

doi: 10.12029/gc20200107001

卢进才, 魏建设, 姜亭, 王宝文, 苟红光, 王建强, 尚亚乐, 许海红. 2023. 银额盆地居延海坳陷钻井地层对比及对油气层时代的约束[J]. 中国地质, 50(5): 1311–1326.

Lu Jincan, Wei Jianshe, Jiang Ting, Wang Baowen, Gou Hongguang, Wang Jianqiang, Shang Yale, Xu Haihong. 2023. Stratigraphic correlation of the wells of Juyanhai depression of Yingen–Ejin Basin and age constraints on oil and gas layers[J]. Geology in China, 50(5): 1311–1326(in Chinese with English abstract).

银额盆地居延海坳陷钻井地层对比 及对油气层时代的约束

卢进才¹, 魏建设¹, 姜亭¹, 王宝文¹, 苟红光², 王建强³, 尚亚乐⁴, 许海红¹

(1. 中国地质调查局西安地质调查中心/西北地质科技创新中心, 陕西 西安 710119; 2. 中石油吐哈油田分公司勘探开发研究院, 新疆哈密 839009; 3. 大陆动力学国家重点实验室, 西北大学地质学系, 陕西 西安 710069; 4. 中石化华北油气分公司勘探开发研究院, 河南 郑州 450006)

摘要:【研究目的】银额盆地居延海坳陷具有良好的油气勘探前景, 但钻井揭示的主要岩石地层单元时代及主要含油气层时代认识存在一定争议, 因此系统开展地层划分对比, 明确主要岩石地层单元与油气层的时代, 对盆地构造沉积演化、油气地质条件评价与研究, 以及勘探部署具有重要意义。【研究方法】对居延海坳陷不同凹陷钻井地层岩石学及岩性组合特征、古生物特征等综合研究, 结合区域地层特征, 建立钻井地层对比标志。并结合地震剖面确定不整合界面, 以及侵入岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄对地层时代的约束等, 开展地层划分对比。【研究结果】居延海坳陷钻井揭示了白垩系与石炭系一二叠系 2 个构造层, 各凹陷钻井地层对比标志显著, 主要含油层系为下构造层的中一下二叠统及上石炭统一下二叠统干泉组。【结论】银额盆地为石炭纪一二叠纪与白垩纪的叠合盆地, 石炭系一二叠系油气地质条件有利, 应作为油气勘探的方向。

关键词: 含油层系; 地层时代; 标志层; 石炭系一二叠系; 白垩系; 油气勘查工程; 银额盆地; 居延海坳陷

创新点: 首次利用不同凹陷钻井地层岩石学及岩性组合特征、古生物特征, 结合区域地层特征建立的钻井地层对比标志、地震剖面确定的不整合界面, 以及侵入岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄对地层时代的约束等, 开展地层划分对比, 明确了主要岩石地层单元与油气层的时代和石炭系一二叠系油气地质条件。

中图分类号: F426.22; P618.13; TE34 文献标志码: A 文章编号: 1000-3657(2023)05-1311-16

Stratigraphic correlation of the wells of Juyanhai depression of Yingen–Ejin Basin and age constraints on oil and gas layers

LU Jincan¹, WEI Jianshe¹, JIANG Ting¹, WANG Baowen¹, GOU Hongguang², WANG Jianqiang³, SHANG Yale⁴, XU Haihong¹

(1. Xi'an Center of China Geological Survey/Northwest China Center for Geoscience Innovation, Xi'an 710119, Shaanxi, China;

2. Research Institute of Exploration and Development, PetroChina Tuha Oilfield Company, Hami 839009, Xinjiang, China;

收稿日期: 2020-01-07; 改回日期: 2020-06-02

基金项目: 中国地质调查局项目(DD20160172、DD20189612、DD20230026、DD20230268)资助。

作者简介: 卢进才, 男, 1961 年生, 教授级高级工程师, 主要从事油气地质调查研究; E-mail: shiyou2002@163.com。

3. *Department of Geology, Northwest University, State Key Laboratory of Continental Dynamics, Xi'an 710069, Shaanxi, China;*

4. *Exploration & Development Research Institute of North China Oil & Gas Company, Zhengzhou 450006, Henan, China)*

Abstract: This paper is the result of oil and gas exploration engineering.

[Objective] There is a good prospect of oil and gas exploration of Juyanhai depression of Yingen–Ejin Basin, but there are some controversies on the understanding of the age of the main petrostratigraphic unit and the age of the main oil–bearing reservoir revealed by wells, so it is great significance to the evaluation and study of oil and gas geological conditions, and the exploration and deployment by systematic stratigraphic division and correlation, and define the ages of the main petrostratigraphic units and oil and gas layers for the tectonic and sedimentary evolution of the basin. **[Methods]** Based on the comprehensive study on the petrology, lithologic association and paleontological characteristics of wells in different sags, , the formation correlation mark established by regional formation characteristics, unconformity interface determined by seismic profile, constraints on stratigraphic age of LA–ICP–MS zircon U–Pb and so on, the conclusion of stratigraphic division and correlation is formed. **[Results]** There are two structural layers of Cretaceous and Carboniferous and Permian of wells in Juyanhai depression, the correlation marks of strata in each depression are significant, and the main oil–bearing strata are the middle–Lower Permian and Ganquan formation of Upper Carboniferous and Lower Permian. **[Conclusions]** Yingen–Ejin Basin is a superimposed basin of Carboniferous–Permian and Cretaceous, and the geological conditions of Carboniferous and Permian are favorable, so it should be used as the direction of oil and gas exploration.

Key words: oil –bearing strata; stratigraphic age; marker bed; Carboniferous–Permian; Cretaceous; oil–gas exploration engineering; Yingen–Ejin Basin; Juyanhai depression

Highlights: First based on the comprehensive study of the petrology, lithologic association and paleontological characteristics of wells in different sags, the formation correlation mark established by regional formation characteristics, unconformity interface determined by seismic profile, constraints on stratigraphic age of LA–ICP–MS zircon U–Pb and so on, the conclusion of stratigraphic division and correlation is formed, then the age of the main petrostratigraphic units, oil and gas layers and the oil and gas geological conditions of the Carboniferous–Permian system are defined.

About the first author: LU Jincai, male, born in 1961, professor level senior engineer, mainly engaged in oil and gas geological investigation and research.

Fund support: Supported by the projects of China Geological Survey (No.DD20160172, No.DD20189612, No.DD20230026, No.DD20230268).

1 引 言

银额盆地是中国内陆地区少有的油气地质工作程度极低的大中型沉积盆地。居延海坳陷位于银额盆地西部,是银额盆地面积最大且钻探工作程度相对较高的一个二级构造单元。自1995年以来,不同单位在不同的凹陷实施的钻井油气显示活跃,路井凹陷、天草凹陷、吉格达凹陷等获得工业油气流或低产工业油气流,验证了油气藏的赋存,表明居延海坳陷具有良好的油气勘探前景(卢崇宁等,1999;林卫东等,2004;卢进才等,2017,2020)。

由于基础地质研究薄弱,尤其缺乏系统的地层对比研究,以及缺少具时代意义的古生物化石及年

代学资料,对居延海坳陷钻井揭示的主要岩石地层单元时代及主要含油气层时代认识存在重大争议。有学者将钻井揭示的主要岩石地层单元划归中生界白垩系,认为银额盆地为白垩纪的断陷盆地,居延海坳陷主要含油气层系为白垩系(彭维松等,2003;林卫东等,2006;李光云等,2007);也有学者将钻井揭示的主要岩石地层单元划归中生界侏罗系与白垩系,认为银额盆地为侏罗纪与白垩纪的叠合盆地,居延海坳陷具有侏罗系和白垩系两套含油气层系(卢崇宁等,1999;张代生等,2003;李明杰等,2004;王新民等,2006);另有学者将研究区钻井揭示的主要岩石地层单元划归中生界白垩系与上古生界石炭系—二叠系(卢进才等,2018a),认为银额盆地为石炭纪—二叠纪与白垩纪的叠合盆地,居

延海拗陷的主要含油气层系为石炭系一二叠系(魏仙祥等,2014;卢进才等,2018b,2020)。由于对钻井揭示的主要岩石地层单元时代及含油气层时代认识的不统一,制约了盆地构造沉积演化、盆地类型、油气地质条件等研究,并影响油气资源潜力评价与勘探部署。

2007年以来,中国地质调查局西安地质调查中心开展的银额盆地油气基础地质调查,取得了一系列新的认识与油气的新发现(卢进才等,2012,2017)。近年来,在居延海拗陷实施了多口地质调查井与参数钻井,查明了不同岩石地层单元岩性组合特征,钻井取心分别获得了早白垩世叶肢介化石,以及在主要油气显示层之上发现了二叠纪叶肢介化石群(卢进才等,2018a),并获得了与含油层段呈侵入接触的侵入岩LA-ICP-MS锆石U-Pb年龄数据。同时,中国石油吐哈油田分公司、中国石化集团华北石油地质局等企业分别在其勘查区的天草凹陷、路井凹陷加大勘探力度,获得了不同构造层的地震反射资料,以及不同地层单元岩性组合资料。为建立钻井地层层序与钻井地层对比研究提供了基础资料。

本文拟通过对居延海拗陷不同凹陷钻井地层岩石学及岩性组合特征、古生物特征等综合研究,结合区域地层特征,建立钻井地层对比标志。并结合地震剖面确定的不整合界面,以及侵入岩LA-ICP-MS锆石U-Pb年龄对地层时代的约束等,开展地层划分对比,明确主要岩石地层单元与油气层的时代,为盆地构造沉积演化、油气地质条件评价与研究,以及勘探部署提供依据。

2 研究区概况

2.1 地质背景

居延海拗陷位于银额盆地西北部,西邻北山地区,东界为洪果尔山,南以绿园隆起为界,面积约19370 km²。剩余重力异常主要特征表现为正、负异常带相间排列,且重力负异常规模一般大于正异常,相互间连通性较好,表现为一个较大拗陷区的异常重力特征。地震勘探及钻井证实了凹凸相间的构造格局,依据剩余重力异常特征,结合电法及地震资料将居延海拗陷划分为6个凸起和7个凹陷带(图1a);分别为居西凸起、路北凸起、路南凸起、

乌家井凸起、布龙图凸起、保格达凸起,以及居东凹陷、乌珠尔凹陷、路井凹陷、天草凹陷、建国营凹陷、伊肯乌苏凹陷和吉格达凹陷。地震解译的中—新生界+石炭系一二叠系最大厚度5500 m(图1b)。

不同凹陷的钻井揭示了中生界白垩系苏红图组、巴音戈壁组,上二叠统(未分组)、中一下二叠统(未分组)、上石炭统一下二叠统干泉组(未穿)等岩石地层单元的赋存。并不同程度地钻遇油气显示或试获工业油气流,证实了居延海拗陷是银额盆地重要的含油气构造单元。

2.2 钻井工作程度与油气发现

自20世纪90年代起,原地质矿产部华北石油地质局、中国石油新区事业部、中国石油吐哈油田分公司、中国地质调查局西安地质调查中心等单位分别在居延海拗陷不同凹陷实施了油气勘探与地质调查钻井。

1995年原地质矿产部华北石油地质局在居延海拗陷的路井凹陷实施的额1井、额4井分别钻遇石炭系一二叠系碎屑岩、晚石炭世侵入岩等多套不同类型的油气显示层,对额1井晚石炭世侵入岩含油气层段试油,获轻质原油2.52 m³/d,天然气1902 m³/d。2009—2010年中石化华北油气分公司与内蒙古坤祥油气公司在路井凹陷的麻木乌苏勘查区合作勘探,实施了一批探井,不同程度地钻遇油气显示或获得低产工业油气流。

1996年、1997年中石油新区事业部分别在居东凹陷、天草凹陷实施了居参1井、天1井,两口井不同程度地钻遇石炭系一二叠系油气显示。2000年以来,中石油吐哈油田分公司以天草凹陷为重点开展油气勘探,相继实施的天2、天3、天5井等一批探井不同程度地钻遇好的油气显示。近年来,在天草凹陷实施的天6、天7井等于石炭系一二叠系获得工业油气流。在建国营凹陷实施的营1井钻遇石炭系一二叠系良好的油气显示。

2016年、2017年中国地质调查局西安地质调查中心分别于乌珠尔凹陷实施的蒙额地1井、蒙额参1井钻遇石炭系一二叠系良好的油气显示;于吉格达凹陷实施的蒙额参3井钻遇多套含油显示层,对二叠系粉—细砂岩油层和晚石炭世侵入岩油层进行试油,分别获得1.66 m³/d和2.64 m³/d的轻质原油。

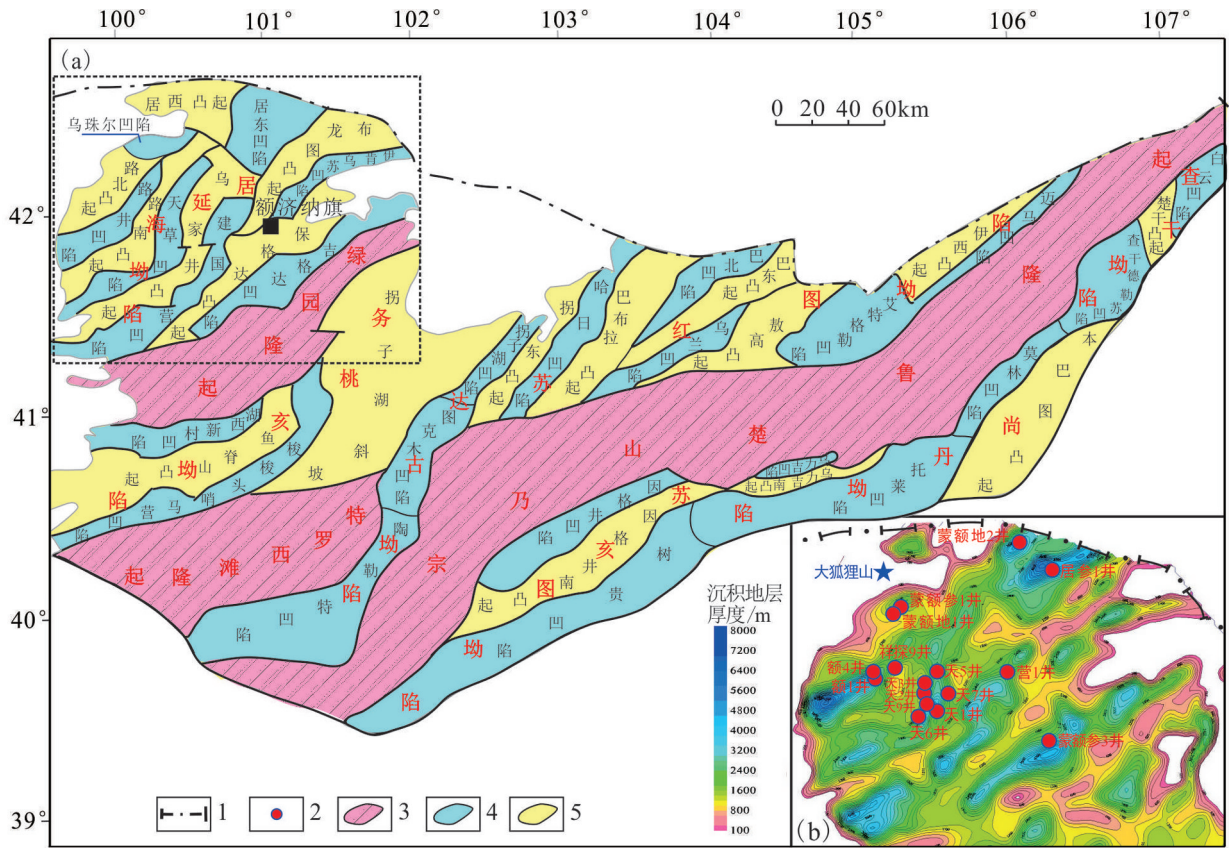


图1 研究区位置及钻井分布示意图
 a—银额盆地中生代构造单元划分图；b—居延海坳陷钻井分布及沉积地层厚度图(据卢进才等, 2020修改)
 1—国界；2—井位；3—隆起；4—凹陷；5—凸起

Fig.1 Schematic map of the distribution of the wells and the location of study area
 a—Division of Mesozoic structural units in Yingen-Ejin Basin; b—Map of the distribution of wells and the thickness of sedimentary strata in Juyanhai depression (modified from Lu Jincai et al., 2020)
 1—National boundaries; 2—Well location; 3—Uplift; 4—Depression; 5—Salient

3 钻遇地层与岩性

综合居延海坳陷不同凹陷钻遇的地层及岩性(图2),自上而下对钻井揭示的地层及岩性进行说明。

第四系(Q₃₊₄):厚0~50 m,岩性为土黄、灰褐、深灰色砂砾、砂土、亚砂土。与下伏地层不整合接触。

新近系苦泉组(N_{2k}):厚0~215 m。中—上部为灰黄色含砾细砂岩、砂砾岩,下部为深灰色泥岩与灰色砂岩,泥岩含石膏(或夹薄层石膏);底部为砂砾岩,成岩程度低,易风化。与下伏地层不整合接触。

下白垩统苏红图组(K_{1s}):厚0~1385 m。主要为棕褐色、紫红色、灰绿色泥岩、粉砂质泥岩、砂岩、砂质砾岩。吉格达凹陷的蒙额参3井揭示了346.0 m厚的灰色玄武岩、安山玄武岩,夹灰色泥岩、棕色泥岩段,与银额盆地区域分布的苏红图组火山岩可对比。

下白垩统巴音戈壁组(K_{1b}):厚0~509 m。为一套下粗上细的正旋回沉积,下部为以灰—浅灰色砾岩、砂岩为主的粗碎屑岩沉积;上部为以灰色、深灰色泥岩、灰质泥岩为主的细碎屑岩沉积,产早白垩世延吉叶肢介(*Yanjiestheria*)、新叠饰叶肢介(*Neodiestheria* sp. 未定种)等化石。受沉积相控制,横向厚度、岩性粒度变化大。与下伏地层不整合接触。

上二叠统(P₃¹,未分组):厚0~1213 m。主要岩性为褐色、紫红色泥岩、泥质粉砂岩、砂砾岩,夹灰色、灰绿色泥岩,砂砾岩,凝灰质泥岩、凝灰质砂砾岩,以及沉火山岩薄层。受赛汉陶来古陆的影响,岩性横向变化较大,紧邻赛汉陶来古陆的额探3井、祥探9井等岩性主要为砾岩和砂砾岩组合的边缘相沉积。受差异剥蚀的影响,横向厚度变化大。与下伏地层整合或平行不整合接触。

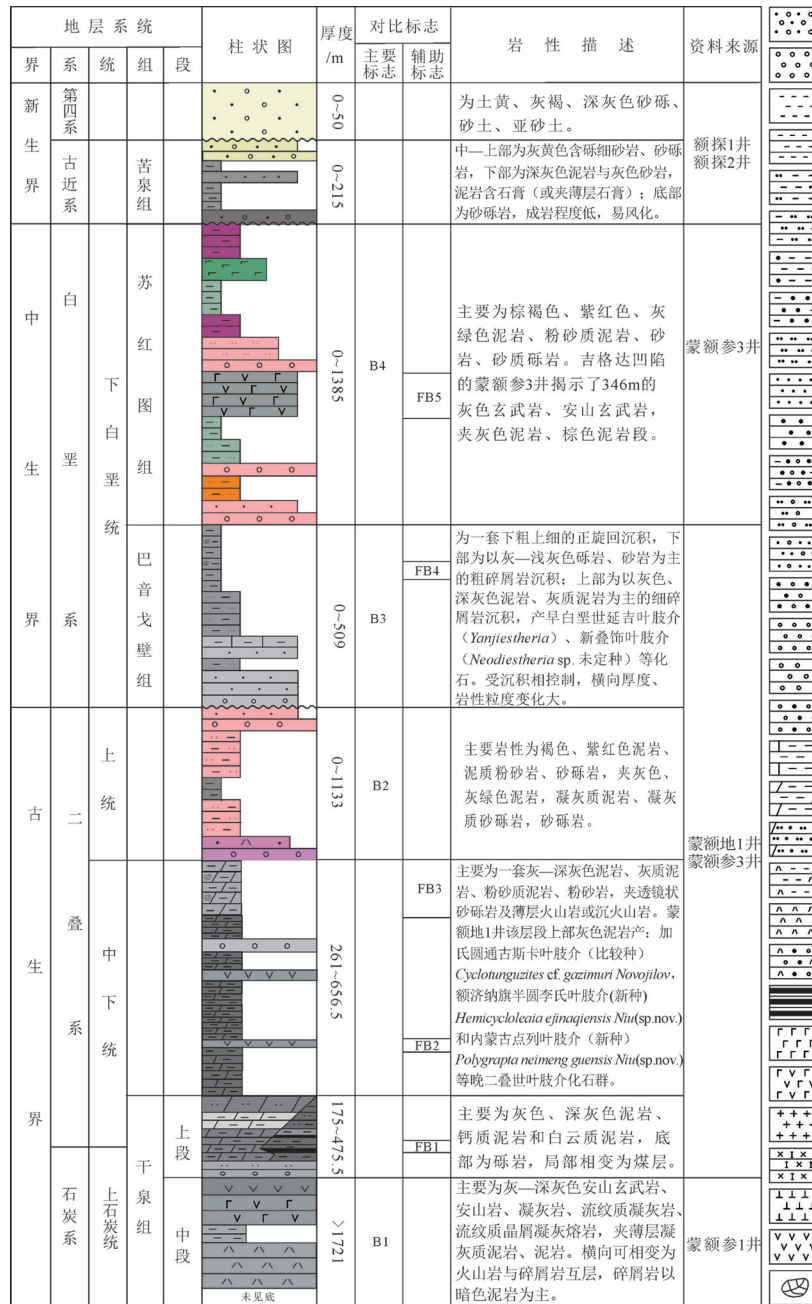


图2 银额盆地居延海拗陷钻井地层综合柱状图(图5、图7岩性符号图例同此图)

1—砂砾层;2—细砾层;3—黏土层;4—泥岩;5—粉砂质泥岩;6—泥质粉砂岩;7—砂质泥岩;8—泥质砂岩;9—粉砂岩;10—细砂岩;11—粗砂岩;12—含砾泥质粗砂岩;13—含砾粉砂岩;14—含砾细砂岩;15—含砾粗砂岩;16—细砾岩;17—中砾岩;18—砂砾岩;19—灰质泥岩;20—白云质泥岩;21—白云质粉细砂岩;22—凝灰质泥岩;23—凝灰岩;24—凝灰质砂砾岩;25—煤层;26—玄武岩;27—安山玄武岩;28—花岗岩;29—辉长岩;30—闪长岩;31—安山岩;32—叶肢介

Fig.2 Comprehensive stratigraphic column of the wells of Juyanhai depression in Yingen-Ejin Basin (The legends of lithology symbols in Fig. 5 and Fig. 7 are the same as Fig. 2)

1—Sandy gravel; 2—Fine gravel; 3—Clay layer; 4—Mudstone; 5—Silty mudstone; 6—Argillaceous siltstone; 7—Sandy mudstone; 8—Shaly sand; 9—Siltstone; 10—Fine sandstone; 11—Gritstone; 12—Gravel-bearing argillaceous gritstone; 13—Gravel-bearing siltstone; 14—Gravel-bearing fine sandstone; 15—Gravel-bearing gritstone; 16—Fine conglomerate; 17—Medium conglomerate; 18—Sandy conglomerate; 19—Lime mudstone; 20—Dolomitic mudstone; 21—Dolomitic siltstone and fine sand; 22—Tuffaceous mudstone; 23—Tuff; 24—Tuffaceous sandy conglomerate; 25—Coal seam; 26—Basalt; 27—Andesite-basalt; 28—Granite; 29—Gabbro; 30—Diorite; 31—Andesite; 32—Conchostracan

中一下二叠统(P_{1+2} ,未分组):厚261~656.5 m。主要为一套灰—深灰色泥岩、灰质泥岩、粉砂质泥岩、粉砂岩,夹透镜状砂砾岩及薄层火山岩或沉火山岩,火山岩锆石U-Pb年龄分布在285~291 Ma。砂砾岩主要为杂基支撑,分选差、次棱角状为主,代表了重力流或扇三角洲相沉积。蒙额地1井该层段上部灰色泥岩产:加氏圆通古斯卡叶肢介(比较种)*Cyclotunguzites cf. gazimuri* Novojilov, 额济纳旗半圆李氏叶肢介(新种)*Hemicycloleia ejinaqiensis* Niu (sp.nov.)和内蒙古点列叶肢介(新种)*Polygrapta neimengguensis* Niu(sp.nov.)等晚二叠世叶肢介化石群(卢进才等,2018a)。岩性横向变化较大,靠近赛汉陶来古陆发育巨厚的以砾岩、含砾砂岩为主的冲积扇沉积;古陆与盆地过渡带发育炭质泥岩、河流相砂砾岩及煤系地层。是区内主要的含油气层,与下伏地层整合接触。

上石炭统一二叠统干泉组上段($C_2P_1g^3$):厚175~475.5 m。主要为灰色、深灰色泥岩、钙质泥岩和白云质泥岩,夹透镜状砂砾岩及薄层火山岩或沉火山岩,底部为砾岩。透镜状砂砾岩主要为杂基支撑,分选差、次棱角状为主,为较深水环境下的重力流沉积或扇三角洲相沉积。受赛汉陶来古陆的影响,岩性横向变化较大,靠近赛汉陶来古陆带主要沉积了炭质泥岩、砂砾岩,及煤层或煤线。是区内重要的含油气层,与下伏地层整合接触。

上石炭统一二叠统干泉组中段($C_2P_1g^2$)。钻井揭示的最大厚度>1721 m(未穿)。主要为灰—深灰色安山玄武岩、安山岩、凝灰岩、流纹质凝灰岩、流纹质晶屑凝灰熔岩,夹薄层凝灰质泥岩、泥岩。横向可相变为火山岩与碎屑岩互层,碎屑岩以暗色泥岩为主。获得的火山岩锆石U-Pb年龄分布在(308.9±5.0)~(309.7±4.3)Ma,与银额盆地西北缘大狐狸山剖面干泉组火山岩锆石U-Pb年龄((305.2±3.9) Ma)为同期岩浆事件的产物(陈高潮等,2016)。蒙额参1井于该层段钻遇良好的气测异常显示,是值得重视的含油气层。

依据邻区大狐狸山剖面,干泉组中段火山岩之下为碎屑岩段(干泉组下段),发育厚度大于200 m的暗色泥岩,是重要的潜在烃源岩,区内钻井未钻达该层段。

4 地层对比标志与钻井地层对比

4.1 地层对比标志

居延海坳陷钻井揭示了上石炭统一二叠统干泉组中段(火山岩段)及以上地层,通过地层岩性、古生物特征等综合分析,总结了可进行区域地层划分对比的4个主要标志层(B1~B4)和5个辅助标志层(FB1~FB5)。

4.1.1 石炭纪—二叠纪地层对比的主要标志

干泉组中段火山岩标志(B1):晚石炭世末期是区内火山发育的主要时期,北山—银额地区沉积了巨厚的以火山岩为主夹碎屑岩或沉火山岩的沉积建造。居延海坳陷多口井揭示了厚—巨厚火山岩层(蒙额参1井揭示厚度1721.4 m),岩性以安山岩(图3a、b)、玄武岩、凝灰岩为主。地球物理测井曲线具有高电阻、低时差等特点,易识别。可作为区内地层对比的主要标志层。

石炭系—二叠系含煤系地层标志(FB1):居延海地区靠近古生代赛汉陶来古陆的钻井普遍于上石炭统一二叠统干泉组上段钻遇煤系地层,与蒙古国南戈壁省广泛分布的二叠系煤系地层可对比(卢进才等,2014),其沉积的时空可能存在一定的差异。蒙额地1井中下二叠统钻遇煤层2层,厚度分别为5.51 m和0.29 m;干泉组上段钻遇煤层10层,单层最大厚度1.45 m。地球物理测井曲线具有高时差、高电阻、低伽马、低密度等特点,易识别。可作为石炭系—二叠系对比的辅助标志层。

石炭系—二叠系火山岩或沉火山岩标志(FB2):研究区中一下二叠统、上石炭统一二叠统干泉组上段普遍发育薄层火山岩、沉火山岩,岩性为灰—灰绿色凝灰质泥岩、凝灰质砂岩、凝灰质砂砾岩,夹凝灰岩、安山质凝灰岩、晶屑岩屑凝灰岩等(图3c、d),代表了晚石炭世、早—中二叠世火山事件沉积。地球物理测井曲线具有高电阻、低时差、低密度等特点,易识别。可将其作为石炭系—二叠系对比的辅助标志。

中一下二叠统含叶肢介化石标志(FB3):乌珠尔凹陷实施的蒙额地1井中一下二叠统顶部灰色泥岩中发现叶肢介化石群(图3f;卢进才等,2018a),与内蒙古东部的二叠系陶管管子组发现的叶肢介化

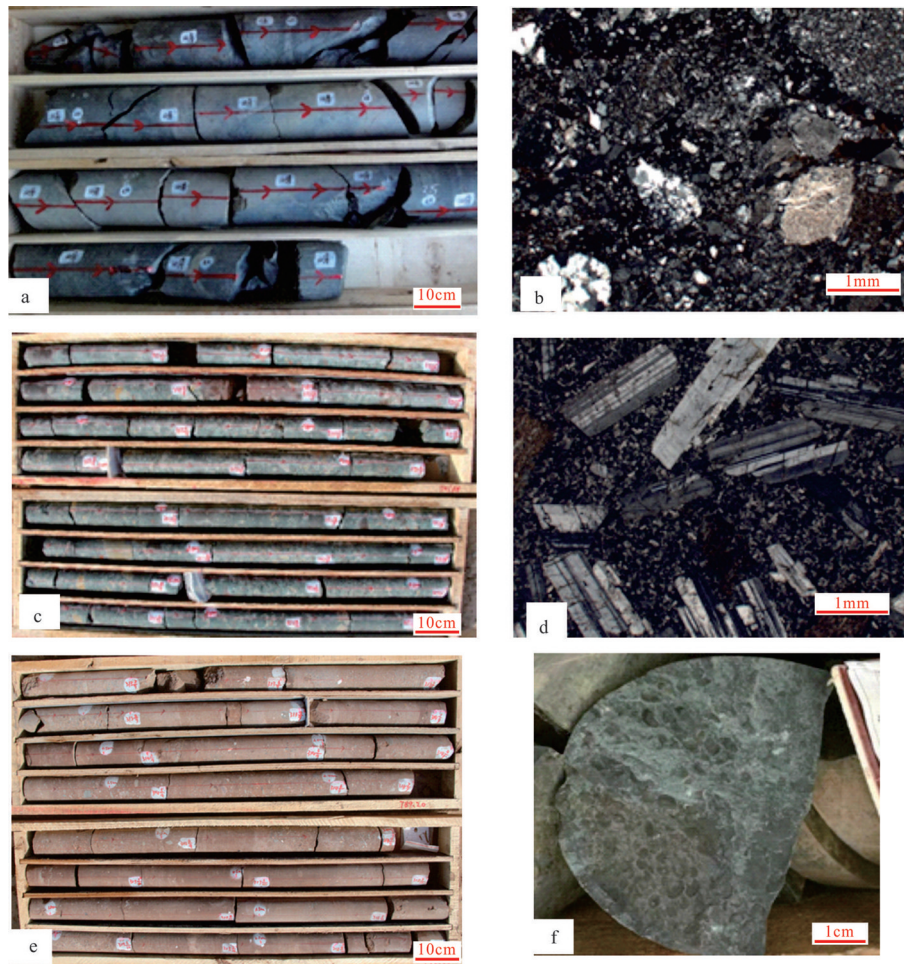


图3 银额盆地石炭系一二叠系对比标志(居延海坳陷钻井地层)

a—蒙额参1井干泉组碎裂化安山岩岩心照片(井深3220.03~3223.23 m);b—蒙额参1井干泉组碎裂化安山岩薄片照片(3220.34 m);c—蒙额地1井上二叠统火山岩(安山岩)与沉火山岩岩心照片(905.66~913.81 m);d—蒙额地上二叠统火山岩(安山岩)薄片照片(913.8 m);e—蒙额地1井上二叠统紫红色泥岩岩心照片(井深785.47~792.93 m);f—蒙额地1井二叠纪叶肢介化石群岩心照片(1033.0 m)

Fig.3 Correlation marker of Carboniferous-Permian in Yingen-Ejin Basin(wells of Juyanhai depression)

a—Core photo of Ganquan Formation cataclastic andesite, Mengedan 1 Well (well depth is 3220.03~3223.23 m); b—Photo of the thin section of the Ganquan Formation cataclastic andesite, Mengedan 1 Well (well depth is 3220.34 m); c—Core photo of the volcanic rock (andesite) and sedimentary volcanic rock of upper Permian, Mengedi 1 Well (well depth is 905.66~913.81 m); d—Photo of the thin section of the upper Permian volcanic rocks (andesite), Mengedi 1 Well (well depth is 913.8 m); e—Core photo of the Permian conchostracan fossils, Mengedi 1 Well (well depth is 1033.0 m); f—Core photo of the upper Permian aubergine mudstone, Mengedi 1 Well (well depth is 777.74~785.47 m)

石可对比(牛绍武等,2013;郑月娟等,2022)。可作为二叠系地层划分对比的辅助标志层。

上二叠统红色地层标志(B2):上二叠统发育一套以红色、褐色泥岩为主的碎屑岩(图3e),代表了晚二叠世干旱氧化环境沉积,与北山地区及蒙古国南戈壁省上二叠统可对比(卢进才等,2014)。该层段井径易扩大,地球物理测井曲线具有相对低电阻、高时差(受井径扩大的影响,时差跳动大)的特点,可将其作为上二叠统对比的主要标志层。

4.1.2 白垩纪地层划分对比标志

下白垩统巴音戈壁组灰色地层标志(B3):银额盆地白垩纪总体为以干旱氧化沉积环境为主,仅早白垩世早期沉积了一套以灰色、深灰色泥岩、灰质泥岩、灰—灰白色砂砾岩为主的灰色地层(图4a),虽然各坳陷(凹陷)地层厚度差异较大,但岩性组合具有可对比性(史冀忠等,2022)。居延海坳陷多数凹陷均揭示了巴音戈壁组灰色地层的赋存。地球物理测井曲线具有高伽马、高时差及相对低电阻特

征,易识别,可作为下白垩统巴音戈壁组对比的主要标志。

下白垩统巴音戈壁组含叶肢介化石群标志(FB4):早白垩世早期盆地沉积中心发育的灰色—深灰色泥岩段普遍含延吉叶肢介(*Yanjiestheria*),新叠饰叶肢介未定种(*Neodiestheria* sp.)等早白垩世的代表化石(付国斌等,2007),可作为下白垩统巴音戈壁组对比的辅助标志(图4b)。

下白垩统苏红图组红色地层标志(B4):区域上苏红图组为褐色、紫红色为主(局部夹灰绿色、灰色)的砂砾岩、泥岩(图4c),代表了干旱—半干旱氧化环境的沉积(齐骅和张刚,1990)。居延海坳陷普遍钻遇苏红图组红色地层,仅个别井遭受剥蚀,可作为下白垩统苏红图组对比的主要标志。

下白垩统苏红图组火山岩标志(FB5):早白垩世中晚期银额盆地经历了一次较强的岩浆作用事件(吴少波等,1999),局部发育一套以杏仁状玄武岩、安山玄武岩、安山岩为主的火山岩。地球物理

测井曲线具有低时差、中—高电阻特征。居延海坳陷仅吉格达凹陷的蒙额参3井钻遇火山岩层(图4d),可作为下白垩统苏红图组对比的辅助标志。

4.1.3 不整合面作为地层划分标志

不整合面是划分不同构造层的重要依据与标志(张顺等,2015),本文主要对地震剖面确定的不整合面进行分析,并作为白垩系与石炭系—二叠系划分的依据与标志。

研究区石炭系—二叠系沉积之后经历了长时期的抬升剥蚀与多期次构造改造,直到白垩纪接受沉积;下白垩统巴音戈壁组与苏红图组为整合接触(内蒙古自治区地质矿产局,1996)。

过天9井地震剖面显示了两个构造层的特征(图5),下构造层被上构造层削切明显,且上下构造层波阻抗特征具有显著差异。下构造层反射波呈蠕动状,连续性较上构造层差;且二者产状亦存在差异,下构造层地层倾角相对较大,且横向变化较大,上构造层地层平缓,横向稳定。所有断层仅穿过下构造层,表

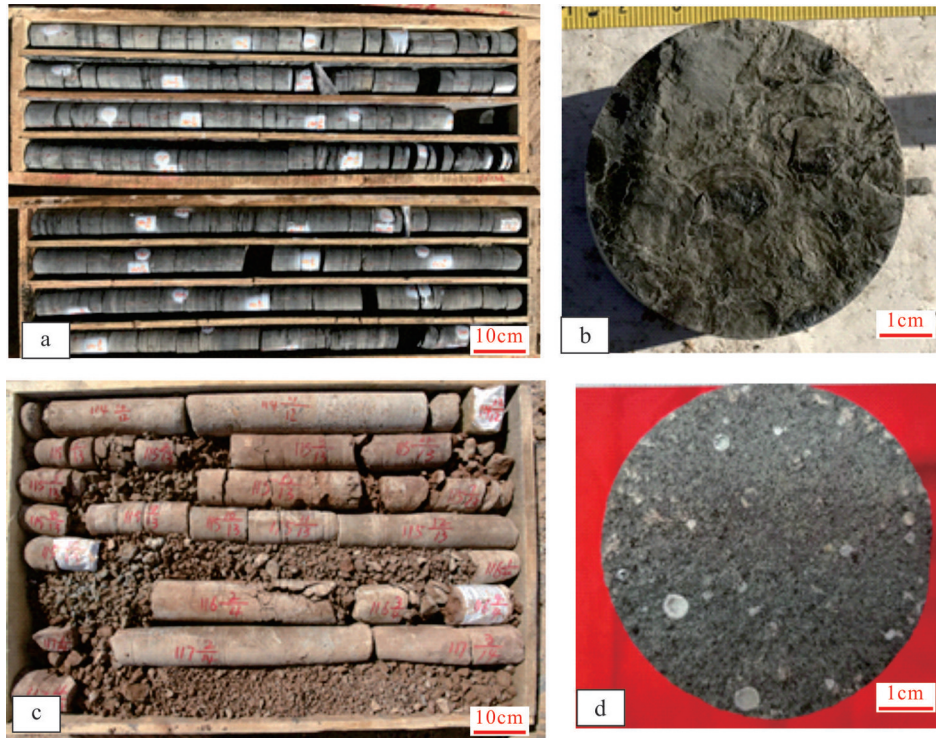


图4 银额盆地白垩系对比标志

a—蒙额地1井巴音戈壁组暗色泥岩(573.53~581.06 m);b—蒙额地1井巴音戈壁组早白垩世叶肢介化石(409 m);c—额探1井苏红图组紫色泥岩(508.61~519.30 m);d—蒙额参3井苏红图组杏仁状玄武岩(463.62 m)

Fig.4 The correlation marker of Cretaceous in Yingen-Ejin Basin

a-The dark mudstone of Bayingebi Formation, Mengedi 1 well (well depth is 573.33~581.06 m);b-The Early Cretaceous conchostracan fossils of Bayingebi Formation, Mengedi 1 well (well depth is 409 m);c-The aubergine mudstone of Suhongtu Formation, Etan1 well (well depth is 508.61~519.30m);d-The amygdaloidal basalt of Suhongtu Formation, Mengedan 3 well (well depth is 463.62 m)

明其形成时间在上构造层沉积之前。

结合天9井地层岩性组合及电性特征,自下而上对主要岩石地层单元地震反射特征进行分析。下构造层包括了上石炭统一下二叠统干泉组中段、干泉组上段、中一下二叠统、上二叠统等岩石地层单元。干泉组中段($C_2P_1g^2$)厚433.0 m(未穿),岩性为火山岩、沉火山岩夹碎屑岩(下部钻遇呈指状侵入的花岗岩4层,厚度分别为13.5 m、7.5 m、9.5 m和10.8 m),对应标志层B1。地震反射信息差,无明显连续的反射轴,与块状火山岩特征吻合。测井曲线以低时差、高电阻为特征;干泉组上段($C_2P_1g^1$)厚131.0 m,为以砾岩为主,夹泥岩、粉砂质泥岩,地震显示了强的反射波组,呈蠕动状。测井曲线以中一低时差、中一高电阻为特征;中一下二叠统(P_{1+2})厚1276.0 m,以泥岩、灰质泥岩、粉砂质泥岩、泥质粉砂岩为主,夹砂砾岩。地震反射为连续性相对较好的弱反射波特征。测井曲线以中一高时差、中一低电阻为特征,局部高电阻对应火山岩或沉火山岩

(FB3);上二叠统(P_3)厚241.0 m,下部以紫红色、棕色泥岩为主,夹泥质粉砂岩,上部以砂砾岩为主,夹紫红色、褐色泥岩、粉砂质泥岩,对应标志层B2。地震反射波相对较强,呈蠕动状,连续性中等一较好。由于天9井只有1200 m以下的测井资料,这里不进行电性特征分析。

上构造层包括了中一下白垩统巴音戈壁组和苏红图组2个岩石地层单元。巴音戈壁组(K_1b)厚93.0 m,下部为灰色砂砾岩,上部为灰色泥岩、粉砂质泥岩、泥质粉砂岩互层,下部地震反射波较强,上部反射波相对较弱,波阻连续性好;苏红图组(K_1s)以棕褐—棕红色泥岩、粉砂质泥岩夹泥质粉砂岩为主,间夹灰色泥岩、粉砂质泥岩、泥质粉砂岩。地震反射波较强,连续性好,易与巴音戈壁组区分。

因此,井震结合能有效确定白垩系与石炭系—二叠系的划分。

4.2 晚石炭世侵入岩对钻井地层时代的约束

银额盆地及周缘晚石炭世侵入岩发育,居延海

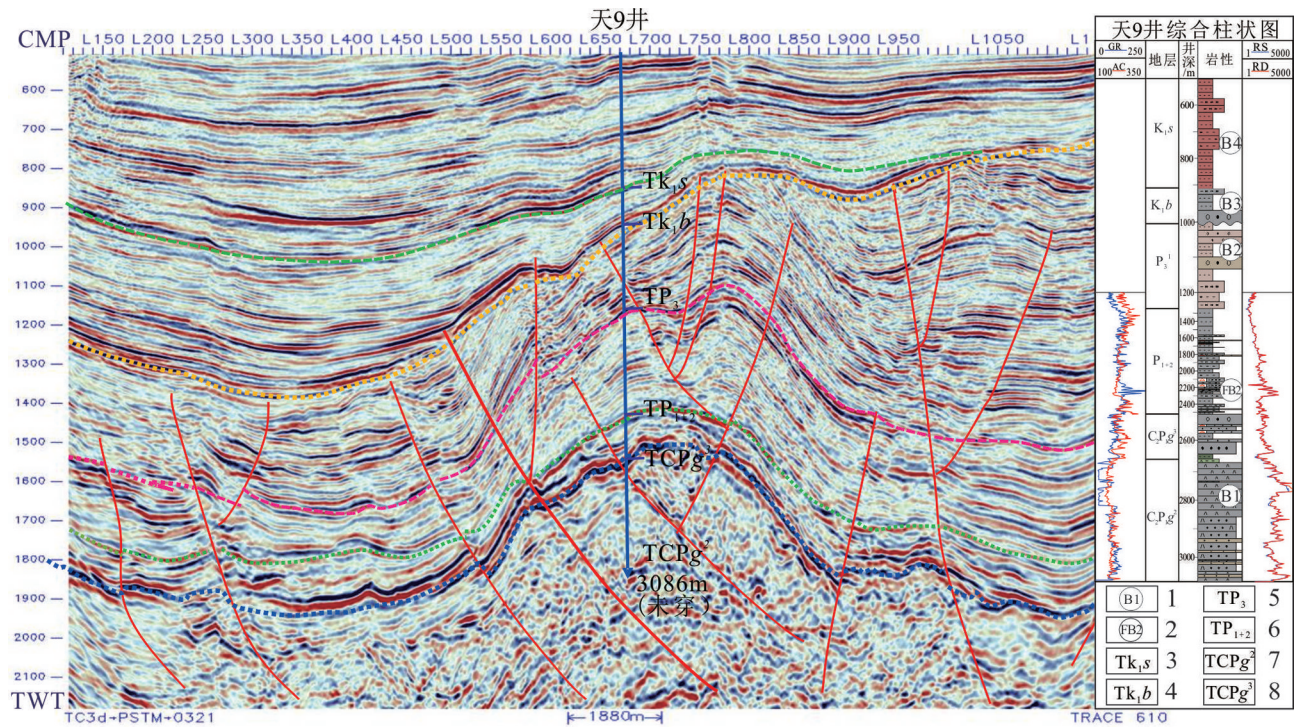


图5 天草凹陷典型地震剖面不同构造层反射特征与钻井对比

1—主要标志;2—辅助标志层;3—苏红图组底界面;4—巴音戈壁组底界面;5—上二叠统底界面;6—中下二叠统底界面;7—干泉组中段底界面;8—干泉组上段底界面

Fig.5 Seismic reflection characteristics of different tectonic layers of typical sections and the comparison of wells in Tiancao sag
1—Main marker beds; 2—Assistant marker beds; 3—The bottom interface of Suhongtu Formation; 4—The bottom interface of Bayingebi Formation; 5—The bottom interface of Upper Permian; 6—The bottom interface of Medium-Lower Permian; 7—The bottom interface of Middle of Ganquan Formation; 8—The bottom interface of Upper of Ganquan Formation

坳陷多个凹陷钻遇侵入岩,路井凹陷多口井及吉格达凹陷蒙额参3井等钻遇侵入岩油气藏试获工业油气流。乌珠尔凹陷的蒙额地1井为全取心井,揭示了侵入岩与上石炭统一下二叠统干泉组呈指状侵入,接触带侵入岩可见围岩混染的炭质泥岩、煤屑等,侵入接触关系显著(图6)。对蒙额地1井侵入岩采集了3件样品进行LA-ICP-MS 锆石U-Pb 年龄分析,对应的井深及岩性分别为1384.52 m(英云闪长岩,)、1406.37 m(花岗闪长岩)和1453.15 m(花岗闪长岩),获得的年龄分别为(307.8±3.4)Ma、(311.9±0.9)Ma和(309.7±1.0)Ma(未发表)。因此,侵入岩侵位的围岩时代不晚于晚石炭世末期。结合该套围岩与干泉组中段火山岩为连续沉积,确定对应的岩石地层单元为干泉组上段。蒙额地1井揭示的地层与居延海坳陷其他凹陷钻井地层具有良好的对比性,因此,也可作为对区域钻井地层时代约束的依据。

4.3 主要钻井地层划分与对比

以钻井地层岩性组合特征为主要依据,在钻井地层划分对比标志研究的基础上,结合地震反射剖面确定的不整合面,以及泥岩声波时差确定的剥蚀

界面,对居延海坳陷不同凹陷选择代表性钻井进行地层划分(表1),前新生界自上而下:下白垩统苏红图组、巴音戈壁组,上二叠统,中一下二叠统,上石炭统一下二叠统干泉组上段及中段(未穿);并以钻井地层划分为依据,编制了钻井地层对比剖面图(图7),建立了居延海坳陷钻井地层对比构架。对比结果,钻井揭示的油气层(油气产层或油气显示层)时代为上石炭统一下二叠统干泉组、中一下二叠统(未分组),及晚石炭世侵入岩(魏建设等,2023)。

下白垩统巴音戈壁组灰色地层(B3)与上覆苏红图组红色地层(B4),以及下伏上二叠统红色地层(B2)易于区分,巴音戈壁组自然伽马值显著高于上二叠统,也是地层划分的重要依据;上二叠统红色地层(B2)与中一下二叠统灰色泥岩、灰质泥岩为主(或含煤系地层)易于区分,尤其是煤系地层的高电阻、高时差特征显著,易于识别。

前人将上石炭统一下二叠统干泉组划分为两段,上段为火山岩段,下段为碎屑岩段(卢进才等,2012,2013;陈高潮等,2016),并将整合于干泉组之上的碎屑岩划为中一下二叠统。此次研究获得了

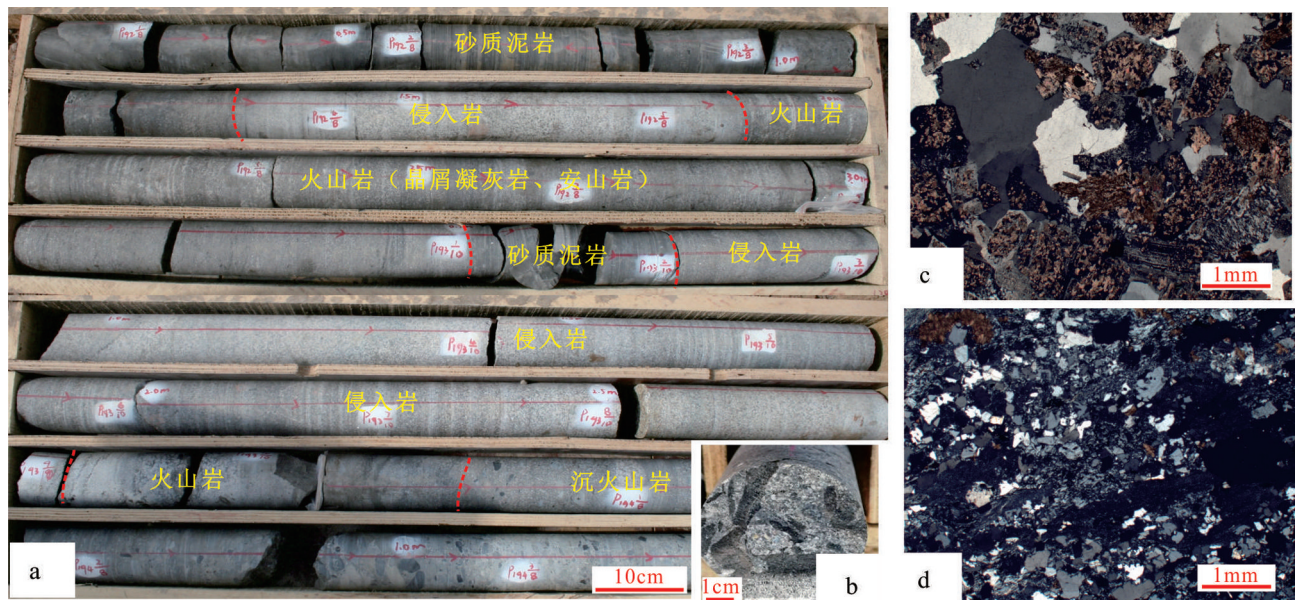


图6 蒙额地1井侵入岩与围岩接触关系及典型岩石薄片

a—井深1379.33~1386.70 m井段侵入岩与围岩(碎屑岩、火山岩)接触关系;b—侵入岩被围岩混染(1380.17 m);c—花岗闪长岩薄片照片(1380.63 m);d—晶屑凝灰岩围岩薄片照片(1382.2 m)

Fig.6 The map of contact relationship between intrusive rocks and surrounding rocks, Mengde 1 well
a—The contact relationship between intrusive rocks and surrounding rocks(clastic rock and volcanic rock) of the well from 1379.33 m to 1386.70 m; b—The intrusive rock is mixed with surrounding rocks (well depth is 1380.17 m); c—Photo of the thin section of the granodiorite (well depth is 1380.63 m); d—Photo of the thin section of the the surrounding rock of crystal tuff (well depth is 1382.2 m)

表1 居延海坳陷不同凹陷代表性钻井地层层数据表
Table 1 Stratigraphic table of the representative wells in different sags of Juyanhai depression

构造单元	地层系统	段	界		中生界		上古生界			完钻层位	备注				
			系	统	白垩系	二叠系	石炭系	干泉组							
				苏红图组	巴音戈壁组	上统	中一下统								
						代号	Q+N	K _{1s}	K _{1b}	P ₃	P ₁₊₂	C:P _{1g} ³	C:P _{1g} ²		
乌珠尔凹陷	蒙额地1	底深/m	84.3		593.8	913.3	1186		1394					干泉组	
		厚度/m	84.3		509.5	319.5	272.7	208.0/未穿						上段	
	蒙额参1	底深/m	55		449	596.5	1036.5	1512		3223.4				干泉组	
		厚度/m	55		394	147.5	440	475.5	1711.4/未穿					中段	
居东凹陷	蒙额地2	底深/m	22	118	175	1308	1698	1873		2376				干泉组	
		厚度/m	22	96	57	1133	390	175	503.0/未穿					中段	
路井凹陷	祥探9	底深/m	271		763	1976	2632.5	3020.9						干泉组	
		厚度/m	266		492	1213	656.5	388.4/未穿						上段	
天草凹陷	天5	底深/m	15	340			1046.2	1467.6	2000					干泉组	
		厚度/m	10	325			706.2	421.4	532.4/未穿					中段	
	天6	底深/m	245	1401	1725	2171	2813	3330						干泉组	
		厚度/m	240	1156	324	446	642	517.0/未穿						上段	
	天9	底深/m		911.5	1004.5	1246	2522	2653	3086					干泉组	500 m以浅
		厚度/m			93	241.5	1276	131	433					中段	无录井资料
建国营凹陷	营1	底深/m	25	170	1448	2525	2783	2952						晚石炭世	
		厚度/m	20	145	1278	1077	258	169.0/未穿						侵入岩	
吉格达凹陷	蒙额参3	底深/m	5	1391	1655	2289	2550	2712						晚石炭世	
		厚度/m	5	1386	264	634	261	162.0/未穿						侵入岩	

侵位于火山岩之上碎屑岩层段,年龄为(307.8±3.4)~(311.9±0.9)Ma)的晚石炭世侵入岩,因此,将该套地层划为干泉组上段,原干泉组碎屑岩段和火山岩段分别定义为干泉组下段或中段。

由于干泉组上段与中一下二叠统为连续沉积,其界面难以界定,有待于今后进一步研究。本文综合侵入岩的侵位特征,一般将原中一下二叠统中一上部以灰质、云质泥岩为主,电性具高阻特征的层段划为中一下二叠统,下部有机碳含量高的泥岩划为干泉组上段。在靠近赛汉陶来古陆的盆地边缘,以沉积旋回作为划分的依据。

5 讨论

5.1 主要岩石地层单元与油气层时代

虽然居延海坳陷的主要凹陷均实施了钻井,但由于基础地质研究薄弱,尤其缺乏系统的地层对比研究,以及缺少具定时代意义的古生物化石与年代学资料,对钻井揭示的主要岩石地层单元时代与含油气层时代认识存在重大争议(彭维松等,2003;张

代生等,2003;李明杰等,2004;林卫东等,2006;王新民等,2006;李光云等,2007;魏仙样等,2014;卢进才等,2018b)。

彭维松等(2003)对银额盆地不同坳陷钻井岩屑采集的白垩纪轮藻化石进行了研究,其中,居延海坳陷原“苏红图组”含丰富的早白垩世轮藻化石,原“巴音戈壁组”仅见少量轮藻化石。但笔者对原“巴音戈壁组”提出了疑虑,认为不能排除轮藻化石为钻井岩屑掉样的可能;卫平生等(2005)对银额盆地白垩系古生物特征进行了较系统地研究,但涉及居延海坳陷的古生物信息十分有限,且主要发育在“苏红图组”。

值得注意的是,被子植物自早白垩世开始广泛发育,柳蓉等(2020)在银额盆地东部下白垩统巴音戈壁组发现了被子植物饱粉,但居延海坳陷前人划分的“巴音戈壁组”一直未见被子植物饱粉,仅“苏红图组”有少量发现,亦对原“巴音戈壁组”时代提出了质疑;张慧等(2019)于苏红图坳陷二叠系钻井发现的裸子植物饱粉化石苏铁粉(*Cycadopites*)、

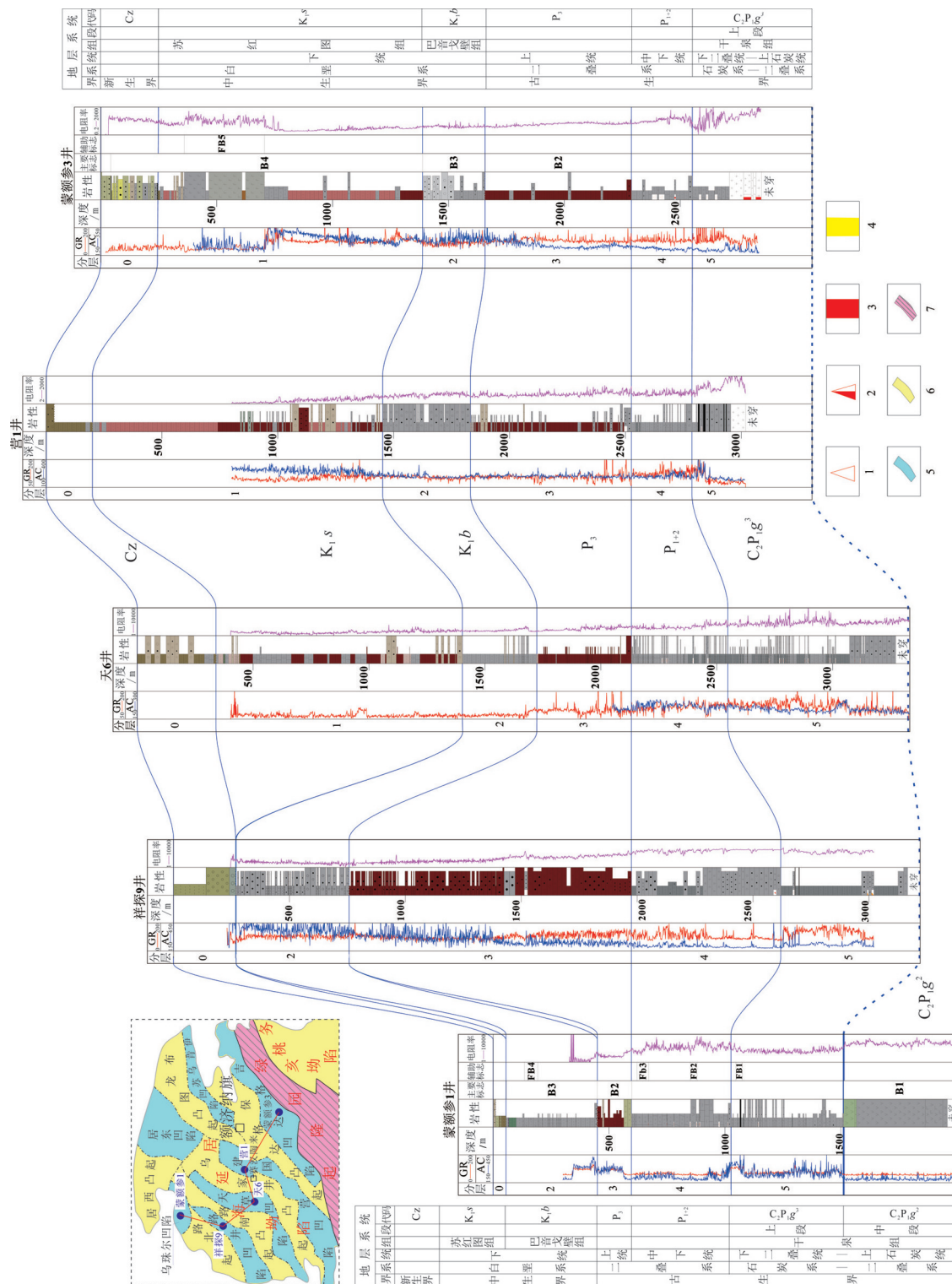


图7 银额盆地居延海坳陷钻井地层对比图

1—荧光;2—油迹;3—油层;4—含气层;5—凹陷;6—凸起;7—隆起

Fig.4 Strata comparison diagram of the wells in Juyanhai depression of Yingen-Ejin Basin
1—Fluorescence; 2— Oil trace; 3—Oil reservoir; 4— Gas-bearing stratum; 5—Sag; 6—Bulge; 7—Uplift

蕨类孢子化石层环孢(*Densoisporites*)在研究区祥探5、祥探9井等钻井二叠系均有发现。

区域上白垩系巴音戈壁组与苏红图组为整合接触(内蒙古自治区地质矿产局,1996),但地震反射特征反映了2个构造层的特征,主要含油层系为下构造层,排除了主要含油气层系为白垩系的可能。此次研究在下构造层获得了二叠纪叶肢介化石群的岩心(卢进才等,2018a),而且获得的与主要钻井地层及含油层系呈侵入接触的侵入岩LA-ICP-MS 锆石U-Pb年龄为(307.8±3.4)~(311.9±0.9)Ma(未发表),约束了围岩时代不晚于晚石炭世,排除了下构造层为侏罗系的可能。

综合分析,居延海坳陷钻井揭示的前新生界主要岩石地层包括两个构造层,上构造层为白垩系下统苏红图组、巴音戈壁组;下构造层为上二叠统、中一下二叠统,以及上石炭统一下二叠统干泉组(未穿),主要岩石地层单元标志显著,岩石地层具有可对比性。主要钻井标志及钻井地层对比,约束了居延海坳陷各凹陷的主要油气层为下构造层的中一下二叠统、上石炭统一下二叠统干泉组上段,以及晚石炭世侵入岩。

5.2 构造沉积演化与盆地类型

由于对居延海坳陷钻井揭示的主要岩石地层单元时代认识的不统一,导致盆地构造沉积演化、盆地类型认识不统一。重新厘定居延海坳陷钻井地层时代之后,确定的两个构造层代表了叠合盆地沉积盖层形成的两个阶段(甘克文,1982;岳来群等,2010),各构造层的岩性组合记录了构造沉积演化。

早石炭世晚期北山—银额盆地初始伸展,接受了白山组的沉积,自西向东逐渐演化;晚石炭世晚期—早二叠世早期,盆地演化达到鼎盛时期(卢进才等,2011,2018c;牛亚卓等,2018;杜一滨等,2020),至中二叠世中—晚期盆地逐渐萎缩,沉积了多套暗色泥岩为潜在烃源岩;晚二叠世海水大部分退出,居延海及以西地区发育了陆相红层或陆相火山岩建造。钻井揭示的下构造层与石炭纪—二叠纪沉积演化及区域岩性一致。

晚二叠世末—早三叠世,北山—银额地区经历了强烈的挤压变形与差异剥蚀(许伟等,2018);印支期,研究区以隆升为主,居延海地区未接受三叠系沉积;早—中侏罗世区域伸展,银额盆地以西的

北山地区形成断陷盆地群,沉积了一套湖—沼相的含煤系建造,但居延海坳陷未钻遇该套地层;晚侏罗世银额盆地及邻区经历了又一次强烈的挤压作用,石炭系—二叠系现今的构造样式基本代表了晚二叠世末与晚侏罗世构造改造的叠加。

早白垩世早期(巴音戈壁组沉积期),银额盆地(群)伸展,以残留石炭系—二叠系为基底,上叠了一系列小型断陷盆地,沉积建造空间上存在较大差异。居延海坳陷沉积厚度不大,半深湖—深湖相暗色泥岩分布局限,以灰色为特征的岩性组合,以及含早白垩世叶肢介化石群与区域上可进行对比;早白垩世中—晚期为银额盆地(群)的扩张期(苏红图组沉积期),沉积范围达到最大,但水体变浅,并转换为干旱氧化环境,居延海坳陷的各凹陷以紫色砂泥岩为主,吉格达凹陷发育一套以玄武岩为主的火山岩+紫红色砂泥岩沉积建造,与区域上苏红图组可对比。早白垩世末期—晚白垩世断裂活动减弱,断陷盆地收缩(或萎缩),居延海坳陷未接受银根组和乌兰苏海组的沉积。

北山—银额地区石炭纪—二叠纪为统一的陆内裂谷盆地(卢进才等,2018c),石炭系—二叠系沉积之后经历了多期次构造改造与剥蚀(许伟等,2018),中生代白垩纪银额盆地在残留的石炭系—二叠系之上伸展,接受了白垩系沉积,形成了石炭纪—二叠纪与白垩纪叠合盆地。

钻井地层划分表明,居延海坳陷白垩系总体厚度小、埋深浅,且烃源岩分布局限,演化程度以未成熟—低成熟为主(魏仙样等,2014),油气资源潜力有限。北山—银额地区石炭纪—二叠纪沉积了多套浅海陆棚相的暗色泥岩,具有厚度大、有机质丰度高、干酪根类型好的特点(卢进才等,2011)。虽然晚二叠世之后的构造改造与抬升剥蚀,对石炭系—二叠系保存与油气地质条件起负面影响,但中生代白垩纪盆地伸展与沉积充填,降低或减少了抬升剥蚀对其油气地质条件的影响。居延海坳陷地球物理勘探及钻井表明,多数凹陷残留了较厚的上二叠统及其下伏地层,油气保存条件有利。

6 结 论

(1)居延海坳陷钻井揭示了白垩系与石炭系—二叠系2个构造层,各凹陷钻井地层对比标志显著,

主要含油层系为下构造层的中—下二叠统及上石炭统—下二叠统干泉组。

(2)石炭系—二叠系发育多套厚度大、有机质丰度高的烃源岩,居延海坳陷各凹陷残留了一定厚度的上二叠统及其下伏地层,油气地质条件有利,应作为油气勘探的方向。

致谢: 中国石油吐哈油田勘探开发研究院、中国石化华北油气分公司勘探开发研究院等对项目的研究给予了大力支持,在此一并表示衷心的感谢!

References

- Chen Gaochao, Shi Jizhong, Jiang Ting, Zhang Huiyuan, Li Wei, Wang Baowen. 2016. Zircon U–Pb dating about volcanic rocks of Ganquan Formation in Dahulishan area, Ejina Banner and its geological implication[J]. *Northwestern Geology*, 49(2): 141–148 (in Chinese with English abstract).
- Du Yubin, Zhang Yanjie, Xu Bei, Yang Zhenning, Wang Zhiwei, Wang Zihui. 2020. Sedimentary and geochronology study on the Late Carboniferous–Late Permian strata from Ejin Banner area and its tectonic setting[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 36(4): 1253–1273 (in Chinese with English abstract).
- Fu Guobin, Ligang, Ren Yuguang, Ren Zhongyue, Ding Liang tang. 2007. Early Cretaceous conchostracans from the Bayingebi Formation of Inner Mongolia, China[J]. *Acta Palaeontologica Sinica*, 46(2): 244–248 (in Chinese with English abstract).
- Gan Kewen. 1982. Basic types of oil basins in the world and their prospect evaluation[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 3(S1): 24–32 (in Chinese with English abstract).
- Li Guangyun, Fan Tailiang, Tang Long, Qiu Dongkai. 2007. Sequence stratigraphy framework and oil & gas distribution at the lower cretaceous in Tiancao Depression in Yin E Basin [J]. *Xinjiang Geology*, 25(3):295–299 (in Chinese with English abstract).
- Li Mingjie, Zheng Menglin, Cao Chunchao, Zhang Junyong. 2004. Evolution of superposed Jurassic and Cretaceous basins in Beishan–Alxa area[J]. *Oil & Gas Geology*, 25(1): 54–57 (in Chinese with English abstract).
- Lin Weidong, Zhou Yongzhang, Chen Qilin, Zhang Huqua, Hao Yinquan. 2006. Comparison of oil reservoir formation condition of western Xing–Meng fold belt basin groups with Erlan Basin and analysis of oil–gas exploration direction[J]. *Journal of the Graduates Sun Yat–Sen University (Natural Sciences, Medicine)*, 26(1): 70–75 (in Chinese with English abstract).
- Lin Weidong, Zhou Yongzhang, Wang Xinmin, Zhang Huquan, Wang Hongbin. 2004. Structural depositional system and factors affecting the hydrocarbon pool formation in Tiancao Depression, the Yingen–Ejinaqi Basin[J]. *Geotectonica et Metallogenia*, 28(4): 444–449 (in Chinese with English abstract).
- Liu Rong, Yan Xu, Liu Zhaojun, Zhang Kun, Wu Xipu, Zhao Kangan. 2020. Characteristics and geological significance of palynological fossils from Bayingebi Formation of Lower Cretaceous in Yin'e Basin[J]. *Journal of Jilin University (Earth Science Edition)*, 50(2): 341–355 (in Chinese with English abstract).
- Lu Chongning, Duan Chunjie, Kang Xingwen, Li Baolin. 1999. Bedrock hydrocarbon–bearing characteristics and pool–forming conditions of Mamuwusu Sag in Badain Jaran Basin[J]. *Experimental Petroleum Geology*, 21(3): 251–255 (in Chinese with English abstract).
- Lu Jincai, Chen Gaochao, Li Yuhong, Wei Xianyang, Wei Jianshe, Jiang Ting, Shi Jizhong, Dang Ben, Zhao Xingmin, Liu Jianli, Yang Gaoyin, Chen Jianfa, Bu Jianjun, Han Wei, Li Wei. 2012. Carboniferous–Permian Geological Conditions and Resources Perspective in Yingen–Ejin Banner Basin and Its Vicinities[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1–439 (in Chinese).
- Lu Jincai, Chen Gaochao, Wei Xianyang, Li Yuhong, Wei Jianshe. 2011. Carboniferous–Permian sedimentary formation and hydrocarbon generation conditions in Ejin Banner and its vicinities, western Inner Mongolia: A study of Carboniferous–Permian petroleum geological conditions (part 1)[J]. *Geological Bulletin of China*, 30(6): 811–826 (in Chinese with English abstract).
- Lu Jincai, Niu Shaowu, Wei Jianshe, Jiang Ting, Wang Baowe, Yu Long, Xu Haihong. 2018a. The discovery of Permian Estheria in the core of No.1 Meng'edi well, western Yingen–Ejin basin, and its significance[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 37(1): 16–25 (in Chinese with English abstract).
- Lu Jincai, Niu Yazhuo, Jiang Ting. 2018b. Progress in geological survey and petroleum exploration of Carboniferous–Permian strata in northern China[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 37(1): 7–15 (in Chinese with English abstract).
- Lu Jincai, Niu Yazhuo, Wei Xianyang, Chen Gaochao, Li Yuhong. 2013. LA–ICP–MS zircon U–Pb dating of the Late Paleozoic volcanic rocks from the Hongshishan area of the Beishan orogenic belt and its tectonic significances[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 29(8): 2685–2694 (in Chinese with English abstract).
- Lu Jincai, Shi Jizhong, Niu Yazhuo, Song Bo, Zhang Yuxuan, Yu Long. 2018c. The Carboniferous–Permian sequence stratigraphy and sedimentary evolution of Beishan–Yin'e region, western Inner Mongolia[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 34(10): 3101–3115 (in Chinese with English abstract).
- Lu Jincai, Wei Jianshe, Jing Ting, Xu Haihong, Wang Baowen. 2020. The physical and chemical characteristics of crude oil and oil–source of Juyanhai depression in Yingen–Ejina Basin[J]. *Geological Bulletin of China*, 39(10): 1589–1599 (in Chinese with English abstract).
- Lu Jincai, Wei Xianyang, Wei Jianshe, Niu Ya–huo, Xu Haihong, Minggan–bateer. 2014. Characteristics of Permian lithic associations in South Gobi Province of Mongolia correlated with

- Yingen-Ejin Banner basin, Inner Mongolia[J]. Geological Bulletin of China, 33(9): 1400-1408(in Chinese with English abstract).
- Lu Jincai, Zhang Hongan, Niu Yazhuo, Liu Huchuang, Chen Qingtang, Wei Jianshe. 2017. Carboniferous-Permian petroleum conditions and exploration breakthrough in the Yingen-Ejin Basin in Inner Mongolia[J]. Geology in China, 44(1): 13-32(in Chinese with English abstract).
- Bureau of Geology and Mineral Resource of Inner Mongolia. 1996. Stratigraphy (Lithostratigraphy) of Inner Mongolia [M]. Wuhan: China University of Geosciences Press, 1-344 (in Chinese).
- Niu Shaowu, Zhang Yongsheng, Xin Houtian, Tian Shugang, Xing Enyuan, Wang Juntao, Cao Jie, Wang Meng. 2013. The discovery of the *Leaid Conchostracan* fossils from Upper Permian Taohaiyingzi Formation in Inner Mongolia and its geological significance[J]. Geological Bulletin of China, 32(7): 967-976 (in Chinese with English abstract).
- Niu Yazhuo, Lu Jincai, Liu Chiyang, Song Bo, Shi Jizhong, Xu Wei. 2018. Chronostratigraphy and regional comparison of marine Permian system in the Beishan Region, North China[J]. Acta Geologica Sinica, 92(6): 1131-1148 (in Chinese with English abstract).
- Peng Weisong, Wang Qifei, Xue Duo, Lu Huinan, Zhang Fang. 2003. Cretaceous charophytes from the Inggan-Ejin Qi Basin of Inner Mongolia[J]. Acta Micropalaeontologica Sinica, 20(4): 365-376 (in Chinese with English abstract).
- Qi Hua, Zhang Gang. 1990. Ostracodes from late Mesozoic volcano-sedimentary rocks of the Suhongtu Basin, western Inner Mongolia[J]. Acta Micropalaeontologica Sinica, 7(3): 231-237 (in Chinese with English abstract).
- Shi Jizhong, Cui Haifeng, Xu Wei, Song Bo, Wang Baowen. 2022. Sedimentary environment and organic matter enrichment model of black shale from Cretaceous Bayingebi Formation in Balongwula, Yingen-Ejin Banner Basin[J]. Geological Bulletin of China, 41(8): 1430-1444.
- Wang Xinmin, Guo Yanru, Ma Long, Zhang Huquan. 2014. Yin' E Basin: Characters of Jurassic and Cretaceous petroleum supersystem and prospecting area[J]. Advance in Earth sciences, 16(4): 490-495 (in Chinese with English abstract).
- Wei Jianshe, Zhao Linyan, Zhou Junlin, Zhang Yuxuan, Wang Liwei, Jiang Ting, Wang Baowen. 2023. Geochemical characteristics of crude oil in Jigeda Sag of Yingen-Ejin Basin and its significances[J]. Northwestern Geology, 56(5): 332-342(in Chinese with English abstract).
- Wei Pingsheng, Yao Qingzhou, Wu Shiguo. 2005. Study on Cretaceous stratum, palaeobiota and palaeoclimate of Yingen-Ejinaqi Basin[J]. Journal of Xi'an Shiyou University (Natural Science Edition), 20(2): 17-21 (in Chinese with English abstract).
- Wei Xianyang, Lu Jincai, Wei Jianshe, Xu Haihong, Li Yan. 2014. The revision of stratigraphic division of X well in Juyanhai depression, Yingen-Ejin Banner basin, Inner Mongolia, and its geological significance[J]. Geological Bulletin of China, 33(9): 1409-1416 (in Chinese with English abstract).
- Wu Shaobo, Bai Yubao, Yang Youyun. 1999. The characteristics and tectonic setting of Early Cretaceous volcanic rocks Yingen Basin[J]. Journal of Mineralogy and Petrology, 19(1): 24-28 (in Chinese with English abstract).
- Xu Wei, Wei Jianshe, Han Wei, Dang Ben, Niu Yazhuo, Han Xiaofeng, Song Bo, Xue Ning. 2018. A preliminary study of the structure and reformation of the Permian and Carboniferous strata in Yingen-Ejin basin and its periphery [J]. Geological Bulletin of China, 37(1): 132-143 (in Chinese with English abstract).
- Yue Laiqun, Gan Kewen, Xia Xianghua. 2010. Discussion on the classification of sedimentary basins and related problems[J]. Marine Geology Letters, 26(3): 53-58(in Chinese with English abstract).
- Zhang Daisheng, Li Guangyun, Luo Zhao, Li Xingliang. 2003. Characteristics of petroleum geology in Yinggen-Ejinaqi Basin[J]. Xinjiang Petroleum Geology, 24(2): 130-134 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Hui, Wang Nashen, Meng Xiangzhen, Meng Zhan. 2019. Detrital zircon U-Pb dating of Maihanhada Formation in Yin'E Basin of northern Suhongtu depression and its geological significance[J]. Geological Bulletin of China, 38(4): 656-666(in Chinese with English abstract).
- Zhang Shun, Chen Shiyue, Wang Yongshi, Li Wei, Luo Yang, Hou Xubo, Zhang Lin. 2015. The application of the erosion thickness restoration method to red beds in the western part of the south slope in Dongying Depression[J]. Geology in China, 42(2): 720-736(in Chinese with English abstract).
- Zheng Yuejuan, Zhang Jian, Zhang Jianjun, Huang Xin, Chen Shuwang, Su Fei, Zhang Haihua, Bian Xiongfeng, Sun Lei, Li Yuke. 2022. Late Permian-Early Triassic spores and pollen from the GD1 borehole in the southwest uplift zone of Songliao Basin and their petroleum exploration implications [J/OL]. Geology in China. <https://kns.cnki.net/kcms/detail/11.1167.P.20220621.1527.014.html>. (in Chinese with English abstract).

附中文参考文献

- 陈高潮, 史冀忠, 姜亭, 张慧元, 李渭, 王宝文. 2016. 额济纳旗大狐狸山地区干泉组火山岩锆石 U-Pb 测年及其意义[J]. 西北地质, 49(2): 141-148.
- 杜一滨, 张焱杰, 徐备, 杨振宇, 王志伟, 王智慧. 2020. 额济纳旗地区晚石炭—晚二叠世地层沉积学和年代学研究及其构造背景分析[J]. 岩石学报, 36(4): 1253-1273.
- 付国斌, 李罡, 任玉光, 任忠跃, 丁良堂. 2007. 内蒙古呼伦陶勒盖下白垩统巴音戈壁组的叶肢介化石[J]. 古生物学报, 46(2): 244-248.
- 甘克文. 1982. 世界含油、气盆地的基本类型及其远景评价[J]. 石油

- 学报, 3(S1): 24-32.
- 李光云, 樊太亮, 唐龙, 仇东凯. 2007. 银额盆地天草凹陷下白垩统层序地层格架与油气分布[J]. 新疆地质, 25(3): 295-299.
- 李明杰, 郑孟林, 曹春潮, 张军勇. 2004. 北山—阿拉善地区侏罗—白垩纪盆地的叠合演化[J]. 石油与天然气地质, 25(1): 54-57.
- 林卫东, 周永章, 陈启林, 张虎权, 郝银全. 2006. 兴蒙褶皱带西段盆地群和二连盆地成藏条件比较与油气勘探方向分析[J]. 中山大学研究生学刊(自然科学与医学版), 26(1): 70-75.
- 林卫东, 周永章, 王新民, 张虎权, 王宏斌. 2004. 银根—额济纳旗盆地天草凹陷构造—沉积体系演化及油气成藏条件分析[J]. 大地构造与成矿学, 28(4): 444-449.
- 柳蓉, 闫旭, 刘招君, 张坤, 武昕普, 赵康安. 2020. 银额盆地下白垩统巴音戈壁组含油页岩系孢粉化石特征及地质意义[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 50(2): 341-355.
- 卢崇宁, 段春节, 康新文, 李保林. 1999. 巴丹吉林盆地麻木乌苏凹陷基岩含油气特征及成藏条件分析[J]. 石油实验地质, 21(3): 251-255.
- 卢进才, 陈高潮, 李玉宏, 魏仙祥, 魏建设, 姜亭, 史冀忠, 党彝, 赵省民, 刘建利, 杨高印, 陈践发, 卜建军, 韩伟, 李渭. 2012. 银额盆地及邻区石炭系—二叠系油气地质条件与资源前景[M]. 北京: 地质出版社, 1-439.
- 卢进才, 陈高潮, 魏仙祥, 李玉宏, 魏建设. 2011. 内蒙古西部额济纳旗及邻区石炭系—二叠系沉积建造与生烃条件——石炭系—二叠系油气地质条件研究之一[J]. 地质通报, 30(6): 811-826.
- 卢进才, 牛绍武, 魏建设, 姜亭, 王宝文, 余龙, 许海红. 2018a. 银额盆地西部蒙额地1井二叠纪叶肢介的发现及其意义[J]. 地质通报, 37(1): 16-25.
- 卢进才, 牛亚卓, 姜亭. 2018b. 中国北方石炭系—二叠系油气地质调查与勘探进展[J]. 地质通报, 37(1): 7-15.
- 卢进才, 牛亚卓, 魏仙祥, 陈高潮, 李玉宏. 2013. 北山红石山地区晚古生代火山岩LA-ICP-MS锆石U-Pb年龄及其构造意义[J]. 岩石学报, 29(8): 2685-2694.
- 卢进才, 史冀忠, 牛亚卓, 宋博, 张宇轩. 2018c. 内蒙古西部北山—银额地区石炭纪—二叠纪层序地层与沉积演化[J]. 岩石学报, 34(10): 3101-3115.
- 卢进才, 魏建设, 姜亭, 许海红, 王宝文. 2020. 银额盆地居延海坳陷原油物理化学特征与油源探讨[J]. 地质通报, 39(10): 1589-1599.
- 卢进才, 魏仙祥, 魏建设, 牛亚卓, 许海红, МИНГАН БААТАР. 2014. 蒙古国南戈壁省二叠系岩性组合特征及其与内蒙古银额盆地的对比[J]. 地质通报, 33(9): 1400-1408.
- 卢进才, 张洪安, 牛亚卓, 刘护创, 陈清棠, 魏建设. 2017. 内蒙古西部银额盆地石炭系—二叠系油气地质条件与勘探发现[J]. 中国地质, 44(1): 13-32.
- 内蒙古自治区地质矿产局. 1996. 内蒙古自治区岩石地层[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1-344.
- 牛绍武, 张永生, 辛后田, 田树刚, 邢恩袁, 王俊涛, 曹杰, 王猛. 2013. 李氏叶肢介(Leaid)在内蒙古上二叠统陶海营子组的发现及其意义[J]. 地质通报, 32(7): 967-976.
- 牛亚卓, 卢进才, 刘池阳, 宋博, 史冀忠, 许伟. 2018. 甘蒙北山地区海相二叠系时代及其区域对比[J]. 地质学报, 92(6): 1131-1148.
- 彭维松, 王启飞, 薛铎, 卢辉楠, 张放. 2003. 内蒙古银根—额济纳旗盆地白垩纪轮藻化石[J]. 微体古生物学报, 20(4): 365-376.
- 齐骅, 张刚. 1990. 内蒙古西部苏红图盆地中生代晚期火山—沉积岩中的介形类[J]. 微体古生物学报, 7(3): 231-237.
- 史冀忠, 崔海峰, 许伟, 宋博, 王宝文. 2022. 银额盆地巴隆乌拉白垩系巴音戈壁组黑色页岩沉积环境及有机质富集模式[J]. 地质通报, 41(8): 1430-1444.
- 王新民, 郭彦如, 马龙, 张虎全. 2001. 银—额盆地侏罗、白垩系油气超系统特征及其勘探方向[J]. 地球科学进展, 16(4): 490-495.
- 卫平生, 姚清洲, 吴时国. 2005. 银根—额济纳旗盆地白垩纪地层、古生物群和古环境研究[J]. 西安石油大学学报(自然科学版), 20(2): 17-21.
- 魏建设, 赵琳雁, 周俊林, 张宇轩, 王利伟, 姜亭, 王宝文. 2023. 银额盆地吉格达凹陷原油地球化学特征及其意义[J]. 西北地质, 56(5): 332-342.
- 魏仙祥, 卢进才, 魏建设, 许海红, 李岩. 2014. 内蒙古银额盆地居延海坳陷X井地层划分修正及其油气地质意义[J]. 地质通报, 33(9): 1409-1416.
- 吴少波, 白玉宝, 杨友运. 1999. 银根盆地早白垩世火山岩特征及形成的大地构造环境[J]. 矿物岩石, 19(1): 24-28.
- 许伟, 魏建设, 韩伟, 党彝, 牛亚卓, 韩小锋, 宋博, 薛宁. 2018. 银额盆地及周缘石炭系和二叠系沉积之后构造改造初探[J]. 地质通报, 37(1): 132-143.
- 岳来群, 甘克文, 夏响华. 2010. 沉积盆地分类及相关问题探讨[J]. 海洋地质动态, 26(3): 53-58.
- 张代生, 李光云, 罗肇, 李兴亮. 2003. 银根—额济纳旗盆地油气地质条件[J]. 新疆石油地质, 24(2): 130-134.
- 张惠, 王纳申, 孟祥振, 孟展. 2019. 银额盆地苏红图坳陷北部埋汗哈达组碎屑锆石U-Pb测年及其地质意义[J]. 地质通报, 38(4): 656-666.
- 张顺, 陈世悦, 吴智平, 王永诗, 李伟, 罗阳, 侯旭波, 张林. 2015. 常用剥蚀厚度恢复法在东营凹陷南坡西部“红层”的应用[J]. 中国地质, 42(2): 720-736.
- 郑月娟, 张健, 张德军, 黄欣, 陈树旺, 苏飞, 张海华, 卞雄飞, 孙雷, 李雨柯. 2022. 松辽盆地高D1井晚二叠—早三叠世孢粉化石及油气勘探前景分析[J/OL]. 中国地质. <https://kns.cnki.net/kcms/detail/11.1167.P.20220621.1527.014.html>.