

墨西哥 Sureste 盆地盐相关圈闭发育特征

孔国英,卢景美,周浩玮,李爱山,严杰,赵晨露

(中海油研究总院,北京 100028)

摘要: Sureste 盆地位于墨西哥湾南部,为系统研究该区盐相关圈闭。基于第 1 手的地质、钻井、油田和地球物理资料,从盆地构造演化阶段、沉积充填特征、盐岩活动期次出发,系统分析了圈闭成因、发育特征、空间展布规律。结合盆地勘探程度指出,Comalcalco 次盆东部侏罗—白垩系盐核背斜圈闭和 Reforma 褶皱带中北部牛津阶和基末利阶盐核背斜圈闭、伸展盐筏断块圈闭为最有潜力勘探目标,为该盆地盐上勘探目标的优选提供了科学依据。

关键词: 盐相关圈闭;圈闭类型;展布规律;Sureste 盆地;墨西哥

中图分类号: P736.1;TE121.1⁺1 **文献标识码:** A **DOI:**10.16028/j.1009-2722.2017.03006

墨西哥石油勘探始于 20 世纪初,迄今为止已有 150 多年的历史^[1,2],为世界第 9 大油气生产国,在西半球仅次于美国。2014 年,墨西哥启动了 1976 年来的首次招标,引起了世界各大石油公司的关注^[3]。其中第 1 轮和第 2 轮招标区块多位于墨西哥 Sureste 盆地的浅水和深水区。据 Woodmac 统计,截至到 2014 年底,Sureste 盆地共发现油气田 321 个,油气探明+控制可采储量为 8.7×10^9 m³ 油当量,占整个国家油气发现的 70%,属于世界级富油气盆地^[4]。中侏罗世随着墨西哥湾的裂开发育巨厚芦安盐岩(卤盐),多期构造运动及强烈的盐岩活动造成了盆地圈闭的多样性和复杂性^[5],加之现今的地球物理采集、成像技术难以满足复杂盐岩发育区的圈闭落实要求^[6],使得圈闭发育特征及平面分布规律成为制

约该盆地区块评价及油气勘探成功率的关键因素。基于第 1 手的地质、钻井、油田和地球物理资料,系统分析了盆地有利圈闭发育带和有利圈闭类型,为该盆地及与该盆地具有类似盐岩形变特征区域的勘探目标优选及评价提供科学依据。

1 地质背景

Sureste 盆地也称 Southeastern(东南)盆地,横跨墨西哥东南海岸平原和 Campeche 湾,西侧为 Veracruz 盆地,南部以 Chiapas 褶皱带为界,东侧为 Yucatan 台地,北至深水洋盆(图 1 索引图),为受前陆改造的被动陆缘盆地,面积约 15 万 km²,可划分为 Salina 次盆、Comalcalco 次盆、Macuspana 次盆和 Reforma 褶皱带 4 个次级构造单元(图 1)。

受南北美板块与非洲板块分离、太平洋俯冲和加勒比板块挤入等因素的影响,盆地经历了晚三叠世—中侏罗世裂谷期、晚侏罗世—晚白垩世漂移期和晚白垩世以后的碰撞改造期 3 个构造演化阶段^[7]。相应地发育了上侏罗统牛津阶、上侏

收稿日期:2016-09-05

基金项目:中国海洋石油国际有限公司项目“墨西哥第一轮招标项目评价”(2014-HW-12);国家科技重大专项“大陆边缘盆地类比与油气成藏规律研究”(2011ZX05030-001)

作者简介:孔国英(1982—),女,工程师,主要从事海外油气勘探研究方面的工作。E-mail:konggy@cnooc.com.cn

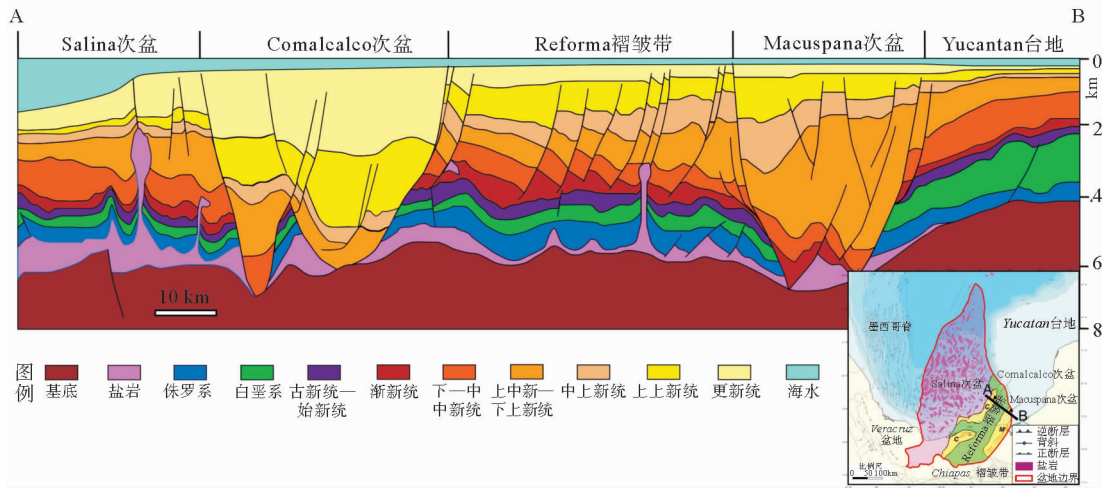


图1 过 Sureste 盆地地质剖面(据墨西哥招标材料修改)

Fig.1 Geologic section across Sureste Basin(modified from bidding material of Mexico)

罗统提塘阶、白垩系、古近—新近系 4 套烃源岩，其中上侏罗统提塘阶主力烃源岩贡献了近 94% 的油气储量。从深到浅共发育侏罗系牛津阶砂岩、上侏罗统基末利阶鲕粒灰岩、下白垩统裂缝型碳酸盐岩、上白垩统碳酸盐岩角砾岩、新近系碎屑岩 5 套成藏组合(图 2)。

2 圈闭类型及特征

盆地圈闭的发育主要受“拉张—挤压—重力滑脱”3 期构造变形及在此过程中盐岩持续活动的共同影响^[8]。依据成因和形态将盆地内圈闭分为 5 大类(图 3)。

2.1 拉张盐筏断块型圈闭

拉张盐筏断块型圈闭，主要是指盐上断块在拉张背景下沿塑性盐岩层滑脱，断块不再通过断面对接触，上盘的破裂面直接覆在滑脱层之上^[9]。晚牛津—早白垩世，在区域热沉降伸展及盐岩作为滑脱层的共同作用下，盆地发育一系列向海倾斜并倾末于下覆盐岩当中的张性正断层，形成与伸展盐筏相关的断块圈闭。另外，反向断块为基末利阶鲕粒灰岩的发育提供了有利的沉积环境，在断块下盘高部位发育优质高能鲕粒滩，形成断块岩性复合圈闭^[10,11]。

2.2 挤压背斜型圈闭

挤压背斜型圈闭，是指在区域挤压应力作用下，地层发生的向上凸起的变形，是最为常见的圈闭类型。中中新一晚中新世，在 Chiapas 造山 NE—SW 向挤压应力及盐岩作为塑性调节层的共同作用下，发育了一系列简单背斜、逆断层控制

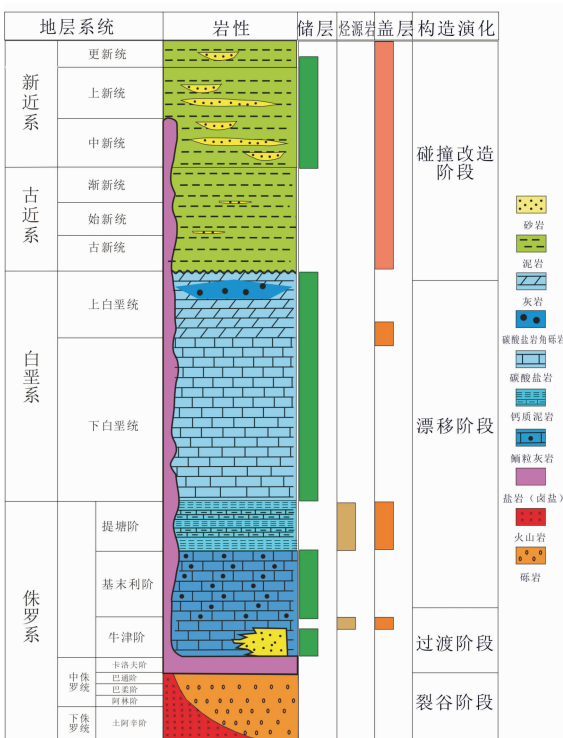


图2 Sureste 盆地地层综合柱状图

Fig.2 Integrated stratigraphic column of Sureste Basin

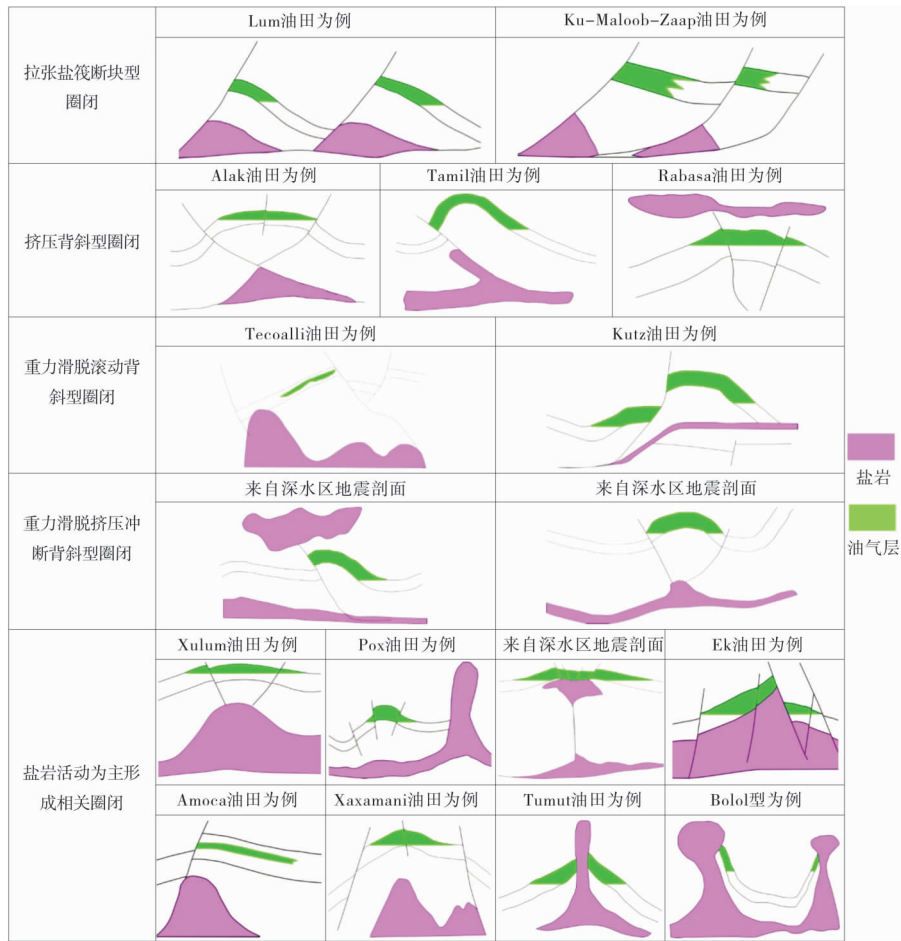


图 3 Sureste 盆地圈闭类型及典型圈闭特征示意图

Fig. 3 Schematic diagram of trap types in Sureste Basin

背斜、逆断层控制断裂复杂化背斜圈闭,部分圈闭核部充填盐岩,部分圈闭被活动剧烈的盐岩刺穿而复杂化。

自 1976 年发现迄今为止,盆地内规模最大的 Cantarell 复合油气田的圈闭类型属于其典型代表,其构造主体为该期挤压应力作用下形成的逆冲背斜,可采储量达 2.4×10^9 t 油和 2.3×10^{11} m³ 天然气。

2.3 重力滑脱伸展滚动背斜型圈闭

滚动背斜是在地层沉积过程中发育的边沉积、边断裂、边向盆地边缘或深凹陷方向下掉的背斜型构造。其形成机理包括重力滑动、差异压实和塑性盐层流动上拱 3 种^[12]。盆地内该类型圈闭的形成得益于上述 3 种机制的共同作用。在 Chiapas 造山带来的大量碎屑物源重力负载及下

伏厚层盐岩作为滑脱层的辅助下,发育一系列沿海岸线展布的滚动背斜、断块和断块—岩性复合圈闭。

该期构造形变还对部分前期发育的圈闭进一步改造,使的原本较为完整的圈闭被分割为不同的块体^[13],对先存圈闭的规模和构造幅度有一定影响。其代表为 Kutz 油田,中中新世挤压应力作用下形成的 Akal 背斜被该期发育的铲式正断层分割,在断层下降盘形成断背斜圈闭。

2.4 重力滑脱挤压冲断背斜型圈闭

重力滑脱挤压冲断背斜型圈闭,是指在盆地深水陆坡向深海平原转换的区域,由于地形坡度陡然变缓,重力伸展作用力传递至此,造成该区强烈的挤压,在挤压作用下发育的背斜型圈闭^[14,15]。上新世开始陆源碎屑大量向海输入,在地层沉积厚度较

大、下伏地层倾斜达到一定程度重力处于极不平衡的状态下,以盐岩为滑脱层的重力滑脱伸展开始大规模发育,在陆坡向深海平原转换带附近由于应力的传递发育重力滑脱冲断构造,主要类型为与冲断逆断层相关的向海倾斜褶皱背斜圈闭。

2.5 盐岩活动主导型圈闭

盐岩活动主导型圈闭,是指主要由盐岩活动为主因所形成的圈闭。前文已经提到,Sureste 盆地内盐岩极为发育,除局部地区缺失之外,存在全盆皆盐的特征,而且呈现出沉积厚度和形变复杂程度由东向西逐渐增大的趋势。塑性盐岩在一定构造应力及地层沉积负载作用下发生蠕变,发育数量庞大的盐相关圈闭。盆地内以盐岩活动为主要成因的圈闭包括盐核背斜、断裂复杂化底辟背

斜、盐龟背背斜、盐侧翼盐体(盐捍)遮挡圈闭、盐岩不对称拱起形成鼻状圈闭等^[16]。

3 圈闭分布特征

圈闭的形成和分布受不同构造演化阶段的构造运动、地层沉积环境^[17,18]及盐岩活动的控制。同一构造演化阶段,不同地区存在着构造变性质和变形强度的差异,从而形成不同的圈闭类型及空间组合规律^[19]。

3.1 圈闭平面分布特征

总体上,盆地内圈闭大致平行于海岸线呈 NE—SW 向展布,在盐岩沉积厚度的影响下,平面上的分布表现出明显的分带性(图 4)。

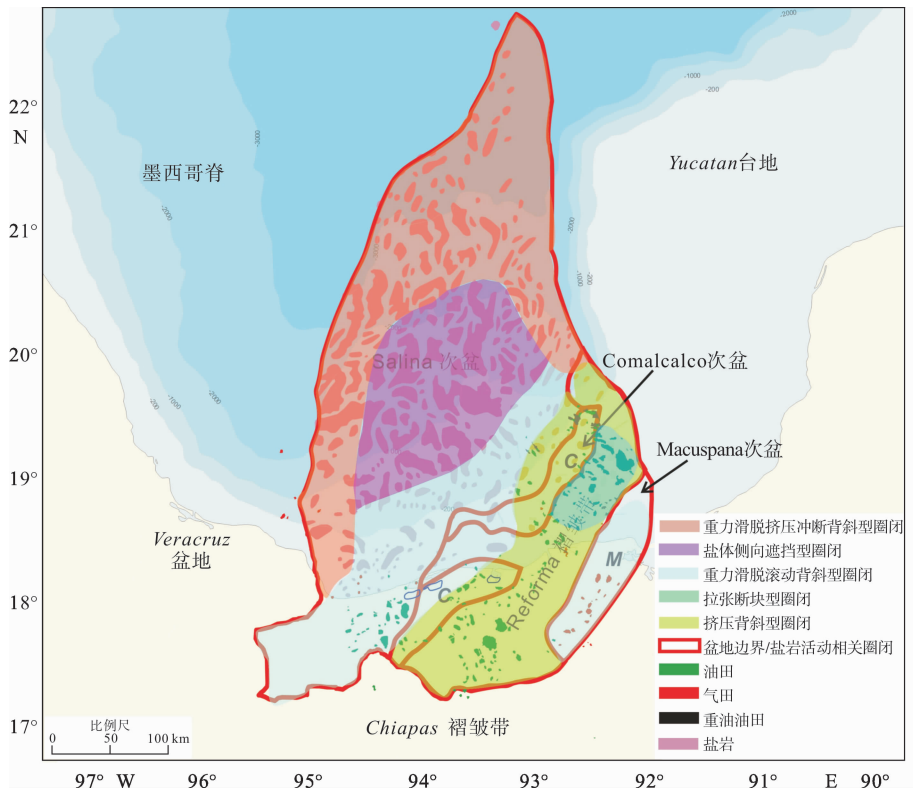


图 4 Sureste 盆地圈闭类型平面分布

Fig. 4 Spatial distribution map of trap types in Sureste Basin

(1)重力滑脱滚动背斜发育带

平面上主要分布于 Macuspana 次盆、Comalcalco 次盆西北部和 Salina 次盆东南部。该带为新近系沉积中心,由 Chiapas 造山带来的碎屑物

质从盆地南部和东南部由陆向海依次堆积,重力滑脱伸展环境下早期向海倾斜滑脱于盐岩之上的正断层活化,加上大套地层的沉积负载使得早期沉积的盐岩大量向海撤出,为地层的沉积提供了

可容纳空间。在这种沉积及盐撤背景下,在新近系地层内发育一系列 NE—SW 向滚动背斜和断块圈闭,局部由于受到早期盐拱的影响,发育披覆于盐拱之上的鼻状圈闭和由盐岩撤出在 2 个盐体间形成的龟背斜圈闭。

(2) 挤压背斜发育带

平面上主要分布于 Reforma 褶皱带和 Comalcalco 次盆东部。该区盐岩沉积厚度相对较薄,且处于古构造高部位,后期沉积地层平面厚度变化不大,地层沉积负载对下覆盐岩的形变影响较小,圈闭的形成主要受控于 Chiapas 造山作用,主要发育盐核挤压背斜圈闭,圈闭走向基本为 NW—SE 向,局部由于盐岩活动的改造稍有变化。

(3) 拉张断块圈闭发育带

依据目前掌握的已钻井和地震资料,该区在平面上主要分布于 Reforma 褶皱带东北部,其主要受控于盆地早期热沉降伸展阶段张应力和下覆薄层盐岩滑脱的作用,发育 NE—SW 向反向断块圈闭。

(4) 盐体侧向遮挡圈闭发育带

平面上主要分布于 Salina 次盆中部。该区

盐岩沉积厚度大,形变剧烈。圈闭的形成主要受控于中中新世挤压应力场和上新世重力滑脱底辟变形区的挤压应力作用,盐岩在两期强烈挤压应力作用下发生大规模流动,刺穿早期沉积地层,迁移至上新—更新统地层内,平面上盐体分布密度大,呈树林式展布,纵向上呈盐席和盐株形态。因此,本区主要发育一面盐体遮挡三面下倾圈闭,局部 2 个盐体之间距离相对较大处发育小型背斜圈闭。

(5) 重力滑脱前端冲断背斜发育带

平面上主要分布于 Salina 次盆的西部、北部边缘。盐岩原始沉积厚度薄,处于重力滑脱前端逆冲挤压区,在挤压应力和下覆薄层盐岩的滑脱缓冲作用下主要发育大型冲断背斜,圈闭主要呈 NE—SW、NEE—SWW 和近 N—S 向展布。

3.2 圈闭垂向分布特征

热沉降漂移期伸展、碰撞改造期契帕斯造山和重力滑脱变形为盆地圈闭发育的 3 个关键构造演化阶段。不同构造演化阶段的构造应力及伴随其间的盐岩活动导致在垂向上发育不同的圈闭类型和组合样式(图 5)。

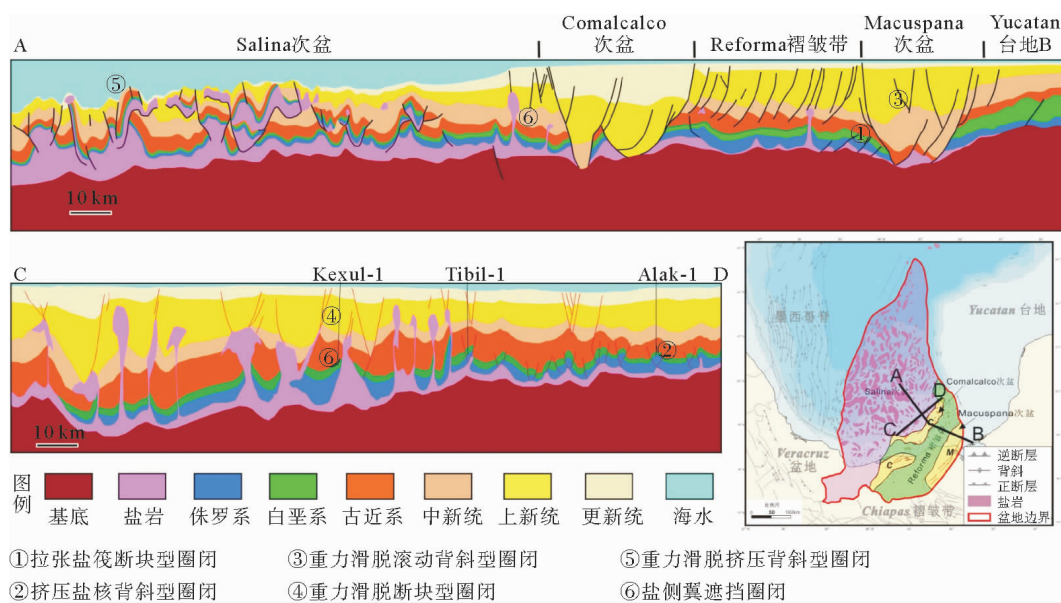


图 5 Sureste 盆地圈闭分布模式(据墨西哥招标材料修改)

Fig. 5 Salt trap distribution patterns in Sureste Basin (modified from bidding material of Mexico)

上侏罗统 该套地层沉积于热沉降阶段,主要发育基末利阶鲕粒灰岩和牛津阶砂岩储层。在盆地3期构造应力叠加和盐岩活动的共同作用下主要发育盐核挤压背斜型圈闭;其次为在重力滑脱前端发育的逆冲挤压背斜及盐体侧翼遮挡圈闭、拉张盐筏断块型及断块岩性复合型圈闭、早期伸展地堑在晚期挤压应力及盐拱作用下的反转断块圈闭。

白垩系 该套地层沉积于墨西哥湾洋壳缓慢扩张的海平面上升阶段,因此,盆地主要发育横向较为稳定的灰岩储层。构造与下覆上侏罗统地层具有良好的叠合性,发育相同的圈闭类型。

新生界 古近系地层主要为深水环境的泥岩及大套泥岩夹薄层粉砂岩,基本不具备储层发育潜力,截至目前尚无获得地质成功的钻井。Sureste盆地陆上及浅水区为新近纪沉积中心,砂体较为发育,周边已钻井也揭示了该套优质储层。新近纪地层的形变主要受控于重力滑脱体系不同部位的应力和相应应力作用下盐岩的活动,因此,在该地层内主要发育滚动背斜、断块、断裂复杂化盐底辟背斜、盐侧翼遮挡和逆冲挤压背斜圈闭。

在早期NW—SE向的热沉降伸展、晚期NE—SW向的挤压和新近纪NW—SE向的重力滑脱3期应力的叠加及盐岩的参与作用下,盆地在纵向上发育下挤上拉、下拉上挤和挤拉并存的组合圈闭发育模式。

4 对勘探的指导意义

截至目前,Sureste盆地内发现油气数量最多的圈闭类型为盐核挤压背斜,发现层系主要位于侏罗系和白垩系,主要位于Reforma褶皱带上,该区带针对该种类型圈闭的勘探程度已经较高,剩余勘探潜力有限。但针对深层牛津阶砂岩的钻井仍然较少,该层系已在墨西哥湾北部获得突破,在Reforma带周边有5口井钻遇,其中3口井获得油气发现,因此,Reforma带牛津阶盐核背斜圈闭、拉张盐筏断块圈闭具有一定的勘探潜力。Comalcalco次盆基本石油地质条件及局部已发现油气田类型与Reforma带相似,目前次盆内钻井数量远少于Reforma褶皱带,因此,侏罗—白

垩系鲕粒灰岩和裂缝型碳酸盐岩地层内的挤压背斜圈闭和盐拱背斜圈闭仍然具有较大的勘探潜力。Salina次盆深水区勘探程度极低,从区域构造演化和目前已掌握的有限资料推测该区具备发育大型新近系、古近系浊积砂岩背斜圈闭的背景,值得后期重点关注。

5 结论

(1) Sureste盆地主要发育拉张盐筏断块型、盐核挤压背斜型和盐体侧翼遮挡型圈闭,盐岩的活动贯穿于绝大部分圈闭的形成过程。

(2) 圈闭的形成及空间分布受不同构造演化阶段的构造运动、地层沉积厚度和盐岩厚度的控制。在平面和垂向上的分布均表现出明显的规律性:总体表现为中部2个次盆发育层位老,两侧次盆发育层位新,圈闭类型和次盆吻合度较高。

(3) 针对不同勘探区块和勘探目的层系,应结合盆地圈闭发育规律,寻找有利的圈闭类型进行油气勘探。Comalcalco次盆东部侏罗—白垩系盐核背斜为最有利勘探目标,其次为Reforma褶皱带中北部牛津阶、基末利阶伸展盐筏断块圈闭及Salina次盆深水区发育的大型挤压背斜圈闭。

参考文献:

- [1] Valois C. A new approach of Tertiary plays in a multidisciplinary framework: Sureste Basin, Tabasco, Mexico[C]. Cancun: AAPG International Conference, 2004.
- [2] 韩 彧,黄 娟,赵 雯. 墨西哥湾盆地深水区油气分布特征及勘探潜力[J]. 石油实验地质,2015,37(4):473-478.
- [3] 周浩伟,于 水,卢景美,等. 墨西哥 Sureste 盆地油气成藏模式[J]. 特种油气藏,2016,23(4):55-59.
- [4] 郑 民,贾承造,李建忠,等. 全球被动陆缘深水勘探领域富油气特征及与我国南海被动陆缘深水区对比[J]. 地质科技情报,2010,29(6):45-53.
- [5] 罗 群,王崇孝,唐 敏,等. 不规则地质体隐蔽圈闭识别模式与关键技术应用尝试——以扇体圈闭为例[J]. 岩性油气藏,2013,25(6):30-34.
- [6] 王 威,李 臻,田 敏,等. 岩性-地层油气藏勘探方法技术研究现状及进展[J]. 岩性油气藏,2009,21(2):121-125.
- [7] 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.
- [8] 史丹妮,杨 双. 滨里海盆地盐岩运动及相关圈闭类型

- [J]. 岩性油气藏, 2007, 19(3):73-79.
- [9] Mauduit T, Guerin G, Brun J P, et al. Raft tectonics: the effects of basal slope angle and sedimentation rate on progressive extension [J]. *Journal of Structural Geology*, 1997, 19(9): 1219-1230.
- [10] 王芝尧, 苏俊青, 钱茂路, 等. 断块区岩相古地理对岩性油气藏形成的影响——以歧口凹陷滨海斜坡区古近纪为例[J]. *天然气勘探与开发*, 2010, 24(6):5-10.
- [11] 杨占龙, 张正刚, 陈启林, 等. 利用地震信息评价陆相盆地岩性圈闭的关键点分析[J]. *岩性油气藏*, 2007, 19(4):57-63.
- [12] 李德生. 滚动背斜油气田[J]. *石油实验地质*, 1980(2):1-8.
- [13] Mitra S, Gonzalez J A, Garcia J H, et al. Ek-Balam field: A structure related to multiple stages of salt tectonics and extension[J]. *AAPG Bulletin*, 2007, 91(11): 1619-1636.
- [14] 李 涛, 胡望水, 何瑶瑶, 等. 下刚果盆地重力滑脱构造发育特征及演化规律[J]. *大地构造与成矿学*, 2012, 36(2):197-203.
- [15] 胡望水, 李 涛, 于 水, 等. 西非被动大陆边缘重力滑脱构造发育演化及成因机制[J]. *大地构造与成矿学*, 2012, 36(2):186-196.
- [16] 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):209-214.
- [17] 岳建华, 康志宏, 韩燕英. 新疆塔里木盆地艾协克-桑塔木油气区带圈闭类型及空间组合规律[J]. *石油实验地质*, 1999, 21(4):316-319.
- [18] 耿玉海, 李江海. 塔里木盆地塔北隆起西部圈闭类型、分布及空间组合规律[J]. *北京大学学报:自然科学版*, 2008, 44(2): 193-200. doi: 10. 3321/j. issn: 0479-8023. 2008. 02. 005.
- [19] 刘 琼, 陶维祥, 于 水, 等. 西非下刚果—刚果扇盆地圈闭类型和分布特征[J]. *地质科技情报*, 2013, 32(3):107-112.

TYPES AND DISTRIBUTION PATTERN OF SALT RELATED TRAPS IN THE SURESTE BASIN, MEXICO

KONG Guoying, LU Jingmei, ZHOU Haowei, LI Aishan, YAN Jie, ZHAO Chenlu
(CNOOC Beijing Research Institute, Beijing 100028, China)

Abstract: The Sureste Basin is located in the southern Gulf of Mexico and there is little discussion on this basin in literatures. In order to systematically study the salt related traps in this area, geologic, drilling, field and seismic data are used to systematically analyze the features, origins and spatial distribution patterns based upon basin tectonic evolution, sedimentary features and salt movement stages. In combination of exploration status, it is concluded that the Jurassic and Cretaceous anticline with salt cores in the Comalcalco Sub-basin are the most favorable prospecting target and the Salt core anticline, tensional salt draft fault block in the Oxfordian and Kimmeridgian Formations in the North of Reforma belt are the second. The study result is helpful for optimization of the exploration targets in post salt stratum of Mexico Sureste Basin.

Key words: salt related trap; trap type; distribution discipline ; Sureste Basin; Mexico