

氦气测量

山 莒 著



科学普及出版社

氦 气 测 量

山 莒 著

科学普及出版社

1958年·北京

內 容 提 要

氦气測量是普查鈾矿中的主要方法之一。它的优点是能找到埋藏較深的鈾矿体；灵敏度也較高，能够測量氦气的絕對濃度。

這本書介紹了关于氦气測量的理論基础和野外工作方法，并着重介紹了涉及氦气异常的解釋和揭露。這本書适合从事于氦气測量工作人員应用。

总号：1246

氦 气 測 量

著 者：山

出版者：科 学 普 及 出 版 社

(北京市西直門外都家灣)

北京市書刊出版業營業許可証出字第091號

發行者：新 華 書 店

印刷者：北 京 五 三 五 工 厂

开 本：787 × 1092 1/32 印 張：1-1/2

1958年12月第 1 版 字 数：24,500

1958年12月第 1 次印刷 印 数：35,050

統一書号：15051 · 220

定 价：(9) 1 角 7 分

目 次

前 言	(1)
一、氡气测量的物理基礎	(2)
(一)天然放射性气体	(2)
(二)射气濃度的單位	(3)
(三)决定土壤空气中射气濃度的因素	(4)
(四)土壤空气中射气濃度隨深度变化情况及气候对它的 影响	(5)
(五)射气的扩散和氡气测量的深度	(6)
二、野外用 CF-11 型射气仪	(7)
(一)CF-11 型射气仪构造簡述	(7)
(二)射气仪的工作原理	(8)
(三)射气仪的标定	(9)
(四)射气仪工作状况的檢查	(11)
三、氡气测量工作方法和操作方法	(11)
(一)氡气测量的工作方法	(11)
(二)进行氡气测量时測量網的布置	(13)
(三)氡气测量的操作方法	(15)
(四)工作質量的檢查	(17)
四、氡气异常的詳測, 解釋和揭露	(19)
(一)氡气异常的詳測	(19)
(二)氡气异常的解釋	(20)
(三)氡气异常的揭露	(23)
五、氡气测量的資料編录和整理	(24)
(一)原始資料的編录和整理	(24)
(二)氡气測量結果的表示	(26)
結束語	(27)

前 言

在普查鈾矿中最常用的是伽瑪測量。但是伽瑪測量的最大缺點是它探測的深度小，不到一米。假如浮土厚度超過一米，而又沒有鈾矿的擴散量，伽瑪測量就失去了作用。

氫氣測量具有伽瑪測量所沒有的優點，它的探測深度能達到4—5米。在1950年之前，氫氣測量的勞動生產率是很低的，從野外取氣體試樣，拿到實驗室來分析，量三小時後的電離電流。這樣每天僅能測量三十個試樣。後來由於生產發展的需要，物探工作者創造了快速氫氣測量法，直接在野外測量土壤空氣中氫氣的濃度，以測量瞬時電流來代替三小時後的電流，並且把允許的誤差放寬到為最小異常值的20%。經過這些改變後勞動生產率就提高四、五倍。

氫氣測量與伽瑪測量比較有下列的優缺點：

1. 能找埋藏較深的鈾矿體。
2. 氫氣測量的靈敏度較高，並且能測量氫氣的絕對濃度。
3. 氫氣測量使用的儀器較為笨重，在工作時比伽瑪測量需多要兩個工人，勞動生產率也較低。
4. 伽瑪測量能沿整個路線連續不斷地測定岩石的放射性強度，而氫氣測量則不能。

本書的內容是介紹關於氫氣測量的理論基礎和野外工作方法，較多的篇幅是涉及氫氣異常的解釋和揭露。本書適合於從事於氫氣測量工作人員應用。

一、氡气测量的物理基础

氡气测量是利用仪器测量在土壤空气中的氡的浓度，发现氡在土壤中的异常区，结合地质方面的和其他物探方面的资料研究氡气异常的来源，并用普通山地坑道（探槽浅井）揭露异常，以求找到有工业价值的铀矿矿体。

(一)天然放射性气体

铀矿体不断地放出氡和钍射气(An)，所以我们找到氡的或钍射气的异常，就有可能找到铀矿矿体。在自然界中除了上述两种射气之外，还有釷射气。在射气测量中釷射气常常妨碍我们去发现真正的氡异常，因此我们必须知道这三种射气的特性，并利用这些特性来弄清异常是由那一种射气引起的。

天然放射性气体的特性列于表1中。

表1

放射系名		铀	釷	釷 釷
气 体 放 射 性 元 素	符 号	Rn	Tn	An
	原 子 序	86	86	86
	原 子 量 A	222	220	219
半衰期 T		3.825天	54.5工秒	3.92秒
蜕变常数 λ (秒 ⁻¹)		$2.097 \cdot 10^{-6}$	$1.272 \cdot 10^{-2}$	0.1767
射线类型		α	α	α
质点能量 (百万电子伏特)		5.482	0.278	6.8
在地壳中的平均含量 (按质量计算)		6.10 ^{100%}	9.10 ^{20%}	4.10 ^{220%}

射气蜕变时放射出的粒子能使周围的空气电离；我們現在用的射气仪就是利用这个特性来测量射气的濃度。除掉射气本身能放出 α 粒子外，它的某些蜕变产物也能放出 α 粒子，所以我們测量的电离电流是射气和它的某些蜕变产物蜕变时引起的电离电流之和。

氢、釷射气和錒射气(包括它們的蜕变产物)的随時間而变化的电离电流的理論曲綫繪在圖1(附在書末)上。在这里，假定刚开始时($t=0$)只有 Rn 、 Tn 和 An 三种元素，每种元素的数量为100个原子，那末分析圖1中的三条曲綫可以得出下列結論：

(1)氢气的电离电流随時間而增加，釷射气的电离电流則随時間而减少。根据这个特性，我們可以用测量不同時間的电离电流的方法来弄清楚引起电离电流的原因。

(2)錒射气引起的电离电流随時間而减少得很快，所以在目前的技术条件下，还不能在野外測定錒射气。

(3)当含有克拉克含量时，氢、釷射气和錒射气的起始电离电流($t=0$)之比为 $1:1.5:0.1$ ，因此我們不能根据錒射气来找鈾矿。而在根据釷异常找鈾矿时，釷射气常常造成很多的“假异常”。

(二)射气濃度的單位

射气濃度的測量單位为居里/立升和爱曼。在医学和 水文地质中有时用馬海作單位。

居里/立升——在一立升气体或液体中有这样数量的射气，这些射气在每秒鐘內有 $3.7 \cdot 10^{10}$ 个原子蜕变。

爱曼——其所表示的射气濃度为居里/立升的 10^{10} 分之一。1个爱曼的氢气在 $0^{\circ}C$ 760毫米水銀柱的压力下时，占 $6.6 \cdot 10^{-14}$ 立方厘米，重 $6.5 \cdot 10^{-10}$ 克，原子数为 $1.76 \cdot 10^8$ 个。

馬海——在一立升气体或液体中有这样数量的射气，这些射气所引起的饱和电离电流为 10^{-3} 静电单位，1个馬海 = 3.64 爱曼。

(三) 决定土壤空气中氡浓度的因素

氡测量的对象——土壤空气中的氡浓度不但是和岩石中放射性元素含量有关，而且和岩石的结构也有关。

在很深处，当从岩石内放出的和蜕变掉的氡数量达到平衡时，在土壤空气中的氡浓度和岩石的放射性的关系可由下式表示：

$$C_{Rn} = \frac{C_{Ra} \rho \eta}{P}$$

C_{Rn} ——氡的浓度。

C_{Ra} ——一克岩石中的含镭量；（以克镭/克岩石作单位）

ρ ——岩石的密度；

η ——岩石的射气系数；

P ——岩石的孔隙度。

由上列等式中可以看出土壤空气中氡的浓度主要是由下面二个因素决定：

(1) 岩石中含镭的数量；

(2) 岩石的某些物理性质；（射气系数，孔隙度等）。

氡是不断地由它的母元素镭蜕变而成。显然，那里镭较多，那里所蜕变成的氡就多。镭的较高含量可能存在于下列情况中：

甲、在铀镭矿体中；

乙、以分散状态存在于岩石内；

丙、在岩石内循环的放射性水中；

丁、在次生富集地带的岩石或第四纪的表土中。

由此可见，仅是很少一部分的氡异常是直接由铀矿矿体所

引起的，因此区别氦异常的性質，在射气測量結果的推断解釋中是一个很重要的。

岩石的射气系数是岩石向周圍介質放出的射气数量和在同一時間內在岩石內所形成的射气数量之比。岩石的射气系数不是一个常数，它主要随着岩石的結構而变化。它从小于1%(新鮮的致密的岩石)一直变化 100%(某些已風化了的岩石)。

由于岩石的物理性質(主要是它的射气系数)的不同，当岩石中含放射金屬量不变时，在土壤空气中的射气濃度也不同。所以氦气測量不但能够用来去普查鈾矿，而且在某些情况下能够去寻找岩石的破裂带、風化带等。

(四)土壤空气中射气濃度随深度的变化情况 及气候对它的影响

理論上和实际观察都証明了，在均一的岩石中，在土壤空气中的射气濃度随深度的增加而增加。当深度增加到約 5 米时，射气濃度就成为一个常数(見圖 2)，因为从土壤中不断地向大气放出射气，所以射气濃度随深度而增加。

气候条件是能影响表土的土壤空气中射气的濃度的，但是它影响的深度不大。由一系列观察的結果，証明了当深为 2 米时，外界的气候变化就不再影响到氦气的深度(表 2)。

表 2

深 度 (米)	0.25	0.50	1.0	2.0
氦气濃度变化限度: $\frac{C_{Rn最大}}{C_{Rn最小}}$	320 : 1	80 : 1	10 : 1	1 : 1

对土壤空气中氦气濃度影响最大的气候因素(圖 3)是:

(1)土壤表面的冻结和被雨水弄得很潮湿，这都妨碍土壤

和大气間的气体交換。被雪复盖的土壤中的射气濃度比沒有雪复盖时高。

(2) 气压的变化。一般說来，气压低时在同一处的土壤空气中的射气濃度就高。

在射气測量中为了减少氡气濃度的偶然变化，所以最好在尽可能的深处采取土壤空气样品。但是由于深处取样的劳动效率很低，另一方面射气測量在目前仅能定性地圈出异常区，所以取样深度可以小一些。假如过分小的話(20—30 厘米)，那測量的結果就很不可靠。

(五) 射气的扩散和氡气測量的深度

气体有自濃度高的地方向濃度低的地方扩散的趋势，射气也不例外。矿体放出的射气的扩散范围的大小主要由三方面来决定：

(1) 矿体放出的射气数量。这数量决定于矿体的大小，矿体内放射性元素的含量和矿石的射气系数。

(2) 岩石的气体渗透性。渗透性的大小是由岩石的扩散系数和裂隙度决定。岩石中有裂隙。那气体就产生了对流运动，这大大地扩大了射气的扩散范围。在岩石内有地下水运动，那射气就会被溶在水中而被帶到很远的地方去（氡气能被帶到几公里外）。

(3) 射气的蜕变常数。射气扩散的路程近似地和它的半衰期的平方根成正比。在一般情况下氡的扩散的路程約为 3—5 米，釷射气为 10 厘米，錒射气为 2—3 厘米。

氡的扩散范围主要决定了氡气測量的深度，即在此深度內用氡气測量的方法能發現引起氡异常的有工业价值的鈾矿矿体。氡气測量的深度还随下面三个因素而改变，

(1) 表土和圍岩中含鋇量的大小。表土和圍岩中的鋇所形成的氦氣濃度就是所謂岩石的底數。底數越大，可以算作異常的氦氣濃度值也就越大，這樣測量的深度也就越小。

(2) 在礦體周圍，固體或鹽類擴散量的存在能夠增加氦氣測量的深度。

(3) 取樣的深度，很明顯，取樣深度越大，測量的深度也就越大。

對於一般情況，我們可以認為氦氣測量的深度為 3—5 米，有時可以達到 10 米甚至更多。在加拿大，李特索特(1954年)曾用射氣測量找到離地表 60 呎(約 19 米)的裂隙中的瀝青鈾礦脈。

二、野外用 CF—11 型射氣儀

(一)CF—11 型射氣儀構造簡述

現在在野外測定射氣濃度的儀器是帶電離室的靜電計——野外用 CF—11 型射氣儀。野外用 CF—11 型射氣儀是作快速氦氣測量用的。在野外可以直接在剖面上用它取樣和作射氣樣品的測量。CF—11 型射氣儀是一種攜帶式儀器。它有下列幾個主要部分組成：(1)靜電計，(2)電離室，(3)抽氣筒，(4)三腳架，(5)操縱台，(6)土中取樣用的設備。

一般用 CF—1M 型靜電計作為測量的儀器，也可以用 CF—2M 型靜電計。不過 CF—2M 型靜電計在潮濕的氣候條件下工作較不穩定，並且靈敏度較小。CF—1M 型靜電計的靈敏度可以在 10—60 格/伏的範圍內調節。

電離室放在氣室的壳內，由二個帶有氣門開關的半圓筒組成，它的容積等於 500 立方厘米，CF—11 型射氣儀中的電離室

很容易用备品来更換，因此当电离室沾染了較多的射气衰变产物时，很容易設法去掉。

靜电計和电离室由异頸接头連接。

唧筒固定在射气仪气室的下部，它的容积为 650 立方厘米，筒內装有橡皮閥門，这閥門是用来使空气只能从电离室向抽气筒流通。

CF—11 型射气仪用的是木制的伸縮式三脚架。在三脚架的一支脚上，有安装操縱台的設備，在另一支脚上則有安装干燥滤塵器的設備。

在操縱台內装有 Гб—CA—45 型电池六个和普通手电筒用的电池一个。因为消耗的电流很小，所以它們的使用期即等于貯藏期(6—8个月)。

射气仪的总重量大約为 10 公斤。

射气仪构造的詳細說明，它的装配、修理等請看“CF—11 型射气仪說明”一書。

(二)射气仪的工作原理

由土壤內抽出来的含有射气的气体經取样器和干燥滤塵器进入电离室。干燥滤塵器的作用是为了不使灰塵和水分随土壤空气被帶进电离室，因为它們能大大地增加电离室內的电离电流，这样就会在測量样品的射气濃度时引起極大的誤差。

在与靜电計石英系相連的电离室电极和电离室外壳之間存在着很大的电位差(135 伏)。当电离室中沒有射气时，电离室內的空气是絕緣体，不能产生电流。而当射气被引入电离室后，射气使空气电离，并变成为导体。在电极与电离室外壳之間就产生电流，土壤空气中的射气濃度越大，所产生的电流也就越大。这电流使处在負电位的石英系上的电荷增加，破坏了靜电

計中石英系与电力之間的平衡关系，石英系就离开原来的位置移动。移动速率的数值通过放大鏡来观察和记录。它的大小（格/分）与石英系上的电荷成比例，而这电荷与〈电离〉电流成比例，即是与测量样品中射气的含量成比例。但是石英系上的指示絲移动速率和样品中射气濃度之間的定量关系，須經過标定之后才能确定。

(三)射气仪的标定

为了定量地测定样品中的射气濃度，必須标定射气仪。射气仪是用液体的鐳标准源来标定的。液体标准源分8号和9号两种。在标准源的鑒定書上或在装标准源的玻璃管上写有鐳的总含量。在标定之前把液体从細玻璃管内倒入扩散器中。用手捏鼓風器把装在扩散器内的标准源中的已积累了的氦气驅逐出去，然后封閉扩散器的出口端。放置一处，使氦气积累。

按圖4所示将各部分联結起来。准备好靜电計进行测量，先打开电离室两边的气門开关，然后折断扩散器玻璃管端头。用手捏鼓風器使气流从扩散器到电离室連續吹5—10分鐘，鼓气的速度要这样，就是每分鐘要出現80—100个气泡。鼓气结束后，关上电离室两边的开关，进行测量电离室内的电离电流。在关上开关后的十分鐘內不断地进行电离电流强度的测量。

指示絲每移动20—60格，记录時間一次，将所得数据取平均值，化成以格/分为單位。然后按下式計算射气仪的格值。

$$j = \frac{a(1 - e^{-\lambda t})}{I(V_1 + V_2)} \times 10^{10} \text{ 爱曼} \frac{\text{格}}{\text{分}}$$

式中：a—标准源中鐳的含量，在它的鑒定書上注有。

$(1 - e^{-\lambda t})$ ——經過時間t后的氦气积累系数，可以从附表1上查得。

t ——在扩散器中积聚的时间。

λ ——氡的衰变常数。 $\lambda = 2.1 \cdot 10^{-6} \text{秒}^{-1}$ 。

I ——最初十分鐘內观察到的电离电流的平均值(格/分)。

V_1 ——射气仪电离室的容积 $V_1 = 0.5$ 升。

V_2 ——手捏鼓風器，扩散器，干燥器和橡皮管等的容积。

即除去电离室以外的閉合系統的体积，可以事先装水测量。

射气仪标定的记录格式和例子請參看附表 2。

当灵敏度为 20 格/伏时，射气仪格值为 0.2—0.3 爱曼 $\frac{\text{格}}{\text{分}}$ 。

一般在土壤空气中的射气濃度底数平均为 2 爱曼，所以在野外工作中沒有必要把灵敏度調整得很高，常用的灵敏度为 10—20 格/伏。标定时和工作时常用的灵敏度应一样。

該射气仪的靜电計格值測定后，可以仍旧用此电离室，只調換靜电計，測量另外射气仪靜电計的格值。

样品中射气濃度由下列公式来决定： $N = j_1 I$

其中： N ——欲求的射气濃度，以爱曼表示；

j_1 ——在測量样品时的灵敏度下的格值，以爱曼 $\frac{\text{格}}{\text{分}}$ 表示；

I ——样品的电离电流，以格/分表示。

假如标定时和工作时的灵敏度不一样，那在工作时的灵敏

度的格值： $j_1 = i \frac{m}{m_1}$

这里： m ——标定时的灵敏度(格/伏)

j ——标定求得的格值(爱曼 $\frac{\text{格}}{\text{分}}$)；

m_1 ——測量样品时的灵敏度(格/伏)

射气仪的标定在每年野外工作期間不得少于三次。应在野

外工作开始前，中间和終了的时候进行标定。

(四)射气仪工作状况的检查

在每天出發到野外工作之前，必須用固定标准源来检查射气仪的工作状况。检查时射气仪的灵敏度应和工作时常用的灵敏度一样。

用固体标准源来检查射气仪的工作状况是按下述方法进行。准备好CF-11型射气仪进行测量。把底数补偿掉，这时固体标准源离仪器的距离应不小于10米。然后把标准源放在三脚架头部靠补偿器一边的小平台上，测量因标准源放出的伽瑪射线在电离室内引起的电离电流。每次检查时，标准源放的位置应固定不变。

每次检查时，要取不少于五次的数据取其平均值，并写在记录本上(格式見附表3)。将每天测量的結果要画出曲綫来。

假如射气仪工作很正常，那每天检查时测量得的电离电流值的变化不应大于5%，假如变化大于5%，那就說明仪器工作不正常，需要查明原因并設法消除它。原因是各式各样的，可能是由于电池的电压发生了变化，也可能是琥珀絕緣漏电等等。

固体标准源有3号、4号、5号和6号四种。5号和6号标准源是由鐳226制成的。

三、氡气測量工作方法和操作方法

(一)氡气測量的工作方法

在普查和勘探铀矿的各个阶段都能应用氡气測量。

随着工作地区的研究程度的和远景的不同，应用不同的氡气測量方法。氡气測量按照它的研究詳細程度可以分为：

1. 踏勘性的或者初步氦气普查;
2. 詳細氦气普查;
3. 初步氦气測量;
4. 詳細氦气測量。

(1) 踏勘性的或者初步氦气普查。根据小比例尺地質圖(1:1000000)的資料划出踏勘性氦气普查的工作地区。踏勘性的或初步氦气普查用測剖面綫的方法来进行,剖面綫与已确定的或估計的含矿构造带的走向呈直交,剖面之間的距离等于一公里或更大一些,剖面上測点間的距离为5—10米。踏勘性的氦气普查与沿露头的伽瑪普查,放射性水文地質普查同时进行。

踏勘性普查的目的是为了对較大面积加以初步估价,为了在工作地区發現所有的有实际价值的含鈾矿区。

(2) 詳細氦气普查:这种普查是在含矿区内,也以測剖面的方法进行;剖面可按 200×5 —— 1000×5 米的測網布置。詳細氦气普查的任务是在含矿区内發現所有的有实际价值的,和在現有技术条件下可能發現的鈾矿矿床。

詳細氦气普查的工作地区是根据踏勘性普查或其他已經做过的地質—物探工作的資料来选择的。

(3) 初步氦气測量。初步氦气測量是在普查工作中發現的矿床区域内,按 50×5 到 200×5 米的測網进行。其目的是在矿床区域内發現个别的矿体。

(4) 詳細氦气測量。詳細氦气測量是按 5×2.5 到 50×5 米的測網进行。其目的是为了圈定氦气測量所發現的,所有可能被圈定的矿体,和选择最适当的地方用山地工作去揭露个别有希望的氦气异常。

在同一阶段中,剖面之間的距离大小是由地質构造特点,矿体大小和形状表土厚度来决定的。它在不同地区是不一样的。

氦氣測量按取樣的深度可分為普通氦氣測量和深度氦氣測量兩種。普通氦氣測量一般它最常用的取樣深度為 50—70 厘米左右。取樣深度超過 1 米的就叫深度氦氣測量。因為取樣深度大，勞動效率低，所以深度氦氣測量一般是在初步和詳細氦氣測量中才應用。它是為了在礦床區域內尋找埋藏較深的礦體或者是為了弄清產生氦氣異常的原因。（詳細請參看第四章第一節）

實際工作證明，射氣異常的形狀一般都是一個一個的狹小的高峰，二個高峰不連在一塊兒。所以剖面之間的距離可以變化很大，從 5 米一直到一公里多，但是在剖面測點之間的距離就不能大於 5—10 米。不然的話就有可能漏掉礦床，因此也就漏掉了整個礦床，或者含礦區。

在表土不太厚的地方，同時又沒有風化壳存在，測點之間距離為 5 米的氦氣測量可能會漏掉脈狀礦體。這時就得使測點的間距減為 2.5 米或者應用伽瑪測量來找礦。

在缺少表土的地區或表土復蓋厚度不超過 0.3 米的地區，一般不適用氦氣測量的方法來找鈾礦。在氦氣測量工作地區內表土不厚的地區或露頭區，需要同時進行伽瑪測量。

（二）進行氦氣測量時測量網的布置

在進行踏勘性氦氣普查，不預先布置測量網。剖面是由領導氦氣測量的地質或物探人員確定的，預先畫在相當比例尺的地形圖上（1:100000—1:25000）。然後操作員根據地形圖，在進行氦氣測量同時布置剖面。剖面的方向根據羅盤和定向標來確定，距離是用繩索或者用步來量。當發現異常時，就用目測的方法將它和附近的定向標定起來，同時將它畫到地形圖上。

在進行詳細氦氣普查、初步和詳細的氦氣測量前要預先由專門組織的測量小組布置測量網。地形測量小組由地形測量組