

Radio-Wave Penetration and Effect That the Geologicstructure Grasping the Essence of Law Lying Concealed In Northern Anhui Area Searching Experiences and Observes

HU Ying Xu¹, LI Lun², HUANG Jie³,

The permanent source coal electricity conglomerate Ren Lou coal mine produces Mintec^{1,2,3}Huai Bei Anhui City 235123

E-Mail: huyingxuhb@sina.com

Abstract: Radio-wave penetration method is mainly applied to detect the abnormality structures (collapse column, fault and thin coal layer area etc.), the main body of a book are geologicstructure concentrate on lying concealed in northern Anhui mining area searching having introduced that the airwave grasps the essence of law mainly. The primo has had obvious reporting from the characteristic explaining that method checks structural water electricity sex theoretically, has studied the imaging synthesizing curve analysis law and tier of Xi follows application in making an explanation in the data and. The article summarizes the hydrogeological characters of "V" and semi- "V" synthesis curve. By the fact that the example verifies after analysis, probing, spirit, the person bears fruit and the airwave gives an X-ray examination making an explanation infer the conclusion has fairly good fitting, have provided a basis in order the airwave will grasp the essence of carrying out following job next step.

Keywords: Radio-wave penetration; tomography; crytic hydrated structure

无线电波透视法在皖北地区寻找 隐伏地质构造体的应用及效果

胡应旭¹, 李论², 黄杰³

(恒源煤电集团公司任楼煤矿生产技术部^{1,2,3} 安徽淮北 235123)

E-Mail: huyingxuhb@sina.com

【摘要】 无线电波透视法主要应用于探测煤层内异常构造 (如陷落柱、断层、煤层变薄区等), 本文则重点介绍了无线电波透视法在皖北矿区寻找隐伏地质构造体的应用情况和地质效果。首先从理论上说明该方法对含水构造的电性特征有明显的反映, 并研究了综合曲线分析法和层析成像法在资料解释中的应用。总结了“V”字型及半“V”字型综合曲线所反映的水文地质特征。通过实例分析, 钻探、采后验证, 其结果与无线电波透视解释推断的结论有较好的吻合, 为下一步无线电波透视法工作的开展提供了依据。

【关键词】 无线电波透视法; 层析成像; 隐伏水文地质构造体

一、引言

无线电波透视法又称坑透法。在煤矿勘探中, 这种方法在确定矿体的空间位置及找寻钻孔、坑道与地面间、或钻孔间的盲矿体时, 得到了相当的发展, 取得了明显的地质效果。采用无线电波透视仪 WKT-E-F (J) 对隐伏导、含水地质构造体进行探测研究, 在皖北矿区井下进行探测陷落柱、断层及其它隐伏导、含水地质构造体的工作上已取得了良好效果。据近几年在煤矿上生产实践证明, 无线电波透视法 (煤矿上通称坑透法) 在用于矿井地质工作中, 可在一定地质和矿井条件下配合其它矿井物探方法, 能取得明显的地质效果。

二、无线电波透视法工作原理

无线电波透视法是借助于研究高频电磁波在岩石中传播的规律, 从而揭示出地下小构造形态的一种物探方法。由于各种岩石电性 (电阻率 ρ 和介电常数 ϵ) 不同, 它们对电磁波能量的吸收有一定的差异, 电阻率较低时, 吸收电磁波的作用较强; 此外, 由于地下出现各种构造, 如断层、陷落柱等, 它们对电磁波产生反射和折射作用, 也造成电磁波能量的损耗。基于上述原因, 如果发射机与接收机间电磁波传播途径中, 若遇到煤层陷落柱、断层或导电的金属矿体等, 电磁波将被吸收或完全屏蔽, 于是在接收机上拾得的信号显著减弱甚至收不到有用信号, 从而形成了“阴影”区。即电磁波明显衰减的透射异常带 (如图 1)。如果变换发射机和接收机的位置, 测得同一异常的“阴影”

区, 这些“阴影区”交汇的地方, 就是异常地质体的位置。^[1,2] 目前的仪器, 只测固定频率的透射电磁波的磁场(或电场)振幅分量。在电磁波射线路径上

介质电磁性质的变化和波阻抗的变化, 造成电磁场强度的变化; 分析电磁场强度的变化, 就可以预测测区介质的物性变化。

煤层中传播的电磁波在介质中任意点的场强表达式可表示为

$$H = H_0 \frac{e^{-\beta r}}{r} \sin \theta \quad (1)$$

式中: H 为介质中某点的实测场强, 单位: μV ;

H_0 为决定发射功率和周围介质的初始辐射场强, 单位: μV ;

r 为发射机与接收机之间的直线距离, 单位: m ;

β 为决定于工作频率、介质电阻率、介质磁导率、介电常数等参数的介质吸收系数, 单位: 奈培/ m ;

θ 为发射天线轴与观测点方向间的夹角。

显然, H 值随 r 和 β 而变化, 其中射线路径上 β 值的变化, 是使 H 值发生异常变化的关键因素。

$$\beta = \omega \sqrt{\mu \epsilon} \sqrt{\frac{1}{2} \left[\left(1 + \frac{\sigma^2}{\omega^2 \epsilon^2} \right)^{1/2} - 1 \right]} \quad (2)$$

由式(2)可知, 在一定频率($\omega=2\pi f$)时, β 值是煤或岩石的介电常数 ϵ , 磁导率 μ , 电导率 σ 的函数。由于煤层与顶底板岩石介电常数有较大差异, 而磁导率变化很小, 所以在电磁波射线路径上出现煤层与岩层的交替时, 就发生 β 与 H 值的明显变化。又由于煤层相对于顶底板岩层是一种波导介质, 当它厚度发生变化时(如煤层变薄), 其波阻抗就发生变化, 也造成 β 与 H 值的变化。

三、资料的整理与解释

在无线电波透视法资料的解释方法中有综合曲线法和层析成像法, 在皖北矿区主要采用综合曲线和层析成像相互结合的方法进行处理解释。

3.1 综合曲线法

将各观测点实测场强值 H 与各点按理论公式计算出的场强值 H_0 进行比较, 用 η 表示比值大小, 称为衰减系数, 即

$$\eta = H/H_0 \quad (3)$$

在无限均匀各向同性介质中, 应有 $H=H_0$, $\eta=1$ 但

由于煤层或岩石的不均匀性及观测误差, 实际上 η 只是近似等于 1。如果 η 值发生变化, 可根据 η 值大小并结合地质条件, 来分析异常性质。如图是把实测场强值、计算的理论场强值及衰减系数值绘在同一张坐标

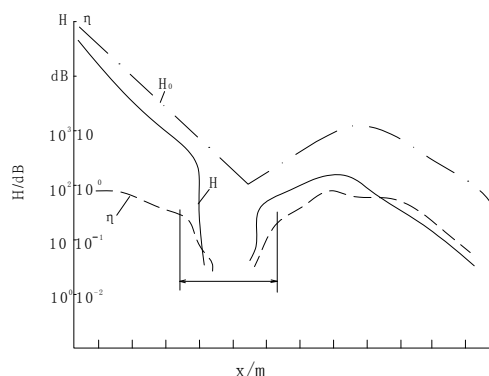


Figure.1 Synthetical curve

H_0 - Theory field intensity curve; H - Reality measures the field intensity curve;
 η - Attenuation coefficient curve

图 1 综合曲线图

H_0 -理论场强曲线; H -实测场强曲线; η -衰减系数曲线

标图上, 横坐标为观测点, 纵坐标为场强值和 η 值, 相应各点连线便得到实测场强、理论场强及衰减系数三条曲线, 即所谓的透视综合曲线图, 如图 1 所示。根据图 1 中各参数的曲线特征, 可圈定出异常体的边界点(或中心点), 将边界点(或中心点)与对应的发射点相连, 此线就表示隐伏含水构造几何阴影范围。根据多条连线交汇, 就可圈定出异常体的位置, 综合曲线图是无线电波透视法资料的解释推断的主要图件。

3.2 层析成像法

电磁波在介质中近似为直线传播必须满足以下三个条件:

首先射线的长度 r (发射点与接收点之间的直线距离) 必须大于 $\lambda/2\pi$, 这里 λ 是电磁波在介质中的波长。在目前的仪器和工作面几何条件下, 经常使用的电磁波工作频率为 0.3~1.5MHz, 其波长在 70~200m 间, 而综采工作面宽度一般为 150m 左右, 其射线长度在 140~180m 间, 满足 $r > \lambda/2\pi$ 条件。

其次, 电磁波在介质中传播的折射率随距离的变化

应足够小，也就是折射率近似为一常数。在实际中，当煤层和顶底板岩层较为均一时，顺层传播的电磁波基本满足这一条件。

最后一个条件是 $\lambda \leq \pi\delta$ ，这里 δ 是介质中的趋肤深度。趋肤深度是电磁波能量的有效穿透深度，为 $\delta = \sqrt{2/\sigma\mu\omega}$ 。煤是一种磁性极其微弱的物质，其相对磁导率近似等于 1，很显然这个条件也能够满足。

由于综采工作面煤层的倾角都小于 25° ，发射天线与观测点方向近乎正交，即在 $\theta=90^\circ$ 时，式 (1) 变为：

$$H=H_0 \frac{e^{-\beta r}}{r} \quad (4)$$

对式 (4) 两边取对数，经变换后可得：

$$\beta r = H_0 - H - \lg r \quad (5)$$

如图 2 所示是一个工作面被网格化后的示意图。把网格化后每个均匀的小块称为一个像素，在此区域内有一条射线 y_i 穿过了衰减系数分别为 $x_1, x_2, \dots, x_n$ 的诸像素，并在这些像素上的截距分别为 $d_{i1}, d_{i2}, \dots, d_{in}$ 。这样在第 i 条射线路径上则有：

$$\beta r = \sum_{j=1}^n d_{ij} x_j \quad (6)$$

把式 (6) 带入式 (4) 中可得到第 i 条射线的方程：

$$\sum_{j=1}^n d_{ij} x_j = y_i \quad (7)$$

这里 $y_i = H_0 - H_i - 10 \lg r_i \quad (8)$

式中： H_i 是第 i 次观测的实测场强值。

r_i 是第 i 条射线长度，即 $r_i = \sum_{j=1}^n d_{ij}$

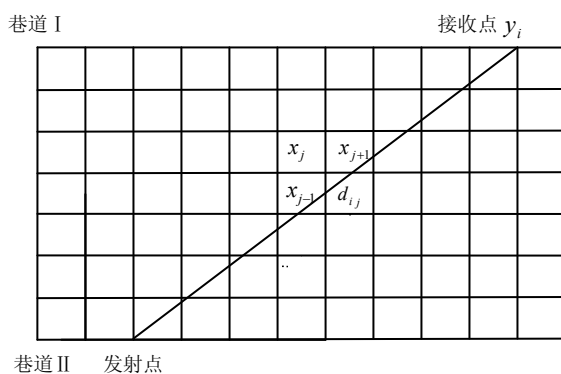


Figure.2 Dissect grid of tomography

图 2 层析成像剖分示意图

若进行多重观测，即用多个波源发射，对每个发射点进行多点接收测量，即得到如下矩阵方程：

$$\begin{bmatrix} d_{11} & d_{12} & \cdots & d_{1n} \\ d_{21} & d_{22} & \cdots & d_{2n} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ d_{m1} & d_{m2} & \cdots & d_{mn} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \vdots \\ y_n \end{bmatrix} \quad (9)$$

也就是 $[D] \cdot [X] = [Y] \quad (10)$

式中： $[D]$ 是 $m \times n$ 阶系数矩阵，为射线穿过诸像素的截距。其中 D 的元素 d_{ij} 是第 i 次观测中射线被第 j 个像素的截距。 $i=1, 2, \dots, m$ ， m 是射线总条数（观测次数）。 $j=1, 2, \dots, n$ ， n 是工作面网格化后像素的个数。

$[X]$ 是 $n \times 1$ 阶未知数矩阵，代表诸像素的绝对衰减。

$[Y]$ 是 $m \times 1$ 阶常数矩阵，代表各观测方式下与实测场强有关的常数。

由于方程 (9) 的建立是基于各像素绝对衰减作用的叠加，因此求得各像素的绝对衰减系数也体现了介质的物性。把每个像素的值用图（色块图、灰度图、等值线图或立体图）表示出来，也就是层析成像图。此图像直观表示了工作面内异常分布情况，对它可做出相应的地球物理解释。^[3,4]

四、应用探测实例分析

皖北矿区的水害，主要有任楼煤矿的隐伏导水陷落柱和刘桥一矿、刘桥二矿的底板灰岩水及祁东煤矿的导含水陷落柱引起的。煤层陷落柱的出现，严重的破坏了煤系地层的连续性，往往伴随着煤层产状的变化、裂隙的发育、小断层增多、甚至大量充水等，这些地质构造对电磁波能量大量吸收，反映在无线电波透视综合曲线图上有明显的特征，这就为利用透视法确定它们的空间位置建立了物理基础。

1、任楼煤矿 7₂₁₈ 陷落柱探测及验证情况

1.1 探测概况

任楼煤矿 7₂₁₈ 工作面为综采工作面，煤层赋存稳定，平均煤厚为 4.8m，内生裂隙发育，煤以块状及碎块状为主，中间夹一层约 0.4m 的炭质泥岩夹矸。在工作面掘进任务完成后，在工作面机巷、风巷及切眼均未揭露大的含水构造异常体。距机巷迎头 80~95m 范围内工作面一侧煤层出水，随后巷道内出现大面积积水，初始水量 3~5m³/h，后逐渐增大到 9m³/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见图 3）。

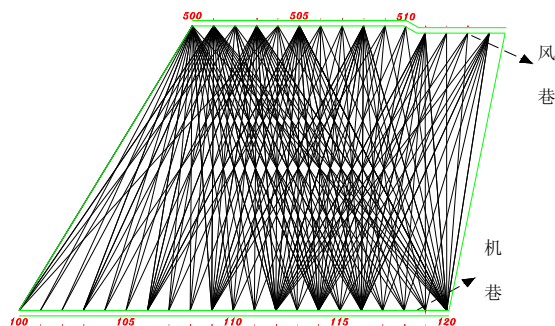


Figure.3 Radial of radio-wave penetration in 7218 coal working face

图 3 7₂18 工作面无线电波透视射线示意图

本次井下探测采用 10~19 次定点覆盖测量,接收点距 10m,发射点距 10~40m 加密,探测工作频率 0.5MHz。从接收无线电磁信号可知,在 7₂18 工作面机巷迎头上帮存在一明显异常区,异常衰减值为-13~-38db。图 4 为定点观测综合曲线图,其中 (a)、(b) 分别为风巷的 500、505 号发射点在机巷接收的场强曲线, (c)、(d) 为机巷 109、116 号发射点在风巷接收的场强曲线图。图 4 (a)、(b) 和图 4 (d) 曲线呈现“V”字型, (c) 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 4 (a)、(b) 和图 4 (d) 只有一部分受到影响。以上分析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到如图 5 所示的解释成果图,即在距离迎头 70~110m 范围内,煤层内 20m 处存在陷落柱构造异常,为进一步采用钻探验证提供了布孔靶区。

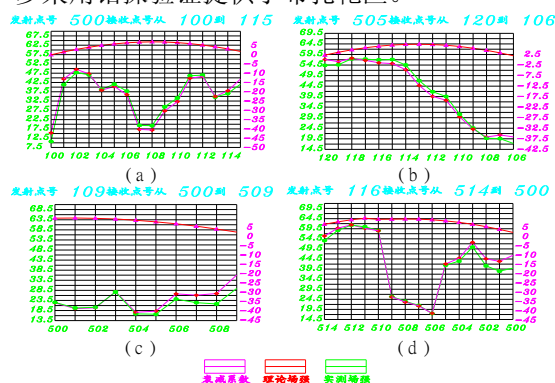


Figure.4 Synthetical curve of radio-wave penetration method in 7218 coal working face

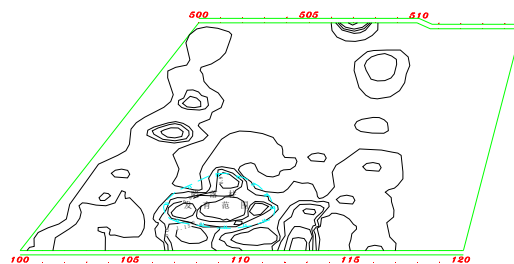
图 4 7₂18 工作面无线电波透视综合曲线图

Figure.5 Survey result of radio-wave penetration method in 7218 coal working face

图 5 7₂18 工作面无线电波透视法成果图

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~-38dB,在陷落柱的周围,异常区幅度逐渐减弱,衰减值为-13~-33dB。因 7₂18 陷落柱位于现工作面中间,两巷均有较好的探测环境。从该面无线电波透视综合曲线图,曲线表现出半“V”字型、“V”字型及漏斗型典型的水文特征曲线(水文特征曲线之所以有多种形态,原因为发射点位置与陷落柱的位置是一种动态关系,造成电磁波穿越陷落柱范围不一样所造成的)。发射点远离陷落柱一侧时,其接收场强曲线呈漏斗状,“V”字型或半“V”字型(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。

1.2 钻探、回采验证

为了进一步验证物探成果的可靠性和控制陷落柱的平面位置,在 7₂15 轨道石门布置了 4 个探查钻孔,钻孔布置平面图如图 6 所示。为确保安全,在每个钻孔均安装了孔口套管,经注浆加固、耐压试验合格后方能继续钻进。

1 号探查孔钻进 58m 时出水,初始水量为 1.5m³/h、水压 3.2MPa; 62m 时,水量增至 36m³/h、水压 2.8MPa; 终孔深度为 192.2m,水量稳定为 40m³/h。1 周后,钻孔水量突增至 350m³/h、水压达 5.25MPa、水温 43℃,具明显的滞后出水特征,说明钻孔已打穿陷落柱体。2 号孔在 7、8 煤间钻进,终孔深度 205.16m,全孔均无破碎带及出水现象,说明陷落柱未穿过 8 煤。3、4 号孔设计穿 8 煤层,分别在 68m 及 74m 处出水顶钻,无法继续施工,说明 3、4 号孔均已揭露陷落柱。通过物探、钻探综合分析,已控制了 7₂18 陷落柱的空间位置,经相应的防治水手段处理,工作面已经安全回采完毕。回采揭露表明:在 7₂18 机巷迎头上帮 20m 左右存在一导水陷落柱(即 7₂18 陷落柱)。

五、结束语

我矿多年在本矿及周边矿区开展无线电波透视工作，初步探索了一套煤矿无线电波透视工作的数据采集、数据处理和资料解释方法技术。它对于发现并圈定隐伏或半隐伏侵入煤体，查明与围岩的接触关系和地层构造情况是行之有效的。通过采后工程验证，证实该物探方法技术是成功的，可以在类似矿区的地质勘探工作中推广应用。并总结出了特征综合场强曲线的原则解释方法，以供推广借鉴。

1) “V”字型或“漏斗”型特征综合场强曲线的出现，是无线电波透视法判断确定隐伏水文地质构造的首要条件。

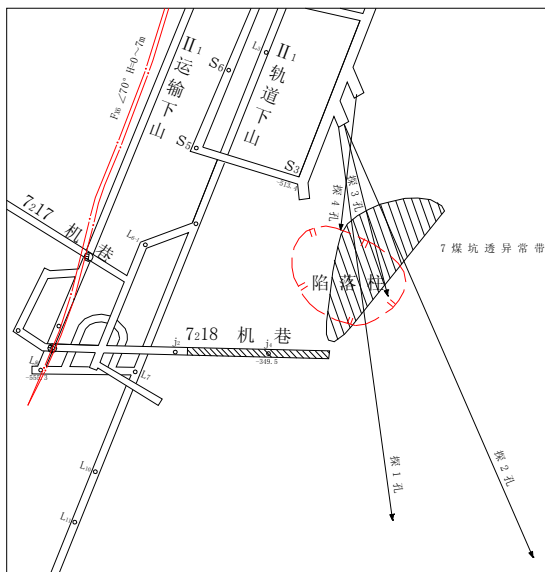


Figure.6 Drill searching a project arranging a plan

图6 钻孔探查工程布置平面图

2) 半“V”字型特征综合场强曲线的出现。受工作面探测范围的限制，电磁波穿透部分隐伏水文地质构造时，其场强曲线则表现为半“V”字型。

3) 要综合分析工作面切眼及两巷道揭露的已知地质资料。当无线电波透视综合场强曲线出现“漏斗”型、“V”字型或半“V”字型特征曲线时，应调查两巷煤、岩层赋存的稳定性，没有出现断层、煤层变薄带等地质构造，则可判断此异常为隐伏水文地质构造异常。如此异常的衰减值超过-25dB 时，则此异常应按强隐伏导、含水异常给予定性、定量解释。

4) 从无线电波透视综合探测曲线特征分析：发射点远离隐伏含水构造一侧时，其发射点对应的接收数据曲线呈“漏斗”型、“V”字型或半“V”字型；发射点靠近陷落柱一侧时，其接收数据曲线整体远离理论探测曲线。

References (参考文献):

- [1] Li Zhidan. Coal field electricity law prospects. Shaft the earth physics prospects method [M]. Xu Zhou. Press of China University of Mining Technology, 1990(Ch).
李志聃. 煤田电法勘探 矿井地球物理勘探方法 [M]. 徐州 中国矿业大学出版社, 1990.
- [2] Tang Youyi, Chen Jiangfeng, Peng Lishi. Radio-wave penetration the essence of structure coal go into [J]. Coal academic journal, 2002, 27(3), P254-258(Ch).
汤友谊, 陈江峰, 彭立世. 无线电波坑道透视构造煤的研究 [J]. 煤炭学报, 2002, 27(3), P254-258.
- [3] Dong Shouhua. Tier of Xi imaging grasps the essence of application in Radio-wave penetration [J]. Journal of China University of Mining & Technology, 2003, 32(5), P579-582(Ch).
董守华. 层析成像在巷道无线电波透视法中的应用 [J]. 中国矿业大学学报, 2003, 32(5), P579-582.
- [4] Wang Qi. Radio-wave penetration In chromatographic analysis image formation numerical model design and special handling [J]. The thing is fished for melt explore the technology secretly scheming against, 1998, 20(2), P156-160(Ch).
王琦. 坑道无线电波透视层析成像中数字模型的设计与特殊处理 [J]. 物探化探计算技术, 1998, 20(2), P156-160.
- [5] Wu Yuhua. Pit water makes integrated control technology study. Xu Zhou. Press of China University of Mining Technology, 2006(Ch).
吴玉华. 矿井水害综合防治技术研究. 徐州 中国矿业大学出版社, 2006.