

文章编号: 1001-6112(2011)04-0336-05

盖层封闭性研究中的几个问题

袁玉松¹, 范明², 刘伟新², 李双建¹, 沃玉进¹

(1. 中国石油化工股份有限公司 石油勘探开发研究院, 北京 100083;

2. 中国石油化工股份有限公司 石油勘探开发研究院 无锡石油地质研究所, 江苏 无锡 214151)

摘要: 对高演化泥岩的封闭性、盖层厚度与封闭能力的关系、盖层的微观封闭机制以及盖层封闭性动态演化定量评价等方面进行了论述。高演化泥岩只要在后期构造改造过程中没有遭受破坏, 同样可以具有优质的封闭性能。盖层封闭天然气的气柱高度与盖层厚度密切相关。物性封闭是盖层最普遍的封闭机理, 烃浓度封闭不具普遍性。泥质盖层封闭性动态演化可以分建造阶段和改造阶段分别进行定量恢复, 建造阶段采用孔隙度—排替压力史法, 抬升剥蚀改造阶段采用渗透率—排替压力史法和/或超固结比史法。

关键词: 盖层; 泥岩; 封闭能力; 封闭性演化; 超固结比

中图分类号: TE122.2⁺5

文献标识码: A

Several discussions of sealing capacity studies of caprock

Yuan Yusong¹, Fan Ming², Liu Weixin², Li Shuangjian¹, Wo Yujing¹

(1. SINOPEC Exploration & Production Research Institute, Beijing 100083, China;

2. Wuxi Research Institute of Petroleum Geology, SINOPEC, Wuxi, Jiangsu 214151, China)

Abstract: It is discussed in this paper the sealing capacity of highly mature mudstone, the relationship between caprock thickness and sealing capacity, the microcosmic sealing mechanism of caprock and the quantitative evaluation of sealing capacity evolution. Highly mature mudstones may have good sealing capacity if they were not destroyed during tectonic deformation. The height of sealed natural gas column is closely related to caprock thickness. Capillary sealing is the most common sealing mechanism, while hydrocarbon concentration sealing is not very common. The dynamic evolution of sealing capacity of mudstone may be divided into 2 stages: formation and reformation. Quantitative reconstruction can be carried out according to the 2 stages. As to the formation stage, porosity—displacement pressure method is introduced. Permeability—displacement pressure and/or OCR method are used in studies of the reformation stage.

Key words: caprock; mudstone; sealing capacity; evolution of sealing capacity; OCR

盖层是天然气藏形成和保存的重要因素之一, 盖层质量的好坏直接影响着气藏的形成、规模以及保存。从经典的石油地质理论到现代油气勘探实践, 盖层一直是石油地质研究者关注的对象。在长期的油气勘探实践中逐渐认识到: 油气成藏要素中, 生烃是基础, 圈闭是条件, 保存是关键^[1], 而盖层是保存条件研究的核心内容^[2-3]。到目前为止, 关于盖层封闭性研究已经取得了十分丰富的研究成果^[4-15]。随着研究的深入, 关于高演化泥岩的封闭性、盖层厚度与封闭能力的关系、盖层的微观封闭机制以及盖层封闭性动态演化定量描述等方

面, 目前取得了一些新的进展与认识。比如, 油气勘探实践中逐渐认识到, 仅仅研究盖层现今的封闭性还不够, 还要研究地质历史时期盖层封闭性演化与烃源岩生烃史之间的匹配关系, 即“源—盖”动态匹配关系, 才能对盖层封闭的有效性做出有意义的评价。在“源—盖”动态匹配关系研究中, 烃源岩的生烃史研究方法和技术已经比较成熟, 而盖层封闭性动态演化研究, 尤其是定量研究方面还很薄弱。本文根据现有资料和研究进展, 针对盖层的上述几个问题进行了探讨和论述, 同时提出了泥质盖层封闭性动态演化评价的研究思路和技术方法。

收稿日期: 2010-03-09; 修订日期: 2011-06-12。

作者简介: 袁玉松(1967—), 男, 博士, 高级工程师, 从事盆地热史与烃源岩热演化研究。E-mail: ysyuan@126.com。

基金项目: 国家自然科学基金(40974048)和国家自然科学基金委员会与中国石油化工股份有限公司联合基金项目(40739904)资助。

1 高演化泥岩的封闭性

高演化泥岩通常指埋藏深度大、成岩作用强、有机质热演化程度高,往往地层时代也较老的泥岩,如中国南方寒武系和志留系泥岩。过去一般认为高演化泥岩的封闭性差。当泥质岩随着压实成岩程度的增强(晚成岩阶段B亚期以后),由于泥质岩中富含结合水的蒙脱石含量减少,泥质岩的可塑性逐渐下降,内部异常高的孔隙流体压力逐渐释放,直至变为脆性,此时极易受构造应力作用产生裂缝,使其毛细管封闭能力变差^[16]。前苏联学者F. M. 乌斯认为,埋深4 000~6 000 m时,泥质盖层处于高温高压下发生压缩脱水作用,塑性降低,岩石变脆,产生裂缝,封闭性能减弱。付广和姜振学认为,埋深大于3 500 m,泥岩压实接近极限,进入不可压缩阶段,脆性增加,含水量减小,产生微裂缝后很难愈合,封闭性变差^[17]。张树林和田世澄认为泥岩盖层的最佳状态为其埋藏深度在1 500~3 500 m的时期^[18]。周文等认为,当泥岩埋深超过1 500 m后达到一定的成岩阶段,岩石塑性降低而脆性增加,在超压和其它地应力作用下易产生微裂缝,从而降低了其排驱压力^[19]。以上研究者都认为,泥岩埋深超过一定埋藏深度,处于高成岩演化阶段时,封闭性反而变差。但是,从盖层封闭参数与埋深的关系研究和岩石三轴抗剪抗压实验结果以及具体的气藏实例研究等一致表明,深埋地下的高演化泥岩,只要后期构造改造作用过程中没有遭受破坏,同样可以具有优质的封闭性能^[8]。

盖层封闭参数与埋深的关系研究表明,随着埋深增加,泥岩压实作用增强,孔隙度由大变小,密度由小变大,中值半径由大变小,突破压力由小变大,

盖层质量逐渐变好^[20]。

三轴抗剪抗压实验结果显示,随着围压(埋深)的增加,泥质盖层的屈服极限和强度极限都增大,抗剪、抗压强度增加(图1),而且,围压越大,塑性变形阶段越长^[8]。围压条件还对岩石的变形方式有影响。完整结构岩体在无围压条件下破裂方式表现为张破裂,中等围压下为剪破裂,高围压下出现糜化塑性变形^[21]。现今野外观察到的古老岩层的褶皱变形,即是当时深埋地下岩石发生塑性变形的有利证据。因此,深埋地下的高演化泥岩,具有塑性特征,可以对天然气具有很强的封盖能力。

威远气田实例有力说明,高演化泥质盖层在深埋地下时具有非常好的封闭性能。威远气田震旦系气藏的盖层为下寒武统牛蹄塘组泥页岩,厚度410~540 m,现今埋深小于3 000 m,古埋深7 000~8 000 m,有机质热演化程度高, R_o 已达4.9%。据岩石力学分析,该页岩饱和挤压强度为42.4~46.6 MPa,抗剪强度为5.2~7.6 MPa,属可塑性较强的良好盖层^[22]。

综合以上分析认为,泥质盖层在持续埋藏条件下孔隙度逐渐降低、渗透率不断减小、排替压力增大,封闭性增强,封盖能力与压实程度密切相关,而与成岩演化程度关系不明显。高演化泥岩在一定的高围压条件下,只要没有遭受断裂破坏或尚未抬升至近地表附近,在地层条件下同样具有优质封闭性能。

2 盖层封闭能力与厚度的关系

关于盖层封闭能力与厚度的关系问题,目前存在明显分歧。有的认为,盖层的封闭能力与厚度有关^[12, 23-25],有的则认为无关^[26]。这个问题其实是一个用什么参数评价盖层封闭能力的问题,是排替

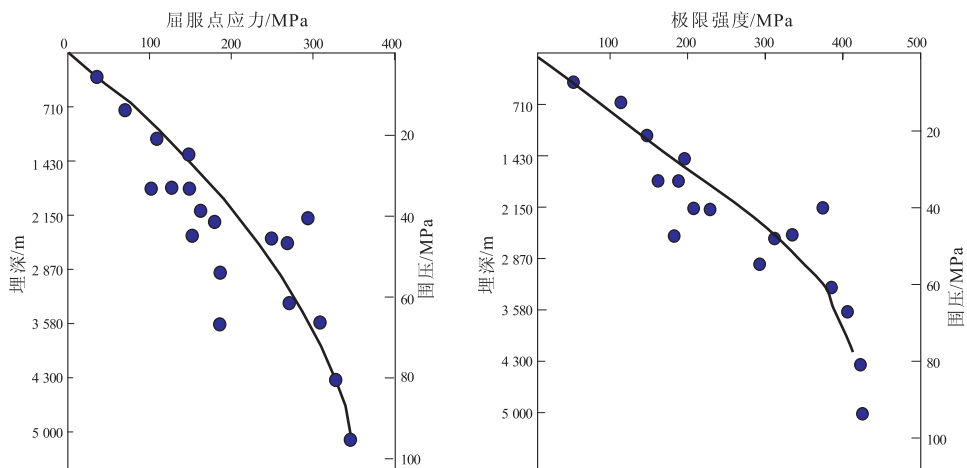


图1 围压和埋深与屈服应力及强度极限的关系^[8]

Fig. 1 Confining pressure and burial depth against yielding stress of caprock

压力(P_c)还是封闭的气柱高度? 通过理论分析、实验测试和实际资料统计分析,我们认为,盖层的排替压力与厚度无关,而盖层封闭的气柱高度与厚度有关;盖层的封闭能力由宏观与微观双重因素决定,宏观因素主要为盖层厚度、岩性、岩相等因素,微观因素主要是排替压力微观参数。

2.1 排替压力与厚度无关

排替压力是一个反映盖层微观固有特性的参数,是由岩石的微观结构决定的,与厚度无关。对于特定的流体,盖层的排替压力由最大连通孔隙半径决定,即: $P_c = 2\sigma\cos\theta/\gamma$ 。式中 P_c 为排替压力, Pa; σ 为界面张力, N/m; θ 为三相界面接触角, ($^\circ$); γ 为岩石中最大连通孔隙半径, m。可见,从物理意义上看,排替压力与厚度无关。毫无疑问,盖层排替压力越大,封闭能力越强。虽然排替压力与盖层厚度无关,但不能认为盖层的封闭能力也与厚度无关。盖层封闭能力等于盖层对孔隙水的吸附阻力与盖层底部岩石排替压力之和。其中,吸附阻力随盖层厚度的增大而增大^[12],因此,盖层封闭能力随盖层厚度增加而增强。实际研究结果也表明,盖层厚度与毛细管封闭能力、压力封闭能力和浓度封闭能力之间均为正相关关系^[25]。

2.2 封闭的气柱高度与厚度有关

盖层封闭的气柱高度与厚度有关。根据低速渗流理论,流体只有在大于某个临界值的压力作用下才会流动。低速渗流方程为:

$$V = -\frac{K}{\mu} \left(\frac{\Delta P}{L} - \Delta P_k \right), \text{ 当 } \frac{\Delta P}{L} > \Delta P_k$$

$$V = 0, \text{ 当 } \frac{\Delta P}{L} < \Delta P_k \quad (1)$$

式中: V 为渗流速度, m/s; K 为渗透率, $10^{-3} \mu\text{m}^2$; μ 为流体粘度, mPa·s; ΔP 为驱动压力, MPa; L 为地层厚度, m; ΔP_k 为启动压力梯度, MPa/m。

对于确定的地层和流体,启动压力梯度为定值。而驱动压力

$$\Delta P = (\rho_w - \rho_g)gh \quad (2)$$

式中: ρ_w 和 ρ_g 分别为地层水和气体密度, kg/m^3 ; g 为重力加速度, m/s^2 ; h 为气柱高度, m。

只有在驱动压力梯度大于启动压力梯度时,流体才能在盖层岩石中流动。即:

$$\frac{\Delta P}{L} > \Delta P_k, \quad \frac{(\rho_w - \rho_g)gh}{L} > \Delta P_k$$

因此,盖层能封闭的最大气柱高度与其厚度有

关。即:

$$h = \frac{\Delta P_k L}{(\rho_w - \rho_g)g} \quad (3)$$

实际资料统计表明,盖层厚度与封闭的烃柱高度之间具有密切的关系。例如,渤海湾盆地的单家寺、欢喜岭、曙光 3 个油田的 30 多个油藏的资料统计发现盖层厚度与烃柱高度具正相关关系^[27];滇黔桂地区旺隆气田和太和气田的气藏盖层厚度与含气高度之间亦存在正相关关系^[28]。从中国 40 个大中型气田的资料统计结果看,储量丰度与盖层厚度之间也存在明显的正相关关系。可见,厚度是影响大中型气田封盖条件优劣的重要因素^[28]。

3 盖层的微观封闭机制

长期以来,一直认为盖层存在 3 种主要封闭机理:物性封闭、压力封闭和烃浓度封闭^[9,29-30]。我们认同前人关于物性封闭是盖层最普遍的封闭机理这一重要认识,但是,通过仔细分析,认为无论是理论上还是实际应用中,烃浓度封闭不具普遍性。

分子扩散是物质传递的一种重要方式,只要存在浓度梯度(浓度差),天然气就会自发地由高浓度区向低浓度区的扩散,直至浓度达到平衡。当盖层本身具有生烃能力时,盖层中存在足够高的烃浓度,将有效阻止或延缓天然气通过盖层向上扩散损失,这种作用称为烃浓度封闭^[31]。另一种观点认为当盖层为生烃岩时,其生成的天然气溶解于地层孔隙水中增大了其天然气浓度,使向上递减的天然气浓度梯度减小,扩散作用减弱,从而对下伏呈扩散运移的天然气起到了封闭作用^[32]。

我们知道,在油气地球化学勘探中,认为烃类的微渗漏是永远存在的,这也是该方法遵循的基本原理^[33]。不难想象,即使盖层为烃源岩,其中分散有机质生成的烃类在未经运移聚集之前在整个盖层中的浓度总是很小的,因为烃源岩中的有机碳含量有限。而气藏中的烃类是经过运移聚集之后形成的,其储层中的烃浓度通常大于盖层中的烃浓度,因此,储层中的烃类向周围扩散是不可避免的,盖层中的烃浓度在一定程度上可以降低气藏的扩散速率,但这种“降低”作用是非常有限的,没有太大的实际意义,这也正是每个气藏都有一定的寿命^[34]和天然气晚期成藏更为有利的理论依据^[35]。真正有意义的还是物性封闭,它是天然气得以保存的主控因素。

4 盖层封闭性动态演化研究的方法

目前对泥质盖层研究尚处于定性评价^[36-41]和

静态定量分析阶段——现今封闭性定量研究。但是,盖层的封盖性是动态演化的^[42],在建造阶段,盖层封闭性逐渐增强;在后期构造改造阶段,封闭性可能减弱,甚至完全破坏。沉积物并非沉积下来就对油气具有封闭性,而是经过埋深压实,孔隙度减小、渗透率降低、排替压力增大到一定程度之后才对油气具有封闭能力。随着埋深不断加大,泥质盖层压实程度不断增加,排替压力也不断增大,封闭性不断加强。在后期抬升剥蚀等构造改造作用下,地层卸压,高演化泥岩在温度和压力降低的条件下,脆性岩石容易形成微裂缝,导致渗透率增加,排替压力降低,封闭性减弱。在此,提出了定量研究泥质盖层封闭性动态演化评价的技术思路和方法——排替压力史法和 OCR(overconsolidation ratio)史法,限于篇幅,其具体应用实例将另文介绍。

4.1 建造阶段盖层封闭性动态演化

在正常压实的情况下,碎屑岩的孔隙度随深度的增加而逐渐减小,砂泥岩孔隙度的衰减曲线近似遵循指数分布:

$$\Phi = \Phi_0 e^{-cz} \tag{4}$$

通过埋藏史恢复,可以计算泥岩孔隙度演化史:

$$\Phi(Z, t) = \Phi_0 e^{-cz(t)} \tag{5}$$

则建造阶段盖层的排替压力史:

$$P_c(Z, t) = f(\Phi(Z, t)) = f(\Phi_0 e^{-cz(t)}) \tag{6}$$

函数关系 f 可由样品实测排替压力与孔隙度数据拟合计算得到。

式(4),(5)和(6)中: Φ 和 Φ_0 分别为深度 Z 处的地层孔隙度及地表孔隙度,%; Z 为深度,m; c 为地层物性参数,相当于压实系数, m^{-1} 。 $\Phi(Z, t)$ 即在地质时间 t ,埋深为 Z 时的孔隙度,%; $P_c(Z, t)$ 为地质时间 t ,埋深为 Z 时的排替压力,MPa。

4.2 隆升剥蚀过程中盖层封闭性动态演化

在构造改造过程中,如抬升剥蚀,地层卸压作用,原来深埋地下的盖层岩石可能产生微裂缝,导致渗透率增大,排替压力减小。如何获取排替压力与地层卸压之间的关系,是研究构造改造过程中盖层封闭性动态演化的关键。已有的测试数据分析表明,抬升剥蚀过程中,盖层岩石的孔隙度随围压变化不大(图 2a),但渗透率与围压之间关系密切(图 2b)。因此,在不考虑断裂破坏作用等其它复杂因素对盖层封闭性影响的情况下,改造阶段的排替压力史可用: $P_c(z, t) = f(K(z, t))$ 求取。 $K(z, t)$ 即在地质时间 t ,埋深为 z 时的渗透率。通过测试分析地层围压条件下盖层渗透率数据,求取渗透率与围压之间的相关关系,再将围压与隆升剥蚀量相关联,就可以获得隆升剥蚀过程中排替压力的演化规律,从而获得隆升改造阶段盖层封闭性演化史。

在地层围压条件下盖层渗透率数据测试结果不理想的情况下,可以采用 OCR 史法定量约束盖层隆升改造过程中的封闭性动态演化。当泥岩一直处于埋深过程中,后期从未遭受构造抬升改造时,将这种泥岩称为 NC(normal consolidation)泥岩。如果泥岩从地质历史时期的最大埋深抬升至地壳浅处甚至地表时,称为 OC(overconsolidation)泥岩。持续埋深的 NC 泥岩具有塑性特征,遭受抬升的 OC 泥岩逐渐由塑性转变为脆性。OCR(即泥岩的超固结比)为最大垂直有效压力 σ_{vmax} 和现今垂直有效压力 σ_v 之比,即: $OCR = \sigma_{vmax} / \sigma_v$ 。OCR 越大,高演化泥岩的脆性也越大。在不考虑构造应力作用下(如区域性水平挤压应力导致地层变形和褶皱、断裂等因素),只考虑抬升剥蚀、地层卸压这一因素时,当 $OCR \geq 2.5$ 时,泥岩发生破裂,从而失去封闭性^[44]。

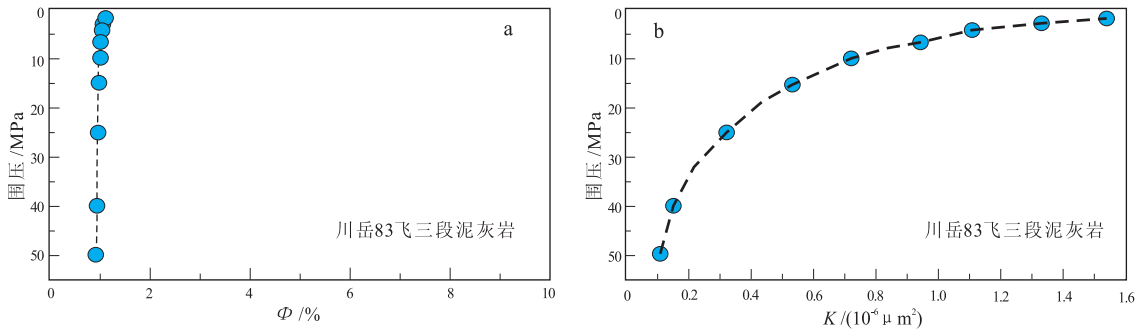


图 2 盖层孔隙度、渗透率随地层围压变化关系

数据来源于参考文献[43]。

Fig. 2 Porosity and permeability of caprock against confining pressure

5 结语

综上所述,高演化泥岩,只要后期构造改造作用没有导致封闭性破坏,同样可以具有优质的封闭性能。泥质盖层在持续埋藏条件下封盖能力与压实程度密切相关,而与成岩演化程度关系不明显。盖层的排替压力与厚度无关,但不能认为盖层的封闭能力也与厚度无关。盖层封闭的气柱高度与厚度呈正相关关系。盖层的封闭能力由宏观(厚度、沉积相、连续性等)和微观(排替压力)双重因素决定。物性封闭是盖层最普遍的封闭机理,烃浓度封闭不具普遍性。泥质盖层建造阶段封闭性动态演化可采用排替压力史法定量计算,改造阶段封闭性动态演化可以采用渗透率—排替压力史法或 OCR 史法定量恢复。

参考文献:

- [1] 李明诚,李伟,蔡峰,等. 油气成藏保存条件的综合研究[J]. 石油学报,1997,18(2):41—48.
- [2] 梁兴,叶舟,徐克定,等. 中国南方海相含油气超系统研究[J]. 天然气工业,2005,25(2):1—5.
- [3] 肖开华,沃玉进,周雁,等. 中国南方海相系油气成藏特点与勘探方向[J]. 石油与天然气地质,2006,27(3):316—325.
- [4] 石宝德. 关于盖层与油气聚集关系的探讨[J]. 西南石油学院学报,1989,11(1):28—33.
- [5] 陈章明,吕延防. 泥岩盖层封闭性的确定及其与源岩排气史的匹配[J]. 大庆石油学院学报,1990,14(2):1—7.
- [6] 郝石生,黄志龙. 天然气盖层实验研究及评价[J]. 沉积学报,1991,9(4):20—26.
- [7] 游秀玲. 天然气盖层评价方法探讨[J]. 石油与天然气地质,1991,12(3):261—275.
- [8] 陈劲人,彭秀美. 从三轴抗剪抗压实验看埋深对区域盖层遮挡性能的影响[J]. 石油实验地质,1994,16(3):282—289.
- [9] 付广,陈章明,姜振学. 盖层物性封闭力的研究方法[J]. 中国海上油气(地质),1995,9(2):83—88.
- [10] 侯连结,刘泽容,王京红. 盖层封闭力的定量评价方法及其应用[J]. 石油大学学报(自然科学版),1996,20(6):1—4.
- [11] 曹成润,吕延防,陈章明. 盖层有效封盖厚度定量分析[J]. 中国海上油气(地质),1998,12(5):328—331.
- [12] 吕延防,张绍臣,王亚明. 盖层封闭能力与盖层厚度的定量关系[J]. 石油学报,2000,21(2):27—30.
- [13] 孙英杰,张春莲,张丽萍. 源盖层对扩散相天然气的封闭作用及评价方法[J]. 大庆石油学院学报,2003,27(2):1—4.
- [14] 付广. 泥岩盖层的超压封闭演化特征及封气有效性[J]. 大庆石油学院学报,2007,31(5):7—9.
- [15] 陈晓华,荆淑田. 超压泥岩盖层封闭游离相油气能力的评价方法[J]. 大庆石油学院学报,2008,32(2):107—109.
- [16] 付广,张绍臣. 盖层发育的有利地质因素分析[J]. 南方油气地质,1995,1(4):8—13.
- [17] 付广,姜振学. 影响盖层形成和发育的地质因素分析[J]. 天然气地球科学,1994,5(5):6—12.
- [18] 张树林,田世澄. 盖层的研究方法及其在油气勘探中的意义[J]. 地质科技情报,1993,12(1):73—78.
- [19] 周文,刘文碧,程光琰. 海拉尔盆地泥岩盖层演化过程及封盖机理探讨[J]. 成都理工学院学报,1994,21(1):62—70.
- [20] 李学田,张义纲. 天然气盖层质量的影响因素及盖层形成时间的探讨:以济阳拗陷为例[J]. 石油实验地质,1992,14(3):282—290.
- [21] 陶振宇. 岩石力学的理论与实践[M]. 北京:水利出版社,1981.
- [22] 戴金星. 威远气田成藏期及气源[J]. 石油实验地质,2003,25(5):473—480.
- [23] 付广,张发强,吕延防. 厚度在泥岩盖层封盖油气中的作用[J]. 天然气地球科学,1998,9(6):20—25.
- [24] 蒋有录. 油气藏盖层厚度与所封盖气柱高度关系问题探讨[J]. 天然气工业,1998,18(2):20—23.
- [25] 付广,许凤鸣. 盖层厚度对封闭力控制作用分析[J]. 天然气地球科学,2003,14(3):186—190.
- [26] Hubbert M K. Entrapment of petroleum under hydrodynamic conditions[J]. AAPG Bulletin,1953,37(8):1954—2026.
- [27] 童晓光,牛嘉玉. 区域盖层在油气聚集中的作用[J]. 石油勘探与开发,1989,16(4):1—8.
- [28] 吕延防,付广,高大岭. 油气藏封盖研究[M]. 北京:石油工业出版社,1996.
- [29] 付广,吕延防,薛永超,等. 泥岩盖层压力封闭的演化特征及其研究意义[J]. 石油学报,2000,21(3):41—44.
- [30] 万军,牟敦山,于舒杰. 源盖层浓度封闭的有效性及其确定方法[J]. 大庆石油学院学报,2003,27(3):98—100.
- [31] 黄志龙,郝石生. 天然气扩散与浓度封闭作用的研究[J]. 石油学报,1996,17(4):36—41.
- [32] 付广,陈昕,姜振学,等. 烃浓度封闭及其在盖层封盖天然气中的重要作用[J]. 大庆石油学院学报,1995,19(2):23—27.
- [33] 刘崇禧,徐世荣. 油气化探方法与应用[M]. 合肥:中国科学技术大学出版社,1992.
- [34] Schlomer S, Krooss B M. Experimental characterisation of the hydrocarbon sealing efficiency of cap rocks[J]. Marine and Petroleum Geology,1997,14(5):565—580.
- [35] 王庭斌. 新近纪以来中国构造演化特征与天然气田的分布格局[J]. 油气地球物理,2005,3(1):58.
- [36] 付广,陈章明,吕延防,等. 泥质岩盖层封盖性能综合评价方法探讨[J]. 石油实验地质,1998,20(1):80—86.
- [37] 付广,王朋岩,陈昕,等. 泥质岩封盖油气门限的确定[J]. 石油与天然气地质,1998,19(2):132—135.
- [38] 付广,薛永超. 泥质岩盖层各种封闭能力的影响因素[J]. 复式油气田,1999(2):44—48.
- [39] 付广,康德江,段海凤. 泥质岩盖层对水溶相天然气封闭力的综合评价方法及其应用[J]. 吉林大学学报(地球科学版),2006,36(1):60—65.
- [40] 郎东升. 泥质岩盖层对扩散相天然气封闭性演化的作用[J]. 天然气工业,2006,26(6):10—13.
- [41] 陈章明,姜振学,郭永生,等. 泥质岩盖层封闭性综合评价及其在琼东南盆地的应用[J]. 中国海上油气(地质),1995,9(1):1—6.

四段和第二段的上部,而其上分别为第七段、第五段和第三段临滨沉积所覆盖,有利于油气的保存。

d)砂滩微相含油气性最好,其次为靠近砂滩的沿岸砂坝,处于上临滨的沿岸砂坝尽管物性较差,但由于与下临滨构成频繁的互层,非常有利于油气的保存,因此也具有较好的油气显示。

3 结论

1)巴什托地区克孜尔塔格组主要形成于浪控无障碍碎屑滨岸沉积环境;同时笔者将前滨亚相划分为砂滩、沟槽和砂坝3种微相。

2)克孜尔塔格组第一段主要为砂坝和上临滨微相;第二段下部为上、下临滨微相,中上部为沿岸砂坝和砂滩微相,优势相类型为沿岸砂坝微相;第三段主要发育上、下临滨微相;第四段发育沿岸砂坝和砂滩微相,优势相类型为砂滩微相;第五段发育上、下临滨微相,下临滨为优势微相类型;第六段发育上、下临滨、沿岸砂坝及砂滩四种微相类型,沿岸砂坝为优势微相类型;第七段主要发育下临滨沉积微相。

3)主要含油气层位于克孜尔塔格组第六段、第四段和第二段的上部,而其上分别为第七段、第五段和第三段临滨沉积所覆盖,有利于油气的保存。其中砂滩微相含油气性最好,其次为靠近砂滩的沿岸砂坝,处于上临滨的沿岸砂坝尽管物性较差,但由于与下临滨构成频繁的互层,非常有利于油气的保存,因此也具有较好的油气显示。

参考文献:

- [1] 顾家裕. 塔里木盆地沉积层序特征及其演化[M]. 北京:石油工业出版社,1996.
- [2] 顾家裕. 塔里木盆地石炭系东河砂岩沉积环境分析及储层研究[J]. 地质学报,1996,70(2):153-161.
- [3] 杨贵祥,黄捍动,高锐,等. 地震反演成果的沉积学解释[J]. 石油实验地质,2009,31(4):415-419.
- [4] 裘怿楠. 储层沉积学研究工作流程[J]. 石油勘探与开发,1989,17(1):85-90.
- [5] 张兴阳,罗顺社,何幼斌. 沉积物重力流—深水牵引流沉积组合:鲍玛序列多解性探讨[J]. 江汉石油学院学报,2001,23(1):1-4.
- [6] 李国永,徐怀民,刘晓兵,等. 哈得逊地区东河砂岩沉积微相特征及其对流动单元的控制作用[J]. 油气地质与采收率,2008,15(5):34-37.
- [7] 张惠良,张荣虎,李勇,等. 塔里木盆地群苦恰克地区泥盆系东河塘组下段储层特征及控制因素[J]. 新疆地质,2006,24(4):412-417.
- [8] 高大成,李瑞. 测井储层沉积相分析[J]. 内蒙古石油化工,2007(8):223-225.
- [9] 罗佳强,任延广,吴朝东,等. 松辽盆地徐家围子断陷营四段沉积相研究[J]. 石油实验地质,2010,32(2):140-146.
- [10] 赵波,冯子辉,梁江平. 松辽盆地安达地区泉头组四段沉积特征与油气分布关系[J]. 石油实验地质,2010,32(1):35-40.
- [11] 李军,王贵文. 塔里木盆地塔中地区石炭系测井沉积学研究[J]. 石油勘探与开发,1997,24(1):65-68.
- [12] 王仁铎. 利用测井曲线形态特征定量判别沉积相[J]. 地球科学——中国地质大学学报,1991,16(3):303-309.
- [13] 威尔格斯 C K. 层序地层学原理(海平面变化综合分析)[M]. 徐怀大,魏魁生,洪卫东,等译. 北京:石油工业出版社,1993.

(编辑 徐文明)

(上接第 340 页)

- [42] 何光玉,张卫华. 泥岩盖层研究现状及发展趋势[J]. 天然气地球科学,1997,8(2):9-12.
- [43] 张长江,潘文蕾,刘光祥,等. 中国南方志留系泥质岩盖层动态评价研究[J]. 天然气地球科学,2008,19(3):301-310.

- [44] Nygard R, Gutierrez M, Bratli R K, et al. Brittle-ductile transition, shear failure and leakage in shales and mudrocks[J]. Marine and Petroleum Geology,2006,23(2):201-212.

(编辑 黄娟)