

伽马能谱测量和米测温在地热调查中的应用

强建科^{1,2}, 李大心²

(1. 中南大学信息物理工程学院, 湖南长沙 410083; 2. 中国地质大学地球物理与空间信息学院, 湖北武汉 430074)

摘要:介绍了伽马射线脉冲计数和米测温的工作原理,总结了已知温泉附近伽马射线脉冲计数和米测温特点:张性断层上方具有较高的伽马射线脉冲计数;在脉冲计数最大测点做伽马能谱测量得出该地铀元素含量较高;米温结果显示该地具有较高的热背景值。依据上述特征,在同一断层的另一泉水出露地区,开展了伽马射线脉冲计数和米测温工作,但伽马射线脉冲计数较小,米测温没有发现有利的地热背景值。泉水化学分析表明,未知区泉水来自浅地表水。地表露头也显示该处断裂后期改造强烈,且形成长达300 m的压性断裂带,不宜形成储热构造。

关键词:地热勘探;伽马能谱分析;米温测量;放射性测量

中图分类号: P631.6 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-8918(2007)04-0347-04

地热是一种天然洁净资源,一般起源于地球内部的高温岩浆活动或放射性物质的衰变作用,通过地下水的循环,把热量从地下深处带至近表层形成热储藏,有时也以自流泉形式出现。

崇阳县位于湖北省南隅,幕阜山中段北麓,东接通山县,南临江西省修水县,西连通城县与湖南省临湘县,北接咸宁市、赤壁市,经济较发达。县城北东约6 km处的白霓镇浪口村出露一处自流温泉,温泉地热目前开发利用程度较低。该温泉位于麻团断裂和崇阳—通山断裂交汇处,热水受麻团断裂控制。由于浪口温泉地理位置偏僻,交通不便,不利于进一步开发利用。崇阳县政府希望在处于同一断层构造上的河对岸崇阳县林业科学研究所一带寻找地热资源,该处交通便利,有泉水出露。

为了探查崇阳县林业科学研究所一带泉水(距浪口3~4 km)与浪口出露温泉是否存在类比性,我们开展了一些地热调查工作^[1-3],主要技术手段包括伽马能谱测量、米温测量以及水化学分析。伽马射线能谱测量主要确定断层横向位置以及断层的倾向,米测温用来确定目标区是否具有地热背景异常,水化学分析是研究出露泉水中一些指标性离子含量,可区分地表水和深层水。

1 地质背景

麻团断裂位于湖北省崇阳县,属滨太平洋断裂

体系,呈北北东向形成区域断裂构造带。该断裂为一组平行或斜列的断层组成,长江以北表现明显,前白垩纪时期,断层以压剪性活动为特征,发育较宽的糜棱岩、硅化岩带。断裂带内及旁侧有燕山期花岗岩分布,并经受强烈的动力变质。第四纪时期,断裂继承性复活,两侧地形反差极大,水系特征、河流阶地高程明显不同,水准测量地壳垂直变化大,基本显示张剪性特征。历史上沿该断裂发生过2次5级以上地震,咸宁、崇阳一带的温泉出露说明其近期仍有一定的活动性。

崇阳—通山断裂属扬子断裂体系,西段沿崇阳西北缘,经崇阳、路口至庙岭南消失,整体呈北东—东西向。断裂发育于古生界地层中,形成宽120~200 m的破碎带,能见到糜棱岩、角砾岩、硅化岩呈带状延展,将志留系挤压成鳞片状,牵引褶皱也常见。

图1 崇阳县浪口温泉调查示意

收稿日期:2007-01-22

基金项目:中南大学博士后基金、教育部重点实验室“地下信息探测技术与仪器”开放基金(GDL0502)资助

2 伽马射线能谱测量

2.1 伽马能谱测量原理

放射性元素^[4-5]在衰变时常发射出一些射线,能够释放伽马光子的核素称为伽马辐射体,地层中天然的伽马辐射体主要是铀、钍及其衰变产物和钾的放射性同位素⁴⁰K。伽马能谱计数率的值是地层中天然的伽马辐射体发射伽马光子的总和。当地层中存在断层时,铀、钍及其衰变产物中的可溶解成分能通过断层到达地表,使放射性升高,特别当断层为导水的深大断裂时,尤为如此。

由于放射性测量具有统计特性,无论怎样精密测量,测量值都会发生变化,其变化量(脉冲数)随测量时间增加而误差变小,仪器通过伽马射线能谱分析能够自动获得铀(U)、钍(Th)、钾(⁴⁰K)的含量。

野外探测采用美国制 GR-410 型便携伽马能谱仪,该仪器采用高速微分脉冲幅度分析器,采样结束后数码显示铀、钾、钍的脉冲数,需要时可通过它换算成质量浓度。本次测量点距 5 m,剖面测量时每点测量时间 1 min,测线长度不等;在核素脉冲计数极大值处作伽马能谱分析,一般重复 3 次以上,且每次持续 5 min 左右,最后取平均值。

2.2 已知温泉的伽马射线特征

浪口地区有一眼自流热泉,位于一条河流的北岸,河内常年有水,热泉距离岸边只有几米远,热水温度为 42.6℃,温度常年稳定。为了研究热泉的特征,在热泉附近布置了 5 条剖面,测量伽马射线的脉冲数。图 2 是其中一条测线 L5,在 55 m 处伽马射线计数达到极大值 660 cps,能谱分析得出铀元素的含量较高(表 1),达到了 36×10^{-6} ,断层外围铀元素含量几乎为零。地质槽探表明此处为张性断层的露

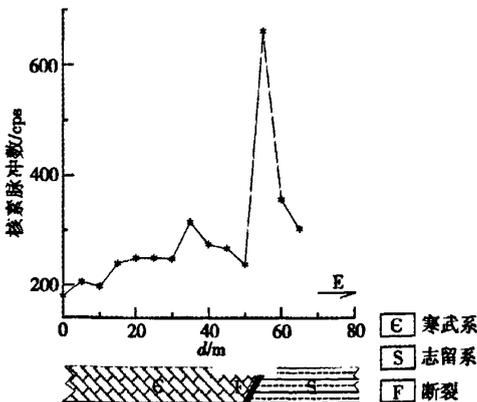


图 2 已知温泉 L5 测线伽马射线总计数曲线

头,从地层、岩石学角度看,断层上盘为寒武系的灰岩、白云岩,其放射性较小;断层下盘为志留系的砂、页岩,放射性也不太大。以上异常表明该断层断裂深度大,伽马射线来源于地下深部。

表 1 伽马射线能谱分析 4 次平均值

测量项目	核素含量	伽马射线计数率/cps
总计数率	53.2×10^{-6}	1479
钾(⁴⁰ K)	1.05%	238
铀(U)	36.0×10^{-6}	150
钍(Th)	3.6×10^{-6}	9

为了研究不同地层放射性特征,对几条测线的伽马射线计数值作了直方图统计分析(图 3),由于测量值比较离散,计数区间由原来 10 cps 加大到 40 cps,呈 3 峰显示,第一峰值计数为 160 cps,代表寒武系灰岩地层背景值;第二峰值计数为 240 cps,代表志留系页岩地层背景值;第三峰值计数为 320 cps,表示断层地表露头处的值。

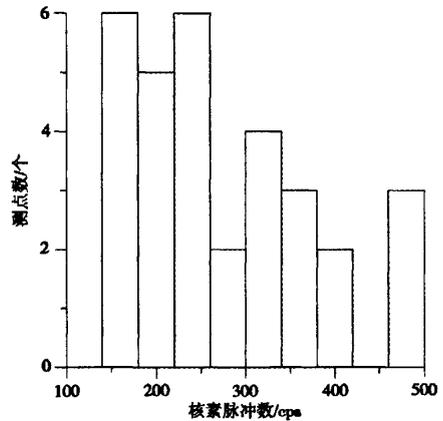


图 3 已知温泉伽马射线频谱直方图

2.3 未知区伽马射线特征

为了调查同一个断层构造带另一个地区的地热前景,做了伽马射线测量,图 4 是其中一条测线,在 -220 ~ -450 m 之间,伽马射线计数值的高值正好对应断层带,最大值为 230 cps(图 4),与已知温泉区

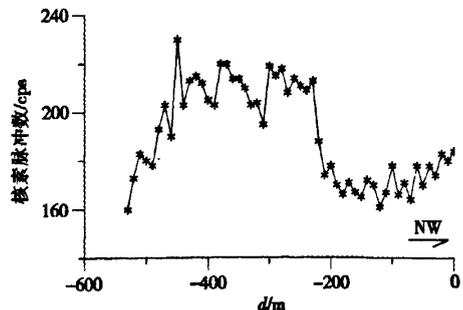


图 4 未知区 L2 测线放射性总计数

的伽马射线最大计数 660 cps(见图 2)相比减小约 3 倍,这说明该断层上方的放射性核素活性较小,断层在地表的露头也证实岩石挤压变形强烈。

3 米温度测量

3.1 米温度测量原理

米测温的原理^[6-10]是利用钢钎在地表垂直打一个 1 m 深的孔,然后用温度传感器测量地下 1 m 深的温度。理论计算与实测资料表明,地下 1 m 深的温度不受地面昼夜温度变化的影响,因此在短时间内(小于 1 个月)1 m 深的温度反映了地下是否存在热源;地下 300 m 深存在 60 °C 的热源,可以引起地下 1 m 深处的温度上升 2 °C。

本次米温测量使用仪器是自制的,使用 AD590 作为温度传感器,温度测量范围为 -40 ~ 150 °C,灵敏度 0.1 °C,精度 0.5 °C。由于测区有的地方表土很薄,利用钢钎打的孔深度为 0.5 ~ 1 m,利用不同深度的测量值进行回归分析(图 5),然后把不同深度的温度值全部校正到 1 m 深度的温度值。

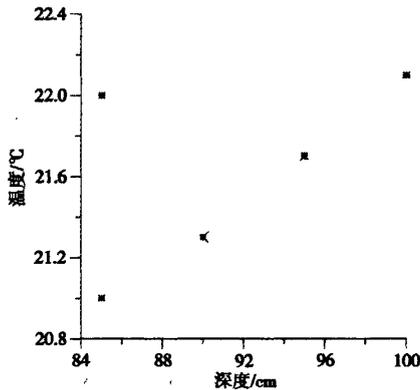


图 5 米温回归校正

另外,米测温还受到地表介质物理状态的影响,如道路与田间、背阴面与向阳面、黏土与风化物等有时温度波动达 1 °C 左右,因此进行分析解释时应该特别注意。

3.2 已知温泉的米温度特征

为了了解温泉附近的温度场分布特征,在浪口热泉附近布置了 3 条米温测线,图 6 是其中一条,点距 10 m,平均温度 25.5 °C,最高温度 27.3 °C,最低温度 24.3 °C,均方误差为 0.7%。图中温度的峰值基本对应热泉出露点。

3.3 未知区米温特征

米温测量共布置了 3 条测线,点距 10 m,41 个测点,平均温度 22.62 °C,最大 24.3 °C,最小 21.1 °C,均方误差为 0.4。图 7 是其中一条温度曲线,在

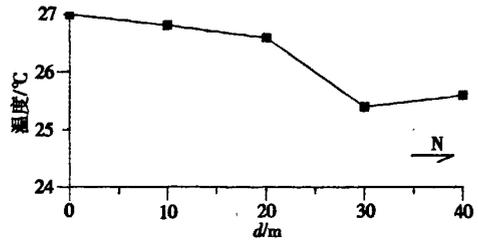


图 6 已知温泉 T6 测线地温曲线

22 °C 上下摆动,地温异常平稳。对比 2 个地方的米温数据可以得出,浪口附近具有较大的地热背景,平均米测温达 25.5 °C,崇阳县林业科学研究所附近平均米测温才 22 °C,缺乏较高的地热背景。

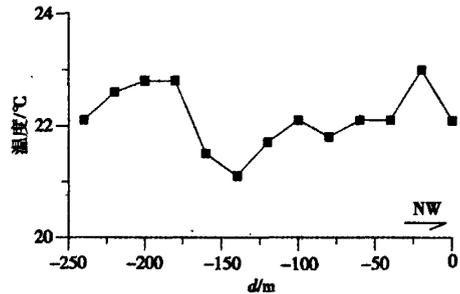


图 7 未知区 T2 测线地温曲线

4 泉水化学分析

崇阳县地处温暖潮湿的亚热带,雨量充沛,地下水循环交替强烈,地下热水是重碳酸根型水,存在于寒武、奥陶系地层中。据湖北省水文地质图说明书揭示,地下热水有其基本特征,即随着温度增高,脱碳酸作用不断增强,硫酸根离子不断递增,由于温度高,水的溶解能力也增强,因此表现在地下热水的 SiO₂、Na⁺ 离子、矿化度比地表水高(表 2)。

表 2 水化学分析

	Ca ²⁺	Na ⁺	HCO ₃ ⁻	可溶性 SiO ₂	溶解性总固体
温泉水	60.01	18.01	280.19	52.5	428.36
冷泉水	0.79	1.4	3.11	10	10.01

5 结论

(1) 断层是地热导通的重要通道,且张性断层上方有较高的伽马射线脉冲计数;伽马射线脉冲计数曲线的陡、缓可以确定断层倾向;曲线较缓一侧往往与断层倾向一致;该地已知温泉能谱分析得出铀元素含量最高。

(2) 米测温结果显示温泉附近具有较高的地热背景值。

(3) 该地已知温泉地下热水有很高的固体溶解

性,且钠粒子和重碳酸根粒子常做为温泉的标志性成分。

参考文献:

[1] 曾若云,罗国平,王屹.综合勘探方法寻找地下水[J].中国煤田地质,2004,16:98.

[2] 周厚芳,刘闯,石昆法.地热资源探测方法研究进展[J].地球物理学进展,2003,18(4):656.

[3] 石建胜,金宜声.综合物探方法在西安东郊地热勘测中的应用[J].物探与化探,1999,23(5):339.

[4] 马翔,田原.运用放射性方法探测活断层[J].物探化探计算技术,1996,18(1):74.

[5] 董兆祥,贺可强,雷霆.断裂带放射性元素异常特征及其对断裂倾向的判别研究[J].中国地质灾害与防治学报,1997,8(2):19.

[6] 贾苓希,关小平,徐建华.地热勘察中一米测温法几个问题的探讨[J].物探与化探,1986,10(2):115.

[7] 王连成.浅层测温在地热勘查开发中的应用[J].太原理工大学学报,1998,29(1):51.

[8] 胡玉禄,胡红文,张景康,等.5 m 地温测量在地热勘探中的应用[J].水文地质工程地质,2003,30(4):83.

[9] 左海风.浅层测温在夏县南山底地热研究中的应用,华北地质矿产杂志[J].1998,13(2):170.

[10] 王绪本,于汇津,罗建群,等.综合物探方法勘查福建贵安地热田[J].成都理工学院学报,1997,24(3).

THE APPLICATION OF GAMMA-RAY SPECTRUM AND ONE-METER GROUND TEMPERATURE SURVEY TO GEOTHERMAL SURVEY

QIANG Jian-ke^{1,2}, LI Da-xin²

(1. School of Info-physics and Geomatics Engineering, Changsha 410083, China; 2. Institute of Geophysics and Geomatics, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China)

Abstract: The study of characteristics of gamma-ray counts and one-meter ground temperature survey over the known hot-springs aimed to search for new hot-springs in unknown areas. The principles of gamma-ray count survey and one-meter ground temperature survey are dealt with in this paper. Some conclusions have been reached. Over the extensional fault, the gamma-ray counts are relatively high and the gamma-ray spectrum contains abundant uranium element. The data of one-meter ground temperature survey shows relatively high geothermal background value over the known hot-spring. Therefore, detailed field survey was conducted near the unknown area belonging to the same geo-structure. Nevertheless, the gamma-ray count is lower and the geothermal background value is well-balanced too. Chemical analyses reveal the spring water roots in shallow ground water. The fault zone has been strongly rebuilt, with a length of about 300 m at the outcrop, and this area is not suitable for the formation of heat reservoir structure.

Key words: geothermal survey; gamma-ray spectrum analysis; one-meter ground temperature survey; radioactive survey

作者简介: 强建科(1967-),男,陕西岐山人,在中南大学做博士后,从事地球物理电磁法正反演算法研究。

上接 346 页

orebody can be deduced by accurater distributing of border. Finally, this mend is proved practicable by several theoretic models and one practical model.

Key words: probability tomography; curl source; cross-orrelation integral; natural electric field

作者简介: 许令周(1972-),男,讲师,1995年毕业于四川大学物理系光学专业,2003年获中国石油大学无线电物理专业硕士学位。主要从事地球物理成像方法研究。