

文章编号: 0253-2697(2024)01-0099-16 DOI:10.7623/syxb202401006

海拉尔盆地油气勘探开发新领域、新类型及资源潜力

王小军¹ 蒙启安¹ 李跃² 吴海波² 李军辉² 邓海²
申文静² 陈方举² 侯思宇² 张守庆²

(1. 大庆油田有限责任公司 黑龙江大庆 163453; 2. 大庆油田有限责任公司勘探开发研究院 黑龙江大庆 163712)

摘要:海拉尔盆地是位于中国北部边陲的中生代—新生代陆相断陷盆地,经过60余年的持续勘探,主力含油层系已进入开发中后期阶段,埋藏浅、规模大、易发现的构造油藏几乎已钻探殆尽,近年来的规模增储难度日益增大。通过系统回顾海拉尔盆地的油气勘探历程,结合当前勘探开发实践,指出向勘探程度较低的注槽区和深部层系进军是打开海拉尔盆地油气勘探新局面的必经之路。海拉尔盆地在南屯组凝缩层段页岩油、铜钵庙组砂砾岩岩性油藏、侏罗系塔木兰沟组油藏和基岩潜山内幕油藏4个新领域具有较大的勘探潜力,石油总资源量预测达 5.96×10^8 t;新领域油藏与已发现的油藏具有空间互补性,构成了一个更加完整的从中—浅层到深层、从斜坡带到注槽区、从常规到非常规的多层系多类型且油藏呈有序分布、差异富集的复杂断陷盆地含油气系统,可进一步挖掘其勘探潜力。

关键词:海拉尔盆地;油气勘探;注槽区;深部层系;新领域;新类型

中图分类号:TE132.1

文献标识码:A

New fields, new types and resource potentials of oil-gas exploration and development in Hailaer Basin

Wang Xiaojun¹ Meng Qi'an¹ Li Yue² Wu Haibo² Li Junhui² Deng Hai²
Shen Wenjing² Chen Fangju² Hou Siyu² Zhang Shouqing²

(1. Daqing Oilfield Limited Company, Heilongjiang Daqing 163453, China;

2. Research Institute of Exploration and Development, Daqing Oilfield Limited Company, Heilongjiang Daqing 163712, China)

Abstract: Hailaer Basin is a Mesozoic-Cenozoic continental rift basin located on the northern border of China. After more than 60 years of continuous exploration, the main oil-bearing series has entered the mid-late stage of development. Shallow buried, large-scale, and easily-discovered structural reservoirs have been almost completely drilled and explored, it is more and more difficult to increase reserves in recent years. Through systematically reviewing the oil-gas exploration history in Hailaer Basin, in combination with current exploration and development practices, it is pointed out that to exploit the less explored subsag areas and deep strata is essential to open a new situation for oil-gas exploration in Hailaer Basin. The basin has great exploration potentials in four fields: shale oil in the condensed section of Nantun Formation, glutenite lithologic reservoir in Tongbomiaof Formation, oil reservoir in Jurassic Tamulangou Formation, and interior reservoir in bedrocks of buried hills, of which the total oil resources are predicted to be 5.96×10^8 t. The oil reservoirs in new fields and the discovered reservoirs have spatial complementarity, thus forming the petroleum system in complex rift basins that involves multiple types and multiple strata from middle-shallow to deep formations, from slope belts to subsag areas, and from conventional to unconventional fields, and displays ordered distribution and differential enrichment of oil reservoirs, and its exploration potentials can be further explored.

Key words: Hailaer Basin; oil-gas exploration; subsag area; deep strata; new field; new type

引用:王小军,蒙启安,李跃,吴海波,李军辉,邓海,申文静,陈方举,侯思宇,张守庆.海拉尔盆地油气勘探开发新领域、新类型及资源潜力[J].石油学报,2024,45(1):99-114.

基金项目:中国石油天然气股份有限公司科技重大专项(2016EG0202)和黑龙江省青年科技人才托举工程项目(2022QNTJ009)资助。

第一作者:王小军,男,1973年3月生,1997年获石油大学学士学位,现为大庆油田有限责任公司副总经理、总地质师、教授级高级工程师、中国石油大学(北京)博士研究生,主要从事大庆油田油气勘探研究及管理工作。Email:wxiaojun@petrochina.com.cn

通信作者:李跃,男,1990年5月生,2018年获东北石油大学地质资源与地质工程专业博士学位,现为大庆油田勘探开发研究院外围勘探研究室副主任、高级工程师,主要从事海拉尔盆地石油地质条件研究工作。Email:418828568@qq.com

Cite: WANG Xiaojun, MENG Qi'an, LI Yue, WU Haibo, LI Junhui, DENG Hai, SHEN Wenjing, CHEN Fangju, HOU Siyu, ZHANG Shouqing. New fields, new types and resource potentials of oil-gas exploration and development in Hailaer Basin[J]. Acta Petrolei Sinica, 2024, 45(1): 99-114.

海拉尔盆地属于东北亚裂谷系的一部分,是在古生代兴蒙造山带基础上发育的中生代—新生代陆相含油气断陷盆地,地质构造条件复杂。海拉尔盆地的油气钻探工作始于1982年,先后经历了盆地地区域勘探油气发现阶段、构造油藏勘探突破阶段、断块-岩性油藏勘探增储阶段和多类型油藏勘探扩展阶段,已提交石油探明储量 1.54×10^8 t。海拉尔盆地的原油产量在2009年达到最高峰(55×10^4 t/a),至今仍保持在 40×10^4 t/a 以上,是大庆油田未来油气增储上产的重要潜力领域^[1]。目前,海拉尔盆地主力含油层系下白垩统南屯组的常规油藏已勘探殆尽,但致密油、页岩油等非常规油藏还具有较大的资源规模,此外,对于下白垩统铜钵庙组、上侏罗统塔木兰沟组和基岩潜山等勘探程度较低的深部层系,同样具有较大的油气勘探潜力。鉴于此,笔者系统分析了海拉尔盆地潜在的新领域、新类型油气成藏

模式及资源潜力,以期指导海拉尔盆地开辟油气勘探新战场,并启发中国其他陆相断陷盆地的勘探工作。

1 地质概况

海拉尔盆地位于中国内蒙古自治区呼伦贝尔市境内,面积为 $44\ 210\ \text{km}^2$,呈 NE—SW 向三拗-两隆构造格局,共由 16 个凹陷和 4 个凸起组成^[1-4](图 1)。盆地基底为古生界火山岩和轻微变质的沉积岩,沉积盖层以中—上侏罗统和白垩系为主,地层厚度达 6 000 m。海拉尔盆地油气勘探的主要目的层为下白垩统南屯组和铜钵庙组,南屯组沉积了裂陷期形成的半深湖—深湖亚相暗色泥岩,是海拉尔盆地主要的烃源岩^[5],扇三角洲、辫状河三角洲沉积体系形成的高含凝灰质砂岩、砂砾岩是主要的油气储层,油气圈闭类型以断块和断鼻为主^[6-8]。

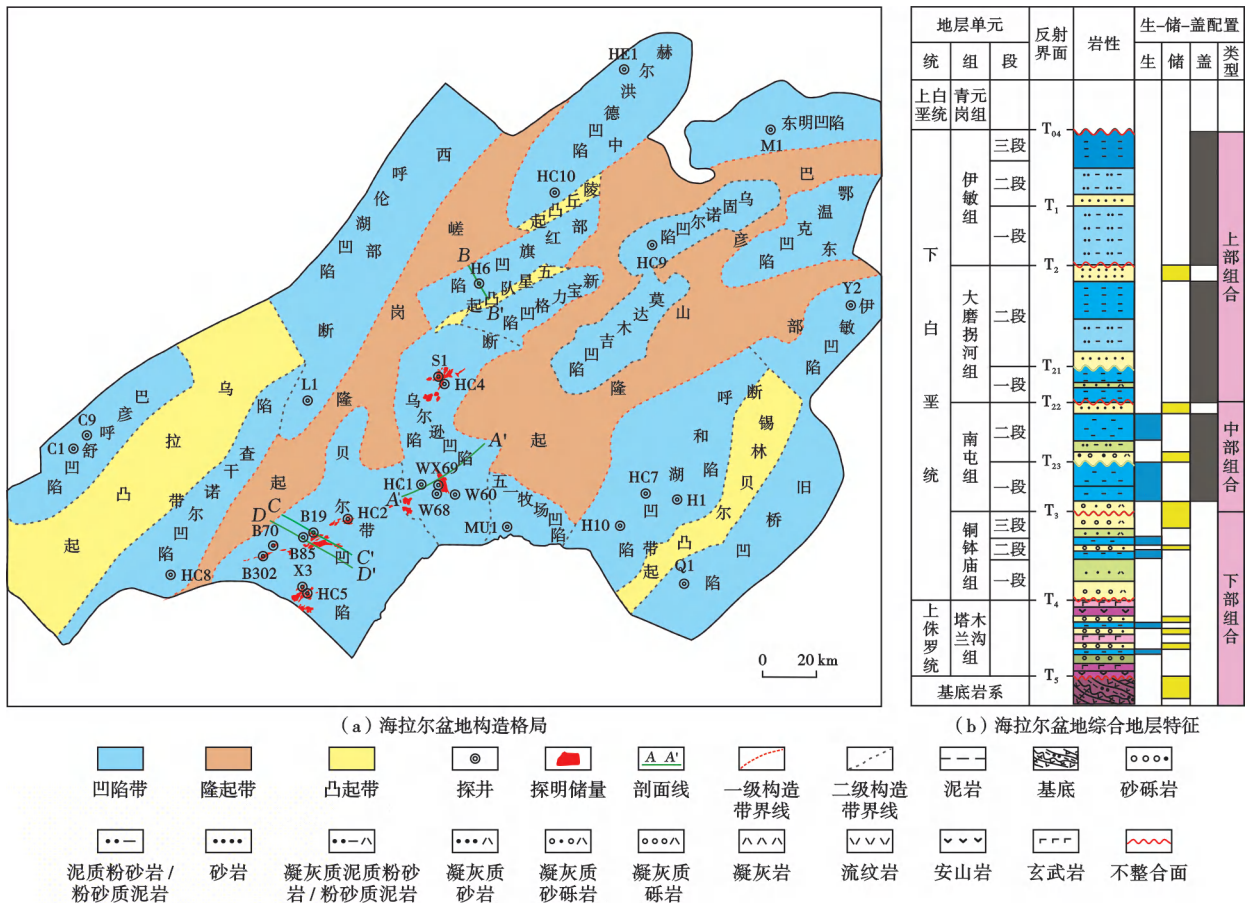


图 1 海拉尔盆地构造格局与地层特征(据文献[1]修改)

Fig. 1 Tectonic framework and stratigraphic characteristics of Hailaer Basin

2 油气勘探历程

自 1958 年开展早期勘探评价工作以来,海拉尔盆

地已有 60 余年的油气勘探历史。随着油气勘探理论不断发展和主要勘探对象转变,海拉尔盆地的油气勘探历程可划分为 4 个阶段^[9](图 2)。

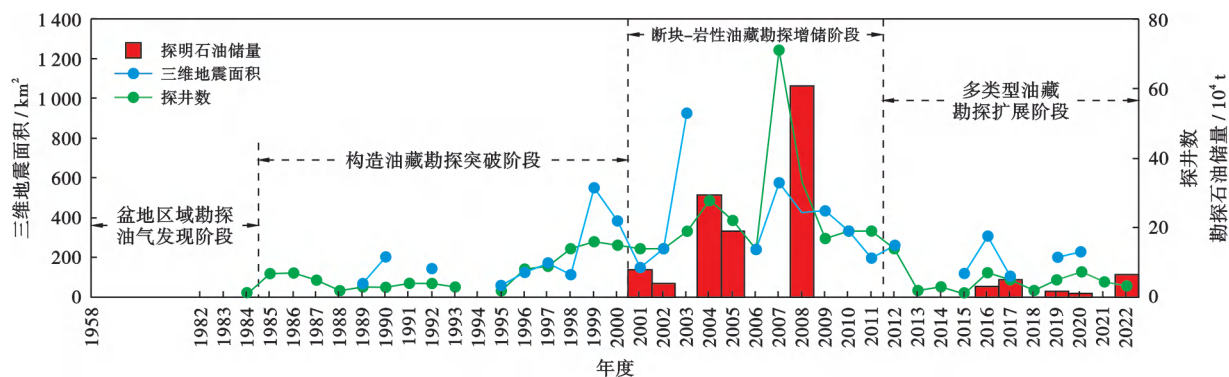


图 2 海拉尔盆地油气勘探阶段(据文献[1]修改)

Fig. 2 Oil-gas exploration stages in Hailaer Basin

2.1 盆地区域勘探油气发现阶段(1958—1984年)

该阶段大庆油田有限责任公司主要应用地球物理勘探与野外地质调查相结合的方法,开展了盆地油气资源评价,将海拉尔盆地划分为 5 个一级构造单元,圈定盆地含油气范围和有利勘探凹陷,并指出贝尔凹陷和乌尔逊凹陷为最有利含油区,其中,在乌尔逊凹陷部署的 HC4 井钻遇厚度超过千米的烃源岩,产油量为 3.65 t/d,实现了海拉尔盆地石油勘探的首次工业突破。

2.2 构造油藏勘探突破阶段(1985—2000年)

该阶段盆地油气勘探开始以复式油气聚集区/带理论为指导,深化地质规律研究,以在大凹陷中寻找资源潜力大的地区为重点,以区带为勘探单元,由勘探简单断背斜油藏转向断块油藏,勘探目的层由浅层下白垩统大磨拐河组转向中部南屯组,并在苏仁诺尔构造带获得工业油流。

2.3 断块-岩性油藏勘探增储阶段(2001—2011年)

该阶段从成盆、成岩和成藏角度出发,油公司创新发展了复式箕状断陷油气勘探理论^[10-15],构建了主洼槽供烃、长轴扇体供砂、断层-斜坡控圈和多层油藏叠合的复式箕状断陷油气成藏模式,明确了断裂隆起带和缓坡带是勘探重点区带,探明了 2 个 5 000 万吨级油田。2001 年,海拉尔油田开始实现石油工业开发,其原油产量在 2009 年达到最高峰。

2.4 多类型油藏勘探扩展阶段(2012年至今)

该阶段在富油凹陷优质资源基本探明后,海拉尔盆地的油气勘探工作转入稳步推进阶段,通过精细地质研究,先后在贝尔凹陷南屯组致密油、红旗凹陷铜钵庙组等新领域勘探中取得突破^[9,16-17]。通过多类型资源的不断接替,海拉尔油田的产油量一直保持在 40×10^4 t/a 以上。

3 新领域、新类型油气资源与勘探潜力

目前,海拉尔盆地在中部断陷带 2 大富油凹陷(乌尔逊凹陷和贝尔凹陷)的主力含油层系南屯组和铜钵庙组的勘探程度较高,其剩余目标多为具有“小、低、深、隐”特点的复合、岩性油藏;在凹陷外围的赫尔洪德等小断陷的勘探程度较低且成藏条件复杂。近年来,海拉尔盆地的规模增储越来越难。资源评价结果显示,海拉尔盆地的石油总资源量为 10.09×10^8 t,仍具有相当大的勘探潜力,因此在进一步深入挖潜已知领域油气资源的同时,应及时调整勘探策略,加强对海拉尔盆地新领域、新类型油气资源的研究和探索,开辟油气增储上产的新战场。笔者结合近年来的油气勘探实践认为,海拉尔盆地南屯组凝缩层段页岩油、铜钵庙组砂砾岩岩性油藏、侏罗系塔木兰沟组油藏和基岩潜山内幕油藏 4 个新领域具有较大勘探潜力,值得深入探索。

3.1 南屯组凝缩层段页岩油

南屯组形成于断陷活动强烈拉伸期,是海拉尔盆地最主要的烃源岩层系和含油层系^[18],该时期南屯组的沉积环境由早期“窄盆深水”逐渐过渡到后期“广盆浅水”^[19]。洼槽区中暗色泥岩的累计厚度可达 200~400 m,其中,南屯组一段(南一段)中下部为快速湖侵沉积期,发育一套以钙质泥页岩为主的凝缩层段^[20],厚度为 30~80 m。实验分析表明,该凝缩层段生烃能力强、具有南屯组最好的烃源岩品质^[21],并且由于含有大量脆性矿物、易于压裂改造,该层段具备成为页岩油勘探“甜点”的地质条件。

3.1.1 高含钙是凝缩层段泥页岩的显著特征

凝缩层段表现为钙质泥页岩、泥质灰岩和粉砂岩薄层互层的层状结构[图 3(a)~图 3(c)],其中,以钙

质泥页岩为主,各类纹层的厚度介于 0.15~0.50 m。凝缩层段脆性裂缝发育,缝间多被方解石充填,普遍含油,呈油浸或油斑状[图 3(d)—图 3(f)]。钙质泥页岩中除含有大量铁方解石外,还含有一定量的泥晶—粉晶白云石,碳酸盐矿物含量介于 2%~20%、大多约为

10%,为普通泥岩中碳酸盐矿物含量的 6~8 倍,遇酸起泡。从测井曲线参数上看,该凝缩层段与正常泥岩段有明显区别,呈现高自然伽马(120~150 API)、高电阻率(15~50 Ω·m)、高声波时差(328.08~393.70 μs/m)和低密度(2.3~2.5 g/cm³)的“三高一低”特点(图 4)。

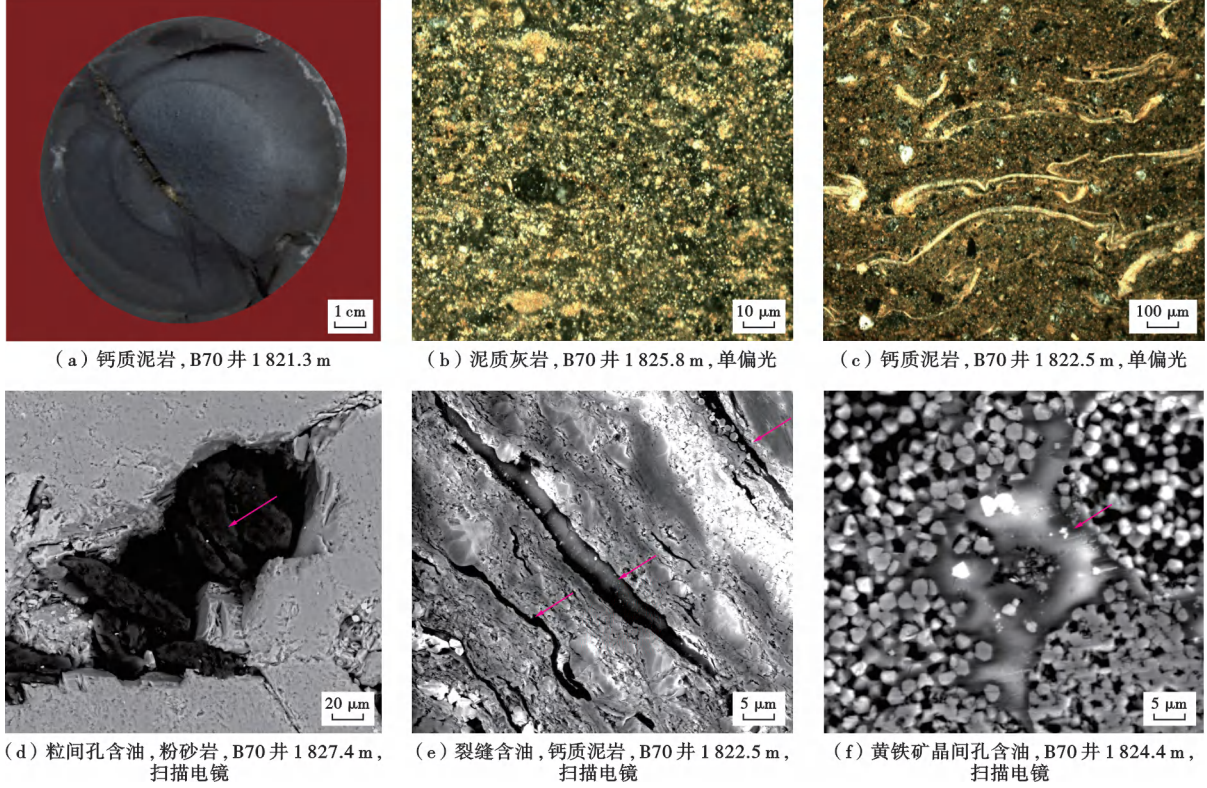


图 3 南屯组中下部凝缩层段微观特征

Fig. 3 Microscopic characteristics of condensed section in the middle-lower part of Nantun Formation

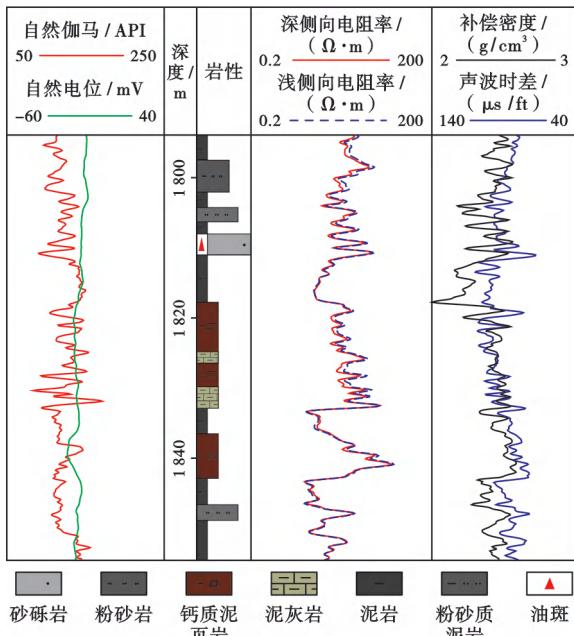


图 4 南屯组中下部凝缩层段岩电特征

Fig. 4 Lithologic and electric properties of condensed section in the middle-lower part of Nantun Formation

凝缩层段内,除粉砂岩和泥质灰岩薄夹层可以作为页岩油的有效储层外,钙质泥页岩内也发育有多种类型的储集空间。压汞实验与低温氮气吸附实验联合表征显示,钙质泥页岩全孔径分布具有明显的 3 峰型特征(图 5),其中,第 1 峰值孔径小于 10 nm,孔隙类型

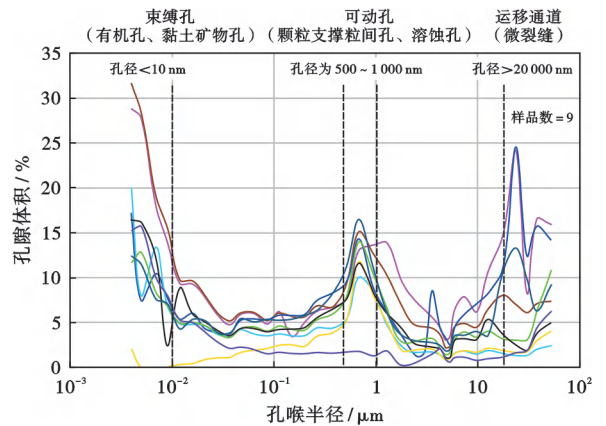


图 5 南屯组凝缩层段钙质泥页岩全孔径分布特征

Fig. 5 Full-pore distribution characteristics of calcareous shale in condensed section of Nantun Formation

主要为黏土矿物晶间孔、有机质孔等,这部分孔隙主要为束缚孔,赋存其中的流体一般难以流动;第 2 峰值孔径范围主要介于 500~1 000 nm,发育的孔隙类型主要为方解石、白云石等碳酸盐矿物晶间孔和黄铁矿晶间孔[图 3(f)],这部分孔隙属于可动孔,其中的油气可以自由流动;第 3 峰值孔径一般大于 20 μm ,孔隙类型主要为微裂缝和页理缝,这类孔隙不仅可以作为页岩油良好的储集空间,也是油气有效高速运移的渗流通道。

表 1 南屯组凝缩层段钙质泥页岩与普通泥岩生烃指标对比

Table 1 Comparison of hydrocarbon generation indexes between calcareous shale and mudstone in condensed section of Nantun Formation

类型	TOC 含量/%	生烃潜量/(mg/g)	氯仿沥青“A”含量/%	干酪根类型	镜质体反射率/%	综合评价
钙质泥页岩	7.21~1.16/2.30(38)	44.64~8.03/28.68(49)	0.8351~0.1277/0.2651(21)	I—II ₁	0.80~1.26	优质
普通泥岩	2.19~0.50/1.39(520)	20.70~2.00/5.90(586)	0.4711~0.0011/0.0802(252)	II ₁ —II ₂	0.40~1.20	中等

注:“/”后为平均值;括号内为样品数。

研究认为,海拉尔盆地南屯组烃源岩主要形成于淡水湖盆环境,但气相色谱-质谱研究揭示,南屯组凝缩层段钙质泥页岩中含有一定量的伽马蜡烷和 β -胡萝卜烷,反映该凝缩层段形成于微咸水的深水还原环境,生油母质主要为浮游藻类。综合区域构造背景,笔者认为海拉尔盆地南屯组凝缩层段优质烃源岩的形成与邻区大兴安岭在同期发生的大规模酸性火山喷发事件密切相关。该时期构造活动剧烈,与海拉尔盆地遭受强烈拉张、发生大规模沉降相对应。同时,大兴安岭地区发生了大规模的火山喷发,酸性火山灰携带着大量适宜生物生长的元素飘落到海拉尔盆地深水湖盆内,对水体起到了“施肥效应”,这不仅使得水体中的微生物在短期内疯长、藻类勃发,水体盐度也相应增高,形成了咸水湖盆环境,有机质种类丰富、产量充足,为凝缩层段优质烃源岩的形成提供了良好的物质基础^[22](图 6)。

3.1.3 凝缩层段页岩油勘探前景及资源潜力

从空间展布特征来看,凝缩层段富有机质钙质泥页岩在海拉尔盆地的主要凹陷中均有发育(图 7),主要分布在深洼区及洼槽周边的斜坡下带,分布面积可达 1 700 km²。凝缩层段发育带与南屯组烃源岩的有机质成熟度[以镜质体反射率(R_o)为指标]高值区具有很好的匹配关系,凝缩层段钙质泥页岩的 R_o 普遍大于 0.75%,最高可达 1.26%,有机质大多处于中—高成熟阶段,烃类大量生成、排出。游离烃(S_1)一部分赋存在钙质泥页岩的微裂缝、页理缝、碳酸盐矿物和黏土矿物晶间孔内,另一部分经短距离运移进入与钙质泥页岩呈互层的粉砂岩、泥质灰岩等夹层内。同时,由于钙质泥页岩自身富含碳酸盐矿物,脆性指数高、可压裂性好,具备成为页岩油勘探工程“甜点”的必要条件。

3.1.2 火山灰“施肥效应”是凝缩层段泥页岩富含有机质的关键

从生烃指标来看,凝缩层段钙质泥页岩中的有机质类型以 I 型和 II₁ 型为主,总有机碳(TOC)含量多数为 2.00%~3.00%、最高达 7.21%,生烃潜量($S_1 + S_2$)多数介于 15.00~30.00 mg/g、最大可达 44.64 mg/g,综合评价属于优质烃源岩,生烃能力明显高于南屯组普通泥岩(表 1)。

近期,海拉尔盆地针对南屯组深洼区砂-泥互层型岩性油藏进行了压裂尝试,在乌尔逊凹陷部署的 W68 并于 3 300 m 深度进行了直井常规压裂、获得 5.2 t/d 的工业油流,原油密度为 0.81 g/cm³,油样表现为淡黄色,油质轻、油品好,证实深洼区源-储一体型油藏是海拉尔盆地值得探索的新领域。因此,笔者推测含油性特征更好、更适宜压裂改造的凝缩层段页岩油应具有更好的勘探前景,估算海拉尔盆地南屯组凝缩层段页岩油资源量约为 1.2×10^8 t,具有较大的勘探潜力。

3.2 铜钵庙组砂砾岩岩性油藏

铜钵庙组形成于断陷活动初始裂陷期,该时期海拉尔盆地内古地貌高差大,主要发育扇三角洲沉积体系,近源快速堆积形成了一套厚度为 400~800 m 的磨拉石建造,从上到下可进一步划分为铜钵庙组三段(铜三段)、铜钵庙组二段(铜二段)和铜钵庙组一段(铜一段),岩性颗粒表现为粗—细—粗的变化特征。油公司按照寻找断块构造高点的勘探思路已在斜坡带铜钵庙组取得了一定的勘探成果,铜钵庙组在洼槽区由于埋深较大,探索较少。近年来,通过不断加深对铜钵庙组储层和烃源岩特征的认识,研究认为,洼槽区铜钵庙组具备形成大型砂砾岩岩性油藏的地质条件,勘探潜力较大。

3.2.1 扇三角洲外前缘牵引流成因的砂砾岩是形成大型岩性油藏的有效储集空间

铜钵庙组扇三角洲沉积具有典型的洪水建造特征,水动力强,单期洪水沉积旋回的砂体厚度为 0.5~2.0 m,多期旋回叠置形成铜钵庙组厚层砂砾岩。砂砾岩可进一步划分为杂基支撑砾岩、多级颗粒支撑砾岩和同级颗粒支撑砾岩 3 种岩相(图 8)。其中,扇三角洲平原亚相、扇三角洲内前缘亚相的输砂水道主要为

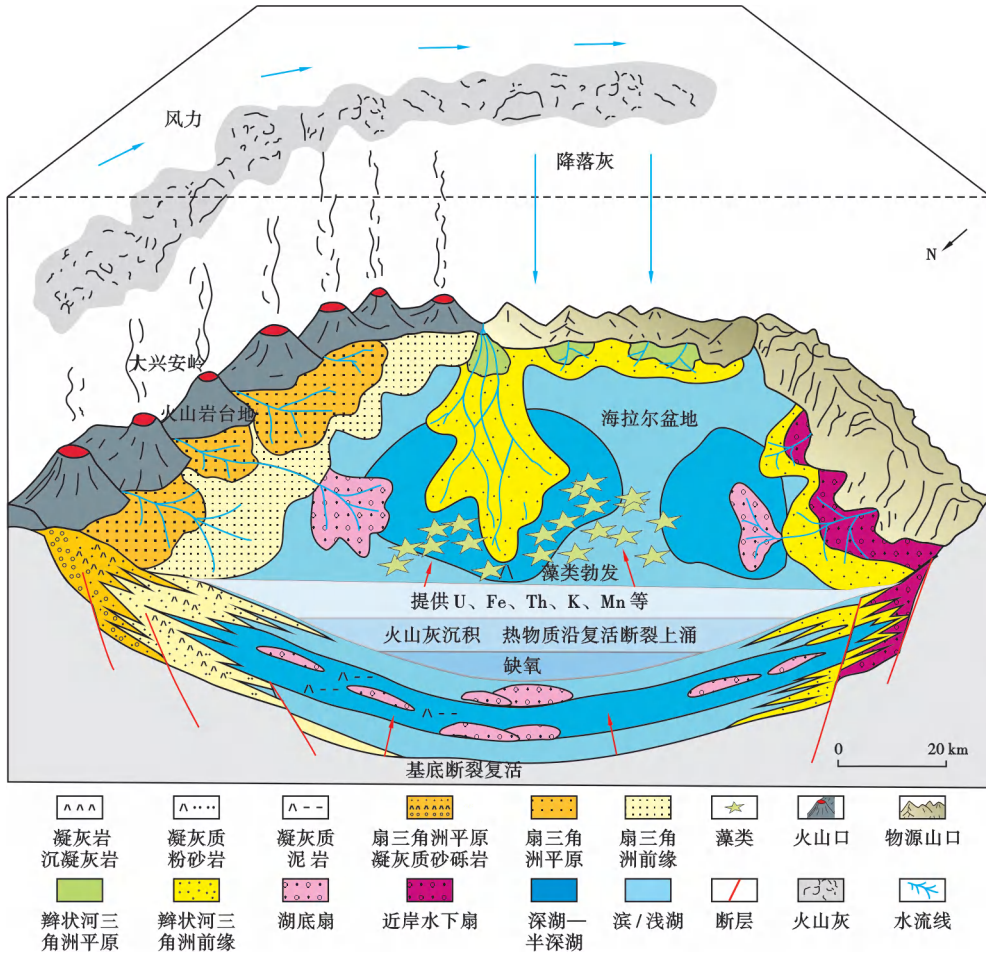


图6 南屯组凝缩层段优质烃源岩形成模式

Fig. 6 Formation model of high quality source rock in condensed section of Nantun Formation

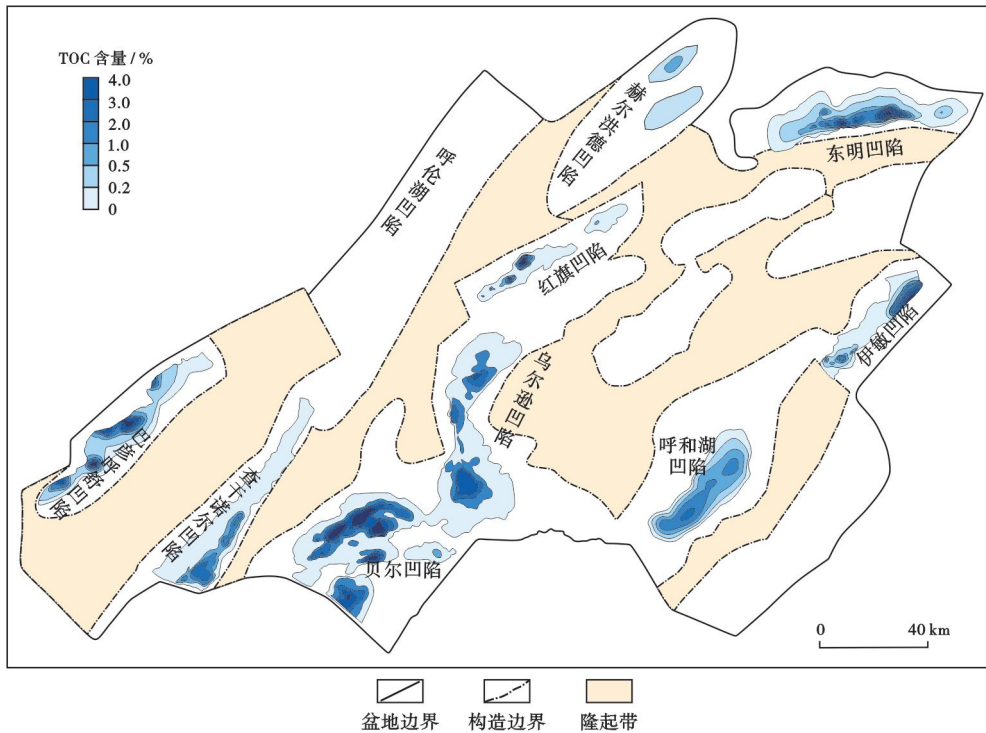


图7 海拉尔盆地南屯组凝缩层段烃源岩 TOC 含量分布特征

Fig. 7 TOC content distribution of source rocks in condensed section of Nantun Formation, Hailaer Basin

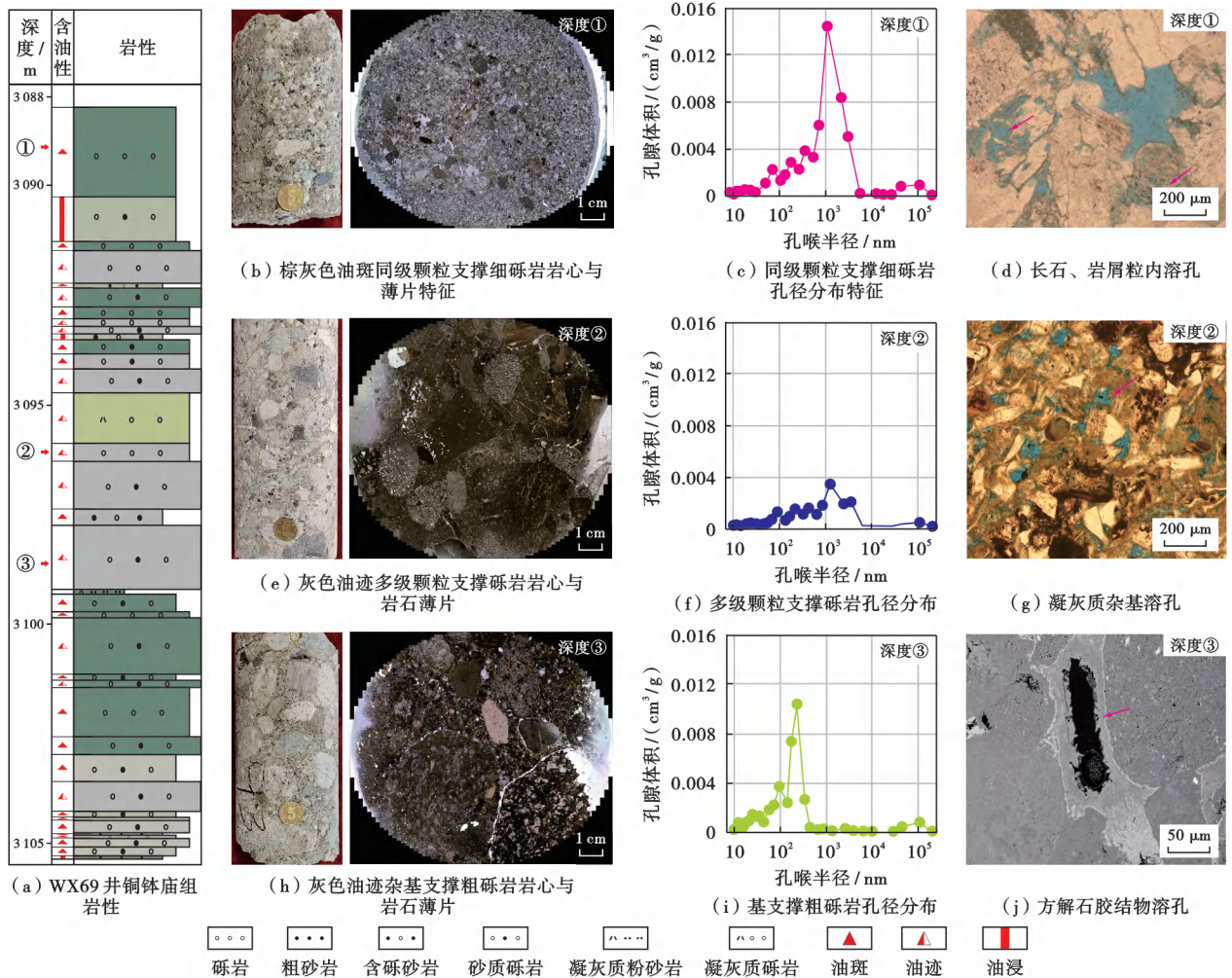


图 8 铜钵庙组砂砾岩岩石相类型及储集空间特征(WX69 井)

Fig. 8 Lithofacies types and reservoir space characteristics of glutenite in Tongbomiaof Formation

碎屑流水动力沉积环境,其形成的砂砾岩以杂基支撑砾岩、多级颗粒支撑砾岩为主;扇三角洲外前缘亚相洪水能量减弱,开始形成稳定的牵引流水道,其发育的砂砾岩以同级颗粒支撑砾岩为主。储层研究表明,由杂基支撑砾岩到多级颗粒支撑砾岩、同级颗粒支撑砾岩,泥质杂基的含量逐渐降低,残余粒间孔、粒内/粒间溶蚀孔更为发育,储层物性逐渐变好。洼槽区铜钵庙组的埋藏深度通常大于 3 000 m,杂基支撑砾岩和多级颗粒支撑砾岩受压实作用影响强烈,泥质杂基含量较高;与斜坡带的铜钵庙组相比,其储层物性大幅度下降,孔隙度通常小于 6%、渗透率小于 0.1 mD,基本不具备油气储集能力,只能作为油气运移的遮挡层。同级颗粒支撑砾岩中的泥质杂基含量低、抗压实能力强,其粒间发育的大量碳酸盐胶结物易被有机酸溶蚀,形成次生储集空间,储层物性一般可保持 8%~12%的孔隙度、0.1~2.0 mD 的渗透率,这为洼槽区发育大规模岩性油藏提供了有效的储集空间。

3.2.2 最大湖泛期暗色泥岩是形成大型岩性油藏的有效油气来源

铜钵庙组为一个完整的三级沉积层序,其最大湖泛期位于中部铜二段内,在洼槽区及周边地区发育一套分布稳定、厚度为 100~200 m 的暗色泥岩夹薄层粉砂岩、砂砾岩沉积。其中,暗色泥岩主要为灰黑色泥岩和黑灰色粉砂质泥岩,其有机质类型主要为 II₁ 型和 II₂ 型,TOC 含量为 0.50%~2.81%、平均为 1.10%,S₁+S₂ 为 0.36~18.91 mg/g、平均为 3.99 mg/g,R_o 一般大于 1.0%,整体属于成熟、中等品质的烃源岩(图 9),可为铜钵庙组洼槽区发育大规模岩性油藏提供有效的油气来源。

3.2.3 岩性油藏成藏模式及资源潜力

由于铜钵庙组在洼槽区断裂不发育,生成的烃类通常很少发生垂向运移。一部分可近距离运移进入与其呈互层的薄层砂砾岩、粉砂岩有效储层内,形成自生自储型岩性油藏;另一部分油气沿地层上倾方向,进入

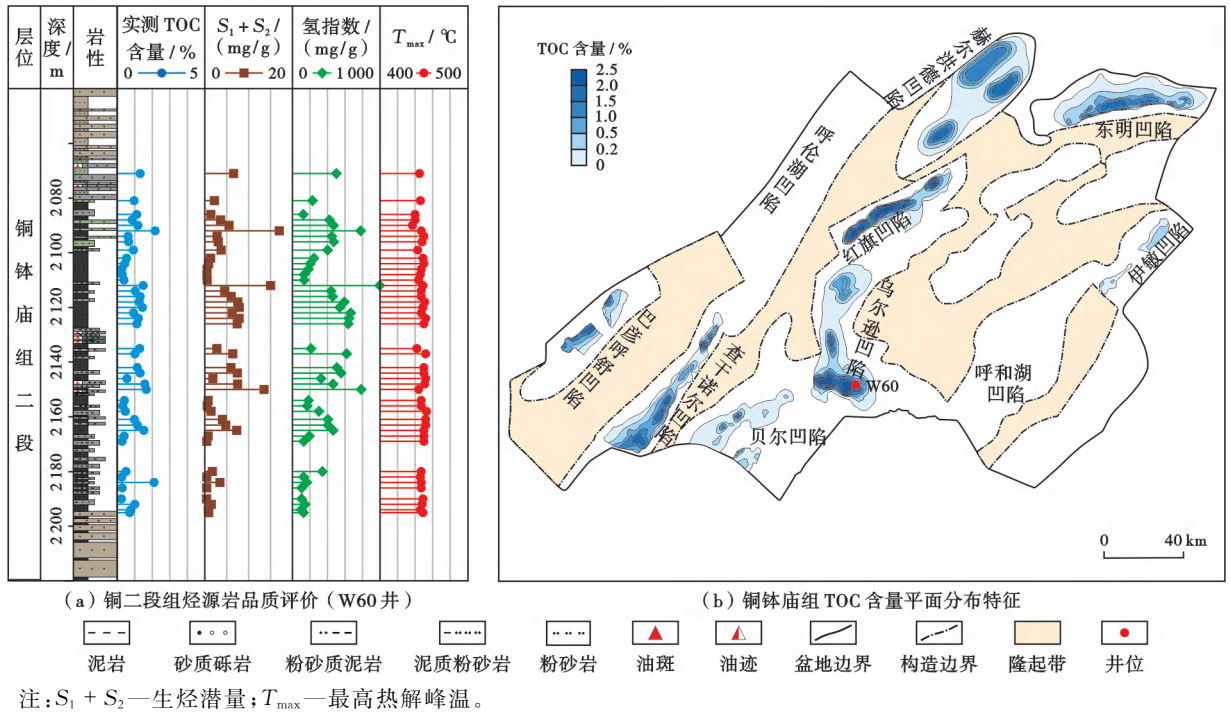


图 9 铜钵庙组烃源岩品质评价及 TOC 含量平面分布特征

Fig. 9 Evaluation of source rock quality and distribution characteristics of TOC contents in Tongbomiao Formation

与其侧向对接的扇三角洲外前缘沉积的同级颗粒支撑砾岩有效储层内,并继续运移,直到被扇三角洲内前缘相的多级颗粒支撑砾岩和杂基支撑砾岩形成的致密层遮挡成藏。在这类岩性油藏中,起到封盖顶板作用的岩性为上覆南一段底部厚层湖相泥岩,起到封堵底板作用的岩性为下伏铜一段扇三角洲平原亚相致密杂基支撑砾岩,而起到侧向封堵作用的岩性为扇间泥岩。在该立体封堵下,同级颗粒支撑砾岩储集体内形成大面积成藏,且在有效烃源岩发育层段,随湖平面升降变化,形成一系列岩性油藏圈闭群(图 10)。洼槽区铜钵

庙组砂砾岩岩性油藏主要分布在乌尔逊凹陷、红旗凹陷、赫尔洪德凹陷内,预计其资源潜力为 $8900 \times 10^4 \text{ t}$ 。

3.3 侏罗系塔木兰沟组油藏

近年来,东北地区侏罗系开展的油气勘探见到好苗头^[23-25],中国地质调查局在松辽盆地外围突泉凹陷部署的 TC1 井获得低产油流。中国石油华北油田公司在二连盆地多个凹陷的侏罗系中见到油气显示。海拉尔盆地于 2018 年在红旗凹陷部署的 H6 井,在侏罗系塔木兰沟组钻遇成熟烃源岩并获得低产油流,揭示海拉尔盆地侏罗系为含油地层;2020 年在北部赫尔洪

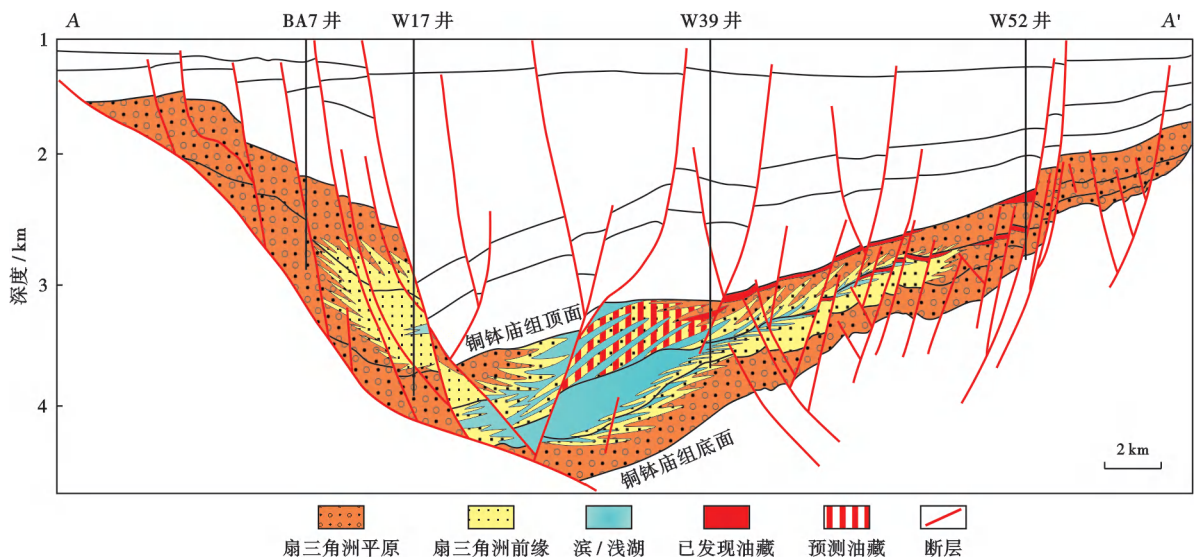


图 10 洼槽区铜钵庙组砂砾岩岩性油藏成藏模式(剖面位置见图 1)

Fig. 10 Accumulation pattern of glutenite reservoir of Tongbomiao Formation in subsag area

德凹陷继续部署 H1 井,试油产量为 5.28 t/d,在侏罗系塔木兰沟组获得工业突破。盆内与盆缘野外露头踏勘对比发现,海拉尔盆地侏罗系塔木兰沟组在中部断

陷带和西部断陷带广泛分布,面积约为 8 500 km²,地层厚度为 200~2 100 m(图 11),具有较大的油气勘探潜力。

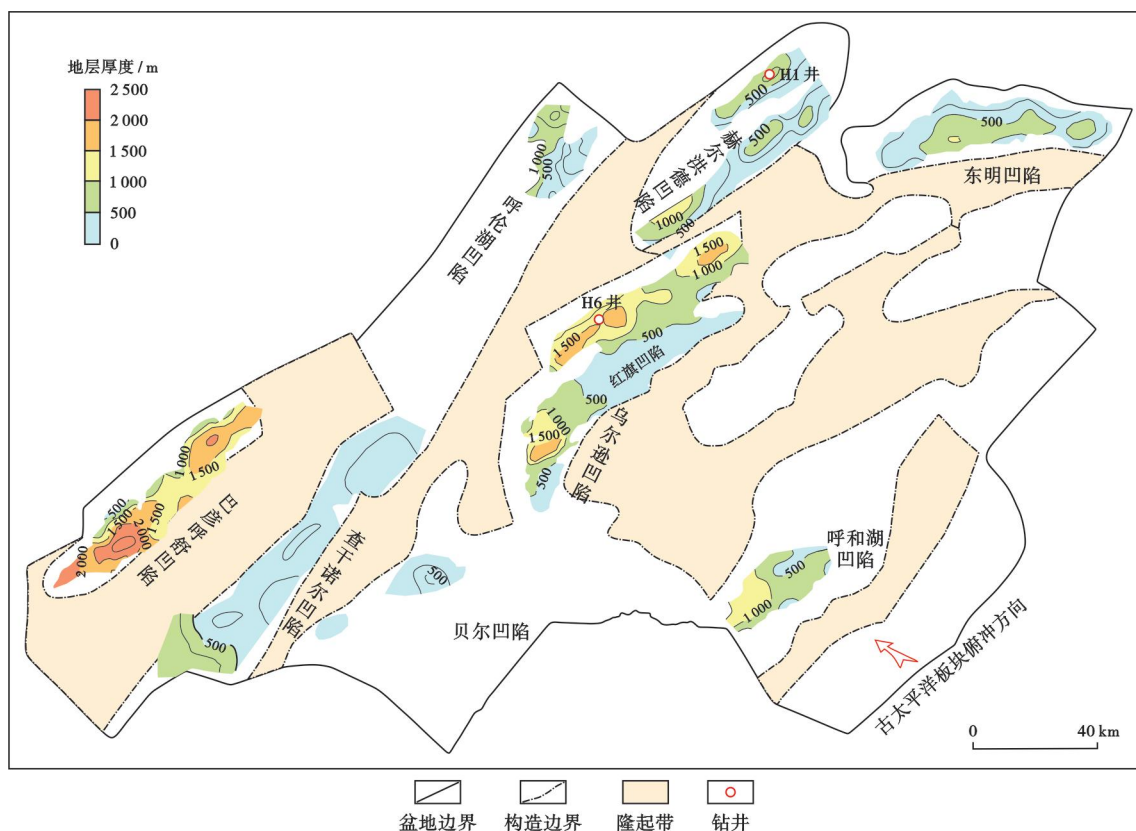


图 11 海拉尔盆地侏罗系塔木兰沟组厚度分布特征

Fig. 11 Thickness distribution of Jurassic Tamulangou Formation in Hailaer Basin

3.3.1 火山-沉积交替建造为塔木兰沟组的显著特征

受鄂霍茨克洋闭合和古太平洋板块俯冲双重作用影响,东北裂谷系内的各个盆地在侏罗纪均处在强烈的拉张环境中,火山和断裂活动共同控制着盆地的形成与演化^[26-28]。海拉尔盆地在该时期的火山活动具有多期次、裂隙式喷发的特点,地层内发育多个中基性—中酸性火山岩旋回,火山活动间歇期发育沉积岩(图 12)。岩石学、年代地层学和生物地层学综合研究认为,海拉尔盆地在侏罗系主要发育 3 期火山建造:第 1 期火山建造以中基性火山岩为主,岩石年龄为 162~155 Ma;第 2 期火山建造以中基性—中酸性火山岩为主,岩石年龄分布在 154~145 Ma;第 3 期火山建造以中基性火山岩为主,岩石年龄分布在 141~133 Ma。盆内与盆缘的火山喷发期次具有可对比性。受断裂及古地貌控制,3 期火山建造之间发育 2 套沉积建造,主要为近源粗粒扇三角洲沉积体系。

3.3.2 2 期沉积建造提供了油气来源和主要储集空间

侏罗系塔木兰沟组在纵向上发育 2 套烃源岩。钻井揭示暗色泥岩的厚度在 100~300 m,分布面积约为

2 100 km²,野外露头中也可见与砂砾岩呈互层状的暗色泥岩。通过对海拉尔盆地各凹陷侏罗系塔木兰沟组暗色泥岩的有机质丰度、类型和成熟度进行分析(表 2),笔者认为塔木兰沟组具有一定的生烃能力。其中,烃源岩的有机质类型以 II 型为主、部分为 III 型;TOC 含量在 0.37%~5.42%,平均为 1.42%;S₁ + S₂ 在 0.12~32.2 mg/g,平均为 2.12 mg/g;氯仿沥青“A”含量为 0.016%~0.592%,平均为 0.086%;R_o 介于 0.72%~2.19%,整体评价其属于中—高成熟、中等品质烃源岩。

海拉尔盆地侏罗系塔木兰沟组发育沉积岩、火山碎屑岩、火山岩 3 类储层[图 13(a)—图 13(d)],岩石矿物组成复杂,储集空间主要为溶蚀孔和微裂隙[图 13(e)、图 13(f)]。塔木兰沟组整体储层物性表现为特低孔、特低渗的特点,孔隙度分布在 0.7%~21.2%、多数小于 10.0%,渗透率为 0.002~4.880 mD、多数小于 1.000 mD。塔木兰沟组有效储层的发育通常需要具备 2 个重要条件:一是储层发育在扇三角洲前缘沉积相带内,二是储层经历过有机酸或风化淋滤溶蚀改造作用。

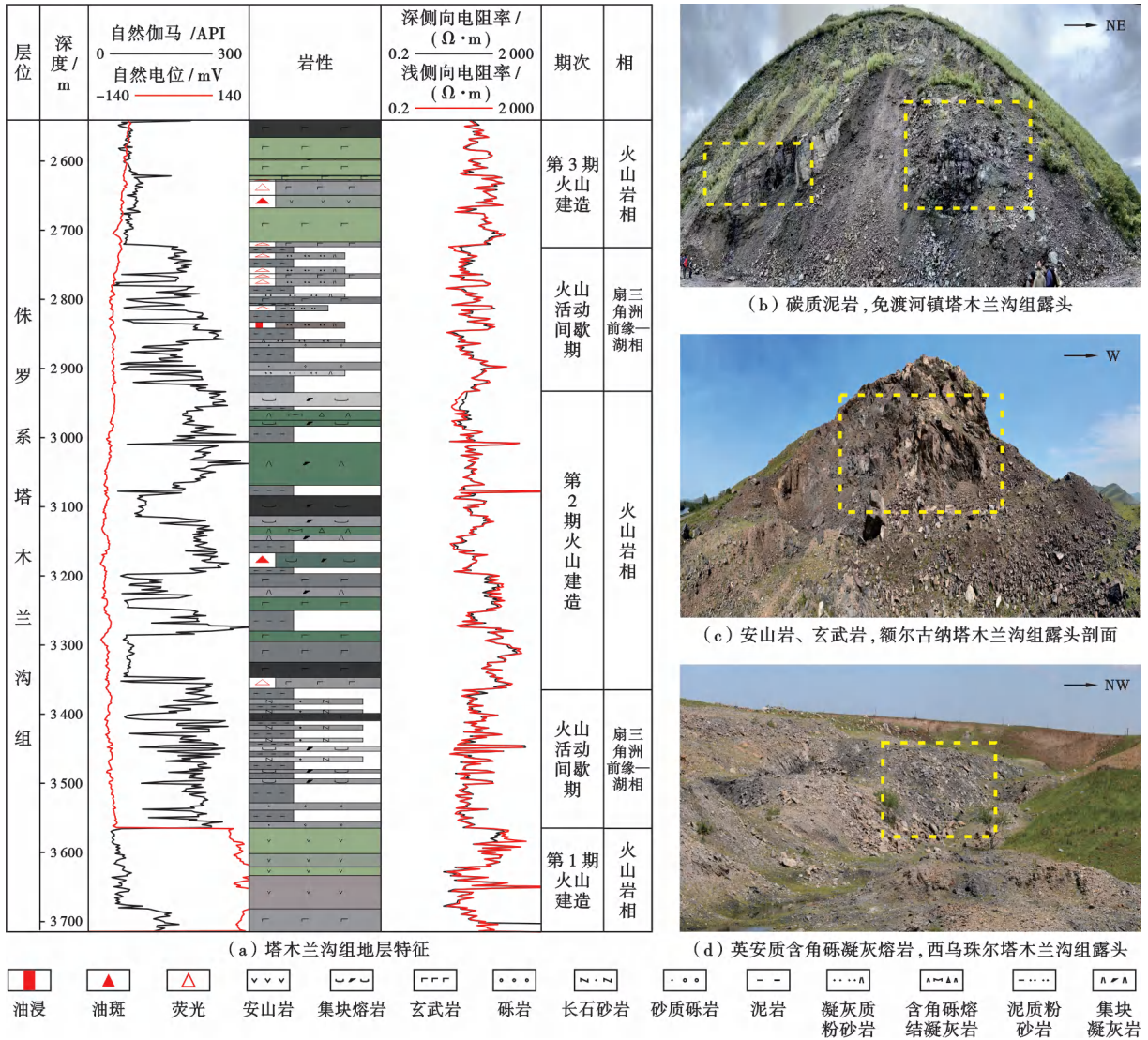


图 12 海拉尔盆地侏罗系塔木兰沟组综合地层特征及野外露头剖面

Fig. 12 Comprehensive stratigraphic characteristics and outcrop profile of Jurassic Tamulangou Formation in Hailaer Basin

表 2 海拉尔盆地不同凹陷侏罗系塔木兰沟组生烃源岩生烃参数

Table 2 Hydrocarbon generation parameters of Jurassic Tamulangou Formation source rocks in different sags of Hailaer Basin

凹陷	TOC 含量/%	氯仿沥青“A”含量/%	S ₁ + S ₂ /(mg/g)	R _o /%	有机质类型	评价结果
乌尔逊	0.406~2.887/0.832(154)	0.019~0.120/0.057(19)	0.13~17.30/1.08(223)	1.090~2.190/1.560(13)	II—III	中等
红旗	0.406~4.366/1.660(226)	0.016~0.592/0.162(31)	0.37~14.8/5.04(217)	0.800~2.040/1.364(18)	II	中等
赫尔洪德	0.374~1.983/1.259(13)	0.034~0.140/0.088(3)	0.41~3.13/1.49(27)	0.957~1.040/0.999(2)	II	中等
呼伦湖	0.410~3.870/1.620(4)		0.12~32.20/2.21(21)	0.720~2.010/1.420(7)	III	中等
呼和湖	0.520~5.416/1.310(11)	0.020~0.051/0.037(4)	0.12~8.26/1.09(10)	0.780(1)	II—III	中等

注:“/”后为平均值;括号内为样品数。

3.3.3 塔木兰沟组油气成藏模式及资源潜力

海拉尔盆地侏罗系塔木兰沟组油藏具有明显的源-储-运-盖-圈闭致密油成藏特征,有效烃源岩的发育范围控制着塔木兰沟组的油气分布,目前,油气显示井均分布在生烃洼槽内或紧邻生烃洼槽地区。有利沉积相带和溶蚀改造作用控制着油气储集空间的发育程度,直接影响含油显示级别和钻井试油效果。洼槽区的有效烃源岩在生烃后

油气发生近距离运移,进入与其呈互层的扇三角洲前缘砂砾岩储集体内,储层上部有火山岩封盖、侧向有断裂遮挡,形成了塔木兰沟组最有利的油气成藏模式(图 14)。成因法估算侏罗系塔木兰沟组的石油资源量近 2×10⁸t。乌尔逊凹陷北次凹、红旗凹陷南次凹、赫尔洪德凹陷西次凹的洼中隆起带和环洼构造带是海拉尔盆地侏罗系塔木兰沟组油气的主要有利勘探区带。

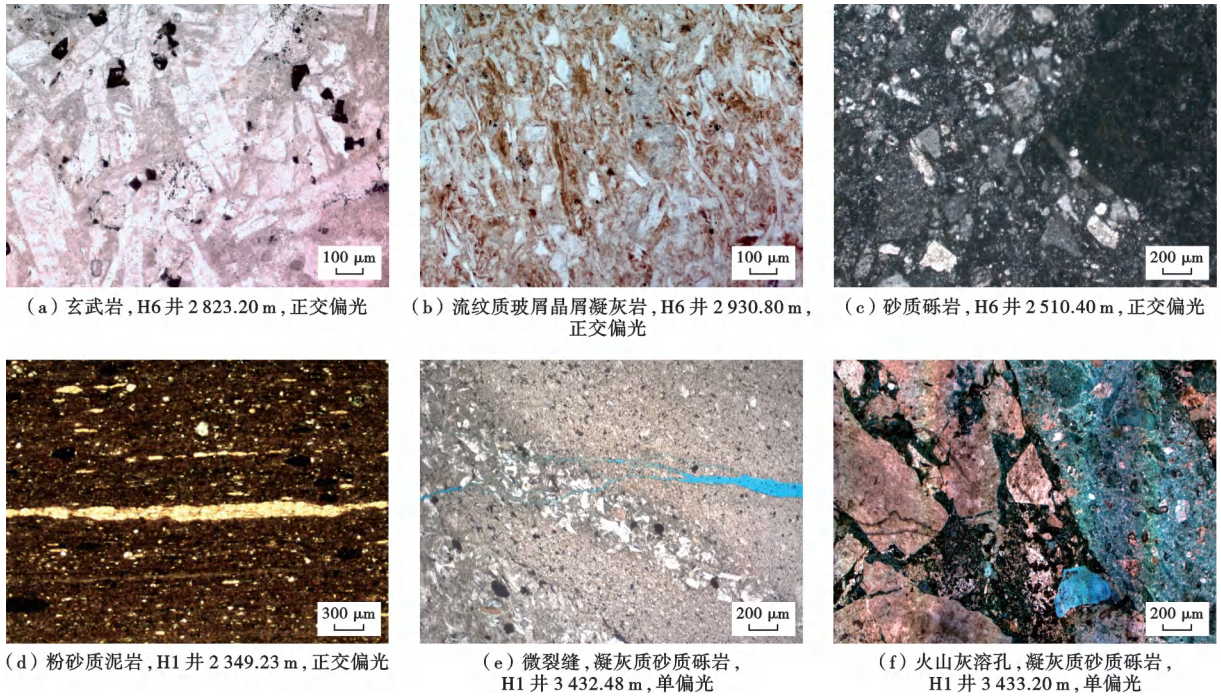


图 13 海拉尔盆地侏罗系塔木兰沟组储层微观特征

Fig. 13 Microscopic characteristics of Jurassic Tamulangou Formation reservoir in Hailaer Basin

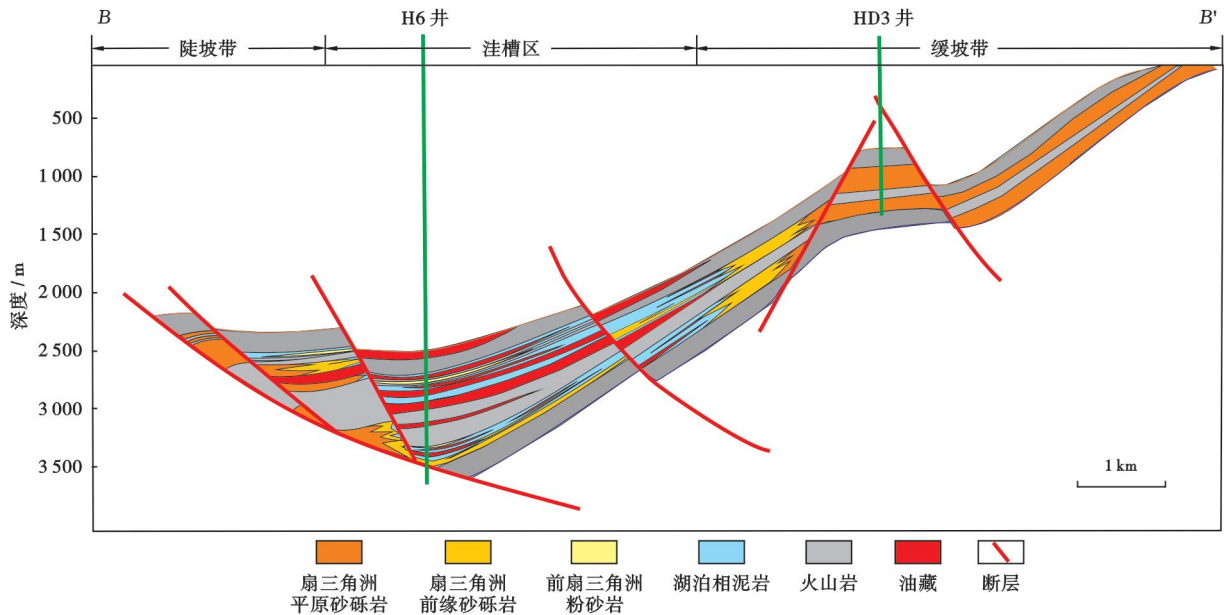


图 14 海拉尔盆地侏罗系塔木兰沟组油藏模式(剖面位置见图 1)

Fig. 14 Reservoir model of Jurassic Tamulangou Formation in Hailaer Basin

3.4 基岩潜山内幕油藏

近年来,渤海湾等盆地已在基岩潜山内幕油藏勘探中取得了较大突破,构建了多种潜山内幕油气成藏模式^[29-32]。海拉尔盆地的基岩由石炭系—三叠系组成^[33],厚度为 500~2000 m,分布面积约为 8700 km²。海拉尔盆地自 2004 年发现基岩潜山油藏以来,已有 34 口井在苏德尔特构造带等洼中隆起带获得工业油

流,试油产量平均为 5~10 t/d,最高可达 160 t/d。钻井揭示,海拉尔盆地基岩潜山油层距离基岩顶面的深度一般小于 100 m(图 15),属于典型的基岩风化壳型油藏,占已产基岩潜山油气量的 90%。基岩内幕型油藏(油层距基岩顶面深度>100 m)目前只有 B30 井等少数井钻达并揭示,也具有较大的勘探潜力。

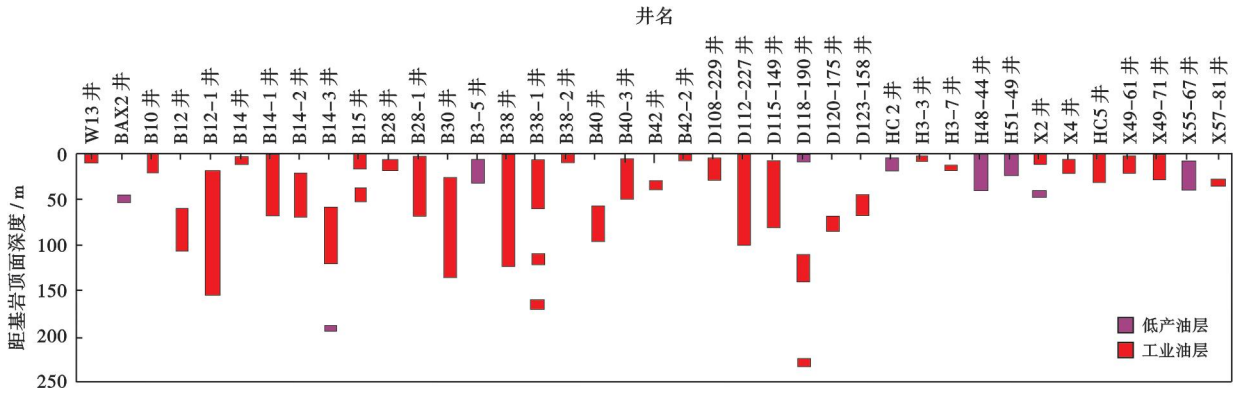


图 15 海拉尔盆地基岩潜山钻井试油效果

Fig. 15 Oil testing effect of bedrock buried hill in Hailaer Basin

3.4.1 基岩潜山岩性与储层特征

海拉尔盆地基岩潜山的岩石类型主要为火山岩和浅变质沉积岩(图 16),其中,火山岩主要为喷出岩,浅变质沉积岩是指变质程度较低、仍主要表现出沉积特征的砂砾岩、粉砂岩和泥岩,这种浅变质沉积岩在海拉

尔盆地基岩中广泛发育。基岩储层具有双孔介质特点,主要发育粒内/粒间溶孔和裂缝,裂缝主要表现为中—高角度缝、倾角为 30°~90°,粒内/粒间溶孔被裂缝有效沟通,所形成的裂缝-溶蚀孔空间网络构成了基岩的主要储集空间。

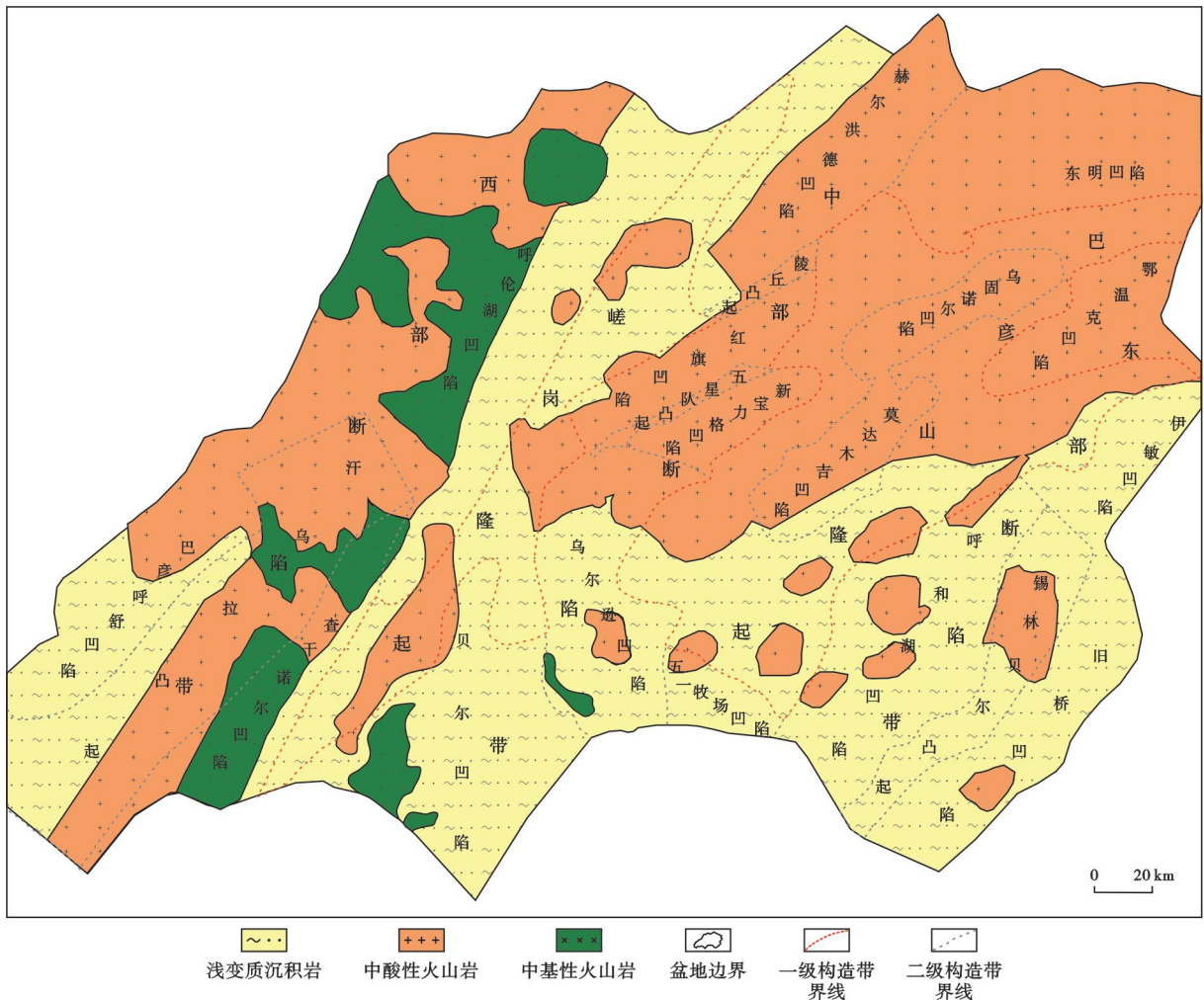


图 16 海拉尔盆地基岩潜山顶面岩性分布特征

Fig. 16 Lithologic characteristics of the top surface of the bedrock buried hill in Hailaer Basin

3.4.2 基岩潜山内幕成藏的主控因素及资源潜力

海拉尔盆地基岩潜山内幕成藏的主控因素主要表现在 2 方面:①有效烃源岩与基岩潜山的接触范围和主断层的开启程度决定油藏的发育规模;②基岩潜山内的裂缝发育程度控制了油藏的富集程度。

海拉尔盆地基岩潜山属于典型的“新生古储”型油藏,油源主要来自于潜山主断层下降盘的南一段烃源岩^[34],并通过潜山主断层将南一段烃源岩与基岩潜山侧向对接,形成主要的输烃窗口(图 17)。当主断层活动强度较弱或停止时,烃源岩层对潜山内幕的供烃条件最为有利^[35]。这主要是由于主断层和潜山内幕储

集体是 2 个互相消长的输导体系,油气运移方向完全取决于排驱压力小的输导通道;此外,由于潜山内幕储集体较为致密、排驱压力较大,所以当主断层处于开启状态时,油气非常容易沿着主断层向上运移并进入浅层,而不会穿过断面,向潜山内幕中充注^[36];只有当断面关闭时,主断层输导体系内的排驱压力增大到超过潜山内幕输导体系,潜山内幕才会成为油气的运移指向区,油气穿过断面并沿裂缝发育的相对高速渗流通道进入基岩潜山内,形成潜山内幕油藏^[37]。海拉尔盆地潜山内幕油藏的分布范围约为 2 091 km²,石油资源量预计达 1.87 × 10⁸ t。

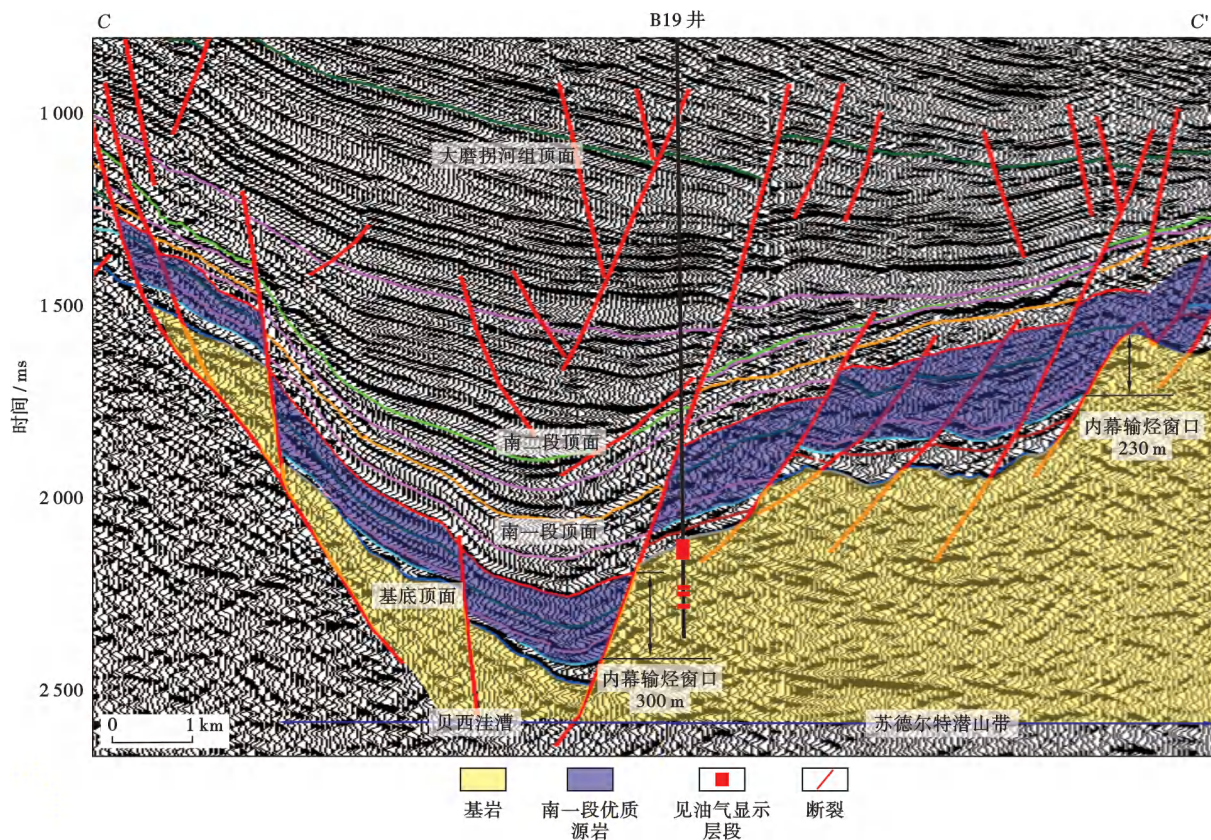


图 17 南屯组优质烃源岩与基岩潜山内幕间的输烃窗口(剖面位置见图 1)

Fig. 17 Hydrocarbon transport window between high quality source rocks and inner bedrock buried hill in Nantun Formation

3.5 多类型油藏组合模式及勘探潜力

研究表明,南屯组凝缩层段页岩油、铜钵庙组砂砾岩岩性油藏、侏罗系塔木兰沟组和基岩潜山内幕 4 个勘探新领域的油藏与已发现油藏具有很好的空间互补性,从而构成了更完整的从中—浅层到深层、从斜坡带到洼槽区、从常规到非常规的多层系多类型且油藏呈有序分布、差异富集的复杂断陷盆地含油气系统(图 18)。笔者认为当前存在 2 方面的难点制约着海拉尔盆地 4 大新领域油藏的勘探进程:①新

领域油藏由于埋深大、构造复杂等,地震资料品质较差,对其开展构造精细解释、有效储层预测和圈闭识别刻画等工作难度较大;②新领域油气储层致密、岩性复杂,已有的常规测井资料已不能满足储层岩性、物性、含油性和可压裂性等的评价需求。因此,高品质地震资料和高精度测井资料是海拉尔盆地实现油藏勘探新领域突破的关键,预计 4 个新领域油藏的石油总资源量为 5.96 × 10⁸ t,具有广阔的勘探前景。

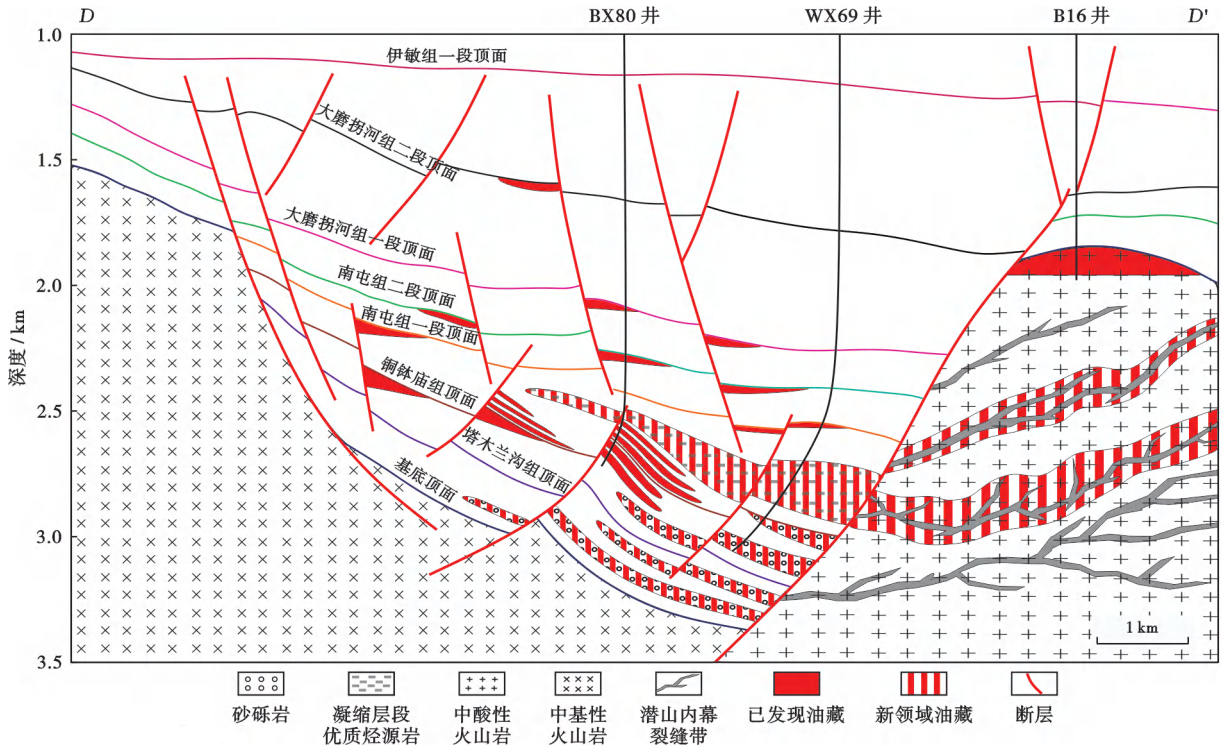


图 18 海拉尔盆地多层系多类型油藏有序分布模式(剖面位置见图 1)

Fig. 18 Orderly distribution model of multi-layer and multi-type reservoirs in Hailaer Basin

4 结论

(1) 回顾海拉尔盆地的油气勘探历程,开辟全新勘探领域是破解海拉尔盆地当前勘探难题的必经之路。结合近年来盆地油气勘探的重要苗头分析,南屯组凝缩层段页岩油、铜钵庙组砂砾岩岩性油藏、侏罗系塔木兰沟组和基岩潜山内幕 4 大新领域油藏具有较大勘探潜力,预计石油总资源量为 $5.96 \times 10^8 \text{t}$ 。

(2) 海拉尔盆地 4 个油藏勘探新领域与已发现的油藏在空间上相互补充,构成从中—浅层到深层、从斜坡带到洼槽区、从常规到非常规的多层系多类型且油藏呈有序分布、差异富集的断陷盆地含油气系统。

(3) 海拉尔盆地 4 大新领域的油藏埋深大、岩性复杂、储层致密,高品质地震资料和高精度测井资料是实现新领域油气勘探突破的关键。

参 考 文 献

[1] 李春柏. 海拉尔盆地油气勘探历程与启示[J]. 新疆石油地质, 2021, 42(3): 374-380.
 LI Chunbai. Petroleum exploration history and enlightenment in Hailaer Basin[J]. Xinjiang Petroleum Geology, 2021, 42(3): 374-380.
 [2] 余本善, 李薇薇, 王兴宇, 等. 海拉尔盆地构造演化及对沉积的控制作用[J]. 石油地球物理勘探, 2013, 48(2): 289-296.
 YU Benshan, LI Weiwei, WANG Xingyu, et al. Tectonic evolution and its controlling on sedimentation in Hailaer Basin[J]. Oil

Geophysical Prospecting, 2013, 48(2): 289-296.
 [3] 刘志宏, 万传彪, 任延广, 等. 海拉尔盆地乌尔逊—贝尔凹陷的地质特征及油气成藏规律[J]. 吉林大学学报: 地球科学版, 2006, 36(4): 527-534.
 LIU Zhihong, WAN Chuanbiao, REN Yanguang, et al. Geological features and the rule of oil and gas accumulation of Urxun-Beier depression in Hailaer Basin[J]. Journal of Jilin University: Earth Science Edition, 2006, 36(4): 527-534.
 [4] 张晓东, 刘光鼎, 王家林. 海拉尔盆地的构造特征及其演化[J]. 石油实验地质, 1994, 16(2): 119-127.
 ZHANG Xiaodong, LIU Guangding, WANG Jialin. Structural characters of the Hailaer Basin and its geological evolution[J]. Experimental Petroleum Geology, 1994, 16(2): 119-127.
 [5] 谢明贤, 陈广坡, 李娟, 等. 海拉尔盆地外围凹陷南一段烃源岩生烃动力学研究[J]. 岩性油气藏, 2020, 32(3): 24-33.
 XIE Mingxian, CHEN Guangpo, LI Juan, et al. Hydrocarbon generation kinetics of source rocks of the first Member of Nantun Formation in peripheral sags of Hailaer Basin[J]. Lithologic Reservoirs, 2020, 32(3): 24-33.
 [6] 冯志强, 任延广, 张晓东, 等. 海拉尔盆地油气分布规律及下步勘探方向[J]. 中国石油勘探, 2004, 9(4): 19-22.
 FENG Zhiqiang, REN Yanguang, ZHANG Xiaodong, et al. Law of oil and gas distribution in Hailaer Basin and orientation for exploration at next stage[J]. China Petroleum Exploration, 2004, 9(4): 19-22.
 [7] 冯志强, 张晓东, 任延广, 等. 海拉尔盆地油气成藏特征及分布规律[J]. 大庆石油地质与开发, 2004, 23(5): 16-19.
 FENG Zhiqiang, ZHANG Xiaodong, REN Yanguang, et al. Hydrocarbon reservoir forming characteristics and distribution rule

- of Hailar Basin[J]. *Petroleum Geology & Oilfield Development in Daqing*, 2004, 23(5): 16-19.
- [8] 陈守田, 刘招君, 崔凤林, 等. 海拉尔盆地含油气系统[J]. *吉林大学学报: 地球科学版*, 2002, 32(2): 151-154.
CHEN Shoutian, LIU Zhaojun, CUI Fenglin, et al. Oil-gas bearing system of Hailaer Basin[J]. *Journal of Jilin University: Earth Science Edition*, 2002, 32(2): 151-154.
- [9] 蒙启安, 吴海波, 李军辉, 等. 陆相断陷湖盆斜坡区类型划分及油气富集规律——以海拉尔盆地乌尔逊—贝尔凹陷为例[J]. *大庆石油地质与开发*, 2019, 38(5): 59-68.
MENG Qi'an, WU Haibo, LI Junhui, et al. Type classification of the slope area in the continental faulted lake basin and the hydrocarbon enrichment characteristics: taking Wuerxun-Beier sag in Hailar Basin as an example[J]. *Petroleum Geology & Oilfield Development in Daqing*, 2019, 38(5): 59-68.
- [10] 李跃, 蒙启安, 李军辉, 等. 贝尔凹陷南屯组物源特征及其对沉积体系的控制[J]. *沉积学报*, 2018, 36(4): 756-767.
LI Yue, MENG Qi'an, LI Junhui, et al. The characteristics of provenance system and their control on sedimentary system of Nantun Formation in the Beier depression, northern China[J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2018, 36(4): 756-767.
- [11] 蒙启安, 朱德丰, 陈均亮, 等. 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[J]. *地质学前缘*, 2012, 19(5): 76-85.
MENG Qi'an, ZHU Defeng, CHEN Junliang, et al. Styles of complex faulted sags in rifting basin and its significance for petroleum geology: an example from Hailar-Tamsag Early Cretaceous Basin[J]. *Earth Science Frontiers*, 2012, 19(5): 76-85.
- [12] 李军辉, 卢双舫, 蒙启安, 等. 海拉尔盆地呼和湖凹陷断裂形成演化及其对油气的控制作用[J]. *地质科学*, 2011, 46(4): 929-941.
LI Junhui, LU Shuangfang, MENG Qi'an, et al. Tectonic evolution and its controlling on hydrocarbon of Huhehu depression in Hailar Basin[J]. *Chinese Journal of Geology*, 2011, 46(4): 929-941.
- [13] 冯志强, 孙国听, 蒙启安, 等. 海拉尔盆地贝中次凹-残留型叠合小断陷盆地油气勘探的成功案例[J]. *石油学报*, 2011, 32(4): 551-563.
FENG Zhiqiang, SUN Guoxin, MENG Qi'an, et al. Beizhong sub-depression in the Hailaer Basin: a successful case for oil exploration in small residual superimposed rift basins[J]. *Acta Petrolei Sinica*, 2011, 32(4): 551-563.
- [14] 蒙启安, 刘立, 曲希玉, 等. 贝尔凹陷与塔南凹陷下白垩统铜钵庙组—南屯组油气储层特征及孔隙度控制作用[J]. *吉林大学学报: 地球科学版*, 2010, 40(6): 1232-1240.
MENG Qi'an, LIU Li, QU Xiyu, et al. Reservoir characteristics and processes controlling porosity in Tongbomiao-Nantun Formation from Beier depression, China and from Tanan depression, Mongolia[J]. *Journal of Jilin University: Earth Science Edition*, 2010, 40(6): 1232-1240.
- [15] 李军辉, 吴海波, 李跃, 等. 海拉尔盆地致密储层微观孔隙结构特征分析[J]. *中国矿业大学学报*, 2020, 49(4): 721-729.
LI Junhui, WU Haibo, LI Yue, et al. Microscopic pore structure characteristics of tight reservoir in Hailar Basin[J]. *Journal of China University of Mining & Technology*, 2020, 49(4): 721-729.
- [16] 李跃, 李军辉, 王子赫, 等. 陆相断陷湖盆基准面旋回对沉积砂体的控制——以海拉尔盆地贝尔凹陷贝西地区为例[J]. *沉积学报*, 2019, 37(4): 858-867.
LI Yue, LI Junhui, WANG Zihé, et al. Effect of base-level cycles on sedimentary sandbodies in continental faulted basins: case study of Beixi area, Beier depression, Hailar Basin[J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2019, 37(4): 858-867.
- [17] 李军辉, 卢双舫, 蒙启安, 等. 海拉尔盆地呼和湖凹陷南屯组典型砂体的特征分析[J]. *地质学报*, 2010, 84(10): 1495-1501.
LI Junhui, LU Shuangfang, MENG Qi'an, et al. Typical sand characteristics of Nantun Formation in the Huhehu depression in the Hailaer Basin[J]. *Acta Geologica Sinica*, 2010, 84(10): 1495-1501.
- [18] 张蔚红, 田宇迪, 许文仟, 等. 海拉尔盆地贝尔地区烃源岩特征及潜力区[J]. *成都理工大学学报: 自然科学版*, 2019, 46(6): 690-696.
ZHANG Weihong, TIAN Yudi, XU Wenqian, et al. Characteristics and potential area of source rocks in Beier area, Hailaer Basin, China[J]. *Journal of Chengdu University of Technology: Science & Technology Edition*, 2019, 46(6): 690-696.
- [19] 李敬生. 贝尔凹陷优质烃源岩的发现及其地质意义[J]. *成都理工大学学报: 自然科学版*, 2013, 40(3): 326-332.
LI Jingsheng. Discovery and geological significance of high-quality source rock in Bei'er sag of Hailaer Basin, China[J]. *Journal of Chengdu University of Technology: Science & Technology Edition*, 2013, 40(3): 326-332.
- [20] 刘新颖, 邓宏文, 邸永香, 等. 海拉尔盆地乌尔逊凹陷南屯组优质烃源岩发育特征[J]. *石油实验地质*, 2009, 31(1): 68-73.
LIU Xinying, DENG Hongwen, DI Yongxiang, et al. High quality source rocks of Nantun Formation in Wuerxun depression, the Hailaer Basin[J]. *Petroleum Geology & Experiment*, 2009, 31(1): 68-73.
- [21] 陈方举. 贝尔凹陷南屯组钙质泥岩地质成因及其石油地质意义[J]. *东北石油大学学报*, 2015, 39(2): 42-50.
CHEN Fangju. Genesis and petroleum geological significance of calcareous mudstone strata of Nantun Formation Bei'er sag[J]. *Journal of Northeast Petroleum University*, 2015, 39(2): 42-50.
- [22] 蒙启安, 李军辉, 李跃, 等. 海拉尔—塔木察格盆地中部富油凹陷高含凝灰质碎屑岩储层成因及油气勘探意义[J]. *吉林大学学报: 地球科学版*, 2020, 50(2): 569-578.
MENG Qi'an, LI Junhui, LI Yue, et al. Genetic mechanism of high content tuffaceous clastic rock reservoir in Hailar-Tamucage Basin[J]. *Journal of Jilin University: Earth Science Edition*, 2020, 50(2): 569-578.
- [23] 方向, 崔俊峰, 李永新. 东北地区侏罗系构造演化与勘探前景[C]//2020年中国地球科学联合学术年会论文集. 重庆: 中国地球物理学会, 2020.
FANG Xiang, CUI Junfeng, LI Yongxin. Evolution and exploration prospect of Jurassic structure in northeast China[C]//Proceedings of the 2020 China Earth Science Joint Annual Conference. Chongqing: Chinese Geophysical Society, 2020.
- [24] 瞿雪姣, 高有峰, 林志成, 等. 松辽盆地及周缘地区侏罗系/白垩系界线区域对比特征探讨[J]. *地质学前缘*, 2021, 28(4): 299-315.
QU Xuejiao, GAO Youfeng, LIN Zhicheng, et al. Discussion on the characteristics of the Jurassic-Cretaceous boundary correlation in the Songliao Basin and adjacent areas[J]. *Earth Science Frontiers*, 2021, 28(4): 299-315.

- [25] 汪生秀,张枝焕,张志平,等.二连盆地侏罗系烃源岩地球化学特征及油源贡献[J].矿物岩石地球化学通报,2012,31(4):396-403.
WANG Shengxiu, ZHANG Zhihuan, ZHANG Zhiping, et al. Geochemical characteristics and oil-source correlation of the Jurassic source rocks in the Erlian Basin[J]. Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry, 2012, 31(4): 396-403.
- [26] 陈发景,汪新文.中国中、新生代含油气盆地成因类型、构造体系及地球动力学模式[J].现代地质,1997,11(4):409-424.
CHEN Fajing, WANG Xinwen. Genetic types, tectonic systems and geodynamic models of Mesozoic and Cenozoic oil and gas bearing basins in China[J]. Geoscience, 1997, 11(4): 409-424.
- [27] 刘嘉麒.论中国东北大陆裂谷系的形成与演化[J].地质科学,1989(3):209-216.
LIU Jiaqi. On the origin and evolution of continental rift system in northeast China[J]. Scientia Geologica Sinica, 1989(3): 209-216.
- [28] 贾进华,陶士振,方向,等.东北地区深层侏罗系火山—沉积序列与储盖组合及勘探意义—以海拉尔盆地侏罗系为例[J].地质学报,2021,95(2):377-395.
JIA Jinhua, TAO Shizhen, FANG Xiang, et al. Deep Jurassic volcano-sedimentary succession, reservoir-seal assemblage and their exploration significance in northeast China: a case study of Jurassic in the Hailar Basin[J]. Acta Geologica Sinica, 2021, 95(2): 377-395.
- [29] 赵贤正,王权,金凤鸣,等.冀中坳陷隐蔽型潜山油气藏主控因素与勘探实践[J].石油学报,2012,33(S1):71-79.
ZHAO Xianzheng, WANG Quan, JIN Fengming, et al. Main controlling factors and exploration practice of subtle buried-hill hydrocarbon reservoir in Jizhong depression[J]. Acta Petrolei Sinica, 2012, 33(S1): 71-79.
- [30] 赵贤正,金凤鸣,王余泉,等.冀中坳陷长洋淀地区“古储古堵”潜山成藏模式[J].石油学报,2008,29(4):489-493.
ZHAO Xianzheng, JIN Fengming, WANG Yuquan, et al. Buried-hill reservoir-forming mode of “old reservoir-old sealing formation” in Changyangdian area of Jizhong depression[J]. Acta Petrolei Sinica, 2008, 29(4): 489-493.
- [31] 谢文彦,孟卫工,张占文,等.辽河坳陷潜山内幕多期裂缝油藏成藏模式[J].石油勘探与开发,2006,33(6):649-652.
XIE Wenyan, MENG Weigong, ZHANG Zhanwen, et al. Formation model of multi-stage fracture reservoirs inside the buried hills in Liaohe depression[J]. Petroleum Exploration and Development, 2006, 33(6): 649-652.
- [32] 李丕龙,张善文,王永诗,等.断陷盆地多样性潜山成因及成藏研究——以济阳坳陷为例[J].石油学报,2004,25(3):28-31.
LI Pilong, ZHANG Shanwen, WANG Yongshi, et al. Multiplex buried-hill genesis and pool-forming in rifted basin[J]. Acta Petrolei Sinica, 2004, 25(3): 28-31.
- [33] 张吉光,王金奎,秦龙卜,等.海拉尔盆地贝尔断陷苏德尔特变质岩潜山油藏特征[J].石油学报,2007,28(4):21-25.
ZHANG Jiguang, WANG Jinkui, QIN Longbo, et al. Characteristics of metamorphic buried hill reservoir in Sude'erte of Beir fault depression in Hailar Basin[J]. Acta Petrolei Sinica, 2007, 28(4): 21-25.
- [34] 芮洪敏,闫晓东.海拉尔盆地贝中地区原油地球化学特征与油源对比[J].复杂油气藏,2011,4(3):21-24.
RUI Hongmin, YAN Xiaodong. Comparison of geochemical characteristics of crude oil and oil sources in Beizhong area of Hailaer Basin[J]. Complex Hydrocarbon Reservoirs, 2011, 4(3): 21-24.
- [35] 白雪峰,张海桥.海拉尔盆地巴彦呼舒凹陷烃源岩评价及油源对比[J].世界地质,2011,30(2):231-237.
BAI Xuefeng, ZHANG Haiqiao. Evaluation on source rocks and the oil-source correlation in Bayanhushu sag of Hailaer Basin[J]. Global Geology, 2011, 30(2): 231-237.
- [36] 杨伟红,候读杰,李松,等.海拉尔盆地乌尔逊南斜坡带原油特征及油源对比[J].洁净煤技术,2010,16(4):87-90.
YANG Weihong, HOU Dujie, LI Song, et al. Geochemical characteristics of oil and correlation of oil to source rock in ramp region of Wunan depression of Hailaer Basin[J]. Clean Coal Technology, 2010, 16(4): 87-90.
- [37] 揭昇新,袁月琴,王斌.海拉尔盆地乌尔逊—贝尔凹陷白垩系原油地球化学特征及油源对比[J].石油实验地质,2007,29(1):82-87.
JIE Yixin, YUAN Yueqin, WANG Bin. Geochemical characteristics of the cretaceous oil and correlation of oil to source rock in Wuerxun and Beier depressions, the Hailaer Basin[J]. Petroleum Geology & Experiment, 2007, 29(1): 82-87.

(收稿日期 2023-09-01 改回日期 2023-11-01 编辑 雷永良)