井中激发极化法在峰崖寻找铅锌矿的应用

西北冶金地质勘探公司物探队 温少光

引　言

峰崖铅锌矿属秦岭中泥盆统层控多金属矿床。矿体呈似层状产于向北倾的千枚岩与灰岩的接触带上。矿体上盘为千枚岩，电阻率和极化率都很低；下盘为灰岩，其中含铁矿和炭化，极化率较高，电阻率也较高；矿体的电阻率低，其极化率比灰岩高8倍左右。岩矿石的电性见下表。

岩矿石名称	电阻率（欧姆米）	极化率（%）
千枚岩	150～250	0.5～1
灰　岩	500～1800	2～4
铅锌矿	4～100	16～30
铅锌矿化		8～18

1960～1962年，在13～26剖面（图1）进行过初步地质评价，提交了矿量。以往的地面物化探资料只反映了近地表的矿化带，追索和寻找深部盲矿是本区进一步找矿的重要课题。为此，1979～1980年我们试用井中激发极化法在已知矿的西部、中部和东部，配合地质找矿评价开展了工作，发现有意义的异常多处，并对部分异常作了水槽模拟解释。由于地质钻探评价工作已提前结束，致使一些异常未得到验证。现将主要成果分述如下。

矿区西部

在30号线以西，完成了7个钻孔的地—井方式、4个孔的井—井方式和三条剖面的井—地方式测量。地—井方式的电极布置见图1。

（一）30号剖面

②号孔：以地—井方式测得的4个方位的视极化率η_s曲线，均在200米以下上升，是千枚岩下面的灰岩所引起。此外，在南部的A_3和西部的A_4供电时，还发现方位不同的其他异常（图2）。

对A_3供电所测得的异常，当时推断在30线②号孔南侧至31号孔之间，存在着盲矿体，其尾部引起150γ以上的正异常。而150～200米间的正异常，则主要是30线②号孔以北存在另一盲矿的头部引起。这种状况下的二次电流J的分布示于图3。这样，②号孔恰从两矿之间穿过，故

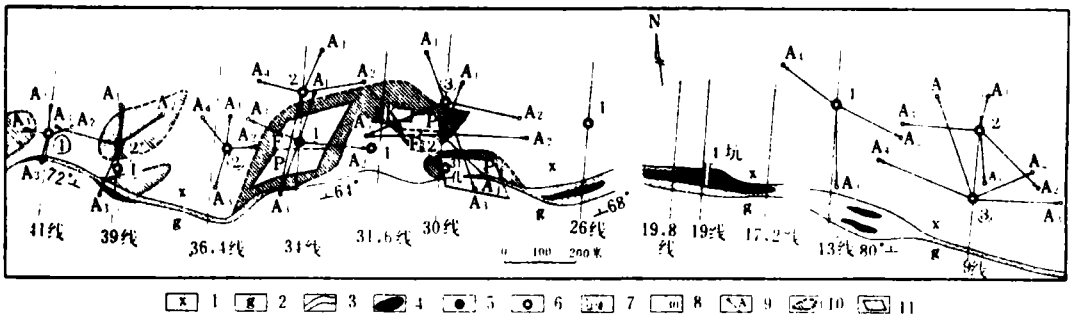

图1　峰崖铅锌矿区井中激电布线图

1—千枚岩；2—灰岩；3—铅锌矿化带；4—铅锌矿体；5—见矿钻孔；6—未见矿钻孔；7—坑道及编号；8—剖面线及编号；9—地—井方式供电极及编号；10—根据井中激电结果推断的矿体水平投影；11—根据水槽模拟推断的矿体水平投影；P—贫矿，η = 2.7%；F—富矿，η = 30%；K—块状矿，η = 51%

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

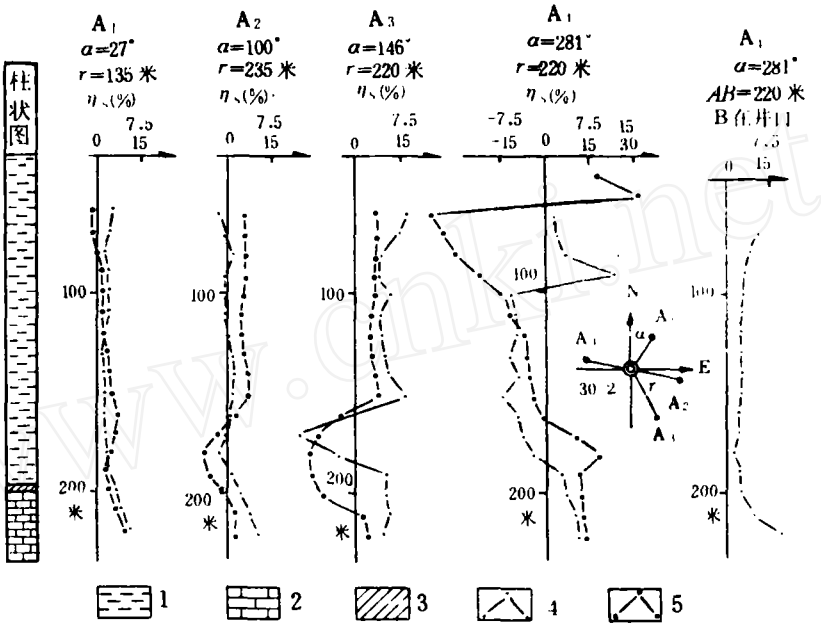

图2　30线② 号孔地—井激电曲线图

1—千枚岩；2—灰岩；3—矿化层；4—实测η_s曲线（1单位刻度=7.5%）；5—水槽模拟η_s曲线（1单位刻度=15%）

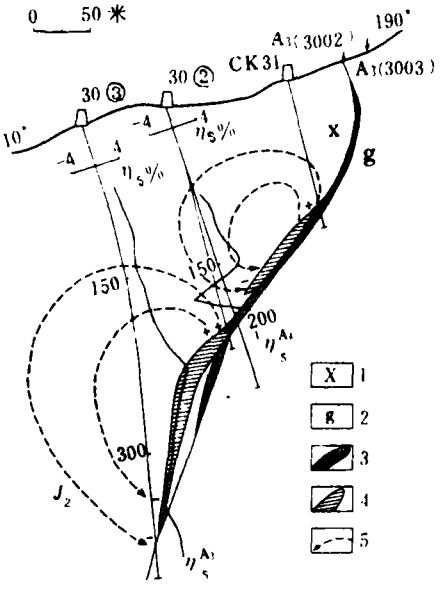

图3　30线综合剖面图

1—千枚岩；2—灰岩；3—地质推测矿体；4—根据井中激电测量结果推断的矿体；5—A3供电时二次场电流线

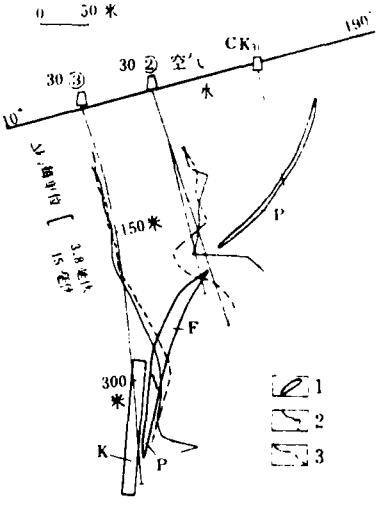

图4　30线水槽模拟剖面图

1—模拟矿体在基线方向上的投影（P为贫矿，η=2.7%；F为富矿，η=30%；K为块状矿，η=54%）；2—A3供电的野外实测ΔV曲线；3—A3供电的模拟矿体ΔV曲线

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

只见到1米厚的矿化。地质接受了这种推断解释，于是对②号孔进行了补孔。结果在相对原孔偏向北西方向，在推断见矿的位置见到了6米厚的铅锌矿层，证实了上述推断解释。

在A_4供电时，获得了宽达百米的负异常。当B极由无穷远移至井口套管时，异常消失（图2），说明负异常由深源引起，而在东部A_2供电时没有发现井内异常，由此认为上述推断深部的盲矿体向西延展或扩大，向东尖灭或缩小，负异常是盲矿向西延伸，在其上部积聚的正电荷产生向上流动的二次电流所引起。因此当时物探提出应向西追索，后来地质队在西部的34线1孔打到了13米厚的铅锌矿层，而东部的26线1孔则未见矿（图1）。

30线③号孔：为控制该孔所见矿体的延深，在北部打了30③孔，结果未见矿体，含矿层变薄，接触带变陡（图3）。地—井方式测量结果，A_1、A_2和A_3方位上出现的异常，与30②孔相似，唯A_3没有负异常，正异常较宽，分布在180～330米之间（图3）。认为该异常系30②孔所见矿体向下由缓倾变陡倾、在转折部位形成较厚或较富矿体所引起。这种状况下的二次电流分布与30②孔在A_3供电时的二次场电流J_2的分布基本一致。（图3）。

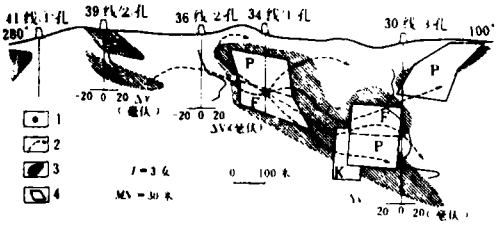

图5 峰崖西部电对比法纵投影图

1—井中充电点；2—充电电流线；3—根据井中激电结果推断的矿体纵投影；4—模拟矿体的纵投影

利用水槽模拟对上述盲矿体的分布得到进一步解释。模拟结果选择了三个模型，使模拟曲线与野外实测曲线基本相似。这三个模型的水平投影、在基线方向上的投影及其纵投影分别见图1、图4和图5，模拟曲线与实测曲线的对比见图2和图4。这些结果表明：分布在30②孔南侧的矿层是贫矿（图中模型用P表示），极化率η=2.7%，矿层向西尖灭，向东收缩并向上仰起延至28、29两线地表；分布在30②孔北侧的矿层，其上部为富矿（图中模型用F表示），η=30%，下部为贫矿η=2.7%，矿层向东尖灭，向西延展，并在31线以西，在深部出现新的隐伏富矿层，或者是矿层在此处增厚变富，相当于块状矿体（图中模型用K表示），η=54%。如果不加K型模型，30②孔在A_4方位供电时将观测不到负异常，证明野外在A_4方位供电实测得的宽达百米的负异常是西部深处规模较大、电性很强的异常源引起的。在图2 A_4方位的曲线上，模拟的负异常比实测的负异常浅，倘若将K型模型下沉，可使两曲线更接近，由于水槽深部受槽底的边界影响，未作进一步模拟。

根据上述解释可见，从30至32号线，矿层顶端埋深逐渐增加，因此布于浅部的32①孔（图1）没有探到矿体。

（二）30号剖面井—地测量结果

主要包括在34①、34②两孔及31.6、36.4和34三条线上所做的工作（图1）。

34线①号孔：上面提到，该孔见矿13米，铅锌总含量7.3%。在四个方位用地—井方式测得的η_s曲线上，均出现形态相似、数值相当的S形异常（图6绘出了A_3方位的ΔV_2曲线）。这是由于钻孔打在矿体中部，四个方位供电在孔中所产生的二次场相似造成的。

为研究矿体的水平展布，在34线1孔矿层下部A点充电，进行井—地矢量测量，所得地面一、二次场矢量E_1和E_2的分布示于图7。

在36.4线北段和31.6线南段，E_1、E_2矢量的方向均由外向内偏转，反映了一、二次电流在这些部位改变方向，其中二次电流可能再回到A点附近；而在36.4线南段和31.6线北段没有观测到E_1、E_2矢量偏转的现象。E_1、E_2电场的这种分布，反映了矿体在前一方向上收缩，而在后一方向上拉长。在水槽中模拟这种形态的矿体（图1），也观测到E_1、E_2在矿体收缩部位发生偏转的现象。据此推断出矿体的水平投影（图7和图1）对矿体形态所作的这些推断，有的已被钻探所证实，例如36.4线②号孔打在矿体北西收缩部位

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

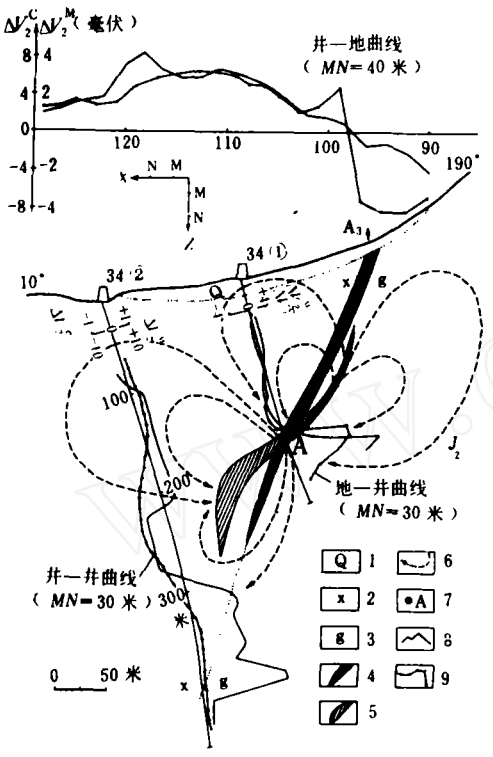

图6　34线综合剖面图

1—浮土；2—千枚岩；3—灰岩；4—地质推测矿体；5—井中激电模拟推断矿体；6—井中A点供电的二次场电流线；7—井中供电点；8—野外实测二次电位ΔV_2^C曲线；9—水槽模拟二次电位ΔV_2^M曲线（单位均为毫伏）

（图7）而未见到矿体。

为控制34线①孔所见矿体的延深，在北部打了34线②号孔（图1），结果与30线③号孔一样，也未见矿体，只发现接触带处变陡、含矿层变薄（图6）。为此需要研究矿体在纵深方向上的变化，于是在34线①号孔内A点充电，在34线②号孔按井—井方式作激电测量，其结果示于图6。从图可见：井—地方式的ΔV_2曲线南负北正，零值交于97号点，这是矿体自A点向上逐渐贫化变薄的原因。由于A点相对上部贫薄矿体而言，相当于在矿体内部，为体内极化。因此二次电流顺矿体内部向上流。到近地表97号点附近向南北两个方向分流，往南与X轴方向相反，为负值，往北与X轴方向相同，为正值。ΔV_2在110号点附近出现极大值，是向北流的二次电流在此返回A点附近，使近地表的电流密度增大所致。34线②号孔内井—井方式的ΔV_2曲线在210米以上的正异常和在210～290米间的负异常，推测为矿体自A点向下逐渐变富增厚，并延至34线②号孔南侧引起。此时，A点相对下部富而厚的矿体而言，相当于在矿体的外部，为体外极化，因此二次电流线从A点附近向外发散，在矿体尾部汇集，造成210米以上空间的二次电流向下，为正异常，210～290米间的二次电流向上，为负异常。井—地方式测得的ΔV_2曲线在118点附近出现另一极大值，是A点附近出发的二次电流在此点附近返转流至矿体尾部，使近地表电流密度增大的缘故。

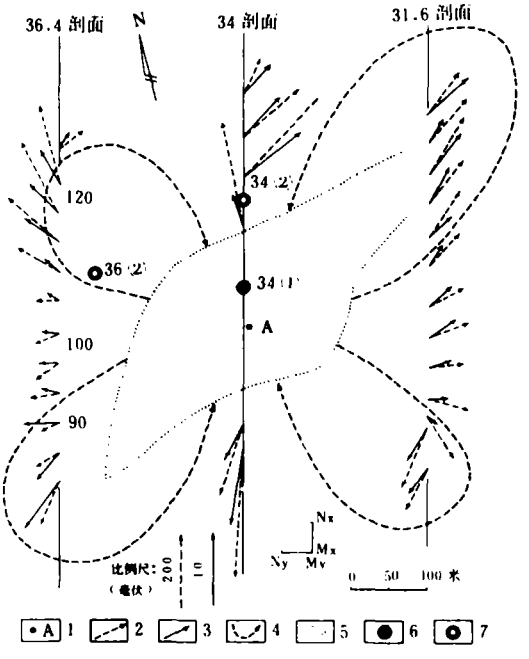

图7　井—地方式测量的矢量图

1—井中供电点的水平投影；2—一次场E_1矢量；3—二次场E_2矢量；4—二次场电流线；5—推断的矿体水平投影；6—见矿钻孔；7—未见矿钻孔

上述分析结果已经由水槽模拟实验所证实。所模拟的矿体，其水平投影、纵投影和剖面的形态分别见图1、图5和图6。根据以上分析，剖面内的矿体：在A点附近的极化率η达15%左右；由此向上，矿体逐渐变薄变贫，η逐渐减少，至矿体顶部η=40%。模拟结果：34线①号孔的地—井观测、34线①号孔中A点供电，分别在34线②号孔地面的井—井和井—地观测，三者

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

所得的ΔV_2曲线均与野外实测曲线很接近（图6）。根据模拟结果，认为矿体的贫富厚薄变化只有符合上述电位分布，才能使地—井、井—井、井—地三种方式所观测的异常与野外实测异常相近。由此看来，异常的多解性基本上得到了控制。

（三）39及41号线

在30和34号线内，成矿接触带有褶曲。在接触带由缓变陡的部位，矿层增厚变富，构成较好的矿体。这一推断曾引起争议。后来在39号线①、②号孔果然发现，接触带和矿体的确存在所推断的这种现象（图8）。

在39线②号孔内测得的η_s曲线，主要反映出两层矿，在该孔用地—井方式在四个方位的测量结果是，在矿层上下附近均出现S形的负、正ΔV_2异常（图8）。其中在A_1、A_2、A_3供电时测得的ΔV_2曲线很相似，说明对A_1、A_2、A_3（即北、东、南三个方位）而言，39线②号孔基本上在矿体中部通过。而在A_4供电时测得的ΔV_2曲线在矿层上才出现较宽的正值，这是矿层向西很快尖灭并明显翘起，使矿层西端靠近钻孔的缘故，推断矿体的水平投影应如图1所示。

41线的①号孔未见矿，地—井测量结果只在西部发现有一埋藏更浅的异常体（图1、图5）。

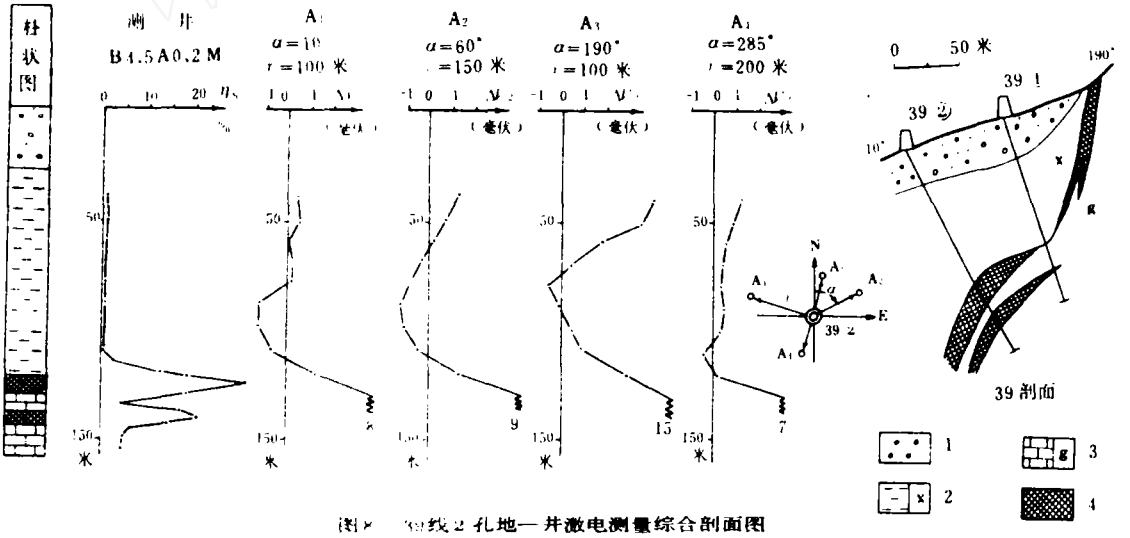

图8 39线2孔地—井激电测量综合剖面图

1—浮土；2—千枚岩；3—灰岩；4—铅锌矿体

（四）井—井方式测量确定矿体的倾伏

在34线1号孔A点充电，在走向上对30线③、36线2和39线②等钻孔进行井—井方式测量，测得的ΔV_1和ΔV_2曲线虽有很大差别，但所反映的一、二次电流方向基本一致，图5只绘出了ΔV_1曲线。从ΔV_1正负值的大小和零值点的位置可知：一、二次电流自A点向西偏浅部流动，并在36线②号孔附近分流，浅部分流向东，深部分流向西至39线②号孔，然后向下流动，致使ΔV_1、ΔV_2在36线②号孔的上部为负值，下部为正值，39线②号孔全部为正值。这些现象说明影响电流畸变的矿体自A点向西翘起。另外自A点向东，一、二次电流大部分偏向深部流动，使30线③号孔深部的ΔV_1、ΔV_2值比浅部大得多。说明矿体自A点向东倾伏。对比上述地下电流的分布，推断矿体向东以大致30°的角度倾伏，其纵投影的形态如图5所示。

矿区中部

主要指19号线附近，此段是以往提交矿量的最好矿体，铅锌平均总含量8.3%。在19线4号坑底矿体中充电，沿地面17.2、19、19.8线（图1）进行井（坑）—地矢量测量。所得矢量异常除反映已知矿体存在外。还发现地表观测的ΔV_1和ΔV_2的零值点分别离充电点水平投影向南偏15和10米（图9），表明19线4号坑还未穿过低阻

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

高极化率的电性层，因此坑底之南可能仍有较厚的矿层存在。此例说明利用井中激电在旧矿区中开展工作，也会有所发现。

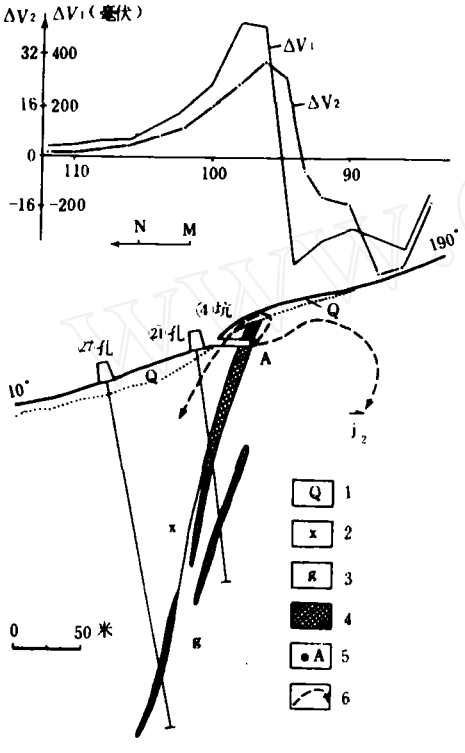

图9 峰崖19线综合图

1—浮土；2—千枚岩；3—灰岩；4—铅锌矿体；5—充电点；6—二次场电流线

矿区东部

在13号线以东。对903、902和1301孔进行了地—井方式的测量。

903孔在接触带处见矿化约70米，矿化段的极化率一般小于15%（图10）。四个方位的地—井方式测得的η_s曲线，在矿化段上均出现形态一致的正异常（图10仅绘出A_1供电时所得的曲线），反映出矿化规模较大，也或许是钻孔通过矿化层。

矿化层在902孔的深处，厚度突然变薄（只有几米）。对902孔进行了地—井方式测量，结果发现在250～400米井段，当在北面A_1供电时出现正异常，而在南面A_3供电时出现反S形的正负异常（图10），这表明异常体在钻孔南侧不远。为判断异常体是否位于上部低阻千枚岩和下

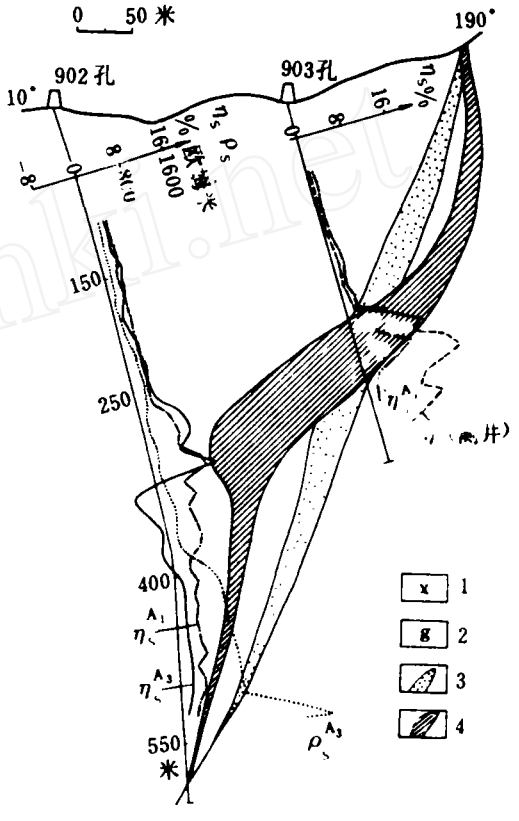

图10 峰岩9号线综合剖面图

1—千枚岩；2—灰岩；3—地质推断的矿体；4—井中激电推断的矿体

部高阻灰岩的成矿接触带附近，根据井斜资料对四个方位供电测得的地—井电位，计算了视电阻率ρ_s曲线，各个方位的ρ_s曲线均在350米左右出现上低下高的阶梯（图10），这种阶梯状的ρ_s曲线所反映的接触带确在上述井段激电异常体的下盘附近。因此，异常体就是接触带上的矿化层。综合η_s和ρ_s曲线，推测903孔所见的矿化层延至902孔南侧附近，倾斜变陡，矿化层向下逐渐变薄。由于902孔内异常的最大值出现在所推测的矿化层由缓倾变为陡倾的转折部位，所以在这一转折部位矿化有可能富集构成矿体。

13线(1)号孔仅见薄层矿化，在南部A_3点（见图1）供电，以地—井方式测得的η_s曲线与在902孔南部A_3供电所测结果形态相似。说明该孔位置仍偏北少许，如将钻孔南移，有可能见到较厚的矿化或矿体。

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

结　　语

井中激发极化法在峰崖地区配合地质钻探工程，取得了较好的找矿效果：发现30线②号孔周围的盲矿，发现34线①号孔所见矿体向东延展了300 米，推断在31号线以西在深部赋存着规模较大很有价值的隐伏富矿体。另外，在圈定矿体形态方面，认为在30、34、9 等线推断的成矿接触带存在褶曲，在接触带由缓变陡的转折部位矿层增厚变富，构成较好的矿体；在 19 线 4 号坑坑底之南还有新的隐伏矿层。这些都为进一步找矿和矿山开采提供了线索。

最后应指出，由于工作条件的限制，在模拟实验中，水的电阻率过低，未进行调整；矿层下盘灰岩的干扰以及各向异性的影响也未考虑。模拟曲线与实测曲线只求得形态上的相近，因此模拟实验结果的解释只是初步的，还不够完善。

西成铅锌矿田东部地区电法找矿初步效果

甘肃省冶金地质勘探公司一〇六队　胡斯福　沈能治

引　　言

西成铅锌矿田东部地区，已探明的大型矿床有三处，中、小型矿床多处，矿（化）点数十个，成为我国重要有色金属基地之一。矿床属沉积变质层控类型，产于中泥盆统碳酸盐岩或碎屑岩中。矿床矿石物质成分简单，并有含量不等的黄铁矿。矿床有的与含硅、含碳灰岩有很密切的关系，有的受到明显的改造。该处构造部位多为次级背斜的鞍部，或薄层灰岩与含碳千枚岩的接触部。具有用自然电位法找矿的物性前提。

地质概况

西成铅锌矿田位于西秦岭海西地槽褶皱带东段,产于中泥盆统西汉水群中。该群是由碳酸盐岩与碎屑岩组成的一套类复理石建造。分七个岩性段。总的特点是：

1.铅锌矿床（点）严格受第五、第六两个岩性段控制。

2.碳酸盐岩与碎屑岩呈多韵律，多旋回交替出现。

3.岩性和岩相沿走向、倾向急剧变化。碳酸盐岩中含碳质普遍。

4.岩石遭受浅—中等程度的区域变质。

5.主要区域构造线为北西西向，形态复杂。

6.大型矿床有厂坝和李家沟，小型矿床有黄厂，它们的地质特点是：（1）属沉积改造轻微的矿床；（2）产于碎屑岩（片岩）中的铅锌矿，是以块状为主的铅锌黄铁矿矿石。铅、锌、硫的品位都高，铅锌的品位平均达15%，硫一般为25～40%；（3）产于灰岩中的矿体则以条带状矿石居多，以锌为主，含铅稍少，含硫低（约15%左右），铅锌品位平均为7%。当灰岩含有碳、砂质（硅质）团块时，含矿较富；（4）矿床顺层展布，呈整合层状或脉状产出。倾角陡，延深大，蚀变弱，矿与围岩分界清晰。

物性特征

据电参数测定结果：

（1）铅锌矿石具有高的极化率值（15.3～46.5%）；块状矿石的极化率值（平均为39.46%）高于条带状矿石（平均为30.45%）；含碳或含黄铁矿化的岩石也有较高的极化率值（5.8～33.3%）。

（2）各类岩矿石的电阻率值无明显差异，为几百到3 千欧姆米。

（3）含碳岩石的电阻率在几十到几百欧姆米的范围内。

自电（梯度）异常特征及找矿实例

（一）自电（梯度法）普查找矿效果

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net