

# The Reservoir Characteristics of the Xujiahe Formation, in Anyue Area, Central Sichuan

Xiaofei Wang<sup>1,2</sup>, Dongdong Liu<sup>2</sup>, Dalin Song<sup>2</sup>, Qiang Liang<sup>2</sup>, Shenyang He<sup>2</sup>

<sup>1</sup>College of Energy Resources, Chengdu University of Technology, Chengdu Sichuan

<sup>2</sup>State Key Laboratory of Oil and Gas Reservoir Geology and Development Engineering, Chengdu University of Technology, Chengdu Sichuan

Email: 1107097194@qq.com

Received: Jul. 5<sup>th</sup>, 2017; accepted: Jul. 23<sup>rd</sup>, 2017; published: Jul. 26<sup>th</sup>, 2017

---

## Abstract

On the basis of synthesizing the previous research results, the reservoir characteristics of reservoir sandstone rocks of the Xujia river Formation in Anyue area were analyzed by the combination of drilling geology, cast thin sections, laboratory analysis and related test data. The results show that the reservoir sandstones are mainly lithic feldspar sandstone and feldspathic lithic sandstone, followed by feldspar quartz sandstone and lithic quartz sandstone. The reservoir space mainly includes intergranular pore, intragranular dissolved pore, pore of casting mould, intercrystalline micropore, grain edge joint and fracture. The sandstone reservoirs belong to the low porosity, low permeability and extremely low porosity and low permeability reservoirs. The reservoir displacement pressure is high and the saturation median pressure is high, which belongs to pore micro throat reservoir.

## Keywords

Anyue Area, Xujia River Formation, Physical Properties, Reservoir Characteristics

---

# 川中安岳地区须家河组储层特征研究

王晓飞<sup>1,2</sup>, 刘冬冬<sup>2</sup>, 宋达林<sup>2</sup>, 梁强<sup>2</sup>, 何身焱<sup>2</sup>

<sup>1</sup>成都理工大学, “油气藏地质及开发工程”国家重点实验室, 四川 成都

<sup>2</sup>成都理工大学能源学院, 四川 成都

Email: 1107097194@qq.com

收稿日期: 2017年7月5日; 录用日期: 2017年7月23日; 发布日期: 2017年7月26日

## 摘要

在综合前人研究成果的基础上,结合钻井地质、铸体薄片鉴定、分析化验及相关测试资料,对安岳地区须家河组储集砂岩岩石学特征进行了简要分析。结果表明,储层砂岩主要是岩屑长石砂岩及长石岩屑砂岩为主,其次有长石石英砂岩及岩屑石英砂岩。储集空间主要发育粒间孔、粒内溶孔、铸模孔、晶间微孔、粒缘缝和破裂缝。砂岩储层属于低孔低渗和特低孔特低渗储层。储层排驱压力高、饱和中值压力高,属于细孔微喉型储层。

## 关键词

安岳地区,须家河组,物性特征,储层特征

Copyright © 2017 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

### 1.1. 选题依据及研究意义

安岳地区天然气自二十世纪五十年代末开始勘探以来,以须家河组、雷口坡组为主要目的层。由于须家河组储层属于低孔、低渗,特低孔、特低渗储层,非均质性强,气、水纵向分布复杂;沉积储层展布及油气藏储层物性下限不清;储层成岩演化与孔隙发育匹配关系及有利砂体分布尚欠研究,致使须家河组气藏的勘探步履艰难,未能取得突破性进展。因此,开展对研究区须家河组的沉积相、储层特征及储层成岩作用及储层分布等研究可为研究区须家河组油气藏的勘探及进一步开发提供必要的地质依据。本文研究重点在于弄清须家河组储层物性和孔隙结构特征。

### 1.2. 致密砂岩储层国内外研究现状

致密低渗透气藏开发技术以美国、加拿大较为成熟。二十世纪六、七十年代,美国为缓解能源危机带来的国内天然气储采比失调,增大了致密气藏的勘探开发,从技术上开展了新技术和多种试验(如大型水力加砂压裂等)。二十世纪八十年代以来,随着油气勘探工作的不断深入以及新理论、新技术、新研究方法的不断涌现,为传统的储层研究注入了新的活力。主要的发展有:

① 从宏观到微观,不仅研究宏观储层物性及展布特征,还深入研究储层的微观孔隙结构特征。

D. J. Soeder 等(1987~1990) [1] [2]利用岩芯对岩石孔隙结构特征进行了实验研究,并结合实例提出:致密砂岩中孔隙包括颗粒支撑孔、缝状溶蚀孔和基质支撑孔三类。并指出砂岩渗透性能降低的基本原因是:标准的致密砂岩孔隙由颗粒支撑孔组成,而孔喉被自生的粘土矿物、方解石或其他杂质堵塞。

② 静态和动态研究相结合,储层静态特征的研究包括储层的岩性、沉积类型、成岩作用特点、孔隙成因类型等,储层动态特征的研究包括利用动态资料研究储层的物性参数、认识储层的分布和井间非均质特征等。

W. J. Lee 等(1994) [3]利用试井、测井等技术结合岩芯观察等对三个实际气藏的储层特征进行了研究,并在此基础上对气藏的生产潜力进行了评价,对储层改造措施进行了优化设计。

③ 多学科交叉,通过储层沉积学、地质统计学、测井地质学、高分辨率地震技术研究储层特征及分布规律。

Terrilyn M. Olson (1998) [4]提出了根据测井资料利用神经网络方法预测低渗透气藏的孔隙度和渗透率的方法,并用两个气田的实例进行了说明,应用表明,人工神经网络法是一种根据测井资料预测储层参数的有效方法。

廖曦等(2001) [5]采用 Landmark 公司 Open Works 软件建立勘探数据库,并根据地层岩性、电性特征,对川西白马庙地区侏罗系蓬莱镇组气藏进行了描述。

## 2. 区域地质概况

四川盆地的大地构造单元隶属于扬子准地台西北部的一个次一级构造单元,为一个由盆地周边的褶皱和断裂围限起来的大型构造沉积盆地[6] [7] [8]。范围以七跃山断裂为东界,峨眉—瓦山断裂为南界,龙门山断裂为西界,城口断裂为北界,外貌近似菱形(图 1)。盆内构造以龙泉山和华蓥山断裂为界,可划分为川西坳陷低陡带(龙泉山以西)、川中古隆中斜平缓带(龙泉山和华蓥山之间)、川东南斜坡高陡带(华蓥山以东)三个二级构造单元。本论文所研究的范围为安岳地区,位于川中古隆中斜平缓构造区龙女寺构造群中段。研究区须家河组底界局部构造属龙女寺构造,位于川中古隆中斜平缓构造区中段。总体为西高东低的一个单斜,局部有小构造、小地垒、小地堑[9] [10] [11]。川中构造区形成于喜马拉雅运动时期(早期 SN 向挤压作用和中晚期 NE-SW 向扭转作用),为一区域性挤压构造和挤压-走滑(旋转)构造的复合带[12]。

上三叠统须家河组是中三叠世雷口坡组侵蚀面上的碎屑岩沉积,纵向上一一般可细分为六段[13] [14],须一、须三、须五段以泥岩、页岩为主夹薄层粉砂岩、炭质页岩和煤线,须二、须四、须六段以灰色、灰白色细~中砂岩为主夹薄层泥岩。

由于须家河组沉积前中三叠统侵蚀面(雷口坡组残丘和洼地)起伏变化较大,须家河组沉积时对雷顶古地貌有填平补齐作用,因此须家河组厚度差异较大。据研究区内须家河组厚度资料,须家河组厚度介于 533.5~712.6 m 之间,呈现由西北向南东逐渐减薄趋势。

## 3. 储层岩石学特征

### 3.1. 岩石类型

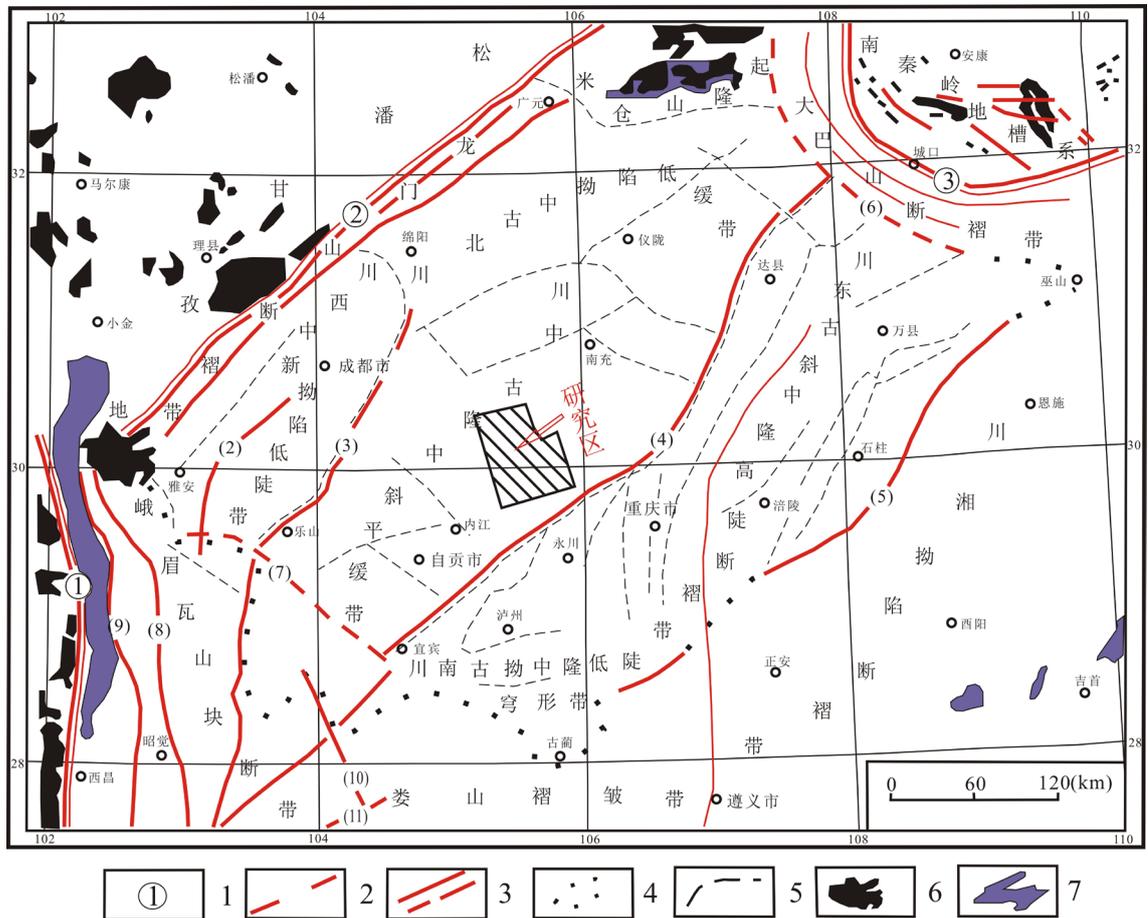
根据安岳地区 9 口井岩心样品的砂岩薄片鉴定等资料表明,石英含量在 60%~80%之间,通常为 70%左右;长石含量小于 25%,平均 13%;岩屑组分较为复杂,含量较高: 10%~30%,通常为 17%左右。岩性主要是岩屑长石砂岩及长石岩屑砂岩为主,其次有长石石英砂岩及岩屑石英砂岩(图 2)。砂岩颗粒大多呈次圆状,分选较中-好。

### 3.2. 结构特征

储层砂岩颗粒分选以中-好为主,磨圆度多呈次棱角-次圆状,以次圆状为主。支撑类型普遍以颗粒支撑为主,颗粒间接触强度以线接触、点-线接触,线-凹凸接触为主。砂岩中填隙物结构类型以杂基-胶结物混合填隙为主,胶结类型以孔隙-接触式胶结和接触式胶结为主,孔隙式胶结次之。

### 3.3. 填隙物成分特征

填隙物包括杂基和胶结物两部分,杂基在岩石中含量主要在为 4%~7%,杂基主要由黏土矿物组成。砂岩中胶结物成分主要为二氧化硅和方解石,整个目的层段均有发育,胶结物含量普遍小于 10%。



1.一级深断裂 2.二级基底断裂 3.三级断裂 4.盆地边界 5.构造分区边界 6.前震旦系 7.前震旦系; ①安宁河 ②龙门山 ③城口; (1)彭灌 (2)熊坡 (3)龙泉山 (4)华蓥山 (5)七跃山 (6)万源 (7)峨眉-瓦山 (8)汉源 (9)普熊河 (10)埡都 (11)昭通

Figure 1. Regional structure and work area location map (according to Kang Ren Dong 2009)

图 1. 区域构造及工区位置图(据康仁东 2009)

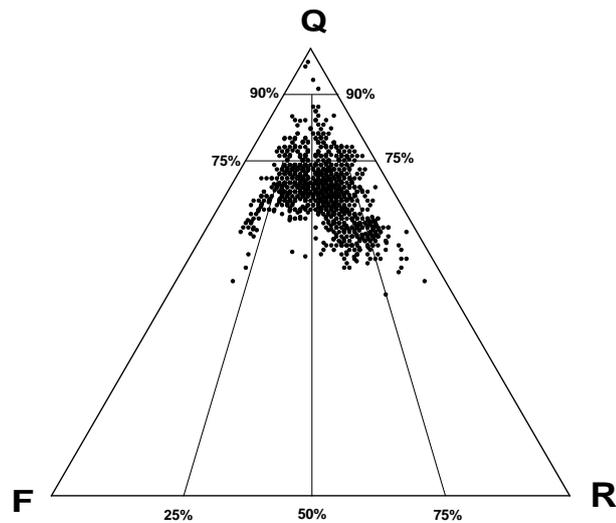


Figure 2. Classification of sandstone three-terminal elements in the Xujiashan block, Anyue block

图 2. 安岳区块须家河组砂岩三端元组分分类图

## 4. 储层孔隙结构特征

### 4.1. 孔隙类型

通过细致的岩芯、铸体薄片观察、扫描电镜分析、及压汞等技术手段研究发现，安岳地区须家河组储层主要发育粒间孔、粒内溶孔、铸模孔、晶间微孔、粒缘缝和破裂缝(图 3~6)。

### 4.2. 孔隙结构

根据安岳地区须家河组 18 口井的压汞资料分析，须家河组储层具有孔喉半径小，有效孔喉少，孔喉分选差的特点。排驱压力高，平均值为 1.32665 Mpa，中值压力也较高，其平均值 10.664 Mpa，中值孔喉半径小，半径值多为 0.037~0.194  $\mu\text{m}$ ，反映油气难进入储层之中(表 1)。

## 5. 储层物性特征

储层物性特征研究是储层研究的必不可少的一部分，主要包括孔隙度、渗透率等。研究储层物性参数，对于研究储层的沉积相、储层非均质性及储量计算、储层综合评价等有着重要意义，也是剩余油分布及油水运动规律研究的基础[15]。

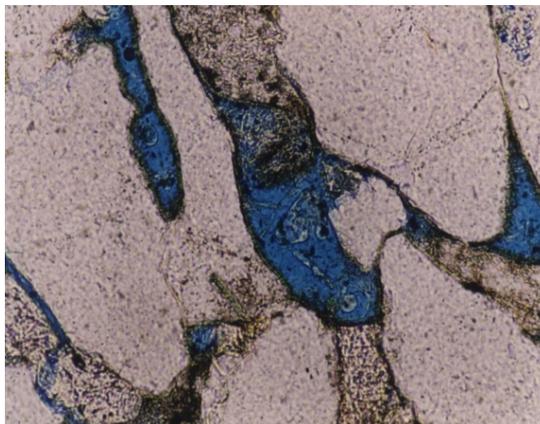
### 5.1. 孔隙度

根据研究区内 4 口井 1700 多个样品的物性分析资料(表 2)表明，须家河组储层平均孔隙度为 6.52%，最大为 14.91%，最小为 0.99%。

Table 1. Yue 2 well hole-throat characteristics of the table

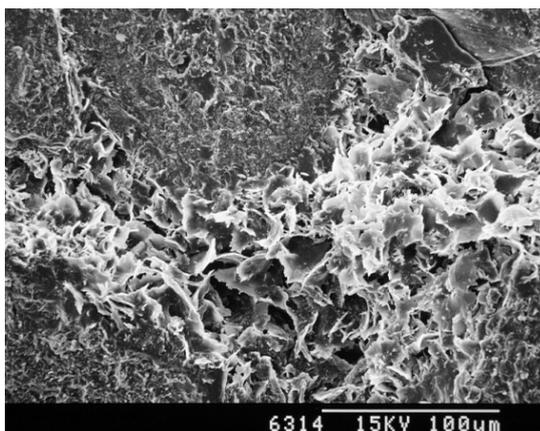
表 1. 岳 2 井孔-喉特征统计表

层位	井深 (m)	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 $\mu\text{m}$	中值孔喉半径 $\mu\text{m}$	最大进汞饱和度%	残留汞饱和度%
T <sub>3</sub> X <sup>6</sup>	1792.1	3.35	0.01	2.9042	11.697	2.0343	0.1718	0.253	0.063	88.457	55.88
T <sub>3</sub> X <sup>6</sup>	1794	4.19	0.0804	1.1656	5.6030	1.9304	0.1699	0.631	0.131	91.818	57.34
T <sub>3</sub> X <sup>6</sup>	1809.7	6.92	0.198	0.7191	5.4880	2.5741	0.2400	1.612	0.194	89.732	64.29
T <sub>3</sub> X <sup>6</sup>	1811.6	2.67	0.0104	1.1630	17.480	2.4731	0.2139	0.632	0.042	86.125	52.20
T <sub>3</sub> X <sup>6</sup>	1813.3	6.49	0.0841	0.7191	5.4880	2.3845	0.2162	1.022	0.134	89.517	60.79
T <sub>3</sub> X <sup>6</sup>	1823.7	3.77	0.0222	1.1660	11.191	2.3337	0.1947	0.630	0.066	90.717	55.65
T <sub>3</sub> X <sup>4</sup>	2056.2	7.01	0.1590	0.7172	4.5720	2.0046	0.1642	1.025	0.161	99.507	60.77
T <sub>3</sub> X <sup>4</sup>	2059.2	2.91	0.0201	1.1744	12.822	2.4005	0.2122	0.626	0.057	86.617	53.19
T <sub>3</sub> X <sup>4</sup>	2112.5	3.14	0.0066	1.8095	14.821	1.9645	0.1594	0.406	0.050	91.125	52.70
T <sub>3</sub> X <sup>4</sup>	2116.7	5.21	0.0247	1.8056	16.939	2.3305	0.1970	0.407	0.043	88.189	54.66
T <sub>3</sub> X <sup>4</sup>	2125.2	4.41	0.0344	1.1634	20.118	2.5540	0.2164	0.632	0.037	87.860	55.37
T <sub>3</sub> X <sup>4</sup>	2126.7	6.26	0.4770	0.4546	4.3260	2.3361	0.2022	1.617	0.170	96.477	50.17
T <sub>3</sub> X <sup>2</sup>	2197.8	5.38	0.0052	1.8098	9.6630	1.7745	0.1433	0.406	0.076	93.308	63.41
T <sub>3</sub> X <sup>2</sup>	2198.2	4.59	0.0058	1.8046	9.0880	1.7156	0.1377	0.407	0.081	94.146	65.04
T <sub>3</sub> X <sup>2</sup>	2198.5	5.04	0.0116	1.8049	7.4090	1.7705	0.1424	0.407	0.099	95.293	64.75
T <sub>3</sub> X <sup>2</sup>	2199.6	7.73	0.0715	1.1650	4.1970	1.8583	0.1639	0.631	0.175	93.453	62.45
T <sub>3</sub> X <sup>2</sup>	2200.9	8.32	0.0758	1.1652	4.2370	1.8172	0.1493	0.631	0.173	98.789	66.52
T <sub>3</sub> X <sup>2</sup>	2203.1	7.87	0.0602	1.1685	4.6742	1.7377	0.1477	0.629	0.157	94.930	67.08



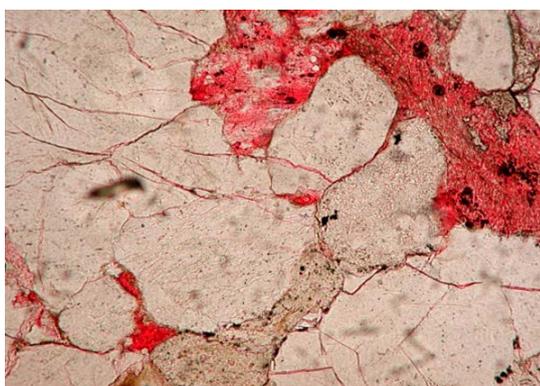
具粒间孔、粒内孔，含淀绿泥石极细—粗粒不等粒长石石英砂岩中 2189.14 m。

**Figure 3.** Tong 2 Well to be a sheet  
**图 3.** 潼 2 井须一段薄片



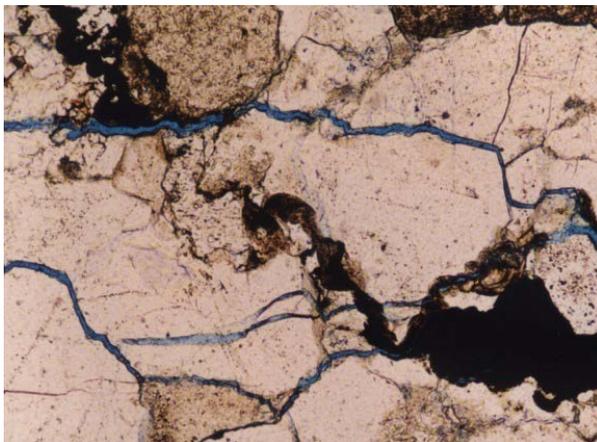
孔隙中的片状粘土晶间孔隙明显，具连通作用 2310.30 m。

**Figure 4.** Through 9 Well to be two sections of scanning electron microscopy  
**图 4.** 通 9 井须二段扫描电镜



长石、泥岩屑粒内溶蚀形成粒内溶孔和铸模孔，构成裂缝—溶孔型孔隙结构。1992.57 m，10×5。

**Figure 5.** Grinding 53 Well to be four pieces  
**图 5.** 磨 53 井须四段薄片



具溶孔溶缝，粒间孔部分被次生铁质充填 1966.95 m。

Figure 6. Tong 2 Well to be two pieces  
图 6. 潼 2 井须二段薄片

Table 2. Anyue area reservoir physical properties table  
表 2. 安岳地区储层物性统计表

井号	层位	样品数	孔隙度%			渗透率 $10^{-3} \mu\text{m}^2$			含水饱和度%		
			平均	最大	最小	平均	最大	最小	平均	最大	最小
岳 3 井	T <sub>3</sub> X <sup>6</sup>	158	4.72	7.66	1.75	0.0674	0.7510	0.0004	60.55	98.18	41.70
	T <sub>3</sub> X <sup>4</sup>	162	6.84	14.91	3.62	0.3037	11.200	0.015	71.67	86.85	56.78
	T <sub>3</sub> X <sup>2</sup>	210	7.09	11.56	1.1	0.0609	0.0025	2.12	73.82	89.28	30.33
岳 2 井	T <sub>3</sub> X <sup>6</sup>	102	5.01	8.03	1.18	0.1776	7.8100	0.0016	60.16	78.87	47.49
	T <sub>3</sub> X <sup>4</sup>	109	4.97	8.22	0.99	0.1534	1.01	0.0005	68.65	90.62	29.05
	T <sub>3</sub> X <sup>2</sup>	75	7.31	9.04	2.36	0.4472	26.500	0.0095	73.29	83.11	60.35
威东 8 井	T <sub>3</sub> X <sup>6</sup>	403	7.74	11	1	0.0727	3.5200	0.0005	64.82	80.7	24.9
	T <sub>3</sub> X <sup>2</sup>	238	6.02	14.2	1.4	0.1007	0.558	0.0021	61.32	78	37.7
安岳 2 井	T <sub>3</sub> X <sup>4</sup>	92	6.32	18.87	1.66	0.7192	22.800	0.0051	59.37	67.96	30.36
	T <sub>3</sub> X <sup>2</sup>	121	6.67	9.92	0.83	0.8696	16.000	0.0013	67.47	79.46	46.9

通过对研究区须家河组三个层段的物性特征比较发现：由老到新孔隙度呈逐渐变差的趋势(图 7(a)~(c))。须二段储层平均孔隙度 7%~9%，须四段储层平均孔隙度 6%~8%，须六段储层平均孔隙度 4%~6%，渗透率须四段较好，平均  $0.3639 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ ，其次为须二段平均  $0.222 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ ，最小为须六段平均  $0.106 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$  (图 7(d)~(f))。

### 5.2. 渗透率

根据研究区内 4 口井 1700 多个样品的物性分析资料(表 1)表明，须家河组储层平均渗透率为  $0.297 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ ，最高为  $26.500 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ ，最低为  $0.0004 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。渗透率须四段较好，平均  $0.3639 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ ，其次为须二段平均  $0.222 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ ，最小为须六段平均  $0.106 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$  (图 7(d)~(f))。

由以上分析可见，安岳地区须家河组储层物性较差，属低孔低渗和特低孔特低渗储层。从孔-渗关系图(图 8)上可以看出，须家河组孔隙度与渗透率基本上呈正相关。

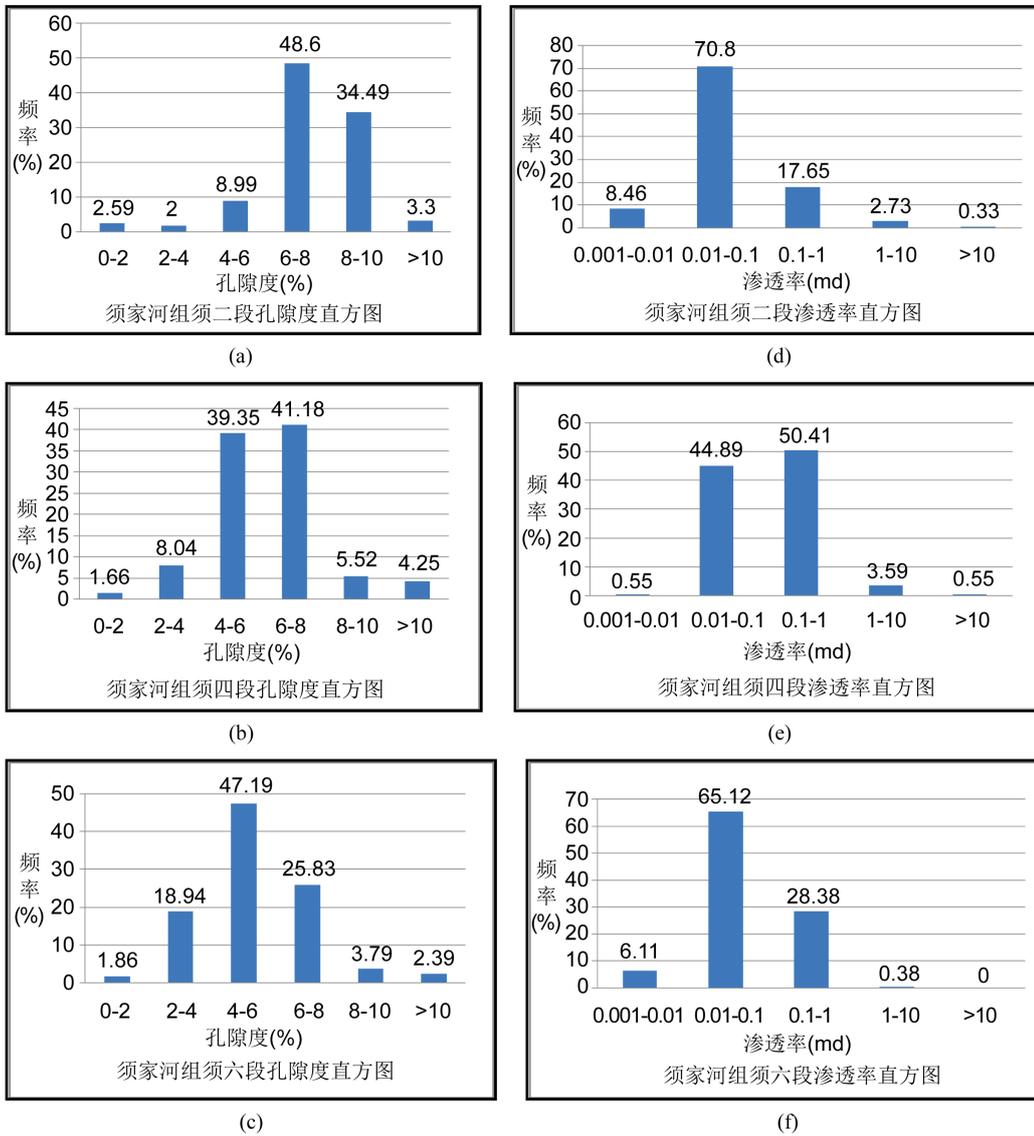


Figure 7. Reservoir porosity, permeability histogram  
图 7. 储层孔隙度、渗透率直方图

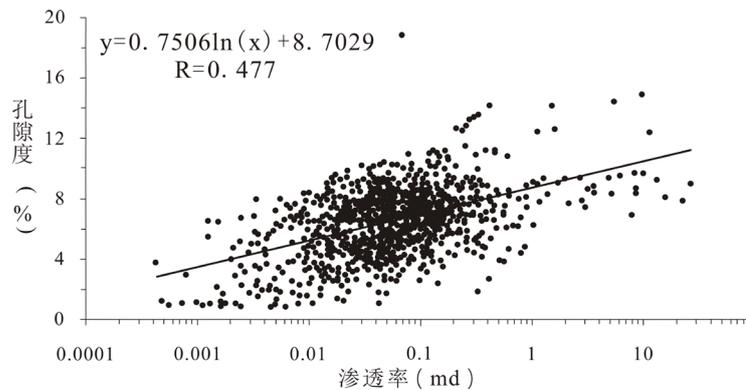


Figure 8. Relationship between reservoir porosity and permeability  
图 8. 储层孔-渗关系图

## 6. 结论

1) 须家河组储集岩以岩屑长石砂岩及长石岩屑砂岩为主, 其次为长石石英砂岩及岩屑石英砂岩。砂岩颗粒分选以中-好为主, 磨圆度多呈次棱角-次圆状, 以次圆状为主。反映了储集层砂岩成熟度较高, 结构成熟度较高的特点。

2) 须家河组储层属于低孔低渗和特低孔特低渗储层。孔隙度与渗透率基本上呈正相关。

3) 须家河组储层孔隙类型主要有粒间孔、粒内溶孔、铸模孔、晶间微孔、粒缘缝和破裂缝, 空隙结构具有孔喉半径小, 有效孔喉少, 孔喉分选差的特点。

## 基金项目

国家科技重大专项“南方海相页岩气开采试验”资助 项目编号:2011ZX05018-006-07。

## 参考文献 (References)

- [1] Soeder, D.J. and Randolph, P.L. (1987) Porosity, Permeability and Pore Structure of the Tight Mesaverde Sandstone, Piceance Basin, Colorado. *SPE Formation Evaluation*, **6**, 129-137. <https://doi.org/10.2118/13134-PA>
- [2] Soeder, D.J. and Chowdiah, P. (1990) Pore Geometry in High- and Low-Permeability Sandstones, Traviis Peak Formation, East Texas. *SPE Formation Evaluation*, **5**, 420-431.
- [3] Lee, W.J. and Hopkins, C.W. (1994) Characters of Tight Reservoir. J.P.T.
- [4] Olson, T.M. (1998) Porosity and Permeability Prediction in Low Permeability Gas Reservoirs Well Logs Using Neural Networks. SPE 39964.
- [5] 廖曦, 沈浩, 等. 川西白马庙地区侏罗系蓬莱镇组气藏描述[J]. 天然气勘探与开发, 2001, 24(3): 12-17.
- [6] 四川省地质矿产局. 四川省区域地质志[M]. 北京: 地质出版社, 1996: 72293.
- [7] 李勇, 曾允孚, 伊海生. 龙门山前陆盆地沉积及构造演化[M]. 成都: 成都科技大学出版社, 1995: 11237.
- [8] 罗志立, 童崇光. 板块构造与中国油气盆地[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1989: 1228.
- [9] 谢武仁, 杨威, 杨光, 杨玉凤, 谢增业, 金惠, 朱秋影, 沈珏红. 川中地区上三叠统须家河组砂岩储层孔隙结构特征[J]. 天然气地球科学, 2010, 21(3): 435-440.
- [10] 张富贵, 刘家铎, 孟万斌. 川中地区须家河组储层成岩作用与孔隙演化研究[J]. 岩性油气藏, 2010, 22(1): 30-36.
- [11] 徐芳良, 陈彦梅, 井攀, 陈全, 杜萌, 张平, 百成钢, 黄加力. 川中地区上三叠统须家河组储层特征及控制因素[J]. 辽宁化工, 2016(8): 1038-1040.
- [12] 秦启荣, 苏培东, 李乐, 等. 川中低缓构造成因[J]. 新疆石油地质, 2005, 26(1): 108-111.
- [13] 王小娟, 谢继容, 唐大海, 李国辉. 川中地区须家河组二段优质储层分布特征[J]. 天然气勘探与开发, 2015, 38(3): 1-6.
- [14] 周峰, 雍自权, 盛海波, 周秋霞. 川中合川地区上三叠统须家河组二段储层特征[J]. 四川地质学报, 2011, 31(1): 25-28.
- [15] 卢锋, 屈红军, 胡春花, 马强. 定边樊学油区延安组延 9 油层组储层物性特征研究[J]. 内蒙古石油化工, 2008, 34(16): 116-117.

**期刊投稿者将享受如下服务：**

1. 投稿前咨询服务 (QQ、微信、邮箱皆可)
2. 为您匹配最合适的期刊
3. 24 小时以内解答您的所有疑问
4. 友好的在线投稿界面
5. 专业的同行评审
6. 知网检索
7. 全网络覆盖式推广您的研究

投稿请点击：<http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱：[ojs@hanspub.org](mailto:ojs@hanspub.org)