

# 吊舱式直升机频率域电磁系统 在广东龙门地区的勘查效果

王卫平, 方迎尧, 郑广如

(中国国土资源航空物探遥感中心, 北京 100083)

**摘要:** 以2005年广东龙门地区1:5万比例尺的直升机航空电磁、磁综合测量资料为基础,并结合地质矿产资料,对广东龙门地区的航磁异常特征、航空电磁异常特征与矿产的关系进行了分析与研究。尤其是利用本次工作研究的电磁异常特征分类法对该区的航空电磁局部异常进行了分类,有效地识别了电磁干扰异常,优选了对找矿有意义的电磁异常。经过对优选的3处局部异常进行地面查证,空地异常对应良好,并指出了多处对找矿有意义的地下良导体。

**关键词:** 吊舱式直升机电磁测量; 勘查效果; 电磁异常特征; 广东龙门地区

**中图分类号:** P631

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1000-8918(2007)06-0546-05

广东龙门地区是我国南岭成矿带的重点成矿区之一,也是国土资源大调查的重点地区之一,地质找矿具有很大的潜力。近年来,虽然做过一些地面地质、物探、化探等勘查和基础地质研究工作,但由于该区山高林密,地形复杂,地面勘查较为困难,严重影响了重点成矿带的勘查进度,因此在该区开展适合复杂山区作业的吊舱式直升机航空电磁、磁(IM-PULSE系统)综合测量是十分必要的。“广东河源地区直升机航空电法测量试生产”是中国地质调查局下达的地质大调查任务,飞行测量时间2005年1~4月,测量比例尺1:50 000,采样率30次/s,累计完成总测线工作量5 546.1 km,测量覆盖面积2 200 km<sup>2</sup>。

该区地层主要分布有新元古界震旦系,古生界寒武系、泥盆系、石炭系、二叠系,中生界三叠系、侏罗系、白垩系及新生界等。侵入岩主要为燕山旋回第三、四、五侵入期,其中第三、四期以花岗岩类为主,第五期为花岗斑岩,岩浆岩的分布明显受构造控制。区内矿产资源比较丰富,目前已发现20余种矿产,其中铅锌铜矿13处(大型1处,中型1处,小型3处,矿点7处)、钨矿31处(中型1处,小型4处,矿点26处)、锡矿11处(中型1处,小型4处,矿点6处)、铁矿或矿点10处、铌矿2处,其中与铅锌矿共生的有汞、铜、银矿,钨锡矿和铁矿等。图1中标号为1的为大型矿——茶排铅锌铜矿,标号为2的为中型矿——马星铅锌铜矿。

通过分析该区航空磁场、航空电磁场与矿产、矿化蚀变带分布的关系,发现具有找矿意义的航磁、航空电磁组合异常特征明显,尤其是利用本次工作研究的电磁异常特征分类法对该区的航空电磁局部异常进行了分类,有效地识别了电磁干扰异常,优选了对找矿有意义的电磁异常。经过对优选的3处局部异常进行地面查证,空地异常对应良好,并指出了多处对找矿有意义的地下良导体,为该区进一步开展地面勘查提供了重要的找矿靶区。

## 1 航空磁场特征与矿产

2005年的1:5万直升机航空电磁、磁测量,直升机基本沿地形起伏飞行,探头平均离地高度61.8 m,测量结果显示,本次获得的航磁信息较1961年1:20万固定翼航空磁测<sup>●</sup>(该次测量磁场较为平缓、局部异常较少)显著增多,即在西南高北东低的区域磁场背景上,叠加一系列北东、北西,以及近东西向的航磁局部异常(图1),例如1961年1:20万固定翼航空磁测在上仓以北圈定的1个航磁局部异常,本次测量可以进一步分辨出几个清晰的局部异常,这进一步说明了直升机航空磁测低高度飞行的高分辨率。

由于区内的铅锌矿多数赋存于蚀变岩带内,如接触交代矽卡岩或热液充填蚀变角岩,或是层控—热液蚀变改造等,而这些蚀变岩通常具有一定磁性,

● 王卫平,等. 广东河源地区直升机航空电法测量试生产成果报告. 中国国土资源航空物探遥感中心, 2006.

收稿日期: 2007-08-10

基金项目: 中国地质调查局国土资源大调查项目(G[2003]010-20)资助

可产生一定幅度的航磁异常,因此,发现蚀变带是本区利用航磁寻找铅锌等多金属矿产的标志物。

通过本区已知矿点与本次高精度航磁  $\Delta T$  异常图进行对比分析(图 1),铅锌矿床多位于磁异常边部的次级异常位置或附近,如马星铅锌矿(标号 2)

位于北东向磁异常条带的边部等。经统计,7 处含 Pb、Zn 矿的蚀变岩(带)有明显的局部磁异常,强度为 20 ~ 30 nT,有 4 处为偏弱的异常反应,强度为 10 ~ 20 nT。此外,部分含 W、Sn、Nb、Ti 及磁铁矿等矿床及矿点的蚀变带也有异常反映。

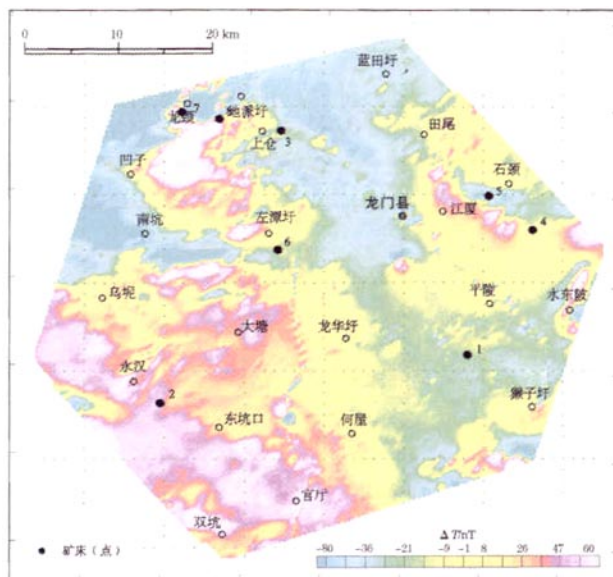


图 1 广东河源地区直升机航磁  $\Delta T$  平面

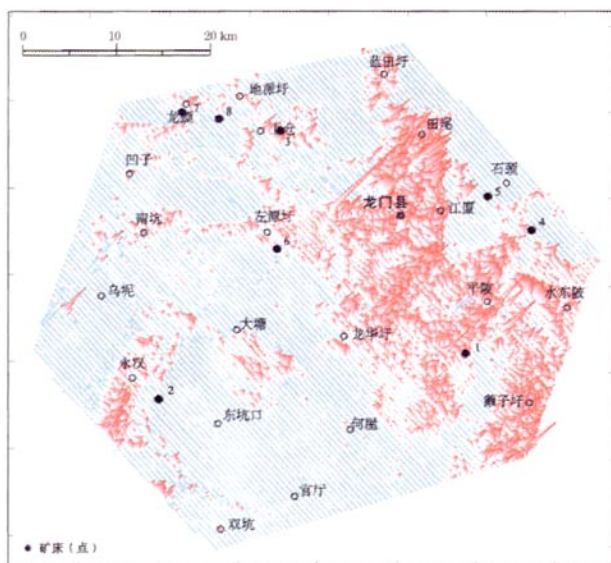


图 2 广东河源地区直升机航空电磁 930 Hz 虚分量剖面平面

## 2 航空电磁场特征与矿产

本区电磁场总体表现为龙门—平陵地区的区域升高电磁场,以及其他地区大面积的区域降低电磁场,在此背景上叠加一系列北东、北西向局部电磁异

常条带(见图 2)。其中电磁区域场的强弱主要与岩性、地下水的分布有关,如中生代花岗岩及大部分沉积岩的电阻率为数百至上千欧姆·米,含水地层电阻率 40 ~ 80  $\Omega \cdot m$ ,而含黄铁矿砂卡岩、致密块状矿脉电阻率为十至数百欧姆·米。本区主要铅锌矿床

与电磁异常分布具有一定的关系,主要分布在电磁局部异常边部或附近地区(见图2中黑色圆点)。因此,在排除干扰、岩性、地下水等因素引起的电磁异常外,通常具有一定的找矿意义。

由于 IMPULSE 系统为偶极发射源,而本区地下地质体通常具有一定的宽度(如蚀变带、多层矿脉累计厚度等),通过分析认为,当利用频率特性曲线分析地下地质体的性质时( $\mu\sigma V$ ——电导率与体积和磁导率的乘积),偶极发射源激发的地下地质体的体积通常可以认为等价(地下地质体规模较小时除外),而电性参数起主导作用。因此,可以通过各频率电磁异常的频率特性曲线特征,分析地下地质体的电性和磁性特征,并对电磁异常特征进行分类,为电磁异常筛选提供依据。

为了提取对找矿有意义的电磁异常,识别干扰异常,通过不同装置和不同频率的电磁异常特征分析,可将该区航空电磁异常划分为6类。

一类电磁异常:有低频虚分量异常,而中高频虚分量峰值降低或异常不明显,实分量异常从低频到高频峰值幅度变化不大,说明各频率的电磁异常响应均大于最佳频率,反映的地质体为导电性好的电磁异常。

二类电磁异常:中低频虚分量异常明显,而高频虚分量峰值异常不明显,实分量异常从中频到高频峰值幅度变化不大。说明中频的电磁异常响应大于

最佳频率,反映的地质体为导电性较好的电磁异常。

三类电磁异常:低频或中低频虚分量异常不明显,存在一定幅度的高频或中高频虚分量异常,实分量与虚分量存在相似的特点,说明各频率的电磁异常响应位于频率特性曲线的前端,并远小于最佳频率,反映的地质体为弱导电性的电磁异常。

四类电磁异常:从低频到高频实虚分量异常峰值均呈增长的趋势,且异常特征明显,说明各频率的电磁异常均小于最佳频率,反映的地质体为中弱导电性的电磁异常。

五类电磁异常:从低频到高频虚分量异常峰值均呈增长的趋势,且异常特征明显,实分量的异常峰值从低频到中频幅度增大,而从中频到高频则变化不大,说明中高频的电磁异常位于最佳频率附近,反映的地质体为中等导电性的电磁异常。

六类电磁异常:低频实分量为降低峰值异常,而中高频为增长正峰值实、虚分量异常,为弱磁、中等导电的电磁异常。

根据电磁异常特征分类原则,逐条测线对电磁异常进行采集和特征分类,然后将测线上的分类异常绘制在飞行航迹平面图上。图3为按测线采集的电磁异常,可以根据异常特征类型逐线进行追踪对比。如高压线异常(三角形),线性走向特征十分明显,1~6类电磁异常在相邻测线上的连续性比较强,通常呈条带、连片等分布。

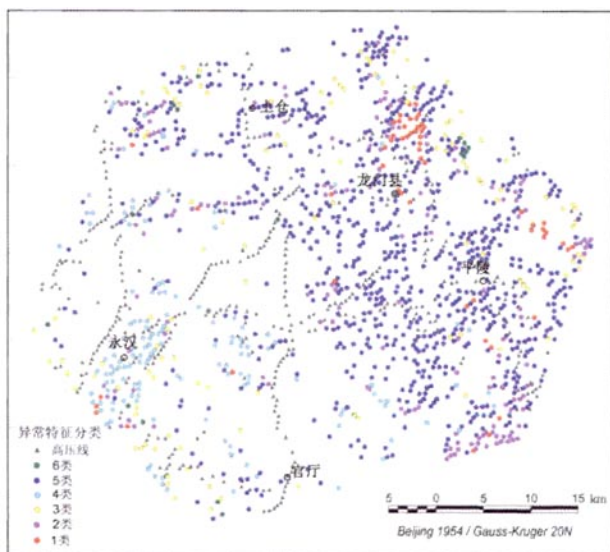


图3 广东河源地区电磁异常特征分类平面

由图3可以看出,各类电磁异常在相邻测线上可追踪对比,便于分析不同类型异常与地质岩性、矿产的关系。通过分析认为,一、二类异常为导电性好

的电磁异常,通常可以排除含水地层引起,因此,分布在接触带上的、二类异常可能与矿化蚀变有一定的关系;三类异常为导电性相对较弱的电磁异常,

在高阻介质中的该类异常有时与矿化蚀变有很大关系,值得关注;四类和五类异常在本区分布广泛,为中等导电性的电磁异常,而且大部分与水系或第四系覆盖区相吻合,为水系或第四系含水的反映。在高阻分布区的四类和五类电磁异常也值得分析研究,有些可能与裂隙水的分布有关,有些可能与矿化蚀变有关,应根据地质、航磁、化探资料进行综合分析;六类异常为具有磁性的弱导电性异常,可能与具有一定磁性的矿化蚀变有关。

### 3 勘查效果

在该区的西南部,地形相对较好,研究程度较高,并分布有马星中型铅锌矿床、茶排大型铅锌矿床、上仓铅锌矿床(图1中标号3)等;在测区东北部,地形相对复杂,研究程度较低,但成矿条件较好,因此,我们把工作的重点放在测区的东北部边缘。测区东北部分布有大面积的晚侏罗世花岗岩体,在岩体的边缘分布侏罗系蓝塘群、石炭系下统岩关阶、泥盆系上统帽子峰组。在岩体与地层的接触带附近,有银湖塘、大坑径铅锌矿点(图1中标号5)、小型平陵径钨锡矿(图1中标号4)一处。

图4为平陵径—李总营地区航磁异常与电磁异常对比,其中C136、C138航磁异常推测为中酸性岩体引起,而电磁异常D106位于航磁C136的边部, D105位于C136和C138航磁异常之间边部的梯度带上, D103、D104位于航磁异常C138的边部或内部,电磁异常D103、D104、D105、D106多为1~3类

电磁异常,推测为中酸性岩体边部矿化蚀变的反映。C137、C140航磁异常推测为矿化蚀变异常,而电磁异常D90、D98、D100-1位于其正负伴生异常之间,推测这3个电磁异常为相对良导的矿化蚀变带的反映。电磁异常D101异常特征为4类,对应水库水体或河流沟谷,其位置和走向与航磁异常关系不明显,推测为水库水体或含水地层的反映。同样,电磁异常D107、D109也具有类似的电磁异常特征,位于航磁平静场区域,推测为含水层的反映。上述航磁异常与航空电磁异常的组合特征关系在其他重点成矿区也同样具有类似的特点。

通过该区航空电磁、磁异常的对应关系分析,认为本区具有找矿意义的电磁、磁异常通常具有一定的对应关系,即乙①类电磁、磁异常对应较好,电磁异常通常分布在磁异常的内部、边部或附近地区,而丙类和丁类电磁、磁异常通常不具有对应关系。经过异常筛选,选择本测区物化探研究程度较低的山下北(粤D-2005-100-1)、乌坭元(粤D-2005-84、86,粤C-2005-143、144)和李总营(粤D-2005-104、105)3个区块进行地面查证工作。本次地面查证工作同步进行地质、化探、可控源电磁法、地面磁法等综合测量。

现以山下北勘查区的6号综合剖面为例,对粤D-2005-101-1电磁异常进行综合解释(见图5)。由图5可以看出,航磁剖面 $\Delta T$ 曲线与地面总磁场( $T$ )曲线的变化趋势基本一致(图5b)。在400~600 m之间、航空电磁中低频视电阻率曲线显著升高(图5c),峰值位置在500 m处与电阻率深度断面(图5e)中1个向下延伸较大的地下良导体位置基本一致。航空电磁高频视电阻率曲线较为平缓,这与图5e中地表附近电阻率升高基本相符。

通过分析认为,山下北勘查区的地下良导体(粤D-2005-101-1电磁异常所反映的地下良导体)长约800 m,宽200~400 m,向下延深300~500 m。构造位置位于隐伏岩体边缘,边部有锰、铅元素化探异常和铁锰矿采石场,根据龙门地区的成矿特点,该良导体是寻找铁、锰、铅、锌的有利场所。

李总营勘查区的地下良导体位于侏罗系下统与晚侏罗世花岗岩接触带南测0.8~1.5 km的范围内,锰、铅元素化探异常多位于地下良导体边部,有的与地下良导体的顶部相对应,另外一些低缓局部磁异常也多位于地下良导体边部,说明地下介质电性变化较大的部位,通常指示断裂构造带的存在,从而导致锰、铅元素等矿物质向地表运移,也就是说,地下良导体可能与锰、铅元素化探异常有关,具有良

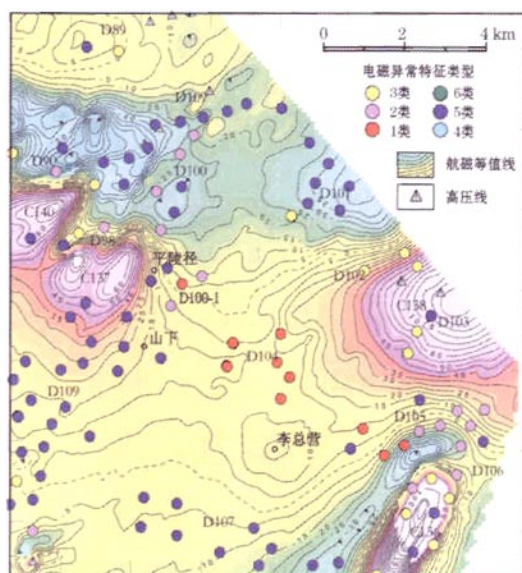


图4 平陵径—李总营地区航磁异常与电磁异常对比



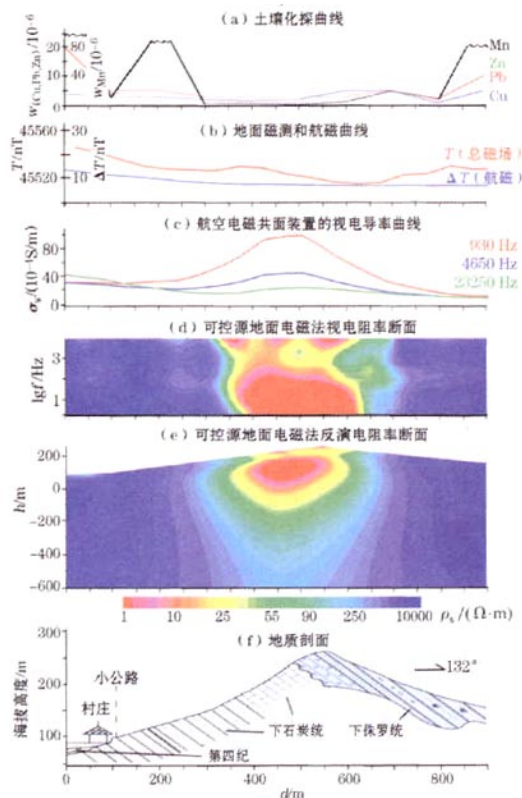


图5 山下北勘查区6号线综合剖面

好的找矿远景。

乌坭元勘查区西侧与石炭系下统分布位置基本吻合的地下良导体(为粤D-2005-84电磁异常所反映的地下良导体),呈近南北向条带分布,宽度200~

400 m,向下延深100~500 m。在多数剖面均有锰、铅化探异常和铁锰结核分布,并且位于磁力高异常的西部边缘附近,成矿构造条件较为有利。乌坭元勘查区7、8号线东部的地下弱良导体(为粤D-2005-86电磁异常所反映),位于磁力高异常的东部边缘附近,并有锰、铅、锌化探异常与之对应,该地下弱良导体也具有一定找矿意义。

#### 4 结论

(1)本次工作研究的电磁异常特征分类法可以有效地识别电磁干扰异常,优选对找矿有意义的电磁异常,建议在今后的频率航空电磁测量中推广。

(2)通过分析认为,该区具有找矿意义的航空电磁、磁异常组合特征明显,这对于今后优选航空物探异常具有一定的现实意义。

(3)通过航空物探异常优选和地面查证,圈定了3处对找矿有意义的地下良导体,为该区进一步开展地面勘查提供了重要的找矿靶区。实践证明,吊舱式直升机航空电磁、磁综合测量在地质找矿中快速、有效。

#### 参考文献:

- [1] 王卫平,王守坦.直升机频率域航空电磁系统在均匀半空间上方的电磁响应与探测[J].地球学报,2003,24(3):285.
- [2] Hanneson J E, West G F. The horizontal loop electromagnetic response of a thin plate in a conductive earth: Part II-Computational result and examples[J]. Geophysics, 1984, 49(4):421.

## THE EXPLORATION EFFICIENCY OF THE HELICOPTER ELECTROMAGNETIC SYSTEM IN LONGMEN, GUANGDONG PROVINCE

WANG Wei-ping, FANG Ying-yao, ZHENG Guang-ru

(China Aero Geophysical Survey and Remote Sensing Center for Land and Resources, Beijing 100083, China)

**Abstract:** Based on the data of 1: 50 000 helicopter electromagnetic and magnetic comprehensive survey in Longmen, Guangdong Province in 2005, in combination with the geological and mineral sources data, the authors analyzed and studied the relationship between the mineral resources and the aeromagnetic or aeroelectromagnetic anomaly characteristics in Longmen area. The local aeroelectromagnetic anomalies were classified by using the classification method for electromagnetic anomaly characteristics, and the anomalies resulting from electromagnetic interference were identified. Based on field inspection of three optimized local anomalies, the authors found that the air and ground anomalies are well consistent with each other. In addition, some significant good underground conductors were detected.

**Key words:** towed bird helicopter electromagnetic system; exploration efficiency; characteristics of electromagnetic anomaly; Longmen area in Guangdong Province

**作者简介:** 王卫平(1963-),男,教授级高级工程师,长期从事航空物探成果解释和方法研究工作,曾发表论文20余篇。