直流电法在陕南某铜矿深部找矿中的应用及效果①

樊金生, 周云海, 王备战, 吕学成
(西北有色地质勘查局物化探总队, 西安 710068)

摘 要: 在M 铜矿勘查工作的不同阶段, 充分利用探采过程中形成的特殊空间, 采用以直流充电、坑道激电、井中激电为主的综合物探方法, 从不同侧面反映深部矿体的空间展布特征, 进而为发现铜矿体、确定矿体位置及范围等, 为探采工程提供了可靠的依据, 有效地指导了探矿工程的布设。

关键词: 直流电法; 深部找矿; 综合物探; 铜矿; 充电法; 井中激电; 地- 井方式; 陕南
中图分类号: P631. 323 **文献标识码**: A **文章编号**: 1001- 5663(2006)04- 05- 0528- 06

M 铜矿床位于秦岭造山带中部柞水—山阳菱铁多金属成矿带上, 是陕西省主要铜矿产地之一, 远景储量为10 万余吨。2000 年PD4 坑发现平均厚度为17. 6m 的富铜矿体, 但施工到49 线后矿体突然消失, 不知去向。为追踪矿体赋存部位, 进行坑内充电法测量, 结果指出, 在矿体东延部位, 仍有矿体存在, 并在异常验证过程中开展坑内激电测量, 这些综合直流电法资料及时地指导了坑内施工, 发现了新的矿(化)体。其厚度为8～ 17m , 铜品位为0. 55%～ 2. 08%。进一步扩大了该区矿体范围。接着在勘探阶段, 对钻孔进行井中电法测量, 其结果指明了钻孔周围矿体的存在位置和宏观分布形态, 及时地为本区地质工作提供了宝贵的找矿信息, 为后续钻孔布置提供了重要依据。

1 地质概况

矿区出露地层为中泥盆统大西沟组第三岩性段, 主要为一套泥质、白云质碎屑岩建造, 岩性为浅灰色白云质粉砂岩、粉砂岩、粉砂质白云岩夹白云质粉砂质千枚岩、白云质灰岩等, 其间夹粉砂质白云岩, 局部相变为泥质灰岩。矿区断裂构造发育, 是铜矿富集形成的重要地质条件, 尤其是NWW 向断裂构造与地层共同控制着矿化带的展布, 破碎带内有石英铁白云石脉、石英菱铁矿脉、褐铁矿脉, 褐铁矿化、黄铁矿化、孔雀石化、黄铜矿化等, 为直接找矿标志。

该区大部分铜矿体为隐伏矿, 矿体呈透镜状产出, 矿石主要为团块状、脉状、浸染状。浅部为氧化矿, 深部为原生硫化物矿石。Ⅲ-1 号矿体是本区最大的矿体, 产于F_3 挤压片理化破碎带中。矿石类型主要为黄铁矿、黄铜矿石英铁白云石脉型, 其次为团块状黄铁黄铜矿脉型。矿体受破劈理构造控制。围岩为白云质粉砂岩、粉砂质白云岩夹白云质粉砂质千枚岩等, 近矿围岩具有明显的铁白云石化、黑云母化等蚀变。

2 物性特征

电参数测定成果表明, 本区围岩白云质粉砂岩、粉砂质白云岩、粉砂质千枚岩、泥质白云岩、泥质粉砂岩等的电性差异不大, 电阻率在700～ 4000Ω·m 之间, 极化率在0. 4%～ 2. 0% 之间; 原生铜矿石电阻率在284～ 325Ω·m 之间, 极化率在5. 5%～ 11. 7% 之间; 氧化矿电阻率在300～ 517Ω·m 之间, 极化率在0. 8%～ 1. 3% 之间; 矿化蚀变带电阻率在747～ 2378Ω·m 之间, 极化率在3. 0%～ 6. 4% 之间。因此, 本区各围岩的显示高阻低极化特征; 原生铜矿石显示低阻高极化特征; 氧化矿为低阻弱极化特征; 矿化蚀变带为高阻高极化特征。从本区地质、物性条件分析, 本区原生矿体相对围岩为低阻高极化, 碳质等其它干扰因素较少。因此, 本区具备充电和激电工作的前提。

① 收稿日期: 2006- 04- 16 作者简介: 樊金生(1964-), 男, 高级工程师, 从事地球物理勘查和研究工作。

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

3 工作方法及效果

3.1 充电法测量已知矿体的走向延伸, 发现了新矿体

充电法采用坑内充电、地面测量, 电位和电位梯度装置同时观测。充电点位于KT4 坑49 线附近Ⅲ-1 号矿体上, 其在地表投影位于125/49 点附近。图1 为充电电位等值线图, 电位等值线较清楚地反映了Ⅲ-1 号矿体的延展特征。等值线在NWW 向有明显的拉长, 向东封闭, 往西张开, 异常中心位于充电点以西, 呈南密北疏特征。内圈等值线非常稀疏, 电位值稳定, 其值在640～660mV/A 之间, 低阻充电体异常的特征非常明显。等值线南密北疏, 反映矿体向北倾斜。充电电位等值线主体位于49 线以西, 离开充电点向东变窄并封闭, 反映该矿体主体位于49 线以西, 矿体接近端部的特征比较明显。640mV/A 等值线南侧与地表出露矿(化)体位置基本吻合。因此, 可以定性地认为, 640mV/A 等值线圈定的范围为Ⅲ-1 号矿体在地表投影的位置。由此推断, 该矿体向东延伸可到51 线附近, 向下延伸在49 线以西的可能性较大, 49 线向下尚有一定的延深, 粗略估算向下延伸深度在50m 左右, 而49 线以东向下延深逐渐变小。此外, 电位等值线异常轴线在49 线以东向南明显偏移, 说明该矿体被断层错向南侧。

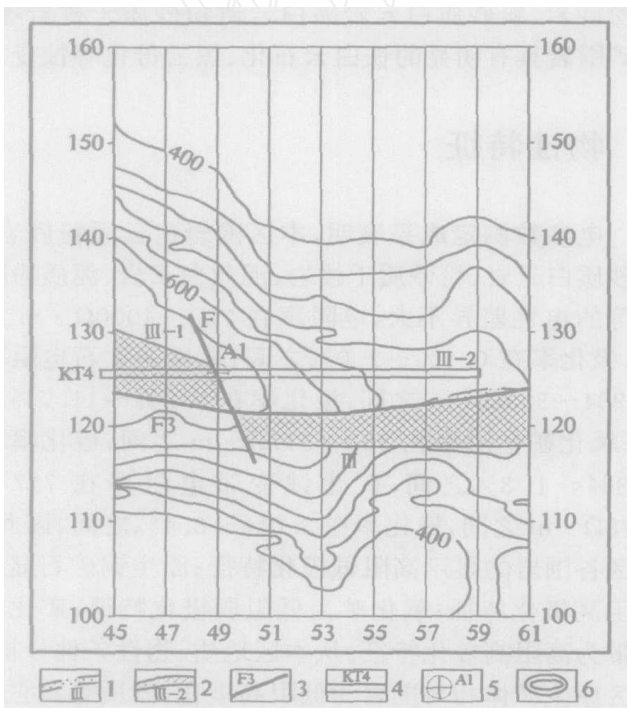


图1 KT4 坑道Ⅲ-1 号矿体充电电位等值线图

Fig. 1 Contour of charging potential of No. Ⅲ-1 orebody in KT4 pit

1- 推断矿(化)体 2- 矿(化)体在地表投影 3- 断层 4- 坑道 5- 充电点投影位置 6- 电位等值线(mV/A)

值得注意的是, 在59 线的120～125 号点间和55 线、57 线的南端, 出现两个次级充电异常, 这两个地段均有化探次生晕异常对应, 是成矿的有利地段, 特别是59 线120～125 号点的异常处于Ⅲ号矿化带上, 与Ⅲ-2 号矿体在地表位置对应, 地表揭露虽未见到较好的矿体, 充电异常的幅值和规模也不如Ⅲ-1 号矿体大, 但由于充电点是在Ⅲ-1 号矿体上, 对Ⅲ-2 号矿体来说, 相当于间接充电, 从物探角度看, 该异常预示着, Ⅲ-2 号矿体在深部含矿性较好, 规模较大, 主体位于57～61 线间, 垂向延深在120～300m 范围内。

3.2 利用坑道电法指示盲矿体的所在方位

基于上述充电工作的认识, 下降50m 中段施工PD5 坑, 探索Ⅲ-1、Ⅲ-2 号矿体在870m 标高的矿体存在性, 在47 线附近见有Ⅲ-1 号矿(化)体, 但向前掘进到59 线仅见有零星黄铁矿化和大理岩脉, 未见矿体。

为此投入坑道物探工作, 采用中间梯度装置、对称四极装置及相对矿体不同方位供电的三极激电等装置, 对目标体(Ⅲ-2 矿体)在坑道周围及前方可能存在的位置等进行测量和预测。

图2 是沿脉段四极及中梯激电成果, 四极激电在164 点以西、170～175 点、181～185 点三段存在高极化率异常。中梯激电分别采用AB = 350m 和AB = 400m 两种极距进行观测, 两次不同供电位置的激电成果有较好的一致性, 极化率异常亦分为三段, 分别在134～138 点、146～160 点、170～180 点, 极化率值在5% 左右。而在130 号点、140 号点、170 号点附

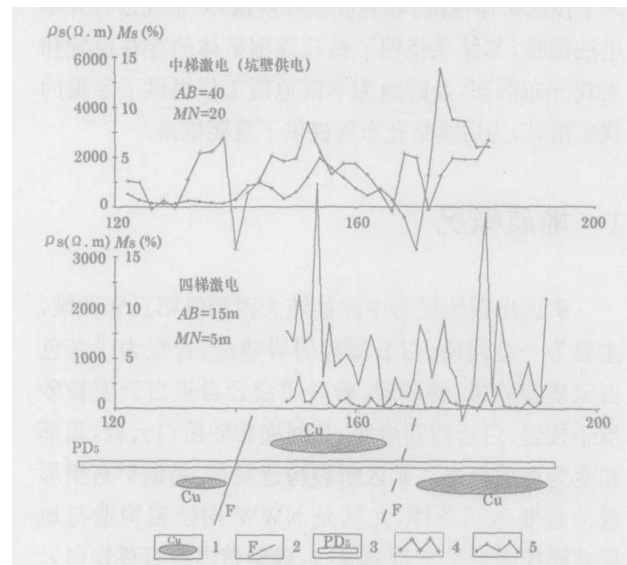


图2 PD5 坑道激电工作成果图

Fig. 2 IP outcome map of PD5 pit

1- 推断矿体 2- 断层 3- 坑道 4- 视极化率曲线 5- 视电阻率曲线

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

近极化率出现大正大负的异常, 这几段均存在视电阻率变负或急剧变小, 说明这两段可能存在有南北向低阻体, 其中 130 点、140 点与断裂对应, 由此推断, 在 170 点附近也可能存在断裂。总体来看, 上述三段低缓极化率异常的异常源原本可能为一个异常体, 由于上述三个断裂的存在才使其异常分割为三段。

图 3 是在坑道不同方位供电的激电成果。A_1 和 A_2 分别位于 CM 55 穿脉的南端和北端, A_3 位于地表充电测量的 134/47 号点附近。对照中梯激电发现的三段极化率异常, 各方位激电异常形态有所不同。据此判断, 这些异常反映有旁侧极化体存在的可能。在 130～ 143 点, A_2 方位视极化率为左正右负特征, 说明该段高极化体位于 A_2 的反方位(坑道南侧), 其范围在 47～ 49 勘探线间, 位置与Ⅲ-1 矿(化)体位置相近, 反映了Ⅲ-1 矿(化)体在坑道附近的位置。而在 150～ 165 号点 A_2 方位异常极值不明显, A_1 方位极化率则为左正右负特征, 由此推测, 该段极化体主体位于 A_1 方位的异侧, 即坑道北侧。在 170 号点以东, A_1 方位极化率异常比 A_2 方位较为明显, 判断该异常

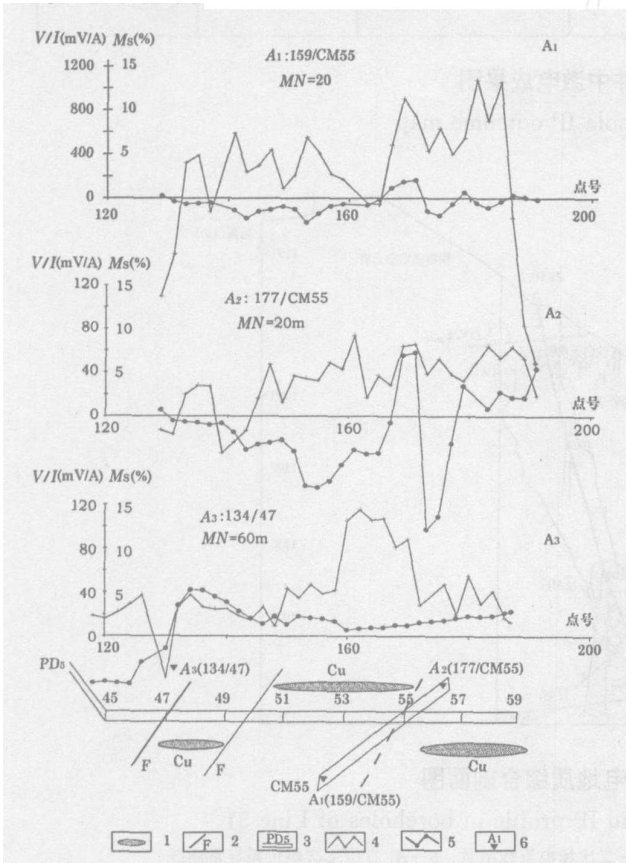


图 3　PD 5 坑道方位激电成果图

Fig. 3　IP outcome of PD5 pit

1- 推断矿体　2- 断层　3- 坑道　4- 视极化率曲线

5- 一次电位曲线　6- 充电点位置示意

体位于 A_1 方位(坑道南侧), 因为 A_1 接近极化体, 极化强度较大。而在坑道上方供电的 A_3 方位, 其极化率异常主要出现在 160～ 170 号点段, 相当于 53 线～ 55 线, 说明该段极化体主体位于坑道上方。综合分析认为, 坑道中 170 号点以东的高极化率异常是对Ⅲ-2 矿体的反映, 说明Ⅲ-2 矿体应位于坑道南侧上方。

值得注意的是, A_1、A_3 方位所测视极化率在掌子面并未收敛, 且有反号特征, 预示着在坑道前进方向仍可能存在高极化体。

综合上述分析, 认为在沿脉坑道 47 线～ 59 线段, 存在有三个极化率异常体, 其可能被 47 线、49 线和 55 线的三个断裂错动, 受其影响, 在 47～ 49 线, 该异常体位于坑道南侧; 在 51～ 55 线间, 异常体则位于坑道北侧, 主体位于坑道上方; 在 55 线以东, 异常体位于坑道南侧的上方。以上认识为坑内钻的布设和坑道施工提供了依据, 最后在 PD 5 坑道, 采用坑内钻, 在 49 线、59 线、61 线南上方见到了厚大铜矿(化)体, 证明了物探工作的有效性。

3.3　利用井中电法异常判断井旁盲矿体的所在方位及产状

为了进一步控制该矿体, 先后布置了 ZK5102、ZK5901、ZK6701、ZK6702 等四个钻孔。同时开展了井中电法工作。

井中电法以地—井方式的方位测量为主, 辅助自然电位, 激电测井和电阻率测井。

(1) ZK5102 孔　该钻孔未打到矿体, 测井、井中激电在 100m 和 200m 两井段附近都有不同强度的 ($\triangle V_1$、$\triangle V_2$、$\triangle V_{SP}$、M_s) 异常反映(见图 4), 这说明井壁(激电测井) 电测发现的两处异常源都具有一定的延伸(或沿展) 和规模。通过分析四个方位的异常特征, 可以看出, A_2 方位异常梯度变化大, 异常最强, 尤其该方位 100m 附近的 $\triangle V_1$ 异常呈“S”形, 这是由于 A_2 距异常源很近, 在良导体吸引电流的作用下, 使其附近电流密度 j_1 增高, N 极电位 ($\triangle V_1$) 高于 M 极电位之故。分析认为, A_2 方位的 $\triangle V_2$、$\triangle V_1$ 异常为良导高极化体离井倾斜所致, 此孔打在矿体(良导高极化体) 头部附近(见图 5) 井段, 100m 附近的矿体主体分布在 A_2 方位(钻孔东侧)。

(2) ZK6701 孔　该钻孔中见到金属硫化物富集地段多处, 尤其在 200m 以下井段见矿最好, 目估铜品位达 8% ±。电测结果见图 6。在见矿好的井段(200m) 附近, 井中自然电位显示正电位异常, 激电测井呈现低阻高极化异常特征。表明此井段所见矿体导

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

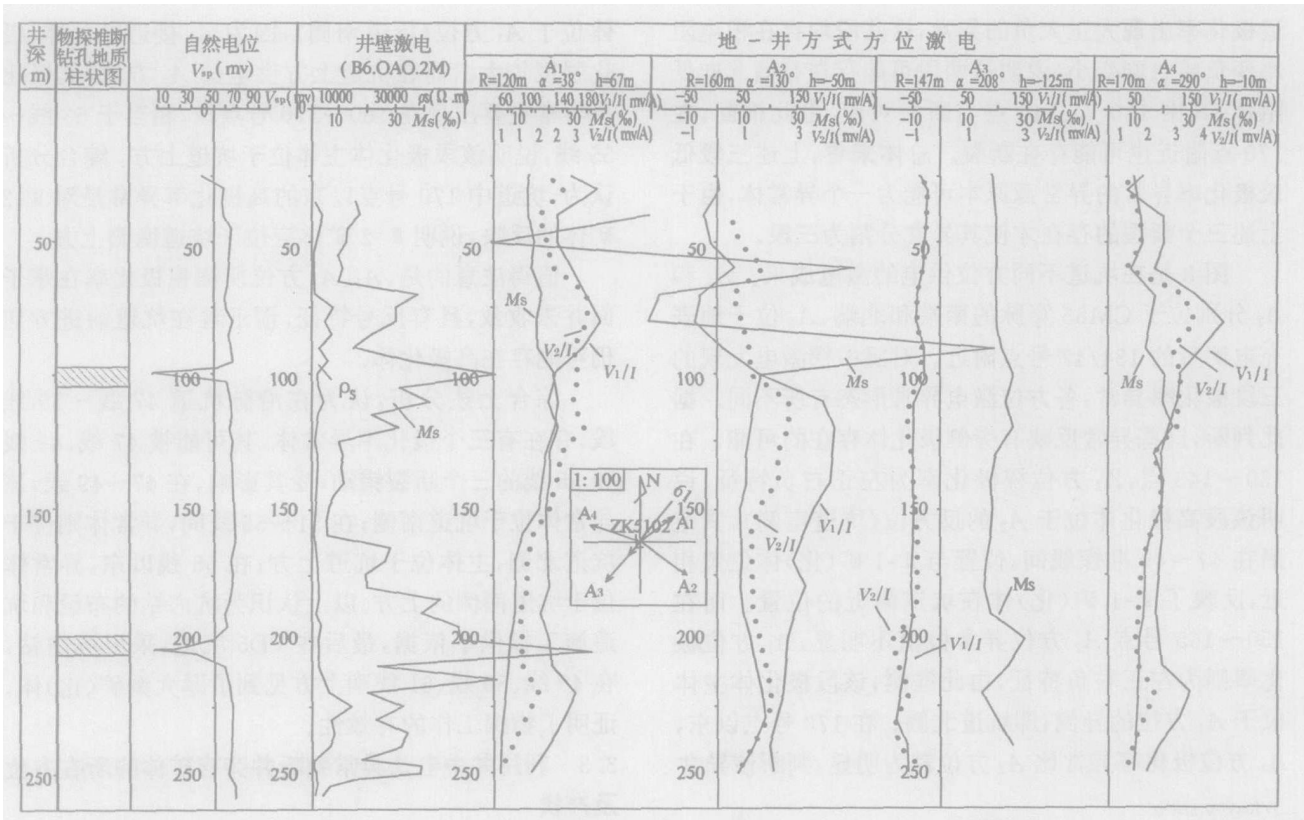


图4　ZK5102 井中激电成果图

Fig. 4　ZK5102 borehole IP outcome map

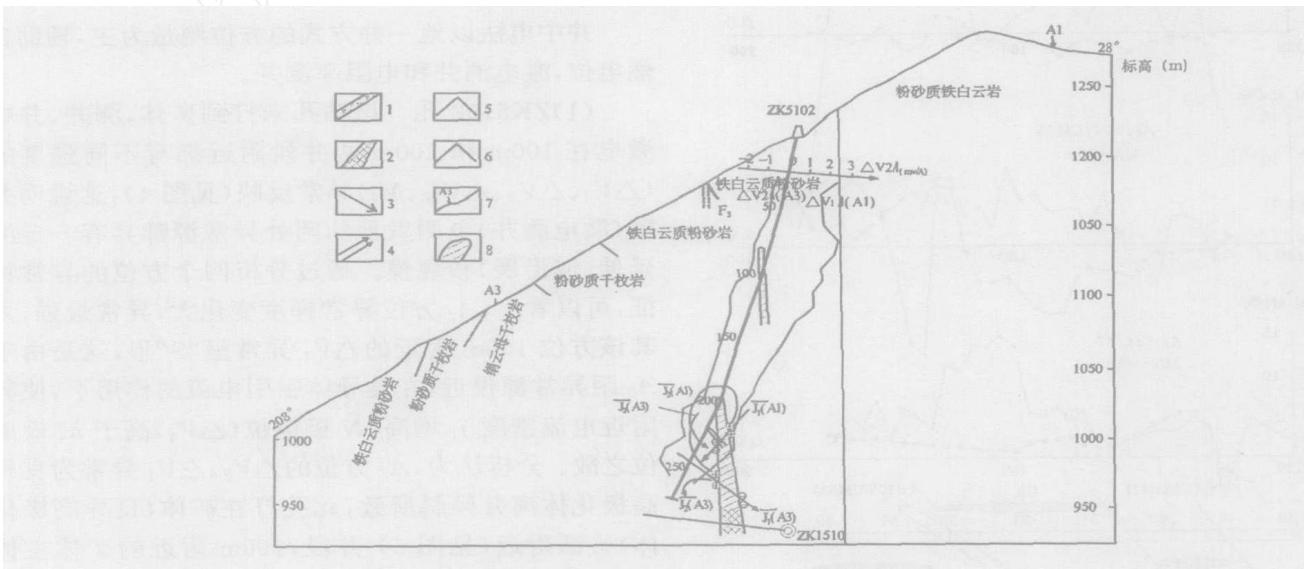


图5　51 线井中激电地质综合剖面图

Fig. 5　Comprehensive geological and IP profile in boreholes of Line 51

1- 破碎带　2- 铜矿体　3- 一次场极化方向示意　4- 二次场电流线示意　5- A_1 方位二次电位差异常曲线

6- A_3 方位二次电位差异常曲线　7- 地- 井工作方式供电电极位置及编号　8- 井中激电推断高极化体

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

电性良好, 在A_2、A_3两方位异常曲线上, $\triangle V_1$、$\triangle V_2$均呈负、正相间的组合异常, 它符合孔中所见多层金属硫化物富集引起的异常特征, 这些叠加的异常虽然较为复杂, 但也不难看出, 四个方位激电异常反映的矿体的赋存位置无论从方向性和层位上都已很明显, 从电性上宏观地可以分为两大层良导高极化体(图7), 其中一层赋存在钻孔中150m 附近, 而另一层就

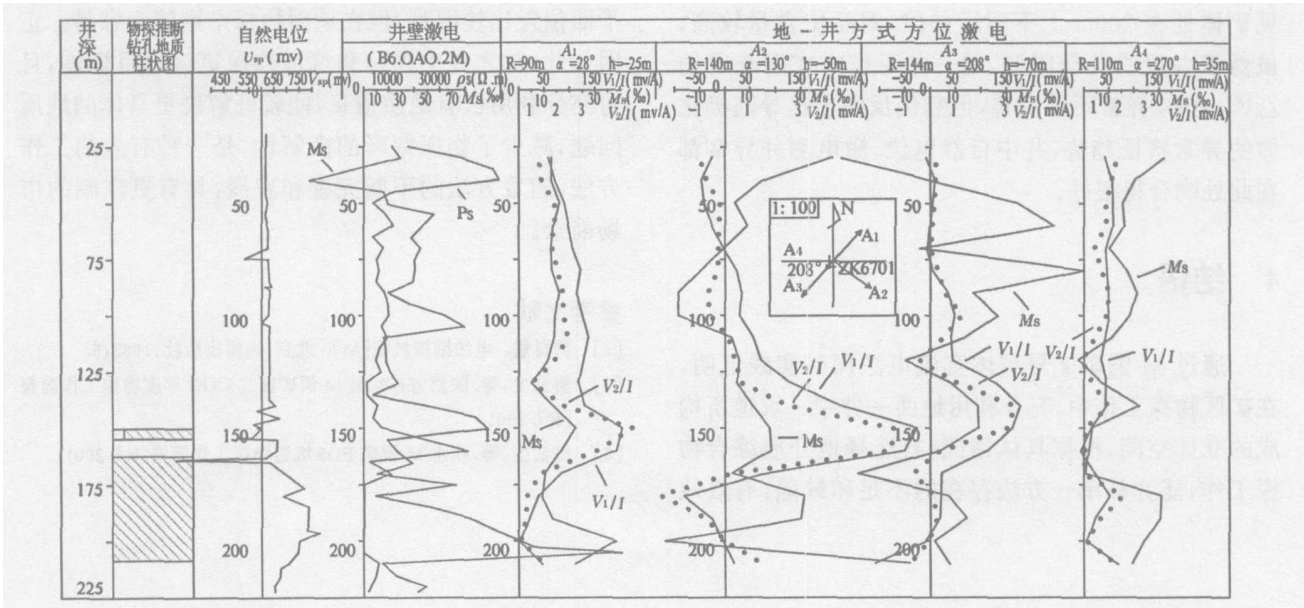


图6　ZK6701 井中激电成果图

Fig. 6　ZK6701 borehole IP outcome map

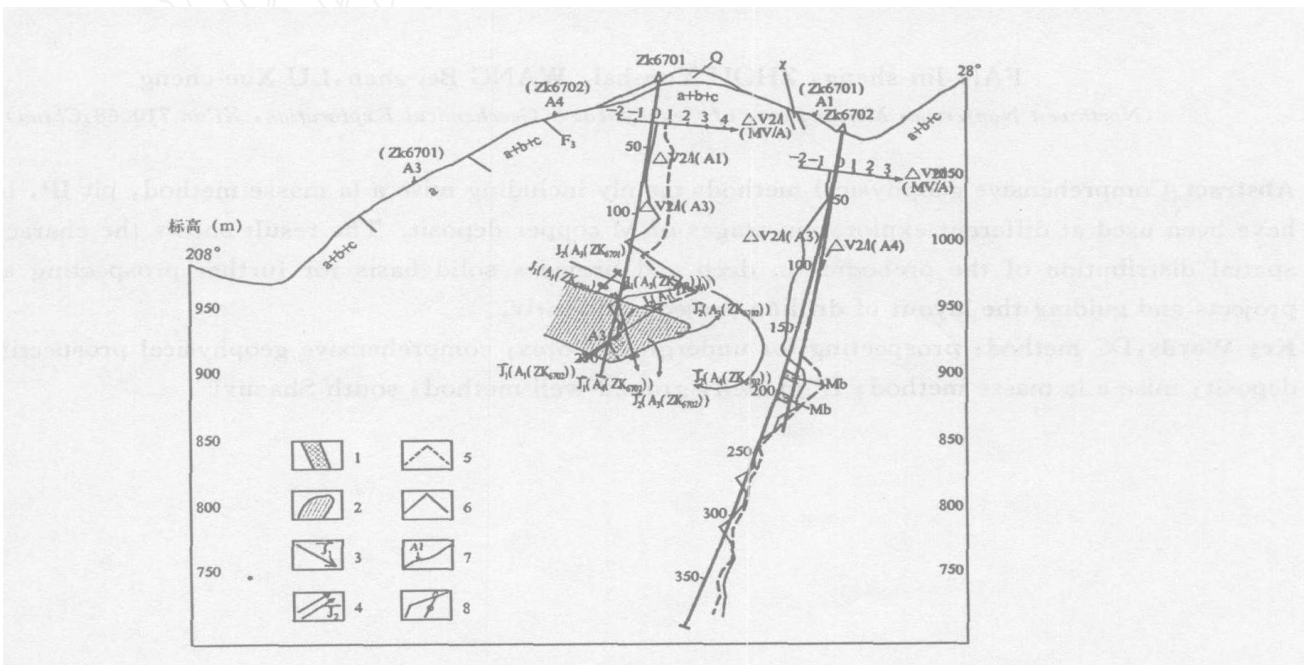


图7　67 线井中激电地质综合剖面

Fig. 7　Comprehensive IP and geological profile in boreholes on Line 67

a- 粉砂质白云岩　b- 白云质粉砂岩　c- 白云质、粉砂质千枚岩互层　X- 煌斑岩脉　Mb- 大理岩　1- 铜矿体　2- 井中激电推断高极化体　3- 一次场极化方向示意　4- 二次场电流线示意　5- A_1 方位二次电位差异带曲线　6- A_3 方位二次电位差异常曲线　7- 地- 井工作方式供电电极位置及编号　8- 井- 井工作方式供电电极位置及编号

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

是钻孔中所见矿体(包括矿化)部位。基于A_2方位异常强于其它方位,而A_4方位的异常又最弱,据此推断这两层为良导高极化体,平面沿展主体部分赋存在A_2方位,即钻孔的东侧。应该指出的是,鉴于钻孔所见矿体处在200m上下附近井段,铜品位含量较高,虽然该井段受孔深限制,地—井工作方式所获得的$\triangle V_1$、$\triangle V_2$异常不够完整,但它仍反映出良导高极化体的异常特征趋势,井中自然电位、激电测井异常都在此处吻合得很好。

4 结语

通过M铜矿Ⅲ号矿体直流电法探矿实践证明,在矿区物探工作中,充分利用地面—井中—坑道所构成的立体空间,根据具体情况,有选择地开展综合物探工作,能弥补单一方法存在的不足和缺陷,有效地指导矿山探采工作,将大大地降低矿山探采的风险和总成本。例如,要解决盲矿体埋深、延深等问题对地面物探来说往往很难,但采用井中物探和坑道物探却较容易;而对井中物探和坑道物探来说,要了解矿体的平面位置比较困难,但在地面物探中则较为容易。正因如此,加之井中物探和坑道物探更接近目标体,且可充分利用已有地质信息,能较好解决更具体的地质问题,减少了物探解释的多解性,是一种有效的工作方法,随着方法的不断完善和发展,具有更广阔的市场前景。

参考文献:

[1] 傅良魁. 电法勘探教程[M]. 北京: 地质出版社, 1983, 5.

[2] 樊金生, 等. 陕西省柞水县M铜矿区二OOO年度物探工作简报[R]. 2001.

[3] 樊金生, 等. 柞水M铜矿PD5坑道物探工作简报[R]. 2001.

Application of DC methods to searching for deep buried deposit in a copper deposit in south Shaanxi and it's application result

FAN Jin-sheng, ZHOU Yun-hai, WANG Bei-zhan, LU Xue-cheng

(*Northwest Nonferrous Metals Party of Geophysical & Geochemical Exploration, Xi'an* 710068, *China*)

Abstract: Comprehensive geophysical methods mainly including mise a la masse method, pit IP, borehole IP have been used at different exploration stages of M copper deposit. The result shows the characteristics of spatial distribution of the orebodies in deep and provides solid basis for further prospecting and mining projects and guiding the layout of drilling project efficiently.

Key Words: DC method; prospecting for underground ores; comprehensive geophysical prospecting; copper deposit; mise a la masse method; IP in well; ground-well method; south Shaanxi

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net