第 14 卷第 1 期　　地 质 与 资 源　　Vol. 14 No. 1
2005 年 3 月　　GEOLOGY AND RESOURCES　　March 2005

·方法与应用·

文章编号:1671 – 1947(2005)01 – 0063 – 04　　中图分类号:P631.2;P619.14　　文献标识码:A

土壤磁性测量在可地浸砂岩型铀矿成矿环境研究中的应用

邓居智, 刘庆成, 龚育龄, 方根显
(东华理工学院 探测与信息技术系, 江西 抚州 344000)

摘　要:土壤磁性测量是近十几年发展起来的一种地球物理方法,它是通过测量土壤样品磁性参数来达到解决地质问题的目的. 本文探讨了土壤磁性测量在研究可地浸砂岩型铀矿成矿环境中的可行性,并通过在内蒙古东胜地区的应用研究总结出了氧化带前锋线处磁化率异常的特征.

关键词:土壤;磁性测量;砂岩型铀矿;氧化带

磁性勘查是介于磁学、地质学、物探和化探等学科之间的一门边缘学科,通过研究介质中的矿物、岩石、土壤层次的磁性特征,并引入矢量、时间作为勘查的应用参数,对磁性记录的地史过程进行分解,以达到解决地质问题、寻找矿体等目的[1]. 对土壤磁性的研究始于 20 世纪 50 年代[2]. 80 年代以来,由于土壤和沉积物记载的磁信息在揭示沉积物来源、环境变化、古气候和矿产勘探等领域的应用,土壤和沉积物的磁性研究日益受到人们的重视. 土壤磁性研究对解决成矿环境问题或直接找矿具有重要意义,近十几年来,石油领域应用该技术寻找油气藏,预测含油气地区的边界取得了较大突破,初步认识了油气藏上方地表土壤磁性异常与油气藏的关系[3~7]. 但是到目前为止,有关土壤磁性与铀矿成矿环境关系的研究报道甚少.

可地浸砂岩型铀矿床是我国当前铀矿地质的主攻类型,已在新疆、内蒙古等地取得了可喜的成果,积累了许多成功的经验. 产于中新生代盆地的可地浸砂岩型铀矿床有以下几个特点:

(1)铀矿体产于中新生代盆地地层中的层间氧化带、潜水氧化带中或古河道中,含矿地层与上覆和下伏地层的一些物性有差别,但也有一些物性差异不明显.

(2)含矿砂体与周围介质的物性差异较小.

(3)上覆于矿体之上的盖层较厚,地表的直接找矿标志往往不明显.

(4)层间氧化带在垂向上的厚度不大,常规的物化探方法较难确定层间氧化带的空间位置.

可地浸砂岩型铀矿床的上述特点导致了在铀矿找矿工作中,用常规的找矿思路加常规的物化探方法找矿效果常常不是很理想.

实际资料表明,可地浸砂岩型铀矿的形成与层间氧化带有关[8,9],铀矿床在空间上位于氧化还原过渡带处. 郭友钊等通过研究认为,从强氧化环境至强还原环境变化时,地表中的铁矿物在相应环境中稳定的含铁矿物依次为:赤铁矿—磁赤铁矿—磁铁矿—磁黄铁矿—黄铁矿—菱铁矿等. 在这些矿物中,磁铁矿磁化率最高,黄铁矿、菱铁矿、赤铁矿的磁化率相对较低,而磁赤铁矿的磁化率中等[5, 10]. 因此通过研究所采土壤样的磁化率等磁性参数即可推断当地的氧化还原环境,进而圈定氧化 – 还原过渡带的位置.

1　土壤磁性测量的应用机理

土壤磁性来源于土壤中的铁磁性矿物. 铁元素在氧化还原环境中的稳定形式不同,当原有的氧化还原环境改变时,铁元素的价态也发生相应的变化(在还原环境中以 Fe^{2+} 存在,在氧化环境中则以 Fe^{3+} 存在),即铁元素对氧化还原环境的响应发生变化,铁矿物存在的形式则显然不同.

铀矿体存在的物理化学条件,使其周围和上方处于某种氧化 – 还原体系中,引起土壤物性(包括磁性、电性、放射性等)参数的变化,从而为土壤磁性勘探方法提供了地球物理前提. 地下铀矿化砂体在一定的地质构造和地球物理条件下,在其周围,特别是在其上方,通过孔隙、裂隙从地下深处垂向扩散、运移直至地表. 由于铀矿化带及其渗透空间氧化还原体系的变化的影响,在其上方地表形成特定的物理化学条件,使土壤矿物磁性发生变化,所以土壤的磁性中包含着与铀矿化相关的“磁信息”.

1.1　土壤磁性参数[11]

(1) 磁化率. 磁化率表示在外磁场中介质被磁化的难易程度,它是描述物质磁性特征的参数之一. 根据磁化率的不同,可将物质分为铁磁性、抗磁性和顺磁性三大类. 铁磁性介质的磁化率大小与外磁场强度有关,而其他介质的磁化率通常与外磁场大小无关,是个常数.

(2) 剩余磁化强度. 剩磁分为原生剩磁和次生剩磁. 原生剩磁是指成岩或成土过程中同时形成的剩磁,如热剩磁和沉积剩磁;次生剩磁是成岩或成土后期,由于各种外界因素的影响造成的,如化学剩磁、等温剩磁、黏滞剩磁等. 原生剩磁与次生剩磁的总和称为天然剩磁.

收稿日期:2003 – 04 – 07;修回日期:2003 – 05 – 12. 张哲编辑.
基金项目:核工业地质局项目“物化探方法在砂岩型铀矿成矿环境研究中的应用研究”(编号 2002—18).

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

1.2 铁元素对氧化还原环境的响应

由于铀矿化过程与氧化还原环境关系密切，铀矿床主要位于氧化—还原过渡带处．铁元素在氧化还原环境中的稳定形式不同．在强还原性环境中，主要以铁原子存在；在还原环境中则以 Fe^{2+} 存在；在氧化环境中以 Fe^{3+} 存在；而在氧化还原过渡带或弱氧化弱还原环境中，氧化还原程度决定了 Fe^{2+} 与 Fe^{3+} 分配比例．因此，铁元素对氧化还原环境具有“全频段”的灵敏响应．

由于氧化还原环境的改变在一定程度上会导致土壤磁性的改变，如从氧化环境过渡到还原环境，地表的赤铁矿将向磁赤铁矿、磁铁矿方向转化，此时土壤可能获得相对较强的磁性．因此在氧化还原过渡带上磁化率表现为低值区，在过渡带之下磁化率会迅速升高，在资料解释时可以此为依据．但是由于次生作用及磁化倾角的不同，土壤磁性特征在不同的条件下往往比较复杂．

2 工作方法技术

2.1 野外土壤样品采集

为确保采样条件的一致性，在正式开展野外采样工作之前，应进行采样深度试验，一般采样深度为 20～50 cm．采样层位应选择没有受到人为翻动、现代植被稀少、地表局部水文干扰较弱的部位．

用非磁性采样工具进行定向采样，选用直径 25 mm，高 22 mm 的圆柱状非磁性容器盛样，并固定保存于容器中．采样时除作编号记录以外，还应在样品盒上标明采样点的正磁北方向，并对测点周围的地质条件与土壤性质，即采样点的坐标、地点、采样层位、土壤类型、土壤组分、土壤颜色、土壤结构、植物根系发育情况、干扰信息等进行描述．

2.2 样品磁性参数测量

由于每个样品获得磁性参数较多，而每个参数的物理意义不同，但它们之间有一定的关系，多参数的综合利用，可以减少对磁性异常解释的多解性．故除磁化率（k）参数外，还应进行天然剩磁（M_n）、原生剩磁（M_r）、次生剩磁 M'_r、磁倾角（I_n）、磁偏角（D）等磁性参数的测量．

在进行剩磁测量时必须先抽取一批样品从 0～1000 Oe 中选择 30 个退磁场进行退磁试验，找出适合采样地区土壤样的最佳退磁场，然后利用所得的最佳退磁场值测量该地区的所有样品．

2.3 磁性数据的预处理

因为磁化率、剩磁等磁性数据与样品的体积和质量大小有关，因此须对测量的磁性参数进行预处理，以使样品间的磁性数据便于对比，避免产生假的磁异常．

（1）磁化率退磁校正．由于实际测量的磁化率为视磁化率，理论上说，它除与样品的磁性有关以外，还与样品的体积、质量等因素有关，不能代表样品的磁性特征，因此应按下式进行退磁校正：

$$k = \frac{k'}{1 - 4\pi k'/3} \tag{1}$$

式中：k—样品真磁化率/$10^{-6}m^3SI$（k）；k'—样品视磁化率．

（2）磁化率质量校正．由于本次取样采用同一尺寸的规格化样品盒盛装土样，而在采集时对样品的压实程度可能存在着差异，所以质量不同，故对样品进行质量校正是必要的．

样品的质量校正按公式（2）、（3）进行：

$$M_r(m) = M/m \tag{2}$$

$$k(m) = 4\pi \times k/m \tag{3}$$

式中：$M_r(m)$—经质量校正后的剩磁/$10^{-7}Am^2 \cdot kg^{-1}$；$k(m)$—经质量校正后的磁化率/$10^{-6}m^3SI \cdot kg^{-1}$；$M_r$—实测剩磁：$m$—样品质量．

（3）次生剩磁求取．将天然剩磁减去原生剩磁，获得次生剩磁，即 $M'_r = M_n - M_r$．它包含了成岩后期地磁场或外部磁场作用下形成的等温剩磁、化学剩磁或黏滞剩磁等．

经过数据预处理后，就可以根据由退磁和质量校正后所得的磁性参数数据绘制磁参数剖面图，以进行地质解释．

2.4 磁性数据的相关分析

相关分析是提供各种磁参数间的相关性（用相关系数表示），目的是分析不同参数所提供地质信息的可能差异，由此选择适宜的参数去解决相应的地质问题．

3 土壤磁性测量在内蒙古东胜地区的应用研究

东胜地区位于鄂尔多斯盆地北部，处在华北地台北部巨型内陆拗陷盆地——鄂尔多斯盆地中的伊盟隆起之上，其盖层主要是中新生界沉积组合，出露的地层主要有二叠系、侏罗系、白垩系、第三系和第四系❶．

研究选择 A143、A159 号勘探线采集土壤样品，采样点距为 50 m，据该区的土壤剖面情况，采样层位定于 0.4～0.6 m 深处．样品采集后除测量磁化率（k）参数外，还进行了天然剩磁（M_n）、原生剩磁（M_r）、次生剩磁 M'_r、磁倾角（I_n）、磁偏角（D）等磁性参数的测量，并对所测数据进行相关性分析．分析结果表明磁化率（k）与其余各磁性参数之间的相关性均较好，因此在进行地质解释时主要利用磁化率（k）参数．图 1 是 A143 勘探线土壤样磁化率测量结果．根据地质资料综合，A143 线从下至上，地层为延安组（J_2y）、直罗组下段（J_2z^1）、直罗组中段（J_2z^2）、伊金霍洛组（K_1e^{1+2}）．沿勘探线已经施工了多个钻孔，大多见矿，说明沿测线地段的成矿地质条件较好．见矿孔的情况反映出矿化主要产于直罗组下段（J_2z^1）．磁化率测量曲线主要分为 5 个低值区，每一低值区均对应矿体的位置，100 m 处磁化率的突然升高表明地下铀矿体不连续；在第 5 低值区（1550 m 处）过后磁化率急剧上升，表明此段已位于氧化带前锋线位置．位于此段的 ZKA143－31 孔为矿化孔与此推断吻合．

图 2 是 A159 勘探线土壤样磁化率测量结果．其磁化率测量曲线可以分为 4 个低值区，沿勘探线的 5 个钻孔中 3 个见矿孔均位于磁化率低值区，而其中的 2 个正常孔则对应磁化率的

❶邓居智，刘庆成，龚育龄，等．物化探方法在东胜地区铀矿成矿环境研究中应用与研究报告．2002.

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

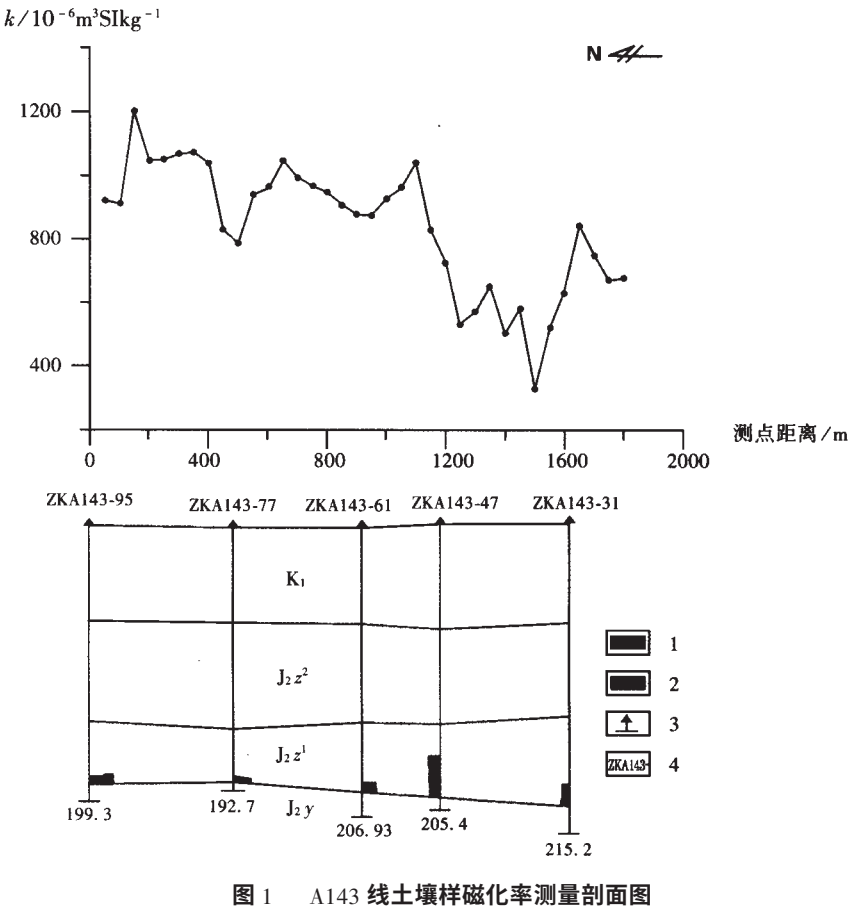


图 1　A143 线土壤样磁化率测量剖面图

Fig. 1　Profile of soil magnetic susceptibility survey along Line A143

K_1—下白垩统 (Lower Cretaceous);J_2z^2—直罗组中段 (Member 2 of Zhilou formation);J_2z^1—直罗组下段 (Member 1 of Zhilou formation);J_2y 延安组—(Yanan formation);1—矿体(ore body);2—矿化异常(anomalous mineralization);3—已知钻孔(borehole);4—钻孔编号(borehole number)

高值区位置，由磁化率测量曲线可以推测距测线起点 500 m 附近为一成矿有利地带．另外，在距测线起点 1400 m 之后，磁化率急剧上升，推测此处为氧化带前锋线位置．

4　结语

土壤磁性测量方法首次在可地浸砂岩型铀矿成矿环境研究中进行应用研究，初步的应用研究表明该方法成本低、效率高、效果好．研究成果显示在氧化还原过渡带上磁化率表现为低值区，在过渡带之下磁化率会迅速升高．在资料解释时可以此为依据，追踪氧化带的分布情况，以确定或发现铀矿的赋存地段，但是由于次生作用及磁化倾角的不同，土壤磁性特征在不同的条件下往往比较复杂．

土壤磁性勘探方法勘探深度大、投资低廉、野外工作简单、快捷，是一种无源和非破坏性的找矿手段．作为一种新的地球物理方法，其方法原理和特点比较符合我国北方地区寻找可地浸砂岩型铀矿的要求，可为寻找或研究可地浸砂岩型铀矿床提供一种新的思路，尤其是在地表找矿标志不多的情况下，开展土壤磁性勘探方法，对铀矿找矿工作具有较大的意义．

参考文献：

[1]郭友钊,罗壮伟,孟小红,等．石油天然气的磁性勘查[M]．北京：地质出版社,1999.

[2]俞劲炎,卢升高．土壤磁学[M]．南昌:江西科学技术出版社,1991.

[3] 刘庆生．微磁方法寻找油气藏的基本原理与应用[M]．武汉:中国地质大学出版社,1996.

[4] 阎桂林．第四系沉积物磁性勘查油气的原理与应用[J]．物探与化探,1997,21(4).

[5] 郭友钊，余钦范，谭承泽．土壤磁性在石油天然气早期勘探中的应用[J]．石油物探,1995,34(1).

[6]刘青松,王宝仁．应用微磁寻找油气藏的研究现状与展望[J]．石油地球物理勘探,1996,31(3):454—463.

[7]Ellwood B,Pemberton S G. Some magnetic properties of Alhabassa oil sand samples[J]. Alborta, Canada, CJES, 1984, 21:278—283.

[8] 向伟东．吐哈盆地南部层间氧化带型砂岩铀矿成矿条件与成矿规律[D]．核工业北京地质研究院,2000.

[9] 秦明宽．新疆伊犁盆地南缘可地浸层间氧化带型砂岩铀矿床成因及定位模式[D]．核工业北京地质研究院,1999.

[10]Machel H G, Burton E A. Chemical and microbial processes causing anomalous magnetization in environments affected by hydrocarbon seepage

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

[J]. Geophysics, 1991, 56(5): 598—605.

[11]谭承泽,郭绍雍. 磁法勘探教程[M]. 北京 地质出版社,1984.

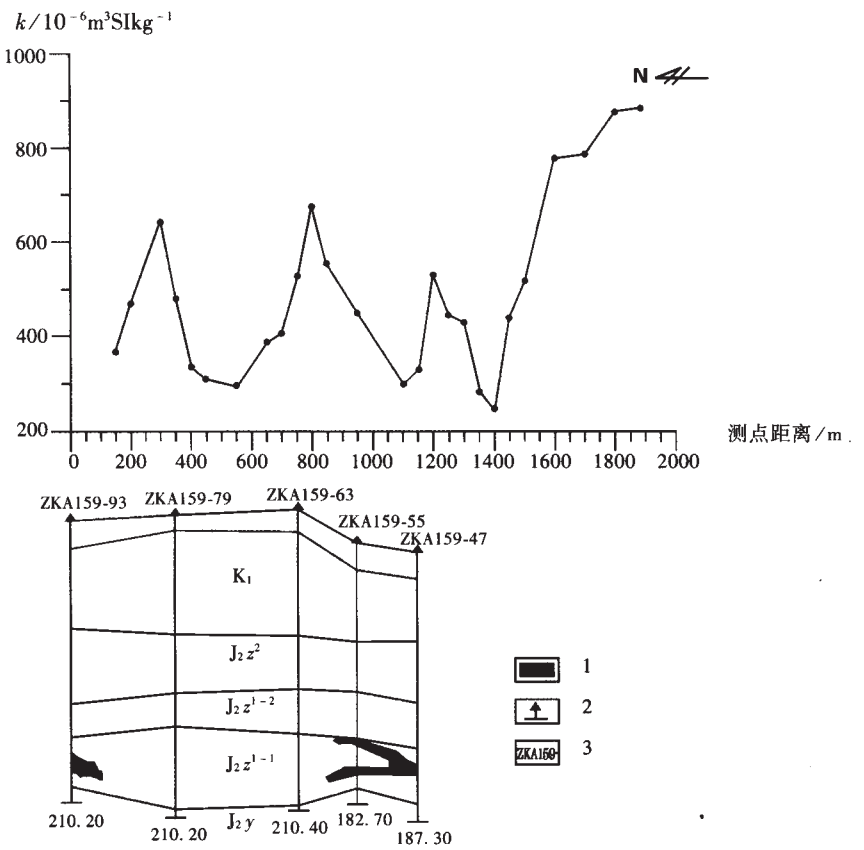


图 2 A159 线土壤样磁化率测量剖面图

Fig. 2 Profile of soil magnetic susceptibility survey along Line A159

Q—第四系(Quaternary);K_1—下白垩统(Lower Cretaceous);J_2z^2—直罗组中段(Member 2 of Zhilou formation);J_2z^1—直罗组下段(Member 1 of Zhilou formation);J_2y 延安组—(Yanan formation);1—矿体(ore body);2—已知钻孔(borehole);3—钻孔编号(borehole number)

APPLICATION OF SOIL MAGNETISM SURVEY IN THE STUDY ON ORE-FORMING ENVIRONMENT OF LEACHABLE SANDSTONE URANIUM

DENG Ju-zhi, LIU Qing-cheng, GONG Yu-ling, FANG Geng-xian

(*East China Institute of Technology, Fuzhou* 344000, *China*)

Abstract: Soil magnetism survey is a new geophysical method that developed in recent years. The method can be used to solve some geological problems by measuring the magnetism of soil sample. This paper discusses the feasibility of soil magnetism survey in the study on ore-forming environment of leachable sandstone uranium deposit. The anomaly characters of soil magnetism at the oxidation zone front are summed up by the application research for Dongsheng area, Inner Mongolia.

Key words: soil; magnetism survey; sandstone uranium deposit; oxidation zone

作者简介:邓居智(1973—),男,硕士,讲师,2001 年毕业于东华理工学院,主要从事地球物理、地球化学的教学与科研工作,通讯地址 江西省抚州市 东华理工学院 124 信箱,邮政编码 344000,E-mail//jzdeng73@ sina. com

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net