

断陷盆地潜山构造带油气复式成藏特征及油气藏系列

——以辽河西部凹陷兴隆台构造带为例

高先志^{①②*}, 庞雄奇^{①②}, 李晓光^③, 陈振岩^③, 单俊峰^③, 刘峰^①, 邹志文^①, 李潍莲^①

①. 中国石油大学(北京)资源与信息学院, 北京 102249;

②. 油气资源与探测国家重点实验室(中国石油大学(北京)), 北京 102249;

③. 中石油辽河油田分公司勘探开发研究院, 盘锦 124010

* Email: gaoxz@cup.edu.cn

收稿日期: 2007-04-20; 接受日期: 2008-03-21

中国石油科技项目(编号: 07-01C-01-04)资助

摘要 潜山构造带是中国东部断陷盆地中一种油气非常富集的构造单元. 辽河西部凹陷兴隆台构造带是一个典型的潜山带. 兴隆台潜山构造是断块作用下的潜山. 受台安-大洼断裂周期活动的影响, 兴隆台构造带断裂发育, 多期断层纵横交织, 成为油气运移的重要通道, 油气通过断层呈阶梯式运移, 在潜山内部和上覆的第三系不同层段中形成一系列不同类型油气藏, 构成复式油气聚集带. 兴隆台复式油气聚集带具有多油源供给、多期次充注、不同油源混合等特征. 油气运聚具有“多源(多方向)多时期供烃、多渠道输导多层系聚集、多成因圈闭多期次成藏”的复式运聚特点; 构成“潜山内幕裂缝型油气藏和潜山浅表层不整合遮挡油气藏”与“披覆断块型和砂岩上倾尖灭型油气藏”的油气藏分布系列.

关键词

断陷盆地
油气复式运聚
油气藏分布
古潜山油气藏
第三系
辽河西部凹陷

复式油气聚集带是中国断陷盆地油气分布的最大特征之一 [1-4]. 复式油气聚集带是指不同构造层、多个含油层系、多种类型油气藏在时间上的叠加和在空间上的复合 [5, 6]. 其中, 以古潜山为主体的复式油气聚集带是渤海湾含油气盆地的重要油气富集形式 [7-12]. 但以往的研究, 多注重油气藏的多样性和分布的多层系特征方面, 对其运聚特征研究较少 [13, 14]. 随着勘探技术的进步以及多种地球化学分析的开展, 潜山构造带的内幕以及油气的运移特点研究得以深入. 辽河西部凹陷的兴隆台潜山带经过 30 多年不断的勘探和研究, 特别是近期在其内幕发现了高产油气藏, 使得对潜山油气藏系列的认知更加全面. 这些认识对深化渤海湾盆地的潜山勘探, 开拓断陷盆地

复杂油气藏勘探新领域提供了依据.

1 兴隆台潜山形成的地质背景及构造特征

在渤海湾盆地, 潜山的形成与块断作用有关 [15, 16]. 断裂持续周期性的活动, 不仅对早期潜山的形成有影响, 对后期潜山披覆构造也产生影响, 断层作用形成复杂的断块和断背斜构造, 对油气运移也起输导作用.

在辽河西部凹陷, 兴隆台潜山构造带位于凹陷的中央(见图 1), 沿凹陷的走向呈 NE-SW 方向延伸. 辽河盆地的演化和构造的发育一直受到郯庐断裂演化的影响 [17-19].

在古新世—早始新世, 基底强烈裂陷, 断块差异

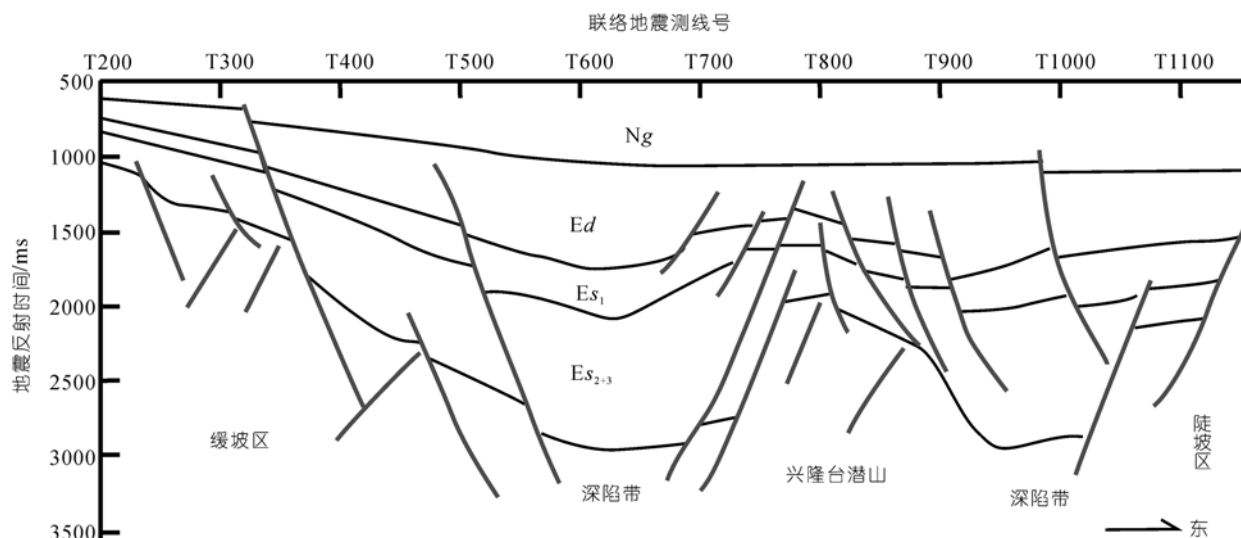


图1 兴隆台潜山构造带在西部凹陷中的位置剖面(EW向)

升降形成兴隆台潜山及陈家和清水等洼陷。沙三段沉积时,西部凹陷为凹陷的扩张期,发育湖侵体系,兴隆台潜山作为水下低突起,形成披盖层序;在沙三段沉积末期,西部凹陷已经填平补齐,水下低突起地貌特征消失。始新世以后,西部凹陷整体坳陷,形成沙二段-东营组的加积层序。东营期末,郯庐断裂的右旋走滑作用,导致西部凹陷整体抬升并产生一系列的NE-SW走向断层,在沙二段-东营组地层中形成复杂断块和断背斜。上述地层构造特征决定了兴隆台构造带的油气藏类型分布的基本格局。

2 潜山构造带油气复式运聚特点

兴隆台潜山构造带处于多个生烃凹陷包围中,潜山及其上覆地层组成多层地质结构,再加上断裂复杂,因此其油气运移聚集具有复杂性。

2.1 油气多源、多方向、多时期的供给特点

兴隆台潜山周边为陈家洼陷、盘山洼陷和清水洼陷所包围(图2)。3个洼陷的沙三段都具有很好的生烃条件。现今清水洼陷烃源岩已经处于生油高峰或生油高峰后期(图3),而陈家洼陷烃源岩刚刚成熟(图3)。不同洼陷开始供烃的时间不同,结果导致不同时期,潜山构造带的油气来源方向以及来源的油气组成(成熟度)不同:早期(从38 Ma开始),陈家和清水两个生油洼陷沙三段烃源岩均进入生油门限开始生烃,这

时两个洼陷烃源岩的成熟度不高,烃源岩的 R_o 均为0.5%~0.7%,两个洼陷生成油气的数量都不多,向兴隆台潜山构造带供烃的数量有限;从30 Ma开始,清水洼陷沙三段烃源岩进入生烃高峰,而这时的陈家洼陷沙三段烃源岩仍处于低成熟阶段,因此,这时兴隆台潜山构造带的油气主要来自清水洼陷。后期(从10 Ma开始),清水洼陷沙三段烃源岩进入高成熟期,而陈家洼陷沙三段烃源岩进入生油高峰,这时兴隆台潜山构造带双向接受油气来源,即接受来自清水洼陷高演化的油气和接受来自陈家洼陷中等成熟的油气。

原油生物标志化合物的成熟度参数 C_{29} 甾烷 $20S/(20S+20R)$ 反映了兴隆台潜山地区不同层系油藏的原油成熟度不同,潜山油层的油比古近系油层的油成熟度高(图4,图5)。兴隆台油田的原油成熟度分布在2个相对集中的分布区间,说明兴隆台潜山构造带的油气是来自成熟程度不同的烃源岩。

在原油的Pr/Ph- C_{29} 甾烷含量交汇图上,可看出兴隆台地区的原油更接近毗邻清水洼陷的清水地区和马圈子地区的原油(图6),而与毗邻北部陈家洼陷的原油差别较大。这说明,兴隆台地区原油更可能来自清水洼陷。

从原油含氮化合物的组成变化看,潜山油层与沙三段油层表现出的油气运移方向有一定差异。由于油气运移会导致咪唑类化合物发生地色层分馏效

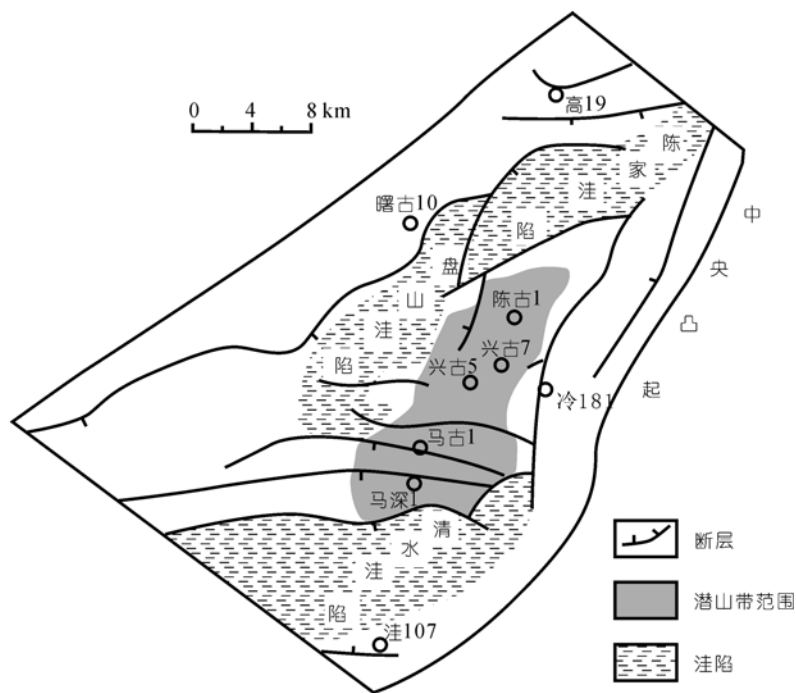


图 2 兴隆台周边被生烃洼陷所包围示意图

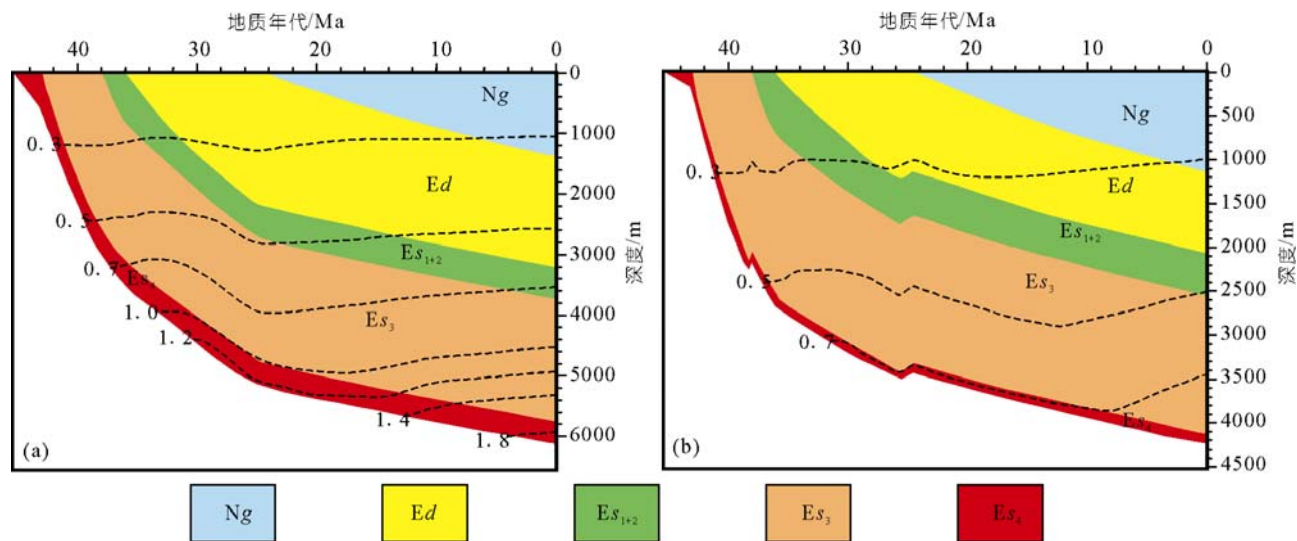


图 3 清水洼陷(a)与陈家洼陷(b)烃源岩成熟度演化模拟图

(a) 双 202 井 镜质体反射率演化史; (b) 冷 71 井 镜质体反射率演化史

应 [20], 线性分子特征的苯并[a]咔唑比半球状分子特征的苯并[c]咔唑运移速度快; 半裸露的二甲基咔唑比裸露型的二甲基咔唑运移要快, 因此随油气运移距离的增加, 线性分子异构体和半裸露型的分子相对富集. 表 1 和表 2 分别为太古界潜山及沙三段原油

不同结构含氮化合物的比值. 表 1 反映油气从南向北运移; 表 2 反映油气分别由南北两部向潜山中部位运移.

综上所述, 兴隆台地区油气深层主要来自清水洼陷, 中浅层油气则来自清水和陈家两个生烃洼陷.

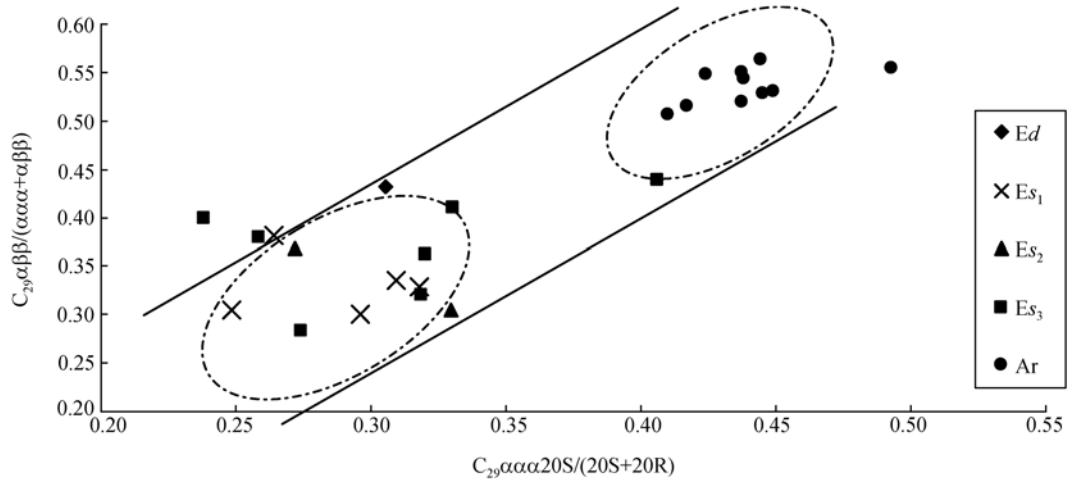


图4 兴隆台潜山构造带不同层段原油的成熟度特征

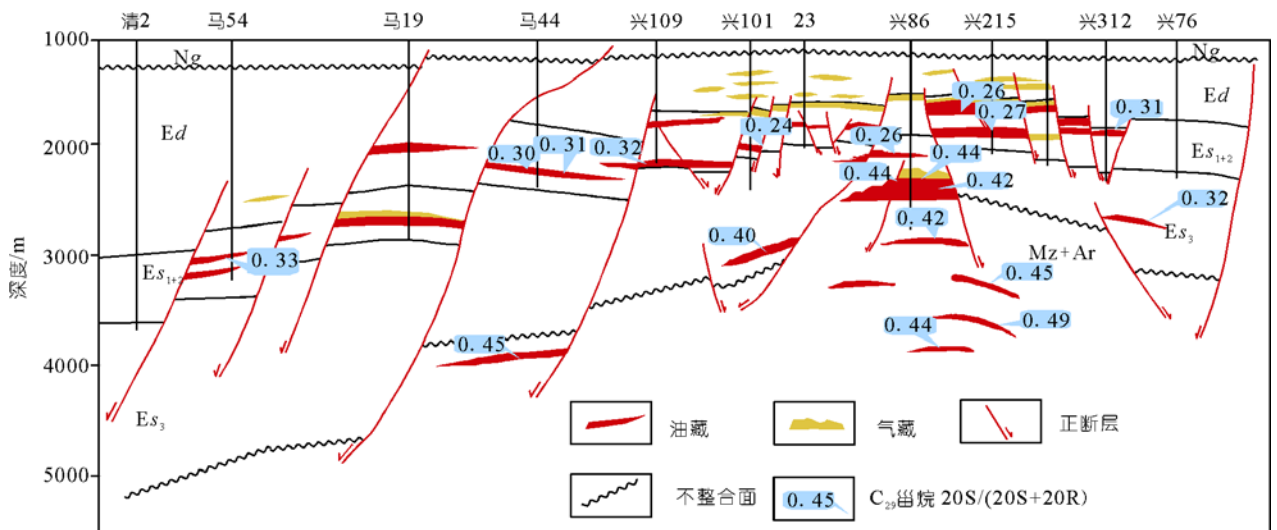


图5 兴隆台构造 NS 向油层成熟度 20S/(20S+20R)参数剖面变化特点

表1 兴隆台地区潜山地层原油中不同结构含氮化合物的比值

| 井号 | 层位 | 井段/m | 吡啶类[a]/[c] |
|---------|----|---------------|------------|
| 兴 231-1 | Ar | 2551~2698 | 2.01 |
| 兴 82C | Ar | 2456.1~2568 | 2.14 |
| 兴古 7 | Ar | 3592~3653.5 | 2.35 |
| 兴古 7-1 | Ar | 3704.5~3774 | 2.35 |
| 兴古 8 | Ar | 2967.1~3022.1 | 2.16 |

表2 兴隆台地区沙三段原油中不同结构的二甲基吡啶含量比值

| 井号 | 层位 | 井段/m | 1, 8/2, 7-二甲基吡啶 |
|-------|-----------------|---------------|-----------------|
| 冷 161 | Es ₃ | 2648.4~2649.4 | 0.68 |
| 冷 182 | Es ₃ | 3076.1~3114.1 | 0.85 |
| 马古 5 | Es ₃ | 2183.6~2151.3 | 0.67 |
| 兴 239 | Es ₃ | 1988~2109 | 1.74 |

2.2 多渠道运移、多层系聚集特点

兴隆台潜山构造带在古近系东营组、沙一段、沙二段和沙三段, 以及古潜山表层和内幕都有油层分布, 这种多层系聚集油气的特点与包括断层、砂层和风化侵蚀面、裂缝带等多种输导条件有关。

断层和砂岩层是最普遍的运移通道. 断层把油源层与浅层沟通, 对油气起到垂向输送作用. 东营组、沙一段和沙二段等浅层位于烃源岩之上的所谓源上油气藏, 其油气必须通过多阶断层发生垂向运移, 并与渗透砂岩沟通, 形成 F 型和 T 型运聚样式(见图 7). 沙三段油气具有自生自储特点, 在潜山斜坡的上倾尖灭砂体中, 油气从深部通过砂体顺层运移并聚

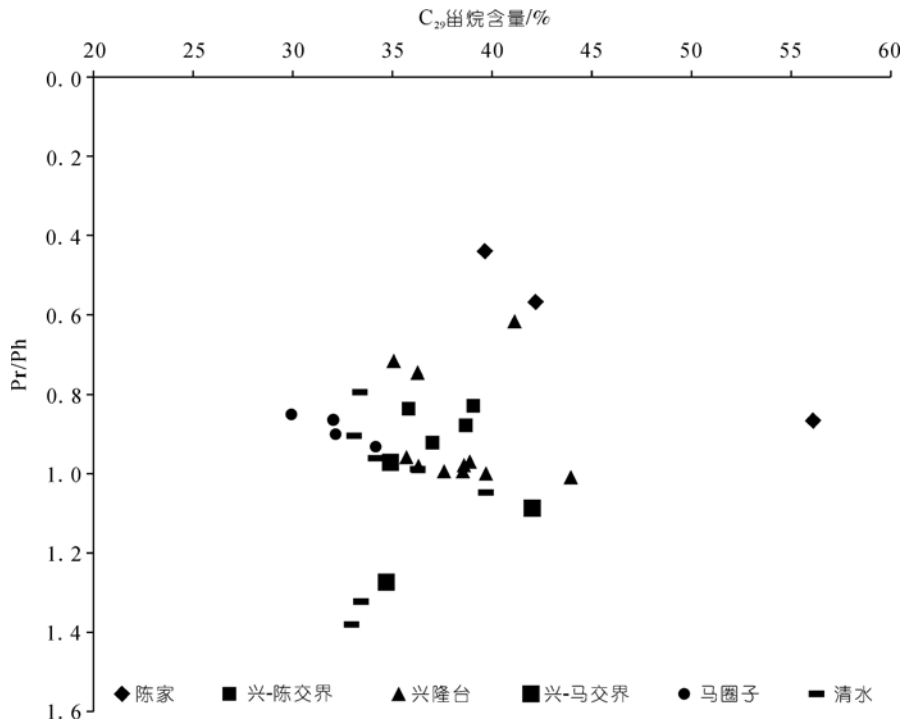


图 6 清水-马圈子地区原油生源特征参数 Pr/Ph 与 C₂₉ 含量交绘图

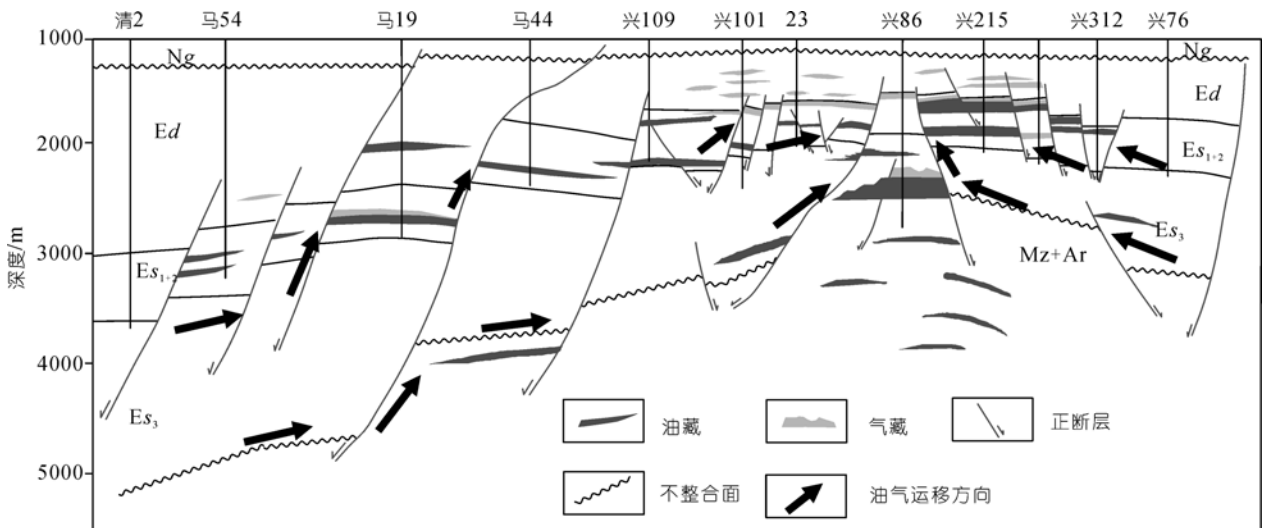


图 7 兴隆台潜山构造带油气复式运移特点

集在高部位。

在潜山地层内部，断层及断裂作用形成的裂缝交织一起，起到快速通道和分支分流的立体输导作用。而在潜山顶部，则存在风化剥蚀型运移通道。可见，在兴隆台潜山构造带不同层系中存在着多种输导类型，构成复杂的输导体系。

2.3 多期次充注、多期次成藏特点

潜山构造复式油气聚集带的多油源及构造运动的周期性特点决定了油气运移的多期性和成藏的多期性。分析马古 1 井沙三段储层流体包裹体均一化温度，可以看出油气藏存在 3 个主要的充注期，根据埋藏史推断，三期分别相当于沙二段沉积晚期、东营组

沉积晚期和晚第三纪以来. 其中, 沙一段—东营组沉积期是主要运聚期(图 8). 罗静兰在研究潜山包裹体组成特征时, 也提出潜山油气的成藏存在 3 个阶段^[21]. 这都说明, 兴隆台构造带油气至少经历了 3 个成藏期次. 但不同层位, 由于经历构造活动期次和供烃时间长短不同, 成藏期次不同. 沙一段和东营组油气藏主要主要是两期形成.

3 潜山构造带油气藏分布

关于古潜山油气聚集带油气藏的分布有许多研究, 以往特别强调两大类: 不整合遮挡型古潜山油气藏和披覆层的断块油气藏^[6-12]. 兴隆台潜山的勘探证明, 在潜山地层内还存在内幕裂缝型油气藏, 在披覆地层中还存在上倾尖灭油气藏. 因此, 潜山构造带油气藏存在多种多样的油气藏.

3.1 兴隆台构造带油气藏系列

根据兴隆台潜山构造带油气藏的成因和分布特点, 可以从不同的角度对其油气藏系列进行划分(表 3). 具体如下:

(i) 根据潜山构造带的双构造层的地层结构分为基岩潜山油气藏和第三系披覆地层中的油气藏; (ii) 根据与沙三段烃源岩层的位置关系分为源上油气藏、源内油气藏和源下油气藏, 沙三段以上的地层为源上油气藏, 沙三段地层内部的油气藏为源内油气藏, 沙三段以下地层的油气藏为源下油气藏; (iii) 按照圈闭成因分为潜山基岩内幕裂缝油气藏、不整合面遮挡潜山油气藏、砂岩上倾尖灭油气藏、断层遮挡油气藏(断块、断鼻、断背斜)和断层-岩性复合油气藏等.

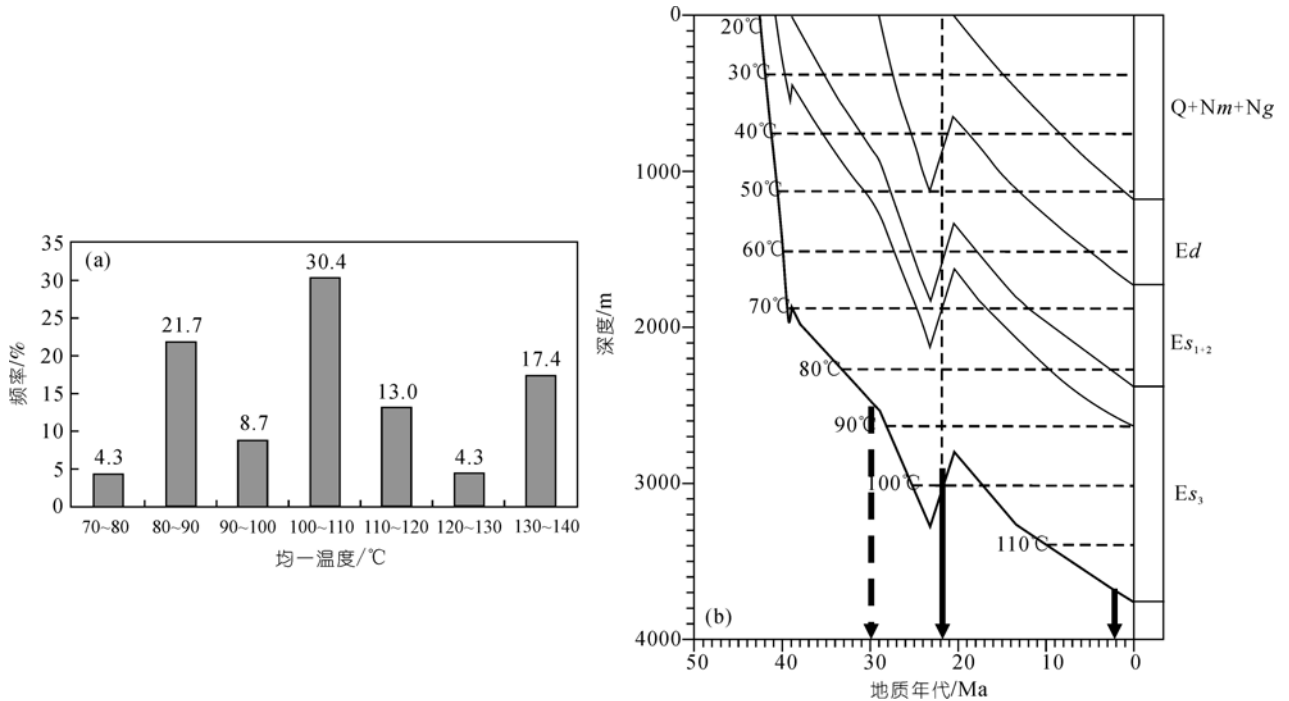


图 8 马 1 井沙三段储层盐水包裹体均一化温度分布(a)及对应的油气成藏时期(b)

表 3 兴隆台潜山构造带油气藏分布系列

| 油气藏的类型及分布 | 隶属构造层 | 储层与烃源岩层的空间关系 | 圈闭成因特点 | 储层孔隙成因特点 | 主要分布层段 |
|-----------|--------|--------------|-------------------------|----------|---|
| | 第三系盖层 | 源上油气藏 | 断块、断鼻、断背斜 | 砂岩孔隙型 | Ed, Es ₁ , Es ₂ , Es ₃ |
| | | 源内油气藏 | 断层-岩性复合油气藏 砂体上倾尖灭油气藏 | | |
| | 前第三系基岩 | 源下(外)油气藏 | 不整合遮挡油气藏 | 溶蚀-裂缝型 | Ar |
| | | | 内幕构造裂缝油气藏 | 裂缝-溶蚀型 | Ar |

3.2 油气藏类型的纵向分布特点

从层位看, 不同层位油气藏类型有所差异.

东营组油气藏类型主要为断块及断层-岩性油气藏.

沙一段和沙二段是兴隆台油田最重要的油气聚集层段, 油气藏主要受断层活动影响, 形成断鼻、断块等类型(图 7). 断鼻型油气藏是主要的油气藏类型 [22], 它主要是上倾方向被南掉的断层遮挡且与北倾的地层构成圈闭. 如马圈子地区的马 20 块、马深 1 块, 兴隆台地区兴 20 块、兴 41 块. 断块型油气藏是指被多条同期或不同期的断层所围限, 并与不同倾向的地层构成, 如马 95 块、兴 88 块、兴 49 块等断块.

沙三段油气分布明显受沉积相带的控制, 油气藏多为断层-岩性油气藏和岩性油气藏类型. 在潜山斜坡区的沙三段发育上倾尖灭油气藏, 如兴东 1 井、冷 181 井和冷 182 井油藏都属于此类. 其砂体为浊积扇的中扇, 它们由西向东部潜山方向超覆. 兴隆台潜山斜坡区沙三段是寻找这类油气藏的有利部位 [23].

潜山油气藏按其分布位置分两类, 一种是分布在太古界地层顶部剥蚀面附近的不整合遮挡油气藏,

其孔隙以溶蚀孔为主 [24]; 另一种分布在太古界潜山内部, 形成潜山内幕裂缝油气藏 [25,26], 其储集空间主要为裂缝. 例如兴古 7 井, 在潜山以下 1600 多米的潜山地层中发现裂缝十分发育的油气藏.

兴隆台太古界变质岩基地潜山内幕裂缝油气藏是新发现的一种重要类型油气藏. 勘探证实, 古潜山内幕裂缝油气藏中的断裂和裂缝对油气运移和聚集起重要作用. 潜山整体构成一种似块状的构造裂缝型油气藏(如图 9), 其内幕储层的发育程度与断裂活动和酸性岩脉分布有很大关系, 酸性岩脉中的裂缝更发育 [25].

4 结论

潜山构造带是断陷盆地中最重要的油气聚集带之一. 其油气运聚具有“多方向汇聚、多渠道输导、多层系聚集、多期次成藏”的复式运聚特点; 形成一系列不同成因的圈闭和油气藏, 形成包括不同层位的潜山披覆断块、上倾尖灭与潜山不整合遮挡和潜山内幕裂缝等类型的复式油气聚集带. 潜山内幕裂缝油气藏具有隐蔽性和复杂性, 是中国东部盆地潜山勘探一个有勘探潜力的新领域.

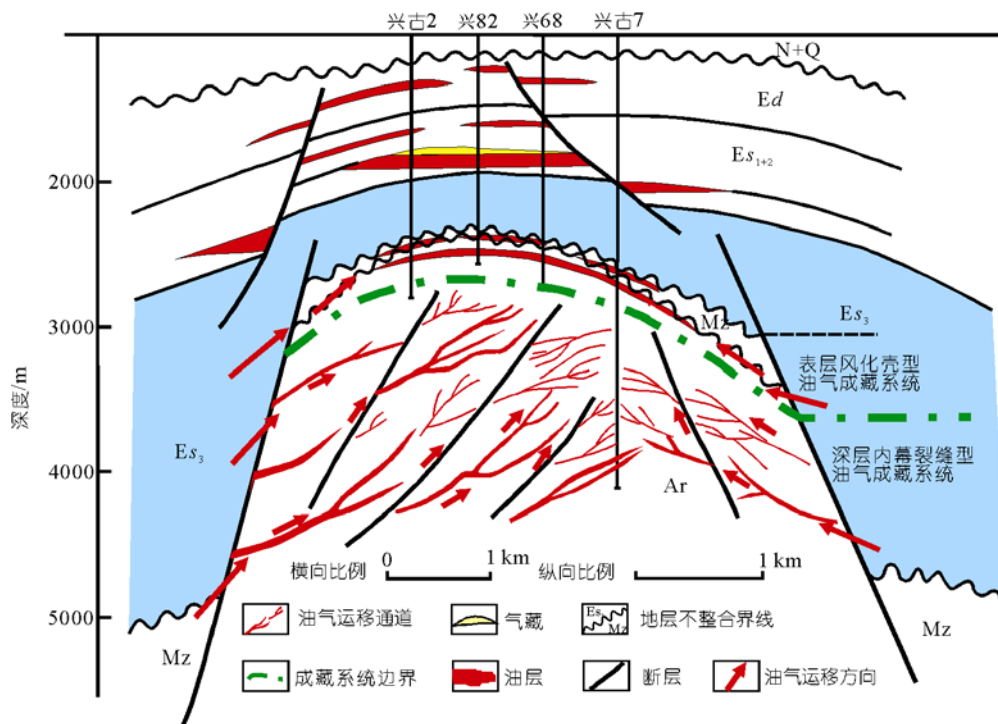


图 9 兴隆台潜山表层和内幕油气藏特征

参考文献

- 1 李德生. 中国油气勘探的理论与实践. 世界科技研究与发展, 2003, 25(4): 1—6
- 2 Li D S. Recent Advances in Petroleum Geology of China. J Petrol Geol, 1990, 13(1): 7—18 [DOI](#)
- 3 李德生. 中国石油地质学的理论与实践. 地学前缘, 1995, 2(3): 15—19
- 4 胡见义, 徐树宝, 童晓光. 渤海湾盆地复式油气聚集区(带)的形成和分布. 石油勘探与开发, 1986, 13(1): 1—8
- 5 陈景达. 渤海湾盆地的复式油气聚集带——以辽河西部、廊固和东濮三个凹陷为例. 石油大学学报(自然科学版), 1988, 12(3): 41—50
- 6 张文昭. 中国陆相盆地油气藏类型及复式油气聚集区油气藏系列. 大庆石油地质与开发, 1989, 8(4): 1—14
- 7 阎敦实, 王尚文, 唐智. 渤海湾含油气盆地断块活动与古潜山油、气田的形成. 石油学报, 1980, 1(2): 1—10
- 8 李德生. 倾斜断块-潜山油气藏——拉张型断陷盆地内新的油气圈闭类型. 见:李德生, 著. 李德生石油地质论文集. 北京:石油工业出版社, 1992
- 9 杜金虎, 邹伟宏, 费宝生, 等. 冀中拗陷古潜山复式油气聚集区. 北京: 科学出版社, 2002. 490—517
- 10 张厚福, 方朝亮, 高先志, 等. 石油地质学. 北京: 石油工业出版社, 1999. 250—254
- 11 华北石油勘探开发设计研究院. 潜山油气藏. 北京: 石油工业出版社, 1982. 1—10
- 12 董冬, 陈洁. 断陷盆地潜山油气藏体系的形成、分布和勘探——以济阳拗陷为例. 石油勘探与开发, 2000, 27(6): 26—27
- 13 李丕龙. 断陷盆地油气聚集模式及其动力学特征. 石油大学学报(自然科学版), 2000, 24(4):26—28, 124—125
- 14 李丕龙, 翟庆龙, 荣启宏, 等. 东营凹陷中央背斜带油气运移聚集特征. 石油勘探与开发, 2000, 26(4): 64—66, 113—121
- 15 王同和. 渤海湾盆地中、新生代应力场的演化与古潜山油气藏的形成. 石油与天然气地质, 1986, 7(3): 273—280
- 16 王颖, 王英民, 赵锡奎. 济阳拗陷构造演化对断块型潜山的形成及油气成藏的影响. 矿物岩石, 2004, 25(2): 73—77
- 17 陈振岩, 陈永成, 仇劲涛, 等. 辽河盆地新生代断裂与油气关系. 石油实验地质, 2002, 24(5): 407—412
- 18 陈义贤. 辽河裂谷盆地断裂演化序次和油气藏形成模式. 石油学报, 1985, 6(2): 1—11
- 19 孙洪斌, 张凤莲. 辽河盆地走滑构造特征与油气. 大地构造与成矿学, 2002, 26(1): 16—21
- 20 Dorbon M, Schmitter J M, Garrigues P, et al. Distribution of carbazole derivatives in petroleum. Org Geochem, 1984, 7: 111—120 [DOI](#)
- 21 罗静兰, 梁志刚, 王卓卓, 等. 辽河盆地兴隆台潜山变质岩-火山岩油藏烃类注入史及其成藏模式. 石油实验地质, 2004, 26(3): 249—253
- 22 辽河油田石油地质志编辑委员会. 中国石油地质(卷3). 北京:石油工业出版社, 1993. 298—309
- 23 高先志, 李晓光, 李敬生, 等. 辽河兴隆台地区沙三段砂体发育模式与岩性油气藏勘探. 石油勘探与开发, 2007, 34(2): 187—225
- 24 刘敬. 兴隆台-马圈子古潜山油气藏勘探研究. 特种油气藏, 2006, 13(1): 46—49
- 25 谢文彦, 孟卫工, 张占文, 等. 辽河拗陷潜山内幕多期裂缝油藏成藏模式. 石油勘探与开发, 2007, 33(6): 649—652
- 26 高先志, 陈振岩, 邹志文, 等. 辽河西部凹陷兴隆台高潜山内幕油气藏形成条件和成藏特征. 中国石油大学学报(自然科学版), 2007, 31(6): 6—9