

·油气地质·

# 关于济阳坳陷浅层气藏与稠油油藏联合勘探的思考

王兴谋,张云银,张明振,李红梅,冯德永  
(中国石化胜利油田分公司物探研究院,山东 东营 257022)

**摘要:**济阳坳陷历经50多年的勘探开发,发现了众多的浅层气藏和稠油油藏,明确二者的分布及成因关系对下步勘探具有指导意义。通过对浅层气藏与稠油油藏的空间分布和地球化学特征进行研究,发现二者在空间分布上存在伴生现象,即在稠油油藏的上方或上倾方向常发育浅层气藏,而在浅层气藏的下伏或下倾方向往往发育稠油油藏;在成因上具有共生关系,浅层气藏主要为油溶释放气和原油降解气,而油藏中的油气由于生物降解及天然气脱出等原因形成稠油。根据研究成果提出了浅层气藏与稠油油藏联合勘探的设想,即由已知浅层气藏寻找未知稠油油藏,由已知稠油油藏寻找未知浅层气藏,或者根据地震亮点寻找浅层气藏,进而寻找稠油油藏。

**关键词:**浅层气藏 稠油油藏 伴生现象 共生关系 联合勘探 济阳坳陷

**中图分类号:**TE122.1

**文献标识码:**A

**文章编号:**1009-9603(2014)05-0014-04

济阳坳陷位于渤海湾盆地东南部,是在前中生界褶皱基底上发育的典型中、新生代断陷盆地。其历经50多年的勘探开发,已发现72个油气田;在其凹陷周缘及凸起带发现了丰富的浅层气藏和稠油油藏,且浅层气藏常分布于稠油油藏的上方或上倾方向。前人针对浅层气藏的地质成因、地震预测以及稠油油藏的形成机制等开展了大量的研究,并取得了丰富的成果<sup>[1-13]</sup>;认为浅层气藏与稠油油藏具有亲缘关系,浅层气藏主要为油溶释放气,原油降解气也是浅层气藏的气源<sup>[1]</sup>;但将浅层气藏与稠油油藏作为相互关联的整体,对其空间分布及成因关系等方面的研究却较少。为此,笔者通过分析浅层气藏与稠油油藏的空间分布规律,综合地球化学等特征,明确二者的空间分布特征以及成因关系,并据此提出浅层气藏与稠油油藏联合勘探的设想,以期对济阳坳陷下步的油气勘探提供依据和指导。

## 1 浅层气藏与稠油油藏的空间分布特征

稠油是指地层原油粘度大于50 mPa·s(地层温度下脱气原油粘度大于100 mPa·s),相对密度大于0.92 g/cm<sup>3</sup>的原油<sup>[14]</sup>。其主要由生物降解所形成<sup>[15]</sup>,生物在降解原油的过程中,消耗了原油中的低碳数

烃类,使原油密度、硫含量、酸度、粘度和金属含量增加<sup>[16]</sup>,从而形成稠油。截至2013年底,济阳坳陷已探明稠油储量占石油总探明储量的56.2%,以次生气藏为主、埋深为500~1 500 m的浅层气<sup>[1-3]</sup>探明储量占天然气总探明储量的69.3%。这些稠油油藏和浅层气藏主要分布于凹陷周缘、凸起带以及中央隆起带,二者在平面上相邻分布,其中浅层气藏与稠油油藏相比,距离洼陷更远(如林樊家、单家寺和陈家庄等油气田);纵向呈上下分布,浅层气藏分布于稠油油藏的上方(如孤岛、孤东和胜坨油田等)或者侧上方(如飞雁滩油田、曲堤油田和三合村地区油气藏等)。

### 1.1 低凸起垂向分布特征

在济阳坳陷的孤岛、孤东和埕东等低凸起发现了大型油气田。这些大型油气田的中浅层主要发育稠油油藏,在其上方发育浅层气藏。以孤岛油田为例,其含油气层系为新近系馆陶组。其中,馆上段3—6砂层组是主要的开发层系,主要发育稠油油藏;浅层气藏主要分布于馆上段1—2砂层组和明化镇组,且含气砂体呈零星状分布(图1)。通过对孤岛油田浅层气藏的轻烃和碳同位素分析发现,其浅层天然气与稠油来源于同一烃源岩层,油气沿断层向上运移,并在合适的圈闭中聚集成藏;后期由于原油脱气和生物降解等作用,使原油物性变差,形

收稿日期:2014-07-02。

作者简介:王兴谋,男,教授级高级工程师,博士,从事油气勘探、地震及地质方面的研究。联系电话:(0546)8553505,E-mail:wangxingmou.slyt@sinopec.com。

基金项目:中国石化科技攻关项目“埕岛地区不整合圈闭储层地震预测方法研究”(P13038)。

成稠油油藏,而脱出的油溶释放气和原油降解气<sup>[17]</sup>经过运移则形成浅层气藏,整体表现为下油上气的垂向分布特征<sup>[4]</sup>。

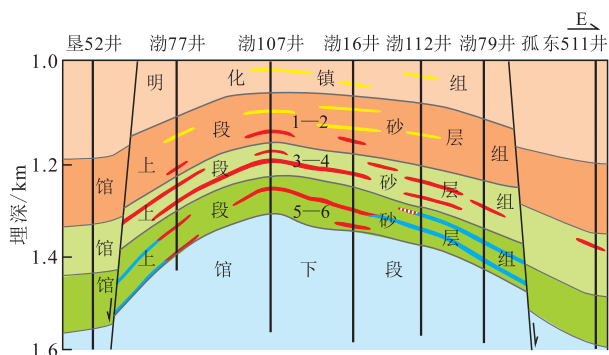


图1 孤岛油田垦52井—孤东511井近东西向油气藏剖面

### 1.2 斜坡带侧向分布特征

济阳拗陷各斜坡带发育较多的浅层气藏和稠油油藏,如滩海地区的飞雁滩油田、东营西部的林樊家油气田、沾化凹陷的陈家庄油气田以及惠民南坡的曲堤油田等。这些油气田距离生油凹陷较远,主要发育稠油油藏,在其上倾方向常伴生浅层气藏。其中滩海地区的飞雁滩油田,构造上位于埕北凹陷南斜坡,主力含油层系为馆上段,埋深为1 100~1 400 m,油性偏稠,埕116井地面原油密度为 $0.9444\text{ g/cm}^3$ ,粘度为 $334\text{ mPa}\cdot\text{s}$ ,凝固点为 $-6\text{ }^\circ\text{C}$ ;主要含气层系为明化镇组,含气砂体多呈透镜状分布,埋深为500~1 300 m,分布于稠油油藏的上倾方向,斜坡带的浅层气藏与稠油油藏具有侧向对应的分布特征(图2)。

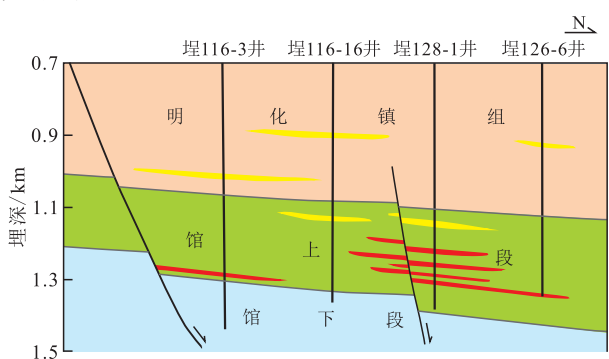


图2 飞雁滩油田埕116-3井—埕126-6井南北向油气藏剖面

### 1.3 洼陷带复合型分布特征

洼陷带的浅层气藏与稠油油藏的分布特征相对复杂。受构造背景及断层发育程度等因素的影响,洼陷带低部位的油气通过断层、砂体及不整合等在浅层聚集形成浅层气藏。如沾化凹陷三合村地区,自1995年以来已发现20多个浅层气藏,其天然气来源之一为北部渤南洼陷和孤南洼陷的油气

经侧向运移聚集成藏,另一来源是下部油气通过断层向上运移所形成。由于原油中轻烃成分的脱出和生物降解作用等因素,形成了三合村地区下部沙河街组发育稠油油藏(垦108井)、中部馆陶组为稠油油藏(垦119井)和常规油藏(垦71井)共存、上部发育浅层气藏(垦710井)的复合型分布特征(图3)。

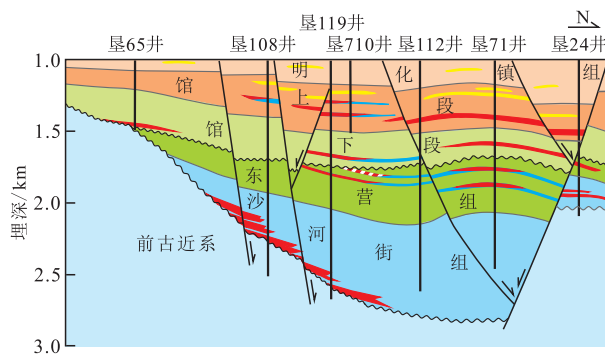


图3 三合村地区垦65井—垦24井近南北向油气藏剖面

## 2 浅层气藏与稠油油藏的成因关系

在中国发育稠油油藏的含油气盆地中,广泛发育浅层气藏。众多学者的研究成果表明,浅层气藏与稠油油藏具有密切的成因关系,浅层气藏中的天然气一部分来源于油溶释放气,为原油在运移过程和成藏后轻烃成分挥发释放所形成,并导致原油密度不断增大、油性变稠;另一重要来源为厌氧微生物降解原油(稠化)过程中形成的次生成因的生物气,又称为原油降解气、稠油降解气或生物降解气、菌解气等<sup>[17-23]</sup>。通过分析胜利油区滩海、东营、沾化及惠民地区相关的浅层气藏和稠油油藏的地球化学研究成果<sup>[4,17-23]</sup>发现,济阳拗陷浅层气的碳同位素序列存在倒转,具有原油降解气特征,且由于生物降解及天然气脱出等原因形成稠油油藏,因此浅层气藏与稠油油藏在成因上存在共生关系<sup>[1,24-25]</sup>。

### 2.1 油溶释放气为浅层气藏的重要来源

济阳拗陷主要烃源岩为沙四段上亚段和沙三段暗色泥岩,由于烃源岩埋深较浅,以生油为主,仅在洼陷中心进入生气窗,因此浅层天然气的重要来源为油溶释放气<sup>[1,26]</sup>。济阳拗陷经历了多期构造运动,导致油气多次运移—聚集—破坏—再聚集。东营凹陷和沾化凹陷的稠油成因研究结果表明,当液态烃自深层向浅层运移时,受温度和压力降低等原因影响,液态烃中的轻质组分发生分离,由于水洗、氧化和生物降解等作用,使液态烃逐渐变稠,形成稠油油藏;同时天然气脱出,经过运移、聚集,在有利圈闭中形成浅层气藏<sup>[21-23,27-28]</sup>。

## 2.2 浅层气藏具有原油降解气特征

同位素倒转是喜氧降解气和厌氧降解气的共同特征。常规的有机成因烷烃气具有 $\delta^{13}\text{C}_1 < \delta^{13}\text{C}_2 < \delta^{13}\text{C}_3 < \delta^{13}\text{C}_4$ 的碳同位素序列,由于生物降解作用使反应物(原油)碳同位素变重,生成物(甲烷)变轻;而微生物降解原油过程是在水介质中进行,丙烷及丁烷在水中的溶解度最高,因此微生物会优先降解丙烷及丁烷,致使丙烷及丁烷同位素偏重,导致其碳同位素序列具有倒转特征,表现为丙烷同位素倒转或丙烷和丁烷同位素倒转,即 $\delta^{13}\text{C}_1 < \delta^{13}\text{C}_2 < \delta^{13}\text{C}_3$ 且 $\delta^{13}\text{C}_3 > \delta^{13}\text{C}_4$ ,或 $\delta^{13}\text{C}_1 < \delta^{13}\text{C}_2$ 且 $\delta^{13}\text{C}_2 > \delta^{13}\text{C}_3 > \delta^{13}\text{C}_4$ ,该特征为识别原油降解气的重要标志。

济阳拗陷绝大部分浅层天然气的碳同位素序列具有倒转特征,如孤岛、单家寺和高青油田的天然气丙烷同位素值高于丁烷同位素值近5‰<sup>[29]</sup>,具有明显的丙烷同位素倒转特征。李赞豪在孤岛油田的稠油样品中检测出含量较高的甲烷生成菌,亦成为确定其天然气为生物降解成因的佐证<sup>[30]</sup>;分析陈家庄凸起陈气8和陈气11井的浅层天然气组分及碳同位素发现,其以甲烷为主,干燥系数大于0.99,为干气,烷烃碳同位素呈现 $\delta^{13}\text{C}_1 < \delta^{13}\text{C}_2$ 且 $\delta^{13}\text{C}_2 > \delta^{13}\text{C}_3 > \delta^{13}\text{C}_4$ 的倒转特征。张林晔等通过对胜利油区滨海地区的轻烃和碳同位素进行分析认为,浅层天然气与浅层稠油具有亲缘关系;油气分异及生物降解使原油物性变差,形成稠油油藏,原油中的溶解气脱出以及原油稠化生成的原油降解气经过运移、聚集形成浅层气藏<sup>[4]</sup>。惠民凹陷南坡2013年完钻的曲35井发现了工业气流,其天然气组分及碳同位素分析结果显示为油型气;甲烷含量为99.66%,且甲烷和已烷同位素偏重,丙烷和丁烷同位素倒转,表明为来源于构造低部位油藏的原油降解气。

## 3 浅层气藏与稠油油藏联合勘探的设想

根据浅层气藏和稠油油藏的空间伴生现象以及成因共生关系,提出对浅层气藏与稠油油藏实施联合勘探的设想。即由已知浅层气藏寻找未知稠油油藏,由已知稠油油藏寻找未知浅层气藏,或根据地震亮点寻找浅层气藏及其伴生的稠油油藏。

### 3.1 由已知浅层气藏寻找未知稠油油藏

济阳拗陷已发现多个浅层气藏及出气点,具有数量多、面积小和厚度薄等特点。根据联合勘探的

思路,浅层气藏下方或下倾方向是寻找稠油油藏的有力方向,可依据网毯油气成藏体系<sup>[31]</sup>,追溯气源寻找稠油油藏。例如陈家庄凸起发育浅层气藏,可根据输导砂体、不整合面和断层研究其天然气来源,在凸起周缘进一步寻找伴生的稠油油藏。截至2001年,陈家庄气田已探明天然气储量为 $28.78 \times 10^8 \text{ m}^3$ ,其南部已探明稠油储量不足 $200 \times 10^4 \text{ t}$ ,因此陈家庄凸起南部应为下步稠油勘探的重要方向之一。东营凹陷西南部花沟气田的浅层天然气探明储量为 $10.82 \times 10^8 \text{ m}^3$ ,而高青油田产生的次生气不足以形成花沟气田的储量规模,且在花沟气田南部仍未发现油藏,因此在花沟气田下倾方向(高青断层下降盘)为寻找稠油油藏的有力方向(图4)。惠民凹陷南坡曲35井于馆上段获得工业气流,分析其原因为原油降解气,说明该区发育稠油油藏,应为下步的重点勘探方向。

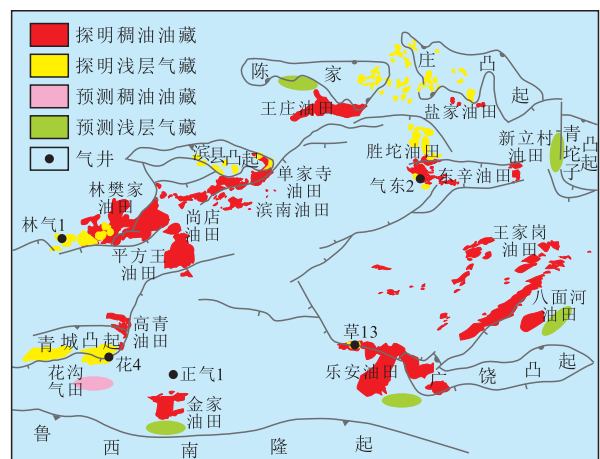


图4 东营凹陷稠油油藏与浅层气藏分布

### 3.2 由已知稠油油藏寻找未知浅层气藏

东营凹陷发现了大量的稠油油藏,主要分布于凹陷边缘的斜坡带、断阶带和凸起周缘,稠油油藏的上方和上倾方向是寻找浅层气藏的有力方向。单家寺、林樊家和高青油田上倾方向已发现一定规模的浅层气藏,而草桥、八面河、王庄等亿吨级稠油油田附近仅发现少量天然气藏,其上倾方向(草桥南部、八面河东南部和王庄油田北部等)为天然气的主要运移指向区,是下步天然气勘探的重要方向(图4)。此外,东营西南部金家油田及青坨子凸起周缘已发现稠油油藏及少量天然气藏,也是今后寻找浅层气藏和稠油油藏的有力地区。

### 3.3 根据地震亮点寻找浅层气藏及其伴生稠油油藏

济阳拗陷的浅层气藏在地震剖面上多表现为亮点特征<sup>[2]</sup>。利用地震亮点技术已在济阳拗陷发现

了28个亮点群,数百个亮点,在天然气产能建设中发挥了重要作用。在济阳拗陷各生油凹陷周缘及凸起附近,如沾化凹陷周缘、垦东凸起、青坨子凸起、埕子口凸起及东营、惠民凹陷南坡等地区,可以利用地震亮点技术寻找浅层天然气藏。若发现浅层气藏,则可进一步寻找伴生的稠油油藏,并结合油气综合评价,进行浅层气藏与稠油油藏的联合勘探。

## 4 结束语

通过分析济阳拗陷浅层气藏与稠油油藏的分布及地球化学特征,发现二者在空间分布上存在伴生现象,浅层气藏与较低部位的稠油油藏共同发育且伴生分布;在成因上具有共生关系,浅层气藏主要为油溶释放气和原油降解气,而油藏中的油气由于生物降解及天然气脱出等原因形成稠油油藏。根据浅层气藏与稠油油藏的分布及成因关系提出联合勘探的设想,即由已知浅层气藏寻找未知稠油油藏,由已知稠油油藏寻找未知浅层气藏,或根据地地震亮点寻找浅层气藏及其伴生的稠油油藏,进而实现研究区油气勘探的新突破。

**致谢:**在论文撰写和修改过程中,付瑾平同志提出了许多宝贵的意见和建议,特此感谢!

### 参考文献:

- [1] 陈建渝,曹树春,曹忠祥,等.中国东部中、浅层气藏成藏动力学特征——以济阳拗陷中、浅层气藏为例[J].油气地质与采收率,2001,8(1):13-17.
- [2] 王兴谋.济阳拗陷浅、中层天然气藏地震预测技术[J].石油地球物理勘探,2005,40(3):322-327.
- [3] 张晋言.非均质稠油油藏储层测井响应特征及评价[J].油气地质与采收率,2013,20(3):41-45.
- [4] 张林晔,李学田.济阳拗陷滨海地区浅层天然气成因[J].石油勘探与开发,1990,17(1):1-7.
- [5] 万丛礼,金强,李钜源,等.论裂谷盆地侵入岩区天然气的混合性——以沾化凹陷孤北地区为例[J].油气地质与采收率,2013,20(4):1-4,16.
- [6] 段海凤.济阳拗陷凸起带浅层气成藏主控因素及模式[J].天然气技术与经济,2013,7(3):13-16,55.
- [7] 曹功泽,刘涛,巴燕,等.孤岛油田中一区馆3区块聚合物驱后微生物驱油先导试验[J].油气地质与采收率,2013,20(6):94-96.
- [8] 韩国猛,石倩茹,司维柳,等.滨海地区深层天然气成因类型及气源分析[J].油气地质与采收率,2012,19(2):20-22.
- [9] 高阳,金强,王浩.应用统计法预测济阳拗陷生物气资源量[J].

特种油气藏,2010,17(6):25-28.

- [10] 赵淑萍.陈家庄油田南区薄层特稠油油藏高效开发关键技术及其应用[J].油气地质与采收率,2012,19(3):98-100,103.
- [11] 梁生正,任铁扣,曾宪云,等.渤海湾盆地天然气勘探方向与目标[J].石油实验地质,2005,27(6):565-569.
- [12] 刘广友.孤东油田九区稠油油藏化学蒸汽驱提高采收率技术[J].油气地质与采收率,2012,19(3):78-80,83.
- [13] 丁祖鹏,田冀,张晓亮.稠油油藏类比方法研究[J].特种油气藏,2013,20(4):102-105.
- [14] 牛嘉玉,刘尚奇,门存贵,等.稠油资源地质与开发利用[M].北京:科学出版社,2002:1-212.
- [15] Head I, Jones D M, Larter S R. Biological activity in the deep subsurface and the origin of heavy oil[J]. Nature, 2003, 426(6964): 344-352.
- [16] Hunt J M. Petroleum geochemistry and geology[M]. San Francisco: Freeman Limited Company, 1979: 617-620.
- [17] 王政军,朱光有,王政国,等.原油降解气的形成条件及其特征[J].天然气工业,2008,28(11):29-33.
- [18] 朱光有,张水昌,赵文智,等.中国稠油区浅层天然气地球化学特征与成因机制[J].中国科学: D辑 地球科学,2007,37(增刊II):80-89.
- [19] 朱光有,赵文智,张水昌,等.稠油降解气的特征与识别及其勘探潜力[J].中国石油勘探,2006,11(4):52-57.
- [20] 戴金星,傅诚德,关德范.天然气地质研究新进展[M].北京:石油工业出版社,1997.
- [21] 李春光.东营凹陷稠油油藏成因机制探讨[J].特种油气藏,1996,3(1):1-5,16.
- [22] 陈建渝,李水福,田波,等.垦西-罗家油区稠油成因[J].石油与天然气地质,1998,19(3):248-253.
- [23] 王振奇,彭平安,于赤灵,等.生物降解稠油的成藏及次生变化:济阳拗陷郑家-王庄油田油藏剖面实例研究[J].科学通报,2004,49(增刊I):30-38.
- [24] 陈荣书.石油与天然气地质学[M].武汉:中国地质大学出版社,1993.
- [25] 李敏,赵勇,杨志伟.渤海湾盆地陈家庄凸起浅层气成藏规律[J].石油实验地质,2005,27(4):399-403.
- [26] 宋国奇,穆星,车燕,等.济阳拗陷溶解气运移释放成藏机理与模式[J].地质前缘,2000,7(4):555-560.
- [27] 史基安,孙秀建,王金鹏,等.天然气运移物理模拟实验及其组分分异与碳同位素分馏特征[J].石油实验地质,2005,27(3):293-298.
- [28] 姜林,薄冬梅,柳少波,等.天然气二次运移组分变化机理研究[J].石油实验地质,2010,32(6):578-582.
- [29] 高阳,金强,帅燕华,等.渤海湾盆地生物气成因类型与成藏条件[J].天然气地球科学,2011,22(3):407-414.
- [30] 李赞豪.具有广阔勘探前景的一种新型浅层天然气油层、煤层厌氧菌解再生生物气[J].石油实验地质,1994,16(3):220-229.
- [31] 张善文,王永诗,石砥石,等.网毯式油气成藏体系——以济阳拗陷新近系为例[J].石油勘探与开发,2005,30(1):1-9.