

# EH4连续电导率法在西昆仑大红柳滩赤铁矿床勘查中的应用

胡军<sup>1,2</sup>,王核<sup>1</sup>,黄朝阳<sup>3</sup>,慕生禄<sup>1</sup>,韩红卫<sup>4</sup>,魏勇<sup>4</sup>

(1.中国科学院广州地球化学研究所,广东 广州 510640;2.中国科学院大学,北京 100049;  
3.重庆工程职业技术学院,重庆 402260;4.新疆新地地质勘查有限公司,新疆 乌鲁木齐 830000)

**摘要:**以西昆仑甜水海地块新发现的大红柳滩赤铁矿床(大型)为研究对象,在系统总结矿床地质特征基础上,开展EH4连续电导率剖面测量。结果表明,该方法对矿区构造特征和矿体深部形态有较好指示,深部低阻异常清晰显著,找矿前景良好。

**关键词:**西昆仑;甜水海地块;大红柳滩;EH4;成矿预测;赤铁矿床

西昆仑-喀喇昆仑造山带地处塔里木盆地西南缘,青藏高原西北缘,总体呈NW走向的巨型反“S”状展布,由北向南被奥依塔格-库地缝合带、麻扎-康西瓦缝合带、乔尔天山-红山湖缝合带分为北昆仑地体、南昆仑地体、甜水海地块、喀喇昆仑地块(图1-a)<sup>[1-2]</sup>。该区地质构造复杂,地层发育齐全,岩浆活动频繁,矿床类型发育,成矿条件十分有利<sup>[3-5]</sup>。近年来在甜水海地块前寒武纪中发现一批大中型铁矿床,其中有两个重要的含铁沉积变质带:一是塔什库尔干县一带古元古界布伦阔勒群中发育有多个沉积变质型磁铁矿,自北至南产出叶里克、老并、赞坎、莫喀尔,南延伸至塔吐鲁沟(图1-a),地表构成长约110 km,宽约15 km,呈NNW向延伸的巨型铁矿带<sup>[6-8]</sup>;二是黑孜干-大红柳滩一带产出大红柳滩、黑孜干、阿克苏依等数个大中型沉积变质型赤铁矿(图1-a),表明西昆仑-喀喇昆仑地区铁矿找矿潜力巨大。但该区海拔高、切割强烈、冻土层厚的自然条件使得探索行之有效的勘查技术方法成为亟需解决的问题。目前国际上先进的EH4电磁法在金属矿产勘查中得到广泛应用<sup>[9-14]</sup>,EH-4连续电导率剖面仪器为Geometrics公司和EMI公司联合研制的双源型电磁系统,携带便捷,对地质构造有较精确解译,在西昆仑地区斑岩型铜钼矿、沉积变质型磁铁矿的矿体深部

形态、构造特征及成矿预测等方面取得良好的应用效果,成为该地区矿产勘查的首选仪器<sup>[12,13]</sup>。

近年来矿产调查成果表明,黑孜干-大红柳滩一带具巨大的赤铁矿找矿潜力<sup>[9]</sup>,然而针对弱磁性-无磁性的赤铁矿种,尚未建立有效的勘查技术方法体系。前人开展的普通磁法和激电测量效果不佳<sup>[9]</sup>,已在西昆仑铁、铜矿床勘查中成功应用的EH4电磁测深技术能否在赤铁矿床勘探中有良好的效果?本文以西昆仑甜水海地块新发现的大红柳滩大型赤铁矿为研究对象(图1),在分析地质特征、控矿条件基础上,结合勘探资料,选择典型矿体开展EH4电磁测量,对矿区构造特征、矿体深部形态、找矿潜力进行预测,探索高寒地区赤铁矿床的有效勘探方法。

## 1 矿区地质

### 1.1 矿区地质概况

大红柳滩铁矿床位于和田县城西南方170 km处,地理位置为东经78°35'40"~78°53'45",北纬35°49'36"~35°58'30"。构造位置上处于甜水海地块东段(图1-a)。该区域出露地层主要为震旦纪(532~593 Ma)甜水海岩群、寒武纪甜水湖组、下志留统温泉沟组、下三叠统巴颜喀拉山群(图1-b)<sup>[9]</sup>。

矿区位于甜水海岩群中(图2),赋矿地层岩性组

**项目资助:**国家十二五科技支撑项目(2011BAB06B05-01)及中国科学院广州地球化学研究所“135”布局项目(GIGCAS 135 project Y234021001)资助

**收稿日期:**2014-11-21;**修订日期:**2015-01-19;**作者E-mail:**aa226039@126.com

**第一作者简介:**胡军(1988-),男,安徽阜阳人,博士,2015年毕业于中国科学院广州地球化学研究所,从事矿床学研究

**通讯作者:**王核,研究员,博士生导师,E-mail:wanghe@gig.ac.cn

① 新疆新地地质勘查有限公司.新疆和田县大红柳滩一带铁多金属矿预查工作总结,2014

② 中国科学院广州地球化学研究所.国家十二五科技支撑项目西昆仑-帕米尔区域成矿规律与典型矿床研究2014年度研究工作总结,2014

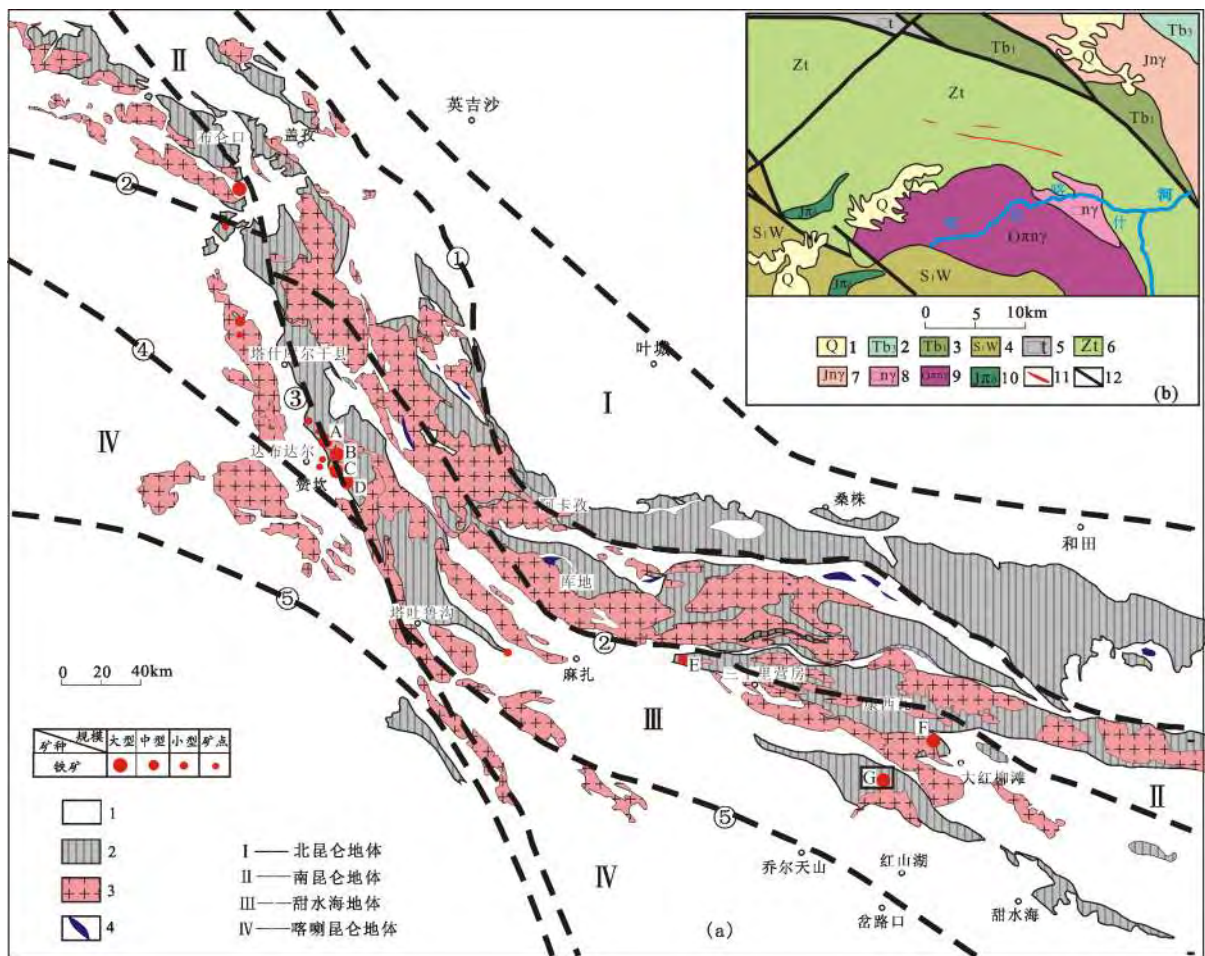


图1 西昆仑地区沉积变质型铁矿分布简图(a)及大红柳滩铁矿床区域地质略图(b)

Fig.1 Of Geologic schematic map of sedimentary-metamorphic iron deposits in the West Kunlun area(a) and Geological map of the Dahongliutan iron deposit(b)

图1-a:1.显生宙构造层;2.前寒武纪构造层;3.花岗岩类;4.基性-超基性岩类

- ①——奥依塔格-库地缝合带;②——麻扎-康西瓦缝合带;③——喀喇昆仑断裂;④——乔尔天山-红山湖缝合带;⑤——班公湖-怒江缝合带;A——叶里克铁矿;B——老井铁矿;C——赞坎铁矿;D——莫喀尔铁矿;
  - E——黑黑夜干铁矿;F——阿克萨依铁矿;G——大红柳滩铁矿
- 图1-b:1.第四系;2.上三叠统巴颜喀拉山群上组;3.上三叠统巴颜喀拉山群下组;4.下志留统温泉沟组;5.寒武系甜水湖组;6.震旦纪甜水海群;7.侏罗纪中细粒黑云母二长花岗岩;8.寒武纪中细粒黑云母二长花岗岩;9.奥陶纪中粒含斑黑云母二长花岗岩;10.侏罗纪黑云母花岗岩闪长岩;11.铁矿化体;12.断裂

合为深灰-灰黑色硬绿泥石白云母石英片岩、浅灰绿色白云母石英片岩、硅化方解石大理岩、含铁白云质大理岩。硬绿泥石白云母石英片岩为矿区主体岩性,呈近EW向带状分布,北倾单斜产出。白云母石英片岩出露规模相对较小,多与硬绿泥石白云母石英片岩呈互层产出。硅化方解石大理岩产出规模不大,呈近EW向带状、层状分布,岩石出露宽度一般几十厘米至100余米,个别达200 m。含铁白云质大理岩呈近EW向带状分布,出露宽度一般十余米至100余米,最宽220 m,为矿区重要赋矿围岩。受区域性大断裂(康西瓦断裂)和岩体侵位影响,矿区内发育小规模波状褶曲,局部地层和矿体形成一系列

“V”型褶皱,地层产状变化较大,发生倒转,矿体形态和矿石质量遭后期改造。矿区侵入加里东期灰白色中粒含斑黑云母二长花岗岩(484 Ma)<sup>①</sup>、少量浅肉红-灰白色中细粒黑云母二长花岗岩(528 Ma)<sup>①</sup>和变辉长岩脉中(532 Ma)<sup>①</sup>。区域变质程度达低绿片岩相。动力变质作用为塑性变形和脆性变形,前者多见褶皱变形、定向构造等,后者可见地层错移、岩石挤压破碎等。接触变质作用主要发生在侵入岩体与大理岩接触部位,形成透镜状矽卡岩矿物。

### 1.2 矿体特征

矿区共圈定8条主要铁矿体,铁铜矿体3条,分南北两个矿带(图2)。北矿带整体呈近EW向,断续

① 中国科学院广州地球化学研究所.国家十二五科技支撑项目西昆仑-帕米尔区域成矿规律与典型矿床研究2014年度研究工作总结,2014

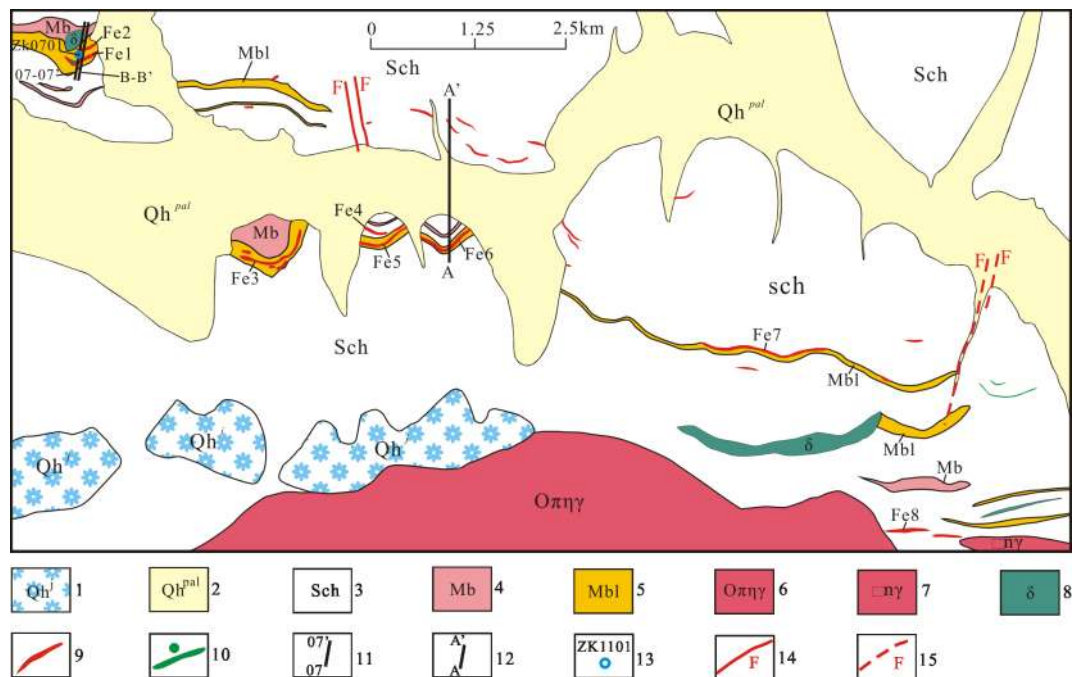


图2 西昆仑甜水海地块大红柳滩铁矿床地质简图

Fig.2 Geologic schematic map of iron bodies in the Dahongliutan iron deposit in the Tianshuihai terrane, West Kunlun

1.第四系冰碛物;2.第四系冲洪积物;3.片岩;4.硅化方解石大理岩;5.含铁白云质大理岩;6.中粒含斑黑云母二长花岗岩;7.中细粒黑云母二长花岗岩;8.变辉长岩;9.铁矿体;10.铁铜矿体;11.勘探线剖面位置及编号;12.EH4剖面线位置及编号;13.钻孔位置及编号;14.断裂;15.推测断裂

延伸约5 km,地表出露宽3~150 m,总体产状 $320^{\circ}\sim 48^{\circ}\angle 30^{\circ}\sim 70^{\circ}$ ;南矿带地表出露长约12 km,宽2~32 m,总体产状 $345^{\circ}\sim 23^{\circ}\angle 30^{\circ}\sim 70^{\circ}$ 。矿体主要呈层状、似层状或透镜状,局部受地层变形和变辉长岩脉侵入影响,走向由NW转向NE向。主要铁矿体编号为Fe1~Fe8(图2)。

**Fe1矿体** 位于北矿带中,地表出露宽30~150 m,长约600 m,矿体顶底板为含铁白云质大理岩。受变辉长岩脉侵位影响,矿体产状变化较大,东段北倾,西段受应力作用发生扭转,南倾,呈透镜体状出露,产状 $358^{\circ}\sim 5^{\circ}\angle 30^{\circ}\sim 67^{\circ}$ 。主要矿石矿物为赤铁矿,含少量褐铁矿、菱铁矿,局部见孔雀石、辉铜矿。钻探结果显示,该矿体深部延伸稳定,钻孔(Zk0701)控制深度302.1 m,见矿厚101 m,平均品位39%。产状浅部较缓(0~107 m倾角 $30^{\circ}\sim 35^{\circ}$ ),深部变陡(107~320 m,倾角 $45^{\circ}\sim 65^{\circ}$ )。

**Fe6矿体** 位于南矿带中,矿体地表出露宽10~35 m,长约800 m,平均品位45%。矿体呈层状产于含铁白云质大理岩中(图2),近EW走向,北倾,产状 $334^{\circ}\sim 26^{\circ}\angle 43^{\circ}\sim 71^{\circ}$ 。主要矿石矿物为赤铁矿,含少量褐铁矿。

### 1.3 矿石结构和构造

矿石矿物主要为赤铁矿,少量菱铁矿和褐铁矿。脉石矿物主要为石英、白云石、铁白云石、方解石、白云母、硬绿泥石,硫化物主要为辉铜矿和黄铜矿,少量黄铁矿。矿物呈隐晶质、自形、半自形-他形、微晶结构,组成矿石的粒状变晶结构、鳞片变晶结构、变余砂状结构及交代结构。矿石构造主要为条带状、块状、浸染状构造,钻孔中常见矿石矿物和脉石矿物组成互层条带,宽1~5 cm,细0.1~0.5 mm。

## 2 EH4测量及解译推断

### 2.1 工作部署及原则

两条代表性剖面选择在大红柳滩矿区内典型矿体(Fe1和Fe6)进行EH4电磁测深。其中A-A'剖面对长2100 m,方位 $0^{\circ}$ ,贯穿南北矿带,总体垂直主矿体Fe6(图2,3),该剖面对矿区构造特征、矿体与围岩关系及矿体深部形态整体认识具有重要意义。围岩出露地段点间距为50 m,矿体出露地段点距加密至20 m,第四系覆盖地段点距为70 m;B-B'剖面长760 m,方位 $10^{\circ}$ ,穿过主矿体Fe1、Fe2(图2,4-a,b),该剖面用以查证矿体深部形态及EH4电磁测深对含

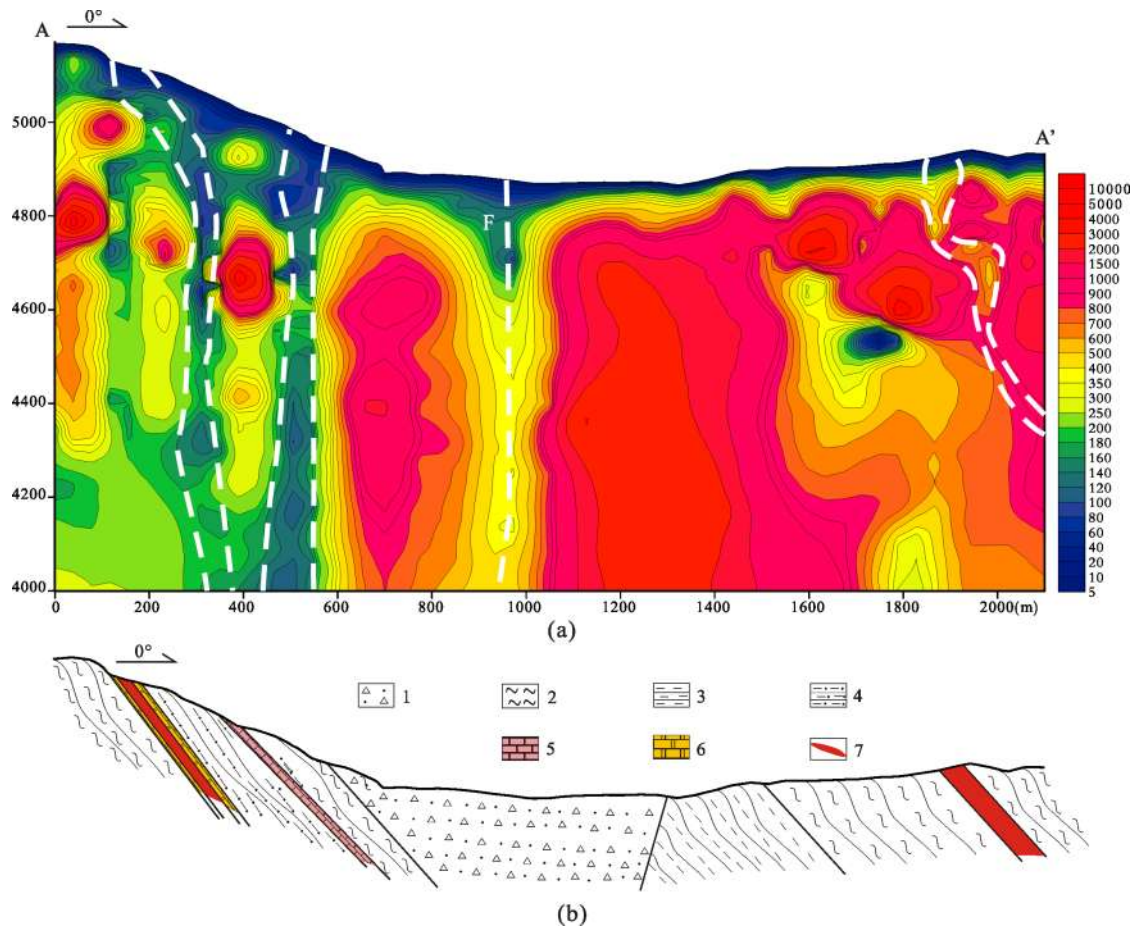


图3 大红柳滩铁矿区 A-A'线 EH4 电磁测深剖面解译图(a) 和 地质剖面图(b)  
 Fig.3 A-A' line EH4 electromagnetic sounding profile interpretation map (a) and geological section(b) in the Dahongliutan iron deposit

1.第四系冲积物;2.硬绿泥石白云母石英片岩;3.白云母石英片岩;4.石榴石白云母石英片岩;  
 5.硅化方解石大理岩;6.含铁白云质大理岩;7.铁矿体

铜铁矿体的预测效果,结合 07-07' 勘探线反映的地质特征和钻孔 Zk0701 见矿情况(图 4-b),验证反演效果。测量过程利用罗盘控制方位、产状,皮尺测量距离并换算平距,用 GPS 定点。严格按操作规范执行,测量电极分别沿测线平行方向(X 方向)及垂直测线方向(Y 方向)展布,极距 20 m×20 m,据地形、障碍物等因素适当改变极距大小。

2.2 解译推断原则

① 受铁多金属矿富集部位金属矿物影响,反演电阻率拟断面图上多表现为低阻或中低阻特征(电阻率小于 500 Ω·m)。

② 次级断裂(带),视电阻率为 50~1000 Ω·m,纵向展布,条带状延深。反演电阻率断面图上为等值线同步下凹或低阻值闭合的条带状中低阻异常,等值线分布密集,与两侧地质体电性差异明显,视其宽度大小推断为次级断裂(带)。

③ 铁矿层与含铁白云质大理岩关系密切,含铁白

云质大理岩形成的中高阻层位间形成的低于 500 Ω·m 的低阻封闭异常为本次研究重点。

④ 按电性划分地质体。将深部中高阻体(大于 1 000 Ω·m)推断为片岩和硅化方解石大理岩。

2.3 成果解译推断

2.3.1 A-A' 剖面解译

EH4 电磁测深剖面整体上表现为“两中高阻夹—中低阻”特征(图 3-a),电导率整体为 5~4 000 Ω·m,地表至地表下 100 m 处,整体显示低阻异常。受表层电磁趋肤深度影响,数据来源与外延不具代表性。结合 A-A' 地质剖面(图 3-b),推断如下:0~100 m 为硬绿泥石白云母石英片岩,显示中高阻特征。1 号低阻异常体位于 100~180 m,地表出露含铁白云质大理岩夹铁矿体,显示连续低阻异常,向下延伸未封闭。地表下 300 m 处(海拔约 4 820 m),异常整体北倾,倾角约 60°,深部逐渐变陡直立,具良好找矿潜力。200~580 m 出露含石榴石白云母石英

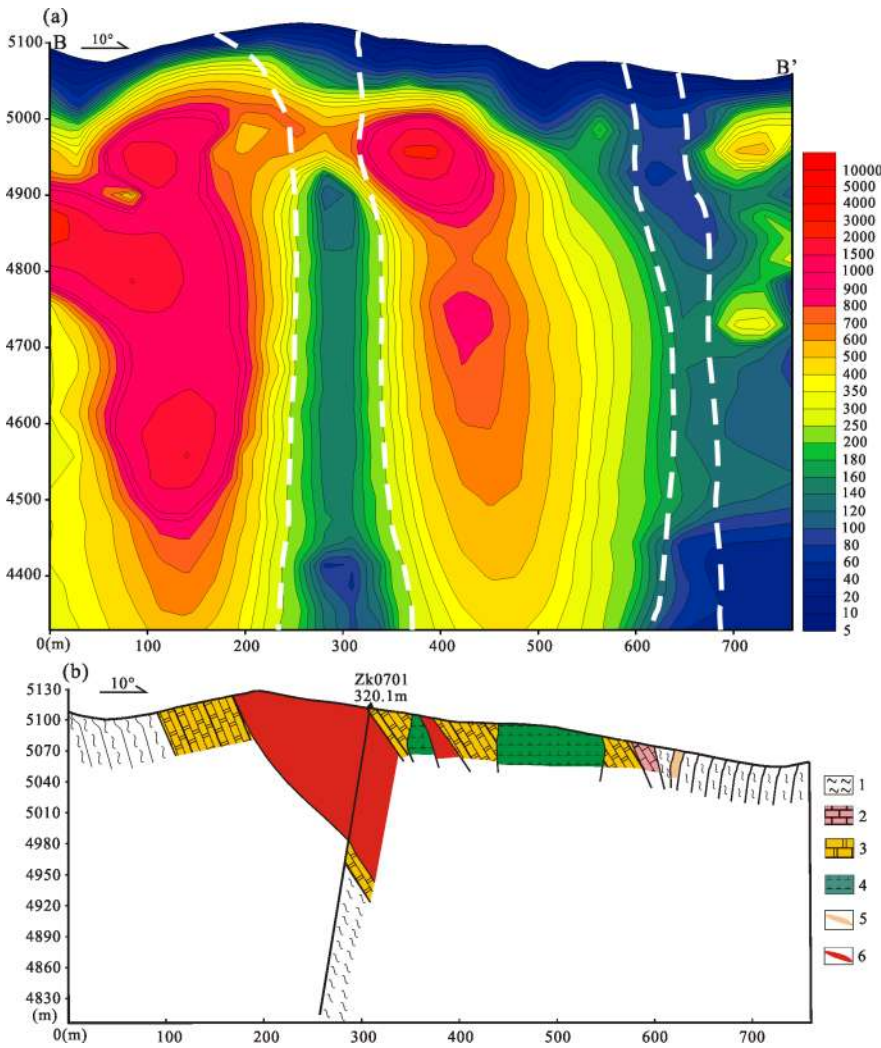


图4 大红柳滩铁矿B-B'线EH4电磁测深剖面解译图(a)和07-07'勘探线剖面图(b)  
 Fig.4 B-B' line EH4 electromagnetic sounding profile interpretation map (a) and 07-07' exploratory line profile (b) in the Dahongliutan iron deposit

1.硬绿泥石白云母石英片岩;2.硅化方解石大理岩;3.含铁白云质大理岩;  
 4.变辉长岩;5.石英脉;6.铁矿体

片岩夹硅化方解石大理岩,电导率整体呈中高阻;Ⅱ号低阻异常体位于500~580 m,岩石以坡积物出露,显示连续低阻异常,地表未发现相应特征介质,推测为破碎带引起,不排除矿致异常可能。500~1 300 m为第四系冲洪积物,地表未见基岩出露,电导率介于500~4 000 Ω.m,显示中高阻特征,推测岩性为硬绿泥石白云母石英片岩。920 m处发育一低阻异常,该异常整体向下延伸,未封闭,推测为断裂F。1 300~1 500 m为白云母石英片岩,1 500~1 875 m为硬绿泥石白云母石英片岩,总体显示中高阻,其中1 700~1 850 m,地表下约350 m处(海拔约4 560 m),发育一低阻体,推测为硬绿泥石白云母石英片岩中的碳质片岩夹层引起;Ⅲ号低阻异常体位于1 875~1 925 m,电阻率分布于200~500 Ω.m,地表见铁矿

体,电磁测深剖面显示该矿体整体北倾,在地表下约50 m处(海拔约4 880 m)发生转向,向下转为南倾,一直延续到地表下约260 m(海拔约4 670 m),逐渐转为北倾,然后变陡立,具良好找矿前景,但矿体产状较复杂。1 925~2 100 m为硬绿泥石白云母石英片岩,电导率总体介于5 000~2 000 Ω.m,显示中高阻特征。

2.3.2 B-B' 剖面解译

EH4电磁测深剖面电阻率为5~4 000 Ω.m(图4-a),地表及地表下100 m整体显示低阻异常。受表层电磁趋肤深度影响,数据来源与外延不具代表性。结合与B-B'剖面对应的07-07'勘探线(图4-b),推断如下:Ⅰ号低阻异常区位于剖面170~320 m,地表出露含铜铁矿体,地表至地表下80 m(海拔约5 027 m)的浅部异常产状较缓,地表下150~780 m处(海拔约4 957~4 327 m)异常变陡,推测为矿质异常,深部找矿前景良好;Ⅱ号低阻异常区位于550~640 m,自地表延伸至地表下750 m(海拔约4 327 m),呈串珠状延

伸,向深部未闭合,显示连续性低电阻率特征。该异常区存在两种可能:一是地表出露石英破碎带,未见矿化现象,推测为断裂破碎带引起;二是Fe1矿体受变辉长岩脉侵位影响,矿体发生明显褶曲,存在向斜赋矿可能,只是北翼为隐伏矿体,地表未见矿化现象。

2.4 地质-地球物理找矿方向

地质剖面、钻探资料、地球物理异常显示出较好的吻合度。排除表层电磁趋肤深度影响引起地表至地表下100 m处的低阻异常,片岩和硅化方解石大理岩显示中高阻特征,含铁白云质大理岩、铁(铁铜)矿体表现低阻-中低阻特征。在含铁白云质大理岩形成的中高阻层位间低于500 Ω·m的低阻封闭异常为容矿有利部位。断裂显示电阻率值与两侧地质

体电性差异明显,电阻率断面图上表现为等值线同步下凹或低阻值闭合的条带状中低阻异常。矿体层控特征明显(尤其与含铁白云质大理岩关系密切),深部延伸稳定,Zk0701见矿厚101 m,地球物理反演结果显示见矿深度在地表下150 m,可延伸至地表下780 m。EH4电磁测深剖面显示良好的深部找矿潜力,矿体浅部产状较缓,深部(地表下150~800 m)有变陡趋势,局部矿体深部变形强烈。钻孔设计时建议先进行浅部验证,再进行深部验证。

### 3 结论

本次研究认为,EH4连续电导率剖面仪对西昆仑甜水海地块大红柳滩铁矿区构造特征和深部矿体形态反演效果良好,与区内实际地质条件吻合度高,低阻异常体往往延伸至地表下800 m,深部找矿前景巨大。该方法对高寒地区赤铁矿床勘探实用性较强,可在同类型矿床中推广使用。

综合分析地质-地球物理特征认为,大红柳滩铁矿床层控特征明显,含铁白云质大理岩形成的中高阻层位间低于 $500 \Omega \cdot \text{m}$ 的低阻封闭异常可作为重点找矿区域。由于缺少钻孔电性测定数据,推断结果尚待进一步检验,建议加强物性测定与统计分析。

致谢:感谢审稿专家及《新疆地质》编辑部在撰写本文

过程中提出的宝贵意见。

### 参 考 文 献

- [1] 潘裕生,文世宣,孙东立,等.喀喇昆仑山-昆仑山地区地质演化[M].北京:科学出版社,2000,1-523.
- [2] 潘桂棠,朱弟成,王立全,等.班公湖-怒江缝合带作为冈瓦纳大陆北界的地质地球物理证据[J].地学前缘,2004,11(4):371-382.
- [3] 董永观,郭坤一,肖惠良,等.西昆仑地区成矿远景[J].中国地质,2003,30(2):173-178.
- [4] 王核,刘建平,李社宏,等.西昆仑喀依孜斑岩铜矿的发现及其意义[J].大地构造与成矿学,2008,32(2):179-184.
- [5] 董连慧,李凤鸣,屈迅.2008年新疆地质矿产勘查主要成果及国土资源部与新疆维吾尔自治区“358项目”工作部署[J].新疆地质,2009,27(1):1-4.
- [6] 冯昌荣,何立东,郝延海.新疆塔什库尔干县一带铁多金属矿床成矿地质特征及找矿潜力分析[J].大地构造与成矿学,2012,36(1):102-110.
- [7] 陈登辉,伍跃中,李文明,等.西昆仑塔什库尔干地区磁铁矿床特征及其成因[J].大地构造与成矿学,2013,37(4):671-684.
- [8] 黄朝阳.西昆仑布伦托海群铁矿床地质特征及成因研究[D].广州:中国科学院广州地球化学研究所,2014:1-108.
- [9] 李维群,沙成满,付建飞,等.铁矿探测EH-4的分析与应用[J].金属矿山,2006,7:48-50.
- [10] 申萍,沈远超,刘铁兵,等.EH4连续电导率成像仪在隐伏矿体定位预测中的应用研究[J].矿床地质,2007,26(1):70-78.
- [11] 任广利,王核,刘建平,等.EH-4连续电导率法在安徽南陵县朱家冲铜矿勘查中的应用[J].地质与勘探,2010,46(2):354-360.
- [12] 吴玉峰,王核,刘建平,等.西昆仑喀依孜铜矿EH4物探特征及成矿潜力分析[J].新疆地质,2010,28(4):454-457.
- [13] 黄朝阳,王核,李文铅,等.EH4在铁矿勘探的应用—以西昆仑坎坎铁矿为例[J].新疆地质,2014,32(3):405-409.
- [14] 樊战军,卿敏,于爱军,等.EH4电磁成像系统在金矿勘查中的应用[J].物探与化探,2007,31:72-76.

## Application of EH4 Successive Electrical Conductivity Survey to the Dahongliutan Hematite-rich Fe Deposit in the Western Kunlun Orogenic Belt

Hu Jun<sup>1,2</sup>, Wang He<sup>1</sup>, Huang Chaoyang<sup>3</sup>, Mu Shenglu<sup>1</sup>, Han Hongwei<sup>4</sup>, Wei Yong<sup>4</sup>

(1. Guangzhou Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou, Guangdong, 510640, China;

2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing, 100049, China; 3. Institute of Engineering, Chongqing,

402260, China; 4. Geology Exploration Ltd. of Xindi, Urumqi, Xinjiang, 830000, China)

**Abstract:** The newly discovered large Dahongliutan hematite-rich Fe deposit in the Tianshuihai terrane in the Western Kunlun orogenic belt, is mainly hosted in the Sinian Tianshuihai Group, a suite of neritic siliciclastic-carbonate rocks metamorphosed to greenschist facies. In this paper, based on the detailed descriptions of the geological characteristics and the known drill material, we use EH4 to show structure feature and the orebodies in deep area. The result shows that EH4 has the effective ability to prospect hematite-rich iron deposit in the plateau area. Meanwhile, there are distinct low-resistance anomalies in the depth, implying a good prospect for exploration. It is useful for hematite-rich Fe deposit exploration in high altitude and cold area.

**Keywords:** Western Kunlun orogenic belt; Tianshuihai terrane; Dahongliutan; EH4; Mineralization prediction; Hematite-rich Fe deposit