

# Analysis of Reservoir Fluid and Pressure Characteristics of Carboniferous in Shaguanping Gas Field in Eastern Sichuan Basin

Bing Zeng, Ping Zhou, Hui Liu

State Key Laboratory of Oil and Gas Reservoir Geology and Exploitation, Chengdu University of Technology, Chengdu Sichuan

Email: 897765375@qq.com

Received: Jun 13<sup>th</sup>, 2018; accepted: Jun. 26<sup>th</sup>, 2018; published: Jul. 3<sup>rd</sup>, 2018

---

## Abstract

The Carboniferous of the Shaguanping Gas Field in East Sichuan Basin is the focus of current exploration. Based on drilling, logging, core, and geochemical analysis data, this paper analyzes the nature of natural gas and formation water in the Carboniferous reservoir. The reservoir fluid pressure characteristics were analyzed by studying the pressure of each well converted to an elevation of -4243 m, and the reservoir pressure contour maps in different periods were plotted to analyze the connectivity of the reservoir. The research shows that the gas reservoir in the structural area is a low-sulfur dry gas reservoir, the formation water is CaCl<sub>2</sub> type, and the fluid type is typical alternating stagnant formation water; the connectivity of the entire gas reservoir is good, and the entire gas reservoir in the original state is a unified pressure system, and the pressure of the marginal wells gradually decreases as the pressure drop funnel deepens. In addition, the difference in the high, medium, and low permeability reservoirs in gas reservoirs leads to differences in pressure drop in different wells.

## Keywords

Shaguanping, Carboniferous, Reservoir Fluid, Fluid Pressure, Connectivity

---

# 川东沙罐坪气田石炭系储层流体及压力特征分析

曾兵, 周平, 刘辉

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

## 摘要

川东沙罐坪气田石炭系是目前勘探的重点。本文基于钻井、录井、岩心及地化分析等资料,对石炭系储层中天然气和地层水的性质进行剖析,通过研究各井折算至海拔-4243 m时的压力分析储层流体压力特征并绘制不同时期的气藏地层压力等值线图对储层的连通性进行分析。研究表明,构造区气藏属低含硫的干气气藏,地层水均为CaCl<sub>2</sub>型,流体类型为典型的交替停滞型地层水;整个气藏的连通性较好,原始状态全气藏为统一的压力系统,且边缘井的压力随着中心压降漏斗的加深而逐步下降。另外,气藏内高中低渗储渗单元的不同导致不同井区的压降存在差异性。

## 关键词

沙罐坪, 石炭系, 储层流体, 流体压力, 连通性

Copyright © 2018 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

四川盆地沉积厚度为 8000~12,000 m, 为我国第一大气区[1]。自川东地区获勘探突破以来, 五百梯、沙罐坪等大型气田被开发, 石炭系探明储量约  $3 \times 10^{11} \text{ m}^3$  [2]。陈宗清[3]、钱峥[4]等对沙罐坪地区的构造及沉积相等特征有一定的研究描述, 徐国盛等[5] [6]对构造区石炭系的沉积相进行了深入的研究并对其成藏机理进行了剖析, 杨斌等[7]应用最新的测井方法对石炭系储层物性进行了综合的评价, 但对本区储层的流体性质及压力特征则鲜有提及。王兰生等(1997, 2001) [8] [9]、徐国盛等[10]曾根据上世纪 90 年代的钻井、录井等资料对川东石炭系气藏天然气地化特征及流体性质有过或多或少的研究, 本文基于最新的钻井、录井及岩心等资料, 对 13 口气井气样进行了累积 192 井次的地化分析, 对气藏及流体性质有了更深入的认识, 并根据石炭系气藏地层压力的演化特征分析了研究区的气藏连通性。

储层流体压力为气藏储存的能量及动力, 它直接决定着气藏在储层中的赋存状态, 影响着储层的物性且为决定储层连通性的重要因素, 因此, 对储层流体及压力特征的研究对沙罐坪气田石炭系气藏的进一步开发具有重要的指导意义。

## 2. 区域地质概况

沙罐坪气田位于四川省开江县境内, 为川东南温泉井构造带背斜西南部断下盘的断鼻构造, 为温泉井背斜西南端断下盘的断鼻构造[5] (图 1)。沙罐坪气田地表主要出露约 700 m 厚的侏罗系沙溪庙组红色地层, 并最深钻至志留系顶。研究区石炭系与下覆志留系呈平行不整合接触, 顶部因黔桂运动时期的风化剥蚀, 和上覆二叠系同样呈平行不整合接触, 仅存上石炭统黄龙组[6]。构造区石炭系沉积类型主要为碳酸盐岩潟湖相沉积, 岩性主要为晶粒灰岩及白云岩, 储层类型属裂缝-孔隙型[7]。

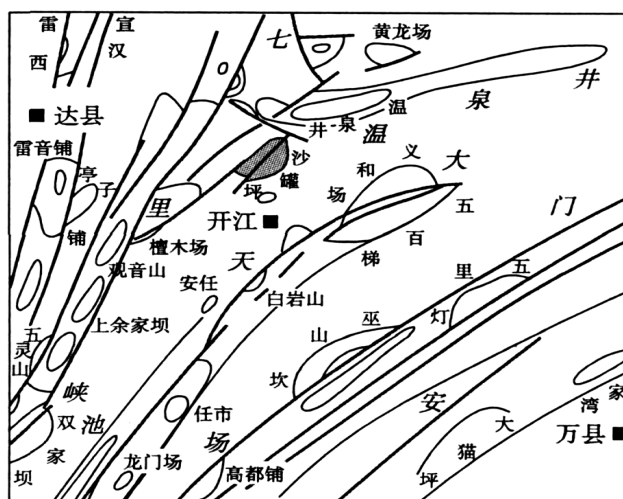


Figure 1. Structure location of Shaguanping gas field in east Sichuan Basin  
图 1. 川东沙罐坪气田构造位置

川东石炭系气藏天然气密度主要在  $0.562\sim 0.595\text{ kg/m}^3$  之间, 较其它产层天然气而言, 密度较小, 石炭系地层水以氯化钙型为主, 矿化度主要集中在  $30\sim 60\text{ g/L}$  之间, 绝大部分小于  $250\text{ g/L}$ , 具有矿化度高、正变质程度较深的特点[9]。川东石炭系气藏中天然气的临界温度一般为  $193\text{ K}$  ( $-80^\circ\text{C}$ ), 临界压力为  $4.7\text{ Mpa}$ , 在地层条件下无论压力多高绝对呈气态存在[11]。

### 3. 储层流体性质

#### 3.1. 含流体情况

沙罐坪气田石炭系气藏构造西北翼及北端为断层封隔, 东南翼物性极差或岩性尖灭, 未与水域相连, 不存在边水; 构造西南端(罐 31 井以南)储层物性较差, 且罐 31 井多年大压差开采少见地层水(图 2)。

#### 3.2. 天然气性质

根据 13 口气井气样累积分析 192 井次的结果, 对每口井最近一次分析的石炭系气样数据进行研究(表 1), 可知  $\text{CH}_4$  含量平均值为  $96.89\%$ , 绝大部分在  $96\%$  以上,  $\text{C}_2\text{H}_6$  和重烃含量均小于  $0.4\%$ , 干燥系数在  $95\%$  以上。对于非烃气体, 天然气中微含  $\text{H}_2\text{S}$ 、 $\text{N}_2$ , 其含量普遍小于  $1\%$ ;  $\text{CO}_2$  含量约  $1\%\sim 2\%$ , 平均为  $1.45\%$ 。气质较好, 属低含硫的干气气藏。各气井的天然气组分基本一致, 揭示不同井区的石炭系天然气具有相同的来源。

#### 3.3. 地层水性质

地层水性质不仅能有效的反映地下水的活跃程度, 而且能用于认识区域构造的稳定性[12]。沙罐坪气田石炭系气藏属于纯气藏, 不含边水, 所产出的水均为凝析水。Gaupp R.和胡晓凤等[13][14]依据与地表水的混合程度将地层水划分为自由交替型、交替阻滞型和交替停滞型 3 类。通过取样分析, 沙罐坪气田石炭系气藏凝析水矿化度在  $13.13\sim 140.23\text{ g/L}$  之间, 平均为  $65.03\text{ g/L}$ , 为沉积封存高矿化度区, 相对密度为  $1.01\sim 1.08\text{ g/cm}^3$ , 地层水均为  $\text{CaCl}_2$  型(表 2), 属于典型的交替停滞型地层水, 不受地表水影响, 避免了油气散失, 是一种处于较好封闭环境的水型。其中, 罐 3 井矿化度较低, 仅为  $13.13\text{ g/L}$ 。而罐 11 井和罐 31 井的矿化度都比较高, 均超过  $110\text{ g/L}$ , 罐 11 井更是达到  $140\text{ g/L}$  左右。从整体上看, 整个气藏凝析水性质比较一致。

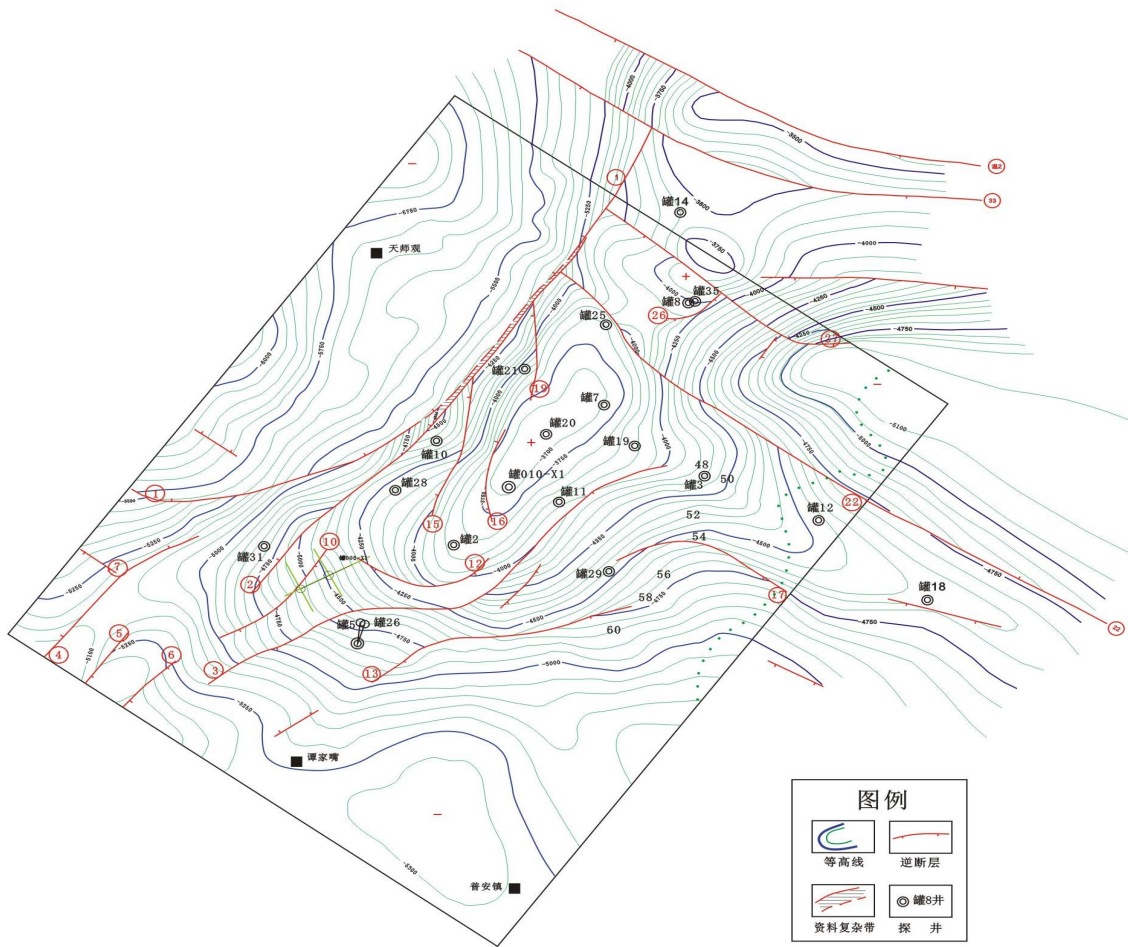


Figure 2. Structural map of carboniferous gas reservoir in Shaguanping gas field  
图2. 沙罐坪气田石炭系气藏构造图

Table 1. Analysis data sheet of gas sample of carboniferous gas reservoir in Shaguanping gas field  
表1. 沙罐坪气田石炭系气藏气样分析数据表

井号	相对密度	分析成分含量(mol%)								临界温度(K)	临界压力(MPa)
		CH <sub>4</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	重烃	H <sub>2</sub> S	CO <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>	He	H <sub>2</sub>		
罐2	0.5731	97.34	0.28	0.3	0.61	1.24	0.48	0.027	0	193.1	4.659
罐3	0.5772	96.75	0.31	0.33	0.45	1.6	0.84	0.031	0	193	4.658
罐7	0.5725	97.32	0.32	0.34	0.36	1.2	0.75	0.03	0	192.5	4.644
罐10	0.5753	96.94	0.33	0.36	0.65	1.3	0.72	0.027	0	193.2	4.66
罐11	0.5747	97.21	0.29	0.32	0.52	1.45	0.47	0.024	0.007	193.2	4.661
罐19	0.5754	96.99	0.33	0.36	0.44	1.44	0.74	0.028	0	192.9	4.654
罐20	0.5719	97.55	0.31	0.34	0.38	1.24	0.47	0.023	0	192.8	4.649
罐21	0.5805	95.83	0.34	0.36	0.31	1.59	1.86	0.051	0	192.1	4.638
罐25	0.5742	97.02	0.32	0.35	0.32	1.3	0.98	0.033	0	192.4	4.642
罐26	0.5797	96.41	0.29	0.3	0.39	1.83	1.04	0.031	0.001	193	4.659
罐28	0.5759	96.93	0.3	0.33	0.44	1.48	0.79	0.028	0	192.9	4.655
罐29	0.5782	96.72	0.31	0.34	0.46	1.75	0.69	0.033	0.004	193.3	4.664
罐31	0.5772	96.55	0.26	0.27	0.46	1.47	1.21	0.038	0	192.6	4.65

**Table 2.** Analysis data sheet of condensate water in carboniferous gas reservoir in Shaguanping gas field  
**表 2.** 沙罐坪气田石炭系气藏凝析水分析数据表

井号	ph	相对密度 g/cm <sup>3</sup>	钠 mg/L	钙 mg/L	镁 mg/L	氯 mg/L	硫 mg/L	矿化度 g/L	水型
罐 2	6.6	1.0276	3572	7121	2325	24560	78	38.12	CaCl <sub>2</sub>
罐 3	5.93	1.0082	1232	2531	687	8164	136	13.13	CaCl <sub>2</sub>
罐 7	6.32	1.0019	20432	2057	480	35870	765	59.79	CaCl <sub>2</sub>
罐 11	5.5	1.0841	33346	19664	1932	83560	1000	140.23	CaCl <sub>2</sub>
罐 19	6.5	1.0171	3042	5943	1354	18952	230	29.82	CaCl <sub>2</sub>
罐 20	6	1.032	10058	7683	3286	38438	150	59.83	CaCl <sub>2</sub>
罐 21	5.4	1.049	11870	11411	2019	44068	207	69.83	CaCl <sub>2</sub>
罐 25	5.1	1.0597	1032	18852	2883	63375	281	87.23	CaCl <sub>2</sub>
罐 29	5.85	1.032	8849	4820	826	24276	54	39.28	CaCl <sub>2</sub>
罐 31	6.5	1.0823	18700	21057	1797	71080	164	113.02	CaCl <sub>2</sub>

## 4. 储层流体压力特征

### 4.1. 流体压力

根据沙罐坪气田石炭系气藏投产前的罐 2、3、7、10、11 井的最大关井压力计算出当时的地层压力(表 3)。由表知,各井折算至海拔-4243 m 时压力差值不大。取这 5 口井折算压力平均值,则沙罐坪气田石炭系气藏的原始地层压力确定为 60.297 MPa。利用气藏原始地层压力与折算海拔相同埋深的静水柱压力求取平均压力系数为 1.45,属烃柱高度引起的弱超压气藏。

投产前完井的罐 2、3、7、10、11 井等 5 口井取得的原始地层压力折算后非常接近,最大差别仅为 0.106 MPa,说明原始状态全气藏为同一压力系统。气藏先前 5 口井投产后完井的其余各井,折算地层压力均低于气藏原始地层压力,如罐 29 井原始折算压力为 59.761 MPa,比原始地层压力低 0.536 MPa,说明这些井在开采前已经受到先期投产井的影响,整个气藏具有一定的连通性。

根据各井压力系数和中部井深深度作交会图(图 3),可以看出压力系数与深度有着很大的相关性,相关系数达到 0.977。证明整个气藏存在着很好的连通性,气藏内部不存在着明显的阻隔,因此,压力系数和深度的相关性系数表现为高值。

通过对沙罐坪气田石炭系气藏内流体性质和压力系统的分析,气藏内各井天然气组分以及性质基本一致,而各井凝析水的矿物质种类和含量基本相同,均为 CaCl<sub>2</sub> 型地层水,认为气藏整体为统一的压力系统。

### 4.2. 气藏连通性分析

根据沙罐坪气田石炭系气藏 1988 年、1999 年及 2012 年的 3 张等压图对气藏的连通性进行分析。

图 4 为沙罐坪气田石炭系气藏 1988 年的地层压力等值线图。图中整个气藏为两个压力系统,罐 3 井表现为一个压降漏斗,这是由于罐 3 井已经先期投产的缘故,由于具有一定的连通性,所以周围地层压力也跟着下降。由于连通性并不好,所以等压线比较陡。另外,以③号断层为界,可能是由于断层的阻隔作用加上储层的非均质性,在断层北西方向存在着另外一个以罐 7 井~罐 10 井为中心的压力系统,范围比较大,北到罐 8 井,南到罐 5 井,没有明显的压降漏斗。整个范围内,从外到内具有明显的压力下降趋势,等压线差值最大为 6 MPa。③号断层附近等压线密集,表明此区域连通性较差。

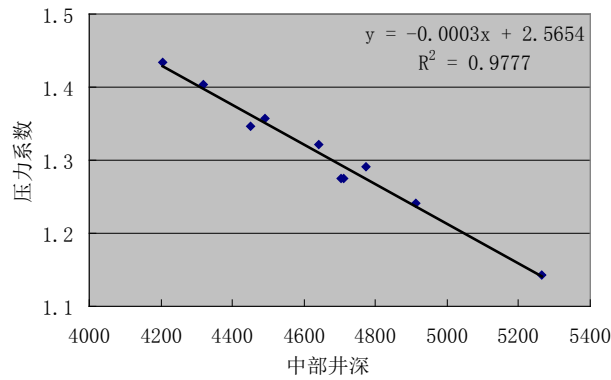


Figure 3. Intersection diagram of well depth and pressure coefficient in middle of each well of carboniferous gas reservoir in Shaguanping gas field

图 3. 沙罐坪气田石炭系气藏各井中部井深与压力系数交会图

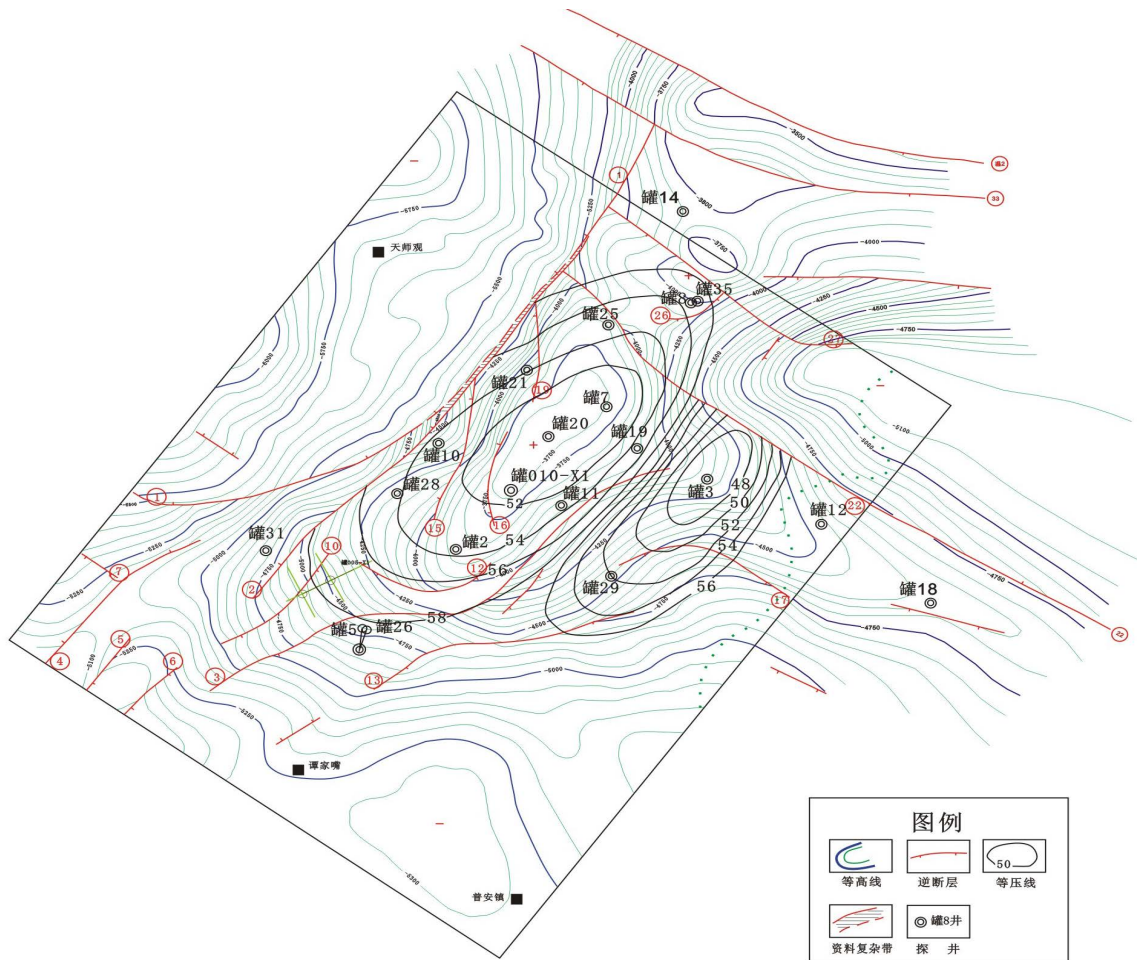
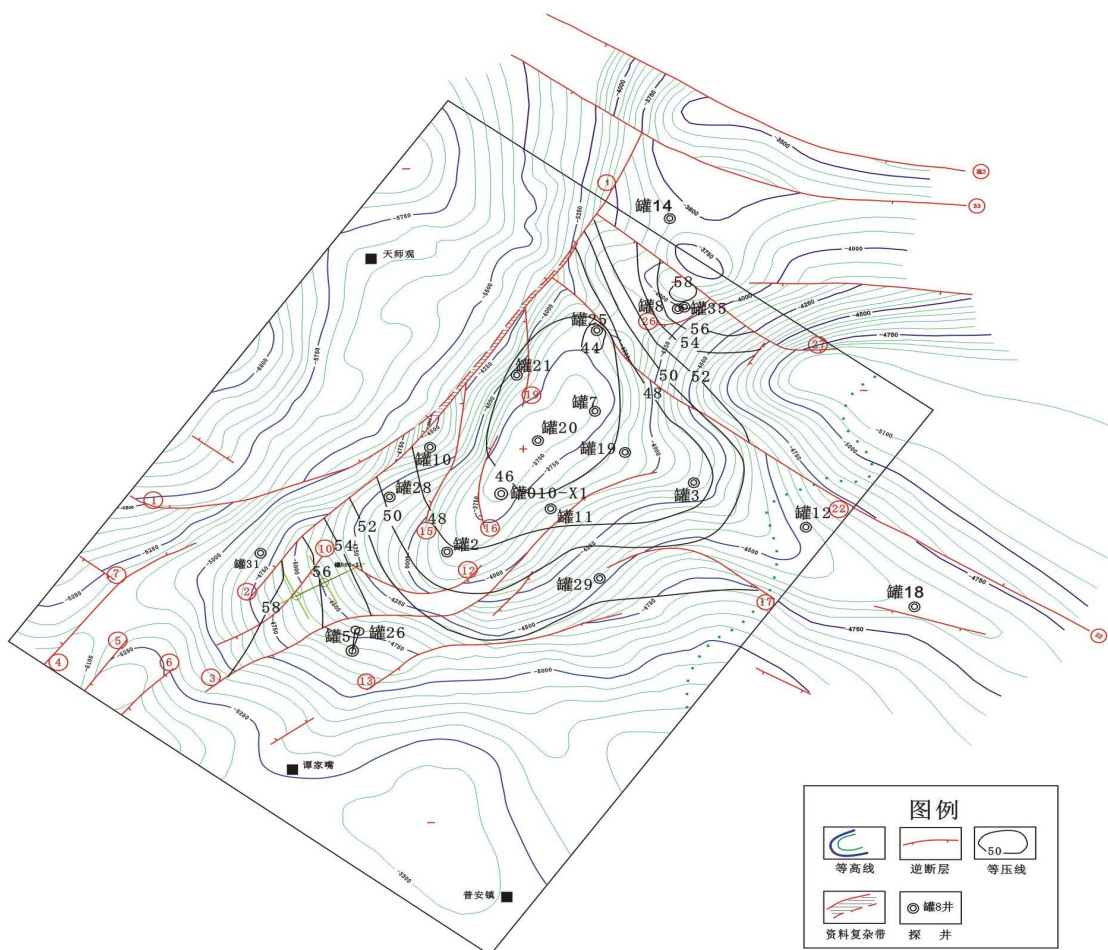


Figure 4. Contour map of formation pressure of carboniferous gas reservoirs in Shaguanping gas field (1988)

图 4. 沙罐坪气田石炭系气藏地层压力等值线图(1988年)

图 5 为沙罐坪气田石炭系气藏 1999 年的地层压力等值线图。由图知，整个气藏已经基本表现为一个压力系统，罐 7 井和罐 20 井附近地层压力最小，只有不到 44 MPa。因为罐 7 井压力下降比较快，加上与罐 3 井所在部位之间存在着一定的连通性，从整个气藏等压线分布看来，已经形成一个统一压力系统，



**Figure 5.** Contour map of formation pressure of carboniferous gas reservoirs in Shaguanping gas field (1999)  
**图 5.** 沙罐坪气田石炭系气藏地层压力等值线图(1999 年)

**Table 3.** Pressure data of original stratum of carboniferous gas reservoir in Shaguanping gas field  
**表 3.** 沙罐坪气田石炭系气藏原始地层压力数据表

井号	井口压力(MPa)(绝)	地层压力(MPa)	中部井深(m)	折算压力(MPa)
				折算至-4243 m
罐 10	48.445	60.399	4774.0	60.252
11	48.322	59.687	4490.0	60.358
2	48.513	59.435	4320.0	60.310
3	48.384	60.103	4643.0	60.309
7	48.464	59.087	4206.0	60.253
8	46.984	58.747	4704.0	59.237
14	46.843	58.871	4709.8	59.55
20	36.695	46.198	4267.0	47.227
21	38.111	49.284	4944.0	48.91
25	47.459	58.709	4449.5	59.619
28	41.371	52.39	4695.5	52.416
29	47.952	59.761	4911.0	59.857
31	46.154	59.008	5264.5	57.781

各井之间的压差较小。气藏北端罐 8 井附近地层压力相对以前也在下降,但是下降幅度较小,而气藏南端的地层压力基本上没有下降。

图 6 是沙罐坪气田石炭系气藏 2012 年的地层压力等值线图。从图中等压线的变化情况来看,构造主体部位的罐 2~25 井区(包括罐 2、7、10、11、19、20、21、25、28 井),相互连通性好,各井之间的压差一般低于 5~6 MPa,形成气藏的低压区,压降中心一般在罐 7 和罐 25 井区。构造端部罐 8~14 井区、罐 26~31 井区和东翼的罐 3~29 井区由于受低渗带和断层的影响,不仅区域内的井间连通性差,地层压力高,而且与主体的罐 2~25 井区连通性也很差,形成了边部压力高、中部压降漏斗很深的压力分布格局,但在总体上仍为一个统一的压力系统,边缘井的压力随着中心压降漏斗的加深而逐步下降。

综合分析认为,沙罐坪气田石炭系气藏为一个统一的压力系统,整个气藏是连通的,只是气藏内高中低渗储渗单元不同从而导致压降的差异性,如北端的罐 8、14 井和东南端的 29 井与主体连通性较差。

### 5. 结论

1) 沙罐坪气田石炭系气藏气质较好,属低含硫的干气气藏。整个气藏凝析水性质比较一致,凝析水矿化度平均为 65.03 g/L,为沉积封存高矿化度区,地层水均为 CaCl<sub>2</sub> 型,属于典型的交替停滞型地层水,避免了油气散失,是一种处于较好封闭环境的水型。

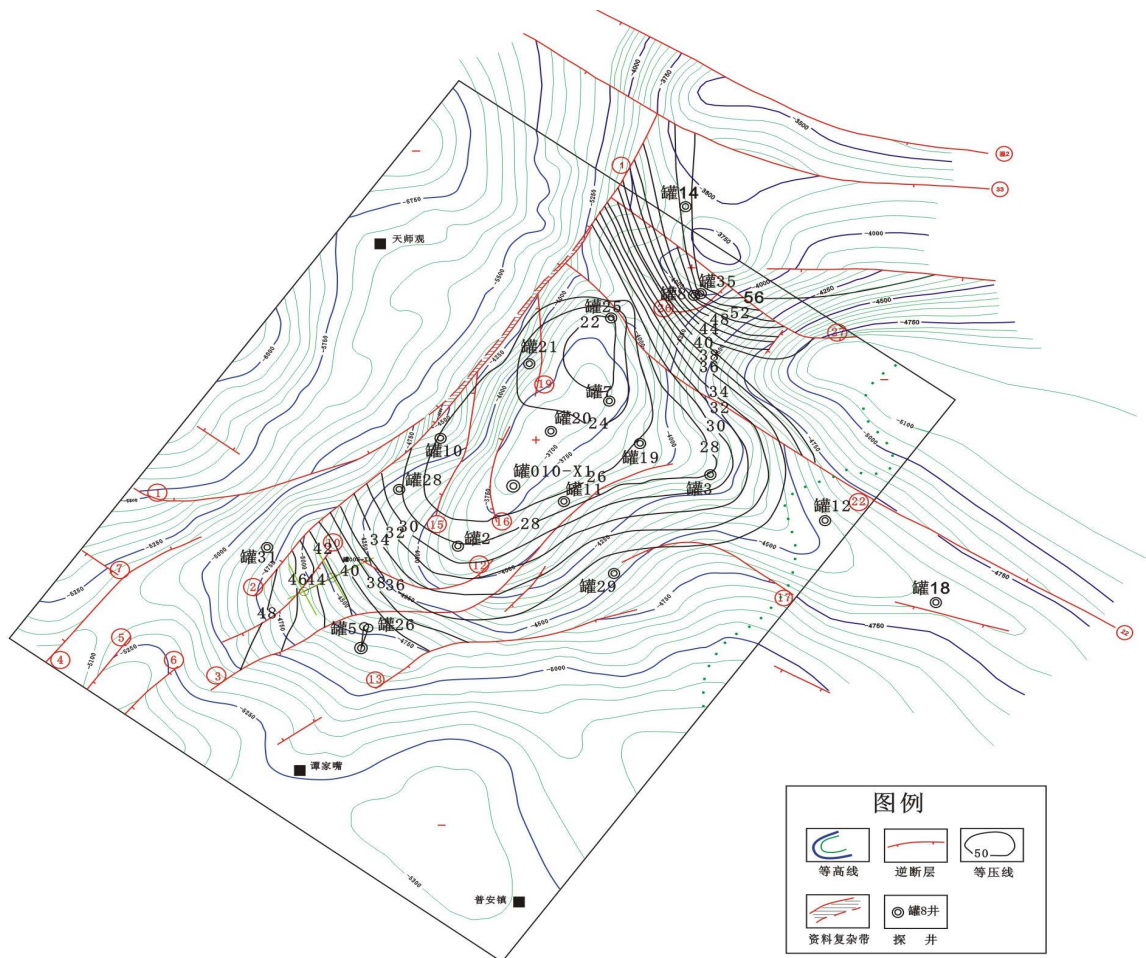


Figure 6. Contour map of formation pressure of carboniferous gas reservoirs in Shaguanping gas field (2012)  
图 6. 沙罐坪气田石炭系气藏地层压力等值线图(2012 年)



2) 沙罐坪气田石炭系气藏的原始地层压力为 60.297 MPa, 平均压力系数为 1.45, 属烃柱高度引起的弱超压气藏。原始状态全气藏为同一压力系统, 整个气藏存在着很好的连通性。

3) 沙罐坪气田石炭系气藏的地层压力由起初的两个压力系统变化为以罐 7 井和罐 25 井为中心的一个压力系统, 形成了边部压力高、中部压降漏斗很深的压力分布格局, 但在总体上仍为一个统一的压力系统, 边缘井的压力随着中心压降漏斗的加深而逐步下降。

## 参考文献

- [1] 朱光有, 张水昌, 梁英波, 等. 四川盆地天然气特征及气源[J]. 地学前缘, 2006, 13(2): 234-248.
- [2] 刘树根, 徐国盛. 川东石炭系气藏含气系统研究[J]. 石油学报, 1997, 18(3): 13-22.
- [3] 陈宗清. 川东石炭系地层-构造复合圈闭气藏的预测、分类和评价[J]. 石油学报, 2000, 21(3): 25-30.
- [4] 钱峥. 川东石炭系碳酸盐沉积环境探讨[J]. 天然气工业, 1999, 19(4): 19-22.
- [5] 徐国盛, 赵异华. 川东开江古隆起区石炭系气藏成藏机理剖析[J]. 石油实验地质, 2003, 25(2): 158-163.
- [6] 徐国盛, 王德斌, 王庆鹏, 等. 川东沙罐坪石炭系沉积微相特征及其储渗单元[J]. 西南石油大学学报(自然科学版), 2010, 32(1): 170-174 + 206-207.
- [7] 杨斌, 刘晓东, 徐国盛, 等. 川东沙罐坪石炭系气藏测井储层评价[J]. 物探化探计算技术, 2010, 32(1): 35-40 + 118.
- [8] 王兰生, 苟学敏, 刘国瑜, 等. 四川盆地天然气的有机地球化学特征及其成因[J]. 沉积学报, 1997(2): 49-53.
- [9] 王兰生, 陈盛吉, 杨家静, 等. 川东石炭系储层及流体的地球化学特征[J]. 天然气勘探与开发, 2001(3): 28-38 + 21.
- [10] 徐国盛, 刘树根, 张英俊, 等. 川东石炭系天然气富集的水化学条件[J]. 石油与天然气地质, 1999, 20(1): 15-19.
- [11] 刘吉成, 董鲜滨. 川东石炭系储集体地层压力弹性能量场势研究[J]. 天然气工业, 1995(2): 20-24 + 108-109.
- [12] 董凌峰, 刘全有, 孙冬胜, 等. 建南气田天然气成因、保存与成藏[J]. 天然气地球科学, 2015, 26(4): 657-666.
- [13] Gaupp, R., Moller, P., Luders, V., et al. (2008) Fluids in Sedimentary Basin: An Overview. In: Littke, R., Bayer, U. and Gajewski, D., Eds., *Dynamics of Complex Sedimentary Basins: The Example of the Central European Basin System*, Springer, Berlin, 347-365.
- [14] 胡晓凤, 王韶华, 盛贤才, 等. 中扬子区海相地层水化学特征与油气保存[J]. 石油天然气学报, 2007, 29(2): 32-37.

### 知网检索的两种方式:

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>  
下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2330-1724, 即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>  
左侧“国际文献总库”进入, 输入文章标题, 即可查询

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>  
期刊邮箱: [ojs@hanspub.org](mailto:ojs@hanspub.org)