

DOI: 10.13512/j.hndz.2014.01.005

一种地温传感器及其在大地震 临震前兆监测中的应用

王腾, 王新安, 雍珊珊, 谢峥, 郭朝阳, 林科
(北京大学深圳研究生院, 广东 深圳 518055)

摘要: 介绍了地球内部温度异常与地震孕育和发生的关系以及地温异常在地震预测中的应用, 分析了现有的地温测量传感技术, 提出了一种用于大地震临震前兆监测的深层地温传感器, 描述了基于该传感器进行大地震临震前兆监测的方法和系统架构, 使得结合其他手段进行地震三要素预测成为可能。

关键词: 地震预测; 地温异常; 测温晶振; 单片机; 传输电缆

中图分类号: P315.332 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-8662 (2014) 01-0033-05

A Sensor of Ground Temperature and Its Application in Big Earthquake Monitoring

WANG Teng, WANG Xin'an, YONG Shanshan,
XIE Zheng, GUO Zhaoyang, LIN Ke
(Peking University Shenzhen Graduate School, Shenzhen 518055, China)

Abstract: A brief introduction including the mechanism of ground temperature exception and earthquake, the application of ground temperature exception in earthquake monitoring is given. After discussing the technology of ground temperature measure, a sensor of ground temperature applied for earthquake monitoring is proposed. The method of monitoring and system architecture which is composed of sensor and signal processing circuits are both presented. It can be a effective method to do earthquake prediction associated with other technology.

Keywords: Earthquake prediction; Ground temperature exception; Temperature crystal oscillator; Transmission cable

收稿日期: 2013-11-12

基金项目: 深圳市科技计划基础研究项目(JCYJ20130329113052637)

作者简介: 王腾, 男, 1988年生, 在读博士研究生, 主要从事系统集成电路设计, 数字信号处理, 传感系统设计及应用。

E-mail: ssdwangteng@163.com.

通讯作者: 王新安, 男, 1988年生, 教授, 博士生导师, 主要研究方向为阵列处理器系统设计及应用, 系统集成电路设计, 面向健康、结构监测的传感系统及网络研究。

E-mail: anxinwang@pku.edu.cn.

0 引言

我国是个大地震多发的国家,地震对我国经济社会建设造成极大的破坏,给人民生命财产造成巨大损失。大地震临震前兆监测是指根据地震孕育、成长和发生过程中伴随发生的地壳形变、地应力、地电、地磁、地温和地声等现象或变化进行观察和监测,对监测结果进行分析和判断以对特定范围内特定时间可能发生的破坏性地震做出的预报。在地震来临时提前给出预警,为人民争取更多的时间准备并逃离,可以极大的降低人民生命财产的损失。长期以来,特别是上世纪七八十年代,我国采用“群专结合”的办法对地震临阵前兆监测进行了广泛而深入的研究和实践,取得了丰硕的成果^[1]。

普遍认为,在地震前兆监测的手段中,地温异常的监测具有较强的反应短临地震前兆的潜力,特别是经过云南澜沧-耿马大震的检验和在强余震中取得一定的实效^[2]。

1 地温异常与地震

温度是地球科学一个非常重要的物理量。一些学者认为地球内部的热状态导致密度差异,形成的重力梯度是地壳和上地幔物质运动和地震的重要力源,同时温度的空间分布还对物质流变的快慢、大地电磁和重力异常以及地表热流的高低、地形变化幅度和地壳低速层等有着重要影响^[3]。地震产生的热-破裂模式更是明确将地震的孕育过程分为热液上升、软化蠕滑和破裂发震三个阶段^[4],较好地解释了地震的空间分布,孕震所产生的各种前兆现象以及发震的构造型式。

另一方面,地震的产生伴随着地壳应力的变化,造成岩石的压电效应或地球内部温室气体的释放和岩浆及其伴生的炽热气体沿裂缝上涌,也会造成震区及周围地温异常和地表热红外辐射异常。这种现象屡屡得到验证,例如1976年唐山7.8级地震伴随着唐山和昌黎两个测站的地温日变率突升 1.1°C 和 1.2°C ^[5],而白家疃地温异常的监测结果表明,1985~1992年间57%的地温异常变化与此期间发生在首都圈46%的选出地震有对应关系^[6]。广东省地震局从1990年即着手地温观测资料的搜集调研和方案研究^[2,7],是我国较早系统性开展地温观测和现场试验及资料搜集并进行地震短临预报和无震判别研究的机构。

地壳中的地温分布按照深度分为四个地温带,分别是温度日变化带、温度年变化带、恒温带和增温带。一般来说,深度达到20~30 m后,地层的温度不再受太阳辐射、天气和气候的影响,在同一地区同一深度地温保持恒定值。而随着深度的增加,地温逐渐增加,在地壳内地温的变化梯度约为 $3^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$ 。为避免地表气候环境和地下水等对地温异常监测的影响,本文提出地温异常监测系统采用深层(100 m以下)地温测量的方法进行大地震临震前兆监测。

2 基于单片机的深层地温传感器

尽管在地震前地温异常作为临震前兆已得到大家的认可,但由于地球本身的热容量很大,地温变化的幅度并不大,特别是深层地温。如白家疃井250 m深处地温正常动态变化范围约为 $15.960\ 0\pm 0.003\ 0^{\circ}\text{C}$,日均值连续出现 $\geq 0.008\ 0^{\circ}\text{C}$ 变化时则可能出现地温前兆异常^[8]。同时由于地温测量传感器深埋于地下,环境复杂施工难度大,而地震临震地温异常变化幅度小,这就对临震地温异常监测传感元件提出了稳定可靠和高分辨率的要求。

传统的测温元件包括水银温度计、热电偶、金属热电阻、半导体热敏电阻、二极管、三极管和石英晶体^[9]。其中,石英晶体的谐振频率随温度改变线性变化,其电气特性稳定,是用作地温测量的理想元件。利用特定材质和切割工艺的测温晶振配合一定的处理电路,可以获得精度达 0.05°C ,分辨率达 $0.000\ 1^{\circ}\text{C}$ 的地温传感器^[10]。

相较于传统模拟温度传感器系统结构复杂易受干扰的不足,目前基于单片机和无线通信模块的新型温度传感器系统具有数字化、智能化和网络化的特点,可以定时测量地层深处的温度进行记录存储,并远程传输至数据中心进行分析。这对于在广阔地区如地震带周围进行分布式地温异常监测具有很好的实用价值。

本文提出如图1所示基于单片机的深层地温传感器,其中测温晶振选用10 MHz的晶体振荡器。由于石英晶体高纯度的特性,其频率-温度特性曲线非常稳定,漂移极小,非线性误差很小。为避免测温晶振输出的高频信号经过传输后衰减,采用基准晶振和混频电路将测温晶振产生的高频信号转化为低频信号。用单片机对该低频信号进行计数获得测温晶振的频率变化,进一步可以用单

片机中的算法计算出温度变化。

单片机的程序存储在 FLASH 中，相应的温度数据也可以在 FLASH 中暂存；可以通过通信串口对单片机进行调试，升级 FLASH 中的程序以及读出温度数据或将温度数据通过串口外挂通信模块发往数据中心进行分析。由于串口输出的是纯数字信号，而且频率较低，则可以较容易地通过较长的电缆进行传输同时达到衰减小抗干扰的目的。

同时，可以通过单片机内的定时器设定检测地温的时间间隔，在这个时间间隔内单片机可进入待机状态。这样，一方面节省了系统功耗增加外部蓄电池的有效使用时间，另一方面也减小了系统自身的热量散发对地温监测的影响。

基于上述设计，该传感器可以达到稳定性强，分辨率高，调试方便，易于维护，节省功耗的目标，适合于对野外深层钻井内的地温进行自动监测。

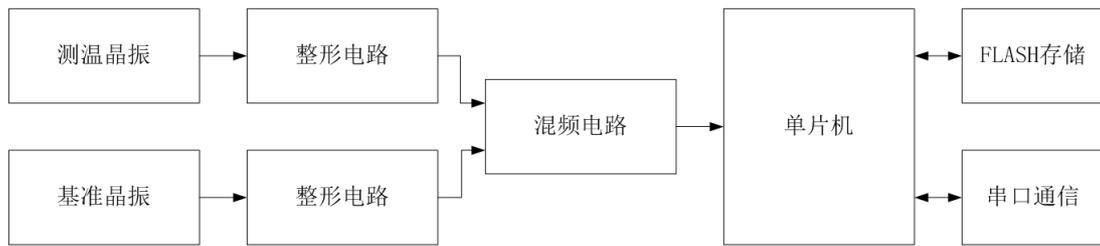


图 1 基于单片机的深层地温传感器
Fig.1 The proposed geothermic sensor based on MCU

3 分布式地温监测系统及应用

采用上述基于单片机的深层地温传感器，本文提出了一套分布式地温监测系统。对于每一个监测站点，采用钻井的方式将地温传感器放置于地层深处。传感器用导热良好的金属进行封装，并与基岩紧密接触。通过同轴电缆用蓄电池为传感器供电，并连接传感器中的单片机和地表的系统调试接口及 GPRS 通信模块，如图 2 所示。图中钻孔孔径应达到 100 mm，以方便传感器的和电缆线的放置；根据站点地质构造的不同，钻孔深度 H1 应达到 100 m 以上，避开表层土壤和沉积层（一般由粘土、砂土和砾石组成）达到岩石层，以避免地下水及其流动对温度测量和电路系统造成影响；同时，在钻孔内防止封闭套筒以隔绝表层水和空气，其深度 H2 应在 20~30 m。为保证长距离的同轴电缆数据传输，可在井中适当位置增加信号中继器。

存储，另一方面通过无线通信模块发送至远端服务器。整个系统通过市电和蓄电池两级电源进行供电，以保证系统在没有市电时也可以工作。

监测站点的选址应在地壳运动较强烈的地区，如活动构造、深大断裂带附近，历史上地震多发

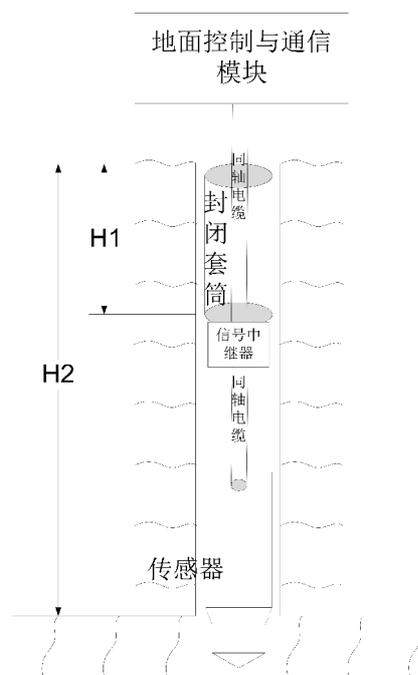


图 2 基于地温传感器的地震临震前兆监测站点
Fig.2 The observation system for portent before earthquake based on the proposed geothermic sensor

图 3 详细阐述了本文提出的地温传感器系统地下传感器模块和地面控制与通信模块的结构图。如图所示，地下传感器模块只对采集信号做简单的滤波后经过模数转换器转换为数字信号，用 RS485 串行通信协议通过同轴电缆传输至地面；在地面控制与通信模块中，采用微控制器配合数字信号处理器对数据进行处理，一方面进行本地

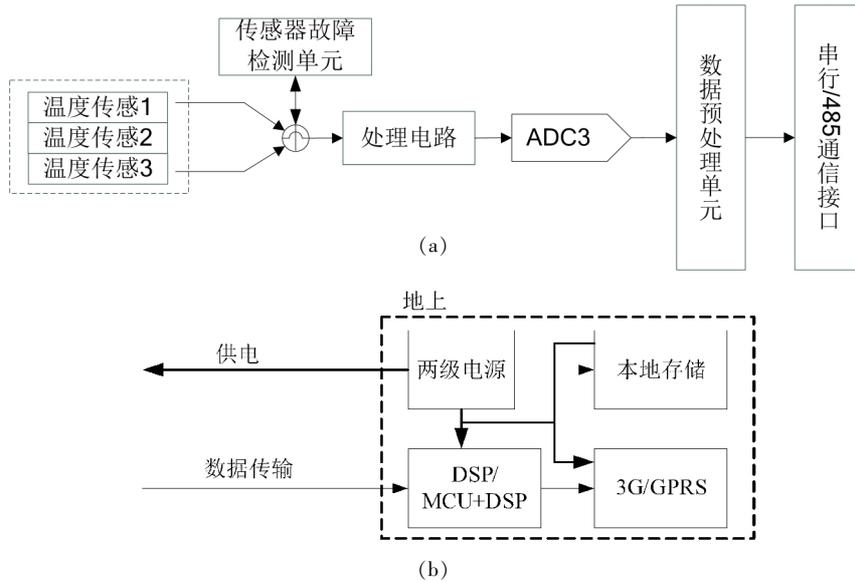


图3 (a)地下传感器模块;(b)地面控制与通信模块

Fig.3 (a) The underground temperature sensors;(b) the control and communication modules on ground surface

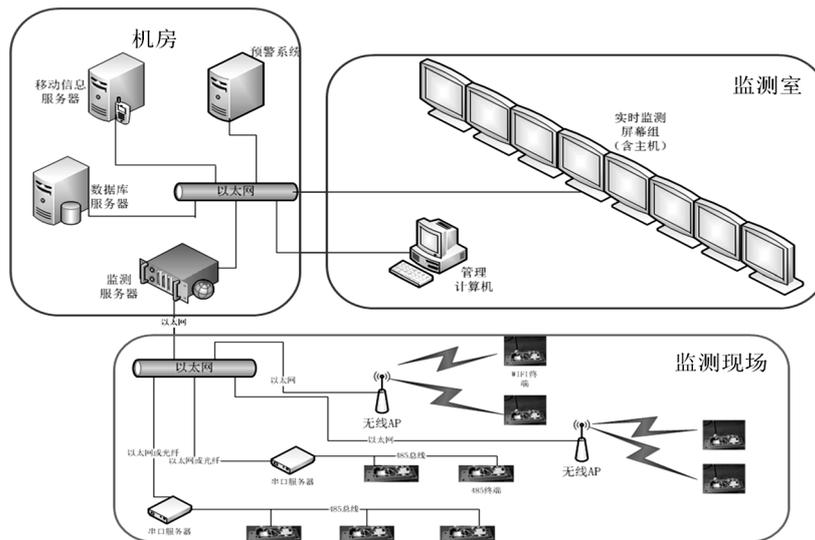


图4 分布式地温监测系统平台架构

Fig.4 The platform architecture of the proposed distributed geothermic monitoring system

背景区和和有中长期地震预报的地区^[7]。同时,要避开河流湖泊和农田水利设施。区别于传统地震监测台站占地面积大,造价成本高,灵活性差不易维护的特点,本文所提出的传感器系统及钻井要求具有占地面积小(1 m²以内)、工程成本较低(每个站点应小于10万元)的优势。为密切监控地震断裂带的深层温度异常,需要在断裂带周围密集设置监测台站(每100 km²左右设置一个站点),形成分布式的地温监测系统,如图4所示。

各监测站点通过自身外挂的GPRS模块通过移动无线基站同数据中心保持数据通信,将定时监

测的温度数据传递至数据中心(机房)进行综合分析和判断。数据中心根据地震断裂带周围广泛的地域平面内不同监测站点的地温异常情况及其异常幅度分布,结合历史数据和相关经验,可以对该地区未来数月乃至数天可能发生的地震特别是大地震的震级和地理位置进行自动判断,并根据情况发出预警信息。同时,监测室可以对数据中心进行管理并通过人工实时监测对发生地温异常的区域进行重点关注,如提高地温监测的频率和精度,进行邻近区域综合分析和对比等。

在上述的分布式地震前兆监测系统中,因为

单片机的使用及其灵活性,还可以加入方便地加入对地壳应力(形变)、地电阻率、地磁场以及地声进行检测的传感器。这样就可以通过综合的地震临震前兆观测数据对地温异常数据进行筛选和判断,并进一步确定可能发生的破坏性地震的发生时间、震中位置和震级。

4 结束语

地温异常的监测具有较强的反应短临地震前兆的潜力,通过分析了现有的地温测量传感技术,提出了一种基于测温晶振和单片机的用于大地震临震前兆监测的深层地温传感器,具有稳定性强,分辨率高,调试方便,易于维护,节省功耗的特点。应用该传感器提出了一种低成本的分分布式地温监测系统和方法,使得结合其他手段进行地震三要素预测成为可能。

参考文献:

- [1] 赵得秀,强祖基.地震是可以预报的[M].西安:西北工业大学出版社,2012.
- [2] 叶保均,柴剑勇.广东省的地温观测[J].华南地震,1998,17(2):63-68.
- [3] 罗焕炎,洪汉净,宋惠珍,等.渤海湾及其临区地壳温度分布的有限单元模拟[J].地震地质,1982,4(3):37-44.
- [4] 魏柏林.孕震的热-破裂模式[J].华南地震,1983,3(S1):23-33.
- [5] 辛宝恒.1976年7月唐山7.8级地震的震前地温突升异常[J].华北地震科学,2008,26(1):47-51.
- [6] 田华,仲阳,张之立.白家疃地温异常变化与地震的对应关系[J].地震地磁观测与研究,1994,16(3):9-14.
- [7] 叶保均.在广东开展地震地热前兆监测管理工作的设想[J].华南地震,1991,10(3):93-98.
- [8] 胡敦宽,李淑芳.白家疃井地热异常与地震监测[J].地震地磁观测与研究,1995,17(3):52-55.
- [9] 陆涵芳.几种地温测量元件的比较[J].华南地震,1983,3(1):51-53.
- [10] 刘桂生,张国育,吴壮怀,等.TDT-25型地温传感器的设计[J].地震地磁观测与研究,2003,25(4):56-60.
- [11] 王冠军,李楠楠,叶欣,等.基于PIC单片机井下温度探测电路系统设计[J].电子测试,2012,10(7):34-38.
- [12] 刘澜波,钟仁健.华北北部四个钻孔的温度测定[J].地震,1985,6(2):33-28.