

氦气测量在煤矿采空区探测中的应用效果分析

冉云 刘鸿福

(太原理工大学 山西 太原 030021)

【摘要】简要介绍了氦气测量的方法原理并分析采空区氦异常的形成机理。通过工程实例讨论了氦气异常的特征、氦气探测的精度、优点及局限性。

【关键词】氦, 采空区, 探测

山西的煤炭开采历史悠久,由此而形成了大面积的地下采空区。老窑、小煤矿及一些乡镇煤矿的无序开采并且缺乏开采资料,造成地下采空区位置不清,给地面的工程建设、百姓生活带来极大威胁。因此,在地面圈定采空区的位置和影响范围成为亟待解决的问题。测氦探测技术因其简便易行、工作量小、受地形影响较小而得到重视。

1 测氦技术的理论基础

氦(^{222}Rn)是一种无色无味的惰性气体,其化学性质十分稳定,但其物理性质却十分活泼,能溶于水、油等液体中。刘鸿福、贾文懿等学者的研究表明:氦及其子体“自身”固有的运移具有较强的向上运移能力。在物质中由于团簇迁移、接力传递、扩散、对流、抽吸等作用,其表现出很强的迁移作用,可以很容易由地下深部经过岩石进入地表土壤中^[1]。因此,在铀镭富集地段、地质构造破碎带及采空区上方都可形成氦的富集,而在其附近地段氦含量会明显减少。氦气多存在于地下土壤之中,当浮土下面埋藏有氦源时,土壤中将出现氦气的局部增高,形成高于本底值2~3倍的氦异常,于是可以利用射气仪测量土壤中氦的浓度,并根据不同地点所测量到的氦异常的高低分布规律,可以直接寻找铀矿体、构造破碎带、采空区、陷落柱及解决其他地质问题等。

2 采空区上方地表氦异常的形成分析

煤系地层是在还原条件下形成的,且多呈黑褐色,其中铀核素的含量大大高于其他地层。当地下煤层采空后,岩体中原有的自然应力状态遭到破坏,引起应力重新分布,在采空区周边形成局部应力集中区。顶板及四周岩体冒落、垮塌后又会形成一个应力松动圈。低应力区的形成,促使岩体内部的水分、气体由高应力区向低应力区转移,从而改变了地下气体的运移与集聚环境。

采空区对氦气的运移与富集主要有储气、集气、通道三方面的作用。储气作用是相对于周围完整岩体而言,采空区冒落带和裂隙带是相对松散的,其中岩石块体之间空隙较大,连通性好,是储存气体的理想场所;集气作用是指采空区煤层顶板塌陷冒落后,应力集中区向围岩内部迁移,在采空区周边形成一个低应力区,气体由压力较高向较低部位迁移,从而造成采空区及其周边变形区氦元素的聚集。另一方面,岩层自然换层部位的氦值高于非换层地区(Krister Keistianson 和 Lenn art 的实验已证实),即:气体沿岩层面的迁移几率高于垂直于层面的迁移几率。采空区冒落带及其裂隙带均导致岩层的不连续,使得不同性质的若干岩层同时在采空区周边上出露,形成沿采空区周边的连续、快速次生换层现象,导致采空区氦气浓度的富集;通道作用指采空区冒落带及其衍生裂隙形成后,成为气体自下向上运移的良好通道。由于氦及其子体“自身”固有的运移具有较强的向上运移能力,必然与其他气体一起自地下深处向地表迁移,在地表形成氦异常区。因此,可以通过测量地表氦元素的浓度,来圈定煤矿采空区的位置与影响范围。

3 煤矿采空区探测实例

3.1 测区概况

测区位于吕梁市离石区西北,属中低山区,沟谷发育,地面均为第四系所覆盖,最大相对高差约 100m。据已知资料,区内主要地层有石炭系本溪组、太原组,二叠系下、上石盒子组,上第三系及第四系地层。西南部为一国营煤矿,该矿现开采 4 号煤层,斜井开拓,走向长壁式采煤。本次探测主要是界定此煤矿东北向采空边界。

3.2 工作方法

本次测氡工作采用活性炭测氡法,即测量氡所衰变的子体(RaA)放射出的 γ 射线强度。选用的仪器为太原理工大学自行研发的 TYHC-1 活性炭测氡仪。方法如下:

将活性炭吸附器埋入地下 40cm 深的坑中,埋置至少 5 天后取出,放入 TYHC-1 活性炭测氡仪电离室中测量氡及其子体辐射出的 γ 射线强度,然后对测氡数据进行提取,对原始数据进行预处理后成图解释。

TYHC-1 活性炭测氡仪主要技术指标如下:

探测器: NaI(Tl)晶体 ($\Phi 75\text{mm} \times 50\text{mm}$);

灵敏度: 铀约为 10^{-6} , 钍约为 3×10^{-6} , 钾约为 0.5% 左右;

能量范围: 0.5~3.0MeV;

能量分辨率: 12% (对 ^{137}Cs 而言);

工作温度: $-10 \sim +50^\circ\text{C}$ 。

地面测点的布设原则是:在地面地质灾害调查的基础上,根据附近煤矿采掘工程平面图,并结合地形的具体情况进行布设。本次共布设氡气测量剖面线 12 条,测量点 128 个。

为了与测氡结果相互验证,我们又对上述剖面进行了瞬变电阻率测量,并将处理后结果对照分析。

3.3 资料分析与解释

通过野外数据的采集与室内数据的处理,绘制了氡值剖面图和视电阻率断面图。这里选取了 1 线、6 线、11 线测氡剖面图和瞬变电阻率剖面图。如图 1、2、3、4、5、6

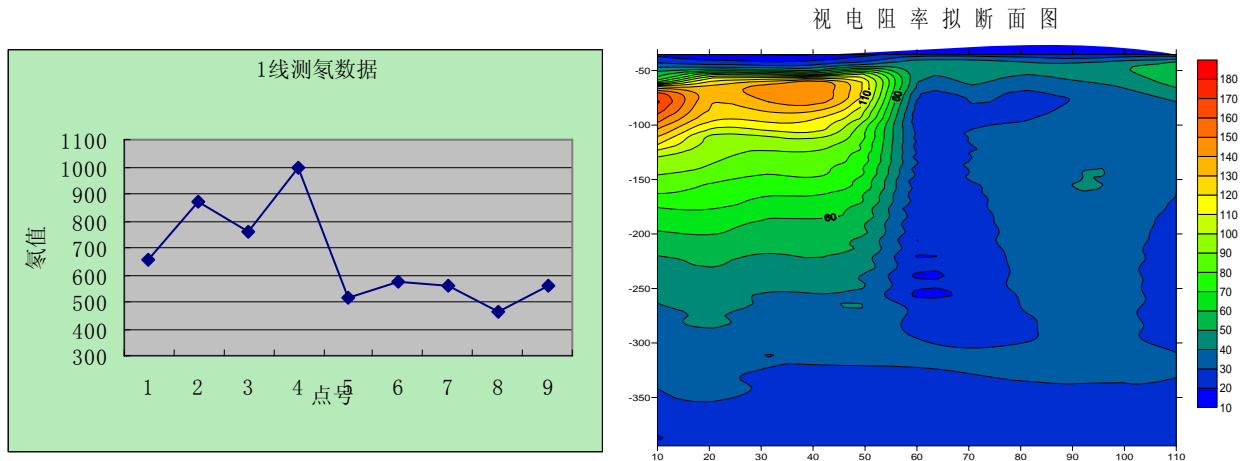


图 1 1 线测氡剖面图

图 2 1 线瞬变电剖面图

上图中 1 测线: 5~11 号点各测点氡值在 500~600 之间,氡值稳定, 1~4 号点各测点氡值在 600~1000 之间,氡值较高,波动较大,分析是由采空区塌陷引起的。

1 测线视电阻率拟断面图如图 2。图中的 1~5 号物理点存在较为明显的高视电阻率异常,根据异常形态分析为煤层采空区。

6 测线: 7~11 号点各测点氡值较低,且稳定, 1~6 号点各测点氡值在 600~900 之间,氡值较高,波动较大,分析是由采空区塌陷引起的。

6 测线视电阻率拟断面图如图 4。1~6 号物理点存在较为明显的高视电阻率异常,根据异常形态分析

为煤层采空区的反映,与测氦剖面结论一致。

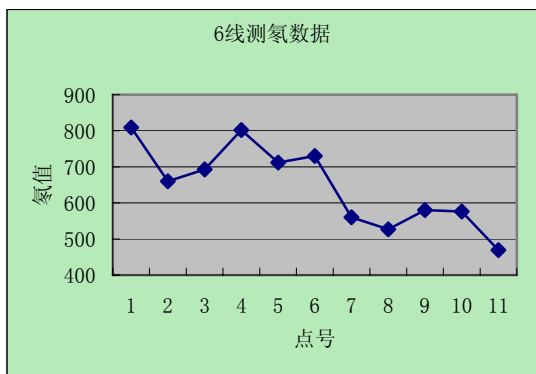


图3 6线测氦剖面图

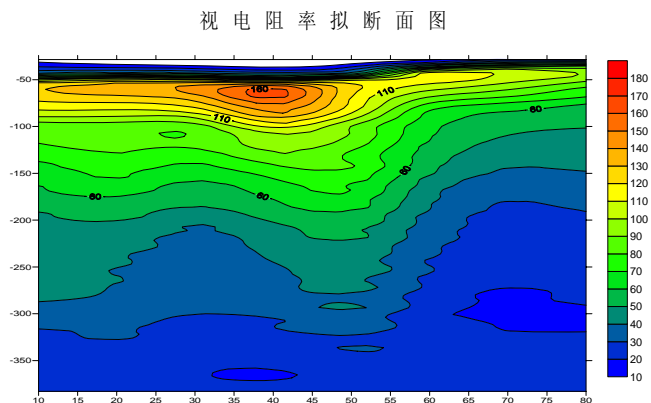


图4 6线瞬变电剖面图

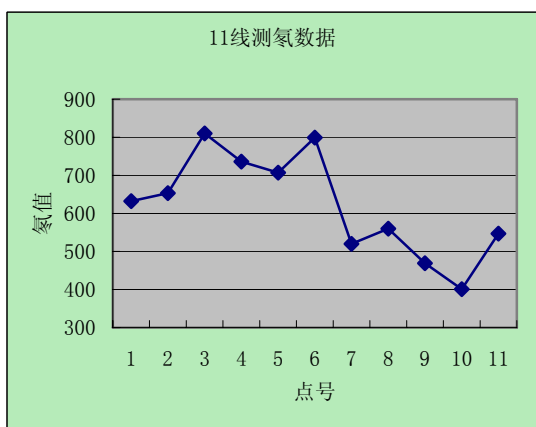


图5 11线测氦剖面图

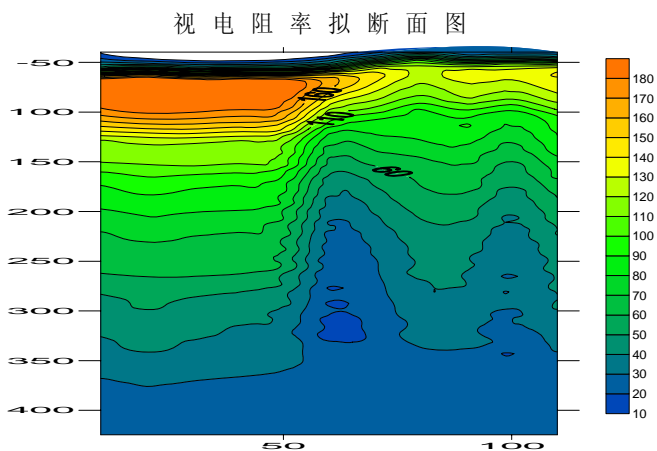


图6 11线瞬变电剖面图

由上图5可见:11测线:7~11号点各测点氦值较低,且稳定,1~6号点各测点氦值在600~900之间,氦值较高,波动较大,分析是由采空区塌陷引起的。

11线视电阻率拟断面图如图6。图中1-6号物理点存在较为明显的高视电阻率异常,根据异常形态分析为煤层采空区的反映。

通过以上分析对比,结合区域地质资料可以得知:

1测线,5号点为采空区边界,1~5号点为采空区。

6测线,6号点为采空区边界,1~6号点为采空区。

11测线,6号点为采空区边界,1~6号点为采空区。

后经矿方实施钻孔验证,与实际情况符合较好。

4 认识与结论

通过上述综合分析和实际应用,可以得出:采空区与非采空区的顶部地面氦气浓度存在着一定的差异。通过在地面测量并对数据采用适当的处理方法来确定氦异常,能够确定出采空区的位置与范围。因此,应用测氦技术探测煤矿地下一定深度的采空区的位置与范围,其方法是可行的,能够为煤矿生产、建设提供可靠信息。

氦气探测的优点:不受电、磁、声干扰,受地形、地貌影响较小,适用于地形起伏大的山区及地面障碍物多的地区工作,其施工简便、灵敏度高、成本低,工效高,对于煤矿生产和地面工程建设都有积极的

指导作用。

氦气探测的局限性在于它难以确定采空区的深度；氦的运移受断裂、裂隙控制，随断裂及裂隙的变化而变化。因此，其异常不能精确反映地下采空区的位置，只能够概略地反映采空区的范围，属定性测量方法，需要和其他物探方法综合应用来确定准确位置。

参考文献

- [1] 刘鸿福, 贾文懿等. 氦及其子体运移规律的实验研究, 太原理工大学学报, 1998, Vol.29 , No.2
- [2] 刘鸿福. 氦及其子体运移的实验研究与机理探讨. 博士论文, 1997
- [3] 张新军, 刘鸿福. 野外活性炭测氦法实验研究. 太原理工大学学报, 2004, Vol.35 , No.3
- [4] 刘鸿福, 白春明, 程小平, 王广忠等. 浅部土壤中的氦气测量, 核技术, 1997, Vol.20, No.6
- [5] 乐仁昌, 贾文懿, 吴允平. 氦运移实验研究与氦团簇运移机理. 2002, Vol.22, No.3