

裂变径迹法在石油地质上的应用

(以济阳拗陷为例)

杜韞华

戴贤忠

王庆隆 万景林

(石油勘探开发研究院 廊坊分院)

(胜利石油管理局 地质科学研究院)

(国家地震局 地质研究所)

提 要

利用裂变径迹法测定了济阳拗陷第三系馆陶组至孔店组碎屑沉积岩的年龄,并将所测年龄与古地磁极性年龄、K—Ar法同位素年龄相对比,三者基本一致。利用这些测定数据,计算了2—2—18井东营组第二段至沙河街组第三段中部地层的沉积速率,对本区馆陶组底砾岩时代归属问题,提出了新的认识。该成果为沉积地层划分、对比、油气藏形成机理的研究和生油岩埋藏成烃定量分析等提供了一个新途径。

主题词 济阳拗陷 裂变径迹 沉积速率 馆陶组 砾岩

1 前 言

胜利油田主要产油(气)层系(第三系)沉积地层,除牛38井沙河街组第三段中下部井段深度2770~3367m作了古地磁极性年龄测定外^①,其余都是空白,对个别玄武岩样品作了K—Ar法同位素年龄测定。这些情况对于一个大油区来说,影响着地层的划分与对比以及沉积相、沉积速率、地质发展史、沉积条件等一系列研究工作。在电镜分析工作中,发现第三系碎屑岩中存在少量自生磷灰石,从理论上讲,可以用裂变径迹法对自生磷灰石进行单颗粒年龄测定,但是,国内尚未开展这方面的研究工作,国外也无先例和经验借鉴。胜利油田地质科学研究院和国家地震局地质研究所合作对这一课题进行了研究,目的是给沉积地层年龄测定研究开辟一条新的途径。课题研究的初步成果,证明用裂变径迹法能够测定沉积地层年龄,它在油气勘探实践和石油地质学理论研究上具有重要意义。

杜韞华,1939年4月出生。1969年8月毕业于南京大学,现任高级工程师。通讯处:河北廊坊市石油勘探开发研究院廊坊分院,邮政编码:257015。

① 姚益民等,牛庄油藏牛38井沙河街组三段中、下亚段地层划分、古环境和古地磁极性年代,1989。

2 实验

2.1 原理

自然界矿物中或多或少含有铀杂质。铀主要由 U^{235} (约占 0.7%) 和 U^{238} (约占 99.3%) 两组同位素组成^①, 在铀存在的过程中, U^{238} 会产生自发裂变, 一个铀原子核裂变为两个质量近于相等、方向相反、且具有很高能量的碎片, 这些碎片穿过周围物质, 在其所经过的途中留下辐射损伤的痕迹称为自发裂变径迹。自发裂变径迹在矿物中累积的数量与矿物形成的时间以及矿物中的铀含量成正比, 若已知矿物中铀的含量和 U^{238} 的自发裂变常数、自发裂变径迹密度, 就可以计算出矿物的地质年龄^①。

热中子照射含铀矿物, 使 U^{235} 原子发生裂变, 用这种方法产生的径迹称为诱发裂变径迹。矿物中诱发裂变径迹的密度与 U^{235} 的含量以及中子通量成正比。因为 U^{238} 与 U^{235} 的丰度比是恒定的, 中子通量可用中子监测器钴片测出, 所以, 若已知诱发裂变径迹密度, 就可以计算出铀含量。

矿物裂变径迹年龄的测定, 主要是测量自发和诱发裂变径迹密度, 其计算公式^{①②}如下:

$$t = \frac{1}{\lambda_D} \ln \left(1 + \frac{\lambda_D}{\lambda_f} \cdot \frac{\rho_i}{\rho_s} \cdot n \cdot \sigma \cdot I \right)$$

式中 ρ_s —— 自发裂变径迹密度 (径迹数/cm²), (图 1—⑧);

ρ_i —— 诱发裂变径迹密度 (径迹数/cm²), (图 1—⑨);

λ_D —— U^{238} 的总衰变常数 (1.54×10^{-10} 年⁻¹);

λ_f —— U^{238} 的自发裂变衰变常数 (6.9×10^{-17} 年⁻¹);

n —— 热中子积分通量 (中子数/cm²), 用中子监测器钴片测出;

σ —— U^{235} 的热中子诱发裂变的截面 (562×10^{-24} 厘米²);

I —— U^{235} 与 U^{238} 的同位素丰度比 (7.26×10^{-3});

t —— 样品地质年龄 (年)

利用矿物裂变径迹年龄测定计算公式计算样品的年龄有以下前提条件: ① 矿物形成以后, 在长期存在的地史过程中, 矿物中的铀没有带入和带出, 积累的自发裂变径迹都是 U^{238} 自发裂变产生, 没有受其它热事件的影响和发生退火作用。② 采用同样的处理和计数方法来计算自发和诱发裂变径迹的密度。

2.2 实验流程和方法

实验采用外探测器法 (EDM) 进行, 主要流程如图 1。

样品破碎后, 取 0.25~0.1mm 粒级矿物颗粒, 经水洗、电磁选、重液分离, 选出磷灰石, 用环氧树脂制光薄片, 在 7% HNO₃ 及 20℃ 的条件下, 在磷灰石光薄片上蚀刻自发裂变径迹 30 秒。在磷灰石光薄片和低铀白云母片的组件及中子监测器的钴片辐照冷却后, 于 40% HF 及室温条件下, 在白云母探测器上蚀刻诱发径迹 20 分钟, 然后, 用偏光显微镜在光薄片上判别自生

① 王庆隆等, 用裂变径迹法探索测定胜利油田第三系沉积地层年龄, 1990。

② 同上。

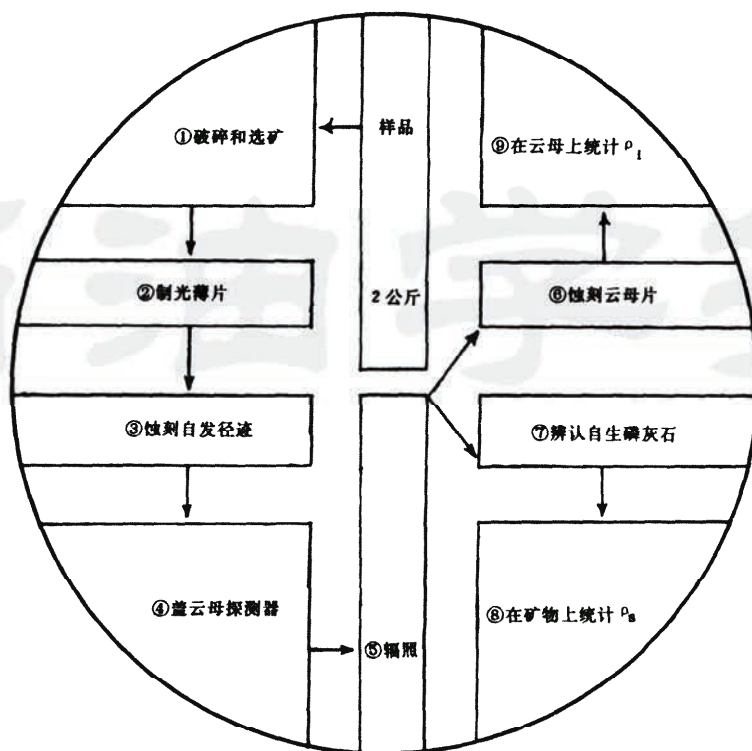


图1 实验流程图

Fig. 1 Experimental flow chart

磷灰石,并在放大1000倍的油浸镜下,逐颗统计其自发径迹数,换算出密度(ρ_s),在白云母探测器相应位置上,统计其诱发径迹(条件同上),换算出密度(ρ_i),将二者的比值代入年龄公式,计算其年龄值。

在统计自发径迹时,正确鉴定自生磷灰石是很重要的,因为它的年龄比较接近其地层形成的年龄。由于磷灰石是一种不稳定矿物,碎屑磷灰石在蚀源区易于风化,在搬运过程中易于磨损,呈滚圆或半滚圆状。因此,我们确定自生磷灰石时,采用了三条标准:①具有自形或半自形的晶体;②颗粒周围没有风化晕圈;③沿裂隙没有风化晕带。

2.3 误差

年龄误差由下式^①求得:

$$\delta = t \left[\frac{1}{N_s} + \frac{1}{N_i} + \left(\frac{\Delta n}{n} \right)^2 \right]^{1/2}$$

式中 N_s ——自发径迹总数;

N_i ——诱发径迹总数;

n ——热中子积分通量

① 王庆隆等,用裂变径迹法探索测定胜利油田第三系沉积地层年龄,1990。

从年龄误差计算公式可以看出,年龄误差主要与 N_i 、 N_i/n 有关。热中子积分通量 n 是用钴片监测的, $\Delta n/n$ 是一固定值,约5%。诱发裂变径迹数 N_i ,可以通过中子通量的大小加以控制,照射时采用的中子通量,要尽可能获得足够大的 N_i 。所以实验误差主要取决于 N_i 的大小,自发裂变径迹数 N_i 多时,年龄误差就小,统计的 N_i 少时,年龄误差就大,所以要尽量统计较多的矿物颗粒, N_i 值增大,年龄误差减少。

另外,同一个样品,不同方法的分析结果来看,如玄武安山岩(昌36井深2064.6m),用K—Ar同位素年龄测定为 $49.03 \pm 0.83\text{Ma}$ ^[3],用裂变径迹法测定为50.13Ma,与K—Ar同位素年龄测定值相差1.10Ma,这个数值已接近K—Ar同位素年龄测定允许的误差 ± 0.83 ,这表明该法是可行的。

3 结果和讨论

实验测得结果(表1)。对比世界标准地磁极性年代和用K—Ar法同位素测得的年龄及其时代、地层相对比,有如下认识:

1. 从世纪时代单位来看,除馆陶组底砾岩2号和3号样品与古地磁极性年龄对比,其时代归属由原来早中新世调整到渐新世末期外(即渐新世的结束界线由原来的馆陶组底砾岩底的位置,提高到玄武岩底的位置),其余12块裂变径迹年龄测定值均落于相应世之中。因此,在世纪地质时代单位的划分与对比上,可视为有效手段。馆陶组底砾岩的时代由原来早中新世调至渐新世末期,其根据有三点:

(1)馆陶组底砾岩上覆的玄武岩层属新生代第二期第五亚期(B_5)喷发的产物^[3],它在济阳拗陷中分布很广,并伴随大量辉绿岩侵入体,多以岩床形式侵入于沙三段、沙二段和沙一段地层内。本期玄武岩K—Ar法同位素年龄测定为 $23.23 \pm 0.54\text{Ma}$ (广14井,井深731.93m)。侵入沙三段的早中新世火山岩同期异相产物的辉绿岩,其K—Ar法同位素年龄测定为 $24.03 \pm 0.43\text{Ma}$ 。因此,可把本期玄武岩喷发最早的时间作为早中新世的开始时间。

(2)渐新世末期,大规模地壳运动波及济阳拗陷以致整个华北地区,拗陷整体上升,出露地表,遭到剥蚀,到中上新世,济阳拗陷开始整体下陷,不论凹陷或凸起,广泛分布中上新世馆陶时期和明化镇时期的沉积,结束了块体对立活动,进入块体统一的新时期^①。馆陶组底砾岩应是济阳拗陷整体上升、遭受剥蚀、凸起和凹陷削蚀补齐早期的产物。

(3)裂变径迹年龄测定为25.65Ma和26.29Ma(2,3号样品),处于世界标准地磁极性年代渐新世末24.6Ma之前。

根据以上三点理由,我们认为把原馆陶组底砾岩的时代归属于渐新世晚期较为合理。

2. 沉积岩中的自生磷灰石,不论其磷质来源如何(沉积的或火山喷发沉积的),它们都是在常温、常压下形成的,所以它们一形成后就开始累积径迹,即时钟开始启动计时,如无其它热事件影响,所测裂变径迹年龄为磷灰石的生成年龄,它比地层形成年龄略迟,但基本上可以代表地层形成的年龄。

3. 实验资料表明,影响径迹稳定性的主要因素是温度,随着温度的增高,径迹的长度缩短、密度降低、直至径迹完全消失。磷灰石在375℃温度下,加热1小时,径迹完全消失。径迹的

① 胜利油田地质科学研究所,济阳块断盆地石油地质特征及油气聚散规律,胜利油田科委,1984年。

表1 裂变径迹、古地磁极性、K—Ar 法年龄测定数据对比
Table1 A comparison of age dating results of fission track, palaeomagnetism and K—Ar method

地 层		样 品 号	井 号	井 深 (m)	裂 变 径 迹 年 龄 (Ma)	综 合 年 龄 (Ma)	时 代		
馆陶组	玄武岩	1	广14 ^⑤	731.93		23.23 ^①	中~早中新世		
	底砾岩	2	草13—15 ^⑥	1018~1020	26.29		24.6 ^②	渐 新 世	晚
		3	草13—15	1031~1035	25.65				
东营组		4	2—2—18	1496~1540	28.52	38.0 ^③	晚		
		5	2—2—18	1684~1686	36.90				
沙河街组	一段	6	2—2—18	1718~1757	31.42		早	始 新 世	中
		7	草13—15	1076~1081	36.61				
	二段	上	8	2—2—18	1952~1974		33.57		
		下	9	2—2—18	2034~2064		38.86		
	三段	上	10	草13—15	1151~1158		38.90		
		中	11	草4—11—7	1092		39.70		
12			2—2—18	2169~2192	42.73				
四段	上	13	纯17 ^⑦	2343~2344	44.11		42.0 ^③	中	
中	14	草13—33	1332~1335	43.30					
孔店组	一段	15	昌30 ^⑧	1647~1651	51.30	50.5 ^④	早		
	二段							中	

①K—Ar 法年龄。②世界标准地磁极性年龄。③根据实测古地磁极性柱变化特征和序列,判断极性时后,确定的年龄,引自姚益民等,1989年。④引自姚益民等,1989年,牛庄油藏牛38井沙河街组三段中、下亚段地层划分、古环境和古地磁极性年代。⑤广饶=广(地名)。⑥草桥=草(地名)。⑦纯化镇=纯(地名)。⑧昌邑=昌(地名)。

这一特性称为退火。室内退火实验结果如图2。

随钻井深度的增加,地温也增高,约达 $70^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$ 时(因有效加热时间不同而有所变化, 70°C 为磷灰石自发裂变径迹在1百万年时有效保留的温度),磷灰石中的自发径迹开始退火减少,使年龄值减小,古地温达 $125^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$ 时,径迹完全消失,年龄值减小到零(125°C 为磷灰石自发裂变径迹在1百万年时完全消失的温度),上下与这一温度区间相应的井段称为磷灰石裂变径迹退火带。除此之外,其它热事件(如火成岩侵入、断层磨擦等)也会使磷灰石所测年龄偏小。这次测定有三个样品因退火热效应而使年龄测定值明显降低,如渤深1井3553m深度($E_{S4中}$)一块样品,按古地磁极性年龄和14号样品(草13—33井1332~1335m深度, $E_{S4中}$)磷灰石的裂变径迹年龄来看,应为43Ma,但实测年龄为35.2Ma。此区现在地温梯度最低为 $2.65^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ 。3553m深度处,地温达 108.2°C ,磷灰石中的径迹已产生较强的退火,致使所测年龄偏低。新渤深一井4375m井深的样品,实测年龄为10Ma,退火作用表现得更强。通29井2197~2198.5m深度 $E_{S4下}$ 一块样品,按古地磁极性年龄和14号样品磷灰石裂变径迹年龄来

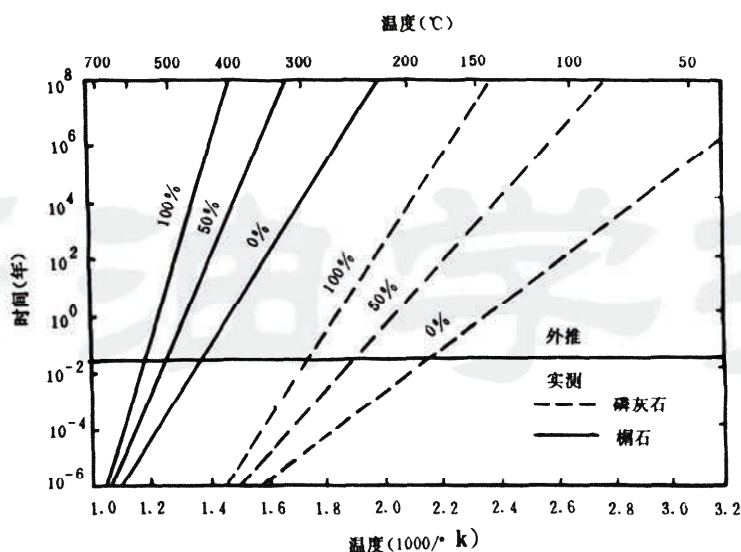


图2 磷灰石、榧石实验室退火实验结果(据纳伊塞 1969)

Fig.2 Annealing effects of apatite and titanite in laboratory

看,应为 45Ma,但实测年龄为 37.5Ma。此区现在地温梯度最低为 3.25°C/100m,2198.5m 深度处,地温为 85.5°C,因此,磷灰石中的径迹有轻微退火反应,实测年龄值偏低。

4 应用

裂变径迹法测得的碎屑沉积岩的年龄,除直接用于地层的划分与对比外,还可用于沉积速率的计算。计算沉积速率是研究油气藏形成机理的重要内容之一,不同沉积相带、不同沉积环境有不同的沉积速率。对于油母质的埋藏和成烃来说,沉积速率则是一种定量分析的重要数据。这次工作的意义在于比较系统的分析了 2—2—18 井,求出了该井不同层位和深度的年龄值,这样用沉积时间除其沉积地层厚度,就可得到不同时期的平均沉积速率。如 2—2—18 井东营组第二段 1518m 井深的样品,裂变径迹测定年龄值为 28520 千年,沙河街组二段下部 2049m 井深的样品,测得年龄值为 38860 千年,沙河街组三段中部 2192m 井深的样品,所测年龄值为 42730 千年。这样,经计算,东营组第二段 1518m 井深到沙河街组二段下部 2049m 井深,沉积地层厚度是 531m,沉积时间为 10340 千年,平均沉积速率为 51.4mm/千年。沙河街组二段下部 2049m 井深到沙河街组三段中部 2192m 井深,沉积地层厚度是 143m,沉积时间为 3870 千年,平均沉积速率为 37mm/千年。

此外,裂变径迹法测得的数据还可用来确定被分析样品是否位于生油窗。已有很多文章论述了磷灰石裂变径迹退火带与生油窗的关系^[2],二者基本上趋于一致,因此,可以利用退火带的样品,确定它是否位于生油窗内,它是否还是有效的生油岩段,如上面三—3 中所提到的三个样品:渤深 1 井 3553m、新渤深 1 井 4375m 和通 29 井 2197~2198.5m 等三个样品,它们都处于生油窗内,都还是有效生油岩段,不过第二块样品已接近尾声。

5 结 语

用裂变径迹法测定沉积岩年龄是一个很有发展前途的项目,它不像古地磁极性年龄测定需要作一段连续剖面的样品才能根据极性柱变化特征和序列对比的情况判断极性期(或极性时),而后确定年龄。用裂变径迹法,一个样品只要其中有自生磷灰石,就能确定年龄。这样就显得经济、高效、省时、省工、省样品等。它也不像 K—Ar 法同位素年龄测定无需要火成岩样品。我国油气主要的储集层都不具备 K—Ar 法同位素年龄测定的条件。而裂变径迹法年龄测定,正好弥补了这一缺陷,不但能作火成岩、变质岩的样品,而且可作沉积岩样品,主要是测定沉积岩中的自生矿物,如自生磷灰石、方解石、白铁矿、锆石、火山碎屑沉积中的火山玻璃、矽化木、古生物化石骨骼和外壳等都能可靠的测定沉积物的年龄。这种不受岩类限制、不受样品分析块次等数量限制,具有用样少、测时范围广等优点的分析方法,将会在石油工业上获得广泛的应用。

试验的成功说明用裂变径迹法能有效的划分了本区的世级地质时代单位,并通过新的划分对本区馆陶组底砾岩时代归属有了新的认识。试验数据计算了 2—2—18 井东营组二段至沙河街组三段中部的地层沉积速率,为油气藏形成机理的研究和油母质埋藏成烃定量分析提供了一个新途径。

(本文收到日期 1991 年 2 月 26 日)

(修改稿收到日期 1992 年 12 月 31 日)

(编辑 廖世芳 康 剑)

参 考 文 献

- [1] 刘顺生等. 裂变径迹年龄测定——方法、技术和应用. 北京:地质出版社,1984.
- [2] 王庆隆等. 裂变碎片径迹技术及其在地球化学中的应用. 北京:科学出版社,1984.
- [3] 杜韞华等. 鲁北新生代隐伏火山岩及其石油地质意义. 岩石学报,1990,(3).

版权所有

AN APPLICATION OF FISSION TRACK METHOD TO PETROLEUM GEOLOGY

Du Yunhua

(Langfang Branch Institute of Research Institute of Petroleum Exploration and Development, CNPC)

Dai Xianzhong

(Research Institute of Geology, Shengli Petroleum Administration)

Wang Qinglong Wan Jinglin

(Research Institute of Geology, State Bureau of Seismology)

Abstract

The age of clastic sedimentary rock of the Tertiary Guantao formation to Kongdian formation in the Jiyang sag was determined by using the method of fission track and compared with those ages determined by palaeo-geomagnetic polarity and K-Ar isotope, the results were almost the same. With these data, the sedimentation rate of the layer of the second member of the Dongying formation to the middle of the third member of the Shahejie formation in Well 2—2—18 was calculated, and a new view of the age of the bottom conglomerate in the Guantao formation in this area was proposed. This achievement provided a new approach to stratigraphic classification and correlation of sedimentary layer, to the research in the formation of oil and gas field and to the quantitative analysis of the hydrocarbon generation from source rock.

欢迎订阅 1994 年《石油学报》

《石油学报》是中国石油学会主办的综合石油天然气科学技术的学术性刊物,内容丰富充实。主要传播石油天然气地质勘探、油气田开发、石油工程等方面研究的新成果、新理论、新方法、新信息,紧密结合生产和科学研究,促进石油天然气工业的发展。

《石油学报》1992 年首次参加国家科委和中国科协系统优秀科技期刊评比,分别荣获二等奖,在国内外享有较高的声誉。

《石油学报》为季刊,国内外公开发行。国内统一刊号:CN11—2128,邮发代号:2—114 号,国外总发行:中国国际图书贸易总公司(国外代号 Q193)。请各订户到当地邮局办理订阅手续,每册定价 10 元。

欢迎投稿 欢迎订阅