

文章编号:1001-6112(2004)06-0537-05

# 川西坳陷致密碎屑岩气藏类型划分及特征

朱 彤<sup>1</sup>, 叶 军<sup>2</sup>

(1. 中国石化 石油勘探开发研究院, 北京 100083; 2. 中国石化 西南分公司, 四川 成都 610051)

**摘要:**川西坳陷致密碎屑岩天然气藏的勘探开发经过几十年的艰苦历程, 目前已发现不同地区、不同层位的天然气气藏 20 多个, 取得了丰硕的天然气勘探成果, 但是对于川西坳陷致密碎屑岩复杂气藏类型却一直没有统一、规范的划分方案。在总结区内已有气藏描述成果和勘探研究成果的基础上, 以“圈闭成因”为分类的首要依据, 以气藏地质结构中“致密化程度”和“压力状况”为亚类划分标准, 提出了适合该区的气藏分类标准和划分方案, 划分出构造-岩性型、构造-成岩型和构造-裂缝型 3 大类、5 个亚类气藏类型, 并对各种类型的典型气藏特征进行了描述。

**关键词:**类型划分; 致密碎屑岩气藏; 川西坳陷

**中图分类号:** P622.3

**文献标识码:** B

## 1 气藏分类依据和划分方案

众所周知, 影响气藏地质结构、储渗体和流体内在联系的因素很多。根据川西坳陷致密碎屑岩 5 个气田、7 个典型气藏构造、沉积与圈闭、储层和试采动态特征描述研究结果, 参照《陆相油藏描述》等专

著<sup>[1-3]</sup>中的油气藏类型划分标准, 以“圈闭成因”为分类首要依据, 以气藏地质结构中“致密化程度”和“压力状况”为亚类划分标准, 对川西坳陷致密碎屑岩气藏进行了类型划分。不同类型的气藏具有不同的成藏环境, 成藏主控因素和综合特征也各异。基本划分方案概括于表 1。

“圈闭成因分类法”主要是根据油气圈闭的成因

表 1 川西坳陷致密碎屑岩气藏类型划分

大类	亚类	成藏环境及条件	典型气藏	预测气藏
构造-岩性型	常规常压构造-岩性型	远源近常规成藏环境。处于中一低渗透、常一近致密带, 地压过渡带上部, 在有利的岩相带内, 通过高压气充填驱水的方式聚集, 构造的隆升乃至破裂构造发育的主要作用提供了理想的输导系统	洛带猓狍	
	常规低超压构造-岩性型		新场猓狍	孝泉猓狍
	近致密超压构造-岩性型		马井猓狍 新都猓狍	孝泉猓狍+猓狍 马井猓狍+猓狍
构造-成岩型	致密超压构造-成岩型	近源成岩成藏环境。处于低渗透、致密带, 地压过渡带中、下部至高地压调整带的上部, 有充分的能量保证远源气的供给, 但因其岩石背景已是超致密状态, 故有效的储集条件依赖于对岩石渗透性的改造作用	新场猓狍+猓狍	新场猓狍 合兴场猓狍
构造-裂缝型	超致密超高压构造-裂缝型	同源裂缝成藏环境。处于超低渗透、极致密带, 地压为超高压-压力平衡, 有充分的能量保证同源的供给, 极致密储层有效性的改造依赖于构造裂缝的发育	新场猓狍 合兴场猓狍	孝泉猓狍 鸭子河猓狍

表 2 砂岩储层致密程度分类表

表 2 砂岩储层致密程度分类表

美国能源部		美国 储层类型		罗 蛰 潭		川西坳陷碎屑岩地区		
分类	地层渗透率/ $10^{-3} \mu\text{m}^2$	分类	地层渗透率/ $10^{-3} \mu\text{m}^2$	分类	地层渗透率/ $10^{-3} \mu\text{m}^2$	分类		地层渗透率/ $10^{-3} \mu\text{m}^2$
						类	亚类	
一般气藏	>1	I 级渗透层	>1	I 级	0.1 ~ 100	常规储层	常规	>1
近于致密气藏	0.1 ~ 1	II 级近致密层	0.1 ~ 1				近常规	0.1 ~ 1
标准致密气藏	0.005 ~ 0.1	III 级致密层	0.005 ~ 0.1	II 级	0.001 ~ 0.1	致密储层	致密	0.005 ~ 0.1
极致密气藏	0.001 ~ 0.005	IV 级致密层	0.001 ~ 0.005	III 级	$10^{-5} \sim 10^{-3}$		极致密	0.001 ~ 0.005
超致密气藏	$10^{-4} \sim 10^{-3}$	V 级致密层	$10^{-4} \sim 10^{-3}$	IV 级	$10^{-9} \sim 10^{-5}$		超致密	< $10^{-3}$

和形态两大要素对气藏进行分类。川西坳陷气藏类型主要可分为构造 - 岩性型、构造 - 成岩型和构造 - 裂缝型 3 大类。其中构造具狭义性,单指背斜(包括鼻状背斜)和斜坡,既包括与生、排烃高峰期匹配的适时构造,也包括后来的晚期构造。本研究区已发现的气藏以构造 - 岩性型为主,特别是以川西浅层蓬莱镇组气藏占优势(如新场、洛带、马井、新都气田蓬莱镇组气藏);其次为构造 - 成岩型(如新场气田沙溪庙组气藏)和构造 - 裂缝型(如新场、合兴场气田须家河组二段气藏)。

在“圈闭成因分类法”划分气藏大类的基础上,针对影响各气藏地质结构的关键因素“储层类型”和“压力状况”,参照石油天然气行业标准“砂岩储层致密程度分类”(表 2)和川西碎屑岩地区“地压分带”标准<sup>[4]</sup>(表 3),将“圈闭成因分类法”划分出的 3 大类型按川西碎屑岩已经出现和可能出现的气藏进一步划分出 5 个亚类气藏,包括常规常压构造 - 岩性型、常规低超压构造 - 岩性型、近致密超压构造 - 岩性型、致密超压构造 - 成岩型和超致密超高压构造 - 裂缝型。

## 2 构造 - 岩性复合圈闭典型气藏特征

构造 - 岩性复合圈闭气藏类型是川西坳陷致密碎屑岩气藏,特别是浅层气藏中最普遍的圈闭类型。它主要受控于有利的沉积微相带,也与古今构造隆起所形成的低势区有重要关系,因此凡是背斜、鼻状、宽缓的大斜坡带等构造,只要与有利岩相带合理配置,都可能形成构造 - 岩性复合圈闭。在背斜、鼻状等局部构造背景的基础上,叠加有利的沉积微相带,是控制该类气藏形成和展布的主控因素。其储层发育多受原始沉积砂体边界的控制,储层致密化程度较低,地压分带于常压 - 压力过渡带中,纵向主要分布于浅层蓬莱镇组气藏,平面上主要分布于燕

山中晚期古隆起带上的新场、洛带、马井等地区。

新场气田蓬莱镇组气藏是在新场北东东走向、向东倾没的鼻状背斜构造背景下叠置河流与三角洲 - 湖泊沉积环境中有利的分流河道、河口坝砂岩等共同控制下形成的,构造范围内的有利储层微相展布控制着气藏的形态(图 1)。其中 I, II 类储层主要分布于分流河道、河口砂坝中,决口扇、远砂坝中主要是 III 类储层,而远砂坝前缘中的砂体一般是非储层。因此,蓬莱镇组气藏的圈闭类型为鼻状构造背景下的岩性复合圈闭。

洛带气田蓬莱镇组气藏主要为浅水三角洲沉积,以水下分流河道发育为主要特征。从气藏的气井分布与现今构造和各储层砂体展布形态的关系可以看到,构造与储层的合理配置是该气藏形成的主要控制因素。

马井气田蓬莱镇组气藏经过三维地震及多井勘探开发证实,在局部背斜构造的圈闭范围内,90%的工业气井均分布于三角洲分流河道及河口坝有利沉积微相展布范围内。分流河道(平均孔渗为 12.1%,  $0.637 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ )及河口坝(平均孔渗为 9.7%,  $0.366 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ )微相孔渗性最好,其次为远砂坝(平均孔渗为 5.0%,  $0.189 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ )。同时从该气藏储层类型与喜山期背斜构造的配置上也可看到, I, II 类储层均分布于喜山期构造之上,而且马井气田蓬

表 3 川西碎屑岩地区地压分带表(以新场气田为例)

表 3 川西碎屑岩地区地压分带表(以新场气田为例)

地压带名称	压力系数	相当层位
常压带	≈ 1.0	物 <sub>1</sub> 冕冲上部
压力过渡带	1.2 ~ 1.5	冕冲中下部 冕具+冕猴冕冲上部
高地压调整带	1.5 ~ 1.9	冕猴下部 冕, 冕猴
超高压带	1.6 ~ 2.0	冕猴上部 冕猴
压力平衡带	> 1.7	冕猴

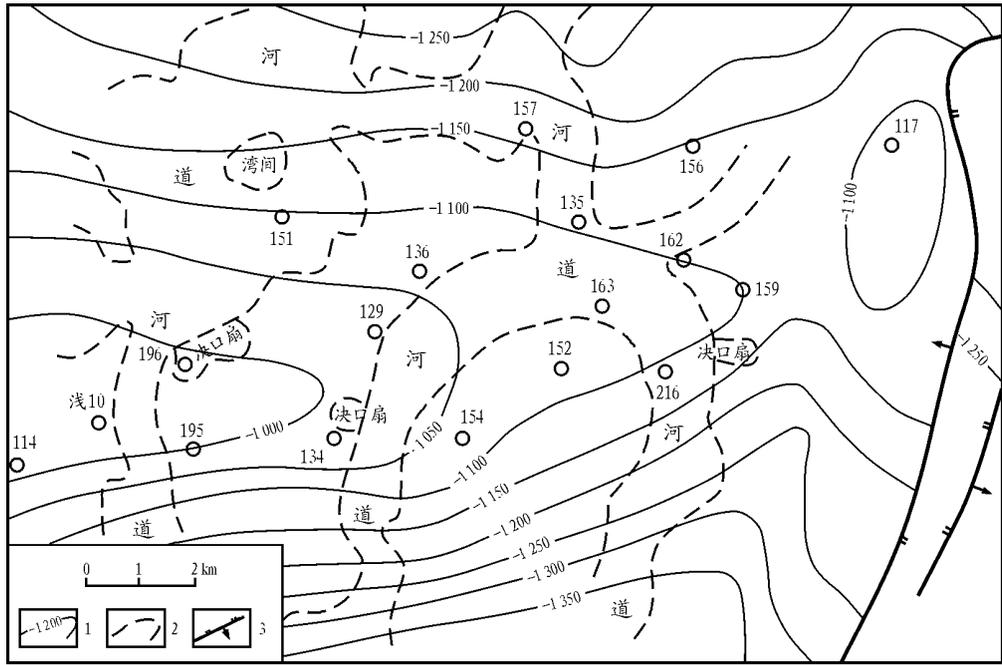


图 1 新场气田蓬二气藏沉积砂体分布与构造叠合图

1. 揭冲底面等深线; 2. 相界; 3. 逆断层

图 4 蓬二气藏沉积砂体分布与构造叠合图

莱镇组 9 口工业气井均分布在喜山期背斜轴部及西北翼上, 表明现今背斜构造对蓬莱镇组气藏的形成具有重要的控制作用。

新都气田蓬莱镇组气藏是一个北东向展布的宽缓的大斜坡带背景下的, 发育有半深湖—浅湖亚相、三角洲前缘亚相的有利河口坝、水下扇砂坝砂岩含

气微相的叠合连片的层状气藏, 即为叠置在单斜背景之上的岩性气藏 (图 2)。

通过前面典型气藏分析可知, 构造 - 岩性复合圈闭气藏的圈闭形成机理一方面是因为蓬莱镇组储集层至今尚未完全致密化, 仍处于有效圈闭期孔隙阶段, 即使低幅度的构造也能驱油油气; 另一方面是由于蓬莱镇组在沉积时正值深部须家河组主力烃源岩成烃高峰期, 整个沉积成岩过程都有被油气充注的机遇, 故有利的相带 (诸如分流河道、河口砂坝等) 首先成为了油气聚集的部位, 而天然堤等较为差的相带含气性则相对变差, 显示了岩性的制约作用。由此, 川西坳陷构造 - 岩性复合圈闭气藏特征可归纳如下: 1) 有利的储集相带 (如三角洲砂体、河道砂体及决口扇等) 控制了气藏分布; 2) 正向构造带和有利储集相带的不同叠置配合方式制约着气藏的具体形状和组合; 3) 作为区内目前埋深最浅的气藏, 其含气的地震响应最为明显, “低频强振幅” 是一种预测、圈定此类气藏的有效标志; 4) 是川西地区唯一近常规储集层。

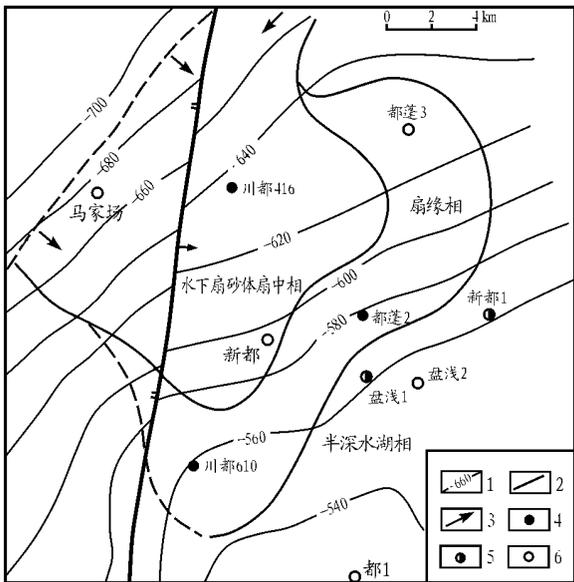


图 2 新都地区反射层与沉积相叠合图

1. 地层等值线/界; 2. 相带界线; 3. 物源方向;

4. 工业气井; 5. 低产气井; 6. 无产能井

图 2 新都地区反射层与沉积相叠合图

### 3 构造 - 成岩复合圈闭典型气藏分析

构造 - 成岩复合圈闭气藏类型实质上隶属于广义的构造 - 岩性圈闭, 为了强调建设性成岩作用对岩石储集空间的改造在川西坳陷碎屑岩致密领域中

形成天然气富集的一种特殊形式——储渗体而将之独立出来。它是在古今背斜、鼻状等局部构造背景控制下,于厚度较大的稳定沉积相带砂体中形成的成岩圈闭。其形成的主要机理是油气运移作用造成孔隙水介质的变化,在流体迁移过程中发生一系列水岩相互作用,次生孔隙带成为储渗空间,沉淀胶结致密带形成圈闭<sup>[5]</sup>。因此成岩后生作用的差异是控制该类气藏形成和分布的主控因素,其气藏边界形状不规则,勘探开发及预测难度均较大。该圈闭类型气藏地压分带于压力过渡带中,纵向主要分布于中深层上沙溪庙组,平面上主要以新场气田为例。

新场地区上沙溪庙组在地史中曾经过巨大埋深和强烈构造挤压作用,储层普遍致密化,平均孔隙度 < 12%,平均渗透率  $(0.08 \sim 0.20) \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ ,孔渗相关性很差,相关系数一般小于 0.5。在这种致密低渗透储层背景下,如何寻找气藏的中高产富集区,认识其天然气富集规律,将上沙溪庙组气藏蕴含的丰富天然气储量变成可供工业性开采的产能,是勘探开发中的一道高难度课题。通过气藏描述揭示出,上沙溪庙组致密厚大的砂岩并非“铁板”一块。在致密低渗透背景下,砂岩内部的非均质性极强,尤其表现在渗透性上的差异极大,这种渗透性能的好坏直接决定了气井产能的高低。孔隙度在稠气气藏中已不像在稠油气藏中是决定气藏产能的最直接因素。上沙溪庙组气藏实质上是由砂层内部分布着的许多独立成岩改造储渗体组合而成,这些储渗体由低渗透致密砂岩或泥岩构成三度空间上的封隔。虽然鼻状隆起向西往孝泉方向开启,但由于沉积-成岩相变形成封堵,气藏保存完好。此外,气藏的有效含气面积并未受制于鼻状构造的最大圈闭线,充分显示了有利沉积成岩相带对气藏的控制作用。因此,该气藏的形成具有 3 要点:1) 适时古穹窿构造形成圈闭背景;2) 成岩作用在此基础上将原型层状气藏改造为不同类型的储渗体(图 3);3) 后期构造的调整作用未能改变古圈闭的总体形态,为鼻状构造背景下古构造-成岩复合圈闭气藏类型。

由此本类型主要为早期构造圈闭经成岩作用改造而成,过去多单称为成岩圈闭。这里从控制成岩作用的机制上考虑,以早期构造为线索,以利区域预测外推。其主要特征是:1) 主要沿燕山中晚期的隆起带轴部分布;2) 由比较完整的古背斜构造奠基;3) 主力气层顶面以上地层厚度较附近明显减薄;4) 气层顶底面一般具致密化栲壳;5) 储层孔隙主要为次生溶蚀孔隙;6) 储渗体为油气的基本储集单元,其分布有序,群体组合形态与早期构造范围相似, I, II

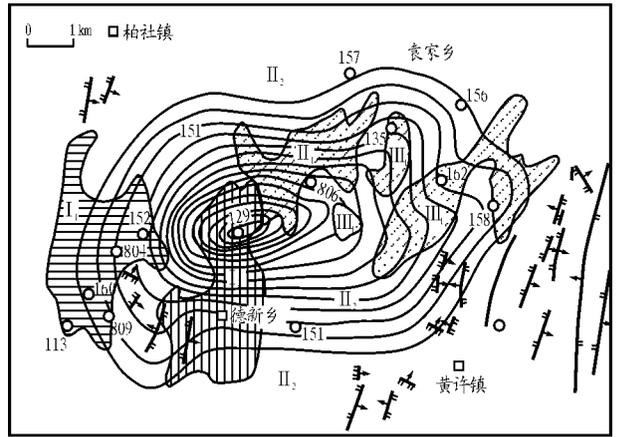


图 3 新场气田上沙溪庙组气藏储渗体与古构造关系图  
I. I 类储渗体; II. II 类储渗体

类优良储集体多与早期构造的高部位相关;7) 层位上以 嫩、狍一 幌具为主。

#### 4 构造 - 裂缝圈闭典型气藏分析

这里所称的构造是一个复合概念,它既指现今构造,也包含了用现今地球物理技术不能直接识别的古构造。

合兴场、新场气田须家河组二段气藏描述表明,合兴场构造地处川西坳陷中段绵竹-盐亭中部隆起带上,属合兴场-石泉场南北向构造带的北段。合兴场气田须二气藏在南北向展布的长轴背斜构造和厚层辫状河道沉积控制的基础上,古构造对须二气藏油气的聚集也起着关键性的作用。从合兴场地区中侏罗世末须二段顶面构造图(图 4)可知,当时合兴场构造呈现由北向南隆坳相间的构造格局,工业气井都处于燕山期的古斜坡和低幅度圈闭上,而非工业气井则处于两列北东向隆起之间的坳陷部位,是最不利的天然气聚集区。另外裂缝的发育对改善致密储层的储产能起了重大作用,后期构造运动再作调整,产生的大量断裂和裂缝有助于改善储层的渗透性,解放被“冻结”的致密气。因此,须二气藏圈闭主要是以聚集期构造为主线,后期构造叠加、断裂裂缝系统等协同配置的(古)构造-裂缝复合圈闭。其中微裂缝主要是对储能作贡献,而高角度有效缝(即晚期构造运动形成的,以及与东西向扭断层构造形成的高角度缝)则是控制天然气能否产出和高产的主要因素。

新场气田须二气藏构造上是由一系列右行斜列分布且各自独立的次级背斜所组成的。主要圈闭类

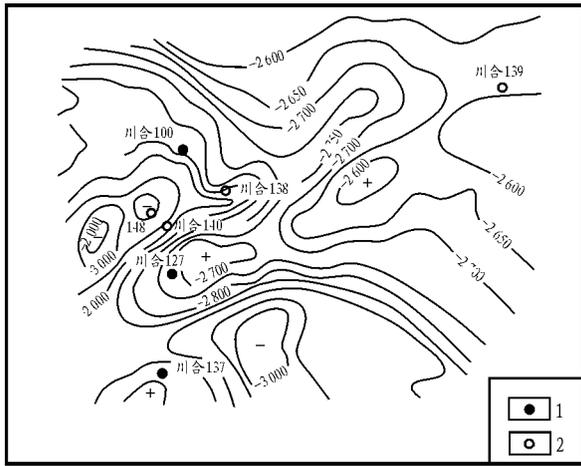


图4 合兴场气田犏犏顶面构造图

1. 工业气井; 2. 非工业气井

特征 4 物性 5 在 6 须 7 二 8 段 9 的 10 犏 犏 顶 面 11 的 12 构造 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40 41 42 43 44 45 46 47 48 49 50 51 52 53 54 55 56 57 58 59 60 61 62 63 64 65 66 67 68 69 70 71 72 73 74 75 76 77 78 79 80 81 82 83 84 85 86 87 88 89 90 91 92 93 94 95 96 97 98 99 100

型为(古)构造-裂缝圈闭。此类型主要由聚集期古构造圈闭经成岩作用改造而成,聚集期古构造形成的烃类圈闭,油气层亦逐渐向油气储渗体转化,在有大量裂缝和微裂缝时,使致密砂岩储层得以改造,形成(古)构造-裂缝型圈闭。随着勘探目的层的埋藏深度继续增加,裂缝储集层的油气藏将增多,但当储层埋深达到和超过临界压实压力的深度时,储层砂岩的储容性将明显受裂缝所控制。

构造-裂缝型圈闭的特征是:1)古今构造叠合带是其主要分布区;2)层位以须二段为主,部分地区亦包括须五段;3)处在压剖面的相对平衡带上,埋深一般在4 200 米以下;4)构造线相交部位、构造转弯的外侧、断裂及其末稍等地方经常可形成高产;5)储层为碎屑裂缝型(孔隙-裂缝型)或裂缝-孔隙型,裂缝以水平或低角度的流体压裂缝为背景,叠加后期高角度裂缝,两者交织构成网状渗储体系;6)孔隙度与渗透率之间已无明确相关关系;7)裂缝既是渗透通道,也是储集空间,虽然目前统计的裂缝孔隙度多不超过0.4%,但其重要性是明显的,据老关庙构造的关6井须二段在井深4 115~4 118 米处岩心研究,水平-低角度的流体压裂缝密集,平均1 米就存在1条水平裂缝<sup>[6]</sup>;8)储层径向渗透率比单向渗透率高1~2个数量级;9)砂岩储层发育,单层厚度较大,分布较稳定,发育有物性相对较好的砂岩储层,并具有很

好的区域盖层;10)生、储、盖组合及生、排烃高峰期与构造圈闭的形成配置好。圈闭形成时间早,印支期和燕山早期构造运动形成的古构造圈闭是成藏的关键要素。

## 5 结论

1)以“圈闭成因”为分类的首要依据,以气藏地质结构中“致密化程度”和“压力状况”为亚类划分标准,提出了适合川西坳陷致密碎屑岩天然气藏的分类标准和划分方案,划分出构造-岩性型、构造-成岩型和构造-裂缝型3大类、5个亚类气藏类型。

2)构造-岩性型作为有利的储集相带控制了气藏分布,正向构造带和有利储集相带的不同叠置配合方式,制约着气藏的具体形状和组合,为川西地区埋深最浅、唯一近常规的储集层。

3)构造-成岩型主要沿燕山中晚期的隆起带轴部分布,由比较完整的古背斜构造奠基,主力气层顶面以上地层厚度较附近明显减薄,气层顶底面一般具致密化栉壳,储层孔隙主要为次生溶蚀孔隙,储渗体为油气的基本储集单元。层位上以犏犏-犏犏为主。

4)构造-裂缝型是古今构造叠合带,裂缝以水平或低角度流体压裂缝为背景,叠加后期高角度裂缝,两者交织构成网状渗储体系,层位以须二段为主,印支期和燕山早期构造运动形成的古构造圈闭是成藏的关键要素。

## 参考文献:

- 1 张一伟.陆相油藏描述[辅].北京:石油工业出版社,1997
- 2 王志章,石占中.现代油藏描述技术[辅].北京:石油工业出版社,1999
- 3 李庆忠.走向精确勘探道路[辅].北京:石油工业出版社,1997
- 4 朱彤,叶军,王胜.川西坳陷新场气田成藏环境的划分及识别标志[J].石油实验地质,2001,23(2):174~177
- 5 叶军,朱彤,赵泽江.川西新场气田上沙溪庙组(犏犏)气藏储集体特征及形成机理研究[J].石油实验地质,1998,20(4):332~339
- 6 戴鸿鸣.川西北异常高压区须家河组砂岩孔隙演化特征[J].天然气工业,1992,12(1):16~20

(下转第546页)

