

α 径迹测量结果的解释

北京第三研究所六室径迹组

原子能出版社

α 径迹测量结果的解释

北京第三研究所六室径迹组



原子能出版社

内 容 简 介

本书是《 α 径迹找矿》一书的续篇。它主要介绍 α 径迹找矿法的基本原理、测量数据的统计和资料的整理、测量结果的解释原则和内容,以及从解释角度编入的有代表性的若干典型实例等有关问题。内容深入浅出,文字通俗易懂,可供从事 α 径迹找矿工作人员及其它有关人员参考。

α 径迹测量结果的解释

北京第三研究所六室径迹组

原子能出版社出版

北京印刷二厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

(内部发行)

☆

开本 $787 \times 1092 \frac{1}{32}$ ·印张 $3 \frac{13}{16}$ ·字数83千字

1979年1月北京第一版·1979年1月北京第一次印刷

印数 001—5200·定价:0.57元

统一书号:15175·144

前 言

在毛主席革命路线的指引下，我们坚持“独立自主，自力更生”的方针，大力开展了 α 径迹找矿的科研工作和群众运动，经过反复实践，多次验证，已经取得了显著的进展。当前， α 径迹找矿工作已进入了一个新阶段——全面应用和提高了的阶段，因而急需我们认真总结经验，研究机理，完善解释，为多找矿、找好矿作出贡献。

α 径迹测量结果的解释，是取得 α 径迹找矿成果好坏的重要一环。为适应形势发展的需要，根据广大野外队同志们的工作要求，在大量丰富的野外实际材料和我们的一些实践体会的基础上，进行了初步归纳和分析研究工作，编写了《 α 径迹测量结果的解释》一书。其主要内容包括： α 径迹找矿的基本原理、资料整理和测量结果的解释，以及有代表性的几个应用实例等。

在编写过程中，得到了各级领导的重视和野外队同志们的大力支持，他们提供了许多经验、材料和图件，并对本书的初稿提出了不少宝贵的意见，对此表示谢意。

由于编写时间短促，水平较低，资料的来源不够充分和分析研究不够深入，因而本书只能作为参考之用。片面和错误之处，请批评指正。

目 录

前言

一、 α 径迹找矿的基本原理	1
(一) α 径迹来源于矿体氡的 α 粒子	1
(二) α 径迹来源于铀系列的 α 粒子	5
1. 铀矿体赋存在潜水面以上	6
2. 铀矿体赋存在潜水面以下	8
二、资料整理	10
(一) 资料评价	10
1. 抓好第一性资料	10
2. 质量的评价方法和要求	12
3. 系统误差的检查方法	13
(二) 底数和异常	17
1. 径迹密度底数	17
2. 底数的确定方法	17
3. 异常及其确定	27
(三) 统计方法的应用	28
1. 回归分析和相关分析	28
2. 数字滤波	33
3. 统计特征数的利用	35
(四) 图件的编制	38
三、测量结果的解释	41
(一) 推断解释的原则	41
(二) 解释的任务和内容	43

(三) 异常的评价和处理	45
1. 推断解释时应注意的几个问题	45
2. 真假径迹异常的判断	47
3. 矿与非矿异常的判断	48
4. 深矿与浅矿异常的分析判断	55
5. 径迹密度曲线和等值图与矿体的空间关系	60
6. 径迹异常的处理	68
四、实例解释	70
(一) 揭露验证结果较好的实例	70
1. 砂(砾)岩类型	70
2. 花岗岩类型	84
3. 火山岩类型	94
4. 灰硅泥岩类型	101
(二) 揭露验证结果较差的实例	111

一、 α 径迹找矿的基本原理

在自然界里，已发现有六十多种以上的放射性核素，其中有三个系列同铀矿找矿关系密切。这些系列是铀系、钍系和锕系，它们不断地衰变出 α 粒子。 α 径迹找矿法，主要是利用固体径迹探测器，如醋酸纤维薄膜或硝酸纤维薄膜等，来接收 α 粒子，并通过它来寻找深部铀矿。被记录的 α 粒子径迹密度，主要取决于可能存在的矿体的含量、规模、产状、埋深、盖层的性质和地球化学环境、地球物理特征、地质条件以及探测器的性能等因素。因而，一般说来径迹密度高，有一定规模，并受构造或岩性控制的，地下存在矿化的可能性就大，反之就小，这就是 α 径迹找矿的基本原理。下面我们将详细讨论利用 α 径迹找深部铀矿的机制问题。关于这个问题目前存在着两种不同的看法。

（一） α 径迹来源于矿体氦的 α 粒子

这种观点认为， α 径迹找矿就是氦射气找矿，即探测器记录的仅是氦射气衰变的 α 粒子。这种氦射气（更确切地说就是矿体的氦，也称原生氦， Rn_1 ）为什么能从一、二百米深的地下跑到地表，并被探测器所记录？即它的迁移的动力是什么？关于这个问题归纳起来大致有如下十种看法。虽然其中有部分重复，但考虑其出发点不完全一样，为了讨论方便，就一一列举如下：

（1）扩散作用 氦的迁移主要是依赖于氦射气的自由

扩散。这是几十年来关于氡射气迁移的传统的经典理论。氡射气是一种气体，它的分子由于热运动的结果而向浓度小的方向移动，称为扩散。一般用扩散系数 D [厘米²·秒⁻¹] 来表示。氡射气在岩石中的扩散主要取决于：孔隙度、透水性、湿度、结构和温度等。在评价迁移距离时，尚应考虑接收器的灵敏度。

假若扩散是氡气迁移的主要因素，则可用两种简单而有代表性的情况加以讨论：

① 假使有一放射层被一无限大（实际工作中大于10米厚）的非放射性的浮土所覆盖。设盖层的扩散系数 D 为 $0.04—0.004$ 厘米²·秒⁻¹，则可按下式计算氡的扩散距离 x （厘米）：

$$x = \frac{\ln \frac{N_0}{N}}{\sqrt{\frac{\lambda}{D}}}$$

式中： N_0 ——放射层的氡浓度（爱曼）；

N ——距放射层表面向上为 x 点的氡浓度（爱曼）；

λ ——氡的衰变常数（秒⁻¹）；

D ——扩散系数（厘米²·秒⁻¹）。

假使 N 为 N_0 的百分之一，则氡可迁移 2—6 米远。假使 N 为 N_0 的千分之一，则迁移距离可达 3—10 米远。可见在一般情况下，氡射气测量仅靠扩散作用的有效探测深度不大于 10 米。

② 假使一放射层的盖层是有限的，例如小于 10 米，氡射气的迁移距离就会变小，可用下式计算，即：

$$N = N_0 \frac{\operatorname{sh}\left[\sqrt{\frac{\lambda}{D}}(h-x)\right]}{\operatorname{sh}\left[\sqrt{\frac{\lambda}{D}} \cdot h\right]}$$

式中： h ——盖层的有限厚度（厘米）；

N, N_0, λ, D ——同上式。

在上述两种情况下，实践证明，当盖层中有放射性盐晕和机械分散晕存在时，氡的迁移距离可明显加大。

（2）对流作用 这也是经典著作中仅次于扩散作用而常用来描述氡射气迁移的一种作用。这种设想认为，当存在压力差时，气体可以从压力高的部位向压力低的部位迁移，这就是所谓的气体的对流作用。氡射气是一种气体，因而在这种情况下，它可以向地表移动。

（3）抽吸作用 这是数年前提出来的观点，文献中已有不少报道。当土壤和空气的温度存在差异时，空气温度高，由于热的作用，水蒸气蒸发，使地下的铀矿体衰变出的氡射气不断向上迁移，因此，在地表进行氡射气测量时，即可发现氡异常。由此可推理，在赤道地区或在炎热的夏天进行氡射气测量时，所取得的氡射气浓度和反映的深度，将比在寒冷的地区或冬季时测量的浓度为高和探测深度为大。然而，近几年来，加拿大等国家的射气测量实践表明，在雪飘和冰冻的冬季里仍然可进行射气测量，尽管氡浓度较低，但也发现了一些深部铀矿。关于抽吸作用的问题，有的人还认为应包括压力差和风力的变化，甚至还把构造的通道作用也包括在抽吸作用之列，等等。

（4）水的作用 由于氡气溶于水中，因而地下水的运动就成为氡气迁移到地表的主要动力之一。但也有人认为，

氡的迁移是氡溶于地下水,由于水的自然蒸发把氡带到地表。因此,氡的迁移距离主要是取决于地下水的发育程度和矿化程度,以及地下水向上运动的速度和蒸发快慢等因素。另外,氡在砂岩里的迁移速度,一般要比在页岩里为快,但在实际工作中也有证明,水在高渗透性砂岩里的迁移速度不一定均比在页岩里快。这说明水对氡的迁移关系又不很密切。总之,水在氡气迁移过程中的作用,由于研究得不充分,存在一些难于解释的问题,但是它肯定是一个不可忽视的因素,特别是当水中溶有与氡密切联系的镭时,更是如此。

(5) “伴生”气体的压力作用 氡是一种微量气体元素,然而在很多情况下,它可在其它浓度较大的土壤气体(如氧、氮、二氧化碳、氩、氦等)扩散压力的推动下,向上迁移到地表。

(6) 泵吸作用 地球定时涨落的泵吸效应,裂隙和毛细孔的开闭作用等,可以导致氡气的迁移。有人将这种作用也纳入抽吸作用。

(7) 地热作用 由于地热梯度的关系,气体在向冷的部位(低压区)迁移时,带动了氡的移动。

(8) 地震应力引起的毛细压力的变化导致氡的迁移。

(9) 大气压力的纵深效应导致氡的迁移。

(10) 风速、风向和旋流对土壤气体的作用导致了氡的迁移。有人也称之为搬运作用。

上述这些就是目前所报道的有关氡气迁移的主要设想。除扩散作用有了较好的理论依据常被引用外,其余各种设想,有的属特例,对找矿工作作用可能不大。然而这些想法是好的,很值得进一步研究、充实和提高。在 α 径迹找矿工作中,存在一些难于仅用上述观点,特别是仅用原生氡的观点进行

解释的问题。例如：

第一，实践证明， α 径迹找矿一般可探测深埋几十米到二百来米的铀矿，而当前的静电计和闪烁仪氦气测量，在一般情况下，直接探测深度不大于10米。既然同样是氦气测量，探测深度又为何有如此之大的差异？这样，仅用 α 径迹法的积分测量来解释，似乎也不太充分。

第二，有不少的情况，如在探杯中距地表实际距离仅2—3厘米，平挂探测器时（其上下两面均有充分的空间），探测器两面所记录的径迹密度，虽然有时一样，但在大多数情况下是不完全一样的，甚至有时相差可达几倍。假使只有氦的作用时，探测器两面接收的径迹密度大致应是一样的。

第三，探测器平挂时比竖挂时所得的径迹密度要大，但有时也没有什么差别，假使只有氦的作用时，两种情况所得的径迹密度也应是基本一样的。这样一些实际问题促使我们产生了另一种解释方法，即探测器记录的 α 粒子应是有多方面来源的，引起氦的迁移作用是多方面的。探测深度的大小是由多种因素决定的。这就是我们下面讨论第二种看法的出发点。

（二） α 径迹来源于铀系列的 α 粒子

探测器记录的 α 粒子径迹，除矿体（包括原生晕）和次生分散晕的氦衰变的 α 粒子外，还记录了氦子体和铀亚系的一些元素衰变的 α 粒子（暂略讨论其它天然放射性系列衰变的 α 粒子）。

基于这样出发点和径迹的多种来源，对于 α 径迹找矿为什么能寻找一、二百米深的铀矿的问题，就不能仅从这一种或那一种的作用去解释，而应从多种因素的综合作用去解释。实践工作表明， α 径迹法的探深能力主要应取决于地质条件、

地球化学环境、以及方法的特征和探测器的灵敏度，即探测器所能记录的各种分散晕中最低铀含量发育的范围，这就是本方法的最大有效探测深度。一般认为，这样的分散晕发育有多远，探测深度就有多大。

必须说明，在讨论 α 径迹找矿探测深度的机制问题时，首先要分析探测器记录的 α 径迹的来源，然后根据不同的条件再讨论各种来源对寻找深部铀矿的作用。现分两种情况进行叙述。

1. 铀矿体赋存在潜水面以上

在铀矿体赋存在潜水面以上的条件下（见图 1），我们初步认为，探测器记录的 α 粒子主要来源有三：

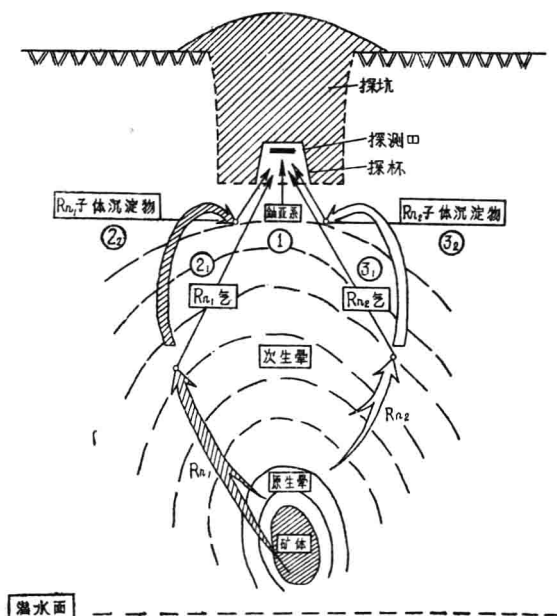


图 1 α 径迹找矿原理示意图

(1) 在一定的地球化学环境和地质条件下, 铀矿体能在其上部较远(几十米到几百米)的范围内, 往往同其它元素(如铅、锌、钼等)相伴生, 并产生机械晕; 或者溶于水, 产生盐晕或水晕。这种晕不断地衰变出氡射气, 也称次生氡(Rn_2), 它们通过一定的迁移方式到达探测容器(探杯), 在距探测器的一定范围内衰变出 α 粒子, 并被探测器所接收, 如图 1 中③₁所示。

(2) 铀矿体或原生晕的氡, 也称原生氡(Rn_1), 它们通过一定的迁移方式到达探测容器(探杯)。同样, 这些原生氡, 在距探测器的一定范围内, 也衰变出 α 粒子, 并被探测器所接收。如图 1 中②₁所示。

(3) 探测器接触的地面, 在 α 粒子自由射程的范围内, 由铀亚系(从铀到镭, 图 1 中的①)衰变的 α 粒子, 以及附着在探杯内壁, 探测器上和地面的次生氡和原生氡的子体沉淀物衰变的 α 粒子, 也一起被探测器所接收(图 1 中 ②₂ 和 ③₂)。

这三者, 由于具体条件的不同, 在探测器上所造成的径迹密度, 是不会完全一样的, 是变化着的。

当矿体埋深小于或等于氡的扩散距离(一般不大于10米)时, 来自矿体和原生晕的原生氡, 在扩散、对流和抽吸等作用的推动下, 跑到探测装置附近, 所衰变的 α 粒子可以直接被探测器所记录, 这是径迹的主要来源。氡子体和铀亚系衰变的 α 粒子在此种情况下也被记录。

当矿体埋深大于氡的扩散距离(几十米到上百米以上)时, 在上述的同样条件下, 探测器很难、甚至往往无法记录来自矿体氡衰变的 α 粒子, 但当存在发育的机械分散晕时, 次生氡衰变的 α 粒子则可以被探测器所记录。而且来自探杯

内壁，探测器上和地面上的氡子体沉淀物，以及探杯接触地面的铀亚系（由于探杯压紧，对现有的标准塑料探杯而言，探测器距地表只有2—3厘米左右）衰变的 α 粒子也被探测器所记录。当矿体附近有构造（控矿的）时，矿体的原生氡和构造中由镭衰变出的氡，随着构造性质的不同，有时可以向上迁移相当的距离，它们衰变出的 α 粒子在距探测器的一定距离内，也被探测器所记录。

2. 铀矿体赋存在潜水面以下

铀矿体赋存在地下水系之中，镭和氡溶解于水中，当地下水作经常性的垂直运动时，镭被沉淀在原潜水面之位置上。当潜水面距地表小于或等于氡的扩散距离时，沉淀镭衰变出的氡和水中直接逸出的氡，可在扩散、对流和抽吸等作用下，向上迁移到地表，衰变 α 粒子并被探测器所记录。含铀的发育分散晕衰变的次生氡，在此情况下，也经常起作用。而从矿体直接衰变出的原生氡，除一小部分通过地下水逸出水面迁移到地表外，其余则溶解于水中。若有构造通过矿体附近时，原生氡和镭衰变的氡可沿构造上升到地表，并被探测器所记录。当潜水面距地表超过氡的扩散距离时（几十米到上百米以上），由上述所说的镭衰变出的氡和地下水面逸出的氡很难通过自由扩散迁移到地表。这时，探测器所记录的径迹，大都应是来自地下水面上发育的次生分散晕所衰变的次生氡及其子体沉淀物，和沿构造来的氡及镭衰变的氡。

当矿体赋存在潜水面上下时，可按上述两种情况综合地予以解释。

从上述叙述的两种情况可看出：

第一， α 径迹找矿方法的探深能力是由多种因素决定的。其中经常起作用的，最重要的是潜水面距地表的远近和

铀次生分散晕的发育状况。例如，各种分散晕发育，矿体附近有构造通过，潜水面较近于地表，矿体的规模和品位较为可观时，本方法的探测深度就大，实践证明可达 200 米上下，甚至在特殊有利的条件下可达 300 米。当上述条件不具备或者具备不全时，探测深度就降低，有时仅有几十米，甚至只几米。

第二，在讨论 α 径迹法的探深机制问题时，不但要讨论氦，而且要讨论其它元素，特别是氦之前的母体元素镭的迁移问题。这对比较全面解释方法的探测深度有重要的意义。

第三， α 径迹找矿法是以地质为基础，通过研究地球化学晕的分布规律来达到寻找深部铀矿的目的。因此，今后对氦的地球化学和物理性质进行研究是必要的。并在综合考虑多种因素的前提下，应对氦的迁移方式进行一些定量或半定量的研究。

二、资 料 整 理

资料整理是 α 径迹找矿中很重要的一环，它将直接影响到测量结果的评价和处理。这是一项非常细致的工作，通常可按下述步骤进行：

第一，收集原始数据，进行质量评价。

第二，选择合适的数学方法，将数据进行处理。

第三，将计算结果绘制成各种图表。

第四，根据综合资料，并结合地质对资料进行推断解释，提出对工作地区的成矿预测。

（一）资料评价

径迹测量数据的取得，包括从薄膜选择到室内观察，在各个环节，都会不同程度上带来了误差。从数学角度看，这些误差，有的属系统误差（条件误差），有的则属偶然误差（随机误差）。单就系统误差来说，仅由于观察技术的差异和不同季节测量引起的误差往往可达30%以上。这样的误差对大面积的数据处理和异常解释，则是不能忽视的。偶然误差往往会歪曲异常。所以说不可靠的资料会导致错误的地质推断。因此，抓好第一性资料，保证资料准确可靠，乃是径迹测量中的重要工作。

1. 抓好第一性资料

第一性资料的可靠程度取决于一系列的因素。从薄膜选择、加工处理、野外测量（孔深，探测装置的特征和安放方

式、测量网度、照射时间、自然地理情况等等)到室内蚀刻和径迹观察等,每一个环节均可影响第一性资料的可靠程度,甚至导致测量结果推断解释的失真,因此,在工作过程中,要抓好每一个环节的质量,这是 α 径迹找矿工作中的一个重要环节。有关这方面的问题可参阅《 α 径迹找矿》一书,这里仅指出实际工作中应注意的几个问题。

第一,使用同一类型的薄膜。

实践证明,硝酸纤维薄膜的灵敏度和感度一般认为均较醋酸纤维薄膜高。这样,若两者混合使用,将会导致测点本底的明显差异,即使选用同一类型的薄膜,例如醋酸纤维薄膜,由于制造厂家的不同,配方的差异,产品存放时间的不一样,甚至连薄膜的一面或另一面的不统一使用,均可以导致底数统计结果产生的所谓多种形式的径迹值分布,给资料整理和数据统计带来困难。因此,要求在同一地区,使用同一类型的薄膜。

第二,应用条件要一致。

野外工作条件不一致,如孔(坑)深不一样,探杯容积大小不一,照射时间不同和气候条件差异明显(炎热夏季,长时间的雨天,冰冻期),均能影响测量结果。为此,应力求条件一致。特别应指出的是,野外埋片的位置和方式不同,甚至可以导致完全相反的结果,例如,探测装置安放在黄泥水里,或在河漫滩上,或探测器泡于水中,这些均可以使测量结果相差几倍甚至几百倍以上。又如探杯埋在田埂或者斜坡上,以及在探坑(孔)中,杯口与接触面很不“密封”,探坑(孔)盖土太松散,等等,可使测量数值降低。因此,在进行野外测量时,要尽量保持其条件一致。

第三,选好最佳蚀刻条件。