

doi: 10.12029/gc20190610

毕承彬, 余牛奔, 卢观送, 尼加提·阿布都逊, 潘飞, 马比阿伟. 2019. 东准噶尔奥依托浪格地区原三塘湖组陆相火山岩地层的重新厘定与解体[J]. 中国地质, 46(6): 1384–1395.

Bi Chengbin, Yu Niuben, Lu Guansong, Nijati·Abuduxun, Pan Fei, Mabi Awei. 2019. Redetermination and disintegration of the continental volcanic strata of the former Santanghu Formation in Oetonggar area, Eastern Junggar Basin[J]. *Geology in China*, 46(6): 1384–1395(in Chinese with English abstract).

东准噶尔奥依托浪格地区原三塘湖组陆相火山岩地层的重新厘定与解体

毕承彬¹, 余牛奔^{1,2}, 卢观送¹, 尼加提·阿布都逊^{2,3}, 潘飞¹, 马比阿伟⁴

(1. 江西省地质矿产勘查开发局赣西北大队, 江西 九江 332000; 2. 新疆中亚造山带大陆动力学与成矿预测自治区重点实验室, 新疆 乌鲁木齐 830047; 3. 新疆大学, 新疆 乌鲁木齐 830047; 4. 成都理工大学, 四川 成都 610059)

摘要: 笔者通过岩性组合与岩相组合对比研究、SHRIMP 锆石 U–Pb 测年与化石年代学研究等手段, 认为东准噶尔奥依托浪格地区原三塘湖组陆相火山岩应重新厘定为巴塔玛依内山组, 并建议将这套准噶尔盆地东北缘广泛分布的陆相火山岩根据地质时代解体为巴塔玛依内山组与三塘湖组, 三塘湖组仅代表早二叠纪陆相火山岩。年代学研究表明: 奥依托浪格地区巴塔玛依内山组年龄具有穿时性, 下段年龄为(335.6±6.5)Ma, 上段年龄为(320.5±7.1)Ma, 属早石炭世晚期到晚石炭世, 解决了巴塔玛依内山组长久以来的下、上石炭统之争。综合研究认为: 这套陆相火山岩属于东准噶尔构造带自西向东链式缝合背景下的构造–岩浆活动, 残余洋盆消失至陆相火山活动开启, 同时受到西侧拉张环境与东侧岛弧环境的影响。奥依托浪格地区巴塔玛依内山组火山机构、构造、喷发间歇期发育, 具有石油地质意义。

关键词: 三塘湖组; 巴塔玛依内山组; 陆相火山岩; 地层厘定; 地层解体; 油气地层; 地质调查工程

中图分类号: P611; P618.13 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000–3657(2019)06–1384–12

Redetermination and disintegration of the continental volcanic strata of the former Santanghu Formation in Oetonggar area, Eastern Junggar Basin

BI Chengbin¹, YU Niuben^{1,2}, LU Guansong¹, NIJATI·Abuduxun^{2,3}, PAN Fei¹, MABI Awei⁴

(1. Northwestern Jiangxi Geological Party, Bureau of Geology and Exploration and Development of Mineral Researches of Jiangxi Province, Jiujiang 332000, Jiangxi, China; 2. Xinjiang Key Laboratory of Orogenic Belts, Continental Dynamics and Metallogenic Prediction, Urumqi 830047, Xinjiang, China; 3. Xinjiang University, Urumqi 830047, Xinjiang, China; 4. Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, Sichuan, China)

Abstract: In this paper, the authors studied the comparison between lithologic assemblage and lithofacies assemblage SHIRIMP zircon U–Pb dating results and fossil chronology, and believed that the continental volcanic rocks of the former Santanghu Formation in Oetonggar area of Eastern Junggar Basin should be redefined as the Batamayineishan Formation. It is suggested that

收稿日期: 2018–07–29; 改回日期: 2019–04–21

基金项目: 新疆维吾尔自治区中央返还两权价款项目(A15–1–LQ04)资助。

作者简介: 毕承彬, 男, 1963 生, 高级工程师, 从事地质矿产方向研究; E-mail: bcb715@qq.com。

通讯作者: 余牛奔, 男, 1990 生, 硕士, 工程师, 从事地质资源与地质工程方向研究; E-mail: 820707631@qq.com。

the widely distributed continental volcanic rocks at the northeast edge of Junggar Basin should be decomposed into the Batamayineishan Formation and the Santanghu Formation according to the geological age. The Santanghu Formation only represents the early Permian continental volcanic rocks. The study of chronology shows that the age of the Batamayineishan Formation in Oetolanagar is time-penetrating. The age of the first lithologic segment is $(335.6 \pm 6.5)\text{Ma}$, and the age of the second lithologic segment is $(320.5 \pm 7.1)\text{Ma}$, suggesting that the rocks belong to the late lower Carboniferous period to the upper Carboniferous period. Thus, the dispute over the lower and upper Carboniferous system for the Batamayineishan Formation has been solved. According to the comprehensive study, this set of continental volcanic rocks belongs to tectono-magmatic activities in the East Junggar tectonic belt from west to east under the background of chain suture. The residual ocean basin disappeared until the beginning of continental volcanic activity; in addition, it was affected by the tension environment on the western side and the island arc environment on the eastern side. Volcanic mechanisms, structures, and intermittent eruptions of the Batamayineishan Formation in the Oetanagar region suggest that it has petroleum geological significance.

Keywords: Santanghu Formation; Batamayineishan Formation; terrestrial volcanic; redetermination of strata; stratum disintegration; oil and gas strata; geological survey project.

About the first author: BI Chengbin, male, born in 1963, senior engineer, majors in the study of geology and mineral resources; E-mail: bcb715@qq.com.

About the corresponding author: YU Niuben, male, born in 1990, engineer, majors in the research on geological resources and geological engineering; E-mail: 820707631@qq.com.

Fund support: Supported by the Xinjiang Uyghur Autonomous Region for Central Government Return of Two Rights Price Items (A15-1-LQ04).

1 引言

三塘湖组(P_{1s})是广泛分布于新疆东准噶尔东北缘(三塘湖、克孜勒塔格、小青居岭山、库普及苏都库都克一带)的一套中酸性火山岩及其碎屑岩组合的陆相火山岩地层。下部为火山碎屑沉积岩与酸性喷出岩及中酸性火山碎屑岩不均匀互层;上部为中酸性喷出岩及火山碎屑岩夹火山碎屑-正常碎屑沉积岩,局部少量玄武岩;沉积夹层中产早二叠纪植物化石:*Noeggerathiopsis cf. theodori Tschilova et Zalessky*, *Noeggerathiopsis cf. subangusta Zalessky* (Sun, 1995)。

对这套陆相火山岩的研究最早始于1966年,1:20万库普幅(L-46-XXV)将其划为中石炭世巴塔玛依内山组^①;1:20万奥什克山幅(L-46-XIX)将其自下而上划分为巴塔玛依内山组与苏都库都克组^②;1976年1:20万卡姆斯特幅(L-45-XXIV)亦将其划分为巴塔玛依内山组与苏都库都克组^③。随后,1979年1:20万克孜勒塔格幅(L-46-XXXV)^④与琼河坝幅(L-46-XXXVI)^⑤将其划分为上石炭统哈尔加乌组;1980年1:20万乌通苏依泉幅(L-46-XXVI)区调中将其划为中-上石炭统哈尔加乌组($C_{1-2}h$)^⑥;1:20万三塘湖幅(L-46-XXXIV)将这

套地层在石头梅与条山地区分别划分为卡拉岗组(P_{1k})与哈尔加乌组^⑦;1985年新疆维吾尔自治区1:200万地质图说明书将东、西准噶尔地区这套陆相火山岩自下而上统一定名为哈尔加乌组与卡拉岗组。但在1991年新疆维吾尔自治区地质矿产勘查开发局通过岩石地层清理则认为哈尔加乌组与卡拉岗组在三塘湖地区为同一层位,没有上下关系,时代为早二叠世;1995年孙巧缙在清理新疆岩石地层时建议将分布在新疆东准噶尔地区的这套陆相中酸性火山岩及其碎屑岩地层重新创名,由于三塘湖地区该套地层出露较好,建议用“三塘湖组”代表这套早二叠世地层;2000年新疆维吾尔自治区地质调查院认为这一建议较为切合实际,故沿用三塘湖一名代表这一套陆相火山岩^⑧。2015—2018年江西省地质矿产勘查开发局赣西北大队通过本次《新疆东准噶尔地区1:5万L46E019007、L46E019008、L46E020008三幅区域地质矿产调查项目》认为奥依托浪格地区原三塘湖组应划归为巴塔玛依内山组($C_{1-2}bt$)^⑨。

2 地质背景及样品采集

新疆准噶尔盆地东北缘的三塘湖地区位于西伯利亚板块与哈萨克—准噶尔板块的结合部位,夹

持在阿曼太—扎河坝与卡拉麦里巨型缝合带之间,因其特殊的大地构造位置而成为研究中亚造山带(CAOB)构造演化的热点区域之一(Li et al., 2012)。晚古生代是三塘湖地区经历洋陆转换的关键时期(Zhou et al., 2006),大地构造背景争议的时间段集中在早石炭世至早二叠世,这一时期以海相沉积结束,发育典型的陆相火山岩为特征。争论的焦点主要可概括为以下两点:观点一(Zhao et al., 2008; Chen et al., 2009; Wu et al., 2009; Yang et al., 2010; Mao et al., 2010)认为三塘湖地区晚古生代陆相火山岩形成于碰撞造山期后陆内伸展背景;观点二(Long et al., 2006; Zhao et al., 2006; Zhao et al., 2006; Li et al., 2010)则认为三塘湖地区陆相火山岩形成于与俯冲作用相关的岛弧环境。新疆东准噶尔地区构造背景复杂,形成这种争议的关键性因素即在于北疆岩石地层划分的混乱性,在三塘湖地区建组的这套二叠纪中酸性陆相火山岩是否在整个三塘湖盆地具有普适性还有待商榷,其内是否包含了石炭纪陆相火山岩而面临解体需要进一步的工作证实。基础地质问题的解决对正确划分岩石地层单元、厘清陆相火山岩的时空演化序列、解释晚古生代的构造演化具有重要的地质意义。

研究区位于天山兴蒙造山系(一级)准噶尔弧盆系(二级),跨北准噶尔晚古生代沟弧带与唐巴勒—卡拉麦里古生代复合沟弧带两个三级构造单元,包括洪古勒楞—阿尔曼太早古生代沟弧带、谢米斯台—库兰卡兹干古生代复合沟弧带、三塘湖晚古生代弧间盆地3个四级构造单元。奥依托浪格地区原三塘湖组陆相火山岩位于三塘湖晚古生代弧间盆地构造单元中,陆相火山岩共收集年龄样品3件,其中2件为锆石样品(RZ29-1、RZ48-1),岩性为含橄榄石玄武岩,岩石呈深灰色,斑状—间粒间隐结构,块状构造。斑晶主要由斜长石(15%)组成,极少量橄榄石,斜长石粒度0.02~1 mm,呈自形板状,具强泥化,橄榄石呈自形柱状、粒状,具强暗化,并具蛇纹石化,从斑晶到基质粒度有过渡变化。基质主要由微板条状斜长石组成,斜长石杂乱分布,斜长石蚀变同斑晶,在斜长石之间分布微粒状辉石、玻璃质及少量磁铁矿,辉石较新鲜。磁铁矿呈微晶粒状嵌布在玻璃质中,玻璃质显光性,颜色较淡。在岩石中分布少量微细不规则杏仁体,杏仁体由沸石组

成。1件为化石样品(D0811HS-1),岩性为含炭质粉砂岩,层状片理发育,化石主要见于层面上。采样位置如图1所示。

3 锆石U-Pb年代学特征

重砂样采集由新疆维吾尔自治区矿产实验研究所完成,锆石制靶与阴极发光分析在北京离子探针中心完成,将样品破碎至约100 μm,先用磁法和重液分选,然后在双目显微镜下手工挑选。将代表性的锆石颗粒黏在直径25 mm环氧树脂胶上,然后磨光至一半,抛光并镀金。锆石的阴极发光图像研究利用FEI PHILIPS XL30型扫描电镜,实验条件为15 kV, 120 μA.U, Th和Pb同位素组成分析在SHRIMP II上进行。测定的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 比值用标准锆石SL13(572 Ma)和澳大利亚的TEM(417 Ma)进行校正。每测定一次标准样品,测定3~4个锆石待测点。普通Pb校正采用 ^{204}Pb 直接测定法,加权平均年龄计算采用Isoplot软件,其置信度为20,置信水平95%,测试数据见表1。

图2是RZ29-1含橄榄石玄武岩锆石的阴极发光图,锆石大多呈短柱状,部分为不规则椭圆状,锆石发育发光强度不同的晶域,其中发光较弱的晶域锆石岩浆环带不可见,呈“墨棒状”,而发光较强的晶域则环带发育,以不规则椭圆状为多。对含橄榄石玄武岩进行了15个点位测试(表1),其中10个年龄分布在305~335 Ma,3个年龄在402~419 Ma,2个年龄异常为277.7 Ma与481 Ma;通过观察锆石形态与打孔位置,10个300 Ma左右的年龄均为环带不发育与发育较好的锆石;3个400 Ma年龄的锆石可能为捕获的较老的基底锆石,2个年龄异常值可见打点均未位于锆石的边部,包含了边部与核部两部分。剔除这5个锆石(1、5、9、10、12)不稳定值,剩余10个年龄较稳定的锆石具有线性的Th/U值,说明锆石是从成分相对均匀的岩浆中结晶出来的。因此测定的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄加权平均值可以代表陆相火山岩中锆石的结晶年龄,即火山岩的成岩年龄。图3中是RZ48-1含橄榄石玄武岩部分锆石的阴极发光图,部分锆石岩浆环带不发育,对该样品打点8个,大多数年龄分布在300~362 Ma,通过观察锆石形态与打孔位置,7个330 Ma左右的年龄均为

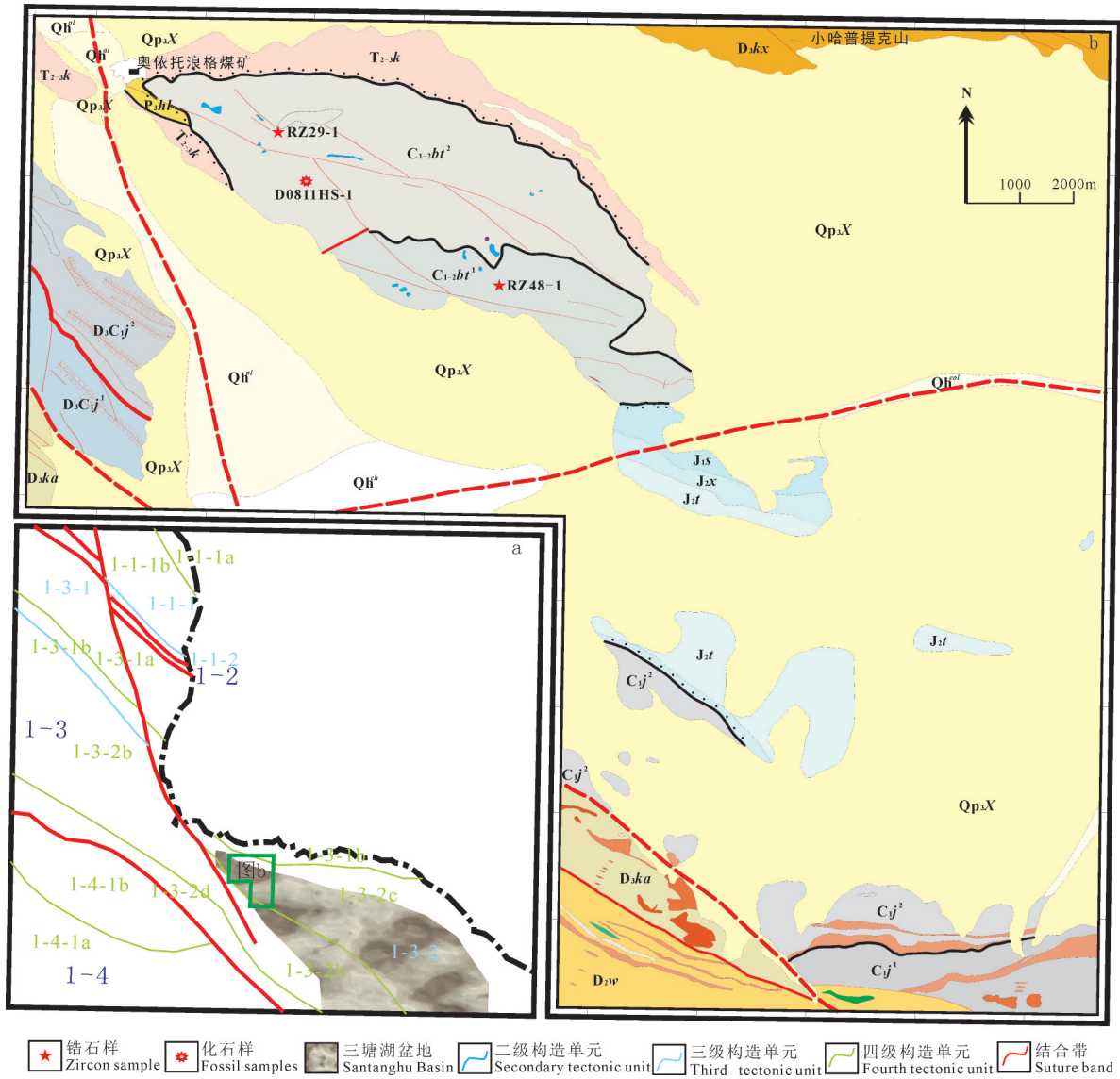


图1 研究区大地构造位置及地质图

I-2—查尔斯克—乔下哈拉缝合带; I-3—准噶尔弧盆系; I-4—准噶尔地块—吐哈地块; I-3-1—北准噶尔晚古生代沟弧带; I-3-1b—洪古勒楞—阿尔曼太早古生代沟弧带; I-3-2b—谢米斯台—库兰卡兹干古生代复合沟弧带; I-3-2c—三塘湖晚古生代弧间盆地; I-3-2d—唐古巴勒—卡拉麦里古生代复合沟弧带; Qh^{ae}—风成堆积物; Qh^{ch}—化学沉积; Qh^{al}—冲积堆积; Qh^{fl}—洪积堆积; Qp^{3X}—新疆群; J₂t—头屯河组; J₂x—西山窑组; J₂s—三工河组; T₂₋₃k—克拉玛依组; P₃hl—黄梁沟组; C₁₋₂bt—巴塔玛依内山组; C₁j—姜巴斯套组; D₃C₁j—江孜尔库都克组; D₃kx—卡希翁组; D₃ka—克安库都克组; D₃w—乌鲁苏巴斯套组

Fig.1 Geotectonic location and geological map of the study area

I-2—Chaersike—Qiaoxiahala suture; I-3—Junggar arc basin; I-4—Junggar block—Tuha block; I-3-1—Late Paleozoic groove arc belt in North Junggar; I-3-1b—Hongguleleng—Aermantai early Paleozoic groove arc; I-3-2b—Xiemisitai—Kulankazigan Paleozoic composite groove arc; I-3-2c—Late Paleozoic inter-arc basin in Santanghu; I-3-2d—Tanggubale—Kalamaili Paleozoic composite groove arc; Qh^{ae}— Aeolian deposit; Qh^{ch}—Chemical deposit; Qh^{al}—Alluvial deposit; Qh^{fl}—Flood deposit; Qp^{3X}—Xinjiang Group; J₂t—Toutunhe Formation; J₂x—Xishanyao Formation; J₂s—Sangonghe Formation; T₂₋₃k—Kelamayi Formation; P₃hl—Huanglianggou Formation; C₁₋₂bt—Batamayineishan Formation; C₁j—Jiangbasitao Formation; D₃C₁j—Jiangzierkuduke Formation; D₃kx—Kaxiweng Formation; D₃ka—Keankuduke Formation; D₃w—Wulusubasitao Formation

环带不发育与发育较好的锆石,这7个年龄较稳定的锆石具有线性的Th/U值。

在谐和图上,所有数据均位于谐和线附近,最终测定的锆石U-Pb加权平均年龄为(320.5±7.1)

Ma, MSWD=3.2(图4),处于二分的上下石炭统界线附近,说明该火山岩形成于晚石炭世早期。RZ48-1测定的锆石U-Pb年龄为(335.6±6.5)Ma, MSWD=1.9(图5),为早石炭世晚期。

表 1 RZ29-1、RZ48-1 锆石 SHRIMP U–Pb 年龄测试结果
Table 1 RZ29-1 and RZ48-1 zircon SHRIMP U–Pb age test results

测点	U/10 ⁻⁶	Th/10 ⁻⁶	²³² Th/ ²³⁸ U	²⁰⁶ Pb/10 ⁻⁶	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	1σ/%	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	1σ/%	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	1σ/%	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U 年龄/Ma	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb 年龄/Ma
RZ29-1-1	462	38	0.09	27.1	0.05515	1.8	0.518	2.5	0.0681	1.7	424.8±7.0	418±40
RZ29-1-2	854	1303	1.58	39.0	0.0526	8.1	0.381	8.2	0.05242	1.7	329.4±5.4	314±180
RZ29-1-3	155	79	0.53	6.44	0.0548	3.2	0.367	3.7	0.04857	1.9	305.8±5.6	406±71
RZ29-1-4	340	139	0.42	14.5	0.0521	2.5	0.354	3.1	0.04931	1.8	310.3±5.3	288±58
RZ29-1-5	292	219	0.78	11.1	0.0540	6.6	0.328	6.8	0.04401	1.8	277.7±5.0	372±150
RZ29-1-6	715	825	1.19	33.3	0.0530	11	0.387	11	0.05296	1.7	332.7±5.5	330±240
RZ29-1-7	636	936	1.52	28.8	0.0545	12	0.384	12	0.05117	1.8	321.7±5.6	391±280
RZ29-1-8	1099	1731	1.63	48.6	0.05258	1.5	0.3735	2.3	0.05151	1.7	323.8±5.3	311±35
RZ29-1-9	266	175	0.68	15.5	0.0558	2.8	0.522	3.3	0.0678	1.7	423.1±7.2	445±62
RZ29-1-10	154	110	0.74	8.61	0.0569	3.5	0.510	4.0	0.0651	1.8	406.4±7.3	487±78
RZ29-1-11	383	131	0.35	16.3	0.0534	5.7	0.361	5.9	0.04898	1.8	308.2±5.3	346±130
RZ29-1-12	168	93	0.57	11.3	0.0568	2.5	0.611	3.2	0.0780	1.9	484.2±9.0	483±56
RZ29-1-13	893	1107	1.28	39.1	0.0525	2.0	0.3685	2.6	0.05087	1.7	319.9±5.2	309±47
RZ29-1-14	464	448	1.00	24.0	0.0550	15	0.404	15	0.0533	2	334.7±6.6	414±340
RZ29-1-15	437	430	1.02	19.5	0.0558	4.5	0.397	4.8	0.05153	1.7	323.9±5.5	446±100
RZ48-1-7	115	77	0.69	5.30	0.0514	8.1	0.368	8.2	0.05349	1.7	335.9±5.2	192±190
RZ48-1-8	100	63	0.65	4.64	0.0555	3.2	0.403	3.7	0.05372	1.9	337.3±5.4	381±100
RZ48-1-9	105	68	0.67	4.83	0.0547	2.5	0.418	3.1	0.05325	1.8	334.5±5.3	467±72
RZ48-1-10	87	51	0.61	4.01	0.0556	6.6	0.395	6.8	0.05343	1.8	335.5±5.4	357±150
RZ48-1-11	100	52	0.54	4.70	0.0542	11	0.404	11	0.05447	1.7	341.9±5.3	354±110
RZ48-1-13	85	58	0.71	3.74	0.0577	12	0.371	12	0.05084	1.8	319.7±6.1	323±240
RZ48-1-15	84	39	0.48	3.96	0.0864	1.5	0.455	2.3	0.05314	1.7	333.8±5.6	665±460
RZ48-1-16	59	27	0.48	3.62	0.289	2.8	0.53	3.3	0.05084	1.7	320±19	1,040±1800

4 三塘湖组解体讨论

4.1 三塘湖组的重新厘定与解体

在三塘湖地区,三塘湖组原为巴塔玛依内山组、苏都库都克组(或哈尔加乌组与卡拉岗组)的统称,代表三塘湖地区一套二叠系陆相中酸性火山岩系地层

(Li et al., 2016),通过地质剖面与1:5万路线调查,基本查明奥依托浪格地区陆相火山岩为一套基性火山岩及碎屑岩组合,仅发育少量中酸性火山岩,与三塘湖组中酸性火山岩为主有较大差异(图6)。

巴塔玛依内山组与其他石炭系不同,陆相火山岩广泛发育,是东准噶尔地区东北缘火山岩产出的

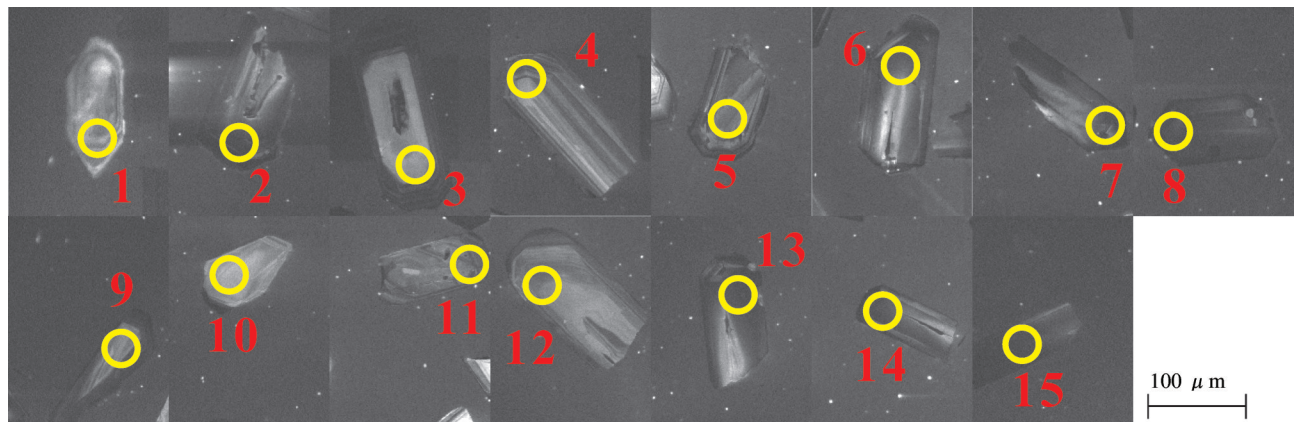


图2 RZ29-1 锆石阴极发光图
Fig.2 RZ29-1 zircon cathodoluminescence image

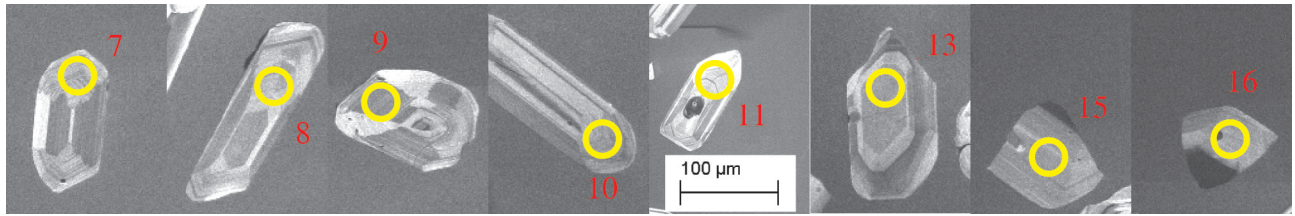


图3 RZ48-1 锆石阴极发光图
Fig.3 RZ48-1 zircon cathodoluminescence image

主要层位。该组最早是由1:20万库普幅(L-46-XXV)区域地质矿产调查时建立,建组地点位于卡拉麦里蛇绿岩带的巴塔玛依内山南麓,主要表现为一套酸性、中基性陆相火山-湖相沉积体系。溢流相火山岩依岩性可分为玄武岩、安山岩、英安岩、流纹岩和珍珠岩等,具明显的多期次、间歇性喷发的特征(Zhang et al., 2014)。本文中测制巴塔玛依内山组地质剖面如图6所示:地层厚度大于2248 m,总体呈现北倾的单斜构造,局部褶皱构造发育;岩性组合中以溢流相玄武岩为主,同时少量发育安山岩、玄武安山岩、粗面岩、英安岩、流纹英安岩和珍珠岩等;爆发相为各类型凝灰岩、火山角砾岩、玄武质角砾岩等;喷发间歇期可见泥质粉砂岩、细砂岩、岩屑砂岩、砾岩等沉积相系。通过剖面的岩相学研究,将本区巴塔玛依内山组依据正常沉积岩组分为3个喷发间歇期,火山作用岩组分为4个喷发旋回,以及13个喷发韵律^①,显示了本区巴塔玛依内山组同样具有多期次、间歇性喷发的特征,同区域上具有一致性。

准噶尔盆地陆东—五彩湾及北三台地区的钻孔资料显示,巴塔玛依内山组总体表现为上下两套火山岩中间夹一套碎屑岩,可分为三段:下段以溢流相中酸性火山岩与爆发相火山碎屑岩为主,上段以溢流相中基性火山岩夹爆发相火山碎屑岩为主,中段碎屑岩为火山喷发间歇期的正常沉积,局部地区夹煤层或煤线,含有丰富的植物和孢粉化石,植物化石为典型安加拉植物群,孢粉以高含量的单气囊的 *Noeggerathio psidozonotriletes* 为主要特征(Lü et al., 2013)。本文将巴塔玛依内山组分为上下两段,岩相演化序列清晰,段与段之间呈明显的岩相递变关系:下段($C_{1-2}bt'$)主要为爆发相(凝灰岩、火山角砾岩、集块岩)与喷发沉积相(砂岩、凝灰质砂岩)不均匀互层,其中东南角喷发沉积相极其发育,可见大型交错层理,成层性、褶皱形态清晰,细碎屑岩段见煤线发育,并有植物化石产出,但收集的样品经鉴定为蕨类植物的部分茎干,无时代意义;上段($C_{1-2}bt'$)主要为溢流相(基性玄武岩、少量中酸性安山岩、英安岩)夹爆发相(凝灰岩、火山角砾岩),

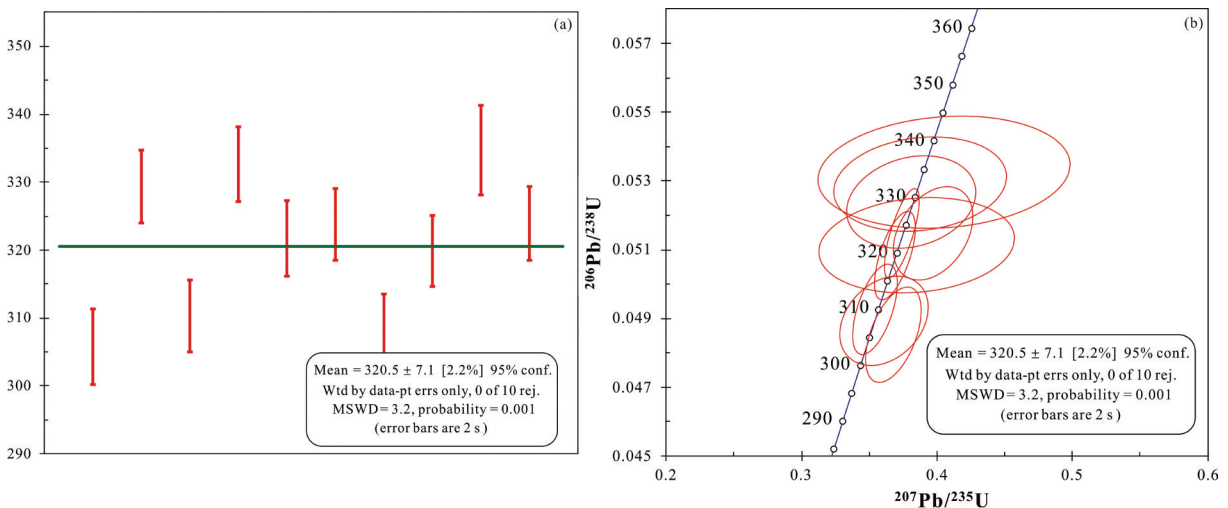


图4 RZ29-1 年龄直方图(a)与谐和图(b)
Fig.4 RZ29-1 age histogram (a) and concordant diagram (b)

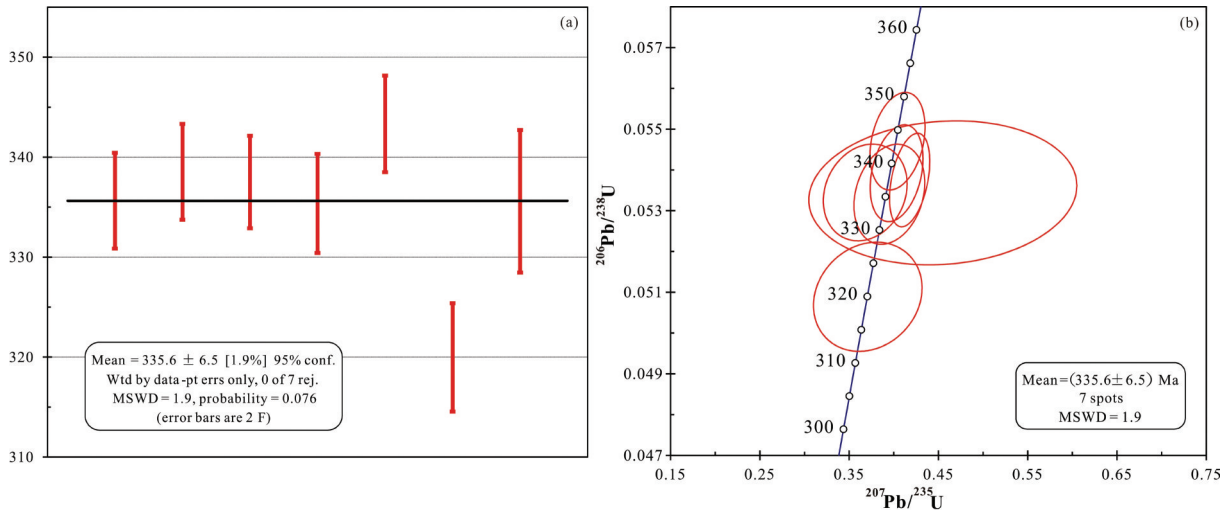


图5 RZ48-1年龄直方图(a)与谐和图(b)
Fig.5 RZ48-1 age histogram (a) and concordant diagram (b)

极少量沉积岩夹层中亦可见煤线与植物化石。本文所分上下段分别可与陆东—五彩湾及北三台地区的巴塔玛依内山组中上段(碎屑相-喷出相)相对应(图7)。

巴塔玛依内山组上段中采集的植物化石(D0811HS-1)经南京古生物研究所鉴定,植物化石种类为次狭科达(匙叶)(近似种)*Noeggerathiopsis cf. subangusta* Zalessky,属安加拉区系植物,给出的时代为二叠纪,与库普幅(L-46-XXV)最早定名为中石炭统巴塔玛依内山组内所发现的早二叠世化石一致,充分说明这类植物化石的穿时性。有报道

指出,新疆北部的安加拉区系植物最早出现在早石炭世晚期,繁盛于二叠纪(Dou et al., 1985),这就解释了石炭纪地层中出现了二叠纪化石的合理性:即次狭科达(匙叶)也可以出现在石炭纪中晚期,为中晚石炭世与二叠纪早期的共同分子。

关于巴塔玛依内山组的年代学研究,从晚泥盆世晚期(364.0±13)Ma(Luo et al., 2012)到早二叠世晚期(275.0±6.8)Ma(Zhang et al., 2009)均有文章报道,时间跨度大,究其原因还是因为北疆这套陆相火山岩地层时代划分的混乱性。即使是石炭纪内部,巴塔玛依内山组同样存在早石炭世与晚石炭世的

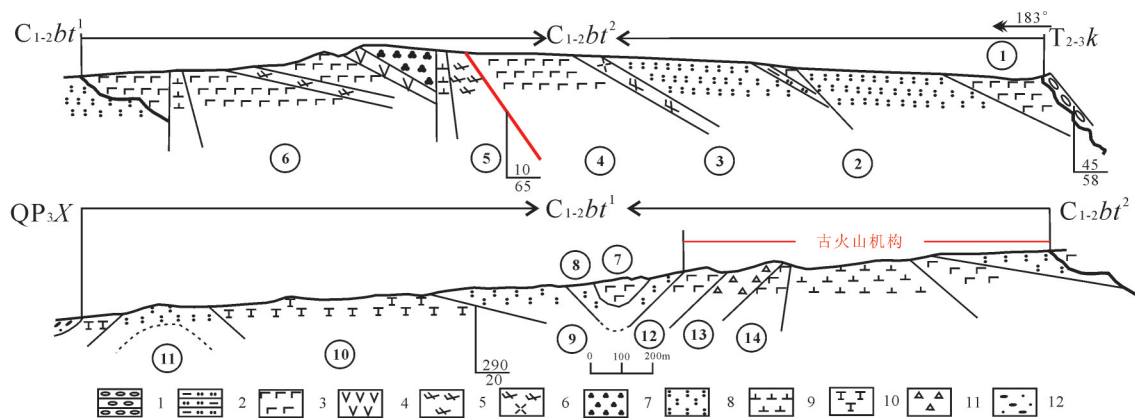


图6 奥依托浪格幅巴塔玛依内山组实测地质剖面缩略图

1—砾岩;2—泥质粉砂岩;3—玄武岩;4—安山岩;5—英安岩;6—流纹质英安岩;7—珍珠岩;8—凝灰岩;
9—闪长岩;10—粗面岩;11—火山角砾岩;12—碎石亚黏土

Fig.6 Measured geological section map of the Batamayineishan Formation in Aoyituolangge geological map
1—Conglomerate; 2—Argillaceous siltstone; 3—Basalt; 4—Andesite; 5—Dacite; 6—Dellenite; 7—Pearlite; 8—Tuff; 9—Diorite;
10—Trachyte; 11—Volcanic breccia; 12—Detritus subclay

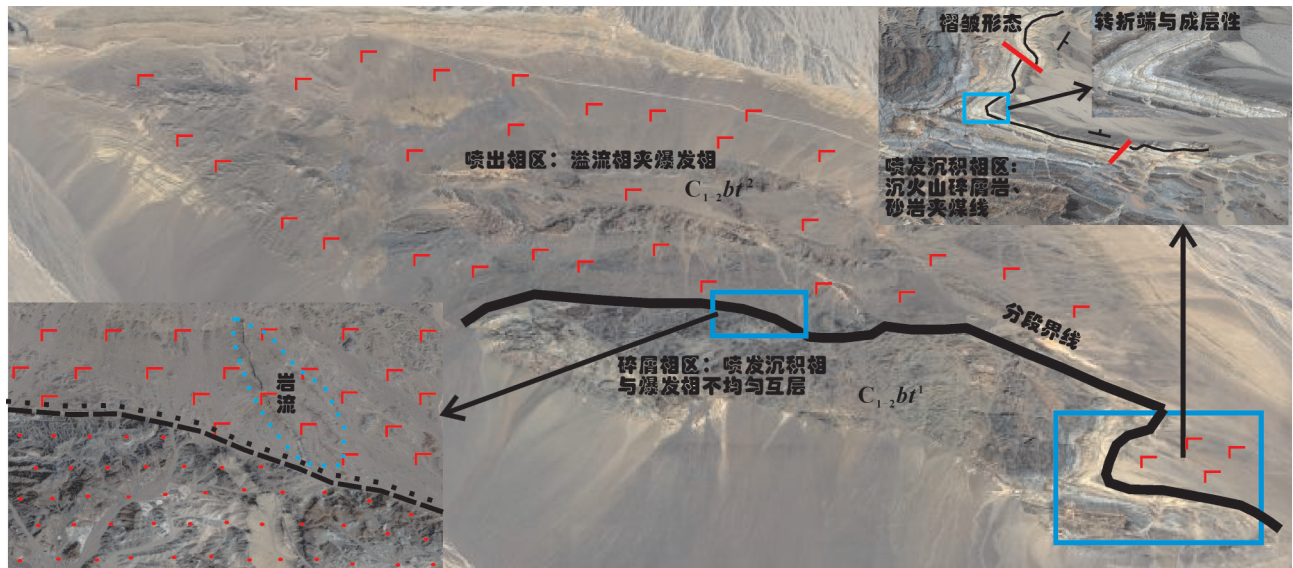


图7 研究区岩相组合分布图

Fig.7 The distribution of lithofacies in the study area

争议。通过本次巴塔玛依内山组年代学数据的统计学研究发现,绝大多数年龄数据分布在石炭纪内,仅1个数据与5个数据(其中4个数据属同一文章报道)分别位于晚泥盆世晚期与早二叠世晚期(未列表),不具有代表性。石炭纪共收集年龄数据为18个,如表2所示,其中早石炭世数据为6个,晚石炭世数据为12个,说明在区域上巴塔玛依内山组在晚石炭世比较发育。而本次工作分别对巴塔玛依内山组上下两段分别进行了SHRIMP 锆石U-Pb定年,获得其下段年龄为(335.6±6.5)Ma、上段年龄为(320.5±7.1)Ma,说明巴塔玛依内山组上下段分别形成于早石炭世晚期与晚石炭世,具有穿时性,对解决巴塔玛依内山组下上石炭统之争具有重大的年代学意义。

前人研究表明北疆东准噶尔东北缘这套陆相火山由于上下关系不明很难进行解体,但本文认为这套陆相火山岩自西向东具有由早石炭世向早二叠世过渡演化的特征,可根据地质时代对石炭纪与二叠纪地质体进行区分,而本区的石炭纪陆相火山岩地层明显与区域上巴塔玛依内山组具有可对比性,故认为应将原三塘湖组解体为下一上石炭统巴塔玛依内山组与下二叠统(新)三塘湖组,三塘湖组仅代表二叠纪陆相火山岩。

4.2 石油地质意义

新疆北部东准噶尔东北缘这套陆相火山岩由于地层时代划分的混乱性,对其构造背景的争议主

要体现在岛弧环境和板内拉张环境两方面,纵观东准噶尔晚古生代的演化历史,通常认为其为自西向东呈拉链式逐渐拼接的过程。在奥依托浪格地区,早石炭世早期仍存在卡拉麦里大洋向北俯冲作用下的残余洋盆沉积——姜巴斯套组(C_j),姜巴斯套组上部产大量海生动物化石(图8),化石层厚近30 m,说明海洋生物活动范围逐渐变窄而汇聚至最终死亡,暗示残余洋盆受俯冲拼接作用而逐渐萎缩,直至早石炭世晚期奥依托浪格以西拼接最终完成(奥依托浪格以东三塘湖方向可能仍然存在俯冲作用),开启陆相火山演化阶段。

笔者对奥依托浪格石炭纪火山岩进行了地球化学研究,研究显示巴塔玛依内山组火山熔岩以橄榄玄武岩为主,岩石类型显示自西向东呈钙碱-碱性变化趋势,姜巴斯套组火山岩则为拉斑玄武岩系,从岩系上可以看出两个方向上的演化:由南向北与俯冲作用方向一致的拉斑-钙碱序列,显示残余洋盆向岛弧演化;由西向东与链式拼合方向一致的钙碱-碱性序列,显示岛弧向陆内(弧后)拉张演化。微量与稀土元素显示石炭纪火山岩富集大离子亲石元素(LILE)与轻稀土元素(LREE),亏损高场强元素(HFSE)与重稀土元素(HREE),总体具有岛弧火山岩的特征;但从其岩石组合特征及其微量元素特征指标来看,又与传统的岛弧火山岩具有明显差异,兼具岛弧环境与板内拉张环境的地球化学

表2 巴塔玛依内山组年代学数据

Table 2 Chronologic data of Batamayineishan Formation

地层	岩性	测试方法	年龄/Ma	文献来源
巴 塔 玛 依 内 山 组	流纹岩	LA-ICPMS	306.5±1.5	Su Yuping et al., 2012
	流纹岩	LA-ICPMS	314.3±1.9	Su Yuping et al., 2012
	流纹岩	LA-MC-ICPMS	332±9	Xiao Yan et al., 2011
	角斑岩	LA-MC-ICPMS	336±4	Xiao Yan et al., 2011
	玄武岩	SHRIMP	300.4±1.3	苏玉平等, 2010
	凝灰岩	LA-MC-ICPMS	313.3±4.6	Yang Xiaofa et al., 2012
	英安岩	LA-MC-ICPMS	299.8±5.2	Yang Xiaofa et al., 2012
	玄武质角砾熔岩	LA-ICPMS	323.0±3.0	Luo Jinglan et al., 2012
	流纹质角砾熔岩	LA-ICPMS	318.0±6.1	Luo Jinglan et al., 2012
	正长斑岩	LA-ICPMS	348.9±2.6	Luo Jinglan et al., 2012
	凝灰岩	SHRIMP	337.2±4.1	Li Di et al., 2012
	安山岩	SHRIMP	315.4±1.6	Li Di et al., 2014
	安山岩	SHRIMP	317.4±2.1	Li Di et al., 2014
	玄武岩	SHRIMP	350.0±6.3	谭佳奕等, 2009
	玄武岩	Sm-Nd	319.7±5.9	张峰等, 2014
	玄武岩	LA-ICPMS	320.2±4.2	罗婷等, 2016
	玄武岩	SHRIMP	320.5±7.1	本次研究
	玄武岩	SHRIMP	335.6±6.5	本次研究

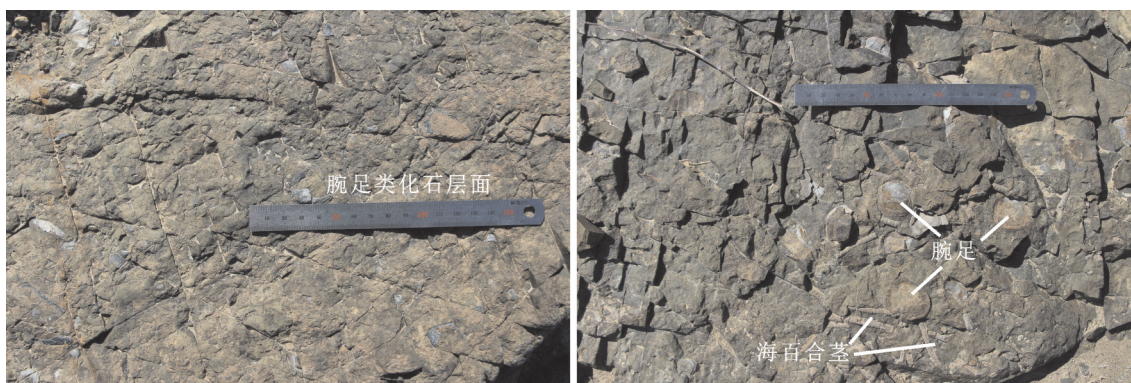


图8 姜巴斯套组化石层

Fig. 8 Fossil layer of Jiangbasitao Formation

性质^⑨。由此本文认为,新疆东准噶尔东北缘这套陆相火山岩地球化学性质的奇特之处,就在于其俯冲作用下的自西向东链式拼接过程,这套陆相火山岩自西向东由石炭纪向二叠纪演化,以奥依托浪格为例,在早石炭晚期,这套陆相火山岩开始演化之时,其西侧已经拼接完成,进入陆内伸展阶段,而其东侧则可能还在继续受到俯冲作用,为岛弧环境,故其地球化学特征同时显示岛弧环境与板内拉张,其构造部位应与弧后盆地相当。

近年来,东准噶尔陆东—五彩湾地区油气勘探发现石炭系巴塔玛依内山组火山岩有不同程度的油气显示,发现了五彩湾气田与卡拉麦里千亿立方米天然气大气田,使得东准噶尔地区巴塔玛依内组

越来越受到重视。巴塔玛依内山组与上覆地层克拉玛依组(T_{2-3k})呈角度不整合关系,说明在石炭纪末期这套陆相火山岩经历过构造抬升,而火山岩的风化壳为油气的优质储层(Zhang et al., 2015),同时本区存在至少3次火山间歇期,其间可见植物化石与煤线,其下段大套喷发沉积相说明其具有形成烃源岩的必要地质条件;另外构造上,巴塔玛依内山组整体呈背斜式,而下段喷发沉积相呈复式背向斜褶皱形态,为极好的油气藏储集体。同时火山机构发育,大量的环形、线性构造为油气的运移富集提供了空间。综上所述,奥依托浪格地区陆相火山岩虽然缺少类似东准噶尔陆东—五彩湾地区的下石炭统滴水泉组沉积地层作为烃源岩层的外部条件,

但其自身内部具有形成“自生自储”油气藏的潜力,具有一定的石油地质意义。

5 结 论

(1) 本文通过岩性、岩相组合对比与化石、SHRIMP 锆石 U-Pb 年代学研究,认为奥依托浪格地区原三塘湖组(P_{1s})应重新厘定为巴塔玛依内山组(C_{1-2bt})。而原三塘湖组应根据时代解体为下一上石炭统巴塔玛依内山组与下二叠统(新)三塘湖组,三塘湖组仅代表二叠纪陆相火山岩。

(2) 通过巴塔玛依内山组下上段火山岩 SHRIMP 锆石 U-Pb 年代学研究认为巴塔玛依内山组时代具有穿时性,为早石炭世到晚石炭世,对解决巴塔玛依内山组下上石炭统之争具有重大的年代学意义。

(3) 北疆东准噶尔东北缘这套陆相火山岩不具备可分性的原因可能与东准噶尔构造带自西向东链式拼接而造成陆相火山岩自西向东由早石炭世向早二叠世连续演化有关。大地构造背景争议的两个焦点:陆内拉张伸展环境与俯冲带之上岛弧环境可能也与这种自西向东拼接方式有关,即该陆相火山岩同时受到东侧岛弧环境与西侧拉张环境的影响。该拼接模式对解释东准噶尔东北缘晚古生代构造演化争议具有重要的理论意义。

(4) 本区石炭纪巴塔玛依内山组陆相火山岩构造发育:构造抬升、环形与线性构造、复式背向斜等。同时火山间歇期发育,为奥依托浪格地区巴塔玛依内山组形成“自生自储”油气藏提供了必要的地质条件,具有一定的石油地质意义。

致谢: 本文得到江西省地质矿产勘查开发局赣西北大队邹国庆、孙国庆、左全狮高级工程师以及曹钟清、李旭辉教授级高工的指导与帮助;审稿专家对本文提出了宝贵的修改意见,在此一并表示感谢。

注释

- ① 新疆地质局区测大队. 1966. 库普幅(L46-XXV)1:20万区域地质调查报告.
- ② 新疆地质局. 1966. 奥什克山幅(L-46-XIX)1:20万地质图说明书.
- ③ 新疆地质局区域地质调查大队. 1976. 卡姆斯特幅(L-45-XXXIV)1:20万区域地质调查报告.
- ④ 新疆地质局区域地质调查大队. 1979. 克孜勒塔格幅(L-46-XXXV)1:20万区域地质调查报告.

⑤ 新疆地质局区域地质调查大队. 1979. 琼河坝幅(L-46-XXXVI)1:20万区域地质调查报告.

⑥ 新疆地质局区域地质调查大队. 1980. 乌通苏依泉幅(L-46-XXVI)1:20万地质图说明书.

⑦ 新疆地质局区域地质调查大队. 1980. 三塘湖幅(L-46-XXXIV)1:20万地质图说明书.

⑧ 新疆地质调查院. 2000. 纸房幅(L46C004002)1:25万区域地质调查报告.

⑨ 江西省地质矿产勘查开发局赣西北大队. 2018. 新疆东准噶尔地区1:5万L46E019007、L46E019008、L46E020008三幅区域地质调查报告.

References

- Chen Shi, Zhang Yuanyuan, Guo Zhaojie. 2009. Zircon SHRIMP U-Pb dating and its implications of post-collisional volcanic rocks in Santanghu Basin, Xinjiang[J]. Acta Petrologica Sinica, 25(3): 527-538 (in Chinese with English abstract).
- Dou Yawei, Sun Zhenhua. 1985. The age of harjiawu formation and karang formation in north Xinjiang[J]. Geological Review, 31(6): 489-494, 585-586 (in Chinese with English abstract)
- Li Chengdong, Zheng Jianmin, Zhang Yingli, Zhang Kai, Hua Yanqiu. 2005. Redefinition of the Huade Group and its tectonic significance[J]. Geology in China, 32(3): 353-362.
- Li Di, He Dengfa, Santosh M, Tang Jieyun. 2014. Petrogenesis of Late Paleozoic volcanics from the Zhaheba depression, East Junggar: Insights into collisional event in an accretionary orogeny of Central Asia[J]. Lithos, 184-187; 167-193.
- Li Di, He Dengfa, Tang Yong, Fan Chun, Kong Yuhua. 2012. Genesis of Early Carboniferous volcanic rock of the Di'nan uplift in Junggar Basin: Constraints to the closure time of Kalamaili ocean[J]. Acta Petrologica Sinica, 28(8): 2340-2354.
- Li Jianzhong, Wu Xxiaozi, Oi Xuefeng, Zheng Man, Zhang Qingchun. 2010. Distribution and tectonic setting of Upper Paleozoic volcanic rock in northern Xinjiang[J]. Acta Petrologica Sinica, 26(1): 195-206 (in Chinese with English abstract).
- Li Wei, Liu Yiqun, Dong Yunpeng. 2012. The geochemical characteristics, geochronology and tectonic significance of the Carboniferous volcanic rocks of the Santanghu area in northeastern Xinjiang, China. [J]. Science China: Earth Sciences, 42(11): 1716-1728 (in Chinese with English abstract).
- Li Zhensheng, Nie Feng, Tian Xiaoli, Shi Yonghong, Niu Hao, Wang Chuang. 2016. Redefinition of formation age of Late Paleozoic strata in the Eastern Junggar Tectonic Zone and its implications for evolution of regional geological structure[J]. Acta Geologica Sinica, 90(3): 569-588 (in Chinese with English abstract).
- Long Xiaoping, Sun Min, Yuan Chao, Xiao Wenjiao, Chen Hanlin, Zhao Yongjiu, Cai Keda, Li Jiliang. 2006. Genesis of Carboniferous volcanic rocks in the eastern Junggar: Constraints on the closure of the Junggar Ocean[J]. Acta Petrologica Sinica, 22(1):

- 31–40 (in Chinese with English abstract).
- Lü Huantong, Xia Huiping, Chen Zhonghong, Lai Shixin, Zhang Yong, Mao Haibo. 2013. Stratigraphic division, correlation and distribution of the carboniferous system in the Junggar basin[J]. *Journal of Stratigraphy*, 37(3): 353–360 (in Chinese with English abstract).
- Luo Jinglan, Hou Lianhua, Jiang Yiqin, Shao Hongmei, Yang Yanfang, Guo Yongfeng, Kang Jing. 2012. Chronology and tectonic settings of igneous rocks and origin of volcanic reservoirs in Ludong area, eastern Junggar basin[J]. *Acta Petroli Sinica*, 33(3): 351–360 (in Chinese with English abstract).
- Luo Ting, Chen Shuai, Liao Qun an, Chen Jiping, Hu Chaobin, Wang Fuming, Tian Jian, Wu Weiwei. 2016. Geochronology, geochemistry and geological significance of the Late Carboniferous bimodal volcanic rocks in the eastern Junggar[J]. *Earth Science*, 41(11): 1845–1862 (in Chinese with English abstract).
- Mao Zhiguo, Zou Caineng, Zhu Rukai, Guo Hongli, Wang Jun, Tang Yong, Qi Liqi, Zhang Zhigeng. 2010. Geochemical characteristics and tectonic settings of Carboniferous volcanic rocks in Junggar basin[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 26(1): 207–216 (in Chinese with English abstract).
- Su Yuping, Zheng Jiangping, Griffin William L, Zhao Junhong, Tang Huayun, Ma Qiang, Lin Xiaoyang. 2012. Geochemistry and geochronology of Carboniferous volcanic rocks in the eastern Junggar terrane, NW China: Implication for a tectonic transition[J]. *Gondwana Research*, 22(3/4): 1009–1029.
- Su Yuping, Zheng Jianping, Griffin W L. 2010. Zircon U–Pb and Hf isotopes of volcanic rocks from the Batamayneishan Formation in the eastern Junggar Basin[J]. *Chinese Science Bulletin*, 55(30): 2933–2945 (in Chinese).
- Sun Qiaoli. 1995. Newly named stratigraphic unit Santanghu Formation[J]. *Xinjiang Geology*, (3): 214–223 (in Chinese with English abstract).
- Tan Jiayi, Wu Runjiang, Zhang Yuanyuan, Wang Shufang, Guo Zhaojie. 2009. Characteristics and geochronology of volcanic rocks of Batamayneishan Formation in Kalamaily, Eastern Junggar, Xinjiang[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 25(3): 539–546 (in Chinese with English abstract).
- Wu Xiaoqi, Liu Deliang, Wei Guoqi, Li Jian, Li Zhensheng. 2009. Geochemical characteristics and tectonic settings of Carboniferous volcanic rocks from Ludong–Wucaiwai area, Junggar basin[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 25(1): 55–66 (in Chinese with English abstract).
- Xiao Yan, Zhang Hongfu, Shi Ji'an, Su Benxun, Sakya P A, Lu Xinchuan, Hu Yan, Zhang Zhou. 2011. Late Paleozoic magmatic record of East Junggar, NW China and its significance: Implication from zircon U–Pb dating and Hf isotope[J]. *Gondwana Research*, 20(2/3): 532–542.
- Xinjiang Uygur Autonomous Region Bureau of Geology and Mineral Resources. 1993. *Regional Geology of Xinjiang Uygur Autonomous Region* [M]. Wuhan: China University of Geosciences Press, 141–142.
- Xinjiang Uygur Autonomous Region Bureau of Geology and Mineral Resources. 1999. *Rock Strata in Xinjiang Uygur Autonomous Region* [M]. Wuhan: China University of Geosciences Press, 79–80.
- Yang Gaoxue, Li Yongjun, Li Zhucang. 2010. Genesis and tectonic settings of post collision volcanic rocks in north eastern margin of East Junggar, Xinjiang[J]. *Earth Science Frontiers*, 17(1): 49–60.
- Yang Xiaofa, He Dengfa, Wang Qingchen, Tang Yong. 2012. Tectonostratigraphic evolution of the Carboniferous arc–relaxed basin in the East Junggar Basin, northwest China: Insights into its link with the subduction process[J]. *Gondwana Research*, 22(3/4): 1030–1046.
- Zhang Feng, Xu Tao, Fan Junjie, Pan Aijun, Wang Bin, Chao Yinyin. 2014. Whole–rock Sm–Nd isochron age of Carboniferous volcanic rocks in eastern Junggar and its tectonic significance[J]. *Geochimica*, 43(3): 301–316 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Shengyin, Zhu Jun, Wen Ge, Liu Shuangquan, Lu Xingchuan, Zhang Shuncun, Shi Jian. 2015. Significant of volcanic eruption spatiotemporal sequence in Batamayneishan Formation, Ludong Region, Junggar Basin[J]. *Journal of Central South University (Science and Technology)*, 46(1): 199–207 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Yuanyuan, Chen Shi, Guo Zhaijie, Fang Shihu. 2009. Zircon SHRIMP U–Pb dating of the latest Paleozoic volcanic rocks in Zhaheba area, eastern Junggar and its geological implications[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 25(3): 506–514 (in Chinese with English abstract).
- Zhao Xia, Jia Chengzao, Zhang Guangya. 2008. Geochemistry and tectonic settings of Carboniferous intermediate basic volcanic rocks in Ludong–Wucaiwai, Junggar basin[J]. *Earth Science Frontiers*, 15(2): 272–279 (in Chinese with English abstract).
- Zhao Zehui, Guo Zhaijie, Han Baofu, Wang Yi. 2006. The geochemical characteristics and tectonic–magmatic implications of the latest–Paleozoic volcanic rocks from Santanghu basin, eastern Xinjiang, northwest China[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 22(1): 199–214 (in Chinese with English abstract).
- Zhao Zhenhua, Wang Qiang, Xiong Xiaolin, Zhang Haixiang, Niu Hecai, Xu Jifeng, Bai Zhenghua, Qiao Yulou. 2006. Two types of adakites in north Xinjiang, China[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 22(5): 1249–1265 (in Chinese with English abstract).

附中文参考文献

- 陈石, 张元元, 郭召杰. 2009. 新疆三塘湖盆地后碰撞火山岩的锆石 SHRIMP U–Pb 定年及其地质意义[J]. *岩石学报*, 25(3): 527–538.
- 窦亚伟, 孙喆华. 1985. 新疆北部哈尔加乌组和卡拉岗组的地质时

- 代[J].地质论评, (6): 489-494,585-586.
- 李承东, 郑建民, 张英利, 张凯, 花艳秋. 2005. 化德群的重新厘定及其大地构造意义[J]. 中国地质, 32(3): 353-362.
- 李建忠, 吴晓智, 齐雪峰, 郑曼, 张庆春. 2010. 新疆北部地区上古生界火山岩分布及其构造环境[J]. 岩石学报, 26(1): 195-206.
- 李玮, 柳益群, 董云鹏, 周小虎, 柳小明, 李红, 樊婷婷, 周鼎武, 徐学义, 陈隽璐. 2012. 新疆三塘湖地区石炭纪火山岩年代学、地球化学及其大地构造意义[J]. 中国科学:地球科学, 42(11): 1716-1731.
- 李振宏, 杨永恒, 渠洪杰, 公王斌. 2015. 晋东北地区侏罗纪地层划分、时代重新厘定及其地质意义[J]. 中国地质, 42(4): 1046-1057.
- 李振生, 聂峰, 田晓莉, 石永红, 牛浩, 王创. 2016. 东准噶尔构造带晚古生代地层时代的厘定及其对区域构造演化意义[J]. 地质学报, 90(3): 569-588.
- 龙晓平, 孙敏, 袁超, 肖文交, 陈汉林, 赵永久, 蔡克大, 李继亮. 2006. 东准噶尔石炭系火山岩的形成机制及其对准噶尔洋盆闭合时限的制约[J]. 岩石学报, (1): 31-40.
- 罗静兰, 侯连华, 蒋宜勤, 邵红梅, 杨艳芳, 郭永峰, 康静. 2012. 陆东地区火成岩形成时代与构造背景及火山岩储层成因[J]. 石油学报, 33(3): 351-360.
- 罗婷, 陈帅, 廖群安, 陈继平, 胡朝斌, 王富明, 田健, 吴魏伟. 2016. 东准噶尔晚石炭世双峰式火山岩年代学、地球化学及其构造意义[J]. 地球科学, 41(11): 1845-1862.
- 吕焕通, 夏惠平, 陈中红, 赖世新, 张勇, 毛海波. 2013. 准噶尔盆地石炭系的划分、对比及分布[J]. 地层学杂志, 37(3): 353-360.
- 毛治国, 邹才能, 朱如凯, 郭宏莉, 王君, 唐勇, 祁利琪, 张志更. 2010. 准噶尔盆地石炭纪火山岩岩石地球化学特征及其构造环境意义[J]. 岩石学报, 26(1): 207-216.
- 苏玉平, 郑建平, Griffin William L, 汤华云, O'Reilly Suzanne Y, 林向洋. 2010. 东准噶尔盆地巴塔玛依内山组火山岩锆石 U-Pb 年代及 Hf 同位素研究[J]. 科学通报, 55(30): 2933-2945.
- 孙巧缙. 1995. 新命名地层单位——三塘湖组[J]. 新疆地质, (3): 214-223.
- 谭佳奕, 吴润江, 张元元, 王淑芳, 郭召杰. 2009. 东准噶尔卡拉麦里地区巴塔玛依内山组火山岩特征和年代确定[J]. 岩石学报, 25(3): 539-546.
- 吴小奇, 刘德良, 魏国齐, 李剑, 李振生. 2009. 准噶尔盆地陆东—五彩湾地区石炭系火山岩地球化学特征及其构造背景[J]. 岩石学报, 25(1): 55-66.
- 新疆维吾尔自治区地质矿产局. 1993. 新疆维吾尔自治区区域地质志[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 141-142.
- 新疆维吾尔自治区地质矿产局. 1999. 新疆维吾尔自治区岩石地层[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 79-80.
- 杨高学, 李永军, 李注苍, 刘晓宇, 杨宝凯, 吴宏恩. 2010. 东准噶尔北缘后碰撞火山岩成因与构造环境[J]. 地学前缘, 17(1): 49-60.
- 张峰, 陈建平, 徐涛, 范俊杰, 潘爱军, 郭晓东, 李杰美, 朝银银. 2014. 东准噶尔晚古生代依旧存在俯冲消减作用——来自石炭纪火山岩岩石学、地球化学及年代学证据[J]. 大地构造与成矿学, 38(1): 140-156.
- 张峰, 徐涛, 范俊杰, 潘爱军, 王斌, 朝银银. 2014. 东准噶尔石炭系巴塔玛依内山组火山岩全岩 Sm-Nd 等时线年龄及其构造意义[J]. 地球化学, 43(3): 301-316.
- 张生银, 朱军, 文革, 柳双权, 鲁新川, 张顺存, 史基安. 2015. 准噶尔盆地陆东地区巴塔玛依内山组火山喷发时空序列及其石油地质意义[J]. 中南大学学报(自然科学版), 46(1): 199-207.
- 张元元, 陈石, 郭召杰, 方世虎. 2009. 东准噶尔扎河坝地区古生代晚期火山岩的锆石 SHRIMP U-Pb 定年及其地质意义[J]. 岩石学报, 25(3): 506-514.
- 赵霞, 贾承造, 张光亚, 卫延召, 赖绍聪, 方向, 张丽君. 2008. 准噶尔盆地陆东—五彩湾地区石炭系中、基性火山岩地球化学及其形成环境[J]. 地学前缘, (2): 272-279.
- 赵泽辉, 郭召杰, 韩宝福, 王毅. 2006. 新疆三塘湖盆地古生代晚期火山岩地球化学特征及其构造-岩浆演化意义[J]. 岩石学报, (1): 199-214.
- 赵振华, 王强, 熊小林, 张海祥, 牛贺才, 许继峰, 白正华, 乔玉楼. 2006. 新疆北部的两类埃达克岩[J]. 岩石学报, (5): 1249-1265.