

鄂尔多斯盆地西南缘中生代火成碳酸盐岩的发现及意义

席胜利¹,李振宏²,刘新社¹

(1. 中国石油 长庆油田分公司 勘探事业部,陕西 西安 710018; 2. 中国地质科学院 地质力学研究所,北京 100081)

摘要:鄂尔多斯盆地属于我国中西部地区稳定的克拉通盆地。盆地边缘构造活动强烈,逆冲推覆构造发育,岩浆活动频繁;盆地内部构造稳定,以前尚未有岩浆活动的报道。鄂尔多斯盆地西南缘庆深1井蓟县系白云岩中火成碳酸盐岩侵入岩脉的发现,为重新认识盆地内部的构造活动性提供了新的线索。该套侵入岩脉稀土元素球粒陨石标准化图解中没有明显的Eu异常,符合火成碳酸盐岩的基本特征。同时,在碳、氧同位素交汇图解中,分析点全部落入了火成碳酸盐岩的范围。通过锆石U-Pb同位素测年,该套火成碳酸盐岩的形成时代为 $176.2 \text{ Ma} \pm 3.3 \text{ Ma}$,属于早-中侏罗世构造活动的产物。火成碳酸盐岩的形成主要受控于北东-南西向基底大断裂带在早中侏罗世时期的隐性活动,为扬子板块向华北克拉通俯冲挤压之后区域伸展作用的产物。鄂尔多斯盆地西南缘早侏罗世末期火成碳酸盐岩侵入脉的发现,为认识华北克拉通早侏罗世区域拉张的构造背景提供了新的证据。

关键词:碳、氧同位素;锆石U-Pb年代学;火成碳酸盐岩;地球化学;中生代;鄂尔多斯盆地

中图分类号:TE121.3

文献标识码:A

Discovery and significance of the Mesozoic igneous carbonate rock at the southwestern margin of Ordos Basin

Xi Shengli¹, Li Zhenhong², Liu Xinshe¹

(1. Exploration Department of PetroChina Changqing Oilfield Company, Xi'an, Shaanxi 710018, China;

2. Institute of Geomechanics, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100081, China)

Abstract: Ordos basin is a stable cratonic basin in the central-west China. Along the margin of the basin, tectonic activity was intense, thrust-nappe structures were well developed and magmatic events were common. On the contrary, the inner part of the basin was very stable and no magmatic events have been recorded. Lately, we found some igneous carbonate rock dikes intruded into the dolomite of the Jixian System in Qingshen 1 well at the south-western margin of the Ordos basin. These intrusive dykes provide new clues for us to reconsider the tectonic activity inside the basin. In the REE distribution patterns, its characteristics are basically consistent with igneous carbonate rock without significant Eu anomaly. Besides, all data points fall within the range of igneous carbonate rock in the C-O isotope crossplot. According to the zircon U-Pb dating results, the age of the intrusive igneous carbonate rock is $176.2 \pm 3.3 \text{ Ma}$. Therefore, the intrusive dykes formed during the regional extension after the subduction between Yangtze Craton and North China Craton, under the control of minor activities of the NE-SW trending basement faults in the Early-Middle Jurassic. These intrusive igneous dykes at the south-western margin of the Ordos basin provide new evidences for us to understand the regional extension background of North China Craton in the Early Jurassic.

Key words: carbon and oxygen isotope, zircon U-Pb dating, igneous carbonate rock, geochemistry, Mesozoic, Ordos Basin

鄂尔多斯盆地的演化莫基于前寒武纪结晶基底之上,先后经历了中新元古代坳拉谷盆地发育阶段、古生代华北大型稳定克拉通盆地发育阶段、中生代西部类前陆盆地发育阶段和新生代周缘强烈断陷盆地发育阶段,总体上为一个多期叠加、多期改造的残留叠合盆

地^[1-2]。长期以来,其内部一直被认为构造活动性单一,以垂直运动为特点,不存在岩浆活动。近年来,盆地油气勘探的研究成果不断地揭示出其内部并非“刚性一块”,也存在着非均质性和多期活动性。主要表现在以下5个方面:1)鄂尔多斯盆地基底变质岩与花岗

收稿日期:2015-12-03;修订日期:2016-01-08。

第一作者简介:席胜利(1965—),男,博士、教授级高级工程师,石油与天然气地质。E-mail: xsl_cq@petrochina.com.cn。

通讯作者简介:李振宏(1973—),男,博士、副研究员,沉积盆地与动力学。E-mail: lizhenhong@126.com。

基金项目:国家自然科学基金项目(41372122);中国地质调查局地质调查项目(1212011121095)。

岩锆石最新 SHRIMP U-Pb 定年结果表明,鄂尔多斯地块内部在古元古代末期曾发生过两期大的构造热事件,第一期大约在 2 035 ~ 2 030 Ma,盆地东部发生了大规模的花岗岩浆侵位,第二期发生在大约 1 850 Ma 左右,盆地普遍发生了高级变质作用,说明了鄂尔多斯盆地内部存在古元古代构造活动带^[3-4];2)鄂尔多斯盆地不同层位镜质体反射率平面分布图及热史模拟结果表明在盆地南部的吴旗—庆阳—富县一带,存在有热演化程度异常区。除受古埋深控制外,也受异常热流体的控制,这种异常热流体的诱导因素可能为基底断裂中生代的潜伏性活动^[5];3)鄂尔多斯盆地北东—南西向基底断裂可能存在多期隐性活动,主要表现为在奥陶系、石炭系、二叠系、三叠系的含油气砂体中,高产油气的优势方位主要受北东—南西向微裂隙和小断层的控制^[6];4)利用二维地震剖面层拉平技术,在中生代地层中发现多个断距小且断面直立的断裂,确认了在盆地中发育一系列北东—南西向的中生代断裂体系^[7];5)鄂尔多斯盆地内部新构造活动比较明显,一方面表现为线性构造影像比较清晰,另一方面局部可见白垩系逆冲在新生代地层之上^[8]。尽管越来越多的事实证明鄂尔多斯盆地内部中生代存在强烈的构造活动性,但依然缺乏岩浆活动的直接证据。本次研究,通过岩心观察、地球化学元素分析、碳氧同位素分析以及锆石 U-Pb 同位素测年,确定了鄂尔多斯西南缘庆深 1 井蓟县系白云岩中火成碳酸盐岩侵入岩脉的存在,为重新认识盆地内中生代的构造演化提供了新的线索(图 1)。

1 区域地质背景

区域大地构造位置中,鄂尔多斯盆地位于华北克拉通的西部陆块,北以孔兹岩带与阴山地块相邻(图 1)。在现今的构造单元中,盆地北部为阴山造山带,西部为贺兰—六盘山造山带,南部为秦岭造山带,东部为吕梁造山带,总体上是夹持于周边活动带之间的相对稳定的克拉通盆地^[9-11]。

鄂尔多斯盆地沉积盖层巨厚,盆地最大沉积厚度超过了 5 000 m,进而掩盖了大量的盆地基底信息,前寒武纪演化一直存在着争议。其中,主要存在着两种比较明显的观点,一种观点认为在大约 1 950 Ma 左右,鄂尔多斯地块与阴山地块发生碰撞,位于华北克拉通西北部的贺兰山—乌拉山孔兹岩带形成^[12],在大约 1 850 Ma 左右,华北西部地块与华北东部地块发生碰撞,华北克拉通中部造山带形成^[13]。另一种观点则认为,在大约 1 970 ~ 2 000 Ma,华北克拉通发生了一次强烈的挤压构造事件,进而导致了陆内盆地的相继闭合,分别在华北克拉通东部、西北部以及中部地区形成了晋豫、胶辽以及丰镇 3 个活动带^[14-15]。在早古生代沉积时期,鄂尔多斯盆地与华北盆地作为统一整体,具有相同的演化背景,沉积了厚度 400 ~ 1 600 m 的浅海台地相碳酸盐岩。其南缘和西缘由于濒临秦祁海槽,沉积厚度可以达到 4 500 m。中奥陶世末期,受到华北地块南、北挤压作用力的影响,导致华北地台整体抬升,缺失了志留系、泥盆系和下石炭统沉积,间断达

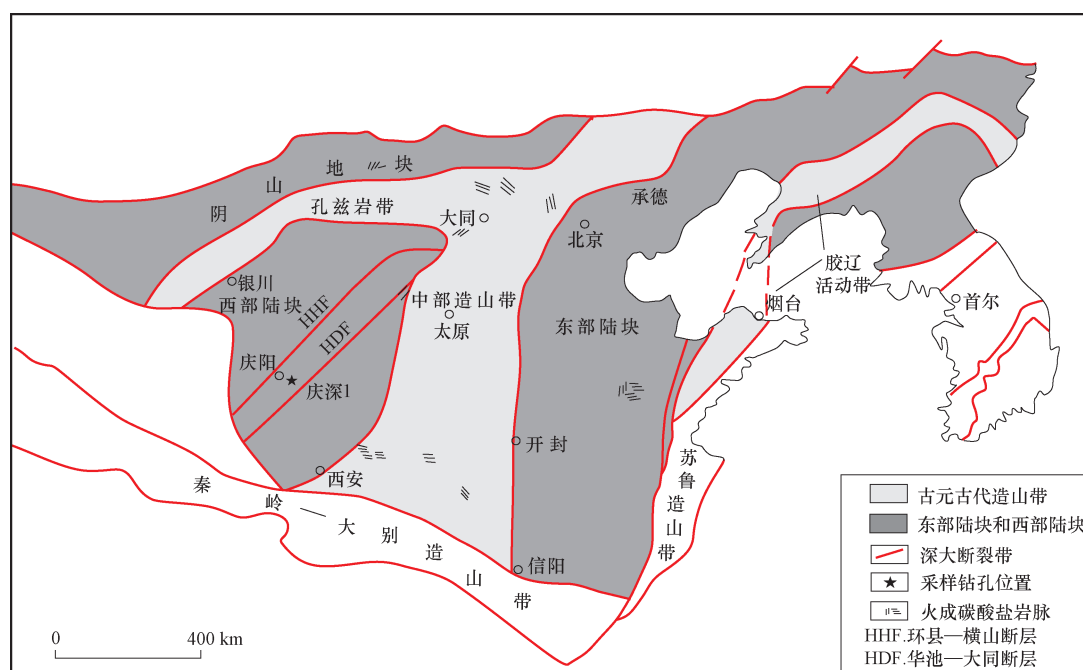


图 1 华北克拉通火成碳酸盐岩分布

Fig. 1 Distribution of the igneous carbonatites in North China Craton

130 Ma 以上。晚古生代沉积时期,海水从鄂尔多斯盆地西南缘彻底退出,沉积环境发生了根本的改变,石炭系为海陆交互相沉积,二叠系主要为大型陆内三角洲沉积。中生代,受西部逆冲推覆构造和东部整体抬升的影响,鄂尔多斯盆地的构造格局基本形成。新生代以来,受东部滨太平洋板块和西部青藏高原构造域的共同影响,鄂尔多斯盆地周缘活动构造发育。

2 样品采集及分析方法

样品采集于鄂尔多斯盆地西南缘庆深1井第17次取心段,井段4 229.5~4 230.6 m,岩心收获率57.8%,层位归属于中元古代蓟县系。样品颜色为紫红色,手感光滑细腻,似凝灰岩,由于岩石比较破碎,与周围灰白色白云岩接触关系不清,推测为侵入接触(图2)。显微镜下观察,本次采集的火成碳酸盐岩矿物成分中以含铁白云石为主,少量的方解石,局部可见微量的钾长石斑晶和磷灰石,磷灰石自形程度较高。岩石

裂缝发育,含铁质矿物沿裂缝分布,可能与深部的热液活动有关。

为了确认该侵入岩体的岩性,本次研究主要从元素地球化学、碳氧同位素分析及锆石 U-Pb 同位素测年3个方面入手。元素地球化学和碳氧同位素分析在核工业地质测试中心完成。元素地球化学由 ICP-MS 分析,碳氧同位素分析仪器为连续流质谱仪。锆石 U-Pb 同位素测年样品的碎样和锆石挑选工作在河北省区域地质矿产调查研究所完成,制靶工作由北京锆年领航技术有限公司完成。LA-MC-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年测试分析在天津地质矿产地质研究所 MC-ICP-MS 实验室完成。

3 分析结果

本次共采集地球化学元素和碳氧同位素分析样品4块,分别命名为 QS1, QS2, QS3 和 QS4。其中 QS1 和 QS2 为紫红色火成碳酸盐岩, QS3 和 QS4 为浅灰色白

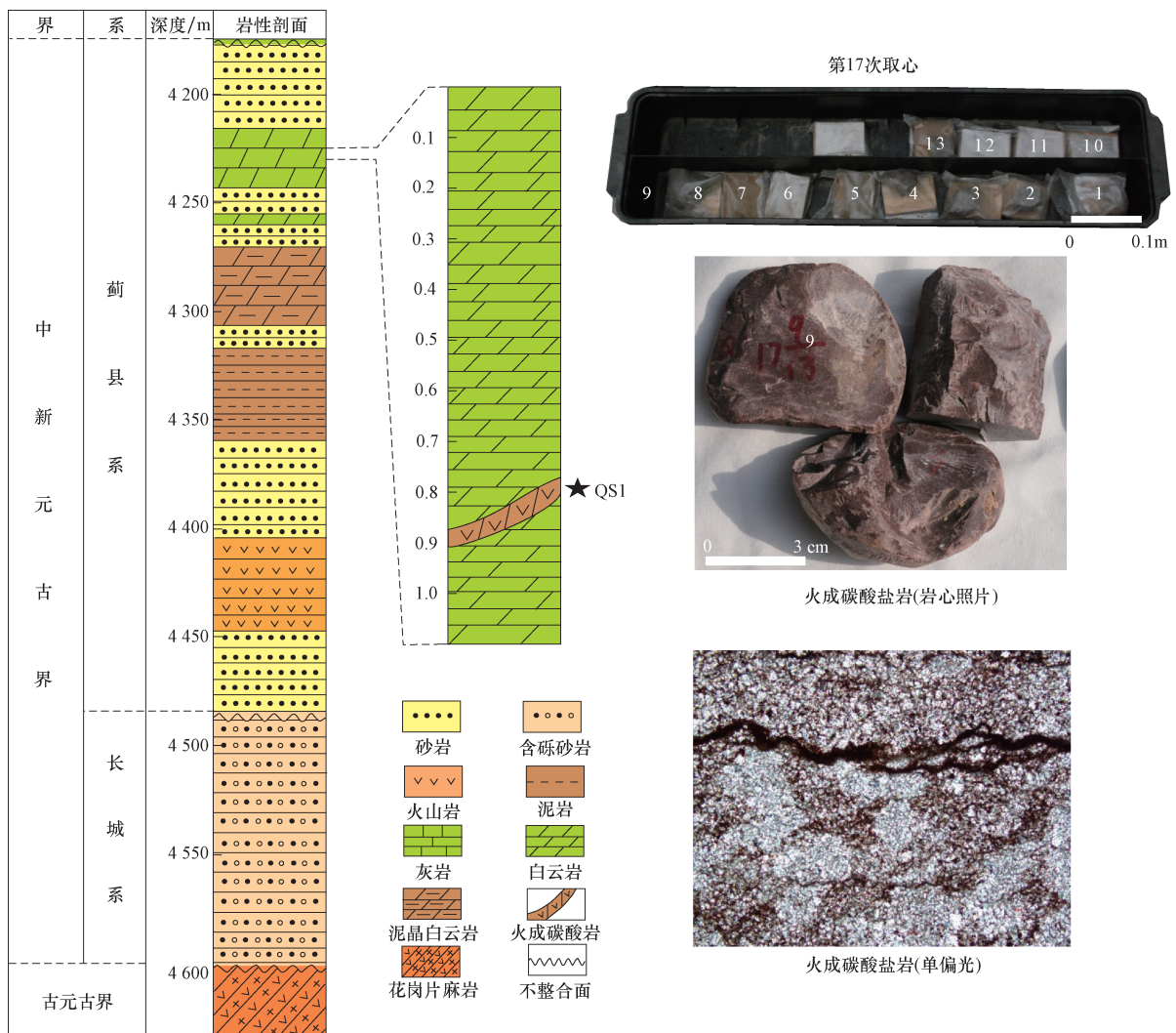


图2 鄂尔多斯盆地西南部庆深1井中元古界综合柱状图

Fig.2 Comprehensive stratigraphic column of the Mesoproterozoic in Qingshen 1 well at the southwestern margin of the Ordos Basin

云岩。全量元素和稀土元素的分析结果分别见表 1 和表 2。从主量元素的分析结果来看, QS1 与 QS2 样品各种元素的含量基本一致, 而 QS3 和 QS4 样品各种元素含量基本一致。总体上二者的差别不是很大, QS1 与 QS2 样品 SiO₂ 的含量略低于 QS3 和 QS4 样品。QS1 与 QS2 样品的稀土元素含量, 稀土元素标准化曲线基本上一致。两个样品的轻稀土 (LREE) 含量分别为 222.05×10^{-6} 和 216.45×10^{-6} , 重稀土 (HREE) 含量分别为 34.25×10^{-6} 和 32.04×10^{-6} , 轻稀土 (LREE)/重稀土 (HREE) 分别为 6.48 和 6.75。稀土元素分布模式为右倾陡峭型。δEu 值分别为 0.98 和 0.97, 无明显负 Eu 异常。QS3 与 QS4 样品的稀土元素含量, 稀土元素标准化曲线基本上一致。两个样品的轻稀土 (LREE) 含量分别为 18.41×10^{-6} 和 18.34×10^{-6} , 重稀土 (HREE) 含量分别为 5.57×10^{-6} 和 $5.19 \times$

10^{-6} , 轻稀土 (LREE)/重稀土 (HREE) 分别为 3.30 和 3.53。δEu 值分别为 0.77 和 0.75, 具明显负 Eu 异常。碳氧同位素分析结果也完全分为两组, QS1, QS2 和 QS3, QS4。QS1 和 QS2 样品 δ¹⁸O 值为 6.8‰~7.0‰ (SMOW), δ¹³C 值为 4.8‰~5.8‰ (PDB); QS3 和 QS4 样品 δ¹⁸O 值为 23.5‰~24.0‰ (SMOW), δ¹³C 值为 3.0‰~3.5‰ (PDB)。

由于本次用于锆石 U-Pb 测年的样品数量有限 (约 0.2 公斤), 共挑出锆石 20 颗, 其中用于锆石测年的颗粒 16 颗, 有 10 个测点的年龄介于 167~183 Ma。锆石自形程度好, 具有明显的岩浆环带, Th/U 比值为 0.63~0.81, 具有岩浆锆石的成因, 代表了侵入岩体的形成时代 (图 3)。10 个样品点 ²⁰⁶Pb/²³⁸U 加权平均年龄为 176.2 Ma ± 3.3 Ma (加权平均方差 MSWD = 5.8) (表 3; 图 4)。

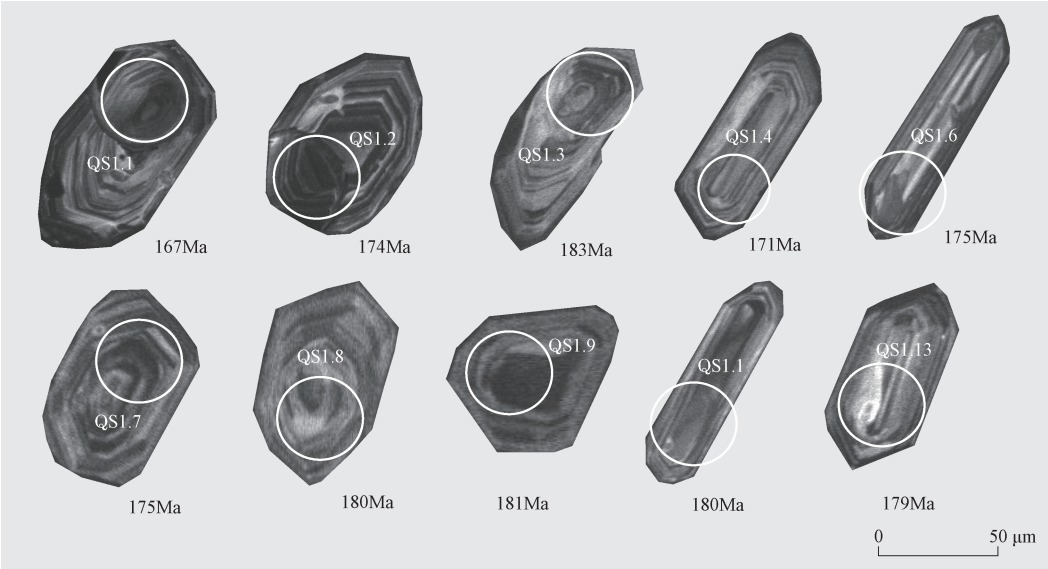


图 3 鄂尔多斯盆地西南部庆深 1 井火成碳酸盐岩典型锆石图像

Fig. 3 Typical zircon images of the igneous carbonatites in Qingshen1 well at the south-western margin of the Ordos Basin

表 1 鄂尔多斯盆地西南部庆深 1 井主量元素含量

Table 1 Major element contents in Qingshen1 well at the southwestern margin of the Ordos Basin

编号	主要元素含量/%											烧失量/%
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	MnO	TiO	P ₂ O ₅	FeO	
QS1	6.35	1.62	0.620	18.18	27.45	0.055	1.23	0.541	0.180	0.130	1.430	42.19
QS2	6.63	1.90	0.690	18.14	27.40	0.058	1.30	0.548	0.130	0.120	1.080	41.98
QS3	11.80	2.92	0.327	14.61	36.43	0.298	1.61	0.013	0.119	0.024	0.683	30.79
QS4	11.20	2.75	0.305	14.55	35.79	0.295	1.57	0.015	0.225	0.195	0.585	31.98

表 2 鄂尔多斯盆地西南部庆深 1 井稀土元素含量

Table 2 REE elements contents in Qingshen1 well at the southwestern margin of the Ordos Basin

编号	稀土元素含量/10 ⁻⁶														
	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Y
QS1	45.50	98.50	13.50	50.50	11.20	3.25	8.65	1.25	4.50	0.85	1.85	0.250	1.35	0.350	15.20
QS2	43.50	96.50	12.50	49.80	11.50	3.20	7.95	1.05	4.00	0.78	1.82	0.200	1.18	0.260	14.80
QS3	4.26	8.08	1.11	4.01	0.79	0.16	0.72	0.11	0.61	0.12	0.33	0.055	0.37	0.053	3.21
QS4	4.59	7.82	1.05	3.98	0.75	0.15	0.70	0.08	0.55	0.10	0.32	0.050	0.30	0.045	3.05

表 3 鄂尔多斯盆地西南缘庆深 1 井火成碳酸盐岩锆石 U-Pb 年龄数据

Table 3 Zircon U-Pb dating results of the igneous carbonatites in Qingshen1 well at the southwestern margin of the Ordos Basin

测点	元素含量/ 10^{-6}		同位素比值						同位素年龄/Ma			
	Pb	U	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$		$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$		$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$		$^{206}\text{Pb}-^{238}\text{U}$ 年龄		$^{207}\text{Pb}-^{235}\text{U}$ 测年	
			比值	1σ	比值	1σ	比值	1σ	年龄	1σ	年龄	1σ
1	23	772	0.026 3	0.000 4	0.173 8	0.003 9	0.047 9	0.000 9	167	3	163	4
2	22	751	0.027 4	0.000 3	0.181 6	0.004 1	0.048 0	0.001 0	174	2	169	4
3	25	767	0.028 7	0.000 3	0.194 4	0.004 7	0.049 1	0.001 1	183	2	180	4
4	14	498	0.026 8	0.000 2	0.187 2	0.005 6	0.050 6	0.001 5	171	1	174	5
5	55	164	0.331 1	0.003 6	5.115 4	0.064 7	0.112 1	0.001 3	1 844	20	1 839	23
6	35	1 159	0.027 5	0.000 3	0.191 4	0.003 2	0.050 5	0.000 6	175	2	178	3
7	21	694	0.027 4	0.000 3	0.184 9	0.004 5	0.048 9	0.001 0	175	2	172	4
8	33	1 000	0.028 2	0.000 6	0.191 9	0.007 5	0.049 3	0.001 3	180	4	178	7
9	14	438	0.028 4	0.000 3	0.208 2	0.009 6	0.053 1	0.002 4	181	2	192	9
10	24	329	0.070 2	0.001 3	0.564 1	0.010 3	0.058 3	0.000 9	437	8	454	8
11	17	538	0.028 3	0.000 3	0.200 0	0.005 4	0.051 3	0.001 3	180	2	185	5
12	68	1 339	0.052 8	0.001 2	0.429 0	0.006 5	0.058 9	0.001 4	332	8	362	5
13	20	634	0.028 1	0.000 4	0.185 3	0.006 1	0.047 8	0.001 5	179	3	173	6
14	61	1 590	0.038 3	0.000 6	0.289 4	0.004 7	0.054 8	0.000 5	242	4	258	4
15	6	130	0.037 4	0.000 6	0.275 3	0.012 1	0.053 4	0.003 9	237	4	247	11
16	17	400	0.038 2	0.000 5	0.283 8	0.010 0	0.053 9	0.001 7	242	3	254	9

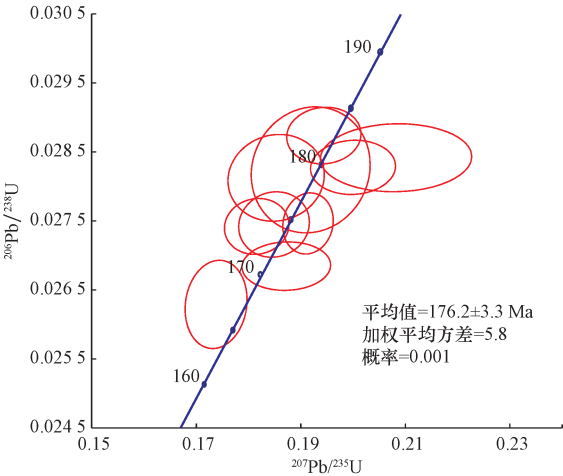


图 4 鄂尔多斯盆地西南部庆深 1 井火成碳酸盐岩锆石年龄谐和图

Fig. 4 Concordia plots of the U-Pb zircon dating results for the igneous carbonatites in Qingshen 1 well at the southwestern margin of the Ordos Basin

4 讨论

4.1 火成碳酸盐岩厘定

火成碳酸盐岩是指含碳酸盐岩矿物含量大于 50% (体积百分数), 二氧化硅含量小于 10% (重量百分数) 的火成岩石^[16]。火成碳酸盐岩与海相碳酸盐岩在地球化学主量元素上没有明显的区别, 很难确认, 但稀土元素却表现出了完全不同的特征。火成碳酸盐岩稀土元素标准化曲线呈明显的右倾型, 无明显的正负

Eu 异常, 但沉积成因的海相碳酸盐岩虽也呈现出右倾模式, 但却表明为明显的负 Eu 异常^[17]。碳、氧同位素是判别火成碳酸盐岩的一个重要标志, 与沉积成因的碳酸盐岩相比, 火成碳酸盐岩 $\delta^{18}\text{O}$ 值要低的多, 而且变化范围有限^[18]。庆深 1 井蓟县系碳酸盐岩由于岩心收获率较低, 破碎严重, 与周围白云岩的接触关系不清, 但岩石颜色呈紫红色, 滑腻感强烈, 与周围灰白色的白云岩具有明显的区别。稀土元素球粒陨石标准化曲线无明显的正负 Eu 异常 (图 5a), 而与之相邻的沉积成因的白云岩却表现出了明显的负 Eu 异常。在 $\delta^{13}\text{C}-\delta^{18}\text{O}$ 图解中, 完全落入了火成碳酸盐岩的范围, 与沉积成因的碳酸盐岩区别较大 (图 5b)^[19]。综上所述, 分析认为庆深 1 井蓟县系存在岩浆成因的火成碳酸盐岩。

4.2 火成碳酸盐岩形成环境

目前, 世界上已发现的 400 余处火成碳酸盐岩体大多数分布于克拉通区大陆裂谷带和板块内部, 板块边缘也有火成碳酸盐岩产出, 只有洋壳和洋中脊尚未发现火成碳酸盐岩的报道。华北克拉通火成碳酸盐岩在时间上主要形成于古元古代末至中元古代初、早中生代和晚中生代 3 个时期, 反映了华北克拉通在演化历史上的 3 个重要的拉张阶段^[20]。古元古代末至中元古代初火成碳酸盐岩主要分布于燕辽裂谷附近, 深部动力学背景可能与热地幔柱有关。中生代火成碳酸盐岩主要分布在华北克拉通的北缘和南缘。华北克拉通北缘目前发现的火成碳酸盐岩体主要包括: 河北涿

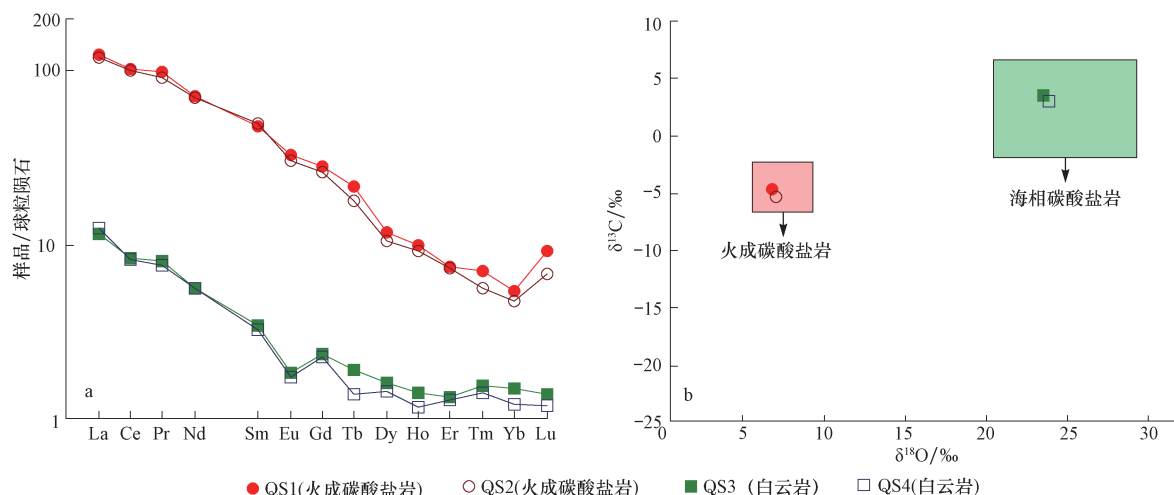


图5 稀土元素标准化曲线和碳、氧同位素交汇图

Fig. 5 REE distribution patterns and C-O isotope crossplot

a. 球粒陨石标准化曲线; b. 碳、氧同位素交汇图

鹿矾山辉石岩-正长岩-碳酸盐岩体,其 Sm-Nd 等时线年龄 $239 \pm 19 \text{ Ma}$ ^[21], Rb-Sr 等时线年龄 $218 \text{ Ma} \pm 8 \text{ Ma}$ ^[22];山西怀仁窑子头煌斑岩-碳酸盐岩脉, Rb-Sr 等值线年龄 $229 \text{ Ma} \pm 11 \text{ Ma}$ ^[23];山西临县紫金山碱性岩-碳酸盐岩杂岩体, Rb-Sr 等值线年龄 $132 \pm 28 \text{ Ma}$ ^[24], SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄 $125 \text{ Ma} \sim 132 \text{ Ma}$ ^[25];山东莱芜巴陡碳酸盐岩脉, Rb-Sr 等值线年龄 124 Ma ^[26]。华北克拉通南缘中生代目前发现的火成碳酸盐岩体主要包括:陕西华阴华阳川碳酸盐岩脉, K-Ar 法获得的年龄为 $204 \sim 206 \text{ Ma}$ ^[27];陕西洛南黄龙铺碳酸盐岩脉, Re-Os 等时线年龄 221 Ma ^[28];河南嵩县磨沟霓辉正长岩-碳酸盐岩体, Rb-Sr 等时线年龄 226 Ma ^[27], TIMS 锆石 U-Pb 年龄 $209 \text{ Ma} \pm 6 \text{ Ma}$ ^[28]。秦岭造山带早中生代花岗岩体的研究表明,具有碰撞造山性质的花岗岩主要形成于 $220 \sim 210 \text{ Ma}$ ^[29],华北克拉通南缘早中生代火成碳酸盐岩主要形成于 $204 \sim 210 \text{ Ma}$,明显晚于碰撞造山花岗岩的侵入时代。因此,晚三叠世火成碳酸盐岩形成的深部动力学机制可能与古亚洲洋板块和扬子板块分别向华北克拉通北缘、南缘俯冲挤压之后的伸展拉张作用有关。早白垩世是华北克拉通破坏的关键时期,目前的研究结果表明华北克拉通破坏的峰期为 125 Ma ^[30],华北克拉通发现的早白垩世火成碳酸盐岩年龄主要介于 $124 \sim 132 \text{ Ma}$,这与华北克拉通破坏的主峰期基本一致。火成碳酸盐岩主要分布在华北克拉通的中部和东部,其形成环境可能与华北克拉通的破坏存在着紧密的联系^[20]。

庆深1井蓟县系火成碳酸盐岩,位于鄂尔多斯盆地西南缘,主要夹持于两条北东-南西向的深大断裂之间,分别命名为环县-横山断层(HHF)和华池-大同断层(HDF),推测这两条断层共同组成了横贯鄂尔

多斯盆地中部,呈北东-南西向展布的隐性活动断裂带^[3]。在早侏罗世末期,约 $176.2 \text{ Ma} \pm 3.3 \text{ Ma}$,受扬子板块向华北克拉通俯冲挤压之后伸展拉张作用的影响,环县-横山断层(HHF)和华池-大同断层(HDF)可能复活,在其断裂带内部形成一系列火成碳酸盐岩的侵入岩脉。近年来,在鄂尔多斯盆地西南缘平凉策底、安口镇相继发现了早侏罗世凝灰岩,其年龄主要介于 $168 \sim 176 \text{ Ma}$ 。在凝灰岩构造背景判别图中,所有投点全部落入了大陆裂谷带或者初始裂谷玄武岩区,反应了早侏罗世至中侏罗世早期鄂尔多斯及周缘地区整体上处于陆内拉张的构造背景^[31]。鄂尔多斯盆地西南缘早侏罗世末期火成侵入岩脉的发现,为华北克拉通早侏罗世区域拉张的构造背景提供了新的证据。

5 结论

1) 鄂尔多斯盆地蓟县系侵入岩脉稀土元素标准化曲线是向右陡倾斜的曲线,无明显的正负 Eu 异常。碳氧同位素分析资料表明, $\delta^{18}\text{O}$ 值介于 $6.8\text{‰} \sim 7.0\text{‰}$ (SMOW), $\delta^{13}\text{C}$ 值介于 $4.8\text{‰} \sim 5.8\text{‰}$ (PDB),具有明显的火成碳酸盐岩的特征。

2) 火成碳酸盐岩的形成时代约为 $176.2 \text{ Ma} \pm 3.3 \text{ Ma}$,其形成主要受控于北东向基底大断裂带在早、中侏罗世时期的隐性活动,为扬子板块向华北克拉通俯冲挤压之后区域伸展作用的产物。

参 考 文 献

- [1] 杨遂正,金文化,李振宏. 鄂尔多斯多旋回叠合盆地形成与演化[J]. 天然气地球科学, 2006, 17(4): 494-498.
Yang Suizheng, Jin Wenhua, Li Zhenhong. Multicycle superimposed basin from and evolution of Ordos basin[J]. Natural Gas Geoscience, 2006, 17(4): 494-498.

- [2] 杨华,席胜利,魏新善,等.鄂尔多斯多旋回叠合盆地演化与天然气富集[J]. 中国石油,2006,1:17-24.
Yang Hua,Xi Shengli,Wei Xinshan,et al. Evolution and natural gas enrichment of multicycle superimposed basin in Ordos Basin[J]. China Petroleum Exploration,2006,1:17-24.
- [3] 胡健民,刘新社,李振宏,等.鄂尔多斯盆地基底变质岩与花岗岩锆石 SHRIMP U-Pb 定年[J]. 科学通报,2012,57(26):2482-2491.
Hu Jianmin,Liu Xinshe,Li Zhenhong,et al. SHRIMP U-Pb zircon dating of the Ordos Basin basement and its tectonic significance[J]. Chinese Science Bulletin,2012,57(26):2482-2491.
- [4] Hu Jianmin,Liu Xinshe,Li Zhenhong,et al. SHRIMP U-Pb zircon dating of the Ordos Basin basement and its tectonic significance[J]. Chinese Science Bulletin,2013,58(1):118-127.
- [5] 任战利,张盛,高胜利,等.鄂尔多斯盆地热演化程度异常分布区及形成时期探讨[J]. 地质学报,2006,80(5):674-684.
Ren Zhanli,Zhang Sheng,Gao Shengli,et al. Research on region of maturation anomaly and formation time in Ordos basin[J]. Acta Geologica Sinica,2006,80(5):674-684.
- [6] 赵文智,胡素云,汪泽成,等.鄂尔多斯盆地基底断裂在上三叠统延长组石油聚集中的控制作用[J]. 石油勘探与开发,2003,30(5):1-5.
Zhao Wenzhi,Hu Suyun,Wang Zecheng,et al. Key role of basement fault control on oil accumulation of Yanchang Formation, Upper Triassic, Ordos basin[J]. Petroleum Exploration and Development, 2003,30(5):1-5.
- [7] 刘震,姚星,胡晓丹,等.鄂尔多斯盆地中生界断层的发现及其对成藏的意义[J]. 地球科学与环境学报,2013,35(2):56-66.
Liu Zhen,Yao Xing,Hu Xiaodan,et al. Discovery of the Mesozoic fault and its implication on the hydrocarbon accumulation in Ordos Basin[J]. Journal of Earth Sciences and Environment,2013,35(2):56-66.
- [8] 方国庆,王中波.陕甘宁盆地遥感地质特征[J]. 煤田地质与勘探,2005,33(4):1-5.
Fang Guoqing,Wang Zhongbo. Remote sensing geological characteristics of the Ordos Basin[J]. Coal Geology and Exploration,2005,33(4):1-5.
- [9] 李军,赵靖舟,凡元芳,等.鄂尔多斯盆地上古生界准连续型气藏天然气运移机制[J]. 石油与天然气地质,2013,34(5):592-600.
Li Jun,Zhao Jingzhou,Fan Yuanfang,et al. Gas migration mechanism of quasi-continuous accumulation in the Upper Paleozoic of Ordos Basin[J]. Oil & Gas Geology,2013,34(5):592-600.
- [10] 肖晖,赵靖舟,王大兴,等.鄂尔多斯盆地奥陶系原生天然气地球化学特征及其对靖边气田气源的意义[J]. 石油与天然气地质,2013,34(5):601-609.
Xiao Hui,Zhao Jingzhou,Wang Daxing,et al. Geochemical characteristics of primary gas in the Ordovician and their significance for the gas source of Jingbian gas field, Ordos Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2013,34(5):601-609.
- [11] 任战利,李文厚,梁宇,等.鄂尔多斯盆地东南部延长组致密油成藏条件及主控因素[J]. 石油与天然气地质,2014,35(2):190-198.
Ren Zhanli,Li Wenhui,Liang Yu,et al. Tight oil reservoir formation conditions and main controlling factors of Yanchang Formation in southeastern Ordos Basin[J]. Oil & Gas Geology,2014,35(2):190-198.
- [12] Zhao G C,Sun Min,Wilde S A. Major tectonic units of the North China Craton and their Paleoproterozoic assembly[J]. Science in China: Earth Sciences,2003,32:538-549.
- [13] Zhao G C,Wilde S A,Cawood P A,et al. Archean blocks and their boundaries in the North China Craton: lithological, geochemical, structural and P-T path constraints and tectonic evolution[J]. Precambrian Research,2001,107:45-73.
- [14] Zhai M G,Liu W. Palaeoproterozoic tectonic history of the North China craton: a review[J]. Precambrian Research,2003,122:183-199.
- [15] Zhai M G. Cratonization and the ancient North China continent: a summary and review[J]. Science China: Earth Sciences,2011,54:1110-1120.
- [16] Woolly A R,Kempe D R C. Carbonatites: nomenclature, average chemical compositions, and element distribution. In: Bell K ed. Carbonatites: Genesis and Evolution[M]. London: Unwin Hyman,1989, 1-14.
- [17] 杨学明,杨晓勇. 碳酸盐岩的地质地球化学特征及其构造意义[J]. 地球科学进展,1998,13(5):457-466.
Yang Xueming,Yang Xiaoyong. Geological and Geochemical Characteristics of Carbonatites and Their Implication for Tectonic Settings[J]. Advance in Earth Sciences,1998,13(5):457-466.
- [18] 秦朝建,袁愉卓. 岩浆(型)碳酸盐岩研究进展[J]. 地球科学进展,2001,16(4):501-506.
Qin Jianchao,Qiu Yuzhuo. Recent Process in carbonatite Research[J]. Advance in Earth Sciences,2001,16(4):501-506.
- [19] Demeny A,Ahijado A,Casillas R,et al. Crustal contamination and fluid/rock interaction in the carbonates of Fuerteventura, Canary Islands, Spain; a C, H, O isotope study[J]. Lithos,1998,44:101-115.
- [20] 阎国翰,牟保磊,曾贻善,等. 华北克拉通火成碳酸盐岩时空分布和锶钕同位素特征及其地质意义[J]. 高校地质学报,2007,13(3):463-473.
Yan Guohan,Mou Baolei,Zeng Yishan,et al. Igneous carbonatites in North China Craton: The temporal and spatial distribution, Sr and Nd isotopic characteristics and their geological significance[J]. Geological Journal of China Universities,2007,13(3):463-473.
- [21] 牟保磊,邵济安,储著银,等. 河北矾山钾质碱性超镁铁岩-正长岩杂岩体 Sm-Nd 和 Sr、Nd、Pb 同位素特征[J]. 岩石学报,2001,17(3):358-365.
Mu Baolei,Shao Ji'an,Chu Zhuyin,et al. Sm-Nd age and Sr,Nd,Pb isotopic characteristics of the potassic alkaline ultramafic syenitic complex, Fanshan, Hebei province[J]. Acta Petrologica Sinica, 2001,17(3):358-365.
- [22] 牟保磊,阎国翰. 燕辽三叠纪碱性偏碱性岩杂岩体地球化学特征及意义[J]. 地质学报,1992,66(2):108-121.
Mou Baolei,Yan Guohan. Geochemistry of Triassic alkaline or subalkaline igneous complexes in the Yanliao area and their significance[J]. Acta Geologica Sinica,1992,66(2):108-121.

- patterns of large tight oil and gas fields[J]. *Oil & Gas Geology*, 2013, 34(5): 573–583.
- [24] Law B E. Basin-centered gas systems[J]. *AAPG Bulletin*, 2002, 86(11): 1891–1919.
- [25] Masters J A. Deep Basin gas trap, western Canada[J]. *AAPG Bulletin*, 1979, 63(2): 152–181.
- [26] Schmoker J W. Resource-assessment perspectives for unconventional gas systems[J]. *AAPG Bulletin*, 2002, 86(11): 1993–1999.
- [27] Fall A, Eichhubl P, Cumella S P, et al. Testing the basin-centered gas accumulation model using fluid inclusion observations; Southern Piceance Basin, Colorado[J]. *AAPG Bulletin*, 2012, 96(12): 2297–2318.
- [28] 赵靖舟, 付金华, 姚泾利, 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(s1): 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, 32(s1): 37–52.
- [29] 窦伟坦, 刘新社, 王涛. 鄂尔多斯盆地苏里格气田地层水成因及气水分布规律[J]. *石油学报*, 2010, 31(5): 767–773.
- Dou Weitan, Liu Xinshe, Wang Tao. The origin of formation water and the regularity of gas and water distribution for the Sulige gas field, Ordos Basin[J]. *Acta Petrolei Sinica*, 2010, 31(5): 767–773.
- [30] Gies R M. Hydrocarbon Entrapment in Alberta Deep Basin[J]. *AAPG Bulletin*, 1984, 68(4): 930.
- [31] U. S. Geological Survey National Oil and Gas Resource Assessment Team. National Assessment of United States oil and gas resources [M]. US: Houston, 1995: 20.
- [32] Schmoker J W. Method for assessing continuous-type(unconventional) hydrocarbon accumulations(CD-ROM) [C]//Gautier D L, Dolton G L, Takahashi K I, et al. National assessment of United States oil and gas resources—results, methodology, and supporting data; U. S. Geological Survey Digital Data Series 30, 1995.
- [33] Schmoker J W. Resource-assessment perspectives for unconventional gas systems [J]. *AAPG Bulletin*, 2002, 86(11): 1993–1999.
- [34] Schmoker J W. U. S. Geological survey assessment concepts for continuous petroleum accumulations [C]//Petroleum systems and geologic assessment of oil and gas in the southwestern Wyoming Province, Wyoming, Colorado, and Utah (USGS Southwestern Wyoming Province Assessment Team ed.) Denver, 2005: 7.
- [35] 张文旗, 王志章, 侯秀林, 等. 盖层封盖能力对天然气聚集的影响——以鄂尔多斯盆地大牛地气田大12井区为例[J]. *石油与天然气地质*, 2011, 32(6): 882–889.
- Zhang Wenqi, Wang Zhizhang, Hou Xiulin, et al. Influences of caprock sealing capacity on natural gas accumulation; an example from D-12 well block of Daniudi gas field in Ordos Basin[J]. *Oil & Gas Geology*, 2011, 32(6): 882–889.
- [36] 傅金华. 鄂尔多斯盆地上古生界盖层封盖性研究[J]. *天然气工业*, 1991, 11(6): 6–12.
- Fu Jinhua. A study of the sealing properties of the Palaeozoic caprocks in Ordos Basin[J]. *Natural Gas Industry*, 1991, 11(6): 6–12.

(编辑 董立)

(上接第179页)

- [23] 邵济安, 张永北, 张履桥, 等. 大同地区早中生代煌斑岩-碳酸盐岩岩墙群[J]. *岩石学报*, 2003, 19(1): 93–104.
- Shao Ji'an, Zhang Yongbei, Zhang Luqiao, et al. Early Mesozoic dike swarms of carbonatites and lamprophyres in Datong area [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2003, 19(1): 93–104.
- [24] 阎国翰, 牟保磊, 曾贻善. 山西临县紫金山碱性岩-碳酸盐岩的稀土元素和氧锶同位素特征[J]. *岩石学报*, 1988, 3: 29–36.
- Yan Guohan, Mu Baolei, Zeng Yishan. Alkaline rocks and Carbonatites from Zijinshan, Lin county of Shanxi Province: REE and O-Sr isotopic characteristics[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 1988, 3: 29–36.
- [25] 杨兴科, 晁会霞, 杨永恒, 等. 鄂尔多斯盆地东部紫金山一带岩浆-热力作用问题[C]//2006年全国岩石学与地球动力学研讨会论文摘要, 南京大学地球科学系, 2006: 459–461.
- Yang Xingke, Chao Huixia, Yang Yongheng, et al. Magmatism-thermal action in Zijinshan area in the east part of the Ordos basin [C]//The abstract collection of 2006 symposium on petrology and geodynamics in China in 2006, Department of Earth Sciences, Nanjing University, 2006: 459–461.
- [26] 英基丰, 周新华. 鲁西地区中生代碳酸盐岩类的微量元素和锶钕同位素组成特征[J]. *矿物岩石地球化学通报*, 2001, 20(4): 309–311.
- Ying Jifeng, Zhou Xinhua. Characterization of trace elements and Sr, Nd isotopes of carbonatites in the western Shandong province [J]. *Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry*, 2001, 20(4): 309–311.
- [27] 邱家骧, 曾广策, 李昌年, 等. 秦巴碱性岩 [M]. 北京: 地质出版社, 1993, 1–176.
- Qiu JiaXiang, Zeng Guangce, Li Changnian, et al. The alkaline rocks in Qinling-Bashan Mountains [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1993, 1–176.
- [28] 任富根, 李双保, 丁士应, 等. 熊耳裂陷印支期碱性岩浆活动成矿作用/生成模式 [M]. *地质论评*, 45(增刊): 660–667.
- Ren Fugen, Li Shuangbao, Ding Shiying, et al. Alkaline magmaactivities, mineralization and formation model in Xiong'er Fault Basin [M]. *Geological Review*, 45(Sup.): 660–667.
- [29] Dong Y P, Santosh M. Tectonic architecture and multiple orogeny of the Qinling Orogenic Belt, Central China [J]. *Gondwana Research*, 2015, doi: 10.1016/j. gr. 2015. 06. 009.
- [30] Zhu R X, Chen L, Wu F Y, et al. Timing, scale and mechanism of the destruction of the North China Craton [J]. *Science China (Earth Sciences)*, 2011, 54(6): 789–797.
- [31] 李振宏, 冯胜斌, 袁效奇, 等. 鄂尔多斯盆地及其周缘下侏罗统凝灰岩年代学及意义[J]. *石油与天然气地质*, 2014, 35(5): 729–741.
- Li Zhenhong, Feng Shengbin, Yuan Xiaoqi, et al. Chronology and its significance of the Lower Jurassic tuff in Ordos Basin and its periphery [J]. *Oil & Gas Geology*, 2014, 35(5): 729–741.

(编辑 董立)