

松辽盆地徐家围子断陷深层区域成岩规律 和成岩作用对致密储层含气性的控制

孟元林¹⁾, 胡安文¹⁾, 乔德武²⁾, 解习农³⁾, 潘雪梅⁴⁾, 王建伟⁵⁾, 田伟志⁶⁾

- 1) 东北石油大学, 黑龙江大庆, 163318; 2) 国土资源部油气资源战略研究中心, 北京, 100034;
3) 中国地质大学(武汉), 武汉, 430074; 4) 大庆油田有限责任公司采油四厂, 黑龙江大庆, 163511;
5) 辽河油田有限责任公司勘探开发研究院, 辽宁盘锦, 124019;
6) 长城钻探工程公司, 辽宁盘锦, 124010

内容提要:为了研究松辽盆地徐家围子断陷深层的区域成岩规律及其影响因素和成岩作用对致密储层含气性的控制, 本文进一步细分了成岩阶段, 并分别研究了各构造单元的成岩特征, 应用流体包裹体均一温度、镜质组反射率、孢粉颜色指数、热解分析、有机酸、X-衍射分析、普通薄片、扫描电镜、铸体薄片等资料分别划分了各构造单元的成岩阶段。结果表明, 徐家围子断陷深层的成岩作用具有“隆起区较强、坳陷区较弱”的成岩规律, 断陷中部的隆起区抬升剥蚀幅度大、地温梯度高、时代相对较老, 成岩作用强; 断陷两侧的坳陷区抬升剥蚀幅度小、地温梯度低、时代相对较新, 成岩作用弱。储层的成岩作用对致密储层的含油气性具有明显的控制作用, 砂岩、砾岩工业气层的勘探下限分别为中成岩阶段 B₁ 亚期和晚成岩阶段 A 期对应的深度。

关键词: 深层; 成岩作用; 非常规储层; 致密砂岩气; 致密砾岩气; 徐家围子断陷; 松辽盆地

徐家围子断陷是松辽盆地深层最大的含气断陷, 2002 年 XS1 井在营城组砾岩和火山岩中, 获得了高产工业气流, 从此拉开了松辽盆地深层天然气勘探、开发的序幕。目前, 徐家围子断陷已成为松辽盆地深层天然气勘探和研究的热点(肖丽华等, 2003; 邵红梅等, 2006; 王璞珺等, 2007; 章凤奇等, 2007; 冯子辉等, 2008; Feng et al., 2008; 侯启军等, 2009; 张居和等, 2009; 姜传金等, 2010; 于丹等, 2010; 胡明等, 2010; 付晓飞等, 2010)。徐家围子断陷的储层主要包括火山岩、砾岩和砂岩, 普遍具有埋藏深、压力大、地温高、成岩强、物性差、产能低、非均质性强的特征(王成等, 2006, 2007), 属于典型的非常规储层。这 3 种储层在地下处于相同的温度场、压力场和流体场, 其成岩作用互相影响, 密切相关, 例如: 泥岩在成岩过程中, 排出的有机酸不仅溶蚀砂岩和砾岩, 而且溶蚀火山岩, 形成次生孔隙(Luo et al., 2005; Sruoga et al., 2007; Parry et al., 2009; 黄玉龙等, 2010), 被溶蚀 3 种储层的孔隙度同时提高;

而粘土矿物由蒙皂石向伊利石或绿泥石转化过程中排出的 Ca^{2+} 、 Si^{4+} 、 Fe^{3+} 、 Mg^{2+} 等金属阳离子进入储层孔隙流体后, 由于温度和压力条件的变化, 在储层的孔隙中沉淀下来, 形成填隙物, 又可使 3 种储层的孔隙度进一步降低(孟元林等, 2006; 刘万洙等, 2010)。自从徐家围子断陷发现工业气流以来, 我国地质工作者对松辽盆地深层的储层和成岩作用进行了大量的研究(王成等, 2004, 2006, 2007; 邵红梅等, 2005, 2006; 刘万洙等, 2007, 2010; 孟元林等, 2011), 为该凹陷庆深气田的稳产和高产提供了强有力的保证, 同时也积累了大量的地质和储层分析化验资料。但是, 前人只研究了徐家围子断陷碎屑岩在纵向上的成岩演化序列, 并根据目前的石油天然气行业成岩阶段划分规范(应凤祥等, 2003), 以整个徐家围子断陷为基础划分了碎屑岩的成岩阶段, 深层只划分为中成岩阶段 B 期和晚成岩阶段。对松辽盆地徐家围子断陷的区域成岩规律和成岩作用对含气性的控制作用, 还缺乏深刻的认识, 在一定程度上制约了

注: 本文为国家自然科学基金项目(编号 40872076)和全国油气资源战略选区调查与评价国家专项(编号 2009GYXQ13)资助成果。

收稿日期: 2010-08-09; 改回日期: 2011-10-30; 责任编辑: 周健。

作者简介: 孟元林, 男, 1960 年生。博士, 教授, 储层与石油地质专业。通讯地址: 163318, 黑龙江省大庆市萨尔图区, 东北石油大学地球科学学院; Email: qhdmyl@163.com。

DOI: CNKI:11-1951/P. 20120113. 0857. 007 网络出版时间: 2012-1-13 8:57

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/11.1951.P.20120113.0857.007.html>

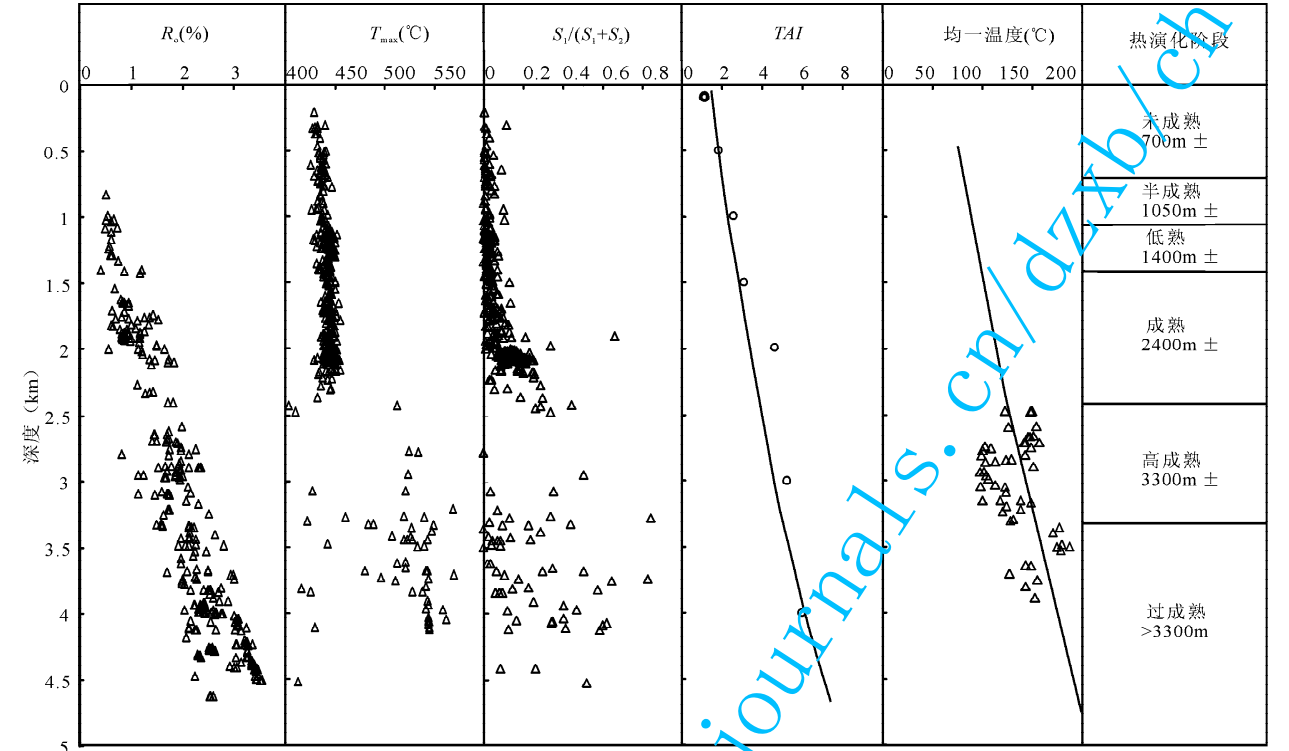


图 2 徐家围子断陷深层有机质热演化剖面

Fig. 2 The thermal evolution profile of organic matter in the deep of Xujiaweizi fault depression

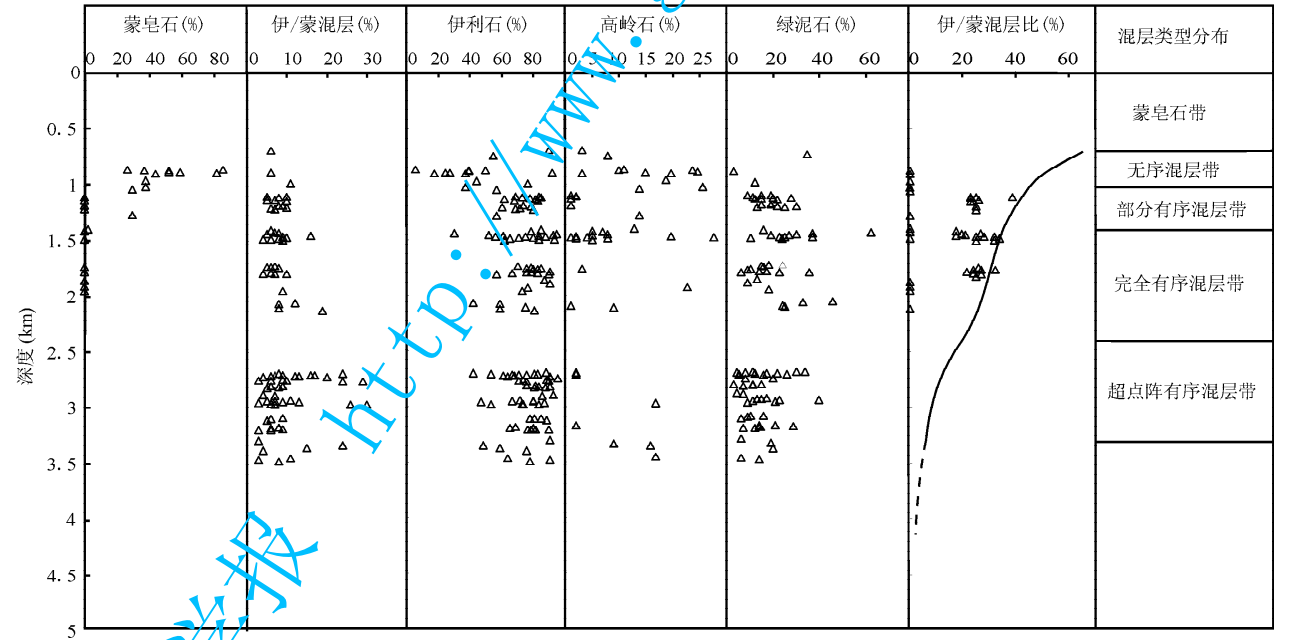


图 3 徐家围子断陷深层泥岩粘土矿物组合与演化剖面

Fig. 3 The clay mineral assemblage and evolution profile in the deep of Xujiaweizi fault depression

段 3 个阶段 6 个(亚)期(表 1),其底界深度分别为 700 m、1050 m、1400 m、2400 m、3300 m 和 4850 m。徐家围子断陷深层碎屑岩的埋深大于 2500 m,成岩作用很强,主要处于中成岩阶段 B 期和晚成岩阶

段,在断陷中心则进入较低级变质阶段。

值得注意的是,由于受历史的局限性,现行的石油天然气行业标准(SY/T5477-2003)碎屑岩成岩阶段划分规范(应凤祥等,2003),将早成岩阶段和中成

表 1 徐家围子断陷碎屑岩成岩阶段划分及主要标志

Table 1 The division of diagenetic stages and major characteristics of the Xujiaweizi fault depression

成岩阶段		成岩相	流体包裹体 测温(℃)	有机质					泥岩		砂岩 固结程度	砂岩中自生矿物										溶解作用	接触类型	主要孔隙类型	深度(m)	
阶段	期(亚期)			$R_o(\%)$	TAI	$T_{max}(^{\circ}C)$	成熟带	有机酸	I/S中的S(%)	混层类型分布		蒙皂石	伊蒙混层	高岭石	伊利石	绿泥石	石英加大	方解石	长石加大	钠长石化	硬石膏					浊沸石
早成岩	A	早期压实相	70	0.35	淡黄1.8	425	未成熟		65	蒙皂石带	弱固结—半固结												点状	原生孔	700±	
	B	早期胶结相	90	0.5	深黄2.5	436	半成熟		45	无序混层带	半固结—固结													原生孔及少量次生孔	1050±	
中成岩	A ₁	早期溶蚀相	100	0.7	桔黄2.8	442	低成熟		35	部分有序混层带	固结					II							点—线	次生—原生孔	1400±	
	A ₂	中期溶蚀相	125	1.3	棕—黑4.2	465	成熟		20	完全有序混层带															2400±	
	B ₁	晚期较强溶蚀相	145	1.65	黑5.1	480	成熟		15	超点阵有序混层带							III							线—缝合	次生孔为主, 始少量裂	3000±
	B ₂	晚期较弱溶蚀相	155	2.0		500	高成熟		5																	3300±
晚成岩	A	溶蚀及部分再胶结相	190	3.5	黑>5.1	587	过成熟		消失	伊利石带	结												缝—合		4500±	
	B	紧密胶结压实相	200	4.0		>587								IV												裂缝
较低级变质		变质相	>200	>4.0			变质			消失		出现黑硬绿泥石、伊利石等近变质带指示矿物													>4850	

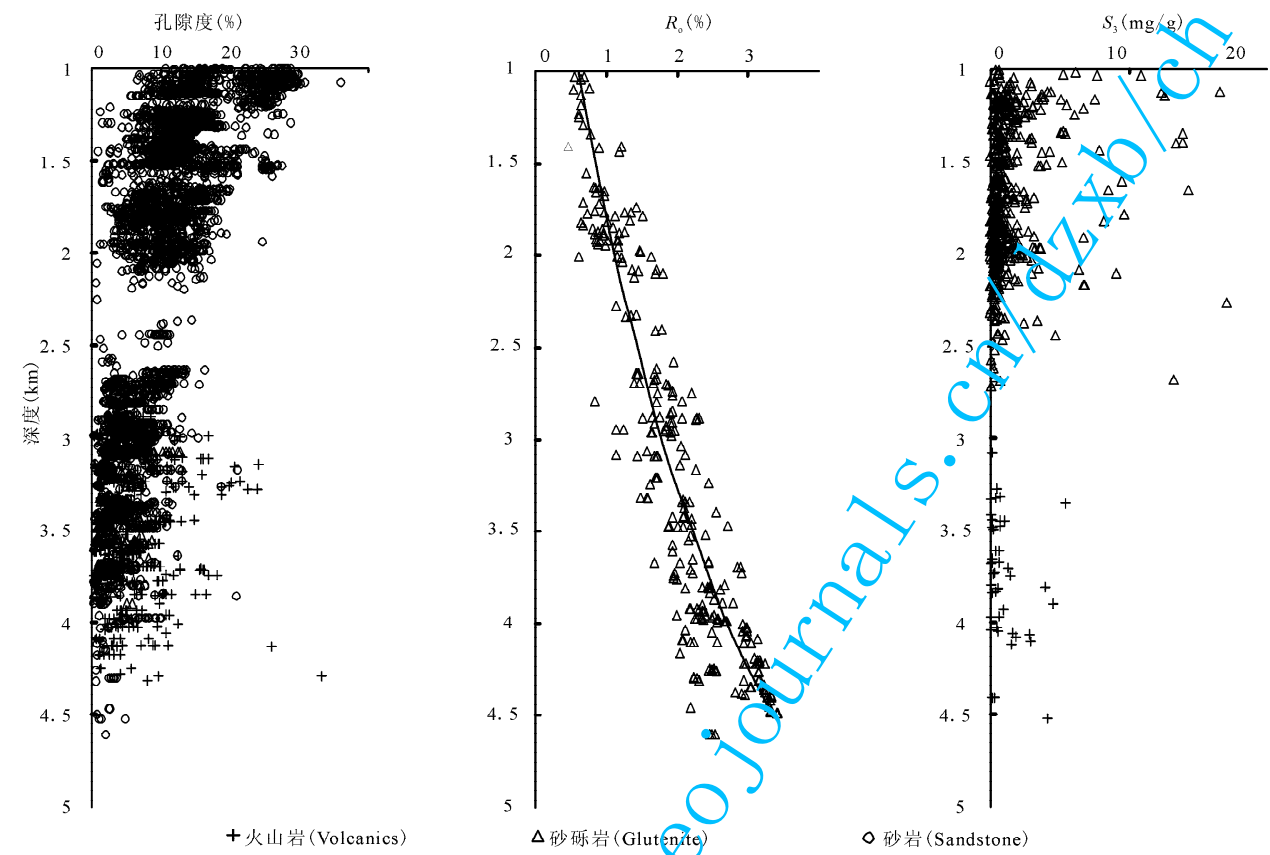


图 4 徐家围子断陷储层孔隙度、R_o和泥岩有机 CO₂剖面图

Fig. 4 Profile of the reservoir porosity, R_o and organic CO₂ in the mudstones of the Xujiaweizi fault depression

岩阶段 A 期划分得比较详细,特别适用于中浅层碎屑岩的成岩阶段划分和储层地质研究。然而,如果按照现行的成岩阶段划分规范,徐家围子断陷深层碎屑岩只有中成岩阶段 B 期和晚成岩阶段两个成岩阶段,很难探讨成岩作用对致密储层物性、含气性的控制作用和区域成岩规律及其影响因素。在我国渤海湾盆地和松辽盆地中浅层,分别在中成岩阶段 A₁亚期和 A₂亚期后,富含 I 型和 II 型干酪根的烃源岩就不能生成和排出大量有机酸,溶蚀储层形成次生孔隙(应凤祥等,2004;孟元林等,2006,2010)。但在松辽盆地深层,沙河子组富含 III 型干酪根的烃源岩,在中成岩阶段 B 期仍可脱羧,使干酪根中的 O/C 原子比不断降低(图 5),形成有机酸,溶蚀碎屑岩储层和火山岩储层,产生次生孔隙,形成工业气藏。为了探讨成岩作用对深层含气性的控制作用,本文在原石油天然气成岩阶段划分规范的基础上,进一步细分了中成岩阶段 B 期,暂以 $R_o = 1.65\%$ ($=(\text{中成岩阶段 B 期顶界 } R_o + \text{底 } R_o)/2$) 为界,将中成岩阶段 B 期划分为中成岩阶段 B₁ 和 B₂ 两个亚期(表 1)。在中成岩阶段 B₁ 亚期, $1.30\% \leq R_o < 1.65\%$, $2400 \text{ m} \leq \text{埋深} < 3000 \text{ m}$,徐家围子断陷深

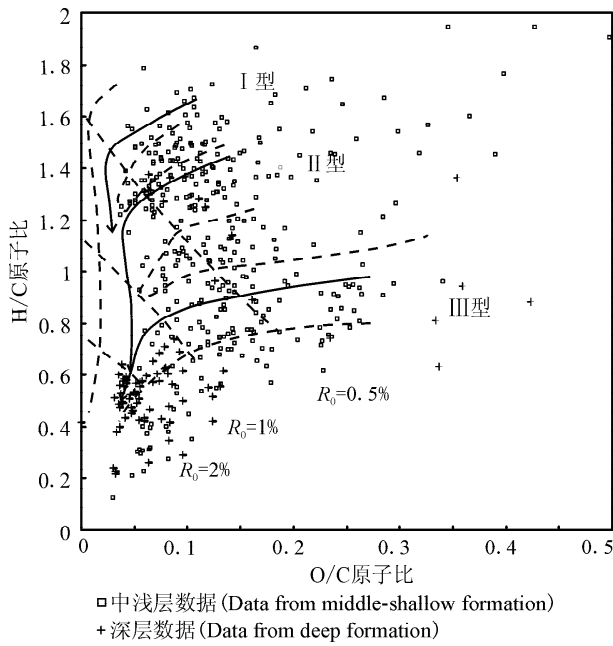


图 5 徐家围子断陷 H/C-O/C 原子比关系图

Fig. 5 H/C-O/C atom proportion of Xujiaweizi fault depression

层富含 III 型干酪根的烃源岩在大量生成天然气的同

时,仍可脱羧,生成有机酸和 CO_2 ,从而使泥岩中的有机酸和干酪根中的 O/C 原子比不断减小(图 4、5)。泥岩中的有机 CO_2 一般用 Rock Ever 测定,以 S_3 表示(mg/g)。生成的有机酸和 CO_2 溶于水,形成酸性热流体,溶蚀碎屑岩储层和火山岩储层,形成次生孔隙。溶蚀作用较强,发育晚期较强溶蚀相。也可以说,正是由于有了深层富含Ⅲ型干酪根的烃源岩所生成有机酸对火山岩和碎屑岩的溶蚀作用,才能形成现今徐家围子断陷的庆深气田。在中成岩阶段 B_2 亚期, $1.65\% \leq R_o < 2.0\%$, $3000\text{ m} \leq \text{埋深} < 3300\text{ m}$,随埋深增加和成岩作用增强,干酪根有机酸的生成量减少,裂解量增加,溶蚀作用减弱,主要发育晚期较弱溶蚀相。

已有的研究表明,泥岩热解 S_3 (有机 CO_2) 与有机酸生成潜力呈正相关(应凤祥等,2004;孟元林等,2008b)。随埋深和有机质成熟度的增加,泥岩中的有机质脱羧,形成有机酸,溶蚀储层,形成次生孔隙,而泥岩中的剩余产酸潜力越来越小,当泥岩的产酸能力消耗殆尽时, S_3 趋于 0.00 mg/g ,而储层的次生孔隙发育带也就逐渐消失,储层孔隙度迅速减小,直至失去储集能力。基于这一原理,根据目前徐家围子深层泥岩有机酸的生成潜力大量消失的深度,本文还将现行成岩阶段划分规范中的晚成岩阶段进一步细划为 A、B 两个成岩期。在晚成岩阶段 A 期, $2.0\% \leq R_o < 3.5\%$, $3300\text{ m} \leq \text{埋深} < 4500\text{ m}$,徐家围子深层烃源岩的 $S_3 > 4.14\text{ mg/g}$ (图 4),仍具有一定生烃潜力,可以生成有机酸,溶蚀致密砂岩、砾岩和火山岩储层,形成次生孔隙,孔隙度 $> 3\%$,目前已在致密砾岩储层中发现了工业气流。在溶蚀作用进行的同时,部分区域出现较为严重的胶结作用,发育溶蚀和部分再胶结相。需要补充说明的是,目前徐家围子断陷深层发现工业气流的最大深度是 XS213 井的 4298 m ,离晚成岩阶段 A 期的底界还有 202 m 。也就是说,根据目前已有的资料,松辽盆地徐家围子断陷深层至少还有 200 m 左右的勘探空

间。在晚成岩阶段 B 期, $3.5\% \leq R_o < 4.0\%$, $4500\text{ m} \leq \text{埋深} < 4850\text{ m}$,成岩作用非常强烈,烃源岩 $S_3 < 0.17\text{ mg/g}$,有机酸生成潜力已很小,所能生成的有机酸甚少,溶蚀作用微弱,溶蚀孔隙较少,主要发育紧密压实胶结相,目前尚未发现工业气流。

3 不同构造单元成岩阶段划分及成岩特征

值得注意的是,表 1 中的成岩阶段划分结果是徐家围子断陷深层所有构造单元成岩特征的综合反映。实际上,由于徐家围子断陷各构造单元的埋藏史、地热史不同,其成岩特征也不可能完全相同。为了更详尽地研究徐家围子断陷的区域成岩规律和成岩作用对致密储层含气性的控制作用,本文分别研究了徐家围子断陷各构造单元的碎屑岩成岩作用,划分了成岩阶段(表 2),研究方法同前,恕不赘述。

4 区域成岩规律及其对油气藏分布的控制

4.1 区域成岩规律

由表 2 可见,各构造单元的成岩特征存在明显差异,具有隆起区的成岩作用较强、坳陷区的成岩作用较弱、斜坡带鉴于二者之间的区域成岩规律。在深度相同的情况下,徐家围子断陷坳陷区成岩作用相对较弱,隆起地区和斜坡带的相对较强;而同一成岩阶段对应的底界深度隆起区和斜坡带较浅,坳陷区较深(表 2),例如:徐家围子断陷的徐东坳陷、徐西坳陷、徐东斜坡带和安达-升平隆起在早成岩阶段 B 期的底界深度分别为 1150 m 、 1000 m 、 900 m 和 850 m 。

4.2 成岩作用对含气性的控制

石油和天然气是沉积有机矿产,其形成分布与沉积相和成岩作用密切相关(孟元林等,2008a; Ehrenberg et al.,2008;齐景顺等,2009;蒋凌志等,2009;Ma et al.,2009)。在徐家围子断陷各构造单

表 2 徐家围子断陷各构造单元成岩阶段划分及底界深度(m)对比表

Table 2 Diagenetic stage division and the bottom depth (m) of diagenetic stage of the different structural units in the Xujiaweizi fault depression

成岩阶段	早成岩阶段		中成岩阶段				晚成岩阶段	
	A	B	A ₁	A ₂	B ₁	B ₂	A	B
徐西坳陷	600	1000	1400	2500	2700	3300	4500	4750
安达-升平隆起带	500	850	1200	2300	2500	3200	4300	4500
徐东坳陷	750	1150	1450	2700	3100	3700	4900	5200
徐东斜坡带	550	900	1250	2350	2600	3250	4400	4530

元成岩作用详细划分的基础上,本文进一步研究了成岩作用与深层致密储层含气性的关系。徐家围子断陷深层试油结果的统计表明,工业气层主要分布在中成岩阶段 B₁ 亚期—晚成岩阶段 A 期(图 6、7),这说明成岩作用对致密储层的含气性具有明显的控制作用,但处于中成岩阶段 B₁—晚成岩阶段 A 期的储层未必一定含气,也有水层和干层发育,这意味着除了成岩作用之外,还有其他成藏要素影响储层的含气性。

值得注意的是,对于不同岩性的储层,成岩作用对含气性的控制作用各异,在致密砂岩储层中工业气层主要分布在中成岩阶段 A₂—B₁ 期(图 6);而在砾岩储层中,气层主要分布在中成岩阶段 B₁ 期—晚成岩阶段 A 期(图 7)。也就是说,在深层,埋深与成岩强度相同的情况下,砾岩储层的含气性比砂岩好,这也就是为什么在徐家围子断陷深层砾岩气藏比砂岩气藏更发育的原因之一。造成这种现象的主要原因是砾岩的粒度粗,在单位体积内的颗粒数比砂岩少,在上覆地层压力的作用下,接触点处所承受的压强更大(郑浚茂等,1989),机械压实作用在砾岩中易于形成裂缝。所以,砾岩储层的孔隙组合主要为孔—缝型组合,而砂岩为孔隙介质,在孔隙度相同的情况下,砾岩的渗透性比砂岩更好。

此外,碎屑岩储层的渗透率随粒径的增加而增加,砾岩较粗的粒径也使其具有较高的渗透率和更低的孔隙度下限。油气测试的统计结果表明,徐家围子断陷深层获工业气流井致密砂岩储层的孔隙度下限为 5%(图 8),而徐家围子断陷致密砾岩储层产

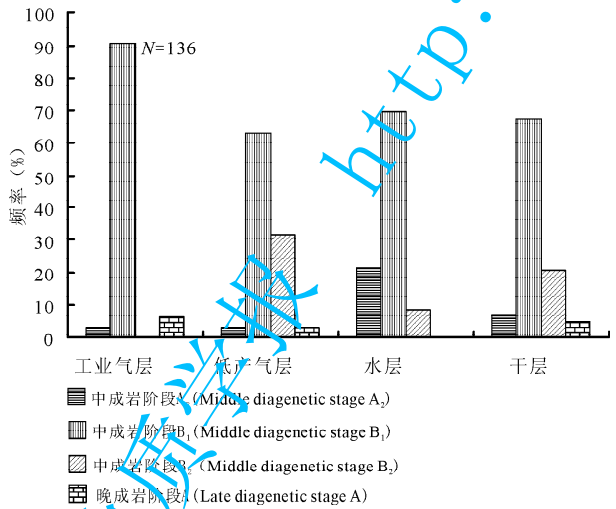


图 6 徐家围子断陷深层成岩作用对砂岩含气性的影响
Fig. 6 The influence of diageneses on gas-bearing situation in sandstones in the deep of Xujiaweizi fault depression

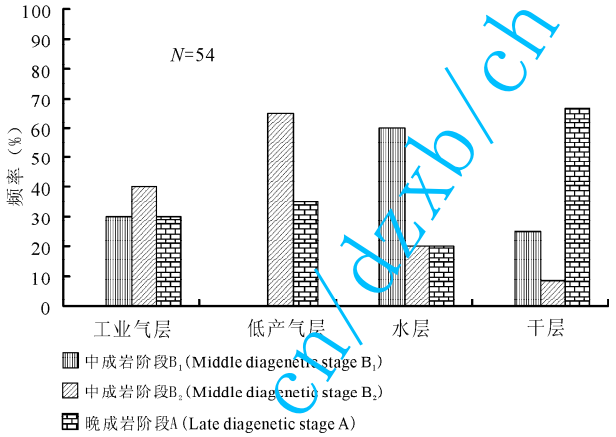


图 7 徐家围子断陷深层成岩作用对砾岩含气性的影响
Fig. 7 The influence of diageneses on gas-bearing situation of conglomerates in the deep of Xujiaweizi fault depression

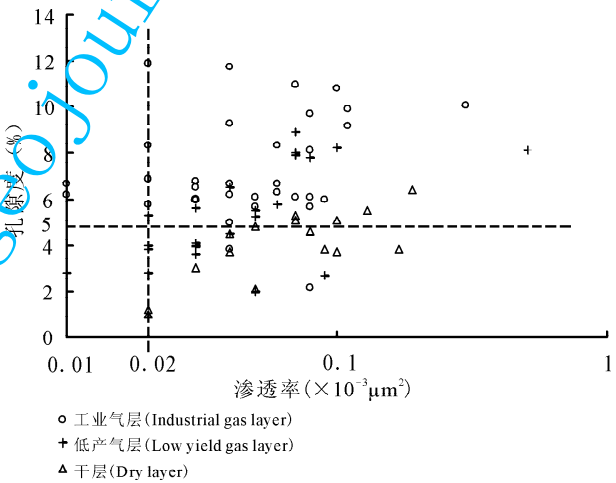


图 8 徐家围子断陷砂岩工业气层储层物性下限
Fig. 8 Minimum of porosity and permeability of sandstone reservoir producing commercial gas flow in the deep of Xujiaweizi fault depression

出工业气流的孔隙度下限为 2.7%(王成等,2007)。在国内外许多盆地中,均有这样的例子,例如:琼东南盆地海上 YCH13-1 气田,砾岩储层的工业气层的孔隙度下限为 8.45%,中砂岩工业天然气层的孔隙度下限为 11.55%^①。而寿建峰等(2005)在准噶尔盆地侏罗系碎屑岩储层的研究过程中也发现,在深层粗粒碎屑岩的物性比细粒碎屑岩好,侏罗系三工河组砂岩每个粒径间渗透率的差异量在 $233.2 \times 10^{-3} \sim 256.7 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 之间,在低孔低渗地区寻找优质储层应着眼于粗相带。最近,Stacy 等(2010)在加拿大 Valhalla 油田白垩系储层的研究结果也表明,粒度越粗,孔隙度和渗透率越高。

由上面的讨论可见,在徐家围子断陷,中成岩阶段 B_1 亚期以上层位,砂岩储层的储集性能较好,可以产出工业价值的气流;而在晚成岩阶段 A 期以上层位,致密砾岩储层可以产出工业气。由此可以进一步推论,在徐家围子断陷不同构造单元,砂岩储层天然气的勘探下限深度不同,徐东坳陷、徐西坳陷、徐东斜坡和安达-升平隆起带砂岩储层天然气的勘探深度下限就是各构造单元中成岩阶段 B_1 期对应的深度,分别为:3100 m、2700 m、2600 m 和 2500 m。而砾岩气层的勘探下限深度就是晚成岩阶段 A 期对应的深度,徐东坳陷、徐西坳陷、徐东斜坡和安达-升平隆起带砾岩气藏的勘探深度下限分别为:4900 m、4500 m、4400 m、4300 m。对比砂岩和砾岩储层工业气层的勘探深度下限,不难发现,坳陷区的勘探下限比隆起区要深,其原因是在深度相同的情况下,坳陷区的成岩作用比隆起区弱。

5 区域成岩规律影响因素

5.1 抬升剥蚀的影响

徐家围子断陷深层营三段沉积以后的抬升、剥蚀具有不均一性,安达-升平隆起区和徐东斜坡带的剥蚀量较大,坳陷地区相对较小(图 9)。由图 9 可见,安达-升平隆起区和徐东斜坡带均缺失营城组二、三段,而徐东坳陷仅缺失营城组二段。由于徐家围子断陷的抬升剥蚀,使老地层从地下深处被抬升到更浅的位置,所以,在安达-升平隆起区和徐东斜坡带两个构造单元,相同成岩阶段的深度较其他构造单元要浅,例如:徐东坳陷、徐西坳陷、徐东斜坡和安达-升平隆起带中成岩阶段 A 期的底界深度分别为:2700 m、2500 m、2350 m、2300 m。

5.2 地温梯度的影响

地热学的研究表明(陈墨香,1988),由于大地热流的折射和分流作用,使得隆(凸)起区,具有较高的大地热流值和地温梯度,坳(凹)陷区具有较低的大地热流值和地温梯度。徐家围子断陷深层地温梯度最高的是安达-升平隆起带,地温梯度最高可达 $4^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$ 以上,按照应凤祥等(2004)有关我国沉积盆地地温梯度的分类标准,属于高地温梯度区;其次是徐东斜坡带,地温梯度最高可达 $3.95^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$ 以上,也属于高地温梯度区;而徐东坳陷和徐西坳陷的地温梯度较低,地温梯度最低值为 $3.7^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$,属于中地温梯度区。总的来看,安达-升平隆起带和徐东斜坡带属于中—高地温梯度区,徐东坳陷和徐西坳陷主要属于中地温梯度区。正是由于地温梯度的这种差异,使得深度相同的情况下,具有中—高地温梯度特征的安达-升平隆起和徐东斜坡带的成岩作用较强,具有中地温梯度特征的徐东坳陷和徐西坳陷的成岩作用较弱(表 2)。

5.3 地层时代的影响

由于隆起区的地层厚度薄、剥蚀量大、地层发育不全,所以在深度相同的情况下,隆起区的地层时代一般比坳陷区老,其成岩时间相对较长。因此,在深度相同的情况下,隆起区成岩作用比坳陷区更强。例如:在埋深为 3500 m 时,安达-升平隆起、徐东斜坡带、徐西坳陷、徐东坳陷的地层分别为营一段—沙河子组、沙河子组、营四段、营四段和营一段两个层段(图 9)。

6 结论

(1)徐家围子断陷碎屑岩成岩作用可划分为早

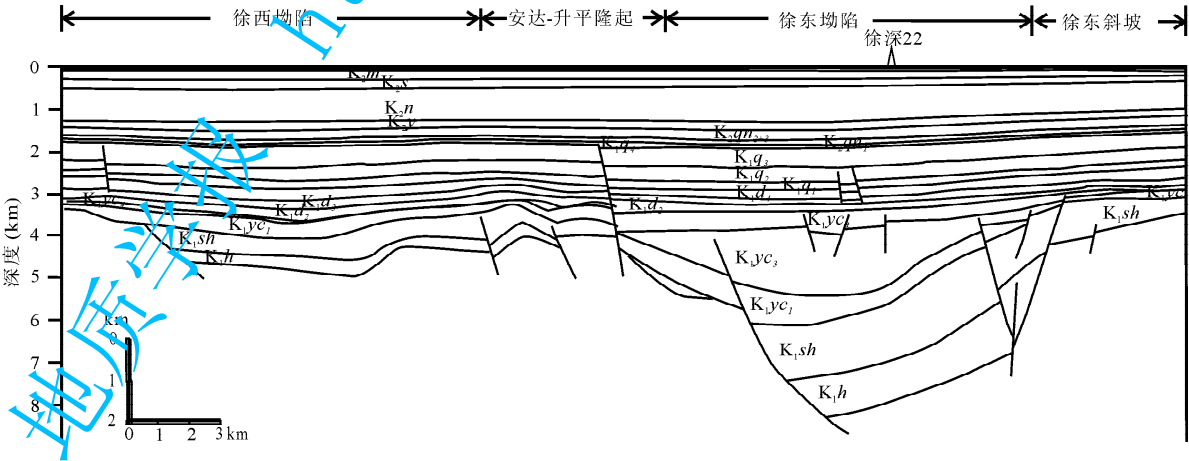


图 9 徐家围子地层剖面图(据刘文龙,2009 略改)Ⓢ
Fig. 9 The profile of the Xujiaweizi fault depression (modified from Liu Wenglong,2010)Ⓢ

成岩阶段 A 期、B 期,中成岩阶段 A₁ 亚期、A₂ 亚期、B₁ 亚期、B₂ 亚期,晚成岩阶段 A 期和 B 期 3 个阶段 8 个(亚)期,深层成岩作用很强,主要处于中成岩阶段 B 期和晚成岩阶段,沙河子组在坳陷中央已变质。

(2)徐家围子断陷具有隆起区成岩作用较强、坳陷区成岩作用较弱、斜坡区介于二者之间的区域成岩规律,其影响因素主要是地温梯度、抬升剥蚀和地层时代。

(3)储层的成岩作用对致密储层的含油气性具有明显的控制作用,致密砂岩和砾岩工业气层的勘探下限分别为中成岩阶段 B₁ 亚期和晚成岩阶段 A 期对应的深度。

注 释

- ① 孟元林. 2010. 莺琼盆地主要勘探目的层成岩作用数值模拟及优质储层预测, 国家“十一五”科技攻关项目. 东北石油大学.
- ② 刘文龙. 2009. 松辽盆地北部天然气勘探项目 2009 年勘探成果总结及 2010 年部署意见. 大庆油田有限责任公司勘探开发研究院.

参 考 文 献

- 陈墨香. 1988. 华北地热. 北京: 科学出版社.
- 冯子辉, 邵红梅, 童英. 2008. 松辽盆地庆深气田深层火山岩储层储集性控制因素研究. 地质学报, 82(6): 760~769.
- 付晓飞, 沙威, 于丹, 刘哲, 吕延防. 2010. 松辽盆地徐家围子断陷火山岩内断层侧向封闭性及与天然气成藏. 地质论评, 56(1): 60~70.
- 侯启军, 冯志强, 冯子辉. 2009. 松辽盆地陆相石油地质学. 北京: 石油工业出版社, 277~328.
- 胡明, 付广, 吕延防, 付晓飞, 庞磊. 2010. 松辽盆地徐家围子断陷断裂活动时期及其与深层气成藏关系分析. 地质论评, 56(5): 710~718.
- 黄玉龙, 王璞珺, 舒萍, 张彦玲. 2010. 松辽盆地营城组中基性火山岩储层特征及成储机理. 岩石学报, 26(1): 82~92.
- 姜传金, 陈树民, 初丽兰, 张广颖, 鞠林波. 2010. 徐家围子断陷营城组火山岩分布特征及火山喷发机制的新认识. 岩石学报, 26(1): 63~72.
- 蒋凌志, 牛嘉玉, 张庆昌, 徐国民, 孟元林, 肖丽华. 2009. 渤海湾盆地深部有利储层发育的主控因素. 地质论评, 55(1): 73~78.
- 刘万洙, 庞彦明, 吴河勇, 高有峰, 门广田, 任延广. 2007. 松辽盆地深层储层砂岩中火山碎屑物质在成岩阶段的变化与孔隙发育. 吉林大学学报(地球科学版), 37(4): 698~702.
- 刘万洙, 黄玉龙, 庞彦明, 王璞珺. 2010. 松辽盆地营城组中基性火山岩成岩作用: 矿物晶出序列、杏仁体充填和储层效应. 岩石学报, 26(1): 158~164.
- 孟元林, 黄文彪, 王粤川, 孙洪斌, 殷秀兰, 肖丽华, 高建军, 胡宝林. 2006. 超压背景下粘土矿物转化的化学动力学模型及应用. 沉积学报, 24(4): 461~467.
- 孟元林, 李娜, 黄文彪, 肖丽华, 刘德来, 殷秀兰, 孙洪斌, 修洪文, 高建军. 2008a. 辽河坳陷西部斜坡带南段沙三段成岩相分析与优质储层预测. 古地理学报, 10(1): 33~41.

- 孟元林, 修洪文, 孟凡晋, 殷秀兰, 王志国. 2008b. 用泥岩热解资料预测储层次生孔隙发育带. 天然气工业, 28(10): 41~43.
- 孟元林, 高煜婷, 吴河勇, 王成, 修洪文, 张安达, 李业光, 姜文亚. 2010. 松辽盆地北部中浅层区域成岩规律及其影响因素. 古地理学报, 12(1): 97~106.
- 孟元林, 刘文慧, 孟凡晋, 梁伯勋, 王建伟, 潘雪清, 田伟志, 王维安, 丁桂霞, 周振东, 肖丽华. 2011. 松辽盆地徐家围子断陷深层异常高孔带分布特征与成因分析. 古地理学报, 13(1): 75~84.
- 齐景顺, 李广伟, 孙立东, 谢豪, 刘庆民. 2009. 徐家围子断陷白垩系营城组四段层序地层及沉积相. 吉林大学学报(地球科学版), 39(6): 983~990.
- 邵红梅, 刘招君, 王成, 冯子辉, 洪淑新. 2005. 松辽盆地北部深层砂岩成岩作用与孔隙演化. 世界地质, 24(1): 58~62.
- 邵红梅, 毛庆云, 姜洪启, 王成. 2006. 徐家围子断陷营城组火山岩气藏储层特征. 天然气工业, 26(6): 29~32.
- 寿建峰, 张惠良, 斯希松, 王鑫, 陈子料, 王少依. 2005. 砂岩动力成岩作用. 北京: 石油工业出版社, 27~35.
- 王成, 邵红梅, 洪淑新, 齐晓杰, 刘彤艳. 2004. 松辽盆地北部深层碎屑岩沸石成因、演化及与油气关系研究. 矿物岩石地球化学通报, 23(3): 213~218.
- 王成, 马明侯, 张民志, 邵红梅, 洪淑新, 刘杰, 李茹. 2006. 松辽盆地北部深层天然气储层特征. 天然气工业, 26(6): 25~28.
- 王成, 邵红梅, 洪淑新, 官艳华, 滕宏达, 贾朋涛, 薛云飞. 2007. 松辽盆地北部深层碎屑岩储层物性下限及与微观特征的关系. 大庆石油地质与开发, 26(5): 18~24.
- 王璞珺, 冯志强. 2007. 盆地火山岩: 岩性·岩相·储层·气藏·勘探. 北京: 科学出版社.
- 肖丽华, 孟元林, 侯创业, 李杰, 马文杰, 王雪松, 杨俊生. 2003. 松辽盆地升平地区深层成岩作用数值模拟与次生孔隙带预测. 地质论评, 49(5): 455~551.
- 应凤祥, 何东博, 龙玉梅, 林西生. 2003. SY/T5477-2003. 中华人民共和国石油天然气行业标准——碎屑岩成岩阶段划分. 北京: 石油工业出版社.
- 应凤祥, 罗平, 何东博. 2004. 中国含油气盆地碎屑岩储集成岩作用与成岩作用数值模拟. 北京: 石油工业出版社.
- 于丹, 吕延防, 付晓飞, 孙永河, 胡明. 2010. 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. 地质论评, 56(2): 237~245.
- 张居和, 方伟, 李景坤, 霍秋立. 2009. 松辽盆地徐家围子断陷深层天然气成因类型及各种成因气贡献. 地质学报, 83(4): 579~589.
- 章凤奇, 庞彦明, 杨树峰, 董传万, 陈汉林, 舒萍. 2007. 松辽盆地北部断陷区营城组火山岩锆石 SHRIMP 年代学、地球化学及其意义. 地质学报, 81(9): 1248~1258.
- 郑凌茂, 庞明. 1989. 碎屑沉积岩的成岩作用研究. 武汉: 中国地质大学出版社.
- Ehrenberg S N, Nadeau P H, Steen O. 2008. A megascale view of reservoir quality in producing sandstones from the offshore Gulf of Mexico. AAPG Bull., 92(2): 145~164.
- Feng Z Q. 2008. Volcanic rocks as prolific gas reservoir: a case study from the Qingshen gas field in the Songliao basin, NE China. Marine and Petroleum Geology, 25: 416~432.
- Luo J L, Morad S, Liang Z G, Zhu Y S. 2005. Controls on the

quality of Archean metamorphic and Jurassic volcanic reservoir rocks from the Xinglongtai buried hill, western depression of Liaohe basin, China. AAPG Bull., 89(10):1319~1346.

Ma Y Z, Seto A, Gomez E. 2009. Depositional facies analysis and modeling of the Judy Creek reef complex of the Upper Devonian Swan Hills, Alberta, Canada. AAPG Bull., 93(9):1235~1256.

Parry W T, Chan M A, Nash B P. 2009. Diagenetic characteristics of the Jurassic Navajo sandstone in the Covenant oil field, central Utah thrust belt. AAPG Bull., 93(9):1039~106.

Sruoga P, Rubinstein N. 2007. Processes controlling porosity and permeability in volcanic reservoirs from the Austral and Neuquen basins, Argentina. AAPG Bull., 91:115~129.

Stacy A C, Ball N H, Hunt L E. 2010. Reservoir characterization and facies prediction within the Late Cretaceous Doe Creek Member, Valhalla field, west-central Alberta, Canada. AAPG Bull., 94(1):1~25.

Regional Diagenetic Law and Control of Diagenesis over Gas-Bearing Capacity of Tight Reservoirs in Deep Xujiaweizi Fault Depression, Songliao Baion

MENG Yuanlin¹⁾, HU Anwen¹⁾, QIAO Dewu²⁾, XIE Xinong³⁾,
PAN Xuemei⁴⁾, WANG Jianwei⁵⁾, TIAN Weizhi⁶⁾

1) Northeast Petroleum University, Daqing, Heilongjiang, 163318;

2) Strategic Research Center of Oil and Gas Resources, Ministry of Land and Resources, Beijing, 100034;

3) China University of Geosciences (Wuhan), Wuhan, 430074;

4) No. 4 Petroleum Production Subcompany of Daqing Oil Field Company Ltd., Daqing, Heilongjiang, 163511;

5) Petroleum E & D Institute of Liaohe Oil Field Company Ltd., Panjin, Liaoning, 124010;

6) Great Wall Drilling Company, Panjin, Liaoning, 124010

Abstract

In order to understand diagenetic regularity and impact factors of the deep Xujiaweizi fault depression in Songliao basin, and their controlling over gas bearing capacity of compact reservoir, this study focused on classification of diagenesis and discussed diagenetic features of each structural unit using fluid inclusion homogenization temperatures, R_o , TAI, Rock-Eval, organic acids, XRD, thin section, SEM, blue epoxy resin-impregnated thin sections. Results show that the Xujiaweizi fault depression is characterized by diagenesis intense in uplift and weak in depression. Compared with both areas on both sides of the depression, the central depression has high magnitude of uplift exhumation, high geothermal gradient, older formation and weak diagenesis. Oil- and gas-bearing capacity of the tight sandstone is obviously controlled by reservoir diagenesis, and bottom limits of gas exploration in sandstone and conglomerate beds responds respectively to depths of the middle stage (B_1) of and late stage (A) of diagenesis.

Key words: deep horizons; diagenesis; unconventional reservoir; tight sandstone gas; tight conglomerate gas; Xujiaweizi fault depression; Songliao basin