

TEM47HP 煤矿井下探水系统

一、引言

我国不少煤矿发生过透水事故。重大透水事故造成人员重大伤亡和财产严重损失并导致煤矿停产。

煤矿透水事故原因各异，有的是顶板上方老窑积水倾泄至工作面，有的是底板下方承压水涌入采区，有的是在掘进头前方迁到了构造破碎带、裂隙发育区、岩溶、陷落柱等富水区（体）。防止透水事故发生的有效方法，是事先探测出水患源头或储水构造的位置然后再注浆处理。

探测地下储水构造的最佳方法是瞬变电磁法，因为瞬变电磁法在电法和电磁法中分辨率最高，对含水的低阻体最敏感。当然，在地面也可以探测地下储水构造，但如果在井下探测则分辨率更高，更准确。因为井下的外界电磁干扰很小，观测数据质量高，探测装置离目标体近，准确度高。最近三年来（到 2006 年底）我国已有 13 个煤矿和高校购买了 TEM47HP 井下探水系统，并获得了成功应用，避免了井下透水事故的发生。

二、TEM47HP 井下探水系统的组成

TEM47HP 是加拿大 Geonics 公司专门生产的井下探水瞬变电磁系统，也叫 PROTEM47HP。其组成包括（图 1）：



图 1 TEM47HP 井下探水系统的组成

- 1、PROTEM 数字接收机
- 2、TEM47HP 发射机
- 3、高频接收线圈
- 4、可调节角度的井下多匝发射线圈
- 5、TEMB 全空间正、反演软件

其简单工作原理是，根据探测目标将井下多匝发射线圈安置在合适的位置上，将高频接收线圈安置在距发射线圈 5—10m 的位置上，TEM47HP 发射机向多匝发射线圈发送脉冲电流（频率可选）产生一次场。该一次场向探测目标体扩散，当迁到探测目标体时则产生二次场，即瞬变电磁场。该瞬变电磁场在高频接收线圈中产生感应电压并由 PROTEM 数字接收机接收和进行初步处理。

TEMB 全空间正、反演软件是对数字接收机接收到的瞬变电磁场数据进行全面处理和反演解释，并给出探测目标体的位置、形状和电阻率等参数。TEMB 软件专为井下瞬变电磁法研发了，它也用于地面瞬变电磁法。

三、井下瞬变电磁法的装置结构

瞬变电磁法有不同的装置结构，以适应不同的探测目的。由于井下瞬变电磁法是在巷道内进行，要在有限的施工空间内获取巷道前方，顶、底板上、下方以及采区下方的储水构造和储水体的分布情况，并且探测盲区还要尽量少。因此必须仔细选择合适的仪器类型和合适的装置结构。

可在井下工作的装置结构有四种（图 2）：

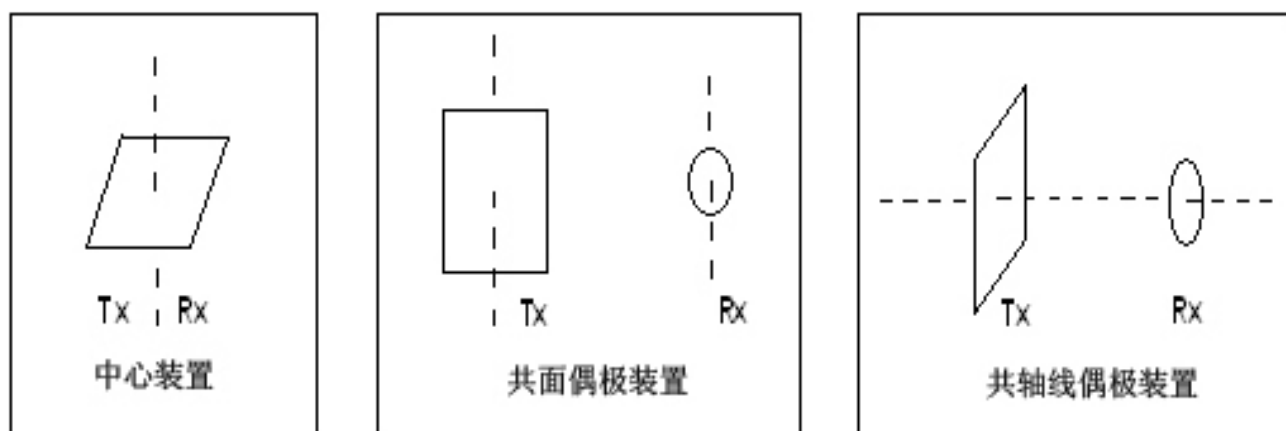


图 2 剖面探测装置方式

1、重叠回线装置：发射线圈与接收线圈重合；此种装置由于接收线圈和发射线圈重叠，互感大、一次场影响大，所以关断时间长，盲区大。

2、中心装置：接收线圈 RX 位于发射线圈 TX 的中心处，互感大，一次场影响大，盲区大。

3、共面偶极装置：发射线圈 TX 与接收线圈 RX 共平面，两者相距 5—10m，因此一次场对接收线圈的影响可以忽略，盲区小。此装置适合沿巷道探测其侧向采区下方的储水构造。此时，发射线圈和接收线圈沿巷道布置，倾角 45°（或

大、或小），相距 5—10m。当探测巷道顶、底时，发射线圈和水平线圈均水平布置。

4、共轴偶极装置：发射线圈 TX 与接收线圈 RX 分别位于前后平行的两个平面内，但处于同一轴线上，两者相距 5—10m。此装置适合巷道掘进头的超前探测

测。此时，接收线圈贴近掌子面，发射线圈位于其后 5—10m 处，两者轴线指向探测方向（图 3）。如果接收线圈和发射线圈分别向左、向右转动不同角度时（例如 $\pm 30^\circ$ ， $\pm 45^\circ$ ），则探测方向也分别指向前方的不同角度，于是便可以探明掘进头前方扇形区域内的储水构造（图 4）。

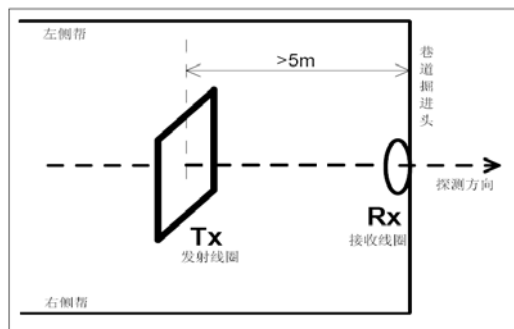


图 3 巷道掘进头 TEM 超前探测装置方式

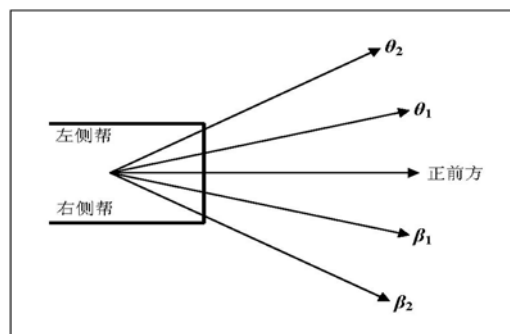


图 4 巷道掘进头超前探测方式与探测范围

θ_i 表示探测方向为前方偏左 θ_i 角度； β_i 表示探测方向为前方偏右 β_i 角度

四、技术指标：

1、PROTEM 数字接收机

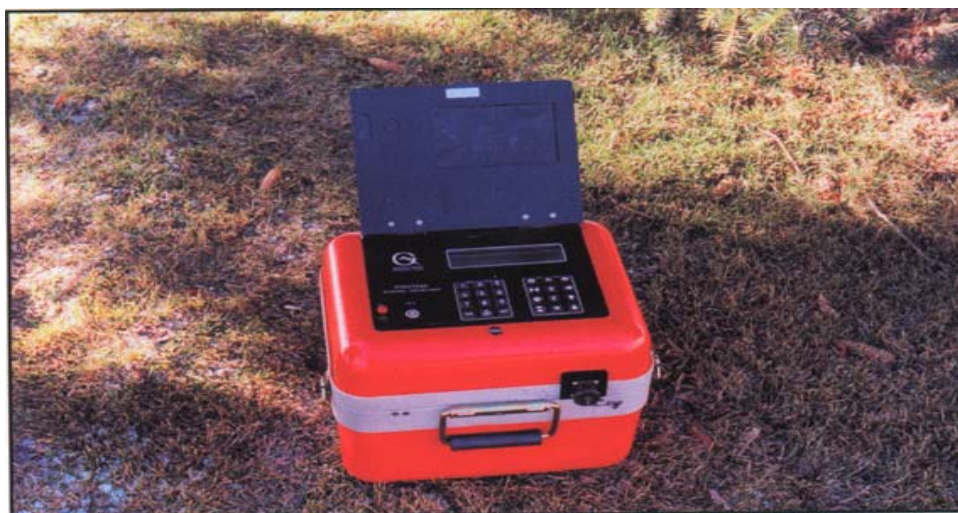


图 5 PROTEM 数字接收机

技术指标:

- 观测值: 三分量感应磁场的衰减比, nv/m^2
- 电磁传感器: 空心线圈
- 道数: 单道接收线圈测量
- 时间门: 在两个量级时间轴上 20 个门测量, 或三个量级时间轴上 30 个门测量
- 信号分辨率: 24 位, 包括 1 个符号位, 系统分辨率 29 位
- 基本频率: 0.3, 0.75, 3, 7.0, 30, 75, 285Hz (60Hz 工频时)
0.25, 0.625, 2.5, 6.25, 25, 62.5, 237.5Hz (50Hz 工频时)
- 积分时间: 0.5, 2, 4, 8, 15, 30, 60 和 120 秒
- 显示器: 240×64 点液晶显示
- 数据管理: 固态存储 3300 套数据, RS232 输出
- 同频: 参考电缆同步
- 工作温度: -40°C — $+60^{\circ}\text{C}$
- 电源: 12V 可充电电源, 可连续工作 8 小时
- 重量: 15Kg
- 体积: $34\times 38\times 27\text{cm}$ 。

2、TEM47HP 发射机



图 6 TEM47HP 发射机

技术指标:

- 电流波型: 偶极方波, 占空系数 50%
- 基本频率: 0.3, 0.75, 3, 7.5, 30Hz (功率传输线为 60Hz 时)
0.25, 0.625, 2.5, 25Hz (功率传输线为 50Hz 时)
- 关断时间: 关断时间 $2.6\mu\text{s}$ ($40\text{m}\times 40\text{m}$ 发射线圈), 最终关断时间取决于发射线圈有效面积 S 及发射电流 A
- 发射线圈尺寸: $1.5\text{m}\times 1.5\text{m}$ (80 匝) 或 $2\text{m}\times 2\text{m}$ (64 匝)
- 输出电压: 0—12V 24V 或 32V

- 最大输出电流：10A
- 同步：电缆同步
- 工作温度：-40℃—+60℃
- 电源： 内置 12V，外接 12V 或 24V
- 重量：15 公斤
- 尺寸：43 x 25 x 25 厘米。

五、巷道掘进头超前探测应用实例

1. 对巷道掘进头的超前探测

图7—图11是某煤矿—250米排水巷道在掘进过程中不同时间的超前探测结果，其目的是确定不断向前推进的巷道掘进头前方是否有储水构造，以保证掘进的安全。

1) 图7是2004年9月30日进行的第一次超前探测，结果发现掘进头前方30m-40m为低阻区，此低阻区位于巷道正前方偏左方向，正前偏右方向及右帮无异常。经矿方钻孔漏水所致。后经钻探找到了该漏水孔，及时采取了排水措施。图中侧帮平探，采用共面偶极方式，掘进头前探采用共轴偶极方式，然后把两个方位的探测结果作为同一剖面成图，所以图中结构实际上反映的是两个方向的情况，这样就可以在同一标准下比较不同方向的电阻率分布，为分析掘进头前方的含水性提供依据。

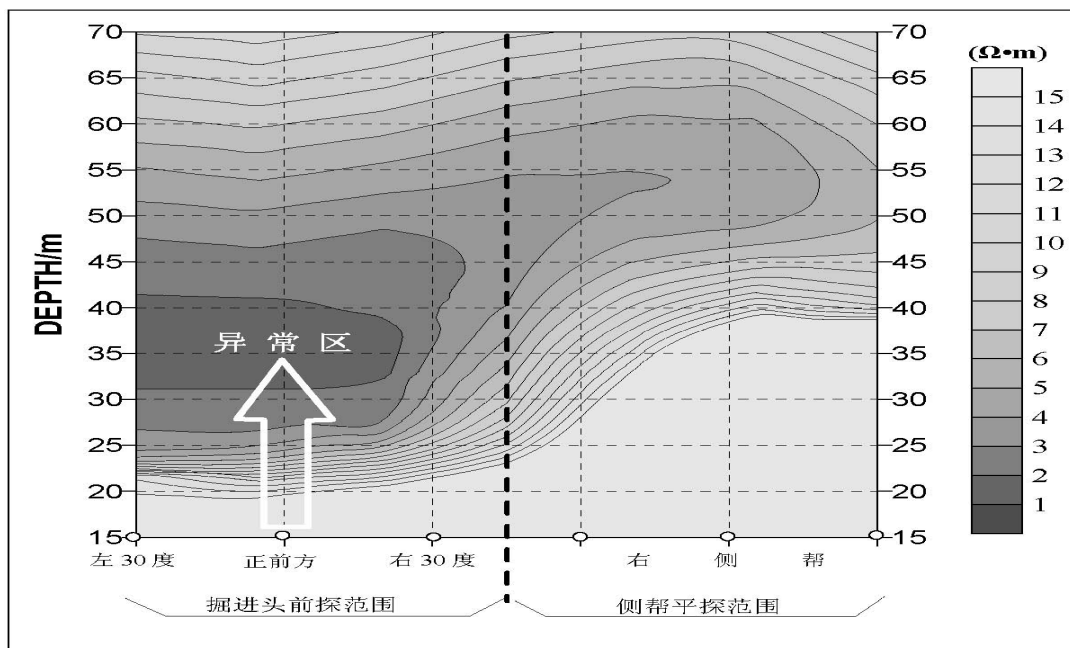


图7 第一次初探结果

2) 图8是2004年11月8日进行的第二次超前探测，结果反映掘进头前方75m范围内岩性比较均匀，无明显低阻异常，虽然在60多米以上存在局部相对

低阻区（图 8 顶部颜色较深的区域），但电阻率普遍大于 $40 \Omega \cdot \text{m}$ （该地的富水区电阻率普遍小于 $1 \Omega \cdot \text{m}$ ），不大可能是富水区，因而我们预报为安全区，可以掘进。实际掘进过程比较顺利，没有遇到异常情况。

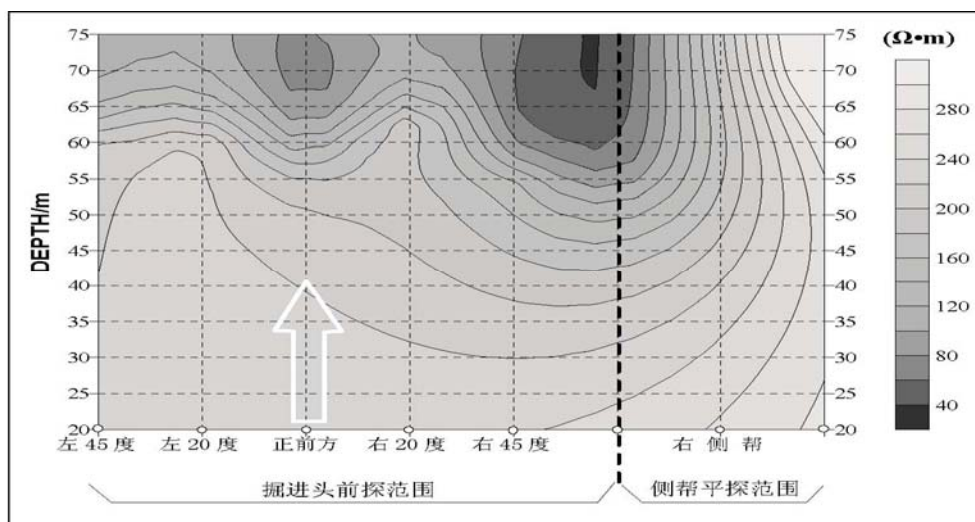


图 8 第二次跟踪探测结果

3) 图 9 是 2005 年 2 月 5 日进行的第三次超前探测，结果发现掘进头前方 25—45m 之间有一低阻异常区（图 9），异常核心区位于巷道前方偏右部位。据此建议进行钻探。钻孔朝巷道正前方、正前方偏右和正前方偏左布置。其中正前方钻孔进尺 37m 时出水，偏右方向钻孔水量（ $17 \text{ m}^3/\text{h}$ ）明显增大，岩层呈破碎状。经过预防治理，排除了突水隐患。

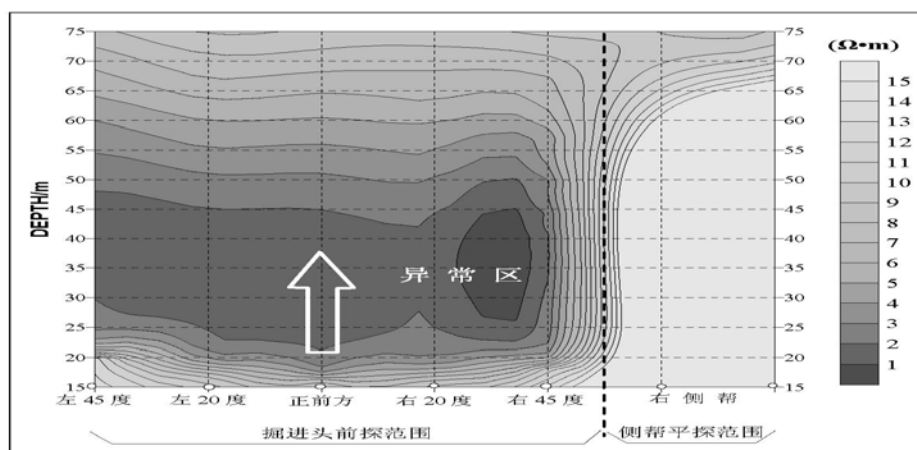


图 9 第三次跟踪探测结果

4) 图 10 是 2005 年 5 月 6 日进行的第四次超前探测。结果发现掘进头正前方 30—50m 段为横贯巷道走向的低阻区（图 10），由于异常呈条带状连续分布，判断为断层。当巷道向前掘进 18m 时开始打钻（保持安全距离不小于 10m），钻探进尺 18.5m（即位于探测时掘进头位置前方 36.5m）时出水，水量 $75 \text{ m}^3/\text{h}$ ，及时采取了治理措施。最后掘进证实此区段是一破碎带。

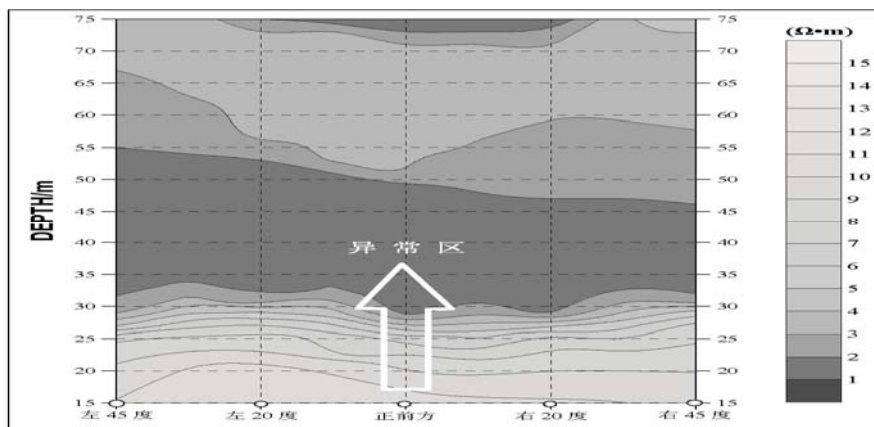


图 10 第四次跟踪探测结果

5) 图 11 是 2005 年 9 月 28 日进行的第五次超前探测。探测结果反映掘进头前方偏左存在一个低阻异常区 (图 11), 但规模不大, 电阻率也不是很低 ($>1 \Omega \cdot m$), 根据经验, 不会有大的水情。实际情况表明, 巷道在该区段的掘进过程比较顺利, 没有水情出现。但也表明, 该方法给出的结果并不完全都是真实的, 也可能给出假的低阻异常。产生这种现象的原因除了环境噪音外, 周围介质影响也可能是一个重要因素。换句话说, 虽然我们设定目标体位于探测面前方, 但不能排除探测面以外, 特别是后方介质的影响。

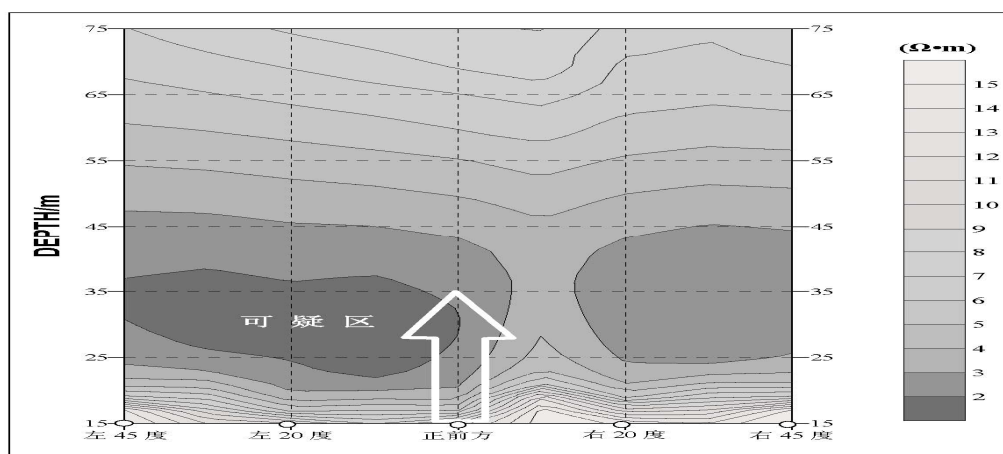


图 11 第五次跟踪探测结果

2. 在巷道内探测采区煤层底板储水构造

如前面 3.3 节所述, 在此类应用中采用共面偶极装置。现将河南一些煤矿在这方面的应用实例列举如下:

1) 图 12 为瞬变电磁仪在某西大巷向下帮 (平行岩层倾向) 侧向探测距离 110m 处有无平行西大巷走向、断距为 25 米的导水断层 (此断层是根据少量钻孔资料推测结论)。探测结论为: 110m 附近均为相对高阻, 不存在导水断层, 并得到钻探和巷探证实。

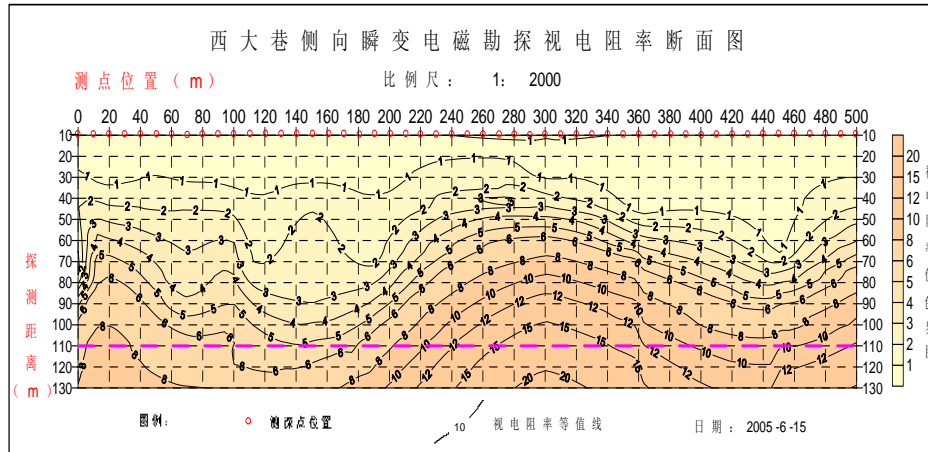


图 12 侧向探测导水断层

2) 图 13 为 15011 工作面下风道瞬变电磁 (45° 斜下方) 探测煤层底板岩层赋水性结果图。由图中看出, 该面通尺 40---260m 段为相对低阻区 (图中阴影部分), 低阻区呈上下连通状且导高较大, 探测结论为: 此区域在工作面回采时易发生底板突水, 应提前采取防水措施。(232m 处为已知底板出水点, 与物探结果吻合。)

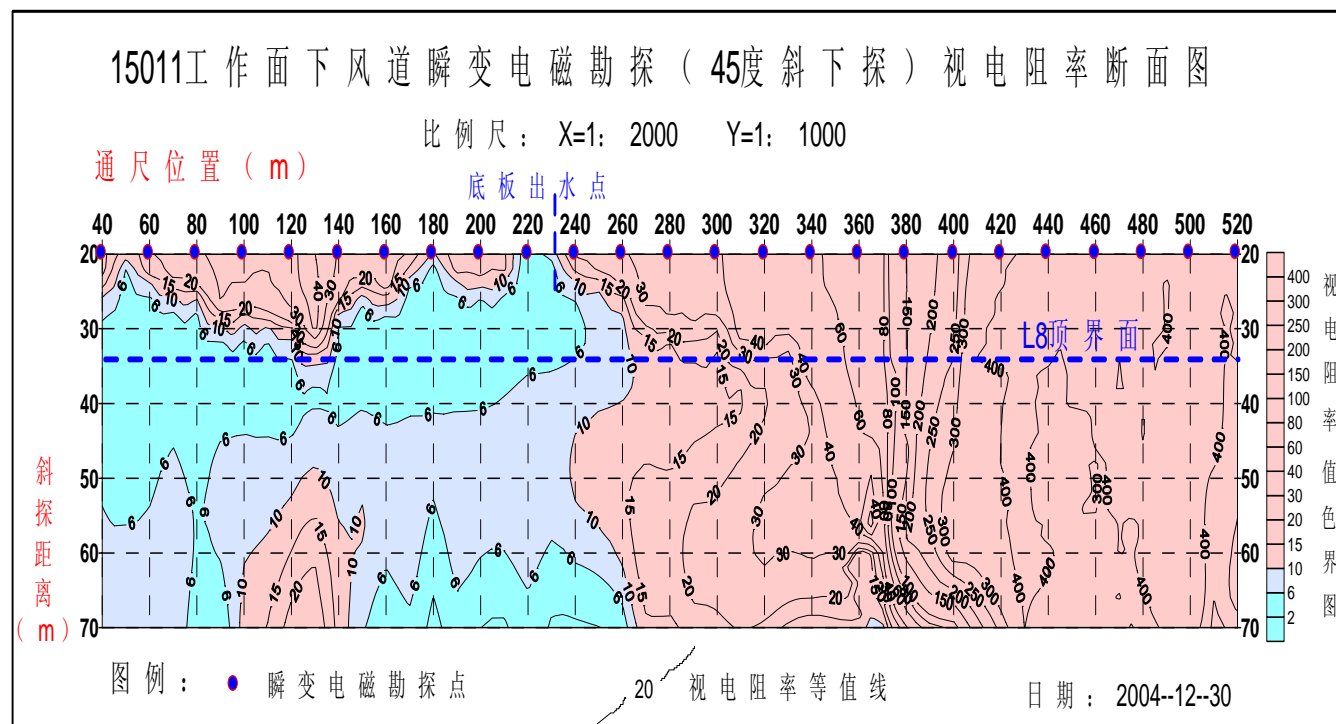


图 13 圈定工作面回采时易突水地段

3) 图 14 为瞬变电磁法在某矿西大巷确定放水 (疏水降压) 孔位置实例。瞬变电磁探测到 50m 附近巷道底板下方为低阻区中心区域, 在此布置了 4#放水孔出水量为 60m³/h。

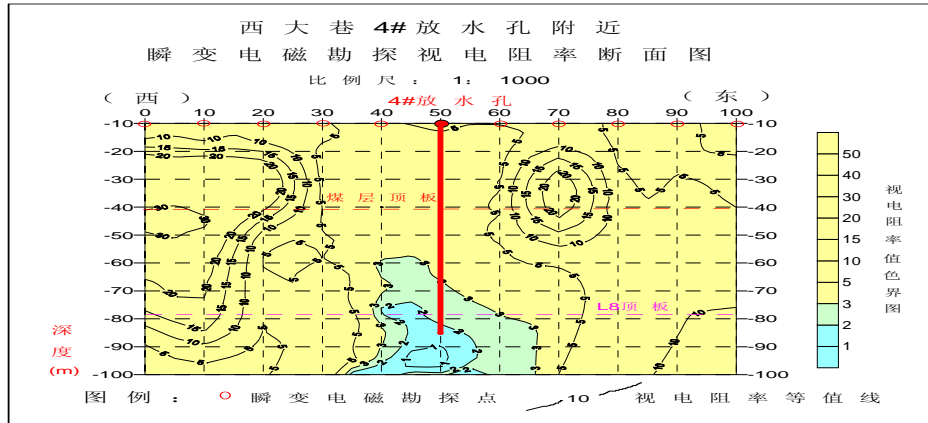


图 14 圈定放水（疏水降压）孔位置

4) 图 15 和图 16 分别为某工作面下顺槽底板注浆改造前、后瞬变电磁勘探（45°斜下方）结果对比图。注浆改造前物探结果显示，工作面中存在多处上下沟通状低阻异常区（纵向裂隙发育区，图中阴影部分）；注浆改造后物探结果显示，上下沟通状低阻区大多变为相对高阻区，剩余的少数深部低阻异常导高明显变小，说明注浆改造效果理想。斜距 50m 左右分布的横向窄带状浅部低阻异常，系注浆浆液迫挤水分的反映，此低阻区厚度及上下延伸较小，对工作面回采无影。

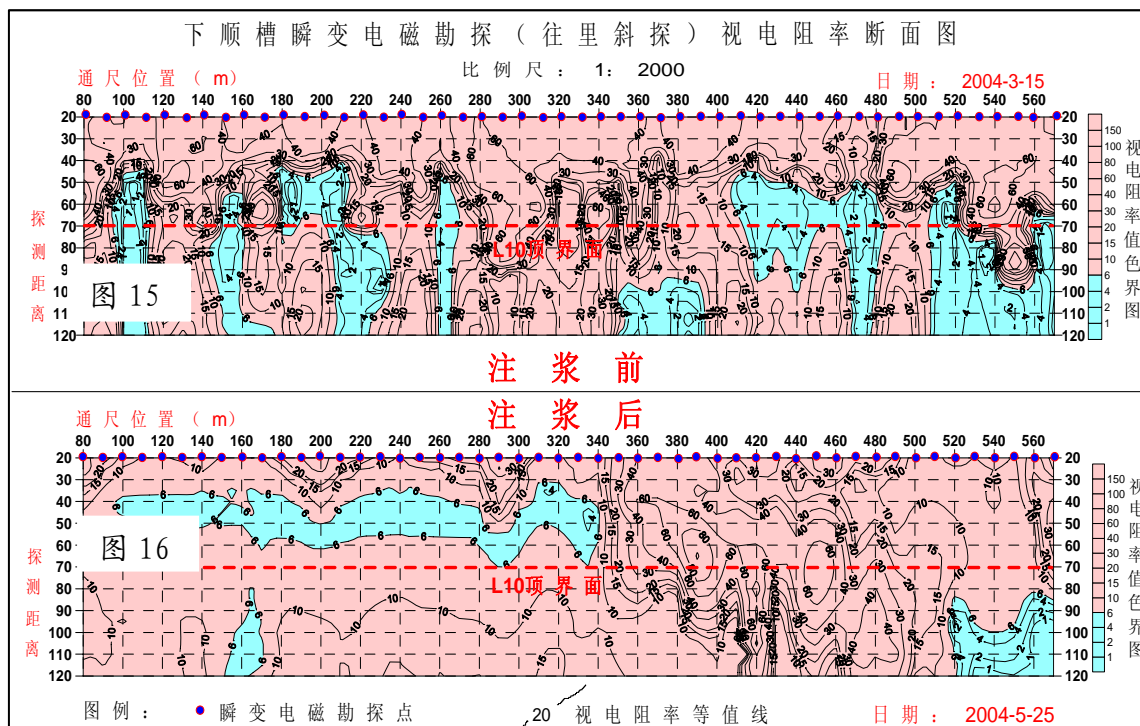


图 15 和图 16 煤层底板含水层注浆改造前、后效果对比

3. 探测巷道下方储水构造

图 17 和图 19 是河北省梧桐庄煤矿井下瞬变电磁法探测结果。

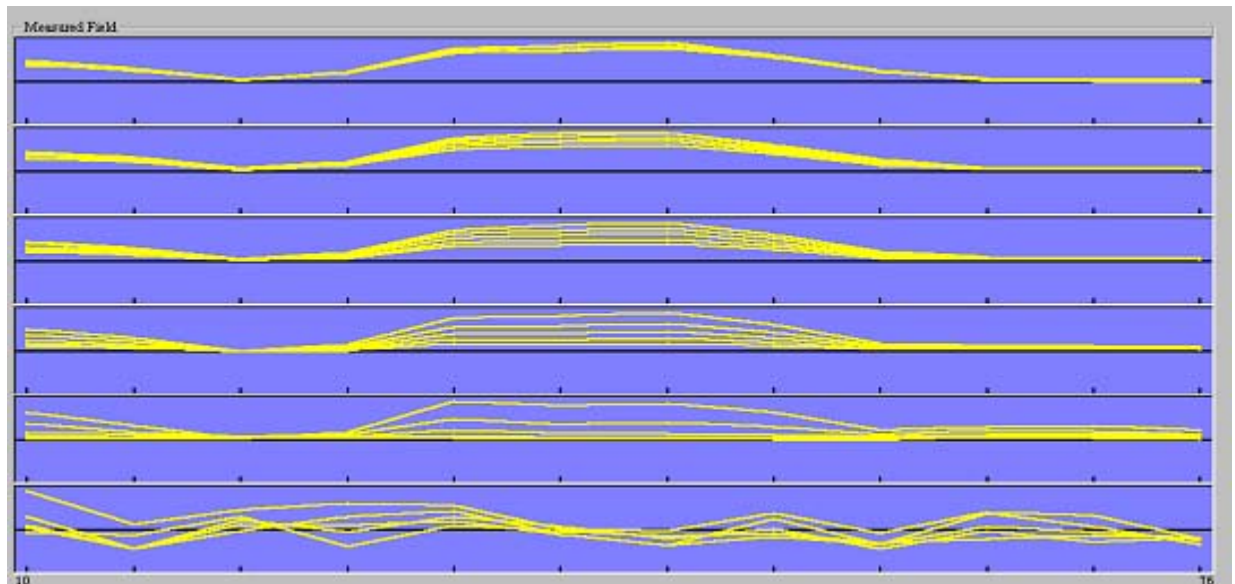


图 17 偶极方式

图 17 是沿测线的 TEM 响应曲线，该图是判断测区水异常最重要的依据。上图给出了瞬变场响应曲线，可见剖面中部具有强异常，是最可能含水的地方。

图中由上向下表示从早期道到晚期道的响应，反映了测量面由浅到深的异常情况。

发射/接收框的位置以及观测方式如下图所示

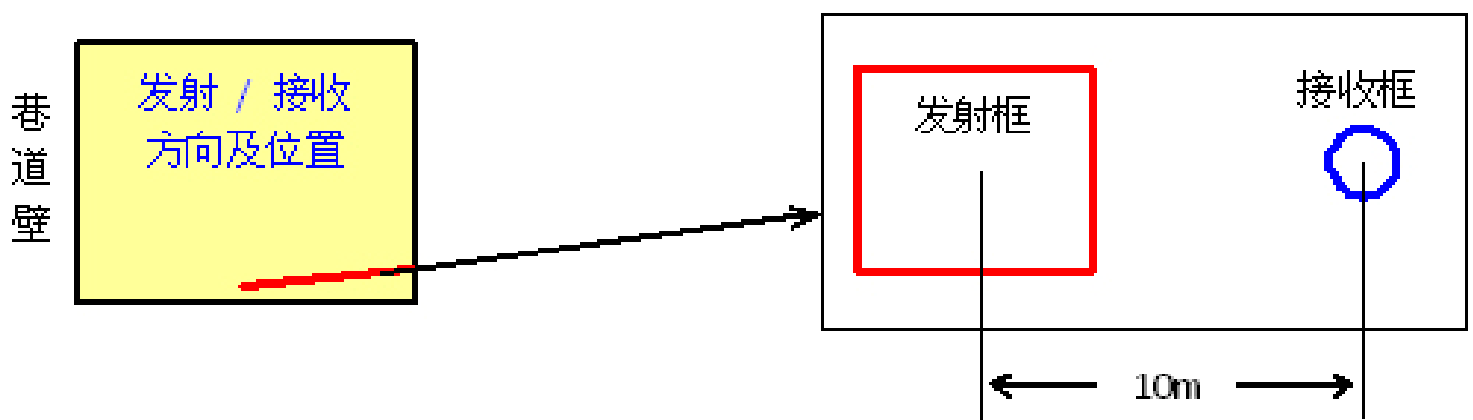


图 18 偶极方式

图 19 是根据图 17 中的瞬变场响应曲线，对井下储水构造的成像图，以及钻孔验证的出水量。

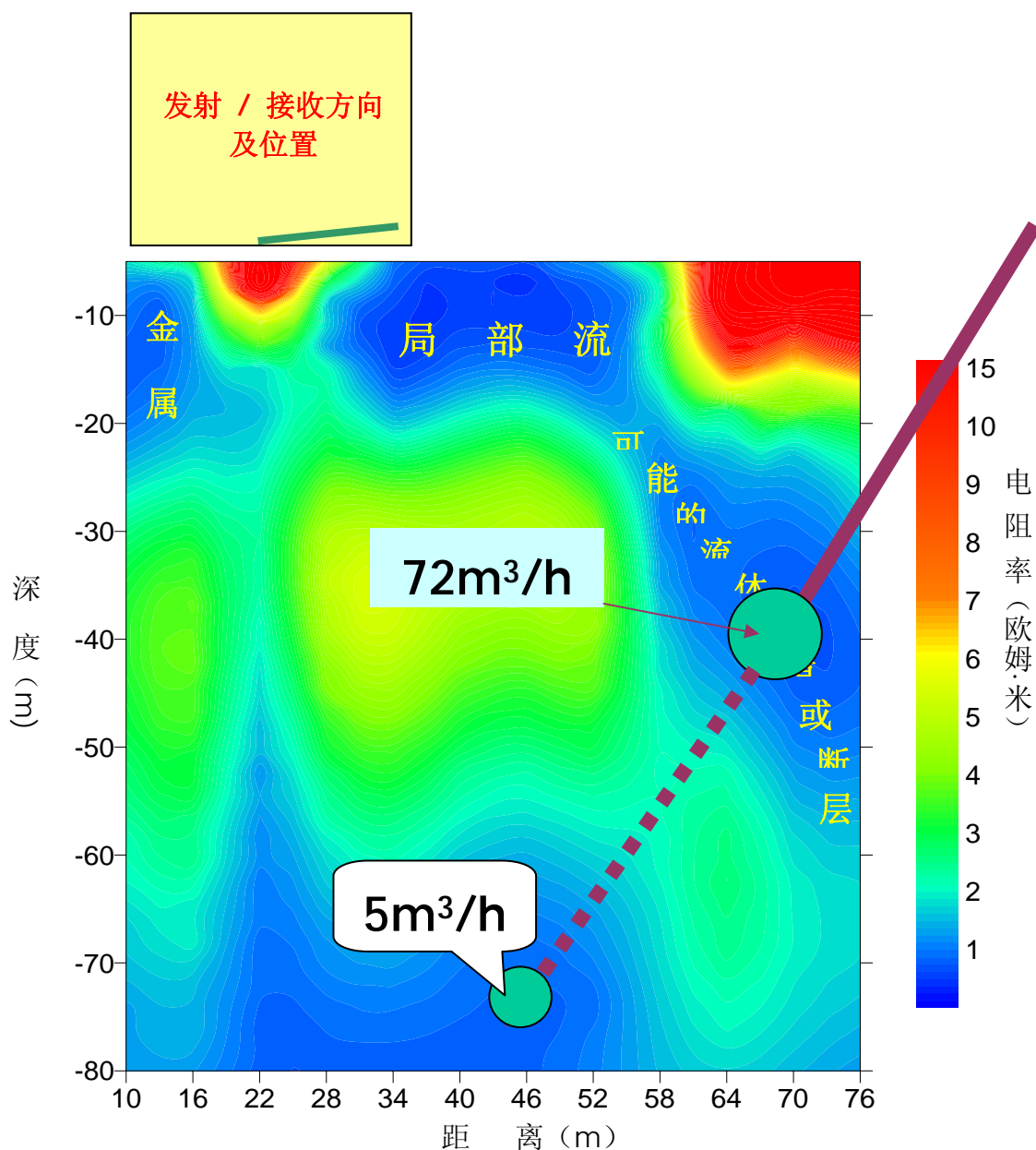


图 19 是储水构造成像

上述井下瞬变电磁法的应用实例，主要来自焦作煤业（集团）有限责任公司郭纯和刘白宇先生以及中科院地质与地球物理研究所白登海教授所发表的文章。