

文章编号: 0258-7106 (2006) 03-0321-09

应用重磁方法勘查铁矿的效果

——以辽宁建昌县马道铁矿为例*

董英君

(中国地质科学院矿产资源研究所, 北京 100037)

摘 要 文章运用重磁方法以辽宁建昌县马道铁矿找矿为例,说明了重磁法的找矿效果,特别指出重力、磁法的科学组合是勘查评价铁矿、区分磁异常性质、寻找富铁矿的有效综合找矿方法。通过对一磁异常进行重新解释和评价,最终验证该异常为一大型鞍山式沉积变质磁铁矿引起的。同时说明 GIS、MRAS 计算技术模拟、判别分析等现代先进勘探技术的综合运用,是在老矿山的深部和外围铁矿勘查过程中的重要手段。因此,在对危机矿山的研究中,对如何加深地球物理异常的解釋和评价等问题,应予以高度重视。

关键词: 地球物理;铁矿;磁法;斜磁化;重力;勘查评价;应用实例

中图分类号: P618.31; P631.2

文献标识码: A

Effects of applying gravity and magnetic method to exploration of iron deposits : Case study of Madao iron deposit in Jianchang County, Liaoning Province

DONG YingJun

(Institute of Mineral Resources, CAGS, Beijing 100037, China)

Abstract

The iron and steel industry has been developing very rapidly in China since 1990s, but the ironstone throughput remains unsatisfactory, which has posed a really austere situation that the gap of domestic ironstone supply is continuously increasing. Such a situation calls for a substantial strengthening of geological iron exploration. Although the gravity and magnetic methods are effective in iron exploration and evaluation, they have many shortcomings in practical application. With a case study, the author demonstrates the effectiveness of the gravity and magnetic methods in iron exploration, and emphatically points out that the optimal combination of the two methods constitutes an effective integrated exploration means for evaluation of iron deposits, differentiation of magnetic anomalies and prospecting for rich iron ore bodies. In addition, the integration of such advanced modern techniques as GIS, MRAS and differentiation analysis is also necessary in the deep and peripheral iron exploration around the known mines. Exemplified by the Madao iron ore deposit in Jianchang County, Liaoning Province and based on re-interpretation and re-evaluation of the magnetic anomalies, this paper reveals that the anomalies are caused by a large-size Anshan style metagenetic magnetite deposit. It is thus concluded that, in the study of so-called critical mines, more attention should be paid to the correct intensified interpretation and evaluation of geophysical anomalies.

* 本文得到中国地质调查局地质调查项目(编号:200310200003)“八家子银铅锌矿等大型危机矿山找矿示范研究”的资助

作者简介 董英君,女,1951年生,副研究员,主要从事勘探地球物理、综合找矿方法研究。

收稿日期 2005-08-18; 改回日期 2006-03-15。张绮玲编辑。

Key words : geophysics , iron deposit , magnetic method , clino-magnetization , gravity , exploration evaluation , a case of application

20 世纪 90 年代以来,中国钢铁工业飞速发展,国产铁矿石供应缺口亦呈逐年增长的趋势,形势十分严峻。中国目前已探明的铁矿总储量为 457 亿吨,但其中有约 185 亿吨因选冶、水文、交通条件等因素暂不能利用。中国铁矿的特点是贫矿多、富矿少、伴生组分多。2004 年中国钢产量达 2.72 亿吨,从国外进口富铁矿石 2.08 亿吨,耗资 1 000 多亿元人民币,仅次于向国外购买石油的费用,大致相当于三峡和南水北调工程一年投资的 3 倍(赵一鸣等,2004)。今年国际铁矿价格高涨,国内钢铁企业对国外铁矿进口依赖度已达到 65%。所以,必须加强铁矿地质勘查和研究工作,应将此提高到战略高度来认识。宁芜地区和辽宁八家子地区均为著名的铁矿区,重磁法在这两个矿区勘查铁矿方面起了重要的作用,在重磁法找矿方面取得了辉煌成就,积累了不少经验。本文是在前人研究的基础上,通过上述 2 个矿区的找矿实践,总结重磁方法在找铁矿方面的经验和效果。

1 铁矿勘查的意义及途径

1.1 缓解铁矿资源不足的途径

加强铁矿地质勘查,科学评估中国的铁矿资源潜力,提出有关找矿靶区,及时进行勘查验证,这对于扩大中国铁矿储量(资源量),缓解铁矿石供应的严峻形势,具有十分重要的战略意义。另一方面,组织有关科研力量对数十亿吨难选冶的铁矿进行综合利用的攻关研究,使其得以开发利用。20 世纪六七十年代,中国在部分重点区带进行过两次以找富矿为重点的铁矿会战,取得了一批重要成果。但是由于当时的条件和技术水平的限制,对于一些难以发现的铁矿和深部矿床未能勘探评价。因此,在新一轮全国铁矿找矿工作中要贯彻新的找矿思路,采用新的成矿理论和先进的方法技术及勘探评价体系。

1.2 铁矿勘查的主要方法

对于铁矿勘查,寻找和发现铁矿最有效的手段是磁法、重力。磁法是找磁铁矿,重力是找无磁性(弱磁性)的赤铁矿、黄铁矿、褐铁矿、菱铁矿、镜铁矿等的有效方法。重力、磁法的科学组合是勘查评价铁矿、区分磁异常性质、寻找富铁矿的有效综合找矿方法。

航磁测量是铁矿普查的快速有效方法,航磁资料的数据处理、地质解译的结果资料是铁矿勘查部署、评价铁矿资源远景的重要依据。目前在中国大部分地区已不同程度完成了 1 100 万、1 20 万、1 10 万、1 5 万、1 2.5 万的航磁测量。这些航磁资料为勘查评价铁矿资源潜力提供了重要依据。

据 1994 年的中国铁矿资源统计资料,表明中国主要铁矿区的铁矿探明储量为 390.7 亿吨,占全国探明储量的 75.6%。而根据航磁预测的 17 个预测区,铁矿预测资源量是 600.1 亿吨,其中 11 个区分部在东经 105°以东地区,有望航磁异常 754 处,预测资源量 311.5 亿吨。东经 105°以西地区,包括了 6 个预测区,有望航磁异常 327 处,预测铁矿资源量 288.45 亿吨(见表 1)。表 1 所列大部分地区的研究及找矿程度相对较低或很低,具有较大的找矿潜力(赵一鸣等,2004)。

航磁、地磁资料是划分断裂构造、圈定岩体,进行地质填图的有用信息,同时也是寻找铁矿和铁矿勘查部署的重要依据。高精度磁法轻便、快速,是找铁矿的主要方法,适用于弱磁、强磁性的各类铁矿的找矿工值(熊盛青等,2001)。重力异常资料是研究区域地质构造、基底起伏的重要资料。

物性测定是方法选择和物探异常解释的前提和主要依据。根据地质、物性、物探异常的综合研究,在正反演计算的基础上建立适用的科学找矿模型。在以往的工作中,物性工非常薄弱,而这项工作非常重要。要根据新的地质、物性、勘探资料对异常进行正反演计算解释,确定剩余异常,发现新的矿体。另一方面,要采用近年来发展起来的新技术、新方法,将分散的铁矿床扩展为集约的铁矿密集区,以之为研究对象,全面而系统地进行数据处理、解释,全面评价预测隐伏铁矿床。另外,1 000 m 以下深钻、GIS、MRAS 计算技术模拟、判别分析等现代先进勘探技术的综合运用,也是在老矿山的深部和外围铁矿勘查过程中的重要手段。

为建立成矿模型,除运用上述方法外,还要结合基础岩、矿石显微结构构造分析、典型矿床解剖、成矿模拟试验和系统矿区构造解析等。以成矿模型为基础,对比分析控矿条件,提取关键控矿要素,建立找矿模型,并尝试进行成矿空间的构造模拟。对

表 1 根据航磁资料预测中国主要铁矿区(带)资源概况^①

Table 1 General resource situation of the major iron ore districts (belts) inferred from aeromagnetic data

区带简称	预测资源量/亿吨	有望航磁异常/处	有望矿点/处	备注
密云-怀柔	20	24	7	
冀东	26.52	127	18	
张家口-宣化	17.91	45		
五台	19.73	24	14	不包括岚县地区
蒙中	34.63	86	20	包括包头-白云鄂博地区
鞍本	112.54	77	15	包括抚顺南部
辽西	57.39	77	34	
宁芜	2.46	56	16	
闽南	4.96	32	9	
粤北	1.09	116		
西昌-攀枝花	246.79	56		
滇中	4.51	10		
陕南	19.36	90	15	
甘肃北山	4.11	141		
祁连山	5.93			指镜铁山一带
东疆	22.71	91	12	
新源	4.95	32	9	
合计	600.1	1081	172	

于受构造控制的层状矿体,成矿空间构造模拟是发现深部隐伏矿体的一个有效途径和方法。

过去的找矿技术与方法,对于寻找隐伏矿体而言,往往只限于定性而无定量。采用现代新的找矿技术与方法,不仅要从成矿地质条件与形成机制理论上,阐明铁矿成因模型,还要从找矿技术上建立其找矿模型。不仅对靶区有矿或无矿要定性,而且还要对有矿靶区的空间三维位置和大致范围、大致走向、一般形态及规模、有无构造断层等重要因素进行评估,并大致确定其矿石储量,给出钻孔位置进行深部验证,提交新发现的地质远景储量。

2 重磁方法勘查评价铁矿的应用实例

2.1 磁法、重力是找铁矿的有效方法

1972~1974年,根据老资料解释分析宁芜地区的磁异常,打钻验证,在地下300 m以下发现了龙山大型磁铁矿矿床;根据航磁M14号异常预测,经安徽省808地质队勘查,找到了向阳大型磁铁矿矿床;1973~1975年,在安徽庐枞地区,利用重力异常资料发现罗昌河磁铁矿外围存在值得重视的弱磁、高剩余重力异常。经研究解释,提出是由高密度、弱磁性的黄铁矿、赤铁矿引起,建议上钻验证。1975年,

经安徽327地质队勘探,发现了大鲍庄大型硫铁矿及中型富赤铁矿矿床。

2.2 马道铁矿的发现及磁法的找矿效果

2003~2004年间,笔者参加了危机矿山找矿研究项目,项目组对辽宁八家子矿区外围的一个磁异常进行了重新评价。

2.2.1 矿区地质特征

马道铁矿位于辽宁省建昌县大屯乡,八家子银铅锌矿西北约10 km处,是一个隐伏的沉积变质型铁矿床。矿区地表出露地层主要为中元古代雾迷山组含燧石条带的白云岩。矿体产于雾迷山组的白云岩不整合面之下的新太古代变质岩系中(图1)。矿体厚度米至数十米不等,矿体围岩有黑云斜长石英片岩和片麻岩,在矿区东部还有含黄铁矿的碳质石英片岩产出。矿石为条纹条带状角闪(±辉石)-石英磁铁矿,条纹条带构造为以石英为主的条纹和以角闪石、黑云母、磁铁矿为主的条纹互间层,宽2~5 mm不等。矿物含量分别是:石英15%~40%,角闪石20%~25%,磁铁矿18%~20%,黑云母10%~15%,石榴子石10%~15%。磁铁矿粒度大小0.05~0.1 mm,选矿时需要粉碎到320目才能进行磁选。矿石全铁(TFe)含量30%左右,由于矿石中有一定量角闪石和黑云母,含不可溶铁达5%左右,是

① 陈刚. 1994. 我国铁矿资源对2010年国民经济建设保证程度论证报告.

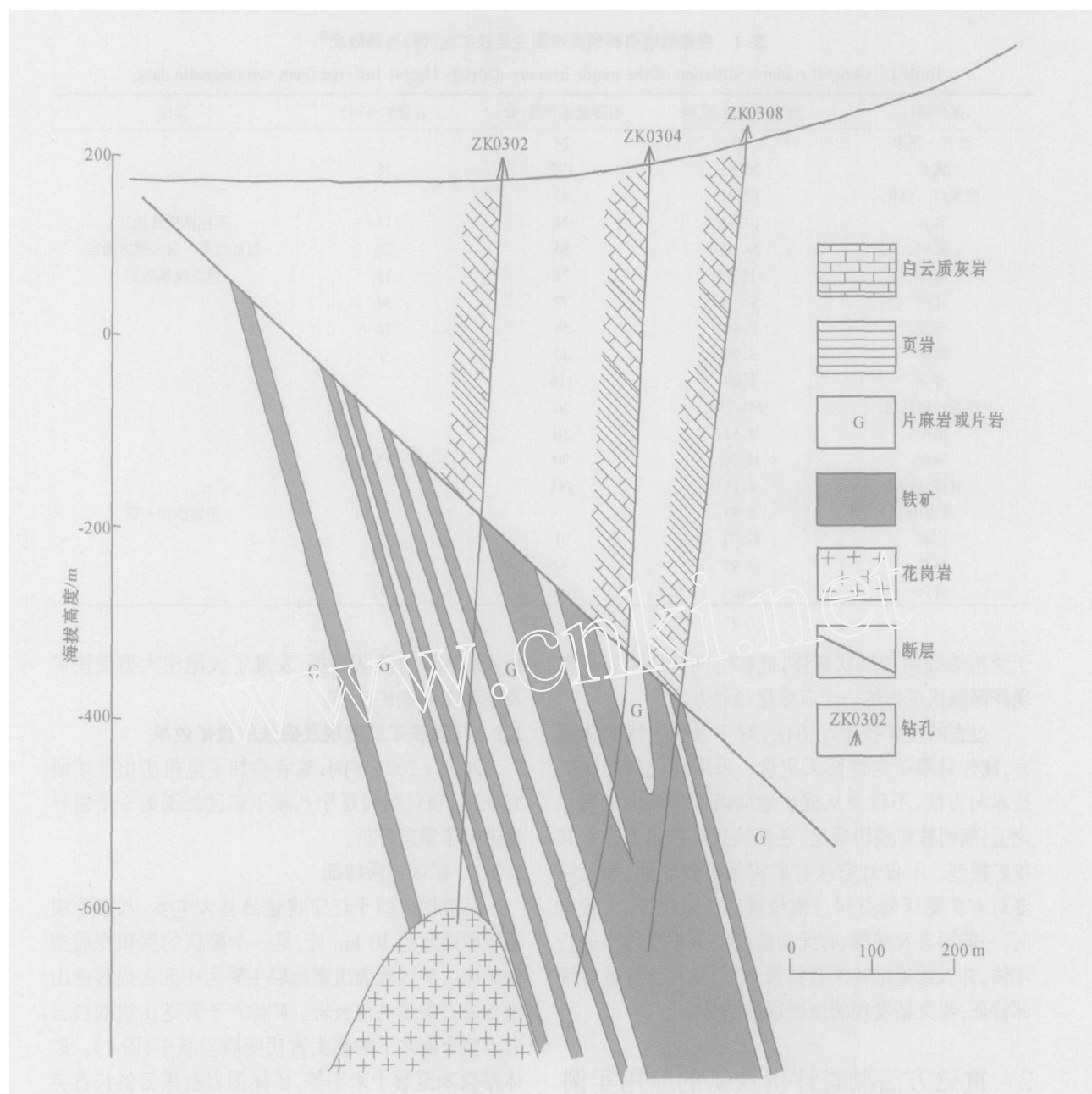


图 1 马道铁矿 0 号线地质剖面图[●]

Fig. 1 Geological section along No. 0 exploration line in the Madao iron deposit

无法利用的,这会降低矿石的品位。

2.2.2 磁异常特征及找矿效果

辽宁建昌县马道沟航磁异常(编号 M65),1969 年经鞍钢地质勘探公司 401 队,采用磁法面积测量(网度为 500 × 100 mm)检查评价,发现地磁异常长 5 km,宽 3 km,异常极大值达 1 400 nT,形态规则。打

了十多个钻孔均未见矿而放弃,从而耽搁了该矿的评价利用达 30 多年之久。在中国铁矿资源突现紧缺形势的推动下,2003 年八家子矿业公司重新勘查评价该矿,仍然采用磁法 500 × 100 m 网度面积测量,结果所获地磁异常与 1969 年鞍钢地质勘探公司 401 队发现的磁异常基本一致,说明该磁异常是客观

● 鞍钢地勘公司 401 队二分队. 1969. 辽宁建昌县大屯地区 1969 年普查找矿总结报告.

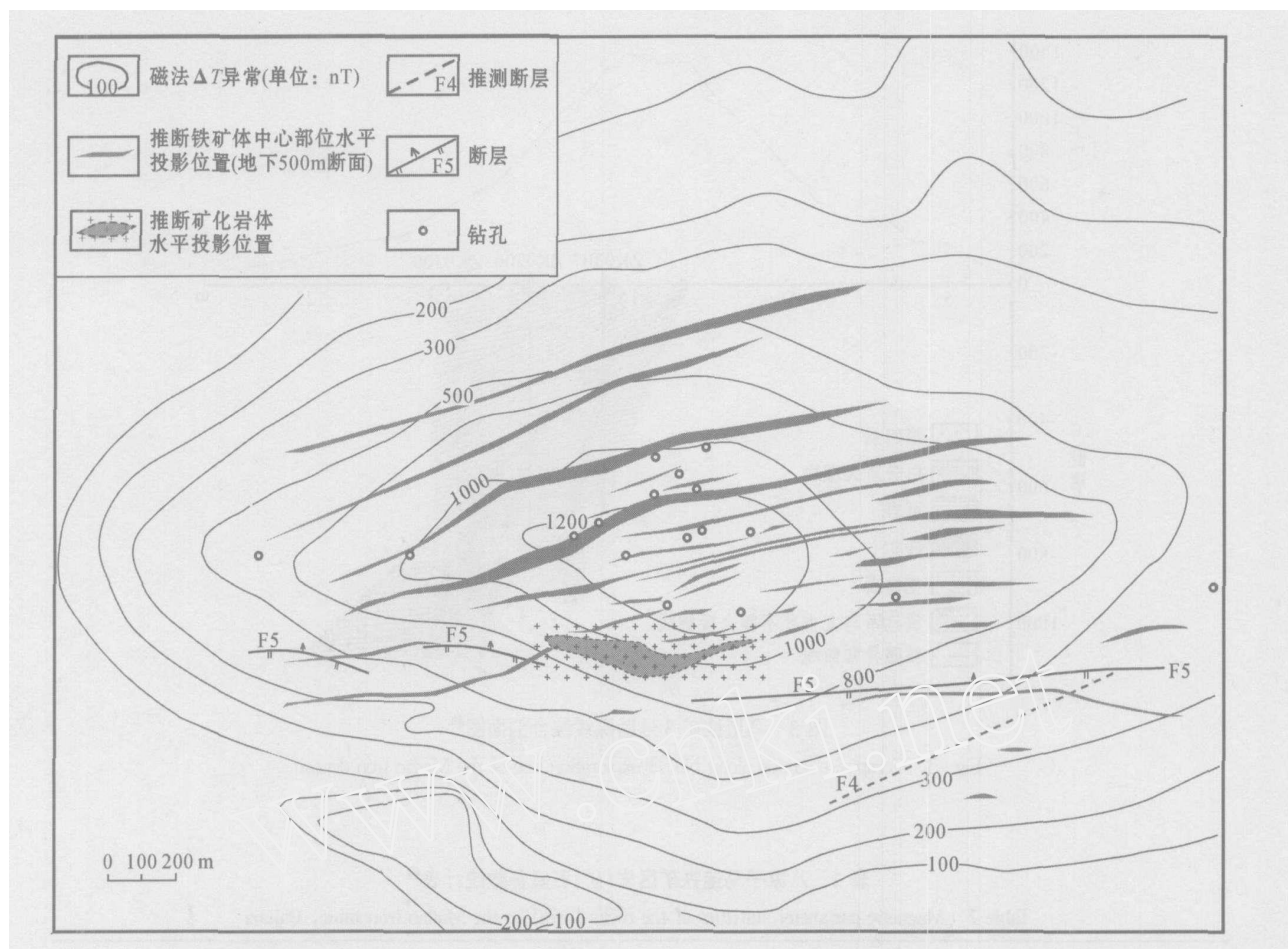
图 2 马道铁矿磁异常综合平面图^①

Fig. 2 Integrated plan for the magnetic anomaly of the Maodao iron ore deposit

存在的(见图 2)。根据岩矿石磁性测定结果表明磁铁矿石的磁性强度是围岩的数十倍(见表 2),所以推测该磁异常由磁铁矿引起。

2003 年,八家子矿业公司开始在异常中心、极大值部位布了 5 个钻孔,但仍未见矿,后又在异常中心偏北布钻位,结果 4 个钻孔均打到了磁铁矿体(图 3)。为什么异常中心无矿,而偏离了异常中心却打到了矿呢?这究竟是什么原因造成的呢?项目组经分析、推断,认为这是斜磁化影响所致。由于我国处于北半球,受斜磁化影响比较严重,在辽西地区地磁场倾角为 57°左右。斜磁化影响使磁性地质体与磁异常中心的位置不一致,一般磁性体在磁异常中心的北边,位于正负磁异常之间。将实测磁异常进行化极处理(化为 90°),由此得到的异常为垂直磁化磁异常。而垂直磁化磁异常的位置、形态基本与磁性地质体一

致。2004 年,项目组参与矿山评价勘探,将钻孔布在异常中心以北,结果孔孔见矿,从而揭示该磁异常为一个大型鞍山式沉积变质磁铁矿矿床引起的。

3 应用重磁方法勘查评价铁矿的主要经验

3.1 磁法找矿成果显著,是找铁矿的基本方法

宁芜地区的铁矿最早发现于 1921 年,现已发展为一个著名的成矿带。回顾宁芜地区探矿史,发现绝大多数铁矿床是据重磁异常发现或扩大的。据宁芜地区找铁矿的统计资料(表 3),全区已有的 15 个大中型铁矿床中有 9 个是验证磁异常时发现的。该区应用磁法找铁的主要经验是:合理采用不同比例尺的航磁、地磁测量,迅速集中普查目标,直接寻找大中型铁矿;结合地质条件,分析各类铁矿上的磁异常特

① 鞍钢地勘公司 401 队二分队. 1969. 辽宁建昌县大屯地区 1969 年普查找矿总结报告.

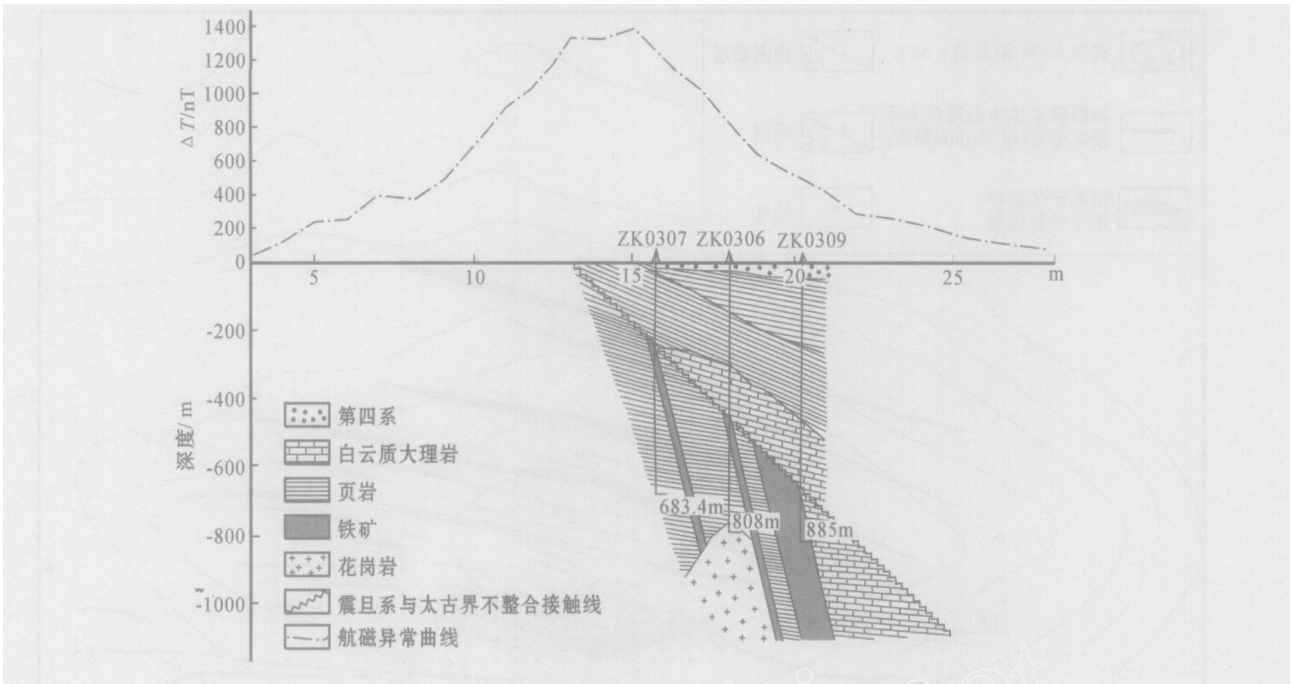


图 3 马道铁矿 3 号勘探线综合剖面图^①

Fig. 3 Composite section along No. 3 exploration line of the Madao iron deposit

表 2 八家子马道铁矿区岩(矿)石磁参数统计表^②

Table 2 Magnetic parameter statistics of the rocks (ores) in the Madao iron mine, Bajiazi

岩(矿)石名称	标本块数	K × 10 ⁻⁵ SI 单位			J _r × 10 ⁻³ A/m		
		变化范围	最大值	平均值	变化范围	最大值	平均值
磁铁矿	10	3700 ~ 96000	96000	65000	2000 ~ 50000	50000	42000
黄铁矿	10	260 ~ 1050	1050	720	100 ~ 620	620	320
方铅矿	10	< 63					
黑云母石英闪长岩	30	3500 ~ 1000	3500	1250	1020 ~ 560	1020	915
石英二长闪长岩	30	1800 ~ 300	1800	804	360 ~ 195	360	215
花岗闪长岩	30	2900 ~ 920	2900	1046	825 ~ 538	825	615
巨斑状花岗岩	31	500 ~ 314	500	413	250 ~ 160	250	192
混合花岗岩	30	< 63					
石英砂岩	12	< 63					
石英岩	11	< 63					
白云岩	15	< 63					

征,充分发挥磁法的找矿作用; 地质物探结合,配合矿床勘探评价工作,反复进行异常的推断解释; 应用磁测井,预测井下和井旁的矿体,研究矿体产状,为合理部署勘探工程和区分地面磁异常性质提供重要依据。

3.2 重力测量法是找铁矿的主要辅助方法

在宁芜盆地和庐江罗河地区,自 1955 年以来,在

磁法测量工作的同时进行了 1 2 万到 1 5000 的重力测量。在已知铁矿上,凡是做过重力测量的,均有局部重力异常。据分析,这些铁矿区的重力异常与矿的关系是不相同的:有的确实是由铁矿引起的,如梅山磁铁矿床、姑山赤铁矿床、大鲍庄硫铁矿床;有的则以矿体和矿化带的合成影响为主,如罗昌河磁铁矿床、白向山磁铁矿床;还有很多情况下,矿体仅起了次要

① 辽宁省有色物探研究院. 2002. 辽宁建昌县八家子多金属矿区高精度磁测工作报告.
② 鞍钢地勘公司 401 队 2 分队. 1969. 辽宁建昌县大屯地区 1969 年普查找矿总结报告.

表 3 宁芜、庐枞地区部分铁矿发现经过简表^①
Table 3 Discovery of some iron deposits in Ningwu and Luzong areas

矿床名称及类型	规模	发现过程	以往做过的物探工作			
			航空磁测比例尺	地面磁测比例尺	重力测量比例尺	其他辅助方法
梅山磁铁矿	大	1 25000 地面磁测发现异常, 1 5000 详查, 钻探验证见矿, 评价勘探中利用了重磁资料。	1 100000 1 25000 异常强度: 2350nT	1 25000 1 5000 异常强度: 7200 nT	1:5000 异常强度: $3.8 \times 10^{-5} \text{mT/s}^2$	直流电法
其林山赤铁矿磁铁矿	中	1 20000 重磁发现, 1 5000 重磁详查, 钻探验证见矿。后在矿区外围验证磁异常, 相继发现马村、东庄铁矿。	1 100000 1 25000 异常强度: 150nT	1 20000 1 5000 异常强度: 1300nT	1 20000 1 5000 异常强度: $0.8 \times 10^{-5} \text{mT/s}^2$	直流电法
姑山赤铁矿	大	地质调查发现, 后做 1 10000 重磁测量均发现明显异常。	1 100000 1 25000 异常强度: 900 nT	1 10000 1 2000 异常强度: - 40000 ~ 10000nT	1 10000 异常强度: $> 2 \times 10^{-5} \text{mT/s}^2$	1 5000 扭秤
罗昌河磁铁矿	大	1 100000 航磁发现, 后经 1 50000、1 10000 地磁均证实异常的存在, 初步推断由深部火成岩引起。经重新解释及重力测量发现异常推断为铁矿引起, 钻探验证发现了该大型铁矿床。	1 100000 异常强度: 1000nT	1 50000 1 10000 异常强度: 2700nT	1 10000 异常强度: $4 \times 10^{-5} \text{mT/s}^2$	
白象山磁铁矿	中	1 5000 重磁发现, 重力检查发现局部异常, 钻探验证见矿。后做重力测量有明显异常。磁异常的定量解释和磁测并在评价勘探中发挥了重要作用。	1 100000 1 25000 异常强度: 1300 nT	1 5000 异常强度: 2000nT	1 5000 异常强度: $1.5 \times 10^{-5} \text{mT/s}^2$	

作用,如其林山磁(赤)铁矿床就是其中一例。从表 3 中可以看出重磁异常及对重磁异常的定量解释在评价勘探中发挥了重要作用(赵玉琛,1990)。

3.3 关于重磁配合问题

在重磁测量解释过程中常出现所谓的“重磁同现”与“重磁单现”,这是前人对资料联合解释,判别异常性质的准则的概括。其依据是:具有一定规模的磁性铁矿体将同时在其周围空间激发起重力异常和磁异常,即所谓的“重磁同现”。而高密度但弱磁到无磁性的地质体,如石膏,基岩起伏,或具弱磁性但不具剩余密度差的地质体,如强磁性火山岩,都将引起单一的重力异常或磁异常,即所谓的“重磁单现”。“重磁同现”是指重力异常与磁场(包括正异常及伴随的负异常)在一起出现,并不是指两者的极大值重

合。事实上,“重磁同现”的异常中心常常不吻合,梯度也不一样。造成这种情况的原因有:矿体与非矿地质体的迭加;斜磁化和矿体倾斜产状都将使异常中心偏离重力异常;重磁场与场源到测点的距离关系不同。磁场是与场源到测点的距离平方成反比,而重力场是与距离的平方成反比,因而异常的形态、规模不同;根据泊松方程,在同源均质的情况下,磁异常是比重力异常高一阶的导数,垂直磁化的物体的垂直磁力异常与重力的垂直微商仅差一个常数倍,即泊松比,所以重力异常一般将比磁异常宽缓。

由于以上种种原因,同一个地质体激起的重磁异常往往有偏移,分布范围也不一致。而重磁中心重合的异常完全可能由不同的地质体引起。分布范围、峰度、宽度相同的重磁异常,其场源则往往不同。

① 刘光海,吴宣志. 1976. 宁芜、庐江地区重磁方法找铁矿的经验. 内部资料.

还应该指出的是,由于磁法与重力的勘探深度不同,当矿体规模大而埋深较小时,磁异常有明显的反映,而重力异常可能很小以至于无法发现,出现“有磁无重”的假象。因此,在实际工作中判别重磁异常是否同源,以及重力异常是否存在,可以通过场的转换来解决(刘光海等,1986;吴宣志等,1987)。

应用地球物理方法技术取得的地球物理场,是岩石层中不同物性界面所产生的效应,蕴藏着构造、沉积等多方面的信息。但重力、磁力分别是从一个物性侧面来认识地质体或地下结构。因此,对于各种地球物理场进行综合解释,并与地质资料结合起来,才能赋予所求得的各种物性界面以时间概念,或与构造、地层联系起来,取得近于全面的认识(刘光鼎,1995;刘光海等,2000)。地球物理方法技术在近十几年来的飞跃发展,重力、磁力勘探仪器的精度提高,多种电法如 MT、TEM、CSAMT 等的应用,为解决找矿问题提供了广泛的可能,为查明岩体和发现矿床提供了强有力的手段。

4 结论

在铁矿石供应严重短缺的今天,应大力加强铁矿的勘查和研究工作。尤其是对一些找矿远景区、呆老矿山、危机矿山进行重新评价具有重大的现实意义和社会经济意义。重磁方法因其设备轻便、耗时短、提交结果迅速,深受人们欢迎。事实证明重磁法在找铁矿中曾起着重大作用,因此在研究工作中应充分发挥重磁法的找矿作用,特别是对重磁异常进行重新评价,同时采用一些先进的方法技术,新的成矿理论,如 GIS、MRAS 等计算技术模拟、判别分析等。进行找矿时,首先,应遵循地质是基础的原则,只有了解工作区的地层情况、地质构造,才能确定该区域是否有成矿条件,该测区是否有成矿的可能,进而指出物探测量的方向。其次,综合是关键,各种物探资料的解释是互相补充、相互验证,充分发挥各种方法的长处。重力、磁法的科学组合是勘查评价铁矿、区分磁异常性质、寻找富铁矿的有效综合找矿方法。而对异常的重新解释和评价往往会对呆老矿山、危机矿山起着非比寻常的作用,本文的马道铁矿就是对磁异常进行重新推断解释,使老矿重见春天的一个成功事例。

致 谢 本文得到中国地质调查局危机矿山找

矿示范研究项目的支持及赵一鸣研究员、刘光海研究员、张光弟研究员的指导,在此一并表示衷心的感谢。

References

- Hao X, Wang F L and Li S W. 1995. An Application of comprehensive geophysical prospecting method to looking for magnetite[J]. Journal of Hebei Mining and Civil Engineering Institute, 3: 35 ~ 40 (in Chinese with English abstract).
- Liu G D and Hao T Y. 1995. Searching of hidden mineral deposits by geophysical methods[J]. Chinese J. Geophys., 36(6): 850 ~ 854 (in Chinese with English abstract).
- Liu G H and Wang Y J. 1986. The application of data process in gravity-magnetic anomaly interpretation and its geological effect[J]. Bulletin of the Institute of Mineral Deposits, CAGS, 222 ~ 231 (in Chinese with English abstract).
- Liu G H, Sun D M and Bai D M. 2000. Effects of geophysical and geochemical exploration in the Xiaorequanzi copper deposit and the integrated ore-prospecting model [J]. Mineral Deposits, 19(1): 68 ~ 75 (in Chinese with English abstract).
- Wu X Z, Liu G H and Xue G Q. 1987. Methodology of FFT and potential field and their application[M]. Beijing: Mapping Pub. House. 1 ~ 183 (in Chinese).
- Xiong S Q. 2001. Aermagnetic survey in central and western Qinghai-Tibet plateau[M]. Beijing: Geol. Pub. House. 1 ~ 221 (in Chinese).
- Zeng Y and Jiang M. 1988. Comprehensive application of geophysical method[M]. Beijing: Geol. Pub. House. 1 ~ 12 (in Chinese).
- Zhao Y M and Liu G H. 2004. Enhancing prospecting for iron ore should be taken as a high priority [N]. Geological Exploration News, 3, August 24, 2004 (in Chinese).
- Zhao Y C. 1990. A study of ore-forming regularity and ore prognosis of porphyry iron-sulfur deposits in Ningwu (Nanjing-Wuhu) area [J]. Mineral Deposits, 9(1): 1 ~ 12 (in Chinese with English abstract).

附中文参考文献

- 郝旭,王付良,李树文. 1995. 综合物探方法在寻找磁铁矿中的应用[J]. 河北煤炭建筑工程学院学报, (3): 35 ~ 40.
- 刘光鼎,郝天珧. 1995. 应用地球物理方法寻找隐伏矿床[J]. 地球物理学报, 36(6): 850 ~ 854.
- 刘光海,王原钧. 1986. 数据处理在重磁异常解释中的应用及其地质效果[J]. 中国地质科学院矿床地质研究所所刊, 第二号: 222 ~ 231.
- 刘光海,孙德梅,白大明. 2000. 小热泉子铜矿床物化探找矿效果及综合找矿模式[J]. 矿床地质, 19(1): 68 ~ 75.
- 吴宣志,刘光海,薛光琦. 1987. 富立叶变换和位场谱分析方法及其应用[M]. 北京:测绘出版社. 1 ~ 183.
- 熊盛青,等. 2001. 青藏高原中西部航磁调查[M]. 北京:地质出版社. 1 ~ 221.
- 曾玉,姜枚. 1988. 地球物理方法的综合应用[M]. 北京:地质出版社. 1 ~ 275.
- 赵一鸣,刘光海. 2004. 加强铁矿勘查是当务之急[N]. 地质勘查导报, 2004-8-24(3).
- 赵玉琛. 1990. 宁芜玢岩铁硫矿床成矿规律和找矿预测研究[J]. 矿床地质, 9(1): 1 ~ 12.