

α 径迹找矿

北京第三研究所



原子能出版社

α 径 迹 找 矿

北京第三研究所

原子能出版社

内 容 简 介

本书主要介绍利用 α 径迹探测技术寻找铀矿的基础知识、基本原理、野外工作方法、室内径迹观察、以及资料整理和结果解释等有关问题。内容深入浅出，文字通俗易懂，可供从事利用 α 径迹探测技术寻找铀矿的工人、技术员和其他有关人员参考。

α 径 迹 找 矿

北 京 第 三 研 究 所

原子能出版社出版

北京印刷一厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

(内部发行)



开本 $787 \times 1092^{1/32}$ · 印张 $2^{3/4}$ · 字数 60 千字 · 插页 1

1977 年 2 月北京第一版 · 1977 年 2 月北京第一次印刷

统一书号：15175 · 088 定价：0.26 元

前 言

在毛主席的无产阶级革命路线指引下，我国铀矿地质战线的广大职工，认真贯彻“独立自主、自力更生”的方针，开展了群众性的 α 径迹找矿工作并取得了可喜的成果。实践证明， α 径迹找矿方法是寻找深部铀矿的一种新方法。它具有操作简单，易于掌握，设备轻便，成本低，效率高，便于普及和推广等优点。

为了满足野外队的广大找矿人员对 α 径迹找矿知识的迫切需要，我们编写了《 α 径迹找矿》一书，介绍和交流这方面的经验，以便使其进一步在攻深找盲中发挥更大作用，为我国寻找更多的铀矿资源做出新的贡献。本书主要包括：径迹探测技术的基本知识、寻找深部铀矿的基本原理、野外工作方法、薄膜的化学蚀刻、径迹的观察、以及数据的处理和结果解释等等。

在编写过程中，我们得到了有关单位领导的重视和野外队广大同志的热情支持。初稿完成后，我们又走访了二十多个野外队，听取了广大找矿员、技术员和干部对书稿提出的宝贵意见，他们为及早完成此书工作起了很大作用，对此表示深切谢意。

由于我们水平不高，经验不足，加之时间仓促，不妥之处在所难免，希读者批评指正。

目 录

前言

一、径迹探测技术的基本知识	1
1. 径迹探测技术概况	1
2. 径迹的概念	1
3. 探测器及其特征	2
4. 径迹产生原因的几种看法的简介	12
5. 薄膜照射前后的外界影响因素	14
二、寻找深部铀矿的基本原理	16
三、野外工作方法	21
1. 方法前提和应用领域	21
2. 工作前的准备	23
3. 径迹取样孔	26
4. 探测器的放置	27
5. 照射时间	27
6. 探测器的取回和处理	28
四、薄膜的化学蚀刻	29
1. 化学蚀刻的概念及问题	29
2. 化学蚀刻的配方	33
3. 醋酸纤维薄膜的蚀刻程序	34
五、径迹的观察	36
1. 径迹观察技术的动态	36
2. 径迹镜下观察的技术和方法	38
六、资料整理和结果解释	44
1. 几种图件	44
2. 径迹测量的底数	46

3. 径迹测量的异常	46
4. 二倍均方差法	48
5. 径迹异常的评价和处理	58
七、 α 径迹找矿应用的实例	65
结束语	80

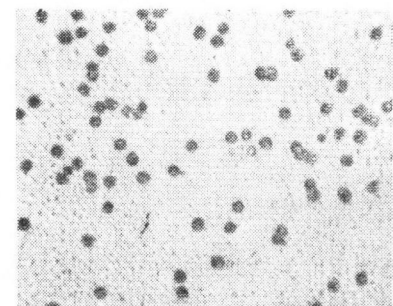
一、径迹探测技术的基本知识

1. 径迹探测技术概况

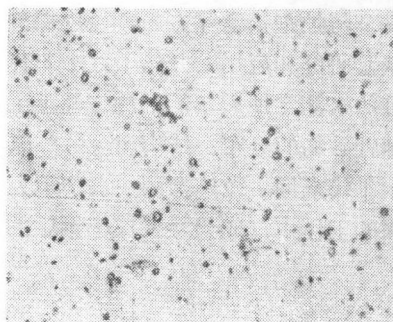
径迹探测技术，从径迹现象的发现到应用，只不过十几年的历史。但是，它的发展相当迅速，应用范围相当广泛。目前，它已应用到核子学、固体物理学、化学、地质年代学、考古学、天文物理学以及安全防护剂量学等方面。径迹探测技术在铀矿地质工作中的试验研究和应用，开始于六十年代中期，首先是利用裂变径迹法来测定地质年龄、测定地下工程中的氡气、研究岩石中铀钍矿物的分布、结构和含量，以及地化勘探等方面。到六十年代末期，径迹探测技术才被人们引用到铀矿的普查和勘探的工作中，成为寻找深部铀矿的一种新方法。

2. 径迹的概念

径迹，通俗地说，就是带电粒子和重离子等在某些绝缘固体上留下的“痕迹”。五十年代末期，人们在云母中用高倍电子显微镜观察到由于裂变碎片的辐射而产生的损伤痕迹（辐射损伤）现象，称之为潜迹，过去也有人称为亚微观径迹，其直径一般在几十埃（ $\text{\AA}$ ）左右。六十年代初期，人们为了便于在一般光学显微镜下进行观察，以及为着其他的一些研究目的，提出了对潜迹进行化学蚀刻，即将部分潜迹扩大为微米量级的、永久固定的“蚀坑”，即小洞洞（图1）。径迹可分为 α 径迹、质子径迹和裂变碎片径迹，等等。这些径迹



a



b

图 1 α 径迹a—— ^{239}Pu 源的 α 径迹；b——野外现场 U-Ra 系的 α 径迹。

探测的目的，例如，寻找深部铀矿，通称为找铀矿的径迹探测技术，也称 α 径迹找矿。

3. 探测器及其特征

同其它放射性测量技术一样，记录 α 粒子也必须有探测器。这种探测器比其它类型的探测器简单得多。作为 α 径迹

均具有各自的特征，甚至连外形也不完全一样，即使是同一种类型的径迹，由于辐射的几何条件不同，其形状也会有所差异。潜迹分为可蚀与不可蚀两部份，一般来说，是相对的，它取决于化学腐蚀和探测器的性质等一系列条件。化学腐蚀的条件选择合适，可蚀的潜迹就会增多。反之，就减少。当然，对于某一特定的探测器来说，其中也会有一些人为的辐射损伤，是无法成为径迹的。潜迹经化学腐蚀扩大为径迹的过程，称为径迹蚀刻。利用这种径迹蚀刻方法达到某种

探测器的材料种类繁多，最初使用云母，近年来发现，一般电介质，包括有机聚合物、无机矿物晶体以及非晶形电介质，都可作为固体径迹探测器的材料。然而，其中以玻璃、云母和各种类型的塑料为最普遍。 α 径迹找矿，主要是记录 α 粒子，因而，用于探测器的主要材料应是各种类型的塑料，如常用的有醋酸纤维(GA)和硝酸纤维(CN)，以及灵敏度稍差的聚碳酸酯等。

固体径迹探测器的材料，具有如下基本特征：

第一，具有阈特性。每一种可作为固体径迹探测器的材料，当它受到带电粒子或重离子等“轰击”时，所产生的辐射损伤密度（通俗说，即损伤的程度，其单位是： $\text{MeV}/\text{mg}\cdot\text{cm}^{-2}$ ），必须大于或等于该材料所固有的某一阈值时（也可称为临界辐射损伤密度），蚀刻溶剂才能以较快的速度与损伤物质反应，产生径迹。反之，假使损伤较轻，辐射损伤密度达不到该阈值时，就蚀刻不出径迹来。由此可见，辐射损伤的阈值与材料的性质等因素有关，不同材料具有不同阈值（见图2）。但是与“轰击”的粒子种类无关。例如：图中的硝酸纤维A，当其相对辐射损伤密度大约为2.5时，就能记录质子(H)和比质子重的所有粒子，聚碳酸酯不能记录质子，只能记录 α 粒子(He)和更重的粒子，所以聚碳酸酯的灵敏度要比硝酸纤维差。很明显，醋酸纤维的辐射损伤密度是介于聚碳酸酯和硝酸纤维A之间。图中的实线表示各种带电重粒子在探测器材料中的辐射损伤密度与粒子速度的关系。由于 β 、 γ 、光和电磁波在各种固体探测器材料中的辐射损伤密度均低于阈值，所以不记录这些射线，这对 α 径迹找矿是一个有利特点。

第二，不同的固体径迹探测器材料都具有各自的蚀刻特

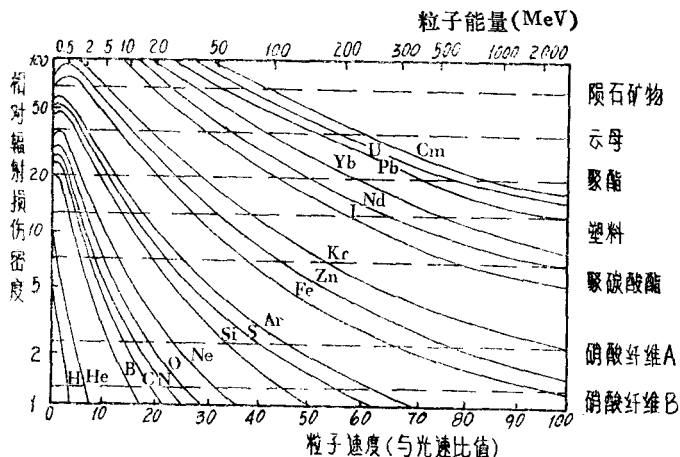


图 2 各种带电重粒子的辐射损伤密度与速度(或能量)的关系, 以及各种探测器材料的阈值

性和化学蚀刻条件。同一种材料在蚀刻过程中主要取决于：蚀刻溶液的成分、浓度、温度和蚀刻时间，以及材料照射后到蚀刻前的周围环境的各种影响因素。

事实上，不同的探测器材料都有自己最好的化学试剂。这些试剂，主要有：氢氟酸(HF)、氢氧化钠(NaOH)、氢氧化钾(KOH)、硝酸(HNO₃)、盐酸(HCl)和硫酸(H₂SO₄)等等。对塑料探测器来说，主要是氢氧化钠和氢氧化钾。

下面我们着重叙述塑料探测器在蚀刻时，径迹的出现和发育同蚀刻溶液的成分、浓度、温度和蚀刻时间的关系。当 α 粒子“轰击”探测器时，所产生的辐射损伤区深浅程度同入射粒子的阈值、能量和角度有关，而蚀坑的深浅又同蚀刻条件有关，随着蚀刻条件的不同，其径迹大小和密度也会随着

变化。

1) 最佳的蚀刻溶液及其浓度和 蚀刻时间 一定时, 径迹直径的大小同蚀刻溶液的温度成正比关系, 如图 3 所示。

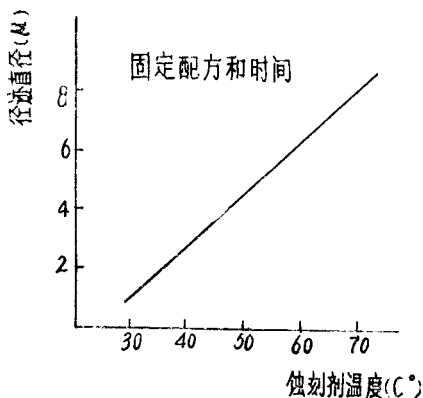


图 3 径迹直径与蚀刻温度的关系

2) 最佳蚀刻溶液浓度和温度一定时, 径迹直径的大小与蚀刻时间在一定范围内成正比关系, 如图 4 所示。

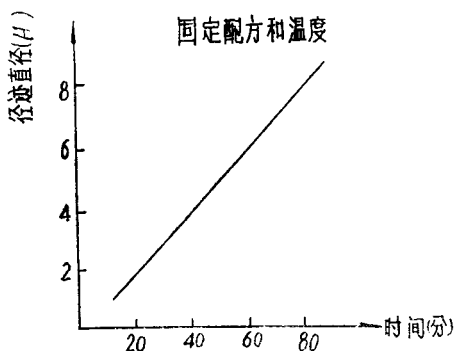
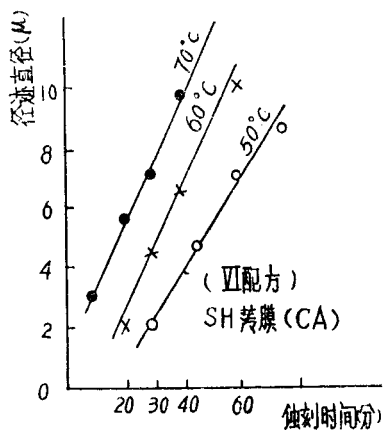
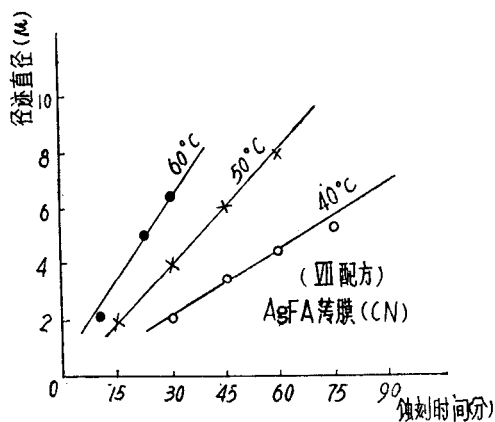


图 4 径迹直径与蚀刻时间的关系



a



b

图 5 蚀刻特性曲线

a—SH(CA);

b—AgFA(CN)。

例如，上海产的醋酸纤维薄膜(SH, GA)和西德产的硝酸纤维薄膜(AgFA, CN)蚀刻特性曲线见图 5 a 和 b。

3) 蚀刻时间和蚀刻溶液温度一定时，径迹直径的大小与蚀刻溶液浓度的关系，一般地说，在一定范围内，也是成正比关系。

总之，径迹直径大小与蚀刻溶液及其浓度、温度和蚀刻时间，在一定范围内，均成正比关系。

在选择固体径迹探测器的最佳蚀刻条件时，应考虑：径迹发育完整、蚀刻片数多、清晰度好、速度快、节约试剂，并尽量保证统一条件。实践证明，在合适的蚀刻条件范围内，如蚀刻溶液浓度相对小，或蚀刻溶液温度较低，能够较好地保证径迹发育的完满性，试剂也节约，这一般用于对径迹性质的研究，但是蚀刻时间较长，不能保证较快速度进行生产，蚀刻条件不统一，影响质量；反之，当蚀刻溶液浓度较大，蚀刻温度较高，其径迹的发育不够完全，然而时间短，符合生产要求，较能保证蚀刻的统一条件。必须特别引起注意的是在野外找铀矿的工作中，主要对象是 α 粒子，它们具有不同能量，即使是氧，虽是一种能量，由于几何条件不同，射到探测器表面的粒子能量是多种的，因此，选择蚀刻条件，要尽量保证出现更多的径迹，以便提高探测的灵敏度。当然，蚀刻剂溶液浓度相对小时，可用提高溶液温度和延长蚀刻时间来加以弥补，但这是有一定限度的，否则将有可能损伤探测器的性能，甚至缩小或消失部分径迹（退火作用）。因此要选择合适的蚀刻条件。

如上所述，天然铀系列的 α 粒子具有不同的能量(表 1)，因此，当其“轰击”探测器时，产生的损伤区，深浅不一样，能量高，潜迹深；能量低，潜迹浅。因此，随着蚀刻溶液温

表 1 天然放射性元素的主要 α 粒子能谱

核 素	α 粒子 能量 (MeV)	相 对 强 度 (%)	自 由 射 程 (cm)	备 注
$^{238}\text{U}(\text{UI})$	4.149 4.196	23.0 77.0	2.60	在温度 $t=15^\circ\text{C}$ 和气压 $p=760$ mm Hg 条件下, α 粒子在空气中的自由射程 R_D 和能量之间的关系, 可近似采用: $R_D = KE^{3/2}$ 其中 $E \geq 0.5 \text{ MeV}$ $K = 0.318$ 例如: 计算 ^{222}Rn 的 α 粒子在空气中的自由射程: $R_{\text{Dn}} = 0.318 \sqrt{(5.481)^3}$ $= 4.04 \text{ cm}$ 又如: 计算 ^{222}Rn 的 α 粒子在空气中的自由射程为 1 cm 时的能量: $E_{1\text{cm}} = \left(\frac{R_{1\text{cm}}}{K} \right)^{2/3} = \left(\frac{1}{0.318} \right)^{2/3}$ $\approx 2.12 \text{ MeV}$
$^{234}\text{U}(\text{UII})$	4.723 4.773	27.0 73.0	3.24	
$^{230}\text{Th}(\text{Io})$	4.621 4.684	~ 24 ~ 76	3.15	
$^{226}\text{Ra}(\text{Ra})$	4.602 4.785	5 95	3.29	
$^{222}\text{Rn}(\text{Rn})$	5.489 4.987	> 99.0 < 1.0	4.04	
$^{218}\text{Po}(\text{RaA})$	6.003 5.181	98.0 2.0	4.64	
$^{214}\text{Bi}(\text{RaC})$	5.268 5.448 5.512	5.8 53.9 39.2	5.48	
$^{214}\text{Po}(\text{RaC}')$	7.687	99.0	6.87	
$^{210}\text{Po}(\text{RaF})$	5.305		3.83	
$^{235}\text{U}(\text{AcU})$	4.210 4.362 4.365 4.401	 56.0	2.81	
$^{232}\text{Th}(\text{Th})$	3.953 4.012	23.0 77.0	2.50	
$^{228}\text{Th}(\text{RdTh})$	5.342 5.424	28 71	3.96	

(续表)

核素	α 粒子 能量 (MeV)	相 对 强 度 (%)	自 射 程 (cm)	备 注
$^{224}\text{Ra}(\text{ThX})$	5.449 5.686	5.0 95.0	4.26	
$^{220}\text{Rn}(\text{Tn})$	6.288	>99	4.99	
$^{216}\text{Po}(\text{ThA})$	6.779	>99	5.62	
$^{212}\text{Bi}(\text{ThC})$	5.758	1.6	4.71	
	6.051	70.0		
	6.090	25.0		
$^{212}\text{Po}(\text{ThC}')$	8.780	100	8.53	
$^{210}\text{Bi}(\text{RaE})$	6.450		2.2	

度的提高，蚀刻时间的延长，甚至浓度的加大，其径迹密度在前段时间内不断加大，然后逐步趋于稳定，最后缓慢下来，这可由径迹发育特性曲线表示(图6)。

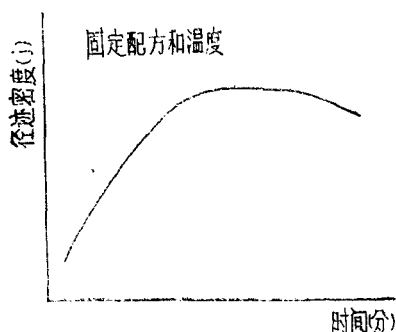


图 6 径迹发育特性曲线

第三，固体径迹探测器，随其材料不同，具有不同的感度效应，即使同种材料，甚至同一种材料的正反面，也会出现感度效应有不同程度的差异(图7)。

因此，在找矿和研究工作中，为保证感度效应的基本一致，应尽量采用同种材料，同面照射和同面观察。

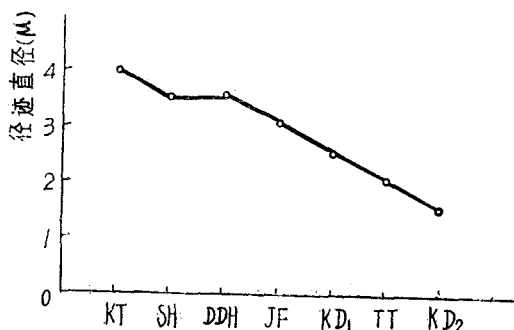


图7 蚀刻条件相同的各种探测器的感度效应

第四，不同材料的固体径迹探测器具有不同的灵敏效应。同种材料，由于其成分差异，生产质量不同，灵敏效应也不完全一样(图8)。

野外工作中，原则上应选择灵敏度较高的材料，以提高找矿几率和减少测量误差，特别是在分散晕不甚发育和氧的迁移条件较差的地区进行工作时，径迹密度反映较弱，尤为重要。

第五，各种探测器都具有自己的临界角。通俗地说，入射粒子“轰击”探测器时的最小有效作用角度，称为探测器的临界角，以 θ_c 表示之。例如，塑料探测器的 θ_c 一般都小于10度。

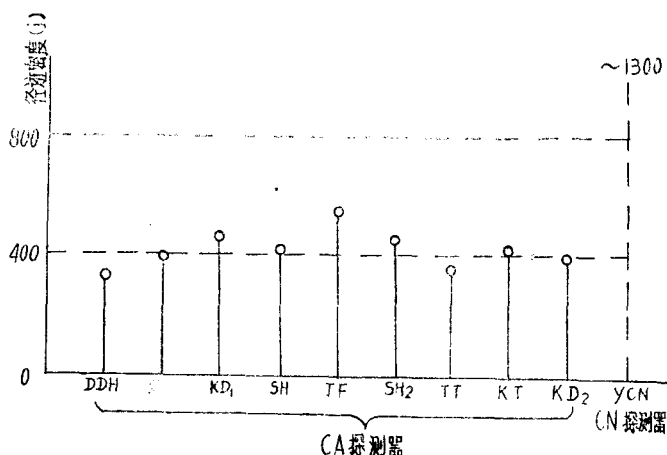


图 8 各种探测器灵敏效应的比较

在蚀刻过程中，蚀刻剂与探测器同时产生两种作用：一种是纵向蚀刻速度，也称沿粒子入射方向的蚀刻速度(V_{t_0})，另一种是垂直蚀刻速度，也称薄膜的蚀刻速度(V_G)。当 V_{t_0} 在垂直于探测器表面方向的投影值 V_t (等于 $V_{t_0} \sin \theta$)大于薄膜蚀刻速度 V_G 时，即 $V_t > V_G$ ，可以产生径迹。若 $V_t = V_G$

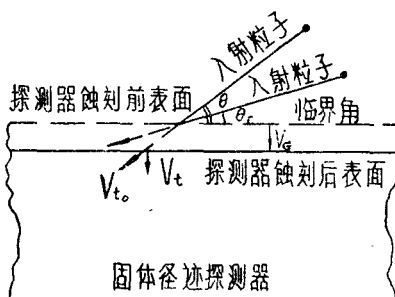


图 9 θ , V_t 和 V_G 示意图