

文章编号: 0253-9985(2011)01-0124-09

川东南地区须家河组低阻气层成因机制

蒋裕强¹, 张 春¹, 谭 勇², 郭红光¹, 徐后伟¹, 季春海¹

(1 西南石油大学 资源与环境学院, 四川 成都 610500)

2 中国石油 西南油气田公司 重庆气矿, 重庆 400021)

摘要: 川东南地区上三叠统须家河组含气层普遍具有低阻特征, 成因类型复杂多样, 气、水关系复杂, 识别难度大。利用岩心分析化验、录井、测井、构造及试油等资料, 结合低阻气层测井响应特征, 从宏观和微观方面入手, 对该区低阻气层成因机制进行系统深入剖析。研究表明, 造成该区低阻气层的主控因素为: ①低幅度构造背景下发育低孔、低渗泥质砂岩储层; ②孔隙结构复杂, 高束缚水饱和度, 高地层水矿化度; ③低能沉积环境下储层颗粒细, 泥质含量较高, 粘土矿物附加导电性及局部导电矿物富集。储层物性与电阻率呈一定负相关关系。

关键词: 孔隙结构; 低幅构造; 成因机制; 低阻气层; 沉积环境; 须家河组; 川东南地区

中图分类号: TE122.1 **文献标识码:** A

Genetic pattern of low-resistivity gas reservoirs in the Xujiahe Formation, southeastern Sichuan Province

Jiang Yuqiang¹, Zhang Chun¹, Tan Yong², Guo Hongguang¹, Xu Houwei¹ and Ji Chunhai¹

(1 College of Resources and Environment, Southwest Petroleum University, Chengdu, Sichuan 610500, China)

2 PetroChina Southwest Oil & Gas Company, Chongqing 400021, China)

Abstract Gas reservoirs in the Upper Triassic Xujiahe Formation, southwestern Sichuan Province are characterized by low resistivity, complex genetic types and complex gas-water relationships, which make them hard to identify. Using data from core analysis, logging, structures, testing and logging responses, we thoroughly examine genetic pattern of low resistivity gas reservoirs in the study area from macro- and micro-views. According to this study, main controlling factors responsible for the development of these low resistivity gas reservoirs are: 1) muddy sandstone reservoirs with low porosity and permeability developing in the context of low-amplitude structures; 2) complex pore configurations, high water saturation, and high formation water salinity; 3) low-energy sedimentary environment resulting in fine particles in reservoirs, high mud content, some clay minerals with conductivity and enrichment of conductive minerals in certain areas. Reservoir quality has a negative correlation with resistivity.

Key words pore configuration, low-amplitude structure, genetic pattern, low-resistivity gas reservoir, sedimentary environment, Xujiahe Formation, southeastern Sichuan Province

川东南地区广义上包括由华蓥山断裂及齐跃山断裂所围限的四川盆地东缘高陡构造带及南缘中低缓构造带, 狭义上指川东南低缓构造

区。本文主要研究区为川东南中低缓构造区, 该区上三叠统须家河组主要发育三角洲前缘亚相河口砂坝、水下分流河道及三角洲平原亚相辫状

河道砂体。有效储集层段为须家河组四段、六段, 岩性以灰白色中- 细粒岩屑砂岩、长石岩屑砂岩为主, 分选为好- 中等, 呈棱角- 次棱角状。储层具低孔 (一般为 0. 53% ~ 13. 80%, 平均为 4. 86%)、低渗 [一般为 (0. 001 3 ~ 5. 26) × 10⁻³ μm², 平均为 0. 36 × 10⁻³ μm²], 非均质性极强的特征, 储层类型主要为裂缝- 孔隙型储层。气层中普遍存在低电阻率特征, 气水层的识别难度大。为此, 有必要弄清该区低阻气层的形成机理, 为正确评价和识别气水层提供有力的依据。目前, 针对该区低阻气层的成因机制尚未开展系统深入的研究工作。笔者根据大量的岩心分析化验资料, 从宏观和微观两方面入手, 在分析低阻气层测井响应特征的基础上, 深刻剖析了低阻气层形成的内因和外因, 揭示了造成低阻气层的主控因素。

1 低阻气层特征

低阻油气层一般定义为: 在同一油水系统内油气层与纯水层的电阻率之比小于 2, 即油气层的电阻增大率小于 2 的油气层^[1]; 也可理解为低电阻率油气层^[2]。由于该区复杂的地质特征, 引起测井电阻率变化大, 普遍存在低电阻率气层 (图 1)。气层电阻率一般为 15~ 65 Ω· m, 其特征与常规油气层没有明显的对应关系, 受诸多因素影响, 其分布既有一定的规律可循, 又有其随机性。

2 低阻成因

通过岩心分析、录井、试油及构造等资料, 结合川东南地区上三叠统须家河组低阻气层的测井响

应特征分析, 低阻气层成因大致分两类: 一是内因, 即储层自身因素, 如高束缚水饱和度、气水分异差、气水层矿化度差异作用、粘土矿物的附加导电性、泥质含量、粒度、少量导电矿物作用及孔隙结构等; 二是外因, 诸如钻井液侵入、砂泥岩薄互层等。

2.1 低阻内因

2.1.1 高束缚水饱和度

所谓束缚水是指, 在一定生产压差条件下储层孔隙中不可流动的水^[1]。一般情况下, 束缚水由位于岩石颗粒表面的被吸附的薄膜滞水和位于毛管孔隙中的毛管滞水两部分组成。赛尔和 W. V. 安琪哈尔特指出, 任何颗粒有吸附地层水的能力。在泥质砂岩储层中, 一方面, 低阻油气层普遍亲水, 岩石颗粒表面形成薄的水膜, 导致束缚水含量较高; 另一方面, 复杂的孔隙结构使得孔喉半径小, 弯曲度大, 毛细管排驱压力加大, 成藏过程中岩石滞留地层水能力强, 毛细管中残留的地层水增多, 导致束缚水饱和度高, 从而引起储层电阻率大幅降低^[3-4]。

岩心分析含水饱和度资料统计含水饱和度一般为 50% ~ 70%, 平均为 55% (表 1), 为典型的高含水饱和度亲水性储层。压汞分析结果表明, 该区须家河组储层毛细管压力曲线具有排驱压力高、中值压力高、中值半径小、退汞效率低等特征 (表 2)。另据气水两相渗流实验结果, 当含水饱和度小于 55% 时, 水的相对渗透率很小, 气的相对渗透率较大 (图 2)。试油结果证实, 当含气饱和度大于 45% 时, 以产气为主。此外, 核磁共振分析表明, 该区低阻气层的平均束缚水饱和度为 39. 36%。

表 1 川东南地区部分井上三叠统须家河组四段储层物性统计
Table 1 Statistics of reservoir quality parameters in the 4th member of the Upper Triassic Xujiahe Formation, southeastern Sichuan Province

井号	孔隙度, %			含水饱和度, %		
	区间	平均值	样品数 /个	区间	平均值	样品数 /个
DQ1	1. 16~ 12. 39	5. 98	65	38~ 68	53	65
D001- 1	1. 16~ 12. 39	5. 98	187	48~ 73	55	187
D001- 2	1. 68~ 12. 86	6. 37	209	45~ 81	57	209

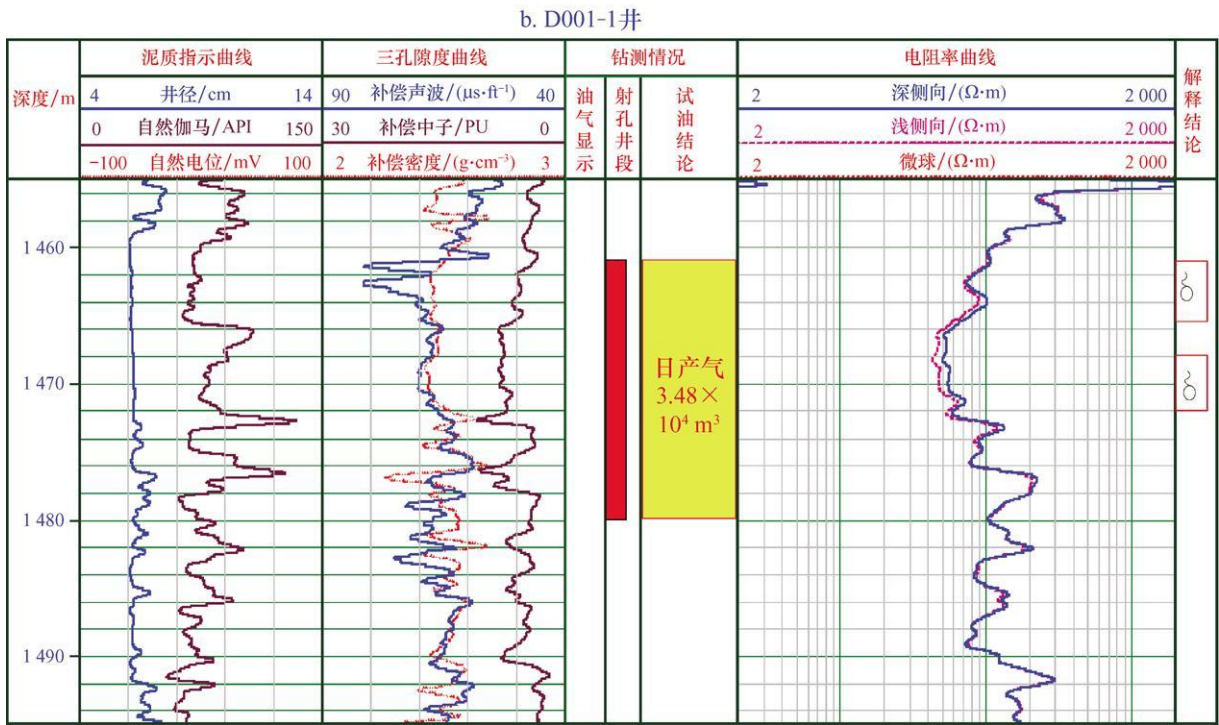
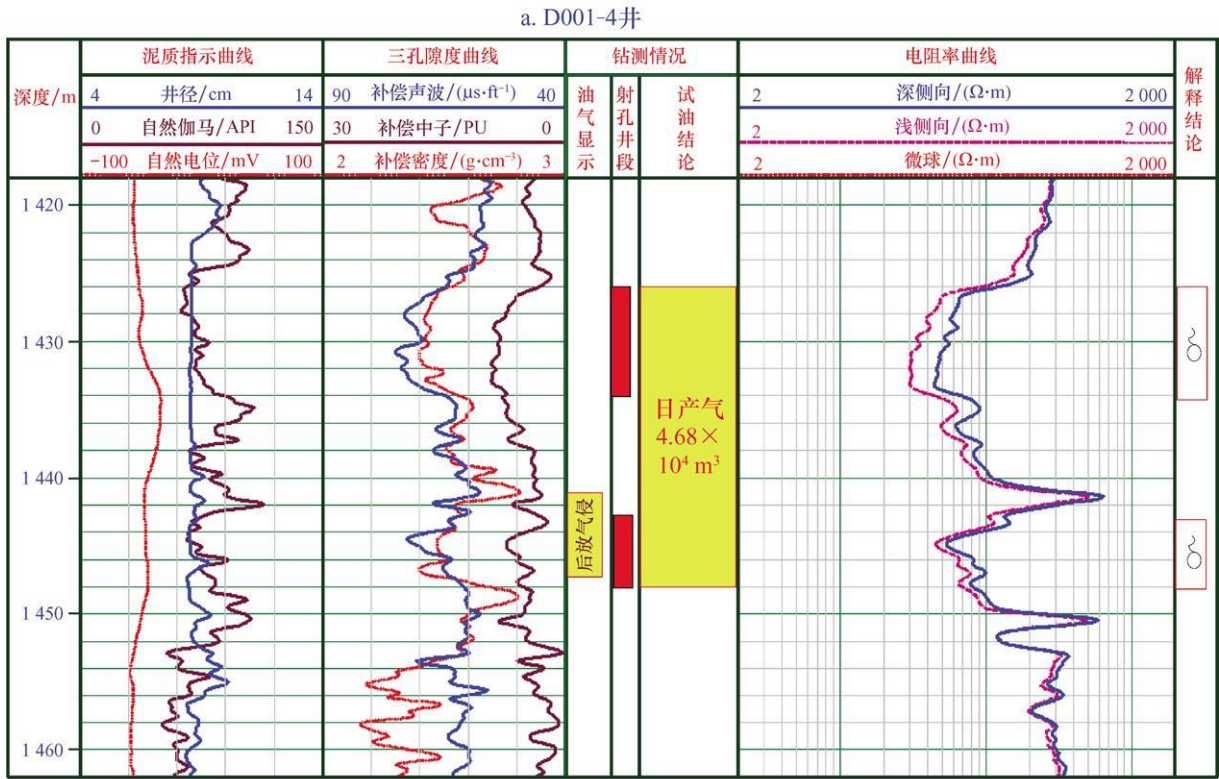


图 1 川东南地区上三叠统须家河组低阻气层测井响应特征

Fig. 1 Logging response characteristics of low-resistivity gas reservoirs in the Upper Triassic Xujiahe Formation, southeastern Sichuan Province

表 2 川东南地区上三叠统须家河组储层压汞参数统计

Table 2 Statistics of parameters of from mercury-injection analysis in the Upper Triassic Xujiahe Formation, southeastern Sichuan Province

压汞参数	孔隙度, %	渗透率 / ($10^{-3} \mu\text{m}^2$)	排驱压力 / MPa	中值压力 / MPa	分选系数	变异系数	最大孔喉 半径 / μm	中值孔喉 半径 / μm	最大进汞 饱和度, %
最小值	0.331 2	0.001 2	0.280 4	1.952 5	1.759 0	0.144 7	0.406 7	0.008 2	59.626 5
最大值	15.261 3	5.620 0	3.810 0	59.110 7	4.432 5	0.588 6	2.621 2	0.376 4	95.566 7
平均值	4.860 3	0.362 0	1.021 0	12.952 5	2.378 0	0.223 6	1.290 0	0.191 4	80.700 9

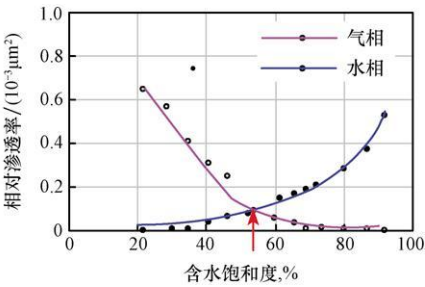


图 2 川东南地区上三叠统须家河组典型气、水相对渗透率曲线

Fig 2 Curves of gas/water relative permeability in the Upper Triassic Xujiahe Formation, southeastern Sichuan Province

由此可见, 该区普遍发育高束缚水饱和度储层, 它是形成川东南地区须家河组低阻气层的最主要因素。

2. 1. 2 气、水分异差与天然气富集程度不够

对于一个完整的油气藏, 由于流体密度差异与不同孔隙结构岩石的作用导致油气水在同一油气藏中所承受的纵向驱替力不同, 即存在油气水分异作用^[1]。在低幅度圈闭中形成的油气藏, 储层中具有较宽的油水过渡带, 造成含水饱和度偏高^[5]。此外, 由于毛管压力作用, 油柱向上运移并驱替水时, 所排出的水量取决于油水性质和岩石孔隙结构。油气层距自由水平面越高, 相应的含油饱和度就越高, 其电阻率也必然越高。反之, 电阻率就越低。

该区须家河组储集层砂体单层厚度小, 横向连续性差, 单砂体多呈孤立透镜状; 气藏具有闭合面积小、构造幅度低的特征。根据三维地震资料解释成果, 闭合面积一般为 10~50 km², 个别可达 100~200 km², 圈闭的闭合高度一般小于 60 m。圈闭类型以构造-岩性复合型圈闭为主。气藏剖面对比图表明 (图 3): 一方面, 随埋深的增加, 其含气饱和度有增大的趋势; 另一方面, 砂体连续性差, 缺乏流畅的天然气运移通道, 使得天然气充满程度不高。因此, 该区低幅度构造背景下发育孤立透镜状单砂体

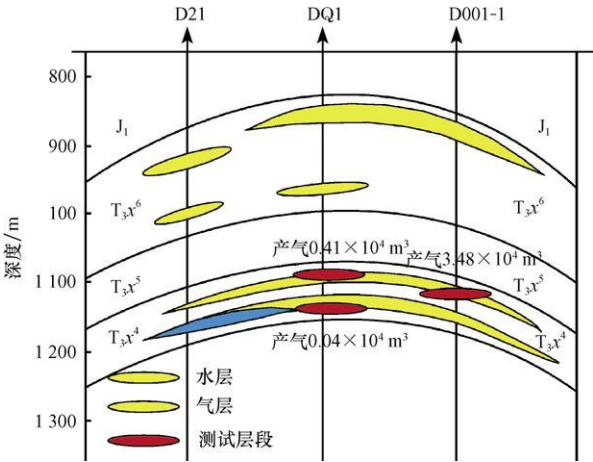


图 3 川东南地区 D21—DQ1—D001—1 井区上三叠统须家河组气藏剖面示意图

Fig 3 Gas pool profile in D21-L1-D1 well field in the Upper Triassic Xujiahe Formation, southeastern Sichuan Province

成为电阻率降低的又一主要原因之一。

2. 1. 3 高地层水矿化度

高地层水矿化度是油气层电阻率降低的一个重要因素。地层水矿化度越高, 地层中导电离子增多, 导电能力增强, 同时高矿化度的地层水在大量连通的微孔隙中形成了密布的导电网络, 使油气层电阻率明显降低。同时也将减少泥质附加导电性的影响^[1]。

统计川东南地区须家河组的水样分析资料表明, 地层水矿化度一般为 10.52~200.36 g/L, 平均为 67.85 g/L, 水型以 CaCl₂ 为主。利用水样分析资料计算地层水电阻率为 0.004~0.065 Ω·m, 平均为 0.035 Ω·m。

由该区须家河组 36 口井的地层水矿化度与电阻率关系可知 (图 4), 地层水矿化度越高, 对应的储层电阻率越低, 地层越老, 电阻率有进一步下降的趋势。因此, 高地层水矿化度是形成该区须家河组低阻气层的主要因素之一。

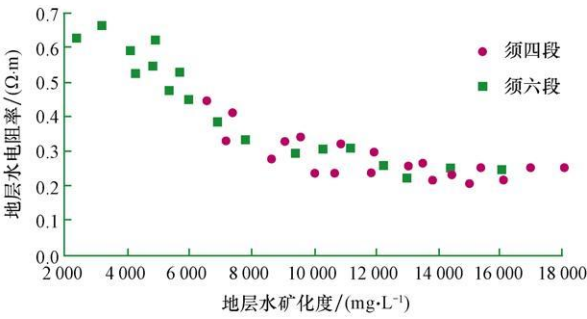


图 4 川东南地区上三叠统须家河组地层水矿化度与地层水电阻率交会图

Fig 4 Cross plot of formation water resistivity and formation water salinity in the Upper Triassic Xujiache Formation, southeastem Sichuan Province

2. 1. 4 气、水矿化度差异

当油气层与水层中地层水矿化度基本一致时,在储层岩性、物性也基本一致的前提下,必然是油气层电阻率高,水层电阻率低^[6]。由于储层沉积、成藏过程中或成藏后地层水的活动,往往导致油气层与水层中的地层水矿化度出现较大的差异,由此造成难于准确识别油气层。

而川东南地区须家河组地层水类型以 CaCl_2 为主,地层水矿化度高,对气水层地层水矿化度的统计分析表明,地层水矿化度差别不大。另比较气、水层的自然电位与电阻率的变化,二者自然电位差别甚微。因此,由气水层地层水矿化度微小差异造成的低阻,在该区可以忽略。

2. 1. 5 物性与孔隙结构

根据铸体薄片、压汞资料分析表明,川东南地区须家河组储层具低孔、低渗—特低渗的特点,局部发育相对中孔渗(孔隙度一般为 12%,渗透率为

$1.5 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$) 储层,喉道类型以片状微喉为主(图 5a b),偶见微裂缝。

从储层物性与电阻率相关分析可以看出(图 6),储层物性越好,电阻率越低,且随着深度的增加,气层电阻率有进一步下降的趋势。统计了该区关键井不同含气层段的物性与电阻率数据,比较同一口井相同层位不同井段和同一层位不同井段的物性参数和电阻率的关系(表 3),孔隙度变化量一般为 0.72% ~ 3.20%,平均为 2.18%,对应的电阻率变化量一般为 - 8.30 ~ - 36.03 $\Omega \cdot \text{m}$,平均为 - 15.36 $\Omega \cdot \text{m}$ 。研究分析知,在渗透性层段,当孔隙度变化量大于 2% 时,对应的储层电阻率变化明显,其变化量一般大于 10 $\Omega \cdot \text{m}$,变化率大于 30%。究其原因,该区储集空间以残余粒间孔和次生溶孔为主,喉道细,孔喉分选较差,岩石表面粗糙,毛管压力大,油气对水的驱替不彻底,大量的小孔隙和微孔隙被地层水占据,残留大量地层水,而随着储层物性的增加,储集空间增加,导致残留地层水增加,进而造成储层电阻率进一步下降。这也印证了该区高产井往往既产气又产水这一情况。此外,由于裂缝发育,在钻井过程中泥浆滤液迅速侵入裂缝,驱替了裂缝中的油气,从而使产层的电阻率进一步下降。

2. 1. 6 粘土矿物的附加导电性

由于粘土矿物自身带有电荷,具有阳离子交换吸附的特性,因此,所有粘土都具有一定的附加导电能力,不同的粘土导电能力差异很大,粘土的阳离子交换容量越大,则附加导电能力越强。常见的粘土矿物类型有高岭石、蒙脱石、伊利石、绿泥石和伊蒙混层等,蒙脱石广泛发育晶格类质同象替代现象,其阳离子交换能力最强,受其影响而

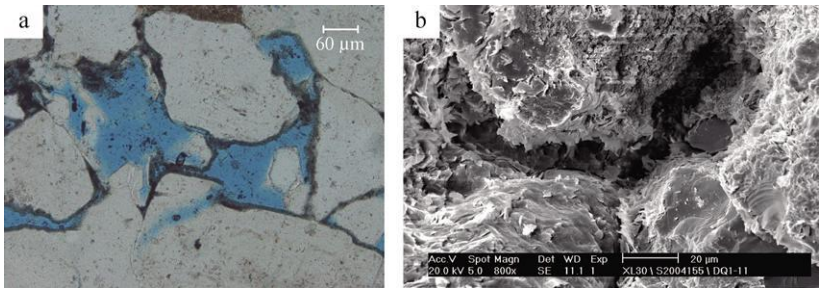


图 5 川东南地区上三叠统须家河组中粒岩屑砂岩中的片状喉道

Fig. 5 Flaky throats in medium-grain clastic sandstones in the Upper Triassic Xujiache Formation, southeastem Sichuan Province
a D001-1 井, 须四段, 1 569. 15 m, 铸体薄片中的片状喉道; b. DQ1 井, 须四段, 1 574. 60 m, 扫描电镜

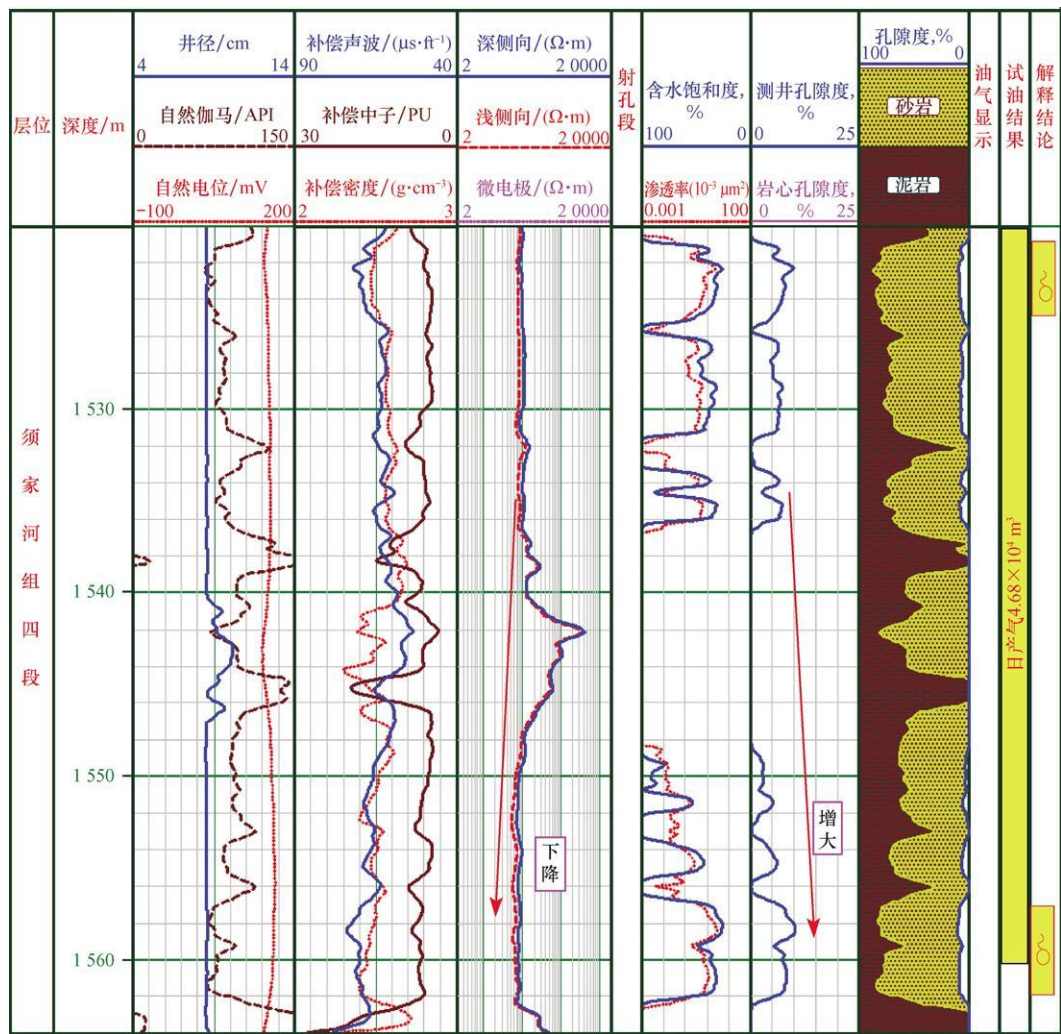


图 6 川东南地区 D001- 4井上三叠统须家河组四段随物性变化的低阻气层

Fig. 6 Low resistivity gas reservoirs changing over physical properties in D001- 4 well in the 4th member of the Upper Triassic Xujiahe Formation, southeastern Sichuan Province

表 3 川东南地区上三叠统须家河组孔隙度与储层电阻率的关系

Table 3 Relationship between porosity and resistivity of reservoirs in the Upper Triassic Xujiahe Formation, southeastern Sichuan Province

井号	层位	序号	平均孔隙度, %			平均电阻率 /(Ω·m)			试气结论
			A _i	B _j	变化量	A _i	B _j	变化量	
D21	须六	1	6.10	7.76	1.66	55.69	37.52	-18.17	气层
D001-3	须四	2	6.40	9.88	3.48	32.36	11.00	-21.36	气层
DQ1	须四	3	7.77	9.77	2.00	68.60	32.57	-36.03	含气层
		4	7.68	8.40	0.72	58.53	50.23	-8.30	气层
D001-4	须四	5	9.72	11.80	2.06	45.25	55.30	10.05	气层
		6	6.88	8.20	1.32	82.00	62.00	-20.00	气层

注: A_i和 B_j分别代表不同含气层段。

形成的附加导电性也最大, 而高岭石矿物构造内没有类质同象替代现象, 其阳离子交换能力最弱, 受其影响而形成的附加导电性也最小。它们之间的阳离子交换能力大小关系为: 蒙脱石 > 伊利石、

绿泥石 > 高岭石^[7-16]。
根据 X 衍射分析资料, 统计分析该区须家河组粘土矿物平均绝对含量为 2.15%, 主要类型为绿泥石和伊利石 (图 7a, b), 二者相对含量平均值

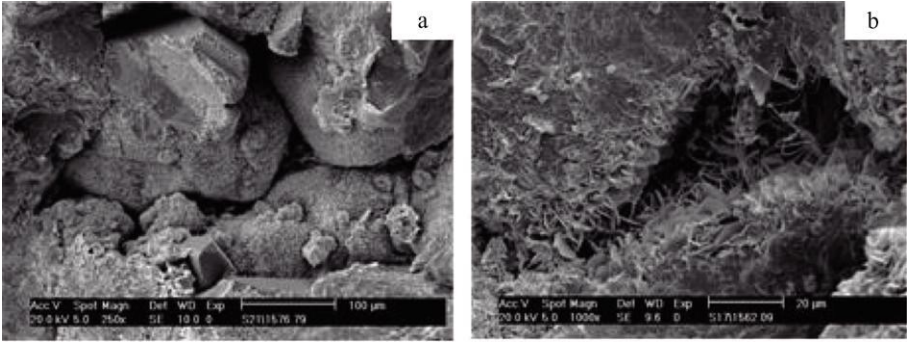


图 7 川东南地区上三叠统须家河组粘土矿物与导电矿物分布

Fig 7 Distribution of conductive minerals and clay minerals in the Upper Triassic Xujiache Formation, southeastern Sichuan Province

a D001-1 井, 须家河组四段, 1 468 m, 绿泥石; b. D001-1 井, 须四段, 1 459 m, 伊利石

分别为 50% 和 35%，次为高岭石，相对含量平均值为 10%，未见伊/蒙混层。

通过分析绿泥石、伊利石的平均含量与地层电阻率的关系，认为二者之间并无明显的相关性，说明该区粘土矿物的附加导电性对电阻率下降的影响并不明显。综上分析，一方面，粘土矿物类型以绿泥石和伊利石为主，平均绝对含量少，其自身导电性能低，而粘土矿物的附加导电性通常发生在以蒙脱石或伊蒙混层的地层，且在地层水矿化度较低的情况下较明显^[6-17]；另一方面，该区地层水矿化度较高。因此，粘土矿物的附加导电并非造成该区低阻现象的重要因素。

2.1.7 泥质含量

在淡水泥质砂岩储层中，泥质的附加导电性表现尤为突出，成为引起地层电阻率下降的又一因素。由图 1 可知，产气层段自然伽马达到 75API 以上，泥质含量在须家河组四段一般为 15%，须家河组六段为 20%。其电阻率下降的数值取决于粘土的含量、阳离子交换能力及地层水矿化度的高低。在该区泥质含量对电阻率的影响不甚明显。

2.1.8 粒度

根据粒度分析资料表明，该区储层的粒度主要以中—细粒为主，细砂含量较高，一般为 43%，泥质含量相对较少。由于粒度变化范围小，与电阻率的对应关系差，因此粒度大小对低阻影响微弱。

2.1.9 导电矿物作用

根据铸体薄片资料，在该区须家河组地层中见

少量黄铁矿、菱铁矿及铁方解石等导电矿物，其中以菱铁矿为主，平均含量为 1.32%，但在局部地区有富集，最高值可达 10%，导致电阻率下降较明显。总体而言，该区导电矿物含量少，且零星分布，因此导电矿物不是造成该区电阻率降低的主要因素。

2.2 低阻外因

2.2.1 钻井液侵入

钻井液侵入通常是造成低阻的主要外因。井内钻井液侵入渗透性储层是一个复杂的物理过程，它涉及钻井液的虑失性质（静动虑失与泥饼渗透率）、井内钻井液柱与地层的压力差、油气水相渗透率、钻井液滤液与地层水矿化度差别及钻井液浸泡时间等因素。由于钻井液的侵入，改变了井周围地层流体的饱和度、水的矿化度以及相应的电阻率剖面等，使得电测井由于受其影响而不能反映地层的真电阻率，尤其是盐水钻井液侵入，对电测井的影响更为严重，增加了测井识别和评价油气水层的难度^[1]。在盐水钻井液条件下，气层、水层易形成低侵剖面（即 $R_{xo} < R_i < R_t$ ），侧向测井受侵入带影响小于感应测井。在淡水钻井液条件下，在含气饱和度较高的含气层段易出现减阻侵入，而在水层段易形成增阻剖面^[6]。

该区主要采用淡水泥浆钻井，利用井场的泥浆电阻率测量值来计算地层温度下的泥浆滤液电阻率 R_{mf} ^[9]，根据水分析资料确定地层水电阻率 R_w ，通过比较 R_{mf} 与 R_w 的大小来判断泥浆滤液对地层高低侵的影响（表 4）。在求取地层径向电阻率时，利用非线性反演方法对高分辨率电阻率资

表 4 川东南地区上三叠统须家河组泥浆滤液电阻率 (R_{mf})与地层水电阻率 (R_w)比较

Table 4 Comparison between mud filtrate and formation water resistivity in the Upper Triassic Xujiahe Formation, southeastern Sichuan Province

井号	层位	平均深度 /m	类型	地层水矿化度 /($\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$)	水型	$R_w /(\Omega \cdot \text{m})$	$R_{mf} /(\Omega \cdot \text{m})$
DQ1	须四	1 460. 0	水基	27. 30	CaCl_2	0. 068	0. 075
D001- 3	须四	1 577. 8	水基	189. 61	CaCl_2	0. 051	0. 060
D001- 4	须六	1 266. 0	水基	20. 59	NaHCO_3	0. 062	0. 065
DY18	须六	1 305. 0	水基	67. 95	CaCl_2	0. 059	0. 069

表 5 川东南地区上三叠统须家河组泥浆滤液侵入对储层电阻率的影响

Table 5 Influence of mud invasion on formation resistivity in the Upper Triassic Xujiahe Formation, southeastern Sichuan Province

井号	层位	井深 /m		孔隙度, %	渗透率 /($10^{-3} \mu\text{m}^2$)	含气饱和度, %	$R_i /(\Omega \cdot \text{m})$	$R_{so} /(\Omega \cdot \text{m})$	变化率, %	侵入类型	试井结论
		起始	终止								
D001- 3	须四	1 424	1 430	10. 69	0. 56	62. 58	47. 855	40. 588	15. 19	减阻侵入	气层
D001- 4	须四	1 520	1 530. 5	9. 68	0. 68	66. 32	96. 843	82. 726	14. 58	减阻侵入	气层

注: 变化率 = $(R_i - R_{so}) / R_i$, 表示侵入程度。

料求解地层真电阻率 R_t 、侵入带电阻率 R_i 和冲洗带电阻率 R_{so} (表 5)。

研究表明该区地层水矿化度普遍较高, 地层水电阻率一般小于泥浆滤液电阻率 (表 4)。泥浆滤液侵入对气层和水层的影响各异。一方面, 在气层段, 泥浆滤液通常表现为减阻侵入或无侵入; 在水层或气水层段, 表现为增阻侵入。另一方面, 泥浆滤液侵入对地层影响程度也即侵入深度与储层物性关系密切。物性越好, 代表渗透性越高, 则侵入越深; 物性越差, 渗透性低, 则侵入相对较浅。此外, 地层浸泡时间越长, 侵入越深, 气层低阻特征越明显。

2. 2. 2 砂、泥岩薄互层

当目的层厚度小于或等于测井仪器纵向分辨率时, 储层电阻率受邻近围岩泥岩影响较大, 特别在邻近围岩为相对高阻层条件下, 使气层的电阻率呈现出低值。而该区须家河组储层段相对稳定, 砂岩累计厚度大, 砂岩累计厚度通常占总地层厚度的 80% 以上, 所以该区的地层电阻率受砂泥岩交互层的影响很小, 可以忽略^[18-20]。

3 结论

1) 造成川东南地区须家河组低阻气层的主要因素是“两高两低”, 即高束缚水饱和度, 高地层水矿化度以及在低幅度构造背景下发育低孔渗砂岩储层。

2) 复杂的孔隙结构, 极强的非均质性, 微裂缝发育, 泥质含量增加与粘土矿物的附加导电性进一步降低了气层电阻率。此外, 钻井液侵入与地层浸泡时间构成低阻不可忽视的外因。

3) 该区低阻气层是多种因素综合的结果, 一方面, 在同一区块, 随着深度的增加, 气层电阻率呈进一步下降的趋势; 另一方面, 电阻率与储层物性呈一定的负相关关系。在不同的构造背景与沉积环境下, 其低阻成因类型与气层特征存在一定的差异。

参 考 文 献

[1] 中国石油勘探与生产公司. 低阻油气藏测井识别方法与技术 [M]. 北京: 石油工业出版社, 2006: 1-80
China Petroleum Exploration and Production Corporation. Well logging identification method and technology of low resistivity oil & gas reservoir [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2006: 1-80

[2] 孙建孟, 孟钢花, 杨玉征, 等. 低阻油气层评价方法 [J]. 石油学报, 1998, 19(3): 83-88
Sun Jianmeng, Chen Ganghua, Yang Yuzheng, et al. Evaluation methods of low-resistivity [J]. Acta Petrolei Sinica, 1998, 19(3): 83-88

[3] 郑雷清. 综合识别方法在低阻油气层勘探中的应用 [J]. 岩性油气藏, 2007, 19(2): 71-75.
Zheng Leiqing. Application of comprehensive identification method in low-resistivity hydrocarbon reservoir exploration [J]. Lithologic Reservoirs, 2007, 19(2): 71-75

[4] 赵毅, 章成广, 樊政军, 等. 塔河油田低电阻油藏饱和度评价研究 [J]. 岩性油气藏, 2007, 19(3): 97-100
Zhao Yi, Zhang Chengguang, Fan Zhengjun, et al. Water saturation evaluation of low resistivity reservoir in southern Tache

- Oilfield[J]. Lithologic Reservoirs 2007, 19(3): 97– 100
- [5] 冯春珍, 林伟川. SU 气田低电阻率气层的成因及测井解释技术[J]. 测井技术, 2004 28(6): 526– 530.
- Feng Chunzhen Lin Weichuan. Geneses of low resistivity gas zone and its log interpretation technology in SU gasfield[J]. Well Logging Technology, 2004, 28(6): 526– 530
- [6] 程相志, 范宜仁, 周灿灿. 淡水储层中低阻油气层识别技术[J]. 地学前缘, 2008, 15(1): 146– 152
- Cheng Xiangzhi Fan Yiren Zhou Cancan. Identification technology of low resistivity pays in fresh water reservoir[J]. Earth Science Frontiers 2008, 15(1): 146– 152
- [7] Ehrenberg S N. Preservation of anomalously high porosity in deeply buried sandstones by chlorite rims: examples from the Norwegian Continental Shelf[J]. AAPG Bulletin, 1993 77(7): 1260– 1286
- [8] Hurst A, Nadeau H P. Clay microporosity in reservoir sandstones: an application of quantitative electron microscopy in petrophysical evaluation[J]. AAPG Bulletin, 1995 79(4): 563– 573.
- [9] 杨锦林. 川西中浅层气藏可动用含气层段甄别方法与应用[J]. 石油与天然气地质, 2009 30(6): 793– 796.
- Yang Jinlin. Identification of producible pay intervals in shallow to medium gas pools in western Sichuan Basin[J]. Oil & Gas Geology 2009, 30(6): 793– 796
- [10] 卞从胜, 王红军, 汪泽成, 等. 四川盆地川中地区须家河组天然气大面积成藏的主控因素[J]. 石油与天然气地质, 2009 30(5): 548– 555
- Bian Congsheng Wang Hongjun Wang Zecheng et al. Controlling factors for massive accumulation of natural gas in the Xujiahe Formation in central Sichuan Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2009, 30(5): 548– 555
- [11] 刘林玉, 曲志浩, 孙卫, 等. 新疆鄯善油田碎屑岩中的粘土矿物特征[J]. 西北大学学报(自然科学版), 1998 28(5): 443– 446.
- Liu Linyu Qu Zhihao Sun Wei et al. Properties of clay mineral of clastic rock in Shanshan Oil Field Xinjiang[J]. Journal of Northwest University (Natural Science Edition), 1998, 28(5): 443– 446
- [12] 黄思静, 谢连文, 张萌, 等. 中国三叠系陆相砂岩中自生绿泥石的形成机制及其与储层孔隙保存的关系[J]. 成都理工大学学报(自然科学版), 2004 31(3): 273– 281
- Huang Sijing Xie Lianwen Zhang Meng et al. Formation mechanism of authigenic chlorite and relation to preservation of porosity in nonmarine Triassic reservoir sandstones Ordos Basin and Sichuan Basin, China[J]. Journal of Chengdu University of Technology: Natural Science Edition, 2004 31(3): 273– 281.
- [13] 刘成林, 朱筱敏, 朱玉新, 等. 不同构造背景天然气储层成岩作用及孔隙演化特点[J]. 石油与天然气地质, 2005 26(6): 746– 753
- Liu Chenglin Zhu Xiaomin Zhu Yuxin et al. Characteristics of diagenesis and pore evolution of gas reservoirs formed in different tectonic settings[J]. Oil & Gas Geology, 2005 26(6): 746– 753
- [14] 张莉, 柳广弟, 谢增业, 等. 川西前陆盆地南部储层流体包裹体特征及其在天然气成藏研究中的应用[J]. 石油与天然气地质, 2005 26(6): 800– 807.
- Zhang Li Liu Guangdi Xie Zengye et al. Characteristics of fluid inclusions in reservoirs and its application in study of natural gas reservoiring in southern West Sichuan foreland basin[J]. Oil & Gas Geology, 2005 26(6): 800– 807.
- [15] 王芙蓉. 准噶尔盆地腹部永进地区深埋侏罗系砂岩内绿泥石环边胶结物对储层物性的影响[J]. 大庆石油学院学报, 2007 31(2): 24– 27
- Wang Furong. Effect of grain coating chlorite on reservoir property of Yongjin area in the centre of Junggar Basin[J]. Journal of Daqing Petroleum Institute, 2007 31(2): 24– 27.
- [16] 刘金库, 彭军, 刘建军, 等. 绿泥石环边胶结物对致密砂岩孔隙的保存机制——以川中—川南过渡带边界地区须家河组储层为例[J]. 石油与天然气地质, 2009 30(1): 53– 58
- Liu Jinku Peng Jun Liu Jianjun et al. Pore-preserving mechanism of chlorite rims in tight sandstone—an example from the T_{3x} Formation of Baojie area in the transitional zone from the central to southern Sichuan Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2009 30(1): 53– 58
- [17] 邓少贵, 范宜仁, 李国欣, 等. 地层水矿化度对泥质砂岩物理性质的影响[J]. 测井技术, 2006 30(2): 113– 115.
- Deng Shaoqi Fan Yiren Li Guoxin et al. Influence of water salinity on the petrophysical properties of shaly sandstone[J]. Well Logging Technology 2006 30(2): 113– 115
- [18] 唐建明, 杨军, 张峭楠. 川西坳陷中、浅层气藏储层识别技术[J]. 石油与天然气地质, 2006 27(6): 879– 894.
- Tang Jianming Yang Jun Zhang Shaonan. Recognition of shallow-mild gas reservoirs in western Sichuan depression[J]. Oil & Gas Geology, 2006, 27(6): 879– 894.
- [19] 邱旭明. 苏北盆地高邮凹陷油气输导特征及油气分布[J]. 石油与天然气地质, 2008 29(4): 437– 443
- Qiu Xuming. Features of carrier beds and distribution of oil and gas in the Gaoyou Sag, the Subei Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2008, 29(4): 437– 443
- [20] 樊茹, 邵辉, 贾爱林, 等. 川中广安须家河气藏气、水分布[J]. 石油与天然气地质, 2009 30(6): 732– 739
- Fan Ru Shao Hui Jia Ailin et al. Gas and water distribution in gas reservoirs of the Xujiahe Formation, Guang'an area, the central Sichuan Basin[J]. Oil & Gas Geology 2009 30(6): 732– 739

(编辑 张亚雄)