

航空 γ 能谱测量在我国地学中的应用

张文斌 徐东宸 范秉学

(地质矿产部航空物探总队)

关键词: 航空 γ 能谱测量 铀矿勘探 地质填图 非放射性矿勘探 航空物探

航空 γ 能谱测量是使用 γ 能谱仪及相应的辅助设备从固定翼或旋转翼飞机上,沿预定航线和一定高度飞行,进行矿产普查和地质调查的方法。该方法的优点在于它能够在短时间内探测到岩石表层和土壤中铀、钍、钾含量的分布规律。铀、钍、钾含量图及其派生参量图可以用来研究测区的地质特征,进行区域地质-放射性地球化学填图,划分普查放射性和非放射性矿产远景区,并在有利的情况下直接寻找铀、钍矿床。因此,它是一种既经济又有效的航空物探方法。近年来,在我国由于采用了大体积、高稳定性、高能量分辨率的探测系统以及先进的数据自动处理成图系统,航空 γ 能谱测量所提供的信息更加丰富,地质应用的效果更加显著,在地质找矿中的作用愈来愈重要,发展前景也愈来愈广阔。

航空 γ 能谱测量在我国地学中主要应用在以下三个方面。

一、铀矿勘探中的应用

在我国,航空放射性测量作为铀矿普查的主要方法之一,多年来发现过大量有意义的异常,从中探明一大批具有经济价值的铀矿床,为发展原子能工业提供了丰富的矿产资源。

然而,目前航放测量基本上覆盖了我国的低山丘陵区,出露地表的铀矿床大都被发现,基于探测伽玛辐射强度和射线谱的有效勘探深度不足一米的航测是否仍然有效?

研究表明,对于残积覆盖区,由于存在着广泛的地球化学晕,覆盖层(浮土)与基岩的U、Th、K含量之间存在着正相关的关系,即高放射性含量的基岩,在其上覆风化层中的放射性元素也相应的增加,航测所探测到的地表放射性元素含量的变化可以代表基岩中相应元素含量的变化规律。因此,在一定的地质条件下是可以找到隐伏铀矿体的。但是,由于这种分散晕中铀含量可能仅比周围高出1—2ppm,只有使用高灵敏度的航空 γ 能谱系统才能够测到。

自五十年代我国开展航放测量以来,至今已经覆盖了全国面积的三分之一,编制了相应比例尺的总 γ 场图件。从中可以看到,已知铀矿区绝大部分落在高 γ 场内,还没有发现有经济价值的铀矿床落在低背景场中的。近几年,应用航空 γ 能谱法对若干早年总 γ 场测区作了重测,发现铀矿床主要与铀含量升高所产生的高 γ 场,即所谓“高铀区”有关,而与钍、钾含量升高引起的高 γ 场关系不大。这一点很有意义。因为既然绝大多数工业铀矿床与地表铀的区域性升高有关,那么圈定出铀升高区,也就是铀成矿远景区。

现阶段,航空 γ 能谱测量主要精力正是集中在圈定高铀区。同时,在有利的条件下直接发现铀矿体。例如,在甘肃某地区,根据航空 γ 能谱测量结果圈出七个高铀区,从中挑选出15个铀异常,现已查明,其中12个是铀矿点和铀矿化点引起的,图1就是这些异常中的一个。

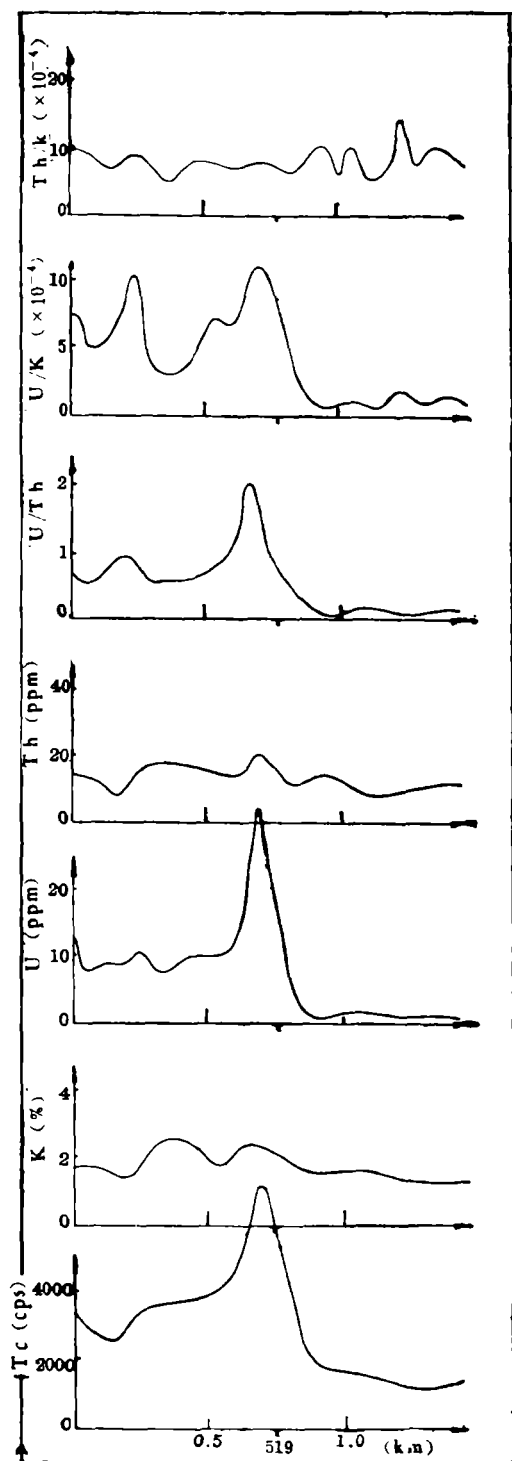


图1 航测铀异常区

为了提高测量效果,航空 γ 能谱数据经过各项修正和处理后,要排除各种干扰,区分真假异常,结合地质、地貌、物化探、航磁、航卫片等各种资料作综合地质解释。

二、寻找非放射性矿产中的应用

目前,我国航空 γ 能谱测量在用于铀矿普查的同时,还依据放射性元素与某些非放射性矿产元素或控制因素之间存在着的稳定的共生关系,寻找非放射性金属和非金属矿产,试用于普查石油和天然气。上述工作虽开展时间不长,但均在不同程度上取得了效果。

1. 稀有稀土元素

五、六十年代,利用航空总 γ 场测量,成功地发现过几处与花岗岩、伟晶岩有关的稀有元素(铌、钽)矿床。近来,通过航空 γ 能谱测量已发现多处与稀有稀土元素有关的异常,圈定若干寻找稀有稀土矿产的远景区。例如,在甘肃某地,航空 γ 能谱测量发现两处异常,其中异常B(图2B)为钽性质异常,现已证实为一稀有元素矿点;异常A(图2A)为铀钽混合异常,钾含量也略有升高。现已查明,该异常赋存于混合岩及混合岩化黑云母斜长片麻岩中,虽铀矿化规模不大,但磷钇矿已达工业品位,为一寻找稀土元素的重要线索。

2. 金伯利岩

应用航空 γ 能谱测量寻找金刚石的母岩——金伯利岩的工作尚处于摸索阶段。近两年,在我国一些地区的已知岩管上的试验结果表明几种航空物探方法(磁力、 γ 能谱、电磁)中,有时是磁力有效,有时几种方法均有不同程度的反映。航空 γ 能谱测量以总计数率增高,钍含量升高,钾含量轻度升高或降低为特点。看来,金伯利岩的 γ 能谱特征与岩管的类型有关,例如,含金云母或不含金云母的,细粒的还是斑状的,是否碳酸盐化等等,其放射性参量往往不同。

3. 钾盐

应用航空 γ 能谱方法寻找钾盐矿床的依据

在于天然钾中存在着丰度固定(占0.012%)的放射性同位素钾-40。因此,当钾盐矿床的铀、钍含量低,干扰因素较少时,可以利用钾道计数率定量地计算钾的含量。

1980年在河南某地的震旦系地层中圈出三个钾含量升高区,其中之一已证实为富钾岩石——含钾泥板岩引起, K_2O 平均含量8%。航测的钾含量升高范围与富钾层位基本上吻合(图3)。

最近,应用航空 γ 能谱测量在我国西北蒸发岩地区进行了钾盐普查工作,发现了大量钾含量升高区和局部异常,已检查的升高区和异常均证实为钾盐层的反映。

4. 石油和天然气

航空 γ 能谱法直接寻找石油和天然气是一种正在探索中的方法。它是基于在油气藏及其上部与其伴生的烃类晕的作用下,上复岩层的地球化学环境发生改变所引起的地表放射性元素分布规律的某些变化。近年来,国外开展了这方面的研究,并取得了某些进展。

1982年我队在我国西北地区已知油田上进行了试验性飞行。对测量结果进行统计处理,编制了各种参量图。经分析得出:总道、铀、钾、铀/钾、铀/钍和铀/总等六个参量在油田上不同程度地存在着较周围略低的弱异常,并且三个比值反映得更为清楚,从而认为铀、钾含量的变化与油田有一定的相关关系。这一结论是否具有普遍意义尚待研究。由于油气田上的异常通常很弱,而且往往受到岩性等干扰。所以,提高探测精度、消除各种地表干扰、进行有效的统计处理、采用适当的解释方法,可能是该方法取得良好效果的重要条件。

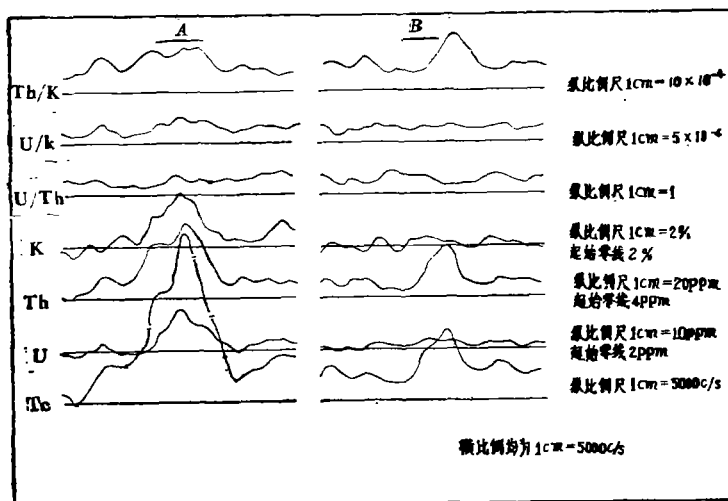


图2 航测钍及钍-铀异常区
A 钍钍混合异常 B 钍性质异常

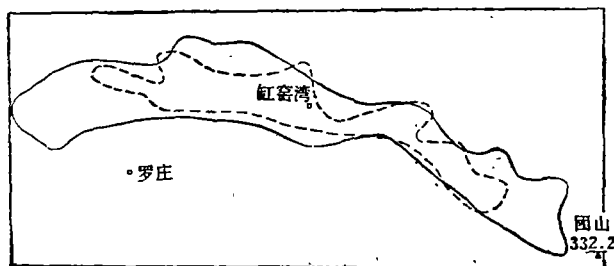


图3 航测钾含量升高区和富钾层对照
虚线为钾含量升高区,直线为富钾层范围

三、地质填图中的应用

研究表明,不同类型的岩石,放射性元素的含量和分布特点是不同的,即使是同一岩性的岩石,由于生成年代不同、成因不同、地质演化过程不同,其放射性场的地球化学标志也不相同;各种岩石和地层中,放射性元素的分布服从一定的地球化学规律。这就是应用航空 γ 能谱测量进行地质填图及解决各类地质问题的依据。

在总 γ 场测量阶段,航放资料曾成功地用于圈定中酸性和碱性火成岩体,划分岩体的侵

入期次和相带。

近几年,由于 γ 能谱法的应用以及仪器灵敏度的大幅度提高,航空 γ 能谱测量在地质填图方面的效能得到明显地提高。根据我们的工作实践,它解决的主要问题可归纳为如下几个方面,现以河南驻马店和甘肃嘉峪关北部地区两个航测区实测资料为例。

1. 划分岩性,圈定地层

根据河南测区航空 γ 能谱测量结果可以清楚地划分出元古界、震旦系、寒武系及第三、第四系地层。同时,测区内广泛发育的元古界不同岩组的放射性场的特征也不尽相同:(1)广泛出露的下元古界(Pt_1)地层,由于遭受强烈混合岩化,已变质为混合花岗岩,其外貌和成分与花岗岩相似,放射性场特点也与区内燕山晚期花岗岩相似;(2)刘庄组 Pt_1L (二云钾长混合片麻岩、石英片岩和黑云母片岩)以较高 γ 场为特点,其放射性元素平均含量,铀1.8ppm、钍10ppm、钾1.7%;(3)堡子组 Pt_1b (角闪质岩石)以相对弱的、起伏不大的 γ 场为特点,铀平均含量1.2ppm、钍6.4ppm、钾0.6%;(4)变质细碧角斑岩系 Pt_2M 表现为特征性的低 γ 场,铀平均含量0.9ppm、钍4.8ppm、钾0.6%。

2. 研究变质岩

甘肃测区内广泛分布的奥陶-志留系(o-s)为一套呈东西方向延伸的变质岩系。岩系相变很大,各地岩性不一。中-深变质的二云石英片岩、斜长角闪岩、浅粒岩及大理岩在航空 γ 能谱图件上以波动的低放射性场(总道 7500cps)为特点;浅变质的泥质、砂质千枚岩、硅质板岩以中等强度放射性场(总道10000cps)为特点;由海西期花岗岩贯入而形成的混合花岗岩则以高放射性场(总道12500—17500cps)为特点。同时,对于上述三种情况,放射性元素含量也有递增的规律。可见,随着区域变质岩变质程度的加深,其放射性元素含量有逐渐减少的趋势,但混合岩化作用可以使变质岩呈现类似花岗岩的高放射性场。

3. 研究沉积岩和沉积环境

甘肃南泉、沙婆泉一带中下侏罗系 J_{1-2} 为一套泻湖相碎屑岩沉积。它分为上下两个亚群,下亚群 $J_{1-2}ln_1$ 主要由粉砂岩、黑色炭质页岩夹煤层组成,以平稳的较高放射性场为特点(总道10500cps),放射性元素含量也比较高:铀4.2ppm、钍13.5ppm、钾2.4%。上亚群 $J_{1-2}ln_2$ 由砂砾岩、粉砂岩等组成,其放射性场明显变低且出现波动(总道8000cps),放射性元素含量:铀3.3ppm、钍8.0ppm、钾2.0%。

根据上述情况:认为当时的地球化学沉积环境是这样的:

$J_{1-2}ln_1$ 的沉积环境比较稳定,气候湿润,有利于页岩、煤层的沉积和放射性元素的富集; $J_{1-2}ln_2$ 沉积环境不甚稳定,动荡较大,气候也由湿润转向干热,故主要沉积了砂砾岩之类,放射性元素含量较低且不够均匀。

4. 研究侵入岩,划分岩体的侵入期次和相带

根据河南测区航空 γ 能谱测量结果可以比较有把握地区分出该区出露的大多数侵入岩。其中以燕山晚期第一次侵入的花岗岩(γ_3^{3-2})放射性最强,燕山早期(γ_3^2)和燕山晚期第二次侵入花岗岩(γ_3^{3-2})次之,吕梁期花岗岩(γ_2)再次之,吕梁期基性岩(γ_2)最弱。1:20万区调将桃园岩体定为 γ_3^{3-1} ,但从放射性的几个参量来看,都明显地区别于区内其它所有的 γ_3^{3-1} (下表),据此,我们认为它不是 γ_3^{3-1} 。最近,1:5万比例尺的地质调查已证实桃园岩体系海西早期产物(γ_4^1)。

位于测区中部的铜山岩体(γ_3^{3-1})可以作为利用航空 γ 能谱资料划分岩相的例子(图4)。

表 桃园岩体与 γ_5^{-1} 岩体放射性参量对比表

岩体名称	放射性参量					
	U (ppm)	Th (ppm)	K (%)	U/Th	U/K ($\times 10^{-4}$)	Th/K ($\times 10^{-4}$)
桃园岩体	0.6	7.4	1.0	0.08	0.60	7.40
γ_5^{-1}	2.0	17.0	2.2	0.12	0.91	7.73

从图上可见, 无论用总道还是用分道数据均能圈出岩体界限, 并且用放射性参量圈定的范围与1:20万地质图上的岩体边界吻合得很好。我们还根据总道以及钍、钾含量图升高范围南北两部分反映的差异, 在岩体内部划分了岩相。最近 1:5 万区调结果证实了这一推断: 岩体南面为黑云母似斑状花岗岩, 北

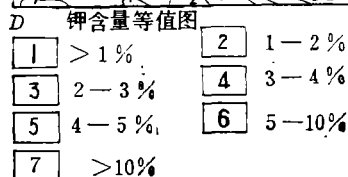
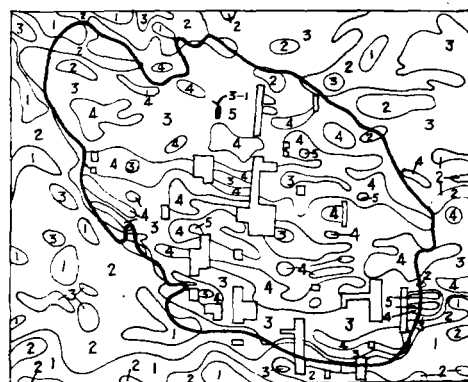
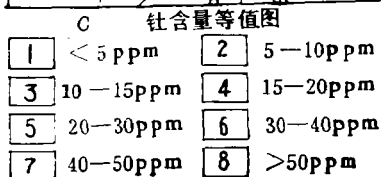
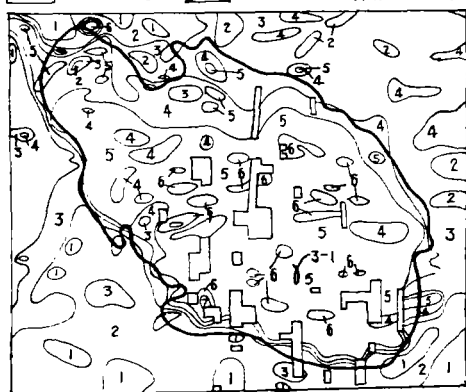
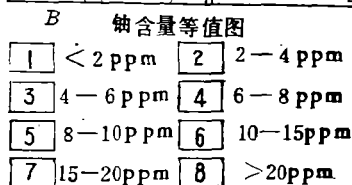
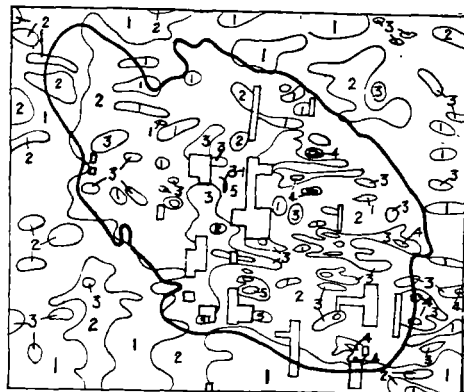
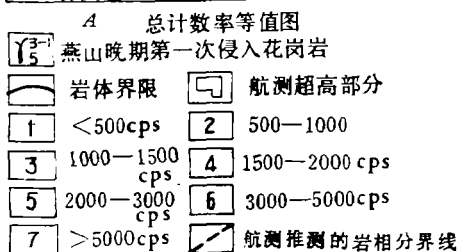
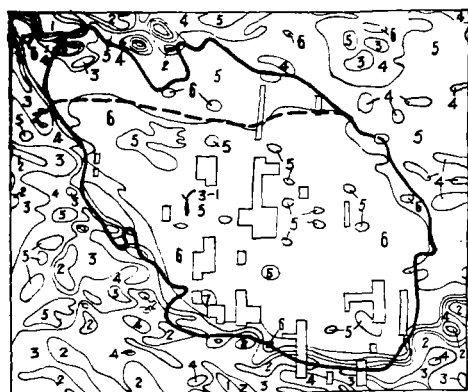


图4 铜山岩体放射性参量等线平面图

面为细粒花岗岩。

5. 指示线性构造

河南桃园岩体以南的中元古界 Pt_2M 分布区,在总计数率和各含量图上呈现一系列平行排列的北西西走向的线性升高带。对比地质资料,这与 Pt_2M 地层中一系列紧密排列的断层(大河断裂系)位置吻合,只是航测反映的条带数量更多些。

工作经验表明,有时构造破碎带伴有放射性元素含量的升高,它可能是放射性物质迁移的通道或有中酸性岩体沿破碎带侵入;有时线性构造带以放射性场的降低为特征,这可能与放射性元素的迁出有关或有基性超基性岩侵入其中。包括结晶基底的隐伏断裂在内,各种线性构造可以三种形式的放射性异常显示出来:线性延伸异常(升高或降低);等轴状异常链(升高或降低);总 γ 场强度和放射性元素含量高与低发生突变的分界线。

最后需要指出,目前我国应用航空 γ 能谱测量寻找非放射性矿产以及研究各种基础地质问题的作得还不多,航测资料用于不同地质目的时的推断解释方法也不够成熟,还有待研究和发展。但是,现已取得的初步成果足以表明该方法在地球科学的广泛领域中应用的有效性,以及它的良好潜在作用。

本文资料来源于我队实测结果。

本队高级工程师卓松年、石青云,成都地质学院副教授章晔曾对文章作了审阅并提出宝贵意见,在此表示感谢。

(上接 18 页)

数 m^2/g)。温度变化大时,可根据铜特征荧光 X 射线计数的变化,适当改变 N_0 的值对测定结果进行校正。

五、结 论

铜版纸涂布量在线测定仪采用同位素源荧光 X 射线选择吸收法,测定时间 10 秒,实验室测定与称重法的相对偏差为 $\pm 10\%$ ($10\sim 40g/m^2$ 范围内)。对 $120g/m^2$ 和 $150g/m^2$ 双面铜版纸在线测定重复性为 $\pm 1g/m^2$,与称重法的相对偏差约为 $\pm 2g/m^2$ (约 $\pm 5\%$)。水份对测定结果无明显影响。原纸厚度相差 $\pm 5g/m^2$ 时,对 $40g/m^2$ 铜版纸测量结果影响为 $\pm 2\%$ 。用单板机处理数据,仪器可直接快速、连续显示和打印涂布量。

南通电子仪器厂马为平、冯荫华、陈达元同志参加了仪器研制和计算机程序编制工作;上海材料研究所吴万春同志参加了现场安装设计工作;上海华丽铜版纸厂范公桥、吴志民、陆朴敏等同志协助和参加了部份现场安装、测试工作,特此感谢。

参 考 文 献

- [1] C. A. Ziegler ed., Applications of low energy X and gamma rays, New York, Gordon and Breach Science Publishers, 1971, p.91.
- [2] 张家骅等,放射性同位素 X 射线荧光分析,北京,原子能出版社,1981 年,第 7 页。

(1984 年 6 月 12 日收到)

Abstracts in English

Application of airborne gamma-spectrometric survey to earth sciences in China

Zhang Wenbin Xu Dongchen Fan Bingxue

(General Team of Aero-geophysical Survey, Ministry of Geology
and Mineral Resources of China)

Keywords: airborne gamma ray spectrometer survey uranium prospecting
geological mapping non-radioactivity prospecting
aero-geophysical survey

New developments for Rutherford backscattering analysis techniques

Wang Zhenxia

(Shanghai Institute of Nuclear Research, Academia Sinica)

Keywords: backscattering mass resolution power
depth resolution power time of flight (TOF)
glancing angle

An apparatus for on-line measuring the coating weight on art paper

Huang Meifen Mao Shunjuan

(Shanghai Materials Research Institute)

The method and apparatus for on-line measuring the coating weight on art paper are described. The design of the coating gauge was based on the technique of characteristic X-ray fluorescence preferential absorption. The gauge was equipped with a TP-801 micro-computer which makes the gauge capable of showing and typing the data in different forms. The measurement is quick, continuous, accurate and non destructive. Analysis period is 10 seconds. In on line measuring, the reproducibility is $\pm 1\text{g/m}^2$ and the relative error of this method amounts to $\pm 5\%$ with the weighing method as a standard.

Keywords: preferential absorption on line measuring
art paper coating weight

A stepping motor driven ion beam scanner with double probe

Piao Yubo Ma Shuxun Ma Yongli

(Institute of Nuclear Research, Lanzhou University)

A device with double probe driven by a stepping motor is described. It can be used