

DOI: 10.12401/j.nwg.2023132

鄂尔多斯盆地东缘大宁-吉县区块及邻区 山西组山 2 段物源分析

赵龙梅^{1,2}, 吴和源^{3,4,*}, 黄力^{1,2}, 赵靖舟^{3,4}, 赵浩阳^{1,2}, 耳闯^{3,4}, 李军^{3,4}

(1. 中联煤层气国家工程研究中心有限责任公司, 北京 100095; 2. 中石油煤层气有限责任公司, 北京 100028; 3. 西安石油大学地球科学与工程学院, 陕西 西安 710065; 4. 陕西省油气成藏地质学重点实验室, 陕西 西安 710065)

摘要: 鄂尔多斯盆地东缘山西组山 2 段具备优质的源储配置条件, 是区域油气勘探的重要储集层位。结合露头古流向、重矿物及碎屑锆石测年数据, 对大宁-吉县区块进行山 2 段物源分析, 认为山 2 段沉积期大宁-吉县区块为南、北双物源共同控制, 主要证据有 3 方面: ①大宁-吉县东部露头区 2 段砂岩古流向发生显著变化, 北部临汾市管头镇为由北向南的古流向, 南部台头镇却为由南向北的古流向特征。②大宁-吉县油气探区山 2 亚段砂岩重矿物差异显著, 以二郎山旅游区附近为界, 超稳定重矿物锆石以及稳定重矿物白钛矿发生了显著的南北分异。③大宁-吉县探区内锆石样品测年峰值南北表现不统一, 北部砂岩锆石测年表现为 1 800~2 000 Ma 和 2 400~2 500 Ma 2 个年龄峰值, 南部砂岩锆石年龄峰值表现为 300~700 Ma、1 100~1 200 Ma、1 800~2 000 Ma 和 2 400~2 600 Ma 等 4 个峰值。该认识不仅为大宁-吉县油气探区砂体展布刻画提供指导性线索的同时, 也将为区域山 2 段沉积期古地理背景研究提供重要证据。

关键词: 鄂尔多斯盆地; 山西组; 物源; 重矿物; 碎屑锆石测年

中图分类号: P618.130.2

文献标志码: A

文章编号: 1009-6248(2023)05-0322-10

Material Source Analysis of Daning-Jixian Exploration Area and Its Adjacent Shan-2 Member in the Eastern Margin of Ordos Basin

ZHAO Longmei^{1,2}, WU Heyuan^{3,4,*}, HUANG Li^{1,2}, ZHAO Jingzhou^{3,4}, ZHAO Haoyang^{1,2}, ER Chuang^{3,4}, LI Jun^{3,4}

(1. PetroChina Coalbed Methane Company Limited, Beijing 100095, China; 2. Zhonglian Coalbed Methane National Engineering Research Center Co., Ltd., Beijing 100028, China; 3. School of Earth Sciences and Engineering, Xi'an Shiyou University, Xi'an 710065, Shaanxi, China; 4. Shaanxi Key Lab of Petroleum Accumulation Geology, Xi'an Shiyou University, Xi'an 710065, Shaanxi, China)

Abstract: The Shan-2 member of Shanxi Formation in the eastern margin of Ordos basin has excellent source reservoir allocation conditions, and is an important reservoir for regional oil and gas exploration. Based on the outcrop paleocurrent, heavy minerals and clastic zircon dating data, the provenance analysis of Shan-2 member in Daning-Jixian exploration area is carried out, and it is considered that the Daning-Jixian oil and gas exploration area in Shan-2 member sedimentary period is jointly controlled by the south and north provenances. The

收稿日期: 2023-02-25; 修回日期: 2023-07-10; 责任编辑: 曹佰迪

基金项目: 陕西省自然科学基金基础研究计划项目“准连续型溶蚀-胶结作用致密机理: 以苏里格地区二叠系砂岩为例”(2020JQ-767), 陕西省教育厅重点科学研究计划项目“封闭-半封闭体系下成岩作用特征与砂岩致密成因机理研究: 以苏里格气区二叠系为例”(20JS128)联合资助。

作者简介: 赵龙梅(1988-), 女, 硕士, 高级工程师, 主要从事致密气开发地质研究。E-mail: zhaolongmei@petrochina.com.cn。

* 通讯作者: 吴和源(1986-), 男, 博士, 讲师, 主要从事石油天然气地质、沉积储层相关研究。E-mail: why@xsyu.edu.cn。

main evidence is as follows. ① There has been a significant change in the ancient flow direction of sandstone in the outcrop area of the eastern part of Daning-Jixian. Guantou Town, Linfen City, in the north, is characterized by a north to south ancient flow direction, while Taitou Town, in the south, is characterized by a south to north ancient flow direction. ② There is a significant difference in the heavy minerals of sandstone in the Shan-2 sub section of the Daning-Jixian oil and gas exploration area. Taking the vicinity of the Erlang mountain tourist area as a boundary, there is a significant north-south differentiation in the ultra stable heavy mineral zircon and stable heavy mineral perovskite. ③ The peak ages of zircon samples in the Daning-Jixian exploration area are not uniform in the north and south. The zircon ages of sandstone in the north show two peak ages (1 800~2 000 Ma, 2 400~2 500 Ma), while the zircon ages of sandstone in the south show four peak ages (300~700 Ma, 1 100~1 200 Ma, 1 800~2 000 Ma, 2 400~2 600 Ma). This understanding will not only provide guiding clues for the distribution and characterization of sand bodies in Daning-Jixian oil and gas exploration area, but also provide important evidence for the study of the paleogeographic background of the sedimentary period of Shan2 member.

Keywords: Ordos basin; Shanxi Formation; material source; heavy minerals; detrital zircon dating

物源分析作为沉积环境演化研究的重要内容,在油气勘探过程中发挥着不可替代的作用,为砂体展布与优质储层预测提供主要数据支持。鄂尔多斯盆地上古生界在长期的天然气勘探研究过程中积累了大量的物源研究成果(杨仁超等, 2007; 肖建新等, 2008; 陈全红等, 2009; 张道锋等, 2009; 窦伟坦等, 2009; 王涛等, 2009; 王峰等, 2009; 屈红军等, 2011; 王国茹, 2011; 陈全红等, 2012; 乔建新等, 2013; 李亚龙等, 2016; 马东旭等, 2016), 这些成果为盆地早期天然气勘探提供了重要助力。鄂尔多斯盆地南北主要物源形成了统一的认识: 认为鄂尔多斯上古生界受多物源控制影响, 但以北部物源为主, 主要为阴山古陆以及阿拉善古陆, 南部物源区为秦岭-中条古隆起(郭英海等, 1998; 肖建新等, 2008), 主要来源于北秦岭的宽坪群和秦岭群。然而对南北物源交汇区却未形成统一认识。在露头古流向以及岩石成分分析的基础上, 陈孟晋等(2006)提出鄂尔多斯盆地东南部山2段可能的南北物源交汇区位于延安、吉县以南区域, 南部物源影响范围一直延伸到洛川与韩城以北附近(康东雅等, 2019), 但这一结论由于露头古水流分析数据量小、远离露头分布区, 且证据单一, 当时并未得到学者们广泛认可。在重矿物数据支撑下, 有学者将山西组南北物源影响范围在此基础上向北调整, 北物源向南延伸到清涧、子长一带, 南部物源由南向北延伸到延安以北, 延安附近表现为南北物源交汇区(屈红军等, 2011)。此后, 最新的文献中北部物源影响范围被延伸到黄陵县附近, 南部物源仅扩展到铜川以北(李文

厚等, 2021)。随着天然气勘探的区域拓展, 对交汇区附近的砂体展布及预测成为各大油田公司的难题。以大宁-吉县区块山西组山2段为例, 早期油气勘探过程中认为大宁-吉县探区整体为北部物源控制, 砂体展布表现为由北西向南东延伸, 并将其作为井位部署的重要依据, 然而随着勘探研究的逐步深入, 早期的砂体刻画逐渐成为有效勘探的桎梏, 并且勘探过程中发现大宁-吉县油气探区山2段南北局部地区砂岩成分差异显著, 是否预示着研究区南北物源可能存在差异? 因此, 笔者认为有必要系统的对目标区附近的物源进行综合研究分析, 为区域古地理研究提供线索的同时, 也为区域油气勘探砂体展布刻画提供更可靠的证据。

1 区域背景

大宁-吉县油气探区位于鄂尔多斯盆地晋西挠褶带南端与伊陕斜坡东南缘(图1), 发育上古生界石炭统本溪组、下二叠统太原组、山西组及中二叠统上、下石盒子组、石千峰组多套地层, 具整体平缓、构造简单、断层少量发育的特点。本溪组与山西组下部发育的厚煤层为区域油气成藏奠定了重要的烃源岩条件, 其中山西组下部海陆过渡相三角洲, 发育水下分流河道、河道间湾沼泽以及泥炭沼泽间互沉积, 形成多套煤层及厚层泥页岩与多套砂岩构成的良好源储配置关系。其中, 山2段以发育著名的“北岔沟砂岩”(图2)成为油气勘探领域的重点目标层位。

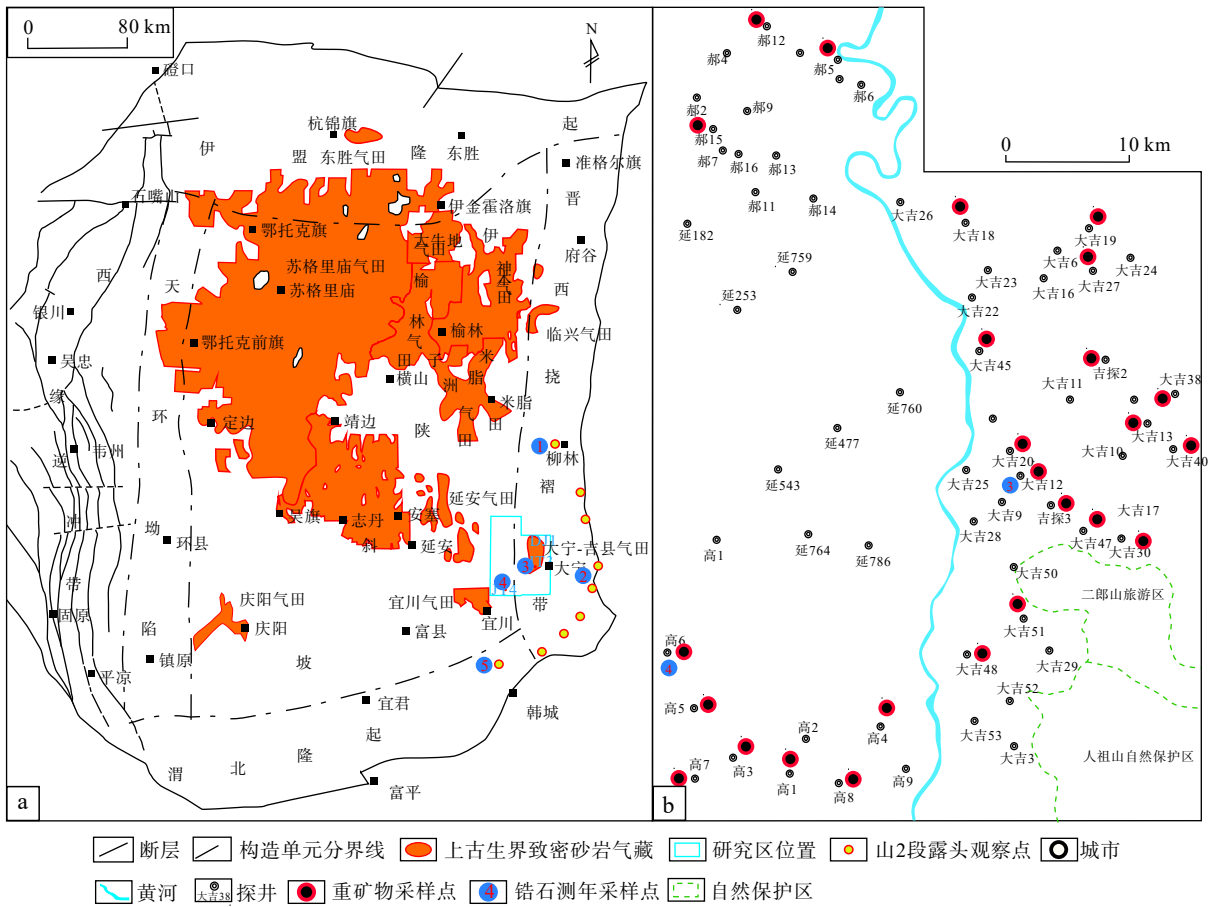


图 1 鄂尔多斯盆地大宁-吉县油气探区区域位置及采样位置图

Fig. 1 Regional location and sampling location of Daning-Jixian oil and gas exploration area in Ordos basin



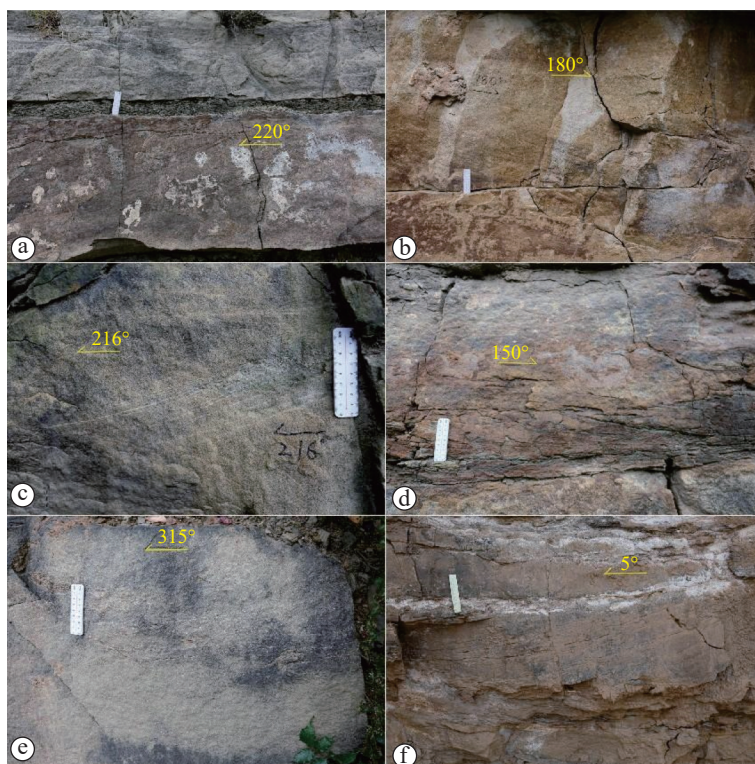
图 2 柳林县成家庄太原组与山西组分界露头剖面及其实测岩性柱状图

Fig. 2 The outcrop profile and lithological histogram of the boundary between Taiyuan Formation and Shanxi Formation in Chengjiashuang, Liulin County

2 古流向证据

山西组山2段发育广泛分布的“北岔沟砂岩”,是山西组底部重要的分层标志(图2)(黄建松等,2022),为三角洲前缘水下分流河道沉积,发育大量的板状交错层理、槽状交错层理、平行层理及冲刷面构造,地层整体近水平状发育,为古流向分析提供了大量的数据来源。为减少数据系统误差,露头古流向测量数据主要来源于板状交错层理(图3)。数据分布点位以大宁-吉县油气探区为中心,北至柳林县,南至澄城县,分布于探区北部、东北部、东部以及西南部,共计20个露头,平均每个露头点获取古流向数据8~15个,局部露头区相邻较近,统计共取得山2段古水流数据17组(图4)。柳林县周边“北岔沟砂岩”表现为厚层水下分流河道砂体,板状交错层理倾向为

145°~245°(图3a),投影校正后古流向数据玫瑰花图指示由北向南的古水流。石楼县附近北岔沟砂岩板状交错层理倾向为160°~205°,临汾市尧都区及其以南的黑龙关镇(图3b~图3c),北岔沟砂岩出露情况较好,板状交错层理数据为130°~235°。该区域向南前柿子园村附近发现山2段内部上下层位砂岩之间板状交错层理数据变化显著,获得上下相邻砂层组2组数据:35°~125°和210°~180°。该2组数据反映了由南向北和由北向南的两个相反古流向特征,附近台头镇(图3d),北岔沟砂岩板状交错层理倾向为90°~150°,表现为“北西-南东向”水流特征。向南管头镇至韩城市竹园村“北岔沟砂岩”板状交错层理倾向为5°~340°(图3e),呈现近乎“正南-正北”的水流特点。澄城县三眼桥附近北岔沟砂岩板状交错层理倾向范围(10°~355°)与竹园村观察点数据特征近乎一致(图3f)。



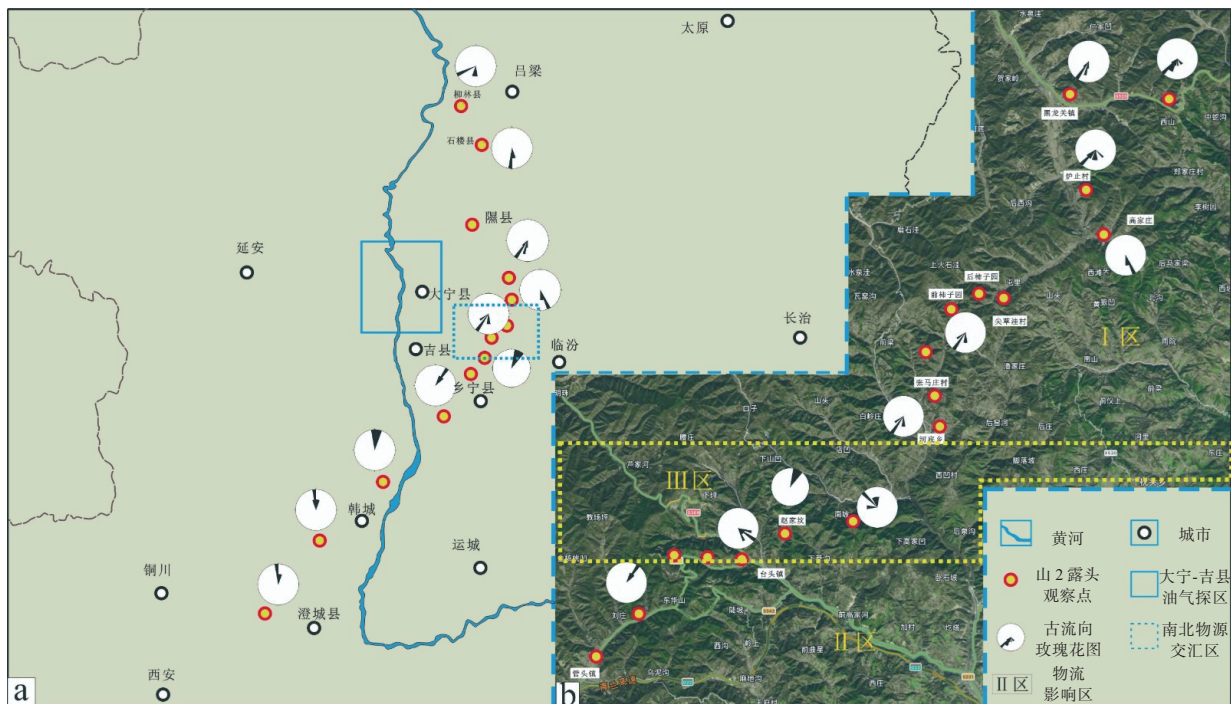
a. 柳林县陈家庄; b. 蒲县黑龙关镇; c. 蒲县尖草洼村; d. 乡宁县台头镇以西;
e. 乡宁县台头镇南山以东; f. 澄城县三眼桥

图3 鄂尔多斯盆地东缘山2亚段北岔沟砂岩露头古流向特征

Fig. 3 Paleocurrent direction characteristics of Beichagou sandstone outcrop in Shan-2 sub segment, eastern margin of Ordos basin

古流向数据显示,柳林县向南至蒲县黑龙关镇一带均表现为由北向南的古水流特征,局部古流向呈现

为“北东-南西向”,极少数据表现为“北西-南东向”水流。大宁-吉县区块南部澄城县北东方向至乡宁县



a. 大宁-吉县油气探区附近山2亚段露头古流向观测点平面位置及古流向特征; b. 图幅范围位于图a中浅蓝色虚线框内, 为南北物源交汇区山2亚段露头观测点及其古流向特征

图4 鄂尔多斯盆地大宁-吉县油气探区周边山2亚段古流向平面特征
Fig. 4 Characteristics of paleocurrent direction of Shan-2 sub member around Daning-Jixian oil and gas exploration area in Ordos basin

管头镇为由南向北的古水流, 厚层砂岩交错层理倾向分布范围主体为 $5^{\circ}\sim 310^{\circ}$ (图3), 南部澄城县古水流呈现“正南北向”(图3f), 乡宁县附近为“南西-北东向”。

3 重矿物分布特征

根据区域物源研究进展, 考虑不同时期成果的优缺点, 山西组山2段物源研究分析工作采取地面露头结合井下岩心实验测试分析的方式, 以大量露头古流向分析数据为基础, 结合重矿物分析辅助, 为物源分析提供更可靠的证据支撑。以样品点位覆盖整个研究区为原则, 对大宁-吉县区块井下岩心进行重矿物采样, 山2段重矿物点位包括24口井, 重矿物数据主要来源于大宁-吉县油气区块山2段井下岩心。重矿物组合表现为“锆石+白钛矿+磁铁矿+电气石+锡石”为主(表1), 白钛矿整体含量较高。北部郝字号井区白钛矿占陆源重矿物总平均含量达42%, 锆石占比平均为30%; 北东到中东部大吉字号井区白钛矿含量占比变化较大, 局部区域含量高达92%, 向中东部显著

降低, 临近二郎山景区局部含量低于10%(表1, 图5), 锆石含量呈现相反的较高值43%; 高字号井区北部白钛矿平均占比较高达39%, 锆石含量平均为37%, 而靠南部的高字号井白钛矿含量却高达90%, 锆石平均含量低于2%。以“锆石+金红石+电气石”在透明重矿物碎屑中所占比例进行“ZTR”指数分析, 郝字号井区ZTR平均为32%, 大吉井区ZTR指数由北向南显著增加, 高字号井区ZTR低值区集中, 局部高值孤立分布。

4 锆石 U-Pb 测年数据

以古流向数据与重矿物数据为基础, 选取露头以及井下岩心山2段锆石测年样品5块, 样品1位于柳林县成家莊剖面, 样品2位于蒲县黑龙关镇剖面、样品3为大宁-吉县区块大吉12井、样品4为高6井以及样品5来自澄城县三眼桥剖面(图1)。单样品中粗粒岩屑石英砂岩重约为1.5 kg, 单样品获锆石颗粒数为160~200粒。山2段“北岔沟砂岩”锆石以无环带和弱环带重结晶变质锆石为主, 少量不规则状振荡环带岩浆锆石, 其中样品4与样品5岩浆岩锆石颗粒

表 1 大宁-吉县区块山 2 段重矿物含量对比表

Tab. 1 Comparison of heavy mineral content in Shan-2 section of Daning-Jixian block

地层	样品号	陆源重矿物含量占比 (%)															自生重矿物 (%)				
		锆石	电气石	石榴子石	磷灰石	磁铁矿	赤褐铁矿	白钛矿	绿帘石	黝帘石	榍石	金红石	锡石	锐钛矿	板钛矿	云母	绿泥石	菱铁矿	硬石膏	重晶石	黄铁矿
山2	JT2-3	35.2	13.8					32.2				9.6		8.8							
山2	JT4-2	0.9	0.9					0.5				0.3		0.1							
山2	DJ20-9	5.1	0.5			1.4	1.4	6.5		0.4			0.9	0.4	0.5	82.9		8.8			8.1
山2	DJ38-1																	90.0			
山2	G4-1	37.4	1.0			3.6	2.1	32.8	0.5		0.5		4.6		2.1	15.4		3.6	0.5		7.7
山2	H15-61	42.4	1.1			1.1	0.4	42.8				0.8	4.9		0.4	6.1		1.9			0.4
山2	DJ45-2	38.5					1.8	36.7				0.9	9.2	2.8		10.1		44.0			3.8
山2	DJ19-24	10.6						1.1	1.1				0.6			86.7		1.1			0.6
山2	JT2-8	3.4	3.9		0.1			4.2				1.5		1.6							
山2	JT4-3	3.1	3.5		0.4			8.5				0.8		0.5							
山2	G3-2		8.0				1.2	88.3		0.6						1.9		1.0	14.5	1.0	2.5
山2	DJ30-9	43.2	2.0			3.2	0.4	40.0		0.4			3.6			7.2		3.1			1.1
山2	DJ35-15	5.1	4.1			3.1	25.5	19.4					1.0			41.8		15.5			42.5
山2	DJ31-1	2.6	1.3			3.8		8.3					0.6			83.3		15.1			1.1
山2	G2-1	42.7	4.4			3.1	0.9	42.7	0.9	0.4			1.3	0.4	0.4	2.7		5.3			2.5
山2	G5-7															95.0					
山2	G8-1							95.0										48.0			3.5
山2	DJ10-3	1.5	2.9			1.5		92.6								1.5		16.2			37.8
山2	G7-3	31.8	8.4			3.4	1.1	43.6				1.1	3.4	0.6		6.7		50.7	0.5		0.5
山2	H12-1	5.2	6.3			0.6		86.2	0.6			0.6	0.6					31.3			0.8
山2	H4-3	33.3	7.4			2.1		23.8					8.5	0.5		24.3		8.8			7.9
山2	H5-1	39.9	5.5			28.8	5.5	15.3					4.3			0.6		31.0	0.6		0.6
山2	DJ53-8	3.9	1.7			1.7		1.7					1.1			89.9		20.4	2.1		3.3
山2	DJ51-4	19.8	2.5			33.3	1.2	24.7					7.4		1.2	9.9		55.1			11.5

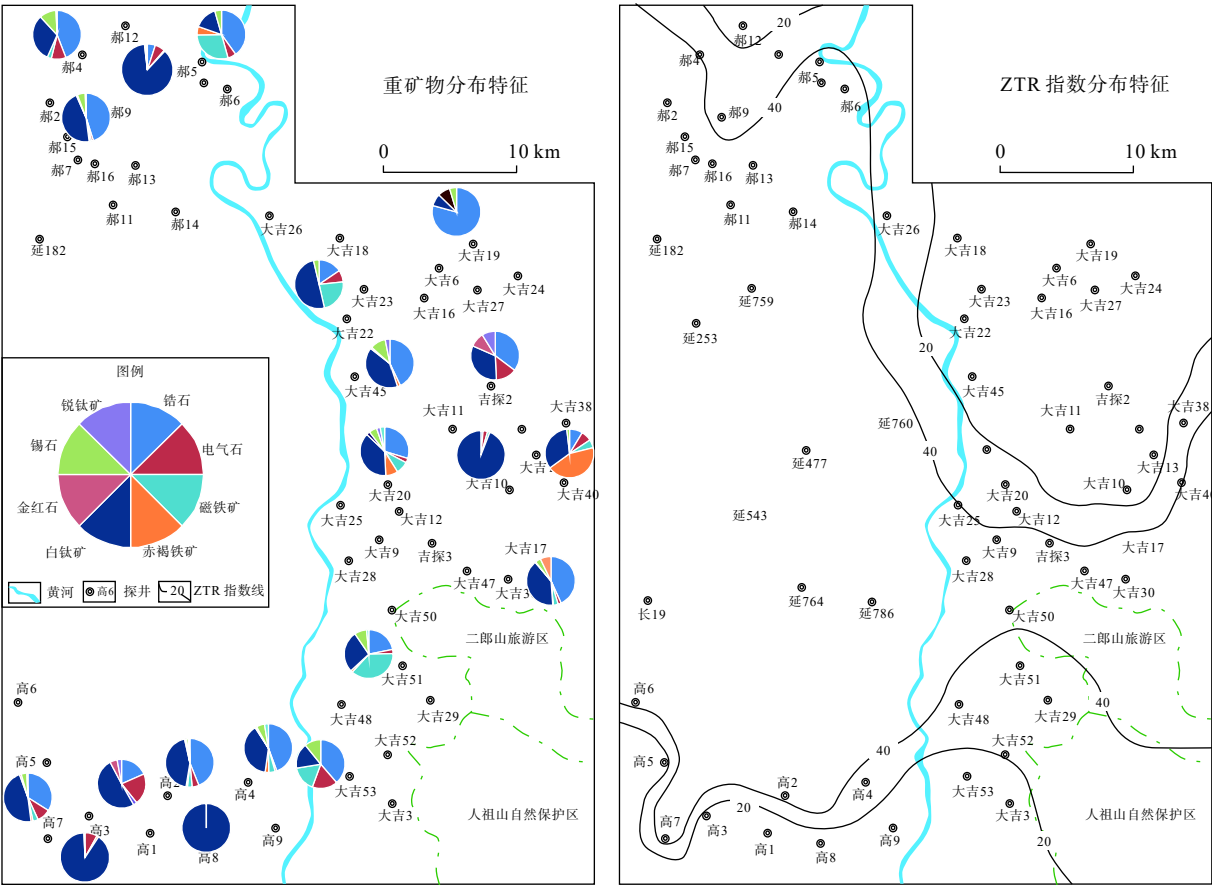
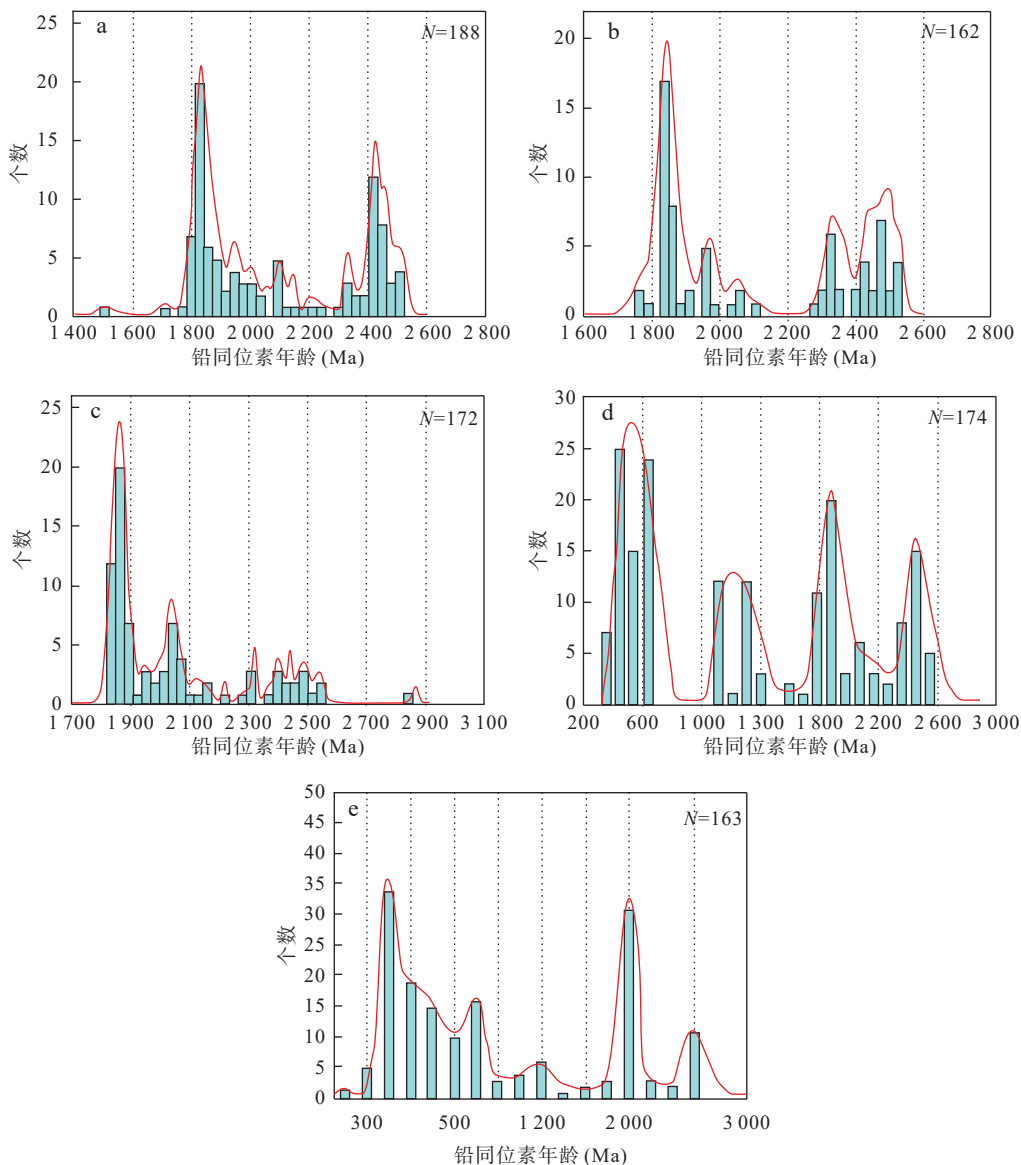


图 5 大宁-吉县油气探区重矿物与 ZTR 指数平面分布特征

Fig. 5 Distribution characteristics of heavy minerals and ZTR index in Daning-Jixian oil and gas exploration area

含量占比明显多于样品 1~样品 3。利用 LA-ICP-MS 方法,采用中国地质科学院地质研究所 Thermo 电感耦合等离子体质谱仪 CETAC(Excite)193 nm 激光剥蚀系统进行样品测试。数据结果显示(图 6),样品点 1~样品点 3 的锆石测年峰值表现为 2 段特征:1 800~

2 000 Ma, 2 400~2 500 Ma; 样品点 4 与样品点 5 碎屑锆石年龄峰值为 4 段式特点: 300~700 Ma、1 100~1 200 Ma、1 800~2 000 Ma 和 2 400~2 600 Ma。值得注意的是,样品点 4 和 5 中低年龄峰值锆石年龄均主要来自于岩浆岩锆石颗粒。



a. 柳林县陈家莊剖面; b. 蒲县黑龙关鎮剖面; c. 大吉 12 井; d. 高 6 井; e. 澄城县三眼桥剖面

图 6 鄂尔多斯盆地东缘大宁-吉县探区附近山 2 亚段北岔沟砂岩碎屑锆石年龄

Fig. 6 Zircon age of clastic rocks of Beichagou sandstone in Shan2 sub member near Daning-Jixian exploration area in the eastern margin of Ordos basin

5 讨论

古流向分析、重矿物数据及锆石测年是重要的物源研究手段,为大宁-吉县区块及其附近山 2 段物源

分析提供了重要的数据支持。古流向数据分析表明,大宁-吉县区块东部露头区,蒲县黑龙关镇向南西至乡宁县管头镇之间的山 2 段古流向数据可划分为 3 个区(图 4):以临汾市柿子园村附近为界,向北露头区表现为北部物源控制(I 区),古流向特征以“北东-南西

向”为主;柿子园村以南至乡宁县台头镇附近“北盆沟砂岩”出现“南西-北东向”和“北东-南西向”2种古水流间互出现的特点(Ⅲ区)。乡宁县台头镇以南(Ⅱ区),山2段露头古流向均表现为“南西-北东向”。由于区域地层整体并未发生大型倒转或褶皱,地层倾角整体较平缓,因此可以直接排除构造作用的影响。由此可推断,大宁-吉县油气探区东侧山2段露头区,临汾市柿子园村附近向南至乡宁县台头镇一带可能为南北物源的交汇区。虽然重矿物样品并未涉及露头区,然而与露头区纬度大致相当的大宁-吉县区块重矿物数据也呈现出露头区古流向类似的分区特点。在研究区内,超稳定重矿物锆石由北向南占比增加,至二郎山旅游区附近,向南高字号井区表现为锆石显著降低的特点;稳定重矿物白钛矿则同步表现为相反情况。表明北部郝字号井区、东部大吉井区以及南部高字号井区较二郎山旅游区附近对比,为相对近物源区。“ZTR”指数平面分布特征显示郝字号井区ZTR平均32%,大吉井区成分成熟度由北向南增高趋势明显,高字号井区ZTR低值区集中,局部高值,进一步证明其具有相对近物源的特点。其次,类比以阴山古陆和秦岭岩群为代表疑似物源区锆石年龄峰值(赵国春等, 2002; Wan et al., 2009; 罗静兰等, 2010; 第五春荣等, 2010; 张建新等, 2011; 王盟等, 2013; 张成立等, 2013; Zhou et al., 2021; 王敬宇等, 2021), 样品点1~样品点3的年龄峰值与样品点4~样品点5差异显著,表明较大概率来自于不同的物源区,这与重矿物所反映的物源特征基本一致。由此可进一步推测山西组山2亚段沉积期,南部物源可能并未完全跨越二郎山旅游区一带,高字号井区以北,二郎山旅游区附近为大宁-吉县区块的南北物源交汇区。

6 结论

(1)鄂尔多斯盆地东南缘大宁-吉县油气探区及其邻区山2段沉积期表现为南、北双物源共同控制的特点,探区内北部郝字号井区以及东部大吉字号井区均受北部物源控制,二郎山旅游区以南高字号井区为南部物源控制沉积,二郎山旅游区附近及其东西两侧表现为南北物源的交汇沉积。

(2)大宁-吉县探区东侧山2段露头区南、北物源交汇区主要位于临汾市柿子园村以南与乡宁县管头镇以北区域。在该区域附近,北部物源呈现北东-南西

向,南部物源表现为南东/南西-北东向特点。工区东部以及北部古流向特征整体为正北向南的特点,工区南部则表现为正南向北的水流特征。该认识可为大宁-吉县探区井下砂体刻画提供线索。

(3)大宁-吉县山2亚段重矿物组合表现为“锆石+白钛矿+磁铁矿+电气石+锡石”,南北物源交汇区附近北部物源控制砂岩中锆石U-Pb测年主要表现为2个年龄峰值:1800~2000 Ma和2400~2500 Ma,南部物源沉积砂岩中锆石U-Pb测年表现为4段年龄峰值:300~700 Ma、1100~1200 Ma、1800~2000 Ma和2400~2600 Ma。

参考文献(References):

- 陈孟晋,汪泽成,郭彦如,等.鄂尔多斯盆地南部晚古生代沉积特征与天然气勘探潜力[J].石油勘探与开发,2006,(01): 1-5.
- CHEN Mengjin, WANG Zecheng, GUO Yanru, et al. Late Paleozoic sedimentary systems and gas potential in the south Ordos Basin[J]. Petroleum Exploration and Development, 2006, (01): 1-5.
- 陈全红,李文厚,刘昊伟,等.鄂尔多斯盆地上石炭统一中二叠统砂岩物源分析[J].古地理学报,2009,11(06): 629-640.
- CHEN Quanhong, LI Wenhong, LIU Haowei, et al. Provenance analysis of sandstone of the Upper Carboniferous to Middle Permian in Ordos Basin[J]. Journal of Palaeogeography, 2009, 11(06): 629-640.
- 陈全红,李文厚,胡孝林,等.鄂尔多斯盆地晚古生代沉积岩源区构造背景及物源分析[J].地质学报,2012,86(07): 1150-1162.
- CHEN Quanhong, LI Wenhong, HUXiaolin, et al. Tectonic Setting and Provenance Analysis of Late Paleozoic Sedimentary Rocks in the Ordos Basin[J]. Acta Geologica Sinica, 2012, 86(07): 1150-1162.
- 第五春荣,孙勇,刘良,等.北秦岭宽坪岩群的解体及新元古代N-MORB[J].岩石学报,2010,26(07): 2025-2038.
- DIWU Chunrong, SUN Yong, LIU Liang, et al. The Disintegration of Kuanping Group in North Qinling Orogenic Belts and Neoproterozoic N-MORB[J]. Acta Petrologica Sinica, 2010, 26(07): 2025-2038.
- 窦伟坦,侯明才,董桂玉.鄂尔多斯盆地北部山西组一下石盒子组物源分析[J].天然气工业,2009,29(03): 25-28.
- DOU Weitan, HOU Mingcai, DONG Guiyu. Provenance analysis of

- the Upper Paleozoic Shanxi to Lower Shihezi formations in north Ordos basin[J]. *Natural Gas Industry*, 2009, 29(03): 25–28.
- 郭英海, 刘焕杰, 权彪, 等. 鄂尔多斯地区晚古生代沉积体系及古地理演化[J]. *沉积学报*, 1998, (03): 44–51.
- GUO Yinghai, LIU Huanjie, QUAN Biao, et al. Late Paleozoic Sedimentary System and Paleogeographic Evolution of Ordos Area[J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 1998, (03): 44–51.
- 黄建松, 郑杰, 宋翔, 等. 鄂尔多斯盆地北岔沟砂岩沉积特征及其对天然气成藏的控制作用[J]. *古地质量学*, 2022, 24(04): 680–696.
- HUANG Jiansong, ZHENG Jie, SONG Xiang, et al. Sedimentary characteristics of Beichagou Sandstone in the Lower Permian Shanxi Formation in Ordos Basin and its effects on natural gas accumulation[J]. *Journal of Palaeogeography*, 2022, 24(04): 680–696.
- 康东雅, 向芳, 邹佐元, 等. 鄂尔多斯盆地上古生界砂岩岩石学特征及岩性差异[J]. *断块油气田*, 2019, 26(03): 299–303.
- KANG Dongya, XIANG Fang, ZOU Zuoyuan, et al. Petrological characteristics and lithological differences of Upper Paleozoic sandstone of Ordos Basin[J]. *Fault-Block Oil & Gas Field*, 2019, 26(03): 299–303.
- 李文厚, 张倩, 李克永, 等. 鄂尔多斯盆地及周缘地区晚古生代沉积演化[J]. *古地质量学*, 2021, 23(01): 39–52.
- LI Wenhui, ZHANG Qian, LI Keyong, et al. Sedimentary evolution of the late Paleozoic in Ordos Basin and its adjacent areas[J]. *Journal of Palaeogeography*, 2021, 23(01): 39–52.
- 李亚龙, 于兴河, 单新, 等. 鄂尔多斯盆地东南部下石盒子组盒8段物源特征与沉积相[J]. *东北石油大学学报*, 2016, 40(03): 51–60.
- LI Yalong, YU Xinghe, DAN Xin, et al. Provenance and sedimentary facies of He8 member of Xiashihezi formation in southeastern Ordos basin[J]. *Journal of Northeast Petroleum University*, 2016, 40(03): 51–60.
- 罗静兰, 魏新善, 姚泾利, 等. 物源与沉积相对鄂尔多斯盆地北部上古生界天然气优质储层的控制[J]. *地质通报*, 2010, 29(06): 811–820.
- LUO Jinglan, WEI Xinshan, YAO Jingli, et al. Provenance and depositional facies controlling on the Upper Paleozoic excellent natural gas-reservoir in northern Ordos basin, China[J]. *Geological Bulletin of China*, 2010, 29(06): 811–820.
- 马东旭, 许勇, 吕剑文, 等. 鄂尔多斯盆地临兴地区下石盒子组物源特征及其与储层关系[J]. *天然气地球科学*, 2016, 27(07): 1215–1224.
- MA Dongxu, XU Yong, LU Jianwen, et al. Relationship between provenance and formation of Lower Shihezi Formation in Linxing area, Ordos Basin, China[J]. *Natural Gas Geoscience*, 2016, 27(07): 1215–1224.
- 乔建新, 邓辉, 刘池洋, 等. 鄂尔多斯盆地北部晚古生代沉积-构造格局及物源分析[J]. *西安石油大学学报(自然科学版)*, 2013, 28(01): 12–17.
- QIAO Jianxin, DENG Hui, LIU Chiyang, et al. Sedimentary-tectonic framework and provenance analysis of the late Paleozoic in the northern Ordos Basin[J]. *Journal of Xi'an Shiyou University (Natural Science Edition)*, 2013, 28(01): 12–17.
- 屈红军, 马强, 高胜利, 等. 鄂尔多斯盆地东南部二叠系物源分析[J]. *地质学报*, 2011, 85(06): 979–986.
- H QU, Q MA, S GAO, et al. On Provenance of the Permian in the Southeastern Ordos Basin[J]. *Acta Geologica Sinica*, 2011, 85(06): 979–986.
- 王峰, 田景春, 陈蓉, 等. 鄂尔多斯盆地北部上古生界盒8储层特征及控制因素分析[J]. *沉积学报*, 2009, 27(02): 238–245.
- WANG Feng, TIAN Jingchun, CHEN Rong, et al. Analysis on Controlling Factors and Characteristics of Sandstone Reservoir of He8 (Upper Paleozoic) in the Northern Ordos Basin[J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2009, 27(02): 238–245.
- 王国茹. 鄂尔多斯盆地北部上古生界物源及层序岩相古地理研究[D]. 成都: 成都理工大学, 2011.
- WANG Guoru. Study on provenance and sequence lithofacies palaeogeography of Upper Paleozoic in the northern Ordos Basin[D]. Chengdu: Chengdu University of Technology, 2011.
- 王敬宇, 龙晓平, 翟明国. 华北克拉通南缘元古代早期岩浆作用及构造演化[J]. *西北大学学报(自然科学版)*, 2021, 51(06): 985–1006.
- WANG Jingyu, LONG Xiaoping, ZHAI Mingguo. Early Paleoproterozoic magmatism and tectonic evolution in the southern section of North China Craton[J]. *Journal of Northwest University (Natural Science Edition)*, 2021, 51(06): 985–1006.
- 王盟, 罗静兰, 李杪, 等. 鄂尔多斯盆地东胜地区砂岩型铀矿源区及其构造背景分析——来自碎屑锆石 U-Pb 年龄及 Hf 同位素的证据[J]. *岩石学报*, 2013, 29(08): 2746–2758.
- WANG Meng, LUO Jinglan, LI Miao, et al. Provenance and tectonic setting of sandstone-type uranium deposit in Dongsheng area, Ordos basin: Evidence from U-Pb age and Hf isotopes of detrital zircons[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2013, 29(08): 2746–2758.
- 王涛, 王晓霞, 田伟, 等. 北秦岭古生代花岗岩组合、岩浆时空

- 演变及其对造山作用的启示[J]. 中国科学(D辑:地球科学), 2009, 39(07): 949-971.
- WANG Tao, WANG Xiaoxia, TIAN Wei, et al. North Qinling Paleozoic granite associations and their variation in space and time: Implications for orogenic processes in the orogens of central China[J]. Science China: Earth Sciences, 2009, 39(07): 949-971.
- 肖建新, 孙粉锦, 何乃祥, 等. 鄂尔多斯盆地二叠系山西组及下石盒子组盒8段南北物源沉积汇水区与古地理[J]. 古地理学报, 2008, (04): 341-354.
- XIAO Jianxin, SUN Fenjin, HE Naixiang, et al. Permian Shanxi Formation and Member 8 of Xiashihezi Formation in Ordos Basin: Palaeogeography and catchment area for sediments derived from north and south provenances[J]. Journal of Palaeogeography, 2008, (04): 341-354.
- 杨仁超, 韩作振, 樊爱萍, 等. 鄂尔多斯盆地东南部二叠系碎屑岩物源分析[J]. 山东科技大学学报(自然科学版), 2007, (03): 1-4.
- YANG Renchao, HAN Zuozhen, FAN Aiping, et al. Provenance Analysis of Clastic Rocks in Permian System at Southeast Area of Ordos Basin[J]. Journal of Shandong University of Science and Technology (Natural Science), 2007, (03): 1-4.
- 张成立, 刘良, 王涛, 等. 北秦岭早古生代大陆碰撞过程中的花岗岩浆作用[J]. 科学通报, 2013, 58(23): 2323-2329.
- ZHANG Chengli, LIU Liang, WANG Tao, et al. Granitic magmatism related to early Paleozoic continental collision in the North Qinling belt[J]. Chinese Science Bulletin, 2013, 58(23): 2323-2329.
- 张道锋, 杨文敬, 漆亚玲, 等. 鄂尔多斯盆地神木地区上古生界山西组物源分析[J]. 天然气地球科学, 2009, 20(06): 902-906.
- ZHANG Daofeng, YANG Wenjing, QI Yaling, et al. Analysis of the Material Source of Upper Paleozoic Shanxi Formation in Shenmu Region of Ordos Basin[J]. Natural Gas Geoscience, 2009, 20(06): 902-906.
- 张建新, 于胜尧, 孟繁聪. 北秦岭造山带的早古生代多期变质作用[J]. 岩石学报, 2011, 27(04): 1179-1190.
- ZHANG Jianxin, YU Shengyao, MENG Fancong. Ployphase Early Paleozoic metamorphism in the northern Qinling orogenic belt[J]. Acta Petrologica Sinica, 2011, 27(04): 1179-1190.
- 赵国春, 孙敏, Sawilde. 华北克拉通基底构造单元特征及早元古代拼合[J]. 中国科学(D辑:地球科学), 2002, (07): 538-549.
- ZHAO Guochun, SUN Min, Sawilde. Characteristics of the basement tectonic unit of the North China Craton and its early proterozoic assemblage[J]. Science China: Earth Sciences, 2002, (07): 538-549.
- Wan Y S, DY Liu D Y, Dong C Y, et al. The Precambrian Khondalite Belt in the Daqingshan area, North China Craton: evidence for multiple metamorphic events in the Palaeoproterozoic[J]. Geological Society London Special Publications, 2009: 73-97.
- Zhou Y Y, Sun Q Y, Zhao T P, et al. Petrogenesis of the early Paleoproterozoic low- $\delta^{18}\text{O}$ potassic granites in the southern NCC and its possible implications for no confluence of glaciations and magmatic shutdown at ca. 2.3 Ga[J]. Precambrian Research, 2021, 361: 106258.