

文章编号:1672-9854(2008)-01-0001-08

## 障壁岛及其后缘碳酸盐岩储层的成因模式与预测

郭庆新,周进高,寿建峰

(中国石油杭州地质研究院)



郭庆新

**摘 要** 塔里木盆地、鄂尔多斯盆地和四川盆地主要碳酸盐岩储层的发育均与障壁岛或其前缘等沉积环境有关,并受早期大气淡水淋滤溶蚀作用、白云石化作用、古岩溶作用以及埋藏溶蚀作用等成岩因素的控制。认为三大盆地碳酸盐岩储层可划分为大气淡水淋溶型礁滩灰岩储层、古岩溶型礁滩灰岩储层、白云石化型礁滩白云岩储层和古岩溶型含膏白云岩储层等四种类型。提出了与障壁有关的储层综合成因与预测模式,其中构成障壁的台地边缘礁滩带是大气淋溶型礁滩灰岩储层、古岩溶型礁滩灰岩储层和白云石化型礁滩白云岩储层的有利发育区,而障壁岛后缘的蒸发盆地边缘坪区域是古岩溶型含膏白云岩储层有利发育区。

**关键词** 障壁岛;碳酸盐岩储集层;储集层类型;储集层成因;储集层模式;储集层预测

**中图分类号**:TE112.2 **文献标识码**:A

**郭庆新** 1962年生,高级工程师。1984年毕业于江汉石油学院石油地质专业。长期从事石油地质综合研究和科研管理工作。通讯地址:310023 浙江省杭州市西溪路920号;电话:(0571)85224958

碳酸盐岩储层的成因和预测一直是油气勘探和研究的热点。近20年来,随着我国海相碳酸盐岩油气勘探取得重大进展,先后发现了靖边气田(1989年)<sup>[1]</sup>、塔河油田(1990年)<sup>[2]</sup>、塔中油田(1996年)<sup>[3]</sup>、和田河气田(1997年)<sup>[4]</sup>、哈得逊油田(1997年)<sup>[5]</sup>、罗家寨气田(2000年)<sup>[6]</sup>、普光气田(2003年)<sup>[7]</sup>和龙岗气田(2006年)等一批大型油气田,勘探的突破使我们对海相碳酸盐岩储层的成因及地质预测有了更深层次的理解,也带来了认识上的飞跃。作者通过对塔里木、鄂尔多斯和四川盆地大型油气田储层的研究,发现上述三大盆地主要碳酸盐岩储层的沉积均与障壁岛或其前缘环境有关,并受早期大气淡水淋滤溶蚀作用、白云石化作用、古岩溶作用以及埋藏溶蚀作用等成岩因素的控制。

本文从三大盆地碳酸盐岩储层基本特征入手,总结存在的主要储层类型,深入分析各储层类型的形成条件,最后提出了与障壁有关的储层综合成因与预测模式。

为了便于下文讨论,有必要对“障壁岛及其前缘”作简要解释,这里所指的“障壁”包含两层意思,其一是指由构造作用形成的构造障壁,包括暴露海面之上的障壁岛和伏于水下的障壁岛,此时的障壁岛前缘是指大陆到障壁之间的海域;其二是指由沉积作用形成的障壁,如台地边缘的礁滩带、台内滩带等,相应地,障壁前缘指的是大陆至台缘礁滩或台内滩带之间的海域。由于气候和障壁程度的不同,障壁及障壁前缘的沉积环境截然不同,在温暖潮湿气候条件及水下(半)障壁的情况下,障壁前缘海水含盐度是正常或略偏淡的;而在干旱炎热的强蒸发气候条件及半障壁或完全障壁(障壁岛暴露水面)条件下,障壁前缘海水的含盐度明显变高,可以有石膏和岩盐的析出,并造成大范围的白云石化作用。塔里木盆地上奥陶统良里塔格组属于温暖潮湿气候条件下的礁滩型障壁,鄂尔多斯盆地中奥陶统马家沟组属于蒸发气候条件下的构造加沉积型障壁,而四川盆地下三叠统飞仙关组则属于蒸

收稿日期:2007-12-03

发气候条件下的礁滩型障壁。

## 1 储层特征

储层的分布与沉积和成岩环境密切相关,分析储层的宏观展布,弄清储层岩石学特点和孔隙演化特征有助于划分储层类型和进一步分析储层的成因,下面对塔里木盆地、鄂尔多斯盆地和四川盆地大油气田主要储层的基本特征作简要分析。

### 1.1 储层宏观分布特征

研究表明,三大盆地主要储层的分布有两个共性,即平面上分布在障壁岛和障壁岛后缘的蒸发盆地边缘坪,纵向上分布在间断面(包括间歇性暴露面和古风化壳面)之下。图1、图2和图3是三个储层宏观展布的实例。如图1所示,塔里木盆地塔中凝析气田上奥陶统良里塔格组礁滩灰岩储层平面上分布于中—高能的平台滩相带,剖面上位于良里塔格期同生沉积间断面下方<sup>[8-12]</sup>;图2表明,鄂尔多斯盆地中奥陶统马家沟组含膏模孔白云岩储层在平面上分布于障壁后缘蒸发盆地的盆缘坪相带,纵向上位于加里东期古风化面之下<sup>[13-14]</sup>;图3显示的是四川盆地下三叠统飞仙关组鲕滩白云岩储层位于台地边缘的内带,纵向上也紧靠同生期间歇暴露面下方<sup>[15-19]</sup>。

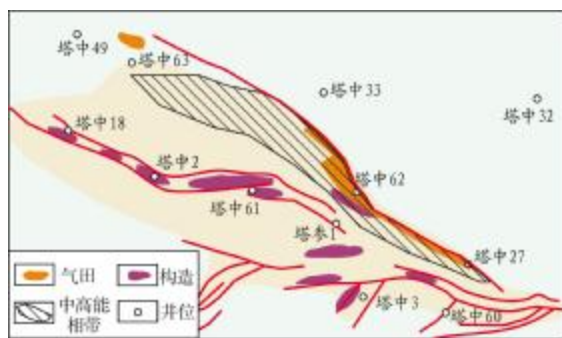


图1 塔里木盆地塔中气田上奥陶统良里塔格组储层分布

### 1.2 储层岩石学与孔隙特征

三大盆地主要储层都是孔隙型储层,但每个盆地的储层岩石类型和孔隙类型均不相同。塔里木盆地良里塔格组储层的主要岩性是颗粒灰岩,包括棘屑灰岩、藻屑棘屑灰岩及砂砾屑灰岩等,储集空间为粒间溶孔和粒内溶孔<sup>[20-22]</sup>(图4);鄂尔多斯盆地

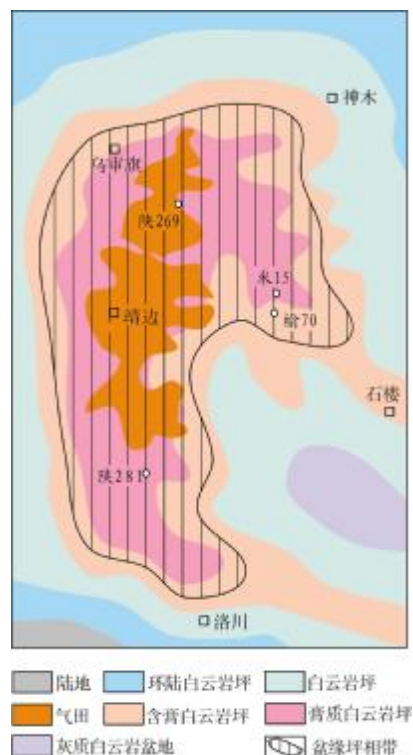


图2 鄂尔多斯盆地靖边气田中奥陶统马家沟组储层分布

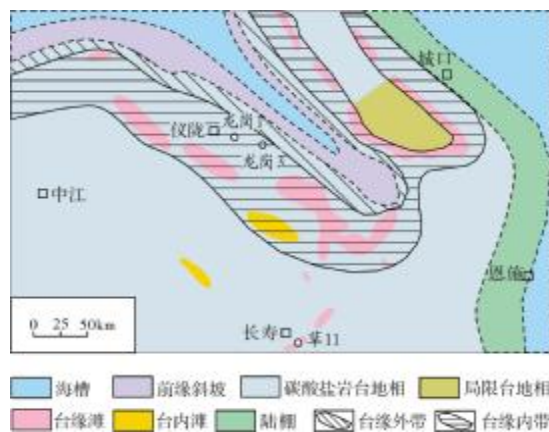


图3 四川盆地罗家寨气田下三叠统飞仙关组储层分布

马家沟组储层的主要岩石类型为含硬石膏结核或细晶溶模孔的白云岩、粉晶—粗晶白云岩和颗粒白云岩等,主要孔隙为膏模孔、粒间溶孔、晶间孔及晶间溶孔<sup>[23-25]</sup>(图5);四川盆地飞仙关组储层主要岩性为鲕粒白云岩、砂屑白云岩、鲕粒白云质灰岩和粉晶白云岩等,孔隙以粒间溶孔、粒内溶孔、晶间孔和晶间溶孔为主<sup>[26-28]</sup>(图6)。



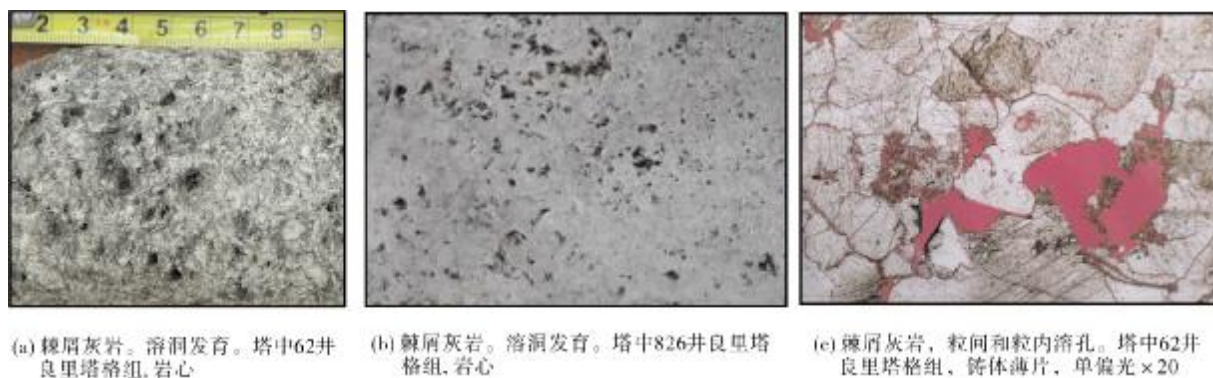


图4 塔里木盆地上奥陶统良里塔格组储集岩特征

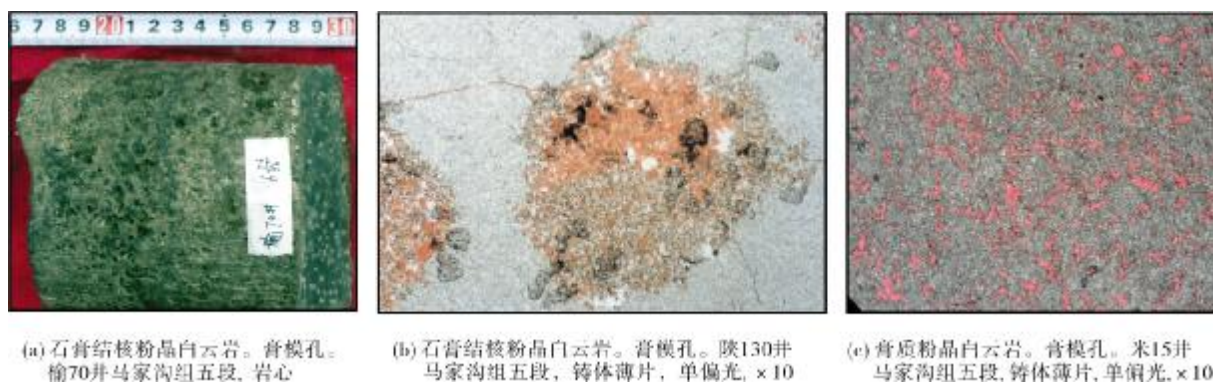


图5 鄂尔多斯盆地中奥陶统马家沟组储集岩特征

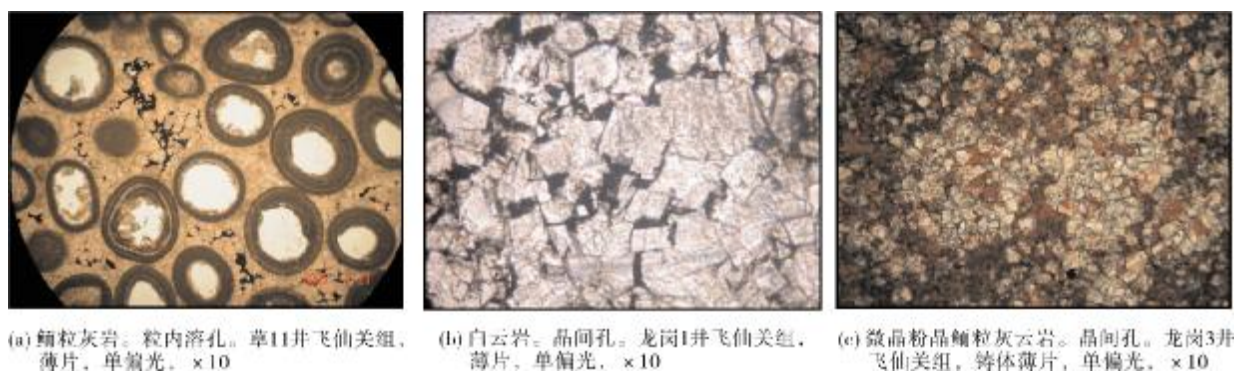


图6 四川盆地下三叠统飞仙关组储集岩特征

## 2 储层类型

储层类型的划分往往因人而异。本文在进行储层类型的划分时主要考虑以下四个方面的因素：即沉积环境因素、成岩改造因素、岩石学方面的因素和储集空间类型因素。前两者为成因型因素,而后两者则属于描述性因素,实际划分时更多地考虑了主控型成因因

素,将三大盆地主要碳酸盐岩储层划分为大气淡水淋溶型礁滩灰岩储层、古岩溶型礁滩灰岩储层、白云石化型礁滩白云岩储层和古岩溶型含膏白云岩储层四种。

### 2.1 大气淡水淋溶型礁滩灰岩储层

该类储层是指准同生期由于障壁岛间歇性暴露,遭受大气淡水淋滤溶蚀而形成,在埋藏期可能还

经历过其他成岩改造,但大气淡水溶蚀作用是储层得以形成的关键因素。该类储层一般发育于温暖潮湿气候条件下的碳酸盐岩台地环境,台地边缘和台内相对隆起带是主要分布区。由于沉积期及以后均处于正常含盐度介质环境,岩石基本未遭受白云石化,因此该类储层的岩性以石灰岩为主。在已发现的大型油气田中,塔中凝析气田属于这种类型<sup>[29-30]</sup>(图4)。

## 2.2 古岩溶型礁滩灰岩储层

该类储层发育于温暖潮湿气候条件下的碳酸盐岩台地环境,台地边缘礁滩和台内礁滩带是这类储层发育的基础,因构造抬升遭受长期风化淋滤溶蚀作用而形成,因此古岩溶作用是这类储层形成的决定性因素。由于未遭受白云石化,该类储层的岩性以灰岩为主。在已发现的大型油气田中,塔河油田、轮南油田、和田河气田的主要储层属于这种类型<sup>[29]</sup>。

## 2.3 白云石化型礁滩白云岩储层

该类储层是障壁岛因早期回流渗透白云石化作用和/或混合水白云石化而形成的。虽然在漫长的地质历史时期,该类储层还经历其他成岩改造,但早期白云石化作用起着决定性作用。此类储层的岩性为白云岩、灰质白云岩和白云质灰岩,白云石一般呈粉晶—细晶,晶形较好,孔隙以粒间和粒内溶孔、晶间孔和晶间溶孔为主。岩石形成于干旱炎热气候条件下碳酸盐岩台地环境,由于蒸发作用大于海水的补给,障壁岛后的蒸发盆地(潟湖)含盐度变大并产生密度分层,密度大的卤水下降到海底后向障壁岛方向回流,导致障壁岛向陆一侧白云石化<sup>[31-32]</sup>;与此同时,在障壁岛靠海一侧,由于处于回流卤水和正常海水的混合带,也容易引起白云石化作用<sup>[32]</sup>;此外,由于含盐度正常的外海海水“飞溅”到障壁岛上,在强烈蒸发作用下迅速浓缩,使得障壁岛表层也发生白云石化。四川盆地构成罗家寨气田、普光气田和龙岗气田主要产层的飞仙关组鲕滩白云岩储层即是这类储层的代表(图6)。此外,四川盆地中坝气田和磨溪气田的中三叠统雷口坡组滩相储层也属此类型。

## 2.4 古岩溶型含膏白云岩储层

该类储层由含硬石膏结核或细晶的白云岩经古岩溶作用改造而形成。储层形成的基础是白云岩中含硬石膏结核或细晶等易溶矿物,形成的关键是构

造抬升和长期暴露地表遭受风化淋滤溶蚀作用,尽管在再次埋藏过程中受埋藏溶蚀等作用的改造,但储层的形成主要受古岩溶的控制。该类储层发育在干旱炎热的强蒸发气候条件下的障壁盆地(潟湖)边缘坪环境,由于含盐度高,先期沉积的灰泥准同生期即已白云石化,同时有石膏的沉淀,形成结核或单晶。因此,该类储层的主要岩性是含硬石膏结核或细晶的细粉晶白云岩和粉晶白云岩,主要储集空间是膏模孔、晶间孔和晶间溶孔。鄂尔多斯盆地靖边气田马家沟组马五<sub>1</sub>、马五<sub>2</sub>和马五<sub>4</sub>产层都属此类型(图5)。

## 3 储层成因模式

### 3.1 大气淡水淋溶型礁滩灰岩储层的成因模式

图7概括了大气淡水淋溶型储层的形成条件和演化模式。该类储层发育需要以下三个基本条件,即温暖潮湿的气候和正常含盐度的海水条件、礁滩沉积相带、准同生期淡水淋溶作用。储层的形成经历以下四个阶段:礁滩灰岩沉积和少量海底胶结物充填阶段(图7a)→礁滩暴露遭受大气淡水淋滤溶蚀产生粒间和粒内溶孔阶段(图7b)→埋藏半充填阶段→埋藏扩溶阶段(图7c)。

### 3.2 古岩溶型礁滩灰岩储层的成因模式

该类储层主要受古岩溶作用的控制。岩石发育于温暖潮湿的碳酸盐岩台地,台地边缘礁滩和台内礁滩相带是相对有利的相带,因构造抬升而暴露于地表环境,经长期大气淡水的淋滤溶蚀作用而形成。储层的形成及演化大致经历以下四个阶段:礁滩灰岩沉积和海底胶结物充填阶段(图8a)→埋藏充填阶段(图8b)→构造抬升古岩溶作用产生溶孔溶缝阶段(图8c)→埋藏充填和埋藏扩溶阶段(图8d)。

### 3.3 白云石型礁滩白云岩储层的成因

该类储层发育于干旱炎热、有障壁的碳酸盐岩台地环境,礁滩相带是储层发育的基础,白云石化作用是储层形成的关键因素。储层的最终形成一般经历以下四个阶段:礁滩灰岩沉积和少量海底胶结物充填阶段(图9a)→礁滩受回流渗透白云石化、混



合水白云石作用产生晶间孔阶段（图 9b）→埋藏半充填阶段→埋藏扩溶阶段（图 9c）。

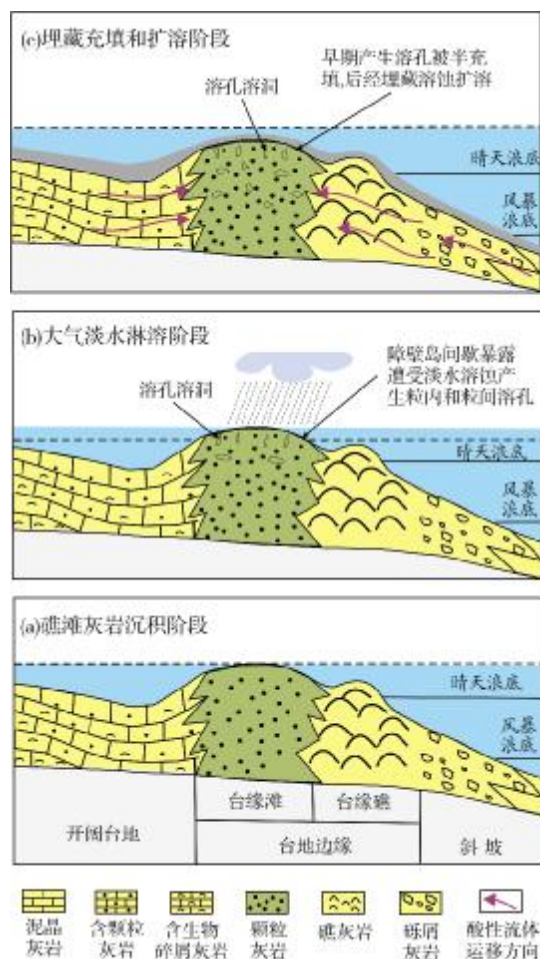


图 7 大气淡水淋溶型礁滩灰岩储层成因模式

### 3.4 古岩溶型含膏白云岩储层的成因

该类储层受沉积相带和古岩溶作用的控制。障壁蒸发盆地含膏结核或细晶白云岩边缘坪是有利沉积相带，因构造抬升而暴露于地表环境，长期遭受大气淡水的淋滤溶蚀作用，易溶的硬石膏结核或细晶被溶蚀后产生大量的膏模孔，同时产生大量的破裂缝和岩溶缝，构成孔缝型储集空间，形成十分有利的储集体。该储层经历以下一些演化阶段：灰泥沉积及准同生白云石化和硬石膏结核或细晶沉淀阶段（图 10a）→构造抬升古岩溶作用产生溶孔溶缝阶段（图 10b）→埋藏半充填阶段→埋藏扩溶阶段（图 10c）。

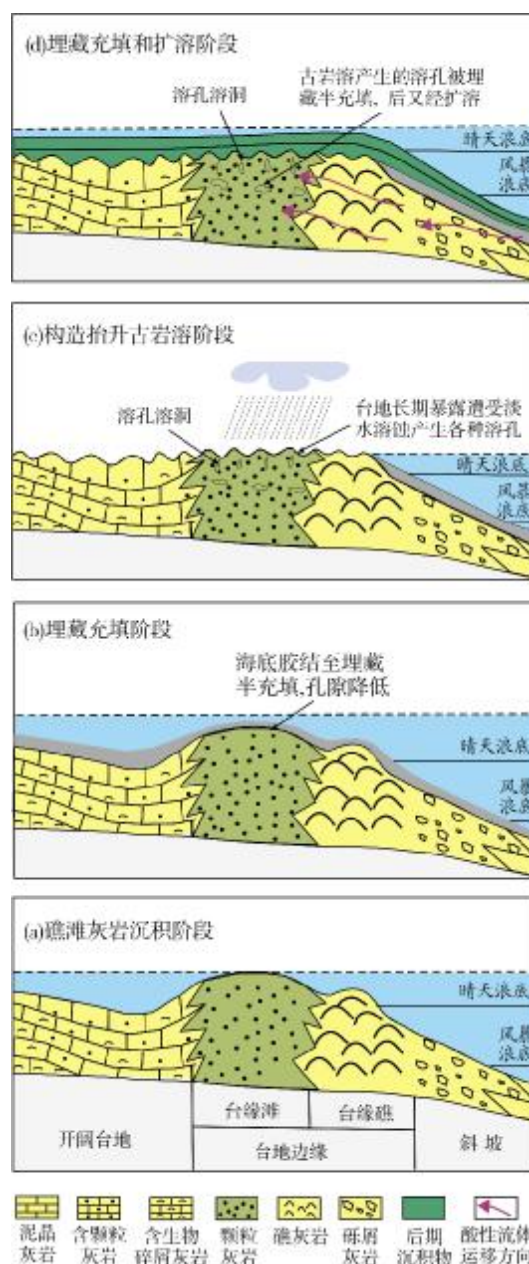


图 8 古岩溶型礁滩灰岩储层成因模式

## 4 储层成因与预测综合模式

通过上述分析讨论，笔者将与障壁岛及其后缘有关的各种储层类型的成因归纳如图 11。该模式给我们提供了在正常海水环境下和蒸发环境下寻找有利储层的途径。图 11a 显示的是正常海水环境下可能发育的两种储层类型及空间分布，即大气淡水淋溶型礁滩灰岩储层和古岩溶型礁滩灰岩储层，它

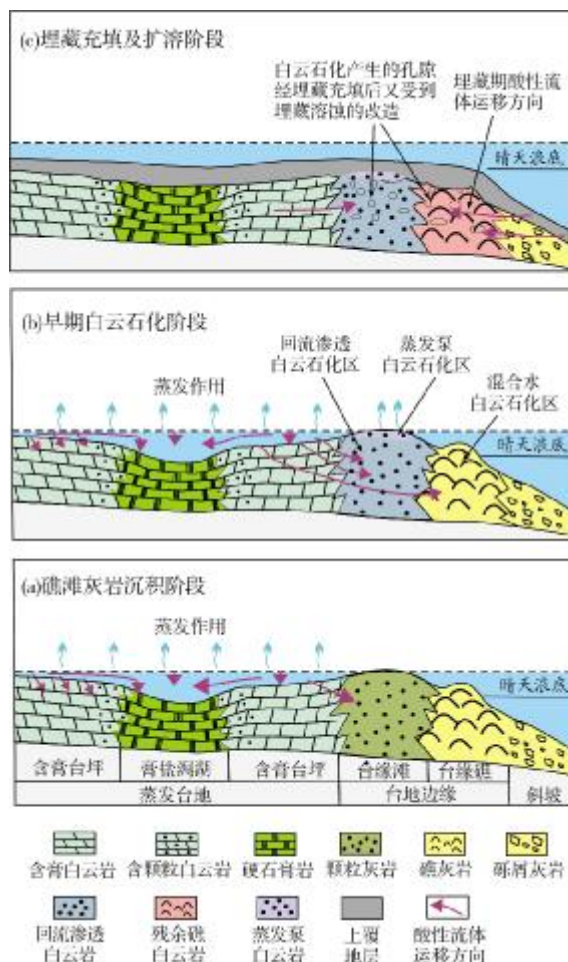


图9 白云石化型礁滩白云岩储层成因模式

们发育于构成障壁的台缘或台内礁滩带；图 11b 显示的是蒸发环境下通常发育的两种储层及其产出位置，白云石化型礁滩白云岩储层分布在构成障壁的台缘或台内礁滩带，而古岩溶型含膏白云岩储层则产于障壁岛后缘蒸发盆地边缘坪。

## 5 结 论

(1) 塔里木、鄂尔多斯和四川盆地大型油气田的有效储层在平面上分布在障壁岛和障壁岛后缘的蒸发盆地边缘坪，纵向上分布在间断面（包括间歇性暴露面和古风化壳面）之下，储层主要岩性为颗粒灰岩、残余颗粒白云岩、含膏模孔白云岩等，储集空间以粒间和粒内溶孔、膏模孔、晶间孔和晶间溶孔为主。

(2) 三大盆地主要碳酸盐岩储层可划分为大气淡水淋溶型礁滩灰岩储层、古岩溶型礁滩灰岩储层、

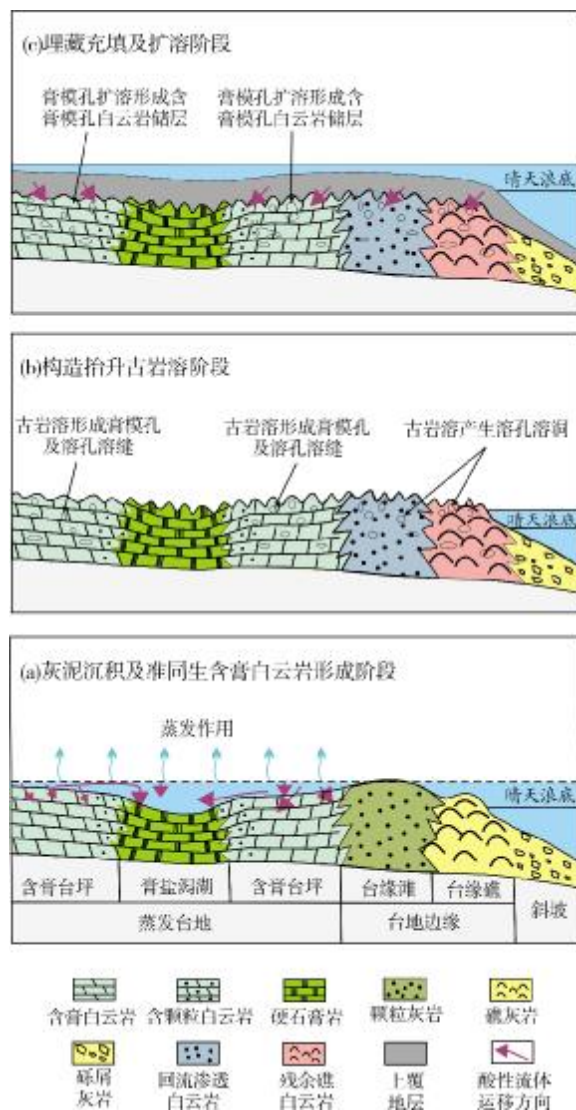


图10 古岩溶型含膏白云岩储层成因模式

白云石化型礁滩白云岩储层和古岩溶型含膏白云岩储层四种。

(3) 大气淡水淋溶型礁滩灰岩储层和古岩溶型礁滩灰岩储层发育于正常含盐度台地边缘或台内礁滩环境，分别受准同生期大气淡水溶蚀作用和古岩溶作用的改造而形成；白云石化型礁滩白云岩储层和古岩溶型含膏白云岩储层发育于蒸发台地环境，分别受早期白云石化和古岩溶作用的控制。

(4) 构成障壁的台地边缘礁滩带是大气淋溶型礁滩灰岩储层、古岩溶型礁滩灰岩储层和白云石化型礁滩白云岩储层的有利发育区，而古岩溶型含膏白云岩储层主要发育于障壁岛后缘的蒸发盆地边缘坪区域。



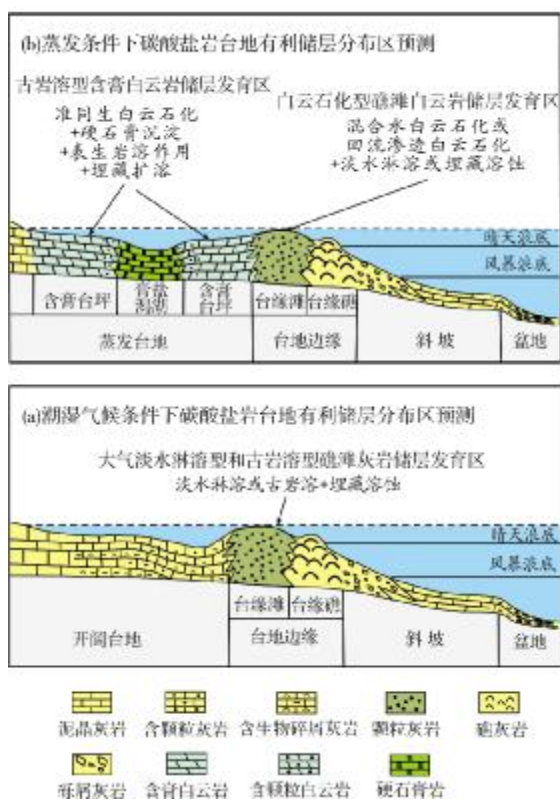


图 11 障壁岛及后缘碳酸盐岩储层预测模式

## 参考文献

- [1] 何自新,郑聪斌,王彩丽,等. 中国海相油气田勘探实例之二:鄂尔多斯盆地靖边气田的发现与勘探[J]. 海相油气地质,2005,10(2):37-44.
- [2] 康玉柱. 中国海相油气田勘探实例之四:塔里木盆地塔河油田的发现与勘探[J]. 海相油气地质,2005,10(4):31-38.
- [3] 周新源,王招明,杨海军,等. 中国海相油气田勘探实例之五:塔中奥陶系大型凝析气田的勘探和发现[J]. 海相油气地质,2006,11(1):45-51.
- [4] 周新源,杨海军,李勇,等. 中国海相油气田勘探实例之七:塔里木盆地和田河气田的勘探与发现[J]. 海相油气地质,2006,11(3):55-62.
- [5] 周新源,杨海军,蔡振忠,等. 中国海相油气田勘探实例之十:塔里木盆地海相砂岩油田的勘探与发现[J]. 海相油气地质,2007,12(4):51-60.
- [6] 冉隆辉,陈更生,徐仁芬. 中国海相油气田勘探实例之一:四川盆地罗家寨大气田的发现和探明[J]. 海相油气地质,2005,10(1):43-47.
- [7] 马永生. 中国海相油气田勘探实例之六:四川盆地普光大气田的发现与勘探[J]. 海相油气地质,2006,11(2):35-40.
- [8] 陈景山,王振宇,代宗仰,等. 塔中地区中上奥陶统台地镶边体系分析[J]. 古地理学报,1999,1(2):8-17.
- [9] 范国章,赵宗举,周进高,等. 塔中 I 号坡折带奥陶系凝析气田勘探中的古地貌学方法[J]. 海相油气地质,2006,(2):52-56.
- [10] 张传禄,韩宇春,罗平,等. 塔中地区中及上奥陶统沉积相[J]. 古地理学报,2001,3(1):35-44.
- [11] 魏国齐,贾承造,宋惠珍,等. 塔里木盆地塔中地区奥陶系构造—沉积模式与碳酸盐岩裂缝储层预测[J]. 沉积学报,2000,18(3):408-413.
- [12] 李宇平,李新生,周翼,等. 塔中地区中、上奥陶统沉积特征及沉积演化史[J]. 新疆石油地质,2000,21(3):204-207.
- [13] 马振芳,周树勋,于忠平,等. 鄂尔多斯盆地中东部奥陶系顶部古风化壳特征及其与天然气富集的关系[J]. 石油勘探与开发,1999,26(5):21-23.
- [14] 马永胜,李启明,关德师. 鄂尔多斯盆地中部气田奥陶系马五<sub>4</sub>碳酸盐岩微相特征与储层不均质性研究[J]. 沉积学报,1996,14(1):22-32.
- [15] 王一刚,张静,刘兴刚,等. 四川盆地东北部下三叠统飞仙关组碳酸盐蒸发台地沉积相[J]. 古地理学报,2005(3):357-371.
- [16] 曾萍,谭钦银,余谦,等. 四川盆地东北部飞仙关组暴露浅滩、非暴露浅滩与储层关系[J]. 沉积与特提斯地质,2003(4):41-45.
- [17] 彭平,文敏,孟琳. 川东北飞仙关组沉积模式对储层展布特征的影响[J]. 天然气勘探与开发,2004(2):5-10.
- [18] 苏立萍,罗平,罗忠,等. 川东北飞仙关组鲕粒滩储层特征研究[J]. 天然气工业,2005(6):14-17.
- [19] 王一刚,罗平,罗忠,等. 川东北飞仙关组鲕粒滩储层分布规律、勘探方法与远景预测[J]. 天然气工业,2002(增刊):14-19.
- [20] 王振宇,李宇平,陈景山,等. 塔中地区中—晚奥陶世碳酸盐陆棚边缘大气成岩透镜体的发育特征[J]. 地质科学,2002,37(增刊):152-160.
- [21] 杨海军,刘胜,李宇平,等. 塔中地区中—上奥陶统碳酸盐岩储集层特征分析. 海相油气地质,2000,5(1-2):73-83.
- [22] 周进高,邓红婴,范国章,等. 塔中 I 号断裂带奥陶系良里塔格组礁滩储集体模式与预测[J]. 海相油气地质,2008:(待刊).
- [23] 周进高,邓红婴,郑兴平. 鄂尔多斯盆地马家沟组储集层特征及其预测方法[J]. 石油勘探与开发,2003,30(6):72-74.
- [24] 彭军,田景春,侯中健,等. 陕甘宁盆地中部气田马五<sub>4</sub>段白云岩储层孔洞充填物与储集性[J]. 中国海上油气(地质),1999,13(2):97-102.
- [25] 黄月明,杨奕华,包红平,等. 鄂尔多斯盆地中部马家沟组天然气储层特征[J]. 石油与天然气地质,1992,13(4):390-397.
- [26] 陈更生,曾伟,杨雨,等. 川东北部飞仙关组白云石化成因探讨[J]. 天然气工业,2005(4):40-41.

- [27] 曾伟,黄先平,杨雨,等. 川东北地区飞仙关组储层中的埋藏溶蚀作用[J]. 天然气工业,2006,26(11):4-6.
- [28] 杨晓萍,赵文智,曹宏,等. 川东北三叠系飞仙关组鲕滩气藏有利储层的形成与分布[J]. 石油勘探与开发,2006(1):17-21.
- [29] 赵宗举,范国章,吴兴宁,等. 中国海相碳酸盐岩的储层类型、勘探领域及勘探战略[J]. 海相油气地质,2007,12(1):1-11.
- [30] 沈安江,王招明,杨海军,等. 塔里木盆地塔中地区奥陶系碳酸盐岩储层成因类型、特征及油气勘探潜力[J]. 海相油气地质,2006,11(4):1-12.
- [31] 孙健,董兆雄,郑琴. 白云岩成因的研究现状及相关发展趋势[J]. 海相油气地质,2005,10(3):25-30.
- [32] Adams J E, Rhode M L. Dolomitization by seepage refluxion [J]. AAPG Bul, 1960, (44): 1912-1920.
- [33] Badiozamani K. The dorag dolomitization model: Application to the middle Ordovician of Wisconsin [J]. Jour Sed Petrology, 1973, (4): 965-984.

编辑:赵国宪

## Genesis and Prediction Model of Carbonate Reservoir in Barrier Island and Its Back Edge

Guo Qingxin, Zhou Jingao, Shou Jianfeng

**Abstract:** Genesis and prediction of carbonate reservoirs has been one of the hot spots of petroleum exploration and geology research. It is shown that deposition of carbonate reservoirs is mainly related to the environments of the barrier island and the edge zone behind it and is controlled by the atmosphere fresh water leaching, dolomitization, paleokarstification, buried dissolution and so on in Tarim, Ordos and Sichuan Basins. The carbonate reservoirs can be divided into four types: (a) atmosphere freshwater leaching reef and shoal limestone reservoir, (b) paleokarstified reef and shoal limestone reservoir, (c) dolomitized reef and shoal dolostone reservoir and (d) paleokarstified anhydrite dolostone reservoir in these mentioned basins. A comprehensive genesis-prediction model of barrier-related carbonate reservoir is put forward. The reef and shoal zone along platform edge that builds the barrier island is the areas favorable for (a) to (c) typed reservoirs, while the edge flat zone of evaporation basin behind the barrier island is the area favorable for (c) typed reservoir.

**Key words:** Barrier island; Carbonate reservoir; Reservoir style; Reservoir genesis; Reservoir model; Reservoir prediction

Guo Qingxin: male, senior geologist. Add: Hangzhou Research Institute of Petroleum Geology, PetroChina, 920 Xixi Rd., Hangzhou, Zhejiang, 310023 China