

中文摘要

我国大坝尤其是土石坝众多，而土石坝最常见的破坏就是渗流破坏，渗流破坏对大坝危害极大甚至造成溃坝，为了尽早监测到大坝性态的异常情况，有必要进行大坝渗流监测系统的开发。

本文详细分析了国内外大坝渗流监测系统的研究现状与优缺点，对无线通信技术及现代监测技术进行了深入的研究，提出了基于 GPRS 的大坝渗流监测系统研究方案。该系统主要由单片机终端和监控中心两部分组成，具有远程监测的功能，有利于大坝渗流监测系统扩容。

针对大坝渗流监测特点和要求选取了监测参数，开发了基于振弦式渗压计的大坝渗流监测终端，完善了各功能模块之间的硬件接口设计。深入研究了 GPRS 网络技术，搭建了 GPRS 数据传输网络，设计监测系统组网方案，设计了相关 GPRS 通讯模块，制定相应通讯协议，设计并实现了监测终端与 GPRS 模块之间的通信连接。

论文设计了大坝渗流监测系统上位机软件，利用 VB 和 SQL Server 2000 实现了上位机远程监控，通过建立 Socket 通信连接实现上位机软件与 GPRS 终端之间的通信，达到了对监测数据的实时采集显示。设计和制作了大坝模型，搭建了系统测试平台，利用平台对监测系统进行了测试调试，对系统可行性进行了验证。最后，利用大坝渗流安全计算方法，确定了渗流安全计算的研究内容，建立大坝理论模型并对采集到的数据进行计算分析，作出安全评价。

关键词：大坝渗流；渗流监测；GPRS 通信；频率检测；安全校核

分类号：TP274+.2

ABSTRACT

There are numerous of dam especially earth-rock dam in China, and the most common destruction for earth-rock dam is seepage damage ,it does great harm to dam and even cause dam break, in order to detect the abnormal situation of the dam as early as possible, it makes it necessary to develop dam seepage monitoring system.

The thesis introduces the external and internal researching actuality and advantages or disadvantages of the dam seepage monitoring system, also carries out further research with the wireless communication technology and modern monitoring technology. And the dam seepage monitoring system with remote monitoring function on GPRS is proposed. The system mainly consists of single-chip microcomputer terminal and the monitoring center, which proved to carry out the function of long remote control and to be beneficial to expansion for monitoring system.

According to the seepage monitoring characteristics and content, the monitoring parameters is selected, and a kind of dam seepage monitoring terminal based on vibrating wire settlement sensor is developed, moreover, the function module of the hardware interface is perfected. Then the GPRS network technology is researched and designed one kind of GPRS data transmission network. In addition, networking of the monitoring is designed and the GPRS communication module is designed and, and the communication between the monitoring terminal and the GPRS module is realized by formulating communication agreement.

In this thesis, the monitoring system of the PC software is designed by modifying VB and SQL Server 2000, the communication between PC software and GPRS module is realized by setting up the socket connection, for this connection, the monitor real-time data acquisition is realized. In addition, design and production of the experiment model indoor dam, and the system testing platform is set up by using this kind of dam module. Also, the testing and debugging of the monitoring system is carried out in the platform, the feasibility is proved with the experiment. At last, the content of the seepage researching calculation is conformed by using the dam seepage calculation method, and also, the theoretical dam model for the system is set up and have a calculating for the collected data come from the system, in addition, the safety evaluation is made through the calculation result.

ABSTRACT

Keywords: Dam seepage; Seepage monitoring; GPRS communication; Frequency detection; security check

CLASSNO: TP274+.2

致谢

经过一年多的努力，论文得以顺利完成，在这之中，始终伴随着各位老师和同学的指导及帮助。

首先衷心感谢我的导师陈科山教授。陈老师在论文选题、文献阅读、开题报告、论文设计和论文撰写过程中给予了我悉心的指导和无微不至的关怀，并为论文的顺利研究和开展创造了良好的条件。陈老师在论文研究过程中提出了许多宝贵的意见和建议，使得本论文得以顺利完成。同时陈老师严谨的治学态度，丰富的实践经验，勤奋认真的工作态度为我做出了榜样，也会对我今后的学习和工作中产生积极影响，在此谨向陈老师表示深深的谢意！

课题研究期间，得到了陈广华老师的许多帮助和指导，陈老师在开题和论文撰写方面给予了许多宝贵的意见，在此向陈老师表示诚挚的谢意！另外感谢齐红元、万里冰、史红梅等老师在开题和课题研究期间给予的意见和建议！

我的同学陶东、崔兴斌、王媛在我课题研究期间对论文的研究进展以及排版给予了不少的意见和帮助，徐智虹和薛超师弟在实验平台搭建方面也给予了很多帮助，课题的顺利完成也有他们的功劳，在此对他们表示感谢！

感谢要在百忙之中抽出时间对我论文进行评审、评议以及论文答辩评审的各位老师！

最后感谢我的父母和家人在我两年研究生期间给我的支持和关心，是你们无私的厚爱和殷切的希望激励着我不断进步。

图表清单

图 2.1 系统总体设计方案框图	8
图 3.1 系统硬件组成示意图	11
图 3.2 振弦式渗压计结构图	12
图 3.3 振弦式传感器原理图	13
图 3.4 监测仪硬件构成图	15
图 3.5 I ² C 总线接口内部结构图	17
图 3.6 间歇激振示意图	18
图 3.7 传感器激振信号示意图	19
图 3.8 激振信号电路图	19
图 3.9 滤波放大电路图	20
图 3.10 迟滞比较器电路图	21
图 3.11 频率信号检测电路图	21
图 3.12 精密恒流源电路图	22
图 3.13 温度信号调理电路图	22
图 3.14 实时时钟电路图	23
图 3.15 外部存储器电路图	24
图 3.16 液晶单元接口电路图	25
图 3.17 按键电路图	25
图 3.18 按键复位电路图	26
图 3.19 电压转换电路图	26
图 3.20 MC39i 结构功能模块图	29
图 3.21 MC39i 与 MSP430F149 接口电路图	30
图 3.22 SIM 卡物理结构图	30
图 3.23 SIM 卡接口电路图	31
图 3.24 GPRS 数据传输网络工作流程图	32
图 3.25 GPRS 组网方式一网络拓扑图	32
图 3.26 GPRS 组网方式二网络拓扑图	33
图 3.27 GPRS 组网方式三网络拓扑图	33

图 3.28 动态域名解析结果图.....	35
图 3.29 端口映射示意图.....	36
图 4.1 系统软件总体流程图.....	37
图 4.2 单片机智能终端数据连接流程图.....	38
图 4.3 单片机主程序功能流程图.....	40
图 4.4 频率信号采集流程图.....	41
图 4.5 激振脉冲产生流程图.....	42
图 4.6 测频方法示意图.....	42
图 4.7 测频系统程序流程图.....	43
图 4.8 A/D 转换时序流程图.....	44
图 4.9 温度采集流程图.....	44
图 4.10 AT24C512 读写操作流程图中.....	45
图 4.11 通信软件整体结构图中.....	46
图 4.12 GPRS 模块会话动作流程图.....	48
图 4.13 PPP 帧格式.....	49
图 4.14 PPP 协商过程图中.....	50
图 4.15 PPP 协议实现程序流程图.....	51
图 4.16 TCP 数据报封装过程.....	52
图 4.17 监控中心功能模块图中.....	55
图 4.18 监控中心流程图中.....	56
图 4.19 监控中心主界面图中.....	59
图 4.20 数据实时采集界面.....	60
图 4.21 传感器参数设置界面.....	60
图 5.1 系统测试平台构成图中.....	61
图 5.2 AT 指令测试结果.....	62
图 5.3 GPRS 模块发送短消息测试.....	62
图 5.4 GPRS 连接测试示意图.....	63
图 5.5 监控中心服务器测试图中.....	65
图 5.6 实验数据采集.....	66
图 5.7 大坝模型示意图.....	67
图 5.8 无排水设施不透水均质坝渗流计算模型.....	67
图 5.9 浸润线实验值与计算值比较.....	70

表 3.1 VWP-0.25 振弦式渗压计规格及主要技术参数	12
表 3.2 MC39i 模块特性表	28
表 4.1 主要源程序及其功能	39
表 4.2 I ² C 总线相关函数	45
表 4.3 MC39i 模块驱动函数	48
表 4.4 两种通信模式下数据帧格式	54
表 4.5 渗流数据包结构	54
表 4.6 用户表	57
表 4.7 传感器信息表	58
表 4.8 单片机终端信息表	58
表 4.9 测量参数表	58
表 5.1 单片机终端与监控中心通信稳定性测试	64
表 5.2 坝体正常蓄水位 20cm 时浸润线各点坐标值	69
表 5.3 0+0.17 断面渗压计压力水头值	69

1 绪论

1.1 研究背景

水库大坝是国民经济中的基础产业和基础设施，在社会经济生活和建设中起着重要的作用。随着经济的发展，我国的水利事业得到不断的发展，并且取得了十分瞩目的成就。建国以来，我国共修建堤坝 8.6 万多座，水库总蓄水量约为 5000 亿立方米，相当全国总径流量的六分之一，水库大坝数量及其堤坝长度均居世界之首，这些堤坝保护着 3 亿多人口，4 亿多亩良田和上百座城市的防洪及供水安全，同时在航运、发电养殖等方面也发挥了巨大的效益^[1]。

随着水资源的深入开发，坝址的地质条件越来越复杂，大坝的规模也向高、大方向发展。例如三峡、小浪底、二滩等水库大坝，这些工程不仅对我国的经济建设做出了巨大的贡献，也使我国的坝工技术水平达到了一个新的高度。但是由于水文、大坝类型、地质、施工质量、材料老化、运行管理落后等诸多原因，我国的堤坝安全存在许多问题，病险水库大量存在，大坝老龄化问题特别突出。

根据2004年年底统计，在水利系统管理的85200座大坝中，90%的水库都是土石坝，土石坝是用松散的土、砂、石料及其混合料填筑而成的挡水建筑物，由于水库蓄水形成上、下游水头差，必然在坝体和坝基中形成自上游向下游的渗透水流，并产生渗透变形控制问题。渗透水流除浸湿土体降低其强度指标外，当渗透压力达到一定程度时将导致坝坡滑动、防渗体被击穿、坝基管涌、流土等重大渗流事故，直接影响大坝的运行安全。

据国内统计，从241座大型水库发生的1000多次事故分析，由于渗流破坏而造成事故的，占总事故数的32%；从2391座水库失事分析，由于上述原因而造成垮坝的占29%^[2]。从以上两个方面统计分析说明，土石坝由于渗流破坏而造成的事故或垮坝的占30%左右。据世界各国统计，如美国对206座土石坝失事分析，由于渗流破坏而造成失事的占39%；日本对土石坝失事分析调查，由于渗流破坏造成失事的占44%；瑞士对土石坝调查分析，由于上述原因造成失事的占40%。仅从这三个国家的统计分析说明，土石坝由于渗流破坏发生事故的占40%左右。国际上相继发生了马尔巴塞（法国，1959年）、瓦伊昂特（意大利，1963年）、提堂（美国，1975年）等垮坝事件，我国也先后发生了板桥、石漫滩洪水漫顶（1975年）、贵州威宁县长海小型水库渗流破坏溃坝（1995年）以及沟后水库渗透破坏（1993年）等垮坝事件，给相关国家带来了惨重的灾害和巨大的经济损失。总之，从国内外统

计分析来看, 由于渗流破坏发生的事故或垮坝占总数的30%—40%^[3], 由此可见, 渗流监测对土石坝安全的重要性。要确保大坝渗流安全, 除了保证工程质量以外, 更重要的就是对大坝的实际运行状态进行监视, 及时发现安全隐患, 采取有效措施。因此, 必须加大对大坝实施渗流监测的力度。

国内外大量的工程实践表明, 对已建的大坝进行渗流监测是保证大坝安全运行的重要措施之一。大坝渗流监测是通过仪器观测和巡视检查对大坝坝体、坝基、坝肩、近坝区岸坡及坝周围环境所作的测量和观察。根据观察结果掌握大坝在水压力下、扬压力及温度等环境量的作用下的渗透规律, 了解大坝在施工和运用期间是否稳定和安全, 一遍采取正确的运行方式或进行必要的处理和加固, 保证工程安全。同时将观测成果与设计成果进行对比, 以检验理论计算结果及提高将来的设计水平。

1.2 大坝渗流主要监测项目

大坝安全监测项目有应力应变监测、变形监测、环境量监测和渗流检测等项目。应力应变监测包括: 应力、应变、混凝土温度、坝基温度等; 变形监测包括: 坝体位移、倾斜、坝基位移等; 环境量监测包括: 上下游水位、库水温、历史降雨量。大坝渗流监测对大坝的安全运行极其重要, 渗流监测主要包括坝体渗流压力监测、坝基渗流压力监测、渗流量监测等。

(1) 坝体渗流压力监测: 坝体渗流压力观测包括观测断面上的压力分布和浸润线位置的确定。坝体渗流压力监测观测横断面宜选在最大坝高处、合拢段、地形或地址条件复杂坝段, 一般不少于 3 个, 并尽量与变形、应力观测断面相结合。观测横断面的测点设置, 应根据坝型结构、断面大小和渗流场特征, 设 3-4 条观测铅直线。坝体渗流压力观测仪器, 应根据不同的观测目的、土体透水性、渗流场特征以及埋设条件等, 选用测压管和渗压计。一般是作用水头小于 20m 的坝, 渗流压力变化幅度小的部位、监测防渗体裂缝等, 适宜采用测压管。作用水头大于 20m 的坝, 观测不稳定渗流过程以及不适宜埋设测压管的部位, 适宜用埋设渗压计, 其量程应与测点实有压力相适应。

(2) 坝基渗流压力监测: 坝基渗流压力观测包括坝基天然岩土层、人工防渗和排水设施等关键部位渗流压力分布情况的观测。坝基渗流压力观测横断面的选择, 主要取决于地层结构、地质构造情况, 断面数一般不少于 3 个, 并宜顺流线方向布置或与坝体渗流压力观测断面相重合。观测横断面上的测点位置, 应根据建筑物地下轮廓形状、坝基地质条件以及防渗和排水型式等确定, 一般每个断面上的测点不少于 3 个。

(3) 渗流量监测：大坝渗流量由三部分组成：坝体的渗流量、坝基的渗流量、通过两岸山体绕渗或两岸地下水补给的渗流量。为了监测各部分渗透稳定性，各分区的渗流量应尽量分别进行观测，应特别重视坝基浅层、心墙和斜墙的渗流量观测。在进行测量观测时，应结合进行上下游水位、气温、水温及降水量的观测。

大坝渗流的监测主要是通过通过在坝身和坝基适当部位，有计划地布置一些测压管或渗压计，以及在其下游适当部位设置观测渗流量的量水堰，对大坝渗流情况进行观测，根据对观测资料的统计分析，及时了解坝身、坝基的运行状况，存在的问题和坝坡的稳定性。为有效地根据大坝的原型观测资料来分析坝体和坝基中存在的渗流问题，国内一些大坝安全研究人员结合渗流理论和工程实际，考虑水位、降雨量、坝基排水以及时效等因素对渗流的影响，建立了土石坝坝体和坝基测压管以及通过大坝渗流量等观测资料的统计分析模型和方法，在浙江省青山和河口水库等工程的实际应用中，取得了令人满意的效果。

1.3 国内外大坝渗流监测技术研究现状

近年来，随着监测仪器的发展，国内外大坝监测的范围和项目越来越多，监测系统总体上呈现出规模化、智能化等特点。

1.3.1 国外大坝渗流监测技术研究现状

随着现代科技的快速进步，特别是计算机和微电子技术的巨大发展，世界各国大力发展遥控仪器，并逐渐推广监测系统自动化。目前国外大坝渗流监测普遍采用分布式监测系统，即在监测现场布置多台小型化独立测量装置，分别对所监控领域内的仪器进行自动采集监测，测量数据转换为数字量后通过多种方式传送到监控中心计算机进行处理。目前代表性的国外分布式系统产品有加拿大 Roctest 公司的 SENSLOG 1000X 安全监测自动化数据采集系统，美国 GEOMATION 公司的 2300 系统和 SINCO 公司的 IDA 系统。

加拿大 Roctest 公司的 SENSLOG 1000X 安全监测系统是一种集成化系统，提供多种内外观测传感器通用接口，该系统每一个测控模块（MCM）可最多扩展 255 个采集通道，系统配置了一系列用于用户操作、系统数据采集、存储、处理和资料分析的软件包，系统程序由 RS232 直接接入，采集到的数据也由现场总线传到现场监控主机，再由主机通过互联网传送到远程中心。

美国 GEOMATION 公司的 2300 系统是将标准化设计的硬件、软件、微控制器组成由用户自己设置参数的遥测智能化的分布式监测控制系统，它将数据采集、

通讯、处理集成到一个 MCU 遥控单元，每一个 MCU 都是一个独立的监测单元，网络监测站、测控单元与传感器之间可实现双向通讯，一般可通过电缆、光缆、电话线、无线电等实现信息共享。美国 SINCO 公司的 IDA 系统与 2300 系统大致原理相同，它主要采用调制解调器与远程 PC 机进行数据传输，能存储时间、测量数据不超过 500 个监测传感器的标定数据总共 10000 个数据量^[4]。

SENSLOG 1000X、2300、IDA 系统等国外成熟系统多采用有线通讯的方式将数据传输到监控中心，由于水库大坝监测点比较分散，监测点到监控中心距离较远，采用有线通讯不仅施工成本高，而且也不易于新监测点的扩展。

1.3.2 国内大坝渗流监测技术研究现状

我国水库大坝渗流监测起步较晚，从 20 世纪 50 年代开始经历了人工观测、集中监测、半自动监测、分布式自动监测等阶段。目前运用比较成熟的有南京南瑞集团的 DAMS 系统和南京水文自动化研究所的 DG 系统^[5]。

DAMS 系统由 DAU 2000 型模块化结构数据采集单元、监控主机、管理计算机等构成。由于标准型模块化智能数据采集单元 DAU 2000 内部采集模块的独立性和智能化，使得 DAMS 能够满足分布式安全监测系统的应用。DAU2000 采用标准 RS-485 现场总线与监控中心进行数据传输，支持 32 个节点，传输距离与速率分别为：1200bps/3km,9600bps/1.2km。DG 系统以 MCU30/30A 型测控装置为节点组成数据采集网络，系统采用总线拓扑结构，中央控制装置与管理主机之间由调制解调器通过电话通讯线路实现连接，控制装置与测控装置之间采用 RS-422/485 总线实现连接，同时也可采用光纤和微波传输数据。

1.4 研究必要性

目前我国大坝渗流监测主要采用分布式数据采集系统，在这些系统中多以有线方式进行监测，有线数据传输虽然在数据传输完整性、抗干扰性上有一定的优势，但是存在一些缺陷：（1）有线方式传输，系统对于线路的依赖性较强，存在布线困难的情况；（2）有线传输方式的大坝渗流监测系统，当某段线路出现故障，就会导致监测区域内局部地方失去监测功能；（3）有线传输扩展性比较差，不利于线路根据开采进展的灵活改变；（4）施工成本高、维修代价高，经济性不好。

采用一种成熟的技术代替有线传输，同时能够弥补有线传输的局限性是未来大坝渗流监测发展的趋势。中国移动公司的 GPRS 业务的发展以及相关 GPRS 数据采集终端产品的应用使得未来大坝渗流监测有了新的发展前景，现有成熟的

GPRS 技术完全能够满足监测的需要,得以实现用无线方式来远程监测,而且监测点分散对无线传输方式影响很小,便于现场操作,可靠度较高。本文针对大坝渗流监测,设计和实现了一套基于 GPRS 的大坝渗流监测系统,以利于对大坝实现远程监测与管理。

1.5 研究目的及研究内容

课题研究主要是设计大坝的渗流检测模块,并把一种无线通信技术应用大坝渗流监测中去,通过该技术实现渗流的数据检测与远程传输,最后对数据进行分析与评价。

1.5.1 课题研究目的

本课题研究目的是把 GPRS 技术应用到大坝渗流监测中去,用 GPRS 这种成熟的无线传输方式代替有线传输方式,为目前传统的大坝监测系统提供一种低成本、高效、可靠的远程监测方案。其主要优势在于:

1. 无线上网,目标终端可移动;
2. 覆盖面广,适应监测点分散的情况;
3. 适用于复杂的工业现场环境,抗干扰能力强;
4. 传输可靠,网络稳定,传输速率高,使用成本低;
5. 易维护升级,扩展性较好。

1.5.2 课题研究主要内容

为了解决有线方式监测系统所存在的问题,同时使得大坝渗流监测系统的数据传输性能和效率都得到大大的提高,本文在以下方面展开研究:

1. 调研分析大坝渗流监测中的问题,设计合理的系统体系结构和方案;
2. 研究 GPRS 网络技术及其通信方式的可行性,针对大坝渗流监测现状探讨现阶段无线监测系统模型及设计方法,确定 GPRS 系统组网方案、分析和选用合适的监测传感器、GPRS 通讯模块,制定通讯协议,单片机功能接口实现,外围元器件接口实现,硬件测试平台的搭建;
3. GPRS 无线通讯模块的通信指令测试,利用单片机实现简化的 PPP 协议以及 TCP/IP 协议内嵌,用单片机控制无线通信模块接入 GPRS 网络,并连接 Internet

网络与监控中心建立可靠连接;

4. 监控中心软件设计, 主要是接受和发送数据包, 实现 GPRS 终端通信, 采用 Visual Basic 6.0 软件和 SQL Server2000 数据库编程实现;

5. 系统调试, 测试相关数据, 结合土石坝渗流计算方法判定是否渗流安全。

2 系统总体方案设计

大坝渗流监测系统的设计，首先要以我国现有的大坝渗流监测设计原则为依据，选择合适有效的监测参数并结合 GPRS 无线网络通信技术的应用优势，研究以 GPRS 技术为基础的传输网络，实现对大坝渗流变化参数的实时监测。

2.1 大坝渗流监测系统设计原则

大坝渗流监测系统是工程安全、高效运行的重要保证，其功能、观测设备和技术都应遵循以下原则^[6]。

(1)系统设计满足现行《大坝安全监测技术规范》的要求；

(2)按照工程或实验研究需要、地质条件、结构特点和观测项目，选择有代表性的部位布置仪器；

(3)先进性：系统在了解国内外发展动态的基础上，吸收其经验和成果进行方案设计，使系统的技术性能和水平具有明显的先进性；

(4)可靠性：系统运行安全可靠，性能稳定，可以在恶劣环境下长期工作，要求系统具有较强的防雷和抗干扰能力；

(5)扩展性：系统的设计容量要足够大，满足系统今后的扩充需要；

(6)经济性：系统的造价经济合理，性价比高；

(7)兼容性：由于系统规模大，监测传感器种类多，输出信号形式不同，要求系统具有较好的适应能力，系统能兼容多种不同类型传感器，能够测量多种参数；

(8)操作维护方便：在软件方面，要求人机界面友好，操作简单，在硬件方面，要求维护检修方便。

2.2 大坝渗流监测系统基本功能

(1) 日常观测数据的自动化采集：在上位机的管理下，监控系统中各区域控制检测单元（MCU）按指定的检测方式和测量次数自动采集数据，并将采集到的数据经串口发送到 GPRS 模块，监控中心通过 Internet 网与 GPRS 网络的关联操作从

Internet 网获取采集数据包；

(2) 对大坝渗流监测的实施监控：实时监测大坝将重点部位渗流监测值，并用数据与设计允许值进行比较，判断大坝的工作形态，发现险情实施分级报警；

(3) 测量数据计算分析：对观测资料进行有关检测和必要修正，利用测量数据对大坝进行渗流安全计算并作出安全评价。

2.3 大坝渗流监测系统总体方案

通常大坝监测项目可分为应力、渗流、变形及环境量监测。我国大坝 90%为土石坝，实际中大坝的渗流对大坝的危害是最大的。一般来说渗流监测的观测内容主要包括绕坝渗流、渗透流量、扬压力、孔隙水压力等，考虑实际情况，我们需要在实验室内模拟测试，基于这一考虑，选取了大坝渗流压力、大坝监测点温度、上下游水位作为主要监测参数。本系统根据需监测的功能和监测系统设计的一些基本原则，监测系统总体设计方案如图 2.1 所示。系统主要包括以下几个模块：现场采集终端、数据传输单元和监控中心计算机。

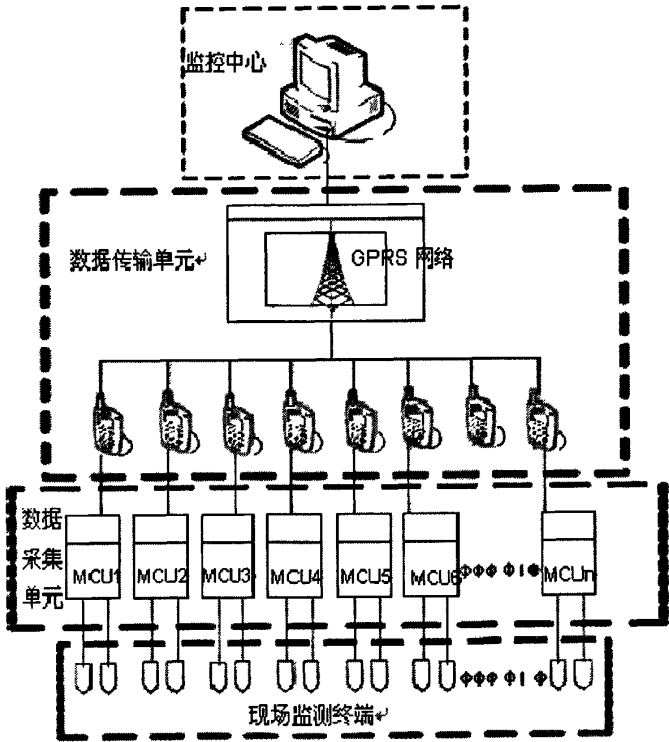


图 2.1 系统总体设计方案框图
Fig.2.1 The diagram of system design

(1) 现场监测终端单元：包括监测单元和数据采集单元，此单元主要由传感器组成监测点网络，通过传感器进行数据采集，采用单点测量、巡回测量、定时测

量多种方式数据采集,对数据进行指定封装,然后发送至采集模块(MCU)。采集模块与 GPRS 模块通过串口相连,数据由采集模块传送到 GPRS 模块,根据实际情况,本系统对大坝坝基坝体渗流压力、监测点温度和水库上下游水位进行测量。传感器:负责把采集到的物理信号转换成电信号,传送到采集模块处理;采集模块:接受到传感器的信号后,进行数据封装和存储,经过串口发送到 GPRS 模块中去。

(2) 数据传输单元:传感器采集到数据后传送到采集模块进行处理,采集模块接着对数据进行封装和存储,通过串口发送到 GPRS 模块中去,GPRS 模块把数据通过 GPRS 网络传输到监控中心网络,监控中心从设定网络端口读取数据包,解析后存储到数据库。系统选用 GPRS 通信方式在其覆盖范围内,传输距离和监测点布置不受限制,这种组网方式可以实现高效、低成本的数据传输;另外选用 GPRS 模块作为传输终端,无需考虑其内部结构,只需进行设置、拨号后就可实现透明传输。

(3) 计算机监控及数据处理单元:监控中心接收到传输过来的数据后,开始分析处理数据,同时发出采集指令到数据采集模块。在这个单元中一是对采集到的数据进行接收、查询、修改、分析、存储等操作;二是发送各种采集命令,包括采集方式、采集点、采集时间间隔、停止采集等命令,实现双向操作命令。

2.4 本章小结

本章主要介绍了大坝渗流监测系统总体方案设计。首先阐述了大坝渗流监测系统设计的基本原则,由此分析了监测系统应具备的功能,接着详细介绍了监测系统总体设计方案,该方案对比现有的监测系统具有功能完善、安全稳定、运行灵活,能实现远程监控等特点。

3 渗流监测系统硬件设计

3.1 系统总体结构

大坝渗流监测系统总体结构为：通过传感器(振弦式传感器)采集数据，然后经过信号调理电路将采集到的模拟信号放大、滤波等处理，再转换成单片机能处理的数字信号，单片机与 GPRS 模块串口相连，数据经过 GPRS 模块发送到 GPRS 网络中去，通过 Internet 网与 GPRS 网络的关联操作，数据流向 Internet 网，最后监控中心服务器在目的通道提取数据进行存储分析。总体结构如下图 3.1 所示：

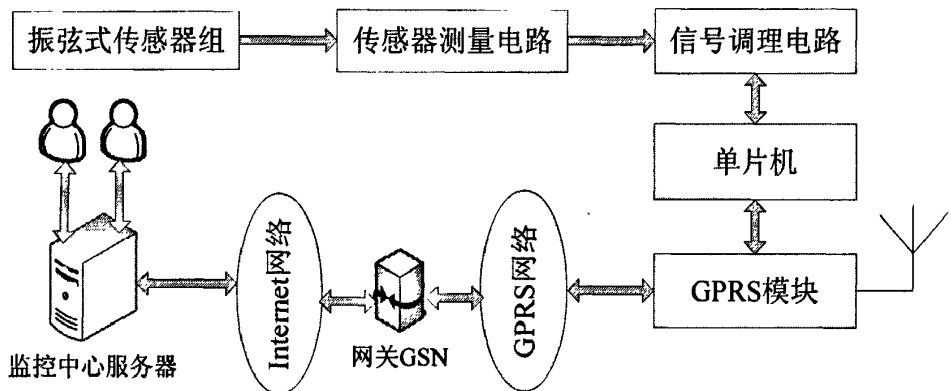


图 3.1 系统硬件组成示意图

Fig.3.1 Illustration of hardware system composition

从系统结构图包括第二章中监测系统设计，可以看出整个系统硬件包括三个部分：监测传感器单元、监测仪数据采集单元和数据传输单元。

3.2 监测传感器单元设计

监测传感器单元是面向监测现场的最直接部分，监测传感器单元设计主要是渗流监测传感器的选择以及传感器的使用以及相关计算。

3.2.1 渗流监测传感器的选择

通常可以通过对大坝内部渗流场的变化判断大坝渗流状况，而渗流场的变化就要靠传感器来监测。大坝渗流监测传感器是获取大坝安全信息的关键手段，因此，监测传感器应具有足够的精准性、稳定性、强适应环境性、安全可靠性和耐

久性。也就是说监测传感器的测量值必须满足资料安全分析和评价大坝安全的需要，另外传感器原理、安装条件、结构特点、运行环境必须适应复杂的水工环境，并保证仪器能长期稳定运行(即仪器能在潮湿度大、温差范围大、水压压强高、电磁干扰强以及容易出现各种事故状况的条件下可靠运行)，且能与自动化系统的完全兼容。分析大坝监测传感器的发展及应用情况，国内外对大坝渗流状况进行长期监测的传感器主要为差动电阻式传感器和振弦式传感器，二者无论在测量精度还是长期可靠性方面都处于领先地位，是大坝渗流监测的重要组成部分。由于振弦式渗压计具有分辨率高、不受降雨干扰、无淤堵等优点，所以近年来在大坝渗压监测中得到了广泛的应用^[7]。

本设计考虑实际需求，选用南京葛南实业有限公司生产的 VWP-0.25 型振弦式渗压计作为监测传感器，该型号传感器适用于长期埋设在水工结构物或其它混凝土结构物及土体内，测量结构物或土体内部渗透(孔隙)水压力，并可同步测量埋设点温度，它具有全不锈钢结构，24×120mm 的灵巧结构，可方便放置在需要测量的狭小部位，具有智能识别功能。

表 3.1 VWP-0.25 振弦式渗压计规格及主要技术参数

Tab.3.1 The specifications and technical data of VWP-0.25 vibrating wire settlement sensor

规格代号	外径(mm)	长度 (mm)	测量范围 (KPa)	灵敏度 k (KPa/F)	温度测量 范围(℃)	温度修正系数 b(KPa/℃)
VWP-0.25	24	120	0—250	≤0.11	-40—150	≈0.12

3.2.2 VWP 型传感器结构及工作原理

1. 传感器结构

VWP 型振弦式渗压计由透水板、感应膜、密封壳体、信号输出电缆、振弦及激振电磁圈等组成。结构图如下所示：

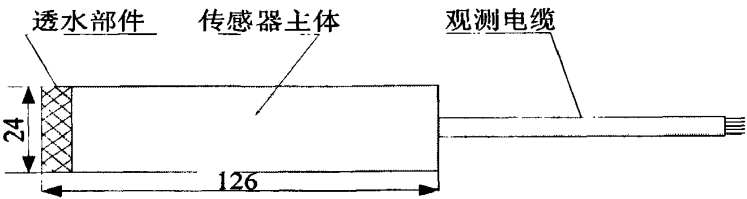


图 3.2 振弦式渗压计结构图

Fig.3.2 The framework of vibrating wire settlement sensor

2. 工作原理^[8]

振弦式传感器以张紧的钢弦作为敏感元件，通过外部激励使钢弦作用频率等于其固有频率的振动，钢弦振动的固有频率与张紧力有关，如下式所示：

$$f = \frac{1}{2L} \sqrt{\frac{\sigma}{\rho}} = \frac{1}{2L} \sqrt{\frac{E}{\rho} \times \frac{\Delta L}{L}} \quad (3-1)$$

式中 L 为钢弦的有效长度, σ 为钢弦所承受的应力, ρ 为钢弦的体密度, E 为钢弦材料的弹性模量, $\Delta L/L$ 为钢弦受应力作用后产生的应变。由上式可知, 当钢弦的长度确定后, 弦的振动频率变化量即可表示张紧力的大小。

VWP 型振弦式渗压计工作原理如图 3.3 所示。敏感元件 2 是一根金属丝, 一端固定在不动支承座 1 上, 另一端固定在可动部件 4 上, 可动部件 4 上有一静态张力 T_0 , 使弦 2 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, 铁片由于受电磁作用, 带动金属丝一起振动。

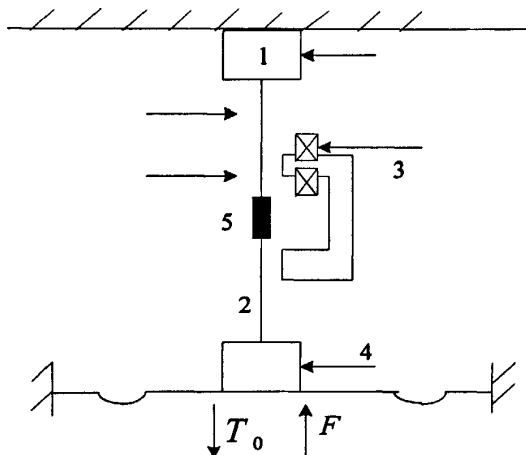


图 3.3 振弦式传感器原理图

Fig.3.3 The principle of vibrating wire settlement sensor

振弦式渗压计需要一个激励脉冲来激励传感器产生振动, 随着加载在振弦 2 上的作用力的改变, 振弦的谐振频率也发生了相应的变化。通过单片机传送的不同频率脉冲来激励振弦振动, 引起振弦共振, 测得其共振频率, 就可计算出传感器受力情况及工程值, 同时也可测出埋设点的温度值。

3. 计算方法^[9]

(1) 当外界温度恒定, 渗压计仅受到渗透（孔隙）水压力时, 其压力值 P 与输出的频率模数 ΔF 具有如下线性关系:

$$P = K \Delta F \quad (3-2)$$

$$\Delta F = F_0 - F \quad (3-3)$$

式中: K —渗压计的测量灵敏度, 单位 KPa/F ; ΔF —渗压计基准值相对于实时测量值的变化量, 单位为 F ; F —渗压计的实时测量值单位为 F ; F_0 —渗压计基准值, 单位为 F 。

(2) 当作用在渗压计上的渗透（孔隙）水压力恒定时, 而温度增加为 ΔT , 此时渗压计有一个输出量 $\Delta F'$, 这个输出量仅仅是由温度变化而造成的, 因此在计算

时应予以扣除。

实验可知 $\Delta F'$ 与 ΔT 具有如下线性关系：

$$P' = K\Delta F' + b\Delta T = 0 \quad (3-4)$$

$$K\Delta F' = -b\Delta T \quad (3-5)$$

$$\Delta T = T - T_0 \quad (3-6)$$

式中： b —渗压计温度修正系数，单位为 $\text{KPa}/^\circ\text{C}$ ； ΔT —温度实时测量值相对于基准值的变化量，单位为 $^\circ\text{C}$ ； T —温度的实时测量值； T_0 —温度的基准值。

(3) 当渗压计受到渗透（孔隙）水压力和温度的双重作用时，渗压计的一般计算公式为：

$$P_m = K\Delta T + b\Delta T = K(F_0 - F) + b(T - T_0) + Q \quad (3-7)$$

式中： P_m —被测渗透（孔隙）水压力量，单位为 KPa ； Q —若大气压力有较大变化时，应予以修正。

4. 渗压计的安装与布设

渗压计用于观测土体中的孔隙水压力及岩体和混凝土内的渗透水压力，埋设时应根据设计要求进行观测点的布设，并根据观测物的特点选择相应的埋设方法。

本设计拟采用实验室内大坝模型渗流观测。大坝模型为：坝顶长 30cm，宽 16cm，坝高 22cm，坝底长 30cm，大坝迎水面与水平面成 57.8° ，背水面与水平面成 66.4° 。为了提高监测精度，大坝共设计了 4 个监测断面：0+0.07m、0+0.10m、0+0.17m、0+0.20m，共埋设 4 支 VWP 型渗压计组成监测单元传感器组。

渗压计在安装前，需要预饱和操作。由于渗压计的透水板有一定的渗透系数，而水压力又是穿透透水板后作用在渗压计的感应膜上，如果透水板与感应膜前的储水腔没有充满水（含有气泡），将会造成渗压计测值的严重滞后。安装前，首先将透水板件从渗压计主体上拆卸下来，然后放入水中浸泡 2 个小时以上，排除透水石中的气泡，使其充分饱和，最后在水中将透水石与主体组装起来。

本设计中，采用钻孔式埋设法，当孔成型后，先在孔底铺一层厚砾石，然后将渗压计放入，最后在渗压计上覆盖一层细沙。

3.3 监测仪硬件设计

按照系统设计构想，监测仪硬件设计组成包括：模拟信号采集和输入部分、信号处理部分、通讯部分、人机交互部分。大坝渗流监测主要对 VWP 型振弦式渗

压计采集的频率和温度进行监测。大坝渗流监测是一个长期的过程，用户通过上位机与测量单元通讯，采取不同采集方式获取渗流数据，然后反馈给上位机数据库，为了便于观测数据的实时采集，系统设计了带有 LCD 的液晶显示，LCD 选用了 LCM1283ZK，另外设计了 5 个按键便于系统调试，同时设计了指示灯来实时检测各部分工作是否正常。整个监测仪硬件设计部分包括数字电路设计、模拟电路设计和人机接口设计三部分。图 3.4 是监测仪硬件构成框图。

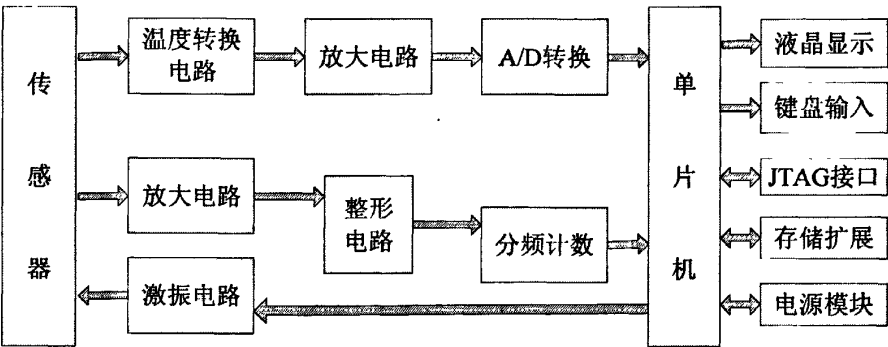


图 3.4 监测仪硬件构成图

Fig.3.4 The hardware frame diagram of monitor

3.3.1 单片机的选型

本系统设计中，选用 TI 公司的 MSP430F149 系列单片机^[10]。MSP430 系列单片机是美国德州仪器 1996 年推向市场的一种 16 位超低功耗的混合信号处理器。自问世以来，由于它的超低功耗、丰富的片内外设和方便灵活的开发手段，已经得到广泛应用。2000 年 TI 推出了 F14X 系列，其设计成本大大降低，节能效果更加明显，测量精度显著提高，更值得称赞的是，MSP430F149 系列单片机的存储器模块在所有同类型内部集成 Flash 存储器产品中能耗测试为最低，而且其线路板空间也明显缩小，在系统设计开发中具有突出的优点，现介绍特点如下：

1. 功耗低

MSP430F149 运行在 1MHz 时钟的条件下时，不同工作模式下，工作电流为 0.1~400μA，工作电压为 1.8~3.6V，具有基本时钟系统和锁频环时钟系统，由系统时钟系统产生 CPU 和各功能所需时钟，这些时钟在指令控制下打开和关闭，实现对总体功耗的控制。另外 MSP430F149 具有 16 个中断源，其灵活方便的特点使其 CPU 可随时置于省电模式中，需要运行时，只需用中断程序唤醒即可，而且唤醒时间一般只需 6 微秒，适用于野外水库大坝环境中工作。

2. 处理能力强

MSP430F14X 系列单片机采用 16 位的精简指令集（RISC）结构，有丰富的寻

址方式,简洁的 27 条内核指令以及大量的模拟指令,有大量的片内寄存器和存储器,可实现多种运算,还有高效的查表处理指令,在 8MHz 晶体驱动下指令周期为 125ns,能够保证编制程序的高效。

3. 片上外围模块丰富

MSP430F14X 系列单片机都集成了较多的片上外围资源,可实现多种功能。本系统选用的 MSP430F149 由基础时钟模块、看门狗定时器、定时器 A、定时器 B、液晶驱动器、模拟比较器、12 位的 A/D 转换器 ADC12、两个串行通信接口 USART0 和 USART1 和硬件乘法器等 11 外围模块组成,这些丰富的外围模块极大满足数据采集的应用。

4. 开发环境高效方便

目前 MSP430 系列有 OPT 型、FLASH 型和 ROM 型三种类型的器件,对于 FLASH 型有十分方便的开发调试环境,因为器件片内有 JTAG 调试接口,除了外部编程器烧写外,还可利用自己的程序修改 FLASH 内容,因此采用先下载程序到 FLASH 内,再在器件内通过软件控制程序的运行,由 JTAG 接口读取片内信息供设计者调试使用的方法进行开发。这种方式只需要一台 PC 机和一个 JTAG 调试器,而不需要仿真器和编程器。

5. 系统工作稳定

MSP430F149 单片机在上电复位后,首先由 DCOCLK 启动 CPU,能够保证程序的精确执行,运行中如果出现故障,可设置看门狗来解决,当程序跑飞时,看门狗产生复位信号,系统重新启动,保证系统运行稳定。

6. 满足工业环境下运行的条件

MSP430 系列单片机元件均为工业级的,运行环境温度为 $-40^{\circ}\text{C} \sim +85^{\circ}\text{C}$,满足大坝环境下对监测系统的要求。

3.3.2 I²C 总线

在整个监测仪设计中,单片机是系统的核心。在本系统设计中,存储器及实时时钟元器件拟采用 I²C 器件,通过 I²C 总线与 MSP430F149 相连。I²C 总线^[11]是飞利浦公司开发的一种简单、双向二进制同步串行总线,它用于连接微控制器及其外围设备,是微电子通信控制领域广泛采用的一种总线标准。工作时只需串行时钟线和串行数据线即可在用总线相连的器件间传输信息。具有接口线少、控制方式简单、器件封装体积小、通信速率高等优点。

I²C 总线内部结构图如 3.5 所示,I²C 总线由数据线 SDA 和时钟 SCL 构成的串行总线,可发送和接收数据。一般可在 CPU 与被控 IC 之间、IC 与 IC 之间双向传

输数据，传输过程中共产生三种类型信号：开始信号、结束信号和应答信号。由于总线内部 SDA、SCL 引脚电路结构都是一样，引脚的输出驱动与输入缓冲相连，这种电路结构具有两个特点：

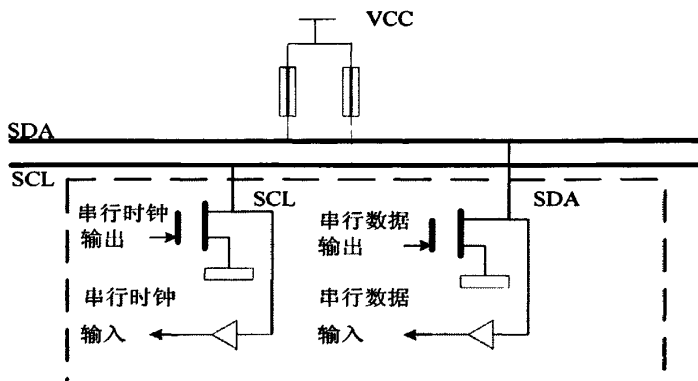


图 3.5 I²C 总线接口内部结构图

Fig.3.5 The internal structure of the I²C bus interface

1. SDA、SCL 为漏极开路结构，借助于外部上拉电阻实现信号的“线与”逻辑。

2. 引脚在输出信号的同时还将引脚上的电平进行检测，检测是否与刚才输出一致，为“时钟同步”和“总线仲裁”提供硬件基础。

总线上所有通信都是由主控制器引发的，具体传输中有两种模式：主控制器向被控制器发送数据；主控制器接收数据。虽然总线可以构成多主数据传送系统，但只有带 CPU 器件才能成为主器件，作为主器件可以发送启动位、数据工作方式、时钟，从器件接收主器件发送的内容，数据传送方向决定接收或者发送命令。

3.3.3 频率信号检测电路设计

VWP 振弦式渗压计可同时测量渗透水压力和温度，渗透水压力是以频率的形式输出的，这里就要涉及到频率信号的采集和处理。过去频率信号的获取主要靠图像识别法，主要是通过传感器信号与标准频率信号合成“李沙育图法”，当被测点频率图形与合成图形一致时可大致判断出被测传感器的频率值。还有一种方法是频率计数法，但是该方法需要的硬件较多，电路较为复杂，测试精度和可靠性不高，工程上应用较困难。为克服现有技术的不足，系统设计采用单片机应用技术，其测试精度和可靠性大大提高，并且能实现采集过程的自动处理。

振弦式渗压计是频率型传感器，有单线圈和双线圈两种模式。本系统设计采用的 VWP 振弦式渗压计是单线圈振弦式传感器，该线圈同时具有激振和拾振作用，激振和拾振分时进行，先由单片机给一个激励脉冲传送到磁芯线圈上，磁芯

产生一个脉冲磁场激振振弦，振弦被起振后产生一个衰减振荡，切割磁芯的磁力线在磁芯输出端产生衰减的正弦波，然后单片机再通过拾振获取正弦波的频率从而测量频率。频率信号调理电路分为：激振电路和检测电路两部分。

1. 激振电路

根据渗压计的工作原理，要获取频率信号，必须先设法引起振弦共振，实质上也就转化为如何产生激振信号。一般来说，激振信号的产生有两种方式^[12]：间歇激振、扫频激振。

(1) 间歇激振

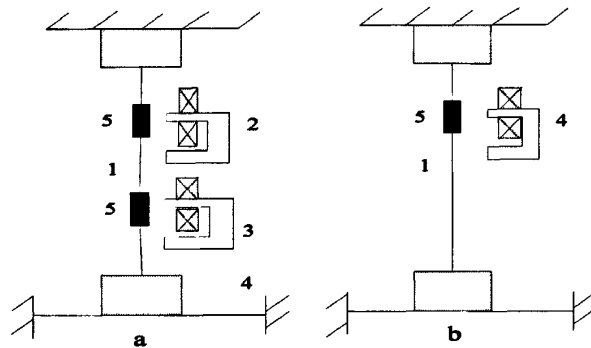


图 3.6 间歇激振示意图

Fig.3.6 Illustration of Intermittent vibration excitation

1—振弦 2—电磁铁 3—永久磁铁 4—电磁装置 5—纯铁片

如图 3.6 中 a 所示，当在振弦上装一纯铁片，旁边放置电磁铁 2，当电磁铁通电受一脉冲后，电磁铁吸引振弦引起激振，当电流断开时，电磁铁释放振弦，振弦随即产生振动，振动频率即为固有频率 f_0 。振弦的旁边还有一个永久磁铁 3，振弦振动时，由于铁片与磁铁的周期性变化，使得磁铁线圈感应出交变电势，在线圈两端加载测量电路即可测量感应电势的频率，也就是振弦的固有频率。然而实际应用中，一般是把磁铁 2 和 3 合并成一个电磁装置 4，如图 b 所示，也是通过振弦的一吸一放产生感应电势，通过线圈输出电势测量其频率。

间歇激振电路一般较为复杂，主要使用电磁继电器，它的功耗大、体积大、触点可靠性不够从而导致起振较为困难，而且间歇激振一般采用一个固定频率去激励，这个频率要求接近振弦的固有频率，然而实际中固有频率由于环境压力影响难免产生偏移，所以确定一个接近频率去激励很困难。

(2) 扫频激振

扫频激振的工作原理就是利用一连续的频率信号扫描输出去激振振弦产生激振，当频率与振弦的固有频率接近时，振弦起振，线圈产生感应电势。与间歇激振不同的是，扫频激振采用激励频率可控的方式去起振振弦，本系统设计采用的 VWP 型振弦式渗压计固有频率范围为 400Hz~5000Hz，设计中用这个频率范围内

的频率去激励。

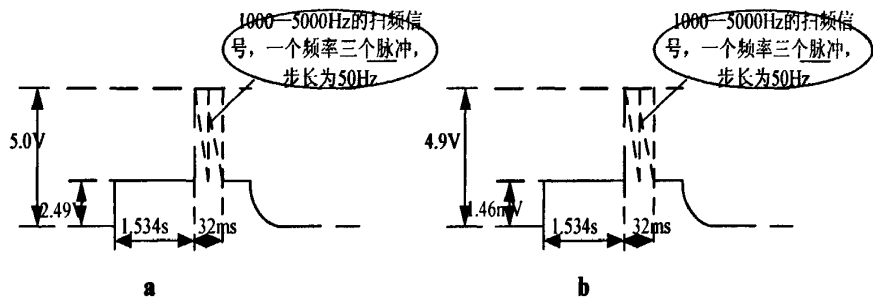


图 3.7 传感器激励信号示意图
Fig.3.7 Illustration of vibration excitation signal

如图 3.7 所示，图 a 是在没有接入 VWP 型渗压计的情况下，用示波器测量监测仪设备信号，图中扫频信号低电平为 2.49V，高电平为 5V 的扫频脉冲信号。渗压计接上模拟电源后，等待 1.5s 左右，传感器稳定后发送激励信号，如图 b 所示接入渗压计后，扫频信号低电平变成 1.46mV，测得渗压计静态电阻约为 310Ω，固有频率约为 4600Hz。分析可知渗压计在两种情况下只是加载在其两端的电压发生了变化，两者之间的转换实际上是传感器分压的表现。

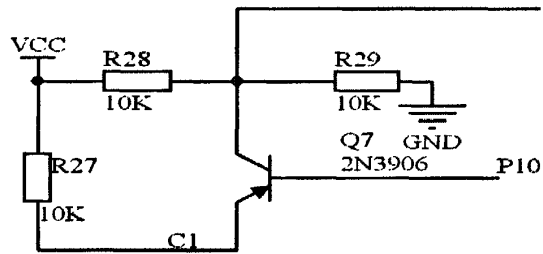


图 3.8 激励信号电路图
Fig.3.8 The circuit diagrams of vibration excitation signal

基于分压效果的考虑，激励电路的设计采用三极管分压电路。如图 3.8 所示，三极管 Q7 与单片机的 P10 口相连，接受单片机发送的经过电平转换过的激励脉冲信号。当三极管输入为“1”，即 5V 时，三极管 Q7 截止，电压经过 R28 和 R29 分压后，输出给渗压计，此时相当于渗压计激励信号的低电平；当三极管输入为“0”，三极管饱和导通，5V 电压经过 R27 和 R29 分压，输出给渗压计，此时相当于激励信号的高电平。经过计算，当三极管输入为 5V 时，OUT 端电压约为 1.46mV，与所测基本相符。

2. 检测电路

渗压计受到激励起振后发出频率信号，这时信号就流向了检测电路。检测电路主要包括滤波放大电路和信号整形电路。

(1) 滤波放大电路

振弦式渗压计采集数据后输出正弦信号，必须进行放大后才能进行测量和处

理，信号放大后又必须进行滤波，本系统设计采用三级交流放大器级联电路实现信号滤波放大。

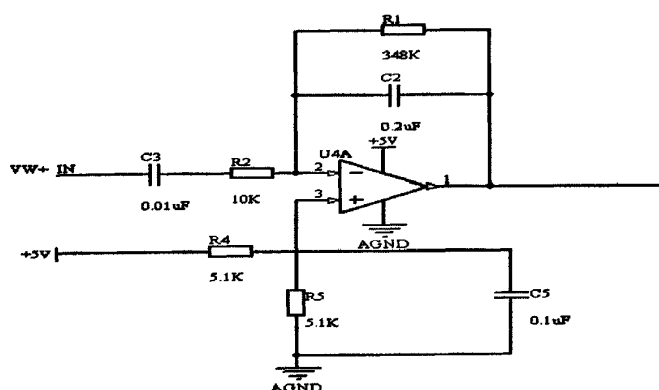


图 3.9 滤波放大电路图

Fig.3.9 The diagrams of filter amplifier circuit

单级交流放大器原理图如图 3.9，由集成运算放大器和 RC 网络组成单级交流放大器除了起滤波作用外，运放还可以将信号放大，而且放大倍数可调。通过图中参数可以计算出单级交流放大器的传递函数：

$$G(s) = \frac{R_1 \times C_3 \times s}{(1 + R_2 \times C_3 \times s)(1 + R_1 \times C_2 \times s)} \quad (3-8)$$

$$\text{即 } G(s) = \frac{0.0348s}{(1 + 1 \times 10^{-3} \times s)(1 + 6.96 \times 10^{-5} \times s)} \quad (3-9)$$

由传递函数可以得出单级交流放大器放大倍数大约为 35 倍，为了考虑得到较大放大倍数和更好的滤波效果，设计采用交流放大器级联。设计采用 LM148J 芯片，经过三级交流放大器，渗压计输出的正弦信号已经放大，再经过迟滞比较器整形，就可得到方波信号了。

(2) 信号整形电路

由于频率测量输入的信号必须是脉冲信号，而滤波放大后的信号是正弦信号，所以信号要整形调理。本设计中，采用迟滞比较器，迟滞比较器最大的特点就是抗干扰能力强。图 3.10 为迟滞比较器电路图，电阻 R32 端接滤波放大处理后的信号，整形处理后的信号接入单片机 P11 口。

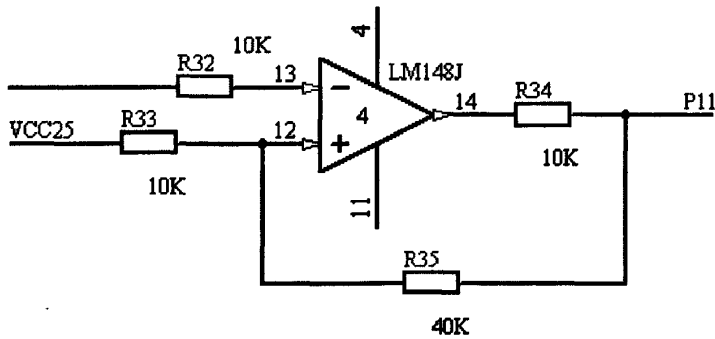


图 3.10 迟滞比较器电路图

Fig.3.10 The circuit diagrams of sluggish comparator

振弦式渗压计是频率型传感器，振弦引起共振产生正弦信号输出，其输出信号是毫伏级的，且成衰减，持续时间较短，所以必须设计调理电路，对输出信号进行滤波放大、整形。频率信号调理电路图如图 3.11 所示，VWP—IN 端接入渗压计，最后处理的信号通过单片机 P11 口进行测量。

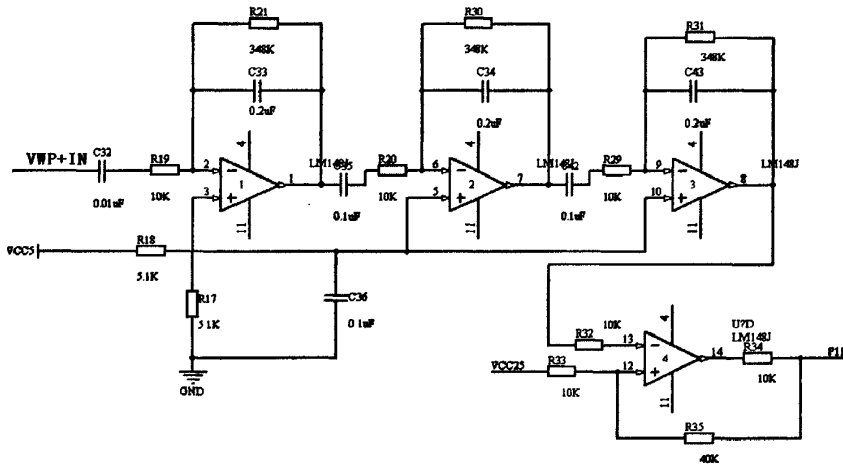


图 3.11 频率信号检测电路图

Fig.3.11 The diagrams of frequency signal detection circuits

3.3.4 温度信号检测电路设计

设计选用的 VWP 型振弦式渗压计本身自带温度测量功能，其渗压计本身自带一个热电阻供温度测量，测得渗压计在室温下电阻值为 25KΩ。温度信号检测电路设计主要包括精密电流源设计、差分放大电路设计。

1. 精密电流源设计

VWP 型渗压计测量温度输出的是一个电阻信号，经过精密电流源后电阻信号变成电压信号，所以电流源的精度关系着温度测量的精度。由振弦式传感器测量原理可知，当环境温度发生变化时，渗压计振弦会发生改变，将会影响传感器的

输出值，所以必须对温度信号进行修正补偿。温度补偿原理是在渗压计中封装一热敏电阻，通过恒流源向电阻提供恒电流，在电阻两端产生电压降，电压经过差分放大电路后，可求出电阻阻值，再根据温度与电阻值的关系求得温度值。图 3.12 所示为精密恒流源电路图，电源选用 REF2933，测量电阻选用 $10\text{K}\Omega$ 。电压基准恒定为 3.3V ，CS 端输出恒定电流为 $I_{\text{CS}}=U_{\text{基准}}/R_{23}=3.3\text{V}/10000\Omega=330\mu\text{A}$ 。

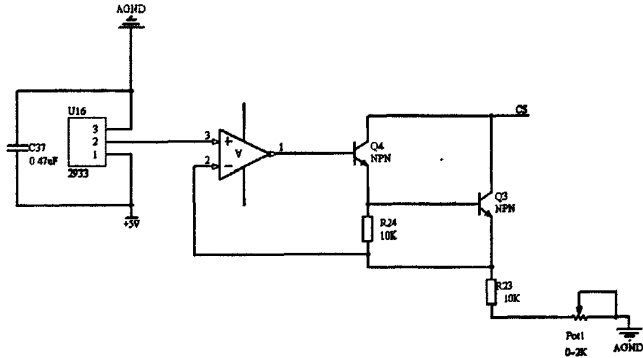


图 3.12 精密恒流源电路图

Fig.3.12 The diagrams of precision constant-current source

另一方面，为了提高测量电路的分辨率，设计中串联一个 $1.5\text{K}\Omega$ 的精密电阻，目的是在测量温度时给出修正补偿，提高测温精度以及提高测量分辨率，具体原理就是在经过差分放大后，用热电阻两端电压值除去精密电阻两端电压值，再进行放大，这样有温度变化引起的电压值变化就会显得更加明显。

2. 差分放大电路设计

由精密电流源出来的电压信号必须经过差分放大后才能读数，为了提高测量精度，设计采用三路差分放大电路来实现温度检测信号的调理。图 3.13 所示为温度信号调理电路图。

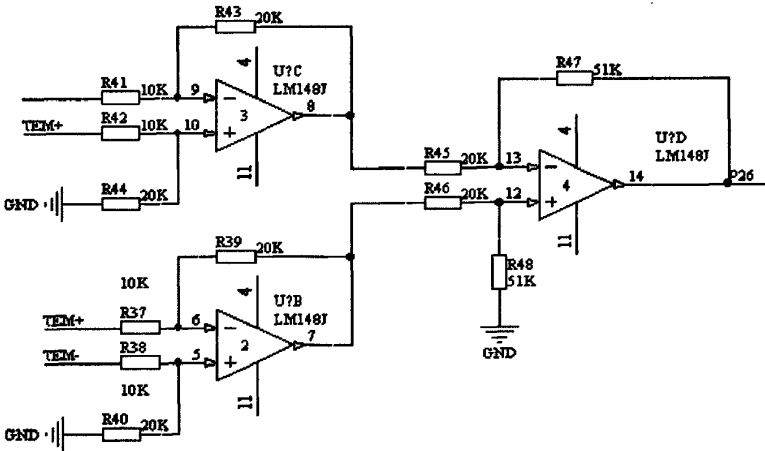


图 3.13 温度信号调理电路图

Fig.3.13 The diagrams of temperature signal modulator circuits

3.3.5 实时时钟电路设计

系统设计中，要求提供数据采集的历史数据以及采集数据的定时周期，所以在系统和通信电路中必须有时钟芯片。时钟模块可以使单片机实现不同低功耗应用，本系统设计中采用 DS1302 时钟芯片。

DS1302 是美国 DALLAS 公司推出的一种高性能、低功耗、带 RAM 的实时时钟电路，附加 31 字节静态 RAM，采用 SPI 三线接口与 CPU 进行同步通信，并可采用突发方式一次传送多个字节的时钟信号和 RAM 数据。实时时钟可提供秒、分、时、日、星期、月和年，且具有闰年补偿功能，工作电压宽达 2.5~5.5V。主要特点是采用串行数据传输，可为掉电保护电源提供可编程的充电功能，并且可以关闭充电功能，采用双电源供电（主电源和备用电源），可设置备用电源充电方式，提供了对后备电源进行电流充电的能力。DS1302 用于本系统的数据采集，实现数据与采集该数据的时间同时记录。实时时钟电路设计图如图 3.14 所示。数据传输时必须首先启动数据传输命令，这个动作是由 RST 端输入驱动置高电平来完成，SCLK 是串行时钟输入端，与单片机的 P52 相连，在控制指令字输入后下一个 SCLK 时钟脉冲上升沿时数据写入 DS1302，下降沿时读出数据，时钟芯片的 I/O 口为串行数据输入输出端（双向），与单片机的 P53 口相连，实时时钟设计采用普通的 32.768Hz 晶振外接，用 3V 锂电池作为后备电池供电。

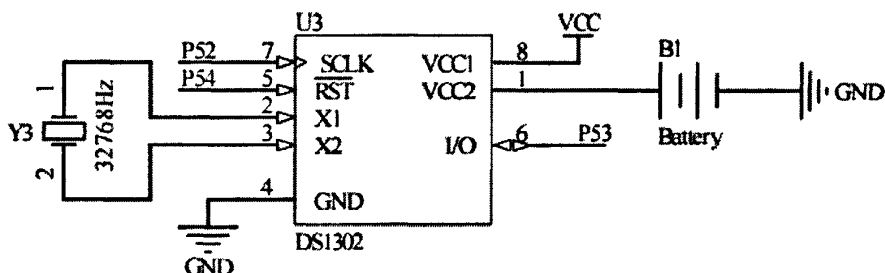


图 3.14 实时时钟电路图

Fig.3.14 The circuit diagrams of real-time clock

3.3.6 外部存储电路设计

系统采集到数据后不能立即传输出去，需要存储介质做一个数据缓存，存储器就是起一个存储缓存作用，通过单片机采集到一定时间间隔的数据存储在存储器，为数据的统一发送做准备。本系统设计中，选用串行 E^2 PROM， E^2 PROM 是可在线电擦除和电写入的存储器，具有体积小、接口简单、数据保存可靠、可在线改写、功耗低等特点。存储器的设计选用 Atmel 公司的 AT24C512，数据传输采用 I²C 总线传输，内部有 512 页，每一页为 128 字节，任一单元的地址为 16 位，

地址范围为 0000~FFFFH，采用 8 引脚封装，具有结构紧凑、存储容量大的特点。其外部存储电路设计如图 3.15 所示，其中 SDA 端口是双向串行数据输入输出，用于存储器与单片机之间数据交换，设计中与单片机 P13 口相连，SCL 端口是串行时钟输入，与单片机的 P12 口相连，电源供电为 3V。

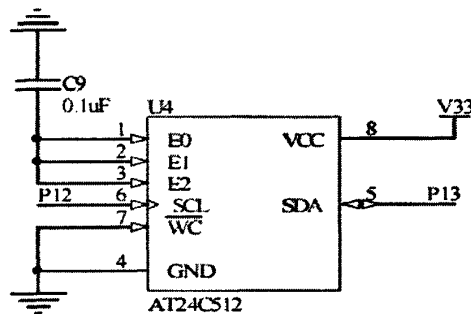


图 3.15 外部存储器电路图

Fig.3.15 The circuit diagrams of external memory

3.3.7 多路选择电路设计

一个测量终端会控制连接几路传感器同时进行测量，有时会需要单独对某一路进行测量。在本系统设计中，一个测量终端有 4 路渗压计工作，系统设计选用多路芯片 ADG609，它的结构简单，可选择具体哪一路渗压计工作，信号进行选择后再经过模拟开关接入检测电路。

3.3.8 人机接口单元设计

为了便于系统调试和现场操作，系统设计了人机接口电路。主要包括液晶显示和键盘两部分。系统的人机接口部分由液晶、6 个指示灯、5 个按键、1 个按钮组成。6 个指示灯分别表示 GPRS 模块工作、电源、采集状态，按钮主要起系统上电作用。

1. 液晶显示单元设计

液晶显示模块是一种将液晶显示器件、集成电路、PCB 线路板等配装在一起的组件，在单片机系统中使用液晶显示有诸多优点：显示质量高；数字式接口，操作方便；体积小、重量轻；功耗低；液晶模块分为三种：液晶点阵字符模块；数显液晶模块；点阵图形液晶模块。本系统设计选用北京青云创新科技公司的 LCM12864ZK，它是一款带国标中文字库图形液晶模块，液晶屏幕为 128*64，液晶为 16×16 点阵的，电源操作范围为 2.7V~5.5V，工作功耗低，与单片机的接口界面灵活。可实现汉字、ASCII 码、点阵图形的同屏显示。

液晶主要显示仪器的工作状态和测量数据，主页面可显示监测点序号、频率值、温度值和采集时间。按键可配合对一些参数进行设置，为了保护液晶的使用寿命，系统设计了休眠模式，LCM12864ZK 具有液晶睡眠/唤醒/关闭显示命令功能，在无按键一定时间后，自动进入休眠期。图 3.16 所示为液晶单元接口电路设计。其中引脚“CS2”和“Vout”不接，引脚 VSS 和 V_0 之间接可变电阻 R5 (5K) 调节液晶亮度。

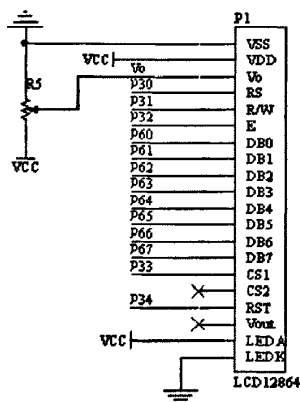


图 3.16 液晶单元接口电路图

Fig.3.16 The diagrams of LCD-flat interface circuits

2. 按键设计

系统按键较少, 个数为 4 个, 采用独立式按键接口设计, 每个按键占用一根输入线。电路设计中, 各按键均采用上拉电阻, 确保按键断开时各 I/O 口高电平。按下时各 I/O 口为低电平, 通过此原理即可判断出按键是否按下, 按键的功能分别是信号采集启动、信号采集关闭、数据发送、液晶显示开关。在系统工作时, 使用循环扫描的方法对按键进行扫描, 当判断出有按键按下时, 即可调用相应的功能子函数实现按键的功能。在程序的编写中, 同时要考虑了按键的消抖功能。图 3.17 所示为按键电路设计。

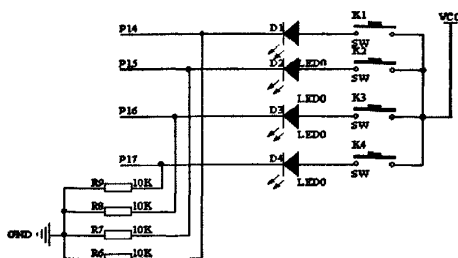


图 3.17 按键电路图

Fig.3.17 The diagrams of key circuits

3.3.9 复位电路设计

系统复位采用按键复位，按键复位需要人为在复位输入端 RST 上加入高电平，一般采用在 RST 端和正电源 VCC 端接入一个按钮，当按键断开时，RST 保持一个高电平并维持 2 个周期以上，按键按下时电容开始放电，VCC 直接加到 RST 端，系统复位。图 3.18 所示为按键复位电路，由简单的电阻电容构成。单片机在启动时都需要复位，以使系统各部件处于确定的初始状态。

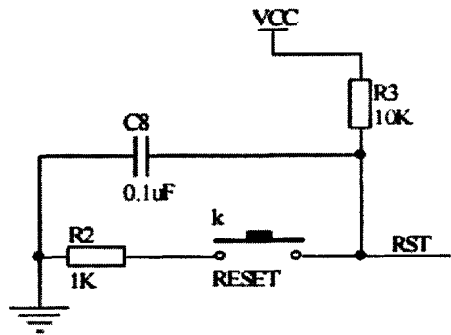


图 3.18 按键复位电路图
Fig.3.18 The diagrams of key reset circuits

3.3.10 电源电路设计

系统设计中，需要考虑为大量的模拟元器件提供工作电压，以及提供渗压计激振信号。本设计选用的单片机工作电压为 3.3V，考虑低功耗的要求，系统需要两套电源电路：3.3V 的数字电源电路；5V 的模拟电源电路，两套电源电路各自走线。图 3.19 所示为 3.3V 电压转换电路，首先通过 5V 变压器把 220V 电压转换成 5V 电压，再用以下的电压转换电路把 5V 电压转换为 3.3V。设计中采用 117—3.3V 稳压芯片，在电源出口处并接一个瞬态二极管拟制对电源起过电压保护作用^[13]。

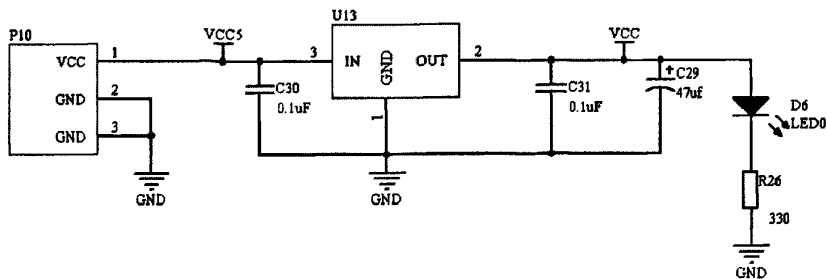


图 3.19 电压转换电路图
Fig.3.19 The diagrams of voltage transition circuits

3.4 数据传输单元设计

大坝渗流监测系统监测数据通过 GPRS 来实现传输和发送,因此数据传输单元硬件设计主要围绕 GPRS 模块来实现,包括模块设计以及接口设计。

3.4.1 GPRS 通信模块

本系统设计采用 GPRS 这种常见的无线方式作为数据传输的载体,监测仪在测得数据后必须通过 GPRS 通信模块才能将数据传送到网络中去。目前市场上 GPRS 模块比较多,而且功能都很齐全,单从功能来分有两类:常用模块和内置 TCP/IP 协议的模块。

1. GPRS 模块的选择

GPRS 模块^[14]常用模块普遍支持 GPRS 和短消息收发,但是模块没有内嵌 TCP/IP 协议,使用此类模块,终端必须内嵌 TCP/IP 协议,软件能处理 PPP 拨号和内嵌其它协议。它与 Internet 网络通信连接的一般过程操作有内嵌协议、编程实现 GPRS 拨号上网、PPP 协议配置。西门子公司 MC39i/MC35i、索尼公司的 GM47 和摩托罗拉公司的 G18 都是此类模块的代表。另外一种类型是内嵌了 TCP/IP 协议的模块,这类模块在使用时用户只需调用 AT 命令对其设置即可,本身具有自动拨号上网的功能,开发过程较为简单。代表模块有西门子的 TC45/MC55/MC56、索尼爱立信公司 GR47/48 和明基公司的 M22 等。

本设计监测终端应用在工业监控系统中,由于工业现场环境比较恶劣,干扰因素比较多,所以必须选择一款抗干扰能力强,且稳定性高,便于系统开发的 GPRS 模块。考虑到现有的内嵌了 TCP/IP 协议的模块在特定应用中存在兼容性和实用性问题,从系统兼容性、稳定性、实用性、便于开发性等角度出发,本系统设计选用了西门子的 MC39i 模块。

2. GPRS 模块介绍

MC39i^[15]是一款双频 900/1800MHZ 高度集成的 GSM/GPRS 模块。它具有易于集成,开发方便,稳定性好,抗干扰能力强的特点,在远程监控和无线公话以及无线 POS 终端等工业领域有广泛的应用。

(1) MC39i 模块的主要技术特点，如表 3.2 所示。

表 3.2 MC39i 模块特性表
Tab.3.2 The characteristics of MC39i module

技术特征	主要特点
电源特性值	3.3V~4.4V 工作电压
低功耗	电流消耗：3.0mA(睡眠)、10.0mA(闲置) 300mA(通话)、100μA(掉电)
频带	支持双频 EGSM900 和 GSM 1800
输出功率	2W (GSM900MHz Class 4)、1W (DCS1800MHz Class 1)
外观	54.5×36×6.75mm，重量 17g
数据特征	CSD 最大达到 14.4kbps、USSD、不透明模式
译码方式	CS1、CS2、CS3、CS4
数据传输	GPRS 数据传输上行：最大 42.8kbps GPRS 数据传输下行：最大 85.6kbps
传送内容	消息和语音
支持协议	密码验证议定书 (PAP) 和握手认证协议 (CHAP)， 支持 PPP 连接
模块接口	40ZIF 接口、音频接口、通讯接口、电源接口、SIM 接口、天线接口、 串行接口
工作温度	-20℃~+55℃

(2) MC39i 结构功能模块

MC39i 结构功能模块^[16]如图 3.20 所示，模块主要由射频部分、GSM 基带处理器、SRAM 存储器、FLASH 存储器、接口、电源等组成，MC39i 模块的核心是 GSM 基带处理器，主要处理 GSM 终端内的语音、数据信号。

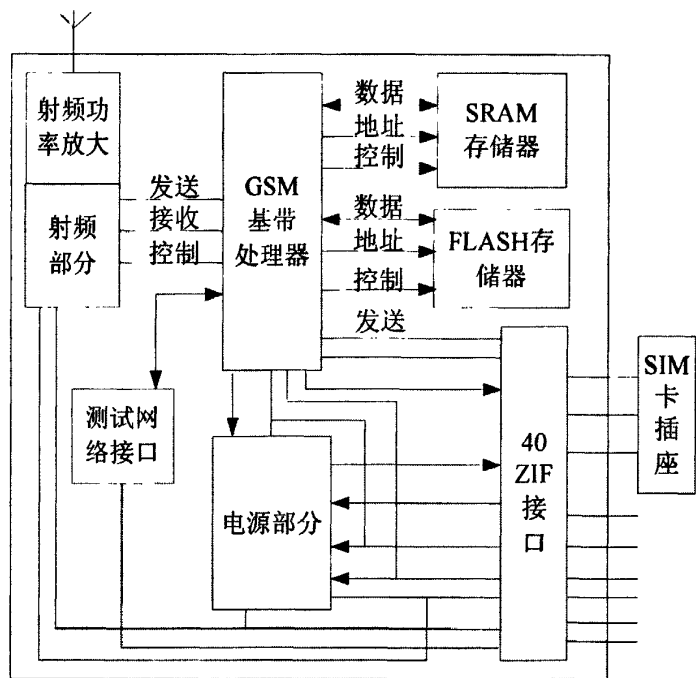


图 3.20 MC39i 结构功能模块图

Fig.3.20 The structure function model of MC39i module

3.4.2 GPRS 终端硬件设计

GPRS 终端硬件设计主要包括 MC39i 模块与控制芯片 MSP430F149 之间的连接、模块与 SIM 卡接口电路、终端电源电路设计三部分。

1. MC39i 与 MSP430F149 接口电路设计^[17]

GPRS 模块采用 MC39i，MC39i 与外部控制芯片的连接主要通过模块的 ZIF 管脚，MC39i 数据接口为异步收发串口，用于模块与数据终端设备进行数据交换。如图 4.21 所示为该模块和外部器件的连线图，其中 36~40 端为电源正端，31~35 端为电源负端，26 端为启动端，欲启动 MC39i 模块，需在引脚上有一个下拉脉冲且最少延时 100ms，设计中，采用集电极开路驱动方式，用单片机的一个 I/O 口作为控制口来控制三极管的开关，实现模块的启动。22~23 端接单片机的串口，12~17 端连接 SIM 卡。其接口电路设计如图 3.21 所示。

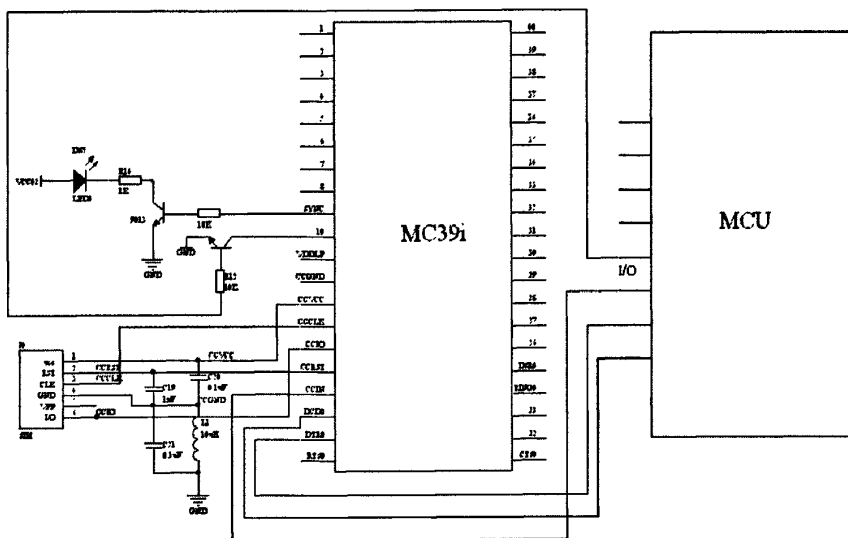


图 3.21 MC39i 与 MSP430F149 接口电路图

Fig.3.21 The diagrams of interface circuits between MC39i and MSP430F149

2. SIM卡接口电路设计

(1) SIM卡介绍

SIM卡是数字移动电话的个人资料卡，对用户身份进行识别，它主要完成存储数据、客户身份识别两个功能。SIM卡内部有5个模块：微处理器CPU、程序存储器、工作存储器RAM、数据存储器EEPROM和串行通信单元。SIM卡内含8个引脚，其物理结构如图3.22所示，各引脚定义如下：

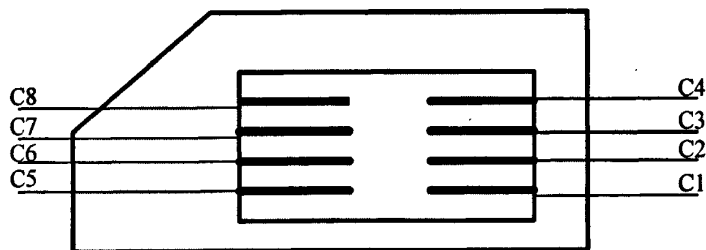


图 3.22 SIM 卡物理结构图

Fig.3.22 The physical structure of SIM card

C1: VCC电源电压; C2: RST复位端; C3: CLK时钟; C4: 无定义;

C5: GND地; C6: VPP编程电压; C7: I/O输入输出; C8: 无定义

(2) SIM卡接口设计

MC39i基带处理器集成了一个与IS07 816-3IC Card标准兼容的SIM接口。该接口直接连接到ZIF接口上，MC39i在ZIF上为SIM卡接口预留了6个引脚，添加CCIN引脚检查是否插有SIM卡，有SIM卡插入时该引脚高电平，只有检查出有SIM卡插入时系统才进行工作状态，如图3.23所示为SIM卡接口电路。

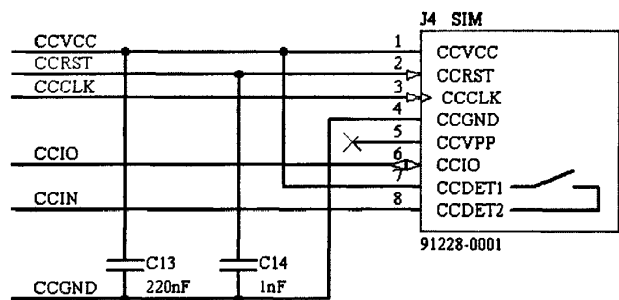


图 3.23 SIM 卡接口电路图

Fig.3.23 The interface circuits of ofSIM card

3. 终端电源设计

GPRS模块采用MC39i，工作电源电压为3.3~4.8V，最佳供电电压为4.2V，本系统中GPRS模块采用供电电压4.3V进行供电。MC39i工作状态可能在200—300mA，启动时候的峰值电流能到2A，为了得到4.3V的电压，本系统采用二极管IN4001降压得到。

3.4.3 数据传输网络设计

GPRS 传输网络工作原理^[18]为：监测终端单元采集到数据后以数据流的形式，通过串口传送到 GPRS 模块，GPRS 模块与 GPRS 基站通信，网络节点 GSN 开始连接不同类型网络，GGSN 对数据分组处理，数据流进行 TCP/IP 协议转化，封装成有唯一标识的 IP 数据包，IP 数据包再以 GPRS 数据流包的形式通过 GPRS 网络把数据流传送到移动内网，通过 GPRS 网络服务节点(GSN)的连接，GPRS 网络与外部 Internet 网连通，数据流向 Internet 网，通过动态域名解析和端口映射为客户端提供一个独一服务端口，该端口承担起建立客户端和服务端之间的通信链路，执行所请求的任务，数据包开始寻找一个指定 IP 地址的 Internet 中心服务器交换数据。GPRS 网络是以 IP 地址寻址开始的，所以 Internet 服务器必须具备公网的 IP，监控中心接收到数据包后开始数据包解析，并存储到中心数据库中去，以供客户端查询与分析。GPRS 数据传输网络工作流程如图 3.24 所示：

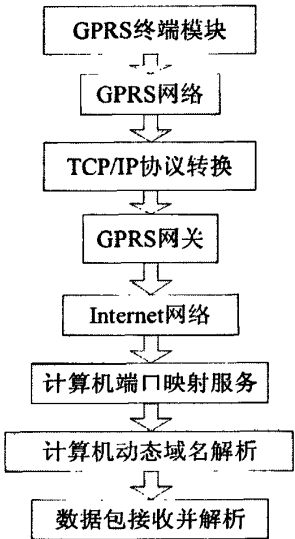


图 3.24 GPRS 数据传输网络工作流程图

Fig.3.24 The working flow chart of data transmission network for GPRS

本部分主要是研究基于 GPRS 的数据传输网络设计实现过程，GPRS 数据传输网络设计包括监控中心组网方式、DNS 动态域名解析、端口映射等。

1. 监控中心组网结构

GPRS 的应用范围十分广泛，但是不同行业应用 GPRS 的实际需求和应用环境都不相同，总结现有的 GPRS 组网经验，根据实际需求和行业应用特点，总结了 4 种组网方案^[19]，并根据课题的需求和成本考虑进行了组网设计。

方案一：监控中心采用 ADSL 专线等 Internet 公网连接，采用公网固定 IP 或者公网动态 IP+DNS 域名解析服务。该方案需先申请 ADSL 宽带业务。

方案又可分为两种情况：

(1) 监控中心有公网固定 IP：终端监测点可直接向监控中心发起连接，这种方案运行比较稳定，但是申请公网固定 IP 费用高。



图 3.25 GPRS 组网方式一网络拓扑图

Fig.3.25 The network topology of GPRS networking-one

(2) 监控中心拥有公网动态 IP+DNS 解析服务：客户可先向 DNS 服务商申请开通动态域名，监控点采取域名寻址方式连接 DNS 服务器，再由 DNS 服务器寻找中心公网动态 IP，建立通信连接。此方案可大大节省申请公网固定 IP 的费用，但稳定性是一定限制，该方案适合小规模数据传输业务。

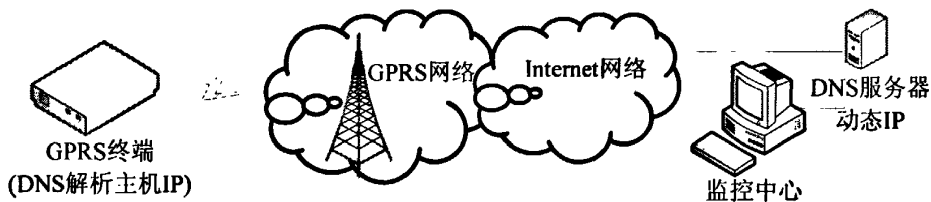


图 3.26 GPRS 组网方式二网络拓扑图

Fig.3.26 The network topology of GPRS networking-two

方案二：监控中心采用主副 GPRS 终端，使用移动内网动态 IP+移动 DNS 解析服务。此方案要求客户需先与移动 DNS 服务商联系开通移动动态域名，监测点先采用域名寻址方式连接移动 DNS 服务器，再由移动 DNS 服务器找到监控中心移动动态 IP，建立通信连接。数据中心也采用 GPRS 终端作接收端，相当于两个模块之间的传输，但这种无线传输方式稳定性不够，数据丢包率高，所以采用两个 GPRS 终端作备份，主终端接收端掉线时，数据自动转移到副中心 GPRS 终端接收端。这种方案也可节省申请固定 IP 的费用，但申请移动 DNS 解析服务较难，只适用于小范围内传输，而且稳定性和时效性较差。

方案三：数据中线采用主副 GPRS 终端，采用移动 APN 专网固定 IP。该方案要求客户首先向移动申请 APN 专网业务，用于 GPRS 专网的 SIM 卡仅开通该专网专用的 APN 业务，申请成功后，所有的监测点和监控中心会分配到一个移动内部网的固定 IP，该方案较方案二减少了中间域名解析服务环节，稳定性加强，而且数据传输只是在移动内网进行，与公网无关联，数据安全性有所保障，无需负担宽带专线月租费用。

方案四：数据中线采用 APN 专线，监测点采用移动内网固定 IP^[20]。客户首先需向移动申请 APN 专线，中心通过一条 2M APN 专线接入 GPRS 网络，在用户使用的数据终端和数据中心内部网络之间形成一条虚拟的专用通道，用于 GPRS 专网的 SIM 卡仅开通该专网专用的 APN 业务后，监测点以及数据中心都会分配到移动内部固定的 IP，移动终端和服务器之间采用端到端加密，防止了传输过程中的数据泄漏。该方案从安全性、稳定性和实时性都强于前三种方案，适用于监测点多，对数据安全性、私密性较高应用环境，资金允许的前提下是最佳的组网方式。



图 3.27 GPRS 组网方式三网络拓扑图

Fig.3.27 The network topology of GPRS networking-three

比较上述几种方案，考虑开发成本和周期，系统选用第一种方案中的第二种

情况：即监控中心拥有公网动态 IP，使用公网动态 IP+DNS 域名解析服务，可先申请域名，GPRS 终端采用域名寻址方式连接 DNS 服务器，再由服务器寻找公网动态 IP，从而实现终端与监控中心的关联连接。

2. 传输层协议选择

GPRS 数据传输网络的关键是传输层的设计，该层的主要任务是为两个端系统会话层之间提供端到端的通信服务。

(1) 大坝渗流监测应用特点

前面我们介绍了要和 GPRS 建立链接，必须遵守相关协议，GPRS 网络在传输层有 TCP 和 UDP 协议，具体选用何种协议要根据实际应用和特点来确定。分析大坝渗流监测应用有如下特点：

- 1) 数据采集终端多且监测点比较分散，为了考虑监测的科学性，渗流监测一般是多点多断面监测；
- 2) 数据流量小，监测到的数据一般是由分散的监测点组成的数据流，且有一定的监测时间间隔，不存在短时间内的大量信息流涌入；
- 3) 数据传输准确率要求较高，准确的数据才能预分析大坝渗流是否安全；
- 4) 采集时间间隔大，由于大坝渗流过程是一个比较缓慢的过程，对其数据采集的频率要求比较低，所以对数据的实效性要求不高。

(2) 两种协议的比较和选择^[21]

1) TCP 和 UDP 协议都是 IP 层上的传输协议，但其传输过程存在着不同，UDP 协议是一个简单的面向数据报文的运输层协议，进程的每个操作都产生一个 UDP 数据报，并组装成一份等待发送的 IP 数据报。UDP 不提供可靠连接，它只能保证 IP 层的数据报传出，不能保证这些数据报是否到达目的地。

2) TCP 与 UDP 不同，它提供一种面向连接的、可靠的字节流服务，TCP 首先将用户采集到的数据打包成报文段，等到数据报发送后启动一个定时器，等待对端数据确认，接收端对接收到的数据进行确认，丢弃重复数据，重新排列失序的数据，另外 TCP 提供端对端的流量控制，并计算和校验一个强制性的端到端校验和。一般来说，TCP 数据报的传输包括四个步骤^[22]：建立连接、数据发送、数据确认、断开连接。

一般来说，当单包传送数据量较小时，UDP 效率高于 TCP，选择协议时应分析应用层数据帧字节数。由于系统在实验室内测量，对数据的精确性要求较高，需要测量的数据量比较大，终端数量较少，所以本系统选用 TCP 传输层协议。

3. IP 关联设计

网络通信中，任意两台主机之间的通信通过 IP 地址进行连接。前面我们已经选择了监控中心公网动态 IP+DNS 域名解析服务方案，所以监控中心与 GPRS 终

端之间的连接要靠 IP 寻址来实现关联连接，而动态域名解析和端口映射服务都是为了标识唯一目的 IP，从而得到端对端对应 IP 进行连接。

(1) 动态域名解析^[23]

DNS(Domain Name System)域名解析服务是基于 DNS 服务器上的一种服务，DNS 服务器用于 TCP/IP 网络中，通过用户友好名称代替难记的 IP 地址，简单来说 DNS 就是一个地址翻译系统，输入的网址后通过域名解析得到对应的 IP 地址，比如“www.njtu.edu.cn”就是域名，而实际上它的 IP 地址是“218.249.29.212”。

动态域名解析是 DNS 域名解析服务的一种，动态域名解析顾名思义，解析出的 IP 地址是变化的。由于 IP 一般是一个点分十进制格式表示的，所以 IP 对全球网络用户来说容量很小，不可能每一个网络用户都拥有一个 IP。为此，动态 IP 随之产生，用户上线分到一个 IP，下线后自动收回，这样每次使用中的 IP 就是变化的，可以节省申请固定 IP 的费用。动态域名解析就是解析出服务器的动态 IP，每次电脑 IP 地址发生改变时，软件自动将新 IP 发送到 DNS 服务器，然后对域名的解析进行修改，当再一次访问统一域名时，服务器会自动连接到新 IP 上，通过域名解析捕捉变化的 IP，中心和终端之间就能通过 IP 地址寻址访问实现通信。

目前动态域名解析软件已经开放了免费服务，常用的解析软件有每步、花生壳等软件，花生壳动态域名 6.0 版使用简单，服务齐全，所以系统选用花生壳域名解析软件来提供解析。用户需事先在该软件官网上申请注册免费二级域名，例如“skykimiboy.gicp.net”，然后用该域名进行登陆，登陆成功后点击域名诊断出现如图 3.28 所示，从图中可以看出“211.101.37.94”这个 IP 在一段时期内和“skykimiboy.gicp.net”是一一对应的。

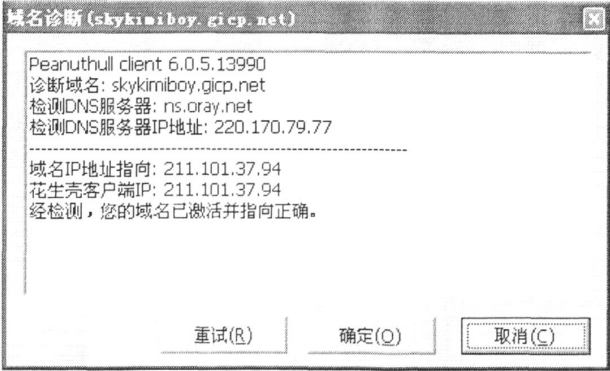


图 3.28 动态域名解析结果图

Fig.3.28 The result diagram of dynamic domain name service

(2) 端口映射服务^[24]

网络通信中，主机间通过 TCP/IP 协议发送和接收数据报，数据报根据目的主机 IP 寻址访问，但是有时候目的主机存在多程序同时运行的情况，而且也可能主机是一个内部局域网网关，这样就存在选择数据报传送对象的问题，端口映射提

供主机选择对象服务。

1) 端口：端口是一种抽象的软件结构，应用程序与某端口建立连接后，相应的数据报都会从该端口进行传送。端口用一个整数型标识符来表示，它的范围是0—65535,1024 以下的端口号保留给预定义服务，端口号与传输协议相关，例如 TCP 和 UDP 的端口号相互独立。

2) 端口映射：由于学校是一个内部局域网，我们访问外部网络都是以一个公共网关进行的，内部网计算机可以向 Internet 网上其它计算机发起连接请求，但是外部网络无法向内部计算机发送连接请求。端口映射服务就是让内网中的一台主机对外部提供网络服务，实现端口映射的方法有两种：一、在局域网网关计算机上装端口映射软件，内网主机端口映射；二、在宽带路由器上做端口映射。考虑实际操作本系统选用第二种方法实现端口映射。如图 3.29 所示，已定义内部地址为 192.168.1.103 的服务器中端口号为 8001 的服务端口启用交叉访问，当外部网络需要访问内部服务器时，可采用 TCP://211.101.37.94:8001 的形式。

ID	服务端口	IP地址	协议	启用
1	8001	192.168.1.103	ALL	☒
2		192.168.1.	ALL	☐
3		192.168.1.	ALL	☐
4		192.168.1.	ALL	☐
5		192.168.1.	ALL	☐
6		192.168.1.	ALL	☐
7		192.168.1.	ALL	☐
8		192.168.1.	ALL	☐

常用服务端口：

DNS (53)

填充到 ID 1

图 3.29 端口映射示意图
Fig.3.29 The diagram of port mapping

3.5 本章小结

本章介绍了基于 GPRS 大坝渗流监测系统的硬件设计，主要从大坝渗流监测传感器单元、数据采集监测仪、数据传输单元三个大方面介绍了硬件的组成。从系统监测传感器的选择、布点到数据传输方式选择、设计总体上构成了整个监测系统。

4 渗流监测系统软件设计

4.1 系统软件总体设计

基于 GPRS 的大坝渗流监测系统软件总体设计包括：单片机终端软件和监控中心软件两部分。单片机终端软件由主程序、数据采集、数据处理、串行通信程序组成，监控中心软件主要是对终端进行设置，数据显示、存储、处理、通信和控制。系统软件采用模块化结构程序设计方法进行设计，按照系统功能分别进行编写和调试，最后将模块连成整体，组成整个系统软件设计。图 4.1 所示为系统软件总体流程图

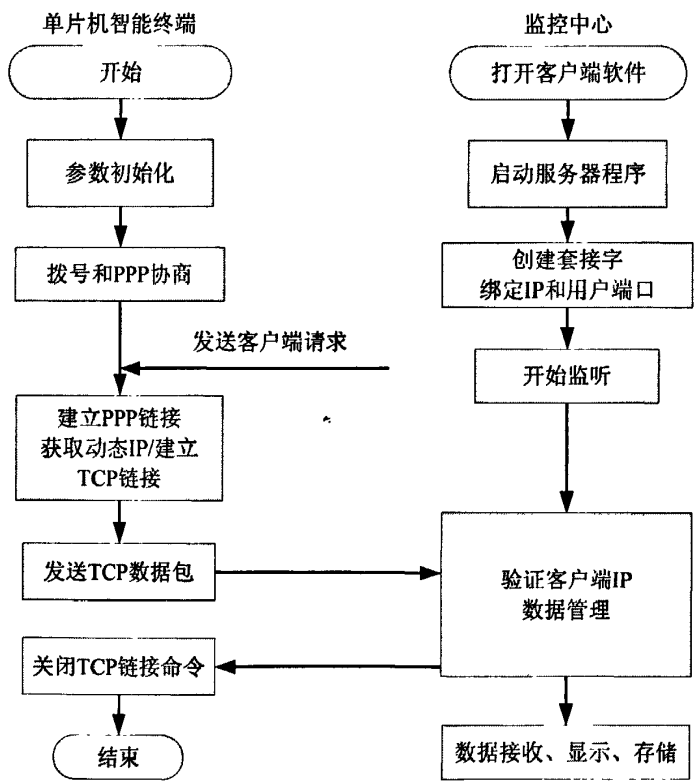


图 4.1 系统软件总体流程图

Fig.4.1 The working flow chart of software

4.2 单片机智能终端软件设计

单片机智能终端软件主要功能是以接收数据、处理数据和发送数据为主，由

于涉及到的功能较多，所以设计中以中断服务程序、串口通信程序等为基础，采用模块化设计，自底而上^[25]。图 4.2 为单片机智能终端数据连接流程图。

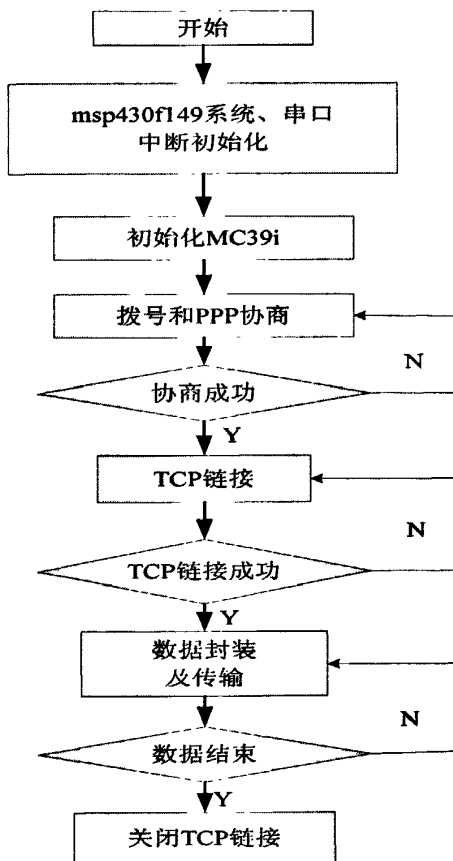


图 4.2 单片机智能终端数据连接流程图

Fig.4.2 The working flow chart of data connection for intelligent terminal

4.2.1 开发工具及语言选择

单片机的开发要借助于开发系统工具，MSP430F149 的 FLASH 芯片具有片内 FLASH 存储器和 JTAG 接口实现调试功能，开发系统工具较为简单。MSP430 单片机通过 JATG 接口与调试主机联机的方法建立程序联机调试环境，在目标系统中，调试接口可直接从 JATG 接口引出，这之间需要一个转换器件，称为 FET(Flash Emulation Tool)，即 MSP430 仿真器。FET 可实现的基本调试功能有：程序代码下载、设置断点、现场观察与修改。

单片机 MSP430 系列调试开发环境一般在 EW430 下进行编程、汇编、连接，在 C—SPY 环境下进行调试。EW430 是 IAR 公司出的一款适应不同 CPU 的目标系统开发的集成环境，内含多种调试工具，内嵌汇编级的调试器 C—SPY。调试器 C—SPY 有多种工作方式，一般常用的有模拟方式和通过 JATG 接口与目标硬件系

统连接调试两种。

单片机开发语言主要有汇编语言和高级语言两种，汇编语言具有使用灵活、程序容易优化等特点，但开发比较复杂，开发周期较长。MSP430 单片机使用 C 语言做程序开发，一般把适用于 MSP430 单片机的 C 语言叫做 C430，它与 C 语言基本一致，具有程序可靠性高、可读性、可移植性等特点。本系统设计中，主要的源程序如表 4.1 所示。

表 4.1 主要源程序及其功能
Tab.4.1 The main source program and it's function

源程序名称	主要功能
Main.c	程序入口，对单片机进行初始化操作，判断等待中断信号
Df_data.c	定义程序中用到的变量
ppp.c	PPP 协商协议的嵌入实现
Data.c	数据处理中用到的辅助处理函数
GPRS.c	GPRS 数据传输相关函数（GPRS 读、写、监听等操作）
df_MC39i.c	GPRS 模块 MC39I 的初始化设置
df_TCP.c	TCP/IP 协议的嵌入

4.2.2 开发平台介绍

EW430^[26]是一种非常有效的嵌入式系统开发工具，它使用户能够充分有效地开发并管理嵌入式应用项目，其界面类似于 VisualC++，可以在 Windows 平台上运行，功能十分完善。包含有源程序文件编辑器、项目管理器、源程序调试器等。并且为 C/C++编译器、汇编器、连接定位器等提供了单一而灵活的开发环境，可以快速浏览源文件，还提供了对第三方工具软件的接口，允许启动用户指定的应用程序。下面介绍 EW430 的特性和使用。

EW430 仿真环境支持设备描述，可以对不同的器件中断系统进行正确仿真。打开编译软件后选择 GENERAL OPTION 在右边点击 Target，从下面的 Device 右边的浏览器中可以看见 IAR EW430 所支持的所有常见的具体设备，在选择好具体的设备后 IAR 软件会自动的在后台调用相应的 I/O 头文件。IAR 的编译器提供了 DLIB 库，支持符合 ANSIC 标准的 C/C++编程语言以及多字节参数和 MISRA 标准。IAR 的编译器支持对代码大小和运行速度的多层次优化，在 Optimizations 选择区域可选择优化方法有 SIZE 和 SPEED 两种，前者以代码大小进行优化，后者以运行速度进行优化。另外还有 NONE 不优化对调试支持最好，LOW 低级优化，MEDIUM 中级优化和 HIGH 高级优化 4 种不同的优化级别。根据所选择的优化方法和优化

级别，Enabled transformations 框将自动选择不同的优化项目。针对一个项目中不同的源文件也可以选择不同的具体优化代码方式。

调试器 C—SPY 完全集成在 EW430 中，通过不同驱动 DRIVER 实现与目标系统通信和仿真控制。MSP430 软件的 C-SPY 调试器提供了 2 种类型的驱动：纯软件仿真驱动和硬件仿真器驱动。

4.2.3 单片机主程序

系统是以 MSP430 为核心进行频率和温度测量的，根据不同测量功能，调用相应的模块子程序，完成相应的测量和处理以及传输，前面已经提过单片机软件主要功能包括初始化、压力和频率信号测量、通信协议的嵌入、实时时钟管理、数据存储管理和单片机与上位机通讯的功能。单片机系统软件分为主程序、中断程序和串口通信程序。

单片机上电初始化后，首先是各部分初始化，主要包括对 MSP430F149 时钟设置、波特率设置、端口工作方式设置和 GPRS 模块等的初始化，图 4.3 所示为单片机主程序的功能流程图。

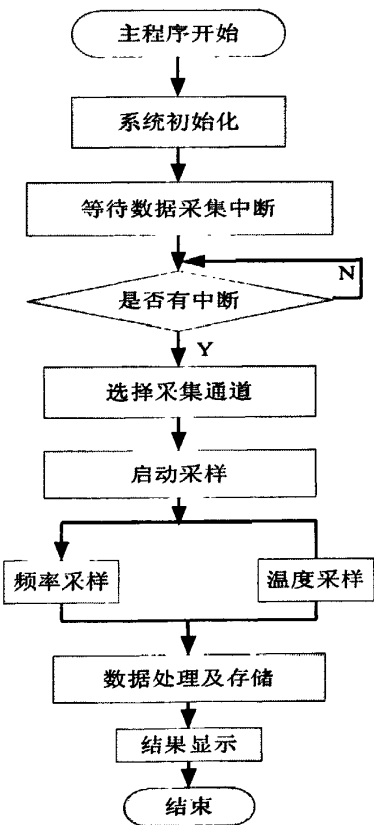


图 4.3 单片机主程序功能流程图

Fig.4.3 The working flow chart of main program function

整个程序执行过程中，所有功能均在中断中完成，系统设计中主要有 P1.0、UART0 接收中断和 Timer_A 的定时和捕捉中断。

4.2.4 频率检测的实现

振弦式渗压计可以检测出监测点的渗透水压，渗透水压用频率来表现，一般在单片机给渗压计一个激励脉冲信号后，再检测滤波放大后的脉冲信号频率可得到监测点的压力值。MSP430F149 单片机有两个定时器 Timer_A、Timer_B，整个检测需用到 Timer_A 的定时和捕捉功能以及 Timer_B 的定时功能。压力数据采集的流程一般是首先初始化采集，给出激励脉冲，激励脉冲由 Power 信号和 Pulse 信号一起产生，如图 4.4 所示为频率信号采集流程图。

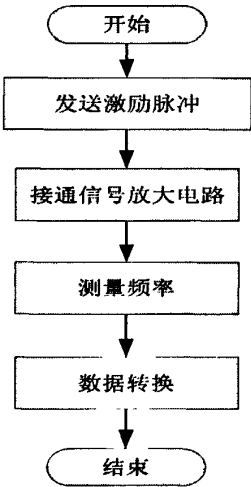


图 4.4 频率信号采集流程图

Fig.4.4 The working flow chart of frequency signal acquire

图 4.5 为 Timer_A 激振脉冲产生流程图。通过实验可测得，正常情况下，再等待 1.5s 后开始发送激励脉冲。

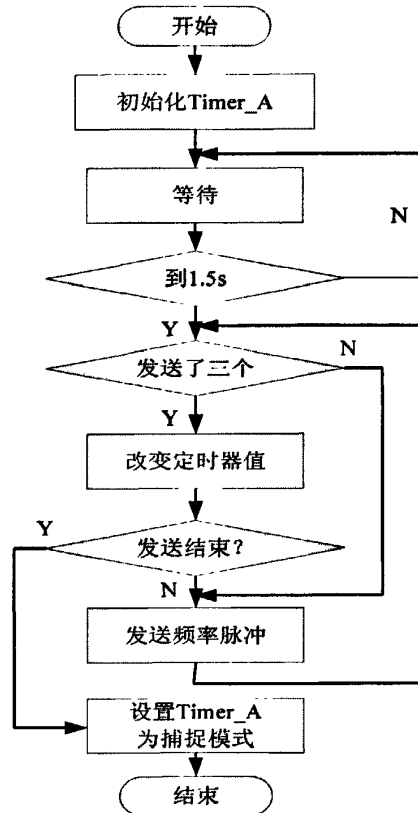


图 4.5 激励脉冲产生流程图

Fig.4.5 The working flow chart of vibration excitation pulse exerting

激励脉冲发出之后，经过单片机滤波放大电路后就进入了信号检测电路，也就是脉冲频率的测量。对频率的测频通常有两种方法：计数法和多周期法^[27]。

计数法：在单位定时时间内对被测信号脉冲进行计数。

多周期测量法：用计数器测量多个周期值，例如计数器计 100 个周期的数，然后用 100 除，可得到一个周期内的时间数就是要测的频率。图 4.6 所示为测频方法示意图。

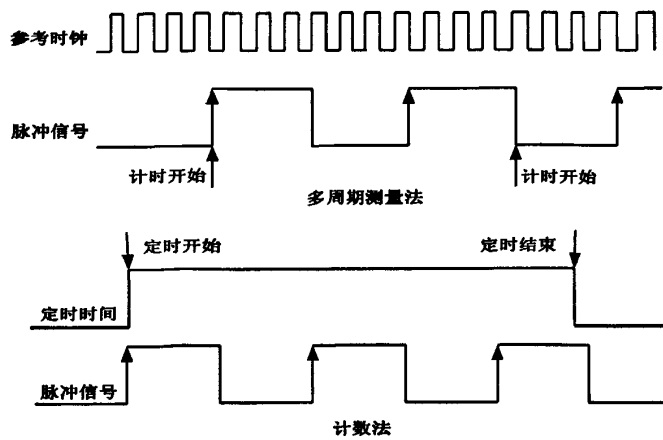


图 4.6 测频方法示意图

Fig.4.6 The diagram of frequency measurement method

由于计数法是一种直接读数法，振弦式渗压计激励响应信号时间稳定区间小于 1s，因此定时时间不能超过 1s，在测量低频时计数法误差较大。本系统中选用多周期测量法，一般来说用多周期测频误差能比计数法减小近 50 倍。设计使用 MSP430F149 单片机的 Timer_A 捕捉功能来实现频率的测量，频率计算公式为 $f = F \times N / (C_1 - C_0)$ ，其中 f 为所得频率， F 为 Timer_A 工作频率， C_1 为捕捉到最后一个脉冲计数值， C_0 为捕捉到第一个脉冲计数值， N 为捕捉到的有效脉冲数。为了提高捕捉的精度，最大限度地捕捉脉冲，系统中设定捕捉到的第一个脉冲计数值为 0。图 4.7 所示为测频系统程序流程图。

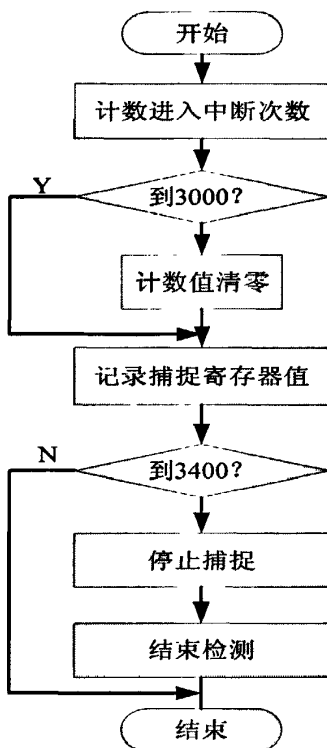


图 4.7 测频系统程序流程图

Fig.4.7 The working flow chart of frequency measurement program

4.2.5 温度检测的实现

振弦式渗压计内部自带一个热敏电阻，测量压力的同时可同时测量温度。MSP430F149 单片机集成了 14 路 12 位 A/D 转换，其中 8 路属于外部信号转换，3 路属于内部参考电压的检测转换，参考电平和时钟源可自选，也可外部提供，图 4.8 所示为 A/D 转换时序流程图。需要注意的是，由于 MSP430F149 是采用加载信号到电容上充电的采样，因此必须要给一定的采样时间保证达到一定的精度和时间的不溢出，否则会出现时间溢出的中断，据测定其采样开始后需要 13 个

ADC12CLK 周期延时, 实验时采用单步精确测量, 全速时需延时测量, 否则采样结果为 0。采样结束和转换开始需要一个控制过程, 这时将 ADC12CTL0 的 ENC 和 ADC12SC 同时置“1”, 表明采样开始。

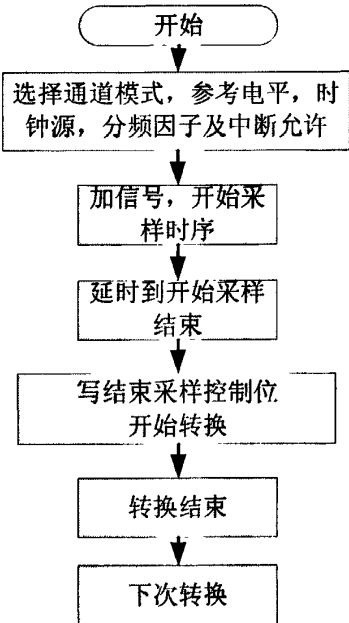


图 4.8 A/D 转换时序流程图

Fig.4.8 The working flow chart of A/D transformation of sequence

MSP430F149 单片机自带一个 ADC12 模数转换模块, 通过 ADC12 模数转换模块采集温度调理电路传送来的电平信号, 由于低三位是电阻性的, 因此精度上需要采用多次采集取平均值的方法来实现。图 4.9 所示为温度采集流程图。

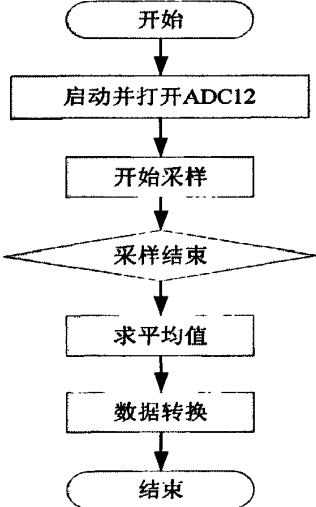


图 4.9 温度采集流程图

Fig.4.9 The working flow chart of temperature collection

4.2.6 数据存储和实时时钟管理的实现

整个监测仪监测方式有多种：实时监测、离线监测、分时巡视监测等，所以数据会有一个存储管理的过程。系统设计采用了带 I²C 总线接口的 AT24C512 芯片，MSP430 没有专用的 I²C 总线结构，需要通过 I/O 口进行模拟。存储过程中需要用到 AT24C512 的读写操作功能，AT24C512 有页写方式和字节写两种写操作方式，本设计选用字节写方式。AT24C512 读操作有随机读方式、当前地址读和当前地址连续读三种方式，本设计采用随机读方式。图 4.10 所示为 AT24C512 的读写操作流程。

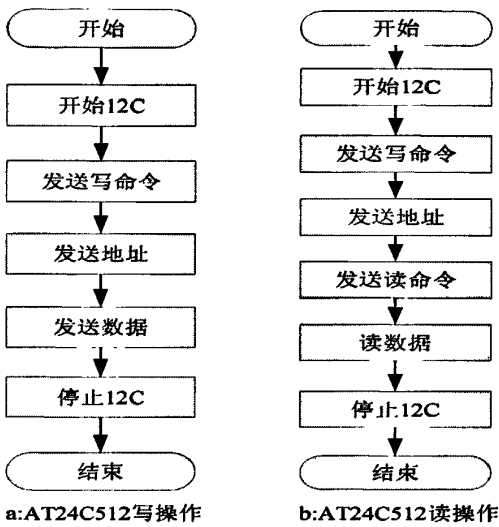


图 4.10 AT24C512 读写操作流程

Fig.4.10 The working flow chart of read/write control for AT24C512

数据存储和时钟管理都用到了 I²C 总线，下面就 I²C 总线的一些相关函数进行简单介绍，如表 4.2 所示。

表 4.2 I²C 总线相关函数
Tab.4.2 The source function of I²C bus

函数名称	功能说明
Void StartI2C(void)	起始信号子函数，是总线寻址和数据传输开始的信号
Void StopI2C(void)	终止信号子函数，用于终止 I ² C 总线通信
char SendByte(char data)	字节数据传送函数，用于数据发送
Void AckI2C(void)	应答信号子函数，用于表明 I ² C 总线数据传输结束
Void NAckI2C(void)	非应答信号子函数，用于表明数据传输异常无法完成
Void Delays(void)	延时子函数，对总线传输速率做延时限制处理
bit TestAckI2C(void)	应答位检查子函数，检测接收的是否为正常的应答信号

实时时钟的设计主要是设置定时周期和读取时间数据，设计中使用 DS1302 的

定时功能来设置其定时周期，DS1302 与单片机进行数据交换时，需先由单片机向电路发送命令字节，命令字节最高位 Write Protect(D7)必须为逻辑 0；D6=0，指定时钟数据，D6=1，指定 RAM 数据；D5~D1 指定输入或输出的特定寄存器；最低位 LSB(D0)为逻辑 0，指定写操作(输入)，D0=1，指定读操作(输出)。程序设计中，由于渗流数据采集间隔较长，一般用字节变量保存定时周期的高 8 位，然后判断进入中断的次数，检验是否能达到最大的定时周期。

4.2.7 通信部分的实现

通信部分程序设计是整个系统中最重要的一部分，是整个系统程序的核心，主要是 GPRS 模块与单片机之间的通信。GPRS 模块与单片机之间通过串口进行通信，通信速率最快可达到 115200b/s。模块与控制器间的通信协议是 AT 命令集，除了使用串口发送引脚、串口接收引脚外，MC39i 与控制器还存在一些硬件握手信号，如 DTR(Data Terminal Ready,DTR)、CTS、DCD(Data Carrier Detect,DCD)等。为了简化控制器的控制，设计只使用数据载波检测(DCD)信号和终端准备(DTR)信号。其中 DCD 信号检测 GPRS 模块是处于数据传送状态还是处于 AT 命令传送状态，DTR 信号用来通知 GPRS 模块传送工作已经结束^[28]。

1. 通信软件的整体结构

通信软件主要完成单片机与 GPRS 模块间的通信，程序是在支持 MSP430 的 IAR Embedded Workbench 环境下开发的，用标准 C 语言编写。图 4.11 所示为通信软件整体结构图，采用分层结构，从底到上分别是串口驱动层、MC39i 驱动层、PPP 协议栈层、IP 协议层、TCP 协议层与应用层。上层函数的实现需要应用到底层函数，而底层函数的任务就是为上层函数提供服务，最终完成应用层任务—传送数据。

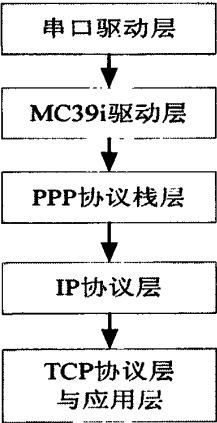


图 4.11 通信软件整体结构图

Fig.4.11 The diagram of communication software

2. 单片机通信程序设计

(1) 驱动程序编写。驱动程序主要包括串口驱动和 MC39i 模块驱动两部分，从最底层串口驱动开始，串口驱动实现打开串口 (OpenComm)、关闭串口 (CloseComm)、写串口数据 (WriteComm)、读串口数据 (ReadComm) 等函数。例如写串口数据函数向串口发送一个字节的数据，而传输函数向串口发送一个字符串的数据。

```
void WriteComm(charc) {
    ES=0;
    SBUF=c;
    while(TI==1);
    TI=1;
    ES=0;
}

void transmit(char*data) {
    Delay(100);
    while(*data) {
        WriteComm(*data++);
    }
}
```

MC39i 模块驱动是在串口驱动层程序的基础上运行的，两者之间是一种底层和上层函数的关系。单片机通过串行口控制 MC39i 模块，进行拨号、参数设置等操作。采用 GPRS 模块特有的 AT 命令控制，一般步骤是：MC39i 模块首先拨打移动梦网 GGSN 的登录号码进行拨号上网，这时 MC39i 模块就转入在线模式 (On-Line)，此时 MSP430F149 向串行口发送的所有数据都透明地传送给了 GGSN，单片机之后会收到 GGSN 的应答。数据传送完成后，单片机需要通知 MC39i 模块结束数据会话，此时需要 GPRS 模块从在线模式转回普通命令模式，这个动作可通过置高 DTR 线完成。由于异常情况下 CD 线会处于低电平，而我们需要 CD 线一直处于高电平，所以设计中要重复检测 CD 线是否处于高电平^[29]。图 4.12 所示为 GPRS 模块会话动作流程图。

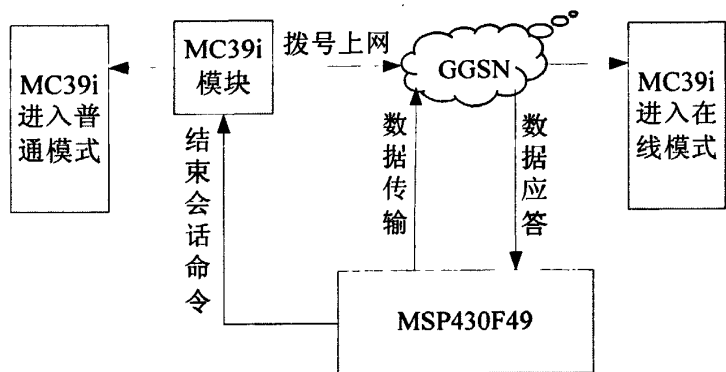


图 4.12 GPRS 模块会话动作流程图

Fig.4.12 The working flow chart of GPRS module communication

通过上面的 GPRS 模块会话动作可以编写 MC39i 模块驱动函数，通过这些驱动函数来完成模块通信功能，其驱动函数如下表 4.3 所示。

表 4.3 MC39i 模块驱动函数

Tab.4.3 The program dirve of MC39i moudule

函数名称	功能定位
初始化模块函数（GPRSInit）	对 MC39i 模块进行初始化设置
拨号函数（GPRSDial）	控制 MC39i 模块拨号上网
断开连接函数（GPRSHangup）	结束 MC39i 与 GPRS 网关 GGSN 的会话
状态在线检测函数（GPRSOnline）	检测 CD 线是否处于高电平

(2) PPP 协议的实现^[30]

用户接入 Internet，在传送数据时都需要有数据链路层协议，其中最为广泛的是串行线路网际协议（SLIP）和点对点协议（PPP）。由于 SLIP 具有仅支持 IP 等缺点，主要用于低速（不超过 19.2kbit/s）的交互性业务，它并未成为 Internet 的标准协议。为了改进 SLIP，人们制订了点对点 PPP（Point-to-Point Protocol）协议。

1. PPP 协议组成^[31]

PPP 协议由三个组成部分：

(1) 一个将 IP 数据报封到串行链路的方法。PPP 既支持异步链路（无奇偶校验的 8 比特数据），也支持面向比特的同步链路；

(2) 一个用来建立、配置和测试数据链路的链路控制协议 LCP（Link Control Protocol）。通信的双方可协商一些选项。在[RFC 1661]中定义了 11 种类型的 LCP 分组；

(3) 一套网络控制协议 NCP（Network Control Protocol），支持不同的网络层协议，如 IP、OSI 的网络层、DECnet、AppleTalk 等。

2. PPP 帧格式^[32]

PPP 封装提供了在一条链路上同时支持不同网络层协议的多路技术。PPP 帧格

式和 HDLC（高级数据链路控制）帧格式相似，如图 4.13 所示。二者主要区别：PPP 是面向字符的，而 HDLC 是面向位的。

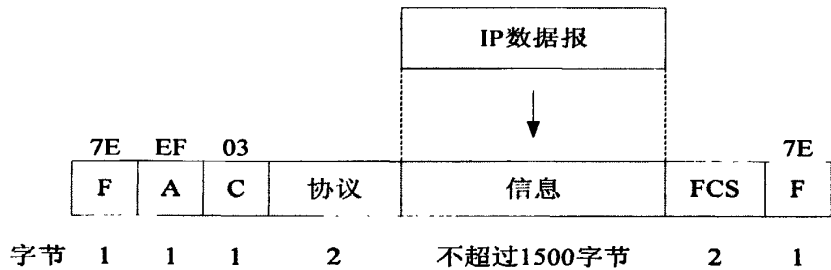


图 4.13 PPP 帧格式
Fig.4.13 The frame format of PPP

从图中可以看出，PPP 帧的前 3 个字段和最后两个字段与 HDLC 的格式是一样的。标志字段 F 为 0x7E (0x 表示 7E)，但地址字段 A 和控制字段 C 都是固定不变的，分别为 0xFF、0x03。PPP 协议不是面向比特的，因而所有的 PPP 帧长度都是整数个字节。HDLC 标志字符 7EH 标志数据帧的开始和结束，帧头部包括地址和控制字段，尾部为帧校验序列。

关于 PPP 协议的相关介绍在第二章已经给出，PPP 协议的实现是整个传输网络设计的关键。PPP 协议实现的一个难点是单片机智能终端登录 GPRS 网关（GGSN）并与网关协商链接过程。PPP 协议的实现一般会用到 LCP、PAP 和 IPCP 协议，这些协议帧结构大致一样，最常用的为请求（REQ）、同意（ACK）和拒绝（NAK）三种帧。单片机与 GGSN 之间的协商链接过程任何一方都必须有两种动作：同意或者拒绝。

MC39i 模块在拨号成功后进入移动 GPRS 通信服务，模块首先向 GPRS 网关 GGSN 发送 PAP 验证请求数据帧，GGSN 接收到请求后和 MC39i 建立、构造、测试链路连接，也就是所谓的 LCP 协商，网关 GGSN 发送一个 LCP 设置帧，单片机智能终端对此进行拒绝并请求选择验证模式，请求验证有 PAP 和 CHAP 两种验证模式，在本设计中选用 PAP 验证模式。协商成功后 GGSN 会发送同意 PAP 验证用户 ID 和密码之类的请求信息，MC39i 收到同意信息后立即发送用户 ID 和密码进行 PAP 验证，待验证成功后，模块和 GPRS 网关进行 IPCP 协商，在该动作下，主要完成创造网络协议环境和分配用户动态 IP 地址的任务。至此，整个 PPP 链路协商过程结束了，就进入了 IP 数据报通信阶段，数据采集模块就可以按照协商标准与上位机数据中心进行 IP 报文传输了，这些包含 PPP 报文的 IP 报文被传送到 Internet 网中相应的 IP 端口。图 4.14 所示为 PPP 协商过程图，大致可分为 LCP 协商、PAP 协商、IPCP 协商三个阶段。

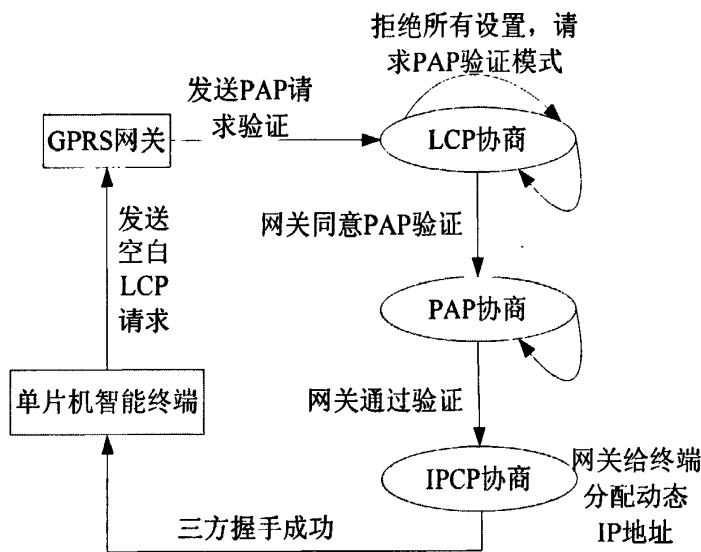


图 4.14 PPP 协商过程图

Fig.4.14 The diagram of communication process of PPP

前面讲到一个完整的 PPP 连接流程，需要 LCP、PAP、IPCP 协议帧共同作用，这三种协议帧结构大同小异，开发时可在 EW430 环境下用 C 语言的开关语句实现。单片机的存储空间一般比较小，而且代码也会占用一部分空间，为了提高效率，软件利用状态机控制程序运行。通过验证 GPRS 模块的状态（命令待机状态和在线传输状态），当处于命令待机状态时，单片机接收模块返回值，当处于在线传输状态时，单片机和网关 GGSN 之间通过 PPP 报文协议连接起来，两者之间是一个双向传输的过程，因此单片机接收到 PPP 报文协议。系统设计中，数据报使用串口中断模式来实现 PPP 协议程序的实现。图 4.15 为 PPP 协议实现程序流程图

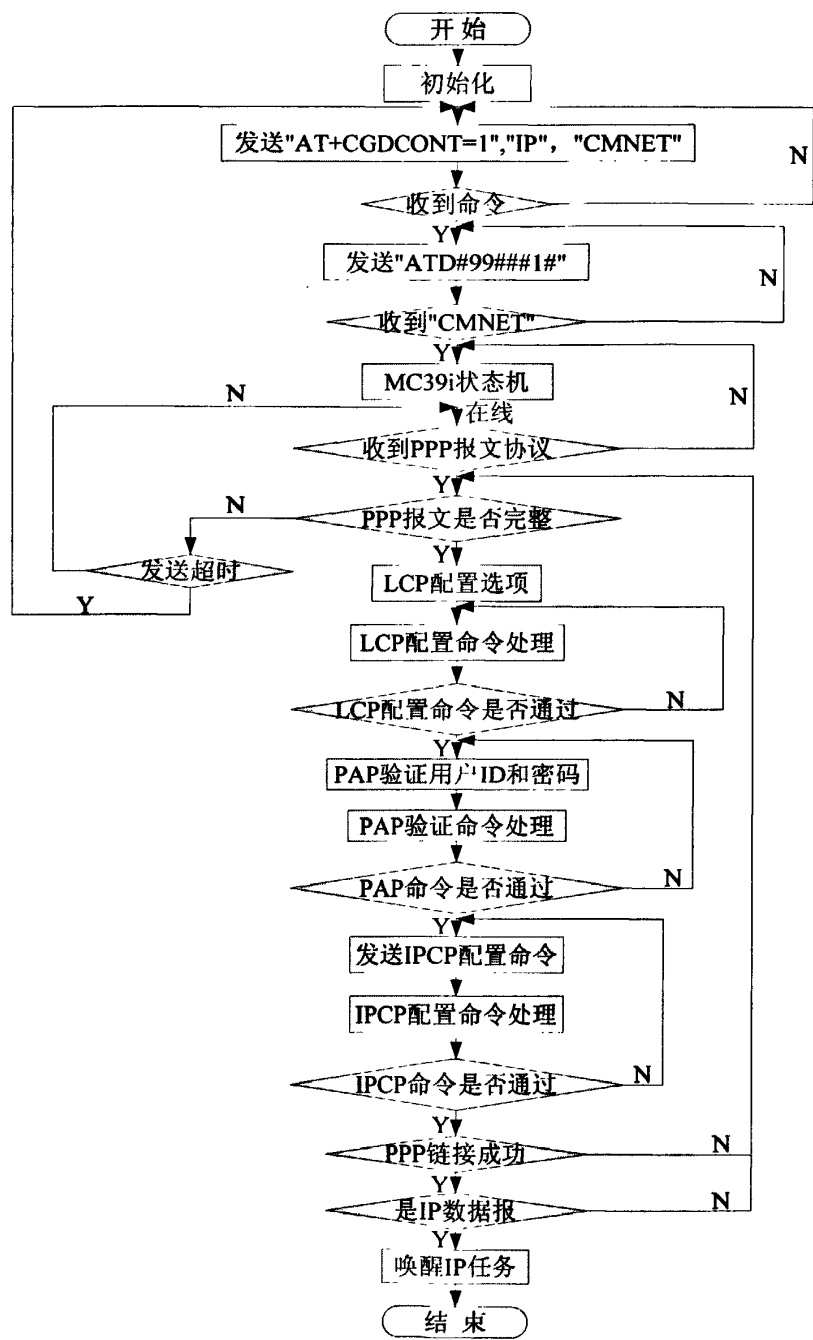


图 4.15 PPP 协议实现程序流程图

Fig.4.15 The working flow chart of implementation of PPP program

(3) IP 协议的实现^[33]

IP(Internet Protocol, 互联网协议)是 TCP/IP 协议簇的心脏, 负责为计算机网络互相连接进行通信。所有的 TCP、UDP、ICMP 等都以 IP 数据包格式传输。IP 数据包是不可靠的, 因为 IP 并没有做任何事情来确认数据包是按顺序发送的或者没有破坏。IP 数据包中含有源地址和目的地址, 传输过程中, 接收由底层传来的数据包, 并把该数据包发送到更高层 TCP 或者 UDP 层, 同时也可把 TCP/UDP 层数

据包传送到更低层。高层 TCP 或 UDP 服务在接收数据包时，通常假设包中源地址是有效的，通过协议层中选项 IP source routing 来指定一条路径到达目的地址，从而达到传输的目的。

IP 主要将数据流封装成数据包，然后将数据包通过路由传输到目的地，具有非连接性和不可依赖性的特点。IP 层起着中转的任务，可以将底层数据传到高层 TCP 层，也可将 TCP 层数据包传送到低层。在数据接收中，主要是 IP、ICMP 协议层分析程序，IP 协议程序完成对 IP 数据包进行判断是否为 TCP 包的操作，若判断是则设置标志位由 TCP 分析子程序接管。ICMP 协议层分析程序主要传送差错报文。在数据发送阶段，IP 协议完成 IP 包封装子程序，主要是填写 IP 报头，设置标志位。这部分程序相对简单在这不作详细介绍。

(4) TCP 协议的实现^[34]

1) TCP(Transmission Control Protocol, 传输控制协议)处于 TCP/IP 协议簇的传输层，负责为网络提供有序可靠的分组数据交换服务。TCP 可靠服务是基于 TCP 接收到数据包后将包排序并进行错误检查，同时实现虚电路间的连接，TCP 数据包中包括序号和确认，未按照顺序收到的包可以排序，数据包损坏的话也可重新传输。另外 TCP 具有不对高层协议的数据产生影响的特点，一般是将高层送来的数据流看成字节流，对每个字节流进行分配序列号。交换报文时 TCP 附带提供第一个字节序列号和总的字节个数，这样接收方的 TCP 能够完整地将字节流流传递给自己的高层协议，而不会出现字节流丢失。TCP 的最大特点就是在分组交换数据时提供可靠服务，数据丢包率低。

面向连接的传输协议是 TCP，可通过发送方和接收方分别创建一个套接字(Socket)通信端点获得 TCP 服务，套接字包含套接字地址，主要是主机 IP 地址和端口号信息。图 4.16 所示为 TCP 数据报封装过程。

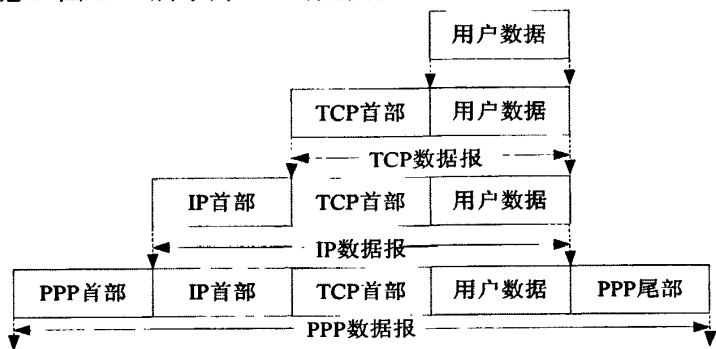


图 4.16 TCP 数据报封装过程

Fig.4.16 The encapsulation process of TCP datagram

2) TCP/IP 协议的嵌入^[35]

由于 MC39i 模块本身没有自带 TCP/IP 协议，而网络对接必须要以 TCP/IP 协

议作为通信基础，所以在与 GPRS 网络连接前，需在 MSP430F149 硬件平台中内嵌 TCP/IP 协议。TCP/IP 是一个四层网络协议，包括应用层、传输层、网络层、网络接口层。考虑到 MSP430F149 存储空间不足，所以本系统设计采用 uIP TCP/IP 栈，它是一种免费公开的源代码协议栈，代码大小比一般 TCP/IP 协议栈小得多。uIP 代码实现了 TCP/IP 的四个基本协议：ARP、IP、ICMP、TCP 协议。其中，ARP 协议主要完成地址解析任务，把目标 IP 解析为网络层 MAC 地址，一般是首先发送 ARP 请求包，ARP 表及时更新请求；uIP 的 IP 协议负责验证输入包 IP 头的正确性；ICMP 协议负责检查目的主机是否能连通；uIP 的 TCP 协议不再实现发送和接收数据窗口调整以及缓存 TCP 数据段，而是立即处理 TCP 数据段。

TCP/IP 协议栈嵌入的程序设计主要包括以太驱动和 TCP/IP 协议实现两部分。编写主程序之前需对 uIP 进行设置，uIP 的设置包含在一个 uipopt.h 头文件里，主要设置物理地址、IP 地址、ARP 表大小等参数。TCP/IP 协议嵌入的程序流程一般为初始化、数据包发送、数据包查询、数据包处理等过程。

系统初始化主要包括定时器初始化、uIP 协议栈初始化、用户应用程序初始化等，数据包查询主要是查看数据包是否为 ARP 包、ICMP 包或者 TCP 包。整个程序中用到的函数有：uip_init() uIP 协议栈初始化函数、uip_input() 数据处理函数、uip_periodic() 定时处理函数。

(5) 应用层协议的实现^[36]

应用层协议就是监控中心与单片机智能终端之间的通信约定，双方都能识别和应用，一般会根据系统传输的信息内容来设计数据包结构和通信模式。

1) 传输信息内容

基于 GPRS 的大坝渗流安全监测系统传输信息内容主要有上下游水位、监测点温度、监测点频率压力、测量日期、监测点序号、传感器编号、传感器名称型号等信息。

2) 通信模式

请求模式：监控中心向单片机终端发起请求数据传输命令；上传模式：单片机终端向监控中心主动上传监测数据；通知模式：主要传输故障信息，一般由单片机终端发起，监控中心接收后做出回应。

3) 数据传输补救机制

系统在传输时难免会出现一些异常状况，导致无法正常传输或者传输错误。这时就需要数据传输补救机制来保障数据传输的正确性和完整性。数据传输补救机制主要解决数据传输超时的问题，主要是请求回应超时和数据执行超时。对于请求超时问题，监控中心重新发送请求，并再次等待响应消息，设计规定重复发送次数上限为 5 次，超时时间为 10s，若超过了重复发送次数上限则认为此链路不

可用。对于数据执行超时问题，若在规定超时时间 10s 内监控中心未收到数据包，单片机则会通知终端此次数据执行超时，命令动作失败。

4) 数据包设计

本系统单片机终端和监控中心之间通信模式采用请求模式和主动上传模式两种。两种模式的数据帧结构也不一样。其格式如下表 4.4 所示

表 4.4 两种通信模式下数据帧格式

Tab.4.4 The data frame format of two kinds of communication mode

请 求	帧 头	参数 1	参数 2	帧 尾	
主动上传	帧 头	工作站地址	帧长度	数据区	帧 尾

监控中心对终端请求模式帧头主要是命令帧(OXFFH)和设置帧(0XNMH)两种，参数 1 和参数 2 主要是各路频率温度测量值，帧尾 CR 校验位 (0x0DH)。主动长传模式中，帧头显示为对监控中心的应答信息，帧长度包括监测点地址、数据区帧长度字节和，数据区主要是 4 路频率、温度采集数据。

渗流数据结构包的设计组成由下表 4.5 所示。

表 4.5 渗流数据包结构

Tab.4.5 The structure of seepage observation packet

名称	长度（字节）	类型代码	功能描述
包头	2	CH	数据包实时位置
数据段长度	4	IN	描述数据段的长度值
数据段	0~1024	可变	长度可变的数据
CRC 校验	2	CN	校验数据传输正确性
包尾	2	CH	固定为（CR、LF）

4.3 监控中心软件设计

监控中心软件主要是对终端进行设置，数据显示、存储、处理、通信和控制，主要由动态 IP 接入 Internet 网络的计算机组成。监控中心接收和发送拥有封装有 TCP 协议的 IP 数据包，实现与 GPRS 模块的通信。

4.3.1 监控中心软件设计要求

基于 GPRS 的大坝渗流监测系统规模一般较大、测点较多，监测对象具有多样性与复杂性。监控中心软件开发必须结合大坝渗流数据采集的相关特点做出设计，设计时需考虑以下要求^[37]：

- 1. 数据传输的实时性和及时性。渗流数据传输效果的好坏关系到系统的实际

效果，系统要求数据传输要实时和及时，无明显延迟影响。

- 2. 功能设计简单实用。监控中心软件是人机交互的最直接界面，要求其功能完善，结构简单，界面清晰易用。
- 3. 软件扩展完善。监控中心的软件要考虑适应环境变化。

4.3.2 监控中心软件设计平台的选择

目前监控中心软件体系主要采用的是 MIS 体系，MIS 体系主要有 C/S 结构和 B/S 结构，C/S 结构是客户机/服务器结构的模式，由客户端应用程序和数据库服务程序组成。分别称为前台和后台程序，一般是前台程序向后台程序发出请求，后台程序接收到请求后作出应答，返回相应的结果。基于此，本系统设计采用 C/S 结构，具体选用 VB6.0 和 SQL2000 作为监控中心软件开发平台。VB 编程操作简单、功能强大、编程周期短，且支持数据库访问技术 ADO.NET，SQL2000 数据库技术完善、安全性高、稳定性较高。具体来说，本系统设计采用 VB 的 Winsock 控件实现 Socket 编程。

4.3.3 监控中心功能模块

大坝渗流监测系统上位机软件主要分 5 个管理模块。如图 4.17 所示，大坝基础信息管理模块：主要是介绍大坝的一些基本信息和渗压计参数设定；系统用户管理模块：主要考虑数据安全，对登录系统用户身份进行识别；通信模块：完成上位机与单片机智能终端通信管理；数据处理模块：主要对监测到的渗流数据进行存储和历史查询并作简单的曲线显示；工程管理模块：主要对监测点和渗压计位置信息做出介绍。

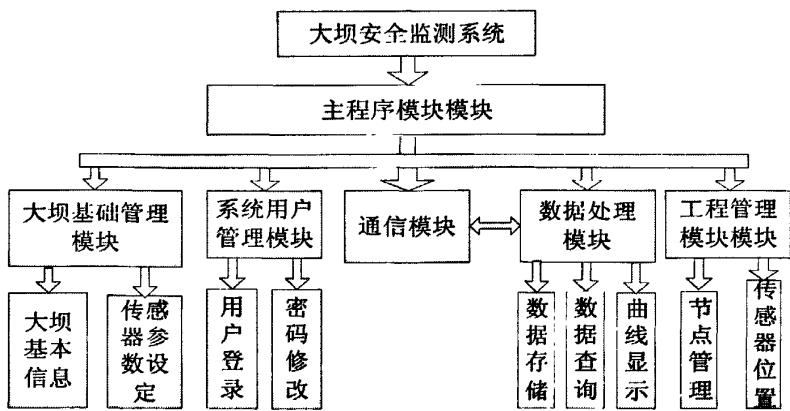


图 4.17 监控中心功能模块图

Fig.4.17 The system function moudule diagram of monitoring center

4.3.4 监控中心软件设计实现

1. Winsock 控件^[38]

监控中心为了接收单片机终端传送来的数据，必须启动服务器程序。VB 设计语言提供了基于 Windows Sockets 网络编程接口的 Winsock 控件，建立 Socket 通信，在终端与中心数据库之间形成连接。Socket 通信工作过程分四步：打开 Socket、在线侦听、数据交互、关闭 Socket。图 4.18 所示为监控中心流程图，软件启动后先设置端口 IP，系统自动创建 Socket 通信连接进入监听阶段，再识别目标端口后，系统建立通信连接，系统可以进行数据传输。

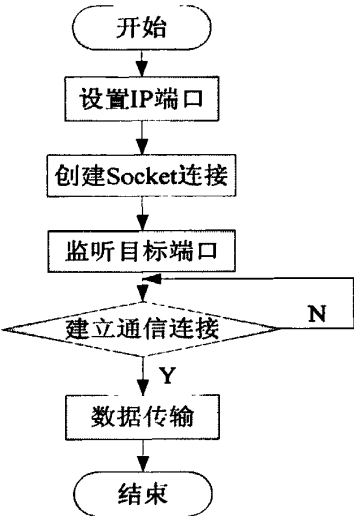


图 4.18 监控中心流程图

Fig.4.18 The working flow chart of monitoring center

(1) Windows Socket 介绍

Windows Socket 是微软以 BSD Socket API 为基础发展出来的，是 Microsoft Windows 提供的网络编程接口，用户可不必了解 TCP/IP 细节，可直接通过设置 Winsock 控件属性并调用的方法实现与远程终端的连接，从而实现数据的传输。

(2) Winsock 控件基本属性及函数

Winsock 控件基本属性有：Accept（接收一个连接请求）、Bind（接口与 IP 地址绑定）、Close（关闭一个 TCP 连接）、Connect（向远程终端发起连接请求）、GetData（获取接收到的数据并清空缓冲区）、Listen（服务器程序等待客户访问）、SendData（发送数据）。Winsock 控件运行时不可见，其最重要的属性是 LocalPort、Protocol 和 State，LocalPort 主要设置监听端口，Protocol 设置传输协议，例如 sockTCPProtocol 代表系统传输采用 TCP 协议，State 属性反映 TCP/IP 连接状态。Winsock 控件常用的函数有调用函数 WSAStartup（）、创建 Socket 函数 Socket（）、关闭 Socket 端口函数 Closesocket（）、绑定参数函数 Bind（）、侦听函数 Listen（）、创建连接函数

Accept ()。

(3) Winsock 控件相关设计

考虑到渗流数据发送和接收的实时性，系统设计采用 2 个 Winsock 控件，一个负责监听终端连接请求，另一个负责发送监控中心控制命令。在 VB 环境下建立网络通信步骤如下：

1) 监控中心端：添加 Winsock 控件，称为 Winsock1，设置传输协议为 TCP:Winsock1.Protocol=sckTCPProtocol。协议设置成功后还需设置端口，设置计算机连接端口为：Winsock1.LocalPort=5000。单片机终端端：添加 Winsock 控件，称为 Winsock2，监控中心 IP 设置：Winsock2.RmoteHost="211.101.37.94" 监控中心服务器端口：Winsock1.RmotePort=8001

2) 监控中心端绑定 IP 地址和端口：Winsock1.Bind=8001, "211.101.37.94"

3) 终端请求连接：Winsock2.Connect

4) 监控中心端相应连接请求

5) 通信连接建立，数据交互：单片机终端端：数据发送：Winsock2.SendDate txtSend，数据接收：Winsock2.GetDate strData,vbString

6) 数据传输完成，单方面关闭 Socket 通信连接：Winsock1.Close

2. 数据库设计

系统数据库采用微软的 SQL server2000，数据库的设计主要对数据参数表的设置以及数据表之间的 E—R 关系图。

(1) 用户表

表结构如表 4.6 所示，包含用户登录渗流监测系统的信息，用于用户登录系统身份验证。

表 4.6 用户表
Tab.4.6 The form of users

字段名	类型	长度	意义
用户 ID	varchar	20	用户 ID
用户名	varchar	20	用户名
密码	varchar	10	密码

(2) 传感器信息表

表结构如表 4.7 所示，包含了渗压计的所有参数信息。

表 4.7 传感器信息表
Tab.4.7 The information table of sensors

字段名	类型	长度	备注
sno	varchar	20	设计编号
sname	varchar	50	仪器名称
scode	varchar	50	仪器型号
scode	varchar	20	出场编号
smaxd	float	10	最大外径
slong	float	10	长度
sfan	float	10	测量范围
slin	float	10	灵敏度
sjing	float	10	精度

(3) 单片机终端信息表

单片机终端表主要包括终端设计编号、信号类型和工作状态等参数。表结构如表 4.8 所示。

表 4.8 单片机终端信息表
Tab.4.8 The information table of terminal

字段名	类型	长度	备注
mcode	varchar	20	编号
catcode	varchar	50	信号类型
workDes	varchar	50	工作状态
Zhong_num	int	8	终端总数

(4) 测量参数表

监测系统参数主要是温度、频率、测量日期、传感器编号等，参数表如表 4.9 所示。

表 4.9 测量参数表
Tab.4.9 The table of parameter measurement

字段名	类型	长度	备注
s_no	varchar	20	传感器编号
s_date	datetime	8	测量日期
s_wendu	float	8	测量温度
s_pinlv	float	8	频率模数

其中测量参数表和终端信息表以及传感器参数表一一对应，用户表与传感器参数表和终端信息表也一一对应。

3. 软件功能界面介绍

大坝渗流监测系统上位机软件采用 VB 程序编写，监控中心主界面如图 4.19 所示，打开程序后用户需通过用户名和密码来验证进入程序主界面，以保证渗流监测的安全性。



图 4.19 监控中心主界面图

Fig.4.19 The main interface of monitoring center

待用户正确输入用户名和密码进入系统后，监控中心软件就进入了监听状态，当有终端发出连接申请后，监控中心给该终端分配编号和 Winsock 控件，之后终端和监控中心通过 Winsock 控件中的 Socket 通信连接起来。终端和监控中心可以上传数据或者发送控制命令了。

进入到系统后，首先需在系统设置菜单下选择 GPRS 连接测试，其主要界面在第六章将会介绍。GPRS 连接测试有两个作用，一是发起连接请求，二是通知单片机终端 GPRS 模块拨号上网。在连接测试中需要提供监控中心和终端的一些地址信息和本身参数信息，连接显示成功后，监控系统可开始发出数据采集等相关指令。

图 4.20 所示为数据实时采集界面，系统采取在线监测和离线监测两种方式，在线监测又分为单次巡测和连续巡测两种采集方式。

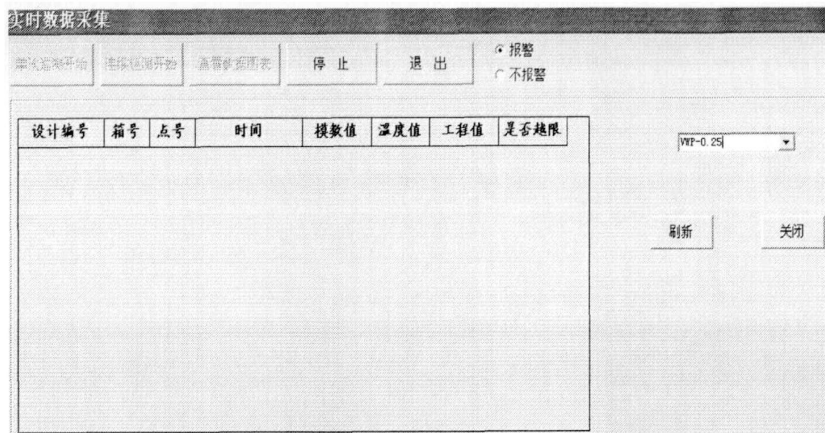


图 4.20 数据实时采集界面

Fig.4.20 The interface of data real-time acquisition

图 4.21 所示为系统设置下传感器参数设置界面，这个模块主要是对振弦式渗压计的相关参数进行设置，包括监测点的选择和设计编号的选择。

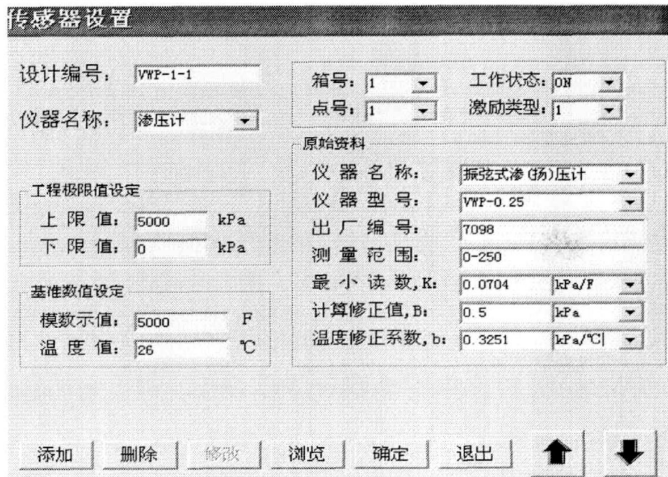


图 4.21 传感器参数设置界面

Fig.4.21 The interface of parameter setting of sensors

4.4 本章小结

本章主要介绍和设计了基于 GPRS 的大坝渗流监测系统软件部分，软件部分主要从单片机智能终端和监控中心端两部分分别介绍。重点设计了频率、温度的检测程序，按照 GPRS 通信网络结构编写了从底层串口驱动到应用层的协议，并用 C 语言在 EW430 环境下把相关协议植入到单片机 MSP430F149 中去。从而实现了单片机智能终端能够通过拨号连接网络，与监控中心服务器端目的端口建立 TCP 链接。监控中心端采用 VB 和 SQL Sever 2000 的 C/S 体系结构开发，利用 VB 中的 Socket 编程，实现终端与监控中心的连接，完成控制命令的发送和采集数据的上传。

5 系统调试及结果分析

5.1 测试平台的搭建

本系统设计的主要目的是为大坝渗流监测系统提供一种无线通信解决方案，方案在考虑实时性下，必须满足运行稳定可靠的要求。系统测试平台主要构成如图 5.1 所示，在实验室环境下，由数据采集终端部分、大坝模型部分、监控中心部分组成。数据采集部分与监控中心之间通过 GPRS 模块进行通信连接，监控中心要求拥有公网动态 IP。

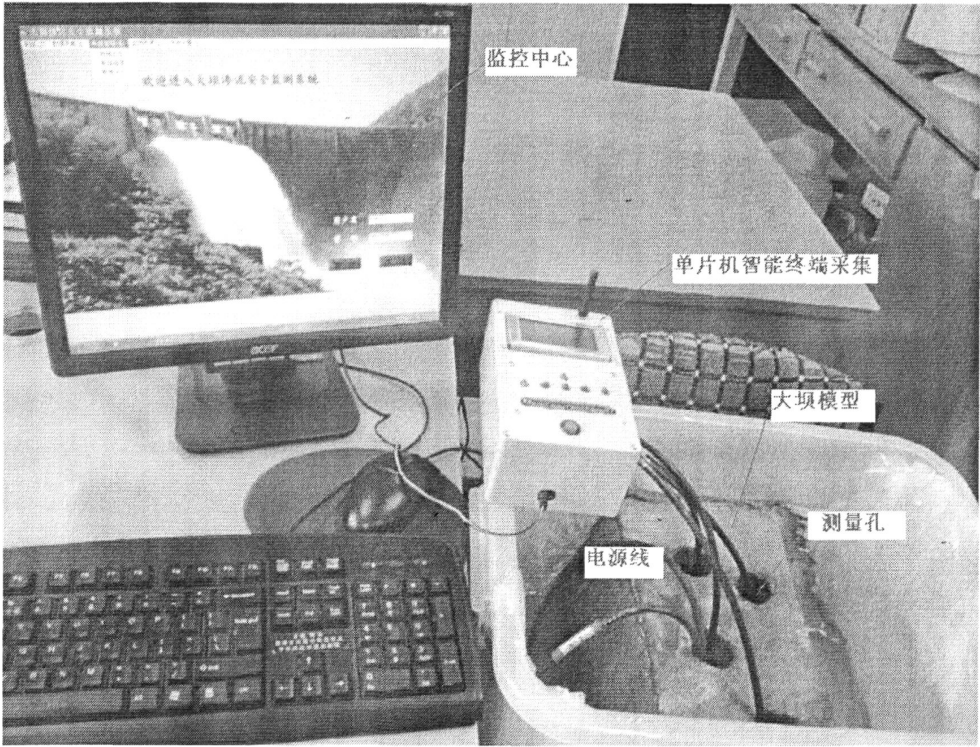


图 5.1 系统测试平台构成图

Fig.5.1 The operation of system testing platform

5.2 系统测试及实验数据采集

整个监测系统的测试包括单片机终端测试和与监控中心端对端连接测试，主要考察各单元的实际运行有效性和准确性。

5.2.1 单片机终端模块测试

基于 GPRS 的大坝渗流监测系统中，最重要的就是单片机终端与监控中心之间的通信连接测试，基于此，实验测试对此处做重点介绍。在实验室条件下，采用串口工具模拟单片机与 MC39i 模块进行通信连接，以此检验系统设计的 PPP 协议是否可行，数据包是否正确。首先是对 MC39i 模块初始化测试，由于单片机内部嵌入了用 C 语言编写的 GPRS 模块拨号上网函数，可用单片机发出 AT 指令测试 MC39i 模块基本功能。

常用的 AT 指令^[39]有 AT&V //手动 AT 指令状态，AT+IPR=? //查询当前波特率，ATD*99*1# //请求 GPRS 服务，AT+CGDATA=PPP //设置 PPP 通信。我们通过超级终端对模块进行初始化测试，此处设置波特率为 9600、数据位为 8、奇偶校验为无和停止位 1 位。从计算机打开超级终端进行设置完成后，如果速率一致通讯正常，在超级终端输入 AT 并回车，会返回 OK。如图 5.2 所示

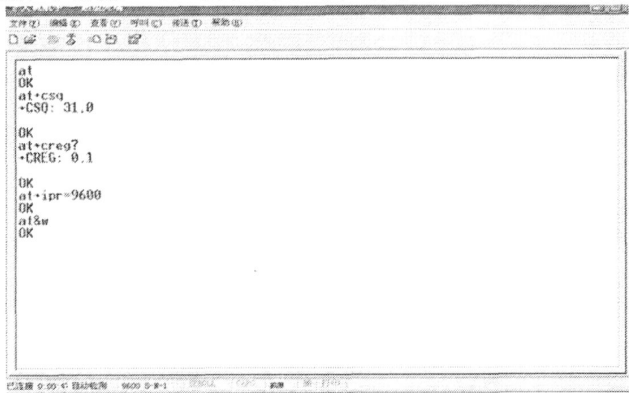


图 5.2 AT 指令测试结果

Fig.5.2 The testing of AT command

at+csq 是查看信号强度；at+creg?是查看是否注册到网络；at+ipr=9600 是把模块速率修改为 9600；at&w 是把以上的设置保存。

如图 5.3 所示为利用超级终端与 GPRS 模块发送短消息指令操作。

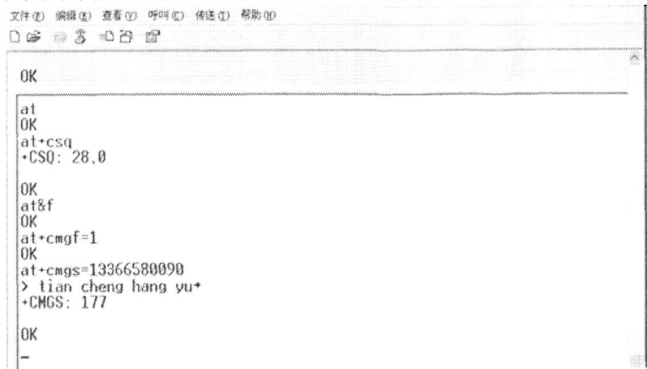


图 5.3 GPRS 模块发送短消息测试

Fig.5.3 The short message sending test of GPRS module

图 5.3 中指令说明如下：AT&F，是将 GPRS MODEM 恢复到出厂默认状态；AT+CMGF=1，是将 GPRS MODEM 设置为 TEXT 格式，即发送英文格式。AT+CMGS=13366580090 回车，设置接收号码(输入号码回车后自动换行后产生“>”，“>”的后面可以输入短信容)，tian cheng hang yu，为发送短信的内容。注意：输入内容后按 Ctl+z，确认发送，其中不含“+”号。返回 OK，发送成功。

在 AT 指令调试完成以后就可利用 VB 程序下 GPRS 连接测试程序测试 GPRS 网络的 Socket 通讯。指令如下：

```
AT+I                                     //进入 ATI 命令
I/OK
AT+ISTCP:skykimiboy.gicp.net, 8001      //建立 TCP/Socket 连接
I/000                                    //返回建立成功
```

skykimiboy.gicp.net 为监控中心服务器端动态域名,8001 为服务器指定端口号，这样连接成功后智能终端就与监控中心建立了 Socket 通讯连接。这时我们利用此通讯连接继续通过终端向数据中心上传一个字节流测试其传输准确性。字节流指令如下：

```
AT+ISSND[%]:000,6,654321                //向 Socket 接口发送字节流
I/OK                                     //发送成功
```

6 是字节流大小，654321 为待发送的数据，点击监听发送后在监控中心端识别终端，并显示终端和自己的 IP，并显示出终端发送过来的数据流。具体测试结果如图 5.4 所示。

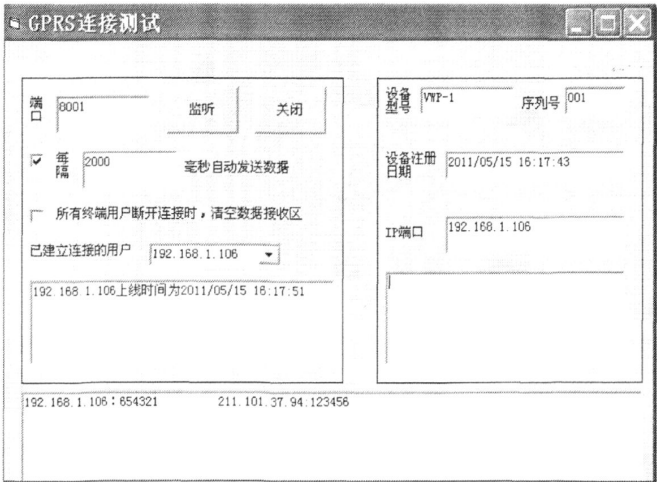


图 5.4 GPRS 连接测试示意图
Fig.5.4 The diagram of GPRS testing

接下来利用单片机编程进行 PPP 协商，通过实验，MC39i 模块与 GPRS 网络通信连接，一般情况下，终端获得动态 IP 时间大概在 4~20s 内。系统调试中，测

试了 GPRS 网络通信的稳定性, 采取了 10 次单片机终端与监控中心数据通信情况统计分析, 实验在高频度、大数据量环境下进行发送, 采集频率间隔为 1s/次, 每次采集时间设为 3min~12min。测试结果如表 5.1 所示。统计显示 GPRS 通信网络平均丢包率为 0.29%, 平均延迟时间约为 1.3s, 由此可见单片机终端与监控中心之间的通信连接满足系统传输实时性和稳定性的要求。

表 5.1 单片机终端与监控中心通信稳定性测试

Tab.5.1 The Communication Stability test between terminal and monitoring center

测试 次数	发送 包数	收到 包数	丢包数	丢包率%	平均延迟时 间(ms)
1	180	179	1	0.55	1002
2	240	239	1	0.42	1205
3	300	300	0	0	915
4	360	359	1	0.28	1253
5	420	418	2	0.48	1460
6	480	480	0	0	804
7	540	539	1	0.19	1103
8	600	598	2	0.33	1622
9	660	657	3	0.45	1824
10	720	719	2	0.28	1920
总计	4500	4487	13	0.29	1310.8

5.2.2 监控中心数据服务器测试

单片机终端采集发送而来的数据会以 TCP 协议包的形式转发到服务器目的端口, 为防止协议包错发乱发, 或者寻找不到目的端口, 本部分在监控中心服务器上通过 TCP 测试软件来测试终端发送而来的数据。如图 5.5 所示, 这是一个 TCP 调试助手软件。首先选择通讯模式为 TCP Server, 设置远程终端的 IP 地址, 我们给其分配一个地址 192.168.1.24, 本地服务器 IP 地址为 192.168.1.106, 选择本地数据接收端口为 1004, 设置完成后点击开始监听, 软件显示正在监听 192.168.1.106:1004。数据接收区显示接收到的 16 进制数据。测试显示, 数据传输稳定可靠, 有效延迟时间较短, 基本上能满足实时性的要求。



图 5.5 监控中心服务器测试图
Fig.5.5 The testing of monitoring center server

5.2.3 实验数据采集

完成了单片机终端和监控中心数据服务器测试后，论文进行实验数据采集，实验在测试平台上进行数据采集。实验中大坝上游蓄满水，下游无水，为了增大实验效果，在上游蓄水表面放置一重物加大其渗透速度，同时每隔半个小时向上游注入一定量的热水，以扩大温度对渗透的影响。启动监控中心后，选择实时采集界面，确定采集方式为每隔五分钟采集一次数据，同时选择监测断面后断面传感器，本实验选择断面 2 中 1 号传感器。振弦式渗压计实验产生两种值：频率模数和温度，监控中心对温度、频率等数据进行实时更新显示，如图 5.6 所示为监控中心接收到的测量数据报表画面。图中 VWP-2-1 是渗压计的设计编号，箱号 2 表示监测断面 2，，点号 1 表示断面 2 上 1 号传感器，模数值 F 是渗压计实测值，工程值是该监测点频率模数设计允许值。

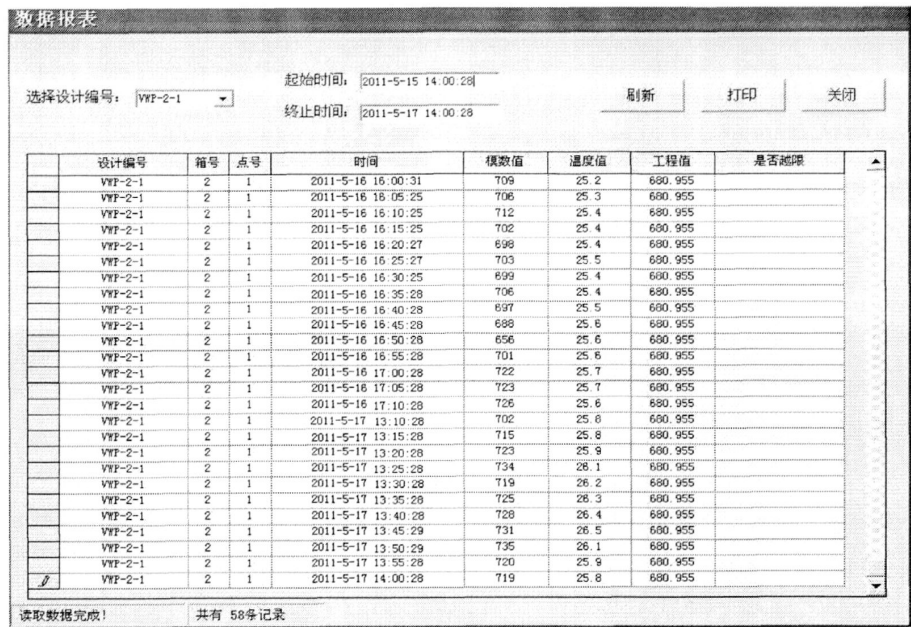


图 5.6 实验数据采集
Fig.5.6 The experimental data collection

5.3 大坝渗流安全计算

系统实验模型是在实验室环境下用松散的土、砂、石料混合填筑而成的，由于水箱蓄水形成上下游水头差，必然在坝体中形成自上而下的渗透水流，并产生渗透变形。大坝渗流安全计算的任务就是复核原设计以及当前渗流状况能否保证大坝安全运行。大坝安全评价资料来源于监测所产生的大坝内部渗流压力、温度、上下游水位。

5.3.1 大坝渗流监测的安全性计算分析

根据《导则》^[40]及土石坝的特点，土石坝渗流安全计算主要包括分析大坝坝体浸润线和渗透坡降是否满足设计允许值。对土石坝的安全计算方法一般有现场检查法、监测资料分析法、计算分析和经验类比法以及专题研究论证法。本系统设计采用监测资料分析法来评价，将实际监测到的渗流、渗压数据与设计或给定的允许值如渗透坡降进行比较，以此来判断大坝渗流是否安全。

5.3.2 大坝渗流计算分析

1. 大坝实验模型

坝顶宽 16cm，坝高 22cm，上游边坡长 26cm，上游坝坡比为 1:1.58，下游边坡长 24cm，下游坝坡比为 1:2.29，大坝坝基总长 30cm，大坝模型示意图如图 5.7 所示。

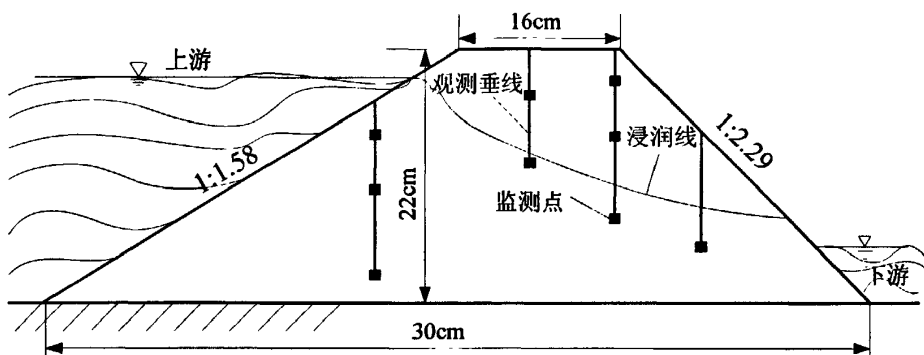


图 5.7 大坝模型示意图
Fig.5.7 The diagram of dam model

2. 大坝渗流计算内容

大坝渗流计算的目的是对大坝渗流安全作出科学评价, 应包括以下内容:

- (1) 确定坝体浸润线及下游出逸点位置
- (2) 确定渗透坡降

3. 大坝浸润线计算

大坝浸润线最能反映大坝渗流安全状况,因此本系统中先对大坝模型做一个浸润线分析,然后比对实际测量值进行分析。设计中,坝体渗流采用按不透水均质坝无排水设施且下游无水状况下计算,只取最大坝高处横断面作为设计计算面,计算情况取稳定渗流期。图 5.8 所示为无排水设施不透水均质坝渗流计算模型。浸润线计算公式如下^[41]:

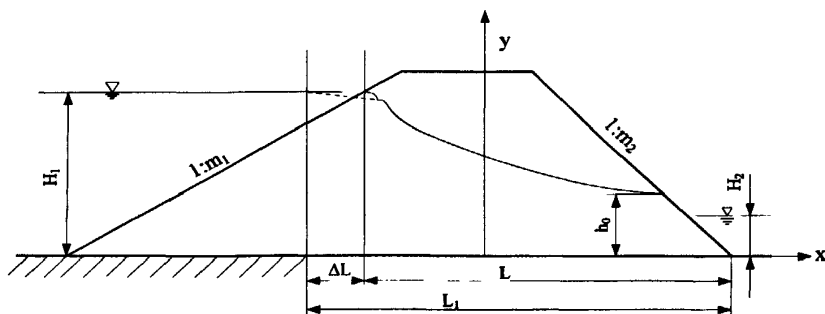


图 5.8 无排水设施不透水均质坝渗流计算模型
Fig.5.8 The seepage calculation mouldule of dam impervious to water and without drainage

$$\frac{q}{k} = \frac{H_1^2 - h_0^2}{2(L_1 - m_2 h_0)} \quad (5-1)$$

$$\frac{q}{k} = \frac{h_0 - H_2}{m_2 + 0.5} \left[1 + \frac{H_2}{h_0 - H_2 + \frac{m_2 H_2}{2(m_2 + 0.5)^2}} \right] \quad (5-2)$$

$$L_1 = L + \Delta L \quad (5-3)$$

$$\Delta L = \frac{m_1}{2m_1 + 1} H_1 \quad (5-4)$$

式中 q —单位宽度渗流量, $\text{m}^3/(\text{s} \cdot \text{m})$;

k —坝身渗透系数, m/s ;

H_1 —上游水位, m ;

H_2 —上游水位, m ;

h_0 —下游出逸点高度, m ;

L —渗透长径, m ;

m_1 —上游边坡比;

m_2 —下游边坡比;

联立解上述方程最后得到如下几个式子。

$$q = k \frac{H_1^2 - h_0^2}{2(L_1 - m_2 h_0)} \quad (5-5)$$

$$h_0 = \frac{L_1}{m_2} - \sqrt{\left(\frac{L_1}{m_2}\right)^2 - H_1^2} \quad (5-6)$$

$$y = \sqrt{H_1^2 - \frac{H_1^2 - h_0^2}{L_1 - m_2 h_0} x} \quad (5-7)$$

设计计算时, 坝身渗透系数 k 取为 $2.25 \times 10^{-2} \text{cm/s}$, 假定某时刻上游水位为 0.2m , 那么按照该模型该时刻渗透长径 L 为 0.164m , $\Delta L = 0.056\text{m}$, 由此计算下游出逸点高度 $h_0 = 0.041\text{m}$, 单位宽度渗流量 $q = 9.33 \times 10^{-3} \text{cm/s}$, 求得浸润线方程为:

$$y = \sqrt{0.04 - 0.189x} \quad (5-8)$$

本系统设计选用的是振弦式渗压计, 渗压计输出的是频率压力信号, 最终得到的是监测点的渗流压力 $P = k\Delta F + b\Delta T + Q$ 。为了便于用测量值比对经验计算值, 需要把相应的频率压力结果转换为压力水头高程。其转换公式为^[42]:

$$H = H_c + P/9.8 \quad (5-9)$$

其中: H 为某一时刻渗压计压力水头高程;

H_c 为渗压计的埋设高程;

P 为某一时刻渗压计所测的渗流压力。

4. 大坝渗透比降

大坝渗流的安全除了用浸润线安全评价外，还可用渗透比将进行考核。渗流出口比降是校核背水坡渗流稳定的重要数据，坡面由于受渗透力的作用产生的局部破坏，极易危及下游坡的整体安全。背水坡的渗透比降精确计算极为复杂，本实验下，采用不透水均质土坝，下游无排水情况下校核渗透比降^[43]。

$$J_0 = \frac{1}{\sqrt{1+m_2^2}} \left(\frac{h_0}{y}\right)^{0.25}$$

(5-10)

式中：J₀为下游无水背水坡渗流出口比降

m₂为下游坡率

取 y=0.0389m，计算可得该处渗流出口比降 J₀=0.494，坝身土质为非黏性土 J_允取为 0.35，而计算值 J₀=0.494 大于 J_允，由此可见此大坝渗流不稳定。

5. 数据对比分析

由大坝实验模型设计浸润线方程（5-8）可以推算出大坝浸润线一些设计值，下表 5.2 是坝体正常蓄水位 20cm 时浸润线各点的坐标：

表 5.2 坝体正常蓄水位 20cm 时浸润线各点坐标值

Tab.5.2 The coordinate values of saturation line based on normal storagelevel 20cm

x/m	0.07	0.10	0.17	0.20
y/m	0.1636	0.1453	0.0887	0.0469

以 0+0.17 断面为例，渗压计埋设高程为 5cm，测得其初始基准频率模数 F 为 650F，F=Hz²×10⁻³，温度基准值为 25 摄氏度，不考虑大气环境的影响，上下游水位单位为 m。取其一段时间内频率模数变化量的平均值，然后根据公式 4-7 计算出该断面不同时刻频率压力值 P，再按照公式 5-9 转换为该断面不同时刻的压力水头高程 H，结果如表 5.3 所示。

表 5.3 0+0.17 断面渗压计压力水头值

Tab.5.3 The pressure value of waterhead of device on 0+0.17 section

	2011-5-15	2011-5-16	2011-5-17	2011-5-18	2011-5-19	2011-5-20
压力水头高程	0.0493	0.0828	0.1237	0.1535	0.1832	0.2048
上游水位	0.22	0.20	0.18	0.16	0.15	0.14
下游水位	0.08	0.09	0.11	0.12	0.13	0.14

实验测得渗透压力转换为压力水头高程后，用压力水头高程表征浸润线，把理论计算浸润线值和实验测得的水压头高程放在一个坐标轴里进行对比分析，X 轴表示为大坝坝基长，单位为 m，Y 轴表示为大坝压力水头高程，单位为 m，坐标原点取上游坡脚。如图 5.9 所示，从图中可以看出，实验浸润线总是高于理论计算值，而且下游出逸点值也大于设计值，根据水工大坝安全技术规范可以初步判定大坝存在渗流不稳定的可能。

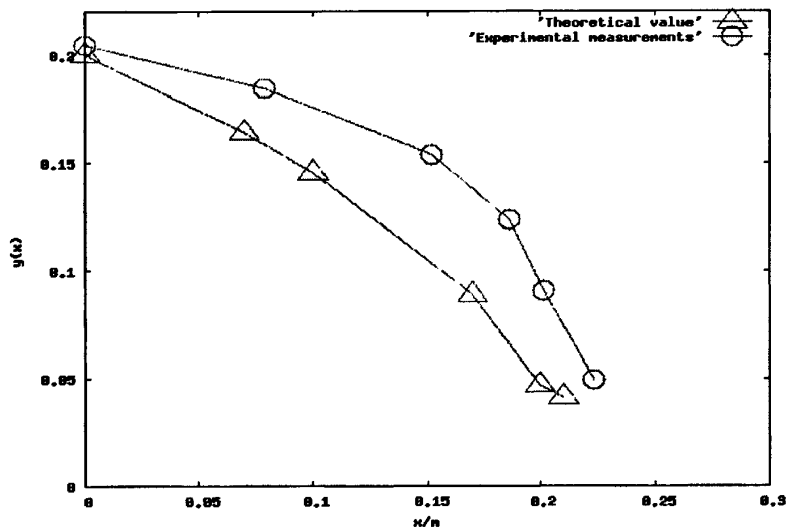


图 5.9 浸润线实验值与计算值比较

Fig.5.9 The comparison of saturation line between measurement and calculation

6. 总结及误差分析

通过实际测量发现，渗透压力的测值反应存在一定的滞后时间，初步判定滞后时间与库水位的上升和下降有很大关系，而且与变化幅度存在某种关联。

系统测量中难免会产生误差，对最终测评结果产生影响，综合分析本系统，误差主要出现在以下几个方面：

(1) 振弦式渗压计的测量误差，振弦式是一个高精度的测量传感器，但其受环境影响比较敏感，其前端透水石中存在气泡的话很有可能造成读数延迟或错误，另外其测频计数也有可能产生偏差。

(2) 整个系统在软硬件设计方面存在一些缺陷，难免差生误差。

(3) 人为误差，系统开发中为了节省设计时间，上下游水位测量由人工读数代替，也会对最后的计算校核产生误差。

(4) 对于测量浸润线分析，由于渗压计测点较少，采用流网分析法确定浸润线存在一定的难度和不便，实验中采用了测量渗流压力，然后将实测压力转换成压力水头高程的近似做法，在计算中也采用了一些假设，这也可能导致最终安全校核存在误差。

5.4 本章小结

本章首先对监测终端和监控中心分别测试调试，并建立了实验测试平台，利用平台进行数据采集实验，验证了系统可行性，对系统稳定性进行测试，最后建立了大坝渗流计算模型，对比实验测试数据和计算分析结果作出相应的安全评价。

6 总结及展望

随着国家对水电工程领域的不断投入和发展，同时也因为我国大坝服务年龄长久、设计存在缺陷等诸多原因，现阶段对大坝安全监测越来越受到重视和发展，要求也越来越高。设计一种稳定、高效、装备成本低的大坝安全监测系统是未来该领域发展的新方向。本文从我国大坝实际中存在的最普遍问题—渗流破坏出发，设计了一套完整的大坝渗流监测系统，并采用 GPRS 技术作为监测数据的传输方式，有效降低了开发成本。

6.1 总结

本文通过具体研究分析和设计，主要完成了以下工作内容：

(1) 针对大坝安全监测内容多，且在实验室内不方便开展测试的情况下，选取了我国存在类型最多的土石坝中渗流安全作为研究重点，并且设计制作了实验室内大坝模型，为系统测试奠定了基础；

(2) 选取了振弦式渗压计作为系统测量的工具，并结合渗压计的特点设计开发了大坝渗流监测硬件，主要监测传感器频率和温度信号，最后测试表明，系统能够正常工作，通讯正常；

(3) 放弃了以往的有线传输方式，简述了 GPRS 无线传输技术在工业监控领域中的广泛应用和优势，提出了基于 GPRS 的大坝渗流监测系统方案，选择了合适的 GPRS 通信模块；

(4) 分析了当前实现 GPRS 传输技术的一些基本要求，设计了 GPRS 组网方式，选择了合适的 GPRS 传输协议；

(5) 对整个系统进行软件编制，软件部分主要包括单片机终端和监控中心部分，终端部分主要是针对 GPRS 传输所需的 7 层协议开发，监控中心软件采用 VB 语言和 SQL2000 数据库设计，实现监控中心数据接收和命令发送、端口监听等功能；

(6) 对系统进行相关验证和调试，包括对 GPRS 模块的命令调试、GPRS 模块与单片机之间的通信调试、端对端传输调试、总体调试等；

(7) 结合相关测试数据，对大坝渗流安全进行计算并评价，包括浸润线分析和渗透比降分析，最后用计算值与测量值进行对比分析，作出相应的安全评价，并分析系统中存在的误差。

6.2 展望

虽然目前 GPRS 用作数据传输技术已经应用到方方面面了，但在工业监控领域还不是很成熟。具体到本系统开发中，由于时间和精力有限，系统存在较多缺陷，需要在以后进一步完善，主要是以下几个方面：

(1) 目前监测系统只是在实验室环境内进行调试，而且有时存在信号不稳定，具体应用到实际中去还要考虑具体外部环境，在硬件方面做改进设计，比如抗雷击抗干扰设计等；

(2) GPRS 数据传输的可靠性跟 GPRS 网络信号有很大关系，而且 GPRS 数据传输的速率也受网络状况的影响，存在掉线的情况，一旦发生掉线，导致数据拥堵，影响数据包的发送和接收，需要在后续工作中对数据传输的安全性和可靠性进行改进；

(3) 监控中心软件是用 VB 开发的，由于时间有限，只是实现了数据的查询和存储，数据曲线显示只是显示采集到的原始数据，功能不太完善，后期应考虑设计大坝渗流安全专家系统，曲线直接显示大坝浸润线，而且应该设定工程上下限值，预期设计的工程管理模块没有进行开发，后续将对此处进行完善。

(4) 由于是在实验室内进行模拟采集，采集到的数据变化很小，需要进行剔除分析，所以特别选取了具有代表性的特征点，可能会对最终的安全评价产生影响，另外采集环境跟实际也大不相同，实验室内是点对点传输，系统可靠性有一定保障，实际测量中应该是一对多。

就目前来说，GPRS 已经应用到许多工业领域中，本课题着眼于当前我国大坝存在诸多问题，就大坝在遇到洪水灾害、地震、干旱等灾害面前缺乏有效监控等问题做出了设计。课题利用传统的传感器监测技术，初步尝试把 GPRS 通信技术应用到大坝安全监测中去，实现了两者的结合，对于无线监控这一课题涉及的内容还很多，需要进一步研究和探索，另外应用 GPRS 技术最大的特点是方便系统扩容，这也符合未来我国大型水利工程监测的需要，相信随着未来通信和网络技术的不断发展，GPRS 会得到更广泛的应用。

参考文献

- [1] 李雷,王仁钟,盛金保等.大坝风险评价与风险管理[M].北京:中国水利水电出版社,2006.4
- [2] 崔晓微,秦理曼,张连春.土石坝力学参数反分析综述[J].黑龙江水利科技, 2006,34(4):54-55
- [3] 吴中如.中国大坝的安全与管理[J].中国工程科学,2000(6)
- [4] 李利军,郭振岗,陈鹏等.无线传感器网络在大坝安全监测中的应用[J].计算机与数字工程,2007,35(10):83-85
- [5] 储海宁.大坝安全监测自动化技术的新进展[J].中国水利水电工程技术进展,1999(4)
- [6] 张日光.我国大坝监测及其技术改造[J].水力发电,1996(6)
- [7] 刘玉峰,王消川.对土石坝渗流安全监测仪器的几点认识[J].大坝观测与土工测试,2000,27(5):11-13
- [8] 李东明.基于振弦式传感器的智能水位计的研究与开发[D].江苏:淮海大学,2006
- [9] 南京葛南实业有限公司.VWP 型振弦式渗压计使用说明
- [10] 胡大可.MSP430 系列超低功耗 16 位单片机原理和应用[M].北京:北京航空航天大学出版社,2003.1
- [11] 王绪国.计算机串口与 I²C 总线接口技术的研究[J].电脑与信息技术,2006,14(2)
- [12] 吕国芳,李东明,刘希涛.振弦式传感器扫频激振技术[J].自动化与仪表,2006.3
- [13] 王少卿,汪仁煌.低功耗 MSP430 单片机在 3V 与 5V 混合系统中的逻辑接口技术[J].电子应用技术,2002,10(2):16-19
- [14] 罗超.单片机 GPRS 智能终端及远程工业监控技术研究[D].湖南:中南大学,2009
- [15] SIMENS.MC39i Hardware Interface Description [EB/OL].www.SIMENS.com,2003.9.12
- [16] SIMENS.MC39i Siemens Cellular Endine.V01.02.German:SIMENS Ltd,2003
- [17] 刘萍.MSP430 在 GPRS 无线数据终端上的应用[J].中国水运,2007,5(6)
- [18] 李映雪.基于 GPRS 基站远程实时监控系统设计[D].浙江:浙江师范大学,2009
- [19] 田旭.基于 GPRS 无线网络的流量远程监控系统[D].江苏:南京航空航天大学,2008
- [20] 陈琦,丁天怀,李成等.基于 GPRS/GSM 的低功耗无线远程测控终端设计[J].清华大学学报,2009,49(2):223-225
- [21] 王义峰.基于 GPRS 的变电站远程在线监测系统的设计和实现[D].湖南:国防科学技术大学,2006
- [22] 张艺瀚,张志斌,赵咏等.TCP 与 UDP 网络流量对比分析研究[J].计算机应用研究,2010,27(6)
- [23] 王玺联.“花生壳”与端口映射在 GPRS 流量监控系统中的应用实现[J].中国科技信息,2009,27(4):99
- [24] 赵敏.基于 GPRS 网络的无线通信系统的研究和实现[D].山西:太原理工大学,2008
- [25] 汪俊锋,陶维青,张全.基于 MC39i 的电能管理终端远程 GPRS 接口设计[J].合肥工业大学学报,2009,32(1):24-27
- [26] 胡大可.MSP430 系列单片机 C 语言程序设计与开发.北京航空航天大学出版社.2002
- [27] 刘玉珍,杨炬亮.振弦式传感器测频方法的研究[J].中国新通信,2010.3
- [28] 黄承安,张跃.微控制器的 GPRS 无线上网[J].清华大学学报,2003.7
- [29] 桑庆华,朱华.基于 GPRS 的远程数据传输系统设计与实现[J].武汉交通职业学院学报,2006,29(3)

- [30] 黄承安,张跃.基于互联网的远程抄表系统[J].电子设计应用,2003.9
- [31] 季瑞松.基于 GPRS 的无线图像监控系统的研究和应用[D].浙江:浙江大学,2004
- [32] RFC 1661.W.Simpson.Point-to-Point Protocol[M/CD].USA:RFC,1994
- [33] Jeff Doyle 著,葛建立译.TCP/IP 路由技术[M].北京:人民邮电出版社,2003
- [34] Mehdi Mahdaavi,Rahim Tafazolli.AnaysiS of Integated Voice And Data For GPRS 3G Mobile Communication Techologies.Conference Publication,No.471,IEEE
- [35] 张文胜,徐功文,时砚会.TCP/IP 协议栈在 MSP430 单片机上的实现[J].山东师范大学学报,2006,21(2):40-42
- [36] 汪俊锋,陶维青,张全.基于 MC39i 的电管理终端远程 GPRS 接口设计[J].合肥工业大学学报,2009,32(1):24-27
- [37] 吴世勇,陈建康,邓建辉.水电工程安全监测与管理[M].北京:中国水利水电出版社,2009.12:141
- [38] 王妮.使用 VB Winsock 控件编写远程数据传输程序[J].自动化技术与应用,2008,27(3):124-126
- [39] 王善斌,陈平.基于 GPRS 与 MSP430 的电能质量监测系统[J].山东理工大学学报,2009.1
- [40] 何勇军,刘成栋,向衍等.大坝安全监测与自动化[M].北京:中国水利水电出版社,2008.1:53-56
- [41] 钮新强,杨启贵,谭界雄等.水库大坝安全评价[M].北京:中国水利水电出版社,2007.8:96-105
- [42] 折武煦,贾工作,高鹏飞.大坝渗流安全监测自动化系统的应用[J].甘肃水利水电技术,2001,37(1):26-29
- [43] 王铁,张伟利,李云祥.小型水库土坝防渗型式方案比选[J].黑龙江水利科技,2010,38(4):84-86

附录

本节给出了论文中出现到的部分简写说明，同时也给出了单片机终端的硬件原理图以及部分实物图。

附录 A: 符号简写说明

GPRS—General Packet Radio Service	通用无线分组业务
SGSN—Serving GPRS Suport Node	GPRS 业务支持节点
GGSN—Gateway GPRS Suport Node	GPRS 网关支持节点
GSM—global system for mobile communications	全球移动通信系统
DSN—Domain Point Name System	域名系统
APN—Access Point Name	业务接入点
IP—Internet Protocol	互联网络协议
TCP—Transmission Control Protocol	传输控制协议
UDP—User Datagram Protocol	用户数据报协议
PPP—Point-to-Point Protocol	点对点协议
LCP—Link Control Protocol	链路控制协议
NCP—Network Control Protocol	网络控制协议
HDLC—High-Level Data Link Control	高级数据链路控制
ADSL—Asymmetric Digital Subscriber Line	非对称数字用户环路

附录 B: 终端硬件原理图及实物图

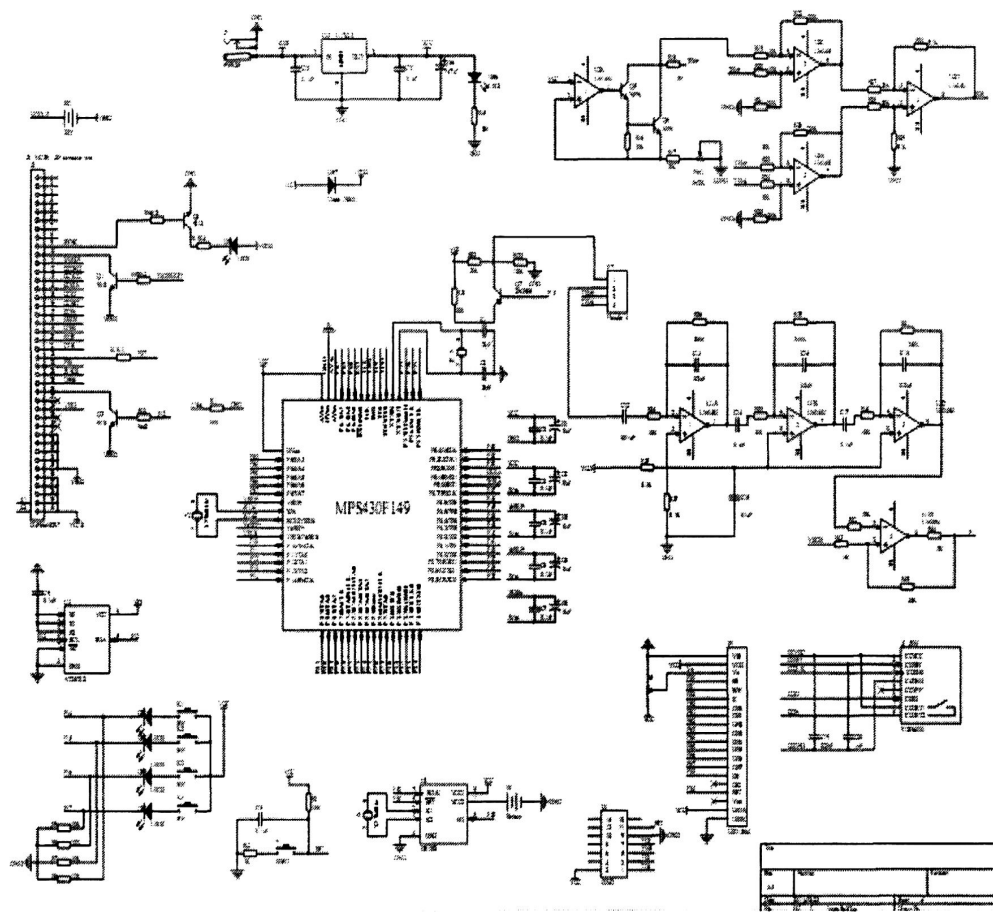


图 B1 终端硬件电路原理图

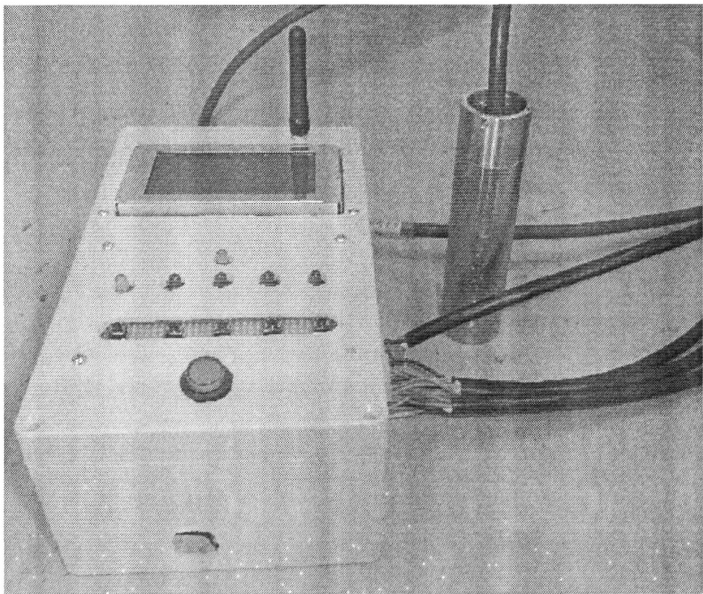


图 B2 终端测量实物图

作者简历

郑辉，男，生于 1986 年 12 月，陕西省汉中人。2009 年毕业于北京交通大学热能与动力工程专业。现就读于北京交通大学机械与电子控制工程学院机械电子工程专业。研究方向是机电系统控制及自动化，主要从事机电系统设计以及传感器监测方面学习与研究。

学位论文数据集

表 1.1： 数据集页

关键词*	密级*	中图分类号*	UDC	论文资助
大坝渗流；渗流监测；GPRS通信；频率检测；安全校核	公开	TP274+.2		
学位授予单位名称*		学位授予单位代码*	学位类别*	学位级别*
北京交通大学		10004	工学	硕士
论文题名*		并列题名		论文语种*
基于 GPRS 的大坝渗流监测系统研究与实现				中文
作者姓名*	郑辉		学号*	09121821
培养单位名称*		培养单位代码*	培养单位地址	邮编
北京交通大学		10004	北京市海淀区西直门外上园村 3 号	100044
学科专业*		研究方向*	学制*	学位授予年*
机械电子工程		机电系统控制及自动化	2 年	2011
论文提交日期*	2011.6			
导师姓名*	陈科山		职称*	教授
评阅人	答辩委员会主席*		答辩委员会成员	
	李平康			
电子版论文提交格式 文本（ ） 图像（ ） 视频（ ） 音频（ ） 多媒体（ ） 其他（ ） 推荐格式：application/msword； application/pdf				
电子版论文出版（发布）者		电子版论文出版（发布）地		权限声明
论文总页数*	81			
共 33 项，其中带*为必填数据，为 22 项。				