

中卢卡尼亚盆地中新世 碳酸盐岩建隆发育主控因素及其油气意义

马良涛¹, 王春修², 郑求根³, 雷宝华⁴

(1. 中国石油勘探开发研究院, 北京 100083; 2. 中海油研究总院 海外评价中心, 北京 100027;
3. 中国地质大学(北京) 海洋学院, 北京 100083; 4. 青岛海洋地质所, 山东 青岛 266071)

摘要:中—晚中新世, 中卢卡尼亚盆地以发育碳酸盐岩建隆为特征, 碳酸盐岩建隆的生长主要受控于构造活动强度、古地貌、海平面变化及陆源碎屑物质的输入: 1) 中—晚中新世, 盆地稳定的构造背景有利于碳酸盐岩建隆的生长; 2) 渐新世—早中新世, 伸展、走滑作用形成的北东—南西向地堑、地垒构造控制了碳酸盐岩建隆的类型和分布; 3) 海平面周期性升降影响碳酸盐岩建隆生长的旋回性; 4) 中中新世晚期、晚中新世和上新世, 由盆地南缘、东南方向输入的陆源碎屑物质, 抑制了碳酸盐岩建隆的生长, 并使其储集物性出现平面上的差异。最后, 分析了碳酸盐岩建隆的油气储盖组合特征及其内部油气聚集影响因素。

关键词:碳酸盐岩建隆; 主控因素; 油气意义; 中卢卡尼亚盆地

中图分类号: TE122.2⁺1

文献标识码: A

Controlling factors and hydrocarbon significances of Miocene carbonate buildups in Central Luconia Basin

Ma Liangtao¹, Wang Chunxiu², Zheng Qiugen³, Lei Baohua⁴

(1. Research Institute of Petroleum Exploration & Development, PetroChina, Beijing 100083, China;

2. Research Center, CNOOC, Beijing 100027, China; 3. College of Ocean Science, China University of

Geosciences, Beijing 100083, China; 4. Qingdao Institute of Marine Geology, Qingdao, Shandong 266071, China)

Abstract: During the Middle-Late Miocene, the Central Luconia Basin was characterized by the extensive development of carbonate buildups. Tectonic activity strength, palaeogeomorphology, sea level alternation and the influx of terrestrial material dominated the development of carbonate buildups. 1) The basin remained stable throughout the Middle-Late Miocene, thereby facilitating carbonate deposition. 2) From Oligocene to the Early Miocene, due to extensional and strike-slip tectonics, it was formed in this area the NE-SW trending graben and horst which dominated the type and distribution of carbonate buildups. 3) The cycle of carbonate buildup growth was related to the cycle change of sea level. 4) From the late stage of the Middle Miocene to Pliocene, terrestrial materials migrated from the south and southeast of the basin, suppressed the growth of carbonate buildups, resulting in the plane difference of reservoir physical property. Finally, the reservoir-cap combination features and the controlling factors for petroleum accumulation in carbonate buildups were analyzed.

Key words: carbonate buildup; controlling factor; hydrocarbon significance; Central Luconia Basin

Stanton 于 1967 年提出碳酸盐岩建隆 (Carbonate Buildup) 的概念^[1], 与碳酸盐岩台地所不同的是, 前者主要是从形态的角度来考虑, 为一个三维空间的碳酸盐集合体; 后者则一般表示浅水碳酸盐沉积物形成及堆积的海底地表, 可发育在被动大陆边缘、克拉通盆地、弧后盆地及主动大陆边缘的前陆盆地等构造环境^[2]。

中卢卡尼亚盆地 (Central Luconia Basin) 位于

南中国海域, 盆地总面积 $5.76 \times 10^4 \text{ km}^2$, 是东南亚地区碳酸盐岩最为发育的盆地之一。目前, 在地震上已经识别出 200 多个碳酸盐岩建隆, 其大小从几平方米到 200 km^2 不等, 并已对其中的 65 个进行了勘探和测试^[3-4]。目前, 已经对盆地内 40 多个碳酸盐岩建隆进行了钻探。其中, 有 20 多个被证明具商业性开采价值的天然气。其天然气储量大于 $1.13 \times 10^4 \text{ m}^3$, 可采储量超过 $8.5 \times 10^3 \text{ m}^3$, 约占马

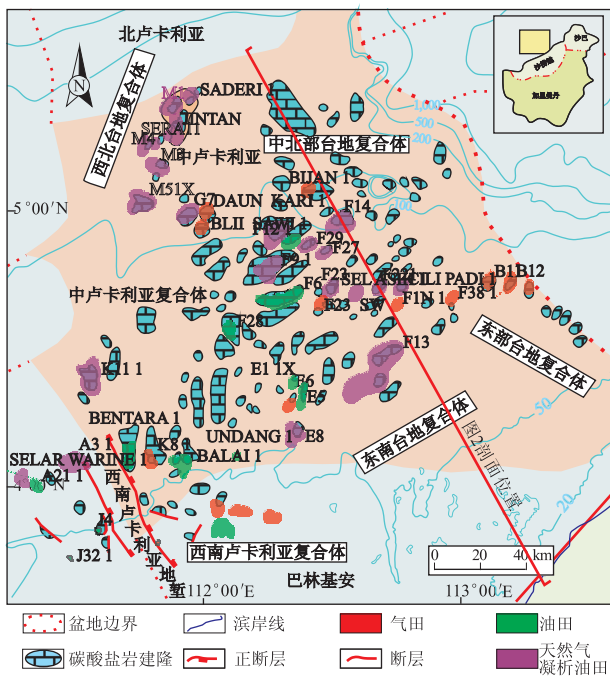


图1 中卢卡尼亚盆地位置及碳酸盐岩分布^[3]

Fig. 1 Location of Central Luconia Basin and distribution of carbonates

来西亚天然气资源的40%，具有很好的勘探开发前景^[3-5]。本文主要从构造、海平面变化、碎屑物质的输入等方面分析盆地内碳酸盐岩建隆发育的主要控制因素及其油气意义。

1 地质背景

中卢卡尼亚盆地为一宽阔、稳定的陆架地台，其东、西边界分别为西巴兰(West Baram hinge line)和西巴林基安走滑断层(West Balingian line)；北部和南部分别与北卢卡尼亚盆地(North Luconia Basin)和巴林基安盆地(Balingian Basin)相邻(图1)。盆地的形成演化经历了基底形成期(渐新世以前)、裂陷期(渐新世—早中新世)、后裂陷期(中中新世至今)3个阶段。盆地以上白垩统一上始新统拉让组为沉积基底，该组由布拉加(Belaga)和鲁巴(Lupar)2套地层构成。上覆的渐新世至今的沉积地层可分为Cycles I—VIII 8个岩性地层单元。盆地内的碳酸盐岩沉积开始于早中新世晚期(Cycle III沉积晚期)，中—晚中新世(Cycle IV—V沉积期)最为发育。晚中新世以后(Cycle V—VIII沉积期)，大量硅质碎屑物质的输入抑制了碳酸盐岩建隆的生长，盆地此期间以硅质碎屑沉积为主，只在局部深水处发育碳酸盐岩沉积^[6]。

2 主控因素

影响碳酸盐岩沉积的因素主要为经纬度、温

度/盐度、光照、盆地沉降速率、海平面变化、古地貌及碎屑物质的供应等^[7]。本文主要讨论构造运动、海平面升降变化及碎屑物质的输入对该盆地内碳酸盐岩建隆发育的控制作用。

2.1 构造运动

中中新世—晚中新世，中卢卡尼亚盆地内广泛发育碳酸盐沉积，就构造而言主要取决于2个因素：1)中中新世以前，盆地裂陷期内地堑—地垒构成的地形高地；2)中中新世—晚中新世盆地稳定的构造背景。

2.1.1 古地貌的控制作用

裂陷期(渐新世—早中新世)，受伸展和走滑作用的共同影响，盆地内形成了一系列北东—南西向的地堑、地垒。早中新世以后，中卢卡尼亚盆地在区域上处于构造沉静期，进而在早期地堑—地垒构成的古地形高地上及其周围发育碳酸盐岩建隆(图2)。根据其分布位置及形态，可将其分为以下2种类型^[8]：

(1)塔型碳酸盐岩建隆。如盆地内的E6、E11两个碳酸盐岩建隆。规模较小，为幅度较高的正地形，外形呈锥形或丘形，主要位于盆地内或区域地形高地边缘沉降幅度较大的地方，以陡峭倾斜的翼部为特征。其顶部在地震剖面上表现为强振幅，边界为弱振幅，不易识别。其翼部由于坡度较大及内部与碎屑沉积互层的异地碳酸盐岩角砾层的存在而变得复杂(图3a)。

(2)台地型碳酸盐岩建隆。如盆地内的F23、F6两个碳酸盐岩建隆。规模较前者大，为大型、狭长、顶平的碳酸盐岩建隆，主要位于盆地内由断层控制的地形高地上，以不对称倾斜的两翼为特征(迎风面较背风面陡)，其顶部在地震剖面上表现为强振幅连续反射，内部为弱振幅平行反射(图3b)。

2.1.2 稳定构造背景利于碳酸盐岩建隆生长

受卢卡尼亚块体逆时针的旋转影响，中中新世—晚中新世，盆地北部的北卢卡尼亚以伸展作用为主，发育北东—南西向正断层；盆地南部的巴林基安则处于挤压构造背景，以北西—南东向褶皱为特征(图4)。中卢卡尼亚盆地位于北部伸展区和南部挤压区之间，且盆地东、西两侧又被西巴兰和西巴林基安2条走滑断层所限，从而使得盆地受北部伸展作用和南部挤压作用的影响较小，盆地整体处于相对稳定的构造背景，有利于中—晚中新世碳酸盐岩建隆的生长^[9]。

2.2 海平面升降

海平面升降引起碳酸盐产生速率及碳酸盐沉

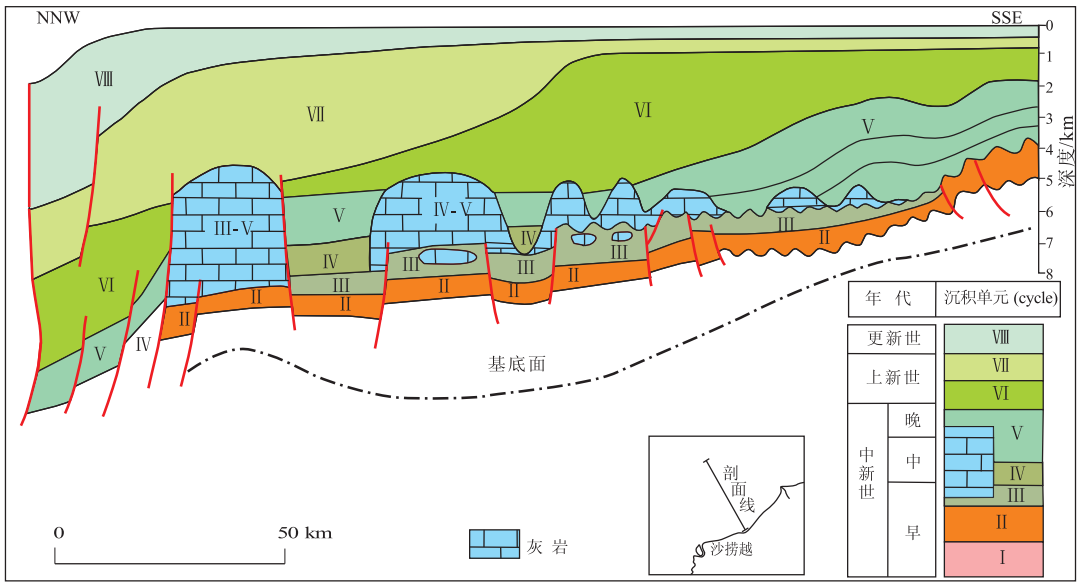
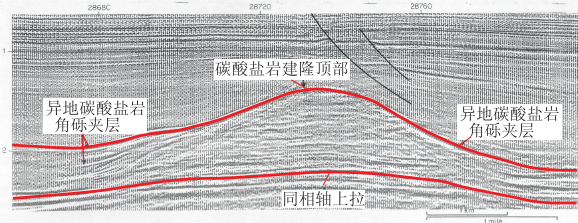


图2 中卢卡尼亚盆地 NNW-SSE 地质剖面

据文献[3,8]修改。

Fig. 2 NNW-SSE geologic cross-section through Central Luconia Basin

a. 塔型碳酸盐岩建隆



b. 台地型碳酸盐岩建隆

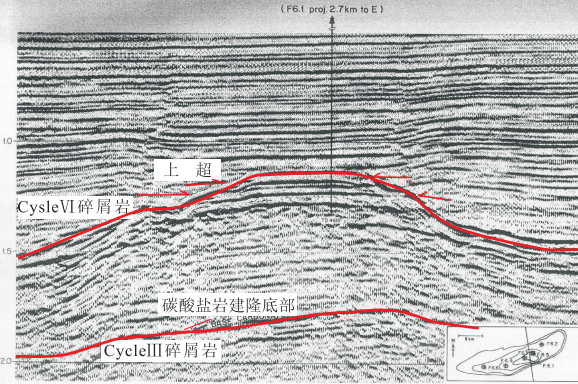


图3 中卢卡尼亚盆地内碳酸盐岩建隆类型^[8]

Fig. 3 Types of carbonate buildups in Central Luconia Basin

积可容纳空间等因素发生变化,进而影响盆地内碳酸盐岩建隆的生长。

2.2.1 海平面变化与碳酸盐岩建隆生长

与其他浅水碳酸盐岩的沉积一样,根据碳酸盐岩建隆的生长与海平面升降的变化可将盆地内碳酸盐岩建隆的生长划分为:建造期、拓殖期、内置期、停止期4个阶段(图5)^[10-12]。

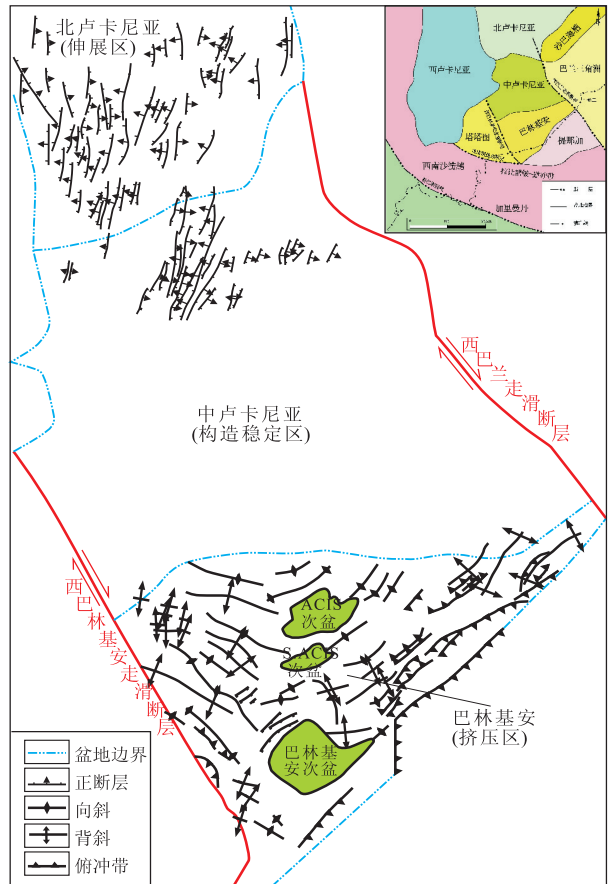


图4 中卢卡尼亚盆地中中新世—晚中新世构造背景

Fig. 4 Tectonic settings during Middle-Late Miocene in Central Luconia Basin

(1) 碳酸盐沉积速率与海平面上升速率相当。此时,只要产生碳酸盐的微生物的生长速率与海平

面上升速率保持一致,产生的礁碎屑就会被保存下来。海平面上升,早期发育的建隆由于海水的淹没而停止生长,而高部位则成为碳酸盐岩建隆发育的有利区域。随着海水的持续上升,碳酸盐岩建隆以垂向发育为特征,为典型的碳酸盐岩建隆建造期(图5a)。该期发育的建隆以较陡的有机礁翼为特征。

(2)碳酸盐沉积速率大于海平面上升速率。该时期,碳酸盐岩建隆以横向生长为特征,为碳酸盐岩建隆拓殖期。礁坪和礁前斜坡向海方向不断迁移。由于早期碳酸盐岩建隆的分割作用,形成多个封闭的水体环境而发育潟湖沉积,并且潟湖范围不断扩大(图5b)。此条件下,保存下来的碳酸盐

岩沉积体受水体的进一步改造,从而构成不同的沉积环境(如潮上坪、潮间坪)。

(3)碳酸盐岩建隆生长停止期。目前,关于碳酸盐岩建隆生长的停止主要有2种观点:①海平面快速上升,碳酸盐岩建隆因海水淹没而停止生长;②海平面快速下降,碳酸盐岩建隆因暴露出水面而停止生长。

当海平面快速上升时,碳酸盐产生速率小于海平面上升速率。早期,不断生长的礁坪伴随海平面的上升逐渐向碳酸盐岩建隆内的地形高地迁移(图5c1),为碳酸盐岩建隆内置期;后期,随着海平面的继续上升,碳酸盐岩沉积体逐渐被海水淹没,大量碎屑物质的输入抑制了碳酸盐岩建隆的生长,并在早期高地附近形成较浅的碳酸盐岩海岸(图5c2)。

而当海平面快速下降,碳酸盐岩建隆因暴露出水面而停止生长(图5d)。此时,礁坪不再发生迁移,珊瑚/藻群落也由于海平面的下降而停止生长或被限制在早期礁体边缘。受海平面下降的影响,礁体暴露到大气中而遭受侵蚀,在早期的礁坪上发育砂砾沉积。同时,潟湖也被潮上坪、潮间坪的沉积物所充填,而暴露于大气中的碳酸盐岩沉积体将发生淡水淋滤和各种成岩作用(如早期胶结、白云石化等)。

2.2.2 碳酸盐岩建隆生长的旋回性

海平面周期性变化与碳酸盐岩建隆生长的旋回性表现为:一个由海侵—海退层序构成的沉积旋回,记录了碳酸盐岩建隆生长的建造期、拓殖期、内置期和生长停止期4个阶段。建造期主要出现在相对海平面上升速度中等时期;内置期发生在相对海平面上升速度最大时期;而拓殖期则与相对海平面缓慢上升或缓慢下降期相对应;当相对海平面快速下降时,碳酸盐岩建隆因暴露到大气中而停止生长。

以盆地内的F23碳酸盐岩建隆为例。以GR曲线识别出的侵蚀不整合面为层序边界^[13],可将F23碳酸盐岩建隆的生长发育划分为2个完整的沉积旋回,每个沉积旋回包含一个海侵—海退旋回,一个海侵—海退旋回包括碳酸盐岩建隆发育的4个阶段(图6)。

2.3 碎屑物质的输入

大量碎屑物质的输入使水体变混浊,水体透光性变差,不利于生物生长,产生的碳酸盐减少,进而影响碳酸盐岩建隆的生长^[14-17]。中中新世晚期,来自抬升的拉让褶皱—逆冲带的硅质碎屑物质进入盆地,并将盆地分为2个性质不同区域:南部区

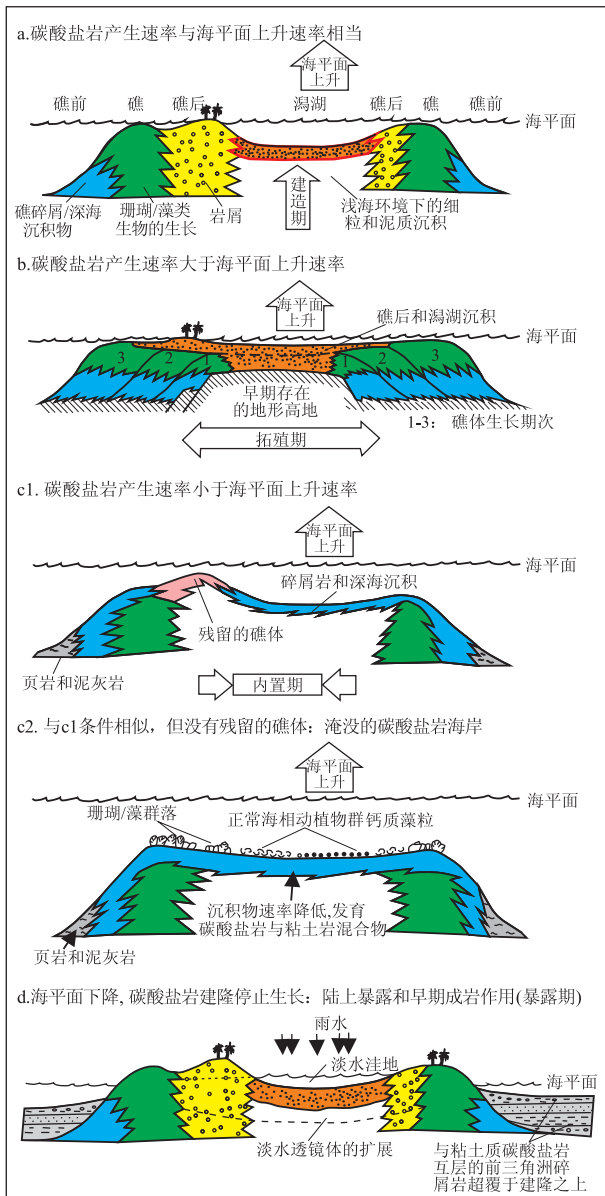


图5 海平面变化与碳酸盐岩建隆生长关系
据文献[10-12]修改。

Fig.5 Relationship between sea level change and carbonate buildup growth

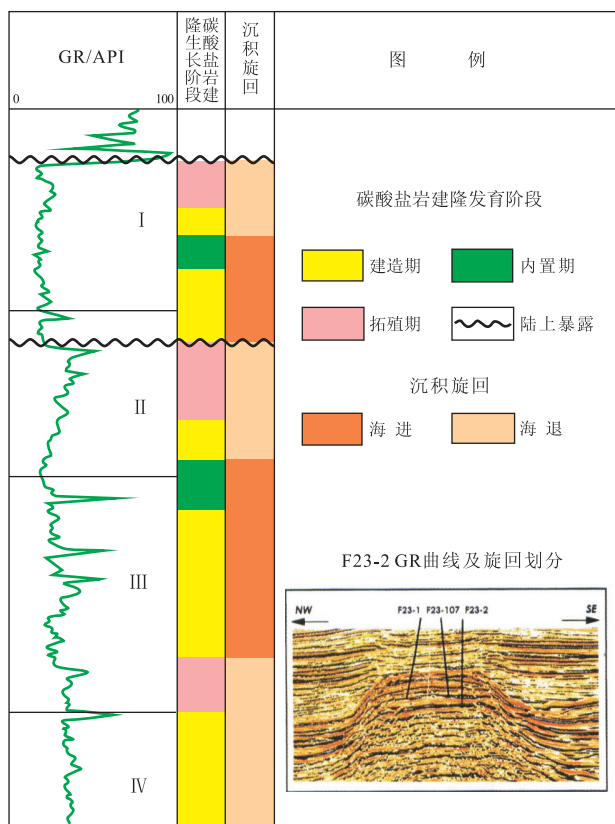


图6 中卢卡尼亚盆地内 F23 碳酸盐岩建隆生长旋回与海平面变化关系

据文献[13]修改。

Fig. 6 Relationship between sea level change and F23 carbonate buildup growth in Central Luconia Basin

域以低幅碳酸盐岩建隆与硅质碎屑沉积成指状接触为特征,而中部和北部区域则表现为高幅碳酸盐岩建隆。

南部碳酸盐岩沉积体经短期暴露后就被晚中新世—上新世上升海水所携带的碎屑物质所覆盖;而中部和北部碳酸盐岩建隆在被碎屑物质覆盖之前,遭受了长期淡水淋滤作用,进而改善了碳酸盐岩建隆的储集物性。由此,盆地内碳酸盐岩建隆顶部与上覆碎屑岩沉积底部之间的时间间隔及碳酸盐岩建隆的储集物性出现了平面上的差异,即中部和北部的时间间隔与渗透率较南部大。

3 油气意义

3.1 碳酸盐岩储集物性

研究表明,盆地碳酸盐岩建隆内发育的孔隙主要为溶蚀作用和白云石化作用形成的次生孔隙。前者是海平面下降,碳酸盐岩建隆长期暴露于大气中,因淡水淋滤作用而发生碳酸盐岩溶蚀引起的;后者为白云石交代方解石所致,其形成的岩石类型与碳酸盐岩的沉积古环境密切相关。在闭塞、礁环

境下,碳酸盐岩常转变为白垩质灰岩、印模白云岩、糖粒白云岩或印模—糖粒白云岩,这类岩石孔隙发育,可作为较好的储集层。而在开阔海的礁外和滨岸上形成的碳酸盐岩含有大量非碳酸盐岩杂质沉积,其内部孔隙常由于机械压实作用和压溶作用(形成缝合线)而遭到破坏,从而形成致密型碳酸盐岩。此外,白云石化和淡水淋滤作用主要发生在建隆的中部,向两侧则逐渐减弱,这就使得碳酸盐岩建隆中部的储集物性好于两侧。

3.2 储盖组合

岩心资料分析表明,中卢卡尼亚盆地内每个碳酸盐岩建隆至少经历了2次由海平面下降引起的区域性陆上暴露,长时期的淡水淋滤侵蚀作用改造了其储集物性,进而形成了良好的储集空间。另外,建造期发生的白云石化作用也改善储集层质量;而形成致密储层的机械压实作用和压溶作用主要发生在内置期、拓殖期。这样周期性发育的致密性储层就可作为孔隙性储层的盖层,从而在垂向上形成良好的储盖组合。此外,碳酸盐岩建隆的顶部和侧翼常常被海侵时的页岩所覆盖,进而在垂向上和侧向上与碳酸盐岩储集层形成较好的储盖组合。

3.3 油气聚集和分布

碳酸盐岩建隆所处的位置往往地形相对较高,与其他部位的圈闭相比而言,具有近水楼台先得月的优势。低部位凹陷中烃源岩生成的油气在源储压差的作用下,沿早期断裂向上运移并聚集成藏,使其成为油气勘探的重要目标。

此外,值得注意的是,碳酸盐岩建隆内油气的聚集主要取决于断层的发育及其内部压力2个因素。沿早期断层或输导层进入碳酸盐岩建隆内的油气,常沿着碳酸盐岩建隆顶部或翼部发育的后期断层发生再次运移;而如果碳酸盐岩建隆内部存在的超压突破上覆盖层的封盖压力,也将会使早期聚集的油气发生再次运移。发生再次运移的油气将进入晚期有利的圈闭中聚集成藏或运移至地表而散失。所以在碳酸盐岩建隆的油气勘探中应关注其顶部后期断裂的发育情况及其内部压力的大小。

4 结论

1) 中中新世—晚中新世,盆地稳定的构造背景为碳酸盐岩建隆的发育提供了有利条件;受早期地堑—地垒形成的古地貌的影响,碳酸盐岩建隆在地震剖面上表现为塔型和台地型2种类型,并且分布于盆地不同位置。

2) 海平面周期性变化控制了碳酸盐岩建隆生

长旋回,即一个海进—海退沉积旋回包含了碳酸盐岩建隆生长的建造期、内置期、拓殖期和生长停止期 4 个阶段。

3) 中中新世晚期,大量碎屑物质的输入抑制了碳酸盐岩建隆的生长,并且形成了盆地南部与中部、北部碳酸盐岩建隆储集物性的差异。

4) 内置期、拓殖期的致密性储层和海侵、海退时的碎屑岩沉积与暴露地表时形成的孔渗性储集层在垂向上和侧向上形成较好的储盖组合。

参考文献:

[1] Stanton R J. Factors controlling shape and internal facies distribution of organic carbonate buildups[J]. AAPG Bulletin, 1967, 51 (12): 2462-2467.

[2] Read J F. Carbonate platform facies models[J]. AAPG Bulletin, 1985, 69(1): 1-21.

[3] Mohammad Y B, Abolins P. The petroleum geology and resources of Malaysia [M]. Kuala Lumpur: Petroliaam Nasional Berhad (Petronas), 1999: 370-392.

[4] Wilson M E J. Cenozoic carbonates in Southeast Asia: implications for equatorial carbonate development[J]. Sedimentary Geology, 2002, 147(3/4): 295-428.

[5] Vahrenkamp V C, David F, Duijndam P, et al. Growth architecture, faulting, and karstification of a middle Miocene carbonate platform, Luconia Province, offshore Sarawak, Malaysia [A]// Seismic imaging of carbonate reservoirs and systems: AAPG Memoir 81. Tulsa: AAPG, 2004: 329-350.

[6] Zampetti V, Schlager W, Everts A J, et al. Architecture and growth history of a Miocene carbonate platform from 3D seismic reflection data: Luconia province, offshore Sarawak, Malaysia[J]. Mar Petrol

Geol, 2004, 21: 517-534.

[7] Brian J. Warm-water neritic carbonate [R]. Facies Models (4), Geological Association of Canada C/O Department of Earth Sciences Memorial University of Newfoundland St. John's, Newfoundland & Labrador, Canada A1B 3X5, 2010: 341-369.

[8] Epting M. Miocene carbonate buildups of central Luconia, offshore Sarawak [J]. Atlas of seismic stratigraphy AAPG Stud Geol Ser, 1989, 3(27): 168-173.

[9] Ismail C M Z. Tectonics evolution and sedimentation history of the Sarawak basin [J]. Geol Soc Malaysia Bulletin, 1997, 41: 41-52.

[10] Vahrenkamp V C. Sr-isotope stratigraphy of Miocene carbonates, Luconia Province, Sarawak, Malaysia; implications on platform growth and demise and regional reservoir behavior [C]. AAPG 1998 annual meeting. Tulsa: AAPG, 1998.

[11] Epting M. Sedimentology of Miocene carbonate buildups, central Luconia, offshore Sarawak [J]. Bulletin Geological Society of Malaysia, 1980, 12: 17-30.

[12] Jon N. The Gomantong Limestone of eastern Borneo: a sedimentological comparison with the near-contemporaneous Luconia Province [J]. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 2001, 175: 273-302.

[13] 刘兴礼, 张贵斌, 李多丽, 等. 塔中地区下奥陶统碳酸盐岩岩溶测井特征[J]. 新疆石油地质, 2009, 30(2): 194-196.

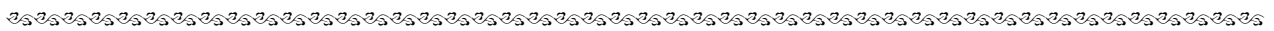
[14] 赵宗举, 周新源, 王招明, 等. 塔里木盆地奥陶系边缘相分布及储层主控因素[J]. 石油与天然气地质, 2007, 28(6): 738-744.

[15] 马玉波, 吴时国, 杜晓慧, 等. 西沙碳酸盐岩建隆发育模式及其主控因素[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2011, 31(4): 59-67.

[16] 顾家裕, 马锋, 季丽丹. 碳酸盐岩台地类型、特征及主控因素[J]. 古地理学报, 2009, 11(1): 21-27.

[17] 杨剑萍, 杨君, 邓爱居, 等. 河北饶阳凹陷中央隆起带古近系沙三段上部碳酸盐岩沉积模式研究[J]. 沉积学报, 2010, 28(4): 683-687.

(编辑 徐文明)



(上接第 538 页)

[10] 李国斌, 姜在兴, 王升兰, 等. 薄互层滩坝砂体的定量预测: 以东营凹陷古近系沙四上亚段(E_4^+)为例[J]. 中国地质, 2010, 37(6): 1659-1671.

[11] 胡望水, 陈顺顺, 阎振华, 等. 高邮凹陷花庄地区阜三段储层非均质性影响因素[J]. 特种油气藏, 2011, 18(1): 21-24.

[12] 国殿斌. 东濮凹陷三叠系裂缝性砂岩储层微观孔隙结构特征[J]. 断块油气田, 2011, 18(2): 191-194.

[13] 朱筱敏, 李亚辉, 张义娜, 等. 苏北盆地东南部泰州组砂岩储层孔隙类型及有利储层评价[J]. 地球科学与环境学报, 2011, 33(3): 246-252.

[14] 窦之林, 董春梅, 林承焰. 孤东油田七区中馆 4-馆 6 砂层组储层非均质性及其对剩余油分布的控制作用[J]. 石油大学学报: 自然科学版, 2002, 26(1): 8-10.

[15] 岳大力, 林承焰, 吴胜和, 等. 储层非均质定量表征方法在礁灰

岩油田开发中的应用[J]. 石油学报, 2004, 25(5): 75-79.

[16] 王化爱. 东营凹陷古近系岩性地层油气藏层序地层学特征[J]. 石油与天然气地质, 2010, 31(2): 158-164.

[17] 谭丽娟, 蒋有录, 苏成义, 等. 东营凹陷博兴地区烃源岩和油源特征[J]. 中国石油大学学报: 自然科学版, 2002, 26(5): 1-5.

[18] 谭丽娟, 郭松. 东营凹陷博兴油田沙四上亚段滩坝砂岩油气富集特征及成藏主控因素[J]. 中国石油大学学报: 自然科学版, 2011, 35(2): 25-31.

[19] 司学强, 张金亮, 杨子成. 博兴洼陷沙四上亚段滩坝砂岩成岩作用及其与储层质量的关系[J]. 中国石油大学学报: 自然科学版, 2008, 32(2): 6-11.

[20] 杨少春, 杨兆林, 胡红波. 嫡权非均质综合指数算法及其应用[J]. 中国石油大学学报: 自然科学版, 2004, 28(1): 18-21.

(编辑 徐文明)