

热磁技术及其在勘查地球化学中的应用前景

胡 树 起

(中国地质科学院地球物理地球化学勘查研究所, 河北廊坊 065000)

摘要: 通过热磁技术特性分析, 指出热磁组分并不完全等同于铁锰氧化物, 同时从确定矿床有效指示元素组合、判断次生异常性质及在厚覆盖区寻找隐伏矿等方面展望了热磁技术在勘查地球化学中的应用前景, 介绍了热磁技术实验的初步成果。

关键词: 热磁组分; 铁锰氧化物; 有效指示元素组合; 次生异常性质; 隐伏矿

中图分类号: P632 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-8918(2010)02-0198-04

热磁技术是前苏联波戈留波夫 A. H. 等人在 20 世纪 70 年代提出的一种偏提取技术, 主要应用于常规化探方法效果不佳的厚层覆盖区, 曾取得良好的找矿效果。近年来, 随着铁锰氧化物相态分析技术的成熟与发展, 热磁技术的应用鲜有报导, 国内这方面的研究开展得更少, 1992 年有色总公司北京矿产地质所在化探寻找隐伏矿方法研究中, 引入了热磁技术, 试验取得初步成果, 显示出在找寻隐伏矿方面具有良好的前景^[1]。

分析认为, 热磁组分并不完全等同于铁锰氧化物, 热磁技术本身的特点, 就目前化探存在的一些焦点或难点问题(如次生异常性质判别、同类型矿床指示元素组合的普适性问题等), 或许能提供一种新的解决方案。随着我国矿业开发的不断深入, 矿产资源勘查难度日趋增大, 有必要进一步加强这方面的研究工作, 在借鉴完善已有方法技术的基础上, 充分发掘其在覆盖区找矿中的实用价值, 努力拓宽其在勘查地球化学中的应用范围, 以期有新发展。

1 热磁技术原理

许多研究者指出, 各种类型的成矿元素与铁锰(氢)氧化物关系密切, 后者是前者的浓集矿物, 而土壤中铁、锰(氢)氧化物普遍存在, 由于带有不同电荷常常凝结在一起, 通过分析土壤中铁锰(氢)氧化物中的成矿元素, 可明显提高地球化学异常的衬度^[2-4]。热磁技术便是基于这一原理, 将土壤样品在还原条件下焙烧, 使之还原为磁性矿物, 再用磁选方法提取这些矿物, 分析一系列元素, 从而达到找隐

伏矿的目的^[2]。

因为土壤中铁锰(氢)氧化物多数为非晶质, 比磁化系数很低, 经过加热转变为较强磁性的晶质铁锰氧化物, 比磁化系数大为提高, 这时原来被铁锰(氢)氧化物吸留的元素仍以原来的空间分布状态存在, 利用磁选方法可将铁锰氧化物富集一倍至几倍, 然后进行分析, 从而强化了异常信息。

热磁技术的核心价值, 或者说最基本问题是对铁锰氧化物的提取, 我们的研究将在此基础上对这一观点做进一步阐述及补充修正。

2 热磁技术特性

最初, 热磁技术的开发利用主要服务于厚层覆盖区找矿, 前苏联成功将这种方法应用于生产之中。随着铁锰氧化物相态分析技术的发展与应用, 热磁技术逐渐被取而代之。研究认为, 热磁技术作为一种找矿方法, 对解决目前化探中存在的一些焦点或难点问题, 仍具可借鉴性。

铁锰氧化物相态分析目前在地球化学找矿中应用较多, 但有些问题一直还没有确切的结论。例如, 诺兰^[3]根据多元素相关分析, 把元素按铁锰氧化物的吸附特性分为 5 类:

(1) 不被铁锰氧化物吸附的元素——B、Cr、K、Mg、Rb、Sc、Ti、V 及 Zr;

(2) 可能不被铁锰氧化物吸附的元素——Ag、Be、Ca、Ga、La、Sb 及 Y;

(3) 被铁锰氧化物微弱吸附的元素——Cu、Mo、Pb 及 Sr;

收稿日期: 2009-06-25

基金项目: 中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金资助项目(AS2007J01)

(4) 被铁锰氧化物吸附的元素——Ba、Cd、Ni、Te 及 Zn;

(5) 被铁锰氧化物强烈吸附的元素——As 及 In。

杨春华^[5]研究认为:被铁锰氧化物吸附的元素有 Sb、Pb、Cd、Ni、Co、Zn、Cu、Cr、Ba、Ag、Nb、V、Li、Be、Mo、Sm、Gd、Y、Yb、Sc、W、Dy、La 及 Nd,其中前 4 个元素富集较强;不被铁锰氧化物吸附的元素有 Al、Ca、Mg、K、P、Ga、Ti、Sr、Th、Zr、Sn、Bi 等。

从以上可以看出,不同工作者研究的结果,有些元素出入较大,有些还不确定,这很可能是所用的样品与试验条件不同造成的,但在一定程度上,还是能够反映出某种共性。比如,Sn 不被铁锰氧化物吸附,Ag、Mo 仅微弱吸附或不吸附,Zn、Cd 则吸附量较

大。这样看来,如果单纯进行铁锰氧化物相态分析,Sn 异常可能会被遗漏,Ag、Mo 异常反而会弱化。

20 世纪 70 年代,美国地质调查所在进行混合介质地球化学测量时发现,重砂的非磁性部分与 W、Sn、Mo、Pb、Cu、Sb、Bi、Ag 等关系密切^[6-7],其代表性非磁性重矿物载体分别有白钨矿、锡石、钼铅矿、黄铁矿等,结合铁锰氧化物的吸附特性,这些元素也大多处于不被吸附或弱吸附之列。

在地球化学普查中,如果能将铁锰氧化物的吸附特性和重砂非磁性部分的元素赋存特点结合起来利用,则既可起到强化异常的作用,又不致遗漏异常。

图 1 所示为土壤磁性、非磁性及热磁性组分分选流程,图中 C1 即为热磁技术所提取的主要成分,图中虚线部分为非磁性重矿物分选途径。

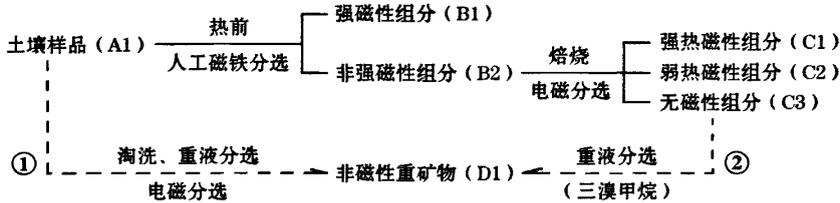


图 1 土壤磁性、非磁性及热磁性组分分选流程示意

从物质组成上看,强热磁组分是以铁锰氧化物为主,但并非全部铁锰氧化物,因为焙烧前剔除了强磁性组分,包括磁铁矿、钛磁铁矿、磁赤铁矿等晶质矿物,以增大异常衬度值,增强异常与深部矿化信息的联系。非晶质铁氧化物呈土状堆积的褐铁矿形式,非晶质锰氧化物常以带电荷的胶体形式存在。非晶质铁锰氧化物不规则的表面所具有的巨大表面积和随机分布的电荷使之成为很多成矿元素和伴生元素的理想吸附剂,相比而言,晶质铁锰氧化物只能有效地捕获少数痕量元素^[7],热磁技术提取的主要是非晶质部分。

一些文献资料显示,强热磁组分分析获得的地球化学异常衬度值可达全样的数倍或数十倍,但强热磁组分比例并不大,从目前的实验结果计算,大约占样品量的 20% 左右,换句话说,即 80% 的矿化信息集中在 20% 的组分中。无磁性组分可能是 W、Sn、Sb 等的载体,由于大量造岩矿物如石英、长石等的稀释作用,这些元素异常可能很弱或检测不到,通过重液(如三溴甲烷)或其他方法分选出的非磁性重矿物则可以很好地圈定异常^[6-7]。

综上所述,通过热磁技术可以从土壤样品中分离出强磁性组分 B1(热前)、强热磁组分 C1、无磁性

组分 C3 及非磁性重矿物 D1 等几部分,其中 D1 可通过①、②途径获取,分别对这几部分进行化学分析,测定什么元素以什么比例赋存在什么组分,这对异常解释很重要。根据上述测试结果,可以对铁锰氧化物吸附特性进行重新界定,原来有争议或不确定的认识也可从另一角度得到统一,即将成矿或伴生元素的赋存介质在强热磁组分和无磁性组分中归纳。这样,在地球化学详查中,可根据异常的种类选择进行组分 C1 测量还是 D1 测量;在地球化学普查中,可同时进行组分 C1 和 D1 测量,即能强化某元素的异常,又可避免遗漏其他元素异常,采样介质 A1 根据工作性质可确定为水系沉积物。

热磁技术可以把非晶质的铁锰氧化物转化为晶质铁锰氧化物提取出来,同样可以把无磁性的黄铁矿转化为磁黄铁矿提取出来。这点对原生晕研究可能很重要。

由黄铁矿转变成磁黄铁矿时,由于转变温度不同,磁黄铁矿的比磁化率(χ)也不同:在 600 °C 时为 $13\ 536.83 \times 10^{-6} \text{ cm}^3/\text{g}$; 800 °C 时为 $6\ 953.51 \times 10^{-6} \text{ cm}^3/\text{g}$; 1 100 °C 时为 $935.60 \times 10^{-6} \text{ cm}^3/\text{g}$ 。根据磁化率的大小,焙烧温度选择 600 °C 磁分选效果会比较好^[8]。

3 热磁技术应用前景

3.1 用于原生晕研究

在过去的大量工作中发现,同一成因矿床类型由于产地不同,往往会出现不尽相同的指示元素组合,而在此基础上建立起来的地球化学找矿模型也往往会缺少普适性。其中一个重要的原因是,一些仅有空间关系没有成因关系的元素因含量高、衬度大而被划作指示元素。可以尝试利用热磁技术,来剔除早期从容矿围岩继承下来的与矿体叠加在一起但无成因关系的元素,以确定矿床有效的指示元素组合。

指示元素的组合不仅可从岩石、矿石样品中得到反映,还可从它们的单矿物样品的分析中体现出来。众所周知,黄铁矿、毒砂是热液矿床中分布最广的共生矿物,又是一定种类和一定数量的成矿、伴生元素的载体或富集矿物,分析这些单矿物中微量元素的含量可以得到比全样分析更为明显的找矿信息和更加有效的指示元素组合。

例行的作法首先是对某种单矿物进行人工挑选,这种方法成本较高,在有些情况下比较困难,如岩芯或矿石采集不到,地表岩石风化强烈,黄铁矿、毒砂大部分褐铁矿化,而利用热磁技术即可解决这一问题。

对于新鲜岩石、矿石,黄铁矿焙烧后转变为磁黄铁矿,无磁性的毒砂经焙烧而具磁性,从而利用热磁技术提取出来,这时热磁组分完全能够替代某一单矿物的作用。对于风化的地表岩石,热磁组分的代表意义会更为丰富,因为与成矿作用相伴而生的黄铁矿、黄铜矿、毒砂等载体或富集矿物,在氧化环境中均会褐铁矿化,从而利用热磁技术提取出来。

据研究,原生晕样品中或矿石、岩石单矿物(黄铁矿)中微量元素的组合特征及其在空间上、时间上的变化规律可以用来区分、预测矿床成因类型和矿石类型,判断矿体剥蚀程度,以利于异常评价,也可用来推论成矿溶液的介质特征^[3]。分析认为,作为黄铁矿的替代物质——热磁组分与之是等效的,而且其应用范围可以一直延伸到基岩风化区,有资料表明,热磁组分中的成矿元素含量与各元素的比值非常接近于矿化原生源中的含量和比值^[2]。

3.2 用于覆盖区找矿

热磁技术应用于覆盖区找矿在前苏联取得很大成功,这里重点对其应用条件、机理和在确定次生异常性质等方面进行探讨。

覆盖区残、坡积物覆盖区和运积物覆盖区,性

质不同,铁锰氧化物对成矿元素的富集原理也有一定区别。

在残、坡积物覆盖区,在疏松沉积物的形成过程中,与成矿作用伴生的铁锰矿物在岩石的崩解中发生机械分散,随后的氧化分解并未改变成矿元素与之的伴生关系,原生晕特征能够很大程度地反映到土壤地球化学异常中,这种情况下,常规化探方法通常效果不错。当地质条件或景观条件比较复杂时,如疏松沉积层厚度大、地形切割强烈或沼泽化地段较多等,常规方法往往效果不佳,这时可以尝试应用热磁地球化学测量,放大异常信号。

在运积物覆盖区,上覆盖层与下伏基岩没有成因联系,常规土壤测量难以奏效,而铁锰氧化物强烈的吸附和沉淀作用可以捕捉经过异地沉积物(运积物盖层)迁移到地表的各种成矿或伴生元素^[4,9],尽管这些元素迁移的方式和途径不尽相同,这是热磁组分测量在运积物覆盖区找矿的优势和理论基础。

需要注意的是,覆盖层性质的不同,铁锰氧化物富集机理的差异,会导致热磁组分在观测剖面上出现相应的含量变化。有资料表明,在残、坡积物覆盖区,矿化带附近热磁组分含量最高,随着远离矿化带,热磁组分的量逐渐减少,过渡到未蚀变岩区可能会完全分离不出热磁组分^[6]。在运积物覆盖区,由于盖层土壤的均一化,热磁组分含量或多或少,但不会出现太大的变化。鉴于这种特点,要观测到清晰的异常,都需要有足够长的观测剖面。

热磁技术在厚层覆盖(主要是残、坡积物)区可以获得比原生晕更明显的异常,起到强化异常的作用,条件适宜的可在次生晕无明显异常的情况下获得明显异常。另一方面,热磁组分对于确定次生异常的性质识别假的或似是而非的与矿无关的异常也有特殊的价值^[10]。有一个简单的方法是,用微量元素含量与铁、锰或铁锰总量相比,观察土壤全样中的比值是否与热磁组分中的相接近,若非常大,则很可能是岩性异常的反映。

4 热磁技术实验初步成果

热磁技术实验主要包括焙烧环境实验、焙烧粒度实验、焙烧温度实验、焙烧时间实验及热磁组分离实验等环节,下面简单介绍实验的初步成果。

4.1 焙烧环境

非晶质铁锰氧化物需要在高温还原条件下才能转化为具有较强磁性的晶质铁锰氧化物。在氧自由进入的环境下不会明显改变矿物的磁性,因此创造还原气氛的焙烧环境是实验的第一步。主要实验设

备为马弗炉和坩埚,目前市场上有专门带盖的石墨坩埚和可注 CO 的马弗炉,还原条件好,但价格昂贵。实验选择价格低廉的普通马弗炉和带盖的瓷坩埚。首先对马弗炉内室进行相对密封处理,如用白水泥密封,联通热电偶的圆孔,然后将瓷坩埚加盖,限制氧气与样品大量接触,最后在马弗炉内室中置入活性炭(可覆在样品表面,不影响磁分选),以消耗多余的氧。实验结果表明,经过处理后的焙烧环境能够满足实验要求。

4.2 焙烧粒度、温度、时间要求

实验顺序:粒度实验→温度实验→时间实验。
测试参数:磁化率。

粒度实验显示,焙烧后土壤磁化率最大值主要集中在 20~100 目。考虑到电磁分选的适宜粒级,以及北方地区风成砂的干扰粒级,选择 20~60 目作为规范化采样粒级。国外粒级要求小于或等于 1 mm(20 目)^[2],与我们的实验结果基本一致。

温度实验显示,650 ℃ 时土壤磁化率基本处于最大值,随温度升高,磁化率反而降低。国外焙烧温度一般采用 850 ℃^[2],我们认为 650 ℃ 比较合适,不但功耗低,而且磁化率高。

时间实验显示,焙烧 40 min 和 60 min,土壤磁化率相近,略高于 20 min,说明 40 min 时间基本上可以使大部分非晶质铁锰氧化物完成晶化,与国外采用的 20 min^[2]相比,晶化程度应更高一些。

综上,热磁技术规范化焙烧要求可确定为:土壤 50 g 左右,20~60 目,焙烧温度 650 ℃,焙烧时间 40 min。

4.3 电磁分选参数

磁分离的原则是以提高磁性较强部分的回收率和满足分析要求为前提,尽量保证磁性组分的强度和磁分选要求的“纯净”。通过试验确定,0.1~0.2 A 作为强热磁组分的分选电流,1~2 A 作为无磁组分的分选电流。

5 结论

从原理上看,热磁技术提取的主要是铁锰氧化

物,但从物质组成上分析,除铁锰氧化物外,对于岩石,还包括磁黄铁矿、毒砂等热磁组分。充分利用热磁技术的这种特性,对于解决目前化探中存在的一些焦点或难点问题很值得期待。

热磁技术在勘查地球化学中的应用前景可归纳为以下几方面:

(1) 在岩石测量中,研究利用热磁组分判别判断仅有空间关系没有成生关系元素,探讨同一成因矿床类型有效指示元素组合。

(2) 在残坡积物覆盖区,研究利用土壤热磁组分确定次生异常的性质,识别假的或似是而非的与矿无关的异常。

(3) 在厚层覆盖区,包括残坡积物、运积物及其混合覆盖区,研究利用热磁技术寻找隐伏矿。

参考文献:

- [1] 丁汝福,张西平.热磁地球化学方法试验研究[J].有色金属矿产与勘查,1996,5(2):102.
- [2] 陈玉明,邱郁文.找金属矿床的一种新方法——热磁地球化学法[J].国外地质勘查技术,1992,(4):29.
- [3] 阮天健,朱有光.地球化学找矿[M].北京:地质出版社,1985:38.
- [4] Clark J R.运积物覆盖区土壤酶浸法强化隐伏矿床上的异常[J].地质科学译丛,1993,10(4):47.
- [5] 杨春华.残坡积土壤中铁锰氧化物的吸附特性及其地球化学找矿意义[J].地球科学:中国地质大学学报,1986,11(4):423.
- [6] 陈玉明.水系沉积物中磁性、非磁性和热磁性组分在固体矿产勘查中的应用[J].国外地质勘查技术,1994,(1):16.
- [7] Overstreet W C, Marsh S P.地球化学应用于矿产勘查的一些典型技术实例[G]//金属矿床成矿理论及找矿方法——美国《经济地质》杂志创刊 75 周年论文集摘编.冶金工业部北京冶金地质研究所,1983.
- [8] 潘兆禮.结晶学及矿物学:上册[M].北京:地质出版社,1984:219.
- [9] 吴其斌.寻找深部隐伏矿的地电化学新方法[J].有色金属矿产与勘查,1993,2(2):104.
- [10] 冶金工业部中南冶金地质研究所.金矿勘查方法技术应用趋势[M].中南冶金地质编辑部,1988:171.

THERMOMAGNETIC TECHNIQUE AND ITS APPLICATION PROSPECT IN GEOCHEMICAL EXPLORATION

HU Shu-qi

(Institute of Geophysical and Geochemical Exploration, CAGS, Langfang 065000, China)

下转 204 页

处存在高值电阻率与低阻电阻率拐点,反映为断层影响带,推断该处断层破碎带发育良好。

从激发极化勘查结果(图2)可见,视电阻率 ρ_s 在 $AB/2$ 为130~170 m范围内,激化率 η_s 分别在 $AB/2$ 为50、65、100、130 m附近存在3处高值异常,而半衰时 S_t 和综合参数 m 分别为170~200 m的范围出现高值异常。综合3个激电参数高值异常分析,推断剖面100 m处断层富水性好。因此,在EH-4电导率成像图100 m处布设1个孔位。钻探表明0~65 m为第四系,70~90 m为第三系,130~220 m为震旦系白云岩裂隙发育,终孔220 m,出水量达 $100\text{ m}^3/\text{h}$,水量丰富,解决了该村农田用水问题。

4 结语

通过理论和实践表明,音频大地电磁测深法与

激发极化法组合勘查地下水技术模式是一种可行有效的技术手段。发挥音频大地电磁测深法具有的快速高效、准确查明地下水储存体的空间分布特征、圈定异常范围的优势,再利用激发极化法综合参数可定量判断富水性的特点,结合水文地质条件,即可确定宜井孔位。二者组合是一种行之有效的地下水勘查技术模式。

参考文献:

- [1] 傅良魁. 电法勘探教程[M]. 北京:地质出版社,1983.
- [2] 姬广柱,周强,侯国强,等. 综合物探方法在贫水山区找水的实践[J]. 地下水,2001,23(4):208.
- [3] 王俊业,阎冽鱼. 断陷盆地孔隙水的电性特征及其富水性[J]. 地下水. 2001. 23(4):192.
- [4] 徐光辉,余钦范,袁学诚. 深部地热勘查方法在北京地区应用的探讨[J]. 物探与化探,2007,34(1):9.

A TENTATIVE DISCUSSION ON A TECHNOLOGICAL MODEL FOR GROUNDWATER GEOPHYSICAL EXPLORATION

LI Guo-zhan, SUN Yin-hang

(Center for Hydrogeology and Environmental Geology, CGS, Baoding 071051, China)

Abstract: Based on an analysis of the working conditions and surveying characteristics of the audio-frequency magnetotelluric sounding method and the induced polarization method in combination with case studies of water exploration in Baoding, the authors put forward in this paper a technological model which include the combination format, operating principle and data interpretation of the two methods. The model was applied to the practical work, with satisfactory result obtained.

Key words: audio-frequency magnetotelluric sounding method; induced polarization method; underground water exploration

作者简介:李国占(1954-),男,高级工程师,主要从事水文物探技术研究与应用工作。

上接 201 页

Abstract: An analysis of the properties of the thermomagnetic technique shows that thermomagnetic components are not wholly equivalent to iron and manganese oxides. This paper deals with the prospect of applying the thermomagnetic technique to geochemical exploration in the aspects of determining the association of effective indicator elements, judging properties of secondary anomalies and searching for concealed ore deposits. The preliminary test results of the thermomagnetic technique are also given.

Key words: thermomagnetic component; iron and manganese oxide; association of effective indicator elements; properties of secondary anomaly; concealed ore deposit

作者简介:胡树起(1968-),男,高级工程师,1992年毕业于桂林冶金地质学院,从事应用地球化学方法技术研究工作。