煤田，陷落柱，电法勘探，高密度电法

第18卷第5期 物 探 与 化 探 Vol. 18, No. 5
1994年10月 GEOPHYSICAL & GEOCHEMICAL EXPLORATION Oct., 1994

363 - 370

应用高密度电法探测煤田陷落柱

张献民 王俊茹 刘国辉
（河北地质学院，石家庄 050031）

TD 327

摘 要 本文讨论了高密度电法探测煤田陷落柱的若干问题。应用边界单元法模拟了陷落柱各种因素变化对地电异常的影响，并给出了陷落柱边界划分方法。针对矿区内严重的地电干扰，给出了数据采集及资料处理的技术措施。应用结果表明，高密度电法可有效地探测煤田陷落柱。

关键词 高密度电法，煤田陷落柱。

陷落柱是煤田危害最大的地质灾害之一。1984年开滦矿务局范各庄矿2171工作面因遇陷落柱而大型突水，映及四个大型矿井，造成重大经济损失。邢台矿务局车庞煤矿2017工作面，在掘进中遇到陷落柱，不能挺而走险，只好后退60m另开切眼，进行回采，因此丢掉了大约6万吨煤。邢台矿务局葛泉煤矿陷落柱十分复杂，自建矿以来已遇到十几个陷落柱，它严重影响了煤田的正常生产，葛泉煤矿因此已蒙受了重大经济损失。

目前，还没有一种行之有效的探测煤田陷落柱的方法技术。采取有效的手段，进行探测煤田陷落柱的科学研究，对煤田的正常生产具有非常重要的意义。1991年至1992年，我们先后三次在邢台矿务局葛泉煤矿开展了高密度电法探测陷落柱的野外试验工作。结果表明，应用高密度电法及有效的数据处理方法，可较好地解决煤田陷落柱的探测问题。

1 地质概况

葛泉矿区位于邢台矿区的中部，井田为多字型构造体系组成的北东向复式向斜构造，经改造南部形成了一个典型的张扭性旋卷构造。区内褶皱及断裂构造发育，岩浆活动比较强烈，陷落柱分布相当广泛，地层走向以北东为主，地层倾角一般为15°—20°。

奥陶系中统马家沟组石灰岩为矿区最老地层，厚度约为500余米，是石炭二迭系煤系底盘。煤系地层以假整合关系覆于马家沟组灰岩之上，厚度231m，含可采煤6层。下部为石炭系中统本溪组，厚度9—33m。中部为上统太原组，厚度为153m，9号煤层位于该组下部，平均厚度为4.74m。上部为二迭系下统山西组，厚度为60m，2号煤层位于该组中下部，平均厚度为2.77m。非煤系地层为二迭系下统石盒子组，由一套杂色陆相碎屑岩组成，厚度440余米。新生界第四系地层厚为50—221m，测区内，河床砾石层厚约10—40m。

矿区内至今发现19个陷落柱。从其分布来看，所有生产矿井在不同程度上均有发现。以井巷揭露长度为依据，陷落柱最大长轴为172m，最短长轴为28m。长轴方向多数为北西向。柱顶多数发育到基岩顶面，少数发育到第四系冲积层。柱体由形状不同、大小不一、颜色各异、岩性不同的杂乱堆积物组成，经胶结压实，多数比较致密，一般干燥无水。

1993年11月10日收稿。

维普资讯 http://www.cqvip.com

2 本区开展地球物理勘探的可能性

根据目前已知情况，葛泉煤矿矿区内陷落柱均未充水，且陷落柱埋深大，与围岩电性差异较小，再加上地表厚达40m的砾石层及十分强烈的地电流干扰及地下施工影响，给地球物理勘探带来了极大的困难。建立合理的地球物理勘探模式，了解有效信号及其存在同一时空的干扰信号的特点，应用有效的数据处理方法，将干扰信号最大限度地排除掉，突出异常信号，是该地区进行地球物理勘探的困难之一。

1992年在本区开展了脉冲电磁法探测陷落柱的野外试验，由于陷落柱未充水，因此呈高阻反映，致使脉冲电磁法激励产生的二次场非常微弱，且围岩与陷落柱产生的二次场差异很小，再加上该地区较强的电磁干扰，使得该方法在本地区难以取得好的效果，这已由试验结果所证实。

目前，已有一些勘探地球物理专家，开展了三维地震探测陷落柱的可行性研究。结果表明，只要矿区具备地震勘探的施工条件，煤系地层能产生足够强度的反射波，就可以应用三维地震方法探明陷落柱的位置和形状。在陷落柱存在的地方，煤系地层同相轴发生明显变化，强波阻抗界面下陷处同相轴下凹，振幅变低，其极小值区与陷落柱中心相对应，在陷落柱边缘之外则逐渐恢复到正常振幅。但由于矿区内地表覆盖有较厚的砾石层，在速度特征方面呈低速带，它将对地震波产生较强的吸收，再加上地下开采施工的干扰，地震勘探也将存在着非常大的困难。

高密度电法在观测中设置了较高密度的测点，在测量方法上采取了一些有效地设计，使得数据采集系统有较高的精度和较强的抗干扰能力，并可获得较为丰富的地质信息。同常规电阻率剖面法、测深法相比，高密度电阻率法既能提供勘探地质体在某一深度沿水平方向岩性的变化情况，也能反映勘探地质体在铅垂方向不同深度岩性的畸变特征。在资料处理过程中，可采用多参数综合解释。因此该方法弥补了常规方法测点密度较稀和解释单一性的不足。但由于测区内地表较厚的砾石层及严重的地电流干扰，给野外数据采集带来了极大的困难，因此，在数据采集过程中必须采取有效措施加以克服。

3 应用数值模拟研究若干问题

本区煤系地层走向以北东方向为主，地层倾角一般为15°—20°。当测线沿地层走向布置时，电性沿垂向的变化对电性在某一深度的横向变化将不产生影响，当测线方向与地层走向不一致时，使横向电性对比分析变得复杂了，其背景值将会出现波动。因此，必须搞清在探测范围内煤系地层及陷落柱的电性特征。应用计算机对野外实测结果进行拟合表明，干燥的砾石层电阻率为250Ω·m，湿度较大的砾石层电阻率为150Ω·m，粘土层电阻率为9.5Ω·m，煤系地层电阻率为40—50Ω·m，而陷落柱的电阻率为煤系地层的5—7倍，呈高阻反映。

我们应用边界单元法分别对陷落柱的埋深变化、电性变化及规模变化对地表异常值的影响进行了正演计算。

图1为陷落柱顶部埋深H值不同情况下，Schlumberger装置下的最大视电阻率异常值，随$AB/2$变化的数值模拟结果。图中陷落柱模型与本地区一般条件下陷落柱的规模相对应。当$H=90$m时（这与实际情况基本一致），$\Delta\rho_s$最大值接近7，这样对于背景场$\rho_{s0}=32\Omega\cdot$m来

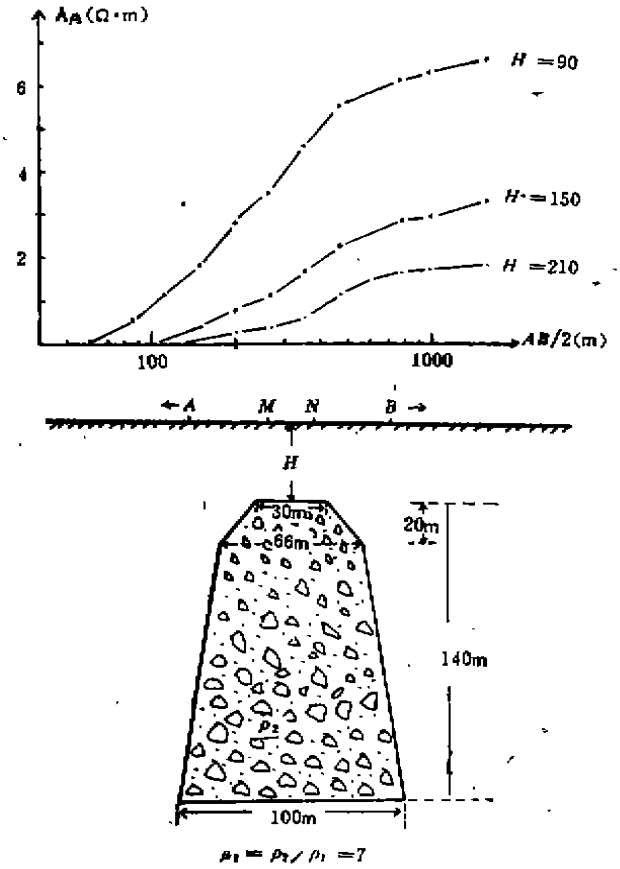


图 1　边界单元法模拟 $(\rho_{s\max}-\rho_{sb})\propto f\left(H,\ \frac{AB}{2}\right)$

考虑，陷落柱上最大异常$\rho_{s\max}=39\Omega\cdot m$，这与我们野外实测结果基本拟合。对于$H=210m$时，同样规模的陷落柱，由于$H$加大，$\Delta\rho_s=1.8\pm$（饱和值），考虑到观测精度及异常下限确定方法，此时，在地表将难以观测到陷落柱的地电异常信息。

图 2 为陷落柱规模发生变化时，Schlumberger装置下的最大视电阻率异常值，随$AB/2$变化的数值模拟结果。在计算过程中，取陷落柱顶部埋深$H=90m$，$\mu_2=\rho_2/\rho_1=7$，对L_1、L_2、L_3分别给了 4 个值，模型具体参数见图 2 。计算结果表明，在模型 4 的条件下，异常值已很小。同理，考虑到观测精度及异常下限确定方法，此时，在地面将很难获取陷落柱的地电信息。

图 3 为$\Delta\rho_s=(\rho_{s\max}-\rho_{sb})\propto f(\mu_2,AB/2)$情况下，用边界单元法对埋深$H$为90m时的陷落柱（其规模如图 3 所示）进行了数值模拟。结果表明，当$\mu_2=2$时，$\Delta\rho_s$异常已变得较小。同理，考虑到观测精度及异常下限确定方法，此时，在地面亦很难获取陷落柱的地电信息。

为了研究陷落柱边界确定的方法，针对葛泉矿区陷落柱空间分布的具体情况，进行了数值模拟分析。由于本地区第四系地层厚度为82—101.4m，且据已知条件分析，陷落柱柱顶大部分已发育到基岩顶面，考虑到本区陷落柱的一般规模，其空间分布情况如图 4 所示。根据实测结果分析，设围岩电阻率为$\rho_1=31\Omega\cdot m$，陷落柱的电阻率为$\rho_2=217\Omega\cdot m$，即$\mu_2=7$。

维普资讯 http://www.cqvip.com

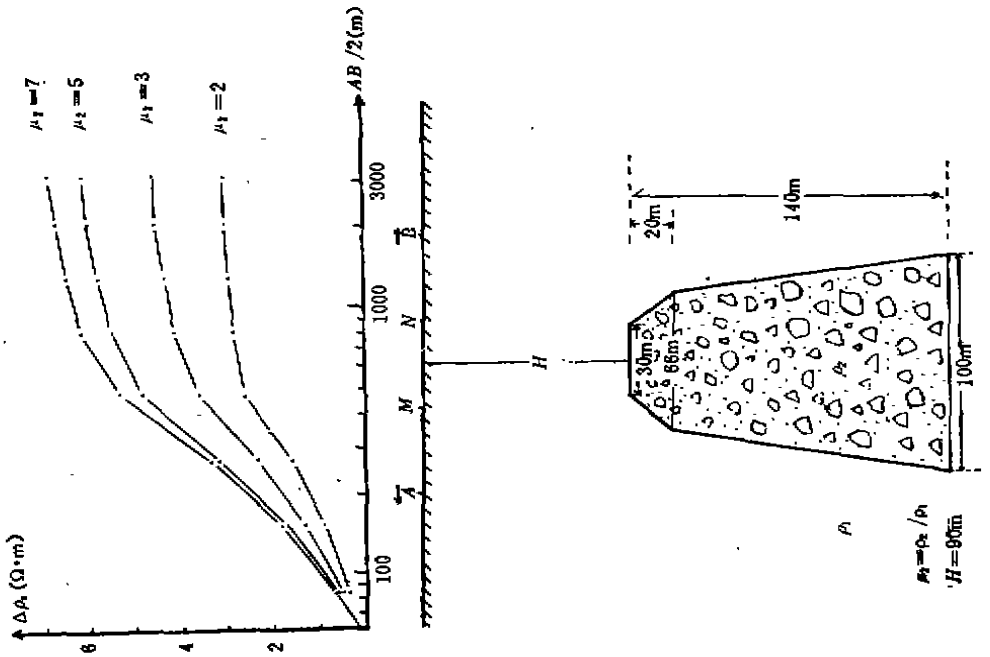


图 3 用边界单元法模拟($\rho_{Smax}-\rho_{sb}$)$\propto f\left(\mu_3, \frac{AB}{2}\right)$

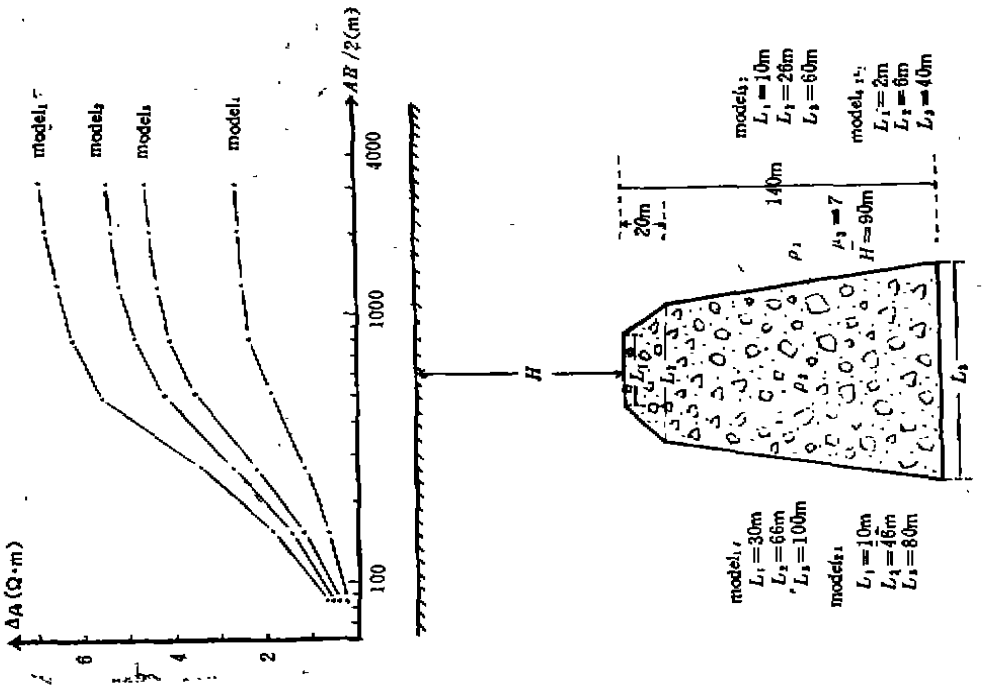


图 2 用边界单元法模拟 ($\rho_{max}-\rho_{sb}$)$f(L_1L_2\infty, L_3\ AB/2)$

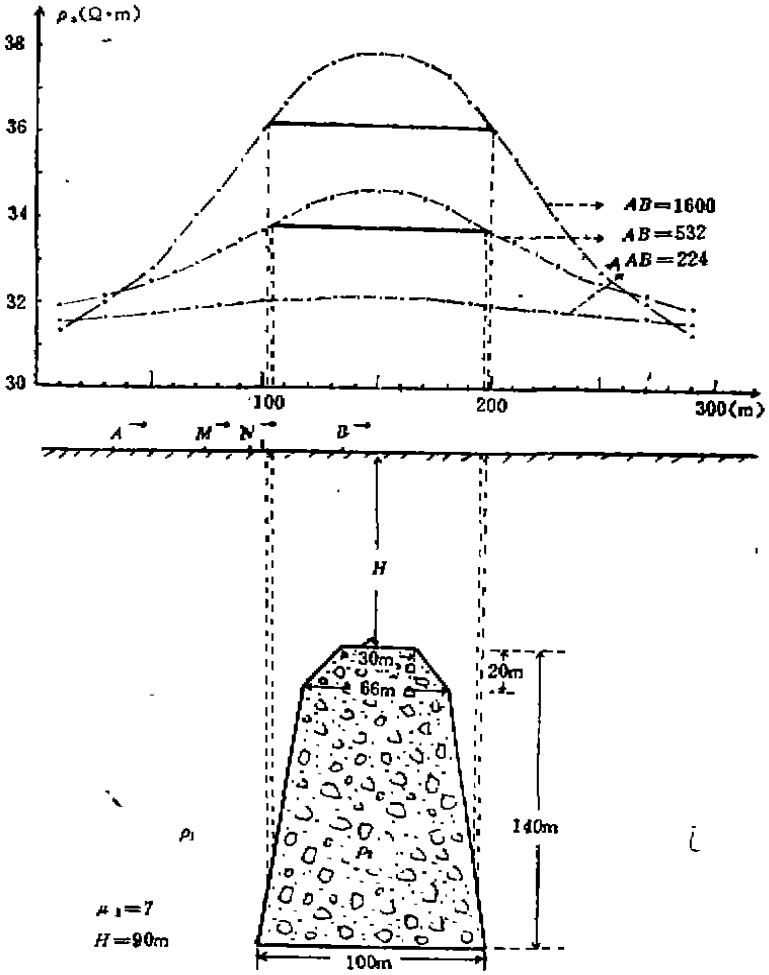


图 4　陷落柱边界划分数值模拟结果

式计算结果如图 4 所示，当AB=1600m时，其ρ_s异常最明显；当AB=224m时，由于探测深度较小，其ρ_s值几乎对陷落柱的存在无反映；当AB=532m时，异常幅度处于上述两者之间。通过对AB=1600m及AB=532m剖面曲线的分析，我们得出如下结论：$\rho_{s0}+\frac{3}{4}(\rho_{s\max}-\rho_{s0})$的异常宽度与陷落柱的边界基本对应，其$AB$=1600m反映了陷落柱的较深部位，$AB$=532m相对$AB$=1600m反映了陷落柱的较浅部位。实际确定边界时，我们可从高密度断面中，获取AB=532m—1600m范围内的剖面曲线，按上述方法进行推断。

为了给实际工作提供充分依据，我们针对实际地电条件，对 Schlumberger 装置下的陷落柱高密度电阻率断面进行了计算，计算结果如图 5 所示。对 n=1、2、3 几乎无异常显示，当$n\geqslant 4$时，已反映出陷落柱的存在，在陷落柱存在的部位，出现了成片连续的高视电阻率数值区。但异常区数值与正常场数值差异较小，这就要求野外数据采集要有较高的精度。

上述数值模拟分析结果，对实际推断解释具有重要参考价值，但应注意实际条件的复杂性。

维普资讯 http://www.cqvip.com

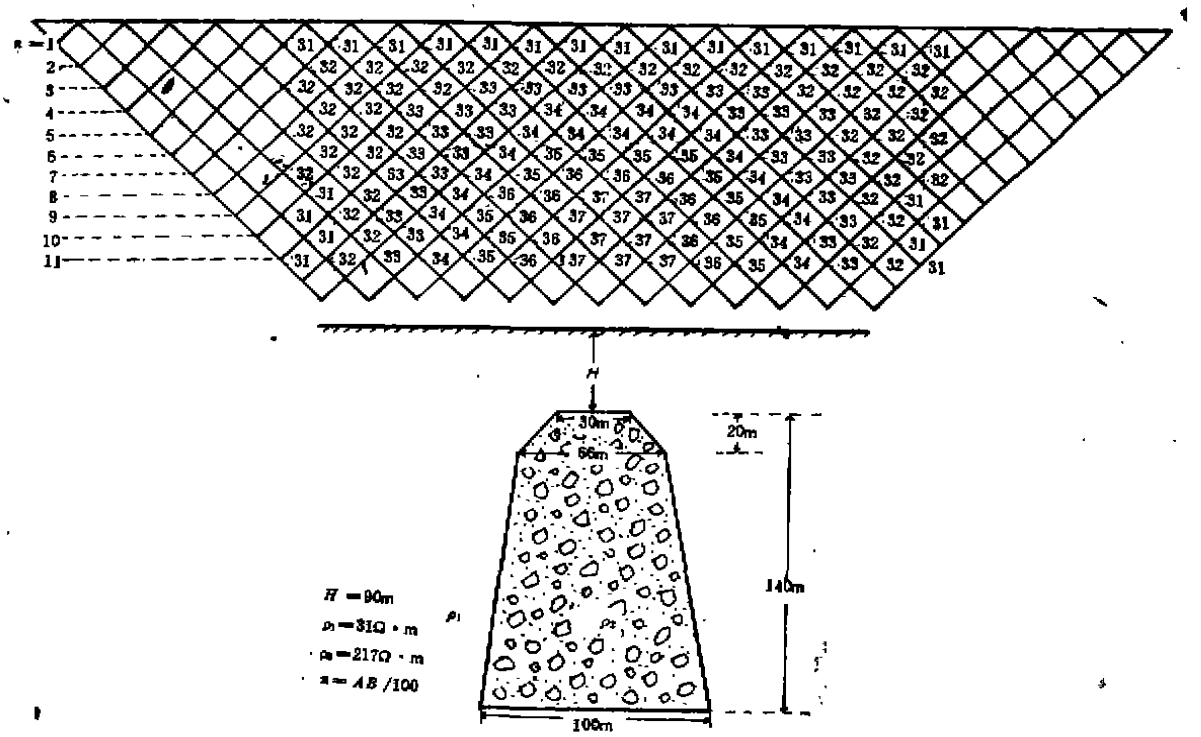


图 5 用边界单元法模拟陷落柱高密度断面

4 野外数据采集及资料处理

葛泉矿区地电干扰十分严重，在MN=180m情况下，有时可观测到100mv±的地电流，而此时有效信号通常为10mv以下。由于干扰，仪器表头指针往往处于不稳定状态，给野外数据采集带来了极大的困难，为了提高信噪比，必须采取一些技术措施。

4.1 合理选择采集系统

在高密度电阻率法中，可转换出多种采集系统，但由于本区要求探测深度较大，而偶极及差分采集系统适应于浅部勘探，我们只能选择施仑贝尔及温纳采集系统。但由于本矿区接地条件较差，使得供电电流较小，再加上严重的地电干扰，若MN太小就难以提高信噪比，因此，我们选择温纳高密度采集系统。

4.2 确保高质量的数据采集

由于本地区地电流的严重干扰，数字显示表头式的仪器将无法保证高信噪比的数据采集，必须采用指针显示式仪器进行工作。为了提取有效信息，读数时必须待指针稳定时进行，由于指针稳定的时间极短，在读数时来不及进行调零，此时采取将读取的数值减掉读数前的电位值。当按下供电开关时，仪器表头指针出现明显的加速或减速摆动，这说明有干扰存在，此时读数应作废。

4.3 对原始数据进行滤波处理

由于本矿区存在有较大的地电干扰，再加上地表较厚的砾石层，给野外较高质量的数据采集造成了极大的困难。因此，对原始数据的滤波处理就显得十分重要。

维普资讯 http://www.cqvip.com

对深部陷落柱地电信息造成干扰的因素有浅部局部电性不均匀体、大地游散电流的干扰及随机干扰。由于这些干扰，使得实测结果表现为不规则的起伏，起伏值服从于正态分布规律，起伏的平均值应为零。

从滤波角度，我们可以将实测$\overline{\rho}(x)$看成是有用信号$\rho(x)$与干扰信号$\rho'(x)$之和，即

$$\overline{\rho}(x)=\rho(x)+\rho'(x) \qquad (1)$$

从而可得

$$\overline{\rho}(\omega)=\rho(\omega)+\rho'(\omega) \qquad (2)$$

式中$\overline{\rho}(\omega)$为实测值的频谱，$\rho(\omega)$是有用信号$\rho(x)$的频谱，$\rho'(\omega)$是干扰信号$\rho'(x)$的频谱。结合本地区具体情况，$\rho(\omega)$反映为低频特征，而$\rho'(\omega)$反映为高频特征。因而，我们对原始数据采用低通滤波器进行了处理。

4.4　纵向综合视电阻率的提取

为了反映不同深度测量结果的整体效果，提高异常的置信度，同时提高信噪比，突出有效信息，采用以下数学模型对原始数据进行了处理

$$\rho_i^T=\frac{1}{k_m}\sum_{j=-m}^{+n}\left[\frac{1}{m}\sum_{i=1}^{n}(\Delta\rho_{ij}^{j})^2\right] \qquad (3)$$

式中i为纵向变量；j为横向变量；$\Delta\rho_{ij}^{j}=\rho_{ij}^{j}-\rho_{xi}$为第$i$个深度上第$j$个点的实测值与该点背景值$\rho_{xi}$的差；$k_m=2n+1$为滤波系数；$\rho_i^T$为纵向综合视电阻率。

5　实例

图6为矿区内已知陷落柱x_{106}上的实测结果，巷道控制及异常分布如图所示。采煤巷道距地表307m，ρ_i^*为ρ_s滤波后的值。ρ_i^*的异常沿纵向分布规律是，随AB加大其异常范围逐渐加大，这与陷落柱的空间分布规律是相对应的。根据$AB=495$m、$AB=540$m、$AB=585$m测得的ρ_i^*值划分的x_{106}边界，小于实探边界，这主要是由于由极距还不足以达到探测307m（巷道控制深度）的深度。图中ρ_i^T曲线明显反映了陷落柱的存在。

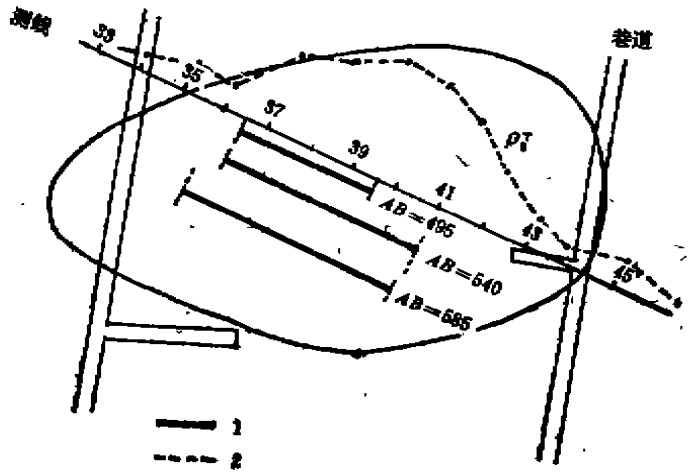


图6　x_{106}陷落柱巷道控制及实测异常平面

1—ρ_s^*异常区；2—ρ_i^T曲线

维普资讯 http://www.cqvip.com

图7为矿区内已知陷落柱x_{110}上的实测结果。图中x_{110}的实线边界为巷道实探到的，葛85孔未见有陷落柱显示。通过布置Ⅰ、Ⅱ测线进行了实测，经处理后的ρ_s^T异常区反映了陷落柱的存在。图中虚线为实测后推断边界，有待进一步验证。

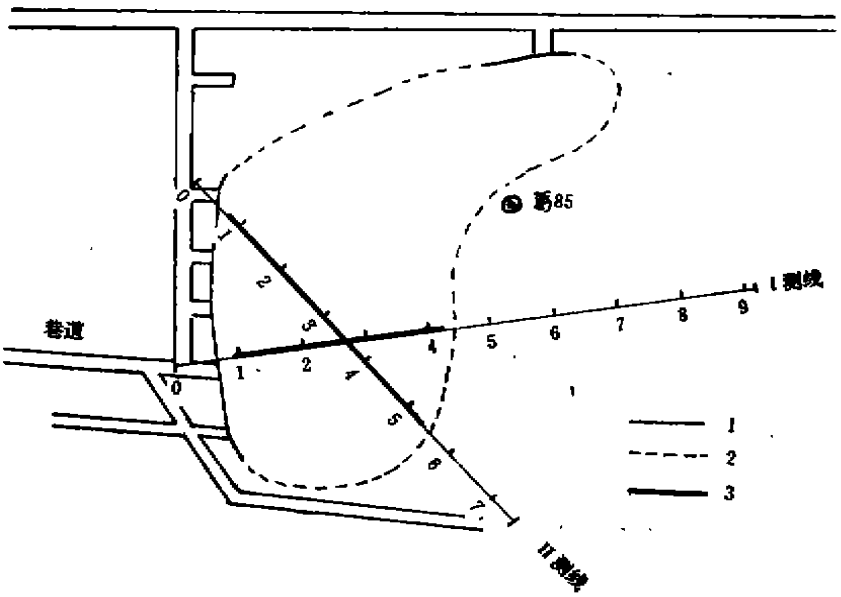


图7 x_{110} 陷落柱巷道控制及其边界推断示意

1—巷道控制边界；2—推断边界；3—ρ_s^T异常区

应用结果表明，高密度电法可有效地解决煤田陷落柱的探测问题。对野外实测结果，采用低通滤波器，可有效地压制由地电流干扰、随机干扰及地表局部地电体引起的高频成份，突出有效异常。

参 考 文 献

〔1〕 张献民、刘国辉，边界单元法在地球物理勘探中的应用，河北科技出版社，1992。

〔2〕 勾精为，三维地震探测陷落柱的可行性研究，计算机在地学中的应用国际讨论会文集。1991。

THE APPLICATION OF THE HIGH-DENSITY ELECTRICAL METHOD TO THE DETECTION OF COALFIELD DEPRESSED PILLARS

Zhang Xianmin, Wang Junru, Liu Guohui

(*Hebei College of Geology, Shijiazhuang* 050031)

Abstract The present paper deals with some problems concerning the detection of coalfield depressed pillars with the high-density electrical method. The boundary element method was used to simulate the influence caused by variation in various factors of the depressed pillar upon the geoelectric anomalies, and the method for delimiting the depressed pillar is given. In view of the grave geoelectric interference that exists in the ore district, the paper suggests some technical measures for data collecting and processing. The results of the application show that the high-sensity electrical method can be used effectively to detect coalfield depressed pillars.

Key words high-density electrical method, coalfield depressed pillar.