

川北地区下寒武统龙王庙组沉积相 及与储层的关系

黄梓桑^{1,2,3}, 杨雪飞^{1,2}, 王兴志^{1,3}, 王雅萍^{1,2,3}, 陈超^{1,2,3}, 曾德铭^{1,3}, 杜双宇³

1 天然气地质四川省重点实验室(西南石油大学); 2 油气藏地质及开发工程国家重点实验室;

3 西南石油大学地球科学与技术学院

摘要 以四川盆地北部下寒武统龙王庙组为研究对象,利用野外露头、测井及岩心等资料,探讨了川北地区下寒武统龙王庙组的沉积相类型及特征,并分析了其对储层的影响。研究认为:川北地区在早寒武世龙王庙期的沉积环境为碳酸盐台地,发育潮坪、局限台地和开阔台地等3种相带,这些相带又进一步细分为混积潮坪、台内点滩、潟湖和滩间海等4种亚相。其中,混积潮坪亚相主要发育砂质白云岩坪、白云岩坪等,部分地区可见潮道;台内点滩亚相以砂屑白云岩最为常见,沉积厚度不大;潟湖亚相以白云质潟湖沉积和白云质灰质潟湖沉积为主,分布面积大;滩间海亚相沉积物以深灰色块状石灰岩为主,局部夹白云质豹斑灰岩。纵向上,大部分地区龙王庙组沉积由2次海退旋回构成,潟湖主要发育在单个沉积旋回的中下部;台内点滩主要发育在沉积旋回的中、上部,单个滩体厚度较薄;混积潮坪发育在旋回顶部,即旋回末期。平面上,由于受古陆影响,研究区自西向东具有物源供应减少、沉积水体逐渐变深,以及沉积相从潮坪—局限台地—开阔台地过渡的特征,台内点滩主要围绕局限潟湖分布。结合不同沉积相带储层物性的分析,认为台内点滩的颗粒白云岩储集性能最好,晶粒白云岩次之,膏盐岩最差。龙王庙组储层发育的最有利沉积环境为台内点滩。

关键词 沉积相; 储层; 碳酸盐岩; 龙王庙组; 四川盆地

中图分类号: TE121.1

文献标识码: A

0 前言

近年来,在四川盆地寒武系碳酸盐岩地层中已经取得了油气重大突破^[1-7],其中,2012年在下寒武统龙王庙组发现了迄今我国最大的单体海相整装天然气藏,该组成为了四川盆地目前最重要的天然气主产层。龙王庙组白云岩储层厚度大、分布稳定、储集性能良好,蕴含了丰富的天然气资源,已探明储量 $4\,403\times 10^8\text{ m}^3$ 。

前人对四川盆地龙王庙组的沉积模式、岩相古地理和储层预测做了大量的研究,取得了一系列研究成果^[2,5,8-16]。研究普遍认为四川盆地在龙王庙期为从缓坡台地向镶边台地演化的沉积模式^[8-9],滩是全盆地最有利的潜在勘探对象^[5,8-12]。另外,部分研究认为龙王庙组主要为相控的岩溶型储层,指出有利的沉积相带控制了储层的分布^[2,10,12],岩溶强度影响了储层的发育规模^[13-17]。这些成果多以川中地区龙王庙组储层为研究对象,探讨其沉积相、储层特

征、成因机制,并预测储层分布等。此外,部分研究的重点是以全盆地为背景来分析早寒武世龙王庙期沉积环境和岩相古地理^[8-9]。

当前对下寒武统龙王庙组的勘探和研究主要集中在四川盆地中部地区,对盆地周缘地区龙王庙组沉积相和储层发育特征的认识尚不十分清楚。笔者在前期开展川北广元—城口一带寒武系沉积储层特征研究的过程中,在多个野外剖面的龙王庙组白云岩中,均发现了一定规模的储集空间,但储层特征及成因机制尚不明确。针对川北地区下寒武统龙王庙组的研究整体相对滞后的现状,本文以川北地区下寒武统龙王庙组为研究对象,通过分析沉积相类型与特征,建立了该套地层沉积演化模式,恢复了早寒武世龙王庙期沉积相平面展布特征,最终结合不同沉积相带岩石储集性能的差异,探讨了沉积相与储层的关系,以期为四川盆地周缘地区龙王庙组油气勘探提供地质资料及理论依据。

收稿日期: 2018-01-08; 改回日期: 2018-09-28; 网络发表日期: 2019-03-14

本文受西南石油大学科研启航计划项目“川北地区下寒武统龙王庙组豹斑灰岩成因及古环境指示意义”(编号: 2017QHZ005),天然气地质四川省重点实验室开放基金“磨溪地区下寒武统龙王庙组‘花斑状’白云岩储层成因机理研究”(编号: 2018trqdz02),和中国石油科技创新基金“四川盆地寒武统龙王庙组豹斑状构造成因及其成储效应”(编号: 2018D-5007-0105)联合资助

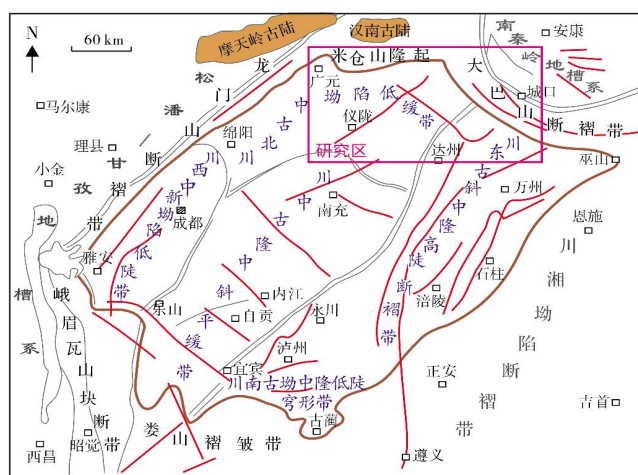
第一作者: 黄梓桑,西南石油大学地质学专业硕士研究生,研究方向为沉积及储层地质学。通信地址: 610500 四川省成都市新都大道8号西南石油大学地球科学与技术学院; E-mail: hzs515@163.com

1 区域地质概况

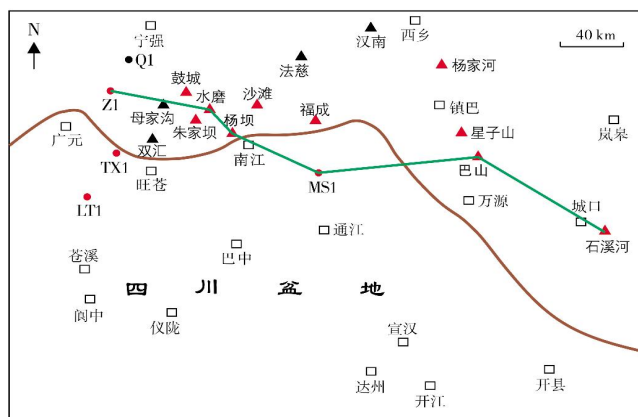
四川盆地位于扬子板块的西北部^[18]。寒武纪之前,因桐湾运动的影响,盆地部分地区的灯影组因抬升而遭受风化剥蚀,总体上形成了自西北向东南方向逐渐低缓倾斜的古地貌特征^[15,19-22]。在早寒武世龙王庙期,四川盆地位于一个广阔的碳酸盐台地内,沉积了1套厚度大、分布稳定的碳酸盐岩^[4,19-20]。受海平面变化的影响,龙王庙组发育了2个四级沉积旋回,每一个旋回都经历了快速海进—缓慢海退的沉

积过程,表现为由下至上沉积水体变浅,沉积物粒度变粗。

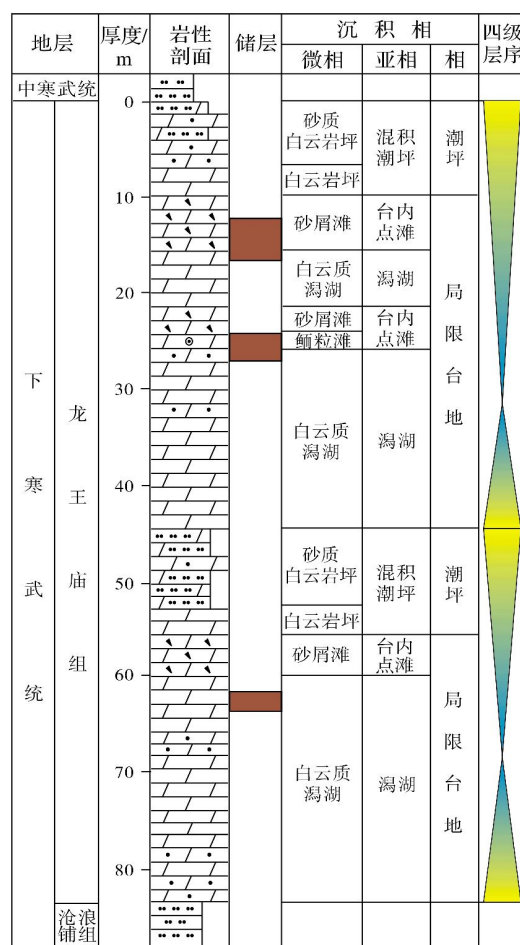
研究区主要位于四川盆地北部的川北古中坳陷低缓带^[23],部分位于米仓山隆起—大巴山断褶带,主要包括广元—城口一带的地区(图1a,1b)。早寒武世龙王庙期,研究区的沉积环境主要为碳酸盐局限台地(图1c),整体水体相对较浅,受盆地西北部摩天岭古陆和北部汉南古陆的影响^[18-20],沉积物中陆源碎屑较多,沉积物主要为含砂质颗粒白云岩、晶粒白云岩及部分混积岩等。



(a) 四川盆地构造及研究区位置图(据文献[16,20,23])



(b) 研究区井位及剖面位置



(c) 研究区龙王庙组地层柱状图

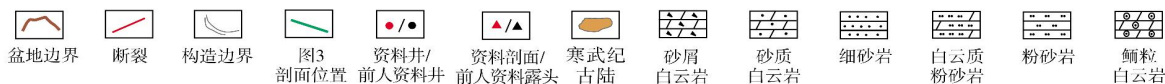


图1 研究区区域地质概况

2 沉积相类型与特征

在调研前人研究成果的基础上,通过对研究区10条野外剖面和4口钻井岩心的观察和描述,结合前

人在川北地区研究的4条野外剖面和1口钻井资料(图1b),综合分析认为龙王庙组在川北地区主要发育潮坪、局限台地、开阔台地等沉积相,这些相可进

一步划分为混积潮坪、潟湖、台内点滩和滩间海等4种亚相,每种亚相都具有典型的沉积特征。

2.1 潮坪

混积潮坪常发育于碳酸盐连陆台地靠近海岸线一侧的浅水地带,地势平缓,水体局限,主要受潮汐作用控制。龙王庙晚期,四川盆地北部靠近古陆一带发育碎屑岩和碳酸盐岩混合沉积的潮坪,根据沉积物质和沉积特征的差异,可进一步识别出砂质白云岩坪、泥质白云岩坪等微相类型。该相带主要沉积产物由砂质泥晶白云岩(图2a)、泥质泥晶白云岩、白云质粉砂岩等构成,可见透镜状层理(图2b)、暴露干裂(图2c)、脉状层理和波状层理等沉积构造。虽然该环境中发育有透镜状的潮汐沟道沉积,局部可见少量针状分布的孔隙,但它们的分布范围及厚度极为有限。总体来说研究区潮坪相沉积厚度大,岩性致密,陆源碎屑较多,后期建设性成岩作用微弱,储集性能差。

2.2 局限台地

局限台地相的沉积水体受到较大程度的限制,盐度较大,除局部地貌高地附近,特别是水下古隆起区向海一侧的水动力条件较强外,总体水动力条件较弱。该相带主要堆积的是较高盐度环境下的低能细粒沉积物,局部夹有较多的颗粒沉积。根据地貌、水动力条件、沉积产物等特征,可进一步将局限台地划分为台内点滩和潟湖2种亚相。

2.2.1 台内点滩

台内点滩处于水下小型地貌高地附近,根据沉积时的颗粒类型进一步划分为鲕粒滩、砂屑滩等不同的滩体类型。

鲕粒滩 鲕粒滩一般形成于持续高能的水动力环境之中,以鲕粒沉积为主。该微相在研究区分布较少,目前在沙滩和福成等部分地区的龙王庙组中有所发现,沉积物以鲕粒白云岩为主。鲕粒白云岩在野外剖面中特征明显,其鲕粒形态规则,分布均匀,粒间充填亮晶胶结物(图2d);在显微镜下鲕粒重结晶作用明显(图2e),鲕粒内部及粒间充填物均可见自形白云石晶体,受重结晶作用等成岩作用改造,鲕粒同心圈层结构遭受破坏难以观察。鲕粒白云岩的晶体间可发育部分孔隙,具有一定的储集性能,是研究区龙王庙组储层较有利的沉积微相。

砂屑滩 砂屑滩是研究区龙王庙组局限台地内最为重要的滩体类型,主要分布在杨坝—沙滩一带,其水动力条件持续较强,砂屑沉积物堆积较厚,累计厚度可达30多米。该微相主要岩性为灰色—浅灰色块状亮晶砂屑白云岩,含少量陆源黏土泥和石英碎屑。在显微镜下可见砂屑粒径约为0.5~2 mm,其颗粒主要由泥晶白云石组成,分选、磨圆差异较大,粒间多为亮晶—泥亮晶胶结,重结晶作用及溶蚀作用明显,粒内及晶间溶孔较为发育(图2f,2g)。砂屑滩沉积物储集性较好,是研究区内龙王庙组储层最主要的沉积微相。

2.2.2 潟湖

潟湖环境处于台地内部相对低洼平坦的地区,四周有随机分布的台内点滩,具有水动力条件极弱、水体盐度大等典型特点。根据沉积产物进一步划分为白云质潟湖、白云质灰质潟湖和膏质潟湖等微相。

白云质潟湖 白云质潟湖属地貌较平缓的水体较深的沉积,水动力较弱,水体较局限,主要以分布较为稳定的暗色泥晶白云岩为主(图2h),常伴有石膏假结核出现。泥晶白云岩经后期重结晶作用改造,使得晶粒增大,形成泥—粉晶白云岩(图2i)、粉晶白云岩等,这改善了储层物性,使得储层的储集性较好。该微相主要分布于杨坝—福成一带的地区。

白云质灰质潟湖 白云质灰质潟湖发育于局限台地水体局限—半局限的低洼处,水体流动性相对较好,以一套厚层的深灰色—灰色白云质灰岩(图2j)和灰质白云岩为主,可见豹斑状产出(图2k),储集性偏差。该微相主要分布在杨家河—万源一带的地区。

膏质潟湖 膏质潟湖水体极度受限,几乎无流动,浅水区和表层水体由于蒸发作用所形成的高盐度水体,在重力作用下可源源不断汇聚于此,从而形成盐度极高的水体,堆积巨厚的膏盐岩和膏质白云岩。这类岩性主要发育于研究区中部以南,储集性极差。

2.3 开阔台地

开阔台地水体循环较好,盐度基本正常,但水动力条件总体较弱。开阔台地相以稳定的沉积亚相滩间海为主,沉积物主要为厚层—块状深灰色泥晶灰岩,偶夹白云质豹斑灰岩(图2l),整体具有厚度大、较为致密、分布稳定的特点,在研究区城口石溪河剖



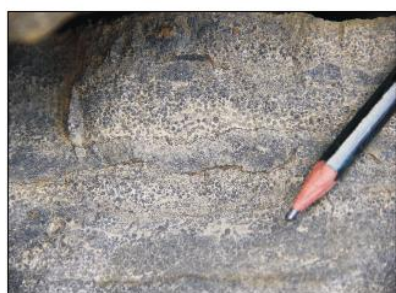
(a) 砂质泥晶白云岩。鼓城野外剖面。单偏光



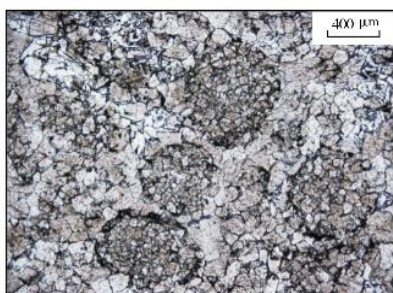
(b) 泥质白云岩夹透镜状砂岩。福成野外剖面



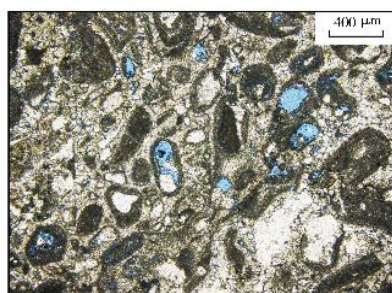
(c) 泥质泥晶白云岩, 见裂隙现象。福成野外剖面



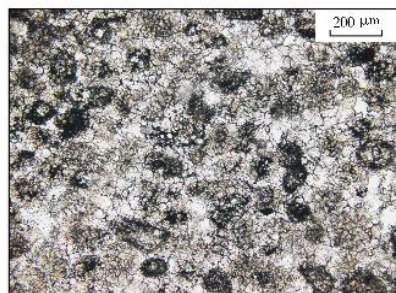
(d) 亮晶鲕粒白云岩。沙滩野外剖面



(e) 残余鲕粒白云岩。重结晶作用明显, 粒内溶孔被沥青充填。沙滩野外剖面。单偏光



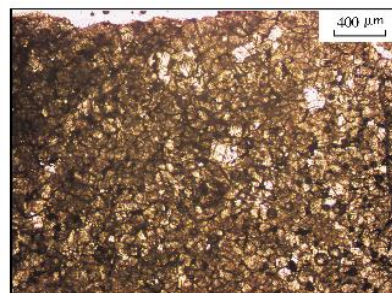
(f) 砂质白云岩, 见粒内溶孔。镇巴巴山野外剖面第28层。蓝色铸体薄片, 单偏光



(g) 泥亮晶砂质白云岩。见粒内溶孔, 被沥青充填。LT1井6 676 m。岩心薄片, 单偏光



(h) 灰色泥晶白云岩, 见石膏假结核。MS1井7 302.63~7 302.81 m。岩心



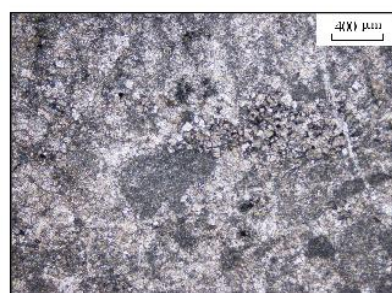
(i) 泥—粉晶白云岩。重结晶现象微弱, 晶间孔、晶内溶孔被沥青半充填。MS1井7 309 m。岩心薄片, 单偏光



(j) 灰色厚层状白云质灰岩。见针孔状孔隙, 沥青充填。呈子山野外剖面



(k) 白云质豹斑灰岩。镇巴巴山野外剖面



(l) 白云质豹斑灰岩。右溪河野外剖面。单偏光

图2 川北地区下寒武统龙王庙组主要岩性的典型照片

面及其以东地区均有发育。开阔台地相泥晶灰岩的储集空间不发育, 储集性能欠佳, 但厚层—块状的致密泥晶灰岩可以作为盖层。

3 沉积相演化

从研究区的沉积相剖面对比分析可知, 龙王庙

期水体自西向东逐渐增加,受沉积期古陆影响,区内陆源碎屑物质较多,且向东南方向逐渐减少,台内点滩发育部位也逐渐向上迁移(图3)。横向上,研究区西北部沉积水体浅,陆源碎屑含量高,沉积物以白云质粉砂岩、粉砂质白云岩为主,颜色较浅,整体属于混积潮坪亚相;向东沉积水体逐渐变深,陆源碎屑减少,沉积物以晶粒白云岩和颗粒白云岩为主,为局限台地夹台内点滩,滩体的规模较小,厚度一般数米不

等,以孤立点滩为主;研究区最东边水体循环较好,盐度基本正常,沉积物以深灰色泥晶灰岩为主,属于滩间海亚相。纵向上,滩体发育部位由西向东逐渐向上抬升,这是由于龙王庙期2次海退旋回过程中,台内点滩由浅水区向深水区迁移。因此,在龙王庙组沉积早期,研究区整体沉积水体较深,台内点滩在靠近古陆的水磨—杨坝一带发育(图3),随着海平面下降,台内点滩向MS1井—巴山一带迁移。

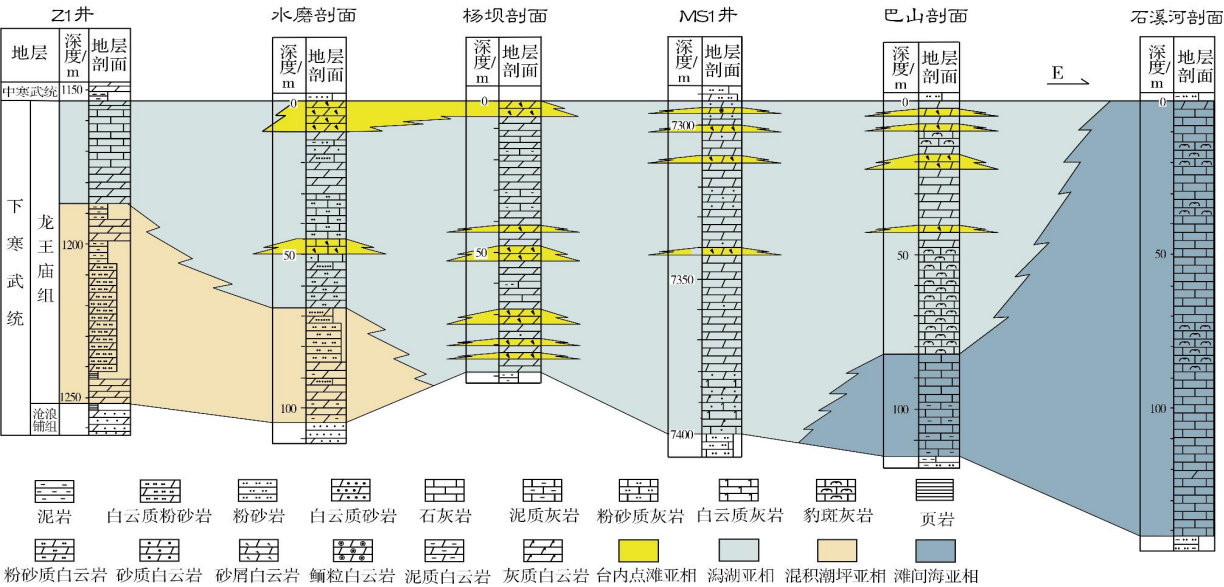


图3 川北地区Z1井—水磨—杨坝—MS1井—巴山—石溪河龙王庙组沉积相对比
剖面位置见图1b

结合川北龙王庙期沉积背景和纵横向岩性变化建立了沉积演化模式(图4)。受古陆影响,研究区西部陆源碎屑物质较多,发育碎屑岩与碳酸盐岩的混积潮坪沉积。向东逐渐位于平均海平面之下,发育白云质潟湖沉积,并在浪基面附近受较强水动力影响,零散

发育台内点滩。研究区中部以南的拗陷地区水体最为局限且盐度大,发育膏质潟湖沉积。中部以东的地区水体循环变好,发育白云质灰质潟湖沉积,并在向海一侧水动力较强的地区发育台内点滩,之后水体进一步变深、变开阔,且盐度基本正常,发育滩间海沉积。

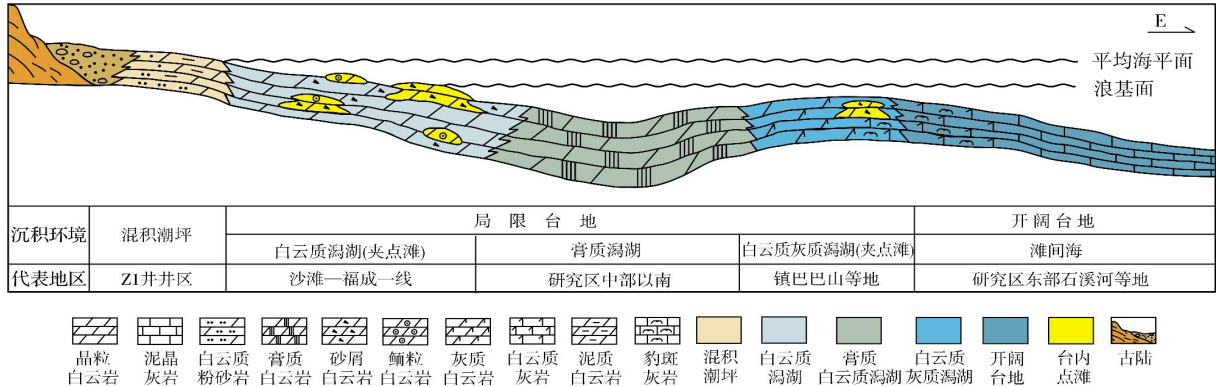


图4 川北地区龙王庙组沉积演化模式

4 沉积相平面展布

本文借鉴部分前人的单因素分析数据^[18-20],结合定性的沉积相展布规律认识,以及实际工作的野外资料,参照前人定量划分标准^[18,24-25],绘制了研究区早寒武世龙王庙组沉积相平面展布图(图5)。龙王庙组沉积期,川北地区在西部和北部分别发育了摩天岭古陆和汉南古陆^[18-20](图1),川北地区主体为一个碳酸盐台地环境,总体具有西部水体浅、东北和东南部水体深的沉积格局,主要发育了混积潮坪、潟湖、台内点滩等多种沉积。

受摩天岭古陆和汉南古陆的影响,在广元—西

乡一带的西北侧地区,出现碎屑岩和碳酸盐岩混合沉积现象,这属于混积潮坪环境,暴露干裂、透镜状层理、波状层理、脉状层理、冲刷侵蚀面等沉积构造较为常见。研究区中部广泛发育局限台地环境,白云质潟湖、白云质灰质潟湖是沉积的主体,暴露干裂标志较少,多见水平层理以及少量生物扰动构造。膏质潟湖主要位于仪陇、通江等地^[19],由厚层的膏盐岩和膏质白云岩组成,台内点滩围绕膏质潟湖分布于局限台地环境。研究区城口石溪河东部一带发育开阔台地环境,主要以灰色厚层—块状的泥晶灰岩为主,夹少量中—薄层、透镜状的砂屑(鲕粒)灰岩和白云质豹斑灰岩。

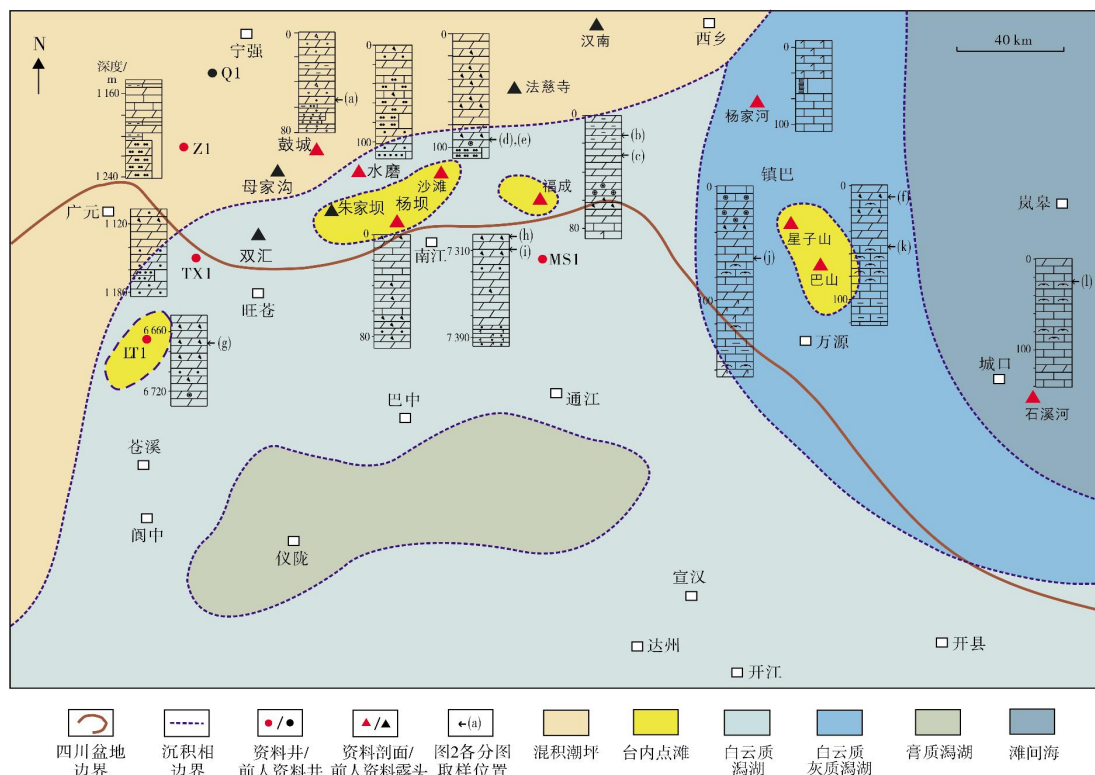


图5 川北地区下寒武统龙王庙组沉积相平面分布

5 沉积相与储层的关系

结合研究区沉积相平面展布规律,笔者认为川北地区龙王庙组储层的发育分布可能与研究区南部膏质潟湖的分布相关^[10,12]。因为局限台地中较大型膏质潟湖的地势相对低洼、水体盐度较高,而其周缘的地貌高地常位于浪基面附近,在较强的水动力条件下形成颗粒碳酸盐岩,之后又在高盐度海水作用下使颗粒灰岩发生白云石化,这在一定程度上为后期储集空间的形成奠定了物质基础。

另外,在台内点滩与膏质潟湖之间广泛分布的白云质潟湖也发育具有一定储集性的储层。以巴山实测剖面为例,巴山剖面第28层总厚度为41.7 m,根据岩石学特征,可进一步划分为17个小层(图6)。发育于旋回中晚期的白云质潟湖和砂屑滩微相带,岩性以粉晶白云岩和砂屑白云岩为主(图2f),发育粒内溶孔和粒间溶孔。砂屑滩有利储层发育于第14、15、16小层,累积厚度约2.9 m;白云质潟湖有利储层发育于第17小层,累积厚度约1.2 m。储层总厚度约4.1 m,具备较好的储集性能。













地 层			小层	厚度/ m	岩性剖面	岩 性 描 述	沉 积 相			储层
系	统	组					微相	亚相	相	
寒 武 统 系	下 庙 组	龙 王 庙 组	17	10		浅灰色中层粉晶白云岩	白云质潟湖	潟湖	局 限 台 地	
			16			浅灰色砂屑晶粒白云岩	砂屑滩	台内点滩		
			15			浅灰色亮晶砂屑白云岩				
			14			灰色厚层颗粒白云岩				
			13			灰色厚层一块状豹斑灰岩、砂屑灰岩	白云质灰质潟湖	潟湖		
			12			灰色厚层白云质豹斑灰岩				
			11			深灰色厚层一块状泥晶白云岩				
			10			灰色—深灰色中层砂屑白云岩	砂屑滩	台内点滩		
			9			灰色中—厚层砂屑白云岩				
			8		20		深灰色厚层泥晶白云岩	白云质潟湖		潟湖
			7				浅灰色中—薄层白云岩			
			6				深灰色—灰黑色泥晶白云岩			
			5				灰色灰质白云岩			
			4		30		灰褐色厚层泥晶白云岩	砂屑滩		台内点滩
			3				深灰色中—厚层豹斑灰岩、砂屑灰岩			
			2				灰色—深灰色中—厚层砂屑白云岩			
			1		40		深灰色中层泥晶白云岩	白云质潟湖		潟湖

图 6 川北地区镇巴山剖面龙王庙组第 28 层储层发育部位

对研究区总计119个样品进行统计,得到不同相带孔隙度数据(图7)。台内点滩环境发育的颗粒白云岩(图2e—2g)由于遭受溶蚀作用及重结晶作用的影响,使得孔隙空间得到改善,孔隙度分布在1.85%~8.94%之间,平均孔隙度为3.85%,这说明台内点滩是研究区最有利于储层形成的相带;白云质潟湖发育的晶粒白云岩具有一定的晶间孔和晶间溶孔(图2i),孔隙度分布在1.46%~4.14%之间,平均孔隙度为3.22%,储集性较好;白云质灰质潟湖主要发育灰质白云岩和白云质灰岩(图2j),孔隙度分布在0.84%~1.45%之间,平均孔隙度为1.07%,储集性较为一般;膏质潟湖沉积物孔隙度极低,不利于发育储层;开阔台地主要发育泥晶灰岩,岩性整体致密坚硬,局部发育的白云质豹斑灰岩为该环境的主要储集岩(图2l),整体孔隙度范围在0.51%~1.23%之间,平均孔隙度为0.82%,储集性能较差;混积潮坪亚相发育有砂质泥晶白云岩(图2a)、泥质泥粉晶白云岩、白云质粉砂岩,陆源碎屑含量较多,孔隙度范围在0.48%~1.64%之间,平均孔隙度为0.78%,属于不利于储层形成与演化的沉积相带。

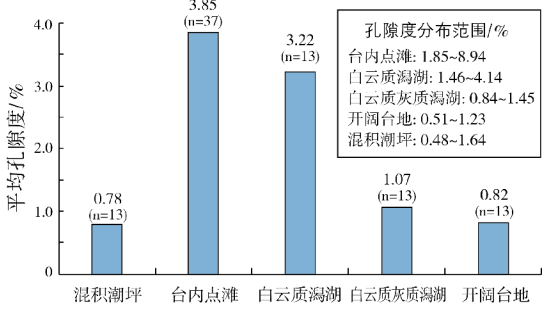


图 7 川北地区龙王庙组不同沉积相带平均孔隙度统计分析

6 结 论

- (1)川北地区龙王庙组沉积期主要处于潮坪—局限台地—开阔台地环境之中,局限台地广泛发育于研究区中部,其中朱家坝—沙滩—福成一线处于浪基面附近的相对高能地带,高能滩体相对发育。混积潮坪主要位于广元—西乡一线的西北侧,开阔台地主要位于城口石溪河东部一带。
- (2)结合研究区平面上的沉积相分布规律与储层的平面分布规律认为,龙王庙组最有利于储层发育的相带为局限台地的台内点滩亚相,其次为潟湖亚相中

的白云质潟湖微相, 而开阔台地相较不利于储层发育, 混积潮坪亚相为最不利于储层发育的沉积相带。

参考文献

- [1] 邹才能, 杜金虎, 徐春春, 等. 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[J]. 石油勘探与开发, 2014, 41(3): 278-293.
- [2] 沈安江, 陈娅娜, 潘立银, 等. 四川盆地寒武统龙王庙组沉积相与储层分布预测研究[J]. 天然气地球科学, 2017, 28(8): 1176-1190.
- [3] 魏国齐, 杨威, 谢武仁, 等. 四川盆地震旦系—寒武系大气田形成条件、成藏模式与勘探方向[J]. 天然气地球科学, 2015, 26(5): 785-795.
- [4] 周进高, 徐春春, 姚根顺, 等. 四川盆地寒武统龙王庙组集层形成与演化[J]. 石油勘探与开发, 2015, 42(2): 158-166.
- [5] 杜金虎, 张宝民, 汪泽成, 等. 四川盆地寒武统龙王庙组碳酸盐缓坡双颗粒滩沉积模式及储层成因[J]. 天然气工业, 2016, 36(6): 1-10.
- [6] 杨雪飞, 王兴志, 唐浩, 等. 四川盆地中部磨溪地区龙王庙组沉积微相研究[J]. 沉积学报, 2015, 33(5): 972-982.
- [7] 赵文智, 沈安江, 胡安平, 等. 塔里木、四川和鄂尔多斯盆地海相碳酸盐岩规模储层发育地质背景初探[J]. 岩石学报, 2015, 31(11): 3495-3508.
- [8] 朱祥, 李毕松, 梁子锐, 等. 四川盆地龙王庙组岩相古地理及有利相带特征[J]. 天然气技术与经济, 2015, 9(6): 5-8.
- [9] 王龙, 沈安江, 陈宇航, 等. 四川盆地寒武统龙王庙组岩相古地理特征和沉积模式[J]. 海相油气地质, 2016, 21(3): 13-21.
- [10] 代林呈, 朱祥, 李毕松, 等. 川东地区龙王庙组颗粒滩发育特征及分布规律[J]. 地质科技情报, 2017, 36(6): 181-189.
- [11] 杨雪飞, 王兴志, 代林呈, 等. 川中地区下寒武统龙王庙组沉积相特征[J]. 岩性油气藏, 2015, 27(1): 95-101.
- [12] 姚根顺, 周进高, 邹伟宏, 等. 四川盆地寒武统龙王庙组颗粒滩特征及分布规律[J]. 海相油气地质, 2013, 18(4): 1-8.
- [13] 沈安江, 余敏, 胡安平, 等. 海相碳酸盐岩埋藏溶孔规模与分布规律初探[J]. 天然气地球科学, 2015, 26(10): 1823-1830.
- [14] 朱东亚, 张殿伟, 李双建, 等. 四川盆地组合碳酸盐岩多成因岩溶储层发育特征及机制[J]. 海相油气地质, 2015, 20(1): 33-44.
- [15] 刘树根, 宋金民, 赵昇华, 等. 四川盆地龙王庙组优质储层形成与分布的主控因素[J]. 成都理工大学学报(自然科学版), 2014, 41(6): 657-670.
- [16] 杨雪飞, 王兴志, 杨跃明, 等. 川中地区下寒武统龙王庙组白云岩储层成岩作用[J]. 地质科技情报, 2015, 34(1): 35-41.
- [17] XIAO Di, TAN Xiucheng, XI Aihua, et al. An inland facies-controlled eogenetic karst of the carbonate reservoir in the Middle Permian Maokou Formation, southern Sichuan Basin, SW China[J]. Marine and petroleum geology, 2016, 72: 218-233.
- [18] 冯增昭, 彭勇民, 金振奎, 等. 中国南方寒武纪和奥陶纪岩相古地理[M]. 北京: 地质出版社, 2001: 2, 87-101.
- [19] 马腾, 谭秀成, 李凌, 等. 四川盆地早寒武世龙王庙组沉积特征与古地理[J]. 沉积学报, 2016, 34(1): 33-48.
- [20] 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, 16(4): 441-460.
- [21] 杨威, 谢武仁, 魏国齐, 等. 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[J]. 石油学报, 2012, 33(增刊 2): 21-34.
- [22] 周慧, 李伟, 张宝民, 等. 四川盆地震旦期末—寒武纪早期台盆的形成与演化[J]. 石油学报, 2015, 36(3): 310-323.
- [23] 四川油气区石油地质志编写组. 中国石油地质志 (卷十): 四川油气区[M]. 北京: 石油工业出版社, 1989: 80-109.
- [24] 冯增昭. 单因素分析多因素综合作图法: 定量岩相古地理重建[J]. 古地理学报, 2004, 6(1): 3-19.
- [25] 张满郎, 谢增业, 李熙喆, 等. 四川盆地寒武纪岩相古地理特征[J]. 沉积学报, 2010, 28(1): 128-139.

编辑: 黄革萍

Sedimentary facies and the reservoir of the Lower Cambrian Longwangmiao Formation in northern Sichuan Basin, China

HUANG Zisang, YANG Xuefei, WANG Xingzhi, WANG Yaping,
CHEN Chao, ZENG Deming, DU Shuangyu

Abstract: Based on the analysis of field outcrops, well logging and core data, the sedimentary facies types and features of the Lower Cambrian Longwangmiao Formation in northern Sichuan Basin are discussed, and their influences on reservoirs are analyzed. During Early Cambrian Longwangmiao period, the sedimentary environment in northern Sichuan Basin was carbonate platform, which developed three types of facies including tidal flat, restricted platform and open platform, which were further subdivided into four types of subfacies: mixed tidal flat, intra-platform shoal, lagoon and interbank sea. The mixed tidal flat was mainly composed of sandy dolomite and dolomite, and tidal channels were visible in some areas. The intra-platform shoal was mainly composed of dolarenite with small deposition thickness. The lagoon mainly consisted of dolomite lagoon and dolomitic-limy lagoon with large distribution area. The deposition of interbank sea was mainly composed of dark gray massive limestone with intercalated dolomitic mottled limestone. The Longwangmiao period is composed of two regressive cycles in most areas, and lagoon mainly developed in the middle and lower part of a single sedimentary cycle, and intra-platform shoal mainly developed in the middle and upper part of a sedimentary cycle with thin single layer, and the mixed tidal flat mainly developed at the top of a sedimentary cycle. Due to the influence of paleocontinents, the sediment source supply decreased and the water depth gradually deepened, and the sedimentary facies translated from tidal flat to restricted platform to open platform successively from west to east in the study area. The intra-platform shoal mainly distributed around the restricted lagoon. Combined with the analysis of reservoir property of different sedimentary facies, it is concluded that grain dolomite depositing on the intra-platform shoal have the best reservoir property, followed by the crystalline dolomite, and the gypsum was the worst. Therefore, the most favorable sedimentary environment for reservoir development in Longwangmiao Formation is intra-platform shoal.

Key words: sedimentary facies; reservoir; carbonate; Longwangmiao Formation; northern Sichuan Basin

HUANG Zisang: Master in progress, major in sedimentary and reservoir geology. Add: No. 8 Xindu Avenue, School of Earth Science and Technology, Southwest Petroleum University, Chengdu, Sichuan 610500, China

川北地区下寒武统龙王庙组沉积相 及与储层的关系

黄梓桑^{1,2,3}, 杨雪飞^{1,2}, 王兴志^{1,3}, 王雅萍^{1,2,3}, 陈超^{1,2,3}, 曾德铭^{1,3}, 杜双宇³

1 天然气地质四川省重点实验室(西南石油大学); 2 油气藏地质及开发工程国家重点实验室;

3 西南石油大学地球科学与技术学院

摘要 以四川盆地北部下寒武统龙王庙组为研究对象,利用野外露头、测井及岩心等资料,探讨了川北地区下寒武统龙王庙组的沉积相类型及特征,并分析了其对储层的影响。研究认为:川北地区在早寒武世龙王庙期的沉积环境为碳酸盐台地,发育潮坪、局限台地和开阔台地等3种相带,这些相带又进一步细分为混积潮坪、台内点滩、潟湖和滩间海等4种亚相。其中,混积潮坪亚相主要发育砂质白云岩坪、白云岩坪等,部分地区可见潮道;台内点滩亚相以砂屑白云岩最为常见,沉积厚度不大;潟湖亚相以白云质潟湖沉积和白云质灰质潟湖沉积为主,分布面积大;滩间海亚相沉积物以深灰色块状石灰岩为主,局部夹白云质豹斑灰岩。纵向上,大部分地区龙王庙组沉积由2次海退旋回构成,潟湖主要发育在单个沉积旋回的中下部;台内点滩主要发育在沉积旋回的中、上部,单个滩体厚度较薄;混积潮坪发育在旋回顶部,即旋回末期。平面上,由于受古陆影响,研究区自西向东具有物源供应减少、沉积水体逐渐变深,以及沉积相从潮坪—局限台地—开阔台地过渡的特征,台内点滩主要围绕局限潟湖分布。结合不同沉积相带储层物性的分析,认为台内点滩的颗粒白云岩储集性能最好,晶粒白云岩次之,膏盐岩最差。龙王庙组储层发育的最有利沉积环境为台内点滩。

关键词 沉积相; 储层; 碳酸盐岩; 龙王庙组; 四川盆地

中图分类号: TE121.1

文献标识码: A

0 前言

近年来,在四川盆地寒武系碳酸盐岩地层中已经取得了油气重大突破^[1-7],其中,2012年在下寒武统龙王庙组发现了迄今我国最大的单体海相整装天然气藏,该组成为了四川盆地目前最重要的天然气主产层。龙王庙组白云岩储层厚度大、分布稳定、储集性能良好,蕴含了丰富的天然气资源,已探明储量 $4\,403\times 10^8\text{ m}^3$ 。

前人对四川盆地龙王庙组的沉积模式、岩相古地理和储层预测做了大量的研究,取得了一系列研究成果^[2,5,8-16]。研究普遍认为四川盆地在龙王庙期为从缓坡台地向镶边台地演化的沉积模式^[8-9],滩是全盆地最有利的潜在勘探对象^[5,8-12]。另外,部分研究认为龙王庙组主要为相控的岩溶型储层,指出有利的沉积相带控制了储层的分布^[2,10,12],岩溶强度影响了储层的发育规模^[13-17]。这些成果多以川中地区龙王庙组储层为研究对象,探讨其沉积相、储层特

征、成因机制,并预测储层分布等。此外,部分研究的重点是以全盆地为背景来分析早寒武世龙王庙期沉积环境和岩相古地理^[8-9]。

当前对下寒武统龙王庙组的勘探和研究主要集中在四川盆地中部地区,对盆地周缘地区龙王庙组沉积相和储层发育特征的认识尚不十分清楚。笔者在前期开展川北广元—城口一带寒武系沉积储层特征研究的过程中,在多个野外剖面的龙王庙组白云岩中,均发现了一定规模的储集空间,但储层特征及成因机制尚不明确。针对川北地区下寒武统龙王庙组的研究整体相对滞后的现状,本文以川北地区下寒武统龙王庙组为研究对象,通过分析沉积相类型与特征,建立了该套地层沉积演化模式,恢复了早寒武世龙王庙期沉积相平面展布特征,最终结合不同沉积相带岩石储集性能的差异,探讨了沉积相与储层的关系,以期为四川盆地周缘地区龙王庙组油气勘探提供地质资料及理论依据。

收稿日期: 2018-01-08; 改回日期: 2018-09-28; 网络发表日期: 2019-03-14

本文受西南石油大学科研启航计划项目“川北地区下寒武统龙王庙组豹斑灰岩成因及古环境指示意义”(编号: 2017QHZ005),天然气地质四川省重点实验室开放基金“磨溪地区下寒武统龙王庙组‘花斑状’白云岩储层成因机理研究”(编号: 2018trqdz02),和中国石油科技创新基金“四川盆地寒武统龙王庙组豹斑状构造成因及其成储效应”(编号: 2018D-5007-0105)联合资助

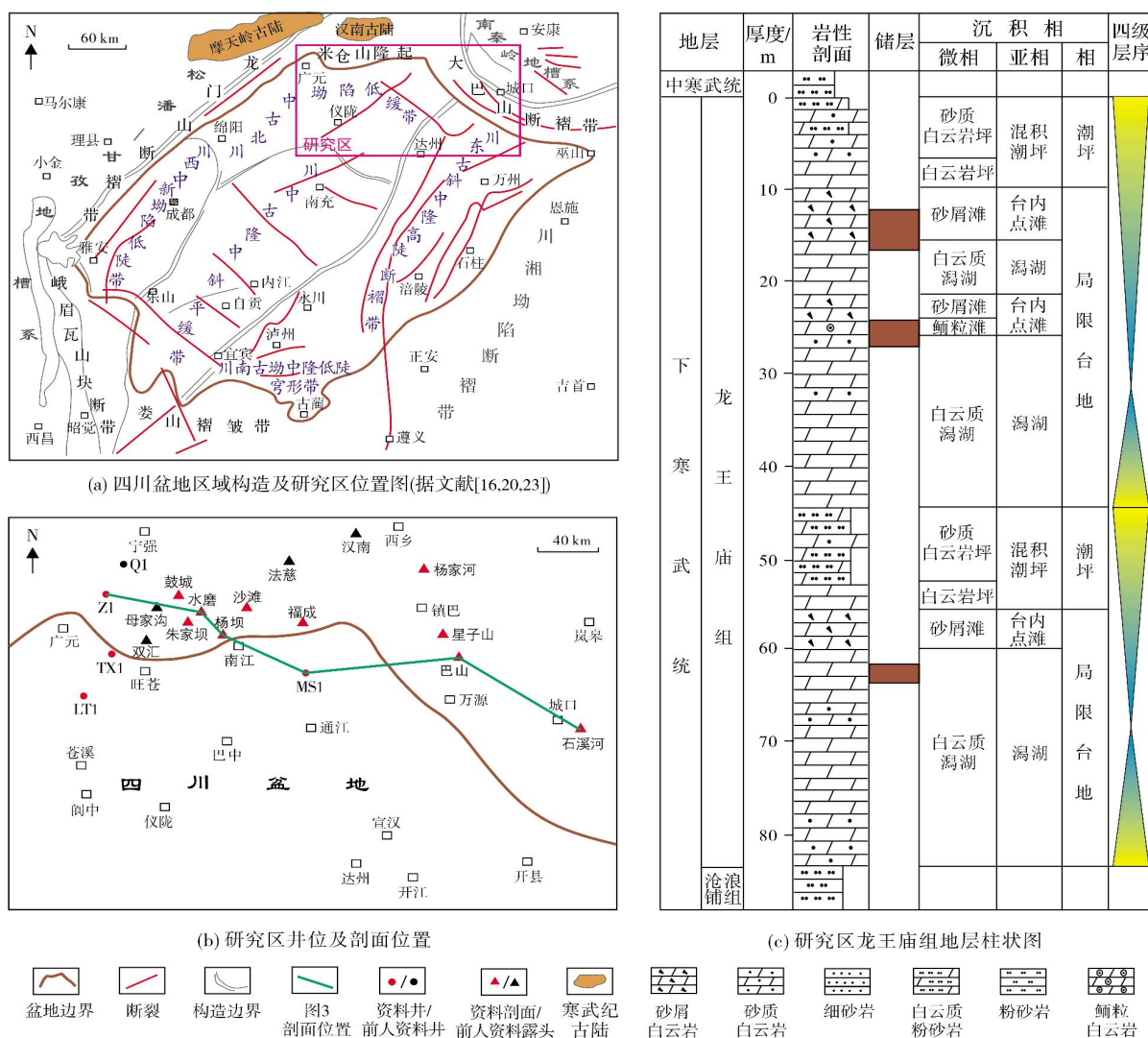
第一作者: 黄梓桑,西南石油大学地质学专业硕士研究生,研究方向为沉积及储层地质学。通信地址: 610500 四川省成都市新都大道8号西南石油大学地球科学与技术学院; E-mail: hzs515@163.com

1 区域地质概况

四川盆地位于扬子板块的西北部^[18]。寒武纪之前,因桐湾运动的影响,盆地部分地区的灯影组因抬升而遭受风化剥蚀,总体上形成了自西北向东南方向逐渐低缓倾斜的古地貌特征^[15,19-22]。在早寒武世龙王庙期,四川盆地位于一个广阔的碳酸盐台地内,沉积了1套厚度大、分布稳定的碳酸盐岩^[4,19-20]。受海平面变化的影响,龙王庙组发育了2个四级沉积旋回,每一个旋回都经历了快速海进—缓慢海退的沉

积过程,表现为由下至上沉积水体变浅,沉积物粒度变粗。

研究区主要位于四川盆地北部的川北古中坳陷低缓带^[23],部分位于米仓山隆起—大巴山断褶带,主要包括广元—城口一带的地区(图1a,1b)。早寒武世龙王庙期,研究区的沉积环境主要为碳酸盐局限台地(图1c),整体水体相对较浅,受盆地西北部摩天岭古陆和北部汉南古陆的影响^[18-20],沉积物中陆源碎屑较多,沉积物主要为含砂质颗粒白云岩、晶粒白云岩及部分混积岩等。



2 沉积相类型与特征

在调研前人研究成果的基础上,通过对研究区10条野外剖面和4口钻井岩心的观察和描述,结合前

人在川北地区研究的4条野外剖面和1口钻井资料(图1b),综合分析认为龙王庙组在川北地区主要发育潮坪、局限台地、开阔台地等沉积相,这些相可进

一步划分为混积潮坪、潟湖、台内点滩和滩间海等4种亚相,每种亚相都具有典型的沉积特征。

2.1 潮坪

混积潮坪常发育于碳酸盐连陆台地靠近海岸线一侧的浅水地带,地势平缓,水体局限,主要受潮汐作用控制。龙王庙晚期,四川盆地北部靠近古陆一带发育碎屑岩和碳酸盐岩混合沉积的潮坪,根据沉积物质和沉积特征的差异,可进一步识别出砂质白云岩坪、泥质白云岩坪等微相类型。该相带主要沉积产物由砂质泥晶白云岩(图2a)、泥质泥晶白云岩、白云质粉砂岩等构成,可见透镜状层理(图2b)、暴露干裂(图2c)、脉状层理和波状层理等沉积构造。虽然该环境中发育有透镜状的潮汐沟道沉积,局部可见少量针状分布的孔隙,但它们的分布范围及厚度极为有限。总体来说研究区潮坪相沉积厚度大,岩性致密,陆源碎屑较多,后期建设性成岩作用微弱,储集性能差。

2.2 局限台地

局限台地相的沉积水体受到较大程度的限制,盐度较大,除局部地貌高地附近,特别是水下古隆起区向海一侧的水动力条件较强外,总体水动力条件较弱。该相带主要堆积的是较高盐度环境下的低能细粒沉积物,局部夹有较多的颗粒沉积。根据地貌、水动力条件、沉积产物等特征,可进一步将局限台地划分为台内点滩和潟湖2种亚相。

2.2.1 台内点滩

台内点滩处于水下小型地貌高地附近,根据沉积时的颗粒类型进一步划分为鲕粒滩、砂屑滩等不同的滩体类型。

鲕粒滩 鲕粒滩一般形成于持续高能的水动力环境之中,以鲕粒沉积为主。该微相在研究区分布较少,目前在沙滩和福成等部分地区的龙王庙组中有所发现,沉积物以鲕粒白云岩为主。鲕粒白云岩在野外剖面中特征明显,其鲕粒形态规则,分布均匀,粒间充填亮晶胶结物(图2d);在显微镜下鲕粒重结晶作用明显(图2e),鲕粒内部及粒间充填物均可见自形白云石晶体,受重结晶作用等成岩作用改造,鲕粒同心圈层结构遭受破坏难以观察。鲕粒白云岩的晶体间可发育部分孔隙,具有一定的储集性能,是研究区龙王庙组储层较有利的沉积微相。

砂屑滩 砂屑滩是研究区龙王庙组局限台地内最为重要的滩体类型,主要分布在杨坝—沙滩一带,其水动力条件持续较强,砂屑沉积物堆积较厚,累计厚度可达30多米。该微相主要岩性为灰色—浅灰色块状亮晶砂屑白云岩,含少量陆源黏土泥和石英碎屑。在显微镜下可见砂屑粒径约为0.5~2 mm,其颗粒主要由泥晶白云石组成,分选、磨圆差异较大,粒间多为亮晶—泥亮晶胶结,重结晶作用及溶蚀作用明显,粒内及晶间溶孔较为发育(图2f,2g)。砂屑滩沉积物储集性较好,是研究区内龙王庙组储层最主要的沉积微相。

2.2.2 潟湖

潟湖环境处于台地内部相对低洼平坦的地区,四周有随机分布的台内点滩,具有水动力条件极弱、水体盐度大等典型特点。根据沉积产物进一步划分为白云质潟湖、白云质灰质潟湖和膏质潟湖等微相。

白云质潟湖 白云质潟湖属地貌较平缓的水体较深的沉积,水动力较弱,水体较局限,主要以分布较为稳定的暗色泥晶白云岩为主(图2h),常伴有石膏假结核出现。泥晶白云岩经后期重结晶作用改造,使得晶粒增大,形成泥—粉晶白云岩(图2i)、粉晶白云岩等,这改善了储层物性,使得储层的储集性较好。该微相主要分布于杨坝—福成一带的地区。

白云质灰质潟湖 白云质灰质潟湖发育于局限台地水体局限—半局限的低洼处,水体流动性相对较好,以一套厚层的深灰色—灰色白云质灰岩(图2j)和灰质白云岩为主,可见豹斑状产出(图2k),储集性偏差。该微相主要分布在杨家河—万源一带的地区。

膏质潟湖 膏质潟湖水体极度受限,几乎无流动,浅水区和表层水体由于蒸发作用所形成的高盐度水体,在重力作用下可源源不断汇聚于此,从而形成盐度极高的水体,堆积巨厚的膏盐岩和膏质白云岩。这类岩性主要发育于研究区中部以南,储集性极差。

2.3 开阔台地

开阔台地水体循环较好,盐度基本正常,但水动力条件总体较弱。开阔台地相以稳定的沉积亚相滩间海为主,沉积物主要为厚层—块状深灰色泥晶灰岩,偶夹白云质豹斑灰岩(图2l),整体具有厚度大、较为致密、分布稳定的特点,在研究区城口石溪河剖



(a) 砂质泥晶白云岩。鼓城野外剖面。单偏光



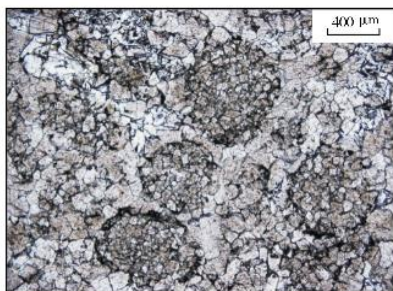
(b) 泥质白云岩夹透镜状砂岩。福成野外剖面



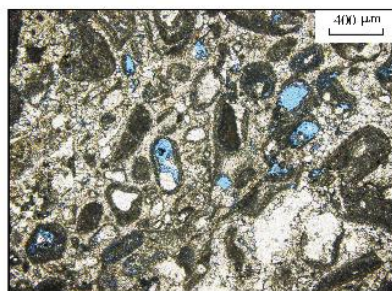
(c) 泥质泥晶白云岩, 见裂隙现象。福成野外剖面



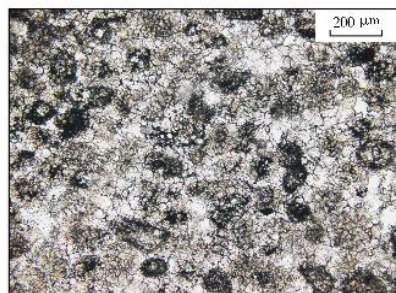
(d) 亮晶鲕粒白云岩。沙滩野外剖面



(e) 残余鲕粒白云岩。重结晶作用明显, 粒内溶孔被沥青充填。沙滩野外剖面。单偏光



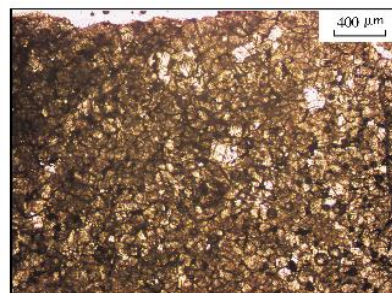
(f) 砂质白云岩, 见粒内溶孔。镇巴巴山野外剖面第28层。蓝色铸体薄片, 单偏光



(g) 泥亮晶砂质白云岩。见粒内溶孔, 被沥青充填。LT1井6 676 m。岩心薄片, 单偏光



(h) 灰色泥晶白云岩, 见石膏假结核。MS1井7 302.63~7 302.81 m。岩心



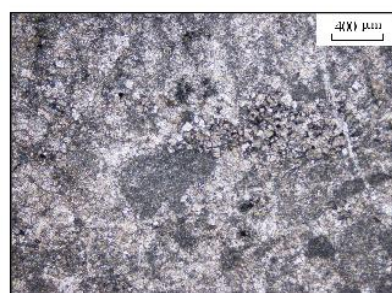
(i) 泥—粉晶白云岩。重结晶现象微弱, 晶间孔、晶内溶孔被沥青半充填。MS1井7 309 m。岩心薄片, 单偏光



(j) 灰色厚层状白云质灰岩。见针孔状孔隙, 沥青充填。呈子山野外剖面



(k) 白云质豹斑灰岩。镇巴巴山野外剖面



(l) 白云质豹斑灰岩。右溪河野外剖面。单偏光

图2 川北地区下寒武统龙王庙组主要岩性的典型照片

面及其以东地区均有发育。开阔台地相泥晶灰岩的储集空间不发育, 储集性能欠佳, 但厚层—块状的致密泥晶灰岩可以作为盖层。

3 沉积相演化

从研究区的沉积相剖面对比分析可知, 龙王庙

期水体自西向东逐渐增加,受沉积期古陆影响,区内陆源碎屑物质较多,且向东南方向逐渐减少,台内点滩发育部位也逐渐向上迁移(图3)。横向上,研究区西北部沉积水体浅,陆源碎屑含量高,沉积物以白云质粉砂岩、粉砂质白云岩为主,颜色较浅,整体属于混积潮坪亚相;向东沉积水体逐渐变深,陆源碎屑减少,沉积物以晶粒白云岩和颗粒白云岩为主,为局限台地夹台内点滩,滩体的规模较小,厚度一般数米不

等,以孤立点滩为主;研究区最东边水体循环较好,盐度基本正常,沉积物以深灰色泥晶灰岩为主,属于滩间海亚相。纵向上,滩体发育部位由西向东逐渐向上抬升,这是由于龙王庙期2次海退旋回过程中,台内点滩由浅水区向深水区迁移。因此,在龙王庙组沉积早期,研究区整体沉积水体较深,台内点滩在靠近古陆的水磨—杨坝一带发育(图3),随着海平面下降,台内点滩向MS1井—巴山一带迁移。

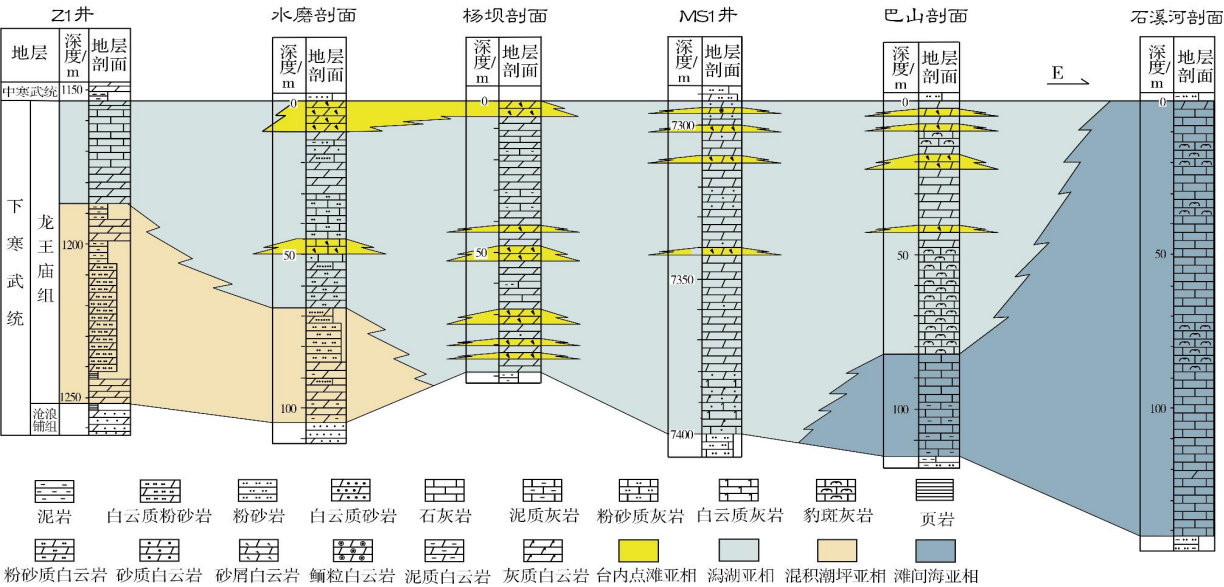


图3 川北地区Z1井—水磨—杨坝—MS1井—巴山—石溪河龙王庙组沉积相对比
剖面位置见图1b

结合川北龙王庙期沉积背景和纵横向岩性变化建立了沉积演化模式(图4)。受古陆影响,研究区西部陆源碎屑物质较多,发育碎屑岩与碳酸盐岩的混积潮坪沉积。向东逐渐位于平均海平面之下,发育白云质潟湖沉积,并在浪基面附近受较强水动力影响,零散

发育台内点滩。研究区中部以南的拗陷地区水体最为局限且盐度大,发育膏质潟湖沉积。中部以东的地区水体循环变好,发育白云质灰质潟湖沉积,并在向海一侧水动力较强的地区发育台内点滩,之后水体进一步变深、变开阔,且盐度基本正常,发育滩间海沉积。

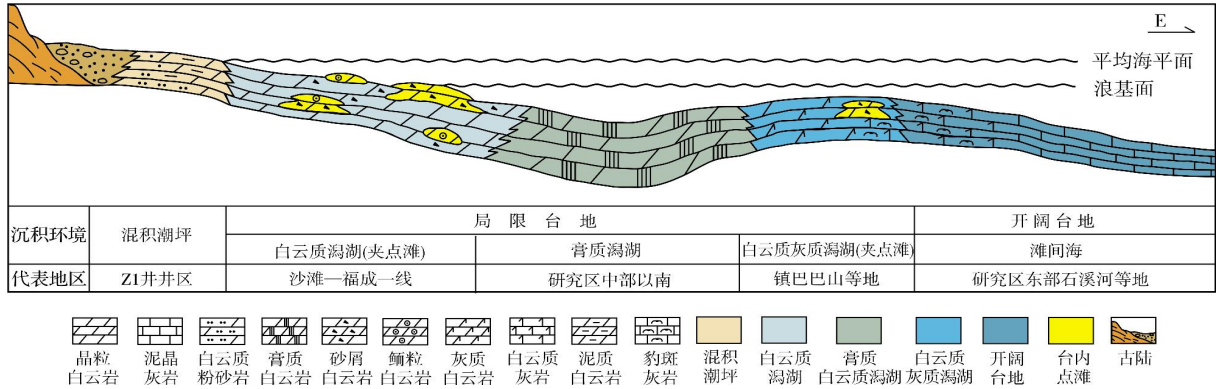


图4 川北地区龙王庙组沉积演化模式

4 沉积相平面展布

本文借鉴部分前人的单因素分析数据^[18-20],结合定性的沉积相展布规律认识,以及实际工作的野外资料,参照前人定量划分标准^[18,24-25],绘制了研究区早寒武世龙王庙组沉积相平面展布图(图5)。龙王庙组沉积期,川北地区在西部和北部分别发育了摩天岭古陆和汉南古陆^[18-20](图1),川北地区主体为一个碳酸盐台地环境,总体具有西部水体浅、东北和东南部水体深的沉积格局,主要发育了混积潮坪、潟湖、台内点滩等多种沉积。

受摩天岭古陆和汉南古陆的影响,在广元—西

乡一带的西北侧地区,出现碎屑岩和碳酸盐岩混合沉积现象,这属于混积潮坪环境,暴露干裂、透镜状层理、波状层理、脉状层理、冲刷侵蚀面等沉积构造较为常见。研究区中部广泛发育局限台地环境,白云质潟湖、白云质灰质潟湖是沉积的主体,暴露干裂标志较少,多见水平层理以及少量生物扰动构造。膏质潟湖主要位于仪陇、通江等地^[19],由厚层的膏盐岩和膏质白云岩组成,台内点滩围绕膏质潟湖分布于局限台地环境。研究区城口石溪河东部一带发育开阔台地环境,主要以灰色厚层—块状的泥晶灰岩为主,夹少量中—薄层、透镜状的砂屑(鲕粒)灰岩和白云质豹斑灰岩。

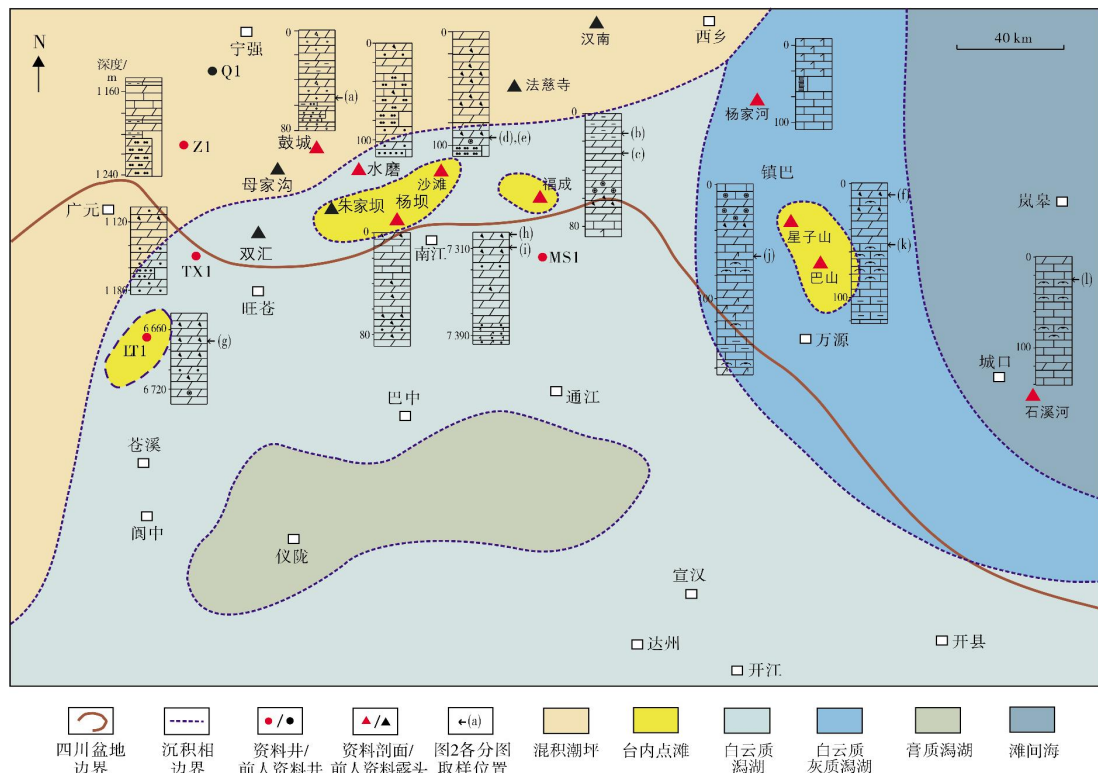


图5 川北地区下寒武统龙王庙组沉积相平面分布

5 沉积相与储层的关系

结合研究区沉积相平面展布规律,笔者认为川北地区龙王庙组储层的发育分布可能与研究区南部膏质潟湖的分布相关^[10,12]。因为局限台地中较大型膏质潟湖的地势相对低洼、水体盐度较高,而其周缘的地貌高地常位于浪基面附近,在较强的水动力条件下形成颗粒碳酸盐岩,之后又在高盐度海水作用下使颗粒灰岩发生白云石化,这在一定程度上为后期储集空间的形成奠定了物质基础。

另外,在台内点滩与膏质潟湖之间广泛分布的白云质潟湖也发育具有一定储集性的储层。以巴山实测剖面为例,巴山剖面第28层总厚度为41.7 m,根据岩石学特征,可进一步划分为17个小层(图6)。发育于旋回中晚期的白云质潟湖和砂屑滩微相带,岩性以粉晶白云岩和砂屑白云岩为主(图2f),发育粒内溶孔和粒间溶孔。砂屑滩有利储层发育于第14、15、16小层,累积厚度约2.9 m;白云质潟湖有利储层发育于第17小层,累积厚度约1.2 m。储层总厚度约4.1 m,具备较好的储集性能。

地 层			小层	厚度/ m	岩性剖面	岩 性 描 述	沉 积 相			储层
系	统	组					微相	亚相	相	
寒 武 统 系	下 庙 组	龙 王 庙 组	17	10 <						

图 6 川北地区镇巴山剖面龙王庙组第 28 层储层发育部位

对研究区总计119个样品进行统计,得到不同相带孔隙度数据(图7)。台内点滩环境发育的颗粒白云岩(图2e—2g)由于遭受溶蚀作用及重结晶作用的影响,使得孔隙空间得到改善,孔隙度分布在1.85%~8.94%之间,平均孔隙度为3.85%,这说明台内点滩是研究区最有利于储层形成的相带;白云质潟湖发育的晶粒白云岩具有一定的晶间孔和晶间溶孔(图2i),孔隙度分布在1.46%~4.14%之间,平均孔隙度为3.22%,储集性较好;白云质灰质潟湖主要发育灰质白云岩和白云质灰岩(图2j),孔隙度分布在0.84%~1.45%之间,平均孔隙度为1.07%,储集性较为一般;膏质潟湖沉积物孔隙度极低,不利于发育储层;开阔台地主要发育泥晶灰岩,岩性整体致密坚硬,局部发育的白云质豹斑灰岩为该环境的主要储集岩(图2l),整体孔隙度范围在0.51%~1.23%之间,平均孔隙度为0.82%,储集性能较差;混积潮坪亚相发育有砂质泥晶白云岩(图2a)、泥质泥粉晶白云岩、白云质粉砂岩,陆源碎屑含量较多,孔隙度范围在0.48%~1.64%之间,平均孔隙度为0.78%,属于不利于储层形成与演化的沉积相带。

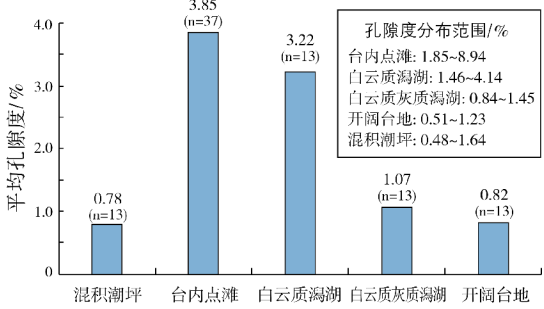


图 7 川北地区龙王庙组不同沉积相带平均孔隙度统计分析

6 结 论

- (1)川北地区龙王庙组沉积期主要处于潮坪—局限台地—开阔台地环境之中,局限台地广泛发育于研究区中部,其中朱家坝—沙滩—福成一线处于浪基面附近的相对高能地带,高能滩体相对发育。混积潮坪主要位于广元—西乡一线的西北侧,开阔台地主要位于城口石溪河东部一带。
- (2)结合研究区平面上的沉积相分布规律与储层的平面分布规律认为,龙王庙组最有利于储层发育的相带为局限台地的台内点滩亚相,其次为潟湖亚相中

的白云质潟湖微相, 而开阔台地相较不利于储层发育, 混积潮坪亚相为最不利于储层发育的沉积相带。

参考文献

- [1] 邹才能, 杜金虎, 徐春春, 等. 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[J]. 石油勘探与开发, 2014, 41(3): 278-293.
- [2] 沈安江, 陈娅娜, 潘立银, 等. 四川盆地寒武统龙王庙组沉积相与储层分布预测研究[J]. 天然气地球科学, 2017, 28(8): 1176-1190.
- [3] 魏国齐, 杨威, 谢武仁, 等. 四川盆地震旦系—寒武系大气田形成条件、成藏模式与勘探方向[J]. 天然气地球科学, 2015, 26(5): 785-795.
- [4] 周进高, 徐春春, 姚根顺, 等. 四川盆地寒武统龙王庙组集层形成与演化[J]. 石油勘探与开发, 2015, 42(2): 158-166.
- [5] 杜金虎, 张宝民, 汪泽成, 等. 四川盆地寒武统龙王庙组碳酸盐缓坡双颗粒滩沉积模式及储层成因[J]. 天然气工业, 2016, 36(6): 1-10.
- [6] 杨雪飞, 王兴志, 唐浩, 等. 四川盆地中部磨溪地区龙王庙组沉积微相研究[J]. 沉积学报, 2015, 33(5): 972-982.
- [7] 赵文智, 沈安江, 胡安平, 等. 塔里木、四川和鄂尔多斯盆地海相碳酸盐岩规模储层发育地质背景初探[J]. 岩石学报, 2015, 31(11): 3495-3508.
- [8] 朱祥, 李毕松, 梁子锐, 等. 四川盆地龙王庙组岩相古地理及有利相带特征[J]. 天然气技术与经济, 2015, 9(6): 5-8.
- [9] 王龙, 沈安江, 陈宇航, 等. 四川盆地寒武统龙王庙组岩相古地理特征和沉积模式[J]. 海相油气地质, 2016, 21(3): 13-21.
- [10] 代林呈, 朱祥, 李毕松, 等. 川东地区龙王庙组颗粒滩发育特征及分布规律[J]. 地质科技情报, 2017, 36(6): 181-189.
- [11] 杨雪飞, 王兴志, 代林呈, 等. 川中地区下寒武统龙王庙组沉积相特征[J]. 岩性油气藏, 2015, 27(1): 95-101.
- [12] 姚根顺, 周进高, 邹伟宏, 等. 四川盆地寒武统龙王庙组颗粒滩特征及分布规律[J]. 海相油气地质, 2013, 18(4): 1-8.
- [13] 沈安江, 余敏, 胡安平, 等. 海相碳酸盐岩埋藏溶孔规模与分布规律初探[J]. 天然气地球科学, 2015, 26(10): 1823-1830.
- [14] 朱东亚, 张殿伟, 李双建, 等. 四川盆地组合碳酸盐岩多成因岩溶储层发育特征及机制[J]. 海相油气地质, 2015, 20(1): 33-44.
- [15] 刘树根, 宋金民, 赵异华, 等. 四川盆地龙王庙组优质储层形成与分布的主控因素[J]. 成都理工大学学报(自然科学版), 2014, 41(6): 657-670.
- [16] 杨雪飞, 王兴志, 杨跃明, 等. 川中地区下寒武统龙王庙组白云岩储层成岩作用[J]. 地质科技情报, 2015, 34(1): 35-41.
- [17] XIAO Di, TAN Xiucheng, XI Aihua, et al. An inland facies-controlled eogenetic karst of the carbonate reservoir in the Middle Permian Maokou Formation, southern Sichuan Basin, SW China[J]. Marine and petroleum geology, 2016, 72: 218-233.
- [18] 冯增昭, 彭勇民, 金振奎, 等. 中国南方寒武纪和奥陶纪岩相古地理[M]. 北京: 地质出版社, 2001: 2, 87-101.
- [19] 马腾, 谭秀成, 李凌, 等. 四川盆地早寒武世龙王庙组沉积特征与古地理[J]. 沉积学报, 2016, 34(1): 33-48.
- [20] 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, 16(4): 441-460.
- [21] 杨威, 谢武仁, 魏国齐, 等. 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[J]. 石油学报, 2012, 33(增刊 2): 21-34.
- [22] 周慧, 李伟, 张宝民, 等. 四川盆地震旦期末—寒武纪早期台盆的形成与演化[J]. 石油学报, 2015, 36(3): 310-323.
- [23] 四川油气区石油地质志编写组. 中国石油地质志 (卷十): 四川油气区[M]. 北京: 石油工业出版社, 1989: 80-109.
- [24] 冯增昭. 单因素分析多因素综合作图法: 定量岩相古地理重建[J]. 古地理学报, 2004, 6(1): 3-19.
- [25] 张满郎, 谢增业, 李熙喆, 等. 四川盆地寒武纪岩相古地理特征[J]. 沉积学报, 2010, 28(1): 128-139.

编辑: 黄革萍

Sedimentary facies and the reservoir of the Lower Cambrian Longwangmiao Formation in northern Sichuan Basin, China

HUANG Zisang, YANG Xuefei, WANG Xingzhi, WANG Yaping,
CHEN Chao, ZENG Deming, DU Shuangyu

Abstract: Based on the analysis of field outcrops, well logging and core data, the sedimentary facies types and features of the Lower Cambrian Longwangmiao Formation in northern Sichuan Basin are discussed, and their influences on reservoirs are analyzed. During Early Cambrian Longwangmiao period, the sedimentary environment in northern Sichuan Basin was carbonate platform, which developed three types of facies including tidal flat, restricted platform and open platform, which were further subdivided into four types of subfacies: mixed tidal flat, intra-platform shoal, lagoon and interbank sea. The mixed tidal flat was mainly composed of sandy dolomite and dolomite, and tidal channels were visible in some areas. The intra-platform shoal was mainly composed of dolarenite with small deposition thickness. The lagoon mainly consisted of dolomite lagoon and dolomitic-limy lagoon with large distribution area. The deposition of interbank sea was mainly composed of dark gray massive limestone with intercalated dolomitic mottled limestone. The Longwangmiao period is composed of two regressive cycles in most areas, and lagoon mainly developed in the middle and lower part of a single sedimentary cycle, and intra-platform shoal mainly developed in the middle and upper part of a sedimentary cycle with thin single layer, and the mixed tidal flat mainly developed at the top of a sedimentary cycle. Due to the influence of paleocontinents, the sediment source supply decreased and the water depth gradually deepened, and the sedimentary facies translated from tidal flat to restricted platform to open platform successively from west to east in the study area. The intra-platform shoal mainly distributed around the restricted lagoon. Combined with the analysis of reservoir property of different sedimentary facies, it is concluded that grain dolomite depositing on the intra-platform shoal have the best reservoir property, followed by the crystalline dolomite, and the gypsum was the worst. Therefore, the most favorable sedimentary environment for reservoir development in Longwangmiao Formation is intra-platform shoal.

Key words: sedimentary facies; reservoir; carbonate; Longwangmiao Formation; northern Sichuan Basin

HUANG Zisang: Master in progress, major in sedimentary and reservoir geology. Add: No. 8 Xindu Avenue, School of Earth Science and Technology, Southwest Petroleum University, Chengdu, Sichuan 610500, China