

# 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位时限的约束

赵磊<sup>1,†</sup> 何国琦<sup>2</sup>

1. 中国地质科学院地质研究所, 北京 100037; 2. 造山带与地壳演化教育部重点实验室, 北京大学  
地球与空间科学学院, 北京 100871; † E-mail: jleiz@163.com

**摘要** 新疆西准噶尔达拉布特蛇绿岩在其北东段萨尔托海地区被下石炭统火山岩-沉积岩不整合覆盖。对这  
套沉积-火山岩系中的英安岩进行 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年, 获得  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  加权平均年龄为  $349\pm 2$  Ma  
(早石炭世杜内期)。英安岩 REE 分配型式具有轻稀土富集、重稀土相对平坦、Eu 负异常明显的特点。微量  
元素原始地幔标准化图解中, 所有样品的标准化丰度都随着元素不相容性的增加而增大。与经典的弧英安岩  
以及埃达克火山岩相比, 太勒古拉组英安岩 Sr 含量平均值为  $195\text{ }\mu\text{g/g}$ , Sr/Y 平均值为 5.2, La/Yb 平均值为  
4.6, 远小于经典的弧英安岩和埃达克岩。结合太勒古拉组变形、变质微弱的特点, 认为早石炭世英安岩形成  
于板内裂谷环境, 且在早石炭世之前达拉布特蛇绿岩已经就位。

**关键词** 西准噶尔; 达拉布特蛇绿岩; 太勒古拉组; 英安岩; 锆石 U-Pb 年龄; 裂谷  
**中图分类号** P581

## LA-ICP-MS U-Pb Zircon Age of Dacite in Tailegula Formation and Their Constraints on Emplacement of Darbut Ophiolite in West Junggar

ZHAO Lei<sup>1,†</sup>, HE Guoqi<sup>2</sup>

1. Institute of Geology, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037; 2. The Key Laboratory of Orogenic Belts and  
Crustal Evolution (MOE), School of Earth and Space Sciences, Peking University, Beijing 100871; † E-mail: jleiz@163.com

**Abstract** The Darbut ophiolite in West Junggar is covered unconformably by sedimentary-volcanic series of  
Tailegula Formation in Sartohay region. LA-ICP-MS U-Pb dating on zircons from dacite gives the  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$   
weighted mean age of  $349\pm 2$  Ma, indicating that the Tailegula Formation was formed in Tournaisian of Early  
Carboniferous. The dacites show right-oriented linear REE patterns with LREE enrichment and negative Eu  
anomaly. In trace element primitive mantle normalized diagram, the standardized abundance of all samples  
increase as rising of the element incompatibility. The average Sr, Sr/Y, and La/Yb of dacites in Tailegula  
Formation are  $195\text{ }\mu\text{g/g}$ , 5.2 and 4.6, respectively, much less than those of classic arc dacites and adakites.  
Combined with low-grade deformation and metamorphism, the dacites in Tailegula Formation are suggested to  
erupt in rift environment.

**Key words** West Junggar; Darbut ophiolite; Tailegula Formation; dacite; zircon U-Pb dating; rift

达拉布特蛇绿岩带位于新疆西准噶尔地区克拉  
玛依市以北的扎伊尔山区, 以左旋走滑断裂——达  
拉布特断裂为界, 出露于该断裂的北西侧, 呈 NE-  
SW 向展布, 出露面积约  $50\text{ km}^2$ , NE 向延伸达 107

km (图 1), 代表古亚洲洋壳的残余, 对探讨古亚洲  
洋的构造演化具有重要意义<sup>[1-2]</sup>。关于达拉布特蛇  
绿岩的时代, 尤其是生成时代, 尚未形成统一的认  
识。刘希军等<sup>[3]</sup>认为达拉布特蛇绿岩带存在 302

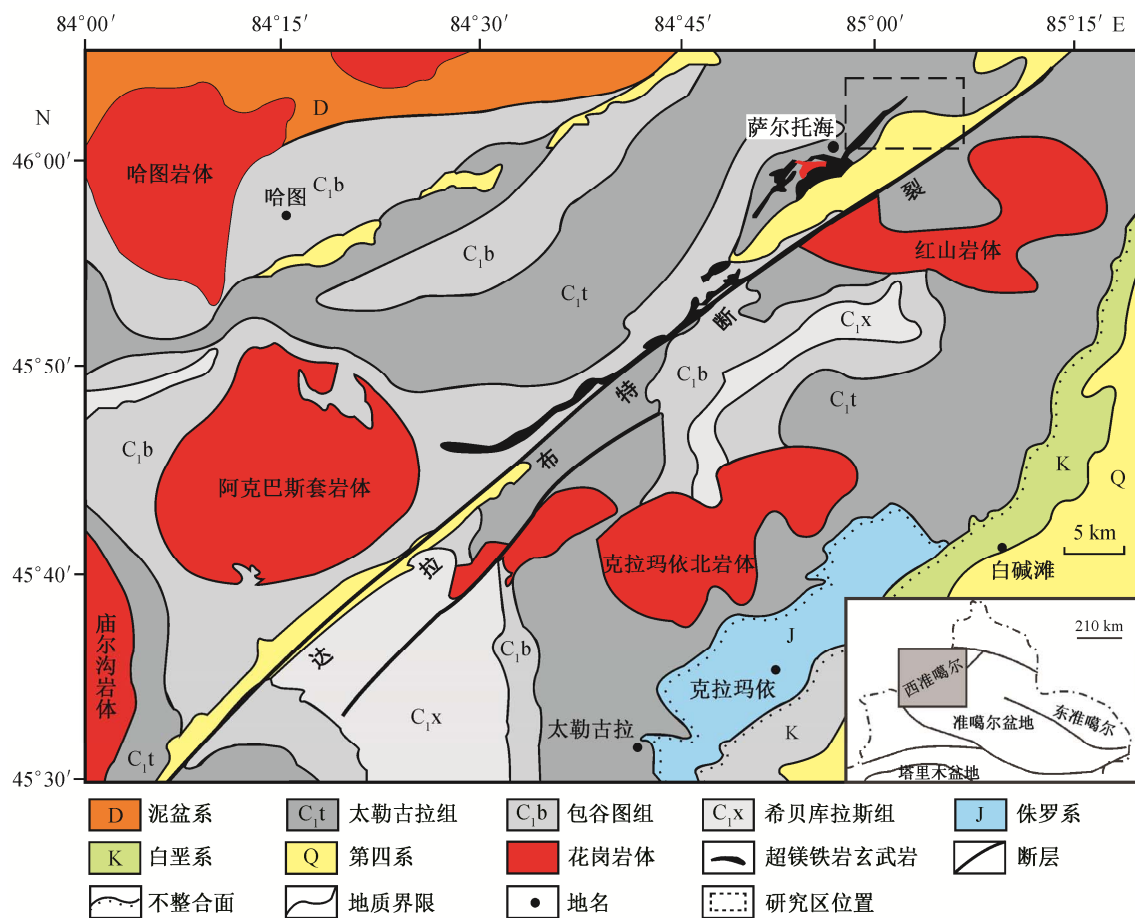


图 1 新疆西准地区地质简图(据文献[8]修编)  
Fig. 1 Geological sketch map of West Junggar (after Ref. [8])

Ma 的 E-MORB 型辉长岩。辜平等<sup>[4]</sup>采用 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 法得出的辉长岩  $391 \pm 7$  Ma 年龄, 与  $395 \pm 12$  Ma 的 Sm-Nd 等时线年龄<sup>[5]</sup>以及肖序常等<sup>[6]</sup>的早-中泥盆世放射虫时代相近。因此, 有学者提出 390 Ma 左右的达拉布特蛇绿岩是西准地区最年轻的蛇绿岩<sup>[7-9]</sup>。但是, 达拉布特蛇绿岩带还存在奥陶纪放射虫<sup>[10]</sup>和牙形石<sup>[11]</sup>证据。陈博等<sup>[12]</sup>获得角闪辉长岩的锆石 SHRIMP 年龄为  $426 \pm 6$  Ma。侵入到达拉布特蛇绿岩的花岗岩年龄限定了该蛇绿岩的侵位时代不晚于 308 Ma<sup>[8]</sup>。Zhu 等<sup>[13]</sup>编制了一幅西准地区地质图, 并报道在达拉布特蛇绿岩带的北东段萨尔托海处, 达拉布特蛇绿岩被一套沉积-火山岩系不整合覆盖。本文对这套沉积-火山岩系中的英安岩进行 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年, 提出达拉布特蛇绿岩的侵位时代不晚于  $349 \pm 2$  Ma, 并结合英安岩的地球化学研究, 分析西准地区晚古生代大地构造演化特征。

## 1 区域地质概况和样品采集

新疆西准地区在构造区划上属于哈萨克斯坦-准噶尔板块东部的一部分<sup>[14]</sup>。这一地区地质构造复杂, 出露多条蛇绿岩带。达拉布特蛇绿岩带内各单元发育齐全, 带内各岩块多以断裂为界混杂堆叠, 且在东段发育豆荚状铬铁矿。本文研究区出露的地层以下石炭统为主, 分为太勒古拉组( $C_{1t}$ )、包谷图组( $C_{1b}$ )和希贝库拉斯组( $C_{1x}$ )(图 1)。

太勒古拉组分布于西准噶尔哈图山以东, 达拉布特河两岸。主要为一套细粒复理石火山碎屑-硅泥质沉积岩, 含海相基性火山岩和硅质岩建造, 岩石组合为灰绿色火山灰凝灰岩和层凝灰岩互层, 夹灰绿色杏仁状玄武岩和紫红色硅质岩, 局部有透镜状生物碎屑灰岩<sup>[15]</sup>。太勒古拉组中生物化石的时间跨度很大, 从早泥盆世到晚石炭世化石组合(珊瑚、腕足、放射虫和植物化石)均有, 导致根据生

物化石确定的该组时代具有较大争议: 1) 中、晚石炭世<sup>[16]</sup>; 2) 中泥盆世<sup>[17]</sup>; 3) 不限于泥盆纪, 也可延至早石炭世<sup>[18-19]</sup>。包古图地区太勒古拉组玄武岩的锆石 LA-ICP-MS U-Pb 年龄为  $358 \pm 5$  Ma<sup>[20]</sup>, 宝贝金矿区太勒古拉组中酸性凝灰岩的锆石 SHRIMP 年龄为  $328 \pm 2$  Ma<sup>[21]</sup>, 玄武岩的  $^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$  年龄为 297 和 312 Ma<sup>[22]</sup>。包古图组主要出露于包古图河流域, 由薄层状凝灰质粉砂岩和砂岩、凝灰岩互层组成, 含大量浊流和滑塌堆积的灰岩、泥灰岩和生物碎屑灰岩透镜体。底部灰岩中产腕足类、珊瑚和筴类化石, 均为维宪期分子<sup>[16]</sup>。希贝库拉斯组出露于包古图河东侧希贝库拉斯一带, 为一套火山碎屑岩夹碳酸盐岩建造, 由厚层块状凝灰质含砾杂砂岩与凝灰质粉砂岩、凝灰岩互层组成, 含大量浊流沉积的灰岩、泥岩和生物碎屑灰岩岩块或透镜体, 含早石炭世植物化石<sup>[19]</sup>。

在达拉布特蛇绿岩带的北东段萨尔托海处, 下石炭统太勒古拉组的一套沉积-火山岩系不整合覆盖在达拉布特蛇绿岩之上(图 2)。不整合面之下是蛇绿混杂岩中变形强烈的硅质岩和硅质碎屑岩部分, 地层产状近直立, 其间发育密集的劈理。不整合面之上是基本上未变质变形的凝灰岩夹大套的英安岩和安山岩(图 3)。锆石 U-Pb 定年样品(SETH-6)采自其中的英安岩部分(地理坐标为  $46^{\circ}04'41.7''\text{N}$ ,  $85^{\circ}05'03.4''\text{E}$ )。

## 2 样品采集和分析方法

锆石单矿物分离在河北省诚信地质服务有限公司完成。将原岩样品粉碎, 用常规方法进行重力选和电磁选后, 在双目显微镜下挑选锆石。将完整的

典型锆石颗粒置于 DEVCON 环氧树脂中, 待固结后磨片抛光, 使锆石内部充分暴露, 然后进行显微(反射光和透射光)照相和阴极发光(CL)照相。锆石的透射光、反射光和阴极发光照相在北京离子探针中心完成。LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年测试在中国地质科学院矿产资源研究所 MC-ICP-MS 实验室完成, 所用仪器为 Finnigan Neptune 型 MC-ICP-MS 以及与之配套的 Newwave UP 213 激光剥蚀系统。激光剥蚀所用斑束直径为  $25\text{ }\mu\text{m}$ , 频率为 10 Hz, 能量密度约为  $2.5\text{ J/cm}^2$ , 以 He 为载气。均匀锆石颗粒  $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ ,  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  和  $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$  的测试精度 ( $2\sigma$ ) 均为 2% 左右, 对锆石标准的定年精度和准确度在 1% ( $2\sigma$ ) 左右。数据处理采用 ICPMSDataCal 程序<sup>[23]</sup>, 锆石年龄谐和图用 Isoplot 3.0 程序获得。测试过程、分析步骤和数据处理的详细方法可参见文献<sup>[24]</sup>。

样品的主量、微量和稀土元素测试在中国地质科学院国家地质实验测试中心和中核集团核工业北京地质研究院分析测试研究所完成。其中, 主量元素检测在 X 荧光光谱仪上完成, 方法精密度  $\text{RSD} < 2\% \sim 8\%$ ; 微量和稀土元素用等离子质谱仪 ICP-MS 测定, 方法精密度  $\text{RSD} < 10\%$ 。

本研究区的太勒古拉组火山岩形成于早石炭世, 形成后遭受不同程度的变质和蚀变, 导致某些性质活泼的主量元素(如 Na, K)、大离子亲石元素(LILE)、Rb 和 Ba 活化, 浓度发生改变, 因而不能用全碱-二氧化硅(TAS)图解来鉴别火山岩的碱性/亚碱性属性。因此在火山岩分类及随后的岩石成因讨论中, 主要考虑不活泼元素(如稀土元素(REE)、高场强元素(HFSE)和 Th, Ti, Cr, Ni, Fe, Mg 等)。

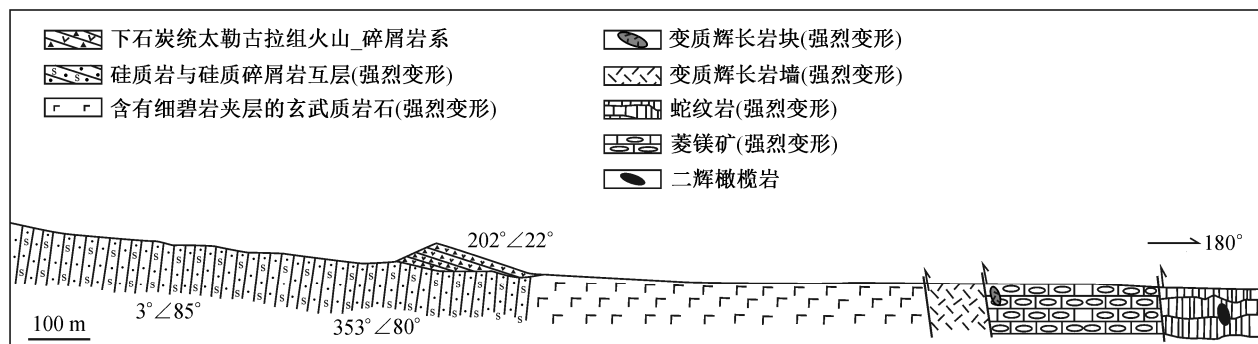
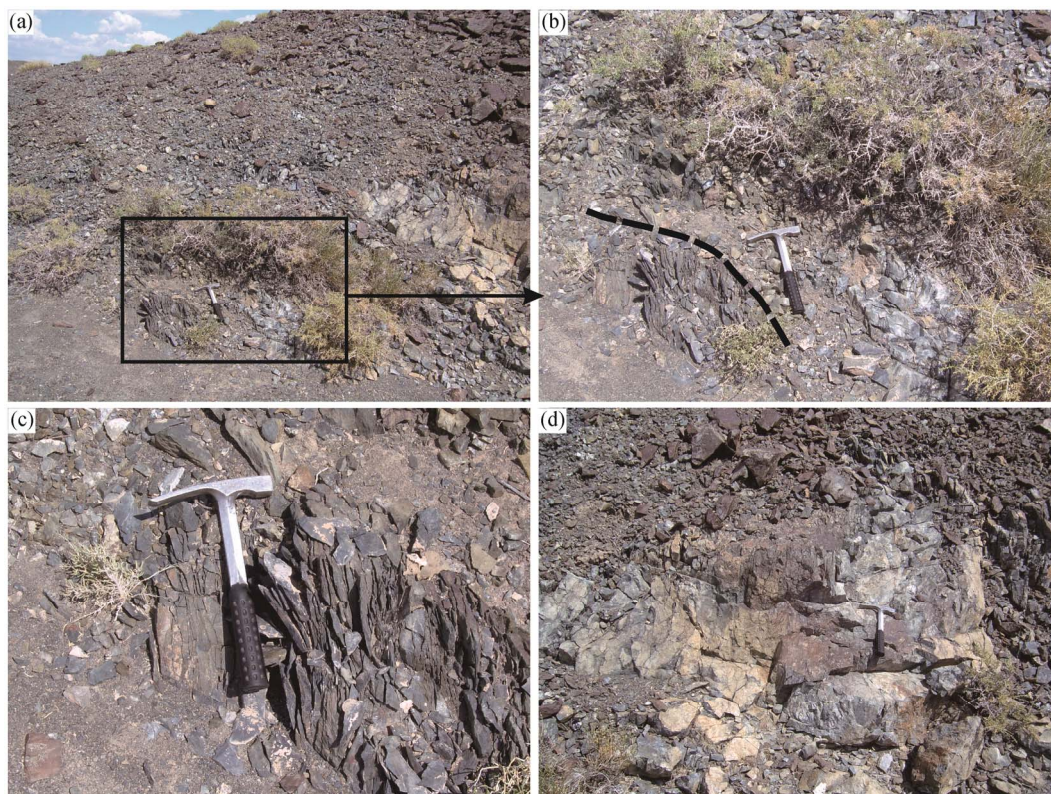


图 2 达拉布特蛇绿岩萨尔托海段剖面<sup>[13]</sup>

Fig. 2 Geological section showing Sartohay ophiolite<sup>[13]</sup>





(a)和(b) 达拉布特蛇绿岩被石炭系太勒古拉组不整合覆盖; (c) 不整合面之下蛇绿混杂岩中变形强烈的硅质岩和硅质碎屑岩部分; (d) 不整合面之上的太勒古拉组沉积-火山岩系

图 3 达拉布特蛇绿岩带萨尔托海段盖层岩石照片

Fig. 3 Outcrop of rocks overlying the ophiolite in Sartohay region

### 3 分析结果

#### 3.1 英安岩锆石 U-Pb 定年结果

用于测试的锆石为无色透明或浅黄色, 大部分颗粒结晶较好, 晶形呈长柱状, 少数为等粒状。从锆石的阴极发光图像(图 4)可以看出, 锆石具有明显的带状振荡环带或扇形分带。锆石中 U, Th 含量较高, 分别介于 19~230 和 15~311  $\mu\text{g/g}$  之间; 锆石的 Th/U 比值也较高, 在 0.48~2.79 之间(表 1), 表明所测定的锆石具有岩浆成因特征<sup>[25]</sup>。24 个组分分析结果(表 1)显示,  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  表面年龄值比较集中, 多位于谐和线上(图 5), 介于 341~359 Ma 之间,  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  加权平均年龄为  $349 \pm 2$  Ma (MSWD=1.4), 可以代表岩体的形成时代, 表明太勒古拉组英安岩形成于早石炭世杜内期。

#### 3.2 岩石地球化学分析结果

挑选 7 件有代表性的新鲜样品进行主量、稀土、微量元素分析, 结果见表 2。

#### 3.2.1 主量元素

英安岩的  $\text{SiO}_2$  含量为 63.8%~69.92%。 $\text{CaO}$  和  $\text{Na}_2\text{O}$  含量较低, 分别为 1.67%~2.51% 和 0.74%~2.54%,  $\text{Na}_2\text{O}$  含量为 3.46%~6.68%,  $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O} > 1$ , 显示相对富钠贫钾特征。 $\text{FeO}^{\text{T}}$  (3.43%~5.17%)、 $\text{TiO}_2$  (0.47%~0.77%) 和  $\text{MgO}$  (1.08%~1.72%) 含量也较低,  $\text{Mg}^{\#}$  指数为 35.83~37.77。 $\text{Al}_2\text{O}_3$  含量中等, 为 13.71%~16.35%, A/CNK 指数为 0.96~1.10。

在  $\text{SiO}_2$ -Zr/TiO<sub>2</sub> 图解<sup>[26]</sup>中(图 6), 所有样品均落入亚碱性流纹岩-英安岩区域。利用 AR 碱度率值 ( $\text{AR} = (\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{CaO} + \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}) / (\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{CaO} - \text{Na}_2\text{O} - \text{K}_2\text{O})$ )<sup>[27]</sup> 计算, 英安岩均属钙碱系列。

#### 3.2.2 微量元素和稀土元素

英安岩的稀土总量为 106.42~149.99  $\mu\text{g/g}$ , 稀土元素(REE)分配型式和微量元素原始地幔标准化图解特点(图 7)与天山石炭纪酸性裂谷火山岩的地球化学特点相似。其中, REE 分配型式具有轻稀土(LREE)富集( $\text{La}_\text{N}/\text{Yb}_\text{N} = 2.78 \sim 3.75$ )、重稀土(HREE)



图4 萨尔托海太勒古拉组英安岩样品锆石的阴极发光图像  
Fig. 4 CL images of Zircon crystals from the dacite in Tailegula Formation

相对平坦、Eu 负异常明显( $\delta\text{Eu}=0.56\sim0.89$ )的特点(表 2)。微量元素原始地幔标准化图解中,随着元素的不相容性向着图的左侧增高,所有样品的标准化丰度都随之增加。Sr, P, Ti 的负异常分别与斜长石、磷灰石和 Fe-Ti 氧化物的分离结晶作用一致。Nb 和 Ti 相对于与它们具有相似相容性的 LILE 和 REE 的亏损也是岩浆弧的特点。这一特点可能与岩石圈地幔源区的前石炭纪消减富集作用有关。

## 4 讨论

### 4.1 太勒古拉组的时代

西准地区构造活动强烈,地层产状近于直立,并遭受强烈的片理化和风化破碎,因此很难根据产状判断太勒古拉组与其上下地层的层序。这套地层

中缺乏具有准确时代意义的标准化石,并混杂泥盆纪和志留纪的化石<sup>[19-20]</sup>,给地层时代的确定带来困难。位于萨尔托海地区西部约 70 km 处的宝贝矿区获得酸性凝灰岩锆石 U-Pb 年龄  $328\pm2\text{ Ma}$ <sup>[21]</sup>,但是该矿区位于达拉布特断裂以北,地层受到强烈构造扰动。在地层层序保持完好的包古图地区,测得太勒古拉组玄武岩的锆石 U-Pb 年龄为  $358\pm5\text{ Ma}$ <sup>[20]</sup>,与本文获得的  $349\pm2\text{ Ma}$  年龄接近。因此,太勒古拉组的时代应该是晚泥盆世至早石炭世,不会延入晚石炭世。

### 4.2 英安岩的构造环境及其意义

对于新疆西准地区石炭纪火山岩的产出环境主要有两种观点:一部分研究者认为西准噶尔地区晚古生代处于洋内弧发育阶段<sup>[30-33]</sup>,发育石炭纪火山

表 1 萨尔托海英安岩锆石 U-Th-Pb 同位素分析结果  
Table 1 Zircon LA-ICP-MS U-Pb analytical data of sample SETH-6 from the dacite in Sartohay region

测点	总 Pb/ ( $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ )	$^{232}\text{Th}/$ ( $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ )	$^{238}\text{U}/$ ( $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ )	Th/U	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$		$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$		$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ 年龄/Ma		$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄/Ma	
					比值	误差(1 $\sigma$ )	比值	误差(1 $\sigma$ )	年龄	误差(1 $\sigma$ )	年龄	误差(1 $\sigma$ )
SETH-6-3	65	56	86	0.65	0.434	0.006	0.0564	0.0006	366	4	353	3
SETH-6-5	247	234	224	1.04	0.404	0.005	0.0545	0.0006	345	3	342	4
SETH-6-6	97	90	88	1.02	0.403	0.006	0.0543	0.0007	344	4	341	4
SETH-6-7	111	92	125	0.73	0.420	0.006	0.0547	0.0006	356	4	343	3
SETH-6-8	82	69	79	0.88	0.429	0.006	0.0552	0.0006	362	4	346	4
SETH-6-10	269	230	230	1.00	0.464	0.006	0.0569	0.0007	387	4	357	4
SETH-6-11	156	141	125	1.13	0.423	0.006	0.0561	0.0006	358	4	352	4
SETH-6-12	105	98	102	0.96	0.436	0.007	0.0559	0.0007	368	5	351	4
SETH-6-13	143	129	119	1.08	0.441	0.006	0.0563	0.0007	371	4	353	4
SETH-6-14	136	131	117	1.13	0.436	0.007	0.0565	0.0006	367	5	354	4
SETH-6-15	210	213	117	1.83	0.412	0.006	0.0559	0.0006	351	4	351	4
SETH-6-16	300	311	204	1.52	0.418	0.006	0.0561	0.0007	355	4	352	4
SETH-6-17	73	75	70	1.07	0.421	0.006	0.0559	0.0007	357	5	350	4
SETH-6-18	34	37	48	0.77	0.434	0.008	0.0562	0.0007	366	5	352	4
SETH-6-19	94	92	96	0.96	0.440	0.006	0.0567	0.0006	370	4	355	4
SETH-6-20	27	25	31	0.79	0.427	0.008	0.0553	0.0007	361	6	347	4
SETH-6-21	16	15	19	0.80	0.433	0.014	0.0551	0.0010	365	10	346	6
SETH-6-22	94	85	74	1.14	0.428	0.006	0.0562	0.0007	362	4	353	4
SETH-6-23	280	289	104	2.79	0.419	0.006	0.0562	0.0006	355	4	353	4
SETH-6-25	24	17	36	0.48	0.417	0.008	0.0549	0.0007	354	5	345	4
SETH-6-26	66	59	60	0.98	0.424	0.007	0.0555	0.0006	359	5	348	4
SETH-6-27	220	191	153	1.25	0.447	0.008	0.0573	0.0010	375	6	359	6
SETH-6-28	30	27	43	0.62	0.406	0.006	0.0547	0.0005	346	4	344	3
SETH-6-30	174	140	197	0.71	0.421	0.005	0.0554	0.0005	357	4	348	3

岩及同时期的埃达克质中酸性侵入岩<sup>[34]</sup>, 这些火山岩的性质较为复杂, 如玛里雅蛇绿岩中的火山岩, 包括 MORB, OIB 和 IAB 等类型<sup>[35]</sup>, 与典型的洋中脊俯冲所形成的岩浆产物类似<sup>[36]</sup>; 另一部分研究者, 如 Zhu 等<sup>[2,13]</sup>则认为, 在早石炭世早期, 古生代洋盆已经闭合, 西准噶尔地区发展到造山后伸展阶段, 伴随有强烈的大陆火山活动, 形成石炭纪火山盆地。

与经典的弧英安岩以及埃达克火山岩<sup>[37]</sup>相比(表 3), 太勒古拉组英安岩 Sr 含量平均为 195  $\mu\text{g}/\text{g}$ , Sr/Y 平均值为 5.2, La/Yb 平均值为 4.6, 远小于经典的弧英安岩和埃达克岩; Y 和 Yb 含量远大于埃达克岩, 与经典的弧英安岩类似; La 含量却小于经

典弧英安岩的 1/2。与下伏前石炭纪地层相比, 太勒古拉组基本上未变形, 变质程度较轻。结合稀土元素分配型式和微量元素原始地幔标准化图解特点, 我们认为本文所研究的英安岩可能形成于板内裂谷环境。

天山及邻区(包括准噶尔地区和天山地区, 直至塔里木盆地北缘)早石炭世火山岩系与下伏地层(包括前寒武纪结晶基底和前石炭纪褶皱基底)之间呈广泛的区域性不整合接触关系<sup>[38]</sup>。这一规模巨大的区域性角度不整合面上下的地层, 在岩相古地理、变质程度和变质样式上均迥然有别。不整合面之上, 石炭纪火山岩系地层变质轻微或未变质, 变形不强烈, 呈舒缓褶皱; 不整合面之下, 地层深度

表 2 萨尔托海英安岩的主量元素(%)和微量元素( $\mu\text{g/g}$ )分析结果  
Table 2 Major elements (%) and trace elements ( $\mu\text{g/g}$ ) of the dacite in Sartohay region

组分	含量						
	SETH-3	SETH-4	SETH-5	SETH-6	SETH-7	SETH-8	SETH-9
SiO <sub>2</sub>	64.4	64.95	65.72	69.92	69.26	63.96	63.8
TiO <sub>2</sub>	0.60	0.56	0.67	0.47	0.51	0.77	0.71
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15.55	16.19	15.07	13.71	14.05	16.35	15.56
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> <sup>T</sup>	5.07	4.93	5.75	3.82	4.07	5.61	5.65
FeO <sup>T</sup>	4.56	4.44	5.17	3.43	3.66	5.05	5.09
FeO	3.50	3.13	3.59	2.57	3.04	4.15	3.69
MgO	1.45	1.39	1.64	1.08	1.24	1.72	1.68
CaO	2.43	2.28	2.19	2.02	1.68	1.67	2.51
MnO	0.12	0.12	0.13	0.10	0.09	0.14	0.16
Na <sub>2</sub> O	2.54	5.45	4.53	3.46	4.59	6.68	5.66
K <sub>2</sub> O	5.53	2.11	2.12	3.33	2.31	0.74	1.36
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.12	0.29	0.17	0.11	0.12	0.20	0.18
LOI	1.91	1.68	1.94	1.43	1.71	1.75	2.25
总和	104.28	104.38	105.10	102.88	103.28	104.64	104.60
Mg <sup>#</sup>	36.15	35.83	36.09	35.91	37.62	37.77	37.05
Rb	126	49.3	48.7	77.2	51.1	14.8	28.9
Ba	1076	418	492	596	443	154	293
Th	6.86	6.40	5.00	5.28	3.84	3.98	3.99
U	1.88	1.99	1.54	1.53	1.25	1.3	1.31
Nb	7.18	7.99	6.08	6.60	4.87	6.76	5.28
Ta	0.54	0.57	0.46	0.48	0.55	0.47	0.37
Sr	200	190	166	156	212	223	220
Y	38.3	41.2	36.2	33.5	31.7	43.0	40.2
Zr	220	253	187	178	168	243	192
Hf	7.07	7.69	5.87	5.66	5.38	6.32	5.36
La	23.1	23.8	19.4	18.2	17.3	23.7	18.5
Ce	52.0	53.4	44.6	41.1	37.1	51.6	39.6
Pr	6.83	7.07	6.03	5.40	4.86	7.08	5.46
Nd	28.0	29.0	24.8	22.4	21.7	31.4	25.2
Sm	6.72	6.64	6.04	5.32	4.97	7.09	6.1
Eu	1.25	1.41	1.32	1.07	1.25	2.01	1.63
Gd	6.87	6.77	6.29	5.47	4.46	6.46	5.78
Tb	1.07	1.12	0.97	0.86	0.917	1.41	1.19
Dy	6.75	7.18	6.45	5.54	5.43	7.45	6.25
Ho	1.43	1.52	1.40	1.17	1.09	1.34	1.31
Er	4.04	4.35	3.79	3.38	2.99	4.17	4.41
Tm	0.70	0.80	0.64	0.55	0.59	0.77	0.76
Yb	4.71	5.49	4.45	3.92	3.31	4.82	4.78
Lu	0.70	0.76	0.63	0.54	0.45	0.69	0.70
ΣREE	144.17	149.31	126.81	114.92	106.42	149.99	121.67
(La/Yb) <sub>N</sub>	3.52	3.11	3.13	3.33	3.75	3.53	2.78
δEu	0.56	0.64	0.65	0.60	0.80	0.89	0.83

说明: SETH-3, 4, 5, 6 的测试在中国地质科学院国家地质实验测试中心完成, SETH-7, 8, 9 的测试在中核集团核工业北京地质研究院分析测试研究所完成。 $\text{Mg}^{\#}=100\times\text{Mg}/(\text{Mg}+\text{Fe}^{2+})$ 。

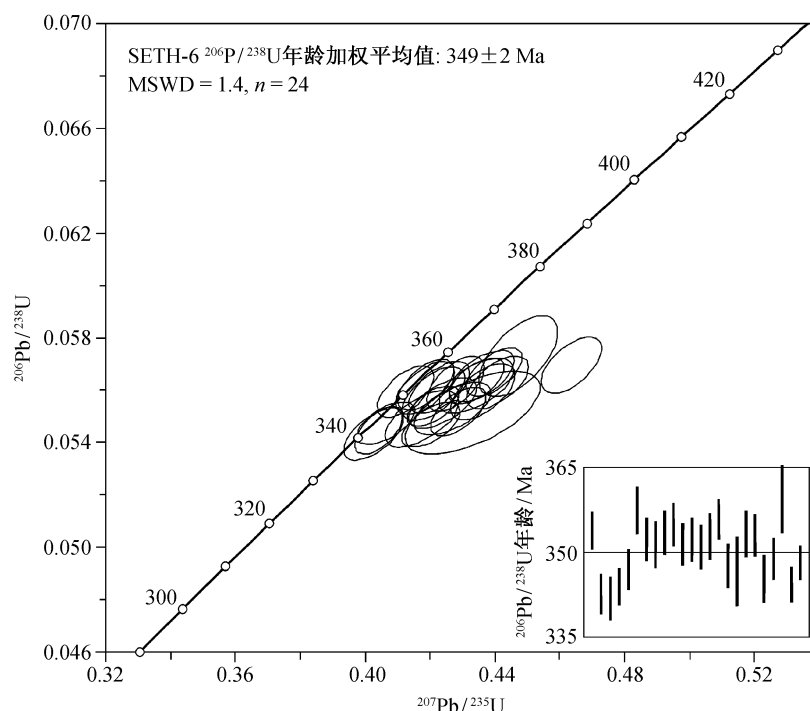


图 5 萨尔托海太勒古拉组英安岩锆石 U-Pb 谐和图  
Fig. 5 Zircon U-Pb concordia diagram of the dacite in Tailegula Formation

表 3 太勒古拉组英安岩与经典的弧英安岩以及埃达克火山岩比较  
Table 3 Comparison among the dacites in Tailegula Formation, classic arc dacites and adakites

岩石	主量元素含量/%		微量元素含量/( $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ )				Sr/Y	La/Yb	Eu 异常
	SiO <sub>2</sub>	K <sub>2</sub> O	Sr	La	Y	Yb			
经典的弧英安岩	68.22	3.37	380	48.1	47	4.40	8.10	11.0	负异常
adakites	64.66	1.72	706	19.0	10	0.93	68.7	20.0	无负异常
太勒古拉组英安岩	66.00	2.07	195	20.6	38	4.50	5.20	4.6	负异常

说明: 经典的弧英安岩以及埃达克火山岩数据来自文献[37]。

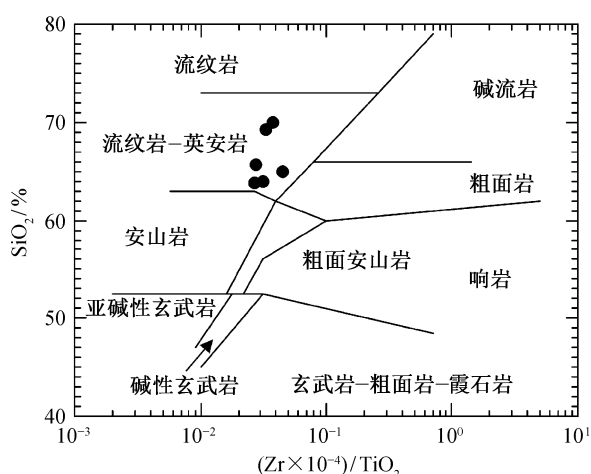


图 6 萨尔托海太勒古拉组英安岩 SiO<sub>2</sub>-Zr/TiO<sub>2</sub> 图解  
(底图据文献[26])

Fig. 6 Diagrams of SiO<sub>2</sub> vs. Zr/TiO<sub>2</sub> for the dacite in Tailegula Formation (after Ref. [26])

变质, 具强烈褶皱变形。这些特征暗示下石炭统之下的不整合面应代表一个重大的地质事件, 即在古生代洋盆(古亚洲洋)闭合之后, 又发生广泛的裂谷伸展<sup>[2,38-39]</sup>。

太勒古拉组英安岩不整合于达拉布特蛇绿岩之上<sup>[13]</sup>, 且属于裂谷阶段的产物, 说明达拉布特蛇绿岩在 349 Ma 之前已经完成侵位。西准及其邻区东哈萨克斯坦地区的早古生代洋盆, 在俯冲消减过程中并没有发生最终的陆壳碰撞而完全闭合, 而是形成西准-东哈萨克斯坦晚古生代残余洋盆, 处于板内演化的大地构造环境<sup>[1,40]</sup>。

## 5 结论

1) LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年结果表明, 萨尔托海英安岩年龄为 349 ± 2 Ma。该英安岩不符合弧



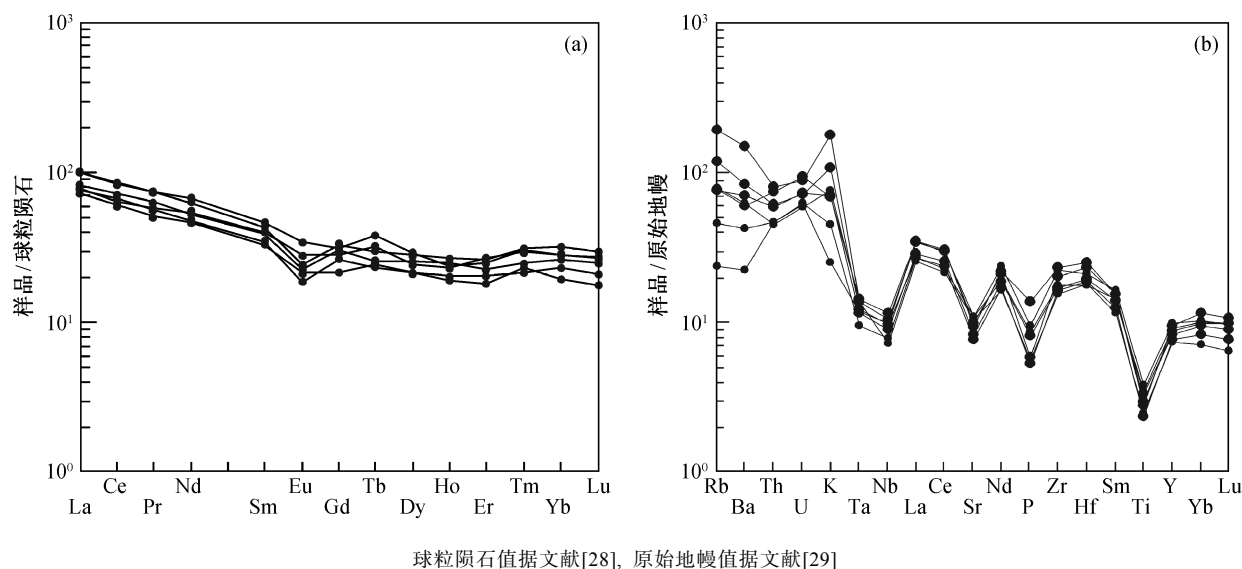


图 7 萨尔托海太勒古拉组英安岩稀土元素球粒陨石标准化分配型式(a)和微量元素原始地幔标准化分配型式(b)

Fig. 7 Chondrite-normalized rare earth element diagram (a) and the trace element variation diagrams (b) for the dacite in Tailegula Formation

英安岩以及埃达克火山岩的地球化学特征,可能形成于板内裂谷环境。

2) 达拉布特蛇绿岩被早石炭统火山-沉积岩不整合覆盖,说明达拉布特蛇绿岩的侵位时限不晚于 349 Ma。

### 参考文献

- [1] Zhao L, He G Q. Tectonic entities connection between West Junggar (NW China) and East Kazakhstan. *Journal of Asian Earth Sciences*, 2013, 72(10): 25–32
- [2] Zhu Y F, Chen B, Qiu T. Geology and geochemistry of the Baijiantan-Baikouquan ophiolitic mélanges: implications for geological evolution of west Junggar, Xinjiang, NW China. *Geol Mag*, 2015, 152: 41–69
- [3] 刘希军, 许继峰, 王树庆, 等. 新疆西准噶尔达拉布特蛇绿岩 E-MORB 型镁铁质岩的地球化学、年代学及其地质意义. *岩石学报*, 2009, 25(6): 1373–1389
- [4] 辜平阳, 李永军, 张兵, 等. 西准达尔布特蛇绿岩中辉长岩 LA-LCP-MS 锆石 U-Pb 测年. *岩石学报*, 2009, 25(6): 1364–1372
- [5] Zhang C, Zhai M G, Allen M B, et al. Implications of Palaeozoic ophiolites from West Junggar, NW China, for the tectonics of Central Asia. *Journal of the Geological Society of London*, 1993, 150: 551–561
- [6] 肖序常, 汤耀庆, 冯益民. 新疆北部及邻区大地构造. 北京: 地质出版社, 1992: 104–123
- [7] 韩宝福, 郭召杰, 何国琦. “缝合岩体”与新疆北部主要缝合带的形成时限. *岩石学报*, 2010, 26(8): 2233–2246
- [8] 陈石, 郭召杰. 达拉布特蛇绿岩带的时限和属性以及对西准噶尔晚古生代构造演化的讨论. *岩石学报*, 2010, 26(8): 2336–2344
- [9] 董连慧, 朱志新, 屈迅, 等. 新疆蛇绿岩带的分布、特征及研究新进展. *岩石学报*, 2010, 26(10): 2894–2904
- [10] 舒良树, 卢华复, 印栋浩, 等. 新疆北部古生代大陆增生构造. *新疆地质*, 2001, 19(1): 59–63
- [11] Samygin S G, Ruzhentsev S V, Pospelov I I, et al. Variscan Junggar transform zone: an experience of revelation // *Tectonic and geodynamics basis*. Moscow: Hayka, 1997: 196–219
- [12] 陈博, 朱永峰. 新疆达拉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*, 2011, 27(6): 1746–1758
- [13] Zhu Y F, Chen B, Xu X, et al. A new geological map of the western Junggar, north Xinjiang (NW China): implications for Paleoenvironmental reconstruction. *Episodes*, 2013, 36: 205–220
- [14] 何国琦, 李茂松, 刘德权, 等. 中国新疆古生代地壳演化及成矿. 乌鲁木齐: 新疆人民出版社, 1994
- [15] 安芳, 朱永峰. 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*, 2009,

- 25(6): 1437-1445
- [16] 新疆维吾尔自治区地质矿产局. 新疆维吾尔自治区区域地质志. 北京: 地质出版社, 1993
- [17] 赵志长, 周良仁, 黄廷弼, 等. 新疆西准噶尔超基性岩体的构造控制及空间分布特征. 中国地质科学院西安地质矿床研究所所刊, 1985(10): 43-54
- [18] 吴浩若, 潘正蒲. “构造混杂”及其地质意义: 以西准噶尔为例. 地质科学, 1991(1): 1-8
- [19] 沈远超, 金成伟. 西准噶尔地区岩浆活动与金矿化作用. 北京: 科学出版社, 1993
- [20] 郭丽爽, 刘玉琳, 王政华, 等. 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, 2010, 26(2): 471-477
- [21] 王瑞, 朱永峰. 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, 2007, 13(3): 590-602
- [22] 胡霁琴, 王中刚, 涂光炽. 新疆北部地质演化及成岩成矿规律. 北京: 地质出版社, 1997
- [23] 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 from mantle xenoliths. *Journal of Petrology*, 2010, 51: 537-571
- [24] 侯可军, 李延河, 田有荣. LA-MC-ICP-MS 锆石微区原位 U-Pb 定年技术. 矿床地质, 2009, 28(4): 481-492
- [25] Koschek G. Origin and significance of the SEM cathodoluminescence from zircon. *Journal of Microscopy*, 1993, 171: 223-232
- [26] Winchester J A, Floyd P A. Geochemical discrimination of different magma series and their differentiation products using immobile elements. *Chemical Geology*, 1977, 20: 325-343
- [27] Wright J B. A simple alkalinity ratio and its application to question of non-orogenic granite genesis. *Geol Mag*, 1969, 106(4): 370-384
- [28] Boynton W V. Geochemistry of the rare earth elements: meteorite studies // Henderson P. *Rare Earth Element Geochemistry*. Amsterdam: Elsevier, 1984: 63-114
- [29] Sun S S, McDonough W F. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and process. *Geol Soc London Spec Pub*, 1989, 42: 313-345
- [30] Xiao W J, Han C M, Yuan C, et al. Middle Cambrian to Permian subduction-related accretionary orogenesis of Northern Xinjiang, NW China: implications for the tectonic evolution of central Asia. *Journal of Asian Earth Sciences*, 2008, 32: 102-117
- [31] Xiao W J, Windley B F, Huang B C, et al. End-Permian to Mid-Triassic termination of the accretionary processes of the southern Altaids: implications for the geodynamic evolution, Phanerozoic continental growth, and metallogeny of Central Asia. *Int J Earth Sci (Geol Rundsch)*, 2009, 98: 1189-1217
- [32] Geng H Y, Sun M, Yuan C, et al. 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*, 2009, 266: 364-389
- [33] Yin J Y, Yuan C, Sun M et al. Late Carboniferous high-Mg dioritic dikes in Western Junggar, NW China: geochemical features, petrogenesis and tectonic implications. *Gondwana Research*, 2010, 17: 145-152
- [34] 张连昌, 万博, 焦学军, 等. 西准包古图含铜斑岩的埃达克岩特征及其地质意义. 中国地质, 2006, 33(3): 626-631
- [35] 张继恩, 肖文交, 韩春明, 等. 西准噶尔石炭纪洋中脊俯冲岩浆活动: 以玛里雅蛇绿岩为例. 岩石学报, 2010, 26(11): 3272-3282
- [36] Guivel C, Lagabriele Y, Bourgeois J, et al. New geochemical constraints for the origin of ridge-subduction-related plutonic and volcanic suites from the Chile Triple Junction (Taitao Peninsula and Site 862, LEG ODP141 on the Taitao Ridge). *Tectonophysics*, 1999, 311: 83-111
- [37] Martin H. Adakitic magma: modern analogues of Archean granitoids. *Lithos*, 1999, 46: 411-429
- [38] 夏林圻, 夏祖春, 徐学义, 等. 天山岩浆作用. 北京: 中国大地出版社, 2007
- [39] 朱永峰, 徐新, 罗照华, 等. 中亚成矿域核心区地质演化与成矿作用. 北京: 地质出版社, 2014
- [40] 何国琦, 徐新. 关于中国天山的板块构造分区问题: 兼论哈萨克斯坦板块 // 何国琦, 徐新. 中国新疆天山地质与矿产论文集. 北京: 地质出版社, 2004: 1-12