DOI:10. 19826/j. cnki. 1009-3850. 2020. 11001

# 川南—黔北地区下志留统龙马溪组沉积相展布及演化

刘治成<sup>1,2</sup>,李红佼<sup>3</sup>,张 喜<sup>3</sup>,方 坤<sup>1,2</sup>,罗 鹏<sup>1,2</sup>,祝海华<sup>3</sup> (1.四川省国土科学技术研究院,四川 成都 610041;2.自然资源部复杂构造区页岩气勘探 开发工程技术创新中心,四川 成都 610041;3.西南石油大学地球科学与技术学院,四川 成都 610559)

摘要:川南—黔北地区下志留统龙马溪组发育了一套富含有机质的页岩,属于浅海陆棚沉积环境,基于野外实测剖 面和岩心观察,结合有机碳含量(TOC)以及测井资料等,对龙马溪组进行了详细的沉积相研究。根据岩性标志,沉 积构造特征,古生物特征,地球化学特征,识别出龙马溪组浅海陆棚相,包括浅水陆棚亚相和深水陆棚亚相。并进一 步划分出风暴层,砂泥质浅水陆棚,泥质浅水陆棚,灰泥质浅水陆棚,灰质浅水陆棚,浊积砂,砂泥质深水陆棚,泥质 深水陆棚,灰泥质深水陆棚等微相。龙马溪组自下而上划分出 SSQ1 和 SSQ2 两个沉积旋回,整体显示出水体变浅的 趋势,并控制富有机质黑色页岩储层的分布。SSQ1 的 TST 中泥质深水陆棚微相是最有利页岩储层发育的有利相带。

**关 键 词:**川南—黔北地区;龙马溪组;页岩气;沉积相 **中图分类号**:P534.43;TE122 **文献标识码**:A

随着我国页岩气勘探开发已经在重庆涪陵焦 石坝地区取得重大突破,国内页岩气的开发热潮正 如火如荼的展开,自然资源部也正在为新一轮的页 岩气区块招投标征求意见。根据自然资源部的数 据,四川盆地页岩气资源量约27.5×10<sup>12</sup>km<sup>2</sup>,占全 国的21%。可采资源量4.42×10<sup>12</sup>km<sup>2</sup>,占全国的 18%,位居全国第一,页岩气储量十分巨大,其中四 川盆地页岩气最有利区位于盆地南部(张廷山等, 2016;梁兴等,2011;刘树根等,2011;付小东等, 2011;邹才能等,2010;翟刚毅等,2020;聂海宽等, 2009; 蒲泊伶等, 2010; 李延钧等, 2011; 刘伟等, 2012:余谦等,2020:聂海宽等,2012:门玉澎等, 2020;董大忠等,2010;汪正江等,2020)。但笔者在 参与四川盆地页岩气区块勘探开发的考察调研过 程中,发现推进四川页岩气大规模勘探开发还存在 很多困难,其中之一是四川盆地除在焦石坝区块和 长宁区块分别取得突破外,其他页岩气区块(特别 是地方企业中标区块)勘探工作均未取得明显进 展,以川南昭通区块为例,原因之一就是对层序地 层格架及富有机质黑色页岩优势相带认识不清。

鉴于此,笔者凭借近年来页岩气勘探研究的工作实 践,根据地层与古生物、沉积构造、岩性特征等地质 依据,结合有机碳含量地球化学测试分析结果,对 川南—黔北地区下志留统龙马溪组沉积相进行了 较为深入的研究,并建立研究区层序地层格架,为 新一轮页岩气招投标提供地质依据,加快四川页岩 气勘查开发工作。

#### 1 研究区概况

川南—黔北地区位于四川、云南、贵州三省交 界边缘(图1A)。下志留统龙马溪组代表下志留统 最下部以黑色为主的海相含笔石页岩地层,与其下 伏时限相当于晚奥陶世 Katian 晚期—Hirnantian 期 的五峰组地层为连续沉积、彼此呈整合接触的。龙 马溪组与上覆的石牛栏组或黄葛溪组地层同样呈 连续沉积、整合接触,常以较厚的壳相泥灰岩、灰岩 或钙质砂岩的出现作为龙马溪组顶界,岩性界面较 清楚。受盆地周边的褶皱和断裂的影响,川南—黔 北地区西北部和南部龙马溪组地层受到不同程度 的剥蚀或未沉积,发育不全。其中,西北部受川中

收稿日期: 2020-03-05; 改回日期: 2020-11-13

作者简介:刘治成(1983—),男,博士后,页岩气勘探及评价。E-mail:lzc\_15@126.com

资助项目:四川省重点研发项目(18ZDYF0884, 2018SZ0272);国家自然科学基金项目(41772150, 41972120)。

古隆起影响,威201 井以西以北,龙马溪组被剥蚀或 未沉积;南部受黔中古隆起影响,在镇雄杉树—芒 部海子沟一线以南被完全剥蚀或未沉积(图1B)。 川南—黔北地区龙马溪组岩性在纵向上具有一定 的渐变性,按垂向沉积特征可将龙马溪地层划分为 上、下两段,总体上具有向上颜色逐渐变浅、碳质含 量逐渐减少以及粉砂质和灰质含量逐渐增多的特 征(图1C)。

## 2 沉积相类型及特征

根据对川南—黔北地区龙马溪组野外露头剖 面、钻井岩心以及镜下薄片的详细观察描述与研 究,并结合区域构造、沉积背景及沉积相的识别标 志等资料,研究认为研究区下志留统龙马溪组处于 浅海陆棚沉积环境,其沉积相可划分为1种相、2种 亚相以及9种微相(表1,图2,图3)。



图1 研究区示意图及滇黔北探区宝1井龙马溪组地层图

Fig 1 Schematic diagram of study area and stratigraphic map of Longmaxi Formation in Bao 1 Well in the northern study area of Yunnan and Guizhou

	表1	研究区龙马溪组沉积相划分类雪	<u>0</u>					
Tab 1         Types of sedimentary facies of Longmaxi Formation in study area								
沉积相	亚相	微相	沉积构造					
		风暴层	丘状交错层理、平行层理等粒序层					
		砂泥质浅水陆棚	水亚尼油 经冰块日本 动体尼油体					
	浅水陆棚	泥质浅水陆棚	水半层埋、缓波状层埋、韵伴层埋等					
		灰泥质浅水陆棚	はち日期					
浅海陆棚		灰质浅水陆棚	均匀层埋					
		浊积砂	透镜体、印模					
	Net L. H.L. Ine	砂泥质深水陆棚						
	泺水陆棚	泥质深水陆棚	水平层理					
		灰泥质深水陆棚						

系	统	组	段	小层	厚度 (m)	岩性剖面	岩性描述	沉积相	微相	照片
	中统	罗惹 坪组		13	>20		13、深灰色厚层-块状含泥灰岩	开阔台地	灰岩 台地	
				12	55.6		12、灰黑色薄层状炭质泥页岩,中部夹透镜状灰质结核,富含笔石		灰泥浅陆	第10层深灰色书页状页岩
						c 	10、灰黑色-深灰色中-厚层状含碳粉砂质页岩		1751	第7层页岩层理面笔石富集
			上			·· ·· _ ·· ·· ··	<ul><li>9、灰黑色薄厚层状含碳质页岩</li><li>8、深灰色薄层状炭质页岩,富含笔石</li></ul>	浅水陆棚	砂泥	第5层裂缝发育,方解石充填
志留	下	龙马溪	段	11	40.5	·····	7、深灰色厚层状含粉砂质泥岩,富含笔石,含黄铁矿		<b>し</b> 质水 棚	X
系	统	组		10	5.4	c**	6、深灰色薄层状炭质页岩,局部夹硅质泥岩, 富含笔石,中部夹一套灰色透镜状砂质灰岩			第3层中笔石
				9	28.7	с с с	5、灰黑色炭质泥岩、钙质泥岩,云质泥岩,夹含 粉砂质泥岩、硅质泥岩,富含笔石,底部裂缝发 育,方解石充填		泥质 浅水 陆棚	
				8	4.2	- c - c - c - c	4、灰色薄层状泥页岩,硅质含量较多,富含笔石			第2层深灰色薄层状贝岩 中夹的砂质灰岩透镜体
				6	1.5 12.3		3、黑色薄层状炭质泥岩,夹纹层状页岩及灰质白 云岩富含笔石			
				5	8.4		2、深灰色薄层状泥页岩,下部夹灰质条带和透镜体,中上部灰质和硅质成分较多,见笔石	深水陆棚	泥质深水	
			段	4	6.4 6.4		1、深灰色薄层状页岩为主,底部5cm棕色泥岩,水平层理发育;夹炭泥质条带,含笔石,上 部夹深灰色灰质条带	1 1	<sup> </sup> 活 棚  	
				2	3.3		0、灰色中层状含生屑微晶灰岩	开阔台州	友毕台州	五峰组与龙马溪组界线

图 2 大坪上剖面龙马溪组沉积微相划分

Fig. 2 Sedimentary microfacies of Longmaxi Formation in the upper Daping section

坩	回层		GR		AC	次亩	SP	毕林	TOC		沉积相	I	沉和わ迷	はをは	沉积
组	段	40	on	- 300	100 300	(加)	5	石住	0	微相	亚相	相	讥帜构垣	仰杀域	旋回
		mm			m-Nome	1030 1040 1050				灰质水棚 砂浅陆			韵律层理 水平层理 韵律层理		
	上段	monday			- Andrewson	1070				灰质水棚	浅水		均匀层理 韵律层理		
龙马溪组		Murry Mr. M. Murry Mr. M.		survey -	manghing	11100 11110 1120				灰浅陆 灰质水棚	1900 1000	9	 反状交错	SSQ2	
					Munim	1130 1140 1150				砂浅陆 泥浅陆 砂浅陆质水棚 质水棚 质水棚		陆棚	<ul> <li>二 层理</li> <li>韵律层理</li> <li>平行层理</li> <li>缓波状</li> <li>展理</li> </ul>		
		Monorman			Summune	1160 1170 1180 1180				1 10 (202					
	下段					1200				泥深陆	深水陆棚		水平层理		
		A marine A free and the second s				1230 1240 1250								SSQ1	
五峰组宝	_	Mww Mww			Ward	1260				灰质水棚	深水陆棚	陆棚	• 透镜体		
塔组		5			5	1290									



#### 2.1 浅水陆棚亚相

浅水陆棚位于过渡带外侧至风暴浪基面之上 的浅海陆棚区,水体较浅,沉积物以暗色细粒的陆 缘碎屑物质为主,见浅水沉积的碳酸盐岩薄层或透 镜体。沉积区还间歇性地受到其他水流(风暴流、 潮流和密度流等)的影响和改造,从而使沉积体发 生分异,形成了相对高能的陆源碎屑砂或碳酸盐颗 粒沉积物组成的风暴层以及低能的以泥页岩为主 的砂泥质陆棚、灰泥质陆棚以及泥质陆棚等沉积 体。暗色页岩常具细纹状水平层理、水平微波状层 理的沉积构造;生物化石以笔石为主,见少量的腕 足、珊瑚、三叶虫、棘皮类、双壳类等化石。浅水陆 棚亚相主要发育在云南彝良—威信以南地区,以及 川中古隆起边缘地区和黔中古隆起剥蚀区以北、四 川高县—长宁—古蔺以南地区的龙马溪组上段。

#### 2.1.1 风暴层微相

浅水陆棚中的风暴层微相岩性主要由成熟度 较高的灰色、深灰色泥质粉砂岩、粉砂岩与细砂岩 组成(图4A,图4B),或单独由碳酸盐岩、生物颗粒 滩组成。常见波浪作用及流动成因的层理构造,如 丘状交错层理、平行层理等(图4A,图4B),侵蚀充 填构造较明显,粒序层较发育,但粒序层厚度不 均匀。

#### 2.1.2 泥质浅水陆棚和砂泥质浅水陆棚微相

泥质浅水陆棚和砂泥质浅水陆棚微相主要发 育于水体能量相对较低的浅水陆棚海域,岩性主要 为深灰色泥岩、粉砂质泥岩,局部夹泥质粉砂岩,发 育反映低能静水环境的水平层理、缓波状层理、韵 律层理等沉积构造(图4C,图4D),见少量的笔石和 双壳类等化石(图4E、图4F)。垂向上连续沉积的 厚度较大,常为几十米至一百多米。根据沉积物的 岩性,可以区分出主要由泥岩和页岩构成的泥质浅 水陆棚微相,以及主要由粉砂质泥岩和泥质粉砂岩 构成的砂泥质浅水陆棚微相,其中的砂质颗粒或者 是特大洪水期由河流携带入海的,或者是潮流、风 暴流等从滨岸带改造来的。

#### 2.1.3 灰泥质浅水陆棚微相

研究区内灰泥质浅水陆棚微相主要是由于海 平面的频繁升降,造成了沉积环境相应的发生变 化,从而在"清水"期间发生碳酸盐岩沉积,"浑水" 期间则主要为细粒陆源碎屑物质沉积。随着海平 面的频繁升降,形成深灰色、灰色含灰泥页岩、泥页 岩夹灰色灰岩或泥灰岩薄层的现象(图4G)。另外 也不排除成岩作用(如交代作用、化学剂生物化学 作用)对灰质成因的影响。



#### 图 4 研究区龙马溪组浅水陆棚内各类沉积微相标志

A. 灰色粉砂岩夹薄层的深灰色粉砂质泥岩,平行层理发育,X2 井,龙马溪组,2029.77~2029.48m;B. 灰色粉-细砂岩,平行层理发育,大雪山海湾剖面;C. 深灰色泥岩,发育水平纹层,X2 井,龙马溪组,2028.37~2027.05m;D. 含灰质粉砂质泥岩,泥质层状富集,与砂质间夹构成微层 理,X2 井,龙马溪 1938.27~1938.56m,(正交偏光,25 倍);E. 灰色粉砂质泥岩,含少量的笔石,X2 井,龙马溪组,1930.11~1930.00m;F. 深灰 色粉砂质泥岩,见双壳类化石,X3 井,龙马溪组,1198.57~1198.42m;G. 灰色 - 深灰色含笔石页岩夹薄层灰色泥灰岩,盐津县牛寨乡李家湾剖 面;H. 灰黑色泥岩与深灰色灰质泥岩、泥灰岩呈不等厚薄互层,X3 井,龙马溪组,1197.54~1205.80m



2021年(3)

#### 2.1.4 灰质浅水陆棚微相

区内的灰质浅水陆棚微相岩性为中—薄层的 灰色灰岩夹深灰色、灰黑色泥岩,但在局部地区岩 性主要为厚层的泥质灰岩。反映了灰质浅水陆棚 微相中的岩性变化,是由于沉积水体深度频繁变化 造成的(图4H)。

#### 2.2 深水陆棚亚相

深水陆棚处于浅海陆棚靠大陆斜坡一侧的、风 暴浪基面以下的浅海区,环境能量相对较低,水体 安静,沉积物主要由灰黑色—黑色泥岩、页岩、含粉 砂页岩夹纹层状碳酸盐岩、粉砂岩薄层组成,黑色 页岩常呈薄层状,具毫米级纹层状或片状页理构 造,黄铁矿常呈星散状或纹层状分布,水平纹层发 育。生物化石个体多,门类单调,几乎全为漂浮生 活的笔石,局部地区见少量的放射虫和硅质海绵骨 针,反映了安静贫氧的滞留水体沉积环境。依据沉 积物的不同,又可将深水陆棚进一步划分为砂泥质 深水陆棚、泥质深水陆棚、灰泥质深水陆棚和浊积 砂等微相。龙马溪组沉积早期,研究区普遍处于深 水陆棚亚相沉积。龙马溪组晚期,深水陆棚亚相分 布范围开始向东向北收缩,主要分布于四川长宁— 贵州习水—重庆綦江以北,四川沐川—自贡以南以 东地区。

2.2.1 泥质深水陆棚微相

泥质深水陆棚微相处于深水陆棚水体能量最低的海域,以发育黑灰色、灰黑色、黑色泥页岩、碳质泥页岩(图 5A)以及发育反映水体安静的水平层理为特征(图 5B),矿物中常出现大量黄铁矿和碳等元素。

该微相除厘米级和毫米级纹层及页理发育,还 普遍含黄铁矿晶粒,常呈星点状或纹层状(图5C); 岩层中含大量的笔石化石(图5D),底栖生物化石 较少,但遗迹化石较多(图5E、图5F)。其中,毫米 级纹层发育,并出现大量黄铁矿和碳质的现象,反映



#### 图 5 研究区龙马溪组深水陆棚各类沉积微相标志

A. 黑色页岩, X3 井, 龙马溪组, 1422. 41~1430. 82m; B. 灰黑色页岩, 水平纹层发育, 大雪山海湾剖面; C. 黑色页岩, 见成纹层状的黄铁矿, X2 井, 龙马溪组, 2063. 51~2060. 83m; D. 灰黑色页岩, 笔石极为发育, X3 井, 龙马溪组, 1405. 08~1413. 72m; E 和 F. 富含有机质的页岩中, 充填物 与围岩不同的 Planolites, 充填物主要以黏土质为主, 边界清晰, 大小不一(单偏光, 10 倍); G. 黑色含笔石粉砂质页岩, 兴文崔家村剖面; H. 粉砂 质泥岩, 主要由纤维鳞片状黏土矿物组成。X2 井, 龙马溪组, 2043. 62~2043. 89m, (正交偏光, 25 倍); I. 泥质细粉砂岩, X3 井, 龙马溪组, 1387. 48~1387. 65m; J. 黑色页岩夹深灰色粉 - 细砂岩, X3 井, 龙马溪组, 1387. 00~1388. 00m; K. 黑色页岩夹灰色泥晶灰岩、泥灰岩, X3 井, 龙马溪组, 1325. 27~1330. 37m; L. 含泥质泥晶灰岩、X3 井, 龙马溪组, 1325. 27~1325. 58m, (正交偏光, 10 倍)

Fig. 5 The types of the sedimentary microfacies marks of deep water shelf in Longmaxi Formation

了该沉积环境沉积作用极不活跃,结合分异度单一 且丰度较高的 Planolites,指示了低能、贫氧以及低 速欠补偿的较深水的特征。它与砂泥质深水陆棚 微相的主要区别在于泥页岩中几乎不含砂和粉砂。 2.2.2 砂泥质深水陆棚微相

砂泥质深水陆棚微相与泥质深水陆棚微相都 处于能量相对较低深水陆棚海域,二者的主要区别 为砂泥质深水陆棚微相水体能量略强,泥页岩中含 有少量的粉砂,其岩性以灰黑色粉砂质泥岩、泥页 岩为典型特征(图5G、图5H)。

#### 2.2.3 浊积砂微相

浊积砂微相为浊流沉积的产物,岩性主要为夹 于较深水灰黑色泥页岩中的钙质粉砂岩、泥质粉砂 岩透镜体(图51、J),在砂层中常具有流动成因的层 理,缺少波浪作用形成的层理,有时可见各种印模, 粒级递变现象较明显,往往具有不完整的鲍玛序列 (图5J)。

2.2.4 灰泥质深水陆棚微相

研究区内的灰泥质深水陆棚微相主要为颜色 相对较浅的灰色、深灰色灰岩呈薄层或透镜体状夹 于灰黑色、黑色泥页岩中(图5K、图5L),可能为浊 流沉积的产物。同时也不排除成岩作用(如交代作 用、化学剂生物化学作用)对灰质成因的影响,造成 岩性以灰质泥岩的形式产出。

### 3 层序地层特征

根据野外剖面和钻测井资料,结合前人研究成 果(陈建强等,1998;李志明等,1997;张丛和聂瑞 贞,2006;朱志军等,2010),在沉积相研究的基础 上,笔者将川南—黔北地区下志留统龙马溪组划为 两个三级层序,分别为 SSQ1 和 SSQ2。但在研究区 边缘,靠近川中古隆起和黔中古隆起地区,地层大 多保存或发育不全。

川南—黔北地区下志留统龙马溪组总体属于海洋基底较平缓的浅海陆棚环境。受古地貌的影响,水体相对局限,早期为滞留环境,发育大量条带状或结核状黄铁矿,富含碳质,笔石分异度和遗迹 化石分异度低。晚期随基底构造抬升,海平面下降,水体循环度、含氧量和笔石分异度开始增加,遗 迹化石出现代表水动力较强的逃逸迹,岩性上表现 为碳酸盐岩颗粒含量逐渐增加。沉积物受古隆起 的影响,东西向变化不大(图 6A),但南北方向变化 明显(图 6B)。 SSQ1 层序相当于龙马溪组下段的中下部地层。 层序的底界面为 II 型岩性结构转换面。该层序由 海侵体系域和高位体系域组成(图 6A;图 6B)。层 序界面之上的 TST 为一套泥质深水陆棚的富含有 机质的黑色页岩,自然伽马曲线与 TOC 含量最高, 该套页岩也是区内龙马溪组最有利储层。HST 为 砂泥质深水陆棚或灰泥质深水陆棚的砂质泥岩、灰 质泥岩和泥质粉砂岩,自然伽马曲线与 TOC 含量明 显降低,碳酸盐岩颗粒含量开始增加。

SSQ2 层序相当于龙马溪组下段的上部地层和 龙马溪组上段。层序的底界面为 II 型岩性结构转 换面。该层序由海侵体系域和高位体系域组成(图 6A;图 6B)。TST 为灰黑色泥页岩,粉砂质泥岩。 HST 为黄绿色页岩、泥质粉砂岩、泥灰岩,研究区南 缘发育生屑灰岩。

#### 4 沉积古地理

SSQ1 层序的 TST 时期代表了早志留世龙马溪 期沉积早期,全球海平面开始上升,川南-黔北地 区可容纳空间迅速增大,水体加深,处于浅海陆棚 环境。但由于受构造运动的影响,该区被川中古隆 起、雪峰古隆起以及黔中古隆起包围,导致海水循 环不畅,形成了滞留--缺氧的泥质深水陆棚环境, 沉积了一套富含有机质的黑色页岩。随着前陆隆 起的持续抬升,在HST时期海平面相对下降,物源 也发生变化,破坏了富含有机质的黑色页岩的沉积 条件,开始沉积泥岩和砂质泥岩(图 7a)。SSQ2 层 序的 TST 时期,由于此时仍处于全球海平面上升 期,因此区内中部自贡—泸州—綦江一带仍为泥质 深水陆棚环境,但开始向北、南、东南方向逐渐变 浅。随着古隆起的持续抬升,到了 HST 时期,川 南--黔北地区海平面开始下降,岩性上表现为砂 质、灰质颗粒含量逐渐增多。随着黔中古隆起北缘 向北扩展(戎嘉余等,2011),研究区南部四川筠 连---古蔺以南局部地区在龙马溪组晚期开始沉积 泥灰岩(图7b)。

### 5 沉积微相与有机质丰度的关系

不同的沉积相代表了不同的沉积环境及在该 环境中形成的沉积岩特征的综合,因此,不同的沉 积微相常具有不同的水动力条件和不同的氧化还 原条件,由此沉积物中有机质丰度也不同。通过分 析研究区龙马溪组沉积期重点沉积微相与有机碳含



图 6 川南—黔北地区龙马溪期层序地层格架

Fig. 6 The stratigraphic framework of sedimentary sequences in Southern Sichuan-Northern Guizhou areas during the Longmaxi period



a. SSQ1 层序时期; b. SSQ2 层序

Fig. 7 The plane distribution of sedimentary facies in Longmaxi period SSQ1(a) and Longmaxi period SSQ2(b)

量之间的关系发现(图8),在浅海陆棚相所有沉积 微相中,泥质深水陆棚有机碳含量最高,大多处于 1.5%以上(图8A),为页岩储层发育的最有利的沉 积相带。砂泥质深水陆棚微相以及泥质浅水陆棚 微相有机碳含量相对不高,TOC 主要分布在0.6% ~1.2%以及0.4%~1.0%(图8B、C),有机碳含量 处在有利页岩层有机碳下限以下(TOC=2%),为非 页岩储层发育相带,但可作为"一般泥页岩"的 (0.5% < TOC < 1.5%)发育相带。而砂泥质浅水陆棚、风暴层、灰泥质浅水陆棚以及灰质浅水陆棚等 微相有机碳含量基本上都小于 0.5% (图 8D、G),为 非页岩储层发育的相带。

以上研究表明,沉积相控制了有利页岩储层的 区带展布,处于水体最深、水体能量最弱、还原条件 最强的泥质深水陆棚微相是有利页岩储层发育的 有利相带。



图 8 研究区龙马溪组重点沉积微相 TOC 分布散点图

A. X2 井泥质深水陆棚 TOC 分布散点图; B. X3 井砂泥质深水陆棚 TOC 分布散点图; C. X2 井泥质浅水陆棚 TOC 分布散点图; D. X2 井砂泥质浅水陆棚 TOC 分布散点图; E. X2 井风暴层 TOC 分布散点图; F. X2 井灰泥质浅水陆棚 TOC 分布散点图; G. X1 井灰质浅水陆棚 TOC 分布散点图
 Fig. 8 TOC distribution scatter plots of sedimentary microfacies of the Longmaxi Formation

## 6 结论

(1)川南—黔北地区龙马溪组沉积相识别出一 个浅海陆棚相,包括过渡带亚相,浅水陆棚亚相和 深水陆棚亚相。浅水陆棚亚相包括风暴层,砂泥质 浅水陆棚,泥质浅水陆棚,灰泥质浅水陆棚和灰质 浅水陆棚等5个微相。深水陆棚亚相包括浊积砂、 砂泥质深水陆棚、泥质深水陆棚、灰泥质深水陆棚 等4个微相。

(2)川南一黔北地区龙马溪期划分出 2 个三级 旋回,包括 SSQ1 和 SSQ2,均由海侵体系域和高位体 系域组成。反映了龙马溪组沉积时总体呈海平面 下降的趋势。SSQ1 的 TST 时期沉积了最有利储集 层的黑色页岩。

(3)沉积相控制了有利页岩储层的区带展布, 在浅海陆棚相所有沉积微相中,处于水体最深、水 体能量最弱、还原条件最强的泥质深水陆棚有机碳 含量最高,多大于1.5%,发育黑灰色、灰黑色、黑色 泥页岩、碳质泥页岩以及发育反映水体安静的水平 层理为特征,矿物中常出现大量黄铁矿和炭等元素 为页岩储层发育的最有利的沉积微相。

#### 参考文献(References):

- 陈建强,李志明,龚淑云,等,1998. 上扬子区志留纪层序地层特征 [J]. 沉积学报,(3):58-65.
- 董大忠,程克明,王玉满,等,2010.中国上扬子区下古生界页岩气形 成条件及特征[J].石油与天然气地质,31(3):288-299+308.
- 付小东,秦建中,滕格尔,等,2011. 烃源岩矿物组成特征及油气地质 意义——以中上扬子古生界海相优质烃源岩为例[J]. 石油勘 探与开发,38(6):671-684.
- 李延钧,刘欢,刘家霞,等,2011.页岩气地质选区及资源潜力评价方法[J].西南石油大学学报(自然科学版),33(2):28-34+8-9.
- 李志明,龚淑云,陈建强,等,1997.中国南方奥陶—志留纪沉积层序 与构造运动的关系[J].地球科学(中国地质大学学报),22(5): 526-530.
- 梁兴,叶熙,张介辉,等,2011. 滇黔北坳陷威信凹陷页岩气成藏条件 分析与有利区优选[J]. 石油勘探与开发,38(6):693-699.
- 刘树根,马文辛,LUBA Jansa,等,2011.四川盆地东部地区下志留统 龙马溪组页岩储层特征[J].岩石学报,27(8):2239-2252.

- 刘伟,余谦,闫剑飞,等,2012.上扬子地区志留系龙马溪组富有机质 泥岩储层特征[J].石油与天然气地质,33(3):346-352.
- 门玉澎, 闫剑飞, 戚明辉, 等, 2020,. 黔南地区下寒武统牛蹄塘组页岩 气顶底板特征研究[J]. 沉积与特提斯地质, 40(1):53-59.
- 聂海宽,唐玄,边瑞康,2009.页岩气成藏控制因素及我国南方页岩气 发育有利区预测[J].石油学报,30(4):484-491.
- 聂海宽,张金川,包书景,等,2012.四川盆地及其周缘上奥陶统一下 志留统页岩气聚集条件[J].石油与天然气地质,33(3):335 -345.
- 蒲泊伶,蒋有录,王毅,等,2010.四川盆地下志留统龙马溪组页岩气 成藏条件及有利地区分析[J].石油学报,31(2):225-230.
- 戎嘉余,陈旭,王怿,等,2011. 奧陶-志留纪之交黔中古陆的变迁;证 据与启示[J]. 中国科学:地球科学,41(10):1407-1415.
- 汪正江,杨菲,刘家洪,等,2020. 滇东北地区五峰—龙马溪组沉积转 换及其页岩气地质意义[J]. 沉积与特提斯地质,40(3):129

- 139.

- 余谦,程锦翔,张海全,等,2020.盐源地区古生界页岩气地质条件分 析[J]. 沉积与特提斯地质,40(3):118-128.
- 翟刚毅,王玉芳,刘国恒,等,2020.中国二叠系海陆交互相页岩气富 集成藏特征及前景分析[J]. 沉积与特提斯地质,40(3):102 -117.
- 张丛,聂瑞贞,2006. 黔北地区志留系层序地层格架与油气勘探前期 分析[J]. 新疆地质(2):161-164.
- 张廷山,赵国安,陈桂康,等,2016.我国页岩气革命面临的问题及对 策思考[J].西南石油大学学报(社会科学版),18(2):1-8.
- 朱志军,陈洪德,林良彪,等,2010. 黔北一川东南志留系层序格架下 的沉积体系演化特征及有利区带预测[J]. 沉积学报,28(2): 243-253.
- 邹才能,董大忠,王社教,等,2010.中国页岩气形成机理、地质特征及资源潜力[J].石油勘探与开发,37(6):641-653.

## Distribution and evolution of sedimentary facies of the Lower Silurian Longmaxi Formation in southern Sichuan and northern Guizhou area

LIU Zhicheng<sup>1,2</sup>, LI Hongjiao<sup>3</sup>, ZHANG Xi<sup>3</sup>, FANG Kun<sup>1,2</sup>, LUO Peng<sup>1,2</sup>, ZHU Haihua<sup>3</sup>

(1. Sichuan Institute of land Science and Technology, Chengdu 610045, China; 2. Technology Innovation Center of Shale Gas Exploration and Development in Complex Structural Areas, Ministry of National Resources, Chengdu 610045, China; 3. School of Geoscience and Technology, Southwest Petroleum University, Chengdu 610500, China )

**Abstract**: Organic-rich black shale, which is formed in shallow shelf sedimentary environment, is widely developed in the Lower Silurian Longmaxi Formation in southern Sichuan and northern Guizhou area. Based on the data of field measured profiles, drill core observation, testing of organic carbon content (TOC), and logging results, the sedimentary facies of Longmaxi Formation has been studied in detail. According to lithology markers, logging facies, and characteristics of sedimentary tectonics, paleotology and geochemistry, we identified neritic shelf facies composed of shallow shelf subfacies and deepwater shelf subfacies. The neritic shelf facies can be divided into storm layer, shallow sandy and muddy shelf, shallow muddy shelf, shallow gray and muddy shelf, shallow gray shelf, turbidite deposit, deep sandy and muddy shelf, deep muddy shelf and deepgray and muddy shelffurtherly. The Longmaxi Formation can be divided into SSQ1 and SSQ2 sedimentary cycles, which indicate a sea-level falling and affect the distribution of organic-rich rservoir of black shale. The deepwater muddy shelf microfacies in TST of SSQ1 are the best shale reservoir.

Key words: southern Sichuan and northern Guizhou; Longmaxi Formation; shale gas; sedimentary facies