

文章编号: 1000-0550(2009)02-0191-11

胜利油田东营凹陷流体—砂岩相互作用期次及其识别标记^①

聂逢君¹ 刘成东¹ 张守鹏² 严兆彬¹ 姜美珠¹ 郭国林¹ 陈益平¹

(1 东华理工大学核资源和核工程教育部重点实验室 南昌 330013; 2 胜利油田研究院 山东东营 257015)

摘要 胜利油田东营凹陷主要储层砂岩自始新世形成以来经历了至少四期流体的活动, 这四期流体与砂岩的相互作用通过矿物溶解、胶结及脉体充填等成岩事件而表现出来。作用过程中溶解作用使砂岩孔隙度增加, 改善储层质量; 而胶结作用通常使孔隙度减少, 伤害储层或破坏储层, 但早期胶结作用形成的粗晶碳酸盐矿物可以支撑格架颗粒, 阻止后期的压实而导致孔隙“坍塌”。通过东营凹陷坨胜永断裂带和中央背斜及凹陷带沙三段 (E_3) 和沙四段 (E_4) 段储层砂岩薄片镜下观察, 胶结物电子探针成分分析, 综合其它资料得出: 第一期流体与砂岩相互作用发生在孔店晚—沙四晚期, 以方解石+石膏胶结为标志; 第二期发生在沙三一东营 (E_d) 末, 以粗晶“马鞍状”白云石为标志; 第三期发生在馆陶 (Ng) 沉积时期, 以微晶含铁白云石为标志; 第四期发生在馆陶沉积之后, 以铁白云石脉为标志。

关键词 流体 砂岩 相互作用 识别标记 东营凹陷

第一作者简介 聂逢君 男 1962 年出生 教授 沉积学 E-mail: nieff@263.net

中图分类号 P512.2 P588.2 文献标识码 A

0 前言

无论是陆相, 还是海相, 无论是裂谷盆地, 还是前陆盆地, 石油地质研究中, 硅质碎屑成岩作用研究始终是重要内容, 更是储层评价的关键指标之一, 这是因为碎屑岩在埋藏后经历了一个在流体作用下的复杂成岩演化过程。而流体与岩石相互作用的性质与

结果, 如化学动力学控制下的矿物溶解与沉淀, 就决定了碎屑岩储集性的优劣。因此, 本研究以流体—岩石相互作用为主线, 以储集性改善为目的, 对研究区流体的来源、性质、迁移、以及与岩石相互作用的物理化学作用进行探索, 从而揭开碎屑岩储集性的奥秘。

本次研究于胜利油田东营凹陷北部坨胜永断裂带和中部中央背斜及附近凹陷带内采取了 E_3 — E_4 段的

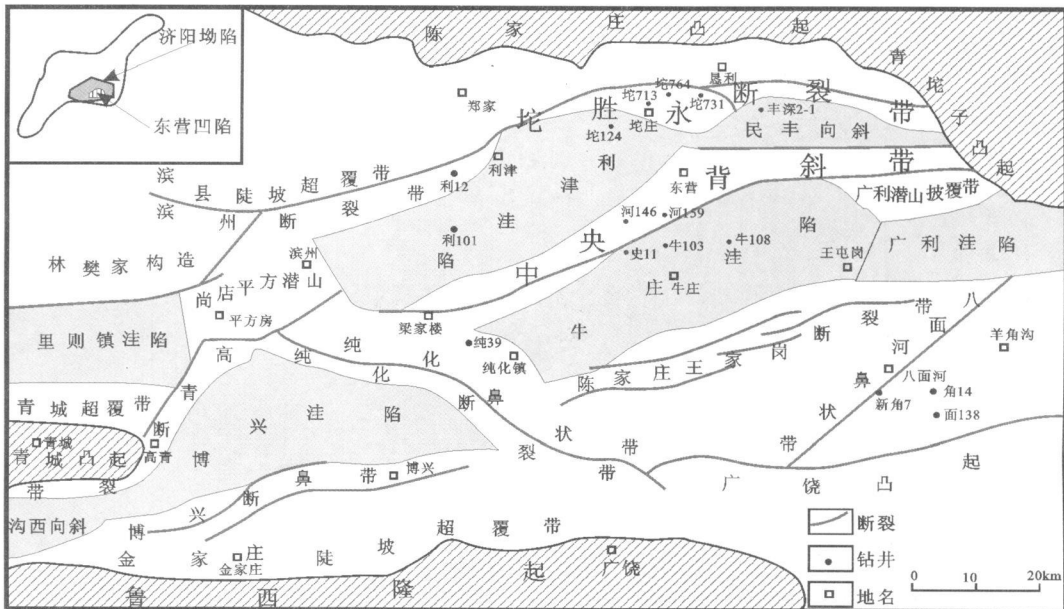


图 1 胜利东营凹陷构造位置及内部次级单元划分

Fig 1 The study area and tectonic subdivision

① 国家自然科学基金项目 (批准号: 40376043) 资助。
收稿日期: 2008-04-23 收修改稿日期: 2008-06-23

钻孔砂岩样品,全部磨片、染色并进行镜下观察,大多数样品进行探针磨片,在 JKA-8100 电子探针仪上进行成分测试。通过这些观察和测试分析,探讨流体的成分、期次、来源,以及成岩作用类型和对储层物性的影响,进一步探讨流体-砂岩相互作用的机理。

1 区域地质背景

济阳坳陷位于山东省东北、渤海湾西南部,属渤海湾盆地东南隅(图 1),为一典型的“北断南超”箕状断陷盆地^[1],面积约 29 000 km²。

东营凹陷为胜利油田主要产油凹陷,位于济阳坳陷的东隅,北北东走向,东西长 90 km 为北断南超、北陡南缓的半地堑盆地,总面积为 5 700 km²^[2,3]。西为青城凸起、林樊家构造为界与惠民凹陷比邻;北以滨县凸起、陈家庄凸起为界与沾化凹陷相连;东与青东凹陷沟通;南与鲁西隆起、广饶凸起呈超覆接触关系。凹陷内发育利津、民丰、牛庄、博兴四个次级洼陷^[2]。

东营凹陷盆地充填是主要新生代的地质,有古近系孔店组、沙河街组、东营组;新近系馆陶组,明化镇组;第四系平原组。

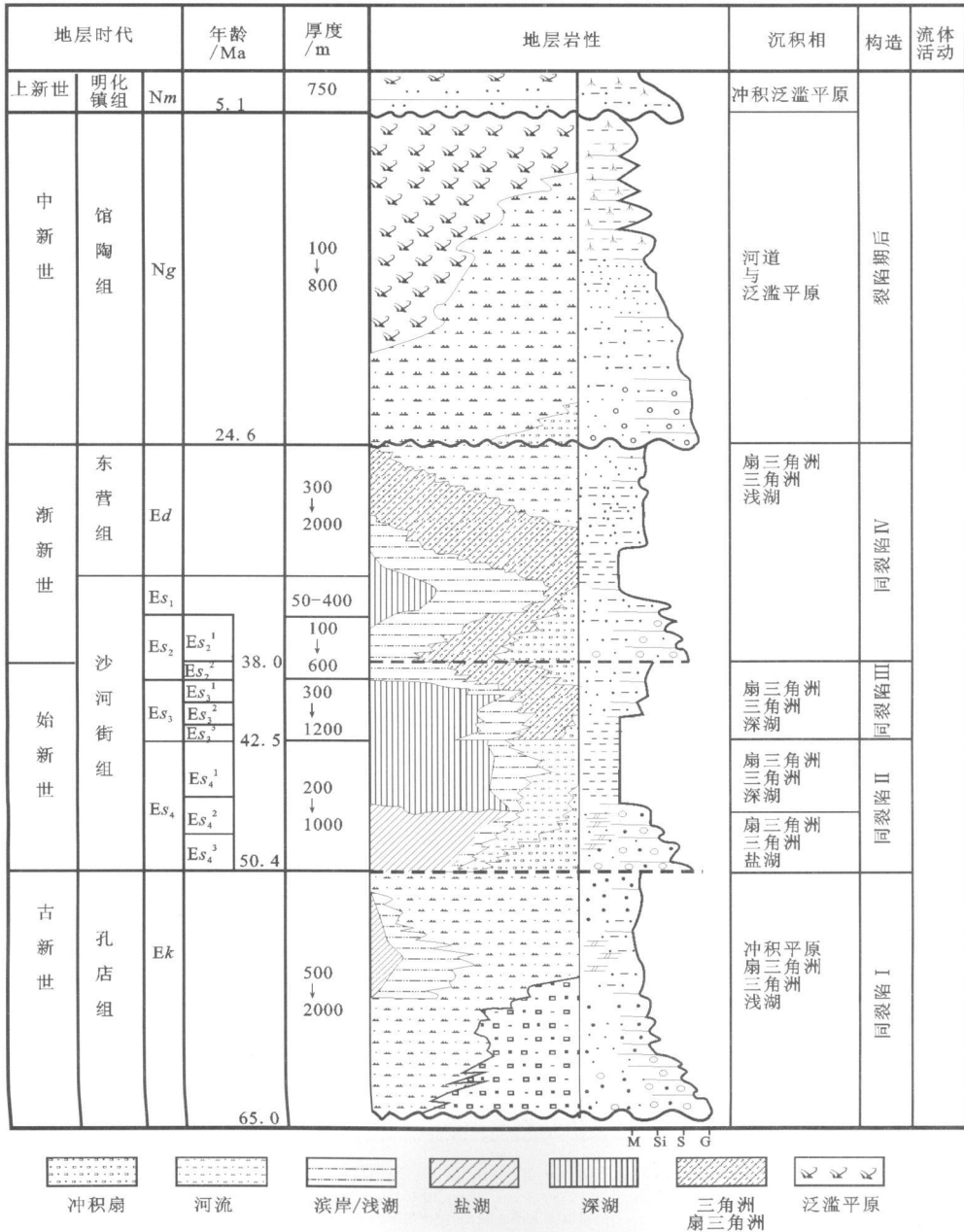


图 2 东营凹陷综合地层柱状图

Fig 2 Generalized strata column for the Dongying Depression

孔店组 (Ek): 形成于同裂陷 I 幕, 由一个向上变细的正序列组成, 沉积中心在郝科 1 井的东南方向, 最大厚度 2 000 m。Ek 可分为三段, 孔三段以厚层玄武岩为主, 夹少量泥岩; 孔二段是一套暗色湖相沉积, 灰色、深灰色砂岩含砾砂岩、油页岩、炭质泥岩及煤层; 孔一段为棕红色砂岩与紫红色泥岩不等厚互层, 顶部有含膏泥岩及薄层石膏 (图 2)。

沙河街组 (Es): 形成于裂陷 II 幕、III 幕和 IV 幕的早期, 主要由四段组合而成, 即沙四段、沙三段、沙二段和沙一段。

沙四段 (Es₄): 最大厚度为 2 600 m。下部以紫红色泥岩为主夹砂岩和粉砂岩, 含中砾砂岩及薄层碳酸盐岩, 东部夹盐岩和石膏; 中部以蓝灰泥岩, 灰白色盐岩石膏层为主夹深灰色泥质白云岩及少量灰色、紫色泥岩; 上部以灰色、深灰色、灰褐色泥岩为主, 夹碳酸盐岩, 砂岩及油页岩, 上部烃源岩形成于强还原的咸水沉积环境^[4]。

沙三段 (Es₃): Es₃ 下以大套油页岩发育为特征, 主要由深灰色泥岩、钙质泥岩、褐灰色油页岩组成, 属于深湖半咸水环境沉积, 最大厚度 400 m。Es₃ 中以河流-三角洲或扇三角洲的进积为主, 以灰色、深灰色巨厚泥岩为主夹有多组浊积砂岩或薄层碳酸盐岩, 最大厚度 600 m; Es₃ 上以灰色、深灰色泥岩与粉砂岩互层, 夹钙质砂岩, 含砾砂岩、油页岩及薄层灰质页岩、砂砾岩的反序列为主。

沙二段 (Es₂): 形成于同裂陷 IV 幕早期, Es₂ 下为盆地大部分面积未接受湖相沉积, 而以河流沉积为主, 湖相仅局限于很小的范围, 以绿色、灰色泥岩与砂岩、含砾砂岩互层, 夹炭质泥岩, 多出现在各凹陷中部, 面积较小, 向凹陷边部往往缺失, 最大厚度为 400 m; Es₂ 上时湖盆以伸展作用为主, 为浅湖相砂泥岩互层, 在湖泊边部发育有各类小型三角洲, 沿岸滩坝沉积, 最大厚度 250 m。

沙一段 (Es₁): 形成于同裂陷 IV 幕早期末, 主要由灰色、深灰、灰褐色泥岩、油泥岩、碳酸盐岩和油页岩组成, 最大厚度 600 m。

东营组 (Ed): 以灰绿色、灰色、少量紫红色泥岩与砂岩、含砾砂岩、砾状砂岩不等厚互层, 偶有薄层碳酸盐岩, 最大厚度 600 m。

馆陶组 (Ng) 和明化镇组 (Nm) 沉积了一套以河流相为主的沉积组合, 总厚度 1 500 m 左右。

2 砂岩、流体基本特征

2.1 砂岩成分特征

本次研究的样品主要分布在东营凹陷坨一胜—永断裂构造带和中央背斜及牛庄洼陷带两个区域, 所有薄片均进行染色实验, 以下为镜下观察结果。坨胜永断裂带地区的样品来自 Es₃ 和 Es₄ 段的岩心, 图 3A 和 B 分别取自坨 713 井的 3 015.3 m 和 3 004.0 m 的 Es₃ 段, 早期的含铁方解石 (Cal 染色微紫红) 残留半自形粒状—菱面体晶形, 分布在颗粒间的孔隙中, 含量较少, 1% 以下, 支撑着颗粒格架以阻止进一步压实。铁白云石 (SA 染色淡蓝色) 在 Es₃ 段中呈半自形—自形晶的菱面体, 有些晶体表面弯曲, 可能为北美热液碳酸盐岩油气藏中的所谓的“马鞍状”白云石, 此类晶体粗大, 多数充填在颗粒的组成的孔隙间, 部分晶体交代格架颗粒, 含量较高, 样品中多达 3%~5%, 它是支撑、保存砂岩孔隙的重要胶结物。含铁白云石 (FD 染色深蓝色) 是储层砂岩中非常普遍的碳酸盐胶结物, 晶体细小, 常常围绕着前期的粗晶铁白云石, 呈团块状, 或充满格架颗粒间的剩余孔隙空间。石英的次生加大边 (Qog) 较宽, 呈断续状分布在石英颗粒边缘, 有时被后来的含铁白云石交代。石英普遍溶解 (图 3B), 呈“蚕食边”状或“港湾状”。含铁碳酸盐的脉体活动在 Es₃ 段储层中找见, 微脉体的宽度在 0.1~0.3 mm 之间, 成分主要是铁白云石 (D-Vein 蓝色), 呈多层沿层理面顺层“灌入”。

坨胜永断裂带地区的 Es₃ 主要由砂岩、泥岩、岩盐等组成, 图 3C 为岩盐镜下照片, 石膏呈柱状晶形, 铁白云石 (SA) 呈粗晶状, 与石膏一起充填在岩盐颗粒孔隙中, 同时, 见大量的沥青 (B) 有机物与其共生, 共同填充孔隙。连晶状石膏 (Gy) 出现在砂岩的胶结物中显得特别, 晶体粗大且自形 (图 3D), 局部含量较高, 一些样品中达 3% 或更多。黄铁矿 (Py) 在 Es₃ 中主要有两种产状, 一是细小立方体状, 与沥青密切相关, 产在沥青条带中 (图 3E); 另一类呈条带状集合体, 产在岩屑的裂隙中 (图 3F), 伴随着岩屑的强烈蚀变, 与沥青和含铁白云石共生。有些岩屑蚀变后被粗晶铁白云石交代 (图 3G), 这些交代铁白云石与充填孔隙间的粗晶自形铁白云石的特征基本一致。Es₃ 储层砂岩中同样发现了含铁碳酸盐脉体 (图 3H, D-Vein 淡蓝色), 脉宽 1~2 mm, 脉中含铁白云石晶体较粗, 与 Es₃ 段中脉体相比, 含铁相对较少。

中央背斜及凹陷带地区的储层砂岩胶结物中两期白云石也非常明显, 早期的粗晶铁白云石保存的数量很多, 含量多在 5%~10% 之间 (图 4A、B、C、D)。这种铁白云石晶体边缘呈微弯弧形, 疑是“马鞍状”

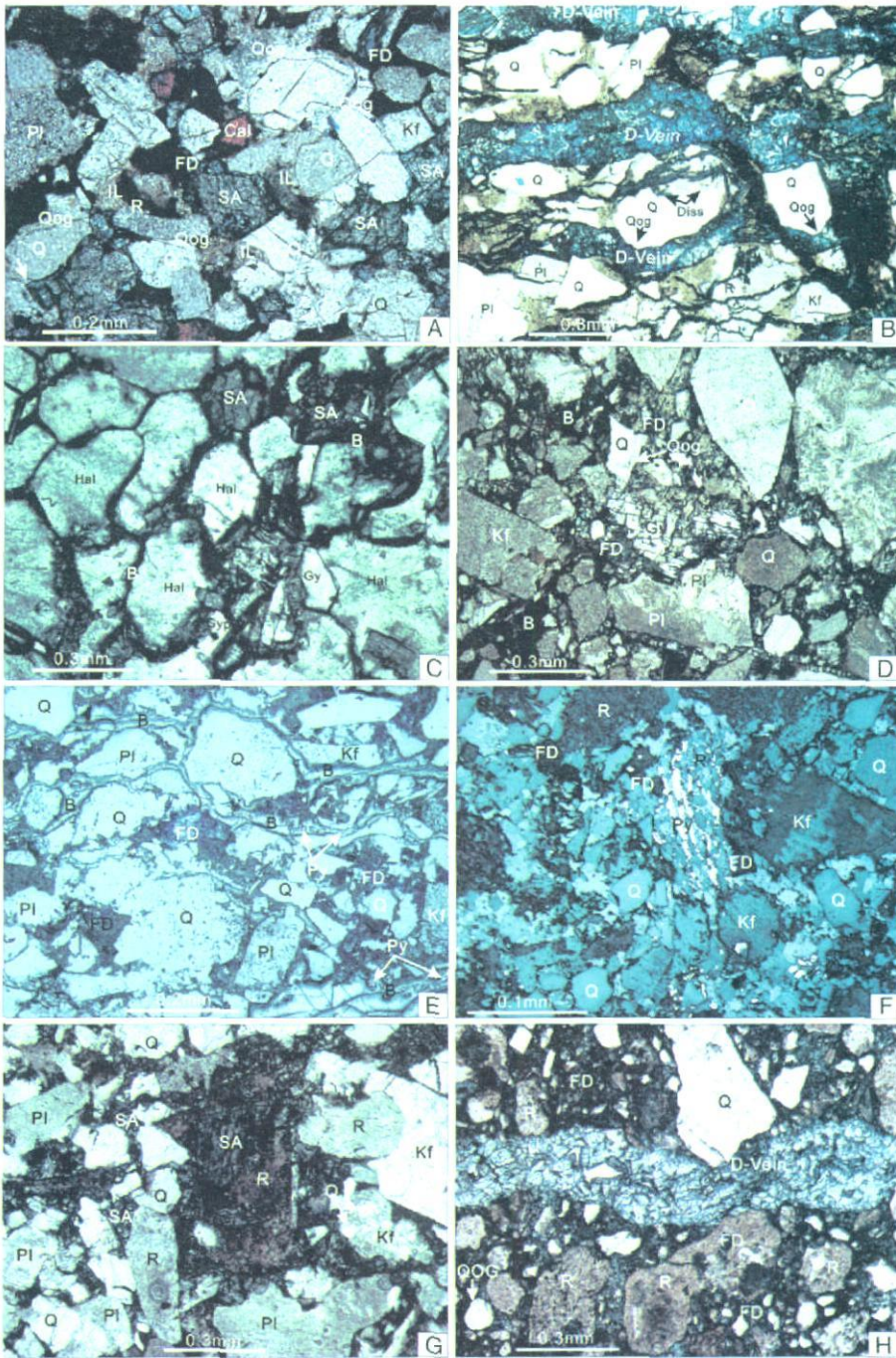


图 3 坨胜永断裂带岩心薄片显微镜下照相

Fig 3 The microscopic photography of thin sections of the Tuo-Sheng-Yong fault

(A)早期胶结物含铁方解石 (Cal 红色), 铁白云石 (SA 淡蓝色) 次生加大边 (Qog), 细晶粒状铁白云石 (FD 深蓝色) 斜长石 (Pl) 比钾长石 (Kf) 蚀变强, 坨 713 井, 3 015.3 m E_5 , $\times 10(-)$; (B) 石英溶解成蚕食边, 断续加大边 (Qog), 铁白云石脉 (D-Vein) 微细脉 0.1~0.3mm 岩屑的裂隙中细晶铁白云石脉, 坨 713 井, 3 004.0 m E_5 , $\times 5(-)$; (C) 镶嵌状岩盐颗粒 (Hal), 柱状石膏 (Gy), 粗晶铁白云石 (SA) 沥青 (B) 坨 731 井, 3 329.2 m E_5 , $\times 5(-)$; (D) 连晶粒状石膏 (Gy), 含铁白云石 (FD) 孔隙被含铁白云石和沥青 (B) 充填, 加大边 (Qog), 坨 731 井, 3 381.0 m E_5 , $\times 5(-)$; (E) 细晶黄铁矿 (Py) 沿沥青脉分布, 斜长石 (Pl) 铁白云石 (SA) 交代部分颗粒边缘, 坨 746 井, 3 952.5 m E_5 , $\times 10(R)$; (F) 岩屑 (R), 斜长石 (Pl), 钾长石 (Kf) 强烈蚀变, 黄铁矿 (Py), 铁白云石 (FD), 坨 124 井, 2 502.9 m E_5 , $\times 20(R)$; (G) 岩屑 (R), 斜长石 (Pl) 蚀变强烈, 含铁白云石 (SA) 交代岩屑和长石, 坨 746 井, 3 951.0 m E_5 , $\times 5(-)$; (H) 铁白云石脉体 (D-Vein) 充填砂岩孔隙, 岩屑 (R) 蚀变强烈, 坨 124 井, 2 501.8 m E_5 , $\times 5(-)$ 。

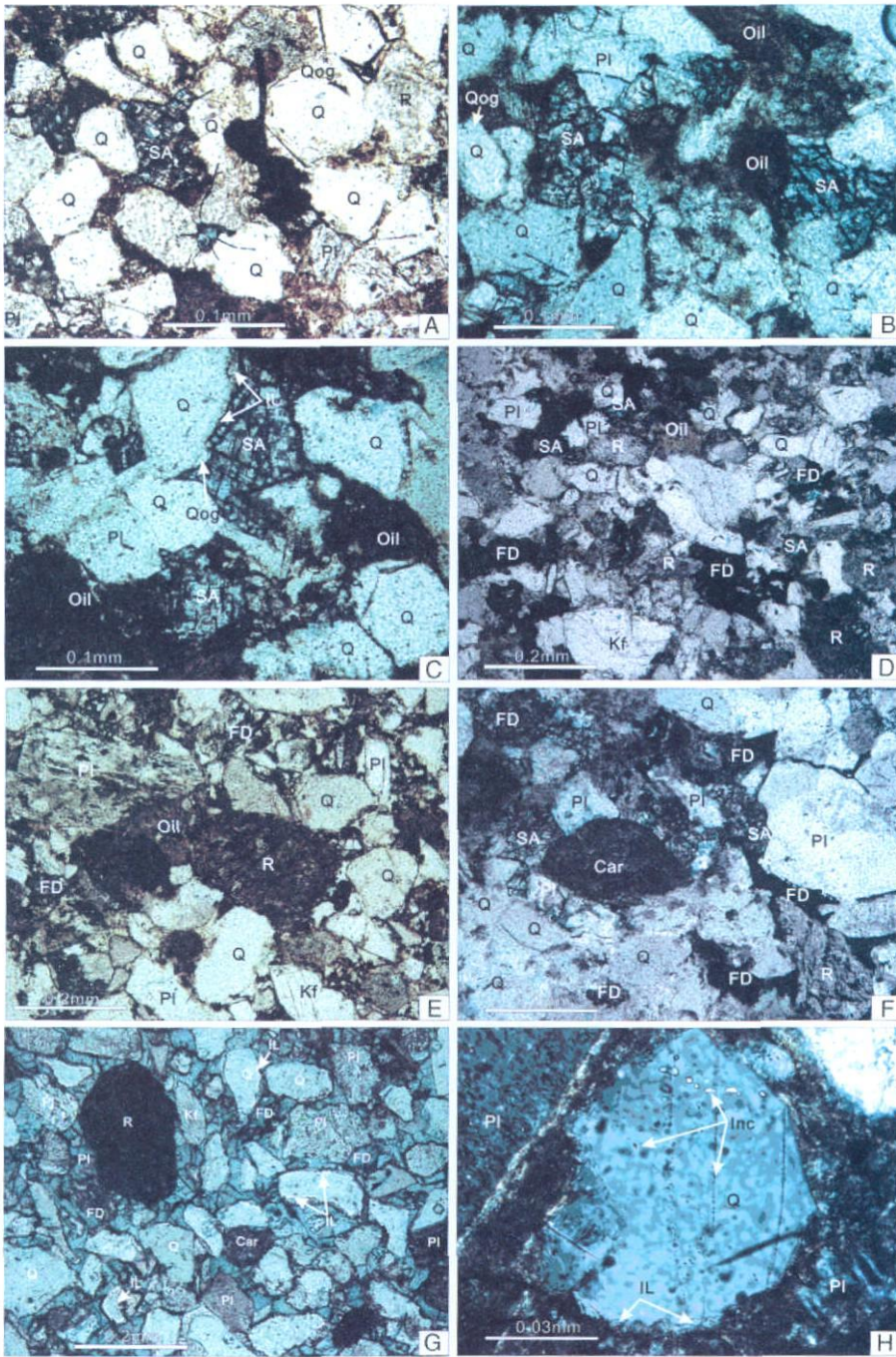


图 4 中央背斜及凹陷带岩心薄片显微镜下照相

Fig 4 The microscopic photography of thin sections of the central anticline and depressing area

(A)石英次生加大边(Qog),岩屑(R)和斜长石(Pl)蚀变,自形铁白云石(SA),河 159井,2950.0m Es₃ × 20(-); (B)石英次生加大边(Qog)粗晶自形的马鞍状白云石(SA),见大量油斑(Oil),河 146井,3090.0m Es₃ × 20(-); (C)石英(Q)和石英次生加大边(Qog),伊利石(IL),河 159井,2955.8m Es₃ × 20(-); (D)石英、岩屑溶解,早期粗马鞍状白云石交代颗粒,晚期含铁白云石(FD)团块状充填,牛 108井,3147.12m Es₃ × 10(-); (E)岩屑(R),斜长石(Pl),含铁白云石(FD),孔隙中见大量油斑,河 159井,2964.5m Es₃ × 10(-); (F)碳酸盐碎屑(Car),岩屑(R),早期自形晶铁白云石(SA)交代颗粒,晚期微晶含铁白云石(FD)充填孔隙,河 146井,3015.0m Es₃ × 10(-); (G)石英(Q),斜长石(Pl),岩屑(R—火山岩?)和 Car—碳酸盐岩屑),伊利石(IL)薄膜,含铁白云石(FD)充填,牛 103井,3133.27m Es₃ × 10(-); (H)伊利石(IL)环绕石英,石英裂隙中的气液包裹体(Inc),沥青质(黑色),河 146井,3037.0m Es₃ × 50(+)

白云石,它常常分布在几个颗粒组成的孔隙间,支撑颗粒,阻止进一步压实,有些交代颗粒。晚期的含铁白云石在砂岩孔隙中也很常见,如图 4E、F 和 G 含量在 5%~8%之间,个别样品很高,达 15%以上,孔隙胶结物几乎都是含铁白云石,晶体细小,呈团块状集合体,有些围绕先前的粗晶铁白云石交代颗粒,有些也交代格架颗粒。石英次生加大普遍,与坨胜永断裂带稍有不同的是,加大边窄,呈断续状(图 4A、C)。伊利石粘土分布在颗粒的边缘,呈薄膜状(图 4C),含量变化较大,部分样品含量稍高,达 1%。岩屑含量在中央背斜及凹陷带地区含量高,尤其是碳酸盐岩屑(图 4E、F、G),多数岩屑已经强烈溶解,碳酸盐岩屑溶解成浑圆状,其它岩屑溶解后丧失了内部辨认结构,表面被铁质和沥青模糊(图 4E、G)。包裹体在该带的碎屑颗粒中非常发育,主要赋存在石英的裂隙中(图 4H),图中石英(Q)颗粒发育明显的 3 组裂隙,裂隙中充满着包体,其中一部分为油气包体。石英颗粒周围包裹着一圈伊利石(Ⅰ)薄膜。斜长石的蚀变普遍比钾长石强烈。

2.2 砂岩类型

坨胜永和中央背斜带的 E_3 和 E_4 段砂岩镜下观察统计结果表明:坨胜永断裂带地区的 E_3 段砂岩,石英的含量低,在 15%~50%之间,多数为 28%~49%;长石和岩屑含量高,长石略高于岩屑,达 25%~30%,多数样品中斜长石>钾长石,个别样品钾长石>斜长石,岩屑含量为 15%~25%左右,岩石类型属于长石砂岩、岩屑长石砂岩、长石岩屑砂岩,以后两者为主,碎屑颗粒平均粒径变化大,0.1~0.9 mm 之间,多数为 0.2~0.5 mm;坨胜永断裂带地区的 E_4 段砂岩,石英的含量普遍比 E_3 高,为 35%~55%,长石的含量也是明显多于岩屑,20%~25%,岩屑为 10%~20%,多数样品是斜长石>钾长石,也有相反的情况,颗粒粒径在 0.3~0.8 mm 之间,多为 0.4~0.5 mm 岩石类型属于长石砂岩、岩屑长石砂岩。

中央背斜及凹陷带地区的 E_3 段砂岩属于长石砂岩和岩屑长石砂岩。 E_3 段砂岩中石英含量在 38%~70%之间,大部分集中在 45%~65%,相对于其它地区和层段来讲,石英含量高。长石总量 21%~40%,多数在 25%~35%之间,明显高于岩屑。而岩屑为 7%~32%,多数为 15%~20%左右。颗粒粒径为 0.2~0.45 mm,比坨胜永地区同一层段稍细,砂岩类型为长石砂岩、岩屑长石砂岩,其个别为长石岩屑砂岩,但非常接近岩屑长石砂岩。

3 流体—砂岩的相互作用及其识别

3.1 构造活动期次

流体的产生、运移、演化等离不开构造活动的影响。戴俊生等^[5]认为,渤海湾盆地新生代的伸张和走滑作用控制了该盆地中沉积作用,生、储、盖组合,油气运移及油气藏空间展布。渤海湾盆地古近纪经历了三个裂陷期,每期对应一个含油气系统的形成。第一裂陷期(E_k-E_5),相当于宗国洪等^[6]的裂陷 I 和 II 幕,在济阳拗陷的部分地区形成规模较小的含油气系统,孔店组为烃源岩,油气聚集在沙四段和孔店组中。第二裂陷期(E_5-E_3),大致相当于宗国洪等^[6]的 III 幕,形成的含油气系统以孔店组、沙四段和部分沙三段为烃源岩,油气主要聚集在孔店组、沙四段和沙三段中。陈书平等^[7]研究结果表明: E_5-E_3 期间,伸展作用强烈,断块发生掀斜,除先期边界断层和规模较大的断层继续活动外,新产生了一系列正断层(生长断层),不但具有同沉积性而且进入了孔店组和沙四段,少量切穿了孔店组和沙四段。第三裂陷期(E_3-E_d),大致相当于宗国洪等^[6]的 IV 幕,形成的含油气系统规模相对较大,主要以沙三段为烃源岩,其次是孔店组和沙四段,储层可以是古近系的各段地层。宗国洪等^[6]指出,济阳拗陷自新近纪(24.6 Ma)以来,火山活动有增强之势。

陈书平等^[7]还认为,东营凹陷的油气运移的大致分为三个时期:早期为 E_k-E_5 期,主力烃源岩为孔店组二段,油气聚集在孔店组和沙四段的构造或地层圈闭中;中期(E_5-E_3),即为第二裂陷期,此时沙四段、孔店组的成熟烃源岩范围扩大,部分沙三段下部烃源岩开始成熟,其中沙四段为主力烃源岩,油气主要聚集在沙四段、孔店组中,油气充注的具体时间在 32.8~24.6 Ma 之间;晚期为馆陶期及以后,沙三段作为全盆地主力烃源岩生成的油气甚至可部分(18%)运移至沙四段中,充注时间在 13.6~2 Ma 之间^[4]。三个运移阶段以中、晚期占主导。

朱光有等^[4]指出,东营凹陷油气成藏主要是两个时期:古近纪和新近纪。古近纪成藏的油气田主要分布在凹陷的边缘地带,原油来自 E_5 上段,成熟度较低;新近纪成藏的油气田分布在凹陷的中心地带,原油来自 E_3 下段,成熟度较高;而过渡地带(斜坡带)的成藏较复杂,可能是多源、多期次的结果。

油气运移与盆地内流体的大规模的活动密切相关,油气本身就是一种特殊的流体。多种资料显

示^[2,8-10], 东营凹陷存在强烈的流体活动。本次研究以 E_5 和 E_5 段储层砂岩为主要研究对象, 通过碎屑岩在整个成岩过程的变化, 胶结物的溶解与沉淀等因素研究, 以油气运移和充注为参考点, 大致确定东营凹陷存在四期明显的流体活动。

3.2 流体活动期次与识别标记

第一期流体活动: 方解石+石膏胶结为标志

本期流体作用发生在裂谷盆地的早期, 相当于盆地裂陷的 I、II 幕, 盆地中充填的地层仅有 E_k 和 E_5 段, 由于 E_k 上段和 E_5 中发育有大量的膏盐层, 强烈的伸展作用造成 E_k 期“薄壳低压”构造环境下的拉斑玄武岩和 E_5 期的“薄壳高压”碱性玄武岩火山活动^[12], 此时研究区地温梯度极高, E_k 和 E_5 期分别达 $4.95^\circ\text{C}/100\text{m}$ 和 $4.60^\circ\text{C}/100\text{m}$ ^[11]。盆地充填早期, E_5 此时直接接受大气降水的渗入, 这种硫酸盐、碳酸盐不饱和的流体在热场的作用下, 很容易溶解沉积的硫酸盐和碳酸盐矿物, 于是在可渗透的岩石孔隙间沉淀了方解石和石膏等胶结物。如坨 713 井 E_5 的早期含铁方解石 (图 3A), 坨 731 井 E_5 的柱状石膏 (图 3C)。

为了探索不同期次流体活动所产生的结果, 本次研究对研究区的部分样品进行了胶结物和部分碎屑颗粒电子探针成分测试。测试条件是, 样品经镀碳处理后, 在 Inca ENERGY 能谱和 JXA-8100 电子探针上分析测试, 实验条件设定为: 加速电压为 15.0 kV, 探针速流为 1.00E-11A, 束斑大小为 1 μm 。测试结果见表 1。

第一期流体活动形成的碳酸盐主要是含少量 Fe 和 Mn 的方解石, CaO 含量在 35.45%~49.87% 之间, MgO 含量在 0.024%~0.37% 之间, FeO 含量在 0.06%~0.27% 之间, MnO 含量在 0.025%~0.37% 之间。把这四种氧化物含量换算成摩尔数, 再将它们按摩尔数投入到三角形图中得到图 5。样品点落在三角形的顶角, CaO 占绝对优势, MgO 和 FeO 含量甚微。

第二期流体活动 (早期大规模排烃之前): 粗晶“马鞍状”白云石为标志

中央背斜和凹陷带常见到了大量的粗大自形, 边缘呈微弯曲状的铁白云石, 含量在 1%~5% 之间, 多数呈孤立状分布在颗粒的孔隙间, 据产状推测为较早期的孔隙充填物, 并部分交代了颗粒且又被后期含铁碳酸盐矿物所交代, 具有一定的波状消光, 与其共生

的还有少量的石膏, 如图 3A、C 和 4A、B、C。

电子探针测试结果表明: FeO 的含量比较高, 变化较大, FeO 含量 (wt%) 在 4.78%~13.39%, 其中坨 124 井有两个样品达到异常高值, 37.22 和 37.26%。MgO 的含量变化不大, 6.77%~14.24%, 只有一个样品达到 18%。MnO 的含量在 1% 以下, 少数样品超过 1%。中央隆起及凹陷区的样品 MnO 相对含量高。CaO 含量在 8.33%~33.86% 之间变化, 其中一个样品很低, 在坨 124 井中, 为 0.954%。在图 5 中, 该期流体形成的铁白云石位于三角形的中心部位, Ca Mg Fe+Mn 均有一定的含量。

从镜下观察可知, 该铁白云石大量出现在 E_5 的中央背斜及凹陷区, 而北部坨胜永断裂带相对少量, 这可能是北部断裂带流体活动强, 早期的碳酸盐矿物被溶解所致。这种碳酸盐矿物支撑着颗粒, 阻止了进一步压实, 使得砂岩的孔隙度得以保存, 为后来的油气运移提供了良好通道和储集空间。

粗晶“马鞍状”白云石在北美地区有详细的研究, 多数学者认为它是热流体作用的产物^[13-18], 因为 1) 它与断裂带密切相关; 2) 包裹体均一温度表明, 至少在 80°C 以上; 3) 伴随有大量的热液活动产物。断裂作用将深部热流体带至浅部地区, 形成有规律的白云石化。由于白云石的体积比同摩尔数的方解石小, 常常在交代方解石以后形成有利的储集空间, 提高储层质量。本期铁白云石是在流体作用下, 早期支撑孔隙的方解石溶解, 与此同时白云石沉淀, 继续支撑着孔隙, 之后烃类进入储层, 形成油气藏。“马鞍状”白云石特殊的晶体结构是由于快速沉淀于粘性的晶体生长模式下, 优先于晶体边缘结晶, 生成的晶格被扭曲, 故常见波状消光, 这种白云石被看成是热流体活动的标志。

本期流体的活动相当于东营凹陷的裂陷 III、IV 幕, 即 E_5 —Ed 期间, 在此时期内, 盆地 NE 和 NEE 断裂强烈活动, 伴随着橄榄拉斑玄武岩和强碱性玄武岩的喷发^[12], 地温梯度依然较高, $4.30\sim 3.85^\circ\text{C}/100\text{m}$ ^[11]。与第一期活动不同, 主要储层 E_5 — E_5 已经被上覆较厚地层覆盖, 生烃作用和油气运移聚集第一次达到高峰^[4]。

第三期流体活动 (晚期大规模排烃之时或稍后): 微晶含铁白云石为标志

研究区储层砂岩中出现的大量的胶结物就是细粒它形一半自形的含铁白云石, 含量多, 一些样品高

表 1 砂岩胶结物及部分颗粒电子探针成分分析表

Table 1 The probe compositions of sandstone cements and clasts

样号	深度/m	层位	Na ₂ O	K ₂ O	FeO	MgO	MnO	CaO	Al ₂ O ₃	TiO ₂	P ₂ O ₅	SiO ₂	SO ₃	SiO	Total	矿物	产状	期次
坨 731-7-1-1	3381	Es ₄	0.001	0.018	0.06	0.024	0.01	35.45	—	0.002	0.016	—	—	—	35.623	方解石	早期粗晶	1
坨 731-7-2-1	3381	Es ₄	—	0.01	—	—	0.009	35.59	—	0.004	0.008	—	53.89	0.612	91.185	石膏	粗晶连片*	4
坨 731-7-2-2	3381	Es ₄	0.002	—	0.008	0.021	—	38.06	0.011	—	—	—	55.37	—	93.472	石膏	粗晶连片	4
坨 731-7-4-1	3381	Es ₄	0.006	0.032	0.051	19.18	0.042	27.25	0.083	0.018	0.032	0.041	—	—	46.756	白云石	白云岩屑	
坨 731-7-4-2	3381	Es ₄	8.04	0.108	—	0.007	—	3.07	19.91	—	—	61.98	—	—	93.156	斜长石	碎屑颗粒	
坨 713-5-1-1	3015.3	Es ₃	0.023	0.006	0.27	0.37	0.058	49.87	0.023	—	0.127	—	—	—	50.788	方解石	早期粗晶	1
坨 713-5-1-2	3015.3	Es ₃	—	0.026	0.257	0.238	0.108	49.24	0.038	0.035	0.011	—	—	—	50.04	方解石	早期粗晶	1
坨 713-5-2-1	3015.3	Es ₃	0.044	0.008	10.84	9.33	0.087	30.25	0.077	0.007	0.026	0.023	—	—	50.693	铁白云石	粗晶交代 F*	2
坨 713-5-2-3	3015.3	Es ₃	0.028	0.01	0.019	0.02	0.012	37.34	0.009	0.038	0.026	—	55.17	0.501	93.175	石膏	粗晶连片	4
坨 713-5-1-3	3015.3	Es ₃	—	0.007	—	21.96	—	29.06	0.028	0.007	—	—	—	—	51.062	白云石	白云岩屑	
坨 713-5-1-4	3015.3	Es ₃	0.008	—	11.17	9.24	0.127	29.89	0.034	0.015	0.026	0.005	—	—	50.565	铁白云石	菱面粗晶	2
坨 713-5-1-5	3015.3	Es ₃	—	0.001	0.031	19.52	0.006	27.95	0.002	—	—	—	—	—	47.519	白云石	白云岩屑	
坨 713-5-1-6	3015.3	Es ₃	0.015	—	10.61	9.77	0.083	30.09	0.063	0.044	0.031	—	—	—	50.72	铁白云石	菱面粗晶	2
坨 713-5-2-4	3015.3	Es ₃	0.01	0.001	0.024	—	0.014	36.8	0.005	0.016	—	—	58.24	0.812	95.921	石膏	粗晶连片	4
坨 124-1-2-1	2501.8	Es ₄	0.035	—	9.17	13.11	0.352	26.39	0.102	0.031	0.032	—	—	—	49.249	铁白云石	马鞍粗晶	2
坨 124-1-2-2	2501.8	Es ₄	0.023	0.02	9.42	12.65	0.28	27.04	0.089	0.026	0.035	—	—	—	49.639	铁白云石	马鞍粗晶	2
坨 124-1-2-3	2501.8	Es ₄	0.008	0.019	37.22	18	0.726	0.954	—	—	—	0.044	—	—	57.023	铁白云石	粗晶充填	2
坨 124-1-2-4	2501.8	Es ₄	0.138	0.03	10.42	11.28	1.8	26.4	0.157	0.052	0.107	0.107	—	—	50.524	铁白云石	粗晶充填	2
坨 124-1-2-5	2501.8	Es ₄	0.071	0.056	8.73	14.24	0.317	26.16	0.212	0.044	0.02	0.081	—	—	49.932	铁白云石	粗晶充填	2
坨 124-1-2-6	2501.8	Es ₄	0.073	0.015	8.92	13.32	0.345	26.76	0.191	0.057	0.038	0.283	—	—	50.061	铁白云石	粗晶充填	2
坨 124-1-3-1	2501.8	Es ₄	0.032	—	7.35	14.6	0.326	27.89	0.086	—	0.047	—	—	0.384	50.733	铁白云石脉	脉体镶嵌	4
坨 124-1-3-2	2501.8	Es ₄	0.03	0.001	5.23	14.48	1.016	28.84	0.081	—	0.026	—	—	0.382	50.103	铁白云石脉	脉体镶嵌	4
坨 124-1-3-3	2501.8	Es ₄	0.034	0.004	10.64	12.44	0.174	27.78	0.1	0.046	0.084	—	—	0.122	51.546	铁白云石脉(边)	脉体镶嵌	4
坨 124-1-3-4	2501.8	Es ₄	0.059	—	8.66	13.6	0.307	26.91	0.036	0.039	0.099	—	—	0.167	49.885	铁白云石脉	脉体镶嵌	4
坨 124-1-3-5	2501.8	Es ₄	0.04	—	9.49	13.41	0.374	28.92	0.082	—	0.014	—	—	—	52.333	铁白云石脉(边)	脉体镶嵌	4
坨 124-1-3-6	2501.8	Es ₄	0.018	0.06	4.83	15.08	0.754	29.29	0.19	0.006	0.03	0.043	—	0.449	50.799	铁白云石脉	脉体镶嵌	4
牛 103-4-1-1	3133.27	Es ₃	0.037	0.023	4.98	13.88	0.159	30.38	0.199	—	0.124	—	—	—	49.794	铁白云石	粗晶充填	2
牛 103-4-1-2	3133.27	Es ₃	0.106	0.026	1.188	14.38	0.158	29.25	0.266	0.09	0.149	—	—	—	45.638	含铁白云石	细晶充填	3
牛 103-4-1-3	3133.27	Es ₃	0.025	—	1.49	11.23	0.4	31.08	0.118	0.027	0.076	—	—	—	44.492	含铁白云石	细晶充填	3
牛 103-4-1-4	3133.27	Es ₃	0.04	0.014	4.78	13.7	0.18	31.21	0.134	0.004	0.069	—	—	—	50.172	铁白云石	粗晶充填	2
牛 103-4-1-5	3133.27	Es ₃	0.007	0.003	0.841	14.28	0.144	31.12	0.181	0.034	0.089	—	—	—	46.722	含铁白云石	交代 Q 港湾	3
牛 103-4-1-6	3133.27	Es ₃	0.063	—	1.105	13.74	0.125	29.59	0.553	0.05	0.332	0.008	—	—	45.579	含铁白云石	微晶充填	3
牛 103-4-1-7	3133.27	Es ₃	0.021	0.131	11.01	9.34	1.152	27.22	2.4	0.067	0.029	4.27	—	—	55.655	铁白云石	粗晶交代 Kf	2
牛 103-4-1-8	3133.27	Es ₃	0.034	0.46	11.22	9.49	1.43	29.64	1.91	0.07	—	5.33	—	—	59.624	铁白云石	粗晶交代 Kf	2
河 159-1-1-1	2955.8	Es ₃	0.003	0.042	13.22	6.77	0.419	27.72	0.022	—	0.02	0.137	—	—	48.429	铁白云石	马鞍粗晶	2
河 159-1-1-2	2955.8	Es ₃	0.016	0.005	13.39	9.51	0.387	27.87	0.032	—	—	—	—	—	51.231	铁白云石	马鞍粗晶	2
河 159-1-3-1	2955.8	Es ₃	—	0.154	12.82	7.94	0.5	27.07	0.648	0.026	0.012	2.36	—	—	51.579	铁白云石	马鞍粗晶	2
河 159-1-3-2	2955.8	Es ₃	—	—	13.03	8.39	0.425	28.48	0.04	0.026	0.037	—	—	—	50.538	铁白云石	粗晶充填	2
河 146-4-1-1	3090	Es ₃	0.005	0.02	11.34	10.13	0.548	28.16	0.015	0.02	0.009	—	—	—	50.247	铁白云石	马鞍粗晶	2
河 146-4-1-2	3090	Es ₃	—	0.005	12.85	10.35	0.619	26.89	0.021	0.022	0.035	—	—	—	50.833	铁白云石	菱面粗晶	2
河 146-4-1-3	3090	Es ₃	0.025	0.067	8.59	11.85	0.341	29.55	0.18	0.022	0.057	0.135	—	—	50.875	铁白云石	微晶充填	3
河 146-4-1-4	3090	Es ₃	0.039	0.081	13.3	9.26	0.845	28.64	0.245	—	—	0.117	—	—	52.528	铁白云石	菱面粗晶	2
河 146-4-1-4	3090	Es ₃	—	0.063	6.28	12.44	0.226	31.44	0.173	0.049	0.103	0.015	—	—	50.795	铁白云石	菱面粗晶	2
河 146-4-3-2	3090	Es ₃	—	0.019	9.07	12.71	0.254	32.33	0.015	—	0.023	—	—	—	54.461	铁白云石	菱面粗晶	2
河 146-4-3-3	3090	Es ₃	0.006	0.053	10.49	9.59	0.561	25.68	0.913	0.052	0.029	1.154	—	—	48.56	铁白云石	马鞍粗晶	2
河 146-4-2-1	3090	Es ₃	0.013	0.007	1.99	10.78	0.205	30.45	0.29	—	0.057	1.095	—	—	44.887	含铁白云石	微晶充填	3
河 146-4-2-2	3090	Es ₃	—	0.058	11.23	9.66	0.815	27.92	—	—	0.003	—	—	—	49.698	铁白云石	粗晶充填	2
河 146-4-2-3	3090	Es ₃	0.022	—	5.49	11.95	0.199	30.36	0.046	0.009	0.029	—	—	—	48.135	铁白云石	粗晶充填	2
滨 674-1	1545	Es ₄	0.02	0.04	0.46	0.74	0.72	51.20	0.43	—	0.07	2.52	—	—	56.21	方解石	碳酸盐屑	
滨 674-1	1545	Es ₄	0.20	0.01	44.93	7.23	0.27	4.75	0.45	0.00	0.13	4.42	—	—	62.47	铁白云石	脉体充填	4
滨 674-1	1545	Es ₄	0.08	—	22.59	1.99	0.87	27.38	0.30	0.07	0.07	3.11	—	—	56.53	铁白云石	脉体充填	4
滨 674-1	1545	Es ₄	0.04	0.00	40.84	11.57	0.11	6.30	—	0.04	0.08	0.01	—	—	59.01	铁白云石	脉体充填	4
滨 674-6	1652.8	Es ₄	0.17	—	37.26	10.60	1.02	8.33	0.00	0.01	0.10	0.05	—	—	57.54	铁白云石	脉体充填	4
滨 674-8	1565.63	Es ₄	0.05	0.01	13.24	10.77	0.35	30.23	0.00	—	0.02	—	—	—	54.72	铁白云石	脉体充填	4
车 663	3886.45	Es ₄	—	0.01	0.28	0.30	0.05	50.38	—	—	0.05	—	—	—	51.07	方解石	微晶充填	1
丰深 2	5544.6	Es ₄	0.06	0.00	0.02	0.47	0.08	55.47	0.01	0.07	0.04	—	—	—	56.21	方解石	微晶充填	1
丰深 2	5646.84	Es ₄	0.01	0.00	0.25	0.84	0.52	54.09	—	—	—	—	—	—	55.71	方解石	微晶充填	1
丰深 2	5647.24	Es ₄	—	0.00	0.11	23.94	0.02	29.01	0.02	—	0.01	—	—	—	53.11	白云石	白云岩屑	
丰深 2	5647.24	Es ₄	—	0.01	0.26	0.74	0.35	54.12	0.01	0.11	0.01	—	—	—	55.60	方解石	微晶充填	1
丰深 2	5647.24	Es ₄	0.04	0.02	0.29	24.20	0.24	30.10	0.00	0.00	0.07	—	—	—	54.9			

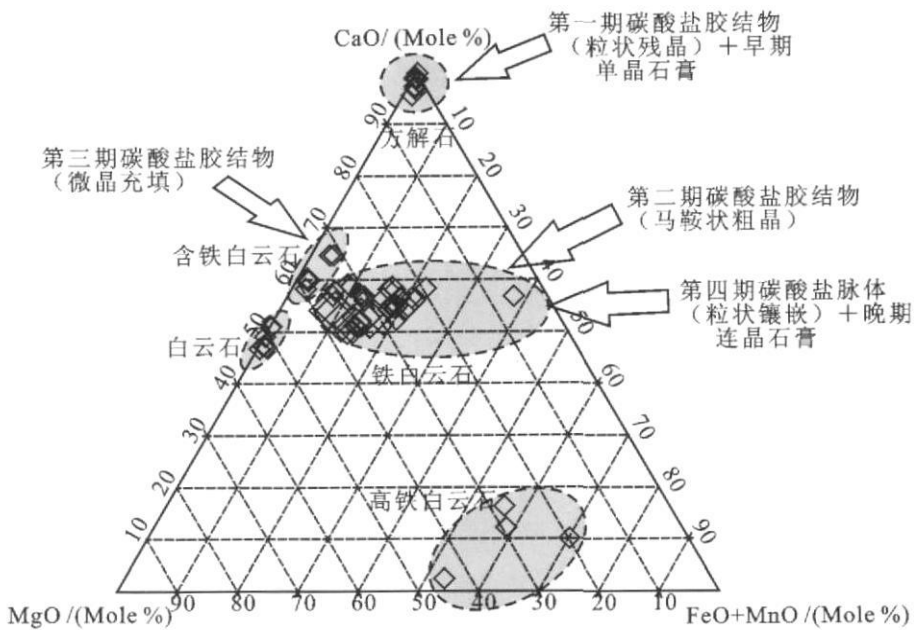


图 5 东营凹陷砂岩碳酸盐胶结物成分三角图解

Fig 5 Ternary diagram for carbonate cements in sandstone Dongying Depression

达 25%~30%，充填孔隙间，局部交代颗粒。不论坨一胜一永断裂，还是中央背斜及凹陷带，不论 E_5 ，还是 E_3 ，均是如此（图 3A、D、H 和 4D、E、F、G），成分为含铁白云石（FD），是最为重要的流体活动标志之一。该期流体发生在油气运移的同时或稍后，因为 1) 本期含铁白云石充填了所有剩余空间，如果不发生再次溶解，后期油气很难再进入；2) 含铁白云石与油斑和沥青密切共生；3) 大量的 Fe^{2+} 的沉淀需要持续的还原环境，油气中恰好可以提供此种环境，一些 Fe^{2+} 与 S 结合形成黄铁矿（图 3E）。

成分分析结果表明： FeO 含量较少，仅在 0.841%~1.99%， MgO 的含量为 10.78%~14.38%， MnO 含量在 0.125%~0.4% 之间。 CaO 的含量在 29.25%~31.12% 之间。在图 5 中，样品点位于 $CaO-Mg$ 线附近， $Fe-Mn$ 含量较低。

本次流体活动发生在裂谷盆地裂谷后期的馆陶组形成时期，由于“东营运动”造成了整个凹陷曾经一度处于全面抬升状态，生烃和油气曾一度停止，馆陶一明化镇时期，凹陷再次下沉，地温梯度虽然不如前两次高，但依然达到 $3.65^{\circ}C/100m^{[1]}$ ，加上埋深增大， E_5 和 E_3 烃源岩很快再次进入生烃门限，使得东营凹陷进行第二次大规模的流体活动与油气运移、充注。本期流体的活动与第二期明显不同，除了碳酸盐矿物含铁减少以外，白云石结晶颗粒小，并且封堵剩余孔隙空间，使得岩石孔隙度减少，渗透率降低。

第四期流体活动：铁白云石脉为标志

北部的坨胜永和中部的中央背斜和凹陷区的一些钻井岩心中均可见到碳酸盐细脉（图 3B、H），脉体的宽度在 0.1~2mm 之间，多数顺层灌入，根据产状及与砂岩成分之间的关系，应该晚于细晶含铁白云石胶结物充填，为二次油气运移之后的产物。

脉体中白云石的 FeO 含量变化大，从 5.23%~44.93%； MgO 变化为 7.03%~15.08%， MnO 为 0.11%~1.016%， CaO 为 4.75%~30.23%，部分样品中测出 Sr 含量， SrO 变化在 0.167%~0.449%。该期流体的成分与第二期非常相似，在图 5 中，处于相同的位置。但所不同的是，第四期流体作用相关的石膏也含有一定量的 Sr ：0.384%~0.812%，这充分说明铁白云石脉与连晶状石膏有同源关系。

另外，图 5 中的白云石区，样品几乎不含 Fe 产状表明为碎屑颗粒，即白云岩化碳酸盐。图中靠近底线的四个样品为含铁很高的白云石，暂定为“高铁白云石”，该类白云石主要产在基性喷出的玄武岩中，它的形成是流体流过“含铁”玄武岩时汲取了岩石中的铁并沉淀所致。

由于前两期的流体活动形成的碳酸盐及其它胶结物已经充填了孔隙空间，加上埋深增大，颗粒间的孔隙度变小，流体很难象前两期一样进入砂岩的孔隙中，于是主要沿着相对“脆弱”且空隙较大的层理面顺层灌入。此期流体虽然不很普遍，但却代表了一期

明显的流体活动。由于顺层灌入储层,可能影响储层的封闭性并对油气藏产生破坏作用。

4 结论

(1) 东营凹陷坨胜永断裂带地区的 E_3 段砂岩, 石英的含量为 35% ~ 55%, 长石的含量 20% ~ 25%, 岩屑为 10% ~ 20%, 岩石类型属于长石砂岩、岩屑长石砂岩。 E_3 段砂岩石英的含量低, 15% ~ 50%; 长石 25% ~ 30%, 岩屑 15% ~ 25% 左右, 岩石类型属于长石砂岩、岩屑长石砂岩、长石岩屑砂岩。中央背斜及凹陷带地区 E_3 段砂岩石英含量 38% ~ 70%, 长石 21% ~ 40%, 岩屑为 7% ~ 32%, 砂岩类型为长石砂岩、岩屑长石砂岩, 其个别为长石岩屑砂岩; E_3 段砂岩属于长石砂岩和岩屑长石砂岩。

(2) 流体作用与构造、油气运移充注相关联, 东营凹陷从早至晚研究得出四期流体作用: 第一期大约在 E_3 末, 以石膏胶结为标志范围小, 强度弱; 第二期发生在东营组末, 与第一次大规模的生排烃及油气运移相关, 以粗晶“马鞍状”含铁白云石为标志; 第三期在盆地进入裂后的馆陶期, 与第二次大规模的生排烃及油气运移有关, 以细晶铁白云石大量充填孔隙为标志; 第四期发生时间晚, 在馆陶组以后, 以含铁白云石脉体充填微裂隙和层理为标志。

(3) 四期流体与砂岩的相互作用主要表现为溶解作用和沉淀胶结作用, 第一期流体作用使早期方解石溶解, 孔隙变大; 第二期流体作用沉淀了大量的粗晶“马鞍状”含铁白云石, 一方面减少了部分孔隙, 但另一方面支撑着砂岩孔隙; 第三期流体作用沉淀了大量的细晶铁白云石, 岩石孔隙度急剧减少; 第四期流体作用碳酸盐充填构造微裂隙和层间裂隙, 对储层可能起破坏作用。

致谢 本文在资料、样品收集过程中得到了胜利油田研究院和岩心库管理中心的大力支持, 东华理工大学的核资源与环境工程技术研究所承担了电子探针等分析测试工作, 加拿大 Regina 大学地质系流体研究室提供了部分实验条件, 在此向所有关心和支持本研究的单位和个人表示诚挚的谢意。

参考文献 (References)

1 任安身, 杜公仪. 济阳坳陷构造特征及油气勘探 [M]. 北京: 石油工业出版社, 1989 128-138 [Ren Anshen Du Gongyi. The Tectonic Characteristics and Petroleum Exploration in Jiyang Subbasin [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1989 128-138]

2 解习农, 刘晓峰. 超压盆地流体动力系统与油气运聚关系 [J]. 矿物岩石地球化学通报, 2000 19(2): 103-108 [Xie Xinong Liu Xiaofeng. Related to black shale series fluid dynamic system and relationship with accumulation of hydrocarbon in overpressed basin [J]. Bulletin of Mineralogy Petrology and Geochemistry, 2000 19(2): 103-108]

3 冯有良, 李思田, 解习农. 陆相断陷盆地层序地层形成动力学集层序地层模式 [J]. 地质前缘, 2000 7(3): 119-132 [Feng Youliang Li Sitian Xie Xinong. Dynamics of sequence generation and sequence stratigraphic model in continental rift subsidence basin [J]. Earth Science Frontier, 2000 7(3): 119-132]

4 朱光有, 金强, 戴金星, 等. 东营凹陷油气成藏期次及其分布规律研究 [J]. 石油与天然气地质, 2004 25(2): 209-215 [Zhu Guangyou Jin Qiang Dai Jinxing et al. A study on periods of hydrocarbon accumulation and distribution pattern of oil and gas pools in Dongying Depression [J]. Oil and Gas Geology, 2004 25(2): 209-215]

5 戴俊生, 李理, 陆克政, 等. 渤海湾盆地的构造对油气系统的控制 [J]. 地质论评, 1999 45(2): 202-208 [Dai Junsheng Li Li Lu Kezheng et al. The control of tectonism on the petroleum systems in the Bohai Bay basin [J]. Geological Review, 1999 45(2): 202-208]

6 宗国洪, 肖焕钦, 李常宝等. 济阳坳陷构造演化及其大地构造意义 [J]. 高校地质学报, 1999 5(3): 275-282 [Zong Guohong Xiao Huanqin Li Changbao et al. Evolution of Jiyang Depression and its tectonic implications [J]. Geological Journal of China Universities, 1999 5(3): 275-282]

7 陈书平, 戴俊生, 李理. 惠民—东营盆地构造特征及控油作用 [J]. 石油与天然气地质, 1999 20(4): 344-348 [Chen Shuping Dai Junsheng Li Li. Tectonic features of Huimin-Dongying basin and its control over oil [J]. Oil and Gas Geology, 1999 20(4): 344-348]

8 楼章华, 朱蓉, 金爱民, 等. 东营凹陷地下水动力场的形成与演化 [J]. 地质科学, 2003 38(1): 85-96 [Lou Zhanghua Zhu Rong Jin Ainin et al. Formation and evolution of hydrodynamic field in the Dongying Depression [J]. Chinese Journal of Geology, 2003 38(1): 85-96]

9 邱楠生, 张善文, 金志军. 东营凹陷油气流体运移模式探讨——来自沸腾包裹体的证据 [J]. 石油实验地质, 2001, 23(4): 403-407 [Qiu Nansheng Zhang Shanwen Jin Zhijun. Migration models of hydrocarbon fluids in the Dongying depression: evidence from boiling fluid inclusions [J]. Petroleum Geology & Experiment, 2001, 23(4): 403-407]

10 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]. Geological Review, 2000 46(2): 212-219]

11 邱楠生, 苏向光, 李兆影, 等. 济阳坳陷新生代构造—热演化历史研究 [J]. 地球物理学报, 2006 49(4): 1127-1135 [Qiu Nansheng Su Xiangguang Li Zhaoying et al. The Cenozoic tectonic thermal evolution of Jiyang Depression Bohai Bay Basin East China [J]. Chinese Journal of Geophysics, 2006, 49(4): 1127-1135]

12 宗国洪, 冯有良, 刘承华, 等. 同沉积断裂带砾岩隐藏油藏——以东营凹陷坨胜永断裂带为例 [J]. 石油实验地质, 2003 25(3):

- 274-284| Zong Guohong Feng Youliang Liu Chenghua et al. Study of subtle glutenite reservoirs in syn-depositional fault zones: a case study of the Shengbei fault zone in the Dongying Depression [J]. *Petroleum Geology & Experiment* 25 (3): 274-284|
- 13 Davies G R Smith Jr. Structurally controlled hydrothermal dolomite reservoir facies: an overview [J]. *AAPG Bulletin* 2006 90 (11): 1641-1690
- 14 Wickström L H. Play MOF: Middle Ordovician fractured carbonates [C] // Roen J B Walker B J eds. *The Atlas of Major Appalachian Gas Plays*. West Virginia Geological and Economic Survey Publication 1996 25: 172-176
- 15 Boren T Colquhoun K Ladyfern NEBC. Major gas discovery in the Devonian Slave Point Formation (abs) [C]. *Canadian Society of Petroleum Geologists Annual Convention Abstracts* 2001 112: 1-5
- 16 Boren T Davies G R. Hydrothermal dolomite and leached limestones in a TCF gas play: the Ladyfern Slave Point reservoir. NEBC [C] // McAuley R ed. *Dolomites: the spectrum: mechanisms models reservoir development*. Canadian Society of Petroleum Geologists Seminar and Core Conference January 13-15 2004 Calgary. Extended Abstracts CD format 2004
- 17 Luczaj JA Harrison W B Williams N S. Fractured hydrothermal dolomite reservoirs in the Devonian Dundee Formation of the central Michigan Basin [J]. *AAPG Bulletin* 2006 90 (11): 1787-1801
- 18 Smith L B. Origin and reservoir characteristics of Upper Ordovician Trenton-Black River hydrothermal dolomite reservoirs in New York [J]. *AAPG Bulletin* 2006 90 (11): 1691-1718

Study on Episodes and Identification of the Interaction of Geofluids with Sandstones in Dongying Half-graben, Shengli Oil Field

NIE Feng-jun¹ LIU Cheng-dong¹ ZHANG Shou-peng² YAN Zhao-bin¹
JIANG Mei-zhu¹ GUO Guo-lin¹ CHEN Yi-ping¹

(1. East China Institute of Technology Nanchang 330013

2. Institute of Petroleum Exploration and Development Shengli Oil Field Company Dongying Shandong 257015)

Abstract The reservoir sandstones in Dongying Dongying Half-graben, Shengli Oil Field have undergone four episodes of interaction of geofluids with sandstone. Dissolution, cementation and micro-vein filling are the major diagenesis under fluid flows. Normally, the dissolution enhances the reservoir quality, while the cementation damages the reservoir quality. But some earlier carbonate cements like coarse ankerite support the skeleton grains and prevent the reservoir sandstones from porous "collapse". Based on the observation under microscope and probe analyses, four episodes I, II, III and IV of geofluid activities have been identified for the study area.

Key words geofluid sandstone interaction identification mark Dongying half-graben