

西昆仑上其木干岩体岩石成因及地质意义 ——地球化学及 U-Pb 年代学证据

陈海云¹ 孙妍² 包平¹ 白俊¹ 孙晓东³

(1. 中国地质大学 地球科学学院, 湖北 武汉 430074; 2. 中国地质大学 公共管理学院, 湖北 武汉 430074;
3. 内蒙古第九地质矿产勘查开发院, 内蒙古 锡林浩特 026000)

摘要: 上其木干岩体位于新疆阿克陶县上其木干, 区域上沿乔拉克克-苏盖特-阿加尔东断裂呈 NW-SE 向带状分布。岩性主要为二长花岗岩, SiO₂ 含量为 66.06%~75.13%, Al₂O₃ 含量为 12.45%~14.78% (K₂O+Na₂O) 平均含量为 8.82%, K₂O/Na₂O 均值为 1.25, 铝指数 A/CNK (0.89~0.98) < 1.1, 属高钾偏铝质钙碱性系列。岩石稀土元素总量中等 (ΣREE = 231 × 10⁻⁶~404 × 10⁻⁶), 轻重稀土元素分异明显, 球粒陨石标准化配分模式为平滑右倾型, δEu 平均为 0.17, 具有明显的 Eu 亏损, 明显富集相容元素 Ni, Co, Cr, V, 不相容元素 Rb, Th 以及高场强元素 Zr, Hf 等元素, 强烈亏损 Ba, Sr, P 和 Ti 元素, 相对亏损 Nb 和 Ta 元素。采用 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 同位素测年, 得到二长花岗岩的 ²⁰⁶Pb/²³⁸U 加权平均年龄为 225.4 ± 1.9 Ma (MSWD = 6.0), 认为岩体属于晚三叠世早期的岩浆活动产物。岩石地球化学特征和微量元素判别图解显示岩石为壳幔岩浆混合成因, 具有 A 型花岗岩特点, 形成于后碰撞伸展阶段的张性环境, 标志着西昆仑造山带在晚三叠世早期造山作用的结束和板内构造演化的开始, 为后碰撞环境向板内伸展环境的过渡, 同时也标志着古特提斯洋在该区晚三叠世早期恰好完全闭合。

关键词: 岩石地球化学, 锆石 U-Pb 测年, A 型花岗岩, 古特提斯洋, 西昆仑上其木干

中图分类号: P588.12⁺1; P597⁺.3 文献标识码: A 文章编号: 1000-6524(2014)04-0657-14

Petrogenesis and geological significance of Shangqimugan plutons in Western Kunlun: Evidence from geochemistry and U-Pb chronology

CHEN Hai-yun¹, SUN Yan², BAO Ping¹, BAI Jun¹ and SUN Xiao-dong³

(1. Faculty of Earth Science, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China; 2. Faculty of Public Management, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China; 3. No. 9 Institute of Geology and Mineral Resources Development, Xilin Hot 026000, China)

Abstract: Located in Shangqimugan area of Akto County in Xinjiang, Shangqimugan plutons exhibit NW-SE trending zonal distribution along the Qiaolakeke-Sugaite-Ajiaerdong fracture. The plutons are mainly composed of monzonitic granite. The SiO₂ values range from 66.06% to 75.13% and Al₂O₃ from 12.45% to 14.78%. Average (K₂O+Na₂O) value is 8.82%, average K₂O/Na₂O ratio is 1.25, and aluminum index A/CNK (0.89~0.98) < 1.1, suggesting that the plutons belong to high-K metaluminous calcic-alkaline series. The total REE values of the plutons are 231 × 10⁻⁶~404 × 10⁻⁶, and LREE and HREE show obvious fractionation. Chondrite-normalized REE patterns are of smoothly right-oblique type. Average value of δEu is 0.17, implying obvious depletion of Eu. Compatible elements (Ni, Co, Cr, V), incompatible elements (Rb, Th) and HFSE (Zr, Hf, etc.) are obviously concentrated; Ba, Sr, P and Ti are strongly impoverished; Nb and Ta are depleted in a

收稿日期: 2013-11-13; 修订日期: 2014-05-18

基金项目: 中国地质调查局地质调查项目(1212011120889)

作者简介: 陈海云(1989-), 男, 汉族, 在读硕士研究生, 从事岩石学与遥感地质等方面学习与研究, E-mail: chenhaiyun@163.com。

certain extent. LA-ICP-MS zircon U-Pb dating yielded a $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ weighted mean age of 225.4 ± 1.9 Ma (MSWD=6.0), indicating that the plutons belong to early Late Triassic. Combined with geochemical characteristics and trace elements discrimination diagrams, the authors hold that the rocks resulted from the mixing of the crust and mantle magmas, belonged to A-type granite and formed in the tensional environment of a post-collision extensional phase, which marked the end of the orogeny of the West Kunlun orogenic belt and the beginning of intraplate tectonic evolution in early Late Triassic, implying a transition from the collision environment to the intraplate extensional environment. These data also demonstrate the complete closure of Paleo-Tethys in this region in early Late Triassic.

Key words: geochemistry; zircon U-Pb geochronology; A-type granite; Paleo-Tethys; Shangqimugan of West Kunlun

西昆仑造山带呈巨型反“S”型褶皱山系,屹立于塔里木盆地西南缘,位于古亚洲构造域和特提斯构造域的结合部位,大地构造位置特殊。由于自然环境恶劣,野外工作极为艰难,西昆仑地区是目前中国造山带研究程度最低的地区之一。西昆仑造山带花岗岩类十分发育,主要形成于前寒武纪、加里东期、华力西期和喜马拉雅期,但以华力西期花岗岩为主。许多学者(方锡廉等,1990;潘裕生等,1996;张玉泉等,1998;姜耀辉等,2001;张传林等,2003;崔春龙等,2009;高晓峰等,2013)曾对该区花岗岩做过研究,但这些研究基本在中巴公路和新疆公路附近进行。

上其木干岩体位于新疆阿克陶县克孜勒陶乡上其木干村,与慕斯塔格岩体(康磊等,2012a,2012b)相距较近。相对于慕斯塔格岩体的丰富研究,上其木干岩体信息较为欠缺。姜耀辉等学者通过对慕斯塔格岩体的岩石地球化学特征研究,认为其为来自于下地壳的古老大陆壳部分熔融形成的A型花岗岩(姜耀辉等,2000a,2000b;张传林等,2005),康磊等(2012a)则认为其属于I型花岗岩。1978年地质部石油综合大队在玉其卡帕岩体(和上其木干岩体属同一岩体)中获得全岩K-Ar法同位素年龄值约为30.3 Ma,属于渐新世(E_3)。1:25万区域地质调查项目^①将该岩体岩性定为正长花岗岩,由于全岩K-Ar法年龄值误差较大,故将其形成时代笼统置于古近纪。综上所述,现有资料对该岩体的形成时代认识模糊,对该岩体的岩石成因方面研究较为欠缺。上其木干岩体位于西昆仑造山带上,对追溯西昆仑造山带区域构造演化发展具有重要的指示意义,有必要进一步研究。最近,笔者对该岩体进行了野外

地质路线调查和剖面测制等工作,详细研究了其规模、展布、露头发育等地质特征,并采集了必要的岩石地球化学样品和锆石年龄样品,以期通过地球化学和地质年代学研究来限定岩体的地球化学特征和形成时代,进而探讨岩石成因、构造环境等问题,从而为西昆仑造山带区域构造演化发展提供新信息。

1 区域地质概况

西昆仑造山带被奥依塔格-柯岗断裂、乔拉克克-苏盖特-阿加尔东断裂划分成塔里木陆块、北昆仑地体以及南昆仑地体3个主要构造单元。主要地层为古元古界库浪那古岩群(P_1K)、长城系赛图拉岩群($ChST$)、中泥盆统克孜勒陶组(D_2kz)、下石炭统其他龙群(C_1T)和上石炭-下二叠统特给乃奇克达坂组(C_2P_1tg)。区内岩浆岩发育,主要出露中三叠世慕斯塔格岩体和上其木干岩体。上其木干岩体在西昆仑上其木干地区一带出露较广,受控于乔拉克克-苏盖特-阿加尔东和其木干区域大断裂带,主要沿苏克阿格孜-托尔色子-上其木干-苏盖特一线连续分布(图1),走向为北西-南东。

2 岩石学特征

岩体主要分布于上其木干-其木干南北两侧、托尔色子峡谷和库米托尔一带,主要呈长椭圆条带状平行乔拉克克-苏盖特-阿加尔东断裂和其木干断裂展布,并沿乔拉克克-苏盖特-阿加尔东断裂侵位。岩性主要为二长花岗岩,含少量基性岩脉。岩体呈岩株、岩脉、岩枝状侵位于周围长城纪赛图拉岩群

① 河南省地质调查研究院. 2005. 新疆1:25万英吉沙县幅区域地质调查报告.

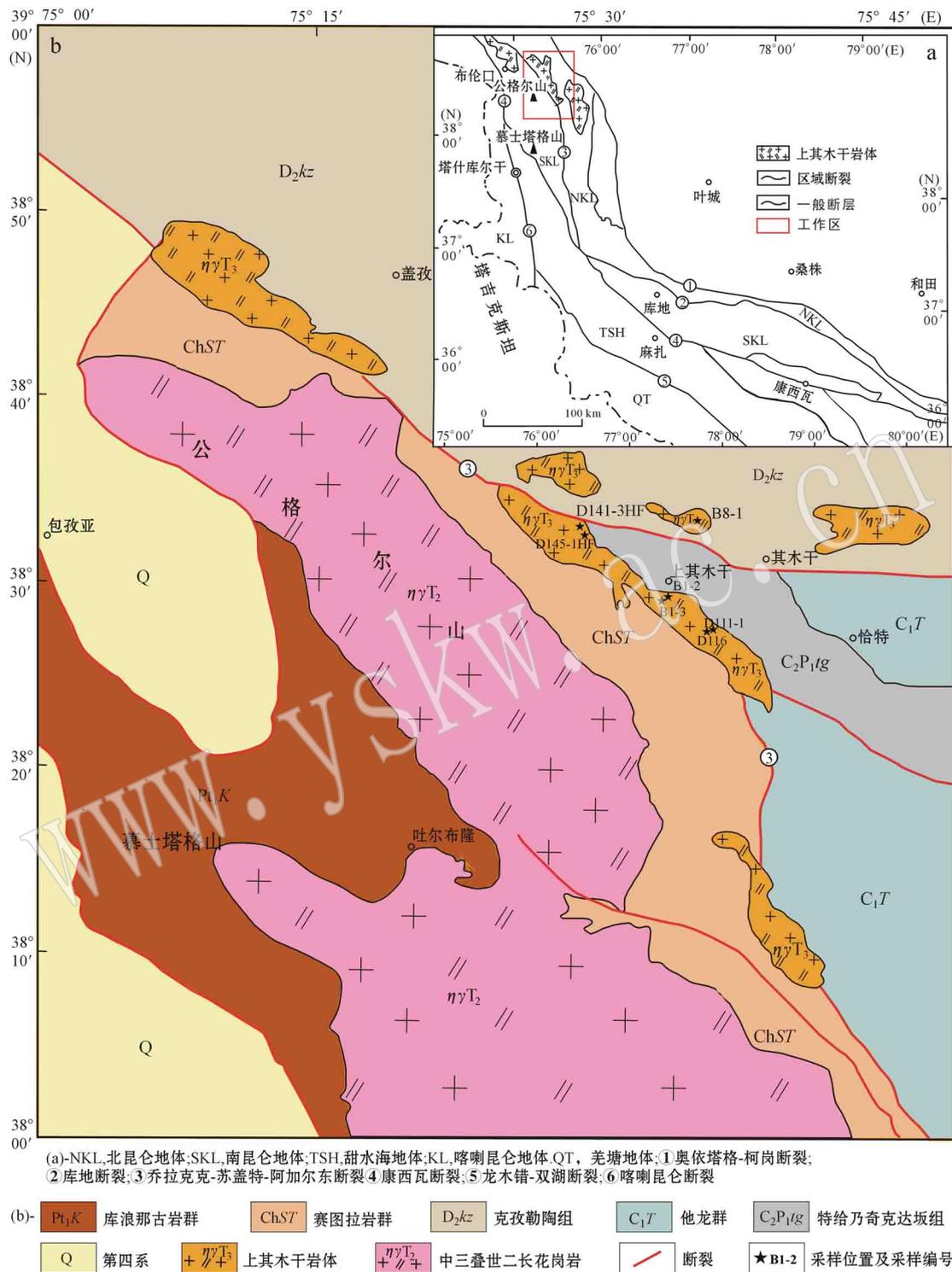


图 1 研究区大地构造位置及侵入岩分布图[改自汪玉珍等(1987)]

Fig. 1 Geotectonic position and distribution of intrusive rocks in the study area(modified after Wang Yuzhen *et al.*, 1987)

(ChST)(孙海田等, 2003)、中泥盆统克孜勒陶组 (D₂kz)、下石炭统他龙群(C₁T)和上石炭-下二叠统特给乃奇克达坂组(C₂P₁tg)之中(Jin *et al.*, 2003;

李荣社等, 2008)(图 1)。两者之间接触面陡倾, 呈波状、港湾状, 围岩中有较小的岩枝和岩脉侵入, 局部具大理岩化, 沿岩体边缘可见有围岩的残余体。

岩体中发育3组剪节理(图2a),产状分别为 $95^\circ/52^\circ$ 、 $305^\circ/50^\circ$ 和 $10^\circ/47^\circ$,两两互相共轭,其中第3组节理面与岩面平行。

该岩体曾在英吉沙县幅(1:25万)^①中被命名为正长花岗岩。经本次野外观察和镜下鉴定,发现岩石组合类型主要为中粗粒斑状黑云母二长花岗岩、中粗粒二长花岗岩以及中细粒二长花岗岩,在侵入岩QAP图解上也位于二长花岗岩区内(图3),各岩

性间没有明显的界线,呈渐变接触关系。

中粗粒斑状黑云母二长花岗岩风化色灰黄色,新鲜面灰白色,块状构造,中粗粒似斑状结构,斑晶主要为斜长石(10%,1.5~3 cm)(图2b),基质为显晶质,主要组成矿物为斜长石(25%,2~6 mm)、钾长石(35%,2~7 mm)、石英(15%,2~4 mm)、黑云母(7%,2~3 mm)、角闪石(3%)以及少量的楣石和磁铁矿(<5%)(图2d)。

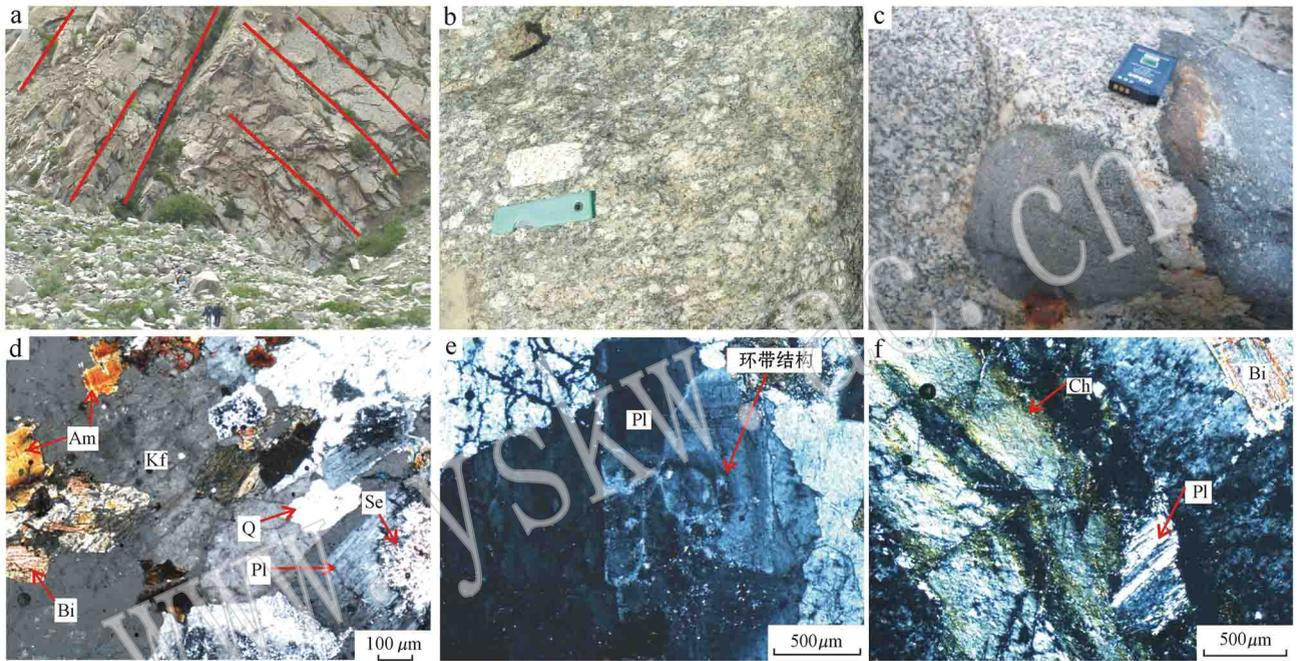


图2 上其木干岩体的野外(a、b、c)和显微镜下正交偏光(d、e、f)照片

Fig. 2 Field photographs (a, b, c) and microphotographs (crossed nicols) (d, e, f) of Shangqimugan plutons

Bi—黑云母; Am—角闪石; Kf—钾长石; Pl—斜长石; Se—绢云母; Ch—绿泥石; Q—石英

Bi—biotite; Am—amphibole; Kf—K-feldspar; Pl—plagioclase; Se—sericite; Ch—chlorite; Q—quartz

中粗粒二长花岗岩,中粗粒结构,主要矿物为斜长石(35%,2~5.5 mm,具环带结构)(图2e)、钾长石(37%,2.5~7 mm)、石英(17%,2~4 mm)、黑云母(8%,1.5~2 mm)、角闪石(3%,1.5~3 mm)。

中细粒二长花岗岩,中-细粒结构,主要矿物为斜长石(35%,0.8~2.5 mm)、钾长石(35%,1~2.5 mm)、石英(23%,0.3~2 mm)和黑云母(7%,1~2.3 mm)。

该岩体属于中深成相侵入岩,边缘相-过渡相-中央相特征明显,整体上发生了不同程度的变质、变形作用,表现为黑云母等暗色矿物具定向排列,岩石

中绿帘石、绿泥石化现象普遍(图2f)。岩石中暗色细粒包体产出较多(图2c),可能暗示了岩浆在形成过程中混有幔源物质(Liu *et al.*, 2013)。

3 岩体的地球化学特征

岩石的主量、微量和稀土元素测试在国土资源部武汉矿产资源监督检测中心完成。主量元素含量用X射线荧光光谱仪(XRF-1800)测试完成,称取0.7 g样品,加入适量硼酸,高温熔融成玻璃片,最后在XRF(仪器编号为27-HY-2009-001)上用外标法

① 河南省地质调查研究院. 2005. 新疆1:25万英吉沙县幅区域地质调查报告.

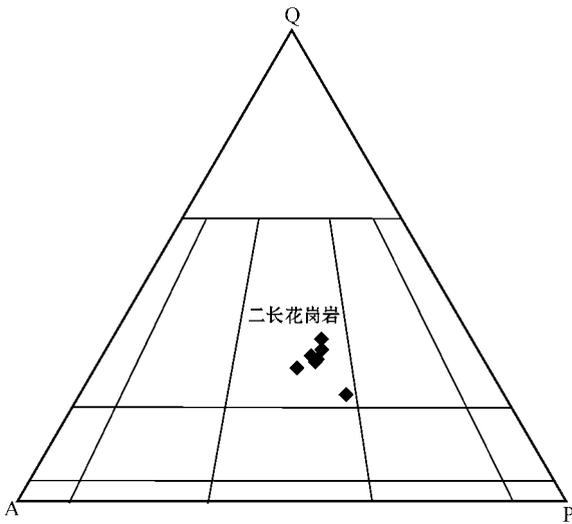


图 3 侵入岩 QAP 分类图解(据 Bowden 等, 1984)
Fig. 3 QAP classification diagram of intrusive rocks
(after Bowden *et al.*, 1984)

测定氧化物含量,氧化物总量分析误差为 1%~4%。微量和稀土元素含量采用电感耦合等离子体质谱仪 ICP-MS(X7)完成,首先称取 50 mg 样品,用酸溶样制成溶液,然后在 ICP-MS 仪器编号为 12-HY-2003-037)上用内标法进行测定,分析精度和准确度多优于 5%。分析数据列于表 1。

3.1 主量元素特征

该岩体岩石富硅, SiO₂ 含量 66.06%~75.13%, 平均值 72.77%, 略低于 Whalen 等(1987)

总结的世界典型 A 型花岗岩,富铁贫镁, FeO_T 平均含量为 2.33%, MgO 平均含量为 0.38%, FeO_T/MgO 平均值为 9.51, FeO_T/(FeO_T+MgO) 平均值为 0.89, 贫铝, Al₂O₃ 含量为 12.45%~14.78%, 平均 13.0%, 铝饱和度 [A/CNK = Al₂O₃/(CaO+Na₂O+K₂O)] 为 0.89~0.98, 均小于 1.1, 在 A/CNK-A/NK 图解中为偏铝质(图 4), 富碱, 并且相对富钾, K₂O+Na₂O 平均含量为 8.82%, K₂O/Na₂O 平均值为 1.25。里特曼指数 δ[(K₂O+Na₂O)₂/(SiO₂-43)] 为 2.09~3.37, 为钙碱性系列岩石, 在硅-碱图和 AFM 图上均位于钙碱性系列区域(图略), 综合特征指示该岩石属高钾偏铝质钙碱性系列(Roberts *et al.*, 1993; 郭坤一等, 2002)。岩石总体上为高硅、富碱贫镁, 具有 A 型花岗岩的典型特点(刘彬等, 2013)。

3.2 稀土和微量元素特征

岩体的稀土元素总量中等(ΣREE = 231 × 10⁻⁶ ~ 404 × 10⁻⁶), 轻重稀土元素分馏明显 (La/Yb)_N = 5.8~16.3, 这与 LREE 富集和 HREE 亏损 (LREE/HREE = 2.21~4.97) 一致。其中轻稀土元素的分馏程度相对较高 (La/Sm)_N = 2.29~5.75, 在球粒陨石标准化稀土元素配分模式图(图 5a)上具明显的右倾型, Eu 负异常明显(δEu 平均为 0.17), 暗示岩浆在形成过程中可能存在斜长石分离结晶作用或源区有斜长石的残留。

表 1 上其木干岩体主量元素 (w_B/%)、微量元素和稀土元素 (w_B/10⁻⁶) 分析数据表

Table 1 Major (w_B/%), trace and rare earth (w_B/10⁻⁶) elements content of Shangqimugan plutons

样品编号	BI-2	BI-3	B8-1	D111-1	D116	D141-3HF	D145-1HF
岩性	中细粒 二长花岗岩	中粗粒 二长花岗岩	中粗粒斑状黑 云母二长花岗岩	中粗粒 二长花岗岩	中粗粒 二长花岗岩	中粗粒 二长花岗岩	中粗粒 二长花岗岩
SiO ₂	73.51	73.41	66.06	75.13	73.61	73.41	74.29
TiO ₂	0.20	0.23	0.66	0.11	0.16	0.19	0.17
Al ₂ O ₃	12.78	12.61	14.78	12.75	12.55	13.09	12.45
FeO	1.58	1.45	3.43	0.93	1.12	1.53	1.75
Fe ₂ O ₃	0.71	0.97	1.32	0.41	0.33	0.72	0.54
MnO	0.03	0.04	0.11	0.02	0.04	0.04	0.04
MgO	0.20	0.23	1.50	0.09	0.16	0.26	0.21
CaO	1.22	1.03	2.98	0.50	1.10	0.91	1.05
Na ₂ O	3.87	4.26	3.54	4.30	4.72	4.08	3.75
K ₂ O	4.53	4.86	4.19	5.02	5.43	4.85	4.33
P ₂ O ₅	0.03	0.05	0.23	0.01	0.04	0.04	0.04
CO ₂	0.42	0.06	0.06	0.06	0.24	0.13	0.61
H ₂ O ⁺	0.78	0.67	0.96	0.56	0.36	0.43	0.53
总量	99.86	99.87	99.82	99.89	99.86	99.25	99.23
K ₂ O+Na ₂ O	8.40	9.12	7.73	9.32	10.15	8.93	8.08
K ₂ O/Na ₂ O	1.17	1.14	1.18	1.71	1.17	1.19	1.16
δ	2.31	2.74	2.59	2.70	3.37	2.62	2.09
AlK	8.40	9.12	7.73	8.34	9.32	8.93	8.08

续表 1
Continued Table 1

样品编号	B1-2	B1-3	B8-1	D111-1	D116	D141-3HF	D145-1HF
岩性	中细粒 二长花岗岩	中粗粒 二长花岗岩	中粗粒斑状黑 云母二长花岗岩	中粗粒 二长花岗岩	中粗粒 二长花岗岩	中粗粒 二长花岗岩	中粗粒 二长花岗岩
A/CNK	0.95	0.89	0.94	0.95	0.80	0.96	0.98
A/NK	1.13	1.03	1.43	1.02	0.92	1.09	1.15
AR	4.00	5.04	2.54	3.00	5.74	4.52	3.98
FL	87.3	89.9	72.2	78.5	94.9	90.8	88.5
SI	1.84	1.95	10.70	4.88	0.84	2.27	1.98
MF	92.0	91.3	76.0	79.0	93.7	89.6	91.6
Di	0.34	0.99	0.51	0.44	0.27	0.28	0.10
Q	30.7	28.0	20.0	29.8	26.2	28.5	32.9
Or	27.1	29.0	25.1	29.9	32.3	28.9	26.0
Ab	33.2	36.4	30.3	36.7	34.6	34.8	32.2
An	4.17	0.94	12.20	0.67	0.00	3.11	4.42
$t(\text{Zr})/^\circ\text{C}$	808	812	790	772	774	813	829
Sr	92.6	70.8	291.0	4.4	155.0	81.3	82.5
Ta	2.83	3.07	2.17	2.64	2.89	3.07	3.42
V	6.00	6.48	69.10	2.40	4.32	7.12	6.26
Zn	68.0	101.0	62.7	34.3	38.4	189.7	109.9
Co	1.35	1.40	8.62	0.42	0.79	2.09	1.18
Cr	21.8	30.5	33.4	28.4	28.9	7.63	7.30
Cu	5.77	3.53	8.93	1.84	2.06	1.51	0.79
Hf	7.53	8.64	7.23	4.91	6.63	10.85	15.83
Nb	30.8	34.5	23.0	25.1	30.0	28.4	26.7
Pb	21.6	31.6	19.2	25.8	24.2	189.0	78.6
Zr	226	259	217	147	199	237	270
Ni	1.31	1.51	2.18	1.9	0.96	2.07	0.77
Rb	255	303	189	266	298	204	264
Ba	178	191	542	54	172	213	204
Th	36.1	36.0	28.4	31.7	46.1	40.9	37.8
La	69.9	73.3	62.1	32.2	61.1	82.5	78.9
Ce	124	130	104	71	110	148	147
Pr	14.3	14.9	11.4	9.2	12.9	17.5	17.1
Nd	52.6	55.5	41.0	37.7	47.3	62.1	61.6
Sm	10.50	11.00	6.98	9.09	9.55	11.67	11.87
Eu	0.513	0.525	0.917	0.209	0.409	0.491	0.451
Gd	10.20	10.30	5.92	8.62	9.29	9.99	10.38
Tb	1.65	1.66	0.93	1.46	1.54	1.57	1.69
Dy	9.49	9.65	4.87	8.00	9.08	9.20	9.60
Ho	1.88	1.93	0.96	1.48	1.91	1.79	1.86
Er	5.33	5.30	2.65	4.04	5.48	4.93	5.12
Tm	0.844	0.873	0.439	0.657	0.893	0.810	0.830
Yb	5.24	5.48	2.73	3.99	5.61	4.93	5.21
Lu	0.708	0.795	0.381	0.539	0.807	0.698	0.717
Y	55.7	58.1	26.7	43.3	58.7	47.9	51.1
ΣREE	362	379	272	326	231	404	403
LREE	271.81	285.23	226.40	159.29	241.26	322.54	316.83
HREE	91.04	94.09	5.58	72.09	93.31	81.80	86.53
LR/HR	2.99	3.03	4.97	3.31	2.21	3.94	3.66
$(\text{Nb/La})_N$	0.42	0.45	0.36	0.75	0.47	0.33	0.33
$(\text{La/Yb})_N$	9.6	9.6	16.3	5.8	7.8	12.0	10.9
$(\text{La/Sm})_N$	4.30	4.31	5.75	2.29	4.13	4.57	4.30
$(\text{Gd/Yb})_N$	1.61	1.55	1.79	1.79	1.37	1.68	1.65
Y/Yb	10.63	10.60	9.78	10.85	10.46	9.72	9.82
Eu*	20.38	21.03	12.83	17.47	18.55	21.53	22.08
δEu	0.15	0.15	0.43	0.07	0.13	0.14	0.12
Ce*	76.78	80.34	65.85	40.08	67.84	91.65	88.43

 $t(\text{Zr})$ 为花岗岩的锆石饱和温度。

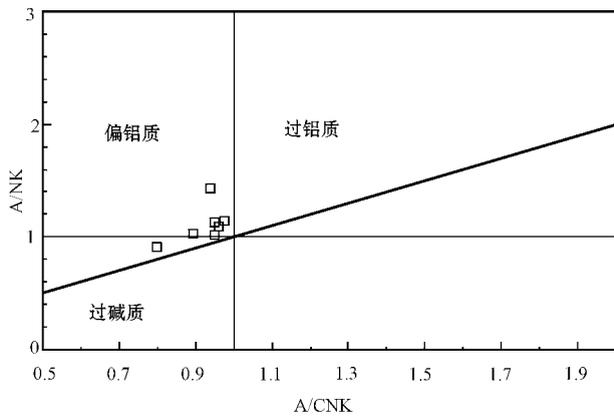


图 4 A/NK - A/CNK 图解

Fig. 4 Diagram of A/NK - A/CNK

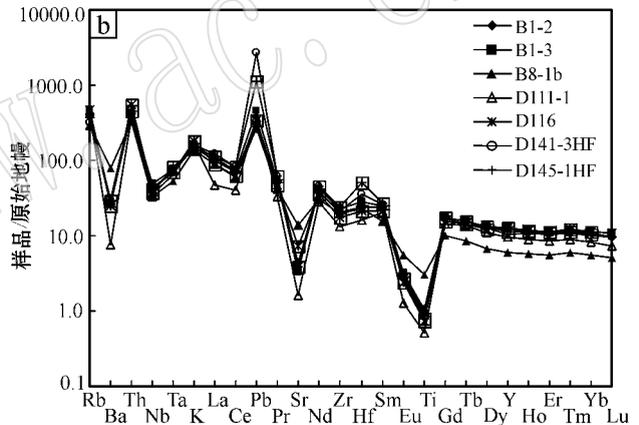
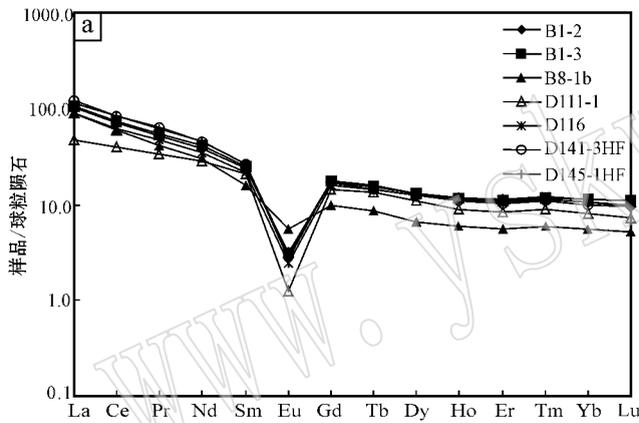


图 5 上其木干岩体标准化稀土元素配分模式图(a)及微量元素原始地幔标准化蛛网图(b, 原始地幔标准化数据据 Sun & McDonough, 1989)

Fig. 5 Chondrite-normalized REE patterns(a) and trace element ratios spidergrams(b) of Shangqimugan plutons

技有限责任公司完成制靶和进行反射光、透射光和阴极发光显微照相,具体流程如下:在双目镜下根据锆石颜色、自形程度和透明度等特征初步分类,挑选出具有晶形完好并且纯净、透明的锆石颗粒,将锆石颗粒粘在双面胶上,然后用无色透明的环氧树脂固定,待环氧树脂充分固化后,对其表面进行抛光至锆石内部暴露,最后进行锆石显微照相(反射光和透射光照相)和阴极发光(CL)显微图像研究。

本次测年锆石样品外形有长柱状和短柱状,均具有韵律的环带,显示为岩浆结晶形成。锆石 CL 图像较暗(图 6),具有黑色环边,个别颗粒 CL 图像全黑,这是 U 和 Th 含量较高、放射性强造成的,可能与岩浆结晶后期熔体-流体相互作用有关。多数测点选择在晶体两端,少部分测点在柱体中部。上其

在微量元素组成上,岩石相对于原始地幔明显富集相容元素 Ni、Co、Cr、V,不相容元素 Rb、Th 以及高场强元素 Zr、Hf 等元素;强烈亏损 Ba、Sr、P 和 Ti 元素,相对亏损 Nb 和 Ta 元素(表 1),显示岩石具有 A 型花岗岩的一般特征,即过渡元素和 Sr、Ba 的亏损以及大部分 HFSE 的相对富集,在微量元素蛛网图(图 5b),显示出明显的 Ba 和 Sr 谷以及 Pb、Th、Nd、Hf 峰。

4 形成时代(U-Pb 测年)

用于 LA-ICP-MS U-Pb 测年的锆石样品由河北廊坊区域地质调查研究院挑选,由武汉上谱分析科

木干岩体锆石 U-Pb 同位素组成及年龄测定结果见表 2。锆石的 Th/U 值较高(0.26~0.75),表明为典型的岩浆成因,所测 32 颗锆石的分析点均位于 U-Pb 谐和线或其附近,2 个样品(D141-2Zr、D145-2Zr)的²⁰⁶Pb/²³⁸U 加权平均年龄分别为 228.9 ± 1.7 Ma(MSWD=2.1)和 222.4 ± 2.6 Ma(MSWD=5.5)(图 7),两者在误差范围内一致,将它们放在一起统计,获得总的加权平均²⁰⁶Pb/²³⁸U 年龄为 225.4 ± 1.9 Ma(MSWD=6.0),在误差范围内与两者也一致,代表了上其木干二长花岗岩的结晶年龄,属于晚三叠世早期。这与前人所做的全岩 K-Ar 法年龄值约为 30.3 Ma 相差较大,考虑到全岩 K-Ar 法年龄值误差较大且测试年代较早,故认为新测得的晚三叠世早期年龄值较为可靠。该岩体的年龄值与慕士塔

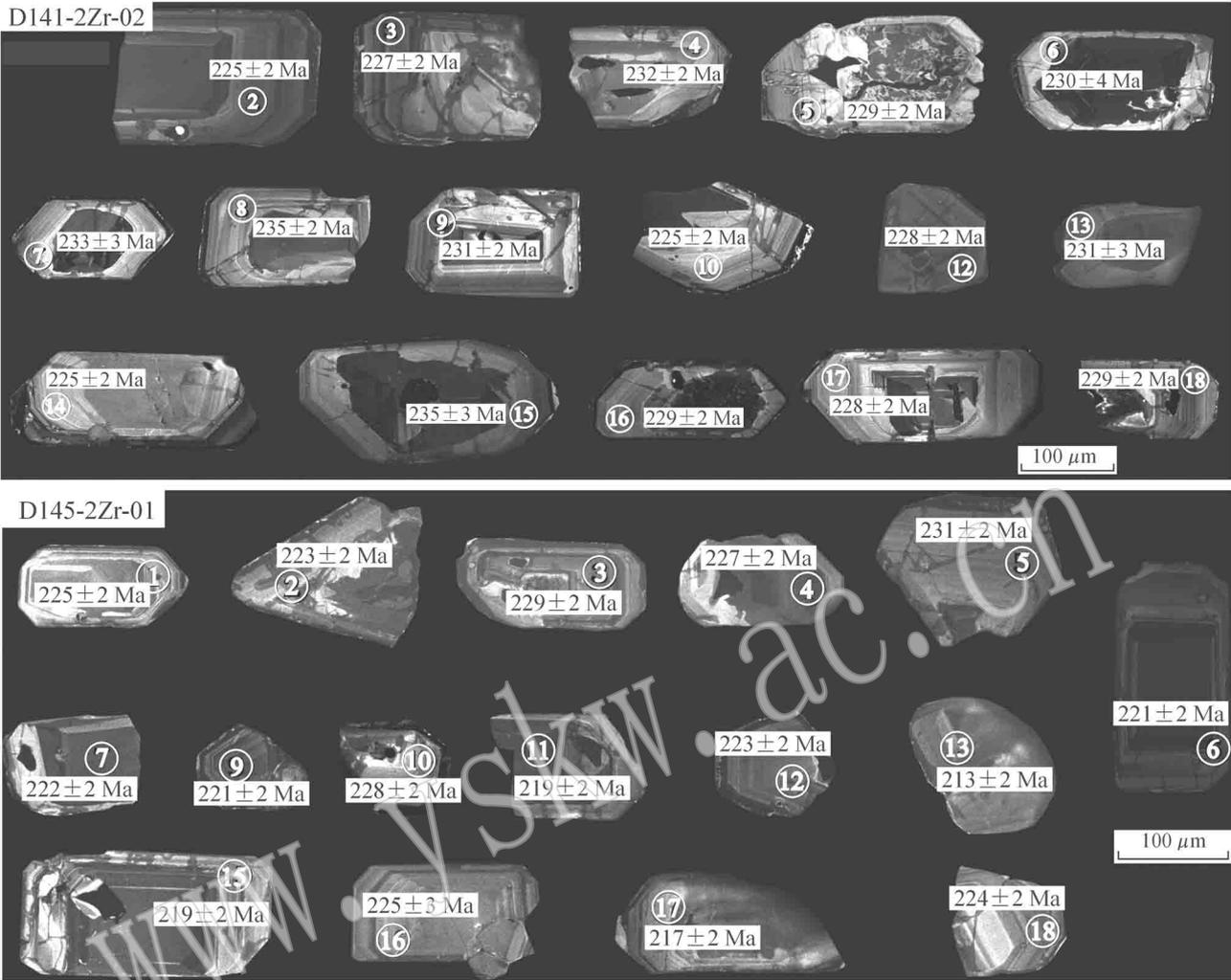


图 6 上其木干二长花岗岩锆石阴极发光(CL)图像

Fig. 6 CL images of zircons from Shangqimugan monzonitic granite

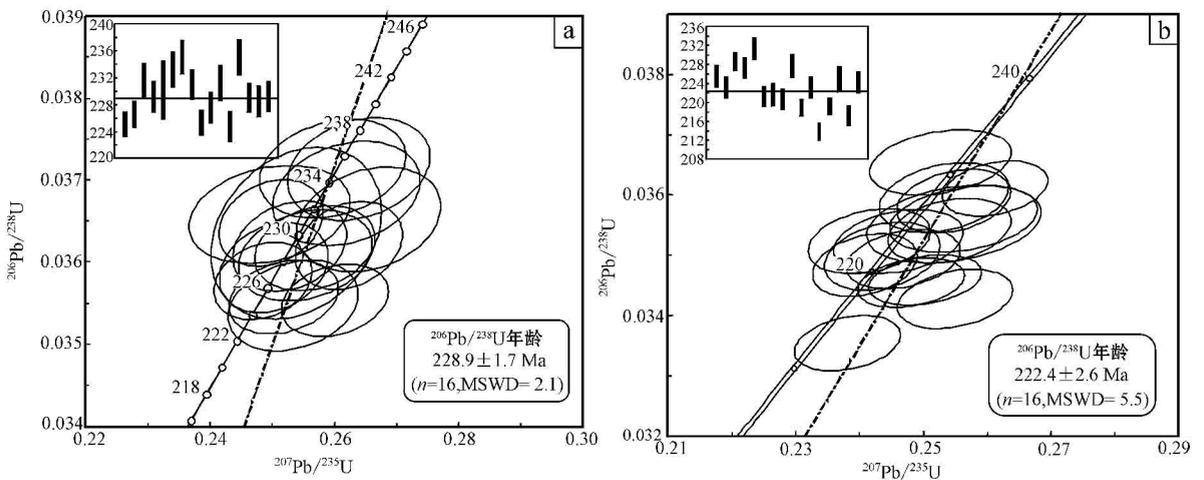


图 7 上其木干岩体中锆石样品 D141-2Zr(a)、D145-2Zr(b) 的 LA-ICP-MS U-Pb 年龄谱和图

Fig. 7 LA-ICP-MS U-Pb concordia diagrams of zircon samples D141-2Zr(a) and D145-2Zr(b) from Shangqimugan plutons

表 2 上其木干岩体锆石 U-Pb 同位素组成及年龄

Table 2 LA-ICP-MS U-Pb dating results for zircons from Shangqimugan plutons

点号	$t_B/10^{-6}$		Th/U	同位素比值				同位素年龄/Ma			
	Pb	Th		U	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb} \pm 1\sigma$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U} \pm 1\sigma$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U} \pm 1\sigma$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb} \pm 1\sigma$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U} \pm 1\sigma$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U} \pm 1\sigma$	
D141-2Zr-02	72	572	1 842	0.31	0.052 7 ± 0.001 2	0.260 1 ± 0.005 7	0.035 5 ± 0.000 3	317 ± 52	235 ± 5	225 ± 2	
D141-2Zr-03	72	757	1 777	0.43	0.049 9 ± 0.001 0	0.243 5 ± 0.005 2	0.035 8 ± 0.000 3	191 ± 48	225 ± 4	227 ± 2	
D141-2Zr-04	21	167	517	0.32	0.049 0 ± 0.001 6	0.249 6 ± 0.008 5	0.036 6 ± 0.000 4	150 ± 78	226 ± 7	232 ± 2	
D141-2Zr-05	45	317	1 151	0.28	0.050 4 ± 0.001 2	0.252 8 ± 0.006 0	0.036 2 ± 0.000 4	213 ± 83	229 ± 5	229 ± 2	
D141-2Zr-06	17	115	445	0.26	0.051 0 ± 0.002 0	0.253 9 ± 0.009 1	0.036 3 ± 0.000 7	239 ± 89	230 ± 7	230 ± 4	
D141-2Zr-07	28	264	689	0.38	0.051 2 ± 0.001 5	0.261 9 ± 0.007 8	0.036 8 ± 0.000 4	250 ± 69	236 ± 6	233 ± 3	
D141-2Zr-08	33	319	813	0.39	0.050 6 ± 0.001 5	0.259 8 ± 0.007 8	0.037 1 ± 0.000 4	220 ± 69	234 ± 6	235 ± 2	
D141-2Zr-09	59	883	1 369	0.65	0.049 5 ± 0.001 1	0.249 8 ± 0.005 5	0.036 5 ± 0.000 3	172 ± 52	226 ± 4	231 ± 2	
D141-2Zr-10	48	539	1 183	0.46	0.051 2 ± 0.001 2	0.251 8 ± 0.005 8	0.035 6 ± 0.000 3	256 ± 54	228 ± 5	225 ± 2	
D141-2Zr-12	80	716	2 022	0.35	0.050 4 ± 0.001 1	0.250 3 ± 0.005 8	0.035 9 ± 0.000 4	213 ± 49	227 ± 5	228 ± 2	
D141-2Zr-13	36	341	880	0.39	0.052 5 ± 0.001 4	0.265 5 ± 0.017 7	0.036 5 ± 0.000 4	306 ± 63	239 ± 6	231 ± 3	
D141-2Zr-14	54	508	1 359	0.37	0.051 7 ± 0.001 4	0.253 4 ± 0.006 9	0.035 5 ± 0.000 4	272 ± 69	229 ± 6	225 ± 2	
D141-2Zr-15	26	210	627	0.33	0.051 5 ± 0.001 5	0.263 9 ± 0.007 6	0.037 1 ± 0.000 4	261 ± 65	238 ± 6	235 ± 3	
D141-2Zr-16	42	394	1 023	0.39	0.051 3 ± 0.001 3	0.256 9 ± 0.006 4	0.036 2 ± 0.000 3	254 ± 57	232 ± 5	229 ± 2	
D141-2Zr-17	37	362	911	0.40	0.051 1 ± 0.001 4	0.255 4 ± 0.007 1	0.036 1 ± 0.000 4	256 ± 60	231 ± 6	228 ± 2	
D141-2Zr-18	63	564	1540	0.37	0.0522 ± 0.001 1	0.2623 ± 0.005 7	0.0362 ± 0.000 4	295 ± 44	237 ± 5	229 ± 2	
D145-2Zr-01	42	475	1055	0.45	0.0520 ± 0.001 6	0.2563 ± 0.007 6	0.0356 ± 0.000 4	283 ± 70	232 ± 6	225 ± 2	
D145-2Zr-02	32	306	816	0.38	0.0504 ± 0.001 4	0.2461 ± 0.006 7	0.0352 ± 0.000 3	217 ± 65	223 ± 5	223 ± 2	
D145-2Zr-03	81	944	1976	0.48	0.0522 ± 0.001 1	0.2612 ± 0.005 5	0.0361 ± 0.000 3	300 ± 48	236 ± 4	229 ± 2	
D145-2Zr-04	55	709	1320	0.54	0.0512 ± 0.001 2	0.2547 ± 0.005 9	0.0359 ± 0.000 3	250 ± 52	230 ± 5	227 ± 2	
D145-2Zr-05	32	288	804	0.36	0.0499 ± 0.001 4	0.2527 ± 0.007 3	0.0365 ± 0.000 4	187 ± 67	229 ± 6	231 ± 2	
D145-2Zr-06	87	1144	2143	0.53	0.0509 ± 0.001 2	0.2469 ± 0.005 9	0.0349 ± 0.000 3	235 ± 49	224 ± 5	221 ± 2	
D145-2Zr-07	68	874	1678	0.52	0.0503 ± 0.001 2	0.2436 ± 0.006 0	0.0350 ± 0.000 4	209 ± 57	221 ± 5	222 ± 2	
D145-2Zr-09	77	845	1993	0.42	0.0499 ± 0.001 1	0.2408 ± 0.005 4	0.0348 ± 0.000 3	187 ± 19	219 ± 4	221 ± 2	
D145-2Zr-10	35	361	862	0.42	0.0509 ± 0.001 3	0.2532 ± 0.006 7	0.0359 ± 0.000 4	235 ± 61	229 ± 5	228 ± 2	
D145-2Zr-11	79	935	1979	0.47	0.0518 ± 0.001 2	0.2481 ± 0.005 5	0.0345 ± 0.000 3	276 ± 47	225 ± 4	219 ± 2	
D145-2Zr-12	61	538	1549	0.35	0.0494 ± 0.001 3	0.2415 ± 0.006 3	0.0352 ± 0.000 4	169 ± 64	220 ± 5	223 ± 2	
D145-2Zr-13	108	1469	2703	0.54	0.0512 ± 0.001 2	0.2381 ± 0.005 5	0.0335 ± 0.000 3	250 ± 54	217 ± 4	213 ± 2	
D145-2Zr-15	75	1047	1788	0.59	0.0521 ± 0.001 2	0.2503 ± 0.005 9	0.0346 ± 0.000 3	300 ± 54	227 ± 5	219 ± 2	
D145-2Zr-16	23	390	523	0.75	0.0516 ± 0.001 8	0.2548 ± 0.009 0	0.0355 ± 0.000 4	333 ± 78	230 ± 7	225 ± 3	
D145-2Zr-17	56	669	1409	0.47	0.0537 ± 0.001 2	0.2550 ± 0.006 0	0.0343 ± 0.000 3	361 ± 52	231 ± 5	217 ± 2	
D145-2Zr-18	60	659	1472	0.45	0.0518 ± 0.001 3	0.2541 ± 0.006 3	0.0354 ± 0.000 4	276 ± 57	230 ± 5	224 ± 2	

格岩体的年龄 231.4 ± 0.7 Ma (康磊等, 2012b) 很接近, 且二者之间距离也很近, 因此认为上其木干岩体可能是与慕士塔格岩体同一时期不同期次的岩浆活动产物。

5 岩石成因、演化机制及构造背景初探

上其木干二长花岗岩具有较高的 REE 含量 ($\sum \text{REE} > 230 \times 10^{-6}$), $\text{Ce} > 70 \times 10^{-6}$, 均大于 A 型花岗岩下限值, 在 $\text{K}_2\text{O} - \text{Na}_2\text{O}$ 成因分类图解 (Eby,

1990) 中, 样品均落入 A 型花岗岩区 (图 8a), 在 $\text{FeO}_t/\text{MgO} - \text{Zr} + \text{Nb} + \text{Ce} + \text{Y}$ 图解 (图 8b) (Whalen *et al.*, 1987) 中, 样品也大多数投影在 A 型花岗岩区内, 因此认为该套花岗岩应属于 A 型花岗岩。

在上其木干岩体主量元素、特征元素与 SiO_2 组成的变异图解 (图 9) 上, 整个岩体的 FeO 、 Fe_2O_3 、 MgO 、 TiO_2 、 Al_2O_3 、 P_2O_5 和 MnO 随 SiO_2 含量的逐渐升高表现出明显的负相关关系, 说明在岩浆演化过程中存在镁铁质矿物、斜长石、含钛磁铁矿及磷灰石的分离结晶作用 (李献华等, 2000)。对于角闪石

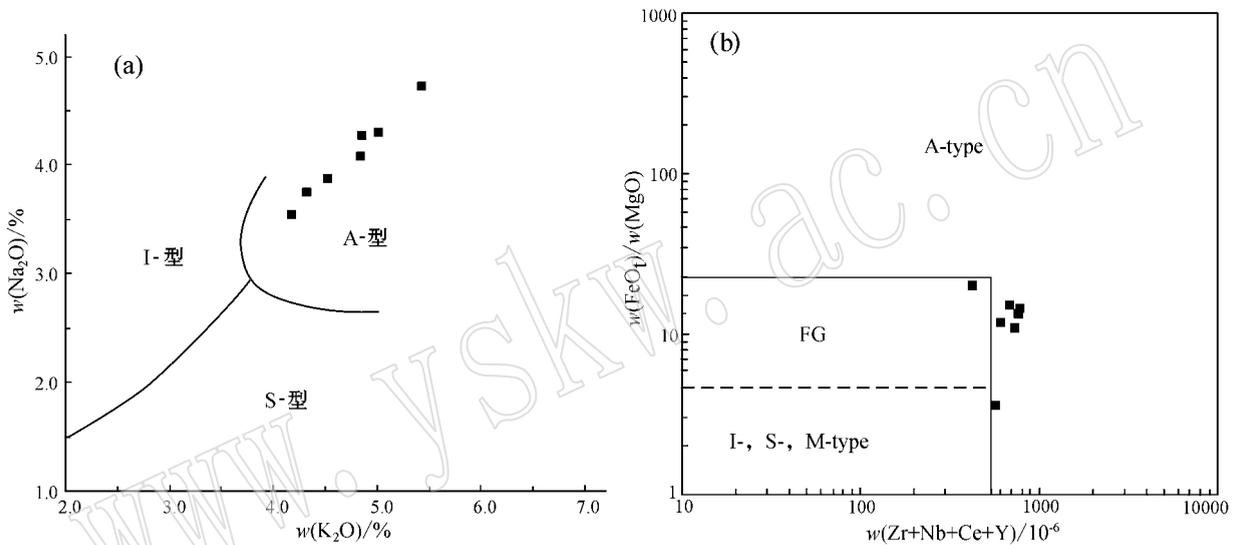


图 8 花岗岩的成因类型判别图解

Fig. 8 Genetic classification diagrams of granite

和石榴子石来说, Yb 具有比 Y 更高的分配系数, 角闪石或石榴子石的分离结晶会导致残留熔体中 Y/Yb 值的升高, 而上其木干岩体的 Y/Yb 值变化不大 ($9.72 \sim 10.85$, 平均 10.27), 说明在岩浆演化过程中可能未发生角闪石和石榴子石的分离结晶。因此, 在该岩体的岩浆演化过程中应发生了以斜长石、磷灰石和含钛磁铁矿为主的分离结晶作用。岩石具有平坦的 HREE 配分模式 (Gd/Yb)_N = $1.37 \sim 1.79$, Yb ($2.73 \times 10^{-6} \sim 5.61 \times 10^{-6}$) 和 Y ($26.7 \times 10^{-6} \sim 58.7 \times 10^{-6}$) 含量高, 说明源区无石榴子石残留, 也表明发生部分熔融时压力较低 (< 1.5 GPa) (Rapp *et al.*, 1991; Patiño *et al.*, 2005), 处于较稳定的拉伸环境中。

上其木干二长花岗岩中有暗色闪长岩包体产出 (图 2c), 这意味着花岗岩体形成时有另一个源区存

在, 这个源区可能是位于花岗质源区下方的幔源物质 (Jiang *et al.*, 2013), 加之整个岩体暗色矿物的含量相对较高, 显然在岩浆形成与演化过程中, 基性岩浆的参与较多, 并在一定程度上为下地壳的部分熔融提供了热源。因此, 上其木干地区二长花岗岩可能是岩石圈的拆沉作用导致的幔源基性岩浆就位于下地壳底部, 继而改变了下部地壳的热状态和力学性质 (肖庆辉等, 2002)。

上其木干二长花岗岩的锆石饱和温度为 $772 \sim 829^\circ\text{C}$ (表 1) 根据吴福元等 (2007) 的研究, 它属于高温花岗岩, 其热源可能来自于岩石圈的拆沉作用。区内 A 型花岗岩富含生热元素 Th (平均为 36.72×10^{-6}) 和 K (K_2O 平均为 4.74%), 与地壳克拉克值 ($\text{Th} = 13 \times 10^{-6}$) (李昌年, 1992) 和世界 A 型花岗岩中的 ($\text{Th} = 23 \times 10^{-6}$) (Turner *et al.*, 1992) 相比均明

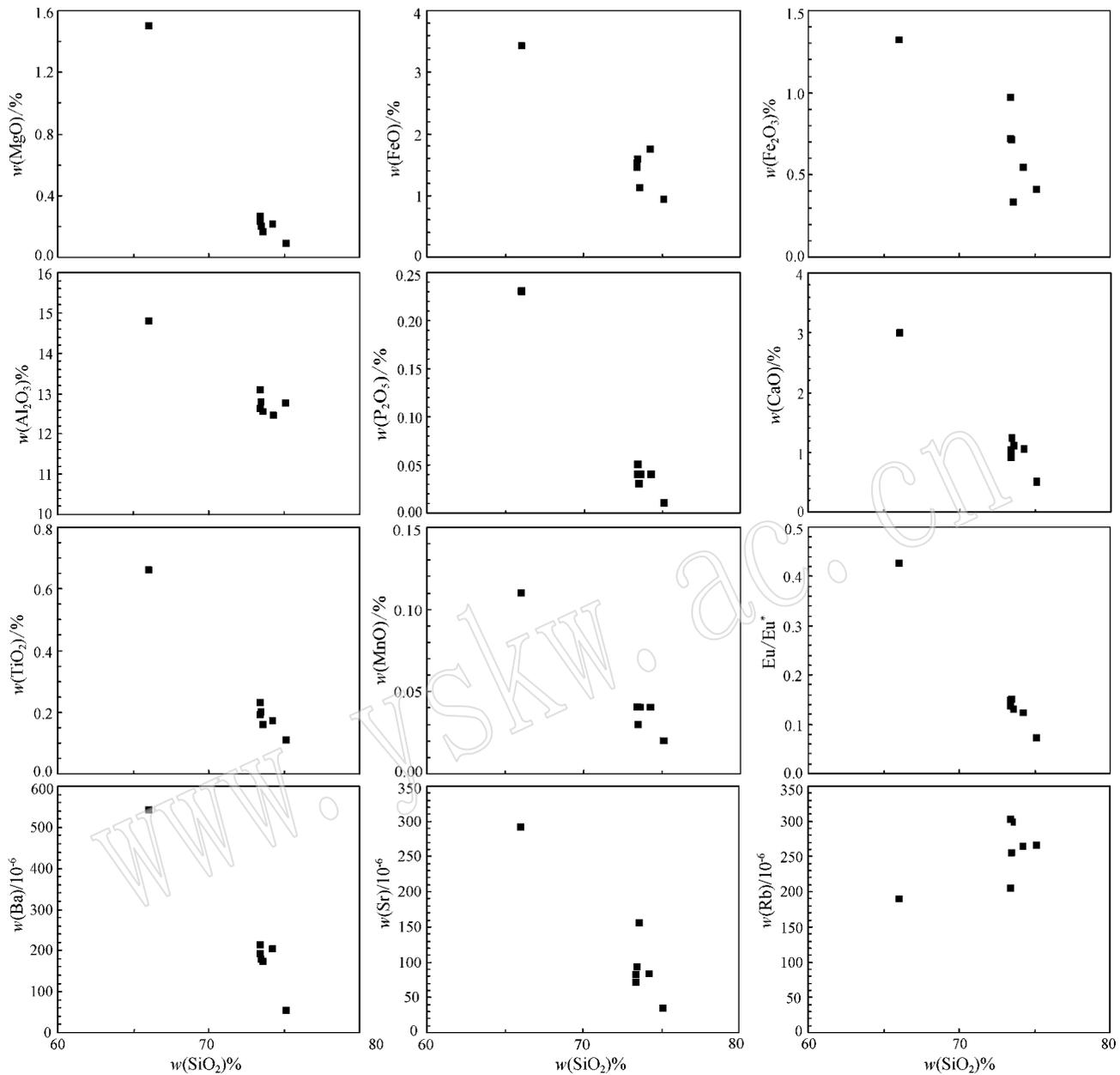


图 9 上其木干岩体主要元素、特征元素与 SiO_2 组成的变异图解

Fig. 9 Variation diagram of major elements, characteristic elements and constituents of SiO_2 of Shangqimugan plutons

显富集。因此,推测在岩石圈之下存在一个富含 Th、U、K 等生热元素的富集圈。结合西昆仑造山带地区中生代的大地演化特征(丁道桂, 1996; 侯增谦等, 2006)推测晚三叠世早期,随着古特提斯洋向北消减(毕华等, 1999)最终闭合(韩芳林, 2006),岩石圈发生拆沉作用(姜耀辉, 2000c, 2000d; 莫宣学等, 2009),地幔上升,地壳减薄,导致等温线上移,热软流圈上涌,大量地幔物质注入到下地壳区,与下地壳物质在广阔的空间范围内相互作用。迫使

下地壳发生部分熔融,并于下地壳岩浆房中发生完全混合作用。这种混合岩浆顺着经过上其木干地区的乔拉克克-苏盖特-阿加尔东断裂、其木干断裂带被动侵入,形成沿断裂带明显分布的高放热元素 A 型花岗岩。

在侵入岩的微量元素构造环境判别图解上(图 10),多数样品均位于板内花岗岩区内,与微量元素比值蛛网图(图 5b)显示该岩体主要具板内花岗岩的特征一致,进一步证明该区 A 型花岗岩是在后碰撞

伸展阶段的张性环境中侵位的,其形成标志着西昆仑造山带在晚三叠世早期造山作用的结束和板内构造演化的开始,为后碰撞环境(刘成东等,2003)向板

内伸展环境的过渡,同时也标志着古特提斯洋在该区晚三叠世早期恰好完全闭合。

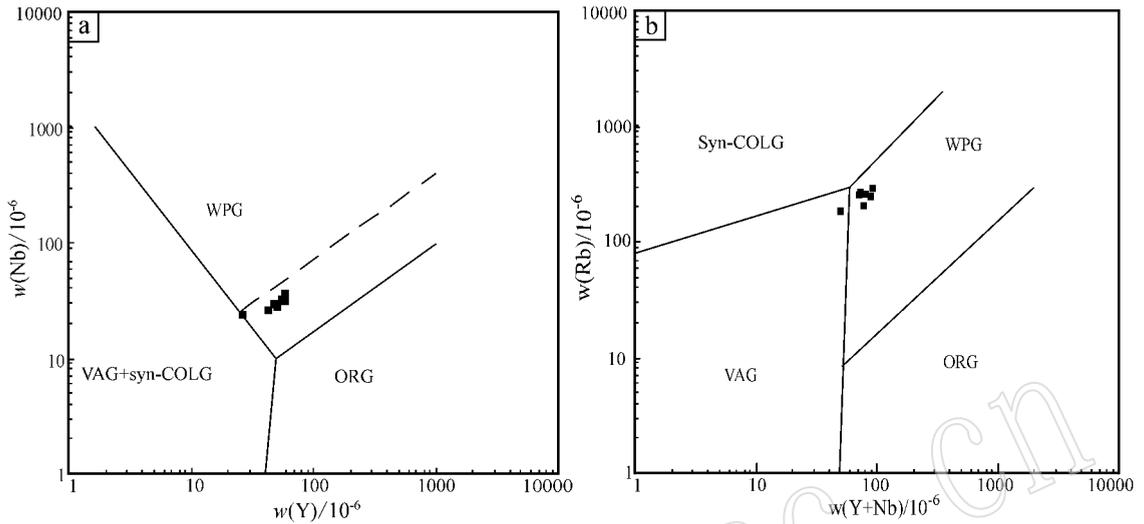


图 10 Nb-Y 和 Rb-(Y+Nb) 构造环境判别图(据 Pearce 等,1984)

Fig. 10 Nb-Y and Rb-(Y+Nb) diagrams for tectonic setting of Shangqimugan granites (after Pearce *et al.*, 1984)

6 结论

(1) 上其木干二长花岗岩属高钾偏铝质钙碱性系列,具有 A 型花岗岩高硅、富碱贫镁的典型特点;岩石轻重稀土元素分馏明显 (La/Yb)_岩 均为 10.3,轻稀土元素分馏明显,重稀土元素分馏不明显,具有明显的钕负异常;明显富集相容元素 Ni、Co、Cr、V 和不相容元素 Rb、Th 以及高场强元素 Zr、Hf 等元素,强烈亏损 Ba、Sr、P 和 Ti 元素,相对亏损 Nb 和 Ta 元素; $U-Pb$ 谐和年龄为 225.4 ± 1.9 Ma (MSWD = 6.0),属于晚三叠世早期的岩浆产物。

(2) 矿物组合和地球化学综合特征的判别表明上其木干岩体属于 A 型花岗岩。

(3) 根据对岩石、地球化学组成及构造背景的分析,认为上其木干岩体为板内 A 型花岗岩,形成于后碰撞伸展阶段的张性环境,标志着西昆仑造山带在晚三叠世早期造山作用的结束和板内构造演化的开始,为后碰撞环境向板内伸展环境的过渡,同时也标志着古特提斯洋在该区晚三叠世早期恰好完全闭合。

致谢 在野外地质调查中得到张桐、王洋同学的热情帮助,写作过程中得到魏颖、王璐博士的悉心

指导;匿名评审人和编辑部老师对本文的初稿提出了宝贵的修改意见,使本文得以完善;校对过程中还得到了许多老师和同学的帮助,在此一并表示诚挚的谢意。

References

- Bi Hua, Wang Zhonggang, Wang Yuanlong, *et al.* 1999. Evolution of the structure-magma in Western Kunlun orogenic belt [J]. *Sci. China Ser D—Earth Sci.*, 32(5): 398–400 (in Chinese).
- Bowden P, Batchelor R A, Chappell, *et al.* 1984. Petrological, geochemical and source criteria for the classification of granitic rocks: a discussion [J]. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 35(1): 1–11.
- Cui Chunlong, Fan Feipeng, Li Yuan, *et al.* 2009. Simple Research for Characteristics of Geochemical and Structural Environment in the Qia Erlong Region of West Kunlun [J]. *Journal of Southwest University of Science and Technology*, 24(1): 48–55 (in Chinese with English abstract).
- Ding Daogui. 1996. *The Western KunLun Orogenic Belt and Basin* [M]. Beijing: Geological Publishing House, 205–208 (in Chinese with English abstract).
- Eby G N. 1990. The A-type granitoids: a review of their occurrence and chemical characteristics and speculations on their petrogenesis [J]. *Lithos*, 26(1): 115–134.
- Fang Xilian and Wang Yuzhen. 1990. Preliminary discussion on Caledo-

- nian granites in western Kunlun Mountain[J]. *Xinjiang Geology* , 8 (2): 153~158(in Chinese with English abstract).
- Gao Xiaofeng , Xiao Peixi , Kang Lei , *et al.* 2013. Origin of Datongxi pluton in the West Kunlun orogen : Constraints from mineralogy , elemental geochemistry and zircon U-Pb age[J]. *Acta Petrologica Sinica* , 29(9): 3 065~3 079(in Chinese with English abstract).
- Guo Kunyi , Zhang Chuanlin , Wang Jiabin , *et al.* 2002. Trace elements and isotopic geochemistry of the high-K calkline granites in north-margin of eastern part of west Kunlun[J]. *Journal of Jilin University(Earth Science Edition)* , 32(2): 116~121(in Chinese with English abstract).
- Han Fanglin. 2006. Tectonic evolution and mineralization of the western Kunlun accretion-type orogen[D]. China University of Geosciences (Beijing) , 141~160(in Chinese with English abstract).
- Hou Zengqian , Qu Xiaoming , Yang Zhusen , *et al.* 2006. Metallogenesis in Tibetan collisional orogenic belt : Mineralization in post-collisional extension setting[J]. *Mineral Deposits* , 5(6): 629~651(in Chinese with English abstract).
- Jiang Y H , Jia R Y , Liu Z , *et al.* 2013. Origin of Middle Triassic high-K calc-alkaline granitoids and their potassic microgranular enclaves from the western Kunlun orogen , northwest China : A record of the closure of Paleo-Tethys[J]. *Lithos* , 1(156~159): 13~30.
- Jiang Yaohui , Rui Xingjian , Guo Kunyi , *et al.* 2000a. Tectonic environments of granitoids in the West Kunlun orogenic belt[J]. *Acta Geoscientica Sinica* , 1(1): 23~25(in Chinese with English abstract).
- Jiang Yaohui , Rui Xingjian , Guo Kunyi , *et al.* 2000b. New research advances of granitoids in the west Kunlun orogenic belt[J]. *Volcanology&Mineral Resources* , 1(1): 61~62(in Chinese).
- Jiang Yaohui and Yang Wanzhi. 2000c. Geochemical characteristics and rock series of Himalayan granitoids in western Qinghai-Xizang Plateau[J]. *Acta Petrologica et Mineralogica* , 19(4): 289~296(in Chinese with English abstract).
- Jiang Yaohui and Yang Wanzhi. 2000d. Discovery of A-type granite zone and its geodynamic significance in the western Kunlun Mts. , Chin[J]. *Geological Review* , 46(3): 235~244(in Chinese with English abstract).
- Jiang Yaohui , Zhou Xunruo , Rui Xingjian , *et al.* 2001. Rock series and petrogenesis type genesis of granitoids in the West Kunlun Orogenic Belt[J]. *Acta Geologica Sinica* , 75(1): 144~155(in Chinese).
- Jin X , Wang J , Chen B , *et al.* 2003. Cenozoic depositional sequences in the piedmont of the West Kunlun and their paleogeographic and tectonic implications[J]. *Journal of Asian Earth Sciences* , 199(7): 755~765.
- Kang Lei , Xiao Peixi , Gao Xiaofeng , *et al.* 2012a. Geochemical characteristics and petrogenesis of Muztagata intrusion in Western Kunlun orogenic belt and their tectonic significance[J]. *Geological Bulletin of China* , 31(12): 2 001~2 014(in Chinese with English abstract).
- Kang Lei , Xiao Peixi , Gao Xiaofeng , *et al.* 2012b. LA-ICP-MS U-Pb dating of the zircon from Muztagata pluton in western Kunlun Orogenic Belt : Constraints on the time of Paleotethys collision[J]. *Geological Review* , 58(4): 763~774(in Chinese with English abstract).
- Li Changnian. 1992. A geochemical method for tectonomagmatic discrimination[J]. *Geological Science and Technology Information* , 11(3): 73~78(in Chinese with English abstract).
- Li Rongshe , Ji Wenhua and Yang Yongcheng. 2008. Geological of Kunlun Mountains and Its adjacent area[M]. Beijing : Geological Publishing House , 128~141(in Chinese).
- Liu Bin , Ma Changqian , Guo Pan , *et al.* 2013. Discovery of the Middle Devonian A-type granite from the eastern Kunlun orogen and its tectonic implications[J]. *Editorial Committee of Earth Science—Journal of China University of Geosciences* , 38(5): 947~962(in Chinese with English abstract).
- Liu Chengdong , Zhou Su , Mo Xuanxue , *et al.* 2003. Constraints of petrochemistry and $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ aging of post-collision granites in eastern Kunlun orogenic belt[J]. *Journal of East China Geological Institute* , 6(4): 301~305(in Chinese with English abstract).
- Liu Z , Jiang Y H , Jia R Y , *et al.* 2013. Origin of Late Triassic high-K calc-alkaline granitoids and their potassic microgranular enclaves from the western Tibet Plateau , northwest China : Implications for Paleo-Tethys evolution[J]. *Gondwana Research* , DOI : 10. 1016/j. gr. 2013. 09. 022.
- Mo Xuanxue , Zhao Zhidan and Yu Xuehui. 2009. Cenozoic Tectonic Evolution and Uplift Process of the Tibetan Plateau[M]. Beijing : Geological Publishing House , 367~379(in Chinese with English abstract).
- Pan Yusheng , Zhou Weiming , Xu Ronghua , *et al.* 1996. Geological Features and Evolution on Early Paleozoic of the Kunlun Mountains [J]. *Science in China(Series D)* , 26(4): 302~307(in Chinese).
- Patiño Douce A E. 2005. Vapor-absent melting of tonalite at 15~32 kbar[J]. *Journal of Petrology* , 46 : 275~290.
- Pearce J A , Harris N B W and Tindle A G. 1984. Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks [J]. *Journal of Petrology* , 25(4): 956~983.
- Rapp R P , Watson E B and Miller C F. 1991. Partial melting of amphibolite/eclogite and the origin of Archaean trondhiemites and tonalities[J]. *Precambrian Research* , 5 : 1~25.
- Roberts M P and Clemens J D. 1993. Origin of high-potassium calc-alkaline I-type granitoids[J]. *Geology* , 21(9): 825~828.
- Sun Haitian , Li Chunjie , Wu Hai , *et al.* 2003. West Kunlun Metallogenic Province Introduction[M]. Beijing : Geological Publishing House , 24~35(in Chinese).
- Turner S , Sandiford M and Foden J. 1992. Some geodynamic and compositional constraints on " postorogenic " magmatism[J]. *Geology* , 20(10): 931~934.
- Wang Yuzhen and Fang Xilian. 1987. Preliminary study on granite dis-

- tribution of time and space in West Kunlun-Karakorum Mountains of Xinjiang [J]. *Xinjiang Geology*, 5(1): 9~24 (in Chinese with English abstract).
- Whalen J B, Currie K L and Chappell B W. 1987. A-type granites: geochemical characteristics, discrimination and petrogenesis [J]. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 95(4): 407~419.
- Wu Fuyuan, Li Xianhua, Yang Jinhui, *et al.* 2007. Discussions on the petrogenesis of granites [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 23(6): 1217~1238 (in Chinese with English abstract).
- Xiao Qinghui, Deng Jinfu and Ma Daquan. 2002. The Ways of Investigation on Granitoids [M]. Beijing: Geological Publishing House, 121~125 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Chuanlin, Yu Haifeng, Wang Aiguo, *et al.* 2005. Dating of Triassic granites in the western Kunlun Mountains and its tectonic significance [J]. *Acta Geologica Sinica*, 79(5): 645~652 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Chuanlin, Yang Chun, Shen Jialin, *et al.* 2003. Zircon SHRIMP age of Neoproterozoic gneissoid granites in the West Kunlun and its significance [J]. *Geological Review*, 49(3): 239~244 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Yuquan, Zhu Bingquan, Xie Yingwen, *et al.* 1998. The uplifting rates for the western Qinghai-Xizang Plateau: Interpretation of ^{40}Ar - ^{39}Ar dating data for the granites in the area from Yecheng to Shiquanhe [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 14(1): 11~21 (in Chinese with English abstract).
- ### 附中文参考文献
- 毕华, 王中刚, 王元龙, 等. 1999. 西昆仑造山带构造岩浆演化史 [J]. *中国科学(D辑: 地球科学)*, 9(5): 398~406.
- 崔春龙, 范飞鹏, 李源, 等. 2009. 西昆仑北坡恰尔隆一带花岗岩类地球化学特征及构造背景初论 [J]. *西南科技大学学报*, 24(1): 48~55.
- 丁道桂. 1996. 西昆仑造山带与盆地 [M]. 北京: 地质出版社, 205~208.
- 方锡廉, 汪玉珍. 1990. 西昆仑加里东期花岗岩类浅识 [J]. *新疆地质*, 8(2): 153~158.
- 高晓峰, 校培喜, 康磊, 等. 2013. 西昆仑大同西岩体成因: 矿物学、地球化学和锆石 U-Pb 年代学制约 [J]. *岩石学报*, 29(9): 3065~3079.
- 郭坤一, 张传林, 王家鑫, 等. 2002. 昆仑东段北缘花岗岩微量元素及同位素地球化学 [J]. *吉林大学学报(地球科学版)*, 3(2): 116~121.
- 韩芳林. 2006. 西昆仑增生造山带演化及成矿背景 [D]. 中国地质大学(北京)博士学位论文, 141~160.
- 侯增谦, 曲晓明, 杨竹森, 等. 2006. 青藏高原碰撞造山带——后碰撞伸展成矿作用 [J]. *矿床地质*, 5(6): 629~651.
- 姜耀辉, 芮行健, 郭坤一, 等. 2000a. 西昆仑造山带花岗岩形成的构造环境 [J]. *地球学报*, 1(1): 23~25.
- 姜耀辉, 芮行健, 郭坤一, 等. 2000b. 西昆仑造山带花岗岩研究新进展 [J]. *火山地质与矿产*, 1(1): 61~62.
- 姜耀辉, 杨万志. 2000c. 青藏高原西部喜马拉雅期花岗岩类特征及岩石系列 [J]. *岩石矿物学杂志*, 19(4): 289~296.
- 姜耀辉, 杨万志. 2000d. 西昆仑 A 型花岗岩带的发现及其地球动力学意义 [J]. *地质论评*, 46(3): 235~24.
- 姜耀辉, 周珣若, 芮行健, 等. 2001. 西昆仑造山带花岗岩岩石系列及成因类型 [J]. *地质学报*, 75(1): 144~155.
- 康磊, 校培喜, 高晓峰, 等. 2012a. 西昆仑慕士塔格岩体的岩石地球化学特征、岩石成因及其构造意义 [J]. *地质通报*, 31(12): 2001~2014.
- 康磊, 校培喜, 高晓峰, 等. 2012b. 西昆仑慕士塔格岩体的 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年: 对古特提斯碰撞时限的制约 [J]. *地质论评*, 58(4): 763~774.
- 李昌年. 1992. 构造岩浆判别的地球化学方法及其讨论 [J]. *地质科技情报*, 11(3): 73~78.
- 李荣社, 计文化, 杨永成. 2008. 昆仑山及邻区地质 [M]. 北京: 地质出版社, 128~141.
- 刘彬, 马昌前, 郭盼, 等. 2013. 东昆仑中泥盆世 A 型花岗岩的确定及其构造意义 [J]. *地球科学: 中国地质大学学报*, 38(5): 947~962.
- 刘成东, 周肃, 莫宣学, 等. 2003. 东昆仑造山带后碰撞花岗岩岩石地球化学和 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 同位素年代学约束 [J]. *华东地质学院学报*, 4(4): 301~305.
- 莫宣学, 赵志丹, 喻学惠. 2009. 青藏高原新生代碰撞-后碰撞火成岩 [M]. 北京: 地质出版社, 367~379.
- 潘裕生, 周伟明, 许荣华, 等. 1996. 昆仑山早古生代地质特征与演化 [J]. *中国科学 D 辑: 地球科学*, 26(4): 302~307.
- 孙海田, 李纯杰, 吴海, 等. 2003. 西昆仑金属成矿省概论 [M]. 北京: 地质出版社, 24~35.
- 汪玉珍, 方锡廉. 1987. 西昆仑山、喀喇昆仑山花岗岩类时空分布规律的初步探讨 [J]. *新疆地质*, 5(1): 9~24.
- 吴福元, 李献华, 杨进辉, 等. 2007. 花岗岩成因研究的若干问题 [J]. *岩石学报*, 23(6): 1217~1238.
- 肖庆辉, 邓晋福, 马大铨. 2002. 花岗岩研究思维与方法 [M]. 北京: 地质出版社, 121~125.
- 张传林, 杨淳, 沈加林, 等. 2003. 西昆仑北缘新元古代片麻状花岗岩锆石 SHRIMP 年龄及其意义 [J]. *地质论评*, 49(3): 239~244.
- 张传林, 于海锋, 王爱国, 等. 2005. 西昆仑西段三叠纪两类花岗岩年龄测定及其构造意义 [J]. *地质学报*, 79(5): 645~652.
- 张玉泉, 朱炳泉, 谢应雯, 等. 1998. 青藏高原西部的抬升速率: 叶城-狮泉河花岗岩 ^{40}Ar - ^{39}Ar 年龄的地质解释 [J]. *岩石学报*, 14(1): 11~21.