

应用地球化学方法评价断层的封闭性

侯读杰¹, 朱俊章², 唐友军², 徐新德³, 黄保家³

1. 中国地质大学能源学院, 北京 100083

2. 长江大学分析测试研究中心, 湖北荆州 434023

3. 中海石油有限公司湛江分公司南海西部研究院, 广东湛江 524057

摘要: 断层的封闭性和连通性研究对于了解断层在油气成藏和石油开发中的影响具有重要的意义。根据断层附近油藏的地球化学特征, 可以研究排烃期断层的封闭性。在涠西南凹陷油田的研究工作中, 通过断层两端油层的化学组成指纹的差异, 证实了断层的存在, 虽然断距较小, 但仍影响了油藏的连通。对欧利坨子地区靠近断层的油藏分析表明, 本区的深大断裂可以作为油气的有效通道, 靠近断层油藏成熟度较高, 且含氮化合物较丰富。本研究提供的2个实例证实地球化学方法用于判断断层的封闭性有着不可替代的优越性。

关键词: 断层封闭性; 地球化学方法; 油藏地球化学。

中图分类号: P618.13

文章编号: 1000-2383(2005)01-0097-05

收稿日期: 2004-06-28

Evaluating Fault Sealing Using Geochemical Techniques

HOU Du-jie¹, ZHU Jun-zhang², TANG You-jun², XU Xin-de³, HUANG Bao-jia³

1. School of Energy Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083, China

2. Geochemistry Research Center, Yangtze University, Jingzhou 434023, China

3. CNOOC Nanhai West Research Institute, Zhanjiang 524057, China

Abstract: The fault sealing and reservoir continuity of different fault blocks is a very important issue for the study of oil filling histories and production. This study primarily considers the geochemical characteristics of petroleum reservoirs near faults, which can provide information about fault sealing in the geological record and hydrocarbons expulsion stage. Two research areas were chosen for the study of fault sealing in petroleum migration and reservoir continuity. One is in Weixinan sag, Beibuwan basin and the other is in Oulituozi region, Liaohe depression, Bohai Gulf basin. In the first locality, by analyzing geochemical chromatographic fingerprints, we found that a fault existed and was a major factor in poor reservoir continuity, although it is a small fault. The Oulituozi region geochemical and geological analysis shows that the oil pool near the fault has relatively high maturity and is abundant in pyrrolic nitrogen compounds. These results prove that the fault played an important role in petroleum migration. The two sites studied illustrate the advantages of geochemical techniques over other methods, in the study of fault sealing.

Key words: fault sealing; geochemical technique; reservoir geochemistry.

断层的封闭性是指断层上下盘岩石或断裂带与断层上下盘岩石由于排驱压力的差异而阻止流体继续流动的能力。断层的封闭性历来是石油地质学家关注的一个重要研究课题, 因为断层的封闭性可以控制圈闭油气的多少(存在与否及充注的百分比)、油气

的运移路径、烃类的纵横向分布, 以及油田开发过程烃类的运动等。因此断层的封闭性研究对油气的勘探与开发均具有重要的意义(王志欣和信荃麟, 1997)。

对断层的研究过去常常集中在对断层两边的面的接触性, 如果断层两盘为砂岩对接, 就认为断层是

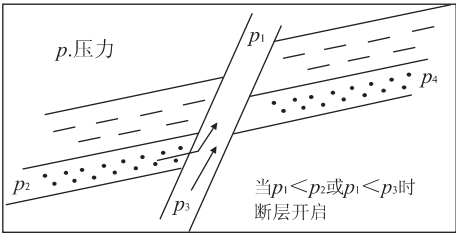


图 1 断层的连通性示意图

Fig. 1 Schematic diagram showing the fault sealing

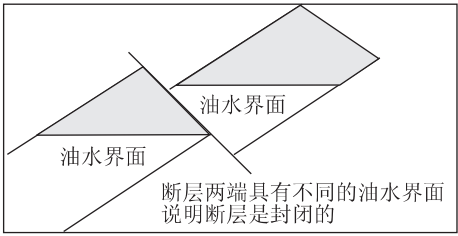


图 2 根据断层两盘油水界面判断断层的封闭性

Fig. 2 Fault sealing deduced by different oil-water interfaces

开启的,如果断层两盘为渗透性岩石与非渗透性岩石对接,则认为断层是封闭的(图 1). 但实际情况远远不是这样简单. 实际的情况是,虽然断层也可以以面接触,但更多的是以断层破裂带接触,断层的封闭性受断裂带岩性和泥质含量影响. 而地球化学方法可以从断层两盘油气水的化学性质方面及靠近断层附近的油藏地球化学特征方面,提供有关断层的封闭性信息,比其他方法更具优点(Kaufman *et al.*, 1987; Kaufman *et al.*, 1990; Hwang *et al.*, 1994),主要表现在以下 2 个方面:(1)根据断层附近油藏的地球化学特征,更能反映在地质历史期特别是排烃期断层的封闭性.(2)根据断层两端原油的化学组成,可以帮助判定“岩性连通,流体不连通”的储层,可以对储层的连通性给予定量评价,从而指导石油的开发.

1 断层的封闭性影响因素及研究方法

断层的封闭性可分为断层垂向和侧向上的封闭性,断层垂向上的封闭性常常决定了油气运移的方向、油藏的再分配、圈闭中油气的多少. 断层侧向上的封闭性决定了油气分布的范围、油藏的开发部署等方面.

1. 1 断层垂向上封闭性的影响因素

断层在垂向上的封闭性主要决定于以下几个方面:(1)断层的力学性质. 一般而言,张性断层封闭性差;挤压性断层封闭性好.(2)断层倾角. 断层越陡,上覆地层压力越小,封闭性越差;反之,断层越缓,封闭性越好.(3)断裂带充填物的性质. 充填物的泥质含量越高,充填物越致密,封闭性越好. 断裂若断穿盖层,则封闭性差;若未断穿盖层,则封闭性好.(4)断层的同生性. 同生断层易产生流动的泥岩涂抹,造成断层的封闭性变好. 同时,断裂中的碎裂作用、成岩作用,局部的裂隙,砂岩的渗透率变化,不同盆

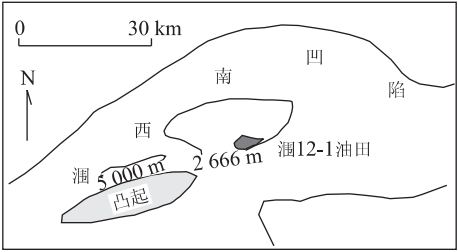


图 3 研究区的位置

Fig. 3 Location of research area

地类型断层的活动性和构造类型等因素均对断层的封闭性有影响.

1. 2 断层横向上封闭性的影响因素

断层在横向上的封闭性除了受上述因素的影响外,还与断层两盘对置的岩性密切相关,一般而言,如果断层两盘以渗透性岩层相接触,则断层横向上的连通性好,但同时也取决于其他因素. 应该说明的是,断层的封闭性是有一定条件的,如对油封闭的断层,则可能对天然气泄漏. 断层的封闭性对油柱的高度也是一定的,当超过一定高度,断层则可能泄漏烃类.

1. 3 常见的研究方法

最为常见的方法是用油水界面的分布关系. 如果断层两盘的油水界面不同,则可以肯定,断层是封闭的;如果断层两盘的油水界面相同,则断层可能是不封闭的(图 2),也可能是封闭的. 同时,根据试井资料,如果断层两盘的油藏符合一个统一的压力递减曲线,则断层横向上连通. 此外,根据声波资料或者研究泥岩的涂抹系数均可以对断层的封闭性进行评价. 但应该说明的是,这些方法均有一定的可变性. 如一条断层的封闭性也是可变的,在一定层段的岩层是封闭的,但在另外一段岩层是泄漏的. 断层的封闭性也会随时间而发生变化. 因而,对于石油地质工作者而言,我们重点想了解断层的封闭性在油气运移期和现今油藏横向上的连通性如何. 因而应用地球化学方法对此进行研究将更具有重要的理论意

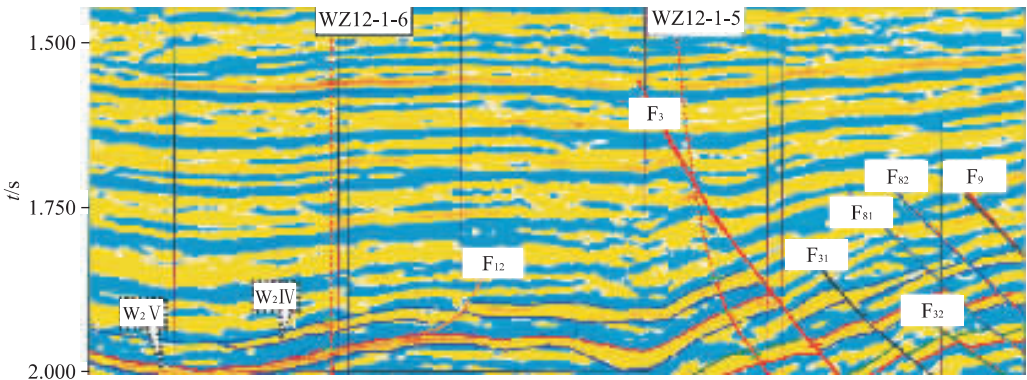


图 4 涠洲 12—1 油田 5 井和 6 井的区域构造
Fig. 4 Regional structure map of Weizhou 12—1 oilfield

义和实际应用价值.

2 不同断块之间油藏的连通性研究

以我国南海西部石油公司所属的涠西南凹陷涠 12—1 油田研究为例(图 3). 油田的开发部门根据物探资料,发现在涠 12—1—5 井和涠 12—1—6 井Ⅳ油组存在着一小断层(图 4),该断层因为断距较小,似连非连,因此对其存在与否尚有一定的争议.但是该油田即将面临着开发,需要对该断层的存在与否,特别是该小断层如果存在,对Ⅳ油组连通性的影响进行评价.

在本研究工作中,通过对研究区Ⅳ油组和Ⅴ油组油样 GC 指纹仔细分析研究,借助正交实验法的原则,从多个配对参数中优化、筛选出 10 个参数(图 5). 该参数既考虑了平面上和垂向上油藏流体指纹差异的最大性,又考虑了不同油藏间可选参数的差异性,它具有客观性、代表性,能真实地反映油藏流体的连通性与分隔性.

为了研究Ⅳ和Ⅴ油组流体平面连通性,将 P_1 至 P_{10} 共 10 个色谱指纹配对参数做成星状图(Kaufman *et al.*, 1990),如图 6 所示. 由图 6b 可见,WZ12—1—5 井与 WZ12—1—6 井Ⅴ油组 2 个油样其 GC 指纹参数几乎完全重合,反映 W_2 Ⅴ油组流体连通性好. 由图 6a 可见,2 口井 W_2 Ⅳ油组 GC 指纹参数有明显差异,反映其连通性差. 为了定量描述连通性的好坏,根据连通判识标准及 ΔP_x 数据表(表 1),Ⅴ油组 GC 指纹参数符合率为 90%,油藏流体连通级别为 1 级;Ⅳ油组 GC 指纹符合率为 30%,油藏流体连通级别为 5 级,这也正说明在 5 井和 6 井之间Ⅳ油组储层物性具非均质性. 地震相图

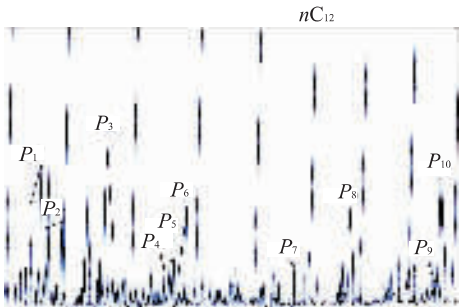


图 5 用于油层连通性识别的 10 对色谱指纹峰
Fig. 5 Ten GC peak ratios which are used to determine reservoir continuity

也说明Ⅴ油组储层物性好,而Ⅳ油组具非均质性. 反映的油藏连通性与其地质剖面也是吻合的. 上述结果充分说明了在本区Ⅳ油组确实存在着一个小的断层,而且该断层对油层的连通性有一定的影响,属于连通性不十分好的状况,因而在今后的石油开发方案中应该考虑该断层对流体的影响.

3 对断层在油气运移中的作用评价

辽河拗陷东部凹陷中段是近些年来石油勘探比较关心的一个热点研究地区,在该区中,欧利坨子地区断裂背斜带有一定的规模,因而本研究拟结合油田分析资料,对断层在油气运移中的作用进行分析. 取样井的位置及详尽的地球化学分析和原油混源特征研究成果参见侯读杰等(2002).

欧利坨子地区原油总体上属于中质原油,但其物性差异较大,密度从 0.83~0.89,粘度从 2~20 MPa·s. 同样,原油中的胶质+沥青质含量差别也较大,从 8%~22%. 这些特征出现在欧利坨子这

表 1 涠 12-1 油田 W₂ V 和 W₂ IV 油组△P_x 参数结果

Table 1 Gas chromatographic parameters of the formation groups W ₂ V and W ₂ IV in Weizhou 12-1 oilfield												符合率/%	连通级别
△P _x 层位	△P ₁ /%	△P ₂ /%	△P ₃ /%	△P ₄ /%	△P ₅ /%	△P ₆ /%	△P ₇ /%	△P ₈ /%	△P ₉ /%	△P ₁₀ /%			
V 油组	8.29	0.16	2.43	4.65	1.57	2.39	5.11	5.01	0.86	0.64	90	好	
IV 油组	30.87	2.09	13.41	18.37	13.14	11.99	8.47	22.69	5.04	0.51	30	差	

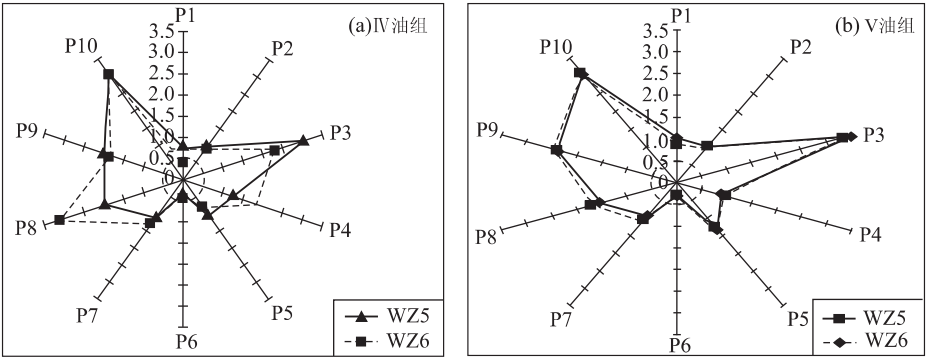


图 6 WZ5 井和 WZ6 井 IV 油组(a)和 V 油组(b)原油色谱指纹星状图

Fig. 6 Radar or star plot of selected peak ratios from gas chromatographic analysis of oils in the formation group IV (a) and V (b) of well WZ5 and WZ6

样一个面积比较小的地区,反映出原油成藏过程的不同及可能母质、成熟度的差异. 分析原油的含蜡量,同样可以提供有关原油的生源母质、成熟度、运移分馏等成藏过程的信息. 总体上原油具有随密度升高,蜡含量逐渐升高的趋势. 但同时,原油的蜡含量比较分散,反映出原油的性质变化较大,欧 14、欧 26 原油性质相对接近,欧 32、欧 31 虽然地理位置较近,但原油性质相差甚远. 以前的研究结果证实,在本区的原油,欧 26 和欧 14 井原油为典型的混源油. 而欧 32 和欧 31 井原油来自于不同的源岩层.

原油的众多生物标志物参数分析表明,原油的成熟度相差较大,其中,欧 31 井原油的成熟度最低,欧 14、欧 26 井原油的成熟度介于欧 31 和欧 32 之间,欧 35、欧 32 的成熟度最高. 欧 32 井和欧 35 井原油的成熟度较高,而且这 2 个井均邻近本区主要断层,这说明这 2 个油藏的原油是本区晚期运聚的原油成藏的,而且断层在油气运移中起到了重要的作用,成为油气运移的有效通道(图 7).

本区原油含氮化合物分析结果参见表 2. 总体上,欧 32 和欧 35 井原油的含氮化合物绝对浓度相对较高(图 8),说明它们更靠近源岩区,同时也验证了断层在本区油气运移中起到了通道的作用. 从吡啶类系列化合物 C₁、C₂、C₃ 的组成,吡啶/苯并吡啶,说明它们均为通过断层运移,含氮化合物并未发生明显的分异作用.

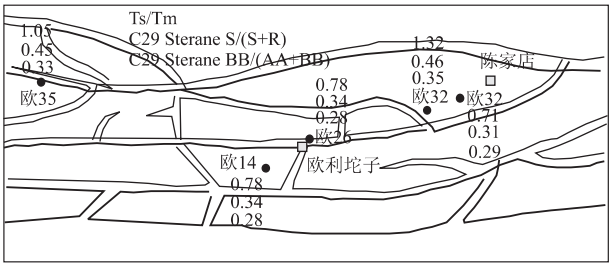


图 7 根据成熟度判定断层在油气运移中的作用

Fig. 7 Diagram showing the action of the fault on petroleum migration by maturity parameters

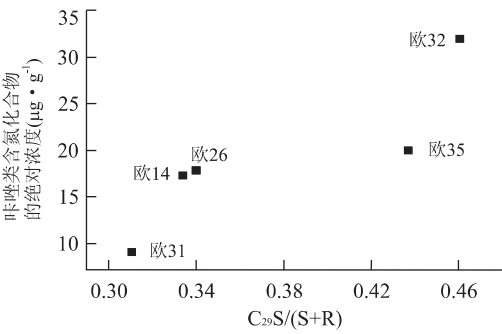


图 8 欧利坨子地区原油含氮化合物绝对浓度与甾烷成熟度参数的关系

Fig. 8 Diagram showing the relationship between concentration of pyrrolic nitrogen compounds in the oils of Ouli-tuozi region and maturity parameters of C₂₉ steranes

表 2 利坨子地区原油含氮化合物参数值

Table 2 Parameters for pyrrolic nitrogen compounds in the oils of Oulituozi region

井号	欧 31	欧 26	欧 14	欧 35	欧 32
井深/m	2 405.9~2 412.7	2 176.3~2 262	2 178~2 182	3 000.5~3 015.6	2 294~2 335.3
层位	Es ₃	Es ₃	Es ₃	Es ₃	Es ₃
苯并[a]咔唑/苯并[c]咔唑	0.78	1.06	0.96	1.04	1.47
咔唑	2.02	3.46	3.36	2.91	1.20
C1—咔唑	6.64	11.80	11.77	8.21	7.51
C2—咔唑	24.61	29.40	29.68	27.44	29.82
C3—咔唑	66.73	55.35	55.18	61.45	61.47
1,8—二甲基咔唑/1,7—二甲基咔唑	1.08	1.05	1.07	0.96	1.11
1,8—二甲基咔唑/1,6—二甲基咔唑	0.91	1.24	0.97	1.28	1.25
c3—咔唑/c1—咔唑	10.05	4.69	4.69	7.49	8.19
c3—咔唑/c2—咔唑	2.71	1.88	1.86	2.24	2.06
咔唑/苯并咔唑	0.57	1.16	0.98	0.97	0.96

4 结论

通过对 2 个不同地区断层在油气运移和连通性的分析,笔者认为,油气地球化学方法同样可以为断层的封闭性研究提供重要的信息,并帮助我们取得有关断层封闭性的认识:(1)对涠西南凹陷油田小的断层分析表明,尽管存在着很小的断层,从物探资料上来看,对流体流通性似乎无较大影响,但地球化学分析表明,它仍然对油藏流体的连通性有较大的影响。(2)根据含氮化合物资料,结合油藏与断层的分布和原油的成熟度资料,我们可以确定断层在油藏成藏过程中,是否起到油气运移的通道作用。(3)地球化学方法在断层的连通性研究中仍是大有可为的。

致谢:本研究工作中,有关南海西部石油的研究得到了南海西部研究院各位领导的大力支持与关心,特别是东海石油公司勘探部经理张敏强(原南海西部石油公司研究院副院长),为我们的研究提出了很多建设性的意见和建议。林金成总工程师、开发室谢培勇主任多次关心本研究工作的进展。黄保家高工、李里高工以及苏文辉主任及徐新德、徐月明、黄义文等同志为本研究工作的顺利开展都给予了有益的建议与帮助。有关辽河油田的研究得到了辽河石油管理局研究院吴铁生总地质师的指导和帮助,同时辽河石油管理局研究院勘探综合所所长肖乾华及区域室室主任李金友、许坤等同志以及辽河油田测井解释站等同志也给予了大力帮助,在此向他们表示衷心感谢。

References

Hou,D. J. ,Tang, Y. J. ,Li,X. Q. ,et al. ,2002. The identifi-

cation and quantitative analysis of mixing oil in Oulituo-
zi region. In: Zhang, D. J. , ed. ,Symposium on the 4th
national petroleum geology experiment technology and
administration. Petroleum Industry Press, Beijing, 74—
82 (in Chinese).

Hwang,R. J. , Ahmed, A. S. , Moldowan, J. M. , 1994. Oil
composition variation and reservoir continuity: Unity
field, Sudan. *Organic Geochemistry* ,21:171—188.
Kaufman, R. L. , Ahmed, A. S. , Elsinger, R. L. , 1990. Gas
chromatography as a development and production tool
for fingerprinting oils from individual reservoirs: Appli-
cation in the Gulf of Mexico. Gulf Coast Section of the
Society of Economic Paleontologists and Mineralogists
Foundation Ninth Annual Research Conference Pro-
ceedings,263—282.
Kaufman, R. L. , Ahmed, A. S. , Hempkins, W. B. , 1987. A
new technique for the analysis of com-mingled oils and
its application to production allocation calculations. Pro-
ceedings of the sixteenth annual convention of the Indo-
nesian Petroleum Association. Indonesian Petroleum
Association, Jakarta, 247—268.
Wang, Z. X. , Xin, Q. L. , 1997. The discussion on under-
ground fault sealing. *Geological Journal of China Uni-
versities* ,3(3):293—300 (in Chinese with English ab-
stract).
附中文参考文献
侯读杰,唐友军,李贤庆,等,2002. 欧利坨子地区混源油的识
别及定量研究. 见: 张大江. 第四届全国石油地质实验
技术及实验室管理工作交流会议论文集. 北京: 石油工
业出版社, 74—82.
王志欣,信荃麟,1997. 关于地下断层封闭性的讨论. 高校地
质学报,3(3): 293—300.