

## 川西新场气田下沙溪庙组致密储层 特征及储集性影响因素

叶素娟, 吕正祥

(中国石油化工西南油气分公司勘探开发研究院,四川 成都 610081)

**【摘要】** 川西新场气田下沙溪庙组主要为三角洲、湖泊沉积,砂岩通常呈南北向条带状分布在新场地区的東西两个区域,分布范围较上沙溪庙组砂岩小,但在东部地区仍具有较大厚度(20 m~35 m)。下沙溪庙组储层平均孔隙度10.7%,平均渗透率 $0.15 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ ,属于低-中孔、特低渗非均质储层。与目前构成沙溪庙组气藏主体的上沙溪庙组砂岩比较(平均孔隙度9.4%,平均渗透率 $0.145 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ ),下沙溪庙组(特别是 $J_{s3}^1$ 储层)具有较高孔隙度、较好孔隙结构和近似的渗透率,裂缝相对不发育。储层主要为岩屑长石砂岩和长石岩屑砂岩,孔隙类型以粒间溶蚀扩大孔、剩余粒间孔和粒内溶孔为主。沉积微相是影响新场地区下沙溪庙组储层储集性的最主要因素,优质储层主要分布在分流河道(特别是河道主体部位)砂岩中。同时,储层储集性也明显受到岩石组构、成岩作用的影响。位于东、西分流河道主体部位的中粒高长石、低岩屑、低碳酸盐胶结物、低粘土矿物的砂岩具有最佳的储渗性。

**【关键词】** 新场气田;下沙溪庙组;致密砂岩;储层;影响因素

中图分类号:TE122.2+21 文献标识码:A

文章编号:1001-6872(2010)03-0096-09

### 0 引言

新场气田位于四川德阳新场地区,是一个多层气藏叠置的大型气田。目前已经明确的3个侏罗系开发层系为蓬莱镇组、沙溪庙组和千佛崖组,其中

侏罗统沙溪庙组,特别是上沙溪庙组气藏是新场气田的主力气藏之一,发现较早,研究程度相对较高。自1999年开发下沙溪庙组气藏以来共有25口井进行了测试,累计获得无阻流量 $229 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ,20口井获得工业产能,平均单井产能 $2.9 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ,累计产气 $5 \times 10^8 \text{ m}^3$ ,显示出较好的开发潜力。

收稿日期:2010-02-14; 改回日期:2010-08-25

基金项目:国家科技重大专项(2008ZX05002-004)

作者简介:叶素娟,女,41岁,讲师,石油地质专业,研究方向:储层特征及储层综合评价。E-mail:sujuan\_ye@hotmail.com

目前研究认为有利储层主要发育在水下分流河道砂岩中,其储层储集空间以原生粒间孔为主<sup>[1]</sup>。

随着新场气田下沙溪庙组气藏勘探程度的提高,现有取芯井8口(图1),测井解释井170口,研究希望根据工区内170口的井砂岩划分对比、砂岩厚度统计,结合测井、地震资料,确定砂体主要沉积微相相对砂体平面分布进行预测。同时,以岩芯样品分析数据为基础,开展下沙溪庙组储层岩石学特征、成岩作用特征、储集空间类型、物性特征等基本特征研究,并对影响储层储集性的主要地质因素进行分析总结,为有利储层预测提供依据。

## 1 区域地质背景

川西坳陷是指彰明-关口断裂以东,龙泉山前陆隆起带以西的区域(图1)。根据构造特征及展布,又可将川西坳陷细分为5个次级构造单元<sup>[2]</sup>:安县-鸭子-大邑断褶带、成都凹陷、孝泉-丰谷低缓断褶带、梓潼凹陷、知新场-石泉场断褶带(图1)。其中,孝泉-丰谷低缓构造带呈NEE向展布,为一大型的继承性隆起,新场气田即位于此隆起带的中西段(图1)。

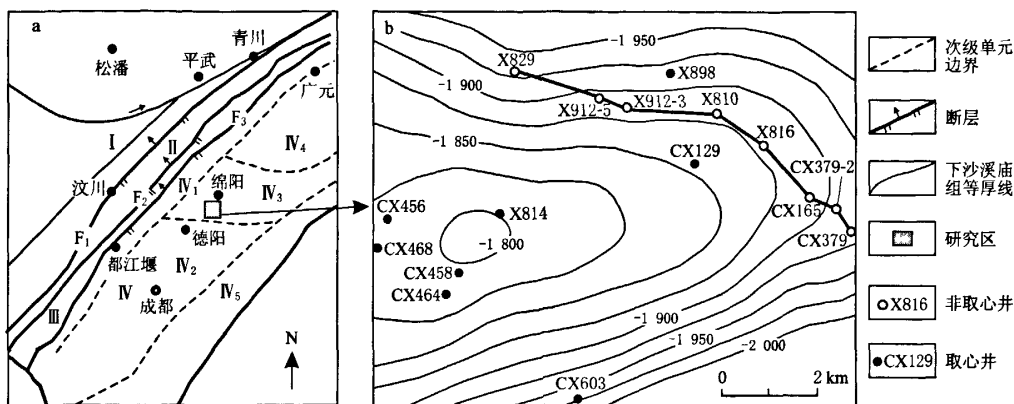


图1 川西地区构造分区图(a)(据杨长清等,2008<sup>[2]</sup>修改)及新场气田下沙溪庙组顶部构造图(b)

I. 松潘-甘孜褶皱带,构造转换带;II. 龙门山逆冲推覆构造带;III. 龙门山滑覆-推覆构造带;IV. 前陆陷;IV<sub>1</sub>. 安县-鸭子河-大邑断褶带;IV<sub>2</sub>. 成都凹陷;IV<sub>3</sub>. 孝泉-丰谷低缓断褶带;IV<sub>4</sub>. 梓潼凹陷;IV<sub>5</sub>. 知新场-石泉场断褶带;F<sub>1</sub>. 茂县-汶川断裂;F<sub>2</sub>. 北川-映秀断裂;F<sub>3</sub>. 彰明-关口断裂

Fig. 1 Simplified geological map of the western Sichuan area (a) (from Yang Changqing, 2008<sup>[2]</sup>) showing main structural elements and the location of study area and structure contour map of the top of the Lower Shaximiao Formation showing the locations of cored wells and 2-D section (b)

川西坳陷自晚三叠世进入前陆盆地阶段<sup>[7]</sup>,主要发育湖泊、三角洲、河流沉积。研究区内钻遇地层层序自上而下为:第四系(Q),白垩系(K),上侏罗统蓬莱镇组(J<sub>3p</sub>),遂宁组(J<sub>3sn</sub>),中侏罗统上沙溪庙组(J<sub>2s</sub>)和下沙溪庙组(J<sub>2x</sub>),千佛崖组(J<sub>2q</sub>),下侏罗统白田坝组(J<sub>1b</sub>)以及三叠系须家河组(T<sub>3x</sub>)。其中蓬莱镇组、沙溪庙组和须家河组为主要的含气层段。

新场气田沙溪庙组为一套700 m~800 m三角洲与滨浅湖交替的砂、泥岩互层沉积。根据沉积环境差异将沙溪庙组分为上沙溪庙组和下沙溪庙组。研究目的层下沙溪庙组埋深2 300 m~2 800 m,厚度约200 m±,主要以暗紫、暗褐紫色粉砂质泥岩为主,发育3套砂岩。

## 2 储层岩石学特征

下沙溪庙组的3套砂岩分属于3个不同的层系(图2):由上至下分别为J<sub>3s</sub><sup>1</sup>, J<sub>3s</sub><sup>2</sup>和J<sub>3s</sub><sup>3</sup>。其中,万方数据

J<sub>3s</sub><sup>1</sup>层段具最大层厚,平均厚度114 m,平均砂岩厚度15.4 m;其次是J<sub>3s</sub><sup>3</sup>层段,平均厚度75.7 m,平均砂岩厚度8.5 m;J<sub>3s</sub><sup>2</sup>层段具最小层厚(平均32.5 m)和砂岩厚度(平均5.1 m)(图3)。由于J<sub>3s</sub><sup>2</sup>层段砂岩厚度普遍较薄,储层主要分布在J<sub>3s</sub><sup>1</sup>和J<sub>3s</sub><sup>3</sup>层段。

根据8口井167块薄片分析资料统计,新场下沙溪庙组砂岩主要由细-中粒岩屑长石砂岩、长石岩屑砂岩组成,并见少量岩屑砂岩(图4,表1),其中岩屑砂岩主要见于研究区南部CX603井J<sub>3s</sub><sup>1</sup>砂岩中。J<sub>3s</sub><sup>1</sup>砂岩碎屑组成(Q<sub>54.7</sub>F<sub>24.1</sub>R<sub>21.3</sub>)与上沙溪庙组类似(表1),具有较J<sub>3s</sub><sup>3</sup>砂岩(Q<sub>60.4</sub>F<sub>15.4</sub>R<sub>24.2</sub>)低的石英含量和高的长石含量,岩屑含量差别不大。岩屑成分包括沉积岩(粉砂岩、泥岩)、变质岩(石英岩、千枚岩)以及喷出岩。相对于J<sub>3s</sub><sup>1</sup>砂岩(喷出岩岩屑:4.6%,沉积岩岩屑:4.9%),J<sub>3s</sub><sup>3</sup>砂岩具较多喷出岩岩屑(平均11.8%)和较少的沉积岩岩屑(平

均 2.9%)。砂岩分选中等—较好,磨圆度较差,以次棱角状为主。

填隙物主要为粘土矿物和碳酸盐胶结物,并见少量硅质、泥质杂基(表 1)。Js<sub>3</sub><sup>1</sup> 砂岩粘土矿物含量普遍较低(主要为 1%~4%,平均 3.7%),但在部分井(例如 CX603 井)具较高含量,粘土矿物含量 5%~10%,平均 6.7%。Js<sub>3</sub><sup>3</sup> 砂岩中粘土矿物较为常见(大部分 6%~12%,平均 8.8%)。粘土矿物以绿泥石为主,多以衬边形式产出,并见少量伊利石和高岭石。碳酸盐胶结物包括方解石和白云石,含量普遍较低(<2%),在 CX458 井和 CX468 井可达 20%以上。自生石英含量较低(<1%),以粉-细晶及次生加大形式产出,在 X814 井和 CX603 井 Js<sub>3</sub><sup>1</sup> 砂岩中含量较高(表 1)。粘土矿物与长石及自生石英间呈弱负相关,长石含量大于 20%的砂岩中粘土矿物含量普遍低于 5%。

表 1 新场气田下沙溪庙组砂岩组分统计表

Table 1 Statistics of composition of sandstones of the Shaximiao Formation in the Xinchang gas field

砂体	井号	样品数/个	石英/%	长石/%	岩屑/%	粘土矿物/%	方解石/%	硅质/%
Js <sub>3</sub> <sup>1</sup>	CX129	40	59.7	19.8	20.6	3.9	4.7	0.2
Js <sub>3</sub> <sup>1</sup>	CX603	16	70.5	3.8	25.7	6.7	3.7	1.4
Js <sub>3</sub> <sup>1</sup>	CX456	6	55.3	23.2	21.5	3.2	1.3	0.2
Js <sub>3</sub> <sup>1</sup>	CX458	4	36.5	40.5	23	2.8	8.3	0
Js <sub>3</sub> <sup>1</sup>	CX464	4	37	44.8	18.3	1.5	0.8	0
Js <sub>3</sub> <sup>1</sup>	CX468	12	42.3	33	24.8	2.8	6.8	0.9
Js <sub>3</sub> <sup>1</sup>	CX898	8	39.9	37.9	22.3	1.6	1.8	0.8
Js <sub>3</sub> <sup>1</sup>	X814	45	45.9	32.4	21.7	1.5	0.9	2.6
Js <sub>3</sub> <sup>3</sup>	CX603	32	60.4	15.4	24.2	8.8	2.3	0.8

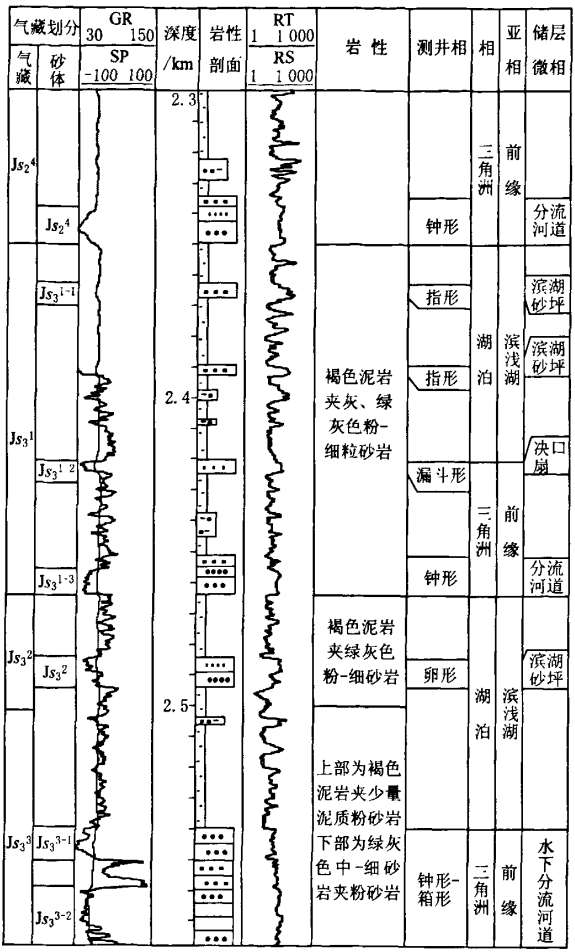


图 2 X909-3 井下沙溪庙组地层综合柱状图

Fig. 2 Stratigraphic section of the Lower Shaximiao Formation in well X909-3

3 沉积微相展布特征

新场地区在早侏罗世末期总体处于西高东低的三角洲-湖泊过渡沉积相带,物源主要来自新场北

部。该地区下沙溪庙组沉积相展布可以分为 3 个阶段(图 2):早期的三角洲前缘-三角洲环境(Js<sub>3</sub><sup>1</sup> 沉积阶段),中期的滨浅湖环境(Js<sub>3</sub><sup>2</sup> 沉积阶段)以及晚期

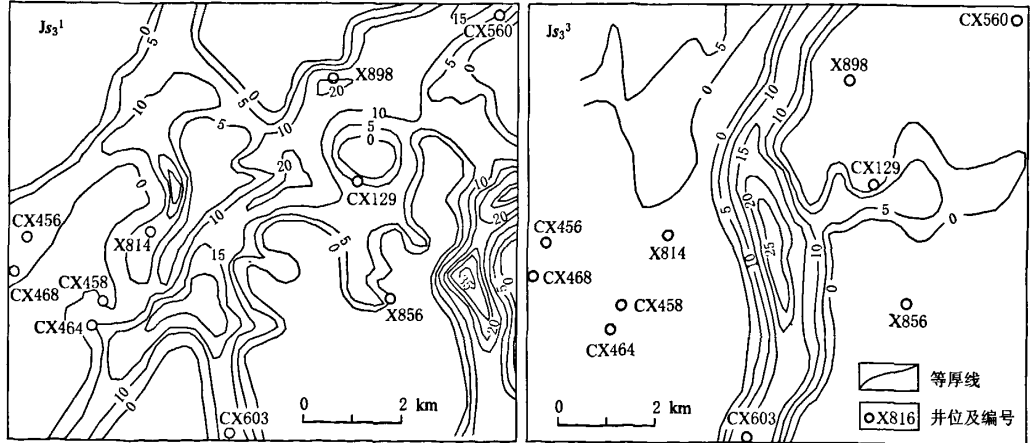


图 3 新场气田下沙溪庙组砂体厚度分布图

Fig. 3 Thickness maps of sandstones of the Lower Shaximiao Formation in the Xinchang gas field

的三角洲前缘-前三角洲环境( $J_{s3}^1$  沉积阶段)。主要沉积微相包括水下分流河道、决口扇、天然堤、水下滩坝、滨湖砂坪和滨湖泥坪<sup>[1]</sup>。分流河道砂岩,主要分布在下沙溪庙组上部( $J_{s3}^1$ )和下部( $J_{s3}^3$ ),由中-细砂岩组成。决口扇和天然堤砂岩以粉砂岩和泥质粉砂岩为主,通常与泥岩互层,泥质含量普遍高于分流河道砂岩。水下滩坝和滨湖砂坪砂岩以细砂岩和粉砂岩为主,主要发育于下沙溪庙组中部( $J_{s3}^2$ )。

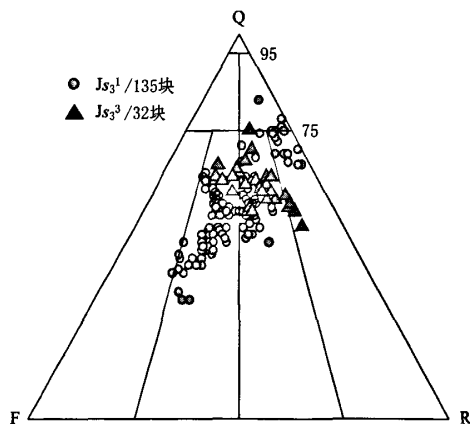


图4 新场气田下沙溪庙组砂岩碎屑组成(据 Folk, 1968<sup>[3]</sup>)

Fig. 4 Clastic composition of sandstones of the Lower Shaximiao Formation in the Xinchang gas field

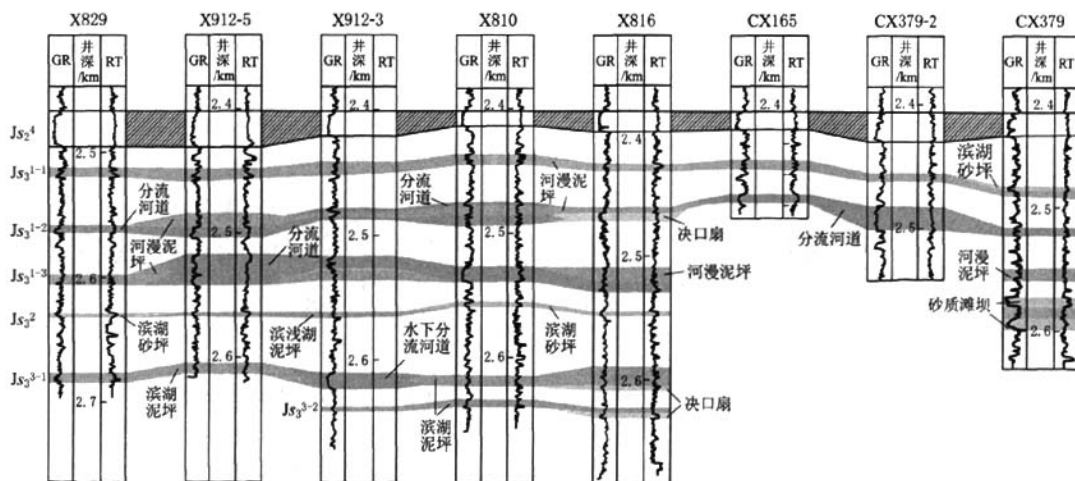


图5 新场气田下沙溪庙组砂体及沉积微相连井剖面图(剖面位置见图1)

Fig. 5 Stratigraphic cross section of the Lower Shaximiao Formation sandstones in the Xinchang gas field

为60%左右。

**粒间溶蚀扩大孔:**在粒间充填剩余孔基础上溶蚀扩大形成,主要是长石、岩屑等碎屑颗粒边缘被溶而成,在部分井段,如X814井,CX464井,CX458井较为发育,占总面孔率20%左右。

**粒内溶孔:**由长石、岩屑等颗粒遭受溶蚀形成(照片1b),在砂岩中普遍存在,部分形成铸模孔或与粒间溶孔连通形成超大孔。一般呈串珠状或蜂窝万方数据

在测井剖面沉积微相(图5)显示与砂岩发育状况(图3)及地震砂体预测成果相吻合,新场地区下沙溪庙组 $J_{s3}^1$ 和 $J_{s3}^3$ 两套砂体的沉积微相为分流河道(图6),呈南北向条带状分布。 $J_{s3}^1$ 砂岩可见东西两个分带,东部河道砂厚度较大,砂组内砂岩累厚最大可达35 m,西部河道砂宽度较大,厚度较东部薄,砂岩累厚最大约为20 m; $J_{s3}^3$ 河道砂岩主要分布在新场地区的中部,最大累厚可达25 m。尽管下沙溪庙组砂岩分布范围不及上沙溪庙组,但仍有局部发育较厚。

## 4 储层物性和孔隙结构特征

### 4.1 储集空间类型

根据131块铸体薄片和21个样品扫描电镜观察结果,下沙溪庙组储层孔隙类型以剩余粒间孔为主,并包括部分粒间溶孔、粒内溶孔、晶间微孔、粒间微缝和解理缝等。

**粒间充填剩余孔:**为原生粒间孔经历了压实、胶结作用之后剩余的粒间孔隙,常呈被绿泥石衬垫包围的角状孔(照片1a),可见于CX456井,CX468井,CX603井,X814井等井段中,对面孔率的贡献

状,粒内溶孔连通性较差,在较大孔内偶见生长的自形小石英颗粒,可见于CX468井,X898井,CX603井等井段中,对面孔率的贡献约为20%。

**晶间微孔:**主要形成于粘土矿物(绿泥石、伊利石、高岭石)晶体间,主要见于粘土矿物含量较高的CX603井和CX129井砂岩中,对总孔隙的贡献很小。

**粒间微缝和解理缝:**通常较为细小,宽度一般<

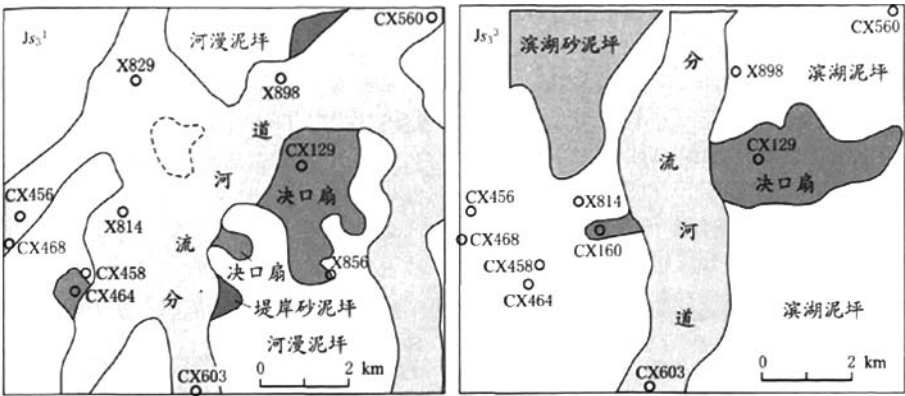
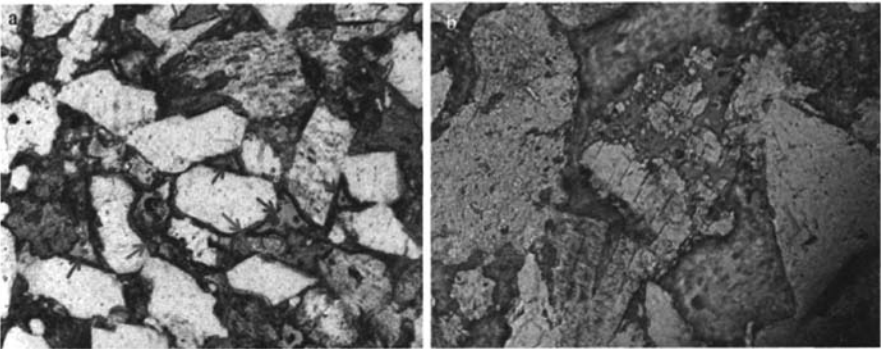


图 6 新场气田下沙溪庙组沉积微相分布图  
Fig. 6 Distribution of micro-sedimentary facies of the Lower Shaximiao Formation in the Xinchang gas field



照片 1 下沙溪庙组孔隙类型显微特征  
a. 剩余粒间孔隙呈三角形,绿泥石环边胶结,CX603 井,2 625.2 m,照片宽 1.2 mm,J<sub>2</sub>x; b. 长石溶蚀形成粒内溶孔,CX603 井,2 729.66 m,照片宽 1.2 mm,J<sub>2</sub>x

Photo 1 Photomicrographs of the Lower Shaximiao Formation sandstones for pore structure

10 mm,延伸短,大小与基质孔喉近似,仅见于 X814 井和 X898 井少量样品中。

4.2 孔隙度、渗透率

根据 505 个砂岩物性资料统计结果(表 2),下沙溪庙沙储层孔隙度在 7%~14% 之间,平均 10.7%,50% 的样品孔隙度大于 11%;渗透率为  $0.04 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2 \sim 0.5 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ ,平均  $0.146 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ ,50% 样品渗透率小于  $0.1 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ ,渗透率大于  $1 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$  的样品仅占样品总数 5%。根据石油与天然气行业标准 SY/T6285-1997,研究区下沙溪庙组储层属于中—低孔、低—特低渗储层,J<sub>S3</sub><sup>1</sup> 物性条件好于 J<sub>S3</sub><sup>3</sup>(表 2)。与目前构成沙溪庙组气藏主体的上沙溪庙组砂岩比较,下沙溪庙组亦具有较高孔隙度和近似的渗透率的砂体存在,裂缝相对不发育。

4.3 储层非均质性

利用渗透率变异系数、突进系数、级差以及综合系数<sup>[4]</sup>等参数对新场地区下沙溪庙组储层非均质性进行分析,结果表明 J<sub>S3</sub><sup>1</sup> 和 J<sub>S3</sub><sup>3</sup>

储层的层内非均质性均较强。J<sub>S3</sub><sup>1</sup> 储层渗透率变异系数为 0.59~2.40,突进系数为 2.48~15.54,级差为 8.08~1 090.8,综合系数为 13.58~40 677。根据储层非均质性评价标准<sup>[9]</sup>,J<sub>S3</sub><sup>1</sup> 储层总体表现出中等-强非均质性。相对而言,CX464 井和 CX603 井 J<sub>S3</sub><sup>1</sup> 储层的非均质程度较弱。J<sub>S3</sub><sup>3</sup> 储层渗透率变异系数为 1.09,突进系数为 4.72,级差为 42.39,综合系数为 219,表现出强非均质性。

4.4 孔隙结构特征

新场气田下沙溪庙组储层的常规物性特征表明

表 2 新场地区沙溪庙组砂岩物性数据统计表  
Table 2 Statistics of physical data of sandstones of the Lower Shaximiao Formation in the Xinchang gas field

项目	孔隙度/%				渗透率/ $10^{-3} \mu\text{m}^2$			
	J <sub>S3</sub> <sup>1</sup>	J <sub>S3</sub> <sup>4</sup>	J <sub>S3</sub>	J <sub>S1+2</sub>	J <sub>S3</sub> <sup>1</sup>	J <sub>S3</sub> <sup>3</sup>	J <sub>S3</sub>	J <sub>S1+2</sub>
样品数	431	74	505	897	408	74	482	840
最小值	2.59	4.89	2.59	0.77	0.005	0.023	0.005	0.005
最大值	17.61	13.66	17.61	22.05	5.454	0.975	5.454	297.87
算术平均值	10.99	8.99	10.68	9.4	0.317	0.206	0.3	0.73
几何平均值					0.155	0.127	0.146	0.145
中值	11.88	8.81	10.92	9.8	0.15	0.099	0.133	0.14
标准偏差	3.89	2.31	3.76	3.37	0.49	0.226	0.458	10.5

储层属于中-低孔、特低渗类型。烃类在致密储层中的侵位和被获取能力均较常规储层差,需要针对储层的孔隙结构特征(包括孔喉大小、分布等)进行研究,来深入了解储层的渗滤特征。

表 3 储层非均质性统计表  
Table 3 Summary of reservoir heterogeneity data

井号	砂体	变异系数	突进系数	级差	综合系数
CX129	J <sub>s3</sub> <sup>1</sup>	1.42	9.94	54.91	775
CX456	J <sub>s3</sub> <sup>1</sup>	0.84	3.43	43.4	124.53
CX458	J <sub>s3</sub> <sup>1</sup>	0.68	2.48	52.44	88.77
CX464	J <sub>s3</sub> <sup>1</sup>	0.59	2.61	12.4	18.99
CX468	J <sub>s3</sub> <sup>1</sup>	0.74	3.63	15.14	40.9
X814	J <sub>s3</sub> <sup>1</sup>	0.73	3.73	66.95	183.35
X898	J <sub>s3</sub> <sup>1</sup>	2.4	15.54	1 090.8	40 677
CX603	J <sub>s3</sub> <sup>1</sup>	0.61	2.76	8.08	13.58
	J <sub>s3</sub> <sup>3</sup>	1.09	4.72	42.39	219

通常将 1 mm 孔喉大小作为区分常规储层与致密碎屑岩储层的界线<sup>[5]</sup>。沙溪庙组储层孔隙结构特征参数(表 4)显示沙溪庙组砂岩孔喉半径普遍小于 0.1 mm,对应致密储层。与 J<sub>s3</sub><sup>3</sup> 储层相比,J<sub>s3</sub><sup>1</sup> 砂岩具较低中值压力和较大中值半径,表现出较好的孔隙结构(表 4)。

下沙溪庙组砂岩孔喉半径均小于 0.5 mm,绝大部分样品孔喉半径小于 0.1 mm,储层孔喉分选系数普遍大于 2.5,样品中值压力一般大于 20 MPa。总体上,下沙溪庙组储层具有微孔喉、差

孔喉分选、低渗透的特征。

孔隙度、渗透率与孔喉半径之间具较好的相关性,与孔喉分选系数相关性较差(图 7)。总的来说,孔隙度、渗透率能够基本反映储层孔隙结构的好坏。同时,孔隙度、渗透率与中值半径、中值压力间较好的相关关系表明样品中裂缝不发育。物性与分选系数之间较差的相关性证明储层中存在多种储集空间类型组合。J<sub>s3</sub><sup>1</sup> 中岩屑砂岩及细粒砂岩孔隙主要为剩余粒间孔和少量粒间溶孔,孔喉分选较好;J<sub>s3</sub><sup>1</sup> 长石岩屑砂岩和岩屑长石砂岩中主要的孔隙类型为粒间溶蚀扩大孔、粒内溶孔和剩余粒间孔,孔喉分选较差;砂岩岩石学特征(表 1)显示 J<sub>s3</sub><sup>3</sup> 砂岩具较高粘土矿物含量,孔隙类型包括粘土矿物晶间微孔、粒间剩余孔和粒间溶蚀孔,孔喉分布具低幅双峰特征,孔喉分选较差。

表 4 新场气田下沙溪庙组砂岩孔隙结构参数表  
Table 4 Parameters of pore textures for sandstones of the Lower Shaximiao Formation in the Xinchang gas field

层位(样品数/个)	项目	孔隙度/%	渗透率/ 10 <sup>-3</sup> μm <sup>2</sup>	中值压力/ MPa	中值半径/ μm	分选系数	歪度	变异系数
J <sub>s3</sub> <sup>1</sup> (73)	最小值	2.93	0.012	2.027	0.014 2	0.505	-1.31	0.039
	最大值	16.63	2.211	52.99	0.370 1	3.606	1.42	0.343
	平均值	11.06	0.128	15.96	0.047	2.309	0.299	0.21
J <sub>s3</sub> <sup>3</sup> (25)	最小值	4.89	0.044	11.71	0.013 3	1.896	-0.855	0.14
	最大值	13.66	0.975	56.57	0.064	3.815	1.598	0.378
	平均值	9.28	0.114	35.15	0.021 3	2.822	1.32	0.253

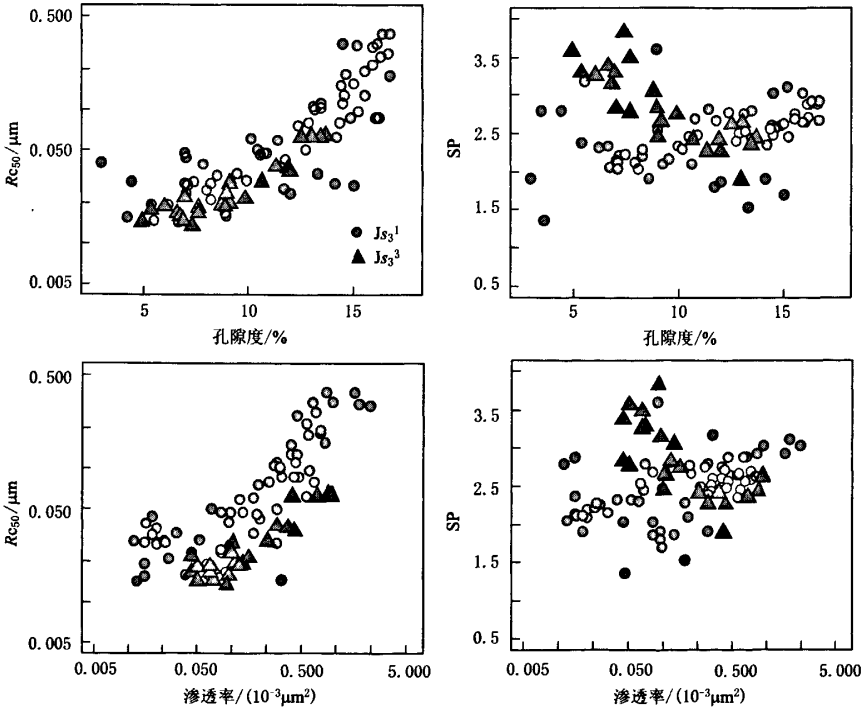


图 7 孔隙度、渗透率与孔隙结构参数关系图

Fig. 7 Scatter plots showing that porosity, permeability positive correlations with Rc<sub>50</sub> and poor correlations with SP

## 5 影响储集性的主要地质因素

综上所述新场地区下沙溪庙组砂岩具有较强的非均质性,既有储渗性较好的砂岩储层,又存在大量的非储层砂岩,因此,有必要对影响砂岩储集性的主要地质因素开展研究,从而对有利储层分布进行预测。

### 5.1 沉积作用

**5.1.1 沉积微相** 下沙溪庙组储层物性与沉积微相密切相关(图8)。储层主要分布在分流河道砂岩中,砂质滩坝次之,滨湖砂坪、决口扇砂岩储集条件较差,其中分流河道砂岩中有近70%样品孔隙度大于10%(图8)。分流河道环境水动力条件相对较强,砂岩分选好,泥质含量低,储层具较好的初始储集条件。同时,碳酸盐胶结物含量也与沉积环境关系密切,水下分流河道主体部位含量低,边部、决口扇砂岩中含量高。因此,结合测井相、地震相准确预测有利储层微相,包括 $J_{s3}^1$ 和 $J_{s3}^3$ 水下分流河道以及 $J_{s3}^2$ 砂质滩坝的展布规律对储层预测至关重要。

**5.1.2 砂岩组分和结构** 砂岩碎屑组分与孔隙度关系密切。砂岩孔隙度与岩屑含量呈负相关(图9),与长石含量呈正相关。长石一方面作为刚性颗粒,具有较高抗压实能力,有利于原生粒间孔隙的保存;另一方面长石相对不稳定,易发生溶蚀而产生次生孔隙。尽管石英具有一定的支撑岩石骨架和抵抗压实的能力,但是由于长石含量与石英含量间呈明显负相关,高含量石英意味着低含量的长石,而长石

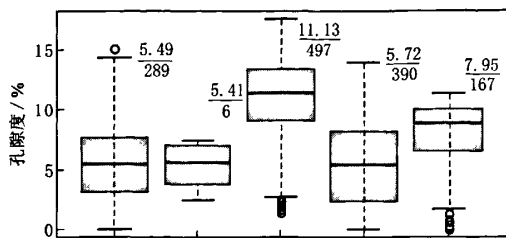


图8 新场地区下沙溪庙组砂岩沉积微相与孔隙度关系图

a. 滨湖砂坪; b. 堤岸砂坪; c. 分流河道; d. 决口扇; e. 砂质滩坝  
Fig. 8 Relationship between micro-sedimentary facies and porosity of the Lower Shaximiao Formation in the Xinchang gas field

对砂岩孔隙度的影响要大于石英。CX129井 $J_{s3}^1$ 砂岩和CX603井 $J_{s3}^3$ 砂岩具有较低的长石含量(图2,表1),导致砂岩孔隙度相对较低,平均孔隙度分别为5.7%和8.9%。

岩石粒度可以影响初始孔隙的发育程度,对储层储集性具有明显的控制作用。新场地区下沙溪庙组砂岩粒度与孔隙度的关系(图10)表明钙质含量低中粒砂岩具最佳储集性,孔隙度主要为9%~13%,平均11.5%。粗粒砂岩次之,平均孔隙度10.7%,平均渗透率 $1.93 \times 10^{-3} \text{ mm}^2$ ,但数量较少。含钙细粒砂岩和粉砂岩的孔隙度较低,平均孔隙度分别为4.6%和3.6%,难以构成有效储层。少量细粒砂岩和含钙中粒砂岩可以形成差储层。

### 5.2 成岩作用

**5.2.1 压实作用** 新场地区下沙溪庙组砂岩中自

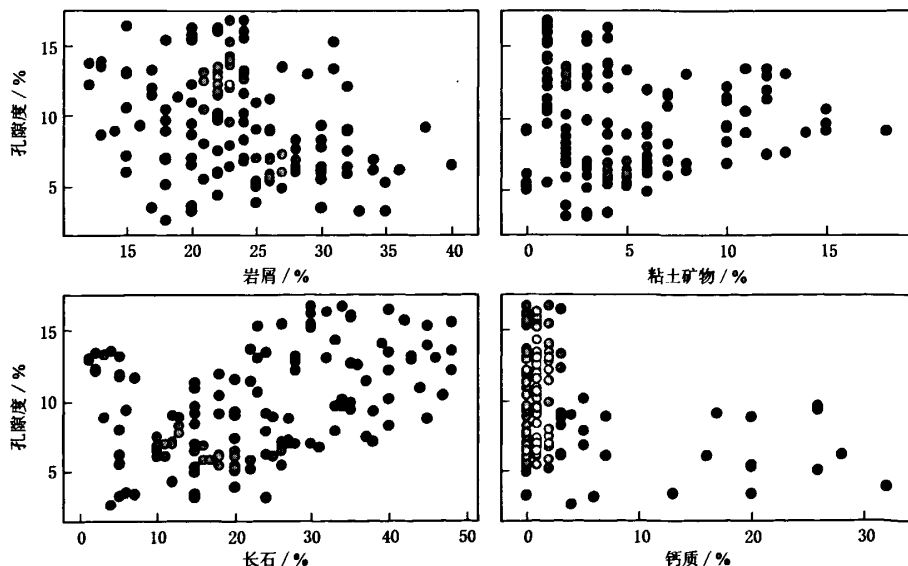


图9 下沙溪庙组砂岩孔隙度与岩石组分关系

Fig. 9 Relationship between rock composition and porosity of the sandstone of Lower Shaximiao Formation in the Xinchang gas field

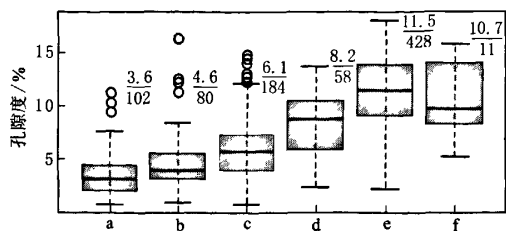


图10 下沙溪庙组砂岩孔隙度与粒度关系图

a. 粉砂岩、泥岩; b. 含钙细粒砂岩; c. 细粒砂岩; d. 含钙中粒砂岩; e. 中粒砂岩; f. 粗粒砂岩

Fig. 10 Relationship between grain size and porosity of the sandstone of Lower Shaximiao Formation

生矿物含量普遍较低,  $J_{s3}^1$  和  $J_{s3}^3$  砂岩自生矿物含量平均为 8.1% 和 11.9%。假设初始孔隙度为 40%,  $J_{s3}^1$  和  $J_{s3}^3$  砂岩现今孔隙度平均为 11% 和 9%, 根据 Lundegard 公式<sup>[6]</sup> 计算压实作用造成的孔隙度损失分别可达 25% 和 24%, 占原始孔隙度的 63% 和 60%。因此, 压实作用是造成新场下沙溪庙组砂岩孔隙度降低的最主要因素。

**5.2.2 胶结作用** 下沙溪庙组砂岩中主要的自生矿物包括粘土矿物和碳酸盐胶结物, 并见少量硅质。粘土矿物对原生孔隙具有双重作用。一方面, 粘土矿物抗压实能力较低以及对孔隙的充填, 导致砂岩原生孔隙减少; 另一方面, 大量研究表明以衬垫形式产出的绿泥石可以抑制自生石英的形成<sup>[7]</sup> 以及化学压实作用(石英颗粒间压溶)的进行<sup>[8]</sup>, 对原生孔隙的保护起到积极作用。新场下沙溪庙组砂岩孔隙度与粘土矿物含量关系图(图 9)显示以孔隙度为 10% 为界线, 粘土矿物含量呈现中间高两边低的形状。当孔隙度小于 10% 时, 孔隙度随着粘土矿物含量的增加而增加, 粘土矿物中早期形成的自生绿泥石衬边可以有效地保存孔隙(照片 1a); 而当孔隙度大于 10% 时, 砂岩储集性随着粘土矿物含量的增加变差。具最佳储集性砂岩长石含量普遍大于 20% (图 9), 而这些高长石砂岩中粘土矿物含量一般均低于 5%。大孔隙度砂岩富含长石, 一方面具有较高抗压实能力, 另一方面长石溶蚀可以形成大量溶蚀孔隙, 且溶蚀产生的粘土矿物没有就地充填。此外, 下沙溪庙组砂岩主要由长石岩屑砂岩和岩屑长石砂岩组成(图 4), 石英含量较低, 因此对可以抑制自生石英形成和压溶作用发生的绿泥石衬垫依赖较小。总体上, 粘土矿物对新场地区下沙溪庙组储层的影响是消极的。

碳酸盐胶结物以及自生石英含量普遍较低, 少量含量较高者对孔隙具有明显的破坏作用, 孔隙度大于 10% 的砂岩中碳酸盐胶结物含量普遍小于 5% (图 9)。碳酸盐胶结物含量与沉积环境密切相关,

位于水下分流河道主体部位的 X814 井和 X898 井中砂岩碳酸盐胶结物含量较低, 而位于河道边部、决口扇的 CX468 井和 CX458 井中砂岩钙质含量则较高(表 1)。

**5.2.3 溶蚀作用** 新场地区下沙溪庙组优质储层中均见溶蚀孔隙的贡献。溶蚀作用主要决定于 3 个方面: 首先, 储层原生孔隙发育及区域渗透性较好, 有利于溶蚀流体进入。第二, 砂岩中易溶组分(如长石, 喷出岩岩屑)含量较高, 有利于溶蚀作用的发生。 $J_{s3}^1$  中岩屑砂岩具较低长石含量(平均 3.8%)和较高的石英含量(平均 71%), 尽管砂岩中原生孔隙保存较好, 但是由于长石含量较低, 导致溶蚀强度较弱, 孔隙以剩余粒间孔为主, 砂岩孔隙结构及渗透性均相对较差。第三, 位于主要溶蚀期古构造高部位。沙溪庙组砂岩溶蚀作用发生所需的酸性流体主要来自下伏须五段有机质成熟产生的有机酸。根据研究区陆相地层埋藏史-热史曲线, 须五段在  $J_3p$  中期开始成熟,  $J_3p$  晚期达到高峰。因此,  $J_3p$  晚期下沙溪庙组古构造对溶蚀强度具有一定的控制作用。

## 6 结 论

**6.1** 川西新场气田下沙溪庙组主要为三角洲、湖泊沉积, 砂岩分布范围相对较上沙溪庙组砂岩小, 通常呈南北向条带状分布, 中部砂岩厚度较大。

**6.2** 下沙溪庙组储层属于低一中孔、特低渗类型, 具有较强非均质性。与上沙溪庙组砂岩比较, 下沙溪庙组(特别是  $J_{s3}^1$  储层)具有较高孔隙度、较好孔隙结构和近似的渗透率, 裂缝相对不发育。 $J_{s3}^3$  储层具有与  $J_{s3}^1$  储层不同的岩石组成, 储集性和孔隙结构均较差。

**6.3** 总体上, 下沙溪庙组储层孔隙类型以粒间溶蚀扩大孔、剩余粒间孔和粒内溶孔为主, 不同组分砂岩具有不同的孔隙组合类型。岩屑砂岩以剩余粒间孔为主, 岩屑长石砂岩、长石岩屑砂岩中发育较多粒间溶蚀扩大孔, 粘土矿物含量较高的  $J_{s3}^3$  砂岩中见较多晶间微孔。

**6.4** 沉积微相是影响新场地区下沙溪庙组储层储集性的最主要因素。水下分流河道(特别是分流河道主体部位)砂岩形成于较强水动力环境, 砂岩粒度较粗, 杂基含量较少, 具较好初始物性条件。

**6.5** 下沙溪庙组储层孔隙度与岩石组构关系密切。中粒低岩屑、高长石的岩屑长石砂岩抗压实能力较强, 易溶组分含量高, 有利于原生孔隙的保存和次生孔隙的形成, 具有最佳的储渗性。



6.6 下沙溪庙组砂岩经历的主要成岩作用包括压实作用、胶结作用和溶蚀作用。压实作用是造成砂岩孔隙度降低的最主要因素,较高结构成熟度以及刚性颗粒含量对原生孔隙保存有利。粘土矿物中自生绿泥石对原生孔隙的保存具有一定的积极作用,

总体上具最佳储集性砂岩中粘土矿物含量一般低于5%。碳酸盐胶结物以及自生石英对孔隙具有明显的破坏作用。长石等易溶组分的溶蚀可以改善储层储渗性, $J_3p$ 晚期下沙溪庙组古构造高部位有利于溶蚀作用的进行。

## 参考文献

- [1] 吕正祥,卿 淳,曾小英. 川西新场气田下沙溪庙组气藏预测评价研究[J]. 石油实验地质, 2001, 23(4): 400-402.
- [2] 杨长清,刘树根,曹 波,等. 龙门山造山带与川西前陆盆地耦合关系及其对油气成藏的控制[J]. 成都理工大学学报(自然科学版), 2008, 35(4): 471-476.
- [3] Folk R L. Petrology of sedimentary rocks[M]. Austin, Hemphill, 1968.
- [4] 单敬福,纪友亮,张海玲,等. 大庆油田葡萄花油层组储层非均质性[J]. 地质调查与研究, 2006, 29(2): 136-144.
- [5] Nelson, Philip H. Pore-throat sizes in sandstones, tight sandstones, and shales[J]. AAPG Bulletin, 2009, 93(3): 329-340.
- [6] Lundegard P D. Sandstone porosity loss, a "big picture" view of the importance of compaction[J]. Journal of Sedimentary Research, 1992, 62(2): 250-260.
- [7] Berger A S Gier, Krois P. Porosity-preserving chlorite cements in shallow-marine volcanoclastic sandstones: Evidence from Cretaceous sandstones of the Sawan gas field, Pakistan [J]. AAPG Bulletin, 2009, 93: 595-615.
- [8] Worden R H, Morad S. Clay minerals in sandstones: controls on formation, distribution and evolution[A]. Clay Mineral Cements in Sandstones[C]. Oxford: Blackwell Science, 2003, 1-41.

# RESERVOIR CHARACTERIZATION AND FACTORS INFLUENCING RESERVOIR CHARACTERISTICS OF THE LOWER SHAXIMIAO FORMATION IN XINCHANG GAS FIELD, WESTERN SICHUAN, CHINA

YE Su-juan, LU Zheng-xiang

(Exploration and Production Research Institute, Sinopec Southwest, Chengdu 610081, China)

**Abstract:** In contrast to the laterally continuous blanket-like reservoirs in the Upper Shaximiao Formation ( $J_{s1+2}$ ), the Lower Shaximiao ( $J_{s3}$ ) lacustrine-delta ribbon sandstones with the thickness of 20 m~35 m in the Xinchang gas field exhibit limited lateral continuity and were deposited with dominant paleo-currents from north to south. The Lower Shaximiao reservoirs are characterized by low-medium porosity (av. 10.7%), very low permeability (av. 0.15 mD), and strong heterogeneity with reservoir characteristics better than the upper Shaximiao sandstones and with less developed fractures. Reservoirs are composed of lithic arkoses and feldspathic litharenites, and the dominant types of porosity include secondary porosity (intergranular and intragranular), and primary intergranular porosity. Micro-facies played a critical role in the formation of the Lower Shaximiao sandstone reservoirs and high-quality reservoirs are mainly found in channel sandstones (especially in the main body of the channel). The diagenesis and the occurrence of micro-fractures also make great impact on reservoir quality. Medium-grained fluvial channel sandstones with high feldspar content, low lithoclast, carbonate cement, and clay content are of highest porosity and permeability.

**Key words:** Xinchang gas field; Lower Shaximiao Formation; tight reservoir; reservoir quality; influencing factors

ISSN 1001-6872(2010)03-0096-09; CODEN: KUYAE2

**Synopsis of the first author:** Ye Sujuan, female, 41 years old, a lecture of petroleum. Now she is engaged in the research of interests include reservoir characterization and visualization of geophysical data.