

墨西哥湾盆地油气分布规律及成藏主控因素分析

刘延莉, 徐向华

(中国石化石油勘探开发研究院, 北京 100083)

摘要:墨西哥湾盆地属裂谷与被动大陆边缘叠加的复合型盆地, 盆地经历了3个演化阶段。在研究墨西哥湾盆地形成演化的基础上, 分析油气分布规律。油气藏主要发育于被动陆缘期, 盆地内共有5套成藏组合, 常规油气与非常规油气并存, 其中常规油气主要有3个成藏组合, 具有由陆向海依次为侏罗—白垩系成藏组合、古近系成藏组合、新近系成藏组合; 其成藏主控因素为进积、盐和砂体。非常规油气目前发现2套成藏组合: Eagle ford 和 Haynesvil-bossier 页岩油气带, 均位于陆上; 成藏主控因素主要为有机质丰度和热演化程度。

关键词:成藏组合; 成藏主控因素; 页岩油气; 墨西哥湾盆地

中图分类号: TE122.3

文献标识码: A

Petroleum distribution rules and controlling factor analysis of Gulf of Mexico Basin

Liu Yanli, Xu Xianghua

(Petroleum Exploration and Production Research Institute, SINOPEC, Beijing 100083, China)

Abstract: The Gulf of Mexico Basin is a composite basin with passive continental margins superimposing on rift basin. The basin has experienced 3 evolution stages. Based on the research of basin formation and evolution, the distribution rules of oil and gas were analyzed. Oil and gas mainly developed during the passive margin period. There are 5 sets of oil and gas plays including the conventional and unconventional petroleum. The 3 main conventional oil and gas plays are located following seaward direction, which include the Jurassic-Cretaceous play, the Paleogene play and the Neogene play, from onshore to offshore. The main controlling factors are progradation, salt and sand distribution. The 2 unconventional oil and gas plays include the Eagle ford and the Haynesvil-bossier shale belt, both locating onshore. The main controlling factors are organic matter abundance and thermal evolution.

Key words: oil and gas play; controlling factor for accumulation; shale oil and gas; Gulf of Mexico Basin

1 墨西哥湾地区盆地演化

墨西哥湾盆地位于美国、墨西哥和古巴环抱的海域, 面积 $28 \times 10^4 \text{ km}^2$, 盆地的形成演化经历了3个阶段: 裂谷期(三叠纪—中侏罗世), 过渡期(晚侏罗世)和被动陆缘期(早白垩世—第三纪)。油气主要发现于被动陆缘期沉积的地层中^[1]。

(1) 裂谷期: 三叠纪—中侏罗世, 拉张作用形成裂谷, 主要为陆相沉积, 局部有火山沉积物; 中侏罗世, 随着拉张的减弱, 地壳相对稳定, 盆地中心发育局限海, 沉积厚层蒸发岩(图1)。周边地堑发育陆缘碎屑^[2-3]。这个时期的盐为后期的盐构造和与盐有关的圈闭提供了物质基础, 同时也是盐下地层很好的盖层, 但是受盐的影响, 盖层段钻探较

少, 油气发现并不多见。

(2) 过渡期: 晚侏罗世, 全面海泛阶段。盆地范围内海相沉积, 发育大规模碳酸盐岩层序沉积, 局部地区有碎屑岩沉积^[2-3]。最大海侵期内, 盆地深部沉积厚层富含有机质的页岩, 这是区域上主要的油源基础, 也是后期页岩油气赋存的基础。该时期的碳酸盐岩和碎屑岩沉积是很好的储层基础, 但是由于上侏罗统缺乏有效的区域盖层, 所以在上侏罗统油气发现并不多见。

(3) 被动陆缘期: 早白垩世—第三纪。白垩纪受热沉降作用影响, 以碳酸盐岩台地为主^[2-3]。晚白垩世—第三纪, 主要受重力作用影响为进积沉积, 海岸线不断向南推进发育碎屑岩沉积(图1)。下伏盐体受差异压实影响形成了一系列的盐构造^[2]。该

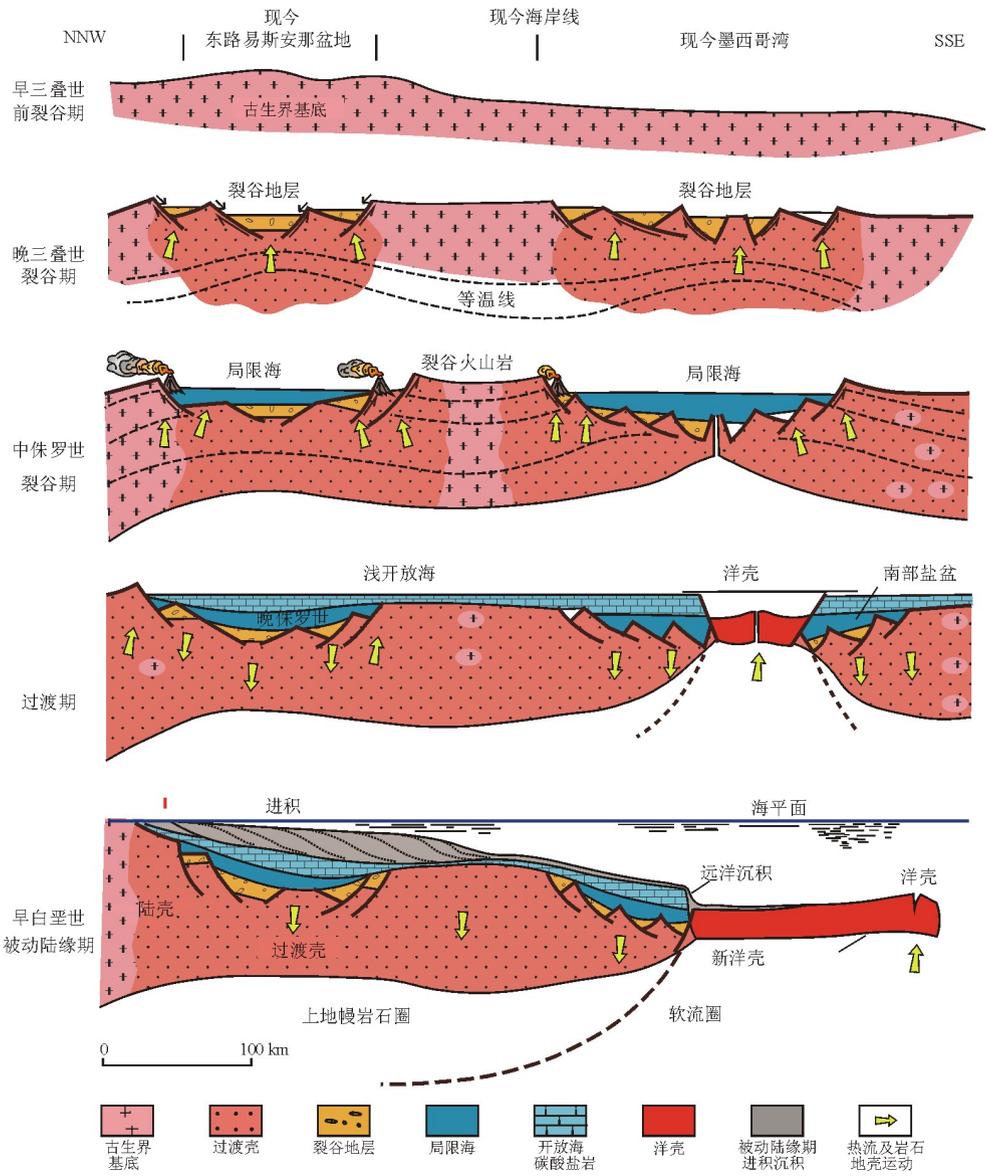


图1 墨西哥湾盆地形成演化

Fig.1 Formation and evolution of Gulf of Mexico Basin

阶段丰富的碎屑岩和局部碳酸盐岩沉积是良好的油气储层基础,长期的海相沉积在白垩—第三纪各时期均有丰富的泥页岩沉积,这为油气发育奠定了源岩和盖层基础,整体上这个阶段具有很好的油气成藏、聚集的条件。

2 油气分布规律

2.1 发育中—新生界成藏组合,从陆上至深水,成藏组合时代渐新

本文根据 C&C 数据库中墨西哥湾盆地内各地区共 100 余个油气田的统计,总结盆地内油气分布规律:盆地主要发育中—新生界 3 套成藏组合,从陆上至深水时代渐新,依次为侏罗—白垩系成藏组合;古近系成藏组合;新近系成藏组合。

2.1.1 侏罗—白垩系成藏组合

发育于盆地南部陆上地区(图 2)。这套成藏组合主要的源岩为侏罗系海相页岩、泥灰岩和下白垩统海相泥岩、泥灰岩。侏罗系提塘阶烃源岩是目前墨西哥湾的主要烃源岩,其生油量占墨西哥湾盆地总储量的 80% 以上^[4]。上侏罗统和下白垩统泥灰岩厚为 150~200 m,分布范围广,几乎遍及整个墨西哥湾。侏罗系烃源岩干酪根为 II 型、III/IV 型, $w(\text{TOC}) = 0.5\% \sim 3\%$ ^[4],自晚侏罗世进入排烃期;白垩系烃源岩干酪根类型为 I、II 型, $w(\text{TOC})$ 为 1%~5%^[4](图 3),2 套源岩均为成熟烃源岩。侏罗、白垩系碎屑岩和碳酸盐岩是该成藏组合的主要储集层,储集物性较好。白垩系砂岩储层平均厚度 27 m,孔隙度 16%,渗透率 $569 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。侏罗—

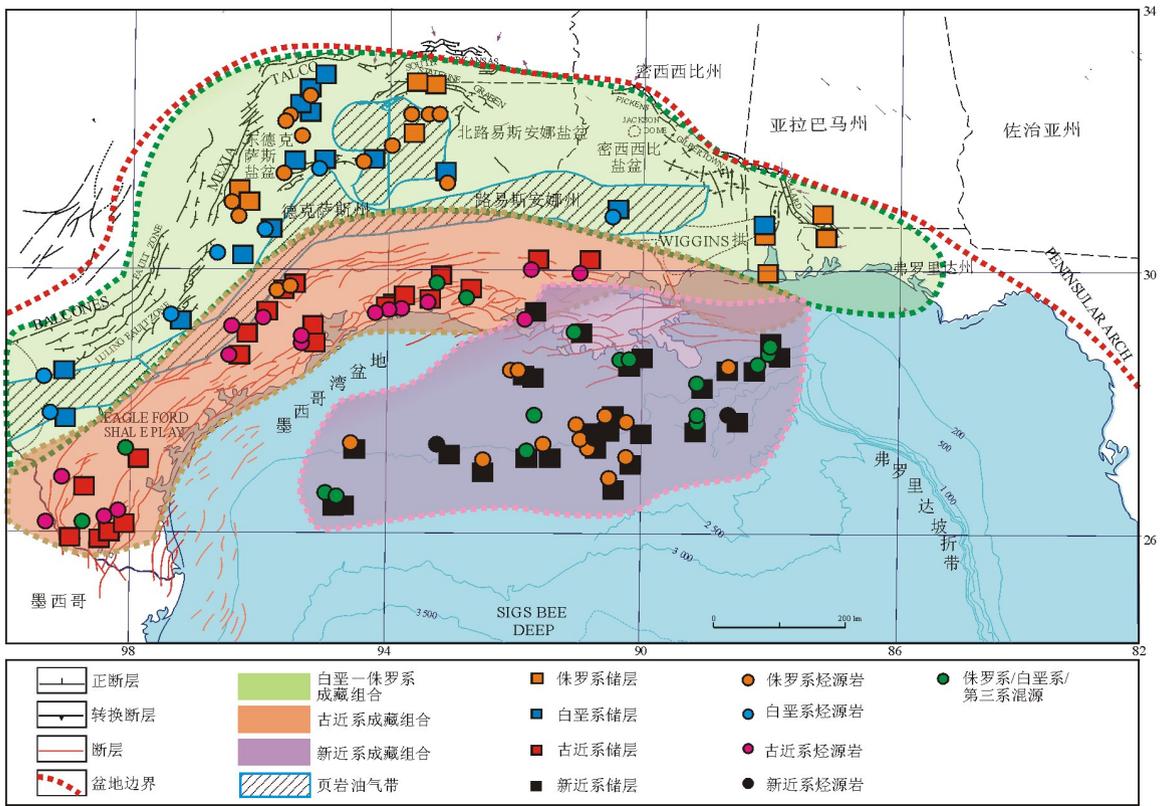


图 2 墨西哥湾盆地成藏组合平面分布

Fig.2 Petroleum play distribution in Gulf of Mexico Basin

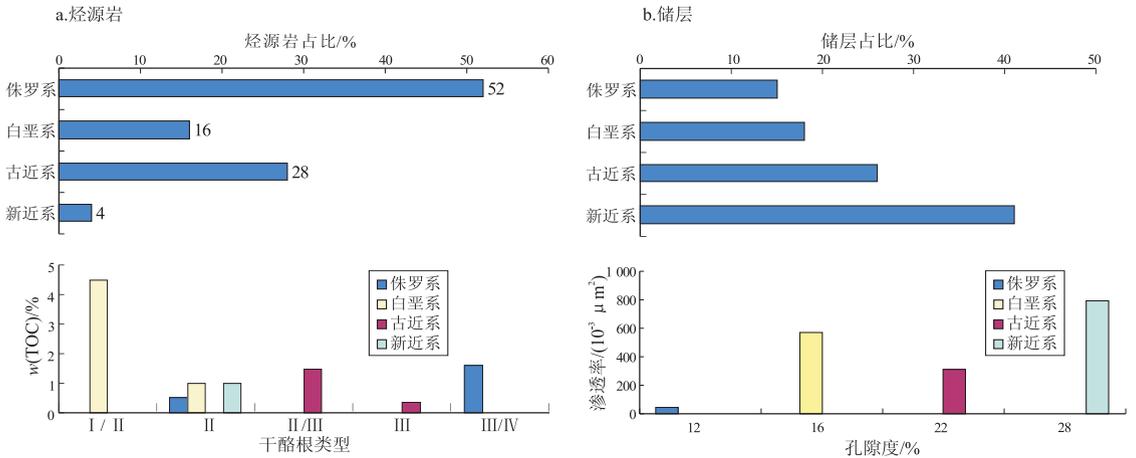


图 3 墨西哥湾盆地烃源岩和储层特征

Fig.3 Characteristics of source rocks and reservoirs in Gulf of Mexico Basin

白垩系碳酸盐岩储层平均厚度 70 m, 平均孔隙度 13%, 平均渗透率 $93 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ [4]。圈闭类型主要为背斜或断背斜, 或者其他与盐相关的圈闭。白垩系致密层是主要盖层 [5]。从生储盖组合来看是古生新储或者自生自储。

2.1.2 古近系成藏组合

发育于盆地中部陆上一浅海陆架地区(图 2), 主要发育古近系烃源岩, 局部有侏罗—第三系混源烃源岩。古近系烃源岩干酪根类型为 II、III 型,

$w(\text{TOC}) = 0.5\% \sim 2\%$, 主要分布于盆地中北部; 古近系储层为碎屑岩储层, 河流—三角洲沉积环境, 储层净厚度平均 160 m, 孔隙度 23%, 渗透率 $309 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ [5]。主要圈闭类型主要为与盐岩运动有关的构造圈闭, 或者与不断推进的三角洲有关的构造岩性圈闭。盖层为各地层单元内的海进页岩。生储盖组合为古生新储, 或自生自储 [6]。

2.1.3 新近系成藏组合

主要位于陆架—深水区(图 2)。烃源岩从盆地

边缘到盆地中心生烃潜力逐渐变好。主要发育侏罗系和侏罗系/白垩系/第三系混源烃源岩。新近系有机质含量低,平均 1%,为II、III型混合型干酪根(图 2)。新近系碎屑岩是目前墨西哥湾的主要储层,岩性为三角洲或水下扇背景下的碎屑岩;物性好,平均厚度 280~290 m,孔隙度 22%~36%,渗透率(50~3 200) $\times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,含油饱和度 70%~80%^[5]。圈闭类型与古近系相似,主要为与盐有关的构造或构造岩性圈闭^[6-8]。圈闭形成时间晚,与多套烃源岩排烃期匹配关系很好。盖层为各地层单元内的海进页岩。生储盖组合主要是古生新储^[5]。

2.2 常规油气与非常规油气并存

墨西哥湾盆地地层发育齐全,多数为海相地层。油气区主要位于美国一侧,目前已发现 1 200 多个油气田,油气不仅聚集在陆上也聚集在海上,资源类型包括页岩油气、致密气以及常规油气^[1]。2005 年以来在墨西哥湾盆地陆上北路易斯安那和东德克萨斯盐盆发现了 Eagle Ford 页岩油气和 Haynesville-Bossier 页岩油气带。据 C&C 数据库,截至 2013 年 1 月 1 日,墨西哥湾盆地剩余 2P 可采储量为 40.11 $\times 10^8$ t 油当量,其中页岩油 12.54 $\times 10^8$ t,页岩气 2.688 5 $\times 10^{12}$ m³,其他原油 2P 剩余可采为 1.65 $\times 10^8$ t,天然气 2P 剩余可采储量为 0.457 $\times 10^{12}$ m³。

纵向上,目前油气产层为第三系,其次为白垩系和侏罗系,页岩油气带赋存于侏罗—白垩系;平面上,现今常规油气主要产量来自海上,页岩油气主要分布于陆上北路易斯安那和东德克萨斯盐盆。

根据油气地质条件,常规油气可以划分为 2 种成藏模式(图 4):北部陆上中生界构造/复合油气藏,中南部海上新生界构造/复合碎屑岩油气藏。中生界构造/复合油气藏以侏罗—白垩系浅海—陆上碎屑岩和碳酸盐岩为主要的储层,盖层为白垩系的非渗透层。圈闭类型主要为背斜/断背斜,这些

背斜或断背斜与盐运动有关,局部有岩性等复合圈闭^[7-11]。新生界构造/复合碎屑岩油气藏以浅海—深海环境下古近系和新近系碎屑岩为主要储层,盖层为各地层内的海进泥页岩。圈闭类型主要为与盐岩运动有关的一系列圈闭^[7-8,10-11]。

非常规油气主要为 Eagle Ford 和 Haynesville-Bossier 页岩油气带,其平面分布见图 2。Eagle Ford 页岩属上白垩统,包括 3 个烃带:浅层产油带,较深层产气带,以及在这之间的湿气/凝析气带^[9-11]。埋深 1 000~4 500 m,方解石含量 40%~70%,净厚度 15~100 m,基质孔隙度 5%~15%, $w(\text{TOC})=2\%~7\%$,平均 4.5%, $R_o=1\%~1.27\%$ 。埋藏史表明 Eagle Ford 页岩组合在始新世进入生油窗,在渐新世进入生气阶段^[5]。

Haynesville-Bossier 页岩属于上侏罗统,埋深 3 500~5 000 m,净厚度 15~70 m,岩性为富含有机质的钙质和硅质泥岩互层, Haynesville 黏土含量 35%~57%,岩心孔隙度为 8%~9%,渗透率小于(500~7 000) $\times 10^{-9} \mu\text{m}^2$,多数地区(500~1 000) $\times 10^{-9} \mu\text{m}^2$ ^[9,12-14];含水饱和度 20%~35%, III/IV 干酪根, $w(\text{TOC})=0.3\%~8\%$ (平均 3%),镜质体反射率 R_o 为 0.9%~2.6%。Bossier 页岩硅质含量 30%~40%,碳酸盐岩含量小于 10%,黏土含量 50%~60%, $w(\text{TOC})=0.5\%~2\%$;岩心孔隙度 5%~66%,渗透率(10~150) $\times 10^{-9} \mu\text{m}^2$ 。埋藏史表明 Haynesville-Bossier 页岩在早白垩世进入生油窗,在晚白垩世至古近世进入生气窗^[5]。

3 成藏主控因素

3.1 常规油气成藏主控因素

3.1.1 沉积相带控制下的储层分布控制了油气资源的分布

盆地内油气发现范围广,从白垩系到第三系均

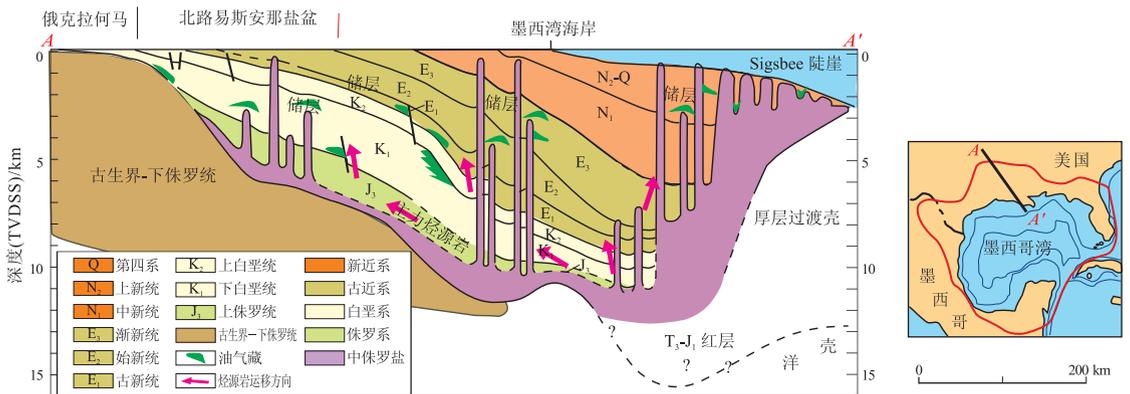


图 4 墨西哥湾盆地成藏模式

Fig.4 Accumulation model in Gulf of Mexico Basin

有发现,油气主要发育于被动陆缘期,在陆上一浅海区主要目的层为白垩—古近系,深水区主要为新近系,油气发现层位由陆向海逐渐变新,其成藏主控因素在于沉积相带控制下的储层分布。

碳酸盐岩油气藏受碳酸盐岩台地的礁滩相控制,碎屑岩油气藏受海岸线及河流—三角洲相带的控制。三角洲沉积中心的移动控制了油气田的分布,特别是新生代构造为盆内碎屑岩供给提供了大量物质基础^[4]。新生代在盆地范围沉降速度小于沉积速度,不断进积,河流—三角洲沉积体系、深水河道砂体—浊积扇砂体发育,成为主要的储层,进而控制了油气富集带。

3.1.2 盐影响了圈闭和烃源岩的发育,进而控制油气藏的发育

墨西哥湾盆地在侏罗世主要为局限海,沉积了大量盐,盐厚度一般大于600 m,最大厚度4 000 m以上,主要的盐构造包括盐枕、盐焊接、盐刺穿、盐墙、盐脊以及盐席。从北到南盐顶面的连续性增大,盐的刺穿运动逐渐减弱,油气藏的发育与盐构造有着密切的关系,盆地内与盐构造有关的圈闭占整个圈闭类型的41%^[7-8,15-19]。

对墨西哥湾主力烃源岩来讲,盐延缓了盐下侏罗统烃源岩的生烃进程,加速盐上侏罗统一第三系烃源岩的生烃进程^[15-19],使得烃源岩生烃高峰与圈闭形成期匹配较好,有利于油气的捕获和保存。

3.2 非常规油气成藏主控因素

有机质丰度和热演化程度是页岩油气藏富集主控因素,岩石的脆性系数是勘探开发的关键^[20-21]。

墨西哥湾盆地页岩油气主要位于陆棚区侏罗—白垩系,受当时沉积环境影响钙质含量高,干酪根类型以II—IV型为主,资源丰度较高、单井产量较大的页岩油气带 R_o 在1.2%~3%之间, $w(\text{TOC}) > 2\%$,页岩层组厚度基本为15~100 m。构造和埋深影响页岩油气带分带性,分析认为,由于被动陆缘期陆棚区浅海陆架沉积背景下,富含钙质和硅质成分的页岩为页岩油气的形成以及后期的压裂开采提供了良好的物质基础,后期构造影响较小,陆坡沉降环境为页岩油气的有机质热演化分带性创造了有利条件。

4 小结

(1)盆地的形成演化经历了3个阶段:裂谷期、过渡期和被动陆缘期。油气主要发现于被动陆缘期沉积的地层中。

(2)受海岸线发育、碳酸盐岩台地及河流—

三角洲沉积相带的控制以及盐的影响,盆地发育中—新生界3套成藏组合,依次为侏罗—白垩系、古近系和新近系成藏组合。从陆上至深水,成藏组合渐新。

(3)被动陆缘期陆棚区浅海陆架沉积背景下,侏罗—白垩系富含钙质和硅质成分的Eagle Ford和Haynesvil—Bossier页岩带是目前盆地内主要的页岩油气产区。有机质丰度和热演化程度是其成藏富集的主控因素,岩石的脆性系数是勘探开发的关键。两页岩带干酪根类型以II—IV型为主, R_o 在1.2%~3%之间, $w(\text{TOC}) > 2\%$,页岩层组厚度15~100 m。

(4)墨西哥湾盆地勘探历史悠久,已经发现了数量庞大的油气田,近年来随着勘探开发技术的革新,陆续在深海和页岩油气的勘探开发上取得了突破,这为国内外勘探成熟盆地的研究提供了新思路,具有很好的借鉴意义。

参考文献:

- [1] Bartolini C, Lang H, Spell T. Geochronology, geochemistry, and tectonic setting of the Mesozoic Nazasarc in north central Mexico and its continuation to northern South America [C]//Bartolini C, Buffer R T, Blickweide J. The Circum-Gulf of Mexico and the Caribbean: Hydrocarbon habitats, basin formation, and plate tectonics. Fort Worth, Texas: AAPG Memoir, 2003, 79: 427-461.
- [2] 李双林, 张生银. 墨西哥及墨西哥湾盆地构造单元及其演化[J]. 海洋地质动态, 2010, 26(3): 14-21.
Li Shuanglin, Zhang Shengyin. Tectonic units and their evolution in Mexico orogen and gulf of Mexico basin [J]. Marine Geology Letters, 2010, 26(3): 14-21.
- [3] 陈国威, 董刚, 龚建明. 从地质演化特征探讨墨西哥湾地区油气富集的基本规律[J]. 海洋地质动态, 2010, 26(3): 6-13.
Chen Guowei, Dong Gang, Gong Jianming. Discussion of the regular pattern of hydrocarbon accumulation in the gulf of Mexico from the character of geologic succession [J]. Marine Geology Letters, 2010, 26(3): 6-13.
- [4] 成海燕, 龚建明, 张莉. 墨西哥湾盆地石油的来源和分类[J]. 海洋地质动态, 2010, 26(3): 40-46.
Cheng Haiyan, Gong Jianming, Zhang Li. Classification and origin of petroleum in the Gulf of Mexico basin [J]. Marine Geology Letters, 2010, 26(3): 40-46.
- [5] C&C. Gulf of Mexico basin [DB/OL]. [2013]. <http://online.ccr-esservoirs.com/ccrl>.
- [6] 蒋玉波, 龚建明, 于小刚. 墨西哥湾盆地的油气成藏模式及主控因素[J]. 海洋地质前沿, 2012, 28(5): 48-53.
Jiang Yubo, Gong Jianming, Yu Xiaogang. Hydrocarbon accumulation models in gulf of Mexico Basin and main controlling factors [J]. Marine Geology Frontiers, 2012, 28(5): 48-53.
- [7] 关利群, 屈红军, 张功成, 等. 世界主要深水盆地圈闭特征[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2010, 30(4): 210-214.
Guan Liqun, Qu Hongjun, Zhang Gongcheng, et al. Trap charac-

- teristics of the main deep-water basins in the world[J]. *Marine Geology & Quaternary Geology*, 2010, 30(4): 210-214.
- [8] Williams D F. Salt domes, organic rich source beds and reservoirs in intraslope basins of the gulf coast region[J]. *Dynmic Geology of salt and related structures*, 1987: 751-786.
- [9] Treadgold G, Campbell B, McLain W, et al. Eagle Ford shale prospecting with 3D seismic data within a tectonic and depositional system framework[J]. *The Leading Edge*, 2011, 30(1): 48-53.
- [10] Peel F J, Travis C J, Hossack J R. Genetic structural provinces and salt tectonics of the Cenozoic offshore U.S. Gulf of Mexico: A preliminary analysis [C]// Jackson M P A, Roberts D G, Svnelson S. *Salt Tectonics: A Global Perspective*. Oklahoma: AAPG, 1995: 153-176.
- [11] Treadgold G, Campbell B, McLain W. Eagle Ford shale prospecting with 3D seismic data within a tectonic and depositional system framework[J]. *The Leading Edge*, 2011, 30(1): 48-53.
- [12] Jackson M P A, Talbot C J. External shapes, strain rates and dynamics of salt structure[J]. *GSA Bulletin*, 1986, 97(3): 305-323.
- [13] Mancini E A, Li P, Goddard D A, et al. Mesozoic (Upper Jurassic-Lower Cretaceous) deep gas reservoir play, central and eastern Gulf coastal plain [J]. *AAPG Bulletin*, 2008, 92(3): 283-309.
- [14] Hammes U, Hamlin H S, Ewing T E. Geologic analysis of the Upper Jurassic Haynesville Shale in east Texas and west Louisiana[J]. *AAPG Bulletin*, 2011, 95(10): 1643-1666.
- [15] 梁杰, 龚建明, 成海燕. 墨西哥湾盐岩分布对油气成藏的控制作用[J]. *海洋地质动态*, 2010, 26(1): 25-30.
Liang Jie, Gong Jianming, Cheng Haiyan. Control of salt rock distribution on oil and gas pooling in the Gulf of Mexico[J]. *Marine Geology Letters*, 2010, 26(1): 25-30.
- [16] 赵青芳, 龚建明, 李双林, 等. 墨西哥湾盆地北部深水前第三系成藏组合分析[J]. *海洋地质前言*, 2010, 27(4): 11-26, 14.
Zhao Qingfang, Gong Jianming, Li Shuanglin, et al. Pre-Tertiary deepwater oil plays in the northern Gulf of Mexico basin [J]. *Marine Geology Frontiers*, 2010, 27(4): 11-26, 14.
- [17] 范存辉, 王保全, 朱雨萍, 等. 盐下油气藏勘探发现状与发展趋势[J]. *特种油气藏*, 2012, 19(4): 7-10.
Fan Cunhui, Wang Baoquan, Zhu Yuping, et al. Present situation and development trend of under-salt reservoirs [J]. *Special Oil & Gas Reservoirs*, 2012, 19(4): 7-10.
- [18] 徐美娥, 张荣强, 彭勇民, 等. 四川盆地东南部中、下寒武统膏岩盖层分布特征及封盖有效性[J]. *石油与天然气地质*, 2013, 34(3): 301-306.
Xu Mei'e, Zhang Rongqiang, Peng Yongmin, et al. Distribution and sealing effectiveness of Middle Lower Cambrian evaporite cap rocks in the southeastern Sichuan Basin [J]. *Oil & Gas Geology*, 2013, 34(3): 301-306.
- [19] 卓勤功, 李勇, 宋岩, 等. 塔里木盆地库车坳陷克拉苏构造带古近系膏盐岩盖层演化与圈闭有效性[J]. *石油实验地质*, 2013, 35(1): 42-47.
Zhuo Qingong, Li Yong, Song Yan, et al. Evolution of Paleogene saline deposits and effectiveness of traps in Kelasu tectonic zone, Kuqa Depression, Tarim Basin [J]. *Petroleum Geology & Experiment*, 2013, 35(1): 42-47.
- [20] 邵晓州, 余川, 付勋勋, 等. 页岩气研究新进展及开发瓶颈分析[J]. *断块油气田*, 2012, 19(6): 764-766.
Shao Xiaozhou, Yu Chuan, Fu Xunxun, et al. New research progress and development bottleneck analysis of shale gas [J]. *Fault-Block Oil and Gas Field*, 2012, 19(6): 764-766.
- [21] 聂海宽, 张金川, 包书景, 等. 四川盆地及其周缘上奥陶统一志留统页岩气聚集条件[J]. *石油与天然气地质*, 2012, 33(3): 335-345.
Nie Haikuan, Zhang Jinchuan, Bao Shujing, et al. Shale gas accumulation conditions of the Upper Ordovician-Lower Silurian in Sichuan Basin and its periphery [J]. *Oil & Gas Geology*, 2012, 33(3): 335-345.

(编辑 黄娟)

(上接第199页)

- [21] 马庆林, 赵淑娥, 廖远涛, 等. 北部湾盆地福山凹陷古近系流沙港组层序地层样式及其研究意义[J]. *地球科学: 中国地质大学学报*, 2012, 37(4): 667-678.
Ma Qinglin, Zhao Shue, Liao Yuantao, et al. Sequence architectures of Paleogene Liushagang formation and its significance in Fushan Sag of the Beibuwan Basin [J]. *Earth Science: Journal of China University of Geosciences*, 2012, 37(4): 667-678.
- [22] 赵志刚, 吴景富, 李春荣. 北部湾盆地洼陷优选与油气分布[J]. *石油实验地质*, 2013, 35(3): 285-290.
Zhao Zhigang, Wu Jingfu, Li Chunrong. Sub-sag sorting and petroleum distribution in Beibuwan Basin [J]. *Petroleum Geology & Experiment*, 2013, 35(3): 285-290.
- [23] 石彦民, 刘菊, 张梅珠, 等. 海南福山凹陷油气勘探实践与认识[J]. *华南地震*, 2007, 27(3): 57-68.
Shi Yanmin, Liu Ju, Zhang Meizhu, et al. Experience and Understand in Oil and Gas Exploration in Fushan Sag, Hainan Province [J]. *South China Journal of Seismology*, 2007, 27(3): 57-68.

(编辑 黄娟)