

川西北地区中三叠统雷口坡组沉积相再认识

何利^{1,3}, 刘建清^{1,3}, 隆轲², 谭钦银^{1,3}, 宋晓波²

1 中国地质调查局成都地质调查中心(西南地质科技创新中心); 2 中国石化西南油气分公司;

3 自然资源部沉积盆地与油气资源重点实验室

摘要 基于区域构造背景分析,通过钻井岩心观察、露头剖面调查和薄片鉴定,以及露头-连井剖面对比、骨干地震剖面解释,深化了川西北地区雷口坡组构造-沉积特征及沉积相演化的认识。研究认为:①川西北部江油-绵竹一带雷口坡期处于沉降-沉积中心,晚三叠期拗陷向南扩展至峨眉垮洪洞一带。②雷口坡组自西向东发育台地边缘相、局限台地相及蒸发台地相。台地边缘相发育浅滩亚相,主要包括砂屑滩、鲕粒滩微相;局限台地相由浅滩、潮坪及泻湖亚相组成,包括砂屑滩、藻云坪、灰云坪、潮道、淡化泻湖、咸化泻湖、半咸化泻湖等微相;蒸发台地相由蒸发坪及盐湖亚相组成,主要发育膏坪、云膏坪、膏云坪、云坪、膏质盐湖及石盐盐湖等微相。③台缘浅滩规模大,颗粒为致密的内碎屑及鲕粒;台内滩规模较小,颗粒类型主要为藻屑。建立了雷口坡组“台地边缘相—局限台地相—蒸发台地相”沉积模式,沉积变迁受到沉积基底向西北倾斜的背景及海侵-海退旋回的控制。

关键词 沉积特征; 沉积演化; 沉积模式; 雷口坡组; 川西北

中图分类号:TE122.2

文献标识码:A

0 前言

四川盆地中三叠统雷口坡组的油气勘探始于20世纪70年代,经过40多年的勘探,仅在川中地区发现中坝、磨溪为代表的少量中小型气藏及含气构造。自2006年开始,经过8年的努力,实现了川西龙门山前构造带雷口坡组天然气勘探的重大突破,发现了彭州大型气田^[1],展示了雷口坡组巨大的油气勘探潜力。前人对四川盆地雷口坡期岩相古地理开展了较多的研究,主要有林良彪等^[2-3]的开阔台地、局限台地说,李凌等^[4]的局限-蒸发台地说等。由于过去的研究未能应用反映构造-沉积背景的地震资料,也没有把地层、沉积格局的发育演化与大地构造背景,特别是古特提斯洋关闭的背景深入结合起来,因此这些有关雷口坡组沉积特征的成果认识有待进一步完善和深化。本文对川西北地区露头剖面、钻井岩心、微观资料及地震资料进行了细致的调查、观察及研究,并与前人古地理研究及古特提斯洋研究的相关资料结合,在地

层、沉积发育机制、沉积相特征等方面获得了一些新认识,可为深入推进川西北地区雷口坡组天然气勘探提供基础依据。

1 区域地质条件

1.1 构造-沉积背景

三叠纪上扬子海盆西南为康滇古陆,北为秦岭北方古陆(大巴山古陆),东为江南古陆(雪峰山古陆)^[5-6](图1a)。海水主要来自特提斯海,由康滇古陆与越北古陆之间的开远海峡进入上扬子海盆,再越过黔南堤礁从川西南一带侵入^[5]。四川盆地中三叠世雷口坡期沉积格局与盆地周缘、内部的古隆起有着密切的关系。四川盆地中东部的泸州古隆起、开江古隆起于二叠纪东吴运动期开始形成雏形,于印支早期定型在古特提斯洋关闭机制下的汇聚应力场背景^[7-9]。与早三叠世相比,四川盆地中三叠世雷口坡期的岩相古地理发生了明显的变化。周边古陆的逐渐抬升,特别是东边雪峰山古陆的抬升加剧了海域西低东高的古地理

收稿日期:2022-12-23; 改回日期:2023-05-04

本文受中国石化西南油气分公司项目“川西地区雷口坡组勘探潜力评价”(编号:34450000-20-ZC06070-0033)资助

第一作者: 何利,硕士,高级工程师,主要从事沉积学与岩石学研究。通信地址:610218 四川省成都市天府新区科学城北路东段2211号;E-mail: 76069804@qq.com

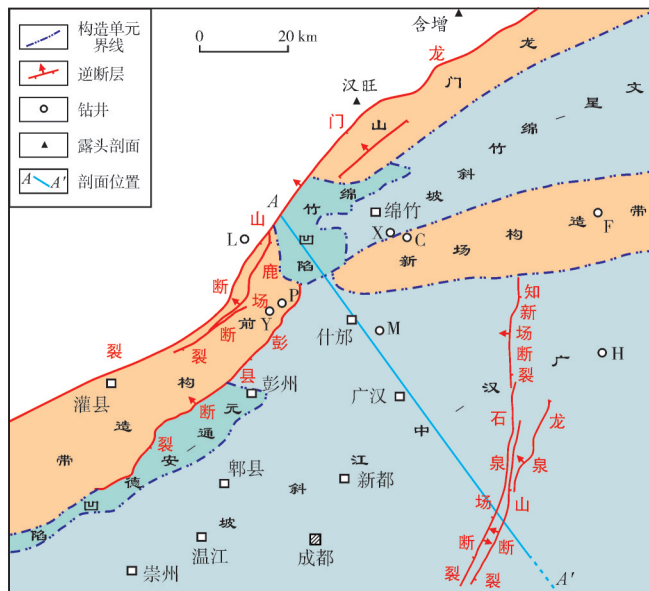
通信作者: 刘建清,硕士,教授级高级工程师,主要从事沉积学与岩石学研究。通信地址:610218 四川省成都市天府新区科学城北路东段2211号;E-mail: liujq1@tom.com

格局。雪峰山古陆与泸州古隆起、开江古隆起的不断隆升,使古隆起成为了分隔上扬子海盆东西两侧不同古地理单元的天然屏障^[10-11];西面以南充地区为中心,发育石灰岩、白云岩、膏岩和盐岩;东面巴东地区发育砂岩、泥岩,属同期异相沉积^[6,12-14]。

川西北研究区的现今构造特征,雷口坡组顶面总体表现为“两隆、两凹、两斜坡”:“两隆”为龙门山前构造带和新场构造带,“两凹”为元通—安德凹陷和绵竹凹陷,“两斜坡”为广汉—中江斜坡、文星—绵竹斜坡(图1b)。



(a) 上扬子海盆中三叠世雷口坡期古地理概貌(据文献[15])



(b) 研究区雷口坡组构造单元及断裂分布图(据文献[1])

图1 上扬子海盆中三叠世古地理概貌及川西北地区雷口坡组构造区划

Fig. 1 Paleogeography of the Upper Yangtze sea basin during Middle Triassic and the structural zoning of Leikoupo Formation in northwestern Sichuan Basin

1.2 地层特征

川西北地区中三叠统雷口坡组底与下三叠统嘉陵江组呈平行不整合接触;雷口坡组顶在西部与天井山组呈整合接触(图2),在东部与上三叠统须家河组呈平行不整合接触。基于野外调查、钻井和地震等资料综合分析,雷口坡组地层厚度约为200~1 000 m,平面上东薄西厚。雷口坡组岩性以白云岩、石灰岩及膏岩为主,自下而上可以划分为4段(图2):雷口坡组一段(雷一段)由浅灰色—灰白色中—薄层状白云质泥岩、泥质白云岩、膏岩和粉晶白云岩构成多个旋回,底部以黄绿色钙质、白云质泥岩(“绿豆岩”)为特征;雷二段主要为灰白色—浅灰色厚层中晶白云岩、藻砂屑白云岩、含砂屑泥晶白云岩等;雷三段为深灰色薄层泥晶灰岩夹粉晶白云岩、泥岩和膏岩,灰色含砂屑藻纹层白云岩夹中薄层状藻团块白云岩和藻砂屑白云岩及灰色中厚层粉—细晶白云岩;雷四段为块状泥晶白云岩、膏

岩、泥晶灰岩、(藻)砂屑白云岩、藻纹层白云岩及泥质白云岩。

2 典型沉积相类型及特征

结合区域构造—沉积背景,通过对野外剖面、钻井岩心及镜下薄片进行详细观察描述,对连井格架剖面进行解释,认为川西北地区雷口坡组为蒸发台地—局限台地—台地边缘沉积环境,发育多种亚相及微相(表1)。

2.1 蒸发台地

蒸发台地位于泸州古隆起西侧沉积区,主要位于潮上带,由于蒸发作用强,海水盐度高,沉积以蒸发岩为主。蒸发台地相由蒸发坪、盐湖亚相组成,主要发育在雷二段、雷四段。

2.1.1 蒸发坪亚相

主体位于平均高潮面以上的大潮及风暴作用地区,海水极浅(仅数厘米到数米),或长期暴露地







系	统	组	段	层号	层厚/m	累厚/m	岩性剖面	照片位置	岩性描述	典型沉积特征	沉积相		
											微相	亚相	相
三	中	雷	天井山组	18	43.91	638.5			底部30 cm厚砾屑鲕粒砂屑灰质白云岩, 距底3 m为30 cm厚砾屑灰质白云岩, 下部浅灰色厚层状砂屑灰质白云岩夹泥晶白云岩, 上部浅灰色厚层状泥晶白云岩。				
				17	37.40	594.6	⑦		浅灰色厚层状含溶孔砂屑白云岩夹泥晶白云岩, 中下部见厚30 cm砾屑白云岩。	⑦砾屑白云岩。层17	云坪	潮坪	
											砂屑滩	浅滩	
											云坪	潮坪	
											砂屑滩	浅滩	
											云坪	潮坪	
											砂屑滩	浅滩	
				16	78.91	557.2			浅灰色厚层状砂屑白云岩夹泥晶白云岩及灰色泥质白云岩。		云坪	潮坪	
											砂屑滩	浅滩	
											云坪	潮坪	
											砂屑滩	浅滩	
				15	43.41	478.3			灰白色厚层状泥晶白云岩夹砂屑白云岩。	⑥深灰色泥岩。层13底部	云坪	潮坪	
											砂屑滩	浅滩	
											云坪	潮坪	
											砂屑滩	浅滩	
				14	64.31	434.9			灰白色厚层状泥晶白云岩, 偶夹深灰色泥质白云岩, 底为80 cm厚细晶白云岩。	⑤溶孔砂屑白云岩。层10	泥云坪	潮坪	
				13	15.78	370.6	⑥		底部厚30 cm深灰色泥页岩夹层2层, 往上深灰色中—厚层状泥晶白云岩, 上部浅灰色厚层状泥晶白云岩。		淡化潟湖	潟湖	
				12	25.23	354.8			浅灰白色厚层状泥晶白云岩。		云坪	潮坪	
				11	64.58	329.6			灰白色含溶孔砂屑白云岩, 单层厚度50~60 cm。局部发育溶孔, 面孔率1%~2%。	④砾屑白云岩。层4	砂屑滩	浅滩	
				10	31.38	265.0	⑤		灰白色—浅灰色溶孔砂屑白云岩, 面孔率5%~6%。				
				9	18.99	233.6			浅灰色泥晶砂屑白云岩夹灰质白云岩。	③浅黄绿色泥页岩。层3	砂屑/鲕粒滩		
				8	18.17	214.6			下部浅灰白色厚层状砂屑白云岩, 上部浅灰白色厚层状假鲕状白云岩。		云坪	潮坪	
				7	30.49	196.5			浅灰白色厚层状泥晶白云岩, 单层厚度50~60 cm。		砂屑/鲕粒滩	浅滩	
				6	19.84	166.0			底部浅灰白色假鲕状白云岩, 上部砂屑白云岩, 往上泥质含量增高。		砂屑滩	浅滩	
				5	21.93	146.1			浅灰白色厚层状砂屑白云岩夹泥晶白云岩。	②黄绿色泥岩。层2	云坪	潮坪	
				4	45.38	124.2	④		浅灰白色厚层状泥晶白云岩夹砂屑白云岩及砾屑白云岩。		砂屑滩	浅滩	
				3	31.91	78.83	③		浅灰色—灰白色厚层状含砂屑白云岩夹浅黄色—灰色泥页岩。		砂屑滩	浅滩	
				2	11.81	46.91	②		浅黄色—灰色厚层状泥质白云岩夹灰色泥页岩。		砂屑滩	浅滩	
				1	24.02	35.10	①		灰黄色中层状泥质白云岩与灰色—浅灰色泥页岩互层。	①灰色泥页岩。层1底部	半咸化潟湖	潟湖	
				0	11.08	11.08			灰白色厚层膏溶角砾岩与灰白色厚层状泥晶白云岩互层。				

图2 江油含掇剖面雷口坡组沉积综合柱状图

Fig. 2 Sedimentary comprehensive column of Leikoupo Formation of Hanzeng section in Jiangyou area

表1 川西北地区雷口坡组沉积相划分方案

Table 1 Classification of sedimentary facies of Leikoupo Formation in northwestern Sichuan Basin

相	亚相	微相	主要岩性
蒸发台地	蒸发坪	膏坪、云膏坪、膏云坪、云坪	膏岩、膏质白云岩、白云质膏岩
	盐湖	膏质盐湖、石盐盐湖	盐岩、膏岩
局限台地	浅滩	(藻)砂屑滩	(藻)砂屑白云岩、(藻)粉砂屑白云质灰岩、(藻)粉砂屑粉晶白云岩、(藻)砂屑灰质白云岩
	潮坪	藻云坪、云坪、泥云坪、(藻)灰云坪、潮道	(藻)砂屑藻纹层白云岩、粉(细)晶白云岩、泥质白云岩、砾屑白云岩、(藻)砂屑藻纹层灰质白云岩、砾屑灰质白云岩
	潟湖	淡化潟湖、半咸化潟湖、咸化潟湖、泥质潟湖	泥晶灰岩、泥晶白云质灰岩、泥晶灰质白云岩、泥岩
台地边缘	台缘浅滩	砂屑滩、鲕粒滩	鲕粒白云岩、砂屑白云岩

表,海水蒸发量很大,水体盐度高,水体循环受限制,岩性以膏岩、白云质膏岩、膏质白云岩为主,硬石膏、石膏受到压实作用后可以出现结核状、串珠状、脉状-鸡笼铁丝网状构造(图3a)。蒸发坪亚相主要有膏坪、云膏坪、膏云坪、云坪等微相。由于长期露出水面或局部发生同生期方解石、白云石淡水溶蚀及后期充填作用,可形成鸟眼构造;由于气候干燥,局部可出现紫红色粉晶白云岩(图3b)。

2.1.2 盐湖亚相

主体发育在蒸发坪内部的相对低洼位置,这种格局阻断了盐湖与广海的联系。当气候干燥、蒸发强烈时,水体不断浓缩成为咸水或超咸水,在水体安静及受陆源碎屑影响小的环境下,矿物结晶充分,形成成分较纯、晶体粗大的盐类矿物。岩性以深灰色、灰色中晶石膏岩、细晶石膏岩为主,例如H井雷四段发育晶体粗大的膏岩(图3c),反映沉积水体较深、安静,有充分的结晶条件。盐湖亚相有膏质盐湖、石盐盐湖等微相。

2.2 局限台地

局限台地位于障壁岛后向古隆起一侧十分平缓的海岸地带和浅水区,主要处于潮下带—潮间带,海水通常局限而循环不畅,水动力较弱;岩性以(藻)砂屑白云岩、灰质白云岩、粉(细)晶白云岩、泥质白云岩、砾屑白云岩等为主。局限台地相由浅滩、潮坪、潟湖3个亚相组成;纵向上,构成潟湖—潮坪或潟湖—浅滩—潮坪或浅滩—潮坪若干向上变浅的沉积序列,发育于整个雷口坡组中。

2.2.1 浅滩亚相

主体位于潮下带浪基面以上,水体能量较高,整体上属宽缓、水体较浅的沉积环境,岩性包括

(藻)砂屑白云岩、(藻)粉砂屑白云质灰岩、(藻)粉砂屑粉晶白云岩和(藻)砂屑灰质白云岩。浅滩亚相主要发育(藻)砂屑滩微相,以(藻)砂屑白云岩为主,砂屑类型主要是打碎的藻屑,显微镜下呈斑块状,内部结构较为疏松(图3d),不同于结构致密的台缘鲕粒、内碎屑;砂体规模一般较小,厚度仅为0.3~2 m,反映了雷口坡期藻席发育并变化极为频繁的特点。由于海平面的频繁变化,(藻)砂屑滩露出水面,可发生同生期粒内容蚀;在后期深埋和裂缝发育的条件下,有机酸注入,沿剩余粒间孔发生溶蚀(图3d)。

2.2.2 潮坪亚相

主体位于潮间上带—潮间下带,水位频繁变化,经常露出水面,潮汐流双向作用明显,总体上地形平缓,水体循环较差,盐度较高,这些促进了潮坪的发育以及白云石化作用的进行。岩性包括(藻)砂屑藻纹层白云岩、粉(细)晶白云岩、泥质白云岩、砾屑白云岩、(藻)砂屑藻纹层灰质白云岩、砾屑灰质白云岩,可见潮汐层理、藻纹层、鸟眼、窗孔和帐篷等沉积构造。潮坪亚相发育藻云坪、云坪、泥云坪、(藻)灰云坪及潮道等微相。

藻云坪 主要岩性为含(藻)砂屑藻纹层白云岩、藻纹层白云岩。藻纹层以近水平波状叠层石为主,偶见半球状藻纹层(图3e, 3f),呈暗色和浅色条带或纹层平行分布,反映地形平缓、水动力条件总体较弱的沉积环境^[16]。暗色层为非风暴期藻席生长骨骼,浅色层为风暴期或高潮期潮汐、水流带来的大量碳酸盐颗粒被藻席黏液捕获而成,这些颗粒中通常包含打碎的藻屑。风暴期和高潮期的碳酸盐颗粒以及藻席的格架,在裂缝发育和有机酸注入的情况下,沿粒间剩余孔及藻席格架发生溶蚀作用

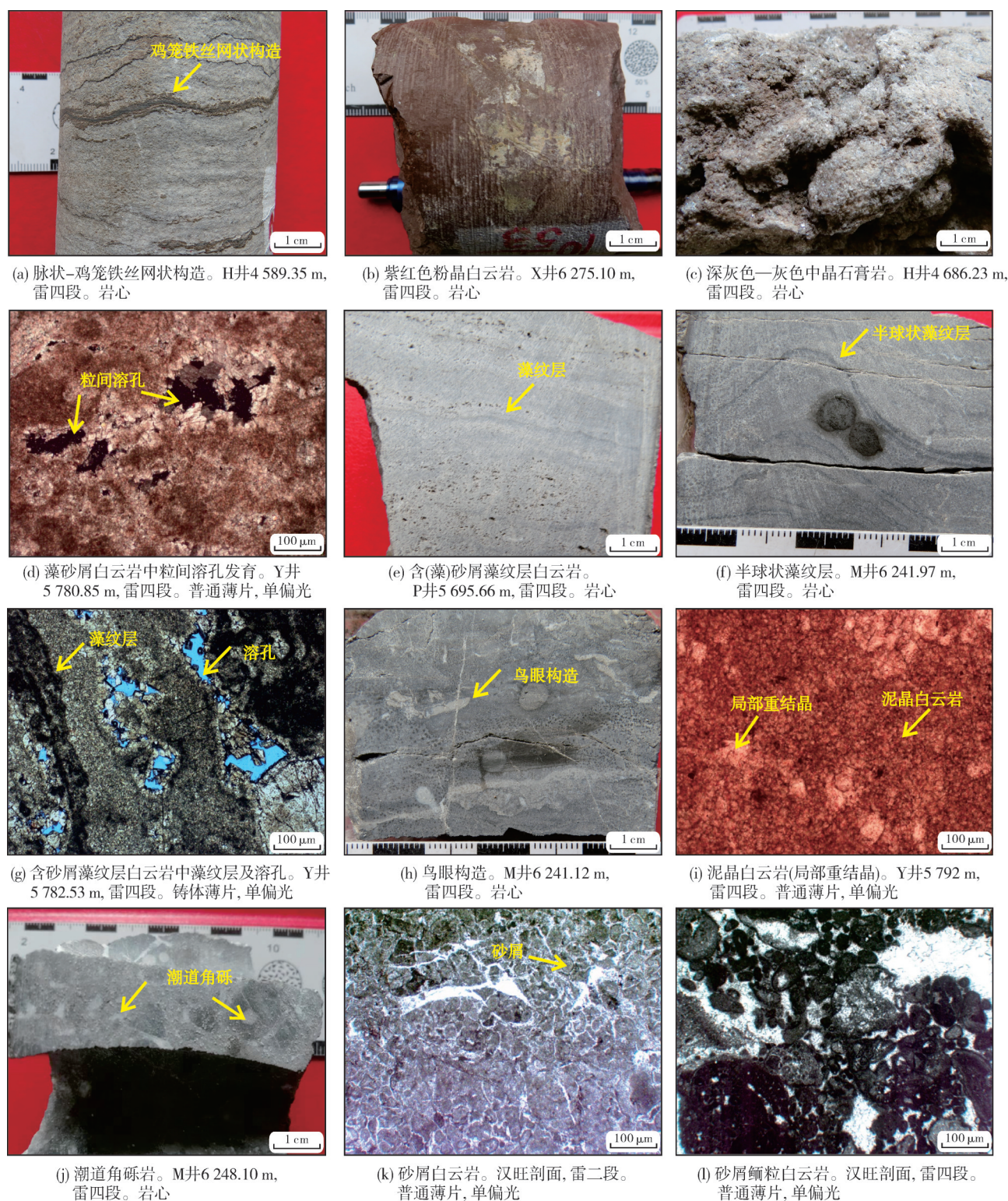


图3 川西北地区雷口坡组典型沉积相标志

Fig. 3 Typical sedimentary facies markers of Leikoupo Formation in northwestern Sichuan Basin

促进储层发育(图3g)。在空间分布上,藻席常不连续,呈透镜状,其间沉积泥粉晶白云岩。该带经常露出水面,碳酸盐沉积物因干燥收缩或者沉积物中

的生物腐烂产生的气泡逸出而形成孔洞,被方解石、石膏充填而形成鸟眼构造(图3h)。藻云坪是雷四段最发育的微相之一。

云坪、泥云坪、灰云坪 由于局部地形的阻挡或海平面相对下降,潮汐作用相对较弱,水体较为平静,藻类不发育,以较为纯净的泥晶白云岩沉积为主。在显微镜下,泥晶白云岩常呈均匀的微小晶粒状,局部重结晶(图3i)。如果水体带入少量泥质,可形成泥云坪,岩性为泥质白云岩;或者因水体稍深,可发育灰质白云岩沉积,一般规模不大,厚度为0.3~2 m。空间上它们常与藻云坪侧向相连。这些微相发育于整个雷口坡组中。

潮道 常在含(藻)砂屑藻纹层白云岩或泥晶白云岩中出现,表现为角砾状白云岩与围岩呈突变接触,厚度为0.1~0.2 m。角砾直径为0.3~1 cm,呈次棱角状、次圆状,分选、磨圆中等(图3j),是潮汐水道冲刷、搬运、磨圆的结果。潮道角砾岩的存在证实了该区潮汐作用强烈。

2.2.3 潟湖亚相

主体位于潮下带,水体动能弱到中等,岩性以泥晶灰岩、泥晶白云质灰岩、泥晶灰质白云岩及泥岩为主。由于总体处于干旱的气候环境,局部夹少量白云岩或石膏。常见有不规则的毫米至厘米级的纹层,透镜状、脉状、波状及沙纹等层理发育。潟湖中常发育风暴沉积,具条带状构造及正粒序层理,层理一般厚4~7 cm,底部具冲刷面。潟湖亚相进一步划分为咸化潟湖、半咸化潟湖、淡化潟湖及泥质潟湖微相。

咸化潟湖 水体浅,盐度高,岩性以泥晶白云岩为主。主要分布于绵竹—彭州—丰谷一带的雷二段、雷四段。

半咸化潟湖 水体稍深、安静,盐度中等偏高。岩性以泥晶白云质灰岩、泥晶灰质白云岩为主。显微镜下常见藻球粒、球粒,偶见生物碎屑及风暴作用形成的砂屑(图3k)。主要分布于绵竹—什邡一带的雷二段、雷四段。

淡化潟湖 水体较深,盐度正常,岩性主要为泥晶灰岩。分布于整个雷口坡组。

泥质潟湖 岩性为泥岩、泥质白云岩等。主要发育于雷一段、雷三段底部,规模较小,一般厚30 cm,最大厚度为40~50 cm。

2.3 台地边缘

结合前人关于川西北卧龙一带发育台地边缘礁滩的推测^[17-18],基于绵竹汉旺、江油含增等露头剖面的沉积相综合分析,认为川西北地区发育台

缘浅滩亚相,主要有砂屑滩、鲕粒滩等微相。上扬子海盆西部为广阔的特提斯海,台地边缘处于迎水面,水动力强,氧气充足,生物生长繁茂。在较强的水动力条件下,藻屑等软弱生物体大多被打碎,只有抗磨蚀能力较强的碳酸盐内碎屑得以保存或以其为核沉淀形成鲕粒。台地边缘常发育鲕粒滩、砂屑滩等高能滩,岩性主要为鲕粒白云岩、砂屑白云岩(图3l)。

3 沉积相展布及演化

3.1 沉积相对比

基于露头剖面、钻井的沉积对比(图4)发现:雷一段、雷三段具有海侵特征,岩性主要为石灰岩、泥岩及白云质灰岩;雷二段、雷四段海退特征明显,岩性主要为砂屑白云岩、膏岩、灰质白云岩。雷口坡组厚度在C井区最大,而且雷二段出现较多的石灰岩,推断其为沉降中心;往西逐渐发育藻云坪,再过渡为台缘浅滩;往东逐渐过渡为局限台地潮坪和蒸发台地。雷口坡组上覆的天井山组往东部逐渐尖灭;天井山组碳酸盐岩在江油含增剖面、绵竹汉旺剖面、L井区、C井区均有发育,而且往西北厚度逐渐增大;而在东部F井区天井山组消失,雷口坡组直接与上覆须家河组呈平行不整合接触。

北西—南东向地震解释剖面(图5)显示:雷口坡组底界呈波状起伏,地层总体向北西倾斜;雷一段—雷三段地震反射较弱,内部结构较为均一;雷四段地震反射较杂乱,东南部见下超特征。天井山组往东南逐渐减薄并缺失。

结合区域研究成果分析,中三叠世拉丁期(雷口坡组—天井山组沉积期)川西北地区处于古地貌低部位。在川西北部的江油石元乡马鞍塘火车站剖面,由下至上发育雷口坡组、天井山组、马鞍塘组,均为整合接触,而且天井山组石灰岩含燧石条带,反映水体较深。而在江油附近的马角坝剖面,天井山组与上覆马鞍塘组呈整合或平行不整合接触。在川西南部的峨眉县川主乡垮洪洞剖面,垮洪洞组(与马鞍塘组同时异相)与下伏雷口坡组及上覆小塘子组均呈平行不整合接触,缺失天井山组^[19]。上述特征反映出江油地区雷口坡组—天井山组沉积期处于拗陷区,与其他地区发育抬升、沉积间断的特征不同;而且拗陷区逐渐向南迁移,至晚三叠世卡尼期(马鞍塘组沉积时期),向南扩展至峨眉县垮洪洞一带。

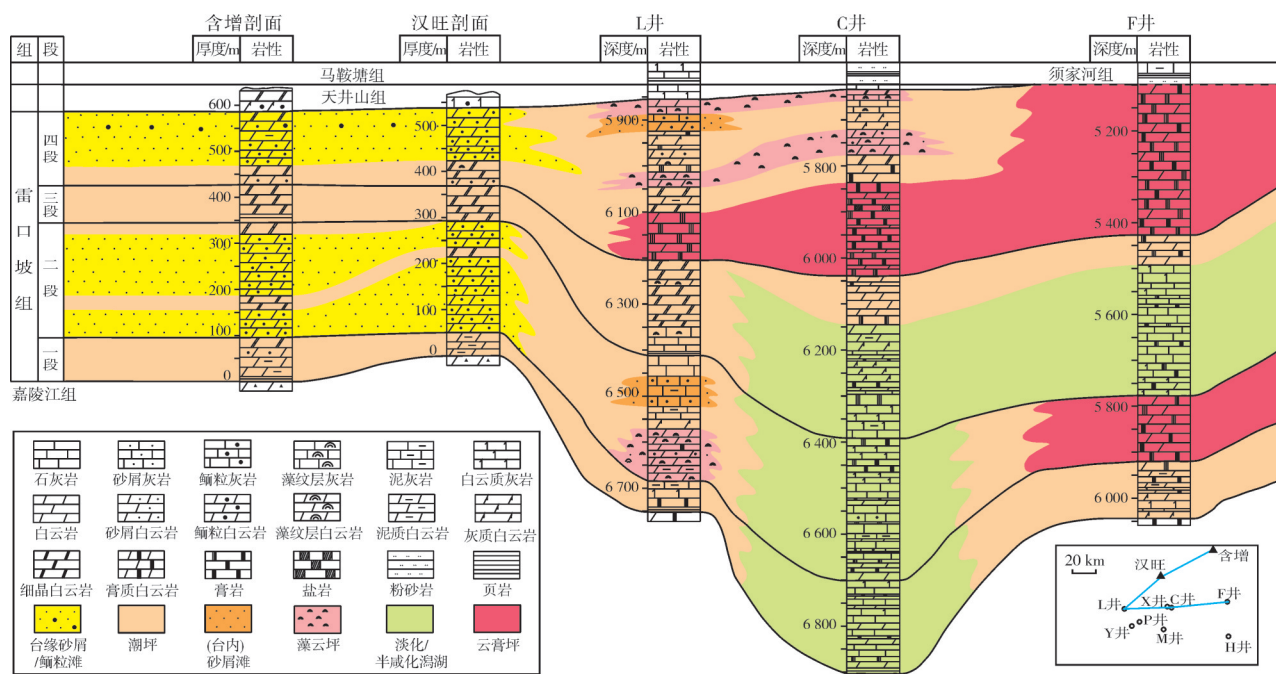


图4 川西北地区雷口坡组沉积相对比剖面

Fig. 4 Sedimentary facies correlation profile of Leikoupo Formation in northwestern Sichuan Basin

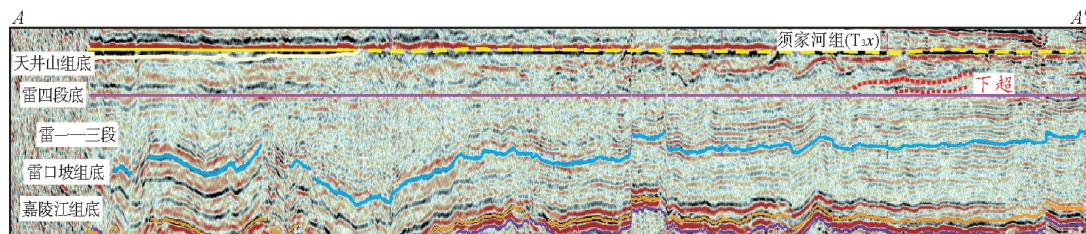


图5 川西北地区雷口坡组地震解释剖面(雷四段底界拉平,剖面位置见图1b)

Fig. 5 Seismic interpretation section of Leikoupo Formation in northwestern Sichuan Basin (flattening the bottom of Leikoupo Member 4. Location is shown in Fig. 1b)

3.2 沉积相平面展布及演化

在对露头剖面、钻井、地震等资料综合分析的基础上,编制了川西北地区雷口坡组4个段的沉积相图。如图6所示,川西北地区雷口坡组沉积相带大体呈北东—南西向展布,局限台地潮坪、潟湖、浅滩亚相构成沉积主体,雷二期、雷四期海退背景下,在西部发育台地边缘相,在东部发育蒸发台地相。

川西北地区雷口坡期经过了2次较大的海侵—海退轮回:①雷一早期,受海域及周围地区火山喷发的影响,研究区普遍沉积了绿豆岩、水云母黏土岩;之后发生了一次较大的海侵,这一时期气候温暖,有较多瓣鳃生物分布。川西北地区整体为局限台地,因古地貌单元差异而产生岩相古地理分异(图6a):凹陷区为潟湖环境,水体稍深,沉积以石灰岩、白云质灰岩为

主,夹白云岩,厚度较大;凸起区为潮坪环境,水体稍浅,沉积以白云岩为主,夹石灰岩,厚度较小。②雷二期,在区域挤压作用下泸州古隆起、开江古隆起抬升,四川盆地发生海退,气候十分干燥,生物贫乏。沉积格局具有继承性,西部台缘浅滩发育,在局限台地内形成了一些浅滩(图6b)。③雷三期开始了又一次海侵过程,研究区继承雷二期沉积格局,以潟湖和潮坪为主,也发育一些浅滩(图6c)。因填平补齐作用,地势总体平坦。④雷四期四川盆地总体表现为一海退过程。雷四早期海水很浅,气候相当干燥,主要发育蒸发台地相巨厚膏岩。雷四中晚期,海平面略有上升,受川西地区基底向西北倾斜的控制,东部、西部发生显著的岩相古地理分异(图6d):东部地区海水很浅,以蒸发台地相膏岩为主。西部地区海水稍深,局限台地发育潮坪、潟湖、浅滩等亚相,其中,浅滩亚

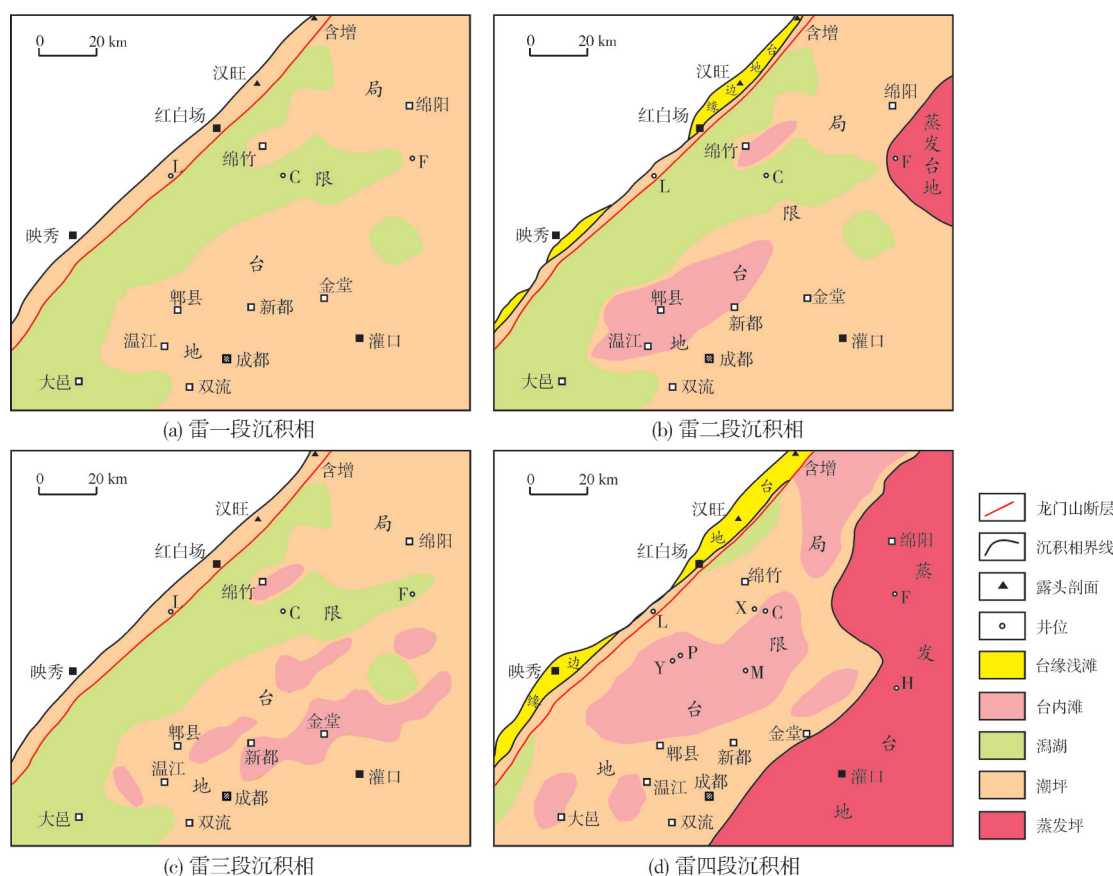


图6 川西北地区雷口坡组沉积相平面图

Fig. 6 Sedimentary facies plans of Leikoupo Formation in northwestern Sichuan Basin

相发育以砂屑白云岩为主的砂屑滩,潮坪亚相发育以含砂屑藻纹层白云岩为主的藻云坪;西部台缘发育浅滩。

总体上,由雷一段到雷四段,海水逐渐变浅,台内滩逐渐发育。整体上雷口坡期灰质潟湖继承性发育,其中雷三段灰质潟湖向东北延伸到F井区一带,反映出川西北地区雷口坡期处于坳陷区。这一成果修正了以往关于川西北地区偶有坳陷的认识^[9]。

雷口坡期以后,受松潘—甘孜地块向扬子地块的挤压作用影响,龙门山逆冲断裂带发育,川西北的西部挠曲下沉,继续接受沉积(天井山组),而四川盆地的大部分地区隆升成陆。川西北大部分地区为局限台地环境,岩性以石灰岩、白云质灰岩为主;西部发育台地边缘浅滩,岩性以鲕粒灰岩为主,但因龙门山逆冲作用,大部分浅滩沉积被掩盖,仅少量出露。

3.3 沉积相模式

基于前述分析,建立了川西北地区雷口坡组沉积模式(图7):东南部地势高,水体很浅,海水盐

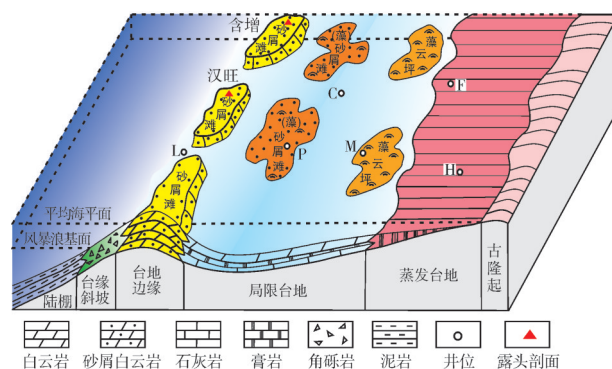


图7 川西北地区雷口坡组沉积模式图

Fig. 7 Sedimentary pattern of Leikoupo Formation in northwestern Sichuan Basin

度高,为蒸发台地环境,以膏岩为主,夹白云岩;西北部地势低,海水稍深,海水盐度较高,为局限台地环境,发育浅滩、潮坪和潟湖,以砂屑白云岩、藻纹层含砂屑白云岩、泥晶白云岩互层为主;西侧为广阔的古特提斯海和台地边缘相。受沉积基底挠曲起伏、横向迁移以及海平面变化的影响,浅滩、潮坪及蒸发台地会出现横向上的相互连接与垂向上的叠置。

4 结 论

基于系统的区域构造-沉积背景调研和翔实的基础工作,取得了关于川西北中三叠统雷口坡组沉积相与沉积特征的一些新认识:

(1)中三叠世雷口坡期雪峰山古陆的隆升加剧了上扬子海盆西低东高的古地理背景,随着泸州古隆起、开江古隆起的不断隆升,川西北部江油—绵竹一带形成沉降—沉积中心。

(2)川西北地区雷口坡组发育台地边缘、局限台地和蒸发台地等沉积相。其中,局限台地相分布最广,由浅滩、潮坪及潟湖等亚相组成,包括砂屑滩、藻云坪、灰云坪、潮道、淡化潟湖、咸化潟湖、半咸化潟湖等微相;台地边缘相发育浅滩亚相,包括砂屑滩、鲕粒滩微相。台地边缘浅滩规模大,生物较为发育,颗粒类型为致密的内碎屑及鲕粒;台内滩规模较小,生物不发育,颗粒类型为藻屑。

(3)提出了川西北地区雷口坡组“台地边缘相—局限台地相—蒸发台地相”沉积模式,其沉积变迁受到沉积基底向西北倾斜及海侵—海退旋回的控制。

参 考 文 献

- [1] 李书兵,许国明,宋晓波.川西龙门山前构造带彭州雷口坡组大型气田的形成条件[J].中国石油勘探,2016,21(3): 74-82.
LI Shubing, XU Guoming, SONG Xiaobo. Forming conditions of Pengzhou large gas field of Leikoupo Formation in Longmenshan piedmont tectonic belt, western Sichuan Basin[J]. China petroleum exploration, 2016, 21(3): 74-82.
- [2] 林良彪,陈洪德,张长俊.四川盆地西北部中三叠世雷口坡期岩相古地理[J].沉积与特提斯地质,2007,27(3): 51-58.
LIN Liangbiao, CHEN Hongde, ZHANG Changjun. Sedimentary facies and palaeogeography of northwestern Sichuan Basin during the Leikoupoan (Middle Triassic)[J]. Sedimentary geology and Tethyan geology, 2007, 27(3): 51-58.
- [3] 林良彪,陈洪德,朱利东,等.川东嘉陵江组—雷口坡组层序岩相古地理[J].成都理工大学学报(自然科学版),2010,37(4): 446-451.
LIN Liangbiao, CHEN Hongde, ZHU Lidong, et al. The sequence-based lithofacies-palaeogeography of Jialingjiang Formation and Leikoupo Formation in eastern Sichuan Basin, China[J]. Journal of Chengdu University of Technology (science & technology edition), 2010, 37(4): 446-451.
- [4] 李凌,谭秀成,周素彦,等.四川盆地雷口坡组层序岩相古地理[J].西南石油大学学报(自然科学版),2012,34(4): 13-22.
LI Ling, TAN Xiucheng, ZHOU Suyan, et al. Sequence lithofacies paleogeography of Leikoupo Formation, Sichuan Basin[J]. Journal of Southwest Petroleum University (science & technology edition), 2012, 34(4): 13-22.
- [5] 何鲤,廖光伦,戚斌,等.中坝气田雷三气藏分析及有利相带预测[J].天然气勘探与开发,2002,25(4): 19-26.
HE Li, LIAO Guanglun, QI Bin, et al. Gas reservoir analysis and favorable facies zone prediction of the third member of Leikoupo Formation in Zhongba Gas Field[J]. Natural gas exploration and development, 2002, 25(4): 19-26.
- [6] 辛勇光,周进高,倪超,等.四川盆地中三叠世雷口坡期障壁型碳酸盐岩台地沉积特征及有利储集相带分布[J].海相油气地质,2013,18(2): 1-7.
XIN Yongguang, ZHOU Jingao, NI Chao, et al. Sedimentary facies features and favorable lithofacies distribution of Middle Triassic Leikoupo barrier carbonate platform in Sichuan Basin[J]. Marine origin petroleum geology, 2013, 18(2): 1-7.
- [7] 安作相.泸州古隆起与川南油气[J].石油实验地质,1996,18(3): 267-273.
AN Zuoxiang. The Luzhou paleohigh and oil/gas accumulation in Southern Sichuan [J]. Petroleum geology & experiment, 1996, 18(3): 267-273.
- [8] 安作相.泸州古隆起及嘉陵江灰岩含油气性的三个问题[J].西安石油学院学报,1997,12(2): 16-20.
AN Zuoxiang. Three problems about the petroleum potential of Luzhou paleo-uplift and Jialingjiang limestone[J]. Journal of Xi'an Petroleum Institute, 1997, 12(2): 16-20.
- [9] 张廷山,陈晓慧,姜照勇,等.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[J].沉积学报,2008,26(4): 583-592.
ZHANG Tingshan, CHEN Xiaohui, JIANG Zhaoyong, et al. Controls of Luzhou uplift on sedimentary environment and facies distribution in Early and Middle Triassic, Chishui, Guizhou Province [J]. Acta sedimentologica sinica, 2008, 26(4): 583-592.
- [10] 许国明,宋晓波,冯霞,等.川西地区中三叠统雷口坡组天然气勘探潜力[J].天然气工业,2013,33(8): 8-14.
XU Guoming, SONG Xiaobo, FENG Xia, et al. Gas potential of the Middle Triassic Leikoupo Fm in the western Sichuan Basin[J]. Natural gas industry, 2013, 33(8): 8-14.
- [11] 吴小庆,赵路子,黄亮,等.川中—川南过渡带雷口坡组沉积相特征[J].四川地质学报,2010,30(3): 260-264.
WU Xiaoqing, ZHAO Luzi, HUANG Liang, et al. Sedimentary facies of the Triassic Leikoupo Formation in the central-south Sichuan intermediate zone[J]. Acta geologica Sichuan, 2010, 30(3): 260-264.
- [12] 李晓清,汪泽成,张兴为,等.四川盆地古隆起特征及对天然气的控制作用[J].石油与天然气地质,2001,22(4): 347-351.
LI Xiaoqing, WANG Zecheng, ZHANG Xingwei, et al. Characteristics of paleo-uplifts in Sichuan Basin and their control action on natural gases [J]. Oil & gas geology, 2001, 22(4): 347-351.
- [13] 林耀庭,姚有成,康正华,等.四川宣达盐盆富钾富矿卤水地球化学特征及资源意义研究[J].盐湖研究,2004,12(1): 8-18.
LIN Yaoting, YAO Youcheng, KANG Zhenghua, et al. Study on the geochemical characteristics and resource significance of the highly mineralized potassium-rich brine in the Sichuan

- Xuanda salt basin[J]. Journal of salt lake research, 2004, 12 (1): 8-18.
- [14] 徐胜林, 陈洪德, 朱利东, 等. 重庆石柱中三叠统巴东组沉积相研究[J]. 沉积与特提斯地质, 2007, 27(1): 44-49.
- XU Shenglin, CHEN Hongde, ZHU Lidong, et al. Sedimentary facies in the Middle Triassic Badong Formation in Shizhu, Chongqing [J]. Sedimentary geology and Tethyan geology, 2007, 27(1): 44-49.
- [15] 杨成. 川西坳陷雷口坡组油气成藏条件研究[D]. 成都: 成都理工大学, 2015: 10-11.
- YANG Cheng. Petroleum accumulation conditions of Triassic Leikoupo Formation, in the depression of western Sichuan Basin [D]. Chengdu: Chengdu University of Technology, 2015: 10-11.
- [16] 冯增昭. 沉积岩石学(下册)[M]. 2版. 北京: 石油工业出版社, 1993: 160-166.
- FENG Zengzhao. Sedimentary petrology: volume 2 [M]. 2th ed. Beijing: Petroleum Industry Press, 1993: 160-166.
- [17] 余金诚. 川西南部地区雷口坡组沉积相特征及储层评价研究[D]. 成都: 西南石油大学, 2016: 56.
- YU Jincheng. Sedimentary facies characteristics and reservoir evaluation of Leikoupo Formation in southern area of western Sichuan [D]. Chengdu: Southwest Petroleum University, 2016: 56.
- [18] 李凌, 谭秀成, 丁熊, 等. 四川盆地雷口坡组台内滩与台缘滩沉积特征差异及对储层的控制[J]. 石油学报, 2011, 32 (1): 70-76.
- LI Ling, TAN Xiucheng, DING Xiong, et al. Difference in depositional characteristics between intra-platform and marginal-platform shoals in Leikoupo Formation, Sichuan Basin and its impact on reservoirs [J]. Acta petrolei sinica, 2011, 32 (1): 70-76.
- [19] 辜学达, 刘啸虎, 李宗凡, 等. 四川省岩石地层[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1997: 150-156.
- GU Xueda, LIU Xiaohu, LI Zongfan, et al. Stratigraphy (lithostratic) of Sichuan Province [M]. Wuhan: China University of Geosciences Press, 1997: 150-156.

编辑:董庸

New understanding of sedimentary facies of the Middle Triassic Leikoupo Formation in northwestern Sichuan Basin

HE Li, LIU Jianqing, LONG Ke, TAN Qinyin, SONG Xiaobo

Abstract: Based on the analysis of regional tectonic background, the understanding of tectonic-sedimentary characteristics and sedimentary facies evolution of Leikoupo Formation in northwestern Sichuan Basin has been deepened through drilling core observation, outcrop profile investigation, thin section identification, outcrop-well profile correlation and typical seismic profile interpretation. The results show that: (1) The uplift of the Xuefengshan ancient land during the Leikoupo period of the Middle Triassic intensified the geographical background of "low west, high east" in the Upper Yangtze sea. With the continuous uplifting of the Luzhou palaeohigh and Kaijiang palaeohigh, the subsidence center and depocenter during the Leikoupo period was formed in Jiangyou-Mianzhu area of northwestern Sichuan Basin, and in Late Triassic the depression extended southward to the Kuahongdong area of Emei County. (2) Controlled by the geographical background and sea level change, three major sedimentary facies, i.e., platform margin facies, limited platform facies, and evaporite platform facies, are developed from west to east in Leikoupo Formation. Shoal subfacies is developed in the platform margin facies, which mainly consists of sandy shoal and oolitic shoal microfacies. The limited platform facies consists of shoal, tidal flat and lagoon subfacies, including sandy shoal, algae limestone flat, calcareous dolomite flat, tidal channel, desalinated lagoon, saline lagoon, brackish lagoon, and other microfacies. The evaporite platform facies is composed of evaporite flat and salt lake subfacies, with microfacies of gypsum flat, gypsum-dolomite flat, dolomite-gypsum flat, dolomite flat, gypsum-salt lake and halite lake developed in them. (3) The platform margin shoal has a significant scale with densely packed internal clastic and oolitic grains. Conversely, the internal shoal has a smaller scale primarily characterized by algae debris particles. We propose a sedimentary model of "platform margin facies-limited platform facies-evaporite platform facies" in the Leikoupo Formation, and the sedimentary changes are controlled by the sedimentary base tilting northwest and the transgression-regression cycle of the sea level.

Key words: sedimentary characteristics; sedimentary evolution; sedimentary pattern; Leikoupo Formation; northwestern Sichuan Basin

HE Li, First author: MSc, Senior Engineer, mainly engaged in sedimentology and petrology. Add: No. 2211, East Section of North Science City Road, Tianfu District, Chengdu, Sichuan 610218, China

LIU Jianqing, Corresponding author: MSc, Professorate Senior Engineer, mainly engaged in sedimentology and petrology. Add: No. 2211, East Section of North Science City Road, Tianfu District, Chengdu, Sichuan 610218, China