_i 的程序流程图如图 3-12 所示：

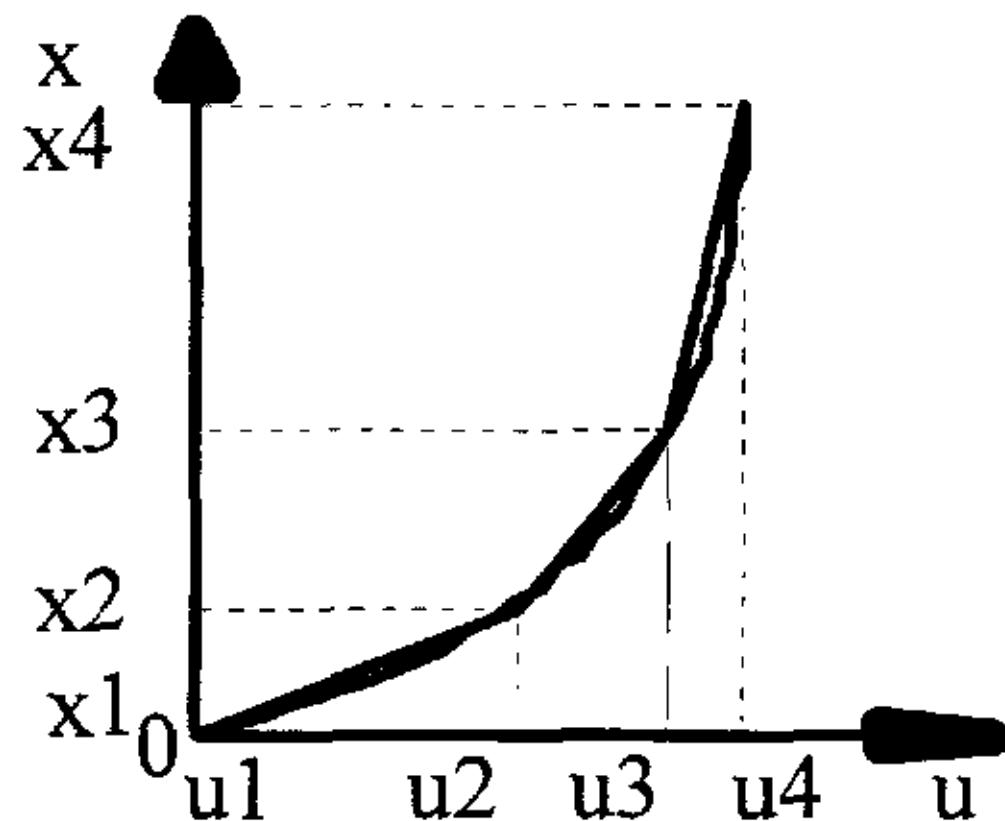


图 3-11

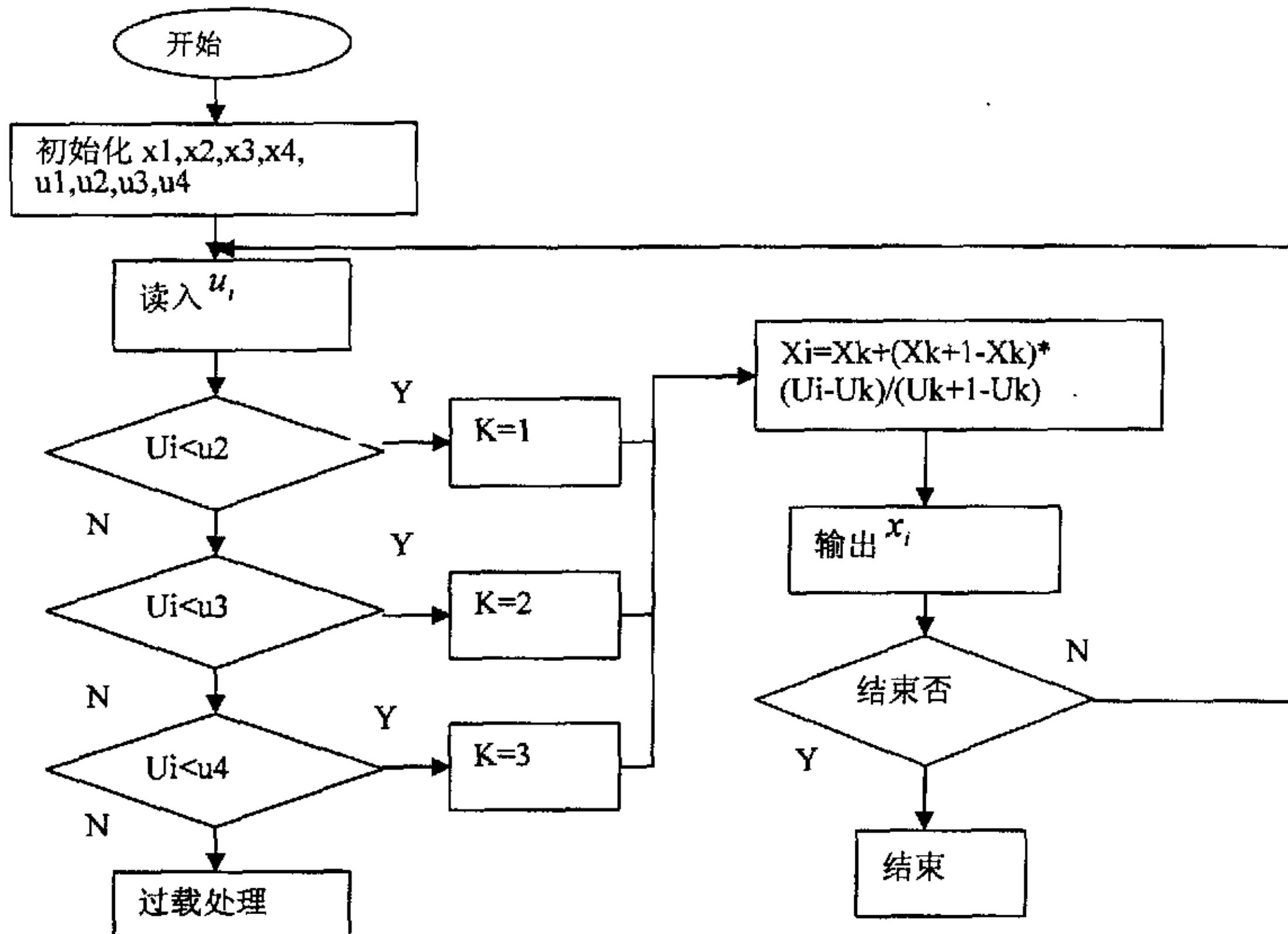


图 3-12 非线性自校正流程图

折线与折点的确定 有两种方法： Δ 近似法与截线近似法，不论哪种方法确定的折线段与折点座标值，都与所要逼近的曲线之间存在误差 Δ 。按照精度要求，各点误差 Δ_i 都不得超过给定的允许的最大误差界 Δ_m ，即 $\Delta_i \leq \Delta_m$ 。

② 曲线拟合法

这种方法是采用 n 次多项式来逼近反非线性曲线，该项多项式方程的各个系数由最小二乘法确定，具体步骤如下：

1) 列出逼近反非线性曲线的多项式方程

a. 传感器及其调理电路进行静态实验标定 获得静态输入-输出特性。标定点的数据为：

输入 x_i : $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$, n 为标定点个数, $i=1, 2, 3, \dots, n$

输出 u_i : $u_1, u_2, u_3, \dots, u_n$,

b. 假设反非线性特性拟合方程 该项 n 次多项式方程为

$$x_i(u_i) = a_0 + a_1 U + a_2 U^2 + a_3 U^3 + \dots + a_n U^n \quad (3-1)$$

式中: $U = u_i$

n 的数值由所要求的精度来定，若 $n=3$ ，则

$$x_i(u_i) = a_0 + a_1 U + a_2 U^2 + a_3 U^3 \quad (3-2)$$

式中 a_0, a_1, a_2, a_3 为待定常数。

c. 解待定常数 $a_0 \sim a_3$ 根据最小二乘法原理确定待定常数 $a_0 \sim a_3$, 其基本思想是, 由上式计算确定的各个 $x_i(u_i)$ 值与各个点对应的标定值 x_i 之均方差应最小, 即:

$$\sum_{i=1}^n [x_i(u_i) - x_i]^2 = \sum_{i=1}^n [(a_0 + a_1U + a_2U^2 + a_3U^3) - x_i]^2 = \text{最小值} = F(a_0, a_1, a_2, a_3)$$

该最小值是待定常数 a_0, a_1, a_2, a_3 的函数, 为了求出函数 $F(a_0, a_1, a_2, a_3)$ 最小值时的常数 a_0, a_1, a_2, a_3 , 我们对函数求导并令它为零, 即

$$\frac{\partial F(a_0, a_1, a_2, a_3)}{\partial a_0} = 0, \text{ 得: } \sum_{i=1}^n [(a_0 + a_1U + a_2U^2 + a_3U^3) - x_i] = 0; \quad (3-3)$$

$$\frac{\partial F(a_0, a_1, a_2, a_3)}{\partial a_1} = 0, \text{ 得: } \sum_{i=1}^n [(a_0 + a_1U + a_2U^2 + a_3U^3) - x_i] * U = 0; \quad (3-4)$$

$$\frac{\partial F(a_0, a_1, a_2, a_3)}{\partial a_2} = 0, \text{ 得: } \sum_{i=1}^n [(a_0 + a_1U + a_2U^2 + a_3U^3) - x_i] * U^2 = 0 \quad (3-5)$$

$$\frac{\partial F(a_0, a_1, a_2, a_3)}{\partial a_3} = 0, \text{ 得: } \sum_{i=1}^n [(a_0 + a_1U + a_2U^2 + a_3U^3) - x_i] * U^3 = 0; \quad (3-6)$$

式中 $U = u_i$

经整理后得矩阵方程:

$$\left. \begin{array}{l} a_0N + a_1H + a_2I + a_3J = D \\ a_0H + a_1I + a_2J + a_3K = E \\ a_0I + a_1F + a_2K + a_3L = F \\ a_0J + a_1K + a_2L + a_3M = G \end{array} \right\} \quad (3-7)$$

式中: N 实验标定点个数; $H = \sum_{i=1}^N u_i$; $I = \sum_{i=1}^N u_i^2$;

$$J = \sum_{i=1}^N u_i^3; \quad K = \sum_{i=1}^N u_i^4; \quad L = \sum_{i=1}^N u_i^5; \quad M = \sum_{i=1}^N u_i^6;$$

$$D = \sum_{i=1}^N x_i; \quad E = \sum_{i=1}^N x_i u_i; \quad F = \sum_{i=1}^N x_i u_i^2; \quad G = \sum_{i=1}^N x_i u_i^3$$

通过求解上面的矩阵方程，可得到待定常数 a_0, a_1, a_2, a_3 :

$$a_0 = \frac{\begin{vmatrix} D & H & I & J \\ E & I & J & K \\ F & J & K & I \\ G & K & L & M \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} N & H & I & J \\ H & I & J & K \\ I & J & K & L \\ J & K & L & M \end{vmatrix}}; \quad a_1 = \frac{\begin{vmatrix} N & D & I & J \\ H & E & J & K \\ I & F & K & I \\ J & G & L & M \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} N & H & I & J \\ H & I & J & K \\ I & J & K & L \\ J & K & L & M \end{vmatrix}};$$

$$a_2 = \frac{\begin{vmatrix} N & H & D & J \\ H & I & E & K \\ I & J & F & I \\ J & K & G & M \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} N & H & I & J \\ H & I & J & K \\ I & J & K & L \\ J & K & L & M \end{vmatrix}}; \quad a_3 = \frac{\begin{vmatrix} N & H & I & D \\ H & I & J & E \\ I & J & K & F \\ J & K & L & G \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} N & H & I & J \\ H & I & J & K \\ I & J & K & L \\ J & K & L & M \end{vmatrix}}.$$

d. 将所求得的常系数 $a_0 \sim a_3$ 存入内存，将已知的反非线性特性拟方程式写成下列形式：

$$\begin{aligned} x(u) &= a_3 u^3 + a_2 u^2 + a_1 u + a_0 \\ &= [(a_3 u + a_2)u + a_1]u + a_0 \end{aligned} \quad (3-8)$$

为了求取对应电压为 u 的输入被测值 x ，则每次只需将采样值 u 代入上式中进行三次 $(b + a_i)u$ 的循环运算再加上常数 a_0 即可。

3.3.2 自校零和自校准

测量仪器、系统在输入为零时其输出往往不为零，即存在零点误差，这属于固定系统误差。如果在某些干扰因素如温度、电源电压波动作用下，测量系统的增益、零点发生漂移，将引入可变系统误差。具有自校零与自校准智能功能的测量仪器、系统，在软件程序的导引下进行三步测量法，自动校正零点以及自动消除因零点漂移、增益漂移（又称灵敏度漂移）而引入的误差，从而提高了整个系统的精度与稳定性。采用这种智能化技术可以实现用低精度、低稳定度的测量系统获得高精度的测量结果。测量精度仅决定于作为标准量的基准。这样，可以不再为使测量系统中的每一个测量环节都不得具有高精度与高稳定性而耗费精力，

而只需将主要精力集中在获得高精度、高稳定度的参考基准上面。它只要求低精度、低稳定度的测量系统在短暂的自校过程中保持稳定。

根据测量系统的输入-输出特性是理想线性还是非线性特性，自校准可分为二标准值实时自校法与多标准值实时自校法。

① 二标准值实时自校法

1) 误差与漂移量 设一测量系统经标定实验得到的静态输出 (y) - 输入 (x) 特性为一理想直线

$$y = a_0 + a_1 x \quad (3-9)$$

式中 a_0 —零位值，即当输入 $x=0$ 时之输出值 y_0 ；

a_1 —灵敏度，以称为测量系统的转换增益。

对于一个理想的测量系统， a_0 与 a_1 应为保持恒定不变的常量，但是实际上，由于各种内在和外来因素的影响， a_0, a_1 都得不可能保持恒定不变。譬如，决定放大器增益的外接电阻阻值就会因温度变化而变化，那么就会引起放大器增益改变，从而使得测量系统总增益改变，也就是系统总的灵敏度发生变化。设 $a_1=S+\Delta a_1$ ，其中 S 为增益的恒定部分， Δa_1 为变化量； $a_0=P+\Delta a_0$ ，其中 P 为零位值的恒定部分， Δa_0 为变化量，则

$$y = (P + \Delta a_0) + (S + \Delta a_1)x \quad (3-10)$$

式中 Δa_0 —零位漂移；

Δa_1 —灵敏度漂移。

由上式可清楚可见， P 值引入固定系统误差， Δa_0 引入零位漂移可变系统误差； $\Delta a_1 x$ 引入灵敏度漂移可变系统误差。传统测量技术在于追求精心设计、精心制作、严格挑选高质量的材料及元器件，以其将总误差控制在一定限度内，这需要量付出高成本作代价。智能化技术则通过软件将它们的影响给予排除。

2) 二标准值实时自校法 自校准功能实现的原理图如下图所示，该项实时自校环节不含传感器。标准发生器产生的标准值 VR 以及零点标准值都与传感器输入参量 Vx 为同类属性。如传感器输出参量为电压，则标准发生器产生的标准值 Vr 就是标准电压，零点标准值就是地电平。多路转换器是可传输电压信号的多路开关。数采系统在每一特定的周期内发出指令，控制多路转换器执行三步测量法，使自校环节接通不同的输入信号，即

第一步 校零，输入信号为零点标准值，输出值为 $y_0 = a_0$ ；

第二步 标定，输入信号为标准值 VR，输出值为 YR；

第三步 测量，输入信号为传感器的输出 V_x ，输出值为 Y_x ，于是被校环节的增益 a_1 可根据式 (1-11) 得出

$$a_1 = S + \Delta a_1 = \frac{YR - y_0}{VR} \quad (3-11)$$

则信号 V_x 则为

$$V_x = \frac{Y_x - Y_0}{a_1} = \frac{Y_x - Y_0}{YR - y_0} VR \quad (3-12)$$

可见这种方法是实进测量零点 y_0 ，实时标定灵敏度（即增益） a_1 。经过求差运算，零点 $a_0=P+\Delta a_0$ 和 Δa_1 的影响已从式 (1-12) 中予以排除。上述方法只要求在三步测量过程中零点与灵敏度 a_1 保持短暂恒定不变，在三步测量之外，系统零点 a_0 及增益 a_1 的漂移不会引入误差。其中，要求标准改口产生两个标准值（包括零点标准值）。

② 多标准实时自校法

一个输入 (x) - 输出 (y) 特性呈非线性特性的测量系统，其特性至少为二阶三项多项式

$$y(x) = b_0 + b_1 x + b_2 x^2 \quad (3-13)$$

其中： b_0 —零位值

b_1 —一次项灵敏度

b_2 —二次项灵敏度

测量系统性能不稳定的具体表现形式就是输入一输出特性不稳定，它的零点 b_0 、灵敏度系数 b_1 , b_2 都发生漂移。如果只按照标定时的输入一输出特性来进行读数，就会产生误差，如果能在测量当时的条件下对测量系统进行在线实时标定实验，确定出当时的系数 b_0 , b_1 , b_2 并按照其反非线性特性拟合方程式进行读数（刻度转换），就可消除干扰量引起漂移的影响。为了缩短实时在线标定的时间，标定点数不能多，但又要反映出输入一输出特性的非线性，一般规定标定点不能少于三点，因此要求标准发生器至少提供三个标准值。实时在线自标准功能的实施过程是：

首先，对传感器系统进行现场、在线、测量前的实时三点标定，即依次输入三个标准值 x_{R1} , x_{R2} , x_{R3} ，测得相应输出值 y_{R1} , y_{R2} , y_{R3}

第二步，列出反非线性特性方程拟合方程式（二阶三项多项式）

$$x(y) = C_0 + C_1 y + C_2 y^2 \quad (3-14)$$

第三步，由标定值求反非线性特性曲线拟合方程的系数 C_0, C_1, C_2 ，按照最小二乘法原则，即方差最小

$$\sum_{i=1}^3 [(C_0 + C_1 y_{R_i} + C_2 y_{R_i}^2) - x_{R_i}]^2 = F(C_0 + C_1 + C_2) = \text{最小}$$

根据函数求极值（最小值）条件，令偏导数为零，即

$$\text{令 } \frac{\partial F(C_1, C_2, C_3)}{\partial C_1} = 0, \text{ 得 } \sum_{i=1}^3 [(C_0 + C_1 y_{R_i} + C_2 y_{R_i}^2) - x_{R_i}]^2 \times y_{R_i} = 0;$$

$$\frac{\partial F(C_1, C_2, C_3)}{\partial C_2} = 0, \text{ 得 } \sum_{i=1}^3 [(C_0 + C_1 y_{R_i} + C_2 y_{R_i}^2) - x_{R_i}]^2 \times y_{R_i}^2 = 0;$$

$$\frac{\partial F(C_1, C_2, C_3)}{\partial C_3} = 0, \text{ 得 } \sum_{i=1}^3 [(C_0 + C_1 y_{R_i} + C_2 y_{R_i}^2) - x_{R_i}]^2 \times y_{R_i}^3 = 0;$$

整理后得矩阵方程

$$\begin{cases} C_0 N + C_1 P + C_2 Q = D \\ C_0 P + C_1 Q + C_2 R = E \\ C_0 Q + C_1 R + C_2 S = F \end{cases} \quad (3-15)$$

式中 $N=3$ ——为在线实时标定点个数；

$$P = \sum_{i=1}^3 y_{R_i}; \quad Q = \sum_{i=1}^3 y_{R_i}^2; \quad R = \sum_{i=1}^3 y_{R_i}^3;$$

$$S = \sum_{i=1}^3 y_{R_i}^4; \quad D = \sum_{i=1}^3 x_{R_i}; \quad E = \sum_{i=1}^3 x_{R_i} y_{R_i};$$

$$F = \sum_{i=1}^3 x_{R_i} y_{R_i}^2$$

由标定值计算出 P, Q, R, S, D, E, F 后，解上式矩阵方程可得到待定常系数 C_0, C_1, C_2 的表达式为：

$$C_0 = \frac{\begin{vmatrix} D & P & Q \\ E & Q & R \\ F & R & S \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} N & P & Q \\ P & Q & R \\ Q & R & S \end{vmatrix}}, \quad C_1 = \frac{\begin{vmatrix} N & D & Q \\ P & E & R \\ Q & F & S \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} N & P & Q \\ P & Q & R \\ Q & R & S \end{vmatrix}}, \quad C_2 = \frac{\begin{vmatrix} N & P & D \\ P & Q & E \\ Q & R & F \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} N & P & Q \\ P & Q & R \\ Q & R & S \end{vmatrix}}$$

求出 C_0, C_1, C_2 数值后，反非线性特性方程即被确定。这时将系数 C_0, C_1, C_2 数值存入内存，测量系统由转换开关转向测量状态，系统输入被测量 x 可按(3-14)直接求出。因此只要测量系统在实时标定与测量期间内保持输入一输出特性不变，测量系统的测量精度就决定于实时标定的精度，其他任何时间发生的特性漂移都不会引入误差。实验证明，对一个具有零漂，温漂且在 100°C 温度变化范围内总误差达 $\pm 1\%$ 的压力测量系统，采用满度值精度为 $\pm 0.02\%$ 的标准压力值进行三个标准值实地自校准，可达到整个测量系统短时精度优于 $\pm 0.1\%F.S.$

要想对包含传感器在内的全系统进行实时自校零与自校准，就要求标准量发生器产生的标准值与传感器的测量量有相同的属性，即正一个压力测量系统则需标准压力值发生器；温度测量系统需要标准温度值发生器，这不是一件容易实现的事。相对而言标准电压值等电气量的标准值容易建立，故目前测量系统的自校零与自校准往往不含传感器。

4 恒压供水监控系统的变频电路设计

4.1 变频调速的原理及变频设计

由于异步电动机的转速 n_1 与电源频率成正比，所以改变电源频率就能改变电动机的转速 n_1 ，并从而实现调速，这就是变频调速。

在电动机调速时，一个重要的因素是希望保持每极磁通量 ρ_m 为不变额定值。磁通太弱，没有充分利用电机的铁芯，是一种浪费；磁通太大，又会使铁芯饱和，从而导致过大的励磁电流，严重时会因绕组过热而损坏电机。对于直流电机，励磁系统是独立的，只要对电枢反应的补偿合适，保持 ρ_m 不变是容易做到的。在交流异步电机中，磁能是由定子和转子磁势合成产生的，怎样才能保证磁通恒定呢？

我们知道，异步电动机的电势方程为

$$E_1 = 4.44f_1W_1K_{w1}\rho_m$$

因为电压 $V_1 = E_1 + I_{Z1}$ ，如果忽略定子压降，则上式可近似表示为

$$E_1 = 4.44f_1W_1K_{w1}\rho_m \approx V_1$$

所以

$$\rho_m = C_1 V_1 / f_1$$

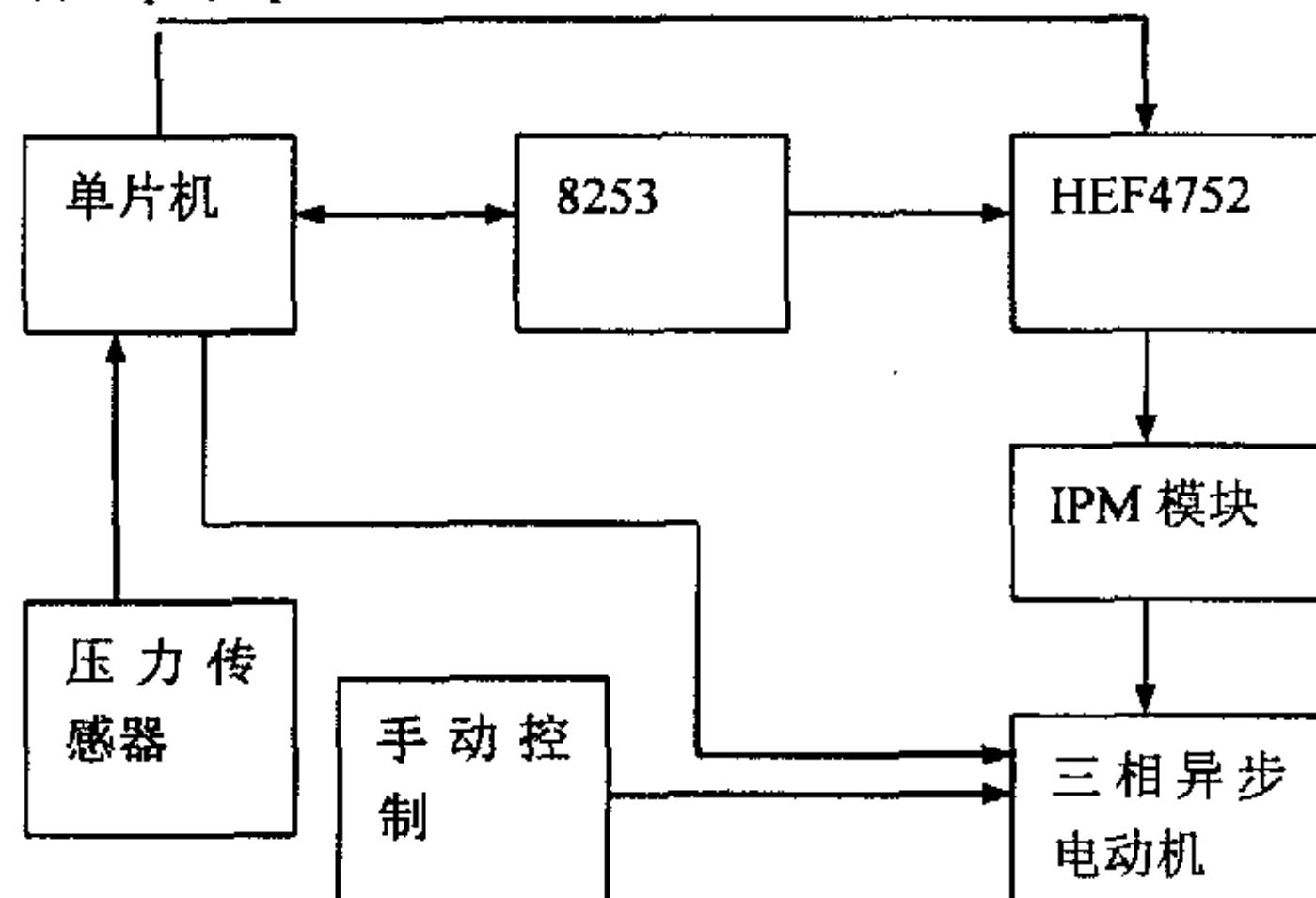
式中， E_1 为定子每相感应电势的有效值， f_1 为定子频率， W_1 为定子每相绕组串联匝数， K_{w1} 为基波绕组系数， ρ_m 为每极气隙磁通量， $C_1 = 1/4.44K_{w1}W_1$ ，是一常数。

由 ρ_m 的表达式可见，要保持电机磁通恒定，必须使定子电压随定子频率成正比变化。即： $V_1/f_1 = V'_1/f'_1$ ，这种 V_1 与 f_1 的配合变化称为恒磁通变频调速中的协调控制。根据 V_1/f_1 协调控制的方式不同，可以得到不同的调速特性。

4.2 变频电路设计

4.2.1 系统组成原理框图

如图 4-1



4.2.2 各组成部分的任务

图 4-1 系统组成原理框图

用及连接

① HEF4752 的作用及与其它芯片的连接

1) 概述

HEF4752 是全数字化的三相 SPWM 波生成集成电路，它可用于由全控型开关器件构成的变频器。它可输出三相对称 SPWM 波控制信号，调频范围为 0~200Hz。虽然它的最大开关频率比较低，但已能满足恒压供水系统的要求，而且只要求它的调频范围在 0~50Hz。

2) 关键管脚功能介绍

a. 12 个驱动输出端

6 个三相变频器主开关器件驱动输出端 它们分别是 R、Y、B（对应 U、V、W 三相）的上下桥臂，即 ORM1、ORM2、OYM1、OYM2、OBM1、OBM2。另外 6 个引脚是三相变频器换流电路辅助开关管的驱动输出端，这里未用。

b. 4 个时钟输入端

输出频率控制时钟输入端 FCT 用来控制 SPWM 波的基波频率（即变频器的输出频率） f ，输入时钟频率和变频器的输出频率之间的关系如下：

$$f_{FCT} = 3360 \times f$$

f_{FCT} 应是可调的，它由 8253 的一个输出端提供。

基波电压有效值 U（以下简称为变频器输出电压）控制输入端 VCT 它用来控制控制变频器输出的 SPWM 基波电压有效值 U。当输入的时钟频率 f_{VCT} 为某一确定值时，变频器输出电压 U 与输出频率 f 之间有一确定的线性关系。输入时钟频率 f_{FCT} 由下式确定：

$$f_{VCT} = 6720 f_M$$

式中， f_M 为 100% 调制时的输出频率 (Hz)。

由上述可知，可通过改变 f_{VCT} 去改变 U/f ， f_{VCT} ，它由 8253 提供。

最高开关频率基准时钟控制输入端 RCT 它用来限定变频器开关器件的最高开关频率，此基准时钟频率 f_{RCT} 与变频器开关器件的最高开关频率 $f_{r_{max}}$ 有如下关系：

$$f_{RCT} = 280 f_{r_{max}}$$

而最低开关频率限定值由芯片内部电路决定。

输出延迟时钟控制端 OCT 它与输入端 K 的电平相配合控制每一相上、下桥臂两个功率开关器件开通的延迟时间（即死区时间 t_d ）。它们的关系如下：

$$f_{OCT} = \begin{cases} 8/t_d & (K=0) \\ 16/t_d & (K=1) \end{cases}$$

3) 参数设计

a. 基频参数（即变频器的输出频率范围）

0.5~60Hz 相应的 f_{FCT} 应能在 1.68~201.6KHz 范围内连续可调，由 8253 的定时器 0 来实现。

b. 开关频率（即最大开关频率参数）

取 $f_{r_{max}} = 1\text{KHz}$ ，则 f_{RCT} 为 280KHz，它采用方波振荡器实现。

c. 基波电压有效值 U 控制设计 (f_{RCT})

设 100% 调制时的输出频率 $f_M = 60\text{Hz}$ ，则 $f_{RCT} = 6720/60 = 403.2\text{KHz}$ 。

d. 死区时间设置

$K=1$ ，取死区电压时间为 30us，则 $f_{OCT} = 16/30 * 1000 = 533\text{Hz}$ 。它由 8253 的定时器 1 实现。

② IPM 模块

1) 功能说明

- a. 三相逆变桥用 IGBT、FWD，IPM 内都含有三相逆变器用 IGBT 及 FWD，并用三相都连接好。只要把 P、N 端接到主电源，把 U、V、W 端接到三相输出端子就完成了主电路的配线工作。
- b. 制动用 IGBT、FRD，内含制动用 IGBT 及 FRD，并接到 B 端子上，控制 IGBT 并经制动电阻释放能量，可抑制 PN 端子间电压的上升。
- c. 三相逆变桥及制动用 IGBT 的驱动功能，所有 IGBT 的驱动功能都已包含在内。
- d. 所有 IGBT 都有过电流保护功能。
- e. 所有 IGBT 都有短路保护功能。
- f. 所有 IGBT 都有欠电压保护功能。
- g. 外壳温度过高保护功能。
- h. 芯片温度过高保护功能。
- i. 报警输出功能。

2) 接线端子及符号

端子符号	含义	端子符号	含义
P	变频装置整流、平波后主电源输入端, P 正 N 负	(10) GND	下桥臂共用驱动电源输入端
N		(11) Ucc	
B	制动输出端子减速时释放能量	(2) UinU	上桥臂 U 相控制信号输入端
U	变频器三相输出端	(5) UinV	上桥臂 V 相控制信号输入端
V		(8) UinW	上桥臂 W 相控制信号输入端
W		(13) UinX	下桥臂 Z 相控制信号输入端
(1) GNDU	上桥臂 U 相驱动电源输入端	(14) UinY	下桥臂 Y 相控制信号输入端
(3) UccU		(15) UinZ	下桥臂 Z 相控制信号输入端
(4) GNDV	上桥臂 V 相驱动电源输入端	(12) UinDB	下桥臂 制动单元控制信号输入端
(6) UccV			
(7) GNDW	上桥臂 W 相驱动电源输入端	(16) ALM	保护电路动作时的异常信号输出端
(9) UccW			

3) 连接

其连接见电路原理图, 这里不在叙述。

4. 2. 3 电机控制电路

采用三台异步电动机进行供水控制, 其中一台用变频器进行供电, 另外两台用工频交流电进行供电, 根据供水要求, 先用变频方式进行供水, 当供水压力达不到要求时, 然后再用变频加工频进行控制供水。为了防止异步电动机长期不用, 异步电动机进行循环启动和停止。为了保证供水系统的正常供水, 提高该系统的可靠性, 防止供水系统崩溃, 采用远程控制和单片机系统控制相结合、单片机系统控制和手动控制相结合的方法。具体处理如下: 当单片机出现故障后采用手动控制, 保证供水系统正常供水, 另外当通信系统出现故障后由单片机系统进行自动控制。其具体电路见电路原理图, 其处理流程图见单片机系统程序处理流程图。

5 恒压供水监控系统的故障诊断

5.1 故障诊断的内容

主管道严重破裂：如果电机的转速较高而压力又较小，可判断为主管道破裂

通信故障：当上位机多次向下位机发送指令而无回答消息

单片机系统故障：它包括存储器故障、单片机及其外围电路故障。存储器故障采用写后读的方式进行故障诊断；根据下达的指令和测试信息进行单片机及其外围电路的故障诊断。

电机故障：先对电机的振动信息进行幅值域、频域分析，然后在分析的基础上进行电机的故障诊断。

前三类故障诊断的理论比较简单，本文对它们不作介绍，下面主要介绍第四类故障诊断法。

5.2 电机故障诊断

5.2.1 工程信号分析基础

电机在运行过程中，和运行状态有关的各种物理量随时间的变化呈现一定的规律。这些物理量主要是温度、振动。用相应的振动传感器和温度传感器及其处理电路测得它们随时间的变化就获得了信号。通过对温度的幅值及对振动信号的幅值域、频域（谐波）进行分析就可对电机进行故障诊断，从而判断其工作状况。

① 信号的幅值域分析

在信号幅值上进行的各种处理称作幅值分析。信号的简单幅域参数包括均值、最大值、最小值、均方根值。若信号 $x_s(t)$ 为采样所得一组离散数据 x_1, x_2, \dots, x_N ，则这些参数的计算式为

$$\text{均值 } \bar{X} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i$$

$$\text{最大值 } X_{\max} = \max\{x_i\}$$

$$\text{最小值 } X_{\min} = \min\{x_i\}$$

$$\text{均方根值 } X_{rms} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i^2}$$

$$\text{方差 } D_x = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{X})^2$$

均方根值反映信号的能量大小，方差表示数据的分离程度。该幅域参数计算简单，对故障有一定的敏感性。

② 信号的时域分析

时域分析的最重要的特点是信号的时间顺序，即数据产生的先后顺序。

③ 信号的频域分析

1) FFT 的软件实现(按时间抽取的基 2-FFT)

FFT 程序包括了变址(倒位序)和 L 级递推计算($N=2^L$, L 为正整数)两大部分，下面分别加以讨论。

2) FFT 变址(倒位序)流程图。

需进行 FFT 变换的数据放在数据 A0 中

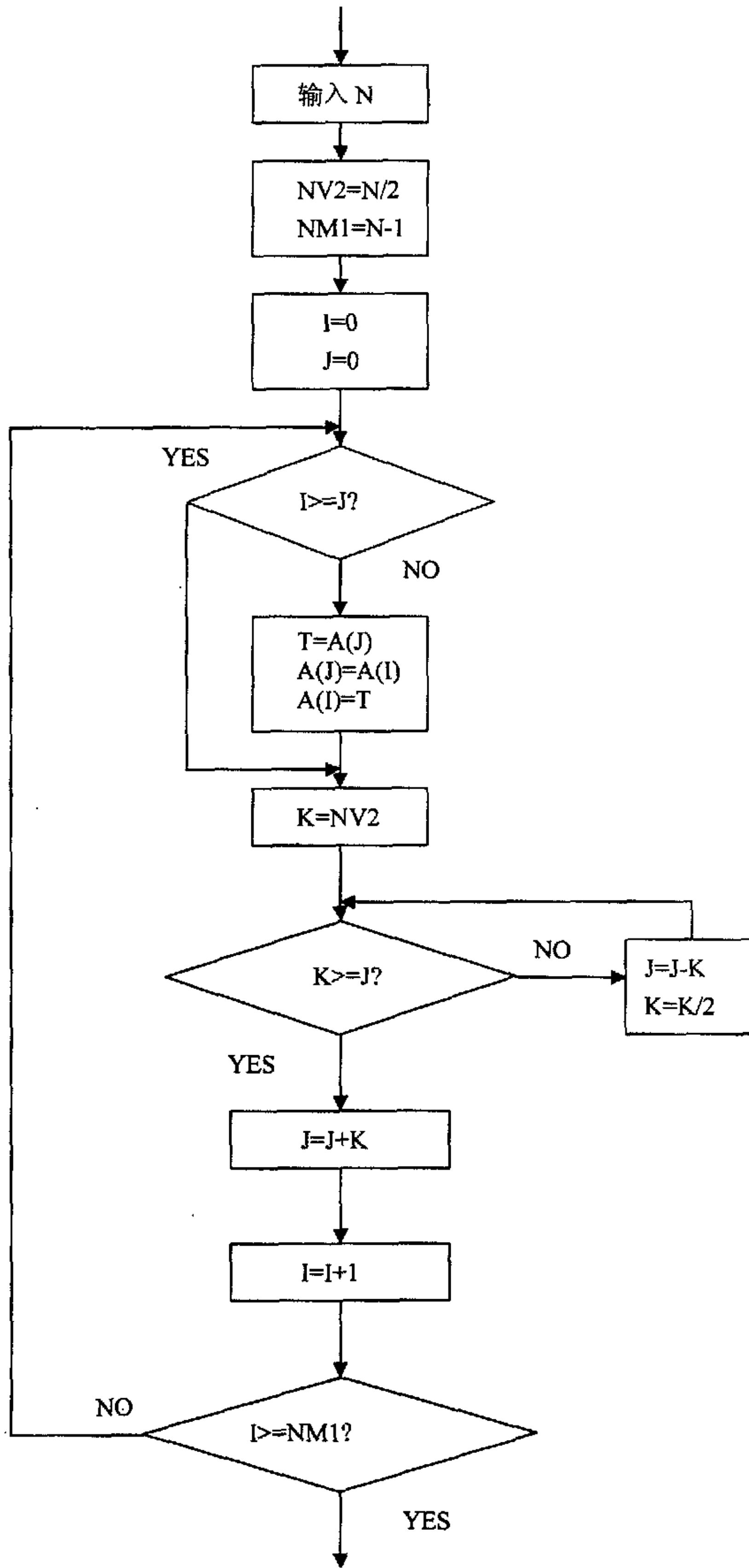


图 5-1

基-2 按时间抽取的 FFT 流程图

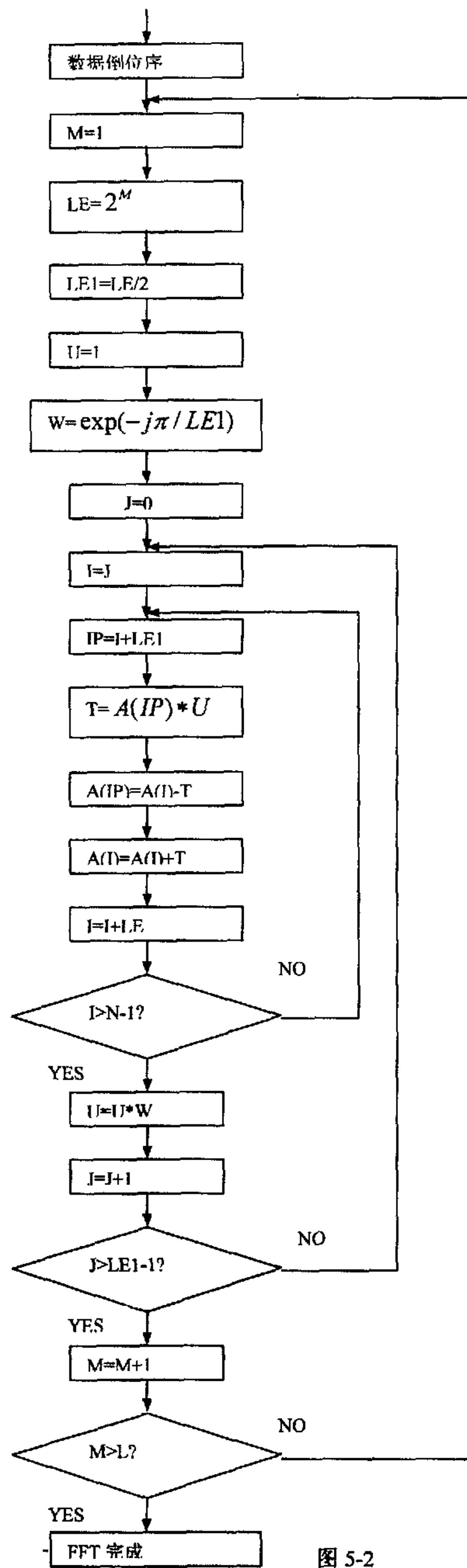


图 5-2

5.2.2 故障诊断的步骤

① 整周期采样

在测电机的振动信号时，可根据电机的当前转速让电机的转速为几个特殊值中的一个，然后在此基础上进行整周期采样。

② 幅值域分析

主要进行最大值、均方根值分析，分析方法见前面。

③ 频域分析

主要是进行 FFT 变换，该处理步骤可在单片机系统（恒压供水子系统的）中完成，也可在上位机中进行处理，如想少传输数据，故障诊断部分可在供水子系统中完成，只上传故障诊断结果，如想减轻下位机系统的工作负担，该部分可在上位机系统中完成。

如故障诊断让下位机做，如实时性要求不高可用 C 语言（可重用性和可调试性好，编程容易）实现 FFT 变换，如实时性要求高，可采用汇编语言（编程实现比较困难）实现。可根据具体要求进行相应的处理。

④ 故障诊断方法

基于旋转机械的振动特征基础上的故障诊断和基于知识经验基础上的智能故障诊断。

6 恒压供水监控系统的子系统的单片机选型及其处理流程图

6.1 单片机（SM2965）简介

SM2965ihh-yyyj 单片机的硬件功能和指令系统与 8052 系列单片机兼容，其内部有 64K Flash 和 1K byte RAM。它具有 36 个 I/O 引脚，并具有在线编程功能。其特点为如下：

- 工作电压：4.5V~5.5V
- 编程电压：5.0V
- 与 8052 系列单片机兼容
- 一个机械周期由 12 个时钟周期组成
- 支持在线编程和有 64K Flash
- 1024 byte RAM
- 4 个 8-bit 的 I/O 端口和 1 个 4-bit 的 I/O 端口
- 3 个 16-bit 的定时/计数器和一个看门狗定时器
- 一个全双工的串行通信口
- 8 位无符号数乘法
- 8 位无符号数除法
- 两级中断优先级
- 最高晶振可从 0HZ 到 40MHz

其详细情况请查阅其英文资料。

6.2 单片机完成的主要功能

- 压力、流量、温度、振动等信号的测试处理功能
- 变频器及交流异步电机的控制功能
- 故障诊断功能
- 通信功能（与 GPRS 之间的通信）

6.3 单片机处理流程图

6.3.1 主程序处理流程图（循环体流程图）

实现各单元的初始化和循环测试压力、振动、测试、转速、液位五个物理量，并根据压力的测试值和设定值进行恒压控制；根据温度、转速和振动情况对电机进行故障诊断；根据液位情况进行缺水处理。

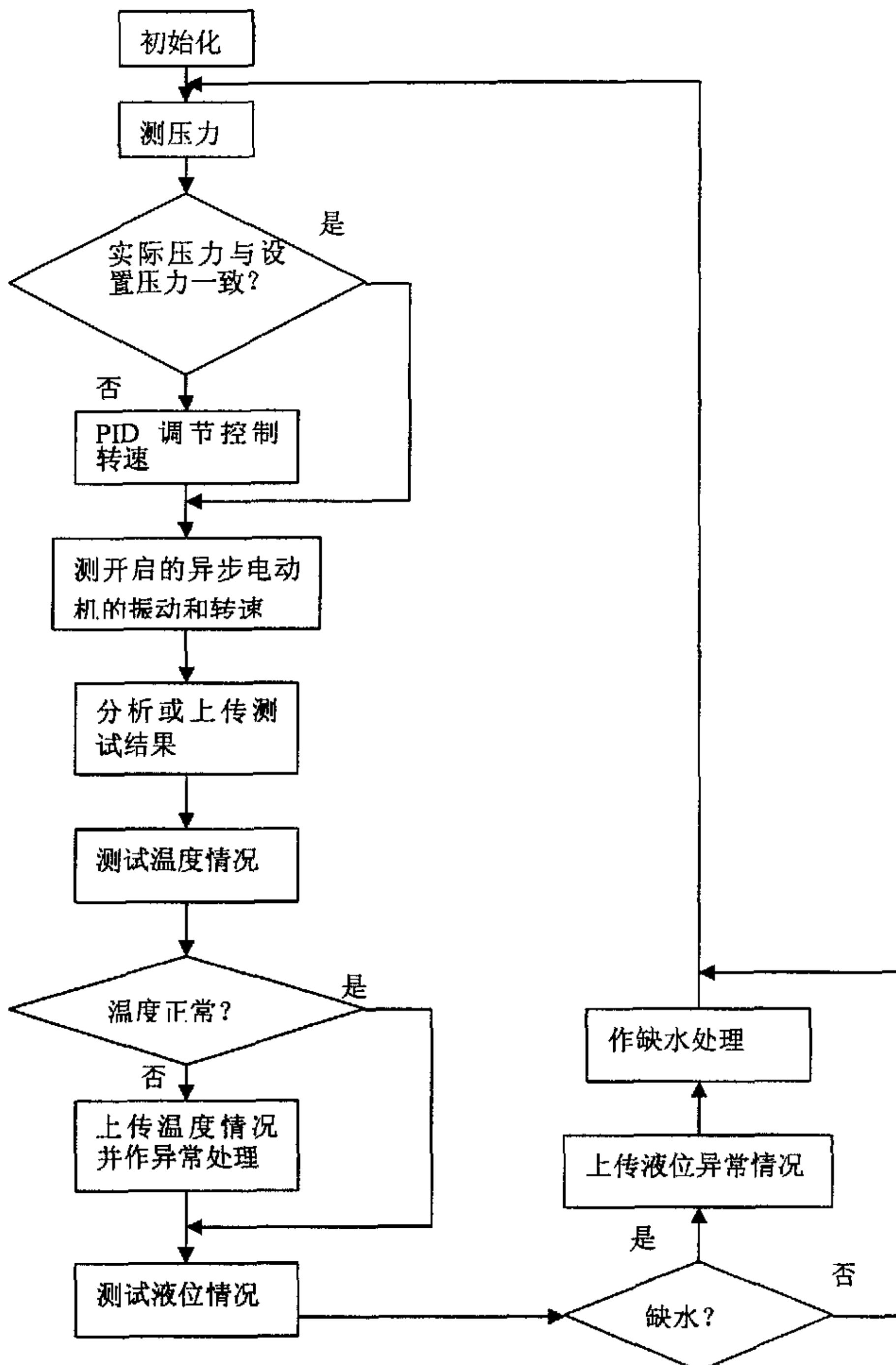


图 6-1 主程序处理流程图

6.3.2 外部中断 0 的处理程序流程图(流量测试)

该该处理程序实现对流量传感器输出的脉冲进行计数，其硬件电路请见附录 A。为了提高计数速度，用一个 RAM 单元暂存流量脉冲，当流量脉冲个数大于某个值时才更新流量数据，并把相应的 RAM 单元的数据清零，其处理流程图如下图所示：

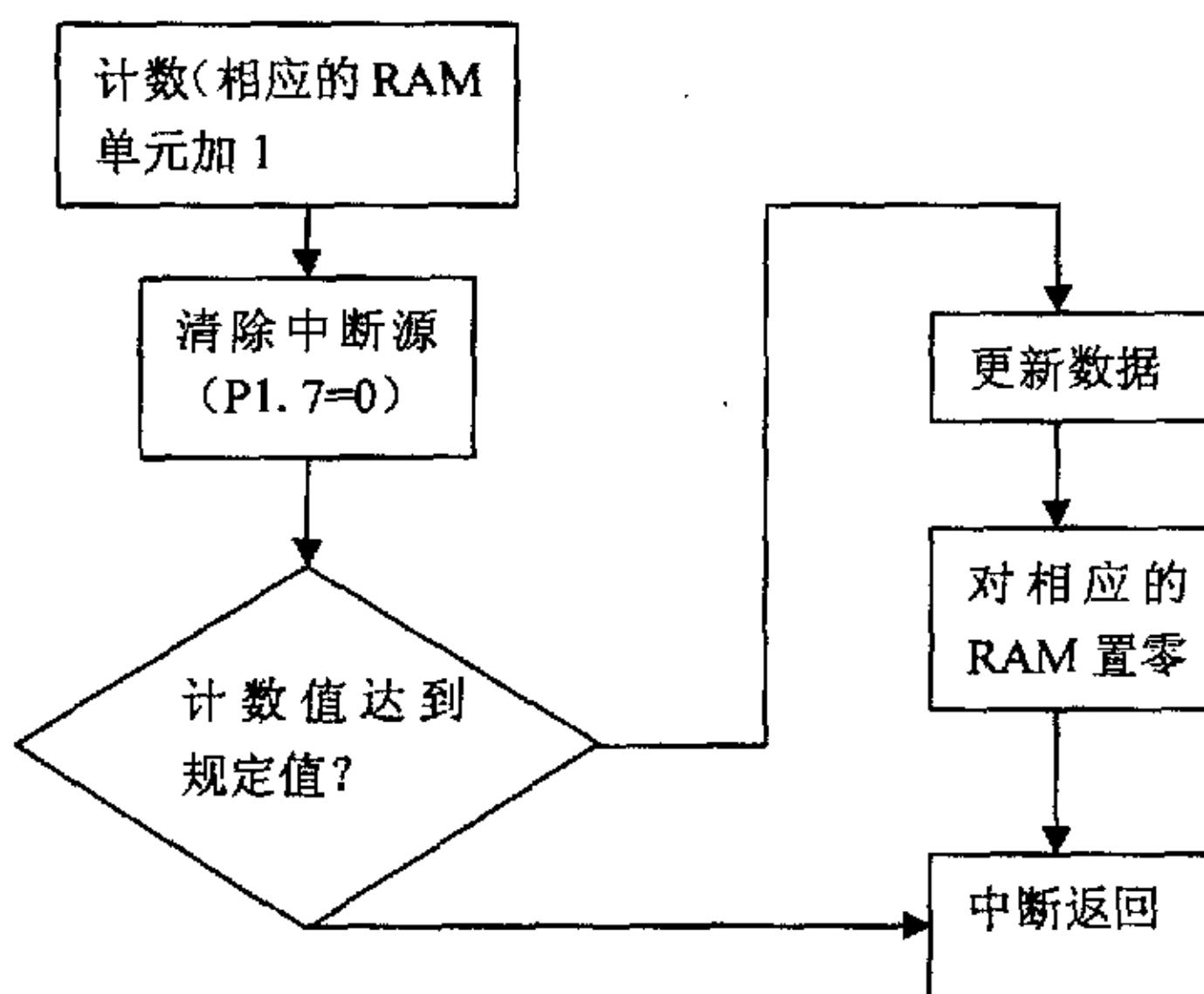


图 6-2 外部中断 0 处理程序流程图

6.3.3 外部中断 1 的处理程序流程图

外部中断 1 完成对变频部分和电机及其驱动电路部分的故障处理功能，当上述几部分有故障时，封锁 PWM 输出，防止故障扩大和其它意外损失。

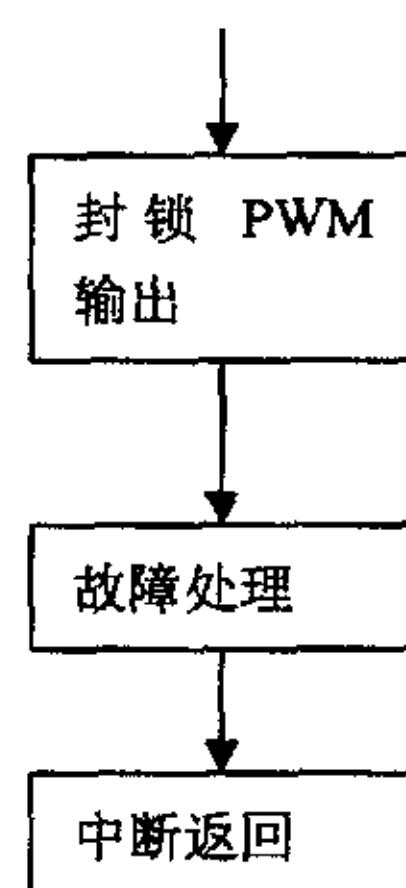


图 6-3 外部中断 1 处理程序流程图

6.3.4 串口中断处理程序流程图

串口中断处理程序完成，恒压供水子系统和 GPRS 调制解调器之间的通信。为了提高通信的可靠性，可采用类似于 TCP 的协议机制；并采用 CRC-16 或 CRC-CCITT 进行校验，检查通信数据的正确性。

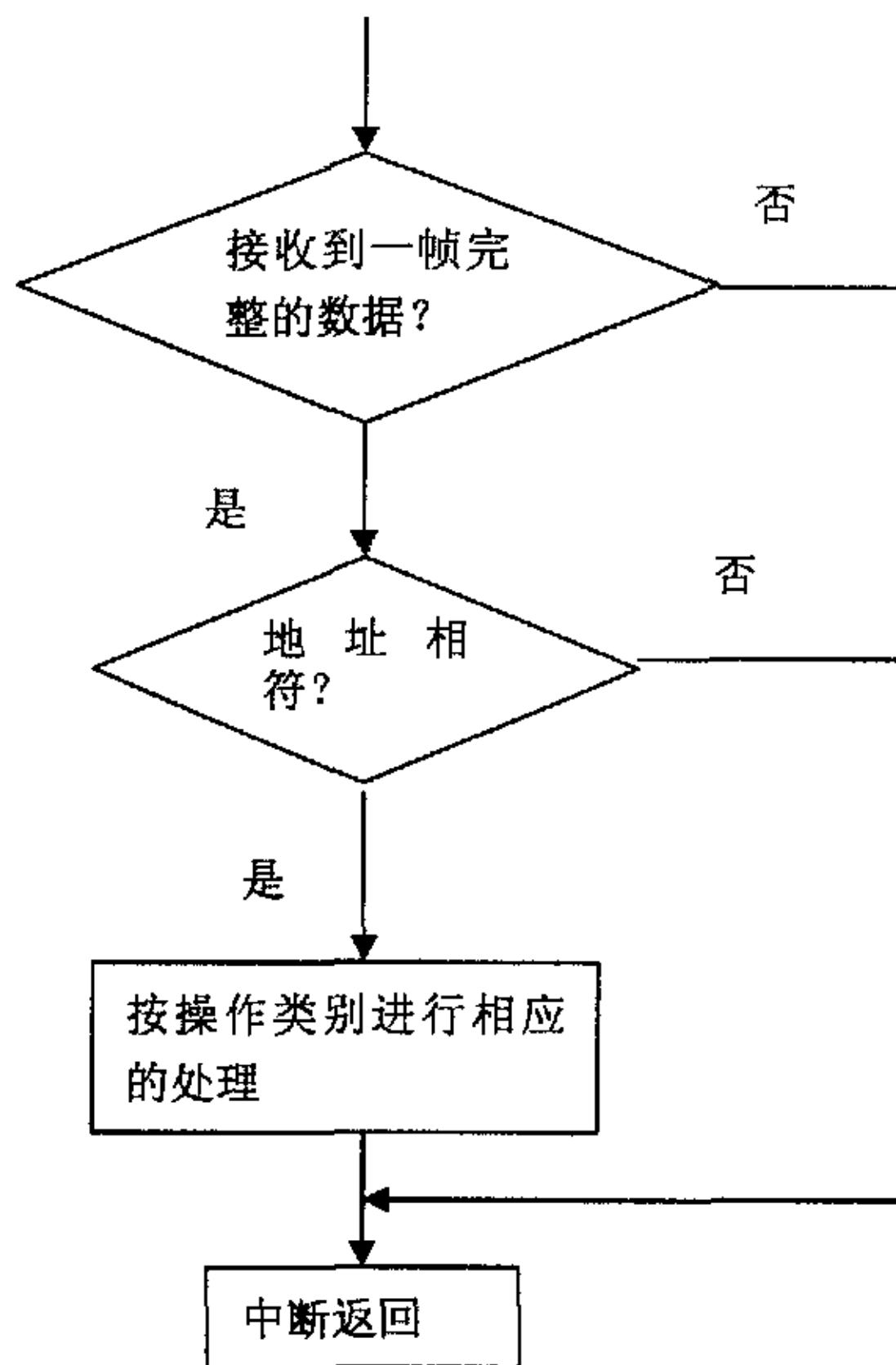


图 6-4 串口中断处理程序流程图

7 实验结果和实验数据

7.1 实验内容

该课题主要完成的实验有两个，一个是 GPRS 调制解调器测试实验，另一个是恒压供水远程监控系统恒压控制模拟实验。

7.2 GPRS 调制解调器的测试实验

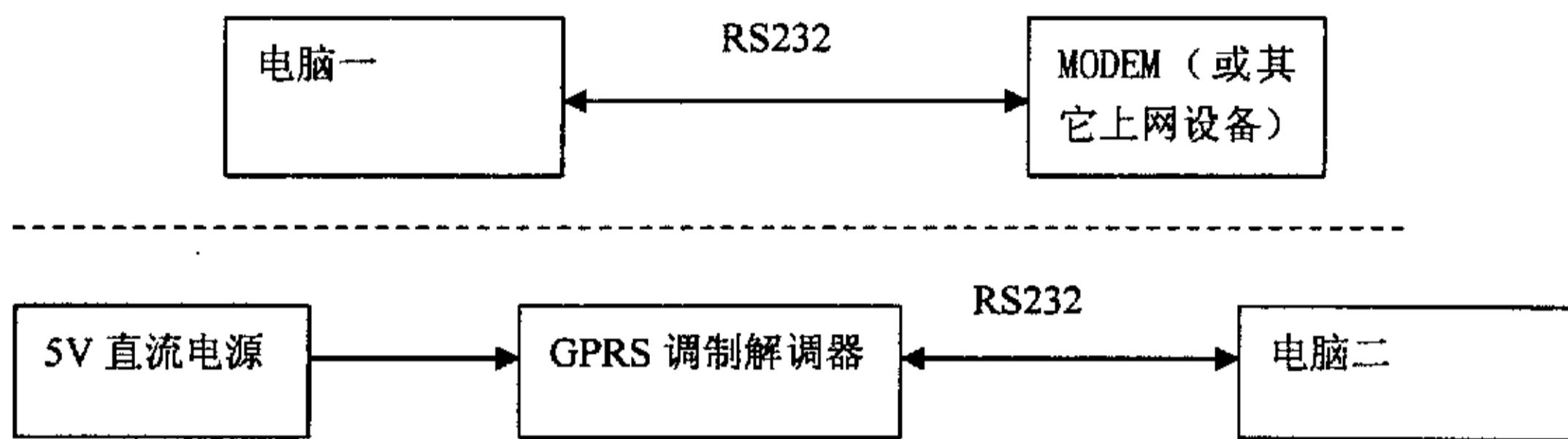


图 7-1 恒压供水远程监控系统实验和测试系统组成框图

7.2.1 GPRS 调制解调器的测试实验框图如图 7-1 所示：

说明：电脑二用来对 GPRS 调制解调器进行初始化设置和模拟恒压供水子系统收发数据，其内部要求有串口收发程序且其波特率设置为 9600bps. 电脑一用来模拟监控中心，其内部要求有基于 SOCKET 的收发程序且其波特率设置为 9600bps；5V 直流电源的精度要求为 5%，峰值电流为 2.5A。

7.2.2 实验内容步骤

实验内容：一是 GPRS 调制解调与其它上网设备的连接功能，一是 GPRS 调制解调器收发数据的功能。

实验步骤：首先用 RS232 连接线把 GPRS 调制解调器和电脑二连接好；然后电脑上网并查出其上网的 IP 地址；给 GPRS 调制解调器通电，然后按接口指令要求输入上位机的 IP 地址、端口号以及 GPRS 高制解调器的端口号；当电脑二收到“connectionok”字符串后，即可进行电脑一与电脑二之间的数据收发实验，它们之间的数据传送。

7.2.3 GPRS 调制解调器的测试结果

经测试，该设备能够和其它网络设备连接，而且连接较为迅速；该设备能够透明地传输所有信息（00H~FFH）。另外，由于该设备采用的是TCP，传输数据的可靠性非常高，它采用了和校验和CRC-CCITT校验，通信的成功率在90%以上（由于网络原因，通信不能保证每次传送成功，但传送成功或失败均能返回正确的操作结果）。

该设备经严格测试，其质量合格，达到要求，可应用在恒压供水系统中，当然该设备也可用嵌入到其它工业设备和仪器仪表等设备中。

该实验是本课题的重点和创新。

7.2.4 GPRS 调制解调器的实验测试数据

由于该设备实现透明数据传送，其测试数据没有什么意义，这里给MC35模块和其控制单片机之间的交换数据。限于篇幅，这里只给出了其中的一部分数据，数据中心的IP地址：218.70.86.130.1024 端口号为0401

GPRS端的IP地址：211.139.48.236

具体数据如下：

① 单片机8758发送给MC35的数据，WHILE CONNECTION OK

1) AT指令（用于初始化）

41 54 0D (AT); 实现波特率同步，MC35模块是自适应波特率

41 54 5A 0D(ATZ); 恢复用户设置文件

41 54 2B 43 47 44 43 4F 4E 54 3D 31 2C 49 50 2C 43

4D 4E 45 54 0D(AT+CGDCONT=1,ip,cmnet); 选择网关和设置IP方式

41 54 53 37 3D 34 35 0D (ATE0V1)

41 54 45 30 56 31 0D 41 54 58 30 44 54 2A 39 39 2A 2A 2A 31 23

0D(ATX0DT*99***1#); 拨号上网，触发LCP配置

通过上述AT指令实现了MC35模块的初始化

2) LCPS配置数据帧

7E FF 7D 23 C0 21 7D 21 7D 21 7D 20 7D 24 D1 B5 7E

LCPS配置帧1，请求LCP配置

7E FF 7D 23 C0 21 7D 24 7D 23 7D 20 7D 26 7D 28 7D 22 E7 F1 7E

LCPS配置帧帧2，拒绝0802配置

7E FF 7D 23 C0 21 7D 23 7D 25 7D 20 7D 28 7D 23 7D 24 C0 23
54 27 7E LCPS 配置帧 3, 修改握手协议配置

7E FF 7D 23 C0 21 7D 22 7D 27 7D 20 7D 3A 7D 21 7D 24 7D 27 D0 7D 22 7D
26 7D 20 7D 2A 7D 20 7D 27 7D 22 7D 25 7D 26 25 C3 FE BB 7D 23 7D 24
C0 23 B9 BC 7E

LCPS 配置帧 4, 同意上述 LCPS 配置, 从而完成 LCPS 配置, 进行入 PAP
配置操作

3) PAP 配置数据帧

7E FF 03 C0 23 01 02 00 0C 03 57 41 50 03 57 41 50 FF B6 7E
发送 PAP 配置的配置密码 (03 57 41 50 03 57 41 50),

4) NCPs 配置数据帧

7E FF 03 80 21 01 03 00 1C 02 06 00 2D 0F 01 03 06 00 00 00 00
81 06 00 00 00 00 83 06 00 00 00 00 C5 B1 7E

NCPs 配置帧 1, 要求取回其上网的 IP 地址、第一网关地址等

7E FF 03 80 21 02 01 00 0A 03 06 0A C8 00 01 05 5D 7E
NCPs 配置数据帧 2, 配置 IP 地址

7E FF 03 80 21 01 04 00 1C 02 06 00 2D 0F 01 03 06 00 00 00
81 06 00 00 00 00 83 06 00 00 00 2C 06 7E

NCPs 配置数据帧 3, 重新发 NCPs 配置数据帧

7E FF 03 80 21 01 06 00 16 03 06 0A C8 01 55 81 06 D3 88 14
CB
83 06 DA C9 04 03 65 C9 7E
NCPs 配置数据帧 4, 确认 NCPs 配置数据帧
通过上述的 NCPs 配置完成了 NCPs 配置, 可以进行下一步操作

5) TCP 连接数据帧

7E FF 03 21 45 00 00 2C 00 00 00 00 40 06 3D E7 0A C8 01 55 DA 46
56 82

04 01 04 00 03 16 A0 00 00 00 00 00 60 02 0B B8 A8 0D 00 00 (TCP 报头)

02 04 02 18

TCP 连接数据帧 1,

7E FF 03 21 45 00 00 28 00 01 00 00 40 06 3D EA 0A C8 01 55 DA 46 56
82 (IP 报头)

04 01 04 00 03 16 A0 01 31 48 5C AE 50 10 0B B8 2E 28 00 00 (TCP 报头)
C4 8F 7E

TCP 连接数据帧 2

7E FF 7D 23 7D 20 21 45 7D 20 7D 20 2C 3F 96 40 7D 20 2D 7D 26 D1 50 DA
46 56 82 7D 2A C8 7D 21 55 IP 报头) 7D 24 7D 20 7D 24 7D 21 31 48 5C AD 7D 23
7D 36 A0 7D 21 60 7D 32 39 7D 28 E9 22 7D 20 7D 20 (TCP 报头) 7D 22 7D 24 7D
25 AC 7D 2A 7D 20 7E

TCP 连接数据帧 3

通过上述配置实现了 GPRS 调制解调器和监控中心之间的 TCP 连接，从而 GPRS 调制解调器和监控中心之间可以交换数据了

6) GPRS 发送 5 个 F 的数据帧

单片机发送给 MC35 的数据，F 的十六进制数为 0x46；

7E FF 03 21 45 00 00 2D 00 02 00 00

40 06 3D E4 0A C8 01 55 DA 46 56 82

04 01 04 00 03 16 A0 01 31 48 5C AE

50 18 0B B8 5B 8E 00 00 46 46 46 46

46 C7 DA 7E 00 00 00 00 00 00 00 0

② 限于篇幅, MC35 模块返回给单片机的数据帧和发送大量数据的数据帧这里不再给出

7.3 恒压供水远程监控系统恒压控制模拟实验

7.3.1 实验设备组成如图 7-2 所示：

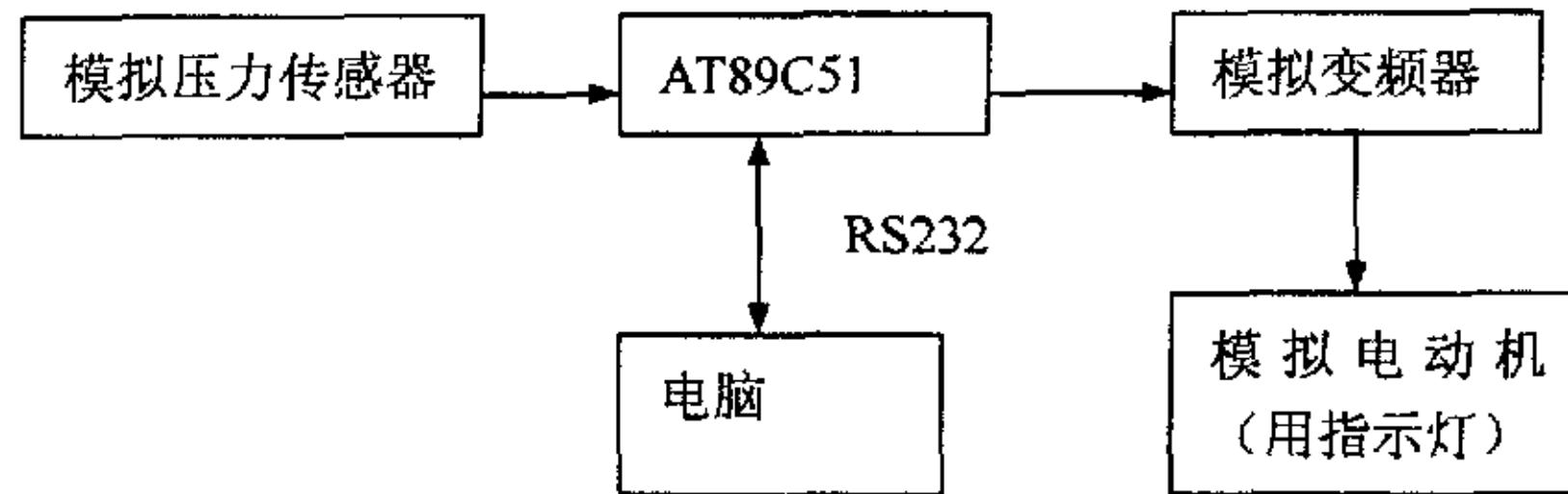


图 7-2 模拟恒压供水子系统组成框图

说明：

- 模拟压力传感器用一个模拟电压代替（能在 0V~5V 之间连续变化）
- 该实验的作用是模拟恒压供水子系统模拟了恒压供水的工作原理和变频原理。
- 电脑中要有串口收发程序，其波特率设置为 9600bps。

7.3.2 恒压供水远程监控系统恒压控制模拟实验的测试结果

由于时间和资金问题，传感器、变频器的实验部分没有完全完成。但做了一个模拟演示实验，用来模拟了恒压供水远程监控系统的工作原理。采用电位器代替压力传感器，用批示灯代替电动机。当调节电位器时，指示灯的闪烁跟随变化，而且指示灯的闪烁频率还可由电脑控制。虽然该实验只是定性地对恒压供水远程监控系统进行模拟，其意义不是很大，但基本上模拟了恒压供水远程监控系统的恒压控制原理，达到了实验的要求。

总结

本文根据恒压供水系统的通信特点，自行成功地设计了专用 GPRS 调制解调器，它能完全满足恒压供水远程监控系统的通信要求，而且其硬件成本低（比现有的其它 GPRS 调制解调器），通信可靠（采用 TCP 协议的和校验和 PPP 的 CRC-CCITT 校验），性能稳定，采用了多种措施防止程序进入死循环。

采用现有的传感器、自己设计的信号检测处理电路和处理软件实现了该系统所要求的信号检测和处理。

采用现有的 SPWM 波生成集成电路、IPM 模块、8253 定时器实现了变频。

采用了功能强大的 SM2965 单片式片机实现恒压供水子系统的测控功能和通信功能。

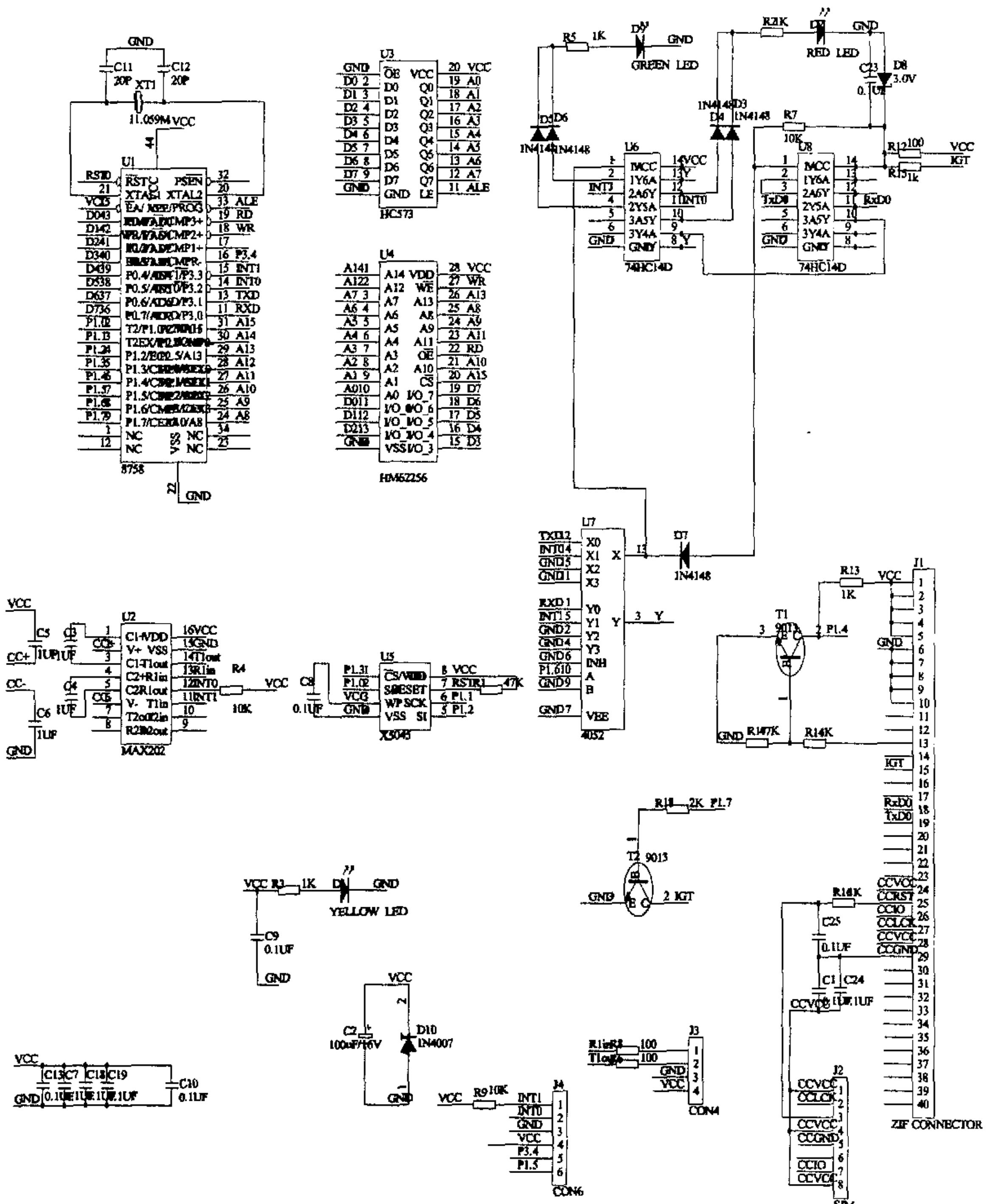
在单片机采用汇编语言编写的 FFT 程序，使在单片机系统中进行故障分析成为现实，从而达到实时性的要求。

本论文的主要研究成果如下：

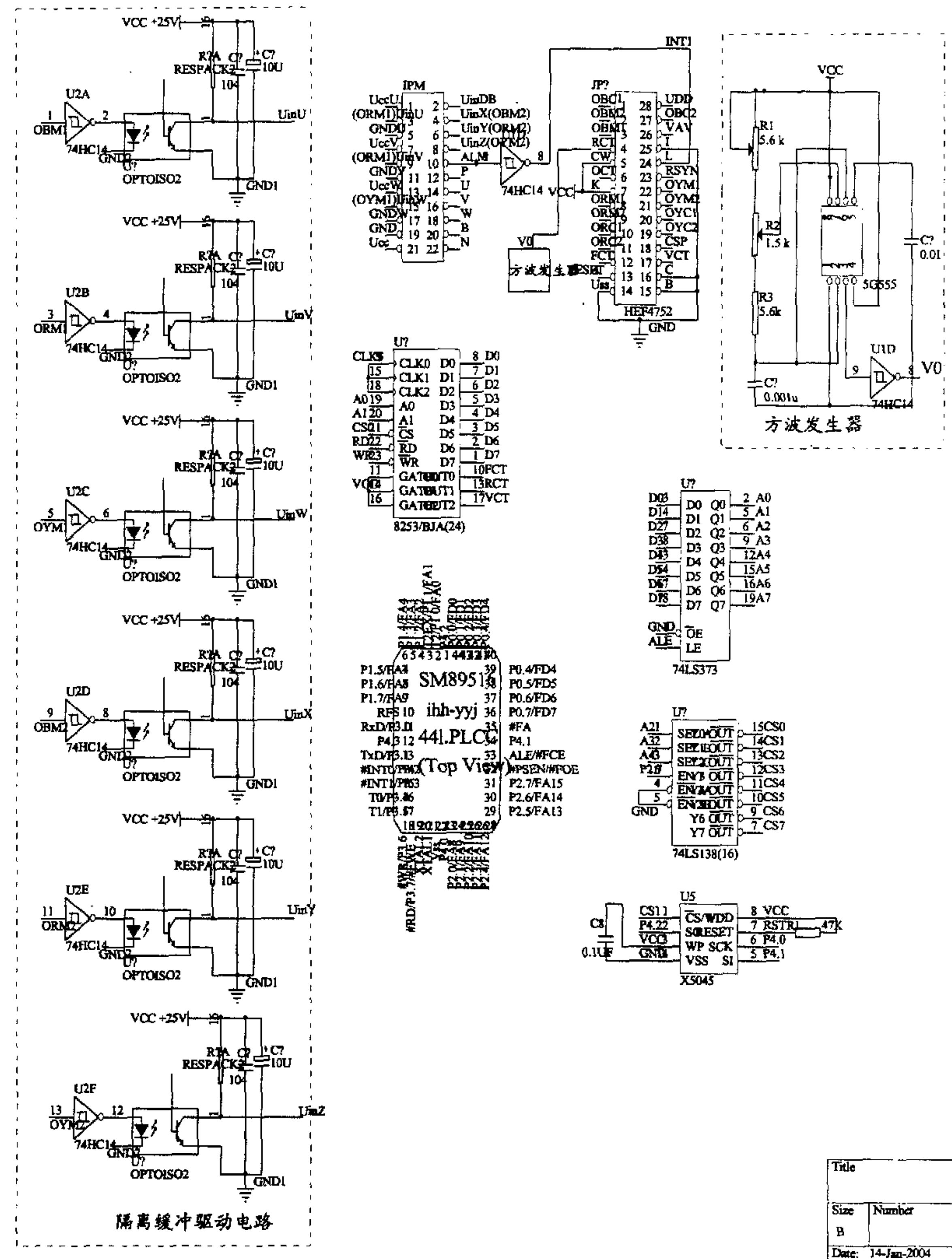
- 1、GPRS 调制解调器的软件和硬件。
- 2、变频器的设计，该部分的实验由于实验费用问题，未能完全实现，只是用硬件模拟了它的基本工作原理。
- 3、信号检测和处理电路及其处理软件，该部分的硬件也未能实现。
- 4、FFT 的 C 语言和汇编语言程序。
- 5、循环冗余校验码 CRC-16，CRC-CCITT 的 C 语言和汇编语言程序。
- 6、电机驱动电路及该系统的所有电路原理图

附录 A 电路原理图

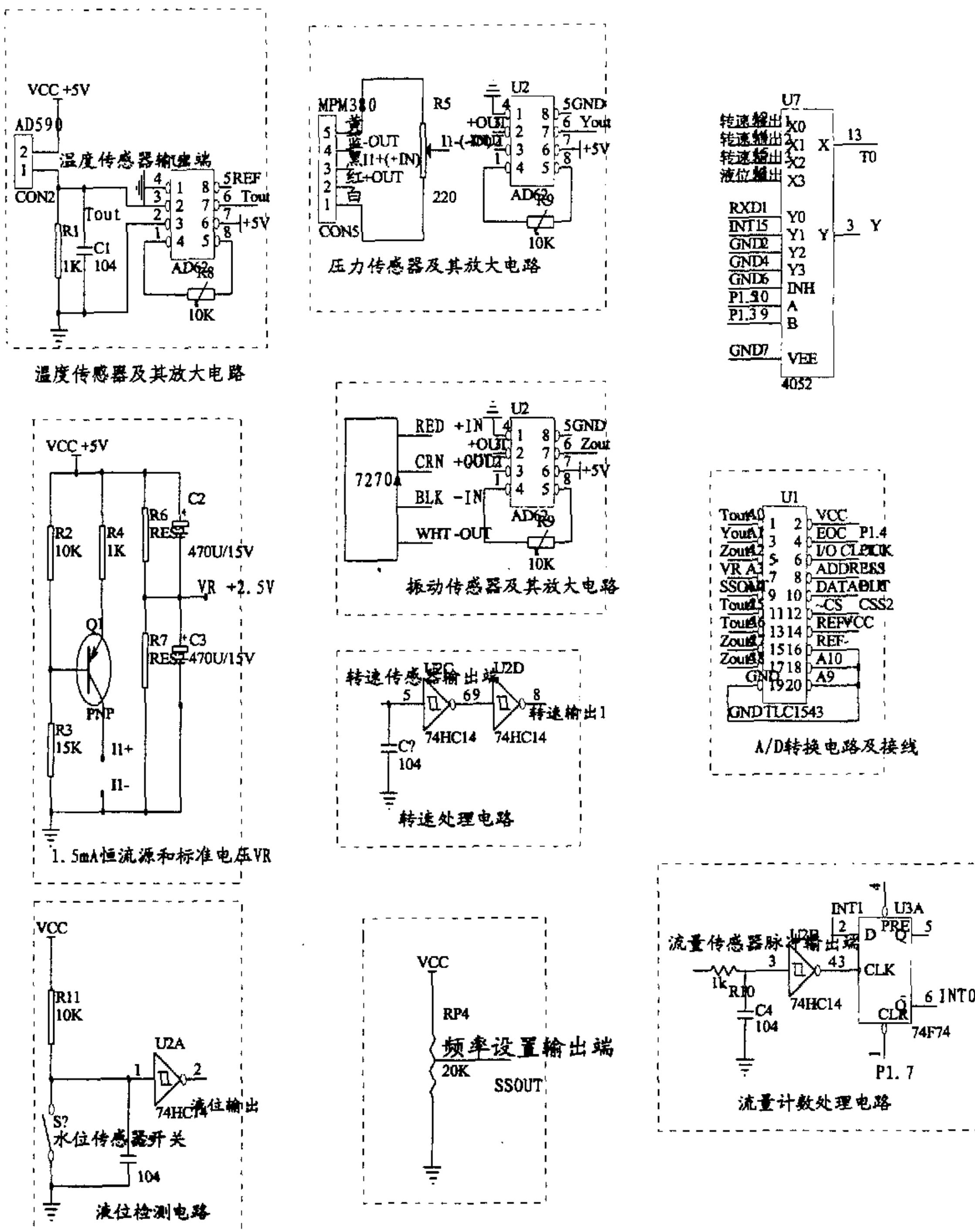
一、GPRS 调制解调器电路原理图



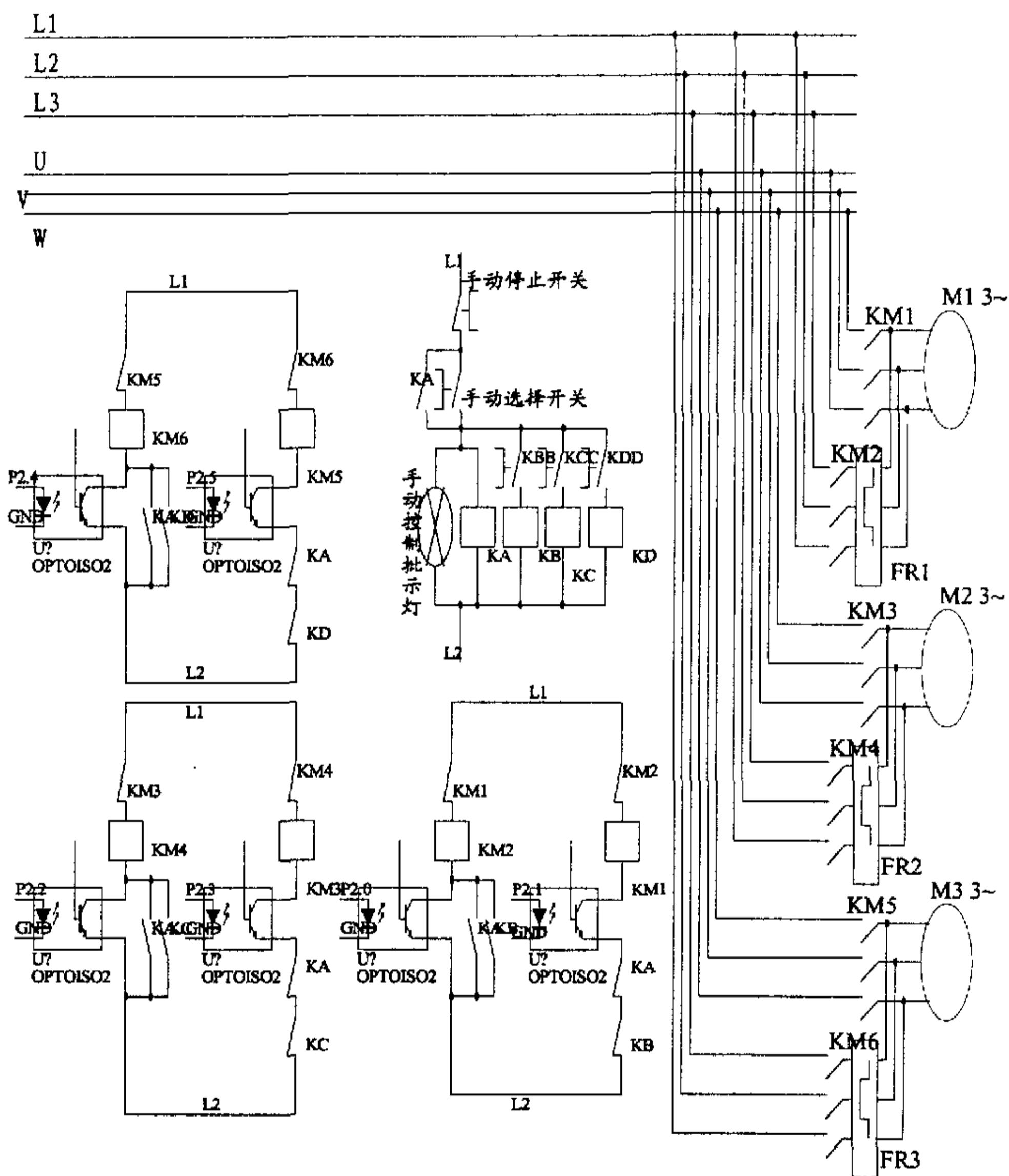
二、单片机系统原理图



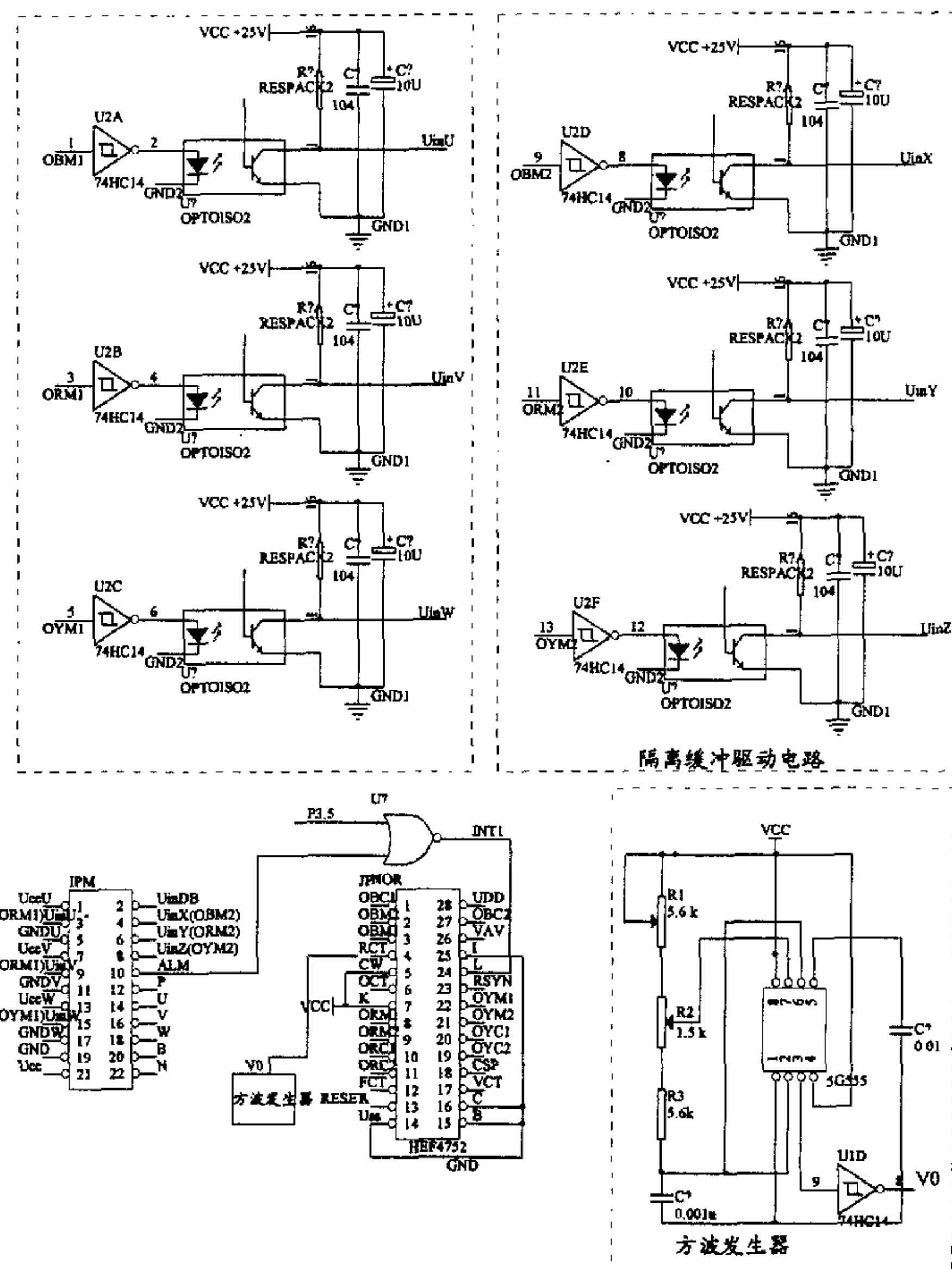
三、传感器及其检测电电路原理图



四、水泵电机驱动电路原理图



五、变频器电路原理图



致谢

借此机会，我首先要衷心感谢我的导师孙晓松副教授，在我学习的三年时间里，孙老师严谨的治学作风，认真的工作态度都给我留下了深刻的印象。本篇论文在完成的过程中，从开题到最后成稿，无不倾注了孙老师大量的心血，并为此耗费了大量的时间和精力，谨以本文向孙老师表达我最诚挚的谢意和尊敬！

感谢我的父母和妻子，他们长期以来支持我，鼓励我，关心我，使我顺利地完成论文和研究工作。

最后，对于在我学习过程中所有给予我帮助、关心、支持的人们表示感谢！

附件

发表论文

- 1、孙晓松, 何志明, 傅先凤, 脉冲式电能表集成采集终端的设计, 电子工程师, 2003-9: 39—42。
- 2、何志明, 孙晓松, 傅先凤, GPRS 调制解调器的设计及其在电力系统中的应用, 现代科学仪器, 2004-4: 。
- 3、孙晓松, 傅先凤, 何志明, 专用 GPRS 调制解调器的设计及其在仪表中的应用, 电测与仪表, 2004-4: 37-39。
- 4、何志明, 孙晓松, 傅先凤, 基于 MC35 的 GPRS 调制解调器的设计和应用, 计算机应用研究, 2004-11。

参考文献

- [1] W.Simpson, Network Working Group, RFC1661(The Point-to-Point Protocol (PPP))。
- [2] B.Lloyd, Network Working Group, RFC1334(PPP Authentication Protocols)。
- [3] S.Cobb, Network Working Group, RFC1877 (PPP Internet Protocol Control Protocol Extensions for Name Server Addresses) 。
- [4] G.McGregor, Network Working Group, RFC1332(The PPP Internet Protocol Control Protocol (IPCP))。
- [5] MC35 的 AT 指令 (MC35_atc_01_v0500) , 可网上下载
- [6] MC35 的硬件使用手册 (MC35_hd_01_v0500), 可网上下载
- [7] 谢希仁译 .TCP/IP 协议族. 清华大学出版社, 2001-9
- [8] 钟章队 蒋文怡 等.GPRS 通用分组无线业务. 人民邮电出版社, 2001-12
- [9] 郭士秋著. IP 协议体系. 电子工业出版社, 2002-1
- [10] 王新梅 肖国镇 编著 . 纠错码——原理与方法. 西安电子科技大学出版社, 2001-4
- [11] 梁恩主 梁恩维 编著. Protel 99 SE 电路设计与仿真应用. 清华大学出版社, 2000
- [12] 汪晓平 钟军 等 编著. Visual C++ 网络通信协议分析与应用实现. 人民邮电出版社, 2003-2
- [13] 韩启刚 主编. 智能化仪表原理与使用维修. 中国计量出版社, 2002-9
- [14] 曾毅 王效良 吴皓 张朝平 编著. 变频调速控制系统的设计与维修. 山东科学技术出版社, 2002-1
- [15] 李爱文 张承慧 编著. 现代逆变技术及其应用. 科学出版社, 2000-9
- [16] 张燕宾 编著. SPWM 变频调速应用技术. 机械工业出版社, 2002-4
- [17] 张燕宾 主编. 变频调速应用实践. 机械工业出版社, 2001-1
- [18] 杜金城 主编. 电气变频调速设计技术. 中国电力出版社, 2001-6
- [19] 程佩青. 数字信号处理教程. 清华大学出版社, 2001-2
- [20] 何振亚 著. 自适应信号处理. 科学出版社, 2002-4
- [21] 沈福民 编著. 自适应信号处理. 西安电子科技大学出版社, 2001-3
- [22] Gil Held 著. 北京华中兴业科技发展有限公司 译. 语音与数据网络组网. 人民邮电出版社, 2003-1

- [23] 何友 王国宏 陆大金 彭应宁 著. 多传感器信息融合及应用. 电子工业出版社, 2000-11
- [24] 孙传友 孙晓斌 编著. 感测技术基础. 电子工业出版社, 2001-8
- [25] 丁镇生编著. 传感及其遥控遥测技术应用. 电子工业出版社, 2003-1
- [26] 张靖 刘少强 编. 检测技术与系统设计. 中国电力出版社, 2002-1
- [27] 陶永华 主编. 新型 PID 控制及其应用. 机械工业出版社, 2002-11
- [28] 洪水棕 主编. 现代测试技术. 上海交通大学出版社, 2002-5
- [29] 刘君华. 现代检测技术与测试系统设计. 西安交通大学出版社, 1999-4
- [30] 赵继文 主编. 何玉彬 副主编. 传感器与应用电路设计. 科学出版社, 2002-9
- [31] 陈杰 黄鸿 编著. 传感器与检测技术. 高等教育出版社, 2002-8
- [32] Hwei P. Hsu 著. 骆丽 胡健 李哲英 译. 信号与系统. 科学出版社, 2002-11
- [33] 谢志江. 设备状态监测与故障诊断技术. 重庆大学, 1998-2
- [34] 王秀芝. 模糊控制变频调速恒压供水系统的研究与实现. 天津大学硕士论文. 1999-6
- [35] 安大伟. 模糊控制在变频调速水泵控制系统中应用的研究. 天津大学硕士论文. 2000-5
- [36] 郑应文. 二次供水节能优化研究. 福州大学硕士论文. 2001-3
- [37] 黄 鸿. 智能小区的系统设计. 北京理工大学硕士论文. 2002-1-15

独 创 性 声 明

本人声明所呈交的学位论文是本人在导师指导下进行的研究工作及取得的研究成果。据我所知，除了文中特别加以标注和致谢的地方外，论文中不包含其他人已经发表或撰写过的研究成果，也不包含为获得 重庆大学 或其他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谢意。

学位论文作者签名: 何志明 签字日期: 2004 年 5 月 20 日

学 位 论 文 版 权 使用 授 权 书

本学位论文作者完全了解 重庆大学 有关保留、使用学位论文的规定，有权保留并向国家有关部门或机构送交论文的复印件和磁盘，允许论文被查阅和借阅。本人授权 重庆大学 可以将学位论文的全部或部分内容编入有关数据库进行检索，可以采用影印、缩印或扫描等复制手段保存、汇编学位论文。

保密 ()，在 年解密后适用本授权书。

本学位论文属于

不保密 ().

(请只在上述一个括号内打“√”)

学位论文作者签名: 何志明

导师签名: 孙晓松

签字日期: 2004 年 5 月 20 日

签字日期: 2006 年 5 月 20 日