

# 大民屯凹陷中—新元古界潜山油藏油源探析

仇劲涛

(中国石油辽河油田分公司 勘探开发研究院, 辽宁 盘锦 124010)

**摘要:**中—新元古界是否存在原生气藏,一直存在较大的争议。在大民屯凹陷中—新元古界中发现了丰富的石油储量,一直认为是“新生古储”。从大民屯凹陷中—新元古界生烃能力入手,对该区中—新元古界潜山油源问题开展研究。研究区中—新元古界潜山原油具有凝固点高、含蜡量高、沥青质和胶质含量低的特征,与沙三段原油存在明显的差异。原油—烃源岩对比结果表明,中—新元古界原油与本层位烃源岩之间存在成因联系,虽然没有明确证据证实大民屯凹陷潜山原油来自中—新元古界,但可能存在中—新元古界原油的混入。大民屯凹陷中—新元古界的有机质丰度高、类型好,热演化程度适中,具有较强的生烃潜力,可能是中—新元古界油藏的重要油源。碳酸盐岩生油岩样品热模拟结果显示,中—新元古界烃源岩至今仍具有较强的生烃能力。

**关键词:**中—新元古界 原生气藏 油源对比 碳酸盐岩 大民屯凹陷

**中图分类号:** TE112.114

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1009-9603(2014)05-0049-04

在世界范围内,中—新元古界具有最古老而又未变质的沉积层系。自1977年以来,在辽西地区发现大量中—新元古界原生的液体油苗以及相当数量固体沥青,从而证明中—新元古界是中国一个值得关注的重要勘探新领域。由于中—新元古界原生气资源的研究刚刚起步,故尚未引起中外石油地质界的足够关注。20世纪90年代以来,在石油地质家们发表的全球油气资源地层分布中,中—新元古界油气所占的比例极少,仅为1%~2%,可见中—新元古界原生气藏具有较大的勘探潜力。

在大民屯凹陷中—新元古界已经发现了油气藏,前人研究认为该区元古界潜山的高蜡油油源基本上都来自古近系沙四段油页岩,平面分布特征上也与页岩油密切相关<sup>[1-3]</sup>,对于中—新元古界的生烃潜力及油源一直没有深入研究。近年来对冀北和辽西地区中—新元古界的生烃问题做了许多探讨,确认中—新元古界具备良好的生油条件,只要有良好的圈闭条件,就可以形成原生气藏<sup>[4-10]</sup>。目前在辽西地区中—新元古界中发现了近100多处油苗,油源对比研究证实其来自中—新元古界,说明中—新元古界具备“自生自储”的条件,可以形成原生气藏。2013年在辽西地区实施了2口探井,在中—新元古界见到油气显示,但是没有形成工业油气流,因此寻找原生气藏对中—新元古界的勘

探具有重要意义。大民屯凹陷是否有中—新元古界油源,对中—新元古界勘探具有实际意义。近年来通过对大民屯凹陷中—新元古界潜山的油气分布规律研究发现,油气的分布与潜山地层层位关系密切,中—新元古界的主要含油层段以碳酸盐岩为主,多数高产井一般也是位于碳酸盐岩潜山中,大民屯凹陷沈253井区火山岩厚度最大达到331 m,基本覆盖了整个潜山,而沙四段油页岩(主生烃层段)上下的砂岩储层中并未见较好的含油层,那么,油气是如何运聚到潜山的呢?为此,从研究中—新元古界生烃能力入手,对大民屯凹陷中—新元古界潜山的油源问题开展研究。

## 1 区域地质概况

大民屯凹陷位于辽河拗陷东北部,呈南宽北窄的不规则三角形,四周被边界断层所限,主要被巨厚的古近系覆盖,自下而上依次为太古宇、中—新元古界、古生界、中生界及上覆新生界<sup>[11-12]</sup>。基底主要为前新生界。太古宇结晶基底主要分布在大民屯凹陷的中南部;位于太古宇结晶基底之上的以碳酸盐岩为主的地台盖层,主要分布在凹陷的北部,古近系分布面积约为800 km<sup>2</sup>,新生界底界最大埋深为7 200 m,是中国东部著名的“小而肥”的含油气凹

收稿日期:2014-07-09。

作者简介:仇劲涛,女,高级工程师,从事石油地质方面的研究。联系电话:13804273819, E-mail: qiuji2004@sina.com。

基金项目:国家科技重大专项“渤海湾盆地北部油气富集规律与增储领域研究”(2012ZX05006-005),中国石油天然气股份有限公司科技重大专项“辽河油田原油千万吨持续稳产关键技术研究”(2012E)。

陷,目前已发现5套含油气储层,其中前古近系潜山和沙三段砂岩是最重要的产层,在元古界潜山中油气也十分丰富。大民屯凹陷既有含蜡量小于20%的正常油,又有含蜡量大于20%的(特)高蜡油,在元古界潜山中基本为高蜡油。大民屯凹陷的主力生烃洼陷有荣胜堡洼陷、安福屯洼陷和胜东洼陷,油气分布较为复杂。

## 2 潜山油气藏存在中—新元古界油源的可能

根据2002年第3次资源评价结果,大民屯凹陷资源量为 $5.7 \times 10^8$  t。已发现太古界、中—新元古界及古近系沙四段、沙三段、沙一段等多套含油层系。截至2013年底,已上报探明石油地质储量约为 $3.8 \times 10^8$  t,天然气地质储量为 $69.34 \times 10^8$  m<sup>3</sup>。其中,潜山的探明石油地质储量约为 $2.0 \times 10^8$  t。大民屯凹陷是辽河油区勘探重点领域,勘探程度高达67%,但每年都有新的发现,明显与沙河街组烃源岩资源量不匹配,是否存在其他油源的注入是目前最为关注的问题。在大民屯凹陷钻探的沈299井在4 200~4 300 m井段见到了良好油气显示,而该区的洼陷深度仅为4 200 m,没有发现沙河街组的供油窗口,因此可能是元古界油源起到了重要作用。沈288井在钻进潜山200 m没有见到良好油气显示,潜山200 m以下见到良好油气显示,并获得高产,由于不存在沙河街组供油窗口,认为可能具有中—新元古界油源的注入。

大民屯凹陷中—新元古界潜山原油具有凝固点高(普遍大于40℃)、含蜡量高(含蜡量普遍大于20%)、沥青质和胶质含量低的特征,与下覆太古界潜山原油性质基本相似,而与沙三段原油存在明显的差异。孟卫工研究表明,中—新元古界潜山油藏基本为高蜡油,而沙三段基本为正常油,主要原因是沙三段原油来自自身烃源岩,潜山油源则来自沙三段以下地层,并且沙四段泥岩厚度大、分布广,覆盖了整个大民屯凹陷,形成了整体的区域盖层,有效封盖了潜山油气藏<sup>[13]</sup>,也可以说大民屯凹陷是元古界油气藏保存条件最好的凹陷之一,而在辽西地区元古界油气藏保存条件较差,大部分被破坏了。

大民屯凹陷中—新元古界碳酸盐岩同上覆沙四段、沙三段暗色泥岩存在一定的差异性,通过对比Pr/nC<sub>17</sub>与Ph/nC<sub>18</sub>相关性(图1)可以发现,中—新元古界原油绝大多数位于低值区,中—新元古界烃

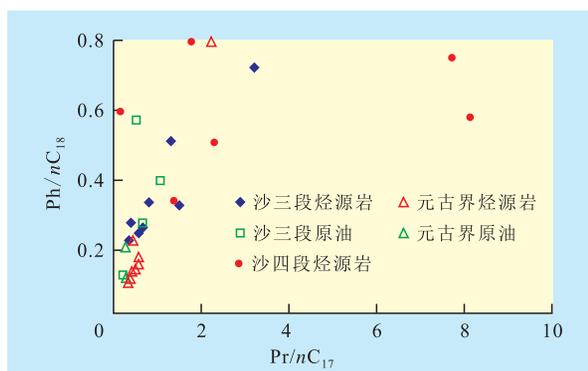


图1 大民屯凹陷不同层位原油—烃源岩Pr/nC<sub>17</sub>—Ph/nC<sub>18</sub>相关性

源岩也都表现出低值特征。这与沙三段原油差别明显,中—新元古界原油和本层位烃源岩之间应该存在成因联系,但这一认识目前还缺乏其他生油指标的进一步验证。

大民屯凹陷中—新元古界原油和烃源岩的成熟度较高,从Pr/Ph与OEP值相关性(图2)可以看出,中—新元古界潜山样品OEP值约为1.1~1.2,与沙四段、沙三段成熟烃源岩和沙三段成熟油基本相当,而埋深小于2 400 m的3块沙四段烃源岩样品OEP值偏高,大于1.4,说明成熟度较低。大民屯凹陷静北地区原油—烃源岩碳同位素对比结果(图3)也揭示中—新元古界原油碳同位素低于古近系原

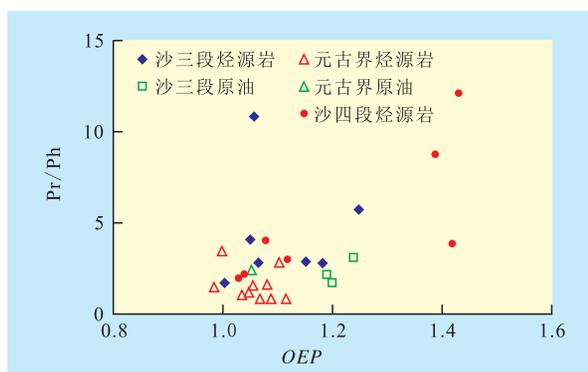


图2 大民屯凹陷不同层位原油—烃源岩Pr/Ph与OEP值相关性

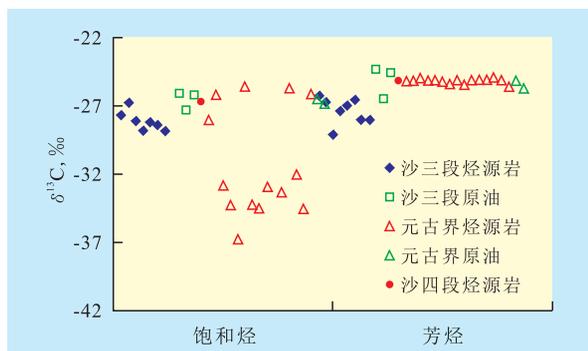


图3 大民屯凹陷静北地区原油—烃源岩碳同位素对比

油,与中—新元古界碳酸盐岩同位素相当,说明二者存在一定的亲缘关系。

综上所述,虽然目前没有明确的证据证实大民屯凹陷潜山油源来自于中—新元古界,但是可能存在于中—新元古界油源混入。

### 3 烃源岩地球化学特征

#### 3.1 有机质特征

##### 3.1.1 有机质丰度

目前在西伯利亚地台里菲系、文德系和下寒武统已发现20多个油气田,储层主要为里菲系碳酸盐

岩和文德系砂岩,与中国中—新元古界一致,已知生油气层系为中—新元古界里菲系碳酸盐岩和文德系泥质岩<sup>[14-16]</sup>。西伯利亚地台中—新元古界属于有机质丰度低、演化程度高的烃源岩,但是其各项指标远不如冀北坳陷烃源岩(表1)。方杰等认为冀北坳陷中—新元古界生烃条件优越,生烃物质基础雄厚,具有良好的油气勘探前景<sup>[8]</sup>。大民屯凹陷中—新元古界海相碳酸盐岩的有机质丰度明显低于湖相泥岩,绝大多数样品有机碳含量为0.1%~0.5%,多数集中在0.2%左右,氯仿沥青“A”含量大多为 $3\ 850\times 10^{-6}$ ~ $21\ 780\times 10^{-6}$ ,比冀北坳陷高几十倍到百倍(表1),表明中—新元古界可能是潜山油气

表1 大民屯凹陷与冀北坳陷和西伯利亚地台烃源岩对比

地区	层位	岩性	有机碳含量,%	氯仿沥青“A”含量/ $10^{-6}$	有机质类型	开始生烃期
西伯利亚地台	里菲系	碳酸盐岩	0.1~0.29	15~20	腐泥型	文德纪
	文德系	泥岩	0.3~0.7	100~200	腐泥型	C—O—S
	铁岭组		0.1~0.99	52~3 066	腐泥型	C—P
华北地台冀北坳陷	雾迷山组	碳酸盐岩	0.05~0.38	27~2 462	腐泥型	Qn
	高于庄组		0.10~0.45	90~285	腐泥型	Jxw
	下马岭组	页岩	0.23~4.77	34~1 061	腐泥型	C—P
	洪庄子组		0.27~6.1	82~4 224	腐泥型	C—P
大民屯凹陷	中—新元古界	碳酸盐岩	0.1~0.5	3 833~21 780	腐泥型	Mz—E

藏的重要油源。

大民屯凹陷中—新元古界海相生油岩有机质丰度变化较大。静北地区碳酸盐岩生烃潜量大于1.0 mg/g的极好生油岩占40%,0.1~0.5 mg/g的好生油岩占30%。须说明的是,生烃潜量大于1.0 mg/g的极好生油岩样品频率高,不排除在岩石中残存运移沥青导致的污染问题,在以后研究工作中需要得到足够的重视。

##### 3.1.2 有机质类型

在冀北坳陷下花园地区新元古界下马岭组发现了异常丰富的底栖红藻类化石,研究表明这些藻类是很好的生油母质。下马岭组页岩含油量高达10.3%,甚至在露天处可以直接点燃,比抚顺西露天矿的计军屯组(相当于沙四段)的含油量(6.7%)高近3.6%。这一方面说明下马岭组页岩具有较强的生油潜力,同时也反映其成熟度并不高<sup>[5]</sup>。在对大民屯凹陷元古界安67等多口井的炭质板岩取样分析时,同样发现了大量保存完好的中—新元古代红藻类化石,可与下马岭组底栖红藻类相对比。大民屯凹陷元古界的生物多数为低等菌藻类,大多是红藻和蓝藻类为代表的原核藻类,它们分布非常广泛,有机质类型为典型的腐泥型(表1),具有演化缓

慢的特点,有利于长期生油。

##### 3.1.3 有机质演化程度

在大民屯凹陷中—新元古界潜山地层中,对安95、安68等多口探井碳酸盐岩取样50余块,同时到野外露头相同层位取样16块,进行有机碳及岩石热解分析。分析结果表明,氢指数变化较大,而岩石热解峰温多集中在450℃左右。从安68、安71、安95和安96等井孢粉颜色和藻类生殖器官的保存状况分析来看,有机质成熟度较低,也就是说远没有达到过成熟,应该具备生油能力,而不是以生气为主,这与热解分析结果相吻合。

#### 3.2 碳酸盐岩族组成特征

大民屯凹陷静北地区中—新元古界碳酸盐岩族组成特征明显具有“一高二低”的特点,即饱和烃含量高,而芳烃和非烃—沥青质含量相对较低,其族组成特征与上覆沙四段、沙三段湖相暗色泥岩差异明显。

#### 3.3 碳酸盐岩饱和烃色谱特征

根据安86和安96井各一块碳酸盐岩样品热模拟前后饱和烃色谱分析结果(图4)发现,该层系烃源岩在一定温度条件下能够提供一部分可溶烃类物质,但同一块样品热模拟前后碳数组成及丰度上

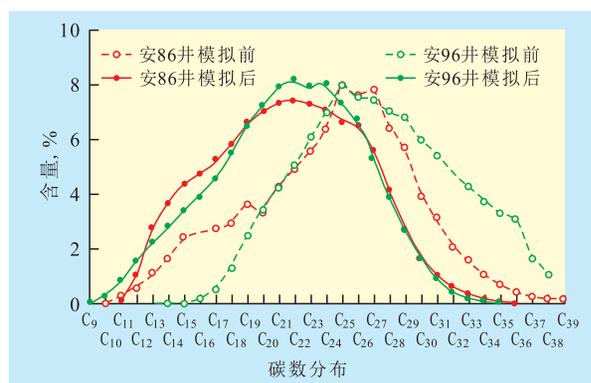


图4 大民屯凹陷中—新元古界生油岩模拟前后碳数分布曲线对比

存在明显差异:①模拟前烃源岩样品主峰碳靠后,在 $C_{27}$ 左右, $C_{17}$ 前轻组分含量低, $OEP$ 值约为1.1;②模拟后烃源岩样品主峰碳靠前,在 $C_{23}$ 左右, $C_{17}$ 前轻组分含量明显增大, $OEP$ 值接近1。安86井同一块样品热模拟后较热模拟前的饱和烃含量明显增加,模拟前饱和烃含量为54%,模拟后为72%,说明中—新元古界烃源岩至今仍具有较强的生烃能力。

### 3.4 碳同位素特征

大民屯凹陷中—新元古界饱和烃碳同位素一般较轻, $\delta^{13}C$ 值多分布在 $-30\text{‰}$ ,而芳烃碳同位素则一般较重, $\delta^{13}C$ 值多分布在 $-25\text{‰}$ ,不溶物干酪根样品也具有相同特点。欧光习等研究表明,辽西-冀北拗陷中—新元古界不论是油苗还是原油的 $\delta^{13}C$ 值均较轻,一般为 $-31\text{‰}\sim-26\text{‰}$ ,多数集中在 $-28\text{‰}$ <sup>[17]</sup>。而古生界和中生界原油、煤与烃源岩样品抽提物的 $\delta^{13}C$ 值则较重,为 $-25\text{‰}\sim-22\text{‰}$ ,与中—新元古界样品差别明显,也证实它们之间的成因联系不大。

薄片分析及岩心观察发现,大民屯凹陷静北潜山钻遇的中—新元古界碳酸盐岩地层含有丰富的有机质,其中以藻类和炭质等为主,同时在多数层位上含有大量的泥质,而含有这些成分的碳酸盐岩无疑具备良好的生烃条件。因此,中—新元古界灰色、灰白色的白云岩、泥灰质白云岩、白云质灰岩等碳酸盐岩,尤其是泥质岩类应该具有较强的生烃能力,具备大民屯凹陷中—新元古界烃源条件。Tege-laar用模拟实验证实高蜡油源于陆相高等植物<sup>[15]</sup>。但是近年来高蜡油源岩的有机岩石学研究以及海相原油中沉淀蜡的高温气相色谱分析证实,低等水生生物和藻类也能提供丰富的蜡<sup>[18-19]</sup>。研究表明,尽管陆源高等植物的表皮和孢粉类能够提供蜡的生源母质,富含低等水生生物的油页岩同样也可以提供蜡的生源母质。这一认识也为大民屯凹陷元古界高蜡油可以是本身油源提供了理论依据。

## 4 结论

大民屯凹陷是中国在中—新元古界发现规模储量的重要地区,是否存在自身油源一直未能引起充分的重视,该区中—新元古界潜山原油多为高蜡油,含蜡量普遍大于20%。研究区中—新元古界原油和沙三段原油区别明显,与辽河拗陷其他拗陷原油差别也较大,是否有中—新元古界本身油源的注入值得重视。

大民屯凹陷中—新元古界的某些层段有机质类型好,丰度高,热演化程度并未过高,具有较强的生烃潜力,而在安67等井中—新元古界中发现的红藻类化石也提供了潜山中—新元古界生烃的佐证。该井发现的红藻数量大,生油能力强,可能是中—新元古界烃源岩中最主要的生烃母质。油源对比结果也表明大民屯凹陷潜山碳酸盐岩与泥质板岩和中—新元古界原油具有亲缘关系,很可能是潜山油气藏的油源。

大民屯凹陷中—新元古界具有较好的生烃潜力,可能是中—新元古界潜山油气藏的油源,但生烃潜力有多大,对元古界潜山油气藏的贡献有多少,这是一个需要深入研究的问题。建议下一步要应用新的理论、技术、方法和手段对大民屯潜山中—新元古界烃源岩的生、排、聚及高蜡油形成机制进行深入系统地研究,主要是解决中—新元古界生烃潜力及其能否“自生自储”成藏问题,这对中国中—新元古界下一步的勘探有重要的指导意义。

### 参考文献:

- [1] Huang Yongsong, Geng Ansong, Fu Jiamo, et al. The investigation of characteristics of biomarker assemblages and their precursors in Damintun ultra-high wax oils and related source rocks [J]. *Organic Geochemistry*, 1992, 19(1/3): 29-39.
- [2] 辽河油田石油地质志编辑委员会. 中国石油地质志·卷三: 辽河油田[M]. 北京: 石油工业出版社, 1993.
- [3] 黄海平, 李虹, 马刊创, 等. 大民屯凹陷高蜡油的形成条件[J]. *石油与天然气地质*, 2001, 22(1): 64-71.
- [4] 刘宝泉, 方杰. 冀北宽城地区中上元古界、寒武系有机质热演化特征及油源探讨[J]. *石油实验地质*, 1990, 11(1): 2-8.
- [5] 刘宝泉, 秦建中, 李欣. 冀北拗陷中—上元古界烃源岩特征及油苗、油源分析[J]. *海相油气地质*, 2000, 5(1/2): 35-45.
- [6] 田在艺, 张庆春. 论改造型盆地与油气成藏——以华北东部盆地为例[J]. *石油学报*, 2001, 22(2): 110-116.
- [7] 田在艺, 史卜庆, 罗平, 等. 渤海湾盆地复式油气聚集带高勘探程度区进一步挖潜的领域[J]. *石油学报*, 2002, 23(3): 1-5.

(下转第56页)