

东营凹陷古近系-新近系流体-岩石相互作用分带特征

刘 华

(中国石化胜利油田分公司 地质科学研究院, 山东 东营 257015)

摘 要: 东营凹陷古近系-新近系地层流体-岩石相互作用及衍生出的多类次生矿物是自上而下储层物性发育条件的主控因素。浅、中、深以及超深层具有不同的流体-岩石作用方式,对储层物性的影响程度亦不同。为优化储层分类,运用 ICP 发射光谱、扫描电子显微镜和自主性室内流动模拟试验等方法,对不同深度地层水化学特征和岩石样品中的次生矿物(流体-岩石作用的结果)、形成的先后顺序及化学组成等要素进行分析,发现地层流体-岩石相互作用的分带性及其作用特征:浅部和中部流体-岩石相互作用带的流体-岩石相互作用较弱,主要为有机质和细菌参与下的生物化学作用、微弱的生烃作用和有机酸的生成作用、部分长石溶蚀作用和碳酸盐溶解作用以及石英和粘土矿物(伊蒙混层和高岭石等)的形成作用、碳酸盐的沉淀作用,流体-岩石相互作用对储层物性的影响较小;深部和超深部流体-岩石相互作用带流体-岩石相互作用较强,有机酸的生成或脱羧作用比较强,铝硅酸盐的溶蚀作用、碳酸盐的溶解和沉淀作用以及粘土矿物的形成作用都很强,对储层物性具有重要影响。

关键词: 流体-岩石相互作用类型;流体-岩石相互作用带;古近系;新近系;东营凹陷

中图分类号:TE122.2

文献标志码:A

文章编号:1672-3767(2015)02-0041-10

Fluid-rock Interaction Zones and Their Characteristics of Palaeogene and Neogene Systems in Dongying Depression

Liu Hua

(Geoscience Research Institute, Shengli Oilfield, SINOPEC, Dongying, Shandong 257015, China)

Abstract: Fluid-rock interaction and its derivate secondary minerals are key factors controlling the development of reservoir properties in Palaeogene and Neogene systems in Dongying depression. Different fluid-rock interaction patterns occurred at different depth levels (shallow, middle, deep, ultra deep), and exerted different influences on reservoir properties. To optimize reservoir bed classification, advanced instruments such as ICP emission spectrum and scanning electron microscope were applied, and self-automatic indoor flow simulation was carried out. Chemical properties of formation water in different depths and secondary minerals (results of fluid-rock interaction) in rock samples were analyzed. Through these analyses, occurrence sequence of the secondary minerals and their chemical composition were determined, and zonal distribution of fluid-rock interaction and their characteristics were summarized. Fluid-rock interactions in the shallow and middle zones are relatively weak, including biochemical reaction with the participation of organic matter and bacteria, weak hydrocarbon and organic acid generation, partial feldspar and carbonate dissolution, quartz and clay minerals (andreattite and kaolinite) formation, and carbonate precipitation. The fluid-rock interaction in these two depths has little effects on reservoir porosity and permeability. Fluid-rock interactions in the deep and ultra-deep zones are relatively strong. With intensive organic acid generation and decarboxylation, aluminosilicate dissolution, carbonate dissolution and precipitation and clay mineral formation, fluid-rock interaction has a strong impact on reservoir porosity and permeability.

Key words: types of fluid-rock interaction; fluid-rock interaction zones; Palaeogene; Neogene; Dongying depression

收稿日期:2014-10-22

基金项目:国家油气重大专项项目(2011ZX05006-001)

作者简介:刘 华(1962—),男,四川成都人,高级工程师,博士,主要从事沉积学与油气资源评价方面的研究工作。

E-mail: dyliuhua@126.com

含油气盆地是一个巨大的热化学反应器^[1],在这个反应器中发生各种成岩作用,而除压实作用之外的其他成岩作用都可归结为流体-岩石相互作用,这些流体-岩石相互作用对油气储集层的孔隙度和渗透率大小构成重要影响^[2-4]。大量研究结果^[5-6]表明,由于沉积盆地的构造、沉积特征、温度、压力、流体化学成分和流体动力差异,导致剖面上随着埋藏深度的变化,流体-岩石相互作用的类型、强度及作用特点亦发生变化,即在垂向上出现不同的流体-岩石相互作用带,从而对储集层性质的影响不同。例如,墨西哥湾盆地剖面上可以划分为 3 个流体-岩石相互作用带,每个作用带具有不同作用类型、强度及特点,对储层物性的影响也不同^[5]。

近年来,前人对东营凹陷的成岩作用与孔隙演化进行了大量研究^[7-11]。袁静等^[12]对深部碎屑岩储层次生孔隙垂向分布及成因进行了分析,认为东营凹陷古近系埋深大于 3 000 m 的储层普遍发育 2~4 个次生孔隙带;张琴等^[13]通过碎屑岩储层孔隙演化与次生孔隙成因研究,认为东营凹陷古近系储层孔隙自上而下经历了原生到次生的演化过程;聂逢君等^[14]在成岩作用研究基础上,通过砂岩薄片镜下观察、胶结物电子探针成份分析等,研究了东营凹陷流体-砂岩相互作用期次及其识别标记;张枝焕等^[15]对东营凹陷古近系流体-岩石相互作用进行研究,明确了流体-岩石相互作用的基本特点,建立了流体-岩石相互作用的地质-地球化学模型;董果果等^[16]探讨了东营凹陷北部陡坡带沙四上亚段砂砾岩储层固体-流体相互作用机制及对储层物性的影响,认为储层内存在酸性、碱性和烃类流体,并划分出 7 个流体活动期次,建立了成岩演化模式。但截至目前很少有学者将岩石和流体作为统一的系统,对不同深度带流体-岩石相互作用特征进行探讨。

本文通过研究东营凹陷地层温度、压力、地层水化学、流体动力特征、流体物理和化学环境,结合成岩作用特征和成岩矿物等资料,对东营凹陷古近系-新近系的流体-岩石相互作用带进行划分,并探讨各分带的流体-岩石相互作用特征。

1 区域地质背景

东营凹陷属渤海湾裂谷盆地济阳坳陷内的次级构造单元,为一北断南超、西陡东缓的中新生代断陷盆地,基底为古生界地台沉积。东营凹陷在新生代经历了两大发展演化阶段:古近纪断坳阶段,该阶段东营凹陷断裂活动加强,盆地加速陷落、扩大,一侧断陷,另一侧超覆或尖灭,并发展成为单断式、统一的断坳盆地;新近纪坳陷阶段,由于受喜马拉雅运动第三幕的影响,该阶段断裂活动减弱,整个渤海湾地区进入坳陷期。东营凹陷构造上可分为北部陡坡带、中央背斜带和南部缓坡带,自北向南为利津洼陷、牛庄洼陷和博兴洼陷(图 1)^[17]。

东营凹陷古近系-新近系发育齐全,为湖相和河流相沉积,地层厚度大。古近系自下而上分别为孔店组、沙河街组和东营组,沙河街组为本区重要的含油气层,自下而上分为沙四段、沙三段、沙二段和沙一段,其中沙四段为半封闭的盐湖沉积,主要为各种灰色泥岩夹砂岩、薄层页岩,沙三段为湖相沉积的暗色泥岩夹砂岩,沙二段为河流和三角洲砂泥岩互层,沙一段为湖相沉积^[18];新近系包括馆陶组和明化镇组,为河流相沉积。

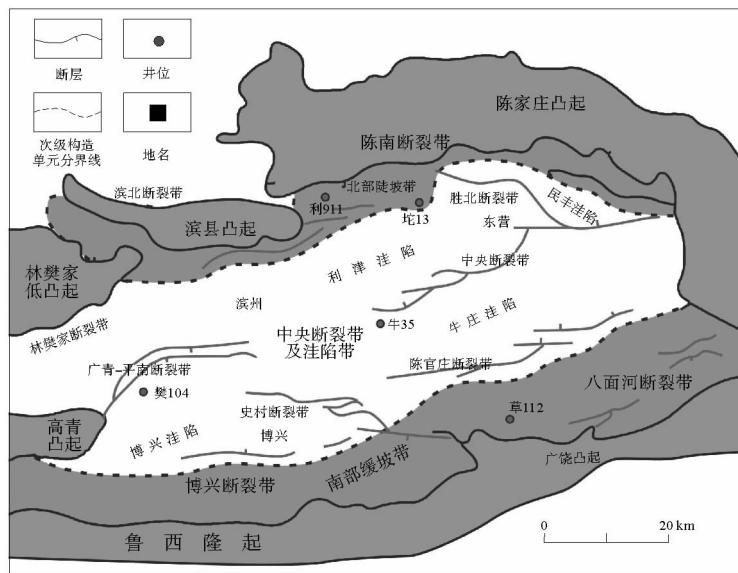


图 1 东营凹陷构造区划图^[17]

Fig. 1 Structure zones of Dongying depression

2 流体-岩石相互作用分带特征

根据地层水承压状况将潜水面以下、承压水系统以上的连续开启地层水系统(常压系统)划分为中、浅层^[19],对应深度 1 500~2 200 m;再依据沉积期结晶矿物与有烃类参与的次生含铁结晶矿物的区别,划分为浅层和中层。实际地层剖面中,中、浅层也存在局部超压、微超压区。承压水系统内(深层、超深层 2 200~3 200 m)地层大多处于超压状态,根据其油气充注遗留的示烃成岩矿物类型和碱性化趋势(伊利石化)的分界线又可分为深层和超深层^[20]。

东营凹陷地温梯度较高(平均地温梯度 3.6 °C/100 m),总体来说,随着埋深增加温度也增加。东营凹陷超压强度中等,其中垂向埋深 < 1 700 m,位于凹陷最上部,样品点围绕正常静水压力线分布,压力系数一般为 1.0,局部小于 1.0;埋深 1 700~2 200 m,主要为静水压力,部分为弱超压,压力系数稍大于 1.0;埋深 2 200~3 200 m,以超压为主,压力系数一般 1.1~1.4,也有部分静水压力;埋深 > 3 200 m,主要为异常高压,压力系数一般为 1.4~1.65(图 2)。随着埋深增加,地层水矿化度逐渐增大,埋深 1 700 m,地层水矿化度为 100 g/L,形成第一个台阶;埋深至 2 200 m,地层水矿化度增至 130 g/L,形成第二个台阶;埋深至 2 800 m,地层水矿化度增至 300 g/L,形成第三个台阶;埋深 > 2 800 m,地层水矿化度达 340 g/L。其中埋深 2 800~3 200 m处,矿化度很高、较高和较低的地层水均有分布,但埋深 > 3 200 m,主要为矿化度较高的地层水(图 3)。

东营凹陷剖面上温度、压力、流体化学成分的差异性导致流体动力的差异,从而出现不同的流体-岩石相互作用带,对储层构成不同影响。因此,根据东营凹陷古近系-新近系温压条件、流体化学特征以及流体动力分带,结合流体-岩石相互作用特征,自上而下依次分为浅部、中部、深部和超深部流体-岩石相互作用带。各带具有不同的温压、流体动力、地层水化学特征及其物理化学环境(表 1)。

3 各带流体-岩石相互作用类型和特点

3.1 浅部流体-岩石相互作用带

该带压实作用比较弱,流体-岩石相互作用主要为有机质和细菌参与下的生物化学作用、矿物的溶蚀作用以及沉淀(胶结)作用。

由于地层温度较低, R_o 一般小于 0.4%,有机质属于未熟阶段,有机地球化学作用主要表现为生物化学作用。有机质在发酵菌和硫酸盐还原菌的作用下(弱还原环境)分解为低分子有机酸、 H_2S 和 CO_2 ,或在发酵菌和甲烷生成菌的作用下(强还原环境)分解为甲烷、 CO_2 和低分子有机酸^[21],其中 CO_2 为有机地球化学

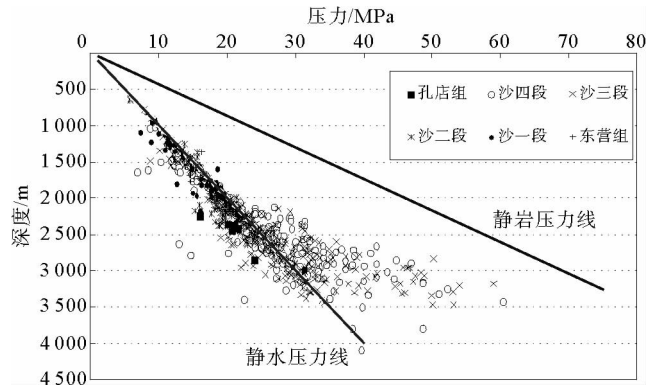


图 2 东营凹陷地层压力随深度的变化

Fig. 2 Relationship between formation pressure and depth in Dongying depression

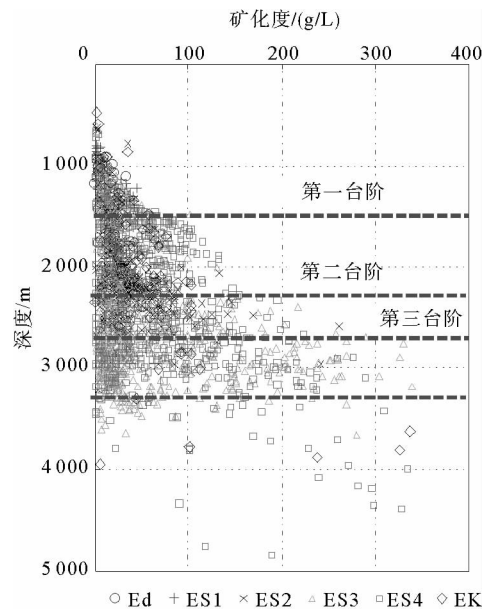


图 3 东营凹陷地层水矿化度随深度的变化

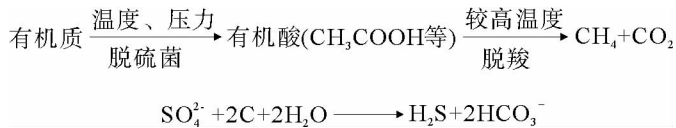
Fig. 3 Relationship between TDS of formation water and depth in Dongying depression

表 1 东营凹陷流体-岩石相互作用分带特征

Tab. 1 Characteristics of fluid-rock interaction zones in Dongying depression

分带	埋深/m	地层	地层温压特征	流体动力特征	地层水化学特征	物理化学环境
浅部流体-岩石相互作用带	1 500~1 700	明化镇组、馆陶组至东营组, 凹陷边缘可为沙河街组	地温一般小于 75 °C, 地层压力为静水压力	位于静水压力流体动力带(浅部流体动力带), 以压实水流为主, 部分地区表现为压实水流与渗入水流的混合运动特征	相对富集 Na ⁺ 、Ca ²⁺ 、K ⁺ 、Mg ²⁺ 、Cl ⁻ 、HCO ₃ ⁻ 、SO ₄ ²⁻ 和 Al ³⁺ 等, 矿化度一般小于 10~20 g/L	随埋深增加, 由弱碱性-碱性、弱还原-还原的开放-弱封闭环境, 过渡到碱性、还原的弱封闭环境
中部流体-岩石相互作用带	1 700~2 200	沙河街组和东营组	地温 75~90 °C, 地层压力为静水压力, 下部稍显超压	位于过渡压力流体动力带(中部流体动力带)的上部, 为沉积压实水流	富含 Na ⁺ 、Ca ²⁺ 、K ⁺ 、Mg ²⁺ 、Cl ⁻ 、HCO ₃ ⁻ 、SiO ₂ 和 Al ³⁺ 等, 矿化度一般小于 40 g/L	碱性-酸性、还原的弱封闭-封闭环境
深部流体-岩石相互作用带	2 200~3 200	沙河街组	地温 90~130 °C, 位于静水压力与地质压力过渡带, 压力系数 1.1~1.4, 为异常高压	位于过渡压力流体动力带(中部流体动力带)的下部, 流体为泥岩压实水、深部温压水、油和气, 具有强烈压实水流特征, 同时还有部分热对流	富含 Na ⁺ 、K ⁺ 、Ca ²⁺ 、Mg ²⁺ 、Fe ²⁺ 、Mn ²⁺ 、Sr ²⁺ 、Cl ⁻ 、HCO ₃ ⁻ 、H ⁺ 等, 矿化度一般为 60~80 g/L	碱性-弱酸性-酸性、还原封闭的物理化学环境
超深部流体-岩石相互作用带	>3 200	多属于沙三段中下部及更老的地层	地温大于 130 °C, 地层压力为异常高压, 压力系数一般大于 1.4	位于地质压力流体动力带(深部流体动力带), 主要有深部温压水、泥岩压实水、油和气, 其中压实水流活动较弱, 主要表现为深部温压水的热对流	富含多种金属和微量元素, 矿化度一般大于 100 g/L	碱性-弱酸性、还原封闭的环境

作用的主要产物。主要反应过程为:



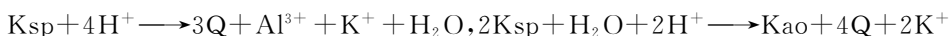
生物化学作用生成的 H₂S 和 CO₂, 导致黄铁矿和碳酸盐矿物等发生沉淀作用, 如黄铁矿(图 4(a))、方解石、白云石和菱铁矿的沉淀作用, 从而出现大量碳酸盐矿物, 同时亦形成一些粘土矿物如蒙脱石、伊/蒙混层、伊利石和高岭石等(图 4(b))。

另外, 在生物化学作用生成的 CO₂ 作用下, 发生长石和碳酸盐的溶蚀作用, 主要有钾长石溶解作用、斜长石溶蚀作用和方解石溶解作用。由于该带的温度和压力不大, 流体-岩石相互作用强度相对较弱, 虽然由于沉淀作用, 在一些砂岩碎屑颗粒出现次生粘土膜(环边), 呈同心层状, 但膜很薄, 对储集层的物性影响不大, 加上浅层的压实作用相对较弱, 因此该带的储集性能极好, 孔隙度为 30%~35%, 渗透率为 500×10⁻³~6 000×10⁻³ μm², 最高值 28 000×10⁻³ μm², 属 I 类特高孔渗储层。属于该流体-岩石相互作用带的油田较多, 主要分布在凹陷边缘, 如陈家庄、单家寺、林樊家和尚店油田的馆陶组, 胜坨、东辛和林樊家油田的东营组, 单家寺和金家油田的沙一段, 草桥油田和永安镇油田永 12 断块的沙二段, 八面河油田的沙三段, 以及草桥和尚店油田的沙四段。

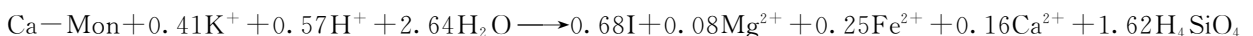
3.2 中部流体-岩石相互作用带

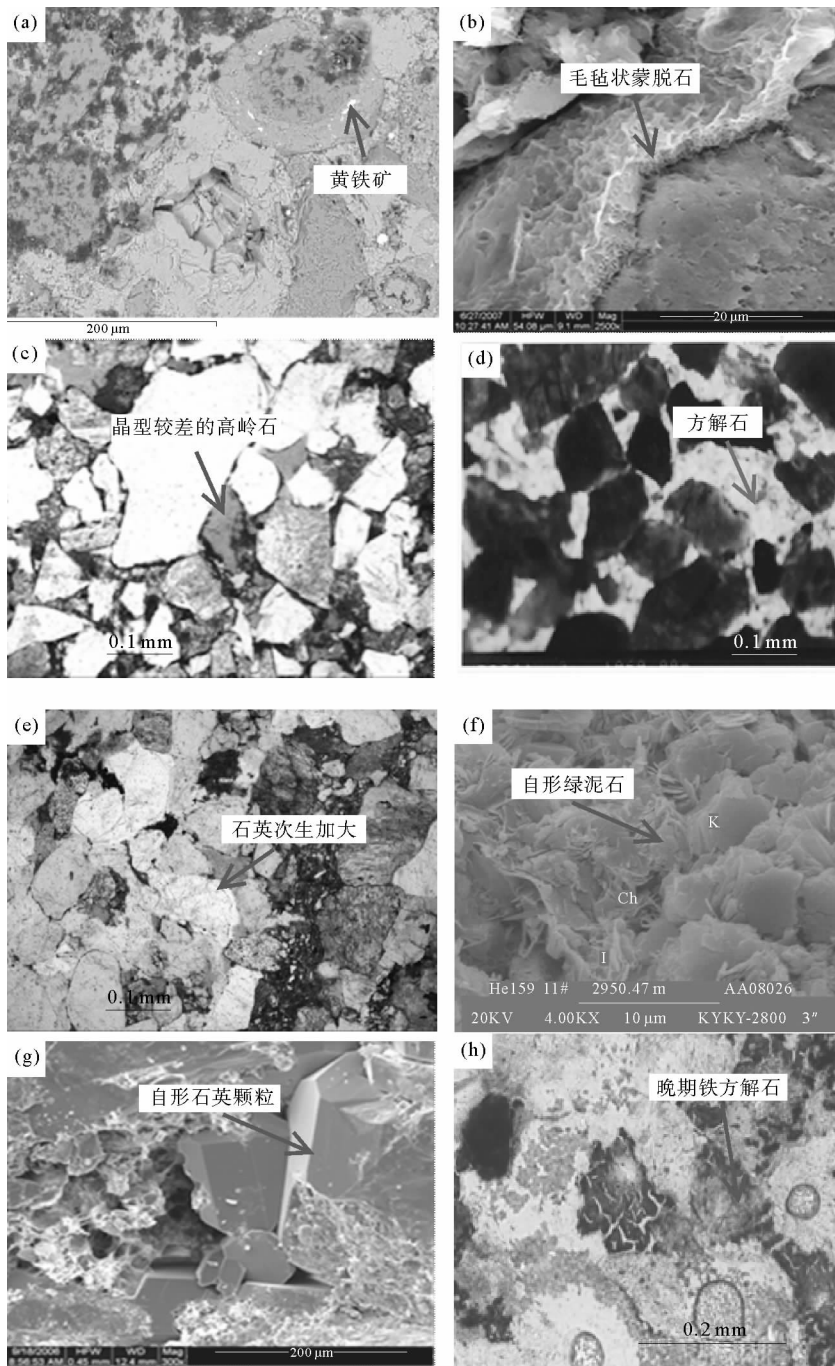
压实作用较强, 但由于有机质成熟度较低, R_o 一般为 0.35%~0.45%, 有机地球化学作用相对较弱, 主要表现为微弱的生烃作用和有机酸的生成作用。该带主要的流体-岩石相互作用有三种。

1) 石英和高岭石的形成作用(图 4(c))



2) 伊利石的形成作用





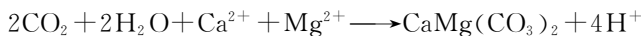
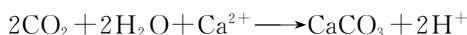
(a)史 142 井,1 307 m,背散射,早期黄铁矿;(b)通 38-1 井,823.00 m,扫描电镜,毛毡状蒙脱石;(c)河 142 井,1 878.76 m,阴极发光 $\times 20$ 倍,亮晶方解石充填原生孔隙;(d)坨 717 井,1 993.94 m,单偏光, $\times 20$ 倍,晶型较差的自生高岭石;(e)河 142 井,3 046.05 m,单偏光, $\times 100$ 倍,石英次生加大边;(f)河 159 井,2 950.47 m,扫描电镜,绿泥石充填自形高岭石的残余孔隙;(g)史 126 井,3 385.49 m,单偏光,铁方解石充填方解石溶孔;(h)丰深 2 井,5 545.56 m,单偏光,晚期自生石英颗粒

图 4 东营凹陷不同流体-岩石相互作用带典型的流体-石相互作用

Fig. 4 Typical fluid-rock interaction of different fluid-rock interaction zones in Dongying depression

3) 碳酸盐的沉淀作用(图 4(d))

随着压实水流的进行,孔隙水浓缩,并在碱性条件下发育了早期方解石、白云石等盐类沉积物,但其含量一般低于 3%。



上述反应导致孔隙水中 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 等锐减,碱性趋于减弱。其中:K_{sp}—钾长石,Q—石英,Kao—高岭石,Ab—钠长石,Mon—蒙脱石,I—伊利石。

由于该带 CO_2 和有机酸的生成量较少,因此矿物的溶解或溶蚀作用相对较弱,主要有长石溶蚀作用和碳酸盐的溶解作用。

流体-岩石相互作用强度较弱,碳酸盐沉淀物含量较少,因此流体-岩石相互作用对储集层物性的影响较小,储集层物性较好,孔隙度一般为 20%~30%,以原生孔隙为主,渗透率一般为 $150 \times 10^{-3} \sim 3\,000 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,多数分布在 $500 \times 10^{-3} \sim 2\,000 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,孔渗指数(是指地层孔渗综合参数,计算公式为 $\sqrt{k/\Phi}$,k—渗透率, μm^2 ; Φ —孔隙度,%)多为 4.8~4.1,为 II 类高孔渗储层。但在一定条件下,由浅部流体-岩石相互作用带溶解作用形成的碳酸盐物质或 SiO_2 将迁移至此带形成碳酸盐或硅质沉淀物,从而形成剖面上第一个区域性的致密异常带,导致孔隙度和渗透率降低^[22]。属中部流体-岩石作用带的油田较多,主要有胜坨、东辛、郝家油田的沙一段,胜坨、东辛、王家岗和大王庄油田的沙二段,胜坨和永安油田的沙三段以及平南油田、尚店油田滨 30、滨 79、滨 225 断块的沙四段。

3.3 深部流体/岩石相互作用带

该带有机质进入成熟阶段,大量有机酸和 CO_2 生成,导致孔隙流体中有机酸的浓度很高,使孔隙水环境由碱性向酸性和弱酸性发展。该带流体-岩石相互作用最强,导致该深度段地层水矿化度、 Na^+ 、 K^+ 、 Ca^{2+} 、 HCO_3^- 和 Cl^- 等化学成分发生突变,其含量显著增加(图 3),同时一些粘土矿物含量亦表现出相同的变化特征,显著增加或降低(图 5),其原因为:①含有有机酸和碳酸的孔隙水溶液具有很强的溶解能力,能强烈溶解碳酸盐矿物和斜长石等不稳定的硅酸盐矿物;②烃源岩中不稳定的蒙脱石逐渐向稳定的伊利石转化。在转化时,吸收 K^+ ,释放出 Na^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 Fe^{2+} 、 SiO_2 和层间水,为生成新矿物提供了物质来源。

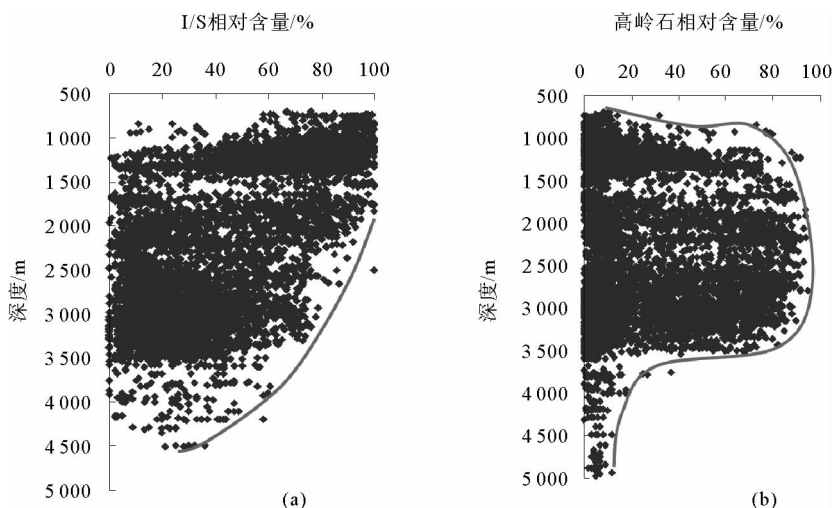


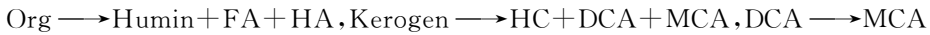
图 5 东营凹陷泥岩中 I/S 混层矿物 (a) 和砂岩中的高岭石 (b) 相对含量与深度的关系

Fig. 5 Relation between the relative contents of I/S in shale and kaolinite in sand stone and depth in Dongying depression

随着物理化学条件的不断改变,这些溶解物质随压实水流和热对流运移,在该带上部或下部形成含铁的碳酸盐胶结物和石英次生加大边,自生高岭石大量形成^[23]。图 6 泥岩中的 Ca^{2+} 和 Mg^{2+} 在该带顶部 2 200~2 400 m 和底部 3 000~3 200 m 含量较大,亦证实了这一点。该带的流体-岩石相互作用主要有三种。

1) 有机地球化学作用

主要表现为有机酸的形成作用:

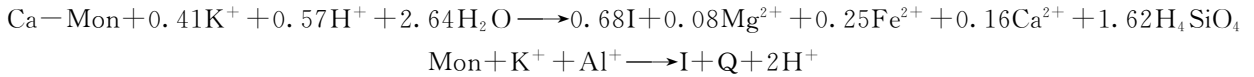


其中:Org—有机质,Humin—腐殖质,FA—黄腐酸,HA—腐殖酸,Kerogen—干酪根,HC—烃,DCA—二羧酸,MCA—单羧酸。

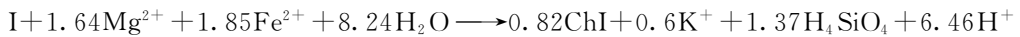
2) 矿物的沉淀或形成作用

该带矿物的沉淀或形成作用主要指粘土矿物的形成作用,泥岩中的蒙脱石进一步向伊利石转化,I/S混层比多为20%~50%,属有序混层带,出现蒙皂石/绿泥石混层矿物。砂岩中的胶结物明显增多。晚期碳酸盐胶结物的含量大于5%,普遍见到阶状石榴石及强石英次生加大。主要流体-岩石相互作用有:

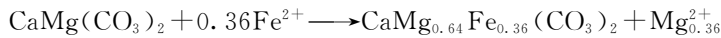
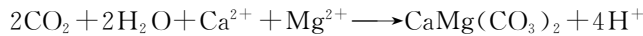
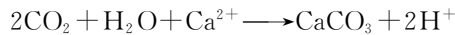
① 石英和伊利石的形成作用(图4(e)),如



② 绿泥石化作用(图4(f))



③ 碳酸盐的沉淀作用



上述反应中,ChI—绿泥石,其余符号同中部流体-岩石相互作用带。

3) 矿物的溶蚀或溶解作用

该带一方面蒙脱石开始向伊利石迅速转化,并排出大量层间水(温压水)以及 Ca^{2+} 、 Fe^{2+} 、 Mg^{2+} 和 SiO_2 ;另一方面大量有机酸的生成使孔隙水环境由碱性向弱酸性或酸性发展,导致本带砂岩中的矿物溶蚀和溶解作用较强,主要有碳酸盐和铝硅酸盐(长石等)的溶蚀作用,其中碳酸盐的溶蚀强于铝硅酸盐(长石等)的溶蚀,其原因主要是:①泥岩中细粒碎屑长石含量较高,消耗了部分有机酸;②早期大量碳酸盐矿物的形成和孔隙水中较高的 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 含量阻碍或降低了有机酸对铝硅酸盐的溶解能力,相反羧酸钙的溶解度为较大值;③封闭体系下 CO_2 的大量产出(脱羧作用)和分压的提高促进了碳酸盐体系pH值的减小,相应地溶解度提高^[24]。但在有机酸或酸性离子供给不足的部位以及远离酸源的部位存在碱性环境, CO_3^{2-} 浓度大,而上述碳酸盐溶解和蒙伊转化提供的 Ca^{2+} 、 Fe^{2+} 、 Mg^{2+} 以及 SiO_2 促进了(含)铁碳酸盐矿物的沉淀胶结和钠长石的发育。

该带砂岩已完全固结,但一些部位仍有物性较好的储集层,孔隙度一般15%~25%,渗透率为 $100 \times 10^{-3} \sim 1000 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。除原生孔隙外,常见由碳酸盐胶结物、长石及岩屑在深层被溶蚀而产生的次生孔隙,有的油层基本上为次生孔隙储油,孔隙分布很不均匀,多属Ⅲ类中等孔渗储层和Ⅳ类低孔渗储层。属于该作用带的主要有梁家楼、牛庄、东辛、胜坨、郝家、现河、广利、史南、新立村、宁海等油田的沙三段油层及滨南、纯化、博兴等油田的沙四段油层。

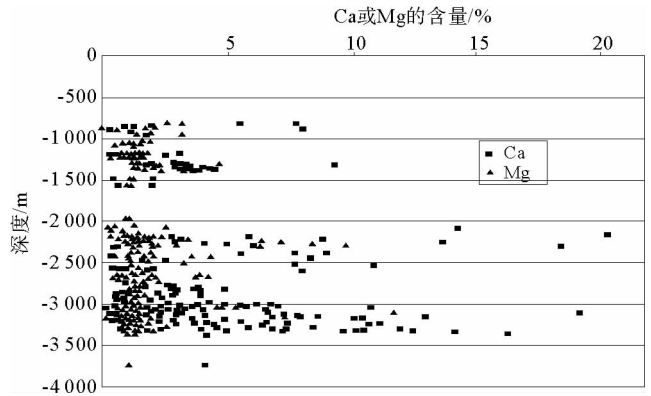
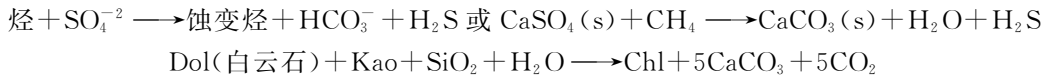


图6 东营凹陷泥岩的Ca和Mg含量与深度的关系
Fig. 6 Relation between the contents of Ca and Mg in shale and depth in Dongying Depression

3.4 超深部流体-岩石相互作用带

该带有机质进入高成熟阶段, $R_o > 0.65\%$, 大量生成油气。此时脱羧基已基本完毕, 以生成 CO_2 为主, 但 II 型有机质在 $R_o = 0.8\% \sim 1.0\%$ 、III 型有机质在 $R_o = 1.2\% \sim 1.4\%$ 左右停止大量生成 CO_2 。由于该带脱羧基作用不发育, 有机酸缺乏, 加上 CO_2 分压显著降低, 碱性环境发育, 因此泥质岩中的粘土矿物全部为伊利石。砂岩中的石英形成作用强烈, 次生加大非常强烈, 局部形成次生加大式胶结(图 4(g)), 自生高岭石胶结物由部分伊利石化过渡到全部转变成伊利石, 同时产生大量的碳酸盐沉淀, 晚期碳酸盐胶结物常常超过 10%, 且以铁白云石和铁方解石为主(图 4(h)), 多见交代斜长石现象。

由于该带下部沙四段和孔店组存在大量硫酸盐和碳酸盐, 因此热化学硫酸盐还原作用和碳酸盐分解作用, 将分别形成一定数量无机成因 H_2S 和 CO_2 ^[24], 即:



这些无机成因的 H_2S 和 CO_2 可使地层水具弱酸性, 从而造成碳酸盐矿物和长石的溶解。

该带储层已强烈固结, 储集空间以微孔隙为主, 储层物性普遍很差, 孔隙度为 10%~15%, 渗透率为 $50 \times 10^{-3} \sim 100 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$, 属 IV 类低孔渗储层和 V 类特低孔渗储层。但该带储层物性优劣主要取决于晚期碳酸盐胶结物的含量变化及次生孔隙的发育状况。当碳酸盐胶结物及交代物遭溶蚀, 次生孔隙发育, 可形成较好的储集层。该带有北部陡坡带的沙四段砂砾岩油气藏、东科 1 井的沙三下油层等。

4 结论

1) 根据东营凹陷地层埋藏深度、温压特征和流体化学特征, 古近系-新近系自上而下分为浅部、中部、深部和超深部四个流体-岩石相互作用带, 各带埋深、地层、温压条件、流体动力、地层水化学成分和物理化学环境不同。

2) 浅部流体-岩石相互作用带的流体-岩石相互作用较弱, 为有机质和细菌参与下的生物化学作用、黄铁矿沉淀作用和碳酸盐矿物的沉淀作用以及钾长石溶解作用、斜长石溶蚀作用和方解石溶解作用, 对储层物性影响较小, 储层物性很好。

3) 中部流体-岩石相互作用带的流体-岩石相互作用也较弱, 主要包括微弱的生烃作用和有机酸的生成作用, 石英、高岭石及伊利石的形成作用, 碳酸盐的沉淀作用, 以及长石溶蚀作用和碳酸盐溶解作用, 对储集层物性的影响较小, 储集层物性较好。

4) 深部流体-岩石相互作用带的流体-岩石相互作用很强, 主要为有机酸形成作用、各类硅酸盐矿物和碳酸盐矿物的溶解(溶蚀)及沉淀和形成作用, 导致地层水化学成分、矿物成分含量及类型的强烈变化, 同时对储层的物性产生很大的影响。

5) 超深部流体-岩石相互作用带主要表现为伊利石的形成作用以及铁白云石、铁方解石沉淀作用, 同时在 H_2S 和 CO_2 的参与下, 导致碳酸盐矿物溶解和长石溶蚀。储层物性总体较差, 并且主要取决于晚期碳酸盐胶结物的含量变化。

参考文献:

[1] Anderson R N. Sedimentary basins as thermo-chemical reactors[R]. New York: Lamont-Doherty Geological Observatory, 1993:68-76.

[2] Schmidt V, McDonald D A. The role of secondary porosity in the course of sandstone diagenesis[C]//A Spectra of Diagenesis. SEPM Special Publication, 1979:209-225.

[3] Franks S G, Forester R W. Relationships among secondary porosity, pore-fluid Chemistry and carbon dioxide, Texas Gulf Coast[C]//Tulsa: AAPG Memoir 1984:63-80.

[4] Surdam R C, Boese S W, Crossey L J. The chemistry of secondary porosity[C]//Tulsa: AAPG Memoir, 1984:127-149.

[5] Galloway W E. Hydrogeologic regimes of sandstone diagenesis[C]//Tulsa: AAPG Memoir, 1984, 37:3-13.

[6] Parnell J. Geofluids; Origin, migration and evolution of fluids in sedimentary basin[M]. London: Geological Society Special Publication, 1994:97-130.

- [7]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[J]. 煤田地质与勘探, 2003, 31(3): 20-23.
Yuan Jing. Diagenesis and secondary pore development in Paleogene deep formation in Dongying sag[J]. Coal Geology & Exploration, 2003, 31(3): 20-23.
- [8]田景春, 谭先锋, 林小兵, 等. 箕状断陷湖盆不同构造区带成岩作用特征及差异性研究: 以东营凹陷沙河街组为例[J]. 现代地质, 2009, 23(4): 683-690.
Tian Jingchun, Tan Xianfeng, Lin Xiaobing, et al. Research on diagenetic difference of various structural belts in the half graben-like rift lake basin: Taking Shahejie formation in Dongying depression as an example[J]. Geoscience, 2009, 23(4): 683-690.
- [9]操应长, 陈林, 王艳忠, 等. 东营凹陷民丰北带古近系沙三段成岩演化及其对储层物性的影响[J]. 中国石油大学学报: 自然科学版, 2011, 35(5): 6-13.
Cao Yingchang, Chen Lin, Wang Yanzhong, et al. Diagenetic evolution of Es3 reservoir and its influence on property in the northern Minfeng sub-sag of Dongying sag[J]. Journal of China University of Petroleum, 2011, 35(5): 6-13.
- [10]操应长, 杨田, 王健, 等. 东营凹陷南坡沙四上亚段滩坝砂岩有效储层成因[J]. 中国石油大学学报: 自然科学版, 2013(6): 1-9.
Cao Yingchang, Yang Tian, Wang Jian, et al. Genesis of effective reservoirs of beach-bar sandstone in upper part of the fourth member of Shahejie Formation in the southern slope of Dongying sag[J]. Journal of China University of Petroleum, 2013(6): 1-9.
- [11]朱筱敏, 吴冬, 张昕, 等. 东营凹陷沙河街组近岸水下扇低渗储层成因[J]. 石油与天然气地质, 2014, 35(5): 646-653.
Zhu Xiaomin, Wu Dong, Zhang Xin, et al. Genesis of low permeability reservoirs of nearshore subaqueous fan in Shahejie Formation in Dongying sag, Bohai Bay basin[J]. Oil & Gas Geology, 2014, 35(5): 646-653.
- [12]袁静, 王乾泽. 东营凹陷下第三系深部碎屑岩储层次生孔隙垂向分布及成因分析[J]. 矿物岩石, 2001, 21(1): 43-47.
Yuan Jing, Wang Qianze. Distribution and generation of deep reservoirs secondary pores, Paleogene, Dongying sag[J]. Journal of Mineralogy and Petrology, 2001, 21(1): 43-47.
- [13]张琴, 钟大康, 朱筱敏, 等. 东营凹陷下第三系碎屑岩储层孔隙演化与次生孔隙成因[J]. 石油与天然气地质, 2003, 24(3): 281-285.
Zhang Qin, Zhong Dakang, Zhu Xiaomin, et al. Pore evolution and genesis of secondary pores in Paleogene clastic reservoirs in Dongying sag[J]. Oil & Gas Geology, 2003, 24(3): 281-285.
- [14]张枝焕, 胡文瑛, 曾溅辉, 等. 东营凹陷下第三系流体-岩石相互作用研究[J]. 沉积学报, 2000, 18(4): 560-566.
Zhang Zhihuan, Hu Wenxuan, Zeng Jianhui, et al. Study of fluid-rock interactions in Eogene formation in Dongying depression, Bohai Gulf basin[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2000, 18(4): 560-566.
- [15]聂逢君, 刘成东, 张守鹏, 等. 胜利油田东营凹陷流体-砂岩相互作用期次及其识别标记[J]. 沉积学报, 2009, 27(2): 191-201.
Nie Fengjun, Liu Chengdong, Zhang Shoupeng, et al. Study on episodes and identification of the interaction of geofluids with sandstones in Dongying half-graben, Shengli oilfield[J]. Acta Sedimentologica, 2009, 27(2): 191-201.
- [16]董果果, 黄文辉, 万欢, 等. 东营凹陷北部陡坡带沙四上亚段砂砾岩储层固体-流体相互作用研究[J]. 现代地质, 2013(4): 941-948.
Dong Guoguo, Huang Wenhui, Wan Huan, et al. Solid-fluid interaction in glutenite reservoirs of the upper submember, fourth member, Shahejie Formation in northern slope of Dongying sag[J]. Geoscience, 2013(4): 941-948.
- [17]杨元亮. 东营凹陷北部砂砾岩成岩作用及次生孔隙特征[J]. 西南石油大学学报: 自然科学版, 2011, 33(2): 55-60.
Yang Yuanliang. Characteristic of diagenesis and secondary porosity of northern glutenite in northern Dongying sag[J]. Journal of Southwest Petroleum University, 2011, 33(2): 55-60.
- [18]帅德福, 王秉海. 中国石油地质志(卷六): 胜利油田[M]. 北京: 石油工业出版社, 1993: 271-298.
- [19]陈中红, 查明. 东营凹陷流体超压封存箱与油气运聚[J]. 沉积学报, 2006, 24(4): 7-15.
Chen Zhonghong, Zha Ming. Over-pressured fluid compartment and hydrocarbon migration and accumulation in Dongying depression[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2006, 24(4): 7-15.
- [20]王伟庆, 张守鹏, 谢忠怀, 等. 示烃成岩矿物与油气成藏的关系: 以东营凹陷为例[J]. 油气地质与采收率, 2008, 24(1): 4-17.

Wang Weiqing, Zhang Shoupeng, Xie Zhonghuai, et al. Discussion on the relationship between hydrocarbon-traced diagenetic minerals and reservoirs formation: Case study in Dongying depression[J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2008, 24(1): 4-17.

[21] 张义纲. 天然气的生成聚集和保存[M]. 南京: 河海大学出版社, 1991: 78-92.

[22] 曾溅辉. 东营凹陷第三系水-岩相互作用对储层孔隙发育的影响[J]. 石油学报, 2001, 2(4): 9-43.

Zeng Jianhui. Effect of fluid-rock interaction on porosity of reservoir rocks in Tertiary system, Dongying sag[J]. Acta Petrolem Sinica, 2001, 2(4): 9-43.

[23] 曾溅辉. 东营凹陷第三系流体物理化学场及其演化特征[J]. 地质论评, 2000, 46(2): 212-219.

Zeng Jianhui. Fluid physicochemical field and its evolution in Tertiary system, Dongying sag[J]. Geology Review, 2000, 46(2): 212-219.

[24] 孙永传, 李忠, 李慧生, 等. 中国东部含油气断陷盆地的成岩作用[M]. 北京: 科学出版社, 1996: 26-86.

(责任编辑: 高丽华)

“沉积·资源·环境”研究专栏征稿

征稿范围:

- ◇地质基本科学问题、应用及发展
- ◇全球环境变化与沉积作用
- ◇盆地分析与板块运动
- ◇盆地运动学的新理论
- ◇能源的勘探与开发
- ◇大地构造沉积学
- ◇层控矿床
- ◇岩相古地理
- ◇生物成矿作用
- ◇流域开发与环境保护
- ◇层序地层与事件地质
- ◇油气储集层的成岩作用

欢迎相关领域专家、学者和工程技术人员踊跃投稿, 来稿请注明“沉积·资源·环境”专栏。稿件经专家评审通过后优先发表, 优稿优酬。

投稿平台: http://xuebao.sdust.edu.cn/index_z.asp

电子邮箱: zkglhxx@163.com; zkzxcg@sdust.edu.cn

联系电话: 0532-86057859

山东科技大学学报(自然科学版) 编辑部