

doi: 10.11720/wtyht.2017.3.08

张晓东,方捷,张定源,等.激发极化法在东溪金矿接替资源勘查中的应用[J].物探与化探,2017,41(3):445-451.http://doi.org/10.11720/wtyht.2017.3.08

Zhang X D, Fang J, Zhang D Y, et al. The application of the induced polarization method to the replacement resources exploration of the Dongxi gold deposit [J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2017, 41(3): 445-451. http://doi.org/10.11720/wtyht.2017.3.08

激发极化法在东溪金矿接替资源勘查中的应用

张晓东¹, 方捷¹, 张定源¹, 谢恩才², 凌其怀², 孙瑛³, 冯海林³

(1. 南京地质调查中心, 江苏 南京 210016; 2. 安徽省霍山县金矿有限责任公司, 安徽 六安 237200; 3. 江苏省地质勘查技术院, 江苏 南京 210008)

摘要: 东溪金矿是北淮阳构造带东段最早被发现、最早被开采的金矿, 因矿石缺乏硫化物, 激电测量是否有效曾有争议。通过电阻率测量, 辅以极化率测量, 发现这些常用的物探技术在贫硫化物的东溪—南关岭金矿接替资源勘查中有效, 视电阻率异常指示含金石英(碳酸盐)脉, 视极化率异常可能暗示与成矿有关的脉岩及断裂构造。激电测量为探求控矿构造, 尤其为实施钻探工程提供了强有力证据。

关键词: 激电测深; 东溪金矿; 电阻率; 极化率; 接替资源勘查

中图分类号: P631 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-8918(2017)03-0445-07

0 引言

安徽东溪—南关岭金矿是北淮阳构造带东段发现的第一个原生金矿, 前人一般认为其是与中生代火山岩、次火山岩有关的浅成低温热液金矿^[1-3]。在多金属硫化物矿床的勘查中, 激发极化法是一种公认的、极其有效的勘查手段^[4-6]。东溪—南关岭金矿区中矿石因为贫硫化物, 激电测量能否取得预期效果曾有争议。激发极化法和电阻率法以岩(矿)石的激发极化效应差异和电阻率差异为物性前提^[7], 南关岭矿区地下基本为采空区, 所以本次 5 km² 激电中梯扫面集中安排在东溪矿区及其外围。通过对激电扫面及激电测深资料的分析研究, 阐述了激电中梯在低硫型浅成低温热液金矿床找矿过程中的有效性和较好的地质找矿效果。此次的勘查实践证明, 对于这类低硫化物型金矿, 激电测量仍是经济、便捷、有效的找矿手段之一, 值得推广应用。

1 区域地质背景

东溪—南关岭金矿所在的大别—苏鲁造山带为

中央造山带的重要组成部分, 连同其西边的东秦岭—桐柏造山带共同构成了中央造山带之东段。研究区位于大别山主体之北麓的一片狭长区域, 南北分别为桐柏—桐城(磨子潭—晓天)断裂和明港—六安断裂围限, 以商城—麻城断裂为界分为东西两段。安徽境内为东段(图 1), 长约 200 km, 宽约 80 km, 在大地构造位置上处于华北地块南缘和大别山变质造山带中大别变质岩浆构造带北部之间, 称为北淮阳构造带或北淮阳变质构造带^[8]。该带是我国东部具有巨大找矿潜力的构造岩浆成矿带^[9]。东溪—南关岭金矿在北淮阳成矿带东段中最早被发现, 金矿成因类型属浅成低温热液型。

区域地层简分为 2 个构造层, 即基底和盖层。前中生代变质岩基底细分出大别山群、庐镇关群、佛子岭群等亚构造层。盖层为中生代火山沉积地层, 以一套厚度巨大的陆相砂砾岩和火山岩为特征。东溪—南关岭金矿床产在晓天火山岩盆地东南边缘, 该盆地长约 40 km, 宽 2~8 km, 出露面积约 200 km², 总体上呈 290° 方向展布。与成矿关系最密切的是燕山期岩浆活动, 可分为早、晚两期。早期以大规模喷发伴随深成作用为特征, 发育钙碱性系列和钾玄岩系列, 与金、银、铅锌多金属成矿有关; 晚期岩浆活

收稿日期: 2016-05-15

基金项目: 中国地质调查局项目“安徽省霍山县东溪—南关岭金矿接替资源勘查”(12120114046001)

作者简介: 张定源(1981-), 男, 山东烟台人, 2009年毕业于贵州大学矿物、岩石、矿床专业, 工程师, 主要从事地质矿产勘查及研究工作。

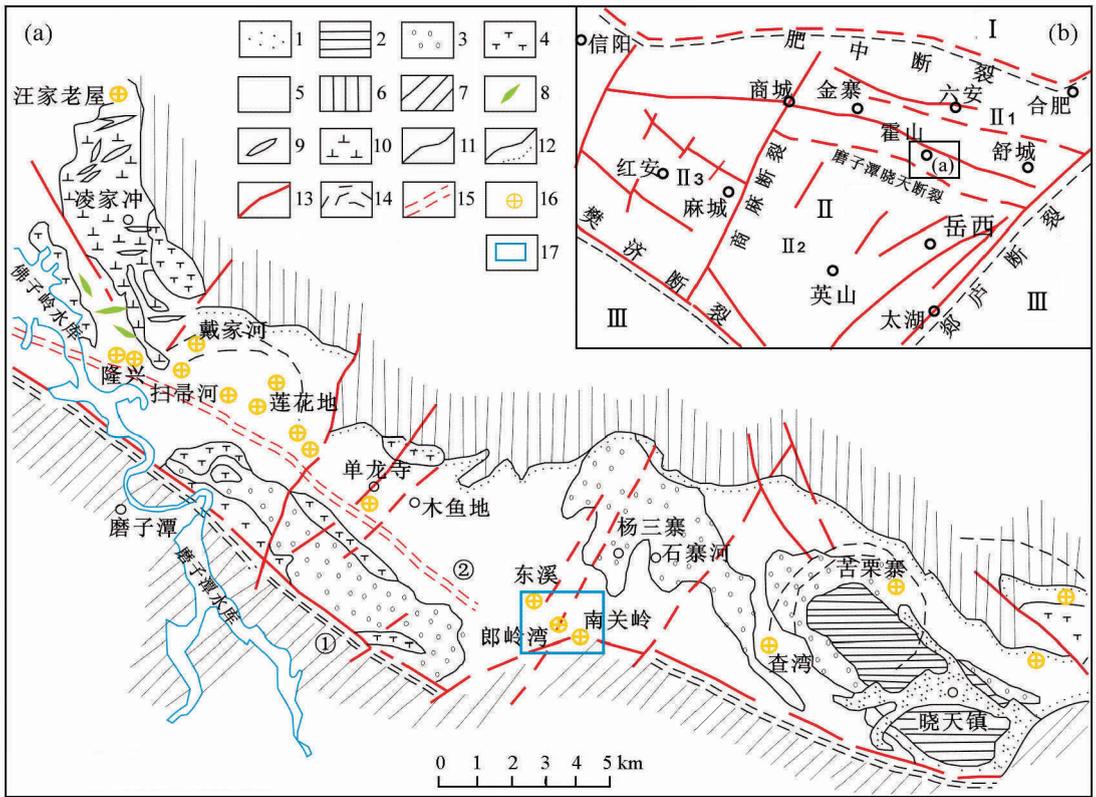


图1 晓天火山岩盆地地质略图(a)^[10]和大别山构造地质简图(b)

I—华北地块；II—桐柏—大别山构造带；II₁—北淮阳陷槽复合褶皱带；II₂—桐柏—大别裂解岛基底；II₃—桐柏—大别中元古代岛弧海盖层；III—扬子板块；1—第四系；2—下白垩统晓天组；3—上侏罗统黑石渡组；4—上侏罗统毛坦厂组第二喷发旋回火山岩；5—上侏罗统毛坦厂组第一喷发旋回；6—震旦系佛子岭群；7—新元古界大别群蛇绿混杂岩；8—燕山期闪长玢岩；9—岩脉；10—凌家冲燕山期浅成侵入杂岩；11—地质界线；12—不整合界线；13—断裂；14—环状断裂系统；15—糜棱岩带；16—金矿床(点)；17—测区范围。①—磨子潭—晓天深断裂；②—扫帚河—童家河破碎蚀变带

动以深成岩为主,属碱性系列,成因上与NE向构造紧密相关,表现为被动式岩墙充填特征,以NE—NNE向穿切早期岩体或火山岩,与钼矿化有关^[9]。

2 矿区地质特征

矿区出露地层为毛坦厂组火山岩,多呈似层状分布,厚100~230 m,主要岩性包括安山岩、安山质凝灰岩、安山质角砾凝灰岩、安山质火山角砾岩等,夹少量层凝灰岩及凝灰质粉砂岩薄层或透镜体。工业矿体受凝灰质火山岩的控制较明显。

矿区地层产状呈波状起伏,总体呈向北东缓倾斜的单斜构造,褶皱不明显,但断裂构造发育。主要断裂有NW向和NE向两组,次为层间断裂和SN向断裂。NW向断裂(裂隙)是矿区主要控矿构造,走向一般为300°~315°,该组断裂形成时间早,具有活动继承性,延续时间较长,为主要的控矿构造。

东溪矿区内金矿体产于含金石英(碳酸盐)脉内,

含金石英脉的分布受控于NW向破碎带(图2)。含金石英脉数量很多,其中主要的25条矿体的平均品位达 11.99×10^{-6} ^[3]。矿脉在平面或剖面上多呈不规则的脉状或小透镜状,具有分支复合及膨大缩小之特征。

3 岩(矿)石电性特征及方法技术选择

在工作区内采集了6种主要岩石标本198块,进行极化率(η)和电阻率(ρ)测量。实测结果(表1)显示各类岩石间存在显著电性差异,说明本区具备实施激电测量的物性前提。本次勘查目标是与成矿有关的石英(碳酸盐)脉及岩脉,它们的共同特征是高电阻率。

根据本区的实际情况,首先采用时间域激电中梯装置开展面积性测量,圈定含矿异常,然后在激电异常区的有利部位布设直流激电测深装置对异常进行解剖,以了解矿体产状、埋深及连续性。激电中梯

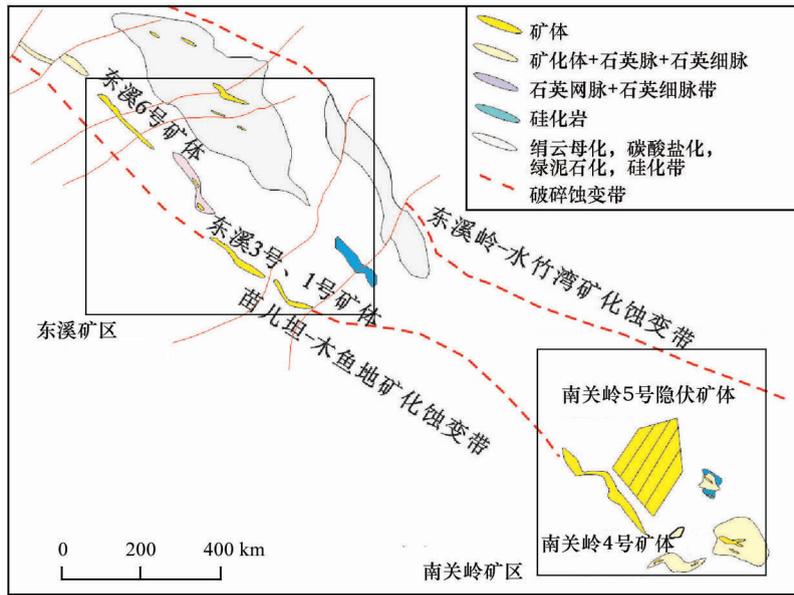


图 2 东溪—南关岭金矿控矿破碎蚀变带示意

表 1 东溪矿区岩石标本电性参数测定结果

岩石名称	$\eta/\%$			$\rho/(\Omega \cdot m)$			标本数	备注
	算术平均值	常见值	变化范围	几何平均值	常见值	变化范围		
安山岩	1.39	0.84	0.6~1.6	454.22	625	380~1130	32	
安山质凝灰岩	2.72	1.35	0.8~2.4	265.03	224	160~357	53	
安山质角砾凝灰岩	3.46	1.3	0.8~2.15	213.23	130	120~360	32	
硅化岩脉	2.27	1.73	1.38~2.78	268.49	160	120~290	20	风化
方解石—石英脉	1.92	1.68	1.07~2.53	5336.27	2850	1750~12230	30	
闪长岩	3.00	2.49	1.93~3.51	2877.99	4470	1200~5950	31	

工作比例尺为 1:1 万,测网为 $100\text{ m} \times 40\text{ m}$,测线方位角 45° ,测量面积 5 km^2 。采用 GPS (RTK) 定位测量方法布设物探测网。

本次激电测量工作中选用了 DJF-10 型大功率智能发射机和 DJS-8 激电接收机等电测仪器。激电扫面工作采用中梯装置短导线方式,一线供电多线观测,旁剖面与主剖面间的最大距离不超过 AB 距的 $1/5$,即旁侧线观测每边不超过 2 条。观测范围限于装置中部,即 AB 的 $1/3 \sim 2/3$ 之间。本次采用 $AB=1600\text{ m}$, $MN=40\text{ m}$ 的极距,观测范围 $700 \sim 800\text{ m}$,5 台接收机同时观测。

在激电中梯法圈出的具有找矿意义的异常及其两侧一定范围内布设激电测深,剖面方向大致平行于地质剖面,目的是了解异常体的顶部埋深及倾斜方向。激电测深物理点两端位于极化率正常场区,点距为 40 m 。激电测深采用对称四极等比装置形式,本次激电测深采用的最大 $AB/2$ 为 1500 m , $MN/AB=1/10$; $AB/2$ 极距分别为 $0.5、1、1.5、2.5、4、6、9、12、150、200、300、450、600、750、1000、1500\text{ m}$ 。

万方数据

4 激电异常特征及找矿效果

4.1 激电异常特征

因测区内与金矿有关的石英—碳酸岩脉普遍具有高阻特征,故本次测量的电阻率参数具有更好的找矿意义。整体来看,测区的高阻异常形态基本为 NW 向带状展布(图 3),主要集中在测区的南西侧,与 NW 向构造蚀变带及地表含矿的石英(碳酸盐)脉相对应,且脉体在深部仍有进一步的延伸。

极化率测量结果表明测区内视极化率背景场较低,大部分测点的视极化率值在 1% 左右,少有超过 2% 。图 4 中视极化率值普遍不高,2 处幅值较高的异常 $JD_{m_s}-2、JD_{m_s}-4$ 为单条测线上的高值点引起,其成因有待核实。另外从本次物性测定的结果来看,测区内的闪长岩类的极化率值普遍高于安山岩及安山质凝灰岩,视极化率异常有些可能与闪长岩类脉岩有关,应该也是良好的找矿标志。

根据激电扫面成果(图 3、图 4),结合相关地质

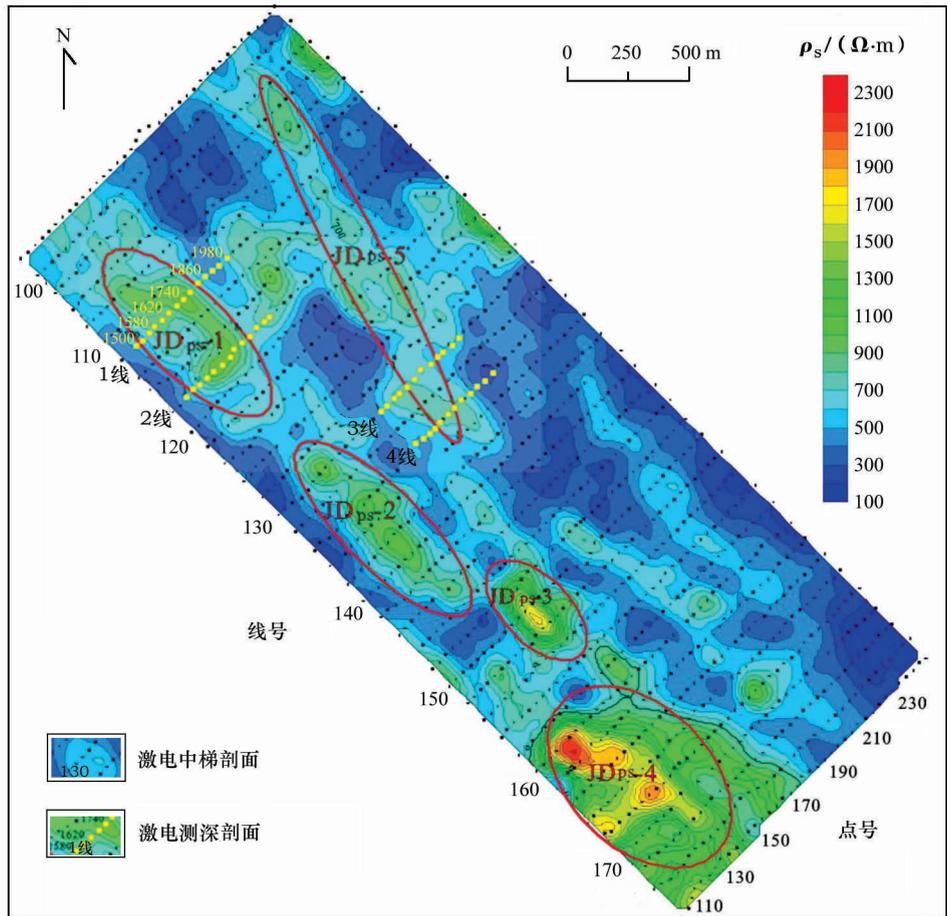


图3 东溪金矿及外围视电阻率等值线平面

资料分析,圈出高阻异常与高极化异常各5处。

1) $JD\rho_s$ -1 高阻异常、 JDm_s -1 高极化异常:经野外查证,异常对应地表北东处见有NW向延伸的石英方解石大脉,与视电阻率异常形态相吻合,且对应有高极化异常,由1.2%等值线圈出,极大值 $>2\%$ 。推测该异常为高阻含金地质体所引起,具有重要的找矿指示意义。

2) $JD\rho_s$ -2、 $JD\rho_s$ -3 高阻异常和 JDm_s -3、 JDm_s -4 高极化异常:NE向的条带状异常,该异常总体处于苗儿坦—木鱼地矿化蚀变带内,经查证,异常内地表处对应东溪6号、1号及3号露天矿体(已闭坑),有NE向断裂F4、F5、F7、F8、F9穿过异常,故推测此高阻、高极化异常应是已知金矿体的反映。

3) $JD\rho_s$ -4 中高阻异常、 JDm_s -5 高极化异常:为测区南东大片面状异常,长度约1100m,宽度约550m。该异常地表主要对应毛坦厂组安山质凝灰岩,根据物性资料可知,安山质凝灰岩相对于其周围的安山岩电阻率应较低,它们并不能引起如此强度的大片高阻异常,故推测该异常可能是岩体由南向北侵入引起的物性反映,与 $JD\rho_s$ -5 相对极化率值偏高可能与隐伏岩体有关。推测可能与岩浆侵入岩

(低温热液型金矿)矿化体有关,或是岩体本身具有较高的极化率引起。

4) $JD\rho_s$ -5 中高阻异常:为测区东北的狭长条带状异常,位于102线~130线北东及中部部,走向NW,长约1500m,宽约200m,主要由 $700\Omega\cdot m$ 等值线圈出,极大值 $>800\Omega\cdot m$ 。该异常对应地表见有多处石英方解石脉及细网脉带,另外从地表零星出露的岩脉来看,该处深部有岩体侵入的可能性较大,具很好的找矿前景。

4.2 找矿效果

经地表槽探工程揭露,激电异常区均有断裂或金矿(化)带发育。 $JD\rho_s$ -2 异常与 $JD\rho_s$ -3 异常主要是东溪金矿已知1、2、3、6号矿体反映,而 $JD\rho_s$ -4、 JDm_s -5 异常是由隐伏岩体引起的可能性较大。

在对 $JD\rho_s$ -1、 JDm_s -1 激电异常进行野外地质检查时,发现一条断续延伸约200m长的硅化破碎带(硅化石英脉),后安排了5条探槽揭露。经刻槽取样,金含量为:TC01中为0.24、0.21和0.18,TC02中为0.12和0.21,TC03中为0.15,TC05中为0.10、0.12和0.68,TC04中为0.36、0.62、0.19、3.63、0.15、0.36、1.10、0.26、0.37、0.25和0.48(以上金含量单位

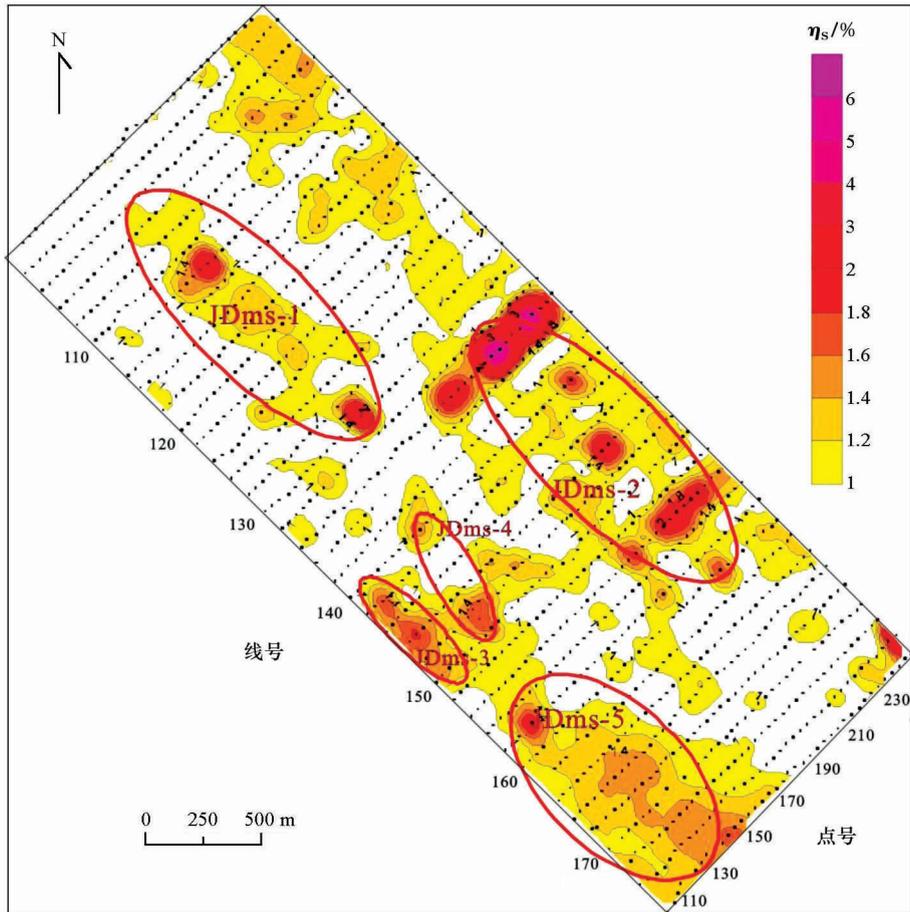


图4 东溪金矿及外围视极化率等值线平面

均为 10^{-6}), 可见该硅化破碎带就是矿化体。

JD ρ_s -5 激电异常属高阻、高极化异常, 该异常位于断裂及金矿化蚀变带上, 推测该异常所处位置为有利的成矿地段。地表探槽揭露金矿(化)含量($\times 10^{-6}$)为: TC06 为 0.20、0.60、0.78 和 1.45, TC07 为 1.22、0.35、1.91、2.89、0.63 和 0.27。该异常对应地表见有多处石英方解石脉及金矿(化)体, 但规模均较小, 另外从地表零星出露的闪长岩脉来看, 该处深部有岩体侵入的可能性较大, 推测该异常可能与深部岩体向上侵入顶部裂隙而形成的浸染状多金属矿化体有关, 也有可能是隐伏含金石英脉所致, 应具备很好的找矿前景。

4.3 激电测深

为了进一步分析激电测深断面异常垂向上的分布特征, 查明 JD ρ_s -1、JD m_s -1 高阻、高极化异常以及 JD ρ_s -5 异常体的赋存状态, 共开展了 4 条激电测深评价剖面工作。图 5 为 1 线激电测深数据分别以 AB/2 (对数坐标) 和 AB/3 (算术坐标) 为纵坐标成图, 可以看出, 纵坐标取 AB/2 (对数坐标) 时, 深部信息(即大极距) 被压制, 缺失较多, 故本次测深成果以 AB/3 (算术坐标) 为纵坐标作图。激电测深反

演采用二维带地形的剖面极化率及电阻率反演。

从各剖面视极化率等值线断面图上可以看出, 各线的视极化率普遍较低, 这点与激电扫面结果相吻合, 故激电测深异常的划分也主要以高阻特征为重点。下面以 1 线激电测深成果为例进行解释。

1 线位于激电中梯扫面 112 线, 长 480 m, 剖面方位角 45° , 共计 13 个测深点。本次测深主要目的是评价 JD ρ_s -1 异常。从图 5 看, 该线视电阻率总体表现为南西侧(小号点) 较高, 北东侧(大号点) 较低。点号 1580~1620 处, AB/3 = 300 m 以浅, 有一上一下两个高阻异常, 均由 $600 \Omega \cdot m$ 等值线圈出, 推测为上下 2 个高阻脉状体, 而根据曲线形态, 倾向分别为 SW 与 NE。点号 1740 左右, 高程 -100 ~ -300 m, 也存在一高阻异常, 由 $700 \Omega \cdot m$ 等值线圈出, 推测为一高阻脉状体, 向 NE 陡倾。这些高阻脉体可能都与隐伏含金石英(碳酸盐) 脉有关, 即高阻脉体可能就是隐伏的含矿地质体。

全线下部大范围的高阻区由 $600 \Omega \cdot m$ 等值线圈出, 推测可能为深部岩体的反映。测线上部视电阻率相对较低, 主要是中低阻的安山岩及安山凝灰岩引起。点号 1860~1980, AB/3 = 500 m 以浅为一

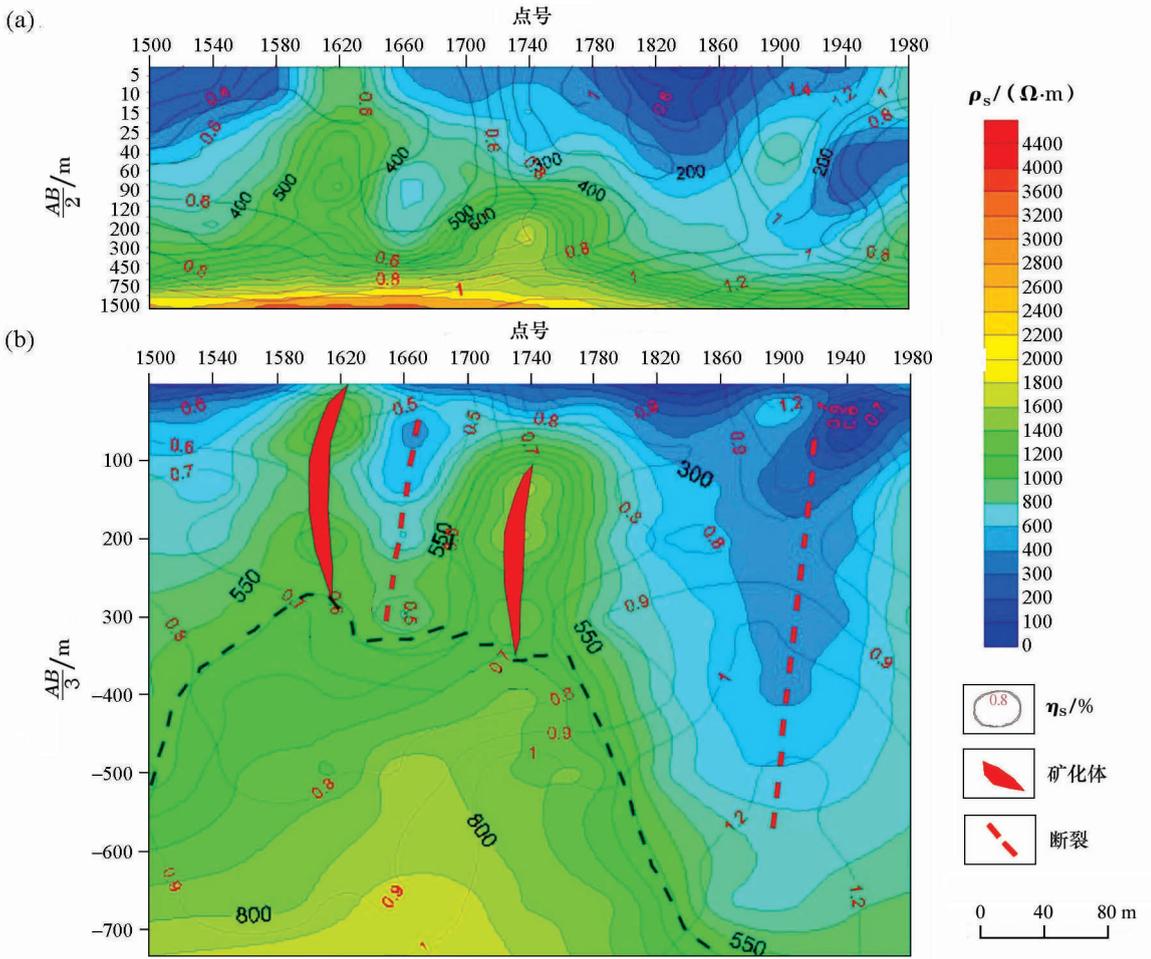


图 5 东溪金矿 1 线激电测深视电阻率、视极化率等值线断面 (不同纵坐标)

低阻区,视电阻率随着极距的增大有明显的跌落,推测为断裂引起,可能与区内 NE 向断裂或次级断裂有关;点号 1660、 $AB/3 = 300$ m 以浅为一低阻区,推测也为断裂破碎带引起。

从 1 线电阻率二维带地形反演电阻率断面(图 6)来看,测线在高程 0~50 m 之间以 $1000 \Omega \cdot m$ 等值线为界线,有一较明显的电性分界面,可能为毛坦厂组火山岩与其下部岩体的分界面。

5 结论与讨论

1) 本区勘查目标主要是石英(碳酸盐)脉、岩脉,它们的共同特点是电阻率明显高于围岩,而脉体两侧局部发育少量黄铁矿等金属硫化物,能引起极化率升高。因此,东溪—南关岭金矿总体上虽是贫硫化物,但勘查中仍可使用激电测量方法。

2) 本次圈定出 5 个视电阻率异常, JDP_s-2 异常与 JDP_s-3 高阻异常分别对应东溪金矿区的 6 号金矿体和 1 号、3 号金矿体,明显是矿致异常,说明高阻异常与矿体具有空间对应关系。其他的 3 个高阻

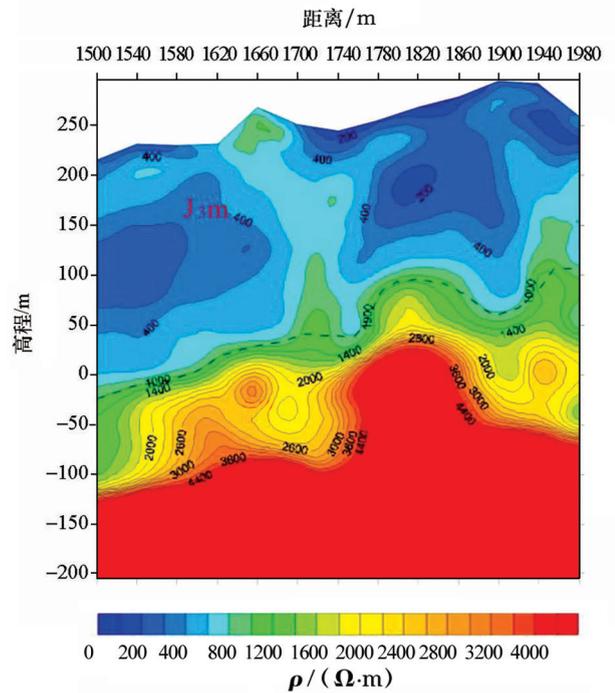


图 6 东溪金矿 1 线激电测深反演电阻率断面

异常也应具有重大的找矿指示意义。

3) 圈出的 5 个高极化异常与视电阻率异常在空间上具有一定的对应性,两者可以相互验证,极化率异常还能反映地表出露规模较小的岩脉和构造破碎带,这些岩脉和构造破碎带因为局部发育少量金属硫化物而凸现出高极化率,它们同样是找矿的重要指标。

4) 激电测深基本能反映 $AB/6$ 以上的地质情况,较清晰地反映出地表石英(碳酸盐)脉在深部的延伸情况,同时显示在火山岩盖层之下存在着凹凸不平的接触带,推测可能是深部岩体上顶造成的。从火山岩型金矿产出的构造部位来看,金矿主要产于火山岩盆地中的隆起,基底岩石断块的隆起。可以认为,火山机构的形成会造成基底岩块的隆起,多次的各种脉岩、次火山岩的侵位会形成一种上隆的体系,这些都为寻找火山岩型金矿提供了标志^[12]。

参考文献:

- [1] 杜建国.安徽晓天中生代火山岩盆地金矿成矿地质条件[J].贵金属地质,1992(4):207-213.
[2] 徐兆文,杨荣勇,任启江.安徽晓天一磨子潭火山岩盆地脉状金

- 矿床特征及成因[J].南京大学学报,1993,29(4):658-669.
[3] 张定源,王爱国,张晓东,等.安徽省霍山县东溪—南关岭金矿地质特征与成矿条件[J].资源调查与环境,2014,35(3):202-210.
[4] 朱红军.激发极化法在滇西某铅锌多金属矿勘查中的应用[J].金属矿山,2009(12):89-92.
[5] 刘爱平,楚福录,郭秀芬,等.激发极化法在冀北某铜钼矿勘查中的应用[J].物探与化探,2008,32(4):363-365.
[6] 刘振山,李娜.内蒙古某铅锌矿区激发极化法找矿效果[J].物探与化探,2013,37(3):433-437.
[7] 徐权辉,黄文彬.激电中梯法在圈定矿床范围中的应用实例[J].西部探矿工程,2010(6):159-161.
[8] 汤加富,李怀坤,姜清.庐庐断裂南段研究进展与断裂性质讨论[J].地质通报,2003,22(6):426-436.
[9] 彭智,陆三明,徐晓春.北淮阳构造带东段金-多金属矿床区域成矿规律[J].合肥工业大学学报,2005,28(4):364-368.
[10] 徐贵忠,边千韬,王艺芬,等.安徽北淮阳地区金成矿地质背景地质条件和成矿作用[J].贵金属地质,1994,3(3):225-232.
[11] 黄鹏,宋传中,任升莲,等.晓天一磨子潭断裂带构造变形分析及其对大别山构造变形的启示[J].地质论评,2015,61(3):511-5244.
[12] 刘秉光,易善锋.基底岩系对火山岩型金矿成矿的意义[J].贵金属地质,1995,4(12):81-85.

The application of the induced polarization method to the replacement resources exploration of the Dongxi gold deposit

ZHANG Xiao-Dong¹, FANG Jie¹, ZHANG Ding-Yuan¹, XIE En-Cai²,
LING Qi-Huai², SUN Ying³, FENG Hai-Lin³

(1. Nanjing Center, China Geological Survey, Nanjing 210016, China; 2. Huoshan County Gold Mine Co., Ltd., Lu'an 237200, China; 3. Geological Exploration Technology Institute of Jiangsu Province, Nanjing 210008, China)

Abstract: The Dongxi gold deposit is the first primary gold deposit discovered in the eastern part of northern Huaiyang tectonic belt, and it is also the first gold deposit for industrial mining. There exists controversy concerning the problem whether the induced polarization measurement could be an effective method or not under the condition of the lack of sulfides in the ore. According to the analysis of apparent resistivity and apparent polarizability measurement, the authors found that the commonly used geophysical exploration technique is effective for the replacement resources exploration in the Dongxi gold deposit with low sulfide content. The apparent resistivity anomaly indicates the auriferous quartz (carbonate) veins, and the apparent polarization anomaly might indicate dikes and fault structures related to the mineralization. The induced polarization measurement provides strong evidence for exploration of ore-controlling structure and drilling engineering implementation.

Key words: induced polarization measurement; Dongxi gold deposit; apparent resistivity; apparent polarizability; replacement resources exploration

(本文编辑:沈效群)