

文章编号:0253-9985(2011)04-0542-09

川西雷口坡组碳酸盐岩储层特征及成岩作用

吴世祥¹,李宏涛¹,龙胜祥¹,柳智利²,王春连³,张军涛¹

(1. 中国石化石油勘探开发研究院,北京 100083; 2. 西南石油大学 研究生部,四川 成都 610500;

3. 成都理工大学,四川 成都 610059)

摘要:川西雷口坡组储层较发育,(藻)砂屑白云岩、中-细晶白云岩为主要储集岩,粒间溶孔、粒内溶孔为主要孔隙类型,孔隙结构以中-小孔细喉为主,总体显示出低孔低渗的特征。雷口坡组(藻)砂屑白云岩在川西坳陷的西缘分布稳定,厚度较大,总体上以海底、埋藏成岩环境为主,北段受到大气水成岩环境的影响,向南逐渐减弱。受成岩环境的控制,雷口坡组(藻)砂屑白云岩主要的成岩作用类型有压实、压溶作用、胶结充填作用、溶蚀作用、白云岩化作用等,其中,建设性的成岩作用主要有溶蚀作用、白云岩化作用、晚期破裂作用。溶蚀作用中的准同生期暴露溶蚀、表生溶蚀,主要分布于川西坳陷北部中坝构造带附近;而埋藏溶蚀作用对于川西坳陷中、南段储层的发育也具有非常重要的意义。鲕粒、砂屑白云岩主要与早期回流渗透、埋藏白云岩化有关。综合沉积、成岩特征,雷口坡组在川西坳陷北段南部砂屑滩体发育,且经历了准同生期大气水溶蚀、表生期溶蚀和埋藏溶蚀作用,是最有利的勘探区;而在中段的金河剖面的鲕粒、砂屑白云岩粒间(溶)孔中,发现有大量的沥青,表明发生过油气的运移或聚集,也是值得重视的有利勘探区域。

关键词:储层特征;成岩环境;成岩类型;雷口坡组;川西坳陷

中图分类号:TE122.2

文献标识码:A

A study on characteristics and diagenesis of carbonate reservoirs in the Middle Triassic Leikoupo Formation in western Sichuan Depression

Wu Shixiang¹, Li Hongtao¹, Long Shengxiang¹, Liu Zhili², Wang Chunlian³ and Zhang Juntao¹

(1. SINOPEC Petroleum Exploration and Production Research Institute, Beijing 100083, China;

2. Graduate School, Southwest Petroleum University, Chengdu, Sichuan 610500, China;

3. Chengdu University of Technology, Chengdu, Sichuan 610059, China)

Abstract:Reservoirs are relatively well-developed in the Leikoupo Formation of western Sichuan Depression. They are mainly algal dolorenite and medium-fine crystalline dolostone reservoirs with intergranular and intra-granular dissolution pores. The pore structures are dominated by medium-fine pore throat. As a whole, these reservoirs are low in both porosity and permeability. Thick algal dolorenite reservoirs in the Formation distribute widely in western margin of the Basin. As a whole, the reservoirs were formed in seabed burial diagenetic environment. However, the west segment of the Depression shows evidence of meteoric diagenesis which weakens southward. Controlled by different diagenetic environments, the reservoirs experienced such diagenetic processes as compaction, pressure-solution, cementation, dissolution, dolomitization, and etc. Among them, the dissolution, dolomitization, and later fracturing are constructive diagenesis. The penecontemporaneous exposure dissolution and hypergene dissolution mainly occurred in northern Zhongba structural belt, while the burial dissolution contributed a lot to the formation of reservoirs in the mid-south segment of the Depression. The oolitic and dolorenite are thought to be mainly related to early back flow seepage and burial dolomitization. A comprehensive study of sedimentation and diagnosis of the Depression indicates that the Leikoupo Formation in the south of the northern segment of the Depression has well-developed arenitic shoals and experienced penecontemporaneous

收稿日期:2011-05-02。

第一作者简介:吴世祥(1969—),男,博士,储层评价。

基金项目:国家科技重大专项(2008ZX05005002)。

meteoric dissolution, hypogene dissolution and burial dissolution, and thus may be the most potential exploration targets. But attention shall also be paid to the middle segment for the fact that bitumen is observed in the intergranular pores of ooliteic and dolorenite there.

Key words:reservoir property, diagenetic environment, diagenetic type, Leikoupo Formation, Western Sichuan Depression

雷口坡组是四川盆地重要的勘探层系之一，川西北中坝构造发现了雷(口坡组)三段气藏，川中发现磨溪气田雷一段气藏，表明雷口坡组具有广阔的勘探前景。然而，该区海相碳酸盐岩地层埋藏深度大，构造条件复杂。储层特征认识不清，碳酸盐岩沉积期后成岩作用和储层发育规律的复杂性，成为制约勘探的难点，也在相当程度上制约着川西海相地层的油气勘探和开发。研究表明，碳酸盐岩在成岩演化过程中更易受多类型、多期次成岩作用的改造和叠加^[1-3]，因而，成岩作用是控制碳酸盐岩储层发育的最重要因素之一^[4-7]。

利用川西坳陷雷口坡组野外露头、钻井岩心，通过普通薄片、铸体薄片、薄片阴极发光，结合样品物性分析数据，对雷口坡组碳酸盐岩储层特征及成岩作用进行了研究。

1 地质背景

川西地区自西向东以茂-汶断裂和江油-都江堰断裂为界，依次可以划分为松潘-甘孜褶皱带、龙门山推覆构造带和四川盆地。其中，龙门山推覆构造带中部以北川-映秀断裂为界，断裂北西称为龙门山后山推覆带，主要为变质岩分布，以往多划为松潘甘孜褶皱系；断裂南东称为龙门山前山推覆带，沉积岩分布区，属于四川盆地的范畴。川西坳陷即是北川-映秀断裂以东，龙泉山断裂及川中隆起以西的广大地区，大致呈东北向展布，向东依次可以划分为川西坳陷、川中平缓构造带及川东中、高陡构造带等一级构造单元(图 1)。

古生代(包括震旦纪)-早、中生代，以海相碳

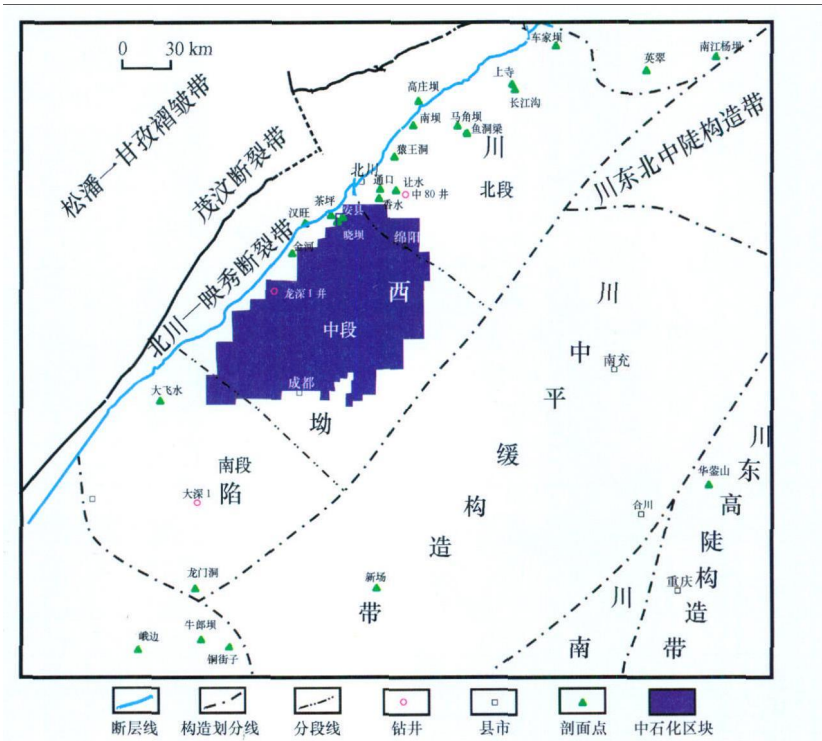


图 1 川西地区构造划分简图及野外露头、井点分布

Fig. 1 Location of outcrops, wells and tectonic division in western Sichuan Depression

酸盐岩沉积为主,也沉积了少量海相碎屑岩;自三叠纪中晚期印支运动开始,龙门山逆冲推覆构造带的形成,导致川西部分地区逐渐抬升降起,褶皱成山,在山前出现了大型前陆盆地陆相碎屑岩沉积;喜马拉雅期,以隆升、剥蚀为主,形成了现今构造面貌^[8-9]。

根据印支期以来构造活动的强度、期次的差异,大至以绵竹-新场和成都-大邑为界,将川西拗陷进一步划分为北段、中段、南段(图 1),构造强度由北向南逐渐增强。北段属印支构造带,中段属燕山构造带,南段属喜马拉雅构造带^[10-11]。

2 层序及沉积特征

野外、镜下及钻井等研究结果表明,雷口坡组在川西由两个Ⅱ类层序组成,层序 1 主要由雷口坡组一、二段构成,分为两个体系域:海侵体系域由雷一段组成,岩性为灰-深灰色薄-中层状泥晶微晶

白云岩,夹少量砂屑白云岩、泥晶灰岩及碳质泥岩,发育水平层理、沙纹层理、波状层理及薄纹层,见鸟眼构造及波痕;高位体系域对应于雷二段,为浅灰-灰白色中厚层及块状泥晶-微晶白云岩,夹层状(藻)砂屑白云岩及古喀斯特化角砾状白云岩,具较好的储集性。层序 2 由雷口坡组三、四段组成,其构成:海侵体系域由雷三段组成,自北东向南西沉积水体逐步变浅,依次为开阔台地、局限台地、台地边缘、蒸发台地、混积潮坪(图 2),岩石组成依次为薄层灰岩、白云岩、灰白色藻白云岩、灰色中层状微晶含泥云岩、灰色厚层状白云质灰岩、藻屑云岩夹膏质云岩、石膏岩与白云岩不等厚互层;高位体系域主要由雷四段组成,沉积于开阔潮下、局限(蒸发)潟湖、潮坪、台内滩、滩间环境,岩性为灰色泥灰岩、泥灰岩夹灰岩及薄层页岩、灰色中层状微晶含泥云岩、灰色块状白云质藻灰岩、藻屑云岩、藻屑云岩夹膏质云岩、紫石膏岩与白云岩不等厚互层。

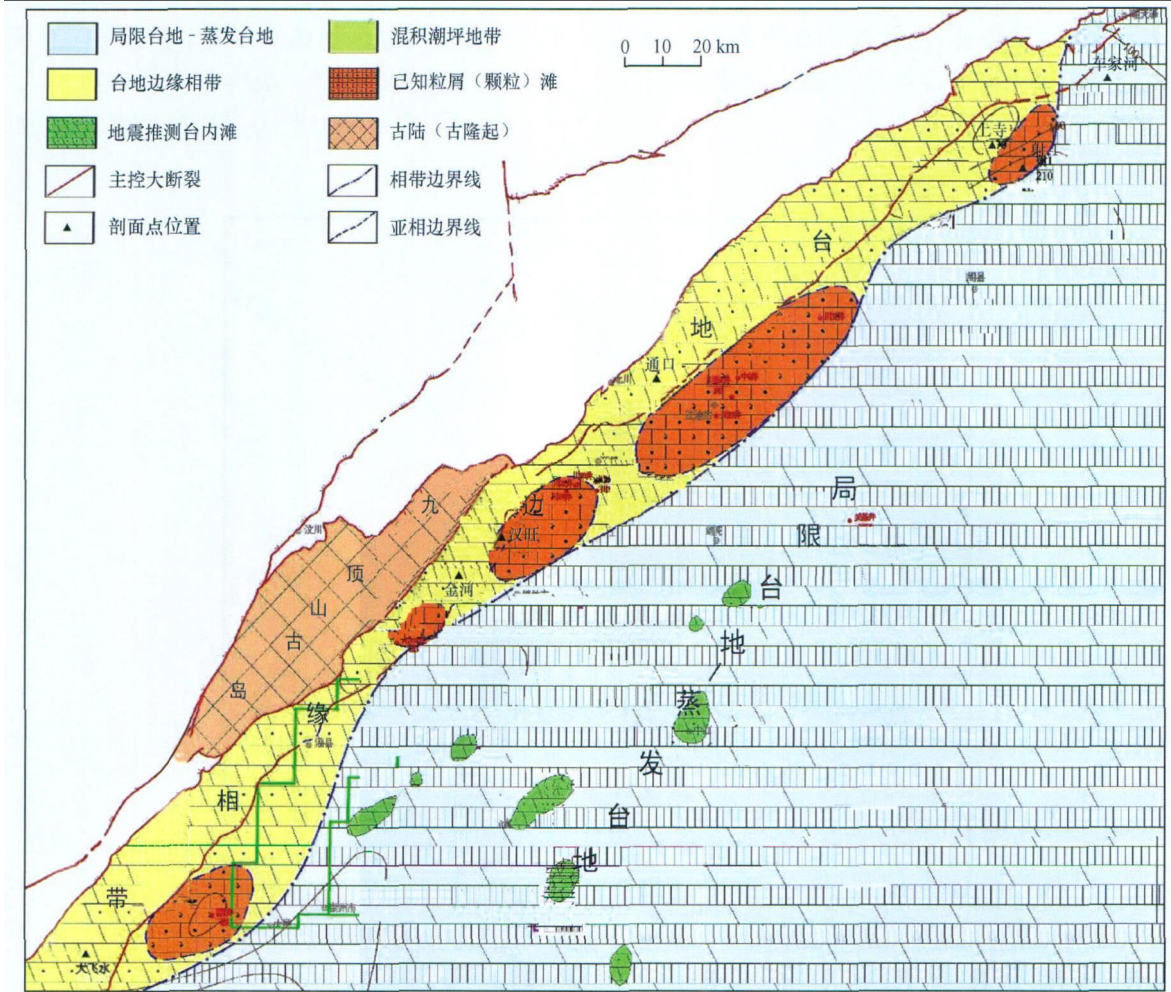


图 2 川西拗陷及邻区雷口坡组岩相古地理分布特征
Fig. 2 Lithofacies palaeogeography of the Leikoupo Formation of western Sichuan Basin and its adjacent areas

总体上,雷口坡组各段的沉积相平面分布特征相似,只是由于各时期海平面升降、气候变化的差异,各段的沉积(亚)相的范围、规模有所不同。沉积演化趋势表现为沉积环境越来越局限、蒸发作用逐渐增强。值得注意的是,海侵体系域上部-高位体系域下部为浅滩相藻屑白云岩、砂屑白云岩、鲕粒白云岩发育部位,为重要的潜在储集层。

3 雷口坡组储层特征

3.1 岩石物性分析结果

利用大量露头剖面 and 少量钻井岩心样品,参

照 SY/T6110-94 碳酸盐岩级别划分标准和四川盆地碳酸盐岩储集岩分类方法(表 1),对研究区二叠系一中三叠统海相层系储层进行了统计分析。结果显示:雷口坡组 312 个样品的孔隙度平均值为 2.6%,孔隙度大于 2% 的样品达到了 42%,75% 的样品渗透率大于 $0.002 \times 10^{-3} \mu\text{m}$ (图 3a,b),表明储层较发育,但总体孔隙结构类型以中小孔细喉的Ⅱ,Ⅲ类储层为主(图 3c)。压汞分析显示,部分样品具有排替压力高,略细歪度(图 3d),进一步证实了低孔低渗的特征,而孔喉半径分选中等-差,则反映了本区储层的非均质性较强,以及不均匀溶蚀作用。

表 1 四川盆地碳酸盐岩储层评价标准

Table 1 Evaluation criteria of carbonate reservoirs in Sichuan Basin

储层类型	I	Ⅱ	Ⅲ	Ⅳ
孔隙度, %	≥12	12~6	6~2	<2
渗透率/($10^{-3} \mu\text{m}$)	≥1.0	1.00~0.25	0.250~0.002	<0.002
中值喉道宽度/ μm	≥1	1.0~0.2	0.200~0.024	<0.024
孔隙结构类型	大孔-中粗喉	大孔-中粗喉 中孔-中粗喉	中孔-细喉 小孔-细喉	微孔-微喉
储层评价	好-极好	中等-较好	较差	差

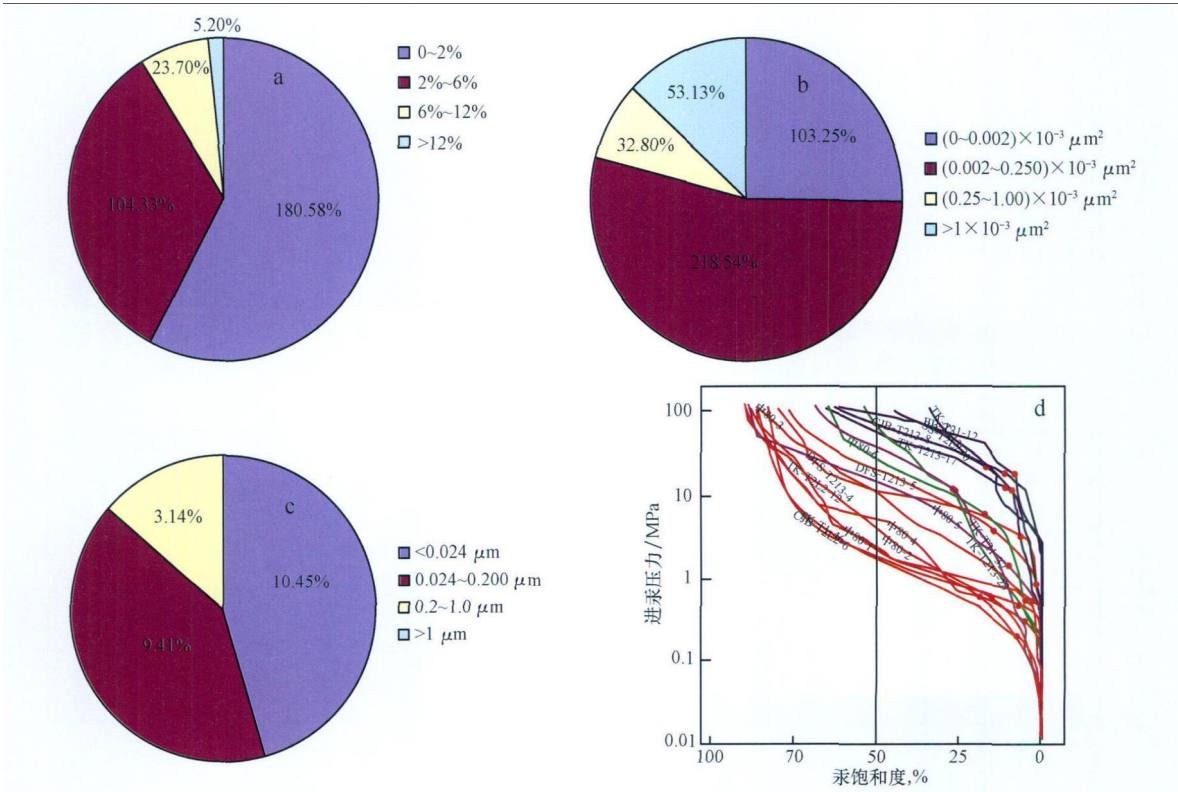


图 3 川西雷口剖组岩样孔隙度、渗透率和中值喉道宽度分布及部分压汞曲线特征

Fig. 3 Distribution of porosity, permeability, median throat radius and characteristics of intrusive mercury curve of samples from the Leikoupo Formation

a. 孔隙度; b. 渗透率; c. 中值喉道宽度; d. 压汞曲线

对川西坳陷各剖面雷口坡组各段的孔隙度的平均值也进行了统计(图 4)。雷一段多数样品的孔隙度低于 2%,仅在汉旺剖面孔隙较发育,两个样品的孔隙度平均值达 6.38%,表明雷一段局部可能存在储层。雷二段与雷四段不同剖面的孔隙度分布特征相似,且多数剖面的孔隙度平均值大于 2%,显示具有较好储集条件,但主要集中于川西坳陷的北段南部,如通口、黄连桥剖面,向南孔隙度逐渐降低。雷三段有效储层在全区均比较发育,川西坳陷的北段(如黄连桥、通口剖面)、中段(汉旺剖面)和南段(大飞水剖面),均显示出较高孔隙度的特征,但储层的非均质性也较强。

3.2 储层岩性及孔隙类型特征

铸体薄片、普通薄片、扫描电镜及岩心观察显示,雷口坡组储集岩以砂屑白云岩、藻屑云岩为主,其次为晶粒白云岩,泥晶云岩、膏质云岩、灰岩储集物性差。储集空间类型以粒内溶孔、粒间溶孔、晶间(溶)孔为主,局部发育少量溶洞及裂缝。

3.2.1 砂屑白云岩

砂屑亮晶结构,颗粒含量常大于 60%,多由泥粉晶白云石构成,分选、磨圆中等,颗粒粒间常被粉晶白云石胶结、充填(图 5a)。但总的来说,该类岩石胶结作用较弱,粒间溶孔发育,并可见少量粒内溶孔,储集性能好,为川西雷口坡组储层的主要类型。

3.2.2 藻屑白云岩

该类岩石主要由蓝、绿藻屑组成,含有一定量的砂屑,颗粒含量大于 65%,分选磨圆较差,藻屑形状极不规则,藻屑之间粘结现象明显。藻屑、砂屑颗粒主要由泥粉晶白云石组成,同时发育粒内溶孔与粒间溶孔,局部发育小的溶洞,具有较好的储集性能。孔隙内部及颗粒边缘常被环边粉晶白云石胶结(图 5b),也可见一些溶蚀孔后期被亮晶方解石半充填或全充填。

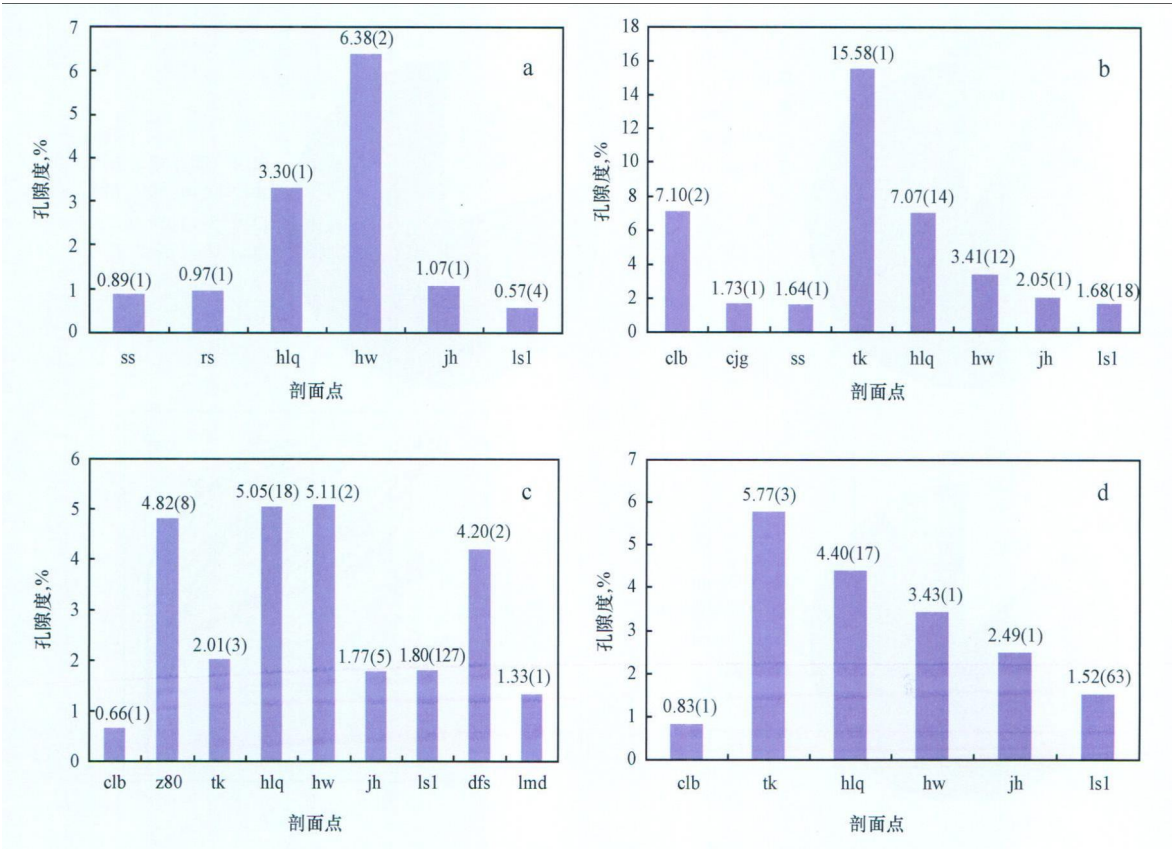


图 4 川西雷口坡组各段各剖面孔隙度平均值分布特征

Fig. 4 Average porosity of samples from different members of the Leikoupo Formation in western Sichuan Depression

ss. 上寺; rs. 让水; hlq. 黄连桥; hw. 汉旺; jh. 金河; ls1. 龙深 1 井; clb. 车家坝; cjg. 长江沟; tk. 通口; lmd. 龙门洞; dfs. 大飞水; z80. 中 80 井; 括号内为样品数

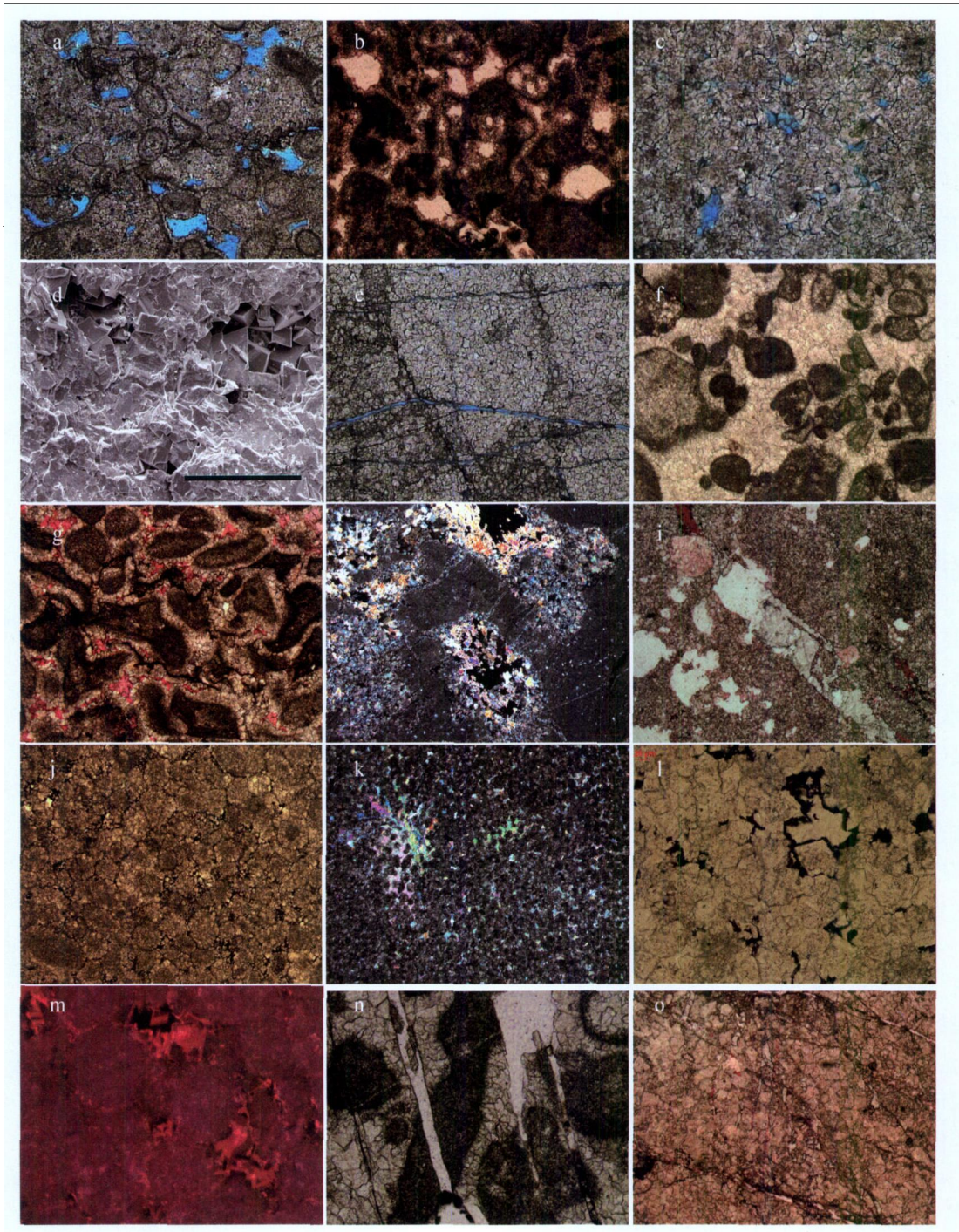


图5 川西地区雷口坡组主要储集岩岩性、孔隙类型及成岩特征

Fig. 5 Lithology, porosity and diagenesis of main reservoirs in the Leikoupo Formation of western Sichuecn Basin

a. 鲕粒砂屑白云岩,孔隙度为7.37%,蓝色铸体,中80-5;b. 藻砂屑白云岩,粒间孔隙较发育,其边部亮晶胶结,粒内偶见溶孔,染色普片,TK-T₂l³-22;c. 孔隙主要为晶间溶孔,约占孔隙总量的95%,TK-T₂l⁴-55;d. 部分自形白云石形成晶间孔,扫描电镜,TK-T₂l⁴-55;e. 粉细晶白云岩,构造微缝发育,未被胶结充填,蓝色铸体,中80-8;f. 鲕粒、砂屑粒间的两期胶结,普通薄片,HW-T₂l⁴-11;g. 缝合线形成于白云石胶结之后,方解石胶结之前,染色普片,DFS-T₂l¹-1;h. 膏模孔被硅质、硬石膏、自生白云石充填,白云石略具波状消光,普通薄片,LS1-24-35/51;i. 鞍状白云石及萤石,萤石具有负高凸起,均质消光的特征,普通薄片,CF188-1-19/143;j. 鲕粒、砂屑白云岩具有强烈的塑性变形,压实作用强烈,普通薄片,JH-T₂l³-38;k. 含硬石膏砂屑白云岩,硬石膏胶结明显,普通薄片,LS1-21-89/89;l. 白云石晶间孔中分布的沥青,染色普片,JH-T₂l³-40;m. 鲕粒发蓝紫色光,粒间胶结物微亮,阴极发光,JH-T₂l³-38;n. 层间溶蚀缝极为发育,未被充填,胶结物可见纤维状和粒状两个世代,普通薄片,LS1-21-43/89;o. 几条裂缝中发育的短柱状孔隙,染色普片,LS1-11-55/88

3.2.3 细晶白云岩

细晶白云岩常可见残余砂屑结构,可能为砂屑云岩后期重结晶作用形成的,大小介于0.05~0.30 mm之间,同时发育晶间孔与晶间溶孔,它形白云石可能为晶粒被溶蚀的结果(图5c)。扫描电镜下,部分自形白云石晶间也可见有较多孔隙(图5d),多期多组构造裂缝常发育其中,宽度约0.003~0.040 mm,以0.010~0.020 mm为主,裂缝呈平直状、断续状、尖灭状、交叉状、错断状、网状展布,未见充填(图5e)。

3.3 雷口坡组储层分布特征

根据储层的岩性特征[以(藻)砂屑白云岩为主],对川西地区可能的储集层进行了对比。结果显示,雷三段、雷二段的砂屑滩,发育规模大,分布较连续,应该是雷口坡组最重要的储集层段。其中,龙深1井、金河、汉旺以及通口剖面的雷二段、雷三段砂屑白云岩沉积厚度较大,分别可达50~150,40~80 m。

结合储层特征分析结果认为,雷口坡组除雷一段储层物性较差之外,雷二、三、四段均具备一定的储集性能。从区域上来说,北段如黄连桥剖面(藻)砂屑云岩孔隙最发育,通口剖面次之;中段的金河、汉旺、大飞水剖面雷二、三、四段的(藻)砂屑云岩储层物性尽管略差,但仍然具有一定的储集能力。但川西坳陷并不是所有的砂屑或藻屑白云岩均可以成为好的储层,这显然是受控于后期的成岩作用。

4 成岩环境、成岩作用类型

碳酸盐岩的成岩作用直接控制了岩石中有机组分的转化,决定了岩石中孔隙的形成、演化及储集类型。因此,成岩作用的研究对沉积盆地含油气性预测、潜在储层评价和成岩圈闭油藏的勘探等方面均具有重要意义^[1]。

4.1 川西地区成岩环境

成岩作用除了受沉积物本身性质如矿物成分、结构等影响,还受温度、压力、孔隙流体性质等(即成岩环境)因素的控制^[12]。镜下观察结果显

示,川西雷口坡组,特别是川西坳陷的中、南段,所经历的成岩环境主要以海底、埋藏成岩作用为主,海水成岩环境中对应的胶结物类型通常为环边纤维(柱)状、犬(马)牙状,而埋藏成岩环境中胶结物类型常为粒状、粗晶状,呈镶嵌、连晶状胶结(图5f,g)。尽管盆地卤水对碳酸盐岩矿物而言通常是饱和的,然而,盆地不同性质流体的混合,可以导致卤水成分极大的变化,引起碳酸盐矿物的溶解或再沉淀^[13]。例如,龙深1井的底部从成岩矿物组合(硅质-硬石膏-异形白云石)及溶蚀特征上来看,可能与热液流体的溶蚀作用有关(图5h);而在膏模孔中半充填的鞍状白云石及萤石矿物(图5i),则可能是中-深埋藏高温成岩环境中溶解-再充填的产物。

在准同生期的大气水成岩环境中,流体对不同碳酸盐矿物多是不饱和的,通常是次生孔隙形成的有利阶段。由于成岩早期矿物的不稳定性,常可形成选择性粒内溶孔、铸模孔(图5a,b)。但这种成岩环境主要分布在川西坳陷北段的中坝、黄连桥剖面一带,向南影响逐渐减弱,主要表现在砂屑铸模孔减少、而非选择性的溶蚀孔隙增多。

表生成岩环境多受后期构造的控制。与大气水成岩环境不同,表生成岩环境形成的储集空间往往以非选择性溶蚀孔、洞、缝为主,而川西地区已发现的中坝雷三段针孔状储层中部分孔隙,很可能形成于这种成岩环境。

4.2 成岩作用类型及其对储层的控制作用

4.2.1 泥晶化作用

显微镜下部分砂屑、藻屑白云岩的鲕粒,具有清晰的泥晶套(图5a,b),这是由于在海底成岩环境中,微生物在鲕粒表面附着形成细粒的碳酸质点或钻孔后泥晶方解石充填形成的,通常在浅水高能的沉积环境中发育,为早期海底成岩环境的标志。

4.2.2 压实、压溶作用

压实、压溶作用是(藻)砂屑云岩的常见成岩作用。压实作用主要表现在颗粒的压实变形及颗粒间呈线接触或凹凸接触(图5j)。而压溶作用也很普遍,各个剖面均可以发现缝合线构造(图5g),且压溶作用产生的流体,也可能为埋藏胶结

作用提供物质来源。

4.2.3 胶结、充填作用

胶结作用是全区普遍发育的一种成岩作用,只是受成岩环境的影响,不同地区胶结强度可能不同。根据胶结物的结晶方式、矿物成分,本区的胶结作用可以分为以下几种:

1) 方解石胶结作用

可以分为成岩早中期和成岩晚期胶结作用。早期主要表现在砂屑颗粒边缘的纤维状、犬牙状方解石胶结(图5f),主要由海水中 Mg^{2+} 的侧向毒害作用引起的,而随后的晶粒状胶结可能形成于浅埋成岩早、中期,这种胶结作用在川西坳陷的中段最发育,向南则显示以埋藏成岩的晚期方解石胶结作用为主(图5g)。

2) 硬石膏胶结、充填作用

盆地内部比较普遍,如龙深1井的一些砂屑白云岩原本粒间孔隙发育,但后期多被硬石膏胶结充填(图5k),在硬石膏胶结物中可以发现气液两相流体包裹体,表明应形成于埋藏成岩期间高温环境。

3) 鞍状白云石充填作用

较为局限,典型的分布于川峰188井雷一段,主要表现为膏模孔被波状消光的鞍状白云石半充填或全充填(图5i),这种成岩矿物可能为热化学硫酸盐还原作用的产物,指示了埋藏溶蚀作用的存在。

4) 沥青充填作用

在川西雷口坡组仅局部地区出现,然而,沥青的存在是油气曾经发生过运移、聚集的产物,具有特殊的油气地质意义。本区的沥青充填作用主要出现在川西坳陷的中段,如金河剖面雷三段的鲕粒、砂屑白云岩中,颗粒粒间及边缘沥青广泛存在,无固定形态,反射光下不发光(图5j,l),厚达可达50 m以上,雷二段亦有分布,在龙深1井局部层段细粉晶白云岩及方解石胶结物中也发现了沥青充填。

4.2.4 溶蚀作用

储层孔隙类型主要以溶蚀孔隙为主,显示溶蚀作用对储层的发育更具有建设意义。根据溶蚀流体性质以及溶蚀孔隙的特征,本区的溶蚀作用主要有以下几种类型:

1) 大气水溶蚀作用

准同生期的大气水溶蚀作用主要分布于川西北段的南部,部分(藻)砂屑颗粒具铸模溶孔、粒内溶孔及示顶底构造(图5a,b),表明砂屑滩在准同生期曾暴露在大气淡水成岩环境,颗粒内部不稳定的矿物(如文石或高镁方解石)被溶解。泥晶套的内部及外部边缘出现晶粒状的胶结物,可能是大气水潜流带的产物,这是因为,碳酸盐岩不稳定矿物组分溶解之后,成岩流体中的 CO_3^{2-} 和 Ca^{2+} 浓度增加,在鲕粒的边缘及粒间沉淀成稳定的低镁方解石胶结物。

表生溶蚀作用与准同生期的大气水溶蚀作用相互叠加,可以导致非选择性溶蚀孔隙与选择性溶蚀孔隙等多种孔隙类型的共存。表生溶蚀作用是与不整合相关的一种溶蚀作用。本区雷口坡组顶部由于受到中三叠世末期印支运动的影响,局部地区后期重新暴露于地表,遭受剥蚀及大气水的淋滤。因此,在古风化壳部位可能形成好的储层,如天井山古隆起中坝构造发现的雷三段针孔状砂屑白云岩,其中部分孔隙可能是这种溶蚀作用的结果。

2) 埋藏溶蚀作用

埋藏溶蚀在本区雷口坡组更具有普遍性。由于其发生于碳酸盐矿物稳定化之后,因此常不具有选择性,以非选择性的溶蚀孔隙为主,有时与表生溶蚀孔隙不易区分。然而,由于表生溶蚀作用常受不整合面的控制,在一些不具备此条件的地层中所形成的非选择性溶蚀孔隙,常常被认为是埋藏溶蚀成因(图5b,h)。

4.2.5 白云岩化作用

白云岩化作用是控制川西雷口坡组白云岩储层发育的重要因素之一。岩石学观察结合地球化学分析结果,本区白云岩化作用主要有以下几种:

1) 准同生期白云岩化

这种白云岩化在雷口坡组比较普遍,在泥晶结构的白云岩中,常见有鸟眼构造及碳酸盐化的石膏结核,表明应形成于潮间-潮上蒸发的沉积、成岩环境。因此,该白云岩化作用应与本区蒸发萨巴哈环境有关(图5i)。

2) 回流渗透白云岩化

部分(藻)砂屑白云岩结构完整,拟晶交代,颗粒由泥晶构成(图5a,g,n),表明白云石化较早,其

上部常为准同生期形成的含石膏结核泥粉晶白云岩。这些样品的Sr含量常低于准同生白云岩,暗示在白云岩化之前,文石或高镁方解石经历了稳定化作用,使得Sr大量流失,样品的碳氧同位素的分析测试盐度值(Z)多数大于130,表明为蒸发的盐水沉积环境,因此,此类白云岩化可能与卤水的回流渗透有关。

3) 埋藏白云岩化

埋藏白云岩化在雷口坡组也很普遍,常可以见到砂屑残余结构的粉细晶的白云岩,白云石自形-半自形(图5k,l),部分膏模孔、鸟眼孔隙边缘也见有自生的白云石,晶形良好,部分具有波状消光的特征,阴极发光下,白云石的边缘具有较亮的发光,可能为该白云石形成后,与后期富锰的成岩流体水岩相互作用的结果,已有实验结果表明,自生白云石通常只能形成于温度大于60℃的环境^[14],因此,这些白云石应形成于埋藏成岩环境。

4.2.6 重结晶作用

重结晶作用在雷口坡组局部较发育,表现为一些砂屑或鲕粒由细-粉晶白云石组成,白云石半自形-它形粒状,镶嵌状分布,部分集合体残余鲕粒、砂屑结构,阴极发光下,白云石晶体仅发红紫色光,而不呈明暗相间的环带结构(图5m),为重结晶作用的特征,形成于较开放的成岩体系^[15]。

4.2.7 破裂作用

尽管破裂作用不属于成岩作用范畴,构造裂缝对岩石特别是对储集岩改造的角度,与成岩作用有相似之处。龙深1井雷三、四段的构造裂缝发育,部分裂缝中充填有沥青,并伴随着一定的溶蚀作用,早先硬石膏胶结的粒间孔被溶蚀(图5n),且晚期裂缝之间发育有柱状储集空间(图5o),应该是在剪切和拉张构造作用下引起的,并伴随着一定的溶蚀作用。通口剖面雷三段局部也见有沿构造裂缝的溶蚀扩大缝,形成油气运移的通道。

5 结论

1) 川西雷口坡组的储集岩岩性主要以砂屑白云岩和藻屑白云岩为主,储集空间类型主要以粒内溶孔、粒间溶孔,发育少量晶间(溶)孔,储层类型主要以Ⅲ类中小孔细喉、低孔低渗储层为主,

局部发育中孔中粗喉的Ⅱ类储层。

2) 控制雷口坡组储层发育的建设性成岩作用有溶蚀作用(大气水溶蚀、埋藏溶蚀、表生溶蚀)、白云岩化作用(回流渗透、埋藏白云岩化)、晚期裂缝的发育程度,而破坏性的成岩作用主要有压实压溶作用,方解石、硬石膏胶结充填作用。

3) 川西坳陷西缘砂屑滩沉积发育,北段的中坝、黄连桥剖面一带雷三、二段,砂屑滩厚度大,连片发育,经历了准同生期的暴露溶蚀、后期的表生溶蚀以及埋藏溶蚀为储层发育的最有利区。中段的什邡金河剖面雷三段鲕粒砂屑滩,以埋藏成岩作用为主,且粒间充填有大量沥青,表明本区也为储层发育的有利部位。

参 考 文 献

- [1] 王英华. 碳酸盐岩成岩作用与孔隙演化[J]. 沉积学报, 1992, 10(3): 85-95.
Wang Yinghua. Carbonate diagenesis and porosity evolution [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 1992, 10(3): 85-95.
- [2] 胡文瑄, 陈琪, 王小林, 等. 白云岩储层形成演化过程中不同流体作用的稀土元素判别模式[J]. 石油与天然气地质, 2010, 31(6): 810-818.
Hu Wenxuan, Chen Qi, Wang Xiaolin, et al. REE models for the discrimination of fluids in the formation and evolution of dolomite reservoirs [J]. Oil & Gas Geology, 2010, 31(6): 810-818.
- [3] 黄文明, 刘树根, 张长俊, 等. 四川盆地寒武系储层特征及优质储层形成机理[J]. 石油与天然气地质, 2009, 30(5): 566-575.
Huang Wenming, Liu Shugen, Zhang Changjun, et al. Reservoir characteristics and formation mechanism of the high quality Cambrian reservoirs in Sichuan Basin [J]. Oil & Gas Geology, 2009, 30(5): 566-575.
- [4] 张云峰, 李忠, 王清晨, 等. 鲁西隆起区奥陶系碳酸盐岩成岩作用及其对储集性的控制作用[J]. 地质科学, 2005, 40(2): 207-219.
Zhang Yunfeng, Li Zhong, Wang Qingchen, et al. Diagenesis and its role on the reservoir of Ordovician carbonate rocks in The West Shandong Rise [J]. Chinese Journal of Geology, 2005, 40(2): 207-219.
- [5] 何治亮, 彭守涛, 张涛. 塔里木盆地塔河地区奥陶系储层形成的控制因素与复合-联合成因机制[J]. 石油与天然气地质, 2010, 31(6): 743-752.
He Zhiliang, Peng Shoutao, Zhang Tao. Controlling factors and genetic pattern of the Ordovician reservoirs in the Tahe area, Tarim Basin [J]. Oil & Gas Geology, 2010, 31(6): 743-752.

(下转第559页)

- 质志(卷10)[M]. 北京:石油工业出版社,1989.
- Petroleum geology compiling group of Sichuan Oilfield. Sichuan oil and gas field, Petroleum Geology of China (vol. 10) [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1989.
- [13] 何鲤,刘莉萍,罗潇,等. 川西龙门山推覆构造特征及有利油气勘探区块预测[J]. 石油实验地质,2007,29(3): 247-252.
- He Li, Liu Liping, Luo Xiao, et al. Nappe structure characteristics and exploration potential forecast in Longmenshan, the west of Sichuan province[J]. Petroleum Geology & Experiment, 2007, 29(3): 247-252.
- [14] 罗啸泉,郭东晓. 川西断裂分布特征与油气的关系[J]. 西南石油学院学报,2004,26(6): 17-20.
- Luo Xiaoquan, Guo Dongxiao. Relationship between distribution characteristic of faults fractures and oil-gas reservoirs in West Sichuan[J]. Journal of Southwest Petroleum Institute, 2004, 26(6): 17-20.
- [15] 张永生. 鄂尔多斯地区奥陶系马家沟群中部块状白云岩的深埋藏白云化机制[J]. 沉积学报,2000,18(3): 424-430.
- Zhang Yongsheng. Mechanism of deep burial dolomitization of massive dolostones in the Middle Majiagou Group of the Ordovician, Ordos Basin[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2000, 18(3): 424-430.
- [16] 王英华,张绍平,潘荣胜. 阴极发光技术在地质学中的应用[M]. 北京:地质出版社,1990: 20.
- Wang Yinghua, Zhang Shaoping, Pan Rongsheng. The applications of the technology of cathode luminescence in geology [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1990: 20.
- [17] 李双应,金福全,王道轩. 碳酸盐岩成岩作用的微量元素地球化学特征[J]. 石油实验地质,1995,17(1): 55-62.
- Li Shuangying, Jin Fuquan, Wang Daoxuan. Geochemical characteristics of carbonate rock diagenesis[J]. Petroleum Geology & Experiment, 1995, 17(1): 55-62.
- [18] Esteban M, Taberner C. Secondary porosity development during late burial in carbonate reservoirs as a result of mixing and/or cooling of brines [J]. Journal of Geochemical Exploration, 2003, 78-79: 355-359.

(编辑 董立)

(上接第550页)

- [6] 高林. 碳酸盐岩成岩史及其对储层的控制作用——以普光气田为例[J]. 石油与天然气地质,2008,29(6): 733-739.
- Gao Lin. Diagenesis of carbonate rocks and their control over reservoirs—an example from the Puguang gas field[J]. Oil & Gas Geology, 2008, 29(6): 733-739.
- [7] 郭彤楼. 川东北地区飞仙关组鲕滩储层成岩作用——以宣汉-达县及元坝区块为例[J]. 石油与天然气地质,2010,31(5): 620-631.
- Guo Tonglou. Diagenesis of the Feixianguan oolitic shoal reservoirs in the northeastern Sichuan Basin—examples from Xuanhan-Daxian and Yuanba areas[J]. Oil & Gas Geology, 2010, 31(5): 620-631.
- [8] 郭正吾,邓康龄,韩永辉,等. 四川盆地的形成与演化[M]. 北京:地质出版社,1996: 89-112.
- Guo Zhengwu, Deng Kangling, Han Yonghui, et al. Generation and evolution of Sichuan Basin[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1996: 89-112.
- [9] 四川盆地油田石油地质志编写组. 四川油田 中国石油地质志(卷10)[M]. 北京:石油工业出版社,1989.
- Petroleum Geology Compiling Group of Sichuan Oilfield. Sichuan oil and gas field, petroleum geology of China, (10) [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1989.
- [10] 何鲤,刘莉萍,罗潇,等. 川西龙门山推覆构造特征及有利油气勘探区块预测[J]. 石油实验地质,2007,29(3): 247-252.
- He Li, Liu Liping, Luo Xiao, et al. Nappe structure characteristics and exploration potential forecast in Longmenshan, the west of Sichuan province[J]. Petroleum Geology & Experiment, 2007, 29(3): 247-252.
- [11] 罗啸泉,郭东晓. 川西断裂分布特征与油气的关系[J]. 西南石油学院学报,2004,26(6): 17-20.
- Luo Xiaoquan, Guo Dongxiao. Relationship between distribution characteristic of faults fractures and oil-gas reservoirs in West Sichuan[J]. Journal of Southwest Petroleum Institute, 2004, 26(6): 17-20.
- [12] 强子同. 碳酸盐岩储层地质学[M]. 山东 东营:石油大学出版社,1998: 1-470.
- Qiang Zitong. Geology of carbonate reservoirs[M]. Shandong Dongying: Petroleum University Press, 1998: 1-470.
- [13] Moore C H. Carbonate reservoirs: porosity evolution and diagenesis in a sequence stratigraphic framework[M]. Amsterdam: Elsevier, 2001: 1-444.
- [14] Usdowski E. Synthesis of dolomite and geochemical implications[C]//Purser B. Dolomites a volume in honour of Dolomieu. Oxford UK: Blackwell Science. Publishing House, 1994: 345-360.
- [15] Alex MacNeil, Brian Jones. Dolomitization of the pedro castle formation (Pliocene), cayman brac, british West Indies[J]. Sedimentary Geology, 2003, 162: 219-23.

(编辑 高岩)