

DOI: 10.12401/j.nwg.2022044

克拉玛依油田 424 井 2 140~3 551.63 m 井段层序、 年代学新证及“盆-山”地层对比

蒋志斌¹, 黄家瑄², 李永军^{2,*}, 李思远¹, 王韬¹, 王杰¹, 彭南赫²

(1. 中国石油新疆油田分公司勘探开发研究院, 新疆 克拉玛依 834000; 2. 长安大学地球科学与资源学院, 陕西 西安 710054)

摘要: 井中地层层序的建立和时代确定, 是岩石地层单位划分与对比的关键证据, 对正确确立储层意义重大。新疆克拉玛依油田 424 井上部 2 140~3 178 m 井段以海相陆源碎屑岩为主, 在井深 3 176.94~3 178.44 m 深灰色粉砂岩与灰黑色细砂岩互层中获得了匙叶粉 *Noeggerathiops-idozonotriletes* 等孢粉化石, 指示其时代属晚石炭世早—中期 (Bashkirian-Moscovian) 的可能性最大; 下部井段 3 178~3 551.63 m 以火山角砾岩间夹熔岩为主, 在 3 340.50~3 343.50 m 杏仁状玄武安山岩获得 306 Ma 的 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄; 确认上部陆源碎屑岩与下部火山角砾岩二者为整合接触, 二分性特征明显。据此, 确认上部层位与 424 井之北哈拉阿拉特山区阿腊德依克赛组建组剖面下段总体可对比; 下部层位与 424 井之北哈拉阿拉特组上部层位可对比。这一成果细分了 424 井中岩石地层单位, 弥补了这 2 组在山区原建组剖面“原始接触关系不清, 新老关系不明”之不足。

关键词: 地层层序; 孢粉化石; 锆石 U-Pb 年龄; 阿腊德依克赛组与哈拉阿拉特组; 划分与对比; 克拉玛依油田 424 井

中图分类号: P535; TE121

文献标志码: A

文章编号: 1009-6248(2023)02-0001-09

New Evidence on the Stratigraphy and Chronology of 2 140~3 551.63 m Well 424 Section in Karamay Oilfield and “Basin-Mountain” Stratigraphic Comparison

JIANG Zhibin¹, HUANG Jiakuan², LI Yongjun^{2,*}, LI Siyuan¹, WANG Tao¹, WANG Jie¹, PENG Nanhe²

(1. Exploration and Development Institute, Xinjiang Oilfield Company, Petro China, Karamay 834000, Xinjiang, China;

2. School of Earth Science and Resources, Chang'an University, Xi'an 710054, Shaanxi, China)

Abstract: The establishment and age determination of the stratigraphic sequence in the well is the key evidence for the division and correlation of rock stratigraphic units. This is significant for the correct establishment of the reservoir. The upper section of well 424 (2 140~3 178 m) in Karamay Oilfield is dominated by marine terrestrial clastic rocks. Sporopollen fossils, such as *Noeggerathiops-idozonotriletes* were obtained in the in-

收稿日期: 2022-10-19; 修回日期: 2022-12-08; 责任编辑: 吕鹏瑞

基金项目: 国家重点研发计划“深地资源勘查开采重点专项”(2018YFC060400), 中国石油天然气股份有限公司科学研究与技术开发项目“新疆海相泥盆系—石炭系油气地质研究”(2022DJ0507)联合资助。

作者简介: 蒋志斌(1981-), 男, 高级工程师, 主要从事油田开发地质、储层地质学研究。E-mail: jiangzb66@petrochina.com.cn。

* 通讯作者: 李永军(1961-), 男, 教授, 博士生导师, 主要从事区域地质、构造地质学调查研究与教学工作。E-mail: yongjunl@chd.edu.cn。

terbedded dark gray siltstone and gray-black fine sandstone in the depth of 3 176.94~3 178.44 m, indicating that they formed in early to middle stage of Late Carboniferous (Bashkirian-Moscovian); The lower section 3 178~3 551.63 m is mainly composed of volcanic breccia and intercalated lava. LA-ICP-MS zircon U-Pb age of 306 Ma was obtained from the amygdaloidal basaltic andesite at 3 340.50~3 343.50 m. It is considered that the upper terrestrial clastic rocks and the lower volcanic breccia are integrated contact and show obvious dichotomy characteristics. Accordingly, it is confirmed that the upper part (2 140~3 178 m) of the well 424 is comparable to the lower part of the stratotype section of the Aladeyikesai Formation in the Hala'alate Mountain, and the lower part (3 178~3 551.63 m) is comparable to the upper part of the Hala'alate Formation. This result not only subdivides lithostratigraphic unit of Well 424, but also makes up the deficiency of the unclear original stratigraphic contact relationship and old-new relationship between the stratotype sections of Aladeyikesai and Hala'alate formations in the mountain area.

Keywords: Stratigraphic sequence; sporopollen fossils; zircon U-Pb age; division and correlation; Aladeyikesai and Hala'alate formations; Karamay oilfield well 424

作为中国最早发现的火山岩油藏,克百断裂带内石炭系火山岩油藏开发至今仍然有着非常好的油气勘探前景(靳军等, 2018)。遗憾的是,前人多侧重于油藏储层的岩性岩相展布、储集空间特征、储层物性特征等方面的研究(潘虹等, 2022),对于各井中主要层位的层序与时代等基础研究成果极少,导致地层格架不清、形成时代不明、划分归属混乱(王韬等, 2022; 陈江新等, 2022),难以标定井中主要火山岩储层与其北缘山区相应建组火山岩地层对比。例如,笔者研究的424井火山地层至今无可靠时代依据,划分方案多有分歧,久存时代上或石炭纪或二叠纪之争,也无岩石地层单位名称确立,显然不利于后续研究及火山岩油藏的综合勘探和开发。

笔者对克拉玛依油田424井火山地层岩心进行重新编录,配合测井曲线和岩电识别,修正了地层序列与岩石组合,并获得了较好的锆石U-Pb年龄及孢粉化石组合。以此为基础,厘定了424井段岩石单位划分,为所在井区及区域盆-山火山地层对比提供了重要证据。

1 424井区及区域地质概况

克拉玛依油田位于准噶尔盆地西北缘克百断裂带内(图1)(江汝锋, 2014),整体呈北东-南西向分布,油田区极为发育的断裂将其分割为多个区块。油田总体呈北东向延伸并与百口泉油田相连(图1c)。克拉玛依油田424井位于克拉玛依市东北约53 km处的百口泉镇(图1a)(张璐瑾, 2003),井位坐标为 $x=$

5 087 788.2, $y=15 377 790.7$ 。依据新疆油田分公司录井资料,该井自地表向下钻遇主要地层:0~91 m为新近系,91~439 m为白垩系(与新近系为不整合接触),439~2 140 m为侏罗系,2 140 m处为一区域性断层面,之下为笔者研究的目标层。

424井北邻的包古图-哈山山区晚古生代地层广布。近年来,笔者及其团队已经取得了重要的进展(李永军等, 2010, 2021; 孙羽等, 2014; 向坤鹏等, 2015a, 2015b; 李甘雨等, 2016, 2017),与本文相关的主要地层层序及划分方案综合归纳如表1所示。白杨河组火山岩之上的中生代陆相河湖相碎屑岩沉积与盆内相应地层总体可对比。

需要指出的是,哈山一带原建组剖面上及区域上,哈拉阿拉特组与阿腊德依克赛组因后期断裂改造未见直接接触,这2组原始接触关系不清,至今新老关系不明。

2 424井岩性岩相特征

依据本次岩心编录结合测井曲线,确立的主要岩性及恢复的2 140~3 551.63 m井段地层自下而上共分52层,分属2个组级地层单位(图2),代表性岩性如图3所示。

2 140~3 178 m (12~52层)岩石组合为碎屑岩沉积,表现为砾岩(图3a)-(粗)砂岩-粉砂岩(图3b、图3c)-泥岩互层,总体与424井之北缘的阿腊德依克赛组下段可对比。测井电性特征表现出与下伏火山岩为整合接触(图3)。

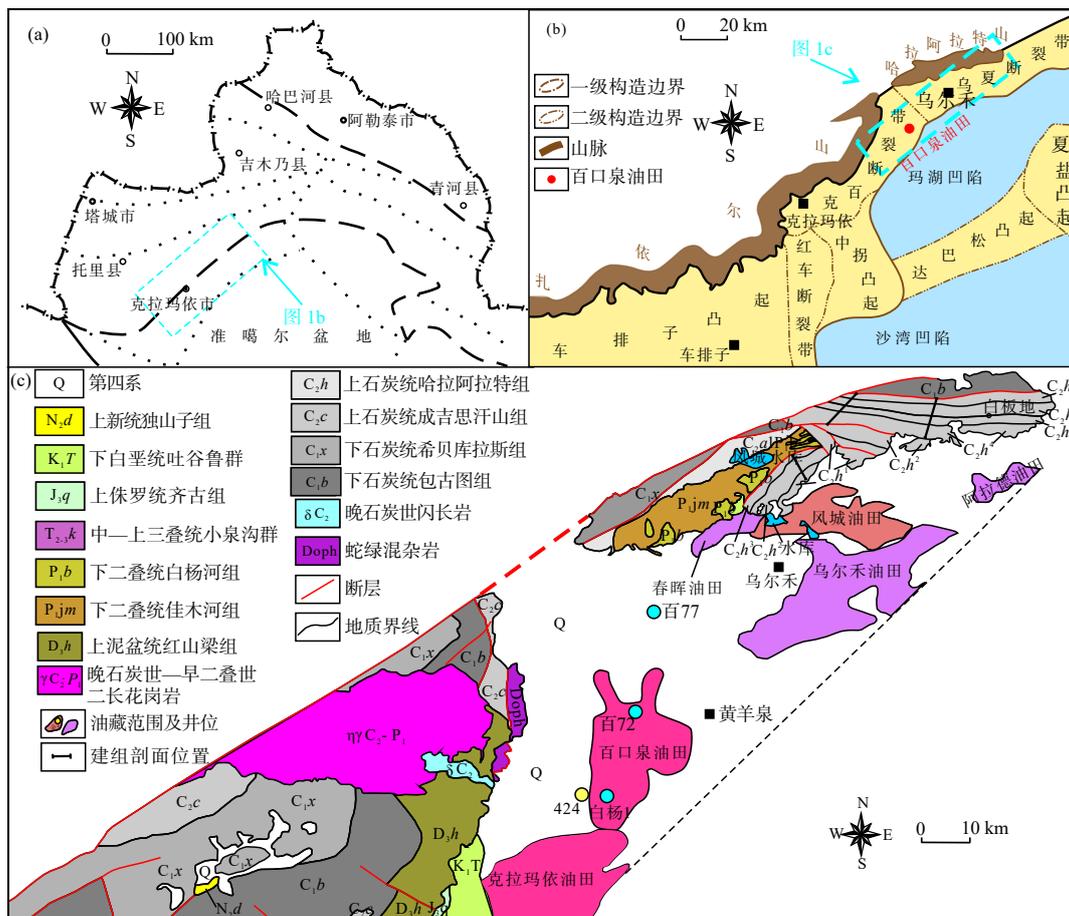


图 1 克拉玛依油田地质构造图(b 图据王韬等, 2022 修改)

Fig. 1 Geological structure map of the Karamay oilfield

表 1 准噶尔盆地西北缘上石炭统—下二叠统岩石地层单位方案与对比标志(李永军等, 2021)

Tab. 1 Upper Carboniferous-Lower Permian stratigraphic units and comparative signatures in the northwest margin of the Junggar Basin

组	岩石组合及划分与对比标志	时代依据
白杨河组 P _{1b}	中-基性火山熔岩及火山碎屑岩为主, 发育较完整火山机构; 近火山口以爆发相(集块岩和火山角砾岩)为主, 远离火山口以玄武岩和凝灰岩为主	LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄 287 Ma (未见顶)(李永军等, 2016a)
佳木河组 P _{1jm}	陆相磨拉石建造, 下岩段以粗碎屑岩为主, 岩性有细砾岩、含砾粗砂岩、长石岩屑砂岩等, 上岩段主要为粗碎屑岩建造, 岩性为灰褐色中-细砾岩夹中砂岩和灰褐色中厚层状中细砾岩以及粗砂岩, 砾石成分常见安山质、玄武质及花岗岩等岩石	<i>Paracalamites stenocostatus</i> , <i>Lepidodendrales</i> (李永军等, 2016b)
阿腊德依克组 C _{2al}	“下陆源碎屑岩-上火山岩”层序(下段以正常沉积岩为主, 上段以火山岩为主)。上段火山岩中熔岩总体多于火山碎屑岩	<i>Athyris circularis</i> , <i>Roemeriporella junggarensis</i> , <i>Linoproductus cora</i> , <i>eospirifer fasciger</i> ; LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄为 303~295 Ma
哈拉阿拉特组 C _{2h}	下部(C _{2h} ¹⁻³)以气孔状玄武岩为主, 向上见安山岩, 上部(C _{2h} ⁴⁻⁷)以玄武质角砾岩、集块岩为主。以深灰色、灰绿色区别于红色调的成吉思汗山组。本组与包古图组、希贝库拉斯组的区别是层序上总体下熔岩上火山碎屑岩; 火山喷发旋回极为发育有别于成吉思汗山组火山岩	<i>Balakhoniasilimica</i> sp., <i>Kotorginella tentoria</i> , <i>Stenosismamazhalica</i> , <i>Rhomobopora</i> sp. <i>Declinognathodus</i> cf. <i>noduliferous</i> ; 锆石 U-Pb 年龄为 309~304 Ma (王玉净, 1987)
成吉思汗山组 C _{2c}	宏观露头以“暗红色、紫褐色”色调最为特色, 正常沉积的细、粗碎屑岩均有发现。本组有别于包古图组、希贝库拉斯组的一个重要特征是灰岩层相对较厚, 产出较为稳定, 且多有生物化石, 火山岩相对较发育, 岩性以玄武岩为主	<i>Choristites</i> sp., <i>Pseudotomania</i> sp.; LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄为 319~310 Ma

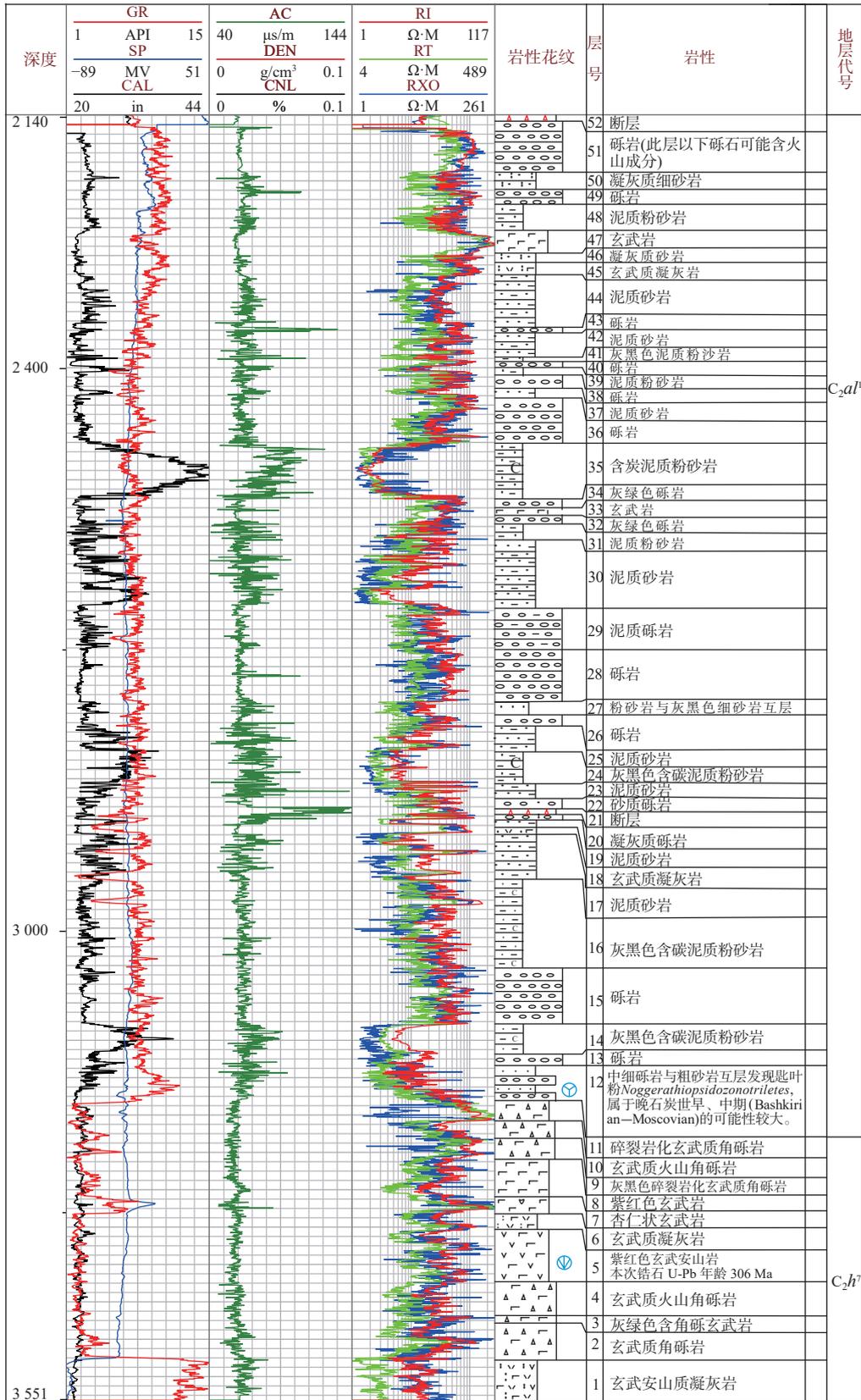


图2 424井2140~3551.63m井段岩心综合地层柱状图

Fig. 2 Comprehensive stratigraphic histogram of core in well section 2140~3551.63 m of well 424

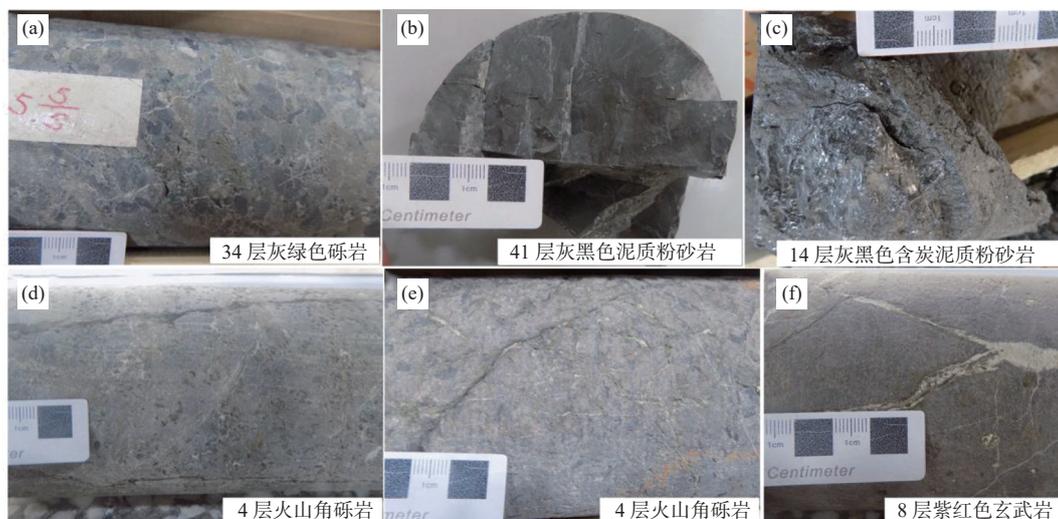


图3 克拉玛依油田424井岩心地质特征照片

Fig. 3 Photo of geological characteristics of core of well 424

3 178~3 551.63 m (1~11层)岩石组合以基性火山岩为主,主要岩类有火山凝灰岩-火山角砾岩(图3d、图3e)间夹玄武岩(图3f)、玄武安山岩,与井区北缘哈拉阿拉特组岩石组合总体可比。

哈山组的 $C_2h^4 \sim C_2h^7$ 主要特征是以火山角砾岩类、凝灰岩岩类为主,火山熔岩类多呈夹层产出。与上述分层的井深3 180~3 551.63 m的第1~11层的层序特征总体相似,有较好的可比性。而井深2 140~3 180 m岩心段岩石岩性多为碎屑岩,夹有少量火山岩,该特征与下部主要为陆源碎屑岩的阿腊德依克赛组极易对比。

综上所述,笔者认为424井深3 180~3 551.63 m段岩石应归属于哈拉阿拉特组 $C_2h^4 \sim C_2h^7$,井深2 140~3 180 m岩心段岩石归属于阿腊德依克赛组 C_2al^1 。

3 424井孢粉组合

孢粉样品采自于424井深3 176.94~3 178.44 m处深灰色粉砂岩与灰黑色细砂岩互层中,样品编号为424-6-6BF、424-6-11BF(图4)。

样品由南京伊洛岗地质科技有限公司(中国科学院南京古生物所所属)采用实验室孢粉标准分析方法(SY/T 5522-2018)处理、制样、鉴定和统计分析。

本次获得的孢粉如图4所示。大部分属于具肋单/双气囊类花粉属,广布于新疆北部地区多晚石炭世—二叠纪地层中。本次鉴定的匙叶粉 $Noeg-$

$gerathiops-idozonotriletes$ 主要见于安加拉区和亚安加拉区的晚石炭世早—中期(Bashkirian-Moscovian)地层中;光面三缝孢 $Leiotriletes$ 、圆形光面孢 $Punctatisporites$ 、芦木孢 $Calamospora$ 及宽沟粉 $Urmites$ 等均无确切的层位意义。因此,认为这2件样品的地质时代应在晚石炭世—二叠纪范围内,属于晚石炭世早、中期(Bashkirian-Moscovian)的可能性较大。

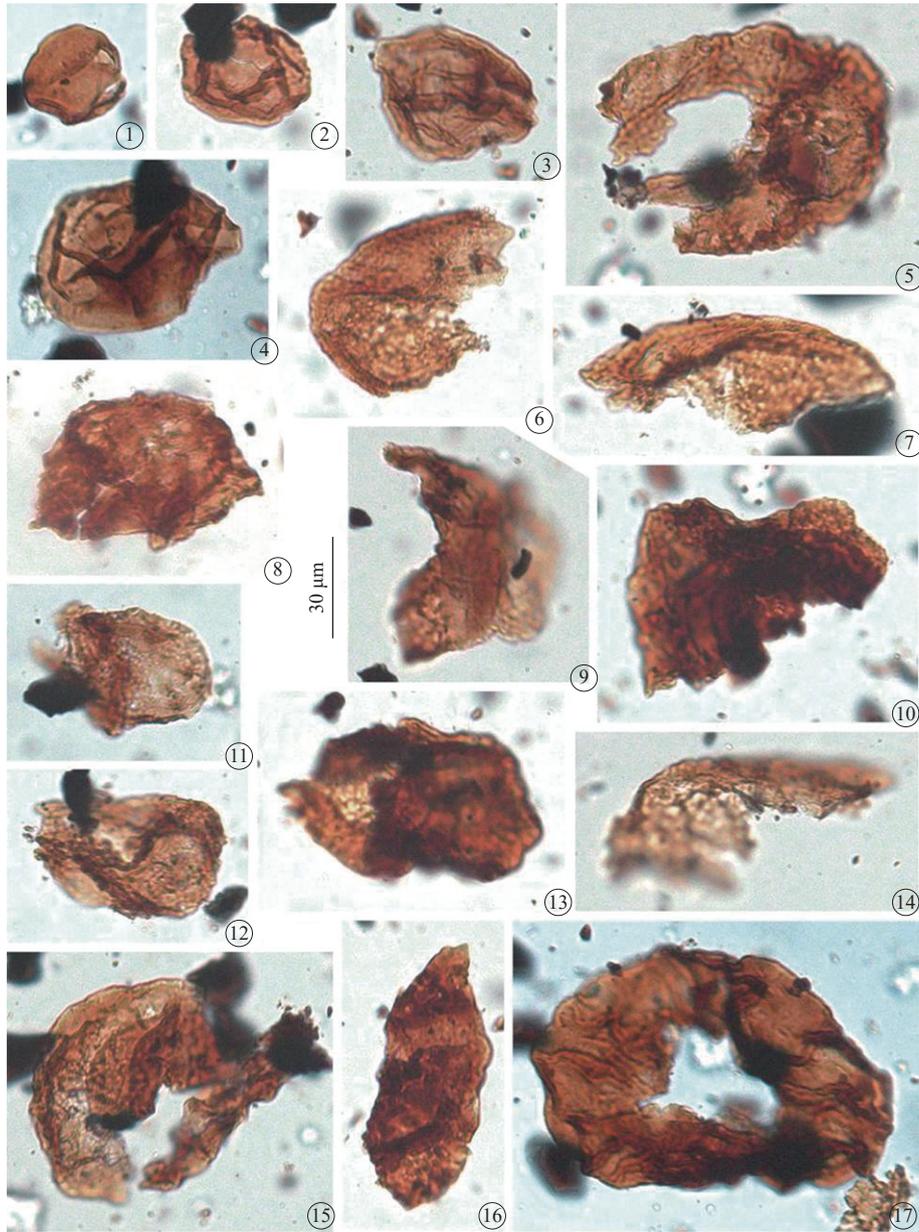
4 火山岩锆石U-Pb年龄

4.1 采样层位、岩性、制样及测试方法

本次U-Pb年龄样品采自424井深3 340.50~3 343.50 m杏仁状玄武安山岩中(图5)(编号为424-13-5TW)。

杏仁状玄武安山岩为具斑状结构,杏仁状构造。岩石中斑晶含量约为1%,为斜长石斑晶,斑晶呈半自形板状,粒径为 $0.8 \times 0.2 \text{ mm} \sim 1.7 \times 0.35 \text{ mm}$,聚片双晶发育。基质具间粒间隐结构,由斜长石(61%)、玻璃质(5%)、辉石(25%)及少量磁铁矿(3%)组成,斜长石呈半自形细板条状,粒径为 $0.02 \sim 0.5 \text{ mm}$,聚片双晶发育,斜长石之间分布了蚀变暗色矿物和玻璃质;辉石呈粒状形态,粒径 $< 0.35 \text{ mm}$,均匀分布,部分暗化、绿泥石化蚀变;磁铁矿呈粒状,粒径为 $0.02 \sim 0.3 \text{ mm}$,浸染状分布。杏仁石(5%)呈不规则状,粒径为 $1.6 \sim 0.3 \text{ mm}$,内充填方解石、绿泥石。

锆石单矿物分选由廊坊市诚信地质服务有限公司完成,使用常规重液浮选和电磁分离的方法挑选出



1. 宽沟粉(未定种) *Urmites* sp; 2. 小芦木孢 *Calamospora parva* Guenel, 1958; 3. 短射线芦木孢 *Calamospora brevira-diata* Kosanke, 1950; 4. 透明芦木孢 *Calamospora liquida* Kosanke, 1950; 5~16. 不能鉴定的具肋单/双气囊类花粉;
17. 小具缘匙叶粉 *Noeggerathiops-idozonotriletes marginellus* (Luber) Wang, 2003

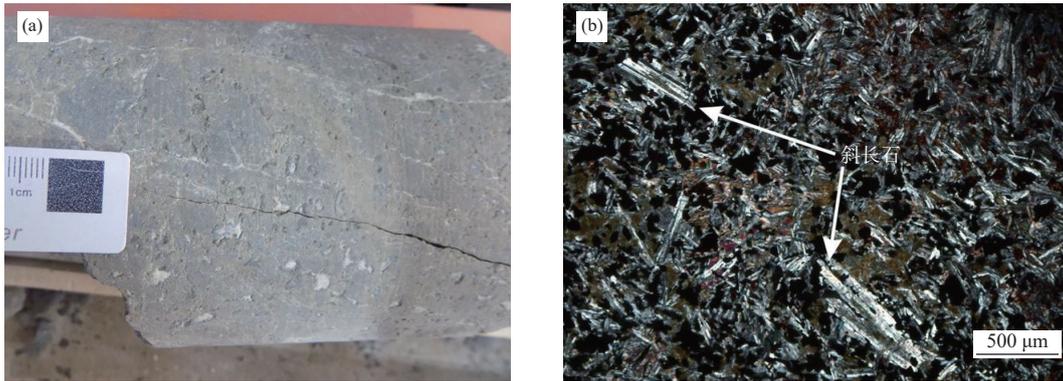
图4 克拉玛依油田424井孢粉样品照片

Fig. 4 Photo of 424 well spore powder samples, Karamay Oilfield

晶形和透明度较好的锆石制成环氧树脂样品靶, 磨蚀和抛光样品靶使锆石出露近中心部位。在光学显微镜下对其进行透射光、反射光照相, 并在阴极发光(CL)扫描电镜下进行阴极发光显微照相。

激光剥蚀电感耦合等离子体质谱(LA-ICP-MS)锆石原位 U-Pb 分析在西安地质调查中心重点实验室完成。实验采用的 ICP-MS 为美国 Agilent 公司生产的 Agilent7500a, 激光剥蚀系统为德国 MicroLas 公司

生产的 GeoLas200M, 激光剥蚀直径为 25 μm , 激光剥蚀样品的深度为 20~40 μm 。实验中采用 He 作为剥蚀物质的载气, 锆石年龄次啊用标准锆石 91500 作为外部标准物质。元素含量采用 NISTSRN610 作为外标。选择 ^{29}Si 作为内标元素, 采用 Glitter(ver4.0, Macquarie University)对锆石的同位素比值及元素含量进行计算, 最终年龄计算及其谐和图由 Isoplot(ver3.0)完成。



a.样品岩心照片; b.样品正交偏光镜下照片

图 5 杏仁状玄武安山岩样品的岩心及镜下特征

Fig. 5 Core and microscopic characteristics of amygdaloidal basaltic andesite samples

4.2 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄

锆石大多为无色透明或浅黄色, 多数为粒状, 少数为长柱状。粒径变化较大, 锆石长为 50~120 μm, 宽为 50~100 μm, 长宽比为 1:1~3:1(图 6a)。锆石 Th 含量为 $24.42 \times 10^{-6} \sim 318.90 \times 10^{-6}$; U 含量为 $58.99 \times 10^{-6} \sim 414.74 \times 10^{-6}$ (表 2), Th/U 值为 0.41~1.61, 为较高正相关, 在 CL 图像中锆石自形程度较好, 部分具清晰韵律环带, 锆石 Th/U 值及晶形特征均指示为岩浆成因(吴元保等, 2004)。LA-ICP-MS 大部分单颗粒测

点都位于谐和线上, $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 表面年龄值多为 299~320 Ma, 加权平均年龄为 $(306.2 \pm 5.8)\text{Ma}$ ($n=8$, $\text{MSWD}=0.81$)(图 6b、图 6c), 时代为晚石炭世, 与盆地北缘山区哈拉阿拉特组火山岩成岩时代一致(307~304 Ma)(李甘雨等, 2016; 李永军等, 2021)。

总之, 认为 424 井井深 3 340.50~3 343.50 m 岩心段从火山岩岩石组合, 火山岩层序、地质时代及上述岩电曲线与北部山区的哈拉阿拉特组的 $\text{C}_2h^4 \sim \text{C}_2h^7$ 容易对比, 为井中与西北缘后山(盆山)地层对比提供新证。

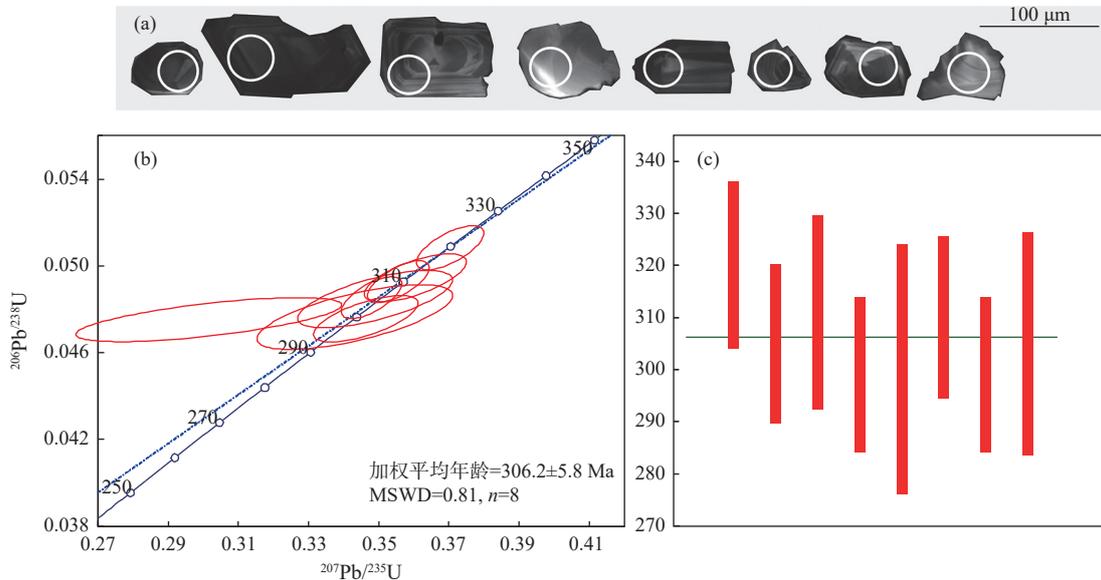


图 6 424 井玄武岩代表性锆石 CL 图像与 U-Pb 年龄图

Fig. 6 Representative zircon CL image and U-Pb age map of basalt in well 424

5 结论

(1)通过岩心编录结合测井曲线岩电模版识别,

424 井 2 140~3 178 m 井段岩石组合为陆源碎屑岩建造, 本次发现的匙叶粉 *Noeggerathiops-idozonotriletes* 等孢化石指示其时代属晚石炭世早、中期(Bashkirian-Moscovian)的可能性最大。因此, 该井段的岩石

表2 424井玄武安山岩LA-ICP-MS锆石U-Pb分析结果
Tab. 2 LA-ICP-MS zircon U-Pb analysis results of basaltic andesite in well 424

样号	同位素比值						同位素年龄						^{232}Th (10^{-6})	^{238}U (10^{-6})	Th/U
	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$		$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$		$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$		$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$		$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$		$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$				
	比值	σ	比值	σ	比值	σ	年龄	σ	年龄	σ	年龄	σ			
424-13-5TW02	0.052 84	0.001 32	0.370 3	0.007 83	0.050 82	0.000 83	322	22	320	6	320	5	235.47	253.08	0.93
424-13-5TW17	0.052 02	0.001 26	0.347 9	0.006 99	0.048 51	0.000 78	286	21	303	5	305	5	156.67	36.732	0.43
424-13-5TW20	0.052 88	0.001 92	0.360 43	0.011 81	0.049 43	0.000 9	324	42	313	9	311	6	305.89	189.54	1.61
424-13-5TW24	0.052 82	0.002 04	0.346 22	0.012 17	0.047 54	0.000 88	321	47	302	9	299	5	24.42	58.99	0.41
424-13-5TW29	0.052 28	0.003 66	0.343 16	0.022 78	0.047 61	0.001 22	298	105	300	17	300	8	219.78	342.94	0.64
424-13-5TW30	0.052 36	0.001 27	0.355 51	0.007 13	0.049 25	0.000 79	301	21	309	5	310	5	318.90	414.74	0.77
424-13-5TW34	0.046 05	0.004 79	0.301 58	0.030 94	0.047 5	0.000 83	-	212	268	24	299	5	185.22	369.61	0.50
424-13-5TW39	0.052 26	0.002 88	0.348 97	0.017 99	0.048 44	0.001 08	297	77	304	14	305	7	207.29	268.57	0.77

组合及孢粉时代总体与424井之北缘的阿拉德依克赛组下段可对比。

(2) 3 178~3 551.63 m井段岩石组合以基性火山凝灰岩-火山角砾岩为主间夹玄武岩、玄武安山岩,于玄武安山岩中获得(306.2±5.8)Ma的LA-ICP-MS锆石U-Pb年龄,因此,无论是岩石组合还是成岩时代均与井区北缘哈拉阿拉特组总体可比。

(3) 424井以井深3 178 m为界,上覆陆源碎屑岩与下伏基性火山岩各自厚度较大,岩性可区分性强,经与建组剖面对比分属阿拉德依克赛组和哈拉阿拉特组2个组级地层单位。界面处的整合接触关系及其佐证的两组的新老关系,为山区2组“原始接触关系不清,新老关系不明”提供了重要证据。

参考文献(References):

陈江新,徐倩,李永军,等.车排子地区车47井石炭系划分及对比[J].新疆石油地质,2022,43(4):410-416.

CHEN Jiangxin, XU Qian, LI Yongjun, et al. Stratigraphic Division and Correlation of Carboniferous Strata in Well Che 47 in Chepaizi Area[J]. Xinjiang Petroleum Geology, 2022, 43(4): 410-416.

江汝锋.克拉玛依油田石炭系火山岩区断裂特征与油气成藏关系[D].东营:中国石油大学(华东),2014.

JIANG Rufeng, The Relationship between Fault Characteristics and Petroleum Accumulation of Carboniferous Volcanic in Karamay Oilfield[D]. Dongying: China University of Petroleum (East China), 2014.

靳军,王剑,刘金,等.准噶尔盆地克一百断裂带石炭系深部岩性岩相及时空分布特征[J].西北大学学报(自然科学版),2018,48(02):238-245.

JIN Jun, WANG Jian, LIU Jin, et al. Characteristic and Distribution of Lithology-lithofacies of Deep Carboniferous Reservoirs in the Ke-Bai Fractured Zone of the Northwestern Margin in Junggar Basin[J]. Journal of Northwest University(Natural Science Edition), 2018, 48(02): 238-245.

李甘雨,李永军,王冉,等.西准噶尔哈拉阿拉特山一带晚石炭世赞岐岩的发现及其地质意义[J].岩石学报,2017,33(1):16-30.

LI Ganyu, LI Yongjun, WANG Ran, et al. The Discovery and Significance of Late Carboniferous sanukitoids in Hala'alate Mountain, West Junggar[J]. Acta Petrologica Sinica, 2017, 33(1): 16-30.

李甘雨,李永军,向坤鹏,等.西准噶尔哈拉阿拉特组的重新厘定及区域对比[J].地层学杂志,2016,40(1):76-84.

LI Ganyu, LI Yongjun, XIANG Kunpeng, et al. Revision and regional correlation of the Hala'alate Formation in Western Junggar basin[J]. Journal of Stratigraphy, 2016, 40(1): 76-84.

李永军,李卫东,杨高学,等.新疆东西准噶尔泥盆系-石炭系建组剖面及区域对比[M].北京:地质出版社,2021:163-291.

LI Yongjun, LI Weidong, YANG Gaoxue, et al. Devonian-Carboniferous Stratotype Sections and Regional Correlation in Eastern and Western Junggar, Xinjiang[M]. Beijing: Geological Publishing House, 2021: 163-291.

李永军,徐倩,杨高学,等.陆内“滞后”弧岩浆岩及其地质意义——来自西准噶尔乌尔禾北早二叠世岩浆作用的证据[J].地学前缘,2016a,23(4):190-199.

- LI Yongjun, XU Qian, YANG Gaoxue, et al. Intracontinental "Lagged arc volcanic rocks" and its geological significance: Evidence from early Permian lagged arc magmatism in northern Urho area of Western Junggar[J]. *Earth Science Frontiers*, 2016a, 23(4): 190-199.
- 李永军, 徐倩, 刘佳, 等. 新疆西准噶尔哈山地区佳木河组的新厘定及地质意义[J]. *地球科学*, 2016b, 41(9): 1479-1488.
- LI Yongjun, XU Qian, LIU Jia, et al. Redefinition and Geological Significance of the Jiamuhe Formation in Hala'alate Mountain of West Junggar, Xinjiang[J]. *Earth Science*, 2016b, 41(9): 1479-1488.
- 李永军, 佟丽莉, 张兵, 等. 论西准噶尔石炭系希贝库拉斯组与包古图组的新老关系[J]. *新疆地质*, 2010, 28(02): 130-136.
- LI Yongjun, TONG Lili, ZHANG Bing, et al. On The Old and New Relationship between Xibeikulasi Formation and Baogutu Formation of the Carboniferous System, West Jaggar[J]. *Xinjiang Geology*, 2010, 28(02): 130-136.
- 潘虹, 李晓山, 钱川川, 等. 准噶尔盆地克百断裂带石炭系内幕型火山岩储层特征及成藏规律[J]. *东北石油大学学报*, 2022, 46(01): 62-75+122+9-10.
- PAN Hong, LI Xiaochuan, QIAN Chuanchuan, et al. Characteristic and Accumulation Patterns of Carboniferous Inside-type Volcanic Reservoir in Kebai Fault Zone Of Junggar Basin[J]. *Journal of Northeast Petroleum University*, 2022, 46(01): 62-75+122+9-10.
- 孙羽, 李永军, 佟丽莉, 等. 西准噶尔希贝库拉斯组整合于包古图组之上的确认[J]. *新疆地质*, 2014, 32(02): 153-157.
- SUN Yu, LI Yongjun, TONG Lili, et al. The Affirmance of Xibeikulasi Formation Conformable above Baogutu Formation in West Junggar[J]. *Xinjiang Geology*, 2014, 32(02): 153-157.
- 王韬, 徐倩, 李永军, 等. 车排子油田南部火山岩地质时代及成因[J]. *新疆石油地质*, 2022, 43(2): 160-168.
- WANG Tao, XU Qian, LI Yongjun, et al. Geological Age and Petrogenesis of Volcanic Rocks in Southern Chepaizi Oilfield[J]. *Xinjiang Petroleum Geology*, 2022, 43(2): 160-168.
- 王玉净, 金玉珩, 江纳言. 论哈拉阿拉特组的时代及古环境特征[J]. *地层学杂志*, 1987, 11(01): 53-57.
- WANG Yujing, JIN Yugan, JIANG Nayan. On the Age and Paleoenvironmental Characteristics of the Hala'alate Formation[J]. *Journal of Stratigraphy*, 1987, 11(01): 53-57.
- 吴元保, 郑永飞. 锆石成因矿物学研究及其对 U-Pb 年龄解释的制约[J]. *科学通报*, 2004, 49(16): 1589-1604.
- WU Yuanbao, ZHENG Yongfei. Zircon Genetic Mineralogy and its Constraints on the Interpretation of U-Pb age[J]. *Chinese Science Bulletin*, 2004, 49(16): 1589-1604.
- 向坤鹏, 李永军, 李钊, 等. 新疆西准噶尔哈拉阿拉特山火山岩 LA ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄、地球化学特征及意义[J]. *地质学报*, 2015a, 89(05): 843-855.
- XIANG Kunpeng, LI Yongjun, LI Zhao, et al. LA-ICP-MS Zircon Age and Geochemistry of the Aladeyikesai Formation Volcanic Rocks in the Hala'alate Mountain of West Junggar, Xinjiang, and Their Tectonic Significance[J]. *Acta Geologica Sinica*, 2015a, 89(05): 843-855.
- 向坤鹏. 新疆西准噶尔包古图-哈拉阿拉特山一带石炭纪沉积盆地分析及构造意义[D]. 西安: 长安大学, 2015b.
- XIANG Kunpeng. Carboniferous Sedimentary Basin Analysis and Tectonic Significance in the Baogutu-Hala'alate Mountain, Western Junggar, Xinjiang[D]. Xi'an: Chang'an University, 2015b.
- 张璐瑾. 新疆克拉玛依地区佳木河组若干重要孢粉类型[J]. *微体古生物学报*, 2003, 20(4): 7.
- ZHANG Lujin. Some important palynomorphs from the jiamuhe formation of the karamay region, xinjiang[J]. *Acta Micropalaeontologica Sinica*, 2003, 20(4): 7.