

文章编号:1000-0550(2017)01-0173-09

doi: 10.14027/j.cnki.cjxb.2017.01.017

渤南洼陷古近系早期成藏作用再认识及其地质意义

刘鹏

中国石化胜利油田分公司勘探开发研究院,山东东营 257015

摘要 传统观念认为渤南洼陷古近系具有三期成藏、晚期为主的特点。随着咸化湖盆烃源岩具有早生早排、生排烃量大的新认识的提出,利用钻井、地震及分析化验资料开展了渤南洼陷古近系早期成藏作用的重新评估。结果显示:渤南洼陷沙四上亚段发育有咸化环境下形成的烃源岩,地球化学参数表明其具有生成大量油气的能力,是早期成藏的物质基础;流体包裹体荧光颜色、均一温度共同指示出渤南洼陷罗家地区和三合村洼陷存在早期成藏,三合村洼陷古近系油气是在东营组沉积早期孤南断层断裂较小时由渤南洼陷罗家地区运移而来;早期成藏作用的再认识不但使三合村洼陷古近系的油气勘探取得突破,而且构建了完整的油气成藏期次序列;早期成藏造成的岩石润湿性反转利于优势运移通道继承性发育,同时成藏过程中伴随的有机酸充注利于储集空间发育,更重要的是早期成藏作用的再次认识将会转变勘探思路、拓展勘探选区,带来了重要的地质意义和勘探启示。

关键词 早期成藏;成藏期次;地质意义;渤南洼陷;咸化湖盆

第一作者简介 刘鹏,男,1986年出生,博士,副研究员,沉积学与储层地质学,E-mail:liupeng119.slyt@sinopec.com

中图分类号 P618.13 **文献标识码** A

0 引言

渤南洼陷油气成藏期次问题已有多位专家开展过相关研究,前人主要从盆地构造演化、温压场演化等方面入手,利用生排烃期分析法、油藏饱和压力分析法及流体包裹体均一温度等方法对成藏期次开展了研究,认为渤南洼陷古近系经历了两次充注、三次成藏过程,即距今 29 Ma 左右的东营组沉积早期第一次充注、距今 8~0 Ma 的馆陶组沉积末期以及明化镇组沉积期分别为第二次充注的早期和晚期^[1-3]。前人在成藏期次研究中普遍认为渤南洼陷古近系存在东营组沉积期的早期成藏,关于这一成藏时期的论述和提出的证据也较为成熟、完善。但对于这一早成藏期,认为只生排少量的油气,波及范围有限。这一认识指导下,传统观念认为位于渤南洼陷东南部的三合村洼陷没有勘探潜力,是勘探的禁区,实际上该区历经了 30 多年的勘探,并未取得突破。三合村洼陷没有勘探潜力这一结论是基于其本身不具备生烃条件^[4-5],渤南洼陷晚期生成的油气很难穿过盆缘负向构造区在浮力驱动下运移到三合村洼陷这一推论下的。但随着近年来咸化湖盆烃源岩研究的不断深入,认识到咸化环境烃源岩具有早生早排、生排烃时期

长、资源量大的特点^[6-11]。这一认识带来重要启示,即存在咸化环境烃源岩的盆地,以往勘探工作中是否忽视了其早生早排、生排烃量大的特点?早成藏期生排的油气应予以足够的重视,寻找早成藏期油气的有利聚集区应成为勘探的重要方向。因此,本文在前人研究基础上通过早期成藏证据的提出证实了渤南洼陷南部斜坡和三合村洼陷早期成藏的存在,并提出了早期成藏新认识所带来的地质意义与启示。

1 区域地质概况

渤南洼陷北靠埕东凸起,南临陈家庄凸起,西与义和庄凸起相邻,东为孤岛潜山,发育北东、北东东向及一系列近东西向断裂,是济阳拗陷沾化凹陷的一个负向构造单元。洼陷内充填古近系的孔店组、沙河街组、东营组,新近系馆陶组、明化镇组及第四系平原组。渤南洼陷北陡南缓,为一典型的箕状洼陷,其中南部缓坡带从西往东又可分为邵家地区、罗家鼻状构造带以及罗家地区,罗家地区南部为三合村洼陷,二者以孤南断层为界(图 1)。渤南洼陷主要存在三套烃源岩,分别分布在沙四上亚段、沙三段以及沙一段,发育的三套烃源岩以及沙四上亚段顶部膏盐层、沙三段顶部白云岩共同将渤南洼陷古近系在纵向上分割

收稿日期:2016-01-11; 收修改稿日期:2016-03-14

基金项目:国家科技重大专项(2011ZX05006-001);中石化股份公司科技攻关项目(P11078) [Foundation: Major National Science and Technology Project, No.2011ZX05006-001; SINOPEC Scientific Problem Tackling Project, No.P11078]

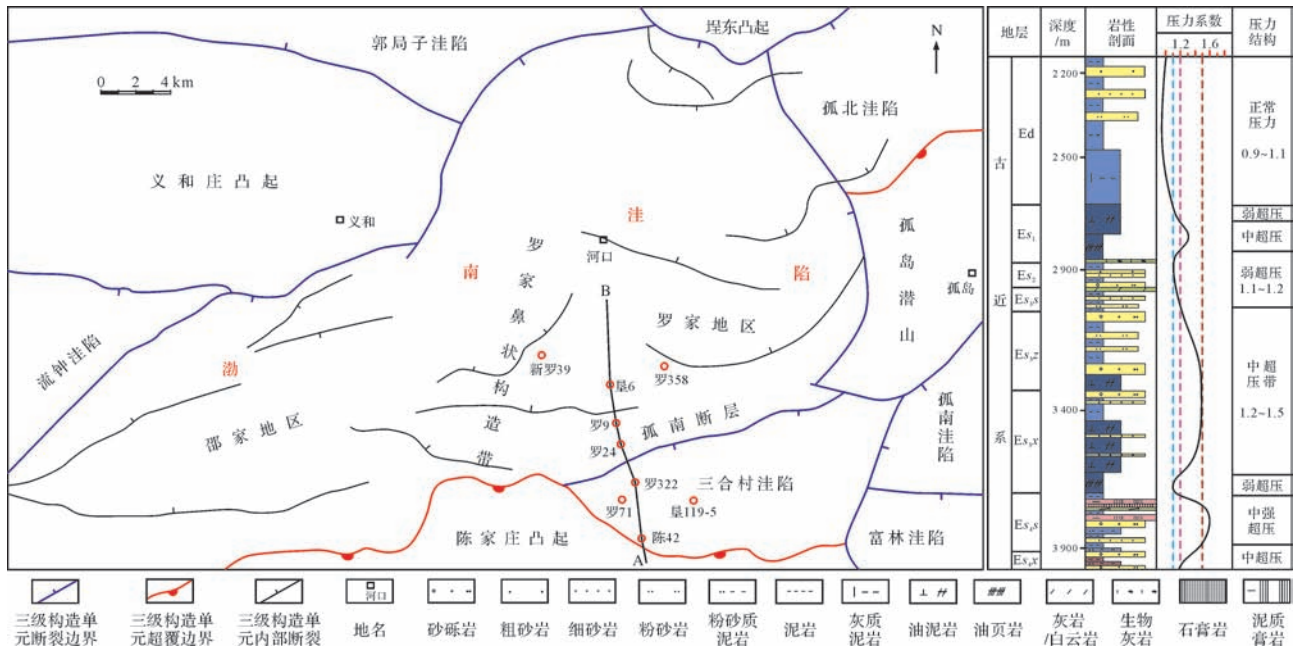


图1 渤南洼陷区域位置及地质结构柱状图

Fig.1 Regional location and geological structure of Bonan sag

为三个独立的压力系统(图1)。

2 早期成藏问题的提出

传统观念认为渤南洼陷具有多期成藏、晚期为主的特点,这一认识是基于淡水环境烃源岩产生的^[1-3],也即是淡水环境下烃源岩的排烃门限一般在埋深3 000 m左右,只有到达这一埋深条件,温度和压力才可达烃源岩的排烃门限,此深度以下才有可能产生烃类,当埋深到达3 500 m左右时到达主排烃期,开始大量生排烃,此理论一直以来指导着油气勘探,从而也形成了晚期成藏为主的传统认识。而近年来形成的咸化环境烃源岩新理论^[6-11],认识到咸化环境下水体盐度较高,高盐度水体在扩散作用下和低盐度水体混合,致使湖盆水体的盐度整体升高,因此会造成大量生活在低盐度或淡水中的生物死亡,由于河流不断给湖盆供给生物和有机物质,当水体盐度继续升高时新进入的各种生物死亡并沉于湖底,水体较深的湖底造成的还原环境易形成腐泥相干酪根,随着河流不断输送生物和有机物质,湖盆中生物不断死亡堆积,从而为转化成油气奠定了物质基础。此外在有机质后期热演化过程中,咸化环境下发育的膏盐层具有良好的热传导作用,使其发育层段及上下地层温度产生异常高值^[12],对烃源岩热演化具有显著的促进作用,因此同等埋深条件下咸化环境烃源岩往往到达了更

高的热演化阶段,有利于有机质向油气的转化,实际上咸化环境烃源岩在埋深2 400 m左右便到达了排烃门限开始生排烃,具有早生早排的特点^[6]。

在这一新认识指导下,开展了渤南洼陷早期成藏系列问题的研究。渤南洼陷沙四上亚段广泛发育一套咸化环境烃源岩,为渤南洼陷主要的烃源岩之一^[13-14],这套烃源岩厚度较大,最厚可达200 m,厚度高值区主要分布在陡坡带和洼陷带。渤南洼陷沙四上亚段沉积期在咸化环境控制下,其有机质来源具有双重性,既有水生生物,又有陆生高等植物,有机质类型以I~II₁型为主兼有II₂~III型,地球化学参数显示的有机质丰度、成熟度等都指示着这套烃源岩的热演化程度已达到成熟或过成熟阶段(表1)。与膏岩盐伴生的膏质泥岩或含膏泥岩等烃源岩岩石类型,其 γ 蜡烷指数以及 C_{35}/C_{34} 值都比纯泥岩要高,指示出这一类烃源岩形成于咸化环境,同时其 $C_{29}S/(S+R)$ 要比纯泥岩高(表1),代表着具有更高的成熟度,显示出咸化环境下形成的烃源岩生烃能力更好,具备早期大规模生、排烃的条件。

3 早期成藏的证据

多位专家普遍认为渤南洼陷古近系存在东营组沉积期早期成藏^[1-3]。但渤南洼陷古近系沙四段早成藏期的油气能否波及到南部斜坡的罗家地区以及

表1 渤南洼陷沙四上亚段烃源岩地球化学参数

Table 1 The geochemical parameters of source rock in the upper part of 4th member of Shahejie Formation of Bonan sag

烃源岩类型	有机质类型	有机碳/%	氯仿“A”/%	R_o /%	$C_{29}S/(S+R)$	γ 蜡烷指数	C_{35}/C_{34}
膏质泥岩含膏泥岩	I ~ II ₁ 型为主	1.0~2.0	0.14~0.34	0.60~1.02	0.38~0.52	0.15~0.68	1.01~2.15
泥岩					0.30~0.38	0.25	0.59~0.77

盆缘的三合村洼陷? 前人研究没有给出确切答案或持否定态度^[1-3]。本文主要通过流体包裹体的分析测试证明了罗家地区和三合村洼陷早期成藏的存在,证实了早成藏期生排的油气能够波及到盆缘的三合村洼陷。需要指出的是:渤南洼陷沙四段烃源岩在早期排出的油气受控于沙四段独立的压力系统(图1),主要在层内进行横向运移^[15-16],而这一时期的渤南洼陷沙四段与盆缘三合村洼陷的沙三段对接,因此本次研究所用流体包裹体的取样点来自渤南洼陷罗家地区沙四段和三合村洼陷沙三段。

3.1 流体包裹体荧光颜色

有机流体包裹体的荧光特征反映了其内有机质的成分特征及热演化程度^[6,17],当其中有机质芳烃成分越高时,其荧光光谱主峰向长波方向偏移,即“红移”,反之则“蓝移”。而有机流体包裹体形成温度越高,其中石油热演化程度越高,石油因裂解导致芳烃成分减少,低分子量成分增加,由此造成荧光光谱向短波方向偏移,即“蓝移”^[6]。由此可见,有机流体包裹体的荧光颜色及其对应的波长由红色→橙色→黄色→绿色→蓝白色→无色的变化,反映了有机质从低成熟到高成熟的演化,因此可以通过流体包裹体荧光颜色的差异性大概判断成藏期次。研究中,运用双通道微束荧光光谱分析仪定量获取了不同成熟度的油包裹体荧光颜色和光谱。

从荧光观测来看,渤南洼陷罗家地区荧光颜色大致可分为橙黄色以及蓝白色两类,其中橙黄色荧光显

示样品点均一温度一般小于 80℃,如新罗 39(图2a);此外,罗 358 井中蓝白色荧光和橙黄色荧光都有显示,其样品点均一温度也有 82.7℃与 101.7℃两个值(图2b),反映了两期成藏的特征。结合不同荧光颜色所代表的石油成熟度标准,认为橙黄色荧光代表的石油成熟度较低,应为早期成藏所致。因此,在前人研究基础上,结合本次流体包裹体的荧光分析,认为渤南洼陷罗家地区应存在早期成藏。

3.2 流体包裹体均一温度

大量前人研究提供的证据^[1-3]及本次研究中流体包裹体的分析结果都证实了渤南洼陷罗家地区曾受到早成藏期油气的波及,但这一早成藏期生排的油气能否跨过南部的孤南断层进入三合村洼陷?

通过对罗家地区沙四段和三合村洼陷沙三段流体包裹体均一温度测定、统计显示:罗家地区沙四段包裹体均一温度出现两个峰值区间,分别为 70℃~85℃以及 95℃~110℃(图3b),低温包裹体的出现标志着早期成藏的发生;同时,三合村洼陷沙三段也主要存在两个温度区间,分别为 75℃~90℃以及 95℃~110℃(图3b),结合三合村洼陷罗 322 井的沉积埋藏史发现均一温度较低的区间 70℃~85℃对应了东营组沉积早期和馆陶组沉积晚期两个时期(图3a),成藏期次具有多解性。但这两个时期沙四段生烃灶埋深差异较大,分别为 3 100 m 和 3 700 m,虽生成的都为成熟油,但不同生烃灶埋深情况下形成的原油成熟度差异明显,因此对均一温度区间 70℃~85℃样品点

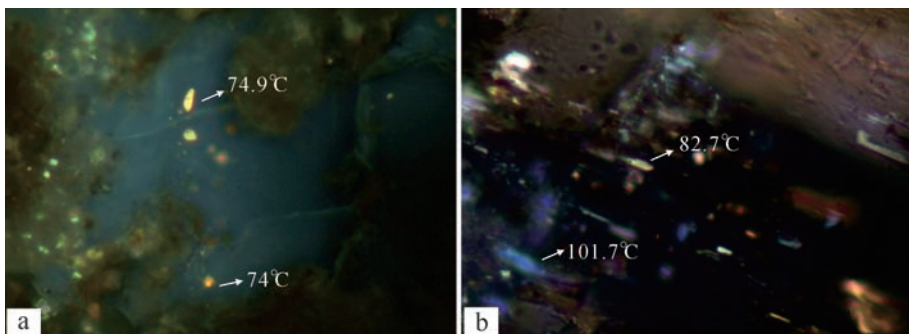


图2 渤南洼陷新罗 39、罗 358 井包裹体均一温度与荧光颜色

a.新罗 39, 2 924.4 m, 灰质泥岩, 溶孔充填方解石内见油包裹体, 1×100 uv; b.罗 358, 2 615.5 m, 砂岩, 石英颗粒裂纹内见油包裹体 2×100 uv。样品点位置见图 1。

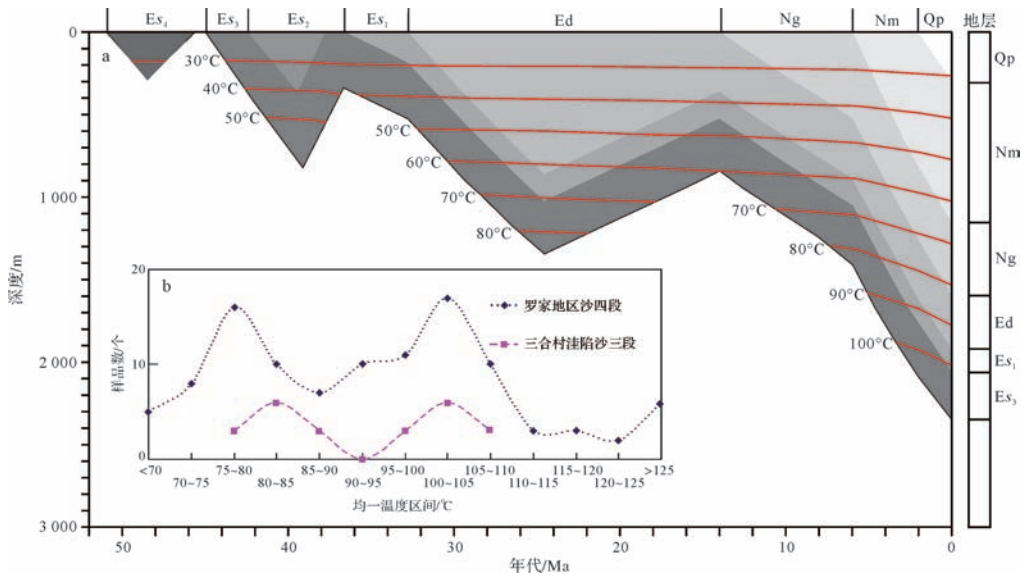


图3 渤南洼陷罗家地区与三合村洼陷成藏期次分析

a.三合村洼陷罗322井沉积埋藏史;b.三合村洼陷与罗家地区均一温度分布

Fig.3 Analysis on reservoir forming period of Luoia area in Bonan sag and Sanhecun sag

的原油成熟度进行了分析。最终发现:温度区间70°C~85°C的样品原油 T_s/T_m 比值较低,Pr(姥鲛烷)/Ph(植烷)的比值也较低,此外其他的一系列反映原油成熟度的指标如石蜡指数、庚烷值等都相对较低^[5],总体反映出成熟度普遍偏低的特点。因此,均一温度区间70°C~85°C的样品点原油应为东营组沉积早期形成,从而证实了渤南洼陷早期生成的油气可波及至盆缘的三合村洼陷,三合村洼陷存在早期成藏。这一新发现打破了传统观念下早期成藏生排油气量少、波及范围局限的认识,具有重要地质意义。

4 早期成藏作用产生的现实意义

4.1 三合村油田的发现

现今地质条件显示三合村洼陷由断距较大的孤南断层将其和北部的渤南洼陷罗家地区分隔,三合村洼陷扇体对接北部致密中生界(图4b),来自渤南洼陷的油气很难运移至三合村洼陷。

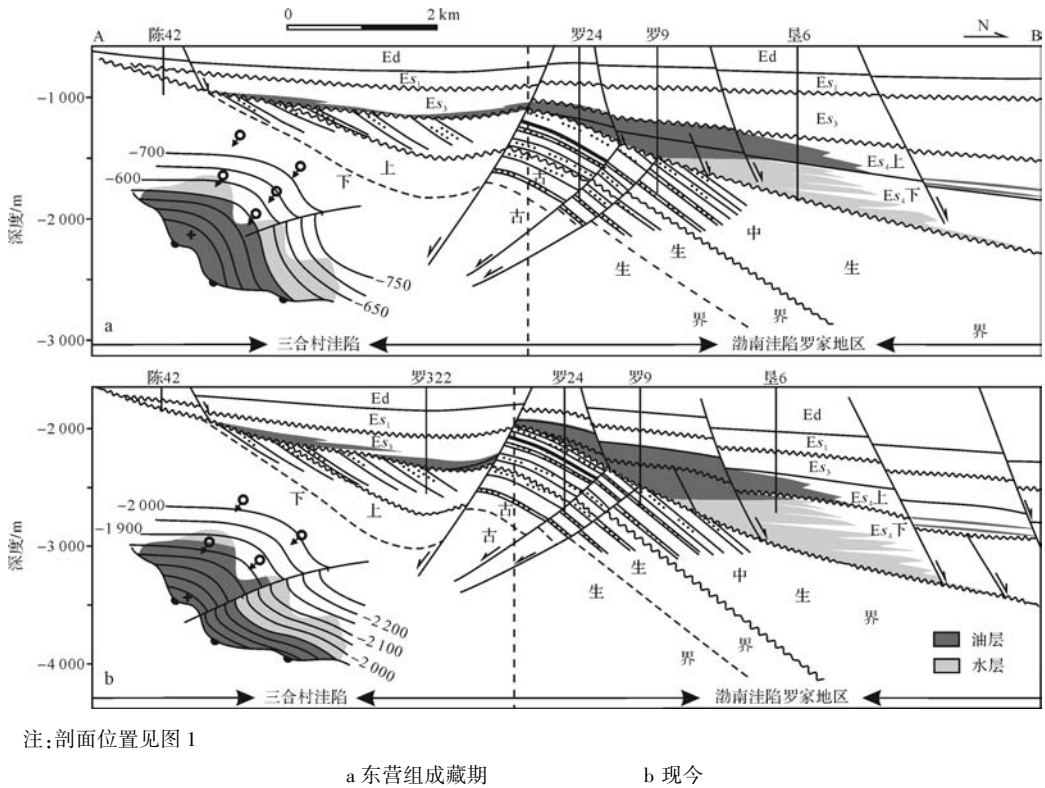
但在咸化湖盆早期成藏认识指导下,认为早成藏期(东营组沉积早期)油气可运移至渤南洼陷南部的罗家地区,这一认识已从发现的油藏上得到了证实,罗家地区沙四段稠油油藏为东营期成藏^[18]。在此基础上,通过东营组沉积早期构造演化恢复,发现分隔三合村洼陷和罗家地区的孤南断层在东营组沉积早期活动较弱,尤其是其西侧断距微小,不足以断开整个扇体,断层两侧扇体相接、圈闭统一(图1、图4a),

早成藏期聚集在罗家地区的油气可顺畅运移至三合村洼陷。同时,三合村洼陷沙三段原油的生物标志物特征主要为:孕甾烷含量高,规则甾烷的分布形式为“V”型,成熟度高, $C_{29}S/(S+R)$ 值为0.43~0.44, C_{35} 升霍烷含量大于 C_{34} 升霍烷,具有明显的翘尾特征,伽马蜡烷指数为0.2~0.6,有 $C_{28-29,30}$ 二降藿烷^[5],这是渤南洼陷沙四上亚段咸化环境烃源岩的典型特征(表1);原油油性为稠油,与罗家地区稠油相同,成藏期次与罗家地区沙四段稠油一致。三合村洼陷沙三段在东营组沉积早期油气成藏后,孤南断层活动性增强,断距不断增大并逐渐断开罗家地区和三合村洼陷原本一体的油藏,直至现今形成了油藏错断、各自独立的分布状态(图4b)。

油气在早成藏期运移至三合村洼陷后在构造高部位聚集,最终在南部缓坡砂砾岩扇体发育区成藏,多形成地层不整合遮挡或岩性尖灭控制下的地层、岩性油藏(图4b),油气成藏后在漫长的地质历史过程中经历了一系列的构造运动,早期成藏油气聚集区也发育了多条次级断层,断层的发育对早成藏期油气分布又进行了调整,调整后断层上升盘含油面积增大、下降盘含油面积缩小(图4a,b)。

4.2 完整油气成藏期次序列的建立

咸化环境早期成藏波及范围较大这一认识指导下,三合村洼陷获得了勘探突破,由此引起了对早期成藏作用的重视,加之传统观念以中、晚期成藏为主



注:剖面位置见图1

图4 渤南洼陷罗家地区与三合村洼陷不同时期的油藏分布

Fig.4 Oil reservoir distribution in different periods of LuoJia area in Bonan sag and Sanhecun sag

的认识,从而早、中、晚三期成藏同等重要,三期成藏油气运移方式、聚集模式、形成的油藏类型等都有所差异。

渤南洼陷沙四上亚段烃源岩早成藏期生成的油气在层内以横向运移为主,油气聚集的层系主要为沙四段以及盆缘与沙四段储层对接的沙三段,多形成岩性油藏、岩性地层油藏;随着时间的推移、埋深的增大,沙三段淡水环境下的烃源岩逐渐成熟,在馆陶组沉积末期发生大规模排烃活动,同时这一时期沙四段烃源岩也有生排烃活动,两套烃源岩生成的油气首先在各自层内横向运移,多在沙四段顶部以及沙三段的有利圈闭中聚集成藏,形成岩性油藏、构造岩性油藏以及地层油藏,少部分油气运移至洼陷边缘时遇深大断裂进行纵向运移,多沿断层形成来自沙三段、沙四段烃源岩、混源的构造与构造岩性油藏;到明化镇组沉积末期,沙四上亚段咸化环境下的烃源岩已到过成熟阶段,以生成裂解气为主,生油有限,但这一时期沙三段淡水环境烃源岩正处于生油高峰期,此外沙一段烃源岩也有少量低熟油生成,由于已经历了两期成藏,靠近烃源岩的圈闭多被油气充满,沙三段、沙一段烃源岩在晚成藏期生成的油气多沿断层进行纵向输

导,在中浅层的圈闭中聚集成藏,形成众多的构造油藏、构造岩性油藏。因此,在三套烃源岩、三个独立压力系统控制下,早成藏期(东营组沉积早期)油气以横向层内运聚、自源成藏为主,中成藏期(馆陶组沉积末期)油气横、纵向运聚均有,自、混源成藏兼备,晚成藏期(明化镇组沉积期)油气以纵向运聚为主,自、混源油藏均有存在,由此建立了完整的油气成藏期次序列。

5 早期成藏的理论意义及启示

5.1 理论意义

5.1.1 早期成藏造成的岩石润湿性反转利于优势运移通道继承性发育

早期成藏过程波及到的储层中石油与岩石接触的时间相对较长,在长时间的接触下原本亲水的岩石可能会向亲油转变。由此,对渤南洼陷所有润湿性分析样品点进行了统计并划分了成藏期次。分析发现:晚期成藏的样品点中亲水岩石占绝对优势,表明晚期成藏使岩石亲水的固有特性基本不变;中期成藏样品点中亲水岩石也占据绝对优势,但中性样品出现,所占比例达到 22% 个,亲油岩石样品所占比例依然较

低(图5),中性和亲油样品的增多说明随着石油与岩石接触时间的增长,岩石亲水性有了一定的改变,开始向中性甚至亲油转变;早期成藏的样品中亲水岩石虽也占据优势,但亲油样品迅速增多,所占比例近30%(图5)。由此可见:岩石固有的亲水性很难改变,各成藏时期的亲水岩石样品都占据多数,但随着石油与岩石接触的时间增长,岩石的亲水性有向亲油转变的趋势,因此早期成藏有助于岩石润湿性发生反转。

岩石润湿性反转具有重要的石油地质意义,这是因为岩石固有的亲水性一旦反转为亲油后,其亲油的特点会使油膜的表面张力对同性质的原油具有吸附作用,使对油气运移起阻碍作用的毛细管力变为吸附力,成为油气运移的动力。因此,早期成藏过程中的石油的运移通道会成为优势运移通道,中、后期成藏过程中排出的油气会优先选择这一优势通道进行运移,从而使得优势输导体系继承性发育,一旦确定了早期成藏的运移路径,将会为中、后期油气的运移方向预测提供指导。

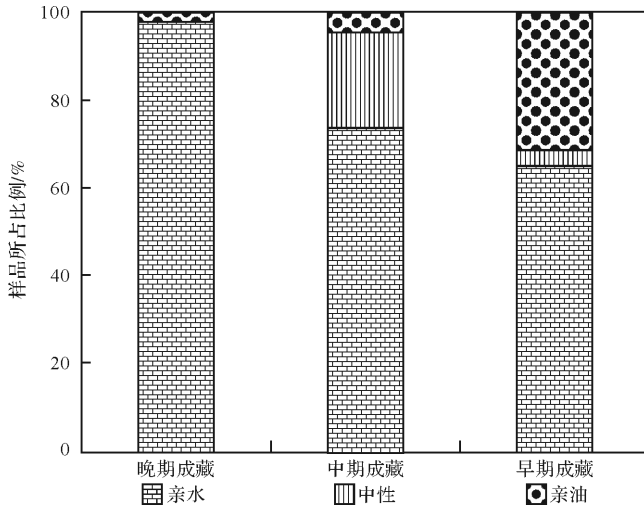


图5 渤南洼陷不同成藏期次岩石润湿性特点
Fig.5 Rock wettability feature in different reservoir forming periods of Bonan Sag

5.1.2 早期成藏伴随的有机酸充注利于储集空间发育

渤南洼陷古近系早成藏期,地层埋深相对较浅,所经历的机械压实作用较弱,保留有大量的原生孔隙^[19],生排烃过程中优先排出的有机酸迅速充满原生孔隙空间。在这一酸性成岩环境下,长石及灰质岩屑发生溶蚀,形成次生孔隙,储集空间不断增大;而对于早期油气充注过程中未被波及的储集体,往往发育

大量碳酸盐岩胶结物,胶结物填充原生孔隙,储层致密,不利于中、后期成藏油气进入。

基于三合村洼陷取芯井段的分析化验资料,通过成岩作用研究,恢复了早期油气充注保护原生孔隙的过程。首先,受控于咸化的沉积环境^[20],三合村洼陷古近系早成岩阶段形成少量方解石胶结物,保留有较多的原生孔隙,早成岩结束时,孔隙度在15%左右(图6);进入中成岩A1期,烃源岩开始生排烃,优先排出的有机酸进入到储集体中,受有机酸波及的储集体早期方解石胶结物被溶蚀,并伴有少量石英次生加大现象,产生次生溶蚀孔隙,中成岩A1期结束时孔隙度可达22%(图6);而这一成岩阶段对于没有被有机酸波及的储集体,其方解石胶结物继续增多,到中成岩A1期结束时孔隙度在11%左右(图6);进入中成岩A2期,受有机酸波及的储集体随着埋深的增大压实作用增强,孔隙度呈减小趋势,但递减速率较慢,到中成岩A2期结束时孔隙度在20%左右(图6),而

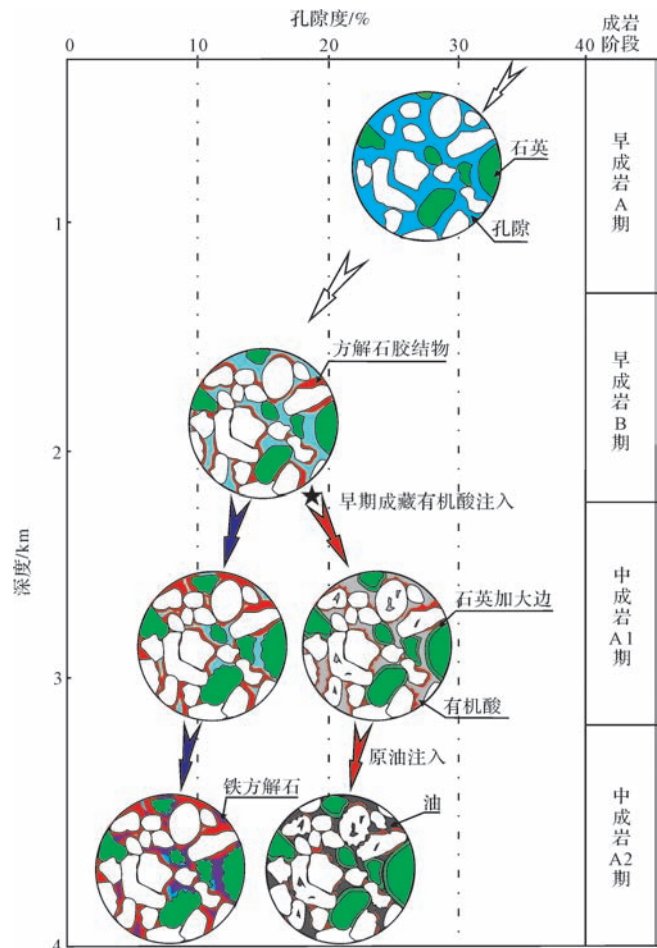


图6 早期油气充注利于储集空间发育模式
Fig.6 The model of early hydrocarbon filling to enhance reservoir spaces

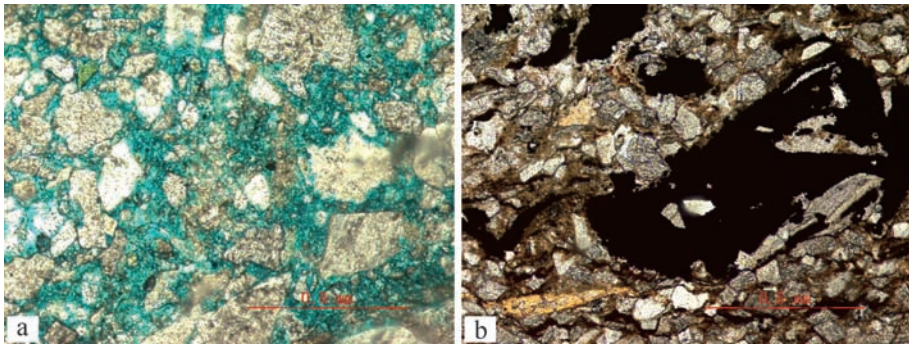


图7 三合村洼陷不同油气显示级别下的成岩作用

a.细—中砾岩,未见油气显示,蓝色铁白云石发育,见少量次生孔隙,罗71,2 088.2 m,10×10(-);b.含灰质不等粒岩屑砂岩,见油斑显示,原生和次生孔隙都较发育,垦119-5,2 276.1 m,10×10(-)。注:样品点平面位置见图1。

Fig.7 Diagenesis of samples with different level oil-gas shows in Sanhecun sag

未受有机酸波及的储集体,中成岩 A2 阶段孔隙度在强压实作用下不断减小,到中成岩 A2 结束时只有 8%左右(图 6)。这一认识在成岩现象上也得到证实,偏光显微镜下观察表明油气显示级别高的样品,其次生溶蚀孔隙非常发育,面孔率较高;而油气显示级别低或未见显示的样品点基本无次生溶蚀孔,储层致密(图 7)。因此,早期成藏过程中排出的有机酸可抑制碳酸盐岩胶结,利于溶蚀孔隙产生,使原生孔隙大量保存、次生孔隙不断增加。

5.2 勘探启示

对早期成藏作用的再次认识带来的绝不只是三合村洼陷油气勘探的突破,更重要的是这一认识对勘探战略带来了的重要启示,包括勘探思路的转变以及勘探选区的拓展。

首先,勘探思路上的转变。东部断陷盆地由于构造活动强烈,经历了多次抬升、沉降过程^[21],一直以来认为烃源岩直到晚期才开始大规模生排烃^[22],但随着对早期成藏作用的再次认识,认识到包括早期排烃在内的多次排烃过程均可生排大量油气,由此使传统只注重晚期成藏这一观念应逐渐向注重每一期成藏转变。此外,断陷盆地不同地质历史时期构造格局不同,油气运聚条件差异较大,使得晚期成藏油气难以到达的“不利区带”在较早成藏期可能具有有利的成藏条件,因此在勘探战略上不能轻言某个地区没有勘探潜力,应由只注重晚期成藏条件向注重不同时期成藏条件转变。

其次,勘探选区的拓展。济阳拗陷发育众多与三合村洼陷地质条件相似的盆缘小洼陷,这些小洼陷除个别埋深达到生、排烃门限外,多数不具备自源成藏

条件。但与这些小洼陷毗邻的具有早期成藏所需咸化环境烃源岩条件的洼陷绝不止渤南洼陷,东营凹陷和惠民凹陷的各个次级洼陷中都有咸化环境烃源岩发育。因此,从早期成藏角度重新评估它源油气的运聚条件,可能会带来盆缘小洼陷勘探的新空间,使勘探选区得到拓展。

6 结论

(1) 渤南洼陷沙四上亚段咸化环境下发育一套优质烃源岩,为早成藏期生排大量油气奠定了物质基础。

(2) 流体包裹体荧光颜色、均一温度共同指示出渤南洼陷罗家地区和三合村洼陷存在早期成藏,三合村洼陷古近系油气为东营组沉积早期由渤南洼陷运移而来。

(3) 在早期成藏作用再认识指导下,三合村洼陷古近系油气勘探取得突破;由此建立了包括早期成藏在内的完整的油气成藏期次序列。

(4) 早期成藏造成的岩石润湿性反转利于优势运移通道继承性发育,同时成藏过程中伴随的有机酸充注利于储集空间发育,具有重要的地质意义;更重要的是早期成藏作用的再次认识将会转变勘探思路、拓展勘探选区,对勘探战略带来重要启示。

参考文献 (References)

- [1] 徐兴友,徐国盛,秦润森. 沾化凹陷渤南洼陷沙四段油气成藏研究[J]. 成都理工大学学报:自然科学版,2008,35(2):113-120.
[Xu Xingyou, Xu Guosheng, Qin Runsen. Study on hydrocarbon migration and accumulation of Member 4 of Shahejie Formation in Bonan sag, Zhanhua depression, China[J]. Journal of Chengdu U-

- niversity of technology: Science & Technology Edition, 2008, 35(2): 113-120.]
- [2] 卢浩, 蒋有录, 刘华, 等. 沾化凹陷渤南洼陷油气成藏期分析[J]. 油气地质与采收率, 2012, 19(2): 5-8. [Lu Hao, Jiang Youlu, Liu Hua, et al. Study on formation stages of oil-gas reservoirs in Bonan subsag, Zhanhua sag[J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2012, 19(2): 5-8.]
- [3] 宋国奇, 刘雅利, 程付启, 等. 渤南孤北地区沙四段多储集类型油藏富集规律[R]. 胜利油田内部报告, 2014. [Song Guoqi, Liu Yali, Cheng Fuqi, et al. The enrichment laws of multi-type reservoir in the Es4 in Bonan and Gubei area[R]. Interior Report of Shengli Oilfield, 2014.]
- [4] 方旭庆. 济阳拗陷三合村洼陷油气运移与聚集规律[J]. 西安石油大学学报: 自然科学版, 2015, 30(3): 36-40, 66. [Fang Xuqing. Hydrocarbon migration and accumulation patterns in Sanhecun sag of Jiyang depression[J]. Journal of Xi'an Shiyou University: Natural Science Edition, 2015, 30(3): 36-40, 66.]
- [5] 王秀红, 张守春, 李政, 等. 沾化凹陷三合村地区油气来源及运移方向[J]. 油气地质与采收率, 2015, 22(1): 47-51. [Wang Xiuhong, Zhang Shouchun, Li Zheng, et al. Study on hydrocarbon sources and migration pathways in Sanhecun area of Zhanhua sag[J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2015, 22(1): 47-51.]
- [6] 蔡希源. 成熟探区油气精细勘探理论与实践[M]. 北京: 地质出版社, 2014: 95-113. [Cai Xiyuan. Oil and Gas Exploration Theory and Experience about Mature Exploration Areas[M]. Beijing: Geological Publishing House, 2014: 95-113.]
- [7] 张林晔, 孔祥星, 周文, 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. [Zhang Linye, Kong Xiangxing, Zhou Wen, et al. High-quality oil-prone source rocks in Jiyang depression[J]. Geochimica, 2003, 32(1): 35-42.]
- [8] 张林晔, 刘庆, 张春荣, 等. 东营凹陷成烃与成藏关系研究[M]. 北京: 地质出版社, 2005: 50-87. [Zhang Linye, Liu Qing, Zhang Chunrong, et al. Relation about Hydrocarbon Formation and Accumulation[M]. Beijing: Geological Publishing House, 2005: 50-87.]
- [9] 张林晔, 徐兴友, 刘庆, 等. 济阳拗陷古近系深层成烃与成藏[J]. 石油勘探与开发, 2011, 38(5): 530-537. [Zhang Linye, Xu Xingyou, Liu Qing, et al. Hydrocarbon formation and accumulation of the deep Palaeogene of the Jiyang depression[J]. Petroleum Exploration and Development, 2011, 38(5): 530-537.]
- [10] 金强, 朱光有. 中国中生代咸化湖盆烃源岩沉积的问题及相关进展[J]. 高校地质学报, 2006, 12(4): 483-492. [Jin Qiang, Zhu Guangyou. Progress in research of deposition of oil source rocks in saline lakes and their hydrocarbon generation[J]. Geological Journal of China Universities, 2006, 12(4): 483-492.]
- [11] 金强, 朱光有, 王娟. 咸化湖盆优质烃源岩的形成与分布[J]. 中国石油大学学报: 自然科学版, 2008, 32(4): 19-23. [Jin Qiang, Zhu Guangyou, Wang Juan. Deposition and distribution of high potential source rocks in saline lacustrine environments[J]. Journal of China University of Petroleum, 2008, 32(4): 19-23.]
- [12] 孙波, 蒋有录, 张善文, 等. 东濮凹陷北部膏盐岩分布特征及其对地层温度的影响[J]. 油气地质与采收率, 2012, 19(1): 28-30. [Sun Bo, Jiang Youlu, Zhang Shanwen, et al. Distribution characteristics of salt and its influence on geo-temperature, north Dongpu depression[J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2012, 19(1): 28-30.]
- [13] 宋国奇, 刘华, 蒋有录, 等. 沾化凹陷渤南洼陷沙河街组原油成因类型及分布特征[J]. 石油实验地质, 2014, 36(1): 33-38, 45. [Song Guoqi, Liu Hua, Jiang Youlu, et al. Genetic types and distribution characteristics of crude oils from Shahejie Formation in Bonan subsag, Zhanhua sag, Jiyang depression[J]. Petroleum Geology & Experiment, 2014, 36(1): 33-38, 45.]
- [14] 朱光有, 金强, 张善文, 等. 渤南洼陷盐湖—咸水湖沉积组合及其油气聚集[J]. 矿物学报, 2004, 24(1): 25-30. [Zhu Guangyou, Jin Qiang, Zhang Shanwen, et al. Salt lake-saline lake sedimentary combination and petroleum accumulation in the Bonan sag[J]. Acta Mineralogica Sinica, 2004, 24(1): 25-30.]
- [15] 卢浩, 蒋有录, 谷国翠, 等. 渤南洼陷沙三段油气运移路径分析[J]. 油气地质与采收率, 2012, 19(3): 49-52. [Lu Hao, Jiang Youlu, Gu Guocui, et al. Hydrocarbon migration characteristics in Bonan sag[J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2012, 19(3): 49-52.]
- [16] 刘雅利, 王永诗, 郝雪峰, 等. 渤南洼陷油气分布有序性探讨[J]. 油气地质与采收率, 2014, 21(4): 10-15. [Liu Yali, Wang Yongshi, Hao Xuefeng, et al. A discussion on the continuance of hydrocarbon distribution in Bonan sag[J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2014, 21(4): 10-15.]
- [17] Surdam R C, Crossey L J, Hagan E S, et al. Organic-inorganic interactions and sandstone diagenesis[J]. AAPG Bulletin, 1989, 73(1): 1-23.
- [18] 张善文. 济阳拗陷深层稠油成因机理、储层评价与成藏规律[D]. 广州: 中国科学院广州地球化学研究所, 2002: 25-35. [Zhang Shanwen. Formation mechanism, reservoir evaluation and accumulation of deep viscous oil[D]. Guangzhou: Guangzhou Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, 2002: 25-35.]
- [19] 孟昱璋, 刘鹏. 济阳拗陷渤南洼陷沙四上亚段碎屑岩成岩作用及其孔隙演化[J]. 中国石油勘探, 2015, 20(6): 14-21. [Meng Yuzhang, Liu Peng. Diagenesis and porous development of clastic rock in upper part of 4th Member of Shahejie Formation in Bonan sag of Jiyang depression[J]. China Petroleum Exploration, 2015, 20(6): 14-21.]
- [20] 于洋, 刘鹏, 宋国奇, 等. 渤南洼陷沙四上亚段多类型储集体沉积成岩差异性分析[J]. 中南大学学报: 自然科学版, 2015, 46(6): 2162-2170. [Yu Yang, Liu Peng, Song Guoqi, et al. Analysis of differences about sedimentation and diagenesis of multi-type reservoir in upper part of Es4 in Bonan sag[J]. Journal of Central South University: Science and Technology, 2015, 46(6): 2162-2170.]
- [21] 邹娟, 戴俊生, 张丹丹, 等. 构造活动强度划分断陷盆地构造区划—以饶阳凹陷为例[J]. 石油学报, 2014, 35(2): 294-302, 384. [Zou Juan, Dai Junsheng, Zhang Dandan, et al. Structural

divisions of rift basin based on the intensity of tectonic activity: A case study from the Raoyang sag[J]. *Acta Petrolei Sinica*, 2014, 35(2): 294-302, 384.]

[22] 刘华,李振升,蒋有录,等. 潍北凹陷孔店组烃源岩生烃史与油气成藏期分析[J]. *天然气地球科学*, 2014, 25(10): 1537-1546.

[Liu Hua, Li Zhensheng, Jiang Youlu, et al. Hydrocarbon generation history and accumulation period of Kongdian Formation in Weibei depression [J]. *Natural Gas Geoscience*, 2014, 25(10): 1537-1546.]

Geological Significance of Re-recognition on Early Reservoir Forming of Paleogene in Bonan Sag

LIU Peng

Research Institute of Petroleum Exploration and Development, Shengli Oilfield Company, SINOPEC, Dongying, Shandong 257015, China

Abstract: It was the traditional view that Paleogene of Bonan Sag had three hydrocarbon accumulation periods and the main period was later. With the proposed new theory that source rock in saline lacustrine basin was generated and expelled early and the quantity of generation and expulsion is various. Early reservoir forming process of Bonan Paleogene was re-evaluated using the analysis and testing data of drilling and seismic exploration. The research shows that source rock formed under saline environment is well developed in the upper part of 4th member of Shahejie Formation of Bonan sag, and geochemical parameters indicate that source rocks can generate a great number of oil and gas and that is the material basis of early reservoir forming. Fluorescent color and homogenization temperature of fluid inclusion indicate that early reservoir forming is developed in Luojia area of Bonan sag and Sanhecun sag. Oil and gas of Paleogene at Sanhecun sag was transferred from Luojia area at early sedimentary stage of Dongying group when Gunan fault throw was small. Re-recognition on early reservoir forming not only made breakthroughs in oil and gas exploration of Paleogene in Sanhecun sag, but also built complete reservoir forming period sequence. Rock wettability alternation caused by early reservoir forming helped successive development of dominant migrating pathway, organic acid filling through the process of reservoir forming helped development of the reservoir space, and, more importantly, re-recognition of early reservoir forming will help transforming the exploration strategy and expand the exploration area, which will bring significant geological and exploration implication.

Key words: early reservoir forming; hydrocarbon accumulation period; geological implication; Bonan sag; saline lacustrine basin