

徐家围子断陷火山岩天然气盖层差异特征

张雷^{1,2,3}, 朱伦葳^{1,3}, 卢双舫⁴, 张学娟^{1,3}, 申家年^{1,3}, 王雅春^{1,3}

[1. 东北石油大学 地球科学学院, 黑龙江 大庆 163318; 2. 美国德克萨斯农工大学 地质与地球物理系, 德克萨斯州 休斯敦 77840; 3. 东北石油大学 非常规油气成藏与开发省部共建国家重点实验室, 黑龙江 大庆 163318; 4. 中国石油大学(华东) 非常规油气与新能源研究院, 山东 青岛 266580]

摘要:通过分析松辽盆地徐家围子断陷营城组火山岩气藏上覆岩层的岩性、物性、空间位置及厚度等差异分布规律,确定了火山岩天然气盖层的类型及划分标准,探讨了各类型盖层的空间分布规律、天然气封闭性及其对气藏发育控制作用的差异性。分析结果表明,徐家围子断陷营城组火山岩天然气盖层具有3种类型:Ⅰ型为顶部泥岩盖层,Ⅱ型为顶部致密火山岩盖层,Ⅲ型为上部致密火山岩夹层盖层。其中,Ⅱ型和Ⅲ型盖层岩性均含有火山熔岩及火山碎屑岩两类岩性,且伽马及密度测井曲线都显示高值特征;二者测井响应主要区别在于空间分布位置上的差异,Ⅱ型盖层位于火山岩顶部,而Ⅲ型盖层则位于火山岩段上部,其上还覆盖低密度火山岩段。Ⅱ型盖层覆盖面积大,空间连续性好,排替压力最大可达8.8 MPa,相同盖层厚度条件下所对应单井日产气量最高,可达 $36.6 \times 10^4 \text{ m}^3$;Ⅰ型盖层覆盖面积次之,且主要发育在断陷边部地区,排替压力最大为6.9 MPa,覆盖范围内单井日产气量最高为 $23.2 \times 10^4 \text{ m}^3$;而Ⅲ型盖层分布区域内致密封盖层之间空间连续性较差,盖层排替压力大部分在4.75 MPa以内,单井日产气量最高仅为 $12.8 \times 10^4 \text{ m}^3$ 。Ⅱ型盖层对天然气具有更强的封盖作用,Ⅰ型盖层次之,Ⅲ型盖层封盖能力最差。各类型盖层封盖能力的差异性控制着火山岩气藏的形成与富集。

关键词:火山岩;封盖能力;盖层;天然气藏;徐家围子断陷;松辽盆地

中图分类号:TE122.2

文献标识码:A

Differential characteristics of cap rocks of volcanic gas reservoirs in the Xujiaweizi fault-depression, Songliao Basin

Zhang Lei^{1,2,3}, Zhu Lunwei^{1,3}, Lu Shuangfang⁴, Zhang Xuejuan^{1,3}, Shen Jianian^{1,3}, Wang Yachun^{1,3}

(1. College of Geosciences, Northeast Petroleum University, Daqing, Heilongjiang 163318, China; 2. Department of Geology and Geophysics, Texas A & M University, TX 77840, USA; 3. Accumulation and Development of Unconventional Oil and Gas, State Key Laboratory Cultivation Base Jointly-constructed by Heilongjiang Province and the Ministry of Science and Technology, Northeast Petroleum University, Daqing, Heilongjiang 163318, China; 4. Research Institute of Unconventional Oil and Gas and New Energy, China University of Petroleum, Qingdao, Shandong 266580, China)

Abstract: Through analyzing the lithology, physical properties and spatial locations of the rocks overlying volcanic gas reservoirs, this paper investigated the types of cap rock and identification marks of each type in the Yingchen Formation of Xujiaweizi fault-Depression, and then discussed the spatial distribution, sealing ability and control on the formation of gas reservoirs of each cap rock type. The results showed that there were three types cap rocks of volcanic gas reservoirs in the Yingchen Formation of Xujiaweizi fault-Depression: type I is mudstone cap rock overlying just on the top of volcanic gas reservoirs; type II is compact volcanic cap rock located at the top of volcanic reservoirs; and type III is compact volcanic cap rock interbedded with loose volcanic rocks in the upper section of volcanic reservoirs. Type II and type III cap rocks are mainly consisted of volcanic lava and pyroclastic rock. Both type II and type III cap rocks show high gamma-ray deflections and high density. The main difference between these two types of cap rocks is spatial distribution. The type II cap rock is located at the top of volcanic reservoirs, while the type III cap rock is located at the upper part of volcanic reservoirs and usually covered by volcanic rocks with low density. The type II cap rock had the widest distribution area and best spatial continuity than the others. The displacement pressures of type II cap rock was up to 8.8 MPa and single well

收稿日期:2014-08-12; 修订日期:2014-10-12。

第一作者简介:张雷(1979—),男,博士、副教授,石油天然气地质综合研究。E-mail: zhlkeyan@163.com。

基金项目:黑龙江省教育厅科学技术研究项目(12521061)。

daily gas production in reservoirs with this type of cap rocks is the highest (up to $36.6 \times 10^4 \text{ m}^3$) in comparison with the other two types of cap rocks with the same thickness. The type I cap rock has a smaller distribution area than type II and it is mainly distributed in the edge regions of fault-depression. Its displacement pressures is up to 6.9 MPa and the highest single well daily gas production in areas with this type of cap rocks could reach $23.2 \times 10^4 \text{ m}^3$. The spatial continuity of type III cap rock was poor and its displacement pressures was usually under 4.75 MPa, resulting in the highest daily gas production of one well only of $12.8 \times 10^4 \text{ m}^3$ in the distribution area of type III cap rock. Comprehensive analysis showed that type II cap rock had the best sealing ability among all cap rock types, sealing ability of type III cap rock was the worst, and that of type I cap rock was moderate. This difference of sealing ability among three types of cap rocks controlled the formation and enrichment of volcanic gas reservoirs.

Key words: volcanic rock, sealing ability, cap rock, gas reservoir, Xujiaweizi fault-depression, Songliao Basin

松辽盆地北部徐家围子断陷是我国深层天然气勘探的重点区域,受近南北向的徐西控陷断裂、近东西向的徐中走滑断裂和徐东断裂带的控制,断陷构造总体上具有四周高中间低,中部宽而深,南北窄而浅的特点,呈近南北向展布的“两拗三隆”的构造格局^[1-2]。松辽盆地北部火山岩储层天然气储量占盆地天然气总探明储量的90%以上,揭示了火山岩天然气藏在油气资源中的重要地位及勘探远景^[3-4]。由于天然气具有较强的散逸特性,因此上覆地层的封盖作用成为天然气长期、有效成藏更为重要的条件之一,盖层分布位置和封盖性都直接影响着天然气的成藏规模^[5-8]。常见的盖层有页岩、泥岩、盐岩、石膏等,而徐家围子地区火山岩气藏顶部盖层除常见的泥岩外,还存在规律性分布的致密火山岩盖层。徐家围子断陷自储自盖的火山岩盖层与泥岩盖层混合分布,空间关系复杂,火山岩气藏盖层研究具有一定的难度。前人对火山岩盖层的划分类型及划分标准已作了初步探讨^[9-12],然而由于资料及研究方法的限制,目前对火山岩气藏盖层识别标志、类型划分、分布规模及封盖性差异的认识并不完善,尚属于火山岩成藏研究中的薄弱环节,急需不断地探索和完善。因此,本文以徐家围子地区营城组为例,开展火山岩气藏盖层类型特征及识别标志、空间分布特征、封盖性特征及其对天然气成藏的控制作用研究,对于深入认识火山岩气藏成藏主控因素以及指导火山岩气藏勘探具有重要的理论和实践意义。

1 火山岩天然气藏盖层类型及识别标志

通过对已发现火山岩气藏的精细解剖,结合岩心观察、试气数据和各测井系列数据统计分析,徐家围子断陷火山岩气藏的有效盖层(本文所述“有效盖层”是指其下覆地层已发现被封盖的火山岩气藏的盖层)主要有泥岩和火山岩两种不同的岩性,其中火山岩盖层为自储自盖的特殊岩性盖层,因此首先需要明确

火山岩储层与盖层之间的特征差异及划分依据。通过岩心、岩性、物性及测井序列数据统计分析,表明火山岩盖层与储层在岩石物性及测井曲线特征上具有较明显的差异(图1)。岩心观察表明,具有天然气封盖作用的火山岩较为致密,且裂缝具有后期胶结充填的普遍现象(图1a);作为储集层的火山岩普遍具有不同程度的溶蚀现象以及孔洞和裂缝发育等低密度特征(图1b)。徐家围子断陷已探明火山岩气藏储层与火山岩封盖层的岩石密度平均值概率统计结果(图1c)表明,火山岩储层与盖层岩石密度具有明显的差异。火山岩储层岩石密度分布在 $2.275 \sim 2.550 \text{ g/cm}^3$, 密度峰值为 2.425 g/cm^3 ;火山岩盖层岩石密度分布在 $2.45 \sim 2.80 \text{ g/cm}^3$, 岩石密度峰值为 2.575 g/cm^3 ;火山岩盖层与储层岩石密度值分布区间重叠区域小、概率峰值位置差别明显。火山岩储层与盖层的声波时差值平均值概率分布均呈现双峰特征(图1d),火山岩盖层声波时差值分布在 $53 \sim 66 \mu\text{s/ft}$, 概率峰值在 $58 \mu\text{s/ft}$, 火山岩储层声波时差值分布在 $55 \sim 75 \mu\text{s/ft}$, 主要概率峰值在 $60 \mu\text{s/ft}$;二者声波时差概率峰值重叠区域较大。因此声波时差不能作为火山岩盖层与储层划分标准的有效依据,而火山岩岩石密度可作为区分火山岩盖层与储层的有效识别标志之一。由此可以从火山岩中识别出火山岩盖层,进而结合气藏其它岩性盖层统一划分火山岩天然气气藏的盖层类型,开展火山岩气藏盖层各类型分布特征、封盖性及对天然气控制作用的差异性研究。

通过对研究区火山岩气藏有效盖层的岩性、物性、空间位置研究及测井曲线特征统计分析可知,研究区火山岩气藏盖层可划分为3种类型:顶部泥岩盖层(I型)、顶部火山岩盖层(II型)及上部火山岩夹层盖层(III型)。各类盖层分别具有不同的岩性特征、空间位置和测井曲线特征(图2)。

I型为顶部泥岩盖层,普遍具有井径增大、高声

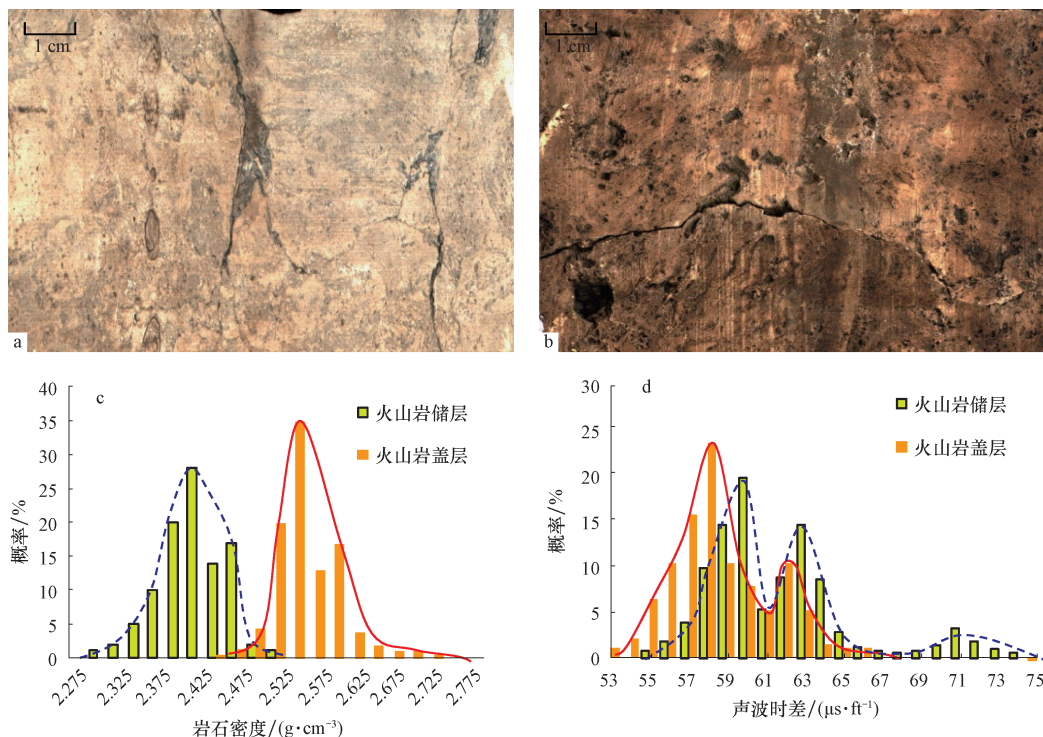


图1 火山岩储层与盖层岩石学特征

Fig. 1 Petrological characteristics of volcano rock reservoirs and cap rocks

- a. 火山岩盖层裂缝充填及致密特征,徐深8井,埋深3638.47 m; b. 火山岩储层溶蚀现象及低密度特征,徐深8井,埋深3740.04 m;
c. 火山岩储层与盖层岩石密度概率直方图; d. 火山岩储层与盖层声波时差概率直方图

波时差、高自然伽马的测井曲线特征,且依据密度曲线特征可进一步分为高密度和低密度两类特征(图2a, b),此类盖层厚度普遍不大,盖层下伏地层为含气的低密度火山岩。

Ⅱ型为顶部致密火山岩盖层,普遍具有井径不变、高自然伽马的特点,其最明显的测井曲线特征为高密度值,可分为火山碎屑岩(高声波时差)和火山熔岩(低声波时差)两类(图2c, d),此类盖层上覆砂砾岩或薄层泥岩,盖层之下为含气低密度火山岩。

Ⅲ型为上部夹层火山岩盖层,测井曲线特征与Ⅱ型基本相同,即普遍具有井径不变、高自然伽马和明显的高密度,同样可分为火山碎屑岩(高声波时差)和火山熔岩(低声波时差)两类(图2e, f)。此类盖层与Ⅱ型盖层的主要区别在于它并不位于火山岩段的最顶部,而是位于火山岩的上段,与火山岩顶部间隔一定范围的低密度疏松火山岩,距离范围在6~76 m,该类型致密火山岩盖层夹在上下低密度火山岩之间且普遍位于整个火山岩段上部,因此称其为“上部夹层火山岩盖层”。

依据各类型盖层识别标准,对徐家围子断陷内在营城组中已钻遇火山岩储层及盖层的115口井的盖层类型进行划分(表1),结果表明有34口井营城组火山岩气藏盖层属于顶部泥岩盖层(Ⅰ型),其中24口井为具有密度变高特征的泥岩盖层,10口井为具有密度

变低特征的泥岩盖层;52口井营城组火山岩气藏盖层属于顶部致密火山岩盖层(Ⅱ型),其中38口井为火山熔岩盖层,声波时差值普遍具有变小特征,14口井为火山岩碎屑岩盖层,声波时差值具有变大特征;29口井营城组火山岩气藏盖层属于上部火山岩夹层盖层(Ⅲ型),其中19口井为火山熔岩盖层,声波时差值变小,10口井为火山岩碎屑岩盖层,声波时差值普遍变大;此外研究区内还有少部分井不具有储盖组合。

2 火山岩天然气藏盖层分布特征

徐家围子断陷火山岩气藏盖层的岩性及空间位置分布关系较复杂,但总体上3种类型盖层在平面上和垂向上的分布都具有一定的规律性。

2.1 平面分布特征

火山岩气藏盖层类型划分结果显示,研究区内各类型盖层平面分布具有一定的区域性(图3a)。类型Ⅰ盖层主要分布在徐深6—徐深42井区以及火山岩厚度较小的断陷边部;Ⅱ型盖层主要分布在芳深9—徐深10—徐深19井区以及达深401—徐深603井区火山岩较发育的区域;Ⅲ型盖层主要分布在徐深26—徐深901井区以及断陷北部的达深1井区等区域,其中徐深26—徐深901井区是火山岩储层较发育的区域。

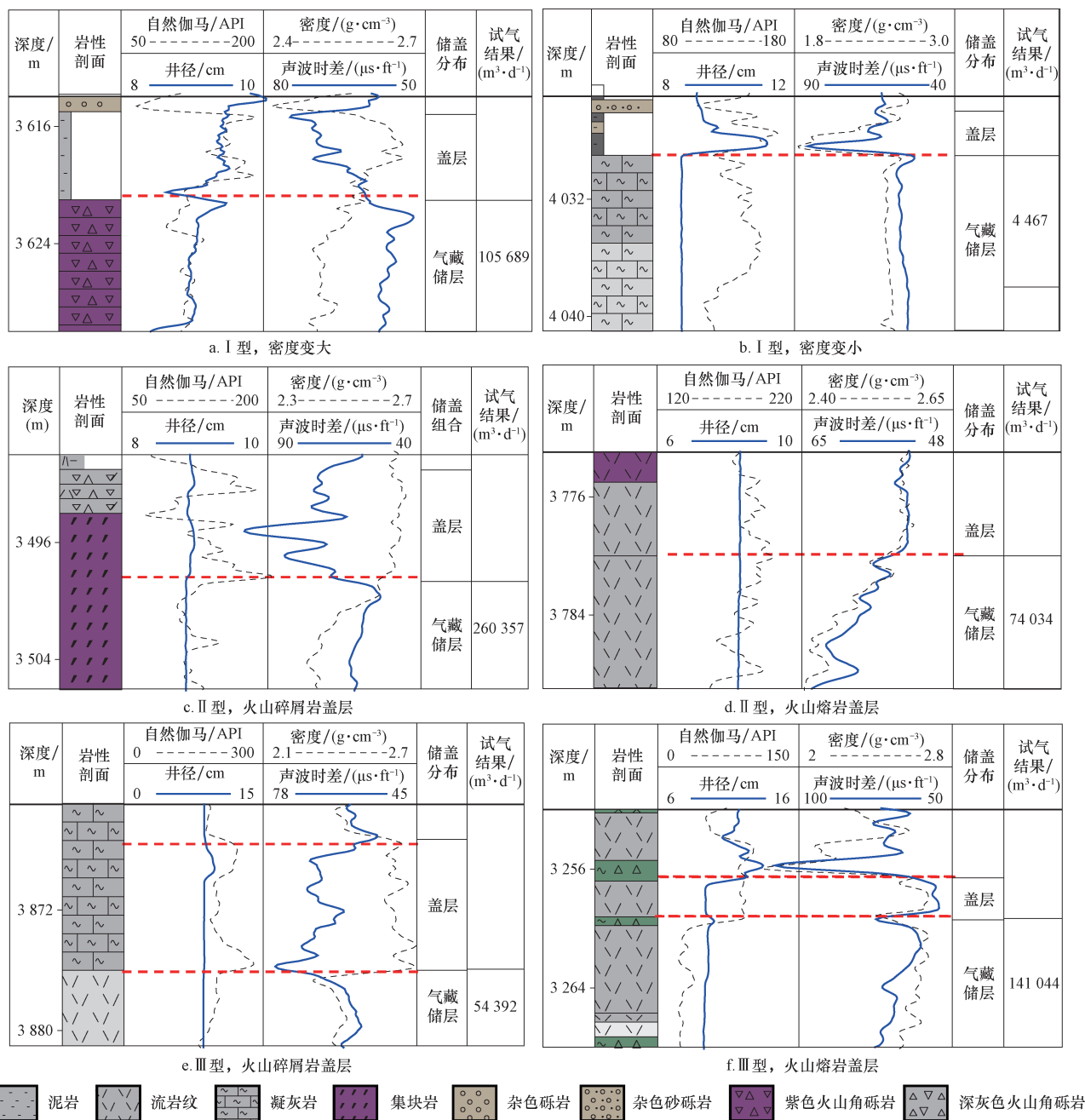


图2 火山岩气藏各类型盖层测井曲线特征

Fig. 2 Logging characteristics for all types of cap rocks in volcanic rocks gas reservoirs

需要说明的是,本次研究中各类型盖层均指直接接触并封盖气藏的盖层,Ⅱ型盖层发育区有部分泥岩以非直接盖层的形式覆盖在其上,这部分泥岩不属于直接接触并封盖气藏的盖层,因此Ⅰ型泥岩盖层的发育范围小于火山岩顶部被泥岩覆盖的实际范围。综上所述,徐家围子断陷以Ⅱ型顶部致密火山岩盖层覆盖面积最广,且主要分布于火山岩储层较发育地区,Ⅰ型顶部泥岩盖层分布范围次之,Ⅲ型上部火山岩夹层盖层分布面积最小。

2.2 垂向分布特征

由图4中可知,徐家围子断陷不同类型盖层的垂

向相对位置关系为由上至下依次发育Ⅰ型盖层、Ⅱ型盖层和Ⅲ型盖层。断陷两侧构造较高部位泥岩段较发育,直接覆盖在火山岩储层上可形成Ⅰ型盖层,泥岩段也可向断陷内部延伸覆盖于顶部致密火山岩盖层之上;当火山岩段顶层表现为高密度致密物性时,其可作为良好的天然气封盖层,形成Ⅱ型盖层,此时上覆泥岩层不视为Ⅰ型盖层;当火山岩段顶层表现为低密度疏松物性时,且其下伏火山岩段具有较连续分布的致密火山岩夹层,可起到对火山岩气藏的封盖作用,则形成Ⅲ型盖层,但此类连片分布的火山岩夹层之间通常具有一定的横向不连续性,研究区Ⅲ型盖层上覆疏松火山岩层厚度一般分布在30~40 m。

表 1 徐家围子断陷营城组火山岩气藏盖层类型

Table 1 Cap rock types of volcanic rocks of Yingcheng Formation in the Xujiaweizi fault-depression

盖层类型	Ⅰ型顶部泥岩盖层		Ⅱ型顶部致密火山岩盖层		Ⅲ型上部夹层致密火山岩		
测井曲线共性特征	声波、井径、伽马变大		密度值变大		密度值变大		
空间发育位置	直接覆盖在火山岩之上		火山岩顶层		火山岩上部致密夹层		
总井数/口	34		52		29		
岩性	泥岩	泥岩	火山熔岩	火山碎屑岩	火山熔岩	火山碎屑岩	
测井曲线分类特征	密度变小	密度变大	声波变小	声波变大	声波变小	声波变大	
井数/口	24	10	38	14	19	10	
井列表	徐深 1	徐深 6	徐深 2	朝深 7	徐深 1－1	徐深 16	徐深 21－5
	徐深 21	徐深 7	徐深 4	达深 1	徐深 201	徐深 23	徐深 212
	徐深 22	徐深 18	徐深 5	达深 2	徐深 401	徐深 24	徐深 301
	徐深 41	徐深 601	徐深 8	达深 3	徐深 603	徐深 25	徐深 441
	徐深 42	徐深 602	徐深 9	达深 6	肇深 12	徐深 26	徐深 9－1
	徐深 43	徐深 605	徐深 10	达深 8	徐深 9－4	徐深 27	徐深 903
	徐深 502	徐深 801	徐深 11	达深 11	徐深 9－5	徐深 28	达深 9
	徐深 6－2	肇深 10	徐深 12	达深 12	朝深 8	徐深 29	达深 10
	徐深 606	芳深 701	徐深 13	达深 401	达深 12	徐深 141	宋深 5
	肇深 6	升深 8	徐深 14	汪深 101	达深 x301	徐深 211	徐深 21－4
	肇深 8		徐深 15	肇深 16	汪深 102	徐深 213	
	朝深 1		徐深 17	宋深 7	徐深 3	徐深 232	
	达深 9		徐深 19	升深 203	芳深 9	徐深 271	
	达深 13		徐深 21－1	升深 4	芳深 8	徐深 302	
	达深 302		徐深 21－2			达深 4	
	芳深 901		徐深 21－3			达深 11	
	芳深 6		徐深 31			达深 X5	
	升深 7		徐深 33			达深 X7	
	宋深 1		徐深 44			徐深 901	
	宋深 2		徐深 231				
	宋深 102		徐深 9－2				
	汪深 1		徐深 9－3				
	汪深 101		徐深 902				
	卫深 501		徐深 904				

3 火山岩天然气藏盖层封闭性

3.1 盖层厚度

天然气盖层厚度不仅控制着盖层空间展布范围的大小,而且还一定程度上还影响着盖层的封闭质量^[9]。相同开发开采技术条件下,单井日产气量受储量丰度、储层物性等因素影响,天然气单井日产量在一定程度上可以反应气藏储量丰度的情况^[13-14]。各类型盖层厚度概率分布图(图 5a)表明,Ⅰ型盖层厚度范围主要分布在 0~5 m,最大可达 52 m(徐深 42 井);Ⅱ型盖层厚度范围主要分布在 3~24 m,最大可达 80 m(徐深 8),具有 3 个概率峰值,依次为 5~6 m、14~15 m 和 21~22 m;Ⅲ型盖层厚度范围主要分布在 3~17 m,最大可达 56 m(徐深

28 井),具有两个概率峰值,依次为 5~6 m 和 15~16 m,Ⅱ型顶部致密火山岩盖层发育厚度总体上最大。由各类型盖层的厚度与对应的天然气藏单井日产气量关系(图 5b—d)可知,随着各类型盖层厚度增大,其对应可达到的最大单井日产气量均增大,且当盖层达到一定厚度后,盖层厚度增大对最大日产气量的影响作用明显减弱;3 种类型盖层厚度达到 20 m 左右以后,天然气单井日产量最大值基本稳定。Ⅰ型盖层厚度达到 20 m 以后,单井日产量最大可达 $30 \times 10^4 \text{ m}^3$ 左右;Ⅱ型盖层厚度达到 20 m 以后,单井日产量最大可达 $40 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 左右;Ⅲ型盖层厚度达到 20 m 以后,单井日产量最大可达 $20 \times 10^4 \text{ m}^3$ 左右;相同盖层厚度条件下,Ⅱ型盖层所对应的气藏最高单井日产气量最大、Ⅰ型盖层次之、Ⅲ型盖层所对应的最高日产气量则最小。

依据研究区内各井盖层厚度解释结果编制了各类

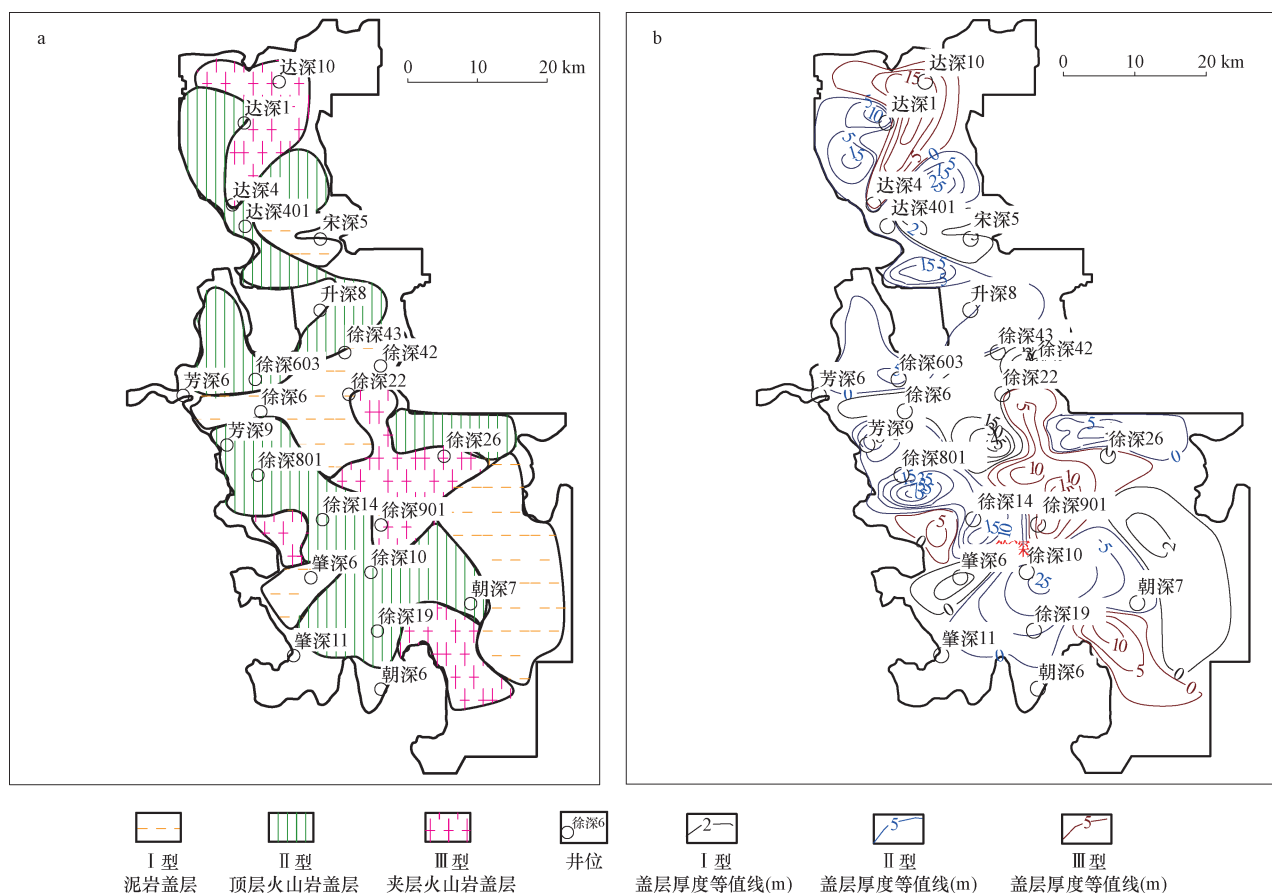


图3 徐家围子断陷火山岩天然气藏各类型盖层

平面分布范围(a)和厚度等值线(b)

Fig. 3 Areal distribution (a) and thickness contours(b) of all types of cap rocks in volcanic gas reservoirs in the Xujiaweizi fault-depression

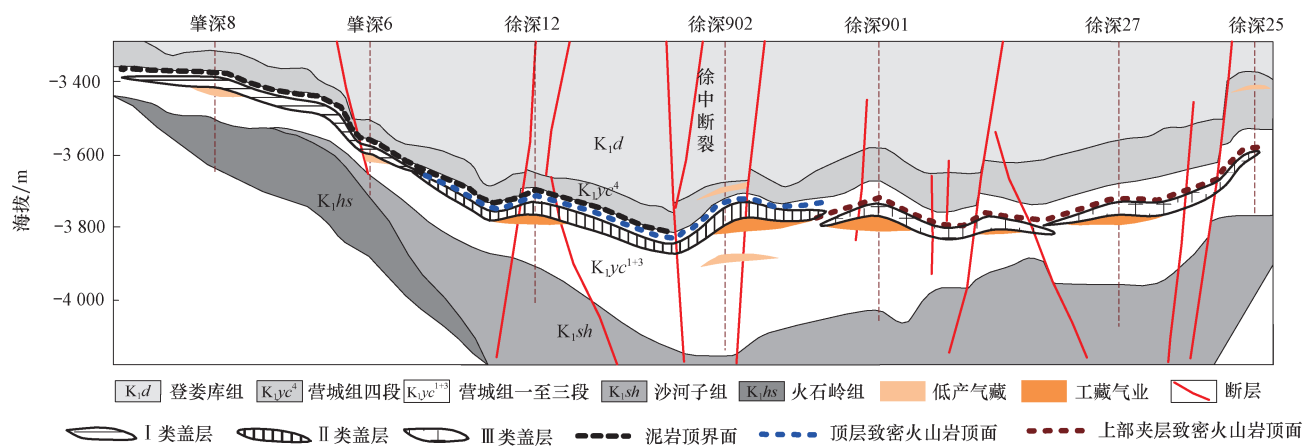


图4 徐家围子断陷营城组火山岩气藏各类型盖层垂向分布模式

Fig. 4 Vertical distribution pattern for all types of cap rocks in volcanic gas reservoirs of the Yingcheng Formation in the Xujiaweizi fault-depression

型盖层厚度等值线(图3b)。由图中可知, I型盖层即直接对天然气起到封盖作用的泥岩盖层,发育范围不大且厚度较小,徐深6井向东至徐深42井所在区域泥岩盖层厚度相对较大,其余泥岩盖层发育区域均位于断陷边部火山岩储层不发育地区,且盖层厚度相对较小。

II型顶部致密火山岩盖层分布面积及厚度相对较大,主要发育在3个较大的连续区域内,其中芳深9-朝深7井所在的北西-南东向延伸的连续区域为该类型盖层分布最广的区域,在徐深8井附近II型盖层最大厚度可达80 m。

III型上部夹层火山岩盖层分布区域整体不大,在

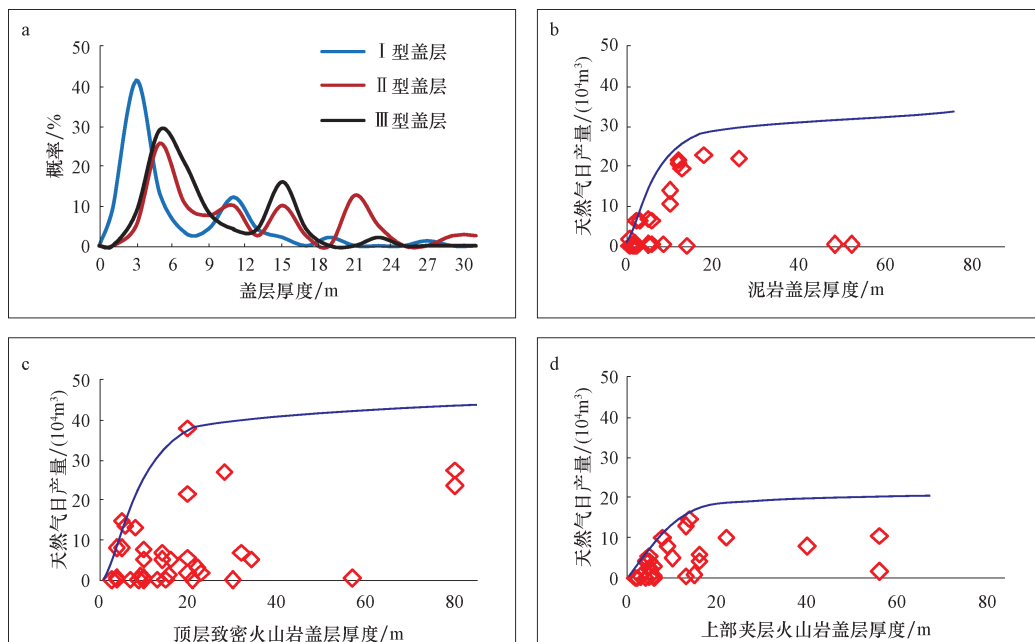


图5 各类型盖层厚度概率分布及盖层厚度与单井日产气量关系

Fig. 5 Thickness probability distribution and relationship between thickness and single well daily gas production for all types of cap rocks

a. 各类型盖层厚度概率分布; b. I型盖层厚度与单井日产气量关系; c. II型盖层厚度与单井日产气量关系; d. III型盖层厚度与单井日产气量关系

徐深901井和达深10井所在区域分布面积及厚度相对较大,其他发育区均位于断陷边部且发育面积及厚度均较小。

3.2 盖层排替压力

盖层之所以具封闭能力,是由于岩性致密、无裂缝、渗透性差,这些性质综合体现为盖层是否具备较高的排替压力^[5]。本次研究根据文献[10]、文献[15]中实验数据确定的火山岩盖层(火山碎屑岩及火山熔岩)和泥岩盖层排替压力与声波时差值的数学关系,利用研究区115口井盖层段声波时差曲线对各井火山岩及泥岩盖层的排替压力进行计算。由计算所得各类型盖层排替压力概率统计分布图(图6a)可知,3种盖层排替压力概率分布峰值分别为I型盖层5 MPa左右、II型盖层8 MPa左右、III型盖层3 MPa左右,因此可知II型盖层排替压力整体相对最高。各类型盖层排替压力与气藏单井日产气量关系(图6b—d)表明,盖层排替压力越大所对应的气藏单井日产气量可达的最大值也越大;研究区内II型盖层排替压力最大可达8.8 MPa,所对应天然气日产量最高值可达 $36.65 \times 10^4 \text{ m}^3$ (图6c);I型盖层的排替压力最大可达6.9 MPa,所封盖的天然气日产量最高值可达 $23.21 \times 10^4 \text{ m}^3$ (图7b);III型盖层的排替压力相对较小,大部分小于4.9 MPa,所封盖的天然气日产量最高值仅为 $14.81 \times 10^4 \text{ m}^3$ (图6d)。

由各井盖层排替压力值绘制营城组火山岩天然气

盖层排替压力等值线预测图(图7a),分析表明,位于断陷内徐中断裂以西的徐深801井、徐深19井、朝深7井所在区域及断陷北部达深401井所在区域,为盖层排替压力整体较大的区域,最大可达8.8 MPa,向断陷边部盖层排替压力逐渐减小。同时发现盖层排替压力较大区域与II型盖层所在区域具有较好的吻合性。按照盖层等级划分标准^[5],徐家围子断陷营城组火山岩天然气盖层具有好和较好封气能力,仅在断陷边部具有中等以下封气能力。

4 火山岩天然气藏盖层对天然气成藏的控制作用

4.1 垂向控制作用

气源对比结果表明,徐家围子断陷火山岩盖层气藏天然气主要来自沙河子组(K_1sh)煤系源岩^[16-17],由气源岩排气史研究可知,其在营城组(K_{1yc})沉积末期开始向外排气,在青山口组(K_2qn)沉积时期达到排气高峰,到明水组(K_2m)沉积末期排气量明显减少。青山口组—嫩江组沉积时期是天然气成藏关键时期,在这个时期以前,营(营城组)一段顶部火山岩已经形成并具备了封盖能力,因此,火山岩盖层在时间上对天然气成藏具有控制作用^[11,18-22]。徐家围子断陷营城组火山岩含气面积、营城组火山岩上覆地层[营四段,登(登娄库组)三、四段及泉(泉头组)三、四段]含气面积叠合图(图7b)表明,由于营城组火山岩天然气盖层的

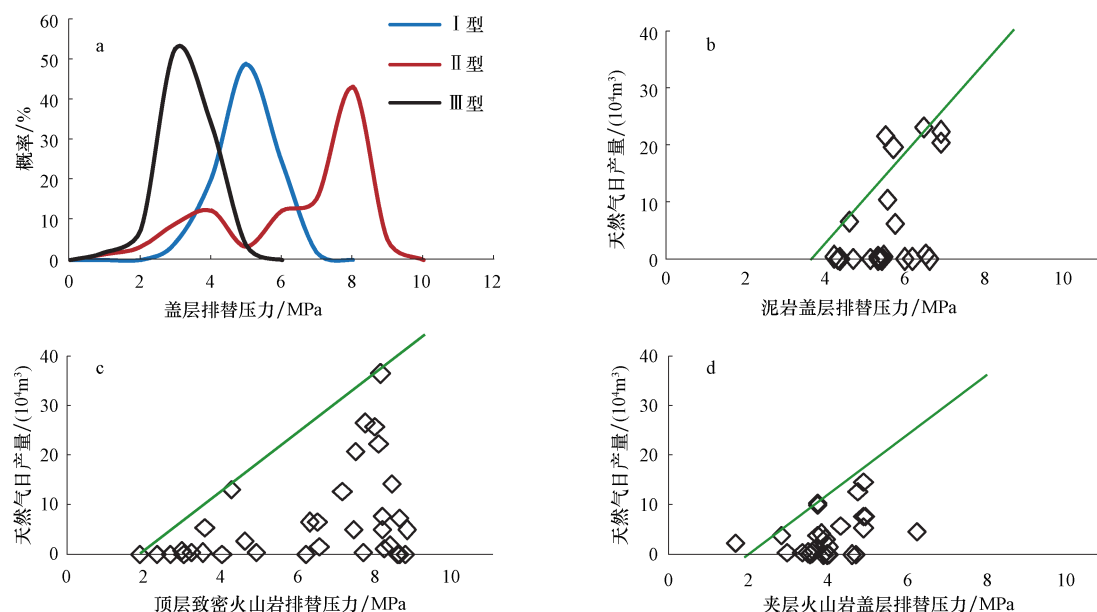


图6 各类型盖层排替压力概率分布及盖层排替压力与天然气日产量关系

Fig. 6 Displacement pressure probability distribution and relationship between displacement pressure and single well daily gas production for all types of cap rocks

a. 各类型盖层排替压力概率分布; b. I型盖层排替压力与单井日产气量关系;
c. II型盖层排替压力与单井日产气量关系; d. III型盖层排替压力与单井日产气量关系

封盖作用,徐家围子断陷深层天然气主要分布在营城组火山岩储层中;徐家围子断陷内部,除了徐中断裂附近的营四段砂砾岩含天然气外,营城组火山岩以上各地层(营四段,登三、四段及泉三、四段)均未发现气藏;由于营城组火山岩上覆盖层向断陷边部逐渐变薄直至尖灭,断陷边部地区排替压力较小,其上覆地层均有气藏发现(图7b)。

综合分析表明,徐家围子断陷营城组火山岩天然气盖层具有较好的垂向封盖作用,对深层天然气垂向分布具有较强的控制作用。

4.2 平面控制作用

徐家围子断陷营城组火山岩盖层的岩性、物性及空间发育位置具有较大的差异性,这些差异性综合体现在对天然气封盖作用的差异,因此各类型火山岩盖层的横向分布范围及特征也同样控制着天然气的横向分布规律。

由盖层封闭性分析可知,II型盖层的分布位置、厚度及所达到的最大排替压力等各因素最有利于天然气的封盖,因此II型盖层分布的范围内排替压力相对较大、天然气产量相对也较高(7b);I型盖层分布范围内排替压力其次、对应的天然气产量对应的也中等;III型盖层上部夹层致密火山岩盖层,其空间分布连续性差、排替压力相对较低,因此其对应的天然气产量最低。综合分析表明,各类型盖层的平面分布对天然藏平面分布规律具有一定的控制作用。

5 结论

1) 徐家围子断陷营城组火山岩盖层可分为3种类型:I型为顶部泥岩盖层,此类盖层厚度普遍较小,盖层下覆地层为含气藏的低密度火山岩;II型为顶部致密火山岩盖层,最明显的特征为密度变大,此类盖层之上为砂砾岩或薄层泥岩,盖层之下为含气藏的低密度火山岩;III型为上部夹层火山岩盖层,与II型相同都具有岩石密度明显变大的特征,与II型不同的为空间分布特征,III型盖层不是最顶层火山岩,一般位于目的层火山岩的上部。此类盖层之上总是分布着一段密度明显变小的疏松火山岩,盖层之下为含气藏低密度火山岩。

2) 数据统计表明,火山岩储层与火山岩盖层的声波时差值概率分布重叠区域较大且概率峰值临近,因此声波时差值不能作为火山岩储层与火山岩盖层的识别标志,而岩石密度概率统计表明,火山岩储层与火山岩盖层岩石密度概率分布区域重叠面积较小且峰值不重叠,因此岩石密度参数可以作为区分火山岩储层与火山岩盖层的主要岩石物理特征。

3) II型盖层分布范围、发育厚度、排替压力均较大,是各类型盖层中对天然气封盖作用最强的盖层。I型顶部泥岩盖层分布范围靠近断陷边部、厚度较薄、排替压力中等,对天然气的封盖作用其次。III型上部夹层火山岩盖层横向连续性差、排替压力普遍较小,对

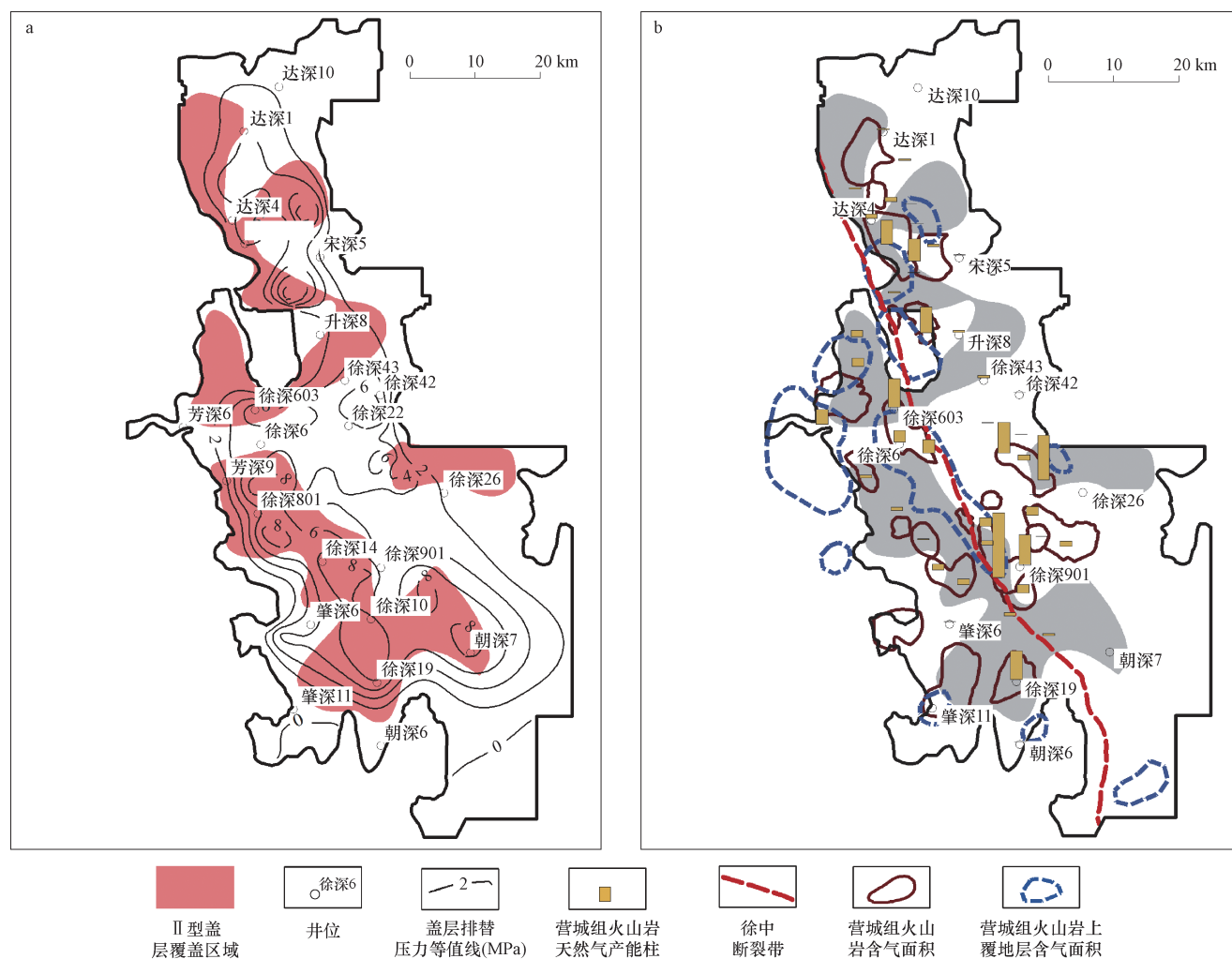


图7 徐家围子断陷营城组火山岩盖层排替压力预测等值线(a)和天然气分布(b)

Fig. 7 Predicted displacement pressure contour for all types of cap rocks in volcanic gas reservoirs (a) and natural gas distribution (b) of the Yingcheng Formation in the Xujiaweizi fault-depression

天然气的封盖作用最差。

4) 徐家围子断陷营城组火山岩气藏盖层对天然气藏垂向及平面分布规律具有一定的控制作用。徐家围子断陷营城组火山岩天然气盖层具有较好的封气能力,垂向上断陷内部深层天然气大部分被封盖在此套盖层之下;平面上不同盖层类型对天然气的控制作用存在差异,Ⅱ型盖层可控制着较大规模及储气丰度的天然气藏、Ⅰ型及Ⅲ型盖层可控制的火山岩天然气藏的规模及储量丰度相对较低。

参 考 文 献

- [1] 殷进垠,刘和甫,迟海江. 松辽盆地徐家围子断陷构造演化[J]. 石油学报,2002,23(2):26-29.
Yin Jinyin, Liu Hefu, Chi Haijiang. Evolution and gas accumulation of Xujiaweizi Depression in Songliao Basin[J]. Acta Petroli Sinica, 2002,23(2):26-29.
- [2] 于丹,吕延防,付晓飞,等. 松辽盆地北部徐家围子断陷断裂构造特征及对深层天然气的控制作用[J]. 地质论评,2010,56(2):237-245.
Yu Dan, Lv Yanfang, Fu Xiaofei, et al. Characteristics of fault structure and its control on deep gas reservoir in Xujiaweizi fault depression, Songliao Basin [J]. Geological Review, 2010, 56 (2): 237-245.
- [3] 蔡周荣,夏斌,郭峰,等. 松辽盆地北部徐家围子断陷营城组火山岩受控机制分析[J]. 石油学报,2010,31(6):941-946.
Cai Zhourong, Xia Bin, Guo Feng, et al. Controlling mechanism on volcanic rocks of the Yingcheng Formation of the Xujiaweizi rift depression in the northern Songliao Basin [J]. Acta Petroli Sinica, 2010,31(6):941-946.
- [4] Li C Q, Pang Y M, Chen H L, et al. Gas charging history of the Yingcheng Formation igneous reservoir in the Xujiaweizi rift, Songliao Basin, China [J]. Journal of Geochemical Exploration. 2006.
- [5] 吕延防,付广,高大岭,等. 油气藏封盖研究[M]. 北京:石油工业出版社,1996:4-30.
Lv Yanfang, Fu Guang, Gao Daling, et al. The sealing ability study of oil and gas reservoirs [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1996: 4-30.
- [6] 付广,刘江涛. 中国高效大中型气田形成的封盖保存条件[J]. 石油勘探与开发,2006,33(6):662-666.
Fu Guang, Liu Jiangtao. Sealing and preservation conditions for large and medium gas fields of China [J]. Petroleum Exploration & Development

- pment, 2006, 33(6): 662–666.
- [7] 张林晔, 包友书, 刘庆, 等. 盖层物性封闭能力与油气流体物理性质关系探讨[J]. 中国科学: 地球科学, 2010, 40(1): 28–33.
- Zhang Linye, Bao Youshu, Liu Qing, et al. Effects of hydrocarbon physical properties on cap rocks capillary sealing ability[J]. Science in China Earth Science, 2010, 53(5): 665–671.
- [8] 张立含, 周广胜. 气藏盖层封气能力评价方法的改进及应用——以我国46个大中型气田为例[J]. 沉积学报, 2010, 28(2): 388–393.
- Zhang Lihan, Zhou Guangsheng. Improvement and application of the methods of gas reservoir cap sealing ability[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2010, 28(2): 388–393.
- [9] 于丹, 付晓飞, 吕延防, 等. 徐家围子断陷深层天然气盖层特征及封盖性评价[J]. 吉林大学学报: 地球科学版, 2009, 39(5): 773–780.
- Yu Dan, Fu Xiaofei, Lv Yanfang, et al. Cap rock characteristic and sealing ability evaluation of deep Xujiaweizi fault depression[J]. Journal of Jilin University: Earth Science Edition, 2009, 39(5): 773–780.
- [10] 付广, 胡明, 于丹. 火山岩盖层类型及封气能力——以松辽盆地徐家围子断陷为例[J]. 吉林大学学报: 地球科学版, 2010, 40(2): 237–244.
- Fu Guang, Hu Ming, Yu Dan. Volcanic cap rock type and evaluation of sealing gas ability: An example of Xujiaweizi Depression[J]. Journal of Jilin University: Earth Science Edition, 2010, 40(2): 237–244.
- [11] 史集建, 吕延防, 付广, 等. 松辽盆地徐家围子断陷火山岩盖层封气能力综合定量评价[J]. 石油学报, 2011, 32(3): 424–431.
- Shi Jijian, Lv Yanfang, Fu Guang, et al. Synthetically and quantitatively assessing gas-sealing ability of volcanic cap rocks in the Xujiaweizi Sag of the Songliao Basin[J]. Acta Petrolei Sinica, 2011, 32(3): 424–431.
- [12] 朱怡翔, 石广仁. 火山岩岩性的支持向量机识别[J]. 石油学报, 2013, 34(2): 312–322.
- Zhu Yixiang, Shi Guangren. Identification of lithologic characteristics of volcanic rocks by support vector machine[J]. Acta Petrolei Sinica, 2013, 34(2): 312–322.
- [13] 付广, 庚琪, 王有功, 等. 气藏盖层压力配置类型及与储量丰度的关系[J]. 吉林大学学报: 地球科学版, 2008, 38(4): 587–593.
- Fu Guang, Geng Qi, Wang Yougong, et al. Pressure matching types between cap rock and reservoir and relation between them and gas reserves abundance in gas reservoir[J]. Journal of Jilin University: Earth Science Edition, 2008, 38(4): 587–593.
- [14] 张蕾. 盖层物性封闭力学机制新认识[J]. 天然气地球科学, 2010, 21(1): 112–116.
- Zhang Lei. Reevaluation of cap rock physical sealing mechanic[J]. Natural Gas Geoscience, 2010, 21(1): 112–116.
- [15] 付广. 泥质岩盖层对各种相态天然气封闭机理及其定量研究[D]. 大庆: 大庆石油学院, 2006: 10.
- Fu Guang. Seal mechanisms of mudstone cap rocks to gas in each Phase and their quantitative research[D]. Daqing: Daqing Petroleum Institute, 2006: 10.
- [16] 赵为永, 刘文龙, 门广田, 等. 烃源岩分布面积及厚度的预测方法——以松辽盆地北部徐家围子断陷为例[J]. 石油学报, 2007, 28(5): 67–71.
- Zhao Weiyong, Liu Wenlong, Men Guang, et al. Prediction method for distribution area and thickness of hydrocarbon source rocks-taking Xujiaweizi Depression in Songliao Basin as an example[J]. Acta Petrolei Sinica, 2007, 28(5): 67–71.
- [17] 肖骏, 陈汉林, 杨树锋, 等. 松辽盆地北部深层火山岩气藏的充注: 来自流体包裹体的证据[J]. 石油学报, 2011, 32(6): 968–975.
- Xiao Jun, Chen Hanlin, Yang Shufeng, et al. Gas charging of deep volcanic reservoirs in the northern Songliao Basin: Evidence from fluid inclusions[J]. Acta Petrolei Sinica, 2011, 32(6): 968–975.
- [18] 付广, 王有功. 火山岩天然气成藏要素时空匹配及对气藏的控制作用: 以徐家围子地区深层为例[J]. 地球科学-中国地质大学学报, 2008, 33(3): 342–348.
- Fu Guang, Wang Yougong. Time and space matching relation among accumulation essential factors of gas reservoirs in volcanic rock and its controlling to gas accumulation: a case study of deep strata of Xujiaweizi region[J]. Earth Science Journal of China University of Geosciences, 2008, 33(3): 342–348.
- [19] 胡慧婷, 王龙, 刘岩, 等. 超压泥岩盖层中断层垂向封闭能力研究方法及其应用[J]. 石油与天然气地质, 2014, 35(3): 359–364.
- Hu Huiting, Wang Long, Liu Yan, et al. Research method of fault vertical sealing capacity in overpressure mudstone caprock and its application[J]. Oil & Gas Geology, 2014, 35(3): 359–364.
- [20] 李双建, 周雁, 孙冬胜. 评价盖层有效性的岩石力学实验研究[J]. 石油实验地质, 2013, 35(5): 574–578.
- Li Shuangjian, Zhou Yan, Sun Dongsheng. Rock mechanic experiment study of evaluation on cap rock effectiveness[J]. Petroleum Geology & Experiment, 2013, 35(5): 574–578.
- [21] 史集建, 李丽丽, 吕延防, 等. 致密砂岩气田盖层封闭能力综合评价——以四川盆地广安气田为例[J]. 石油与天然气地质, 2013, 34(3): 307–314.
- Shi Jijian, Li Lili, Lü Yanfang, et al. Comprehensive evaluation on the sealing capability of cap rocks in tight sandstone gasfield—a case study from Guang'an gasfield in the Sichuan Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2013, 34(3): 307–314.
- [22] 尹丽娟. 济阳拗陷古近系—新近系泥质岩盖层及其与油气的关系[J]. 油气地质与采收率, 2012, 19(2): 12–15.
- Yin Lijuan. Tertiary capping rock types and its relationship to oil and gas accumulation in Jiyang depression[J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2012, 19(2): 12–15.

(编辑 董立)