

<https://doi.org/10.3799/dqkx.2018.310>



# 构造和古地理控制下的碳酸盐岩储集体旋回和 集群性探讨:以四川盆地为例

邢凤存<sup>1,2</sup>,胡华蕊<sup>1,2</sup>,侯明才<sup>1,2</sup>,陆永潮<sup>3</sup>

1.成都理工大学油气藏地质与开发工程国家重点实验室,四川成都 610059

2.成都理工大学沉积地质研究院,四川成都 610059

3.中国地质大学资源学院,湖北武汉 430074

**摘要:**四川盆地海相碳酸盐岩油气勘探突破不断,多个大气田群已初具雏形,并呈现出储集体集群分布的特点,而储集体集群结构及时空分布尚待探讨。在前人研究基础上,结合对四川盆地海相碳酸盐岩沉积储层等综合研究,系统探讨了四川盆地构造古地理演化控制下的碳酸盐岩旋回及集群类型、结构以及主控因素。以稳定碎屑岩层系和大型不整合面等为界,划分出8个垂向碳酸盐岩旋回,各旋回储集体构成具有差异性。总体而言,震旦系一下奥陶统、中二叠统一中三叠统的多个包含白云岩的储集体旋回更为有利;结合构造、古地理及储集体的时空配置,划分出板块边缘稳定的台缘礁滩储集体集群、持续迁移型古隆起及周缘岩溶和颗粒滩白云岩储集体集群、板块内部潮坪背景下的藻云岩和台内滩储集体集群、板块内部断裂相关的台缘和台洼礁滩相白云岩储集体集群、缓坡型灰岩致密型及岩溶型储层储集体集群等类型。稳定白云岩的存在对储集体集群起到了重要的控制作用,早期油气充注对白云岩储层保存影响明显;不同储集体集群受到了构造、海平面变化及岩相古地理的联合影响,表生岩溶、TSR、热流体活动成为特定地区储集体形成的影响因素。

**关键词:**碳酸盐岩储层;储集体集群;克拉通;古隆起;拉张槽;古生界;四川盆地;石油地质。

中图分类号:P618

文章编号:1000-2383(2018)10-3540-13

收稿日期:2018-05-21

## Carbonate Reservoirs Cycles and Assemblages under the Tectonic and Palaeogeography Control: A Case Study from Sichuan Basin

Xing Fengcun<sup>1,2</sup>, Hu Huarui<sup>1,2</sup>, Hou Mingcai<sup>1,2</sup>, Lu Yongchao<sup>3</sup>

1.State Key Laboratory of Oil and Gas Reservoir Geology, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China

2.Institute of Sedimentary Geology, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China

3.Faculty of Earth Resource, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China

**Abstract:** The oil/gas exploration of marine carbonate rocks in Sichuan basin has achieved a lot of breakthroughs. Several large gas field clusters have been gradually presented, and have shown the clumped distribution characteristics of carbonate reservoirs, while the assemblage structure of the reservoirs and its spatial and temporal distribution remain to be further discussed. Based on previous studies, combined with the comprehensive research on marine carbonate reservoirs in Sichuan Basin, the types, texture, and major controlling factors of carbonate cycles and assemblages under the control of tectonic and paleogeography have been systematically studied. Limited by stable clastic rock strata and large unconformity surfaces, eight carbonate cycles are divided in this paper, and each cycle has different reservoir compositions. The cycles include dolomite favorable for res-

**基金项目:**国家自然科学基金项目(Nos.41672103,41302089);成都理工大学中青年骨干教师培养计划项目。

**作者简介:**邢凤存(1978—),男,副教授,博士,主要从事沉积学、油气储层地质学、层序地层学等教学和研究工作。ORCID: 0000-0002-7823-2915. E-mail: xingfengcun@163.com

**引用格式:**邢凤存,胡华蕊,侯明才,等,2018.构造和古地理控制下的碳酸盐岩储集体旋回和集群性探讨:以四川盆地为例.地球科学,43(10): 3540—3552.

ervoirs such as ones of Sinian to Lower Ordovician, and Middle Permian to Middle Triassic. Combined with the tectonic space-time distribution, and lithofacies paleography of reservoirs, carbonate rock assemblages are divided into several vertical cycles including: (1) stable platform edge reefs and shoals reservoirs on the edge of Upper Yangtze plate, (2) supergene karstification and grain beach dolomite around continuous migration paleo-uplift, (3) algal dolomite and intra-platform shoals under the background of tidal flat in the plate, (4) reef and beach dolomite reservoirs on the both sides of platform margin and intra-platform depression controlled by faults in the plate, and (5) dense limestone and karst reservoirs of carbonate ramp. It is suggested that carbonate reservoirs assemblages are controlled by dolomite which has been protected by early oil and gas charging. Carbonate reservoirs assemblages are influenced by tectonics, sea-level, and lithofacies paleography. And other factors such as karst, TSR, and hot fluids etc. influence carbonate reservoirs in local area.

**Key words:** carbonate reservoirs; reservoir assemblage; Craton; paleo-uplift; intracratonic sags; Paleozoic; Sichuan Basin; petroleum geology.

## 0 引言

中国中西部大型叠合型盆地碳酸盐岩天然气勘探突破不断,针对单个大型碳酸盐岩气田沉积储层研究不断深入,并逐渐关注古隆起(韩剑发等,2017)、地裂运动(韩晓涛等,2016)等的形成与演化,及对生储盖的控制和影响(刘树根等,2016;汪泽成等,2016;Hou *et al.*, 2018).而当以一个突破区及突破层系向外围和其他层系推广时,却往往出现了储层的差异性(邢凤存等,2017),究其原因,笔者认为沉积储层的分布规律性和特定性尚待揭示。

四川盆地碳酸盐岩的油气突破包括:早期威远气田上震旦统灯影组的油气突破,安岳震旦系—寒武系特大型碳酸盐岩气田的发现;四川盆地东北部包括普光、元坝、龙岗、罗家寨等,一系列上二叠统长兴组一下三叠统飞仙关组特大—中型气田集群的发现;四川盆地西部—西北部中二叠统栖霞组、茅口组以及中三叠统雷口坡组、泥盆系光雾山组等层系大、中型气田的众多突破。尽管这些大气田不同程度受到了后期构造和流体改造,但其储集体无一例外地受早期沉积物质基础的控制,各储集体看上去是单一的,但从盆地演化过程及各阶段的构造改造特点来看,这些大型储集体之间存在明显的关联性和阶段对应性,即具有明显的时空集群结构。这些碳酸盐岩储集体集群与烃源岩和盖层的有效时空配置,最终奠定了大中型气田群的形成。

本文在前人研究基础上,以四川盆地海相碳酸盐岩储层为主要研究对象,充分关注构造和古地理演化,在储集体时空分布综合分析基础上,系统探讨了碳酸盐岩储集体集群的垂向旋回划分,并结合储集体的组合关系和结构,探索性进行了储集体集群类型划分,并探讨储集体群形成过程的主控因素。以期为系统探讨四川盆地乃至其他盆地碳酸盐岩形成

大中型气田集群的可能性、以及为大气田群的寻找和构建提供参考。

## 1 区域地质概况

中上扬子地区海相碳酸盐岩主要分布在震旦系—中三叠统(图1),经历了加里东、海西和印支3个重要的构造旋回阶段(陈洪德等,2012),3个旋回阶段中,加里东旋回和印支旋回地层总体保存较好,而海西旋回中泥盆系和石炭系地层在盆地内部剥蚀殆尽,仅在现今四川盆地边缘及周缘区残留。3期构造旋回内经历了3期地裂运动,即兴凯地裂运动、峨眉地裂运动以及龙门山地裂运动(刘树根等,2016)。在这些构造旋回的控制下,形成了西部、南部和北部半环带的古隆起分布,并形成了缓坡—台地的多套碳酸盐岩沉积旋回。中上扬子地区,除剥蚀殆尽地层外,现今保留较好的震旦纪—三叠纪地层揭示的古地理格局总体具有西高东低的特点,西部康滇古陆区形成了稳定的陆地区和古隆起区,而南北两侧古隆起分布具有阶段性,震旦纪北部汉南古陆发育,寒武纪南北两侧古隆起不发育,奥陶纪南部黔中和雪峰山古陆(或古隆起)逐渐形成,北缘存在上扬子北缘隆起(陈洪德等,2012)。不同时期碳酸盐岩台地边缘带的分布具有一定差异性,在加里东旋回期台地边缘主要分布在川东南和川东北地区;而海西区地层剥蚀缺失严重,台地边缘带缺失严重,仅在龙门山一带残存台缘带;印支期,台地边缘带主要分布在川东北地区和龙门山一带的盆地边缘带。不同地裂运动,在台地内部形成了与广海区相连的台地内部台洼边缘高能带,其中,桐湾运动形成了绵阳—长宁拉张槽两侧台洼边缘高能相带(邹才能等,2014;汪泽成等,2016),而在峨眉地裂运动过程中,形成了德阳—武胜—开江—梁平—城口—鄂西3个台洼和台间盆

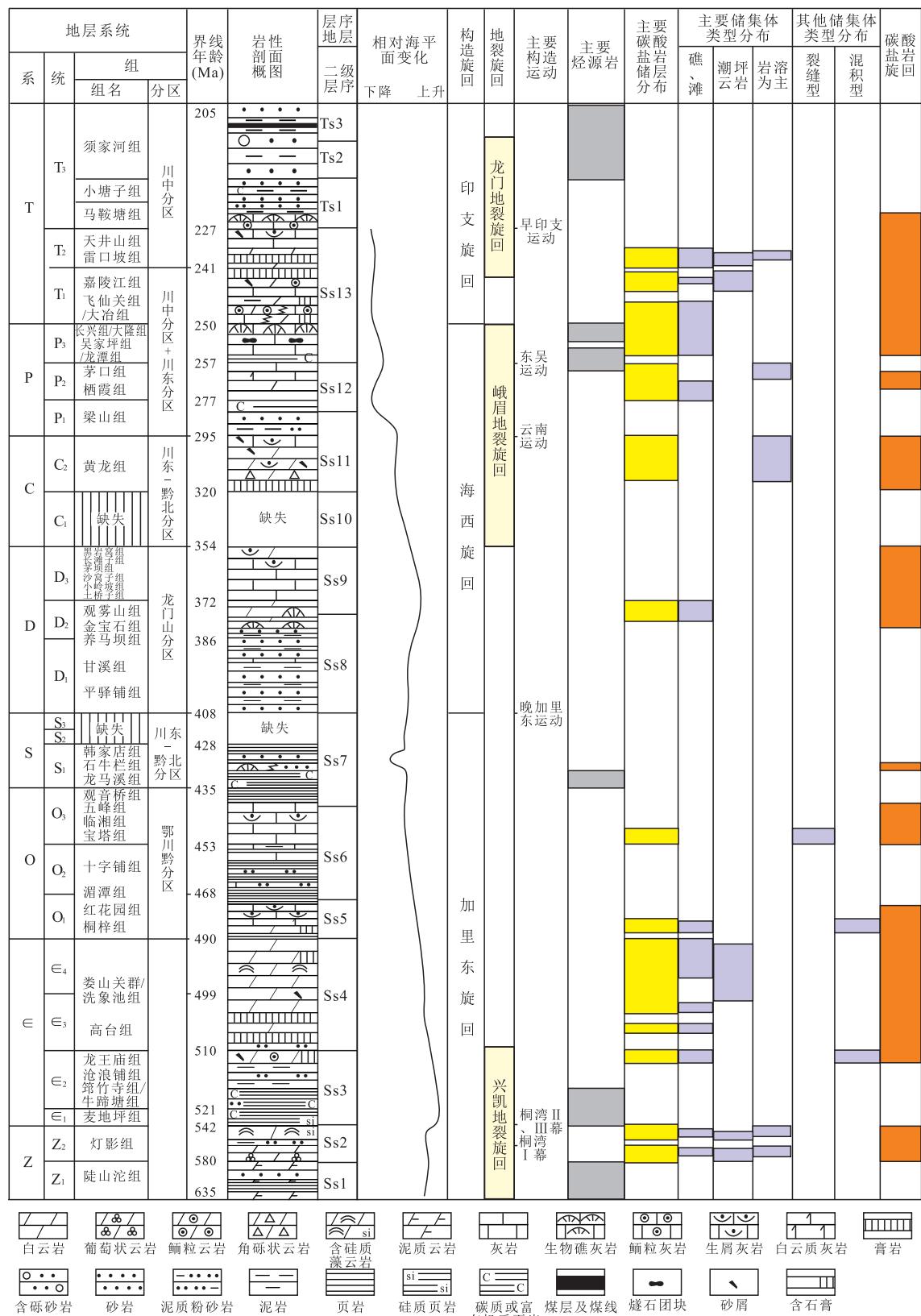


图 1 四川盆地及周缘海相碳酸盐岩层系综合地层柱状图

Fig.1 The comprehensive geologic column of marine carbonate in Sichuan Basin and its surrounding areas

地层系统、二级层序、海平面变化及构造旋回和构造运动等据陈洪德等(2012)和刘树根等(2016)修改。岩石地层名称总体针对油气突破地区相关层系进行了重点分区标注;储集体类型之间存在交互

地边缘高能礁滩带(邢凤存等,2017).

## 2 四川盆地碳酸盐岩储层类型及总体层位分布

四川盆地及周缘地区震旦系—三叠系海相碳酸盐岩储层普遍发育,具有多期古隆起发育(图 1)、白云岩储层与膏岩普遍共存、断控边缘礁滩发育、古油藏普遍存在、岩溶改造普遍等特点(图 2).根据占主导地位的储层类型,可划分出 3 大类主要储集体类型,即礁滩相关储层、岩溶储层、潮坪白云岩储层,除此之外,还存在裂缝型储层等(表 1).其中,礁滩储层可进一步划分为台地边缘礁滩类、台内礁滩类和台洼边缘礁滩类储层;潮坪白云岩储层进一步划分出膏云坪、云坪、微生物岩(藻云坪等)等储层;岩溶储层,按照岩溶形成阶段可划分为表生岩溶和埋藏岩溶,根据断层影响程度,可划分为断溶体岩溶和断层不发育岩溶.

需要指出的是,依据断层发育程度进行的岩溶储层划分具有探讨性,其中,鲁新便等(2015)在塔里木盆地进行了断溶体储层的相关研究,而关于四川盆地的论文还尚未见及.晚震旦—早寒武世发育的绵阳—长宁拉张槽(刘树根等,2013)、裂陷槽(邹才

能等,2014)或者裂陷(汪泽成等,2016),其灯影组灯二段顶部和灯四段顶部具有明显表生岩溶改造,在拉张槽的内部及边部断层密集发育(邢凤存等,2015; Feng et al., 2017),这些断层普遍终止于下寒武统黑色泥岩底部,说明该断层形成期总体在早寒武世沉积前,其与桐湾运动密切相关(邢凤存等,2015),而目前揭示的剥蚀强度较大的地区也集中在拉张槽的内部,且具强的岩溶溶蚀作用(汪泽成等,2017)及热流体改造作用(Feng et al., 2017).因此,经与前人提出的断溶体储层特征类比,笔者认为拉张槽内部及边缘存在灯影组表生暴露形成的断溶体,而四川盆地埋藏期构造热液溶蚀作用也一定程度上具有类似的结构(Feng et al., 2017).

实际上,四川盆地碳酸盐岩储层并非由单一沉积相或成岩作用控制(如礁滩沉积相,白云岩化,以及岩溶作用等),具有一定程度的多因素叠置特点.

## 3 碳酸盐岩发育演化的旋回划分及各自基本特征

本文以区域性稳定分布且厚度大的碎屑岩为主的层系及区域性不整合面作为分隔层系,充分考虑构造背景、岩相古地理及储集体类型的相近性及相



图 2 四川盆地海相碳酸盐岩不同构造期古隆起及主要台缘和台洼礁滩带分布

Fig.2 An overview of paleo-uplifts during the different tectonic stages and main reefs and shoals on the both sides of platform margins and intra-platform depression during the Later Permian Changxing period to Early Triassic Feixianguan period  
古隆起分布据李晓清等(2001),许效松和汪正江(2003),谷志东等(2016)

表 1 四川盆地海相碳酸盐岩储层类型划分

Table 1 Classification of marine carbonate reservoir types in Sichuan Basin

储层类型		储集空间类型	典型发育层位	备注	
大类	亚类			储层叠合	油气影响
	台内滩(包括潮缘滩)储层	粒间溶孔、晶间(溶)孔、微裂缝	如下寒武统龙王庙组、中上寒武统娄山关群、奥陶系等礁滩		
储层(以白云岩为主)	台缘带礁滩储层	粒间溶孔、晶间(溶)孔、微裂缝	如中二叠统栖霞组和茅口组、上二叠统长兴组、下三叠统飞仙关组、嘉陵江组、中三叠统雷口坡组等	可能存在表生岩溶影响	
	台洼边缘礁滩储层	粒间溶孔、晶间(溶)孔、微裂缝	如上二叠统长兴组德阳—武胜台洼两侧、灯影组等		
潮坪白云岩储层	膏云坪、云坪、微生物岩(藻云坪等)等	晶间(溶)孔、微裂缝	如上震旦统灯影组、第三统一芙蓉统娄山关群、下三叠统、嘉陵江组、中三叠统雷口坡组等	可能存在表生岩溶影响,往往与台内滩储层组合	目前发现的油气藏普遍存在古油藏,是储层得以保存的重要条件之一
岩溶储层	埋藏岩溶	断溶体岩溶	孔、洞、缝	如拉张槽内灯影组二段和四段岩溶,茅口组等	白云岩层系更为普遍,滩相储层叠合更有利
岩溶储层	表生岩溶	断层不发育岩溶	孔、洞、缝	如上震旦统灯影组二段和四段、上石炭统黄龙组、中二叠统茅口组、中三叠统雷口坡组顶等	白云岩层系更为普遍,滩相储层叠合更有利
裂隙型储层等			如宝塔组等	一般与其他储层伴生,部分可归入断溶体储层	
其他储层					
	碳酸盐岩碎屑岩混积型储层		如川中古隆起东部边缘的龙王庙组、桐梓组等	可与白云岩类储层共存	

关性(图 3,4,5),以及演化过程等,对碳酸盐岩旋回结构进行了探讨性划分。四川盆地海相碳酸盐岩相关的碎屑岩分隔层系主要包括灯影组之下的陡山沱组、下寒武统麦地坪组—牛蹄塘组(或筇竹寺组)、下—中奥陶统湄潭组—中奥陶统十字铺组、上奥陶统五峰组—下志留统龙马溪组、中下志留统韩家店组、中下泥盆统、下二叠统梁山组、上三叠统龙潭组、上三叠统须家河组等。在以上分割层系基础上,划分了碳酸盐岩旋回,包括上震旦统灯影组、下寒武统龙王庙组—下奥陶统红花园组、上奥陶宝塔组—临湘组、下志留统石牛栏组、泥盆系、石炭系、中二叠统栖霞组和茅口组、上二叠统长兴组—中三叠统雷口坡组等(图 1)。

(1) 上震旦统灯影组。该旋回对应二级层序 SS2(图 1)。上扬子地区 Rodinia 大陆的裂解控制了整个上扬子 E—C 转换时期沉积古地理格局(侯明才等,2017)。在晚震旦世灯影期和早寒武世发生了三幕桐湾运动,造成了古地理格局的明显变化,形成了目前关注度较高的早寒武世拉张槽,而桐湾运动三幕运动各幕均具有先隆升暴露岩溶、再局部快速沉降的

结构特征(邢凤存等,2015)。

震旦系灯影组以局限台地沉积为主,白云岩普遍发育,具有葡萄状白云岩和微生物白云岩发育特点(刘树根等,2016)。灯影组以岩溶储层为主,川中古隆起、川北和川东南等地区岩溶储层均有发育,层位上主要发育在灯影组二段顶部和灯影组四段顶部,分别对应桐湾运动 I 幕活动期、桐湾运动 II 幕和 III 幕(古隆起区往往难于区分)。除此之外,前人研究还认为,受桐湾运动拉张作用影响,在灯影组四段台地内部的断控深水区两侧形成了稳定分布的台缘丘、滩相沉积(邹才能等,2014),也成为重要的储集体(图 3)。需要说明的是,加里东运动对震旦系灯影组白云岩储层也有一定的影响。

(2) 下寒武统龙王庙组—下奥陶统红花园组。该旋回对应二级层序 SS3—SS5(图 1)。有关寒武纪—早奥陶世构造背景认识尚存在一定争议性。黄福喜等(2011)和何登发等(2011)认为寒武纪到早奥陶世是克拉通内伸展裂陷盆地;也有学者将其划分为两个阶段,第一个阶段是早期弱拉张阶段,刘树根等(2013)提出了早寒武世绵阳—长宁拉张槽,也有称

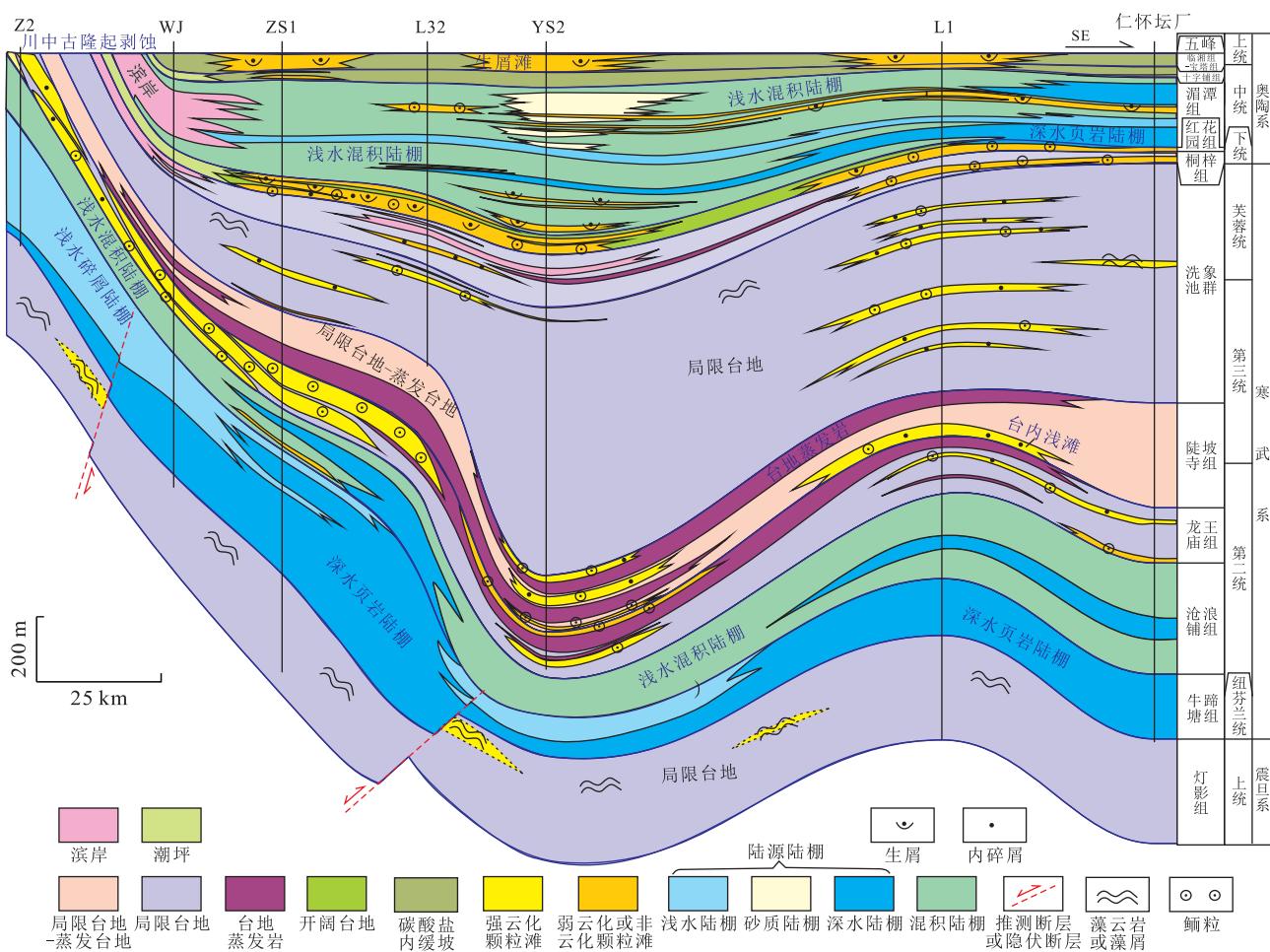


图3 过乐山—龙女寺古隆起南东向震旦系—奥陶系沉积相对比剖面

Fig.3 Sedimentary facies section from Sinian to Ordovician across central Sichuan paleo-uplift

为“德阳—安岳”裂陷槽(邹才能等,2014)或者德阳—安岳裂陷(汪泽成等,2016),突破了传统上扬子克拉通盆地的整体结构认识,并认为该拉张事件经历了从早寒武世早期强烈拉张到早寒武世龙王庙组沉积期消亡的演化过程(刘树根等,2013);第二个阶段为弱挤压阶段,刘树根等(2016)认为在下寒武统龙王庙组沉积后到石炭纪,上扬子克拉通进入弱挤压背景,并在奥陶系前形成了乐山—龙女寺古隆起雏形。

该旋回现今在四川盆地范围内以局限台地—蒸发沉积为主,龙王庙组存在台地和缓坡两种不同认识,而红花园组以开阔台地沉积为主。总体膏岩发育(Liu et al., 2017),川中古隆起持续向东扩展,随着早寒武世绵阳—长宁拉张槽的逐渐消亡,形成了早寒武世龙王庙期台内颗粒滩,其受川中古隆起控制明显,并具有一定程度环膏岩湖分布特征,而该膏岩和白云岩组合不同程度地持续到早奥陶世桐梓组沉积期(图3,5)。总体上,该时期龙王庙组、洗象池组及

桐梓组颗粒滩明显受到了乐山—龙女寺古隆起的影响,并具有整体向东迁移的特征(图3)。下寒武统龙王庙组—下奥陶统红花园组储层主要以颗粒滩白云岩储层为主,也可具有潮坪相关白云岩储层。川中古隆起区具有岩溶叠置特点(图5),安岳特大型气田主要为龙王庙组台内滩白云岩及岩溶叠合储层发育(邹才能等,2014)。

(3)上奥陶统宝塔组—临湘组。该旋回对应二级层序SS6(图1)。晚奥陶世,扬子地区具有挤压构造背景,华南板块陆内造山(李皎等,2015),上扬子板块东南边缘向华夏陆块聚敛俯冲,导致扬子板块整体构造沉降,形成了碳酸盐岩缓坡沉积(杨威等,2012)。

中晚奥陶世,上扬子地区经历了渭潭组碎屑沉积后,逐渐形成了十字铺、宝塔组、临湘组等碳酸盐岩缓坡沉积(图3,5),但其未见明显白云岩化,同时后期岩溶叠加弱,导致该时段总体储层不发育。该时段存在岩溶储层(如川中古隆起区(图3)和川北古

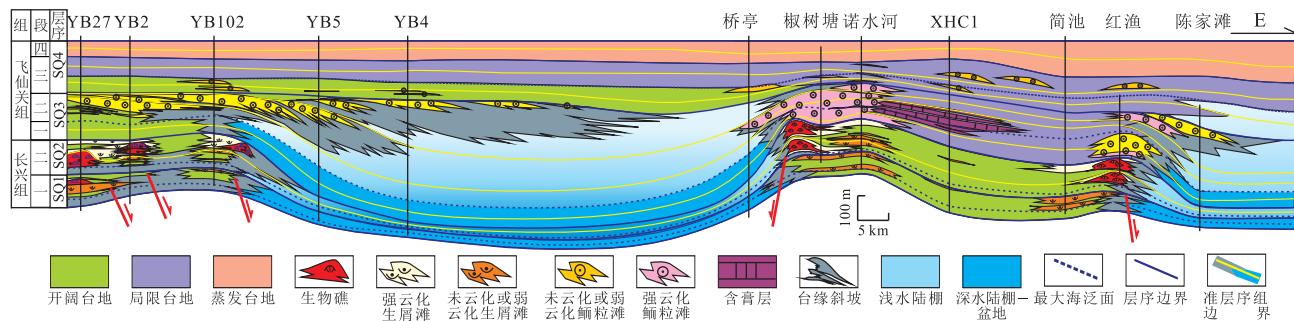


图 4 跨川东北长兴组—飞仙关组不同台缘带沉积相对比剖面

Fig.4 Sedimentary facies section across different platform margins of the Changxing Formation and Feixianguan Formation, northeast Sichuan Basin

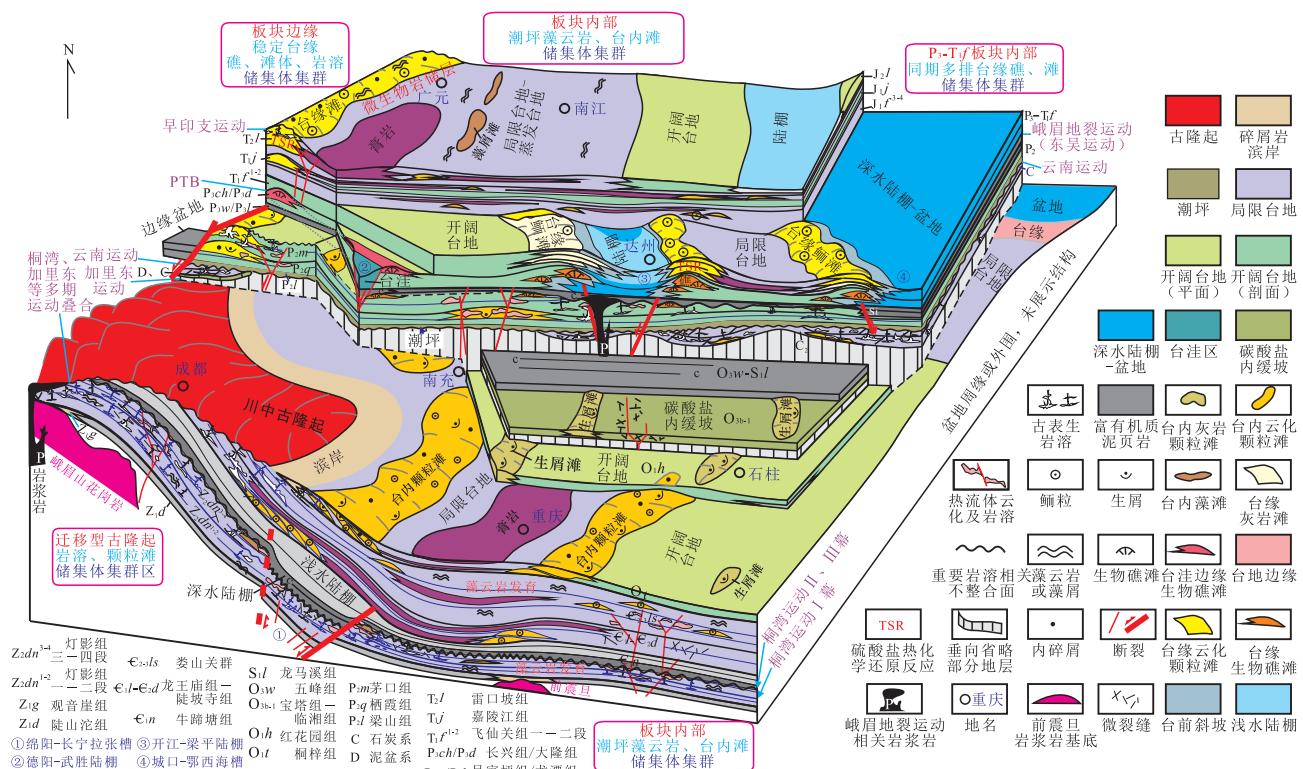


图 5 四川盆地海相碳酸盐岩构造岩相古地理及储集体集群结构模式

Fig.5 Reconstruction model for tectonic and paleogeography and the structures of carbonate reservoir assemblages in Sichuan Basin

隆起区)或裂隙储层(如川南和川西北地区宝塔组),前期勘探已在川南和川西北地区宝塔组内获得工业气流(方少仙等,1994).

(4)下志留统石牛栏组.该旋回对应二级层序 SS7(图 1).扬子地区晚奥陶世—志留纪挤压收缩演化形成前陆盆地(许效松和汪正江,2003).广西运动造成中上志留统剥蚀严重(王正和等,2013).

由于志留系龙马溪组和韩家店组之间的石牛栏组,在川东南地区发育缓坡碳酸盐岩背景下的灰岩生物礁滩(马东洲等,2006),其上下层系均被大套碎

屑岩分割,难于与其他层系形成连续的碳酸盐岩沉积,因此,将其划分为一个单独的碳酸盐岩储集体集群旋回.但目前该层系尚未取得重要的碳酸盐岩油气勘探突破,在川东南地区在该生物礁滩内见古油藏存在(马文辛等,2012),指示了一定的储层存在和油气勘探潜力.

(5)泥盆系.该旋回对应二级层序 SS8-SS9(图 1).在加里东和海西运动导致的剥蚀作用,使得上扬子现今四川盆地内泥盆系缺失严重,四川盆地的川西龙门山一带,地层总体保存良好,该阶段保存了开

阔台地、台地边缘—陆棚等沉积相带,其中,泥盆系光雾山组具有较好的白云岩储层发育(Xiong et al., 2018)。

(6)石炭系.该旋回对应二级层序 SS11(图 1).在加里东和海西运动导致的剥蚀作用,现今四川盆地内大部分石炭系缺失,仅在川西地区、川东北和川东地区(胡明毅等,2015)部分存在,其中川东北地区石炭系普遍以上石炭统黄龙组地层残存为主,分布面积相对稳定,地层中可见石膏沉积,川西地区石炭系总体出露较全.该储层主要为局限台地背景的白云岩储层及白云岩岩溶储层,目前,川东石炭系黄龙组(Li et al., 2011)揭示的该套储层已取得油气突破。

(7)中二叠统栖霞组和茅口组.该旋回对应二级层序 SS12(图 1).笔者没有将中二叠统栖霞组和茅口组碳酸盐岩储集体与上三叠统长兴组和下三叠统飞仙关组划归到一个旋回,主要是考虑栖霞茅口组储层与长兴组和飞仙关组具有明显差异性,且其处于峨眉地裂运动的初始期,而长兴组和飞仙关组处于峨眉地裂运动之后;同时,两者之间也存在明显的区域不整合及该不整合界面之上的海陆过渡相为主的含煤层系分割。

晚石炭世—早二叠世,上扬子地区以隆升剥蚀为主,在不整合面基础上,中二叠世上扬子地区开始经历大规模的海侵超覆(黄涵宇等,2017),形成了中二叠统以碎屑岩沉积为主的梁山组和以碳酸盐岩缓坡—台地沉积为主的栖霞组和茅口组(Borjigen et al., 2014).在中二叠世茅口组沉积末期,东吴运动导致上扬子克拉通整体隆升,并形成了区域性不整合面,随后峨眉山玄武岩喷发,范围波及四川、云南、贵州等地,其后新一轮海侵海退交替作用,形成了普遍的海陆交互相含煤地层。

中二叠统栖霞组以滩相背景的白云岩储层为主,在川西和川西北地区具有很好的油气突破;而茅口组主要为灰岩岩溶储层以及白云岩储层(Xiao et al., 2016),在川东南和川西北等地区具有很好的油气突破。

(8)上二叠统长兴组—中三叠统雷口坡组储集体集群旋回.该旋回对应二级层序 SS13(图 1).峨眉地裂运动波及范围广泛,表现为晚二叠世峨眉强烈拉张、中三叠世结束的演化过程(罗志立等,2004).受峨眉地裂运动影响(刘树根等,2013),晚二叠世—早三叠世形成“三隆三凹”的构造古地理格局(汪泽成等,2016),早三叠世晚期到中三叠世形成了泸州水下古隆起(张廷山等,2008)。

笔者将上二叠统长兴组—中三叠统雷口坡组作为一个旋回,主要考虑碳酸盐岩沉积具有连续性和继承性.但其内部具有明显的阶段性,上二叠统长兴组一下三叠统飞仙关组具有同期多排碳酸盐岩台地边缘和台洼边缘高能相带(图 4,5);下三叠统嘉陵江组和中三叠统雷口坡组则地貌稳定,具有石膏发育的高盐度潮坪沉积背景.各组之间和内部存在泥晶灰岩、泥质白云岩、含膏岩层等分割。

上二叠统长兴组一下三叠统飞仙关组碳酸盐岩台地发育,并在德阳—武胜陆棚两侧、开江—梁平陆棚两侧发育高能礁滩带,前两者在飞仙关组早期向东逐渐填平(邢凤存等,2017)该阶段礁滩白云岩储层为主,岩溶改造不明显.该阶段对应峨眉地裂运动弱化期,形成了断裂控制下的开江—梁平深水陆棚、德阳—武胜深水陆棚及城口—鄂西海槽等 3 个主要深水区控制下的多排台缘礁滩储层,总体上看,长兴组以台缘生物礁滩为主,而飞仙关组主要以台缘颗粒滩(Chen et al., 2017)为主,且该时期具有台缘带向东迁移特征(图 4),形成了明显的“西礁东滩”结构(邢凤存等,2017).其中,长兴组沉积期德阳—武胜深水区发育,但到长兴组晚期,深水区逐渐填平,形成台内低洼区,并导致台洼边缘礁滩的消失;而飞仙关组沉积期,该台内深水区已经不明显.在开江—梁平陆棚及城口—鄂西海槽边缘,长兴组生物礁滩顶部普遍发育白云岩储层,飞仙关组的台缘颗粒滩发育,但台缘带白云岩分布具有差异性,普光台缘带云化强,龙岗—元坝台缘带具有间互的云化特征(邢凤存等,2017).

下三叠统嘉陵江组和中三叠统雷口坡组局限台地—蒸发台地发育,在川西北地区存在台缘高能相带,潮坪和台缘白云岩储层发育.该层系沉积期,上扬子长兴组和飞仙关组隆凹格局已经填平补齐,进入到盐度偏高的潮坪沉积为主的局限台地背景环境,台地内部普遍发育膏岩(Zhao et al., 2018),形成了高盐度盐湖影响下的台内/台缘微生物岩、颗粒滩沉积,而雷口坡组后期的构造挤压抬升剥蚀,也形成了表生岩溶与藻云岩、藻屑滩云岩及含膏云岩等的叠合.该阶段台地内部主要发育潮坪背景下的微生物岩白云岩储层,台缘带发育岩溶叠合的台缘颗粒滩白云岩储层.目前,该层系已经在川西北地区取得了重要突破。

以上碳酸盐岩旋回中,白云岩主要处于二级层序的中上部,而二级层序顶界面构造运动往往形成岩溶储层.同时,部分旋回灰岩发育(如石牛栏组、宝塔组—临湘组等),储层特征还尚待探讨和揭示.

## 4 储集体集群类型划分

综合以上分析,结合储集体的时空组合关联性及其构造控制因素,笔者进行了储集体集群类型划分(图 5),主要包括以下几种类型:

(1) 板块边缘稳定的台缘礁滩储集体集群。该类储集体集群以上扬子西缘板块边缘为代表,对应川西北地区,在该地区由于处于扬子板块的西部边缘,总体稳定的克拉通盆地、伸展为主的大地构造背景(陈洪德等,2012),使得上扬子西缘板块边缘带存在稳定的台缘带,持续的碳酸盐岩沉积古地理背景下,形成了栖霞组、茅口组、长兴组、飞仙关组、嘉陵江组和雷口坡组等多套台地边缘生物礁滩和颗粒滩的组合,进而表现出相对其他地区更为稳定的台缘高能相带。该区白云石化普遍,且茅口组和雷口坡组受到表生岩溶影响明显。按照垂向组合结构可进一步划分栖霞组—茅口组、长兴组—飞仙关组、嘉陵江组—雷口坡组 3 个垂向储集体集群阶段,不同阶段储层分布及影响因素具有差异性,其中栖霞组—茅口组组合中,不但茅口组受到了岩溶改造影响,栖霞组和茅口组还受到了明显的峨嵋大火山岩省相关的热流体改造影响;长兴组—飞仙关组主要以台缘礁滩云化储层为主,而嘉陵江组—雷口坡组合台缘带储集体则明显与台内膏岩湖共存。

(2) 持续迁移型古隆起及周缘岩溶和颗粒滩白云岩储集体集群。该集群以川中古隆起为代表,也称乐山龙女寺古隆起(刘树根等,2016),储集体总体受古隆起控制明显,具有环古隆起带状分布,且随着古隆起不断向东扩展而逐渐向东、南东和北东方向推进。该储集体集群区可进一步划分为古隆起形成前期震旦系灯影组白云岩岩溶储集体、古隆起形成初期的下寒武统龙王庙组古隆起周缘云化的潮缘滩和云化台内滩储层,以及古隆起持续向东扩展过程中形成的娄山关群潮坪相白云岩储层、桐梓组合内云化滩储层等(图 3),横向具有古隆起高部位表生岩溶改造明显、隆起斜坡部位云化颗粒滩发育特点。该储集体集群除灯影组叠合岩溶外,其余台内滩体具有明显的环川中古隆起向东部、东南等进积结构,且普遍具有膏岩湖共存特征。

需要说明的是,四川盆地存在多期古隆起,但除川中古隆起外,其余古隆起的研究程度还有待深入,今后的研究中可能会发现很多古隆起控制下的岩溶和台内滩储集体集群组合。

(3) 板内潮坪背景下的藻云岩和台内滩储集体

集群。该储集体集群主要分布在上扬子板块内部的震旦系灯影组、娄山关群、嘉陵江组—雷口坡组 3 个层系内。在稳定且无明显构造拉张和挤压背景下,及蒸发较强的局限台地的古地理背景下,形成了潮坪云岩储层的稳定面状分布。该类储层常含膏白云岩和膏岩层共存,灯影组和雷口坡组也被认为是微生物岩储层发育时段(刘树根等,2016)。

(4) 板内断裂相关的台缘和台洼礁滩相白云岩储集体集群。该储集体集群组合主要发育在震旦系灯影组内部、上二叠统长兴组一下三叠统飞仙关组台洼和台缘带,主要处于地裂运动(或构造幕)的中晚期阶段,以早期地裂运动形成断控的拉张槽或深水陆棚—盆地等深水区、中晚期在该深水区与台地浅水区连接区形成高能礁滩带为特点,并具有逐渐填平补齐的特点(图 5);白云石化的礁滩体,尤其是滩体,是其主要储集体。其中,灯影组内部受桐湾运动影响,在四川盆地中部形成了近南北向的断层控制的相对深水区(邢凤存等,2015),该断裂边缘发育了台地边缘丘滩复合体(邹才能等,2014;侯明才等,2017),但该台缘带并未发现明显的迁移结构。由于受到峨嵋地裂运动影响,形成了上扬子地区三隆三凹的地貌格局,在长兴组沉积期,在德阳—武胜形成台洼区、开江—梁平陆棚(也有学者称为海槽,如王一刚等(2006))、以及东侧城口—鄂西海槽的西侧等形成了同期多排碳酸盐岩台洼和台地边缘生物礁滩带,而在飞仙关组沉积早期,德阳—武胜台洼区基本不明显,形成了开江—梁平深水陆棚两侧及城口—鄂西深水陆棚—盆地西缘三排台地边缘颗粒滩储层(图 4,5)。而长兴组和飞仙关组合台缘和台洼储集体组合,形成了具有明显向东迁移的储集体集群结构,并具有明显的“西礁东滩”结构,同时,不同台缘带也形成了不同的台缘沉积结构及储层的分布(邢凤存等,2017)。

(5) 缓坡型灰岩致密型及岩溶型储层储集体集群。除以上白云岩为主的储集体集群外,本次研究表明,还存在碳酸盐岩缓坡背景下的致密灰岩储集体集群,并可能伴有表生岩溶的叠合。该储集体集群主要分布在中奥陶统以及川东南下志留统石牛栏组(王瑞华等,2013),其受黔中古隆起控制明显,形成了古隆起北缘带状礁滩体以及台内滩分布,具有一定的潜在储层发育背景。

需要说明的是,本次研究尚未充分考虑断裂带附近的热流体溶蚀和热液白云石化储层,其是否能够单独形成有效的储集体集群有待研究。

## 5 储集体集群主控因素分析

四川盆地海相碳酸盐岩储集体集群得以最终形成,有如下主要控制因素:

(1)稳定白云岩的时空分布是核心要素之一,如震旦系灯影组、寒武系、长兴组、飞仙关组、嘉陵江和雷口坡组等,均以白云岩为主,且以高能的礁滩相带为主,而白云岩的分布又一定程度上受到了二级层序高位体系域的控制。需要指出的是,早期油气充注也是四川盆地白云岩相关储层得以保存的重要条件之一。目前发现的安岳特大型气田、川东北长兴组和飞仙关组大中型气田群,都普遍存在古油藏记录,古油藏的存在有利于抑制储层的胶结及过渡白云石化对孔隙的堵塞,同时,后期的原油裂解也有利于储集空间的释放。

(2)不同储集体集群类型具有不同的主控因素:除白云岩的影响外,不同储集体集群总体上表现出了明显受不同类型的构造、海平面变化及岩相古地理等联合控制的特点,二级和三级层序高位体系域是储层的主要分布时段(邢凤存等,2017)。对于板块边缘稳定的台缘礁滩储集体集群,稳定的板块边缘带,形成了相对稳定的深水、浅水区以及高能的台地边缘带分布,二级和三级高位体系域是形成高能云化相带的重要阶段(图 1,5);板内潮坪背景下的藻云岩和台内滩储集体集群,稳定的构造背景和蒸发较强的稳定局限台地背景是其主要决定因素;持续迁移型古隆起及周缘岩溶和颗粒滩白云岩储集体集群,其主要受控于持续性古隆起及其周缘高位体系域发育的浅水高能相带的存在,有利于表生岩溶储层、环古隆起云化颗粒滩储层的形成,而与膏岩湖的横向衔接,则为白云岩的形成提供了良好条件(图 3,5);板内断裂相关的台缘和台洼礁滩相白云岩储集体集群,地裂运动幕式活动形成了拉张槽、深水陆棚或海槽等相对深水区,在断裂控制明显的深水区两侧,在高位体系域内形成了台缘高能云化礁滩;而缓坡型灰岩致密型及岩溶型储层储集体集群则总体受到了断裂或者古隆起的控制。

除以上主控因素外,表生岩溶的叠合、热流体活动、TSR 等,也对油气,乃至特定地区储集体的形成提供了良好条件。

## 6 结论

(1)四川盆地海相碳酸盐岩储集体垂向上可划

分出 8 个旋回,时空上可划分出板块边缘稳定的台缘礁滩、持续迁移型古隆起及周缘岩溶和颗粒滩白云岩、板内潮坪背景下的藻云岩和台内滩、板内断裂相关的台缘和台洼礁滩相白云岩、以及缓坡型灰岩致密型及岩溶型等储集体集群类型。不同储集体集群具有不同的储集体时空配置。

(2)四川盆地海相碳酸盐岩储集体集群,主要受白云岩控制,早期油气充注对表云岩相关储层具有重要保护作用;不同储集体集群受构造、海平面变化及岩相古地理的联合控制。

(3)四川盆地海相碳酸盐岩储层研究还尚存诸多争议,其中很多构造问题尚待深入研究,如古隆起的形成与演化时间和过程(乐山—龙女寺古隆起等),盆地张性和压性构造的阶段划分,以及这些构造过程对古地理格局和储集体的控制等方面。

## References

- Borjigen, T., Qin, J.Z., Fu, X.D., et al., 2014. Marine Hydrocarbon Source Rocks of the Upper Permian Longtan Formation and Their Contribution to Gas Accumulation in the Northeastern Sichuan Basin, Southwest China. *Marine and Petroleum Geology*, 57:160—172. <https://doi.org/10.1016/j.marpetgeo.2014.05.005>
- Chen, H.D., Guo, T.L., Hou, M.C., et al., 2012. Process of Deposition Filling and Law of Material Distribution in Superimposed Basin of Middle and upper Yangtze. Science Press, Beijing (in Chinese).
- Chen, L., Lu, Y.C., Fu, X.Y., et al., 2017. Oolitic Shoal Complexes Characterization of the Lower Triassic Feixianguan Formation in the Yuanba Gas Field, Northeast Sichuan Basin, China. *Marine and Petroleum Geology*, 83: 35—49. <https://doi.org/10.1016/j.marpetgeo.2017.03.009>
- Fang, S.X., Hou, F.H., Lan, G., et al., 1994. Genesis of 'Horseheely Crack' Texture and Its Hydrocarbon Potential in Middle Ordovician Baota Limestones in Sichuan and Guizhou. *Southern Oil and Gas Geology*, 1(1):36—40 (in Chinese with English abstract).
- Feng, M.Y., Wu, P.C., Qiang, Z.T., et al., 2017. Hydrothermal Dolomite Reservoir in the Precambrian Dengying Formation of Central Sichuan Basin, Southwestern China. *Marine and Petroleum Geology*, 82: 206—219. <http://doi.org/10.1016/j.marpetgeo.2017.02.008>
- Gu, Z.D., Yin, J.F., Jiang, H., et al., 2016. Discovery of Xuanhan-Kaijiang Paleoulift and Its Significance in the Sichuan Basin, SW China. *Petroleum Exploration and Development*, 43(6):893—903 (in Chinese with English abstract).
- Han, J.F., Sun, C.H., Wang, Z.Y., et al., 2017. Superimposed

- Compound Karst Model and Oil and Gas Exploration of Carbonate in Tazhong Uplift. *Earth Science*, 42(3): 410–420 (in Chinese with English abstract). <https://doi.org/10.3799/dqkx.2017.031>
- Han, X.T., Bao, Z.Y., Xie, S.Y., 2016. Origin and Geochemical Characteristics of Dolomites in the Middle Permian Formation, SW Sichuan Basin, China. *Earth Science*, 41(1): 167–176. <https://doi.org/10.3799/dqkx.2016.013>
- He, D.F., Li, D.S., Zhang, G.W., et al., 2011. Formation and Evolution of Multi-Cycle Superposed Sichuan Basin, China. *Chinese Journal of Geology*, 46(3): 589–606 (in Chinese with English abstract).
- Hou, M.C., Chen, A.Q., Ogg, J.G., et al., 2018. China Paleogeography: Current Status and Future Challenges. *Earth-Science Reviews*, online. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2018.04.004>
- Hou, M.C., Xing, F.C., Xu, S.L., et al., 2017. Paleogeographic Patterns of E-C Transition Period in the Upper Yangtze and the Geodynamic Mechanism. *Acta Sedimentologica Sinica*, 35(5): 902–917 (in Chinese with English abstract).
- Hu, M.Y., Deng, M., Hu, Z.G., et al., 2015. Reservoir Characteristics and Main Control Factors of the Carboniferous Huanglong Formation in Sichuan Basin. *Earth Science Frontiers*, 22(3): 310–321 (in Chinese with English abstract).
- Huang, F.X., Chen, H.D., Hou, M.C., et al., 2011. Filling Process and Evolutionary Model of Sedimentary Sequence of Middle-Upper Yangtze Craton in Caledonian (Cambrian-Silurian). *Acta Petrologica Sinica*, 27(8): 2299–2317 (in Chinese with English abstract).
- Huang, H.Y., He, D.F., Li, Y.Q., et al., 2017. The Prototype and Its Evolution of the Sichuan Sedimentary Basin and Adjacent Areas during Liangshan and Qixia Stages in Permian. *Acta Petrologica Sinica*, 33(4): 1317–1337 (in Chinese with English abstract).
- Li, J., He, D.F., Mei, Q.H., 2015. Tectonic-Depositional Environment and Proto-Type Basins Evolution of the Ordovician in Sichuan Basin and Adjacent Areas. *Acta Petrologica Sinica*, 36(4): 428–445 (in Chinese with English abstract).
- Li, W., Zhang, Z.J., Dang, L.R., 2011. Depositional Systems and Evolution of the Upper Carboniferous Huanglong Formation in the Eastern Sichuan Basin. *Petroleum Exploration and Development*, 38(2): 400–408.
- Li, X.Q., Wang, Z.C., Zhang, X.W., et al., 2001. Characteristics of Paifo-Uplifts in Sichuan Basin and Their Control Action on Natural Gases. *Oil & Gas Geology*, 22(4): 347–351 (in Chinese with English abstract).
- Liu, H., Tan, X.C., Li, Y.H., et al., 2017. Occurrence and Conceptual Sedimentary Model of Cambrian Gypsum-Bearing Evaporites in the Sichuan Basin, SW China. *Geoscience Frontiers*, online. <http://doi.org/10.1016/j.gsf.2017.06.006>
- Liu, S.G., Song, J.M., Luo, P., et al., 2016. Characteristics of Microbial Carbonate Reservoir and Its Hydrocarbon Exploring Outlook in the Sichuan Basin, China. *Journal of Chengdu University of Technology (Science & Technology Edition)*, 43(2): 129–152 (in Chinese with English abstract).
- Liu, S.G., Sun, W., Luo, Z.L., et al., 2013. Xingkai Taphrogenesis and Petroleum Exploration from Upper Sinian to Cambrian Strata in Sichuan Basin, China. *Journal of Chengdu University of Technology (Science & Technology Edition)*, 40(5): 511–520 (in Chinese with English abstract).
- Liu, X.B., Hu, W.G., Wang, Y., et al., 2015. Characteristics and Development Practice of Fault-Arst Carbonate Reservoirs in Tahe Area, Tarim Basin. *Oil & Gas Geology*, 36(3): 347–355 (in Chinese with English abstract).
- Luo, Z.L., Liu, S., Liu, S.G., et al., 2004. The Action of “Emei Mantle Plume” on the Separation of the Yangtze Plate from the Tarim Plate and Its Significance in Exploration. *Acta Geoscientica Sinica*, 25(5): 515–522 (in Chinese with English abstract).
- Ma, D.Z., Chen, H.D., Zhu, L.D., et al., 2006. Depositional System and Lithofacies and Paleogeography of the Silurian Shiniulan Formation in the Southern Sichuan Basin, China. *Journal of Chengdu University of Technology (Science & Technology Edition)*, 33(3): 228–232 (in Chinese with English abstract).
- Ma, W.X., Liu, S.G., Huang, W.M., et al., 2012. Characteristics of Silurian Paleo-Oil Reservoirs and Their Significance for Petroleum Exploration on the Southeast Margin of Sichuan Basin. *Oil & Gas Geology*, 33(3): 432–441 (in Chinese with English abstract).
- Wang, R.H., Tan, Q.Y., Fu, J.Y., et al., 2013. Sedimentary Characteristics of the Silurian Organic Reefs from the Shiniulan Formation in Southeastern Sichuan. *Sedimentary Geology and Tethyan Geology*, 33(2): 10–16 (in Chinese with English abstract).
- Wang, Y.G., Wen, Y.C., Hong, H.T., et al., 2006. Petroleum Geological Characteristics of Deep Water Deposits in Upper Permian-Lower Triassic Trough in Sichuan Basin and Adjacent Areas. *Oil & Gas Geology*, 27(5): 702–714 (in Chinese with English abstract).
- Wang, Z.C., Wang, T.S., Wen, L., et al., 2016. Basic Geological Characteristics and Accumulation Conditions of Anyue Gi-

- ant Gas Field, Sichuan Basin. *China Offshore Oil and Gas*, 28(2):45—52 (in Chinese with English abstract).
- Wang, Z. H., Tan, Q. Y., He, L., et al., 2013. Deposition and Sequence Stratigraphy of the Silurian Southeastern Sichuan- Northern Guizhou Shiniulan Formation in Province. *Oil & Gas Geology*, 34(4):499—507 (in Chinese with English abstract).
- Xiao, D., Tan, X. C., Xi, A. H., et al., 2016. An Inland Facies-Controlled Eogenetic Karst of the Carbonate Reservoir in the Middle Permian Maokou Formation, Southern Sichuan Basin, SW China. *Marine and Petroleum Geology*, 72:218—233. <http://doi.org/10.1016/j.marpetgeo.2016.02.001>
- Xing, F. C., Hou, M. C., Lin, L. B., et al., 2015. The Records and Its Dynamic Genesis Discussion of Tectonic Movement during the Late Sinian and the Early Cambrian of Sichuan Basin. *Earth Science Frontiers*, 22(1): 115—125 (in Chinese with English abstract).
- Xing, F. C., Lu, Y. C., Guo, T. L., et al., 2017. Sedimentary Texture Diversity of Different Carbonate Platform Marlins and Its Significance for Petroleum Exploration: A Case Study of Carbonate Platform Marlins in Feixian-Guan Period of the Early Triassic, NE Sichuan Basin, China. *Acta Petrologica Sinica*, 33(4):1305—1316 (in Chinese with English abstract).
- Xiong, L. Q., Yao, G. S., Xiong, S. Y., et al., 2018. Origin of Dolomite in the Middle Devonian Guanwushan Formation of the Western Sichuan Basin, Western China. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 495: 113 — 126. <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2017.12.035>
- Xu, X. S., Wang, Z. J., 2003. Thought Clew to Search after Strategic Prospecting Precincts of Oil and Gas Resources in Marine Facies Basins in China. *Marine Origin Petroleum Geology*, 8(1—2):1—9 (in Chinese with English abstract).
- Yang, W., Xie, W. R., Wei, G. Q., et al., 2012. Sequence Lithofacies Paleogeography, Favorable Reservoir Distribution and Exploration Zones of the Cambrian and Ordovician in Sichuan Basin, China. *Acta Petrolei Sinica*, 33(Suppl. 2):21—34 (in Chinese with English abstract).
- Zhang, T. S., Chen, X. H., Jiang, Z. Y., et al., 2008. Controls of Luzhou Uplift on Sedimentary Environment and Facies Distribution in Early and Middle Triassic, Chishui, Guizhou Province. *Acta Sedimentologica Sinica*, 26(4): 583—592 (in Chinese with English abstract).
- Zhao, W. Z., Hu, S. Y., Xu, Z. H., et al., 2018. Lithology Mapping of a Mixed Siliciclastic-Carbonate-Evaporite System Using 3D Seismic and Well Data: Lower Triassic Jialingjiang Formation, Sichuan Basin, Southwestern China. *Marine and Petroleum Geology*, 93: 422 — 436. <https://doi.org/10.1016/j.marpetgeo.2018.03.005>
- Zou, C. N., Du, J. H., Xu, C. C., et al., 2014. Formation, Distribution, Resource Potential and Discovery of the Sinian-Cambrian Giant Gas Field, Sichuan Basin, SW China. *Petroleum Exploration and Development*, 41 (3): 278—293 (in Chinese with English abstract).
- ### 附中文参考文献
- 陈洪德,郭形楼,侯明才,等,2012.中上扬子叠合盆地沉积充填过程与物质分布规律.北京:科学出版社.
- 方少仙,侯方浩,兰贵,等,1994.川黔地区中奥陶统宝塔组灰岩中“马蹄纹”构造的成因及含油气性.南方油气地质, 1(1):36—40.
- 谷志东,殷积峰,姜华,等,2016.四川盆地宣汉——开江古隆起的发现及意义.石油勘探与开发,43(6):893—903.
- 韩剑发,孙崇浩,王振宇,等,2017.塔中隆起碳酸盐岩叠合复合岩溶模式与油气勘探.地球科学,42(3):410—420. <https://doi.org/10.3799/dqkx.2017.031>
- 韩晓涛,鲍征宇,谢淑云,2016.四川盆地西南中二叠统白云岩的地球化学特征及其成因.地球科学,41(1):167—176. <https://doi.org/10.3799/dqkx.2016.013>
- 何登发,李德生,张国伟,等,2011.四川多旋回叠合盆地的形成与演化.地质科学,46(3):589—606.
- 侯明才,邢凤存,徐胜林,等,2017.上扬子E-C转换期古地理格局及其地球动力学机制探讨,35(5):902—917.
- 胡明毅,邓猛,胡忠贵,等,2015.四川盆地石炭系黄龙组储层特征及主控因素分析.地学前缘,22(3):310—321.
- 黄福喜,陈洪德,侯明才,等,2011.中上扬子克拉通加里东期(寒武—志留纪)沉积层序充填过程与演化模式.岩石学报,27(8):2299—2317.
- 黄涵宇,何登发,李英强,等,2017.四川盆地及邻区二叠纪梁山—栖霞组沉积盆地原型及其演化.岩石学报,33(4): 1317—1337.
- 李皎,何登发,梅庆华,2015.四川盆地及邻区奥陶纪构造畏冗积环境与原型盆地演化.石油与天然气地质,36(4): 428—445.
- 李晓清,汪泽成,张兴为,等,2001.四川盆地古隆起特征及对天然气的控制作用.石油与天然气地质,22(4): 347—351.
- 刘树根,宋金民,罗平,等,2016.四川盆地深层微生物碳酸盐岩储层特征及其油气勘探前景.成都理工大学学报(自然科学版),43(2):129—152.
- 刘树根,孙玮,罗志立,等,2013.兴凯地裂运动与四川盆地下组合油气勘探.成都理工大学学报(自然科学版),40(5): 511—520.
- 鲁新便,胡文革,汪彦,等,2015.塔河地区碳酸盐岩断溶体油

- 藏特征与开发实践.石油与天然气地质,36(3):347—355.
- 罗志立,刘顺,刘树根,等,2004.“峨眉地幔柱”对扬子板块和塔里木板块离散的作用及其找矿意义.地质学报,25(5):515—522.
- 马东洲,陈洪德,朱利东,等,2006.川南下志留统石牛栏组沉积体系与岩相古地理.成都理工大学学报(自然科学版),33(3):228—232.
- 马文辛,刘树根,黄文明,等,2012.四川盆地东南缘志留系古油藏特征及其油气勘探意义.石油与天然气地质,33(3):432—441.
- 王瑞华,谭钦银,付建元,等,2013.川东南志留系石牛栏组生物礁沉积特征.沉积与特提斯地质,33(2):10—16.
- 王一刚,文应初,洪海涛,等,2006.四川盆地及邻区上二叠统一下三叠统海槽的深水沉积特征.石油与天然气地质,27(5):702—714.
- 汪泽成,王铜山,文龙,等,2016.四川盆地安岳特大型气田基本地质特征与形成条件.中国海上油气,28(2):45—52.
- 王正和,谭钦银,何利,等,2013.川东南—黔北志留系石牛栏组沉积与层序地层.石油与天然气地质,34(4):499—507.
- 邢凤存,侯明才,林良彪,等,2015.四川盆地晚震旦世—早寒武世构造运动记录及动力学成因讨论.地学前缘,22(1):115—125.
- 邢凤存,陆永潮,郭彤楼,等,2017.碳酸盐岩台地边缘沉积结构差异及其油气勘探意义——以川东北早三叠世飞仙关期台地边缘带为例.岩石学报,33(4):1305—1316.
- 许效松,汪正江,2003.对中国海相盆地油气资源战略选区的思考.海相油气地质,8(1—2):1—9.
- 杨威,谢武仁,魏国齐,等,2012.四川盆地寒武纪—奥陶纪层序岩相古地理、有利储层展布与勘探区带.石油学报,33(增刊2):21—34.
- 张廷山,陈晓慧,姜照勇,等,2008.泸州古隆起对贵州赤水地区早、中三叠世沉积环境和相带展布的控制.沉积学报,26(4):583—592.
- 邹才能,杜金虎,徐春春,等,2014.四川盆地震旦系—寒武系特大型气田形成分布、资源潜力及勘探发现.石油勘探与开发,41(3):278—293.