

# 遥感与航磁技术相关性机理初探及应用分析

张新生,方洪宾

(中国国土资源航空物探遥感中心,北京 100083)

摘要:依据遥感和航磁技术的方法原理及理论机制,结合广泛赋存于自然界岩石中的铁氧化物之磁性及光谱吸收特征谱带的研究分析,提出在地学领域中综合应用遥感与航磁技术方法的新认识。

关键词:遥感技术,航空磁法,铁氧化物,磁性,光谱特征谱带

中图分类号:TP79, P631.2 文献标识码:A 文章编号:1000-8918(2002)01-0064-04

随着遥感和航空磁测技术方法的不断发展、完善,以及人们在生产实践及科学研究过程中认识水平的不断提高,它们在地学研究领域中所发挥的作用越来越受到广大地质工作者的重视,2种技术方法之间的相互联系也越来越紧密。目前,遥感及航磁技术方法已经成为区域地质构造研究和矿产资源勘查工作广泛使用的2种重要手段。

## 1 问题的提出

众所周知,遥感与航磁技术方法分属于不同的学科,其方法原理、机制等方面存在着根本的差异,长期以来,一直影响和制约着两者在地学领域中的有机结合。研究、探讨遥感技术方法与航磁技术方法之间的相关性机理,不但对两者在区域地质构造研究和矿产资源调查中的有机结合具有重要的理论意义,而且也对进一步发挥遥感与航磁技术方法优势,拓展它们在区域地质研究与矿产资源调查中的应用范围和提高效果等方面都具有重要的作用。

## 2 遥感和航磁技术相关性机理

遥感技术与航磁技术的方法原理虽然不尽相同,但它们的一个基本共同点都是通过探测地质体的场信息来描述被观测物体的属性及特征。遥感技术是依据地质体之间的光谱差异,通过探测地质体的光谱(包括特征谱带的波段位置、形态及强度等)特征,并最终影像图的形式描述出被观测物体的色调和外貌形态。航空磁测则是依据地质体之间的磁性差异,通过测量地质体的磁场(包括磁场强弱、空间分布等)特征,来描述被观测物体的结构属性、

空间位置及形态(包括地质的形状、规模大小及产状等)。根据以上分析可知,研究、探讨遥感和航磁技术方法在地学领域方面的相关性机理,关键是要寻找出2种技术都可以直接探测的一种在自然状态下存在的物质,该物质必须具备以下方面的性质及特征:首先该物质在自然界中的分布必须具有普遍性与代表性;其二必须具有稳定的光谱特征谱带;其三必须是一种天然的磁性物质,它的磁性较强,并且比较稳定。试验及研究结果表明,广泛分布在自然界岩石中的铁氧化物充分具备了上述条件。

### 2.1 铁氧化物在自然界中分布

铁在地壳中丰度值较高,在自然界中几乎不存在纯铁物质,而是以铁的氧化物( $\text{FeO}$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ )及硫化物( $\text{FeS}_2$ ,  $\text{Fe}_6\text{S}_7$ — $\text{Fe}_{11}\text{S}_{12}$ 等)或离子形式赋存于岩石及矿物中。在自然界的三大岩类之中,无论是沉积岩、岩浆岩及变质岩都不同程度地含有铁氧化物或硫化物,尤其是在基性—超基性侵入体或大部分中—酸侵入体和火山岩中,以及某些变质岩中的铁氧化物含量甚至达到很高的程度。另外,自然界中的很多造岩矿物都不同程度地含有氧化铁、硫化铁或铁离子。因此,铁及其化合物在自然界岩石中的分布极其广泛,充分有普遍性和代表性。

### 2.2 含铁氧化物岩石及矿物的光谱特征

光谱测试及研究结果证明,含有铁氧化物的岩石及矿物在可见光与近红外波段存在着清晰、稳定的光谱吸收特征谱带,该特征谱带是由岩石、矿物中的 $\text{Fe}^{3+}$ 和 $\text{Fe}^{2+}$ 离子产生<sup>[1~3]</sup>,其形态特征一般呈现出宽缓的吸收谷外貌(图1~4)。我国在开展成像光谱方法技术研究(1991~1999年)过程中曾经

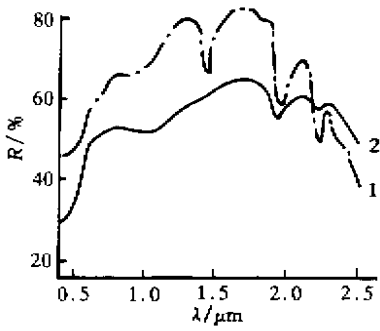


图1 含铁氧化物沉积反射波谱

1—灰白色石英砂岩 : $w_{FeO}=0.4\%$   $nw_{Fe_2O_3}=0.17\%$  ;  
 2—长石石英砂岩 : $w_{FeO}=0.18\%$   $nw_{Fe_2O_3}=0.13\%$

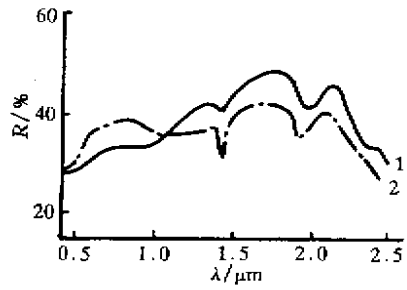


图2 含铁氧化物变质岩反射波谱

1—黑云角闪斜长片麻岩 : $w_{FeO}=5.91\%$   $nw_{Fe_2O_3}=2.8\%$  ;  
 2—榴石透辉斜长片麻岩 : $w_{FeO}=7.06\%$   $nw_{Fe_2O_3}=8.17\%$

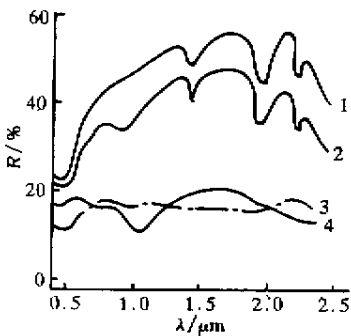


图3 含铁氧化物岩浆岩反射波谱

1—球粒正长岩 : $w_{FeO}=0.54\%$   $nw_{Fe_2O_3}=0.23\%$  ; 2—花岗岩 :  
 $w_{FeO}=1.29\%$   $nw_{Fe_2O_3}=1.54\%$  3—斑状花岗岩 : $w_{FeO}=0.83\%$  ,  
 $w_{Fe_2O_3}=1.15\%$  4—流纹岩 : $w_{FeO}=4.7\%$   $nw_{Fe_2O_3}=5.88\%$

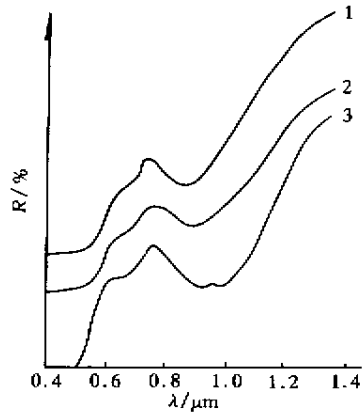


图4 含不同组分铁氧化物岩石反射波谱

1—构造角砾岩 : $w_{赤铁矿}=4.0\%$   $nw_{褐铁矿}=5.0\%$  少量黄铁矿 ;  
 2—熔结凝灰岩 : $w_{赤铁矿}=5.0\%$   $w_{褐铁矿}=7.0\%$   $w_{针铁矿}=1.0\%$  ;  
 3—铁帽 : $w_{褐铁矿}=3.0\% \sim 4.0\%$   $nw_{针铁矿}=3.0\%$

对大量的含铁氧化物岩石、矿物进行了详细的光谱测试及研究工作<sup>①②</sup>,证实岩石及矿物中的  $Fe^{3+}$  和  $Fe^{2+}$  离子产生的光谱吸收特征谱带具有如下特征。

1. 岩石及矿物中的  $Fe^{3+}$  在可见光与近红外波段共产生有 3 个稳定、清晰的光谱吸收特征带,其中位于可见光波段中的 2 个特征谱带的吸收谷峰值分别位于  $0.55 \mu m$  和  $0.65 \mu m$  处。另一个分布在近红外波段的  $Fe^{3+}$  光谱吸收特征谱带的谷峰位置,一般在  $0.85 \sim 0.88 \mu m$  之间。

2. 岩石、矿物中的  $Fe^{2+}$  产生的光谱吸收特征谱带之一位于近红外波段,该吸收谱带一般较清晰、稳定,其吸收谷峰值位于  $1.0 \sim 1.1 \mu m$  之间。 $Fe^{2+}$  产生的另一条光谱吸收特征谱带分布在可见光波段,该吸收谱带谷峰位于  $0.4 \sim 0.45 \mu m$  之间。

3. 随着岩石、矿物中铁氧化物含量的增加,  $Fe^{3+}$

和  $Fe^{2+}$  可见光与近红外波段所产生的光谱吸收特征谱带其吸收峰值强度也随着逐渐变强。

4. 当岩石、矿物中  $Fe^{3+}$  和  $Fe^{2+}$  的含量存在着明显的差异时,它们在近红外波段所产生的光谱吸收谱带之吸收谷峰所处的频率位置会发生明显的近移和叠加现象,即含  $Fe^{3+}$  的岩石、矿物中混有少量的  $Fe^{2+}$  后,其在近红外波段产生的光谱吸收特征谱带谷峰所处的频率位置会向着长波方向移动,反之,含  $Fe^{2+}$  为主的岩石、矿物中混入了少量的  $Fe^{3+}$  时,它在近红外波段产生的光谱特征谱带的谷峰位置则会向着短波段方向迁移,当岩石、矿物中  $Fe_2O_3$ 、 $FeO$

① 苏德荣,章立强,薛鸿纪,等.航空多光谱数据图像的应用方法研究.1991.  
 ② 王润生,王文兴,郭小方,等.成像光谱技术开发应用研究.1999.

质量分数超过 1.0% 之后,由  $Fe^{3+}$  和  $Fe^{2+}$  在近红外波段产生的光谱吸收特征谱带会发生叠加、复合形成 1 条清晰、稳定的复合光谱吸收特征谱带。该复合谱带的吸收谷一般较宽,其吸收谷峰所处的频率位置一般在  $0.95 \mu m$  附近。

含铁氧化物岩石、矿物中,  $Fe^{3+}$  和  $Fe^{2+}$  所产生的光谱吸收特征谱带分布于可见光和近红外波段。由于分布在可见光波段内的铁离子光谱吸收特征谱带之谷峰所处的频率位置,与植物叶绿素的光谱吸收特征谱带的谷峰所处的频率位置几乎相同,故位于可见光波段反映  $Fe^{3+}$  和  $Fe^{2+}$  所产生的光谱吸收特征谱带,很容易被植物叶绿素的光谱吸收特征谱带所干扰。位于近红外波段由  $Fe^{3+}$  和  $Fe^{2+}$  所产生的复合光谱吸收特征谱带既清晰、稳定,又可以反映岩石、矿物中  $Fe_2O_3$ 、 $FeO$  含量的有关信息,是研究遥感与航磁相关机理的重要基础依据。

### 2.3 岩石、矿物中的铁氧化物含量与磁性特征

众所周知,磁铁是一种强磁性物质,但是在自然

界中并不存在纯净的铁磁性物质,我们在自然界岩石及矿物中通常所见到的铁磁性物质主要是铁淦氧磁性物质,即铁的氧化物等<sup>[3]</sup>。研究结果表明,自然界中的铁淦氧磁性物质不但有很强的磁性,而且它的磁性还非常的稳定。例如,在岩石及矿物中常见的磁铁矿( $FeO \cdot Fe_2O_3$ )及钛磁铁矿( $FeO \cdot TiO_2$ )等,都是典型的铁淦氧磁性物质。

岩石标本(或野外岩石露头)磁性测量结果与铁氧化物含量资料对比分析表明,岩石中的铁氧化物( $FeO$ 、 $Fe_2O_3$ )含量与它们的磁性强弱变化呈现出明显的正相关关系。笔者(1992 年)在新疆准噶尔盆地执行航磁测量工作时,曾经对盆地周边出露的中、酸性侵入岩体进行了详细的磁化率测量,测量结果证实,侵入岩体的磁性强弱变化随着岩体内铁氧化物含量的增加而逐渐变强(表 1)。依据表 1 的数据分析可知,侵入岩体中的铁氧化物组分—— $FeO$ 、 $Fe_2O_3$  的含量变化对应有明显的磁化率强弱变化,其变化规律有如下特点。

表 1 岩体中铁氧化物含量与磁化率对比

岩石名称	u(氧化物)%				磁化率 $\times 10^{-5} SI$
	FeO	$Fe_2O_3$	MgO	SiO <sub>2</sub>	
长姆斯特—老鸦泉花岗岩	0.08 ~ 1.00	0.19 ~ 0.38	0.20 ~ 0.30	76.7 ~ 77.89	40
阿克巴斯套花岗岩	0.43 ~ 1.56	0.38 ~ 0.72	0.08 ~ 0.49	73.26 ~ 76.86	40 ~ 90
庙尔沟花岗岩	1.40	0.77	0.40	72.63	40 ~ 90
克拉玛依西 916 高点花岗岩	1.65	1.38	1.42	67.51	200 ~ 500
黑山头花岗岩	4.02	2.22	4.11	56.92	1 000
卓木巴斯闪长岩	7.15	6.84	6.41	49.73	2 140

表中数据摘自:费鼎,张新生,乔日新,等.准噶尔盆地航磁测量成果报告,1982,新疆 1:20 万区测报告。

1. 当侵入岩体中  $FeO$ 、 $Fe_2O_3$  的质量分数低于 1.0% 时,岩石所表现出的磁性一般很弱。如老鸦泉花岗岩体中  $FeO$  质量分数为 0.08% ~ 1.00%,  $Fe_2O_3$  的为 0.19% ~ 0.39%,其磁化率值仅为  $40 \times 10^{-5} SI$ ,基本上可以视为无磁性岩石。

2. 当侵入体中的  $FeO$ (或  $Fe_2O_3$ )质量分数为 1.0% ~ 2.0%,另一种铁氧化物的不超过 1.0% 时,岩石一般反映出弱磁性特征,如庙尔沟花岗岩体和阿克巴斯套花岗岩体中的  $FeO$  质量分数为 1.4% ~ 1.56%,  $Fe_2O_3$  的为 0.72% ~ 0.77%,两岩体的磁化率值为  $(40 \sim 90) \times 10^{-5} SI$ ,具有弱磁性岩石特征。

3. 当侵入体中的  $FeO$ 、 $Fe_2O_3$  的质量分数超过 1.0% 时,岩石的磁性则明显变强,并且其磁性随着  $FeO$ 、 $Fe_2O_3$  的质量分数增加而增长。例如克拉玛依花岗岩体中  $FeO$  的质量分数为 1.65%,  $Fe_2O_3$  的为 1.38%,测出的岩石磁化率值为  $(200 \sim 500) \times 10^{-5}$

$SI$ ;黑山头花岗岩体、卓木巴斯闪长岩体中  $FeO$  的质量分数分别为 4.02% 和 7.15%,  $Fe_2O_3$  的分别为 2.22% 和 6.84%,测出的岩石磁化率值可达  $(1 000 \sim 2 140) \times 10^{-5} SI$ ,表明岩石已具有较强的磁性。自然界中的磁铁矿( $FeO \cdot Fe_2O_3$ )是典型的强磁性矿物,其磁化率值一般在  $(1 \sim 300) \times 10^{-5} SI$ ,这揭示了岩石、矿物中  $FeO$  与  $Fe_2O_3$  的含量变化,与岩石、矿物的磁性变化呈正相关关系的原因之所在。

业已查明,在自然界很多常见的造岩矿物中,如橄榄石、辉石、角闪石及石榴子石等往往都含有比较丰富的  $FeO$  与  $Fe_2O_3$  成分。磁性测定结果表明该类造岩矿物一般都具有明显的磁性,其中部分造岩矿物的磁性还比较强,上述造岩矿物的磁化率值一般在  $(500 \sim 3 000) \times 10^{-5} SI$ 。

### 3 结论

通过对遥感及航磁技术方法的原理、理论机制

以及对广泛赋存于岩石、矿物中的铁氧化物磁性 with 光谱特征分析表明 这些铁氧化物 既是构成自然界中的强磁性物质——铁氧磁质的基本成分,又具有稳定的光谱吸收特征谱带。因此,铁氧化物( $\text{FeO}$ 、 $\text{Fe}_2\text{O}_3$ )在岩石、矿物中的含量与组分差异的变化,是引起不同地质体(地层、岩石、矿物)之间产生磁性差异与光谱特征谱带发生变化的主要原因,而不同地质体之间所存在着的磁性差异和光谱特征谱带变化,则是航磁及遥感技术方法进行地学研究工作必须具备的地质、地球物理前提条件,同时又是遥感与航磁技术方法的研究成果有机地联系在一起的基础条件之一。

#### 4 应用前景

1. 为区域地质构造研究及地层、侵入岩的时代与岩性划分提供新的有用信息。受不同地质环境和构造地质背景的控制及影响,地质体及地层、侵入岩体中的铁氧化物含量必然会存在较明显的差异。依据遥感和航磁技术方法的相关机理观点,可以把从遥感资料中提取的地表岩石、地层中的铁氧化物含量信息,与航磁遥感资料中提取的岩石、地层(并且可以同时提取深层地质体)的铁氧化物含量信息进行综合分析,揭示出的地层、岩石中的铁氧化物信息的空间分布特征,为区域地质构造研究及地层、岩石

的时代与岩性划分等提供了新的、重要基础依据。

2. 铁在自然界中是一种比较活泼的金属元素,在很多金属矿床(物)中都可以见到铁氧化物(或硫化物)的踪迹。因此,在开展矿产资源调查及勘探过程中,可把铁氧化物作为寻找其它金属矿产的重要指示元素。利用遥感和航磁资料快速大面积提取反映出铁氧化物分布及含量信息,结合已知地质及其它物化探资料进行综合研究分析,对迅速开展新一轮区域地质大调查,提高寻找铁矿以及与铁矿伴生的金属矿产,进行区域成矿研究和圈定找矿远景区等,都具有十分重要的意义。

遥感与航磁技术相关机理概念的建立得益于生产及科研实践。因此它在地质领域中的应用及其效果,同样也有待于在生产与科研实践中得到不断地充实和完善。

#### 参考文献:

- [1] 陈述彭,王人龙,刘益悟,等.遥感信息机理研究[M].北京:科学出版社,1998.
- [2] 刘燕君.遥感找矿的原理和方法[M].北京:冶金工业出版社,1991.
- [3] Taranik D. Remote sensing of ferrous minerals as guides for gold exploration [A]. Presented at the eighth thematic conference on geologic remote sensing[C]. Denver, U.S.A., 1991.
- [4] 董焕成,许延清,侯惠群,等.重磁勘探教程[M].北京:地质出版社,1993.

## THE TENTATIVE DISCUSSION ON THE MECHANISM OF THE INTERDEPENDENCY BETWEEN REMOTE SENSING TECHNOLOGY AND AEROMAGNETIC TECHNIQUE AND ITS APPLICATION

ZHANG Xin-sheng, FANG Hong-bin

(China Aerogeophysical Survey and Remote Sensing Center for Land and Resources, Beijing 10083, China)

**Abstract:** Based on the principle and theoretical mechanism of remote sensing technology and aeromagnetic technique, in combination with the physical properties and adsorption characteristic spectral bands of iron oxides which widely occur in nature, this paper advances a new opinion concerning the integrated application of remote sensing technology and aeromagnetic technique in the field of geosciences.

**Key words:** remote sensing technology; aeromagnetic method; iron oxides; magnetism; characteristic spectral band

作者简介:张新生(1947-)男,教授级高级工程师。1975年毕业于长春地质学院物探系,现从事航磁、遥感的勘查与研究工作,主持完成的航磁勘查项目曾获地矿部勘查成果二、三等奖,发表论文多篇。