

doi: 10.12029/gc20160521

聂晓勇, 刘家军, 苏大勇, 等. 新疆卡拉麦里清水东斜长花岗岩的锆石 U-Pb 年龄及地质意义[J]. 中国地质, 2016, 43(5): 1729-1736.

Nie Xiaoyong, Liu Jiajun, Su Dayong, et al. Zircon U-Pb age of the east Qingshui plagiogranite in Kalamaili belt of Xinjiang and its geological implications[J]. *Geology in China*, 2016, 43(5): 1729-1736(in Chinese with English abstract).

新疆卡拉麦里清水东斜长花岗岩的锆石 U-Pb 年龄 及地质意义

聂晓勇^{1,2} 刘家军¹ 苏大勇¹ 章享云^{1,2}

(1. 中国地质大学 地质过程与矿产资源国家重点实验室, 北京 100083; 2. 武警黄金第八支队, 新疆 乌鲁木齐 830057)

摘要:新疆卡拉麦里蛇绿混杂岩带中广泛存在斜长花岗岩,对其形成时代及成因还存在较大争议。在研究卡拉麦里地区岩石地球化学特征和测定 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄时发现,清水东斜长花岗岩与蛇绿岩中斜长花岗岩、堆晶辉长岩在稀土、微量元素成分特征上存在较大差异,但与其中块状辉长岩具有相似的稀土、微量元素配分模式,并且两者符合部分熔融趋势,清水东斜长花岗岩的成岩年龄为(342.0±3.8)Ma,表明它是处于早石炭世后碰撞背景下的一次构造-热事件的产物,而不可能是蛇绿岩中的浅色岩。

关键词:锆石 U-Pb 年龄;斜长花岗岩;清水东;卡拉麦里;新疆

中图分类号:P597;P581 文献标志码:A 文章编号:1000-3657(2016)05-1729-09

Zircon U-Pb age of the east Qingshui plagiogranite in Kalamaili belt of Xinjiang and its geological implications

NIE Xiao-yong^{1,2}, LIU Jia-jun¹, SU Da-yong¹, ZHANG Xiang-yun^{1,2}

(1. *State Key Laboratory of Geological Processes and Mineral Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083, China;*

2. No. 8 Gold Branch of CAPF, Urumqi 830057, Xinjiang, China)

Abstract: The age and genesis of plagiogranite in Karamaili ophiolitic melange of Xinjiang are still in controversy. In this study, the geochemical characteristics and LA-ICP-MS zircon U-Pb ages of the plagiogranite were determined. It is found that the rare earth and trace element characteristics of plagiogranite in east Qingshui are different from those of plagiogranite and cumulate gabbro in ophiolite, but are similar to those of massive gabbro. The geochemical characteristics of plagiogranite in east Qingshui and massive gabbro also show partial melting trend. The age of plagiogranite in east Qingshui is (342.0±3.8)Ma, suggesting that it was probably the product of post-collisional tectono-thermal event in early Carboniferous rather than the leucocrate in ophiolite.

Key words: zircon U-Pb ages; plagiogranite; east Qingshui; Karamaili; Xinjiang

About the first author: NIE Xiao-yong, male, born in 1977, doctor candidate, mainly engages in the study and exploration of

收稿日期:2016-02-17;改回日期:2016-04-22

基金项目:中国地质调查局项目(12120114009101)资助。

作者简介:聂晓勇,男,1977生,博士生,主要从事矿床勘查及研究;E-mail: xiaoyong.nie@163.com。

mineral deposits; E-mail: xiaoyong.nie@163.com.

Fund support: Supported by CGS's project 'The study of relation between tectonic-magmatism and polymetallic metallogenesis in eastern Junggar, Xinjiang' (No. 12120114009101).

卡拉麦里蛇绿混杂岩带中分布了多处斜长花岗岩岩体,其中出露规模较大的为清水东、苏吉东岩体。综合前人对这些岩体的研究,主要观点有两种。一种观点认为卡拉麦里斜长花岗岩为泥盆纪大洋斜长花岗岩,属于蛇绿岩套中的浅色岩^[1],证据为它与蛇绿岩岩体直接接触,与其中镁铁质堆晶岩、镁铁质岩的形成时代相近,与蛇绿岩中辉长岩有结晶分异的成分变化趋势,与典型大洋斜长花岗岩的微量元素特征相似^[2]。另一种观点认为斜长花岗岩不属于蛇绿岩套,它实际为与英云闪长岩共生的更长花岗岩,是晚石炭世构造-热事件的产物^[3-4],但后一种观点并没有更多的证据。经过实地调查发现,卡拉麦里蛇绿混杂岩带中明显存在2种类型的斜长花岗岩或更长花岗岩,出现以上争议,可能是研究对象不同或研究不系统所致。本次通过测定东准噶尔地区清水东斜长花岗岩的LA-ICP-MS 锆石U-Pb 年龄和地球化学组成,进一步明确卡拉麦里带中斜长花岗岩的形成时代,初步探讨了其成因。

1 地质概况

卡拉麦里蛇绿岩带是中亚造山带的重要组成部分,它位于准噶尔盆地北东沿,呈近北西走向,沿卡拉麦里断裂北侧出露。该带新疆境内全长约150 km,宽2~15 km,西起富蕴县清水泉,经南明水、东至伊吾县塔克札勒。蛇绿岩由超镁铁质岩(多蛇纹石化)、超镁铁质-镁铁质堆晶杂岩及镁铁质岩等组成,从西往东各段成分不尽相同。其中条带状分布的辉长岩属于堆晶杂岩,与辉绿岩、玄武岩呈块状共生发育的辉长岩为镁铁质侵入岩,便于区别堆晶辉长岩,在文中后者简称为块状辉长岩。由于后期构造作用,蛇绿岩与晚古生代地层(基质)或岩石构成混杂堆积。基质主体为中泥盆统,由具低绿片岩相变质特征的凝灰质粉砂岩、硅质粉砂岩、凝灰质砂岩、细粒砂岩及砾岩等组成。该区出露的下石炭统是蛇绿混杂岩的上覆沉积岩系,主要为一套普遍具绿泥石化、绿帘石化的凝灰质砂岩、凝灰质粉砂岩及岩屑砂岩、砾岩的地层。混杂岩带中常见

有两类斜长花岗岩,一类呈脉状或层状,与镁铁质岩共生组成岩块与围岩呈断层接触,一般出露规模较小,长数十米,最宽不超过十米,岩石为灰白色,浅肉红色,中、细粒结构,呈不同程度的碎裂化,如苏吉东岩块和红柳沟岩块;另一类呈岩体或岩脉侵入岩石或中泥盆世、早石炭世地层中,出露规模较大,岩石为灰白色,中、粗粒结构,变质、变形相对较弱,如清水东斜长花岗岩岩体。两类斜长花岗岩的主要矿物成分,副矿物成分及含量差别不大。

清水东斜长花岗岩岩体位于卡拉麦里蛇绿岩带西段,清水大断裂南侧,出露面积约10 km,岩体与周围石炭系地层呈断层接触,整体呈三角形展布,其长轴延伸方向为300°~310°。岩体与石英闪长岩呈侵入接触,在岩体的西部、北部可见派生岩脉侵入玄武玢岩、块状辉长岩中,玄武玢岩与块状辉长岩普遍绿帘石化、绿泥石化。斜长花岗岩岩体局部可见石英闪长岩、辉长岩残留体。岩石多为半自形花岗结构,文象结构,块状构造。矿物组成为:钠、更长石占55%~65%,石英占25%~30%,绿泥石占1%~5%,绿帘石占1%~5%。其中石英、钠更长石为半自形,石英自形程度较钠、更长石为高,粒度为1~3 nm,呈互嵌状,部分扩散成文象状。钠、更长石多已泥化,绢云母化。个别石英中有粒径为0.1 nm×0.01 nm的针状电气石。绿泥石、绿帘石呈鳞片状集合体。

2 锆石U-Pb 年龄

用于年龄测定的样品采自清水东斜长花岗岩体的新鲜岩石,样号为Q1442,采样地理坐标为45°09'22.45"N,90°39'31.15"E。样品处理首先利用重液浮选和电磁分离方法挑选锆石,在双目镜下进行初步分类,选出有代表性的锆石,并用环氧树脂固定,充分固化后抛光,然后进行锆石CL图像分析。锆石U-Pb 同位素测定在中国地质调查局西安地调中心微区分析实验室完成,利用Geolas Pro 激光剥蚀系统与Agilent 7700X ICP-MS 联机进行测定,分析采用的激光束斑直径为5.5 mm,激光脉冲为9 Hz,能量为6

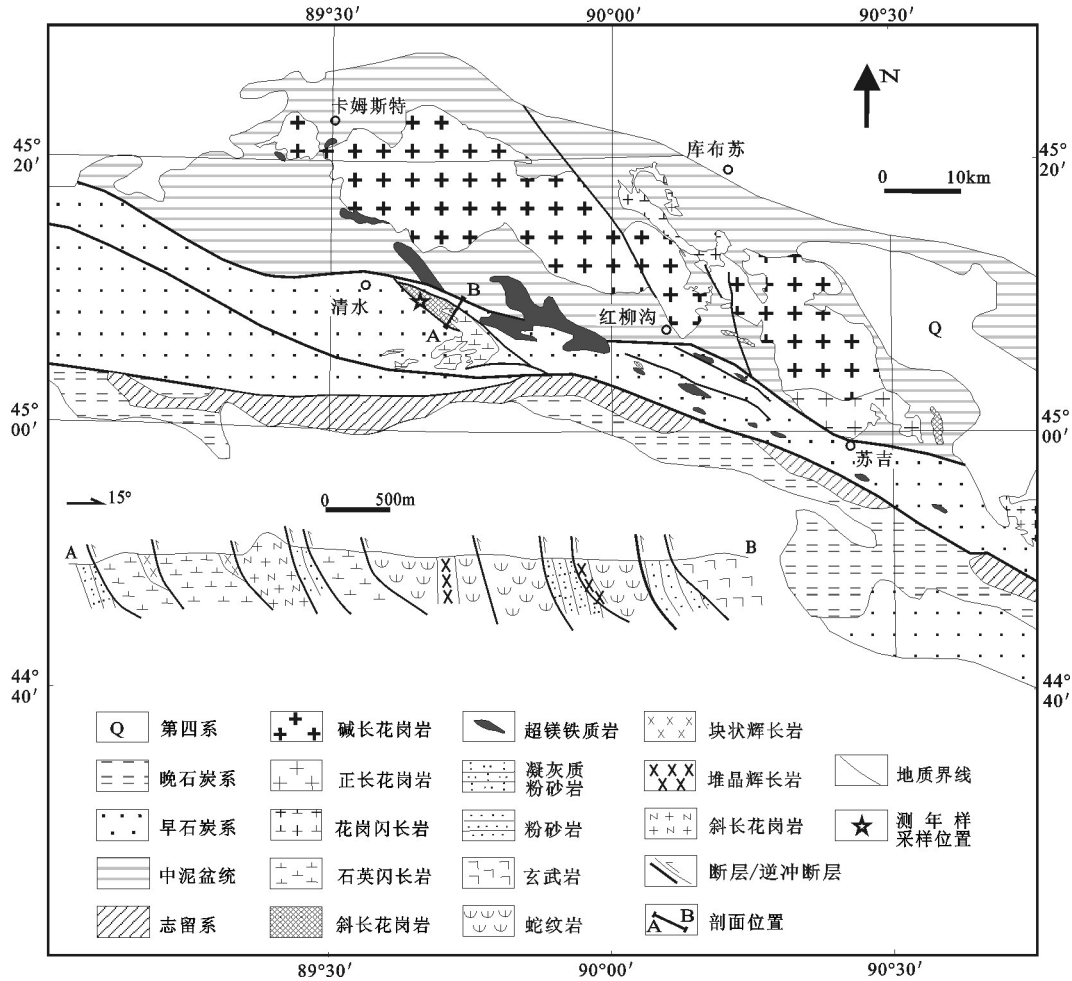


图1 新疆卡拉麦里地区地质简图(据①修改)

Fig.1 Geological sketch map of Kalamaili area in Xinjiang (modified after reference①)

J/cm²,样品的激光剥蚀深度为20~40 μm。锆石年龄测定的外部标准物质采用国际标准锆石91500,内标元素为²⁹Si。利用Glitter软件进行数据处理,按照Andersen的方法进行普通铅校正,采用软件Isoplot 3进行年龄计算及谐和图的绘制。

本次测试的15颗锆石均为无色、透明,多呈长柱状、正方双锥状自形晶体。晶体长为60~130 μm,宽为40~90 μm。锆石在阴极发光图像上均显现出韵律环带结构(图2),锆石中Th含量为17.51×10⁻⁶~95.31×10⁻⁶,U含量为52.26×10⁻⁶~146.62×10⁻⁶,Th/U比值较高,为0.34~0.82(表2),表明它们均为岩浆成因。在谐和图(图3)中,所有点均落于谐和线上,出现了两组年龄,它们的²⁰⁶Pb/²³⁸U年龄加权平均值

分别为(387.3±8.1)Ma(MSWD=0.65,n=4)和(342.0±3.8)Ma(MSWD=0.89,n=11),分别对应于晚古生代的中泥盆世和早石炭世。阴极发光图像上显示出中泥盆世锆石韵律环带不明显或具溶蚀边、反应边等特征,应该为继承锆石。早石炭世锆石晶形完整,韵律环带明显,表面年龄集中于334~352 Ma,其²⁰⁶Pb/²³⁸U加权平均年龄(342.0±3.8)Ma可能代表斜长花岗岩的形成年龄。

3 岩石地球化学组成

主量和稀土微量元素分析在新疆有色勘查局测试中心完成,测试仪器分别采用X荧光光谱仪、等离子体质谱仪,测试结果见表2。

①新疆地质局区调大队. 卡拉麦里山幅和库普幅区域地质矿产报告(1:20万)[R]. 1963—1965.

表 1 清水东斜长花岗岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 同位素分析结果
Table 1 LA-ICP-MS zircon U-Pb isotopic analyses of east Qingshui plagiogranite

测点号	含量/ 10^{-6}			同位素比值						表面年龄/Ma								
	Pb*	^{232}Th	^{238}U	$^{232}\text{Th}/^{238}\text{U}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	1σ	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	1σ	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1σ	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1σ	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	1σ				
088HZ05	7.6	74.84	113.27	0.66	0.0536	0.00152	0.40455	0.01123	0.05473	0.00096	0.0142	0.00061	354	33	345	8	343	6
089HZ06	3.9	30.72	59.17	0.52	0.05337	0.00207	0.39914	0.01485	0.05424	0.00109	0.01602	0.00103	345	49	341	11	341	7
091HZ07	4.6	37.95	67.71	0.56	0.05355	0.00207	0.40623	0.01505	0.05502	0.00112	0.01728	0.00091	352	48	346	11	345	7
095HZ11	4.2	35.55	63.04	0.56	0.05326	0.0024	0.39421	0.01701	0.05368	0.00116	0.01674	0.00099	340	59	337	12	337	7
100HZ13	4.2	28.57	55.78	0.51	0.05442	0.00324	0.46201	0.02256	0.06157	0.0018	0.02001	0.00176	388	73	386	18	385	11
103HZ16	8.9	58.66	120.96	0.48	0.05445	0.00142	0.46659	0.0121	0.06215	0.00105	0.0166	0.00067	390	30	389	8	389	6
104HZ17	3.7	17.51	52.26	0.34	0.05395	0.0029	0.44681	0.02258	0.06006	0.00157	0.01969	0.00193	369	68	375	16	376	10
105HZ18	9.8	95.31	146.62	0.65	0.05337	0.0016	0.39126	0.01143	0.05317	0.00096	0.01663	0.00063	345	35	335	8	334	6
107HZ19	6.5	52.85	100.1	0.53	0.0533	0.00186	0.3962	0.01334	0.05391	0.00103	0.0151	0.00075	342	43	339	10	338	6
109HZ21	4	30.31	58.86	0.51	0.05343	0.00211	0.41085	0.01555	0.05577	0.00114	0.01677	0.00104	347	50	349	11	350	7
111HZ23	5.1	42.14	77.73	0.54	0.05326	0.0017	0.39196	0.01212	0.05338	0.00098	0.0169	0.00073	340	38	336	9	335	6
112HZ24	6.1	61.01	87.71	0.7	0.05349	0.0019	0.40787	0.01396	0.0553	0.00108	0.01664	0.00075	350	43	347	10	347	7
116HZ25	4.7	30.26	59.56	0.51	0.05462	0.00263	0.47491	0.02165	0.06306	0.0015	0.02505	0.0015	397	60	395	15	394	9
278HZ27	7.6	88.87	108.77	0.82	0.05349	0.00162	0.41335	0.01223	0.05605	0.00101	0.01366	0.00052	350	36	351	9	352	6
280HZ29	5.2	47.87	73.05	0.66	0.05363	0.00208	0.40351	0.01493	0.05457	0.00114	0.02005	0.00092	356	47	344	11	343	7

注: Pb*为放射成因铅, 已进行普通铅校正。

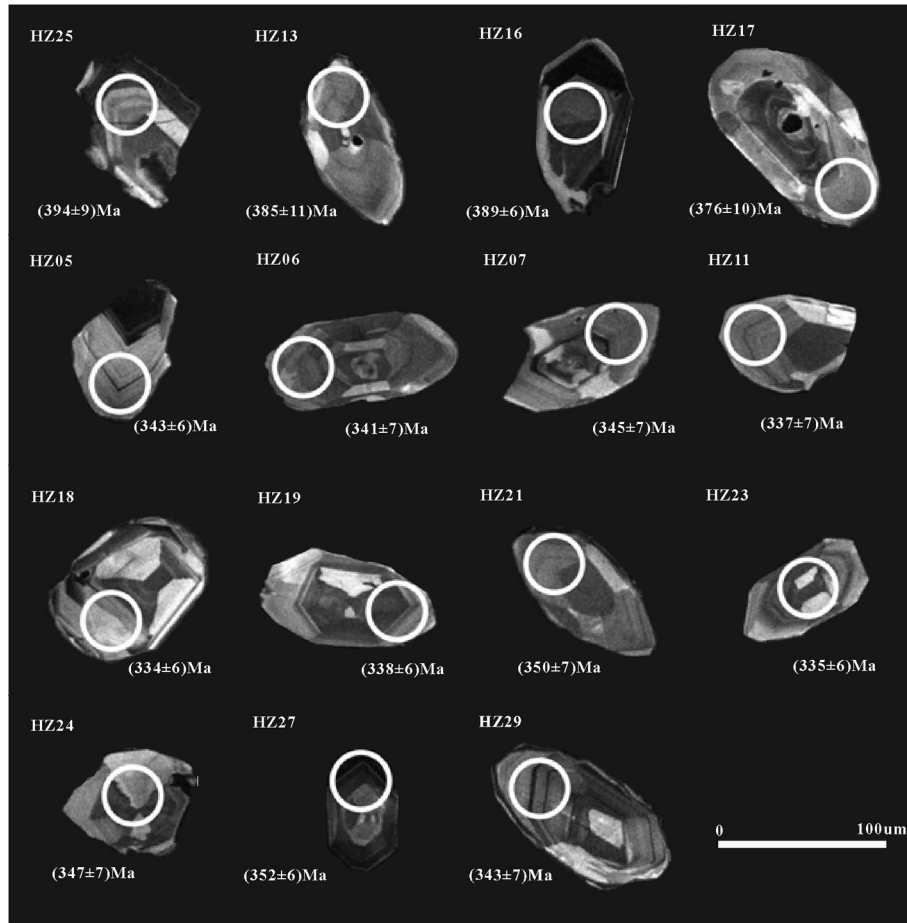


图2 清水东斜长花岗岩锆石阴极发光照片和年龄值
Fig.2 CL images and ages of zircon crystals from east Qingshui plagiogranite

清水东斜长花岗岩的 SiO_2 含量较高,为74.94%~80.95%,其中 K_2O 和Rb含量较低,分别为0.22%~1.01%和 11.5×10^{-6} ~ 18.3×10^{-6} ,略高于泥盆纪斜长花岗岩0.2%和 5×10^{-6} 的含量^[2]。清水东斜长花岗岩的稀土元素总量较低,含量为 34.82×10^{-6} ~ 65.87×10^{-6} ,在稀土元素球粒陨石标准化配分模式图上(图4-a),LREE略富集,总体上略右倾, $\text{La}_N/\text{Yb}_N = 0.73$ ~ 2.21 ,除了略负铕异常($\delta\text{Eu} = 0.66$ ~ 1.01)和HREE略低外,与蛇绿岩中的块状辉长岩的配分模式基本一致。在微量元素的原始地幔标准化图解(图4-b)中,清水东斜长花岗岩除Rb、Ba、Th等LILE元素略富集,Ta、Nb、Zr等HFSE元素略亏损外,与块状辉长岩的分布特征也基本一致;与泥盆纪斜长花岗岩,蛇绿岩中堆晶辉长岩相比,LILE与HFSE的分布特征差异均较大。而泥盆纪斜长花岗岩与堆晶辉长岩的Rb、Ba、Th、Ce、Hf、Zr、Yb、Eu等元素具明显互补性。

4 讨论与结论

前人研究认为,斜长花岗岩主要由大洋中脊拉斑玄武质岩浆结晶分异^[7-8];基性火成岩(辉长岩)或其变质岩的部分熔融^[9-12];大洋拉斑玄武质岩浆的液相不混溶所形成^[13]。

泥盆纪斜长花岗岩与蛇绿岩直接接触,形成年龄与蛇绿岩中堆晶镁铁质岩、镁铁质岩年龄一致,如红柳沟地区斜长花岗岩的锆石U-Pb年龄为 $(412.9 \pm 4.6)\text{Ma}$ (LA-ICP-MS),与黄岗、李现冰等在该地区测定的辉绿岩、辉长岩、枕状玄武岩的LA-ICP-MS锆石U-Pb年龄398.7~418.5 Ma一致^[6,14],它们可能是新疆早泥盆纪蛇绿岩岩浆活动的产物^[15]。泥盆纪斜长花岗岩与堆晶辉长岩的Eu异常、微量元素含量具有明显的互补性,两者在La/Sm-La协变图上也表现出明显的结晶分异趋势(图5),也表明

表2 清水东斜长花岗岩主量元素(%)和微量元素(10^{-6})分析结果

Table 2 Major (%) and trace element (10^{-6}) content of east Qingshui plagiogranite

样号	Q1442	QSB2	Q1436	Q1452
岩性	中粒花岗岩闪长岩	细粒斜长花岗岩	细粒斜长花岗岩	细粒斜长花岗岩
SiO ₂	76.09	80.95	74.94	75.33
TiO ₂	0.34	0.21	0.29	0.27
Al ₂ O ₃	11.93	9.62	12.48	11.12
Fe ₂ O ₃	1.15	0.89	1.09	1.57
FeO	0.51	0.82	1.54	1.67
MnO	0.028	0.05	0.1	0.082
MgO	0.34	0.48	1.46	2.26
CaO	4.31	1.87	0.42	0.46
Na ₂ O	3.99	3.25	4.86	3.4
K ₂ O	0.22	0.87	0.88	1.01
P ₂ O ₅	0.068	0.07	0.062	0.056
LOI	0.76	0.81	1.14	1.06
TOTAL	99.74	99.89	99.26	98.29
Rb	15.1	18.3	11.5	12.9
Sr	182	155.9	43.5	38.5
Ba	120	174	85.2	206
Th	0.36	0.42	0.42	0.48
U	0.21	0.23	0.28	0.17
Cr	2.32	5.2	6.9	3.8
Sc	16.5	8.8	11.2	10.3
Co	9.28	1.67	2.7	5.8
Nb	0.72	1.3	1.6	1.1
Ta	0.11	0.1	0.14	0.13
Zr	62.7	82	141	105
Hf	3.1	3.61	3.7	2.9
Cs	0.86	0.91	0.24	0.2
Ce	7.6	11.34	19.7	12
Pr	1.2	1.83	2.7	1.7
Nd	6.5	8.94	13.1	8.6
Sm	2.1	2.48	3.4	2.3
Eu	0.71	0.7	0.74	0.48
Gd	2.1	2.79	3	2.1
Tb	0.59	0.52	0.69	0.46
Dy	3.8	3.27	4.7	3.3
Ho	0.82	0.6	1.1	0.71
Er	2.7	1.72	3.5	2.3
Tm	0.44	0.27	0.6	0.41
Yb	2.8	1.61	3.8	2.8
Lu	0.47	0.26	0.61	0.46
Y	23.4	17.42	29.3	20.9

两者源于相似的基性岩浆,因此泥盆纪斜长花岗岩应为与蛇绿岩有关的浅色岩。

本次研究测定的清水东斜长花岗岩的成岩年

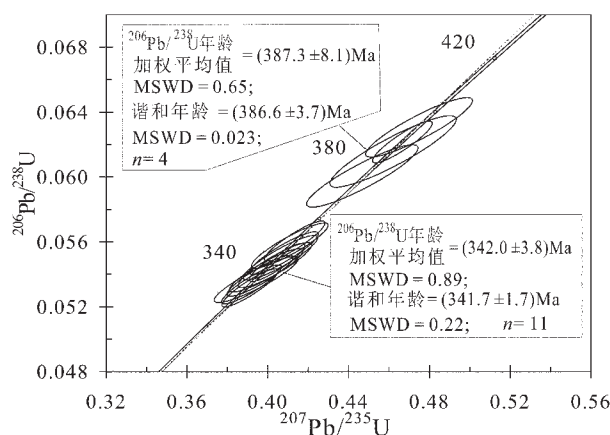


图3 清水东斜长花岗岩锆石U-Pb年龄谐和图

Fig.3 Zircon U-Pb concordia plots of east Qingshui plagiogranite

龄为(342.0±3.8)Ma,处于早石炭世维宪期,与该地区泥盆纪形成的镁铁质堆晶岩、块状镁铁质岩、斜长花岗岩等蛇绿岩的年龄差异较大,两者不是同期岩浆活动的产物。

黄岗、王富明等分别报道了卡拉麦里蛇绿岩上覆岩系(凝灰岩和火山岩)的锆石U-Pb年龄范围为343.0~346.8 Ma,限定了卡拉麦里蛇绿岩构造侵入结束的时限,该套岩层中后碰撞花岗岩形成时间为340.9~341.1 Ma,表明卡拉麦里地区在早石炭维宪期已为挤压向伸展转换的后碰撞构造环境^[6,18]。本次研究得到的清水东斜长花岗岩的年龄(342.0±3.8)Ma也处于同一阶段,说明它可能是后碰撞环境下的一次构造-热事件的产物,而不是与蛇绿岩有关的大洋斜长花岗岩。

在La/Sm-La协变图(图5)上,清水东斜长花岗岩与堆晶辉长岩没有明显的结晶分异趋势,而与块状辉长岩表现出部分熔融趋势,其成因可能不是堆晶辉长岩的结晶分异所致,而是与块状辉长岩等镁铁质岩的部分熔融有关。清水东斜长花岗岩中出现的年龄为(387.3±8.1)Ma的继承锆石,可能来自于蛇绿岩中镁铁质岩。相对于块状辉长岩,清水东斜长花岗岩微量元素特征表现出Rb、Ba、Th略富集,Ta、Nb、Zr略亏损,主要原因可能是流体中LREE,LILE溶解度相对较大,由流体作用产生的部分熔融形成的熔体(斜长花岗岩)相对于残留岩体(块状辉长岩)更富集LILE或LREE,而亏损HFSE。清水东斜长花岗岩在Rb-(Y+Nb)图(图6)

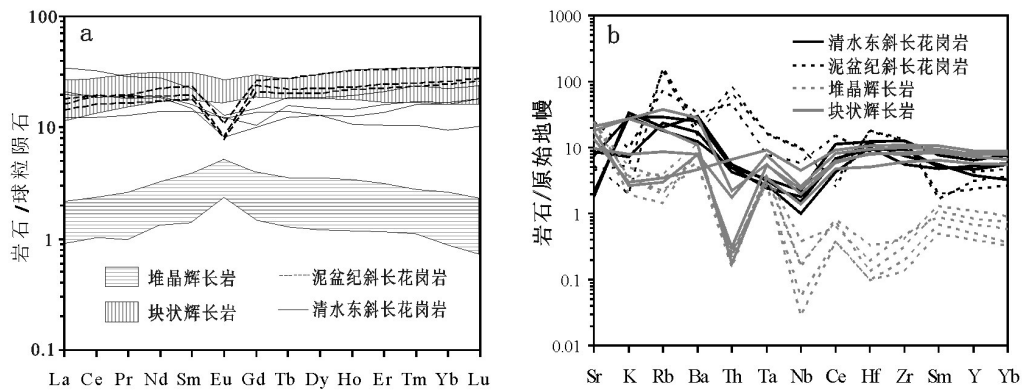


图4 斜长花岗岩与辉长岩的稀土(a)、微量元素(b)标准化图解^[5]
(泥盆纪斜长花岗岩数据文献[2];堆晶辉长岩和块状辉长岩数据文献[6])

Fig.4 Chondrite-normalized REE patterns (a) and primitive mantle-normalized trace elements patterns (b) for the gabbros or the plagiogranites ^[5]
(Data of Devonian plagiogranite after reference [2]; data of cumulate gabbro and massive gabbro after reference [6])

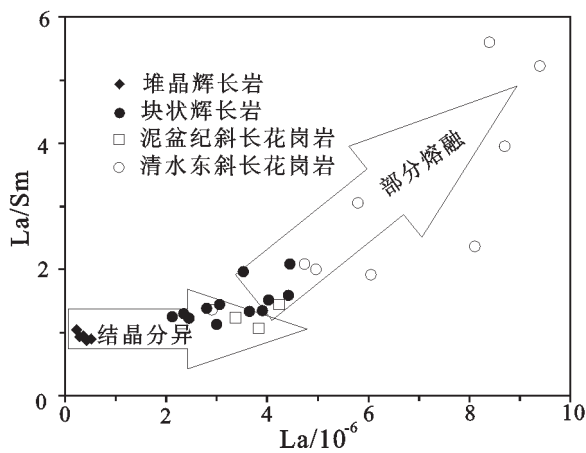


图5 斜长花岗岩与卡拉麦里蛇绿岩中辉长岩 La/Sm-La 协变图
(泥盆纪斜长花岗岩据文献[2],①;堆晶辉长岩数据文献[6];
块状辉长岩据文献[6,16-17])

Fig. 5 La/Sm-La concordant plot for the plagiogranites and the gabbros in Kalamaili ophiolite
(Data of Devonian plagiogranite after reference [2],①;
Data of cumulate gabbro after reference [6]; Data of massive gabbro after reference [6, 16-17])

上落于火山弧花岗岩范围内,由于本区的块状辉长岩具有岛弧火山岩的成分特征^[16],它可能继承了后者的部分特征。

以上的讨论表明,卡拉麦里带中明显存在两期斜长花岗岩:早期为蛇绿岩中的大洋斜长花岗岩,

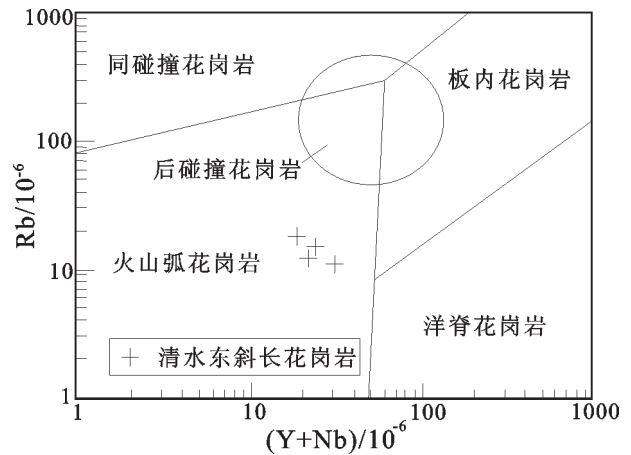


图6 清水东斜长花岗岩的Rb-(Y+Nb)构造判别图
(据文献[19-20]修改)

Fig. 6 Rb-(Y+Nb) tectonic discrimination diagram for east Qingshui plagiogranite
(modified after references[19-20])

形成于泥盆纪;晚期形成于早石炭世维宪期后碰撞构造背景下,为镁铁质侵入岩(蛇绿岩)部分熔融的产物,不属于大洋斜长花岗岩。

参考文献(Reference):

[1] 李锦轶,肖序常,汤耀庆,等. 新疆东准噶尔卡拉麦里地区晚古生代板块构造的基本特征[J]. 地质论评, 1990, 36(4): 305-316.
Li Jinyi, Xiao Xuchang, Tang Yaoqing, et al. Main characteristics of Late Paleozoic plate tectonics in the southern part of east

①新疆地质调查院. 新疆东准噶尔卡拉麦里地区巴斯克阔彦德幅、905.0高地幅、六棵树幅区域地质调查报告(1:5万)[R]. 2003.

- Junggar, Xinjiang[J]. *Geological Review*, 1990, 36(4): 305–316 (in Chinese with English abstract).
- [2] 唐红峰, 苏玉平, 刘丛强, 等. 新疆北部卡拉麦里斜长花岗岩的锆石 U–Pb 年龄及其构造意义[J]. *大地构造与成矿学*, 2007, 31(1): 110–117.
- Tang Hongfeng, Su Yuping, Liu Congqiang, et al. Zircon U–Pb age of the plagiogranite in Kalamaili belt, northern Xinjiang and its tectonic implications[J]. *Geotectonica et Metallogenia*, 2007, 31(1): 110–117 (in Chinese with English abstract).
- [3] 李锦轶. 新疆东准噶尔蛇绿岩的基本特征和侵位历史[J]. *岩石学报*, 1995, 11(增刊): 73–84.
- Li Jinyi. Main characteristics and emplacement processes of the east Junggar ophiolites, Xinjiang, China[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 1995, 11 (supp.): 73–84 (in Chinese with English abstract).
- [4] 李锦轶, 杨天南, 李亚萍, 等. 东准噶尔卡拉麦里断裂带的地质特征及其对中亚地区晚古生代洋陆格局重建的约束[J]. *地质通报*, 2009, 28(12): 1817–1826.
- Li Jinyi, Yang Tiannan, Li Yaping, et al. Geological features of the Karamaili faulting belt, eastern Junggar region, Xinjiang, China and its constraints on the reconstruction of Late Paleozoic ocean continental framework of the Central Asian region[J]. *Geological Bulletin of China*, 2009, 28(12): 1817–1826(in Chinese with English abstract).
- [5] Sun S S, McDonough W F. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes[C]. Saunders A D, Norry M J(eds.). *Magmatism in the Ocean Basins*. London: Geol Soc Spec Publ, 1989, 42: 313–345.
- [6] 李现冰. 新疆东准噶尔卡拉麦里蛇绿混杂岩组成、结构及演化研究[D]. 西安: 长安大学, 2013: 41–55.
- Li Xianbing. The Characteristics of Kalamaili Ophiolite Complex, Structure and Evolution in Eastern Junggar, Xinjiang[D]. Xi'an: Chang'an University, 2013: 41–55(in Chinese with English abstract).
- [7] Coleman R G, Donato M M. Oceanic Plagiogranite Revisited[C]. Barker F(ed.). *Trondhiemites, dacites and related rocks*. Amsterdam: Elsevier, 1979: 149–168.
- [8] Floyd P A, Yaliniz M K, Goncuoglu M G. Geochemistry and petrogenesis of intrusive and extrusive ophiolitic plagiogranites, central Anatolian crystalline complex, Turkey[J]. *Lithos*, 1998, 42(3): 225–241.
- [9] Koepke J, Feig S T, Snow J, et al. Petrogenesis of oceanic plagiogranites by partial melting of gabbros: An experimental study[J]. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 2004, 146(4): 414–432.
- [10] Koepke J, Berndt J, Feig S T, et al. The formation of SiO₂-rich melts within the deep oceanic crust by hydrous partial melting of gabbros[J]. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 2007, 153(1): 67–84.
- [11] Kimura J I, Yoshida T, Iizumi S. Origin of Low K intermediate lavas at Nekoma volcano, NE Honshu arc, Japan: Geochemical constraints for lower-crustal melts[J]. *Journal of Petrology*, 2002, 43(4): 631–661.
- [12] Luchitskaya M V, Morozov O L, Palandzhyan S A. Plagiogranite Magmatism in the Mesozoic island arc structure of the Pekulney Ridge, Chukotka Peninsula, NE Russia[J]. *Lithos*, 2005, 79: 251–269.
- [13] Dixon S, Rutherford M J. Plagiogranites as late-stage immiscible liquids in ophiolite and mid-ocean ridge suites: An experimental study[J]. *Earth and Planetary Science Letters*, 1979, 45(1): 45–60.
- [14] 黄岗, 牛广智, 王新录, 等. 新疆东准噶尔卡拉麦里蛇绿岩的形成和侵位时限——来自辉绿岩和凝灰岩 LA–ICP–MS 锆石 U–Pb 年龄的证据[J]. *地质通报*, 2012, 31(8): 1267–1278.
- Huang Gang, Niu Guangzi, Wang Xinlu, et al. Formation and emplacement age of Karamaili ophiolite: LA–ICP–MS zircon U–Pb age evidence from the diabase and tuff in eastern Junggar, Xinjiang[J]. *Geological Bulletin of China*, 2012, 31(8): 1267–1278(in Chinese with English abstract).
- [15] 黄岗, 张占武, 董志辉, 等. 南天山铜花山蛇绿混杂岩中斜长花岗岩锆石 LA–ICP–MS 微区 U–Pb 定年及其地质意义[J]. *中国地质*, 2011, 38(1): 94–102.
- Huang Gang, Zhang Zhanwu, Dong Zhihui, et al. Zircon LA–ICP–MS U–Pb age of plagiogranite from Tonghuashan ophiolite in Southern Tianshan Mountains and its geological implications[J]. *Geology in China*, 2011, 38(1): 94–102(in Chinese with English abstract).
- [16] 刘希军, 许继峰, 候青叶, 等. 新疆东准噶尔克拉麦里蛇绿岩地球化学: 洋脊俯冲的产物[J]. *岩石学报*, 2007, 23(7): 1591–1601.
- Liu Xijun, Xu Jifeng, Hou Qinye, et al. Geochemical characteristics of Karamaili ophiolite in east Junggar, Xinjiang: products of ridge subduction[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2007, 23(7): 1591–1601(in Chinese with English abstract).
- [17] 杨梅珍, 吴宏恩, 杨高学. 东准噶尔卡拉麦里 SSZ 型蛇绿岩地球化学及构造意义[J]. *岩石矿物学杂志*, 2009, 28(3): 251–263.
- Yang Meizhen, Wu Hongen, Yang Gaoxue. Geochemical characteristics and tectonic significance of Kalamaili SSZ ophiolite from Eastern Junggar[J]. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 2009, 28(3): 251–263(in Chinese with English abstract).
- [18] 王富明, 廖群安, 樊光明, 等. 新疆卡拉麦里上——中泥盆统间角度不整合和 346.8Ma 后碰撞火山岩的意义[J]. *地质科学——中国地质大学学报*, 2014, 39(9): 1243–1257.
- Wang, Fuming, Liao Qun'an, Fang Guangming, et al. Geological implications of Unconformity between Upper and Middle Devonian, and 346.8 Ma Post-Collision Volcanic Rocks in Karamaili, Xinjiang[J]. *Earth Science—Journal of China University Of Geosciences*, 2014, 39(9): 1243–1257(in Chinese with English abstract).
- [19] Pearce J A, Harris B W, Tindle A G. Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks[J]. *Petrology*, 1984, 25: 956–983.
- [20] Pearce J A. Sources and settings of granitic rocks[J]. *Episodes*, 1996, 19(4): 120–125.