

文章编号:1673-5005(2009)06-0032-04

泥岩涂抹长度定量计算及应用

时丕同¹, 王秀红², 陈 涛², 应忠才仁³

(1. 中国石油大学 地球资源与信息学院, 山东 东营 257061; 2. 中石化胜利油田 地质科学研究院, 山东 东营 257015;
3. 中石油青海油田 边远油田开发公司, 青海 海西州 816400)

摘要:通过对济阳坳陷 7 个油田 60 多个油气藏几十条断层的研究, 提出泥岩涂抹长度计算方法, 对断层封闭性的计算公式进行修正, 并用新修正的公式对营子街地区断层封闭性进行研究。结果表明: 济阳坳陷断层封闭的泥岩涂抹界限值是 5; 纵向上沙三上亚段Ⅲ砂组中下部、Ⅳ砂组、Ⅴ砂组断层封闭性好, 平面上街 202、街 204、街 201 等井区断层封闭性好, 与油气富集层位非常吻合。

关键词:断层封闭性; 泥岩涂抹长度; 济阳坳陷; 营子街地区

中图分类号:P 542.3 **文献标识码:**A

Quantitative calculation and application of shale smear length

SHI Pi-tong¹, WANG Xiu-hong², CHEN Tao², YINGZHONG Cai-ren³

(1. College of Geo-Resources and Information in China University of Petroleum, Dongying 257061, China;
2. Geological Scientific Research Institute of Shengli Oilfield, SINOPEC, Dongying 257015, China;
3. Outling Oilfield Developing Company of Qinghai Oilfield, PetroChina, Haixizhou 816400, China)

Abstract: By studying tens of faults in over sixty hydrocarbon reservoirs of seven oilfields in Jiyang depression, a calculation method of shale smear length was presented, the calculation formula for fault sealing was modified and then the fault sealing in Yingzijie area was analyzed. The results show that the effective mudstone thickness in the ranges of shale smear length must be determined in order to reflect the fault sealing correctly. The boundary value of the fault sealing is 5 in Jiyang depression. The fault sealing in Yingzijie area is good in the middle-lower part of the third sand bodies, the fourth and the fifth sand bodies of the upper Es₃ formation, and so is the area near the well Jie 202, well Jie 204 and well Jie 201, which agree well with oil and gas rich layer.

Key words: fault sealing; shale smear length; Jiyang depression; Yingzijie area

在油气勘探开发过程中断层封闭性的研究起到越来越重要的作用, 特别是在断块油气田中断层封闭性直接影响油气的运移聚集。关于断层封闭性的研究已有半个多世纪, 且研究方法较多, 如三维地震断层切片法、断面剖面分析法、Allan 图示法、模糊综合评判法等^[14]。这些方法是基于断层两侧岩石直接接触, 以及断层带和断层面不起封堵作用的基础上提出的, 而实际上断层是一个地质体, 断裂带和断层面也可以起到封闭作用。自泥岩涂抹现象提出后, 断层封闭性研究进入定量研究阶段^[5-10]。但是, 关于泥岩涂抹的计算方法在油田实际应用过程中存

在较多问题, 不能很好地用来评价断层封闭性。笔者对泥岩产生涂抹带的条件和有效性进行分析, 对泥岩涂抹定量计算方法进行改进。

1 泥岩涂抹

泥岩涂抹现象最早是在 1966 年 Smith 提出来的^[11], 是指由于被断的岩层和岩体沿断面发生明显的位移时, 在断层面上形成的泥岩条带, 涂抹带物性差, 封闭性能好, 可以起到遮挡油气的作用。由于泥岩涂抹是泥岩层泥化并进入断层带而形成的, 因此泥岩涂抹只能存在于泥岩位移经过的断层部分, 涂

收稿日期: 2009-05-20

基金项目: 中国石化股份公司科技攻关项目(P07002)

作者简介: 时丕同(1973-), 男(汉族), 山东单县人, 博士研究生, 主要从事油气勘探研究工作。

抹带的形成主要取决于被断地层中的泥质岩层的数量和厚度。由于单套泥岩层厚度是有限的,在断距范围内不能产生连续的涂抹带,因此单套泥岩涂抹带长度是一定的,关于泥岩涂抹的连续性已被国内外许多学者通过野外观察和试验模拟等手段所证实。本文中泥岩涂抹长度进行分析。

1.1 泥岩涂抹长度

吕延防等^[12-13]通过试验模拟了断层活动过程中的泥岩涂抹现象,发现断层活动过程中可以形成泥岩涂抹,但涂抹条带空间分布并不是连续的,沿地层被错动的方向,涂抹层由厚变薄,并且在断裂带中涂抹层被拖动越远越薄,其末端分布有拖拽后留下的透镜状泥岩涂抹残体。吕延防等认为在断层活动初期泥岩连续涂抹,随着断距的增大,涂抹条带拉断后对以后地层不产生涂抹作用。如图1所示,在B点拉断前泥岩发生塑性流动,产生连续的泥岩涂抹,当B点拉断时AB、B'C变得相对稳定,而该套泥岩对BB'范围内地层将不再产生涂抹作用。

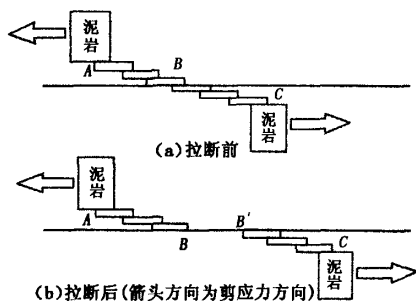


图1 泥岩涂抹层成因示意图(吕延防,2002)

Fig.1 Sketch map of genetic mechanism of shale smearing layers(LÜ Yan-fang, 2002)

国外许多学者也提出单套泥岩的连续涂抹问题,认为一定厚度泥岩产生的涂抹长度是一定的^[14]。特别是对于我国东部断陷盆地来说,断层断距较大,泥岩层厚度相对较薄,泥岩很难在断距范围内形成连续的涂抹,因此在进行断层封闭性计算时泥岩涂抹长度的计算显得尤为重要。

1.2 泥岩涂抹长度计算

泥岩涂抹长度是指一定厚度的泥岩层能够形成连续涂抹带的最大长度,吕延防等通过模拟试验发现,泥岩涂抹长度与泥岩层厚度成指数关系^[8],由于物理模拟试验条件与实际地层具有很大的差别,很难应用到实际中。

Lindsay等^[14]对泥岩的连续涂抹问题进行了研究,并提出了利用泥岩涂抹因子(F_{ss})来计算泥岩涂抹的连续性, F_{ss} 值为单层泥岩在一定的断距下的连

续涂抹问题,计算公式为

$$F_{ss} = D / \sum Z. \quad (1)$$

式中, D 为断层断距,m; Z 为泥岩层厚度,m。

在断层断距足够大时,泥岩的 F_{ss} 值是一定的,可以将式(1)中的断距变形为涂抹长度,得出泥岩涂抹长度与泥岩层厚度的关系,即

$$L = F_{ss} Z. \quad (2)$$

式中, L 为泥岩涂抹长度,m。

因此在断距一定时,泥岩的涂抹长度主要与泥岩层的厚度有关。Lindsay等统计了80多个断层的 F_{ss} 值认为,只有在泥岩涂抹因子小于7时泥岩的涂抹才连续,即 F_{ss} 值等于7时是泥岩在某点能够产生涂抹的临界值, F_{ss} 值大于7时涂抹条带将会被拉断,对中间地层将不起作用。也就是说盆地内单套泥岩的涂抹长度是泥岩层厚度的7倍,泥岩涂抹长度计算公式简化成

$$L = 7Z. \quad (3)$$

2 断层封闭性计算

目前关于泥岩涂抹的研究方法主要包括 Bouvier等^[15]提出的泥岩涂抹势(P_{cs})的方法和 Yielding等^[16]提出的断层泥比率(R_{sc})。这些计算方法只是考虑了断层断距与断距内泥岩层总厚度的关系,没有考虑到泥岩涂抹长度的问题,计算结果不能真实反应断层的封闭性。因此在实际应用过程中发现存在许多问题,如不能将有油井段与无油井段进行区分,也不能与含油饱和度进行很好的吻合,特别是在东部断陷盆地存在问题更大。

如图2所示在进行A点断层封闭性计算时,按照前人的研究方法认为,A点断层封闭性为断距内泥岩厚度和与断距比值,即

$$R_{sc} = \frac{Z_1 + Z_2 + Z_3}{D} \times 100.$$

通过前文关于单套泥岩涂抹长度研究认为,泥岩涂抹长度是有限的,3套泥岩并不是均对A点产生涂抹作用,通过计算发现厚度分别为 Z_1, Z_2, Z_3 的3套泥岩的涂抹长度分别为: $L_1 = 7Z_1, L_2 = 7Z_2, L_3 = 7Z_3$,其中只有厚度为 Z_2, Z_3 两套泥岩可以在A点产生涂抹,而厚度为 Z_1 泥岩层对A点不产生涂抹作用,因此在进行A点的断层泥岩涂抹计算时,泥岩层厚度应为 $Z_2 + Z_3$ 。因此在进行某点断层泥岩涂抹计算时,不能利用断距范围内所有泥岩层厚度,应首先进行泥岩涂抹长度的分析,确定有效泥岩层,利用有效泥岩层厚度进行计算,得出断层的有效泥岩

涂抹值(F_{SSE}),计算公式为

$$F_{SSE} = \frac{\sum(\text{有效泥岩厚度})}{\text{断距}} \times 100. \quad (4)$$

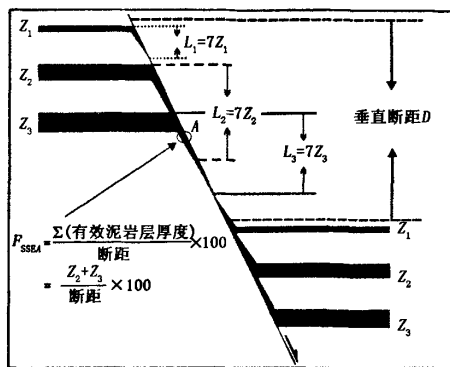


图 2 断层泥岩涂抹计算示意图

Fig. 2 Sketch map of shale smearing quantitative calculation for faults

应用上述计算方法,对济阳拗陷 7 个油田 60 多个断块油气藏几十条断层封闭性进行计算,首先是利用式(3)进行泥岩涂抹长度的计算,确定有效泥岩层,然后利用式(4)进行断层泥岩涂抹的计算。计算结果表明,油气层处断层的泥岩涂抹值均大于 5,因此认为断层封闭的泥岩涂抹界限值为 5,即对济阳拗陷来说, $F_{SSE} > 5$ 时断层封闭,可以形成油气藏, $F_{SSE} < 5$ 时断层不封闭,主要起输导作用(图 3)。

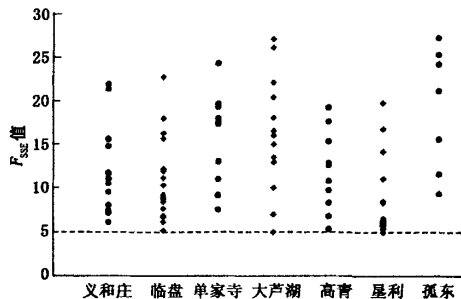


图 3 济阳拗陷油气层泥岩涂抹值

Fig. 3 Shale smearing value of hydrocarbon reservoir in Jiyang depression

3 营子街地区断层封闭性

营子街地区位于临南洼陷西部营子街断层带上,东部为江家店地区,西南部为临西地区,是油气运移的有利指向区和富集区。本区沙三上及下部地层的暗色泥岩、油页岩有机质丰富,成熟度高,是良好的烃源岩。另外,大芦家次洼也可以为本区提供丰富的油源。从储层发育条件上看,沙三上沉积时期研究区为多物源交汇区,三角洲前缘亚相砂体迭

合连片分布,纵向上相互叠置,储层发育,而且砂岩粒度较粗,物性较好,因此圈闭条件是营子街地区成藏的关键。

该区已发现油气藏主要集中在沙三上亚段 IV, V 砂组,平面上主要分布于街 207、街 201、街 202 等井区,而街 203、街 205 井区油气显示不好,圈闭类型主要是断层-岩性圈闭,断层的封闭性决定油气是否成藏。该区的营子街断层带呈近东西向展布,断层断距大于 100 m,均发育较厚的断裂带,因此断层封闭性主要是由于泥岩涂抹形成的,对研究区两条主要断层的泥岩涂抹值进行计算,结果见图 4、5。

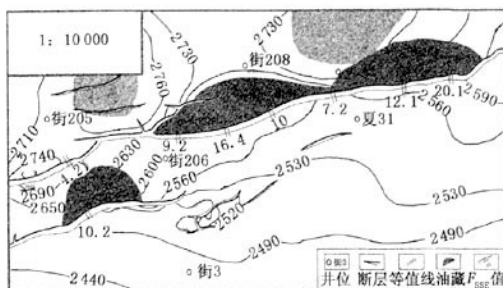


图 4 营子街地区 Es_3 油气藏及 F_{SSE} 值分布

Fig. 4 Distribution of hydrocarbon reservoir and F_{SSE} value in upper Es_3 formation in Yingzijie area

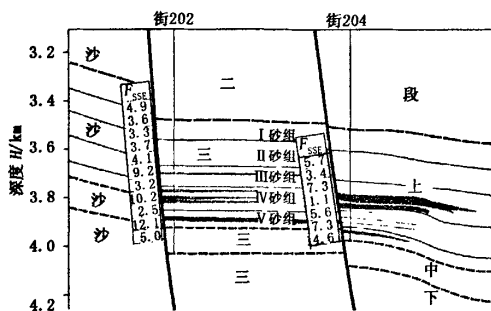


图 5 营子街地区断层 F_{SSE} 值纵向分布

Fig. 5 Vertical distribution of F_{SSE} value for faults in Yingzijie area

从平面上看(图 4),营子街地区沙三上亚段 IV, V 砂组的断层泥岩涂抹值,在街 202、街 204、街斜 2、街 201、街 211 等井区 $F_{SSE} > 10$,断层封闭可以遮挡油气形成圈闭,在这些井区均发现了高产油气藏;街 205 井区 $F_{SSE} < 5$,断层不封闭,难以形成圈闭,断层主要起输导作用,导致营子街地区街 205 井区只见到油气显示,而未发现油气藏;街 203 井区 $F_{SSE} = 7.2$, F_{SSE} 值小于街 202、街 204、街斜 2、街 201 等井区,断层封闭程度低,导致含油性差。

纵向上,对街 202、街 204 井区沙三上亚段 I ~

V共5套砂层组断层封闭性进行判断(图5),分析发现Ⅲ砂组中下部、Ⅳ砂组、V砂组 $F_{SSE} > 5$,断层封闭,可以形成圈闭,目前在这3套砂体均发现油藏;而Ⅰ砂组、Ⅱ砂组、Ⅲ砂组上部断层 $F_{SSE} < 5$,断层不封闭,难以形成圈闭,断层主要起输导作用,这3套砂组只见到油气显示,未发现油气藏。

4 结 论

(1)单套泥岩在断层面上形成的涂抹条带不是连续的,其涂抹长度是有限的,在断距足够大时,泥岩涂抹长度主要与泥岩层的厚度有关。

(2)在进行断层的泥岩涂抹计算时,应仅考虑在涂抹长度范围内的有效泥岩层厚度,据此计算的泥岩涂抹长度才能反映断层真实的封闭性。

(3)对发育断裂带的断层来说,泥岩涂抹是断层封闭的主要机制,济阳坳陷7个油田60多个断块油气藏几十条断层的泥岩涂抹值计算结果证实, $F_{SSE} > 5$ 时断层封闭。

(4)纵向上沙三上亚段Ⅲ砂组中下部、Ⅳ砂组、V砂组断层封闭性好,平面上街202、街204、街201等井区断层封闭性好。

参考文献:

- [1] ALLAN U S. Model for hydrocarbon migration and entrapment within faulted structures [J]. AAPG Bulletin, 1989, 73(7):803-811.
- [2] 刘泽容,信岑麟,邓俊国,等. 断块群油气藏形成机制和构造模式[M]. 北京:石油工业出版社,1998:23-26.
- [3] 吕延防,陈章明. 非线性映射分析判断断层封闭性[J]. 石油学报,1995,16(2):36-41.
LÜ Yan-fang, CHEN Zhang-ming. Evaluation of sealing ability of faults using nonlinear mapping analysis [J]. Acta Petrolei Sinica, 1995,16(2):36-41.
- [4] KNIPE R J. Juxtaposition and seal diagrams to help analyze fault seals in hydrocarbon reservoirs [J]. AAPG Bulletin, 1997,81(2):187-195.
- [5] 赵密福,李阳,张熠,等. 断层两盘岩性配置关系及断层的封闭性[J]. 中国石油大学学报:自然科学版,2006,30(1):7-11.
ZHAO Mi-fu, LI Yang, ZHANG Yi, et al. Relation of cross-fault lithology juxtaposition and fault sealing [J]. Journal of China University of Petroleum (Edition of Natural Science), 2006,30(1):7-11.
- [6] 杨智,何生,王锦喜,等. 断层泥比率(SGR)及其在断层侧向封闭性评价中的应用[J]. 天然气地球科学,2006,16(3):347-351.
- [7] 赵密福,李阳,李东旭. 泥岩涂抹定量研究[J]. 石油学报,2005,26(1):60-64.
ZHAO Mi-fu, LI Yang, LI Dong-xu. Quantitative study of shale smear [J]. Acta Petrolei Sinica, 2005,26(1):60-64.
- [8] 王奎,杨静,侯光宗,等. 断层封闭性研究现状及发展趋势[J]. 断块油气田,2008,15(3):43-45.
WANG Kui, YANG Jing, HOU Guang-zong, et al. Present status and development tendency of research on fault closure property [J]. Fault-Block Oil & Gas Field, 2008,15(3):43-45.
- [9] DOUGHTY P T. Clay smear seals and fault sealing potential of an exhumed growth fault, Rio Grande rift, New Mexico [J]. AAPG Bulletin, 2003,87(3):434-438.
- [10] BASHIR A Koledoye, ATILLA Aydin, ERIC May. A new process-based methodology for analysis of shale smear along normal faults in the Niger Delta [J]. AAPG Bulletin, 2003,87(3):445-463.
- [11] SMITH D A. Theoretical consideration of sealing and nosealing faults [J]. AAPG Bulletin, 1966,15(1):14-27.
- [12] 吕延防,付广. 断层封闭性研究[M]. 北京:石油工业出版社,2002:39-65.
- [13] 吕延防,张发强,吴春霞,等. 断层涂抹层分布规律的物理模拟实验研究[J]. 石油勘探与开发,2001,28(1):30-32.
LÜ Yan-fang, ZHANG Fa-qiang, WU Chun-xia, et al. Simulation experiment on distribution of fault smear layer [J]. Petroleum Exploration and Development, 2001,28(1):30-32.
- [14] LINDSAY N C, MURPHY F C, WALSH J J, et al. Outcrop studies of shale smear on fault-surface[J]. International Association of Sedimentologist Special Publication, 1993,15:113-123.
- [15] BOUVIER J D, KAARS-SIJPESTEIJN C H, ONYEJEKWE C C, et al. Three-dimensional seismic interpretation and fault sealing investigations, Nun River field, Nigeria [J]. AAPG Bulletin, 1989,73(11):1397-1414.
- [16] YIELDING G, FREEMAN B, NEEDHAM D T. Quantitative fault seal prediction [J]. AAPG Bulletin, 1997, 81(6):897-917.

(编辑 徐会永)