

测氦法用于隐伏断层探测的实验研究

余传涛, 刘鸿福, 张新军

(太原理工大学矿业工程学院, 山西太原 030024)

摘要:从实验入手, 利用室内较理想的环境, 通过土槽实验模拟不同类型的断层产生的氦气异常特征。实验结果表明: 正断层异常最大值没有出现在断层正上方, 而是出现在其倾向方向的斜上方, 氦异常曲线较缓的方向指示断层倾向, 逆断层的异常形态与正断层相似, 但是其影响范围更大; 平移断层的氦异常呈对称分布, 最大值出现在断层的顶部。断层上方覆盖物厚度的不同也可使氦异常不相同, 一般上层覆盖物越薄, 则氦背景值变化也大。

关键词: 氦气测量; 断层模型; 隐伏断层; 团簇理论; 氦运移

中图分类号: TL1

文献标识码: A

隐伏断层是指在地表无出露, 潜伏于地表以下的断层。主要有切穿基岩的断层被新沉积物覆盖、断层被侵位岩体占据、形成于地下深处, 断层面没有切穿至地表的盲断层等类型。由于隐伏断层在地表难以识别, 它的存在不仅对地面建筑物带来安全隐患, 而且也会对地下工程活动造成极为严重的影响, 例如断层极有可能与地下含水层相导通, 从而给地下生产施工造成不堪设想的后果。就煤矿生产而言, 由于断层的存在, 使煤层失去了原来的连续性, 给煤矿的井巷工程布置和施工增加了很大的困难。氦气测量现在已经广泛地应用于岩溶陷落柱探测^[1,2], 也有人将此方法直接用于探测断层^[3,4]。

本文讨论了氦气在地下的运移规律, 介绍了隐伏正断层、逆断层和平移断层的土槽实验, 以及它们所造成的氦气异常特征, 从实验的角度证明了氦气测量可以用于隐伏断层位置与规模的确定。

1 氦气运移规律

野外试验发现, 在浅部土壤中, 随着深度的增加, 氦气浓度的不均衡分布主要是由于氦气的流动形式发生变化造成的。在近地表, 由于风化作用及其他地质作用较强烈, 土壤的疏松程度及裂隙率将随深度的增大而降低。在气象等因素影响下, 可能使氦竖直向上的运动作用减弱, 在近地表附近氦的运移主要是扩散作用, 即深部土壤中的较高氦值在地表附近将会降低, 低值会被相对抬高^[5], 因此, 氦值不会表现出明显的异常。随着深度的增加, 气象

因素对氦垂直流动的影响逐步减弱, 氦气向地表的运移逐渐由以水平扩散作用为主过渡到以垂直向上的流动为主。随着深度的再度增加, 沿水平方向的运移越来越微弱, 氦的运移以垂直向上的流动为主, 此时氦的运移充分显示出了通道现象。即随着深度的增加, 氦在浅部土壤中的运移规律可以分为 3 种情况: ① 横向运移占优势的扩散带 (0 ~ 30 cm); ② 过渡带 (30 ~ 60 cm); ③ 沿垂直向上运移为主的流动带 (> 60 cm)^[6]。氦在浅部的这种运移规律主要是由外界因素引起。

氦及其子体“自身”固有的运移不是以扩散为主, 而是以纵向运移为主, 并且具有很强的向上运移能力。基于此, 刘鸿福等通过氦气运移的模拟实验, 提出了氦气运移的“团簇”理论, 成功地解释了氦气向上运移的现象。即氦及其子体和母体大多是 α 粒子辐射体, 他们释放出的 α 粒子经过减速后变成 He 核, 可与氦及其子体结合形成团簇, 当该团簇受到的空气浮力大于自身重量时, 便能自行向上运移, 从而使氦及其子体自身具有明显的向上运移能力^[7,8]。图 1 是 He 核与氦形成的团簇示意。

同时, 断层处岩石的破碎程度较大, 且裂隙发育, 连通好, 有利于氦及其子体的释放和向上运移, 从而造成断层上方地表的氦气浓度差异。断层的性质和规模的大小都会影响到氦异常的幅值。

收稿日期: 2010-03-29; 改回日期: 2010-04-29。

第一作者简介: 余传涛(1984—), 男, 博士在读, 主要从事电法及放射性勘探相关的理论与实践研究工作。

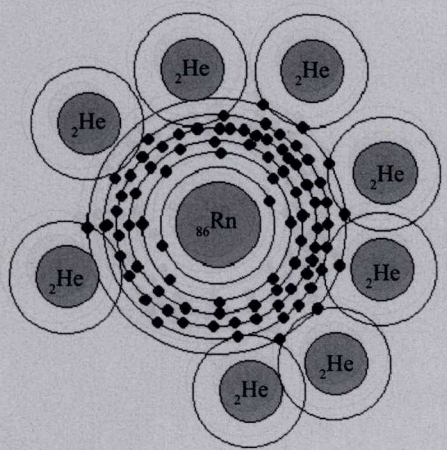


图 1 He-Rn 形成的团簇示意

2 氦气测量探测断层模拟实验

在黄土地上挖一个深 1.5 m,长 3 m,宽 1 m 的长方形土槽,土槽的底部铺一层经过破碎的煤矸石用作放射性源。在煤矸石上铺由黄土、细沙和石灰按 3 : 1 : 1 比例混合的土,浇适量水,压实,分别模拟正断层(断距为 0.3 m)、逆断层(断距为 0.4 m)及平移断层(走向滑动断层)的形态。最上层铺黄土细沙的混合物,盖住下面的断层,稍微夯实,均匀布设氦吸附器(点距 0.2 m,共 16 个测点)。

测量采用活性炭测氦法。目前活性炭测氦是通过测量²¹⁴Pb 和²¹⁴Bi 的 γ 射线,二者的 γ 射线(总量)占整个铀系的 98%。通过对²¹⁴Bi 0.609MeV γ 射线能量谱线的探测,可以消除钍射气的影响,活性炭经加热烘烤后仍可重复使用。因此与其他土壤测氦方法相比,活性炭静态吸附测氦具有费用低廉、野外操作方便和抗干扰能力强等优点。将吸附器埋地下 5 天以后取出测量,数据经过标准化处理、时间校正和均滑处理以后,绘制成图件。

分析实验结果发现不同类型的断层(正断层、逆断层和平移断层)在地表形成的氦异常形态也不相同,不同断距的断层形成的氦异常也不相同。即在正断层的氦值剖面上,显示为单峰异常,相对峰值明显可见,异常曲线较缓一侧为断层的倾向,异常最大值不是出现在断层正上方,而是出现在断层倾向方向的斜上方(图 2 和图 3)。

在逆断层的氦值剖面上,异常形态基本上与正断层的异常形态相似,但是由于模型的倾角较小,断距较大,因此,从总体上看,其异常幅值更大,断层影响范围更宽(图 4 和图 5)。

平移断层(走向滑动断层)由于在倾向上断层没有错动,其氦异常曲线呈对称分布,最大值出现在断层的顶部,两侧逐渐减小,影响范围亦较小(图 6 和图 7)。

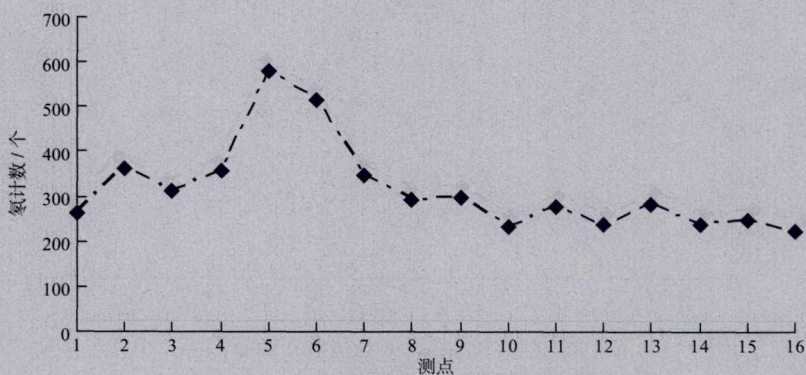


图 2 正断层模型氦值异常剖面

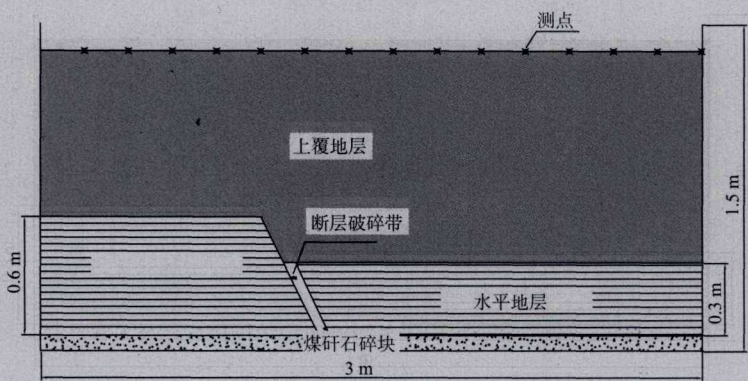


图 3 正断层模型示意

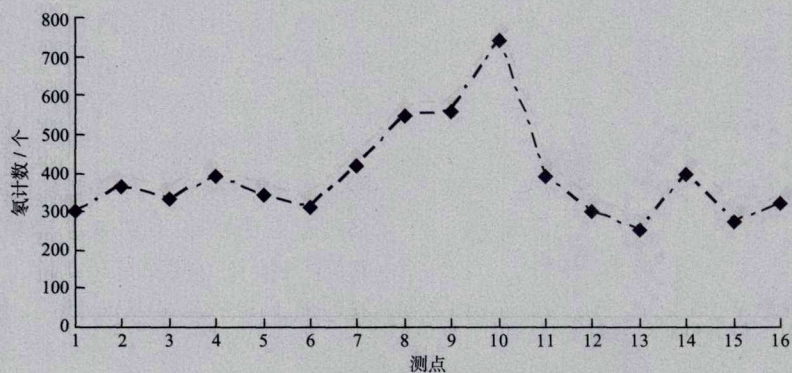


图 4 逆断层模型氢值异常剖面

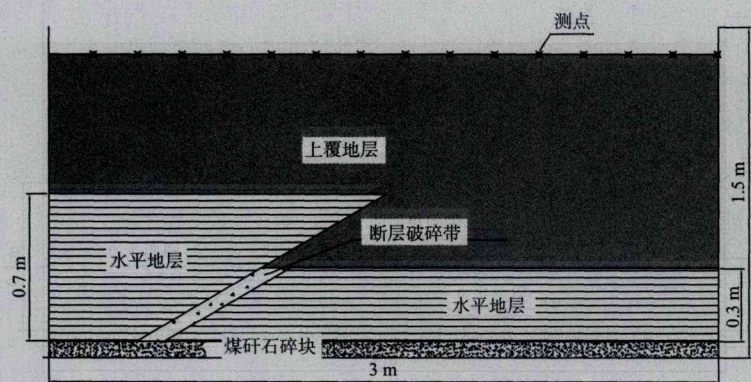


图 5 逆断层模型示意

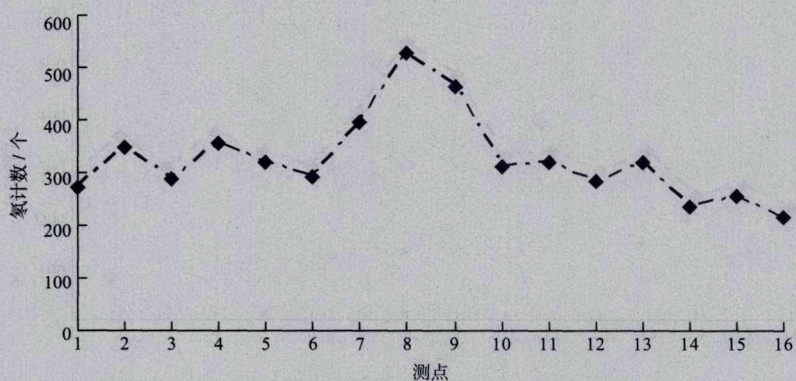


图 6 平移断层模型氢值异常剖面

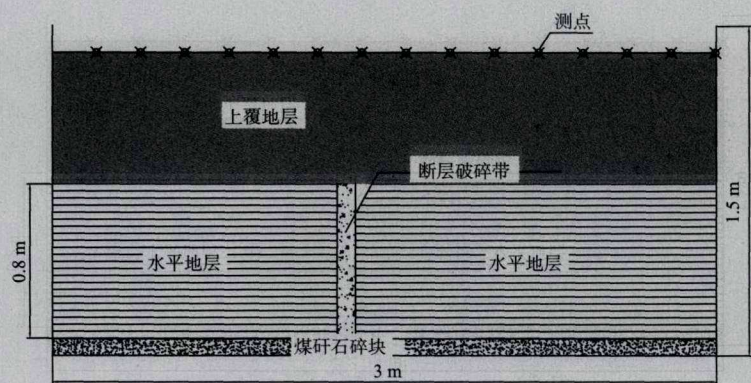


图 7 平移断层模型

从3个断层模型整体分析来看,断层上覆盖层较浅的区域氦背景值变化较大,上覆盖层较厚的区域氦背景值变化小。

3 探测实例与效果分析

山西某煤矿4号煤层1号、2号顺槽掘进过程中,由探水钻发现掘进头前40 m处为砂岩且含

水,在探到80 m处时又出现煤层,造成1号、2号顺槽停止掘进至今。

我们采用活性炭测氦法对该采区前方的隐伏断层进行探测。通过地面活性炭氦气测量,确定了该隐伏断层的实际位置、走向与断层性质,据此该煤矿重新制定了掘进方案,成功避开该断层。地表探测的氦异常位置与井下发现的断层相差不过10 m(图8)。

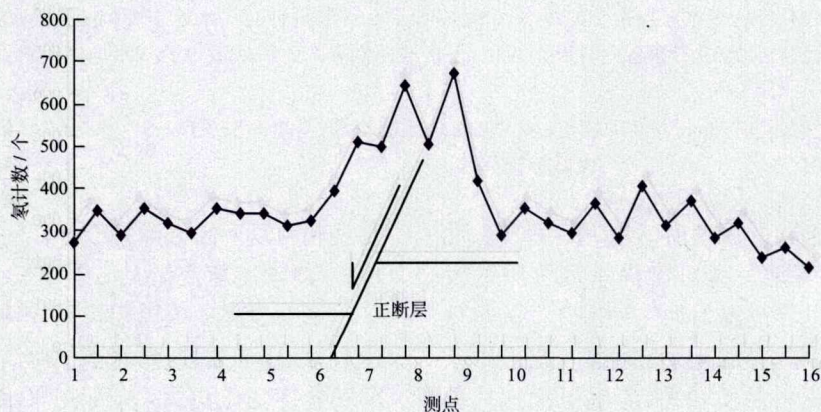


图8 山西某煤矿隐伏断层实测与验证情况示意

4 结论

土壤氦(Rn)气测量是探测区域隐伏断裂的存在、断裂位置、走向和倾向的一种很好的手段,它为进行进一步进行钻探和浅层人工地震勘探创造了条件。

本文通过对隐伏断层的模拟实验发现,不同类型及规模的断层造成的氦异常也不相同,氦异常曲线较缓的方向指示断层的倾向,断层上方覆盖物厚度的不同也可使氦异常不相同,一般覆盖物越薄,则氦背景值变化也大。

本文是在室内做的土槽模拟实验,野外实际情况可能会有差别,应用于野外施工时应该注意当地的地质及气象条件。

参考文献

1 唐岱茂,刘鸿福,段鸿杰,等. 氦气测量用于地表探测岩溶陷落柱的位置与范围[J]. 核技术,1999,22(4):

223~227

- 2 刘泰峰,安海忠,亢俊健,等. 煤田陷落柱氦气场的数值计算及空间形态分布特征[J]. 地球物理学报,2004,47(1):171~177
- 3 肖德涛,丘寿康,冒学勇,等. 气流延时法测量氦气土浓度的研究[J]. 原子能科学技术,2005,39(3):278~281
- 4 刘江平,周斌,李庆红. 氦(Rn)射气测量在胜利油田隐伏断裂研究中的应用[J]. 华北地震科学,2004,22(1):42~45
- 5 方方,贾文懿,周荣生. 氦气测量研究[J]. 核技术,1999,22(4):218~222
- 6 刘洪福,白春明,程小平. 浅部土壤中的氦气测量[J]. 核技术,1997,20(6):363~369
- 7 刘鸿福,贾文懿,王广忠,等. 氦及其子体运移规律的实验研究[J]. 太原理工大学学报,1998,29(2):109~113,117
- 8 刘菁华,王祝文,田钢,等. 均匀覆盖层中氦迁移的数值模拟[J]. 地球物理学报,2007,50(3):921~925

(编辑:任 鹏)