 DOI: https://doi.org/10.12345/smg.v6i5.21041

Application of Comprehensive Geophysical Methods in the Exploration of Deep Iron Deposits—Taking Caojiahe Iron Mine in Luan County, China as an Example

Yankang Li

The Fifth Geological Brigade of Hebei Geological and Mineral Exploration and Development Bureau (Hebei Marine Geological Environment Survey Center), Tangshan, Hebei, 063000, China

Abstract

The Luan County area in Jidong, Hebei Province is an important iron ore producing area, mainly composed of Anshan style sedimentary metamorphic iron ore. The Sijiaying Macheng Changning metallogenic belt in the area is well-known as the "Simachang Iron Ore" metallogenic belt. Most iron deposits have obvious magnetic anomalies. In order to verify the aeromagnetic anomalies in the Caojiahe area, magnetic and gravity methods were carried out. However, the inclination of the ore body in the borehole was opposite to the inferred ore body by gravity and magnetic inversion. Later, in order to further investigate the ore body situation, controllable source audio magnetotelluric method (CSAMT) was arranged to comprehensively analyze and compare multiple methods, reduce the ambiguity of geophysical exploration, determine the occurrence and spatial distribution of the ore body, and provide a basis for drilling construction in the mining area. The drilling effect was good, and provided a good working idea for iron ore exploration in the thick coverage area of eastern Hebei.

Keywords

high-precision ground magnetic survey; gravity; controllable source (V8-CSAMT); extreme transformation

综合物探方法深部铁矿的勘查应用——以滦县曹家河铁矿为例

李延康

河北省地质矿产勘查开发局第五地质大队（河北省海洋地质环境调查中心），中国 · 河北 唐山 063000

摘　要

河北省冀东滦县地区为重要的铁矿产地，以鞍山式沉积变质型铁矿为主，区内司家营—马城—长凝为较有名的“司马长铁矿”成矿带。多数铁矿床磁异常较为明显，本次为查证曹家河一带航磁异常开展了磁法、重力工作，但钻孔内矿体倾向与重、磁反演推断矿体相反，后为进一步查明矿体情况，布置了可控源音频大地电磁法（CSAMT）工作，利用多种方法综合分析对比，减少物探的多解性，确定矿体产状及空间赋存状态，为矿区钻探施工提供依据，钻孔见矿效果较好，为冀东厚覆盖区铁矿勘查提供了较好的工作思路。

关键词

地面高精度磁测；重力；可控源（V8-CSAMT）；化极

1 引言

中国河北省滦县曹家河一带 1 ∶ 5 万航磁测量有一个编号 M8-7 的航磁异常。异常呈北东长轴状，最高强度 200nT，北西侧有明显负异常。通过对航磁异常进行地面磁法测量、重力测量进行了钻探验证，但结果显示与反演成果不符，见矿效果较差，分析原因可能因物探的多解性 [1] 造成，后在典型钻探剖面进行了电法 [2] 可控源 V8-CSAMT 测量，为重、磁反演 [3] 提高了边界条件，后实施钻孔均见矿较好。

2 矿床地质简况

工作区位于燕山台褶带山海关台拱昌黎隆起的西南部边缘。区内地表均为第四系覆盖，厚度多在 100~200m。第四系以下地层多为太古界迁西群三屯营组地层，岩性主要有角闪斜长片麻岩、混合花岗岩及黑云变粒岩，其内夹磁铁石英岩（铁矿），如图 1 所示，区内构造不明显。

【作者简介】李延康（1986–），男，中国河北邢台人，本科，高级工程师，从事地球物理勘查研究。

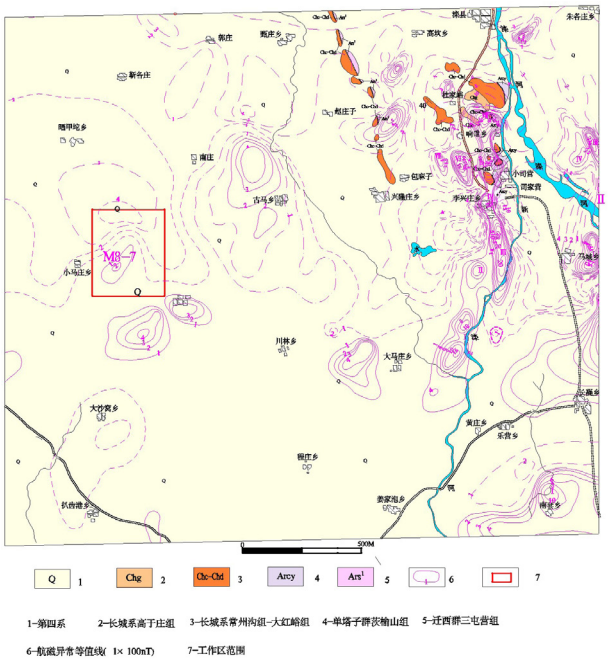

图 1 矿区地质概况

3 地球物理特征

3.1 工区重力场特征

区域内有两个局部重力异常，南部的重力[4]高异常 G2 值为 $5.2\times10^{-5}m/s^2$，北部的重力高异常 G1 值为 $3.8\times10^{-5}m/s^2$，这种布格重力异常特征反映的是工区南部太古界老地层的基岩面隆起较高，埋深相对较浅，北部隆起的太古界老地层的基岩面埋深相对深一些；工区南部的 G1 与 G2 间重力低[5]异常区，反映了一个近东西向的断裂构造和基底的局部凹陷；G2 应反映南部另外两个航磁异常。

3.2 工区磁场特征

周边区域航磁异常发育较多，且多已探出储量可观的磁铁矿体[6]。如古马、大马庄航磁异常，均发现较好磁铁矿体。

通过区内物性工作可知，区内地层磁性较弱，磁铁石英岩（铁矿）具强磁性，航磁异常由磁铁矿引起。

4 综合物探成果分析

4.1 磁测面积异常

区内面积磁异常发育明显，M8-7 个航磁异常对应 C1 地面磁异常。异常背景稳定，背景值在 -50~+50nT 间。整个△ T 异常呈低缓状、形态圆滑、规模较大、强度稍弱，最高强度多在 400~600nT 左右（图 2）。

由△ T 化极图可见，各异常中心化极后向北约 100m、向西有 50m 左右的位移，反映斜磁化矿顶有一定埋深。化极及下延后 C1-1 异常强度增高较明显，C1-2 异常强度增高不太明显，推断由异常处矿头埋深差异造成。下延 100m 的△ Z 异常形态变化很小，反映矿体埋深远大于 100m；下延 300m 的△ Z 异常强度增大明显，异常形态亦有明显变化，反映矿头距离不太远且地层内磁性不均匀。

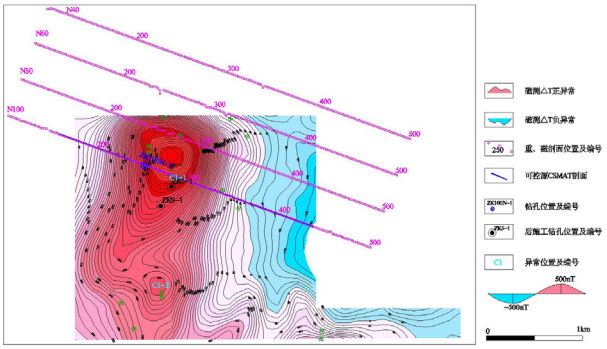

图 2 矿区铁矿磁测△ T 化极等值线图

4.2 磁测面积解释推断

M8-7 号航磁对应地磁场 C1 号异常，分布于曹家河村一带，北北东向长轴状。外围 200nT 等值线将 C1-1、C1-2 两个分异常闭合一起，总长 2.8km，宽度在 1km 左右。北部 C1-1 主异常最高强度 600nT，南部 C1-2 小异常最高强度 280nT。异常东西两翼梯度差别不大，但南端西翼更缓一些。异常长轴方向北端梯度变化大、外侧负异常明显，南端梯度较缓。总体推断异常由西倾矿引起，矿体向南侧伏，北端矿顶较浅而矿产状较陡；向南矿顶深变大而矿产状变缓。化极下延后 C1-1、C1-2 分离明显，反映两矿体不连续。

4.3 重、磁剖面异常与解释

N40 剖面位于 G1 重力异常中心的北东侧 300 米左右，剩余重力异常曲线有明显的正异常区，最大值为 $2.2\times10^{-5}m/s^2$，异常宽度约 2.2km。该剖面的磁场曲线整体为东高西低，比较平缓未出现明显的异常，表明该剖面已位于磁性体的北缘。

N60 剖面穿过了 G1 重力异常的中心，重力剩余异常的宽度与 N40 大致相当，峰值位于 282 点，最大值上升到 $2.2\times10^{-5}m/s^2$。该剖面的磁异常曲线形态和 N40 相似，曲线整体为东高西低，未见明显异常。

N100 剖面大致穿过了剩余重力异常零值线，曲线形态平缓，并且在 260 点出现了一个负极值，异常幅度约 $0.3\times10^{-5}m/s^2$。该剖面位于 C1-1 磁异常中心的南侧，磁测曲线则在 260 点出现了一个极大值为 660nT，幅值约 900nT，异常曲线的下降梯度较大，说明矿体的产状较陡，东侧有较明显的极小值而西侧坡度较缓说明矿体基本向西倾。

通过四条剖面的重磁异常曲线的形态和变化趋势可以看出，剩余重力异常由东北向西南逐次降低，并在 N100 剖面出现了一个负异常，这种形态反映了老基底自南向北逐渐隆起。

磁异常则自北向南迅速增强，并在 N100 线达到了峰值，通过位于剖面点 240 点处的 ZKN100-1 钻孔的验证，在埋深 407.23~408.33m 处，见到厚度为 1.1m 的磁铁矿，在埋深 421.54~425.73m 处，见到厚度为 4.19m 的磁铁矿。由此可见，

磁铁矿的赋存位置为老基底隆起的半坡位置。

4.4 可控源 V8–CSAMT 异常与解释

钻孔 ZKN100-1 完成后见矿效果不理想，且反演推断矿体与钻孔内矿体产状相反，在 N100 线布置了可控源 V8-CSAMT 法（图 3），综合研究。

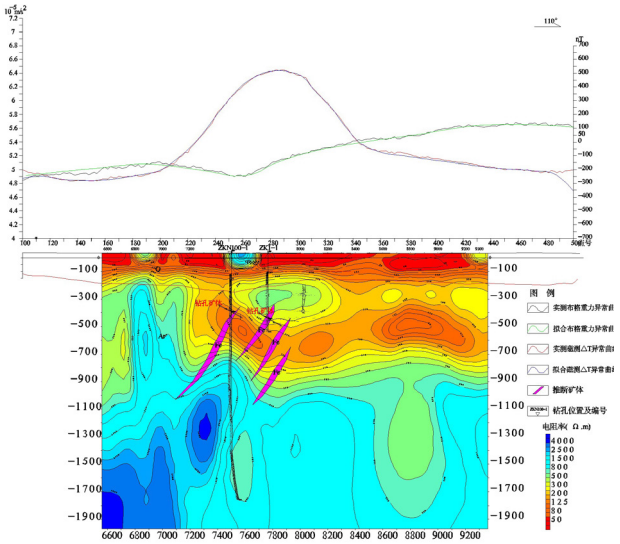

图 3 N100 线 CSAMT 反演推断图

总体有两层低阻带，其一是表层为第四系，在测点 7600 点附近地表有局部高阻分布，可能为野外地表干扰所致；其二是在标高 -400m~-600m，从测点 7200~9200，电阻率在 80~200Ω.m，推断该层位为含矿层。

重力、磁测及钻孔资料与 V8-CSAMT 剖面套合后可见，重、磁异常曲线与剖面异常位置对应较好，但由重、磁异常推断的矿体与该异常的产状相反；重力推断的隆起部位与测点 8700~9200，标高 -500~-600m 的低阻带对应，应为老地层隆起所致。由钻探资料可见，从地表第四系到标高 -300m 地层呈层状产出，与推断剖面相同；钻孔见矿 3m 在标高 -438m 附近，矿体倾向东与该推断异常产状大体一致，但该异常纵向厚度较大，下延至标高 -600m 左右，而钻孔资料其多为混合花岗岩，实际电阻率应较大；钻孔资料从标高 -600m 到标高 -1400m 多为混合花岗岩，其间夹杂有黑云变粒岩，推断剖面大致与其相同，由于岩性分布不均，电阻率有所变化，从标高 -1400m 至孔底为片麻状混合岩，岩性无变化，推断剖面电阻率在 800Ω.m，与其吻合。总体，可控源剖面 N100 线与钻孔资料对应较好，地层倾向东，推断矿体应亦倾向东。

5 钻探验证

经过综合分析重、磁及可控源资料，推断确定矿体应倾向东，赋矿层位应在标高 -400~-500m 间。在异常 C1-1 的 N100 线南侧施工 ZK9-1 见真厚 8.0m 磁铁矿体，倾向东。

6 结论

综合物探方法在矿区的找矿中起到了很好的作用。利用磁法、重力圈定异常范围，而后利用可控源测深解剖矿体的埋深及空间赋存状态，为重、磁反演提供了边界条件，减少了物探的多解性，经钻探施工验证取得了较好的效果。综合方法的投入，为矿区深部探矿指明了方向，对查清全矿区深部资源潜力具有重大意义。同时说明，在充分认识成矿环境的基础上，综合选择物探方法，可以从不同角度对比、分析物探异常是否为矿致异常，提高地质解释的准确性。

参考文献

[1] 钟仁,赵志军,廖蕾,等.综合物化探方法在乌兰德勒钼矿勘查中的应用[J].物探与化探,2010,34(3):275-280.

[2] 刘瑞德,黄力军,杨进,等.综合电法在有色金属矿产勘查中的应用实例[J].物探与化探,2006,30(4):322-326.

[3] 李延清,李军,裴承雯.综合物探在阿希金矿的应用研究[J].中国煤炭地质,2010,22(7):70-73.

[4] 吴卫国.综合物化探方法在粤北一六多金属矿区中的应用[J].物探与化探,2015,39(6):1097-1103.

[5] 兰君,李兆令,张鹏,等.重磁放综合物探方法在鲁西微山稀土矿勘查中的应用[J].物探与化探,2023,47(6):1417-1424.

[6] 李玉录,邢利娟,拜占红,等.综合物探方法在青海省跃进山铁矿勘查中的应用[J].物探与化探,2018,42(5):889-895.