

磁法在煤火探测中的应用

朱晓颖^{1,2}, 于长春¹, 熊盛青¹, 陈斌¹

(1. 中国国土资源航空物探遥感中心, 北京 100083; 2. 中国地质科学院矿产资源研究所, 北京 100037)

摘要:对采自宁夏汝箕沟煤田上覆盖层的原岩样品在温度作用下的磁性变化进行了系统研究。通过分析煤火区不同燃烧阶段围岩的温度变化情况, 对原岩样品进行了模拟“燃烧”试验, 试验结果表明, 岩石磁性在不同温度作用条件下存在明显差异, 从而从岩石磁性的角度讨论了磁法勘探圈定煤田火烧区的可行性。最后, 采用人机交互法对地面实测磁异常剖面进行反演, 有效地圈定了煤火区着火点的位置及范围。

关键词:磁化率; 磁化强度; 磁法; 煤火

中图分类号: P631

文献标识码: A

文章编号: 1000-8918(2007)02-0115-05

煤火自燃现象是一个严重的生态环境与社会经济问题。中国的煤火问题相当严重, 造成大量煤炭资源损失, 扑灭燃烧的煤火, 遏制煤层自燃, 确定火源位置, 圈定火区范围对煤田灭火具有重要意义。

目前, 我国常用于确定煤火区的方法主要有地质普查、磁法勘探、测氦法、地温梯度法、电法勘探、浅层地震、地质雷达(地面和矿井雷达)及高光谱遥感技术等方法^[1-6]。近年来, 许多学者根据煤层自燃条件下的矿区特征, 应用相应的物探方法确定位置和圈定范围, 取得了一定成果。

由于煤火区上方存在磁异常, 部分学者采用分析 ΔZ 和 ΔT 曲线、小波分析、多边形体 ΔT 等磁法反演方法宏观确定火区范围及位置^[2-5,7]。笔者则根据自燃条件下岩石所具有的特殊磁性特征, 研究磁性与温度的关系, 得到煤火区磁异常与岩石磁性的相关性, 并采用人机交互的方法反演宁夏汝箕沟煤火区磁异常, 有效地确定了着火点的位置与范围。

1 岩石磁性特征

1.1 原岩和烧变岩的磁性特征

宁夏汝箕沟的煤层上覆地层多以砂岩为主, 野外使用 ZH-1 地面磁化率仪实地测量地表主要原生矿物的磁性。测区内正常沉积中生界的岩石一般是无磁性的, 个别有微弱磁性(包括侏罗系煤系地层), 其磁化率值一般小于 100×10^{-5} SI。从测量的结果发现, 在靠近燃烧层顶底板及夹层中的岩石磁化率增大至 2~3 个数量级, 如原煤磁化率一般在 $(n \sim 10) \times 10^{-5}$ SI 左右, 而燃烧过或经高温烧烤过

的煤层磁化率值可达 $(200 \sim 4\ 600) \times 10^{-5}$ SI, 平均值在 900×10^{-5} SI, 磁性明显增强。

我们在汝箕沟煤矿 1 号火区的煤层顶板接触带顺层依次采集了大量岩石标本, 并做了如下的研究: ①室温下测定标本的磁化率值并鉴定其矿物成分和含量。原岩标本的磁化率值一般是在 $(20 \sim 30) \times 10^{-5}$ SI 左右, 显弱磁性, 这与地表测量结果相符合。标本中一般含有黄铁矿 (FeS_2)、赤铁矿 (Fe_2O_3)、菱铁矿 (FeCO_3) 和褐铁矿 ($\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$), 以及铁质的磁性矿物载体, 还含有部分可燃有机质, 纯铁磁性矿物的含量几乎是没有。②为防止样品加热引起氧化—还原作用, 在无氧、低磁条件下测定岩石磁化率与温度的关系。③空气中测定阶段温度下岩石磁化率与磁感应强度。

1.2 磁性研究

1.2.1 无氧、低磁场条件下岩石磁化率与温度的关系

图 1 是无氧、低磁场条件下部分岩石标本的 κ - T 曲线, 由图 1 可看出: 在升温的过程中, 当温度低于 $400\text{ }^\circ\text{C}$ 时, 磁化率基本没有明显的变化; 温度在 $400 \sim 500\text{ }^\circ\text{C}$ 之间, 磁化率大幅度增强, 并且在 $500\text{ }^\circ\text{C}$ 左右, 多数标本的磁化率值达到最大, 之后, 随着温度升高, 标本的磁化率急剧下降; 当温度高于 $600\text{ }^\circ\text{C}$, 所有标本的磁化率值都降为零, 磁性消失, 随着温度的继续升高, 曲线没有变化, 这与纯磁铁矿的居里温度大致相对应。降温曲线在形态上与升温曲线具有很大的相似性, 但并不是沿着升温曲线返回的。降温过程中磁化率峰值要比升温时高出几十倍至上

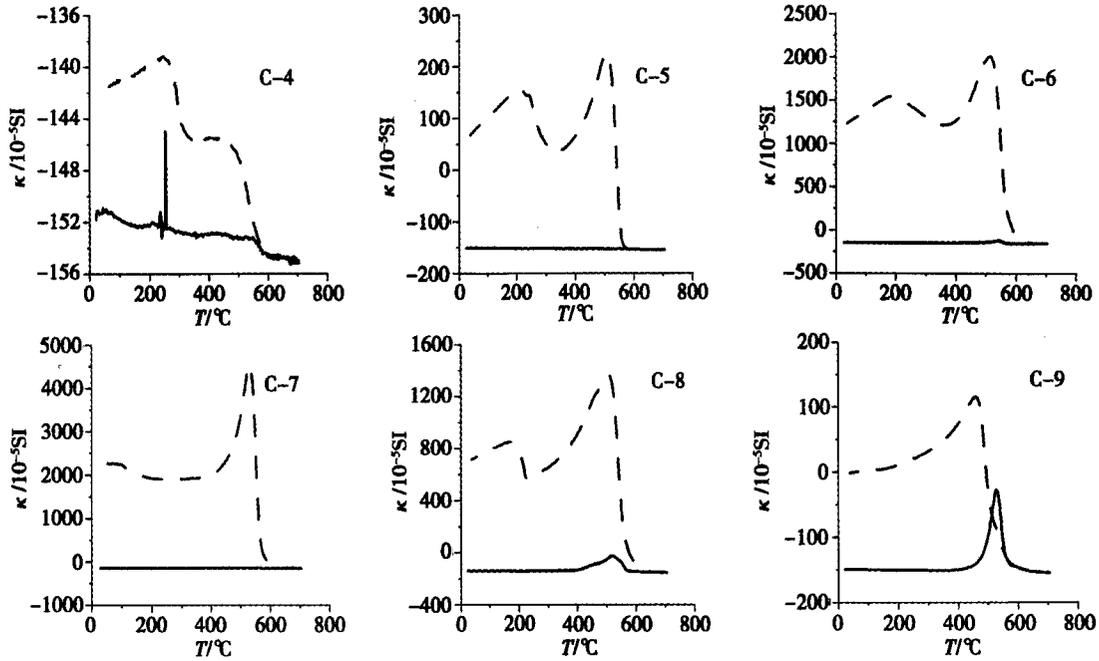


图1 汝箕沟煤田火区围岩κ-T曲线(实线为升温曲线,虚线为降温曲线)

千倍,磁性明显增强,冷却到室温的磁化率也要比室温时高出几十至上百倍,我们推测随着温度的变化,标本中有强磁性矿物生成。

经鉴定试验后的标本成分与含量,发现均有磁铁矿生成,并且还含有黄铁矿(含量减少)、赤铁矿(含量增加)及褐铁矿(含量增加)。由于弱磁性矿物在加热过程中转化为强磁性矿物,所以磁性增强;冷却过程中,岩石磁性物质重新组合,并保留了加热过程中的矿物结构,致使磁化率增强,并且曲线有2个峰值,提示我们岩石标本中的铁磁性矿物处于不

稳定的状态,这符合温度作用后标本成分与含量的测定结果。统计试验前后岩石样品矿物成分和含量发现,无论是加热前还是冷却后,标本中磁铁矿及载磁矿物的含量与岩石磁化率的大小是成正比的。

1.2.2 空气中岩石磁性随温度变化特征

实际上,煤层自燃是要有充足的氧气才能支持其燃烧,即煤的自燃是一个氧化—还原过程。我们设计的模拟试验如下:将原来无磁性的岩石由室温开始加热,升高到50℃后降至室温,测生成的烧变岩的磁性;再由室温开始加热该样品,升高到100℃

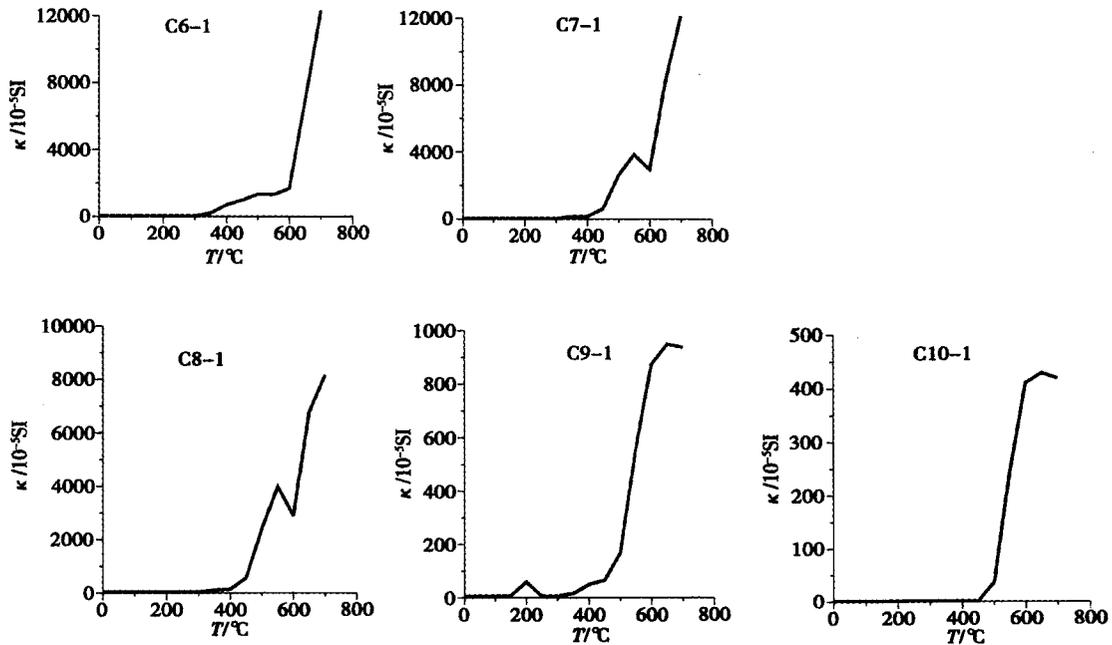


图2 汝箕沟煤田岩石磁化率随温度升高曲线

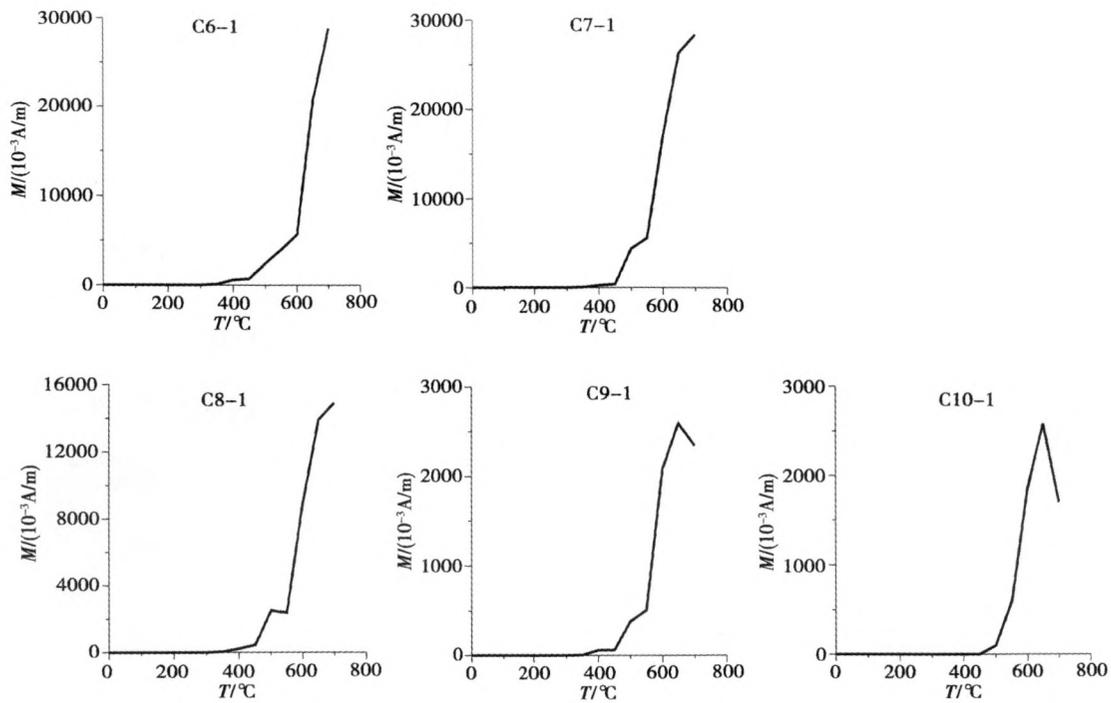


图3 汝箕沟煤田岩石磁化强度随温度升高曲线

后降至室温,测生成的烧变岩的磁性;依此类推,以 50 °C 为间隔循环加热。图 2、图 3 分别示出模拟试验所得的烧变岩磁化率和磁化强度变化曲线,其中横坐标所对应的值是指温度由室温升至 100 °C 再降至室温后所测得的磁化率或磁场强度。从图中可以看出,直到温度达到 400 °C 时,大多数烧变岩才开始获得弱磁性;温度超过 500 °C,磁性急剧增强;随着温度的继续升高磁性越来越强。同一烧变岩标本的磁化率与磁化强度曲线趋势基本一致,呈阶梯状变化,说明岩石经高温作用后生成的烧变岩磁性要明显增强,并且磁性的大小是相累加的。

通过岩石矿物成分鉴定和上述的热磁分析结果说明:①无论是无氧、低磁或是空气中,岩石经过高温作用磁性都会增强,且在一定温度范围内,增加的温度越高,降温后的磁性就会越强;②对于部分岩石(C9-1, C10-1),当温度超过某一特定值后,恢复到常温后的磁性随着温度的升高呈减弱趋势,但其磁性仍远大于没有经过温度作用的原岩;③多数情况下,烧变岩的磁性比正在燃烧(处于升温过程中)的岩石磁性强,因此,可以通过地面磁异常的强弱变化大致判断煤火走势。此外,虽然温度升高会导致岩石磁性增强,但是影响岩石磁性的因素有很多,除了与岩石内磁性物质的成分、含量及温度有关,还与磁性矿物的颗粒大小、结构、机械外力作用、地质作用(包括氧化还原作用、变质作用、蚀变作用)等有关。

以上所有样品磁性分别是在中科院地质与地球物理研究所古地磁与地核动力实验室和中国地质大

学(北京)古地磁实验室测定,岩矿鉴定是在中国地质大学(北京)能源地质实验室完成。

2 磁异常反演

汝箕沟黑头寨火区磁异常剖面选在正在开挖,准备露天开采的煤田火区顶部一侧。图 4 所示为垂直火区布置的 11 条测线的磁异常剖面平面。在该

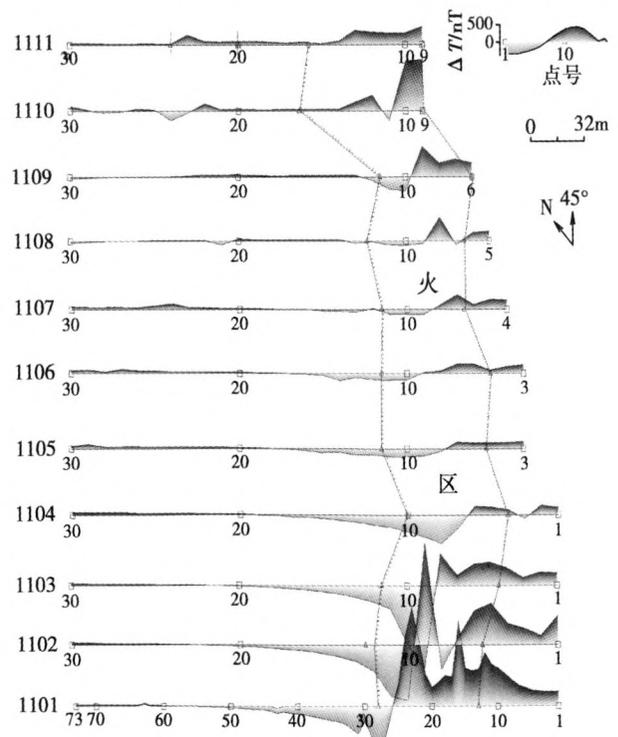


图4 汝箕沟黑头寨火区实测地磁 ΔT 剖面平面

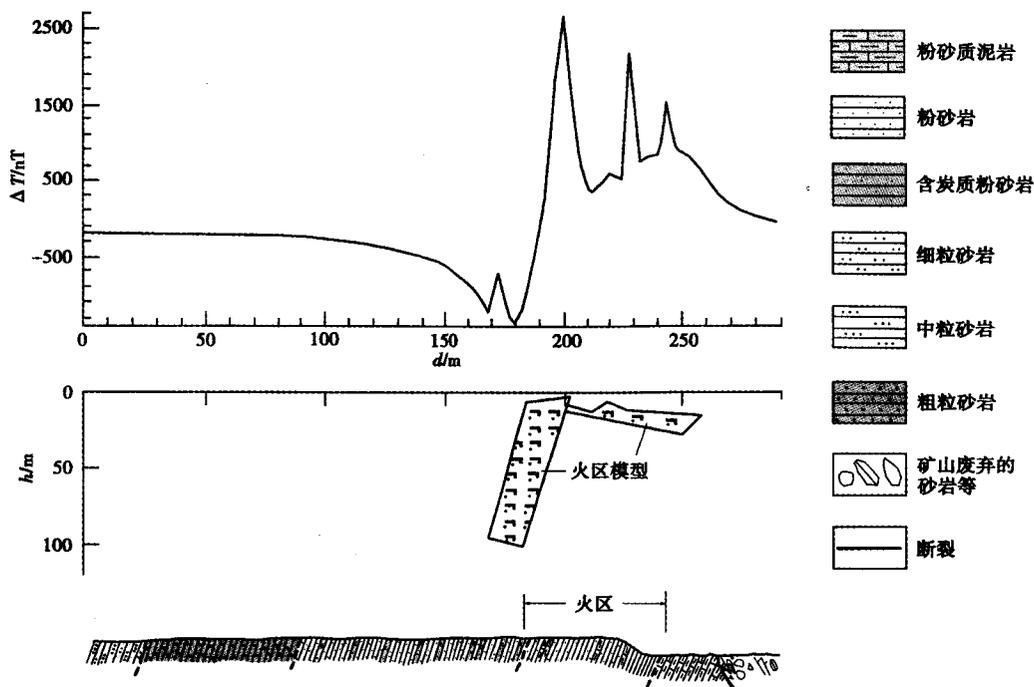


图5 黑头寨火区1号线精测剖面反演结果

火区,测得地表最高温度超过300℃,火区截面已经揭露出来,火区是从着火露头沿煤层向下蔓延,平缓异常区的砂岩磁化率只有 $(10 \sim 20) \times 10^{-5}$ SI,地表烧变岩磁化率最大可达 $20\,000 \times 10^{-5}$ SI,其中1101剖面磁异常最大,达到1 000 nT,每条剖面都有与正常伴生的负异常。

图5是汝箕沟黑头寨火区1101测线精测异常剖面和地质特征采用人机联作的方法^[8]模拟反演的结果。从实际的地质调查中得知,右侧模型体是地面堆砌了从火区上挖下的烧变岩引起的;该火区煤层倾角一般在60°~70°之间,左侧倾斜70°的板状模型体可以看作是正在燃烧的煤层。对照地质剖面图发现,地质剖面上的火区范围与实测磁异常曲线上的剧烈变化范围基本吻合。结合地表验证来看,平行黑头寨火区1101测线(垂向距离100m左右的断面上岩石有明显的颜色差别,能够清楚地判断着火区(冒烟)、高温引起的烧变岩区(烧红的岩石)及未着火区(黑色或灰色岩石)。其中烧变岩区的形状与反演模型体形态基本吻合,说明反演结果的正确性。

3 结论与建议

综上所述,通过对宁夏汝箕沟煤田火烧区的原岩样品模拟“燃烧”试验研究表明,经过升温过程的岩石与原岩相比,磁性有明显增强。在一定温度范围内,岩石磁性随着温度的升高而增强;而对部分岩石,当温度超过某一极限值后,岩石磁性会相对减

弱,但仍远大于原岩磁性。因此,在煤田火烧区,烧变岩和火烧区的岩石会在地表引起磁异常,通过磁法勘探可以有效地确定着火点位置和圈定火区范围,并通过磁异常的变化情况大致判断煤火走势。

在对磁测数据进行反演前,应尽可能多地收集煤火区的地质及构造资料以增强约束条件,进而确保反演方法的有效性和反演结果的合理性。

在研究期间,中国国土资源航空物探遥感中心提供了便利的工作条件和技术支持,中国地质科学院矿产资源研究所吕庆田及刘光海研究员、中国地质大学张贵宾教授对本文的修改提供了宝贵的意见和建议,在此表示诚挚的谢意。

参考文献:

- [1] 熊盛青,陈斌,于长春,等. 地下煤层自然遥感与地球物理探测技术[M]. 北京:地质出版社,2006.
- [2] 张秀山. 新疆煤田火烧区特征及其勘探灭火问题探讨[J]. 西北地质,2001,34(1):18.
- [3] 宁靖,张建民,宁书年. 磁导成像方法研究及在宁夏汝箕沟煤田火区探测中的应用[J]. 煤炭学报,2001,26(3):225.
- [4] 董守华,李志鹏. 多边形 ΔT 最优化反演圈定火烧区[J]. 煤田地质与勘探,1996(1):42.
- [5] 赵刚. 磁法勘探和电法勘探在探测自燃火区中的应用[J]. 西部探矿工程,2003(11):80.
- [6] 魏树群,王玺瑞. 用氦气法探测地下火区的研究[J]. 煤炭工程师,1997(2):23.
- [7] 岳建华,曹瓔璐,李志鹏. 多煤层自燃磁异常的小波分析[J]. 煤炭学报,1996,21(3):296.
- [8] 万余庆,闫水忠. 高光谱技术在汝箕沟煤田烧变岩和 Fe^{3+} 分度

- 信息提取中的方法研究[J]. 国土资源遥感, 2003, 56 (2): 50.
- [9] 睦素文, 于长春, 姚长利. 起伏地形剖面重磁异常半智能处理解释软件及应用[J]. 物探与化探, 2004, 28(1): 65.
- [10] 谭承泽, 郭绍雍. 磁法勘探教程[M]. 北京: 地质出版社, 1984.
- [11] 永田武. 岩石磁学[M]. 北京: 地质出版社, 1959.
- [12] 柯林森 D W. 岩石磁学与古地磁学方法[M]. 阙济生, 蒋邦本, 陈养炎, 郝锦绮译. 北京: 地震出版社, 1989.

THE APPLICATION OF THE MAGNETIC METHOD TO THE DETECTION OF UNDERGROUND COAL FIRES

ZHU Xiao-ying^{1,2}, YU Chang-chun¹, XIONG Sheng-qing¹, CHEN Bin¹

(1. *China Aerogeophysical Survey and Remote Sensing Center for Land and Resources, Beijing 100083, China*; 2. *Institute of Mineral Resources, CAGS, Beijing 100037, China*)

Abstract: Systematic investigations were conducted on the rock samples collected from the Ruqigou coalfield in Ningxia. As the rock temperatures vary with the combustion degree, the authors made a serial of calefaction experiments on the rock samples. The results demonstrate that the rock magnetism varies with temperature. The feasibility of applying the magnetic method to detecting the underground coal fires was studied and, in addition, the human-computer interactive inversion algorithm was used to process the measured data. The inversion result fits the measured data well and can determine the combustion center and delineate the coal fire area effectively.

Key words: susceptibility; magnetic method; magnetization intensity; coal fire

作者简介: 朱晓颖(1977 -), 女, 中国地质科学院矿产资源所在读博士, 主要从事综合物探方法进行成矿预测研究工作。

上接 114 页

THE APPLICATION OF AIRBORNE GAMMA-RAY SPECTROMETRIC SURVEY IN CLASSIFICATION OF GEOLOGICAL MAPPING ELEMENT IN SHALLOW OVERBURDEN ATEA

CHEN Shu-jun, LIU Jing-hua, WANG Zhu-wen

(*College of Geoporation Science and Technology, Jilin University, Changchun 130026, China*)

Abstract: Different lithological rocks have different content of radio-elements such as uranium, thorium and potassium. Even if they are the same lithological rocks, as a result of different cases and age of formation, different geological evolution process, their content of radio-elements also is different. According to this character of radio-elements in rocks, using airborne gamma-ray spectrometric data, using the statistical multi-analysis methods, this paper analyzes airborne gamma-ray spectrometric data, makes out dynamic cluster chart, compares with geological map, compartmentalizes geological element, then offers some gist for the next geological work in this area.

Key words: airborne gamma-ray spectrometry; variation coefficient; principal component analysis; dynamic cluster

作者简介: 陈树军(1982 -), 男, 在读硕士, 主要从事核地球物理研究。