

文章编号: 1009-3850(2013)01-0005-07

渤海海域沙一、二时期碳酸盐岩沉积特征 及主控因素分析

宋章强, 陈延芳, 刘志刚, 王雪莲

(中海石油(中国)有限公司天津分公司渤海油田勘探开发研究院, 天津 塘沽 300452)

摘要: 渤海海域沙一、二时期湖相碳酸盐岩分布广泛。根据其沉积特征可划分为台地型、斜坡型、水下隆起型和混合沉积型4大类及相应的亚相、微相, 其中位于湖平面之下浪基面之上的各类浅水湖泊碎屑滩(生物滩、陆屑滩)储层最为发育。该时期渤海海域为温暖潮湿的北亚热带气候、封闭的微咸水-半咸水的环境。古地貌特征为影响碳酸盐岩发育和富集分布规律的主控因素, 周边陆源碎屑供给能力则影响碳酸盐岩的发育程度。

关键词: 湖相碳酸盐岩; 沉积特征; 主控因素; 渤海海域; 沙一、二时期

中图分类号: P512.2

文献标识码: A

渤海海域在构造位置上位于渤海湾盆地东北部, 为叠覆在华北地台古生界地层之上的新生界裂谷盆地, 古近纪时期处于裂谷断陷阶段, 形成了以“四扇一沟”陆源碎屑充填为主的断陷湖盆沉积层序序列^[1]。然而, 在始新世末期, 即沙一、二沉积时期, 在构造活动微弱、湖盆水体持续稳定扩张的背景下, 局部区域形成了一套富含生物碎屑的湖相碳酸盐岩沉积体。勘探实践表明: 沙一、二段湖相生物碳酸盐岩为高孔高渗的优质储层, 在中深部碎屑岩系储层物性不佳的背景下, 是重要的油气勘探层系。目前, 在渤海海域已经发现了J9、J20、Q30、Q36、C2、B13等以沙一、二段碳酸盐岩为目的层系的油气藏或含油气构造(图1)。

对于渤海海域内的这套碳酸盐岩储层, 前人及笔者均曾做过一些研究, 取得了一些初步认识和勘探成效^[2-3]。然而, 钻前准确预测碳酸盐岩优质储层分布依然是处于探索阶段的难题。究其原因, 除深层地震资料品质差、难以达到预测薄层碳酸盐岩的要求外, 对碳酸盐岩优质储层的分布模式的认识也较为模糊, 现有的地质认识不能准确地指导勘探

实践。本文从渤海已钻井资料出发, 分类型全面总结海域内湖相碳酸盐岩沉积模式特征, 并在分析其形成机制的基础上, 探讨影响海域内该套储层发育分布的主控因素。

1 湖相碳酸盐岩沉积模式

湖相碳酸盐岩在各陆相盆地中均有发现, 但其研究认识程度远低于碎屑岩系, 对其沉积特征及模式总结多参考海相碳酸盐岩^[4-13]。渤海海域为典型的断陷盆地, 其构造演化及沉积充填特征有其自身的特点, 所钻遇的碳酸盐岩发育规模及沉积特征不尽相同, 非单一沉积模式可以概括。笔者根据多年研究, 将其沉积模式(特征)概括总结为以下4类:

1.1 碳酸盐岩台地型

多年来, 由于对湖相碳酸盐岩成因及模式研究的不够深入, 不少人把陆相盆地中钻遇的碳酸盐岩笼统地概括成为碳酸盐岩台地沉积, 笔者认为值得商榷。台地指的是明显较四周或一侧为高、顶面相对平坦、面积不是很大的高地。根据笔者理解, 湖相碳酸盐岩台地应该是个很大很平坦的滩, 常常被

收稿日期: 2011-12-19; 改回日期: 2012-01-21

作者简介: 宋章强(1981-), 男, 工程师, 主要从事沉积储层预测研究。E-mail: songzhangqiang@163.com

资助项目: 国家重大专项“大型油气田及煤层气开发”子课题“近海隐蔽油气藏勘探技术”, 项目编号: (2011ZX05023-002)

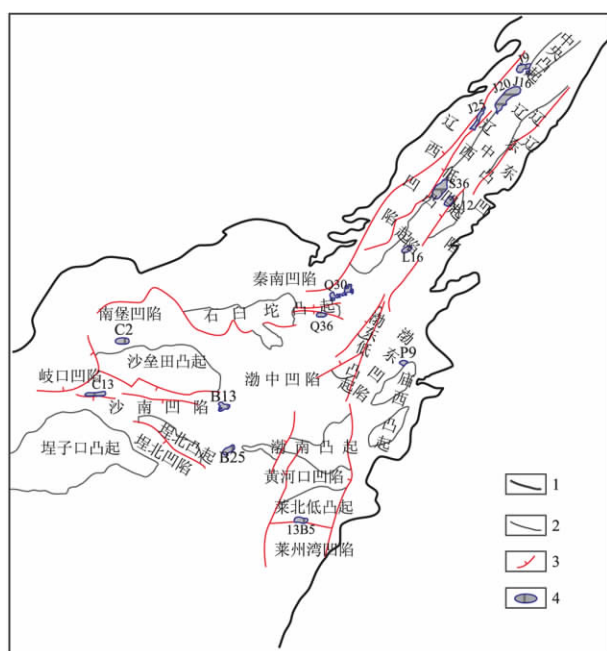


图1 渤海海域沙一二段主要碳酸盐岩构造分布图

1. 盆地边界; 2. 构造边界; 3. 主要断裂; 4. 钻遇碳酸盐岩

Fig. 1 Tectonic setting of the carbonate rocks from the first and second members of the Shahejie Formation in the Bohai sea area
1 = basin boundary; 2 = tectonic boundary; 3 = major fault; 4 = drilled carbonate rocks

很浅的湖水所淹没,四周被陡坡以及较深湖所包围,有低矮的岛屿与台地相连的陆地,为浅水碳酸盐沉积区,应具有相对较大的碳酸盐岩连续沉积厚度和面积。J20构造就是湖相碳酸盐岩台地沉积的典型代表。

J20构造位于辽西低凸起北倾末端,为辽西低凸起的最低部位,其东、西、北三面被较深湖所包

围,只有南端与辽西低凸起高部位相连,为一典型的南西-北东向狭长形台地地貌。在始新世大部分时间出露于地表,而在沙一、二时期随着湖泊水体的扩张逐渐没入水下,为浅水湖泊沉积,沉积了一套厚度大、分布广泛的湖相碳酸盐岩。根据其沉积特征可进一步划分为前缘斜坡、台地边缘滩、局限台地、台内浅滩和泥(云)坪等5个亚/微相(图2)。

台地边缘滩处于台地向斜坡过渡的台地边缘高地,水体浅、能量高,有利于生物碎屑滩的发育,为最有利的优质储层发育区。钻遇该相带的3井和6井发育了厚层的生物灰岩或白云岩,生物壳含量平均达20%以上,以腹足类、介壳类化石或碎片为主,储层物性好、厚度大、油气产量高。

台内浅滩同样处于湖平面之下的浅水高能区,受陆源碎屑影响小,有利于生物的繁殖发育形成浅水高能型生物滩沉积,为优质储层发育区。1井沙一、二段较纯的生物碎屑云岩厚约17.5m,累积厚度达80m以上。

局限台地和前缘斜坡受水体深度、能量的影响不利于底栖生物的生长,一般没有生物碎屑碳酸盐岩发育,为薄层泥晶灰岩、白云岩、油页岩与泥岩互层。而台地的最高部位,由于经常暴露水面,多为泥坪/云坪沉积,局部受陆源碎屑影响,可形成陆源碎屑滩沉积,具有一定的储集性能。

1.2 碳酸盐岩缓坡型

碳酸盐岩缓坡是另一个重要的碳酸盐岩沉积类型,渤海海域S36构造东部斜坡带就是一个典型的清水连陆碳酸盐岩斜坡,该斜坡处于辽西低凸起

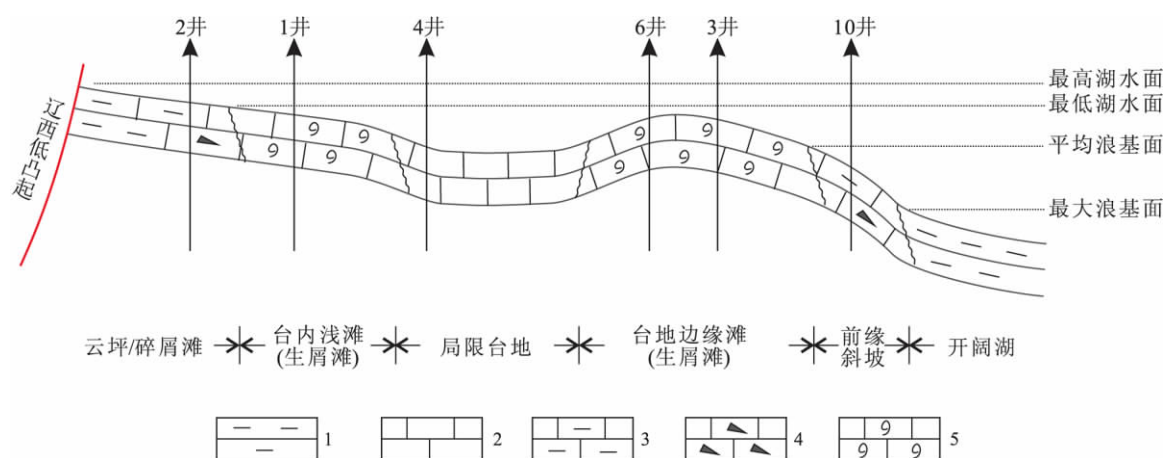


图2 碳酸盐岩台地沉积模式图-以J20为例

1. 泥岩; 2. 灰岩; 3. 泥灰岩; 4. 碎屑灰岩; 5. 生物灰岩

Fig. 2 Sedimentary model for the carbonate platform in the J20 structure

1 = mudstone; 2 = limestone; 3 = marl; 4 = bioclastic limestone; 5 = organic limestone

中段向辽中凹陷的倾末端,斜坡倾向为南东向,目前沿斜坡走向有 5 口井钻遇沙一、二段湖相碳酸盐岩沉积,岩性均为富含碎屑(陆屑或生物屑)的灰岩。

从整体构造特征看,辽西一号断层下降盘为辽西凹陷,水体相对较深,发育了一套厚层泥岩夹薄层油页岩、泥晶灰岩等正常湖相沉积。在辽西低凸起及斜坡高部位缺失沙一、二段沉积。而斜坡中、上部则沉积了厚层生屑碳酸盐岩;斜坡下部水体较深,为正常湖相沉积(图 3)。

纵向上,底部多发育含生屑的陆屑云岩,向上过渡为生屑云岩,中上部逐渐过渡为泥晶灰岩或白云岩薄层与油页岩及泥岩互层,反应了水体由浅至深、陆源影响逐渐减小的沉积演化过程,这与沙一、二时期渤海海域整体演化特征是一致的。

在平面上,由陆至湖可以将斜坡分为滨岸斜坡带、浅水斜坡带和较深水斜坡带 3 个亚相带(图 3)。滨岸斜坡带紧靠凸起区,水体浅,受湖水高低潮的影响,时而出露于水面,同时也在一定程度上受陆源碎屑供给的影响,水体环境不稳定,不利于生物的生存发育,钻遇该相带的 3 井以发育陆屑云岩为主;较深水斜坡带处于最大浪基面之下,水体深、能量弱,也不利于底栖生物的生长,沉积物较细,为泥晶白云岩、油页岩与泥岩互层沉积为主;而介于二者之间的浅水斜坡带,水体深度适中、且有一定的程度动荡,陆源碎屑也较少,适于底栖生物的生长,以发育厚层生物碎屑碳酸盐岩为主,2 井、7 井、15 井均钻遇浅水斜坡生物滩,储层物性好,油气产能高。

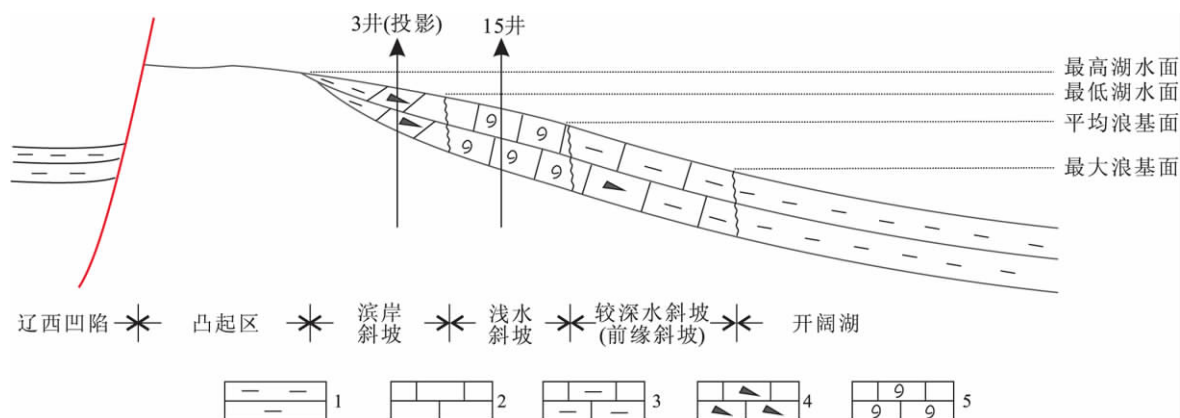


图 3 碳酸盐岩斜坡沉积模式图 - 以(S36)为例(图例见图 2)

Fig. 3 Sedimentary model for the carbonate foreslope in the S36 structure (symbols as in Fig. 2)

碎屑岩沉积与碳酸盐岩沉积相互消长,如果斜坡顶部能提供大量碎屑物质,则不利于生物大量繁殖发育,也就难以形成碳酸盐岩生物滩。而本区基岩为下古生界碳酸盐岩,经化学风化剥蚀后为湖相碳酸盐岩形成提供了良好的物质基础,整体环境利于生物的生长发育,因此在浅水斜坡处沉积了一套较纯的生物碎屑碳酸盐岩。

1.3 孤立水下隆起型

孤立水下隆起型指的是,在凹陷内部不与周边凸起相连的水下高地,即“凹中隆”。可以是早期出露水面遭受剥蚀,后期逐渐没入水下的古隆起,也可以是长期存在的继承性凹中隆。

(1) 继承性水下隆起型

Q30 构造位于辽西低凸起南倾末端,西面为秦南凹陷,东靠渤中凹陷,是在潜山背景上发育的继承性水下隆起,特殊的地貌特征决定了本区基本不受周边陆源碎屑的影响。在始新世晚期处于浅水

高能半咸水环境下,沉积了一套较为纯净的生物碳酸盐岩。

相带上,Q30 构造相对简单一些,由高至低依次发育碎屑滩、前缘斜坡、开阔湖等,一般少见浅水泥坪/云坪及重力流沉积(图 4)。各亚/微相带分布与地形有着明显依存关系,一般呈环带状分布,厚层粒屑滩分布在隆起高部位,薄层则分布在较低的斜坡部位。

隆起高部位的碎屑滩多为生物滩类型,以含螺及生物碎屑为主的生物灰岩为主,基本不含陆源碎屑,BZ6 井及 N1 井均揭示了存厚超过 10m 以上生物灰岩的生物灰岩,为高产的油气储层。前缘斜坡带水体稍深,以发育泥晶灰岩为主,含少量的生物或陆源碎屑,Q30-1 井仅钻遇薄层碳酸盐岩,储层物性较差。开阔湖则以正常的湖相泥岩沉积为主,储层不发育。

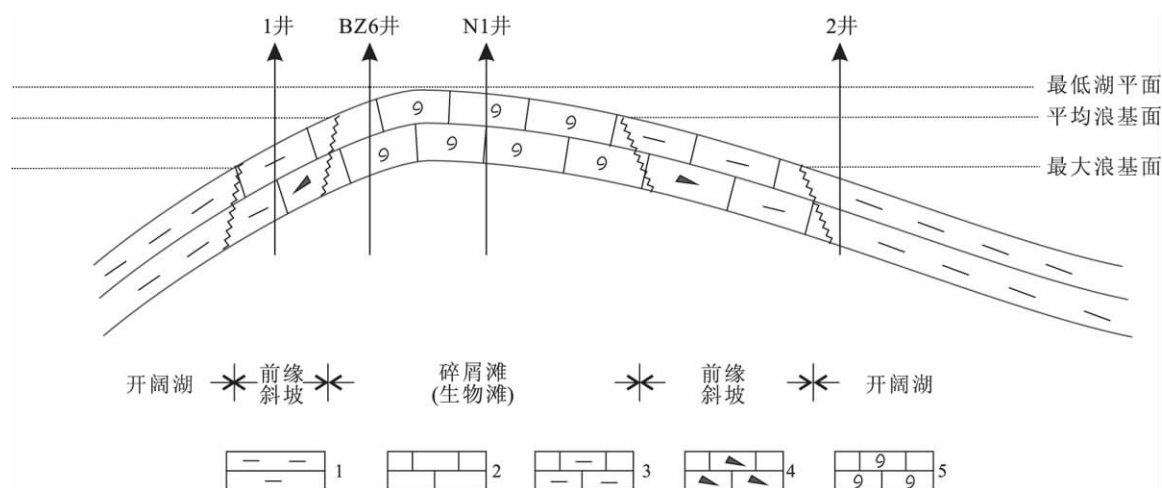


图4 水下古隆起型沉积模式图 - 以 Q30 为例(图例见图 2)

Fig. 4 Sedimentary model for the subaqueous uplift in the Q30 structure (symbols as in Fig. 2)

(2) 早期凸起型

C2 和 B13 构造区早期均为隆起区,长期遭受剥蚀,至始新世晚期才在全区水浸的大背景下没入水下成为水下高地,基本不受周边陆源影响。水体环境适宜,形成了生物碳酸盐岩沉积。尤其是 C2 构造区,基底为下古生界碳酸盐岩,先天背景条件优越,高部位单井揭示的优质生物灰岩储层均在 20m 以上。沉积特征及模式与上述基本一致。

值得一提的是, B13 构造区在沙一、二沉积时期并没有完全沉没于水下,隆起的最高部位在低湖水期仍可能出露水面。这种背景下,沉积特征与连陆碳酸盐岩缓坡沉积特征相似,厚层碎屑滩碳酸盐岩分布在浅水斜坡部位,在平面上呈环带状分布。古地貌最高点反而因为环境不稳定,不利于生物滩的发育,这一点与全部沉没于水下的隆起生物滩分布在高部位有一定差异。

1.4 局部隆起混积型

湖相碳酸盐岩与陆源碎屑混合沉积早在 20 世纪 50 年代就有人意识到。但由于长期以来陆源碎屑岩与碳酸盐岩被分隔开来自成系统进行研究,且传统认识上二者相互消长不能共生。因此混合沉积的研究相对薄弱,仅有少数学者做过相关研究工作^[14-16]。而 Q36 构造则是渤海海域内最具混积特征的典型实例,为近年来渤海重大发现之一。

Q36 构造区位于石臼坨凸起东段,为凸起带南倾末端断层下降盘向渤中凹陷倾末的斜坡区。在沙一、二时期,凸起区有一定的碎屑供给能力,已钻井表明在下降盘斜坡部位发育有面积不大的扇三角洲沉积。然而,凸起区面积较小,并不具备长期提供充足碎屑物质供给的能力。在碎屑供给不足

的间歇期,沙一、二时期的气候水体适宜,本区就成了一个适宜生物生长发育的碳酸盐岩缓坡,在浅缓坡处形成了厚层生物灰岩。受陆源碎屑间歇供给的影响,在垂向上形成生物碳酸盐岩与碎屑岩间互的混合沉积特征(图 5)。由于生物碎屑对储层物性的改善作用,具有一定生屑含量的砂岩储层物性也远高于同等条件下的纯砂岩。

同时,在渤海海域钻井还揭示了另外一种混合沉积类型,即平面上发育在两个三角洲朵体间局部古构造脊上的碳酸盐岩,目前海域内发现的该类沉积体规模一般较小,如 J16、P9 等。而在沾化凹陷,由于勘探程度高,则发现了具有一定规模的该类沉积体^[12]。

2 湖相碳酸盐岩形成机制及主控因素

湖相碳酸盐岩是古湖泊从淡水向咸水直到盐水湖泊演变过程中的必然产物。其分布受控于古构造背景、古气候、古水体环境和物源供给等多方面因素^[6-8]。据研究,湖相碳酸盐岩一般发育在湿热气候条件下的半咸水的浅水湖泊背景中、构造活动相对稳定的基本不受周边陆屑物源影响的水下古地貌高地。

在渤海海域,古近系湖相碳酸盐岩主要发育在始新世晚期,沙一、二沉积时期,其它时期仅有少量薄层发育,这与渤海构造演化特征是分不开的。湖相粒屑碳酸盐岩的形成,一般都与生物(特别是螺等)的大量繁殖有关,而生物的繁殖又与古气候、古水体、古构造等因素密切相关。沙一、二时期的构造格局、气候特征和水体环境等最为有适宜。该时

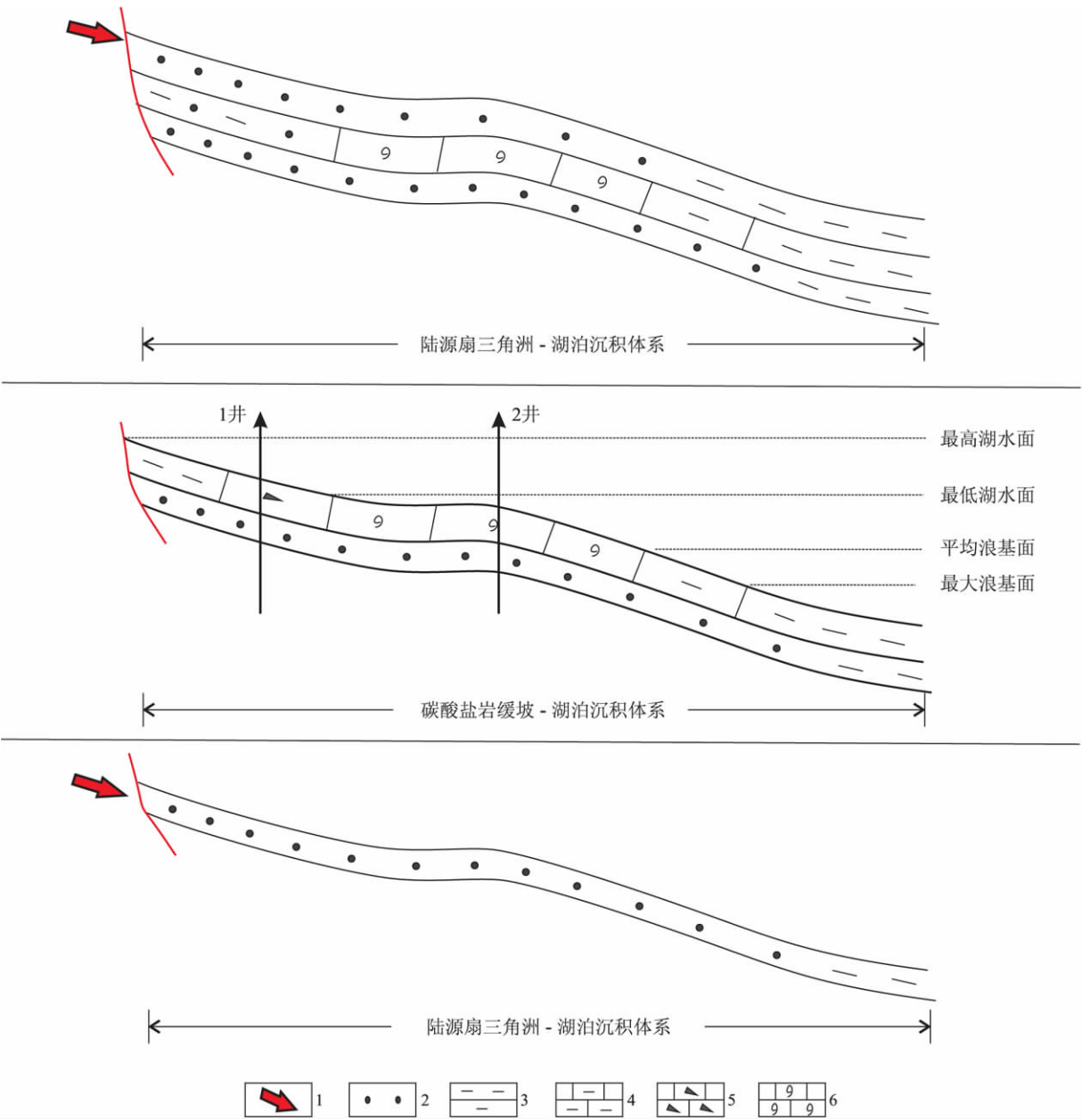


图 5 混积型沉积发育模式图 - 以 Q36 为例

1. 陆源供给; 2. 砂岩; 3. 泥岩; 4. 泥灰岩; 5. 碎屑灰岩; 6. 生物灰岩

Fig.5 Sedimentary model for the mixed siliciclastic-carbonate deposits in the Q36 structure

1 = terrigenous sediment supply; 2 = sandstone; 3 = mudstone; 4 = = marl; 5 = bioclastic limestone; 6 = organic limestone

期渤海海域的古气候环境和水体特征都基本相似。稳定分布的标志性生物分子(栎粉属- 糠粉属组合及多刺甲藻属- 菱球藻属组合) 表明该时期为温暖潮湿的北亚热带气候、封闭的微咸水- 半咸水的环境。同时, 该时期处于渤海构造演化的断拗初期阶段^[17], 构造活动缓和、湖盆沉降与沉积作用缓慢补偿、湖盆水体持续缓慢扩张, 湖水浅而开阔, 加之适宜的气候、水体条件, 有利于藻类、介壳类等生物大量生长和繁殖, 最有利于湖相生物碳酸盐岩的形成。

在此有利的大背景环境下, 古地貌特征和周边

物源的影响成了控制碳酸盐岩形成和富集分布的主控因素:

(1) 古地貌在湖相碳酸盐岩的发育中起主导作用。目前渤海海域钻遇的厚层碳酸盐岩无不发育在台地、斜坡或水下古隆起的浅水高能带, 这些地带水体浅、阳光充足、能量偏高、营养丰富、生物繁茂, 有利于生物碳酸盐岩的发育。而最低湖平面上时而露出水面环境不稳定, 多发育薄层的泥/云坪、陆屑碳酸盐岩。平均浪基面之下水体稍深也不利于生物生长, 多发育碳酸盐岩薄层。

(2) 陆源碎屑供给程度影响的湖相碳酸盐岩发育。湖相碳酸盐岩和碎屑岩在空间上呈消长关系分布。湖盆边缘各大水系入湖处,陆源碎屑供给充分,各类扇体或三角洲发育,不利于生物的生长发育,同时抑制了碳酸盐岩的形成。厚层碳酸盐岩一般发育在基本不受周边陆源碎屑供给影响的盆内浅水高地。碎屑供给能力不足的盆内(低)凸起周边斜坡带往往能发育混合沉积,前已所述的 Q36 构造就是典型实例之一。

3 结论

(1) 渤海海域沙一、二时期发育的湖相碳酸盐岩根据其自身特点可以划分为台地型、斜坡型、水系隆起型和混和沉积型 4 种沉积模式。沉积模式不同,优质储层富集部位有所差异。

(2) 鉴于海域内沙一、二时期古水体、古气候及构造演化的基本一致性,古地貌特征和物源供给条件为影响该时期碳酸盐岩发育的主控因素。湖平面之下浪基面之上的浅水湖泊高能带最有利于生物碳酸盐岩发育,为优质储层带。

参考文献:

- [1] 赵国连,赵澄林,叶连俊.渤海湾盆地“四扇一沟”沉积体系及其油气意义[J].地质力学学报,2005,11(3):245-258.
- [2] 宋章强,赖维成,牛成民,等.渤海海域湖相碳酸盐岩地震—地质综合预测方法及应用[J].石油与天然气地质,2009,30(4):444-449.
- [3] 邓运华.试论辽东湾坳陷沙河街组碳酸盐岩形成环境及其特征[J].石油勘探与开发,1991,6:32-38.
- [4] 张娣,侯中健,王亚辉,等.板桥—北大港地区沙河街组沙一段湖相碳酸盐岩沉积特征[J].岩性油气藏,2008,20(4):92-97.
- [5] 金振奎,邹元荣,张响响,等.黄骅坳陷古近系沙河街组湖泊碳酸盐沉积相[J].古地理学报,2002,4(3):11-17.
- [6] 孙钰,钟建华,袁向春,等.国内湖相碳酸盐岩研究的回顾与展望[J].特种油气藏,2008,15(5):1-6.
- [7] 夏青松,田景春,倪新锋.湖相碳酸盐岩研究现状及意义[J].沉积与特提斯地质,2003,23(1):105-112.
- [8] 赵澄林,朱筱敏.沉积岩石学(第三版)[M].北京:石油工业出版社,2001.346-354.
- [9] 管守锐,白光勇.山东平邑盆地第三系官庄组中段碳酸盐岩沉积特征及沉积环境[J].华东石油学院学报,1985,9(3):9-20.
- [10] 周自立,杜韞华.湖相碳酸盐岩与油气分布关系——以山东胜利油田下第三系为例[J].石油实验地质,1986,8(2):124-132.
- [11] 杜韞华.渤海湾地区下第三系湖相碳酸盐岩及沉积模式[J].石油与天然气地质,1990,11(4):34-41.
- [12] 王冠民,鹿洪友,姜在兴.惠民凹陷商河地区沙一段碳酸盐岩沉积特征[J].石油大学学报(自然科学版),2002,26(4):1-4.
- [13] 彭传圣.湖相碳酸盐岩有利储集层分布——以渤海湾盆地沾化凹陷沙四上亚段为例[J].石油勘探与开发,2011,38(4):435-443.
- [14] 董艳蕾,朱筱敏,滑双君,等.黄骅坳陷沙河街组一段下亚段混合沉积成因类型及演化模式[J].石油与天然气地质,2011,32(1):98-106.
- [15] 冯进来,胡凯,曹剑,等.陆源碎屑与碳酸盐混积岩及其油气地质意义[J].高校地质学报,2011,17(2):297-307.
- [16] MOUNT J F. Mixing of siliciclastics and carbonate sediments: apropose first-order textural and compositional classification[J]. Sedimentology, 1985, 14: 28-31.
- [17] 汤良杰,万桂梅,周心怀,等.渤海盆地新生代构造演化特征[J].高校地质学报,2008,14(2):192-198.

Sedimentary characteristics and controls of the carbonate rocks during the deposition of the first and second members of the Shahejie Formation in the Bohai sea area

SONG Zhang-qiang , CHEN Yan-fang , LIU Zhi-gang , WANG Xue-lian
(*Tianjin Branch , CNOOC , Tianjin 300452 , China*)

Abstract: The lacustrine carbonate rocks occurred on a wide range of scales in the Bohai sea area during the deposition of the first and second members of the Shahejie Formation , and may be grouped into four sedimentary facies types , including the carbonate platform , carbonate ramp , subaqueous uplift and mixed siliciclastic-carbonate facies types. The shallow lacustrine organic bank and terrigenous clastic beach reservoirs are best developed in the horizons between the lake level and wave base. During the deposition of the first and second members of the Shahejie Formation , the Bohai sea area was then in the warm humid subtropical climates and enclosed saline and brackish environments. The palaeogeomorphological features and terrigenous supply capacity are believed to be the main controlling factors for the development and distribution of the carbonate rocks in the Bohai sea area.

Key words: lacustrine carbonate rock; sedimentary characteristics; controlling factor; Bohai sea area; deposition of the first and second members of the Shahejie Formation