

一种新型高分辨率井温仪

姜景捷^{1,2)}, 马秀敏^{1,2)}, 彭华^{1,2)}, 彭立国²⁾

1) 国土资源部新构造运动与地质灾害重点实验室, 北京, 100081;

2) 中国地质科学院地质力学研究所, 北京, 100081

温度是七个国际通用基本物理量之一, 自然界中一切无不与温度密切相关。在地质领域应用中, 温度对岩性、地下流体及断层等现象反应比较明显, 因此, 温度测量对地质实践具有很广泛的应用。

由于地质体热容量很大, 温度变化缓慢, 地质活动摩擦热引发的热异常可以保持很长一段时间, 高分辨率、高精度温度测量将成为活动断层研究, 特别是发震断层研究重要技术手段。

国际类似课题研究表明: 在断层活动引发地震后的很长一段时间中, 断层上下一定范围内可以保留由于摩擦热而产生的温度梯度异常, 但这个异常幅度非常小, 仅有 0.06℃左右 (Yasuyuki Kano, 2006)。在汶川地震断裂带科学钻探项目 WFSD-1 井中也观测到了 0.05~0.10℃的温度异常现象 (李振等, 2011), 温度异常测试为岩性分层、活动断层定位、地震能量分配研究等方面提供科学依据。

1 指标分析

(1) 分辨率: 地层平均温度梯度在 0.01~0.03℃/m, 分辨出 0.1m 以内温度变化, 井温仪分辨率应该优于 0.001℃。

(2) 测量量程: 它是井温仪的一个重要指标, 根据地质行业的使用经验, 设计量程为 5~100℃。

(3) 测量深度: 汶川地震断裂带科学钻探项目设计深度为 3000m, 井温仪预期使用最大深度为 5000m。

2 工作原理

井温仪由传感器、采集模块、电源及通讯模块组成 (图 1)。其工作原理: 传感器把温度信息转换为电信号, 采集模块把传感器产生的信号量化为数

字信号, 通过通讯模块调制并发送至井上主机。各个模块通过壳体组装在一起, 共同完成温度测量工作。

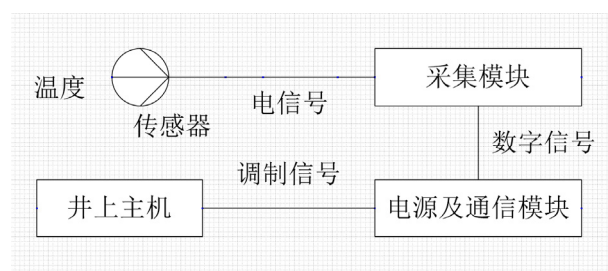


图 1 系统原理框图

2.1 传感器选择

铂电阻型温度传感器具有良好的可重复性和长期稳定性, 它有更好的响应速度, 更宽的测量范围, 是国际标准温度传递的重要媒介, 因此, 选定铂电阻作为传感器元件 (陆涵芳, 1983)。

通过比较, 使用 1/3 DIN B 级的 PT100 铂电阻作为传感器, 其 -50℃~+150℃ 范围内允差为 $0.10+0.0017 \times |t|$, 是当前工业用温度传感器的最高精度级别。

2.2 测量电路设计

2.2.1 激励电路

激励电路围绕传感器输出类型、测量范围和采集电路输入范围进行设计。系统选择电桥电路来实现铂电阻温度测量的激励部分, 这样可以增强系统抗干扰能力, 提高放大稳定性。由于 PT100 的电阻变化范围较大, 使用等比电桥时电路输出的非线性会较高, 系统采用不等比电桥的工作模式, 其中 AD 桥臂使用 4.3kΩ 高精度电阻, C 桥臂和参考电阻 Ref 使用 100Ω 高精度电阻器 (图 2), 根据 PT100 激励电流的限定, 激励电压选取 4.75V。在 0~100℃

注: 本文为科技支撑汶川地震断裂带科学钻探项目-井中科学探测课题 (编号 WFSD-0003) 资助的成果。

收稿日期: 2015-02-10; 改回日期: 2015-02-22; 责任编辑: 郝梓国。

作者简介: 姜景捷, 男, 1982 年生。硕士, 助理研究员, 计算机技术专业。Email: cugbjjj@sohu.com。

范围内输出电压为 0~41.57mV。

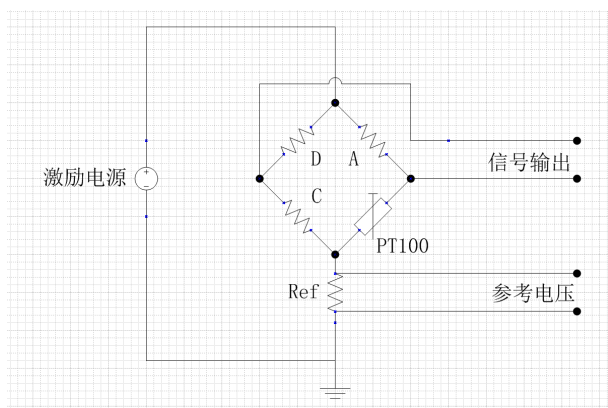


图 2 电桥激励电路

2.2.2 采集电路

选择采集电路主要考虑的因素包括采集分辨率, 采集速度和采集量程等。获得 5~100℃ 范围内 0.001℃ 的分辨率, 采集电路的分辨能力必须高于 $(100-5)/0.001=95000$, 至少需要 17 位采集分辨率才能满足工作需要。根据实际测井工作需要, 采集速度需达到 1SPS (采样每秒), 采集信号量程为 41.57mV。综合采集分辨率、电路功耗、易用性、可扩展性等多方面考虑, 选择德州仪器生产的混合信号芯片 MSC1210 来实现采集功能。MSC1210 系列芯片具有以下特征 (Texas Instruments Incorporated, 2008): 24 位数据输出, 可达到 22 为有效分辨率; 支持差分信号输入; 支持外部模数转换器参考电压输入; 内置可编程增益放大器; 具有多种独立数字接口, 如: SPI, SPI, USART; 口, 如: SPI, SPI, USART; 内置极低功耗的, 带 1kB SRAM, 32kB Flash 的 8051 兼容内核控制器。

通过 MSC1210, 可以方便高效的对微小信号进行直接采集, 并传发送出去, 可以很好的完成高精度井温仪采集工作。

3 高分辨率井温仪

井温仪电桥输出信号不经运放放大, 直接输入到采集模块中, 充分发挥 MSC1210 系列混合信号处理器的优越性能。同时, 引出处理器多个数字接口, 增强了电路的可扩展性。通过组装、调试、老化测试, 最终研制成功具有 GGDT-01 型高精度高分辨率的井温仪探管。

4 WFSD-1 井温度测量实例

2009 年 11 月 22 日, 在 WFSD-1 井 970m 和 965m 获取的两组数据曲线, 其中 970m 测量时传感器接触孔底, 温度变化有单向降低趋势; 965m 深传感器处于孔底中水中, 传感器周围水可自由循环, 图 3 中单格分度为 0.0005℃, 通过实测曲线可以看出井温仪温度分辨率优于 0.001℃, 基本满足设计目标。

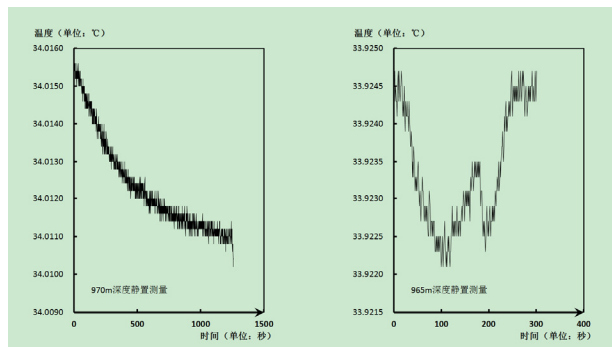


图 3 WFSD-1 井部分井段静置温度曲线

根据试验获取数据, 绘制出井温修正曲线 (限于篇幅, 未能列出 WFSD-1 全孔温度测量曲线)。修正使用线性温度公式由本次测量数据拟合获得, 反映出测段正常温度分布情况。从测量曲线中可以看出, 温度下放测量和上拉测量变化规律一致, 表明测量结果可靠。从温度随深度变化规律可以看出, 在深度 450m 和 700m 有两处明显热异常区域, 异常幅度在 0.05~0.10℃, 异常区比正常温度偏高, 可能为断层摩擦热引起的异常, 此项研究成果值得进一步深入开展工作。

参 考 文 献 / References

- Precision Analog-to-Digital Converter (ADC) with 8051 Microcontroller and Flash Memory. 2008. SBAS203J. Texas Instruments Incorporated.
- Yasuyuki Kano. 2006, Heat signature on the Chelungpu fault associated with the 1999 Chi-Chi, Taiwan earthquake. GEOPHYSICAL RESEARCH LETTERS, VOL.33, L14306.
- 李振, 彭华, 马秀敏, 姜景捷. 2011. 地震断层摩擦残余热异常测量方法探讨--以 WFSD-1 钻孔温度测量为例. 地质力学学报, 17(1): 15~26.
- 陆涵芳. 1983, 几种地温测量元件的比较. 华南地震, 3 (1): 51~53.