

氡气测量研究

方方 · 贾文懿 · 周蓉生

· · 摘要 · 讨论了氡的运移规律,结果发现,氡及其子体在理想条件下的空气中,其扩散作用小于10%,地球引力导致的下沉作用小于45%,上浮的贡献大于45%。介绍了氡的探测方法和电离室 α 杯测氡的应用概况。

· · 关键词 · 氡气运移,氡气测量,地学应用

Research on radon measurement

FANG Fnag · JIA Wenyi · ZHOU Rongsheng
Chengdu University of Technology, Chengdu 610059

Abstract · The radon self-migration law is discussed. It is shown that, in the air under an idealized condition (no convection, no pressure, temperature and potential differences, and sealed), the contribution of diffusing of radon and its daughters to their migration is less than 10%; the descending purely caused by gravity is less than 45%; and the contribution purely given by buoyancy is more than 45%. The radon measuring method and application in geology is also introduced in the paper.

Keywords · Radon migration, Radon measurement, Geologic application

· · 氡是一种在地下自然存在的特殊气体,能够沿着裂隙构造等从地下深处运移到地表,探测氡在地表的分布差异,有利于发现隐伏地质构造,解决有关地学问题。另一方面,氡气会影响人们的身体健康,是引起肺癌的重要因素之一,因此对氡的运移和探测引起了人们的特别关注。

1 · 氡的运移规律

· · 氡气何以能从地下深部运移到地表,乃至高空,一直是困惑人们的难题之一。数十年来,中外学者相继提出了对流作用、渗流作用、地应力作用、接力作用等来阐述氡气运移现象;不同学者还借助于现场模拟、计算机模拟、实验室模拟^[1-4]等进行了深入研究。但这些都是从外部环境对氡气运移所起的作用来进行研究的,以至存在的疑点还很多。

· · 为能揭示氡自身固有的运移规律,研究氡气运移的内在因素,我们在实验室理想条件下(无对流、无压力差、无温差、无电位差等的封闭环境),应用高灵敏度、高精度、静

态、累积、低本底测量的CD-1 α 杯测氦仪对氦及其子体的运移规律进行了实验研究和机理探讨^[5]。通过实验：(1)发现氦及其子体在理想条件下的空气中,其纵向运移能力远大于横向运移能力,向上运移能力与向下运移能力相当甚或超过,其规律是扩散作用小,不及10%,地球引力导致的下沉作用小于45%,上浮的贡献大于45%；(2)提出氦及其子体向上运移的机理是氦及其子体和母体多为 α 辐射体,它们放出的 α 粒子减速后将成为He核,它可与氦及其子体和母体形成团簇(集团),当团簇所受空气的浮力大于其重量时,便能自行上升,从而使氦及其子体自身具有明显的向上运移的能力。图1是氦核与氦核形成的团簇示意图。

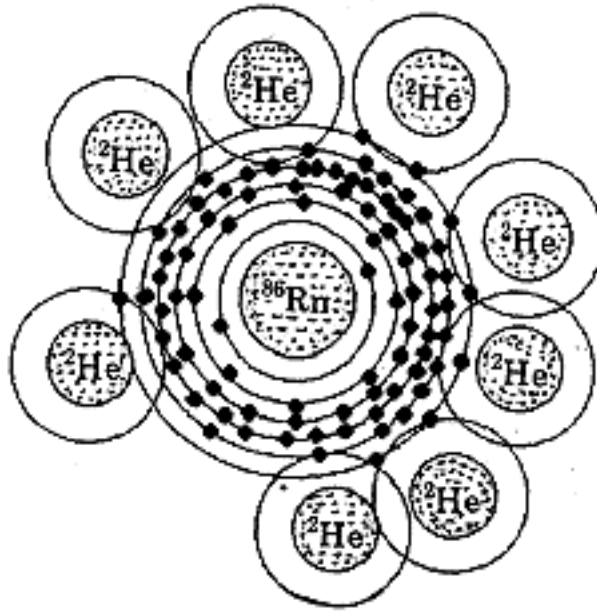


图1 · He-Rn形成的团簇示意图

Fig.1 · The diagram of He-Rn cluster

· · 团簇模型的提出揭示了比重很大的氦及其子体能够向上运移,并出现在上千米高空的内在原因,也解释了氦及其子体都带正电的缘故。

· · 氦的运移距离应根据其子体和母体按团簇运移后的总效应来衡量。即氦及其子体运移时应视为“长寿”放射性元素,故其在地壳中上升距离可达数十米至数百米以上。

2 · 氦的测量方法

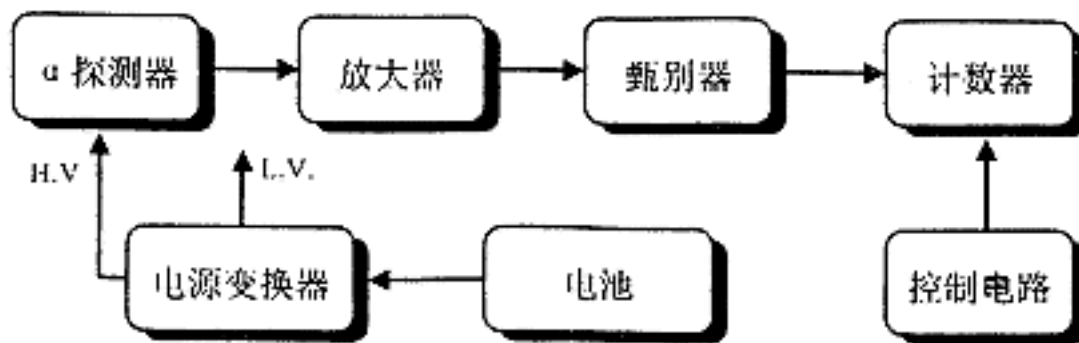
· · 氦气测量的方法较多,长期以来人们习惯于使用瞬时抽气测氦法,这是早期放射性铀矿地质勘探工作中较为成功的方法。但由于地质构造引起的放射性异常相对较弱,继续沿用铀矿勘探的测氦方法难于奏效,在实践中人们发现利用累积法测氦探查地质构造效果较佳。但是原有的累积测氦方法,例如 α 径迹测量、 ^{210}Po 法测量等,因其操作烦琐、测量精度低、工作成本高、效率低,很难推广使用。

· · 80年代中我们提出了静电 α 卡法^[6],它应用于解决水文地质、工程地质问题,划分岩性,确定构造位置,辅助地质填图,探查铀、金、油矿产资源等,获得了较好的经济效益和社

会效益。近年来,在测氦技术的深入研究中,静电 α 卡法还存在着以下不足之处:①需要消耗特殊材料制成的静电 α 卡片,配置专用的静电测试仪器,工作成本仍然较高;②工作时,需要对每一个卡片测试调整静电电压,操作较烦;③卡片上的静电电压差异影响了测量结果的可靠性;④埋杯时间受到一定限制,不易进一步提高工作效率;⑤取杯后仅测量了卡片上的 α 射线,而对收集了更多信息的 α 杯却弃置未用,损失了大量有用信息;⑥采用闪烁 α 探测器,必须避光使用,结构复杂,探测器被放射性污染后难于排除。针对上述问题,我们研究出 α 杯法测氦方法^[7],这是更为简便实用的累积法测氦技术。

· · α 杯法是将普通的塑料杯作为氦子体收集器倒置埋在地下,利用未饱和场力(范德华力)收集土壤中氦的衰变子体,一定时间后,把取出的探杯直接放在CD-1 α 杯测氦仪中进行 α 脉冲计数测量,根据每个测点氦的计数差异解决有关地质问题。

· · CD-1 α 杯测氦仪是开展累积法测氦的主要仪器设备。它采用常压空气脉冲电离室作为 α 探测器^[3],整机由探测器、放大器、甄别器和计数器等有关电路组成,工作原理如下:



· · 当吸附有氦子体的探杯放入电离室 α 探测器,氦子体辐射出的 α 射线可以使空气电离产生正负离子对,在电离室高压电场的作用下,形成电脉冲信号,经放大、甄别、整形后,由计数器记录。整个仪器体积小、重量轻、功耗低,适宜于野外操作使用。该仪器设置有脉冲信号输出接口,可以外接电子计算机自动数据记录设备,实现仪器的微机化。电离室 α 杯法与其它的测氦方法相比具有如下优点:

· · (1) 灵敏度高。它直接使用 α 杯的内表面收集氦的子体,收集器面积大,有用信息得到了最充分的利用。

· · (2) 方法简便。埋杯和取杯时不需对 α 杯作任何处理。

· · (3) 埋杯灵活。 α 杯的埋置时间上限不受限制,特别有利于大面积长剖面工作。

· · (4) 工作效率高。与静电 α 卡法比可以提高一倍以上。

· · (5) 可获得多个参数。由于 α 杯法灵敏度高,可对 α 杯进行第二次测量,从而求出 $^{222}\text{Rn}+^{220}\text{Rn}$, ^{222}Rn , ^{220}Rn , $^{222}\text{Rn}/^{220}\text{Rn}$ 四个参数,有利于地质现象的解释。

· · (6) 功能多。电离室 α 杯法可以进行 α 杯、 α 卡、活性炭、土壤镭及 ^{218}Po 、 ^{210}Po 等多种方法的 α 测量。

· · (7) 结构简单。采用常压空气脉冲电离室,无需避光使用,排污容易。

· · (8) 成本低廉。工作中除了一节电池,无需其它消耗。

· · 根据氦及其子体的放射性积累特征,埋杯最佳时间为4h或大于4h。不论何种累积测氦方法,若氦子体收集器埋置时间小于0.5h,则只能收集小部分氦子体信息,因此此时氦子

体的收集量正处于快速增加阶段,是不稳定的;只要埋杯时间达到4h,收集氡的短寿命子体就达到了饱和量,此后收集到的信息量始终为稳定值。因此,CD-1 α 杯测氡技术的埋杯工作非常灵活,有利于提高工作效率。

· · 氡的多参数测量是根据氡子体的放射性衰变规律,在取出探杯完成第一次测量的4h后,再次对探杯进行第二次 α 测量,计算采用下列公式

$$\begin{aligned} {}^{222}\text{Rn} + {}^{220}\text{Rn} &= N_1 \\ {}^{220}\text{Rn} &= N_2 e^{-\lambda t} \\ {}^{222}\text{Rn} &= N_1 - {}^{220}\text{Rn} \\ {}^{222}\text{Rn}/{}^{220}\text{Rn} &= (N_1/N_2)e^{-\lambda t} - 1 \end{aligned}$$

式中, N_1 、 N_2 分别为第一、第二次 α 测量获得的计数率; λ 是 ${}^{220}\text{Rn}$ 的子体 ${}^{212}\text{Pb}$ 衰变常数(0.065/h); t 是两次 α 测量的时间间隔(h)。

· · ${}^{222}\text{Rn}$ 和 ${}^{220}\text{Rn}$ 都是自然界存在的放射性元素氡的同位素,它们分别来自不同的母体铀和钍。由于铀和钍的地球化学性质不同,以及 ${}^{222}\text{Rn}$ 和 ${}^{220}\text{Rn}$ 的衰变积累规律不同, ${}^{220}\text{Rn}$ 主要反映近地表的信息,而 ${}^{222}\text{Rn}$ 可以反映地下深部的信息。多参数测量可以判别氡异常的性质,排除地表干扰因素,有利于确定地质构造的分布位置。

3 · 电离室 α 杯法测氡的应用

· · 探查地质构造是研究水文、工程、矿产等地质工作的主要内容之一,也是找寻地下水、圈定矿产资源、查明工程地基稳定性等地质任务的重要手段^[8]。地质构造在地质体中有着特定的地球物理和地球化学特征,它结构松散,易于积聚放射性元素,特别适合放射性气体氡的运移和富集,在隐伏地质构造的上方往往存在着地气氡的异常。

· · 目前,电离室 α 杯法已在包括台湾在内的全国各地得到应用,在探查隐伏地质构造、解决相关地质问题中取得了显著效益。例如:在干旱贫水地区探查地质断裂破碎带,寻找基岩裂隙水;在煤田地质领域,勘查煤田自燃边界;在1:5万地质填图中,确定隐伏构造;在油气勘探中,辅助查明油气藏的位置;在金等金属矿产资源勘查中,测定含矿构造位置;在江河两岸勘测高边坡的稳定性,为建造水电大坝选址提供依据;在闹市区,为大型工程建筑查明地基稳定性;等等。

· · 我们曾利用CD-1 α 测氡技术在成都市配合其它方法勘查隐伏构造,为建造大都市广播电视塔提供地基稳定性依据。成都市计划在“九五”期间修建一座高度超过300m的广播电视塔,塔址初选在成都市府河东岸。当时从航磁和遥感资料分析,有一条近南北向构造影像在附近通过,这里是城市中区,植被层、杂乱的浮土和人工建筑早已淹没了原始的地质信息,为了查明该构造是否经过初选的塔址区域及构造的确切位置,在该区布置了电法、磁法、放射性等多种地球物理方法,结合地质工作进行综合勘查。其中,放射性方法有CD-1 α 杯累积测氡和CD-3 γ 能谱测量,首先在所选塔址区域的约400m²的范围内进行了面积测量,线距10m,点距5m,测量 α 杯法和 γ 能谱测点各200多个,均未见异常,说明在该测区内,地质体是均一的,没有构造存在。该结论与其它方法一致,并被后期的钻探揭露

勘查进一步证实. 为了确定航磁异常显示的隐伏构造位置,我们在府河中段沿东西向布置了一条约2km长的剖面,测量 α 杯法和 γ 能谱测点约200多个,结果如图2所示. 由图2可见,在测线上有一明显的异常地段, γ 能谱测量结果反映出异常两边的放射性元素含量不同,说明这两边的地质体岩性有差异; α 杯法呈现出高值异常,说明两个岩体的交界处有隐伏构造存在. 该异常证实了航磁异常的结果,该隐伏构造位于塔址以西约800m处,从构造地质等方面分析,它不会影响塔址地基的稳定性. 总之,以上测量结果为电视塔的选址工作提供了可靠的科学数据.

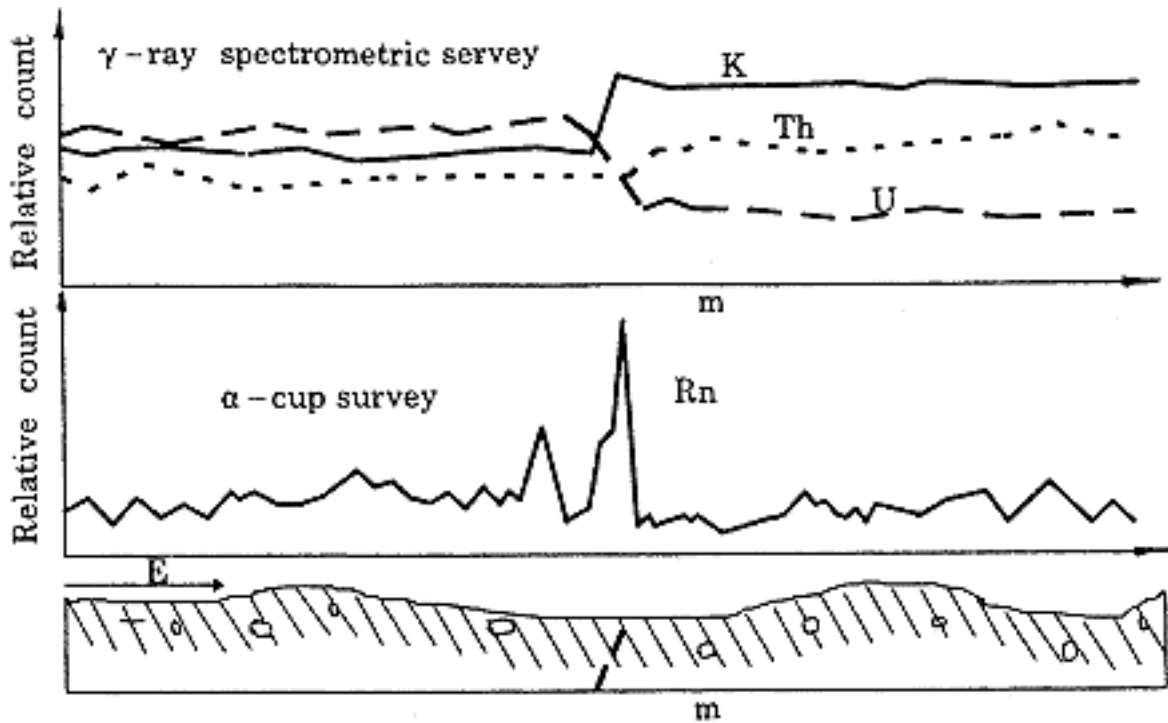


图2 · 勘查隐伏构造中的放射性测量剖面

Fig.2 · Radioactive anomalies in soil on the measuring section

致谢 · 参加工作的还有唐红、苗放、葛君伟、刘鸿福、李国栋、侯新生、邱元德、马英杰、吴其反、周建斌、王广忠、段鸿杰和成都理工学院核工系的许多大学生、研究生等,在此一并表示感谢.

基金项目：国家自然科学基金资助项目（编号：49674238）和地质矿产部攻关资助项目（编号：89063）

作者单位：成都理工学院 · 成都 · 610059

参考文献

- 1 Kristiansson K, Malmquist L. Geophysics, 1982,47(10):1444-1452
- 2 CHEN C, Thomas D M. J Geophys Res, 1995,100(8):15,517-15,525
- 3 Tidjani T T. Geophys Res Lett, 1995,22(11):1409-1412
- 4 吴慧山,林玉飞,白云生,等. 氡测量方法与应用. 北京. 原子能出版社,1995. 48-52

- 5 JIA Wenyi, LIU Hongfu, WANG Guangdong, et al. Radon migration experiments and mechanism study. The international symposium on engineering and environmental geophysics, Chengdu: Sichuan Publishing House of Science and Technology, 1997. 350-359
- 6 贾文懿, 方方, 唐红, 等. 物探与化探, 1984, (1):16-25
- 7 贾文懿, 许必文, 苗放, 等. 地球物理学报, 1990, (3):356-361
- 8 FANG Fang, JIA Wenyi, ZHOU Rongsheng, et al. Technology and application of α -cup Rn surveying method. The international symposium on engineering and environmental geophysics, Chengdu: Sichuan Publishing House of Science and Technology, 1997. 385-391

收稿日期：1997-12-01, 修回日期：1998-02-20