

埋藏过程中泥页岩非构造裂缝的形成演化模式

袁玉松¹, 周雁¹, 邱登峰¹, 王茜茜²

[1. 中国石化石油勘探开发研究院, 北京 100083; 2. 中国地质大学(北京)地球科学学院, 北京 100083]

摘要:通过归纳总结前人研究成果,同时考虑到泥页岩普遍具有层理发育、非均质性、力学性质各向异性、欠压实作用和烃类生成等本身固有的特殊性质,划分了泥页岩非构造裂缝的主要类型,分析了泥页岩非构造裂缝分布的深度区间。依据覆压条件下的孔隙度、渗透率测试数据,获得了泥页岩裂缝覆压闭合的临界围压和对应的深度范围。综合分析认为:泥页岩非构造裂缝主要有干裂裂缝、水下收缩裂缝、成岩层理裂缝、超压裂缝(欠压实超压裂缝和生烃超压裂缝)和现代表生裂缝5种类型。泥页岩覆压渗透率测试数据揭示,当上覆岩层的垂直有效压力达到15 MPa时,常压泥页岩的天然缝裂缝(水平方向)将发生闭合。裂缝覆压闭合门限深度为870~1 138 m,平均为1 000 m。超压泥页岩底界深度与泥页岩裂缝(水平方向)覆压闭合深度一致,超压带底界之下的泥页岩裂缝通常不再保持开启状态。埋藏过程中泥页岩非构造裂缝形成演化具有时序性/阶段性,即从沉积开始到最大埋藏深度的不同阶段,泥质沉积物或泥页岩形成不同类型的非构造裂缝,由浅至深依次形成表层干裂裂缝—浅层水下收缩裂缝—中深层欠压实超压裂缝—深层生烃超压裂缝—超深层闭合裂缝。

关键词:裂缝闭合;非构造裂缝;超压裂缝;泥页岩

中图分类号:TE122.1

文献标识码:A

Evolutionary patterns of non-tectonic fractures in shale during burial

Yuan Yusong¹, Zhou Yan¹, Qiu Dengfeng¹, Wang Qianqian²

[1. Petroleum Exploration and Production Research Institute, SINOPEC, Beijing 100083, China]

2. Department of Earth Sciences, China University of Geosciences (Beijing), Beijing 100083, China]

Abstract: The main types of non-tectonic fractures and their depth distribution range are discussed based on the previous research and considering the inherent special properties of shale such as bedding, heterogeneity, anisotropy in mechanical properties, under-compaction and hydrocarbon generation. The critical confining pressure of shale fracture closing and its corresponding depth range are calculated by making use of porosity and permeability data measured under overburden pressure. A comprehensive analysis reveals that the non-tectonic fractures of shale can be categorized into five types, including suncrack, underwater shrinkage crack, bedding crack, overpressure fracture and modern hypergenetic fracture. The permeability data measured under confining pressure reveals that shale fracture should be closed under a vertical effective stress of about 15 MPa. The depth threshold of shale fracture closing is in the range of 870 – 1 138 m, averaging at 1 000 m. The depth of bottom boundary of overdressed shale is consistent with the depth of fracture (in horizontal direction) closing under overlying pressure and the fractures in shale under the bottom boundary of overpressure zone are no longer open. The formation and evolution of non-tectonic fractures of shale in burial history feature in time sequence/episode, i. e. different types of non-tectonic fractures develop in different stages from the deposition to maximum buried depth. Surface weather-shack, shallow subaqueous shrinkage cracks, mid-deep under-compaction overpressure fractures, deep hydrocarbon-generating overpressure cracks and super-deep closed fracture occur successively from shallow to deep.

Key words: non-tectonic fracture, overpressure fracture, closed fracture, shale

非构造裂缝是泥页岩中常见的裂缝类型,对页岩气成藏与保存评价具有重要意义。目前,国内外学者对泥页岩非构造裂缝的研究还很少。在 Elsevier, GSW, SpringerLink 以及 Wiley 等国外主要文献数据

库,几乎检索不到以“non-tectonic”为标题的文献。可见,长期以来泥页岩非构造裂缝的研究未曾受到重视。国内仅在非构造裂缝与构造裂缝的区别、发育特征、成因机制和分类等方面有少量研究成果^[1-3]。国外在干

收稿日期:2014-12-03;修订日期:2015-07-30。

第一作者简介:袁玉松(1967—),男,博士、高级工程师,沉积盆地构造演化与盖层封闭性。ysyuan@126.com。

基金项目:国家基础研究发展计划(973计划)项目(2012CB214806);国家科技重大专项(2011ZX05005)。

裂裂缝的几何特征^[4]、形成与演化机制^[5]以及水下收缩裂缝的形成机制^[6]等方面有少量报道。如今,页岩气勘探已取得巨大成功^[7],泥页岩非构造裂缝的研究也必将受到关注。关于泥页岩非构造裂缝的分类,由于研究的出发点不同,目前还存在一定的分歧。郭璇等将非构造裂缝又分为表生裂缝、收缩裂缝、溶蚀裂缝、缝合线、差异压实裂缝、压裂缝、冰冻裂缝及与重力滑塌有关的裂缝等8种类型^[1]。丁文龙等将非构造裂缝分为成岩收缩裂缝、成岩压溶缝合线、超压裂缝、热收缩裂缝、溶蚀裂缝和风化裂缝6种亚类^[8]。本文在归纳总结前人研究成果的基础上,充分考虑到泥页岩具有层理发育、非均质性^[9]、力学性质各向异性^[10]、欠压实作用和烃类生成等本身固有的特殊性质,从油气勘探的角度出发,初步划分了泥页岩非构造裂缝的主要类型。并从泥页岩超压、超压裂缝分布的深度区间、覆压条件下泥页岩裂缝的闭合围压和深度范围,对埋藏阶段泥页岩非构造裂缝的形成演化模式做了初步探讨,意在页岩气的成藏与保存研究提供关于泥页岩非构造裂缝方面的基础参数和指标。

1 泥页岩非构造裂缝的主要类型

考虑泥页岩本身固有的与其他类别岩石不同的独特性,即:①韵律性、层理、页理发育;②厚层泥页岩在快速埋藏阶段常常形成异常孔隙流体压力,导致欠压实超压裂缝的发育;③含有丰富有机质的泥页岩在一定温压条件下具有生烃作用,阶段性排烃而发育生烃超压裂缝,将泥页岩非构造裂缝分为干裂裂缝、水下收缩裂缝、成岩层理裂缝、超压裂缝(欠压实超压裂缝和生烃超压裂缝)和现代表生裂缝5种类型。干裂裂缝由暴露干燥失水,体积收缩形成。干裂裂缝即可发育于地表未成岩的泥质沉积层中,也可见于被抬升至地表附近的已经成岩的泥页岩中。水下收缩裂缝是泥质层在水下脱水收缩或者含盐度增大而形成的沉积变形构造,常见于潮下浅水、潟湖和湖泊沉积物中^[11]。成岩层理裂缝形成于成岩演化的各个阶段,主要在成岩收缩作用下顺着层理面/页理面等先存薄弱面发育的裂缝。超压裂缝主要包括欠压实超压裂缝和生烃超压裂缝两种。现代表生裂缝由于泥页岩被抬升至地表附近,由重力失稳、风化失水作用形成。现代表生裂缝和已经成岩的泥页岩中的干裂裂缝主要在抬升过程中形成。

2 泥页岩非构造裂缝形成的深度区间

地下潜水面控制着未成岩泥质沉积层干裂裂缝发育的极限深度,长期干燥环境下,泥质沉积层干裂裂缝发育深度可达15 m^[12]。水下收缩裂缝发育于沉积物固

结之前,因此,发育深度也仅限于浅层数十米范围之内。超压裂缝形成的深度与超压发育深度以及生烃门限深度等有关。泥页岩超压裂缝发育的深度区间受沉积速率和地温梯度的影响。沉积速率决定了泥页岩的欠压实率,进而影响超压发育的顶界埋深;地温梯度影响生烃与排烃门限深度,从而控制超压的底界埋深。地层超压可分布于前寒武纪—更新世地层^[13],可存在于碎屑岩、厚层蒸发岩和碳酸盐岩地层中,最普遍的超压现象主要存在于泥页岩中,泥页岩超压具有一定的深度分布区间。不同盆地泥页岩超压分布的深度区间有一定差异。苏北盆地欠压实分布的深度范围一般在1 500~2 500 m,最大可达3 000 m,其产生的层位大多数在古新统阜宁组的厚层泥岩中^[14]。东营凹陷异常压力主要发育在古近系沙三段和沙四段,从深度上看,不同井开始出现异常压力的深度存在一定差异,有少量井在2 200 m左右就开始出现异常压力,但主要分布在2 700~3 500 m^[15]。松辽盆地古龙凹陷青山口组一段泥岩欠压实深度主要分布于1 800~2 200 m^[16]。辽河西部凹陷古近系泥岩异常超压带主要发育在1 200~3 400 m,如西部凹陷在埋深1 200~3 400 m的范围内泥岩的压力系数一般为1.40~1.80,高者可达1.90^[17]。砂层中的超压大部分已消失,泥岩中的超压多保持在厚层泥岩中。川西新场地区须家河组欠压实带顶界深度在3 000 m左右,欠压实带延续深度可达2 000 m,底界深度5 000 m左右。泥岩欠压实导致地层压力上升,该地区须家河组普遍超压,其中须五、须四段压力系数可达1.6~2.03,须三段、须二段压力系数可达1.60~1.95^[18]。

泥页岩超压裂缝在垂向上集中发育在一定区间,而且区域上可以进行对比,与超压带的分布深度区间不完全一致,裂缝带通常发育于超压带的底部。松辽盆地古龙凹陷青山口组青一段泥页岩裂缝主要发育于2 000~2 200 m。哈14井青一段2 057.0~2 061.18 m、英15井青一段中下部井深2 216.76~2 220.3 m、哈18井取心井段2 001.34~2 065.69 m为泥岩裂缝发育段^[19]。辽河西部凹陷欧39井也在沙三段3 470 m泥岩中见到较发育的裂缝,且含轻质油。青西凹陷的窟窿山、柳沟庄油藏的纵向分布以下白垩统下沟组(K_1g)为主要产层,泥岩裂缝油气藏埋深4 100~4 700 m^[20]。超压释放的深度即泥页岩超压裂缝的分布区间,与声波时差曲线的下滑段相对应。东濮凹陷前梨园洼陷古近系泥质岩异常超压带主要发育在2 500~2 700 m以下,而裂缝带大致开始于3 200 m,于3 700~4 100 m之下消失(图1)。沧东-南皮凹陷古近系泥质岩异常超压带发育在1 900~2 200 m之下,裂缝普遍发育于2 500~3 200 m,于3 200 m之下消失(图2)。

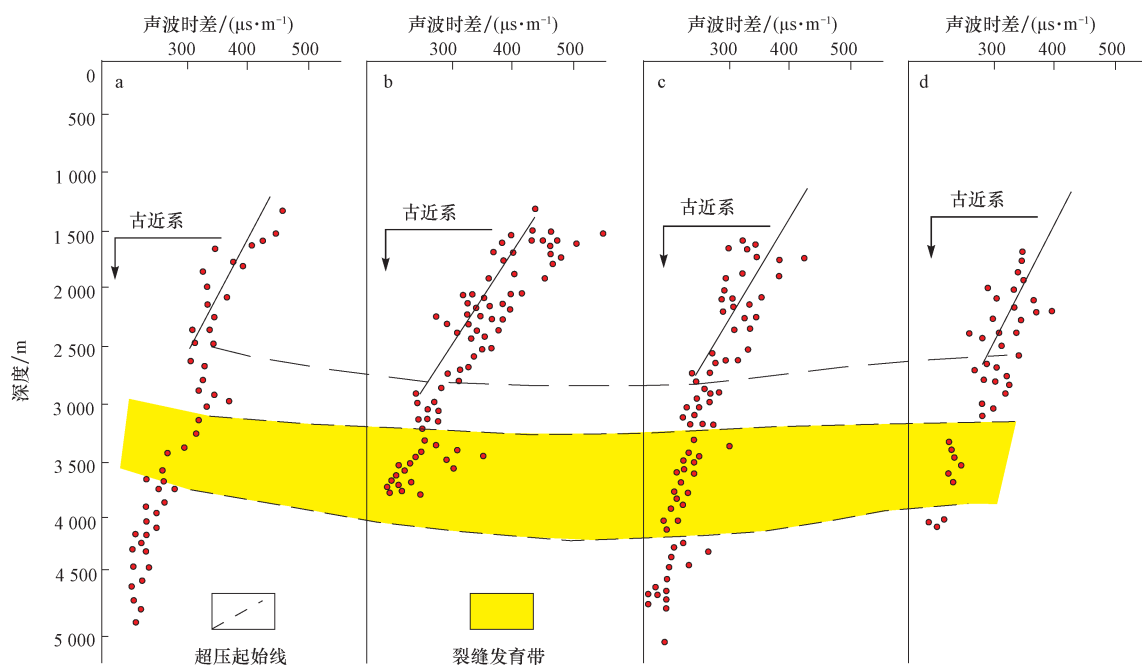


图1 东濮前梨园洼陷超压泥岩裂缝发育带分布特征^[21]

Fig. 1 Distribution of overpressure fracture zone in shale in Qianliyuansubag, Dongpu area^[21]

a. 濮深10井; b. 濮深12井; c. 文75井; d. 文128井

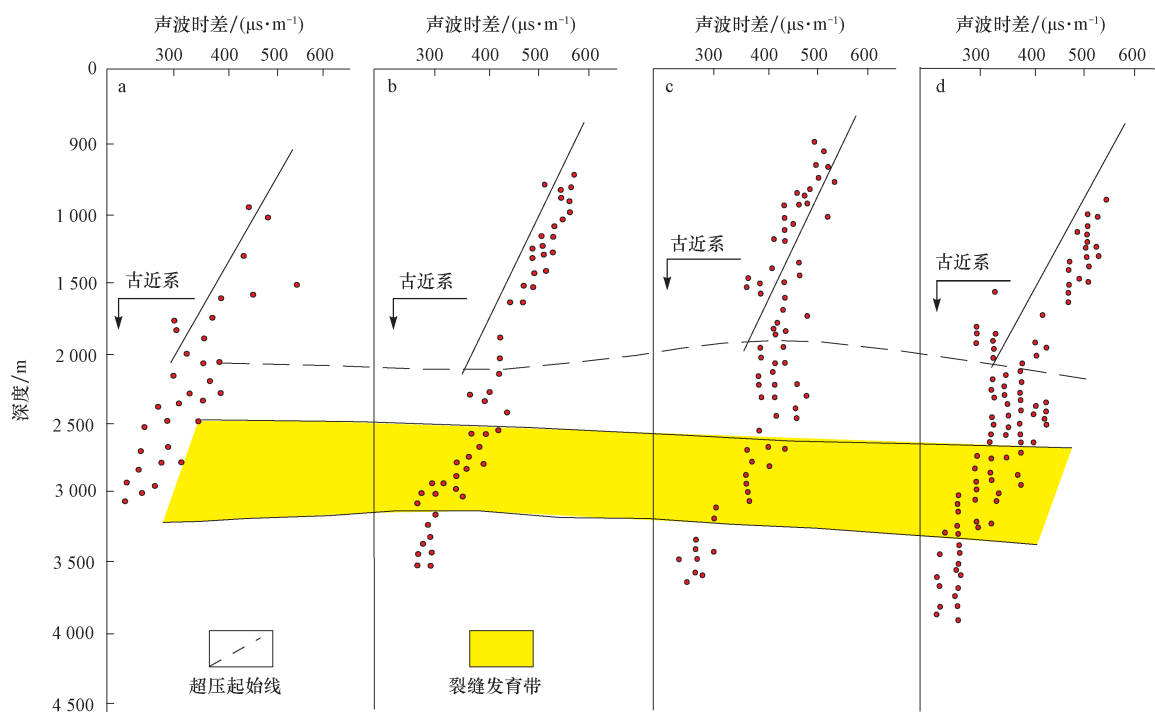


图2 沧东-南皮凹陷超压泥岩裂缝发育带分布特征

Fig. 2 Distribution of overpressure fracture zone in shale in Cangdong and Nanpi Sag

a. 枣88井; b. 女28井; c. 桃4井; d. 灯参1井

3 泥页岩裂缝的覆压闭合

当泥页岩发生超压破裂、产生超压裂缝之后,地层卸压,超压消失,此时,裂缝在上覆地层的覆压作用下将发生闭合,那么,需要多大埋藏深度,即多大厚度的上覆地层的覆压作用,裂缝才能闭合?关于这个问题,

本文对天然泥页岩露头样品进行覆压渗透率测试分析,获得了泥页岩的覆压闭合临界深度。

为确定泥页岩裂缝覆压闭合的深度,依据SY/T 6385—1999,利用QK-98孔隙率仪(C013)和WD-97渗透率仪(C006)测试了来自四川盆地不同时代、不同类型的泥页岩样品覆压下的孔隙度和渗透率(表1;图3)。

表1 泥页岩围压下的孔隙度与渗透率测试结果

Table 1 Porosity and permeability of shale measured under confined pressure

样品	围压/MPa	渗透率/(10 ⁻³ μm ²)	孔隙度/%	样品	围压/MPa	渗透率/(10 ⁻³ μm ²)	孔隙度/%
XSH-11, J ₂ sn 紫红色泥岩	1.5	0.835 0	11.02	SHL-4, J ₂ ss 灰色泥岩	1.5	0.110 0	8.68
	2.5	0.535 0	10.90		2.5	0.056 0	8.52
	4.0	0.312 0	10.76		4.0	0.035 6	8.30
	6.6	0.247 0	10.37		6.6	0.019 6	8.03
	15.0	0.044 1	9.60		15.0	0.006 2	7.58
	25.0	0.032 6	9.17		25.0	0.002 6	7.36
	40.0	0.016 4	8.76		40.0	0.000 9	7.16
XSH-6, T ₃ x 浅黄色泥岩	60.0	0.007 7	8.35		60.0	0.000 4	7.01
	1.5	0.031 4	8.04	MB-7, C ₁ 黑色碳质泥岩	1.5	0.444 0	11.48
	2.5	0.018 4	8.02		2.5	0.308 0	11.31
	4.0	0.014 1	8.00		4.0	0.213 0	11.14
	6.6	0.010 2	7.95		6.6	0.155 0	10.91
	15.0	0.007 9	7.77		15.0	0.076 2	10.57
	25.0	0.006 0	7.64		25.0	0.046 8	10.35
	40.0	0.006 0	7.51		40.0	0.027 5	10.20
	60.0	0.005 8	7.42		60.0	0.015 2	10.06

从表1和图3可以看出,泥页岩孔隙度随围压变化较小,对围压不敏感。当围压从1.5 MPa增加到60 MPa时,泥页岩孔隙度的变化量只有0.6%~2.7%。而且,孔隙度的变化发生在围压为1.5~15 MPa,当围压大于15 MP之后,孔隙度基本保持不变。但是,泥页岩渗透率随围压变化较大,对围压非常敏感(图4)。当围压从1.5 MPa增加到60 MPa时,泥页岩渗透率的变化量可以达到2~3个数量级。同样,当围压从1.5 MPa增加到15 MPa时,渗透率快速降低,大于15 MP之后,渗透率变化很小。泥页岩渗透率之所以对围压变化非常敏感,是因为泥页岩样品中存在天然微裂缝,在覆压作用下,微裂缝发生闭合,导致渗透率显著降低,而泥页岩的孔隙回弹小,所以,孔隙度对围压变化不敏感。从图3和图4可以看出,围压15 MPa是泥页岩孔隙度和渗透率随围压变化曲线的拐点。因此,围压15 MP可以作为泥页岩天然裂缝覆压闭合的门限值,即当上覆岩层的垂直有效压力达到15 MPa时,泥页岩裂缝将发生闭合。

通常,沉积岩层密度(ρ_r)为2.3~2.7 g/cm³,平均为2.5 g/cm³,地层水的密度(ρ_w)为1.01~1.07 g/cm³,平均为1.05 g/cm³。当泥页岩的埋藏深度为 H (m)时,依据上覆岩层垂直有效压力(σ'_v)的计算公式:

$$\sigma'_v = 0.010\ 133(\rho_r - \rho_w)H \quad (1)$$

即可计算出泥页岩天然裂缝覆压闭合的门限深度为870~1 138 m,平均为1 000 m左右。

值得注意的是,试验测试时,所施加的围压,方向与裂缝面垂直,因此,这里所指的裂缝闭合临界围压,是垂直于裂缝面的压力。因此,在实际地质情况下,对

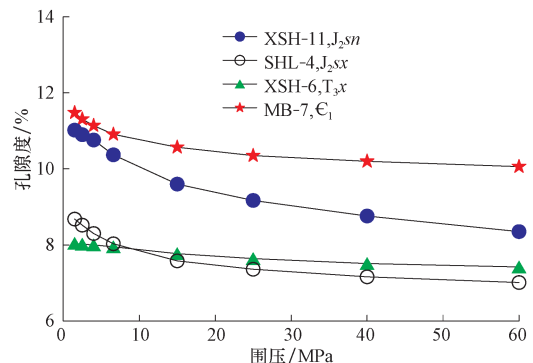


图3 泥页岩孔隙度随围压变化关系

Fig. 3 Relationship between porosity and confining pressure of shale

于天然裂缝的覆压闭合,可以视为水平裂缝的闭合,而不涉及垂直或斜交裂缝的闭合。当岩层产状近于水平时,则主要包括泥页岩裂缝中的顺层裂缝的闭合。也就是说,在欠压实超压、生烃超压或构造应力作用下,泥页岩中产生的顺层裂缝,当造缝应力消失之后,只要泥页岩的埋深超过大约1 000 m,裂缝将在覆压作用下闭合。即埋深超过1 000 m的泥页岩如果存在天然水平(顺层)裂缝,则应该同时存在超压现象,否则,水平裂缝难以保持开启状态。

在前节中已经阐述,沉积盆地中泥页岩超压和超压裂缝都有一定的深度分布区间,本节的试验结果又表明裂缝在覆压作用下可以发生闭合作用,两者联系在一起,可以认为,超压盆地中超压的底界深度即泥页岩裂缝的覆压闭合深度。超压带发育的深度一般小于5 000 m,因此,5 000 m之下的泥页岩裂缝,通常不再为开启状态,而是闭合状态。

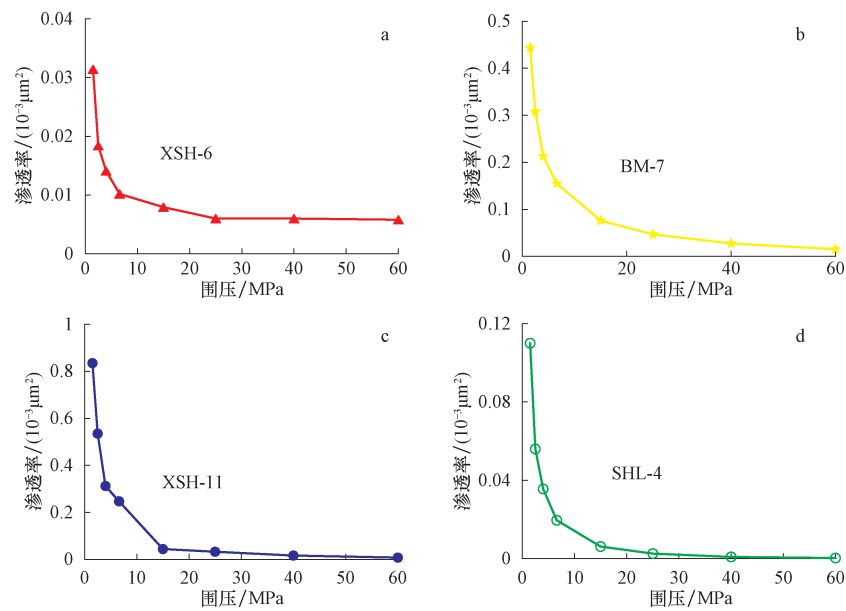


图 4 泥页岩渗透率随围压变化关系

Fig. 4 Relationship between permeability of shale and confining pressure

a. SHL-4 井, J_2sx ; b. XSH-11 井, J_2sn ; c. XSH-6 井, T_3x ; d. MB-7 井, ϵ_1

4 泥页岩非构造裂缝形成演化模式

从以上关于泥页岩非构造裂缝形成演化特征和深度分布区间以及覆压闭合特征综合分析,可以看出,埋藏过程中泥页岩裂缝形成演化具有时序性/阶段性(图 5)。从沉积开始到最大埋藏深度的不同阶段,泥质沉积物或泥页岩形成不同类型的非构造裂缝,由浅至深依次形成表层干燥收缩裂缝—浅层水下收缩裂缝,由浅至深依次形成表层干燥收缩裂缝—浅层水

下收缩裂缝—中深层欠压实超压裂缝—深层生烃超压裂缝—超深层闭合裂缝。

5 结论

- 1) 埋藏阶段泥页岩非构造裂缝主要有未成岩沉积层干裂裂缝、水下收缩裂缝、欠压实超压裂缝和生烃超压裂缝。
- 2) 泥页岩超压裂缝在垂向上集中发育在一定区间,而且区域上可以对比,与超压带的分布深度区间不完全一致,裂缝带通常发育于超压带的底部。
- 3) 当上覆岩层的垂直有效压力达到 15 MPa 时,常压泥页岩的天然缝裂缝(水平方向)将发生闭合。覆压闭合门限深度为 870 ~ 1 138 m,平均为 1 000 m。超压泥页岩底界深度即泥页岩裂缝(水平方向)覆压闭合深度,超压带底界之下的泥页岩裂缝,通常不再保持开启状态。
- 4) 埋藏过程中泥页岩非构造裂缝形成演化具有时序性/阶段性,从沉积开始到最大埋藏深度的不同阶段,由浅至深依次形成表层干裂裂缝—浅层水下收缩裂缝—中深层欠压实超压裂缝——深层生烃超压裂缝—超深层闭合裂缝。

参 考 文 献

[1] 郭璇,钟建华,徐小林,等. 非构造裂缝的发育特征及成因机制[J]. 石油大学学报:自然科学版,2004,28(2):6-11.
Guo Xuan, Zhong Jianhua, Xu Xiaolin, et al. Development characteristics and genetic mechanism of the untectonic fracture[J]. Journal of the University of Petroleum, China, 2004, 28(2):6-11.

图 5 埋藏阶段泥页岩非构造裂缝形成演化模式

Fig. 5 Formation and evolutionary patterns of non-structural fractures of shale during burial

埋藏阶段	裂缝类型	成岩阶段	深度区间/m
表层	干裂裂缝	未成岩阶段	地表-潜水面
浅层	水下收缩裂缝	未成岩阶段	10~100
中-深层	欠压实超压裂缝	早成岩阶段	~2 500
深层	生烃超压裂缝	中-晚成岩阶段	2 000~5 000
超深层	闭合裂缝	晚成岩阶段	>5 000

- [2] 丁文龙,张博闻,李泰明.古龙凹陷泥岩非构造裂缝的形成[J].石油与天然气地质,2003,24(1):50-54.
Ding Wenlong,Zhang Bowen,Li Taiming. Formation and non-tectonic fracture in mudstones in Gulong depression[J]. Oil & Gas Geology, 2003,24(1):50-54.
- [3] 赵振宇,周瑶琪,马晓鸣.泥岩非构造裂缝与现代水下收缩裂缝相似性研究[J].西安石油大学学报:自然科学版,2008,23(3):6-11.
Zhao Zhenyu,Zhou Yaoqi, Ma Xiaoming. Study on the similarity of the non-tectonic cracks in mud-shale to underwater shrinkage cracks in present muddy sediments[J]. Journal of Xi'an Shiyou University (Natural Science Edition), 2008,23(3):6-11.
- [4] Anderson J J, Everett R. Mudcrack formation studied by timelapse photography[J]. Geological Society of America Specialist, 1964,82:4-5.
- [5] Ram W. Evolution of polygonal patterns in stratified mud during desiccation: The role of flaw distribution and layer boundaries[J]. GSA Bulletin, 2001,113(1):20-31.
- [6] Jenkins R, Plummer P S, Moriarty K C. Late Precambrian pseudofossils from the Flinders Ranges, South Australia[J]. Transactions of the Royal Society of South Australia, 1981,105(Parts 1 & 2):67-81.
- [7] 王志刚.涪陵页岩气勘探开发重大突破与启示[J].石油与天然气地质,2015,36(1):1-6.
Wang Zhigang. Breakthrough of Fuling shale gas exploration and development and its inspiration[J]. Oil & Gas Geology, 2015,36(1):1-6.
- [8] 丁文龙,许长春,久凯,等.泥页岩裂缝研究进展[J].地球科学进展,2011,26(2):135-144.
Ding Wenlong,Xu Changchun,Jiu Kai, et al. The research progress of shale fractures[J]. Advances in Earth Science, 2011,26(2):135-144.
- [9] 黄文彪,邓守伟,卢双舫,等.泥页岩有机非均质性评价及其在页岩油资源评价中的应用——以松辽盆地南部青山口组为例[J].石油与天然气地质,2014,35(5):704-711.
Huang Wenbiao,Deng Shouwei,Lu Shuangfang, et al. Shale organic heterogeneity evaluation method and its application to shale oil resource evaluation—a case study from Qingshankou Formation, southern Songliao Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2014,35(5):704-711.
- [10] 李志超,李连崇,唐春安.水平井定向射孔裂缝起裂与穿层特征数值分析[J].石油与天然气地质,2015,36(3):504-509.
Li Zhichao,Li Lianchong,Tan Chun'an. Numerical analysis on hydraulic fracture initiation and penetration characteristics in directionally perforated horizontal wells[J]. Oil & Gas Geology, 2015,36(3):504-509.
- [11] 冯增昭.中国沉积学[M].北京:石油工业出版社,1994.
Feng Zengzhao. Sedimentology of China[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1994.
- [12] 成玮.泥岩收缩裂缝发育规律与形成机理研究[D].青岛:中国石油大学(华东),2010.
Chen Wei. Study on development pattern and formation mechanism of mudstone shrinkage cracks[D]. Qingdao: China University of Petroleum (East China), 2010.
- [13] 刘阿勇.松辽盆地北部泥岩超压的形成与演化史研究[D].大庆:大庆石油学院,2009.
Liu A Nan. Research on formation and evolution of mudstone overpressure in the north of Songliao Basin[D]. Daqing: Daqing Petroleum Institute, 2009.
- [14] 杨芝文,陈安定.苏北地区泥岩欠压实现象与油气保存的关系[J].海洋地质动态,2003,19(3):24-27.
Yang Zhiwen, Chen Anding. Relation between mudstone undercompaction and oil conservation in Subei area[J]. Marine Geology Letters, 2003,19(3):24-27.
- [15] 赵国欣.烃源岩层中异常高压研究——以渤海湾盆地东营凹陷古近系为例[J].石油实验地质,2008,30(4):340-344.
Zhao Guoxin. Study of the abnormal high-pressure in hydrocarbon source rocks: taking paleogene in the dongying sag, the Bohai Bay Basin as an example[J]. Petroleum Geology & Exploration, 2008,30(4):340-344.
- [16] 李捷,王海云.松辽盆地古龙凹陷青山口组泥岩异常高压与裂缝的关系[J].长春地质学院学报,1996,26(2):138-145.
Li Jie, Wang Haiyun. Relation between the abnormal high pressure and the fractures of Qingshankou formation in Gulong depression, Songliao Basin[J]. Journal of Changchun University of Earth Science, 1996,26(2):138-145.
- [17] 苏晓捷.辽河断陷盆地泥岩裂缝油气藏研究[J].特种油气藏,2003,10(5):29-31.
Su Xiaojie. Research on shale fracture reservoir in Liaohe fault depression basin[J]. Special oil and gas reservoirs, 2003,10(5):29-31.
- [18] 孟庆聪,王涛,王毅,等.川西新场地区须家河组泥岩欠压实与油气层关系[J].新疆石油天然气,2010,6(1):20-23.
Men Qingcong, Wang Tao, Wang Yi, et al. The relationship of undercompaction of mud rock and oil and gas reservoir in Xujiahe formation in Xinchang area, eastern Sichuan[J]. Xinjing Oil & Gas, 2010,6(1):20-23.
- [19] 李捷,王海云,张文宾.松辽盆地古龙凹陷青山口组泥岩裂缝成因分析[J].世界地质,1995,14(3):52-56.
Li Jie, Wang Haiyun, Zhang Wenbin. Genesis analysis of mudstone fracture in Qingshankou formation in Gulong depression, Songliao Basin[J]. World Geology, 1995,14(3):52-56.
- [20] 赵应成,周晓峰,王崇孝,等.酒西盆地青西油田白垩系泥岩裂缝油藏特征和裂缝形成的控制因素[J].天然气地球科学,2005,16(1):12-15.
Zhao Yingcheng, Zhou Xiaofeng, Wang Chongxiao et al. Characteristics of special rock-fractured reservoir and factors of controlling fractured development at qingxi oilfield in jiuxi basin[J]. Natural gas geoscience, 2005,16(1):12-15.
- [21] 杨雷,张金功,焦大庆.渤海湾盆地泥质岩油气藏分布特征及勘探[J].河南石油,2002,16(1):10-13.
Yang Lei, Zhang Jingong, Jiao Daqing. Argillaceous hydrocarbon reservoir distribution patterns and petroleum prospecting in Bohai Gulf Basin[J]. Henan Petroleum, 2002,16(1):10-13.