李爱山,蔡文杰,卢景美,等.墨西哥北部博格斯盆地石油地质条件与勘探潜力分析[J].海洋地质前沿,2020,36(7):31-39.

墨西哥北部博格斯盆地石油地质 条件与勘探潜力分析

李爱山,蔡文杰,卢景美,严杰,张量,赵晨露 (中国海洋石油国际有限公司,北京100027)

摘 要:墨西哥湾盆地是世界著名的油气富集区,也是当今世界油气勘探的重点和热点区域。 墨西哥位于墨西哥湾西南侧,油气资源丰富,油气勘探活动始于19世纪,盆地陆上以气为主, 海域以油为主。通过对墨西哥北部博格斯(Burgos)盆地的区域构造背景、石油地质条件以 及油气成藏模式等进行综合分析认为,盆地构造类型多样,西部发育伸展构造,东部发育挤压 构造;烃源岩基础好,发育多套烃源岩;储盖组合发育,储层物性较好;东侧挤压褶皱区构造发 育,油气成藏条件优越,具有较好的勘探潜力。

关键词:墨西哥;博格斯盆地;石油地质条件;油气成藏;勘探潜力 中图分类号:P618.13 文献标识码:A DOI:10.16028/j.1009-2722.2020.027

0 引言

博格斯(Burgos)盆地, 面积约 12×10⁴ km², 位于 墨西哥北部沿岸, 陆上西邻马德雷造山带, 南邻 Tampico-Mexico Ridge 盆地, 北邻美国 Rio Grande Embayment 盆地, 东部向海上延伸至深海平原, 水 深最大超过 3 000 m(图 1)。

博格斯盆地的勘探始于 1942 年, 1945 年第 1 个商业性油田投产。自 1994 年采用新技术以来, 气产量从 6 000 m³/d 增加到 30×10⁶ m³/d(2009 年)。 截至 2013 年, 共有 3 500 口在产气井, 主要集中在 陆上。现阶段, 陆上开始进入非常规油气藏勘探阶 段, 2013 年陆上钻探了第 1 口页岩油发现井, 后陆 续钻探了 7 口非常规井。海上勘探程度较低, 截至 2018 年, 共钻探探井 20 口, 发现 5 个油田, 其中最 大油田储量为 7.4×10⁷ m³(2012 年)^[1-3]。

1 构造演化与沉积充填

1.1 区域构造演化与沉积充填

博格斯盆地历经了裂谷期(晚三叠—中侏罗世)、漂移期(晚侏罗—晚白垩世)和碰撞改造期(晚 白垩—中新世)3个阶段的构造演化^[4-8](图 2)。

(1)裂谷期:由于泛大陆裂解导致南美大陆、北 美大陆以及非洲大陆分离,环墨西哥湾盆地内发育 典型的垒-堑构造格局,该时期博格斯盆地内主要以 火山碎屑红层、河流相等陆相沉积充填为主。裂谷 期末期的中侏罗世卡洛夫期(过渡期)半封闭环境 下发育了一套区域分布广泛的厚层盐岩。

(2)漂移期:盐岩沉积之后,中侏罗世晚期墨西 哥湾开始进入大洋扩张期,沉积了世界著名的提塘 阶暗色页岩、泥灰岩。之后墨西哥盐盆一分为二, 盆地整体进入被动大陆边缘演化阶段,广泛发育碳 酸盐岩沉积。

(3)碰撞改造期:晚白垩世太平洋板块向北美 板块俯冲,发生了北美著名的拉腊米运动,在墨西 哥境内的北部陆上表现为东马德雷造山带的形成。

收稿日期: 2020-04-26

资助项目: 国家"十三五"科技重大专项"西非和南美海域重点区油气地 质评价及关键技术研究"(2017ZX05032-001); 国家"十三五"科技重大专 项"海外重点区勘探开发关键技术之海外重点盆地地球物理勘探关键技 术攻关与应用"(2017ZX05032-03)

作者简介: 李爱山(1983—), 男, 硕士, 工程师, 主要从事海外油气勘探研 究工作. E-mail: <u>liash@cnooc.com.cn</u>



图 2 区域构造演化示意图

Fig.2 Sketch map of regional tectonic evolution

博格斯盆地西部发生挤压造山作用,形成马德雷 造山带,构造的抬升剥蚀为盆地提供了大量沉积 物,形成了古近—新近系巨厚沉积,最大沉积厚度 >10 km(图 3)。

1.2 平面构造单元划分

在区域应力和沉积物重力作用下,以古近系泥

岩和侏罗系盐岩为滑脱层^[9],博格斯盆地形成了典型 的重力滑动系统,平面上自西向东可划分为西部拉张 区、中部过渡区和东部挤压褶皱区 3 个带(图 4)。

西部拉张区发育一系列向海倾斜的铲式生长 断层带,平面上呈 SN 向雁列式展布,剖面上断层大 多数断至古近系泥岩滑脱面,部分断距较大,断至 中侏罗统母盐层(图 5)。





Fig.3 Lithological column of Burgos Basin (modified after reference [1])



Fig.5 A W-E Geological section in Burgos Basin (modified after reference [10])

中部过渡区,位于现今陆架—陆坡过渡带,西 部泥底辟构造为厚层中新统地层在沉积负载作用 下,渐新统顶部泥岩发生滑脱挤出,形成的泥岩 底辟构造。盐岩底辟构造为原地母盐挤出形成,多 以盐焊接形式存在,向上刺穿至新近系地层中。部 分地区泥岩底辟和盐岩底辟混合发育,难以区分 (图 5)。

东部挤压褶皱区水深>1000m,古近—新近系 三角洲大规模进积,巨厚沉积物以侏罗系母盐为滑 脱层向东推挤,使盆地深水远端挤压隆升,形成大 量盐核挤压褶皱。同时随着挤压活动的持续,母岩 沿着断裂向外挤出刺穿上覆地层,形成厚层异地盐 蓬,部分盐岩甚至运移至海底(图 5)。

2 博格斯盆地基本石油地质条件

2.1 烃源岩条件

博格斯盆地主要发育 4 套烃源岩, 分别为侏罗 系提塘阶海相页岩和泥灰岩、上白垩统 EagleFord 组页岩、古新—始新统 Wilcox 组泥页岩和下渐新 统 Vicksburg 组泥页岩。其中提塘阶海相页岩为东 部挤压褶皱区主力烃源岩,古新统—始新统 Wilcox 组泥页岩为西部拉张区主力烃源岩^[11-12]。

侏罗系提塘阶海相烃源岩岩性为发育于半封 闭局限海环境下的暗色海相页岩和泥灰岩,是公认 的世界级的优质海相烃源岩。提塘阶烃源岩为深 水区石油发现的主力烃源岩,其地球化学指标如下: 干酪根类型为Ⅰ—Ⅱ₁型; TOC 为1%~20%,均值为 4.19%; 生烃潜量为 12~177 mg/g; 氢指数为 400~ 800 mgHC/gTOC,均值为 678 mgHC/gTOC; 活化能 为 51 kcal/mol(图 6)。在盆地的西部和中部, 侏罗 系提塘阶烃源岩埋深很大,处于过成熟阶段;而在 东部挤压褶皱区,该套地层因隆升而埋深较浅,且 上覆发育厚层盐蓬,烃源岩处于成熟阶段,主要以 生油为主。因此,该套有效烃源岩主要分布于东部 挤压褶皱区。

上白垩统 EagleFord 组烃源岩为沉积于开阔海 陆架,中等缺氧环境下炭质页岩、钙质页岩, TOC 值 为 0.5%~2.0%, Ⅱ—Ⅲ型干酪根, 烃源岩为成熟— 过成熟阶段。该套烃源岩主要分布在西部拉张区 和中部过渡区南部有限区域^[13]。

下渐新统 Vicksburg 组海相页岩和古新—始新统 Wilcox 组烃源岩, 是盆地陆上天然气发现的主要来源, 有机质类型为Ⅲ型, 以生气为主, 有机质丰度高, 烃源岩为成熟—过成熟阶段。其中, 古新统—始新统 Wilcox 组烃源岩, 总有机碳含量 TOC为0.3%~2.2%, 氢指数100~150 mgHC/gTOC, 镜质体反射率 Ro为0.5%~3%, 主要分布于西部拉张区, 其次分布于中部过渡区西侧区域。研究认为, 古新—始新统 Wilcox 组烃源岩是陆上古新—始新统天然气的主要来源。

2.2 储层特征

盆地主要发育 3 套储层: 古新—始新统 Wilcox 组砂岩储层、渐新统 Frio 组和 Vicksburg 组砂 岩储层。古近—新近系是盆地储层发育的主要时 期,该时期盆地西部和西北部发育 Rio Bravo 和 Rio Grande 河,为盆地输入大量碎屑物质。受盆地西部 马德雷幕式造山运动控制,古新—早始新世和渐 新—早中新世 2 个时期物源供给量最大,古陆架边 缘向海推进规模最大,随着始新世末期拉腊米造山 达到高峰,渐新世陆架边缘向东推进到达现今海岸 线附近,中中新世之后物源由西向东往美国 Mississippi 河方向迁移^[14-15]。

平面上,上渐新统 Frio 组、Vicksburg 组砂岩储 层主要发育在西部拉张区,而古新—始新统 Wilcox 组砂岩储层主要发育在东部挤压区。

2.2.1 西部拉张区储层特征

随着沉积物向盆地不断进积,在差异负载和重 力作用下,在平面上形成一系列近 SN 走向的大型 铲式生长正断层,自西向东呈平行展布,断层的规 律性活动,为沉积物提供了可容纳空间。随着沉积 物的不断输入和断层活动的耦合作用,发育一系列 同沉积构造,平面上呈 SN 向条带状展布,地层年代 自西向东由老变新,分别为古新统—始新统—渐新 统—中新统(图 7)。

西部拉张区储层以三角洲相砂岩为主,分选好, 细—中粒,厚度范围为 6~30 m,平均为 15 m。主 要储层为渐新统 Frio 组和 Vicksburg 组砂岩储层,

渐新统 Frio 组三角洲砂岩、粉砂岩, 孔隙度为 10%~23%, 平均为 17.8%, 渗透率为(3~21)×10⁻³ μm², 平均为 12×10⁻³ μm²; 渐新统 Vicksburg 组三角洲砂岩, 孔隙度为 13.7%~28%, 平均值为 18.1%, 渗透率为 (0.02~163)×10⁻³ μm², 平均值为 52.8×10⁻³ μm²。2.2.2 中东部储层特征

对于中部过渡区和东部挤压褶皱区,储层发育 于斜坡至深海平原环境,为海底扇砂岩沉积,已钻 井揭示主力储层为古新—始新统 Wilcox 组储层, 次要储层为渐新统 Frio 组砂岩储层。钻井揭示古 新—始新统 Wilcox 组砂岩储层平均厚度为 210 m, 平均孔隙度为 21.5%,渗透率为(25~400)×10⁻³ µm²。

古新一始新统 Wilcox 组沉积期, 深水挤压区 发育海底扇沉积, 钻井揭示该套储层为块状细砂岩, 储层成分中泥质含量较高, 均>20%, 为杂砂岩(泥 质含量>15%)。岩性以长石-岩屑杂砂岩为主。

受沉积水动力条件的影响, 浊积水道、近端朵 叶复合体微相中泥质含量较远端朵叶微相低, 且不 同微相类型之间岩石类型略有差异。浊积水道、近 端朵叶复合体微相中石英含量较多, 成分成熟度较 高, 为长石-石英砂岩。储层物性较好, 孔隙度为 7%~36%, 平均为 20%。渗透率(1~700)×10⁻³ µm², 平均达 70×10⁻³ µm²; 远端朵叶微相的成分成熟度略 有降低, 杂基含量高, 岩性类型主要为长石-岩屑杂 砂岩。储层物性较差, 孔隙度为 2%~12%, 平均为 7%, 渗透率较低, 基本<5×10⁻³ µm²。

2.3 盖层

盆地在古近—新近纪时为陆架到半深海—深 海沉积环境,发育大套厚层海相泥岩,区域盖层十 分发育,东部发育的厚层盐篷也可作为良好的盖层。 整体上看,盆地构造保存条件较好,仅在盆地西侧, 由于地层抬升发生剥蚀作用,局部构造存在保存 风险。

2.4 圈闭条件

盆地在构造演化过程中形成了大量圈闭,圈闭 类型以构造圈闭、盐相关构造为主。统计已发现油 气田圈闭类型揭示,盆地西部受拉张作用控制,主 要发育断背斜、生长断层控制的滚动背斜、断鼻圈 闭,平面近 SN 向带状展布。中部过渡区主要以小 型背斜或者底辟披覆构造为主^[17]。东部挤压褶皱 区受盐岩活动和重力滑动系统的前缘多期挤压作 用影响,发育盐核褶皱背斜、局部可见盐篷侧向遮 挡构造(图 8)。

2.5 成藏模式分析

西部拉张区,古近系三角洲相烃源岩生成的天 然气主要通过铲式生长断层垂向运移,聚集到三角 洲相砂岩储层中,部分与断层连通的砂岩也可以作 为短距离运移通道,使油气侧向聚集成藏。陆上发 现的气田圈闭类型以构造圈闭为主,生长断层产生 的滚动背斜圈闭和断块圈闭十分发育;其次也包括 一些砂体尖灭形成的岩性圈闭。浅水地区勘探程 度低,古近系和新近系地层埋深大,生长正断层发 育,大多断至渐新统泥岩层,油气成藏模式与陆上 相似,以生长断层沟通烃源岩,向浅部圈闭垂向运 移成藏(图 9)。

东部挤压褶皱区,通过区域造演化、沉积充填

Fig.8 Typical structure type in eastern deep-water area: salt-core anticline (Left) and 3-way closure against salt(Right)

图 9 博格斯盆地陆上油气成藏示意图(据文献 [10])

Fig.9 Sketch map of hydrocarbon accumulation model in onshore area of Burgos Basin (after reference [10])

分析,结合周边已发现典型油气田成藏条件研究, 建立了盐岩边界——逆断层联合沟通的下生上储型 油气成藏模式(图 10)。在区域挤压和盐岩活动作 用下发育典型的盐核挤压背斜圈闭。下伏提塘阶 优质烃源岩现在仍处于生油阶段,且主排烃期与圈 闭定型时间匹配,具备油气成藏的物质基础。始新 统 Wilcox 组、渐新统 Frio 组发育海底扇沉积,尤其 是 Wilcox 组储层具有厚度大、平面分布广的特征,

Fig.10 Hydrocarbon accumulation model of eastern deep-water area in Burgos Basin

为油气聚集的有利场所。在油气充注方面,盐核背 斜的形成常伴随着逆冲断裂发育,而逆冲断裂沟通 了下伏烃源岩,同时盐岩边界也可以作为油气运移 的通道,断裂和盐岩活动为油气运移至储层创造了 有利条件。

3 勘探潜力分析

(1) 西部拉张区勘探程度高, 潜力有限

西部拉张区勘探程度高,共发现 382 个气田, 发现储量 3.8×10⁸ t, 是墨西哥国家天然气主产区。 该区烃源岩条件优越,储盖配置关系好,圈闭发育, 以滚动背斜和断块圈闭为主,油气沿张性断层垂向 运移。迄今为止,天然气的勘探主要针对构造圈闭, 地层圈闭也具有一定潜力,但是规模可能不大。

(2) 中部过渡区勘探程度低、运移条件差

该区勘探程度低,目前只有5口探井,仅发现 1个规模较小的天然气藏,勘探成功率低。钻井揭 示新近系储层发育,物性较好。渐新统烃源岩指标 差,侏罗系烃源岩埋深较大,处于过成熟阶段。大 型构造不发育,主要以小型背斜或者底辟构造主。 在油气运移方面,主要断层仅断至渐新统泥岩滑脱 层,多数未能沟通深层烃源岩,勘探潜力有限。

(3) 东部挤压褶皱区勘探程度较低, 潜力大

目前东部挤压褶皱区勘探程度不高,仅钻探了 18 口井,发现4个油藏,待发现资源量为11.2×10⁸t^[2-3], 勘探潜力很大。该带提塘阶烃源岩发育,且已进入 成熟阶段。储层分布范围广,发育多套浊积砂岩储 层,物性中等。多套区域性泥岩和厚层盐蓬发育, 盖层条件优越。挤压和盐岩活动导致挤压背斜构 造和盐侧向遮挡构造较为发育。分析表明,圈闭于 晚始新世开始形成,烃源岩于渐新世进入排烃高峰, 挤压逆断层和盐岩边界沟通下伏侏罗系烃源岩,烃 源岩、储层和圈闭时空匹配关系很好,具有良好的 勘探潜力,值得高度关注。

4 结论

(1)博格斯盆地是在中生代南、北美板块拉张 背景下形成的被动陆缘盆地,经历3期复杂构造演 化,形成了"西张东挤"的构造格局,自西向东可划 分为西部拉张区、中部过渡区和东部挤压褶皱区。 (2)盆地发育多套烃源岩及3套储层,西部拉 张区以渐新统 Frio 组和 Vicksburg 组砂岩储层为主 要储层。东部挤压褶皱区以古新—始新统 Wilcox 组储层为主力储层。西部圈闭类型主要为生长 断层控制的滚动背斜,东部主要为与挤压盐相关的 构造圈闭。

(3)建立了盆地的成藏模式,西部拉张区生长 断层沟通的下生上储模式和东部挤压褶皱区盐岩-断层共控的下生上储模式。

(4)盆地的东部挤压褶皱带成藏条件最为优越, 且勘探程度低,勘探前景广阔,是未来墨西哥博格 斯盆地油气勘探的重点区域,应给予足够的关注。

参考文献:

- [1] 卢景美,李爱山,黄兴文,等.墨西哥湾北部深水盐盆 Wilcox 组 油气成藏条件及有利勘探方向[J].中国海上油气,2018,30(4): 36-44.
- [2] Pemex. Hydrocarbon Reserves and Major Oil and Gas Fields of Mexico[R]. Mexico: PEMEX E & P Company, 2013.
- [3] Pemex, Prospects for Deep Water Development in Mexico: the 28th Technology Day of the Association of Petroleum Engineers of Mexico[R]. Mexico: PEMEX E & P Company, 2013.
- [4] 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):14-20.
- [5] 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): 26-32.
- [6] Pindell J. Tectonic evolution of the Gulf of Mexico, Caribbean and northernSouth America in the mantle reference frame; an update[J]. Geological Society, 2009, 328: 1-55.
- [7] Bird D, Burke K. Pangea breakup: Mexico, Gulf of Mexico, and Central Atlantic Ocean[J]. Seg Technical Program Expanded Abstracts, 2006, 25(1): 35-41.
- [8] Bird D, Burke K, Hall S A, et al. Gulf of Mexico tectonic history: hotspot tracks, crustal boundaries, and early salt distribution[J]. AAPG Bulletin, 2005, 89(3): 311-328.
- [9] Grando G, McClay K. Structural evolution of the Frampton growth fold system, Atwater Valley-Southern Green Canyon area, deep water Gulf of Mexico[J]. Marine and Petroleum Geology, 2003, 21(7): 889-910.
- [10] Pemex, Exploration Asset and Modeling of Oil Systems in Deep Waters North Region, Mexico[R]. Mexico: PEMEX E & P Company, 2012.
- [11] Guzman-Vega M A, Mello M R. Origin of oil in the Sureste Basin, Mexico[J]. AAPG Bulletin, 1999, 83(7): 1068-1095.
- [12] Warwick P D. Thermal maturity of the Wilcox Group (Paleocene-Eocene): a key to the Cenozoic petroleum systems of the northern Gulf of Mexico basin[J]. The Society for Organic Petrology

23rd Annual Meeting, 2006, 23: 271-272.

- [13] Sharman G R, Covault J A, Stockli D F, et al. Early Cenozoic drainage reorganization of the United States Western Interior-Gulf of Mexico sediment routing system[J]. Geology, 2017, 45(2): 187-190.
- [14] Galloway W E, Whiteaker T L, Ganeycurry P. History of Cenozoic North American drainage basin evolution, sediment yield, and accumulation in the Gulf of Mexico Basin[J]. Geosphere, 2011, 7(4): 938-973.
- [15] Winker C D. Paleogeographic evolution of early deep-water Gulf of Mexico and margins, Jurassic to Middle Cretaceous (Comanchean)[J]. AAPG Bulletin, 1988, 72(3): 318-345.
- [16] Echanove O E. Petroleum geology of the Burgos Basin in Mexico[J]. Mexican Association of Geologists Bulletin, 1986, 38: 3-74.
- [17] Trudgill B D, Rowan M G, Fiduk J C, et al. The Perdido fold belt, northwestern deep Gulf of Mexico: part 1. Structural geometry and evolution[J]. AAPG Bulletin, 1999, 83(1): 88-113.

ANALYSIS ON PETROLEUM CONDITIONS AND EXPLORATION POTENTIAL IN BURGOS BASIN, NORTH OF MEXICO

LI Aishan, CAI Wenjie, LU Jingmei, YAN Jie, ZHANG Liang, ZHAO Chenlu (CNOOC International Ltd., Beijing 100027, China)

Abstract: The Gulf of Mexico Basin is a famous oil-bearing basin in the world. It has been an important hotspot of world hydrocarbon exploration for years. Mexico locates to the south west of GOM with rich oil and gas resource. Exploration work in this basin started in 19th century, there are gas discoveries onshore and oil discoveries offshore. This paper made a comprehensive study on regional tectonic background and geological conditions together with hydrocarbon accumulation model. Study results show that the basin have many types of structures, extensional structures develop in the west while compression traps in the east. There are several high-quality source rocks, well developed reservoir-seal combinations and sandstones with good physical properties. The eastern compression fold area of the basin has excellent petroleum accumulation conditions and great exploration potential.

Key words: Mexico; Burgos Basin; petroleum geological conditions; petroleum accumulation; exploration potential