

# 综合物探法在九嶷山地区铀矿勘查中的应用探讨

程 键, 杨国安, 邓德虎, 钟志武, 林名芳

湖南省核工业地质局三〇三大队, 湖南 长沙  
Email: chengj1987@163.com

收稿日期: 2020年12月11日; 录用日期: 2021年2月18日; 发布日期: 2021年2月25日

---

## 摘 要

近几十年来, 经过前几轮勘查, 在九嶷山地区通过地面伽玛总量测量、地面伽玛能谱测量及伽玛测井等传统放射性物探方法发现了一批铀矿床, 基本查明了地表矿和浅部矿。对于研究区周边以及深部隐伏矿的勘查, 放射性物探方法的应用效果受到很多限制, 为此, 有必要结合电、磁等普通物探方法在研究区进行应用探讨, 寻求为攻深找盲、外围扩大找矿提供有效技术手段。

## 关键词

九嶷山地区, 综合物探, 铀矿, 应用探讨

---

# Discussion on Application of Integrated Geophysical Exploration to Uranium Exploration in Jiuyi Shan Area

Jian Cheng, Guoan Yang, Dehu Deng, Zhiwu Zhong, Mingfang Lin

303 Brigade of Hunan Nuclear Geology, Changsha Hunan  
Email: chengj1987@163.com

Received: Dec. 11<sup>th</sup>, 2020; accepted: Feb. 18<sup>th</sup>, 2021; published: Feb. 25<sup>th</sup>, 2021

---

## Abstract

In recent decades, a number of uranium deposits have been discovered by conventional radioactive geophysical methods such as total gamma ray measurement, gamma ray spectrum measure-

ment and gamma logging in Jiuyi Shan area, and the surface ore and shallow ore have been generally ascertained. For the exploration of the surrounding and deep hidden deposits, the application effect of radioactive geophysical exploration is limited by many factors. Therefore, it is necessary to combine electric, magnetic and other common geophysical exploration methods to explore the application in the research area, in order to provide effective technical means for deep tapping blind and peripheral expanding prospecting.

## Keywords

Jiuyi Shan Area, Integrated Geophysical Exploration, Uranium Deposit, Discussion on Application

Copyright © 2021 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

长期以来,放射性测量作为直接、有效的测量方法应用于铀矿勘查工作中。中国已发现的大部分铀矿床由放射性测量首先发现,创造了辉煌的铀矿勘查成果。随着找矿难度的进一步加大,常规的放射性测量方法已不能满足当代铀矿勘查的需要,因此,探索普通物探方法探测深部铀成矿环境是很有必要的[1]。近几年来,在桃山、苗儿山、诸广山等铀矿地区都进行过普通物探方法的勘查工作,通过综合物探方法在边深部取得了良好的找矿效果。

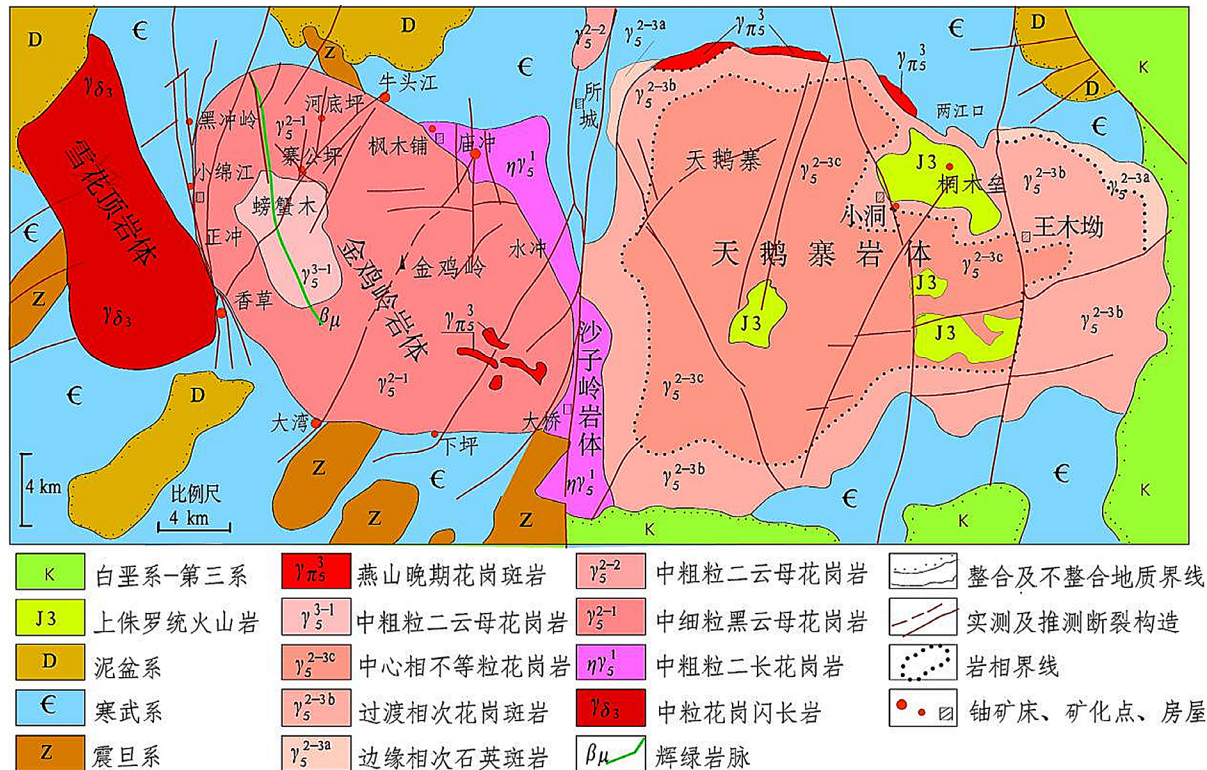


Figure 1. Regional geological map

图 1. 区域地质简图

九嶷山地区是我国最重要的花岗岩型铀矿富集区之一，资源储量多、规模大。经过几代地质工作者的努力探索，已经勘探查明了大湾、香草、牛头江、庙冲等铀矿床，发现了众多铀矿点带。在今后铀矿勘查中，由于矿体埋藏较深，在地面引起的放射性异常特征不明显，放射性物探方法受到诸多限制。借鉴综合物探法在相关铀矿勘查地区取得显著效果的成功案例，探讨在九嶷山地区使用电、磁等综合物探方法的可能性，对比总结出适合在该区应用的可行性物探方法和地球物理找矿模式。

## 2. 地质概况

九嶷山地区位于南岭东西向多金属成矿带及钦杭成矿带结合部位。区域内广泛出露地层有震旦系、寒武系、泥盆系、石炭系、白垩系，其间缺失志留系、奥陶系。

区内东西向隆起带岩浆具多期多阶段特征，分异演化充分。形成时代有加里东期、印支期、燕山早期、燕山晚期等，以燕山早期岩浆侵入为主，次为加里东期和印支期。从早到晚分别有加里东期雪花顶岩体、印支期砂子岭岩体、燕山期金鸡岭岩体、燕山早期天鹅寨岩体，见图 1。

区内主要构造格架由三条南北向区域断裂组成，自西向东为所城大断裂、小洞大断裂、王木坳大断裂，断裂构造和岩体界面是含矿热液的运移通道和储存空间，岩浆热液成矿作用形成铀多金属沉淀富集，是铀成矿的主要构造和成矿结构面，见图 1。

## 3. 地球物理场及铀矿化特征

### 3.1. 重力场特征

该区存在剩余布格重力异常，由沉积岩地层引起的低缓平静正异常以及由岩体引起的剧烈变化低值负异常更加清晰，在金鸡岭岩体和雪花顶岩体上，出现较低负值圈闭异常，剩余布格重力异常“零”值线大致反映了岩体侵入范围。推测在金鸡岭岩体以北较大范围，沉积地层之下，存在着隐伏花岗岩体。

金鸡岭岩体和东边天鹅寨火山杂岩体同属燕山期酸性花岗岩体，根据参数测定，其密度基本相同，但这两个岩体重力场值存在较大差异。在密度相同情况下，重力场变化主要反映岩体厚度差异，说明东边天鹅寨杂岩体是喷流形成的薄层是一个大面积覆盖的碎斑熔岩流，重力场值相对较高，场值变化小，与金鸡岭岩体形成明显对照。

### 3.2. 航磁异常特征

该区主要航磁异常为西南部正负相体磁异常区，磁场总体呈东西向分布，为正、负相体范围较大的磁异常区。九嶷复式岩体基本无磁性，只是由于岩浆的热力作用，将岩体外接触带沉积地层中的非磁性矿物转变为磁性矿物，在岩体外接触带形成磁性壳，能形成范围不等的磁异常绕岩体分布。本区磁异常基本绕岩体接触带分布，在金鸡岭岩体东部，见到有局部分布的正磁异常，是由于岩层太薄，致使局部分接触带磁性壳显示所致。金鸡岭火山杂岩体深源特征十分明显，岩体内存在较多基性岩体，磁铁矿，磁黄铁矿含量也较高，具有不均匀分布特点，这也是导致局部正磁异常产生的原因。

九嶷复式岩体总体表现为呈东西向负异常，经化极处理后，负场北移。负场值范围基本与九嶷复式岩体范围相当，负值中心位于金鸡岭岩体上。磁异常负值中心一方面指示热流体活动区，另一方面指示了岩浆上升通道。通道上升磁性体的花岗质岩石比通道周边厚度大得多，形成负磁异常中心。

金鸡岭岩体北接触带存在三处十分醒目的正磁异常，与已知主要铀矿矿化分布对应，这些局部正磁异常与铀矿化关系十分密切。

### 3.3. 铀矿化特征

九嶷山地区铀矿化主要有三种类型，见表 1。

**Table 1.** Uranium mineralization characteristics of main mineralization types**表 1.** 主要矿化类型铀矿化特征表

矿化类型	矿床(点)	主要铀矿化特征
接触带或外带构造角砾岩型	大湾、香草等矿床	产于岩体接触带或外带构造角砾岩带中或旁侧次级构造中, 含矿脉体为棕红色、灰色、灰黑色玉髓、紫黑色萤石、黄铁矿等呈网脉状或胶结角砾状。
碎裂蚀变花岗岩型	庙冲矿床、大桥矿点	产于主构造上、下盘次级 NE、NNE 向红化蚀变带或硅化带中, 矿化岩石为中粗粒黑云母花岗岩, 多碎裂蚀变红化碱交代。
火山岩型	桐木垒、小洞等矿点	产于火山机构、近 SN 向断裂、和近 EW 向断裂组合的交点部位, 主要位于两条区域性近 SN 向小洞、王木坳硅化断裂带夹持区内。

通过综合分析和研究, 总结了本区铀矿化主要特征:

- 1) 铀成矿受区域深大断裂带控制。
- 2) 铀成矿与震旦 - 寒武系接触变质有关。
- 3) 铀成矿与印支 - 燕山期复式花岗岩体密切相关。
- 4) 铀成矿受断裂构造叠接、膨胀、变异部位控制。
- 5) 区内铀成矿具有多期多阶段性。
- 6) 花岗岩型铀矿与硅化带、破碎蚀变密切相关。
- 7) 火山岩型铀矿与近 SN 向大断裂和近 EW 向构造的交点、圆环状火山机构与近 EW 向断裂的交点有关。

介于本区的铀矿化特征, 对于本区的隐伏花岗岩体, 岩体内外接触带, 深大断裂, 硅化破碎带中的黄铁矿化、赤铁矿化, 火山岩等均与围岩存在明显的电磁物性差异, 具备良好的地球物理前提条件。

#### 4. 普通物探方法应用特点

普通物探方法属于间接找矿方法, 用于查明铀成矿的地质环境。影响岩石电阻率和磁化率的因素很多, 不仅与岩石的成分、结构、粒度有关, 还和岩石的孔隙度、含水程度、水的矿化度有关, 同时还受地质环境影响, 如温度、压力等因素。为了减少物探异常引起的多解性, 一般开展电、磁综合性的物探方法, 且物探成果解释时要结合具体的地质情况进行分析。

##### 4.1. 地面高精度磁测

磁法勘探是地球物理勘探方法的一种, 它是通过观测和分析岩石的磁性差异及磁场特征来研究地质构造及其分布形态和寻找矿产的一种地球物理方法。由于磁法简便、有效、快捷等特点, 所以在矿产勘察领域得到了广泛应用。

高精度磁测测量精度高, 能发现较微弱的磁异常变化。一般岩石蚀变区、断裂带、岩石接触带等地的磁化率与周围地质体的差异也较大。高精度磁法面积性测量可以用来划分地层、断裂界线和圈定周边区域的磁异常, 也可用来查明不同期次岩体接触带及与铀成矿由密切关系的断裂构造、脉体位置、蚀变带等, 为地质找矿提供依据, 并预测找矿远景区。

##### 4.2. 音频大地电磁法

音频大地电磁法简称 AMT 法测量, 是大地电磁(MT)法的一个分支, 是利用天然大地电磁场为场源, 测定地下地质体电性参数, 并通过研究地电断面的变化探测地质情况[2] [3]。

野外数据采集采用 EH-4 连续电导率剖面仪, 该系统属于可控源与天然源相结合的一种大地电磁测深系统, 以不同岩石在导电性和导磁性上的差异作为测深的物性基础。采用单点张量观测方式, 测量两个

相互正交的电场和磁场分量,采集大地电磁信号的频率范围为 10 Hz~100K Hz [4]。由电磁波在介质中传播的特征可知,趋肤深度随电阻率和频率的变化而改变。地层电阻率高则勘探深度比较深,反之勘探深度浅;高频信息反映浅部地层特征,低频信息反映深部地层特征[5]。因此通过观测不同频率的电磁信号,可获得不同深度的电性信息,选择和地下研究深度相对应的频带测量,结合已知地质资料和地层情况,便可得到目标层的地质特征[6]。通过连续点阵上的测量得到地下二维剖面的视电阻率图像,勘探深度可从地表几米至地下 1 Km。

该方法具有分辨率高、勘探深度大、地形影响小、工作效率高的特点,主要探测中、深部地质信息。在铀矿勘查中可以基本确定区域的主要构造格架以及断裂破碎带的空间形态、位置、宽度、埋深等,对铀矿控矿主断裂两侧次级断裂的深部变化情况、次级断裂与主断裂的关系等也可发挥明显作用;也可以通过岩矿石地球物理特征,圈定出低电阻率异常或磁异常,了解隐伏矿体或花岗岩的分布范围、形态及其展布特征等。

### 4.3. 综合测井方法

在以往铀矿勘查钻孔测井工作中一般只进行了针对性的放射性伽玛测井,放射性测井可以直接确定矿体赋存状态,但获取其它相关的地质信息和岩矿石的物性参数较少。综合测井方法是指采用伽玛测井、自然电位测井、密度测井、三侧向测井等一次同时测量多个参数,可以较准确的获取岩层、矿层的空间展布情况,特别是透镜状、网状矿体的赋存状态。同时对发现隐伏矿体、其它金属矿体有很直接的找矿效果。可以利用测井曲线对主要岩性段进行划分,结合区域成矿地质特征追索成矿有利部位。

## 5. 综合物探法应用实例

### 5.1. 综合物探法在江西白面石地区应用[7]

该区是白面石铀矿田内的一个小型火山盆地,有多期岩浆喷发,其基底为花岗岩,上部为不同期次的玄武岩盖层。

图 2 为电、磁综合物探测量成果。根据 AMT 反演成果(图 2(b))结合物性资料及地质资料推断,上部低阻异常应是由断裂、岩石风化引起;上部的高阻异常应是各期次的玄武岩盖层的反应;下部的高阻层反映的应是花岗岩基底。深部的花岗岩是多期次形成的,在电阻率断面上显示为似层状高阻异常。在高精度磁测剖面(图 2(a))上也大致反映了此趋势。右端强度较高的磁场反映的是磁化率较高厚度较大的基性玄武岩,左端相对磁异常较低,反映为上覆基性玄武岩厚度变薄。从测量成果可清晰地判断有 6 条断裂存在,电阻率断面表现为低阻异常,在磁测曲线上表现为低磁异常或磁异常幅度剧烈变化。

### 5.2. 综合物探法在江西桃山地区应用[8] [9]

桃山铀矿田位于华南铀矿省桃山—诸广铀成矿带的北端,产于桃山大型重熔改造型复式花岗岩体中。该区位于桃山岩体中南段、桃山铀矿田东部,属于桃山断裂与罗坑断裂的夹持地带。铀矿化严格受断裂构造控制,主要含矿构造为次级、低序次的裂隙密集带,特别是断裂交汇部位形成的大范围碎裂带。岩体中岩石破碎、蚀变强烈、蚀变带等直接控制矿化分布范围。

为了查明不同方向断裂变异及交汇部位,不同期次花岗岩界面和脉岩带深部变化情况探索深部铀矿信息,为深部找矿提供地球物理依据,选择可控源音频大地电磁测量、高精度磁测及活性炭吸附氡法开展了综合物探测量。

由图 3 可见,铀矿床附近由于构造、蚀变等作用使岩石出现退磁现象, $\Delta T$  显示出明显跳跃变化的弱负磁异常,其两侧 $\Delta T$  磁异常相对平稳。氡浓度曲线在铀矿床附近出现明显的异常高值,两侧表现为

背景值，较好地反映了铀源信息。6124 铀矿床位于桃山断裂与黄潭断裂之间，构造裂隙密集发育，岩石破碎，断面图中视电阻率明显偏低，出现低阻异常区。

### 5.3. 综合物探测井在新疆白杨河矿区应用[10]

白杨河矿区位于新疆北部西伯利亚板块与哈萨克—准噶尔板块的交接部位，次级构造单元属雪米斯坦晚古生代火山岩带。区内出露的地层由老至新依次为上泥盆统塔尔巴哈台组、下石炭统和布克河组和黑山头组。区内断裂构造发育，规模不一，以东西向为主，其次为北东、北西及南北向。侵入岩主要为早二叠世花岗斑岩及穿插其中的辉绿岩脉。

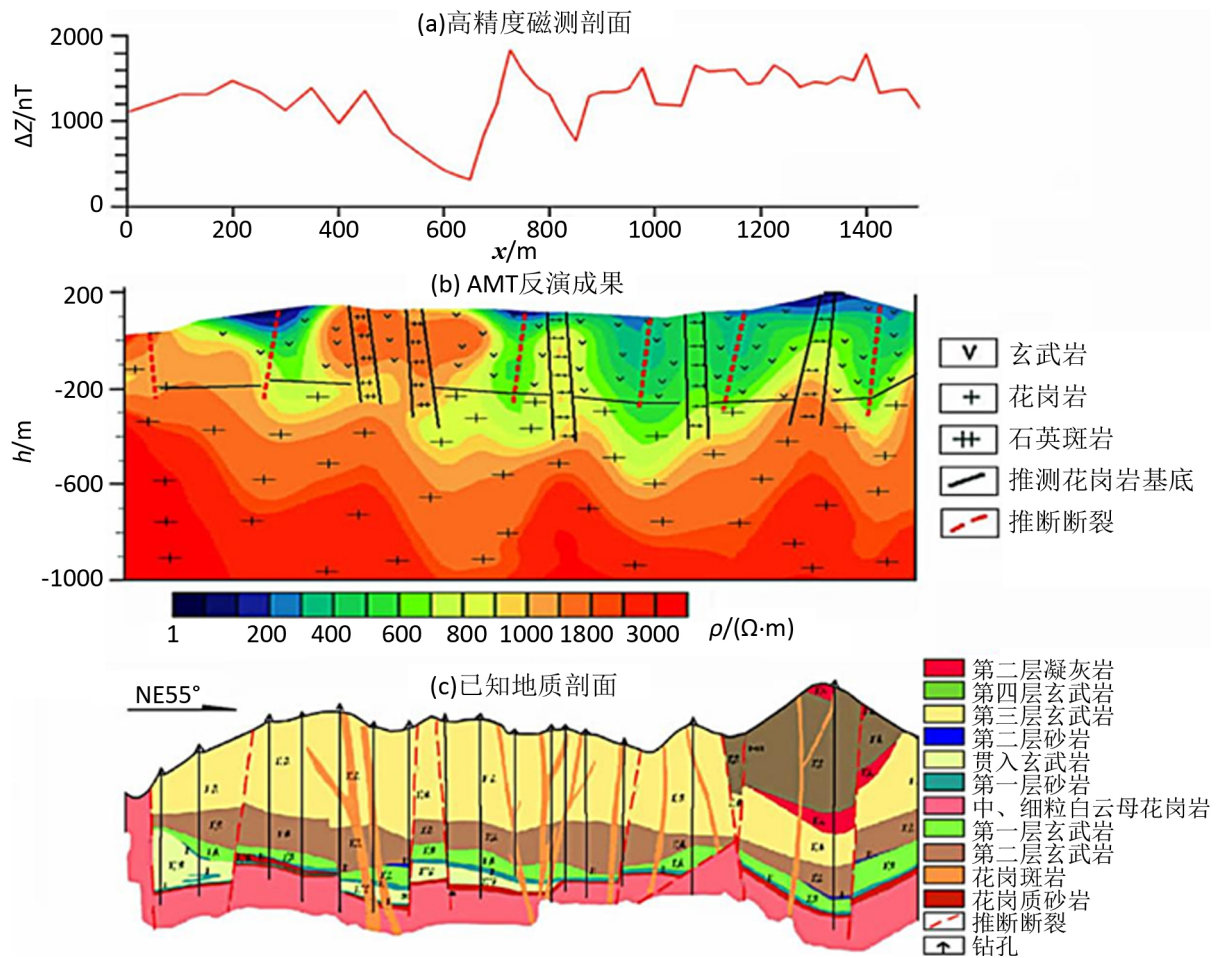
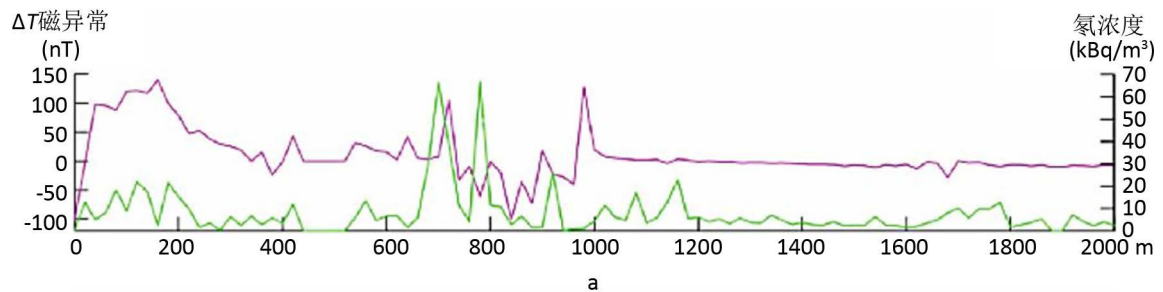
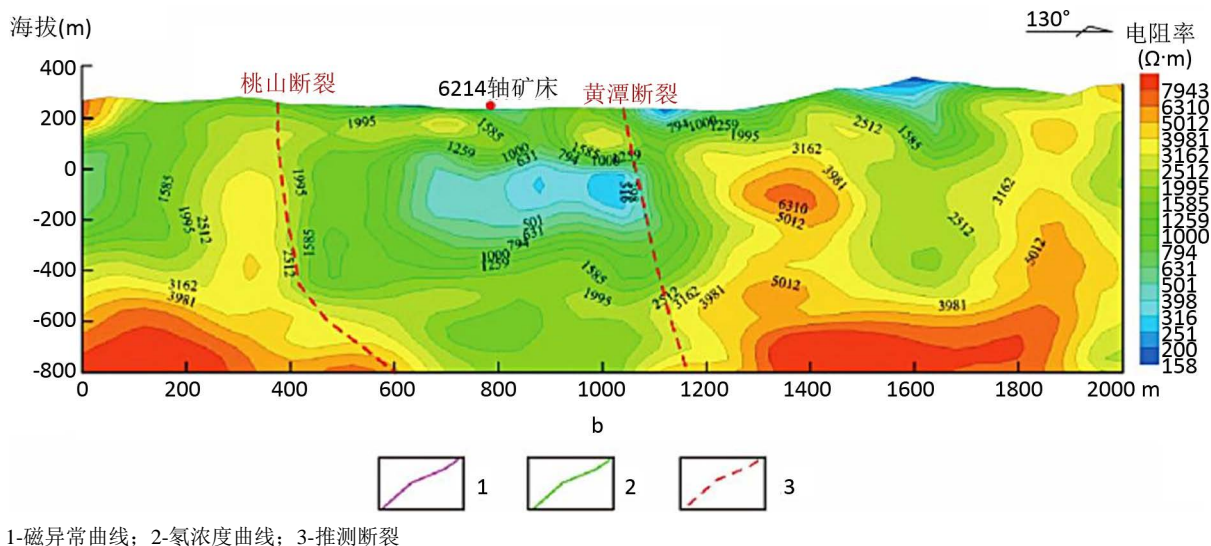


Figure 2. Integrated geophysical survey results  
图 2. 综合物探测量成果

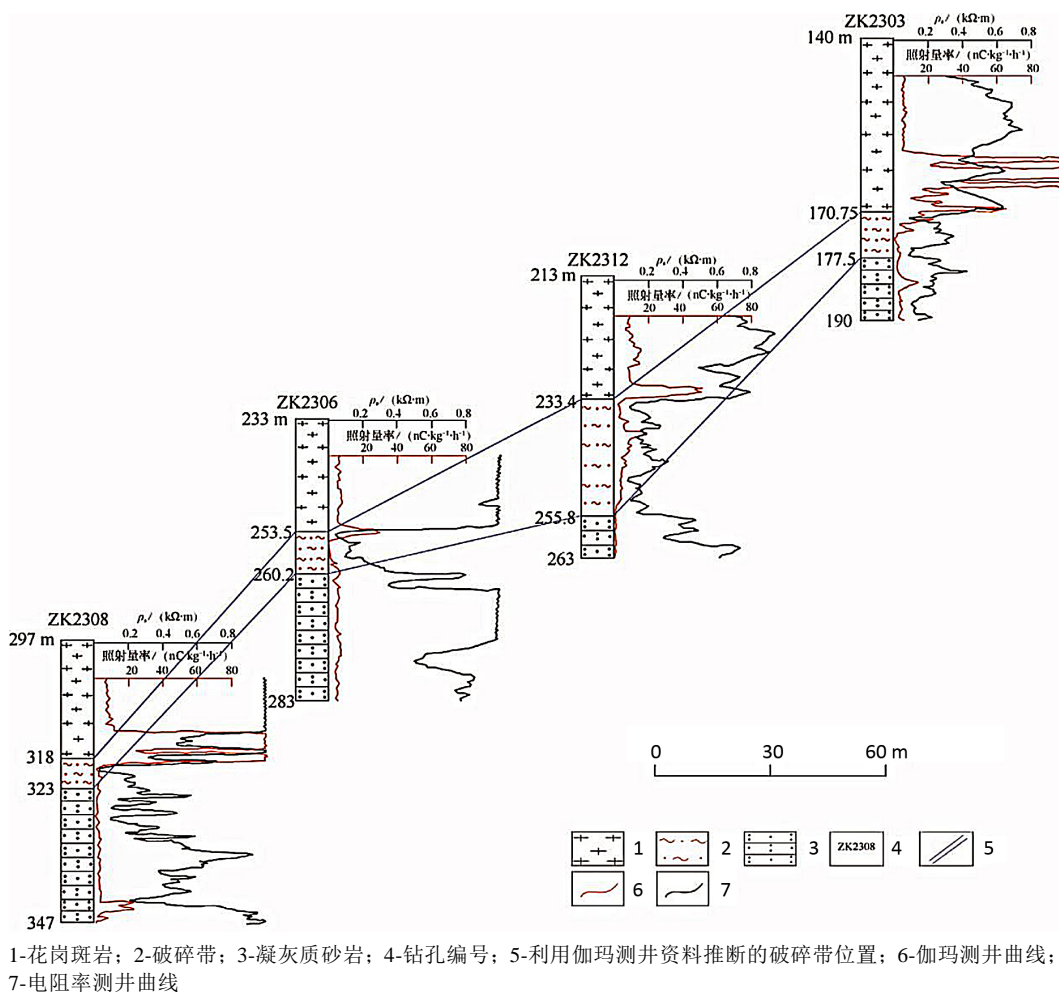




1-磁异常曲线; 2-氮浓度曲线; 3-推测断裂

Figure 3. Integrated profile of geophysical survey

图 3. 物探测量综合剖面图



1-花岗岩; 2-破碎带; 3-凝灰质砂岩; 4-钻孔编号; 5-利用伽玛测井资料推断的破碎带位置; 6-伽玛测井曲线; 7-电阻率测井曲线

Figure 4. Schematic diagram of porous logging section

图 4. 多孔测井剖面示意图

单孔综合测井可以有效进行岩性识别和矿段划分工作,剖面上多孔测井可以进行岩性识别对比。从图 4 可见,视电阻率曲线总体表现为高阻、低阻、中高阻 3 种特征。根据物性参数统计结果,将视电阻率值呈现明显高阻的区间划分为花岗斑岩,并结合伽玛曲线确定其位置,各钻孔的花岗斑岩电性层完整性较好,视电阻率值变化相对较小。花岗斑岩底部的视电阻率曲线出现陡降,呈现明显的电性梯度异常,由于矿区破碎带内常有断层泥及充水,表现为明显的低阻特征,所以在岩性划分时将明显的低阻值区间划分为破碎带。

通过利用测井曲线对岩性进行识别,揭示了花岗斑岩与围岩的接触带及破碎带的展布特征。经过与地质剖面进行对比,发现利用测井资料划分岩性得到的接触带及破碎带的位置,与实际钻探揭露的地质矿化特征吻合良好。

综合测井资料发挥着重要的作用。一方面利用综合测井资料能根据放射性异常确定铀矿体的产出部位,另一方面依据统计得到的矿区岩石的物性参数特征,按不同岩石放射性和电性特征的差异,能够进行矿区主要岩石的岩性识别和划分,从而划分含矿岩石与其他围岩的接触带,为区域找矿提供参考。

## 6. 结论

综合物探法在相关的铀矿勘查区取得了良好的效果,值得借鉴和探索。九嶷山地区地形切割大,地质情况复杂,还需要大量的综合科学研究工作。该区存在进行综合物探法的地球物理前提条件,下一步将综合研究该区地质情况和岩矿石的物性条件,选择在适当的区域进行综合物探法的试验工作。

前期主要在近南北向深大断裂、岩体接触界面、硅化破碎带、火山机构与断裂构造等有利地段开展地面高精度磁测和 EH4 综合物探方法,后期主要进行综合测井工作,形成适合于该地区的地质-地球物理找矿模型。

## 参考文献

- [1] 汪来,焦智伟,牛禹,等.综合物探方法在四川 505 地区铀矿勘查中的应用[J].矿产勘查,2017,8(1):132-138.
- [2] 刘天佑.应用地球物理数据采集与处理[M].武汉:中国地质大学出版社,2004.
- [3] 李金铭.地电场与电法勘探[M].北京:地质出版社,2005.
- [4] 宋振涛,贺海扬,沈正新,等.综合物探方法在江西马岭地区花岗岩型铀矿勘查中的应用[J].物探化探计算技术,2017,39(2):204-210.
- [5] 王泽霞,艾虎,李茂,等.音频大地电磁法在铀矿勘查中的应用[J].世界核地质科学,2016,33(2):96-101+105.
- [6] 郭晶,汤洪志,王蔚.EH4 电磁成像系统在铀矿勘探中的应用[J].工程地球物理学报,2012,9(5):522-525.
- [7] 刘祐,程纪星,腰善丛,等.电、磁综合方法在南方硬岩型铀矿勘查中的应用[J].物探与化探,2011,35(6):739-742+746.
- [8] 王志宏,全旭东,王利民,等.综合物探测量在桃山地区铀矿勘查中的应用[J].物探与化探,2014,38(1):35-40.
- [9] 王志宏,全旭东,王利民,等.综合物探方法在硬岩型铀矿勘查中的应用研究[J].铀矿地质,2015,31(2):110-120.
- [10] 金永吉,朱明永,王谋.综合测井资料在白杨河矿区铀-钍矿勘查中的应用[J].铀矿地质,2013,29(3):172-178.