

文章编号: 1009-3850(2004)02-0076-07

# 影响渤南洼陷深部储层次生孔隙形成的因素及其作用

吴富强<sup>1</sup>, 宁兴贤<sup>2</sup>

(1. 重庆大学 西南资源开发及环境灾害控制工程教育部重点实验室, 重庆 400044; 2. 重庆市地质矿产勘查开发总公司, 重庆 400039)

摘要: 许多因素、作用对于沉积盆地这个巨大的化学反应器而言, 可能是同时发生、协同作用, 或某一参数占主导。本文系统地分析了影响渤南洼陷深部储层的因素和作用: 岩石的组构、地温场、异常高压和沉积作用、成岩作用、构造作用及地震作用等。

关键词: 深部储层; 次生孔隙; 因素; 渤南; 山东

中图分类号: TE122.2 文献标识码: A

## 1 概况

渤南洼陷是胜利油区的一个三级负向构造单元, 北以埕南断裂带与埕东凸起相接, 南邻陈家庄凸起斜坡带, 西以义东、罗西断裂与义和庄凸起相连, 东以孤西断层与孤北洼陷、孤岛凸起相邻, 东南以垦西地垒与三合村洼陷相接。渤南洼陷为一西北陡、东南缓、北东走向的箕状断陷盆地, 由陡坡带、缓坡带、洼陷带三部分组成。南部和东部缓坡带由罗家鼻状构造带、垦西地垒、孤西断裂带、孤北断裂带、渤南断裂带、罗西断裂带组成; 西部和北部陡坡带由义东、埕南断裂带组成; 洼陷带由孤西向斜和四扣向斜组成。

渤南洼陷为一富油洼陷, 自1964年开始勘探, 1970年发现第一口千吨井以来, 在其周围已发现渤南、罗家、义东、埕东、孤岛、垦西、陈家庄7个大、中型油气田, 探明含油气面积约100km<sup>2</sup>, 石油地质储量1亿多吨。洼陷深部钻探的义115井、义121井、渤深5井, 在沙四段含膏岩段获纯气流, 日产气1560~

3533m<sup>3</sup>; 钻探的渤深3井、渤深4井、义160井、义17井等, 在沙四段获工业油气流。整个洼陷地质结构复杂, 油气藏类型丰富, 从洼陷边缘到洼陷中心都有油气藏分布。

## 2 主要影响因素

### 2.1 成岩物质组构

砂岩的成分、结构、构造影响着储集层原生孔隙的发育程度及其以后成岩作用的速度与方向。

#### 1. 成岩物质组构对孔隙的影响

(1) 成分成熟度。赫斯(1979)认为砂岩的组份对成岩作用有着重要的影响。影响岩石储集性能主要有粘土杂基含量、胶结物含量和颗粒组份物理化学性质等。在一般情况下, 砂岩成分成熟度高(如石英砂岩), 原生孔隙发育, 但易发生次生加大; 成分成熟度差(如长石岩屑砂岩、岩屑长石砂岩), 原生孔隙差, 但在酸性流体作用下不稳定矿物、岩屑(如长石、中基性火山岩屑), 易发生粒间、粒内溶解, 次生孔隙发育。粘土杂基含量越高, 储集性就越差, 粘土杂基

收稿日期: 2003-11-15

资助项目: 胜利油田“渤南洼陷沙四上亚段储层综合评价”(2000-11JS)

第一作者简介: 吴富强, 1964年生, 博士, 现博士后, 主要研究方向为金属热液矿床与油气之间的成生联系。

的含量与孔隙度呈负相关,这是因为杂基支撑结构的砂岩(杂基含量大于15%)一方面易于机械压实,如杂砂岩、含砾泥质粉砂岩等,另一方面,粘土杂基的存在阻碍了地下酸性流体的活动。微含泥质(5%~15%)的颗粒支撑结构砂岩,一方面由于颗粒支撑使压实作用减弱,另一方面一定数量的粘土薄膜的存在抑制了胶结物的沉淀,因此这种砂岩孔渗性好。杂基含量小于5%的净砂岩,原始孔渗性好,常出现早期碳酸盐或二氧化硅胶结,在一定程度上抑制了后期压实压溶作用的进行,有利于剩余粒间原生孔隙的保存;但如果胶结物含量很高,形成嵌晶式胶结,堵死了孔隙喉道,不利于后期酸性流体流动和对储层的改造,致使储层致密化。统计结果表明,孔隙度与碳酸盐胶结物含量呈负相关(图1),但早期碳酸盐胶结作用可使压实、压溶作用受到抑制,同时也为溶蚀作用准备了易溶物质,利于次生孔隙的形成。

(2)岩石的结构成熟度对砂岩的储集性也有影响。从理论上讲,等大球体堆积的砂岩储层,其孔隙度与粒径大小无关。实际上,碎屑颗粒不可能是等大球体,而是大小混杂。统计表明,孔渗性与分选系数呈明显的负相关,与粒度中值呈明显的正相关(表1)。由图2和图3可以看出,随砂岩分选性变好,孔隙度和渗透率都呈增大的趋势;图4和图5表明,在一定范围内,随砂岩粒度中值的增加,孔隙度与渗透率逐渐增大。

(3)沉积构造。一般具平行层理的砂岩分选性好,杂基含量低,颗粒支撑,有利于原生孔隙的保存;具斜层理、波状层理的砂岩,内部弯曲的纹层给流体

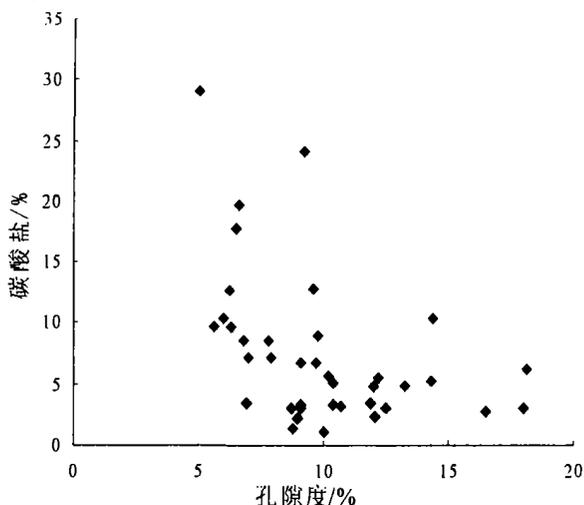


图1 渤南洼陷义160井、170井沙四段孔隙度与碳酸盐含量散点图

Fig. 1 Scatter plot showing the relationship between porosity and carbonate contents in the fourth member of the Shahejie Formation in the Yi-160 and Yi-170 wells of the Bonan depression

的流动增加了困难,不利于次生孔隙发育和油气的进入;生物扰动构造愈强烈,储层质量愈好,含油性愈好。

2. 成岩物质组构对裂隙的影响

(1)岩性由于不同岩性的岩石成分、结构、构造不同,从而使岩石的弹性模量、泊松比及强度等岩石力学性质各异,因此在相同的构造应力场作用下,其裂隙的发育程度也不一致,一般能干层通常表现为脆性破裂,而塑性层常表现为柔皱、挠曲等现象。

表1 人工混合湿填集砂中粒度、分选性与孔隙率的关系(据 Beard 和 Weyl, 1973)

Table 1 Relationship between grain size, sorting and porosity of the artificial mixed wet filled sands (after Beard and Weyl, 1973)

粒度	粗		中		细		极细		平均孔隙率/%	标准偏差/%
	高端	低端	高端	低端	高端	低端	高端	低端		
分选性										
极好	43.1	42.8	41.7	41.3	41.3	43.5	42.3	43	42.4	0.8
非常好	40.8	41.5	40.2	40.2	39.8	40.8	41.2	41.8	40.8	0.6
好	38	38.4	38.1	38.8	39.1	39.7	40.2	39.8	39	0.8
中等	32.4	33.3	34.2	34.9	33.9	34.3	35.6	33.1	34	1
差	27.1	29.8	31.5	31.3	30.4	31	30.5	34.2	30.7	1.8
极差	28.6	25.2	25.8	23.4	28.5	29	30.1	32.6	27.9	2.8
平均孔隙率/%	35	35.2	35.3	35	35.5	36.4	36.7	37.4		
标准偏差/%	6	6.3	5.5	6.2	4.9	5.3	5	4.2		

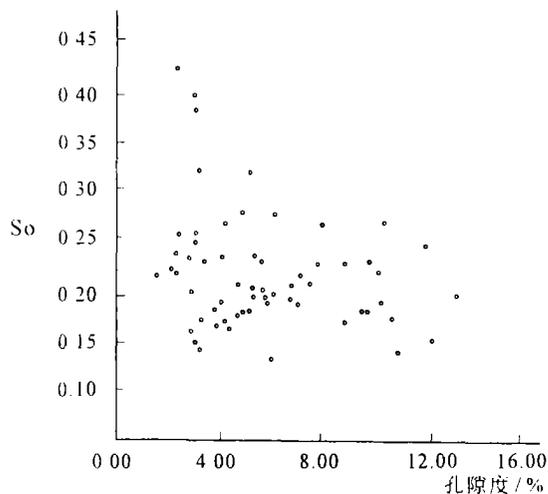


图2 孔隙度与分选系数关系图

Fig. 2 Relationship between porosity and sorting coefficients

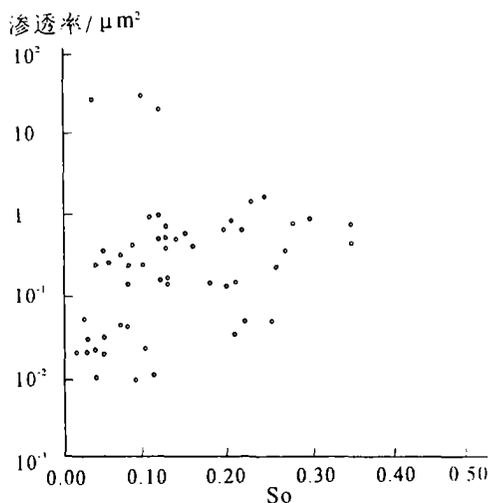


图3 渗透率与分选系数关系图

Fig. 3 Relationship between permeability and sorting coefficients

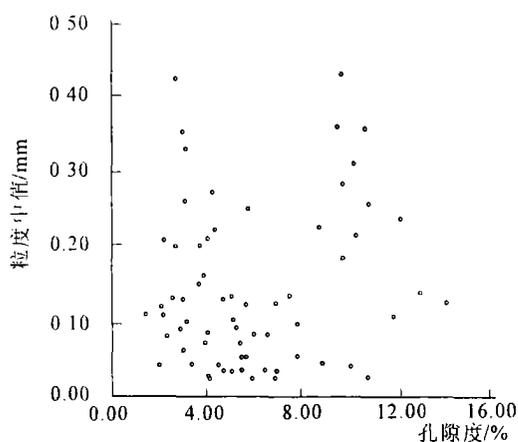


图4 孔隙度与粒度中值关系图

Fig. 4 Relationship between porosity and mean grain sizes

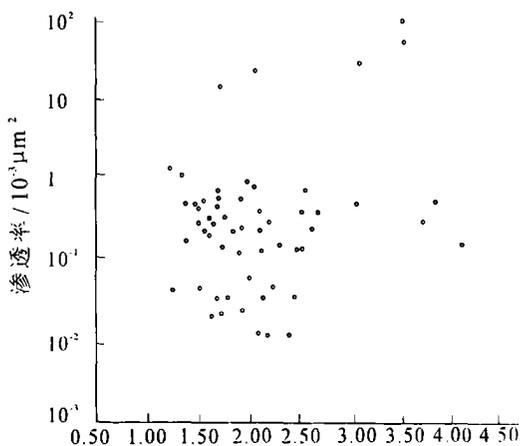


图5 渗透率与中值关系图

Fig. 5 Relationship between permeability and mean grain sizes

渤南洼陷泥岩裂缝型储层的储集体并非是纯泥岩,而是含灰质、白云质等脆性矿物成分较高的灰质泥岩、白云质泥岩、泥质灰岩、泥质白云岩。普遍含云质、灰质及砂质等脆性成分,极大地提高了泥岩的能干性,致使泥岩裂隙发育。该区泥质岩类中平均视密度为 0.66 条/m,大于砂岩储层中的裂隙密度(图 6)。

对于相同组份的岩石,岩石的颗粒及孔隙度大小也影响着裂隙的发育程度。前人研究成果及岩石力学性质实验表明,随着岩石颗粒和孔隙度变小,岩

石的强度和弹性模量增大,岩石经过弹性变形后,在较小的应力下就易于破裂。

(2) 岩层厚度。大量岩芯观察统计表明,低渗透储层中裂隙明显受岩石的层厚控制。在相同构造部位,随着岩层层厚增加,裂隙密度变小(Huang, Angelier, 1989; Narr, Suppe, 1991 等)。在岩石力学性质相差不很明显的岩层中,岩性层并非是岩石力学层,此时控制裂隙发育的是岩石力学层,裂隙在力学层内发育,几乎总是终止在力学层面上而不向外扩展,因而在岩层中岩石力学性质相接

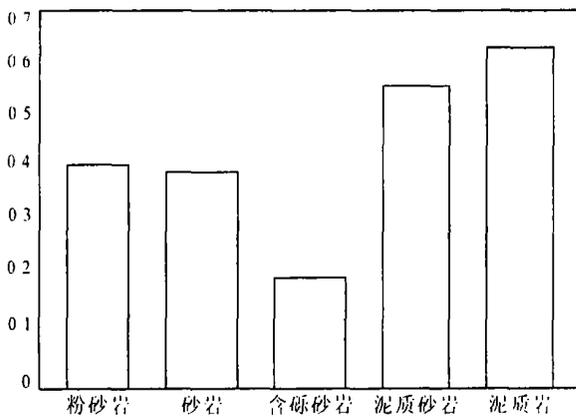


图6 渤南洼陷储层裂隙密度与岩性关系

Fig. 6 Relationship between fissure density and lithology of the reservoir rocks in the Bonan depression

近的部位常出现裂隙穿层现象。

(3) 岩石组合。在某一层位和构造部位, 裂隙的整体发育程度还与其岩层组合密切相关, 即岩层中岩石的脆性成分高、颗粒细、孔隙度低、岩层的单层厚度小, 且这种薄岩层的累计厚度大, 则该层位裂隙的整体发育程度就较高。

在陆相沉积盆地中, 上述岩性、岩层厚度及其组合关系对裂隙的综合影响实际上又是受储层沉积微相控制的, 故陆相沉积盆地中影响储层裂隙发育的上述诸因素可归纳为裂隙与沉积微相之间的关系。

## 2.2 高地温场

一般来说, 随着埋藏深度的增加, 各种成岩作用增强, 孔、渗性趋于减少。但由于渤南洼陷发育了丰富的优质(I、II)烃源岩, 地温梯度高, 降低了生油门限, 加速了有机质演化速度, 致使有机质在沉积物尚未完全遭受机械压实, 胶结作用也未能将砂岩中的孔隙完全堵死的状态下趋于成熟, 利于有机酸和二氧化碳能及早地进入临近的砂体中, 加速砂岩中水-岩反应速度, 充分地进行溶蚀作用; 再者, 高温可加速流体循环, 将溶解物质带出系统, 利于形成规模性的次生孔隙带; 最后形成的油气易于进入储层, 抑制成岩作用, 有利于孔隙的保存<sup>[1,2]</sup>。

世界各时代沉积盆地的平均地温梯度为 $3.0^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ , 中国西部盆地的平均地温梯度为 $2.6 \sim 2.8^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ ; 而第三纪济阳拗陷具有高背景的地热场, 地温梯度一般在 $3.4 \sim 4.4^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ 之间, 热流值高达 $60 \sim 100\text{W}/\text{km}^2$ , 属热盆性质。这种高地温场, 使其地温梯度增高、热流值增大, 致使其生油门

限变浅, 加速了有机质热演化速度, 进而对原生孔隙起着保存作用和积极的改造作用。

## 2.3 烃类

Surdam(1989)指出, 在 $120 \sim 160^{\circ}\text{C}$ 之间, 羧酸阴离子将发生热脱羧作用转变成烃类、 $\text{CO}_2$ , 使溶液中 $\text{CO}_2$ 浓度提高, 从而降低了有机酸的浓度, 但此时有机酸仍控制流体的酸碱度; 但当温度大于 $160^{\circ}\text{C}$ , 有机酸基本上全部转化为 $\text{CO}_2$ , 此时为内部缓冲。

Hawkins研究表明, 储层成岩作用的变化主要受化学过程控制, 而捕获了大量石油的岩石, 即在原油充填带, 原油的成藏作用阻止了石英的进一步次生加大以及其它成岩矿物的形成, 成岩作用降低乃至停滞, 次生孔隙的破坏程度也在石油充填时处于冻结状态。若储层未在合适的时间以合适的形式捕获石油, 如充满水的砂岩层, 随成岩作用的继续进行, 成岩作用强烈, 岩石孔隙度减小, 次生孔隙有规律地遭到破坏, 从而使岩石越过石油窗未能形成有效储层。在局部地方, 即使油气的饱和度较高, 但由于薄层水溶液的存在使得结晶作用仍可进行; 成岩作用进行与否, 关键在于油气的超饱和而不是油气饱和的百分率, 即只有储层的孔隙完全或大部分被油气所占据, 造成孔隙水呈不连续的孤立滞留状态, 即可扼制成岩作用的继续进行; 否则只要孔隙水尚能自由的运动, 成岩作用就不会停止。

总体来看, 烃类进入砂岩, 抑制了地层水的流动, 阻碍了胶结物质的来源, 因此抑制了成岩作用的进行, 即成藏以后成岩作用速度减慢。然而这种延缓仅仅是暂时的, 当埋藏更深时, 石油裂解形成天然气, 应力、压力增大, 封闭出现渗漏, 砂岩颗粒变形、机械压实、新矿物的形成继续破坏孔隙度<sup>[3]</sup>。

对渤南洼陷来说, 尤其要注意早期生烃作用, 母源为葡萄藻及I、II<sub>1</sub>型干酸根易于早期生排烃进入储层, 从而对成岩矿物的形成起到抑制作用, 有利于孔隙的保存; 同时随着埋藏作用进行, 石油的裂解、水热增压作用, 加上泥岩欠压实作用及膏盐层发育, 易形成压力封存箱, 阻止成岩作用的继续进行。

## 2.4 异常高压

异常高压是深部广泛存在的地质现象, 研究深部储层必然要涉及异常高压, 且是不可避免的, 是深入研究深部储层的关键<sup>[4-5]</sup>。

### 1. 异常高压的形成条件

渤南洼陷古近纪地层几乎完全具备“沉积型”异

常高压存在的一切条件:地温梯度高,沉积速率快,可以与墨西哥湾相类比,达到 $0.1 \sim 0.4 \text{ mm/a}$ ;不仅发育了大量砂砾岩体,而且发育了巨厚的呈欠压实状态的泥页岩系及蒸发岩层,致使下部砂岩体封闭性良好;发育了大量同生断层及同生构造,特别是发育了许多与塑性层有关的同生构造圈闭。

从构造条件上讲,异常高压分布于洼陷深陷部位、斜坡边缘及大型盆倾断层内侧;从沉积条件上,分布于地史时期稳定湖相沉积范围内,沉积速率快,沉积物连续,且厚度大,分布于巨厚的盐湖沉积物及前三角洲泥质沉积物之中;分布范围与生油洼陷一致。欠压实带内储集岩发育,有浊积扇→砂岩透镜体→泥岩裂缝→火成岩高压储层→碳酸盐岩高压储层等;欠压实带即异常高压带在物性上表现为高渗透率、高孔隙度、高温、低密度、低有效应力、低电阻率。渤南洼陷由于渐新世晚期—新近纪早期持续大幅度沉降,沉积巨厚,异常高压带几乎遍及整个洼陷,如义160沙四上部压力系数高达1.67。

## 2. 异常高压利于孔隙的形成

沙四段沉积时,尽管沉降速率较高,但地温梯度也较高,因此次生孔隙和异常高压可能差不多同步发生,在异常高压带的上部及顶界附近形成次生孔隙发育带。

压实作用、脱水收缩作用、重结晶作用使泥页岩固结、能干性增强,异常高压作用使之破裂。Bjørlykke(1993)指出,若孔隙度为5%的页岩含10%的干酪根,当多数干酪根转变为原油且未被及时排出时,孔隙度将至少增大200%。

超压减少了有效应力,并且延缓了压实作用,导致了“不平衡的压实作用”,当超压增加到接近岩石静压力时,岩石将经历有效应力的减少。尽管目前还无法证明砂岩经历了孔隙的机械恢复作用,但超压是一个能被保存的动态现象(Neuzil, 1995),在具有低有效应力的超压条件下的深埋藏与浅埋藏是相当的。在构造薄弱点以及孔隙流体的垂直漏失、脉动或释放超压力,通过流体流动带走砂岩中Si、Al、K,使孔隙向着最大潜在孔隙度增加。

## 3. 异常高压对孔隙的保护作用

研究表明,保存条件的存在与否是决定深部储集层发育的关键因素之一。对于任何一个盆地,沉积期原生孔隙、成岩早中期次生孔隙总是存在的,但是如果缺少适当条件加以保护,由于深埋作用,最终

成为致密层;相反,如果保护条件优越,这些孔隙不仅免遭伤害,而且还可以因深溶作用使孔渗性进一步得到改善。

异常高压对孔隙的形成及保护作用主要表现在:

(1) 根据 Terzaghi 原理(1968),作用在沉积物上的上覆总负荷( $S$ )由岩石基质骨架和孔隙流体支撑,即 $S = P + \sigma$ 。因此流体异常高压( $P$ )大大降低了控制沉积物压实过程的有效应力( $\sigma$ ),从而减缓了甚至抑制了压实作用的继续进行,有效地保护了孔隙发育带。

(2) 异常高压内,流体的流动性相对受到限制,处于滞留状态,不同程度地延缓了成岩作用的深入进行,对孔隙发育带的保护起一定的贡献。

(3) 高压能抑制热解作用的发生,是深部环境下油气存在的关键因素之一,间接上起到了对孔隙的保护作用。

## 3 主要控制作用

渤南深洼区沙四上亚段储层所经历地质作用过程较为复杂,对储层物性的影响较大。

### 3.1 沉积作用

沉积作用决定了盆地沉积物的原始性质,包括地下沉积物的原始孔隙率和渗透率状况。原始孔隙率的主要构成部分是原始粒间孔隙,它将对岩石的最终孔隙率产生影响。岩石的粒间体积孔隙率可按如下公式(Wilson, 1994)计算:

$$\phi_{IG} = IGV - C_{em} - M_{tx}$$

$\phi_{IG}$ : 粒间体积孔隙率;  $IGV$ : 粒间体积;  $C_{em}$  粒间胶结物体积;  $M_{tx}$ : 粒间杂基体积。

沉积物进入沉积盆地以后,盆地的水动力状况控制了碎屑颗粒的形状、粒度、分选状况、排列方式、磨圆度,从而控制了岩石的原始孔隙率。如渤南洼陷断陷性质决定了沙四上亚段沉积时密度流发育,致使原始孔隙度较低,平均为30.32%。

沉积环境对储层物性的影响体现在不同沉积相带储层物性不同,如渤南洼陷湖底扇中扇的辫状河道孔渗性最好,内扇次之,而外扇最差。

值得一提的是,沉积环境对中浅部储层的影响较明显,而对深部储层的影响,则居于次要地位。

### 3.2 成岩作用

储层原始孔隙的结构特征和分布规律受沉积因

素控制,但在埋藏成岩过程中储集空间将会受到成岩作用的改造,即储层特征的最终状态不仅是由沉积条件,而且也是由成岩作用所决定的。成岩作用既可促进次生孔隙的发育,又可破坏原生孔隙,使原始孔隙分布发生变化,甚至变得面目全非。目前石油工作者正试图通过研究影响成岩作用的各种因素,并由此预测次生孔隙在纵横向上的分布规律,厘定成岩圈闭,指导深层油气勘探<sup>[6]</sup>。

与储层特征有关的主要成岩事件有:渤南洼陷沙四段砂岩中机械压实作用在镜下薄片主要表现为塑性颗粒变形被挤入孔隙,刚性石英具破裂纹,长石破裂、晶纹错动,云母扭折,颗粒间呈点线接触、凹凸接触,对储集空间起着破坏作用。压溶作用主要表现为石英颗粒呈凹凸接触,甚至成缝合线接触,形成石英次生加大边,从而使渗透率大大降低。渤南洼陷沙四上亚段胶结作用较强,主要胶结物有早期方解石、晚期方解石、白云石、铁方解石、铁白云石、硅质和硬石膏等。一般来说,胶结作用对岩石孔隙起着破坏作用,但易溶矿物的胶结作用为后期溶蚀作用准备了良好的物质条件。泥岩中粘土矿物演化对次生孔隙形成有重要的影响,其成岩作用包括压实作用和脱水作用,粘土矿物相转换,粘土矿物中离子的溶解、运移和再沉淀,发生胶结作用、固结作用,所含有机的热演化等;砂岩中自生粘土矿物胶结物常见有高岭石、蒙脱石、伊利石和绿泥石,它们的结晶形态各不相同,其中伊利石常呈衬垫式胶结,即薄膜式胶结,堵塞喉道,造成孔隙度及渗透率急剧下降。交代作用是渤南洼陷常见的一种成岩作用,如黄铁矿交代石英、晚期方解石交代早期方解石等,对次生孔隙的影响取决于交代前后体积的变化。溶蚀作用在渤南洼陷沙四段异常发育,铸体薄片研究表明溶蚀作用形成的次生孔隙占储集空间的85%以上。

### 3.3 构造作用

深层储层与中浅部储层有质的差别,有其自身的规律,主要受地球动力作用、热力学及深部热流体的影响。每一次大规模的油气运移均发生在主要构造运动之后,这是因为深部储层岩性致密、低孔低渗、且分布不匀,而每次大规模的构造运动之后,伴随着裂缝的发生,深部热流体循环对流形成次生孔隙-裂隙发育带<sup>[7~9]</sup>。

#### 1. 断裂作用对深部裂缝型储层的影响

断层是控制裂隙形成与分布的重要因素,它主

要通过控制其周围局部构造应力的分布来影响裂隙的发育规律。根据构造的物理模拟结果分析(葛立刚, 2000),在断层附近,其应力的分布具明显的分带性,在断层两侧,主要为断层活动所产生的应力扰动区,其宽度大致为断层断距的二分之一,在断层上盘一定距离部位,为断层控制下的应力集中区。在平面上,应力集中区呈与断层近平行的带状分布;在剖面上,该应力集中区呈正扇形分布。在断层附近应力扰动区,通常形成与断层平行的一组张裂隙和与断层斜交的两组剪切裂隙,在断层两侧断距的一半范围内发育。应力集中区的分布范围与断层的几何形态和规模有关,一般铲式正断层所控制的应力集中区比平面式正断层要宽。

渤南洼陷沙四上亚段一部分泥岩裂缝是由构造作用产生的,即泥岩裂缝的发育程度、组系、产状、力学性质受渤南断裂带控制。

值得一提的是,由于深部热流体受深大断裂作用控制,即裂谷边缘及其内部断裂的张开有利于深部热流体的循环对流;而热流体的循环对流,是深部储层次生孔隙发育的主要机制,故深部次生孔隙型储层间接地受深大断裂作用控制。

#### 2. 力化学作用

所谓力化学作用是指在机械外力作用下,由于反应物质化学活性急剧增长,从而使化学反应速率加快的现象。构造是完成某种地球化学的驱动力;动力变形不仅是一种构造作用,也起着某种地球化学作用,它们之间存在着明显的力-化学耦合关系,动力变形的强度越大,所引起的化学成分变异就越明显,反之亦然,这些变化主要受动力变形条件下有流体参与时的压溶机制所控制。

有机质成烃演化的能量供给类型,除传统的热能外,构造动力产生的机械能也是烃类转化过程和生烃系统供给的主要能量来源之一。与热能相比,构造作用能在相对短的时限内供给能量,使有机质向烃类转化,提高有机质转化率,缩短有机质向烃类转化时间,而这正是有机质成烃富集成藏的关键。有机质在特殊的地球动力应变带和强热流带,可以较快形成烃类化合物。

#### 3. 地震作用

研究区邻近郯庐大断裂,是地震频繁发生带。如此频繁的地震,不可能不对深部储层进行改造,如脆性颗粒的破裂、泥页岩裂隙化等。

## 4 结 语

许多因素、作用对于沉积盆地这个巨大的化学反应器而言,可能是同时发生、协同作用或某一参数占主导。砂岩的成分、结构、构造影响着储集层原生孔隙的发育程度及其以后成岩作用的速度与方向;高地温场使其地温梯度增高、热流值增大,致使其生油门限变浅,加速有机质热演化速度,进而对原生孔隙起着保存作用和积极的改造作用;烃类进入砂岩,可抑制地层水的流动,阻碍胶结物质的来源,进而抑制成岩作用的进行,同时随着埋藏作用进行,石油的裂解、水热增压作用、加上泥岩欠压实作用及膏盐层发育易形成压力封存箱,阻止成岩作用的继续进行,即对孔隙起了保护作用;异常高压不仅有利于孔隙的形成,而且对孔隙起着保护作用;沉积作用决定了盆地沉积物的原始性质,包括地下沉积物的原始孔隙率和渗透率状况;成岩作用既可促进次生孔隙的发育,又可破坏原生孔隙,使原始孔隙分布发生变化,甚至变得面目全非;深层储层与中浅部储层有质的差别,有其自身的规律,主要受地球动力作用、热力学及深部热流体场的影响,每一次大规模的油气运移均发生在主要构造运动之后,这是因为深部储层岩性致密、低孔低渗、且分布不匀,而每次大规模

的构造运动之后,伴随着裂缝的发生,深部热流体循环对流形成次生孔隙-裂隙发育带。

### 参考文献:

- [1] 杨庆杰, 刘立, 迟元林, 等. 盆地流体的基本类型及其驱动机制[J]. 世界地质, 2000, 19(1): 15-19.
- [2] 杨绪充. 东营凹陷地温特征及深部勘探问题[J]. 石油学报, 1984, 5(3): 19-26.
- [3] 王琪, 史基安, 肖立新, 等. 石油侵位对碎屑储集岩成岩序列的影响及其与孔隙演化的关系[J]. 沉积学报, 1998, 16(3): 97-101.
- [4] 付广, 薛永超, 杨勉. 异常孔隙流体压力的成因及其贡献探讨[J]. 海相油气地质, 1999, 4(4): 46-50.
- [5] 陈晓东, 王先彬. 压力对有机质成熟和油气生成的影响[J]. 地球科学进展, 1999, 14(1): 31-36.
- [6] 傅强. 成岩作用对储层孔隙的影响[J]. 沉积学报, 1998, 16(3): 92-96.
- [7] 吴富强. 孔隙砂岩中断层带岩石物理性质[J]. 天然气勘探与开发, 1997, (1): 35-45.
- [8] 吴富强. 土耳其东南 Adiyaman 油田构造对白垩系 Mardin 群碳酸盐岩孔隙度的控制作用[J]. 天然气勘探与开发, 1997, (4): 30-35.
- [9] 刘文汇, 叙永昌, 张守春. 一种新的成烃机制——力化学作用及其实验证据[J]. 沉积学报, 2000, 18(2): 314-318.

## The controlling factors and processes for the formation of the secondary porosity of the deep-seated reservoir rocks in the Bonan depression, Shandong

WU Fu-qiang<sup>1</sup>, NING Xing-xian<sup>2</sup>

(1. Chongqing University, Chongqing 400044, China; 2. Chongqing Corporation of Geology and Mineral Exploration and Development, Chongqing 400039, China)

**Abstract:** The controlling factors and processes examined in the present paper consist of rock fabrics, geothermal field, abnormal high pressure, deposition, diagenesis, tectonism and seismism. These factors and processes may have exerted an important influence on the physical properties of the deep-seated reservoir rocks in the Bonan depression, Shandong.

**Key words:** deep-seated reservoir rocks; secondary porosity; controlling factor; Bonan; Shandong