

引用: 齐荣, 何发岐, 王付斌, 等. 鄂尔多斯盆地南部长探1井上古生界勘探突破及意义[J]. 中国石油勘探, 2021,26(3):68-78.

Qi Rong, He Faqi, Wang Fubin, et al. Exploration breakthrough of Upper Paleozoic of Well Changtan 1 in southern Ordos Basin and its significance[J]. China Petroleum Exploration, 2021,26(3):68-78.

鄂尔多斯盆地南部长探1井上古生界勘探突破及意义

齐 荣 何发岐 王付斌 贾会冲 王 巍

(中国石化华北油气分公司)

摘 要: 鄂尔多斯盆地西南缘彬长区块构造特征相对复杂, 2020年中国石化在该区块部署的风险探井长探1井在上古生界上石盒子组试获工业气流, 标志着盆地南缘上古生界天然气取得新层系突破, 随后又有多口井在上石盒子组、下石盒子组、山西组多层试获工业气流或钻遇良好显示, 表明盆地南部物源体系中构造复杂带与盆地内部陇东地区不同, 上古生界呈现出多层含气。为查明盆地南缘上古生界天然气成藏模式, 完善和丰富盆地南部上古生界物源体系成藏认识, 通过岩性录井及地层测试、色谱—质谱分析、测井解释、地震解释及属性分析、区域地质类比等技术手段, 系统开展了盆地南部彬长区块构造演化及断裂活动、上古生界煤系烃源岩特征、沉积相及储层分布、区域保存条件及天然气输导特征等成藏条件研究。研究结果表明, 盆地南部上古生界具备天然气富集成藏的有利地质条件, 天然气成藏表现为“多层叠置、断裂输导、下生上储、立体成藏”模式, 优质储层分布及高角度断层输导两个关键因素共同决定了盆地南缘天然气富集; 大型三角洲砂体厚度大、物性较好, 高角度断层输导成藏的区域是下步有利的天然气勘探方向。

关键词: 成藏模式; 上古生界; 南部物源区; 鄂尔多斯盆地

中图分类号: TE122.11 **文献标识码:** A **DOI:** 10.3969/j.issn.1672-7703.2021.03.006

Exploration breakthrough of Upper Paleozoic of Well Changtan 1 in southern Ordos Basin and its significance

Qi Rong, He Faqi, Wang Fubin, Jia Huichong, Wang Wei

(Sinopec North China Oil and Gas Company)

Abstract: binchang block in the southwestern margin of Ordos Basin has complex structural features, in 2020, Well Changtan 1, a risk exploration well drilled by Sinopec, tested commercial gas flow in the Upper Shihezi Formation, marking the natural gas breakthrough in Upper Paleozoic in the southern margin of Ordos Basin. Subsequently, several wells tested commercial gas flow or penetrated good gas shows in Upper Shihezi Formation, Lower Shihezi Formation and Shanxi Formation, showing multiple gas bearing layers of Upper Paleozoic in the complex structural zone of southern basin, which is different from the Longdong area inside basin. In order to find out gas accumulation pattern and improve understanding of the provenance system in the southern margin of the basin, in this paper, the gas accumulation conditions of Upper Paleozoic in Binchang block were systematically studied, including the regional tectonic evolution, fault activities, characteristics of coal measures source rocks, sedimentary facies, reservoir distribution, regional preservation conditions, and natural gas transportation

基金项目: 中国石化科技部项目“鄂尔多斯盆地中石化探区上古生界致密气富集规律与目标优选”。

第一作者简介: 齐荣(1986-), 女, 博士, 2020年毕业于中国地质大学(北京), 高级工程师, 从事石油天然气勘探生产及科研工作。地址: 河南省郑州市陇海西路199号中国石化华北油气分公司, 邮政编码: 450006。E-mail: qirong.hbsj@sinopec.com

通信作者简介: 何发岐(1967-), 男, 博士, 2002年毕业于中国地质大学(武汉), 教授级高级工程师, 从事石油天然气勘探开发及管理工作。地址: 河南省郑州市陇海西路199号中国石化华北油气分公司, 邮政编码: 450006。E-mail: hef.q.hbsj@sinopec.com

收稿日期: 2021-04-19; 修改日期: 2021-05-13

characteristics by means of lithologic logging, formation test, chromatography-mass spectrometry analysis, logging interpretation, seismic interpretation and attribute analysis, and regional geological analogy, etc. The study results show that there are favorable geological conditions for natural gas accumulation of Upper Paleozoic in the southern basin, which is characterized by "multi-layer superposition, fault transportation, lower generation and upper storage, and stereoscopic gas accumulation". The gas enrichment is jointly determined by the distribution of high-quality reservoirs and high angle fault transportation. The areas where large-scale delta sand bodies are developed with large thickness and good physical properties, as well as high angle faults for gas migration and accumulation are favorable targets for gas exploration.

Key words: gas accumulation pattern, Upper Paleozoic, southern provenance area, Ordos Basin

0 引言

鄂尔多斯盆地上古生界沉积由南北两大物源供给形成,以固原、庆阳、宜君一线为界,北部体系勘探开发取得举世瞩目的成就,已发现包括苏里格、米脂、子洲、神木、大牛地、延安及东胜等多个大型致密砂岩气田,是我国目前储量规模最大、产量最高的致密气产区。盆地南部上古生界一直是勘探家高度关注而谨慎的领域,前期区域研究成果认为盆地南部上古生界煤层厚度薄、物源规模小,并且南缘构造复杂,黄土塬覆盖,埋深大,资料条件差,导致既往形成了盆地资源分布呈“南油北气”之说,因此,中国石化华北油气分公司“十三五”之前在盆地南部一直以石油勘探为主。

直至2017年在邻区陇东地区古生界取得了较大的突破和发现后,华北油气分公司在中国石油化工股份有限公司风险勘探机制支持下,加大南部古生界天然气的勘探力度。2020年为查明盆地南部古隆起及周缘古生界地质特征,在彬长区块部署风险探井长探1井,一方面要弄清下古生界展布特征及岩溶储层发育状况,另一方面要评价盆地南部上古生界煤系烃源岩发育情况和储层发育状况及含气性,为华北油气分公司寻找鄂尔多斯盆地天然气勘探新的战略接替阵地。长探1井在寒武系张夏组钻遇鲕粒灰岩,发育岩溶缝洞,认为下古生界具有岩溶储层条件,但成藏规律及成藏模式需进一步探索;同时该井在上古生界上石盒子组盒7段试获工业气流 $2.6 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,标志着鄂尔多斯盆地南部上古生界碎屑岩领域勘探取得新层系突破。随后彬长区块的B2井在山西组也试获工业气流,为进一步评价上古生界勘探潜力,扩大勘探成果,相继部署多口井,均在山西组—上石盒子组钻遇良好气层,证实盆地南缘上古生界含气系统也具有良好的致密气成藏条件及勘探前景。

已有研究对上古生界南部物源沉积体系类型、烃源岩生气潜力、致密砂岩展布特征、储层特征与有利储层主控因素等有了基本认识^[1-14],但对鄂尔多斯盆地南部成藏模式进行的探讨较少。本文基于盆地南缘构造复杂区最新勘探进展及相关资料,系统梳理、分析盆地南缘构造特征、上古生界烃源岩、沉积—储层及输导特征,建立上古生界天然气成藏模式,总结天然气富集主控因素,为盆地南缘致密气勘探提供理论支撑,以期丰富和完善盆地南缘天然气勘探成藏认识。

1 区域地质概况

鄂尔多斯盆地是华北板块的一部分,晚古生代华北克拉通南北两侧受到挤压作用隆升,盆地类型变为大型内克拉通盆地^[15]。沉积环境由海相、海陆过渡相向陆相沉积转变,后期受印支运动—燕山运动的影响,盆地北部、东部抬升,南部相对变低,整体向西倾^[16],控制了油气成藏格局。

中国石化华北油气分公司登记的彬长区块位于陕西省彬县、长武县,向西与甘肃省正宁县、宁县相连,构造位置处于鄂尔多斯盆地西南缘伊陕斜坡、渭北隆起、天环坳陷构造单元结合部位,构造特征相对复杂^[17](图1)。从已有成果认识看^[18-19],彬长区块构造沉积演化与北秦岭构造带及六盘山弧形构造带的演化发展较为密切。早古生代晚期,加里东运动使北秦岭褶皱隆起拼接在华北克拉通南缘,物源区开始形成,这为盆地西南部晚古生代沉积和古水系的发育奠定了基础。海西运动过程中由于区域性的地壳拉张使早石炭世形成贺兰—祁连海盆,晚石炭世形成祁连海与华北海。早二叠世晚期,华北克拉通南北缘海槽封闭,海盆发育结束,进入陆相盆地演化阶段。此时,秦岭造山带进入全面碰撞阶段,挤压构造作用不断加剧,北秦岭构造带开始全面隆升,物源区不断扩大。到二叠纪晚期,海西晚期运动使得祁连—秦岭形成统一的物源区。晚古生代北秦岭地区为研究区的重要物源区。

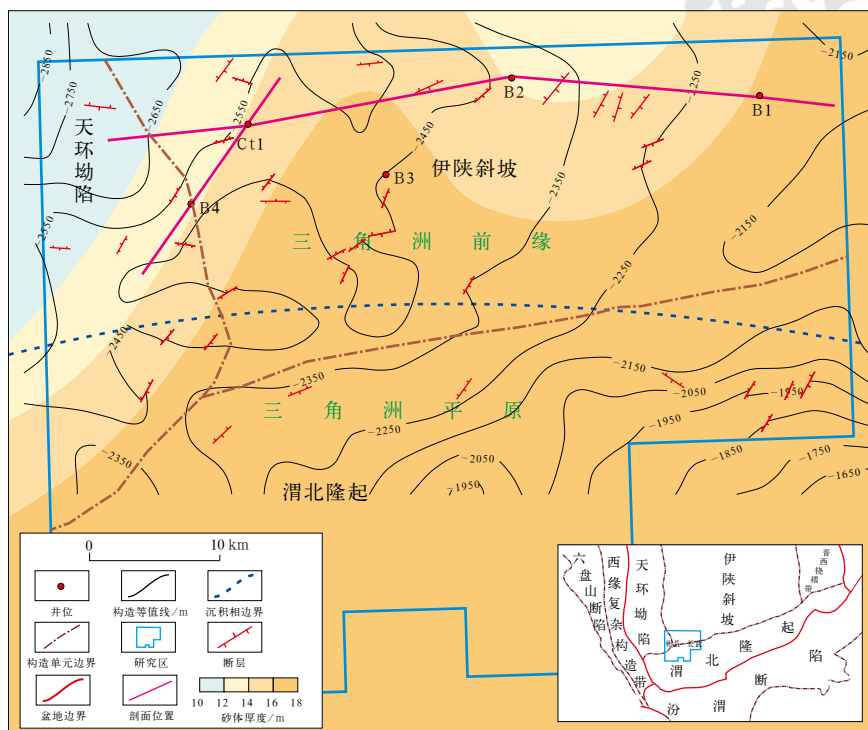


图1 鄂尔多斯盆地南缘彬长区块位置及下石盒子组沉积相与顶面构造叠合图

Fig.1 Regional location and superimposed map of sedimentary facies and top structure of Lower Shihezi Formation in the Binchang block in the southern margin of Ordos Basin

Ct1 井为长探1井

彬长区块上古生界主要位于受西南物源控制的咸阳—铜川三角洲沉积范围内^[19], 缺失石炭系, 自下而上主要发育下二叠统太原组(P_1t)、山西组(P_1s), 中二叠统下石盒子组(P_2x)、上石盒子组(P_2s), 上二叠统石千峰组(P_3sh)。其中山西组又可分为两段, 自下而上分别为山1段和山2段, 石盒子组又可分为8段, 自下而上分别为盒1段—盒8段(图2), 目前含气层位有盒7段、盒4段、盒5段、盒1段、山2段和山1段(图3)。彬长区块下古生界受中央古隆起和加里东末期构造抬升运动影响, 遭受不同程度剥蚀, 自西向东地层逐渐变新, 长探1井张夏组与上古生界直接接触, B1井三山子组与上古生界直接接触, B2井奥陶系与上古生界直接接触。

2 成藏条件

2.1 盆地南缘受多期构造运动影响, 断裂发育, 构成纵向运移通道

鄂尔多斯地块与祁连—秦岭活动造山带之间的关系复杂, 经历了多期次、不同性质的构造变形, 使得鄂尔多斯盆地西南缘断裂经历多期次叠加^[20-21]。结合盆地演化背景和研究区地震解释剖面反映的断裂构

造特征, 在该区共识别出5期断裂。5期断裂继承性发育(图4), 加里东期断裂在下部寒武系—奥陶系主要表现为高角度正断裂, 大多断至奥陶系顶面。志留系—泥盆系在盆地普遍缺失, 构造运动的影响表现在奥陶系不整合面地貌形态上, 断裂对地层的破坏导致岩溶沟槽呈规律性展布, 受该阶段构造运动影响, 鄂尔多斯盆地整体抬升, 遭受近1.5亿年的暴露剥蚀^[22], 此时形成的断裂有利于大气降水及地表水沿着断层向下渗流, 从而有利于奥陶系岩溶储层的发育, 后期山西组—太原组煤层生成的天然气可沿加里东期—海西期断裂向下运移至奥陶系碳酸盐岩中成藏。海西晚期的构造挤压使盆地二叠统主要发育逆断裂, 大多断穿奥陶系顶部至二叠系顶部, 油气向上运移至上石盒子组致密砂岩中成藏。受印支运动影响, 中—下三叠统发育走滑断裂, 产状近直立, 走向以北西—南东向为主, 大多数断裂可断至二叠系。受燕山早期运动影响, 上三叠统—下侏罗统发育走滑断裂, 产状陡立, 走向呈北东东向, 这个时期是以南部物源体系内煤系地层为烃源岩的含油气系统的关键时期。从盒7段气层的形成看, 断裂的发育构成该区纵向成藏的运移通道。受喜马拉雅运动影响, 白垩系—第四系发育正断裂。

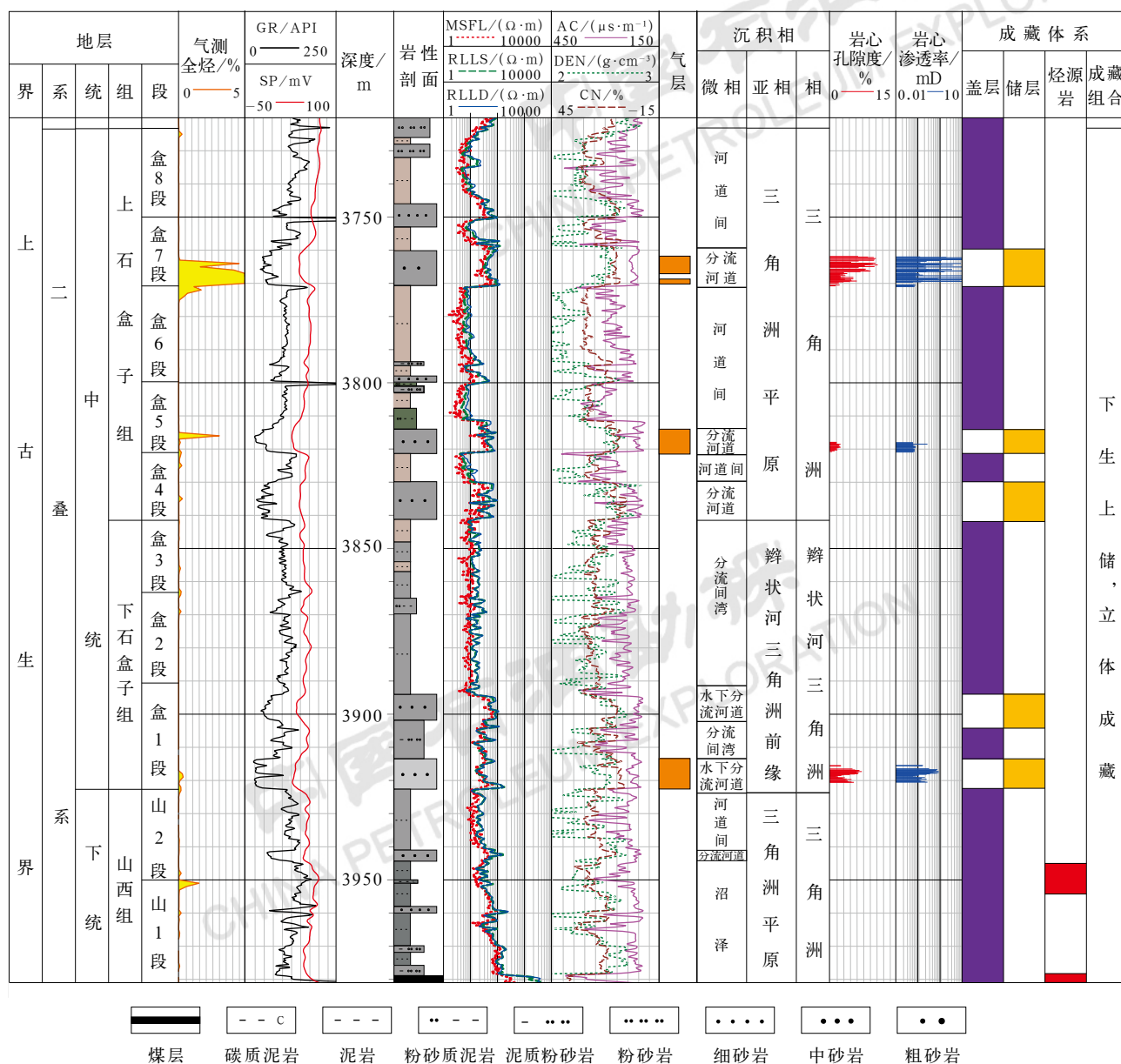


图2 鄂尔多斯盆地南缘彬长区块长探1井综合柱状图

Fig.2 Comprehensive histogram of Well Changtan 1 in the Binchang block

2.2 上古生界煤系烃源岩在区域上广泛分布，是盆地南部古生界的主力烃源岩

鄂尔多斯盆地古生界存在两套现实的烃源岩^[23]：一是石炭系—二叠系煤系地层，为滨海至内陆沼泽沉积的暗色泥质岩、煤层等，鄂尔多斯全盆地广泛分布；二是上奥陶统斜坡—盆地相乌拉力克组 / 平凉组暗色泥页岩，仅在鄂尔多斯盆地西南缘局部发育。对盆地南缘上古生界目的层而言，石炭系—二叠系煤系烃源岩是主力烃源岩^[24-26]。

钻井揭示,盆地南缘彬长区块上古生界煤系地层

发育煤岩、碳质泥岩及暗色泥岩 3 类烃源岩, 总体为“煤薄泥厚”特征。就煤岩而言, 鄂尔多斯盆地上古生界煤岩整体呈现为北厚南薄, 盆地南缘中国石化探区已有钻井揭示, 除东部富县地区外, 盆地南缘煤岩厚度多小于 6m, 其中彬长区块上古生界煤岩也较薄, 平面上具东厚西薄的展布特征; 上古生界煤岩厚度虽薄但在南缘广泛分布, 且煤岩现今主体处于高成熟演化阶段, 生烃强度可达 $(6 \sim 8) \times 10^8 \text{ m}^3/\text{km}^2$ 。此外, 最新完钻的长探 1 井与 B2 井在上古生界都获得了高产工业气流, 证实上古生界高热演化薄层煤系烃源岩具备优越的供烃条件 (图 5)。

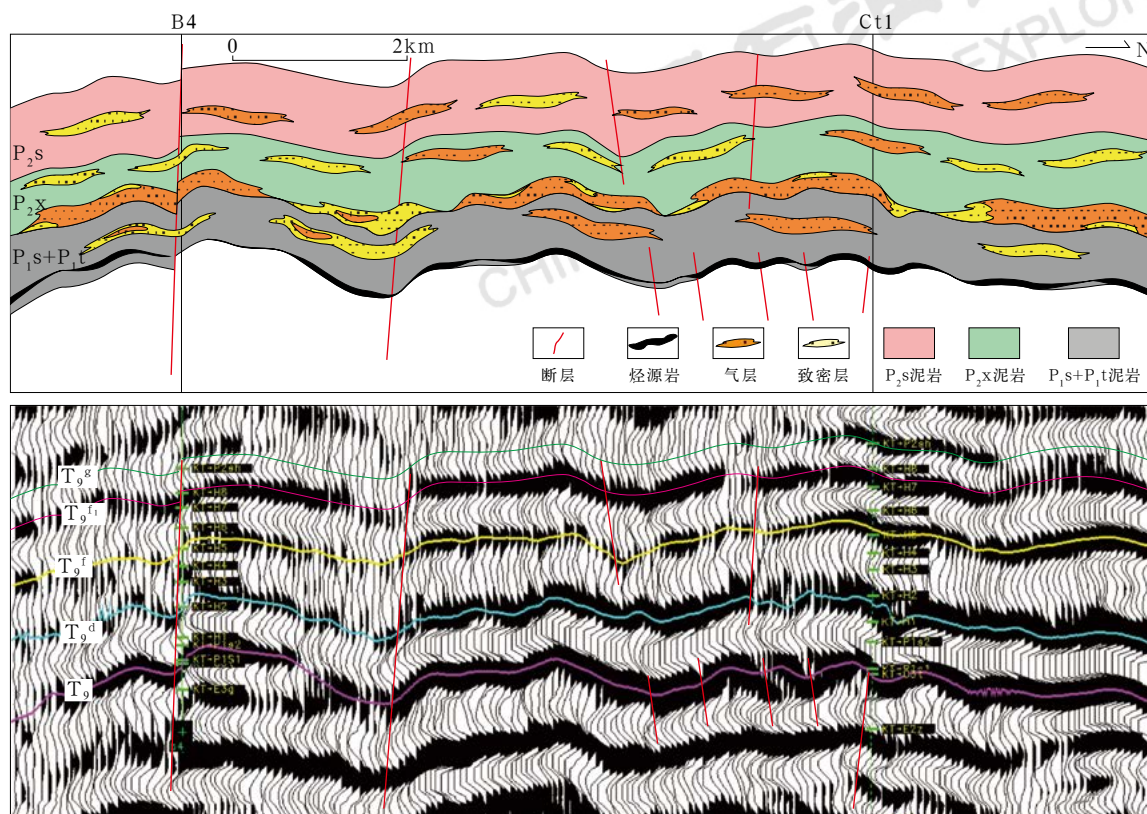


图3 彬长区块上古生界气藏剖面(上)及地震反射特征(下)(剖面位置见图1)

Fig.3 Gas accumulation profile (up) and seismic reflection characteristics (low) of Upper Paleozoic in the Binchang block (profile location is in Fig.1)

T_9^g —上石盒子组顶部; T_9^{f1} —盒7段底部; T_9^f —上石盒子组底部; T_9^d —下石盒子组底部; T_9 —上古生界底部

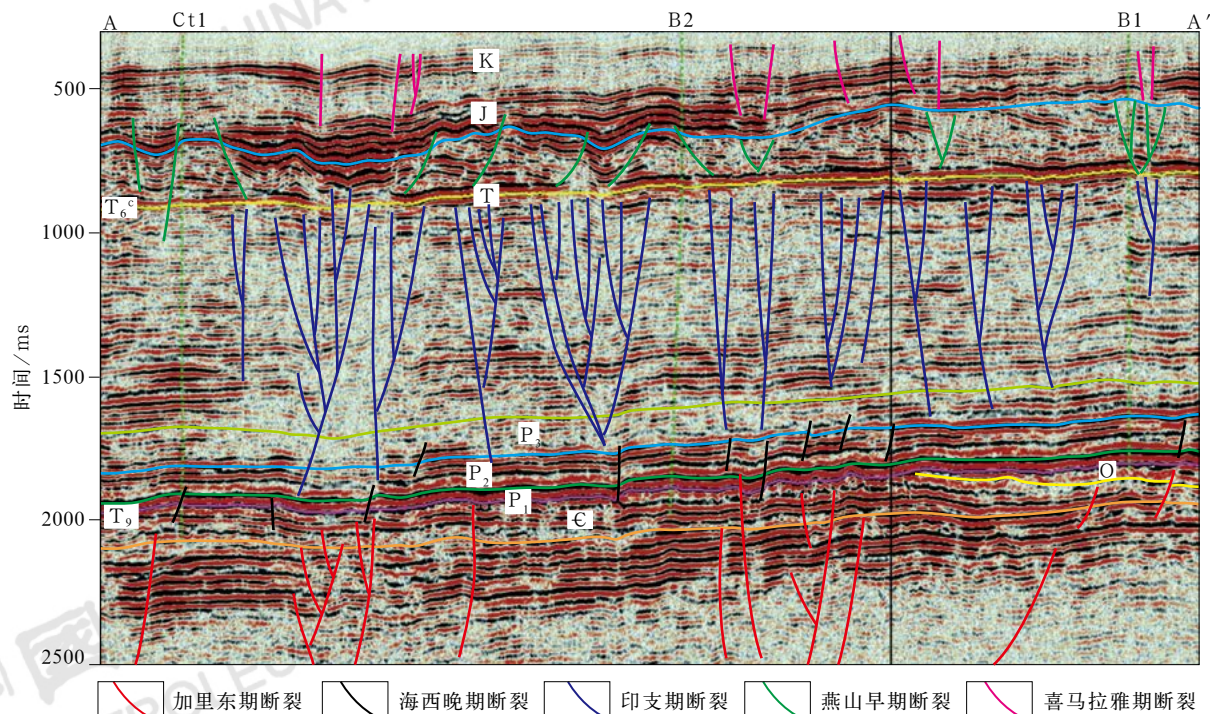


图4 彬长区块断裂期次图

Fig.4 Faults of different tectonic movements in the Bingchang block

T_6^c —延长组长7段底部

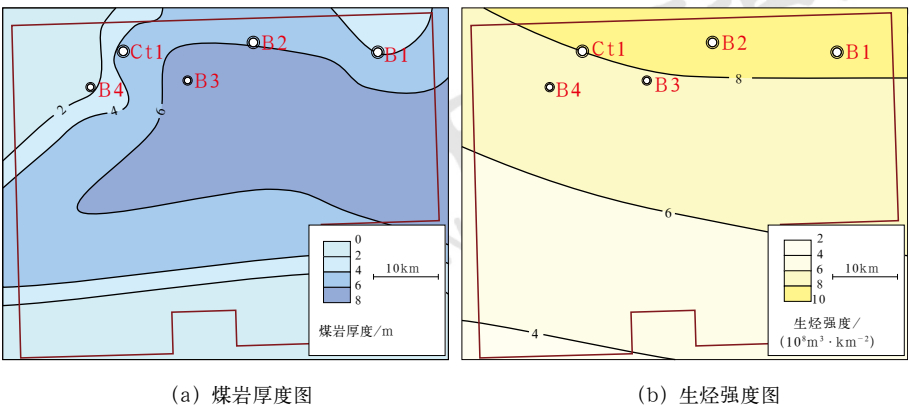


图 5 彬长区块上古生界煤岩厚度与生烃强度图

Fig.5 Isopach map and hydrocarbon generation intensity of Upper Paleozoic coal bed in the Binchang block

碳质泥岩在鄂尔多斯盆地南缘富县北部、彬长—旬宜区块（厚度为 10~60m）及陇东地区（厚度为 10~30m）都有分布，目前富县、彬长及陇东已实现勘探突破，说明盆地南缘上古生界碳质泥岩是区内另一类重要烃源岩，可作为煤岩的有效补充。由于彬长区块尚未开展煤岩样品的有机地球化学测试分析，参考鄂尔多斯盆地其他地区上古生界煤岩有机质丰度测试成果发现，煤岩有机质丰度在不同地区、不同层位差异不甚明显，均表现为高有机碳、氯仿沥青“A”和总烃。有机碳含量为 73.6%~83.2%，氯仿沥青“A”为 0.61%~0.8%，总烃为 1757.1~2539.8 μg/g，生烃潜量 S_1+S_2 为 72.8~78.1mg/g (HC/TOC)，烃转化率为 6.9%~7.7%（表 1），显示烃源岩品质好；同时，B2 井甾烷、萘烷参数表明山西组烃源岩样品均处于高成熟演化阶段，具备优越的供气条件（图 6）。

表 1 鄂尔多斯盆地上古生界煤岩有机质丰度表

Table 1 Organic abundance of the Upper Paleozoic coal beds in the Ordos Basin

地层	TOC/%	氯仿沥青“A”/%	总烃 / (μg · g ⁻¹)	S_1+S_2 /(mg · g ⁻¹) (HC/TOC)	烃转化率 /%
山西组	$\frac{49.28 \sim 89.17^*}{73.6(28)}$	$\frac{0.1033 \sim 2.4497}{0.8(10)}$	$\frac{519.9 \sim 6699.93}{2539.8(8)}$	$\frac{21.009 \sim 143.098}{78.1(37)}$	$\frac{0.79 \sim 24.1}{6.9(37)}$
太原组	$\frac{73.831 \sim 87.668}{83.2(46)}$	$\frac{0.0257 \sim 1.9618}{0.61(27)}$	$\frac{222 \sim 4463}{1757.1(9)}$	$\frac{5.52 \sim 183.336}{72.8(55)}$	$\frac{0.8 \sim 16.3}{7.7(55)}$

* 最小值~最大值
平均值(样品数)。

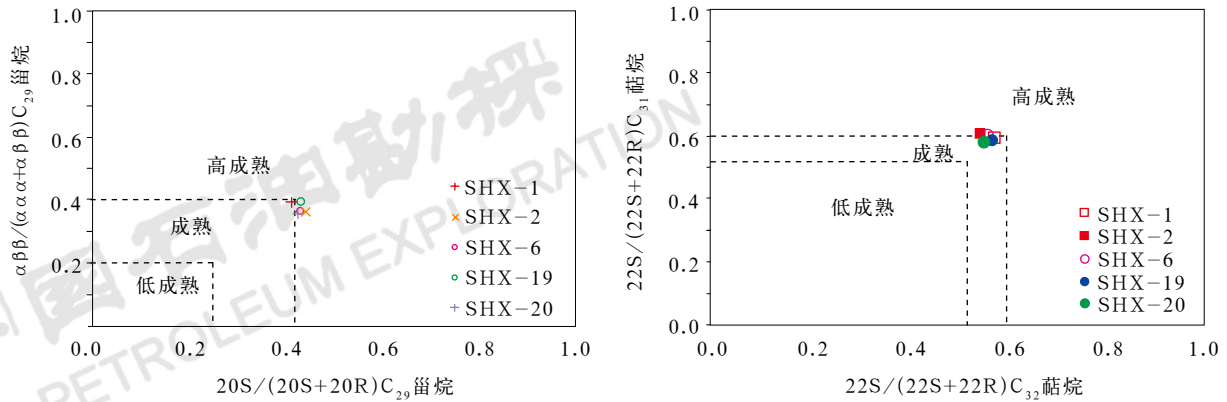


图 6 彬长区块 B2 井山 1 段烃源岩抽提物甾烷、萘烷交会图

Fig.6 Crossplot of steroids and terpanes extracted from Shan 1 member source rocks in Well B2 in the Binchang block

2.3 上古生界下石盒子组—上石盒子组发育大型三角洲, 为天然气聚集成藏的有利储集相带

2.3.1 下石盒子组—上石盒子组沉积相类型及特征

下石盒子组沉积时期盆地物源区抬升强烈, 尤其是盒1段沉积时期盆地呈现“满盆砂”特征。盆地南部主体为辫状河三角洲平原—三角洲前缘沉积^[28], 岩心可见多期分流河道砂体叠置发育, 河道底部常见滞留沉积, 岩性以砂砾岩、含砾粗砂岩为主, 砾石多为石英砾, 主要发育块状层理、板状交错层理和平行层理, 表明该时期水动力较大且稳定。自然伽马曲线多为厚层叠置砂体所对应的箱形或齿化箱形, 底部突变, 上部可见薄层指形曲线特征(图2)。

上石盒子组沉积期, 盆地内南北地形差异逐渐减小, 盆地南部主体为三角洲平原—三角洲前缘沉积^[28], 但砂体规模较下石盒子组沉积期有所减小, 主要

表现在砂体厚度减小、河道平面分布范围减小。在岩心上可以看到盒7段砂岩以灰白色含砾粗砂岩、粗砂岩为主, 分选较盒1段好, 主要发育块状层理。自然伽马曲线多为箱形或齿化箱形, 底部突变。

2.3.2 下石盒子组—上石盒子组储层特征与分布预测

优质储层是下石盒子组—上石盒子组天然气成藏的关键因素之一。上石盒子组盒7段砂体在彬长区块较为发育, 已钻井均钻遇盒7段砂体, 最厚的砂体达到18m, 最薄的砂体为3m。盒7段整体实测物性较好, 孔隙度为2.3%~11%, 渗透率为0.06~14.5mD。地震属性与单井钻遇砂体厚度交会图分析认为, T_9^{f1} 最大波峰振幅与盒7段砂体厚度具有较好的正相关性(图7); 盒7段砂体厚度大时, T_9^{f1} 表现为强波峰振幅(长探1井盒7段砂体厚度为10m, B2井盒7段砂体厚度为11m; 图8), 盒7段砂体厚度小时, T_9^{f1} 表现为弱波峰振幅(B1井盒7

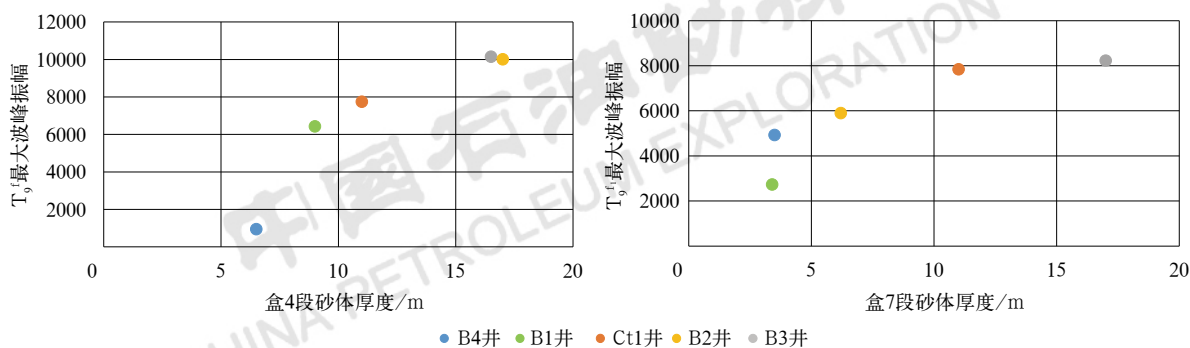


图7 最大波峰振幅与砂体厚度交会图

Fig.7 Crossplot of maximum peak amplitude and sand thickness

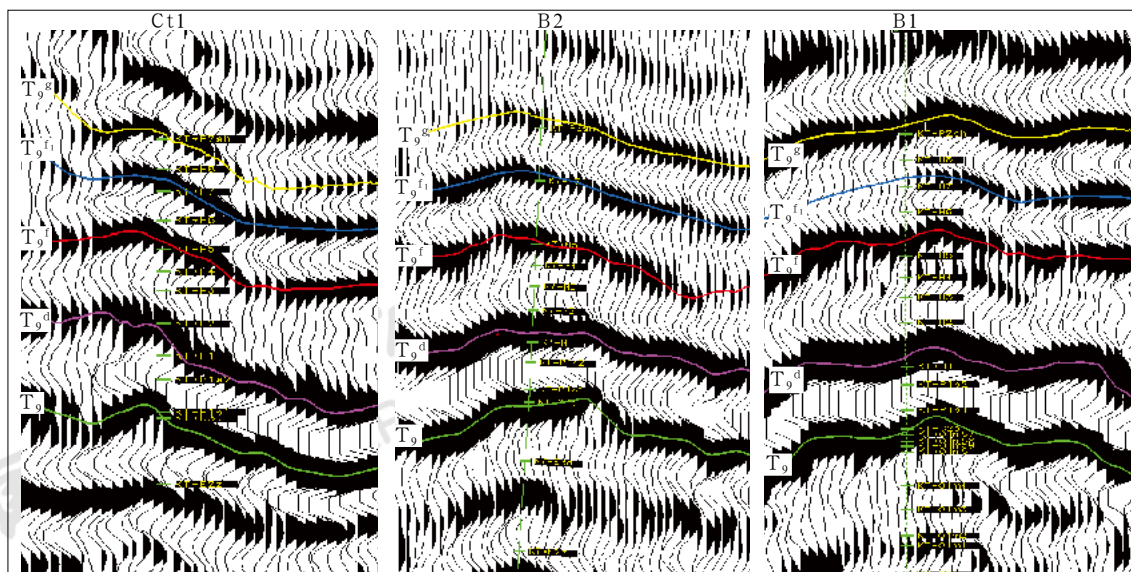


图8 已钻井地震反射波组特征图

Fig.8 Seismic reflection wave features cross wells

段砂体厚度为3m;图8)。盒7段 T_{9f} 振幅属性显示,红色、黄色和绿色为砂体发育区(图9a),盒7段砂体整体上呈北东—南西向展布特征(图9b),共

发育4条河道,河道宽度为3~6km,主要发育在研究区的西部和中部,估算有利区面积为160km²,天然气地质资源量为285×10⁸m³。

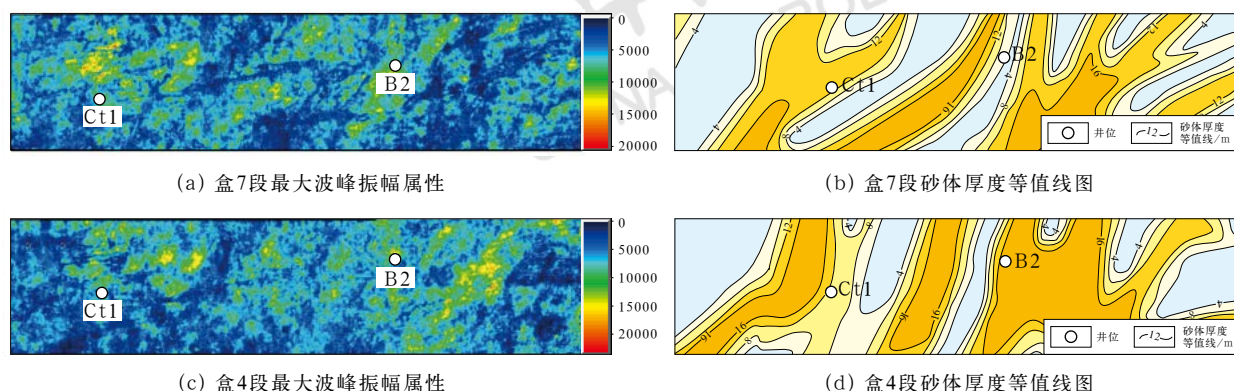


图9 最大波峰振幅属性与砂体厚度等值线图

Fig.9 Attributes of maximum peak amplitude and sand body thickness contour map

盒4段砂体也较为发育,彬长区块已钻井均钻遇,最厚的砂体达到17m,最薄的砂体为6.5m。 T_{9f} 最大波峰振幅与盒4段砂体厚度具有较好的正相关性(图7、图8)。盒4段砂体在彬长区块整体上呈北东—南西向展布特征,共发育5条河道,河道宽度为2~7km(图9c、d),估算有利区面积为150km²,天然气地质资源量为300×10⁸m³。

盒1段砂体规模较盒7段和盒4段大,孔隙度为1.4%~7.6%,渗透率为0.08~1.1mD。由于山西组—太原组厚度较小,其煤层对盒1段砂体有效地震反射具有干扰影响。利用地震反射特征(中强波峰振幅)进行属性提取与储层预测(图8),其结果与已钻井符合率为100%。总体认为,盒1段水下分流河道横向摆动频繁,砂体广泛分布(图1),估算有利区面积为300km²,天然气地质资源量为660×10⁸m³。

3 盆地南缘复杂构造过渡带成藏模式

上古生界致密砂岩气以二叠系太原组、山西组煤系地层为烃源岩,太原组、山西组及下石盒子组三角洲砂体和河道砂体为主力含气层段^[12,19],中二叠统上石盒子组与石千峰组发育干旱—半干旱气候条件下的内陆湖泊、洪泛平原厚层泥质岩,在全盆地广泛分布,是整个上古生界含气系统的大型区域封盖层。就盆地南部地区而言,石千峰组作为区域性盖层发育稳定,钻井揭示彬长区块内区域性盖层厚度为200~300m,封盖能力强。此外,盆地南部山西组、下石盒子组、上石盒子组内发育的浅湖泥岩作为局部盖层也可形成有

效封堵条件。

就彬长区块来讲,区内太原组—山西组高成熟煤系烃源岩生烃强度高,供烃充足(图5);下石盒子组盒1段、上石盒子组盒4段与盒7段、山西组等多套三角洲平原—三角洲前缘相砂体垂向叠置形成优质储集体;山西组和下石盒子组—上石盒子组的三角洲沉积体与下伏太原组—山西组煤系烃源岩层形成“下生上储”的源储配置。天然气运移主体以近源垂向输导为主,断裂为主要垂向输导通道,具体包括两种输导类型:一是高角度穿层断裂输导控藏,代表实例为长探1井盒7段气层。长探1井在盒7段钻遇气层6.8m,并试获日产天然气2.6×10⁴m³,该井附近高角度穿层断裂向上断穿至上石盒子组盒4段—盒7段储层,断层有效沟通下部太原组—山西组煤系烃源岩与上部上石盒子组优质储层,形成高效天然气垂向输导通道。二是层间/层内裂缝输导控藏^[30],代表实例为B2井山2段及盒1段气层。B2井在山2段试获日产气1.12×10⁴m³,盒1段试获日产气0.58×10⁴m³。三维地震资料显示,向东B2井区附近高角度穿层断裂不甚发育,下伏太原组—山西组煤系烃源岩生成的天然气不能有效运移至上石盒子组储层,其成藏主要受控于层间/层内裂缝分布,天然气成藏层系集中于下石盒子组及山2段储层内(图10)。从区域成藏史分析,早白垩世末为盆地南部主要天然气聚集成藏时间^[31-32],盆地南部天然气成藏晚于海西期层间/层内裂缝与印支期近直立走滑断裂两类输导通道的形成,早白垩世末山西组—太原组煤系烃源岩达到最大

埋深^[30], 天然气达到生烃高峰并规模排出后, 通过先存的层内及穿层断裂系统持续输导油气至山西组及下石盒子组—上石盒子组储层中聚集成藏。

基于长探1井及B2井等井上古生界下石盒子组—上石盒子组天然气成藏条件分析, 建立了以盆地南缘彬长区块为代表的复杂过渡带天然气成藏模式, 即“多层叠置、断裂输导、下生上储、立体成藏”。优质储层分布及高角度断层两个关键因素共同决定了

盆地南缘上古生界勘探选区的下步方向和依据, 其中, 对于上古生界山西组及下石盒子组目的层而言, 下步勘探评价重点为沉积相带展布及有利储集体预测, 而对于上古生界上石盒子组目的层, 除以河道控藏模式进一步落实资源潜力外, 同时注重穿层断层精细地震解释, 重点分析断层控制下天然气输导、调整的动态过程研究, 最终落脚到优质储集体与断裂输导控藏综合评价及选区。

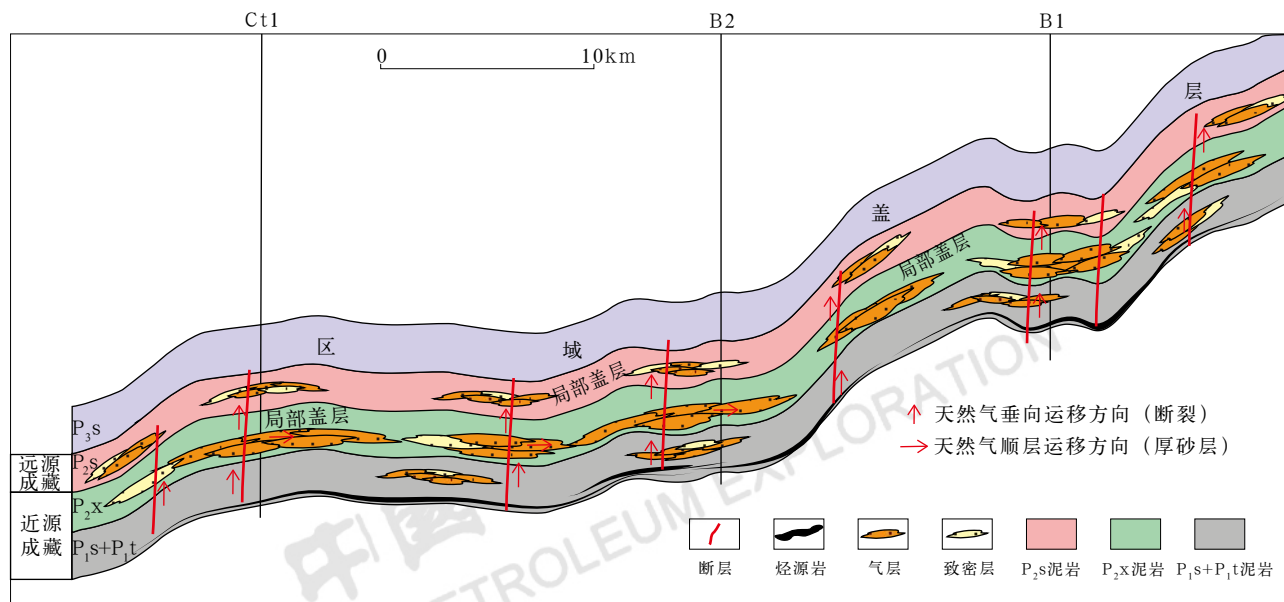


图10 彬长区块上古生界天然气成藏模式(剖面位置见图1)

Fig.10 Gas accumulation pattern of Upper Paleozoic in the Binchang block (section location is in Fig.1)

4 结论

(1) 鄂尔多斯盆地南缘具有天然气富集的成藏地质条件。主要烃源岩为上古生界太原组—山西组煤岩, 碳质泥岩也为重要补充, 煤岩厚度不大但分布广泛, 在成熟—高成熟背景下表现为广覆式持续生气特征, 具有优越的供烃条件。上古生界山西组—上石盒子组发育大型三角洲, 北东向展布, 河道砂体叠置发育, 为天然气聚集成藏的有利储集相带。上石盒子组泥岩和石千峰组泥岩是盆地南缘有效区域封盖层。盆地南部共经历5期构造演化, 发育5期断裂, 印支期近直立走滑断裂与海西期层间/层内裂缝为主要垂向输导通道。

(2) 盆地南部复杂构造过渡带天然气成藏呈“多层叠置、断裂输导、下生上储、立体成藏”模式。盆地南部彬长区块盒1段—盒7段多套三角洲平原—三角洲前缘相砂体垂向叠置形成优质储集体, 在优质储

层分布控藏基础上, 印支期近直立走滑断裂与海西期断裂深部沟通至太原组—山西组煤系烃源岩, 向上穿过多套上古生界目的层, 控制天然气垂向运移输导, 聚集则表现为多层叠置成藏特征。

(3) 优质储层分布及高角度断层输导两个关键因素共同决定了盆地南缘天然气富集及下步勘探选区方向。对于山西组及下石盒子组目的层而言, 有利区带预测主要依据为沉积相带展布及有利储集体预测; 对于上石盒子组目的层而言, 有利区带预测主要依据优质储层预测、高角度气源断层分布及两者配置关系, 盆地南缘上古生界致密砂岩气是下一步重要且现实的勘探领域。

参考文献

- [1] 何发岐, 王付斌, 张威, 等. 鄂尔多斯盆地北缘勘探思路转变与天然气领域重大突破[J]. 中国石油勘探, 2020, 25(6): 39–49.
He Faqi, Wang Fubin, Zhang Wei, et al. Transformation

- of exploration ideas and major breakthrough in natural gas discovery in the northern margin of the Ordos Basin[J]. China Petroleum Exploration, 2020,25(6):39-49.
- [2] 李仲东,郝蜀民,李良,等.鄂尔多斯盆地上古生界气藏与深盆气藏特征对比[J].石油与天然气地质,2009,30(2):149-155.
Li Zhongdong, Hao Shumin, Li Liang, *et al.* Comparison between the Upper Paleozoic gas reservoirs in Ordos Basin and deep basin gas reservoirs[J]. Oil & Gas Geology, 2009,30(2): 149-155.
- [3] 杨智,邹才能,付金华,等.大面积连续分布是页岩层系油气的标志特征——以鄂尔多斯盆地为例[J].地球科学与环境学报,2019,41(4):459-474.
Yang Zhi, Zou Caineng, Fu Jinhua, *et al.* Characteristics and “Sweet area (section)” evaluation of continuous tight & shale oil and gas in Ordos Basin, north-central China[J]. Journal of Earth Sciences and Environment, 2019,41(4):459-474.
- [4] 赵靖舟,付金华,姚涇利,等.鄂尔多斯盆地准连续型致密砂岩大气田成藏模式[J].石油学报,2012,33(增刊1):37-52.
Zhao Jingzhou, Fu Jinhua, Yao Jingli, *et al.* Quasi-continuous accumulation model of large tight sandstone gas field in Ordos Basin[J]. Acta Petrolei Sinica, 2012,33(S1):37-52.
- [5] 严敏,赵靖舟,曹青,等.鄂尔多斯盆地临兴地区二叠系石盒子组储层特征[J].岩性油气藏,2021,33(2):1-9.
Yan Min, Zhao Jingzhou, Cao Qing, *et al.* Reservoir characteristics of permian Shihezi Formation in Linxing area, Ordos Basin[J]. Lithologic Reservoirs, 2021,33(2):1-9.
- [6] 杨华,刘新社,闫小雄.鄂尔多斯盆地晚古生代以来构造—沉积演化与致密砂岩气成藏[J].地学前缘,2015,22(3):174-183.
Yang Hua, Liu Xinshe, Yan Xiaoxiong. The relationship between tectonic-sedimentary evolution and tight sandstone gas reservoir since the later Paleozoic in Ordos Basin[J]. Earth Science Frontiers, 2015,22(3):174-183.
- [7] 杨智,付金华,郭秋麟,等.鄂尔多斯盆地三叠系延长组陆相致密油发现、特征及潜力[J].中国石油勘探,2017,22(6):9-15.
Yang Zhi, Fu Jinhua, Guo Qiulin, *et al.* Discovery, characteristics and resource potential tight oil in Triassic Yanchang-Formation, Ordos Basin[J]. China Petroleum Exploration, 2017,22(6):9-15.
- [8] 张婷,王克,罗安湘,等.鄂尔多斯盆地三叠系延长组长7致密油成藏组合与模式[J].矿产勘查,2021,12(2):295-302.
Zhang Ting, Wang Ke, Luo Anxiang, *et al.* Accumulation conditions and regulations of tight oil in Chang 7 Member of Triassic Yanchang Formation, Ordos Basin[J]. Mineral Exploration, 2021,12(2):295-302.
- [9] 徐宁宁,王永诗,张守鹏,等.鄂尔多斯盆地大牛地气田二叠系盒1段储层特征及成岩圈闭[J/OL].岩性油气藏. <https://kns.cnki.net/kcms/detail/62.1195.TE.20210202.1013.002.html>.
Xu Ningning, Wang Yongshi, Zhang Shoupeng, *et al.* Reservoir characteristics and diagenetic traps of the first member of Permian Xiashihezi Formation in Daniudi gas field, Ordos Basin [J/OL]. Lithologic Reservoirs, <https://kns.cnki.net/kcms/detail/62.1195.TE.20210202.1013.002.html>.
- [10] 贺敬聪.鄂尔多斯盆地陇东地区盒8段—山1段“源—汇”系统研究[D].北京:中国石油大学(北京),2017.
- He Jingcong. “Source-to-Sink” system research of He8-Shan1 Member in Longdong Area, Ordos Basin[D]. Beijing: China University of Petroleum, 2017.
- [11] 曹杨春.鄂尔多斯盆地陇东地区上古生界盒8段沉积相及砂体展布规律研究[D].成都:成都理工大学,2020.
Cao Yangchun. Study on sedimentary facies and sand body distribution rules of He8 Member of the Upper Paleozoic Hedong Formation in Longdong area of Ordos Basin[D]. Chengdu: Chengdu University of Technology, 2020.
- [12] 崔改霞,魏钦廉,肖玲,等.鄂尔多斯盆地陇东地区二叠系盒8下段致密砂岩储层特征[J/OL].现代地质. <https://doi.org/10.19657/j.geoscience.1000-8527.2021.028>.
Cui Gaixia, Wei Qinlian, Xiao Ling, *et al.* Reservoir characteristics of permian Lower He 8 Member in Longdong Area, Ordos Basin[J/OL]. Geoscience. <https://doi.org/10.19657/j.geoscience.1000-8527.2021.028>.
- [13] 付金华,魏新善,罗顺社,等.庆阳深层煤成气大气田发现与地质认识[J].石油勘探与开发,2019,46(6):1047-1061.
Fu Jinhua, Wei Xinshan, Luo Shunshe, *et al.* Discovery and geological knowledge of the large deep coal-formed Qingyang Gas Field, Ordos Basin, NW China[J]. Petroleum Exploration and Development, 2019,46(6):1047-1061.
- [14] 付金华,范立勇,刘新社,等.鄂尔多斯盆地天然气勘探新进展、前景展望和对策措施[J].中国石油勘探,2019,24(4):418-430.
Fu Jinhua, Fan Liyong, Liu Xinshe, *et al.* New progresses prospects and counter measures of natural gas exploration in the Ordos Basin[J]. China Petroleum Exploration, 2019,24(4): 418-430.
- [15] 高春云.鄂尔多斯盆地西缘南段构造特征及演化研究[D].西安:西北大学,2020.
Gao Chunyun. Research on the characteristics of structure and tectonic evolution of southern section of western margin of Ordos Basin[D]. Xi'an: Northwest University, 2020.
- [16] 翟咏荷.鄂尔多斯盆地及邻区晚古生代原型盆地恢复及演化[D].北京:中国地质大学(北京),2020.
Zhai Yonghe. Tectonic-depositional environment and proto-type basin evolution of the Carboniferous and Permian Ordos area[D]. Beijing: China University of Geosciences (Beijing), 2020.
- [17] 郭妍.鄂南彬长地区延长组异常压力与成藏关系研究[D].成都:成都理工大学,2015.
Guo Yan. The relationship between the abnormal pressure and accumulation in Yanchang Formation in Binchang region, in south of Ordos Basin[D]. Chengdu: Chengdu University of Technology, 2015.
- [18] 何自新,等.鄂尔多斯盆地演化与油气[M].北京:石油工业出版社,2003.
He Zixin, *et al.* Evolution of Ordos Basin and oil and gas[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2003.
- [19] 何治亮,徐旭辉,戴少武,等.东秦岭—大别造山带及两侧盆地演化与油气勘探[M].武汉:中国地质大学出版社,2013.
He Zhiliang, Xu Xuhui, Dai Shaowu, *et al.* Evolution and hydrocarbon exploration of the East Qinling Dabie orogenic belt and basins on both sides[M]. Wuhan: China University of Geosciences Press, 2013.

- [20] 陈宣华, 邵兆刚, 熊小松, 等. 祁连山带断裂构造体系、深部结构与构造演化[J]. 中国地质, 2019, 46(5): 995–1020.
Chen Xuanhua, Shao Zhaogang, Xiong Xiaosong, *et al.* Fault system, deep structure and tectonic evolution of the Qilian Orogenic Belt, Northwest China[J]. *Geology in China*, 2019, 46(5): 995–1020.
- [21] 张翔, 石连成, 程莎莎, 等. 西秦岭造山带东段航磁特征及断裂构造格架[J]. 中国地质, 2019, 46(3): 587–600.
Zhang Xiang, Shi Liancheng, Cheng Shasha, *et al.* Aeromagnetic characteristics and fracture structure framework of the eastern part of the western Qinling orogen[J]. *Geology in China*, 2019, 46(3): 587–600.
- [22] 曹红霞, 吴海燕, 任星民, 等. 鄂尔多斯盆地东南部奥陶系岩溶地貌与储层分布规律[J]. 中国石油勘探, 2020, 25(3): 146–155.
Cao Hongxia, Wu Haiyan, Ren Xingmin, *et al.* Karst paleogeomorphology and reservoir distribution pattern of Ordovician in the southeastern Ordos Basin[J]. *China Petroleum Exploration*, 2020, 25(3): 146–155.
- [23] 戴金星, 王庭斌, 孙岩, 等. 中国大中型天然气田形成条件与分布规律[M]. 北京: 地质出版社, 1997.
Dai Jinxing, Wang Tingbin, Sun Yan, *et al.* The distribution and formation condition of large and medium-sized gas field in China[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1997.
- [24] 郝蜀民, 李良, 尤欢增. 大牛地气田石炭—二叠系海陆过渡沉积体系与近源成藏模式[J]. 中国地质, 2007, 34(4): 606–611.
Hao Shumin, Li Liang, You Huanzeng. Permo-Carboniferous paralic depositional systems in the Daniudi gas field and its near-source box-type gas accumulation-forming model[J]. *Geology in China*, 2007, 34(4): 606–611.
- [25] 郝蜀民, 李良, 张威, 等. 鄂尔多斯盆地北缘石炭系—二叠系大型气田形成条件[J]. 石油与天然气地质, 2016, 37(2): 149–154.
Hao Shumin, Li Liang, Zhang Wei, *et al.* Forming conditions of large-scale gas fields in Permo-Carboniferous in the northern Ordos Basin[J]. *Oil & Gas Geology*, 2016, 37(2): 149–154.
- [26] 薛会, 王毅, 徐波. 鄂尔多斯盆地杭锦旗探区上古生界天然气成藏机理[J]. 石油实验地质, 2009, 31(6): 551–556, 562.
Xue Hui, Wang Yi, Xu Bo. Accumulation mechanism of natural gas in Upper Paleozoic, Hangjingqi block, north Ordos Basin[J]. *Petroleum Geology & Experiment*, 2009, 31(6): 551–556, 562.
- [27] 秦建中, 刘宝泉, 国建英, 等. 关于碳酸盐烃源岩的评价标准[J]. 石油实验地质, 2004(3): 281–286.
Qin Jianzhong, Liu Baoquan, Guo Jianying, *et al.* Discussion on the evaluation standards of carbonate source rocks[J]. *Petroleum Geology & Experiment*, 2004(3): 281–286.
- [28] 郭艳琴, 赵灵生, 郭彬程, 等. 鄂尔多斯盆地及周缘地区下二叠统沉积特征[J]. 古地理学报, 2021, 23(1): 65–80.
Guo Yanqin, Zhao Lingsheng, Guo Bincheng, *et al.* Sedimentary characteristics of the lower Permian in Ordos Basin and its adjacent areas[J]. *Journal of Palaeogeography*, 2021, 23(1): 65–80.
- [29] 魏秋廉, 崔改霞, 刘美荣, 等. 鄂尔多斯盆地西南部二叠系盒8下段储层特征及控制因素[J]. 岩性油气藏, 2021, 33(2): 1–9.
Wei Qianlian, Cui Gaixia, Liu Meirong, *et al.* Reservoir characteristics and controlling factors of Permian lower He 8 member in southwestern Ordos Basin[J]. *Lithologic Reservoirs*, 2021, 33(2): 1–9.
- [30] 王涛, 聂万才, 刘军, 等. 鄂尔多斯盆地宜川地区太原组致密砂体控砂机理[J]. 断块油气田, 2021, 28(1): 40–45.
Wang Tao, Nie Wancai, Liu Jun, *et al.* The sand control mechanism of Taiyuan Formation tight sand bodies in Yichuan area, Ordos Basin[J]. *Fault-block Oil & Gas Field*, 2021, 28(1): 40–45.
- [31] 薛会, 王毅, 毛小平, 等. 鄂尔多斯盆地北部上古生界天然气成藏期次——以杭锦旗探区为例[J]. 天然气工业, 2009, 29(12): 9–12.
Xue Hui, Wang Yi, Mao Xiaoping, *et al.* The timing of gas pooling in the Upper Paleozoic in the northern Ordos Basin: a case study of the Hangjingqi block[J]. *Natural Gas Industry*, 2009, 29(12): 9–12.
- [32] 宋世骏, 刘森, 梁月霞. 鄂尔多斯盆地西南部长8致密油层油气成藏期次和时间[J]. 断块油气田, 2018, 25(2): 141–145.
Song Shijun, Liu Sen, Liang Yuexia. Timing and chronology of hydrocarbon accumulation phases of Chang 8 tight reservoir in southwest of Ordos Basin[J]. *Fault-block Oil & Gas Field*, 2018, 25(2): 141–145.