

西准噶尔希贝库拉斯组凝灰质砂砾岩岩石学和锆石 U-Pb 年代学及对沉积层序的指示意义

安芳¹⁾, 魏少妮²⁾, 方正坤¹⁾, 郑波³⁾, 邓杨¹⁾
1) 大陆动力学国家重点实验室, 西北大学地质学系, 西安, 710069;
2) 西安科技大学地质与环境学院, 西安, 710054; 3) 中国地质调查局成都地质调查中心, 成都, 610081

内容提要:新疆西准噶尔包古图地区主要出露下石炭统火山—沉积地层, 由希贝库拉斯组、包古图组和太勒古拉组组成, 对于三套地层的时代归属以及地层层序长期存在争议。本文对希贝库拉斯组凝灰质砂砾岩进行了岩相学和锆石 U-Pb 年代学研究, 为探讨以上争议提供资料。岩相学研究发现凝灰质砂砾岩中的砾石为硅质岩、晶屑凝灰岩、凝灰质砂岩、安山岩和少量灰岩, 中等磨圆—次棱角状, 粒径变化大(2~15mm), 含量为~45%; 细碎屑主要为岩屑、长石和少量石英, 呈棱角状—次棱角状, 粒径 0.05~0.5mm; 填隙物主要为火山灰; 锆石 U-Pb 年代学分析结果显示, 锆石的 Pb^{206}/U^{238} 表观年龄集中在 327~382Ma, 最年轻的峰值为 330~335Ma, 代表了凝灰质砂砾岩沉积同期火山活动的年龄; 最大峰值为 345~360Ma, 指示了凝灰质砂砾岩中大部分火山岩砾石对应火山活动的时限; 另有几组年龄集中在 411~428Ma、~455Ma 和 482~504Ma, 对应克拉玛依、达拉布特和唐巴勒蛇绿岩的年龄。综合以上研究, 认为希贝库拉斯组的沉积时代为早石炭世维宪期, 并结合前人研究成果推断本区三套地层的沉积层序自下而上依次为希贝库拉斯组、包古图组、太勒古拉组。

关键词:希贝库拉斯组; 凝灰质砂砾岩; 岩石学; 锆石 U-Pb 年代学; 西准噶尔

新疆西准噶尔地区由于特殊的地质构造以及丰富的金、铜等矿产资源, 近年来国内外众多地质学家投入了极大的研究热情, 并在该地区的地质与勘探方面取得了重要研究进展(Zhang Rui et al., 2006; Zhu Yongfeng et al., 2007; Shen Ping et al., 2012; An Fang et al., 2014)。西准噶尔包古图地区主要出露下石炭统火山—沉积地层, 由太勒古拉组、包古图组和希贝库拉斯组组成, 最早由新疆维吾尔自治区地质局区域地质测量大队于 1966 年在 1:20 万克拉玛依幅区域地质报告中创建, 同时他们根据在地层中采集到的珊瑚类、腕足类以及植物化石的对比, 将其划归下石炭统, 沉积层序为: 希贝库拉斯组、包古图组、太勒古拉组。然而根据化石的种类对比, 另有学者认为三套地层的上下层位为: 包古图组、希贝库拉斯组、太勒古拉组, 并将包古图组和希贝库拉斯组划归下石炭统维宪阶, 太勒古拉组划

归泥盆系(Liao Zhuoting et al., 1993); 然而本区化石稀少, 在希贝库拉斯组内尚未获得可靠化石, 且地层中含有大量异地搬运的化石(Shen Yuanchao et al., 1993; Li Yongjun et al., 2010), 因此, 生物地层学对比无法给出划分地层时代和层序有利的证据。通过对西准噶尔地区“太勒古拉组”层型的研究, Xiang Kunpeng (2013, 2015) 认为该组包含了属于克拉玛依蛇绿岩带的无序火山岩和包古图组的陆源细碎屑, 并建议将该组废弃。也有部分学者尝试利用锆石 U-Pb 年代学方法探讨以上问题, 认为这三套地层均属于早石炭世杜内期—维宪期, 并提出了不同的沉积层序(Tong Lili et al., 2009; An Fang et al., 2009; Guo Lishuang et al., 2010; Sun Yu et al., 2014; Zhang Lei et al., 2015), 然而由于构成区内地层的岩石主要为火山—沉积岩, 在缺乏详细岩相学研究的情况下, 对于锆石 U-Pb 年龄的

注: 本文为国家自然科学基金项目(批准号 41203032)、陕西省教育厅科技计划项目(批准号 14KJ1761)和西北大学地质学系本科生创新基金项目(XDCX2016-01)资助的成果。
收稿日期: 2018-07-13; 改回日期: 2018-09-30; 网络发表日期: 2018-12-05; 责任编辑: 黄敏。
作者简介: 安芳, 女, 1984 年生。副教授, 博士生导师。岩石学、矿物学、矿床学专业。Email: anfang_china@163.com。

引用本文: 安芳, 魏少妮, 方正坤, 郑波, 邓杨. 2019. 西准噶尔希贝库拉斯组凝灰质砂砾岩岩石学和锆石 U-Pb 年代学及对沉积层序的指示意义. 地质学报, 93(8): 1954~1967, doi: 10.19762/j.cnki.dizhixuebao.2019172.
An Fang, Wei Shaoni, Fang Zhengkun, Zheng Bo, Deng Yang. 2019. Petrology and zircon U-Pb geochronology of tuffaceous conglomerate in the Xibeikulasi Formation, West Junggar, and its implication for sedimentary sequence. Acta Geologica Sinica, 93(8): 1954~1967.

解释也可能存在不确定性。

本文以包古图地区希贝库拉斯组中的凝灰质砂砾岩为研究对象,在详细岩相学研究的基础上,通过锆石 LA-ICP-MS U-Pb 年代学研究,讨论凝灰质砂砾岩的沉积时代和物质源区。同时收集了大量前人已发表的下石炭统火山沉积岩锆石 U-Pb 年代学资料,通过综合分析,探讨区内下石炭统的沉积时代和层序。

1 区域地质概况

西准噶尔地处中亚造山带中南部的阿尔泰山和天山造山带之间,地质构造背景较为复杂,区域内断裂构造发育,其南部地区最重要的断裂带为达拉布特深断裂带,该断裂带控制着西准噶尔南部地区地质构造演化和 Au-Cu 成矿作用(Zhu Yongfeng et al., 2007)。西准噶尔地区发育多条蛇绿岩带(图 1a), NE-SW 走向的达拉布特蛇绿混杂岩带位于达拉布特河一带,其中辉长岩的年龄为 391~395Ma (Zhang Chi et al., 1993; Gu Pingyang et al., 2009)、角闪辉长岩的锆石 SHRIMP U-Pb 年龄为 426Ma (Chen Bo et al., 2011);西准噶尔西南部出露唐巴勒蛇绿混杂岩带,其硅质岩中发现了早奥陶世放射虫化石(Xiao Xuchang et al., 1992),斜长花岗岩的 U-Pb 年龄为 503Ma (Kwon et al., 1989),辉长岩和玄武岩的 Sm-Nd 等时线年龄分别为 489Ma 和 447Ma (Zhang Chi et al., 1992),蓝片岩的 Ar-Ar 年龄为 458~470Ma (Zhang Lifei, 1997)。出露于东南部的克拉玛依蛇绿混杂岩带又称白碱滩蛇绿混杂岩带,硅质岩中发现了晚泥盆世放射虫化石(Zong Ruiwen et al., 2016),玄武岩的锆石 U-Pb 年龄为 395Ma (Yang Gaoxue et al., 2015)。这些蛇绿混杂岩的围岩为下石炭统火山—沉积岩,构成西准噶尔的主要盖层,在区域内大面积出露,是西准噶尔南部金—铜矿化的主要围岩(图 1b)。

西准噶尔南部地区岩浆活动强烈,主要呈大型花岗岩基、小规模中酸性斑岩岩株和中基性脉岩的形式产出,侵位于下石炭统火山—沉积地层中(图 1b),同时期火山岩在准噶尔盆地西北缘出露 (Zhang Guanlong et al., 2018)。花岗岩基在西准噶尔地区达拉布特断裂以北地区广泛出露,少数出露于断裂带以南,侵位年龄为 310~290Ma,被认为是后碰撞深成岩浆活动的产物 (Han Baofu et al., 2006; Geng Hongyan et al., 2009; Chen Jiafu et al., 2010; Yin Jiyuan et al., 2010);中酸性斑岩岩株主要出露于达拉布特断裂以南的包古图地区,侵

位年龄集中于 310~315Ma (Shen Ping et al., 2012; Tang Gongjian et al., 2009; Liu Yulin et al., 2009; Wei Shaoni et al., 2011; Wei Shaoni et al., 2015; Yin Jiyuan et al., 2016; Duan Fenghao et al., 2018),与包古图地区的斑岩型铜矿化以及脉型金矿化具有直接成因联系 (An Fang et al., 2014; Zheng Bo et al., 2014)。中基性岩脉在西准噶尔地区乃至新疆北部都广泛出露,侵位于下石炭统火山沉积岩、斑岩岩株和花岗岩基中,年龄为 240~270Ma (Li Xinzi et al., 2004; Zhou Jing et al., 2008)。

西准噶尔南部属于北疆地层区,且石炭纪地层为该研究区内最主要的地层单元,主要分布在达拉布特断裂带的两侧,为一套火山—沉积建造,包括太勒古拉组(C_1t)、包古图组(C_1b)和希贝库拉斯组(C_1x) (图 1b, 图 2)。太勒古拉组主要岩石组合为凝灰岩、凝灰质粉砂岩和凝灰质泥岩,以凝灰岩为主,凝灰质粉砂岩、泥岩以夹层形式产出(图 2c-2),其下伏地层为包古图组,二者呈整合接触关系(图 2a, 2c);相比之下,包古图组中粉砂岩的含量明显增多,上部以灰黑色薄层状凝灰岩、凝灰质粉砂岩、粉砂岩互层为主,下部含多个凝灰质砂砾岩的夹层,且越向底部,凝灰质砂砾岩夹层逐渐增多,随着岩性变为单一的凝灰质砂砾岩,进入下伏地层希贝库拉斯组(图 2a, 2c);希贝库拉斯组主要岩性为灰褐色凝灰质砂砾岩(图 2b, 图 2b-1),出露良好,但层理和岩性界面不发育,局部见粉砂岩、硅质岩和玄武岩/安山岩夹层,可获得可信产状,下部见少量凝灰岩和凝灰质粉砂岩夹层,该组岩石整体韵律变化或粒序层不明显,包古图 II 号岩体侵位于其中(图 2b-2),且岩体东西两侧地层产状明显不同,西侧倾向 $220^{\circ}\sim 238^{\circ}$,东侧倾向 $65^{\circ}\sim 95^{\circ}$ (图 2a-c)。各组中均有中酸性脉岩的侵位(图 2a-c, 2c-1)。野外实测剖面显示,达拉布特断裂以南的包古图地区下石炭统火山—沉积地层构造变形较弱,呈对称分布,地层产状显示区内的下石炭统火山—沉积地层构成了一个背斜构造,从核部向两翼依次出露希贝库拉斯组、包古图组和希贝库拉斯组。为了更好的限定三套地层的沉积时代和沉积层序,本文在 I 号岩体北侧剖面终点附近的希贝库拉斯组上部采集了凝灰质砂砾岩样品(图 2a),拟通过锆石年代学研究探讨以上问题。

2 凝灰质砂砾岩岩石学

本次所采样品为希贝库拉斯组上部的厚层状凝灰质砂砾岩,岩石整体呈灰褐色,块状构造,砾石分

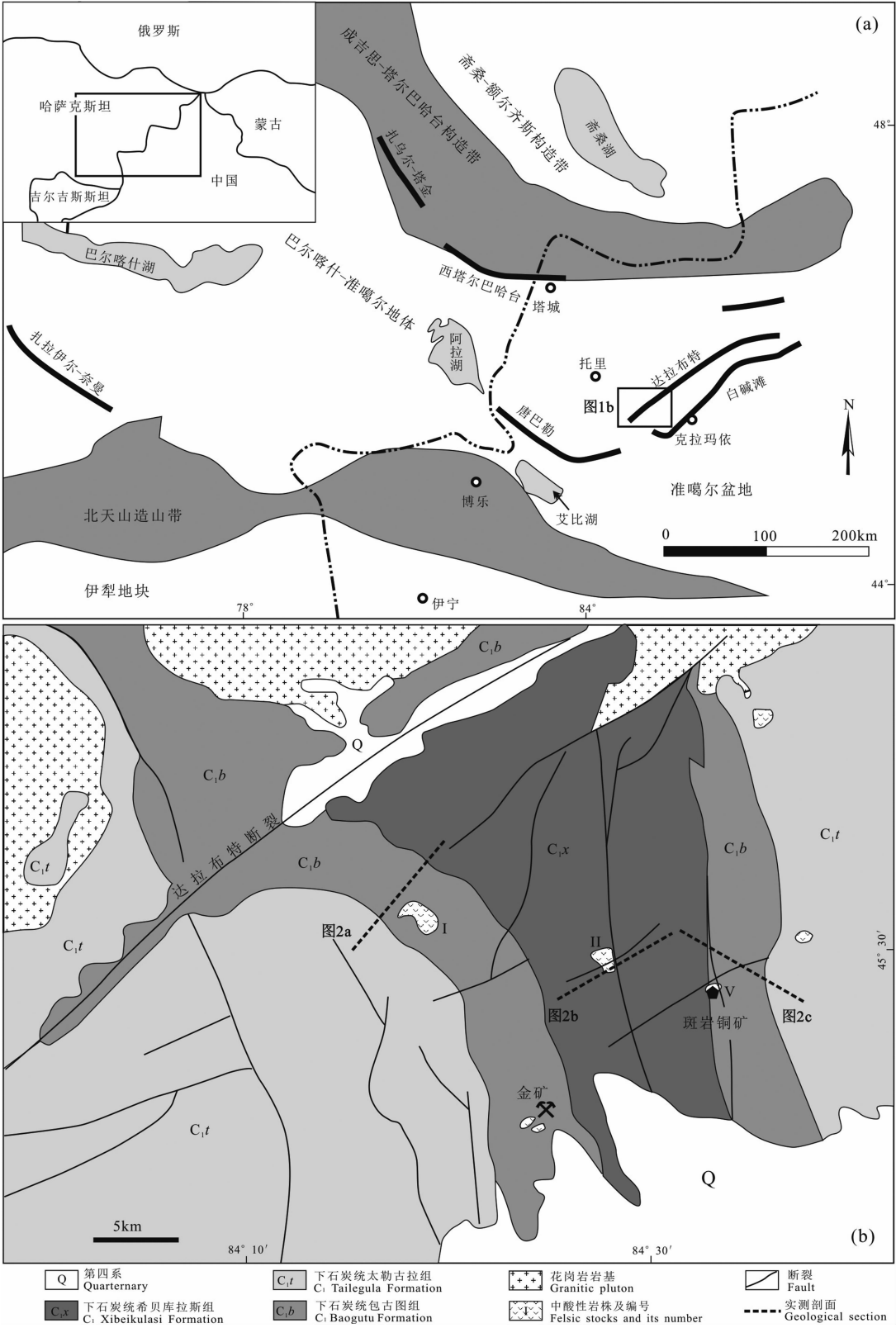


图 1 新疆北部及其邻区大地构造格架(a)和包古图地区地质简图(b)
(分别据 Zhu Yongfeng et al., 2006 和 An Fang et al., 2014)

Fig. 1 Tectonic sketch map of northern Xinjiang and the adjacent regions (a) and geological map of Baogutu region, west Junggar (b) (modified after Zhu Yongfeng et al., 2006 and An Fang et al., 2014)

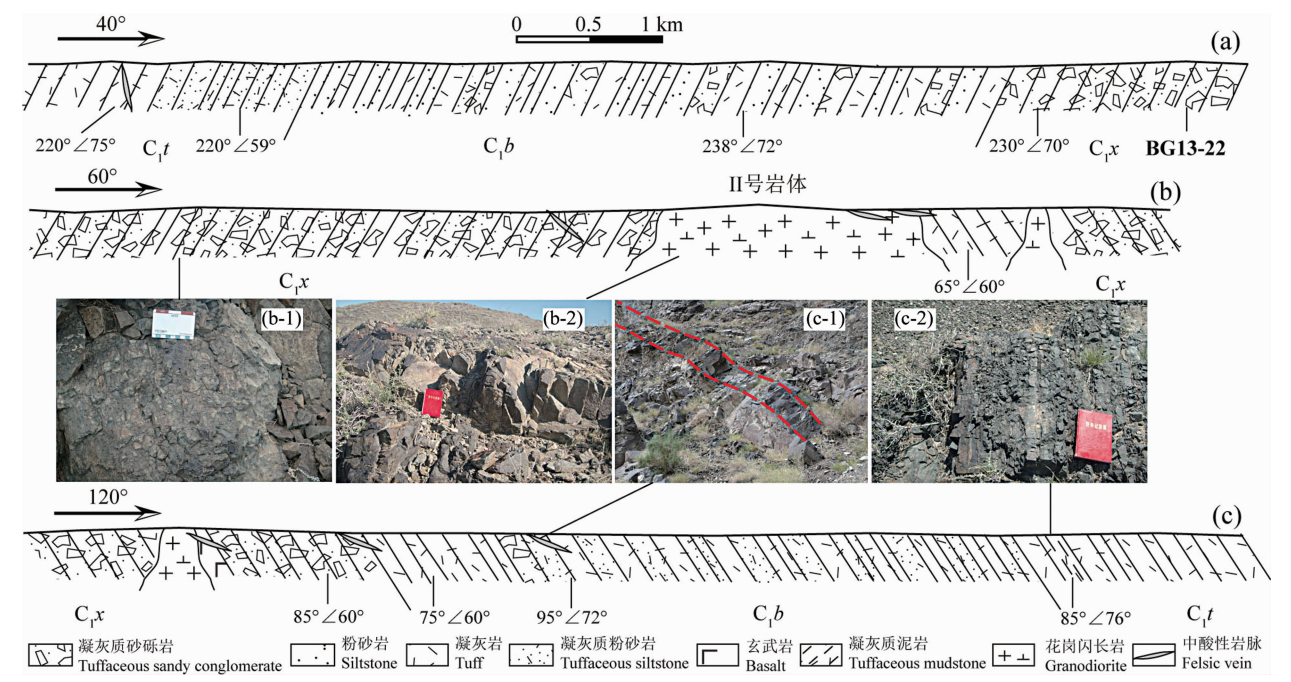


图 2 包古图地区下石炭统火山—沉积地层实测剖面

Fig. 2 Measured geological sections of Lower Carboniferous volcanic-sedimentary rocks in Baogutu region
(a)—I 号岩体北侧剖面; (b)—II 号岩体南侧剖面; (c)—V 号岩体北侧剖面; (b-1)—希贝库拉斯组凝灰质砂砾岩; (b-2)—包古图 II 号岩体;
(c-1)—侵位于包古图组中的闪长岩脉; (c-2)—太勒古拉组凝灰岩夹凝灰质泥岩
(a)—geological section located in north side of intrusion I; (b)—geological section located in south side of intrusion II; (c) geological section located in north side of intrusion V; (b-1)—outcrop of tuffaceous sandy conglomerate in Xibeikulasi Formation; (b-2)—outcrop of intrusion II; (c-1)—outcrop of dioritic rock vein; (c-2)—tuff interlayered with tuffaceous mudstone in Tailigula Formation

布极不均匀,砾石集中部位含量可高达~75%(图 3a),含量较低处低于 30%(图 4a),总含量约为 45%。砾石总体分选较差,次棱角状—中等磨圆,粒径 2~15mm,以细砾为主(图 3a,4a)。

镜下观察发现砾石成分较复杂,包含有凝灰岩、凝灰质砂岩、粉砂岩、硅质岩、安山岩和晶屑凝灰岩等,另有少量灰岩(图 3,图 4)。凝灰岩砾石呈褐色,中等磨圆,发育弱的层理构造,呈凝灰结构(图 3a-b);凝灰质粉砂岩多为褐色或灰褐色,次棱角状,由石英、长石碎屑和火山灰胶结物构成(图 3c);粉砂岩主要为浅褐色浑圆状砾石,由粉砂级石英碎屑和泥基以及火山灰组成(图 3d);硅质岩砾石通常呈灰白色,磨圆好,由玉髓以及局部重结晶的微细粒石英组成(图 3d);安山岩主要呈浅灰褐色,中等磨圆—次棱角状,斑状结构,斑晶主要为斜长石和少量角闪石,基质发育典型的安山结构(图 3e),部分安山岩砾石的基质发生了明显的绢云母化,但局部仍可见蚀变残余的斜长石斑晶或斜长石假象,其中的角闪石斑晶大多发生了绿泥石化;晶屑凝灰岩砾石相比凝灰岩颜色较浅,其中细粒棱角状石英和斜长石晶屑常见(图 3f);灰岩砾石仅少量出现,磨圆较好,粒

径可达 10mm(图 4b)。

除砾石之外,岩石中还有大量的细碎屑颗粒,主要为岩屑、长石和石英,粒径变化于 0.05~1.5mm,填隙物为火山岩,呈中粗粒砂状结构(图 4a-f),约占总成分的 55%。岩屑成分与砾石相似,粒径介于 0.2~1.5mm 之间,中等磨圆—次棱角状;矿物碎屑中斜长石含量较高,粒径为 0.05~0.4mm,呈棱角状,发育聚片双晶(图 4d-f),部分斜长石发生绢云母化;石英为次棱角—棱角状,粒径为 0.05~0.5mm(图 4b, 4e-f)。

3 凝灰质砂砾岩锆石年代学

为了限定希贝库拉斯组的沉积时代,本文从凝灰质砂砾岩中分选锆石,共分选出超过 300 颗锆石,然后挑选其中代表性的锆石制作锆石样品靶,并在西北大学大陆动力学国家重点实验室对锆石进行阴极发光(CL)拍照,仪器为装在场发射扫描电子显微镜(Sirion200 FEI)上的 Gatan 阴极发光仪(MonoCL3+),分析电压为 10kV、电流为 240μA。之后在西北大学大陆动力学国家重点实验室用激光—电感耦合等离子质谱仪(LA-ICP-MS)进行了锆

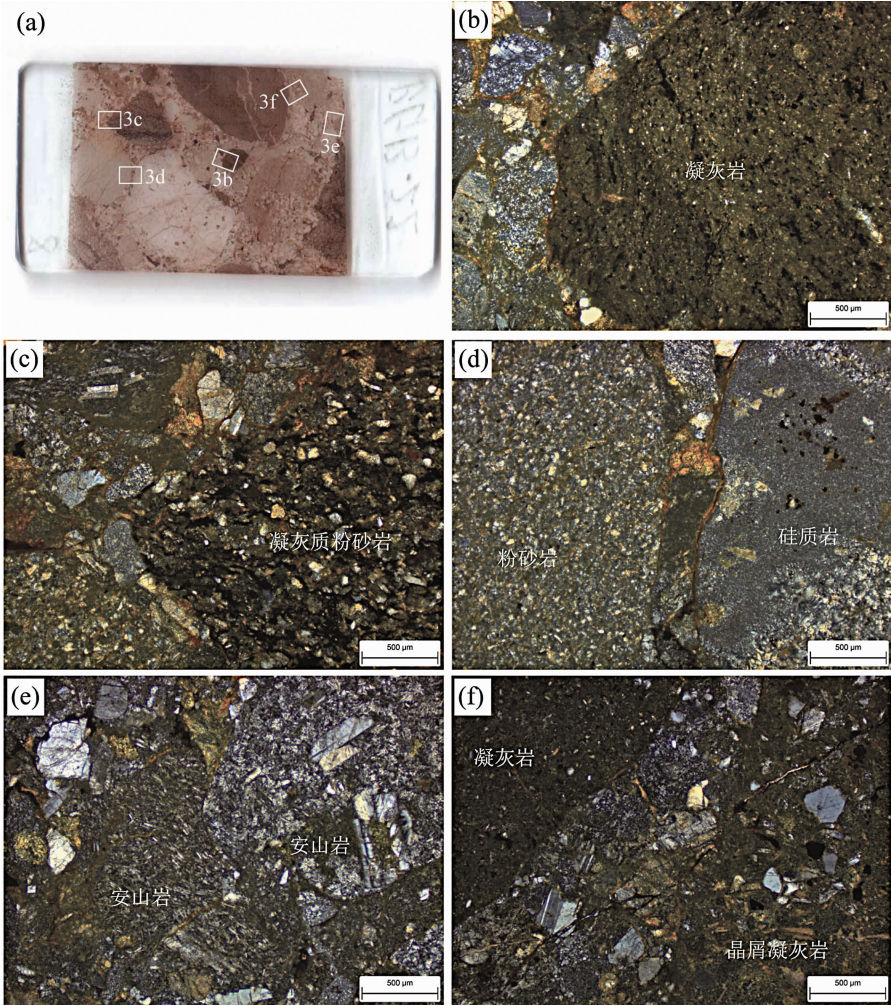


图 3 凝灰质砂砾岩中砾石的岩相学特征

Fig. 3 Petrological characteristics of gravels in tuffaceous sandy conglomerate
(a)—凝灰质砂砾岩薄片扫描图;(b)—凝灰岩砾石;(c)—凝灰质粉砂岩砾石;(b)—粉砂岩和硅质岩砾石;
(e)—安山岩砾石;(f)—凝灰岩和晶屑凝灰岩砾石
(a)—photograph of tuffaceous sandy conglomerate thin section; (b)—tuff; (c)—tuffaceous siltstone;
(d)—siltstone and chert; (e)—andesite; (f)—tuff and crystal tuff

石原位 U-Pb 同位素分析,测试激光束斑为 32 μm ,剥蚀深度为 20~40 μm 。锆石年龄计算采用国际标准锆石 91500 作为外部标样,数据处理采用 Isoplot 软件进行(Ludwig, 2003),详细分析步骤和数据处理方法见 Yuan Honglin et al. (2003)。

阴极发光图像显示,凝灰质砂砾岩中的锆石大多晶形完好、自形程度高,呈等粒状或短柱状,少量长柱状和扇形,长短比为 1.2~3.0 不等,多数在 1.2~1.5 之间,长度最小约 50 μm ,最大可达到 120 μm ,所有锆石均具有明显的岩浆震荡环带(图 5a)。大部分锆石无磨圆,可能指示凝灰质砂砾岩中的锆石主要来自于填隙物火山灰以及凝灰岩、安山岩等火山岩砾石。

本次研究共分析了 120 个年龄测点,其中 5 个测点的表观年龄<100Ma,可能是挑选锆石过程中混入的样品,其余 115 个样品的 $\text{Pb}^{206}/\text{U}^{238}$ 表观年龄变化于 316~504Ma 之间,协和度为 93~116(表 1),协和度>110 的测点有 4 个,被认为是不协和年龄,其余 111 个测点在锆石 U-Pb 年龄协和图上均位于协和线附近,大部分数据集中于 320~400Ma,仅有少数测点年龄老于 400Ma(图 5b)。这些锆石的 Th/U 比值主要变化于 0.30~0.60 之间(表 1),结合其典型的岩浆震荡环带,可以确定这些锆石为岩浆成因(Belousova et al., 2002),可以用于探讨凝灰质砂砾岩沉积同期及其物源区岩浆活动的时限。协和年龄分布直方图显示,111 个锆石测点的

表 1 希贝库拉斯组凝灰质砂砾岩锆石 LA-ICP-MS U-Pb 同位素分析结果

Table 1 The zircon LA-ICP-MS dating results of tuffaceous sandy conglomerate in Xibeikulasi Formation

测点号	元素含量($\times 10^{-6}$)			Th/U	同位素比值						同位素年龄(Ma)								协和度
	Pb ²⁰⁸	Th ²³²	U ²³⁸		Pb ²⁰⁷ / Pb ²⁰⁶	1σ	Pb ²⁰⁷ / U ²³⁵	1σ	Pb ²⁰⁶ / U ²³⁸	1σ	Pb ²⁰⁷ / Pb ²⁰⁶	1σ	Pb ²⁰⁷ / U ²³⁵	1σ	Pb ²⁰⁶ / U ²³⁸	1σ	Pb ²⁰⁸ / Th ²³²	1σ	
BG13-22																			
—001	8	208	266	0.78	0.0577	0.0021	0.5288	0.0168	0.0665	0.0007	517	80	431	11	415	4	424	7	104
—002	2	53	79	0.67	0.0567	0.0037	0.4445	0.0276	0.0568	0.0009	481	139	373	19	356	5	359	10	105
—003	40	7472	2992	2.50	0.0480	0.0014	0.0554	0.0013	0.0084	0.0001	99	70	55	1	54	0	56	0	102
—004	10	284	559	0.51	0.0544	0.0016	0.4524	0.0097	0.0603	0.0005	388	63	379	7	377	3	366	5	101
—005	2	52	85	0.61	0.0545	0.0029	0.4502	0.0220	0.0599	0.0008	393	114	377	15	375	5	405	9	101
—006	2	49	64	0.76	0.0562	0.0046	0.4524	0.0353	0.0584	0.0011	459	171	379	25	366	6	376	12	104
—007	23	4338	1623	2.67	0.0544	0.0024	0.0623	0.0024	0.0083	0.0001	389	94	61	2	53	1	53	1	115
—008	3	68	95	0.72	0.0535	0.0035	0.4455	0.0277	0.0604	0.0009	350	141	374	19	378	5	394	10	99
—009	3	67	134	0.50	0.0561	0.0030	0.4139	0.0201	0.0535	0.0007	456	113	352	14	336	4	351	9	105
—010	11	298	444	0.67	0.0541	0.0017	0.4288	0.0104	0.0575	0.0005	374	68	362	7	360	3	356	5	101
—011	6	180	232	0.77	0.0530	0.0020	0.4032	0.0129	0.0552	0.0006	330	82	344	9	346	3	320	5	99
—012	4	102	170	0.60	0.0552	0.0025	0.4284	0.0172	0.0563	0.0007	418	97	362	12	353	4	362	7	103
—013	4	104	199	0.52	0.0560	0.0021	0.4713	0.0153	0.0611	0.0007	450	82	392	11	382	4	396	7	103
—014	3	79	96	0.82	0.0536	0.0034	0.4208	0.0251	0.0570	0.0008	352	136	357	18	357	5	370	8	100
—015	3	79	139	0.57	0.0528	0.0024	0.3910	0.0159	0.0537	0.0006	320	99	335	12	337	4	346	7	99
—016	3	65	93	0.70	0.0642	0.0031	0.5145	0.0224	0.0581	0.0008	748	98	421	15	364	5	375	8	116
—017	9	508	2062	0.25	0.0545	0.0029	0.0532	0.0026	0.0071	0.0001	393	116	53	3	46	1	55	2	116
—018	3	80	98	0.82	0.0560	0.0028	0.4424	0.0202	0.0573	0.0007	450	107	372	14	359	5	343	6	104
—019	5	150	194	0.77	0.0551	0.0025	0.4293	0.0174	0.0565	0.0007	418	98	363	12	354	4	345	6	103
—020	21	601	461	1.30	0.0542	0.0016	0.4143	0.0096	0.0554	0.0005	380	66	352	7	348	3	343	3	101
—021	8	174	540	0.32	0.0530	0.0014	0.4047	0.0076	0.0554	0.0005	329	59	345	5	347	3	433	5	99
—022	3	86	105	0.82	0.0529	0.0028	0.4089	0.0200	0.0561	0.0007	324	115	348	14	352	4	343	7	99
—023	4	113	178	0.63	0.0533	0.0025	0.4067	0.0171	0.0553	0.0007	343	101	347	12	347	4	355	7	100
—024	3	89	167	0.53	0.0550	0.0024	0.4253	0.0164	0.0561	0.0007	412	93	360	12	352	4	344	7	102
—025	4	95	183	0.52	0.0541	0.0026	0.4398	0.0192	0.0590	0.0007	375	104	370	14	369	4	390	9	100
—026	10	286	269	1.07	0.0581	0.0022	0.4685	0.0150	0.0585	0.0006	534	80	390	10	366	4	350	5	107
—027	4	110	200	0.55	0.0538	0.0019	0.4089	0.0121	0.0551	0.0005	363	77	348	9	346	3	332	5	101
—028	4	94	162	0.58	0.0626	0.0028	0.4797	0.0192	0.0556	0.0007	695	92	398	13	349	4	390	8	114
—029	7	175	229	0.76	0.0549	0.0019	0.4358	0.0130	0.0576	0.0006	407	77	367	9	361	4	354	5	102
—030	2	62	106	0.59	0.0536	0.0030	0.4133	0.0213	0.0559	0.0008	356	120	351	15	351	5	358	9	100
—031	3	53	92	0.57	0.0530	0.0021	0.5344	0.0207	0.0732	0.0007	327	89	435	14	455	4	478	8	96
—032	8	208	370	0.56	0.0533	0.0012	0.4173	0.0087	0.0568	0.0004	340	51	354	6	356	2	380	4	99
—033	4	111	181	0.61	0.0542	0.0018	0.4153	0.0133	0.0556	0.0005	379	74	353	10	349	3	362	5	101
—034	3	61	101	0.61	0.0525	0.0019	0.4970	0.0173	0.0686	0.0006	308	80	410	12	428	4	442	7	96
—035	3	77	140	0.55	0.0513	0.0020	0.4037	0.0151	0.0571	0.0005	254	87	344	11	358	3	365	7	96
—036	3	83	125	0.66	0.0532	0.0022	0.4168	0.0164	0.0568	0.0005	337	90	354	12	356	3	364	6	99
—037	50	9730	3927	2.48	0.0478	0.0010	0.0523	0.0010	0.0079	0.0000	89	49	52	1	51	0	51	0	102
—038	9	256	187	1.37	0.0592	0.0019	0.4347	0.0132	0.0532	0.0004	575	69	367	9	334	3	337	4	110
—039	3	74	95	0.78	0.0522	0.0026	0.4100	0.0200	0.0569	0.0006	296	110	349	14	357	4	345	7	98
—040	7	152	193	0.78	0.0552	0.0016	0.4745	0.0125	0.0624	0.0005	419	61	394	9	390	3	411	5	101
—041	13	347	299	1.16	0.0534	0.0014	0.4275	0.0104	0.0581	0.0004	344	58	361	7	364	2	360	3	99
—042	3	90	129	0.70	0.0563	0.0021	0.4331	0.0157	0.0558	0.0005	464	83	365	11	350	3	355	6	104
—043	16	448	409	1.10	0.0534	0.0013	0.4079	0.0089	0.0554	0.0004	346	53	347	6	348	2	348	3	100
—044	16	421	355	1.19	0.0528	0.0013	0.4088	0.0088	0.0562	0.0004	318	53	348	6	352	2	356	3	99
—045	14	328	405	0.81	0.0573	0.0012	0.4963	0.0088	0.0629	0.0004	501	44	409	6	393	2	432	4	104
—046	2	55	98	0.57	0.0534	0.0026	0.3926	0.0187	0.0533	0.0006	347	107	336	14	335	3	348	7	101
—047	14	401	389	1.03	0.0558	0.0012	0.4222	0.0085	0.0549	0.0003	443	48	358	6	345	2	341	3	104
—048	2	43	57	0.76	0.0543	0.0039	0.4112	0.0287	0.0549	0.0007	383	152	350	21	345	4	342	8	102
—049	2	45	95	0.47	0.0600	0.0029	0.4714	0.0217	0.0570	0.0006	604	100	392	15	357	4	403	9	110
—050	4	88	143	0.62	0.0571	0.0020	0.3954	0.0135	0.0502	0.0004	496	77	338	10	316	3	384	6	107
—051	5	133	158	0.84	0.0560	0.0020	0.4468	0.0150	0.0579	0.0005	451	76	375	11	363	3	363	5	103
—052	9	252	284	0.89	0.0601	0.0015	0.4640	0.0104	0.0560	0.0004	609	52	387	7	351	2	345	3	110

续表 1

测点号	元素含量($\times 10^{-6}$)			Th/U	同位素比值						同位素年龄(Ma)								协和度
	Pb ²⁰⁸	Th ²³²	U ²³⁸		Pb ²⁰⁷ / Pb ²⁰⁶	1 σ	Pb ²⁰⁷ / U ²³⁵	1 σ	Pb ²⁰⁶ / U ²³⁸	1 σ	Pb ²⁰⁷ / Pb ²⁰⁶	1 σ	Pb ²⁰⁷ / U ²³⁵	1 σ	Pb ²⁰⁶ / U ²³⁸	1 σ	Pb ²⁰⁸ / Th ²³²	1 σ	
BG13-22																			
—053	3	87	167	0.52	0.0582	0.0019	0.4794	0.0147	0.0598	0.0005	535	70	398	10	374	3	384	7	106
—054	18	537	391	1.38	0.0584	0.0013	0.4284	0.0089	0.0532	0.0003	545	49	362	6	334	2	334	3	108
—055	4	81	163	0.50	0.0552	0.0018	0.5010	0.0151	0.0658	0.0005	422	69	412	10	411	3	425	7	100
—056	3	78	104	0.75	0.0530	0.0027	0.4040	0.0197	0.0553	0.0006	330	109	345	14	347	3	343	6	99
—057	5	141	199	0.71	0.0523	0.0016	0.4287	0.0125	0.0594	0.0005	299	69	362	9	372	3	369	5	97
—058	4	99	156	0.63	0.0532	0.0020	0.4319	0.0159	0.0589	0.0005	337	84	365	11	369	3	365	6	99
—059	19	564	540	1.04	0.0538	0.0011	0.4043	0.0073	0.0545	0.0003	363	45	345	5	342	2	339	3	101
—060	1	20	90	0.22	0.0562	0.0023	0.6023	0.0233	0.0777	0.0008	460	87	479	15	482	5	519	15	99
—061	9	229	313	0.73	0.0599	0.0015	0.4844	0.0109	0.0586	0.0004	602	52	401	7	367	2	398	4	109
—062	4	111	205	0.54	0.0530	0.0017	0.3923	0.0117	0.0537	0.0004	327	70	336	9	337	3	341	5	100
—063	4	107	149	0.72	0.0494	0.0021	0.3865	0.0155	0.0568	0.0005	166	94	332	11	356	3	348	6	93
—064	6	156	153	1.02	0.0552	0.0020	0.4480	0.0156	0.0589	0.0005	418	79	376	11	369	3	365	5	102
—065	4	107	172	0.62	0.0534	0.0013	0.4107	0.0065	0.0558	0.0004	345	55	349	5	350	3	371	3	100
—066	71	2191	750	2.92	0.0538	0.0012	0.4214	0.0047	0.0568	0.0004	362	49	357	3	356	3	338	2	100
—067	2	63	112	0.56	0.0543	0.0015	0.4318	0.0085	0.0576	0.0005	385	60	364	6	361	3	386	4	101
—068	5	150	197	0.76	0.0535	0.0013	0.4069	0.0064	0.0551	0.0004	350	54	347	5	346	3	368	3	100
—069	3	88	119	0.74	0.0567	0.0015	0.4524	0.0084	0.0579	0.0005	479	58	379	6	363	3	380	4	105
—070	3	75	162	0.46	0.0550	0.0013	0.5149	0.0072	0.0679	0.0005	414	51	422	5	423	3	415	4	100
—071	3	94	188	0.50	0.0540	0.0013	0.4295	0.0063	0.0577	0.0005	370	53	363	4	362	3	363	3	100
—072	5	145	224	0.65	0.0528	0.0012	0.3821	0.0054	0.0525	0.0004	319	52	329	4	330	2	340	3	100
—073	4	124	238	0.52	0.0547	0.0013	0.3843	0.0059	0.0509	0.0004	400	54	330	4	320	2	333	3	103
—074	3	71	102	0.70	0.0566	0.0016	0.4282	0.0089	0.0549	0.0005	475	61	362	6	344	3	348	4	105
—075	5	135	198	0.68	0.0535	0.0013	0.4118	0.0059	0.0559	0.0004	348	52	350	4	350	3	367	3	100
—076	10	283	366	0.77	0.0558	0.0012	0.4294	0.0048	0.0559	0.0004	442	47	363	3	350	3	361	3	104
—077	8	250	248	1.01	0.0525	0.0013	0.3694	0.0059	0.0510	0.0004	309	55	319	4	321	2	342	3	100
—078	34	591	590	1.00	0.1287	0.0026	1.0887	0.0090	0.0614	0.0005	2080	36	748	4	384	3	581	4	195
—079	13	357	240	1.49	0.0552	0.0013	0.4395	0.0057	0.0578	0.0004	419	50	370	4	362	3	362	3	102
—080	3	60	79	0.77	0.0581	0.0019	0.4849	0.0125	0.0605	0.0006	533	69	401	9	379	3	458	5	106
—081	8	250	220	1.14	0.0574	0.0014	0.4195	0.0069	0.0530	0.0004	508	55	356	5	333	3	324	3	107
—082	6	161	255	0.63	0.0576	0.0014	0.4153	0.0060	0.0523	0.0004	514	52	353	4	329	2	351	3	107
—083	1	30	118	0.25	0.0555	0.0016	0.6032	0.0133	0.0789	0.0007	431	63	479	8	489	4	464	9	98
—084	7	195	362	0.54	0.0535	0.0012	0.4079	0.0046	0.0553	0.0004	351	49	347	3	347	3	358	3	100
—085	2	54	103	0.52	0.0544	0.0016	0.4053	0.0089	0.0540	0.0005	387	63	346	6	339	3	340	4	102
—086	5	147	149	0.98	0.0546	0.0014	0.4154	0.0073	0.0552	0.0004	395	56	353	5	346	3	353	3	102
—087	1	33	59	0.56	0.0540	0.0020	0.4224	0.0131	0.0567	0.0005	372	80	358	9	356	3	398	5	101
—088	6	173	388	0.45	0.0544	0.0012	0.4361	0.0050	0.0581	0.0004	389	48	368	4	364	3	368	3	101
—089	9	232	247	0.94	0.0539	0.0012	0.4227	0.0055	0.0568	0.0004	368	51	358	4	356	3	375	3	101
—090	5	134	225	0.60	0.0538	0.0013	0.4031	0.0056	0.0543	0.0004	362	52	344	4	341	3	343	3	101
—091	3	73	131	0.55	0.0546	0.0017	0.4114	0.0102	0.0546	0.0005	396	68	350	7	343	3	370	5	102
—092	2	42	85	0.49	0.0537	0.0016	0.4158	0.0098	0.0561	0.0005	360	67	353	7	352	3	353	4	100
—093	2	37	75	0.49	0.0591	0.0018	0.6626	0.0159	0.0813	0.0007	572	65	516	10	504	4	528	8	103
—094	2	55	108	0.51	0.0539	0.0015	0.4225	0.0087	0.0569	0.0005	367	61	358	6	356	3	374	4	100
—095	3	79	120	0.66	0.0571	0.0025	0.4362	0.0173	0.0554	0.0007	495	95	368	12	348	4	354	7	106
—096	4	99	169	0.59	0.0533	0.0020	0.4103	0.0128	0.0559	0.0006	340	81	349	9	350	3	376	6	100
—097	9	281	290	0.97	0.0532	0.0016	0.3878	0.0092	0.0529	0.0005	337	67	333	7	332	3	327	3	100
—098	9	233	247	0.95	0.0546	0.0017	0.4382	0.0110	0.0582	0.0005	397	68	369	8	365	3	361	4	101
—099	2	55	129	0.42	0.0539	0.0021	0.4233	0.0147	0.0569	0.0006	368	87	358	10	357	4	371	7	100
—100	2	43	54	0.80	0.0543	0.0035	0.4218	0.0255	0.0564	0.0009	381	138	357	18	354	5	347	7	101
—101	18	532	327	1.63	0.0559	0.0018	0.4265	0.0115	0.0553	0.0005	449	72	361	8	347	3	334	3	104
—102	4	118	145	0.82	0.0534	0.0021	0.4029	0.0140	0.0547	0.0006	348	87	344	10	343	4	351	5	100
—103	5	137	224	0.61	0.0527	0.0018	0.4070	0.0112	0.0560	0.0005	314	74	347	8	352	3	373	5	99
—104	15	428	458	0.93	0.0563	0.0017	0.4340	0.0099	0.0559	0.0005	462	65	366	7	351	3	359	4	104
—105	5	138	273	0.51	0.0526	0.0016	0.4164	0.0103	0.0574	0.0005	312	69	354	7	360	3	385	5	98

续表 1

测点号	元素含量($\times 10^{-6}$)			Th/U	同位素比值						同位素年龄(Ma)								协和度
	Pb ²⁰⁸	Th ²³²	U ²³⁸		Pb ²⁰⁷ / Pb ²⁰⁶	1 σ	Pb ²⁰⁷ / U ²³⁵	1 σ	Pb ²⁰⁶ / U ²³⁸	1 σ	Pb ²⁰⁷ / Pb ²⁰⁶	1 σ	Pb ²⁰⁷ / U ²³⁵	1 σ	Pb ²⁰⁶ / U ²³⁸	1 σ	Pb ²⁰⁸ / Th ²³²	1 σ	
BG13-22																			
—106	2	6	48	0.13	0.5002	0.0274	1.0041	0.0452	0.0146	0.0004	4242	78	706	23	93	3	2787	81	757
—107	13	360	346	1.04	0.0544	0.0016	0.4176	0.0091	0.0557	0.0005	388	63	354	6	349	3	359	4	102
—108	3	78	184	0.42	0.0502	0.0021	0.3758	0.0142	0.0543	0.0006	206	95	324	11	341	4	351	7	95
—109	4	124	158	0.79	0.0531	0.0021	0.3995	0.0135	0.0546	0.0006	332	86	341	10	343	3	346	5	100
—110	11	323	371	0.87	0.0517	0.0015	0.4004	0.0092	0.0561	0.0005	274	66	342	7	352	3	358	4	97
—111	10	253	251	1.01	0.0545	0.0017	0.4449	0.0114	0.0592	0.0006	393	69	374	8	371	3	405	5	101
—112	4	101	130	0.77	0.0541	0.0024	0.4140	0.0166	0.0555	0.0006	376	96	352	12	348	4	371	6	101
—113	6	174	158	1.10	0.0504	0.0020	0.3974	0.0137	0.0572	0.0006	214	88	340	10	358	4	359	5	95
—114	4	112	197	0.57	0.0528	0.0019	0.4107	0.0123	0.0565	0.0006	318	78	349	9	354	3	388	6	99
—115	5	133	186	0.72	0.0511	0.0018	0.3721	0.0114	0.0528	0.0005	244	80	321	8	332	3	359	5	97
—116	5	126	200	0.63	0.0557	0.0019	0.4630	0.0131	0.0603	0.0006	439	73	386	9	377	4	401	6	102
—117	4	113	166	0.68	0.0518	0.0019	0.4051	0.0125	0.0567	0.0006	278	80	345	9	355	3	368	6	97
—118	4	170	157	1.08	0.0553	0.0021	0.4733	0.0160	0.0621	0.0007	423	84	394	11	388	4	227	4	101
—119	8	189	200	0.94	0.0557	0.0018	0.4590	0.0121	0.0597	0.0006	442	70	384	8	374	3	407	5	103
—120	10	265	417	0.64	0.0537	0.0015	0.4264	0.0089	0.0576	0.0005	359	61	361	6	361	3	379	5	100

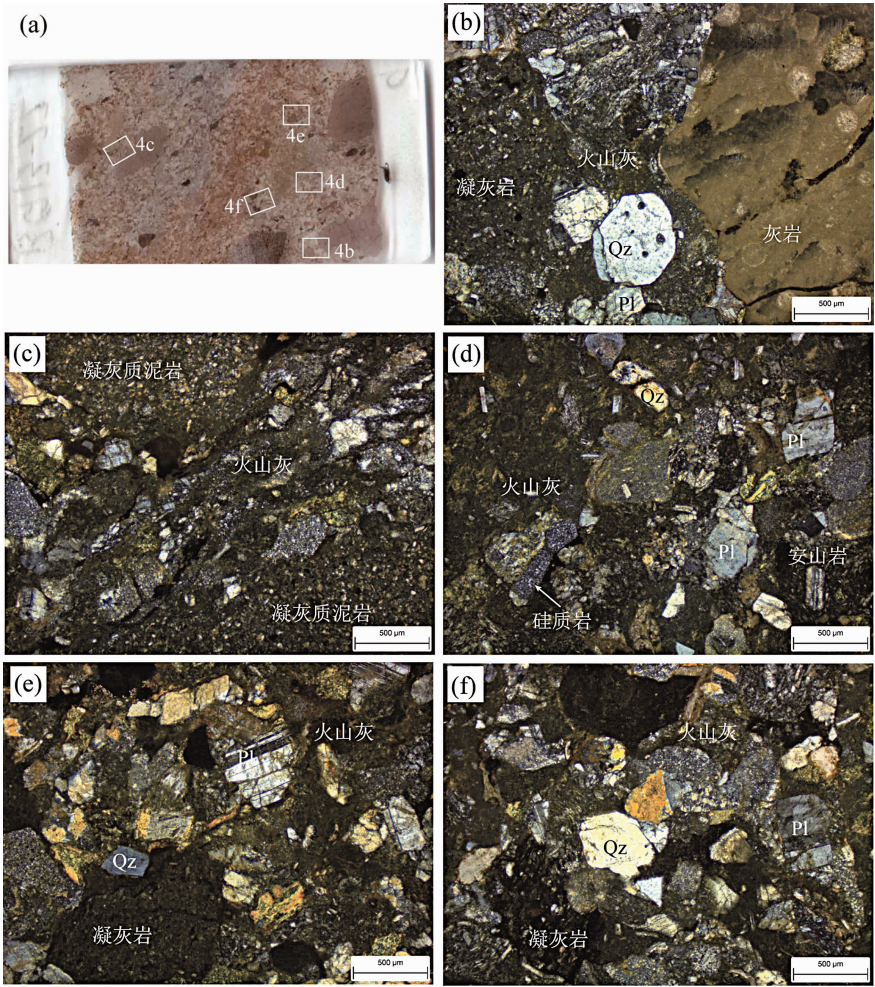


图 4 希贝库拉斯组凝灰质砂砾岩中细碎屑颗粒和填隙物岩相学特征

Fig. 4 Petrological characteristics of clastics and cement in tuffaceous sandy conglomerate

(a)—凝灰质砂砾岩薄片扫描图; (b)—灰岩岩屑及其周边的细碎屑颗粒和火山灰;

(c-f)—中粗粒岩屑、长石、石英以及充填于其中的火山岩, Qz-石英; Pl-斜长石

(a)—photograph of tuffaceous sandy conglomerate thin section; (b)—limestone gravel and clastics;

(c-f)—medium to coarse-grained detritus, plagioclase and quartz cemented by tuff. Qz-quartz; Pl-plagioclase

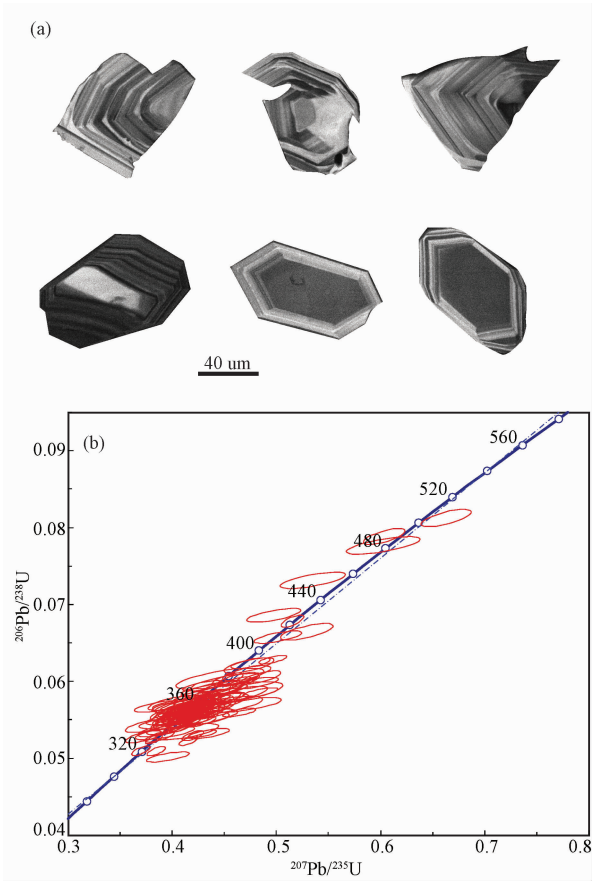


图 5 凝灰质砂砾岩中锆石的 CL 图像(a)和 U-Pb 定年结果(b)

Fig. 5 Cathodoluminescence (CL) images of zircons from tuffaceous sandy conglomerate (a) and zircon LA-ICP-MS U-Pb dating results (b)

$\text{Pb}^{206}/\text{U}^{238}$ 表观年龄主要集中在 315.7~392.9Ma, 其中有两组明显峰值为 330~335Ma 和 345~360Ma(图 6a), 同时样品中存在多组较低峰值, 分别为~321Ma、390Ma、410.6~427.8Ma、455.1Ma 和 482.4~503.7Ma, 表明希贝库拉斯组凝灰质砂砾岩的物源较为复杂。以上年龄数据中, 有 62.2% 为早石炭世, 26.1% 为晚泥盆世, 早-中泥盆世占 4.5%, 而早古生代年龄占 5.4%(图 6b)。

4 讨论

4.1 凝灰质砂砾岩沉积时代和物源

希贝库拉斯组凝灰质砂砾岩中的锆石几乎全部为无磨圆的新生岩浆锆石(图 5), 岩相学观察显示, 凝灰质砂砾岩中含有较多的凝灰岩和安山岩岩屑, 填隙物为火山灰(图 3. 4), 说明其中的原生岩浆锆石主要来自于火山岩砾石和填隙物, 而火山灰填隙物中原生岩浆锆石的年龄可以代表希贝库拉斯组凝灰质砂砾

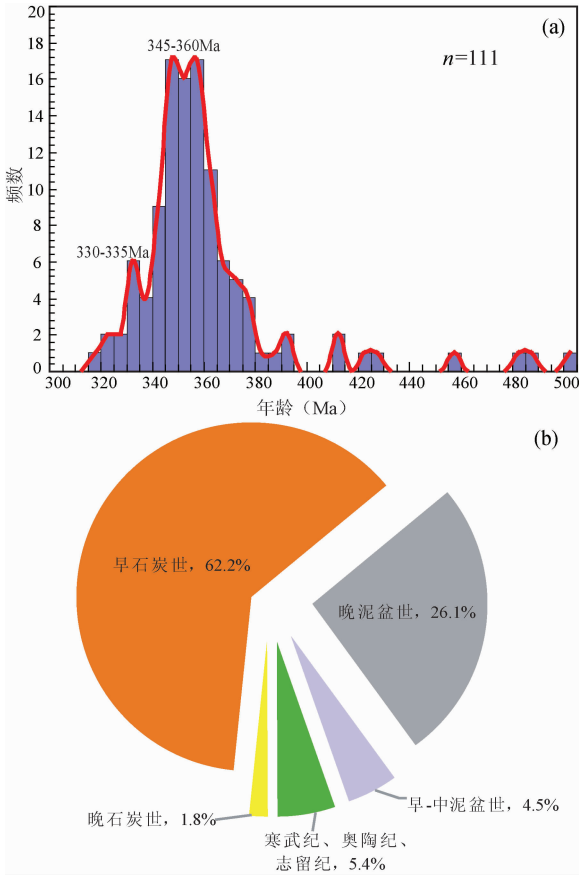


图 6 凝灰质砂砾岩中锆石 U-Pb 年龄直方图(a)和饼状图 (b)(地层时代划分依据 2016 年国际地层年代表)

Fig. 6 Histogram (a) and pie chart (b) of U-Pb age distribution for zircons from tuffaceous sandy conglomerate (based on 2016 international chronostratigraphic chart)

岩的沉积时代。锆石 U-Pb 年龄统计结果显示, 凝灰质砂砾岩中存在 330~335Ma 和 345~360Ma 两个明显的年龄峰值(图 6a), 结合岩相学特征, 推断 330~335Ma 的年龄峰值可能代表了凝灰质砂砾岩中火山灰填隙物对应火山活动的年龄, 指示这套岩石的沉积年龄为 330~335Ma, 属于早石炭世韦宪期, 与 Zhang Lei et al., (2015)通过希贝库拉斯组碎屑锆石年代学研究提出的该组沉积时代上限为 329Ma 的认识基本一致; 340Ma~365Ma(早石炭世)的年龄在所有年龄数据中所占比重最高(图 6b), 可能对应凝灰质砂砾岩中凝灰岩、安山岩等火山岩砾石原岩相应火山活动的时限, 指示早石炭世火山岩是凝灰质砂砾岩的主要物源, 希贝库拉斯组下部安山岩夹层的锆石年龄为 $344 \pm 3\text{Ma}$ (Geng Hongyan et al., 2011), 可能是位于上部的凝灰质砂砾岩中安山岩砾石的源区之一。

凝灰质砂砾岩中还存在~321Ma、~395Ma、410~430Ma、~460Ma、~485Ma 和~505Ma 等多个较弱

年龄峰值(图 6a), 包古图地区中酸性岩浆活动的年龄主要集中于 310~315Ma (Shen Ping et al., 2012; Tang Gongjian et al., 2009; Liu Yulin et al., 2009; Wei Shaoni et al., 2011; Wei Shaoni et al., 2015; Yin Jiyuan et al., 2016), 备受关注的包古图 II 号岩体就侵位于希贝库拉斯组中(图 1b), 因此~320Ma 的个别锆石年龄可能是受岩浆热扰动影响的结果。凝灰质砂砾岩全岩发育硅化、绢云母化以及方解石化等蚀变(图 3, 图 4), 也证明其经历过后期热液活动的影响。希贝库拉斯组凝灰质砂砾岩中的砾石和碎屑成分复杂、磨圆度中等一较差, 显示其中的碎屑物质搬运距离较短, 可能均来自于包古图及其近距离周边地区。前人在包古图地区西北出露的达拉布特蛇绿混杂岩和东部的克拉玛依蛇绿混杂岩中均报道了~395Ma 和~420Ma 的岩浆年龄(Gu Pingyang et al., 2009; Chen Bo et al., 2011; Yang Gaoxue et al., 2015); 包古图西南出露的唐巴勒蛇绿混杂岩中辉长岩、玄武岩以及斜长花岗岩的年龄为 447~523Ma (Kwon et al., 1989; Zhang Chi et al., 1992), 蓝片岩的 Ar-Ar 年龄为 458~470Ma (Zhang Lifei, 1997), 最新报道的西准噶尔北部和布克赛尔蛇绿岩中辉长岩的锆石 U-Pb 年龄为 484Ma (Du Houyuan et al., 2017); 以上年龄与凝灰质砂砾岩中的年龄峰值对应, 指示这些蛇绿混杂岩是也是凝灰质砂砾岩的主要物源。

本文所获得的锆石年龄数据中没有前寒武纪年龄, 表明希贝库拉斯组凝灰质砂砾岩中没有前寒武纪古老物质的加入, 指示西准噶尔地区可能不存在前寒武纪古老结晶基底, 或基底规模很小, 该推断与前人的研究成果基本一致, 前人通过对西准噶尔地区晚古生代火山岩和侵入岩的 Sr-Nd-Hf 同位素研究, 认为西准噶尔的基底为年轻岛弧岩石组合, 前寒武纪地壳演化历史不明显(Wang Fangzheng et al., 2002; Hu Aiqin et al., 2003; Jiang Yun et al., 2015)。

4.2 沉积层序

本文收集了西准噶尔地区希贝库拉斯组、包古图组和太勒古拉组已发表的火山沉积岩锆石年龄数据, 通过统计分析和对比(图 7), 探讨了三套地层的沉积层序。结合本文对凝灰质砂砾岩进行的岩相学观察, 以及前人对区内石炭系的研究(BGMRX, 1993; Zhang Lei et al., 2015), 可知区内石炭系主要由火山碎屑岩夹薄层火山岩组成, 碎屑岩成熟度低、碎屑颗粒搬运距离短、且以火山岩或火山沉积岩为主要物源, 填隙物以火山灰为主, 因此, 火山沉积岩中最年轻

的岩浆锆石年龄峰, 可以有效限定地层的沉积时代。

西准噶尔地区广泛出露晚古生代侵入岩, 侵位于石炭纪火山沉积地层中, 以花岗岩基和斑岩岩株的形式产出(图 1b), 其中花岗岩基广泛出露, 其侵位年龄集中于 310~290Ma (Han Baofu et al., 2006; Geng Hongyan et al., 2009; Chen Jiafu et al., 2010; Yin Jiyuan et al., 2010); 而中酸性小岩株仅集中出露于包古图地区, 主要侵位年龄为 310~315Ma (Shen Ping et al., 2012; Tang Gongjian et al., 2009; Liu Yulin et al., 2009; Wei Shaoni et al., 2011; Wei Shaoni et al., 2015; Yin Jiyuan et al., 2016)。以上接触关系指示西准噶尔地区石炭纪火山—沉积地层的沉积年龄不晚于 315Ma。另有研究显示, 锆石形成后经历的构造—岩浆热事件可能会导致其中 U-Pb 同位素体系的扰动, 使得放射成因 Pb 同位素发生丢失给出较年轻的年龄(Bi Shijian et al., 2008), 甚至在扰动过程中锆石可能会发生重结晶, 其年龄可以有效限定构造热事件的时限(Zhu Yongfeng, 2011)。基于此, 推断包古图组、希贝库拉斯组和太勒古拉组火山沉积岩样品中存在的少许较年轻的年龄(图 7), 可能是受岩浆热扰动影响的结果。

统计结果显示, 希贝库拉斯组年龄的最年轻峰值为 330~340Ma (图 7a), 与本文仅根据凝灰质砂砾岩锆石年龄获得的统计结果基本一致(图 6a), 另有一组较大峰值为 345~365Ma, 指示希贝库拉斯组的沉积时代为 330~340Ma, 而 345~365Ma 期间火山活动形成的火山物质是其主要碎屑物质来源(图 7a); 包古图组的最年轻峰值为 325~330Ma, 代表包古图组的沉积时代, 另有 335~340Ma 和~355Ma 两组峰值(图 7b), 分别对应希贝库拉斯组沉积同期火山活动以及其中碎屑物物源的年龄, 说明希贝库拉斯组火山沉积岩是包古图组的主要物源之一; 侵位于包古图组中的包古图 I 号、III 号和 V 号岩体中, 前人报道了 325Ma、332Ma 和 336Ma 的捕获锆石加权平均年龄(Liu Yulin et al., 2009; Shen Ping et al., 2010), 与希贝库拉斯组和包古图组的沉积时代基本一致。而太勒古拉组具有更为年轻的锆石年龄峰值为 317~320Ma, 说明该组沉积时代为 317~320Ma; 前人曾在白碱滩和达拉布特蛇绿混杂岩带附近的太勒古拉组中识别出了较老的火山岩年龄(358Ma 和 349Ma, Guo Lishuang et al., 2010; Zhao Lei et al., 2016), 然而 Zhu Yongfeng et al. (2013) 通过大量地质剖面的测制, 认为蛇绿混杂岩两侧的强变形岩石组合是蛇绿混杂岩的组成部分; 另外, 大面积出露于哈图金矿区

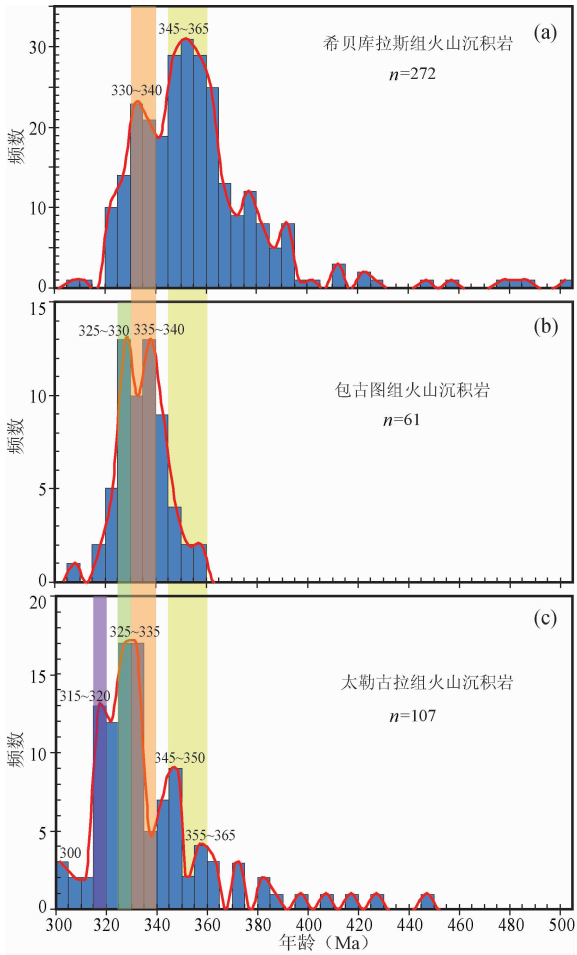


图 7 西准噶尔太勒古拉组(a)、包古图组(b)和希贝库拉斯组(c)火山沉积岩中的锆石年龄直方图(数据来自于本文, 以及文献 Wang Rui et al., 2007; An Fang et al., 2009; Guo Lishuang et al., 2010; Sun Yu et al., 2014; Zhang Lei et al., 2015)

Fig. 7 Histogram of U-Pb age distribution for zircons from Tailegula (a), Baogutu (b) and Xibeikulasi (c) Formation, west Junggar (date from this study and Wang Rui et al., 2007; An Fang et al., 2009; Guo Lishuang et al., 2010; Sun Yu et al., 2014; Zhang Lei et al., 2015)

的太勒古拉组玄武岩的年龄为~315Ma (Tang Gongjian et al., 2012), 以上资料说明太勒古拉组 317~320Ma 的年龄峰值基本可以代表该组沉积时代; 该组中另有 325~335Ma、346~350Ma 以及 355~365Ma 几组年龄峰(图 7c), 其中 325~335Ma 的年龄峰较好地对应希贝库拉斯组和包古图组沉积同期火山活动的年龄, 而 345~350Ma 和 355~365Ma 的年龄峰值在包古图组和希贝库拉斯组中均存在, 说明包古图组和希贝库拉斯组均为太勒古拉组的主要物源。基于以上分析, 可以推断西准噶尔下石炭统三套地层的沉积顺序依次为希贝库拉斯组、包古图组和希贝库

拉斯组。

5 结论

(1)希贝库拉斯组凝灰质砂砾岩砾石分选较差, 中等磨圆一次棱角状, 砾石主要为安山岩、晶屑凝灰岩、凝灰质砂岩、凝灰岩等, 另有少量灰岩, 碎屑颗粒主要为石英、长石和岩屑, 填隙物主要为火山灰。

(2)锆石 LA-ICP-MS U-Pb 年代学研究结果显示, 凝灰质砂砾岩同沉积期火山活动的年龄为 330~335Ma, 其中的凝灰岩、安山岩等砾石是 345~360Ma 期间火山活动的产物。此外, 西准噶尔南部出露的达拉布特、克拉玛依和唐巴勒蛇绿混杂岩也是希贝库拉斯组的物源。

(3)综合分析西准噶尔希贝库拉斯组、包古图组和太勒古拉组火山沉积岩的锆石年龄, 认为希贝库拉斯组的沉积年龄为 330~340Ma, 包古图组为 325~330Ma, 太勒古拉组为 317~320Ma, 并由此推断三套地层的沉积顺序依次为: 希贝库拉斯组、包古图组、太勒古拉组。

致谢:本研究得到国家自然科学基金项目(批准号 41203032)和陕西省教育厅科技计划项目(批准号 14KJ1761)的联合资助。野外工作得到了招金北疆矿业公司邵鹏工程师的热情帮助。锆石 CL 照相和 LA-ICP-MS U-Pb 测年工作分别得到了西北大学大陆动力学国家重点实验室弓虎军教授和张红高级工程师的指导, 在此致以衷心的感谢!

References

An Fang, Zhu Yongfeng. 2009. SHRIMP U-Pb zircon ages of tuff in Baogutu formation and their geological significances. *Acta Petrologica Sinica*, 25(6): 1437~1445 (in Chinese with English abstract).

An Fang, Zhu Yongfeng, Wei Shaoni, Zheng Bo. 2014. Geology and metallogenic model of gold ore deposits in Baogutu area, Western Junggar, Xinjiang. *Mineral Deposits*, 33(4): 761~775 (in Chinese with English abstract).

Belousova EA, Griffin WL, O'reilly SY, Fisher N. 2002. Igneous zircon: trace element composition as an indicator of source rock type. *Contribution to Mineralogy and Petrology*, 143(5): 602~622.

Bi Shijian, Li Jianwei, Zhao Xinfu. 2008. Hydrothermal zircon U-Pb dating and geochronology of quartz vein-type gold deposits: A Review. *Geological Science and Technology Information*, 27(1): 69~76 (in Chinese with English abstract).

Bureau of Geology and Mineral Resources of Xinjiang Uygur Autonomous Region (BGMRX). *Regional Geology of Xinjiang Uygur Autonomous Region*. 1993. Beijing: Geological Publish House, 1~841 (in Chinese with English abstract).

Chen Bo, Zhu Yongfeng. 2011. Petrology, geochemistry and zircon U-Pb chronology of gabbro in Darbut ophiolitic mélangé, Xinjiang. *Acta Petrologica Sinica*, 27(6): 1746~1758 (in Chinese with English abstract).

Chen Jiafu, Han Baofu, Ji Jianqing, Zhang Lei, Xu Zhao, He Guoqi,

- Wang Tao. 2010. Zircon U-Pb ages and tectonic implications of Paleozoic plutons in northern West Junggar, North Xinjiang, China. *Lithos*, 115(1): 137~152.
- Du Houyuan, Chen Jiafu. 2017. The determination of Hoboksar ancient oceanic basin in west Junggar: evidence from zircon U-Pb age and geochemistry of the Hoboksar ophiolitic melange. *Acta Geologica Sinica*, 91(12): 2638~2650 (in Chinese with English abstract).
- Duan Fenghao, Li Yongjun, Wang Ran, Zhi Qian, Chao Wendi, Ma Yonglin. 2018. LA-ICP-MS zircon U-Pb geochronology and geochemical characteristics of the Tasikuola granite in Western Junggar, Xinjiang and its geological significance. *Acta Geologica Sinica*, 92(7): 4101~4117 (in Chinese with English abstract).
- Geng Hongyan, Sun Min, Yuan Chao, Xiao Wenjiao, Xian Weisheng, Zhao Guochun, Zhang Lifei, Wong K, Wu Fuyuan. 2009. Geochemical, Sr-Nd and zircon U-Pb-Hf isotopic studies of Late Carboniferous magmatism in the West Junggar, Xinjiang: implications for ridge subduction? *Chemical Geology*, 266: 364~389.
- Geng Hongyan, Sun Min, Yuan Chao, Zhao Guochun, Xiao Wenjiao. 2011. Geochemical and geochronological study of early Carboniferous volcanic rocks from the West Junggar: Petrogenesis and tectonic implications. *Journal of Asian Earth Sciences*, 42(5): 854~866.
- Gu Pingyang, Li Yongjun, Zhang Bing, Tong Lili, Wang Junnian. 2009. LA-ICP-MS zircon U-Pb dating of gabbro in the Darbut ophiolite, western Junggar, China. *Acta Petrologica Sinica*, 25(6): 1364~1372 (in Chinese with English abstract).
- Guo Lishuang, Liu Yulin, Wang Zhenghua, Song Da, Xu Fajun, Su Li. 2010. The Zircon U-Pb LA-ICP-MS geochronology of volcanic rocks in Baogutu areas, western Junggar. *Acta Petrologica Sinica*, 26(2): 471~477 (in Chinese with English abstract).
- Han Baofu, Ji Jianqing, Song Biao, Chen Lihui, Zhang Lei. 2006. Late Paleozoic vertical growth of continental crust around the Junggar Basin, Xinjiang, China (part I): Timing of post-collisional plutonism. *Acta Petrologica Sinica*, 22(5): 1077~1086 (in Chinese with English abstract).
- Hu Aiqin, Wei Gangjian. 2003. A review of ages of basement rocks from Junggar basin in Xinjiang, China-based on studies of geochronology. *Xinjiang Geology*, 21(4): 398~406 (in Chinese with English abstract).
- Jiang Yun, Xiao Long, Zhou Pei, Wang Guocan. 2015. Geological, geochemical characteristics of Hongshan pluton: constraint for lower crust of west Junggar, Xinjiang. *Earth Science-Journal of China University of Geosciences*, 40(7): 1129~2247 (in Chinese with English abstract).
- Kwon ST, Tilton GR, Coleman RG, Feng Yimin. 1989. Isotopic studies bearing on the tectonics of the west Junggar, Xinjiang, China. *Tectonics*, 8: 719~727.
- Li Xinzhi, Han Baofu, Ji Jianqing, Li Zonghuai, Liu Zhiqiang, Yang Bin. 2004. Geology, geochemistry and K-Ar ages of the Karamay basic-intermediate dyke swarm from Xinjiang, China. *Geochimica*, 33(6): 574~584 (in Chinese with English abstract).
- Li Yongjun, Tong Lili, Zhang Bing, Liu Jing, Zhang Tianji, Wang Junnian. 2010. On the old and new relationship between Xibeikulasi Formation and Baogutu Formation of the Carboniferous system, west Junggar. *Xinjiang Geology*, 28(2): 130~136 (in Chinese with English abstract).
- Liao Zhuoting, Wang Yujing, Wang Keliang, Xia Fengsheng, Zhou Yuxing, Ouyang Shu. 1993. Presence and prospect of the Carboniferous system in north Xinjiang, China. In: Tu Guangzhi. Presence and prospect of the solid earth science in the north of Xinjiang. Beijing: Science Press, 79~94 (in Chinese with English abstract).
- Liu Yulin, Guo Lishuang, Song Huixia, Song Biao, Zhang Rui, Xu Fajun, Zhang Yunxiao. 2009. Geochronology of Baogutu porphyry copper deposit in western Junggar area, Xinjiang of China. *Science in China (series D)*, 39(10): 1466~1472 (in Chinese with English abstract).
- Ludwig KR. 2003. User's manual for Isoplot 3.00: a geochronological toolkit for microsoft excel. Berkeley Geochronological Center Special Publication, 4: 1~73.
- Shen Ping, Shen Yuanchao, Pan Chengze, Pan Hongdi, Dai Hauwu, Meng Lei. 2010. Zircon age and metallogenic characteristics of the Hatu-Baogutu Au-Cu metallogenic concentric region in Xinjiang. *Acta Petrologica Sinica*, 26(10): 2875~2893 (in Chinese with English abstract).
- Shen Ping, Shen Yuanchao, Pan Hongdi, Li Xianhua, Dong Lianhui, Wang Jingbin, Zhu Heping, Dai Huawu, Guan Weina. 2012. Geochronology and isotope geochemistry of the Baogutu porphyry copper deposit in the West Junggar region, Xinjiang, China. *Journal of Asian Earth Sciences*, 49: 99~115.
- Shen Yuanchao, Jin Chengwei. 1993. Magmatic activity and gold mineralization in West Junggar, Xinjiang. Beijing: Science Press, 1~75 (in Chinese with English abstract).
- Sun Yu, Zhao Chunhuan, Li Yongjun, Tong Lili, Yang Gaoxue, Yan Jing, Jiao Guanglei, Yi Shanxin. 2014. Detrital zircon LA-ICP-MS U-Pb dating of the Carboniferous Xibeikulasi Formation sandstone in the Baogutu area, western Junggar, and its geological significance. *Journal of Stratigraphy*, 38(1): 42~50 (in Chinese with English abstract).
- Tang Gongjian, Wang Qiang, Zhao Zhenhua, Chen Haihong, Jia Xiaohui, Jiang Ziqi. 2009. Geochronology and Geochemistry of the ore-bearing porphyries in the Baogutu area (western Junggar): petrogenesis and their implications for tectonics and Cu-Au mineralization. *Earth Science-Journal of China University of Geosciences*, 34(1): 56~74 (in Chinese with English abstract).
- Tang Gongjian, Wymn DA, Wang Qiang, Li Jie, Li Zhengxiang, Zhao Zhenhua, Sun Weidong. 2012. Asthenosphere-lithosphere interaction triggered by a slab window during ridge subduction: trace element and Sr-Nd-Hf-Os isotopic evidence from Late Carboniferous tholeiites in the western Junggar area (NW China). *Earth and Planetary Science Letters*, 329~330: 84~96.
- Tong Lili, Li Yongjun, Zhang Bing, Liu Jing, Pang Zhenjia, Wang Junnian. 2009. Zircon LA-ICP-MS U-Pb dating and geologic age of the Baogutu Formation andesite in the south of Daerbute faulted zone, western Junggar. *Xinjiang Geology*, 27(3): 226~230 (in Chinese with English abstract).
- Wang Fangzheng, Yang Meizhen, Zheng Jianping. 2002. Geochemical evidence of the basement assembled by island arc volcanics terranes in Junggar Basin. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 21(1): 1~10 (in Chinese with English abstract).
- Wang Rui, Zhu Yongfeng. 2007. Geology of the Baobei gold deposit in western Junggar and zircon SHRIMP age of its wall-rocks, western Junggar (Xinjiang, NW China). *Geological journal of China University*, 13(3): 590~602 (in Chinese with English abstract).
- Wei Shaoni, Cheng Junfeng, Yu Dabing, Zheng Bo, Zhu Yongfeng. 2011. Petrology and SHRIMP zircon ages of intrusive body III in Baogutu area, Xinjiang. *Earth Science Frontiers*, 18(2): 212~222 (in Chinese with English abstract).
- Wei Shaoni, Zhu Yongfeng. 2015. Petrology, geochronology and geochemistry of intermediate-acidic intrusions in Baogutu area, west Junggar, Xinjiang. *Acta Petrologica Sinica*, 31(1): 143~160 (in Chinese with English abstract).
- Xiang Kunpeng. 2013. The definition of Chengjisihanshan Formation and its significances in Baijiantan region, west Junggar. Master Thesis of Changan University, 1~63 (in Chinese with English abstract).
- Xiang Kunpeng. 2015. Carboniferous sedimentary basin analysis and tectonic significance in the Baogutu-Halaalate Mountain, western Junggar, Xinjiang. PhD Thesis of Changan University, 1~246 (in Chinese with English abstract).
- Xiao Xuchang, Tang Yaoqing, Feng Yimin. 1992. Tectonics of Northern Xinjiang and its adjacent areas. Beijing: Science Press, 104~123 (in Chinese with English abstract).
- Yang Gaoxue, Li Yongjun, Santosh M, Xiao Wenjiao, Yang Baokai, Tong Lili, Zhang Shenglong. 2015. Alkaline basalts in the Karamay ophiolitic melange, NW China: a geological, geochemical and geochronological study and implications for geodynamic setting. *Journal of Asian Earth Sciences*, 113: 110~125.

- Yin Jiyuan, Yuan Chao, Wang Yujing, Long Xiaoping, Guanyili. 2010. Magmatic records on the Late Paleozoic tectonic evolution of western Junggar, Xinjiang. *Geotectonica et Metallogenia*, 35(2): 278~291 (in Chinese with English abstract).
- Yin Jiyuan, Chen Wen, Xiao Wenjiao, Luo Yong, Zhang Bin, Yang Li, Yu Shun, Xu Cui. 2016. Geochronology and geochemistry in pluton I in Baogutu area, west Junggar. *Journal of Jilin University (Earth Science Edition)*, 46(6): 1754~1768 (in Chinese with English abstract).
- Yuan Honglin, Wu Fuyuan, Gao Shan, Liu Xiaoming, Xu Ping, Sun Deyou. 2003. Laser probe U-Pb dating and REE analysis of zircons from Cenozoic intrusions in northeast China. *Science Bulletin*, 48(14): 1511~1520 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Chi, Huang Xuan. 1992. The ages and tectonic settings of ophiolites in west Junggar, Xinjiang. *Geological Review*, 38: 509~524 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Chi, Zhai Mingguo, Allen MB, Saunders AD, Wang Guangrei, Huang Xuan. 1993. Implications of Paleozoic ophiolites from West Junggar, NW China, for the tectonics of Central Asia. *Journal of the Geological Society*, 150: 551~561.
- Zhang Guanlong, Lin Huixi, Zhang Kuihua, Xu Wenguo. 2018. Petrologic characteristics of Carboniferous volcanic rocks in Luxi' Junggar Basin' and their geological significance. *Geological Review*, 64(1): 77~90 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Lei, Wang Guocan, Gao Rui, Shen Tianyi, Zong Ruiwen, Yan Wenbo. 2015. U-Pb chronology of detrital zircons from the Carboniferous sequences and its geological implications in west Junggar. *Geotectonica et Metallogenia*, 39(4): 704~717 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Lifei. 1997. $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ age of blue schist from Tangbale ophiolite, west Junggar, Xinjiang, and its significance. *Chinese Science Bulletin*, 42(20): 2178~2181 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Rui, Zhang Yunxiao, Tong Gengsheng, Wang Jiang, Li Longqian. 2006. Major breakthrough in copper exploration in the Baogutu porphyry copper deposit, western Junggar, Xinjiang, and its significance. *Geology in China*, 33(6): 1354~1360 (in Chinese with English abstract).
- Zhao Lei, He Guoqi. 2016. LA-ICP-MS U-Pb zircon age of dacite in Tailegula Formation and their constraints on emplacement of Darbut ophiolite in west Junggar. *Acta Scientiarum Naturalium University Pekinensis*, 52(5): 871~880 (in Chinese with English abstract).
- Zheng Bo, Zhu Yongfeng, An Fang. 2014. Study of gold mineralization types in relation to host rocks in gold deposits of Baogutu area, Xinjiang. *Mineral Deposits*, 33(3): 558~574 (in Chinese with English abstract).
- Zhou Jing, Ji Jianqing, Han Baofu, Ma Fang, Gong Junfeng, Xu Qinqin, Guo Zhaojie. 2008. $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ geochronology of mafic dykes in north Xinjiang. *Acta Petrologica Sinica*, 24(5): 997~1010 (in Chinese with English abstract).
- Zhu Yongfeng, Xu Xin. 2006. The discovery of Early Ordovician ophiolite mélange in Taerbahatai Mts., Xinjiang, NW China. *Acta Petrologica Sinica*, 22(12): 2833~2842 (in Chinese with English abstract).
- Zhu Yongfeng, He Guoqi, An Fang. 2007. Geological evolution and metallogeny in the core part of the Central Asian metallogenic domain. *Geological Bulletin of China*, 26(9): 1167~1177 (in Chinese with English abstract).
- Zhu Yongfeng. 2011. Zircon U-Pb and muscovite $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ geochronology of the gold-bearing Tianger mylonitized granite, Xinjiang, northwest China: implications for radiometric dating of mylonitized magmatic rocks. *Ore Geology Reviews*, 40: 108~121.
- Zhu Yongfeng, Chen Bo, Xu Xin, Qiu Tian, An Fang. 2013. A new geological map of the western Junggar, north Xinjiang (NW China): implications for Palaeoenvironmental reconstruction. *Episode*, 36(3): 205~220.
- Zong Ruiwen, Wang Zizhang, Jiang Tao, Gong Yimin. 2016. Late Devonian radiolarian-bearing siliceous rocks from the Karamay ophiolitic mélange in western Junggar: implications for the evolution of the Paleo-Asian Ocean. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 448: 266~278.
- ## 参 考 文 献
- 安芳, 朱永峰. 2009. 新疆西准噶尔包古图组凝灰岩锆石 SHRIMP 年龄及其地质意义. *岩石学报*, 25(6): 1437~1445.
- 安芳, 朱永峰, 魏少妮, 郑波. 2014. 新疆包古图地区金矿床地质特征及成矿模型研究. *矿床地质*, 33(4): 761~775.
- 毕诗健, 李建威, 赵新福. 2008. 热液锆石 U-Pb 定年与石英脉型金矿成矿时代: 评述与展望. *地质科技情报*, 27(1): 69~76.
- 陈博, 朱永峰. 2011. 新疆达布特蛇绿混杂岩中辉长岩岩石学、微量元素地球化学和锆石 U-Pb 年代学研究. *岩石学报*, 27(6): 1746~1758.
- 都厚远, 陈家富. 2017. 西准噶尔和布克赛尔古洋盆的厘定——来自和布克赛尔蛇绿混杂岩的锆石 U-Pb 年代学及地球化学证据. *地质学报*, 91(12): 2638~2650.
- 段丰浩, 李永军, 王冉, 支倩, 晁文迪, 马勇林. 2018. 新疆西准噶尔塔斯阔腊岩体 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年代学、地球化学特征及地质意义. *地质学报*, 92(7): 4101~4117.
- 辜平阳, 李永军, 张兵, 佟丽莉, 王军年. 2009. 西准达尔布特蛇绿岩中辉长岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 测年. *岩石学报*, 25(6): 1364~1372.
- 郭丽爽, 刘玉琳, 王政华, 宋达, 许发军, 苏犁. 2010. 西准噶尔包古图地区地层火山岩锆石 LA-ICP-MS U-Pb 年代学研究. *岩石学报*, 26(2): 471~477.
- 韩宝福, 李建清, 宋彪, 陈立辉, 张磊. 2006. 新疆准噶尔晚古生代陆壳垂向生长(D)——后碰撞深成岩浆活动的时限. *岩石学报*, 22(5): 1077~1086.
- 胡霁琴, 韦刚健. 2003. 关于准噶尔盆地基底时代问题的讨论——据同位素年代学研究结果. *新疆地质*, 21(4): 398~406.
- 姜芸, 肖龙, 周佩, 王国灿. 2015. 新疆西准噶尔红山岩体地质地球化学特征及对下地壳性质的启示. *地球科学—中国地质大学学报*, 40(7): 1129~1247.
- 李辛子, 韩宝福, 李建清, 李宗怀, 刘志强, 杨斌. 2004. 新疆克拉玛依中基性岩墙群的地质地球化学和 K-Ar 年代学. *地球化学*, 33(6): 574~584.
- 李永军, 佟丽莉, 张兵, 刘静, 张天继, 王军年. 2010. 论西准噶尔石炭系希贝库拉斯组与包古图组的新老关系. *新疆地质*, 28(2): 130~136.
- 廖卓庭, 王玉净, 王克良, 夏凤生, 周宇星, 欧阳舒. 1993. 新疆北部石炭纪生物地层研究新进展. 见: 涂光炽主编. *新疆北部固体地球科学新进展*. 北京: 科学出版社. 79~94.
- 刘玉琳, 郭丽爽, 宋会侠, 宋彪, 张锐, 许发军, 张云孝. 2009. 新疆西准噶尔包古图斑岩铜矿年代学研究. *中国科学 D 辑: 地球科学*, 39(10): 1466~1472.
- 申萍, 沈远超, 潘成泽, 潘鸿迪, 代华五, 孟磊. 2010. 新疆哈图一包古图金铜矿集区锆石年龄及成矿特点. *岩石学报*, 26(10): 2875~2893.
- 沈远超, 金成伟. 1993. 西准噶尔地区岩浆活动与金矿化作用. 北京: 科学出版社. 1~75.
- 孙羽, 赵春环, 李永军, 佟丽莉, 杨高学, 严境, 焦光磊, 易善鑫. 2014. 西准噶尔包古图地区石炭系希贝库拉斯组碎屑锆石 LA-ICP-MS U-Pb 年代学及其地质意义. *地层学杂志*, 38(1): 42~50.
- 唐功建, 王强, 赵振华, 陈海红, 贾小辉, 姜子琦. 2009. 西准噶尔包古图成斑岩年代学与地球化学: 岩石成因与构造、铜金成矿意义. *地球科学—中国地质大学学报*, 34(1): 56~74.
- 佟丽莉, 李永军, 张兵, 刘静, 虎振甲, 王军年. 2009. 新疆西准噶尔达布特断裂带南包古图组安山岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 测年及地质时代. *新疆地质*, 27(3): 226~230.
- 王方正, 杨梅珍, 郑建平. 2002. 准噶尔盆地岛弧火山岩地体拼合基底的地球化学证据. *岩石矿物学杂志*, 21(1): 1~10.
- 王瑞, 朱永峰. 2007. 西准噶尔宝贝金矿地质与容矿火山岩的锆石 SHRIMP 年龄. *高校地质学报*, 13(3): 590~602.
- 魏少妮, 程军峰, 喻达兵, 郑波, 朱永峰. 2011. 新疆包古图 III 号岩体

岩石学和锆石 SHRIMP 年代学研究. 地学前缘, 18(2): 212~222.

魏少妮, 朱永峰. 2015. 新疆西准噶尔包古图地区中酸性侵入体的岩石学、年代学和地球化学研究. 岩石学报, 31(1): 143~160.

向坤鹏. 2013. 西准噶尔白碱滩一带成吉思汗山组的建立及地质意义. 长安大学硕士学位论文, 1~63.

向坤鹏. 2015. 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. 长安大学博士学位论文, 1~246.

肖序常, 汤耀庆, 冯益民. 1992. 新疆北部及邻区大地构造. 北京: 科学出版社, 104~123.

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. 北京: 地质出版社, 1~841.

尹继元, 袁超, 王毓婧, 龙晓平, 关义立. 2010. 新疆西准噶尔晚古生代大地构造演化的岩浆活动记录. 大地构造与成矿学, 35(2): 278~291.

尹继元, 陈文, 肖文交, 罗勇, 张斌, 杨莉, 喻顺, 徐翠. 2016. 西准噶尔包古图 I 号岩体的锆石 U-Pb 年代学和地球化学特征. 吉林大学学报(地球科学版), 46(6): 1754~1768.

袁洪林, 吴福元, 高山, 柳小明, 徐平, 孙德有. 2003. 东北地区新生代侵入体的锆石激光探针 U-Pb 年龄测定与稀土元素成分分析. 科学通报, 48(14): 1511~1520.

张弛, 黄萱. 1992. 新疆西准噶尔蛇绿岩形成时代和环境讨论. 地质

论评, 38: 509~524.

张关龙, 林会喜, 张奎华, 许文国. 2018. 准噶尔盆地陆西地区石炭纪火山岩岩石学特征及其地质意义. 地质论评, 64(1): 77~90.

张雷, 王国灿, 高睿, 申添毅, 纵瑞文, 晏文博. 2015. 新疆西准噶尔石炭系碎屑锆石 U-Pb 年代学及其地质意义. 大地构造与成矿学, 39(4): 704~717.

张立飞. 1997. 新疆西准噶尔唐巴勒蓝片岩⁴⁰Ar/³⁹Ar 年龄及其地质意义. 科学通报, 42(20): 2178~2181.

张锐, 张云孝, 佟更生, 汪疆, 李龙乾. 2006. 新疆西准噶尔包古图地区斑岩铜矿找矿的重大突破及意义. 中国地质, 33(6): 1354~1360.

赵磊, 何国琦. 2016. 新疆西准噶尔萨尔托海地区英安岩锆石 U-Pb 年龄及其对达拉布特蛇绿岩侵入时限的约束. 北京大学学报(自然科学版), 52(5): 871~880.

郑波, 朱永峰, 安芳. 2014. 新疆包古图地区金矿床矿化类型和与围岩关系研究. 矿床地质, 33(3): 558~574.

周晶, 李建清, 韩宝福, 马芳, 龚俊峰, 徐芹芹, 郭召杰. 2008. 新疆北部基性岩脉⁴⁰Ar/³⁹Ar 年代学研究. 岩石学报, 24(5): 997~1010.

朱永峰, 徐新. 2006. 新疆塔尔巴哈台山发现早奥陶世蛇绿混杂岩. 岩石学报, 22(12): 2833~2842.

朱永峰, 何国琦, 安芳. 2007. 中亚成矿域核心地区地质演化与成矿规律. 地质通报, 26(9): 1167~1177.

Petrology and zircon U-Pb geochronology of tuffaceous conglomerate in the Xibeikulasi Formation, West Junggar, and its implication for sedimentary sequence

AN Fang¹⁾, WEI Shaoni²⁾, FANG Zhengkun¹⁾, ZHENG Bo³⁾, DENG Yang¹⁾

- 1) State Key Laboratory of Continental Dynamics, Department of Geology, Northwest University, Xi'an 710069, China;
- 2) College of Geology and Environment, Xi'an University of Science and Technology, Xi'an 710054, China;
- 3) Chengdu Centre, China Geological Survey, Chengdu 610081, China

Abstract

The Lower Carboniferous strata consisting of the Xibeikulasi, Baogutu and Tailegula formations are widely distributed in the Baogutu area in West Junggar. But their geological age and stratigraphic sequence have long been controversial. This study carried out the petrology and zircon U-Pb geochronology investigation on tuffaceous conglomerate in the Xibeikulasi Formation were studied in order to provide some basis for the age and sequence of Lower Carboniferous strata. Petrographical analysis shows that the conglomerate in tuffaceous conglomerate accounts for 45% and is composed of sub-angular siliceous rock(2~15 mm), crystal tuff, and tuff sandstone, and a small amount of limestone, cemented by crystal-bearing volcanic ash; fine-grained detrital rock is mainly fragments, feldspar and minor quartz and occurs in angular and sub-angular shapes, with grain size of 0.05~0.5 mm; and filling material is mainly volcanic ash. Zircon U-Pb dating reveals that the ²⁰⁶Pb/²³⁸U ages of the zircons vary mainly in the range of 327~382 Ma. The youngest peak at 330~335 Ma may represent the age of volcanic activity coincidence with the deposition of tuffaceous conglomerate, and the obvious peak at 345~360 Ma may represent the crystallization ages of most volcanic rock gravels in tuffaceous conglomerate. Several sets of ages are around 411~428 Ma, ~455 Ma and 482~504 Ma, which correspond to the ages of the Keramay, Darbut and Tangbale ophiolite mélanges, respectively. Our study shows that the deposition age of the Xibeikulasi Formation is Early Carboniferous Viséan. Combined with previous researches, it can concluded that the probable sequences of these three strata is Xibeikulasi, Baogutu, and Tailegula Formation from bottom to top.

Key words: Xibeikulasi Formation; tuffaceous conglomerate; zircon U-Pb age; West Junggar