



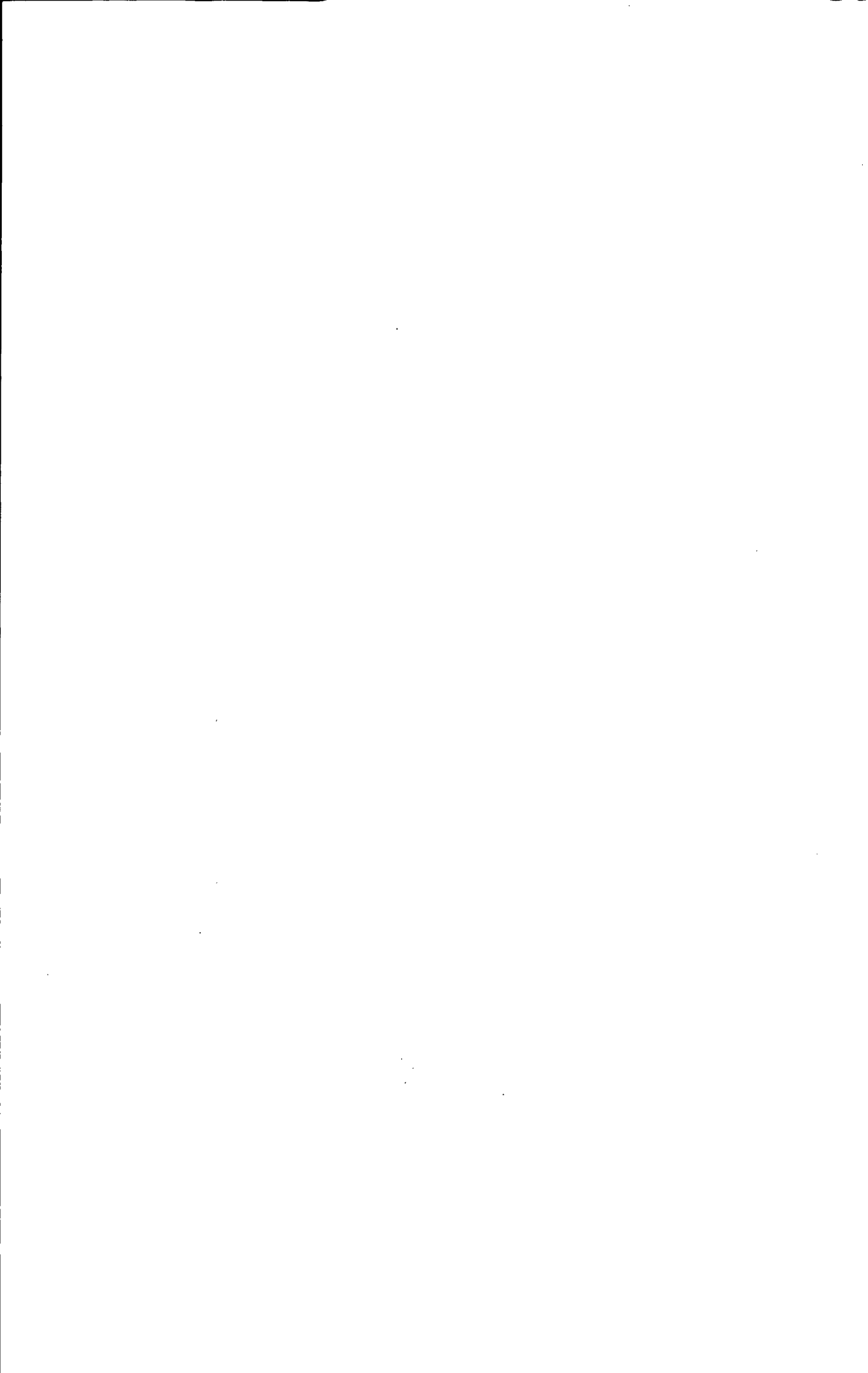
**Researches on Wireless Data Acquisition System of
Tunnel Structure Safety Monitoring**

A Dissertation Submitted for the Degree of Master

Candidate: Jin Xiaozhen

Supervisor: Associate Prof. Wang Haiying

Chang'an University, Xi'an, China



论文独创性声明

本人声明：本人所提交的学位论文是在导师的指导下，独立进行研究工作所取得的成果。除论文中已经注明引用的内容外，对论文的研究做出重要贡献的个人和集体，均已在文中以明确方式标明。本论文中不包含任何未加明确注明的其他个人或集体已经公开发表的成果。

本声明的法律责任由本人承担。

论文作者签名：金晓臻 2010年1月6日

论文知识产权权属声明

本人在导师指导下所完成的论文及相关的职务作品，知识产权归属学校。学校享有以任何方式发表、复制、公开阅览、借阅以及申请专利等权利。本人离校后发表或使用学位论文或与该论文直接相关的学术论文或成果时，署名单位仍然为长安大学。

(保密的论文在解密后应遵守此规定)

论文作者签名：金晓臻 2010年1月6日

导师签名：王海燕 2010年1月6日



摘 要

随着隧道工程的日益增多,隧道的安全影响着交通的发展,也关系着人民的生命和财产安全,因此建立隧道结构安全监测系统,对隧道结构进行实时的远程监测,及时掌握隧道围岩的变化情况,对确保隧道的结构安全,避免事故的发生非常重要。

本文依托实际的隧道项目,在分析了隧道围岩地质条件的基础上,确定了以隧道围岩压力和钢支撑应变为量测对象,选用了相应的应力应变传感器,提出了隧道结构安全监测系统的方案。结合传感器监测技术和无线网络通信技术,设计开发了基于 GPRS 的无线数据采集系统。系统的设计主要包括:传感器监测单元, F/V 转换电路,数据采集和存储单元,无线传输单元,以及相应单元模块的软件。最后对系统进行了调试和试验,试验结果表明数据采集系统能够对数据进行采集,存储,显示以及无线传输,满足系统设计的要求。

本文提出的隧道结构无线数据采集方案,不但可以提高隧道安全监测的自动化程度,节省大量的人力物力,为隧道的施工安全以及隧道的长期运营提供了保障,而且也为其它桥隧结构监测数据采集系统的设计积累经验。

关键词: 隧道, 数据采集, 结构监测, 无线传输

Abstract

Considering the projects of tunnel glowing, and the safety of tunnels being particularly important that impact on developing transport, but also concern with people's lives and property safety, so we have to establish a safety monitoring system of tunnel structure. This system makes the tunnel structure in real-time remote monitored to grasp the information of tunnel surrounding rock changes. It is a crucial to ensure structural safety of tunnel and avoid occurrence of accidents.

According to the acquirement of actual tunnel, firstly the author analyzed the geological conditions of tunnel surrounding rock to determine measured objects including to pressure of tunnel surrounding rock and strain of steel supporting and choose corresponding to stress-strain sensor, then present the implement scheme of safety monitoring system of tunnel structure in this paper. A GPRS-based wireless data acquisition system is designed and developed by the sensor monitoring technology combining with wireless network communication technology in this scheme. System includes sensors monitoring unit, F/V converter, data acquisition and storage unit, wireless transmission unit and software of corresponding modules. Finally, system debugging and testing are carried out to validity the design goal. The results of experiment show that data acquisition system is able to collect, storage, display and wireless transmission data, to meet system design requirements perfectly.

Wireless data acquisition system of tunnel structure is presented in this article. It not only improves automation level of the tunnel structure monitoring, but save amount of man power and material resources. The system is important guarantee for the safe tunnel construction and long-term reliable operation, as well as an example provided for the other bridges and tunnels structure of data acquisition system accumulating experience.

Key words: Tunnel, Data acquisition, Structure monitoring, Wireless transmission

目 录

第一章 绪论.....	1
1.1 项目提出的背景及意义.....	1
1.2 国内外研究现状.....	2
1.3 数据采集系统的无线传输技术.....	3
1.4 论文的主要研究内容和结构.....	3
1.5 本章小结.....	4
第二章 系统总体方案设计.....	5
2.1 复杂地质隧道结构安全监测数据采集系统方案.....	5
2.2 监测项目的选取及传感器的安装.....	6
2.3 无线传输的实现.....	8
2.4 本章小结.....	11
第三章 无线数据采集系统硬件设计.....	12
3.1 数据采集器硬件总体规划.....	12
3.2 应力应变传感器的选型.....	13
3.3 隧道数据采集单元组成.....	18
3.4 硬件抗干扰技术.....	29
3.5 本章小结.....	30
第四章 无线数据采集系统软件设计.....	31
4.1 数据采集系统程序设计.....	31
4.2 GPRS 模块程序设计.....	41
4.3 本章小结.....	45
第五章 系统调试和试验.....	46
5.1 实时时钟和液晶模块试验.....	46
5.2 FLASH 存储试验.....	47
5.3 键盘试验.....	49
5.4 数据采集和串行通信试验.....	51
5.5 GPRS 模块通信试验.....	53
5.6 本章小结.....	55

第六章 总结与展望.....	56
6.1 总结.....	56
6.2 展望.....	56
参考文献.....	58
附 录.....	61
致 谢.....	62

第一章 绪论

1.1 项目提出的背景及意义

随着经济的发展，公路、铁路隧道的建设日益增多，隧道的建设大大缩短了里程，节约了基础建设的投资，在一些发达国家，公路隧道作为高等级公路的一部分得到大量应用。我国的隧道建设起步较晚，技术落后于国外的发达国家，近二十年来我国的隧道建设，尤其公路隧道建设在采用了新奥法之后取得了长足的进步，截止 2003 年年底，我国建成公路隧道 1970 余座，总长度近 1000 公里，而且还在以每年 150 公里的速度增长，这使得我国成为全世界公路隧道最多的国家之一，已建成的全长 18.02 公里的秦岭终南山隧道规模居世界第一。应该说，无论是质还是量，我国在隧道建设方面都取得了很大的成就。

新奥法施工监测是奥地利教授 L.V.Rabcewicz 在长期的隧道施工实践中提出的一种合理的隧道施工方法，它运用手工测试、喷锚技术与岩石理论相结合的方式^[1,2]，能对隧道施工过程进行量测，在避免施工期间事故方面发挥了很大的作用。但是相当一部分事故是在隧道建成运营以后发生的，由于建成年代较早以及地质的恶化，隧道的病害日益突出，存在着诸如衬砌结构裂损、变形、掉块和渗漏水等问题。严重影响了隧道的正常运营，危及过往车辆的安全。

其中几次重大事件如：1996 年 2 月，日本 FURUBIRA 隧道由于山体断层活动发生局部崩塌，将一辆客车掩埋在数千吨岩石之下，造成客车内全部驾乘人员死亡；2000 年 11 月，奥地利阿尔卑斯山区内一条穿越 Kitzsteinhorn 山的隧道发生火灾，造成隧道内通行的一辆列车着火，死亡 156 人；2004 年 8 月，印度特里水电站施工地点附近一条隧道突然坍塌，造成至少 28 名工作人员死亡；2005 年 1 月，我国台州缙云高速公路缙云县壶镇括苍隧道段的山体突然发生塌方，致使正在作业的工人 2 人当场死亡，6 人受伤。诸多隧道事故告诉世人，隧道稳定与否直接关系到人民生命安全。

隧道事故的频频发生，以及隧道建设的不断发展，人们对隧道的质量和寿命越来越重视，如何对现运营隧道以及新建隧道进行健康诊断和灾害防治成为隧道工程的重要研究课题。

本文所依托的工程是：柞小高速公路镇安隧道的结构安全监测。镇安隧道段 (RK101+480) 地质为断层角砾石，黑色—深灰色泥炭质结构，围岩呈粉末及泥糊状，

难以直立, 导致初期支护拱顶严重失稳下沉, 多处开裂, 并且钢支撑严重变形。

针对以上镇安隧道的复杂地质情况, 本文提出了复杂地质隧道结构安全监测方案, 在隧道的围岩和钢支撑上安装了传感器, 设计了基于 GPRS 的专用数据采集器。可以实时的采集, 存储和发送数据, 通过对采集数据的分析得出相应的结论, 指导隧道的安全施工, 并且可以监测通车后的隧道结构状况, 为隧道的维护和评估提供依据, 以保障隧道的安全运营。

1.2 国内外研究现状

国内外的一些专家在隧道的监测方面做了大量的工作, 为隧道的监测提供了很好的借鉴和参考。在国外, 荷兰于 2000 年对 Botlek 铁路隧道施工过程进行了土木衬砌、结构特性以及隧道动力现状等方面的监测, 并将隧道施工过程大量的监测数据用于指导施工^[4]。韩国在高速铁路 (HSR) 隧道安装了健康监测系统, 对内部衬砌形变、喷射混凝土应力、地下水水位以及其它问题进行实时监测或周期性监测 (Lee J.S.2001), 在多数情况下该系统会周期性的将变形数据与所设定的安全标准做对比, 当形变超过某一程度, 系统会自动向维护工程师发送报警信号。Lee J.S.于 2004 年利用健康监测系统采集的隧道变形数据, 通过一种新的系统识别方法来判断隧道的损伤和损伤部位^[5]。葡萄牙里斯本 ITS 技术大学地质技术中心 C. Dinis da Gama 认为, 对隧道建设及运营的安全性需要, 要求可靠的检测和数据处理方法。瑞士 Aemberg Measuring Technique 公司研制了一套全自动隧道断面收敛及投射系统 TMS。它是由 Leica TPS 激光全站仪加上伺服马达驱动定位装置, 再配合即时收敛及投射软件组成。韩国 Aceco 公司研发了 VW 隧道收敛监测系统。该系统能够较为便捷的测量出隧道开挖过程中出现的各种变形、倾斜。

在国内, 王秀美、曾卓乔于 2001 年开发了一种用于监测运营期间对周边位移进行监测的新技术^[6]。黄腾、张书丰于 2004 年结合南京地铁一号线隧道下穿公路隧道的具体工程实践, 探讨了两种不同类型隧道的监测技术, 分析了隧道穿越公路隧道过程中监测数据的变化规律, 用于工程实践, 保证了隧道结构和周边环境的安全^[8]。基康仪器 (北京) 有限公司李冠军对使用位移和倾斜传感器监测隧道断面收敛变形的可行性进行了探讨。在监测信息系统方面, 吉林大学建设工程学院王慧从隧道信息化设计与施工技术的特点出发, 论述了现场监测的必要性, 综合考虑了定性与定量的监测信息, 在对各种信息全面分析的基础上, 去粗取精, 提出了围压、收敛变形与现场工程地质描述几种切合工程实际的监测方法。

从以上国内外的研究实例看出, 针对隧道施工期间的量测较多, 而对隧道建成运营后的监测较少, 而只有通过隧道运营的长期监测, 才能及时的掌握隧道的健康状况, 防患于未然。

1.3 数据采集系统的无线传输技术

对于公路隧道的安全健康检测, 最初的检测手段多根据肉眼观察结果进行判断, 受人为因素影响较大, 存在着效率低, 准确性差的问题。为了探询运营隧道内部病害的真正原因, 常采用钻孔法, 钻孔检测虽直观, 但检测速度慢, 同时破坏隧道防排水系统, 影响隧道寿命, 检测结果代表性差, 难以全面反映隧道整体及各部位质量。根据国内外的经验和实践, 对隧道进行长期安全健康监测与预警的开发被提上日程。

因为多数隧道处于山区, 地处偏远, 现场数据采集很不方便, 对于人力物力是极大的浪费。随着计算机技术和通信技术的发展, 使得人们对隧道的结构进行远程的监测成为可能, 突破了数据采集器现场对数据进行采集、处理、显示、存储方式的局限。远程监测较为先进的技术为 GPRS 技术。

GPRS 技术已广泛应用于银行、电信网点联网; 电力、煤气、自来水远程集中抄表系统; 智能交通系统、交通流量监控; 地质灾害、气象、水文、环保信息采集和报警等。本文就是将 GPRS 模块链接 Internet 网络, 对隧道的健康状况信息进行传输, 并可以通过远程监控中心发出指令操纵数据采集器进行数据的采集, 进而达到远程采集和监控的目的。

1.4 论文的主要研究内容和结构

为了能够长期、有效、方便快捷的监测隧道的健康状况, 掌握隧道围岩结构的变化规律, 系统需要满足施工期间以及隧道运营后长期的远程自动监测。基于以上需求, 本文提出了复杂地质隧道结构安全监测方案, 并开发了一种基于单片机的无线数据采集系统, 用于传感器数据的实时采集、存储、发送。

该系统主要由位于现场的围岩压力和钢支撑应变监测装置以及 GPRS 无线通信模块组成。通过在隧道施工期间, 选定隧道中特殊位置布设压力传感器和应变传感器, 对围岩压力和钢支撑应变进行量测, 采用低功耗, 高性能的 MSP430FG439 单片机设计专用的数据采集器, 控制传感器采集, 并将数据保存到 FLASH 存储器中, 可以实时地传输给上位机或者直接通过 GPRS 网络远程传输到远程监控中心。

论文分为以下五章，对上述内容的理论、系统的实现和测试进行详尽的阐述。

第一章 绪论，介绍了本课题的研究背景、意义以及国内外发展现状。

第二章 系统总体设计，包括了围岩压力和钢支撑量测项目的分析，以及压力盒和应变计的布设研究，GPRS 无线远程通信的实现研究。

第三章 系统硬件设计，包括与传感器相连的 F/V 转换电路设计，数据采集器的硬件设计包括了各种模块的电路设计和电源的设计。

第四章 系统软件设计，包括了各种外围模块子系统的软件设计，上位机的串行通信程序设计，以及 GPRS 网络的通信和监控中心接收数据的程序设计。

第五章 系统调试与试验，通过试验演示系统的软硬件测试效果。

1.5 本章小结

本章首先介绍了隧道安全隐患会对国家财产和人们生命安全带来巨大的损失和伤害，说明了对隧道结构进行施工及运营期安全监测的重要性和必要性。并介绍了本项目依托工程的复杂地质条件，从国内外的研究现状出发，确定了基于 GPRS 的复杂地质隧道安全监测数据采集系统的研究目标。本章简单介绍论文基本结构，后续章节将对具体内容进行详细的阐述。

第二章 系统总体方案设计

根据隧道结构远程自动监测技术的项目需求,本文设计了基于低功耗、高性能单片机 MSP430FG439 的数据采集器,并嵌入 GPRS 无线模块,通过 GPRS 模块连接 Internet 网络,并将数据传输到管理中心。该系统建立在传感器进行长期、实时的数据采集的基础上,系统务求连续的完成数据的采集,存储和传输。基于单片机的隧道数据采集系统将传感器技术、计算机技术和通信技术结合起来,方便隧道远程监控中心管理人员对隧道结构健康状况信息的掌握和管理。本章节重点就隧道监测传感器的布设和远程传输技术进行研究分析。

2.1 复杂地质隧道结构安全监测数据采集系统方案

根据隧道的具体特点,设计无线监测系统可以分为三个部分,即:传感器监测系统设计、数据采集器的设计和监控中心。第一部分为获取隧道结构应力应变数据的传感器监测系统,设计对传感器的选择和布置,以及设计传感器与数据采集器的通道,以便数据采集器控制传感器定时采集。第二部分为数据采集器的设计。这一部分中包含数据的处理和传输,和一部分数据的暂时存储,并且涉及 GPRS 网络的链接,需要采用 RS232 串口和 GPRS 模块相连接,可以通过对模块的设置来完成。第三部分为远程的监控中心部分,远程监控中心需要建立数据库以存储大量的隧道监测数据,以及对用户界面进行设计,以便数据的显示和查询。具体设计框图如图 2.1 所示,其中虚线方框图中为第一部分与第二部分,布置于隧道的现场。

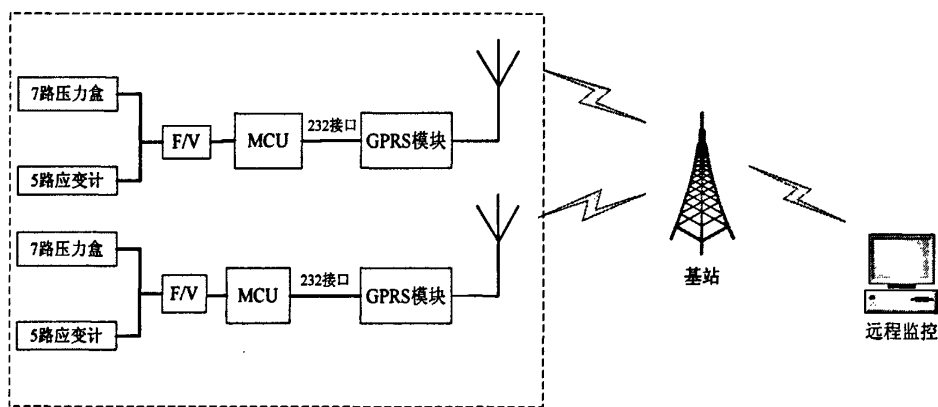


图 2.1 隧道监测无线数据采集系统框图

2.2 监测项目的选取及传感器的安装

2.2.1 监测项目的选取

随着公路隧道工程数量的增加和建设速度的加快,隧道的监测技术作为质量管理的手段越来越被人们重视,隧道检测技术内容较多、涉及面也很广泛,归结起来主要有:材料监测、施工监测、环境监测。其中施工监测包括施工质量检测 and 施工监控量测^[2]。在隧道开挖时通过各种仪表和工具对围岩、支护、衬砌等力学行为以及它们之间的项目关系进行观察、量测、评价其稳定性,统称施工监控量测。施工监控量测对于判断围岩、衬砌的稳定性,确保施工安全,指导下一步的施工、进行施工管理都具有重要的意义。本文选取施工监控量测中的隧道围岩压力量测和钢支撑应变的量测作为监测项目。

(1) 围岩压力量测^[1,2]

隧道开挖以后,围岩要向净空方向变形,而支护结构主要用于防止这种形变,这样就会产生围岩作用于支护结构的围岩压力,所谓围岩压力的量测通常是指围岩与支护、喷层和二次衬砌之间的接触压力量测。其方法是在围岩和支护或者两层支护之间布设各种压力传感器,用于检测围岩的压力值,以判断围岩和支护的稳定情况。

(2) 钢支撑应力量测^[1,2]

早期围岩的压力增长较快,需要提高初期支护的强度,开挖后需要采用钢支撑进行支护,可采用工字钢支撑或者格栅支撑,通过对钢支撑应力的量测,可以了解钢支撑的受力状态,以及判断压力作用下钢支撑的安全系数,可知围岩和支护的稳定性,确定是否需要加固以确保施工安全。在做钢支撑应力应变量测时,需要注意根据围岩的自身情况做出监测计划,再根据监测计划布设传感器。

基于上面的分析,监测中选定围岩压力和钢支撑压力作为量测对象,为应力应变传感器的选择和布设奠定基础。

2.2.2 传感器的安装

(1) 压力盒的布设和安装

在压力盒安装过程中,测试前必须根据具体的情况做出观测设计,再根据观测设计来布置和埋设压力盒。施工中我们采用压力盒对支护结构上应力的测量,在实际应用时,将压力盒与钢筋一起绑扎在结构骨架中的指定位置,压力盒在喷射混凝土之前埋设,浇筑混凝土后埋于混凝土中,压力盒的安装主要是用来测量围岩压力,沿隧道周边拱顶、拱腰及边墙在喷射混凝土内埋设7个压力盒,除顶部压力盒外,两侧压力盒呈对称分布。

喷射混凝土达到初凝强度时开始测取读数。具体的压力盒测点分布和现场安装图分别如图 2.2 和图 2.3 所示^[2]：

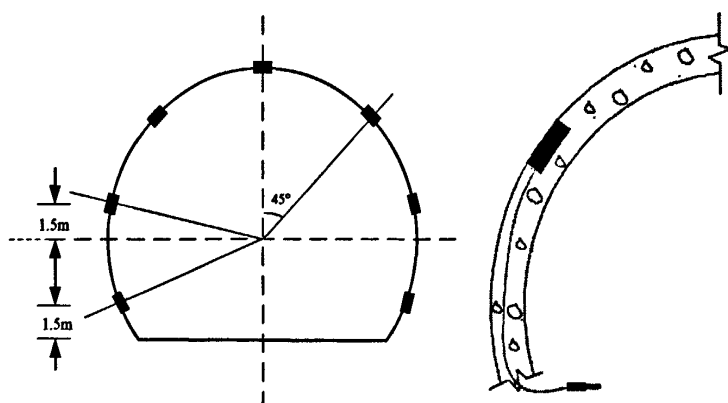


图 2.2 压力盒测点布置图

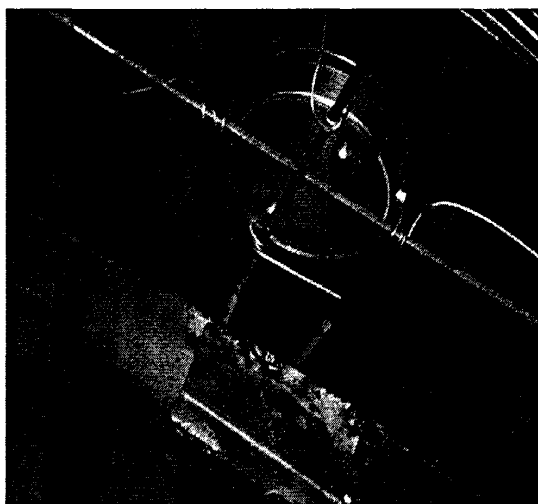


图 2.3 压力盒现场安装示意图

(2) 应变计的布设和安装

应变计的安装主要用于测量钢支撑的应变。将应变计焊接在内侧(隧道一侧)，如果有条件时，在同一位置点内、外侧各焊接一个应变计。钢支撑安装完以后即可测取读数，量测断面测点布置位置与喷射混凝土轴向应力测点布置位置相同。本实例在隧道钢支撑结构上安装了 5 个应变计。这五个应变计在拱顶位置和边墙位置低于压力盒 1 米左右的。具体的应变计测点布置图如图 2.4 所示：

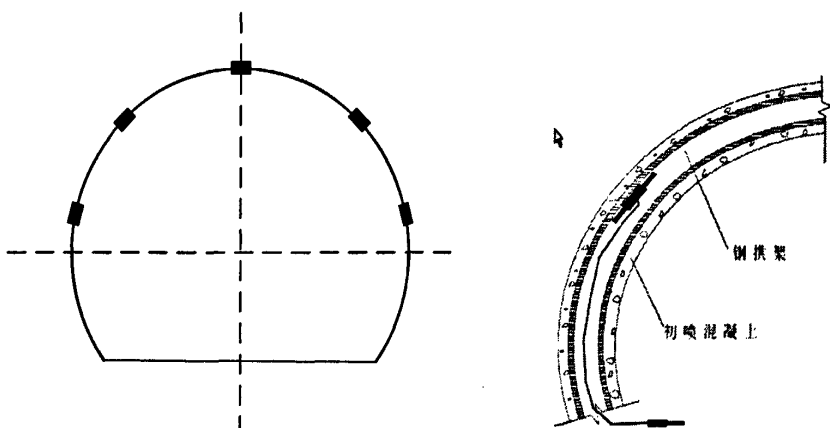


图 2.4 应变计的测点布置图

在传感器的布设时，应该使受压面向着围岩，需要为各个测点编好编号，使之与对应的传感器一致，否则会导致混淆，造成测点数值的不一致。另外需要对传感器、电缆线注意保护，防止埋设不当时引起传感器不能工作。压力盒和应变计要固定结实，防止因为安装不当对数据产生影响。电缆线要及时整理，防止造成混乱。尽量避免一些人为的破坏因素。

安装完毕后，采用定期测量的方法，对采集的数值实时的记录保存，通过一段时间的现场观测和数据的分析以达到判断围岩和支护结构稳定性的目的，指导后续的施工。

2.3 无线传输的实现

目前比较常用的无线传输技术有 GSM 和 GPRS 两种。GSM 是全球通信系统（即全球通）的简称，第二代通信技术的实现可以让全球共同使用一个网络标准，是目前全球最大的通信网络，采用分时多址的通信方式，将频率分段，提高利用率。使用短消息方式传输数据。

GPRS 是通用无线业务的简称，是在 GSM 网络基础上发展起来的，它在移动用户和数据网络之间提供了一种连接，给移动用户提供高速无线 IP。它将无线通信与 Internet 紧密结合。采用 GPRS 无线通信技术具有覆盖范围广，无空间和距离限制，组网灵活，扩展容易，运行费用低，维护简单，性价比高等优点。GPRS 和 GSM 的本质区别在于：GSM 是电路交换系统，GPRS 是分组交换系统，相比 GSM 系统，GPRS 优势主要体现在：实时在线，可以随时与网络保持联系，而 GSM 的短信方式无法做到实时在线，短消息在中心服务器中的保留期限一般为一天，按量收费，GPRS 以流量收费，没有流量不收费，只有发送和接受数据时才占用资源，提高了资源的利用率，而 GSM 是按时间

收费,在连接期内,即使没有数据传送也会占用信道;连接时间,每次使用 GPRS 数据业务时,激活的时间大约只需要 1-3 秒,激活后即可连入互联网,而 GSM 建立连接的时间需要 10-30 秒;传输速率,在 GPRS 无线传输的速率在理论上可以达到 171KPS,虽然受网络编码、无线环境等因素影响,目前的接入速度约为 40KPS,也远大于 GSM 只有 9.6KPS 的访问速度。

2.3.1 GPRS 组网方式

在考虑网络连接时,应该根据不同的环境和需要考虑 GPRS 网络的连接方式,数据可以以不同的组网方式进行传输。GPRS 的组网方式总体来说可以分为两个类,一类是数据需要经过 GPRS 网络+Internet 网络两种方式结合起来进行传输。第二类是数据只经过 GPRS 网络传输,目前第一类应用较为普遍。

在第一类中又分为 Internet 公网固定 IP 和公网动态 IP+DNS 两种。

1、公网固定 IP^[10]。GPRS 模块每次上线得到的 IP 地址可能不一样,IP 地址不一样的话就无法完成连接,于是引入固定 IP 的连接方法,将 IP 地址先写入 GPRS 模块中。在 GPRS 模块上电后,向监控中心发起 Internet 连接,将固定的 IP 地址发送给监控中心,采集器 GPRS 模块的 IP 地址就是 GPRS 网络的 IP 地址,因此可以完成连接,从而完成双向通信,方案中需要 GPRS 网络和 Internet 网络的结合,在监控中心加路由器连接,连接之间需要向 Internet 运营商申请 ADSL 宽带业务。此种方法运行稳定可靠,通信速度快,但是由于拥有固定 IP 地址,因此运营成本高,不适合小规模应用。

2、动态 IP+DNS 解析。由于拥有固定 IP 费用比较高,也可以应用动态 IP+DNS 的组网方式,不同的是在采集器 GPRS 内写入域名,在数据采集器接上 Internet 网络后,与 DNS 服务器联络,DNS 服务器负责找到 Internet 网络动态 IP 地址,建立连接。此种方法大大节约了公网固定 IP 的费用,适合小规模应用,但缺点是稳定性受制于 DNS 服务器的稳定。

第二类中只经过 GPRS 网络可以分为两种,分别是分别需要双 DTU 和 APN 专线。

1、监控中心采用主副双 GPRS MODEM 或模块。相当于主副 GPRS 代替 Internet 完成连接,实际为监控中心传输为无线方式不如上述第一类有线方式稳定。所以需要两个 DTU 作为备份。应用动态 IP+DNS 解析方式,由于无线和 DNS 稳定性的原因,导致实时性和稳定性较差,而应用固定 IP 的方法相对安全稳定,但需要负担监控中心两个 DTU 的费用,所以两种方式在小规模应用中也都不是理想。

2、APN 专线^[10]。监控中心采用 APN 专线，所有点都采用内网固定 IP。此方案也不需要 Internet 网络，APN 专线直接接入移动公司的 GPRS 网络，为客户分配专用的 APN 专线，一般来说，普通的用户不允许使用 APN 专线。GPRS 模块连接的 SIM 卡也只用于开通 APN 专线，同时也不允许再有其他的 APN 专线的申请。获取 APN 专线以后，在数据采集器和监控中心之间的 GPRS 网络中都采用固定的 IP。在此网络中加有防火墙的隔离效果，数据安全性好，实时性好，总体通信的质量和速度都比其他的链接方式更好，但这种组网方式的价格也相对较高主要应用于大规模的环境、电力、金融方面的监控系统。

综述以上几种组网的方式可以看出，适用于小规模监控系统的只有 GPRS 网络+Internet 网络方式中的动态 IP+DNS 解析方式和双 GPRS 动态 IP 的方式，但是较之后者，前者的有线方式在稳定性和实时方面更有优势。所以本文采用 GPRS 网络+Internet 网络方式中的动态 IP+DNS 解析方式。

2.3.2 GPRS 的通信原理

基于上节的分析，本章节主要介绍 GPRS 网络+Internet 网络方式中的动态 IP+DNS 解析方式的通信原理。因为 GPRS 网络是在 GSM 网络发展起来的，并且完全可以利用已有的 GSM 网络和已有的基站完成 GPRS 网络的覆盖。基于 GPRS 的无线通信原理如图 2.5 所示：

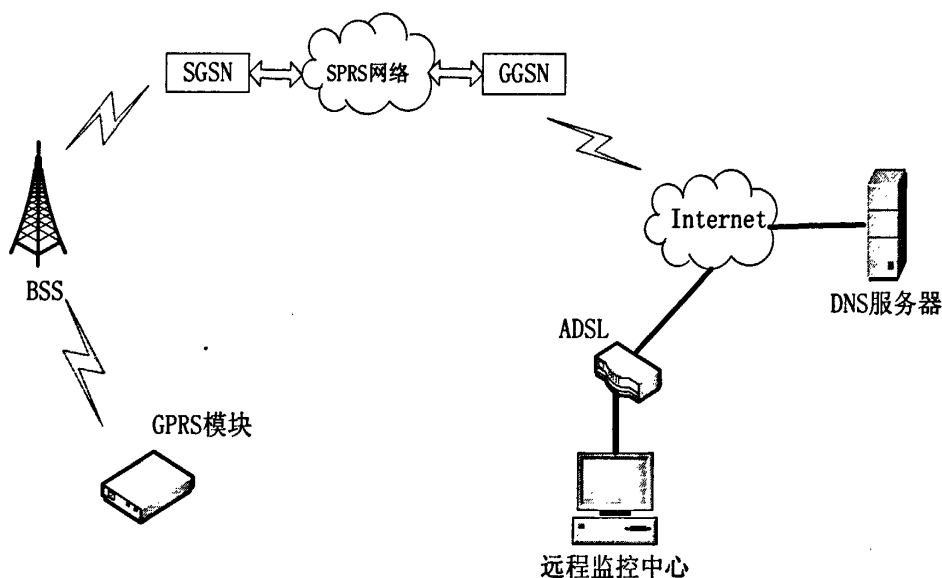


图 2.5 GPRS 通信原理框图

数据采集终端连接有 GPRS 模块，将隧道采集的数据无线传输，数据经过基站子

系统 (BSS) 实时发送给 GPRS 网络, GPRS 和 Internet 网络是实现数据采集系统和远程监控中心数据交换的桥梁。GPRS 网络比 GSM 网络多加了 GPRS 服务支持节点 (SGSN) 和 GPRS 网关支持节点 (GGSN), 当 GPRS 模块上电初始化后与 BSS 通过空中互连, 经过数据中心交换后, 通过 GPRS 服务节点接到 GSM 的主干网。再通过点对点协议 (PPP) 和网关支持节点进行协商, 向远程的监控中心申请连接, 建立 PPP 链路, 只有在整个协商完成后才可以进行 GPRS 网络和 Internet 网络的连接。由于采用动态 IP 的方式, 需要使 Internet 的域名与 IP 地址相对应, 这就需要用到域名解析服务器 (DNS), 保证 GPRS 上线时都能找到相应的动态 IP 地址。从而实现数据采集终端和 Internet 的连接, 在通过 Internet 网络将数据传送给监控中心的服务器。在连接远程监控中心时需要 ADSL 路由器与远程监控中心进行有线连接, 通信过程大致可以分为以下四个部分^[10]:

① 数据采集器的 GPRS 模块通过点对点协议登录 GPRS 网络, 获得 GPRS 网内的 IP 地址;

② GPRS 模块使用数据中心服务器的 Internet 上的 IP 地址与监控中心建立 TCP 连接, 这时 TCP 会握手已经请求的 IP 地址, 通过 GPRS 内网与 Internet 连接的网关传送到远程监控中心。

③ 数据中心收到请求后, 发送响应经过 GPRS 网关的地址映射转换 (需要用到 DNS) 传送到采集器的 GPRS 模块。

④ 最后建立连接, 进行数据传输。

2.4 本章小结

本章首先介绍了隧道结构安全监测项目的选取, 遵循隧道内监测项目的选取原则, 最终选择了围岩压力、钢支撑应变作为检测对象, 介绍了压力盒和应变计的现场布设和安装方案。然后介绍了数据采集系统的总体设计方案, 说明了无线传输方式的选取, 确定了以 GPRS 网络的无线通信方式, 并且介绍了 GPRS 的组网方式, 工作原理及其实现。本章提出了设计的总体思想, 搭建了总体框架, 并对数据的采集和传输部分进行了阐述, 为接下来用数据采集器的设计以实现数据的采集和传输打下基础。

第三章 无线数据采集系统硬件设计

整个隧道监测项目中，数据采集系统的硬件设计是复杂地质隧道结构安全监测系统的基础和核心。它负责采集传感器的应力应变信号，并将这些信号进行 F/V 转换，由单片机的 A/D 转换模块将输入的模拟信号转换为数字信号，并将转换后的数据经过单片机的 RS232 串口通信传送到 PC 上位机进行现场的数据采集。由于隧道多数地处偏远，现场对隧道进行应力应变数据采集很不方便。要做到对数据及时的采集和处理，我们又设计了 GPRS 无线传输，数据可以通过 GPRS 无线通信模块以及 GPRS 网络连接 Internet 网络将数据传送给远程的监测中心。这部分主要是自带电池供电，所以设计时候考虑最大程度的降低功耗，以保证长时间的正常工作。其次，基于隧道的实际情况，在元器件的选择上要注意温度参数，元器件必须能够在低温条件下工作，以上两点是电路设计过程中始终贯穿的原则。

3.1 数据采集器硬件总体规划

整个系统的电路框图如图 3.1 所示：

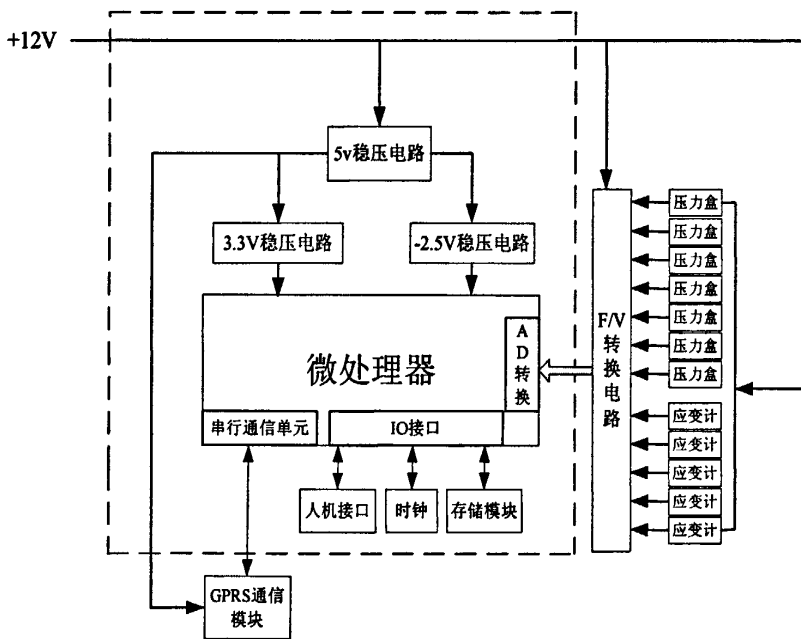


图 3.1 系统总体电路结构框图

整个数据采集系统的组成主要包括：模拟量数据采集单元，F/V 数据转换单元，数据处理单元，数据传输单元组成。虚线框内为数据采集和处理单元及电源部分，此部

分全部集成在电路板上。电源模块分别为传感器，采集器，F/V 转换模块和 GPRS 传输模块供电。数据最终通过 GPRS 模块经 GPRS 网络传输给远程的监控中心。

由于隧道所处的环境温度较低，各种电信号的干扰较大，施工阶段电源的接线不方便等特殊性的，在设计数据采集系统的时要充分考虑到。在设计数据采集器时要注意以下几点：

◆ **低功耗** 由于隧道施工期间，无法接交流电，要自带电池工作，而且更换电池不方便，所以要求数据采集器的耗电量要尽量低。这样可以使电池能持续更长的工作时间。

◆ **低温性** 隧道内温度较低，尤其是冬天，温度可降低到零下 20 度，而无论什么季节，数据采集系统需要长期不间断的工作。这就需要在设计数据采集系统的时候充分考虑到芯片的工作温度，能保证在很低的温度下工作。

◆ **多通道数据采集器接口** 根据现场的勘察和其它项目的经验。本项目采用 7 路压力采集和 5 路应变采集，这就需要数据采集器至少有 12 路采集通道。在选用数据采集器的核心模块 CPU 时要充分考虑 CPU 能够进行模拟量数据的多通道采集。

◆ **大容量数据存储** 数据采集前期处于隧道施工期间，不能连接无线传输模块，所以采用现场采集，这就需要有足够大的数据存储用于暂时存放采集到的数据。在隧道完工运营期间，可能会由于网络问题导致数据无法正常传输，单片机也需要一定缓存空间临时存放采集到的数据。

◆ **无线传输** 因为隧道多数处于山区，交通不方便，如果现场进行一次数据采集成本很高，而且要求经常的更新数据，以期能够及时的发现问题加以处理。所以频繁进行现场数据采集不可行。这就需要通过数据采集器采集的数据可以无线传输，能够在远程监控中心对数据进行实时的采集和处理，可以及时的发现隧道的受力和形变情况。

◆ **可靠性** 隧道内的各种电信号，以及环境的复杂性要求数据采集器必须要能持续可靠工作。包括传感器的选用，要固定在隧道围岩混凝土内部，一次固定，无法更换，对仪器可靠性的要求很高。在设计选用芯片时，要选用可靠性能已经经过考验的常用芯片。

3.2 应力应变传感器的选型

3.2.1 选型的原则及参数

1、进行传感器选择时要考虑的基本原则有^[11]：

- ◆ 适用性原则 满足量程、灵敏度、精度等要求，能真正对监测信号进行采集。
- ◆ 可靠性原则 尽可能选取成熟可靠的传感器，保证获取信息的真实可靠。
- ◆ 耐久性原则 要考虑到各种工作环境下传感器的耐久性。
- ◆ 经济性原则 选择性价比合适的传感器。

2、传感器选型涉及的主要技术参数

◆ 量程 选择传感器首先要确定传感器的量程，由于不知道山体的实际压力和应变，应该选择量程比实际计算量程大很多的传感器，这样在监测时不至于在围岩压力或者应变很小的情况下就遭到损坏，所以在监测系统中，要选择适合量程的传感器是首要因素。

◆ 精度 精度就是指实际值和测量值之间的相合程度，也是选择传感器应该考虑到的基本指标。精度高，误差就小，有利于及时发现问题，而且传感器输出的电压通常是毫伏级，所以要尽量的高精度，避免其他的干扰影响信号的检测。

◆ 灵敏度 灵敏度是传感器测量的最小变化量。这对隧道监测也很重要，传感器必须有检测极小信号的能力。隧道初期的变化可能是很小的，要做到见微知著，避免以后出现更大的灾难性后果，要求传感器要足够灵敏。所以传感器的灵敏度，也应该作为重要的技术指标。

3、隧道自身的特点及其对传感器的要求，隧道监测系统具有自身的如下特点：

1) 剧烈的环境变化。如激烈的振动、很低的温度、很高的湿度等。作为隧道监测的传感器，要能够满足隧道内恶劣环境的要求，诸如爆破等激烈的振动，并且需要长时间的对隧道进行检测，所以对传感器的稳定性要求很高，此外隧道内很低的温度要求传感器具有很宽的温度适应范围，很高的湿度要求传感器能够有足够好的密封效果。

2) 在数据采集初期，由于隧道施工的原因，传感器的位置与数据采集器位置相隔较远。用的电缆线较长，会造成模拟信号的衰减。

综上所述，选择振弦式传感器进行应力应变数据采集，振弦式传感器是基于振弦频率随振弦张力变化而变化的原理工作的。钢弦传感器输出的是频率信号，因此其具有抗干扰能力强、受温度影响小、零漂小、受电参数影响小、性能稳定等特点。振弦式传感器以其优异性能，适用于恶劣环境中的长期监测，因此被广泛应用于土木建筑、水库大坝、地基基础、隧道桥梁等工程学科的监测。下面对振弦式传感器的原理进行简单介绍。

3.2.2 振弦式传感器的构成和工作原理

1、振弦式传感器的构成^[12]

激振元件给振子施加激振力，激发振子的振动，再由拾振元件检测振子的振动频率，并将此信号经放大后输送给激振元件形成闭环，它们之间的关系如图 3.2 所示：

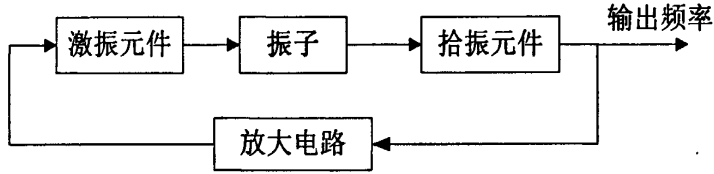


图 3.2 振弦式传感器的基本构成

2、振弦式传感器的工作原理^[12]

振弦式传感器的敏感元件是一根张紧的金属丝弦，称为振弦。它与传感器的受力部件连接固定，可以利用振弦的自振频率与振弦受到的外力关系测得物理量。

振弦传感器的工作原理图如图 3.3 所示。敏感元件振弦 2 是一根张紧的金属丝，置于电磁铁 3 中，其中一端固定在支承 1 上，另一端与可动部件 4 相连，静态张力 T_0 作用于可动部件 4 上，使弦张紧。3 是电磁铁，5 是纯铁片。当在电磁线圈两端加一脉冲电流时，铁片由于受电磁力作用，将带动金属丝一起振动。

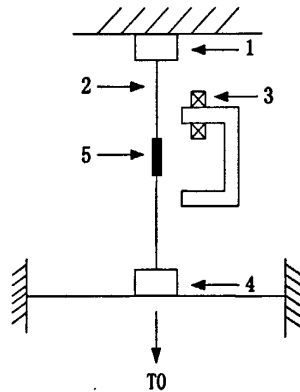


图 3.3 振弦传感器工作原理图

将一根金属丝两端固定然后张拉，金属内部将产生一定的张力，此时金属丝的固有振动频率与其内部张力就具有一定的定量关系，根据动力学原理可以得到金属丝振动公式为：

$$f = \frac{K}{L} \sqrt{\frac{\sigma}{\rho}}$$

其中， f —金属丝的固有振动频率， σ —内部张力， L —金属丝的长度， ρ —金属

丝的密度， K —传感器的标定系数。

由上式可见，金属丝振动频率与张力的平方根成正比，当金属丝内部张力变化时，其固有振动频率将随之发生变化，通过测试弦的固有振动频率的变化就可以确定其内部张力的变化，而内部张力的变化与结构应变相关联，通过测量钢丝弦固有频率的变化，就可以测出外界应变的变化。

3.2.4 传感器量程的计算

1、压力盒量程的计算

1) 围岩垂直压力计算

隧道围岩应力大小范围，是决定选择传感器量程的重要标准。因此必须要掌握隧道围岩压力的计算方法。

隧道围岩的垂直压力的大小计算有如下公式^[13]：

$$q = 0.45 \times 2^{s-1} \cdot \gamma \cdot \omega$$

q ：为垂直均布压力，单位为 (kN/m^2)

γ ：围岩的容重，单位为 (kN/m^3)

ω ：宽度影响系数 $\omega = 1 + i \cdot (B - 5)$

s ：为围岩的类别

i ：坑道宽度 B 每增减 $1m$ 时围压增减率

当 $B < 5m$ 时， $i = 0.2$ ，当 $5m \leq B \leq 15m$ 时， $i = 0.1$ 。

隧道 RK101+480 处的隧道围岩的垂直压力的大小计算须根据上述公式。根据施工方提供的资料，围岩的容重 γ 值为 $18kN/m^3$ 。而隧道宽为 $B = 12.45m$ ，因此 $i = 0.1$ ，从而计算得 $\omega = 1 + i \cdot (B - 5) = 1.745$ 。

下表为 JTG026-2004 公路隧道围岩分类，是我们选择上式中 s 的依据^[14]

表 1 JTG026-2004 隧道围岩分类

围岩类别	围岩或土体主要定性特征
I	坚硬岩：岩体完整，巨整体状或巨厚层状结构
II	坚硬岩：岩体较完整，块状或厚层状结构
	较坚硬岩：岩体完整，块状整体结构

III	坚硬岩：岩体较破碎，巨块（石）碎（石）状镶嵌结构
	较坚硬岩或较软硬岩层：岩体较完整，块状体或中厚层结构
IV	坚硬岩：岩体破碎，碎裂结构
	较坚硬岩：岩体较破碎~破碎，镶嵌碎裂结构
	较软岩或软硬岩互层，且以软岩为主，岩体较完整~较破碎，中薄层状结构
	土体：1.压密或成岩作用的粘性土及沙性土 2.黄土 3.一般钙质、铁质胶结的碎石土、卵石土、大块石土
V	较软岩：岩体破碎；软岩，岩体较破碎~破碎；极破碎各类岩体。碎、裂状、松散结构
	一般第四系的半干硬至硬塑的粘性土及稍湿至潮湿的碎石土，卵石土，圆砾、角砾及黄土。非粘性土呈松散结构、粘性土及黄土呈松散结构
VI	软塑状粘性土及潮湿、饱和粉细砂层、软土等

根据上表的分析结合实际的隧道，我们所研究的隧道 RK101+480 处围岩类别为 V 级围岩，故取 $s = 5$ 。

隧道 RK101+480 处围岩的垂直压力为：

$$q = 0.45 \times 2^{s-1} \cdot \gamma \cdot \omega = 0.45 \times 2^{5-1} \times 18 \times 1.745 = 226.152 \text{ kN/m}^2 = 0.226 \text{ MPa}$$

2) 围岩产生的水平压力：

围岩产生的水平压力 e 随围岩类别的不同，与垂直压力 q 有不同的取值关系。表 2 是《公路隧道设计规范》(JTG 026-2004) 中关于围岩水平压力的计算规范。

表 2 围岩类别与水平压力对应表

围岩类别	I、II	III	IV	V	VI
均布水平压力	0	$<0.15q$	$(0.15\sim0.3)q$	$(0.3\sim0.5)q$	$(0.5\sim1.0)q$

由于所测隧道的围岩为 V 级围岩，根据上表，所以水平压力与垂直压力有此关系 $e = (0.3 \sim 0.5)q$ 。我们取最大值 0.5，这样得到的垂直围岩压力为：

$$e = 0.5 q = 113.076 \text{ kN/m}^2 = 0.113 \text{ MPa}$$

基于以上经计算得围岩的垂直和水平压力为： $q = 0.226 \text{ MPa}$ ， $e = 0.113 \text{ MPa}$ 。结

合传感器的选型原则和隧道监测系统自身特点的考虑，我们选择丹东佳泰公司的压力盒。技术指标如下表 3 所示：

表 3 JXY-4 型双膜振弦式压力盒技术指标

量程	稳定性	准确度	重复度	综合零漂	温度范围	测温精度
0.1~0.8 (MPa)	$\pm 0.25\%$ FS	$\pm 0.5\% \sim \pm 2.5\%$ FS	0.5% FS	$\pm 1.0\%$ FS	$-30 \sim +70^{\circ}\text{C}$	$\pm 0.5^{\circ}\text{C}$

由上表可以看出，量程为 0.1~0.8 (MPa)，满足围岩垂直和水平应力要求。温度范围为 $-30^{\circ}\text{C} \sim +70^{\circ}\text{C}$ ，能够满足隧道对于低温的要求。准确度、稳定性和综合零漂反映为精度的指标，从上表可以看出，精度较高。此传感器的灵敏度为： $2 \pm 0.01\text{mV/V}$ ，灵敏度也较高。压力传感器的实际图片如下图 3.4 所示：



图 3.4 压力传感器

2、应变计的选择

应变计在选择量程方面没有固定的计算方法，依据经验选择丹东佳泰公司的应变计，技术指标如表 4 所示：

表 4: JXB-2 型振弦式应变计主要技术指标:

量程	稳定性	准确度	重复度	综合零漂	温度范围	测温精度
1000~3000 ($\mu\epsilon$)	$\pm 0.25\%$ FS	$\pm 0.5\% \sim \pm 2.5\%$ FS	0.5% FS	$\pm 1.0\%$ FS	$-30 \sim +70^{\circ}\text{C}$	$\pm 0.5^{\circ}\text{C}$

从表 4 可以看出，除量程外，应变计与压力盒的其他指标完全相同，不再赘述。

3.3 隧道数据采集单元组成

本章节主要研究数据采集和处理系统的组成部分，将现场的数据经过微处理器的运算和处理后经串行通信和 GPRS 输出或者由 LCD 显示。整个数据采集器的组成由以下

几个部分组成:微处理器单元、应力应变模拟量的 F/V 转换电路、FLASH 存储器的扩展、键盘的输入和 LCD 液晶显示、串行通信单元、实时时钟单元和稳压电路单元。微处理器是由单片机承担,其作用是控制各个器件的工作,包括:通信的控制、A/D 转换的开始与结束、控制外围电源芯片是否有效和控制数据存储。模拟量输入部分的作用是将应力应变传感器测得的信号进行 F/V 转换到单片机 A/D 模块的输入电压有效范围内。存储器扩展主要应用于暂时存放微处理器采集的数据。实时时钟将会给采集的数据标注时间,有利于数据的分析。微处理器经串行通信和上位机进行数据的传输。LCD 模块用于数据的显示,便于现场直接读取数据。数据采集器的总体结构图如图 3.5 所示:

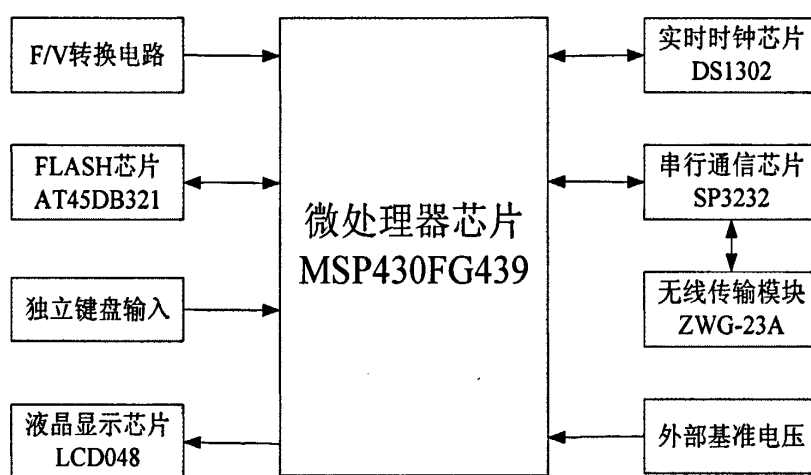


图 3.5 数据采集单元的总体结构图

3.3.1 微处理器的选取

在本项目中,需要对隧道的应力应变的数据进行采集,由于隧道的地质条件比较复杂,为了保证隧道的施工安全和仪器的正常使用,在掌握了隧道的受力以及围岩的变化情况以后,选择了在隧道围岩混凝土和钢支撑上分别布置 7 个压力盒和 5 个应变计的方案,所以需要采集的数据要有 12 个 A/D 采集功能,另外整个数据采集系统在隧道中工作,尤其是传感器布置的前期,不能接交流电,需要自带电池供电,这就要求整个电路的设计要从低耗能的角度出发,包括微处理器的选择也要基于这一点的考虑。基于以上的原因。我们选择 TI 公司生产的 16 位 MSP430 系列单片机,此类单片机在内存储器、振荡电路、A/D 转换、液晶显示等方面都有着很大的优势。尤其是这类芯片在低功耗方面的突出特点使得其应用越来越广泛。本项目的的设计采用 MSP430 系列中的 MSP430FG439。此芯片除了有以上系列芯片的优势外,还有 12 路 A/D 转换接口,满足

多路数据采集的需要。实际的单片机引脚图如图 3.6 所示：

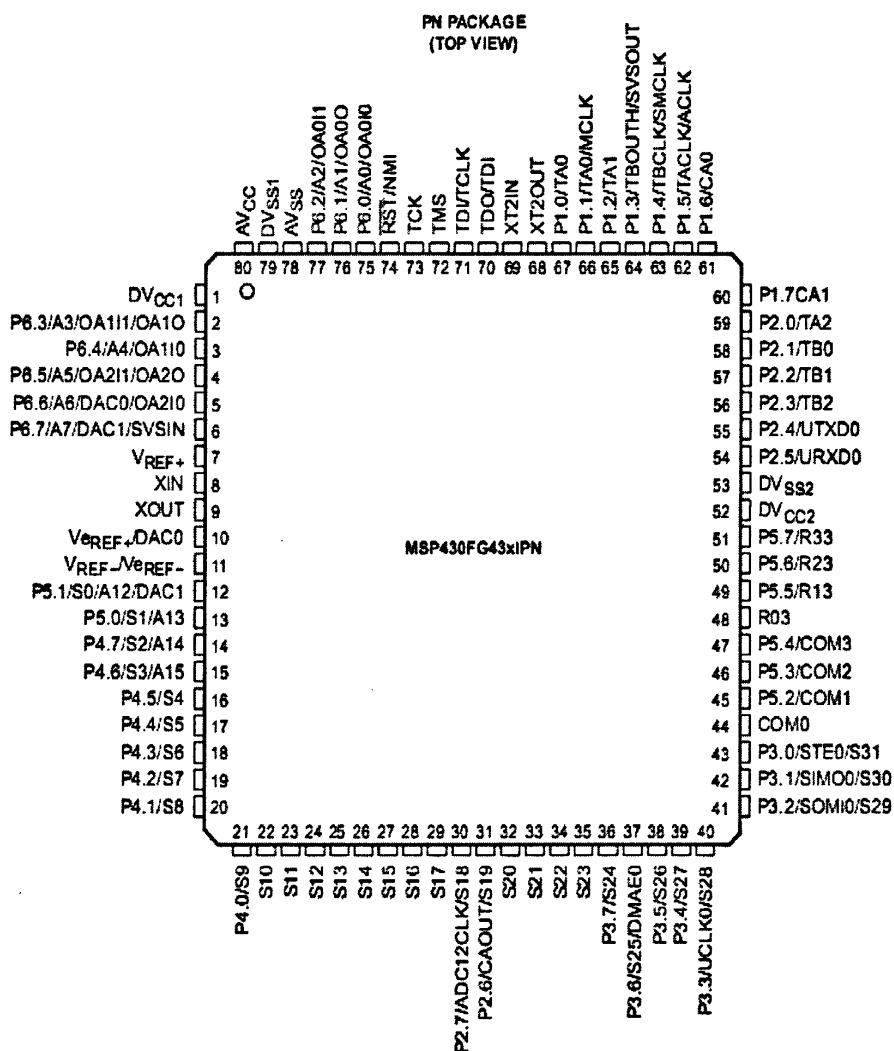


图 3.6 MSP430FG439 引脚图

MSP430FG439 单片机的突出特点有^[20]：

1) 低电源电压，低功耗。MSP430FG439 单片机的电源电压范围是 1.8-3.6V，五种节电模式。通常可以取 3.3V 电压进行供电。活动模式下的耗电为 225 μ A，待机模式下的耗电为 1.1 μ A，掉电模式下为 0.1 μ A。以上几点符合本项目低耗能的要求。

2) 输入输出通道，自带 12 位 A/D 转换器，并有内部参考电源，采样保持，自动扫描等特性。符合需要采集 7 路压力和 5 路应变的多路要求。

3) 两套时钟系统包括基本时钟系统和 DOC 数字振荡器时钟系统，可采用高速和低速晶体进行基本时钟匹配。时钟可以通过程序指令的控制完成开启和关闭的操作，达到控制功耗的目的。

4) 具有 160 段的液晶驱动能力，可直接连接液晶显示芯片，显示操作方便。

另外, MSP430FG439 还具有强大的数据处理能力和丰富的外设; 并且具有仿真接口, 非常方便软件的调试; 具有两个串行通道, 可用于异步通信 (UART 模式), 可以完成和上位机的通信; 具有 16 位看门狗功能, 可防止程序跑飞, 提高系统运行的可靠性; MSP430FG439 共有 80 个引脚, 满足设计的需求。无需再扩展外围接口, 保证了整个系统的简单可靠, 有利于稳定运行。

3.3.2 应力应变监测单元的硬件电路设计

本设计中应力应变监测单元电路是指 F/V 转换电路, 由于振弦式传感器采集的数据为频率信号, 而单片机能够处理的是电压信号, 所以在信号接入传感器之前要将频率信号转换为电压信号。本系统采用较为常用的 F/V 转换芯片 LM331 模块进行频率-电压转换。LM331 是美国 NS 公司生产的性价比较高的集成芯片, 适合精密频率电压的转换。供电电源范围较宽: 4V~40V, 温度稳定性好, 不易受环境温度的干扰, 比较适合隧道里的特殊温度要求。功耗小, 5V 以下的典型值为 5mW。满量程范围 1Hz~100KHz。电路设计图如图 3.7 所示^[21]。

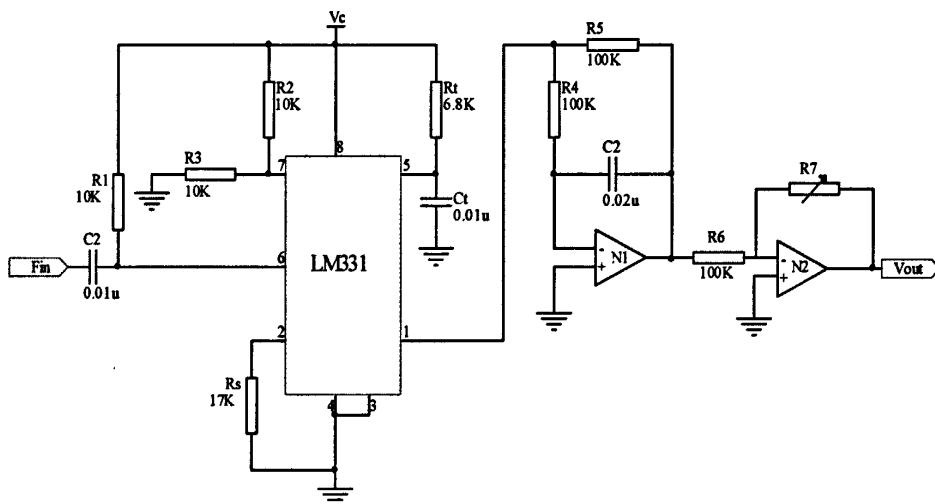


图 3.7 F/V 转换电路图

如上图所示, 电路的主要芯片是 LM331 和两个运算放大电路 N1 和 N2 组成。N1 的主要作用是滤波。输入频率 F_{in} 通过电容 C2 接到电压比较器阈值端上, LM331 的 1 端流出的平均电流经 N1 网络实现双极点滤波, 得到与频率成正比的电压, 输入输出关系为: $V = -2.09 F_{in} R_5 R_4 C_1 / R_6$ 。运算放大器 N2 为反向放大器, 通过调整电位器 R7, 可以方便的将电压变为正向。本例输入的频率在 1000Hz~3000Hz 之间。带入具体的数值,

经过计算得输出的电压在 0.836V~2.508V 之间，满足单片机的采集信号量程 0~2.5V 的要求。故无需对电压信号进行放大，可以直接接入单片机 AD 接口进行采集。

3.3.3 存储模块电路设计

在隧道的应力应变监测中，传感器长期监测到的数据和采集时间需要被详细的记录下来，以备后续对应力应变的数据进行分析处理。这就需要数据存储器要有足够大的容量，而 MSP430FG439 只带有 2K 的 RAM，不能满足数据存储的需要，需要外扩数据存储单元，由于监测系统是自带电池供电，所以需要存储器同样具备低功耗的特点。目前比较流行的大容量数据存储器有 SM 卡，SD 卡，但是 SM 和 SD 卡对于芯片要求较为严格，沾有灰尘或油污会导致读卡不正常，此外 SM 和 SD 卡对于电压要求较高，并且 SM 和 SD 卡功耗偏大，所以不适合本设计的要求，综合考虑，采用 ATMEL 公司 AT45DB321 的 FLASH 存储器。

AT45DB321 是一款低电压，低功耗的 FLASH 芯片。AT45DB321 作为 SPI 接口的芯片，可以直接和微处理器的 I/O 口相连，接线简单，AT45DB321 具有 32Mbit 的存储空间，足够存储数据的需求。工作电压为 2.5V-3.6V，与微处理器的供电电压相同，可以共用电源。32M 的容量按页存储，每页 528 字节，共 8192 页，并且快速的写入时间为 7ms，支持按页擦除，工作环境温度为 -55℃~+125℃，能够满足隧道的温度要求。AT45DB321 的电路接线图如图 3.8 所示^[22]。其中 CS、SCK、SO、SI 用于和单片机的 I/O 口 P1.3~P1.6 相连。

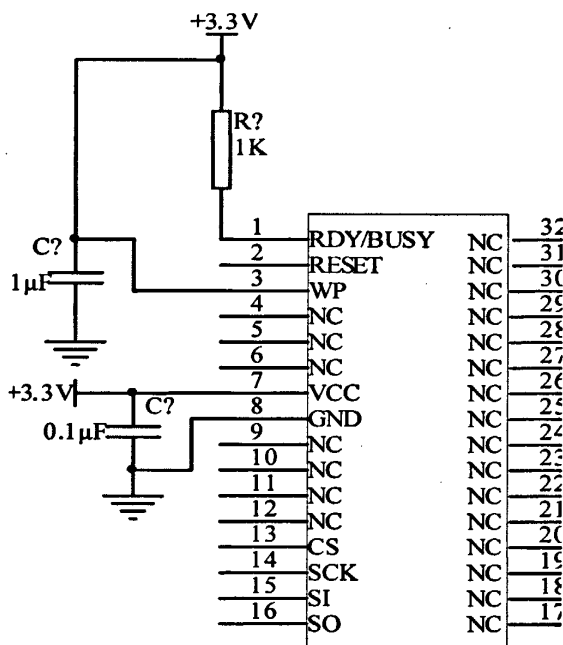


图 3.8 AT45DB321 的电路接线图

3.3.4 时钟模块电路设计

在隧道的应力应变监测中，记录数据存储的时间非常重要，它是判断可能发生事故的重要依据。所以选择时钟模块的时间显示务必要精确。为此我们选择 DALLS 公司的 DS1302 时钟芯片，时间可以精确到年、月、日、小时、分、秒，工作电压为 2.5V—5.5V，在 2.5V 工作的耗电小于 300nA；采用三线串行 I/O 接口直接与 CPU 进行同步通信，尤其是 DS1302 用于数据记录时，特别是对某些具有特殊意义的数据点的记录，能实现数据与出现该数据的时间同时记录。这种记录对本项目长时间的连续监测系统结果的分析及对异常数据出现原因的查找具有重要意义。另外 DS1302 采用串行数据传输，具有关闭充电电源功能，工作温度为 -40℃—+85℃，符合温度要求。DS1302 只需外接 32.768KHz 的普通晶振即可。DS1302 的电路接线图如图 3.9 所示^[23]。其中 SCK，I/O，RST 接口分别与单片机的 I/O 口 P1.0~P1.3 相连。

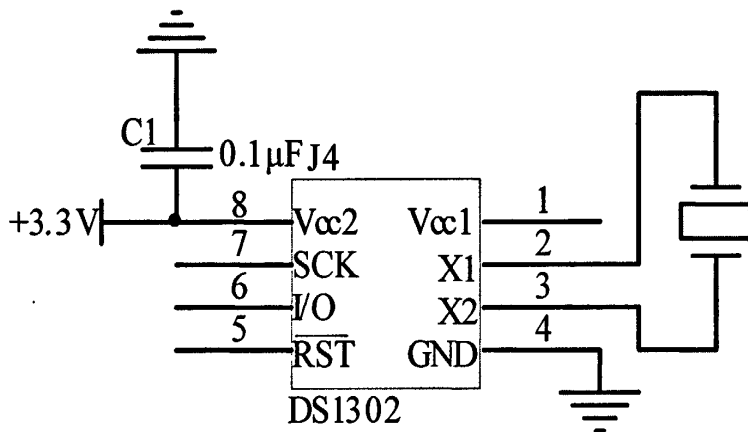


图 3.9 DS1302 的电路接线图

3.3.5 JTAG 接口的设计

MSP430FG439 配有 JTAG 仿真接口，可以利用仿真器对单片机进行调试。为了方便仿真器对单片机进行调试，需要将单片机的接口信号线引到一个插座上，通过 JTAG 接口将仿真器与目标板连接起来，连接方式参考了 JTAG 引脚定义说明。由于实际使用的仿真器到电路板距离不远，JTAG 电路连接方法如下图 3.10 所示，其中 TDO、TDI、TMS、TCK、RST 引脚与单片机的对应引脚相连。

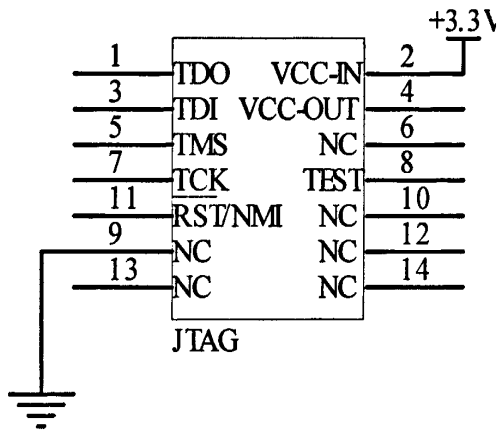


图 3.10 JTAG 电路连接图

3.3.6 人机接口模块设计

1、键盘接口的设计

在单片机应用系统中，键盘是人机对话的输入设备，借助键盘可以实现系统参数的设置，发出指令等。常用的有独立式键盘和矩阵式键盘。独立式键盘电路配置灵活，软件编程简单，按键之间彼此独立，每一个按键连接一根 I/O 口线，故需要占用的 I/O 口较多。矩阵式键盘，是一种扫描式键盘，工作过程比独立式按键复杂，需要占用的 I/O 口较少，二者比较，独立式键盘较矩阵式键盘在扫描速度及 CPU 的工作效率方面更有优势。由于本系统设计的按键数较少，且为单片机提供了足够多的 I/O，采用独立式键盘设计，可以降低单片机对键盘相应的开销，可以使单片机有更多的时间进行信号采集的高速处理。键盘电路设计如下图 3.11 所示。图中我们设计了 6 个按键，分别是开启，停止，复位，数据采集，显示数据，发送数据。图中将所有的按键 I/O 线都上拉到了 3.3V，保证在没有按键的时候保持高电平，键盘中某个按键按下时为低电平，其中 6 路键盘分别于单片机的 I/O 口 P3.0~P3.5 相连。

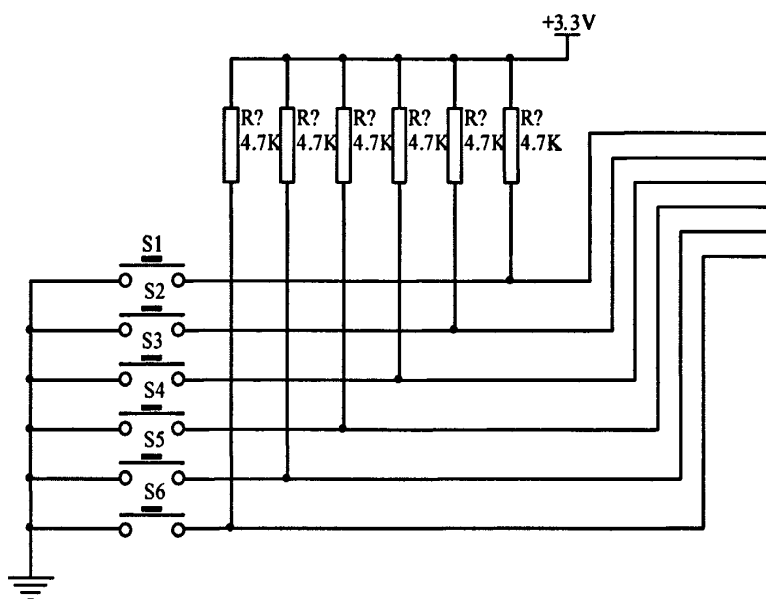


图 3.11 6 路独立键盘接线图

2、LCD 显示模块设计

LCD 具有体积小、重量轻、功耗低、稳定可靠、控制驱动方便、接口简单、模块化结构紧凑等特点,在单片机系统中得到了日益广泛的应用。由于选用的 MSP430FG439 单片机本身自带有 LCD 驱动器,所以 LCD 的实现简单可靠。本项目选用利尔达公司定制的 LCD048 芯片,工作电压为 2.7V~3.6V,直接与单片机的 LCD 驱动相连,7 段位允许多种文本输入,为温度、视角、对比度参数等设置了低功耗的偏置电路,符合整个系统低功耗的设计要求,工作温度为-20℃~+50℃,也符合隧道环境的温度要求。其中 1~4 接口与 COM1~COM4 相连, 5~20 接口分别与单片机的液晶驱动端口 S4~S18 相连。

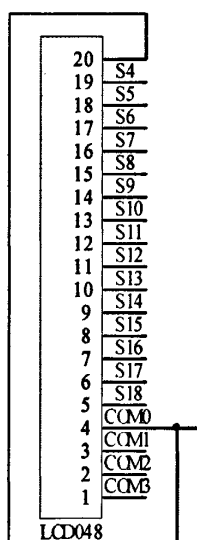


图 3.12 LCD048 显示器模块

由图 3.12 可知, LCD048 芯片与单片机的接口非常简单,可直接与 MSP430FG439

单片机的 LCD 管脚直接相连。

3.3.7 通信模块的设计

本项目中的通信模块包括单片机与上位机之间的串行通信和 GPRS 无线通信两部分。串行通信的作用是将单片机采集到的数据传输到上位机，由于单片机和上位机（或者无线通信模块）的电平不一致，所以需要有一个电平转换接口，本设计中采用的是 RS-232 接口，通过此接口，完成单片机和上位机（或者无线通信模块）的衔接。GPRS 无线通信模块就是将单片机采集到的数据通过 GPRS 网络无线传输到远程监控中心。

1、串行通信模块的设计

PC 机（上位机）几乎都含有 RS-232 的接口，因此单片机（下位机）通过 RS-232 与 PC 机通信最方便，也是常用的方法。单片机没有 RS-232 电气接口，要进行串行通信，需要进行接口的扩展，RS-232 作为串行通信的总线标准，由于线路的损耗和噪声干扰，传输距离不超过 15m，实际使用过程中传输距离在 2m 左右。性能更好的 RS-485 接口应用越来越广泛，但是使用采集数据时需要设置 RS-485 接口与 RS-232 接口之间的转换。使整个系统线路复杂。由于本项目在实际进行数据采集时 PC 机与数据采集器很近，需要的接线距离很短，所以 RS-232 满足要求。基于系统低功耗的考虑，我们选择了一款 RS-232 接口的驱动芯片 SP3220，该芯片的一些特征如下：低功耗电流为 $1\mu\text{A}$ ，供电电压为 3.0V~5.5V 的宽电压供电，可以用系统的通用供电电压进行供电，上传速度可达 235Kbps，两路发送和接收通道，工作温度为 $-65^{\circ}\text{C}\sim+150^{\circ}\text{C}$ ，符合项目实际需求。SP3220 组成的串行通信单元电路图如图 3.13 所示，其中引脚 T1IN、R1OUT 为单片机接口 UTXD0 与 URXD1 相连。

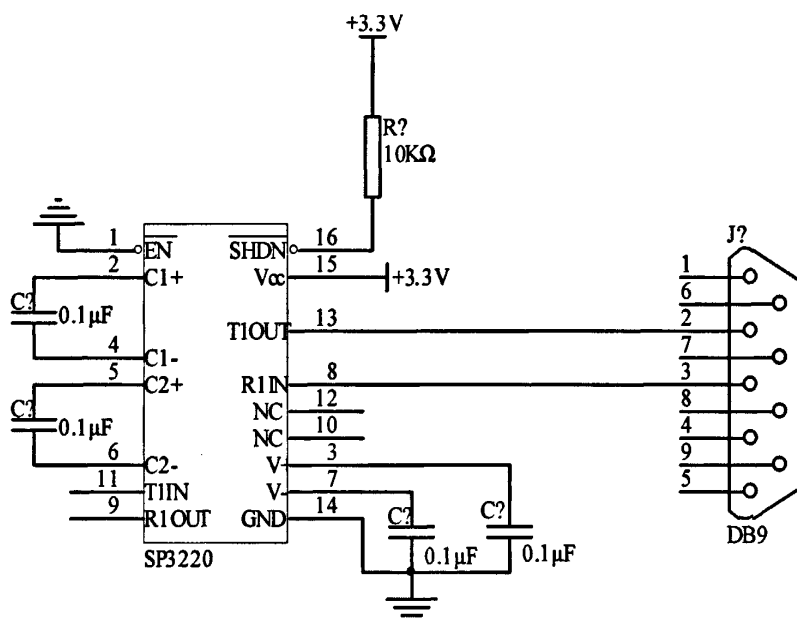


图 3.13 RS232 与上位机接线图

图中我们选择了普通的九芯连接器作为与 PC 机的插座。芯片 SP3220 实现了 PC 机与单片机 TTL 直接的电平转换。

2、GPRS 无线通信模块的选择

在隧道的应力应变监测系统中，要实现远程监控中心对数据的及时采集和处理，必须对数据采集器配有无无线传输系统。而无线传输的实现要通过 GPRS 模块。我们选择周立功公司的 ZWG-23A 无线传输模块。ZWG-23A 是一种外置式的模块。ZWG-23A 通过 TXD 与 RXD 直接与单片机相连，中间需要 RS-232 接口连接，此外芯片还具有一些其他的特征：支持数据同名传输与协议转换，支持数据中心动态域名或 IP 地址访问，支持数据中心虚拟串口功能，这些可以使整个无线传输系统进行组网连接；具有上线指示信号线，并支持断线自动重连功能，远程中心可以实时监控 GPRS 是否上线以及实现掉线后及时重连，这对可能故障的排除非常重要。支持永远在线、空闲下线、空闲掉电三种工作方式，工作电流 $\leq 300\text{mA}$ ，在线待机电流 31 mA，休眠时电流 $\leq 31\text{mA}$ ，模块掉电时电流 $\leq 14\text{mA}$ ，符合本系统低耗能的原则。工作温度范围为 $-25^{\circ}\text{C}\sim +70^{\circ}\text{C}$ ，符合要求。GPRS 模块的外形图如图 3.14 所示：



图 3.14 GPRS 模块

需要注意的是 GPRS 模块的 RS232 接口采用 DB9 母头，而在电路板设计 RS232 接口时，考虑到通用性，也通常选用 DB9 母头连接，所以在连接电路板和 GPRS 模块时，须用一个两个公头的连接线。

3.3.8 电源模块的设计

电源模块的主要用途就是将 12V 电源的电压转换成应力应变传感器，单片机，实时时钟芯片，FLASH 存储芯片，液晶显示芯片、串行通信芯片、GPRS 模块等元器件的工作电压。对上述芯片的供电不止是单纯的提供工作电压，而且还要考虑到功耗问题，这就需要加入对工作电流的考虑。我们在上述芯片的选择上注重了低功耗的原则考虑，这就使电源芯片有了更多的选择。其中电源电压提供为 12V 的直流电，需要选择电源稳压器进行电源的变换。应力、应变传感器为 12V 供电，可以直接接电源电压。应变传感器在模拟信号进行 A/D 转换时需要考虑信号的输入可能有两个方向，受拉或者受压，这就需要电源的设计时考虑到正负两个方面，正向受拉，负向受压。单片机的 A/D 转换器内部基准电压为 2.5V，但是由于内部基准电压不稳，以及不同的芯片内部基准电压不同。所以需要单独设计外部基准电压，而且需要考虑外部输入 $\pm 2.5V$ 电压。单片机芯片、实时时钟芯片、FLASH 存储芯片、液晶显示芯片、串行通信芯片需要提供 3.3V 的电压，我们可以选用同一电源稳压器芯片。GPRS 无线传输芯片的供电电压为 5V~12V，我们选择 5V 的供电电源。电源电路接线图的设计如图 3.15 所示。

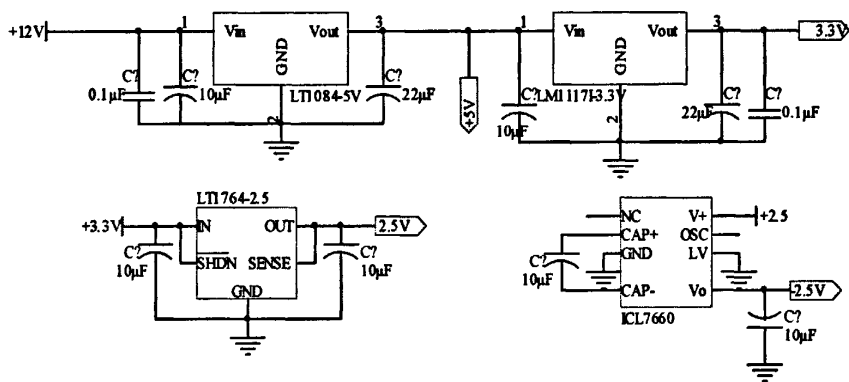


图 3.15 电源模块设计

3.4 硬件抗干扰技术

整个硬件系统要在较为恶劣的环境下应用，周围干扰严重，要保证电路板能够稳定的运行，要采取抗干扰技术，抗干扰技术包括硬件抗干扰技术和软件抗干扰技术。本节主要阐述硬件抗干扰技术。硬件抗干扰技术主要包含：原理图的电路设计和 PCB 图的布线设计。其中 PCB 图设计是关键，设计是否合理直接影响了电路板的硬件抗干扰性能，进而影响整个电路板的性能。

1、原理图的设计

1) 元器件的选取。首先在选择元器件的时候，尽量选择了时下较为常用的芯片，稳定性，抗干扰性都较好的军工级芯片。芯片的工作温度都适合隧道低温的要求，微处理器芯片 MSP430FG439 具有良好的抗干扰性。再者，选择的芯片多选用贴片式而不是直插式。可以减少过孔数量，获得更大的布线空间。

2) 抑制干扰源。要想做到尽可能的减小干扰源，可以通过串联一些元器件，如电容、电感、电阻以及二极管等。常用的方式是在干扰源两端并联电容。在本设计中尤其注意了这一点，干扰源主要来源于输入信号，而本设计的输入信号主要为传感器的输入信号和外界施加的以 3.3V 为主的电源信号。在设计时钟电路，数据存储电路，RS232 通信电路，以及仿真接口电路时，在电源的旁路都并联了从 0.01μ 到 10μ 不等的各种电容。在电源的设计中更是应用了大量的电容用于滤除电源信号的干扰。

2、PCB 布线设计

1) 板层的选取方面 层数的多少影响系统的稳定性，结合原理图的实际电路，综合考虑系统的稳定性和布线的复杂程度，本设计选用两层板基本可以达到稳定性的要求。

2) 引脚方面 电路图设计中不可避免的会有一些引脚闲置, 引脚的闲置会带来相互干扰, 在 PCB 图设计最后将全部闲置引脚接地。这样可以将干扰信号导出, 提高稳定性。

3) 线型方面 数据线、地址线要尽量缩短, 以减少对地电容; 长度要尽量一致, 保证信号同时到达; 相邻信号线间隔应该大于 10mil, 相邻电源和地平面层距离应该小于 5mil, 加宽电源线、接地线, 约三倍于普通信号线。

4) 布线角度方面 布线时不能 90° 拐弯, 尽量使用直线, 当需要 90° 拐弯时, 使用两个 135° 折线, 以减小高频信号对外的发射, 防止信号的干扰。相邻两层的印制导线宜相互垂直、斜交或弯曲走线, 力求避免相互平行走线以防串扰。

5) 焊盘方面 焊盘方向一致, 减少桥连, 直径约比孔宽 4mm 以上, 有直插件时约宽过 5mm。

6) 元件放置 体积较大的元件, 核心元件摆放在中央位置, 周围摆放电路, 功率大的元件要放在散热好的位置, 热敏元件要远离发热元件。

以上为布线过程中的一些心得, 由于设计电路板不是很复杂, 更多 PCB 设计原则有待进一步讨论。

3.5 本章小结

本章我们设计了用于监测隧道应力应变的数据采集系统的硬件部分。首先通过对隧道内部环境进行了分析, 综合考虑传感器选型原则, 对传感器的量程进行了计算, 最终选择了以频率传输, 信号稳定的振弦式传感器作为监测传感器。其次设计了用于频率信号和电压信号转换的 F/V 电路, 搭起了传感器和单片机之间的桥梁。再次根据隧道环境的要求, 对数据采集器的各个单元模块进行了设计, 包括了信号的采集, 存储, 显示, 传输等, 其中还包含了 GPRS 无线传输模块的选型, 以及电源模块的设计。最后对于数据采集系统电路板设计过程中的硬件抗干扰技术进行了探讨。以上电路板的硬件设计为后面章节的软件设计打下了基础。

第四章 无线数据采集系统软件设计

系统硬件搭建完成后, 要保证系统的正常运行需要结合软件, 根据数据采集单元各个模块进行相应的软件变量定义和软件设计。本章主要介绍数据主处理器以及外围模块的软件设计。主要包含了数据采集子系统, 时钟子系统, 外围扩展 FLASH 模块的存储子系统, 串行通信子系统, LCD 液晶显示和键盘等人机接口的软件设计。最后一部分是 GPRS 模块及传输的软件设计。以上各程序设计包含了数据的采集、处理和传输的整个过程。

在软件设计编程中采用 C 语言编程, C 语言不依赖于计算机的硬件, 在程序设计方面有诸多优点, 如程序代码的可靠性, 可读性, 可移植性方面, 其通用性可以大大提高软件开发效率; C 语言还允许直接访问物理地址, 可以直接对硬件进行操作; C 语言采用结构化模式, 结构化使程序层次清晰, 便于调试和维护; C 语言功能齐全, 具有多种数据类型, 在图像处理、计算和逻辑判断方面的功能都较强。

基于以上 C 语言的优势, 采用 C 语言进行程序的设计, 需要注意的是不同 MCU 厂家 C 语言编译系统存在着差异, 尤其在特殊功能模块的操作中存在明显不同, TI 公司的 MSP430 系列单片机在标准 C 语言的基础上进行了一些扩展, 形成了 C430。它是针对 MSP430 系列单片机设计的, 由于 MSP430 单片机在数据存储上有一定的特殊性, 本身结构为 16 位, 所以为了适应 MSP430 系列单片机, C430 编译器处理的数据类型和普通环境的 C 语言有所差别。

4.1 数据采集系统程序设计

4.1.1 MSP430 开发调试环境简介

MSP430 系列单片机在扩展 C 语言的基础上, 形成了一套应用 C 语言的集成开发环境和调试器。常用的是 IAR 公司的开发环境 Embedded Workbench, 以及调试器 C-SPY。

Embedded Workbench 支持多种单片机和多种操作系统, 具有丰富的可视化开发界面。支持超文本链接, 可以用诸如写字板等工具进行编程, 所集成的链接等工具使用十分方便, 调试效率较高。编译失败后, 可以采用 MAKE 键进行重新编译。Embedded Workbench 中包含了诸如编译器、连接器、函数管理等工具。在编辑完代码, 并且完成代码的编译连接后, 可用 C-SPY 进行调试。C-SPY 可以通过设置断点等方法进行软硬件仿真, 以及观察寄存器和内存的值, 开发环境可以兼容 C 语言和汇编语言, 所以

使用 C 语言编程非常方便。MSP430 的开发调试环境如图 4.1 所示：

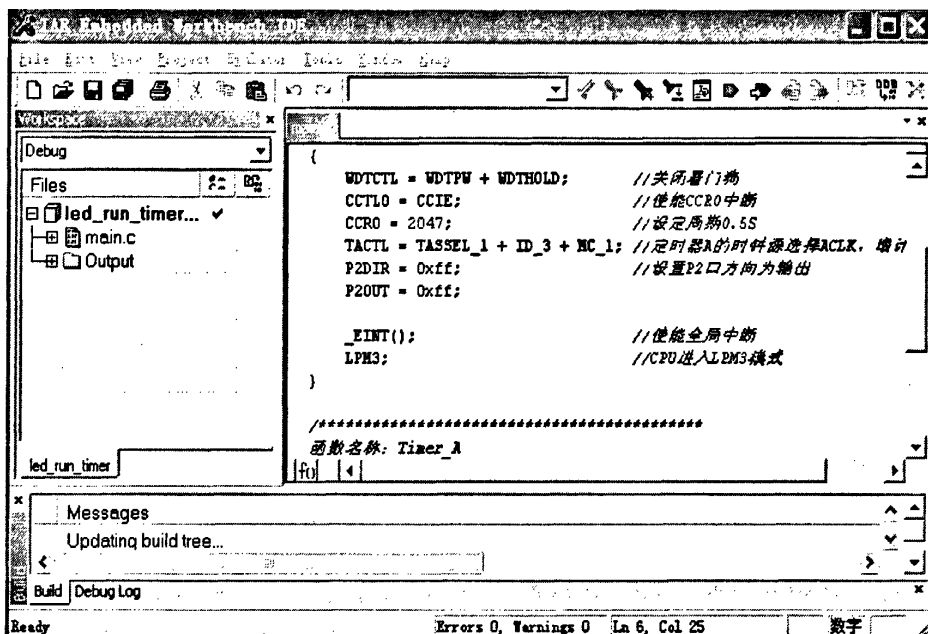


图 4.1 MSP430 的开发调试环境

4.1.2 AD 数据采集子程序

4.1.2.1 AD 数据采集系统的初始化

数据的采集采取间隔一定时间执行一次，所以采用定时器 A 中断控制，在设计 AD 数据采集程序之前要对单片机进行初始化，要对数据采集器的接口以及单片机寄存器的值进行设置，初始化程序具体包括^[29]：

1、模拟输入通道的选择，在硬件中确定输入通道为 P6.0—P6.7 的 8 个模拟转换输入通道以及 P4.6, P4.7, P5.0, P5.1 的四个输入通道，从而达到 12 路的输入。相关的设置为

P6SEL = 0x07 // 设置 P6.0—P6.7 为模拟输入通道

2、参考电压的设置以及通道的选取

ADC12MCTL0 = INCH0 // 参考电压为 AVSS 和 AVCC，输入通道为 A1，其中 P6.0-P6.7 对应的输入通道为 A1 到 A8

3、转换模式的设置

ADC12TCL1 |= CONSEQ1 // 基于 12 通道的输入，选取多通道单次采集。

4、时钟的选取、分频以及中断的选择

ADC12CTL1 |= ADC12SSEL1 // 选取系统子时钟 SMCLK，可供数据采集高速外设使用，可以选择振荡器的时钟信号进行分频。

ADC12CTL1 |= ADC12DIV0 // 时间分频为 1。

ADC12CTL1 |= (SHP) // 采样脉冲由定时器产生。

5、时间间隔的设置

CCR0 = 40000 // 时间频率为 200HZ，间隔时间为 0.05 秒

TACTL = MC0 // 采用增计数模式，即当计数器的值增加到 CCR0 里面的值时，计数器清零，重新从 0 开始计数。

以上软件都初始化后，应用定时器 A 设置时间，当时间达到设置的时间间隔时，就会产生中断，从而达到定时采集的目的。

4.1.2.2 AD 数据采集及转换程序

AD 数据的采集就是用单片机对传感器输入的模拟量信号进行采集，并将信号转换为数字信号，在已经设置完成 AD 转换模式、寄存器参数以及采集间隔时间等参数的基础上，设计模拟量采集主程序，其流程图如图 4.2 所示：

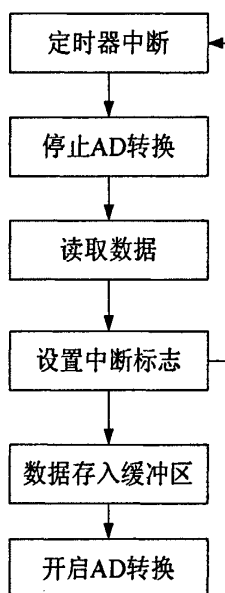


图 4.2 模拟量采集流程图

该部分程序采用中断服务程序实现，每次定时器中断到来时读取 AD 模块采集到的数据，在读取数据之前通过语句 ADC12CTL &= ~ENC 来停止 AD 转换，读取数据。通过 Nadc-Count++计数，当计数次数达到预设值时，表明当前读取完数据，然后通过赋值全局变量 nADC-Flag=1 来通知主程序已经获得了采集数据，设置中断标志位，将数据暂时存储到 FLASH 存储模块中，等待上位机或者 GPRS 获取。在读取数据及存储完毕后，重新开启 AD 转换模块，等待下一次的中断到来，程序设计过程中也可以在主程

序的最后设置中断标志位。本程序应用到全局变量与主程序的交互。

4.1.3 实时时钟的程序设计

根据隧道监测的特征, 要达到隧道预警目的, 记录异常数据发生的时间非常必要, 在采集数据时需要加注时间, 需要引入实时时钟, 我们采用实时时钟 DS1302 加注时间。DS1302 是基于 SPI 总线的单片机, 对于没有 I2C 总线的 MSP430 系列单片机来说, 使用 SPI 总线程序设计更为简单, 同时使用 SPI 总线可以增加接口器件的种类, 提高应用系统的性能。

实时时钟模块和单片机之间, 需要三条线进行连接, 分别是 SCLK 串行时钟输入引脚, I/O 数据的输入输出引脚, RES 复位/片选引脚。

1、DS1302 的控制字节

控制字节如下图 4.3 所示^[23]:

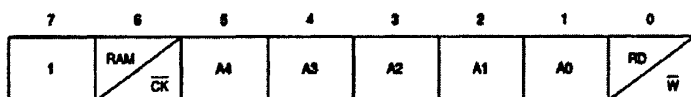


图 4.3 DS1302 的控制字

在每一个输出传输前需要传输一个字节, 第七位(最高位)必须是逻辑 1, 如果是逻辑 0, 数据就不能写入 DS1302, RD/W 为逻辑 1 表示可以读, 为逻辑 0 时表示可以写, A0-A4 是操作单元地址, RAM/CK 是日历和 RAM 的选择位, 为 1 时可以对 RAM 进行读写, 为 0 时可以对时钟、日历操作。控制字节都是从低位到高位进行输入和输出操作的。

2、DS1302 的读写时序^[23,31]

所有的数据在输入之前通过 RST 引脚置高位进行初始化, RST 引脚输入有两个功能, 第一个是传输一个可以转换为地址的控制字, 第二个是 RST 引脚单独提供单个字节或者多个字节的传输。时钟周期是一个上升沿后紧接着下降沿, 对于数据的输入来说, 时钟的上升沿有效, 对于输出来说则是下降沿有效, 如果 RST 输入是低电平不能传输数据, 当 RST 需要通过逻辑 1 状态来驱动的时候, 所有的 SCLK 必须是逻辑 0。

传输单个控制字节的时候, 需要 8 个 SCLK 时钟脉冲, 数据的输入 8 个时钟脉冲后的上升沿, 另外的 SCLK 时钟可以忽略, 数据的输入都是从 0 位开始的。在输入一个读控制字的 8 个时钟 SCLK 脉冲以后, 一个字节将会在下一次 8 个 SCLK 时钟脉冲下降沿到来时被输出, 在写入最后一个控制字之后第一个字节将会第一个下降沿传输。另外,

SCLK 时钟传输字节的时候 RST 需要保持高电平，输入输出需要在每一个上升沿转换状态，数据也是从 0 位开始输出的。需要软件实现对时钟芯片 DS1302 日历的读取，DS1302 内部寄存器从 80H 到 8DH 分别为 DS1302 的时间按照 BCD 码存储。实际上就是上升沿接收数据，下降沿发送数据。读写程序时序图如图 4.4 和图 4.5 所示：

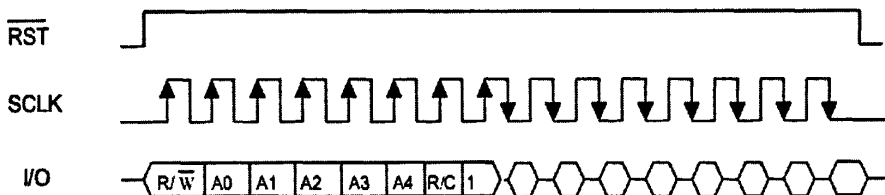


图 4.4 DS1302 的读时序

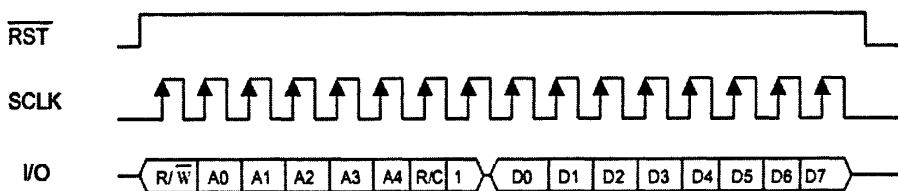


图 4.5 DS1302 的写时序

程序流程图如图 4.6 所示：

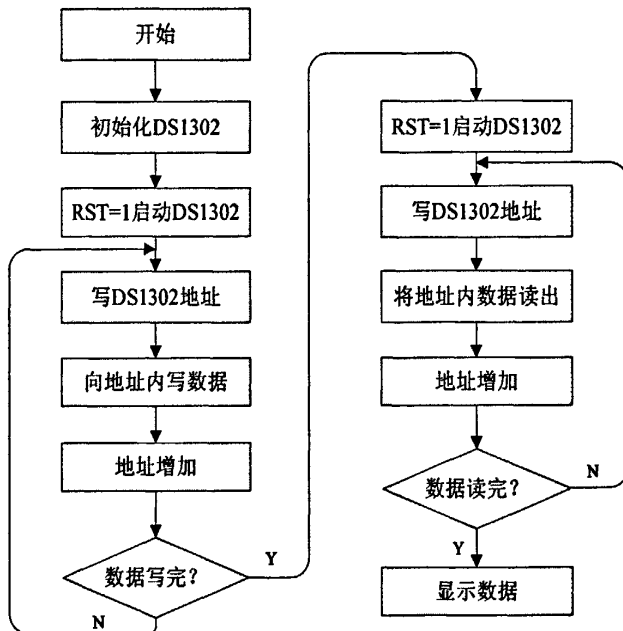


图 4.6 DS1302 操作流程

在流程图中，包含了单片机对 DS1302 寄存器的地址定义和控制字的写入以及对地址内数据的读取两部分。通常设置 SCK 的初始状态为 1，允许接收后置为 0，这样就产

生一个下降沿，芯片送数据，同时使数据右移，将数据发送到 I/O 线上时，再将 SCK 置 1 启动 DS1302，这样就产生一个上升沿，上升沿使芯片接收数据，整个流程需要循环 8 次才能完成。

要达实时显示时间，实时时钟程序设计中还需要加入诸如液晶显示、数码管显示程序，或者串行通信至上位机的程序。

4.1.4 数据存储程序设计

系统采用的 AT45DB321 芯片是大容量的基于 SPI 接口的 FLASH 型存储芯片，采用的 NOR 技术制造，具有高速随机存取功能，以下是对 AT45DB321 的一些引脚在编程中的说明。

片选 CS：CS 引脚上的下降沿将会启动一个操作，而上升沿则会结束一个操作。
串行时钟 SCK：SI 引脚上的命令、地址与输入数据在时钟 SCK 的上升沿被写入，而 SO 引脚上的输出数据则在时钟的下降沿变化。串行输入 SI：SI 引脚用来向芯片以移位方式写入数据。SI 上的数据在时钟的上升沿写入芯片。串行输出 SO：SO 引脚用来从芯片以移位方式输出数据。SO 上的数据在时钟的下降沿变化。写保护 WP：被设置为有效时芯片的扇区将被保护起来，以防止编程与擦除对数据的破坏。复位 RESET：RESET 引脚上的低电平会终止正在处理的操作并复位内部状态机到闲置状态。就绪/忙碌状态指示 RDY/BUSY：当芯片处于忙状态时此引脚为低电平，此引脚在正常状态下为高电平。当正在进行编程/擦除操作，比较操作与页-缓冲区传送时被拉低。忙状态指示 FLASH 储存阵列与某一个缓冲区不能被操作，而对另一个缓冲区的读与写操作仍然可以进行。

芯片的操作由处理器指令控制，指令由八位的操作码和操作的地址组成，下面对应用到的读写方式进行简单说明^[22]。

1、主存页读操作

主存的读操作可以读主存中的任意一页，开始的操作码为 52H，后面跟有 24 个地址位和 32 个无关位，第一个位为后面的操作作为保留位，接下来的 13 位指定页地址，再接下来的 10 位指定包含在页中的位地址。32 位无关位和 24 位地址位之后，送出读操作信息。需要考虑 SCK 选择和 SO 引脚的数据输出。片选引脚需要保持低电平。时序图如图 4.7 所示：

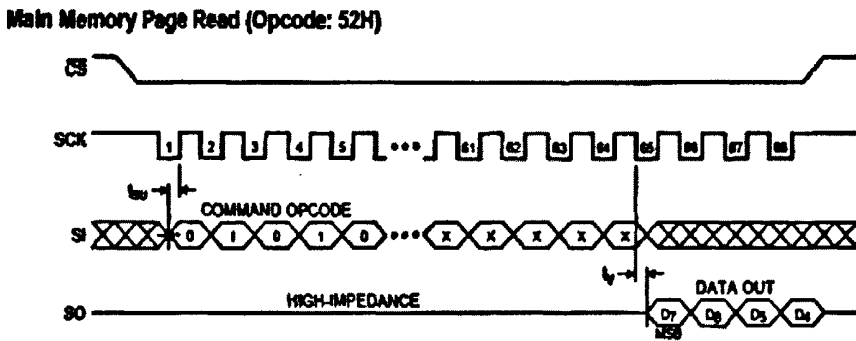


图 4.7 主存页读操作时序图

2、缓冲区读操作

采用不同的指令，可以将数据从两个缓冲区读出，数据缓冲区 1 的首地址是 54H，数据缓冲区 2 的首地址是 56H，另外都跟随有 14 个无关位和 10 个地址位，片选地址也必须处于低电平。

3、缓冲区写操作

数据通过 SI 引脚写入到缓冲区 1 或缓冲区 2，指令包含首位 84H 或者 87H 加 14 个无关位和 10 个地址位，10 个地址位指示了缓冲区写的首字节。

4、主存写操作

主存写操作有 82H 或者 85H 和一个保留位和 23 个地址位组成，其中前 13 个地址位包含主存中的数据，后 10 个地址位是缓冲区的首地址。

5、寄存器操作

寄存器操作用于中断设备的就绪或者忙碌状态，首地址为 57H。寄存器的最高位为 1，表示就绪状态，0 表示忙状态。

FLASH 的存取流程图如图 4.8 所示，需要说明的是在存储时需要将实时时钟的显示时间和应力应变数据一起存放到 FLASH 存储器中。

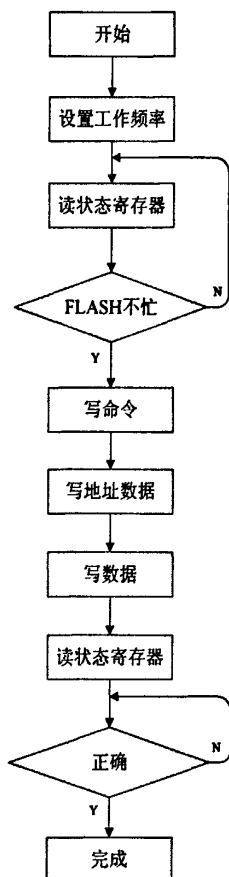


图 4.8 FLASH 存储流程图

在 Flash 主存页写操作开始之后，要选择信号频率的范围，可以配置为 SMCLK 模式，使其达到快速书写的目的，然后读取状态寄存器信息，看 FLASH 是否准备好，当准备好时，可以进行写命令（0X80），先要写数据的地址，然后实际的数据到 FLASH 存储器内，最后确认，数据是否被写入，写入时即可完成操作。在判断是否被写入时，需要加入确认命令(0X10)。

4.1.5 串口程序设计

由于所选择的单片机 MSP430FG439 只有一组串口，因此 GPRS 模块和单片机通信，以及上位 PC 机和单片机的通信共用此串口，再通过 RS-232 分线。由于 GPRS 模块所适应的波特率范围较广，可以与上位机选用同一波特率，这样在串口初始化设置方面，单片机与 GPRS 和上位机的就完全一致了。

1、串口的初始化包括：1) 寄存器内容清零；2) 波特率发生器的选择，可以一致选择 U1TCTL+=SSEL1 选择高速时钟源 SMCLK，波特率设置为 9600；3) 使能 UART0 的 TXD 和 RXD 及其中断标志位。4) 设置输入输出，在只有一个串口时，需要设置

P2.4 为 UART0 的 TXD, P2.5 为 UART0 的 RXD, 并且设置 P2.4 为输出引脚。

2、串口的中断服务程序

单片机有固有的通信模块, 进行串口通信时, 采用较为简单的串行中断机制, 串口在发送数据和接收数据分别采用中断方式, 在接收到数据的时候, 可以通过设置一个标志位通知其他的程序, 需要发送数据时, 也可以通过标志位进入中断发送数据, 流程图如图 4.9 所示:

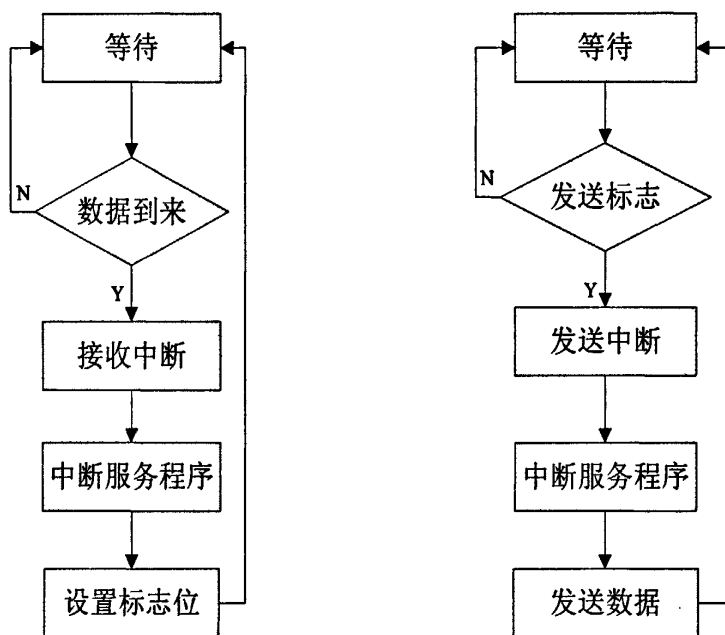


图 4.9 串口通信流程图

无论在接收还是发送, 中断到来之前都处于等待状态, 对于接收数据来说, 当有数据到来时, 就会触发接收中断, 从而进入中断服务程序, 在处理完中断后, 设置标志位, 通知其他程序已经处理完, 对于发送数据, 需要其它程序设置一个发送标志位, 并且触发发送中断, 进入中断服务程序, 发送数据, 待发送完数据时, 重新进入等待状态。需要注意的是, 在发送数据时, 要判断缓冲区里的数据是否发送完。设置标志位时需要用全局变量处理。

4.1.6 人机接口设计

人机接口设计包含了 6 路独立式键盘的设计和液晶显示模块的设计。

1、键盘程序设计

独立式键盘直接与单片机的 I/O 口相连, 由于 MSP430 系列的单片机端口具有中断功能, 因此可以采取比查询方式更为简单的独立式键盘中断方式实现软件, 软件实现的流程图如图 4.10 所示:

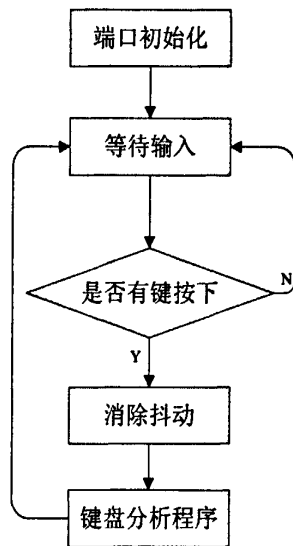


图 4.10 键盘程序流程图

软件实现之前要对所选择的端口进行初始化，首先设置所有的端口为输入方式 $P1DIR=0$ ，后设置所有的端口为一般的 I/O 口 $P1SEL=0$ ，再设置所使用的端口为输出口 $P1DIR |= BIT7$ ；其次是中断寄存器清零，打开管脚的中断功能，打开全局中断使能位 $_EINT0$ ，等待中断，当有按键按下时，即有中断发生，响应中断，并且要对按键延迟一段时间，消除抖动，防止误操作；最后是清除中断标志位等待新的中断。在等待键盘输入的时候采取死循环的等待方式。

2、液晶显示程序设计^[31]

由于所选择的单片机自身带有 LCD 控制器，所以 LCD 的实现比较简单，只需要用定制的液晶显示模块 LCD048 与单片机相连即可实现。LCD 控制器使用基本的定时器的频率 F_{lcd} 产生公共端 COM 和段 SEG 的驱动时序信号， F_{lcd} 可以根据 LCD 的类型以及 LCD 的帧频率来确定，可以分为 1024Hz，512Hz，256Hz 和 128Hz 分别代表 LCD 的四种驱动方式：静态、2MUX，3MUX，4MUX。

在 LCD 的四种驱动方式中，四种驱动方式所使用的公共端不同，其中 4MUX 方式是最简单方便的显示方式。也是使用最多的一种驱动方式，需要 4 个公共端，根据公式 $引脚数=N+段数/N$ ，所以段数较多时，公共端越多，所需要的引脚数也较少，本设计采用 4 个公共端分别为 COM0，COM1，COM2，COM3。液晶显示的流程图如图 4.11 所示：

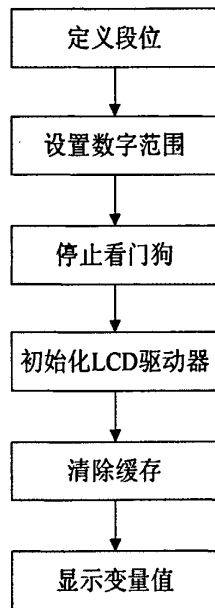


图 4.11 液晶显示的流程图

显示程序中段位的定义需要通过显示缓存器和 LCD048 液晶显示段的对应关系进行查询。需要定义 0—9 等 10 位数字，定义段位后，需要设置显示数字的范围，以及停止看门狗的操作，初始化 LCD 驱动器，包括选择 4MUX 的显示模式，设置 LCD 的频率为 ACLK，设置 RXX 和 COM 端口等。最后在清除缓存和显示变量值要加 FOR 循环依次显示，显示字符和缓存器表对应。

4.2 GPRS 模块程序设计

GPRS 的模块可以应用于各种组网方式，而且不同的组网方式的程序设计各不相同，根据第三章的组网方式介绍，在选择 Internet 网络+GPRS 网络组网方式的前提下，我们选择公网动态域名解析的方法。本章节就是基于以上的组网方式进行程序设计。原理如图 4.12 所示，具体建立连接，完成通信主要分为以下五个步骤^[49]：

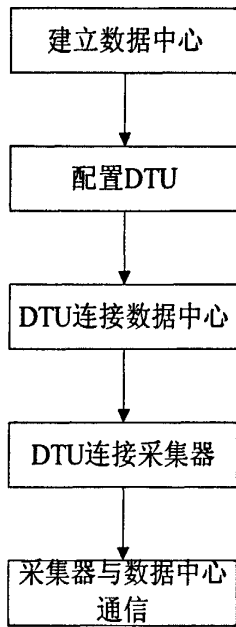


图 4.12 DTU 建立连接的步骤

1、建立数据中心

在建立数据中心的過程中用到的关键技术：端口映射（NAT）。由于一般 Internet 的主机无法访问局域网 IP 地址，也就不能访问局域网的计算机，端口映射技术用于解决此问题，端口映射技术就是局域网主机的 IP 地址映射到服务器的 IP 地址。当访问服务器时，服务器就会通过端口映射将请求转到相应的局域网的主机上。从而使 Internet 的主机可以通过访问服务器访问局域网的主机。数据中心的建立图如下图 4.13 所示^[49]：

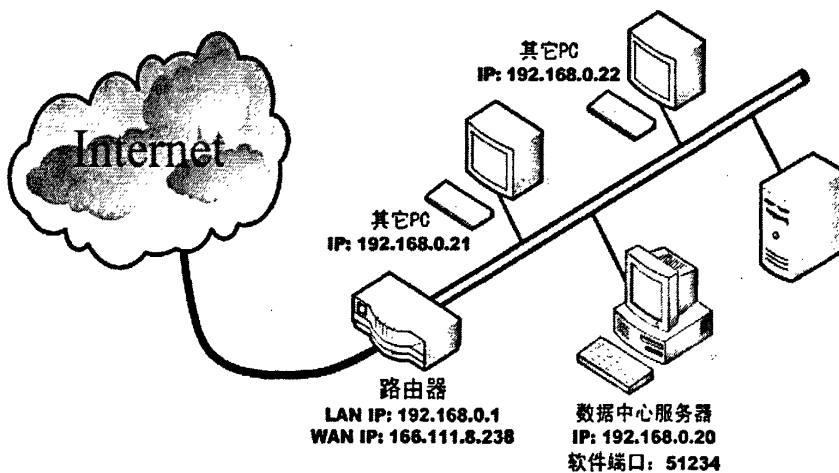


图 4.13 数据中心的建立示意图

当外部的 GPRS 终端通过 GPRS 网络以及 Internet 网络发送数据时，首先发送到局域网的数据中心服务器 192.168.0.20 的端口 51234 上，其次，数据中心的服务器就会把

数据转发到另外其他 PC 机的端口上, 例如 IP 地址为 192.168.0.21 上, 这样局域网的计算机就能受到 GPRS 终端发送的数据。

2、配置 DTU

DTU 的配置共包含本地设置、目标设置、传输控制、和网络参数四部分, 设置过程中用到 AT 指令集, AT 指令集是一套用于对 GPRS 模块控制的命令, 应用在 GPRS 与数据中心建立链接前, 需要对 GPRS 模块进行设置, 也可以用于单片机向 GPRS 模块发送 AT 指令, 实现对 GPRS 模块的控制, 不同的 AT 指令控制 GPRS 不同的操作。

DTU 的主要设置有

1) 本地设置。本地设置主要包括: SIM 卡的号码, 例如: AT+PHON=13555555555; DTU 模式的设置, 在已选择的公网动态域名组网方式中可以选在“客户端+服务器”的 DTU 模式, 在点对点的组网方式中需要选择“点对点客户端+服务器”的 DTU 模式; 通过“AT+DTUMODE”进行设置。工作模式的设置, 本 GPRS 模块有三种工作模式, 分别是 ONLIN (永远在线), IDLDWN (空闲下线), IDLOFF (空闲掉电)。通过“AT+MODE”进行设置。永远在线是指模块上电后一直保持在线状态, 随时都可以快速的进行数据传输, 空闲下线是指模块上电后, 如果在一段时间没有数据传输, DTU 将断开与服务器的连接, 进入休眠状态, 并且可以通过“空闲下线时间 (INLETIM)”命令配置下线的空闲时间, 空闲下线可以通过三种方式激活, 一种是向 DTU 的串口发送数据, DTU 将在连接服务器成功后将这些数据发送出去, 第二种是短信激活, 向模块发送短信可使模块连接服务器。第三种是通过电话唤醒, 只要向 DTU 的 SIM 卡打电话, 接通后, 听到 DTU 挂断, 就说明 DTU 已唤醒。空闲掉电方式是指 DTU 在断开与服务器的连接后, DTU 将切断 GPRS 模块的供电, 使系统进入掉电状态, 从而达到最低的功耗。在掉电后只能通过向 DTU 发送数据的方式唤醒。

2) 目标设置。目标设置主要包括: DNS 的设置, “AT+DNS”; 主数据中心和备用数据中心 IP 地址, 域名和端口号的设置; 主数据中心工作模式的设置, 用于选择是 TCP 连接或者 UDP 连接。

3) 传输控制。传输控制的设置主要包括: 串口波特率的设置, “AT+SERAUD=”, 设置波特率时需要和串行通信的波特率设置一致, 同为 9600 (或者设为默认值 57600); 数据位, 停止位的长度, 以及串口校验类型。串口硬件流控使能设置, 分为使能流控和禁止流控, 关系到硬件接口。此外还包括空闲掉线时间的设置, 范围为 30-65534 (秒)。

4) 网络参数。网络参数主要包括: APN 的属性 (应用于 APN 专线型组网)。DTU

本地端口号等。

5) 控制命令。控制命令的设置主要包括 GPRS 信号强度“AT+CSQ”，退出配置模式等设置。

3、DTU 连接数据中心

DTU 连接数据中心的流程图如下图所示^[49]：

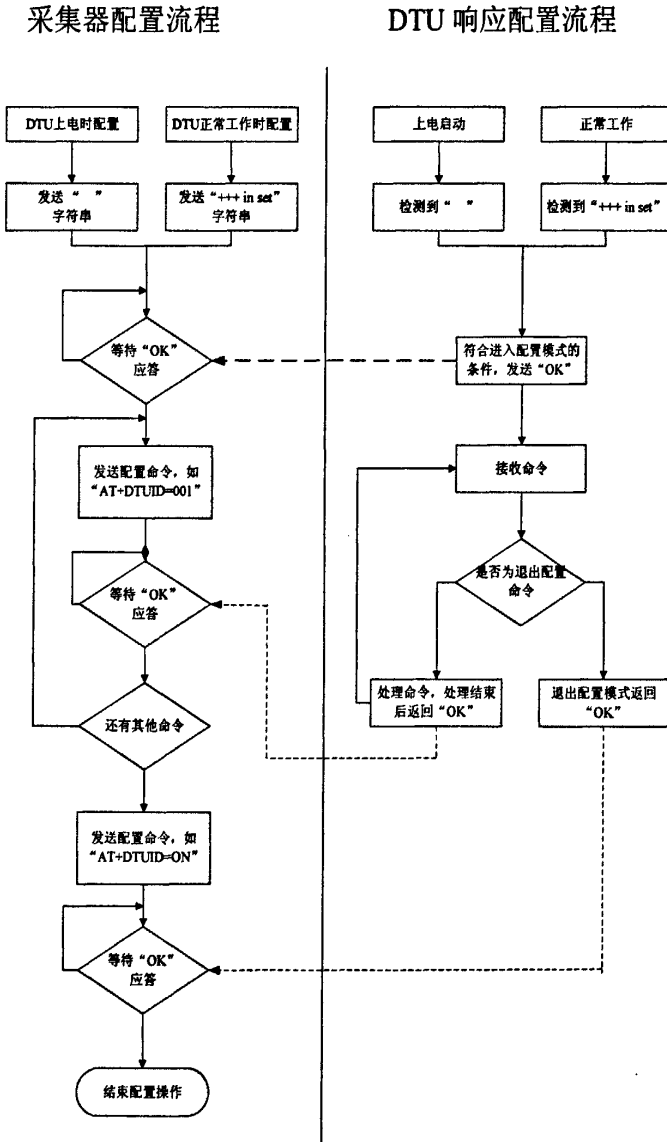


图 4.14 DTU 连接流程图

4、DTU 连接采集器

DTU 连接用户涉及的是硬件连接，可以根据传输控制中“串口硬件流控使能”的设置来选择连接的端口，通常使用禁止流控，硬件只需要 RS232 连接 TXD 和 RXD 两个端口。

5、采集器与数据中心通信

无线传输系统建立后，在系统的调试结束后，将 DTU 的“调试信息”设置为关闭状态。在 DTU 连接上数据中心后，数据采集器就可以与数据中心进行通信了。

4.3 本章小结

本章详细的介绍了整个数据采集器的各个功能单元以及 GPRS 通信模块的全部软件设计。数据采集器的程序设计涵盖了包括数据的采集，以及对采集数据加注时间，采集数据的存储，以及用于控制数据采集的基本键盘操作和液晶操作实现程序。最后介绍了采集得到的数据和上位机（或者 GPRS 模块）进行通信的串口通信程序设计。在各个程序设计之前通常要对单片机进行初始化，以上所有的程序都是在基于 MSP430 系列单片机的 C-SPY 平台上进行调试。

GPRS 模块在接口单片机之前也要进行一定的设置和调试，包括建立数据中心的网络设置，DTU 需要运用 AT 指令集进行自身的配置，建立连接时需要用户配置和 DTU 配置相互响应，最后在硬件连接的基础上，与数据中心建立链路，即时向终端设备发送数据。

第五章 系统调试和试验

本章将对基于单片机的隧道无线监测系统进行了调试,主要通过软件针对数据采集模块、实时时钟模块、串行通信模块以及人机接口模块等硬件模块进行测试。验证软硬件的运行情况。软件的调试在上位机的 IAR Embedded Workbench 平台上进行调试。通过下载器将软件程序下载到开发板的单片机中,并且通过观察上位机的显示内容,验证软件能否驱动硬件正常工作。

5.1 实时时钟和液晶模块试验

1、试验目的

试验的目的是验证系统中的实时时钟模块和液晶显示模块能否正常工作,同时验证软件工作的有效性。

2、试验内容

单片机从实时时钟模块 DS1302 中读出时间数据,显示在液晶显示模块上。可以正确的将当前时间设计程序用 Make 写入 CPU 中,保证每次上电时 CPU 都从 DS1302 中读出正确的当前时间,并送入到液晶显示模块中去,避免发生重写的问题。试验图片如图 5.1 和图 5.2 所示:

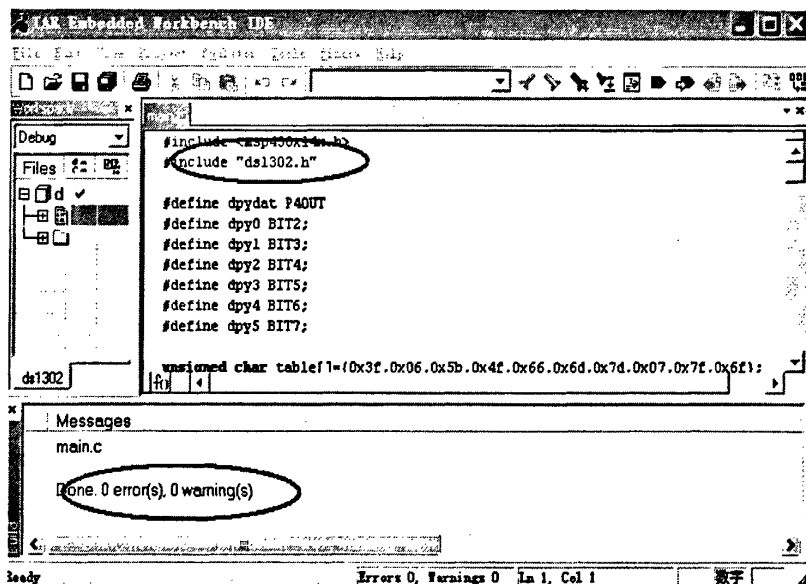


图 5.1 实时时钟和液晶显示程序联调

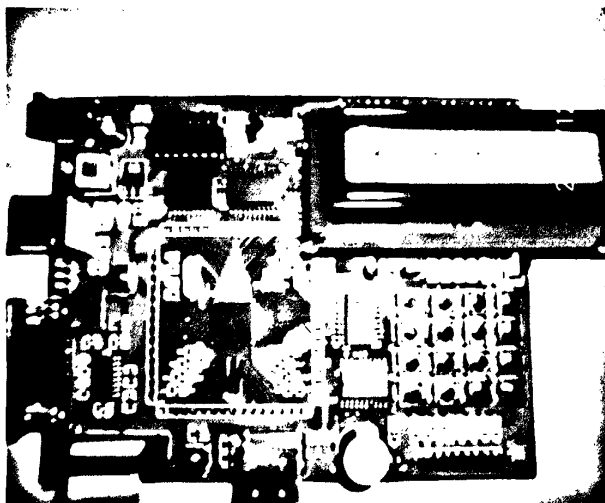


图 5.2 实时时钟和液晶显示联调试验图片

3、试验结论

以上图片表明，单片机能够很好的将实时时钟芯片 DS1302 的数据送到液晶模块显示，此试验涉及的实时时钟模块和液晶显示模块的软硬件都可以正常工作。

5.2 FLASH 存储试验

1、试验目的

试验目的是检验 Flash 芯片组成的存储电路是否正常工作，以及应用软件对其进行读写的有效性。

2、试验内容

实验内容是运用调试器进行软件的调试，然后通过照片观察电路板的显示，内容是向电路板单片机写入 FLASH 模块从 0—9 十个数字，然后从 FLASH 模块中读出这十个数字并且在数码管上显示。程序调试的图片如图 5.3-5.5 所示，分别用以观察寄存器和 FLASH 存储器中的值。

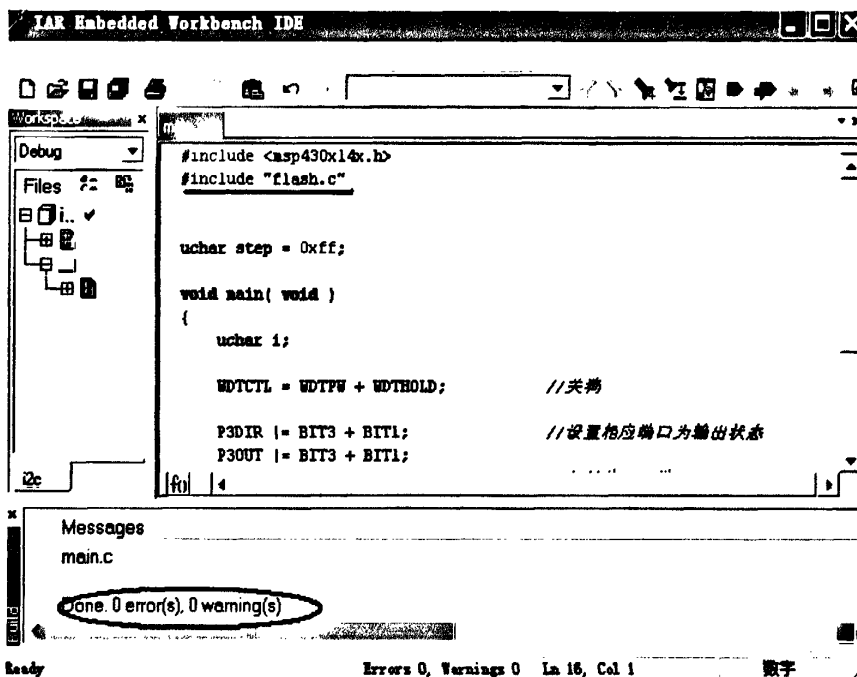


图 5.3 FLASH 试验程序调试



图 5.4 FLASH 试验图片 1

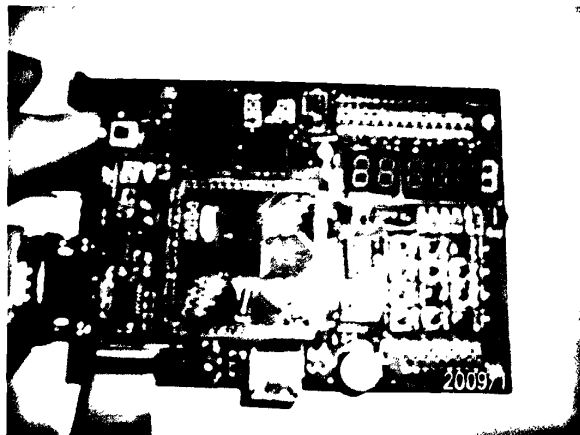


图 5.5 FLASH 试验图片 2

3、试验结论

从以上图片中可以看出，由于间隔时间较短，无法捕捉到所有数字的显示，尤其是0, 1数字的显示，只显示捕捉到的个别数字，从程序调试的显示可以看出，软件能够很好的运行，后面的图片显示可以看出，硬件也可以正常工作。

5.3 键盘试验

1、试验目的

试验目的是检验键盘硬件的接口设计是否合理，以及软件能否驱动键盘正常工作。

2、试验内容

在试验键盘操作时，我们设置了数码管的显示，通过数字在数码管上的显示，判断单片机处理按键的正常工作，试验按键的有效性的判断是按下按键观察数码管上的数值，我们设置的是每按下一次，数码管的数值增加。试验图片如下图所示：

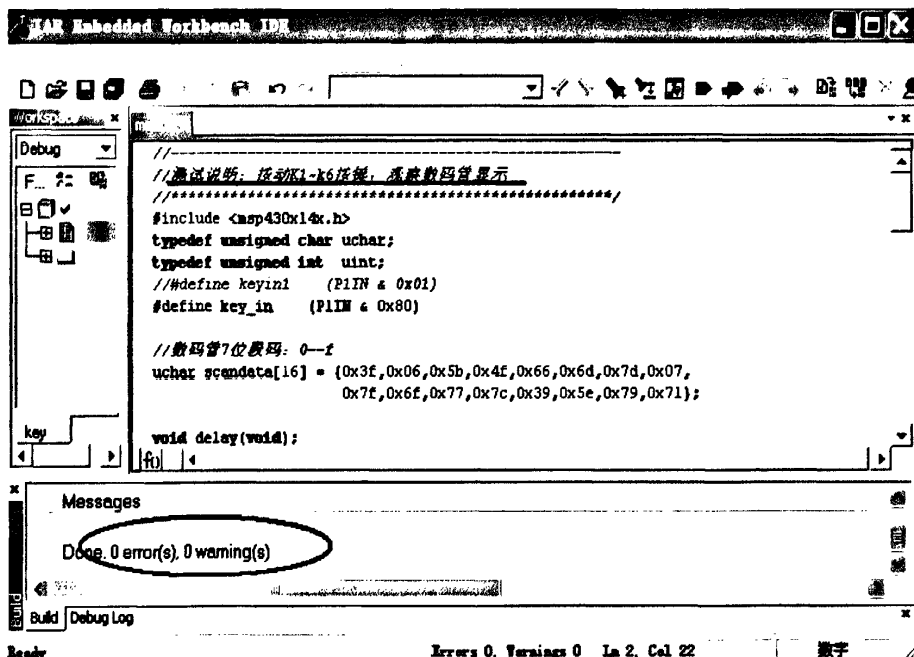


图 5.6 键盘试验程序调试

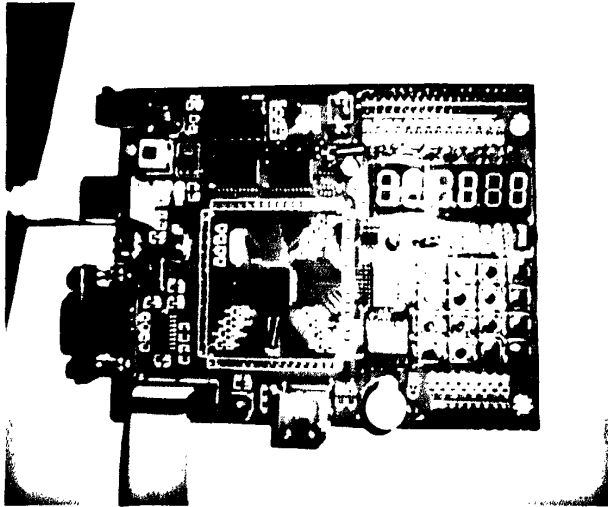


图 5.7 键盘试验图片 1

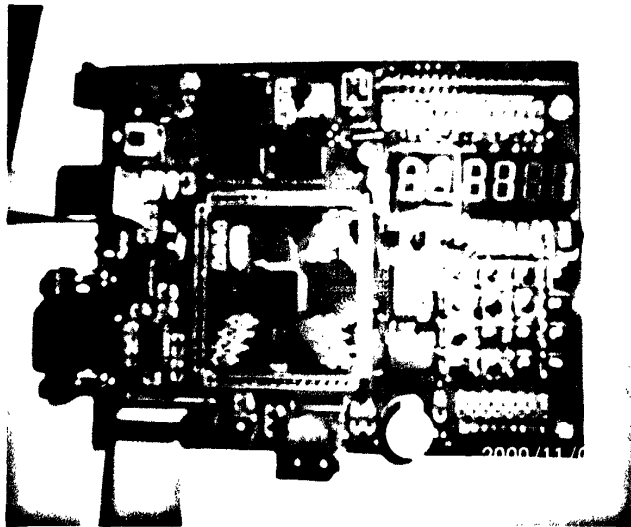


图 5.8 键盘试验图片 2

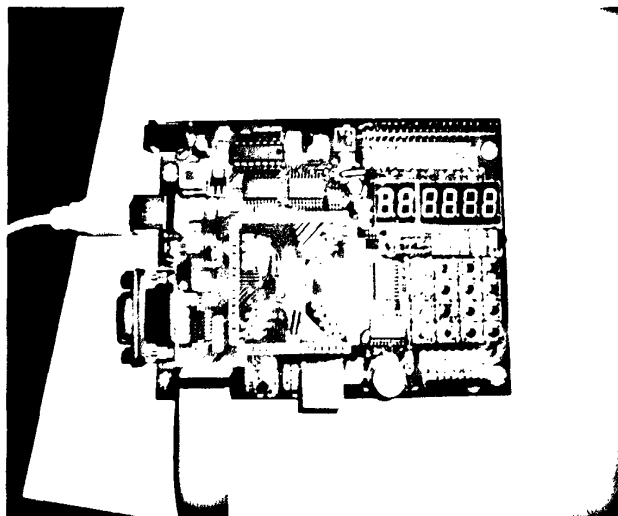


图 5.9 键盘试验图片 3

3、试验结论

从图片中可以看出，每按一次键数码管的数字增加一位数字，符合试验的设想要求，表明了键盘硬件以及驱动程序能够正常工作。

5.4 数据采集和串行通信试验

1、试验目的

数据采集和传输试验是此项目设计的重要测试项目，测试数据采集模块的接口是否正确，以及检测串行通信模块的硬件是否正常工作。串行通信数据的上位机或者无线远程传输通道，对于处理后的数据传输非常重要，通过本次试验确保采集的数据能够通过串行接口正常传输，

2、试验内容

通过单片机的 AD 转换接口将采集的数据通过单片机向上位机发送数据，在屏幕上显示对应的数值，在本实验中，分别在连接 1.5V 电池和连接压力传感器的情况下进行试验，方法是分别在数据采集的引脚两端连入电池和 0.7MPa 的压力传感器，并且在压力传感器上逐渐加力。在此需要对选择 SMCLK 和设置波特率，测试串行接口。计算机通过串口调试助手接收数据，试验截图如下图所示：

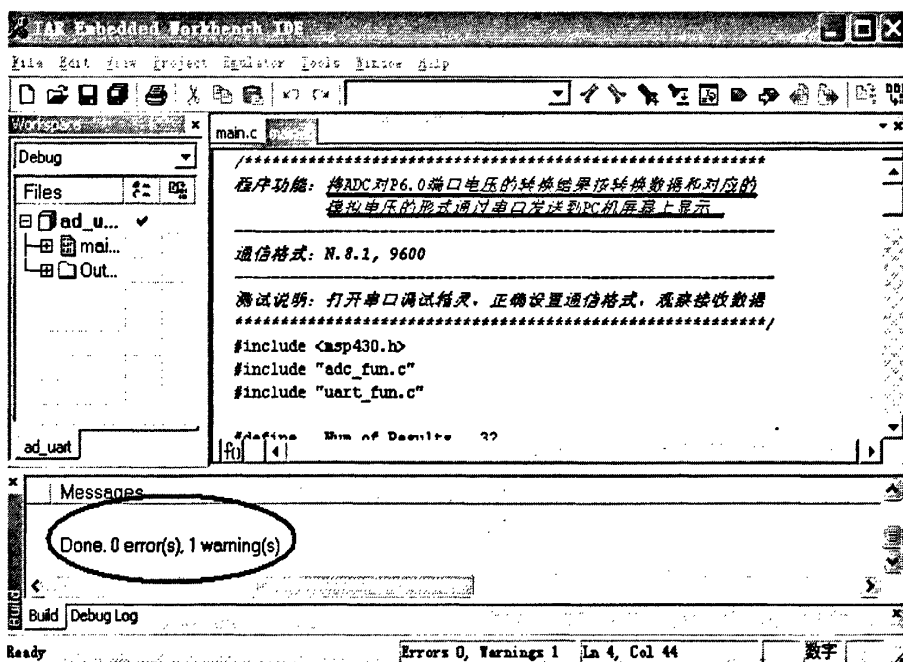


图 5.10 数据采集和串行通信联调

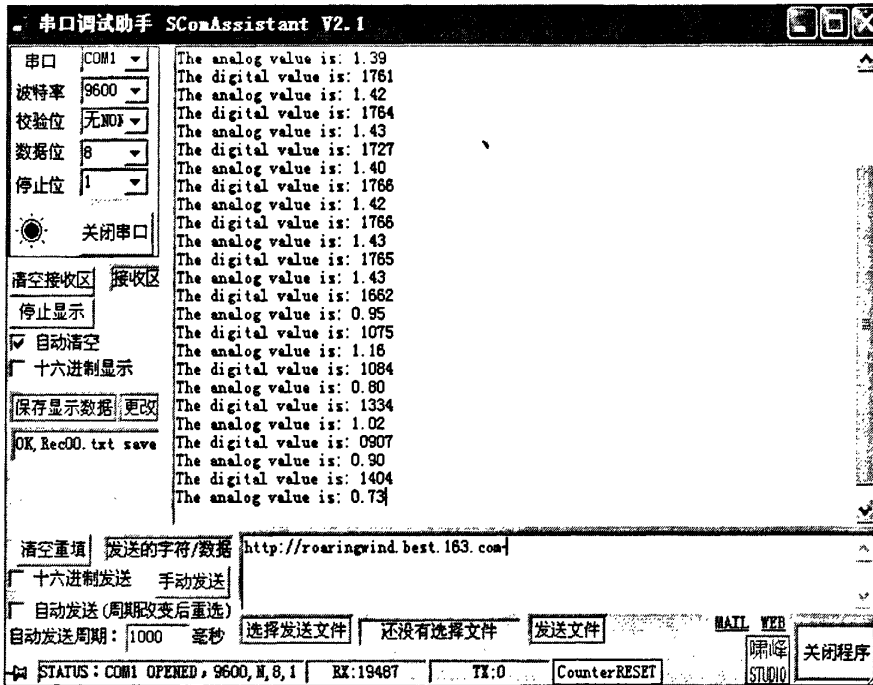


图 5.11 数据采集和通信串口助手显示结果

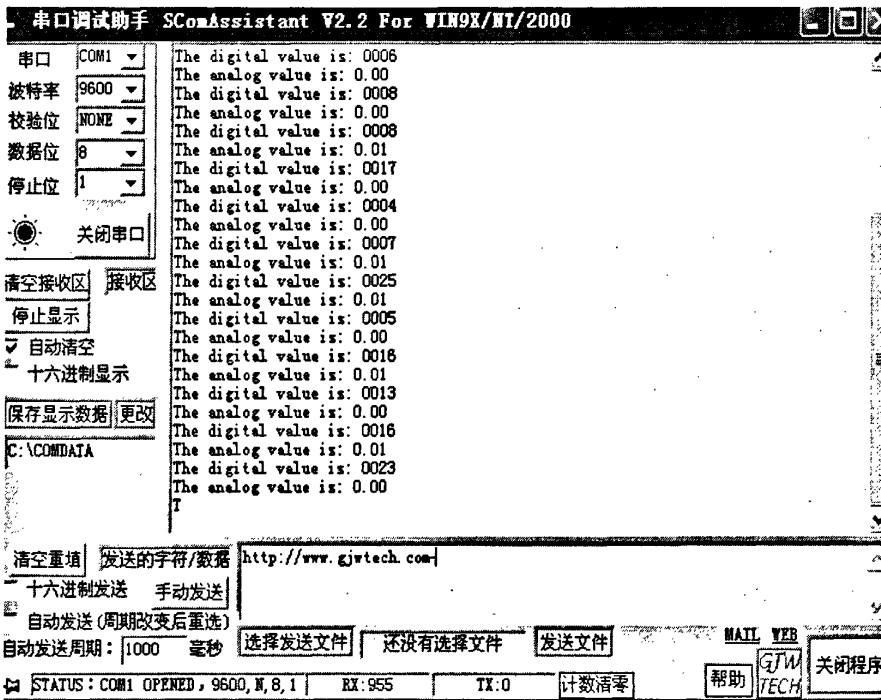


图 5.12 数据采集和通信串口助手显示结果

3、试验结论

从图 5.11 上可以看出，随着手捏紧电池正负极的程度不同，上位机接收到的模拟数据为 1.43V 到 0.73V 不等，图 5.12 为接上压力传感器的显示结果，图上看压力传

传感器的输出电压在没有加力的情况下显示为 0，在慢慢加力时数据的数字值明显增大，模拟量显示为 0.01V。以上两个试验说明数据的采集模块和串行通信模块的软硬件可以正常工作。

5.5 GPRS 模块通信试验

1、试验目的

测试 GPRS 模块能否能够完成 GPRS 和 Internet 网络的连接，测试 GPRS 模块能否正常工作。

2、试验内容

网络配置包含上位机的超级终端和 GPRS 的 DTU 配置。在 DTU 配置之前要给电脑的串口发送 ASCII 码已完成 DTU 的初始化。通过串口调试助手向 GPRS DTU 发送 “ ”（空格键），DTU 的回应为 IP 地址和端口。串口调适界面和 DTU 配置界面分别如下图 5.13 和图 5.14 所示。

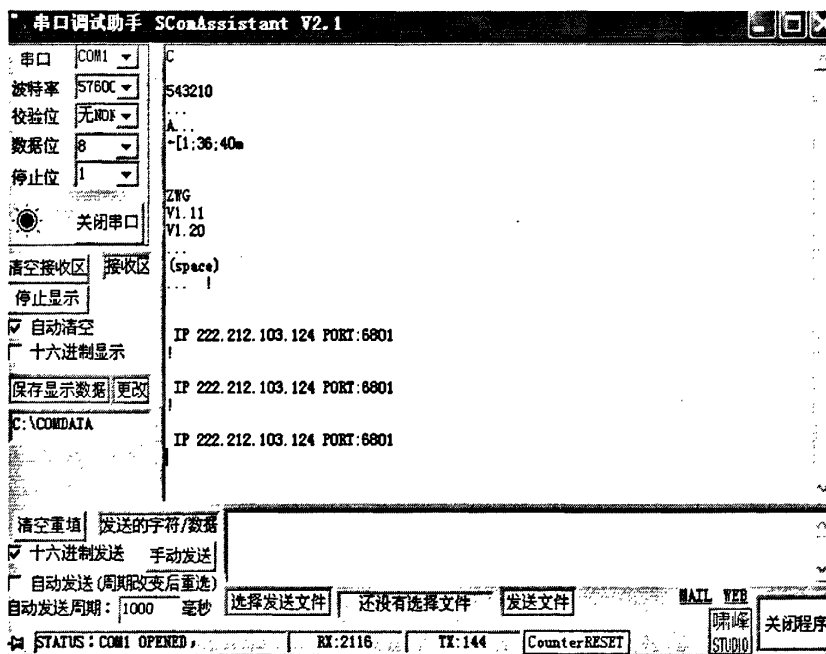


图 5.13 串口助手向 DTU 发送初始化数据

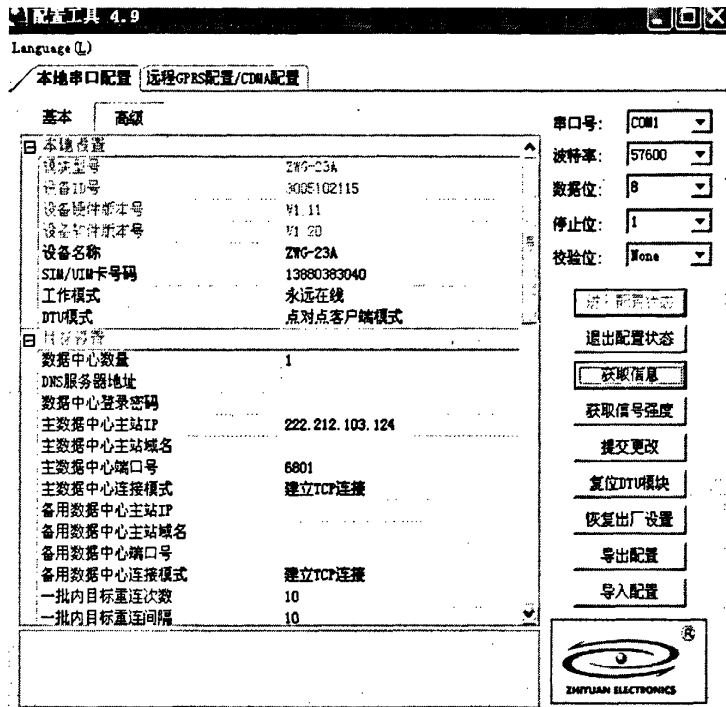


图 5.14 DTU 配置工具的界面显示

由图 5.13 和图 5.14 可以看出，电脑串口和 DTU 连接过程中，波特率必须设置为一
 致，本例中采用 DTU 的默认设置 57600。通过设置超级终端的方法完成 GPRS 和网络
 的连接，本例中为了方便起见，采用链接到周立功测试网站的方法进行验证 GPRS 模块
 是否能够完成通信。通信结果如下图所示：

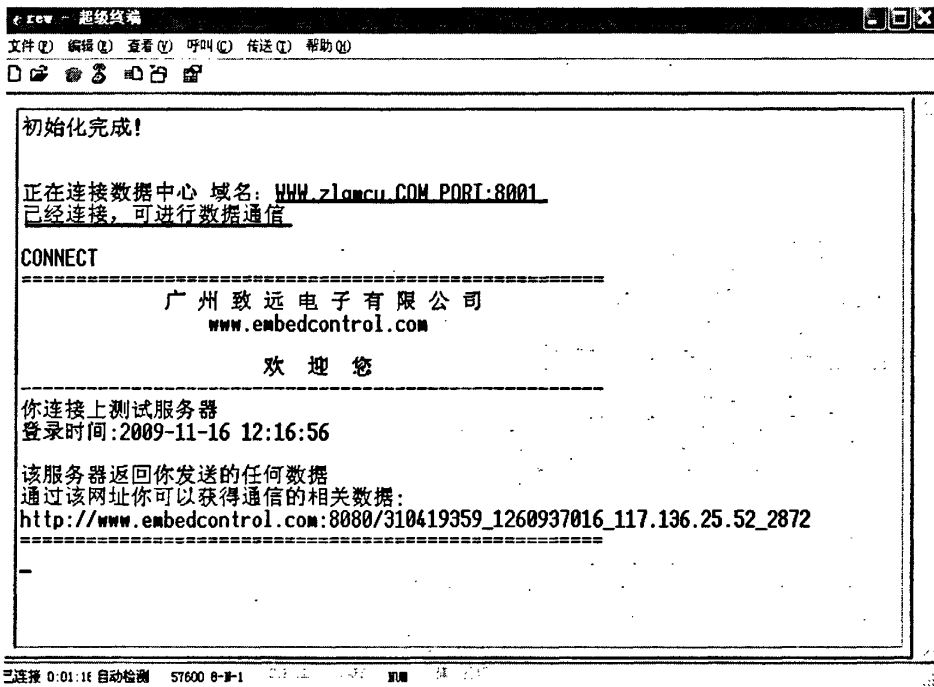


图 5.15 网络终端连接界面

超级终端配置完成后，网络连接情况如上图所示，红色标志分别已经成功连接到周立功网站：WWW.ZLGMCU.COM。测试网站的端口为 8001。

3、试验结论

由以上试验可以看出，DTU 在插入可上网 SIM 卡的情况下，可以完成正常的网络连接。说明 DTU 能够正常工作。

5.6 本章小结

本章对于基于单片机的隧道数据采集系统在室内进行了包括实时时钟，人机接口，以及数据的采集和传输等模块的性能测试，在载入程序的运行过程中，采集系统的各个模块硬件上软硬件上都能够正常工作，采集系统达到设计的要求。

第六章 总结与展望

6.1 总结

在借鉴了国内外的经验的基础上,本文以镇安隧道为基础,设计开发了基于 MSP430FG439 单片机的隧道无线数据采集系统。本系统由用于监测隧道围岩和钢支撑的数据监测单元、基于 MSP430 单片机的数据预处理和传输单元、远程监控单元三部分组成,实现对隧道内应力应变监测点的实时数据采集,无线网络传输和接收功能,并对设计的软硬件进行了大量的试验调试工作。主要研究工作和成果如下:

分析了镇安隧道的实际情况,提出了复杂地质隧道结构安全监测无线数据采集系统的研究方案。

在选择监测对象上,选用施工监控量测中的围岩内部压力和钢拱架支撑作为量测对象,并对压力盒和应变计在隧道内部的布设和安装进行了分析,选取合理的测量点。对隧道内围岩的压力进行了计算,为合理选取压力盒的测量范围奠定了基础,最终选择性能较高的振弦式传感器进行测量。

在硬件设计方面,采用 TI 公司生产的低功耗单片机 MSP430FG439 作为现场接收隧道内压力值和应变值的处理器。完成对数据的采集和处理工作。二者之间设计了放大电路对传感器的信号进行调理,然后接入单片机对应通道。以使信号达到处理器电压输入范围要求。并利用单片机的串口实现和 GPRS 模块的连接。在无线传输网络上,选用了较为成熟的 GPRS 网络进行远程通信。通过 GPRS 的无线传输实现了实时、远程、高效传输监测数据的目的。

在软件方面,采用了适用于 MSP430 系列单片机的 C 语言进行编写。程序主要完成主处理器及外围模块的协调及功能实现。

最后进行了系统调试和实验,验证了数据采集器能够实现设计目标,完成包括数据的采集、存储、显示以及远程传输等功能。

6.2 展望

本系统还处于研究的初级阶段,还存在着许多需要继续改进的地方,主要有以下几个方面:

隧道的监测项目比较单一,而未来发展趋势会增加隧道的监测项目以期监测更加全

面，同时需要增加数据采集器的通道数，这需要对硬件相关接口和程序进行更改。

设计的电路板及 GPRS 模块在室内的调试中表现良好，将设备放在实际的监测隧道时是否还具有室内的稳定性和可靠性有待验证。

要达到设计一个完整的采集系统的目的，还需要对远程监控系统的界面进行开发，从而对采集到的数据进行管理。

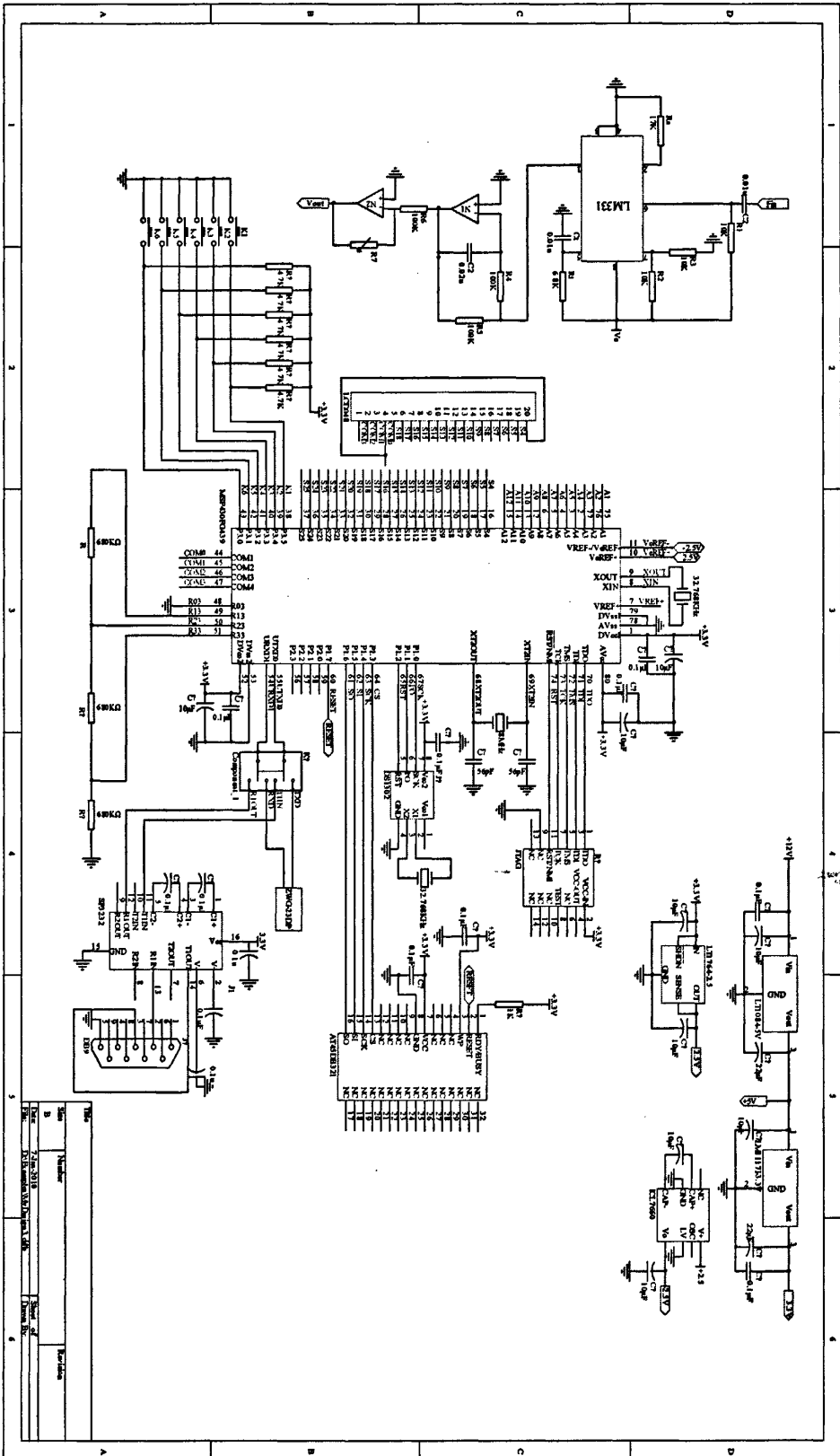
参考文献

- [1] 李晓红. 隧道新奥法及其测量技术[M]. 北京: 科学出版社, 2002.
- [2] 吕康成. 隧道工程试验检测技术[M]. 北京: 人民交通出版社, 2000.
- [3] 刘海京, 罗鑫, 朱合华等. 隧道病害研究现状与进展[J], 地下空间与工程学报, 2007.
- [4] Van Oosterhout,G.P.C,Heron, Recent Dutch experiences in developing structural monitoring systems for shield driven tunnels,2003.
- [5] Lee,Jung - Ryui, Ryu, Chi - Young, In - flight health monitoring of a subscale wing using a fiber Bragg grating sensor system , Smart Materials and Structures,2004.
- [6] 王秀美, 地下工程在施工和运营期间进行周边位移检测的新方法[J], 中国锰业, 2001年4期.
- [7] 李丽芳, 光纤分布式温度监测在汕梅高速公路火灾报警系统中的应用[J], 公路, 2004年10期
- [8] 黄腾, 张书丰. 地铁盾构隧道下穿公路隧道安全监控的研究[J], 工程勘测, 2004.
- [9] 付军, 严新平, 刘胜春, 盾构隧道健康监测分析与研究[J], 2005年全国博士生学术论坛论文集, 2005
- [10] 高志强.基于 GPRS 的配电变压器远程监测系统设计[D].山东: 山东理工大学.2007.
- [11] 吴小平, 桥梁健康监测中的传感器选型与设计[J], 山西建筑, 2007.
- [12] 潘研.结构健康监测的数据采集系统研究与实现[D].成都: 西南交通大学.2008
- [13] 夏永旭, 王永东. 隧道结构力学计算[M], 北京: 人民交通出版社.
- [14] 公路隧道设计规范 (JTGD70-2004) [S]. 北京: 人民交通出版社, 2004.
- [15] 王海英, 特殊地质隧道安全监测与预警技术研究[R], 西安: 长安大学,2008.
- [16] 马增强, 燕延, 井海明.基于 GPRS 的数据采集系统的研究[J].微计算机信息.2005年21卷第3-8期.
- [17] 严雪萍, 成立, 韩庆福, 何加祥.基于 GPRS 的远程数据采集系统设计[J].微型计算机信息.2008年24卷第1-2期.
- [18] 沈苑, 施展, 陈晓蓉.GPRS 技术在远程数据采集中的应用[J].仪表技术, 2006年6期
- [19] 许云龙.基于 GPRS 的近海赤潮监测实验系统研究[D].浙江: 浙江大学.2008

- [20] MSP430fg439 datasheet.
- [21] 吕建国.一种用 LM331 实现的频率/标准电压转换电路[J].四川大学学报.2004 年 10 期..
- [22] AT45DB321 datasheet.
- [23] DS1302 datasheet.
- [24] 李朝青.单片机原理及接口技术[M].北京:北京航空航天大学出版社.1998
- [25] 李晓莹主编.传感器与测试技术[M].北京:高等教育出版社.2004.
- [26] 魏小龙.MSP430 系列单片机接口技术及系统设计实例[M].北京:北京航空航天大学出版社.2002
- [27] 胡大可.MSP430 系列低功耗单片机原理与应用[M].北京:北京航空航天大学出版社 .2000
- [28] 胡大可编著.MSP430 系列单片机 C 语言程序设计与开发[M].北京:北京航空航天大学出版社.2003
- [29] 秦龙编著.MSP430 单片机应用系统开发典型实例[M].中国电力出版社.2005
- [30] 单片机接口技术实用子程序[M].北京:人民邮电出版社.2005
- [31] 李智奇,白小平等编著.MSP430 系列超低功耗单片机原理与系统设计[M].西安:西安电子科技大学出版社,2008
- [32] 张晞,王德银,张晨编著.MSP430 系列单片机实用 C 语言程序设计[M].北京:人民邮电出版社,2005
- [33] 曹磊编著.MSP430 单片机 C 程序设计与实践[M].北京:北京航空航天大学出版社,2007
- [34] 金福宝.基于 GPRS 的桥梁监测系统研究[D].吉林:东北林业大学.2007
- [35] 王毅才.隧道工程[M].北京:人民交通出版社,2004.
- [36] 王海英.桥梁健康无线监测系统研究[D].上海:同济大学.2005.
- [37] 邹杰.AT45DB161 在税控器开发中的应用[J].山西电子技术.2006 年 2 期
- [38] 陈颖.存储器 AT45DB161 在安全监控纪录装置中的应用[J].机车电传动.2009 年 2 期.
- [39] 赵海兰,朱剑,赵祥伟.DS1302 实时显示时间的原理与应用[J].电子技术 2004 年 1 期.
- [40] 能昌会.时钟芯片 DS1302 在单片机系统中的应用[J].元器件应用.2007 年 11 期
- [41] 王晨光,孙运强.串行时钟芯片 DS1302 在温度测量记录仪表中的应用[J].电子测试.2008 年 12 期.

- [42] 苏维嘉, 王旭辉.基于 MSP430 单片机的数据采集系统[J].现代电子技术.2007 年 23 期
- [43] 袁佑新, 常雨芳, 黄锴.数据采集与通信技术在结构健康监测系统中的应用[J].广西交通科技.2003 年 5 期.
- [44] 李文江, 马荣兵.单片机数据采集远距离无线传送的研究[J].电子技术.2007 年 1 期
- [45] 王海涛, 段哲民.多路数据采集与网络远程传输系统实现[J].计算机测量与控制.2008 年 3 期第 16 卷.
- [46] 张新成, 李庆亮, 吴相林, 徐立新.基于 GPRS 远程数据采集系统的设计与实现 [J].2006 年 14 期第 27 卷.
- [47] 伍连明, 陈世元.基于 GPRS 的远程数据采集模块[J].现代电子技术.2009 年 3 期.
- [48] 花汉兵.基于 MSP430F449 单片机的数据采集试验设计[J].实验室研究与探索.2007 年 5 期.
- [49] ZHIYUAN ELECTRONICS,ZWG-23A User Manual.2008

附录 数据采集器原理图



致 谢

在论文即将完稿之时，谨向我的同学、老师及亲友表示诚挚的谢意，感谢他们平时对我的鼓励、教诲。首先感谢我的导师王海英老师。王老师有着渊博的知识，踏实的工作作风，严谨的治学态度，在论文撰写期间，王老师给予了我无微不至的关怀和悉心的指导，并且不断的激励我努力学习和工作。在平时生活中王老师为人和蔼，对学生关怀备至。无论在平时学习生活中还是在为人处事方面，王老师的一言一行都深刻的启迪着我。在此，我向导师表示崇高的敬意和由衷的感谢。

在课题完成过程中，得到了我的同学程瑶、林敏以及我的师弟们的帮助，在此表示感谢，特别感谢国家授时中心的刘娅在我的课题研究和生活过程中给予我的无私帮助和鼓励。

感谢多年来含辛茹苦养育我、对我寄予厚望、默默奉献的父母，感谢他们这些年来对我无私的爱和始终如一的鼓励。在此表示由衷的感谢和祝福！最后，对所有在三年的学习和工作中帮助过我的人表示感谢！