

# 中国三大古老海相克拉通盆地 新元古界—古生界沉积新模式及勘探意义

郑剑锋<sup>1,2,3</sup>, 朱永进<sup>1,2,3</sup>, 张本健<sup>2,4</sup>, 孙崇浩<sup>2,3,5</sup>, 李文正<sup>1,2,3</sup>, 吴东旭<sup>1,2,3</sup>, 周进高<sup>1,2,3</sup>

1 中国石油杭州地质研究院; 2 国家能源碳酸盐岩油气重点实验室; 3 中国石油集团碳酸盐岩储层重点实验室;

4 中国石油西南油气田公司; 5 中国石油塔里木油田公司

**摘要** 随着三大海相克拉通盆地油气勘探不断向超深层、古老层系拓展,面临着有利勘探区带不明确的问题,亟需深化重点时期沉积模式的研究。对三大盆地新元古界—古生界构造—沉积差异演化特征进行总结,分析了构造分异对沉积演化的控制作用,指出三大古老海相克拉通盆地“裂—拗—隆”构造分异控制碳酸盐台地经历“孤立台地—缓坡—镶边”演化旋回,裂隙的形成和演化控制了台地沉积分异及纵向上源储盖组合的相似性。建立了4类碳酸盐沉积新模式:①“多类台缘”和“双滩”缓坡沉积模式揭示大陆边缘和裂隙边缘、拗陷边缘、内缓坡相带中古隆起和潟湖周缘是有利丘滩体发育区;②碳酸盐岩与膏盐岩组合体系沉积模式揭示海侵期古隆起周缘是有利滩体发育区;③四川盆地灯影组断阶型台缘沉积模式揭示多组同沉积断裂控制灯二段阶梯状台缘形成,断块高部位发育厚层丘滩体;④塔里木盆地寒武系持续扩展型台缘沉积模式揭示轮南—富满地区台缘带经历了富泥质缓坡→低角度前积缓坡—弱镶边台地→垂向加积镶边台地→侧向前积镶边台地的演化。沉积模式新认识明确了三大古老海相克拉通盆地的古裂隙周缘丘滩带依然是增储上产和资源接替的重要领域,斜坡相重力流沉积、蒸发潟湖相泥灰岩等新领域是值得关注的勘探区带。沉积新模式的建立有力支撑了油气勘探部署,也为未来勘探提供了新方向、新思路。

**关键词** 海相克拉通; 构造—沉积演化; 碳酸盐岩; 沉积模式; 新元古界—古生界; 勘探领域

**中图分类号**:TE121.3 **文献标识码**:A

**引用**: 郑剑锋, 朱永进, 张本健, 等. 中国三大古老海相克拉通盆地沉积新模式及勘探意义[J]. 海相油气地质, 2025, 30(2): 97-109.

ZHENG Jianfeng, ZHU Yongjin, ZHANG Benjian, et al. New sedimentary models and its exploration significance of three ancient marine cratonic basins in China[J]. Marine origin petroleum geology, 2025, 30(2): 97-109.

## 0 前言

海相碳酸盐岩沉积模式是海洋环境中碳酸盐岩沉积体形成、分布及其与沉积环境之间关系的高度概括和总结。20世纪,沉积学家基于巴哈马、佛罗里达和波斯湾浅海碳酸盐台地,建立了许多经典的碳酸盐岩沉积模式,如陆表海能量带模式、“X-Y-Z”模式、潮汐相带模式、9相带模式、理想标准模式、台地—陆表海模式、碳酸盐缓坡模式、均斜缓坡和远端变陡缓坡模式、无镶边陆棚和台地模式<sup>[1-2]</sup>。

四川盆地、塔里木盆地和鄂尔多斯盆地是我国

三大重要的克拉通含油气盆地,新元古界—古生界多发育海相碳酸盐岩,尤其是震旦系—奥陶系更是以碳酸盐岩地层为主。各盆地构造演化过程各异,使得其沉积序列、岩相组合类型差异也较大,因此,研究时不能生搬硬套国外经典沉积模式。针对我国发育的复杂多样的碳酸盐台地类型,20世纪80年代以来,许多学者建立了具有盆地特色的台地边缘模式、台盆模式、缓坡模式等沉积模式<sup>[3-7]</sup>。当前,随着高精度分析测试技术的不断引入,地球化学、年代学和古生物学等方法已广泛应用于沉积学研究之中;同时,基于高精度三维地震资料的层序地层学、地震

收稿日期:2024-10-20; 改回日期:2024-12-19

本文受中国石油“十四五”攻关性应用性重大科技专项“碳酸盐岩油气富集规律及有利区带研究”(编号:2023ZZ1601)和中国石油“十四五”前瞻性基础性重大科技专项“叠合盆地中下组合油气成藏与保持机制研究”(编号:2023ZZ02)联合资助

**第一作者**: 郑剑锋, 硕士, 高级工程师, 主要从事碳酸盐岩沉积储层与油气勘探研究工作。通信地址:310023 浙江省杭州市西湖区西溪路920号; E-mail: zhengjf\_hz@petrochina.com.cn

**通信作者**: 朱永进, 博士, 高级工程师, 主要从事碳酸盐岩岩相古地理重建和勘探领域评价研究工作。通信地址:310023 浙江省杭州市西湖区西溪路920号; E-mail: zhuyj\_hz@petrochina.com.cn

地貌学和地震沉积学<sup>[8-10]</sup>等学科快速发展,显著提升了盆地深层构造与沉积结构的刻画精度。这些技术的进步使得沉积模式的研究手段日益丰富,推动了沉积学向更加精细化和定量化的方向发展。

近数十年的勘探成果揭示三大古老海相克拉通盆地碳酸盐岩领域油气资源潜力巨大,已经发现了安岳、普光、塔中、轮南、富满、靖边等大型油气田,这些发现支撑了我国近30年来油气储量的持续增长。在这个过程中,沉积模式新认识对明确源储盖组合及分布规律起到了重要作用。随着三大海相克拉通盆地的油气勘探不断向古老层系、超深层领域拓展,勘探难度也不断加大,面临重大勘探接替领域不明朗的严峻形势。因此,亟需通过深化构造-岩相古地理研究,更精细地厘清盆地演化规律与沉积充填特征,建立符合中国地质条件和特色的个性化沉积模式,为资源潜力评价、目标优选及勘探部署提供理论支撑,从而推动我国油气勘探向更深、更广领域迈进。

本文总结三大古老海相克拉通盆地新元古界—古生界构造-沉积差异演化特征,分析构造分异对台地演化及沉积充填的控制作用,提出了3种共性模式和2种个性化沉积新模式,分析了不同模式下有利丘滩体的分布规律。该成果有效支撑了三大盆地“十四五”碳酸盐岩勘探新领域的突破,也为未来碳酸盐岩领域勘探方向选择提供了思路。

## 1 三大盆地构造-沉积差异演化特征

### 1.1 构造背景特征

从全球构造背景来看,华北陆块属于哥伦比亚超大陆的一部分,18~16亿年前的大规模裂解事件后开始形成中元古代以碳酸盐岩沉积为主的克拉通盆地;塔里木和扬子陆块属于罗迪尼亚超大陆的一部分,在晋宁(塔里木)运动中分裂而形成<sup>[11]</sup>。潘基亚泛大陆形成时,塔里木、扬子、华北陆块都未卷入其中,而是分散于古特提斯洋中。因此除西藏外,我国陆上发育哥伦比亚和罗迪尼亚超大陆裂解而形成的海相叠合盆地,在中生代演变为陆相盆地<sup>[12]</sup>。我国三大海相克拉通盆地分属于塔里木、扬子、华北陆块,其中塔里木盆地几乎为塔里木陆块的全部,四川盆地为上扬子陆块的大部分,鄂尔多斯盆地为华北陆块的西部部分。

鄂尔多斯盆地在古元古代末吕梁运动后进入相对稳定的克拉通演化阶段,以海相沉积为主;新

元古代地层几乎缺失,而后成为海相克拉通盆地;加里东晚期抬升为陆,形成约1.5亿年沉积缺失的区域不整合,直到晚石炭世才再次被海侵,并由于南、北两侧古大洋的闭合造山,中二叠世后进入以陆相为主的沉积阶段。整个海相沉积阶段长期为稳定的陆表海背景,具有大隆大坳的特点<sup>[13]</sup>,总体为构造较稳定的盆地。

扬子、塔里木陆块在新元古代的晋宁运动(塔里木)运动后同时进入海相沉积阶段,但经历的沉积演化过程存在差异。扬子陆块在震旦纪灯影组沉积期开始进入碳酸盐岩沉积为主的海相克拉通盆地阶段<sup>[14]</sup>;志留纪末的广西运动后全面抬升,发育区域不整合面;中二叠世开始再次成为碳酸盐台地,于晚三叠世开始逐渐进入陆内发展阶段。其海相沉积阶段以发育未完全切穿整个克拉通的海槽为特征,如形成于寒武纪的德阳—安岳裂陷和二叠纪的开江—梁平海槽,总体为构造相对稳定的盆地。塔里木陆块在晚震旦世开始沉积碳酸盐岩,奥陶纪末的构造运动造成志留系/奥陶系间发育不整合,沉积格局也随之改变,志留纪—泥盆纪以陆相沉积为主,晚泥盆世再次海侵,二叠纪在盆地内部发育大规模的岩浆岩,三叠纪开始进入陆内发展阶段<sup>[15]</sup>。塔里木盆地在海相沉积阶段总体表现为活动型盆地。显然,三大古老海相克拉通盆地的稳定性差异决定其构造-沉积分异作用的不同<sup>[16]</sup>。

### 1.2 沉积充填序列特征

我国三大古老海相克拉通盆地不同的板块构造背景直接影响了盆地沉积充填序列。新元古界—古生界,三大盆地的海相地层中碳酸盐岩都较发育,但存在较大差别,四川和塔里木盆地碳酸盐岩沉积始于碎屑岩之上,而鄂尔多斯盆地没有碎屑岩沉积;上古生界,四川盆地碳酸盐岩占比大,而塔里木盆地是碳酸盐岩与碎屑岩并存,鄂尔多斯盆地则主要为碎屑岩;中生界—新生界,三大盆地除四川盆地在下一中三叠统发育碳酸盐岩外,其余均以陆相碎屑岩为主。

虽然三大海相克拉通盆地新元古界—古生界都以碳酸盐岩沉积为主,但沉积环境序列却有较大差异。四川和塔里木盆地相似,震旦纪主要为滨岸—陆棚—碳酸盐缓坡、台地环境,寒武纪—早奥陶世主要为陆棚—碳酸盐缓坡、台地环境,中—晚奥陶世主要为混积陆棚环境(但塔里木具有碳酸盐



台地环境),志留纪都以碎屑岩沉积环境为主;鄂尔多斯盆地缺失震旦系,蓟县纪和寒武纪—奥陶纪主要以潮坪—碳酸盐台地环境为主。

上古生界,四川盆地仍以碳酸盐岩地层为主,但塔里木和鄂尔多斯盆地碳酸盐岩却较少。四川盆地的泥盆纪—石炭纪主要为碎屑滨岸—陆棚或潮坪—碳酸盐台地环境,二叠纪主要为陆棚—碳酸盐缓坡—台地环境,出现“台—棚”交替现象,台地边缘礁滩十分发育;塔里木盆地泥盆纪、二叠纪均以碎屑岩沉积环境为主,石炭纪主要为碎屑滨岸—陆棚或潮坪—碳酸盐台地环境;鄂尔多斯盆地以陆相碎屑岩沉积环境为主,仅晚石炭世晚期—早二叠世早期为碎屑滨岸—陆棚或潮坪—碳酸盐台地环境<sup>[16]</sup>。

## 2 构造分异对沉积演化的控制作用

### 2.1 裂陷的成因及特征

我国三大古老海相克拉通盆地元古宇—寒武系主要发育与哥伦比亚、罗迪尼亚、冈瓦纳超级大陆裂解相关的三期古裂陷<sup>[17]</sup>。其中四川盆地发育

罗迪尼亚期的南华系裂陷<sup>[18]</sup>、冈瓦纳期的德阳—安岳裂陷(震旦系—寒武系)<sup>[19-21]</sup>;鄂尔多斯盆地发育哥伦比亚期裂陷,如长城系的贺兰、定边、晋陕等裂陷<sup>[22-23]</sup>;塔里木盆地发育罗迪尼亚期裂陷,如南华系的库满、塔西南等裂陷<sup>[24-25]</sup>。通过对德阳—安岳裂陷的解剖,可以明确裂陷的形成主要受3个因素控制:①超级大陆裂解伴随的区域伸展构造活动为裂陷产生提供内在动力。②断陷作用是裂陷形成的关键因素<sup>[21]</sup>。据地震资料解释(图1),裂陷的边界断裂有3期,断裂具有由裂陷中心向两侧迁移的特点,断陷作用的结果是在台地内部形成“微地堑”,造成裂陷内低外高的地貌差异。③差异沉积控制了裂陷隆凹分异的进一步加剧。裂陷内水体较深,碳酸盐生产率低,沉积速率低于沉降速率导致裂陷内水体越来越深,而裂陷两侧隆起部位的水体浅,碳酸盐生产率高,沉积速率远大于沉降速率,微生物礁呈现加积特征。沉积差异加剧了地貌分异,导致德阳—安岳裂陷内灯影组厚约200 m,而裂陷两侧台地灯影组厚达800~1 000 m。

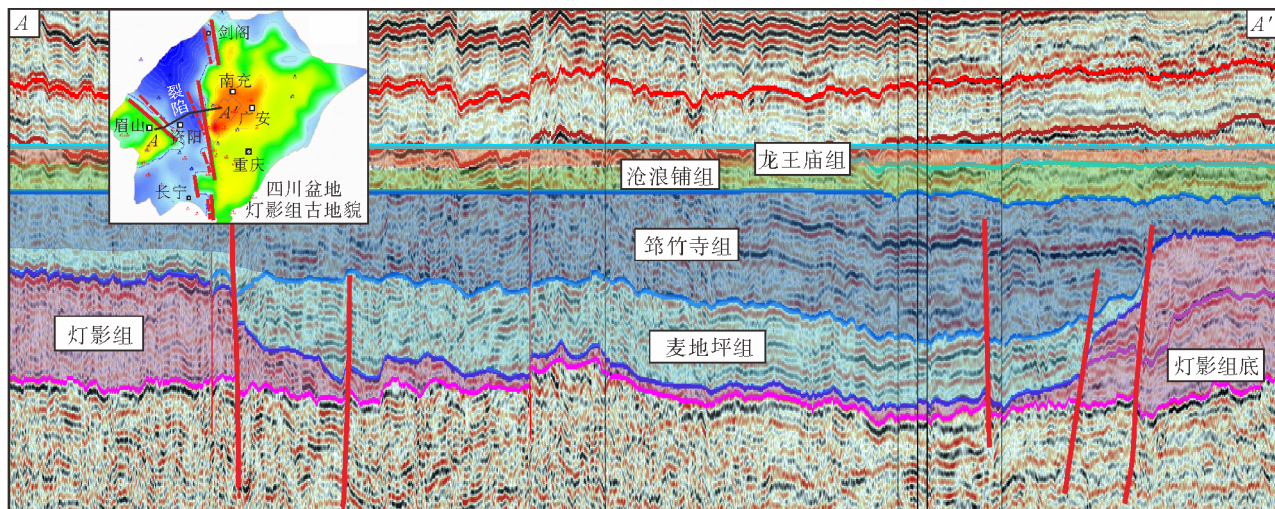


图1 四川盆地德阳—安岳裂陷地震解释剖面

Fig. 1 Seismic interpretation profile of Deyang—Anyue rift in Sichuan Basin

### 2.2 构造演化与台地耦合关系

很明显,裂陷形成演化控制了台地沉积分异。裂陷的形成和扩张不断将台地分离,切割成多个大小不一的孤立碳酸盐台地,同时由于裂陷边界同生断裂的控制,台地边缘坡度陡峭,因此,该时期台地往往发展成镶边台地。震旦纪灯影组—二段沉积期,德阳—安岳裂陷将上扬子台地切割,此时台

地虽尚未完全分离,但已形成陡峭边缘,发育微生物礁滩(图2);而中扬子和上扬子之间,由于鄂西—渝东裂陷的存在,构成2个分离的碳酸盐台地。灯影组三—四段沉积期,随着德阳—安岳裂陷由北向南逐渐拉张,上扬子地台也逐渐分离成2个孤立的碳酸盐台地;该时期,中扬子和上扬子之间仍存在鄂西—渝东裂陷,故而整个中上扬子演化成3个独立的碳酸盐台地。每个碳酸盐台地的边缘受近直

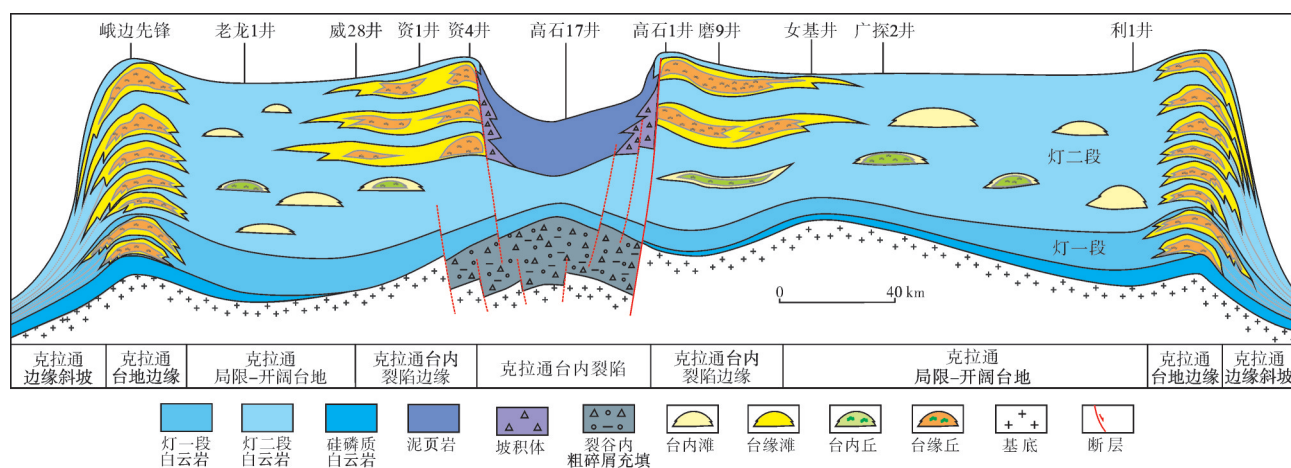


图2 四川盆地灯一段—灯二段沉积期镶边台地模式

Fig. 2 Rimmed platform model of Deng-1 and Deng-2 period in Sichuan Basin

立断裂作用,边缘斜坡陡峭,微生物礁滩加积逐渐形成加积型台缘,台地成为镶边型台地。

无论是四川盆地还是塔里木盆地,早寒武世早期都是重要的构造转换期,早期裂陷经过填平补齐而逐渐消亡;至早寒武世中晚期,全面进入拗陷阶段,此时的古地理背景转换成大隆大坳构造格局。

古隆起是海相克拉通盆地内重要的构造单元,在三大盆地都有发育<sup>[26]</sup>,如四川盆地震旦纪的川中古隆起<sup>[27]</sup>、早古生代的乐山—龙女寺古隆起<sup>[28-29]</sup>,塔里木古生代的温宿古隆起、轮南古隆起以及塔西南古隆起<sup>[30-31]</sup>,鄂尔多斯盆地的中央古隆起、乌兰格古隆起、渭河古隆起及乌审旗古隆起<sup>[32]</sup>。这些古隆起与裂陷共同构成了隆坳相间的古构造地理格局,继而控制了小克拉通台地类型与沉积演化。

隆起和拗陷之间通常是广阔、平坦的地区,这种构造背景为碳酸盐缓坡的发育奠定了古地理条件。例如,塔里木盆地在震旦纪末经历“柯坪运动”

而演变为“三隆两坳”(塔西南古陆、柯坪—温宿低隆起、轮南—牙哈低隆起、满西坳陷和满加尔凹陷)的古构造格局,在隆起和坳陷之间存在宽广并且相对低缓的斜坡;又如,四川盆地在晚震旦世经历“桐湾运动”影响后又经历早寒武世“米苍山运动”的影响,在盆地西缘形成了乐山—龙女寺古隆起,导致四川盆地在早寒武世整体具有西高东低的缓坡特征。因此,构造演化进入稳定的拗陷阶段的早期,缓坡背景控制了碳酸盐缓坡的发育,塔里木盆地肖尔布拉克组沉积期和四川盆地龙王庙组沉积期都是碳酸盐缓坡的典型案列。

总之,三大古老海相克拉通盆地“裂—坳—隆”构造分异控制碳酸盐台地经历“孤立台地—缓坡—镶边”演化旋回,台地演化既存在相似性又存在差异性。四川盆地罗迪尼亚旋回中,震旦纪—寒武纪经历了由孤立台地—碳酸盐缓坡—镶边台地的演化(图3),潘基亚旋回中,二叠纪栖霞期—

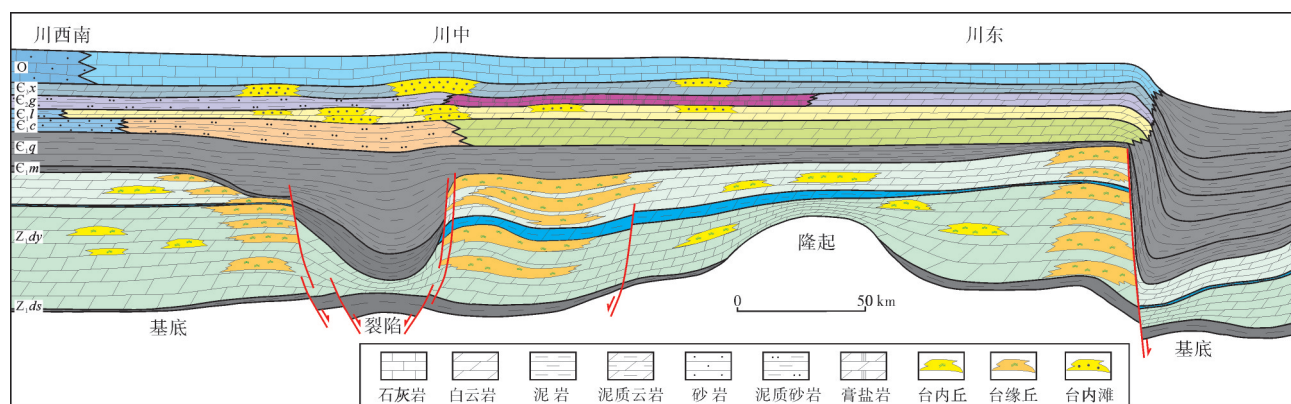
注: Z<sub>1</sub>ds—陡山沱组; Z<sub>1</sub>dy—灯影组; C<sub>1</sub>m—麦地坪组; C<sub>1</sub>q—筇竹寺组; C<sub>1</sub>c—沧浪铺组; C<sub>1</sub>l—龙王庙组; C<sub>2</sub>g—高台组; C<sub>2</sub>x—洗象池组。

图3 四川盆地震旦纪—奥陶纪沉积演化模式

Fig. 3 Sedimentary evolution model of Sinian-Ordovician in Sichuan Basin



三叠纪雷口坡期经历了由碳酸盐缓坡—镶边台地—蒸发台地的演化；塔里木盆地罗迪尼亚旋回中，震旦纪—奥陶纪经历了由碳酸盐缓坡—镶边

台地—蒸发台地的演化(图4)；鄂尔多斯盆地罗迪尼亚旋回中，寒武纪—奥陶纪经历了由碳酸盐缓坡—镶边台地的演化(图5)。

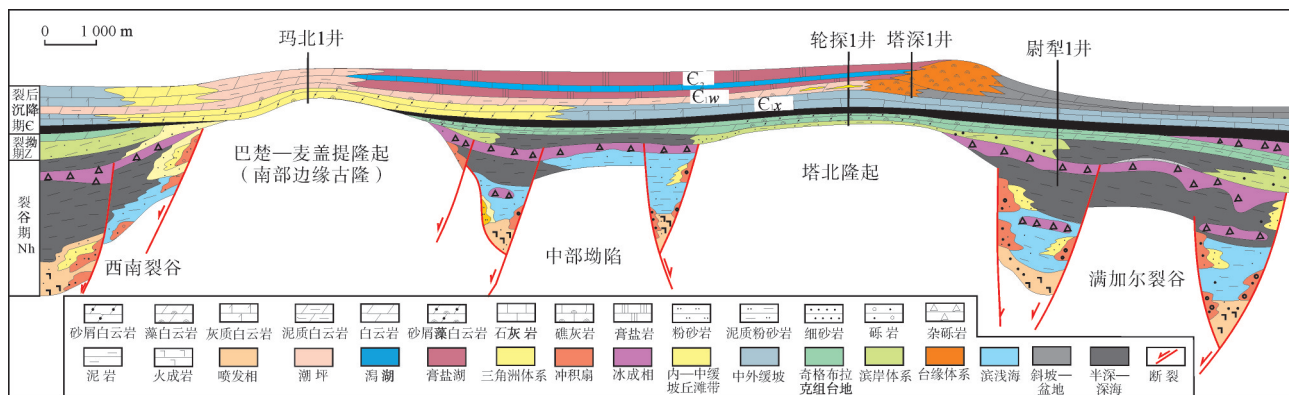


图4 塔里木盆地中新元古代—寒武纪沉积演化剖面

Fig. 4 Sedimentary evolution model of Mesoproterozoic–Cambrian in Tarim Basin

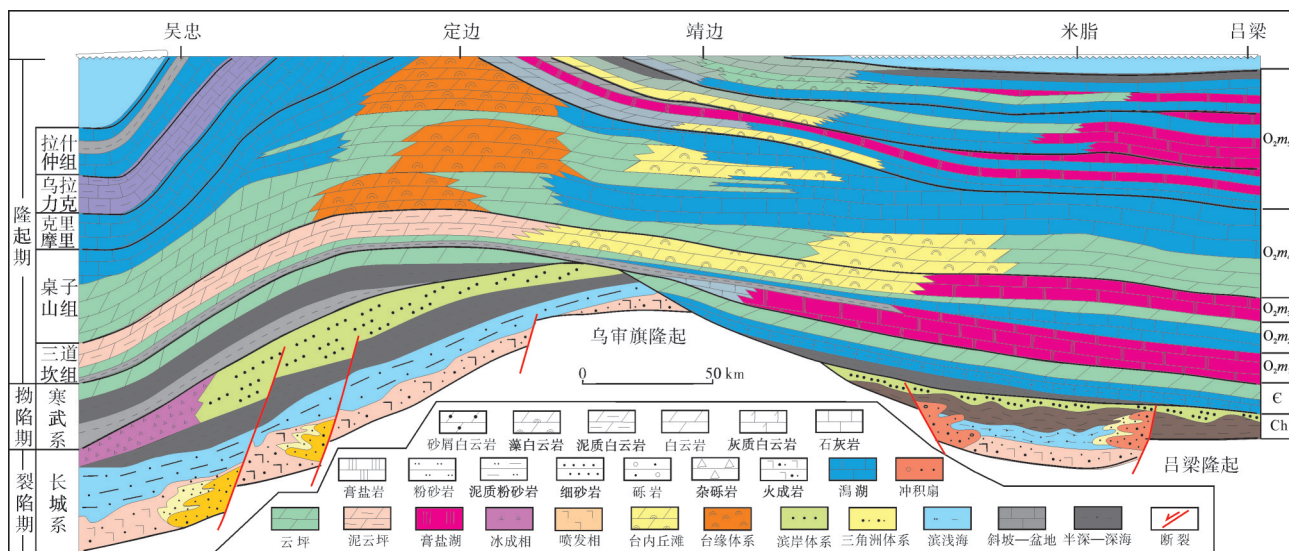


图5 鄂尔多斯盆地长城纪—奥陶纪沉积演化剖面

Fig. 5 Sedimentary evolution model of Changchengian–Ordovician in Ordos Basin

### 2.3 构造演化对源储盖的控制作用

裂陷的构造演化控制着烃源岩、储层和盖层的发育,对油气分布意义重大。对烃源岩而言,其主要发育于裂陷期和拗陷早期,并以裂—拗转换期的烃源岩最为优质。目前来看,三大海相克拉通盆地多期裂陷阶段均发育有效烃源岩,如四川盆地南华纪裂陷大塘坡组、震旦纪—寒武纪裂陷麦地坪组和筇竹寺组,塔里木盆地寒武纪裂陷玉尔吐斯组,鄂尔多斯盆地长城纪裂陷崔庄组。对储层而言,裂陷期和拗陷期也是储层发育的重要阶段。裂陷期的

裂陷两侧发育台缘带,如四川盆地灯二段和灯四段发育两套微生物白云岩储层;拗陷期的拗陷周缘隆起区发育内缓坡颗粒滩及镶边台缘,均可形成规模有效储层,如四川盆地龙王庙组内缓坡规模发育颗粒滩储层,并与川中古隆起叠合。对盖层而言,拗陷中晚期蒸发台地发育厚层膏盐岩,可以构成重要的区域盖层,对油气的保存至关重要。总之,三大古老海相克拉通盆地既发育时代相近的黑色页岩烃源岩、规模白云岩储层和膏盐岩盖层,又存在差异性,但纵向上构成了相似的生储盖组合。

### 3 沉积新模式丘滩体分布规律

#### 3.1 “多类台缘”沉积模式

基于四川盆地新元古界与裂陷沉积相关的台地类型及其沉积特点,建立了古老碳酸盐岩“多类台缘”沉积模式(图6)。根据台地边缘发育的位置,将其分为大陆边缘型、裂陷边缘型和坳陷边缘型3类台地边缘<sup>[33]</sup>。

大陆边缘型台缘带主要分布在盆地边界,西缘和北缘已卷入造山带前缘冲断带,东部卷入了川东褶皱带。台缘带由大型微生物丘和滩构成:微生物丘具有丘状正向地貌特征,由微生物凝块石白云岩、微生物叠层石白云岩、微生物纹层白云岩组成,构成多个沉积旋回,单个旋回厚2~8 m不等,累计厚度350~550 m;微生物滩主要是鲕粒豆粒滩、砂砾屑滩和微生物粘结砂砾屑滩,单层厚0.8~3.5 m,单一

旋回厚5~8 m,纵向可见发育4~5个旋回。

裂陷边缘型台缘带主要分布在盆地中西部德阳—安岳裂陷的两侧,台缘带微生物丘滩宽5~10 km,长度可至500 km。台缘带由叠层石白云岩、凝块石白云岩、砂砾屑白云岩和微生物粘结颗粒白云岩组成,单层厚1~3 m,累计厚达80 m,发育斜层理等沉积构造。

坳陷边缘型台缘带发育在盆地东北部,北西方向在南江一带、北东方向在巫溪康家坪一带,与被动大陆边缘台缘带相连,相带宽达20~30 km,长约600 km,呈“U”形展布。开江—城口坳陷是南华纪坳陷的继承,在地震剖面上可以看出坳陷边缘坡度较平缓,台缘丘滩呈丘状反射特征,与斜坡可以较好地地区分,在垂向上具有多期丘滩进积叠置的特征。对比裂陷边缘型台缘,其最典型的特征就是台缘厚度相对较薄和台缘前坡度较小。

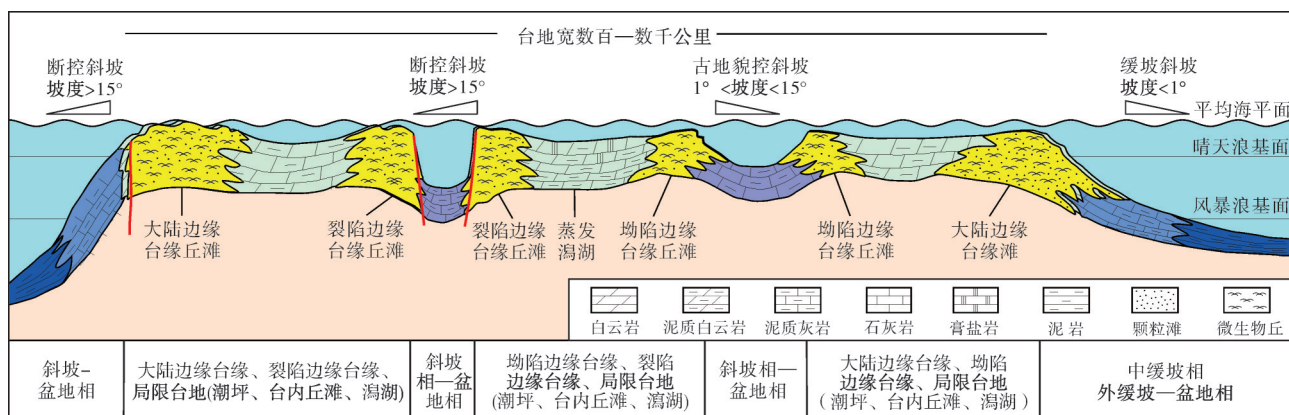


图6 古老碳酸盐岩“多类台缘”沉积模式(据文献[33])

Fig. 6 "Multiple margins" model of ancient carbonate platform (cited from reference [33])

三类台缘带的形成与演化受控于构造背景,可分为受断裂控制的陡坡台缘和受古地貌控制的缓坡台缘两种类型。受断裂控制的陡坡台缘可发育在大陆边缘也可发育于裂陷边缘,断控台缘微生物丘滩以加积为主,具有较强的障壁作用。宁强胡家坝剖面 and 峡东剖面是大陆边缘型断控镶边台缘的典型例子,高磨地区是裂陷边缘型断控镶边台缘的典型例子。古地貌控制的微生物岩缓坡既可以发育在台地边缘也可发育于台内,如遵义松林剖面灯一段属于发育在台内的缓坡沉积。

对比 Wilson 提出的经典理想标准模式,“多类台缘”沉积模式增加了裂陷边缘型和坳陷边缘型台缘,这两种台缘和大陆边缘型台缘共同构成了“多

类台缘”模式。裂陷边缘台缘受同沉积断裂作用,由微生物丘滩加积组成,微生物丘由隐藻类微生物造架造孔形成,颗粒滩由微生物丘破碎经波浪改造和微生物粘结形成,多旋回丘滩体经多期准同生溶蚀和晚期岩溶作用改造形成优质储层<sup>[34-35]</sup>。坳陷边缘台缘带主要受古地貌的影响,一般呈弱镶边或缓坡。“多类台缘”沉积模式的另一特点是裂陷和坳陷中存在斜坡相和盆地相,并且同样发育优质烃源岩。这一模式的建立,不仅表明大陆边缘台缘带发育规模储层,是油气勘探的潜在领域,更重要的是揭示了在广阔的台地内部同样存在与裂陷和坳陷相关的含油气系统。该模式改变了以往碳酸盐岩勘探主要集中在大陆边缘台缘带的老思路,为勘探



向面积更广阔的台地内部及深层、超深层的拓展提供了新思路。

### 3.2 “双滩”缓坡沉积模式

碳酸盐缓坡是从海岸到盆地坡度很小(一般小于 $1^{\circ}$ )的碳酸盐沉积体系,可分为内缓坡、中缓坡和外缓坡3种类型。基于四川盆地寒武系龙王庙组和塔里木盆地寒武系肖尔布拉克组沉积相分析,在Read和Wright提出的经典缓坡模式基础上<sup>[2]</sup>,建立了“双滩”缓坡沉积模式(图7)。“双滩”指的是内缓坡潟湖两侧(即向海方向和向陆方向)均发育颗粒滩,其中向陆一侧受古隆起影响,控制了滩体的大面积展布,形成宽广的滩带。因此,其发育受古地

貌与海平面升降的共同控制。如中上扬子龙王庙组沉积期,四川盆地主体处于内缓坡相,颗粒滩沿川西古隆起周缘及重庆—泸州潟湖两侧大面积分布,滩体最厚可达80 m,纵向上可细分3个大的沉积旋回,每个旋回由3~4个滩体组成,构成向上变粗的沉积序列,有时也可见向上变细序列(颗粒滩与潮坪沉积);塔里木克拉通寒武系肖尔布拉克组沉积期同样为缓坡<sup>[36]</sup>,内缓坡颗粒滩沿塔西南隆起和温宿低隆周缘及满加尔潟湖两侧大面积分布。“双滩”缓坡沉积模式中虽然向陆和向海方向都发育颗粒滩,但向陆一侧发育的颗粒滩分布范围更广、厚度更大,由于沉积水体更浅,也导致更容易发生白云石化,因此内缓坡向陆一侧、古隆起围斜地区往往是有利储层发育区。

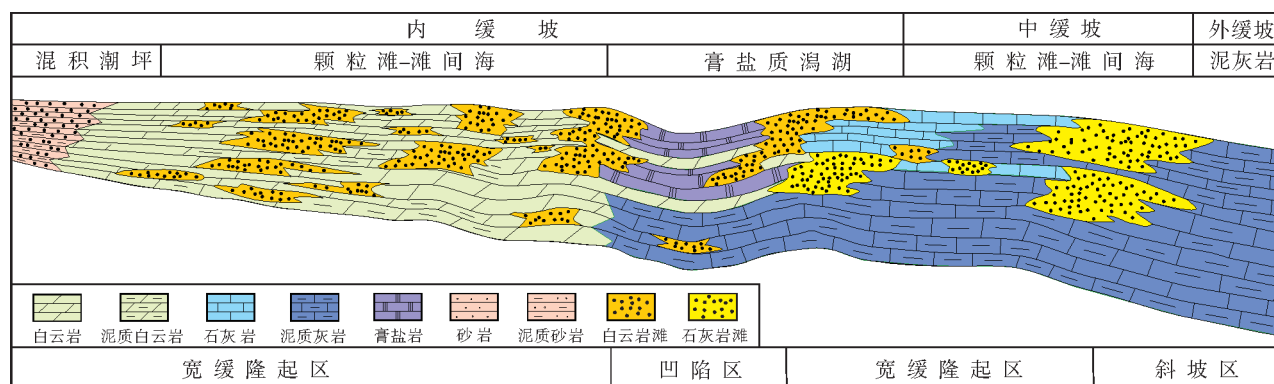


图7 碳酸盐“双滩”缓坡沉积模式

Fig. 7 "Double shoals" model of carbonate ramp

### 3.3 碳酸盐岩与膏盐岩组合体系沉积模式

碳酸盐岩与膏盐岩组合在我国三大海相克拉通盆地多个层系普遍发育,如鄂尔多斯盆地奥陶系马家沟组、塔里木盆地中寒武统和四川盆地三叠系飞仙关组、雷口坡组等层系。以鄂尔多斯盆地奥陶系马家沟组中组合这一重要勘探层段为例,其发育多旋回的碳酸盐岩与膏盐岩组合体系,自下而上分为马五<sub>10</sub>—马五<sub>5</sub>共6个亚段,其中马五<sub>10</sub>、马五<sub>8</sub>和马五<sub>6</sub>亚段为海退旋回的沉积产物,主要发育膏盐岩、含膏白云岩和白云岩;马五<sub>9</sub>、马五<sub>7</sub>和马五<sub>5</sub>亚段为海侵旋回的沉积产物,主要发育石灰岩、白云岩和薄层膏质白云岩。马五<sub>10</sub>亚段沉积期受强蒸发作用的影响,东部洼地主要为盐岩潟湖沉积,向洼地两侧依次发育膏云坪、含膏云坪,环绕东南部古隆起处发育泥云坪;鞍部沟通了祁连海与乌审旗一定边洼地,海水盐度值正常,且水动力较强,因此中央古隆起及榆林—

横山隆起带上可见少量颗粒滩沉积,且向洼地方向依次相变为白云岩坪、灰云坪和灰岩洼地沉积。马五<sub>9</sub>亚段沉积期海平面上升,隆起带障壁效应减弱,在中央古隆起及榆林—横山隆起带广泛发育颗粒滩,厚度相对较大,储集性能较好,向两个洼地方向均依次相变为白云岩坪、灰云坪及灰岩洼地。马五<sub>8</sub>至马五<sub>5</sub>亚段沉积期有规律的交替发育,由于海平面升降幅度有差异,导致成盐范围和成滩范围有所差异。

根据鄂尔多斯盆地马家沟组马五段沉积期“多隆多洼”的沉积格局,结合古盐度、古海平面升降变化以及典型相序组合特征,建立了碳酸盐岩与膏盐岩组合体系沉积模式(图8),该模式最大特点是蒸发障壁台地与镶边台地沉积样式的韵律性重复。海退期,中央古隆起将台地与外海隔绝,台内在次级障壁和强烈蒸发作用下演化为巨大膏盐湖,表现为障壁台地沉积;海侵期,中央古隆起没入海水成为台地边缘,台内演化为半局限台地,整体表现为镶边台地沉积样式。

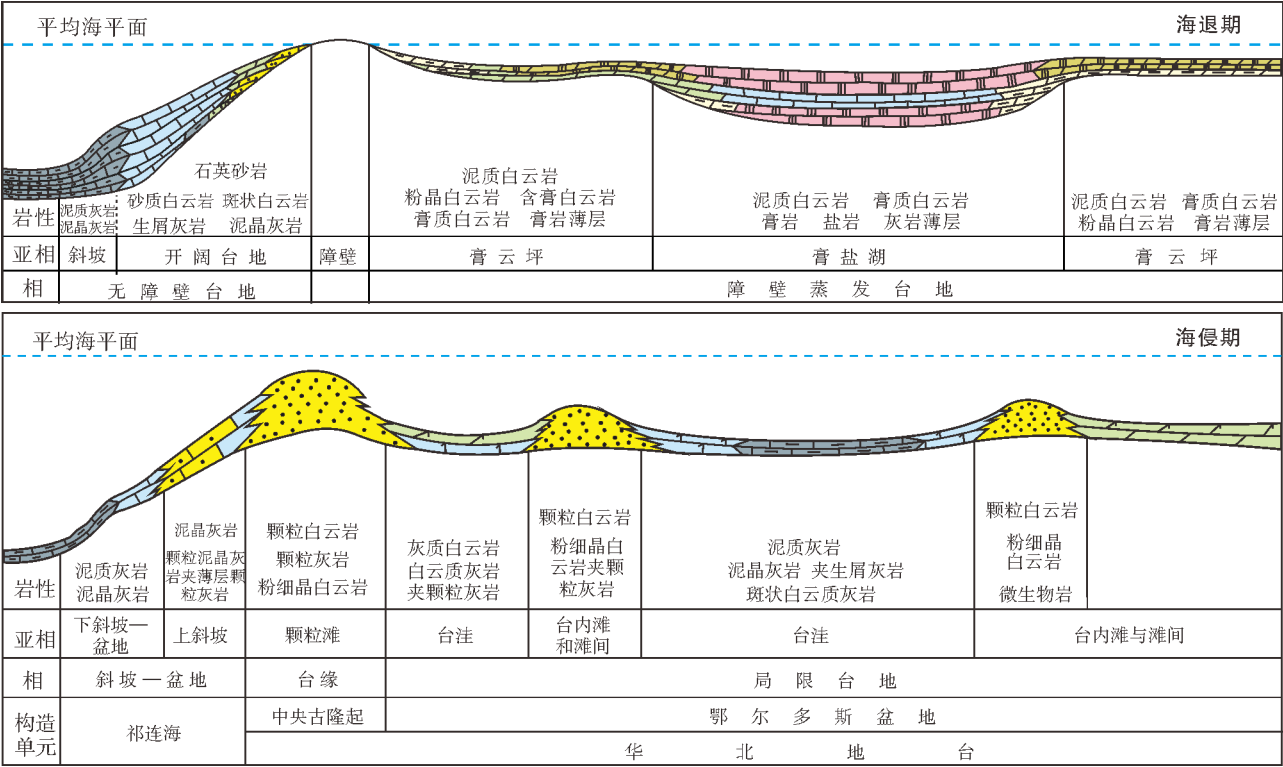


图8 鄂尔多斯盆地奥陶系碳酸盐岩与膏盐岩组合体系沉积模式图  
Fig. 8 Carbonate-gypsum/salt symbiotic system model of Ordovician in Ordos Basin

3.4 断阶型台缘沉积模式

基于四川盆地“逼近德阳—安岳裂陷烃源灶”的勘探部署思路,通过对裂陷内及裂陷东侧台缘带的精细刻画,发现在蓬莱—中江—金堂地区,灯二段台缘带多组同沉积断裂控制台缘呈阶梯状,紧邻断层的断块高部位地层增厚明显,并且地震相具有丘状、断续状杂乱反射特征,与底部连续性强反射

存在明显差异,指示断块高部位水体较浅,水动力强,发育厚层丘滩体;构造低部位为滩间海沉积,相对致密,成为侧向遮挡的有利相带。据此建立了“断阶型”台缘模式(图9),该模式是前文“多类台缘”沉积模式的延伸与细化,明确了同沉积断裂是大型古裂谷内丘滩带差异分布的主控因素,拓展了灯影组二段油气勘探规模和部署方向,也为同类型盆地勘探提供了有益借鉴。

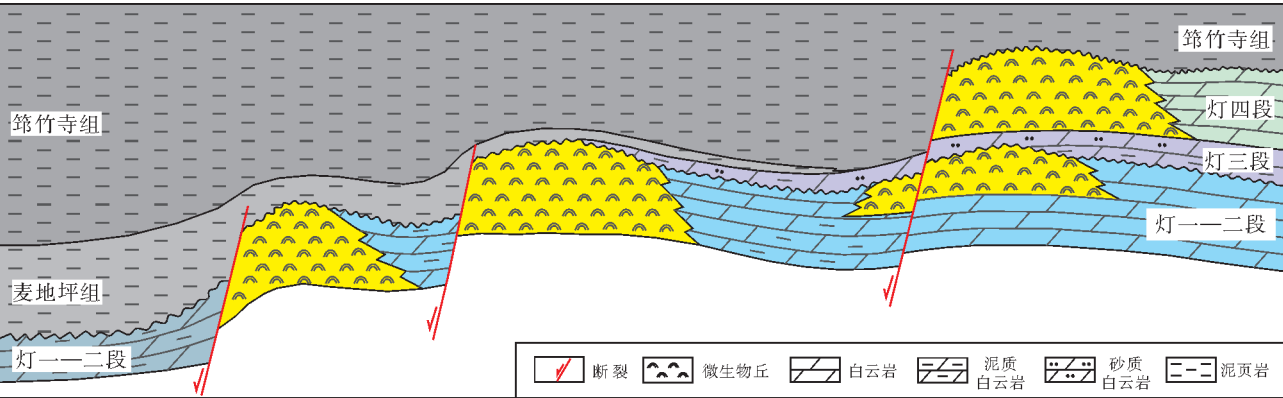


图9 四川盆地德阳—安岳裂陷北段灯影组断阶型台缘模式  
Fig. 9 Reef complexes distribution model of fault terrace platform margin of Dengying Formation in the northern section of Deyang-Anyue rift in Sichuan Basin



### 3.5 持续扩展型台缘沉积模式

塔里木盆地轮南—古城地区寒武系台缘是我国三大海相克拉通盆地中规模最大的碳酸盐台地边缘,其长约360 km、宽约90 km,发育于裂后沉降—克拉通稳定沉降阶段,是典型的被动陆缘型台缘<sup>[37]</sup>。该领域勘探评价面临的最大问题是台缘刻画不精细,导致规模储盖组合不能落实。通过轮南—富满地区新一轮资料处理及井震标定,并综合区域性不整合、古生物组合、碳同位素元素地层学、滨线迁移轨迹趋势分析,将寒武系台缘带划分为4个二级层序(SSQ1—SSQ4)、11个三级层序(SQ1—SQ11)和9期台缘丘滩体(SQ3—SQ11),建立了寒武系台缘沉积模式(图10),揭示了寒武系台地由富泥质缓坡→低角度前积型缓坡—弱镶边台地→以垂向加积为主的镶边台地→侧向前积镶边台地的演化,该演化过程也是被动陆缘型台地从形成至扩展的演化过程。寒武系组芬兰统玉尔吐斯组(SSQ1)以富泥质缓坡沉积

为主,厚值区主要分布于前寒武系古裂陷继承性沉降区,厚度40~60 m;第二统肖尔布拉克组(SQ2—SQ3)至吾松格尔组(SQ4)以低角度前积缓坡为主,台缘丘滩带主要分布于缓坡脊(前积层顶部)和弱镶边台缘带;苗岭统(SQ5—SQ7)发育3套膏盐岩,中间夹一套厚40 m左右的海泛成因石灰岩,至台缘区相变为泥质白云岩和砂屑白云岩组合;芙蓉统(SQ8—SQ11)下丘里塔格组为前积顶平型台地,台缘礁滩体位于坡折线以下,障壁作用比苗岭统沉积期弱,台地内部水体交换顺畅,台内发育了规模颗粒滩带,台缘斜坡带发育规模性重力流沉积。

基于轮南—富满地区寒武系台缘模式,评价出膏下台缘带(苗岭统膏盐岩与第二统丘滩带组合)、泥下台缘带(下奥陶统海侵泥质岩与芙蓉统丘滩体残丘组合)及泥间重力流(芙蓉统重力流沉积)等3类有效储盖组合,为该领域勘探部署提供了可靠的地质依据。

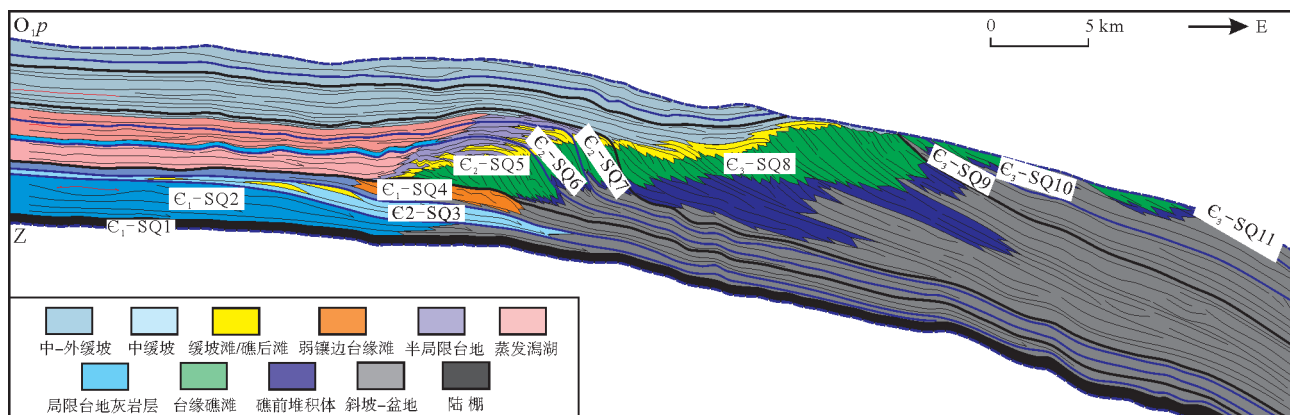


图10 塔里木盆地轮南—富满地区寒武系持续扩展型台缘模式

Fig. 10 Continuous extension platform margin model of Cambrian in Lunan-Fuman area in Tarim Basin

## 4 三大盆地重点勘探领域

我国三大古老海相克拉通盆地相对北美克拉通及西伯利亚克拉通,整体具有规模小、构造活动强和构造叠加改造作用强等特征,因此勘探难度大。“十四五”甚至未来油气勘探的重点依然围绕古裂陷、古隆起和古丘滩展开,在这个过程中需要深化新类型储盖组合识别,并进一步深化不同盆地间的构造—沉积差异演化对比研究。

古裂陷周缘丘滩带依然是增储上产和资源接替的重要领域,如四川盆地川中古隆起北斜坡灯影

组台缘丘滩带、开江—梁平海槽内长兴组—飞仙关组礁滩体、城口—鄂西海槽周缘长兴组丘滩带以及塔里木盆地塔北南斜坡奇格布拉克组等4个有利勘探区带,它们或已展现出万亿方的勘探潜力,或已具有勘探突破的苗头。碳同位素地层学、U—Pb年代学和元素录井等方法的应用,对重新厘定裂陷沉积演化阶段具有重要推进作用,如确定四川盆地于茅口组沉积期开始发育开江—梁平海槽的雏形,周缘丘滩带是重点探索的有利勘探区带。

多构造背景下台地边缘类型、内部结构存在显著差异,形成的储盖组合也不尽相同。塔里木盆地

寒武系—奥陶系台缘带是伸展至挤压构造动力的产物,发育膏下台缘带、泥下台缘带、致密碳酸盐岩下台缘带等3类有效储盖组合,是塔里木盆地探索8 000 m以深超深层油气勘探的现实领域。鄂尔多斯盆地“L”形古隆起西部及西南侧奥陶系台缘带被初步认为具有良好源储配置关系,已成为重点攻关的有利区带。

斜坡相重力流沉积、蒸发潟湖相泥灰岩等新领域是值得关注的勘探区带。如塔里木盆地塔东地区寒武系发育厚层斜坡重力流沉积岩,野外露头 and 钻井均已揭示其可构成规模储层,厚度46~97 m,并与斜坡相富有机质泥岩构成有效储盖组合;四川盆地三叠系雷口坡组充探1井的突破,引导勘探地质家认识到蒸发潟湖相可以发育源储一体型沉积;鄂尔多斯盆地马家沟组米探1井的突破,带来了局限台地藻丘滩也可形成规模成储的新理念。上述新领域都是在沉积新模式指导下重点攻关的领域,也是油气勘探的重点突破领域。

## 5 结 论

(1)三大古老海相克拉通盆地“裂—拗—隆”构造分异控制碳酸盐台地经历“孤立台地—缓坡—镶边”演化旋回,台地演化既存在相似性又存在差异性,裂陷的形成和演化控制了台地沉积分异,继而控制了纵向上源储盖组合的相似性。

(2)建立了古老海相克拉通盆地“多类台缘”模式、“双滩”缓坡模式、碳酸盐岩与膏盐岩组合体系模式等3种共性沉积模式。基于前两种沉积模式指出大陆边缘和裂陷边缘、拗陷边缘,内缓坡相带中古隆起和潟湖周缘是有利丘滩体发育区;基于后一种模式,指出“多隆多洼”的沉积格局下,海退期蒸发障壁台地和海侵期镶边台地两者规律性重复,海侵期古隆起周缘是有利滩体发育区。

(3)建立了四川盆地灯影组断阶型台缘模式和塔里木盆地寒武系持续扩展型台缘模式2种个性化沉积模式。四川盆地灯二段受多组同沉积断裂控制形成阶梯状台缘,断块高部位发育厚层丘滩体;塔里木盆地轮南—富满地区寒武系台缘带经历了由富泥质缓坡→低角度前积缓坡—弱镶边台地→以垂向加积为主的镶边台地→侧向前积镶边台地等4类台地的演化。

(4)三大古老海相克拉通盆地古裂陷周缘丘滩

带依然是增储上产和资源接替的重要领域。塔里木盆地轮南—古城地区寒武系—奥陶系台缘带发育膏下台缘带、泥下台缘带、致密碳酸盐岩下台缘带有效储盖组合,是8 000 m以深超深层油气勘探的现实领域。斜坡相重力流沉积、蒸发潟湖相泥灰岩等新领域是值得关注的勘探区带。

## 参 考 文 献

- [1] 马永生. 碳酸盐岩微相: 分析、解释及应用[M]. 北京: 地质出版社, 2006.  
MA Yongsheng. Microfacies of carbonate rocks: analysis, interpretation and application [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2006.
- [2] 周进高, 斯春松, 张建勇, 等. 碳酸盐岩障壁台地与储层发育规律[M]. 北京: 石油工业出版社, 2015.  
ZHOU Jingao, SI Chunsong, ZHANG Jianyong, et al. Carbonate barrier platform and the development laws of reservoirs [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2015.
- [3] 冯增昭. 碳酸盐岩沉积环境及岩相古地理的研究[J]. 石油实验地质, 1980(3): 24-31.  
FENG Zengzhao. Study on carbonate sedimentary environment and lithofacies paleogeography[J]. Petroleum geology & experiment, 1980(3): 24-31.
- [4] 刘宝珺. 沉积相模式与层控矿床[J]. 地质与勘探, 1981(12): 1-9.  
LIU Baojun. Sedimentary facies model and stratabound ore deposit[J]. Geology and exploration, 1981(12): 1-9.
- [5] 高志前, 樊太亮, 焦志峰, 等. 塔里木盆地寒武—奥陶系碳酸盐岩台地样式及其沉积响应特征[J]. 沉积学报, 2006, 24(1): 19-27.  
GAO Zhiqian, FAN Tailiang, JIAO Zhifeng, et al. The structural types and depositional characteristics of carbonate platform in the Cambrian-Ordovician of Tarim Basin[J]. Acta sedimentologica sinica, 2006, 24(1): 19-27.
- [6] 陈洪德, 钟怡江, 许效松, 等. 中国西部三大盆地海相碳酸盐岩台地边缘类型及特征[J]. 岩石学报, 2014, 30(3): 609-621.  
CHEN Hongde, ZHONG Yijiang, XU Xiaosong, et al. Types and characteristics of carbonate platform margins of marine carbonate rock in three major basins in western China[J]. Acta petrologica sinica, 2014, 30(3): 609-621.
- [7] 周进高, 张建勇, 邓红婴, 等. 四川盆地震旦系灯影组岩相古地理与沉积模式[J]. 天然气工业, 2017, 37(1): 24-31.  
ZHOU Jingao, ZHANG Jianyong, DENG Hongying, et al. Lithofacies paleogeography and sedimentary model of Sinian Dengying Fm in the Sichuan Basin[J]. Natural gas industry, 2017, 37(1): 24-31.
- [8] 何金海, 李国蓉, 彭博. 碳酸盐岩地震地貌学研究与应用:



- 以四川盆地东北部上二叠统长兴组为例[J]. 海相油气地质, 2014, 19(4): 45–49.
- HE Jinhai, LI Guorong, PENG Bo. Research and application of seismic geomorphology: a case of Changxing carbonate depositional system in the northeast of Sichuan Basin[J]. Marine origin petroleum geology, 2014, 19(4): 45–49.
- [9] 曾洪流, 赵文智, 徐兆辉, 等. 地震沉积学在碳酸盐岩中的应用: 以四川盆地高石梯—磨溪地区寒武系龙王庙组为例[J]. 石油勘探与开发, 2018, 45(5): 775–784.
- ZENG Hongliu, ZHAO Wenzhi, XU Zhaohui, et al. Carbonate seismic sedimentology: a case study of Cambrian Longwangmiao Formation, Gaoshiti-Moxi area, Sichuan Basin, China[J]. Petroleum exploration and development, 2018, 45(5): 775–784.
- [10] 朱筱敏, 董艳蕾, 曾洪流, 等. 中国地震沉积学研究现状和发展思考[J]. 古地理学报, 2020, 22(3): 397–411.
- ZHU Xiaomin, DONG Yanlei, ZENG Hongliu, et al. Research status and thoughts on the development of seismic sedimentology in China[J]. Journal of palaeogeography, 2020, 22(3): 397–411.
- [11] LI Z X, BOGDANOVA S V, COLLINS A S, et al. Assembly, configuration, and break-up history of Rodinia: a synthesis[J]. Precambrian research, 2008, 160(1/2): 179–210.
- [12] 万天丰, 朱鸿. 古生代与三叠纪中国各陆块在全球古大陆再造中的位置与运动学特征[J]. 现代地质, 2007, 21(1): 1–13.
- WAN Tianfeng, ZHU Hong. Positions and kinematics of Chinese continental blocks in reconstruction of global paleocontinents for Paleozoic and Triassic[J]. Geoscience, 2007, 21(1): 1–13.
- [13] 郭忠铭, 张军, 于忠平. 鄂尔多斯地块油区构造演化特征[J]. 石油勘探与开发, 1994, 21(2): 22–29.
- GUO Zhongming, ZHANG Jun, YU Zhongping. The evolutionary characteristics of structure of the oil and gas bearing areas in Ordos massif[J]. Petroleum exploration and development, 1994, 21(2): 22–29.
- [14] 李皎, 何登发. 四川盆地及邻区寒武纪古地理与构造—沉积环境演化[J]. 古地理学报, 2014(4): 441–460.
- LI Jiao, HE Dengfa. Palaeogeography and tectonic-depositional environment evolution of the Cambrian in Sichuan Basin and adjacent areas[J]. Journal of palaeogeography, 2014(4): 441–460.
- [15] 易士威, 李明鹏, 郭绪杰, 等. 塔里木盆地寒武系盐下勘探领域的重大突破方向[J]. 石油学报, 2019, 40(11): 1281–1295.
- YI Shiwei, LI Mingpeng, GUO Xujie, et al. Breakthrough direction of Cambrian pre-salt exploration fields in Tarim Basin[J]. Acta petrolei sinica, 2019, 40(11): 1281–1295.
- [16] 张成弓, 陈安清, 侯林君, 等. 中国西部古老海相沉积建造的典型结构样式及勘探指向[J]. 沉积学报, 2021, 39(6): 1491–1505.
- ZHANG Chenggong, CHEN Anqing, HOU Linjun, et al. Typical structural styles and exploration directions for ancient marine sedimentary formations in western China[J]. Acta sedimentologica sinica, 2021, 39(6): 1491–1505.
- [17] 郝杰, 翟明国. 罗迪尼亚超大陆与晋宁运动和震旦系[J]. 地质科学, 2004, 39(1): 139–152.
- HAO Jie, ZHAI Mingguo. Jinning movement and Sinian System in China: their relationship with Rodinia supercontinent[J]. Chinese journal of geology, 2004, 39(1): 139–152.
- [18] 罗志立. 略论地裂运动与中国油气分布[J]. 中国地质科学院院报, 1984(3): 93–101.
- LUO Zhili. A discussion of taphrogenesis and hydrocarbon distribution in China[J]. Acta geoscientica sinica, 1984(3): 93–101.
- [19] 刘树根, 孙玮, 罗志立, 等. 兴凯地裂运动与四川盆地地下组合油气勘探[J]. 成都理工大学学报(自然科学版), 2013, 40(5): 511–520.
- LIU Shugen, SUN Wei, LUO Zhili, et al. Xingkai taphrogenesis and petroleum exploration from Upper Sinian to Cambrian Strata in Sichuan Basin, China[J]. Journal of Chengdu University of Technology(science & technology edition), 2013, 40(5): 511–520.
- [20] 汪泽成, 姜华, 王铜山, 等. 四川盆地桐湾期古地貌特征及成藏意义[J]. 石油勘探与开发, 2014, 41(3): 305–312.
- WANG Zecheng, JIANG Hua, WANG Tongshan, et al. Paleogeomorphology formed during Tongwan tectonization in Sichuan Basin and its significance for hydrocarbon accumulation[J]. Petroleum exploration and development, 2014, 41(3): 305–312.
- [21] 周进高, 沈安江, 张建勇, 等. 四川盆地德阳—安岳台内裂陷与震旦系勘探方向[J]. 海相油气地质, 2018, 23(2): 1–9.
- ZHOU Jingao, SHEN Anjiang, ZHANG Jianyong, et al. Deyang—Anyue interplatform rift in Sichuan Basin and its direction of exploration in Sinian[J]. Marine origin petroleum geology, 2018, 23(2): 1–9.
- [22] 管树巍, 吴林, 任荣, 等. 中国主要克拉通前寒武纪裂谷分布与油气勘探前景[J]. 石油学报, 2017, 38(1): 9–22.
- GUAN Shuwei, WU Lin, REN Rong, et al. Distribution and petroleum prospect of Precambrian rifts in the main cratons, China[J]. Acta petrolei sinica, 2017, 38(1): 9–22.
- [23] 王坤, 王铜山, 汪泽成, 等. 华北克拉通南缘长城系裂谷特征与油气地质条件[J]. 石油学报, 2018, 39(5): 504–517.
- WANG Kun, WANG Tongshan, WANG Zecheng, et al. Characteristics and hydrocarbon geological conditions of the Changchengian rifts in the southern North China Craton[J]. Acta petrolei sinica, 2018, 39(5): 504–517.
- [24] 冯许魁, 刘永彬, 韩长伟, 等. 塔里木盆地震旦系裂谷发育

- 特征及其对油气勘探的指导意义[J]. 石油地质与工程, 2015, 29(2): 5-10.
- FENG Xukui, LIU Yongbin, HAN Changwei, et al. Sinian rift valley development characteristics in Tarim Basin and its guidance on hydrocarbon exploration[J]. Petroleum geology and engineering, 2015, 29(2): 5-10.
- [25] 姜海健, 陈强路, 杨鑫, 等. 塔里木盆地新元古代裂谷盆地层序样式[J]. 地质学报, 2017, 91(3): 588-604.
- JIANG Haijian, CHEN Qianglu, YANG Xin, et al. The style of sequence stratigraphy of Neoproterozoic rift basin in the Tarim Basin[J]. Acta geologica sinica, 2017, 91(3): 588-604.
- [26] 孙冬胜, 李双建, 云金表, 等. 中国海相克拉通盆地古隆起的活动性与油气分布[J]. 地质学报, 2017, 91(7): 1589-1603.
- SUN Dongsheng, LI Shuangjian, YUN Jinbiao, et al. The activities of paleo-uplifts and distribution of oil and gas in marine craton basins, China[J]. Acta geologica sinica, 2017, 91(7): 1589-1603.
- [27] 杜金虎, 汪泽成, 邹才能, 等. 上扬子克拉通内裂陷的发现及对安岳特大型气田形成的控制作用[J]. 石油学报, 2016, 37(1): 1-16.
- DU Jinhu, WANG Zecheng, ZOU Caineng, et al. Discovery of intra-cratonic rift in the Upper Yangtze and its control effect on the formation of Anyue giant gas field[J]. Acta petrolei sinica, 2016, 37(1): 1-16.
- [28] 许海龙, 魏国齐, 贾承造, 等. 乐山—龙女寺古隆起构造演化及对震旦系成藏的控制[J]. 石油勘探与开发, 2012, 39(4): 406-416.
- XU Hailong, WEI Guoqi, JIA Chengzao, et al. Tectonic evolution of the Leshan-Longnüsi paleo-uplift and its control on gas accumulation in the Sinian Strata, Sichuan Basin[J]. Petroleum exploration and development, 2012, 39(4): 406-416.
- [29] 杨跃明, 文龙, 罗冰, 等. 四川盆地乐山—龙女寺古隆起震旦系天然气成藏特征[J]. 石油勘探与开发, 2016, 43(2): 179-188.
- YANG Yueming, WEN Long, LUO Bing, et al. Hydrocarbon accumulation of Sinian natural gas reservoirs, Leshan-Longnüsi paleohigh, Sichuan Basin, SW China[J]. Petroleum exploration and development, 2016, 43(2): 179-188.
- [30] 何登发, 周新源, 杨海军, 等. 塔里木盆地克拉通内古隆起的成因机制与构造类型[J]. 地学前缘, 2008, 15(2): 207-221.
- HE Dengfa, ZHOU Xinyuan, YANG Haijun, et al. Formation mechanism and tectonic types of intracratonic paleo-uplifts in the Tarim Basin[J]. Earth science frontiers, 2008, 15(2): 207-221.
- [31] 邬光辉, 李启明, 肖中尧, 等. 塔里木盆地古隆起演化特征及油气勘探[J]. 大地构造与成矿学, 2009, 33(1): 124-130.
- WU Guanghui, LI Qiming, XIAO Zhongyao, et al. The evolution characteristics of palaeo-uplifts in Tarim Basin and its exploration directions for oil and gas[J]. Geotectonica et metallogenia, 2009, 33(1): 124-130.
- [32] 杨华, 王宝清, 孙六一, 等. 鄂尔多斯盆地古隆起周边地区奥陶系马家沟组储层影响因素[J]. 岩性油气藏, 2013, 25(3): 9-16, 35.
- YANG Hua, WANG Baoqing, SUN Liuyi, et al. Influencing factors of reservoirs for Ordovician Majiagou Formation in the surrounding area of paleo-uplift in Ordos Basin[J]. Lithologic reservoirs, 2013, 25(3): 9-16, 35.
- [33] 周进高, 刘新社, 沈安江, 等. 中国海相含油气盆地构造—岩相古地理特征[J]. 海相油气地质, 2019, 24(4): 27-37.
- ZHOU Jingao, LIU Xinshe, SHEN Anjiang, et al. The characteristics of tectonic-lithofacies paleogeography of marine petroliferous basins of China[J]. Marine origin petroleum geology, 2019, 24(4): 27-37.
- [34] 周进高, 姚根顺, 杨光, 等. 四川盆地安岳大气田震旦系—寒武系储层的发育机制[J]. 天然气工业, 2015, 35(1): 36-44.
- ZHOU Jingao, YAO Genshun, YANG Guang, et al. Genesis mechanism of the Sinian-Cambrian reservoirs in the Anyue gas field, Sichuan Basin[J]. Natural gas industry, 2015, 35(1): 36-44.
- [35] 杨威, 魏国齐, 赵蓉蓉, 等. 四川盆地震旦系灯影组岩溶储层特征及展布[J]. 天然气工业, 2014, 34(3): 55-60.
- YANG Wei, WEI Guoqi, ZHAO Rongrong, et al. Characteristics and distribution of karst reservoirs in the Sinian Dengying Fm, Sichuan Basin[J]. Natural gas industry, 2014, 34(3): 55-60.
- [36] 郑剑锋, 袁文芳, 黄理力, 等. 塔里木盆地肖尔布拉克露头区下寒武统肖尔布拉克组沉积相模式及其勘探意义[J]. 古地理学报, 2019, 21(4): 589-602.
- ZHENG Jianfeng, YUAN Wenfang, HUANG Lili, et al. Sedimentary facies model and its exploration significance of the Lower Cambrian Xiaerblak Formation in Xiaerblak area, Tarim Basin[J]. Journal of palaeogeography, 2019, 21(4): 589-602.
- [37] 朱永进, 郑剑锋, 俞广, 等. 塔里木盆地轮南—古城地区寒武系大型台地边缘层序结构、沉积演化及油气勘探潜力[J]. 石油学报, 2024, 45(7): 1061-1077.
- ZHU Yongjin, ZHENG Jianfeng, YU Guang, et al. Sequence architecture, sedimentary evolution and hydrocarbon exploration potential of the large Cambrian platform margin in Lunan-Gucheng area of Tarim Basin[J]. Acta petrolei sinica, 2024, 45(7): 1061-1077.



## New sedimentary models and their exploration significance of the Neoproterozoic–Paleozoic in the three ancient marine cratonic basins of China

ZHENG Jianfeng<sup>1,2,3</sup>, ZHU Yongjin<sup>1,2,3</sup>, ZHANG Benjian<sup>2,3,4</sup>, SUN Chonghao<sup>2,3,5</sup>,  
LI Wenzheng<sup>1,2,3</sup>, WU Dongxu<sup>1,2,3</sup>, ZHOU Jingao<sup>1,2,3</sup>

1. PetroChina Hangzhou Research Institute of Geology; 2. State Energy Key Laboratory of Oil and Gas in Carbonate Strata;

3. Key Laboratory of Carbonate Reservoirs, CNPC; 4. PetroChina Southwest Oil & Gas Field Company; 5. PetroChina Tarim Oilfield Company

**Abstract:** With the continuous expansion of oil and gas exploration into ultra-deep and ancient strata in the three major marine cratonic basins, challenges such as unclear favorable exploration zones have emerged. Therefore it is imperative to deepen research on depositional models for critical geological periods. Based on the summary of the Neoproterozoic–Paleozoic tectonic–sedimentary differential evolution characteristics of the three major basins, this paper analyzes the controlling effects of tectonic differentiation on sedimentary evolution. It is pointed out that the three ancient marine cratonic basins exhibit a tectonic differentiation pattern of "rift–depression–uplift", driving carbonate platforms undergoing an evolutionary cycle of "isolated platform–ramp–rimmed platform", and the formation and evolution of rifts control the sedimentary differentiation of platforms and the similarity of the vertical sourced–reservoir–cap assemblages. Four new models of carbonate sedimentation were established: "multi-type platform margins" and "double shoals" ramp models, carbonate–gypsum/salt symbiotic system model, fault terrace platform margin model of Dengying Formation in Sichuan Basin, and continuously expanding platform margin sedimentary model of Cambrian in Tarim Basin. The "multi-type platform margins" and "double shoals" ramp model reveal that the continental margin and rift margin, depression margin, paleo–uplift of inner ramp and lagoon periphery are favorable mound–shoal development areas. The carbonate–gypsum/salt symbiotic system model reveals that the margin of the paleo–uplift during transgression period is a favorable shoal development area. The fault terrace platform margin sedimentary model indicates that multiple syndepositional fault systems control the formation of step–like platform margins of the 2nd member of Dengying Formation in Sichuan Basin, with thick mound–shoal complexes developed on high fault blocks. The continuous extension platform margin sedimentary model reveals that the Cambrian platform margin belt of Lunnan–Gucheng area in Tarim Basin has undergone the evolution of mud–rich ramp→low–angle progradational ramp/weakly rimmed platform→vertically aggrading platform→laterally prograding rimmed platform. The new understanding of carbonate sedimentary models confirms that the mound–shoal belts around the paleo–rift of the three ancient marine craton basins are still important areas for increasing oil and gas reserves and ensuring resource succession. In addition, new fields such as gravity flow deposits in slope facies and marlstones in evaporative lagoon facies are worthy of exploration. The establishment of the new models of carbonate sedimentation strongly supports the deployment of oil and gas exploration, and also provides a new direction and ideas for future exploration.

**Key words:** marine craton; tectonic–depositional evolution; carbonate rock; sedimentary model; Neoproterozoic–Paleozoic; exploration area

**ZHENG Jianfeng**, First author: MSc, Senior Engineer, mainly engaged in sedimentology and reservoir geology and oil and gas exploration of carbonate rocks. Add: No.920 Xixi Rd., Xihu District, Hangzhou, Zhejiang 310023, China. E-mail: zhengjf\_hz@petrochina.com.cn

**ZHU Yongjin**, Corresponding author: PhD, Senior Engineer, mainly engaged in research on lithofacies paleogeographic reconstruction and exploration field evaluation of carbonate rocks. Add: No.920 Xixi Rd., Xihu District, Hangzhou, Zhejiang 310023, China. E-mail: zhuyj\_hz@petrochina.com.cn