

图 5-2-3 L1 测线反演电阻率断面等值线图

#### 4. 探测成果与验证情况

在结合已有的水文、地质资料与已知小煤矿巷道布置情况下,通过对各条测线综合对比,得出了强裂隙含水区与采空区的分布范围,结果如图 5-2-4 所示。

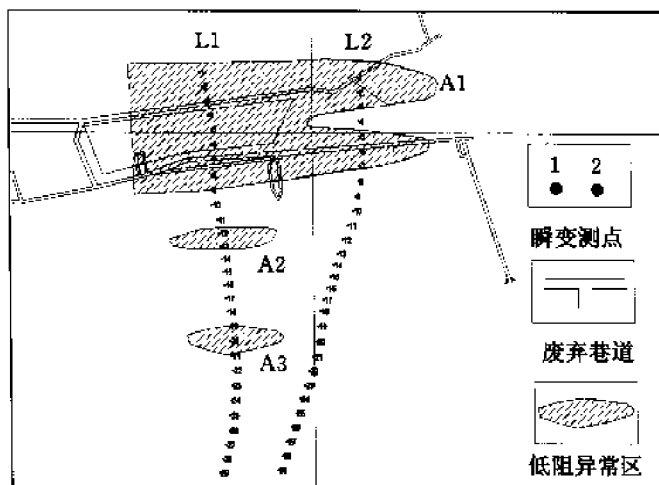


图 5-2-4 强裂隙富水带瞬变电磁法探测成果平面图

根据地面瞬变电磁法的探测结果,该矿在工作面布置和巷道掘进中对强富水区实施了超前探防技术措施。

### 5.3 CSAMT 法在煤矿采区水文勘探中的应用

徐州 SHJ 煤矿在东四采区巷道掘进过程中,出现底板涌水情况。水质化验表明该水与奥灰水有关,为确保东四采区安全生产,在该采区进行了 CASMT 法地面勘探,目的是查明测区内 F7、孙氏店断层含水性及隐伏的含(导)水构造。

### 1. 测区地质概况与地球物理特征

测区均被第四系所覆盖,第四系之下发育有下太古界、寒武系、奥陶系、石炭系、二叠系、侏罗系和白垩系。太古界泰山群( $Ar_1$ ):主要为一套深变质岩系及太古代侵入岩;寒武系( $\epsilon$ )主要岩性为泥岩、砂岩和灰岩;奥陶系中统( $O_2$ )岩性为灰岩和白云岩;石炭系(C)本溪组和太原组,主要岩性为泥岩、砂岩,夹薄层灰岩和煤层;二叠系(P)山西组和石盒子组,二叠系主要由砂岩、粉砂岩、泥岩和煤层组成,其中山西组为本区主要含煤(7煤层)地层;7煤层埋深为200~650 m;侏罗—白垩系(J—K)主要以砂岩为主;第四系(Q)主要由粘土、砂及砂砾层组成。

F7断层和孙氏店断层从测区穿过,两断层均为正断层,区内F7断层近E—W走向,局部呈弧状展布,倾向南,倾角 $65^\circ\sim 75^\circ$ ,断距0~200 m;区内孙氏店断层走向 $110^\circ$ ,倾向南,倾角 $70^\circ\sim 85^\circ$ ,断距110~295 m。

根据钻孔测井资料统计,区内第四系、白垩系和侏罗系电阻率均很低,电阻率平均 $8\ \Omega\cdot m$ 左右;二叠系山西组和石盒子组,电阻率最大 $50\ \Omega\cdot m$ ,最小为 $8\ \Omega\cdot m$ ,平均为 $15\ \Omega\cdot m$ ;石炭系电阻率平均 $25\ \Omega\cdot m$ ;奥陶系灰岩和白云岩电阻率大于 $500\ \Omega\cdot m$ 。

目的层为二叠系山西组的砂岩、粉砂岩、泥岩,由统计结果可见,除煤层电阻率较高外,其他各地层电阻率均很低,岩石间电阻率差异不大。同种岩石间电阻率差异与含水性密切相关,所以仅能根据电阻率的相对变化,推测岩层的赋水性。

断层造成了两边地层的错动,使其两侧电阻率发生变化,可以依据电性不连续判断断层的存在。断层活动使断层附近可能出现断裂破碎带,含水断层可能在电阻率断面图上出现横向不连续的低阻区。

### 2. 野外施工技术

测试仪器为美国Zonge公司生产的GDP-32 II多功能电法仪,采用赤道偶极标量装置,线距50~95 m,点距40 m,个别地段加密至20 m,共布置近S—N向测线9条。供电电极距 $AB=1\ 000\ m$ ,测量电极距 $MN=40\ m$ ,收发距 $r>3\ 200\ m$ ,测量扇区夹角 $\theta<20^\circ$ 。考虑到磁场分布比较均匀,而电场随构造变化灵敏,接收采用七个电道配一个磁道。

### 3. 数据处理与资料解释

本次实测工作采用标量可控源音频大地电磁测深方法,同时观测与场源平行的七道电场水平分量 $E_x$ 和一道与场源正交的磁场水平分量 $H_y$ 。利用每个排列电场振幅 $E_x$ 和磁场振幅 $H_y$ 计算阻抗电阻率 $\rho_a$ 。利用阻抗电阻率和阻抗相位联合反演计算出深度—电阻率参数,形成反演电阻率断面和不同深度解释图件,然后利用反演电阻率资料进行地质解释。反演采用美国Zonge公司随机配置的圆滑反演软件,该反演软件可以根据实测曲线自动给出初值,其反演解是惟一的,能够较真实地反映出地下电性分布情况。

9条测线可控源音频大地电磁测深勘查综合断面图表现基本一样,反演曲线整体为HAA型,即地下反演电阻率比地表稍高,地表以下出现相对低阻(海拔-100 m处),然后随着深度加大电阻率逐渐升高。各测线均通过F7断层,L4测线相对较长,其北部通过孙氏店断层。

下面以L4测线为例说明视电阻率断面图的分析过程。图5-3-1为L4测线反演电阻率等值线断面图,由图可以看出,反演电阻率断面对孙氏店断层和F7断层均有不同程度反

映,由于断距较小,另一个小断层在电阻率断面上基本没有反映。

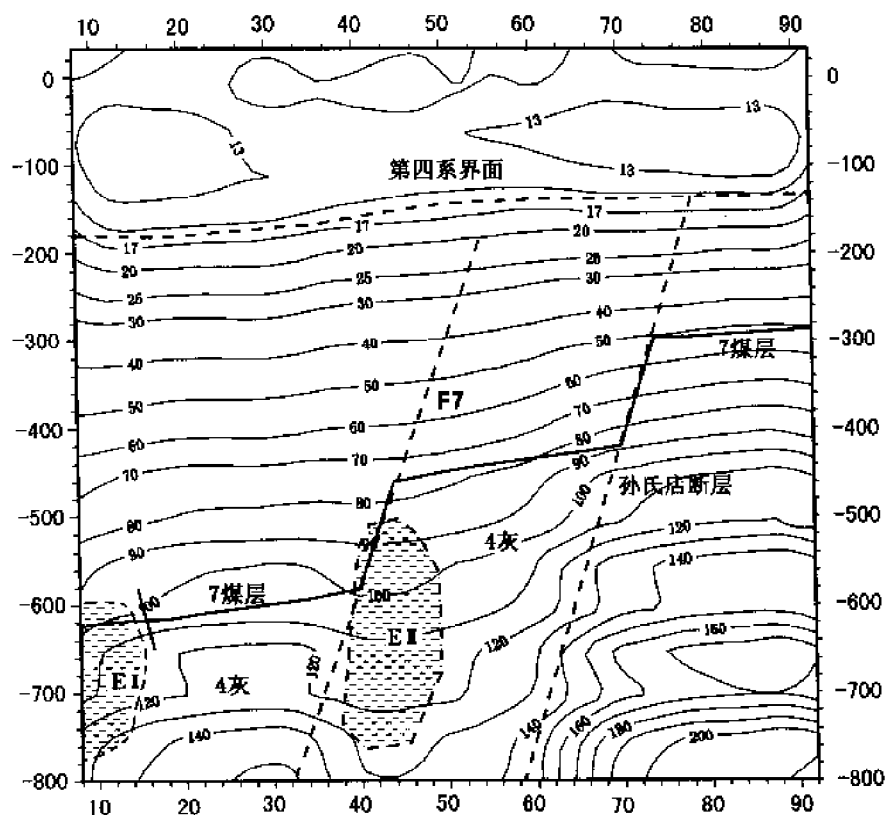


图 5-3-1 L4 测线反演电阻率等值线断面图

7 煤层附近出现四处低阻异常,分别为 E I 异常、E II 异常、E III 异常和 E IV 异常。其中, E I 异常长约 80 m,异常强度较大;E II 异常出现在 6 条线上,异常较为明显;E III 异常横穿 4 条测线,长约 200 m,异常宽度相对较窄,异常相对较弱,异常主要在 F7 断层下盘;E IV 号异常仅出现在一条线上,异常较为明显。图 5-3-2 是测区 CSAMT 反演电阻率-600 m 平面等值线图,由图可见,上述 4 组异常在平面图上均有明显显示,但异常形状有些畸变,其原因是两处异常处在区域边缘(E I 异常和 E II 异常),E III 异常在每条剖面上的异常强度差异使其在平面上产生形变,上述 4 组异常均是值得注意的异常。

由 CSAMT 反演电阻率断面图中可以看出,虽然 F7 断层和孙氏店断层的断距相对较大,但除错动引起断层两侧出现电阻率变化外,实测区内 F7 断层和孙氏店断层并没引起连续明显的低阻异常,说明 F7 断层和孙氏店断层不是整体赋水和导水断层,但有的异常与断层有关,说明断层部分区段存在导水裂隙带。

图 5-3-3 为 CSAMT 探测成果图。测区内的 E III 异常范围较大,向深部延深较大,且位于两断层交汇处,为断层破碎带含水所致。另外两个异常(E I 异常和 E II 异常)较明显,而且异常范围内有断层构造发育。E IV 异常范围和幅度均小,为局部弱含水构造反映。

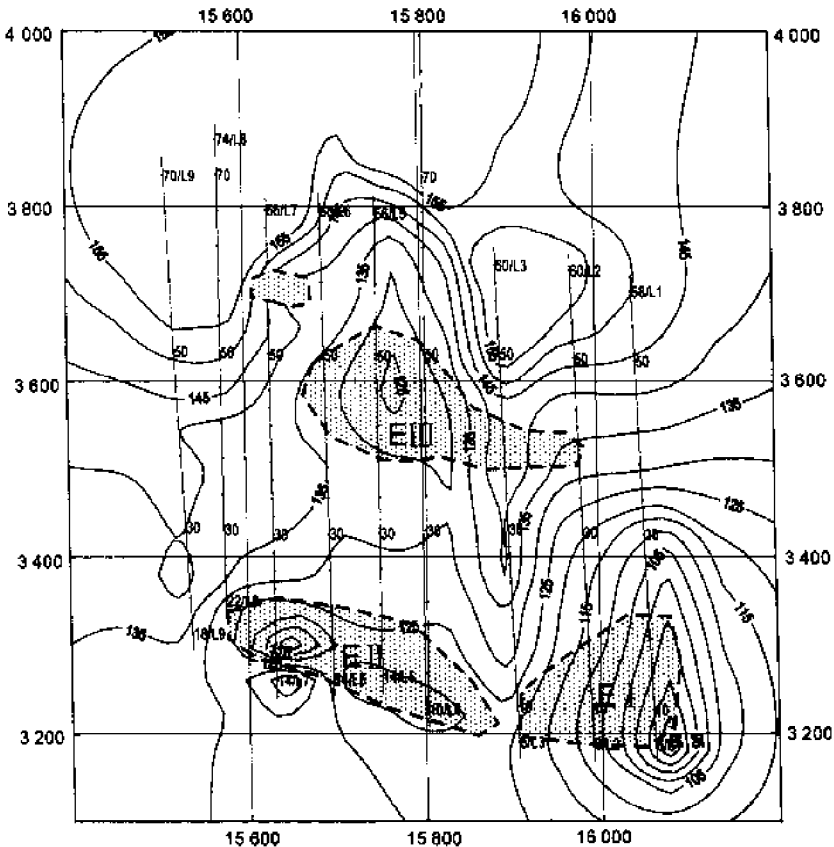


图 5-3-2 CSAMT 反演电阻率—600 m 平面等值线图

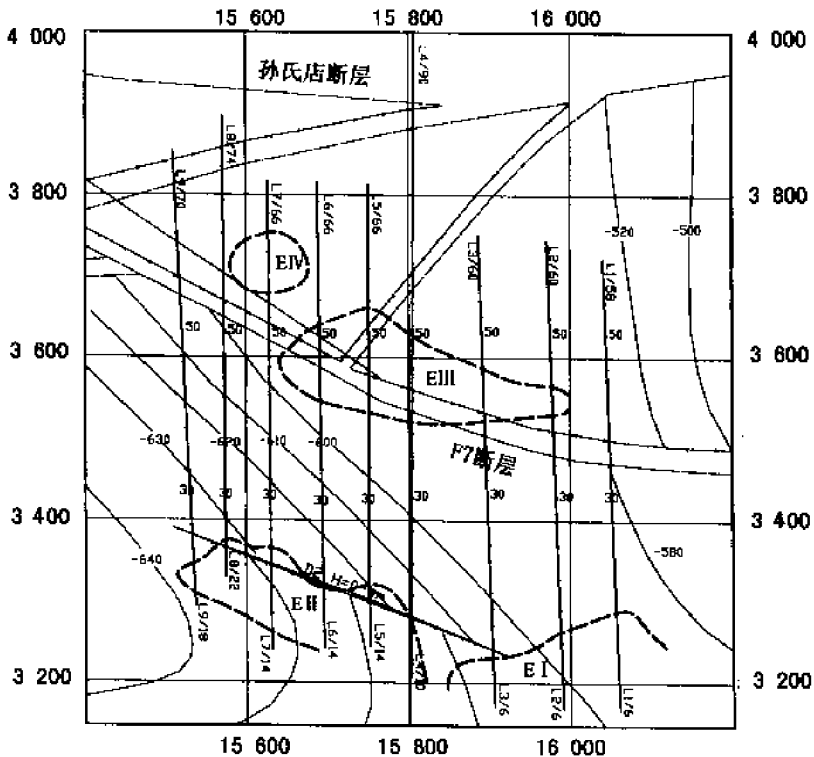


图 5-3-3 CSAMT 探测成果图

## 5.4 EH4 法在煤矿采区水文勘探中的应用

山东某煤矿 1409 采煤工作面埋深 1 000 m,是该矿第一个综采放顶煤工作面,该工作面的开采受上覆砾岩含水体的威胁。为确保该工作面的安全开采,进行了上覆砾岩含水性物探探测工作,目的是查明 1409 工作面煤层顶板砂砾岩含水体,探明含水层空间分布规律。

### 5.4.1 地质概况与地球物理特征

#### 1. 测区地质概况及水文地质特征

测区主要含煤地层为本溪组、太原组、山西组、石盒子组;煤系上覆地层为古近系和新近系高庄组、第四系表土流砂。

古近系和新近系砾岩含水层以角度不整合覆盖于煤系地层之上,砾岩在本区由南向北加厚为 500~800 m,以石灰质砾石为主。根据钻孔资料,砾岩底部大都有一层红色粘土层,分布不均,采前具有一定的隔水性能。

古近系、新近系砾岩含水层含水丰富,垂向上具有明显的分带性,4 煤开采出水的主要原因是导水裂隙带与砾岩沟通或与离层空间沟通而造成砾岩水下漏,恶化作业环境,威胁安全生产。

4 煤顶、底板岩性主要以砂岩、粉砂岩为主,夹煤层及粘土岩。4 煤、6 煤顶板砂岩一般不含水或含水微弱,多以淋水形式出现,水量一般在  $6.0\sim 30.0\text{ m}^3/\text{h}$ ,最大  $48.6\text{ m}^3/\text{h}$ ,并且很快疏干。在断层或构造裂隙及剥蚀面附近,4 煤顶板砂岩与古近系、新近系砾岩层之间存在一定的水力联系。此外,在上部隔水层较薄的地段,冒裂带波及砾岩,一般先下泄砂岩水,紧跟其后是砾岩水且水量增大,造成砂岩—砾岩联合出水,对生产威胁较大。

#### 2. 地球物理特征

测区内第四系厚度约 0~6.69 m,电性特征为低电阻率。古近系、新近系砾岩层主要由石灰质砾岩和粘土岩组成,一般情况下,石灰质砾岩电阻率为  $200\sim 500\ \Omega\cdot\text{m}$ ,粘土岩或含砾岩粘土岩电阻率为  $20\sim 100\ \Omega\cdot\text{m}$ 。煤系地层中以砂岩、粉砂岩为主,电阻率一般为  $60\sim 80\ \Omega\cdot\text{m}$ ,而灰岩和煤的电阻率较高,一般为几百欧姆米。本次勘探影响地层电阻率变化最大的因素是地层裂隙岩溶发育程度及其富水性。由于测区内某些地段的地层受 2408 工作面和 6 煤工作面开采影响,其上覆岩层产生斑裂裂缝和大量的新生裂隙。如果裂隙及裂缝中不含水,地层电阻率大幅度升高,有的区段可高达几千欧姆米,甚至上万欧姆米,而当裂隙、岩溶、裂缝中含有大量的水时,由于水的低电阻率特性,将使地层的电阻率有所降低,其降低的程度与富水程度有关。据此,通过探测地下岩层的电阻率及其变化,可以判定岩层的结构状态和含水状况,这也是本次电磁法探测的物理前提。

### 5.4.2 工程布置与数据采集

#### 1. 测线布置

根据矿方提供的已知地质资料和地质任务要求,设计大地电磁测深测线 3 条,测线 A 与煤层走向一致,点距 50 m,探测物理点 22 个,测线总长度 1 050 m;测线 B1、B2 近垂直于

煤层走向,点距 50 m,探测物理点 24 个,测线总长度 1 100 m。控制目的层深度为 10~1 000 m。设计瞬变电磁测深测线 2 条,测线 A 与煤层走向一致,与大地电磁测深 A 测线重合,0~850 m 之间点距 25 m,850~1 050 m 之间点距 50 m,探测物理点 32 个,其中 425~650 m 为果园,无法测量,空缺;测线 B 垂直于煤层走向,点距 20 m,探测物理点 27 个,测线长度 520 m。控制目的层深度为 10~1 000 m。测网布置如图 5-4-1 所示。

## 2. 数据采集

根据地质任务要求及对测区内地质地电条件的分析,本次的电磁法探测工作的重点是圈定目的层位中岩层含水性等地质异常。由于本次探测区位于-1 100 m 水平 1409 工作面所在的地面区域及开采影响区域,目的层埋藏深度大(古近系、新近系砾岩层底埋藏深度 500~950 m),为保证采集到高质量的原始数据,首先要进行现场试验工作。现场试验工作主要内容有干扰调查、采集参数选择、电极距选择等。

① 干扰调查:由于测区北边为小河西村,南边有 200 kV 高压线路干扰,且无规律,工业 50 Hz 交流电干扰的幅度强,往往造成信号幅值超格失真,从而造成实测频点减少。压制此类干扰的方法是设置 50 Hz 陷波,当干扰持续时间长时,该测点应重新观测,以保证数据质量。

② 采集参数选择:经现场反复观测试验,采集参数作如下选择。

测量频带:1~10 kHz(天然);100~1 kHz(天然);750~92 kHz(人工,天然)

数据迭加次数:12~16 次

滤波档选择:50 Hz 陷波

增益选择:8~20,40 dB

电极距选择:44~50 m(一般为 50 m,因现场地形、地貌条件变化,个别点作适当调整)

## 3. 数据采集技术措施

① 为最大限度地减小干扰的影响,改进数据质量,缩短测量时间,测站尽可能远离人文设施(如围墙)和噪声源(如电力线和无线电台)。若确实难以避免,应在认可采集结果之前先严格检查数据的可靠性。

② 每测站必须有一对电极沿测线布置,另一对则垂直于测线。

③ 为保证获得信噪比高的资料,电极距长度不要小于 40 m。

## 5.4.3 EH4 法数据处理

现场数据采集即实施现场处理分析,观察数据质量和方法效果,考虑是否加密测点。现场采集结束后,室内进行二维处理分析,形成二维电阻率剖面。EH4 数据处理主要包括以下三个部分。

### 1. 干扰信号的剔除

在信号采集过程中由于人为的或天然的因素,有可能出现随机的干扰信号。它主要影响视电阻率曲线,使其中的个别频点发生跳跃,如果没有剔除,将会影响最终的反演解释结果。剔除干扰信号的方法有两种:对采集的时间序列信号进行编辑,直接剔除发生畸变的信号;对视电阻率曲线进行编辑,直接删除个别跳跃较大的频点。

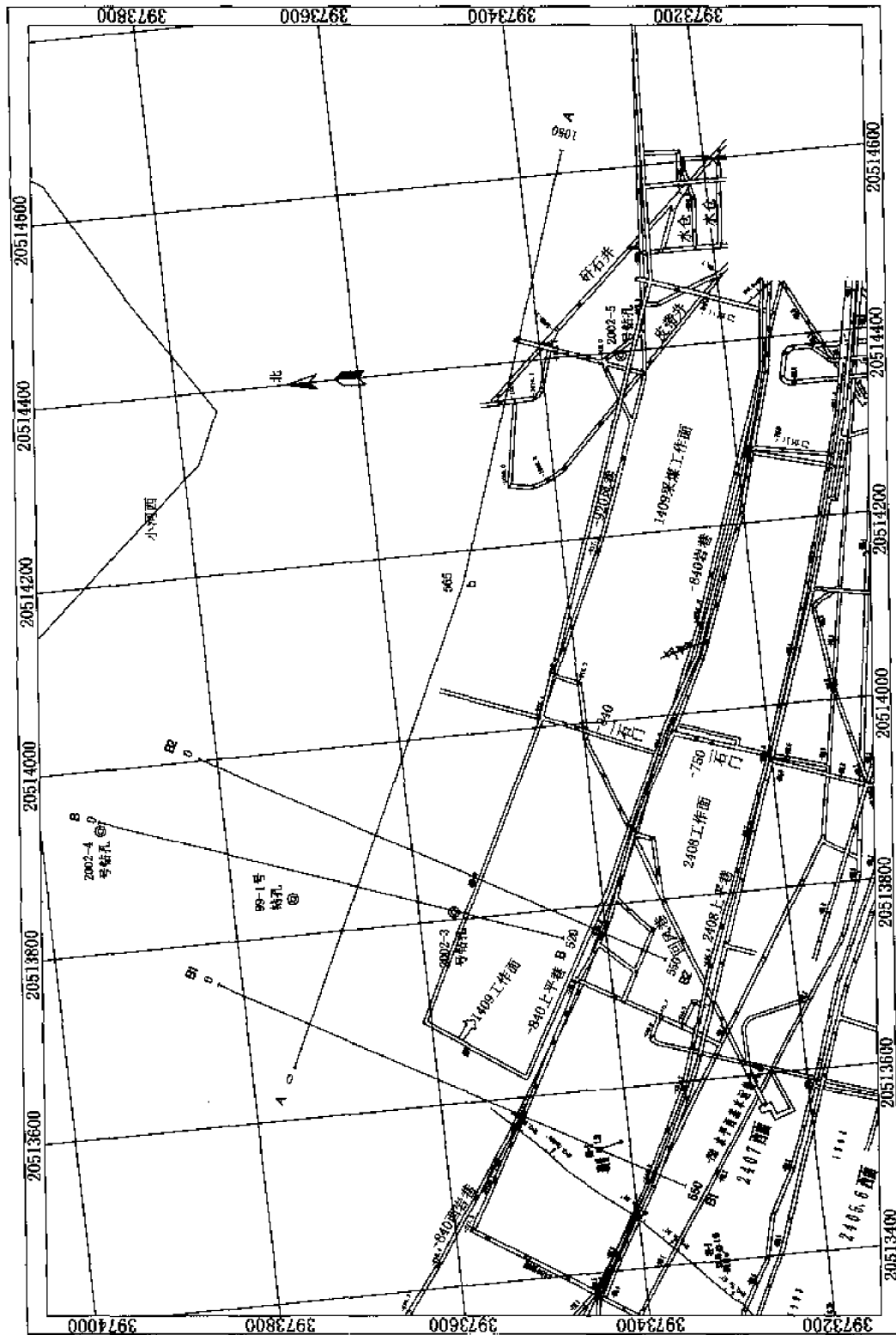


图 5-4-1 工程布置平面图



## 2. 近场源的校正

在野外由于工作条件的限制,测点距发射天线太近而引起近场源影响,需要在后期的数据处理过程中加以消除。近场源影响的主要表现是视电阻率曲线在  $f=1\ 000\ \text{Hz}$  时发生截断跳跃。当进行二维反演时,在电阻率成像图上就会形成一个低阻解释结果。而从理论计算看,视电阻率曲线是连续的。视电阻率曲线发生截断需要改正,如图 5-4-2 所示。

改正近场源影响的原则有如下三条:① 天然场源不受近场源的影响,相应的视电阻率曲线保持不变;② 视电阻率曲线应该连续、圆滑;③ 近地表的视电阻率应是准确的。根据上述原则对受近场源影响的测点自动进行改正。

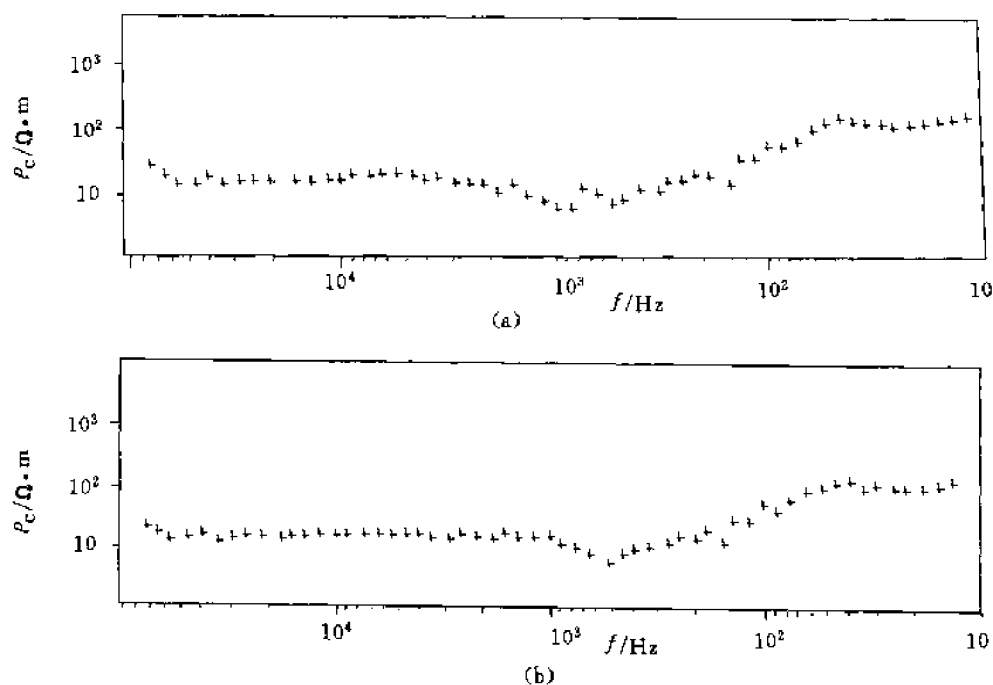


图 5-4-2 近场源对视电阻率曲线的影响及校正

(a) 校正前曲线;(b) 校正后曲线

## 3. 数据反演解释

由于 EH4 是 MT 和 CSAMT(可控源音频大地电磁)的结合体,与之完全配套的解釋软件较少。处理方法:首先,在野外尽可能地把天线放得足够远,使人工发射源尽可能满足远场条件,然后用 MT 二维反演软件进行解释;其次,若远场条件得不到满足,或者在测量过程中还出现其他未知近场源,则对测量数据先用近场源改正软件进行近场源影响改正,然后再使用 MT 二维反演软件进行解释。

本次探测采用 EH4 系统配备的专用数据处理系统 IMAGEM 和 EMAGE-2D 进行处理,正反演相结合,反演采用 IMAGEM 反演成像和 BOSTIK 反演,对视电阻率剖面频率轴进行深度标定。



#### 5.4.4 EH4 资料解释

根据第 5 勘探线地质剖面资料, A 线侏罗系砾岩厚度约 830 m, 4 煤埋深约 1 000 m, 侏罗系砾岩层上部 0~300 m 位于 2408 工作面的采动影响范围内, 整个剖面处于下组 6 煤的采动影响带内(采动影响传播角以  $64^\circ$  计), 如图 5-4-3 所示。

图 5-4-4 为 A 线连续电导率剖面测量电阻率断面色谱成像图。在垂向上分 5 个电性层: 第 1 层至第 5 层深度范围分别为 0~100 m、100~300 m、300~500 m、500~830 m 和 830~1 000 m。根据有关水文地质资料, 该 5 个电性层与覆岩水文地质条件及岩性对应关系为: 第 1 层对应砾岩层的裂隙岩溶潜水段; 第 2 层对应岩溶裂隙半承压水段; 第 3 层对应砾岩层裂隙承压水段的上部而第 4 层对应其下部; 第 5 层对应 4 煤覆岩的煤系地层。下面按电性层在剖面方向的变化给予解释:

① 第 1 电性层(深度 0~100 m), 在整个剖面方面电阻率变化较为均匀, 垂深 0~50 m 电阻率较低(小于  $250 \Omega \cdot \text{m}$ ), 反映了第四系以及古近系、新近系砾岩层浅部裂隙岩溶发育, 含水量较大的电性特征。50~100 m 电阻率明显增大, 最高达  $3\,000 \Omega \cdot \text{m}$ , 反映了古近系、新近系砾岩层由浅到深裂隙岩溶发育程度逐渐降低, 岩性结构致密, 含水性逐渐减弱的电性特性。由于电阻率值较高, 也反映出砾岩层中粘土岩发育较弱。另外, 该层位因受 2408 工作面采动影响, 砾岩层斑裂产生大量裂隙, 从而引起电阻率值明显增大。

② 第 2 电性层(深度 100~300 m), 在测线方向除 0~100 m 段及 450~550 m 段有两个电阻率相对较低的地段外, 其余部分均呈现较高的电阻率异常特征。100~300 m 深度处于 2408 综采面采动引起的砾岩斑裂范围内, 受采动影响产生了大量的新生裂缝或裂隙, 当局部地段富水新生裂缝充满水时, 便产生电阻率相对较低的特征, 而在含水性较弱的地段, 由于裂隙发育程度增大, 则呈现较高的电性特征。据此, 在 0~100 m 段和 450~550 m 段, 该层裂隙含水性较强, 而其余地段含水性较弱。

③ 第 3 电性层(深度 300~500 m), 处于 2408 工作面采动影响范围之外, 但仍受 6 煤 2610 工作面采动的影响, 由于 6 煤较薄且埋深较大, 受采动影响的程度较弱。在这一层中, 有两个地段呈现高阻特征, 分别位于 100~400 m 段和 800~1 050 m 段, 判断这两个地段裂隙发育程度, 为弱含水或不含水地段, 而在其余地段裂隙较发育, 富水性较强。

④ 第 4 电性层(深度 500~850 m), 为古近系、新近系砾岩层的下部, 该层的富水状况会直接影响 1409 综放面开采时顶板涌水量的大小。在地层结构上, 垂深 500~780 m 为砾岩粘土岩互层, 岩性电阻率比第 3 层相对要低, 垂深 780~850 m 约有 70 余米厚的红砂岩, 其电阻率值相对还要低。在受采动影响方面, 主要来自 6 煤 2610 工作面开采的影响。由于距离 6 煤较近, 在该段中特别是下部已产生了一定量的新生裂缝或裂隙, 使该层的裂隙发育程度较原始地层要强。这一部分裂缝或裂隙在富水地段, 必然储存了大量的水, 一旦 4 煤开采覆岩导水裂隙带波及该层将使储存在裂隙中的水涌入井下。从图 5-4-4 的电阻率分布特征看出, 在桩号 0~300 m 段上部电阻率高, 而下部电阻率较低(最低约  $30 \Omega \cdot \text{m}$ ), 且与桩号 450~550 m 段该层上部的低电阻率区有水力联系, 因此, 预计 1409 开采时, 在测线 0~300 m 段范围, 井下顶板涌水量会较大, 而在测线 300~700 m 地段电阻率值较大, 涌水量会有所降低, 700~920 m 顶板涌水量仍有升高的可能, 920~1 050 m 段顶板涌水量会逐渐变小。

⑤ 第 5 电性层(深度 850~1 000 m), 为 4 煤上覆煤系地层。0~250 m 桩号段为一较

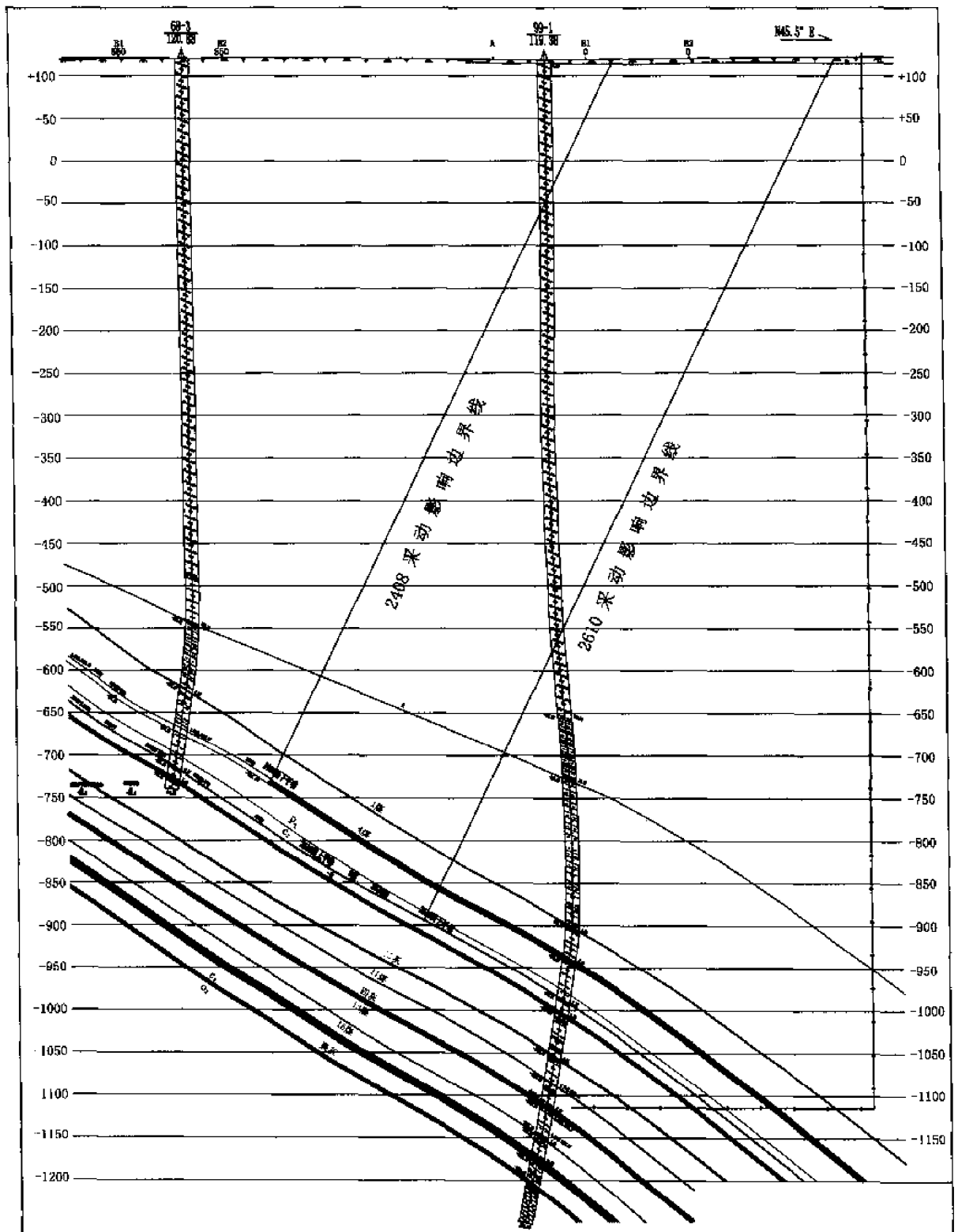


图 5-4-3 6 煤的采动影响剖面图

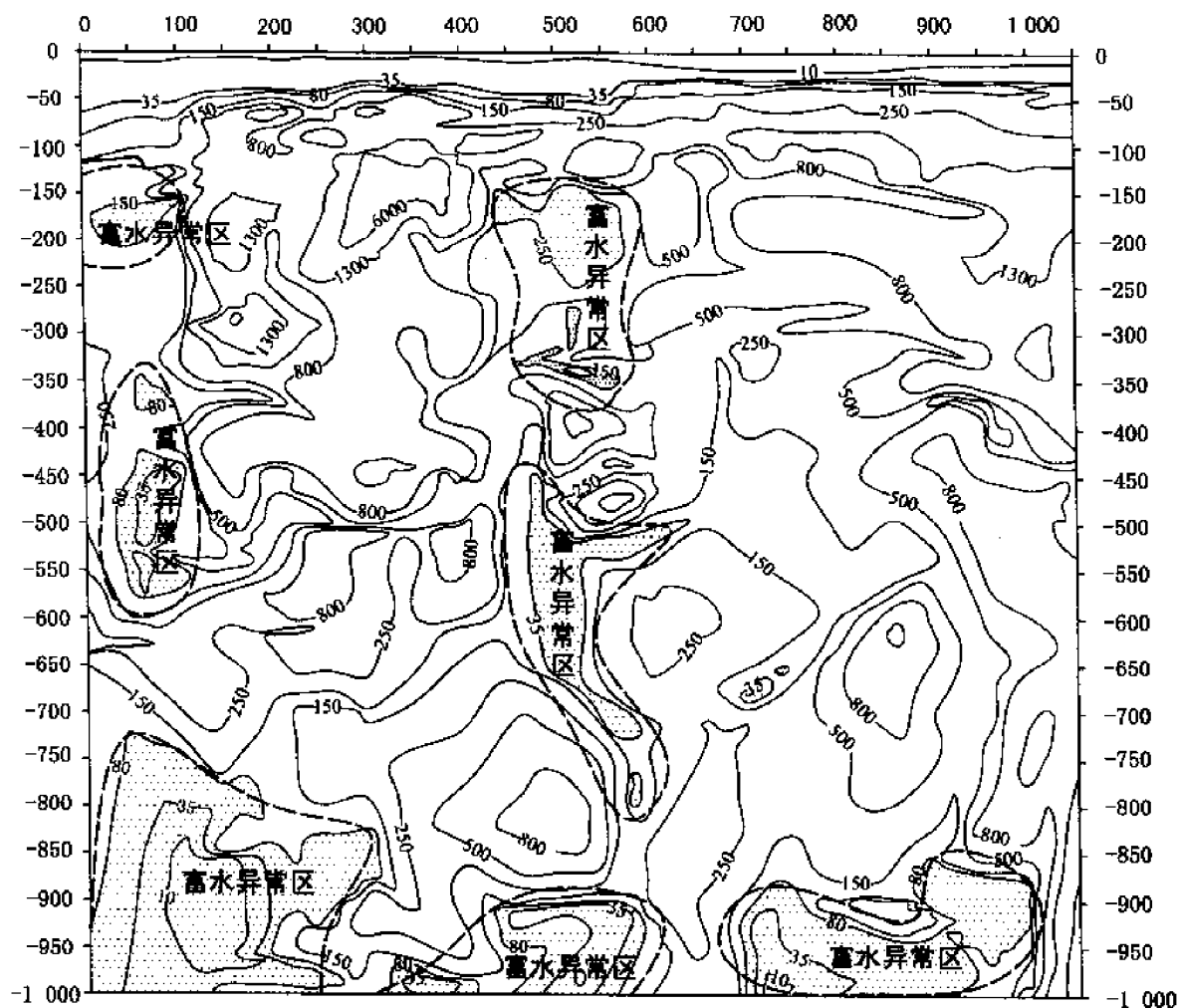


图 5-4-4 A 测线连续电导率测量电阻率断面色谱图

大的低阻异常区( $10 \sim 150 \Omega \cdot \text{m}$ ),推断该区域受 6 煤开采影响后形成的裂缝或裂隙含水性较强,并且与上部岩层有一定的水力联系;450~550 m 桩号段和 700~900 m 桩号段电阻率也较低( $35 \sim 150 \Omega \cdot \text{m}$ ),但范围较小,与上部岩体的水力联系较差,故含水性弱于 0~250 m 的桩号段;其余地段电阻值较高,表现出岩层含水性较弱的地电特征。

#### 5.4.5 地质成果

综合以上分析,1409 工作面开采时,0~250 m 桩号段预计顶板会有较大的涌水量;在 450~550 m 桩号段和 700~900 m 桩号段会出现局部顶板涌水量增大的现象;其余地段顶板涌水量属正常涌水量范围。

通过各测线断面图分析总结,得到测区的强富水性区,为防治水工作提供了依据。

## 6 矿井水文物探应用实例

鉴于水文地质问题的复杂性,相应矿井水文物探方法也有多种。下面根据矿井水文物探解决煤矿水文地质问题的类型,分别介绍矿井物探在煤层顶板砂岩水井下探测、煤层底板隐伏导水裂隙带探测、工作面内部富水异常区探测、陷落柱井下探测和巷道迎头超前探测等方面的应用。

### 6.1 煤层顶板砂岩水的井下探测方法

采煤工作面顶板突水是煤层上覆水源在采煤过程中通过顶板冒落、放顶垮落、断裂构造等引起的“通道”涌入工作面的一种水灾事故。从水源来讲顶板突水主要包括地表水、冲积层水、老空水、砂岩水等。我国华北东部矿区经常面临工作面回采时煤层顶板砂岩涌水问题,容易影响生产甚至出现安全事故。为减小顶板出水影响,回采前需要打钻放水,但由于砂岩水的不均匀性,往往干孔较多,打钻放水常常效果不佳。为减少钻探工作量,保证放水的有效性,一般采取先用物探方法探测富水区,然后针对富水区打钻放水。

煤层顶板砂岩水的探测方法主要有顶板直流电测深法、瞬变电磁测深法和顶板直流电透视法。当煤层较厚,并且采用放顶煤回采技术时,巷道一般紧贴煤层底板布置,这使得顶板直流电透视法和直流电测深法施工困难,同时由于煤层的高阻屏蔽影响,很难探测到煤层顶板以上的富水异常区,这时可以利用电磁法穿透高阻层的优点用 TEM 法进行煤层顶板富水异常区的探测工作。当然,在煤层较薄且巷道顶部岩石较完整的情况下,应用矿井直流电法也会取得良好效果。

#### 6.1.1 矿井瞬变电磁法在煤层顶板水探测中的应用

##### 1. 山东 EH 煤矿 9305 工作面顶板水探测实例

##### (1) 地质概况

山东 EH 煤矿 9305 工作面煤层伪顶是平均厚度为 0.5 m 的灰黑色泥岩,富含植物根部及叶部化石,易破碎冒落;直接顶是灰黑色粉砂岩,厚度变化较大,成分以石英为主,长石次之,致密性脆,含植物根部化石碎片;老顶为灰白色中砂岩,成份以长石、石英为主,泥质胶结,含少量暗色矿物,岩性坚硬。

对该面回采有影响的含水层为煤层顶板砂岩,是直接充水含水层,顶板砂岩平均厚 39 m,若局部富含水,将对工作面的正常回采产生一定的影响。为了减小顶板涌水对开采的影响,采取打钻放水的方法;为了减少干孔数量,实行物探先行,根据物探结果再进行打钻放水的方法。

##### (2) 井下施工方法技术

本次矿井瞬变电磁法使用澳大利亚产 SIROTEM—Ⅲ型瞬变电磁仪。根据本次探测任务的要求和巷道条件的实际情况,采用  $2\text{ m} \times 2\text{ m}$  的多匝重叠回线装置进行测量。发射线框和接收线框分别为匝数不等且完全分离的两个独立线框,以便与回线法线方向上的异常体产生最佳耦合响应。

具体观测参数为:30 匝  $2\text{ m} \times 2\text{ m}$  发射回线,28 匝  $2\text{ m} \times 2\text{ m}$  接收回线;64 次叠加;3~4 A 供电电流。

有效采样时间窗口序列:1.325 ms,1.625 ms,2.025 ms,2.425 ms,2.825 ms,3.425 ms,4.225 ms,5.025 ms,5.825 ms,7.025 ms,8.625 ms,10.225 ms,11.825 ms,14.25 ms,17.425 ms,20.625 ms,23.825 ms,28.625 ms,35.025 ms,41.425 ms,47.825 ms,57.425 ms,70.225 ms,共计 23 个时间窗口。

在运输巷和材料巷靠近采煤工作面一侧布置测点,测点点距为 10 m。在测量时,将发射线框平面以  $60^\circ$  的仰角向工作面顶板方向进行探测(图 6-1-1)。线框的角度可根据目的层的位置、工作面煤层的倾角及井下钻孔的角度来确定。

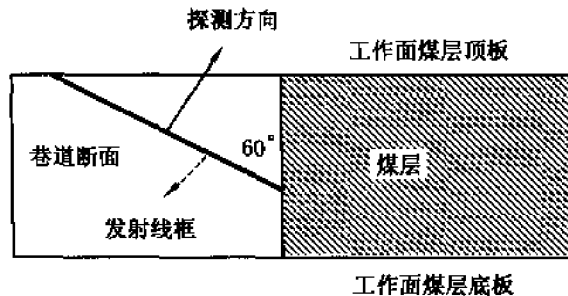


图 6-1-1 矿井瞬变电磁法探测方向示意图

### (3) 资料处理解释

瞬变电磁法观测数据是二次场感应电位随时间变化的衰减曲线,需要经过滤波消除畸变点、全空间视电阻率曲线计算、时深转换等处理,最后根据时深转换结果绘制矿井 TEM 视电阻率拟断面图。断面图中横坐标为测点坐标,纵坐标为沿探测方向的深度坐标。

图 6-1-2 是 9305 工作面轨道巷顶板探测视电阻率拟断面图,探测方向指向轨道巷巷道顶板。从图中可知,在探测方向 35 m(如图 6-1-1 所示探测方向)范围内,视电阻率等值线

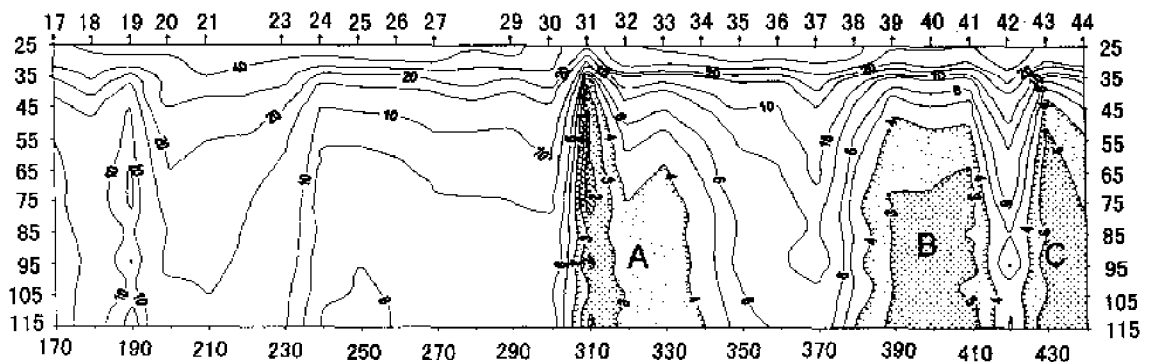


图 6-1-2 轨道巷顶板视电阻率等值线拟断面图

横向变化起伏不大,等值线近于平行分布,说明工作面煤层顶板电性横向分布较均匀,含水裂隙不发育。在该断面图上,低阻异常区有3处:A异常位于31~33号测点之间,异常顶端位于35 m处,随着深度的增加,逐步展宽,一直延展到100多米;B异常位于39~41号测点之间,等值线呈半封闭状,开口向下,顶界位于50 m处;C异常位于43~44号测点之间,为一低阻窄带。

#### (4) 地质结论与验证情况

本次顶板瞬变电磁测深探测成果如图6-1-3所示,在轨道巷煤层顶板砂岩层内有三个相对低阻异常区,为砂岩层内局部裂隙发育且充水的反映。A异常区位于轨道巷31~33号点,在探测方向上(仰角 $60^\circ$ 倾斜方向)距巷道30~100 m范围内,为局部砂岩裂隙发育且充水的反映;B异常位于轨道巷39~41点附近,在探测方向上(仰角 $60^\circ$ 倾斜方向)距巷道50~105 m范围内,为局部砂岩裂隙发育且充水的反映;C异常位于轨道巷42点附近,在探测方向上(仰角 $60^\circ$ 倾斜方向)距巷道45~100 m范围内,为局部砂岩裂隙发育且充水的反映。

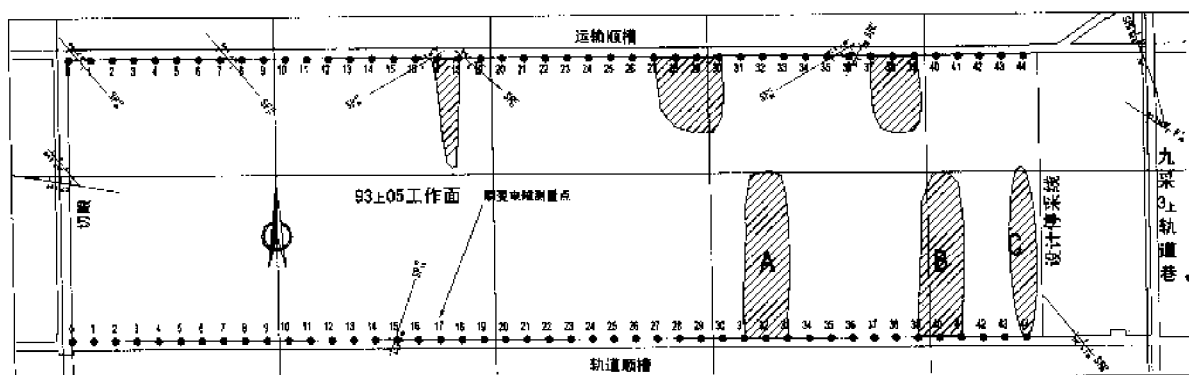


图6-1-3 顶板瞬变电磁测深探测成果图

根据物探资料,矿方分别在三个异常区的31、40、44测点附近布置3个钻孔,钻孔仰角 $60^\circ$ ,孔深75~82 m,5天共放水1 250  $\text{m}^3$ 。而在正常区27测点附近的1号钻孔没有出水,说明本次物探结果是正确的。

## 2. 江苏QT煤矿34223工作面顶板水探测实例

### (1) 34223工作面地质概况

江苏QT煤矿34223工作面面长140 m,走向长730 m,巷道宽4 m,高2.5 m左右。工作面开采煤层为下二叠统下石盒子组3<sup>#</sup>煤,煤层厚度约4.1~4.7 m,平均厚度约4.58 m。煤层上覆直接顶为厚度2.9~5.0 m的砂泥岩,此层可视为煤层之上的第一层隔水层。煤层的老顶为覆盖在直接顶上面的一层厚约4.0~6.0 m的细砂岩,称之为二砂。在距一砂顶部大约12 m的上方有一层厚为2.8~3.5 m的中砂岩,称之为三砂。一砂和二砂之间为12 m的泥岩和砂泥岩互层,未受采动影响前它还是比较理想的隔水层。二砂上有一层厚约5.2 m的砂泥岩,此层之上为三砂,是厚为10~18.5 m的中粒砂岩。正常情况下,一砂、二砂、三砂中裂隙水是3<sup>#</sup>煤采场涌水的主要水源。分析3<sup>#</sup>煤顶板的岩性及其水文地质特征,可初步推断开采前煤层顶板之上的泥岩、粉砂岩互层为较为理想的隔水层,富水性较强的岩层为细砂岩和中砂岩。所以3<sup>#</sup>煤老顶所在的二砂、三砂就成为威胁到煤层开采的可



能含水层。根据以往勘探成果中的水文地质情况及含煤地层的电性分析总结可知,粉砂岩、细砂岩与中砂岩间存在一定的电性差异,砂岩与煤层、泥岩间的电性差异明显。富水性对砂岩电阻率影响较大,构造裂隙发育且不含水时,电阻率将明显增大,而构造裂隙发育且含水时,电阻率将明显减小。综上所述,3<sup>#</sup>煤层顶板含水层与隔水层电性差异明显,富水性和构造裂隙发育程度对导电性影响很大,因此,具备采用瞬变电磁法进行探测评价3<sup>#</sup>煤层顶板水文地质特征的条件。

根据工作面两侧材料道和溜子道揭露,34223工作面材料道西段顶板较为破碎,东段相对较完整。材料道揭露断层共4条,断层以NE向为主。溜子道共揭露断层5条,其中NW向断层两条,落差分别为2.6 m和2.7 m,NE向断层3条。

### (2) 井下测点布置及施工技术

根据勘探要求和现场条件,34223工作面材料道布置测点23个,溜子道布置测点22个,测点点距30 m,如图6-1-4所示。

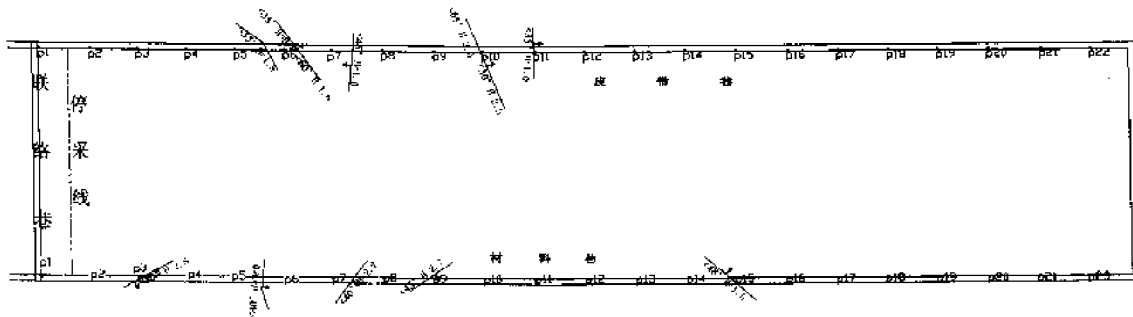


图 6-1-4 34223 工作面 TEM 勘探测点布置示意图

考虑井下施工条件所限,34223工作面的材料道和溜子道都采用小线框多匝重叠回线装置形式,34223工作面材料道发射线框为34匝2 m×3 m,接收线框为60匝2 m×3 m;溜子道发射线框为44匝2 m×2 m,接收线框为60匝2 m×2 m。测量时,将线框平面对向煤层顶板方向,与水平面成45°角,如图6-1-5所示。



图 6-1-5 井下 TEM 测量方式示意图

### (3) 资料解释及结果验证

对采集到的数据进行去噪、视电阻率计算、时深转换处理,得到材料道、溜子道的视电阻率断面图。综合视电阻率断面图、3<sup>#</sup>煤顶板岩性柱状图和已有水文资料,得到以下地质结论。

① 材料道:如图6-1-6所示,分别在联络巷起点至离联络巷120 m、210~360 m之间以



及 420~560 m 之间出现三个连通的低阻异常带,高度在顶板上 30~100 m 左右,又因此三处低阻异常带异常幅度大,分布范围广,且连通性好,推断为富含水区。

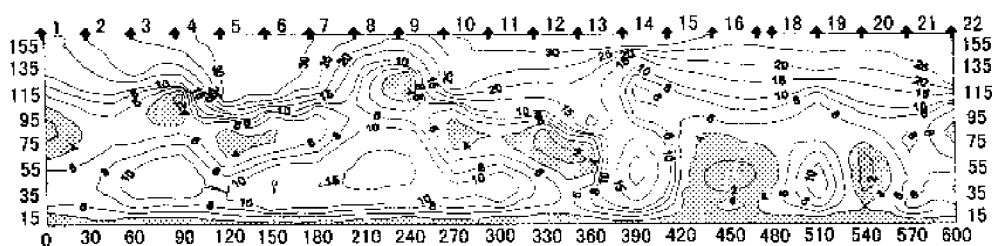


图 6-1-6 材料道 TEM 视电阻率断面图

② 溜子道:如图 6-1-7 所示,顶板上方低阻异常带之间连通性较好,分布范围较大,集中在距联络巷 210~270 m、350~400 m 以及 450~550 m 三个区域中,其异常深度较浅,异常范围不大,大部分位于顶板向上 50 m 以内,只是在 240 m 处顶板深度 75 m 和 120 m 存在一个深度较大的异常。溜子道相邻为 34221 工作面,该工作面已回采完毕,其顶板因采动冒落,裂隙发育,且位于深部,所以本巷道上方及相邻顶板水量减小。所以,推断溜子道上方岩层弱富水。

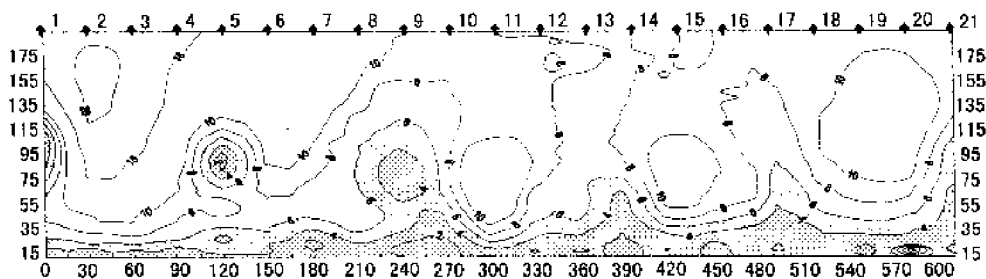


图 6-1-7 溜子道 TEM 视电阻率断面图

根据物探结果,矿方在回采之前在强富水区域的巷道内布置探孔放水,在材料道打 3 个钻孔,10 天放水达 5 000 m<sup>3</sup>。工作面回采时涌水量较小,现已顺利回采。

### 6.1.2 矿井直流电阻率法在煤层顶板水探测中的应用

#### 1. 山东 EH 煤矿 3306 工作面顶板水探测实例

##### (1) 工作面地质概况

3306 工作面开采山西组 3<sub>F</sub> 煤,其顶板从下向上依次为中砂岩、细砂岩、粉细砂岩和粉砂岩,总厚 30 m 左右。3<sub>L</sub> 煤厚 0.2~1.5 m,其顶板依次为粉砂岩、细砂岩和中砂岩,累厚 18 m,向上为厚约 3.7~21.8 m 的粉砂岩泥岩互层和厚度为 16.3 m 的粉砂岩,粉砂岩上覆厚度为 1.87~2.3 m 的泥岩。根据 3<sub>F</sub> 煤层顶板岩性及其水文地质特征分析,开采前顶板岩层中 3<sub>L</sub> 煤层、粉砂岩泥岩互层和泥岩是较为理想的隔水层,富水性较强的含水层是中砂岩和细砂岩。采后在顶板冒落高度以下,岩层破碎、断裂,形成良好的导水通道,对隔水层的隔水能力产生不良影响,会造成工作面涌水量加大,需提前打钻放水。

统计分析该矿电测井资料可知,粉砂岩、细砂岩与中砂岩间存在一定的电性差异,砂岩与煤层、泥岩间的电性差异明显。富水性对砂岩电阻率影响较大,不含水砂岩电阻率一般为

80~100  $\Omega \cdot \text{m}$ , 含水砂岩的电阻率小于 50  $\Omega \cdot \text{m}$ , 甚至更低。泥岩电阻率一般为 20~30  $\Omega \cdot \text{m}$ , 煤层电阻率约为 250  $\Omega \cdot \text{m}$ 。构造裂隙发育且不含水时, 电阻率将明显增大, 而构造裂隙发育且含水时, 电阻率将明显减小。综上所述, 3<sub>F</sub> 煤层顶板含水层与隔水层电性差异明显, 富水性和构造裂隙发育程度对导电性影响很大。

### (2) 井下施工方法

采用三极电测深装置形式, 最大和最小供电电极距分别确定为 150 m 和 7 m, 极距序列确定为: OA=7 m, 10 m, 12 m, 15 m, 20 m, 25 m, 30 m, 40 m, 50 m, 60 m, 80 m, 100 m, 120 m, 150 m。为减小顶板岩层破碎造成的电性不均匀影响, 采用固定 M、N 法, 测量电极距 MN=10 m。仪器为法国 SYSCAL-R2E 数字电法仪, 测点布置在该工作面的两顺槽顶板上。

### (3) 资料解释

因顶板裂隙造成的电性不均匀影响, 视电阻率曲线变化较大, 为此, 绘制视电阻率断面图, 根据断面图解释可以从宏观上克服局部畸变影响。图 6-1-8 为轨道顺槽顶板三极电测深视电阻率断面图, 图中 300~400 m 间电性变化相对剧烈, 主体异常为低阻, 说明对应地段顶板砂岩裂隙发育且不均匀含水。该顺槽在 300~360 m 处所揭露的 F<sub>37</sub> 和 F<sub>91</sub> 断层间顶板低阻异常向上延展至 70 m 左右, 该带较富水, 而 380 m 处上方低阻异常不连续说明富水性较弱。另一较为明显的低阻异常位于 620~770 m 间, 低阻异常的主体部分向上延展至 35 m 左右。此外, 580~680 m 间在高 50~65 m 处有一低阻异常, 说明对应砂岩段裂隙较发育且含水。

图 6-1-9 所示为运输顺槽顶板三极电测深视电阻率断面图。分析该图可知, 运顺顶板岩层富水性弱, 无明显的隐伏上延导水通道, 相对富水的地段位于运顺 300~360 m 之间, 以及 475 m 和 560 m 附近, 含水裂隙带的高度不超过 35 m, 巷道的若干滴水点都与 3<sub>F</sub> 煤层直接顶板砂岩局部含水有关。总体上讲, 运输顺槽顶板岩层稳定, 没有发现大的隐伏导水构造, 顶板滴水来自高 35 m 以内的砂岩裂隙水。

为分析研究 3306 工作面顶板砂岩富水带的平面展布和上下连通情况, 选取极距 OA=20 m、50 m、100 m、150 m 的视电阻率值, 分别绘制了 3306 工作面顶板不同高度的视电阻率水平切片图, 如图 6-1-10 所示, 它们分别反映了工作面顶板高 15 m、35 m、65 m 和 90 m 处的岩层电性特征。

综观各图可以看出, 从下向上低阻异常带的范围逐渐变小, 说明由下至上 3<sub>F</sub> 煤顶板岩层富水性变弱。仅从电性反映来看, 3306 工作面顶板砂岩富水性为中等或中等偏下, 采场涌水量不会超过正常涌水量。

### (4) 回采验证情况

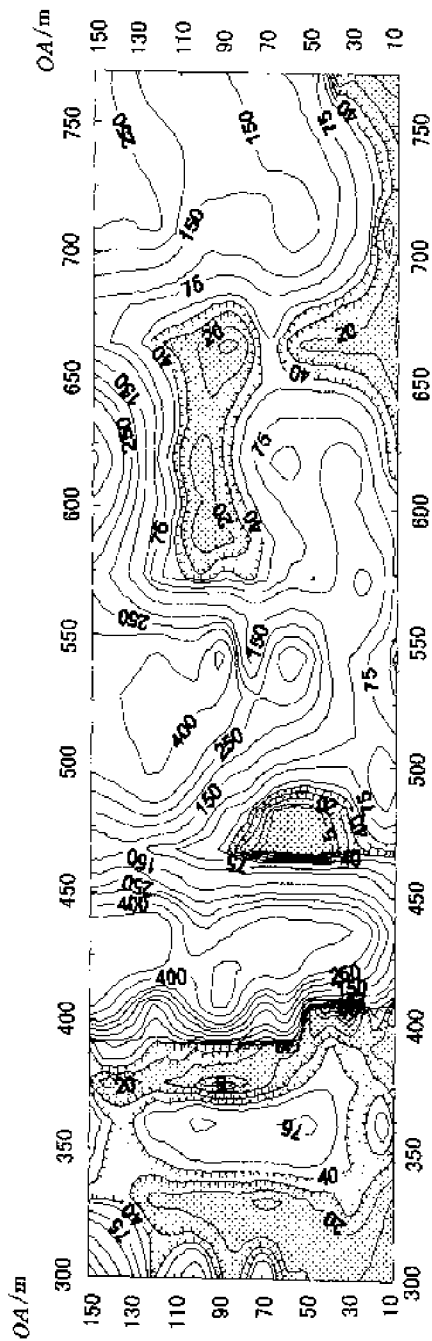
根据物探结果, 在几个异常点打钻孔, 出现少量涌水。该工作面现已顺利回采完毕, 并且回采过程中采场涌水量与解释推断基本一致, 证明了本次直流电阻率法勘探的有效性。

## 2. 安徽 HY 煤矿工作面顶板音频电透视探测实例

### (1) 工作面顶板地质概况与地球物理特征

安徽 HY 煤矿 681 工作面走向平均长约 300 m, 倾斜平均宽约 90 m。煤层厚度在 1.5~3.0 m 之间, 平均厚 2 m, 局部受断层影响, 煤层缺损, 煤层倾角 15°~20°, 平均倾角 17°。

工作面直接顶为灰色粉砂岩及砂质泥岩, 厚度 1.5 m 左右; 老顶为灰色中粒砂岩, 含方解石晶体, 中厚层状, 层厚 8 m, 含有植物化石。



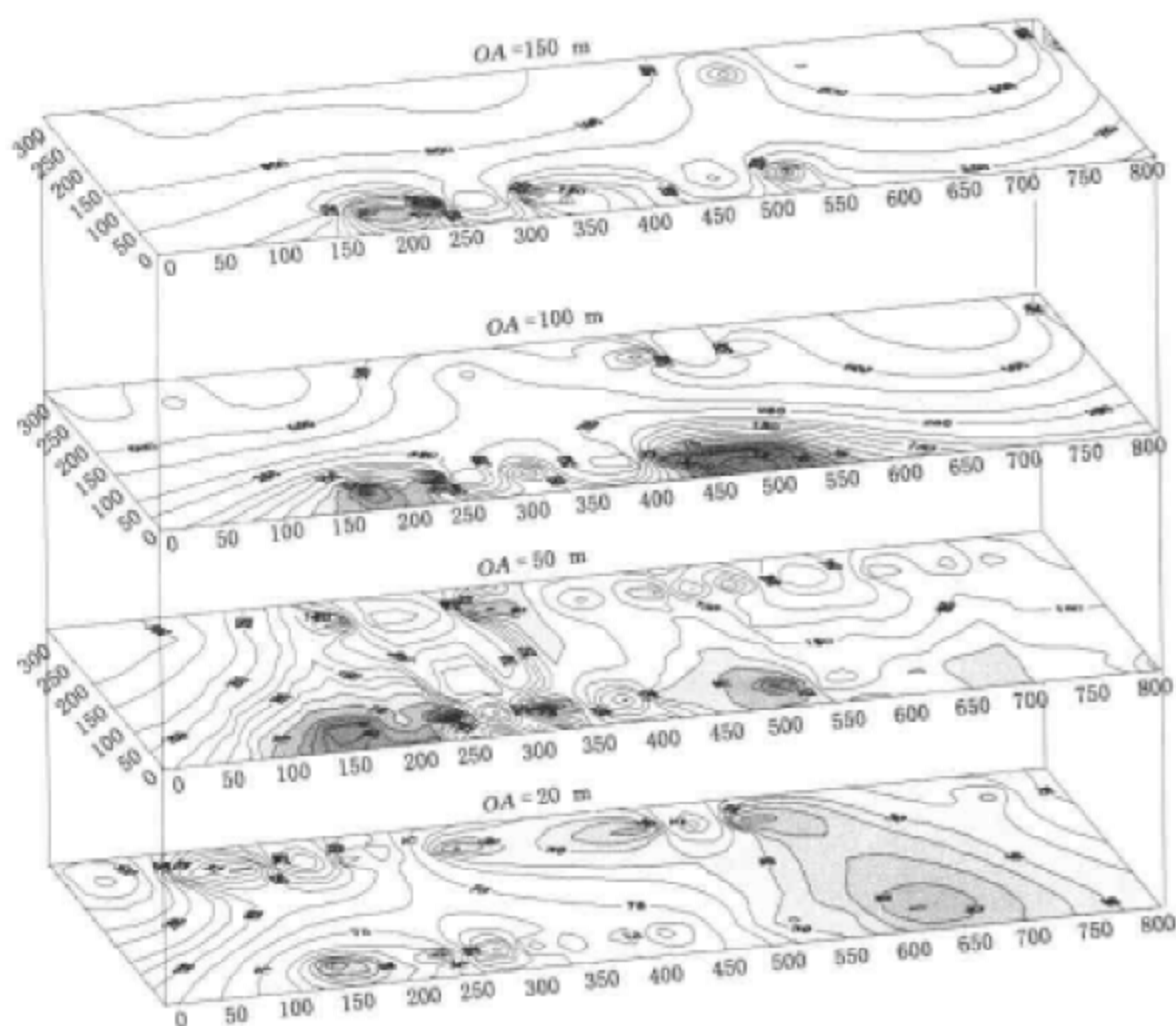


图 6-1-10 3306 工作面顶板电测深水平切片图

由于煤系地层的沉积序列比较清晰,在原生地层状态下,导电性特征在纵向上有其固定的变化规律,而在横向上相对比较均一。当存在构造破碎带时,如果构造内不含水,则其导电性较差,使局部电阻率值增高;如果构造含水,因其导电良好,相当于存在局部低电阻率值地质体。

本次矿井音频电透视探测的目的是探查 681 工作面顶板上 45 m 高度范围内岩层中含水异常的位置、范围,并对其富水性强弱进行评价。

## (2) 井下测点布置及施工技术

如图 6-1-11 所示,设 681 工作面风巷与切眼交汇处为 0° 点,机巷与切眼交汇处为 100° 点,向南沿巷道编点,以 10 m 为点距编号。681 面风巷从 0° ~ 32° 点;机巷从 100° ~ 132° 点。

矿井音频电透视技术施工分别在 681 工作面风巷、机巷分别进行,发射点的间距为 50 m,接收点间距为 10 m,针对每个发射点,在另一巷道对应区段一定范围内进行扇形扫描接收。

在井下施工时,应根据实测中发现的异常情况和巷道已揭露断层裂隙的区域进行重点控制,适当调整发射点位和接收范围。

### (3) 物探资料解释

根据音频电透视实测数据与各发射、接收点坐标,通过 CT 反演成像,得到工作面顶板上 45 m 高度范围内地层的综合视电导率等值线平面图。由图 6-1-11 可以看出,681 工作面顶板上 45 m 高度范围内地层的综合视电导率值为 1~15 S,平均值为 5.0 S,标准偏差为 3.9 S。其中存在两个异常条带(视电导率值  $\geq 6$  S),分别定义为异常条带 A(回风巷 5<sup>#</sup>~10<sup>#</sup>点,探煤巷以西 0~20 m)、异常条带 B(回风巷 16<sup>#</sup>~21<sup>#</sup>点,探煤巷以西 0~20 m)。

音频电透视探测的 A、B 两异常范围较小、电导率数值不大,说明导电性差,其中 A 异常又处在已揭露断层附近。根据异常形态及分布走向与本区地质构造特征综合分析,认为电导率异常带是相应部位岩层裂隙发育并相对富水所致。

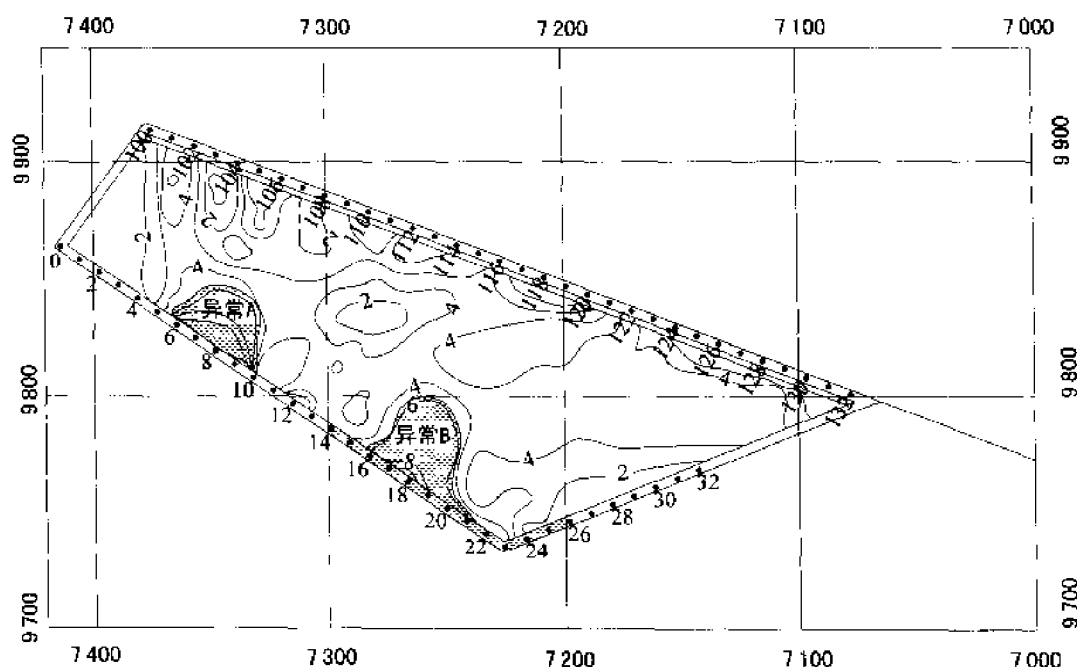


图 6-1-11 矿井音频电透视成果图

### (4) 地质结论

通过以上分析,681 工作面(里段)顶板上 45 m 深度范围内岩层含水性较差,风巷附近两个主要异常条带 A、B 范围较小,电导率不高,不会对煤层安全回采构成大的威胁。

该工作面现已回采完毕,实际揭露情况与音频电透视探测结果相符。

## 6.2 煤层底板隐伏含水裂隙带探测方法

煤层底板隐伏含水裂隙带探测方法主要有底板直流电法和瞬变电磁测深法两种。直流电法具体测量方法可以分为高分辨率三极电测深法、高密度电阻率法及电剖面法。

### 6.2.1 矿井直流电阻率法应用实例

#### 1. 江苏 XH 煤矿底板隐伏导水通道探测

江苏 XH 煤矿 2042 工作面底板距奥灰顶界面较近,为预防突水事故发生,保障安全回



采,需查明该工作面底板岩层的富水性以及可能存在的隐伏导水通道。

### (1) 井下施工技术

根据探测要求和井下施工条件,采用高分辨三极电测深法,供电电极距系列为 5 m, 7 m, 10 m, 12 m, 15 m, 20 m, 25 m, 30 m, 35 m, 40 m, 50 m, 60 m, 70 m, 80 m, 90 m, 100 m, 120 m, 150 m, 最大有效勘探深度为 90 m。实测工作在 2042 工作面西下材料道内进行,布置测点 10 个,点距为 25 m。

### (2) 电测深资料分析与解释

总体上讲,井下实测电法资料对 20 煤底板含、隔水层电性分界面的反映较为理想,视电阻率断面等值线的分层特征十分明显,等值线局部变化与断层、裂隙等地质异常的对应关系清楚。根据上述典型地电特征,首先研究了 20 煤底板的电性分层信息,从宏观上把握住底板地电反映的整体特征,明确区分了岩性分层、巷道揭露断层裂隙发育带,以及可能的隐伏导水通道、灰岩岩溶等在实测矿井电法资料中的反映。

如图 6-2-1 所示为西下材料道实测视电阻率断面等值线图,得出如下结论。

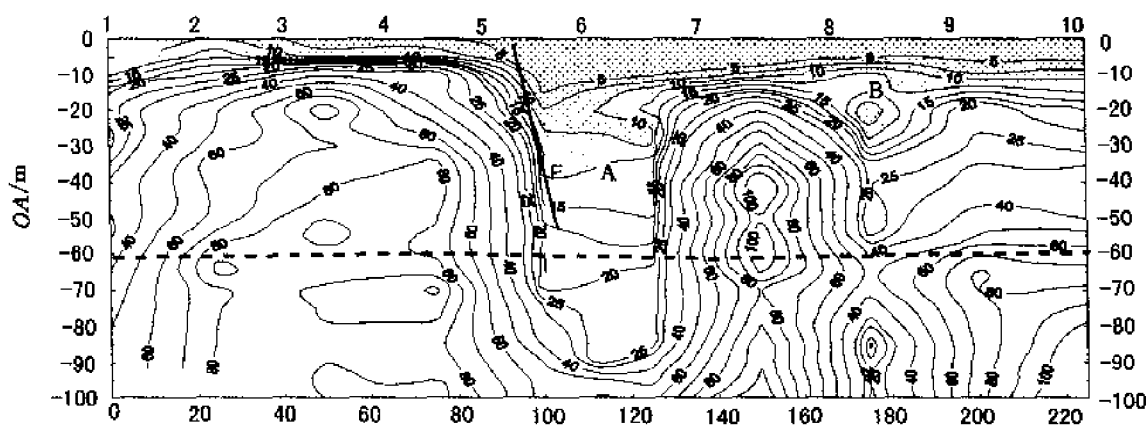


图 6-2-1 西下材料道实测视电阻率断面等值线图

① 在断面图上浅部近水平的低阻视电阻率等值线为 20 煤底板砂岩浸水粉化所致。

② 电性分层特征明显,巷道中间段电性变化平缓,说明巷道底板岩层的岩性分界明确,底板岩层除断层附近外无大的起伏,底板主要隔水层稳定,对底板承压水的突出具有较好的抑制作用。

③ 断面图上有较明显的低阻异常 2 处。A 异常位于电法 P5 号点附近( $x=100$  m),该异常浅部视电阻率值较低,说明 20 煤底板裂隙发育且充水,推断与该点处巷道揭露小断层有关,此断层落差在深部有可能变大。低阻范围涉及十一、十二和十三灰岩,由等值线判断,该异常没有与深部奥灰联通。B 异常位于电法 P8 号点附近( $x=175$  m),为浅部局部低阻异常,与十一、十二灰岩岩局部发育且含水有关。根据电法资料分析,其没有向下延展的趋势,结合有资料分析,对回采不会构成威胁。

### (3) 地质结论与回采验证

根据以上分析并结合已知地质资料,得到如下结论:

① 该工作面材料道除巷道揭露小断层外,底板未发现落差较大的隐伏断层。

② 在有效勘探范围内,奥灰顶界面埋深较为稳定,其顶界面埋深 58~60 m。

③ B异常反映了浅部十一、十二灰岩局部充水,对回采不会构成威胁,A异常是该处断层造成十一、十二灰乃至十三灰裂隙充水所致,延展深度达 50 m,但未与深部奥灰水联通。

根据本次探测结果,2042 工作面在没有采取特殊的防治水措施的情况下安全回采完毕,回采过程中未发生突水事故,提高了安全生产工效,降低了生产成本。

## 2. 矿井电测深法确定井下水源井位置实例

### (1) 地质概况

由于过量开采,河北 ZC 煤矿原有水源井水量从原来的  $500 \text{ m}^3/\text{h}$  下降到  $20\sim 30 \text{ m}^3/\text{h}$ ,造成该矿区工业生产用水和居民生活用水严重短缺,为此,拟在该矿三井的北大巷打井,开采奥灰岩溶水,以便解决严重的水资源短缺问题。为此采用矿井直流电测深法来查明三井北大巷巷道底板下断层裂隙带与奥灰岩溶赋水情况,以确定水源井的最佳位置。

三井北大巷为水平巷道,标高为 $\pm 0$ 。在所揭露的  $F_{3-2}$  断层以北,巷道底板下主要有三层灰岩,由浅至深依次为大青灰岩、本溪灰岩、奥陶纪灰岩,它们是本区主要含水层。在  $F_{3-2}$  断层以南,巷道底板下由浅至深有本溪灰岩和奥陶纪灰岩两层灰岩。

### (2) 井下施工技术

在北大巷 $\pm 0$ 水平分三个地段布设测线三条,总共布置测点 43 个,点距 30 m。由于井下巷道长度有限,故采用三极电测深装置形式,固定 M、N 法测量, $MN/2=15 \text{ m}$ 。根据对勘探深度的要求,最大和最小供电电极距分别为 300 m 和 50 m,极距序列为:OA=50 m、65 m、80 m、100 m、130 m、160 m、200 m、230 m、260 m、300 m。

### (3) 实测资料分析与解释

图 6-2-2 和图 6-2-3 分别为测线 2 与测线 3 的实测视电阻率断面等值线图,上端标号

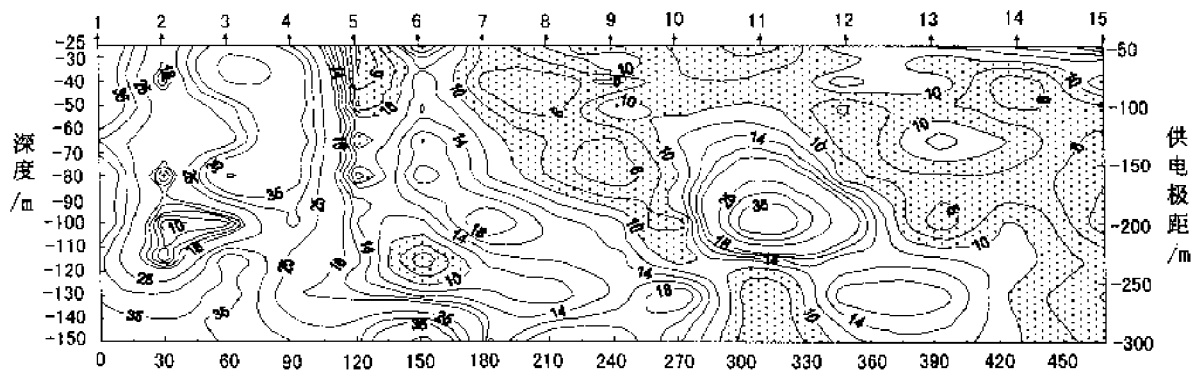


图 6-2-2 测线 2 实测视电阻率断面等值线图

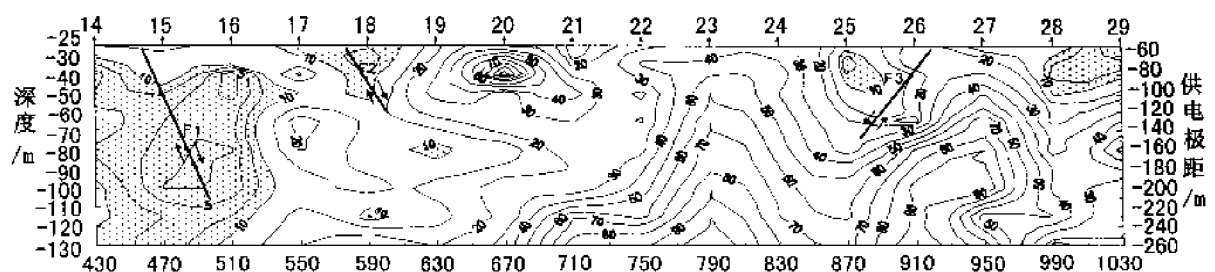


图 6-2-3 测线 3 实测视电阻率断面等值线图



为测点号,左侧标注为解释探测深度,右侧标注为供电电极距。三极电测深装置实际的探测深度要小于供电电极距,其探测深度视具体的地质情况而定。通过测量结果与已有钻孔资料的对比分析,在进行资料解释时,将探测深度定为供电电极距的  $1/2$ 。

一般稳定连续且具有一定厚度的含水层具有明显的电性界面,与之对应的视电阻率断面图上等值线连续且分布均匀。电性分界面的突然变化常常是导水通道沟通较大富水岩溶体的反映;而对于无导水通道连通、孤立的含水岩溶常表现为局部低阻异常,在视电阻率断面图上等值线呈封闭圈或凹曲状的半封闭圈。分析两测线的视电阻率断面等值线图可以看出:

① 巷道 15、18、26 号测点处已揭露的  $F_1$ 、 $F_2$ 、 $F_3$  断层裂隙发育带反映明显,断面图上对应部位的视电阻率等值线呈封闭或半封闭的扰动圈,为典型断层裂隙发育带异常。

② 深部低阻异常有两处,第一处位于 5~7 号测点间,  $-100 \sim -130$  m 深度范围内视电阻率值低于  $10 \Omega \cdot m$ ,等值线呈封闭状,为深部岩溶富含水的表现;第二处位于 14~16 号测点间,在整个纵深方向上均表现低阻异常,等值线呈较大封闭圈,说明该部位富水岩溶发育且连通性较好,为理想的水源井位布设区域。

#### (4) 勘探成果与验证情况

根据探测结果,测线 2 与测线 3 上共确定 3 处水井孔位:① 位于 14~16 号测点之间,距 15 号测点 5 m,井深 100~140 m;② 位于 9 号测点附近,井深 100~120 m;③ 位于 6 号测点附近,井深 100~140 m。

矿方在 15 号测点附近打井,井深 130 m,涌水量达  $140 m^3/h$ ,缓解了矿区工业与生活用水严重短缺的问题,进而证明了本次电法勘探的良好效果。

### 6.2.2 矿井瞬变电磁测深法应用实例

#### 1. 山东 GC 煤矿底板瞬变电磁法探测

##### (1) 地质概况

山东 GC 煤矿 2100 工作面设计为联合工作面,位于 1121 采区最南部,靠近南部井田边界和东部边界,北部为未准备的 2101 联合工作面及条带。2100 联合工作面位于  $F_3$ 、 $F_7$  两条斜交正断层之间,地质构造复杂。煤层总体为一单斜构造,总厚约为 8 m。根据地面三维地震勘探成果可知, $F_7$  正断层位于 2100 皮带巷北部约 70 m,如图 6-2-4 所示。

为了查清  $F_7$  断层富水性及与工作面煤层底板岩层间的导水通道情况,在 2100 皮带巷内部(巷道控制点 P017 附近)100 m 范围内,采用矿井瞬变电磁法向煤层底板方向对  $F_7$  正断层进行探测,为 2100 工作面皮带巷继续安全掘进和安全回采提供水文地质资料。

##### (2) 井下施工方法

本次矿井瞬变电磁法使用澳大利亚产 SIROTEM—III 型瞬变电磁仪。根据本次探测任务的要求和巷道条件的实际情况,采用  $2 m \times 2 m$  的多匝矩形重叠回线装置进行测量。

测点布置在 2100 工作面皮带巷内(P017 控制点附近),测点间距 10 m,测线长度 100 m,测点布置见图 6-2-4。向煤层顶板、顺煤层和煤层底板方向进行探测,具体探测方向如图 6-2-5 所示,线框平面角度可根据目的层的位置、工作面煤层的倾角来确定。

##### (3) 资料处理解释

实际观测数据经过专用处理软件换算成视电阻率曲线,根据资料的实际情况进行滤波、

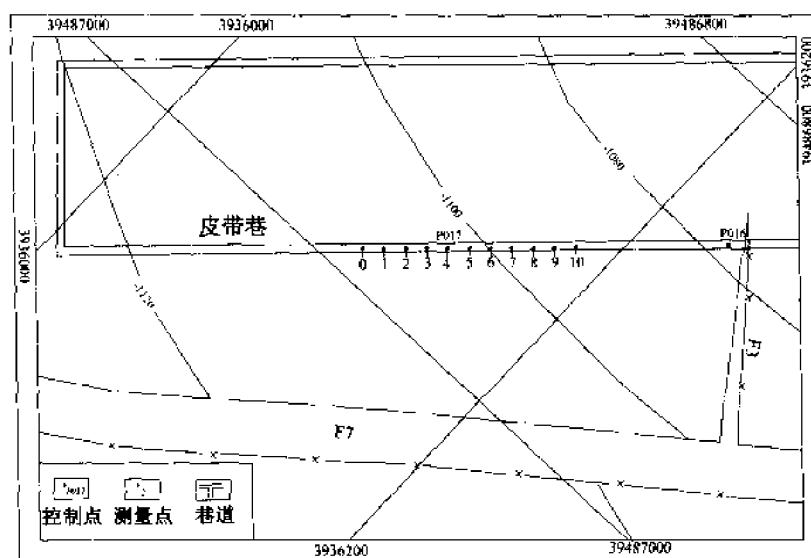


图 6-2-4 工作面及测点布置平面图

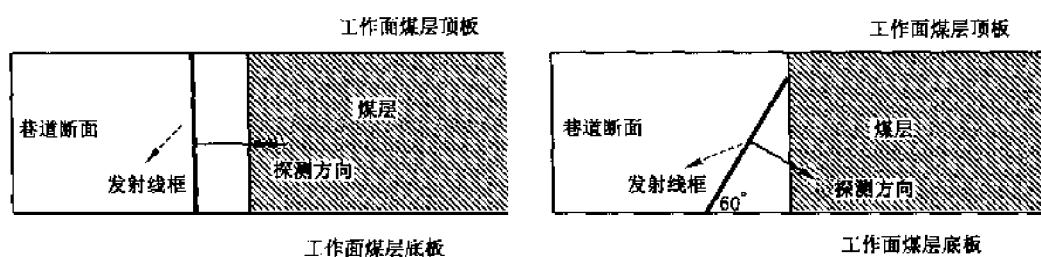


图 6-2-5 矿井瞬变电磁法探测方向示意图

一维反演等处理后,进行时深转换并绘制视电阻率值拟断面图。根据 TEM 视电阻率拟断面图,综合地质和水文地质资料,可确定测线及探测方向的电性变化情况。

图 6-2-6 为向煤层底板方向探测的矿井瞬变电磁法视电阻率断面图。由图可知,距巷

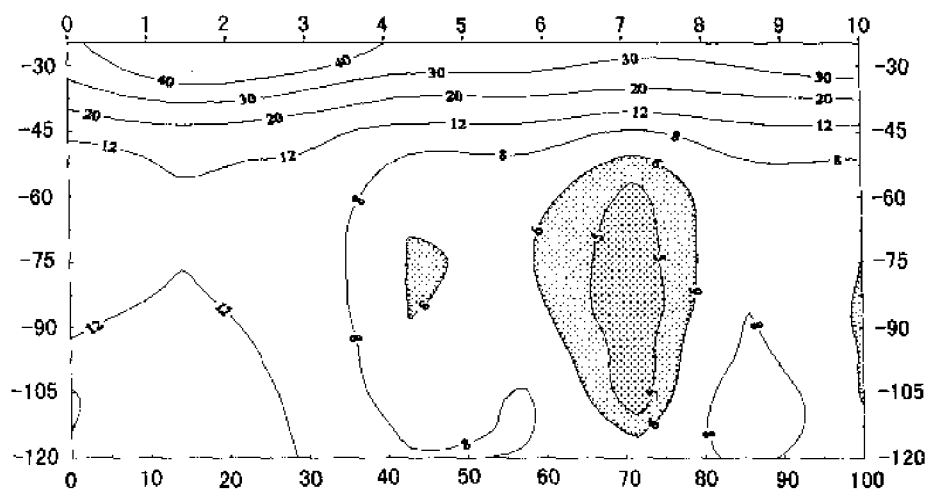


图 6-2-6 矿井瞬变电磁法视电阻率断面等值线图

道 60 m 的范围内,视电阻率值呈水平分布,说明煤层及其底板较完整;在 7 号测点处,60~100 m 深度范围有一相对低阻异常区,但视电阻率值比强含水水体反映的值大,该异常区可解释为是  $F_1$  断层一个支断层弱含水的反映。

## 2. 河南 CSL 煤矿底板隐伏含水裂隙带探测

### (1) 地质概况

河南 CSL 煤矿 2716 工作面位于两断层之间,设计为对拉工作面,由轨顺、中间巷、回风巷和切眼巷道组成。轨顺的外侧(南面)为  $F_{32}$  断层隔水煤柱及 2712 采空区,回风巷外侧(北面)为实体煤层并临近  $F_{33}$  断层,西为已经回采的 2107、2108 工作面,切眼位于整个工作面的东边。即 2716 工作面处在陈海向斜的东翼,北部以  $F_{33}$  正断层为界,南以  $F_{32}$  正断层为界,这两个断层对工作面的安全回采有一定的影响。

该工作面二<sub>2</sub> 煤层层位稳定,厚度变化不大,在 2~2.8 m 之间,平均厚度为 2.4 m。煤层结构简单,平均倾角  $13^\circ$ 。工作面直接顶板为砂质泥岩,局部有砂岩且富水性较好,直接底板为砂质泥岩,厚度较小,其下部为厚层细粒砂岩,砂岩裂隙水丰富,对工作面回采将造成一定影响。为查明煤层底板砂岩岩层的富水及其分布情况,采用矿井瞬变电磁法对工作面煤层底板进行探测。

### (2) 资料处理解释

图 6-2-7 所示为在中间巷探测的视电阻率断面等值线图。从图中电阻率等值线变化规

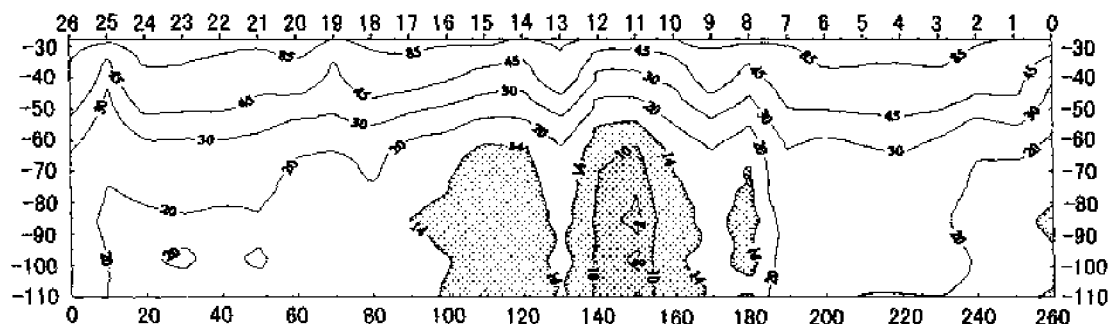


图 6-2-7 煤层底板视电阻率断面等值线图

律可以看出,纵坐标小于 60 m(煤层底板下 40 m 内范围),视电阻率等值线横向变化起伏不大,等值线近于平行分布,说明工作面煤层底板 40 m 以上范围电性横向分布较均匀,含水裂隙不发育;但横坐标在 11~12 号测点之间,纵坐标大于 60 m(煤层底板 40 m 以外范围)范围有一低阻异常区,视电阻率值较小,说明对应煤层底板位置裂隙发育。

## 6.2.3 矿井音频电透视法在安徽 RL 煤矿应用实例

### 1. 矿井水文地质概况

安徽 RL 煤矿主要开采煤层为二叠系山西组与石盒子组,共有 6 层可采煤层,其中主要可采煤层为 31、51、72、82 煤层,平均总厚度 7.37 m。

矿井主要含水层为:

① 新生界第四系含水层组:厚度一般为 240~300 m,共分为四个含水层组和三个隔水层组,其含水性较差。

② 二叠系煤层含水层段:煤系地层砂岩裂隙发育不均,含水性差异较大,但其本身含水性较弱,导水性不均。

③ 太原组灰岩及奥陶系灰岩含水层:太原组灰岩含水性较丰富,上部(1~4层)灰岩溶洞较发育。奥陶系灰岩含水丰富,岩溶、岩溶洞发育。

从以上水文地质条件可以看出,新生界第四系含水层组和二叠系煤层含水层段在一般情况下不会对矿井生产构成大的危害;太原组灰岩及奥陶系灰岩含水层虽然含水丰富,但其距72煤分别为130 m和260 m,正常条件下不存在72煤突太灰、奥灰水的可能。但以往突水事故表明,本区存在导水陷落柱,会给矿井安全生产带来极大的危害,因此,查找陷落柱等导水构造成为该矿防治水工作的重点。

## 2. 7215 工作面音频电法透视探测

该工作面走向长710 m,倾斜宽150 m,南边界有 $F_3$ 正断层,北部有 $F_{X6}$ 正断层穿过工作面,中部有 $F_{X8}$ 正断层及断层组穿过。在顶、底板破碎地段及断层破碎带,存在局部淋水现象,水量一般为 $5\sim 10\text{ m}^3/\text{h}$ 。经过井下探测及室内资料处理,得出该工作面底板70 m以浅地层综合视电导率CT分析图(图6-2-8)。从图上可看出,该工作面存在三个小范围异常条带。其中1#异常位于 $F_{X6}$ 断层附近,分析认为是受断层裂隙发育带局部充水所致;2#异常基本与 $F_{X8}$ 断层组相对应,认为是由该断层带内裂隙相对含水所致;结合有关水文地质资料,分析认为3#异常是由于巷道积水及底板局部裂隙富水引起的。

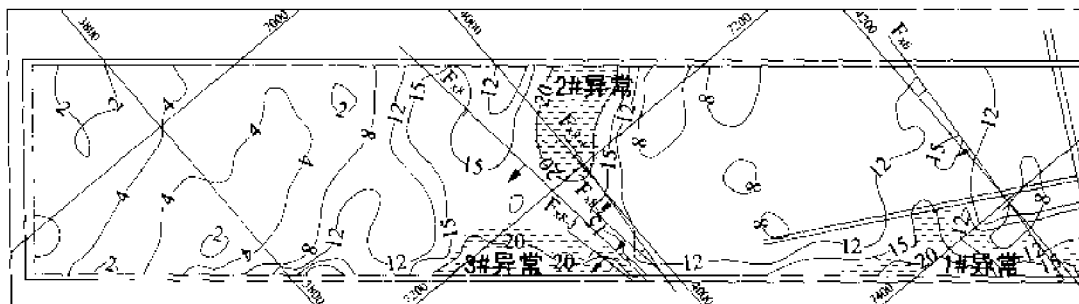


图 6-2-8 7215 工作面音频电法透视 CT 成像图

根据异常形态、幅度及分布走向,结合本区地质构造特征分析认为,在探测深度范围内无强含水构造(包括含水陷落柱),异常应为断层及底板裂隙发育并相对富水,不会对煤矿安全生产构成威胁。

## 6.3 工作面内小构造及陷落柱的井下探测方法

当工作面或巷道直接揭露或接近与含水层、强径流带存在水力联系的小断层、陷落柱等时,极易造成突水淹井事故,对煤矿安全生产构成极大威胁。能够在有限时间内对工作面内的小构造、陷落柱的空间发育位置进行准确定位,并能查明其展布形态与含(导)水性变得至关重要。

目前,井下探测矿井陷落柱及其含水性的主要方法有无线电波透视法、侧帮三极电测深法、矿井瞬变电磁法、层测深法等。

### 6.3.1 无线电波透视法在安徽 RL 煤矿应用实例

#### 1. 地质概况与地质任务

安徽 RL 煤矿 7218 采煤工作面可采储量 73.57 万 t, 工作面长 820 m, 宽 150 m, 层倾角小于  $10^\circ$ 。煤层赋存稳定, 平均厚度为 4.8 m, 内生裂隙发育, 煤以块状及碎块状为主, 中间夹一层约 0.4 m 的炭质泥岩夹矸。工作面掘进任务完成后, 在风巷、机巷及工作面切眼均未揭露较大的含水构造异常。但在机巷迎头 80~100 m 范围内工作面一侧煤层出水, 初始水量为  $3\sim 5\text{ m}^3/\text{h}$ 。为探测工作面煤层内的隐伏含水构造异常, 立即采用无线电波透视法对出水段进行重点探测, 探测范围及测点布置情况如图 6-3-1 所示。

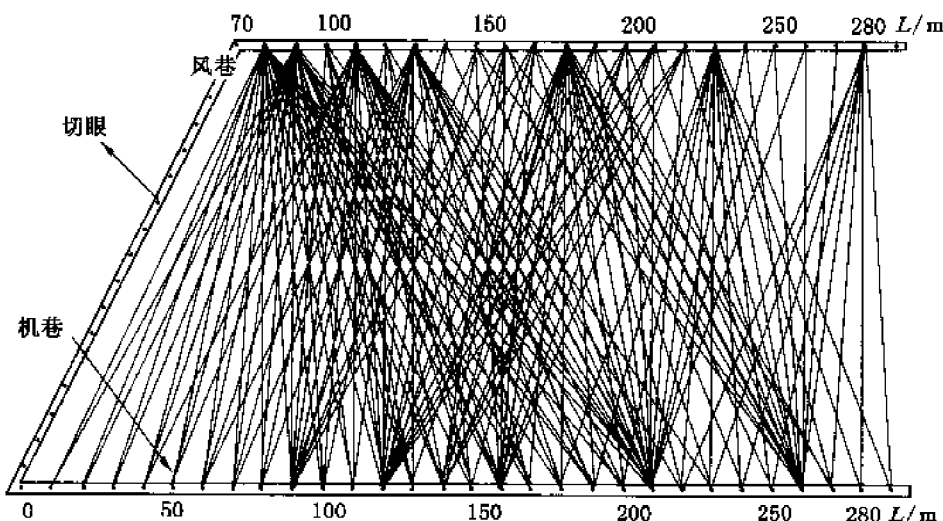


图 6-3-1 7218 工作面无线电波透视射线示意图

#### 2. 井下施工技术

井下采用 12~19 次定点覆盖测量, 接收点距 10 m, 发射点距 20~50 m, 工作频率为 0.5 MHz。从接收无线电磁信号可知, 在出水范围内工作面一侧存在明显的低阻异常区, 衰减值为  $-13\sim -38\text{ dB}$ 。

#### 3. 资料处理与解释

图 6-3-2 为定点观测曲线图(仅对综合曲线中的场强曲线进行分析), 其中图(a)、图(b)、图(c)分别为风巷的 1 号、5 号、15 号点发射在机巷接收的场强曲线, 图(d)为机巷 25 号点发射在风巷接收的场强曲线图。图 6-3-2(a)和图 6-3-2(b)曲线呈现“V”字型 and 半“V”字型, “V”字型曲线主要是因为中间部分的接收点接收的场强信号受到低阻异常吸收的影响, 而半“V”字型曲线说明接收点一侧的接收信号受到低阻异常体的影响。图 6-3-2(c)为接近理论值的场强曲线, 说明在发射点的接收点的辐射范围内无低阻构造异常。图 6-3-2(d)也呈现近“V”字型曲线, 但其场强值相对较小, 主要因为发射点和接收点的辐射范围内均受低阻异常体的影响, 而图 6-3-2(a)和图 6-3-2(b)只有一部分受到影响。以上分析情况表明该低阻异常体距离机巷较近。采用综合曲线分析法可得出如图 6-3-3 所示的解释结果, 即在距离迎头 70~110 m 范围内, 煤层内 20 m 处存在陷落柱构造异常。后经相应的防治水手段处理, 工作面现已安全回采完毕。回采揭露表明, 在 7218 机巷迎头上帮 20 m 左右存在一

导水陷落柱(即 7218 陷落柱)。

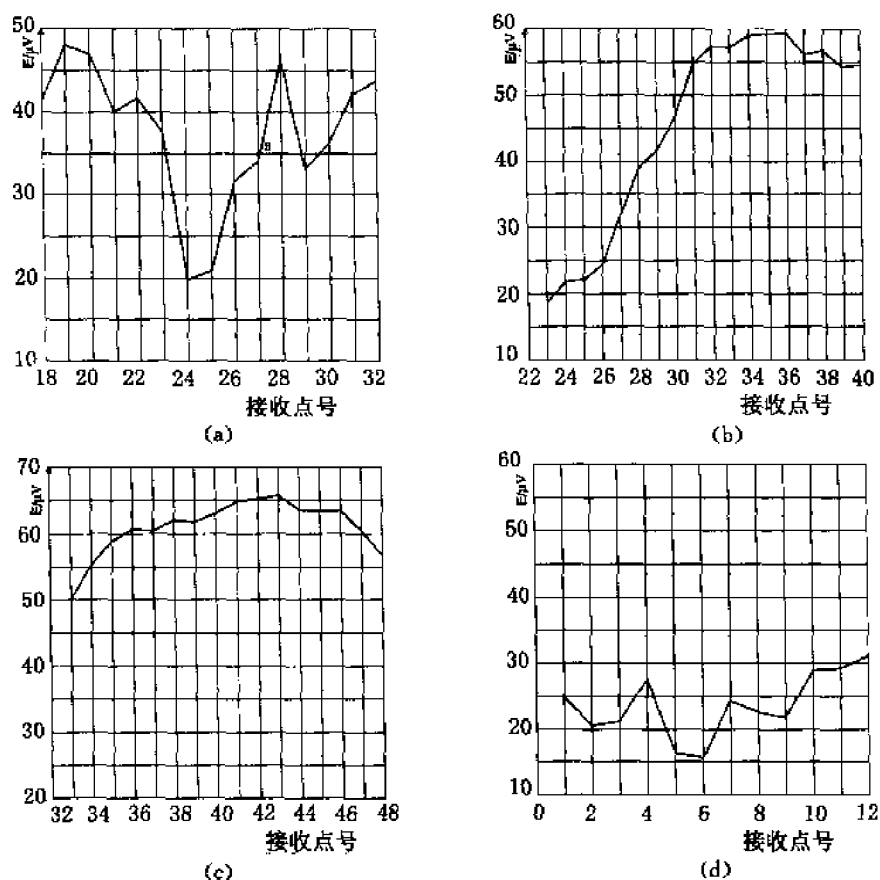


图 6-3-2 7218 工作面无线电波透视法场强曲线图

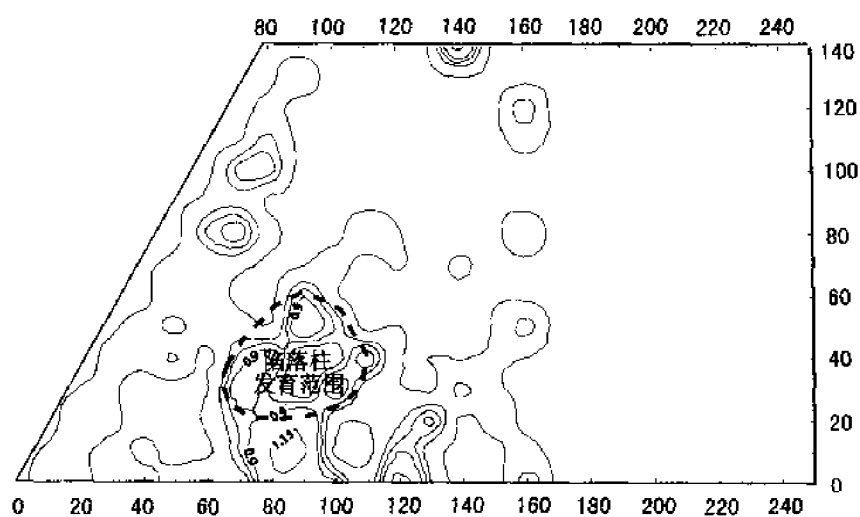


图 6-3-3 7218 工作面无线电波透视 CT 成像图

从 7218 陷落柱段无线电波透视资料分析可知,在陷落柱的中心位置,其衰减值为 $-33 \sim -38$  dB,在陷落柱的周围,异常区幅度逐渐减弱,衰减值为 $-13 \sim -33$  dB。因 7218 陷落柱位于现工作面中间,两巷均有较好的探测环境。发射点远离陷落柱一侧时,其接收场强曲



线呈漏斗状、“V”字形或半“V”字形(这主要取决于陷落柱的大小及其与发射点的位置);发射点靠近陷落柱一侧时,其接收场强值整体远离理论探测曲线,即呈现低值反映。

图 6-3-3 为无线电波透视 CT 成像图,从图中可以更明显地看出陷落柱反映为近似圆形的异常等值线。

### 6.3.2 矿井直流电法在安徽 LQ 煤矿陷落柱探测实例

#### 1. 地质概况及地质任务

安徽 LQ 煤矿北乙二水平、三水平—540 m 集中机巷和—540 m 大巷为主延伸巷道,设计服务年限 15~20 年。—540 m 集中机巷位于 6 煤底板 10 m 左右,—540 m 大巷位于 6 煤顶板 5 m 左右,地层倾向 320°,倾角 31°,两巷平距 80 m,高差 16 m。两巷顶板均有淋水,水质为太灰水,—540 m 大巷 17 号测量点前方 20~40 m 顶板严重破碎,淋水较大,水量为 1 m<sup>3</sup>/h。—540 m 集中机巷掘进过程中出现陷落柱,此处位于 12 号测量点前方 90 m。

由于陷落柱发育范围及导水性不明,出于生产安全的需要,拟采用井下直流电法勘探来查明—540 m 集中机巷陷落柱发育范围及导水性。

#### 2. 井下测点布置与施工

因巷道长度有限,需要在掘进迎头布置测点,故采用三极电测深装置形式,供电极距 OA=10 m、15 m、20 m、25 m、30 m、40 m、50 m、60 m、80 m、100 m、120 m、140 m、160 m,测点布置于—540 m 大巷中,同时进行底板与侧帮的测量,底板与侧帮的测点位置一致,共布置测点 10 个,测点点距 15 m。

#### 3. 资料处理及解释

由于陷落柱内部岩石成分杂乱、破碎,充水情况下在电测深视电阻率断面等值线图上一一般呈现相对低阻反映。根据实测资料所绘制的侧帮和底板三极测深视电阻率断面等值线图,分别反映巷道侧帮水平方向电性变化及底板下方的电性变化。根据具体情况,解释深度定为供电极距的 0.6 倍。

图 6-3-4 所示为侧帮实测视电阻率断面等值线图,主要反映了侧帮一旁水平方向的电

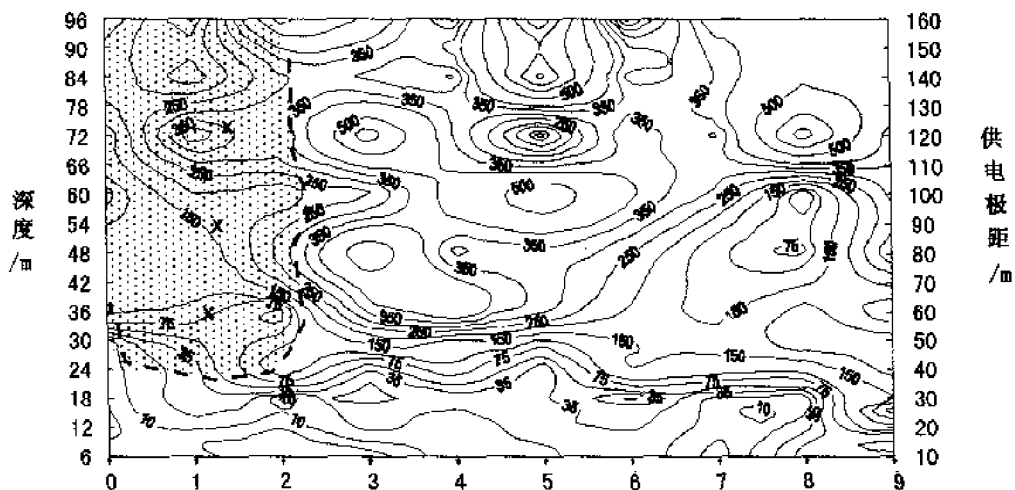


图 6-3-4 侧帮三极电测深视电阻率断面图



性变化情况。视电阻率随着供电电极距的增大而逐渐升高,从  $30 \Omega \cdot \text{m}$  变化到  $500 \Omega \cdot \text{m}$ ,相对低阻异常区有 2 处。0~3 号测点之间,距 -540 m 大巷水平距离 20~96 m 范围内,视电阻率呈现低值反映,视电阻率值在  $50 \sim 200 \Omega \cdot \text{m}$  之间,半封闭状,“开口”朝向左侧,推测此异常为陷落柱充水表现,但由于视电阻率值较高,大于  $50 \Omega \cdot \text{m}$ ,说明其含水性较弱。7~9 号测点之间的低阻异常是由该位置已揭露断层造成的。

底板三极电测深视电阻率等值线断面图(图 6-3-5)特征与侧帮的基本一致。在 0~3 号测点之间呈现低阻异常,视电阻率值在  $50 \sim 200 \Omega \cdot \text{m}$  之间,异常深度从浅部延展至深度 80 m 以上,等值线大体形状呈“半漏斗”状,说明该陷落柱与深部地层水力联系较弱。

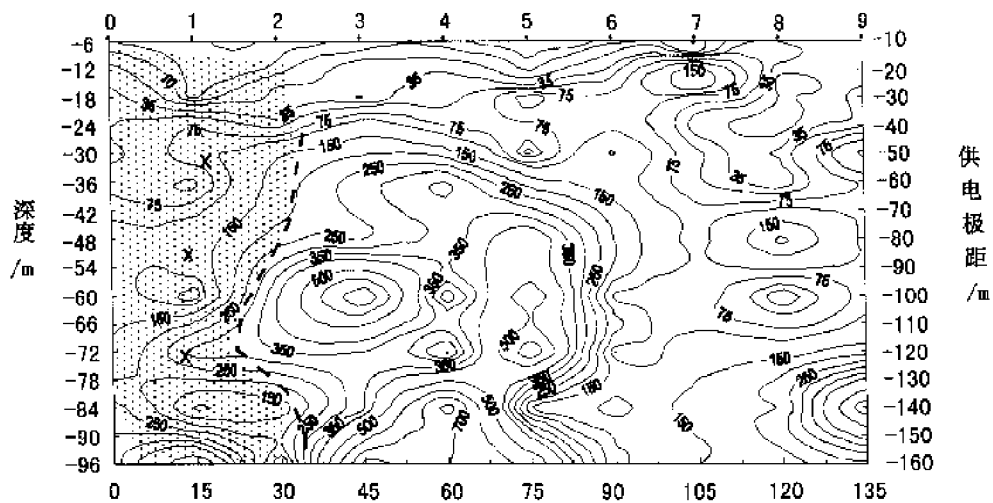


图 6-3-5 底板三极电测深视电阻率断面图

#### 4. 地质结论与掘进验证

由物探测定的陷落柱平面位置如图 6-3-6 所示,由于受施工空间的限制,探测区域未能覆盖整个陷落柱体。但根据探测结果可以认定该陷落柱弱含水,在探测范围内其向底板下方发育深度在 80 m 以上,与深部地层水力联系较弱。

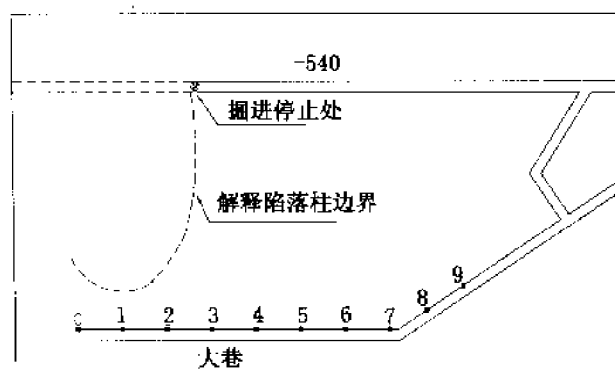


图 6-3-6 解释成果图

根据物探结果,矿方分别在 -540 m 大巷和集中机巷进行了打钻注浆加固,随后安全贯通,实际揭露证明物探探测结果较为准确。

### 6.3.3 综合矿井物探方法探测陷落柱实例

物探方法受本身技术特点所限,单一方法的应用都具有一定的局限性,解决问题单一。如果将各种方法结合起来综合应用,便能克服单一方法的技术局限性,取得理想的探测效果。

#### 1. 地质概况

江苏 LG 煤矿石炭系太原组整合于厚度为 27 m 的本溪组地层之上,其中十四、十五灰岩厚度 13 m,溶隙不甚发育,富水性弱,但因其与下伏不整合接触的奥陶系灰岩有明显的水力联系,从而使矿井的水文地质研究工作变得十分复杂,也给开采距奥陶系 45 m 的太原组煤层带来极大的安全隐患。该矿生产过程中曾在太原组地层中实际揭露了 6 个陷落柱,说明下伏奥陶系灰岩存在古岩溶发育现象。

该矿在屯头系皮带机巷掘进过程中突遇陷落柱,为保证安全掘进,对该陷落柱进行了综合探测。

#### 2. 井下施工方法

井下施工分两个阶段:第一阶段是在陷落柱刚揭露时,采用了底板三极电测深、三点一三极超前探测、矿井瞬变电磁超前探测;第二阶段是在陷落柱内向前掘进 50 m 时,采用了除瞬变电磁以外的其他上述两种方法。其施工布置如图 6-3-7 所示。

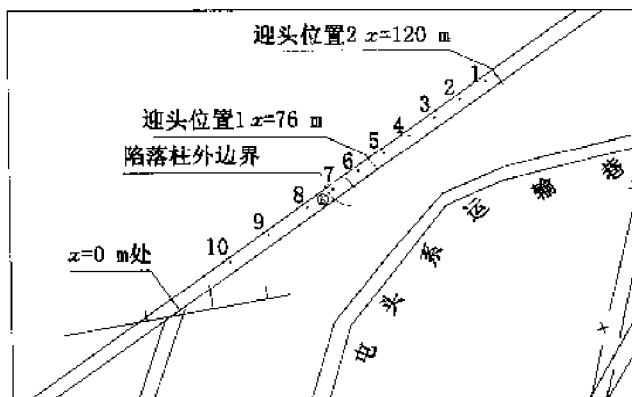


图 6-3-7 施工布置示意图

#### 3. 参数设置

① 底板三极电测深采用固定  $M$ 、 $N$  法,  $MN/2=4$  m, 最小极距确定为  $OA=7$  m, 最大为  $OA=100$  m。

② 三点一三极超前探测  $A_1$  供电点设置在迎头,  $A_2$ 、 $A_3$  分别后移 4 m 和 8 m,  $MN=2$  m, 最大供电电极距 70 m。

③ 瞬变电磁采用  $2\text{ m} \times 2\text{ m}$  重叠回线装置形式, 沿巷壁布置 9 个测点, 点距 3 m。

#### 4. 资料解释

资料解释过程中,应对三种方法所测的数据进行综合分析。底板三极电测深视电阻率断面图反映巷道底板地电响应特征,能初步确立所探测地质体的异常响应值,为其他两种方法异常划分奠定基础。三点一三极超前探测视电阻率曲线反映探测前方介质的电性变化,

以底板电测深中地质体的异常响应值为参照,可以推断该地质体在探测前方的发育范围。矿井瞬变电磁超前探测时间—视电阻率断面图反映掘进头前方与左右两侧帮介质的地电响应特征,以此推断地质体水平方向上的展布区域。三种方法可以相互对比,验证异常划分的合理性,确保解释结果的正确。

两次底板三极电测深视电阻率断面图表现基本一致(图 6-3-8):垂向上,浅部(供电电极距 7~20 m 之间)视电阻率值较低,在  $10 \Omega \cdot \text{m}$  左右,主要由巷道地表积水影响造成的,深部视电阻率值较高,大于  $50 \Omega \cdot \text{m}$ ;横向上,小于 60 m 处呈现低阻,大于 60 m 的地方呈现高阻。可见该陷落柱呈高阻异常,且向下延展较深,其深部视电阻率值高于  $200 \Omega \cdot \text{m}$ ,说明与深部奥灰水不存在水力联系。底板 55~68 m 之间呈相对低阻,视电阻率值在  $20 \Omega \cdot \text{m}$  左右,为陷落柱边缘伴生裂隙弱含水的反映。

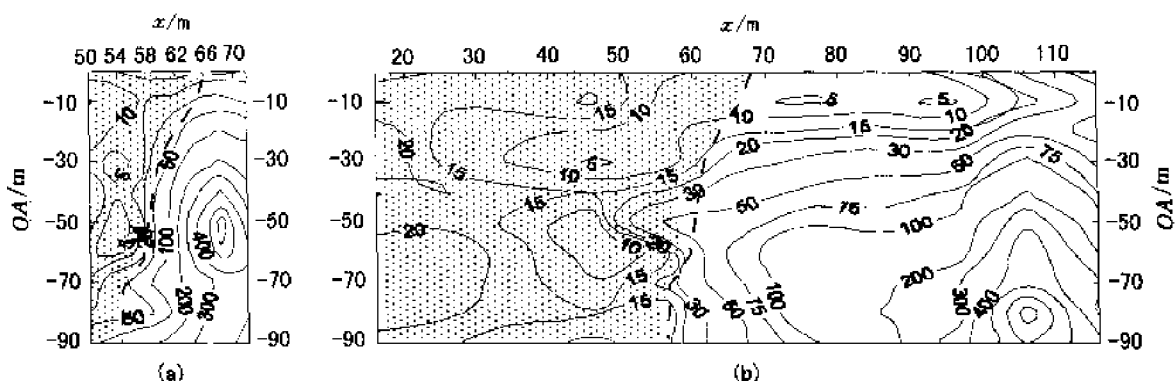


图 6-3-8 底板三极电测深视电阻率断面图

图 6-3-9 为三点—三极超前探测视电阻率曲线图,纵轴为实测视电阻率值,横轴为超前探测距离。第一次超前探测时,供电点  $A_1$  位于 76 m 处,第二次探测时,供电点  $A_1$  位于 120 m 处(由于巷道掘进与供电点位置变化,两次测量的背景场不一,故同一距离处视电阻率值存在差异,但不影响对探测结果的解释)。由底板电测深可知,该陷落柱呈高阻异常,边缘呈相对低阻。图(a)中 3 条视电阻率曲线一直呈升高趋势,表明掘进头前方不存在低阻异常,同时也说明第一次向前有效探测范围仍位于陷落柱内。图(b)中视电阻率曲线呈“高一低一高”趋势,从 135 m 处视电阻率值开始降低,为陷落柱边缘的反映。巷道向前掘进揭露陷落柱边界位于 140 m 处,实际验证与探测结果基本一致。

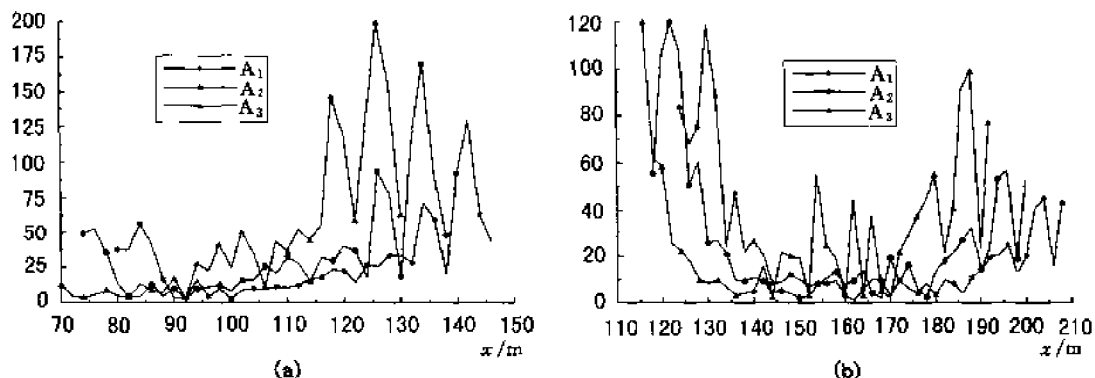


图 6-3-9 三点—三极超前探测视电阻率曲线图

图 6-3-10 为迎头位于 76 m 处时矿井瞬变电磁超前探测时间—视电阻率断面图,陷落柱与其边界异常反应特征与底板电测深、三点—三极超前探测一致。1~3 和 7~9 号测点间视电阻率值无较大变化,说明煤层完整未受到陷落柱破坏;3~7 号测点间在 15 ms 处视电阻率开始低于  $20 \Omega \cdot \text{m}$ ,为陷落柱边缘反映。由此推测该陷落柱长轴与巷道掘进方向近乎平行且偏向巷道左侧,该推测在巷道掘进过程中得到了证实。

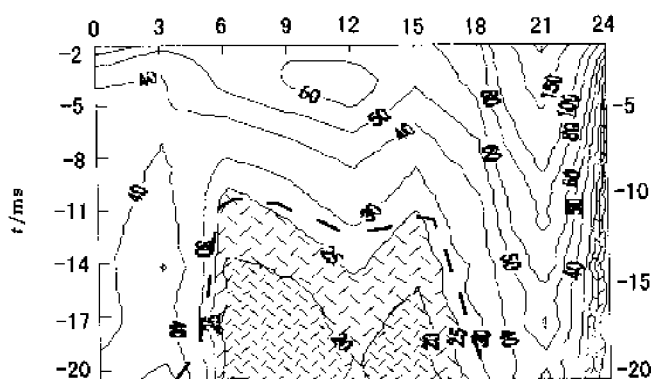


图 6-3-10 瞬变电磁超前探测断面图

综合分析,三种方法异常响应特征一致,该陷落柱呈高阻异常,向下延展较深,但与深部地层不存在水力联系,长轴方向与巷道掘进方向近乎平行,轴线位于巷道左侧,边缘地带由于陷落柱冒落的剪切作用,伴生裂隙弱含水呈相对低阻。

#### 5. 地质结论

通过采用底板三极电测深、三点—三极超前探测、矿井瞬变电磁超前探测三种方法对该陷落柱的空间展布形态、含(导)水性及其与深部地层水力联系的综合探测,其结果与实际揭露情况吻合程度较好。

通过本实例,将多种物探方法有机结合,扬长补短,可以实现独头巷道中单一探测手段所不能解决的地质异常体超前探测的技术难题,同时在资料处理与解释过程中,相互印证,可以提高探测的准确度与结果的可靠性,为有限施工空间中地质异常体精确地超前探测提供了一条新的技术途径。

### 6.4 巷道超前探测技术的应用

超前探测主要是在掘进巷道迎头利用直接或间接的方法向巷道掘进方向进行探测,探测前方是否存在地质构造或富水体及导水通道,为巷道的安全掘进提供详细的地质资料。

目前用于煤矿超前探测的直接方法为钻探方法,钻探结果比较可靠,但施工周期较长,费用较高,对巷道的正常掘进生产影响较大。超前探测的间接方法即采用物探方法进行探测。可用于超前探测的物探方法主要有:矿井直流电法(三点—三极超前探测方法)、矿井瞬变电磁法、瑞雷波法和矿井地质雷达探测法。其中瑞雷波法主要解决地质构造界面的问题,对构造的富水性无法进行解释;矿井地质雷达现在主要处于研究试用阶段,其探测深度较小。现在常用于超前探测的物探方法有矿井直流电法(三点—三极超前探测方法)和矿井瞬

变电磁法。

#### 6.4.1 矿井瞬变电磁测深法

##### 1. 物理模型实验

潞安环保能源开发股份有限公司屯留煤矿  $S_2$  采区 2<sup>#</sup> 回风巷部分地段积水较多,积水区域长度超过 100 m,深度大于 0.5 m。为试验矿井瞬变电磁法超前探测技术对巷道积水的反映,在距离积水区边界 35 m 远的地方进行矿井瞬变电磁法超前探测,测点的布置位置及探测方向如图 6-4-1 所示。

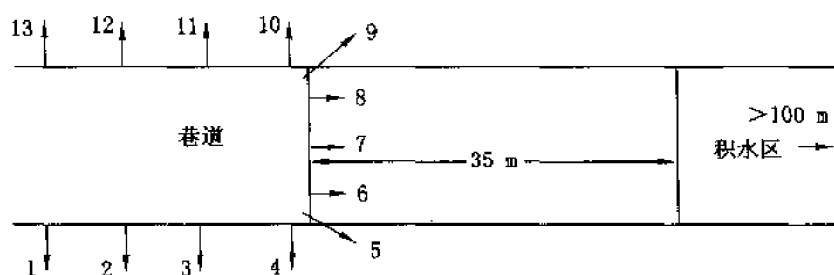


图 6-4-1 超前探测测点布置示意图

图 6-4-2 为矿井瞬变电磁法超前探测实验视电阻率等值线拟断面图,横坐标上部标号对应图 6-4-1 中的测点编号,下部为相对坐标值。分析图 6-4-2 视电阻率等值线变化特征可以看出,视电阻率等值线横向起伏较大,呈近直立分布。横坐标 10~13 号测点之间和 1

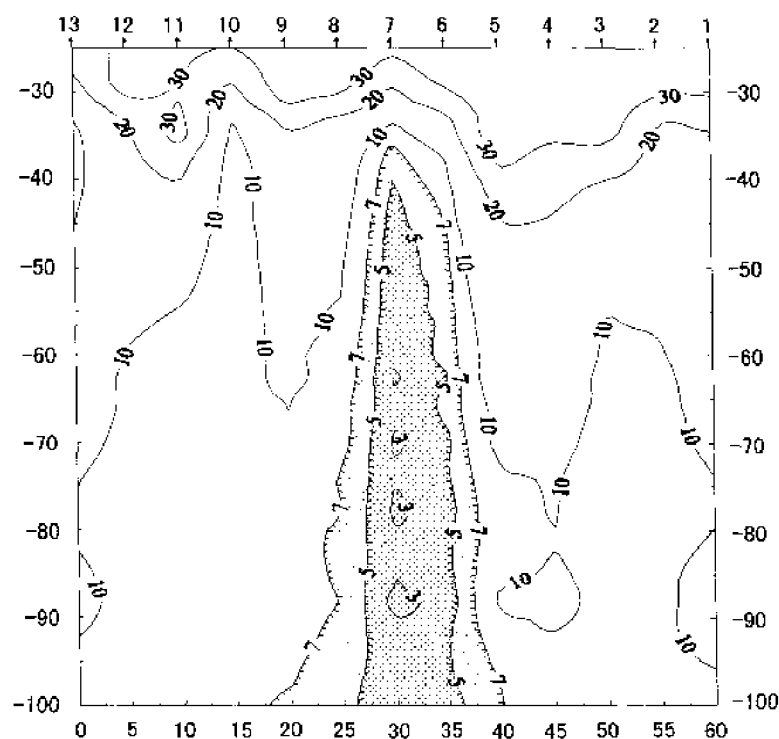


图 6-4-2 瞬变电磁法超前探测实验成果图

~4 号测点之间视电阻率值相对于中间部分较大,主要是反映巷道两侧在探测范围内电阻率的变化情况。横坐标在 9~5 号测点之间位置(对应巷道迎头前方),视电阻率等值线数值低于两侧帮,呈低阻反映,9 号和 5 号的探测方向为巷道斜前方,主要反映巷道介质的情况;8 号和 6 号测点位于巷道边向正前方探测,是前方水体和巷道介质的综合反映;7 号测点位于巷道中间,探测方向正对前方水体,从图中可知,低阻异常区从 37 m 开始,远处距离超过 110 m。这一结果和实际模型基本一致,说明矿井瞬变电磁法可用于超前探测。

## 2. 山西 WY 煤矿 76 北部轨道巷超前探

### (1) 地质概况

山西 WY 煤矿 76 北部轨道巷位于天仓向斜的北翼。从已有地质资料及生产揭露情况来看,天仓向斜轴两侧附近岩溶陷落较为发育。为了查明巷道掘进迎头正前方 100 m 以内、前方底板 60 m 以上范围内是否存在富水性地质构造或与深部奥灰水相联系的导水通道,76 北部轨道巷在掘进过程中采用矿井瞬变电磁法进行超前探测,为巷道安全掘进提供技术资料。

### (2) 井下施工技术

矿井瞬变电磁法超前探测在巷道迎头及两侧帮位置布置测点,侧帮测点间距 2~5 m,迎头位置根据宽度大小布置 2~3 个测点。在具体探测地点分别沿顺巷道掘进方向和巷道延伸前方底板方向进行探测,具体探测方向如图 6-4-3 所示,测点布置如图 6-4-4 所示。

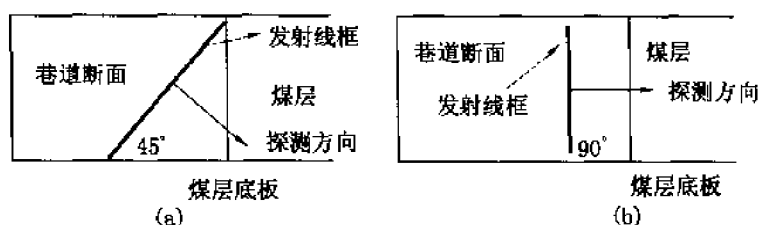


图 6-4-3 瞬变电磁法探测方向示意图

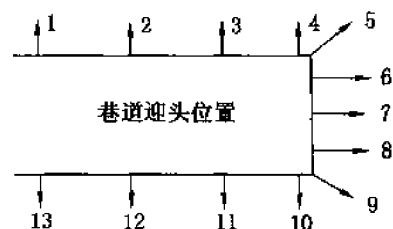


图 6-4-4 超前探测测点布置示意图

### (3) 资料处理与解释

图 6-4-5 为 76 北部轨道巷(B03+131 m)矿井瞬变电磁法超前探测视电阻率等值线拟断面图,横坐标上部标号对应图中的测点编号,下部为相对坐标值。分析图中视电阻率等值

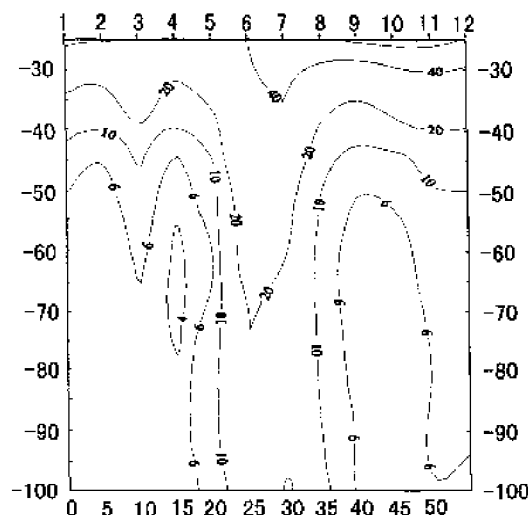


图 6-4-5 瞬变电磁法超前探测成果图

线变化特征可以看出,视电阻率等值线横向起伏较大,大部分呈近直立分布。横坐标 1~5 号测点之间和 8~12 号测点之间视电阻率值相对于中间部分较小,主要是测点位置靠近巷道两侧帮金属锚网产生的瞬变电磁感应的影响。横坐标在 5~8 号测点之间位置(对应巷道迎头前方),视电阻率等值线横向变化较均匀,视电阻率等值线数值高于两侧帮,呈高阻反映,说明巷道迎头前方没有富水地质构造或与深部奥灰水相联系的导水通道。

#### 6.4.2 直流三极超前探

##### 1. 地质概况

山东 BZ 煤矿海域 -350 m 大巷在 1 煤和 2 煤间施工发现三条落差分别为 4 m、8.5 m 和 6 m 的断层,而该断层在三维地震勘探中未解释。根据三维地震勘探资料预计掘进头前方存在落差较大的断层( $H=0\sim40$  m),该断层延伸至第四系底部,并且预计过该断层后进入 2 煤层,而目前已提前揭露 2 煤,并很快进入 2 煤底板中,由于不知该断层存在与否,特别是含导水性如何尚未查明,为确保 -350 m 大巷掘进安全,采用三极超前探对海域 -350 m 大巷进行井下电法超前探测,以确定掘进头前方破碎带、含导水构造的位置及富水性,以指导矿井防治水工作,保障 -350 m 大巷掘进巷道的安全生产。

##### 2. 工作布置

根据本次井下电法勘探任务,结合 BZ 煤矿 -350 m 大巷实际地质情况,为探测掘进头前方 80 m 内含、导水构造的分布情况,拟采用三电极综合超前探测装置。井下施工布置如图 6-4-6 所示。

2004年9月26日掘进头

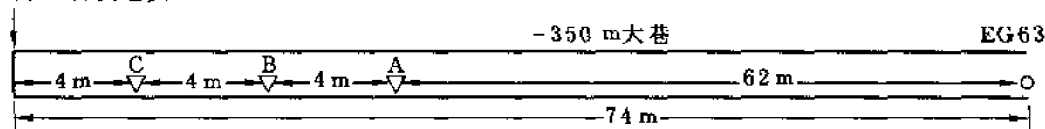


图 6-4-6 井下超前探测施工布置示意图

为了做到万无一失,本次井下电法超前探测拟在 -350 m 大巷底板布置两组超前探测测量电极,同过两次探测相互印证,以保证资料的质量。探测过程中,移动测量电极  $M$ 、 $N$ ,采集岩石的视电阻率值, $M$ 、 $N$  的移动间距拟定为 4 m,对应每个供电电极采集 21 组数据,故两组超前探测共采集数据 126 组。

##### 3. 资料解释

本次电法解释工作是在已知地质资料的基础上,采取由已知到未知,由点到线,由线到面,由简单到复杂的解释原则。首先对 -350 m 大巷掘进头超前探测所采集的数据进行巷道空间校正,剔除巷道顶、底板和巷道后方地质体对所采集数据的影响,形成掘进头超前探测解释成果图。最后结合已知地质资料,把电法异常转化为地质异常。

-350 m 大巷掘进头超前探测供电点 A 布置在掘进头后 4 m 处, B 和 C 电极布置在 A 电极后,各供电电极间距为 4 m,电极布置如图 6-4-6 所示。测量电极  $M$ 、 $N$  向巷道后方移动,每次移动间距为 4 m。通过移动测量电极  $M$ 、 $N$ ,采集巷道周围岩石的视电阻率值,形成图 6-6-7 所示的 A、B、C 三个供电电极对应的视电阻率原始曲线  $A_1$ 、 $B_1$  和  $C_1$ ;原始视电阻



率值经巷道校正和视电阻率低阻异常处理得图 6-4-7 所示的曲线  $A_2$ 、 $B_2$  和  $C_2$ ；剔除巷道内地质体的影响，可得最终的超前探测解释曲线  $A_3$ 、 $B_3$  和  $C_3$ 。

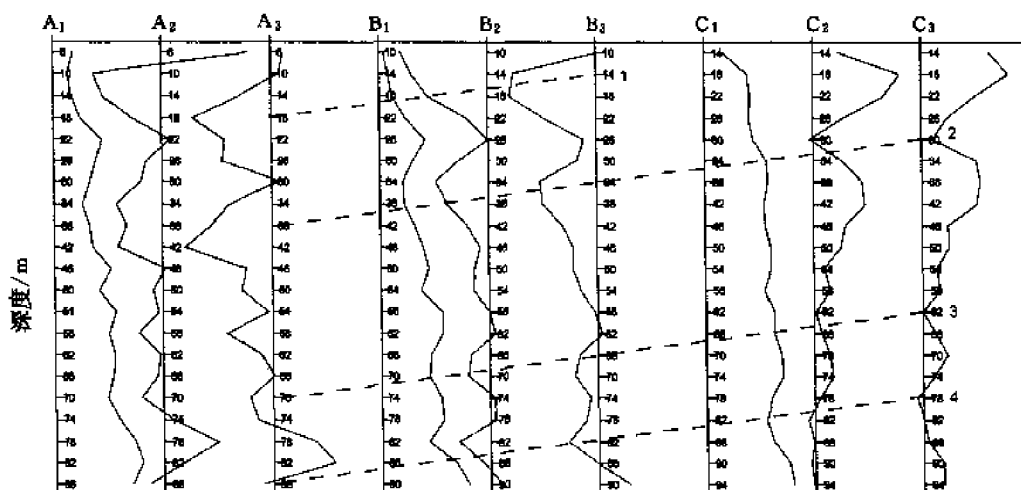


图 6-4-7 -350 m 大巷掘进头超前探测解释成果图

从图 6-4-7 的解释曲线图中可以看出,在掘进头前方探测区段内存在四处视电阻率低阻异常,低阻异常区段分别位于掘进头前方 6 m、26 m、58 m 和 74 m 附近,依次命名为 1 号、2 号、3 号和 4 号异常。

以上四处低阻异常中,以1号和2号低阻异常的幅值和范围相对较大,3号和4号低阻异常的幅值和范围相对较小。根据巷道已揭露的地质情况和2煤底板的岩性变化情况分析,1号和2号区段为掘进头前方的裂隙发育带或前方低阻岩层段引起的;3号和4号异常区段为小的裂隙发育区段,且含水性相对较弱。

综合以上资料,绘制出图 6-4-8 所示的井下超前探测解释成果图。

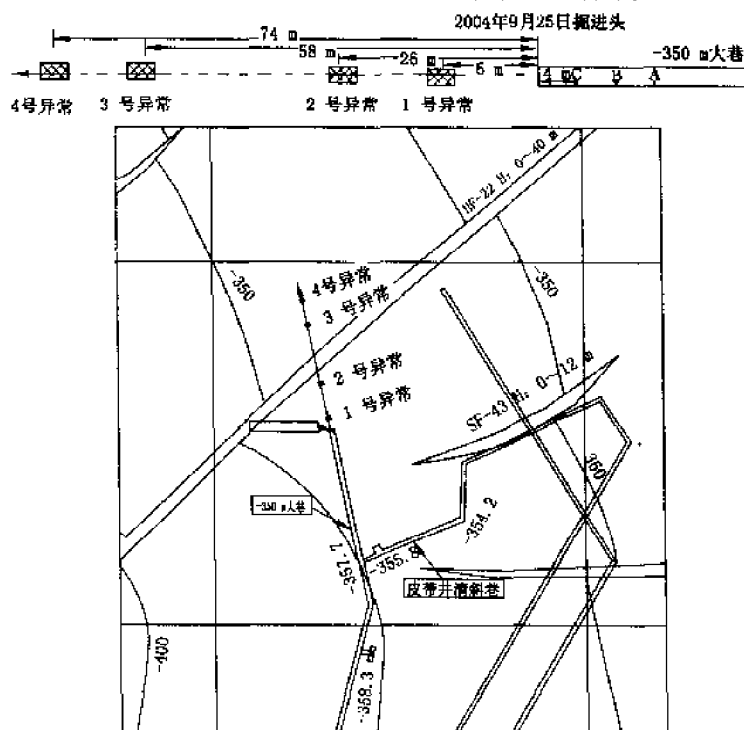


图 6-4-8 -350 m 大巷掘进头超前探测成果图

#### 4. 巷道施工实际揭露验证情况

根据超前探测成果报告, -350 m 大巷继续施工, 截止到 2004 年 12 月 3 日, 已施工到探测时掘进迎头前 78 m, 探测报告所提的 4 处异常区已全部通过, 根据揭露情况说明如下: 1 号异常区为巷道由 2 煤开始进入 2 煤底板泥岩, 由 2 煤层进入泥岩层引起阻值异常。2 号异常区为巷道完全脱离 2 煤, 全部进入 2 煤底板, 由半煤巷进入全岩巷引起阻值异常。3 号和 4 号异常区均为 2 煤底板泥岩砂岩层位, 两区域位于裂隙发育区段, 岩层中微量含水, 巷道通过后, 巷道顶板都有滴水现象, 3 号区滴水范围较大, 但滴水量较小; 4 号区滴水范围较小, 但滴水量稍大。

通过超前探测报告 and 实际揭露情况对比分析, 报告中所提到的 4 处异常区均得到验证, 与实际揭露情况基本相符合。特别在 3 号和 4 号异常区报告的解释成果图中, 异常区范围的大小在图中都有一定反应, 这可初步说明井下直流电法探测对岩层含水的反应是比较敏感的, 其探测结果比较可靠。

## 6.5 江苏 LG 煤矿 21201 工作面综合物探应用

江苏 LG 煤矿 21 煤赋存比较稳定, 煤层厚度在 1.3~1.7 m 之间, 煤层倾角  $0^{\circ}\sim 11^{\circ}$ , 平均  $8^{\circ}$ 。21 煤顶底板条件较好, 顶板为十二灰岩, 比较坚硬。底板依次为砂质泥岩、十四灰岩、十五灰岩。工作面两巷基本不需要支护, 开采 21 煤成本相对较低, 21 煤的可采储量有 3 500 万 t 左右, 是矿井今后的主要可采煤炭资源, 但对 21 煤开采的最大威胁是距离煤层底板 45 m 左右的底板奥灰水。为保证 21201 工作面的安全与高效生产, 在前期物探工作的基础上, 采用矿井直流电法和无线电波透视法探测 21201 工作面内的隐伏导水构造, 以便为工作面的安全回采提供详细的地质资料。应用矿井直流电法探测 21201 工作面联络巷附近底板下方 50 m 内的隐伏导水地质构造; 应用无线电波透视法探测上述范围工作面内的隐伏地质构造, 并对探测范围内的构造异常及其富水性进行评价。

### 6.5.1 地质概况

地质资料表明, 21201 工作面顶板为 4.5 m 厚的石灰岩(十二灰岩), 局部裂隙较发育, 方解石脉充填, 其上部由薄层状十一灰岩及粉砂岩组成。顶板有淋水现象, 为工作面的直接充水含水层, 特别是顶板周期来压期间, 顶板淋水较大, 对工作面的开采造成一定的影响。煤层底板为 0.4 m 的粘土岩, 老底为 2.2 m 粉砂岩及十三灰岩, 均不含水。本溪组灰岩为底板直接充水含水层, 在未与奥灰连通的条件下, 富水量较弱。但从勘探报告及地面水文观察来看, 二者具有明显的水力联系。本区域重要水害隐患是下部的奥陶系灰岩水, 该含水层距离 21 煤层底板 40~45 m, 具有水量丰富、水压大的特点, 周围矿井在开采 21 煤层过程中均发生过重大突水事故。

### 6.5.2 井下施工技术方案

#### 1. 直流电法工作技术方案

根据地质勘探任务要求及施工现场的实际情况, 本次电法勘探施工最大和最小供电电

极距分别确定为 100 m 和 5 m, 供电电极距序列为:  $OA=5\text{ m}, 7\text{ m}, 10\text{ m}, 12\text{ m}, 15\text{ m}, 20\text{ m}, 25\text{ m}, 30\text{ m}, 40\text{ m}, 50\text{ m}, 60\text{ m}, 80\text{ m}, 100\text{ m}$ 。为减少测量电极的影响, 采用固定测量电极距  $MN/2=3\text{ m}$ 。点距设计为 10~15 m, 在实际测量过程中, 根据测量结果调整测点点距, 在异常区域点距为 10 m, 这样可提高勘探的精度, 其测点布置如图 6-5-1 所示。

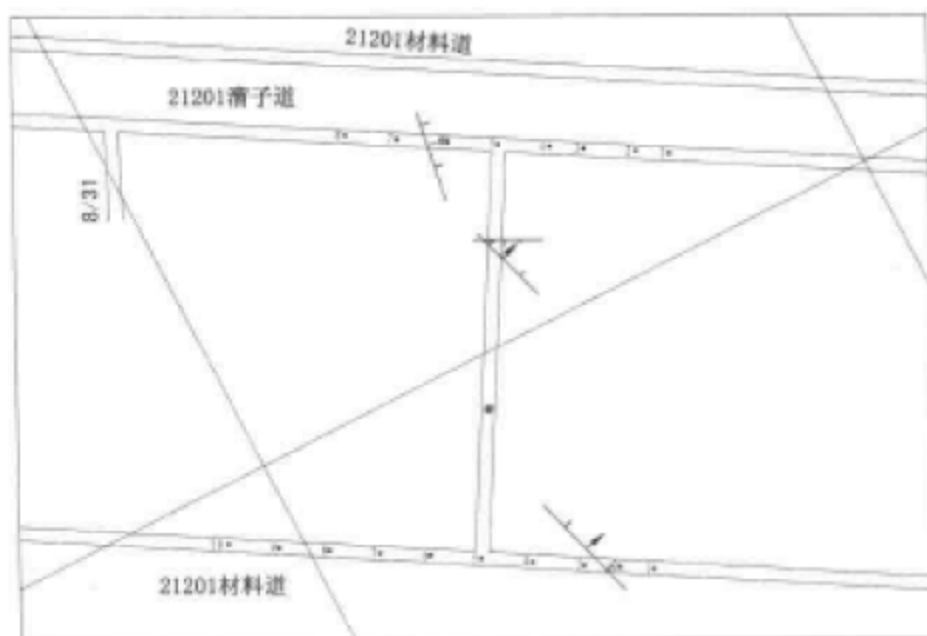


图 6-5-1 21201 工作面电法勘探测点布置

## 2. 无线电波透视测点布置及施工

使用煤炭科学院重庆分院生产的 WKT—E 型无线电波透视仪, 采用频率 0.5 MHz 的天线定点发射, 发射点距 50 m, 接收点距 10 m, 每个发射点接收点数 10~12 个。在材料道、溜子道和联络巷内共布置发射点 20 个, 接收点总计 240 个(图 6-5-2)。

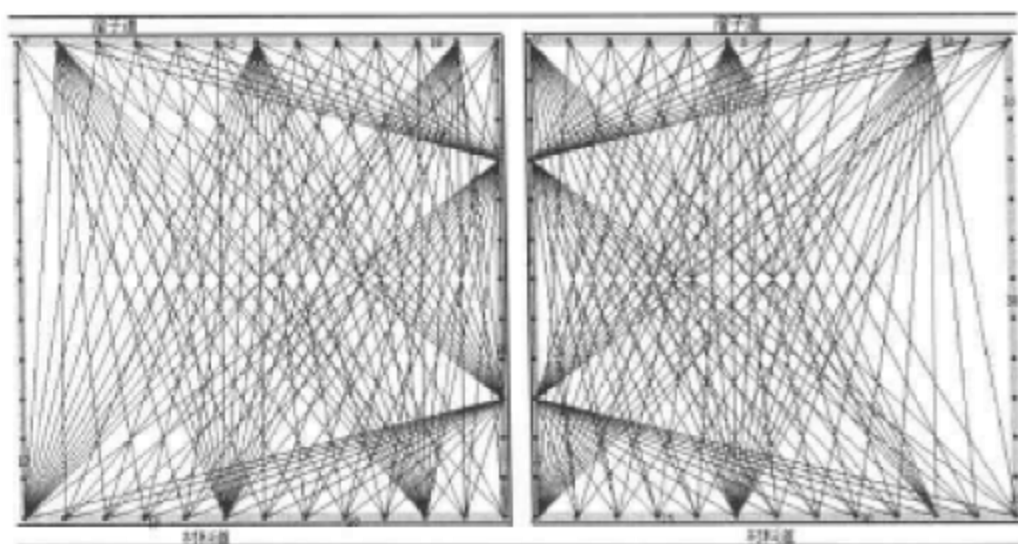


图 6-5-2 21201 工作面无线电波透视测点布置

### 6.5.3 井下电阻率法资料处理与成果分析

图 6-5-3 为材料道视电阻率断面图,从图中可以看出,6~10 号测点之间煤层底板视电阻率值较高,且连续性较好,电性层较为明显,说明煤层底板较为完整,在探测深度范围内没有隐伏导水地质构造。3~6 号测点之间视电阻率值相对较低,但深部视电阻率等值线连续性较好,说明与深部的含水层之间没有直接的垂向导水地质构造。5 号和 6 号测点之间(切眼附近)浅部视电阻率值较低,可能是浅部裂隙局部发育及附近表层积水综合影响的结果。

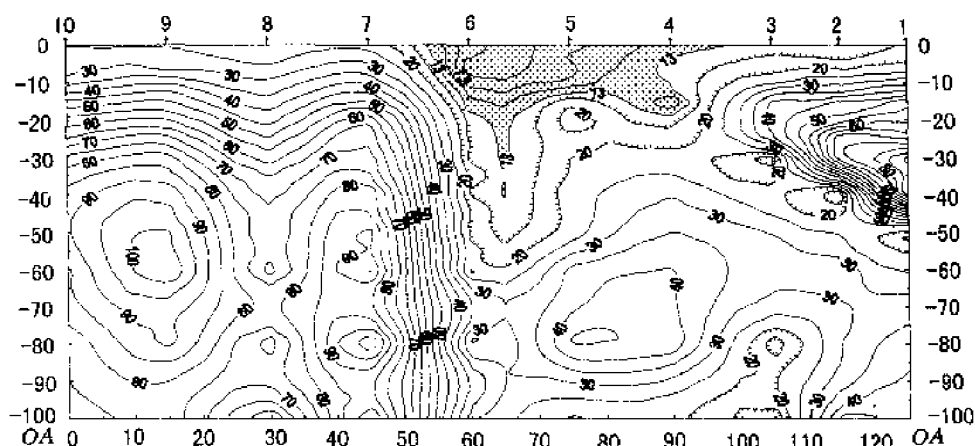


图 6-5-3 21201 工作面材料道视电阻率断面图

图 6-5-4 为溜子道电法勘探视电阻率断面,从图中可知勘探范围内有两处低阻异常区,即 3 号测点附近和 5~6 号测点之间。3 号测点附近异常区位于联络巷向里 25 m 处,且影响深度较浅,是此处表面积水的反映。5~6 号测点之间位于联络巷端头附近,结合现场揭露资料可知该低阻异常与巷道所揭露的小断层有关。该异常区影响深度相对较大,约为 30 m,可解释为附近断层及局部裂隙发育且充水的反应。视电阻率断面图深部视电阻率值较高,且连续性好,与深部水体之间没有直接的导水地质构造。

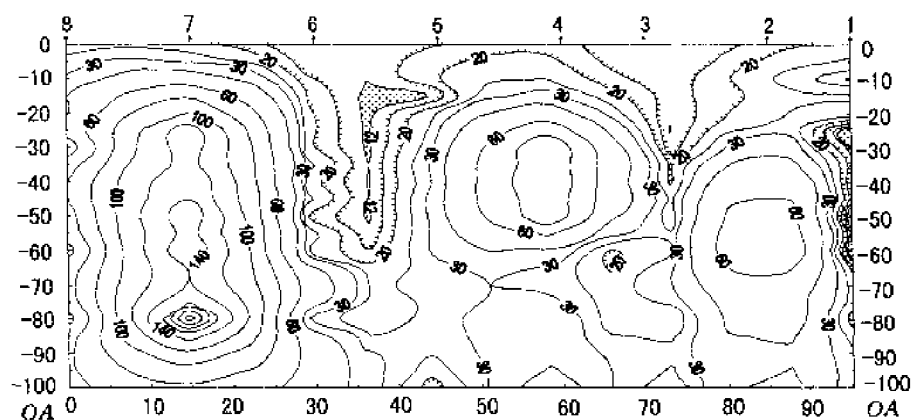


图 6-5-4 21201 工作面溜子道视电阻率断面图

从总体上看,煤层底板深部较为完整,对底板承压水的突出具有较好的抑制作用,且与深部水体之间没有大的垂向隐伏导水通道。但在联络巷两端附近,材料道和溜子道浅部视电阻率值较低,可能为局部裂隙水或裂隙浸水所致。

#### 6.5.4 坑道无线电波透视资料处理与成果分析

采用多种方法对实测资料进行的电磁层析成像反演对比分析。图 6-5-5 为采用绝对衰减层析成像法得到的坑透勘探成果图。从图中可知,在勘探范围内没有发现较大的地质构造异常,煤层相对较为稳定。联络巷右下侧主要是一小断层的反应,该断层巷道已经揭露。而联络巷靠近溜子道附近除巷道已揭露小断层外,没有发现其他构造异常。通过无线电磁波透视法探测,表明除巷道已揭露的断层外,探测范围内没有发现其他隐伏地质构造异常区。

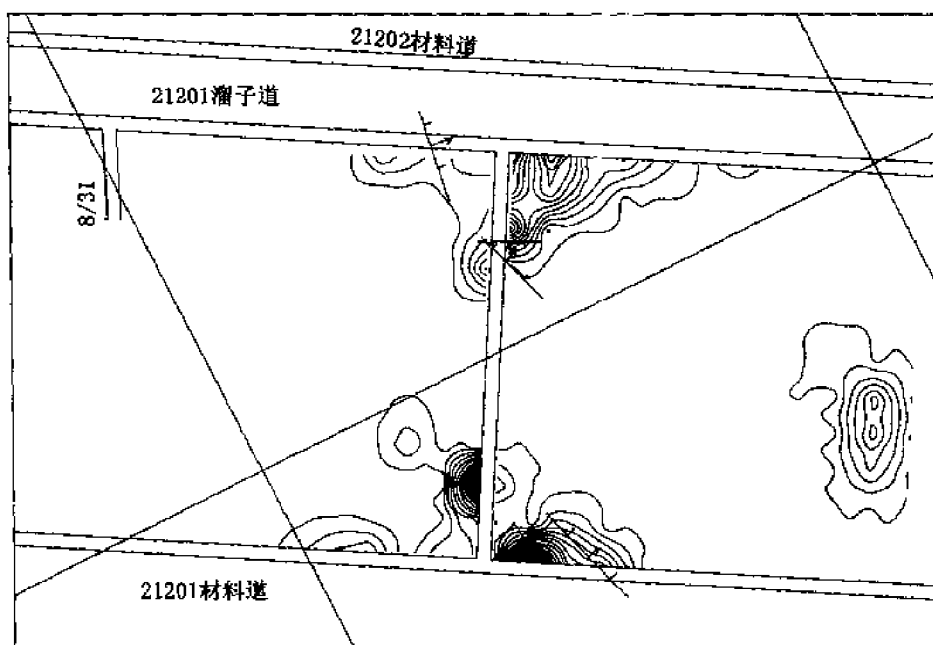


图 6-5-5 21201 工作面坑透勘探成果图

#### 6.5.5 探测成果及验证情况

从总体上看,煤层底板深部岩层较为完整,无大的隐伏岩溶含水带,无明显的垂向隐伏导水构造。在联络巷与材料道和溜子道相交附近,其视电阻率断面图都反映浅部存在含水裂隙带。

根据井下电法探测的成果,LG 煤矿在 21201 工作面联络巷的异常区附近布置了 7 个钻孔对煤层底板进行钻孔注浆加固。钻孔钻进垂直深度在 22~34 m 之间,一般在 16~30 m 深度出现少量裂隙涌水,而深部岩石较完整,说明电法探测提出的浅部异常区是正确的。

由于工作面底板注浆加固有效地封堵了围岩裂隙,在工作面推进到构造异常区时,仅出现少量的底板涌水现象,实现了工作面的安全回采,避免了另开切眼跨过异常区,取得了较大的经济效益。

## 7 物探在煤矿水源地勘探中的应用

尽管我国大部分煤矿存在井下突水威胁,但许多矿区还面临着工业、生活用水缺乏的问题,需要有水源地的保证。水源地勘探应用的就是常规水文物探方法技术,只不过在矿区进行水文物探时需要克服强大的工业游散电流干扰和人文设施障碍问题。因此,平时常用的激发极化法在矿区水文勘探中反而较少使用。

下面就水文勘探实例简要介绍一下第四系找水和基岩找水的物探方法技术。

### 7.1 山东兖州矿区第四系水源地电法勘探

山东 NT 煤矿因建设项目需要建设第四系供水水源地,勘探区位于 NT 煤矿工业广场西南侧,测区北边界紧靠煤矿专用铁路,东部边界为电厂运煤铁路,南部边界紧靠沙河大堤,西部边界接近白马河河堤。测区东西长约 2 100 m,南北宽平均 600 m,面积约 1.26 km<sup>2</sup>;测区内地形平坦,海拔高度在 39~44 m 之间。

#### 7.1.1 测区地质—地球物理特征

##### 1. 测区水文地质特征

根据已有水文地质报告及测区内现有钻探资料可知,第四系覆盖整个勘探区,厚度为 82~120 m。第四系下伏地层为侏罗系红层,红层顶部风化强烈、松软。

勘探区第四系地层属洪积—冲积相沉积,由棕黄色、灰绿色粘土、砂质粘土、粘土质砂(砂砾)及砂、砂砾层组成。根据岩性变化及富水性特征可将第四系地层分为上、下两个含隔水岩组。

① 上组:为泗河、白马河冲积物,平均厚度 38.07 m。主要由黄褐色、棕黄色、棕色粘土、砂质粘土和浅黄、灰白色的砂、粘土质砂组成,间或有铁锰结核。其中砂层较松散,厚度比较稳定,矿物成分以石英、长石为主,透水性强、含水丰富。该组的水位主要受大气降水及矿井排水的影响,枯水季节水位下降,丰水季节水位上升。此外,上组水位动态环境亦受矿井排水及工农业、生活用水的影响。

② 下组:平均厚度 66.8 m。本组以杂色粘土、砂质粘土为主,夹有数层砂层。粘土的厚度大且稳定,隔水性好。砂层的砂质不纯,多含粘土成分,透水性差,富水性较弱。

按其富水性可定上组为强含水层,下组为隔水层组。把上组地层含水性评价作为本次电法勘探的主要地质任务。

##### 2. 测区地质—地球物理特征

第四系松散层的电性与岩性、含水性的关系密切,含水层段的电性与围岩差异明显,其



中砂砾石层和砂层的电阻率明显高于其他岩层,基岩风化层的电阻率比新鲜基岩低。根据测井资料和实测电法勘探资料统计得出:勘探区内主要含水层与隔水层间存在一定的电性差异,砂层视电阻率介于  $15 \sim 25 \Omega \cdot \text{m}$  之间,地表附近砂层视电阻率可达  $50 \Omega \cdot \text{m}$ ,粘土视电阻率平均为  $12 \Omega \cdot \text{m}$ ,而深部粘土层视电阻率要小于  $10 \Omega \cdot \text{m}$ ,电性特征符合应用电法勘探进行第四系水文地质条件调查的前提条件。

第四系地层上组电阻率相对较高,因砂层横向变化较大,其电阻率亦随之在较大范围内变化,下组电阻率最低。侏罗系红层电阻率较高,一般大于  $25 \Omega \cdot \text{m}$ 。

现有勘探资料同时揭示,本区第四系沉积相横向变化大、连续性差,这给利用电法勘探方法圈定主要含水砂层带来许多困难。为此,我们针对性地选择断面三极电测深法作为本次电法勘探方法,该方法能突出透镜状砂体的电性异常特征,从而提高电法勘探的分辨能力。

### 7.1.2 施工方法技术

#### 1. 测网布置

由于测区北部边界、东部边界有铁路、建筑物阻挡,只能进行三极电法测深。根据测区内小麦、农田、沟渠分布情况,为减少对农作物的破坏和提高工作效率,测线一般沿田中小路布置。测线线距平均为  $100 \text{ m}$ ,普查区测点点距平均为  $50 \text{ m}$ ,加密点平均点距为  $25 \text{ m}$ 。测线方向近 E—W 向,共布置有 C0、C1、C2、C2+1、C3、C4、C4+1、C5、C6、C6+1、C7 共 11 条测线,最大线距  $110 \text{ m}$ ,最小线距  $46 \text{ m}$ ,控制面积约  $1.2 \text{ km}^2$ (图 7-1-1)。

#### 2. 电法装置形式与主要技术参数

##### (1) 电法装置形式

装置形式即电极排列方式,是电法勘探野外施工的技术关键。考虑到第四系水文勘探目标体的电性和几何特征,而且勘探区的东侧有地表障碍物影响电法施工,所以,本次勘探选用三极断面测深装置,即将电法勘探观测装置中的一个供电电极放置在远离测量中心点的地方。

三极断面测深法的优点是工作方便灵活,既避开了地表测线某一端障碍物的影响,又通过加大测点和极距密度,提高了电法勘探的地质分辨能力,有利于探测较小电性反差和较小规模的地质异常体。

##### (2) 实际观测参数

供电电极距序列为:  $OA=2 \text{ m}, 3 \text{ m}, 4 \text{ m}, 5 \text{ m}, 7 \text{ m}, 10 \text{ m}, 12 \text{ m}, 15 \text{ m}, 20 \text{ m}, 25 \text{ m}, 30 \text{ m}, 40 \text{ m}, 50 \text{ m}, 60 \text{ m}, 70 \text{ m}, 85 \text{ m}, 100 \text{ m}, 120 \text{ m}, 150 \text{ m}, 200 \text{ m}, 250 \text{ m}, 300 \text{ m}$ 。测量电极距的选择原则为  $AO/MN=5$ 。根据试验结果和地质任务的要求,最大极距为  $250 \text{ m}$ ,最小极距为  $2 \text{ m}$ 。无穷远电极布置在测区以南  $1500 \text{ m}$  的地方,供电电极 A 沿测线向西跑极。

野外观测采用法国 SYSCAL—R2E 数字电法仪,通过采用方波读数,可以压制工业广场附近地下游散工业电流的影响。

### 7.1.3 实测资料的处理与解释

电法勘探资料的处理与解释包括定性与定量两部分。定性解释的目的和关键是界定电

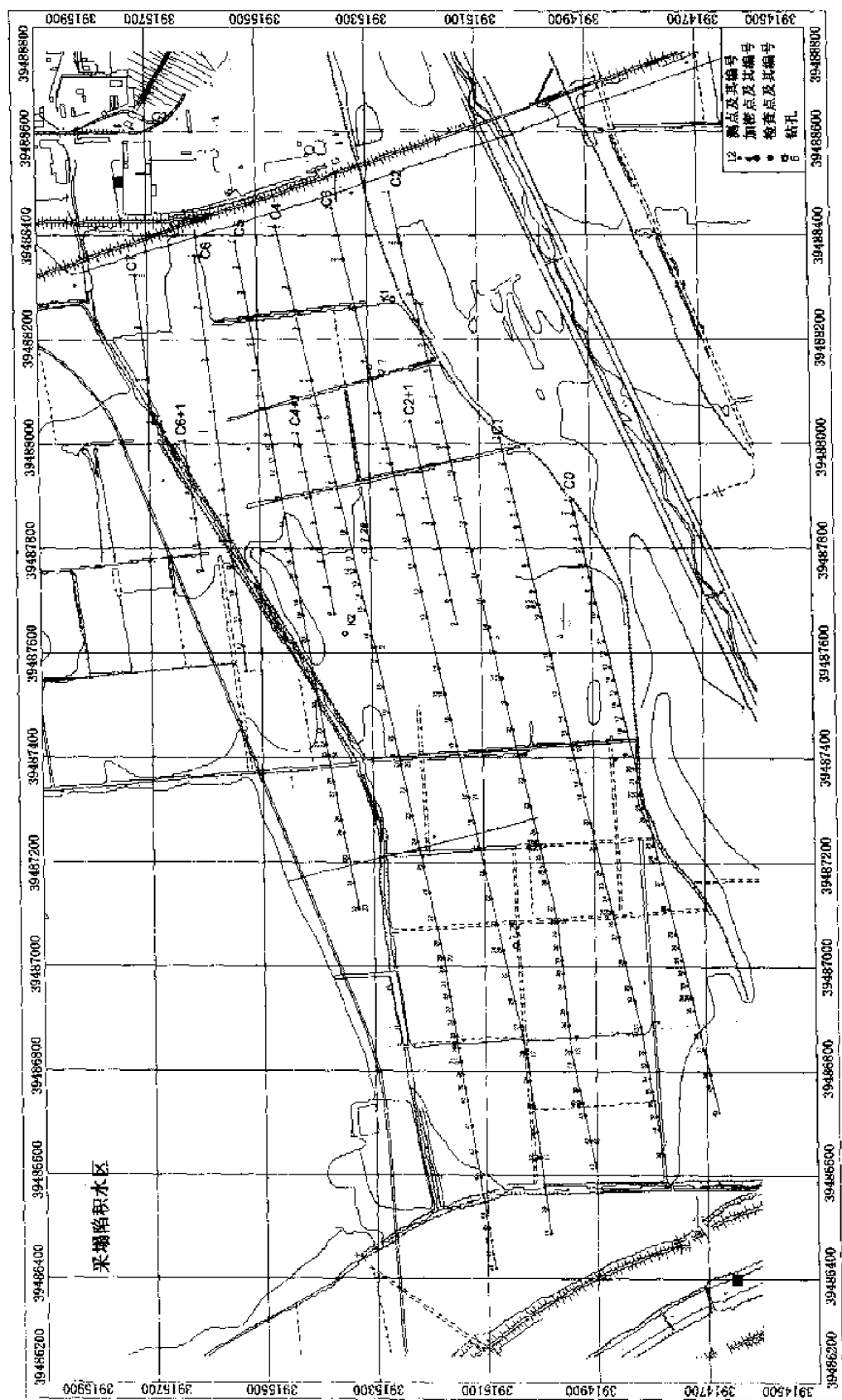


图7-1-1 工程布置平面图