

文章编号: 1009-3850(2001)02-0057-07

川西新场气田上沙溪庙组储层渗透性的地质影响因素

吕正祥¹, 卿 淳²,

(1. 成都理工学院, 四川 成都 610059; 2. 西南石油局 川西天然气开发公司, 四川 成都 610081)

摘要: 川西新场气田中侏罗统上沙溪庙组气藏储层渗透率具强烈的非均质性, 储层孔隙结构差异是导致这种非均质性的最直接因素。孔隙结构差异的主要地质成因一是砂岩碎屑组分和结构控制原生孔隙的发育程度; 二是自生绿泥石衬垫的抗压实作用有效保护了原始孔隙喉道; 三是在原生孔隙较为发育基础上的溶蚀作用有利于储层渗透性的进一步提高。此外, 不同沉积环境中形成的各种层理构造同样对储层渗透性有一定影响。

关键词: 川西; 气藏; 储层; 渗透性

中图分类号: TE122.2

文献标识码: A

Geological factors affecting reservoir permeability of the Upper Shaximiao Formation in the Xinchang gas field, western Sichuan

LU Zheng-xiang¹, QING Chun²

(1. Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, Sichuan, China; 2. Western Sichuan Gas Development Corporation, Southwest China Bureau of Petroleum, Chengdu 610081, Sichuan, China)

Abstract: The reservoir permeability of the Upper Shaximiao Formation of Middle Jurassic in the Xinchang gas field, western Sichuan is highly heterogeneous and controlled directly by reservoir pore structures. The main geological factors giving rise to

the differences of pore structures are generalized as follows. (1) The compositions and structures and textures of the sandstones determined the development of original pore spaces. (2) The anti-compression of the authigenic chlorite cement effectively protected primary intergranular pore spaces and early solution pore spaces. (3) The dissolution facilitates the enhancement of reservoir permeability. In addition, a variety of bedding structures formed in different environments has also exerted an effective influence on reservoir permeability.

Key words: western Sichuan; gas pool; reservoir; permeability

新场气田中侏罗统上沙溪庙组气藏是川西孝泉-新场-合兴场特大型气田的主要供给层位。气藏中主要储层由自上而下的JS₂¹~JS₂⁴四套主要砂体组成,气藏主要分布在下部,埋深2000多米;砂岩分布广且含气普遍,含气非均质性较强。储层的储集质量尤其是最能影响储层产能大小的渗透率具明显的非均质性,这种非均质性使得各砂体或同一砂体的不同区域含气丰度相差巨大:纵向上以JS₂²和JS₂⁴砂体的含气性最好,单井平均产能最高,JS₂¹和JS₂³的含气性较差,自然条件下多数井未达工业产能;平面上各砂体含气性也相差巨大。只有认识了影响这种非均质性的地质因素,才能建立起与之相匹配的渗透率预测模型,进而提高勘探的开发效率。

1 储层物性的总体特征

据新场气田上沙溪庙组JS₂¹~JS₂⁴的1400多个岩心物性数据的统计结果,储层基质孔隙度在1.08%~17.07%之间变化,平均为9.6%,其中大于8%样品占75%;渗透率区间值为(0.018~3.02)×10⁻³μm²,平均为0.177×10⁻³μm²,其中渗透率大于0.1×10⁻³μm²样品占总样品的65%,绝大多数样品的地层渗透率小于0.1×10⁻³μm²。按美国能源部储层划分标准^[1],属致密储层。

上沙溪庙组JS₂¹~JS₂⁴各层中平均孔隙度最小的为JS₂¹,为9.05%,最大的JS₂²达10.64%,两者相差1.6%;平均渗透率以JS₂³最小,为0.131×10⁻³μm²,最大的JS₂⁴层为0.279×10⁻³μm²,两者相差较大,达50%(表1)。

表1 JS₂¹~JS₂⁴各层物性分布表

Table 1 Physical properties of JS₂¹—JS₂⁴ sandstone bodies in the Upper Shaximiao Formation

物性砂层		JS ₂ ¹	JS ₂ ²	JS ₂ ³	JS ₂ ⁴
φ/%	最小	1.66	3.87	1.08	1.87
	最大	14.7	15.87	15.43	17.07
	平均	9.05	10.64	9.44	9.89
K/10 ⁻³ μm	最小	0.028	0.033	0.018	0.022
	最大	0.844	0.47	0.511	3.02
	平均	0.15	0.175	0.131	0.279
样品数		385	194	497	329

各层平均孔隙度相差不大,但各孔隙度区间分布差异明显:JS₂²和JS₄⁴砂层中孔隙度大于10%的占50%~63%;JS₁¹和JS₃³中大于10%占41%~45%。各层渗透率分布特征更为明显地表现出了各层渗流条件差异较大,其中JS₁¹和JS₃³的渗透性最差,渗透率小于 $0.2 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 储层分别占82%和85%,JS₂²和JS₄⁴中分别占34%和40%,后者主要为相对大喉道渗透性较好。上沙溪庙组储层中孔渗相关关系较差,相关系数仅有0.614,反映出储层孔隙结构较为复杂。

2 储层的微观特征

2.1 岩石学特征

根据主要储层典型样品的矿物组分点计法定量统计以及大量岩石薄片鉴定结果表明,上沙溪庙组砂岩主要为长石岩屑砂岩和岩屑长石砂岩。其中石英(Q)占总碎屑颗粒组成的34%~62%,长石(F)占17.5%~38%,岩屑(R)占14%~38%,平均组分为Q_{48.1}F_{26.5}R_{25.4},杂基为伊利石-绿泥石质,含量为0.3%~20%之间。各套储层岩石组分存在一定的差别。

JS₁¹层 该层为以细中粒为主的长石岩屑砂岩,平均组成为Q_{47.1}F_{23.6}R_{29.3},长石蚀变为高岭土和伊利石,溶蚀常见;岩屑以沉积岩和火山岩岩屑为主;胶结物主要有自生绿泥石、自生石英和方解石,自生高岭石和浊沸石次之,自生绿泥石含量高,除以较厚的孔隙衬垫出现外,还有大量孔隙充填状。JS₁¹中局部发育两种薄层钙质砂岩,其方解石含量超过20%。一种是泥晶方解石作为砂岩的基质,另一种是连晶方解石呈基底(孔隙式)式胶结,此类钙质薄层与同生期(沉积环境)的水介质性质有关^[4],形成致密层或成为开发中的隔层。

JS₂²层 该层为中细粒长石岩屑砂岩,平均组分与JS₁¹层相似,为Q_{45.8}F_{24.2}R_{30.0},岩屑大多为沉积岩屑,而且云母、绿泥石碎片含量为5%~12.5%;胶结物有自生绿泥石、自生石英和方解石,自生高岭石少见。同样存在钙质薄层。

JS₃³层 该层为中细粒岩屑长石砂岩,砂岩的粒度较JS₁¹层细,平均杂基含量在各层中最高。砂岩碎屑矿物组成Q_{48.8}F_{29.1}R_{22.1},其中长石含量多于岩屑,一般占碎屑组分的25%~36%,岩屑14%~29%,包括沉积岩岩屑和火山岩岩屑,以前者为主,云母、绿泥石碎片含量高,占碎屑组分的3.4%~9.9%。胶结物包括自生绿泥石、自生石英和方解石等,孔隙充填绿泥石较多。

JS₄⁴层 该层为细中粒岩屑长石砂岩,平均组分为Q_{50.6}F_{29.1}R_{20.31},平均长石含量与JS₃³层相近,但石英含量高于其它各主要砂层,刚性颗粒(石英+长石)总量达到碎屑组分的80%。岩屑以沉积岩岩屑为主。胶结物有自生绿泥石、自生石英和方解石,自生高岭石极为少见,以自生绿泥石孔隙衬垫为主,且衬边较薄。

2.2 储集空间及组合

1. 储集空间类型

上沙溪庙组砂岩的储集空间为孔隙,部分层段可见有层间隙或少量其它裂隙。次生溶蚀孔隙包括了粒间溶孔和粒内溶孔两类。

充填剩余粒间孔隙 该孔隙是原生粒间孔隙经受了机械压实、石英再生长、自生绿泥石衬垫以及其它胶结物的充填作用之后剩余的粒间孔隙,常为角孔。

粒间溶孔 溶孔大部分是在充填剩余粒间孔的基础上溶蚀扩大而成,具明显的溶蚀边缘,或成长粒状、特大孔等,此类孔隙的存在不仅扩大了孔隙,并使各类孔隙连通,改善储层渗透性。该类孔隙是上沙储层的主要孔隙类型。

粒内溶孔 粒内溶孔主要是长石颗粒内溶孔。在各砂层中普遍存在,有时形成铸模孔或与粒间溶孔连通形成超大孔。粒内溶孔增加了砂岩孔隙度,其对渗透率的贡献取决于它们的含量、溶蚀强度以及其与其它孔隙连通的情况。

2. 孔隙空间组合

为了进一步了解各类孔隙对不同砂层储集性的贡献以便更好地研究不同砂层渗透非均质性的实质,我们对JS₂各砂层进行了各类孔隙的定量统计(表2)。剩余粒间孔为直接测量的原生粒间孔隙加上次生溶蚀孔隙中原有的原生粒间孔隙部分;而次生溶孔的百分含量则为次生溶蚀扩大孔中溶蚀扩大部分与粒内溶孔之和。统计结果表明JS₂各砂层平均面孔率为9.42%,剩余粒间孔为3.91%,其对总面孔率的贡献为41.51%;次生溶孔为5.51%,占总面孔率的58.49%。由此可见孔隙空间组合中除了存在比例不等的充填剩余粒间孔隙外,次生溶蚀孔隙也较发育。

表 2 主要砂层孔隙类型组合特征

Table 2 Pore types of main sandstone beds in the Upper Shaximiao Formation					
砂层	储层类别	剩余原生粒间孔/ %		次生溶蚀孔/ %	
		百分含量	贡献	百分含量	贡献
JS ₁ ¹	A	4.3	37.6	7.2	62.4
	B	3.2	37.4	5.3	62.6
	C	0.94	15.6	5.1	84.4
	平 均	3.0	33.1	5.1	66.9
JS ₂ ²⁻²	A	4.0	62.2	2.4	37.8
	B	4.4	56.5	3.3	43.5
	C	2.9	28.9	7.8	71.1
	平 均	3.0	48.3	4.7	51.7
JS ₂ ³⁻²	A	4.7	46.7	5.3	53.1
	B	3.2	39.2	4.9	60.8
	C	3.3	31.5	7.1	68.5
	平 均	3.7	39.8	5.6	60.2
JS ₂ ⁴	A	5.3	43.8	6.9	56.2
	B	4.8	55.6	3.8	44.4
	C	3.7	35.5	6.3	64.5
	平 均	4.8	47.0	5.6	53.0

JS₁¹层 该层次生溶蚀孔的贡献最大,达66.9%,剩余原生粒间孔仅占33.1%,在次生孔隙中粒内溶孔占55%~80%。由于粒内溶孔的连通性不理想,而且不均匀,因此,JS₁¹层的物性特征表现为虽然孔隙度大于10%的样品占40%以上,但渗透率大于 $0.2\times 10^{-3}\mu\text{m}^2$ 的样品只占12%左右,而且孔、渗相关性最差,孔、渗相关系数是各层中最低的,为0.46。

JS₂²层 该层的次生溶蚀孔占全部孔隙的51.7%,粒间溶蚀扩大孔与粒内溶孔之比近于1,粒间溶蚀强。随着孔隙度增大渗透率增加,孔、渗相关关系达0.65。

JS₂³层 该层次生溶蚀孔隙占60.2%,剩余原生粒间孔为39.8%,孔隙类型虽与JS₁¹近

似,但次生溶蚀孔是以粒间溶蚀扩大孔为主,粒内溶孔一般仅占次生溶孔的6%~36%。因此,JS₂³层的孔、渗相关系数较JS₂¹层好,为0.69。

JS₂⁴层 该层的剩余原生粒间孔占47.0%,次生孔中以粒间溶蚀扩大孔为主(占次生孔的70%以上),无论是原生孔还是粒间溶孔的绝对含量都是各层中最高的。JS₂⁴砂层的孔、渗相关系数最高,达0.75,表现出较好的孔隙结构,砂岩的渗透性亦最好。随着孔隙度增加,渗透率增大的幅度高于其它各砂层。

3 地下裂缝渗透率对储层渗透性的影响

尽管本区 JS₂¹~JS₂⁴ 储层类型以孔隙型为主,但据岩心、薄片、测井资料等仍表现出该区部分钻井中仍有裂缝发育,且在某些井层中因裂隙发育有效地提高了储层渗透率,进而提高了储层的产气能力。

从大量取心井物性资料看,在交错层理和平行层理发育的岩性段,常具有较高渗透率。可见裂缝的发育对储层质量改善极为有利³。另从典型井的动、静态渗透率比值 $K_{动}/K_{静}$ 分布(表3)可见:相对高产气井的 $K_{动}/K_{静}$ 值远大于低产气井,其主要原因在于前者除基质渗透率外,还明显有裂缝渗透率的贡献,有效地改善了储层的渗流条件,而后者则主要为基质渗透率的贡献。本区 JS₂¹~JS₂⁴ 储层由于沉积时的环境能量变化频繁,岩石层理构造组合特征多变,由此发育的层理裂缝类型和分布极具非均质性,因而对储层渗透性也有不同程度的影响。总体上看单井产量高的储层中的层理构造发育,且以能量较强环境中形成的板状、楔状交错层理、平行层理等为主,如 C132 井;反之若层理以水平层理、沙纹层理等为主时,储层渗透性较差,如 C136 井等。

表3 典型井动、静态渗透率分布表

Table 3 Distribution of dynamic and static permeabilities for the representative wells

项 目 钻 井	产 量 (10 ⁴ m ³ /d)	砂 体	$K_{动}$ (10 ⁻³ μm ²)	$K_{静}$ (10 ⁻³ μm ²)	$K_{动}/K_{静}$
C132	1.31	JS ₂ ³⁻² , JS ₂ ⁴	0.043	0.0032	13.57
C136	0.27	JS ₂ ⁴	0.009	0.0124	0.73
C133	0.68	JS ₂ ³⁻² , JS ₂ ⁴	0.0059	0.00445	1.33

4 影响储层渗透性的主要地质因素

据储层物性、岩石学及储集空间组合特征研究表明,JS₂¹~JS₂⁴ 各储层渗透性的基本特点如下:

JS₂¹层 该层总体上渗透性较差,其中自生绿泥石总量超过8%的砂岩渗透率明显降低,在钙质层以及部分泥质杂基超过10%的砂岩中,渗透率最低,绝大部分为非储层。

JS₂²层 该层粒度普遍略细,以细砂岩为主,分选相对较差,初始孔隙度较差。孔隙类型仍以次生孔隙较多,其中粒间溶蚀扩大孔占30%,因此,平均孔隙度和平均渗透率均大于JS₂¹层。

JS₂³层 该层云母、杂基含量高,岩石压实紧密,原生粒间孔小,且储层孔隙喉道中常充填大量自生绿泥石,使渗透性大幅度降低。

JS₂⁴层 岩石中刚性颗粒多,压实中等,剩余原生粒间孔和粒间溶蚀孔均较发育,各种溶蚀孔内充填的绿泥石少于其它层位。本层中除少量方解石胶结的致密层外,是4个砂层中孔、渗性最好的层段。

此外,各套储层还可根据岩石学、储集空间类型及组合等特征进一步分为A、B、C三类,各类主要特点如下:

A类: 裂缝发育,剩余原生孔和次生溶蚀孔均较发育,孔内充填物少。

B类: 一般表现为孔隙中充填较多的片状自生绿泥石^[4],其含量与储层中火山岩屑、云母、绿泥石碎片等含量有关。

C类: 储层中泥质杂基大于10%,或方解石含量超过15%,或两者之和超过15%。

在分类基础上,各层各类别储层中的孔渗相关关系明显变好,相关系数大大提高:JS₂¹相关系数由总的0.46提高到0.68(B类),0.74(C类),0.81(A类);JS₂²层由总的0.75提高到0.83(B类),0.94(A类),0.98(C类);JS₂³层由0.69提高到0.77(B类),0.91(A、C类);JS₂⁴层则由0.75上升到0.79(A类),0.82(B类),0.93(C类)。根据各类储层的地质特征,建立起与之相匹配的测井、地震识别模型,将极大地提高这种渗透非均质性极强储层的渗透率预测水平。

综上所述,影响新场气田上沙溪庙组储层渗透性的主要地质因素有以下几方面:

(1) 孔隙类型组合特征是直接控制储层渗透性的重要因素。上沙溪庙组砂岩的孔隙类型总体上是以剩余原生粒间孔与粒间溶蚀扩大孔和粒内溶蚀孔组合为特征。由于各主要砂层的主导孔隙类型以及各类孔隙的配比差异,导致储层渗透性各异。JS₂⁴砂岩的孔隙类型中剩余原生粒间孔占47%,并在此基础上发展了较好的粒间溶蚀扩大孔隙,JS₂¹砂岩则以粒内溶蚀孔隙发育为特征,JS₂²的剩余粒间孔虽然比例较大,但孔隙度总体较小,JS₂³则以次生溶蚀孔隙为主。表现出渗透性特点为:JS₂¹和JS₂³最差,JS₂²较差,JS₂⁴最好。

(2) 砂岩碎屑组分和结构控制了原生粒间孔隙的发育。刚性组分多,易压实和易变形的岩屑成分少,分选好的细中粒砂岩初始孔隙度高,并可成为次生溶蚀孔发育的基础,使在原生粒间孔基础上形成的粒间溶蚀扩大孔发育良好,储层渗透性好。如形成JS₂⁴储层良好渗透性的原因正是如此,JS₂³则由于储层沉积时的水动力条件较弱,原始空间较小,在后期的溶蚀作用虽广泛发育,但发育程度较低。

(3) 自生绿泥石衬垫保护了剩余原生粒间孔和早期的溶蚀孔,有利于储层初始储集性的保存;孔隙内充填的束状自生绿泥石对砂岩的渗透性有较大的破坏作用。自生绿泥石含量超过8%且以孔隙充填为主时,砂岩的渗透性降低。如JS₂³层孔隙内多充填绿泥石,虽平均孔隙度可以达到9.46%,但渗透率却是4个砂层中最低的,仅为 $0.13 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。

(4) 砂岩中泥质杂基含量超过10%,方解石含量超过15%或两者含量之和超过15%的砂岩孔渗性很差,一般为非储层。形成这类储层的主要原因是相对较弱的水动力条件或相对闭塞环境,即为沉积环境。

(5) 不同环境沉积的储层因发育层理构造各异,是导致储层渗透性差异的又一地质因素。

参考文献:

[1] 罗执潭,王允诚. 油气储集层的孔隙结构[M] . 北京: 科学出版社, 1986.

[2] 刘孟慧,赵澄林. 碎屑岩成岩演化模式[M] . 北京: 石油大学出版社, 1993.

[3] 刘宝琛. 沉积岩石学[M] . 北京: 地质出版社, 1980.

[4] HILLIER S. Pore-lining chlorites in siliciclastic reservoir sandstones: electron microprobe, SEM and XRD data, and implications for their origin [J] . Clay Minerals, 1994, 29(4) : 665— 679.