

文章编号:1001-6112(2009)05-0500-06

富油凹陷不同洼陷 烃源岩的热演化及生烃特征差异性

蒋有录¹, 卓勤功^{2,3}, 谈玉明⁴, 鲁雪松²

(1. 中国石油大学(华东)地球资源与信息学院, 山东 青岛 266555; 2. 中国石油勘探开发研究院, 北京 100083;
3. 中国石油化工股份有限公司胜利油田地质科学研究院, 山东 东营 257015;
4. 中国石化中原油田分公司, 河南 濮阳 457001)

摘要:渤海湾盆地富油凹陷通常发育多个生烃洼陷, 每个洼陷往往为相对独立的生烃中心; 由于沉积埋藏史的差异, 不同洼陷及其不同构造部位烃源岩的热演化和生烃特征存在明显差异。以渤海湾盆地东濮凹陷和东营凹陷古近系沙河街组主要烃源岩系为例, 对比分析了两凹陷中主要生烃洼陷烃源岩的热演化及生烃史特征, 并探讨了其对油气藏形成及分布的控制作用。研究认为, 在发育多个生烃洼陷的富油凹陷, 以毗邻陡坡带大断裂的洼陷埋藏最深, 烃源岩最发育、热演化程度最高、生烃能力最强、资源量最丰富; 由于母质条件和埋藏热史的差异, 同一层系不同亚段烃源岩、同一洼陷不同构造部位烃源岩的生烃特征具有较大差异; 不同富油凹陷烃源岩埋藏演化生烃也存在明显差异性。

关键词:热演化; 生烃史; 烃源岩; 生油洼陷; 渤海湾盆地

中图分类号: TE122.1

文献标识码: A

DIVERSITY IN THE THERMAL EVOLUTION AND HYDROCARBON GENERATION OF SOURCE SOCKS IN DIFFERENT SUB-DEPRESSIONS OF RICH OIL DEPRESSION

Jiang Youlu¹, Zhuo Qingong^{2,3}, Tan Yuming⁴, Lu Xuesong²

(1. College of Geo-Resources and Information, China University of Petroleum, Qingdao, Shandong 266555, China;
2. Research Institute of Petroleum Exploration and Development, PetroChina, Beijing 100083, China;
3. Research Institute of Geological Science, Shengli Oilfield, SINOPEC, Dongying, Shandong 257015, China;
4. Zhongyuan Oilfield Company, SINOPEC, Puyang, Henan 457001, China)

Abstract: Every rich oil depression in the Bohai Bay Basin generally consists of several sub-depressions which are commonly independent hydrocarbon-generating centers. Due to the differences in sedimentary-burial history of these sub-depressions, there are obvious differences in thermal evolution and hydrocarbon generation of source rocks between different sub-depressions and their different structural positions. Taking the main source rocks of Paleogene Shahejie Formation in Dongpu Depression and Dongying Depression of the Bohai Bay Basin for example, the article demonstrated a comparative analysis in the thermal history and hydrocarbon generation history of source rock between major sub-depressions in two depressions, and the control effects on the reservoir formation and distribution were illustrated in detail. The result shows that, in rich oil depression which consists of several hydrocarbon generation sub-depressions, the source rock in the most deep buried sub-depression adjacent to fault in steep slope is the best, which is widely distributed with high thermal evolution degree, great hydrocarbon generation potential and rich resources. Because of the distinction of the conditions of source rock and burial-thermal history, the hydrocarbon-generating characteristics of source rock in different members of the same strata series and different structural positions in the same sub-depression show relatively large diversity. There are obvious diversities in hydrocarbon generation of source rock in different rich oil depressions.

Key words: thermal evolution history; hydrocarbon generation history; source rock; petroleum generation sub-depression; Bohai Bay Basin

收稿日期: 2009-05-15; 修订日期: 2009-08-02。

作者简介: 蒋有录(1959-), 男, 教授, 博士生导师, 主要研究方向为油气成藏机理与分布规律。E-mail: jiangyl@hdpu.edu.cn。

基金项目: 国家油气重大专项课题(2008ZX05006)资助。

由于块断运动的差异性和不均衡性,在渤海湾裂谷盆地中形成了凹凸相间的构造格局,凹陷是相对独立的油气生成、运移和聚集单元^[1~3];同样,不同地区沉降、沉积的差异性又将凹陷分隔成多个具不同构造演化史和沉积充填序列的生烃洼陷,每个生烃洼陷,甚至同一洼陷的不同构造部位的烃源岩发育规模、有机质丰度和类型、埋藏热演化生烃史存在较大差异,这也是造成不同洼陷及其邻近地区油气富集程度悬殊的根本原因。因此,每个洼陷都具有各自独特的成烃、成藏潜力和规律^[4,5]。

渤海湾盆地南部的东濮凹陷和东营凹陷是2个典型的富油凹陷,两凹陷中均发育多个古近系生烃洼陷,每个洼陷沉降幅度、烃源岩特征及热演化史都存在一定差异,造成不同地区油气富集程度差异很大。本文以这两个富油凹陷为例,探讨了具有多生烃洼陷的渤海湾盆地富油凹陷烃源岩热演化及生烃特征差异性及其与油气富集的关系。

1 油气成藏地质背景

东濮凹陷和东营凹陷是渤海湾盆地中2个典型的富油凹陷,2个凹陷的构造演化、沉积充填史大同小异,新生代经历了古近纪裂陷阶段和新近纪—第四纪拗陷阶段,主要烃源岩为古近系沙四上(E_{s4}^+)和沙三段(E_{s3})湖相暗色泥岩。两个凹陷均由多个沉降、沉积特征差异较大的生烃洼陷组成,凹陷中央均发育对各洼陷起分割作用的中央隆起带,油气沿中央隆起带最富集^[6,7]。

东濮凹陷位于渤海湾盆地西南部,为一东断西超、南宽北窄的“狭长型”凹陷,被北东向中央断裂背斜带及北西向控洼断裂分隔为前梨园、海通集、葛岗集和孟岗集等4个主要长期持续沉降的生油洼陷(图1)。每个洼陷沉降幅度、热史及烃源岩特征都存在较大差异,目前已发现的油气藏主要围绕生烃洼陷中心呈环带状分布,油气富集程度差异明显^[8];环前梨园洼陷油气最为富集,其次为海通集洼陷和葛岗集洼陷,孟岗集洼陷周边没有发现油气聚集。受东侧兰聊断裂带控制的东断西超的宏观构造格局及盐岩发育差异的控制,该凹陷油气分布整体上具有北富南贫、东富西贫的特点(图1)。

东营凹陷位于渤海湾盆地东南部的济阳拗陷,为一北断南超、近似等轴的“开阔型”凹陷(图2)。古近纪主要烃源岩发育时期,北西向纯化—东安构造带将东营凹陷分隔为东部大洼陷和西部博兴洼陷。受构造应力场和北部边界断裂带活动的影响,两洼陷沉积沉降中心均由东侧的北东东向分布迁

移为西侧的北东向分布^[9]。随着中央隆起带的形成以及受胜坨古隆起带的影响,东部大洼陷又可分为利津、民丰、牛庄3个次级洼陷,平面上划分为北部陡坡带,中央洼陷带,中央隆起带,南部缓坡带。整体上凹陷北部和东部洼陷相对于南部、西部洼陷油气更富集,即利津和牛庄洼陷生烃条件最好,油气环绕生烃洼陷富集分布(图2);博兴洼陷油源条件相对不足^[10],而且该洼陷油气富集层位也具有东北部

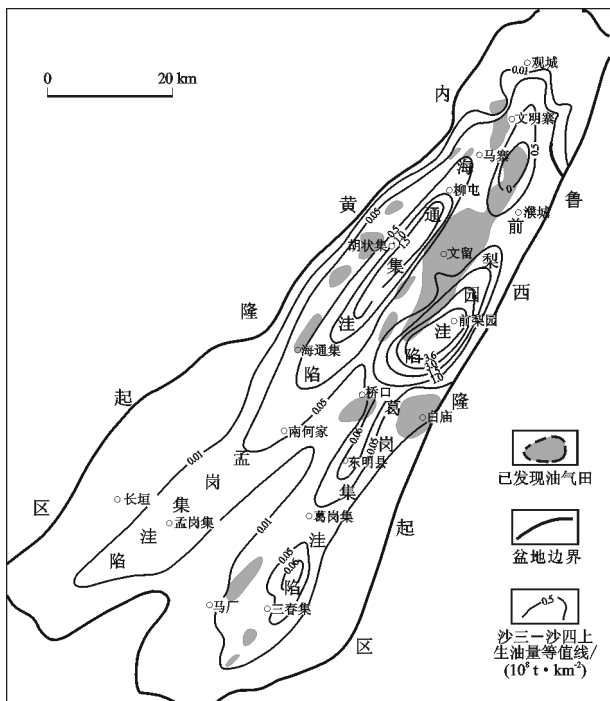


图1 渤海湾盆地东濮凹陷油气分布与主要生烃洼陷关系据中原油田修改。

Fig. 1 The relationship between petroleum distribution and major hydrocarbon generation sub-depressions in Dongpu Depression of the Bohai Bay Basin

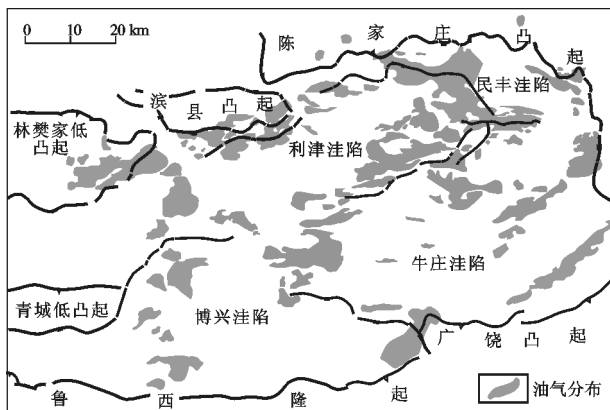


图2 渤海湾盆地东营凹陷油气分布与生油洼陷关系据胜利油田修改。

Fig. 2 Petroleum distribution and hydrocarbon generation sub-depressions in Dongying Depression of the Bohai Bay Basin

深、相对富油，西南部浅、相对富气的分布规律。

2 不同洼陷烃源岩热演化及生烃特征

由于凹陷内不同构造单元沉降和沉积充填演化的差异性，渤海湾盆地富油凹陷不同生油洼陷的埋藏史和热演化生烃史通常存在明显差异。

2.1 东濮凹陷各洼陷烃源岩生烃演化对比

在东濮凹陷 E₃ 沉积时期强烈沉降的洼陷，其烃源岩条件好，在此之后强烈沉降的洼陷有利于 E₃ 烃源岩的成烃演化。对比东濮凹陷 4 个洼陷代表井新生代地层厚度(图 3)可以看出，各个洼陷

中，以长期继承性沉降的前梨园洼陷烃源岩厚度最大、埋藏最深，加上该洼陷烃源岩有机质丰度较高、有机质类型以 I 型和 II₁ 型为主等有利条件，使该洼陷成为东濮凹陷最好的生烃洼陷，这也是环前梨园洼陷地区油气最富集的根本原因。葛岗集洼陷烃源岩发育与前梨园洼陷相似，但母质类型以 II₂ 和 II₁ 型为主，后期埋藏较浅，热演化条件次于前梨园洼陷。海通集洼陷烃源岩条件较好，以 E₃^{中-上} 烃源岩最为发育，烃源岩热演化程度较高，有利于生烃。而孟岗集洼陷烃源岩条件最差，烃源岩厚度薄，虽然后期强烈沉降有利其热演化，但烃

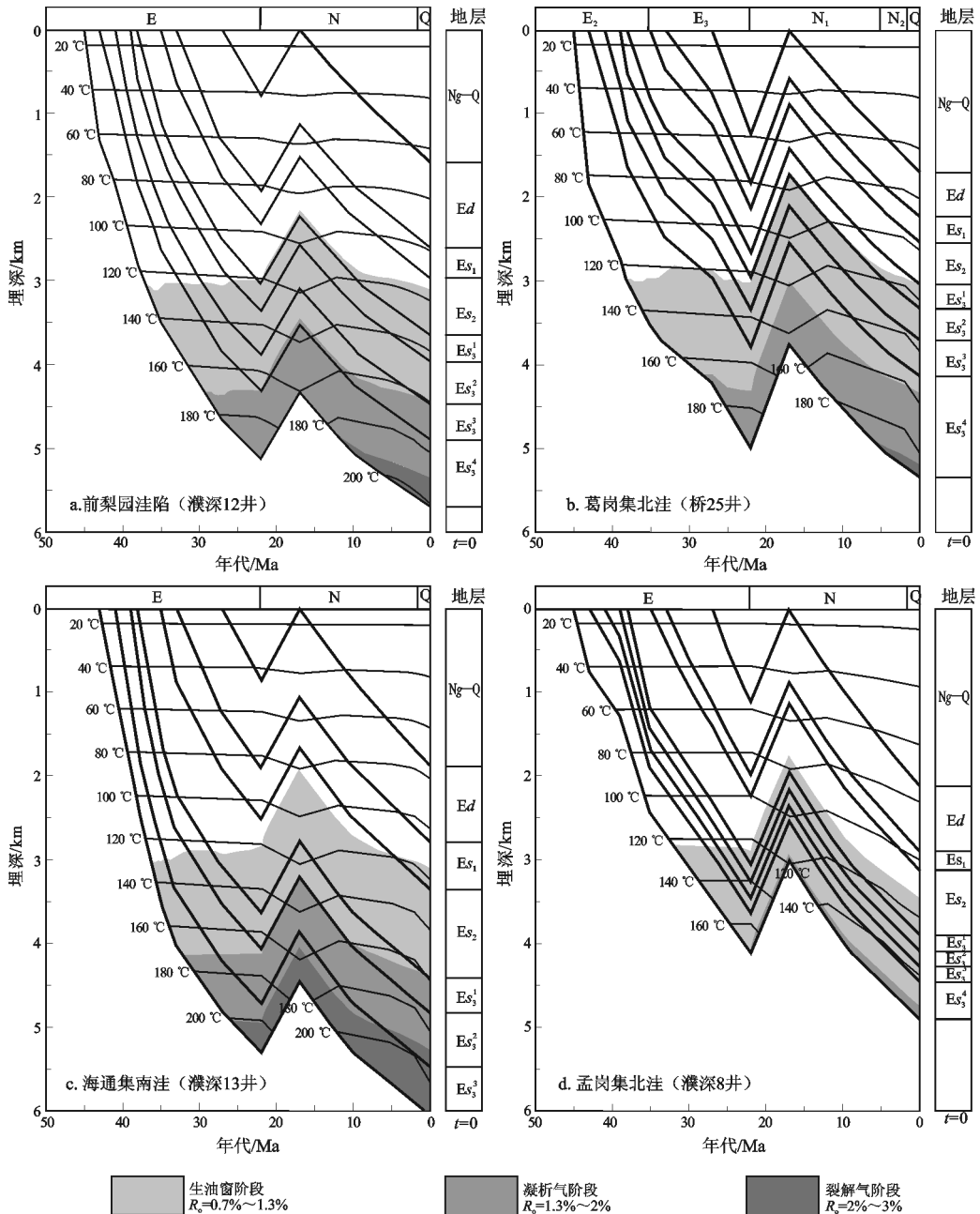


图 3 渤海湾盆地东濮凹陷不同洼陷新生代热演化史

Fig. 3 Thermal evolution history of different sub-depressions during Cenozoic in the Dongpu Depression of the Bohai Bay Basin

源条件相对较差,总体上资源潜力不大。

古近纪末,伴随着构造抬升作用,东濮凹陷遭受较强烈的剥蚀作用,使古近纪后期已成熟生烃的 Es_4^+ — Es_3 烃源岩生烃作用受到抑制甚至停止;由于不同地区剥蚀厚度差别较大,在新近纪以来沉积补偿厚度较大的洼陷区, Es_4^+ — Es_3 烃源岩具有“二次生烃”的特征^[11]。研究表明,凹陷中主要生烃洼陷区的沉积补偿厚度明显大于剥蚀厚度,过补偿厚度超过了 600 m,部分洼陷中心区过补偿厚度超过 1 000 m,从而有利于 Es_4^+ — Es_3^+ 烃源岩的二次生烃^[12]。

由于不同洼陷 Es_4^+ — Es_3 烃源岩埋藏史不同,沉积过补偿厚度存在较大差异,其热演化生烃史也存在明显差异(图 3)。从靠近前梨园洼陷中心的濮深 12 井热演化史图(图 3a)可以看出,该井东营期末剥蚀厚度较大, Es_4^+ — Es_3 烃源岩在东营期末抬升剥蚀期生烃受到抑制,但新近纪以来过补偿厚度近 800 m,使其在 10 Ma 后发生了明显的二次生烃作用, Es_4^+ 、 Es_3^+ 烃源岩新近纪以来均达到了大量生凝析气阶段,这是在杜桥白地区、前梨园环洼地区深层发现大量凝析气藏的原因^[11]。葛岗集北洼(桥 25 井为代表),该井过补偿厚度只有 450 m,新近纪以来的二次生烃作用不明显,热演化程度略有增加(图 3b)。位于海通集南洼的濮深 13 井,过补偿厚度超过 1 000 m,二次生烃作用明显(图 3c), Es_3^+ 、 Es_3^+ 烃源岩新近纪以来均达到了大量生凝析气阶段,凝析气就近运移聚集,这是邻近该洼陷的文西—刘庄地区已发现的深层凝析气藏主要分布在 Es_3^+ 和 Es_3^+ 的主要原因^[11]。孟岗集北洼内斜坡的濮深 8 井热演化史(图 3d)表明,该井过补偿厚度约为 1 000 m,二次生烃作用明显,但由于该洼陷烃源岩较薄,有机质含量较低,总体埋藏较浅,目前大部分仍处于生油窗阶段。

2.2 东营凹陷各洼陷烃源岩生烃演化对比

对比东营凹陷 4 个洼陷古近纪各地层沉积厚度、主要泥质烃源岩厚度表明(图 4),首先,各洼陷古近纪发育的地层厚度不同,其中,利津洼陷古近系厚度最大;其次为牛庄和民丰洼陷,而博兴洼陷沉积厚度最薄。东营凹陷古近系发育了咸水湖相 Es_4^+ 烃源岩和淡水深湖相的 Es_3^+ 烃源岩 2 套优质烃源岩系^[13]。利津和牛庄洼陷的 Es_4^+ 和 Es_3^+ 烃源岩层系中暗色泥岩厚度最大,而且埋深大,有利于成烃演化,所以生烃条件最好,目前发现的油气也主要围绕利津和牛庄洼陷分布(图 1,4)。民丰洼陷和博兴洼陷的 Es_4^+ 和 Es_3^+ 烃源岩层系中泥岩厚度相当,但由于民丰洼陷烃源岩之上沉积盖层厚

度较大,热演化程度较高,故民丰洼陷的油气资源比博兴洼陷更为富集。

另外,东营凹陷在古近纪末发生了一定规模的抬升剥蚀,但洼陷带剥蚀量很小,各洼陷基本上为持续沉降—深埋洼陷,具有较高的埋藏速率和有机质转化率,有利于在烃源岩层段形成流体异常高压,促进了油气运移成藏。但各洼陷烃源岩埋藏深度、发育面积和演化程度具有明显的差异性,从而导致各洼陷油气富集程度存在明显不同。其中,利津洼陷烃源岩分布面积最大,沉降最深,有机质转化程度最高,目前埋藏深度多大于 3 000 m,深部形成高演化的凝析气藏,环洼陷形成胜坨、东辛、滨南等多个亿吨级大油田以及众多小型气藏(田)。牛庄洼陷油气富集程度次之,民丰洼陷虽发育较好的烃源岩,埋藏深度也大,但分布局限,所以资源量最小,目前发现的油气数量也最少。

结合东营凹陷油气成藏研究相关成果^[14,15],东营凹陷各洼陷烃源岩成烃成藏也有差异,主要生烃期为东营运动以后的新近纪晚期和第四纪,大规模的油气运聚成藏时期与主要生烃期相一致,以晚期成藏为主。这一点与古近纪末剥蚀厚度较大的东濮凹陷不同,而后者主要在古近纪末期大量生烃并聚集成藏。

3 同一洼陷不同构造部位、不同层段烃源岩热演化及生烃特征

由于同一生油洼陷不同构造部位和不同层段

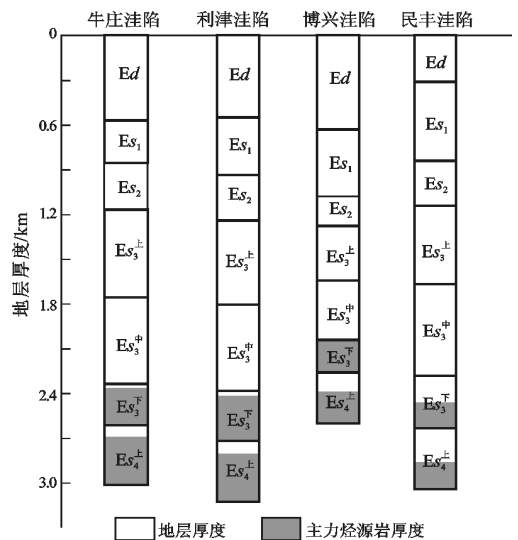


图 4 渤海湾盆地东营凹陷不同洼陷古近纪地层厚度及主力烃源岩厚度对比

Fig. 4 Contrast of formation thickness and source rock thickness in Paleogene between different sub-depressions in Dongying Depression of the Bohai Bay Basin

的烃源岩的沉积环境不同,因此在烃源岩沉积厚度、埋藏演化史、有机质类型和丰度等方面均存在差异,其生烃特征的差异性很强。

3.1 东濮凹陷前梨园洼陷不同构造部位烃源岩生烃差异性

东濮凹陷各洼陷均具有继承性沉降的特点,但由于洼陷中心与斜坡区沉降沉积条件的差异,使得每个洼陷中心区和斜坡区的烃源岩生烃条件和热演化过程都存在较大差异。以前梨园洼陷为例,在古近纪时期,洼陷中心区烃源岩埋深大、热演化程度高,率先进入生烃阶段,可提供较充足的油气源,而洼陷斜坡区热演化程度低,早期生烃量很小,后期逐渐增大,在古近纪末才进入了大量生烃阶段;到古近纪末期,洼陷中心区累积生烃量远大于洼陷斜坡区;新近纪以来,洼陷斜坡区成为主要生烃区,生烃量远大于洼陷区,可提供较充足的油气源(图 5)。

东濮凹陷各洼陷古近纪生成的油气主要集中于洼陷中心区,此期生成的油气沿着活动断裂和砂岩输导层运移至构造高部位聚集。新近纪以来的二次生烃阶段,在古近纪末期热演化和生烃强度大的洼陷中心部位,剩余生油潜力小,而在古近纪末期热演化和生烃强度较小的斜坡部位,剩余生烃潜力大。因此,新近纪以来的二次生烃(尤其是生油)以洼陷斜坡带烃源岩为主,晚期生成了大量高成熟油气。由于在新近纪以来的二次生烃高峰时期,烃源岩埋藏深,区域构造稳定,油气主要在生烃层系中就近运移聚集,从而造成了晚期形成的深层凝析气藏环生烃洼陷分布的格局^[11,12]。

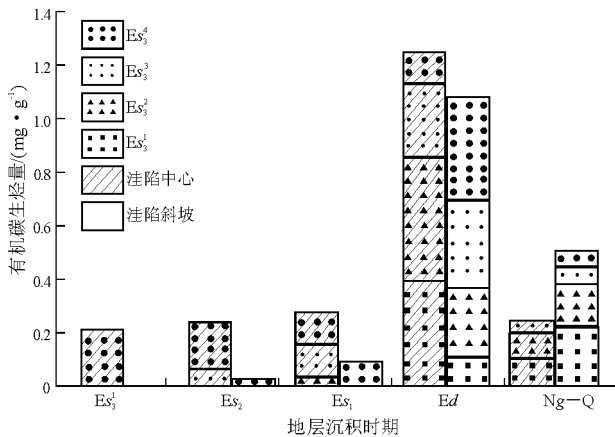


图 5 渤海湾盆地东濮凹陷前梨园洼陷中心和斜坡部位 E_{s_3} 烃源岩不同时期生烃量对比

Fig. 5 Comparison of hydrocarbon generation quantity of E_{s_3} source rock in different stages between the central and slope area in Qianliyuan sub-depression, Dongpu Depression of the Bohai Bay Basin

3.2 东濮凹陷前梨园洼陷沙三段各亚段烃源岩生烃差异性

东濮凹陷 E_{s_3} 烃源岩层系地层厚度较大,洼陷主体部分厚度超过 2 000 m,在纵向上可细分为 4 个亚段。同一洼陷或构造部位, E_{s_3} 不同亚段所经受的埋藏史、热演化史及生烃史不同,加上各个亚段的有机质丰度和类型不尽相同,导致不同层段的生烃、运聚和成藏史可能有着较大差别。

根据濮深 12 井热演化史图及其 E_{s_3} 不同亚段累积生油、气量随时间变化图(图 6),可以明显看出,濮深 12 井 $E_{s_4}^4$ 下部及 $E_{s_4}^4$ 烃源岩以古近纪后期的一次生烃为主; $E_{s_3}^4$ 上部和 $E_{s_3}^3$ 在古近纪以生油为主,新近纪则以生气为主,是二次生气的最主要烃源岩层段,生成了大量凝析气; $E_{s_3}^2$ 下部在东营期末达到了生油高峰,生成了大量成熟油,新近纪以来生油量有所增加,但仍以一次生油为主;而 $E_{s_3}^2$ 上亚段和 $E_{s_3}^1$ 亚段新近纪以来以大量生油为主,生成了大量中—高成熟的石油和一定数量的伴生气。由于 $E_{s_3}^2$ 和 $E_{s_3}^1$ 烃源岩条件优于 $E_{s_3}^3$, $E_{s_3}^2$ 和 $E_{s_3}^1$ 烃源岩的生油量最终超过了 $E_{s_3}^3$ 。由此可见,由于母质条件和成烃演化过程的差异, E_{s_3} 不同亚段的烃源岩具有明显不同的生烃史,油气就近运移聚集的特性使得这种差异性决定了不同亚段中油气聚集数量和流体相态的不同。

3.3 东营凹陷牛庄洼陷不同层段烃源岩生烃差异性

勘探实践表明,藻类是湖相优质烃源岩生烃潜力最大的有机母质。有机岩石学分析表明,东营凹

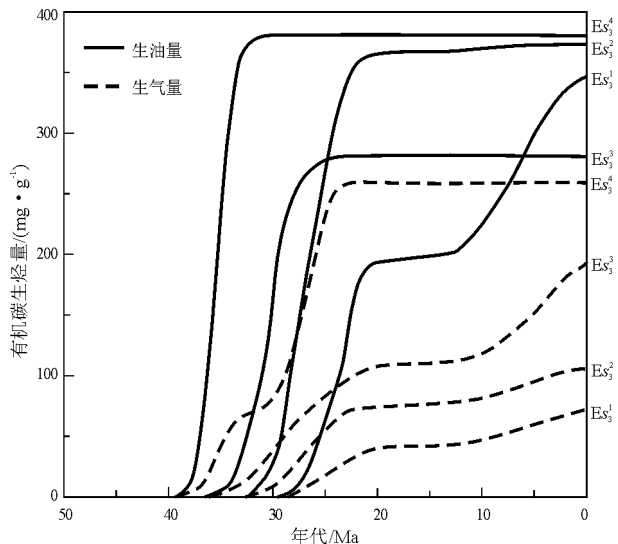


图 6 渤海湾盆地东濮凹陷濮深 12 井 E_{s_3} 烃源岩不同亚段累积生油、气量随时间变化

Fig. 6 The cumulative quantity of oil and gas generation versus time in the different subdivisions of E_{s_3} source rock of Well Pushen12 in Dongpu Depression of the Bohai Bay Basin

陷牛庄洼陷 $E_{s_4}^+$ 烃源岩中可见到小古囊藻、渤海藻、颗石藻、葡萄藻,以及大量被降解后藻类遗体。电镜观察发现,这些浮游藻类组分往往顺层分布,形成大量有机质富集纹层^[16]。

纵向上,牛庄洼陷各烃源岩层段有机质类型及其组合差异性较大,同一层段不同亚段也有所不同。 $E_{s_4}^+$ 下部以德弗兰藻化石组合为主,颗石藻与德弗兰藻属有共生关系,上部富含渤海藻和盘星藻属,藻类属种演变反映水体逐渐淡化的过程。 $E_{s_3}^+$ 沉积时期,湖水较深,湖内浮游生物极为繁盛,沟鞭藻类、疑源类、介形类及鱼等生物遗体往往顺层分布,形成夹在泥质纹层中间的有机质富集层。 $E_{s_3}^+$ 沉积时期,东营凹陷主体为三角洲相沉积,有机质富集层不发育,主要为分散有机质,镜下既能见到低等水生生物来源的盘星藻、沟鞭藻等藻类,也能见到一定数量来源于高等植物的组分^[16]。

横向上,自洼陷边缘向洼陷中心,沉积有机质的生物组合具有从陆生及水生生物相混合逐渐过渡到以水生生物组合为主的特征。向洼陷中心,陆源有机质的影响减弱,湖相有机质的影响增强。

以上有机质组合类型的差异性为烃源岩层空间上生烃差异的决定性的控制因素之一,而且在东营凹陷其它洼陷具有普遍性。

由于东营凹陷牛庄洼陷不同层段烃源岩生烃母质的差异性,决定其生烃门限和成油高峰的深度差别也较大。其中, $E_{s_4}^+$ 烃源岩生油门限深度一般在 2 000 m 左右,达到生油高峰的深度在 2 700 m 左右,对应的现今地温均大于 100 °C; $E_{s_3}^+$ 烃源岩一般在 2 500 m 左右进入生油窗,达到生烃高峰的深度一般大于 3 000 m。

4 结论

1) 渤海湾盆地富油凹陷往往发育多个古近纪生烃洼陷,具有多个生烃中心和多套烃源岩层。受块断运动差异性的影响,不同洼陷沉降幅度、烃源岩特征及热演化生烃史存在较大差异,通常靠近控凹断裂的洼陷烃源岩最发育、埋藏最深、生烃能力最强、资源量最丰富。

2) 富油凹陷内同一生油洼陷,主要生烃洼陷中心区与斜坡区的烃源岩生烃母质、热演化生烃期存在一定的空间和时间差异。由于沉积环境不同,洼陷深水区烃源岩生油母质以低等水生生物为主,洼陷边缘陆源有机质成分增多;早期以洼陷中心部位的烃源岩生油为主,斜坡区烃源岩未进入生油窗;晚期洼陷

区烃源岩达到生气阶段,斜坡区烃源岩生油为主。

3) 同一套厚度较大烃源岩如 E_{s_3} , 不同亚段随沉积环境的变化和埋藏深度的不同,其母质类型和热演化过程存在差异,导致 E_{s_3} 不同亚段的烃源岩具有不同的生烃史,这种差异性决定了不同亚段地层中油气聚集数量和流体性质的差异。

4) 渤海湾盆地不同富油凹陷相同层系烃源岩的埋藏演化及生烃特征也存在较大差异性。东营凹陷古近纪末期虽抬升剥蚀作用相对较弱,但烃源岩埋藏相对较浅,生烃作用较弱,以新近纪晚期生烃为主;东濮凹陷古近纪末期烃源岩埋藏深度较深,热演化程度较高,洼陷区烃源岩已开始大规模生油气,但东营运动强烈,东营组剥蚀量大,导致新近纪具有明显的二次生烃现象。

参考文献:

- 胡见义,黄第藩. 中国陆相石油地质理论基础[M]. 北京:石油工业出版社,1991
- 王涛. 中国东部裂谷盆地油气藏地质[M]. 北京:石油工业出版社,1997
- 陈建瑜,熊书权,毕研鹏等. 断陷盆地中含油气系统的特征[J]. 石油学报,2000,21(2):36~41
- 陈云林. 论富油洼陷及其意义[J]. 勘探家,1999,4(2):8~11
- 朱光有,金强,张水昌等. 济阳拗陷生烃洼陷的成因类型及生烃潜力比较[J]. 天然气工业,2005,25(11):17~20
- 刘华,蒋有录,陈涛等. 陆相断陷盆地油气有效输导体系识别——以东营凹陷中央隆起带为例[J]. 石油实验地质,2008,30(3):232~235
- 樊生利,王秀林,苏玉山. 东濮凹陷断裂系统构造格局与油气聚集[J]. 断块油气田,1995,2(3):16~23
- 苏惠,曲丽萍,张金川等. 渤海湾盆地东濮凹陷天然气成藏条件与富集规律[J]. 石油实验地质,2006,28(2):123~128
- 郝雪峰,熊伟,卓勤功等. 东营凹陷胜利村背斜成因新认识[J]. 油气地质与采收率,2003,10(6):12~14,17
- 蒋有录,荣启宏,宋建勇等. 渤海湾盆地东营凹陷博兴地区油气藏形成与分布特征[J]. 石油实验地质,2003,25(5):452~457
- 鲁雪松,蒋有录,常振恒等. 东濮凹陷东营组地层剥蚀厚度估算及其意义[J]. 地质科技情报,2007,26(2):8~12
- 蒋有录,常振恒,鲁雪松等. 东濮凹陷古近系凝析气藏成因类型及其分布特征[J]. 中国石油大学学报(自然科学版),2008,32(5):28~34
- 张林晔,孔祥星,张春荣等. 济阳拗陷下第三系优质烃源岩的发育及其意义[J]. 地球化学,2003,32(1):35~42
- 蒋有录,刘华,张乐等. 东营凹陷油气成藏期分析[J]. 石油与天然气地质,2003,24(3):215~218
- 朱桂林. 渤海湾盆地东营凹陷第三纪同沉积构造控砂控油作用[J]. 石油实验地质,2007,(6):545~548,553
- 李丕龙. 陆相断陷盆地油气地质与勘探:陆相断陷盆地油气生成与资源评价[M]. 东营:石油大学出版社,2003. 11~14