

技术方法

EH4方法在辽宁本溪大台沟铁矿勘查中的应用*

庞洪伟,洪秀伟,李尔峰,王长峰,沙成满,张锋春

(辽宁省地质矿产调查院,辽宁沈阳 110031)

摘要:EH4连续电导率剖面测量是近年来地质勘察中采用的新方法,可以推断隐伏铁矿体的埋深、宽度、规模及产状。本溪大台沟铁矿勘查中进行了EH4连续电导率剖面测量,经钻探验证,取得了较好的效果。寻找深部隐伏铁矿体,磁法测量和EH4测量2种方法综合运用,为后续钻探工作提供更充分的依据。

关键词:EH4方法;电导率;剖面测量;本溪大台沟铁矿;辽宁本溪

中图分类号:P631.3 **文献标识码:**B

0 引言

辽宁本溪大台沟铁矿是近年来发现的超大型隐伏的鞍山式铁矿床,铁矿体赋存于中太古代鞍山群樱桃园岩组含铁石英岩中,属典型的“鞍山式”火山—沉积变质铁矿床。经勘查工作,15—4线估算铁矿石(332+333)类资源量约34.7亿t。

“EH4连续电导率剖面测量”是近年来地质勘查中采用的新方法。该方法在地质勘查的诸多领域,例如:石油、天然气、煤炭的勘探,有色、黑色金属找矿,大型建筑的选址、地基探测,中西部干旱地区找水、基岩裂隙找水、深部岩溶找水、地热勘查等方面进行了广泛的应用,并取得了较好的效果。2008年辽宁省地质矿产调查院将该方法应用于本溪大台沟铁矿深部找矿工作中,与东北大学资源与土木工程学院合作,对大台沟铁矿数条勘探线进行了EH4连续电导率剖面测量;在确定铁矿体顶界面埋深、产状,判断边界形态方面效果较好,指导了钻探施工。

连续电导率剖面仪(EH4),是美国EMI公司和Geometrics公司联合研制的双源型电磁/地震系统,它利用大地电磁的测量原理,配置了特殊的人工电磁波发射源^[1]。仪器用反馈式高灵敏度低噪音磁棒和特制的电极,分别接收X、Y两个方向的磁场和

电场。高频时接收的是浅地表地质信息,低频时接收深部地质信息。具有有源电探法的稳定性及无源电磁法节能和轻便的特性。

1 大台沟铁矿地质概况

大台沟铁矿大地构造位置属中朝准地台胶辽台隆太子河—浑江台陷,四级构造单元为辽阳—本溪凹陷^[2]。矿区位于鞍山—本溪铁成矿带东部,行政区划属本溪市桥头镇管辖。区域上太古宙绿岩带含铁岩系(鞍山群)呈近EW向展布。著名的大型、特大型铁矿(齐大山铁矿、弓长岭铁矿、南芬铁矿等)均分布在该成矿带中。大台沟铁矿周边:南约10km有南芬特大型铁矿,东约10km有思山岭特大型铁矿,北西约10km有北台大型铁矿,西约20km有弓长岭特大型铁矿。

矿区地表均为沉积岩盖层,未见鞍山群含铁岩系出露。沉积岩盖层自上而下有古生界寒武系碱厂组、馒头组石灰岩夹砂页岩,向下为震旦系康家组、新元古界青白口纪桥头组、南芬组、钓鱼台组,再向下为古元古界辽河群浪子山组硅化大理岩,再向下为太古宙鞍山式沉积变质型铁矿(图1)。古元古界与上覆新元古界和下伏太古宙间均为角度不整合接触。区内未见褶皱构造,断裂构造不发育。新元古代以来沉积岩层呈近水平层状产出,太古宙铁矿体—

* 收稿日期:2011-04-11;修订日期:2011-05-12;编辑:陶卫卫

基金项目:国土资源部地质大调查项目(1212010631602)资助。

作者简介:庞洪伟(1966—),男,辽宁北票人,高级工程师,主要从事地质矿产勘查工作;E-mail:phw405@163.com。

条带状磁铁石英岩近直立产出,总体走向NW,为采用EH4方法应用提供有利的条件。

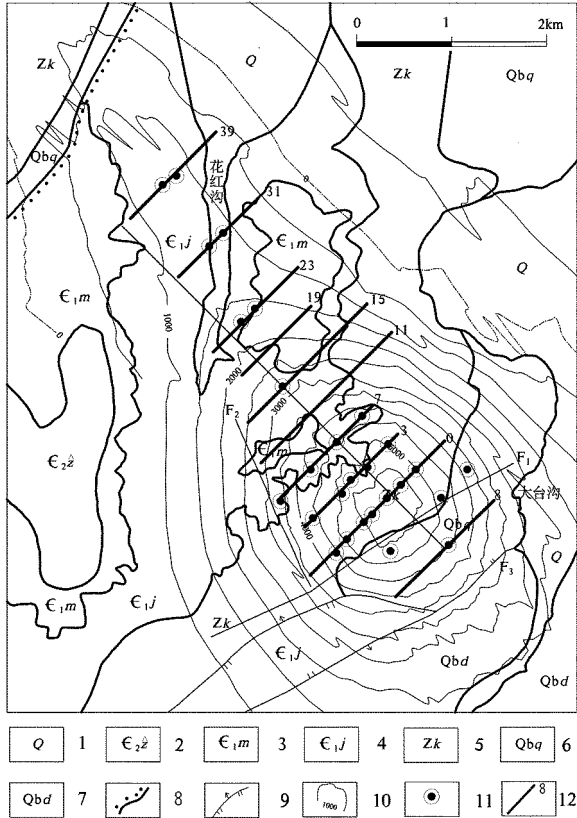


图1 大台沟铁矿区地质图

1—第四系;2—张夏组;3—馒头组;4—碱厂组;5—康家组;6—桥头组;7—钓鱼台组;8—实测角度不整合岩层界线;9—实测逆断层倾向及倾角;10—1:10 000 磁法测量 ΔT 等值线(nT);11—钻孔;12—剖面及编号

大台沟地区航磁异常规模大,异常中心明显,呈椭圆状NW向展布,异常中心 ΔT 值为4 000 nT。经地面磁法验证, ΔT 异常平面等值线图显示,异常形态呈椭圆状,走向NW,由南东向北西,异常逐渐变窄,形态似“鸭梨状”(图1);异常中心最高值 ΔT 为5 990 nT;以1 000 nT等值线圈定异常,长轴约8 km,短轴最宽处(异常中心)约4 km。

大台沟铁矿为隐伏较深的超大型铁矿床。经钻探验证控制,矿体顶端埋深1 100~1 200 m,为产状近直立的厚板状矿体,夹石较少,详查区15-8勘探线已控制矿体走向长度2 000 m,矿体顶端平均水平宽度870 m。矿石类型主要为条带状磁铁赤铁石英岩(混合矿)、条带状磁铁石英岩(磁矿)、条带状赤铁石英岩(红矿);以混合矿居多,约占矿石总量的

2/3。矿体具有明显的分带特征,一般上部多为红矿,中部为混合矿,下部为磁矿(图2);即从矿头向深部磁铁矿逐渐增多。矿床平均品位TFe 33.07%,mFe 15.64%,有害物质S,P均很低。

2 EH4方法的有效性

2.1 方法应用

2008年辽宁省地质矿产调查院与东北大学合作,首先选择矿区磁异常中心部位0线ZK001号见矿孔进行了方法试验,了解该方法是否能够反映出矿体的埋藏深度和产状,试验结果表明,从地表至地下900 m,电阻率由1 000 $\Omega \cdot m$ 变到6 500 $\Omega \cdot m$,呈现逐渐增高趋势,由900 m向下至1 250 m,电阻率由6 500 $\Omega \cdot m$ 很快变降低到3 000 $\Omega \cdot m$,出现了明显的梯级带,至2 000 m深,电阻率仍在3 000~4 000 $\Omega \cdot m$ 间变化。因此将高阻到低阻变化的陡变带作为矿与非矿的边界线。在该矿区按4 000 $\Omega \cdot m$ 作为推断矿体的边界线,与钻孔见矿位置相吻合。方法试验成功后,在矿区其他勘探线进行推广应用,2008—2010年,在大台沟矿区先后共测量了10条EH4垂直于矿体走向剖面,方位45°,单条剖面长720~1 980 m,线距400~800 m,点距20~30 m,取得了令人满意的效果。

2.2 电阻率分布总体特征

为了更加准确地反演矿体的形态产状,对ZK001号钻孔的岩心进行了电性参数测量,测量成果见表1。

表1 岩矿石物性测量统计成果

岩矿石名称	块数	视电阻率 ρ_s ($\Omega \cdot m$)		岩矿层大致埋深(m)
		变化范围	平均值	
灰黑色泥灰岩	14	312~5628	1843	0~100
砂岩夹页岩	15	368~4221	2140	50~150
蛋青色泥灰岩	15	592~3860	1981	150~700
紫色泥(灰)岩	15	965~10207	5975	
灰白色石英砂岩	15	2058~38831	12229	600~900
硅化白云质大理岩	30	1226~25620	7918	800~1200
绢化绿泥石英片岩	30	1688~44598	13362	800~1800
条带状磁铁石英岩	15	448~3411	1267	1100~2000
赤铁石英岩	15	1036~7654	3165	1100~1500

(1)在纵向上,剔除断裂构造因素影响,电阻率的变化反映岩性的变化^[3]。从勘探线剖面总体看(图2、图3、图4),由浅部至深部电阻率逐渐升高;

浅部主要是沉积岩层,近水平产出,岩石裂隙较发育,受浅部地下水影响,电阻率普遍低。-500 m 标高以下,岩石裂隙相对较少,岩性以泥灰岩、页岩为主,电阻率升高;-600~-900 m 标高以块状石英砂岩为主,表现为电阻率最高;-800~-1 200 m 标高为辽河群沉积变质硅化大理岩、绢云石英(片)岩,电阻率较高;鞍山式铁矿体:条带状磁铁石英岩视电阻率最低,平均为 $1\ 267\ \Omega \cdot m$,据此可区别于其他地质体。

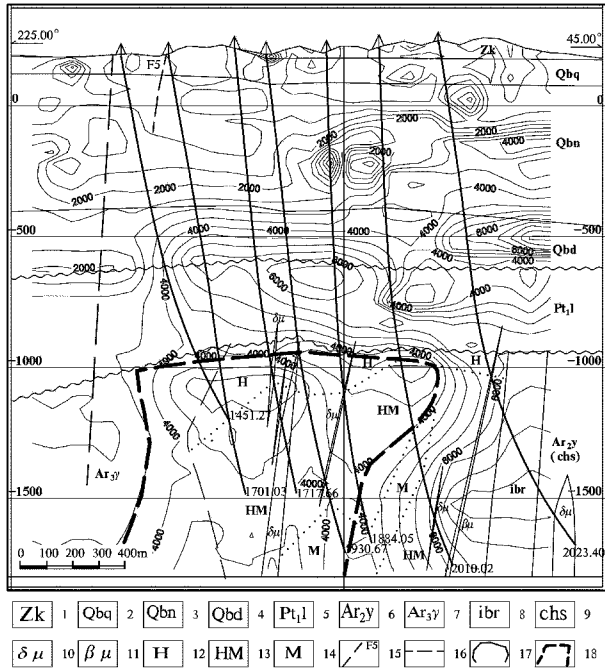


图 2 大台沟铁矿 0 线综合地质剖面图

1—康家泥质灰岩;2—桥头组石英砂夹页岩;3—南芬组泥灰岩、页岩;4—钓鱼台组石英砂岩;5—辽河群硅化大理岩;6—鞍山群樱桃园组;7—花岗质片麻岩;8—条带状磁铁石英岩;9—绿泥片岩;10—闪长玢岩;11—辉绿岩;12—赤铁矿体;13—混和矿体;14—磁铁矿体;15—推测断层及编号;16—推测地质界线;17—EH4 测深曲线;18—EH4 推断矿体边界

(2)横向上,电阻率的变化原因较复杂。一般情况下,地表近水平分布的缓倾斜岩层,电阻率的变化较小,但由于受岩层裂隙、断裂及不同部位充水的影响,导致横向电阻率局部变化较大。对于深部的变质岩系,抛开褶皱、断裂等构造因素,电阻率变化由铁矿体引起^[4]。

2.3 EH4 解译标志

大台沟铁矿体自上而下分带一般为:含铁砾岩(古风化壳)—赤铁矿层—赤铁磁铁矿层—磁铁矿层。按照从已知推未知的原则,确定矿体的解译标

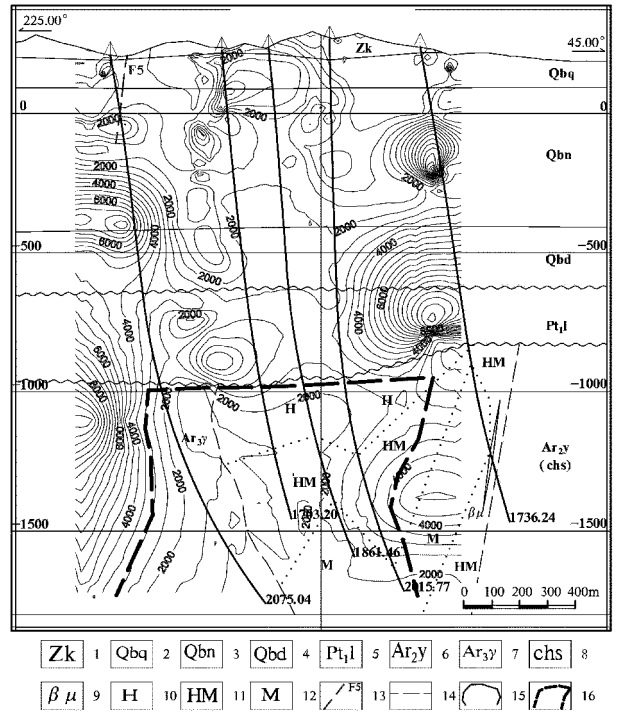


图 3 大台沟铁矿 3 线综合地质剖面图

1—康家泥质灰岩;2—桥头组石英砂岩夹页岩;3—南芬组泥灰岩、页岩;4—钓鱼台组石英砂岩;5—辽河群硅化大理岩、绢云石英片岩;6—鞍山群樱桃园组条带状磁铁赤铁矿、绿泥片岩、花岗质片麻岩;7—花岗质片麻岩;8—绿泥片岩;9—闪长玢岩;10—赤铁矿体;11—混和矿体;12—磁铁矿体;13—推测断层及编号;14—推测地质界线;15—EH4 测深曲线;16—EH4 推断矿体边界

志如下:

(1)根据矿区物性参数测量结果,一般情况下,在相对高阻区内出现呈面积性分布的相对低阻区,圈定为矿体。该矿区以 $3\ 500 \sim 4\ 000\ \Omega \cdot m$ 等值线作为推断矿体的边界线。

(2)根据电阻率曲线变化特征进行判断。一般由近水平缓倾斜突变为呈近直立陡倾斜分布的转折部位,推断为矿体顶界面。电阻率曲线变化梯度带,多推断为铁矿体的边界线(图 2、图 4)。值得注意的是,在该矿区出现了低阻区位置与钻孔控制矿体真实位置有不同程度的位移,EH4 低阻区偏向矿体南西侧,在东北侧高阻区($8\ 000\ \Omega \cdot m$)有磁铁矿体存在(图 2、图 3、图 4)所示。统计发现,位移距离大小与矿体的磁性强度呈正相关关系,磁性越高偏移距离越大。实际应用中,往往将圈定的低阻区整体向北东方向平移一定距离后,即作为推断矿体的位置。

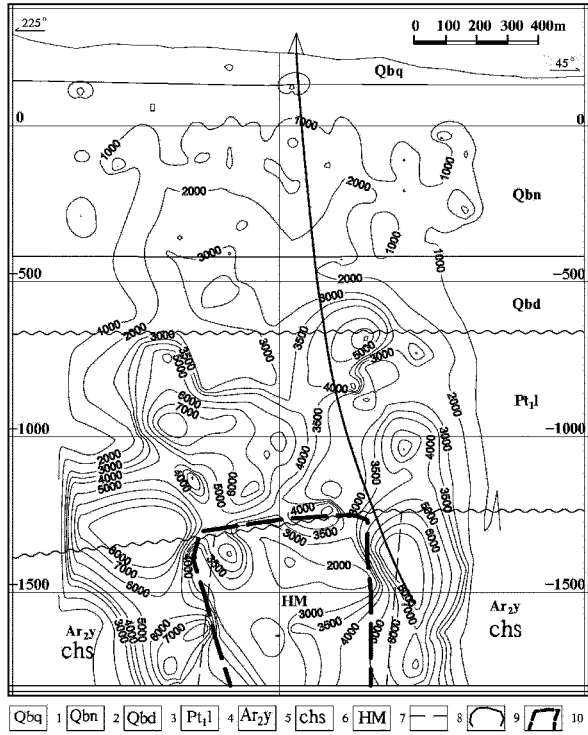


图4 大台沟铁矿8线综合地质剖面图

1—桥头组石英砂岩夹页岩;2—南芬组泥灰岩、页岩;3—钓鱼台组石英砂岩;4—辽河群硅化大理岩、绢云石英片岩;5—鞍山群樱桃园组条带状磁赤铁石英岩、绿泥片岩、花岗质片麻岩;6—绿泥片岩;7—混和矿体;8—推测地质界线;9—EH4 测深曲线;10—EH4 推断矿体边界

分析研究认为,引起这种情况有2种可能:①矿体北东侧受磁铁矿影响而电阻率较真实值偏高(约2.5倍,8000 $\Omega \cdot m$ 左右);②由电磁波传播非垂直反射产生的偏移。

第一种可能:磁铁矿对电磁波的影响。电磁波在传播中与介质介电常数(ϵ)、磁导率(μ)、电导率(σ)有关。在EH4反演计算中,考虑到频率较低,忽略了位移电流的影响并认为介质都是无磁性,计算中 μ 取常数1。而该区矿体埋深1000多米,电磁波的频率已经相当低,忽略位移电流的影响是合适的,而对介质都是无磁性的假定是不恰当的。岩石磁导率(μ)取决于其所含磁性矿物的多少,矿石中磁铁矿含量达到30%时,其相对 μ 为 $2.5 \pm$ 。而对视电阻率的影响是反相关,即由于忽略了的影响而使计算出的电阻率高于真实值2.5倍左右。也就是说,在 $\mu=1$ 时,可取3500 $\Omega \cdot m$ 作为推测矿体的边界线,在 $\mu=2.5$ 时,也可取 $2.5 \times 3500 \Omega \cdot m$ 作为推测矿体的边界线。

第二种情况:目前采用的反演计算模型是水平

层状介质模型,即假定电磁波在介质中传播、反射都是沿铅垂方向。事实上,地质体的界面不可能是水平面,电磁波的反射也不可能完全沿着垂直方向,由于反射界面的非水平而导致电磁波传播方向改变,进而产生勘测数据水平方向漂移是完全可能的,但目前没有翔实资料可以计算位移的方向和距离。

3 EH4 勘查剖面的地质解释

3.1 0 勘查线剖面

浅部电阻率等值线基本上呈现水平分布,向深部电阻率具有增长趋势,反映出浅部沉积岩产状近水平;岩性上由近地表的受地下水影响的风化低阻岩石,向深部电阻率增大,岩性为泥灰岩、页岩,巨厚层石英砂岩。浅部横向局部电阻率的变化受裂隙、断裂构造的影响。在深部(-1000 m标高以下)电阻率在纵向上逐渐变小,在横向上NE方向变大,反映有疑似铁矿体存在。矿体顶端电阻率等值线近水平;电阻率等值线推断矿体呈不规则厚板状,近直立,略倾向SE。其中含有一块高阻体,经钻孔验证为闪长玢岩脉体,矿体水平厚度约1000 m(图2)。

3.2 3 勘查线剖面

浅部沉积盖层产状近水平,电阻率横向变化不均匀,两侧高,中间低,反映中间有断裂构造存在(图3)。深部电阻率低值区域为疑似铁矿体,与钻孔见矿情况基本吻合。矿层顶板为硅化大理岩、(绢云)石英(片)岩,电阻率高于矿层。从矿体顶板和矿体的上、下位置关系及电阻率的差异,可以较客观地圈定疑似铁矿体。电阻率等值线顶部近水平,矿体边界产状近直立,略倾向SW,水平厚度800~1000 m。

3.3 8 勘查线剖面

在浅部,电阻率等值线基本上呈现水平展布,-600 m标高以浅电阻率较低,向深部电阻率具有增长趋势,反映出浅部沉积岩盖层产状近水平,岩性上由近地表受地下水影响的风化低阻岩石,向深部电阻率增大变化为高阻的巨厚层石英(砂)岩、硅化白云质大理岩、绢云石英(片)岩等。绢云石英(片)岩下伏的铁矿体,即赤铁石英岩,电阻率值较低,矿体总体按3500 $\Omega \cdot m$ 圈定,矿体北东侧边界按7000~8000 $\Omega \cdot m$ 圈定,且已被钻孔证实,推测矿体水平厚度约600 m(图4)。

4 EH4 方法应用注意的问题

不同物探方法都有它的优点和局限性。“磁法测量”是确定磁性体存在的基本方法,通过磁异常中心的磁测剖面,可以较准确地推断磁性体的埋深、形态、规模及产状,但要定量计算推断,其准确性较差^[5]。而EH4连续电导率剖面测量,不论是在异常中心,或非异常中心,均能测出其电导率特征,能较好地反映出深部大的隐伏铁矿的顶面边界,具有方便快捷、异常形态直观、对埋深大的铁矿体能准确定位等优点。其不足一是由于磁铁矿对电磁波的影响,介质磁导率(μ)的取值会对异常定位与实际矿体位置发生“异常位移”。在EH4反演计算中,应考虑矿石中磁铁矿含量对介质磁导率的影响,利用已知铁矿体确定,计算出电阻率的真实值。另一方面,当地气候条件对EH4测量有一定的影响,同一个测点在阴天和晴天测量出的电阻率数据变化较大,给异常解释带来一定的困难。

EH4连续电导率剖面测量,其探测深度一般小于1200m为最佳,但大台沟矿区在大于1200m深度探测仍取得了较好效果。因此,在铁矿勘查工作中,运用磁测、EH4测量成果相互印证,可为钻探工

程布置提供较充分的依据,尤其是在布设控制矿体边界钻孔时,可起到决定性作用,降低勘查风险。

5 结语

(1)EH4连续电导率剖面测量方法,可以推断隐伏铁矿体的埋深、宽度、规模及产状。在大台沟深部隐伏铁矿勘查中取得了较好的效果。

(2)磁法测量和EH4测量,2种方法综合运用弥补各自的不足。不同方法的测量成果可以相勘校,互佐证,为后续钻探工作提供更充分的依据。

参考文献:

- [1] 郭晓东,陈孝强,王治华,等. EH4连续电导率测量在宝兴厂矿区的应用[J]. 地质与勘探,2009,45(1):52-58.
- [2] 洪秀伟,庞宏伟,刘学文,等. 辽宁本溪大台沟铁矿地质特征[J]. 中国地质,2010,37(5):1426-1433.
- [3] 王海芹,王虹,王玉和,等. EH-4电磁测量在化马湾地区金矿找矿中的应用[J]. 山东国土资源,2008,24(7-8):68-72.
- [4] 张作伦,曾庆栋,叶杰,等. 草原覆盖区隐伏金属矿体定位预测——以大兴安岭中南段某铅锌矿点为例[J]. 吉林大学学报(地球科学版),2007,37(1):38-40.
- [5] 谭天元,皮开荣. 连续电导率剖面法(EH4)在岩溶勘探中的应用[J]. 水电勘测设计,2002,(4):31-36.

Application of Stratagem EH4 System in the Exploration of Benxi - Dataigou Iron Deposit in Liaoning Province

PANG Hongwei, HONG Xiuwei, LI Erfeng, WANG Changfeng, SHA Chengman, ZHANG Fengchun
(Liaoning Survey Academy of Geology and Mineral Resources, Liaoning Shenyang 110031, China)

Abstract: Continuous measurement of stratagem EH4 system electrical conductivity profiles were used in geological exploration in recent years, to infer the depth, width, size and occurrence of concealed ore body. Verified by drilling, EH4 continuous measurement of electrical conductivity profiles were measured in Benxi iron ore exploration, and achieved good results. The comprehensive use of two methods of EH4 measuring and magnetic survey for drilling provided better follow-up basis for exploring deep concealed ore body.

Key words: Stratagem EH4 system; conductivity; profile measurement; Benxi - Dataigou iron deposit; Benxi city in Liaoning province