

·基础地质·

青藏高原北部巴颜喀拉山群英安质沉凝灰岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄

张耀玲^{1,2}, 胡道功², 吴珍汉³, 郝爽⁴, 刘嘉麒⁵

ZHANG Yaoling^{1,2}, HU Daogong¹, WU Zhenhan², HAO Shuang⁴, LIU Jiaqi⁵

1. 中国地质大学(北京)地球科学与资源学院, 北京 100083;

2. 中国地质科学院地质力学研究所, 北京 100081;

3. 中国地质科学院, 北京 100037;

4. 天津地质矿产研究所, 天津 300170;

5. 中国科学院地质与地球物理研究所, 北京 100029

1. College of Earth Science and Resources, China University of Geoscience, Beijing 100083, China;

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

3. Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China;

4. Tianjin Institute of Geology and Mineral Resources, Tianjin 300170, China;

5. Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029, China

摘要:应用激光烧蚀多接收器电感耦合等离子体质谱仪(LA-ICP-MS)方法,对青藏高原北部卡巴纽尔多湖西牙扎康塞一带巴颜喀拉山群碎屑岩系英安质沉凝灰岩夹层中的锆石进行了U-Pb同位素测定。研究结果表明,除1个继承锆石²⁰⁶Pb/²³⁸U年龄为419±3Ma外,其余20个岩浆锆石的²⁰⁶Pb/²³⁸U年龄变化于242~254Ma之间,其中7个测点的²⁰⁶Pb/²³⁸U年龄加权平均值为244±2Ma(MSWD=1.3),代表了火山岩的喷发年龄,说明该地区巴颜喀拉山群形成于中三叠世早期,而非传统认为的晚三叠世。该套地层时代的确定,为进一步研究巴颜喀拉山群的物质组成与形成时代提供了新的证据。

关键词:巴颜喀拉山群;英安质沉凝灰岩;LA-ICP-MS;中三叠世;青藏高原

中图分类号:P597+.3 文献标志码:A 文章编号:1671-2552(2015)05-809-06

Zhang Y L, Hu D G, Wu Z H, Hao S, Liu J Q. LA-ICP-MS zircon U-Pb ages for dacitic tuffite from Bayan Har Group, northern Tibetan Plateau. Geological Bulletin of China, 2015,34(5):809-814

Abstract: Using laser ablation multiple collector inductively coupled plasma mass spectrometry (LA-ICP-MS) method, the authors determined U-Pb isotopes of the zircon from the dacitic tuffite interlayer of Bayan Har Group pyroclastic rock system of Yazhakang-sai area in west Kabaniuierdo Lake of northern Tibetan Plateau. Except for one inherited zircon whose ²⁰⁶Pb/²³⁸U age is 419±3Ma, the ²⁰⁶Pb/²³⁸U ages of 20 magmatic zircons vary from 242Ma to 254Ma, with the average ²⁰⁶Pb/²³⁸U age calculated from 7 samples being 244±2Ma (MSWD=1.3), which suggests that the formation of Bayanhar Group in this region took place in early Middle Triassic rather than in Late Triassic as considered by previous researchers. The determination of the stratigraphic age provides new evidence for further study of composition and formation age of Bayan Har Group.

Key words: Bayan Har Group; dacitic tuffite; LA-ICP-MS; Middle Triassic; Tibetan Plateau

收稿日期:2015-02-27;修订日期:2015-03-20

资助项目:中国地质调查局项目(编号:GZHL20120301)

作者简介:张耀玲(1984-),女,博士,助理研究员,从事火山岩与新构造研究。E-mail:yaoling_zhang@126.com

巴颜喀拉山群为广泛分布于青藏高原北部的一套泥质碎屑岩夹火山岩系,为青藏高原印支碰撞造山带的重要组成部分^[1-3]。现有资料认为,巴颜喀拉山群时代归属于三叠纪,但巴颜喀拉山群岩性单一、地层厚度巨大、变形复杂、难见顶底,且化石稀少,对巴颜喀拉山群各组级岩石地层单位的时代确定还存在分歧^[4-9]。笔者在1:25万卡巴纽尔多幅填图过程中,在卡巴纽尔多湖西牙扎康赛一带巴颜喀拉山群粉砂质板岩中发现3m厚的英安质沉凝灰岩夹层,对其进行LA-ICP-MS 锆石U-Pb 同位素测定,以约束巴颜喀拉山群的地层时代,为进一步研究巴颜喀拉山群物质组成与形成时代及印支碰撞造山带的构造演化历史提供新的资料。

1 野外地质特征

研究区位于可可西里松潘甘孜残留洋的中部(图1-a)。巴颜喀拉山群分布于东昆南断裂以南的

广大地区,从北至南由巴颜喀拉山群上亚群和中亚群组成(图1-b)。

巴颜喀拉山群中亚群出露于卡巴纽尔多以南地区,昆仑山口-甘德断裂以北岩性主要为灰绿色中厚层中细粒砂岩,厚度大于3000m。地层中未发现重要的生物化石,青海省区调综合地质大队(1983)^③在错木斗江章西侧采得孢粉 *Sphagnumsporites* sp., *Lundbladisora* sp., *Taeniaesperites* sp., *Punctatisportes* sp., *Aratrsportes* sp., *Cyadopites* sp., 并将其时代定为中三叠世。昆仑山口-甘德断裂以南地区,岩性主要为深灰色-灰黑色泥质、粉砂质板岩夹灰色中薄层细粒岩屑长石砂岩和薄层粉砂岩,地层厚度大于2000m。在牙扎康赛西南部板岩夹砂岩组灰黑色粉砂质板岩中发现3m厚的英安质沉凝灰岩,产状与下伏及上覆粉砂质板岩一致,均向南西倾斜,露头可见火山岩层东西向延伸约350m。前人在测区未获得确切的古生物化石依

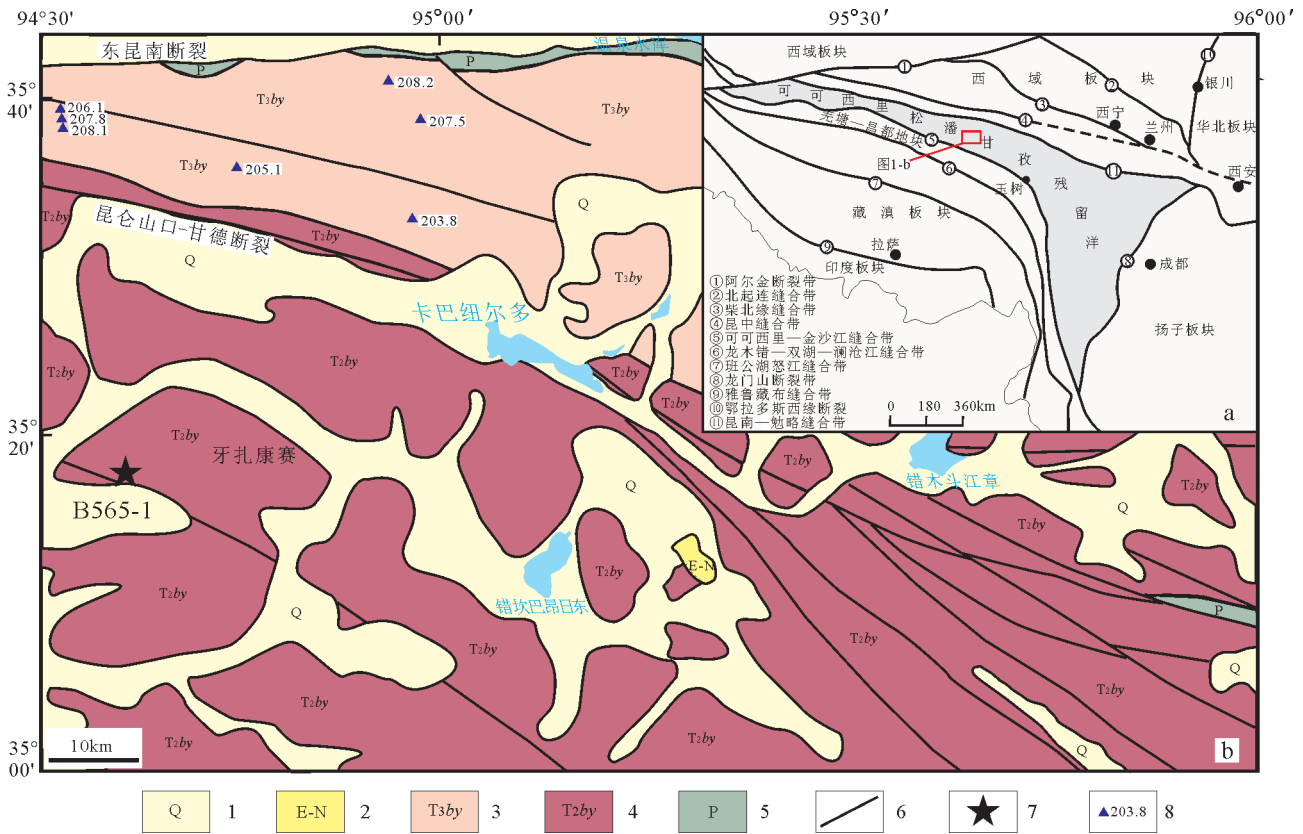


图1 卡巴纽尔多湖地区巴颜喀拉山群地质特征与取样位置(a据参考文献[6]修改)

Fig. 1 Geological characteristics of Bayan Har Group and sampling sites in Kabaniuertuo Lake area

1—第四系;2—古近系-新近系;3—巴颜喀拉山群上亚群;4—巴颜喀拉山群
中亚群;5—二叠系;6—断裂;7—采样点;8—采样点及年龄^[10]

据,青海省第一区调队(1981)在牙扎康赛一带钙质粉砂岩、砂质灰岩中曾采到海百合茎 *Traumatocrinus*, 时代属于三叠纪,但确切时代不能确定^①。1:25 万不冻泉幅根据采得的双壳类 *Holobiasp* 将其归为中一晚三叠世^②。

巴颜喀拉山群上亚群夹持于东昆南断裂与巴颜喀拉山群中亚群之间,为深灰、灰黑色绢云千枚岩、粉砂质板岩夹中细粒长石粉砂岩,地层厚度大于 4183m。在东昆南断裂南侧深灰色粉砂质板岩中见 5 层厚 0.5~3m 的英安岩和英安质凝灰熔岩等火山岩夹层,火山岩与千枚岩均发生褶皱变形,东昆仑造山带地质填图工作获得巴颜喀拉山群上亚群 7 个火山岩锆石 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄,为 203.8~208.2Ma^[10] (图 1)。

2 火山岩特征

测年样品英安质沉凝灰岩(B565-1)采自卡巴纽尔多湖西牙扎康赛西灰黑色粉砂质板岩中的火山岩夹层,火山岩层厚 3m(图 2-a)。镜下观察,新鲜的岩石具变余沉凝灰结构(图 2-b),由火山角砾(含量约 5%)、火山凝灰物(含量 50%~55%)及正常沉积物(含量 40%~45%)组成。火山凝灰物由晶屑(含量 15%)、岩屑(含量 15%)和玻屑(含量 35%)组成。晶屑为棱角状石英、钾长石、斜长石,大小为 0.05~2mm;岩屑为流纹岩及硅质岩、石英粗安岩、粗安岩、石英岩和细粒石英砂岩等,大小为 0.05~2mm。玻屑已脱玻为霏细状长英质绢云母化。火山角砾为棱角状流纹

岩,大小为 2~4mm。正常沉积物为砂砾级碎屑(含量 35%~45%)和粘土杂基组成的填隙物(含量 5%~10%)。砂砾级碎屑为次棱角一次圆状长石、石英和岩屑,大小为 0.1~4mm。与围岩平行的产状及沉凝灰结构说明,火山岩与沉积岩围岩时代一致。

3 实验方法

锆石按常规方法分选,再在双目镜下挑纯。将挑选的锆石颗粒用双面胶粘在玻璃板上,罩上 PVC 环,然后将环氧树脂和固化剂进行充分混合后注入 PVC 环中,待树脂充分固化后将样品靶从玻璃板上剥离,并对其进行打磨和抛光,然后对锆石进行显微镜下的反射光、透射光及阴极发光(CL)照相。

锆石 U-Th-Pb 同位素分析在天津地质矿产研究所同位素实验室新安装的激光烧蚀多接收器电感耦合等离子体质谱仪(LA-ICP-MS)系统上完成。其多接收器电感耦合等离子体质谱仪为 Thermo Fisher 公司制造的 Neptune,离子光学通路采用能量聚焦和质量聚焦的双聚焦设计,并采用动态变焦(ZOOM)使质量色散达到 17%。仪器配有 9 个法拉第杯接收器和 4 个离子计数器接收器。激光器为美国 ESI 公司生产的 UP193-FX ArF 准分子激光器,激光波长 193nm,脉冲宽度 5ns,束斑直径 2~150mm 可调,脉冲频率 1~200Hz 连续可调。本次测试根据锆石 CL 图像和透射光及反射光照片,利用 193nm 激光器对锆石进行剥蚀,设置的剥蚀坑直径为 35mm,激光能量密度为 13~14J/cm²,频率为 8~

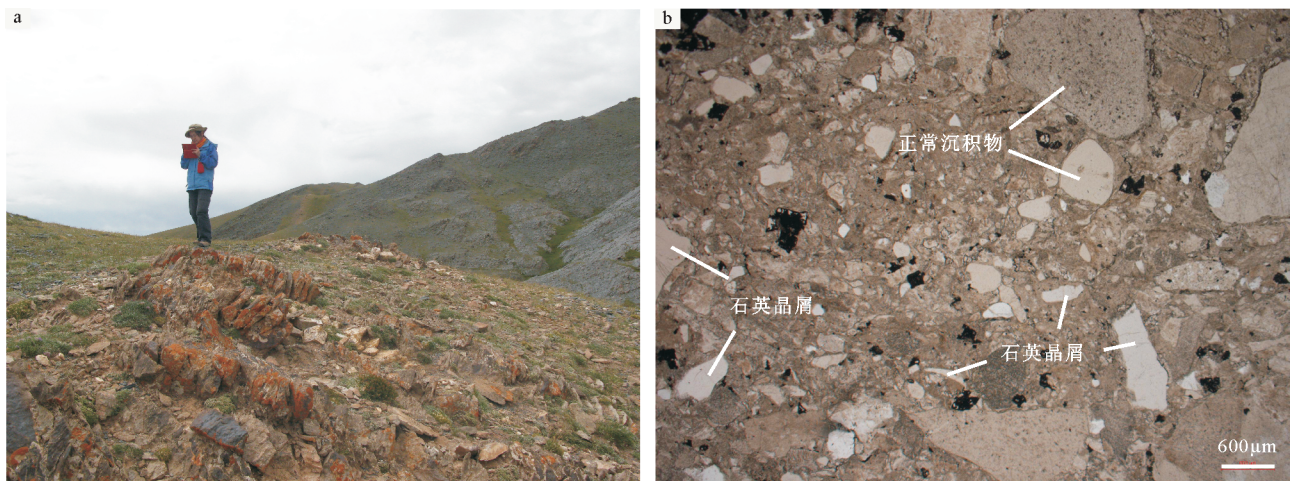


图 2 测年样品野外露头 and 显微照片

Fig. 2 Outcrop picture and photomicrographs of dating sample

a—黑色粉砂质板岩中英安质沉凝灰岩夹层;b—英安质沉凝灰岩(B565-1)显微照片

10Hz, 激光剥蚀物质以氦为载气送入 Neptune, 利用动态变焦扩大色散同时接收质量数相差很大的 U-Th-Pb 同位素, 从而进行锆石 U-Th-Pb 同位素原位测定。用 TEMORA 锆石标样和 NIST612 玻璃标样分别校正 U-Pb 分馏和 U、Th、Pb 含量。采用中国地质大学研发的 ICPMSDataCal 程序和 Ludwig 的 Isoplot 程序进行数据处理, 锆石微量元素含量和 U-Pb 同位素定年在中国地质大学(武汉)地质过程与矿产资源国家重点实验室(GPMR)利用 LA-ICP-MS 同时分析完成。激光剥蚀系统为 GeoLas 2005, ICP-MS 为 Agilent 7500a。对分析数据的离线处理(包括对样品和空白信号的选择、仪器灵敏度漂移校正、元素含量及 U-Th-Pb 同位素比值和年龄计算)采用软件 ICPMSDataCal^[11-12]完成。详细的仪器操作条件和数据处理方法同 Liu 等^[11-13]。锆石 U-Pb 谐和图绘制和年龄加权平均值计算均采用 Isoplot 完成^[14]。采用²⁰⁸Pb 校正法对普通铅进行校正。详细的实验流程见李怀坤等^[15]。实验分析结果见表 1, 测试数据的误差均为 1 σ 。由于样品年龄小于 1.0Ga, 年龄值采用²⁰⁶Pb/²³⁸U 年龄。

4 U-Th-Pb 同位素测试结果

英安质沉凝灰岩(B565-1)中的锆石为短柱状晶体。阴极发光(CL)图像显示, 锆石均发育岩浆振荡环带结构, 部分锆石含无环带结构的黑色继承锆

石核(图 3)。对 21 颗锆石的 21 个测点进行了 U-Th-Pb 同位素分析(表 1), 除 1 号测点为无环带结构的继承锆石外, 其余 20 个测点均位于具环带结构的岩浆锆石上, 且所有测点的 Th/U 值均大于 0.1, 说明样品中锆石均为岩浆锆石。

除 1 号无环带结构的继承锆石测点²⁰⁶Pb/²³⁸U 年龄为 419 \pm 3Ma 外, 其余 20 个岩浆成因锆石的²⁰⁶Pb/²³⁸U 年龄介于 242 \pm 1~254 \pm 2Ma 之间且在 U-Pb 谐和图中的投影点位于谐和线上或附近(图 4-a), 给出的年龄加权平均值为 248 \pm 2Ma (MSWD=5.2)。考虑到误差因素, 选取 8~12、15、19 号共 7 点参与计算的²⁰⁶Pb/²³⁸U 年龄加权平均值为 244 \pm 2Ma (MSWD=1.3, 图 4-b), 代表了火山岩的喷发年龄。

巴颜喀拉山群中碎屑锆石多显示不同程度的浑圆状, 内部结构复杂多样, 锆石 U-Pb 年龄显示出 400~500Ma、900~1000Ma、1800~1900Ma 及 2400~2500Ma 四个明显的集中区^③。牙扎康赛巴颜喀拉山群下亚群英安质沉凝灰岩中的锆石均为自形一半自形柱状晶体, 与经过搬运与磨圆的碎屑锆石明显不同, 其年龄应代表了火山岩喷发时代和巴颜喀拉山群下亚群的形成时代。

5 讨论和结论

青海省区调综合地质大队(1983)^①和青海第一区调队(1981)^②在卡巴纽尔多地区进行 1:20 万地质

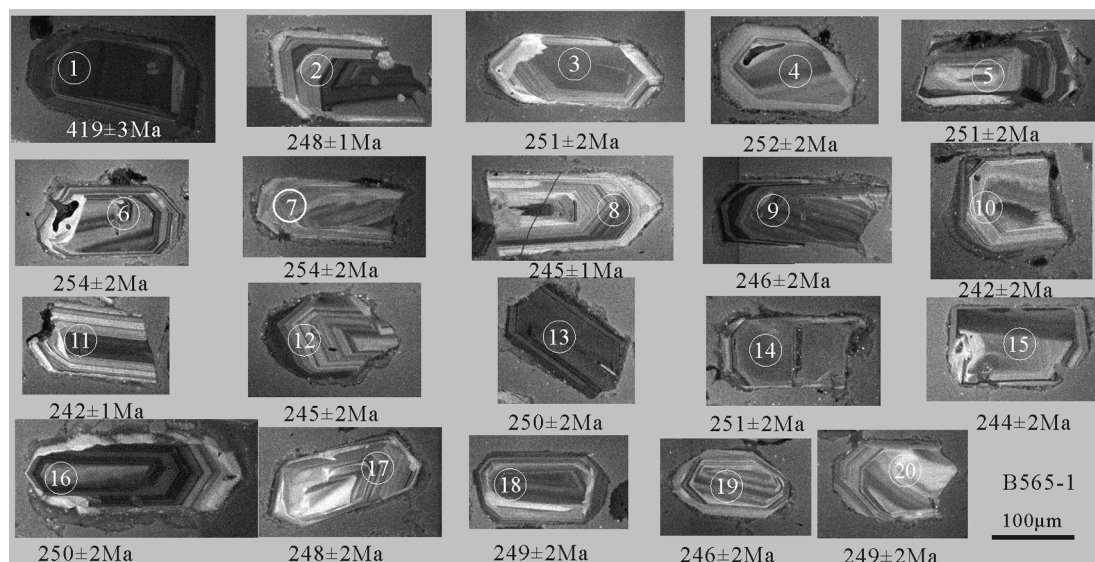


图 3 英安质沉凝灰岩(B565-1)锆石 CL 图像及²⁰⁶Pb/²³⁸U 年龄

Fig. 3 CL images for zircons from dacitic tuffite (B565-1) sample and ²⁰⁶Pb/²³⁸U ages

表 1 英安质沉凝灰岩(B565-1)锆石 U-Th-Pb 同位素测定结果

Table 1 U-Th-Pb data for zircons from dacitic tuffite (B565-1)

测点	Pb	U	Th	Th/U	同 位 素 比 值						年 龄 /Ma			
					$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1 σ	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	1 σ	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	1 σ	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1 σ	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	1 σ
1	20	268	136	0.52	0.0671	0.0004	0.5027	0.0046	0.0543	0.0005	419	3	385	3
2	12	293	131	0.46	0.0392	0.0002	0.2709	0.0042	0.0502	0.0008	248	1	203	3
3	4	95	60	0.65	0.0397	0.0003	0.2933	0.0108	0.0536	0.0019	251	2	356	13
4	3	51	30	0.61	0.0399	0.0003	0.2640	0.0117	0.0479	0.0021	252	2	97	4
5	8	200	63	0.32	0.0398	0.0003	0.2876	0.0055	0.0525	0.0010	251	2	306	6
6	6	137	76	0.57	0.0401	0.0003	0.2903	0.0067	0.0525	0.0012	254	2	306	7
7	7	141	114	0.83	0.0402	0.0003	0.2777	0.0071	0.0501	0.0013	254	2	198	5
8	8	194	65	0.34	0.0388	0.0002	0.2687	0.0049	0.0503	0.0009	245	1	207	4
9	9	220	105	0.49	0.0389	0.0002	0.2762	0.0046	0.0515	0.0009	246	2	262	4
10	4	102	68	0.69	0.0383	0.0002	0.2799	0.0101	0.0531	0.0019	242	2	331	12
11	12	295	122	0.43	0.0382	0.0002	0.2792	0.0037	0.0530	0.0007	242	1	329	4
12	5	115	44	0.39	0.0387	0.0002	0.2678	0.0090	0.0502	0.0017	245	2	203	7
13	8	197	76	0.40	0.0396	0.0002	0.2885	0.0059	0.0529	0.0011	250	2	324	7
14	5	121	58	0.49	0.0396	0.0002	0.2884	0.0096	0.0528	0.0017	251	2	319	10
15	7	159	80	0.52	0.0386	0.0002	0.2763	0.0064	0.0519	0.0012	244	2	280	6
16	18	449	170	0.39	0.0395	0.0002	0.2915	0.0028	0.0536	0.0005	250	2	352	3
17	6	134	125	0.96	0.0392	0.0002	0.2719	0.0071	0.0503	0.0013	248	2	210	5
18	9	218	101	0.47	0.0394	0.0003	0.2846	0.0052	0.0524	0.0009	249	2	304	5
19	4	86	65	0.78	0.0388	0.0003	0.2898	0.0114	0.0541	0.0021	246	2	377	14
20	4	88	54	0.64	0.0394	0.0003	0.2755	0.0144	0.0507	0.0027	249	2	227	12
21	6	136	82	0.62	0.0389	0.0003	0.2707	0.0075	0.0505	0.0014	246	2	220	6

填图时,在温泉水库南诺尔扎杂玛灰白色厚层灰岩透镜体中采到早三叠世菊石 *Mesohedenstroemia* sp., *Meoceras* cf. *infrequenskrafti*, 瓣鳃 *Posidonia* sp. nov., 珊瑚等化石。由于所采化石点位于东昆南缝合带

内,构造变形较强烈,不同时代的岩块相互混杂,灰岩中的化石能否代表巴颜喀拉山群的地层时代需要进一步研究,如青海第一区调队(1981)^②在煤矿沟一带混杂堆积中发现的外来灰岩岩块中含腕足

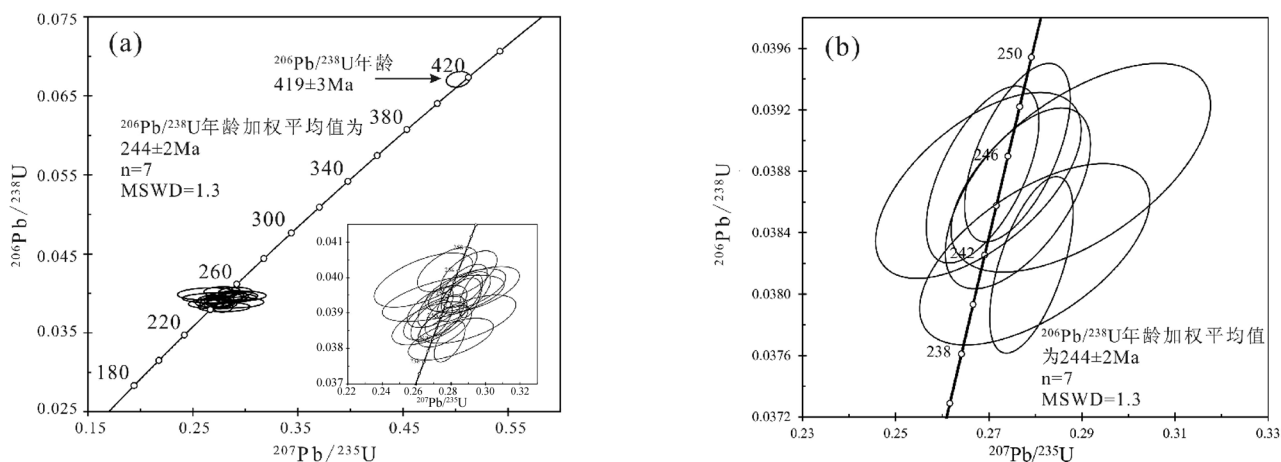


图 4 英安质沉凝灰岩锆石 U-Pb 谐和图

Fig. 4 Zircon U-Pb concordia diagram of dacitic tuffite sample

Athyrismininus Ustriski, *Dictyoclostus* sp., 簕 *Quasifusulina* sp. 等二叠纪和石炭纪化石。在错木斗江章西采集到中三叠世 *Lundbladisora*, *Taeniaesperites* 属和 *Punctatisportes*, *Aratrsporites*, *Cyadopites* 属的大量孢粉; 在者色东北砂质灰岩中采集到三叠纪海百合茎 *Traumatocrinus* sp., 确切的地质时代尚不能完全确定。可以看出, 以往根据上述为数不多且时代跨度很大的生物化石对巴颜喀拉山群形成时代的确定还存在很大的不确定性。

最新编制的 1:100 万青海省地质图^[6]和 1:150 万青藏高原及邻区地质图^[8]基本沿用了 1:20 万地质图划分方案, 将昆仑山口—甘德断裂以北的巴颜喀拉山群时代归属于早三叠世或早—中三叠世, 而昆仑山口—甘德断裂以南的巴颜喀拉山群为中—晚三叠世或晚三叠世。

根据新的国际地层划分原则与方案^[15], 早三叠世奥伦尼克期与中三叠世安尼期分界年龄为 $245.0 \pm 1.5\text{Ma}$, 与早三叠世印度期分界年龄为 $249.7 \pm 0.7\text{Ma}$; 三叠纪与侏罗纪的分界年龄为 $199.6 \pm 0.6\text{Ma}$, 而晚三叠世诺利期的上、下界年龄分别为 $203.6 \pm 1.5\text{Ma}$ 和 $216.5 \pm 2.0\text{Ma}$ 。

取自卡巴纽尔多湖西牙扎康赛的英安质沉凝灰岩锆石 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄为 $244 \pm 2\text{Ma}$, 属于中三叠世安尼期早期。因此, 该地区过去被认为是中—晚三叠世或晚三叠世的巴颜喀拉山群的时代应为中三叠世早期。巴颜喀拉山群形成时代的重新厘定, 对于认识巴颜喀拉盆地沉积历史及印支碰撞造山带的构造演化具有重要意义。

致谢: 成文过程中中国地质科学院矿产资源研究所赵文津院士和地质力学研究所吴中海研究员给予了有益的指点和建设, 野外工作期间得到了地质科学院地质力学研究所高万里和西藏拉巴次仁的协助, 在此一并致谢。

参考文献

[1] 青海省地质矿产局. 青海省区域地质志[M]. 北京: 地质出版社,

- 1991.
- [2] 青海省地质矿产局. 青海省岩石地层[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1997.
- [3] 许志琴, 杨经绥, 李化启, 等. 中国大陆印支碰撞造山系及其造山机制[J]. 岩石学报, 2012, 28(6): 1697-1709.
- [4] 张以弗, 庞存廉, 李长利, 等. 可可西里—巴彦喀拉三叠纪沉积盆地的形成和演化[M]. 西宁: 青海人民出版社, 1997.
- [5] 潘桂棠, 丁俊, 主编. 青藏高原及邻区地质图及说明书(1:1500000)[M]. 成都: 成都地图出版社, 2004.
- [6] 张雪亭, 杨生德, 杨站军, 主编. 青海省区域地质概论[M]. 北京: 地质出版社, 2007: 1-82.
- [7] 李荣社, 计文化, 杨永成, 等. 昆仑山及邻区地质[M]. 北京: 地质出版社, 2008: 147-150.
- [8] 王立全, 潘桂棠, 丁俊, 等. 青藏高原及邻区地质图及说明书(1:1500000)[M]. 北京: 地质出版社, 2013: 85-92.
- [9] 张雪亭, 王秉章, 俞建, 等. 巴颜喀拉残留洋盆的沉积特征[J]. 地质通报, 2005, 24(7): 613-620.
- [10] 胡道功, 刘凤山, 吴珍汉, 等. 欧美地质填图方法: 经验、试点与建议——以东昆仑造山带地质填图试验为例[M]. 北京: 地质出版社, 2013: 218-223.
- [11] Liu Y S, Gao S, Hu Z C, et al. Continental and oceanic crust recycling-induced melt-peridotite interactions in the Trans-North China Orogen: U-Pb dating, Hf isotopes and trace elements in zircons of mantle xenoliths[J]. Journal of Petrology, 2010, 51(1/2): 537-571.
- [12] Liu Y S, Hu Z C, Gao S, et al. In situ analysis of major and trace elements of anhydrous minerals by LA-ICP-MS without applying an internal standard[J]. Chemical Geology, 2008, 257(1/2): 34-43.
- [13] Liu Y S, Hu Z C, Zong K Q, et al. Reappraisal and refinement of zircon U-Pb isotope and trace element analyses by LA-ICP-MS[J]. Chinese Science Bulletin, 2010, 55(15): 1535-1546.
- [14] 李怀坤, 耿建珍, 郝爽, 等. 用激光烧蚀多接收器等离子体质谱仪(LA-ICP-MS)测定锆石 U-Pb 同位素年龄的研究[J]. 矿物岩石地球化学通报, 2009, 28(增刊): 77.
- [15] Gradstein F M, Ogg J G, Smith A, et al. A new geologic time scale, with special reference to Precambrian and Neogene[J]. Episodes, 2004, 27(2): 83-100.
- ① 青海省第一区调队. 1:20 万格尔木市幅、纳赤台幅区域地质调查报告. 1981.
- ② 王国灿, 李德威. 1:25 万库赛湖幅、不冻泉幅区域地质调查报告. 2006.
- ③ 青海省区调综合队. 1:20 万错坎巴昂东幅区域地质调查报告. 1983.