

氦气测量在地质 找矿中的应用

原子能出版社

氦气测量在地质找矿中的应用

邬琪竹 编译

原子能出版社

内 容 简 介

本书介绍了国外有关用氦气测量寻找深部铀矿床方面文献。主要内容有：氦及其主要性质；氦的分析方法；氦气测量的理论、方法及应用实例。其中也包括二氧化碳、甲烷、汞蒸气和氧等在地质填图、找矿及地震预报方面的应用。

本书可供地质、物探以及地震工作者参考。

氦气测量在地质找矿中的应用

邬琪竹 编译

原子能出版社出版

张家口地区印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

(只限国内发行)

☆

开本 787 × 1092^{1/16} · 印张 7 · 字数 155 千字

1976 年 4 月北京第一版 · 1976 年 4 月北京第一次印刷

印数 001—3400 · 定价：0.85 元

统一书号：15175 · 046

前 言

随着原子能事业的发展，铀矿的需要量也不断增长。由于出露地表或近地表的铀矿床越来越少，因此，需要探索和研究一些有效的深部找矿方法。

自从五十年代以来，在国外陆续开展了氦气测量的研究，到六十年代中期，开始推荐为寻找深部铀矿床的方法之一。目前，氦气测量的理论及测量技术正在逐步完善；在国外地质填图和已知铀矿床以及其他金属矿床上也出现了一批应用此法的实例。

为了使地质工作者对国外的氦气测量情况有所了解，特编译了本书。

由于时间仓促，水平所限，不妥和错误之处在所难免，敬请读者批评指正。

目 录

前 言

一、氮的发现、产生、分布及应用·····	(1)
二、天然气中的氮·····	(5)
三、氮的性质·····	(7)
四、氮的溶解度、吸附和通过固体物质的扩散·····	(23)
五、沉积岩中氮的扩散·····	(36)
六、地壳上部渗透性介质中氮迁移的若干特性·····	(43)
七、氮气田和气体混合物中氮的探测方法 和装置·····	(55)
八、气体混合物的分析·····	(70)
九、用氮气和氩气测量来研究大陆架和 海洋基底的构造·····	(76)
十、维特瓦特兰德含铀砾岩中的氮·····	(77)
十一、氮法理论的若干问题·····	(78)
十二、普查放射性矿床的氮法理论·····	(107)
十三、土壤气体中的氮和氩·····	(132)
十四、铀矿床上的气晕·····	(147)
十五、氮气测量·····	(149)
十六、金属矿床的天然气体·····	(157)
十七、金属矿床的气体普查方法·····	(160)
十八、测量地下水中的氮——普查铀钍矿床·····	(180)
十九、气体地球化学方法在构造填图和 金属矿床普查中的应用·····	(193)
二十、氮气测量在构造填图和金属矿床 预测中的应用·····	(205)

一、氦的发现、产生、分布及应用

B. Γ. 法斯托夫斯基等

(一) 氦的发现

一八六八年日蚀期间，一些天文学者用光谱测量法研究太阳的大气，发现太阳大气中一条明亮的黄色谱线，当时将它命名为 D_3 。这条谱线，当时在地球上尚未遇到过。

新谱线发现者之一洛克埃爾以及富兰克林特建议将这个未知元素命名为氦(其希腊字义为“太阳”)。

一八九五年拉姆扎依研究钷铀矿逸散出的气体时，首先发现了这条明亮的黄谱线，其波长为 $5874.9 \text{ \AA}$ ，从而于三月二十三日正式宣布在地球上发现了氦。很快在其他矿物和含铀岩石中也发现了氦。一八九六年在大气中也证实氦的存在。

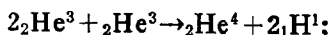
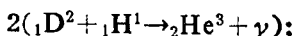
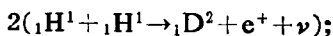
(二) 氦的生成

大气中的氦(地球上的氦)是重放射性元素(U、Th、AcU) α 衰变的产物。这样生成的氦主要是同位素 He^4 。氦的生成速度极慢，每年每克铀仅能生成 1.16×10^{-7} 毫升，而每克钍每年生成 2.43×10^{-8} 毫升的氦。或者说，矿物中每吨铀(这是地球的主要氦源)每年仅生成 0.12 毫升氦。这个连续发生的缓慢过程每年在地球的岩层和水中积累着 10^6 立方米氦。保存在岩石、水和大气中的氦总量为 5×10^{14} 立方米，而其总生成量要高出数倍。氦缓慢地由大气圈向宇宙散失。

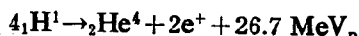
He^3 在地球氦内含量极少。大气中 He^3/He^4 为 1.1×10^{-6} 。天然气中此比例为 1.4×10^{-7} 。已确定， He^3 系由氢的

重同位素——氦的 β 衰变生成。氦是在大气上层由宇宙射线的中子轰击氮生成。这也是 He^3 在某些铁质陨石中含量高,而在天然气及铀钍矿石中含量极低的原因。

星球上的氦(太空氦)是发生在太阳和星球上的氢核聚变的热核反应产物(质子-质子型聚变)。星球在高温下,两个高速质子碰撞,聚合生成氘(由一个质子和一个中子组成)。当氘与另一个质子相撞时,生成 He^3 ,放出 γ 量子。两个 He^3 相撞,生成 He^4 和两个质子。一千克聚变核释放 1.75×10^8 瓩·小时能量。反应式为:



任何形式核聚变的最终结果(质子-质子或炽热星球上的C-N型)可表示为:



人工核反应产物还有 He^6 :



(三) 氦的分布

1. 大气中: 见表 1。

表 1 干燥空气的组分

组分	含 量		组分	含 量	
	体积百分比	重量百分比		体积百分比	重量百分比
O_2	20.946	23.139	He	5.239×10^{-4}	0.724×10^{-4}
N_2	78.084	75.521	Kr	1.14×10^{-4}	3.29×10^{-4}
Ar	0.934	1.288	Xe	0.86×10^{-4}	0.39×10^{-4}
CO_2	0.033	0.050	Rn	0.60×10^{-18}	0.70×10^{-18}
Ne	1.818×10^{-3}	1.267×10^{-3}			

在 1000 立方米空气中含有 9.34 立方米 Ar; 18.18 升 Ne; 5.24 升 He; 1.14 升 Kr; 86 毫升 Xe。

He³ 在大气中含量为 6.8×10^{-12} 或 $6.8 \times 10^{-10}\%$ 。

大气中各组分总含量为(吨): He—— 4×10^{10} ; Ne—— 7.1×10^{10} ; Ar—— 4×10^{14} ; Kr—— 2×10^{10} ; Xe—— 1×10^9 。

大气中各稳定同位素总量(吨)为: He³—— 4×10^4 ; Ne²¹—— 18.5×10^8 ; Ar³⁸—— 2.4×10^{11} ; Kr⁷⁸—— 7×10^7 ; Xe¹²⁶—— 9×10^5 ; Rn²²²—— 5×10^2 。

2. 天然气中: 含氮天然气是至今唯一工业制取氮的来源。美国西南部堪萨斯、俄克拉何马、得克萨斯、新墨西哥、犹他、亚利桑那各州含氮天然气源极丰富。氮在其中体积百分数占 0.3—2.0% 或更高。美国氮总储量达 5.6×10^9 立方米。

加拿大萨斯喀彻温有丰富气藏, 氮储量达 $3-5 \times 10^7$ 立方米。天然气中氮含量占 1.8—1.9%, 氮为 96%。目前加拿大每年可生产纯氮 2×10^6 立方米以上。

南非有含氮达 8% 的气田。阿尔及利亚、日本和苏联都报道有这类气田。

3. 宇宙空间中: 光谱分析表明, 在宇宙空间、地球上和地球上惰性气体分布是不一样的。宇宙空间中轻气体——氢与氮占约 99%, 而其余元素仅占星球、星云、星际空间物质的 1%。

惰性气体在宇宙间分布如下: 若 Si——1, 则 He—— 3.08×10^3 ; Ne——8.6; Ar——0.15; Kr—— 5.13×10^{-5} ; Xe—— 4×10^{-6} 。

在地球上(包括大气和水圈)为: 若 Si——1%, 则 He—— 2.16×10^{-7} ; Ne—— 2.68×10^{-8} ; Ar—— 3.78×10^{-6} ; Kr—— 2.45×10^{-10} ; Xe—— 2.39×10^{-11} 。相比之下, 地球是缺氮的。

由上可见, 天然气中氮的含量多, 而且是工业制取氮的唯一来源。

4. 应用: 氮用于作火箭液体燃料的压送剂和增压剂; 核反应堆的冷却剂; 火箭、核反应堆管道及电子装置的检漏; 保护电弧焊接(火箭、宇宙飞船等); 超低温冷冻(低于 4°K 以下); 气体激光; 超导体和半导体的晶体生长等方面。

以美国为例, 一九二一年每年仅生产氮 56.6×10^3 立方米; 一九五〇年为 2303.6×10^3 立方米; 一九五五年为 6245.8×10^3 立方米; 一九六七年为 28700×10^3 立方米。

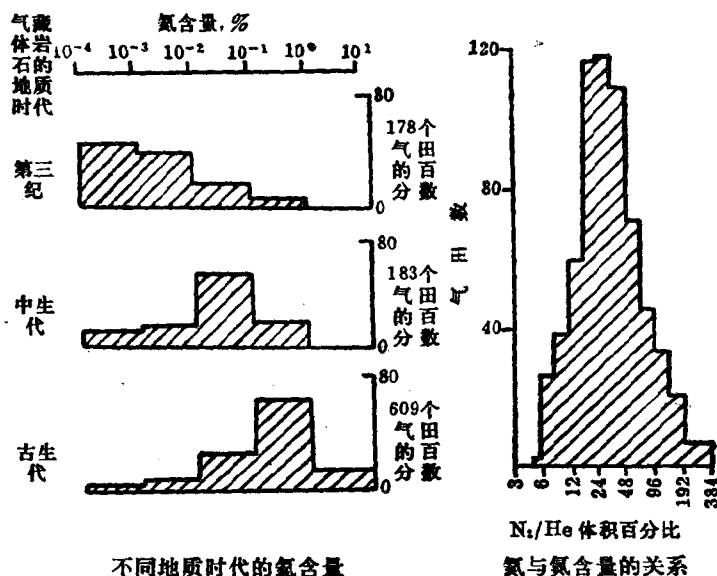
摘译自《Инертные газы》第一章 1972.

二、天然气中的氦

D. L. 卡 兹

美国矿务局对六千多个天然气样品作了分析。分析数据的研究表明：1) 大多数天然气中含有 0.01—8% 的氦(除加利福尼亚州和海湾气田较新的地层外)；2) 氦含量随地质时代增加而增加；3) 氦浓度随氦含量增加而增加。

下图表示不同地质时代天然气田样品中的氦浓度量级和 N_2/He 的比率。



天然气中氦的成因，许多人将之归于基岩或花岗岩中的铀和钍。铀和钍在衰变过程中产生氦的速率分别为：1.16 ×

10^{-7} 毫升/克铀·年和 2.43×10^{-8} 毫升/克钍·年。

这种氦在岩石中保留着大部分,但完全处于被分割状态。部分氦通过沉积岩(和天然气中其它组分一起)向上面的大气圈扩散。从天然气在地下贮存的情况,可见这种扩散远非均匀的。溶洞、破碎带和断层是气体扩散到地表的良好通道。

天然气中的某些氦也可能来自地下花岗岩,但不是主要来源。

在铀、钍显著富集成一个有工业价值的矿床地区,就发现天然气中富氦。这里往往氮的浓度也高。以 α 粒子效应作为高氮的成因,表明氮与氦共生似乎是合理的。跟铀、钍共生有时呈化合物形式存在的有机质碎块,在 α 粒子冲击下,释放氮。也还可能有其它的氮源。而二氧化碳则可能通过一些溶解过程从天然气中迁移走了。

此外,高氮、少碳氢化物的天然气中, N^{14}/N^{15} 比率较大气中高。

上述氮、氮和碳氢化物从沉积岩中产生后,一起向积聚它们的气藏移动。

摘译自 «Helium Symposia Proceeduings in1968—
100 Years of Helium» Bureau of Mi-
nes IC 8417.

三、氦的性质

B. Г. 法斯托夫斯基等

氦与所有惰性气体一样，无色、无味，皆由单原子组成。它们的外电子壳层已饱和。它们具有反磁性，这是由它们的电子壳层封闭性引起的。

惰性气体由轻而重，外电子层与核的联系逐渐减弱，分子变形能力增强，分子的极化能力和形成偶极子的能力增强，同

表 1

特 性	He*)	Ne	Ar	Kr	Xe
原子序数	2	10	18	36	54
平均原子量	4.0026	20.179	39.948	83.80	131.30
原子直径 Å	2.7	2.8	3.42	3.6	4.05
密度(公斤/米 ³)当0°C, 1大气压时	0.17847	0.89994	1.78403	3.7493	5.8971
极限参数:					
$TK(^{\circ}K)$	5.25	44.4	150.85	209.35	289.74
PK (大气压)	2.26	26.19	48.3	54.3	57.64
$P(10^3$ 公斤/米 ³)	0.0693	0.484	0.536	0.908	1.100
正常沸点(1大气压), $^{\circ}K$	4.215	27.07	87.29	119.80	165.05
液体密度(10^3 公斤/米 ³)	0.1249	1.207	1.3998	2.413	3.057
正常沸点下的汽化热(卡/摩尔)	19.4	414.0	1557.5	2258.0	3020.0
隐蔽熔融热(卡/摩尔)	—	80.1	280.8	390.7	548.5
三重点:					
$T(^{\circ}K)$	—	24.66	83.81	115.78	161.36
P (毫米汞柱)	—	325.1	516.68	548.7	613.1
$\rho(10^3$ 公斤/米 ³)	—	1.444	1.623	2.826	3.540
汽化一升液体生成的气体量(升)	700.3	1341.1	784.0	643.6	518.9

*) He³ 沸点为 3.19°K, 汽化热 5.91 卡/摩尔, 极限压力 1.15 大气压。

时其溶解度、吸附能力、可压缩性和液化的倾向等也逐渐增强。

它们的主要物理性质见表 1。

(一) 化合物

外电子层为电子所充满, 决定了氦化学惰性。

光谱分析结果证实了汞原子与氦原子化合的可能性。
 $\text{Hg} \cdot \text{He}$ 化合能很小, 仅为 3.01×10^{-3} 电子伏。

(二) 电离能

电离氦原子时, 壳层电子脱离原子以及第二个电子脱离电离了的原子都需要能量, 其能量见表 2。

表 2

激发能与共振线波长		电 离 能, 电 子 伏	
U , 电子伏	λ , Å	U_1	U_2
20.86	592	24.46	54.4
21.20	584		

(三) 磁化率

氦的磁化率 κ 为 -1.9×10^{-6} 。这个数值在从 $+25^\circ\text{C}$ 到 -185°C 范围内很少变化。

(四) 可压缩性

图 1 示惰性气体可压缩性。图中: P_0, V_0 分别为 0°C 、一大气压力时, 气体的体积和压力; P ——气体压力, V ——压力为 P 时气体的体积。压缩度 $\rho = PV/P_0V_0$ 。(1)

压缩系数 $Z = PV/RT$ (式中: R ——气体常数, T ——绝对

温度 °K)。(2)

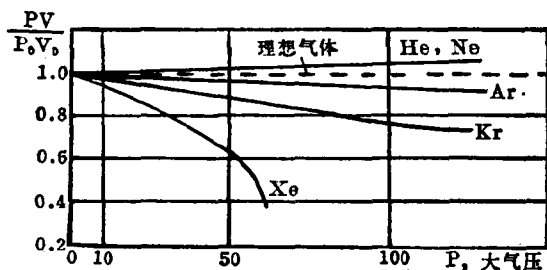


图 1 惰性气体的可压缩性

氮在低温时的压缩度(ρ)见表 3。

表 3

P, 大气压	ρ (在下述温度下, °C)						
	-252.8	-208.0	-183.0	-150.0	-100	-50	0
0	0.0745	0.2384	0.3299	0.4506	0.6336	0.8165	0.9995
1	0.0745	0.2389	0.3305	0.4512	0.6342	0.8171	1.000
10	0.0744	0.2428	0.3348	0.4558	0.6390	0.8219	1.0047
50	0.0891	0.2621	0.3547	0.4768	0.6606	0.8434	1.0257
100	0.1206	0.2880	0.3816	0.5042	0.6884	0.8707	1.0523
200	—	—	—	—	—	—	1.1036

氮的压缩系数 Z 见表 4。

表 4

P, 大气压	Z (下述温度下, °C)					
	0	50	100	200	400	600
1	1.0005	1.0004	1.0004	1.0003	1.0002	1.0001
10	1.0050	1.0043	1.0037	1.0028	1.0018	1.0013
50	1.0255	1.0212	1.0179	1.0139	1.0090	1.0065
100	1.0498	1.0415	1.0354	1.0277	1.0178	1.0129

(五) 导热性

气体热导率 λ 与温度 T 关系如下:

$$\lambda = \lambda_0 \left(\frac{T}{T_0} \right)^n \quad (3)$$

式中: λ ——温度 $T^\circ\text{K}$ 时的热导系数。

λ_0 ——273.16 $^\circ\text{K}$ 时的热导系数。(对于氦, λ_0 为 34.33 $\times 10^5$ 卡/厘米·秒·度)。

n ——对于氦为 0.73。

氦的 λ 对 T 依附关系见图 2(1 大气压时)。

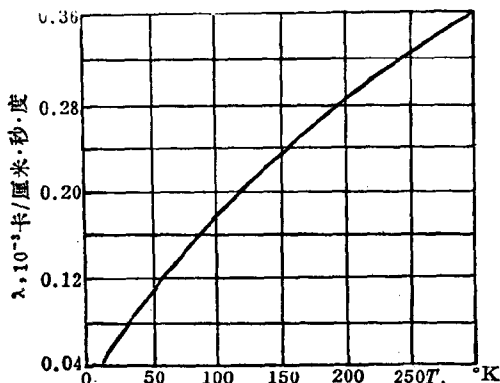


图 2 氦的热导率与温度的关系(1 大气压时)

氦在低温下, λ 对 T 的依附关系见表 5(压力为 4—760 毫米汞柱时)。

表 5

$T, ^\circ\text{K}$	$\lambda \cdot 10^5$	$T, ^\circ\text{K}$	$\lambda \cdot 10^5$	$T, ^\circ\text{K}$	$\lambda \cdot 10^5$	$T, ^\circ\text{K}$	$\lambda \cdot 10^5$
2.0	0.93	15.0	5.32	18.0	5.85	21.0	6.38
3.0	1.44	16.0	5.50	19.0	6.03	76.3	14.60
4.0	2.02	17.0	5.68	20.4	6.28	89.4	16.50
4.26	2.15	—	—	—	—	—	—

(六) 粘滞性

在 20°C 时, 氦的粘滞性见表 6。

表 6

P , 大气压	1	10	20	50
粘滞度 ^{*)}	196.14	196.10	196.02	195.88

^{*)}粘滞度单位为泊, 量纲为达因·秒/厘米²或克/厘米·秒。

He³ 与 He⁴ 的粘滞度见表 7。

表 7

T , °K	He ³	He ⁴	T , °K	He ³	He ⁴
1.3	7.07	3.43	15	26.05	28.9
1.5	8.36	3.82	16	27.10	29.9
2.0	10.24	4.88	17	28.20	31.05
2.5	11.26	6.10	18	29.30	32.25
3.0	11.96	7.41	19	30.40	33.5
4.0	12.92	10.20	20	31.55	34.8
14.0	25.0	27.9	—	—	—

高压下氦的粘滞度见表 8。

表 8

P , 大气压	-50.1°C	-24.8°C	0°C	25°C
69.04	160.1	172.4	185.5	199.0
137.08	162.2	173.4	185.3	198.3
205.12	165.4	175.8	187.6	200.7
409.25	173.4	183.9	193.1	204.2
681.42	187.9	197.1	206.8	215.4

高温下氮的粘滞度见表 9。

表 9

$t, ^\circ\text{C}$	η	$t, ^\circ\text{C}$	η	$t, ^\circ\text{C}$	η	$t, ^\circ\text{C}$	η
0	186.0	200	267.2	400	341.5	700	437.0
50	206.5	250	287.5	500	375.0	800	466.0
100	228.1	300	305.5	600	407.0	1000	524.0
150	247.5	—	—	—	—	—	—

液氮粘滞度见表 10。

表 10

He^3		He^4		He^3		He^4	
$T, ^\circ\text{K}$	η	$T, ^\circ\text{K}$	η	$T, ^\circ\text{K}$	η	$T, ^\circ\text{K}$	η
0.4	40.0	2.2	25.5	1.4	20.2	3.8	31.5
0.5	34.0	2.4	30.0	1.6	19.6	4.0	30.7
0.6	30.7	2.6	32.1	1.8	19.2	4.2	30.0
0.7	28.2	2.8	32.8	2.0	18.7	—	—
0.8	26.3	3.0	33.0	2.4	17.8	—	—
0.9	24.6	3.2	32.7	2.8	17.0	—	—
1.0	23.3	3.4	32.5	3.2	16.1	—	—
1.2	21.4	3.6	32.0	—	—	—	—

(七) 扩散

扩散是两种物质的分子由于不规则的运动引起的相互渗透的过程。

扩散系数 D 从数值上等于单位时间内透过单位面积的所扩散物质的量(在浓度梯度为 1 的条件下)。

在 25°C 、1 大气压时, 氮的自扩散系数 (D_{1-1}) 为 1.7(表 11)。