



引文格式: 韩小锋, 崔海峰, 宋博, 等. 银额盆地苏红图坳陷 MSD1 井二叠系地层厘定及油气地质意义[J]. 西北地质, 2024, 57(6): 171–185. DOI: 10.12401/j.nwg.2024076

Citation: HAN Xiaofeng, CUI Haifeng, SONG Bo, et al. Permian Formation Characteristics and Petroleum Geological Significance of Well MSD1 in Suhongtu Depression, Yin'e Basin[J]. Northwestern Geology, 2024, 57(6): 171–185. DOI: 10.12401/j.nwg.2024076

银额盆地苏红图坳陷 MSD1 井二叠系 地层厘定及油气地质意义

韩小锋^{1,2}, 崔海峰^{1,2,*}, 宋博^{1,2}, 许伟^{1,2}, 史冀忠^{1,2}, 赵飞^{1,2}, 许海红^{1,2},
王天云³, 王宝文^{1,2}, 季兴开⁴

(1. 中国地质调查局西安地质调查中心, 陕西 西安 710119; 2. 中国地质调查局北方古生界油气地质重点实验室, 陕西 西安 710119; 3. 东方地球物理公司, 河北 涿州 072751; 4. 中国科学院南京地质古生物研究所, 江苏 南京 210008)

摘要: 长久以来, 由于银额盆地覆盖区二叠系地层特征认识不清, 致使盆地内钻井揭示的油气产层地质时代存在争议。本次研究利用银额盆地苏红图坳陷 MSD1 井下部井段岩心样品开展了孢粉学、矿物学、锆石年代学等研究工作, 结合盆地内钻井、地震测线及地表露头资料开展地层对比, 取得了以下认识: ① 苏红图坳陷 MSD1 井 2 669.00~2 726.00 m 井段内发现的 *Florinites*, *Vesicasporea*, *Striatoabieites*, *Vittatina* 和 *Hamiapollenites* 等孢粉分子, 且碎屑岩薄片显微镜下见腕足、海百合、苔藓虫等零散生物碎屑分布, 均指示该段地层为上二叠统哈尔苏海组, 时代为二叠纪晚期。② 结合钻井时井深标定及地震层位追踪, 明确银额盆地二叠系在盆地覆盖区广泛分布, 二叠系地震反射呈现弱反射-空白反射、中-弱振幅、层内连续性差、底界偶见强振幅连续界线的特征, 反映二叠系沉积后经历了多期构造改造作用。③ 盆地内多口钻井发现白垩系、二叠系的两套含油气系统, 钻井烃源岩地球化学特征显示银额盆地二叠系具有丰富的油气勘探潜力。综合研究认为, 银额盆地二叠系原型盆地分布范围广、油气资源潜力丰富, 后期构造改造分区性强, 局部地区构造破坏严重, MSD1 井二叠系古生物地层学、锆石年代学、岩石矿物学及地球物理学地层特征的发现, 实现了盆地露头区与覆盖区二叠系特征对比统一, 明确了银额盆地二叠系的油气勘探前景。

关键词: 上二叠统; 哈尔苏海组; 孢粉古生物; 锆石定年; 银额盆地

中图分类号: P618.13

文献标志码: A

文章编号: 1009-6248(2024)06-0171-15

Permian Formation Characteristics and Petroleum Geological Significance of Well MSD1 in Suhongtu Depression, Yin'e Basin

HAN Xiaofeng^{1,2}, CUI Haifeng^{1,2,*}, SONG Bo^{1,2}, XU Wei^{1,2}, SHI Jizhong^{1,2}, ZHAO Fei^{1,2}, XU Haihong^{1,2},
WANG Tianyun³, WANG Baowen^{1,2}, JI Xingkai⁴

收稿日期: 2023-06-14; 修回日期: 2024-04-14; 责任编辑: 曹佰迪

基金项目: 中国地质调查局项目“银额盆地西部-北山盆地群油气地质调查”(DD20190092)、“河西走廊盆地群油气地质调查评价”(DD20242183)、“西部重点盆地油气地质调查与评价”(DD20242212), 国家自然科学基金项目“阿拉善北部晚古生代构造格局与洋盆闭合过程的古地磁重建”(42172260)联合资助。

作者简介: 韩小锋(1982-), 男, 高级工程师, 主要从事能源地质调查工作。E-mail: hxiaofeng@mail.cgs.gov.cn。

* 通讯作者: 崔海峰(1976-), 男, 正高级工程师, 主要从事盆地构造及油气综合研究工作。E-mail: cuihaifeng@126.com。

- (1. Xi'an Center of China Geological Survey, Xi'an 710119, Shaanxi, China; 2. Key Laboratory of Paleozoic Oil and Gas Geology in North China, China Geological Survey, Xi'an 710119, Shaanxi, China; 3. BGP Inc., China National Petroleum Corporation, Zhuozhou 072751, Hebei, China; 4. Nanjing Institute of Geology and Palaeontology, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, Jiangsu, China)

Abstract: For a long time, due to the unclear understanding of the characteristics of Permian residual strata in the coverage area of Yin'e basin, the geological age of oil and gas production layers revealed by drilling in the basin is controversial. In this study, palynology, mineralogy, zircon chronology and other research work were carried out by using the core samples of the lower well section of well msd1 in Suhongtu depression of Yin'e basin, and stratigraphic correlation was carried out in combination with the drilling, seismic survey line and surface outcrop data in the basin. The following understandings were obtained: ① sporopollen molecules such as *florinites*, *vesicaspora*, *stratoabieites*, *vittatina* and *hamiapollenites* found in the 2 669.00~2 726.00 m well section of well msd1 in Suhongtu depression, The scattered bioclastic distribution of brachiopods, crinoids and bryozoans can be seen under the thin section microscope of clastic rock, indicating that the stratum of this section is the upper Permian Haersuhai formation, which is in the Late Permian. ② Combined with drilling time depth calibration and seismic horizon tracking, it is clear that the Permian in Yin'e basin is widely distributed in the coverage area of the basin. The seismic reflection of the Permian presents the characteristics of weak reflection blank reflection, medium weak amplitude, poor continuity in the layer and occasional strong amplitude continuous boundary at the bottom, reflecting that the Permian has experienced multi-stage structural transformation after sedimentation. ③ Two sets of oil and gas systems of Cretaceous and Permian have been found in many wells in the basin. The geochemical characteristics of drilling source rocks show that the Permian in Yin'e basin has rich oil and gas exploration potential. It is comprehensively considered that the Permian prototype basin in Yin'e basin has a wide distribution range, rich oil and gas resource potential, strong zoning of late structural transformation, and serious structural damage in some areas. The discovery of Permian paleontostratigraphic evidence in well msd1 further strengthens the exploration prospect of Permian.

Keywords: Upper Permian; Haersuhai Formation; palynological paleontology; zircon dating; Yin'e basin

银额盆地(银根-额济纳旗盆地)地处中国内蒙古自治区中西部,面积约 12.3 万 km²,是中国陆上现存油气勘探程度最低的大型含油气叠合沉积盆地之一(魏建设等, 2023)。盆地构造位置处于塔里木、哈萨克斯坦、西伯利亚和华北(阿拉善)板块四大板块的结合部位(Liu et al., 2017; Zheng et al., 2018; Chen et al., 2021; Xie et al., 2021; Zhang et al., 2022)。银额盆地整体是在由复杂岩性和结构构成的前寒武纪结晶地块与晚古生代褶皱拼合形成基底的基础上,沉积发育中生界而形成的叠合盆地(吴晓智等, 2020; 张洪安等, 2020)。前人针对银额盆地中生界的油气地质勘探开展了大量工作,但近年来随着盆地内拐子湖、天草、哈日等凹陷内油气探井工业油气流的发现,部分学者将油气产层归属为上古生界(卢进才等, 2018; 魏建设等, 2018; 张进学等, 2020),进而引出了中亚造山带(中国境内)石炭系—二叠系油气地质条件与资源前景如何的讨论,该区石炭系—二叠系能否作为油气资

源接替区一直争议较大,于是银额盆地油气产层及油气源层的地层时代归属、地层区域对比等关键地质问题成为了油气地质调查争论的焦点。

笔者在充分总结吸收前人研究成果的基础上,利用 MSD1 井孢粉实验数据,结合岩性特征对比、地震剖面解释分析等方法,首次在银额盆地钻井地层中发现二叠纪孢粉分子,明确了该井下部强烈变形的暗色泥岩、砂砾岩的时代归属,并初步确定了叠合盆地深层上古生界的地震反射特征,银额盆地为前中生带褶皱基底与中生代断陷湖盆相互叠置而组成的叠合盆地,确定了银额盆地在中生代地层覆盖区之下确实存在石炭系—二叠系盆地残余,这对进一步开展银额盆地上古生界油气勘探前景研究具有重要意义。

1 区域地质背景

银额盆地位于中亚构造带南缘中部,东接狼山、

西抵甘蒙北山,南邻甘肃北大山及雅布赖山、北跨中蒙国界(图 1a)。构造处于塔里木板块、西伯利亚板块和华北板块交汇部位的中亚构造带南缘(图 1b)。多数学者认为古亚洲洋在古生代处于具有多岛弧和多地块的复杂地理格局,盆地内在西伯利亚板块、华北板块和塔里木板块之间存在多个独立的地体(微陆块、岛弧、大洋高原和洋岛)和多条俯冲带(陈启林等, 2006; 郑小明等, 2017; 崔海峰等, 2024)。该构造活动特征致使银额盆地地层岩性受区内大型断裂(雅干断裂、恩格尔乌苏断裂、查干楚鲁断裂)的分隔控制,岩性分区性强(图 1c)。研究区晚古生代

古亚洲洋已经闭合,恩格尔乌苏断裂带就是古亚洲洋闭合的位置(Zheng et al., 2014)。宗乃山-沙拉扎山以南乌力吉坳陷、苏亥图坳陷处于阿拉善地块北缘,石炭系—二叠系岩性组合特征相对统一,石炭系主要为阿木山组沉积岩,下段为浅海相火山岩-碎屑岩建造,中段为浅海相碳酸盐岩建造,上段由粉砂质页岩、砂岩、含砾砂岩、砾岩组成(甘立胜等, 2018)。二叠系整体出露较少,仅在盆地南缘努尔盖地区出露盆地边缘相砂砾岩地层。宗乃山-沙拉扎山以北杭乌拉地区内可见到晚古生代的深水泥岩、浊积岩、弧后盆地砂岩、灰岩以及双峰式火山岩(尹海权等,

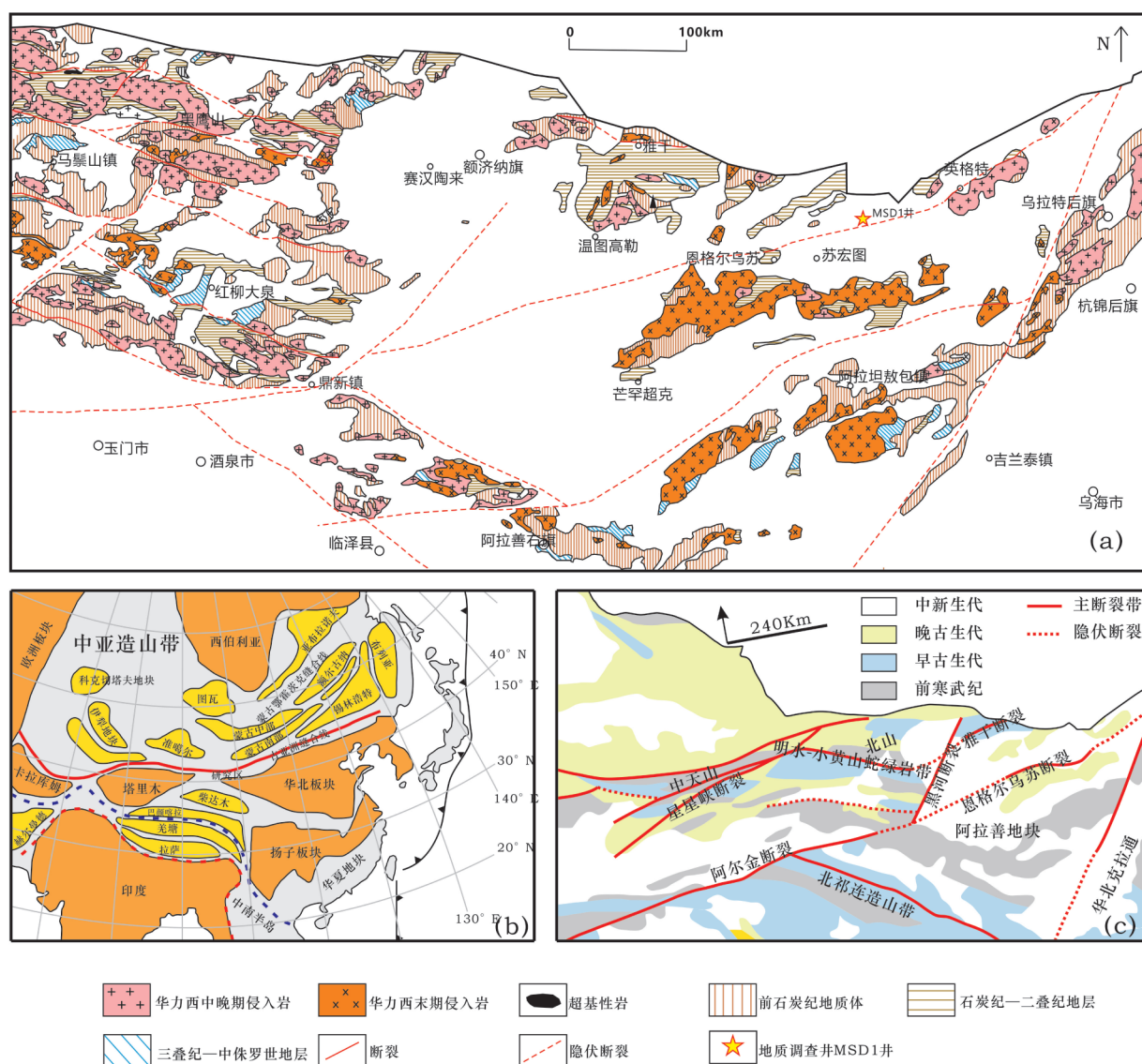


图1 银额盆地及周缘地质简图(a)、银额盆地研究区亚洲主要基底地块位置图(Zhang et al., 2022)(b)、银额盆地周缘中亚造山带南部构造轮廓图(Chen et al., 2019)(c)

Fig. 1 (a) The tectonic sketch of Yin'e Basin, (b) major Asian cratons and smaller basement blocks location of Yin'e Basin study region, (c) Tectonic outlines of the southwestern CAOB in Northwest China

2015), 而盆地西部居延海拗陷中生界之下为石炭系岩浆岩地层(宋博等, 2021)。研究区岩浆岩分布较广, 其锆石年龄可划分为 4 组, 代表了研究区晚古生代以来的 4 期主要火山活动, 对应的年代分别为早白垩世、中三叠世、晚二叠世和早石炭世。其中, 以晚二叠世火山活动最为广泛和强烈(王香增等, 2016; 陈治军等, 2018)。

2 苏红图拗陷 MSD1 井概况

中国地质调查局西安地质调查中心 2019 年在银额盆地苏红图拗陷部署实施了一口大口径油气地质调查井——MSD1 井, 井位位于内蒙古自治区阿拉善左旗乌力吉苏木北东方向约 75 km 处, 构造上位于银额盆地苏红图拗陷艾特格勒凹陷。该井钻探以期建立银额盆地苏红图拗陷沉积地层层序, 揭示岩石组合特征, 查明有效烃源岩纵向分布特征及其生烃潜力, 获取地层特征及时代信息, 搞清盆地中生代、石炭系—二叠系油气地质潜力。

MSD1 井完钻井深 2 763.66 m, 钻遇地层自下而上为二叠系哈尔苏海组、下白垩统巴音戈壁组、下白垩统苏宏图组、上白垩统乌兰苏海组和第四系。二叠系哈尔苏海组(2 667~2 763.66 m)沉积特征为深灰色、灰黑色泥岩与灰色不等粒砾岩互层, 变形强, 见多层气测异常显示, 揭示地层厚度为 96.66 m, 未见底。巴音戈壁组下段(2 185~2 667 m)为一套杂色砾岩夹不等粒砂岩, 局部夹灰色泥岩, 砾石主要成分为中酸性火山岩和石英、碳酸盐岩; 中段(1 829~2 185 m)为灰色灰质泥岩与灰褐色灰质泥岩互层, 夹灰褐色灰质粉砂岩; 上段(1 307~1 829 m)为褐色泥岩、含灰泥岩夹灰色灰质粉砂岩, 底部见多层气测异常, 巴音戈壁组总厚度约为 1 300 m。苏宏图组(945~1 307 m)为灰色含砾细砂岩、砂砾岩夹褐色泥岩、灰色泥岩, 厚度约为 400 m。银根组(290~945 m)为紫红色泥岩夹紫红色含砾砂岩、砂砾岩, 厚度约 300 m。乌兰苏海组(20~290 m)上部以棕红色泥岩为主, 下部呈棕红色泥岩、棕红色砂砾岩、杂色砂砾岩、细砂岩不等厚互层特征, 厚度约为 600 m。顶部为第四系砂砾层, 厚度约为 20 m。笔者着重讨论 MSD1 井底部钻遇地层获取的二叠系特征及油气地质意义, 明确银额盆地覆盖区内部二叠系特征, 为银额盆地二叠系油气地质潜力调查提供依据。

3 MSD1 井二叠系特征

银额盆地苏红图拗陷 MSD1 井底部 2 667 m 以下钻遇一套变形较强的沉积岩地层, 主要特征为深灰色、灰黑色泥岩与灰色不等粒砾岩互层(图 2)。本次研究采集 MSD1 井底部该套地层的古生物地层学、锆石年代学、岩石矿物学、烃源岩样品进行分析, 其中孢粉样品 20 件, 由中国科学院南京地质古生物研究所分析化验; 锆石样品两件, 由河北省区域地质矿产调查研究所实验室选样制靶, 中国地质调查局西安地质调查中心完成测年工作; MSD1 井岩矿鉴定共制片 16 件, 其中底部层段 8 件, 河北省区域地质矿产调查研究所实验室完成磨片及鉴定工作; 烃源岩样品 17 件, 由中国石油大学重质油国家重点实验室分析测试中心分析测试。

3.1 沉积岩石学特征

研究区白垩系巴音戈壁组底为一套粗碎屑砂砾岩沉积, 岩性以杂色凝灰质角砾岩为主, 夹少量砂砾岩和泥岩。砾石成分主要为暗色火山碎屑物、黄灰色白云石团块及少量石英、长石, 凝灰质胶结, 致密, 角砾状结构, 呈不规则网状分布, 砾石含量约占 60%, 砾径最大为 12 mm, 一般为 2~6 mm, 灰质含量约占 30%, 灰质呈分不均匀分布(图 3a、图 3b); 显微镜下鉴定岩石由陆源碎屑、填隙物组成, 陆源碎屑由岩屑、长石、石英构成, 主显棱角-次棱角-次圆状, 呈杂乱状排列, 大小主要为 0.05~2.0 mm 的细砂、中砂、粗砂, 较少部分为 2~9 mm 的砾石, 少量为 <0.05 mm 的粉砂。岩屑成分较复杂, 可见辉绿岩、蚀变辉绿岩、粉晶白云岩、细晶白云岩、泥晶白云岩、绢云粉砂板岩、绿泥绢云粉砂板岩、绿泥绢云板岩、黏土质细砂粉砂岩、含铁质黏土质粉砂岩、含铁质黏土岩、粉砂板岩、流纹岩、玄武岩、绿泥蚀变岩、绢云蚀变岩、单晶白云石、细砂粉砂岩等, 少见白云母等(图 3c、图 3d)。长石主为斜长石, 少量为钾长石。石英主为单晶石英, 少部分为多晶石英、石英岩、次生石英岩(有的具破碎状特征)、硅质岩、含铁质硅质岩等, 石英粒内具波状、带状消光, 有的多晶石英具破碎状特征。

MSD1 井二叠系哈尔苏海组为一套强烈变形的粗碎屑砂砾岩夹灰黑泥岩沉积, 局部见绿灰色凝灰岩, 成分以石英, 暗色碎屑长石为主, 含方解石晶体, 云母, 凝灰质碎屑等, 灰质胶结, 致密, 砾状结构, 呈不规则

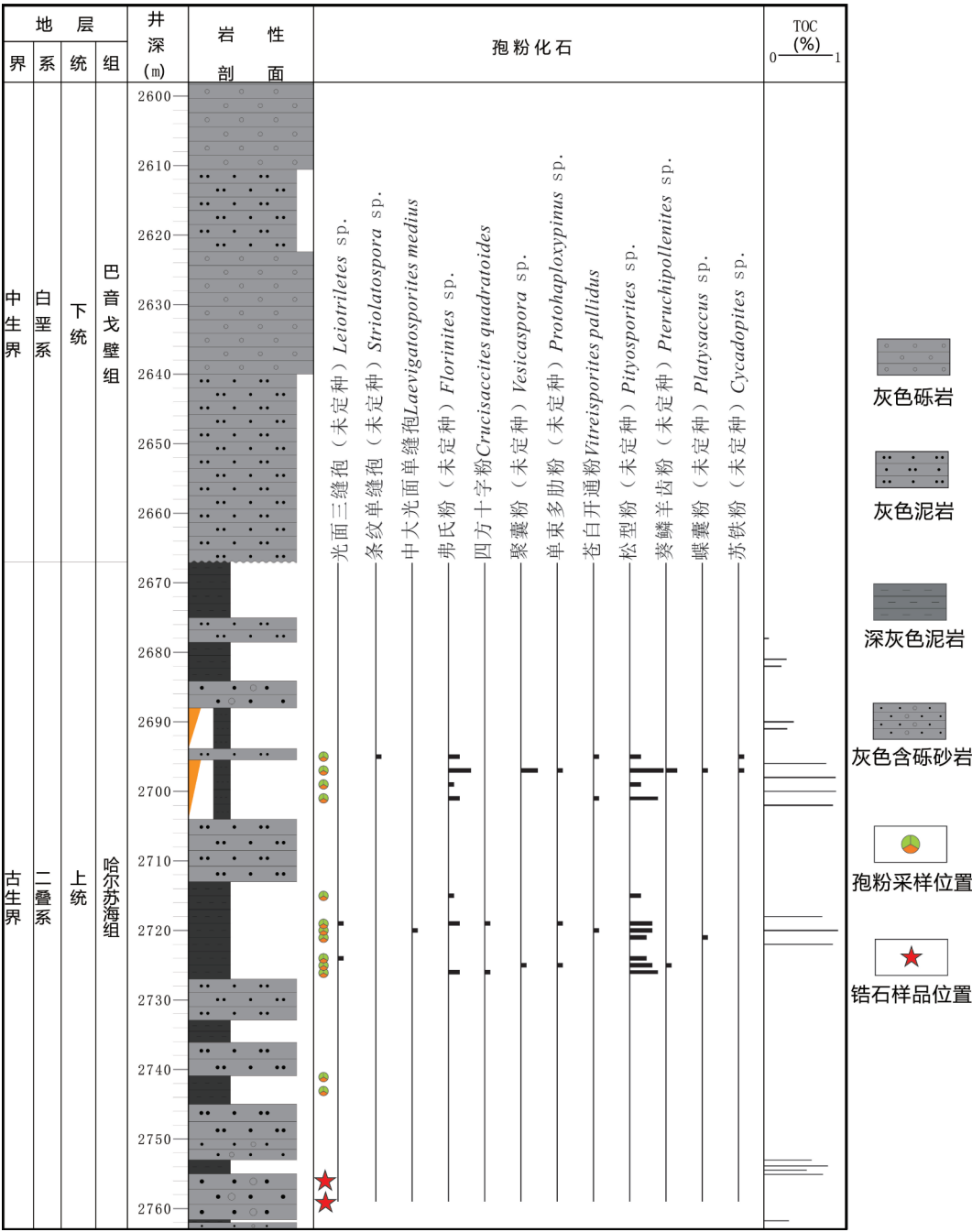


图2 银额盆地苏宏图坳陷 MSD1 井孢粉组合综合柱状图

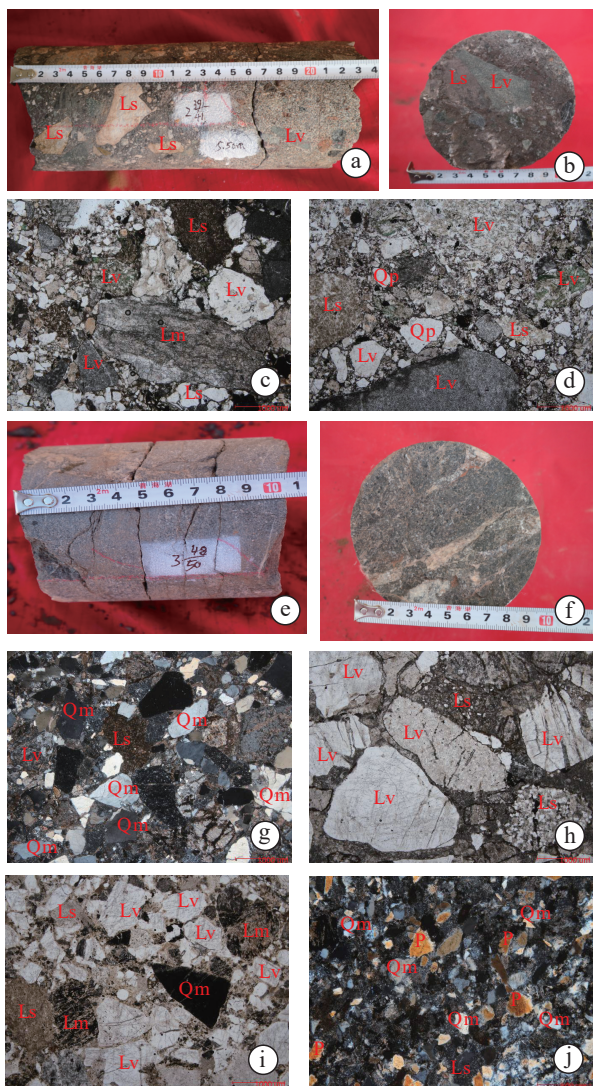
Fig. 2 The palynostratigraphy of Haersuhai Formation MSD1 Yin'e Basin

分布,砾石含量约占 40%,砾径最大为 8 mm,一般为 3~5 mm,灰质含量约占 35%,灰质分布不均匀,呈条带状,距顶 2 756.79 m 处见斜层理分布,斜层理角度与水平面呈 60°(图 3e、图 3f)。

井深 2 750 m 处含砾粗粒岩屑长石砂岩(图 3g):陆源碎屑由岩屑、长石、石英构成,主显棱角-次棱角-次圆状,具方向性排列,主要为 0.5~2.0 mm 的粗砂,较少量为 0.1~0.5 mm 的细砂、中砂,较少量为 2.0~

4.5 mm 的砾石。岩屑主为流纹岩、粉晶白云岩、绢云板岩、凝灰岩等。长石主要为钾长石、花岗岩岩屑,少量为斜长石,多具碳酸盐化等。石英主要为单晶石英,少部分为多晶石英、次生石英岩、硅质岩、含铁质硅质岩、放射虫硅质岩等。生屑可见海百合、腕足等,零散分布,被方解石及少量硅质充填。

井深 2 752.2 m 处含砾粗粒岩屑长石砂岩(图 4h):岩石由陆源碎屑、生屑、填隙物组成。陆源碎屑由岩



a、b.杂色凝灰质角砾岩(取样井段为 2 389.18~2 389.34 m); c.砾质不等粒砂状结构(-)20 $\times$; d.砂质砾状结构(-)20 $\times$; e、f.绿灰色凝灰岩(取样井段为 2 756.72~2 756.79 m); g.含砾粗粒砂状结构(+)20 $\times$; h.砂质砾状结构(-)20 $\times$; i.砂质砾状结构(-)20 $\times$; j.砂质砾状结构(-)20 $\times$; Qm.单晶石英; Qp.多晶石英; Lv.火成岩岩屑; Lm.变质岩岩屑; Ls.沉积岩岩屑; P.斜长石

图3 银额盆地 MSD1 井二叠系岩性特征

Fig. 3 Lithology characteristics of Permian in well MSD1 in Yin'e Basin

屑、长石、石英构成,以石英、长石为主,岩屑较少,主显次棱角-次圆状,少量棱角状,显杂乱状排列,主要为 2.0~6.0 mm 的砾石,少部分为 0.05~2.0 mm 的细砂、中砂、粗砂。岩屑主为流纹岩、粉晶白云岩、绢英岩、微细砂岩、含粉砂硅质岩等。长石主为钾长石,较少量为斜长石,多具碳酸盐化等。石英主为单晶石英,较少部分为多晶石英、次生石英(有的呈破碎状)、硅质岩、生屑硅质岩、含铁质硅质岩等。有的碎屑被

方解石交代明显,有的已呈假像。生屑可见腕足、海百合、苔藓虫等,零散分布,被方解石、少量硅质充填。

井深 2 756.79 m 处不等粒岩屑长石砂岩(图 3i):岩石由陆源碎屑、生屑、填隙物组成。陆源碎屑由岩屑、长石、石英构成,主显棱角-次棱角-次圆状,显杂乱状排列,主要为 0.05~2.0 mm 的细砂、中砂、粗砂,少量为 2~3 mm 的砾石。岩屑主为流纹岩、黏土岩、沉凝灰岩、绢英岩、含粉砂硅质岩等。长石主要为钾长石、花岗岩岩屑,较少量为斜长石,多具碳酸盐化、轻褐铁矿化等。石英主为单晶石英,较少量为多晶石英、次生石英岩、硅质岩、生屑硅质岩、含铁质硅质岩等。生屑少见,可见海百合等,被方解石充填。

井深 2 759.95 m 处不等粒岩屑长石砂岩(图 3j)生屑可见腕足等,少见,被方解石充填。填隙物由硅质及少量黏土质构成,二者混杂状填隙于砂粒之间。硅质由隐晶-微粒状玉髓构成。黏土质由隐晶-显微鳞片状黏土矿物构成。岩内较多见被硅质、石英、碳酸盐、褐铁矿等充填的网状微裂隙。

通过岩石学、矿物学等研究,发现 MSD1 井底部岩石矿物学特征明显与上部不同。该套地层薄片显微镜下见腕足、海百合、苔藓虫等零散生物碎屑分布,且颗粒间见方解石、硅质充填,石英颗粒发现少量多晶石英、次生石英(有的呈破碎状)、硅质岩、生屑硅质岩、含铁质硅质岩等,总体认为该套地层不同于上覆白垩系,地层沉积岩石学特征与邻区二叠系哈尔苏海组相符。

3.2 孢粉年代学特征

本次孢粉样品处理采用实验室孢粉标准分析方法(SY/T 5915-2018),富集包括孢粉、浮游藻类等微体化石及其他各种类别的有机物。具体分析流程为:每件样品取干重约 50 g,先用 10% 的盐酸浸泡去除样品中的钙质沉积物,再用氢氟酸去除样品中的硅质沉积物,经水洗筛选(筛布孔径 10 μ m)后获得全部筛选物质。将所得物质洗净后制片经透射光显微镜观察用,鉴定时每件样品观察统计 2~4 个盖玻片,盖玻片大小标准为 20 mm $\times$ 20 mm。

3.2.1 孢粉化石特征

经鉴定统计,在采集的 35 件样品(取样井段为 976.00~2 761.59 m)中有 26 件样品发现了孢粉化石,其丰度和分异度不一,保存状况也有所差异(图 2)。其中,976.00~2 761.59 m 井段共 15 件样品,化石保存

状态完整,时代归属为中生代。研究区钻井中生界孢粉已有大量报道(柳蓉等, 2020; 李素萍等, 2021; 牛海青等, 2021), 该井全井段孢粉组合特征及环境对比另作他文详细论述。

钻井底部 2 669.00~2 726.00 m 井段共 11 件样品,化石均呈黑色、不透明,保存甚差,大部分都无法鉴定到具体属种,难以对各样品中的孢粉组成作有意义的百分含量计算。从能够鉴定的类型来看,主要为裸子植物花粉,其中具肋和无肋双囊类数量最多,有单束多肋粉(*Protohaploxypinus*),冷杉型多肋粉(*Striatoabieites*),叉肋粉(*Vittatina*),哈姆粉(*Hamiapollenites*),苍白开通粉(*Vitreisporites pallidus*),松型粉(*Pityosporites*),葵鳞羊齿粉(*Pteruchipollenites*),蝶囊粉(*Platysaccus*)等;次为单气囊类、单-双气囊过渡类和单沟类,有弗氏粉(*Florinites*),四方十字粉(*Crucisaccites quadratoides*),聚囊粉(*Vesicaspora*),苏铁粉(*Cycadopites*)等;蕨类植物孢子较少,并且只能辨认出是属于无环三缝和单缝类孢子(图 4)。

3.2.2 孢粉化石年代讨论

内蒙古西部地区银额盆地目前尚无公开发表的二叠纪孢粉资料,但前人曾从内蒙古东北部大兴安岭晚二叠世林西组中发现了裸子植物花粉(以无肋和具肋双囊类为主)占优势,而蕨类植物孢子含量<10%的组合,本井段所含孢粉化石面貌与这一组合较为相似(张德军等, 2020)。

松辽盆地北部上二叠统单束多肋粉 *Protohaploxypinus* 含量较多,且该孢粉在新疆地区的锅底坑组合梧桐沟组及大兴安岭地区的林西组均有发育,为晚二叠世时期的重要分子(郑月娟等, 2013; 张海华等, 2021)。

新疆北部具有安加拉植物群的二叠纪孢粉组合特征,哈姆粉(*Hamiapollenites*)含量为 15%~17%,单束多肋粉(*Protohaploxypinus*)含量为 4%~64%,及少量叉肋粉(*Vittatina*)和苏铁粉(*Cycadopites*)发育,与该井孢粉组合特征完全一致(朱怀诚, 1997)。

准噶尔盆地东北缘孔雀坪剖面二叠系金沟组孢粉组合中 *Protohaploxypinus*(单束多肋粉), *Striatoabieites*(冷杉型多肋粉)等具肋双气囊花粉非常发育(罗正江等, 2014),与 MSD1 井孢粉发育特征也极其吻合。

三塘湖盆地芦草沟组产丰富的孢粉为柯达粉属(*Cordaitina*)-哈姆粉属(*Hamiapollenites*)-叉肋粉属

(*Vittatina*)组合,与准噶尔盆地西北缘下乌尔禾组、南缘芦草沟组-红雁池组和东北缘平地泉组孢粉组合统一,该组合为晚安加拉植物群的重要分子(尹凤娟等, 2002; 齐雪峰等, 2013),表明 MSD1 井底部地层时代应为晚二叠世早期。

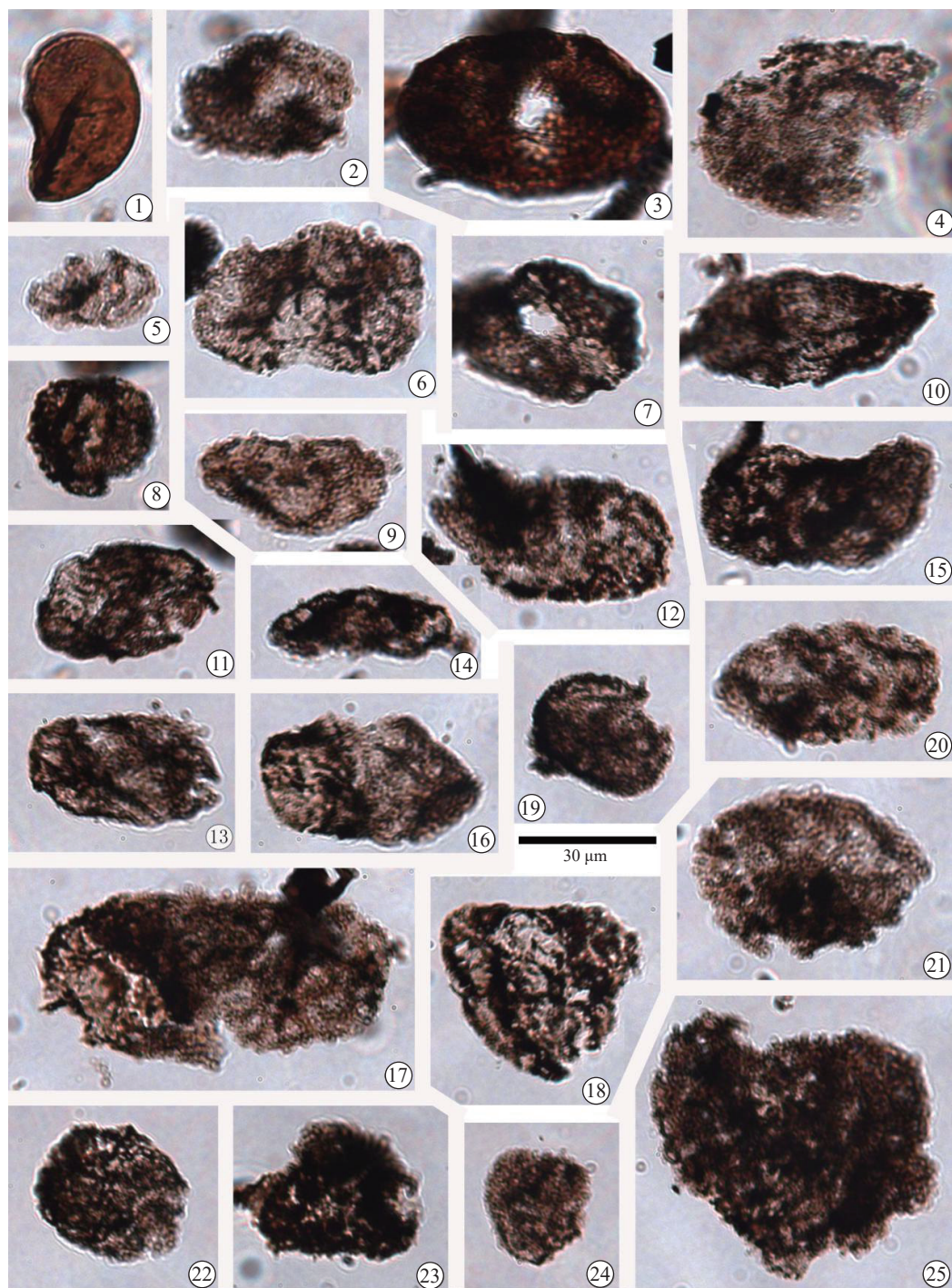
豫西宜阳上二叠统弗氏粉(*Florinites* sp.)含量为 1.42%~4.00%,松型粉(*Pityosporites*)含量为 7.09%~20.33%,苍白开通粉(*Vitreisporites*)含量为 0%~2.91%。且其中苍白开通粉(*Vitreisporites*)和松型粉(*Pityosporites*)的出现也与华北及周边晚二叠世孢粉组合特征一致,均指示研究区晚二叠世以干旱环境为主(邢智峰等, 2021)。

虽然本井段没有发现传统上认为的二叠纪特征分子假希瓦格蜓属(*Pseudoschwagerina*)(欧阳舒等, 2003),但是也出现了邻区二叠系经常发现的孢粉类型。属多沟肋亚类的叉肋粉属(*Vittatina*),是二叠纪的重要分子,自早二叠世—晚二叠世皆有分布(王蕙, 1989)。苍白开通粉(*Vitreisporites pallidus*)是二叠纪开始出现的分子,于晚二叠世数量增多(王蕙, 1989)。

综上所述,弗氏粉(*Florinites*),聚囊粉(*Vesicaspora*),冷杉型多肋粉(*Striatoabieites*),叉肋粉(*Vittatina*)和哈姆粉(*Hamiapollenites*)分布于全球各地晚石炭世—二叠纪中。四方十字粉(*Crucisaccites quadratoides*),苍白开通粉(*Vitreisporites pallidus*)和葵鳞羊齿粉(*Pteruchipollenites*)自早二叠世中、晚期开始零星出现,主要见于晚二叠世。由此可见,虽然因样品所含化石破损严重,能够准确鉴定的类型较少,但本井段的时代属二叠纪应无疑问,组合特征应归属晚二叠世。

3.3 同位素测年特征

本次工作样品来自 MSD1 井在中生界(界限为 2 669 m)之下钻遇一套强烈变形碎屑岩沉积地层,通过对该套地层 2 758 m(MSD1-Tw1)与 2 760 m(MSD1-Tw2)井深处灰色含砾粗砂岩采样,用于锆石原位 U-Pb 同位素分析的样品。采集样品为岩心样品,按常规方法粉碎,重力和磁选方法分选,制靶及透反射光照片拍摄在西北大学大陆动力学国家重点实验室完成。锆石 CL 图像、同位素测定在自然资源部岩浆作用成矿与找矿重点实验室完成。采用 Geolas Pro 激光剥蚀系统测试,激光束斑直径为 24 μm , U-Pb 谱和图绘制和加权平均使用 IsoplotR 完成。从阴极发光图像观察发现,大多数锆石颗粒较小,自形程度较差,呈棱角状,



1. 中大光面单缝孢 *Laevigatosporites medius* Kosanke, 1950(井深: 2 720.00 m); 2~4、7. 弗氏粉(未定种) *Florinites* sp.(2、3. 井深 2 697.00 m; 4、7. 井深 2 719.00 m); 5. 苍白开通粉 *Vitreisporites pallidus* (Reissinger) Nilsson, 1958(井深 2 695.00 m); 6. 四方十字粉 *Crucisaccites quadratoides* (Zhou) Hou and Song, 1995(井深 2 719.00 m); 8、9、13. 聚囊粉(未定种) *Vesicasporea* sp.(8、9. 井深 2 725.00 m; 13. 井深 2 697.00 m); 10. 冷杉型多肋粉(未定种) *Striatoabieites* sp.(井深 2 697.00 m); 11. 叉肋粉(未定种) *Vittatina* sp.(井深 2 725.00 m); 12. 葵鳞羊齿粉(未定种) *Pteruchipollenites* sp.(井深 2 697.00 m); 14、16. 松型粉(未定种) *Pityosporites* sp.(井深 2 697.00 m); 15. 蝶囊粉(未定种) *Platysaccus* sp.(井深 2 697.00 m); 17. 逆沟粉(未定种)? *Anticapiollis* sp.(井深 2 697.00 m); 18. 单束多肋粉(未定种) *Protohaploxypinus* sp.(井深 2 697.00 m); 19~25. 不能鉴定的类型(19、20. 井深 2 720.00 m; 21、22. 井深 2 697.00 m; 23~25. 井深 2 719.00 m)

图4 银额盆地二叠系哈尔苏海组 MSD1 井孢粉化石

Fig. 4 Sporopollen fossils of Well MSD1 in Haersuhai Formation, Yin'e Basin

遭受强烈磨蚀, 伸展环带发育较差, 表明碎屑物质经过了近源搬运及分选, 粒径主要为 $30\sim 80\ \mu\text{m}$ (图 5)。

样品 MSD1-Tw1 总共获得 54 个测试点, 其中有效测试点 53 个, 并且具有比较好的 U-Pb 同位素谐和年龄。在锆石年龄频谱分布图上 (图 6a), $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄值为 $292.2\sim 1\ 009.4\ \text{Ma}$, $361.4\sim 445.9\ \text{Ma}$ 年龄为主要峰值。其中, $292.2\ \text{Ma}$ 年龄 1 个 (Tw1-17)、谐和值为 101.1% ; $801.3\ \text{Ma}$ 年龄 1 个 (Tw1-06)、谐和值为 102.2% ; $1\ 009.4\ \text{Ma}$ 年龄 1 个 (Tw1-16)、谐和值为 99.3% ; $361.4\sim 445.9\ \text{Ma}$ 年龄数据 50 个 (Tw1-07、18、19 等)、谐和值为 $96.8\%\sim 108.5\%$ (图 6b)。

样品 MSD1-Tw2 共获得 90 个测试点, 其中有效测试点 88 个, 具有比较好的 U-Pb 同位素谐和年龄。在锆石年龄频谱分布图上 (图 6c), $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄值为 $265.6\sim 676.2\ \text{Ma}$, $367.2\sim 461.4\ \text{Ma}$ 年龄为主要峰值。其中, $265.6\ \text{Ma}$ 年龄 1 个 (Tw2-28)、谐和值为 104.6% ; $676.2\ \text{Ma}$ 年龄 1 个 (Tw2-84)、谐和值为 102.1% ; $367.2\sim 461.4\ \text{Ma}$ 年龄数据 86 个 (Tw2-27、29、85、86 等)、谐和值为 $96.0\%\sim 109.6\%$ (图 6d)。

综合分析 MSD1-Tw1 与 MSD1-Tw2 的 U-Pb 锆石分选与测年结果数据。结果显示, 两件粗砂岩样品中含少量元古代的古老年龄, 年龄频谱分布主峰为中泥

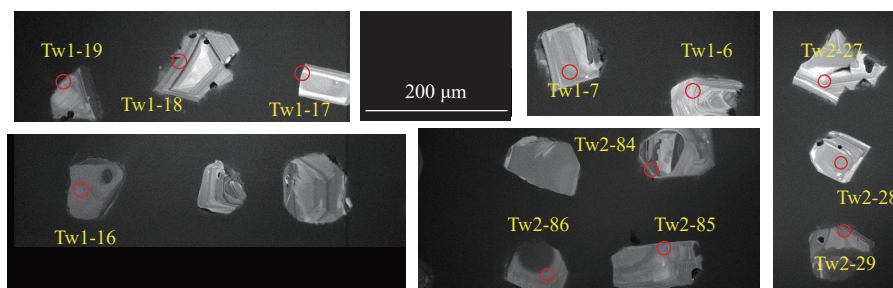


图5 MSD1 井二叠系碎屑岩(MSD1-Tw1、Tw2)锆石 CL 图像

Fig. 5 The CL images of the zircons from clastic rocks of Permian System of well MSD1

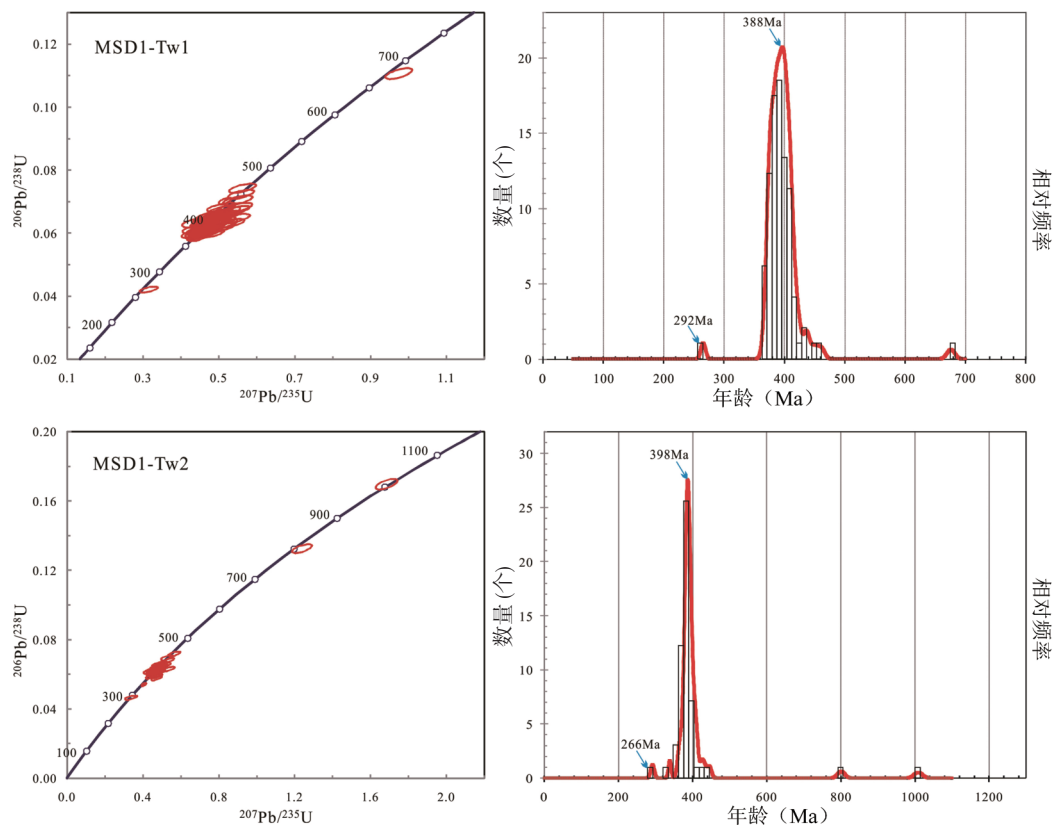


图6 苏红图坳陷 MSD1 井哈尔苏海组碎屑岩同位素年龄分布图

Fig. 6 Zircons U-Pb age and isotopic age distribution diagram of the MSD1 in Suhongtu sag

盆世(388 Ma、398 Ma)的碎屑锆石峰值,推测中泥盆世的岩浆岩为其提供了主要物源。两件粗砂岩样品分别获得了 292.2 Ma 与 265.6 Ma 的最小单颗粒锆石年龄,限定了该套粗砂岩的沉积下限为中二叠世(266 Ma 之后沉积),即认为这套地层形成时代不早于中二叠世。

3.4 地震剖面反射特征

地震反射产生于地层岩石中具有速度-密度差的物性界面,诸如地层界面、岩性界面、断层面、褶皱面、不整合面等。根据地震反射横向变化、地震反射几何和内部结构等进行地层对比,确定不同时代地层地震反射特征。

银额盆地晚华力西运动导致居延海坳陷挤压抬升,二叠系遭受不同程度的剥蚀,斜坡和凹陷区剥蚀作用较弱。前中生界(P+C)地震反射能量不均衡,时断时续,反映了以粗碎屑、泥岩、火山角砾岩、凝灰质泥岩、安山质凝灰岩等多种岩性地层的反射特点,这与上覆地层反射特征明显不同。前人认为二叠系的煤层及在二叠系中发现的叶肢介化石(卢进才等, 2018)均已厘定为中下侏罗统(李素萍等, 2021),认为该套侏罗纪地层与整个中国北方的早中侏罗世温暖潮湿的气候与含煤岩系高度统一。

通过地震标定及综合分析认为,凹陷内中生界地

震资料具有较高的信噪比,波组特征统一,断层归位准确,地质现象明显;白垩系反射连续性好、信噪比相对较高,反射结构清楚、内幕清晰、断点易于识别;剖面深层的地震资料在剖面上表现为信噪比、分辨率均比较低、产状不明等特点,部分测线深层隐约可见层状反射,但看不出内幕反射,层序界面不清楚,该资料仅能用于推测上古生界分布及构造特征。总体而言白垩系、上古生界两套构造层反射特征清楚。其中,白垩系底与二叠系呈明显角度不整合接触,具有下剥、上超特征;二叠系沉积后期遭受基底隆升作用,反转后形成现今的大型鼻隆构造;石炭系为次连续、中弱振幅的杂乱反射特征,与上覆二叠系呈不整合接触关系(图 7)。银额盆地中生界内部各构造层之间均呈小角度-微角度不整合接触,但中生界与前中生界构造层之间交角有大有小,陡缓不一,与其叠置在下伏岩层倾斜地层、背斜、向斜、背向斜、断背断向等不同构造侵蚀面之上而不同(张进学等, 2020)。

4 油气地质意义

一段时间以来银额盆地上古生界被认为是中生界沉积盆地的褶皱基底,直至 21 世纪初才有学者开展了以盆地上古生界作为石油地质调查的目的层系

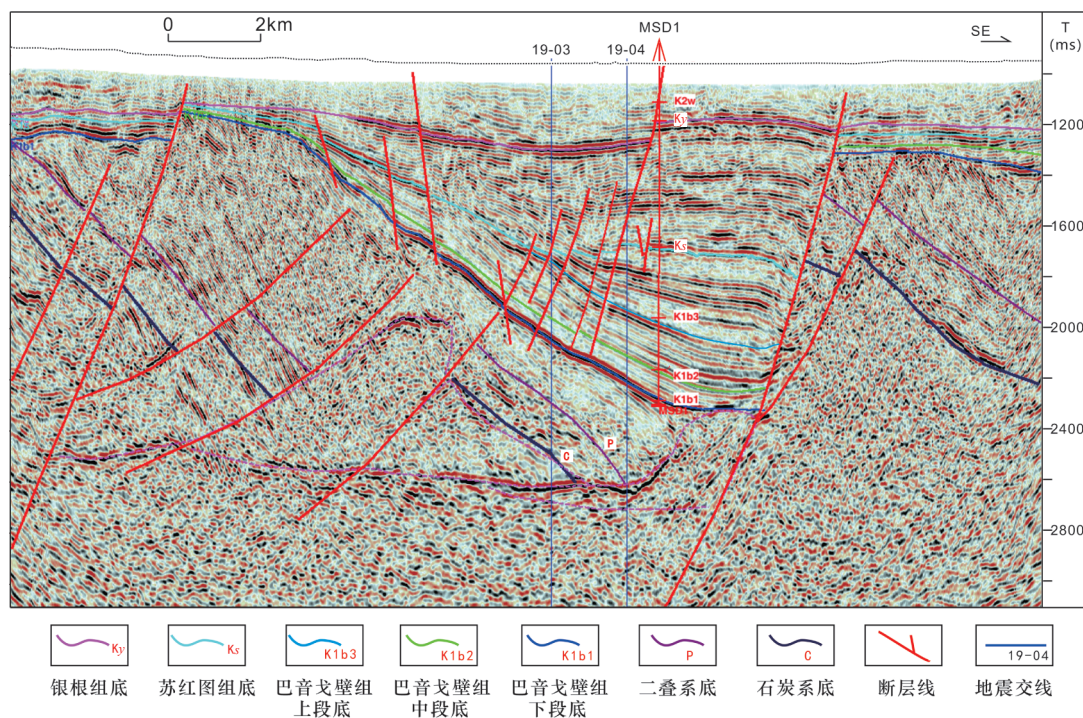


图7 苏红图坳陷过井 DZ1902 线地震剖面图

Fig. 7 Seismic profile of DZ1902 line in Suhongtu depression

的油气地质潜力研究(卢进才等, 2010, 2011; 陈践发等, 2011), 拉开了研究区上古生界油气地质调查的序幕, 但初期研究多以露头区地表地质调查为主及资源潜力评价为主, 盆地覆盖区内部的研究尚未涉及。

直至在盆地西部居延海坳陷路井凹陷祥探 9 井 2 441.7 m 处沉火山角砾岩和 3 015.0 m 处流纹安山质砾岩锆石年龄在(302.2±7.8)~(319.9±4.5)Ma 之间的发现, 首次论证了该区油气产层及油源层均为上石炭统(卢进才等, 2012)。随后, 赛汉陶来地区的煤层被确定为上石炭统—下二叠统干泉组(卢进才等, 2013)。2014 年, 居延海坳陷天草凹陷东斜坡的 X 井地层划分被修正, 将原分层为白垩系巴音戈壁组的地层厘定为二叠系下统隆林阶及以上地层(魏仙样等, 2014)。这一系列研究成果拉开了研究区上古生界油气地质调查新的篇章, 也开启了研究区盆地覆盖区深层油气产层及烃源岩层时代归属研究。

在研究区西部居延海坳陷希热哈达凹陷蒙额地 1 井二叠纪叶肢介的发现给研究区地层增添了新的古生物证据(卢进才等, 2018)。在该地层时代归属认识的基础上, 也有学者对居延海坳陷 0-1 井烃源岩进行研究, 认为该区二叠纪为弱氧化的沉积环境, 且烃源岩有机质以陆源高等植物贡献为主(金庆花等, 2015; 吕程等, 2015); 有学者利用蒙额地 1 井叶肢介及天 1 井地层岩性、电性特征等资料将前人划分的下白垩统巴音戈壁组归为二叠系, 并梳理了地震反射特征(张进学等, 2020); 有学者对该区暗色泥岩分布、有机质丰度、类型、成熟度、矿物组成等页岩油(气)地质条件进行了研究, 认为希热哈达地区二叠系具有良好的页岩油(气)资源前景(魏建设等, 2018)。但近期有学者利用蒙额地 1 井及希热哈达 10 口钻孔(ZK01-1~ZK01-10)孢粉植物群特征将叶肢介(*Cyclotunguzites* cf. *gazimuri* Novojilov, *Hemicycloleia ejinaqensis* Niu, *Polygrapta neimengguensis* Niu)发育的地层时代厘定为早—中侏罗世(李素萍等, 2021; 牛海青等, 2021); 有学者认为居延海坳陷天草凹陷的烃源岩数口天字号油气探井烃源岩层系为白垩系, 并对其烃源岩特征进行研究与“0-1 井”特征基本一致(Li et al., 2020)。

银额盆地中部哈日凹陷 Y 井、拐子湖凹陷拐参 1 井二叠系高产天然气产层的明确, 指示了研究区二叠系良好的油气资源前景(卢进才等, 2018)。但与此同

时, 有学者采集 YHC1 井火山岩样品(井深 3 386.0~3 471.0 m)开展 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 同位素测年结合该井下白垩统孢粉组合特征的发现, 认为高产油气层时代应归属下白垩统(陈治军等, 2018, 2019)。另有学者利用苏宏图坳陷哈日凹陷 H 井、巴北凹陷 YBC1 井、哈日凹陷 YHC1 井、YH2 井、YH3 井、拐子湖凹陷 X 井等钻井资料开展大量地层时代归属及油源对比分析研究(正构烷烃单体碳同位素特征、生物标志化合物特征)均认为, 银额盆地中部油气井高产层及烃源岩时代为下白垩统巴音戈壁组(王香增等, 2016; 陈治军等, 2018; 王萍等, 2019; 白晓寅等, 2020; Qi et al., 2021)。

银额盆地上古生界经历了后期(燕山、喜山)构造改造造山活动, 研究区存在二叠纪中期—二叠纪末、白垩纪早—晚期两期油气运移过程(韩伟等, 2015)。盆地中部苏红图坳陷由早白垩世初始断陷发育转变到晚白垩世长期的热沉降, 依据埋藏史模型及沉积速率的变化过程, 研究区中生代构造演化过程分为 4 个沉降阶段及 4 次剥蚀改造阶段(祁凯等, 2018)。哈日凹陷 YHC1 井的巴音戈壁组存在两期油气充注, 时间分别为 107~104 Ma 和 99 Ma, 对应苏红图组沉积中期和银根组沉积早期。斜坡带 H3 井也存在两期油气充注, 时间分别为 99 Ma 和 72~71 Ma, 对应银根组沉积早期和乌兰苏海组晚期。边缘带的 H2 井也存在两期油气充注, 时间分别为 85 Ma 和 75~71 Ma, 对应乌兰苏海组沉积中期和晚期。这种差异性是由凹陷复杂的地质条件、油气二次运移距离有限、近源成藏等原因所致(任来义等, 2019)。

总体认为, 银额盆地存在中生界成藏组合和上古生界成藏组合两套含油气系统, MSD1 井在两个层系均见到气测异常显示。中生界油气充注特征与盆地和其他凹陷已发现油气藏具有相似性, 古生界成藏模式及特征尚不明确, 需要进一步开展上古生界构造改造特征及油气成藏特征研究工作, 持续深化研究。

恩格尔乌苏缝合带中发育的放射虫组合其时代为早二叠世或中二叠世—晚二叠世早期。放射虫组合符合深水相组合特征, 且所在硅质岩层为灰绿色平整的薄层也指示深水沉积环境, 加之恩格尔乌苏蛇绿岩混杂岩带本身地质特征及地球化学性质具有洋壳性质。所以恩格乌苏断裂带在早二叠世和中二叠世晚期—晚二叠世早期存在着深水沉积盆地(谢力等, 2014)。锰结核作为海洋表层环境的典型产物, 恩格

尔乌断裂带在 N-MORB 型枕状玄武岩发育地层中发现菱锰矿和软锰矿也指示了研究区深水洋盆沉积的特征(宋博等, 2021)。

笔者认为, 研究区自二叠纪末期洋盆闭合后, 二叠纪末期—三叠纪早期继续挤压变形, 形成了中生代盆地基底, 银额盆地是在前中生界褶皱(变质)基底之上形成的、以中生界侏罗系和白垩系为主要沉积盖层的断陷群, 历经多期构造演化, 具有残留、改造盆地特征。结合 MSD1 井揭示地层和前人研究结果, 认为盆地二叠系原始烃源岩分布范围广、有机碳丰度较高, 但演化程度及保存状态受构造位置不同而差异较大, 地层岩性普遍发生了中—浅变质; 白垩系烃源岩发育层位、规模及成熟度受控于中生代原型湖盆规模及埋藏深度。因此, 银额盆地下一步勘探领域应兼顾两个领域: ①在上古生界原型盆地岩相古地理恢复的基础上, 应将研究区中生代以来构造活动及分区的研究作为重点, 确定构造改造活动较弱的位置为二叠系油气地质重点调查领域。②在中生代盆地形成背景研究的基础上, 应总结研究区中生代(侏罗纪、白垩纪)盆地控盆及分布规律, 确定有效烃源岩分布范围、深度及成熟度, 确定白垩系断陷湖盆近源勘探的有利区域。

5 结论

(1) 苏红图坳陷 MSD1 井 2 695.00~2 726.00 m 井段发现的 *Florinites*, *Vesicaspora*, *Striatoabieites*, *Vittatina* 和 *Hamiapollenites* 在中亚造山带南缘晚二叠世地层中均有发现, 指示 MSD1 井该段强变形含生物碎屑砂砾岩夹泥岩地层时代为二叠纪。

(2) 经过时深标定及层位追踪后明确银额盆地二叠系在盆地覆盖区广泛分布, 由于二叠系构造改造作用致使地震反射呈现弱反射—空白反射、中—弱振幅、层内连续性差、底界偶见强振幅连续界线的特征;

(3) 银额盆地内多口钻井发现白垩系、二叠系的两套含油气系统, 银额盆地二叠系原型盆地分布范围广、油气资源潜力丰富, 钻井烃源岩地球化学特征显示银额盆地二叠系具有丰富的油气勘探潜力。

参考文献(References):

白晓寅, 贺永红, 韩小锋, 等. 银额盆地哈日凹陷灰质泥岩气藏

识别技术[J]. 西北地质, 2020, 53(2): 270–279.

BAI Xiaoyin, HE Yonghong, HAN Xiaofeng, et al. Identification Technology of Grey Mudstone Gas Reservoir in Hari Sag of Yin'e Basin[J]. Northwestern Geology, 2020, 53(2): 270–279.

陈践发, 卢进才, 唐友军, 等. 内蒙古西部银根—额济纳旗盆地石炭系—二叠系暗色泥质岩有机质丰度变化特征和生烃潜力[J]. 地质通报, 2011, 30(6): 859–864.

CHEN Jianfa, LU Jincai, TANG Youjun, et al. Abundance Variation Characteristics and Hydrocarbon-Generating Potential of Organic Matter in Carboniferous-Permian Dark Argillaceous Rock of Yingen-Ejin Banner Basin, Western Inner Mongolia[J]. *Geological Bulletin of China*, 2011, 30(6): 859–864.

陈启林, 周洪瑞, 卫平生, 等. 内蒙西部银根—额济纳中生代盆地群叠置类型与勘探领域[J]. 西北地质, 2006, 39(1): 89–96.

CHEN Qilin, ZHOU Hongrui, WEI Pingsheng, et al. Superposed Basin Types and Exploration Realms in Mesozoic Yingen-Ejina Basins in the West of Nei Mongol[J]. Northwestern Geology, 2006, 39(1): 89–96.

陈治军, 高怡文, 刘护创, 等. 银根—额济纳旗盆地哈日凹陷下白垩统烃源岩地球化学特征与油源对比[J]. 石油学报, 2018, 39(1): 69–81.

CHEN Zhijun, GAO Yiwen, LIU Huchuang, et al. Geochemical Characteristics of Lower Cretaceous Source Rocks and Oil-Source Correlation in Hari Sag, Yingen-Ejinaqi Basin[J]. *Acta Petrolei Sinica*, 2018, 39(1): 69–81.

陈治军, 高怡文, 孟江辉, 等. 内蒙古银额盆地哈日凹陷下白垩统碎屑锆石 U-Pb 测年及其物源意义[J]. 古地理学报, 2018, 20(6): 1086–1101.

CHEN Zhijun, GAO Yiwen, MENG Jianghui, et al. Lower Cretaceous Detrital Zircon U-Pb Dating and its Provenance Significance in Hari Sag, Yingen-Ejinaqi Basin, Inner Mongolia[J]. *Journal of Palaeogeography*, 2018, 20(6): 1086–1101.

陈治军, 刘舵, 刘护创, 等. 银额盆地厚层粗碎屑岩沉积特征与地层沉积年代的厘定[J]. 沉积学报, 2018, 36(3): 468–482.

CHEN Zhijun, LIU Duo, LIU Huchuang, et al. Sedimentary Characteristics and Stratigraphic Age of the Thick-Bedded Coarse Clastic Rocks in the Yingen-Ejin Banner Basin, Northern China[J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2018, 36(3): 468–482.

陈治军, 马芳侠, 肖刚, 等. 银额盆地哈日凹陷巴音戈壁组精细油源对比[J]. 石油与天然气地质, 2019, 40(4): 900–916.

CHEN Zhijun, MA Fangxia, XIAO Gang, et al. Oil-Sources Rock Correlation of Bayingebi Formation in Hari Sag, Yingen-Ejinaqi Basin[J]. *Oil & Gas Geology*, 2019, 40(4): 900–916.

崔海峰, 韩小锋, 白晓寅, 等. 银额盆地构造单元划分与油气勘探方向[J]. 天然气工业, 2024, 44(7): 89–96.

CUI Haifeng, HAN Xiaofeng, BAI Xiaoyin, et al. Structural Unit Division and Petroleum Exploration Direction in the Yin'E Basin[J]. *Natural Gas Industry*, 2024, 44(7): 89–96.

甘立胜, 吴泰然, 陈彦, 等. 内蒙古阿拉善北缘尚丹岩体的年代学、地球化学特征及构造意义[J]. 岩石学报, 2018, 34(11):

- 3359–3374.
- GAN Lisheng, WU Tairan, CHEN Yan, et al. Geochronology and Geochemical Characteristics of the Shangdan Pluton in the Northern Margin of the Alxa Block, Inner Mongolia and its Tectonic Implications[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2018, 34(11): 3359–3374.
- 韩伟, 任战利, 卢进才, 等. 银额盆地石炭-二叠系包裹体成分特征对油气运移的讨论[J]. *吉林大学学报(地球科学版)*, 2015, 45(5): 1342–1351.
- HAN Wei, REN Zhanli, LU Jincai, et al. Discussion On Hydrocarbon Migration Based On Characteristics of Inclusions in Carboniferous- Permian of Yin'e Basin[J]. *Journal of Jilin University(Earth Science Edition)*, 2015, 45(5): 1342–1351.
- 金庆花, 魏仙样, 魏建设, 等. 内蒙古额济纳旗西部 Zk0-1 井二叠系烃源岩特征及其意义[J]. *地质通报*, 2015, 34(5): 953–960.
- JIN Qinghua, WEI Xianyang, WEI Jianshe, et al. Characteristics of Permian Hydrocarbon Source Rocks From Well ZK0-1, Western Ejina Banner, Inner Mongolia and their Significance[J]. *Geological Bulletin of China*, 2015, 34(5): 953–960.
- 李素萍, 柳永清, 旷红伟, 等. 银额盆地侏罗纪孢粉植物群的发现及其地层时代意义——以蒙额地 1 井为例[J]. *地质学报*, 2021, 95(5): 1382–1399.
- LI Suping, LIU Yongqing, KUANG Hongwei, et al. Palynoflora From the Jurassic of Yingen-Ejin Basin, NW China and its Implications for the Stratigraphy and Geochronology: A Case Study on MED-1 Drill Core[J]. *Acta Geologica Sinica*, 2021, 95(5): 1382–1399.
- 柳蓉, 闫旭, 刘招君, 等. 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)*, 2020, 50(2): 341–355.
- LIU Rong, YAN Xu, LIU Zhaojun, et al. 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)*, 2020, 50(2): 341–355.
- 卢进才, 陈高潮, 魏仙样, 等. 内蒙古西部额济纳旗及邻区石炭系—二叠系沉积后的构造演化、盖层条件与油气信息——石炭系—二叠系油气地质条件研究之三[J]. *地质通报*, 2011, 30(6): 838–849.
- LU Jincai, CHEN Gaochao, WEI Xianyang, et al. Post-Sedimentary Tectonic Evolution, Cap Rock Condition and Hydrocarbon Information of Carboniferous-Permian in Ejina Banner and its Vicinities, Western Inner Mongolia: A Study of Carboniferous-Permian Petroleum Geological Conditions (Part 3)[J]. *Geological Bulletin of China*, 2011, 30(6): 838–849.
- 卢进才, 牛绍武, 魏建设, 等. 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*, 2018, 37(01): 16–25.
- LU Jincai, NIU Shaowu, WEI Jianshe, et al. The Discovery of Permian *Estheria* in the Core of No. 1 Meng'edi Well, Western Yingen-Ejin Basin, and its Significance[J]. *Geological Bulletin of China*, 2018, 37(01): 16–25.
- 卢进才, 宋博, 牛亚卓, 等. 银额盆地哈日凹陷 Y 井天然气产层时代厘定及其意义[J]. *地质通报*, 2018, 37(01): 93–99.
- LU Jincai, SONG Bo, NIU Yazhuo, et al. The Age Constraints On Natural Gas Strata and its Geological Significance of Well Y in Hari Depression, Yingen-Ejin Basin[J]. *Geological Bulletin of China*, 2018, 37(01): 93–99.
- 卢进才, 魏仙样, 李玉宏, 等. 内蒙古西部额济纳旗祥探 9 井石炭系—二叠系烃源岩地球化学特征[J]. *地质通报*, 2012, 31(10): 1628–1638.
- LU Jincai, WEI Xianyang, LI Yuhong, et al. Geochemical Characteristics of Carboniferous-Permian Hydrocarbon Source Rocks of Xiangtan 9 Well in Ejina Banner, Western Inner Mongolia[J]. *Geological Bulletin of China*, 2012, 31(10): 1628–1638.
- 卢进才, 魏仙样, 魏建设, 等. 内蒙古西部额济纳旗及其邻区石炭系—二叠系油气地质条件初探[J]. *地质通报*, 2010, 29(Z1): 330–340.
- LU Jincai, WEI Xianyang, WEI Jianshe, et al. Petroleum Geological Conditions of Carboniferous- Permian in Ejina Banner and its Vicinities, Western Inner Mongolia, China[J]. *Geological Bulletin of China*, 2010, 29(Z1): 330–340.
- 卢进才, 魏仙样, 魏建设, 等. 内蒙古银额盆地额济纳旗赛汉陶来地区石炭系——二叠系煤层的发现及其意义[J]. *地质通报*, 2013, 32(10): 1653–1664.
- LU Jincai, WEI Xianyang, WEI Jianshe, et al. The Carboniferous-Permian Coal-Bearing Bed in Saihan Toroi Area of Ejina Banner within Yin'e Basin, Inner Mongolia, and its Significances[J]. *Geological Bulletin of China*, 2013, 32(10): 1653–1664.
- 卢进才, 魏仙样, 魏建设, 等. 银额盆地哈日凹陷 Y 井油气地球化学特征与油气源对比[J]. *地质通报*, 2018, 37(01): 100–106.
- LU Jincai, WEI Xianyang, WEI Jianshe, et al. Geochemical Characteristics and Oil-Source Correlation of Well Y in Hari Depression, Yingen-Ejin Basin[J]. *Geological Bulletin of China*, 2018, 37(01): 100–106.
- 罗正江, 王睿, 詹家祯, 等. 新疆准噶尔盆地东北缘孔雀坪剖面二叠纪金沟组孢粉组合及其地层意义[J]. *微体古生物学报*, 2014, 31(03): 311–319.
- LUO Zhengjiang, WANG Rui, ZHAN Jiazhen, et al. Sporopollen Assemblage From the Permian Jingou Formation at the Kongqueping Section in the Northeast Margin of the Junggar Basin, Xinjiang, NW China and its Stratigraphical Significance[J]. *Acta Micropalaeontologica Sinica*, 2014, 31(03): 311–319.
- 吕程, 张敏, 李洪波. 内蒙古银额盆地居延海坳陷 0-1 井烃源岩地球化学特征[J]. *长江大学学报(自科版)*, 2015, 12(29): 13–17.
- LU Cheng, ZHANG Min, LI Hongbo. Geochemistry Characteristics of Hydrocarbon Source Rocks in Well 0-1 of Juyanhai Depression in Yin'E Basin of Inner Mongolia[J]. *Journal of Yangtze University (Natural Science Edition)*, 2015, 12(29): 13–17.
- 牛海青, 韩小锋, 吴俊, 等. 甘蒙地区北山盆地群含煤系地层时代归属[J]. *地质科技通报*, 2021, 40(06): 32–42.
- NIU Haiqing, HAN Xiaofeng, WU Jun, et al. Age Attribution of Coal

- Bearing Strata in Beishan Basin Group, Ganmeng Area[J]. Bulletin of Geological Science and Technology, 2021, 40(06): 32–42.
- 欧阳舒, 朱怀诚, 高峰. 内蒙古准格尔旗早二叠世早期煤层孢子花粉——古生态个案分析[J]. 古生物学报, 2003(03): 428–441.
- OUYANG shu, ZHU Huaicheng, GAO Feng. Early Early Permian Spores From Coals of the Heidaigou Coal-Mine, Jungar Qi, Nei Mongol: a Case Study of Palaeoecology[J]. Acta Palaeontologica Sinica, 2003(03): 428–441.
- 齐雪峰, 何云生, 赵亮, 等. 新疆三塘湖盆地二叠系芦草沟组古生态环境[J]. 新疆石油地质, 2013, 34(06): 623–626.
- QI Xuefeng, HE Yunsheng, ZHAO Liang, et al. Palaeoecological Environment of Permian Lucaogou Formation of Santanghu Basin in Xinjiang[J]. Xinjiang Petroleum Geology, 2013, 34(06): 623–626.
- 祁凯, 任战利, 崔军平, 等. 银额盆地苏红图坳陷西部中生界烃源岩热演化史恢复[J]. 地球科学, 2018, 43(06): 1957–1971.
- QI Kai, REN Zhanli, CUI Junping, et al. Thermal History Reconstruction of Mesozoic Source Rocks in Western of Suhongtu Depression, Inner Mongolia, Northern China[J]. Earth Science, 2018, 43(06): 1957–1971.
- 任来义, 贺永红, 陈治军, 等. 银额盆地哈日凹陷巴音戈壁组流体包裹体特征与油气成藏期次[J]. 中国石油勘探, 2019, 24(06): 709–720.
- REN Laiyi, HE Yong hong, CHEN Zhijun, et al. Fluid Inclusion Characteristics and Hydrocarbon Accumulation Periods of Bayingebi Formation in Hari Sag, the Yingen-Ejinaqi Basin[J]. China Petroleum Exploration, 2019, 24(06): 709–720.
- 宋博, 许伟, 计文化, 等. 中亚造山带恩格尔乌苏蛇绿混杂岩中发现大洋型锰结核[J]. 中国地质, 2021, 48(04): 1302–1303.
- SONG Bo, XU Wei, JI Wenhua, et al. Discovery of Oceanic Manganese Nodules in the Enger Us Ophiolitic Mélange in the Central Asian Orogenic Belt[J]. Geology in China, 2021, 48(04): 1302–1303.
- 宋博, 张慧元, 魏东涛, 等. 中亚造山带南缘中—新元古代地壳的揭示——来自北山—阿拉善北部钻遇碱性花岗岩的年代学和 Hf 同位素示踪研究[J]. 地球学报, 2021, 42(01): 9–20.
- SONG Bo, ZHANG Huiyuan, WEI Dongtao, et al. Revelation of the Meso–Neoproterozoic Crust On the Southern Margin of the Central Asian Orogenic Belt: Chronology and Hf Isotope Tracer From Drilling-Intersected Alkaline Granites, Northern Beishan–Alxa[J]. Acta Geoscientica Sinica, 2021, 42(01): 9–20.
- 王蕙. 塔里木盆地棋盘-杜瓦地区早二叠世孢粉植物群及生态环境[J]. 古生物学报, 1989(03): 402–414.
- WANG Hui. Early Permian Sporopollen Flora and Ecological Environment in Qipan-DUWA Area, Tarim Basin[J]. Acta Palaeontologica Sinica, 1989(03): 402–414.
- 王萍, 向连格, 姜海健, 等. 银根—额济纳旗盆地拐子湖凹陷白垩系油源对比分析[J]. 石油实验地质, 2019, 41(03): 427–434.
- WANG Ping, XIANG Liange, JIANG Haijian, et al. Cretaceous Oil-Source Correlation in Guaizihu Sag, Yin'Gen-E'Ji'Naqi Basin[J]. Petroleum Geology and Experiment, 2019, 41(03): 427–434.
- 王香增, 陈治军, 任来义, 等. 银根—额济纳旗盆地苏红图坳陷 H 井钻石 LA-ICP-MSU-Pb 定年及其地质意义[J]. 沉积学报, 2016, 34(05): 853–867.
- WANG Xiangzeng, CHEN Zhijun, REN Laiyi, et al. U-Pb Age of Zircon and its Geological Significance in Suhongtu Depression, Yingen-Ejinaqi Basin[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2016, 34(05): 853–867.
- 魏建设, 王宝文, 乔世海, 等. 内蒙古西部额济纳旗希热哈达地区二叠系页岩油(气)地质条件初探[J]. 西北地质, 2018, 51(03): 200–213.
- WEI Jianshe, WANG Baowen, QIAO Shihai. A Preliminary Study On the Geological Conditions of the Permian Shale Oil(Gas) in Xirehada Area, Western Inner Mongolia[J]. Northwest Geology, 2018, 51(03): 200–213.
- 魏建设, 赵琳雁, 周俊林, 等. 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, 2023, 56(5): 332–342.
- WEI Jianshe, ZHAO Linyan, ZHOU Junlin, et al. Geochemical Characteristics of Crude Oil in Jigeda Sag of Yingen–Ejin Basin and Its Significances[J]. Northwestern Geology, 2023, 56(5): 332–342.
- 魏仙样, 卢进才, 魏建设, 等. 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, 2014, 33(9): 1409–1416.
- WEI Xianyang, LU Jincai, WEI Jianshe, et al. 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, 2014, 33(9): 1409–1416.
- 吴晓智, 何登发, 陈晓明, 等. 银根—额济纳旗盆地石油地质特征与资源潜力[J]. 地质科学, 2020, 55(2): 404–419.
- WU Xiaozhi, HE Dengfa, CHEN Xiaoming, et al. Geological Characteristics and Resource Potential of the Yingen-Ejin Banner Basin[J]. Chinese Journal of Geology, 2020, 55(2): 404–419.
- 谢力, 尹海权, 周洪瑞, 等. 内蒙古阿拉善地区恩格尔乌苏缝合带二叠纪放射虫及其地质意义[J]. 地质通报, 2014, 33(5): 691–697.
- XIE Li, YIN Haiquan, ZHOU Hongrui, et al. Permian Radiolarians From the Engeerwusu Suture Zone in Alxa Area of Inner Mongolia and its Geological Significance[J]. Geological Bulletin of China, 2014, 33(5): 691–697.
- 邢智峰, 付玉鑫, 郑伟, 等. 豫西宜阳上二叠统孙家沟组孢粉组合及其地质意义[J]. 古地理论, 2021, 23(05): 901–918.
- XING Zhifeng, FU Yuxin, ZHENG Wei, et al. Sporopollen Assemblage of the Upper Permian Sunjiagou Formation in Yiyang Area, Western Henan Province and its Geological Significance[J]. Journal of Palaeogeography (Chinese Edition), 2021,

- 23(05): 901–918.
- 尹凤娟, 刘洪福, 华洪. 三塘湖盆地晚二叠世芦草沟组孢粉组合[J]. *石油与天然气地质*, 2002, 23(4): 392–396.
- YIN Fengjuan, LIU Hongfu, HUA Hong. Late Permian Sporopollen Assemblage From Lucaogou Formation in Santanghu Basin[J]. *Oil & Gas Geology*, 2002, 47(4): 392–396.
- 尹海权, 周洪瑞, 程瑞, 等. 内蒙古阿拉善北部杭乌拉地区圆包山组时代、沉积特征及大地构造意义[J]. *沉积学报*, 2015, 33(04): 665–678.
- YIN Haiquan, ZHOU Hongrui, CHENG Rui, et al. The Age, Sedimentary Characteristics and Tectonic Significance On the Yuanbaoshan Formation in the Southern Margin of the Siberian Plate, North of Alxa, Inner Mongolia[J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2015, 33(04): 665–678.
- 张德军, 张健, 郑月娟, 等. 内蒙古自治区兴安盟突泉盆地 Td-2 井晚二叠世孢粉的发现及其油气地质意义[J]. *中国地质*, 2020, 47(03): 798–809.
- ZHANG Dejun, ZHANG Jian, ZHENG Yuejuan, et al. Discovery of Late Permian Pollen and Spores in TD-2 Borehole in Tuquan Basin of Hinggan League of Inner Mongolia and their Oil and Gas Geological Implications[J]. *Geology in China*, 2020, 47(03): 798–809.
- 张海华, 李晓海, 张健, 等. 松辽盆地北部上二叠统林西组古生物年代学、地球化学特征及地质意义[J]. *现代地质*, 2021, 35(02): 568–578.
- ZHANG Haihua, LI Xiaohai, ZHANG Jian, et al. Paleochronology, Geochemical Characteristics, and Geological Significance of the Upper Permian Linxi Formation in the Northern Songliao Basin[J]. *Geoscience*, 2021, 35(02): 568–578.
- 张洪安, 李继东, 王学军, 等. 银额盆地形成演化及油气勘探展望[J]. *石油实验地质*, 2020, 42(05): 780–789.
- ZHANG Hong'an, LI Jidong, WANG Xuejun, et al. Formation and Evolution of Yin'gen-E'ji'naqi Basin and Prospects for Oil and Gas Exploration[J]. *Petroleum Geology & Experiment*, 2020, 42(05): 780–789.
- 张进学, 李付雷, 孙博, 等. 银额盆地居延海坳陷地层归属探讨[J]. *石油地球物理勘探*, 2020, 55(04): 892–897.
- ZHANG Jinxue, LI Fulei, SUN Bo, et al. Formation Classification of Juyanhai Depression in Yin-E Basin[J]. *Oil Geophysical Prospecting*, 2020, 55(04): 892–897.
- 郑小明, 尹海权, 高磊, 等. 内蒙古阿拉善北部杭乌拉地区早古生代硅质岩地球化学特征及其构造意义[J]. *古地理学报*, 2017, 19(3): 491–502.
- ZHENG Xiaoming, YIN Haiquan, GAO Lei, et al. Geochemical Characteristics and its Tectonic Significance of the Early Paleozoic Siliceous Rocks in Hangwula Area of Northern Alxa, Inner Mongolia[J]. *Journal of Palaeogeography*, 2017, 19(3): 491–502.
- 郑月娟, 张健, 陈树旺, 等. 内蒙古阿鲁科尔沁旗陶海营子剖面林西组化石新发现[J]. *地质通报*, 2013, 32(08): 1269–1276.
- ZHENG Yuejuan, ZHANG Jian, CHEN Shuwang, et al. New Fossil Discovery Along the Section of Linxi Formation at Taohaiyingzi in Ar Horqin Banner, Inner Mongolia[J]. *Geological Bulletin of China*, 2013, 32(08): 1269–1276.
- 朱怀诚. 塔里木盆地二叠系孢粉组合及生物地层学[J]. *古生物学报*, 1997(S1): 40–61.
- ZHU Huaicheng. Permian Sporopollen Assemblages and Biostratigraphy in Tarim Basin[J]. *Acta Palaeontologica Sinica*, 1997(S1): 40–61.
- Chen Yan, Gan Lisheng, Wu Tairan. The Carboniferous-Permian Tectonic Setting for the Southernmost Central Asian Orogenic Belt: Constraint From Magmatic and Sedimentary Records in the Alxa Area, NW China[J]. *Lithos*, 2021, 398–399, 106350.
- Chen Yan, Wu Tairan, Gan Lisheng, et al. Provenance of the Early to Mid-Paleozoic Sediments in the Northern Alxa Area: Implications for Tectonic Evolution of the Southwestern Central Asian Orogenic Belt[J]. *Gondwana Research*, 2019, 67115–130.
- Li Tianjun, Huang Zhilong, Yin Yue, et al. Sedimentology and Geochemistry of Cretaceous Source Rocks From the Tiancao Sag, Yin'e Basin, North China: Implications for the Enrichment Mechanism of Organic Matters in Small Lacustrine Rift Basins[J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 2020, 204.
- Liu Qian, Zhao Guochun, Han Yigui, et al. Timing of the Final Closure of the Paleo-Asian Ocean in the Alxa Terrane: Constraints From Geochronology and Geochemistry of Late Carboniferous to Permian Gabbros and Diorites[J]. *Lithos*, 2017, 274–275.
- Qi Kai, Ren Zhanli, Chen Zhipeng, et al. Characteristics and Controlling Factors of Lacustrine Source Rocks in the Lower Cretaceous, Suhongtu Depression, Yin'e Basin, Northern China[J]. *Marine and Petroleum Geology*, 2021, 127.
- Zheng Rongguo, Li Jinyi, Xiao Wenjiao, et al. A New Ophiolitic Melange Containing Boninitic Blocks in Alxa Region; Implications for Permian Subduction Events in Southern CAOB[J]. *Di xue qian yuan.*, 2018, 9(5): 1355–1367.
- Xie Fenquan, Wu Jinghua, Sun Yonghe, et al. Permian to Triassic Tectonic Evolution of the Alxa Tectonic Belt, NW China: Constraints From Petrogenesis and Geochronology of Felsic Intrusions[J]. *Lithos*, 2021, 384–385, 105980.
- Zhang Jin, Cunningham Dickson, Qu Junfeng, et al. Poly-Phase Structural Evolution of the Northeastern Alxa Block, China: Constraining the Paleozoic-Recent History of the Southern Central Asian Orogenic Belt[J]. *Gondwana Research*, 2022, 10525–50.
- Zheng Rongguo, Wu Tairan, Zhang Wen, et al. Late Paleozoic Subduction System in the Northern Margin of the Alxa Block, Altaids: Geochronological and Geochemical Evidences From Ophiolites[J]. *Gondwana Research*, 2014, 25(2): 842–858.