

文章编号: 1000-0747(2022)04-0660-10

DOI: 10.11698/PED.20210803

环渤中地区浅层大规模岩性油藏的成藏主控因素与成藏模式

周心怀¹, 王德英², 于海波², 杨海风², 李龙²

(1. 中海石油(中国)有限公司海南分公司, 海口 570100; 2. 中海石油(中国)有限公司天津分公司, 天津 300459)

基金项目: “十二五”国家科技重大专项“渤海海域大中型油气田地质特征”(2011ZX05023-006-002);
“十三五”国家科技重大专项“渤海海域勘探新领域及关键技术研究”(2016ZX05024-003)

摘要: 基于环渤中地区油气勘探实践和浅层岩性油藏解剖, 结合油气成藏要素的配置关系、富集规律研究, 对其成藏主控因素与成藏模式进行总结, 预测有利岩性油气藏勘探方向。研究认为, 环渤中地区浅层岩性油藏富集主控因素为“脊-断-砂-带”4要素的耦合, 深层汇聚脊是浅层油气富集的基础, 切脊大断裂活动强度与盖层断接厚度控制油气垂向运移能力, 大型砂体与切脊断裂耦合控制大规模油气充注, 构造应力集中带断裂封闭能力影响岩性油气藏富集程度。通过对环渤中地区浅层岩性油藏的实例分析, 建立凸起汇聚型、陡坡砂体汇聚型、凹中隆起汇聚型3种主要油气富集模式。

关键词: 浅层岩性油藏; 主控因素; 汇聚脊; 成藏模式; 环渤中地区; 渤海湾盆地

中图分类号: TE122.2

文献标识码: A

Major controlling factors and hydrocarbon accumulation models of large-scale lithologic reservoirs in shallow strata around the Bozhong sag, Bohai Bay Basin, China

ZHOU Xinhui¹, WANG Deying², YU Haibo², YANG Haifeng², LI Long²

(1. Hainan Branch of CNOOC Ltd, Haikou 570100, China; 2. Tianjin Branch of CNOOC Ltd, Tianjin 300459, China)

Abstract: Based on the practice of oil and gas exploration and the analysis of shallow lithologic reservoirs, combined with the allocation relationship and enrichment law of oil and gas accumulation factors, main controlling factors and models of hydrocarbon accumulation of large lithologic reservoirs in shallow strata around the Bozhong sag are summarized, and favorable exploration areas are proposed. The coupling of the four factors of “ridge-fault-sand-zone” is crucial for the hydrocarbon enrichment in the shallow lithologic reservoirs. The convergence intensity of deep convergence ridges is the basis for shallow oil and gas enrichment, the activity intensity of large fault cutting ridges and the thickness of cap rocks control the vertical migration ability of oil and gas, the coupling degree of large sand bodies and fault cutting ridges control large-scale oil and gas filling, the fault sealing ability of structural stress concentration zones affects the enrichment degree of lithologic oil and gas reservoirs. Three enrichment models including uplift convergence type, steep slope sand convergence type and depression uplift convergence type are established through the case study of lithologic reservoirs in shallow strata around the Bozhong sag.

Key words: shallow lithologic reservoir; main controlling factors; convergence ridge; accumulation model; Bozhong sag; Bohai Bay Basin

引用: 周心怀, 王德英, 于海波, 等. 环渤中地区浅层大规模岩性油藏的成藏主控因素与成藏模式[J]. 石油勘探与开发, 2022, 49(4): 660-669, 740.

ZHOU Xinhui, WANG Deying, YU Haibo, et al. Major controlling factors and hydrocarbon accumulation models of large-scale lithologic reservoirs in shallow strata around the Bozhong sag, Bohai Bay Basin, China[J]. Petroleum Exploration and Development, 2022, 49(4): 660-669, 740.

0 引言

渤海湾盆地油气勘探程度整体进入中高成熟阶段, 大规模油气发现的难度越来越大。渤海油田在向深层超深层、边缘洼陷探索的同时, 传统浅层(本文浅层主要指新近系明化镇组, 一般埋深1 000~2 000 m)由

于其埋藏浅、物性好、产能高、效益好优点, 仍继续作为勘探增储上产的关键领域^[1-4]。渤海海域浅层历经构造、构造-岩性、岩性等多轮勘探, 油藏规模越来越小, 越来越碎, 单个油气藏规模有限, 探明地质储量规模多小于 $50 \times 10^4 \text{ m}^3$ 。综合经济效益考虑, 寻找浅层大规模优质油气藏成为重点攻关方向^[5-11]。随着研究及勘探实践

的深入,形成了系列关键地质认识与技术,如针对浅层的拗陷期河-湖沉积特征^[1, 4, 6]、河湖交互相大面积岩性圈闭油气富集机理及描述技术^[8, 12-13]、隐性断裂特征及识别技术^[14-15]、深层“汇聚脊”控制的源外油气运聚机理^[2, 14]等,在相关地质认识 and 关键技术创新助推下,在渤海海域环渤中地区相继发现了秦皇岛 33-1 南^[1, 7]、垦利 6-1^[13, 16-17]、垦利 10-2 等多个浅层亿吨级岩性油气藏,表明浅层大规模岩性圈闭仍具有较大油气勘探潜力。前人研究侧重于成藏机理及勘探技术的攻关,本文基于大量钻井、地震、分析化验等资料,结合勘探实践,对环渤中地区浅层大规模岩性圈闭成藏差异进行系统剖析,寻找浅层大规模岩性油藏富集规律,揭示其富集主控因素,建立油气富集模式,以期为进一步勘探指明方向,同时为源外类似油气藏的勘探提供借鉴。

1 区域基本地质特征

1.1 环渤中地区构造及沉积演化特征

环渤中地区位于渤海湾盆地海域的中央,主要包括渤中凹陷、石臼坨凸起、沙垒田凸起、渤南低凸起、

莱北低凸起、黄河口凹陷等二级构造单元(见图 1)。该区中生代受印支—燕山构造运动控制主要发育北东北西、东西 3 个方向的断裂体系,新生代初期这些先存断裂活化控制盆地初始断陷,形成多洼多凸构造格局^[18-22],多类沉积体发育,形成大量“汇聚脊”(汇聚脊系指浅层圈闭下方具有脊状或似脊状的深层地质体,其表面或内部具有与烃源岩大面积接触并广泛连通的渗透层)^[23],晚期整体进入热沉降拗陷演化阶段,形成统一的凹陷^[20]。初始裂陷阶段,沉积局限于古近系孔店组—沙四段,沙三段沉积期进入强裂陷阶段,广泛沉积巨厚湖相泥岩,其有机质成熟度(R_o)超过 2.0%,是渤海湾重要的烃源层系^[24-25];沙三段沉积晚期经历区域抬升剥蚀后,进入断拗转换阶段,这也是渤海最大的湖泛期,广泛发育一套厚度相对较薄的始新统沙一、二段,地层分布广泛,超覆沉积到凸起、低凸起的斜坡部位,这也是区域上稳定的一套生油层系;渐新世进入裂陷Ⅲ幕阶段,沉积东营组,沉积厚度大且稳定、埋藏深,也是一套潜在的烃源岩层系^[26];东营组沉积之后经历一幕次区域抬升剥蚀,新近系整

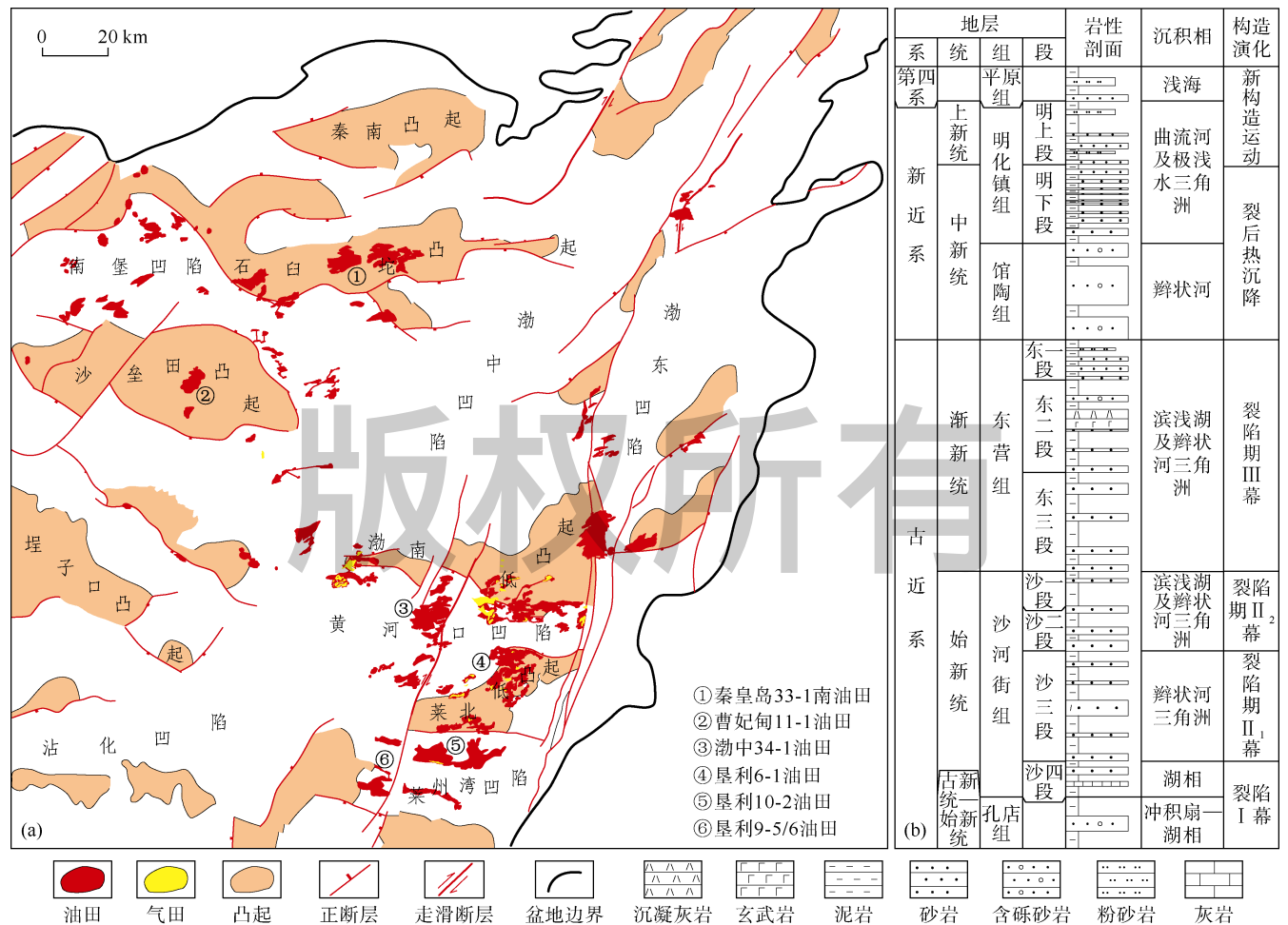


图 1 渤海湾盆地环渤中地区浅层典型油气田分布 (a) 及综合地层柱状图 (b)

体进入拗陷热沉降演化阶段，该时期渤中地区为渤海湾盆地沉积中心迁移的归宿，发育多个局限萎缩型湖盆，以河湖交互沉积体系为主，显著特点是极浅水三角洲—河流相砂岩与湖盆萎缩湖相泥岩形成一套巨厚的储盖组合段^[27]。该时期储集层埋藏浅、物性好（孔隙度平均为 25%）、分布广、厚度适中，泥岩分布较稳定。渤中地区晚期受郯庐、张蓬两条区域走滑断裂活动控制^[28-30]，浅层断裂发育，作为油气垂向输导体系，使得浅层源外大量成藏。

1.2 环渤中地区浅层油气地质特征

环渤中地区浅层油藏（本文特指明化镇组）储量占比大，储量规模大，储集层物性好，测试产能高^[5]。截至 2021 年底，环渤中地区浅层明化镇组探明油气地质储量 16.46×10^8 t 油当量。在已发现浅层油藏中，大型—特大型油气田（探明地质储量大于 1.0×10^8 t）7 个，探明油气地质储量 8.51×10^8 t 油当量，占总探明油气地质储量的 51.7%；大中型油气田（探明地质储量为 $(0.5\sim1.0)\times10^8$ t）6 个，探明油气地质储量 3.48×10^8 t 油当量，占总探明油气地质储量的 21.1%；中型油气田（探明地质储量为 $(0.3\sim0.5)\times10^8$ t）6 个，探明油气地质储量 1.98×10^8 t 油当量，占总探明油气地质储量的 12.0%。浅层油气藏类型以构造、岩性-构造、构造-岩性和岩性油藏为主，其中岩性油藏（本文指岩性-构造、岩性油藏）主要集中在明下段，探明油气地质储量达 11.93×10^8 t 油当量，占浅层明化镇组总探明地质储量的 72.5%。

近年勘探证实，明下段新发现的油藏逐渐转变为岩性圈闭面积大、含油面积连片、储量丰度高、储量规模大的大规模岩性油藏（本文大规模岩性油气藏泛指单砂体油藏储量超 500×10^4 t 的油藏）（见表 1）。大规模岩性油藏主要分布在明下段大面积叠置朵叶型、

河道型砂体中。

渤海海域明下段整体处于湖盆萎缩阶段的相对湖扩期^[6, 27]，地形坡度缓，湖泊水体浅，物源充足，水平面变化影响范围大。环渤中地区新近纪晚期作为渤海湾盆地沉降中心，整体处于河湖交互沉积环境，极浅水三角洲相与河流相频繁交互，储盖组合主要为厚层湖相泥岩夹河流、极浅水三角洲砂岩^[6-27]。明下段沉积期包含多个次级湖泛期，受河流、湖泊水动力共同控制，砂体容易叠置连片，形成大面积连片朵叶型、连片河道砂体型岩性圈闭^[4, 13, 31]。其中叠置朵叶型岩性砂体一般发育于湖浪作用改造较强的极浅水三角洲地区，三角洲前缘砂体不同程度地席状化，大量朵体相互叠置，从而形成多朵叶叠置连片砂体，砂体面积大，具有连片席状化的特点，平面可以较清晰地看到连片分布的大朵叶特征（见图 2），主河道相对不发育。河道砂体型岩性砂体分布广泛，河流、极浅水三角洲中都有发育^[4, 13]。湖水改造作用较弱时，表现为明显的多河道局部交叉切割，一般分叉现象不明显。局部受湖浪作用改造较强烈地区，河道砂体局部席状化明显，密集交织的分流河道在平面上形成了“网状”广泛连片分布的大面积叠覆连片河道型砂体，砂体面积大，可达上百平方米，平面上主河道砂体占比高（见图 2）。砂体平均厚度为 5~15 m，平面厚度变化大，主河道砂厚一般为 8~20 m，席状砂厚为 3~8 m，单个砂体的油气储量规模大，可达数千万吨。

环渤中地区明下段岩性油藏埋藏浅，均质性强，物性好，一般储集层为高孔中高渗到特高孔渗，孔隙度为 15.6%~40.5%，渗透率为 $(8.0\sim5\,765.2)\times10^{-3}\,\mu\text{m}^2$ 。原油性质较好，为中—重质原油，原油密度为 0.858~0.999 g/cm³（20℃），测试产能较高，最高达 263.59 m³/d（见表 1）。

表 1 环渤中地区明下段大型油气田基本特征

典型油田	发现时间	主要油藏类型	主力砂体			储集层物性	密度/(g·cm ⁻³)	油田探明储量/10 ⁴ t	日产量/m ³
			面积/km ²	个数	探明储量/10 ⁴ t				
曹妃甸 11-1	1998 年	岩性-构造	25.3~89.4	9	9 756.40	特高孔渗	0.958~0.972	14 979.34	263.59
渤中 28-34	2003 年	岩性-构造	19.2~30.8	16	7 429.80	特高孔渗	0.858~0.921	9 790.69	95.00
秦皇岛 33-1 南	2011 年	岩性-构造	130.4~278.6	5	5 605.17	特高孔渗	0.904~0.999	9 850.88	85.44
垦利 6-1	2018 年	岩性	89.6~230.0	3	8 529.60	高孔中高渗	0.906~0.939	10 627.33	187.28
垦利 10-2	2020 年	岩性	109.6~257.0	7	7 268.65	高孔中高渗	0.964~0.981	10 844.15	84.72

2 浅层岩性油藏富集成藏主控因素

浅层大规模岩性圈闭成藏主控因素可以归结为“脊-断-砂-带”四要素的耦合，脊即深层汇聚脊^[23, 32-34]，断为主成藏期强活动深切汇聚脊的垂向运移断裂^[31]，砂

为与切脊断裂长距离接触的大面积浅层砂体^[12, 35]，带为油气浅层主运移方向应力转换形成的复杂断裂应力集中带，此处岩性圈闭封闭有效性强。

2.1 深层汇聚脊是浅层油气富集的基础

深层“汇聚脊”强调的是渗透性脊状地质体^[23]，

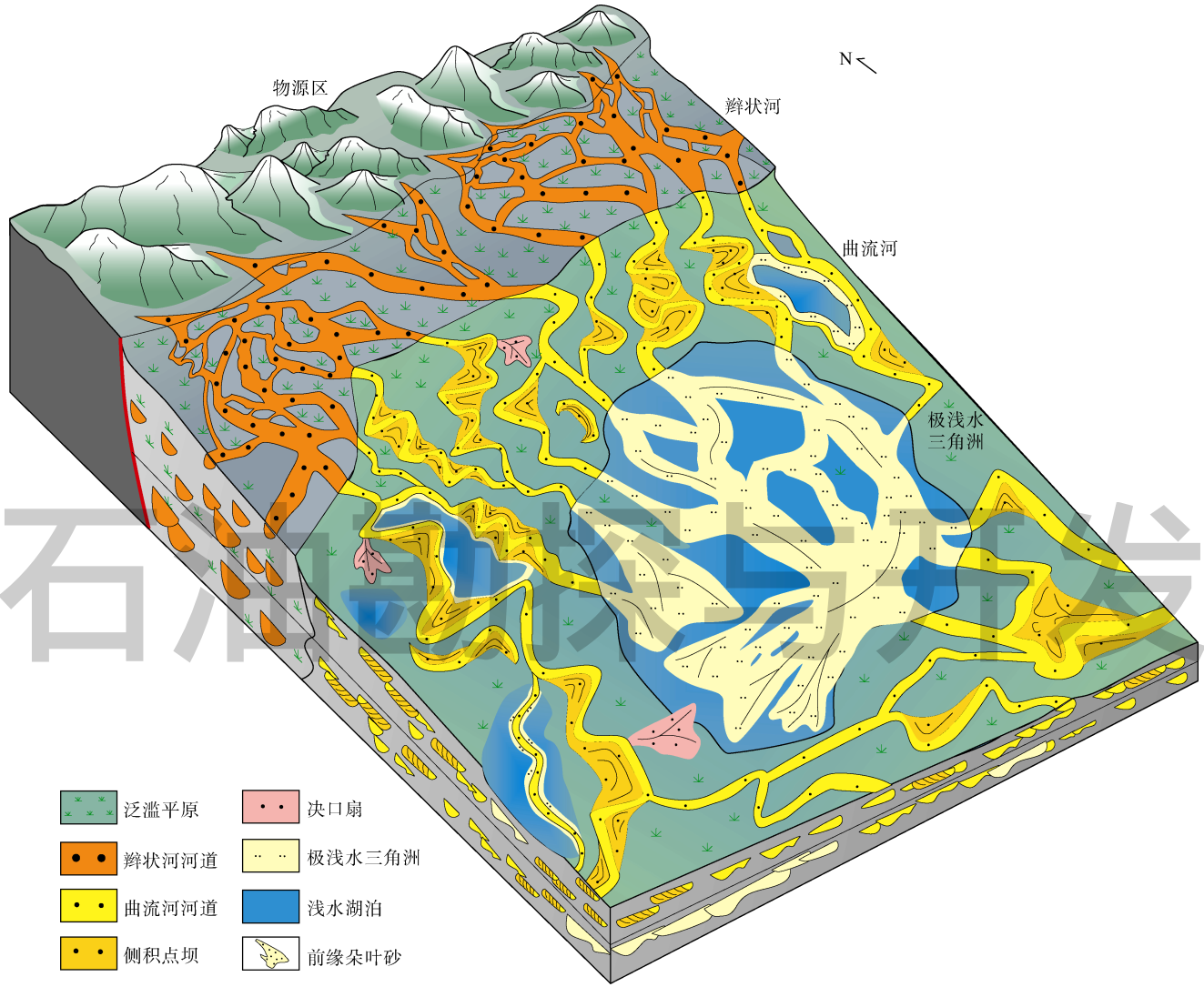


图 2 环渤海地区明下段叠置连片型砂体沉积体系示意图

它本身是一个低势区，也是深层油气侧向运移的“终止”区，本身具备既“汇”又“聚”的作用。根据汇聚脊的特征，具有两个特点：①浅层构造下方的汇聚脊，以运聚通道（不整合面、砂体和断裂）连接烃源灶，能使烃源岩生产的油气从四周向低势区长期运移汇聚。②汇聚脊是深层油气侧向运移的“终止”区，当汇聚脊上沟通深层与浅层的断层活动时，油气沿断层与砂体的组合通道向浅层垂向运移，聚集形成浅层油气藏。如果汇聚脊地质体的储集空间足够大（如陡坡带砂体），则其本身可以形成深层油藏，并控制浅层的油气富集；如果汇聚脊地质体没有足够大的储集空间（如不整合面），则主要控制浅层油藏的运聚作用。渤海勘探实践证实，只有深层存在汇聚脊的时候，源外浅层才具备富集成藏的可能。浅层油藏富集首先受控于是否存在与之耦合的深部烃源岩层初次运移汇聚脊的发育。环渤海地区汇聚脊按照其特征可分凸起型、凹中隆起型、陡坡砂体型 3 类^[23]（见图 3）。深层

汇聚脊控制浅层油气的富集，汇聚脊作为油气优势运移路径上的“仓库”^[34]，为浅层高丰度油藏形成提供充沛的烃和动力。汇聚脊的汇聚能力制约了浅层大规模岩性油藏的富集程度，汇聚能力表征要素包括构造脊与烃源岩接触长度、汇聚脊倾角、汇聚脊面积、构造脊与烃源岩接触面积等因素，可用聚油指数定量表征汇聚脊汇聚能力^[16]。环渤海地区浅层油田储量与汇聚脊聚油指数统计表明（见表 2），二者之间具有良好的正相关性，深层汇聚脊汇聚强度越大，浅层储量规模越大。

2.2 切脊大断裂活动强度与盖层断接厚度控制油气垂向运移能力

对于浅层“他源型”油气成藏系统，新近系砂体与烃源岩并不直接接触，断裂的垂向输导能力影响浅层油气聚集成藏。实践表明，不是所有的断裂都具有垂向运移能力，只有深切“汇聚脊”的大断裂才能有效的进行垂向大规模油气运移^[16]。而且沟通“汇聚脊”

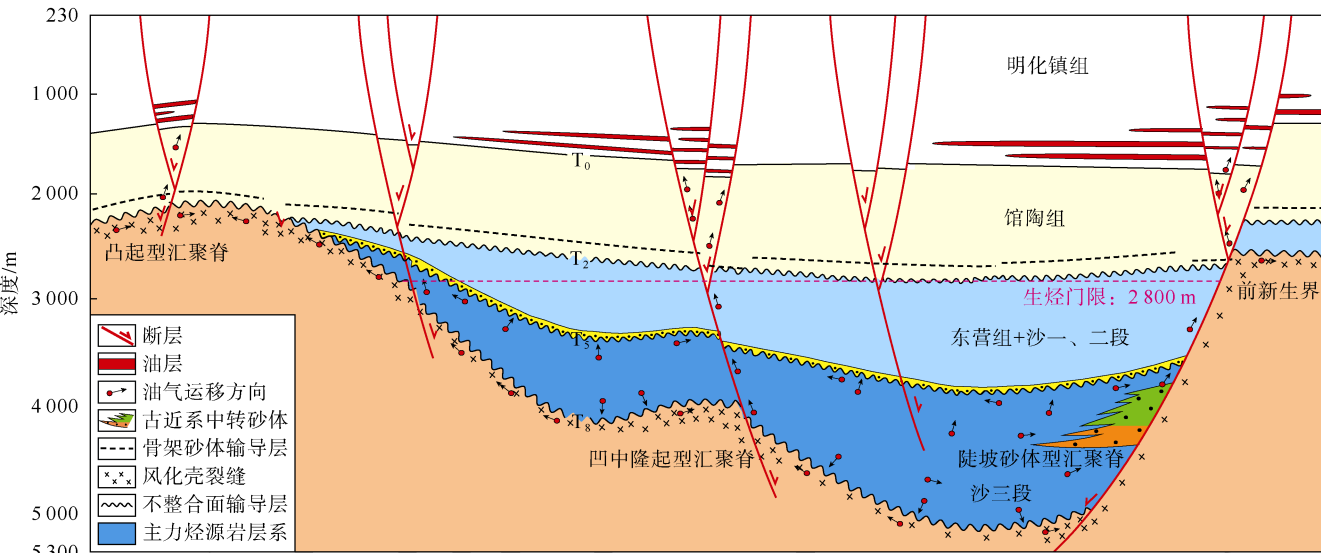


图3 环渤中地区汇聚脊类型与浅层油气分布(据文献[31]修改)

表2 环渤中地区深层汇聚脊汇聚能力与浅层储量分布数据

油田	汇聚脊与烃源岩接触长度/km	汇聚脊与烃源岩接触面积/km ²	汇聚脊角度/(°)	汇聚脊面积/km ²	聚油指数	浅层储量/10 ⁴ t
渤中 28-34	12.71	128.3	13.0	62.90	180.06	9 790.69
龙口 7-6	9.38	46.1	13.8	26.40	59.07	2 048.00
渤中 13-1	9.05	54.2	7.4	57.40	66.90	2 470.20
渤中 8-4	13.07	170.4	20.2	49.90	225.19	5 757.00
曹妃甸 12-6	19.75	70.8	21.0	69.30	490.48	6 560.00
渤中 34-1	15.78	193.5	5.8	106.70	170.75	9 862.00
垦利 6-1	23.30	229.0	8.3	123.00	413.70	14 484.00
垦利 10-2	19.60	178.7	9.7	89.70	519.51	10 844.00
沙垒田凸起	57.32	204.6	10.7	606.11	6 450.28	40 700.00
石臼坨凸起	63.90	674.9	18.5	650.44	9 702.44	43 900.00
蓬莱 9-1	34.77	376.9	7.8	264.39	1 252.34	22 247.00

大断裂与汇聚脊的接触长度越大，晚期活动性越强，油气的垂向运移能力越大，相应的浅层油层富集程度也会越高。但汇聚脊与油源大断裂耦合是油气垂向运移的基本条件，断裂的垂向运移能力还受区域盖层厚度影响^[16, 36]。环渤中地区普遍发育深浅两套区域稳定分布的泥岩段，其中，东营组中下部发育一套湖相巨厚泥岩，平均厚度为 440 m，明化镇组沉积期为坳陷湖

盆沉积背景，中下部发育一套稳定的滨浅湖相泥岩，累计厚度平均为 230 m。

盖层断接厚度是指完整的盖层被断裂破坏之后，断层两盘内盖层对接部分的厚度，一般用来表征断裂对盖层的破坏作用，进而表征油气的垂向运移能力^[36]（见图 4）。环渤中地区断裂-汇聚脊耦合长度、晚期断

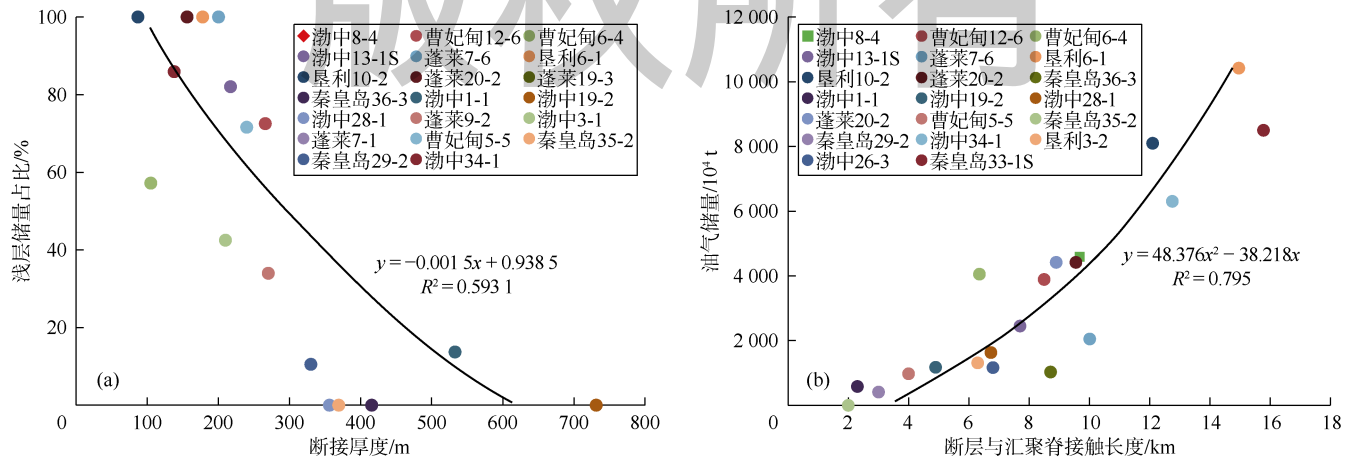


图4 盖层断接厚度(a)、断层与汇聚脊接触长度(b)与浅层油气地质储量分布关系

计表明, 盖层断接厚度大于 350 m 时, 储量主要分布在深层, 当盖层断接厚度小于 350 m 时, 储量主要分布在浅层; 此外油源大断裂与汇聚脊的接触长度与储量分布呈正相关性, 当通源断裂断距大于 100 m 时, 油气垂向运移能力较强, 油气能够通过油源断裂垂向输导至浅层成藏。

2.3 大型砂体与切脊断裂耦合控制大规模油气充注

油气沿断裂垂向输导至浅层后只有进入其两侧有效接触的砂体储集层内才能成藏, 因此, 与切脊断裂砂体接触程度是成藏的关键。前人研究认为油气输导断层与浅层砂体有效接触是断-砂匹配条件下侧向分流输导油气的前提^[9], 砂体与输导断层接触程度越大越有利于油气侧向分流, 应用断裂与砂体的接触面积来评价其接触程度, 用于定量评价砂体与油气输导断层的接触程度^[35]。环渤海地区油田统计结果表明(见图 5), 断砂接触面积与油气烃柱高度呈明显的正相关性, 其中在垦利 5-1 构造 A 井区, 断砂接触面积为 $5.76 \text{ m} \cdot \text{km}$, 烃柱高度仅为 13 m, 而在垦利 6-1 构造 C 井区, 断砂接触的多点充注特征最为明显, 断砂接触面积达 $46.6 \text{ m} \cdot \text{km}$, 对应的烃柱高度高达 85 m。

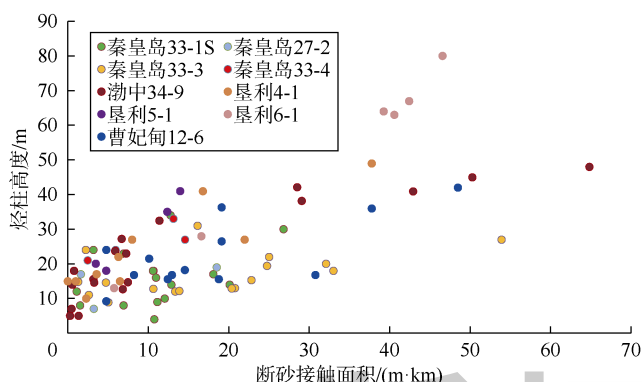


图 5 环渤海中凹陷浅层明下段断砂接触面积与烃柱高度定量表征

同时砂体规模、形态也控制着油气的富集程度及优势成藏部位。受渗透率级差的控制, 油气优先充注到厚泥岩中的大面积砂体中, 油气进入砂体后, 其连通性又进一步决定了油气平面充注能力。叠置砂体型大面积岩性圈闭, 受砂体厚度变化、叠置程度影响, 连通程度存在很大差异。砂体连通性越强, 油气成藏规模越大。平面连通性差的砂体, 低部位成藏, 高部位一般不成藏。浅层砂泥岩组合好, 地震资料分辨率高, 通常应用常规地震属性即可很好地预测砂体厚度与平面连通性^[12]。如图 6 垦利 10-2 油田的①号砂体岩性圈闭中, KL10-A 井区砂体与主运移断层强接触, 油气优

先成藏, 而 KL10-F 井区的砂体与 KL10-A 井区砂体连通性差, 并且与油源断裂不接触, 钻探证实未成藏。

2.4 构造应力集中带断裂封闭能力影响岩性油气藏富集程度

与深切“汇聚脊”大断裂耦合的明下段大面积砂体是油气横向输导的良好运移通道^[5], 油气进入砂体后能否规模成藏进一步受控于封闭条件。油气的封闭能力主要受控于岩性上倾尖灭方向上受挤压应力形成的复杂断裂转换带的封闭能力。勘探实践证实, 上倾尖灭方向处于挤压背景下断裂带附近, 由于受挤压应力影响, 地层变形严重, 并且断裂带间扭动频繁, 泥岩涂抹效应增强, 进而造成断裂带附近封闭能力强。当油气沿砂体运移至该处时, 受到断裂带封堵, 进而聚集成藏, 该类油藏油柱高度较大, 是目前浅层大规模岩性油气优势富集的重要部位(见图 6)。这些应力集中部位可以是控洼边界大断裂, 活动性强, 虽然数量少, 但是处于挤压背景下可以形成有效封闭; 也可以是凹中受晚期构造运动影响形成的花状构造带外瓣断裂带附近(如图 6 垦利 10-3 构造带), 虽然断裂连续性较差, 但是多为受挤压应力集中造成的扭变区, 封闭能力强。尤其主运移方向第 1 排应力集中断裂带附近的岩性圈闭, 如垦利 10-2 油田, 优先截留封闭油气, 高丰度成藏。秦皇岛 33-1 南、曹妃甸 11-1、秦皇岛 32-6、渤中 28-34 等凸起上的大规模岩性油藏浅层虽然不发育构造圈闭, 但是有一定构造背景^[1, 7, 32], 较容易封堵成藏。而垦利 10-2、垦利 6-1^[4, 13, 17]、龙口 14-5、垦利 9-5 等低凸起构造带, 洼陷内岩性油藏浅层不但不发育构造圈闭, 而且不具备构造背景, 大面积岩性圈闭叠合连片发育, 岩性油藏主要聚集在南部应力转换带附近岩性尖灭形成的圈闭内。

3 浅层岩性油藏成藏模式

考虑“脊-断-砂-带”控藏 4 要素, 以汇聚脊为主因, 建立 3 类浅层油气成藏模式。

3.1 陡坡砂体汇聚型富集成藏模式

该类是近年勘探新发现浅层大规模成藏模式。深层古近系沙河街组成熟烃源岩中初次运移来的油气, 进入陡坡大断层附近发育的近源扇体内初次汇聚, 随着切割近源扇体控洼大断裂晚期强烈活动, 作为高效垂向输导通道, 可以把深层的油气进一步向浅层运移。由于深层汇聚能力强, 浅层断裂附近圈闭不能提供足够存储空间, 油气可以在控洼断裂相接触叠合连片砂体

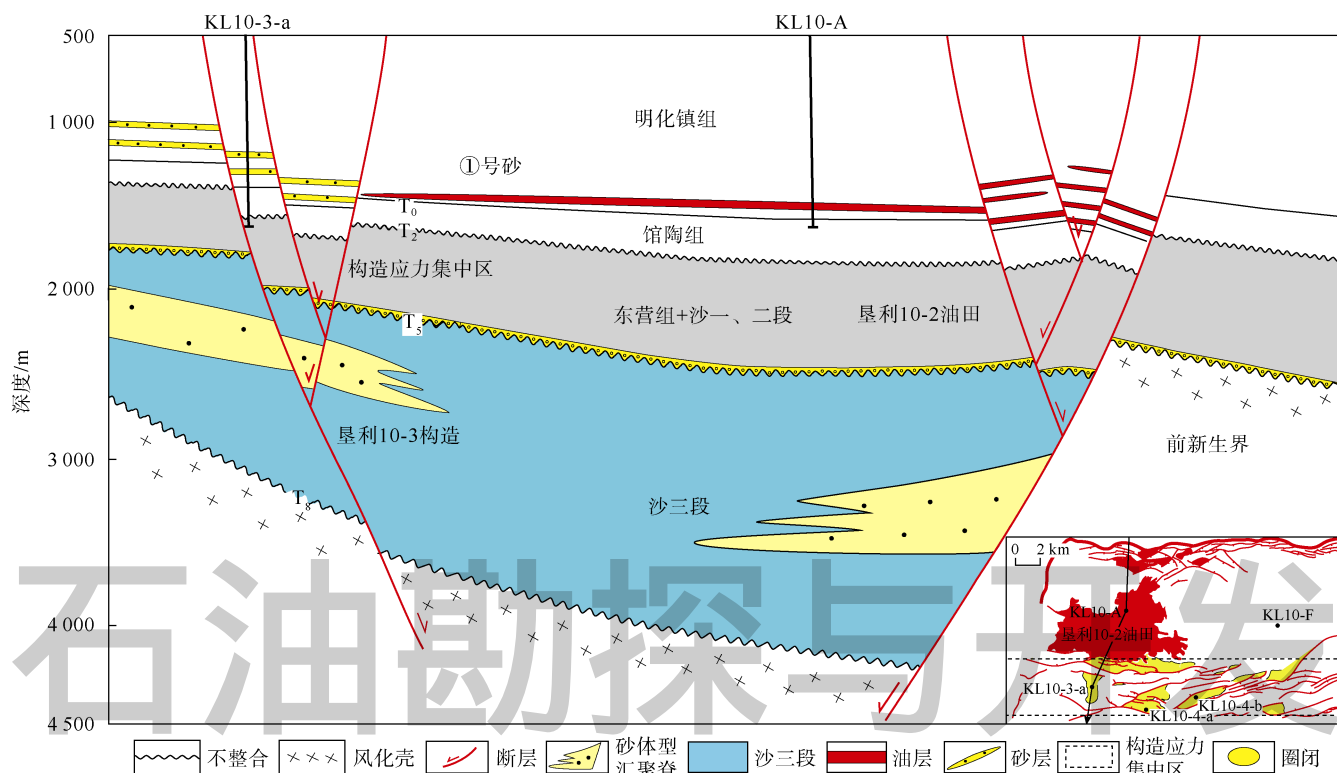


图6 垦利10-2油田区KL10-A井明下段砂体与主运移断层配置关系

中继续运移,这些砂体一般面积大,最大可达200 km²,连通性好。在向大面积连片砂体高部位运移过程中,遇到岩性尖灭处或花状构造应力集中带,油气运移受阻,在此遮挡汇聚,从而形成浅层大规模岩性油藏,如图7中垦利10-2油田。而南部花状构造核部即使构造圈闭发育,受应力集中带封堵遮挡,运移受阻,油气未运移至该区,浅层也很难成藏,如图7中垦利10-3、10-4构造皆钻探失利。

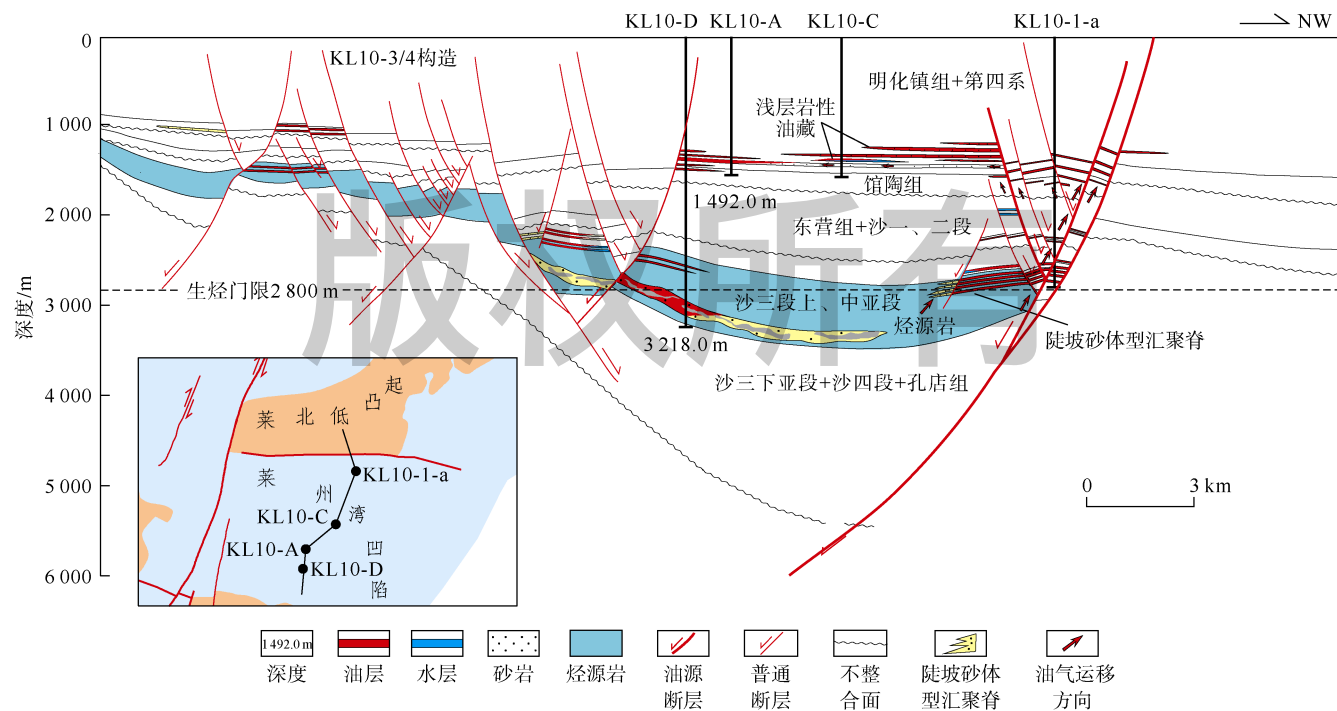


图7 垦利10-2陡坡汇聚型浅层岩性成藏模式图

此类型富集成藏的核心要素包括：陡坡源内烃源岩直接接触能够初次汇聚的陡坡砂体、与汇聚砂体强接触垂向输导的控洼大断裂、与控洼断裂长接触的浅层大面积岩性圈闭、浅层主运移方向强封堵条件（见图 7）。环渤中洼陷陡坡带砂体汇聚区，这是最有潜力的大规模岩性油藏成藏区，广泛发育的边界断层陡坡带都是潜力区。

3.2 凸起汇聚型富集成藏模式

凸起区作为油气运移的最终汇聚区，整体的油气汇聚能力较强，这也是凸起区浅层勘探可以形成十亿吨级油田的主要原因^[2-3]。大规模岩性油气成藏的核心是：凸起型汇聚，大量切脊断裂垂向输导，大面积岩性圈闭^[5]。渤中凹陷成熟的油气可以由沟通陡坡带鼻状构

造中砂体型汇聚脊和深切油源大断裂两种输导路径运移至浅层（见图 8）。凸起区区域不整合面 T₈ 和馆陶组区域输导层直接接触，共同组成一套有利的储集层，汇聚能力强，且是油气的最终指向区。晚期大量的断层活动，只要切入馆陶组就能很好的起到垂向运移作用，相应的输导能力也很强。砂体与切脊断裂搭接，断砂耦合较好，油气多点充注，同时大规模砂体即可作为油气储集层，也是该区浅层有利的油气侧向输导层。通过不整合面和馆陶组砂砾岩体快速输导、大量切脊断裂垂向输导，最终形成凸起区浅层大规模岩性圈闭叠合含油^[1, 6, 32]。以沙垒田凸起、石臼坨凸起为代表，潜山发育多个背斜型汇聚脊，其上的明下段大规模岩性圈闭是主要勘探目标，如秦皇岛 27-28 构造区、曹妃甸 11-3E 等。

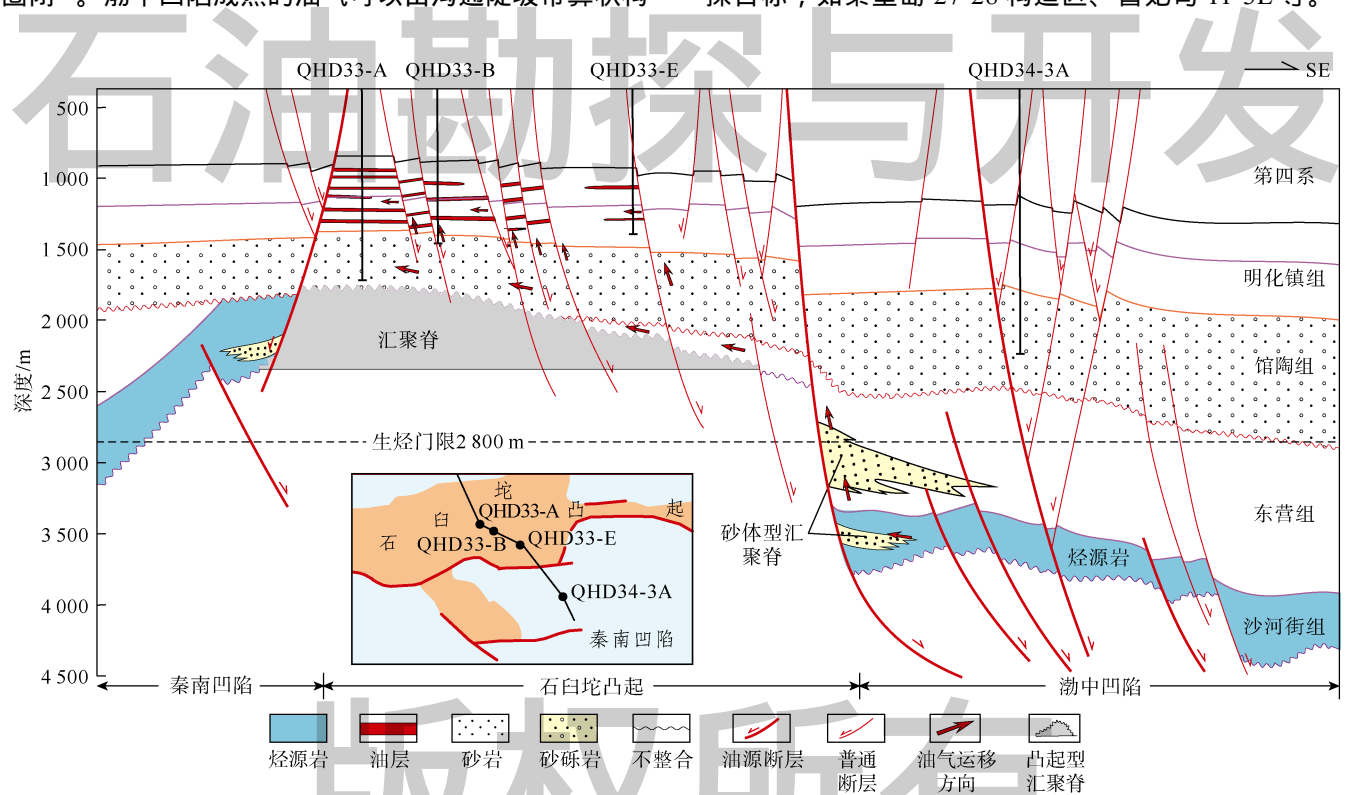


图 8 秦皇岛 33-1 南高凸起汇聚型岩性成藏模式

3.3 凹中隆起汇聚型富集成藏模式

洼中隆起汇聚型油气成藏模式是指在凹陷区内的次级中、小型隆起上形成的浅层成藏模式（见图 9），其富集成藏的核心要点是：凹中隆起汇聚，大量切脊断裂垂向运移，大规模岩性圈闭成藏。结合渤中 28-34 油田的主要成藏特征可以看出，古近系成熟的油气首先在深层古地貌隆起处、古近系沙三段砂体型汇聚脊汇聚，由于不整合面是油气运移的良好通道，不整合面与洼陷中的烃源岩有大面积接触，随着晚期断层持

续活动，油气可以沿不整合面或大断裂不断在横向上汇聚。当油气优先到达洼陷区内的古隆起型汇聚脊（古近系砂体）汇聚，无法沿汇聚脊上不整合面继续运移时，可通过晚期大量发育的、切穿深层汇聚脊的断裂形成垂向运移，直至在浅层与断层相接的岩性圈闭成藏。凹中隆起汇聚区，大规模成藏条件相对苛刻，关键在于需要发育大量晚期切脊的断裂，切脊断裂与晚期砂体耦合地区是浅层大规模岩性勘探的有利区，如渤中 8 构造区。

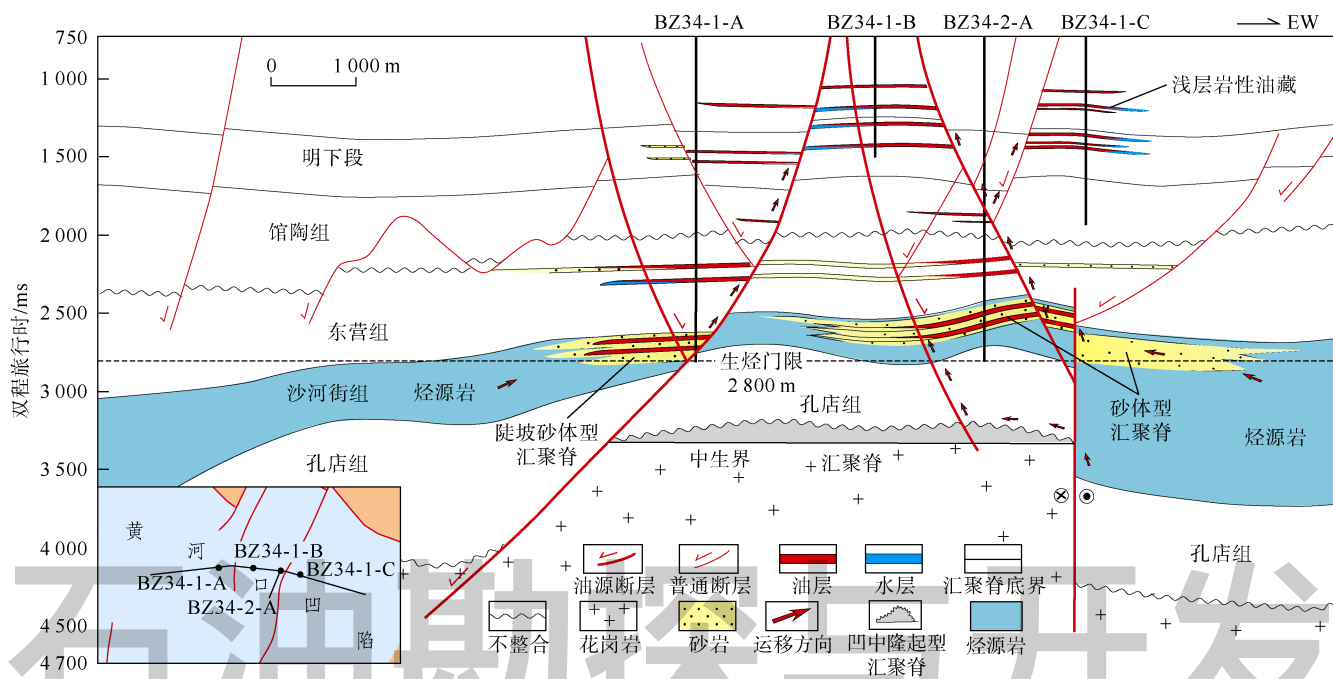


图9 渤中28-34凹中隆起汇聚型岩性成藏模式

4 结论

环渤中地区浅层大规模岩性油藏富集主控因素可以归结为“脊-断-砂-带”4要素的耦合,脊指的是深层“汇聚脊”,深层汇聚脊汇聚强度控制浅层油气富集程度;断指的是主成藏期强活动深切汇聚脊的垂向运移断裂,这类切脊大断裂活动强度、断接厚度控制油气垂向运移能力;砂指的是与切脊断裂长距离接触的大面积浅层砂体,砂体规模、形态及其与切脊断裂耦合程度控制大规模砂体优势油气充注;带指的是油气浅层主运移方向应力转换形成的复杂断裂带,此处岩性圈闭封闭有效性强,其封闭能力进一步控制岩性圈闭的成藏规模。考虑“脊-断-砂-带”控藏4要素,以汇聚脊为主因,建立了不同类型浅层油气成藏模式,主要发育陡坡砂体汇聚型、凸起汇聚型、凹中隆起汇聚型3类大规模岩性油藏成藏模式。指出凸起区、陡坡带砂体汇聚区和凹中隆起区等3类区域是下步浅层大规模岩性油藏的勘探方向。

参考文献:

- [1] 周心怀,王德英,张新涛. 渤海海域石臼坨凸起两个亿吨级隐蔽油气藏勘探实践与启示[J]. 中国石油勘探, 2016, 21(4): 30-37.
ZHOU Xinhui, WANG Deying, ZHANG Xintao. Two 100 million-ton class subtle reservoirs in Shijutuo Uplift, Bohai Sea exploration practices and enlightenments[J]. China Petroleum Exploration, 2016, 21(4): 30-37.
- [2] 蒲秀刚,赵贤正,王家豪,等. 渤海湾盆地滨海地区古近系沙河街组一段滑塌型湖底扇储集层特征及主控因素[J]. 石油勘探与开发, 2020, 47(5): 913-924.

PU Xiugang, ZHAO Xianzheng, WANG Jiahao, et al. Reservoirs properties of slump-type sub-lacustrine fans and their main control factors in first member of Paleogene Shahejie Formation in Binhai area, Bohai Bay Basin, China[J]. Petroleum Exploration and Development, 2020, 47(5): 913-924.

- [3] 赵贤正,周立宏,蒲秀刚,等. 湖相页岩滞留烃形成条件与富集模式:以渤海湾盆地黄骅坳陷古近系为例[J]. 石油勘探与开发, 2020, 47(5): 856-869.
ZHAO Xianzheng, ZHOU Lihong, PU Xiugang, et al. Formation conditions and enrichment model of retained petroleum in lacustrine shale: A case study of the Paleogene in Huanghua depression, Bohai Bay Basin, China[J]. Petroleum Exploration and Development, 2020, 47(5): 856-869.
- [4] 徐长贵,杨海风,王德英,等. 渤海海域莱北低凸起新近系大面积高丰度岩性油藏形成条件[J]. 石油勘探与开发, 2021, 48(1): 12-25.
XU Changgui, YANG Haifeng, WANG Deying, et al. Formation conditions of Neogene large-scale high-abundance lithologic reservoir in the Laibei low uplift, Bohai Sea, East China[J]. Petroleum Exploration and Development, 2021, 48(1): 12-25.
- [5] 薛永安,牛成民,王德英,等. 渤海海域浅层油气运移新认识与勘探新进展[J]. 石油学报, 2019, 40(S2): 29-37.
XUE Yongan, NIU Chengmin, WANG Deying, et al. New understanding of shallow hydrocarbon migration and new exploration progress in the Bohai Sea[J]. Acta Petrolei Sinica, 2019, 40(S2): 29-37.
- [6] 朱伟林,李建平,周心怀,等. 渤海新近系浅水三角洲沉积体系与大型油气田勘探[J]. 沉积学报, 2008, 26(4): 575-582.
ZHU Weilin, LI Jianping, ZHOU Xinhui, et al. Neogene shallow water deltaic system and large hydrocarbon accumulations in Bohai Bay, China[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2008, 26(4): 575-582.
- [7] 王德英,于娅,张黎,等. 渤海海域石臼坨凸起大型岩性油气藏成藏关键要素[J]. 岩性油气藏, 2020, 32(1): 1-10.
WANG Deying, YU Ya, ZHANG Li, et al. Key factors for reservoir formation of large lithologic reservoirs in Shijutuo Uplift, Bohai Sea[J]. Lithologic Reservoirs, 2020, 32(1): 1-10.
- [8] 周心怀,赖维成,杜晓峰,等. 渤海海域隐蔽油气藏勘探关键技术

- 术及其应用成效[J]. 中国海上油气, 2012, 24(S1): 11-18.
- ZHOU Xinhui, LAI Weicheng, DU Xiaofeng, et al. Some key exploration techniques for the subtle reservoirs and their application in Bohai water[J]. China Offshore Oil and Gas, 2012, 24(S1): 11-18.
- [9] 蒋有录, 刘培, 刘华, 等. 渤海湾盆地不同凹陷新近系油气成藏条件差异性及其聚集模式[J]. 中国石油大学学报(自然科学版), 2014, 38(1): 14-21.
- JIANG Youlu, LIU Pei, LIU Hua, et al. Difference of reservoir forming conditions of different depressions and accumulation models of Neogene hydrocarbon in Bohai Bay Basin[J]. Journal of China University of Petroleum (Edition of Natural Science), 2014, 38(1): 14-21.
- [10] 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, 2003, 30(1): 1-10.
- ZHANG Shanwen, WANG Yongshi, SHI Dishu, et al. Meshwork-carpet type oil and gas pool-forming system: Taking Neogene of Jiyang Depression as an example[J]. Petroleum Exploration and Development, 2003, 30(1): 1-10.
- [11] 王昕, 王永利, 官大勇, 等. 环渤中凹陷斜坡区浅层油气地质特征与勘探潜力[J]. 中国海上油气, 2012, 24(3): 12-16.
- WANG Xin, WANG Yongli, GUAN Dayong, et al. Shallow petroleum geology and exploration potential in the slope area, circum-Bozhong Sag[J]. China Offshore Oil and Gas, 2012, 24(3): 12-16.
- [12] 王德英, 余宏忠, 于海波, 等. 渤海海域新近系层序地层格架约束下岩性圈闭发育特征分析及精细刻画: 以石臼坨凸起明下段为例[J]. 中国海上油气, 2012, 24(S1): 23-28.
- WANG Deying, YU Hongzhong, YU Haibo, et al. An analysis and refined depiction of lithologic trap development under the framework of Neogene sequence stratigraphy in Bohai water: A case of Lower Member of Minghuazhen Formation in Shijiutuo Rise[J]. China Offshore Oil and Gas, 2012, 24(S1): 23-28.
- [13] 杨海风, 牛成民, 柳永军, 等. 渤海垦利 6-1 新近系大型岩性油藏勘探发现与关键技术[J]. 中国石油勘探, 2020, 25(3): 24-32.
- YANG Haifeng, NIU Chengmin, LIU Yongjun, et al. Discovery and key exploration technology of KL6-1 large lithologic oil reservoir of Neogene in the Bohai Bay Basin[J]. China Petroleum Exploration, 2020, 25(3): 24-32.
- [14] 薛永安, 吕丁友, 胡志伟, 等. 渤海海域隐性断层构造发育特征与成熟区勘探实践[J]. 石油勘探与开发, 2021, 48(2): 233-246.
- XUE Yongan, LYU Dingyou, HU Zhiwei, et al. Tectonic development of subtle faults and exploration in mature areas in Bohai Sea, East China[J]. Petroleum Exploration and Development, 2021, 48(2): 233-246.
- [15] 牛成民, 薛永安, 黄江波, 等. 渤海海域隐性走滑断层形成机理、识别方法与控藏作用[J]. 中国海上油气, 2019, 31(6): 1-12.
- NIU Chengmin, XUE Yongan, HUANG Jiangbo, et al. Formation mechanisms, identification methods and control effects of recessive strike-slip faults in the Bohai Sea[J]. China Offshore Oil and Gas, 2019, 31(6): 1-12.
- [16] 王德英, 张宏国, 官大勇, 等. 环渤中地区新近系控藏模式与高丰度油藏勘探实践[J]. 石油学报, 2021, 42(3): 273-282.
- WANG Deying, ZHANG Hongguo, GUAN Dayong, et al. Neogene reservoir-controlling mode and exploration practice of high-abundance oil reservoirs in Bozhong Sag and its surrounding area[J]. Acta Petrolei Sinica, 2021, 42(3): 273-282.
- [17] 薛永安. 渤海海域垦利 6-1 油田的发现与浅层勘探思路的重大转变[J]. 中国海上油气, 2021, 33(2): 1-12.
- XUE Yongan. Discovery of KL 6-1 oilfield and great change of shallow strata exploration ideas in Bohai Sea[J]. China Offshore Oil and Gas, 2021, 33(2): 1-12.
- [18] 周心怀, 余一欣, 汤良杰, 等. 渤海海域新生代盆地结构与构造单元划分[J]. 中国海上油气, 2010, 22(5): 285-289.
- ZHOU Xinhui, YU Yixin, TANG Liangjie, et al. Cenozoic offshore basin architecture and division of structural elements in Bohai Sea[J]. China Offshore Oil and Gas, 2010, 22(5): 285-289.
- [19] 侯贵廷, 钱祥麟, 蔡东升. 渤海湾盆地中、新生代构造演化研究[J]. 北京大学学报(自然科学版), 2001, 37(6): 845-851.
- HOU Guiting, QIAN Xianglin, CAI Dongsheng. The tectonic evolution of Bohai Basin in Mesozoic and Cenozoic time[J]. Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis, 2001, 37(6): 845-851.
- [20] 黄雷, 周心怀, 刘池洋, 等. 渤海海域新生代盆地演化的重要转折期: 证据及区域动力学分析[J]. 中国科学: 地球科学, 2012, 42(6): 893-904.
- HUANG Lei, ZHOU Xinhui, LIU Chiyang, et al. The important turning points during evolution of Cenozoic basin offshore the Bohai Sea: Evidence and regional dynamics analysis[J]. SCIENCE CHINA Earth Sciences, 2012, 55(3): 476-487.
- [21] 余一欣, 周心怀, 徐长贵, 等. 渤海海域新生代断裂发育特征及形成机制[J]. 石油与天然气地质, 2011, 32(2): 273-279.
- YU Yixin, ZHOU Xinhui, XU Changgui, et al. Characteristics and formation mechanisms of the Cenozoic faults in the Bohai Sea waters[J]. Oil and Gas Geology, 2011, 32(2): 273-279.
- [22] 王德英, 薛永安, 于海波, 等. 渤中凹陷斜坡类型与新近系油气成藏特征[J]. 中国海上油气, 2019, 31(4): 9-18.
- WANG Deying, XUE Yongan, YU Haibo, et al. Slope types and Neogene hydrocarbon accumulation characteristics of Bozhong Sag in Bohai Sea[J]. China Offshore Oil and Gas, 2019, 31(4): 9-18.
- [23] 薛永安, 牛成民, 王德英, 等. 渤海湾盆地油气运移“汇聚脊”控藏与浅层勘探[M]. 北京: 科学出版社, 2021: 2.
- XUE Yongan, NIU Chengmin, WANG Deying, et al. “Convergence ridge” controlling reservoir and shallow exploration of oil and gas migration in Bohai Bay Basin[M]. Beijing: Science Press, 2021: 2.
- [24] 李丕龙, 庞雄奇. 隐蔽油气藏形成机理与勘探实践[M]. 北京: 石油工业出版社, 2004: 80-84, 350-357.
- LI Pilong, PANG Xiongqi. Subtle reservoir forming mechanism and exploration practice[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2004: 80-84, 350-357.
- [25] 张善文. 济阳拗陷第三系隐蔽油气藏勘探理论与实践[J]. 石油与天然气地质, 2006, 27(6): 731-740, 761.
- ZHANG Shanwen. Exploration theory and practice of the Tertiary subtle reservoirs in Jiyang Depression[J]. Oil & Gas Geology, 2006, 27(6): 731-740, 761.
- [26] 吴小红, 吕修祥, 周心怀, 等. 渤中凹陷石南地区东营组烃源岩特征及油气勘探意义[J]. 石油学报, 2010, 31(3): 394-399, 407.
- WU Xiaohong, LYU Xiuxiang, ZHOU Xinhui, et al. Characteristics of Dongying Formation source rock and its significance for hydrocarbon exploration in Shinan area of Bozhong Depression[J]. Acta Petrolei Sinica, 2010, 31(3): 394-399, 407.
- [27] 代黎明, 李建平, 周心怀, 等. 渤海海域新近系浅水三角洲沉积体系分析[J]. 岩性油气藏, 2007, 19(4): 75-81.
- DAI Liming, LI Jianping, ZHOU Xinhui, et al. Depositional system of the Neogene shallow water delta in Bohai Sea area[J]. Lithologic Reservoirs, 2007, 19(4): 75-81.
- [28] 万桂梅, 周东红, 汤良杰. 渤海海域郛庐断裂带对油气成藏的控制作用[J]. 石油与天然气地质, 2009, 30(4): 450-454, 461.
- WAN Guimei, ZHOU Donghong, TANG Liangjie. Control of the Tan-Lu fault zone on hydrocarbon accumulation in the Bohai Sea waters[J]. Oil and Gas Geology, 2009, 30(4): 450-454, 461.