

# 利用放射性方法寻找断层圈闭油气藏

刘菁华, 王祝文, 王晓丽

(吉林大学 地球探测科学与技术学院, 吉林 长春 130026)

**摘 要:** 断层圈闭油气藏受断层控制, 其放射性异常形式有特殊性。通过对断层圈闭油气藏上放射性异常形成机理的探讨, 提出断层圈闭油气藏上放射性异常的形式, 并对延吉盆地油藏测量剖面上放射性异常特征进行分析, 总结出断层圈闭油气藏上放射性异常模式。

**关键词:** 断层圈闭; 油气藏; 放射性异常

**中图分类号:** P631.6      **文献标识码:** A      **文章编号:** 1000-8918(2005)06-0506-04

断层油气藏是油气储层的一种类型, 由于其特殊地质环境特点, 其放射性异常模式有它自身的特点, 在以往的文献中断层圈闭油气藏的异常模式表现为断层油藏边界一般具有较高的异常<sup>[1]</sup>, 在放射性异常的形成机理上解释含糊, 存在许多假说。笔者通过断层圈闭油气的地质环境, 进行放射性异常形成的讨论, 结合延吉盆地油藏进行实际分析。

## 1 断层圈闭油气藏上放射性异常的物理模式

### 1.1 油藏上放射性物质的来源

有关资料表明<sup>[1]</sup>, 在地球早期分异过程中, 氧与钙、硫、钾、铝和硅等形成较轻的混合物, 在重力分异作用下向上迁移, 同时将与氧有较强亲和力的 U、Th 带到地球外层, 使放射性元素主要集中在地壳和上地幔。而在地球各圈层中, 地壳中的放射性元素平均丰度最高, 且地壳沉积层的放射性元素丰度高于基底的放射性元素丰度。沉积层中泥页岩和粘土的放射性物质含量最高, 而油气的生油层为富含有机质泥页岩, 储层为砂岩, 盖层为粘土。生油层对放射性元素具有较强的吸附能力, 所以在油气形成初始阶段, 放射性元素与生油层就密切相关, 形成与烃类同期的放射性元素的富集。这就是油藏上放射性物质的来源。

### 1.2 放射性物质的分散与集中

在断层圈闭油气藏中, 断层对于油藏的形成起着重要的作用。断层的封闭造成烃类运移的流体动力条件发生改变并聚集成藏。由于断层的遮挡, 油气不能沿断层垂直向上运移, 或不能穿越断层面运

移至对置的储集层中。所以断层的封闭使烃类在断层下聚集形成油气藏<sup>[2]</sup>。同时, 来自深部生油层的泥页岩的放射性物质 U、Th 及子体 Ra、Rn 等, 在油气藏形成时, 沿断层运移, 在断裂带或断层中富集, 并且, 循环地下水可以使放射性物质在断层带内的小孔隙和裂隙中沉淀富集, 同时由于断层泥的存在, 使放射性元素吸附于断层破碎带中, 因此, 控油断层的封堵作用使断层成为放射性元素的聚集场所, 形成放射性源。从断面上看, 形成断层顶部的放射性源, 该放射源放出的放射性元素 U、Th 及子体 Ra、Rn 向上迁移, 在覆盖层中形成放射性元素异常分布<sup>[2-3]</sup>。

### 1.3 放射性元素迁移与富集机制

放射性元素特别是放射性气态元素氡在浓度梯度、地热压力、构造动力、气体本身具有的向上运移的能力等动力作用下, 以及在覆盖层孔隙中向上流动的流体为载体的作用下, 使放射性元素向上运移。对于放射性元素的迁移有许多的假说, 无论何种, 事实是地下埋深几百至几千的油藏上的放射性异常可在近地表探测, 并且放射性元素垂直迁移远, 水平迁移近, 从而在覆盖层中形成放射性元素的垂向分布<sup>[4]</sup>。应该说放射性元素的迁移以氡为主要的迁移对象。

放射性氡气从断层面向覆盖层运移, 通常认为是对流和扩散。对流是流体(包括其中的气体到微粒固体)在重力和压力差条件下通过孔隙介质的运移。扩散则是由于浓度梯度差异引起的流体中溶解物质的运移。与扩散作用相比, 对流作用明显得多。

而在断裂构造强烈发育或比较发育的部位,运移速度可增大几倍、几十倍甚至更多。但就常规的氡的扩散与对流理论,解释氡迁移几千米的盖层而被地表仪器探测是困难的。所以氡向上运移是多种作用的结果,除了对流,扩散之外,可能还有抽吸、伴生气体作用、地热作用、地下水的循环作用、地应力作用等等,我们认为这些作用的结果反映了氡向上迁移速度的加大,所以沿用对流速度这一概念,将综合作用使氡气向上运移的大小用等效对流速度表示,即等效对流速度大大增加,可解释氡的迁移距离<sup>[5-7]</sup>。

上升的载流水带有 CO<sub>2</sub>、N<sub>2</sub> 等气体组分。这些气体在地表附近膨胀,并带着一定量的水从土壤中逸失到大气中(即蒸发)。这种蒸发作用进一步加强了从断层面往地表的对流及扩散运移作用。与此同时,周围地下水将立即进入蒸发区以补充失去的水分。新补充的水中同时携带着放射性元素进一步富集。

1.4 地表覆盖层中放射性异常的形式

来自深部的放射性物质主要沿断层迁移并富集形成放射源。在断层圈闭的储油层上,由于油储层孔隙含油,盖层孔隙较致密,使其相对周围地层透气性差,放射性物质向上的迁移受阻,造成储层上方放射性物质相对少,所以在断层油气藏顶部地表附近,放射性核素反映为相对低场。而在油气藏两翼附近的断层处,由于放射性元素的富集,并沿断面在覆盖层上垂向运移,所以放射性核素反映为相对高场。断层油气藏上放射性异常模式示意图 1。异常的形状与圈闭断层中放射性元素的含量、断层的埋深、断层的宽度,断层的产状等内在因素有关,还与测区的地质条件、地球化学环境等外在因素有关,如覆盖层的孔隙度,潜水面等。

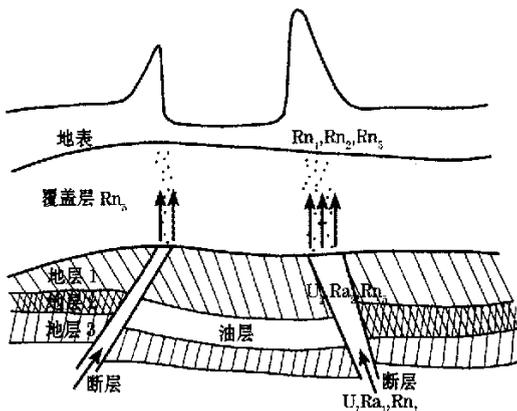


图 1 断层油气藏上放射性异常模式示意图

2 延吉盆地油藏放射性异常实例分析

2.1 延吉盆地概况

延吉盆地主要地层由深到浅地层层序为侏罗系(T<sub>3</sub>)、下白垩系头道组(T<sub>3</sub>)、铜佛寺组(T<sub>2-3</sub>)和大砬子组(T<sub>2-2</sub>)上白垩系龙井组(T<sub>2</sub>)、第三系晖春组(T<sub>1</sub>)和第四系组成,其中 T<sub>2</sub> 为不整合接触。盆地内砂岩储集层发育,尤其是大砬子组和铜佛寺组砂岩相对发育,大砬子组是该盆地主要的储集层,其次是铜佛寺组。

延吉盆地自形成以来,经历了多期构造运动的改造,构造活动,尤其是燕山运动形成的构造,贯穿于延吉盆地发育过程中。伴随着盆地内断裂活动,在盆地内较大断裂附近,由于断裂的控制作用,形成了一系列大小、类型、方向不同的圈闭构造,其类型主要以断块圈闭为主,其次是断鼻构造,还有少数受断层控制的小幅度的背斜构造,所以盆地油藏受构造控制。

2.2 盆地油藏上放射性异常特征

延吉盆地油藏为一典型断块油气藏,生油层 T<sub>2-2</sub>、T<sub>2-3</sub> 受构造控制。在该地区进行了放射性综合测量,以下分析延 6 及延 12 剖面。

延 6 剖面(图 2)位于两圈闭断层内。从图 2 综合曲线图可以看出,总体趋势上,在两圈闭断层之间,放射性氡气测量为低值,断层处为高值,热释光测量曲线、放射性能谱测量总道、K、Th 含量曲线有

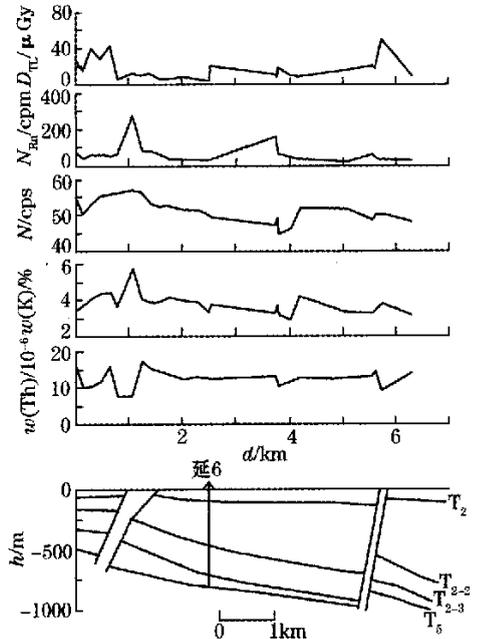


图 2 延 6 剖面放射性测量综合曲线

相似的异常反映。该剖面的这种反映与前面讨论的断层油气藏上的放射性异常特征相同。另外在断层圈闭之间曲线局部有一些小的异常反映,可解释为局部有构造裂隙的存在。延6井位于放射性异常的低值部位,为油层区,已被钻孔证实。

延12剖面(图3)通过两圈闭断层。从图3综合曲线图可以看出,曲线总体上表现为在断层圈闭之间为低值,在断层处为高值,其放射性异常特征反映了断层圈闭的典型特征,延12井位于放射性异常的低值区,应为油区,经钻探见工业油流。

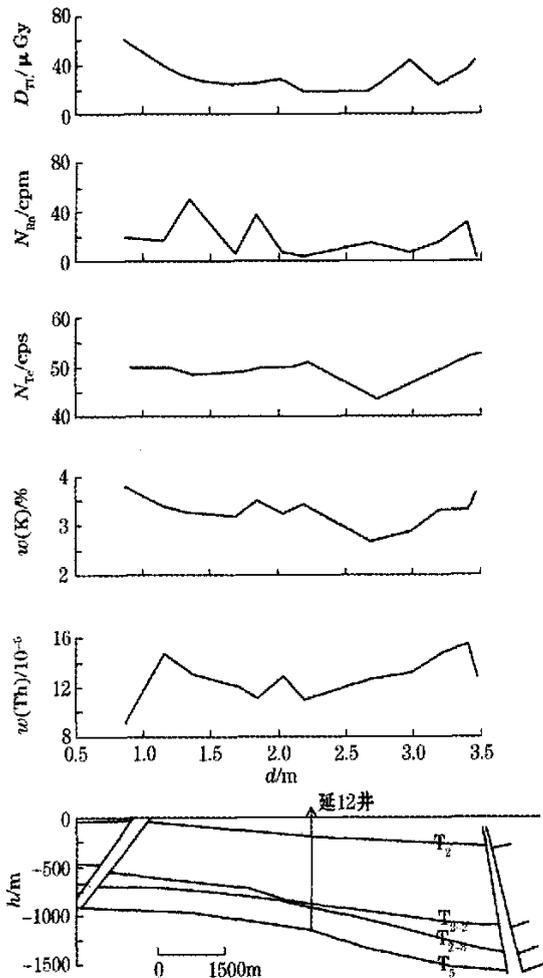


图3 延12剖面放射性测量综合曲线

通过对延吉盆地有利成油圈闭构造内放射性测量(包括土壤天然热释光法, RaA 测氦法, 伽马能谱法剖面测量), 同时根据地震反射层等深构造图做出的不同反射层地质图, 进行综合分析对比, 可以看出在有利的断层圈闭油储层上放射性异常特征与前面的分析是一致的, 表现为在油藏的圈闭内放射性测量异常特征表现为在油层上为低值, 在圈闭断层处为高值。

万方数据

### 3 讨论

从图2和图3实测剖面可看到放射性伽马能谱测量、RaA 测氦法及土壤热释光测量方法对油藏上放射性异常特征都有不同程度的反映, 可以通过综合曲线判断圈闭构造位置。但不同的方法对放射性异常特征的反映能力不同:

(1) 伽马能谱测量是通过由圈闭构造运移到土壤中的放射性元素在表层富集来反映地下圈闭构造的。由于在近地表铀的化学性质不稳定, 受表层影响因素较多, 且含量较低, 所以铀含量变化波动大, 对油藏上放射性异常特征反映不明显, 在综合曲线图上没有列出; 钍的化学性质在土壤中最稳定, 故钍含量较好地反映了油藏上放射性异常特征, 从图2和图3都能体现; 钾的化学性质在土壤中较稳定, 但次于钍, 基本上反映了异常特征。

(2) RaA 测氦法是对油藏圈闭断层上运移氦气的直接测量。从综合曲线上可以看到 Rn 浓度值曲线基本上反映了油藏圈闭构造, 尤其对圈闭内的裂隙都有较明显的反映, 但由于氦元素迁移受多种因素制约和影响, 会出现异常峰位的偏移, 或异常峰值降低等现象, 所以进行低含量信息的提取及影响因素的消除是很有必要的。

(3) 土壤热释光法是测量土壤中矿物受放射性元素照射的程度, 根据受照射量的不同来反映油藏圈闭构造。由于土壤矿物接受照射是长期积累的过程, 影响因素经多次互相叠加而变得较小, 以至测量结果稳定, 所以热释光计量率值较稳定, 曲线较好地反映了油藏圈闭特征。

### 4 结论

通过对断层油气藏上放射性异常形成机理的探讨, 可以得出以下结论:

断层圈闭油气藏上地表附近存在着放射性异常, 其模式为油气藏上对应低值异常, 其圈闭断层处对应高值异常。

断层圈闭油气藏上的放射性物质来自油气藏深部, 是在油气形成、富集和迁移过程中与油气同时存在的。

油气藏圈闭断层是放射性物质的有利通道, 使深部放射性物质运移至断层面, 形成放射性氦源。

氦源在覆盖层的迁移受多因素制约, 使地表形成的氦浓度分布也受多种因素的控制, 从而地表测量的放射性异常形态特征存在差异。

断层圈闭油气藏上放射性异常较明显, 对于油

气藏的勘探是一种行之有效的方法,而且具有简单、实用、投资少、见效快等特点。

#### 参考文献:

- [1] 王平,熊盛青. 油气放射性勘查原理方法与应用[M]. 北京:地质出版社,1997.
- [2] 李怀渊,刘宪斌. 核技术在油气勘查中的应用研究[R]. 现代地质,2000,14(2):223-229.
- [3] 高先志,杜玉民,张宝收. 夏口断层封闭性及对油气成藏的探

控制作用模式[J]. 石油勘探与开发,2003,30(3):76-78.

- [4] 贾文懿,方方,周蓉生,等. 氦及其子体运移规律与机理研究[J]. 核技术,2000,23(3):169-175.
- [5] 董自强,宋立中,王娜,等. 土壤测氦在油气勘探中的应用及其成效分析[J]. 石油学报,1999,20(2):35-38.
- [6] 石玉春,倪琦生,吴俊奇,等. 用放射性方法研究隐伏断裂构造[J]. 地球物理学报,1996,39(1):134-140.
- [7] 刘菁华,王兴泰,田钢,等. 放射性氦气测量动态监测煤炭地下气化燃空区[J]. 物探与化探,2000,24(2):92-98.

## THE APPLICATION OF A RADIOMETRIC METHOD TO PROSPECTING FOR FAULTS-ENCLOSED OIL/GAS ACCUMULATION

LIU Jing-hua, WANG Zhu-wen, WANG Xiao-Li

(Earth Exploration Science and Technology College, Jilin University, Changchun 130026, China)

**Abstract:** The faults-enclosed oil/gas accumulation is controlled by faults, and the radioactive anomaly model above the oil/gas accumulation has its unique characteristics. Based on a discussion on the mechanism governing the formation of radioactive anomaly, this paper puts forward a radioactive anomaly pattern above the faults-enclosed oil/gas accumulation. An analysis of the radioactive anomaly characteristics of the radiometric profile above an oil accumulation in Yanji basin shows that the radioactive anomaly pattern above the faults-enclosed oil/gas accumulation does exist.

**Key words:** fault-enclosed; oil and gas accumulation; radioactive anomaly

作者简介: 刘菁华(1963-),女,副教授,在读博士。主要从事核地球物理、工程与环境地球物理的教学和科研工作。

上接 505 页

## SEISMIC EXPLORATION OF SHALLOW DEFORMATION ALONG LISHUIQIAO SECTION OF HUANGZHUANG-GAOLIYING ACTIVE FAULT IN BEIJING URBAN AREA

MA Wen-tao<sup>1</sup>, TANG Wen-bang<sup>2</sup>, XU Xi-wei<sup>1</sup>, HAO Shu-jiang<sup>1</sup>, CHU Bao-gui<sup>1</sup>

(1. Institute of Geology, China Seismological Bureau, Beijing 100029, China; 2. Former Beijing Computing Center of CNSPC (Original), Beijing 100083, China)

**Abstract:** The shallow deformation through active Huangzhuang-Gaoliying fault near Lishuiqiao in Beijing urban area was investigated with high-resolution seismic exploration. The results indicate that there exists structure of three layers at the shallow part of the area, and the active fault consists of many concealed faults which remain active at present. There are multi-subsidence centers on the hanging wall of the fault which are characterized by different locations and different subsidence ranges in different periods. Lots of small faults were produced beside these subsidence centers. According to these characteristics, the activity of Huangzhuang-Gaoliying Fault can be studied reliably.

**Key words:** shallow seismic exploration; Huangzhuang-Gaoliying active fault in Beijing; activity at the shallow part

作者简介: 马文涛(1958-),男,1982年毕业于云南大学地球物理专业,1996年在中国地震局获构造物理学博士学位,副研究员,现主要研究方向为地震学和地球物理学及其在活动构造中的运用、浅层地震勘探和地震动力学模型研究。  
万方数据