

<https://doi.org/10.3799/dqkx.2018.205>



中非 Melut 盆地与我国东部裂谷盆地的类比及意义

史忠生¹, 方乐华¹, 薛 罗¹, 王国林², 何巍巍¹, 马 轮¹

1. 中国石油勘探开发研究院西北分院, 甘肃兰州 730020

2. 中国石油尼罗河公司, 苏丹喀土穆 10687

摘要: Melut 盆地为中非地区重要的含油气裂谷盆地, 具被动裂谷成盆特征, 处于区域构造勘探向“三新领域”勘探的转型阶段, 油气富集规律尚不十分清楚, 通过开展 Melut 盆地与我国东部主动裂谷盆地的类比分析, 有助于深化盆地成藏认识, 推进勘探转型。研究表明, Melut 盆地北部具被动裂谷成盆特征, 发育大型富油凹陷, 形成以古近系跨时代成藏组合为主, 近源白垩系成藏组合为辅的油气富集特点, 古近系 Yabus 组上段跨时代岩性油藏与近源白垩系 Galhak 组断块油藏是北部深化勘探的重要领域; 盆地中南部具被动裂谷与主动裂谷的叠加演化过程, 与海拉尔盆地相似, 具小型断陷沉积充填与成藏特征, 近源成藏组合是有利的勘探对象, 继承性洼槽内低凸起、凹陷间断裂隆起带及缓坡断层坡折带是有利的成藏构造带。该研究深化了 Melut 盆地成藏认识, 明确了盆地南北具有不同的成盆机制与成藏特征, 对推动北部成熟探区深化勘探与中南部低探区勘探突破具有重要意义。

关键词: 中非; Melut 盆地; 被动裂谷盆地; 渤海湾盆地; 海拉尔盆地; 类比。

中图分类号: P544+.4

文章编号: 1000-2383(2019)02-0588-15

收稿日期: 2018-11-30

Analogy between Melut Basin of Central Africa and Rift Basins of East China and Implication

Shi Zhongsheng¹, Fang Lehua¹, Xue Luo¹, Wang Guolin², He Weiwei¹, Ma Lun¹

1. Research Institute of Petroleum Exploration & Development-Northwest, PetroChina, Lanzhou 730020, China

2. CNPC International (Nile) Limited, Khartoum 10687, Sudan

Abstract: Melut Basin is an important petroliferous passive rift basin of Central Africa, and now it is in the midst of transformation from regional structure exploration to new formations, new domains and new areas exploration without very clear understandings of hydrocarbon accumulation. By analogy between Melut passive rift basin and active rift basins of East China, the geological understandings of hydrocarbon accumulation in Melut Basin are deepened, and the exploration transformation will be promoted. The analogy shows that, the North Melut Sub-basin has typical passive rift basin character, and developed large oil-rich sag with the primary “far-source” play of Paleogene and secondary “near-source” play of Cretaceous. The “far-source” lithological reservoir of Upper Yabus Fm. in Paleogene and Cretaceous faulted block reservoirs of Galhak Fm. near source rock are two important domains of fine exploration in North Melut Sub-basin. The Central-South Melut Sub-basins experienced overlapping tectonic evolution process of passive and active rift basin, with the sediments filling and play features of small faulted depression, which is similar with the Hailar Basin, and the “near-source” reservoir-caprock assemblages are favorable exploration targets, inherited low uplifts in sags, faulted uplifts between sags, and faulted slope break belts in gentle slope are favorable hydrocarbon accumulation structural zones. The study deepens the understandings of hydrocarbon accumulation in Melut

基金项目: 国家重大科技专项 (No.2011ZX0502901)。

作者简介: 史忠生(1978—), 男, 高级工程师, 博士, 主要从事裂谷盆地石油地质综合研究与油气勘探方面的工作, ORCID: 0000-0003-2853-0102, E-mail: shizs@petrochina.com.cn。

引用格式: 史忠生, 方乐华, 薛罗, 等, 2019. 中非 Melut 盆地与我国东部裂谷盆地的类比及意义. 地球科学, 44(2): 588—602.

Basin, and it is suggested that the North and Central-South Melut Sub-basins have different basin forming mechanisms and hydrocarbon accumulation characteristics, which is of great importance to promote the fine exploration in mature exploration areas of North Melut Sub-basin and exploration breakthrough in low exploration areas of Central-South Melut Sub-basins.

Key words: Central Africa; Melut Basin; passive rift basin; Bohai Bay Basin; Hailaer Basin; analogy.

0 引言

裂谷盆地是烃类聚集的有利场所 (Lowell, 1985; Rosendahl, 1987), 在全球 877 个已发现的大油气田中裂谷盆地有 271 个, 占大油气田总数的 30.9% (贾东等, 2011), 可见裂谷盆地是重要的油气勘探领域。其中, 位于非洲陆上的中西非裂谷系发育了众多含油气盆地, 包括中非的 Melut 盆地、Muglad 盆地、Bongor 盆地, 西非的 Termit 盆地等, 均为大中型含油气裂谷盆地 (图 1), 这些盆地是非洲重要的含油气盆地, 也是我国海外油气勘探与原油供给的重要区块。随着勘探的深入, 大部分盆地已由早期的区域构造勘探进入到含油气盆地精细勘探阶段, 勘探难度越来越大。因此, 深化中西非裂谷盆地石油地质特征与油气富集规律研究与认识, 加强新领域、新层系与新类型油藏的研究与部署, 对稳定我国非洲勘探区块的原油供给, 促进中非经贸合作与“一带

一路”建设具有重要意义。

近年来, 随着我国经济建设的加快, 国内能源需求逐渐上升, 为了保障国家能源安全, 我国加快了海外油气勘探的步伐, 目前已在非洲、中亚、中东、亚太及南美建立了五大油气合作区, 海外含油气盆地的石油地质研究与油气勘探逐渐走进我国石油地质工作者的视野。对于资料稀缺、时效性强的海外项目, 如何实现其快速评价和高效勘探成为摆在我国勘探家与地质家们面前的一项重要课题。对于裂谷盆地的油气勘探, 我国的石油工作者在渤海湾、海拉尔、二连等东部裂谷盆地的勘探中取得了一系列重要成果, 发现了包括大港、辽河、胜利等一批大中型油气田, 并形成了具有中国特色的石油地质理论与勘探经验, 如“陆相生油理论” (Pan, 1941; 胡见义等, 1991)、“源控论” (胡朝元, 1982, 2005; 李德生, 2000)、“复式油气聚集带” (胡见义等, 1986; 李德生, 1995; 田在艺等, 2002)、“满凹含油” (赵文智等,



图1 中非剪切带及中非、西非裂谷系分布

Fig.1 Central Africa shear zone and Central-West Africa rift system

据 Genik(1993)修改

2004)、“隐蔽性油气藏”(李丕龙等,2004)、“近凹勘探”(蒙启安等,2012)、“源外成藏”(潘树新等,2011)等.将海外含油气盆地与国内相似成熟盆地进行科学、合理的类比分析,从中借鉴国内含油气盆地的相关地质理论与勘探经验,可为解决海外含油气盆地勘探中遇到的各种地质问题带来启发和借鉴,降低勘探风险,提高项目的时效性与回报率.为此,本文开展了中非 Melut 裂谷盆地与我国东部渤海湾、海拉尔裂谷盆地的类比分析,以探讨 Melut 盆地区域成藏特征与潜力勘探领域,推动盆地由区域构造勘探向含油气盆地精细勘探的转型.

1 Melut 盆地地质概况

Melut 盆地为中非剪切带走滑扭动作用下形成的被动裂谷盆地(Schull,1988;Jorgensen and Bosworth,1989;Mchargue *et al.*,1992;Genik,1993),隶属于中非裂谷系,为南苏丹境内最主要的含油气盆地(图 1),面积 3.3 万 km².中国石油天然气集团公司于 2000 年介入该盆地勘探,并于 2003 年发现了地质储量 5 亿吨的 Palogue 世界级油田(窦立荣,

2005),实现了 Melut 盆地勘探的重大突破,也证实了 Melut 盆地为中非地区油气资源极其富集的裂谷盆地.

Melut 盆地形成于早白垩世,从早白垩世至今经历了 3 次裂陷和 1 次拗陷活动,对应发育了 4 个构造层(图 2b)(童晓光等,2006).其中,发育于早白垩世的裂陷作用较强,形成了盆地 Al Renk 组主力烃源岩;晚白垩世—古新世裂陷作用较弱,沉积了多套以辫状河及辫状河三角洲沉积为特征的富砂地层,为盆地主要储层发育段,如 Yabus 组、Samma 组、Melut 组和 Galhak 组;始新世—渐新世盆地发育了另一次较为强烈的裂陷活动,形成了全区最重要的 Adar 组区域泥岩盖层.由于盆地上白垩统主要发育富砂地层,区域性泥岩不发育,使得来自下白垩统 Al Renk 组的原油通过沟通 Al Renk 组的油源断裂及上白垩统富砂地层向浅层运移,形成由古近系 Adar 组区域泥岩盖层与 Yabus+Samma 组大套砂岩储层形成的跨时代油气聚集成藏模式,该成藏模式所获得的储量发现占盆地总发现的 90%以上(童晓光等,2006).

Melut 盆地具“五凹一凸”构造格局,包括北部

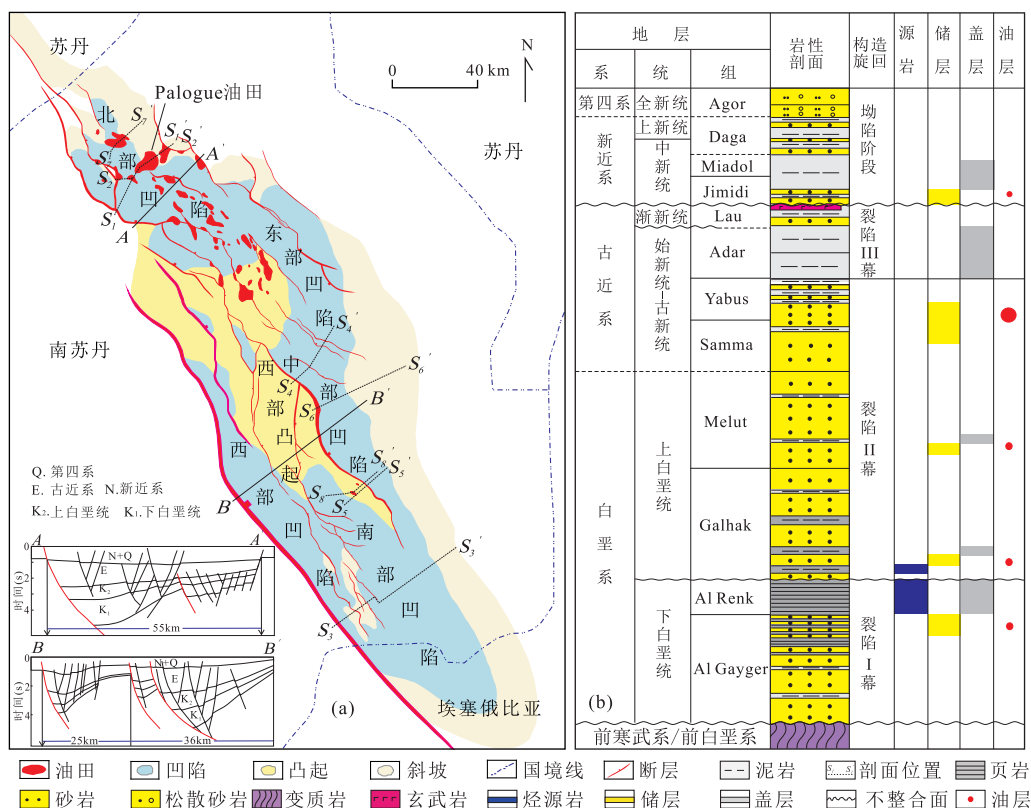


图 2 Melut 盆地构造单元与地层综合柱状图

Fig.2 Structural units and strata column of Melut Basin

a. Melut 盆地构造单元图; b. Melut 盆地地层综合柱状图

凹陷、东部凹陷、中部凹陷、西部凹陷、南部凹陷和西部凸起(图 2a)。其中,北部凹陷为主力勘探凹陷,囊括了盆地目前几乎所有的油气发现。经过十多年的勘探部署,北部凹陷古近系主力产层已进入成熟勘探阶段,剩余构造圈闭越来越少,越来越小,如何深化勘探部署,实现储量接替是北部凹陷目前急需解决的勘探问题。其余四个凹陷位于盆地的中南部,中南部地区虽然面积广阔,且部署了一批探井,但至今没有取得大的油气发现。明确中南部探井失利原因、重点勘探领域及有利成藏构造带,实现勘探突破和规模储量发现,是中南部面临的主要勘探问题,同时中南部勘探的突破对整个 Melut 盆地的稳产上产与可持续发展具有重要意义。

2 Melut 盆地北部与渤海湾盆地类比分析与启示

2.1 成盆背景类比

Melut 盆地的形成受控于中非剪切带的区域走滑作用,为中非剪切带中段一侧的大型陆内裂谷盆地(图 1),其盆地北部主要发育北部凹陷,宽 55 km,长 135 km,面积约 5 000 km²,经过十多年的勘探部署,在北部凹陷发现了包括 Palogue 世界级油田在内的一批大中型油田,累计探明石油地质储量超过十亿 t,资源丰度达 72.5 万 t/km²。按照国内将资源丰度大于 40 万 t/km² 的凹陷定义为富油凹陷的标准(陈云林,1999;赵文智等,2004),Melut 盆地北部凹陷为典型的富油凹陷。

与 Melut 盆地相似,渤海湾盆地的形成也受控于区域大型走滑断裂—郯庐断裂的活动,也为位于大型走滑断裂中段一侧的陆内裂谷盆地(图 3)(张云银,2002;徐亚东等,2014;徐长贵,2016),二者具有相似的成盆构造背景。渤海湾盆地自 1961 年在东营凹陷华 8 井获日产 8.1 t 工业油流以来(翟光明和高维亮,2005)截至 2013 年底,累计探明石油地质储量 140.52×10^8 t,占全国储量的 40%,2013 年油气当量 7.596×10^4 t,占全国产量的 25%(赵贤正等,2015),发现了东营、沾化、歧口、辽河西部、东濮、车镇、惠民等一批富油气凹陷,是我国重要的含油气陆内裂谷盆地,在富油气凹陷勘探方面形成了一系列理论和勘探技术,如“复式油气聚集带”理论、“满凹含油”理论、“岩性地层油藏”理论与勘探技术等。因此,可通过对渤海湾盆地油气富集特征的研究及

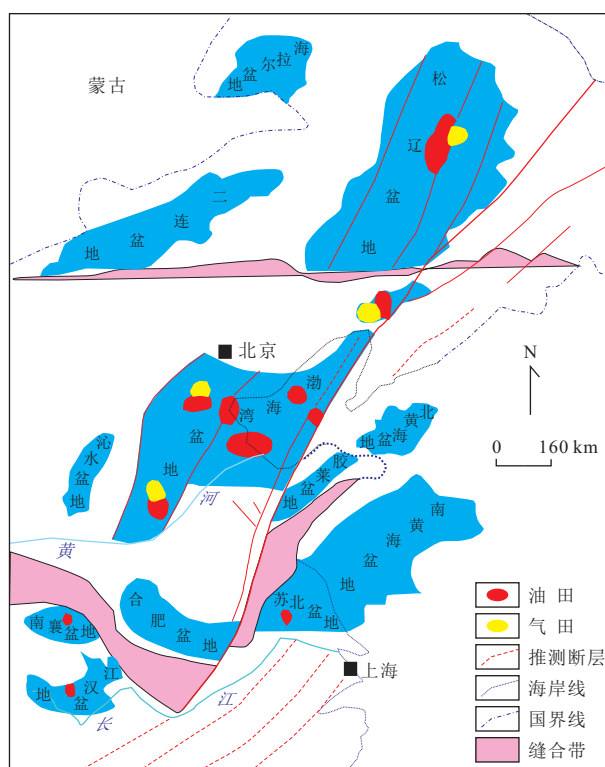


图3 渤海湾盆地位置

Fig.3 Location of Bohai Bay Basin

据张云银(2002)修改

与 Melut 盆地的类比分析,探讨 Melut 盆地北部富油凹陷主力产层构造圈闭以外新层系、新类型油藏的勘探,推动北部富油凹陷的精细勘探部署。

2.2 油气富集特征类比

虽然 Melut 盆地与渤海湾盆地均为陆内裂谷盆地,但二者一个是被动裂谷,一个是主动裂谷,成因机制的不同使二者具有不同的沉积充填、成藏组合与油气富集特征(图 4)。渤海湾盆地为主动裂谷盆地,发育孔店组、沙河街组及东营组多套生油岩及储盖组合,区域性富砂地层不发育,主要以三角洲、水下扇等局部性储层为主,形成以砂泥互层为特征的多套近源储盖组合,以近源成藏为主。而 Melut 盆地为被动裂谷盆地,其断一坳分异幅度较强(窦立荣等,2006;欧阳文生等,2007),主要发育下白垩统 Al Renk 组一套生油岩,上白垩统一古新统为区域性富砂地层,使得来自下白垩统 Al Renk 组的原油通过沟通 Al Renk 组的油源断裂及上白垩统一古新统富砂地层向浅层运移,形成古近系 Yabus + Samma—Adar 组跨时代成藏组合为主,近源白垩系成藏组合为辅的油气富集特点。

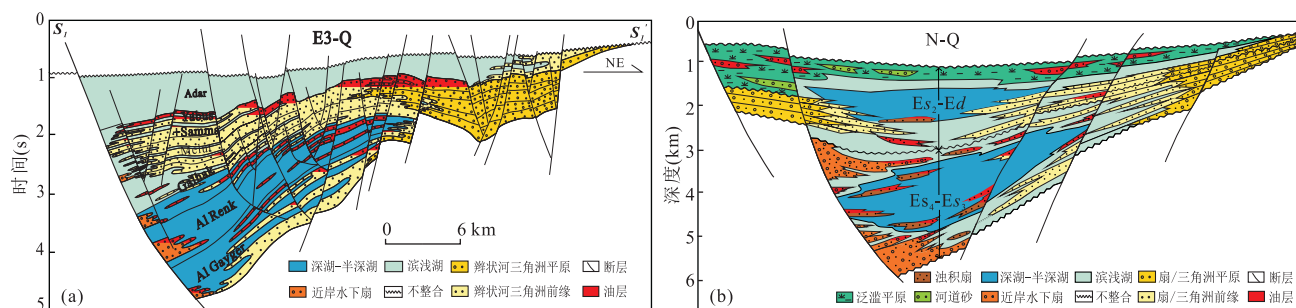


图 4 Melut 盆地北部与渤海湾盆地沉积充填与成藏模式图

Fig.4 Depositional feature and accumulation models of the North Melut Sub-basin and Bohai Bay Basin

a. Melut 盆地北部沉积充填与成藏模式, 剖面 $S_1-S'_1$ 的位置见图 2; b. 渤海湾盆地沉积充填与成藏模式, 据赵政璋等(2005)修改

从前人对渤海湾盆地勘探历程的总结来看(图 5)(赵政璋等, 2005), 前两个阶段主要为针对主力产层的区域构造勘探与区带构造勘探阶段, 在“源控论”及“复式油气聚集带”理论指导下, 发现了胜坨、曙光、任丘等一批构造油田, 而第三个阶段为富油气凹陷精细勘探阶段, 包括各种新层系、新类型油藏的勘探, 如基岩潜山、岩性地层油气藏的勘探等。与渤海湾盆地相似, Melut 盆地自中石油 2000 年进入以来, 也主要经历了区域构造勘探及区带构造勘探阶段, 发现了 Palogue、Moleeta、Hammal、Adar、Teng-Mishmish 等一批大中型油田与含油气构造。目前, 盆地经过十多年的勘探部署, 其北部富油凹陷古近系主力产层已进入构造圈闭勘探的高成熟阶段, 主要含油构造及规模构造圈闭几乎已被钻探完毕, 凹陷面临着由区带构造勘探向富油凹陷精细勘探阶段的转型, 寻找新的勘探领域成为制约盆地未来发展的关键。

2.3 类比启示——Melut 盆地北部精细勘探领域与方向

岩性油藏及新层系是国内裂谷盆地富油凹陷精细勘探的重要领域与方向, 渤海湾等裂谷盆地在进入精细勘探阶段后, 虽然盆地的总体勘探程度较高, 但其岩性油藏、基岩潜山及新层系的勘探仍然不断有新发现, 是油田增储上产的重要领域。因此, 岩性油藏及新层系也应该是 Melut 盆地北部富油凹陷精细勘探的重要领域与方向。

2.3.1 古近系主力产层 Yabus 组上段跨时代岩性油藏勘探领域 受成盆机制、沉积充填、油气富集特征及国内外油气勘探特点的不同, Melut 盆地在岩性油藏勘探层系的选择方面与国内渤海湾等主动裂谷盆地不同。国内主动裂谷盆地的岩性油藏勘探主要集中在近烃源岩层系, 但由于近烃源岩层系通常埋深大、物性差, 使得岩性油藏探井的日产量普遍在几吨到几十吨, 这对于勘探成本相对较低、没有合同期制约的国内油田可以接受, 但对于勘探成本较高, 开发期有限的海外区块, 日产几吨甚至几十吨的探井

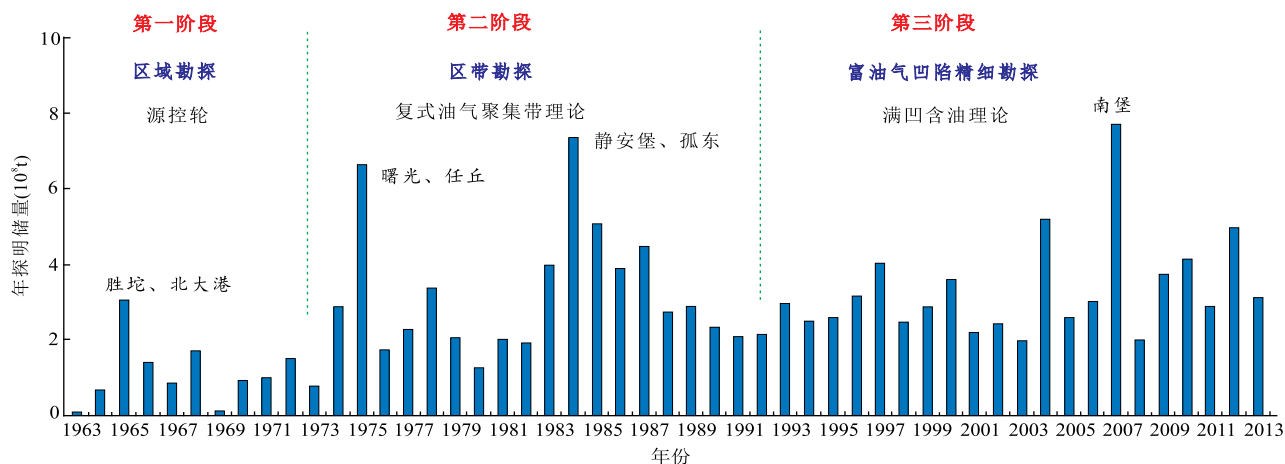


图 5 渤海湾盆地油气勘探阶段划分

Fig.5 The stage of petroleum exploration in Bohai Bay Basin

据赵政璋等(2005)修改

几乎没有商业价值。如 Melut 盆地源上 Galhak 组,为盆地早白垩世湖泛期 Al Renk 组生油岩沉积之后水退背景下的沉积产物,其中下部主要为砂泥互层沉积,具备形成岩性及断层—岩性油藏地质条件,但由于 Galhak 组埋深普遍在 2 000~3 500 m,孔隙度普遍低于 20%(图 6a),80%油层的日产量只有几吨到几十吨,远低于古近系 Yabus 组几百吨的日产量(图 6b)。因此,近源 Galhak 组不是 Melut 盆地寻找商业岩性油藏的理想层系,为了获得物性好的高产岩性油藏,必须选择中浅层进行探索。

古近系 Yabus 组上段三角洲前缘相带发育、埋深浅、储层物性好,上覆 Adar 组为区域泥岩盖层,是北部凹陷进行商业岩性油藏勘探的理想层系。古近系 Yabus 组可分为两段,其下段主要为辫状河三角洲平原沉积,分流河道非常发育,砂岩含量高,具砂包泥型沉积特征,主要发育构造圈闭油藏,是盆地长期以来的主要勘探目的层。而 Yabus 组上段砂岩含量明显降低,主要发育三角洲前缘及前三三角洲沉积,具泥包砂型沉积,水下分流河道、河口坝、远砂坝等砂体发育,易于形成岩性圈闭(史忠生等,2014)(图 7)。同时 Yabus 组油藏分析显示,虽然 Yabus 组上段储层不如下段发育,且厚度偏薄,以 10 m 以下

的中等—薄油层为主,但由于其埋深浅,一般在 1 000~2 000 m,储层物性好,孔隙度普遍大于 20%,油层产量并不低。Yabus 组上段 254 个油层数据统计分析显示,日产 500 桶以上的高产油层占 40%,100~500 桶的中等油层占 39%,小于 100 桶的低产油层仅占 21%(图 8)。可见,Yabus 组上段虽然储层偏薄,但由于埋深浅、储层物性好,产量并不低,是 Melut 盆地开展岩性油藏勘探的理想层系。

Yabus 组上段跨时代成藏的特点,决定了油源断裂对岩性圈闭成藏的控制作用,由油源断裂与砂体共同控制的各种断层—岩性复合圈闭是有利的跨时代岩性圈闭类型,而砂岩透镜体、单斜等没有油源断裂沟通的纯岩性圈闭,由于远离油源,存在较高的油源风险,不是有利的勘探目标。Yabus 组跨时代成藏的这一特点与国内主动裂谷盆地近源成藏恰好相反,主动裂谷盆地的岩性油藏主要在烃源岩或近烃源岩层系发育,往往具有较好的油源条件,因此砂岩透镜体等纯岩性圈闭也是有利的钻探目标。

虽然 Yabus 组上段有利的岩性圈闭类型为油源断裂控制的各种断层—岩性复合圈闭,但由于 Yabus 组上覆地层为 Adar 组区域厚层泥岩(厚度一般在 400~600 m),使得 Yabus 组上段的断层—

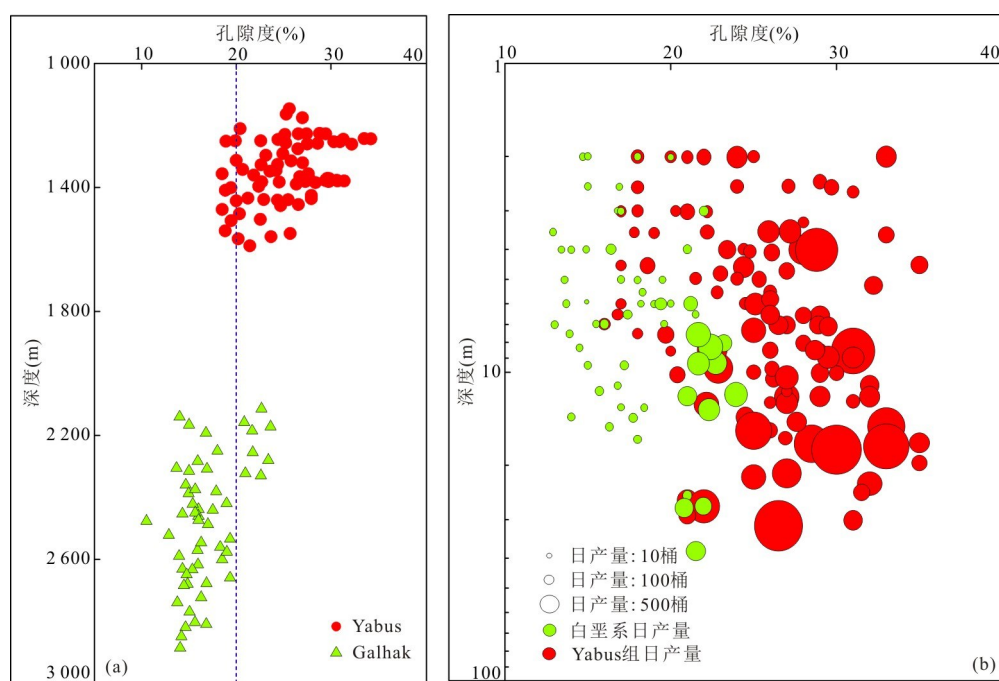


图6 Melut 盆地北部 Yabus 与 Galhak 组孔隙度与油层厚度与油层日产量关系图

Fig.6 The relationship among porosity,daily production, and thickness of oil beds of Yabus and Galhak Fm. in North Melut Sub-basin

a.Yabus 与 Galhak 组孔隙度随深度变化关系;b.Yabus 与 Galhak 原油日产量与油层孔隙度和厚度关系

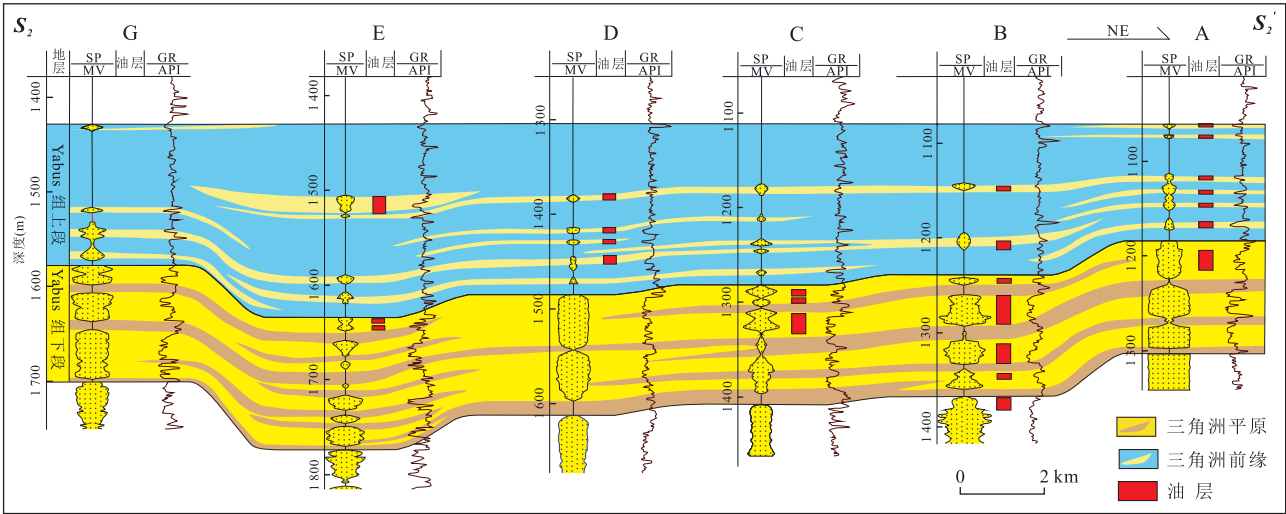


图 7 Melut 盆地北部凹陷 Yabus 组岩性与油层分布特征

Fig.7 Lithology and oil layer distribution characters of Yabus Fm. in North Melut Sub-basin
剖面 $S_2S'_2$ 的位置见图 2

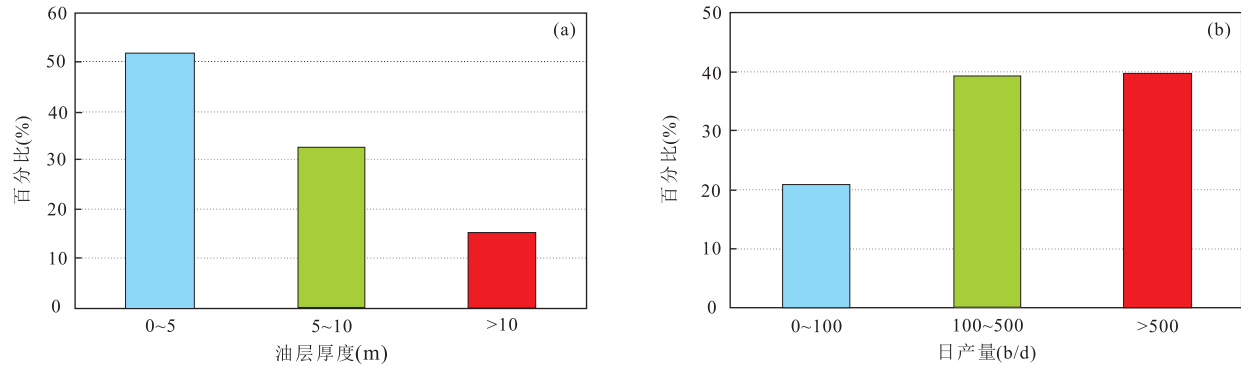


图 8 北部凹陷 Yabus 组上段油层厚度及油层产量特征

Fig.8 Oil layer thickness and daily production characteristics of Upper Yabus Fm. in North Melut Sub-basin
a.Yabus 组上段油层厚度特征;b.Yabus 组上段油层日产量特征

岩性复合圈闭具有很好的垂向和侧向封堵性,目前在 Yabus 组下段找到的大量断块油藏也证实了 Yabus 组具有较好的油源和保存条件.对于 Yabus 组上段跨时代岩性圈闭的勘探,应以早期已获油气发现的构造圈闭为基础,以油水界面超出圈闭溢出点的高充注圈闭为初选目标,在此基础上进行构造—岩性复合圈闭的识别、评价,同时加强烃类检测技术的应用,可降低跨时代岩性圈闭勘探的油源风险,提高钻探成功率.

2.3.2 斜坡区白垩系 Galhak 组湖泛泥岩控制下的断块油藏勘探领域 除了 Yabus 组上段跨时代岩性油藏勘探领域外,斜坡区上白垩统 Galhak 组断块油藏也是 Melut 盆地北部精细勘探的重要领域. Galhak 组为一套厚 500~600 m 的砂泥互层沉积,大部分地区砂岩含量在 50%~70%,具备形成 Gal-

hak 组内部储盖组合地质条件.同时, Galhak 组紧邻下伏 Al Renk 组生油岩,在垂向油源断裂的沟通下可形成各种断块油藏,目前部分探井已有日产数百桶的商业油流发现,但 Galhak 组砂泥互层的储盖组合特点,使其内部成藏组合非常复杂,表现为油层厚度变化大、产量变化大.总体上,十米以下的薄油层居多,十米以上的厚油层少;日产几十桶的低产油层多,日产数百桶的高产油层少(图 9b).因此,明确 Galhak 组成藏条件与高产油层富集规律,提高高产油层发现率,是 Galhak 组勘探的关键.

Galhak 组整体富砂局部含泥的互层式储盖组合特点,使得不同期次、不同规模的湖泛泥岩控制了 Galhak 组内部的成藏和油层分布.垂向上,油气主要发育于湖泛泥岩相对发育的中下部地层;横向上,油气主要发育于箕状断陷缓坡区的中下部; Galhak

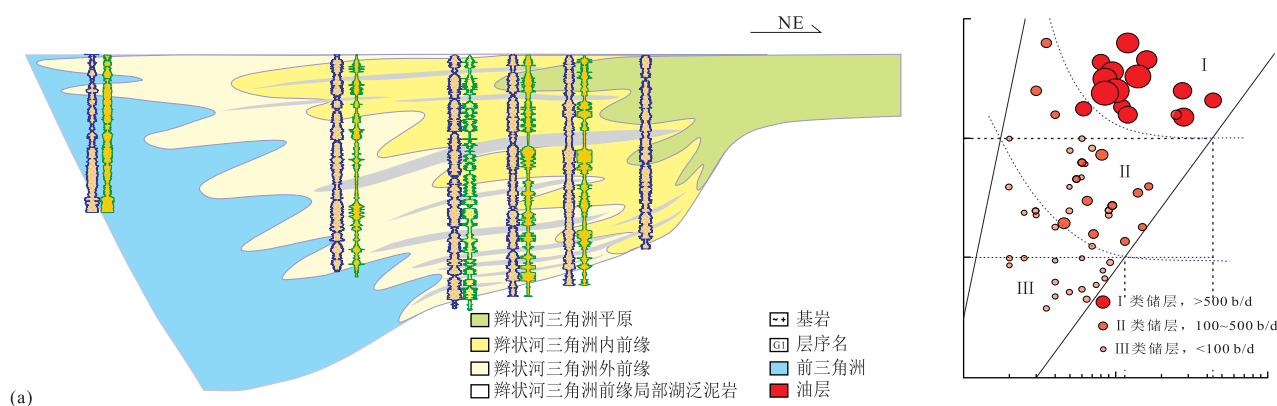


图9 Galhak组沉积特征及油层日产量与油层厚度及孔隙度关系

Fig.9 Depositional feature and relationship among daily production, oil layer thickness and porosity of Galhak Fm.

a. Galhak组沉积剖面, 剖面位置见图2; b. Galhak组油层日产量与油层厚度及孔隙度关系图

组上部及盆缘区湖泛泥岩不发育,难以形成有效的储盖组合,油层不发育(图9a).进一步对 Galhak 组油层日产量与油层厚度及油层孔隙度交汇分析显示(图9b), Galhak 组油层日产量与油层厚度和油层孔隙度呈线性相关,油层日产量随油层厚度和油层孔隙度的增加而增加, Galhak 组高产油层具有储层厚度大、孔隙度大的特征,即“高孔厚砂岩”是 Galhak 组高产油层形成的储层条件,而厚层湖泛泥岩与“高孔厚砂岩”叠合区是 Galhak 组高产油层形成的有利储盖组合发育区(史忠生等,2017).从沉积相研究来看,这种厚层湖泛泥岩与“高孔厚砂岩”的叠合区主要为辫状河三角洲内前缘相带区,辫状河三角洲内前缘发育厚度较大的水下分流河道砂岩储层,同时局部湖泛泥岩盖层也比较发育,是寻找 Galhak 组高产油层的有利相带(图9a),如图9中D井与E井所发现的 Galhak 组厚层高产油层均位于G3四级层序的辫状河三角洲内前缘相带内.

3 Melut 盆地中南部与海拉尔盆地类比分析与启示

Melut 盆地中南部面积近 1.5 万 km^2 ,发育东部凹陷、中部凹陷、南部凹陷和西部凹陷四个凹陷,长期以来一直按照北部的地质认识与勘探经验进行勘探部署,但至今没有取得大的勘探发现.中南部虽然与北部同属于 Melut 盆地,且面积相近,但北部发育大型富油凹陷(图2),具被动裂谷盆地成盆特征,区域性富砂地层与区域性盖层发育,油气主要以跨时代聚集成藏为主;而 Melut 盆地中南部“多凹多

隆”具小型断陷沉积充填与成藏特征(图2),同时中南部具备被动裂谷与主动裂谷的叠加演化过程,盆地晚期发育多期火山活动,成盆机制与沉积充填的不同使得中南部具有与北部不同的油气富集特征.因此,中南部的勘探不应按照北部寻找古近系跨时代断块油藏的思路进行,应借鉴我国东部海拉尔、二连等小型断陷盆地的油气勘探经验与地质认识,重新明确勘探层系与潜力区带,推动油气勘探突破.

3.1 成盆背景类比

海拉尔盆地为蒙古一大兴安岭裂谷盆地群的一部分,与其南部蒙古国境内的塔木察格盆地共同组成海塔盆地(图10a).海拉尔盆地面积 44 210 km^2 ,发育贝尔和乌尔逊两个富油气凹陷,截止 2014 年累计探明石油地质储量 2×10^8 t(李子顺等,2014),为我国东北地区一个重要的含油气盆地(蒙启安等,2014;陈崇阳等,2016;张科峰等,2016).

海拉尔盆地与 Melut 盆地中南部均为中生代裂谷盆地,烃源岩均发育于下白垩统,二者均经历了被动裂谷与主动裂谷的叠加演化过程.孙永河等(2011)、平贵东等(2013,2014)研究认为,海拉尔盆地经历了早期被动裂谷(南一段、南二段沉积时期)与晚期主动裂谷(南三段与南四段沉积时期)不同机制裂陷作用的叠加演化过程,造就了海拉尔盆地复杂的地层组合和地质结构. Melut 盆地中南部实际上也具不同机制裂谷作用叠加的特点,其白垩系沉积时期为被动裂谷阶段,盆地在中非剪切带的走滑扭动作用下发生裂陷,火山活动不发育.进入古近纪后,中南部经历了主动裂谷演化阶段,发育多期火山活动,其中古近纪末期 Lau 组地层内发育了面积数百 km^2 的火成岩,受盆地晚期火山作用影响,盆地

反转构造发育,一些地区地层抬升剥蚀明显,如南部凹陷的 Ghanam 凸起、东部斜坡等(图 10b)。

除盆地成因机制相似外,海拉尔盆地与 Melut 盆地中南部在盆地结构与凹陷规模上也具有相似性。海拉尔盆地具多个隆凹相间的构造格局,单个凹陷为箕状断陷,规模不大,宽度在 20~40 km,面积在 1 000~3 000 km²(图 11),其中油气最为富集的贝尔凹陷面积为 3 010 km²。与海拉尔盆地相似, Melut 盆地中南部也具隆凹相间的构造格局,每个凹陷也为箕状断陷,其面积在 2 000~3 000 km²(图 2)。因此, Melut 盆地中南部无论在盆地形成时间、成盆作用过程,还是在盆地类型、盆地结构及凹陷规模等方面均与海拉尔盆地具有相似性,因此可通过类比分析借鉴海拉尔盆地的地质认识与勘探经验,

指导 Melut 盆地中南部的勘探部署。

3.2 海拉尔盆地油气富集特征

海拉尔盆地的油气勘探与发现主要集中在贝尔和乌尔逊两个富油凹陷(蒙启安等,2014),其垂向上围绕南屯组烃源岩发育三大成藏组合(图 11),即上部南屯组生,大磨拐河组储,大磨拐河组盖的下生上储型组合;中部南屯组生,南屯组储,南屯组盖的自生自储型组合;及下部南屯组生,铜钵庙组和基岩储,南屯组盖的新生古储型组合。其中,中部组合源储配置关系最好,在有利构造背景下优先富集油气,目前 76%的储量发现位于该套组合中,即垂向上近烃源岩白垩系是海拉尔盆地最有利的油气富集层系。

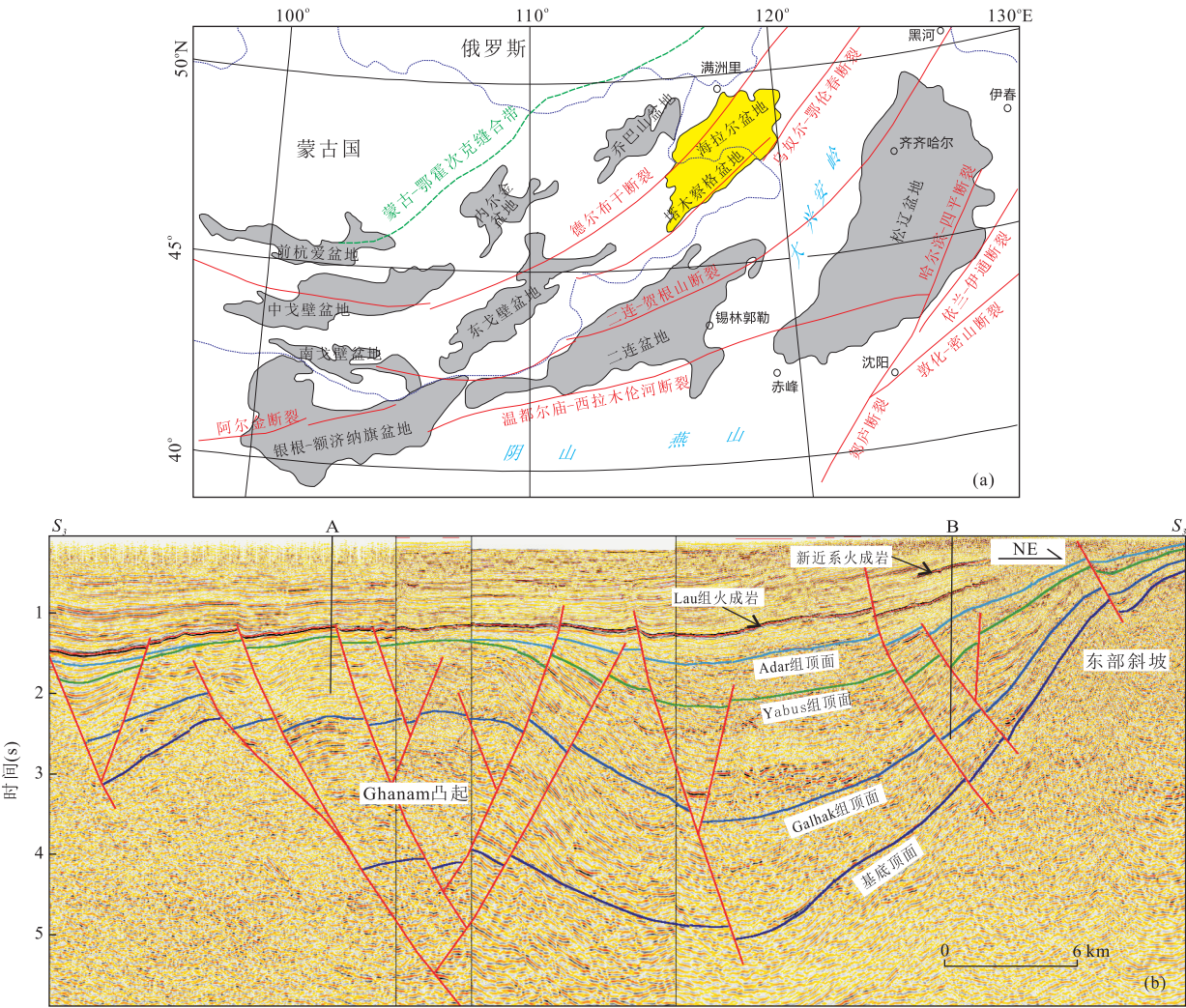


图 10 中蒙边界地区简略构造图(a)与 Melut 盆地南部凹陷晚期反转构造与火成岩剖面地震特征(b)

Fig.10 Tectonic sketch map of the China-Mongolia border region (a) and the late inversion structure and volcanic seismic character in South Melut Sub-basin (b)

剖面 S₃-S₃' 位置见图 2

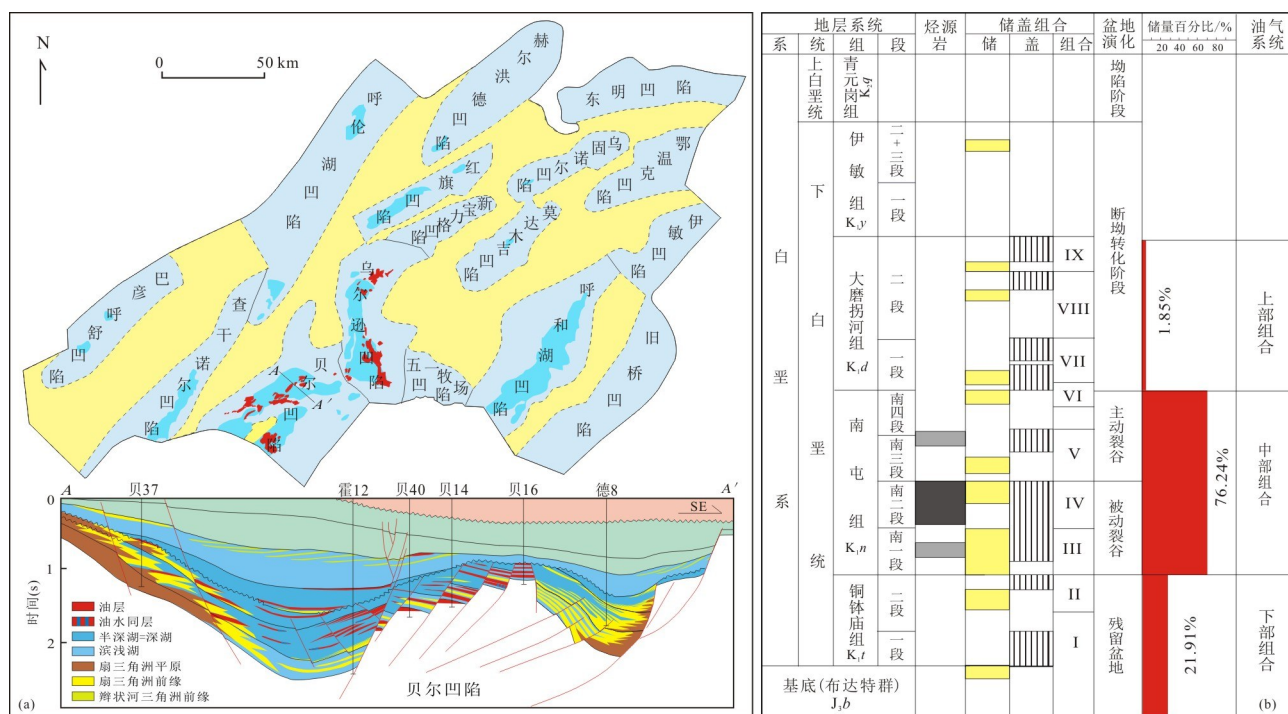


图 11 海拉尔盆地构造单元、地层柱状图及贝尔凹陷成藏模式

Fig.11 Structure units and stratigraphic column of Hailar Basin and accumulation model of Beier Depression

a. 海拉尔盆地构造单元及贝尔凹陷成藏模式图;b. 海拉尔盆地地层柱状图;据付晓飞等(2012)、平贵东等(2013)、白雪峰(2014)修改

进一步的研究显示,平面上成熟烃源岩的分布范围控制了贝尔、乌尔逊凹陷的油气分布,两个富油凹陷所发现的油藏几乎均位于烃源灶内(图 12)(吴海波等,2015)。据海拉尔盆地勘探资料统计,现今发现的油气主要分布于 $R_o \geq 0.5\%$ 的成熟生油岩范围内(张文宾等,2004),这表明以发育小型断陷为特征的海拉尔盆地其油气的横向排烃距离有限,主要以近源成藏为主,源外油藏不发育。另外,大量的勘探实践显示,位于烃源灶内的有利构造带主要有 3 种类型(吴海波等,2015):继承性深洼槽区低凸起构造带,远离物源,与生油岩直接接触,主要形成各种断层—岩性、构造—岩性及砂岩透镜体等岩性油藏,如贝中次凹油藏(图 13a);凹陷间断裂隆起带,左右逢源,是油气运移的有利指向区,主要形成各种构造及构造—岩性油藏,如霍多莫尔构造带油藏(图 13b);断阶型缓坡坡折带,储层发育,物性良好,是油气运移的指向区,主要形成各种断块、断层—岩性及砂岩透镜体油藏,如乌东斜坡油藏(图 13c)。

3.3 海拉尔盆地对 Melut 盆地中南部油气成藏与勘探的启示

从海拉尔盆地的油气富集特征可以看出,近源白垩系内部储盖组合应是 Melut 盆地中南部有利成藏组合,中南部勘探的对象应由浅层古近系跨时代

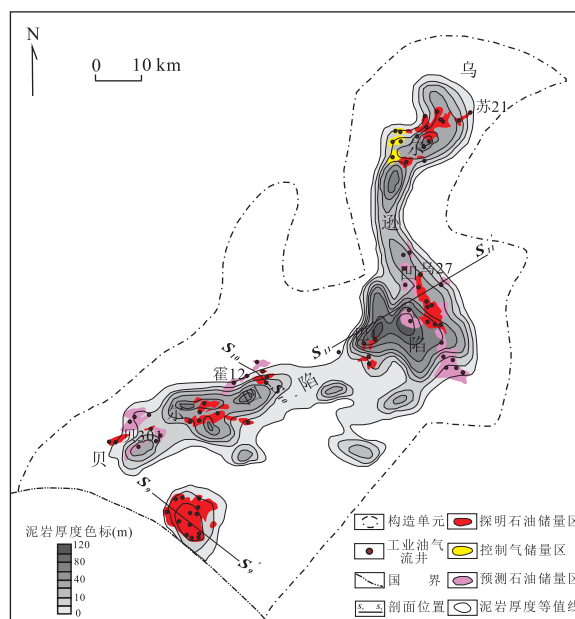


图 12 乌尔逊—贝尔凹陷烃源灶与油藏叠合图

Fig.12 Overlapping map of hydrocarbon source kitchen and oil reservoirs of Wuerxun and Beier sags

据吴海波等(2015)修改

成藏组合转向深层近源白垩系,与北部大型富油凹陷相比,中南部各凹陷为 2 000~3 000 km² 的小型断陷,受“小凹小隆”多点物源供给影响,沉积充填粗

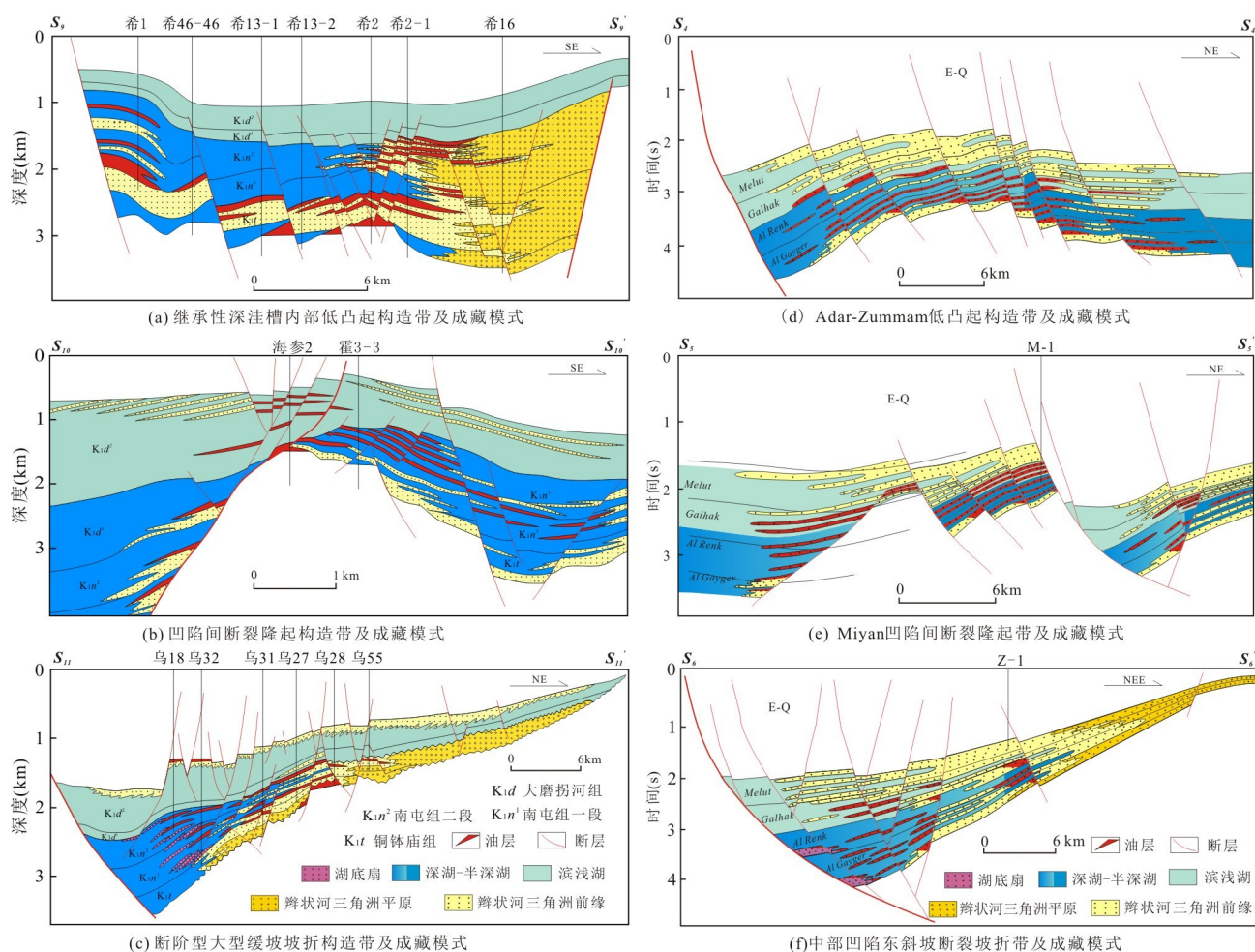


图 13 海拉尔盆地与 Melut 盆地中南部主要含油气构造样式与成藏模式

Fig.13 The main oil and gas structural styles and accumulation models of Hailar and Central-South Melut Basin

a~b. 海拉尔盆地主要含油气构造样式与成藏模式,据吴海波等(2015)修改,剖面位置见图 12;d~f. Melut 盆地中南部主要含油气构造样式与成藏模式,剖面位置见图 2

于北部凹陷(图 14),使得中南部 Adar 组不再是稳定的厚层泥岩沉积,砂岩含量增加,盖层质量变差;同时,中南部晚期反转强烈,部分地区 Adar 组遭受抬升剥蚀,如 Ghanam 凸起(图 10b)Adar 组区域盖层缺失,这两种原因使得中南部 Yabus+Samma-Adar 成藏组合变差,大部分井在 Yabus+Samma 主力产层没有油气发现;相反,中南部在近源白垩系取得一定的油气发现(图 13e).与浅层古近系 Yabus+Samma 组相比,近源白垩系虽然埋深大、储层物性差一些,但从北部凹陷的勘探实践来看,近源白垩系仍具有形成高产油藏的地质条件,如辫状河三角洲内前缘分流河道(Palogue 油田深层白垩系高产断裂油藏)、扇三角洲的扇中与扇根(Abyat 扇三角洲高产油藏)等相带储层厚度大、物性好,已获日产数百桶的高产油流.因此,有利沉积相带与有利储层类型的研究是中南部近源白垩系勘探的关键,储层

厚度大、物性好的近源圈闭仍具备形成高产商业油藏的地质条件,是中南部油气勘探的重要领域和突破口。

从海拉尔盆地成熟生烃灶控制油气分布范围,及成熟生烃灶内发育的 3 种主要含油气构造来看, Melut 盆地中南部的油气勘探也应主要在成熟生烃灶内进行,继承性洼槽内低凸起、凹陷间断裂隆起带及断阶型缓坡坡折带是中南部油气勘探的首选构造带,如 Adar-Zummam 低凸起(图 13d)、Miyan 凹陷间断裂隆起带(图 13e)及中部凹陷东斜坡断裂坡折构造带(图 13f)等.海拉尔盆地的勘探实践表明,尽管盆地发育的是 1 000~3 000 km² 的小型断陷,但贝尔和乌尔逊两个富油凹陷的发现说明小型断陷也具备形成大中型油藏的地质条件. Melut 盆地中南部发育 4 个中小型断陷,虽然目前还没有取得规模勘探发现,但大量的油气显示及部分探井在白垩系

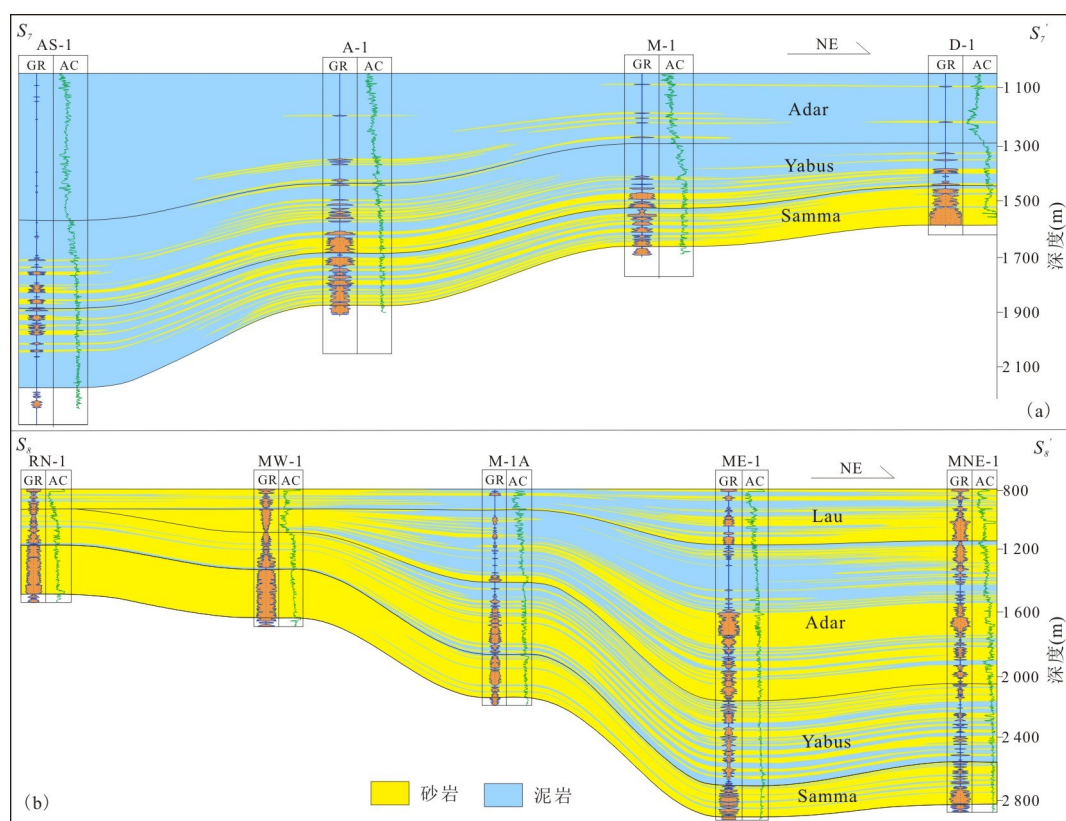


图 14 Melut 盆地北部与中南部 Adar 组岩性特征

Fig.14 Lithological characters of Adar Fm. in the North and Central-South Melut Sub-basin

a.北部 Adar 组岩性特征;b.中南部 Adar 组岩性特征;剖面 $S_7-S'_7$ 和 $S_8-S'_8$ 的位置见图 2

取得的油气发现表明,中南部地区不存在油源问题,通过勘探层系的调整、高产油藏形成条件及有利成藏构造带的认识,中南部有望取得勘探突破。

4 结 论

(1) Melut 盆地南北具有不同的成盆机制与成藏特征,处于不同的勘探阶段,应采用不同的勘探策略与思路进行评价与部署。北部具被动裂谷成盆特征,勘探程度高,与渤海湾盆地相似,均发育大型富油凹陷,跨时代成藏组合是其主要勘探对象,深化勘探部署、推动精细勘探以实现储量接替是北部面临的主要勘探问题;中南部具被动裂谷与主动裂谷的叠加演化过程,勘探程度低,具小型断陷沉积充填与成藏特征,近源成藏组合是其有利的勘探对象,加强有利沉积相带与有利储层类型的研究,实现规模储量发现与勘探突破是中南部近源成藏组合勘探的关键。

(2) Melut 盆地北部古近系 Yabus 组断块油藏的勘探程度较高,但岩性油藏的勘探还未进行系统

研究和部署,Yabus 组上段三角洲前缘相带发育、埋深浅、储层物性好,是北部寻找商业岩性油藏的理想层系;此外,位于斜坡区辫状河三角洲内前缘的近源白垩系 Galhak 组发育厚度大、物性好的水下分流河道砂岩,同时局部湖泛泥岩盖层也比较发育,具备形成高产断块油藏的地质条件,是 Melut 盆地北部精细勘探的另一重要潜力领域。

(3) 海拉尔盆地的勘探实践表明,Melut 盆地中南部的油气勘探应主要在成熟生烃灶内进行,继承性洼槽内低凸起、凹陷间断裂隆起带及断阶型缓坡折带是中南部有利的油气成藏构造带,通过勘探层系的调整、高产油藏形成条件及有利成藏构造带的认识,将有力推动中南部取得勘探突破。

References

- Bai, X.F., 2014. Hydrocarbon Accumulation Models and Favorable Exploration Targets in Beier Depression, Hailaer Basin, *Global Geology*, 33 (2): 439 – 447 (in Chinese with English abstract).
- Chen, Y.L., 1999. Concept of Oil-Rich Subsag and Its Significance, *Petroleum Explorationist*, 4 (2): 8 – 11 (in Chinese).

- nese with English abstract).
- Chen, C. Y., Gao, Y. F., Wu, H. B., et al., 2016. Zircon U-Pb Chronology of Volcanic Rocks in the Hailaer Basin, NE China and Its Geological Implications. *Earth Science*, 41 (8): 1259–1274 (in Chinese with English abstract).
- Dou, L. R., 2005. Formation Mechanism and Model of Oil and Gas Accumulations in the Melut Basin, Sudan. *Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry*, 24 (1): 50–57 (in Chinese with English abstract).
- Dou, L. R., Pan, X. H., Tian, Z. J. et al., 2006. Hydrocarbon Formation and Distribution of Rift Basins in Sudan-A Comparative Analysis of Them with Rift Basins in East China. *Petroleum Exploration and Development*, 33 (3): 255–261 (in Chinese with English abstract).
- Fu, X. F., Dong, J., Lü, Y. F., et al., 2012. Fault Structural Characteristics of Wuerxun-Beier Depression in the Hailaer Basin and Their Reservoir-Controlling Mechanism. *Acta Geologica Sinica*, 86 (6): 877–889 (in Chinese with English abstract).
- Genik, G. J., 1993. Petroleum Geology of Cretaceous-Tertiary Rift Basins in Niger, Chad, and Central African Republic. *AAPG Bulletin*, 77 (8): 1405–1434.
- Hu, J. Y., Xu, S. B., Tong, X. G., 1986. Formation and Distribution of Complex Petroleum Accumulation Zones in Bohaiwan Basin. *Petroleum Exploration and Development*, 13 (1): 1–8 (in Chinese with English abstract).
- Hu, J. Y., Huang, D. P., Xu, S. B., et al., 1991. Basis of Terrestrial Petroleum Geology Theory in China. Petroleum Industry Press, Beijing, 1–5 (in Chinese).
- Hu, C. Y., 2005. Research on the Application Extent of “Source Control Theory” by Semi-Quantitative Statistics Characteristics of Oil and Gas Migration Distance. *Natural Gas Industry*, 25 (10): 1–3 (in Chinese with English abstract).
- Hu, C. Y., 1982. Source Bed Controls Hydrocarbon Habitat in Continental Basins, East China. *Acta Petrolei Sinica*, 3 (2): 9–13 (in Chinese with English abstract).
- Jia, D., Wu, L., Yan, B., et al., 2011. Basin Types and Distribution of the Global Giant Oil and Gas Fields. *Geological Journal of China Universities*, 17 (2): 170–184 (in Chinese with English abstract).
- Jorgensen, G. J., Bosworth, W., 1989. Gravity Modeling in the Central African Rift System, Sudan; Rift Geometries and Tectonic Significance. *Journal of African Earth Science*, 8 (2): 283–306.
- Li, D. S., 2000. The Progress in the Petroleum Geology of China towards New Century. *Acta Petrolei Sinica*, 21 (2): 1–8 (in Chinese with English abstract).
- Li, D. S., 1995. Theory and Practice of Petroleum Geology in China. *Earth Science Frontiers*, 2 (3–4): 15–19 (in Chinese with English abstract).
- Li, P. L., Zhang, S. W., Song, G. Q., et al., 2004. Forming Mechanism of Subtle Oil Pools in Fault Basins-Taking the Jiyang Depression of Bohaiwan Basin as An Example. *Petroleum Geology & Experiment*, 26 (1): 3–10 (in Chinese with English abstract).
- Li, Z. S., Peng, W., Shen, W. J., et al., 2014. Analogy of the Oil and Gas Geological Features between the Peripheral Sags and Wuerxun-Berier Sag in Hailaer Basin. *Petroleum Geology and Oilfield Development in Daqing*, 33 (5): 131–137 (in Chinese with English abstract).
- Lowell, J. D., 1985. Structural Styles in Petroleum Exploration. Oil and Gas Consultants International Inc., Tulsa, Oklahoma, 477.
- Mchargue, T. R., Heidrick, T. L., Livingston, J. E., 1992. Tectonostratigraphic Development of the Interior Sudan Rifts, Central Africa. *Tectonophysics*, 213 (1/2): 187–202. [https://doi.org/10.1016/0040-1951\(92\)90258-8](https://doi.org/10.1016/0040-1951(92)90258-8)
- Meng, Q. A., Zhu, D. F., Chen, J. L., et al., 2012. Styles of Complex Faulted Sags in Rifting Basin and Its Significance for Petroleum Geology: An Example from Hailar-Tamsag Early Cretaceous Basin. *Earth Science Frontiers*, 19 (5): 76–85 (in Chinese with English abstract).
- Meng, Q. A., Liu, Y. D., Wu, H. B., et al., 2014. Formation and Accumulation Rules of Oil and Gas in Middle Fault Depression Belt of Hailar-Tamtsag Basin. *Journal of Jilin University (Earth Science Edition)*, 44 (6): 1737–1746 (in Chinese with English abstract).
- Ouyang, W. S., Zhang, Z. H., Lu, H. S., et al., 2007. Two Extreme Modes of Reservoir Sedimentation: Active Rift and Passive Rift. *Petroleum Exploration and Development*, 34 (6): 687–690 (in Chinese with English abstract).
- Pan, C. H., 1941. Nonmarine Origin of Petroleum in North Shensi and the Cretaceous of Szechuan, China. *AAPG Bulletin*, 25 (11): 2058–2068.
- Pan, S. X., Wei, P. S., Yuan, J. Y., et al., 2011. Expressway of Hydrocarbon Migration and the Thought to Find the Reservoirs beyond the Region of Source Rock. *Acta Sedimentologica Sinica*, 29 (2): 599–604 (in Chinese with English abstract).
- Ping, G. D., Lü, Y. F., Fan, L. M., et al., 2013. Rules and Main Controlling Factors of Hydrocarbon Enrichment of Urxun-Beier Depression, Hailar Basin. *Journal of Central South University (Science and Technology)*, 44 (10): 4167–4178 (in Chinese with English abstract).
- Ping, G. D., Lü, Y. F., Fu, X. F., et al., 2014. Controls of Struc-

- tural Evolution on the Hydrocarbon Accumulations of Urxun-Beier Depression, Hailar Basin. *Chinese Journal of Geology*, 49(1): 114—130 (in Chinese with English abstract).
- Rosendahl, B. R., 1987. Architecture of Continental Rifts with Special Reference to East Africa. *Annual Review Earth Planetary Science*, 15: 445-503. <https://doi.org/10.1146/annurev.ea.15.050187.002305>
- Schull, T. J., 1988. Rift Basins of Interior Sudan: Petroleum Exploration and Discovery. *AAPG Bulletin*, 72(10): 1128—1142. <https://doi.org/10.1306/703c9965-1707-11d7-8645000102c1865d>
- Shi, Z. S., Wang, T. Q., Fang, L. H., et al., 2014. Study Exploration Potential and Transformation of Muglad Basin and Melut Basin on Basis of Analogy. *China Petroleum Exploration*, 19(2): 67—76 (in Chinese with English abstract).
- Shi, Z. S., Wang, T. Q., Xue, L., et al., 2017. Reservoir Characteristics and Enrichment Rule of Highly Sandy Formation in Melut Basin, Central Africa. *Natural Gas Geoscience*, 28(2): 262—271 (in Chinese with English abstract).
- Sun, Y. H., Sui, L. W., Fu, X. F., et al., 2011. Response of Troughs Structure and Hydrocarbon Source Rock at Middle Fault Depression Belt in Hailer-Tamtsag Basin. *Chinese Journal of Geology*, 46(4): 919—928 (in Chinese with English abstract).
- Tian, Z. Y., Shi, B. Q., Luo, P., et al., 2002. Future Potential Exploration Domains in Composite Oil-Gas Accumulation Zones of Bohai Bay Basin. *Acta Petrolei Sinica*, 23(3): 1—5 (in Chinese with English abstract).
- Tong, X. G., Xu, Z. Q., Shi, B. Q., et al., 2006. Petroleum Geologic Property and Reservoir-Forming Pattern of Melut-Basin in Sudan. *Acta Petrolei Sinica*, 27(2): 1—5, 10 (in Chinese with English abstract).
- Wu, H. B., Li, J. H., Liu, H., 2015. Formation Condition and Distribution Rule of Lithologic and Stratigraphic Reservoirs in Wuxun-Beir Sag. *Journal of Central South University (Science and Technology)*, 46(6): 2178—2187 (in Chinese with English abstract).
- Xu, Y. D., Liang, Y. P., Jiang, S. S., et al., 2014. Evolution of Cenozoic Sedimentary Basins in Eastern China. *Earth Science*, 39(8): 1079—1098 (in Chinese with English abstract).
- Xu, C. G., 2016. Strike-Slip Transfer Zone and Its Control on Formation of Medium and Large-Sized Oilfields in Bohai Sea Area. *Earth Science*, 41(9): 1548—1560 (in Chinese with English abstract).
- Zhai, G. M., Gao, W. L., 2005. Petroleum Geology of China. Petroleum Industry Press, Beijing, 14—18 (in Chinese).
- Zhang, W. B., Chen, S. T., Zhou, J. H., 2004. Oil-Gas Accumulation Model Analysis in Hailaer Basin. *Journal of Daqing Petroleum Institute*, 28(6): 8—10 (in Chinese with English abstract).
- Zhang, Y. Y., 2002. Structural Features and Distribution Rule of Oil and Gas in Tanchang Lujiang Fault Zone. *Petroleum Geology and Recovery Efficiency*, 9(6): 22—25 (in Chinese with English abstract).
- Zhang, K. F., Deng, B., Zhang, F. Q., et al., 2016. Determination of Early Stage of Early Cretaceous Compressive Event in Hailar Basin, NE China, and Its Tectonic Significance. *Earth Science*, 41(7): 1141—1155 (in Chinese with English abstract).
- Zhao, W. Z., Zou, C. N., Wang, Z. C., et al., 2004. The Intension and Signification of "Sag-Wide Oil-Bearing Theory" in the Hydrocarbon-Rich Depression with Terrestrial Origin. *Petroleum Exploration and Development*, 31(2): 5—13 (in Chinese with English abstract).
- Zhao, Z. Z., Du, J. H., Niu, J. Y., et al., 2005. Exploration Situations and Prospects in Petro-China Blocks, Bohai Bay Basin. *China Petroleum Exploration*, 10(3): 1—7 (in Chinese with English abstract).
- Zhao, X. Z., Wang, Q., Jin, F. M., et al., 2015. Re-Exploration Program for Petroleum-Rich Sags and Its Significance in Bohai Bay Basin, East China. *Petroleum Exploration and Development*, 42(6): 723—733 (in Chinese with English abstract).

附中文参考文献

- 白雪峰, 2014. 海拉尔盆地贝尔凹陷油气成藏模式与有利勘探方向. *世界地质*, 33(2): 439—447.
- 陈云林, 1999. 论富油洼陷及其意义. *勘探家*, 4(2): 8—11.
- 陈崇阳, 高有峰, 吴海波, 等, 2016. 海拉尔盆地火山岩的锆石 U-Pb 年龄及其地质意义. *地球科学*, 41(8): 1259—1274.
- 窦立荣, 2005. 苏丹迈努特盆地油气成藏机理和成藏模式. *矿物岩石地球化学通报*, 24(1): 50—57.
- 窦立荣, 潘校华, 田作基, 等, 2006. 苏丹裂谷盆地油气藏的形成与分布—兼与中国东部裂谷盆地对比分析. *石油勘探与开发*, 33(3): 255—261.
- 付晓飞, 董晶, 吕延防, 等, 2012. 海拉尔盆地乌尔逊—贝尔凹陷断裂构造特征及控藏机理. *地质学报*, 86(6): 877—889.
- 胡见义, 徐树宝, 童晓光, 1986. 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*, 13(1): 1—8.
- 胡见义, 黄第藩, 徐树宝, 等, 1991. 中国陆相石油地质理论基

- 础.北京:石油工业出版社,1—5.
- 胡朝元,2005.“源控论”适用范围量化分析.天然气工业,25(10):1—3.
- 胡朝元,1982.生油区控制油气田分布—中国东部陆相盆地进行区域勘探的有效理论.石油学报,3(2):9—13.
- 贾东,武龙,闫兵,等,2011.全球大型油气田的盆地类型与分布规律.高校地质学报,17(2):170—184.
- 李德生,2000.迈向新世纪的中国石油地质学.石油学报,21(2):1—8.
- 李德生,1995.中国石油地质学的理论与实践.地学前缘,2(3—4):15—19.
- 李丕龙,张善文,宋国奇,等,2004.断陷盆地隐蔽油气藏形成机制——以渤海湾盆地济阳坳陷为例.石油实验地质,26(1):3—10.
- 李子顺,彭威,申文静,等,2014.海拉尔盆地外围凹陷与乌尔逊—贝尔凹陷油气地质特征类比.大庆石油地质与开发,33(5):131—137.
- 蒙启安,朱德丰,陈均亮,等,2012.陆内裂陷盆地的复式断陷结构类型及其油气地质意义:以海—塔盆地早白垩世盆地为例.地学前缘,19(5):76—85.
- 蒙启安,刘一丹,吴海波,等,2014.海拉尔—塔木察格盆地中部断陷带油气形成条件及富集规律.吉林大学学报(地球科学版),44(6):1737—1746.
- 欧阳文生,张枝焕,陆黄生,等,2007.储集层沉积的两种极端模式——主动裂谷和被动裂谷.石油勘探与开发,34(6):687—690.
- 潘树新,卫平生,袁剑英,等,2011.论油气运移的“高速公路”及源外找油思想.沉积学报,29(2):599—604.
- 平贵东,吕延防,范立民,等,2013.海拉尔盆地乌尔逊—贝尔凹陷油气富集规律及主控因素分析.中南大学学报(自然科学版),44(10):4167—4178.
- 平贵东,吕延防,付晓飞,等,2014.海拉尔盆地乌尔逊—贝尔凹陷构造演化对油气成藏的控制作用.地质科学,49(1):114—130.
- 史忠生,王天琦,方乐华,等,2014.从类比中探索 Muglad 与 Melut 两大盆地勘探潜力与转型.中国石油勘探,19(2):67—76.
- 史忠生,王天琦,薛罗,等,2017.中非 Melut 盆地高砂地比地层成藏特征与富集规律.天然气地球科学,28(2):262—271.
- 孙永河,隋立伟,付晓飞,等,2011.海塔盆地中部断陷带洼槽结构特征及与烃源岩的响应.地质科学,46(4):919—928.
- 田在艺,史卜庆,罗平,等,2002.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.石油学报,23(3):1—5.
- 童晓光,徐志强,史卜庆,等,2006.苏丹迈卢特盆地石油地质特征及成藏模式.石油学报,27(2):1—5,10.
- 吴海波,李军辉,刘赫,2015.乌尔逊—贝尔凹陷岩性—地层油藏形成条件及分布规律.中南大学学报(自然科学版),46(6):2178—2187.
- 徐亚东,梁银平,江尚松,等,2014.中国东部新生代沉积盆地演化.地球科学,39(8):1079—1098.
- 徐长贵,2016.渤海走滑转换带及其对大中型油气田形成的控制作用.地球科学,41(9):1548—1560.
- 翟光明,高维亮,2005.中国石油地质学.北京:石油工业出版社,14—18.
- 张文宾,陈守田,周俊宏,2004.海拉尔盆地油气分布规律及成藏模式.大庆石油学院学报,28(6):8—10.
- 张云银,2002.郯庐断裂带构造特征及油气分布规律.油气地质与采收率,9(6):22—25.
- 张科峰,邓彬,章凤奇,等,2016.海拉尔盆地早白垩世早期挤压变形事件的厘定及其构造意义.地球科学,41(7):1141—1155.
- 赵文智,邹才能,汪泽成,等,2004.富油气凹陷“满凹含油”论——内涵与意义.石油勘探与开发,31(2):5—13.
- 赵政璋,杜金虎,牛嘉玉,等,2005.渤海湾盆地“中石油”探区勘探形势与前景分析.中国石油勘探,10(3):1—7.
- 赵贤正,王权,金凤鸣,等,2015.渤海湾盆地富油凹陷二次勘探工程及其意义.石油勘探与开发,42(6):723—733.