

# 陈家庄凸起北坡稠油地层油藏扇体侧向封堵性分析

刘军锸<sup>1,2</sup>, 尚墨翰<sup>3</sup>, 董宁芳<sup>2</sup>, 帅 萍<sup>2</sup>, 范振峰<sup>2</sup>

(1.中国地质大学(武汉)资源学院,湖北武汉 430074; 2.中国石化胜利油田分公司地质科学研究院,山东东营 257015; 3.中国地质大学(北京)地球科学与资源学院,北京 100083)

**摘要:**陈家庄凸起北坡沙河街组地层超覆圈闭发育,同时油源条件优越、储盖配置有利,具备形成规模地层油藏的有利条件。形成的地层油藏圈闭条件较为苛刻,其中底板条件是决定其能否形成有效圈闭的关键要素。以往针对济阳拗陷缓坡带的圈闭有效性主要考虑的是前古近系潜山的侧向封堵条件,由于潜山纵横向封堵条件变化较大,圈闭有效性预测难度较大。通过对研究区沙河街组扇体的物性、油性的差异性分析,提出缓坡带扇体自身形成的特稠油致密带(即稠油环)具有一定的侧向封堵能力,即扇体可自成圈闭,从而弱化了前古近系的底板条件的要求,拓宽了稠油地层油藏的勘探思路及阵地。并通过成藏关键要素的定量分析,明确了有利区的纵横向演化规律,拓展了勘探空间,打破了该区12 a勘探停滞不前的被动局面,并发现了 $2.462 \times 10^4$  t的规模储量阵地。

**关键词:**地层油气藏 物性 油性 特稠油致密带 侧向封堵 陈家庄凸起

**中图分类号:** TE112.322

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1009-9603(2014)04-0019-04

随着世界油气勘探技术发展和认识的不深入,在新发现的油气藏中地层油藏无论是在产量还是在储量上都占有不可忽视的地位<sup>[1]</sup>。对于济阳拗陷而言,陆相断陷盆地具有地层油藏广泛发育的有利石油地质条件,勘探潜力巨大<sup>[2]</sup>。截至2013年底,地层类油藏的探明储量已占济阳拗陷探明总储量的8%,成为胜利油区重要的增储稳产类型。前人针对济阳拗陷盆缘地层油藏进行过侧向封堵性研究,认为陈家庄凸起前古近系风化粘土层、硬壳以及不整合顶、底板正常沉积的非渗透性岩石组成了油气遮挡层<sup>[3]</sup>。但由于自西向东沙河街组超覆在不同地层之上(包括中生界、上古生界、下古生界、太古界),而且凸起不同层段风化程度有所不同,其侧向封堵能力变化大且难以预测,制约了勘探进程。通过对沙河街组扇体物性和油性的差异性分析,认为其自身具有一定的封堵能力,可以不考虑或弱化前古近系潜山的侧向封堵条件,从而极大地提升了盆缘超覆地层油藏的勘探空间。

## 1 区域地质概况

陈家庄凸起是济阳拗陷的一个次级正向构造单元,东接青坨子凸起,西与义和庄凸起相望,北邻沾化生油凹陷,呈东西向展布,横亘于济阳拗陷中

部。目前已发现陈家庄油田馆陶组超覆稠油地层油藏、罗家鼻状构造沙四段砂砾岩稠油地层油藏。除此以外,凸起及北坡整体勘探程度、认识程度均较低。

陈家庄凸起北坡自下而上钻遇了太古界、古生界、中生界和新生界,太古界和中、古生界组成了南高北低的斜坡状基底,新生界则形成了沉积盖层。其中沙河街组自北向南逐层超覆于前古近系之上,形成多期的地层圈闭。北部渤南和四扣洼陷主要生油层系为沙四段上亚段、沙三段下亚段和沙一段的暗色泥岩和油页岩沉积,生油岩厚度可达800~1 200 m<sup>[4]</sup>。研究区具备发育大规模地层油藏的有利石油地质条件。

## 2 沉积特征

研究区主要目的层系沙四段—沙三段为扇三角洲沉积。由于后期过路沉积的冲刷和地层的剥蚀作用,扇三角洲平原亚相相对不发育。平面上,由南至北(顺物源方向)砂体具有粒度由粗变细,分选逐渐变好的特点。纵向上,扇体具有明显的退积特点,即自下向上总体上具有粒度变细、厚度变薄的特点,形成一个大的多旋回正韵律层序,体现了向岸方向退积的沉积规律,而且单砂层组自下向上

收稿日期:2014-05-14。

作者简介:刘军锸,男,高级工程师,硕士,从事油气勘探研究。联系电话:(0546)8715030,E-mail:liujune861.slyt@sinopec.com。

基金项目:国家科技重大专项“渤海湾盆地精细勘探关键技术”(2011ZX05006-003)。

也总体表现为变细变薄的正旋回特征。

陈家庄凸起由于长期抬升,前古近系呈现沟梁相间的古地貌特征,扇体发育具有沟扇对应的特点,对应古冲沟的前方扇体更为发育,如中部地区古冲沟前方的陈162和虎16等井在沙三段钻遇规模较大的扇体,而在古梁子前方的虎16和邵11等井以泥岩为主,扇体不发育。

### 3 稠油地层油藏封堵性分析

顶、底板条件是地层圈闭能否形成有效圈闭的重要因素。纵向上沉积多旋回的演化,形成了有利的储盖配置。沙一段区域上的泥岩盖层及砂砾岩体沉积间断、迁移形成的局部泥岩盖层,形成有利的顶板条件。因此,该区圈闭能否形成有效圈闭的关键要素是底板条件。通过对该区物性和油性的差异性分析认为,二者差异性的共同作用使扇体自身具有一定的侧向封堵能力,从而弱化了底板的条件,拓展了稠油地层油藏的勘探空间。

#### 3.1 物性的差异性

研究区沙河街组物源来自南部的陈家庄凸起,随着扇体向前推进,岩性及物性呈现规律性变化。

由南自北,对于同一期扇体,岩性依次为厚层块状混杂砂砾岩、具有正递变层理的含砾砂岩或砂砾岩、厚度较薄的块状层理及平行层理砂砾岩。纵向自下而上表现为砂粒由粗变细的特点<sup>[5]</sup>。测井曲线一般表现为正旋回特征,呈弱齿化箱形或钟形。

通过研究区岩心资料,结合测井解释结果,统计出不同砂层组砂砾岩体的物性特征。平面上顺物源方向,同一期扇体的物性总体具有逐渐变好的特点(图1)。

以罗30、罗33、罗321井沙三段其中的一期扇体为例,近物源的罗30井孔隙度为2.063%、渗透率为 $0.82 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ ,离物源相对较远的罗33井孔隙度为13.98%、渗透率为 $3.81 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ ,扇体前端即距离凸起边界最远的罗321井孔隙度为24.5%、渗透率为 $90.623 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ (图2)。储层物性的这种变化规律,起到了侧向上的物性遮挡作用。纵向上,物性变化具有旋回性的特点,整体呈现逐渐变好的特点,且每一期扇体自下而上具有物性变好的特点,如罗9井扇体自下而上岩性由中砾岩变为含砾砂岩,孔隙度由12.65%增至15.96%、渗透率由 $0.475 \times 10^{-3}$ 增至 $256.91 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ ,每一期扇体孔隙度和渗透率均具有增大的特点。

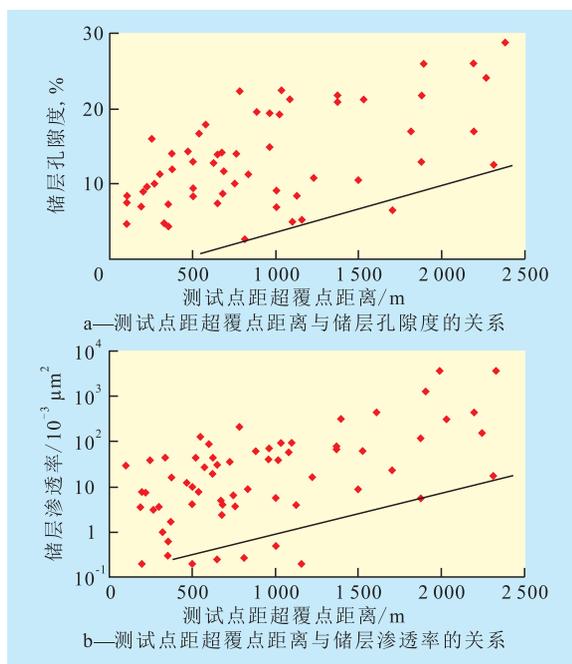


图1 扇体物性与推进距离的关系统计

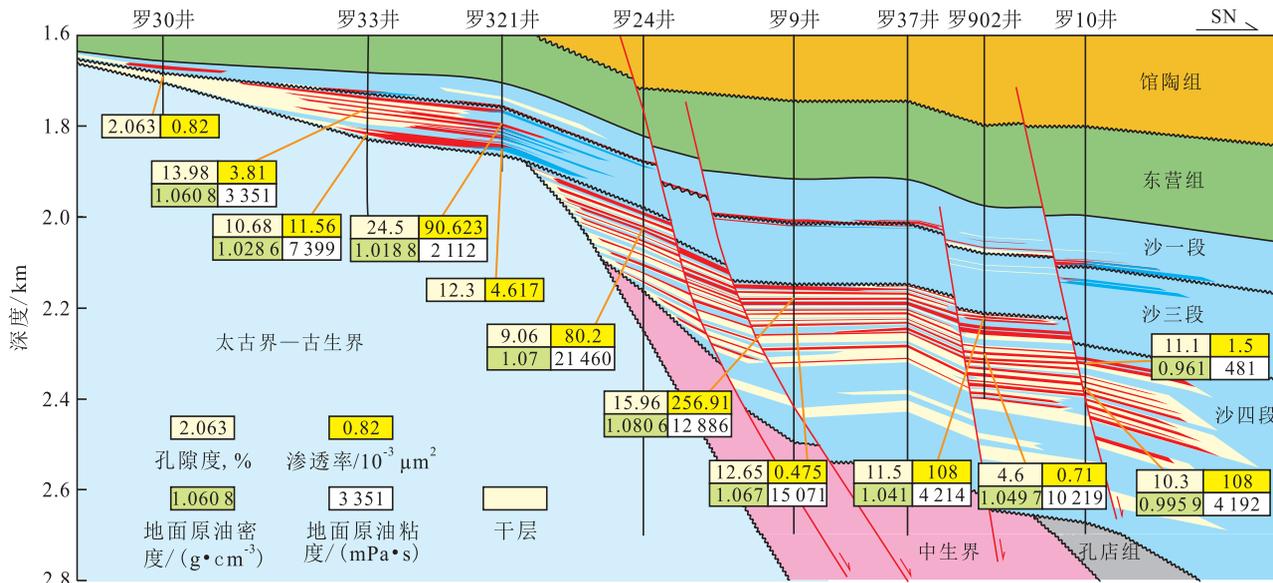


图2 罗30—罗10井近南北向油藏剖面(物性分析、油性分析)

### 3.2 油性的差异性

研究区为特稠油—普通稠油地层油藏。包裹体均一温度分析表明,该区稠油地层油藏的形成至少存在2期油气运移历史。罗家地区沙四段上亚段、沙三段下亚段为混合型成熟原油,油源既有来自沙三段的暗色泥岩,又有来自沙四段上亚段的碳酸盐岩、膏盐<sup>[5-6]</sup>。

前人分析认为,该区原油曾经遭受大气淡水淋滤、生物降解及地层水的水洗、氧化作用,使得轻烃组分散失,原油密度、粘度增加,滞留在储层中,形成重质油或沥青<sup>[3]</sup>。其中沥青充填是研究区的一大特点,是原油充满砂砾岩的孔隙后受构造抬升、断层活动的影响,遭受大气淡水淋滤或地层水水洗和氧化作用的结果。沥青或重质稠油充填于砂砾岩的原生和次生孔隙中,堵塞孔隙,使孔隙度、渗透率降低,完全抑制晚期碳酸盐胶结作用,形成低孔、低渗透储层。其对后期油气运移具有一定的侧向遮挡作用,可在一定程度上降低对底板条件的要求。

根据试油资料统计,该区地层油藏原油性质自北向南具有油性稠化、粘度逐渐增大的特征<sup>[7-8]</sup>。统计表明,在距超覆点2 000 m范围内,主要为特稠油,而距离大于2 000 m为普通稠油(图3)。以罗30、罗33、罗321井沙三段其中的同一期扇体为例,近物源的罗30井解释为干层,北部的罗33井解释为油层,地面原油粘度为3 351 mPa·s、密度为1.060 8 g/cm<sup>3</sup>,扇体前端的罗321井地面原油粘度为2 112 mPa·s、密度为1.018 8 g/cm<sup>3</sup>。靠近扇体根部的特稠油对后期注入的原油起到一定的遮挡作用(图2)。

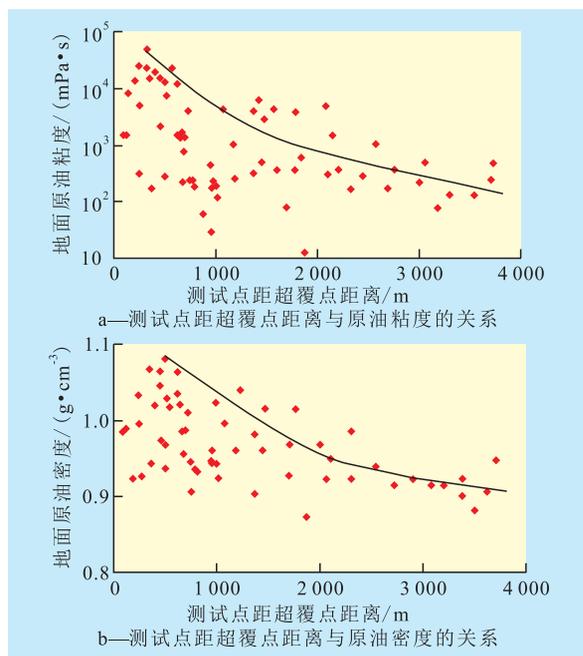


图3 扇体油性与推进距离的关系统计

### 3.3 扇体侧向封堵性

研究区稠油地层油藏自北向南具有物性逐渐变差、油性逐渐变稠的特点。横向上向物源方向物性变差,致密带形成侧向封堵。油性的差异性同样可以形成一定的侧向封堵能力。两者共同作用所形成的特稠油致密带(即稠油环)具有一定的侧向封堵能力,即扇体可自成圈闭。由于稠油环的控制作用,在地层超覆带上油藏分布序列由南向北具有干层—油层—水层特点;纵向上同一个砂层组具有下干上油的特点(图2)。由于稠油环的侧向封堵作用,底板条件不再是一个重要因素,特别是对基底即前古近系的底板条件要求不是很苛刻,即使超覆到寒武系和奥陶系的砂体也可以成藏。如陈40和陈25井。也就是说,对于稠油地层油藏,可以不考虑基底的侧向遮挡能力,极大地拓宽了勘探空间。

## 4 油气藏成藏要素定量评价

考虑到勘探的实效性及目前针对稠油地层油藏的开采技术,为了圈定有利范围(可动用油藏展布范围),需要对扇体的关键成藏要素进行定量计算<sup>[9]</sup>。研究中尝试应用地质综合统计法,对每一期扇体的稠油环、有利区进行定量计算,明确其在平面上的延伸距离及分布规律,为井位部署奠定基础。对于每一期扇体而言,高部位的稠油环解释为干层(试油不出,如垦108等井),低部位存在底水。扇体剔除高部位的干层和低部位的水层,剩余的中间部位即是有利区的展布范围。从勘探实效性<sup>[10-11]</sup>出发,结合钻井、试油资料及地震剖面,通过对研究区多条南北向油藏剖面的解剖,对干层、油层的最大展布宽度、最大含油高度等关键成藏要素进行了定量评价(表1)。对不同构造位置干层和油层的宽度进行了统计,将不同点的干层、油层的宽度和对应的坡角进行拟合,绘制了相应的散点图,根据拟合结果,即可得到宽度和坡角的拟合公式,进而求得不同构造位置干层和油层的宽度,从而达到明确有利区展布范围的目的。另外,需要注意扇体的展布范围,即有利区在扇体发育之内,如垦104井计算出的油水边界在该井北部,但该处扇体展布范围较小,因此有利区的范围要考虑扇体的推进距离。沙三段成藏要素统计结果表明:特稠油致密带宽度为450~650 m;可动用油藏(即有利区)的最大含油宽度为600~1 200 m、最大含油高度为40~100 m。因此,井位应部署在稠油环(干层)之外以及最大含油高度之内的有利环带,以提高井位的成功率(图4)。

表1 陈家庄凸起北坡成藏要素统计

井区	层位	扇体长度/m	干层宽度/m	油层最大展布宽度/m	最大含油高度/m	油层顶面埋深/m	油层底面埋深/m	油层高度/m	坡角/(°)
陈164—陈163	沙一段	3 186	1 600	1 225	51	1 564	1 615	51	2.383 999
陈40—罗809	沙一段	3 036	460	1 431	106	1 518	1 624	106	4.236 395
罗30—罗33	沙三段	2 702	650	1 158	63	1 734	1 766	32	1.582 9
罗33—罗32	沙三段	1 670	509.7	928	42	1 770	1 798	28	1.728 228
罗51—罗47	沙三段	1 709	456	608	59	1 715	1 757	42	3.951 654
罗8—罗813	沙四段	3 115	1 320	972	90	2 252	2 342	90	5.290 081

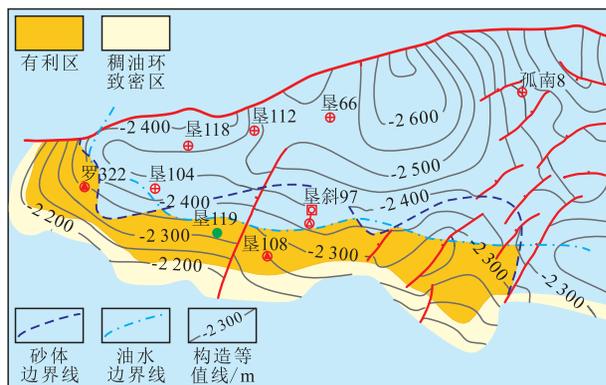


图4 陈家庄凸起北坡东部地区沙三段第1超覆层综合评价

按照这样的勘探思路,打破了以往的勘探禁区,在陈家庄凸起北坡东部部署的罗322、罗119、罗71、罗123、罗斜125等井在沙三段相继获得成功,其中罗322井井壁取心显示为油浸和油斑,试油产油量为5.8 t/d,产水量为5.25 m<sup>3</sup>/d;罗119井井壁取心显示油斑和油浸,试油产油量为5.5 t/d,产水量为8.68 m<sup>3</sup>/d,打破了该区12 a未部署探井的被动局面。

## 5 结束语

通过对陈家庄凸起北坡沙四段—沙三段稠油地层油藏侧向封堵性分析,认为物性和油性的差异性共同作用所形成的特稠油致密带(即稠油环),使该区扇体自身可以形成侧向封堵。首次提出了沙四段—沙三段稠油地层油藏具有自身的侧向封堵能力,从而弱化了前古近系的侧向遮挡能力要求,极大地拓宽了勘探空间。通过成藏关键要素的定量分析,明确了井位部署关键所在,即要避免在稠油环(干层)以及最大含油高度之外部署井位,提高

了井位的成功率。以此为指导,在研究区东部部署的多口井位获得成功,并于2013年上报预测储量为2 462×10<sup>4</sup> t,打破了该区12 a勘探停滞不前的被动局面。

### 参考文献:

- [1] 刘震,赵阳,金博,等.沉积盆地岩性地层圈闭成藏主控因素分析[J].西安石油大学学报:自然科学版,2006,21(4):1-5.
- [2] 王永诗,石砥石.济阳拗陷新近系地层油藏特征——以太平油田为例[J].油气地质与采收率,2006,13(1):44-47.
- [3] 隋风贵,王学军,卓勤功,等.陆相断陷盆地地层油藏勘探现状与研究方向——以济阳拗陷为例[J].油气地质与采收率,2007,14(1):1-6.
- [4] 王永诗.隐蔽油气藏勘探阶段区带评价方法及实践——以济阳拗陷为例[J].油气地质与采收率,2010,17(3):1-5.
- [5] 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:中国科学院研究生院(广州地球化学研究所),2002.
- [6] 隋风贵,赵乐强,林会喜,等.济阳拗陷第三系地层油藏形成机制与组合模式[J].油气地质与采收率,2005,12(6):1-5.
- [7] 张凯,李阳,王琳娜,等.稠油流变特性实验研究[J].油气地质与采收率,2007,14(5):91-94.
- [8] 徐伟,宋国奇,王建伟.东营凹陷南坡东段沙四段原油特征及其地质意义[J].油气地质与采收率,2013,20(2):30-33.
- [9] 王学军,宁方兴,向立宏.断陷盆地盆缘地层圈闭含油性定量预测模型——以济阳拗陷古近系—新近系为例[J].油气地质与采收率,2011,18(1):4-6.
- [10] 孙璐,陈民锋,刘月田,等.厚层稠油油藏蒸汽吞吐后期立体注采井网设计及优化[J].油气地质与采收率,2013,20(5):72-75.
- [11] 刘鑫金,宋国奇,刘惠民,等.东营凹陷北部陡坡带砂砾岩油藏类型及序列模式[J].油气地质与采收率,2012,19(5):20-23.

编辑 刘北羿