

地下空区探测方法有效性研究

高 勇¹, 徐白山², 王启军³, 方玉满¹, 田 钢²

(1. 辽宁省冶金地质勘查局, 辽宁 鞍山 114002; 2. 吉林大学 地球探测科学与技术学院, 吉林 长春 130026;

3. 东北煤田第二物探公司, 吉林 长春 130011)

摘 要: 针对鞍山地区存在大量地下空区的现状, 利用综合物探方法对地下空区进行探测试验。对地质雷达法、瞬变电磁法、浅震反射波法、瞬态瑞雷波法和高密度电阻率法的探深试验结果进行了评述。

关键词: 综合地球物理勘探方法; 地下空区; 鞍山; 辽宁省

中图分类号: P631 文献标识码: A 文章编号: 1001-1412(2003)02-0126-05

1 前言

鞍山市是我国著名的钢铁工业基地。经过半个世纪的矿山生产活动, 已形成许多矿山采空区, 特别是日伪时期的掠夺式开采所遗留采空区的资料已无法查找。统计资料表明, 矿山采空区面积占现开采面积的20%左右。这些采空区已成为新的地质灾害源, 日益严重地威胁着矿山生产和人们的生命财产安全。为减轻和预防由地下采空区所引发的地质灾害, 完善城市规划建设和建立地质灾害预警系统, 鞍山市规划和国土资源局已把矿山采空区的探测作为矿山安全生产和城市规划的重要科学依据。因此, 探索用综合物探方法探测地下空区的有效性和适用性是势在必行的。

本次试验工作的靶区选择在鞍山钢铁公司齐大山铁矿采空区、鞍山—千山公路东山隧道、鞍山市海城华子峪镁矿采空区。进行不同方法的综合物探试验工作, 采用的主要方法有地质雷达法、瞬变电磁法、浅震反射波法、瞬态瑞雷波法、高密度电阻率法。

2 地质条件及地球物理特征

2.1 空区类型

地下采空区按充填介质可划分为空气充填型、

地下水充填型和泥砂充填型。其中鞍山—千山公路东山隧道和鞍山市海城华子峪镁矿采空区为空气充填型; 鞍山钢铁公司齐大山铁矿采空区为地下水充填型和泥砂充填型。

2.2 地质条件

2.2.1 鞍山钢铁公司齐大山铁矿采空区

试验区基岩裸露, 表层风化, 山坡地貌。基岩岩性分别为花岗岩、二长花岗岩、云母石英片岩、绿泥石英片岩、千枚岩、片岩及石英岩、白云大理岩和黑云母片岩、粉砂岩和粉砂质页岩。

铁矿采空区共分5层, 深度分别在海拔-50 m, -88 m, -115 m, -130 m, -182 m。空区走向及形态复杂, 充填介质为地下水。

2.2.2 鞍山市海城华子峪镁矿采空区

试验区为正在开采区域, 基岩裸露, 山坡地貌。岩性主要为白云岩和千枚岩, 表层风化。采空区形态复杂, 顶部埋深为10~30 m, 充填介质为空气。

2.2.3 鞍山—千山公路东山隧道

试验区位于鞍山—千山公路隧道顶部, 基岩裸露, 岩性为花岗岩, 表层风化, 空区类型为两条岩石平巷被覆隧道。每条隧道截面宽均为7 m, 高分别为4.9 m和6.2 m, 两隧道间距为24 m, 上覆基岩厚度54 m。

2.3 地球物理特征

尽管各自的地质条件不同, 或被空气、地下水、泥砂等介质所充填。空区内介质与围岩相比, 都存在明显的物性差异, 具备各种物探方法试验的地球物

理前提。

电磁波: 由于地质雷达波的反射仅发生在地下介质的介电常数发生变化的部位, 引起介电常数发生变化的因素主要是介质电性的不同、相对密度的改变、介质含水量的变化等。

地震反射波: 地下空区不论被什么介质所充填, 在其边缘部位都存在一个明显的波阻抗反射界面, 空区内介质和围岩介质的波速存在明显的差异, 浅震反射波法和瞬态瑞雷波法正是利用这一物理前提来探测地下空区的。

电性: 空区内部被空气所充填, 表现出高阻特征; 其内部被水、泥砂等介质所充填, 表现出低阻特征。电法探测正是利用物质的这些电性差异来寻找地下空区的。

主要介质的物性参数如表 3。

表 3 主要介质的物性参数

Table 3 Physical property parameters of media				
介质名称	视电阻率 $\rho(\Omega \cdot m)$	纵波速 $v_p(m/s)$	横波速 $v_s(m/s)$	雷达波速度 $v(cm/ns)$
水	< 100	1400~1600		3.3
空气	∞	310~360		30
粘土	1~ 200	1200~2800	500~1500	9
风化层	50~ 500	100~500	60~300	9.5
灰岩、白云岩	$10^2 \sim 10^3$	3200~5500	360~1160	10.4
花岗岩	$10^3 \sim 10^6$	4000~6000	3300	12.5

3 试验方法概述

地质雷达法、瞬变电磁法、浅震反射波法、瞬态瑞雷波法、高密度电阻率法等方法在当今比较先进的物探方法。

(1) 地质雷达法。可广泛用于岩层定量研究, 包括描述断层和岩脉、绘制裂隙图、确定剪应力区和深部风化作用, 以及描述不同岩性的岩体接触面。近年来, 我国对地质雷达方法开展了大量的研究和应用, 应用领域已涉及水、工、环等方面的地球物理勘查工作。国际上加拿大、美国、南非等国家相继将地质雷达 (GPR) 技术应用于采矿工程中, 如探测残金属矿中地质不连续面、矿柱完整性和废石充填体中的空洞。实验结果表明, 在硬岩矿山环境中地质雷达应用是成功的。

(2) 瞬变电磁法(TEM)。又称时间域电磁法。是通过观测时间域断电后的二次瞬变电磁场衰减值的变化来区分地下不同深度的电场分布状态, 故包含与地质体相关的很多信息, 通过测线上不同测点的时间域电阻率变化来解释不同深度的地质层位变化。

(3) 浅震反射波法。是采用人工激发震源, 使震源附近的质点产生震动, 形成地震波在地下介质中传播, 当遇到两种不同弹性介质界面时, 便产生反射, 利用反射波的强度、频谱、相位、波长和反射波的传播时间和空间的关系(反射波的走时规律) 来判断不同的介质, 从而解决相关的地质问题。

(4) 瞬态瑞雷波法。是由地面一点激发出不同频率的瞬态瑞雷波, 波沿地面表层传播, 同一频率(波长) 的传播特性反映了地质介质在水平方向的变化情况, 不同频率(波长) 的传播特性反映着不同深度的地质介质的变化。该方法正是利用瞬态瑞雷波在分层介质中传播时的频散特性和传播速度与介质的物理力学的密切相关性来解决有关地质问题。

(5) 高密度电阻率法。原理与常规的电阻率法基本相同, 是以岩土体的电性差异为基础, 使用阵列的探测方法, 采用温纳、微分、偶极等三电位电极系, 集测深法和剖面法为一体的综合观测系统。可以一次性采集大量数据, 经过处理, 可将地电断面呈像出来, 通过分析某一地段电阻率的纵、横向变化的规律来发现地下目标体。

4 试验成果评述

对 9 个已知或未知地下空区, 进行了 5 种物探方法试验。仪器设备: 地质雷达法使用的仪器为美国 GSSI 公司生产的 SIR-2 型地质雷达仪; 瞬变电磁法使用的仪器为 LC 电法观测系统(即强场源瞬变电磁测深仪); 浅震反射波法和瞬态瑞雷波法使用的仪器为 GEOPEN 系列 SE2404A 型 24 道浮点地震仪; 高密度电阻率法使用的仪器为 MIR-1C 多功能直流电测仪。共发现了 28 个异常, 并确定了空区位置、深度、宽度等。下面就各方法的技术成果进行讨论。

4.1 地质雷达

总体来看, 对埋深在 30 m 以内的目标体有较清楚的异常反映, 异常越浅特征越明显, 解释准确率越高。存在空区时, 波形相位出现空室震荡, 顶部发生绕射, 频谱成分发生分化, 该异常特征适合鞍山地区

各类型空区。空气充填, 异常清楚, 误差较小。解释成果与已知资料吻合。对埋深大于 30 m 的目标体, 如人工采掘面大时可产生地表层下陷的迹象, 从而可确定隧道和构造地面投影位置, 但异常的属性需综合物探方法和地质资料确定(图 1a)。

分辨率: 单一使用地质雷达法, 可获得清楚的图

像异常, 结合相关的地质资料, 通过现场试验结果, 选择合理的工作参数和正确的天线频率, 可使分辨率提高。地质雷达法通常可获得目标体的顶板和边界反射雷达波, 不规则体底界和边界难以确定, 可利用综合方法互补, 最大限度地克服其局限性, 使成果客观地反映实际地质现象。

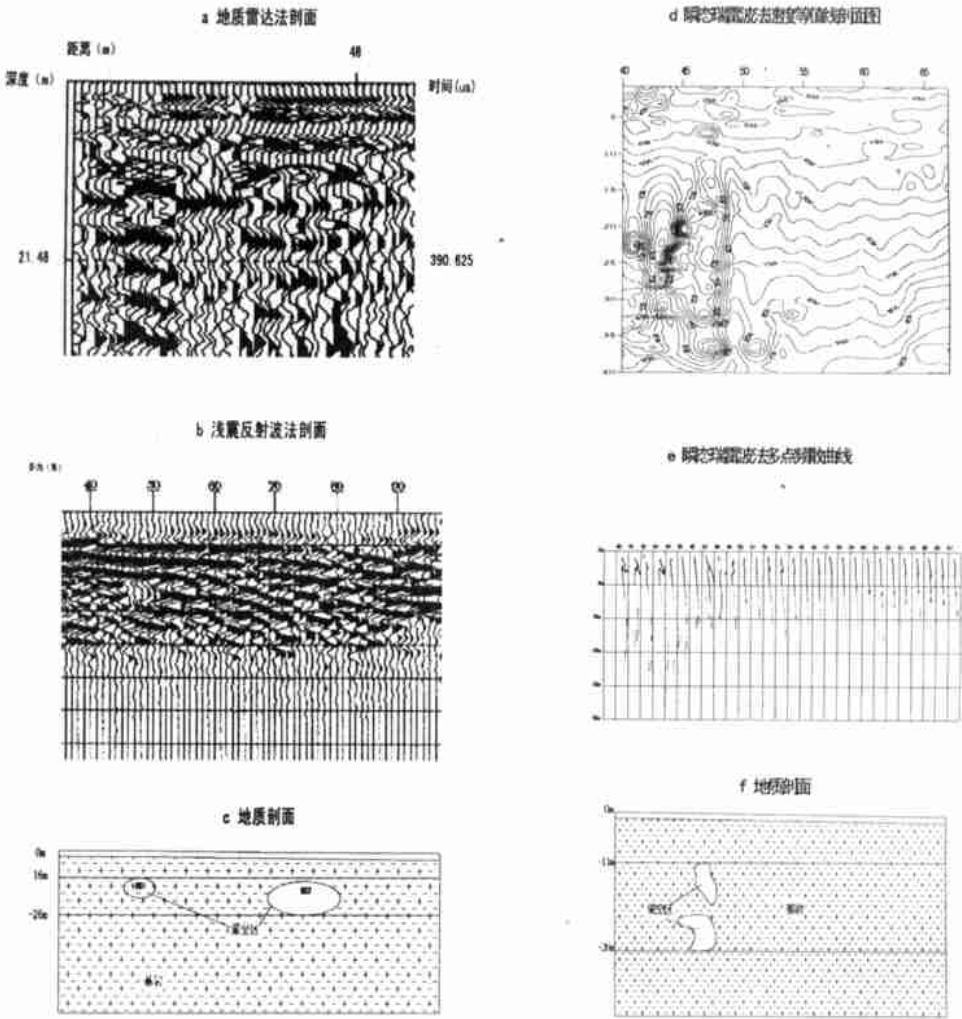


图 1 地质雷达法、浅震反射波法、瑞雷波法对地下空区的探测结果
Fig. 1 Diagram showing the detect results of the underground mined-out areas by georadar, shallow seismic wave and rayleigh wave melheds

4.2 瞬变电磁法

探测深度较大, 最大可达 1 000 m。其高低阻电阻率异常表现明显, 容易识别。其异常特征表现为: 空气充填型空区, 其视电阻率等值线出现高阻异常; 地下水、泥砂充填型空区, 其视电阻率等值线出现低阻异常。空气充填型, 位置误差较小, 精度较高。地下岩溶、铁矿采空区等属地下水、泥砂充填型空区的其低阻异常的分布范围大, 精度较低。电性在其分界面上不能产生阶变, 而是一种渐变的过程, 异常晕宽,

所以产生的误差也较大。只有提高资料的解释精度来加以解决(图 2)。

分辨率: 点距相对于目标体的大小是影响横向分辨率的主要因素。要识别大范围深度内的目标体, 则必须提高仪器本身的采样点数。瞬变电磁法寻找地下深部空区有独到之处, 可发现多层采空区, 解释精度与充填介质的电性差异有关。

4.3 锤击震源浅震反射波法

有效勘探深度为 100 m, 天然型空区可确定其

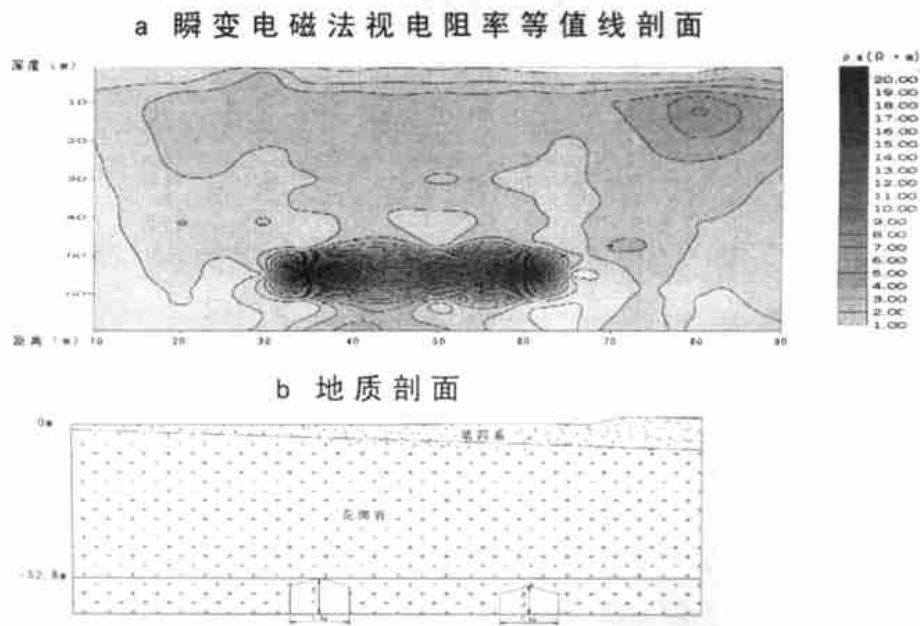


图 2 瞬变电磁法对地下空区的探测结果

Fig. 2 Map showing the underground mined-out areas detected by transient electro-magnetic survey

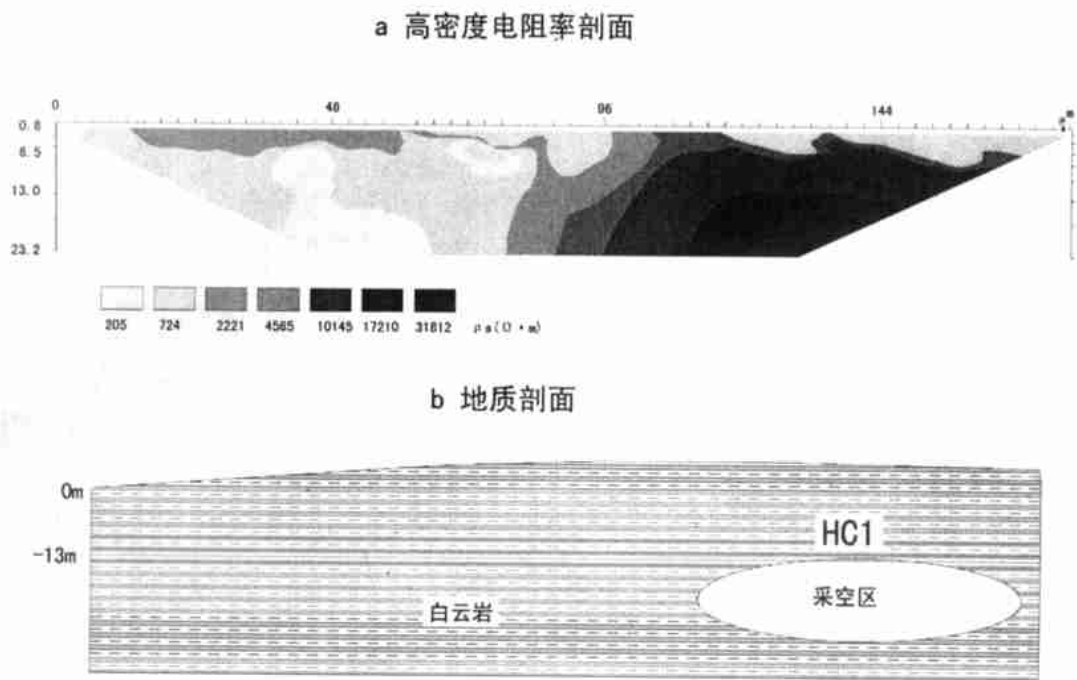


图 3 高密度电阻率法对地下空区的探测结果

Fig. 3 Map showing the underground mined-out areas detected by close-grid electric resistivity sounding

边界位置, 精度较高, 绕射波特征明显的地区, 利用绕射波弧顶确定的边界位置精度也很高, 但在反射波同相轴呈漏斗形式的地区, 所圈定的边界位置误差较大(图 1b)。

分辨率:

对于多层岩溶的综合反映, 反射波所能分辨的

地质层位厚度必须大于波长的 1/4, 当单层的岩溶较小时不能分辨, 只能综合反映。

浅震反射波法可圈定空区的边界范围, 适合于中、深部各类型空区探测, 依据准确的波速资料, 可计算顶部埋深。该方法在沉积岩地区寻找空区效果最好, 但受地形影响较大。

4.4 瞬态瑞雷波法

最佳探测深度为 30 m 以内, 空区的异常特征是在空区顶部频散曲线出现较多离散点, 瑞雷波速明显减小。该异常特征适应各类型空区, 特别是浅部空区的异常精度很高(图 1d)。

分辨率: 瑞雷波法横向分辨率取决于采集数据的点距, 点距必须小于异常体的宽度, 提高纵向分辨率, 可增加低频成分。

瑞雷波法的有效探测深度可达 80 m, 在 30 m 以内, 能够确定空区的分布范围和顶板埋深, 适合各类型空区探测, 探测精度较高。深度超过 30 m 时, 由于受频率的限制, 频点较稀, 异常不宜分辨, 探测精度较低。

4.5 高密度电阻率法

是集测深和剖面于一体的一种物探方法, 其异常特征从探测效果看, 其空区异常明显, 容易辨认。但在边界位置和埋深解释时误差较大(图 3)。

分辨率: 极距的大小是影响分辨率的一个重要因素。

该方法适合浅部空区探测, 只能定性地对异常体进行解释。

5 结论与建议

(1) 本次采用的方法与常规方法相比, 具有方法先进, 勘探效果好, 精度高, 省时、高效等优点。

(2) 根据各方法的有效探测深度, 在不同深度的

空区, 选择的方法如下:

0~10 m 深度的空区, 首选的方法为地质雷达法、瞬态瑞雷波法, 辅助方法为高密度电阻率法。

10~30 m 深度的空区, 首选的方法为地质雷达法、瞬态瑞雷波法、高密度电阻率法, 辅助方法为浅震反射波法。

30~100 m 深度的空区, 首选的方法为浅震反射波法、瞬变电磁法。

深度大于 100 m 的空区, 首选的方法为瞬变电磁法。

(3) 空区探测工作应根据其位置、类型、深度及产状, 灵活选用合适的组合探测手段, 尽量减少方法的重叠。以便达到经济、快速, 取得高质量的勘探效果。条件复杂的地区, 应使用综合物探方法。

参考文献:

[1] 付维璞. 辽宁省鞍山市城区岩溶塌陷地质灾害勘查综合物探成果报告[R]. 鞍山: 辽宁省冶金地质勘查局.
[2] Annan A P, Cosway S W. GPR frequency selection [R], Fifth international conference on ground penetrating radar, Kitchen-er, Ontario, Canada, 1994.
[3] 克鲁格 J M, 马丁内斯 A. 采用高分辨率岩层透射雷达圈定金伯利岩体[J]. 世界采矿快报, 1998(3): 15-19.
[4] 肖木恩. 岩层探测雷达用于定量描述[J]. 世界采矿快报, 1997(13): 23-26.
[5] 韩志型, 乔雨译. 岩层探测雷达(GPR)在加拿大矿山的应用[J]. 世界采矿快报, 1996(14): 8-11.

STUDY OF GEOPHYSICAL SOUNDING EFFECT ON THE UNDERGROUND MINED-OUT AREAS

GAO Yong¹, XU Bai-shan¹, WANG Qi-jun³, FANG Yu-man¹, TIANG Gang²

(1. Liaoning Metallurgical Exploration Bureau Anshan 114002, China)

Abstract: Many areas have been mined out underlie Anshan. Geophysical survey integrated with several methods is adopted to detect the mined areas. This paper discusses geo-radar, transisient electfro-magnet-ic, shallow seismic wave, close-grid electric resistivity and Rayleigh wave sounding methods and makes as-sessment of their results.

Key words: the integrated geophysical exploration method; the underground mined-out area; Anshan; Liaoning