

文章编号: 1000-0550(2007) 06-0840-07

东营凹陷深层溶蚀孔隙的多重介质 成因机理和动力机制¹

袁 静¹ 张善文² 乔 俊² 陈 鑫¹

(1 中国石油大学地球资源与信息学院 山东东营 257061; 2 中国石化胜利油田分公司 山东东营 257061)

摘 要 通过岩心观察、薄片鉴定、扫描电镜观察、流体包裹体分析、粘土矿物分析与 R_c 测试等手段, 结合地层压力史、构造发育史、有机质成烃史等研究成果, 以揭示东营凹陷下第三系深部碎屑岩储层溶蚀孔隙的成因机理和动力机制为目的开展工作, 得到以下认识: 该凹陷深层溶蚀孔隙具有多重溶解机理, 主要是有机酸溶解作用、无机酸溶解作用、硫酸盐热化学氧化还原反应和油田水引起的溶解作用等酸性介质溶解机理和以石英为主要溶蚀对象的碱性介质溶解机理; 溶解作用的动力机制包括循环热对流、断裂活动引起大气淡水淋滤和超压泄露。

关键词 溶蚀孔隙 多重介质 成因机理 动力机制 深层 东营凹陷

第一作者简介 袁静 女 1972 年出生 副教授 博士后 沉积学 E-mail: yuanjiang@mail.upol.cn

中图分类号 P618.130.2 TE122.27.21 **文献标识码** A

次生孔隙的概念是 Nutting 于 1934 年首先提出的, 但在以后的几十年中并未受到人们的重视, 原生孔隙一直被认为是主要的储集空间, 20 世纪 70 年代以来才确认了碎屑岩中有大量的次生孔隙。进入 20 世纪 80 年代以来次生孔隙的形成机制研究有很大进展, 一般认为有以下几种^[1~6]: ① 大气淡水淋滤; ② 碳酸水溶液引起的溶解; ③ 有机酸引起的溶解; ④ 收缩裂缝; ⑤ 粘土矿物转化和 ⑥ 硫酸盐溶解。20 世纪 90 年代以来, 人们开始注意到开放体系中大气水对砂岩骨架颗粒溶解产生次生孔隙的现象^[7~10]。黄思静等^[11]对鄂尔多斯盆地三叠系延长组砂岩次生孔隙形成机理提出了大气水的淋滤作用的新见解, 对于建立正确的储层质量预测模式具有重要的意义。近年来有学者对石英的溶解作用进行了有益的探讨^[12~13]。这些都表明对次生孔隙的形成机制研究仍有较大的探索空间。

东营凹陷属于渤海湾盆地中的一个三级构造单元, 是在古生界基岩古地形背景上经构造运动发育起来的中、新生代箕状断陷—坳陷湖盆。中生代后期至早第三纪, 凹陷北部的陈南大断裂和坨—胜—永断层及其派生的次级断层活动强烈, 南部断层活动较弱, 形成北陡南缓的箕状断陷湖盆。东营凹陷第三系深层沙三下—孔店组次生孔隙发育带主要分布在 3 000~3 600 m、3 900~4 300 m、4 800 m 附近和 5 500~

5 600 m 的深度范围内, 且以前两者为主^[14]; 储集空间具有溶蚀孔隙、裂缝和裂缝—孔隙复合系统等多种成因类型。本文通过岩心观察、薄片鉴定、扫描电镜观察、流体包裹体分析、粘土矿物分析和 R_c 测试等手段, 结合地层压力史、构造发育史、有机质成烃史等研究成果对溶蚀孔隙的成因机理和动力机制进行探讨。

1 酸性介质溶解机理

1.1 有机酸溶解作用

有机质热成熟过程主要通过释放有机酸降低介质的 pH 值。一直以来, 长石和碳酸盐矿物作为酸溶性组分在成岩作用研究中倍受关注。

1.1.1 有机酸对长石等硅酸盐组分的溶蚀作用

从东营凹陷沙四—孔一段泥岩有机质热演化曲线(图 1)中可以看出, 在 3 000~3 600 m $R_o = 0.5\% \sim 0.7\%$, 是有机质成熟期, 烃类和羧酸大量生成, 是溶蚀、溶解作用发生的有利时期, 与东营凹陷下第三系深层第一个次生孔隙发育带的深度相吻合。对储层微观观察发现, 在这个次生孔隙带中长石是主要的溶蚀矿物, 体现了有机酸对硅酸盐矿物的有效溶解。

Surdan and Grossey 的实验研究结果和实际资料表明, 在埋藏成岩过程中, 砂岩储层的无机成岩作用与生油岩的有机质的演化密切相关。在 80~120℃ 之间, 泥岩中的干酪根会脱去含氧官能团, 形成羧酸

¹ 国家“十五”科技攻关项目(批准号: 2001BA605A09)资助

收稿日期: 2007-02-01; 收修改稿日期: 2007-03-26

阴离子和酚。羧酸的类型很多,这些有机酸可以增加铝的活度,并形成有机络合物带走。同时有机酸对溶液的 pH 值有缓冲作用,使之保持在 5~6 之间^[11]。

国外先后多年来的实验表明^[15~19],有机酸和硅酸盐矿物的反应会使铝的溶解度有较大幅度的提高;有机酸盐能够使铝长时间地保持溶液状态;过高的离子强度也可能对长石的溶解起抑制作用;钙长石在有机酸盐溶液中释放的 Si⁴⁺ 和 Al³⁺ 均高于钠长石和正长石,这意味着碱金属离子可能对铝的释放起抑制作

用。铝在有机酸溶液中的浓度是温度、pH 值、有机酸类型和浓度的函数。一般来说,二元羧酸(如草酸)比一元羧酸(如乙酸)对铝的溶解更为有利;对同一种有机酸而言,铝的溶解度与有机酸的浓度成正比,而随溶液 pH 值的升高而降低。大量实验表明,铝的浓度在 pH 值为 4~6 时较大, pH 值大于 7 时,溶液很难达到一个较高的铝浓度。另外,随着温度的升高,有机酸亦会使长石的溶蚀速率亦有所增加。

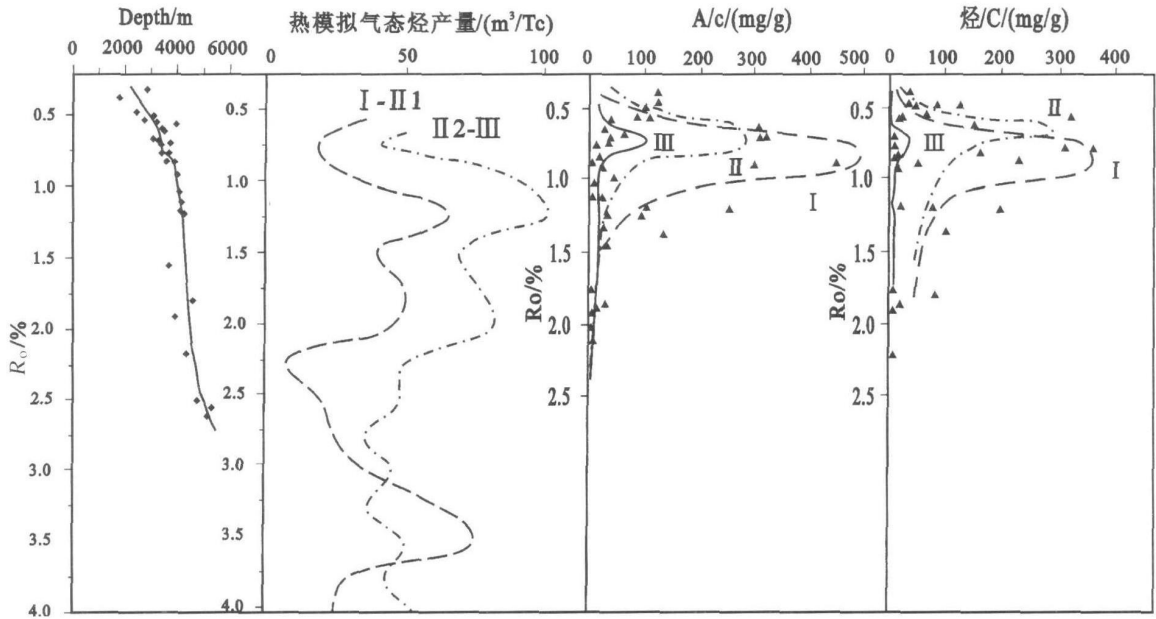
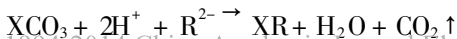
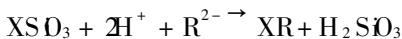


图 1 东营凹陷沙四一孔一段泥岩有机质热演化曲线(据袁静等^[7])

Fig 1 Organic evolution curves of mudstone in Dongying sag Sha-4 member to Kong-1 member

1.1.2 有机质演化对碳酸盐矿物的影响

尽管根据 Meshri ID 1986 年研究结果,有机酸钙的溶解度比碳酸钙大约高三个数量级,但在东营凹陷深层前 2 个次生孔隙带中,碳酸盐组分并没有发生强烈溶蚀,显然其溶解作用对孔隙度的贡献次于长石类硅酸盐组分。另外,朱国华曾提出“在一定温度和压力条件下,有机酸对硅酸盐易溶,对碳酸盐难溶”的观点,有机酸脱羧基作用对硅酸盐矿物大量溶解,而对碳酸盐不溶或难溶的地层温度范围在 100~130°C,压力系数范围约为 1.2~1.3 ±^[15],这种温压条件正与东营凹陷前 2 个次生孔隙带的情况相符。从化学反应平衡的理论角度来分析是不难理解的,在“一定温度和压力”条件下,有机酸与硅酸盐、碳酸盐发生如下反应:



比较以上两个反应式生成物的相态不难发现:前者无气体生成;而后者有气体生成物 CO₂ 的存在,压力也随之加大。根据有气态物质参加的化学反应平衡原理,当 CO₂ 的浓度达到并超过上述反应平衡常数所要求的数量,使系统压力达到并超过某一临界值时,该化学反应就会趋于停止并开始向反方向进行,碳酸盐矿物就得以在砂岩中保存下来^[20]。

1.2 无机酸溶解作用

深部地层中的无机酸溶液主要起因于高温条件下羧酸阴离子脱羧作用和粘土矿物转化作用。

东营凹陷沙四段在 3900 m 以下发育 3 个次生孔隙带,地层温度超过 130°C,不同井位有所差别。此时有机酸(主要为乙酸)的脱羧作用大量释放 CO₂,大量的 CO₂ 使水溶液的 pH 值保持在 5~6 之间。扫描电镜下还见白云石溶解,方解石类胶结物含量明显增高。当温度大于 160°C 时,有机酸基本上全

部转化成 CO_2 , 此阶段溶液的 pH 值主要由 CO_2 控制, CO_2 浓度增高可以使 pH 值持续降低, 造成碳酸盐矿物的溶蚀。

在 120~180°C 的温度段内, 高岭石转化为伊利石, 产生质子; 高岭石与白云石发生反应, 生成方解石、绿泥石、 CO_2 (Muffer 和 White, 1969), 为不稳定组分的溶解提供了酸性水介质条件。在东营凹陷下第三系深层绿泥石高含量带与次生孔隙发育带在深度上有很好的对应关系, 地层埋深 3 400~3 700 m、3 900~4 300 m 以及 4 700~5 100 m 既是次生孔隙发育带, 又是绿泥石高含量带, 说明无机反应对东营凹陷下第三系深部碎屑岩储层改造的积极影响。

1.3 硫酸盐热化学氧化还原反应引起的溶蚀作用

东营凹陷深层沙四段一孔一段为富盐盆地, 孔隙水中硫酸盐在脱硫细菌参与和有机质存在的条件下发生热化学氧化还原反应产生 H_2S 和有机酸。反应本身就是硫酸盐矿物的溶解过程, H_2S 溶于水析出的 H^+ 和有机酸使溶液的 pH 值减小而有利于碳酸盐等酸溶性矿物溶解。

150~250°C 是东营凹陷硫酸盐热化学氧化还原反应的高峰期^[7], 生成的有机酸使长石、碳酸盐 (主要是白云石) 和硫酸盐矿物溶解, 孔隙度增加, 并形成晚期伊利石、绿泥石和黄铁矿等成岩矿物。沙四一孔一段膏岩普遍发育的凹陷北部埋深 4 800~5 400 m (地层温度 180~210°C) 的砂岩去白云化作用、自生黄铁矿和绿泥石含量的明显增加与孔隙发育带在深度上对应, 反映硫酸盐热化学氧化还原反应对东营凹陷深层次生孔隙的形成具有一定贡献, 但其反应及其溶蚀作用结果的实际资料和证据仍需进一步研究和收集整理。

1.4 油田水的盐度和含盐类型影响碳酸盐矿物的溶解和沉淀

Eills (1963) 研究了方解石在不同温度和盐度下溶解度的变化, 发现停滞溶液中方解石的溶解度随盐度增高而加大, 从而 pH 值降低, 促进矿物的溶蚀和次生孔隙的形成。如东营凹陷永 554 井区沙四段油田水以 CaCl_2 水型为主 (表 1), pH 值在 6~6.5 之间, 利于酸溶性物质的溶解和还原反应发生。

表 1 东营凹陷下第三系深层油田水水质 (据袁静^[6])

Table 1 Oil field liquid properties in deep formation of Dongying sag

井号	层位	深度 /m	$\text{Cl}^- / \times 10^{-6}$	$\text{SO}_4^{2-} / \times 10^{-6}$	矿化度 / $\times 10^{-6}$	水型	pH 值
F8	Es ₄	3 935 1~4 226 0	145 689	0	239 928	CaCl_2	
FS1	Es ₄	4 316 6~4 343 0	54 330	0	89 407	CaCl_2	
Y554	Es ₄	3 436 0~3 453 0	87 330	0	143 076	CaCl_2	6~6.5
L98	Es ₄	3 682 7~3 900 0	13 488	290	22 285	CaCl_2	
T731	Es ₃	3 019 8~3 022 0	137 050	0	223 069	CaCl_2	

2 碱性介质溶解石英机理

2.1 石英直接溶解现象

石英作为碎屑岩储层中一种非常稳定的碎屑组分, 普遍认为它很难溶解形成次生孔隙。学者们对石英颗粒溶解的可能性探讨都认为 pH 值大于 8.5 时有利于石英的溶解, pH 值大于 9 时 SiO_2 的溶解度随 pH 值的增大而迅速增高^[6-8, 21]。在对油气储层的碱驱提高采收率作业中也观察到了石英的明显溶解现象^[22], 笔者对储层中石英的溶解现象也曾有所察觉 (袁静博士论文, 1999)。

本次研究在胜坨地区沙三段下部和沙四段发现了广泛发育的石英、石英加大边和石英质岩屑溶解形成的粒间和粒内孔隙, 为深层储集空间增添了一种新的类型: 碱溶性孔隙, 也为该凹陷乃至整个济阳坳陷的深层勘探提供了新的领域。

石英溶解和去胶结作用现象在边缘特征上有许多相似之处, 但是由于两者在形成机制和过程上有显著的差异, 因此可以根据细微的储层微观特征加以区分。初步总结出研究区石英溶解的几种识别标志, 具体判识时需要综合运用: (1) 石英悬浮颗粒、不规则不均匀加大边和长石较完整加大边的共生组合; (2) 石英颗粒边缘港湾状溶解和石英颗粒接触缝的溶蚀扩大; (3) 石英加大边被溶解与少量自形晚期碳酸盐胶结物共生的组合 (图 2); (4) 石英质岩屑及燧石中的蜂窝状溶解孔隙; (5) 石英颗粒强烈溶蚀与碳酸盐岩屑完好保存的共生组合; (6) 自生石英被溶蚀与钠长石组合 (图 3)。

2.2 石英在碱性介质中的溶解机理

从形成机理上看, 石英溶解同样是储层中沉积作用、埋藏成岩作用和孔隙水演化的结果。

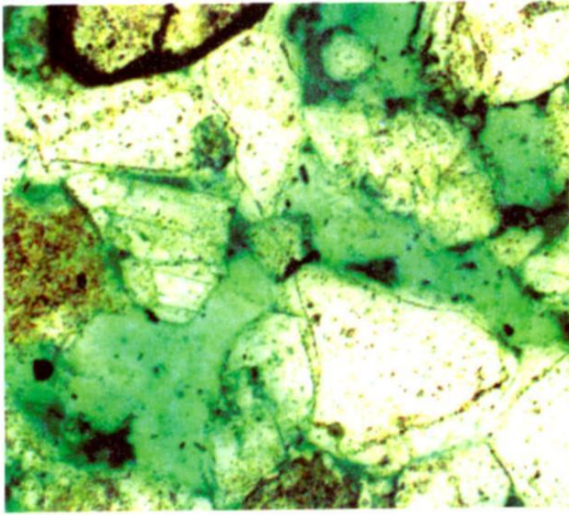


图 2 石英溶蚀而方解石包壳不溶 (铸体薄片, 混合染色剂) T762 3 431.63 m × 100(—)

Fig 2 Quartz dissolved but calcite steady
T762 3 431.63 m × 100(—)

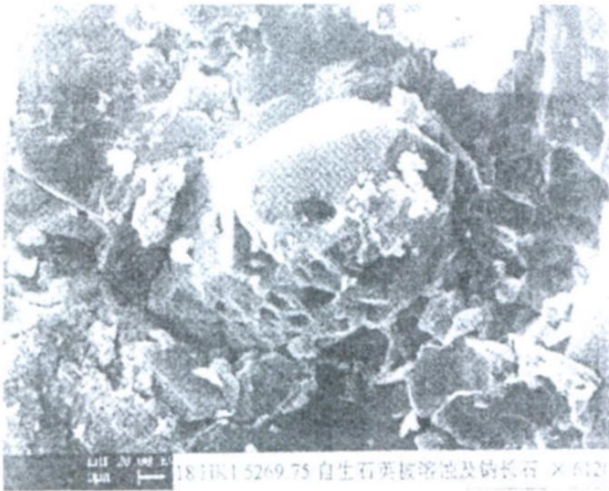


图 3 自生石英被溶蚀及钠长石

(扫描电镜照片) HK1 5 269.75 m × 6120

Fig 3 Authigenic quartz dissolved and albite steadily
HK1 5 269.75 m × 6120

东营凹陷沙四、孔店沉积时期处于干旱一半干旱气候条件, 湖盆水体盐度较大, 沿北部同生断层上涌的深层卤水加剧了水体的咸化, 使得在凹陷中北部沉积了大量的白云岩、泥质白云岩、膏盐岩, 为埋藏成岩过程中碱性成岩环境的形成奠定了良好的物质基础。刘宝珺认为方解石的沉淀需要 pH 较高的碱性环境, 其 pH 值大于 8~9。胜坨地区沙四段砂砾岩层中广泛发育的颗粒方解石泥晶包壳就是储层中原始地层水为碱性环境的重要证据。

随着埋深的增加以及古地温的升高, 沙四段储层经历了从早成岩 A 期到早成岩 B 期的演化阶段。在此过程中, 碱金属离子和碱土金属离子的活度加大并随矿物水解进入地层水中, 使溶液的 pH 值进一步升高、碱性程度进一步增强。

在早成岩 B 期的晚期以及其后的晚成岩各阶段的成岩作用过程中, 主要有两种可以促使地层水向酸性转化的趋势。一是晚成岩 A 期有机质演化所伴生的有机酸, 它对储层中地层水的性质产生一定的影响, 使其 pH 值降低, 并导致石英次生加大、长石溶解。然而, 有机质演化过程中释放的有机酸和 H^+ 一方面要受到生油岩本身所含碱性地层水的改造; 另一方面也在石英次生加大和长石溶解过程中不断消耗; 同时, 地层水在向上运移以及侧向运移过程中, 还要受到地层中碱层的强烈影响而被中和; 这些因素必将导致地层水很快回复碱性, 造成石英质颗粒及其加大边的溶解。如此周而复始, 地层水性在弱酸-碱性之间频繁交替。二是晚成岩 B 期以后有机质过成熟和粘土矿物转化而产生的 CO_2 和 H^+ , 由于此时生油岩埋深较大 (大于 4 000 m), 基本处于异常高压带, 属封闭的水动力环境, 加上碳酸为弱酸, 因而 CO_2 的影响不会很强, 并且其影响也是局部的。不过, 由于成岩晚期胶结物大量沉淀, 导致地层水碱度总体程减弱趋势。

综上所述, 东营凹陷沙四段储层中地层水在其埋藏成岩作用历程中, 中成岩 A 期在碱性背景上交替出现酸性介质条件, 从而造成石英和酸溶性矿物的溶解交替出现, 形成溶解孔隙。自中成岩 B 期随深度增大地层水碱度总体上呈减弱趋势, 地层水的 pH 值相对降低, 可以导致石英沉淀和长石和部分晚期碳酸盐胶结物遭受轻微溶解。

3 溶解作用的动力机制

3.1 循环热对流

东营凹陷深部下第三系地层膏盐岩、钙质泥页岩系列发育, 成岩作用强烈, 储层变得致密, 且进入超压带, 地层中流体向构造高部位的运移受到抑制, 此时流体的主要运动方式为循环热对流。

作为东营凹陷下第三系深层主要流体流动方式, 循环热对流过程中热流沿陡部位 (盆地的斜坡以及正负向构造单元的过渡带) 从砂层底部由下往上运动, 冷却流从构造高部位沿岩层顶部由上往下运动, 最终导致盆地内对流循环。具正向溶解性的矿物, 如

SD₃ 粘土矿物等在倾斜砂层中上部或构造高部位沉淀,而逆向溶解的碳酸盐矿物则在砂层的下部和构造低部位沉淀,最终造成构造翼部或储层中上部次生孔隙发育,底部、顶部形成致密胶结带(图 4)。

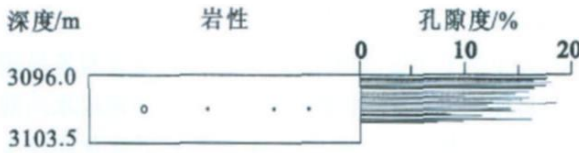


图 4 T168 井砂砾岩单层内孔隙度分布特征

Fig 4 distribution of porosity in monolayer of arenaceous conglomeratic rock in T168 well

薄板状热对流单元(图 5)是东营凹陷深层常见的循环热对流方式,它使砂层中上部沉淀了粘土矿物和少量石英,碳酸盐矿物溶解,次生孔隙发育,储层的渗透性较好;向砂层底部碳酸盐胶结物增多,充填孔隙,储层物性变差,而砂层顶部因渗滤扩散机制形成碳酸盐沉淀,储层致密。这种循环模式意味着构造高部位不一定是有利的油气聚集场所,而构造翼部则是有利的孔隙保存带,是油气富集有利部位。这种循环热对流造成的物性分布规律在东营凹陷北带深层超压地层较为普遍,可以很好地解释深部储层中上部含油良好的现象(如 Y554 砾岩体)。

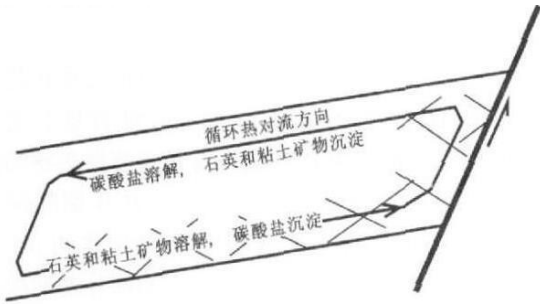


图 5 东营凹陷下第三系深层碎屑岩薄板状循环热对流成岩模式

Fig 5 Sheet cyclic thermal convection pattern in deep formation of Dongying sag paleogene

3.2 断裂活动引起大气淡水淋滤和超压泄露

东营北带同沉积开启性断裂的活动对深部碎屑岩储层的成岩作用具有重要的影响,它为储层提供开放的成岩系统。

在断裂带附近埋深 3 000~ 3 500 m 的碎屑岩储层中,开启的断层可以成为大气水向地层深处渗滤的通道。东营凹陷下第三系深部储层在东营组末期尽管没有因抬升暴露于地表,但大气淡水的淋滤使地层

水碱度降低,从而导致酸性矿物溶解,使次生孔隙广泛发育,改善储层的储集性能,与鄂尔多斯盆地三叠系延长组次生孔隙形成机理有类似之处^[11]。

东营凹陷北带 Y554 沙四砾岩体储集空间的形成即与断裂活动引起的大气淡水淋滤有关。由于东营期末坳一胜一永断裂带的剧烈运动,使大气水向下渗滤进入沙四段储层,降低地层水 pH 值,引起酸性矿物的溶解,提高了储层的渗透性。据统计,在砾岩体各井次生孔隙发育带深度段内的高岭石含量与井位距深大断层的距离成,其中 Y551 井距断层最近,高岭石含量最高(表 2),即是大气水沿开启性断层淋滤的有力证据。

表 2 东营凹陷北部陡坡带永 554 井区粘土矿物分布特征

Table 2 Clay minerals distribution in Y554 well block in northern Dongying Sag

井号	与主断层距离	粘土矿物百分比 %				混层比 %	样品数 个
		高岭石	伊蒙混层	伊利石	绿泥石		
Y551	近	55.3	25.3	15.3	4	20~25	3
Y552	↓	15	50	32	3	20	1
Y553	远	9.5	50	35	5.5	20~25	2
Y554		0	27	73	0	20	2

这种开启过程对于埋深超过 3 500 m 的地层,则会造成异常高压在断裂处泄漏,使在超压条件下形成的裂缝愈合从而导致储层物性变差。例如 FS1 井 3 900~ 3 970 m 处,地层压力系数明显小于上下围岩,在 0.9~ 1.1 之间,属于正常压力,孔隙度和渗透率明显低于 4 200 m 附近的盐下发育超压裂缝的储层。

4 结论

东营凹陷第三系深部储层溶蚀孔隙受控于多重成岩环境,具有酸性介质溶解作用和碱性介质溶解作用多重溶解机理。其中酸性介质溶解作用包括有机酸溶解作用、无机酸溶解作用、硫酸盐热化学氧化还原反应和油田水引起的溶蚀作用等,其中有机酸溶解作用是持续深埋深陷带砂岩次生孔隙的主要溶解机理,对硫酸盐热化学氧化还原反应和油田水引起的溶蚀作用对次生孔隙的贡献尚待进一步研究。碱性介质溶解作用以石英为主要溶蚀对象,对处于早成岩 B 期至中成岩 A 期的沙四段储层次生孔隙的形成贡献较大。

东营凹陷第三系深部储层溶解作用的动力机制包括循环热对流、断裂活动引起大气淡水淋滤和超压

泄露,前者对处于超压背景下的深埋倾斜砂层影响较大,后者主要作用于深大断裂附近的砂层。

参考文献 (References)

- 1 Surdan R C, Crossey L J, Svenhagan E, *et al* Organic-inorganic interaction and sandstone diagenesis AAPG Bulletin 1989, 73(1): 1-27
- 2 G lanann J R, *et al* Diagenesis and hydrocarbon accumulation, Brent sandstone (Jurassic), Bergen High Area North Sea AAPG Bulletin 1989, 73(11): 341-1360
- 3 纳尔逊 R A 著.天然裂缝性储集层地质分析.柳广弟,朱筱敏译.北京:石油工业出版社,1991 6-26 [Nelson Ronald A. Geologic Analysis of Naturally Fractured Reservoirs Beijing Petroleum Industry Press 1991. 6-26]
- 4 朱抱荃,程中第,应凤祥.地层干酪根有机酸与储层次生孔隙的关系.石油实验地质,1996, 18(2): 206-215 [Zhu Baoquan, Cheng Zhongdi, Ying Fengxiang. Relation of organic acid generated by kerogen to secondary porosity of reservoir. Experimental Petroleum Geology, 1996, 18(2): 206-215]
- 5 刘林玉,陈刚,柳益群,等.碎屑岩储集层溶蚀型次生孔隙发育的影响因素分析.沉积学报,1998, 16(2): 97-101 [Liu Linyu, Chen Gang, Liu Yiqun, *et al*. Analysis on influencing factors of solution-type secondary pore-evolution in clastic reservoirs. Acta Sedimentologica Sinica 1998, 16(2): 97-101]
- 6 袁静,赵澄林.水介质的化学性质和流动方式对深部碎屑岩储层成岩作用的影响.石油大学学报,2000, 24(1): 60-63 [Yuan Jing, Zhao Chenglin. Influence of chemistry of fluid and circulated convection current on diagenesis of petroclastic rock in deep formation. Journal of the University of Petroleum, 2000, 24(1): 60-63]
- 7 Hayes M J, Boles J R. Volumetric relations between dissolved plagioclase and kaolinite in sandstones: implications for aluminum mass transfer in the San Joaquin basin, California. Special Publication Society of Economic Paleontologists and Mineralogists 1992, 47: 111-123
- 8 Emery D, Myers K J, Young R. Ancient subaerial exposure and freshwater leaching in sandstones. Geology (Boulder), 1990, 18: 1178-1181
- 9 Ram M. Porosity depth trends in reservoir sandstones: theoretical models related to Jurassic sandstones offshore Norway. Marine and Petroleum Geology, 1992, 9: 553-567
- 10 Bloch S, Franks S G. Preservation of shallow plagioclase dissolution porosity during burial: implications for porosity prediction and aluminum mass balance. AAPG Bulletin 1993, 77: 1488-1501
- 11 黄思静,武文慧,刘洁,等.大气水在碎屑岩次生孔隙形成中的作用——以鄂尔多斯盆地三叠系延长组为例.地球科学—中国地质大学学报,2003, 28(4): 219-424 [Huang Sijing, Wu Wenhui, Liu Ji, *et al*. Generation of secondary porosity by meteoric water during time of subaerial exposure: an example from Yanchang Formation sandstone of Triassic of Ordos Basin. Earth Science-Journal of China University of Geosciences 2003, 28(4): 219-424]
- 12 邱隆伟,姜在兴,操应长,等.泌阳凹陷碱性成岩作用及其对储层的影响.中国科学(D辑),2001, 31(9): 752-759 [Qiu Longwei, Jiang Zaixing, Cao Yingchang, *et al*. Alkaline diagenesis and its influence to reservoir in Biyang Depression. Science in China (Series D), 2001, 31(9): 752-759]
- 13 邱隆伟,姜在兴,陈文学.一种新的储层孔隙成因类型——石英溶解型次生孔隙.沉积学报,2002, 20(4): 621-627 [Qiu Longwei, Jiang Zaixing, Chen Wenxue, *et al*. A new type of secondary porosity: quartz dissolution porosity. Acta Sedimentologica Sinica 2002, 20(4): 621-627]
- 14 袁静.东营凹陷下第三系深层成岩作用及次生孔隙发育特征.煤田地质与勘探,2003, 31(3): 20-22 [Yuan Jing. Diagenesis and secondary pore development in Paleogene deep formation in Dongying Sag. Coal Field Geology and Exploration, 2003, 31(3): 20-22]
- 15 Blake, *et al* Kinetics of feldspar and quartz dissolution at 70~ 80°C and near neutral pH: effects of organic acids and NaCl. Geology of C. A., 1999, 63: 2043-2059
- 16 黄福堂,邹信方,张作祥.地层水中主要酸类对储层物性影响因素研究.大庆石油地质与开发,1998, 17(3): 7-9 [Huang Futang, Zou Xinfang, Zhang Zuoxiang. Effect of major acids in formation water on physical properties of reservoir. Petroleum Geology & Oilfield Development in Daqing 1998, 17(3): 7-9]
- 17 蔡春芳,顾家裕,蔡洪美.塔中地区志留系烃类侵位对成岩作用的影响.沉积学报,2001, 19(1): 60-65 [Cai Chunfang, Gu Jiayu, Cai Hongmei. Effect of hydrocarbon emplacement on diagenesis of Silurian sandstone of central Tarim Basin. Acta Sedimentologica Sinica 2001, 19(1): 60-65]
- 18 党D,赵虹,周立发.台北凹陷侏罗系储层次生孔隙特征及形成机理.西北大学学报(自然科学版),2002, 32(3): 281-85 [Dang Ben, Zhao Hong, Zhou Lifa. Fundamental characteristics and formation mechanism of secondary porosity in Jurassic reservoirs in Tabei Depression, Tunnan-Han i Basin. Journal of Northwest University, 2002, 32(3): 281-85]
- 19 史基安,曹慧娟,薛莲花,等.长石砂岩中长石溶解作用发育机理及其影响因素分析.沉积学报,1994, 12(3): 68-75 [Shi Jitian, Jin Huijuan, Xue Lianhua, *et al*. Analysis on mechanism of feldspar dissolution and its influencing factors in feldspar-rich sandstone reservoir. Acta Sedimentologica Sinica 1994, 12(3): 68-75]
- 20 于兴河,张道建,李胜利,等.辽河油田东、西部凹陷深层沙河街组成岩演化规律.石油实验地质,1999, 21(4): 291-296 [Yu Xinghe, Zhang Daojian, Li Shengli, *et al*. The diagenetic evolution of deep burial strata at Shahejie Formation in Eastern and Western Depressions of Liaohe Oil Field. Petroleum Geology & Experiment 1999, 21(4): 291-296]
- 21 王生朗,任来义,王英,等.盐湖环境成岩作用特征及其对高孔隙带形成的影响.石油勘探与开发,2003, 30(5): 47-49 [Wang Shenglang, Ren Laiyi, Wang Ying, *et al*. Characteristics of diagenesis in saline lake environment and its effect on high-porosity zones. Petroleum Exploration and Development 2003, 30(5): 47-49]
- 22 唐清山,魏桂萍,杜德军.石英溶解对稠油储层的影响.特种油气藏,1999(增刊): 28-30 [Tang Qingshan, Wei Guiping, Du Dejun. Effect of quartz solution on heavy oil reservoir. Special Oil Deposit 1999 (Suppl.): 28-30]

Cause of Formation and Dynamic Mechanisms in Multiply Medium of Dissolved Pores in Deep Formation of Dongying Sag

YUAN Jing¹ ZHANG Shan-wen² QIAO Jun² CHEN Xin¹

(1. University of Petroleum of China, Dongying Shandong 257061;

2. Shengli Oilfield Branch Corporation, SINOPEC, Dongying Shandong 257061)

Abstract The cause of formation and dynamic mechanisms in multiply medium of dissolved pores in deep formation of Dongying sag were revealed by those means such as core observation, thin-section analysis, scan electricity microscope observation, inclusion analysis and Ro test, etc and combining histories of stratum pressure, tectonic development and organic maturation. It was recognized that the reservoir in deep formation has multiply dissolving mechanisms. They are acidity medium dissolving mechanism and alkalescence medium dissolving mechanism. The former includes organic acid dissolution, abi-acid dissolution and dissolution caused by sulfate thermochemistry oxidation-reductive reaction and oil field fluid. The later gives priority to quartz dissolution. 6 kinds of methods to recognize quartz dissolution are put forward. The dynamic mechanisms of dissolution include cyclic thermal convection, atmosphere water infiltrating through active faults and exceed pressure leak near the faults.

Key words dissolved pores, multiply medium, cause of formation mechanisms, dynamic mechanisms, deep formation, Dongying sag