

应用氦、钋测量方法普查 油气田效果探讨*

李大心 方熠 魏永华 贾苓希

(中国地质大学(武汉))

摘要

李大心, 方熠, 魏永华, 贾苓希: 应用氦、钋测量方法普查油气田效果探讨,
《石油地球物理勘探》, 26 (2) 1991: 220~226

氦主要是放射性元素衰变释放出的 α 粒子与两个电子结合而成的, 钋是放射性元素氡的衰变子体。氦、氡的地球化学特性表明它们可以在油气藏中富集, 也易于从油气藏中逸出并透过盖层到达地表。由于油气田上方的次生变化, 使它们在油气田上方形成环状异常。氦、钋测量实例表明, 异常的重现性好, 油气田上方的环状异常基本上对应油气田的范围。因此, 这两种测量方法在油气田普查中应用前景广阔。

主题词: 放射性测量 油气田普查 环状异常

ABSTRACT

Li Daxin, Fang Yi, Wei Yonghua and Jia Lingxi: Analysis of the effect of oil-gas field reconnaissance using helium and polonium determinations, OGP, 26 (2) 1991: 220~226

Most helium result from the combination of one α particle released by decaying radioactive element with two electrons. polonium is the decay daughter of radioactive element radon. The geochemical properties of helium and radon show that they can accumulate in hydrocarbon reservoir and easy migrate upward from the hydrocarbon reservoir to the surface. They usually form circular distribution zones over oil-gas field because of secondary change over the field. The real determinations of helium and polonium elements show their good surface circular distribution zones, which generally correspond to the extents of oil-gas

本文于1990年5月13日收到。

* 参加这项研究工作的还有徐建华、乔利平。

field. Therefore, the determinations of the two elements will have wide application prospects in oil and gas reconnaissance.

Subject heading: radioactive determination, oil-gas field reconnaissance, circular distribution zone

在我国 $960 \times 10^4 \text{ km}^2$ 的土地上, 沉积岩面积达 $424 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。据不完全统计, 我国陆上中、新生代沉积盆地共 236 个^[1]。这些中新代以后发展起来的盆地是当前我国主要石油产地, 已在这些大小盆地中找到了 200 多个油气田。我国东部含油气盆地都是以中、新生代断陷—拗陷盆地为特色, 特别是一些小型盆地构造复杂, 给勘探工作带来困难, 如果能用快速而简便的方法指出油气田远景区, 是有着重大经济意义的。本文概述了应用氦、钋测量方法勘查油气田的基本原理与应用实例, 以及其有效性。

氦、钋测量方法勘查油气田的基本原理

氦 (He) 法基本原理

自然界中的氦气除少部分来自地幔物质外, 主要是由放射性元素铀、钍衰变过程中释放出来的 α 粒子与周围介质中两个自由电子结合而成的, 其同位素组成以 ${}^4\text{He}$ 为主。氦的电子电离势最高 (24.5eV), 亲和能低 (-2.1eV), 它既不易失去电子, 又不易得到电子。因此, 氦在自然界以单原子气体形式存在于岩石骨架中, 或存在于连通孔隙中, 或溶于水及其它溶液中。现有资料表明, 油气储集层是地壳浅部氦的主要聚集层位, 理论研究确认, 天然气中的聚集量最大, 氦气含量大于 0.05% 的天然气可作为氦的原料气^[2]。一般油气藏中氦的浓度高于空气中氦浓度的千倍以上, 因此油气藏本身就可以看成是一个氦源, 特别是基底为古老的地台区时, 氦的含量高。

氦是除了氢之外密度最小 (0.1784 kg/m^3) 的气体, 其扩散速度 ($1.7 \text{ cm}^2/\text{s}$) 居各气体之首。因此, 氦气从油气藏逸出后能穿透各种地层, 主要以垂直迁移形式向地表扩散并被油气田上方的土壤吸附, 形成氦异常。这便是氦气测量方法寻找油气田的依据。另外, 氦气随温度增高其溶解度增加的特性对勘查油气田也是有利的。石油与天然气的形成需要有一定的温度条件, 油气地球化学标志性气体随着温度增高, 其含量迅速降低, 而氦气却增加, 这也说明氦在油气田上方的晕应比其它气体更明显。

沉积岩中氦气含量的高低可看成是地层中含油气丰度的指示剂。油气田储量越大, 生油母质(泥质岩石)中所含的有机质越丰富, 吸附的放射性元素的量也越多, 因此放射性衰变产物的氦气含量也越高。

钋 (Po) 法基本原理

钋 (${}^{210}\text{Po}$) 是铀、镭系衰变产物 (${}^{222}\text{Rn}$) 经过一系列衰变形成的。在衰变系列中对 ${}^{210}\text{Po}$ 影响最大的是 ${}^{210}\text{Pb}$ (半衰期 22 年)。 ${}^{210}\text{Pb}$ 最大特点是不溶于水, 一旦形成不会离开原地, 而 ${}^{210}\text{Po}$ 微溶于水, 因此 ${}^{210}\text{Po}$ 在衰变系列中再现性好。氡在油气中的溶解度 ($13 \text{ cm}^3/1$) 为水中溶解度 ($0.27 \text{ cm}^3/1$) 的 48.15 倍。于是油气藏很容易

捕获地下水中的氡，也容易捕获来自基底的氡气，而使油气藏中氡的浓度相对于不含油气的沉积地层要富集。由于在铀系中氡是唯一的气体，可穿过盖层到达地表，因此近地表的 ^{210}Po 异常应是 ^{222}Rn 向上扩散的结果。

油气田上方氡、钋的地球化学分布模式

氡、钋是铀、镭及其衰变子体氡的放射性衰变产物，因而铀、镭及其氡在油气田上方的异常特征也决定了氡、钋的异常特征。现有资料表明，油气田上方放射性含量为低异常场而在油气田周界为高异常场^[3]。徐德全等利用航空放射性测量结果统计了已知油田上铀的含量，见表1。所得结果表明，油田区铀平均值为 1.29×10^{-6} ，含油区一般低于背景值的1/5左右^[4]。油气田放射性异常的这种特征可能由两种原因造成：一是铀、镭及其衰变产物氡气在氧化还原条件下的地球化学作用以及油气藏本身对地层中向上迁移的氡气的阻挡作用，使氡气及富含铀、镭的层间水向油气藏边缘集中再向上迁移；二是油气藏的逸散烃类对岩石的次生改造作用。沥青、石腊类的重烃对盖层岩石的充填影响了氡气的扩散作用。而从油气藏逸出的轻烃在近地表氧化成 CO_2 ，它极易与

表 1 油田上铀含量统计表

铀含量 $\times 10^{-6}$	>1.3	$1.3\sim1.2$	$1.2\sim1.0$	$1.0\sim0.8$	$0.8\sim0.6$	<0.6
产层孔隙度 $\times 10^{-2}$	0	11.5	19.5	38.5	23.0	8.8

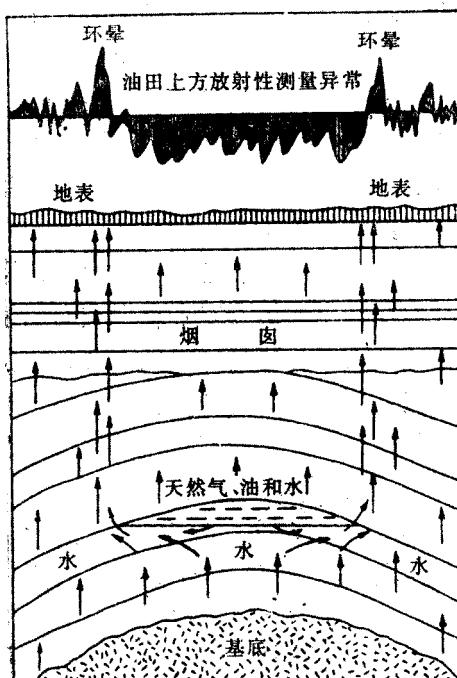


图 1 油气田上方放射性晕圈理论模式（据摩尔斯，1937）

箭头大小表示地下水相对运动量与放射性元素的饱和程度

油气藏上方岩石中的 CaO 形成碳酸盐胶结物充填在岩石的裂隙中，因此也影响着氡气向地表扩散。

当然油气藏上方近地表放射性异常分布还与油气藏类型及其构造特征有关。一般来说，在整个油田的低放射性背景上，礁呈现出分散的高值；背斜可用低值确定，但孤立的高值则远离油田边缘；在断层走向上都可观测到放射性的高值^[5]。

氡气主要由铀、钍等放射性元素的自发裂变及诱发裂变形成，上述影响氡气向地表扩散的因素同样影响氡气向地表扩散，其地球化学模式也是以油气田边界的环状高异常场。但氡气比氯气的扩散性能强，因此在油气田的盖层中，只要存在一定的裂隙或浅层断裂，氡气便会沿着断裂、裂隙上溢，形成更加清晰的高值异常。氡的衰变子体 ^{210}Po 异常形态与一般放射性异常形态一致，在油气田边界为环状异常，中部为低异常。通常，油气越富集、越接近地表，这种环状异

常越明显。图1给出了油气田上方氦、钋的地球化学分布模式示意图。

应用实例

下二门油田氦、钋测量结果

泌阳凹陷是在秦岭地轴太古一下元古界变质岩基底上发育的新生代单断型箕状断陷。下二门油田位于泌阳凹陷东部的下二门构造带上。构造为一近南北走向的背斜，闭合面积为 11 km^2 ，被断层切割成几个断块，如图2所示^[1]。

下二门油田生油岩为下第三系核桃园组生油岩系，以灰黑色泥岩及砂岩为主。产油层是核桃园组二、三段的砂岩层，属于侯庄三角洲前缘环境的沉积，具有较好的孔、渗条件。油藏类型为断层复杂化的背斜油藏，其剖面（东西向）如图3所示。

中国地质大学物探系在河南南阳油田开展了重磁精测工作，在通过下二门、赵洼油田的剖面上采集了土样，地热研究室测试了土样中的氦、钋含量，所得结果示于图4。由图可见，该剖面的下二门（剖面东部）与赵洼（剖面西部）油区氦均有较明显的异常，只是位置有些偏移。钋在下二门油田边缘呈现明显的环状异常，而在赵洼油区这种环状异常不明显。

图5是在下二门油区所作的面积测量结果。从图5a可以看出， $\text{He}_{\text{土样}}/\text{He}_{\text{空气}} < 1.0$ 的地区为非油区，下二门油田基本处在 $1.10 > \text{He}_{\text{土样}}/\text{He}_{\text{空气}} > 1.05$ 等值线所围的面积内，在油田边界有 > 1.10 的环状异常分布。在油区内还展现了三个氦比值大于1.1的条带异常。右上角异常对应于二个断裂交汇处，应是岩石破碎为氦提供了良好的扩散通道所致。右侧异常尚未封闭，比值较高，可能是断裂在地表上投影所致。而左侧的异常

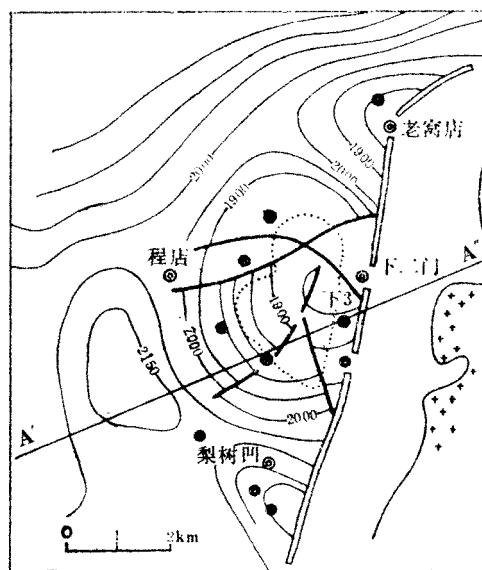


图2 下二门油田深度构造图（据南阳油田，1980）
(A'-A': 前姚庄一下二门NE段)

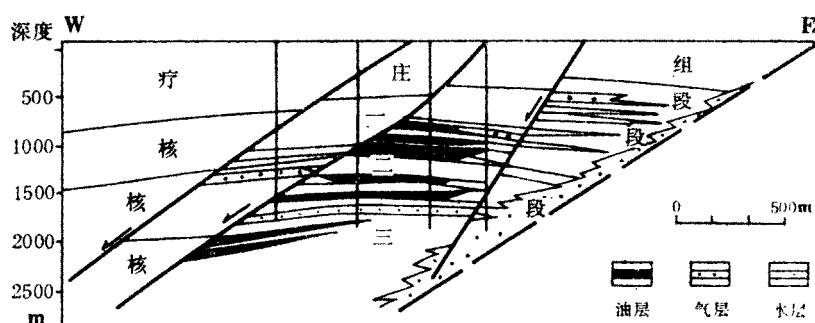


图3 下二门油田东西向横剖面图（据南阳油田，1980）

是环状效应引起，还是断裂引起尚不清楚。图5b是下二门钋等值线图。由图可以看出，下二门油区四周均见有 $^{210}\text{Po} > 4.8$ 脉冲/gh的异常，成环状分布。该结果符合钋在油气田上的分布模式。在氦比值 > 1.10 的条带状异常附近均出现 $\text{Po} \geq 7.2$ 的高值异常，只是位置有所偏移。结合地质与物探资料分析，在下二门油田上，高氦异常与断层位置对应关系比钋异常好，这可能是钋微溶于水，在近地表为地下水搬运的结果。

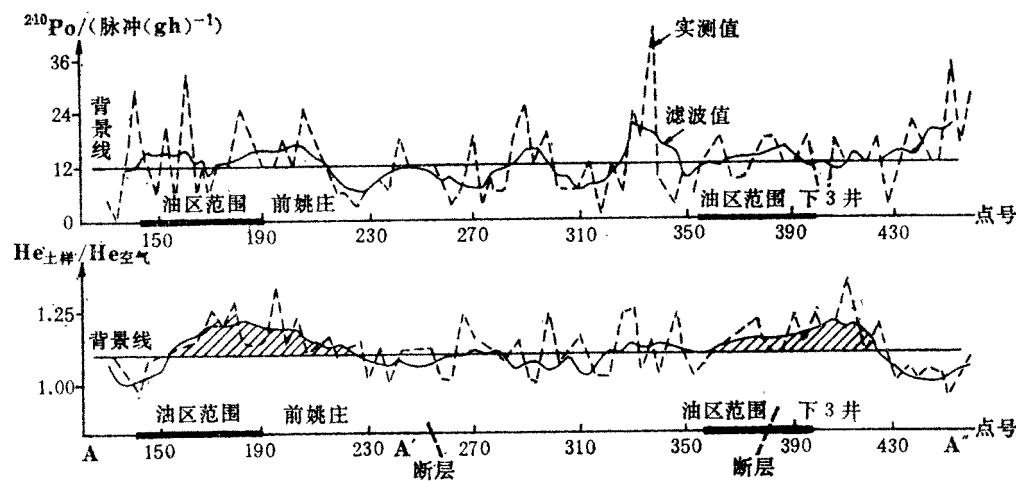


图4 氦、钋剖面图

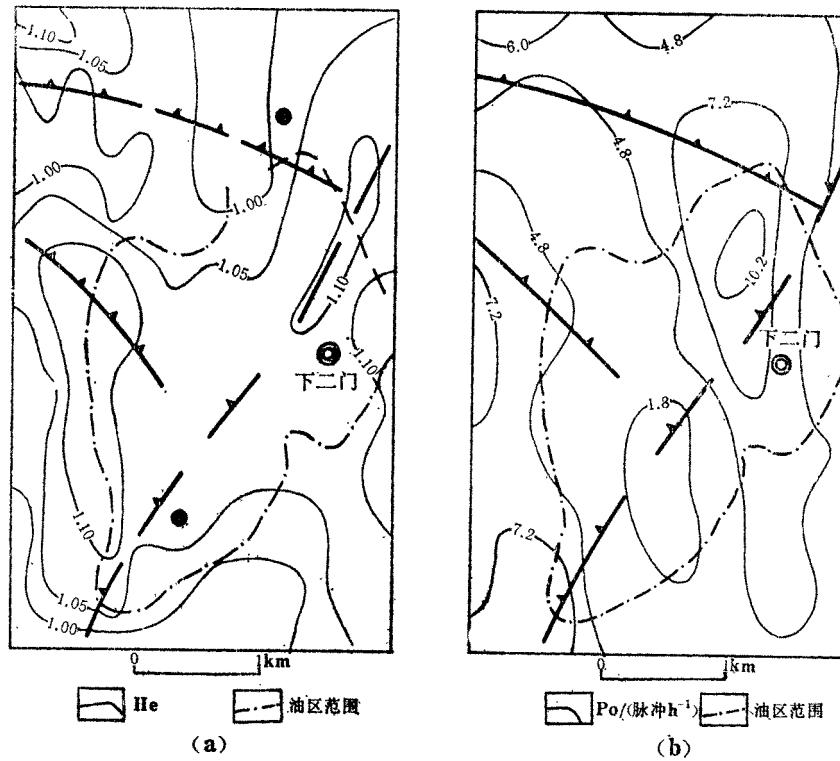


图5 氦、钋等值线平面图

(a) 氦等值线平面图；(b) 钋等值线平面图

太平庄气田氦、钋测量结果

太平庄气田位于松辽盆地的东部，在哈尔滨西南约30km处。松辽盆地是我国东北部一个大型的中新生代陆相沉积盆地，前震旦系及古生界地层主要出露在盆地四周，在盆地内部构成基底。现已查明盆地内油气显示、油气流及油气田在地层剖面上广布于白垩系各组段，在平面上遍布松花江南北。盆地内含油圈闭多数分布在中央拗陷区内或拗陷向隆起的过渡地带。太平庄在大庆油田外围之东，位于拗陷向隆起的过渡地段，地层为三角洲前缘滨湖相沉积。

大庆油田研究院在太平庄地区约30km²的面积内取土样90个，由中国地质大学地热室分析了氦、钋含量，其结果示于图6。图中明显反映氦、钋异常在油田边界呈环状分布。区内庄深孔已打到了工业气流，在气田边界 $\text{He}_{\text{土样}}/\text{He}_{\text{空}} > 1.25$, ^{210}Po 异常 > 9 脉冲/g；在油田区内，氦比值为1.05~1.25, $^{210}\text{Po} < 9$ 。这一结果与其它物化探成果吻合较好，且反映更为细致。区内有两个氦比值 > 1.25 的局部异常和一个 $^{210}\text{Po} > 9$ 脉冲/g的局部异常，结合地质与物化探资料分析，认为系构造破碎带引起，并将油田分割成两部分。



图6 太平庄钋、氦等值线平面图

除在上述两个已知油气田工作外，还在鄂中地区开展了这一方法研究，获得了较为满意的结果，在所提出的远景区内已打钻并有油气显示，说明了该方法的有效性。

综上所述，应用氦、钋测量方法勘查油气田的效果是明显的，今后尚需对He、 ^{210}Po 扩散性的各种干扰因素进一步研究。从所作的试验来看，氦、钋法可用于圈定油气田的

分布范围。这一方法还可以对地震、地质等方法所圈定构造的含油性进行查证，确定可能含油气的有利构造，为布井提供依据，以提高钻探成功率。该方法成本低、效率高、可在恶劣的环境中和一些地震方法难以开展工作的地区取得可靠资料，如能与其它物探方法配合效果会更好，可望这一方法在全国第二轮石油普查中发挥应有的作用。

参 考 文 献

- [1] 童崇光主编：《油气田地质学》，地质出版社，1985
- [2] 戴金星等：《天然气地质学概论》，石油工业出版社，1989
- [3] 王裁明：在油气藏勘察中放射性测量的应用及其效果，勘探地球物理国际讨论会论文摘要，1989年
- [4] 徐德全等：应用航空能谱寻找油气藏，勘探地球物理国际讨论会论文摘要，1989年
- [5] 周镭庭等编：《放射性测量新技术》（第三集），地质出版社，1986
- [6] 万静萍等编：《中国油气田地质学》，武汉地质学院出版社，1983

（上接 189 页）

地调二处工程师办公室和研究所微机室的同志们对本文的研究工作给予了大力支持，在此表示衷心的感谢。

参 考 文 献

- [1] Mandal, B.: 层状各向异性介质全波场合成地震记录的计算，第 58 届 SEG 年会
- [2] Nicoletis, L. 等：各向异性介质中横波的一维模拟，第 58 届 SEG 年会
- [3] 徐中信，张中杰：各向异性介质中利用弹性参数进行岩性勘探的设想，《石油物探》，27 (2) 1988: 67~80
- [4] Schoenberg, M. and Muir, F.: A calculus for finely layered anisotropic media, *Geophysics*, 54 (5) 1989: 581~589
- [5] Schoenberg, M. and Douma, J.: Elastic wave propagation in media with parallel fractures and aligned cracks, *Geophysical Prospecting*, 36 (6) 1988: 571~590
- [6] Douma, J. : The effect of the aspect ratio on crack-induced anisotropy, *Geophysical Prospecting*, 36 (6) 1988: 614~632