

doi: 10. 11720/wtyht. 2020. 1445

薛宝林, 刘桂梅, 田增彪, 等. 井中激电在隐伏铜矿勘查中的指示意义[J]. 物探与化探, 2020, 44(3): 507–513. [http://doi.org/10. 11720/wtyht. 2020. 1445](http://doi.org/10.11720/wtyht.2020.1445)

Xue B L, Liu G M, Tian Z B, et al. Indication significance of in-situ IP in exploration of concealed copper deposits[J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2020, 44(3): 507–513. [http://doi.org/10. 11720/wtyht. 2020. 1445](http://doi.org/10.11720/wtyht.2020.1445)

井中激电在隐伏铜矿勘查中的指示意义

薛宝林¹, 刘桂梅², 田增彪¹, 赵强¹, 任磊¹, 徐新学², 付金强¹

(1. 华北地质勘查局 五一九大队, 河北 保定 071051; 2. 天津市地球物理勘探中心, 天津 300170)

摘 要: 利用井中激电地—井测量方式可判断井底、井旁是否有盲矿, 利用井—地充电剖面测量方式可判断矿体产状、走向。在内蒙古北窝铺铜矿床勘查中, 通过井中激电测量圈定了高极化异常段并确定为矿化蚀变带引起, 推断矿体为 NE 走向, 倾向 SE。经钻孔验证推断结果正确。此次工作表明井中激电可以指导钻孔工程, 减少勘查投入。

关键词: 井中激电; 井—地充电法剖面; 隐伏铜矿; 产状

中图分类号: P631

文献标识码: A

文章编号: 1000-8918(2020)03-0507-07

0 引言

井中激电是在钻孔中进行激发极化测量的各种工作方式的统称, 是勘查深部硫化物矿体最直接、最有效手段之一, 它可以有效指示矿化蚀变部位, 对矿体产状及走向进行定量计算, 指导后期工程验证。目前地质钻探工程设计主要依据地表地、物、化条件, 但由于隐伏矿埋藏深度大、信号响应微弱及地形条件等方面的影响, 地面物化探工作的有效勘探深度受到限制, 导致钻孔揭示地质现象与地面认识存在相悖现象。井中激电可以扩大钻孔有效作用半径, 方法优势在于场源或接收装置置于地下, 可使仪器从不同深度、不同方位接近或穿过矿体, 有效提高探测深度和发现深部矿、隐伏矿的能力; 灵活的工作方式, 便于寻找井旁、井底盲矿, 确定矿体埋深、走向及产状等; 场源或接收装置接近目标体, 减小了地形和地表不均匀性对测量解释的不利影响, 异常响应明显, 信噪比高, 能显著提高有用信息量, 为深部找矿提供重要的指示作用^[1-2]。

在内蒙古北窝铺铜矿床勘查中, 通过地—井激电测量揭示了地下岩(矿)层与测井视极化率的对应关系, 可以圈定矿(化)体范围, 确定埋藏深度, 发

现钻孔底部和旁侧的盲矿体; 井—地充电法剖面测量可以判断矿体产状及走向, 进而指导工程布置^[3-4], 取得了较好的地质效果。

1 原理及方法选择

1.1 地—井工作方式

地表—井中工作方式, 常用两种布极形式: 一种布极形式是把金属套管用作供电电极 A , 即所谓井口接地地—井方式($r=0$), 可用来查明井底盲矿, 确定背景值; 另一种布极形式将 A 置于距井口 r 处, 并改变其相对于钻孔的方位, 在井中对每一不同 A 极方位进行逐次激发极化测量, 称作地—井方式方位测量, 可用来查明井旁盲矿并确定其相对钻孔的方位。地—井方式主要用于来查明井底、井旁盲矿并确定其方位位置, 确定井段视极化、视电阻率背景值。

地—井方式方位测量目的是由异常曲线与矿体模型的关系^[5], 判断井旁或井底是否有盲矿; 由异常曲线形态与矿体模型关系, 得出矿体产状、确定矿头(尾)或矿体中心位置(埋深、距井距离、方位)。当井旁存在高极化盲矿体时, 把 A 极置于钻孔的不同方位上, 进行地—井方式方位测井时, 所得的 η_s

收稿日期: 2019-09-16; 修回日期: 2019-10-29

作者简介: 薛宝林(1982-), 男, 工程师, 主要从事矿产勘查工作。Email: xuebaolin2005@163.com

异常曲线的形态将出现明显的差异。这是因为,改变 A 极相对盲矿体的距离,亦改变了电场对盲矿的极化方向,同时,由于 A 极至盲矿距离的不同也就改变电场极化强度。利用不同方位测量结果的这种差异,就可判断井旁是否有矿体存在,并确定其相对钻孔的方位和估计其埋深及产状。无论模型矿体的产状如何,所有主方位上(图 1a), η_s 曲线均呈“上正下负”反“S”型,并且 η_s 曲线的正异常区均与盲矿在井轴上的投影(井轴段)相重合。而在辅方位上, η_s 曲线均呈“上负下正”的“S”型。若矿体倾斜

且延伸较大时,对 η_s 曲线形态起作用的将是矿体的近井端,因此,在矿体向井倾斜时,主方位曲线正极值位于正异常区的下部,且接近于矿尾的埋深。若矿体离井倾斜时(图 1b),主、辅方位 η_s 曲线形态均呈反“S”型,矿头对应于反“S”型的正值区。若矿体呈水平状产出时(图 1c),主方位 η_s 曲线形态呈反“S”型,辅方位 η_s 曲线形态呈“S”型,与主方位的位置下移一段,辅方位的幅值相对小,呈镜向对称,矿体对应正负交界的区段。

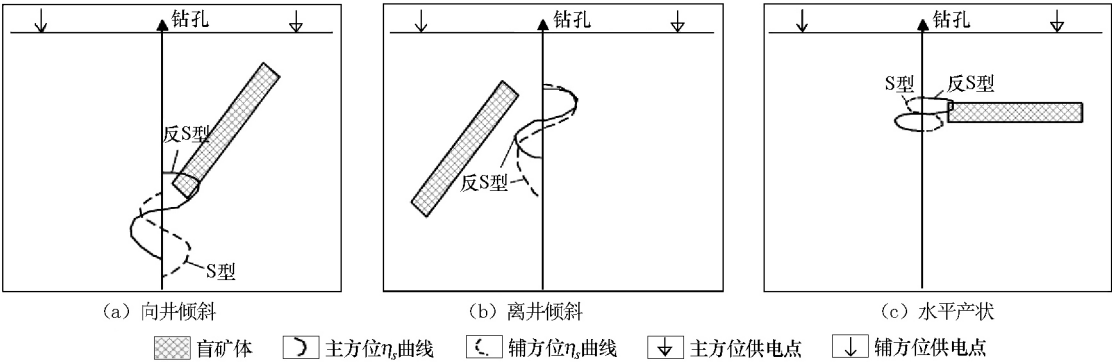


图 1 井旁不同产状矿体的理论曲线

Fig. 1 Theoretical curve of ore bodies with different occurrences near the well

1.2 井—地工作方式

井—地方式分为井—地充电法剖面测量和井—地方式激电测深。

井—地方式充电法剖面测量是将 A 极置于井内某一选定深度, B 极置于无穷远,测量电极 MN 布设于地面,沿测线进行测量,包括横剖面和纵剖面测量。该方法主要用于追索矿体走向、判断矿体产状。

井—地方式激电测深是将供电电极 A 放于井中, B 在无穷远的地面,逐点改变电极 A 的深度,测量电极 $M、N$ 固定于井口某一距离进行观测。该方法主要用于预报井底盲矿,追索矿体走向、判断矿体产状主要依据井中 A 电极位置、矿体所在位置、矿体形状、地面观测视极化率参数曲线的异常形状、幅值、特征点(包括极大、极小、零值、半幅值点)等。

用于解释的参数为主要表征二次场异常的 ΔV_{2a} 和极化率 η_s ,通过公式

$$\Delta V_2 = \eta_s \times \Delta V, \quad \Delta V_{2a} = \Delta V_2 - \eta_0 \times \Delta V$$
得到,其中: η_0 为正常场极化率,一般为 2%; ΔV 为总极化场电位差; ΔV_{2a} 与 ΔV_2 的意义相同。实测所得参数为 $\Delta V, \eta_s$ 。无论矿体的产状如何(直立,水平或倾斜), ΔV_{2a} 曲线在矿体上方均出现明显的异常。异常的正负与以下因素有关:① MN 的布极方向,当 MN 的极性相反时,异常将改变符号;② 与充

电点(A 极)相对于矿体的位置有关, A 极在矿体的左侧为负异常(图 2), A 极在矿体的右侧为正异常(图 3),由此根据 ΔV_{2a} 异常反映的情况,可确定井旁盲矿相对钻孔(A 极在此井中)的方位位置。当测线在矿体地面投影范围内时, ΔV_{2a} 异常幅值最大(以中心剖面为最大),而当测线位于矿体地面投影范围以外时, ΔV_{2a} 异常幅值明显减小,由此特征可以利用井—地剖面测量来圈定矿体延长。

当 A 极距矿体较近时,不同测线上的 V_{2a} 曲线异常极值点位置,相对矿头的位置,将有不同的位移,中心剖面上基本无位移,而在旁测线上,测线愈远位移愈大;反之则不明显。若 A 极距矿体足够远,矿体的极化可近似为均匀极化, V_{2a} 曲线异常极值即不发生偏移。

当矿体倾斜时, V_{2a} 曲线出现明显的不对称,矿体倾向翼一侧变化缓,而反倾向翼一侧曲线变化陡。矿头位置基本上与陡立曲线的拐点位置相重合。可由曲线形态大致判断矿体的产状并确定其矿头位置。当测线在矿体地面投影范围内时, V_{2a} 正负异常幅值均较大,而当测线位于该范围以外时, V_{2a} 异常幅值则明显减小。这样,根据 V_{2a} 曲线零值点的位置及其幅值的变化,就可沿走向追踪矿体并大致圈定其范围。当矿体直立或水平 V_{2a} 曲线呈镜向对称,

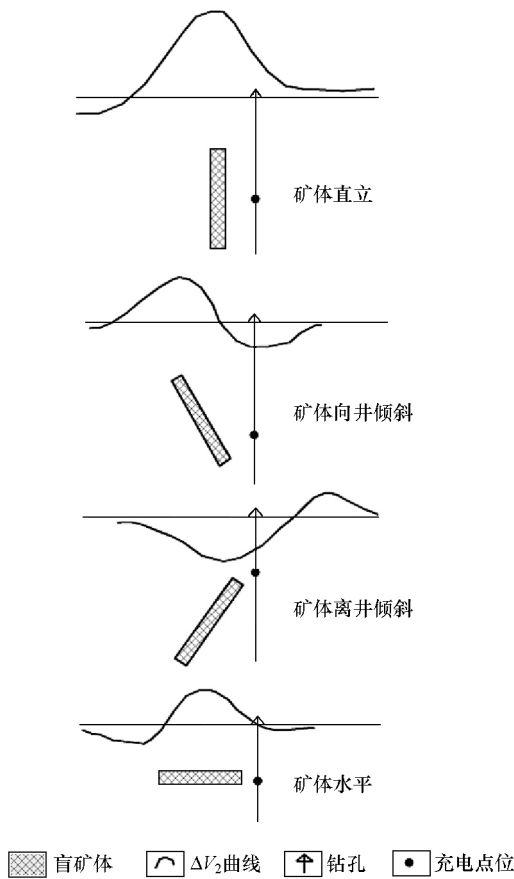


图2 矿体在钻孔左侧 ΔV_2 曲线
Fig. 2 ΔV_2 curve of the ore body on the left side of the borehole

当矿体倾斜时, V_{2a} 曲线将不对称, 且在矿体倾向一侧曲线缓, 而反倾向一侧曲线陡。陡曲线拐点位置与矿头在地面投影点位置大致吻合, 利用这些特征, 可大致判断矿体的产状并确定其矿头的位置。

1.3 方法选择

实际工作中, 首先把供电 B 极置于井口, 地—井激电采用顶部梯度测量装置 (NO. 2MO. 9A, 电极距 1 m, 点距 2 m) 置于井中点测, 确定围岩极化率和电阻率背景值, 了解矿 (化) 体的分层情况, 并确定矿 (化) 体和不同岩性极化率、电阻率背景值, 继而进行地—井方式的五方位激电测量, 观测主、反方位方位尽量垂直矿体布设。 r_A (供电 A 极至井口的距离) 的选择以获取明显激电异常和最显著的方位差别为原则, 井口测量时 A 极置于井口, 即 $r_A = 0$ m, 四方位测量选择 $r_A = 300$ m; 无限远极垂直矿体走向 $r_B = 1\,600$ m (供电 B 极至井口的距离)。

地—井激电测井解释时需借助顶部梯度测井并遵循先井口、后其他方位的步骤, 分析、推断、解释异常体的电性特征、埋深和赋存方位等。一般而言, 井口方位异常体观测曲线基本对称; 主、反方位观测曲线不对称, 两方位异常特征相反; 辅助方位与井口异常特征相似^[6-7]。首先, 利用整条 $r_A = 0$ 的 η_s 曲线为背景来处理观测到的方位 η_s 曲线, 这样可以更明显地反映井旁盲矿 (极化体) 异常, 其次, 依据 A 极方位的改变, 在多数情况下可用主方位上正下负幅值大、反方位上负下正幅值小、辅助方位幅值更小的特征, 来确定极化体所在的方位。

2 应用实例

2.1 地质特征

勘查区大地构造位置为华北地台 (I) 北缘、内蒙地台 (I₂) 东部的喀喇沁台隆北西部, 主要为上寒武统锦山组 (ε_{3j}) 的砂质板岩、变质细砂岩、泥质板岩等, 其构造处于槽台分界构造带地台一侧, 小牛群—三家隆起带 (复背斜) 隆起带总体近 EW 走向通过勘查区。区内侵入岩以中二叠世黑云母二长花岗岩和早白垩世黑云母斜长花岗岩为主, 其次为中三叠世闪长岩深成侵入岩; 浅成、超浅成侵入岩以早白垩世花岗斑岩为主, 其次为晚侏罗世流纹斑岩, 多以岩株状、岩枝状或岩脉状产出。

北窝铺地段铜矿化蚀变严格受近 SN 向剪切裂隙带或破碎带控制。矿体走向以近 SN 为主, 目前基本查明该地段发育工业矿体 3 个, 主矿体 1 个, 即 W1 铜矿体, 其他为次要矿体。主矿体呈脉状, 走向

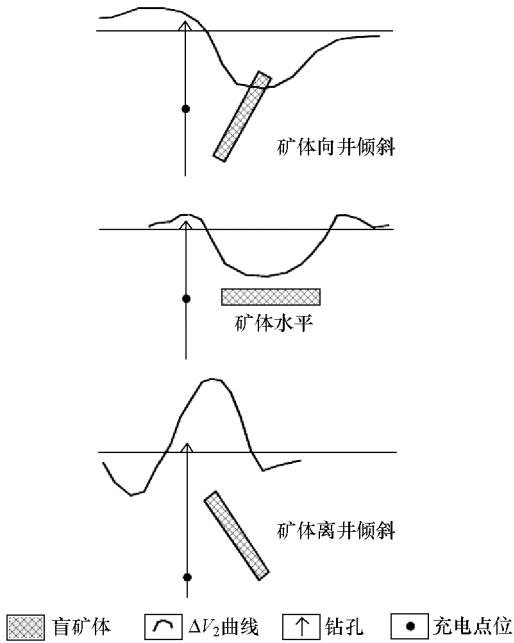


图3 矿体在钻孔右侧 ΔV_2 曲线
Fig. 3 ΔV_2 curve of the ore body on the right side of the borehole

近 SN,倾向 W,倾角 60°~80°,次要矿体平面上与主矿体近平行分布。矿体产于上寒武统锦山组薄层砾屑灰岩、薄层灰岩、砂质板岩及变质砂岩中,工业组分为铜,伴生组分为银。矿石矿物以黄铜矿为主,孔雀石、蓝铜矿次之;脉石矿物以方解石、石英为主,其次为长石、角闪石、绿泥石和黏土矿物等。矿体赋矿围岩以砂质板岩为主,其次为变质砂岩。矿石以砂质板岩型铜矿石为主。

2.2 地球物理特征

测区中以铜为主的矿(化)蚀变岩石主要表现为中高阻、高极化的物性特征,参数幅值与岩石硅

化、黄铁矿化等蚀变程度呈正相关关系;围岩整体为相对高阻、低极化特性特征(表 1、表 2)。从成矿环境宏观上分析,由于矿体多赋存于断裂破碎带或接触带等构造带内,矿(化)体主要与控矿断裂及其与之相派生的次级构造密切相关,宏观上赋矿构造显示为相对低阻,同时金属矿产多富含金属硫化物或与硫化矿物共生、伴生,极化率相对较高^[3]。这些容矿断裂或者赋矿空间则表现为低阻、高极化的”一高一低”特征。由此可见,矿体与围岩间存在一定电阻率与极化率幅值差异,为区内开展井中激电工作提供了物性前提。

表 1 岩石磁性参数统计
Table 1 Rock magnetic parameter statistics table

序号	岩石名称	标本数	磁化率/(10 ⁻⁶ SI)	
			变化区间	平均值
1	闪长岩(含 Cu、Fe 矿化)	34	3010~28900	12457
2	正长斑岩	34	239~1190	605
3	闪长岩	37	35~573	121
4	流纹岩	40	1340~7740	4597
5	玄武岩	34	3780~11700	7081
6	砂岩	35	35~128	76
7	板岩	35	274~1510	650
8	花岗岩	34	74~924	359
9	花岗闪长岩	30	67~175	107
10	花岗斑岩	30	114~451	221

表 2 岩石电性参数统计
Table 2 Statistics of rock electrical parameters

序号	岩石名称	标本数	极化率/%		电阻率/(Ω·m)	
			变化范围	平均值	变化范围	平均值
1	闪长岩(含 Cu、Fe 矿化)	28	1.75~9.35	3.56	420~8714	3995
2	正长斑岩	34	0.36~2.19	1.30	657~9026	3089
3	闪长岩	36	0.64~2.08	1.43	408~9550	3942
4	流纹岩	36	0.35~2.67	1.04	555~4650	1982
5	玄武岩	30	0.76~6.07	2.0	272~8619	4241
6	砂岩	30	0.18~1.75	0.92	219~3705	920
7	板岩	30	0.16~1.56	0.82	252~2448	1169
8	花岗岩	30	0.64~2.71	1.6	322~4530	1304
9	花岗闪长岩	30	0.22~2.04	1.12	213~2516	1361
10	花岗斑岩	30	0.74~2.56	1.55	762~8817	2303

2.3 北窝铺 ZKW0001 钻孔

ZKW0001 钻孔主要验证地表浅部槽探工程控制的 W1、W2、W3 矿体深部的延伸情况,矿体主要发育于寒武系锦山组地层内构造蚀变带中,蚀变类型主要为硅化、黄铁矿化、绿泥石化等。地表 W1、W2、W3 矿体地表走向约 NNE5°,倾向 N,故钻孔初始设计深度为 400 m,方位 90°,倾角 75°。基于矿体主要发育于锦山组地层内,钻孔打穿锦山组地层即停止钻进。

钻孔中主要岩性为砂质板岩、泥质板岩、二长斑岩、闪长岩,在地层内蚀变带和不同岩性接触带附近均有细颗粒状黄铁矿分布,局部呈脉状。钻进至 370.95 m 后揭露到了厚大构造角砾岩带,岩芯观察见多期次岩浆热液侵入,矿化蚀变较上部地层内矿化蚀变强,为本次钻探工作新的发现。停钻后进行了激发极化测井,测井曲线见图 4。
根据地—井方式顶部梯度视极化率、视电阻率曲线、井地方式 A1-A2 方向、A3-A4 方向测深,视极

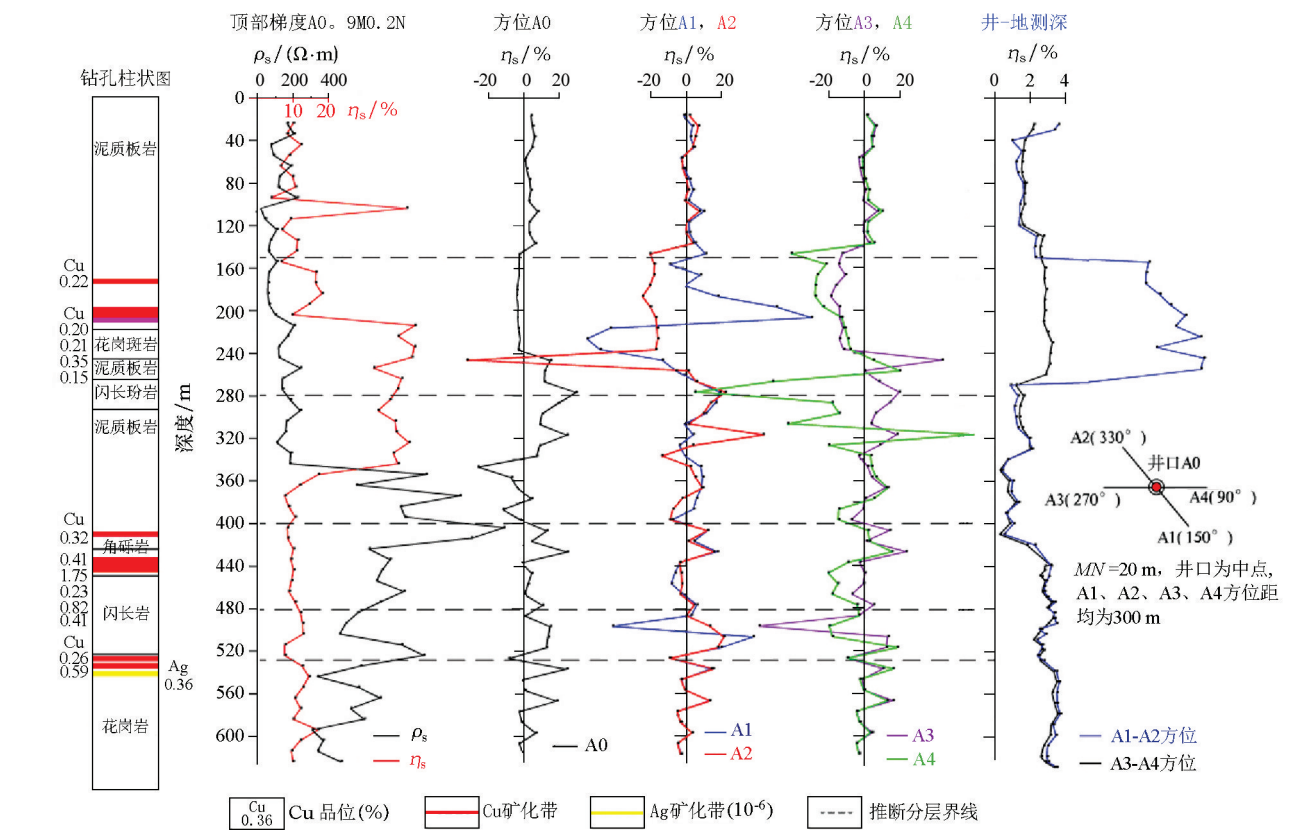


图 4 ZKW0001 井中激电测量曲线

Fig. 4 ZKW0001 well in the electromagnetic measurement curve

化率背景值一般在 8%，个别地段超过 40%；电阻率变化较大，一般在 160~1 100 Ω·m；视极化率、视电阻率曲线都跳跃严重。根据五方位测井场值强度、正负值伴生出现情况及异常曲线特征，将 ZKW0001 分层如下：150~280 m，400~480 m，480~530 m，共计 3 层。

对于 150~280 m 矿化蚀变带，A1 方位曲线呈现上正下负反“S”型，而 A2 方位曲线在对应位置呈现上负下正“S”型，A1 方向幅值明显高于 A2 方向，且 A3、A4 方位曲线形态与 A0 方位相似，主辅方位曲线特征明显。以上五方位视极化率异常特征表明，钻井穿越极化体，向 A2 缓倾。150~280 m 蚀变带 NW 倾，走向 NE。测井曲线反应电性特征与钻孔编录结果吻合较好。分析结果显示，在 173.1~174.1 m 段，铜含量为 0.22%，在 203.6~208.6 m 段，钻孔穿越厚度 5.0 m，铜平均含量为 0.26%。铜矿石原岩为灰黑色泥质板岩，变余泥质结构，板状构造。矿化带发育碳酸盐化、绿泥石化、黄铁矿化、黄铜矿化。

对于 400~480 m 蚀变带，井地测深显示为中极化异常段，均值 3.2%，5 个方向视极化率曲线形态总体相似，场值强度、各方位正负值伴生出现情况，除个别点出现波动外，普遍表现比较平稳，而且以负

异常居多，筒状异常特征明显。推测后期三叠纪闪长岩与寒武系锦山组地层接触带，经多次岩浆侵入，在内外接触带形成厚大的构造角砾岩带，钻孔穿越厚度 97.6 m。从岩芯来看，该构造带受与轴夹角近于平行和垂直的二期岩浆热液侵入改造，黄铁矿主要沿碎裂构造呈团块状分布，黄铜矿主要呈片状、局部为细粒侵染状。分析结果显示，在 411.6~412.6 m 段，铜含量为 0.32%，在 435.4~444.7 m 段，钻孔穿越厚度 9.3 m，铜平均含量为 0.63%，达到工业品位。赋矿岩石为角砾岩，原岩为石英砂岩，胶结物为硅质。矿化带中主要发育强烈硅化、高岭石化、碳酸盐化。石英呈碎裂状，为主要赋矿载体。金属矿物主要为黄铜矿、磁黄铁矿、黄铁矿、赤铁矿等，以黄铜矿为主，次为磁黄铁矿，主要呈脉状、团块状、局部浸染状。

480~530 m 四个方位 η_s 曲线呈尖峰状，井地测深曲线呈现为异常梯度带，反映为两组不同地质体接触带。A1 曲线呈现“S”型，而 A2 曲线在对应位置呈现反“S”型，推断与 150~280 m 蚀变带倾向相反，且 A3、A4 形态相近，A1、A3 出现尖峰异常，界面特征明显。推测矿体向 A1 方向倾斜，即 480~530 m 蚀变带南东倾，走向 NE。分析结果显示，在 579.15

~581.55 m 段, 钻孔穿越厚度 2.4 m, 铜含量为 0.42%×, 金含量在 3.6×10^{-6} 。原岩为蚀变细粒花岗岩, 细粒结构, 块状构造。岩石裂隙中偶见星点状和细脉状黄铁矿。岩石绿泥石化、绿帘石化、硅化发育, 呈细脉状, 硅化脉中见脉状、团块状黄铜矿。

因钻孔内控制的 437~443 m 矿体达到工业品位, 规模大, 品位高, 该矿体倾向与上部地层 173.1~174.1 m 的 W1 矿体相反, 与地表 W1 矿体揭露的倾向亦相反, 故对该矿体加测井地方式充电法剖面测量, 进一步确定矿体走向及倾向。

井—地充电法剖面测量将供电电极 A 放置于井深 440 m 矿体上作为充电点, B 极放置为无穷远, 供电电流 1 100 mA, 供电周期 16S, MN 为 20 m, 点距 20 m, 在地表进行激电剖面测量。以视极化率为主要采集参数。视极化率正负值梯度带划定矿体走向并依据曲线幅值及形态追索矿体延长。首先布置方位近于正交的两条剖面, 0° W00 号剖面, 150° 方位 W58 剖面。剖面尽量通过有工程控制位置, 以便于剖面对比解释工作。据视极化率异常形状、幅值、特征点(包括极大、极小、零值、半幅值点)等确定井深 440 m, 矿体应为 NE 走向, 后以 150° 方位 W58 为主

剖面, 两侧加测 W56、W60, 通过 3 条剖面定量确定矿体准确走向及倾向。

W56、W58、W60 剖面视极化率曲线均呈“双峰夹一谷”的形态, 两“山峰”为矿体与两侧围岩接触带, 右侧幅值明显高于左侧, 并分别在 W56、W58、W60 剖面的 330、290、290 点出现负值, 以负值与右边极大值半幅值连线确定为矿体顶部在地面的投影位置, 并计算得出矿体走向约 60°, 矿体宽度约 13 m, 且 SE 向曲线幅值较高且梯度变化小, 推断矿体南东倾向 150°, 倾角较缓。W56 与 W60 线控制矿体长度 100 m, 矿体长度 100 m, 剖面外沿走向未尖灭^[8]。

根据井—地充电法剖面测量结果(图 5)定量解释 435.4~444.7 m 矿体产状、走向, 分别布设两个后排孔 ZKW0004、ZKW0401, 其中 ZKW0004 钻孔穿矿厚度 7.0 m, 铜含量 0.44%; ZKW0401 钻孔穿矿厚度 8.12 m, 铜含量 0.40%。两钻孔赋矿岩石均为角砾岩, 硅质胶结, 主要发育强烈硅化、高岭石化、碳酸盐化。与 ZKW0001 赋矿岩石相同, 矿化蚀变组合特征相同。两钻孔均印证了井—地充电法剖面测量在确定矿体产状、追索矿体走向方法是可行的。

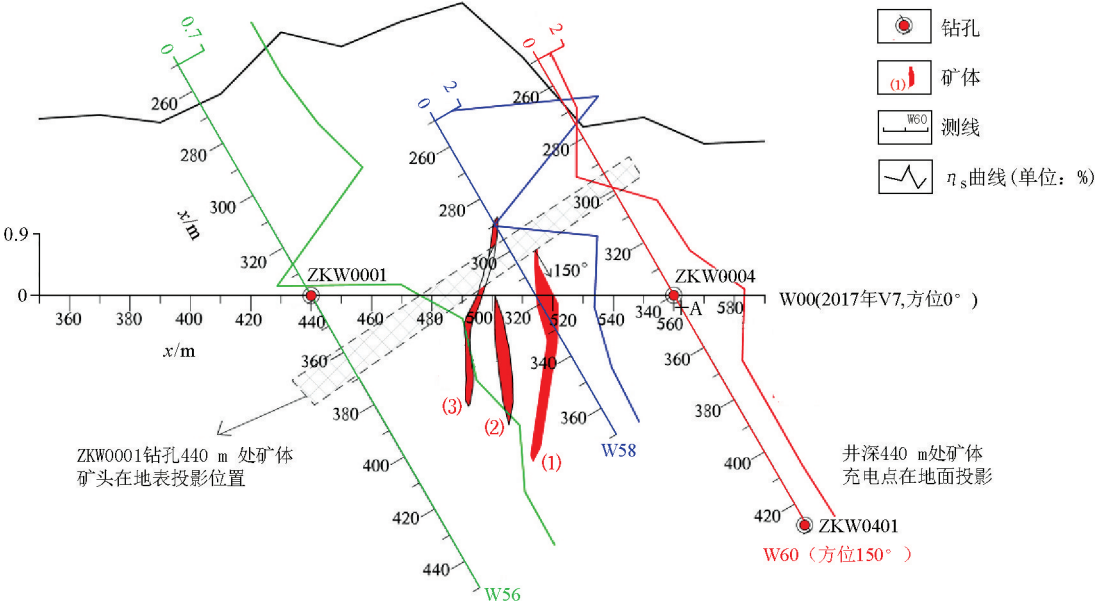


图 5 井—地充电法视极化率剖面测量结果及解释成果

Fig. 5 Well-ground charging method visual polarization section interpretation map

3 结语

本矿区前期钻探布设主要依据地表控制的矿体特征, 矿体走向近 SN, 倾向 NW, 发育于锦山组地层内。新揭露的 435.4~444.7 m 矿体规模大, 品位较

高, 主要发育于寒武系锦山组地层及三叠纪闪长岩构造角砾岩带内。对于隐伏且埋藏较深的矿体, 通过井中激电测量工作, 定量解释的 435.4~444.7 m 矿体与 173.1~174.1 m 的 W1 矿体、地表 W1 矿体揭露的倾向亦相反。通过后期两个钻孔验证表明, 井中激电所确定的矿体产状及走向是正确的, 井中

激电对隐伏矿体勘查是有效的。井中激电是勘查铜多金属硫化物矿床,尤其是寻找深部盲矿体优先选用的井中物探方法。

实践表明利用已有钻孔资源,能够较有效地对钻孔编录结果进行标定、探查井底(旁)盲矿体,并判断矿体产状,追索矿体走向,指导合理部署钻探工程。内蒙古北窝铺地—井测井曲线与钻孔编录结果吻合较好,井—地充电法判断铜矿体产状及走向,指导工程验证,是激电测井应用于铜盲矿体勘查比较成功的实例。实例亦证明了井中激电的实用性,可有效减少勘查投入,提高找矿效果,建议金属矿区开展井中激电工作。

参考文献 (References) :

[1] 蔡柏林. 金属矿钻孔地球物理勘探[M]. 北京:地质出版社, 1986.
Cai B L. Metal ore drilling geophysical exploration [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1986.

[2] 潘和平,马火林,蔡柏林,等. 地球物理测井与井中物探[M]. 北京:科学出版社,2009.
Pan H P, Ma H L, Cai B L, et al. Geophysical logging and well geophysical exploration [M]. Beijing: Science Press, 2009.

[3] 武汉地质学院地下物探教研室. 金属矿钻孔地球物理勘探[M]. 北京:地质出版社,1980.
Department of Geophysical Exploration, Wuhan Institute of Geology. Metal ore drilling geophysical exploration [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1980.

[4] 李舟波. 钻井地球物理勘探[M]. 北京:地质出版社,2006.
Li Z B. Drilling geophysical exploration [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2006.

[5] 李建新,王云,张征. 井中激电在新疆彩霞山铅锌矿区的应用研究[J]. 工程地球物理学报,2011,8(2):192-199.
Li J X, Wang Y, Zhang Z. Application of jingzhong electromagnetic power in Caixiashan Lead-Zinc mine area of Xinjiang [J]. Journal of Engineering Geophysics, 2011, 8(2): 192-199.

[6] 吕玉增,阮百尧. 地—井五方位 IP 异常特征与解释[A]//中国国际电磁法会议论文集,2009.
Luy Y Z, Ruan B R. Characteristics and interpretation of IP anomalies in five directions of earth-well[C]// Proceedings of China International Electromagnetic Law Conference, 2009.

[7] 张征. 镜儿泉铜镍矿区井中激电的应用效果[A]//勘探地球物理 2005 学术交流会论文集,2005.
Zhang Z. Application effect of laser in well in Jingerquan copper-nickel mining area [A]// Proceedings of the 2005 Academic Exchange Conference on Exploration Geophysics, 2005.

[8] 薛宝林,赵强,孙磊. 综合电法在内蒙古赤峰隐伏铜金矿勘查中的应用[J]. 矿产勘查,2018,9(7):1388-1393.
Xue B L, Zhao Q, Sun L. Application of comprehensive electric method in the exploration of Chifeng concealed copper-gold deposit in Inner Mongolia [J]. Mineral exploration, 2018, 9(7): 1388-1393.

[9] 徐新学,李荣光,孙磊. 全方位激电测井在老挝华潘铜铁多金属矿勘查中的应用[J]. 物探与化探,2012,36(1):23-26.
Xu X X, Li R G, Sun L. Application of all-round IP logging in the exploration of Huapan copper-iron polymetallic deposit in Laos [J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2012, 36(1): 23-26.

Indication significance of in-situ IP in exploration of concealed copper deposits

XUE Bao-Lin¹, LIU Gui-Mei², TIAN Zeng-Biao¹, ZHAO Qiang¹, REN Lei¹, XU Xin-Xue², FU Jin-Qiang¹
(1. No. 519 Geological Party of North China Geological Exploration Bureau, Baoding 071051, China; 2. Tianjin Geophysical Exploration Center, Tianjin 300170, China)

Abstract: In-well IP is one of the effective means to explore deep sulfide-type metal ore. In the well, the electric field-well method is used to find the bottom of the well and the blind mine near the well; in the well, the electric well-ground method is used to determine the ore body's direction and judge its occurrence. The exploration examples of the Beiwopu copper deposit in Inner Mongolia indicate that the ground-well IP measurement corresponds to high polarization anomalies in the pyrite-rich and brass mineralization-enriched rock sections; the well-ground charging method is used to measure the occurrence of ore bodies. Judging, retrieving the direction of the ore body, guiding the drilling project, reducing the investment in exploration, and achieving A better prospecting effect.

Key words: in-well excitation; well-ground charging profile; concealed copper ore deposit; attitude

(本文编辑:沈效群)