

松辽盆地扶余-新立地区扶余 油层的溶蚀孔隙*

白玉润

(西北大学)

溶蚀孔隙是本区扶余油层的主要储集空间,主要有颗粒溶孔、填隙物溶孔和颗粒-填隙物溶孔三类。溶孔形成既受粒度等砂层原始结构和成分的影响,又与它在成岩中所处局部构造部位(如同生构造高点等)和断层、裂隙发育程度密切相关。特别是一个稳定、适当的构造条件,可以使各种来源的酸性水长期渗流、补充。造成类型多样的溶孔,尤以长石溶孔更具特色。

扶余-新立地区(或扶余-新立构造带),是由扶余三号、木头和新立三个局部构造组成的向西倾没的鼻状构造,位于松辽盆地南部中央坳陷带的东部斜坡。扶余油层属白垩统松花江群泉头组四段(下称泉四段)。由砂、泥岩及其过渡岩类组成韵律式沉积,厚度100 m左右。储油层主要是富含长石和岩屑的细砂岩类和极细砂岩类。其物性参数以扶余油田和木头油田为最好。

本文以大约150个铸体薄片的镜下观测为基础,参考有关资料,对本区扶余油层溶蚀孔隙的发育特征、成因等进行初步探讨。

一、溶孔类型及溶蚀标志

(一) 类型

溶蚀孔隙对形成扶余和木头油田,是许多有利因素中不可缺少的一个,可分为三种。

1. 填隙物溶孔

主要是由充填粒间孔隙的胶结物、交代物溶解形成的,如重晶石和铁白云石等胶结物溶孔(图版I-7)。偶尔也可由杂基溶解产生。

2. 颗粒溶孔

是由骨架颗粒溶解形成的。如本区常见的长石溶孔及其它颗粒溶解形成的蜂窝状孔隙和铸模孔等。

3. 颗粒-填隙物溶孔

是骨架颗粒和填隙物皆受溶解,形成的超粒大孔隙及不均匀孔隙(图版I-5)。

(二) 溶蚀标志

1. 蜂窝状颗粒

蜂窝状颗粒经常出现(图版I-3),尤以长石溶解形成者为最。此外,还有燧石

本文1986年11月13日收到,1987年10月4日改回。

* 本文为碎屑岩成岩作用与孔隙结构科学基金资助项目。

溶解形成的所谓“海绵状颗粒”(孔隙)和安山-玄武岩屑溶解形成的。

2. 溶蚀残余

溶孔特别发育的砂岩中,颗粒等组分大部分溶掉,只幸存一部分残体。本区有颗粒残骸(图版 I-4)、胶结物残余(图版 I-1)和杂基残余(图版 I-5)。除了常见的长石残骸外,还有燧石残骸。有时燧石被溶的只剩加大环边或者粒内交错的石英细脉。

3. 超颗粒溶蚀

在扶余油田很常见(图版 I-5),与“漂浮颗粒”及溶蚀残余伴生。这种非组构选择性溶解,可能与断层、裂隙和不整合面引起的酸性水长期渗流有关。

4. 铸模溶蚀

颗粒铸模溶蚀比较常见,尤以长石铸模溶蚀为最(图版 I-6)。在胶结物铸模孔中,菱铁矿溶解形成的狭窄菱形孔很特殊,内缘呈红褐色调,是胶结物铸模孔的代表(图版 I-7)。

5. 微晶高岭石晶间斑点状溶解

自生高岭石选择性溶解的斑点状孔隙,大小、分布变化很大,有时在一个视域内也有明显的差别(图版 I-2)。

6. 颗粒裂隙和裂隙性溶解

岩石裂隙在本区东部,尤其在扶余油田比较发育。由于酸性水的长期渗流,有的裂隙溶蚀强烈,溶孔发育,往往掩盖其裂隙成因的痕迹。也有些裂隙溶蚀比较轻微,虽有溶蚀边缘和溶孔出现,而裂隙形态却依然清晰可辨。

7. 伸长状溶蚀

沿颗粒之间的边界延伸,跨越几个颗粒的粒间溶蚀(图版 I-1),常与溶蚀颗粒及溶蚀残余共生。

8. 填隙物内溶蚀

本区常见的有胶结物或交代物内溶蚀(图版 I-7),也可能是其中的颗粒或早期胶结物残余,再经选择性溶解形成。

二、溶蚀孔隙发育特征

1. 颗粒、填隙物溶孔并存

颗粒溶孔、填隙物溶孔和颗粒-填隙物溶孔并存,以颗粒溶孔和颗粒-填隙物溶孔占绝对优势(表1,2),是扶余油层溶孔发育的特征之一。

根据对新211和鉴6等井溶孔发育状况的分类统计,颗粒溶孔约占52%(表1),其中长石溶孔占65.5%。填隙物溶孔约占39%,其中主要是胶结物和交代物溶解形成的,由杂基形成的填隙物溶孔很少见。颗粒-填隙物溶孔虽然只占9%,却能反映溶解作用是长期的、剧烈的。

乾安一带溶蚀作用比较轻微,同时受其它因素影响也比较小,这里的溶孔发育状况更能反映泉四段溶孔的形成特点。根据对乾101井S14等四个铸体薄片的镜下观测和统计(表2):颗粒溶孔约占42.5%,填隙物溶孔约占29%,颗粒-填隙物溶孔约占28.5%。

表1 溶孔发育特征分类统计表

溶孔	直接溶蚀作用	间接溶蚀作用 ¹⁾	复合溶蚀作用 ²⁾	注 释
填隙物溶孔	重晶石及其晶内溶孔		4	1)间接溶蚀作用指交代矿物的溶解作用,如长石方解石化后发生的溶解作用。 2)非直接溶蚀作用或更复杂的多次性质不明的溶解作用。 3)应为长石溶孔,为减少重复而省略。 4)用彩色显微照片对66个溶孔分类统计,其中:颗粒溶孔29,占51.8%;填隙物溶孔22,约占39.3%;颗粒-填隙物溶孔5,约占9%。 5)仅指无组构选择性超粒大孔隙。
	粒间无填隙物或偶见其残余		8	
	铁白云石或菱铁矿溶孔和其晶内溶孔	5		
	铁方解石内溶孔		1	
	高岭石晶间斑点状溶孔		1	
	方解石和高岭石溶解残余孔		3	
颗粒溶孔	长石 ³⁾	12	3	
	长石?	4		
	颗粒	1	1	
	颗粒?	2		
	燧石?	4		
	安山-玄武岩屑	2		
颗粒-填隙物溶孔 ⁴⁾			5	

表2 乾101井泉四段砂岩溶孔类型和形成条件统计表

薄片号	岩性	溶孔发育级别	溶孔发育条件	数量及百分含量			交代矿物(?)溶孔	溶解方式分析			
				颗粒溶孔	填隙物溶孔	颗粒-填隙物溶孔		确由直接溶解形成之颗粒溶孔	碳酸盐(周围有少量溶孔)	白云石(未溶)	碎屑(轻微溶蚀)
S14	粉砂质砂岩	较好	碎屑成分较单一,分选好,含粘土少	38 (44%)	25 (29%)	16 (18.6%)	7 (8%)	(周围未见交代物残余)	(周围有少量溶孔)	白云石化长石或其它颗粒丝毫	碎屑残余(未见溶蚀或边缘有白云石化大斑片(内有长石等
S23		少、差	成分复杂,压实,压溶较强,原始孔隙少	11 (50%)	4 (18.2%)	7 (31.8%)					
S24	含极细砂的细砂岩	良好	碎屑较粗,分选较好,含粘土少有微裂隙	40 (33.3%)	48 (40%)	32 (26.7%)					
S7	极细砂质细砂岩	较差	被后期碳酸盐化掩盖	为主							
								22	4	4	6

* 包括个别可能的颗粒溶孔(?)和溶解轻微的颗粒

虽然颗粒溶孔数量有所下降,但颗粒-填隙物溶孔数量却明显上升,二者之和达71%,比表1中它们之和还高。颗粒-填隙物溶孔虽高达28.5%,但绝大多数不是表1中的超粒大孔隙,其中还有一些是颗粒边缘仅有轻微溶蚀的颗粒-填隙物溶孔(表2 S23片)。最能说明泉四段溶孔形成特点的,是在这口井的其它八个溶孔发育差的铸体薄片,都有轻微溶解的骨架颗粒出现,尤其是长石沿解理和边缘的轻微溶解更加多见。

2. 溶孔的直接溶解作用

长石、岩屑等骨架颗粒的直接溶解形成溶孔,是扶余油层溶孔发育的特征之二。其根据有:

(1)在镜下看到的许多溶蚀程度不等的颗粒溶孔中,很少发现任何交代矿物的溶解残余(图版I-3、I-4、I-5和I-6)。尤其在S7片(表2)如此强烈碳酸盐化的砂岩中,确有许多可靠的颗粒溶孔,却未发现任何交代矿物的溶解残迹。

(2)方解石化(包括白云石化等)和重晶石化在区内很常见(个别还保存长石形态),然而它们却很少形成溶孔。如在S7片内,就有一些确凿的碳酸盐化长石及其它碎屑丝毫未经溶解的实例。诚然方解石尤其重晶石晶内溶孔在本区比较常见,但按其形态、产状和溶解残余(很少)等判断,它们很可能是未交代完的长石残余,再经溶解产生的。

(3)虽然偶尔也有长石方解石化后溶解形成的溶孔(图版I-8),但一般发育很差。此外,在S7片(表2)还见到6块白云石化大斑片(有的内包长石等碎屑残余),其中有的未见任何溶痕,有的仅在局部边缘见到轻微溶迹。这些很可能与方解石化作用主要发生在成岩晚期^[1],溶解的时间较短有关。

在国外早有一些学者注意到,碎屑直接溶解在形成溶孔中的重要作用。如海斯^[2]明确指出,硅酸盐的直接溶解作用和早期碳酸盐溶解具有头等重要的意义。皮特曼^[3]认为由长石(或交代长石的碳酸盐)溶解形成的孔隙,在世界各地不同时代的砂岩中是很普遍的。

三、成因

1. 溶孔形成期酸性地下水的主要形成方式

溶蚀孔隙是地下水溶解宿主岩石形成的一类很重要的次生孔隙,其首要条件是地下存在一定溶解力的地下水。

青山口组第一段暗色泥页岩中有机质演化生成的 CO_2 、 H_2S 和有机酸等,是泉四段溶孔形成时酸性组分的主要来源。

泉四段之上整合地盖着青一段泥页岩层。它们中的大量有机质,首先在地表附近受到喜氧菌的破坏,生成水和 CO_2 ,以后在厌氧菌(脱硫细菌)作用下,生成 CH_4 、 H_2S 和有机酸,如有纤维素还能生成 CH_4 和 CO_2 等。这些酸性组分,在上复沉积为厚层粘土时,挥发分散受阻,就能形成具溶解力的酸性地下水。

随着沉积盖层不断加厚,温度逐渐升高,就进入有机质演化的热转化阶段。在这个阶段有机质除了依干酪根脱羧作用放出 CO_2 外,按别的热催化转化作用也可以生成 H_2S

和多种有机酸。它们溶解于水可以生成大量酸度更强的地下水, 使该期脱羧阶段就成为扶余油层溶孔形成的重要时期。

2. 溶孔形成期地下水的流动特点

水的循环流动对形成溶孔是不可缺少的条件。

(1) 上覆青一段泥岩的同生软泥水, 在机械压实中向扶余油层中运移。

成岩期间, 淤泥中的软泥水承受的是上覆岩层的重量, 即地层静压力; 沙层中的水承受的是上覆层中水的重量, 即静水压力。在这个压差作用下, 水从易压实的软泥向砂层渗流。

斯特拉霍夫认为, 在压实中尤其当埋深达到 250—300 m 时, 水从半固结粘土迅速被排挤到相邻砂体中, 并以垂向迁移为主。因此, 青一段泥页岩大致在青山口组末期以前, 将大部分软泥水排到扶余油层。与此同时, 青一段泥岩中有机质经生物化学改造产生的各种酸性组分也一起被带进泉四段砂层中, 使扶余油层溶解并形成溶孔。

(2) 青一段泥岩压实水, 在同生构造和伴生断层、裂隙的影响下, 继续向扶余油层中运移。

据吉林省油田管理局规划院的研究¹⁾, 扶余-新立构造带是在扶余古隆起的影响下, 长期发育的同生构造。大约在青山口组沉积末期, 泉四段顶面已呈大致反映基底隆起的穹隆形。隆起高点在今扶余油田八家子一带。高点比翼部高出 150 m 左右。

大庆油田²⁾和扶余油田¹⁾的研究和勘探都证明, 代表泉四段顶面的 T_2 地震界面, 断裂特别发育。例如在扶余-新立构造带不到 1000 km² 范围内, 已经发现断层 217 条。其中大多数为上、下延伸的正断层。断层一般断开 T_2 界面 20—150 m, 最大断距为 265 m, 造成青一段泥岩与泉四段砂岩大面积横向接触。与断层伴生的还有大量节理和裂隙。这些裂隙和断层一样, 最易在泉四段脆性地层的顶部产生。尤其在局部构造顶部应力相对集中处, 断层和裂隙更多, 有成群成带分布的趋势。笔者在镜下看到泉四段微裂隙在区内普遍出现, 以扶余发育最好, 木头居次, 两地都有两组交叉的显微张裂隙。

泉四段顶部尤其局部构造高点附近, 同生断层和裂隙的大量发育, 极大地改善了扶余油层的储、渗能力, 增强了青一段泥岩与扶余油层之间的联系, 使更富酸性组分(与脱羧作用有关)的压实水, 大量向扶余油层中运移(图 1), 使这里的溶孔得到更进一步的发育。

(3) 雨水从东南面登娄库构造轴部向盆地内渗流。

根据前人研究, 嫩江组 (K_1n) 沉积以后, 受燕山运动第四幕的影响,

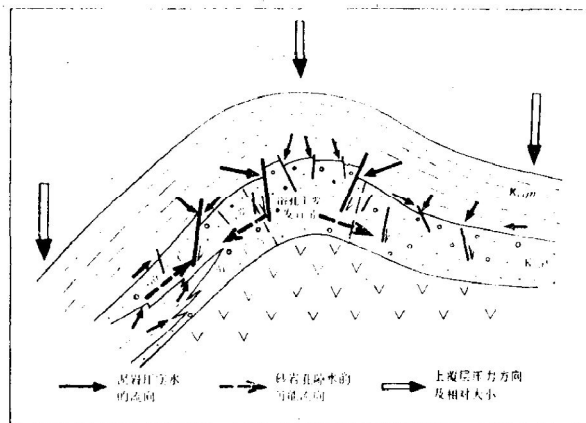


图 1 同生构造和伴生断层、裂隙对地层水迁移的影响

1) 吉林油田管理局勘探开发设计研究院, 1982, 扶余-新立地区扶余油层油气聚集规律研究、扶余-新立油气聚集带石油地质特征(内部资料)。

2) 大庆油田科学研究设计院, 1979, 松辽盆地北部扶余油层石油地质特征的初步分析(内部资料)。

整个扶余-新立构造带嫩江组受到不同程度的剥蚀。与本区东南邻接的登娄库构造抬升更高,高点附近泉四段全部剥蚀。晚白垩世以来,这里一直处于隆起状态,缺四方台组(K_2s)和明水组(K_2m)的沉积。此后,雨水从这里不断的渗透、补充,并在巨大的水柱压力下,经扶余油层向伸入盆地内部的扶余-新立构造带的西部倾没端渗流。大量的断层、裂隙,提高了岩石的渗透能力,扩大了雨水作用的范围,加之脱羧作用和别的热催化转化作用又可提供更多的酸离子,从而使这里的溶孔比本区西部发育的好得多(图2)。

随着雨水不断地远离不整合,顺扶余油层向下倾方向渗流,矿化度不断提高,某些溶解物质的浓度也接近其饱和度,雨水就逐渐丧失了溶解力,并把一些物质沉淀析出,造成那里砂岩进一步胶结和孔隙的继续破坏(表3)。

从表3明显看出,自扶余油田经木头、新立到乾安和孤店,物性参数在平面上的变化,完全证实了理论上的预测。根据铸体薄片研究,距供水露头登娄库背斜较近的扶余油田溶解作用比较强烈,填隙物和骨架颗粒都常受到剧烈的溶蚀。长石溶孔,包括溶蚀残骸等强烈溶蚀类型出现更多。最能说明问题本质的是无组构选择超粒大孔隙和裂隙性溶孔等常伴随出现。而远离供水区的西部,尤其乾安等地却成了某些溶解物质较多沉淀的地方。据镜下粗略统计,碳酸盐含量以乾安稍高,其后依次为新立、木头和扶余;石英(包括碎屑和自生石英)含量以乾安略高,新立居次,木头与扶余接近。如果考虑到成岩期间长石溶解损失,可使石英含量相对提高和长石损失自扶余向乾安依次递减的实况,则自生石英含量的变化趋势与碳酸盐完全一致,唯乾安自生石英的沉淀量远高于碳酸盐。

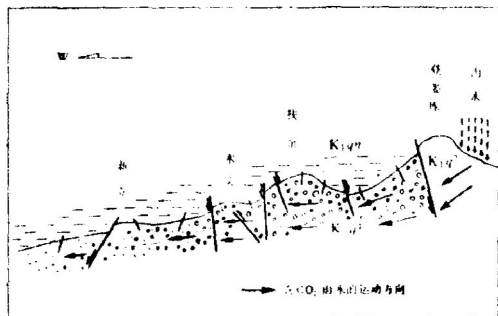


图2 晚白垩世以来泉四段地层水受雨水补给和流动方向示意图(假定岩石为理想的)

总之,东部的扶余、木头一带溶解作用比较发育,砂岩的储集物性较好;西部乾安一带沉淀作用比较突出,因此胶结物增多,物

表3 扶余-新立地区及其邻区泉三段和泉四段砂岩物性数据对比表

地 区	物 性 参 数	物 性 变 化 情 况		
		加 权 平 均 值	峰 值	主要变化范围
扶 余	$\phi(\%)$	24.2		21—27
	K(mD)	114	100—200	30—400
木 头	$\phi(\%)$	18.4		14—22
	K(mD)	46.8	6—20	1—200
新 立	$\phi(\%)$	14.5		12—17
	K(mD)	8.7	2—20*	0.06—30
乾 安	$\phi(\%)$	8.7		6—12
孤 店	K(mD)	0.13	0.2—0.3	0.008—0.3

* 原表为1—2,综合分析肯定有误,查概率分布图估计约为2—20。

性变差。这就是成岩期间泉四段孔隙再分配的总趋势。

根据A. Williams^[4]的意见, 流经砂岩的流体(水)流量和流速, 影响流体本身的化学组成和性质, 也影响流体和岩石之间溶解、沉淀的平衡关系。在流速很快, 流体停留时间相对成岩反应速度很短的系统中, 流体化学性质主要受流体源泉的控制。相反, 在流速缓慢, 流体停留时间相对成岩反应速度很长的系统中, 流体成分就受宿主岩石更大的控制。从图3看出泉四段地层水总矿化度平面分布是, 从东部抬升供水区登娄库一带1000ppm, 向西北到扶余、木头的4000—7000 ppm, 直到最西部倾没汇水区的37108 ppm。总矿化度变化的这种总趋势, 完全证明了A. Williams观点的正确, 同时还证实自晚白垩世以来, 由新构造格局引起的本区泉四段地层水的流动方向和补给特点确实是存在的。

不整合引起雨水深部循环, 促使溶孔很好发育, 在国外也是有的。索姆^[5] (Sommer, 1978) 曾用基米利 (Cimmerian) 上升引起的雨水循环解释北海盆地侏罗纪砂岩中长石的溶解。他又把北海布伦特组 (Brent) 内矿物 (主要是长石) 的溶蚀, 解释为在淡

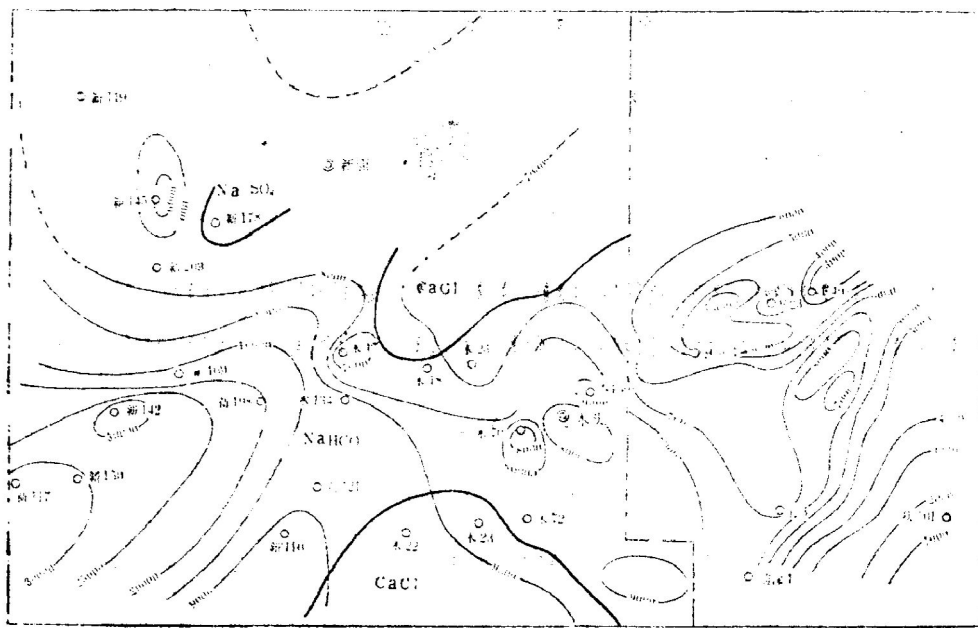


图3 扶余-新立地区泉四段地层水总矿化度平面图
(图上间断线右侧的比例尺比左图小一倍)

水循环期间 K^+ 、 Ca^{2+} 、 Fe^{2+} 、 Mg^{2+} 和 Si^{4+} 等离子的大量迁移。

结 论

1. 扶余油层的溶孔主要是以直接溶解方式, 经过长期持续的溶解形成的。
2. 断层、裂隙密集地带、同生构造的隆起部位, 往往是长期优先汇聚酸性水的场所, 因而经常是大量形成溶孔的地方。

3. 雨水从不整合附近供水露头带的渗透、补给, 对形成溶孔十分重要。距供水露头过近(如登娄库构造轴部)或者太远(如新北、乾安一带)的地方, 都是不太理想的部位。

4. 粒度较粗、分选较好、原始物性保存较好的砂岩, 溶孔发育一般也比较好。

5. 形成溶孔的主要酸性组分, 是由中成岩期干酪根脱羧作用和别的热催化转化作用提供的。但成岩早期有机质经生物化学改造作用放出的酸性组分和富 O_2 及 CO_2 的地表水的作用, 亦应给予足够的重视。

6. 长石溶孔是扶余油层一种很重要的溶孔类型。它的形成和发育首先需要大量酸性物质的持续供应, 另外还要有个稳定而适当的构造条件, 使有溶解能力的酸性水长期循环渗透。

野外采样和收集资料时, 得到吉林省油田管理局研究院的热情帮助和支持, 在室内研究中我系有关室、组也给予协助, 定稿前祝总祺和陈荷立老师先后审阅全文并提出宝贵意见, 在此一并表示感谢!

参 考 文 献

- [1] 白玉润, 1987, 石油实验地质, 第9卷, 第2期。
- [2] J.B.海斯, 1979, 碎屑岩的成岩作用, 西北大学地质系编译, 1986, 西北大学出版社。
- [3] E.D.皮特曼, 1979, 碎屑岩的成岩作用, 西北大学地质系编译, 1986, 西北大学出版社。
- [4] Almon, W.R., 1983, AAPG Bull., Vol.67, No.3, P.411—412.
- [5] Shanmugam, G., 1985, AAPG Bull., Vol.69, No.3, P.378—384.

SOLUTION PORES OF FUYU RESERVOIR IN FUYU-XINLI REGION OF THE SONGLIAO BASIN

Bai Yurun

(Northwest University)

Abstract

Solution pores are the main reservoir space of Fuyu reservoir in Fuyu-Xinli region. They are mainly particle solution pores, filler solution pores and particle-filler solution pores. The acid components that resulted in the solution pores were provided by organic matter which resulted from kerogen deacidify, thermo-catalysis and thermo-transformation in middle diagenesis from overlain dark mudstone and shale of the first member of the Qingshankou Formation. The formation of the pores is not only effected by original texture and composition of sand beds, but also closely related to regional structure position (such as syngenetic structure apex), faults and fractures. A stable and appropriate tectonic condition may be particularly favourable for long term seepage and complement of acid water, and may result in various kinds of solution pores, especially feldspar pores.