

四川盆地中三叠统雷口坡组沉积特征及有利储集相带

孙春燕^{1,2,3}, 胡明毅^{1,2,3}, 胡忠贵^{1,2,3}, 邓庆杰^{1,2,3}

(1. 长江大学 沉积盆地研究中心, 湖北 武汉 430100; 2. 长江大学 非常规油气湖北省协同创新中心, 湖北 武汉 430100; 3. 长江大学 地球科学学院, 湖北 武汉 430100)

摘要:为了查明四川盆地中三叠统雷口坡组沉积特征与有利储集相带分布规律,为该区天然气勘探寻找新的接替区,以海相碳酸盐岩层序地层学和储层沉积学理论体系为指导,在岩心标志、测录井标志以及不整合等层序界面标志的基础上,对中三叠统雷口坡组进行了沉积相识别和层序地层划分,进而圈定了各层序时期平面沉积相边界,并编制了四川盆地中三叠统雷口坡组各体系域内层序-岩相古地理图,预测了有利储集相带分布区。研究表明:四川盆地中三叠统雷口坡组为一套较浅水的碳酸盐岩台地相沉积体系,主要发育局限台地、蒸发台地、台地边缘和开阔台地等4种相类型。雷口坡组受到早印支运动的影响,盆地内部呈现东高西低、大隆大四的沉积格局。地壳抬升作用使得部分地层遭受长期暴露剥蚀作用并在顶部形成风化壳,致雷口坡组顶部部分地层缺失。以沉积相划分、层序界面识别标志为依据,四川盆地中三叠统雷口坡组划分出4个三级层序和8个体系域。盆地中部古隆起及其周缘白云岩坪和西北部绵竹-剑阁隆起的台缘滩具有较好的储集物性和有效的储盖组合特征,为盆地有利储集相带分布区,因而成为四川盆地中三叠统雷口坡组最为有力的勘探目标。

关键词:白云岩坪;台缘滩;岩相古地理;层序地层;雷口坡组;中三叠统;四川盆地

中图分类号:TE121.3

文献标识码:A

Sedimentary characteristics and favorable reservoir facies distribution of the Middle Triassic Leikoupo Formation, Sichuan Basin

Sun Chunyan^{1,2,3}, Hu Mingyi^{1,2,3}, Hu Zhonggui^{1,2,3}, Deng Qingjie^{1,2,3}

(1. Research Center of Sedimentary Basin, Yangtze University, Wuhan, Hubei 430100, China; 2. Hubei Cooperative Innovation Center of Unconventional Oil and Gas, Yangtze University, Wuhan, Hubei 430100, China; 3. School of Geosciences, Yangtze University, Wuhan, Hubei 430100, China)

Abstract: In order to look for new fairways for future gas exploration in the Sichuan Basin, we worked on revealing the sedimentary characteristics and distribution of favorable reservoir facies in the Middle Triassic Leikoupo Formation. The study took marine carbonate sequence stratigraphy and reservoir sedimentology theory as guidance. Based on the markers in logging data, from cores, and sequence boundaries including unconformity, we conducted the sequence stratigraphy division and identification of sedimentary facies. Then spatial boundaries of sedimentary facies in each sequence are delineated, and the lithofacies paleogeographic map of each system tract in every sequence are compiled to predict favorable reservoir facies distribution. The results show that the Middle Triassic Leikoupo Formation in the Sichuan Basin develops a set of shallow water carbonate platform sedimentary system, including 4 major sedimentary facies, namely, restricted platform, evaporitic platform, platform edge and open platform. In general, the formation appears to be higher in the east and plunges to the west, with significant uplift and sag within the platform driven by early Indosinian tectonic movement. Due to basement uplift, some of the upper sections of the formation are eroded by long-term exposure, accompanied by de-

收稿日期:2016-11-29;修订日期:2018-03-21。

第一作者简介:孙春燕(1989—),女,博士研究生,地震沉积学与层序地层学。E-mail:schunyan89@163.com。

通讯作者简介:胡明毅(1965—),男,教授、博士研究生导师,沉积学与层序地层学。E-mail:humingyi65@163.com。

基金项目:国家自然科学基金项目(41372126, 41772103);国家科技重大专项(2016ZX05007-002);湖北省创新群体基金项目(2015CFA024);湖北省教育厅科学技术研究计划重点项目(D20171302)。

velopment of a weathering crust. Furthermore, based on sedimentary facies recognition and sequence interface markers, we divided the Middle Triassic Leikoupo Formation into 4 third-tier sequences and 8 system tracts: the paleo-uplift in the central basin and its surrounding dolomite flat, and the platform edge bank of the northwestern Mianzhu and Jiange uplifts, are favorable reservoir facies because of their better reservoir properties and effective coupling of reservoir and caprock. Therefore, we conclude that these fairways are the most favorable areas for future exploration in the Middle Triassic Leikoupo Formation in the Sichuan Basin.

Key words: dolomite flat, platform edge bank, lithofacies paleogeography, sequence stratigraphy, Leikoupo Formation, Middle Triassic, Sichuan Basin

近年来,在川中龙岗、普光和铁山坡等地相继发现了雷口坡组大-中型天然气藏^[1-3],中三叠统雷口坡组已经成为四川盆地有利的勘探重点层系。在四川盆地中-下三叠统的研究中,前人已做过大量的研究工作。李凌等^[4]将四川盆地中三叠统雷口坡组划分为4个三级层序和9个四级层序,其中雷一段和雷二段作为1个三级层序,雷三段和雷四段划为3个三级层序。辛勇光等^[5]认为雷口坡组发育一套蒸发岩、白云岩、灰岩互层的障壁碳酸盐岩台地沉积体系,依次发育台地边缘、台内滩、潟湖边缘坪、潟湖、混积潮坪等亚相。吕玉珍等^[6]认为中三叠统雷口坡组为一套障壁蒸发潟湖沉积体系,并划分为4个层序。谭秀成等^[7]提出巨型浅滩化沉积模式,表明中三叠统雷口坡组台地内部具有发育巨型浅滩的良好条件,是形成优质储层的较为有利的时期。由于不同学者的成果中基于的资料点和观点不同,对层序划分和相带分布没有一致的标准,因而,众多研究方案中针对四川盆地中三叠统雷口坡组的层序划分以及平面相带展布特征的研究存在一定异同。

本次研究在精细岩心观察、露头实测剖面、以及典型岩样的薄片鉴定等工作的基础上,通过沉积相标志和层序界面标志的识别,对典型单井和野外露头剖面进行层序地层和沉积相划分,系统厘定了四川盆地中三叠统雷口坡组层序划分方案,即该区雷口坡组划分为4个三级层序、8个体域。在此基础上,应用“瓦尔特相序定律”,以不同体系域作为编图单元,对雷口坡组层序格架内岩相古地理图进行编绘,并对中三叠统雷口坡组沉积特征进行研究,进而掌握该区雷口坡组台缘滩和台内白云岩坪储层的分布规律,为指导四川盆地中三叠统雷口坡组天然气勘探奠定基础。

1 地质概况

四川盆地属扬子准地台四川台坳和位于龙门山造

山带东侧,该盆地是在古生代海相沉积盆地的基础上发展起来的一个中生代陆相盆地,是盆地周缘的褶皱和断裂围限起来的一个大型构造沉积盆地(图1)。古生代时期地层相对隆起,印支期演化为大型拗陷,晚燕山期发育强烈的构造运动及岩浆活动,并产生逆冲推覆体构造,到喜马拉雅期发生大规模的褶皱隆起^[8],盆地面积约为 $18 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。

中三叠世雷口坡期四川盆地整体表现为由东向西倾的“跷跷板”式的地形^[9]。雷口坡组底部发育异常高自然伽马值的“绿豆岩”,与下伏嘉陵江组岩性明显区分,而顶部地层与上覆地层的界面不同区域存在差异。其中,在盆地外西北缘龙门山推覆带中段,雷口坡组与上覆天井山组之间为无间断的连续沉积,但在盆内未见该套地层发育;在川西南等部分地区,雷口坡组与上覆马鞍塘组(或跨洪洞组)呈不整合接触关系;但在盆地内绝大部分地区,雷口坡组顶面为印支期侵蚀面,直接与须家河组碎屑岩呈假整合接触,界面上下岩-电关系特征明显,易于区分。根据现今钻井资料,雷口坡组厚为0~1 000 m。

雷口坡组自下至上可划分为四个岩性段:雷一段为黄灰色泥质白云岩、生屑白云岩、泥质灰岩夹膏岩;雷二段以灰色白云岩、颗粒灰岩、夹薄层膏岩为主;雷三段以灰色泥晶云岩、生屑白云岩、颗粒灰岩为主,普遍含石膏;雷四段以灰白色块状硬石膏岩、砂屑白云岩、膏质云岩为主,夹部分颗粒岩等。

2 沉积体系划分及沉积模式

2.1 沉积特征

四川盆地中三叠统雷口坡组中碳酸盐岩及蒸发岩两大岩类较为发育,根据沉积物的岩石类型、原生沉积构造和沉积微相标志等特征,将四川盆地中三叠统雷口坡组划分为碳酸盐台地沉积体系(表1)。

开阔台地相与广海连通较好,在四川盆地中三叠统雷口坡组中发育较少,受海平面升降和古地貌环境

系	统	地层		厚度/m	岩性剖面	岩性描述	储	盖	储层评价
		组	段						
三	中	嘉陵江组	马鞍山二段	37~173		砂质灰岩与页岩互层			主要储层
			马鞍山一段	0~63.5					
			雷四段	$T_2^{(24)}$		灰白色块状白云岩互层、灰质白云岩			
			雷三段	$T_2^{(23)}$		灰白色块状白云岩互层、上部见生屑白云岩、颗粒灰岩			
			雷二段	$T_2^{(22)}$		灰色白云岩、颗粒灰岩、夹薄层膏岩			
			雷一段	$T_2^{(21)}$		黄灰色泥质白云岩、生屑白云岩、泥质灰岩与膏岩互层			
			嘉陵江组	$T_2^{(20)}$		膏岩与白云岩互层			
			下统	$T_2^{(25)}$					
			嘉陵江组						
			下统						

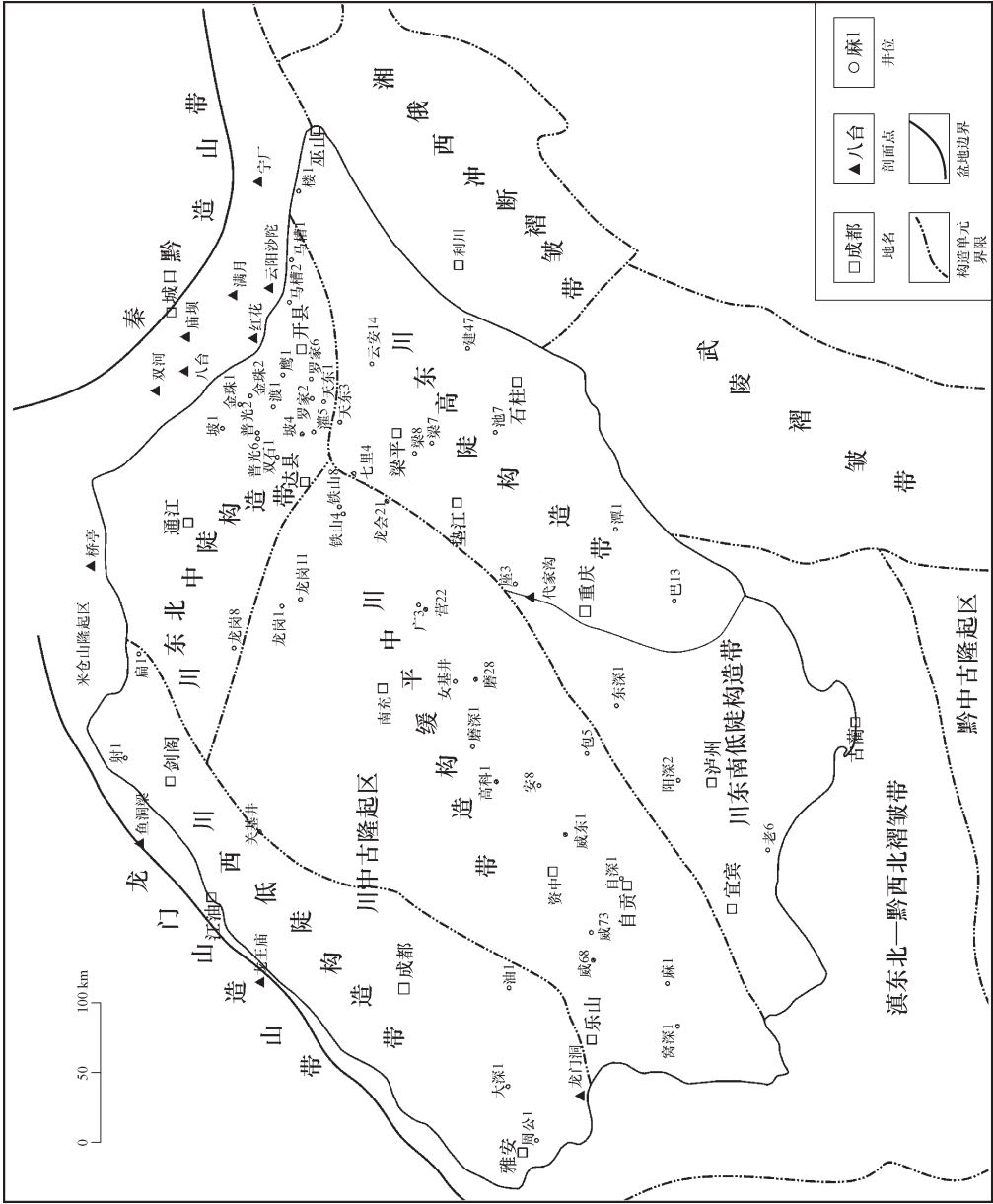


图1 四川盆地构造分区示意图
Fig. 1 Schematic diagram of structure elements of the Sichuan Basin

表 1 四川盆地中三叠统雷口坡组沉积相类型及特征

Table 1 Sedimentary facies types and characteristics of the Middle Triassic Leikoupo Formation, Sichuan Basin

相	亚相	微相	主要岩性特征	发育层位
开阔台地	台内滩	暴露浅滩、颗粒滩、生屑滩	颗粒亮晶灰岩、灰质云岩	雷一段、雷二段、雷三段
	潮下	静水泥	生屑泥晶灰岩、泥灰岩	
局限台地	潮坪	云坪、灰坪、膏云坪	白云岩、泥质灰岩、膏岩	雷一段、雷二段 雷三段、雷四段
	潟湖	云质潟湖	含云灰岩、灰质云岩等	
	台内滩	颗粒滩、生屑滩	颗粒白云岩、云质灰岩等	
蒸发台地	蒸发潮坪	膏坪、云坪、膏云坪	膏岩、膏云岩、云岩	雷一段、雷二段
	蒸发潟湖	膏质潟湖、云膏质潟湖	灰质云岩、膏质云岩	雷三段、雷四段
台地边缘	台缘滩	(藻粘结) 颗粒滩、砂屑滩	含颗粒云岩、含颗粒灰岩	雷一段、雷二段 雷三段、雷四段

控制,多发育在海平面上升阶段,纵向上主要发育于雷一段至雷三段。该相带岩性主要为深灰色中-厚层状颗粒灰岩、白云岩和灰质云岩等组成(图 2a)。开阔台地主要为台内滩和潮下沉积,其中潮下分布范围广,但沉积环境水动力条件弱,储层物性较差;台内滩为相对高点、水动力条件较高环境下沉积,储层物性相对较好。

蒸发台地与广海之间连通较差,发育在海平面相对下降期。由于干旱炎热的气候条件,海水蒸发作用剧烈,膏质白云岩、膏岩等蒸发岩类十分发育。但受外来海水的不断泛侵,带来部分泥质沉积物,使得蒸发

台地内石膏岩层中可见薄层准同生膏质白云岩、薄层含膏质泥岩以及泥质白云岩等夹层(图 2b)。根据相带内部沉积环境和沉积物的差异,蒸发台地还可细分为蒸发潟湖与蒸发潮坪两种亚相。

局限台地相属于碳酸盐清水沉积,陆源物质含量少,水体循环不畅,水体能量总体不。局限台地相在四川盆地中三叠统雷口坡组较为发育,多发育在海平面下降阶段,纵向上主要发育于雷一段至雷四段。该相带岩石类型以浅灰-深灰褐色灰岩和泥粉晶白云岩为主(图 2c),夹砂屑白云岩及膏质云岩,潮坪白云岩大范围发育为该相在研究区的重要指示标志。局限台地

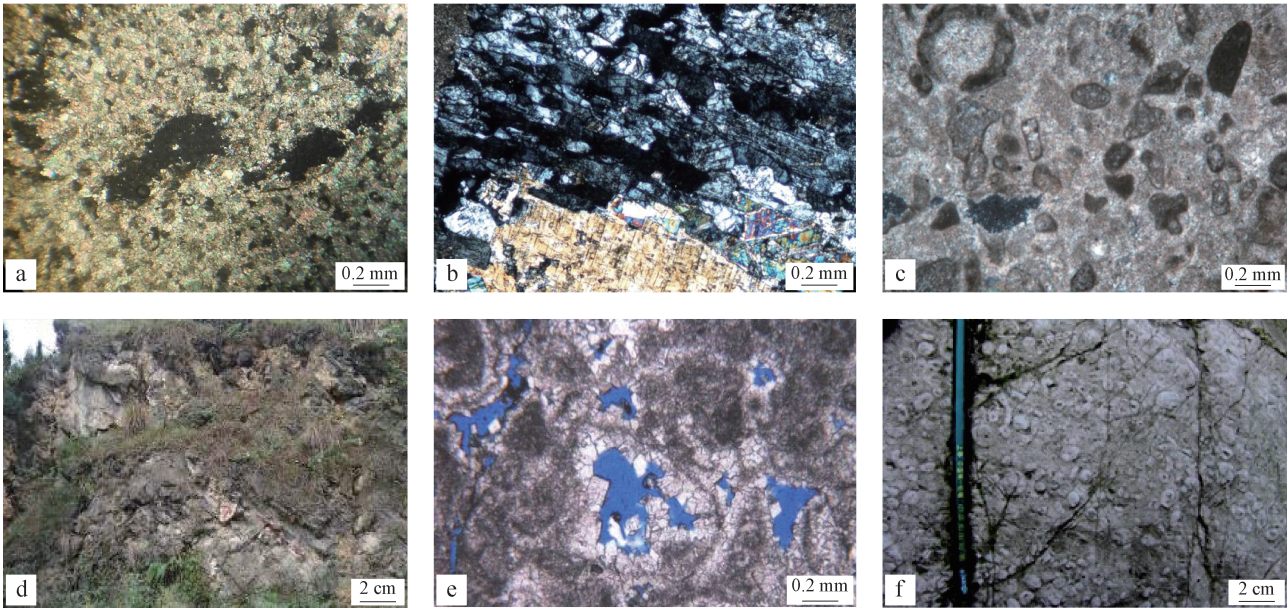


图 2 四川盆地中三叠统雷口坡组典型沉积相标志

Fig. 2 Typical sedimentary facies markers of the Middle Triassic Leikoupo Formation, Sichuan Basin

a. 灰色粉晶白云岩,发育溶孔,都深 1 井,埋深 6 221 m,雷四段,局限台地相;b. 天青石-石膏充填孔洞,埋深 6 279.96 m,孝深 1 井,雷三段,蒸发台地相;c. 亮晶含生屑砂屑灰岩,川科 1 井,埋深 6 539 m,雷三段,开阔台地台内滩相;d. 针孔状白云岩、藻屑白云岩、生屑白云岩、鲕粒白云岩,黄连桥剖面,雷一段,台缘滩相;e. 残余鲕粒白云岩,粒间溶孔及晶间溶孔发育,埋深 3 214.6 m,川参 1 井,雷三段,台缘滩相;f. 含藻灰结核白云岩,绵竹汉旺剖面,雷二段,台缘滩相

相进一步划分为潮坪、潟湖和台内滩3个亚相,其中研究区广泛发育局限潮坪亚相,以及膏云坪微相。

台地边缘受波浪作用动荡和潮汐水流冲刷改造导致水体能量较高,是礁滩储层十分发育的高能地带。该相带内发育台缘浅滩亚相沉积,沉积物主要为生屑白云岩、亮晶颗粒白云岩和颗粒灰岩等(图2d—f);但局部能量较低地带为滩间沉积,沉积物主要为泥晶白云岩、泥晶灰岩和泥质灰岩等。台缘鲕粒滩在台地边缘常呈条带状分布,沉积厚度较大,暴露水面后遭受大气淡水淋滤作用和混合水白云岩化作用,可以形成大套有利油气储集层段^[10],普光飞仙关组鲕粒滩就是一个很好的例子。

2.2 沉积模式

中三叠统雷口坡组主要发育一套浅水碳酸盐台地相沉积体系,包括台地边缘、局限台地、开阔台地与蒸发台地等四种相类型,以及台缘浅滩、台内滩和白云坪等储集相带。受印支早期地壳抬升,相对海平面下降、海水蒸发强烈,扬子地台向南部川黔地区出现萎缩,开江—泸州古隆起初始形成。盆地基底出现“翘板式”运动^[11-12],在盆地内部呈现东高西低、大隆大凹的沉积格局,使得雷口坡时期海盆处于蒸发-局限台地与局部开阔的沉积环境(图3)。

3 层序—岩相古地理特征

3.1 层序地层划分及特征

雷口坡组底界发育异常高自然伽马值的“绿豆岩”,与下伏嘉陵江组呈整合接触,而顶部与上覆地层的界面不同区域存在差异,时间跨度约为8 Ma。在雷口坡组内部每个三级层序的底界均属于Ⅱ型层序界

面,包括海平面升降导致沉积物差异沉积出现的岩性突变面和相带转换界面、测井曲线正向漂移变化面以及暴露不整合面等^[13-14],据此厘定了雷口坡组层序地层划分方案。将雷口坡组自下而上划分为4个三级层序,分别编号为Sq1、Sq2、Sq3和Sq4,每个三级层序内部均由海侵体系域(TST)和高位体系域(HST)组成。

威68井位于四川盆地西南部的威远地区,雷口坡组发育齐全,顶底界限清晰,沉积厚度为610 m(图4)。整个雷口坡组白云岩普遍发育,下部泥质含量较高,以泥质白云岩夹石膏岩沉积为主,中部为泥灰岩夹薄层云岩,向上过渡为膏岩、白云岩,以及灰岩互层沉积。主要发育局限台地相沉积,局限台地内部以局限潮坪和台内浅滩亚相沉积为特征。Sq1时期到Sq2—TST早期发育局限台地潮坪亚相膏云坪微相沉积;Sq2—TST晚期和Sq3—TST时期发育开阔台地潮下沉积;Sq2—HST时期和Sq3—HST晚期发育蒸发台地潮坪沉积;Sq3—HST早期发育局限台地潮坪亚相泥灰坪微相沉积;Sq4时期从海侵到高位依次发育局限台地潮坪亚相的云坪和泥灰坪微相沉积。

3.2 岩相古地理特征

层序—岩相古地理图是将层序地层学理论应用于岩相古地理研究中,基于层序界面在区域上的等时性原则,以体系域和相域为编图单元编绘岩相古地理图,可提高岩相古地理图的时间分辨率。在编图过程中结合单因素分析技术,如地层厚度、白云岩厚度、台内生屑滩和台缘鲕粒滩的特征等单因素,能够定性的反映沉积环境中典型的地质特征和定量地反映沉积环境中的宏观现象。岩相古地理图平面上呈现的岩相特征和古地理环境,代表某个时间段内某个区域的沉积环境^[15-16]。本文采用优势相作图法来确定各体系域时期岩相古地理图中各沉积相的分布范围,即根据单井

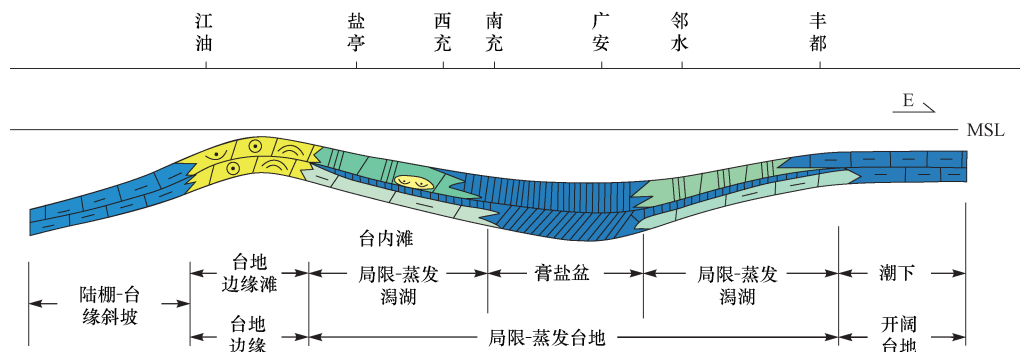


图3 四川盆地中三叠统雷口坡组沉积相模式

Fig. 3 Sedimentary facies model of the Middle Triassic Leikoupo Formation, Sichuan Basin

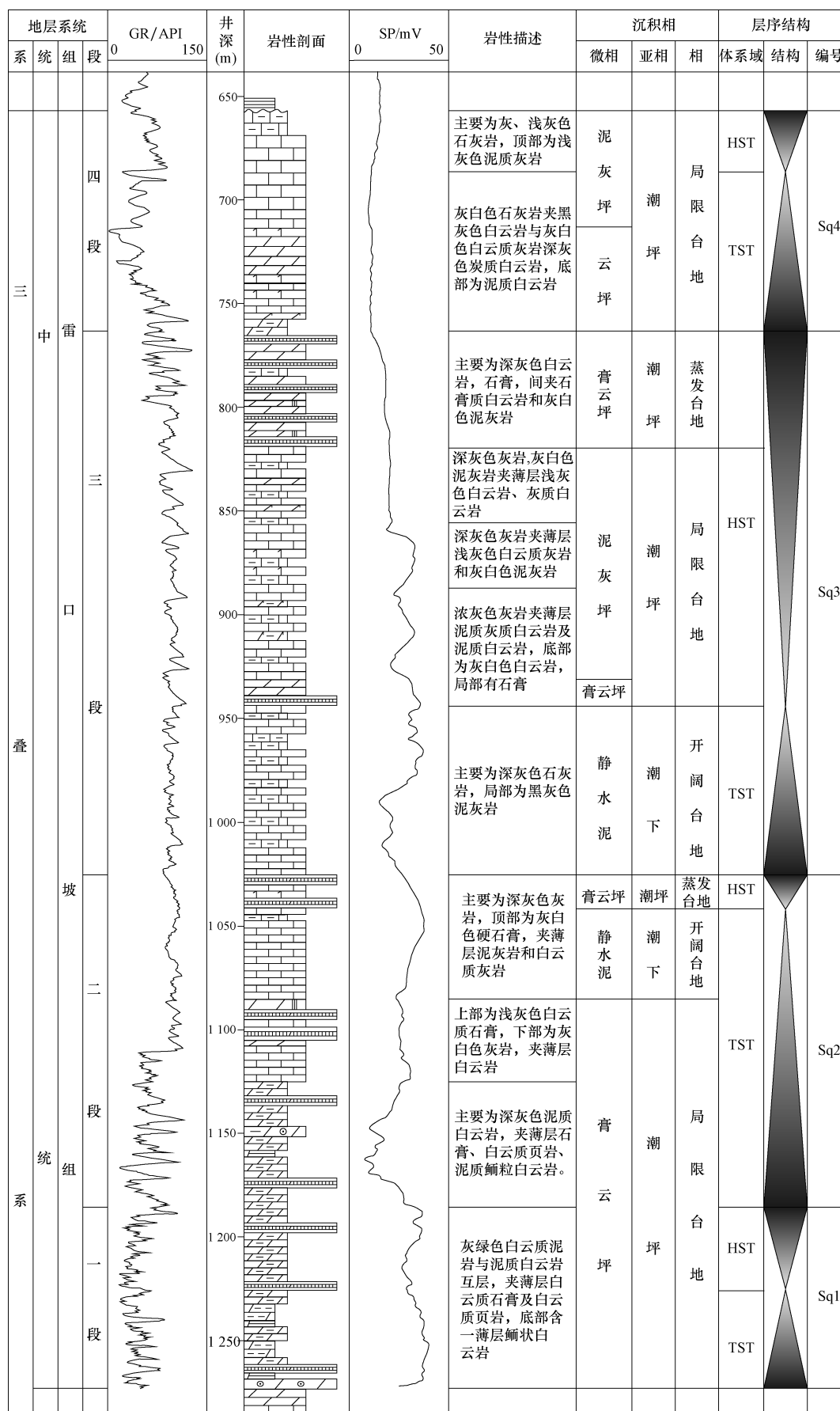


图4 四川盆地中三叠统雷口坡组层序划分及特征(威68井)

Fig. 4 Sequence stratigraphic classification and characteristics of the Middle Triassic Leikoupo Formation, Sichuan Basin (Well Wei-68)

沉积相柱状图上,该成图时间单元内主要发育的沉积相类型,作为该点在该时期的沉积相。由于盆地内钻遇雷口坡组的钻井有限,应用“瓦尔特相序定律”,对没有钻井控制的地区根据相邻井沉积相特征推测其沉积相发育类型,然后按照同相相连,异相取其中点相连的方法,划分出若干个相带,进而推定不同沉积相带的边界,对整个四川盆地中三叠统雷口坡组沉积相平面展布特征进行研究。

中三叠世雷口坡期自西向东相带分异变化明显,盆地内呈现东高西低、大隆大凹的沉积格局。自西为一套台地边缘相沉积,向东逐渐演变为一套水体较浅水的碳酸盐岩台地相沉积。中三叠世雷口坡期构造活动强烈,构造抬升和沉降导致沉积环境在区域上变化显著。雷口坡期,四川盆地整体受到早印支运动的影响,遭受长期暴露剥蚀作用,使得雷口坡组顶部沉积大多保存不全。本文依据海平面变化和三级层序界面识别标志等特征,以不同体系域作编图单元,对雷口坡组层序格架内岩相古地理图进行编绘,进而对其沉积特征进行研究^[17]。

3.2.1 雷口坡组 Sq1

Sq1-TST时期,盆地自西向东沉积相带分异明显。盆地中部为大面积局限台地潟湖亚相沉积,在其内部地势较高处,如窝深2井—孔19井间、威68井安8井间及磨27井—广3井—邻北3井间发育局限台地台内滩亚相;在遂宁—南充和成都以东南到资中一带发育蒸发台地潟湖亚相;界19井—门西8井—坡4井—一线以东发育局限潮坪亚相和蒸发潮坪亚相沉积;在川西北中48井—关基井间发育台缘颗粒滩沉积(图5a)。

Sq1-HST时期,盆地整体沉积格局和Sq1-TST时期较一致。由于海平面相对下降,东南部蒸发台地潟湖逐渐演变为局限台地潮坪沉积,局限台地潮坪亚相向北部进一步扩大,中部局限潟湖沉积范围缩小,出现小范围的开阔台地相沉积。其中,台地边缘滩和台内滩较为发育,是该区较为有利的储集相带(图5b)。

3.2.2 雷口坡组 Sq2

Sq2-TST时期,盆地整体继承了Sq1-HST时期的沉积格局。西北部稍有抬升,台地边缘滩在关基井—中48井间、嘉1井—周公1井间较为发育;随着海平面上升,从西南部、东北部和东部3个方向的海水侵入,开阔台地相范围向宣汉—梁平一带扩大,蒸发台地沉积范围缩小,仅在潼南—广安一带发育(图6a)。

Sq2-HST时期,盆地基本格局和Sq2-TST时期变化不大。川东地区持续海侵,海平面继续上升,故整体上东部及东北部开阔台地相发育范围逐渐向涪陵—南充—通江一带进一步扩大;但是西南部盆地基底略有抬升,使得开阔台地相消失,演化为局限台地相沉积,台缘滩仍在绵竹—剑阁一带发育(图6d)。

3.2.3 雷口坡组 Sq3

Sq3-TST时期,为四川盆地雷口坡组沉积时海侵范围最大的时期,由于盆地基底发生构造抬升与盆地内部挤压作用,使得盆地呈现隆凹特征,东南部和中部大部分地区为开阔台地沉积,而在盆地西北部的剑阁—江油和嘉1井区附近发育台缘滩沉积,中部地区自贡—南充—达县一带出现局限台地潟湖亚相沉积,局部广3井、遂宁和磨27井区发育而发育蒸发台地相沉积(图7a)。

Sq3-HST时期,盆地整体继承了Sq3-TST时期的沉积格局,自西向东相区分异明显。由于盆地基底整体的抬升,以及海平面的相对下降,在盆地西北部汉6井—嘉1井间、绵竹—成都地区与关基井—射1井间台缘颗粒滩范围相对扩大,西部和北部开阔台地沉积范围向盆地边缘延伸(图7b)。

3.2.4 雷口坡组 Sq4

Sq4-TST时期,为四川盆地雷口坡组沉积时海侵范围逐渐缩小的时期。由于盆地东部基底稳定抬升,该时期盆地东南—东北大部分地区缺失雷口坡组。整个盆地以局限台地相为主除川西北局部发育颗粒滩和嘉1井—汉1井间发育蒸发台地相外,均发育局限台地潟湖亚相沉积(图8a)。

Sq4-HST时期,与Sq4-TST时期相比较而言沉积格局变化不大,东高西低的盆地构造使得海水明显的从盆地西北缘退却,此时为整个四川盆地开始结束海相沉积转为陆相沉积的时期。盆地整体以局限台地相沉积为主,局部发育蒸发台地相沉积(图8b)。

4 有利储集相带分布

四川盆地雷口坡组储层受构造差异沉降、不同沉积微相、蒸发岩的回流渗透白云岩化及大气淡水的淋滤溶蚀作用的控制,其中不同的相类型是关键,有利储层多发育在海退期或海侵早期台地边缘浅滩与白云岩坪微相等相带中^[18]。台地边缘滩主要分布在四川盆地的西北部龙门山造山带前缘的绵竹—剑阁一带,白

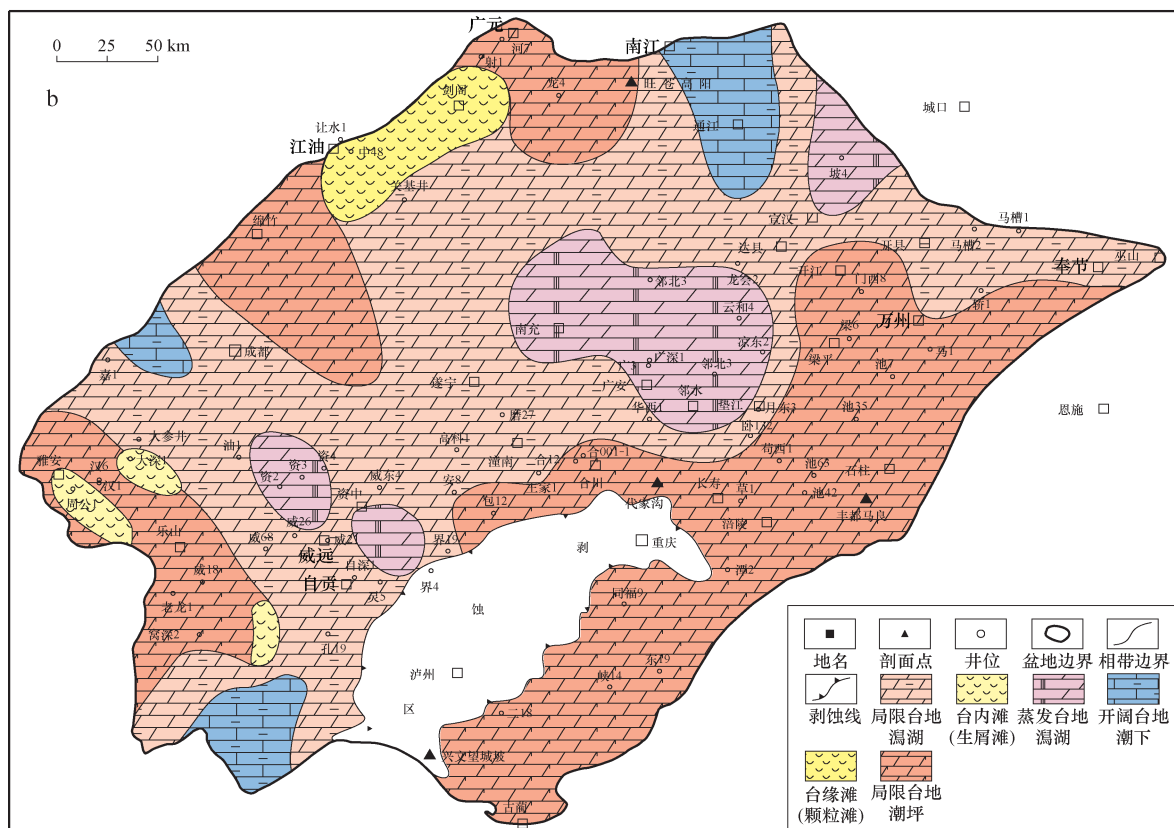
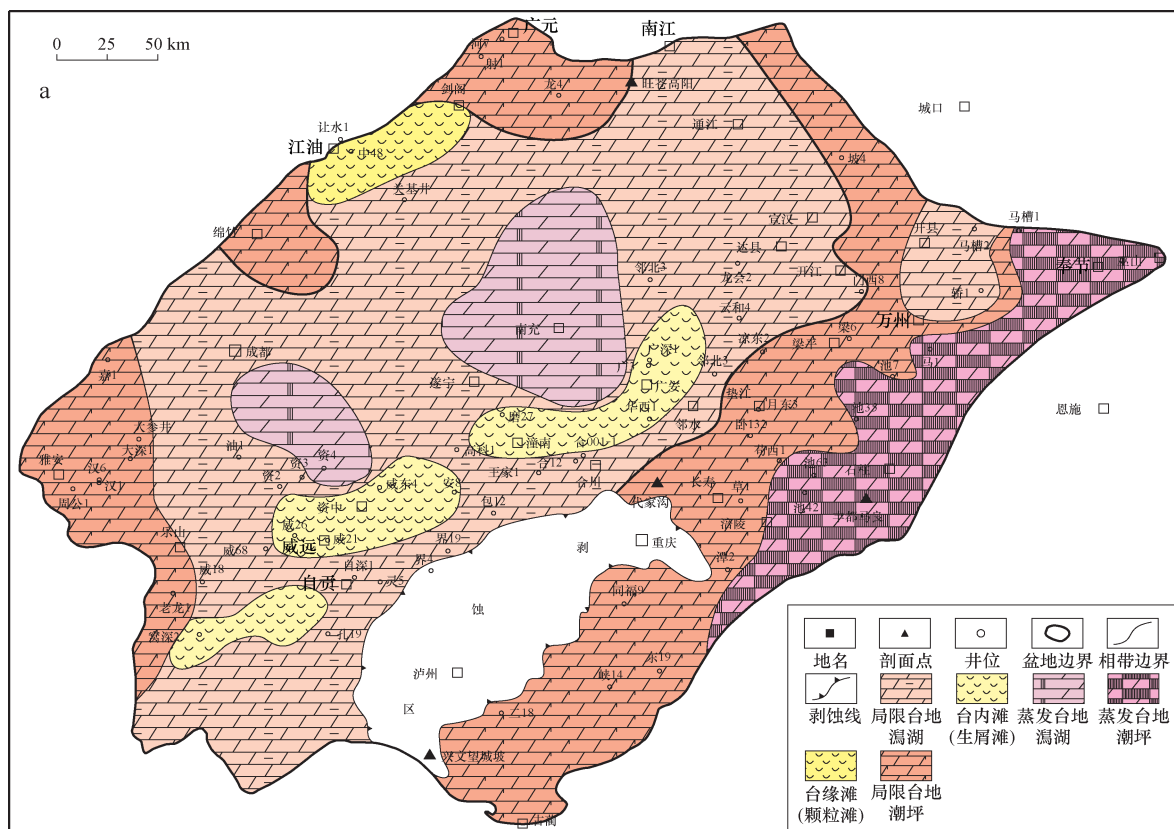


图5 四川盆地中三叠统雷口坡组各体系域沉积时期岩相古地理(一)

Fig. 5 Lithofacies-palaeogeography map for each system tract of the Middle Triassic Leikoupo Formation, Sichuan Basin(I)

a. S_{q1} - TST; b. S_{q1} - HST

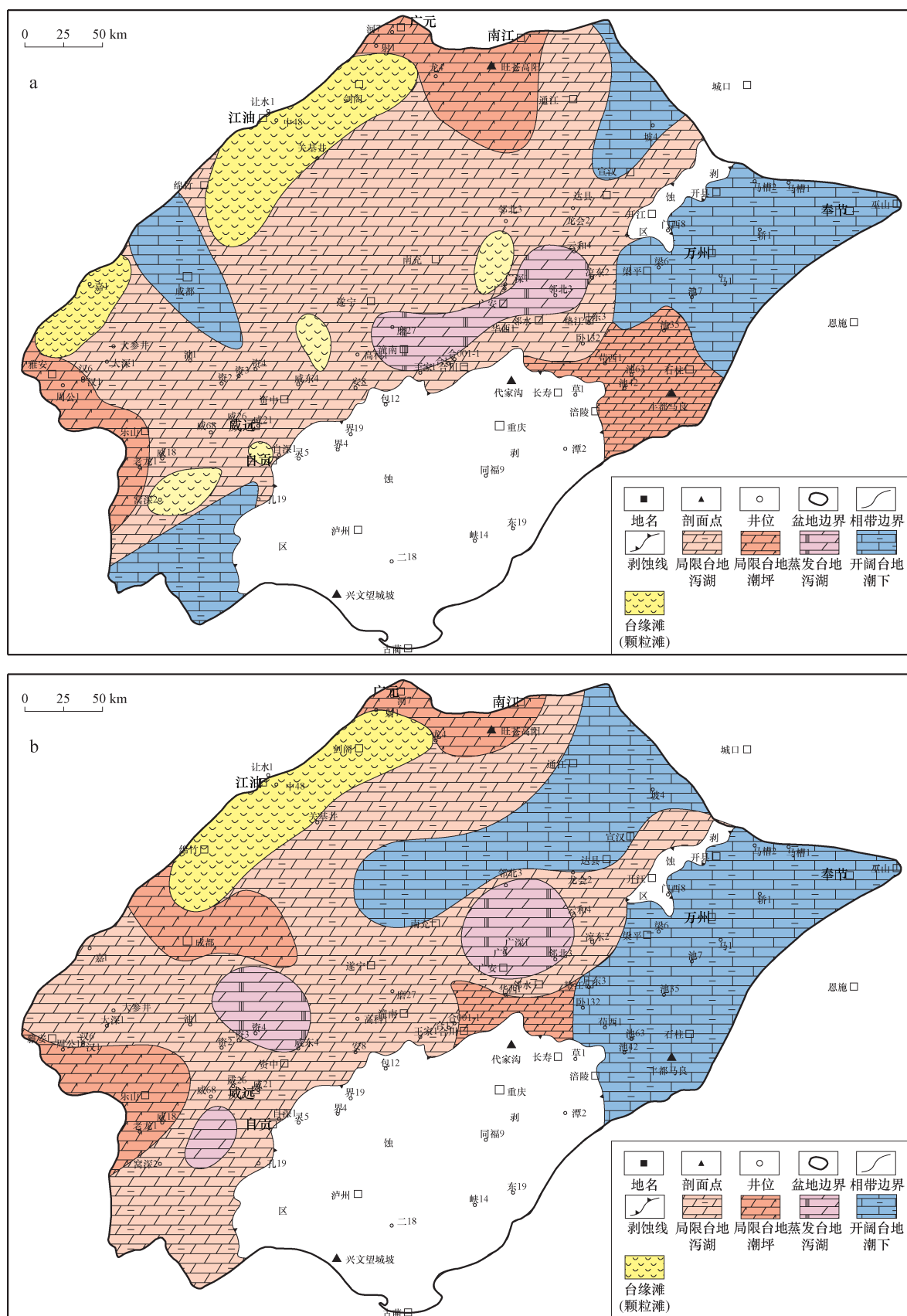


图6 四川盆地中三叠统雷口坡组各体系域沉积时期岩相古地理(二)

Fig. 6 Lithofacies-palaeogeography map for each system tract of the Middle Triassic Leikoupo Formation, Sichuan Basin(II)

a. Sq2 - TST; b. Sq2 - HST

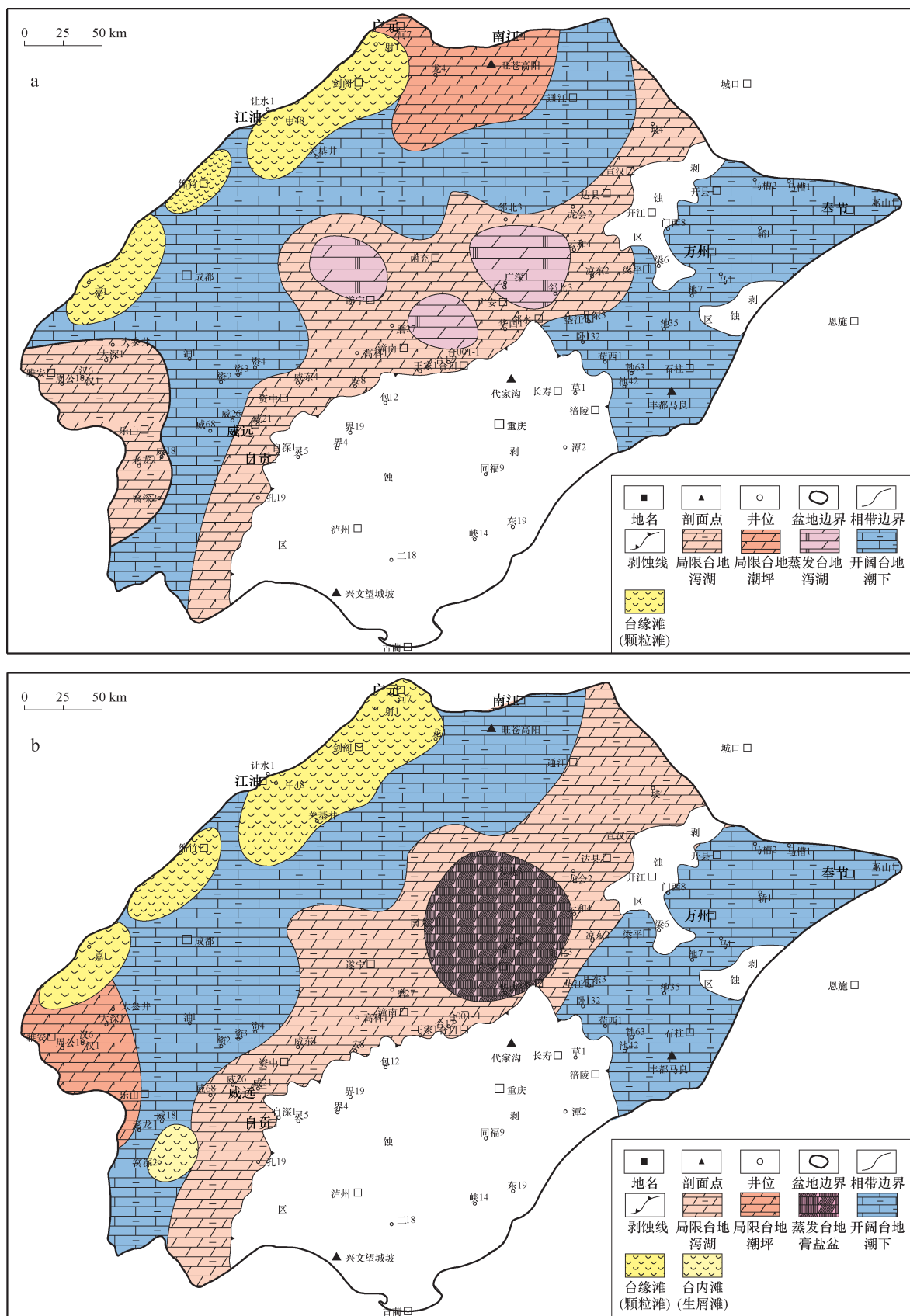


图7 四川盆地中三叠统雷口坡组各体系域沉积时期岩相古地理(三)

Fig. 7 Lithofacies-palaeogeography map for each system tract of the Middle Triassic Leikoupo Formation, Sichuan Basin(III)

a. Sq3 – TST; b. Sq3 – HST

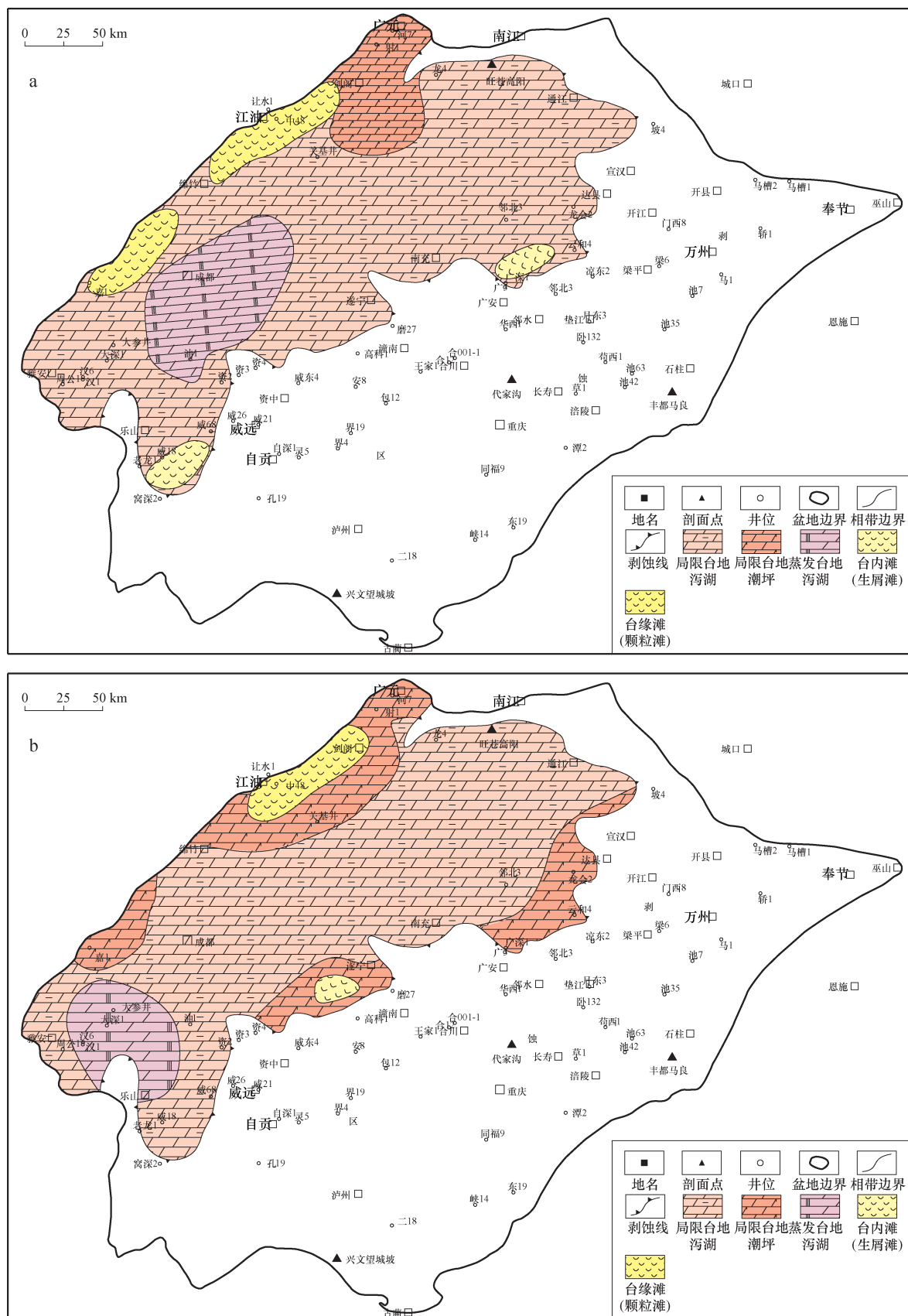


图8 四川盆地中三叠统雷口坡组各体系域沉积时期岩相古地理(四)

Fig. 8 Lithofacies-palaeogeography map for each system tract of the Middle Triassic Leikoupo Formation, Sichuan Basin (IV)

a. Sq4 - TST; b. Sq4 - HST

表 2 绵竹—剑阁地区中三叠统雷口坡组白云岩类储层物性特征
Table 2 Petrophysical characteristics of dolomite reservoir in the Middle Triassic Leikoupo Formation, Mianzhu-Jiange area

岩石类型	孔隙度/%		渗透率/($10^{-3} \mu\text{m}^2$)		取样数/个
	区间	平均值	区间	平均值	
微-粉晶灰岩	0.18~1.43	0.45	0.000 402~1.02	0.02	45
藻屑、砂屑灰岩	0.42~8.02	2.45	0.000 506~18.20	0.04	56
砂屑白云岩	0.19~11.48	3.80	0.000 312~18.90	1.42	232
泥晶白云岩	0.06~12.27	1.52	0.000 173~32.90	1.50	154
粉晶白云岩	0.12~11.02	2.58	0.000 206~21.20	0.59	136
藻格架白云岩	0.48~7.02	2.73	0.000 923~15.80	0.62	112
藻叠层石白云岩	0.52~7.98	1.86	0.000 502~27.90	1.12	86
鲕粒白云岩	0.58~3.28	2.02	0.000 500~1.12	0.30	67
膏质白云岩	0.26~1.48	0.40	0.001 780~16.90	1.64	43

为 $0.03 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$; 白云岩孔隙度发育范围为 0.06%~12.27%, 平均值为 2.13%; 渗透率发育范围为 $0.000\ 173 \times 10^{-3} \sim 32.9 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$, 平均值为 $1.03 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。统计表明, 该区白云岩类溶蚀孔隙发育程度优于灰岩类, 具有良好的孔渗性(表 2), 是一套较为优质白云岩储层, 储层类型总体上为Ⅱ类储层, 以中孔-中渗型为主, 储层评价较好; 如遇到裂缝, 则可进一步演化成中孔-高渗型储层。

4.2 川中北古隆起及其周缘白云岩坪相

盆地中北部开县—梁平—涪陵—泸州隆起及其周缘发育大范围局限台地白云岩坪, 在海平面下降时期容易出露水面, 受到大气淡水淋滤和溶蚀, 成为较为有利的岩溶型白云岩储层^[20]。根据单井沉积相类型解剖和沉积相的平面分布特征, 认为有利岩相主要分布于威远—潼南—广安—达县地区。白云岩坪的发育程度与构造活动、地壳抬升和沉降, 以及海平面升降变化密切相关, 白云岩带在平面上呈西南—东北向展布。通过对川中古隆起及其周缘典型井进行储集空间类型及特征研究(图 10), 表明川中北古隆起及其周缘雷三段主要以Ⅱ类储层发育为主, 雷四段主要以Ⅲ类储层发育为主, 而须家河组底部的一套厚层泥岩和雷口坡组本身较为发育膏盐岩侧向封堵层, 两者结合具有较好的空间配置关系, 可构成有效储盖组合。目前已发现龙岗、蓬莱以及卧龙河等大气田, 是十分有利的勘探目标区。

5 结论

1) 四川盆地中三叠统雷口坡组发育一套较浅水

的碳酸盐岩台地相沉积体系, 以及局限-蒸发台地、台地边缘、开阔台地等 4 种类型的相带, 以及局限潮坪、台内滩(生屑滩)、局限潟湖、蒸发潟湖(膏云坪)等亚相, 平面上自西向东相带分异较明显。

2) 四川盆地雷口坡组底部与下伏嘉陵江组呈整合接触。在雷口坡组内部每个三级层序的底界均属于Ⅱ型层序界面, 包括海平面升降导致沉积物差异沉积出现的岩性突变面和相带转换界面、测井曲线正向漂移变化面、暴露不整合面等。因此区域上将四川盆地中三叠统雷口坡组划分出 4 个三级层序和 8 个体系域, 每个三级层序内部均由海侵体系域(TST)和高位体系域(HST)组成。

3) 基于海平面变化和三级层序界面识别标志等特征, 以不同体系域作为编图单元, 对雷口坡组层序格架内岩相古地理图进行编绘。在 Sq1 早期东西深中部浅, 台内浅滩发育, Sq1-HST 时期沉积环境更为局限; 在 Sq2 时期地形开始变得平坦, 西部和东北部开始出现开阔台地相沉积; 在 Sq3 时期随着构造抬升与挤压作用, 盆地的隆凹地形明显, 开阔台地相范围扩大; 在 Sq4 时期, 盆地受到局部构造抬升和挤压应力作用, 蒸发台地膏盐盆开始逐渐向西发育。

4) 四川盆地中三叠统雷口坡组有利储集相带主要发育于局限台地白云岩坪相和台地边缘颗粒滩相, 有利岩相主要分布于威远—潼南—广安—达县地区和川西北部的雅安—江油—广元一带。该区储层受构造差异沉降、不同沉积微相、蒸发岩的回流渗透白云岩化及大气淡水的淋滤溶蚀作用的控制, 有利储层多发育在海退期或海侵早期台地边缘浅滩、局限台地白云岩坪微相带。

参考文献

- [1] 董兆雄,邓明. 川西地区中三叠统雷口坡组岩相古地理[J]. 矿物岩石,1994,14(4):46-63.
Dong Zhaoxiong,Deng Ming. Lithofacies and paleogeographic analysis of Leikoupo Formation middle Triassic in western Sichuan[J]. Journal of Mineralogy and Petrology. 1994,14(4):46-63.
- [2] 刘志丽,童金南. 中国南方中三叠世地层及沉积古地理分异[J]. 沉积学报,2001,19(3):327-332.
Liu Zhili,Tong Jinnan. The middle triassic stratigraphy and sedimentary paleogeography of south China[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2001,19(3):327-332.
- [3] 何镜宇,孟祥化. 沉积岩和沉积相模式及建造[M]. 北京:地质出版社,1987:281-282.
HeJingyu,Meng Xianghua. Sedimentary rock and sedimentary facies and construction[M]. Beijing:Geological Press,1987:281-282.
- [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] 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 barriered carbonate platform in Sichuan Basin[J]. Marine Origin Petroleum Geology, 2013,18(2):1-7.
- [6] 吕玉珍,倪超,张建勇,等. 四川盆地中三叠统雷口坡组有利沉积相带及岩相古地理特征[J]. 海相油气地质,2013,18(1):26-32.
Lv Yuzhen, Ni Chao, Zhang Jianyong, et al. Favorable sedimentary facies zones and lithofacies palaeogeography of Middle Triassic Leikoupo Formation in Sichuan Basin[J]. Marine Origin Petroleum Geology, 2013,18(1):26-32.
- [7] 谭秀成,李凌,刘宏,等. 四川盆地中三叠统雷口坡组碳酸盐台地巨型浅滩化研究[J]. 海相油气地质,2014,44(3):457-471.
Tan Xiucheng, Li Ling, Liu Hong, et al. Mega-shoaling in carbonate platform of the Middle Triassic Leikoupo Formation, Sichuan Basin, Southwest China. Science China: Earth Sciences, 44(3):457-471.
- [8] 周进高,辛勇光,谷明峰,等. 四川盆地中三叠统雷口坡组天然气勘探方向[J]. 天然气工业,2010,30(12):16-19.
Zhou Jingao, Xin Yongguang, Gu Mingfeng, et al. Direction of gas exploration in the Middle Triassic Leikoupo Formation of the Sichuan Basin[J]. Natural Gas Industry, 2010,30(12):16-19.
- [9] 孙玮,刘树根,秦川,等. 川中磨溪与龙女寺雷口坡组构造特征及油气成藏差异性[J]. 成都理工大学学报:自然科学版,2009,36(6):654-661.
Sun Wei, Liu Shugen, Qin Chuan, et al. Differences of structure and hydrocarbon accumulation characteristics of middle triassic Leikoupo formation between Moxi structure and Longnvsi structure in central Sichuan, China[J]. Journal of Chengdu University of Technology: Science & Technology Edition, 2009,36(6):654-661.
- [10] 黄东,张健,杨光,等. 四川盆地中三叠统雷口坡组地层划分探讨[J]. 西南石油大学学报:自然科学版,2011,33(3):89-95.
Huang Dong, Zhang Jian, Yang Guang, et al. The discussion of stratum division and stratum for the Leikoupo formation of Middle Triassic in Sichuan Basin[J]. Journal of Southwest Petroleum University: Science & Technology Edition, 2011,33(3):89-95.
- [11] 周彦,谭秀成,刘宏,等. 磨溪气田嘉一段鲕粒灰岩储层特征及成因机制[J]. 西南石油大学学报:自然科学版,2007,29(4):30-33.
Zhou Yan, Tan Xiu, cheng, Liu Hong, et al. Oolitic limestone reservoir c;haracteristics and its genetic mechanism of Jia-2 member in Moxi gas field[J]. Journal of southwest petroleum university: Science & Technology Edition, 2007,29(4):30-33.
- [12] 胡明毅,魏国齐,李思田,等. 四川盆地嘉陵江组层序—岩相古地理特征和储层预测[J]. 沉积学报,2010,28(6):1145-1152.
Hu Mingyi, Wei Guoqi, Li Sitian, et al. Characteristics of sequence-based lithofacies and paleogeography and Reservoir Prediction of the Jialingjiang Formation in Sichuan Basin[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2010,28(6):1145-1152.
- [13] 沈安江,周进高,辛勇光. 四川盆地雷口坡组白云岩储层类型及成因[J]. 海相油气地质,2008,13(4):19-28.
Shen Anjiang, Zhou Jingao, Xin Yongguang. Origin of Triassic Leikoupo dolomite reservoirs in Sichuan Basin[J]. Marine Origin Petroleum Geology, 2008,13(4):19-28.
- [14] 曾德铭,王兴志,石新,等. 四川盆地西北部中三叠统雷口坡组滩体及储集性[J]. 沉积学报,2010,28(1):42-49.
Zeng Deming, Wang Xingzhi, Shi Xin, et al. Characteristic and reservoir property of the Leikoupo Formation of Middle Triassic in northwestern Sichuan Basin [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2010, 28(1):42-49.
- [15] 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.
- [16] 冯增昭,鲍志东,李尚武,等. 中国南方早中三叠世岩相古地理[M]. 北京:石油工业出版社,1997:105-117.
Feng Zengzhao, Bao Zhidong, Li Shangwu, et al. Lithofacies 1'aleogeography of the Early and Middle Triassic in South China[M]. Beijing:Petroleum Industry Press,1997:105-117.
- [17] Enos P. Sawatsky L H. Pore networks in Holocene carbonate sediments[J]. Journal of Sedimentary Petrology 1981,51(5):961-986.
- [18] 谭秀成,罗冰,李卓沛,等. 川中地区磨溪气田嘉二段砂屑云岩储集层成因[J]. 石油勘探与开发,2011,38(3):268-273.
Tan Xiucheng, Luo Bing, Li Zhuopei, et al. Jia2 member doloarenite reservoir in the Moxi gas field, middle Sichuan Basin[J]. Petroleum Exploration and Development, 2011,38(3):268-273.
- [19] Mazzullo S J, Harris P M. Mesogenetic dissolution; its role in porosity developmlent in carbonate reservoir. [J]. AAPG Bulletin. 1992, 76(5):607-620.
- [20] 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 in Sic;huan Basin and its impact on reservoirs [J]. Acta Petrolei Sinica. 2011,32(1):70-76.

(编辑 董立)