

doi: 10.12029/gc20170102

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.

Lu Jincan, 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).

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

卢进才¹ 张洪安² 牛亚卓¹ 刘护创³ 陈清棠² 魏建设¹

(1. 中国地质调查局西安地质调查中心, 陕西 西安 710054; 2. 中国石油化工股份有限公司中原油田分公司, 河南 濮阳 457001;
3. 陕西延长石油(集团)有限责任公司, 陕西 西安 710075)

摘要: 通过开展石炭纪—二叠纪盆地形成演化、沉积充填、烃源岩分布与地球化学特征、烃源岩热演化史, 以及石炭系—二叠系沉积之后的构造沉积演化与油气保存条件的综合研究, 提出了银额盆地为石炭纪—二叠纪与中生代叠合盆地的新认识, 查明石炭系—二叠系为陆内裂谷盆地沉积产物, 发育多套厚度大、有机质丰度中等—高、干酪根类型以 II 型为主、演化程度中等—高的良好烃源岩, 明确了其油气地质条件。优选的油气远景区经国土资源部竞争性出让, 企业加大勘探投入, 于务桃亥勘查区拐子湖凹陷首钻(拐参 1 井)获初期日产原油 51.67 m³、天然气 7290 m³ 的工业油气流, 温图高勒苏木勘查区哈日凹陷首钻(延哈参 1 井)获日产天然气 9.15 万 m³(无阻流量)的工业气流及少量凝析油, 实现了 1955 年勘探以来油气的重大突破。通过对 2 口油气突破井产层时代的厘定, 以及油气源的对比, 明确了油气产层时代为二叠纪, 指明了石炭系—二叠系良好的油气资源前景, 应为区内油气勘探的主要目的层。

关键词: 内蒙古西部; 阿拉善盟; 银额盆地; 石炭纪—二叠纪; 叠合盆地; 油气突破

中图分类号: P618.130.1 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-3657(2017)01-0013-20

Carboniferous–Permian petroleum conditions and exploration breakthrough in the Yingen–Ejin Basin in Inner Mongolia

LU Jincan¹, ZHANG Hongan², NIU Yazhuo¹, LIU Huchuang³,
CHEN Qingtang², WEI Jianshe¹

(1. Xi'an Center of China Geological Survey, Xi'an 710054, Shaanxi, China; 2. Sinopec Zhongyuan Oilfield, Puyang 457001, Henan; 3. Shaanxi Yanchang Petroleum (Group) Corp. Ltd, Xi'an 710075, Shaanxi)

Abstract: Lots of geological and petroleum studies have been conducted in the Yingen–Ejin (YE) Basin in such aspects as the evolution of the Carboniferous–Permian basin, the sedimentary filling, the regional distribution and geochemical characteristics of source rocks, the thermal evolution history of hydrocarbon source rocks, and the tectonic and sedimentary evolution and hydrocarbon preservation after the Carboniferous–Permian deposition. Based on the achievements obtained from these studies, the

收稿日期: 2017-02-02; 改回日期: 2017-02-13

基金项目: 中国地质调查局地质调查项目(1212011120962、121201011000150012)联合资助。

作者简介: 卢进才, 男, 1961 年生, 教授级高级工程师, 油气地质专业, 从事石油天然气勘探与开发研究; E-mail: shiyou2002@163.com。

authors hold that the Yingen–Ejin Basin is composed of superimposed basins composed of a Carboniferous–Permian continental rift basin and Mesozoic inland basins. Petroleum prosperity is proved by the existence of several Carboniferous–Permian source strata characterized by great thickness, moderate–high abundance of organic matter, the existence of main kerogen type II, and moderate–high evolution stage. The preferred oil and gas prospecting areas were sold by the Ministry of Land and Resources, and the enterprises have increased the investment of the exploration. The first drilling hole (Guaican 1st Well) of the Guaizihu depression in the Wutaohu exploration area obtained the initial daily production of 51.67 m³ oil and 7290 m³ natural gas (open flow potential) with a small amount of condensate gas, and the first drilling hole (Yanhacan 1st Well) of the Hari depression in the Wentugaole exploration area received the industrial gas flow of 91500 m³ daily production (open flow potential) with a small amount of condensated oil. These achievements realize the great breakthrough of oil and gas exploration which started in 1955. Based on the age constraints on the oil and gas strata in the two wells and the comparison of oil and gas sources, the authors consider that the ages of oil and gas strata should be the Permian. Additionally, the Carboniferous–Permian strata should be the main objects of oil and gas exploration in that they have great prospects of resources.

Key words: Yingen–Ejin Basin; Carboniferous–Permian; superimposed basins; petroleum breakthrough

About the first author: LU Jincai, male, born in 1961, professor, engages in petroleum exploration and development research; E-mail: shiyou2002@163.com.

Found support: Supported by China Geological Survey Project (No. 1212011120962, 121201011000150012).

1 引 言

银额盆地位于内蒙古自治区西部阿拉善盟境内,面积约12.3万km²(图1),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。自1955年起前人在银额盆地开展以中生界为目的层的油气勘探以来,一直未取得大的突破。

银额盆地古生代构造位置位于中亚构造域中段,虽然沉积并残留了厚度大于5000 m,岩性组合以碎屑岩+火山岩为主的石炭系一二叠系,但受“石炭纪一二叠纪碰撞造山”(Xiao et al., 2010; 2015),以及“石炭系一二叠系遭受多期次区域变质”(耿元生等, 2016)等传统认识的影响,石炭系一二叠系长期被作为中生代盆地的基底,几乎成为油气地质研究与勘探的禁区。区内石炭纪一二叠纪层序地层、原型盆地结构、沉积充填与岩相古地理,以及烃源岩分布与地球化学特征、烃源岩热演化史与主要成烃期、油气保存条件等油气地质问题研究几乎为空白。

2007年以来,中国地质调查局为了探索新区、新层系油气地质条件与资源潜力,首次在银额盆地开展以石炭系一二叠系为目的层的油气地质调查。采取基础地质与油气地质紧密结合,通过大量野外地质调查获得了第一手资料,解决了影响油气地质条件评价的关键地质问题(卢进才等, 2010;

2011a; 2013),并实施少量地球物理勘查、地质调查钻井验证了中生界覆盖区石炭系一二叠系分布及其含油气系统的存在。在此基础上优选的油气远景区,经国土资源部竞争性出让油气勘查区块,企业加大勘探投入,实现新区新层系油气的重大突破。但由于中生代盆地覆盖区揭示石炭纪一二叠系的钻井极少,而且仅揭示了二叠系上部地层,钻井地层划分对比与油气产层时代、油气资源潜力与勘探前景仍存在不同认识,制约了区内进一步的油气地质调查与勘探。

本文拟通过对银额盆地油气基础地质调查在石炭纪一二叠纪地层划分对比与地层格架的建立、沉积充填特征研究与岩相古地理恢复、烃源岩分布与地球化学特征、烃源岩热演化史与主要成烃期、石炭系一二叠系沉积之后的构造改造与油气保存等基础地质与油气地质调查成果的系统总结,以及对拐参1井、延哈参1井等典型突破井油气产层时代的厘定与油气源对比,进一步探讨石炭系一二叠系油气地质条件与资源前景,为油气基础地质调查与勘探部署提供依据;同时,希望为具有类似构造与盆地演化、沉积充填背景的天山—兴蒙构造带石炭系一二叠系油气基础地质调查与勘探提供借鉴。

2 地质概况

银额盆地构造演经历了中—新元古代沉积变

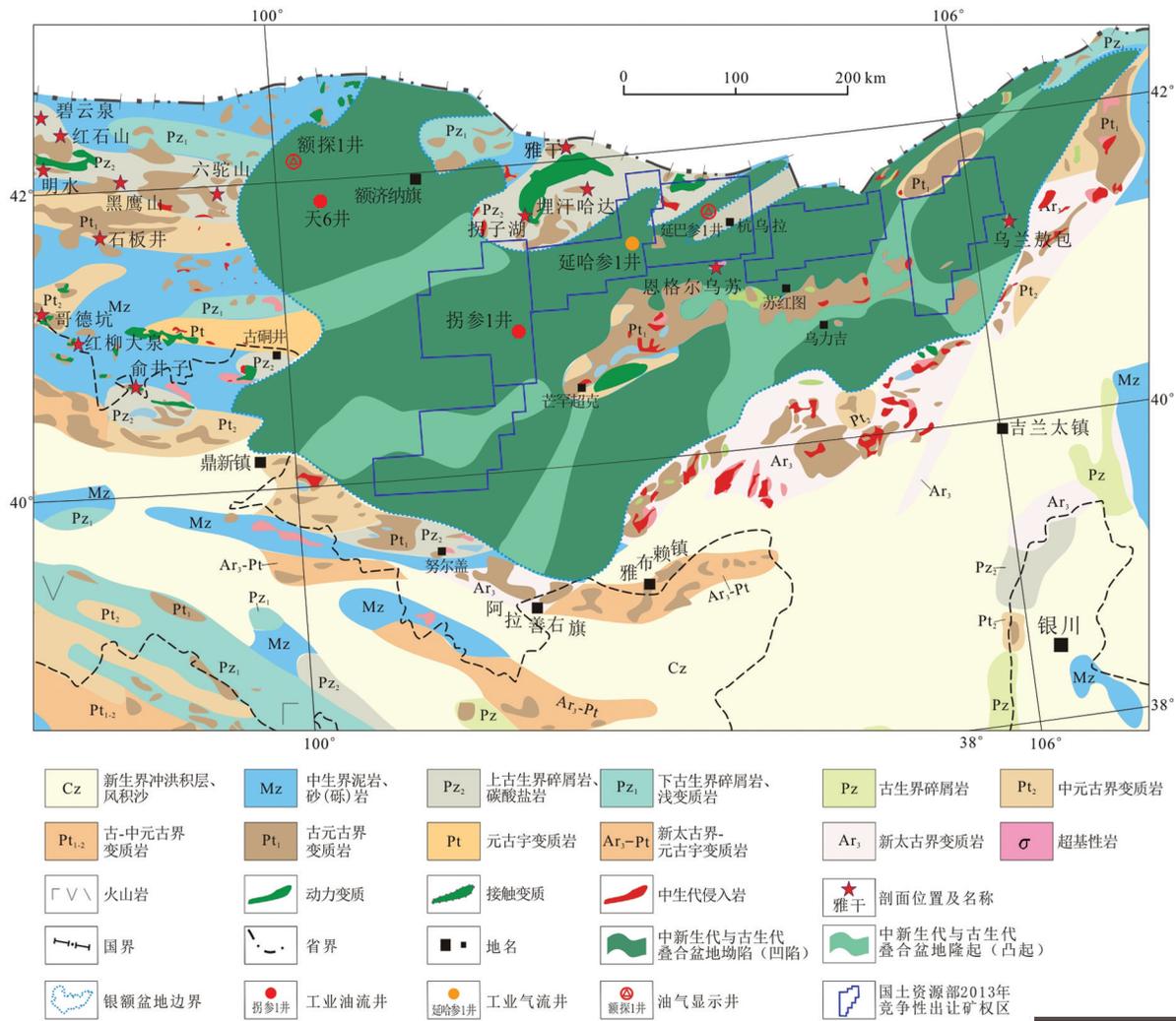


图1 银额盆地与周缘地质略图及剖面(钻井)位置图

Fig. 1 Geological map of the Yingen-Ejin Basin and adjacent areas showing the locations of sections and wells

质基底形成阶段、南华纪—泥盆纪洋陆转换阶段、石炭纪—二叠纪板内裂谷盆地演化阶段,以及中生代—新生代内陆盆山演化阶段(卢进才等, 2012),形成了中生代与石炭纪—二叠纪叠合盆地(图1)。盆地周缘广泛分布早石炭世晚期—晚二叠世地层,其岩性为火山岩+碎屑岩组合,局部发育碳酸盐岩。上石炭统及二叠系发育多套浅海陆棚相暗色泥岩,为良好烃源岩;盆内地球物理资料指示了石炭系—二叠系赋存,并得到钻井验证。中生代地层分布差异较大,三叠系零星分布,以山麓冲洪积紫红色粗碎屑岩为主;侏罗系在盆地西缘及北山地区有分布,主要为一套河流沼泽相碎屑岩夹煤系地层;白垩纪为中生代盆地发育的主要时期,盆内广泛分布

白垩系,为河流—湖泊相沉积的碎屑岩组合,其中,深湖—半深湖相泥页岩具有生油潜力,盆地中东部下白垩统苏宏图组发育一套以玄武岩为主的火山岩(卫平生等, 2006)。

3 地层沉积研究

3.1 石炭纪—二叠纪层序地层厘定

银额盆地及周缘石炭纪—二叠纪地层划分对比与综合研究工作十分薄弱,基本沿用20世纪60—70年代1:20万区域地质调查的地层划分方案。其中,下石炭统绿条山组和白山组的时代主要依照延限较长的腕足类、珊瑚化石,且缺少火山岩同位素年龄依据。区域上广泛分布的晚石炭世—早二叠

世干泉组在北山地区北部缺失,部分学者对地层划分方案提出了质疑(丁培榛, 1985; 杨帅师等, 2005; 王惠等, 2007); 1:20万区地调报告将石炭系一二叠系内划出多个不整合,也有学者提出了质疑(牛亚卓等, 2013)。

银额盆地及周缘油气基础地质调查对石炭系

一二叠系主要地层剖面进行了实测,采集了大量火山岩锆石年龄样品、古生物样品,确定了关键不整合面,重新厘定了石炭纪一二叠纪地层层序,建立了地层对比格架(图2)。

3.1.1 早石炭世地层时代的厘定

在梳理研究区地层划分对比存在的问题的基

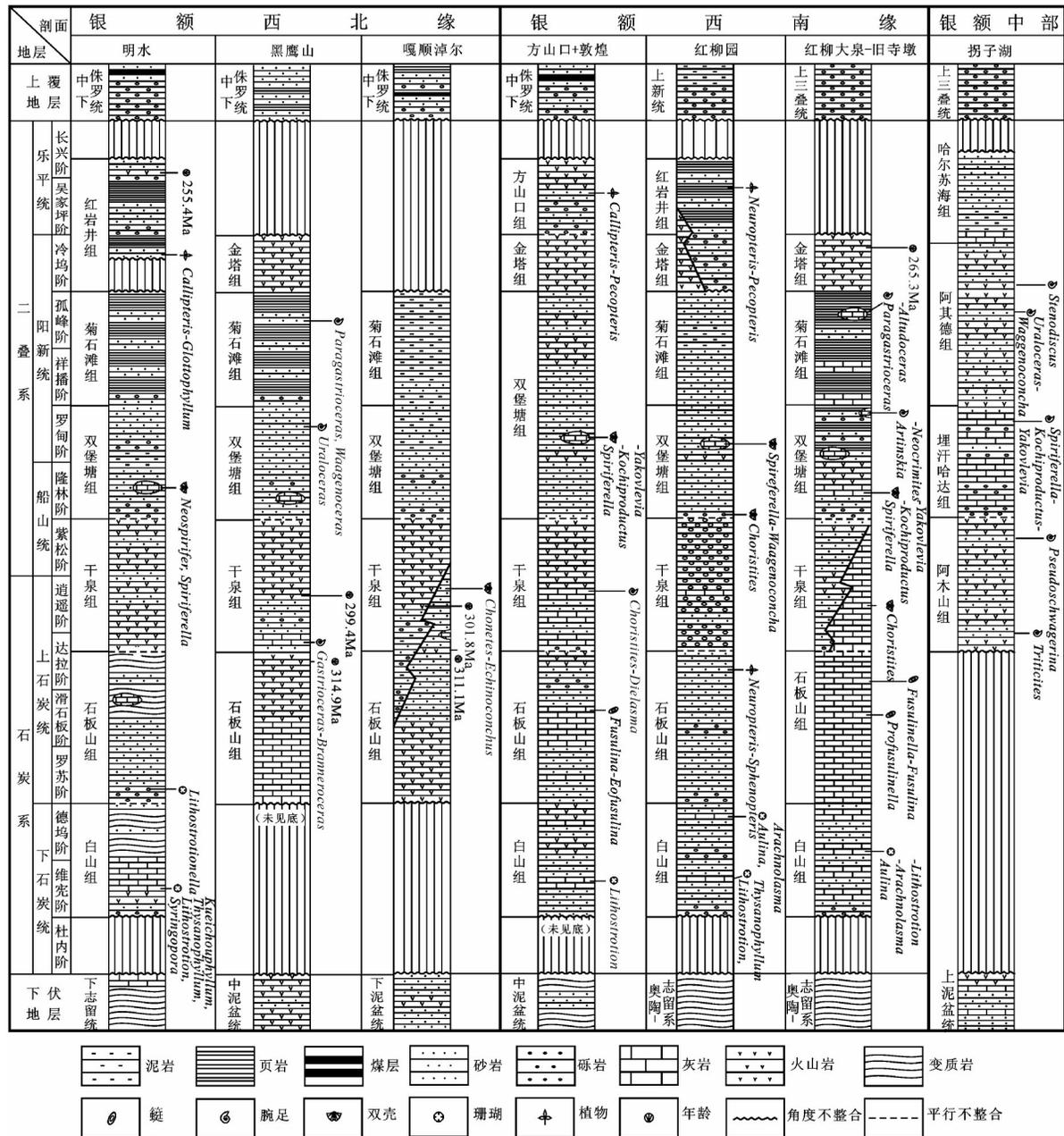


图2 银额盆地及周缘石炭纪一二叠纪地层对比格架

Fig. 2 Carboniferous-Permian stratigraphic correlation framework in the Yingen-Ejin Basin and adjacent areas

基础上,以火山岩锆石年龄、古生物化石分析资料为依据,对下石炭统绿条山组和部分白山组剖面进行了修订。原划为下石炭统绿条山组和部分白山组获得的火山岩锆石年龄指示为上石炭统一下二叠统干泉组(290~312 Ma),或为下古生界(或泥盆系)(363~451 Ma)(卢进才等, 2013; 牛亚卓等, 2014; 贾元琴等, 2016),并在碎石山等剖面原“绿条山组”采集到了代表晚石炭世的菊石化石 *Gastrioceras-Branneroceras*(卜建军等, 2014)。修订的绿条山组剖面包括甜水井北、碎石山;修订的白山组剖面包括碧云泉、甜水井、黑鹰山、哈珠南、六驼山、哥德坑东、东三羊井东南、绿洲井东北、石板泉等。

3.1.2 主要岩石地层单元接触关系的厘定

1:20万区域地质调查将银额盆地及周缘石炭系—二叠系内部划分出多个区域角度不整合界面,并有学者将其作为古亚洲洋闭合的时限。

本次研究开展的野外地质调查对所谓的“不整合界面”一一进行了核实,具体可分为3种情况:①不整合确实存在,不整合面之下为前石炭系,获得的大量火山岩锆石年龄为(363.5±2.7)~(451.1±2.7) Ma,指示为早古生代或晚古生代泥盆纪地层,如公路井剖面原“白山组(C₁b)”被干泉组(C₂P₁g)不整合覆盖,获得的白山组火山岩锆石年龄为(451.1±2.7) Ma,指示为干泉组与志留系的不整合;②所谓“不整合”为火山作用形成的火山岩高地的超覆沉积形成的角度差,如碧云泉剖面原“白山组(C₁b)”深灰色晶屑英安岩锆石谐和年龄为(312.0±6.3) Ma,原划“双堡塘组(P₁s)”灰白色英安岩锆石谐和年龄为(302.1±9.6) Ma,而且上下岩性一致,所谓的不整合实为干泉组(C₂P₁g)内部火山岩高地的超覆沉积;③所谓的“不整合”实际为断层接触,如红柳泉北剖面,在前人所划的下石炭统白山组与下二叠统双堡塘组“不整合面”发现断层泥,并获得原“白山组”火山岩锆石年龄为(264.26±0.83) Ma ($n=29$, MSWD=0.68),指示断层下盘为中二叠统金塔组。

综合而言,银额盆地及周缘石炭纪与二叠纪地层之间不存在区域不整合,下石炭统一中二叠统以连续沉积为主,盆地边缘存在上超或下超沉积,局部存在地层缺失的平行不整合;晚二叠世海水逐渐退出,银额盆地西部及北山地区,以及南部广大地区以陆相火山岩沉积为主,仅银额盆地东部的拐子

湖—雅干一线以东为海相沉积,上二叠统与中二叠统以平行不整合接触为主。

3.1.3 石炭纪—二叠纪地层对比格架

在典型剖面地层时代厘定的基础上,建立了石炭纪—二叠纪地层层序,明确了石炭纪—二叠纪地层时空分布(图2),北山地区最早接受沉积为早石炭世大塘期,对应的岩石地层单元为白山组,代表了石炭纪—二叠纪裂谷盆地的初始演化阶段,沉积了一套碎屑岩与碳酸盐岩,夹少量火山岩的岩性组合。

晚石炭世罗苏期—达拉期,沉积范围扩大,北山地区及银额盆地发育一套滨海—浅海相碎屑岩夹少量火山岩,局部发育碳酸盐岩的岩性组合,代表了晚石炭世早期的上超沉积;对应的岩石地层单元为石板山组。晚石炭世小独山期—早二叠世紫松期,沉积范围达到最大,代表了盆地演化的鼎盛时期,研究区广泛沉积了一套滨海相—浅海相(或浅海火山岩相),岩性为碎屑岩+火山岩(以中酸性火山岩、火山碎屑岩为主,顶部为碎屑岩),局部发育碳酸盐岩的岩性组合。由西向东火山岩减少,碎屑岩增加,对应的岩石地层单元北山地区为干泉组,银额盆地东部为阿木山组(Yin et al., 2016)。

早—中二叠世(隆林期—罗甸期)沉积范围逐渐缩小,北山地区北部以碎屑岩为主,南部以碳酸盐岩台地相沉积为主夹碎屑岩(Chen et al., 2016),对应的岩石地层单元为双堡塘组;银额盆地东部地区沉积了以碎屑岩为主,部分地区为碎屑岩+碳酸盐岩+火山岩,对应的岩石地层单元为埋汗哈达组。中二叠世(祥播期—冷坞期)沉积范围进一步缩小,北山地区沉积了一套以碎屑岩为主,夹火山岩的岩石组合,碎屑岩具有南粗北细的特点,对应岩石地层为菊石滩组。向上为一套以火山岩为主的岩石组合,对应岩石地层单元为金塔组;银额盆地东部下段以碎屑岩为主夹火山岩,上段以火山岩为主夹碎屑岩,偶夹碳酸盐岩,对应岩石地层单元为阿其德组。

冷坞期末期,研究区局部抬升,海水短暂退出,表现为方山口组(或哈尔苏海组)与金塔组(或阿其德组)的平行不整合接触。晚二叠世仅在雅干—拐子湖一线以东沉积了一套以海相碎屑岩为主夹火山岩,局部发育海相碳酸盐岩的地层组合;在北山地区以及银额盆地南部为陆相断陷盆地沉积,岩性

以中酸性火山岩为主夹碎屑岩。

3.2 沉积体系与沉积相特征

3.2.1 层序地层与体系域

根据各岩石地层单元岩性组合特征,对石炭系一二叠系进行了层序界面与体系域识别,将其划分为1个I级层序,4个II级层序(Sq1~Sq4),7个III级层序(Ssq1~Ssq7)。其中,Sq1(Ssq1)对应地层为白山组;Sq2由III级层序Ssq2和Ssq3组成,分别对应石板山组和干泉组,Sq3由III级层序Ssq4和Ssq5组成,分别对应双堡塘组和菊石滩组+金塔组(或埋汗哈达组和阿其德组),Sq4由III级层序Ssq6和Ssq7组成,分别对应哈尔苏海组下段和上段。

Ssq1(白山组)由低水位体系域、海侵体系域和高水位体系域组成;其他各III级层序均由海侵体系域和高水位体系域组成,在高水位体系域普遍发育凝缩层(ss)沉积(图3),代表物源供给不充分,以泥岩或粉砂质泥岩为主,是烃源岩发育的主要沉积层序。

3.2.2 沉积体系与沉积相平面展布

根据各实测剖面的沉积岩岩石学特征、沉积构造、古生物标志、地球化学标志等,在研究区石炭系一二叠系识别出河流相、三角洲相、冲积扇、滨海相、浅海碳酸盐台地相、浅海陆棚相等沉积体系。其中滨海相和浅海陆棚相是区内沉积的主体,碳酸盐台地相次之,河流相、三角洲相和冲积扇相仅在靠近阿拉善古陆及马鬃山一切刀隆起带的部分剖面有分布。

在对各地表实测剖面、钻井地层剖面进行系统沉积相划分的基础上,作沉积相对比剖面图,分析沉积相的纵横向变化规律(李渭等,2011;卜建军等,2012;韩伟等,2012),并作为沉积相平面展布图编制的基础。

沉积相平面展布图以III级层序单元(Ssq)作为主要编图单元,其中Ssq1~Ssq5各作为一个编图单元,Ssq6和Ssq7作为一个编图单元。编图方法:①按编图单元将各剖面分别按碎屑岩、碳酸盐岩、火山岩绘制缩减的岩性柱,在碎屑岩表示泥岩和砂岩所占比例,分析各剖面点的优势相,并作岩性分区图,作为沉积相图平面展布相带划分的重要依据;②统计编图单元的砂/泥比,并编制砂/泥等值线图,作为沉积相图平面展布图相带划分的依据之一;③根据古水流方向,重矿物、碎屑锆石的分布规律,碎

屑岩成分与结构特征,结合构造单元划分,进行沉积物源分析;④根据火山岩分布,在沉积相平面图上划出裂谷带或裂谷中心。

编图表明,石炭纪一二叠纪为陆内裂谷盆地,呈近东西向展布,具有两坳一隆的构造格局(卢进才等,2012)。由南至北分别为:柳园—巴丹吉林坳陷,中间隆起带(由马鬃山、赛汗陶来和切刀古陆等构成古陆链),以及黑鹰山—额济纳旗坳陷。沉积物源包括:①南部敦煌—阿拉善—狼山古陆(史冀忠等,2013),②中部马鬃山—切刀中间隆起带的马鬃山古陆、赛汗陶来古陆和切刀古陆,③北部阿尔泰山,④准同生期火山活动形成的物源。

碎屑锆石年龄具多峰值特征,南部柳园—巴丹吉林坳陷和马鬃山一切刀中间隆起带共采集了13件碎屑锆石样品,均具有3个峰值,即897~2500 Ma代表元古宇变质岩物源区的年龄,与阿拉善古陆元古界变质岩分布吻合;428~454 Ma代表下古生界物源年龄与马鬃山、赛汗陶来和切刀古陆链广泛发育下古生界和泥盆纪地层吻合;263~315 Ma代表了准同生期火山活动形成的物源年龄,与研究区石炭纪一二叠纪火山活动频繁相吻合。北部黑鹰山—额济纳旗坳陷采集的8件碎屑锆石样品均为双峰值,360~453 Ma代表泥盆系和下古生界物源区的年龄,主要物源为:马鬃山、赛汗陶来和切刀古陆链,以及北部阿尔泰山;270~316 Ma代表准同生期火山活动形成的物源年龄。综上,沉积物源特征指示了陆内裂谷盆地沉积特征。

早石炭世旧司期—德坞期(Ssq1)为裂谷盆地演化的初始阶段,沉积范围仅限于北山地区南部的绿洲井—石板泉一带,以及北山地区北部的明水—野马泉一带;罗苏期—达拉期(Ssq2)沉积范围逐渐扩大,两坳一隆的沉积格局基本形成;晚石炭世小独山期—早二叠世紫松期(Ssq3)为盆地演化的鼎盛时期(图4),沉积范围达到最大;自早二叠世隆林期(Ssq4)研究区逐渐表现为以海退为主的下超沉积,中间隆起带马鬃山古陆、赛汗陶来古陆和切刀古陆范围都有所缩小;中二叠世祥播期—冷坞期(Ssq5),沉积范围进一步缩小,中间隆起带马鬃山古陆、赛汗陶来古陆和切刀古陆范围亦进一步缩小;晚二叠世吴家坪期(Ssq6~Ssq7)盆地进一步萎缩,海水大部分退出本区,研究区表现为大范围的陆相火山岩沉

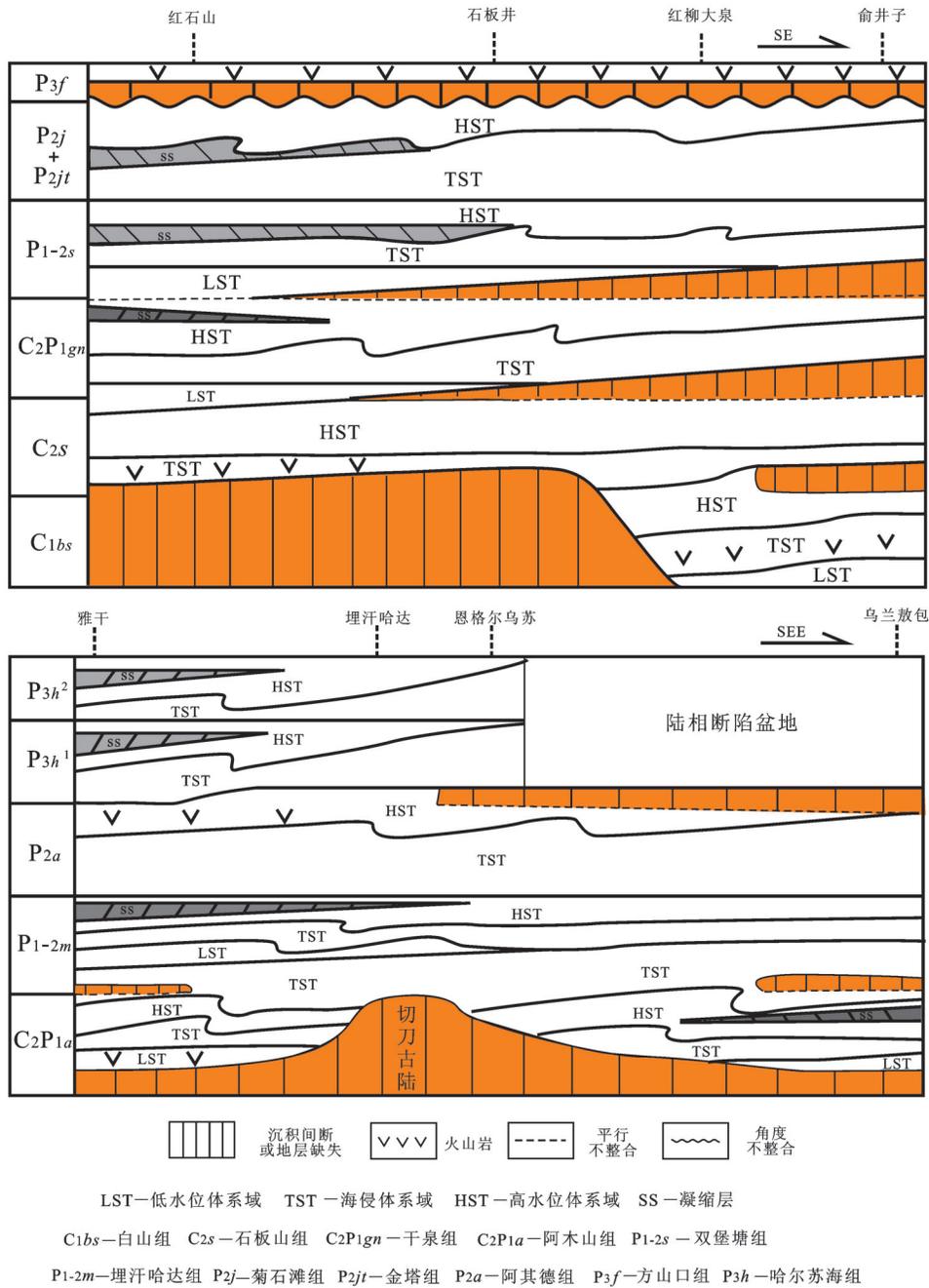


图3 石炭纪—二叠纪层序地层格架
 Fig. 3 Carboniferous-Permian sequence stratigraphic strata

积, 仅在雅干—杭乌拉一带接受了海相沉积。

3.2.3 硅质岩沉积环境讨论

银额盆地及周缘二叠系中—下统发育的硅质岩呈带状分布, 如北山地区南带的二断井剖面菊石滩组, 苏宏图北部的杭乌拉剖面埋汗哈达组, 雅干南部的好比如剖面和恩格尔乌苏剖面中二叠统阿其德组

等。传统认为含放射虫硅质岩主要形成于大洋环境, 许多研究者将银额盆地二叠系含放射虫硅质岩作为古亚洲洋未闭合的证据(谢力等, 2014)。本次研究采集的硅质岩薄片普遍见陆源碎屑, 指示了具有陆源供给的大陆环境沉积特征(史冀忠等, 2017待刊), 而非大洋环境沉积。对硅质岩进行地球化学分析, 在

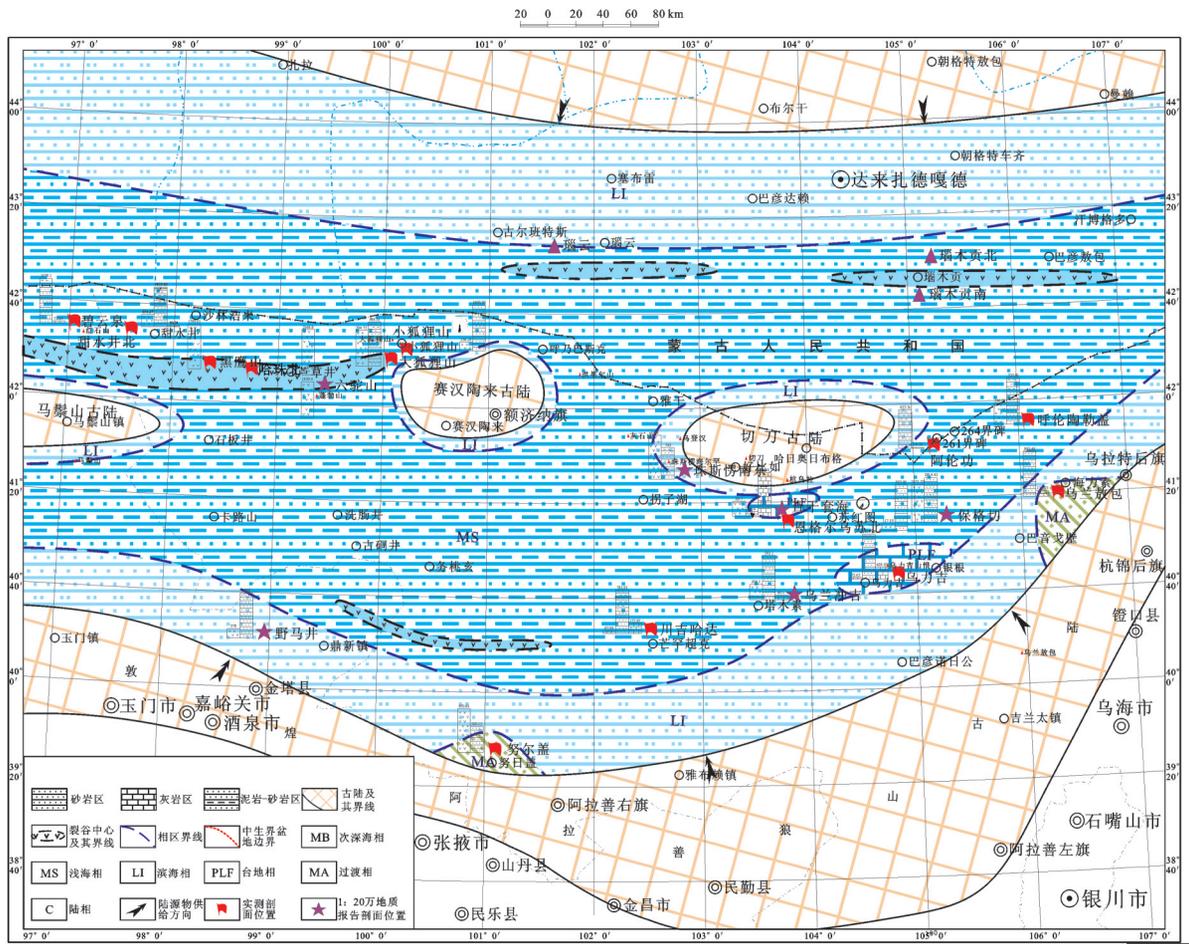


图4 晚石炭世小独山期—早二叠世紫松期(Ssq3)沉积相图

Fig.4 Palaeogeographic map of Kasimovian–Sakmarian (Ssq3)

$Fe_2O_3/TiO_2-Al_2O_3/(Al_2O_3+Fe_2O_3)$ 环境判别图上,不同剖面的样品均指示为大陆边缘环境,用Fe-Al-Mn元素相对含量进行成因判别,所有样品均落入生物成因硅质岩区,与沉积充填研究的裂谷盆地环境一致(史冀忠等,2017待刊)。

4 烃源岩特征及其热演化史

4.1 烃源岩特征

4.1.1 烃源岩分布

2007年以来,通过大量地表剖面测量与样品分析,以及近几年来中国地质调查局实施的地质调查井、相关石油、煤田钻井等不同程度揭示了烃源岩的分布,对石炭纪—二叠纪主要地层单元暗色泥岩纵横向展布、烃源岩地球化学特征进行了系统研究(陈践发等,2011;卢进才等,2011a;2011b;2012)。

查明烃源岩主要分布层位为上石炭统一下二叠统干泉组(阿木山组)、下二叠统埋汗哈达组、中二叠统阿其德组、上二叠统哈尔苏海组等,具有厚度大、分布层位多等特点。

烃源岩平面展布受沉积相控制,主要分布在浅海陆棚相沉积区,主要为暗色泥岩,采集的碳酸盐岩样品分析,均未达到烃源岩标准。

黑鹰山—额济纳旗坳陷带(北部坳陷带)发育上石炭统干泉组、下二叠统埋汗哈达组、中二叠统阿其德组,以及上二叠统哈尔苏海组等四套烃源岩。干泉组以大狐狸山剖面为代表,暗色泥岩厚231.0 m,全部达到烃源岩标准;埋汗哈达组以埋汗哈达剖面为代表,暗色泥岩厚296.9 m,烃源岩厚245.1 m;阿其德组以埋汗哈达剖面为代表,暗色泥岩厚244.6 m,烃源岩厚242.8 m;哈尔苏海组以雅干—

表1 银额盆地及周缘主要代表性剖面烃源岩分布及有机质丰度统计

Table 1 Vertical distribution and abundance of organic matter in typical sections in the Yingen-Ejin Basin and adjacent regions

478 一带为代表, 暗色泥岩厚 522.6 m, 烃源岩厚 332.9 m。

红柳园—巴丹吉林拗陷带(南部拗陷带)发育上石炭统阿木山组, 下二叠统埋汗哈达组和上二叠统哈尔苏海组等三套烃源岩。阿木山组以芒罕超克剖面为代表, 暗色泥岩厚 181.2 m, 烃源岩厚度 120.6 m; 埋汗哈达组以杭乌拉剖面为代表, 暗色泥岩厚 160.1 m, 烃源岩厚 84.2 m; 哈尔苏海组以拐参 1 井为代表, 暗色泥岩厚 306.1 m, 烃源岩厚 196.0 m。

总之, 石炭系—二叠系暗色泥岩发育, 烃源岩累计厚度达数百米。

4.1.2 烃源岩地球化学特征

(1) 有机质丰度

早期主要采集地表剖面样品进行烃源岩有机质丰度评价, 生烃潜量(S_1+S_2)、氯仿沥青“*A*”和总烃(HC)受风化作用影响较大, 有机碳含量(TOC)受风化作用影响相对要小。因此, 主要采用 TOC 含量进行有机质丰度评价。考虑风化作用对 TOC 含量的影响, 确定 TOC 大于 1.0% 为好的烃源岩, 0.5%~1.0% 为中等烃源岩, 0.3%~0.5% 为差烃源岩。以此为依据, 对主要烃源岩层选择不同构造单元的代表剖面进行有机质丰度评价。

按照样品代表的厚度, 对主要剖面和钻井岩心有机碳含量进行分类统计(表 1), 结果表明, 钻井岩心有机碳含量显著高于地表剖面, 北部拗陷各层段较南部拗陷带有机碳含量相对高。从层位上看, 上

石炭统烃源岩有机碳含量高于二叠系,二叠系下部有机碳含量高于上部。

近几年来,有限的地质调查钻井以及煤田与石油钻井揭示的烃源岩较地表剖面有机碳含量高许多。且生烃潜量(S_1+S_2)、总烃(HC)等能有效反映生烃条件。居延海坳陷西北部ZK0-1井揭示二叠系埋汗哈达组烃源岩层段95.0 m(未穿),有样品控制的厚度为53.0 m,单层厚43.0 m(未穿),21件样品TOC含量分布于0.57%~14.56%,平均3.10%,生烃潜力(S_1+S_2)为0.57 mg/g~64.56 mg/g,平均11.16 mg/g,总烃(HC)为3.02 mg/g~6.67 mg/g,平均4.26 mg/g,各指标均达到最好烃源岩标准(金庆花等,2015)。

(2) 有机质类型

早期地表剖面样品受风化作用的影响,H/C-O/C等有机质类型评价的传统指标不能有效进行有机质类型评价,而生物标记化合物相对稳定,受风化作用影响小。此次研究主要采用生物标记化合物甾烷相对含量及Ph/nC18与Pr/nC17关系进行有机质类型划分,对12条剖面131件样品的统计(卢进才等,2012),I型干酪根占5.8%,II₁型干酪根占55.0%,II₂型干酪根占36.9%,III型干酪根占2.3%。

钻井烃源岩样品H/C-O/C指标和生物标志化合物指标均能较好地反映有机质类型,北部坳陷带以ZK0-1井二叠系埋汗哈达组烃源岩为代表,有机质类型为II₁-II₂型,南部坳陷带以拐参1井二叠系哈尔苏海组下段烃源岩为代表,有机质类型为I-II₁型。

总之,石炭系一二叠系烃源岩具有厚度大,有机质丰度中等—高,有机质类型好的特点。

4.2 烃源岩热演化史

4.2.1 构造沉积演化特征

石炭系一二叠系沉积之后,研究区经历了华力西末期、印支期、燕山期和喜马拉雅期等多期次构造改造(Gillespie et al., 2016; Tian et al., 2016),致使银额盆地东、西部地层发育差异较大,盆地东部地区地层发育较全,从新太古界到第四系均有分布。研究区西部南北地层分布也有较大差异,北部地层厚度大,且发育较全;南部地层厚度较小,缺失较多。

华力西末期的构造运动是石炭系一二叠系沉积之后经历的第一次强烈的构造作用,构造应力为南北向挤压与抬升。受差异抬升作用的影响,石炭

系一二叠系遭受不同程度的剥蚀。印支期,研究区以隆升为主,局部拉张沉积了一套河流相红色粗碎屑岩,一般厚度<200 m,局部大于1000 m。燕山期研究区为动荡多变的构造环境,经历了“张扭拉分—隆升(局部沉降)—强烈挤压抬升(挤压推覆)—张扭拉分”的构造作用过程,早—中侏罗世盆地西部沉积了一套河湖—沼泽相碎屑岩+含煤建造,厚度一般小于1500 m;晚侏罗世,局部沉积了一套山麓—洪积相的粗碎屑岩,厚度一般小于1676 m;晚侏罗世末期,区内经历了一次强烈的挤压抬升与挤压推覆作用,造山带侏罗纪及前侏罗纪地层强烈变形,并形成了东西向展布的大型推覆构造;早白垩世,受张扭拉分构造应力的影响,形成中生代断陷盆地,而且盆地发育达到鼎盛时期,沉积了横向稳定分布的河流—湖泊相碎屑岩,厚度达2000~3500 m;晚白垩世湖盆萎缩,沉积了一套反映干旱环境的碎屑岩,最大厚度328 m。喜马拉雅期研究区整体表现了挤压抬升的构造背景,局部沉积了厚度小于400 m的古近系,以及厚度小于100 m的新近系。

石炭纪一二叠纪以来的构造与沉积演化指示银额盆地为石炭纪一二叠纪与中生代叠合盆地。区内主要变形期为华力西末期和燕山期III幕,不同构造单元石炭系一二叠系变形与变质存在巨大差异。造山带强烈变形,并受构造动力变质作用的影响,局部发生浅变质;白垩纪盆地覆盖区石炭系一二叠系变形弱,烃源岩演化以成熟—高成熟为主。研究区不存在区域变质,油气地质条件有利。

4.2.2 烃源岩热演化史

综合构造与沉积埋藏史,研究区石炭纪一二叠纪进入海陆(陆内裂谷作用)演化阶段,盆地以稳定的沉降为主,二叠系沉积厚度一般达到3000~5000 m以上,石炭系在二叠纪末期已进入中成岩期,有机质演化达成熟—高成熟阶段,即石炭系烃源岩在晚二叠世已进入主生烃期。二叠系烃源岩不同构造单元演化程度存在差异,总体上晚白垩世达到最大埋深,即烃源岩热演化程度在晚白垩世达到最高(王新民等,2004;卢进才等,2012)。

在利用声波时差、镜煤反射率(R_o)等资料对二叠系剥蚀厚度恢复的基础上,结合中生代沉积埋藏史、古地温梯度、成岩作用阶段的划分等对不同构造单元代表性烃源岩热演化史的分析,造山带受构

造动力作用的影响, 烃源岩演化一般达到高成熟—过成熟。中生代盆地覆盖区石炭系烃源岩演化达成熟—高成熟阶段, 以生气为主; 二叠系烃源岩处于成熟阶段(图5), 以生油为主。

5 远景区优选与油气勘探发现

5.1 远景区优选

在地质、地球物理、钻井等资料综合研究的基础上, 以有利沉积相带、烃源岩发育特征与热演化史、构造改造与保存条件、石炭系—二叠系分布与残留厚度等为依据, 分区开展油气地质条件综合评价, 对主要构造单元进行分类排队, 优选了一批油气远景区(卢进才等, 2012)。

2013年国土资源部依托银额盆地油气基础地质调查优选的油气远景区, 进行油气矿权改革试点, 拿出6个勘查区块进行竞争性出让(面积30512.857 km²)。中国地质调查局提供油气基础地质调查成果数据, 并搭建交流与资料共享平台, 服务油气体制改革, 降低了企业勘探风险。通过企业加大勘探投入, 钻井验证的4个区块均获得了油气发现, 其中2个勘查区块获得高产工业油气流, 实现了银额盆地自1955年以来油气勘探的最大突破。

5.2 油气勘探发现

5.2.1 拐参1井油气发现

拐参1井位于务桃亥坳陷的拐子湖凹陷中东部, 是中石化中原油田分公司在务桃亥勘查区施钻的第一口参数井, 完钻井深3800 m, 新生界+中生界厚2141 m, 揭示上二叠统哈尔苏海组厚1659.0 m(未穿)。

拐参1井钻遇二叠系油气显示层73.05 m/38层, 其中, 油浸16.84 m/2层、油斑10.02 m/9层、油迹23.41 m/10层、荧光11.78 m/11层, 气测异常11.00 m/6层。测井解释油气层46.4 m/24层, 其中, 气层1.1 m/1层、油层27.1 m/11层、致密油层18.2 m/12层。

对拐参1井3419.5~3460 m井段进行试油(射孔层厚度22.6 m), 射孔后采用3 mm油嘴放喷, 获5.86 m³/d的工业油流(自喷)。小规模压裂后采用3 mm油嘴放喷, 初期日产原油51.67 m³、天然气7290 m³的高产工业油气流。

5.2.2 延哈参1井油气发现

延哈参1井位于苏宏图坳陷的哈日凹陷中东部, 是陕西延长石油(集团)有限责任公司在银额盆地温图高勒苏木勘查区哈日凹陷施钻的第一口以石炭系—二叠系为主要目的层的参数井, 完钻井深

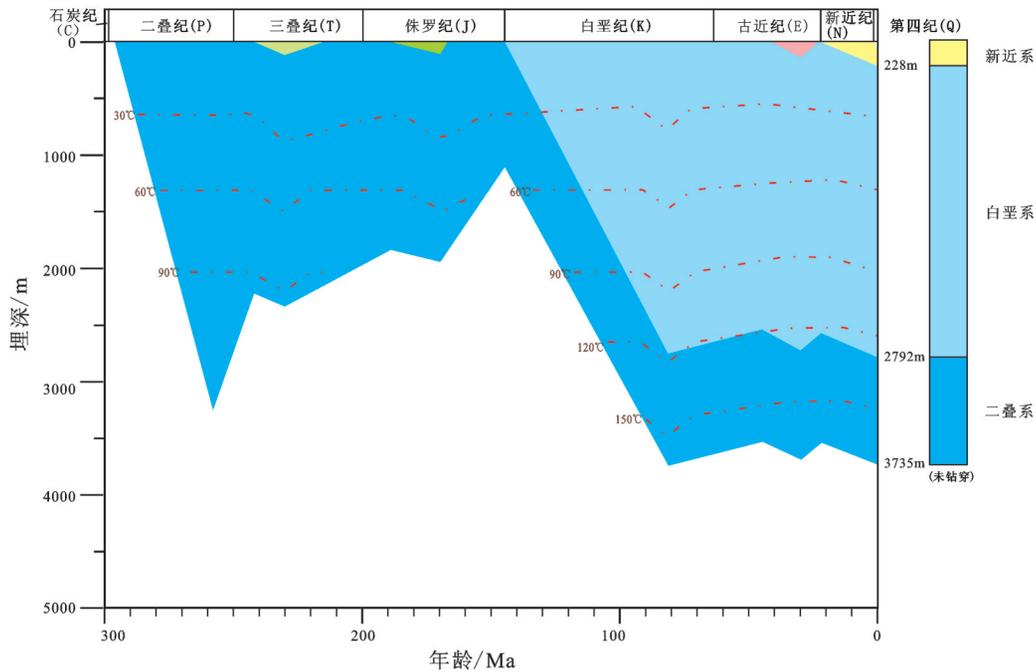


图5 哈日凹陷延哈参1井二叠系埋藏史

Fig.5 Burial history of the Permian in the Hacaan 1st Well of the Hari depression

3735 m, 新生界+中生界厚 2792 m, 揭示二叠系 943.0 m(未穿)。

该井钻遇二叠系气显示层 6 层, 累计厚度 115.0 m, 岩性为泥灰岩、泥质砂岩、细砂岩。气测录井全烃异常值 1.390%~13.302%, 异常强度 1.55~187.61, 重烃异常值为 0.056%~0.874%, 异常强度 3.34~8.0。综合解释气层 3 层, 累计厚度 90.0 m, 致密气层 3 层, 厚 25.0 m。

对延哈参 1 井 2946.0~2951.0 m 井段射孔, 采用水力加砂压裂后求产的方法, 加粉陶 20 m³, 加陶粒 25.4 m³, 压裂液 769 m³。压后放喷点火, 火焰高 5~8 m, 经 20 d 的排液、试压、求产, 压力、产量达到稳定。采用 5 mm 孔板求产, 油层静压 29.628 MPa, 产天然气 11880 m³/d, 折合无阻流量 9.15×10⁴ m³/d, 并产少量凝析油。

5.3 油气发现并产层时代的厘定

由于银额盆地钻井程度极低, 且揭示石炭系—二叠系十分有限, 加上不同构造单元石炭系—二叠系顶面剥蚀厚度差异大, 地层对比困难, 不同的科研、生产单位对油气突破井的产层时代存在争议, 制约了油气资源评价与勘探部署。

本文以地层岩石学、不整合面的确定与剥蚀厚度的恢复、地球物理测井标志层的建立为依据, 并结合地震波阻抗特征, 对钻井地层进行了划分对比, 明确了主要突破井的产层为二叠系。

5.3.1 钻井地层对比标志和依据

(1) 白垩系巴音戈壁组高伽马砂岩标志层

白垩系巴音戈壁组是银额盆地砂岩型铀矿的主要勘探目的层, 普遍发育含铀砂岩层(或铀异常层), 在地球物理测井曲线上表现为异常高伽马特征, 是白垩系巴音戈壁组重要的电性特征, 而且全盆地可对比, 可作为确定白垩系巴音戈壁组的标志层。

(2) 石炭纪—二叠纪火山事件沉积标志

石炭纪—二叠纪火山活动十分活跃, 其沉积记录表现为, 除火山岩作为标志层外, 沉火山岩或火山沉积岩十分发育, 以及碎屑岩中准同生期的火山岩屑发育。中生界主要为碎屑岩组合, 仅中东部苏宏图组发育以玄武岩为主的火山岩。火山事件沉积记录是石炭系—二叠系的重要标志层。同时, 石炭系—二叠系碎屑岩矿物成分成熟度与结构成熟度低, 分选、磨圆差, 也与中生界可以显著区分。

(3) 不整合面的确定与剥蚀厚度的恢复

泥岩声波时差随深度的变化或镜质体反射率(R_o)随深度的变化确定不整合面, 并进行剥蚀厚度恢复, 是地层划分对比的重要依据(张顺等, 2015)。石炭系—二叠系沉积之后经历了长时期的抬升剥蚀, 剥蚀厚度一般大于千米以上或数千米, 而中生界剥蚀厚度一般不大(尤其是白垩系)。因此, 通过剥蚀厚度的恢复, 能有效确定二叠系与中生界不整合界面。

(4) 利用地球物理响应进行地层划分

地震波阻抗、地球物理测井声波时差与电阻率等代表了不同地层单元的岩性组合与岩石学特征、成岩程度等多因素对地层速度、电阻率等影响的综合反映。因此, 利用过井地震剖面波阻抗特征差异以及主要测井曲线的突变点典型差异能有效地进行地层划分对比。

5.3.2 延哈参 1 井产气层时代的厘定

利用确定的钻井地层对比标志与依据, 对温图高勒苏木勘查区哈日凹陷延哈参 1 井进行分层(卢进才等, 2017a 待刊)。^①井深 2320~2792 m 井段具有显著的高自然伽马砂岩发育段, 与区域上白垩系巴音戈壁组可对比; ^②第 9 次取心(2591.00~2593.80 m 井段)与第 10 次取心(2909.60~2913.67 m 井段)之间, 镜煤反射率(R_o)随深度变化出现突变(拐点), 作泥岩声波时差与深度关系图确定的不整合面为 2792.0 m, 计算剥蚀厚度 2291 m, 结合区域构造与沉积演化分析, 认为该不整合面为二叠系与白垩系界面; ^③测井声波时差、电阻率、自然伽马等特征在 2792 m 上下具有显著差异; ^④利用测井资料对过井地震剖面进行层位标定后, 在约 2792.0 m 处为典型的不整合界面, 其上下波阻抗特征具有显著的差别, 而且之上信噪比高, 之下信噪比低, 与区域上中生界信噪比高, 石炭系—二叠系信噪比低的特征吻合。

因此, 确定二叠系与白垩系界面为 2792 m(图 6), 该井射孔井段为 2946.0~2951.0 m, 其产层时代为二叠系无疑。

5.3.3 拐参 1 井产油层时代的厘定

依据拐参 1 井地球物理测井资料, 井深 1700~2141 m 具有典型的高伽马特征, 与区域上白垩系巴音戈壁组可对比, 且 2141 m 声波时差显著降低、电阻率显著增高(图 7), 表明 2141 m 以下成岩程度显

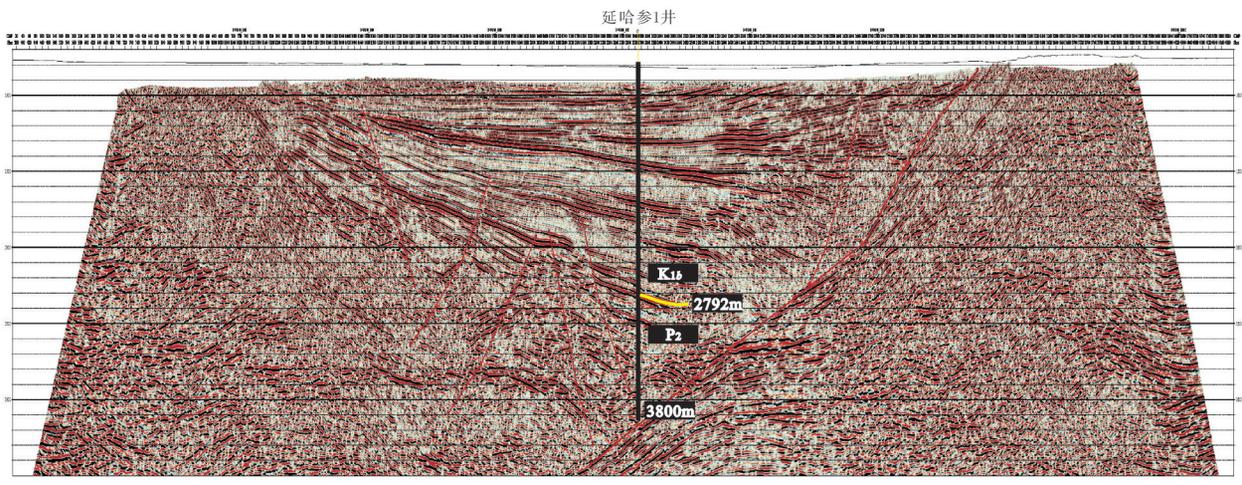


图6 过延哈参1井地震剖面及层位标定

Fig.6 Seismic section and layer labeling in the section across the Hancan 1st Well

著增高;进一步作泥岩声波时差与深度关系图确定的不整合面为2141 m,计算剥蚀厚度2397 m(图8),剥蚀厚度巨大,结合区域构造演化,确定不整合界面为二叠系与白垩系界面;钻井岩心薄片鉴定结果,2141 m以下碎屑岩中普遍含准同生期的凝灰质、火山岩屑等与火山事件有关的沉积物质(图9),2141 m以上碎屑岩成分以长石、石英为主,含少量沉积岩岩屑和变质岩岩屑,依据测井资料对地震资料层位标定后,2141 m上下波阻抗特征存在显著差异。因此,确定2141 m为二叠系与白垩系不整合界面,该井试油射孔层段为3419.5~3460 m,其产层时代为二叠系无疑。

5.4 油气源对比

5.4.1 拐参1井油源对比

拐参1井揭示二叠系暗色泥岩厚度约306.1 m,烃源岩厚196.0 m,好—中等烃源岩厚108.5 m,61件样品平均有机碳含量0.81%,生烃潜量平均1.3 mg/g,氯仿沥青“A”平均0.159%,总烃含量785.9 mg/g,具有良好的生烃条件。 R_o 分布在1.01%~1.33%,烃源岩演化进入成熟—高成熟阶段。

利用拐参1井二叠系烃源岩与原油族组分相对含量,作饱和烃、芳烃和非烃+沥青质相对含量三角图(图10),原油与烃源岩具有良好的一致性,均具有饱和烃含量高,芳烃和非烃+沥青质含量低的特点,指示二者均以低等水生生物为主。无疑拐参1井二叠系所产原油源于其下伏烃源岩。

5.4.2 延哈参1井油气源对比

延哈参1井天然气及凝析油地球化学特征分析,天然气组分以烃类气体为主,总烷含量为93.90%~94.51%,其中,甲烷含量为75.70%~76.22%, $C_1/(C_1-C_5)$ 为0.81。甲烷碳同位素 $\delta^{13}C_{PDB}$ 分布在 -38.73‰ ~ -38.76‰ ,乙烷碳同位素 $\delta^{13}C_{PDB}$ 分布在 -26.90‰ ~ -27.12‰ ,丙烷碳同位素 $\delta^{13}C_{PDB}$ 分布在 -25.09‰ ~ -25.92‰ ,天然气地球化学特征指示为油型(腐泥型)凝析油伴生气,烃源岩演化进入高成熟阶段(卢进才等,2017b待刊)。凝析油具有饱和烃含量高,芳烃含量低的特点,饱/芳比值为12.08,为高热演化腐泥型凝析油。

银额盆地中生界主要发育下白垩统巴音戈壁组 and 上白垩统银根组两套烃源岩,巴音戈壁组烃源岩演化以低成熟—成熟为主,银根组烃源岩未成熟,为生物甲烷气阶段。延哈参1井揭示的巴音戈壁组缺乏良好烃源岩,仅揭示了银根组的烃源岩,其演化程度为生物甲烷气阶段。因此,延哈参1井天然气应与中生界烃源岩无关。

邻近延哈参1井所在的哈日凹陷的杭乌拉剖面出露二叠系埋汗哈达组烃源岩(卢进才等,2011b),具有厚度大、有机质丰度中等—高、演化程度成熟—高成熟的特点。

通过采集延哈参1井凝析油样品进行生物标志化合物分析,并与杭乌拉剖面二叠系埋汗哈达组烃源岩进行对比,均具有藿烷相对含量占绝对优势,

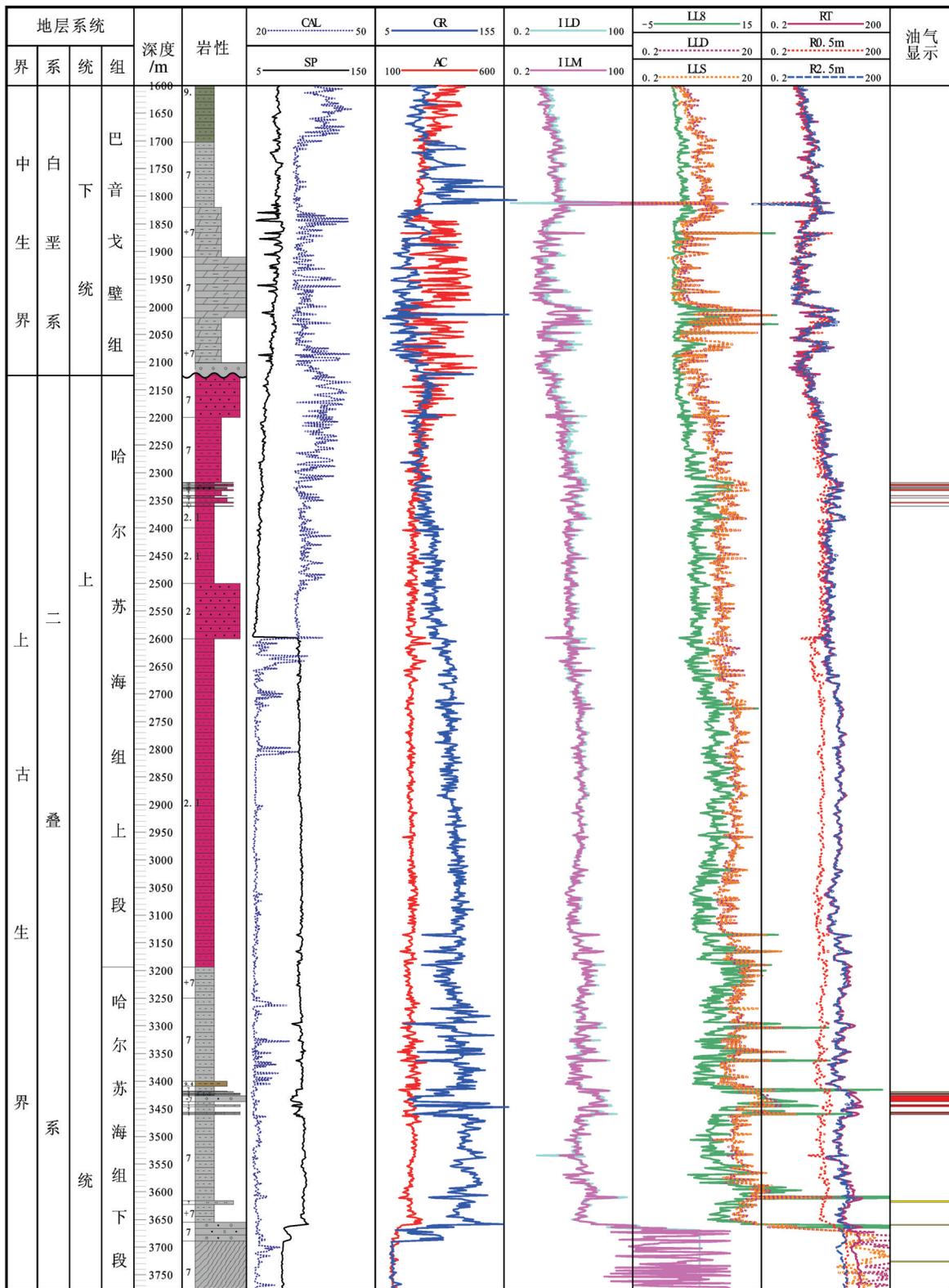


图7 二叠系综合柱状图(拐参1井曲线1600~3780 m)

Fig.7 Permian composite stratigraphic column(1600~3780 m in Guaicai 1st Well)

藿烷系列分布范围为C29~C31, C30藿烷显著偏高, 其次为C29降藿烷; 伽马蜡烷相对含量较高; 饱和烃色谱M/Z217形态一致, 且C27甾烷相对含量高的特点。

因此认为, 延哈参1井获得的油气与二叠系烃源岩具有良好的亲缘关系, 源于二叠系无疑。

6 讨论

6.1 地层层序、构造背景与沉积建造

地层是构造与盆地沉积演化研究的证据, 地层对比格架的建立是盆地演化、沉积建造与沉积充填研究的基础, 沉积建造与沉积充填又是影响油气地质条件与资源潜力的核心。银额盆地石炭系—二叠系油气地质条件与资源前景长期不被看好, 主要原因是石炭纪—二叠纪地层层序、构造背景、沉积建造与沉积充填等基础地质问题认识不清。

石炭纪—二叠纪构造背景、盆地演化与沉积建

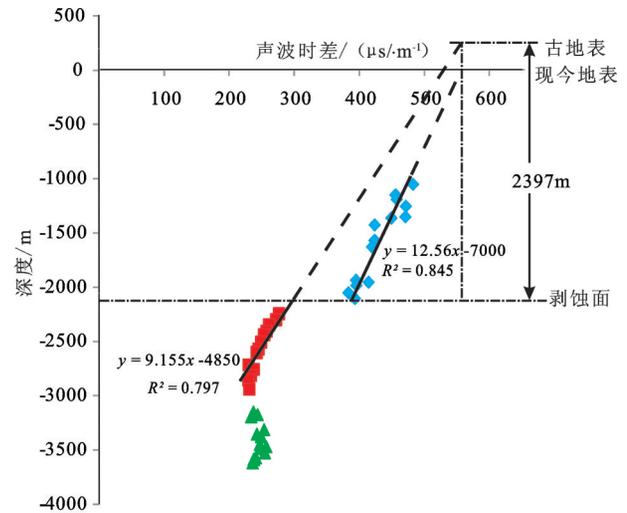


图8 拐参1井泥岩声波时差-深度关系及剥蚀厚度恢复图
Fig.8 Acoustic transit time-depth relationship and erosion thickness recovery of mudstone in the Guaican 1st Well

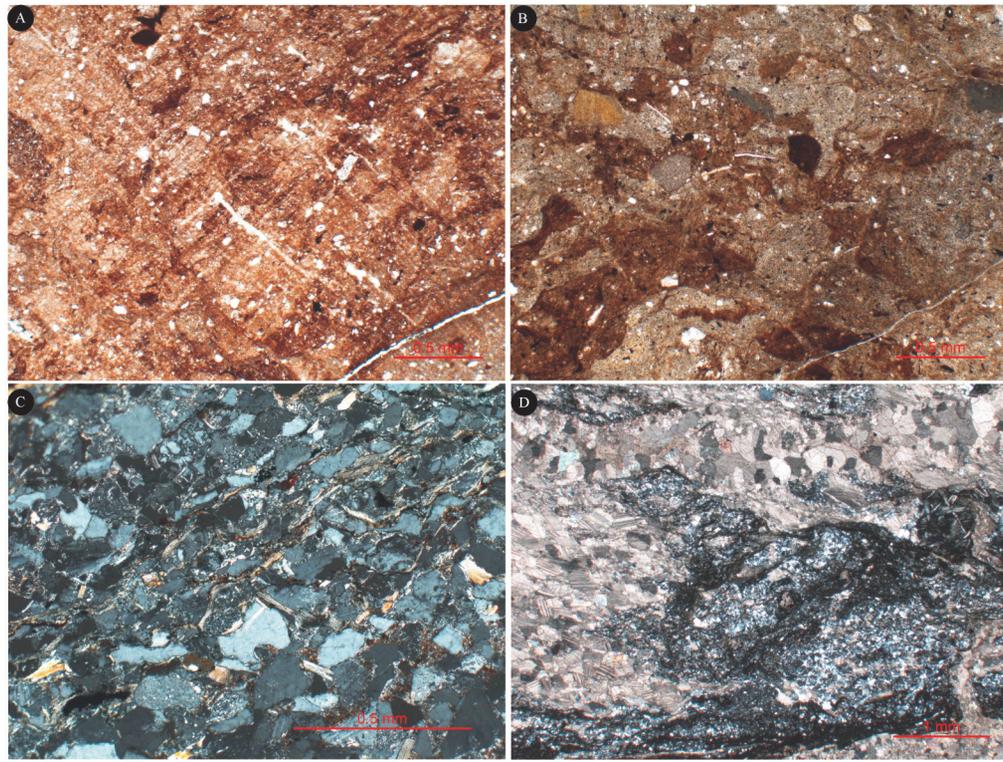


图9 与二叠纪含火山事件有关的沉积记录的岩石照片(拐参1井)

A—凝灰质泥岩, 井深2213.65 m; B—凝灰质泥岩, 井深2229.98 m; C—含火山质杂砂岩, 井深3442.89 m; D—安山质熔岩与白云岩, 可见具港湾状构造的石英晶屑, 井深3773.5m

Fig.9 Photomicrographs of Permian sedimentary rocks with volcanic events(Guaican 1st Well)

A—tuff mudstone (well depth 2213.65 m); B—tuff mudstone (well depth 2229.98 m); C—greywacke with tuff (well depth 3442.89 m); D—andesitic lava and dolomite with harbor-like quartz crystal pyroclast (well depth 3773.5 m)

造主要存在三种不同认识,其一,认为中晚泥盆世古亚洲洋闭合(左国朝等, 2003; 徐学义等, 2008; 徐备等, 2014), 石炭纪—二叠纪进入陆内裂谷演化阶段; 其二, 认为早石炭世末期古亚洲洋闭合(刘雪亚等, 1995), 石炭纪—二叠纪之间存在造山事件, 早石炭世为大洋环境沉积, 晚石炭世—二叠纪为大陆环境沉积; 其三, 认为二叠纪末—三叠纪早期古亚洲洋闭合(Xiao et al., 2010), 石炭纪—二叠纪为洋陆演化阶段。

其中, 认为石炭纪—二叠纪进入陆内裂谷演化阶段, 由于对主要地层单元接触关系认识的不一致, 对石炭纪—二叠纪盆地演化也存在不同的认识。一些学者基于石炭系—二叠系内部存在多个不整合接触, 认为石炭纪—二叠纪为多期次盆地, 并经历了多期次的变形改造(刘雪亚等, 1995; 何世平等, 2005), 对其油气地质条件不看好; 另一些学者认为石炭系—二叠系内部不存在区域不整合, 石炭纪—二叠纪为统一的裂谷盆地(左国朝等, 2003; 卢进才等, 2011a; 卢进才等, 2012)。

银额盆地及周缘石炭纪—二叠纪地层划分主要依据20世纪70—80年代1:20万区域地质调查报告, 按照该划分方案, 银额盆地西缘的北山地区广泛分布下石炭统绿条山组和白山组, 而且石炭系—二叠系内部存在多个角度不整合。其后《内蒙古自治区岩石地层》(内蒙古自治区地质矿产, 1996)、《甘肃省岩石地层》(甘肃省地质矿产局, 1997)、《中国地层典石炭系》(金玉环等, 2000)均沿用这一地层划分方案。但许多研究者对该地层划分方案提出了质

疑, 如: 北山地区“绿条山组”是由甘肃区测二队根据甜水井北剖面恢复建立的, 丁培榛(1985)对北山地区绿条山组腕足类重新厘定, 将“绿条山组”时代修订为早石炭世晚期; 杨帅师等(2005)和王惠等(2007)将甜水井地区“绿条山组”时代修订为中晚二叠世或早中二叠世。左国朝等(2003)提出了石炭系—二叠系内部不存在区域上的不整合的认识。

2007年以来, 笔者所在的团队对下石炭统绿条山组、白山组等岩石地层单元进行系统研究, 重新厘定了石炭纪—二叠纪地层层序, 建立了地层对比格架, 明确了银额盆地及周缘缺失下石炭统绿条山组, 白山组仅在北山地区西部分布, 代表盆地初始裂陷阶段的沉积产物; 石板山组分布范围扩大, 干泉组代表盆地演化鼎盛时期的沉积产物, 沉积范围达到最大; 双堡塘组(埋汗哈达组)—方山口组(哈尔苏海组)分布范围逐渐缩小, 代表盆地逐渐萎缩的下超沉积。石炭系—二叠系角度不整合于下古生界或泥盆系之上, 石炭系—二叠系内部以整合接触为主, 盆地边缘存在超覆不整合或平行不整合。

在地层划分对比研究的基础上, 以各剖面层序地层与沉积体系纵向演化为基础, 通过岩石学、沉积构造学、物源学等研究, 以及层序地层与沉积体系的空间展布研究, 明确了石炭纪—二叠纪为统一的裂谷盆地, 早石炭世晚期盆地形成, 晚石炭世晚期—早二叠世早期是盆地发育的鼎盛时期, 晚二叠世盆地萎缩, 奠定了形成石炭纪—二叠纪含油气盆地的基础。许多研究者将银额盆地二叠系含放射虫硅质岩(谢力等, 2014)作为古亚洲洋未闭合的证据, 本次研究采集的硅质岩薄片普遍见陆源碎屑, 指示了大陆环境的沉积特征, 而非大洋环境沉积。天山—兴蒙构造带内的放射虫化石不能代表二叠纪存在古亚洲洋(徐备等, 2014), 对硅质岩进行地球化学与成因分析, 指示为大陆边缘环境, 与沉积充填研究的陆内裂谷盆地环境一致。受沉积环境控制, 石炭系—二叠系发育多套厚度大、分布广、有机质丰度高、干酪根类型好, 浅海陆棚相沉积的良好烃源岩, 奠定了石炭系含油气盆地的基础。

6.2 构造改造与热演化史

银额盆地石炭系—二叠系油气地质条件长期被忽视, 另一重要原因是石炭纪—二叠纪以来的构造改造存在不同认识。许多学者认为, 天山—兴蒙

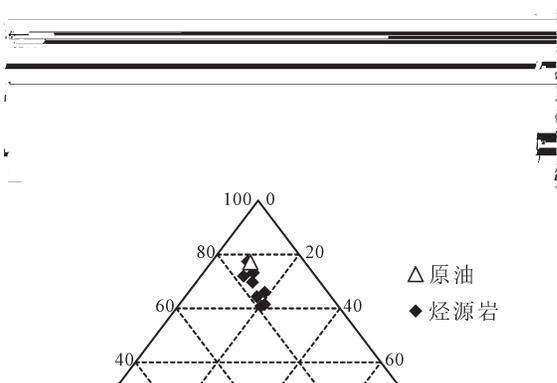


图10 拐参1井油—源对比

Fig.10 Oil-source correlation in the Guaican 1st Well

构造带普遍经历了晚古生代区域变质作用改造,形成了大面积的变质岩系(耿元生等, 2016), 并成为构造改造的主流认识。也有学者认为, 天山—兴蒙构造带并不存在区域变质, 仅造山带局部为动力变质(张兴洲等, 2008; 胡大千等, 2011)。由于对构造改造认识的不统一, 且区域变质作用为主流认识, 银额盆地石炭系—二叠系长期作为中生代盆地的基底, 油气地质研究几乎为空白。

2007年以来, 大量地面调查、钻井岩心取得的岩石学资料, 镜质体反射率(R_o)、黏土矿物分析, 以及烃源岩埋藏史研究等, 指示银额盆地及周缘石炭系—二叠系不存在区域变质, 成岩作用总体进入中成岩A期—B期, 造山带局部受构造动力作用的影响发生浅变质, 烃源岩演化一般达到高成熟—过成熟; 中生代盆地覆盖区石炭系烃源岩演化达成熟—高成熟阶段, 以生气为主, 二叠系烃源岩处于成熟阶段, 以生油为主, 油气地质条件有利, 并得到了钻井验证, 拐参1井、延哈参1井油气的突破证实了石炭系—二叠系油气系统的赋存。

6.3 油气产层时代及其意义

银额盆地钻井对比困难, 不同生产与科研单位对油气产层时代认识不统一, 其主要原因包括以下几方面: 一是盆地内钻井少, 揭示石炭系—二叠系十分有限, 而且缺乏具有确定时代意义的古生物资料; 二是银额盆地为改造型叠合盆地, 中生代白垩纪地层是在石炭系—二叠系经历了多期次的构造改造之后上叠沉积的, 两期盆地无继承关系, 而且中生代不同构造单元石炭系—二叠系剥蚀厚度差异巨大, 钻井揭示的石炭系—二叠系对比困难; 三是中生代不同构造单元沉积演化与充填存在差异, 加上中生代地层研究程度低, 增加了地层对比的难度。

本次研究通过不整合面及剥蚀厚度的恢复、白垩系巴音戈壁组高伽马特征的确定、石炭系—二叠系火山事件沉积记录、地震与地球物理测井相应等标志层的确定, 明确了拐参1井、延哈参1井等油气产层的时代为二叠系, 对进一步认识银额盆地石炭系—二叠系油气资源前景, 以及今后的勘探部署具有重要意义。

7 结论

(1) 银额盆地及周缘石炭纪—二叠纪地层内部

不存在区域不整合, 自早石炭世晚期盆地初始裂陷接受沉积, 至晚二叠世盆地萎缩, 总体以连续沉积为主, 盆地周缘存在超覆不整合或地层缺失为上超与下超沉积形成。

(2) 石炭纪—二叠纪为内陆(板内)裂谷盆地沉积, 沉积了厚度数千米的碎屑岩+火山岩建造, 晚石炭世—早二叠世为盆地演化的鼎盛时期, 上石炭统一上二叠统广泛发育浅海陆棚相泥页岩, 为潜在的烃源岩。

(3) 石炭系—二叠系发育多套厚度大、有机质丰度中等—高、干酪根类型好、演化程度中等—高的良好烃源岩, 具有良好的油气地质条件与资源前景。

(4) 石炭系—二叠系不存在区域变质, 造山带局部受构造动力变质作用的影响, 存在浅变质。中生代盆地覆盖区石炭系—二叠系变形弱, 石炭系烃源岩演化进入高成熟—过成熟阶段, 以生气为主。二叠系烃源岩演化进入成熟—高成熟阶段, 以生油为主。

(5) 银额盆地为石炭纪—二叠纪与中生代的叠合盆地, 拐参1井、延哈参1井等钻井地层划分对比与油气源对比表明, 油气产层为二叠系, 所产油气源于二叠系, 验证了石炭系—二叠系油气系统的存在。

致谢: 项目实施过程中得到张抗教授、乔德武教授等专家的悉心指导, 在此表示衷心的感谢!

References:

- Bu Jianjun, Niu Zhijun, Wu Jun, Duan Xianfeng. 2012. Sedimentary characteristics and age of Amushan Formation in Ejin Banner and its adjacent areas, western Inner Mongolia[J]. Geological Bulletin of China, 31(10): 1669–1683 (in Chinese with English abstract).
- Bu Jianjun, Wu Jun, Chen Gaochao, Shi Jizhong, Niu Yazhuo. 2014. Discovery of the Ammonite Fauna from Suishishan Section, Beishan Area and its geological significance[J]. Geological Science and Technology Information, 33(2): 50–54 (in Chinese with English abstract).
- Chen Jianfa, Lu Jincai, Tang Youjun, Wei Jianshe, Zhu Lei, Jiang Ting, Wang Guannan. 2010. Development characteristics and hydrocarbon generating potential evolution of Permian–Carboniferous source rocks in Ejina Banner basin and its adjacent area, western Inner Mongolia, China[J]. Geological Bulletin of China, 29(2/3): 346–350 (in Chinese with English abstract).
- Chen S, Guo Z J, Qi J F, Zhang Y Y, Pe–Piper G, Piper D J W. 2016. Early Permian volcano–sedimentary successions, Beishan, NW China: Peperites demonstrate an evolving rift basin[J]. Journal of Volcanology and Geothermal Research, 309: 31–44.

- Ding Peizhen. 1985. The reidentifications of Early Carboniferous syringothyriddids fossils from Ejin Qi of Inner Mongol Autonomous Region and its significance[J]. Bulletin of the Xi'an Institute of Geology and Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, 11: 75–84 (in Chinese with English abstract).
- GengYuansheng, Shen Qihan, Du Lilin, Song Huixia. 2016. Regional metamorphism and continental growth and assembly in China[J]. Acta Petrologica Sinica, 32(9): 2579–2608 (in Chinese with English abstract).
- Gillespie J, Glorie S, Xiao W J, Zhang Z Y, Collins A S, Evans N, Mcinnes B, De Grave J. 2016. Mesozoic reactivation of the Beishan, southern Central Asian Orogenic Belt: Insights from low-temperature thermochronology[J]. Gondwana Research, 43: 107–122.
- Han Wei, Liu Xi, Li Jinchao, Shi Jizhong. 2012. Sedimentary environment of Carboniferous–Permian Amushan Formation in Wulanaobao area of Urad Rear Banner, Inner Mongolia[J]. Geological Bulletin of China, 31(10): 1684–1691 (in Chinese with English abstract).
- He Shiping, Zhou Huiwu, Ren Bingchen, Yao Wenguang, Fu Lifu. 2005. Crustal evolution of Palaeozoic in Beishan area, Gansu and Inner Mongolia, China[J]. North Western Geology, 38(3): 6–15 (in Chinese with English abstract).
- Hu Daqian, Liu Yue, Hong Yan, Xie Xiaoting. 2011. Research on coexisting clay minerals in the upper Paleozoic argillaceous rocks in northeast China[J]. Journal of Jilin University(Earth Science Edition), 41(5): 1458–1465 (in Chinese with English abstract).
- Jia Yuanqin, Zhao Zhixiong, Xu Hai, Wang Xinliang, Liu Qiang, Wang Jinrong. 2016. Zircon LA–ICP–MS U–Pb dating of and tectonic setting of rhyolites from Baishan Formation in Fangleishan area of the Beishan orogenic belt [J]. Geology in China, 43(1): 91–98(in Chinese with English abstract).
- Jin Qinghua, Wei Xianyang, Wei Jianshe, Song Bo. 2015. The Permian hydrocarbon source rock characteristics and its significance of Well ZK0–1, western Ejin Banner[J]. Geological Bulletin of China, 34(5): 953–960 (in Chinese with English abstract).
- Jin Yugan, Fan Yingnian, Wang Xiangdong, Wang Rennong. 2000. China Stratigraphic Lexicon of Carboniferous[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1–138 (in Chinese).
- Li Wei, Lu Jincai, Chen Gaochao. 2011. Sedimentary environment of Carboniferous–Permian strata in Ejin Banner and its vicinities, western Inner Mongolia[J]. Geological Bulletin of China, 30(6): 983–992(in Chinese with English abstract).
- Liu Xueya, Wang Quan. 1995. Tectonics of the orogenic belts in Beishan Mts., Western China and their evolution[J]. Geological Research. 28: 37–48 (in Chinese with English abstract).
- Lu Jincai, Wei Xianyang, Wei Jianshe, Li Yuhong. 2010. Petroleum geological conditions of Carboniferous–Permian in Ejina Banner and its vicinities, western Inner Mongolia, China[J]. Geological Bulletin of China, 29(2/3): 330–340(in Chinese with English abstract).
- Lu Jincai, Chen Gaochao, Wei Xianyang, Li Yuhong, Wei Jianshe. 2011a. 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, Wei Xianyang, Chen Gaochao, Wei Jianshe, Li Yuhong. 2011b. Characteristics of hydrocarbon source rocks in Lower Permian Maihanhada Formation in Hangwula region of Alashan Right Banner[J]. Journal of Jinlin University(Earth Science Edition), 41(2): 335–342(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, NiuYazhuo, 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 Beishanorogenic belt and its tectonic significances[J]. Acta Petrologica Sinica, 29(8): 2685–2694 (in Chinese with English abstract).
- Lu Jincai, Song Bo, Niu Yazhuo, Wei Xianyang, Wei Jianshe, Xu Haihong. 2017a. The age constraints on natural gas strata and significance of Well Y in Hari depression, Yin' e basin[J]. Geological Bulletin of China, (in Chinese with English abstract) (in press).
- Lu Jincai, Wei Xianyang, Wei Jianshe, Song Bo, Shi Jizhong. 2017b. Geochemical characteristics and oil–source correlation of Well Y in Hari depression, Yin' e Basin[J]. Geological Bulletin of China, (in Chinese with English abstract) (in press).
- Niu Yazhuo, Wei Jianshe, Shi Jizhong, Chen Gaochao. 2013. LA–ICP–MS zircon U–Pb dating of the Upper Carboniferous volcanic rocks from northern Beishan region in Gansu Province and its tectonic significance[J]. Geological Bulletin of China, 32(11): 1720–1727 (in Chinese with English abstract).
- Niu Yazhuo, Lu Jincai, Wei Jianshe, Chen Gaochao, Shi Jizhong, Wu Jun. 2014. Chronology of the Lütiaoshan Formation in the Beishan area and its tectonic significances[J]. Geological Review, 60(3): 567–576 (in Chinese with English abstract).
- Shi Jizhong, Lu Jincai, NiuYazhuo, Jiang Ting, Han Xiaofeng, Xu Wei. 2017. Petrology, geochemistry and sedimentary environment of Permian siliceous rocks in Yingen–ejin Banner basin and its adjacent ares[J]. Geological Bulletin of China, (in Chinese with English abstract) (in press).
- The Geology and Mineral Resources Office of Gansu Province. 1997. Rock Stratigraphy of Gansu Province[M]. Wuhan: China University

- of Geosciences Press, 1-314 (in Chinese).
- The Geology and Mineral Resources Office of Inner Mongolia Autonomous Region. 1996. Rock Stratigraphy of Inner Mongolia[M]. Wuhan: China University of Geosciences Press, 1-344 (in Chinese).
- Tian Z H, Xiao W J, Zhang Z Y, Lin X. 2016. Fission-track constrains on superposed folding in the Beishan orogenic belt, southernmost Altaids[J]. Geoscience Frontiers, 7(2): 181-196.
- Wang Hui, Wang Xunlian, Shao Jidong, Wang Zhong. 2007. The age of the Shuangbaotang Formation in the Tianshuijing-Qingshan area, Beishan Mountains, western Inner Mongolia, China[J]. Geological Bulletin of China, 26(2): 174-182 (in Chinese with English abstract).
- Wang Xinmin, Li Xiangbo, Guo Yanru, Li Tianshun. 2004. Transformation dynamic forces and hydrocarbon accumulation of the Yingen-Ejinaqi basin[J]. Petroleum Geology and Experiment, 26(5): 442-447 (in Chinese with English abstract).
- Wei Pingsheng, Zhang Huquan, Chen Qilin. 2006. Petroleum geological characteristics and Exploration Prospects of Yingen-Ejin Banner Basin and Its Vicinities[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1-345 (in Chinese).
- Xiao W J, Mao Q G, Windley B F, Han C M, Qu J F, Zhang J E, Ao S J, Guo Q Q, Cleven N R, Lin S F, Shan Y H, Li J L. 2010. Paleozoic multiple accretionary and collisional processes of the Beishan orogenic collage[J]. American Journal of Science, 310(10): 1553-1594.
- Xiao W J, Windley B F, Sun S, Li J L, Huang B C, Han C M, Yuan C, Sun M, Chen H L. 2015. A tale of amalgamation of three Permo-Triassic collage systems in Central Asia: oroclinal sutures, and terminal accretion[J]. Annual Review of Earth and Planetary Sciences, 43: 477-507.
- Xie Li, Yin Haiquan, Zhou Hongrui, Zhang Weijie. 2014. Permian radiolarians from the Engeerwusu suture zone in Alxa area of Inner Mongolia and its geological significance[J]. Geological Bulletin of China, 33(5): 691-697 (in Chinese with English abstract).
- Xu Bei, Zhao Pan, Bao Qingzhong, Zhou Yongheng, Wang Yanyang, Luo Zhiwen. 2014. Preliminary study of the pre-Mesozoic tectonic unit division of the Xing-Meng Orogenic Belt(XMOB) [J]. Acta Petrologica Sinica, 30(7): 1841-1857 (in Chinese with English abstract).
- Xu Xueyi, He Shiping, Wang Hongliang, Chen Junlu. 2008. Outline of the Geology of NW China-Qinling, Qilian and Tian Shan Areas[M]. Beijing: Science Press, 1-347 (in Chinese with English abstract).
- Yang Shuaishi, Chen Zhiyong, Kang Xiaolong, Li Xinren, Xu Liquan, He Feng, Gong Zhizhen. 2005. Stratigraphy and paleontology of the Mid-Upper Permian Shuangbaotang Formation in the Beishan area, western Inner Mongolia[J]. Geological Bulletin of China, 24(3): 272-276 (in Chinese with English abstract).
- Yin H Q, Zhou H R, Zhang W J, Zheng X M, Wang S Y. 2016. Late Carboniferous to early Permian sedimentary-tectonic evolution of the north of Alxa, Inner Mongolia, China: Evidence from the Amushan Formation[J]. Geoscience Frontiers, 7(5): 733-741.
- Zhang Shun, Chen Shiyue, Wu Zhiping, 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).
- Zhang Xingzhou, Zhou Jianbo, Chi Xiaoguo, Wang Chengwen, Hu Daqian. 2008. Late Paleozoic tectonic-sedimentation and petroleum resources in northeastern China[J]. Journal of Jilin University(Earth Science Edition), 38(5): 719-725 (in Chinese with English abstract).
- Zuo Guochao, Liu Yike, Liu Chunyan. 2003. Framework and evolution of the tectonic structure in Beishan area across Gansu province, Xinjiang autonomous region and Inner Mongolia autonomous region[J]. Acta Geologica Gansu, 12(1): 1-15 (in Chinese with English abstract).

附中文参考文献

- 卜建军, 吴俊, 陈高潮, 史冀忠, 牛亚卓. 2014. 北山地区碎石山剖面菊石动物群的发现及其地质意义[J]. 地质科技情报, 33(2): 50-54.
- 卜建军, 牛志军, 吴俊, 段先锋. 2012. 内蒙古西部额济纳旗及邻区上石炭统—二叠统阿木山组的沉积特征和时代[J]. 地质通报, 31(10): 1669-1683.
- 陈践发, 卢进才, 唐友军, 魏建设, 朱雷, 姜亨, 王冠男. 2011. 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, 30(6): 859-864.
- 丁培榛. 1985. 内蒙古额济纳旗早石炭世管孔贝类化石的重新厘定及其地层意义[J]. 中国地质科学院西安地质矿产研究所所刊, 11: 75-84.
- 甘肃省地质矿产局. 1997. 甘肃省岩石地层[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1-314.
- 耿元生, 沈其韩, 杜利林, 宋会侠. 2016. 区域变质作用与中国大陆地壳的形成与演化[J]. 岩石学报, 32(9): 2579-2608.
- 韩伟, 刘溪, 李金超, 史冀忠. 2012. 内蒙古乌拉特后旗乌兰敖包地区石炭系—二叠系阿木山组沉积环境[J]. 地质通报, 31(10): 1684-1691.
- 何世平, 周会武, 任秉琛, 姚文光, 付力浦. 2005. 甘肃内蒙古北山地区古生代地壳演化[J]. 西北地质, 38(3): 6-15.
- 胡大千, 刘越, 洪艳, 解晓婷. 2011. 东北地区上古生界泥质岩石共存黏土矿物[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 41(5): 1458-1465.
- 贾元琴, 赵志雄, 许海, 王新亮, 刘强, 王金荣. 2016. 北山风雷山地区白山组流纹岩LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄及构造环境[J]. 中国地质, 43(1): 91-98.
- 金庆花, 魏仙祥, 魏建设, 宋博. 2015. 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, 34(5): 953-960.

- 金玉环, 范影年, 王向东, 王仁农. 2000. 中国地层典石炭系[M]. 北京: 地质出版社, 1-138.
- 李渭, 卢进才, 陈高潮. 2011. 内蒙古西部额济纳旗及邻区石炭系——二叠系沉积环境[J]. 地质通报, 30(6): 983-992.
- 刘雪亚, 王荃. 1995. 中国西部北山造山带的大地构造及其演化[J]. 地学研究, 28: 37-48.
- 卢进才, 魏仙样, 魏建设, 李玉宏. 2010. 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, 29(2/3): 330-340.
- 卢进才, 陈高潮, 魏仙样, 李玉宏, 魏建设. 2011a. 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, 魏仙样, 陈高潮, 魏建设, 李玉宏. 2011b. 阿拉善右旗杭乌拉地区下二叠统埋汗哈达组烃源岩特征[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 41(2): 335-342.
- 卢进才, 陈高潮, 李玉宏, 魏仙样, 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, 牛亚卓, 魏仙样, 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, 宋博, 牛亚卓, 魏仙样, 魏建设, 许海红. 2017a. 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, 待刊.
- 卢进才, 魏仙样, 魏建设, 宋博, 史冀忠. 2017b. 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, 待刊.
- 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.
- 牛亚卓, 魏建设, 史冀忠, 陈高潮. 2013. 甘肃北山地区北部上石炭统火山岩LA-ICP-MS锆石U-Pb年龄及其构造意义[J]. 地质通报, 32(11): 1720-1727.
- 牛亚卓, 卢进才, 魏建设, 陈高潮, 史冀忠, 吴俊. 2014. 甘蒙北山地区下石炭统绿条山组时代修正及其构造意义[J]. 地质论评, 60(3): 567-576.
- 史冀忠, 卢进才, 牛亚卓, 姜亭, 韩小锋, 许伟. 2017. 银额盆地及邻区二叠系硅质岩岩石学、地球化学特征及沉积环境[J]. 地质通报, 待刊.
- 王惠, 王训练, 邵积东, 王忠. 2007. 内蒙古西部北山地区甜水井—青山一带双堡塘组时代讨论[J]. 地质通报, 26(2): 174-182.
- 王新民, 李相博, 郭彦如, 李天顺. 2004. 银根—额济纳旗盆地改造动力与油气成藏[J]. 石油实验地质, 26(5): 442-447.
- 卫平生, 张虎全, 陈启林. 2006. 银根—额济纳旗盆地油气地质特征及勘探前景[M]. 北京: 石油工业出版社, 1-345.
- 谢力, 尹海权, 周洪瑞, 张维杰. 2014. 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, 33(5): 691-697.
- 徐备, 赵盼, 鲍庆中, 周永恒, 王炎阳, 罗志文. 2014. 兴蒙造山带前中生代构造单元划分初探[J]. 岩石学报, 30(7): 1841-1857.
- 徐学义, 何世平, 王洪亮, 陈隽璐. 2008. 中国西北部地质概论秦岭、祁连、天山地区[M]. 北京: 科学出版社, 1-347.
- 杨帅师, 陈志勇, 康小龙, 李新仁, 许立权, 贺锋, 巩智镇. 2005. 内蒙古西部北山地区中、上二叠统双堡塘组地层古生物特征[J]. 地质通报, 24(3): 272-276.
- 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.
- 张兴洲, 周建波, 迟效国, 王成文, 胡大千. 2008. 东北地区晚古生代构造—沉积特征与油气资源[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 38(5): 719-725.
- 左国朝, 刘义科, 刘春燕. 2003. 甘新蒙北山地区构造格局及演化[J]. 甘肃地质学报, 12(1): 1-15.