

# 墨西哥湾盆地深水区油气分布特征及勘探潜力

韩 彧, 黄 娟, 赵 雯

(中国石化石油勘探开发研究院 无锡石油地质研究所, 江苏 无锡 214126)

**摘要:**通过分析墨西哥湾盆地油气资源勘探现状、油气地质特征, 及与油气成藏密切相关的盐岩形成、演化和分布特征, 进一步认识到墨西哥湾盆地上侏罗统牛津阶—第四系更新统发育了 4 套优质烃源岩和多套性能优越的储集层, 封堵性能良好的局部和区域盖层遍布整个新生界层系, 断层提供了运移通道, 构造和地层圈闭发育, 具有优越的生储盖等油气成藏条件。盆内中侏罗统发育一套广泛分布的厚层盐岩, 很多大型油气藏均与该盐岩相关。盐上和盐下储层中均有可观的油气发现, 随着油气勘探理论和技术的进步, 盐下油气藏的潜力逐渐显现出来, 勘探潜力很大。

**关键词:**盐岩成因; 油气成藏; 盐下油气藏; 深水区; 墨西哥湾盆地

中图分类号: TE121.1

文献标志码: A

## Distribution features and exploration potential of oil and gas in a deepwater area of the Gulf of Mexico Basin

Han Yu, Huang Juan, Zhao Wen

(Wuxi Research Institute of Petroleum Geology, SINOPEC, Wuxi, Jiangsu 214126, China)

**Abstract:** The hydrocarbon exploration conditions and geologic features of the Gulf of Mexico Basin were studied, and the formation, evolution and distribution of salt deposits which were closely related to the reservoirs were analyzed. From the Oxfordian Stage of the Upper Jurassic to the Pleistocene Series of the Quaternary, four sets of excellent hydrocarbon source rocks and various favorable reservoirs developed. Effective sealing formations were widespread in the Cenozoic. Faults provided pathways for hydrocarbon migration. Structural and stratigraphic traps were common. All these contributed to the generation and preservation of hydrocarbon. Thick salt deposits were widespread in the Middle Jurassic of the basin, which had a close relationship with giant oil and gas pools. Major discoveries have been made in both pre-salt and post-salt formations. As petroleum exploration theory and technique advanced, the pre-salt formations in the deepwater area of the basin attracted more attention and showed good potential.

**Key words:** origin of salt; hydrocarbon accumulation; pre-salt reservoir; deepwater area; Gulf of Mexico Basin

随着油气勘探理论和技术的不断进步, 油气勘探的对象也在不断扩大, 勘探对象也更加复杂。勘探不再仅仅局限于常规油气, 非常规油气勘探的投入也在逐渐增大。现今油气勘探出现了一些热点勘探领域, 其中包括深水油气区(水深大于 300 m)。2008 年的统计数据显示<sup>[1]</sup>, 已发现的油气储量有 29% 来自于水深超过 500 m 的深水区。而在近几年的全球油气重大发现中, 将近一半来自于深水区。

墨西哥湾盆地是重要的油气富集区, 其勘探已有 100 多年的历史, 目前勘探技术不断改善, 且逐渐向深水区和深部埋深地区推进。在美国墨西哥湾海域从事油气勘探的石油公司一直在寻求新的

勘探领域, 并通过勘探技术的进步和勘探理念的更新获得新的储量增长点。其油气勘探经历了从陆上、浅水、深水到超深水的过程, 在勘探层系上, 经历了从新到老, 从浅层、到深层、超深层, 从盐上到盐下的发展历程。

## 1 勘探历程及油气资源

### 1.1 勘探历程

美国墨西哥湾盆地现今勘探程度较高, 而在勘探初期, 其发现油气田的速度较慢。在 20 世纪 40 年代, 墨西哥湾盆地油气勘探开始进入海域, 从而使得盆地油气产量一直稳步增长, 80 年代后期出现了油气储量的一个高峰; 到 90 年代后期, 由于

勘探技术等因素的影响,深水区的油气勘探又出现了一次高峰;在2000年,水深大于300 m的油气探明储量超过了浅水区,油气勘探深度超过了2 500 m<sup>[2]</sup>。近几年在浅水区深层不断获得油气发现,特别是2010年初在浅水区超深层发现了Davy Jones气藏,可采天然气储量 $(5\ 660 \sim 17\ 000) \times 10^8 \text{ m}^3$ ,标志着成熟探区油气勘探取得突破性进展。

据报道,墨西哥国家石油公司Pemex在墨西哥湾深水区域第二次发现重大的原油储藏,预计此次新发现的Supremo石油储藏,按通用的探明加概算加可能的石油储量(3P储量)高达1.25亿桶。Supremo勘探井位于距墨西哥湾马塔莫罗斯港口以东250 km处,其勘探井水深2 900 m,钻穿海底1 100 m深处,这是迄今为止墨西哥湾钻探的最深油井之一<sup>[3]</sup>。墨西哥湾深水区丰富的资源潜力,吸引着世界各大油公司。2014年3月,美国政府对BP长达16个月的投标禁令解除,BP当月再次参与竞标墨西哥湾油气勘探开发许可证,并最终以来4 160万美元竞得24个区块<sup>[4]</sup>。

## 1.2 油气资源

墨西哥湾盆地深水区对美国油气储量的增长有着重要的贡献,油气储量非常可观。据统计,截至2003年年底,墨西哥湾盆地深水区的156个油气田的油气可采储量达1 561 MMboe,其中石油约1 100 MMbbl。所发现的深水区油气大部分蕴藏在大油气田中,自20世纪末期到现今的油气勘探发现,深水区的油气地质储量约为浅水区的13倍(图1)。2009年,美国墨西哥湾深水区 and 超深水区的探明储量和产量已经占了很大的比例(表1)。由于2010年5月份的漏油事件影响,墨西哥湾的油气生产不再呈上升势头。然而,根据美国能源署的统计数据,2011年墨西哥湾盆地的石油产量为 $1.32 \times 10^8 \text{ t}$ <sup>[2]</sup>。在2009—2011年,虽然墨西哥湾地区石油产量下降了14.8%,但深水区的油产量很稳定,2011年还略有上涨。天然气在浅水区的产量也在下降,而深水区的产量却不断上升。整体上呈现出由浅水区向深水区发展的趋势。根据Douglas Westwood公司的估测,世界海域约44%的



图1 墨西哥湾盆地深水区位置

Fig. 1 Location of deepwater area in Gulf of Mexico Basin

油气资源来自深水区。其中,墨西哥湾盆地深水区的油气资源量可能高达 $(4 \sim 5) \times 10^4 \text{ MMboe}$ ,约占整个海域资源的2/5。

根据伍德麦肯兹(WM)的最新展望报告,墨西哥湾深水区的石油日产量预计在2016年将达到190万桶油当量的新高峰,并预计在2016年达到新的高峰以后,墨西哥湾深水区的石油产量在2020年前将保持稳产<sup>[5]</sup>。

## 2 墨西哥湾盆地油气地质特征

### 2.1 构造和沉积特征

墨西哥湾盆地从早三叠世开始先后经历了裂谷期和裂谷后期2个演化阶段,其基底为经历了变质作用的上古生界碎屑岩<sup>[7-8]</sup>。值得一提的是,在中侏罗世时期,浅海发育了碎屑岩和蒸发岩,发育了一套分布广泛的Louann盐岩层<sup>[9]</sup>。由于构造运动和盐岩作用的影响,盆地断层也比较活跃。新生代为主要的沉积期,由于受构造运动的影响,沉积中心不断向海域推进。沉积物主要以新生代的陆源碎屑为主,沉积中心由老到新,不断向海域迁移,发育了三角洲、水下扇等沉积相<sup>[10-13]</sup>。

### 2.2 烃源岩

墨西哥湾盆地发育了4套烃源岩<sup>[8]</sup>,包括:上侏罗统Tithonian-Oxfordian阶,下白垩统Barremian

表1 截至2009年底美国墨西哥湾海域油气探明储量和产量分布<sup>[6]</sup>

Table 1 At the end of 2009, proved reserves and production by water depth in the gulf of Mexico offshore, USA

| 区域   | 水深/m      | 探明储量     |      |         |      | 产量       |      |         |      |
|------|-----------|----------|------|---------|------|----------|------|---------|------|
|      |           | 石油/MMbbl | 占比/% | 天然气/Bcf | 占比/% | 石油/MMbbl | 占比/% | 天然气/Bcf | 占比/% |
| 浅水区  | 300       | 642      | 16.0 | 6 106   | 50.4 | 117      | 20.3 | 1 334   | 55.5 |
| 深水区  | 300~1 500 | 1 667    | 41.6 | 3 772   | 31.1 | 260      | 45.1 | 503     | 20.9 |
| 超深水区 | ≥1 500    | 1 698    | 42.4 | 2 239   | 18.5 | 200      | 34.7 | 565     | 23.5 |

阶、上白垩统 Turonian 阶和古近系的斯巴尔他组(图2)。上侏罗统 Tithonian 阶 Cotton Valley 群是最主要的源岩,而始新统 Wilcox 群也是潜力源岩。其中, Cotton Valley 群为一套碎屑岩,下部由深灰—黑色、海相富化石的页岩和钙质页岩组成,向陆砂岩增加。该群的最大厚度达 1 km,源岩的发育受构造作用、蒸发岩的发育程度等因素控制。

### 2.3 储集层

美国墨西哥湾盆地内的油气主要存储于上侏罗统牛津阶—第四系更新统的多套储集层中,储层主要为碎屑岩<sup>[15]</sup>。在晚侏罗世—白垩纪,盆地发育了1套厚层碳酸盐岩,也是很好的油气储集层。受沉积环境和埋深的影响,储集性能中等,且差异很大,深层的物性较差。如储集层下方存在盐岩的活动,会发育微裂缝,因此其渗透率也可能很高。新近系海域的储层物性为良好—极好,埋深300~5400 m,孔

| 系               | 统             | 阶   | 群/组  |
|-----------------|---------------|---|--|
| 第四系<br> <br>新近系 | 中新统           |   | Fleming  |
|                 |               | 渐新统   | Catahoula<br>Anahuac<br>Frio<br>Vicksburg<br>Jackson                               |
| 古近系             | 始新统           |   | Claiborne<br>Wilcox  |
|                 |               | 古新统   | Midway<br>Nabarro  |
|                 | 上             | 麦特里希特阶  | (Olmos/Escondido)  |
|                 |               | 坎佩尼阶  | Taylor<br>(Anacacho/San Miguel/<br>Ozan/Annona)                                    |
| 桑托阶<br>科尼亚克阶    |               | Austin/Tokio/<br>Eutaw                        |  |
| 土伦阶<br>森诺曼阶     |               | Eagle Ford<br>Woodbine/Tuscaloosa             |  |
| 白垩系             | 阿尔比阶          |   | Washita<br>(Buda)<br>Fredericksburg<br>(Edwards/Paluxy)<br>Glenn Rose<br>(Rodessa) |
|                 |               | 阿普第阶  | Pearsall (James)   |
|                 | 豪特里维阶<br>巴列姆阶 | Hosston<br>(Travis Peak)<br>Sligo<br>(Pettet) |  |
|                 | 凡兰吟阶<br>贝利亚斯阶 | Cotton Valley<br>Bossier                      |  |
|                 | 上             | 提通阶   | Hanesville/Gilmer  |
|                 |               | 启莫里支阶   | Smackover Norphlet   |
| 中               |               | Louann 盐岩                                     |  |

图2 美国墨西哥湾盆地地层<sup>[14]</sup>

隙度可达 20%~35%,其渗透率也比较高。

### 2.4 盖层

盖层主要有碳酸盐岩、页岩、泥岩以及蒸发岩,其中蒸发岩中的盐岩为最好的盖层。如裂谷期发育的 Louann 盐岩,为厚度大、分布广泛的常见盖层<sup>[13]</sup>。另外,由海进期发育的分布广泛的泥页岩,由于裂谷后期构造较稳定,该泥页岩使得局部和区域盖层遍及了整个新生界层系,且封堵性能好。

### 2.5 油气圈闭

该区油气圈闭类型可分为2大类:构造圈闭和地层圈闭,主要为断层形成和盐岩构造形成的。油气主要储于盐或页岩底辟翼部、断背斜和与正断层相关的构造中,这几类构造圈闭内的储量约占总量的68%,仅盐或页岩底辟翼部圈闭内的储量就占了总储量的34%。有关深水区的圈闭类型没有系统的统计资料<sup>[16-17]</sup>,通过对已获得资料的综合分析,深水区的圈闭类型与浅水陆架区有一定差异。墨西哥湾盆地从侏罗纪至今,断层一直比较发育,断层为主要的油气运移通道。

## 3 墨西哥湾深水勘探区带

现今的深水区勘探成果显示,墨西哥湾深水区的油气勘探主要集中在中新统、古近系 Wilcox 群和侏罗系分布区等勘探区带(图3)。最近几年,深水、超深水区远景区的勘探发现显示,墨西哥湾盆地的超深水区存在着储量可观的大油气田。超深水盐下勘探区带,虽然存在很大的勘探风险,但由于勘探的成功和高回报,又掀起了勘探的热潮<sup>[17-19]</sup>。

### 3.1 盐下油气藏的发育和分布

墨西哥湾盆地深水、超深水区的油气勘探活动,使得与盐岩相关的油气勘探逐渐成为新的研究目标。墨西哥湾盆地的烃源岩发育、储集性能条件

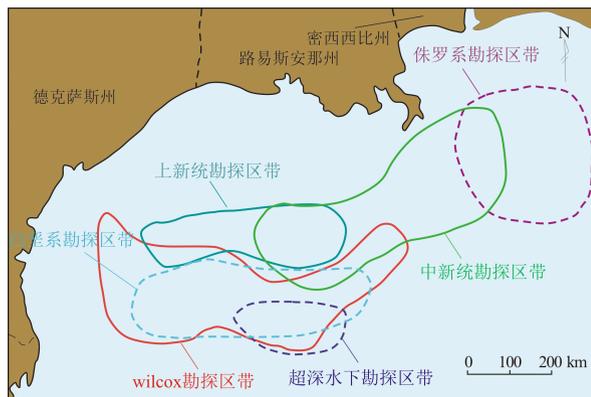


图3 墨西哥湾盆地深水区主要勘探区带划分<sup>[11]</sup>

Fig. 3 Exploration zones in deepwater area of Gulf of Mexico Basin

优越,与盐丘有关的圈闭占 2/5,且该区大部分油气圈闭的有效性主要受控于盐岩和生长断层的活动。因此研究墨西哥湾盆地盐岩的发育展布,及其与盐岩有关的成藏模式,对认清墨西哥湾盆地的深水油气藏的分布至关重要。

### 3.1.1 盐岩的成因

墨西哥湾盐下油气远景区的演化与墨西哥湾的演化有着密切的关系,从中侏罗世开始,墨西哥湾与太平洋的连接近于关闭,进入盆地的盐水被孤立<sup>[20]</sup>。经过多次补充和蒸发作用,使得高盐沉积物在盆地中心沉积,周围为硬石膏沉淀。由于局部的构造沉降作用,使得盐岩沉积物不断发育,最终形成广泛发育的盐岩沉积,即 Louann 盐岩层。地震资料显示,Louann 盐岩层厚度分布不均,由于断层作用、侵蚀和火山作用的影响,厚度范围在 0 ~ 4 000 m,方向多为东南—西北方向。

### 3.1.2 盐岩的演化与分布特征

晚侏罗世为裂谷作用的最后阶段,Yucatan 地台与北美板块发生分离,带走了部分盐体,在早白垩世时期漂移、旋转,最终停留在南美洲板块的北部边缘。盆地外的构造作用影响了 Louann 盐岩层的埋藏和展布。晚侏罗世,在佛罗里达大陆架和 Yucatan 大陆架由于缺少碎屑沉积物源,这些巨厚的化学碳酸盐岩成为了主要的沉积物源。之后的海侵时期,海平面上升,局部沉积了蒸发岩、浅层海相碎屑物和富含有机质的碳酸盐岩。在侏罗纪—中新世时期的海侵、海退过程中,Louann 盐岩层一

直在对盆地进行改造。

当厚层盐岩被深埋和发生变形后,形成了与不含盐的边缘地层和构造完全不同的陆缘地层。盐岩比周围的砂岩等沉积岩要脆弱得多,盐岩的构造解体通常会导致盐体的塑性流动,有可能在每年滑动几米远。由于其低渗透率的特点,能够阻止流体和气体的运移,起到保存圈闭中油气的作用。

由于重力的作用,当上覆地层的厚度和密度发生变化时,会使下伏的盐岩层向较薄或低密度的上覆区滑动;如果盐体侧翼的沉积物横向拉伸,岩层可能也会被拉伸,而进入裂缝中。相反,侧翼沉积物向一起挤压时,中间的盐体也会受挤压,形成底辟构造。水平盐岩层可以通过 3 种方式形成盐底辟构造:(1)盆地被拉伸时,盐岩在因拉伸断裂作用而变薄的地层的下方形成山脊;(2)水平盐层穿过顶部因侵蚀作用变薄的地层;(3)多个盐底辟构造形成“盐岛”,随盆地的沉降被深埋。

从晚侏罗世到中新世,沿 Sigsbee 陡坡东侧,由于上部地层的褶皱作用及三角洲沉积作用,使得盐岩远离厚厚的沉积中心,运移到薄层地层之下。同时,地层的倾斜使得盐岩层上覆地层发生了褶皱作用,新生代 Perdido 褶皱带就是在深层原地盐楔上形成的。

### 3.2 盐下油气藏勘探潜力

一套有效的含油气系统应包括以下的要素:生、储、盖、运移过程和通道、圈闭、保存的时机和环境,以上要素缺一不可。在墨西哥湾盆地的深水区

表 2 墨西哥湾盆地部分盐下钻井<sup>[20]</sup>

Table 2 Pre-salt wells in Gulf of Mexico Basin

| 地区                 | 总深/m  | 水深/m  | 完钻时间/年 | 油田/钻井名称                   | 备注   |
|--------------------|-------|-------|--------|---------------------------|--|
| Ship Shoal         | 2 500 | 138   | 1983   |                           | 干井,目标层是直接油气显示层,该井钻穿了盐层                           |
| South Marsh Island | 4 115 | 145   | 1986   |                           | 干井,目标层证实为盐层,但在盐下钻遇 305 m 的储层级含水砂岩层               |
| Ship Shoal         | 5 048 | 113   | 1993   | Mahogany                  | 先于 mica 油田投入开发,成为墨西哥湾盐下第一口商业性油井                  |
| Garden Banks       | 4 490 | 192   | 1995   | Chimichanga               | 第二个商业盐下发现,钻穿盐层 396 m                             |
| 密西西比峡谷             | 7 172 | 1 844 | 1999   | Thunder horse             | 墨西哥湾最大的油田  |
| Green 峡谷           | 6 957 | 1 347 | 2001   | Mad dog                   | 发现了净厚度 91 m 的产层                                  |
| Green 峡谷           | 8 170 | 1 224 | 2002   | Tahiti                    | 在 3 353 m 深的盐蓬下发现了中新世中期的圈闭                       |
| Walker 海脊          | 8 859 | 2 145 | 2003   | St. Malo                  | 在 Walker 海脊上钻的第 1 口盐下井,钻穿盐蓬 3 048 m,发现产层净厚 137 m |
| Walker 海脊          | 8 588 | 2 088 | 2004   | Jack                      | 墨西哥湾深水区最深的长时间钻杆测试井                               |
| Keathley 峡谷        | 9 906 | 1 786 | 2006   | Kaskida                   | 发现了净厚度 244 m 的产层                                 |
| Green 峡谷           | 7 827 | 1 433 | 2007   | West Tonga                | 在 3 个中新统砂岩层中发现了净厚度 107 m 的油层                     |
| Alaminos 峡谷        | 4 504 | 2 851 | 2008   | Silvertip <sup>[21]</sup> | 完成了当时世界最深井的钻井作业                                  |
| Alaminos 峡谷        | 5 616 | 2 934 | 2011   | Tobago                    | 完成了当时世界最深井的钻井作业                                  |
| 密西西比峡谷             | 4 000 | 2 900 | 2012   | Supremo                   | 按探明加概算,3P 储量高达 1.25 亿桶 <sup>[3]</sup>            |
| 密西西比峡谷             | 8 038 | 2 280 | 2014   | Rydberg                   | 产油层厚度超过 122 m <sup>[22]</sup>                    |

寻找有效的油气藏,重点在于盐岩。在墨西哥湾盐上构造发现的油气藏都被证实存在有效的含油气系统,而盐下构造中是否存在有效的含油气系统呢?在1983年,Placid公司的一口钻井,钻穿了2个盐层,而不是盐底辟,这激起了勘探者的兴趣,促进了盐下油气勘探的进程(表2)。埃克森公司在20世纪末的密西西比峡谷一区块钻穿了1 021 m的盐层后,钻遇了商业性的油气,证明盐下确实可以存在有效的含油气系统。

在侏罗纪之后,随着盆地的继续沉降,富含有机质的生油岩因为埋深的增加和不断积聚的热量,形成了优异的含油气系统。烃源岩下部的 Louann 盐层发生变形后,又形成了盐枕、底辟和异地盐体等,产生了很多与盐岩相关的圈闭。在盐岩的拉伸过程中还产生了断层构造,从而为油气运移提供了很好的通道。断层作用将砂岩和致密的页岩联系起来,形成了有效的圈闭和盖层。三角洲和浊积碎屑岩沉积物为主要的储集层。另外,对盆地演化史的研究表明,流体的排出和油气运移的时机也比较有利。由于盐下储集层的源岩距离与盐上有所不同,地层流体压力也不一样,大型油气藏一般存在于盐下的高压系统中。因此,墨西哥湾盆地的深水盐下具有形成有效含油气系统的这些必要因素。

随着地震、钻井、测井和生产技术的进步,新技术不断发现新目标,墨西哥湾深水盐下区带这一新的领域逐渐成为墨西哥湾盆地油气储量增长的一个重要领域。墨西哥湾深水盐下油气勘探技术的进一步发展,为我们提供了丰富的勘探开发经验,对全球盐下油气勘探有着很好的借鉴。

## 4 结论

(1)墨西哥湾盆地油气资源分布广泛,且油气勘探不断向深水区迈进。美国墨西哥湾深水区和超深水区的储量和产量所占比例不断提高。墨西哥湾深水区的石油产量预计在未来的几年达到新的高峰。

(2)墨西哥湾盆地具有优越的生储盖等油气成藏条件。盆地发育了4套优质烃源岩,在上侏罗统牛津阶—第四系更新统发育了多套储集层,储集性能优越,局部和区域盖层遍及了整个新生界层系,且封堵性能好,断层提供了运移通道,圈闭发育。

(3)墨西哥湾深水盐下油气藏具有有利的成藏条件,勘探潜力很大。在墨西哥湾盆地内发育了一套广泛分布的厚层盐岩,很多大型油气藏均与盐岩相关。盐上和盐下储层中均有可观的油气发现,随着油气勘探理论和技术的进步,盐下油气藏

的潜力已逐渐显现出来。

### 参考文献:

- [1] 赵阳,卢景美,刘学考,等. 墨西哥湾深水油气勘探研究特点与发展趋势[J]. 海洋地质前沿,2014,30(6):27-32.  
Zhao Yang, Lu Jingmei, Liu Xuekao, et al. Oil and gas exploration in deep water area of Gulf of Mexico[J]. Marine Geology Frontiers, 2014, 30(6): 27-32.
- [2] 李明岩,罗佐县. 墨西哥湾油气资源潜力待释放[J]. 中国石化,2013(5):71-72.  
Li Mingyan, Luo Zuoxian. Petroleum resource potential for release in Gulf of Mexico[J]. SINOPEC Monthly, 2013(5): 71-72.
- [3] Ilib L. Mexico finds second oil deposit in deep Gulf water [EB/OL]. (2012-10-05) [2015-01-20]. <http://www.marketwatch.com/story/mexico-finds-second-oil-deposit-in-deep-gulf-water-2012-10-05>.
- [4] 卢雪梅,侯燕明. 全球油气动态扫描[EB/OL]. (2015-01-30) [2015-02-05]. <http://xianhuo.hexun.com/2015-01-30/172918287.html>.
- [5] Gulf of Mexico proved reserves and production by water depth [EB/OL]. [http://www.eia.gov/pub/oil-gas/natural-gas/data-publications/crude\\_oil\\_natural\\_gas\\_reserves/current/pdf/gomwaterdepth.pdf](http://www.eia.gov/pub/oil-gas/natural-gas/data-publications/crude_oil_natural_gas_reserves/current/pdf/gomwaterdepth.pdf).
- [6] Offshore Energy Today. Wood Mackenzie: GoM production to reach new peak in 2016[EB/OL]. (2014-11-18) [2015-02-27]. <http://www.offshoreenergytoday.com/wood-mackenzie-gom-production-to-reach-new-peak-in-2016/>.
- [7] 谢奋全,王黎栋,于炳松,等. 被动大陆边缘盆地对油气形成的控制作用:以墨西哥湾盆地为例[J]. 东北石油大学学报,2014,38(4):10-16,79.  
Xie Fenquan, Wang Lidong, Yu Bingsong, et al. Continental margin basins and their control over the formation of oil and gas—A case from Gulf of Mexico Basin[J]. Journal of Northeast Petroleum University, 2014, 38(4): 10-16, 79.
- [8] 孙萍,王文娟. 持续沉降是墨西哥湾油气区优质烃源岩形成的重要条件[J]. 海洋地质动态,2010,26(3):22-27.  
Sun Ping, Wang Wenjuan. Continuous sedimentation: The important formation condition for high quality hydrocarbon source rocks in large oil and gas fields of Gulf of Mexico Basin[J]. Marine Geology Letters, 2010, 26(3): 22-27.
- [9] 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.
- [10] Ajdukiewicz J M, Nicholson P H, Esch W L. Prediction of deep reservoir quality using early diagenetic process models in the Jurassic Nophlet Formation, Gulf of Mexico[J]. AAPG Bulletin, 2010, 94(8): 1189-1227.
- [11] 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.

[ 12 ] Galloway W E, Ganey-Curry P E, Xiang L, et al. Cenozoic depositional history of the Gulf of Mexico basin [ J ]. *AAPG Bulletin*, 2000, 84 ( 11 ) : 1743-1774.

[ 13 ] 瞿辉, 郑民, 李建忠, 等. 国外被动陆缘深水油气勘探进展及启示 [ J ]. *天然气地球科学*, 2010, 21 ( 2 ) : 193-200.

Qu Hui, Zheng Min, Li Jianzhong, et al. Advances of deepwater hydrocarbon explorations in global passive continental margin and their implication [ J ]. *Natural Gas Geoscience*, 2010, 21 ( 2 ) : 193-200.

[ 14 ] 顾春光. 美国墨西哥湾盆地与我国渤海湾盆地的类比研究 [ D ]. 北京: 中国石油大学 ( 北京 ), 2008.

Gu Chunguang. Comparison between Mexico Bay Basin in United States and Bohai Bay Basin in China [ D ]. Beijing: China University of Petroleum ( Beijing ), 2008.

[ 15 ] 李振鹏, 孟彦如, 龚建明, 等. 墨西哥湾深水储层特征 [ J ]. *海洋地质动态*, 2009, 25 ( 6 ) : 6-9.

Li Zhenpeng, Meng Yanru, Gong Jianming, et al. Characteristic of deepwater reservoir of Gulf of Mexico [ J ]. *Marine Geology Letters*, 2009, 25 ( 6 ) : 6-9.

[ 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 ]. *海洋地质前沿*, 2011, 27 ( 4 ) : 11-14, 26.

Zhao Qingfang, Gong Jianming, Li Shuanglin, et al. Pre-Tertiary deepwater oil plays in the northern Gulf of Mexico basin [ J ]. *Marine Geology Frontiers*, 2011, 27 ( 4 ) : 11-14, 26.

[ 17 ] 刘延莉, 徐向华. 墨西哥湾盆地油气分布规律及成藏主控因

素分析 [ J ]. *石油实验地质*, 2014, 36 ( 2 ) : 200-205.

Liu Yanli, Xu Xianghua. Petroleum distribution rules and controlling factor analysis of Gulf of Mexico Basin [ J ]. *Petroleum Geology & Experiment*, 2014, 36 ( 2 ) : 200-205.

[ 18 ] 王震, 陈船英, 赵林. 全球深水油气资源勘探发现现状及面临的挑战 [ J ]. *中外能源*, 2010, 15 ( 1 ) : 46-49.

Wang Zhen, Chen Chuanying, Zhao Lin. Present situation and challenge of exploration and production for deep water oil and gas in the whole world [ J ]. *Sino-Global Energy*, 2010, 15 ( 1 ) : 46-49.

[ 19 ] 吴红华, 王小善, 杨克绳. 世界日产万吨油井及其地质背景 [ J ]. *断块油气田*, 2014, 21 ( 5 ) : 579-580, 584.

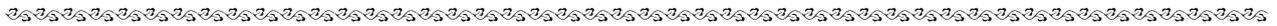
Wu Honghua, Wang Xiaoshan, Yang Kesheng. Wells with daily petroleum production of more than ten thousand tons in the world and their geological setting [ J ]. *Fault-Block Oil and Gas Field*, 2014, 21 ( 5 ) : 579-580, 584.

[ 20 ] Dribus J R, Jackson M P A, Kapoor J, et al. The prize beneath the salt [ EB/OL ]. 2008 [ 2015-02-15 ]. [http://www.slb.com/~media/Files/resources/oilfield-review/ors08/aut08/the\\_prize\\_beneath\\_the\\_salt.pdf](http://www.slb.com/~media/Files/resources/oilfield-review/ors08/aut08/the_prize_beneath_the_salt.pdf).

[ 21 ] Sebastian S. 9627 feet: Gulf well sets deep-water record [ EB/OL ]. ( 2011-12-17 ) [ 2015-02-27 ]. <http://www.chron.com/business/article/9-627-feet-Gulf-well-sets-deep-water-record-2275146.php>.

[ 22 ] Woodward K. Ecopetrol announces discovery in deepwater Gulf of Mexico [ EB/OL ]. ( 2014-07-17 ) [ 2015-02-27 ]. <http://www.pnnewswire.com/news-releases/ecopetrol-announces-discovery-in-the-deepwater-gulf-of-mexico-us-267334611.html>.

( 编辑 徐文明 )



( 上接第 472 页 )

[ 34 ] 黄保家, 黄合庭, 李里, 等. 莺—琼盆地海相烃源岩特征及高温高压环境有机质热演化 [ J ]. *海相油气地质*, 2010, 15 ( 3 ) : 11-18.

Huang Baojia, Huang Heting, Li Li, et al. Characteristics of marine source rocks and effect of high temperature and overpressure to organic matter maturation in Yinggehai-Qiongdongnan Basins [ J ]. *Marine Origin Petroleum Geology*, 2010, 15 ( 3 ) : 11-18.

[ 35 ] 刘传联. 琼东南盆地渐新统烃源岩微观沉积特征与沉积环境 [ J ]. *石油学报*, 2010, 31 ( 4 ) : 573-578.

Liu Chuanlian. Sedimentary environment and micro-sediment characteristics of Oligocene source rocks in Qiongdongnan Basin [ J ]. *Acta Petrolei Sinica*, 2010, 31 ( 4 ) : 573-578.

[ 36 ] 黄保家, 李里, 黄合庭. 琼东南盆地岛北坡浅层天然气成因与成藏机制 [ J ]. *石油勘探与开发*, 2012, 39 ( 5 ) : 530-536.

Huang Baojia, Li Li, Huang Heting. Origin and accumulation mechanism of shallow gas in the North Baodao slope, Qiongdongnan Basin, South China Sea [ J ]. *Petroleum Exploration and Development*, 2012, 39 ( 5 ) : 530-536.

[ 37 ] 黄保家, 李里, 黄义文, 等. 莺琼盆地天然气生成和凹陷生烃潜力评价技术 [ R ]. 湛江: 中海石油 ( 中国 ) 有限公司湛江分公司研究院, 2010.

Huang Baojia, Li Li, Huang Yiwen, et al. Natural gas generation

and hydrocarbon potential evaluation in Yinggehai and Qiongdongnan basins [ R ]. Zhanjiang: Research Institute of CNOOC Zhanjiang Branch Company, 2010.

[ 38 ] Stahl W J. Carbon and nitrogen isotopes in hydrocarbon research and exploration [ J ]. *Chemical Geology*, 1977, 20: 121-149.

[ 39 ] 王政军, 马乾, 赵忠新, 等. 南堡凹陷深层火山岩天然气成因与成藏模式 [ J ]. *石油学报*, 2012, 33 ( 5 ) : 772-780.

Wang Zhengjun, Ma Qian, Zhao Zhongxin, et al. Natural gas origin and gas accumulation model for deep volcanic rocks in Nanpu sag, Bohai Bay Basin [ J ]. *Acta Petrolei Sinica*, 2012, 33 ( 5 ) : 772-780.

[ 40 ] 赵文智, 刘文汇. 高效天然气藏形成分布与凝析. 低效气藏经济开发的基础研究 [ M ]. 北京: 科学出版社, 2008: 101-102.

Zhao Wenzhi, Liu Wenhui. Fundamental research on formation & distribution of high efficiency gas reservoirs and economical development of condensate & low efficiency gas reservoirs [ M ]. Beijing: Science Press, 2008: 101-102.

[ 41 ] 黄保家. 油气成藏—区带分析的地球化学方法与应用 [ R ]. 湛江: 中海石油 ( 中国 ) 有限公司湛江分公司研究院, 2010.

Huang Baojia. Application of geochemical methods in studies of hydrocarbon accumulation and zonation [ R ]. Zhanjiang: Research Institute of CNOOC Zhanjiang Branch Company, 2010.

( 编辑 徐文明 )