

东昆仑祁漫塔格东段晚二叠世-早侏罗世侵入岩岩石组合时空分布、构造环境的讨论*

王秉璋¹ 陈静¹ 罗照华² 陈发彬¹ 王涛¹ 郭贵恩¹

WANG BingZhang¹, CHEN Jing¹, LUO ZhaoHua², CHEN FaBin¹, WANG Tao¹ and GUO GuiEn¹

1. 青海省地质调查院, 青藏高原北部地质过程与矿产资源重点实验室, 西宁 810012

2. 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

1. The Northern Qinghai-Tibet Plateau Geological Processes and Mineral Resources Laboratory, Qinghai Geological Survey Institute, Xining 810012, China

2. State Key Laboratory of Geological Processes and Mineral Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083, China

2014-02-28 收稿, 2014-06-16 改回.

Wang BZ, Chen J, Luo ZH, Chen FB, Wang T and Guo GE. 2014. Spatial and temporal distribution of Late Permian-Early Jurassic intrusion assemblages in eastern Qimantag, East Kunlun, and their tectonic settings. *Acta Petrologica Sinica*, 30(11):3213–3228

Abstract Qimantage area in northern Qinghai-Tibet Plateau is the most important polymetallic ore accumulated area in China. Mineralization is closely related to magmatism and four stages of five granite assemblages have been distinguished during Late Permian to Early Jurassic in the eastern Qimantage and around area: (1) Late Permian monzogranite + syenogranite assemblage, belongs to weakly peraluminous K calc-alkaline series and tonalite + granodiorite assemblage belongs to partial aluminum-weakly peraluminous calc-alkaline series with U-Pb ages of 252.0 ~ 258.5 Ma (LA-ICP-MS), generally contains mafic microgranular enclaves (MME). (2) Middle Triassic diorite + tonalite + granodiorite + (monzogranite) assemblage with U-Pb ages of 226.9 ~ 238.6 Ma (LA-ICP-MS), also rich in dark mafic enclaves, belongs to the partial aluminum-weakly peraluminous calc-alkaline-K calc-alkaline series, with Sr content at $400 \times 10^{-6} \sim 537 \times 10^{-6}$, δEu at 0.67 ~ 0.95. (3) Late Triassic quartz diorite + tonalite + granodiorite + monzogranite assemblage, with U-Pb ages of 211.7 ~ 214.1 Ma, belongs to the partial aluminum-high K calc-alkaline series, Sr content is generally at $341 \times 10^{-6} \sim 515 \times 10^{-6}$, δEu ranges in 0.69 ~ 0.95. (4) Late Triassic-Early Jurassic syenogranite assemblage, the partial aluminum-high K calc-alkaline series, with U-Pb ages of 199.5 ~ 204.4 Ma, Sr content of $54 \times 10^{-6} \sim 195 \times 10^{-6}$. Late Permian granite assemblage formed in continental margin arc setting, probably due to the Paleo-Tethys subduction. Middle Triassic granites are widely exposed, constitute the main body of Indo magmatic arc in the North Kunlun, formed in subduction-collision conversion stage due to the lithospheric subduction slab break-off. This event has universal significance in the East Kunlun orogenic belt, exhibiting the extensive mantle material injection and crust-mantle magma mixing. The Late Triassic granites formed in the post-collision setting, the production of the mantle-derived basaltic magma underplating from bottom of the thickened continental crust.

Key words Granite; Intrusion assemblage; Late Permian-Early Jurassic; Qimantag; East Kunlun

摘要 祁漫塔格地区是青藏高原北部最重要的多金属矿集区,晚二叠世-早侏罗世岩浆作用与成矿作用关系密切,以祁漫塔格东段为研究区分析讨论了祁漫塔格及临区晚二叠世-早侏罗世花岗岩特点,从晚二叠世-早侏罗世可以识别出4个阶段5个花岗岩组合。(1)晚二叠世弱过铝质高钾钙碱性系列二长花岗岩 + 正长花岗岩组合与偏铝质-弱过铝质钙碱性系列英云闪长岩 + 花岗闪长岩组合,LA-ICP-MS U-Pb 年龄在 252.0 ~ 258.5 Ma, 普遍含暗色铁镁质微粒包体;(2)中三叠世闪长岩 + 英云闪长岩 + 花岗闪长岩 + (二长花岗岩)组合,LA-ICP-MS U-Pb 年龄在 226.9 ~ 238.6 Ma, 富含暗色铁镁质微粒包体,为偏铝质-弱过铝质钙碱性-高钾钙碱性系列岩石,Sr 含量一般在 $400 \times 10^{-6} \sim 537 \times 10^{-6}$, δEu 在 0.67 ~ 0.95;(3)晚三叠世石英闪长岩 +

* 本文受中国地质调查局专项项目(1212010818048)、青海省自然科学基金项目(2012-Z-934Q)和青海省应用基础研究项目(2010-Z-705)联合资助。

第一作者简介:王秉璋,男,1969年生,博士,教授级高工,矿物、岩石、矿床学专业,岩浆活动与成矿作用、区域岩石大地构造研究方向, E-mail: wbz6901@126.com

英云闪长岩+花岗闪长岩+二长花岗岩组合, LA-ICP-MS U-Pb 年龄在 211.7~214.1Ma, 为偏铝质高钾钙碱性系列岩石, Sr 含量一般在 $341 \times 10^{-6} \sim 515 \times 10^{-6}$, δEu 在 0.69~0.95 之间; (4) 晚三叠世-早侏罗世正长花岗岩组合, LA-ICP-MS U-Pb 年龄在 199.5~204.4Ma, 为偏铝质高钾钙碱性系列岩石, Sr 含量在 $54 \times 10^{-6} \sim 195 \times 10^{-6}$ 。晚二叠世花岗岩组合为大陆边缘弧火成岩构造组合, 与古特提斯洋俯冲相关; 中三叠世花岗岩组合出露面积巨大, 构成了印支期北昆仑岩浆弧的主体, 形成于俯冲-碰撞转换阶段, 与俯冲岩石圈板块的脱离相关, 这一事件在东昆仑具有普遍意义, 是东昆仑造山带最具规模的地幔物质注入与壳幔岩浆混合事件, 晚三叠世花岗岩组合形成于后碰撞阶段, 是加厚陆壳底部幔源玄武质岩浆底侵作用的结果。

关键词 花岗岩; 岩石组合; 晚二叠世-早侏罗世; 祁漫塔格; 东昆仑

中图法分类号 P588.121; P597.3

东昆仑祁漫塔格地区找矿勘探取得了一系列重大突破, 成为我国重要的战略资源接替基地, 近五年来祁漫塔格东端拉陵灶火地区找矿新发现多, 是祁漫塔格整装勘查区找矿突破最大的地区, 发现了哈西雅图大型铁多金属矿床, 夏日哈木超大型镍矿以及拉陵高里河沟脑、拉陵灶火河中游等一批小型铜铅矿床。这些新进展进一步表明, 东昆仑地区金属矿产成矿作用主要与火山-岩浆活动有关, 找矿工作最容易取得突破性进展的是与火成岩类有关的内生金属矿产。然而, 迄今为止, 东昆仑祁漫塔格地区系统的研究工作主要集中在祁漫塔格西段的卡尔却卡、野马泉及白干湖等片区, 祁漫塔格东段尚未开展过系统的火成岩类与成矿作用方面的研究工作, 深入开展该区岩浆作用研究工作对于进一步开展火成岩类成岩与成矿作用关系的研究具有重要意义。东昆仑印支期花岗岩极为发育, 印支期是最重要的成矿期, 从祁漫塔格东段的情况来看, 印支期中酸性深成岩浆作用十分强烈, 时空分期带性很明显, 本文重点讨论祁漫塔格东段印支期侵入岩特征, 为了有一个相对连续的时间演化上的认识, 本文讨论的花岗岩组合从晚二叠世开始, 止于早侏罗世。

1 地质背景

东昆仑西段最显著的地质特点是北部存在祁漫塔格构造带, 该带曾被称为祁漫塔格断褶带 (青海省地质矿产局, 1991), 祁漫塔格优地槽褶皱带 (新疆维吾尔自治区地质矿产局, 1993), 北祁漫塔格早古生代岩浆弧及祁漫塔格早古生代结合带 (潘桂棠等, 2002) 等, 最近的研究表明祁漫塔格地区早古生代海相火山岩均形成于弧后扩张环境, 除祁漫塔格早古生代结合带内的早古生代火山岩外, 南部那陵格勒河一带也识别出了一个早古生代海相火山岩盆地 (王秉璋等, 2012), 这样东昆仑西段区域构造格架就可以有一个更为清晰的轮廓 (图 1)。研究区位于祁漫塔格的最东段, 南部为北昆仑岩浆弧, 出露地层为古元古代白沙岩组, 为一套以长英质片麻岩为主体的中深变质岩系 (图 2); 北部为祁漫塔格早古生代弧后盆地, 主体由奥陶纪碳酸盐岩建造、岛弧拉斑玄武岩建造及碎屑岩建造组成, 上覆地层主要为泥盆纪高钾钙碱性中酸性火山岩建造和石炭纪碳酸盐岩建造。

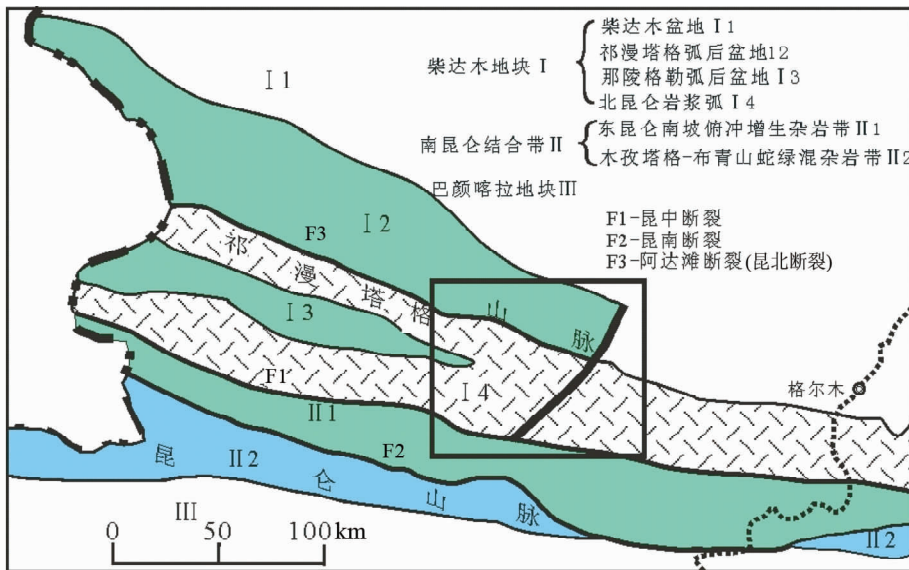


图 1 青海东昆仑西段地质构造略图

Fig. 1 Geological sketch of the western part of East Kunlun

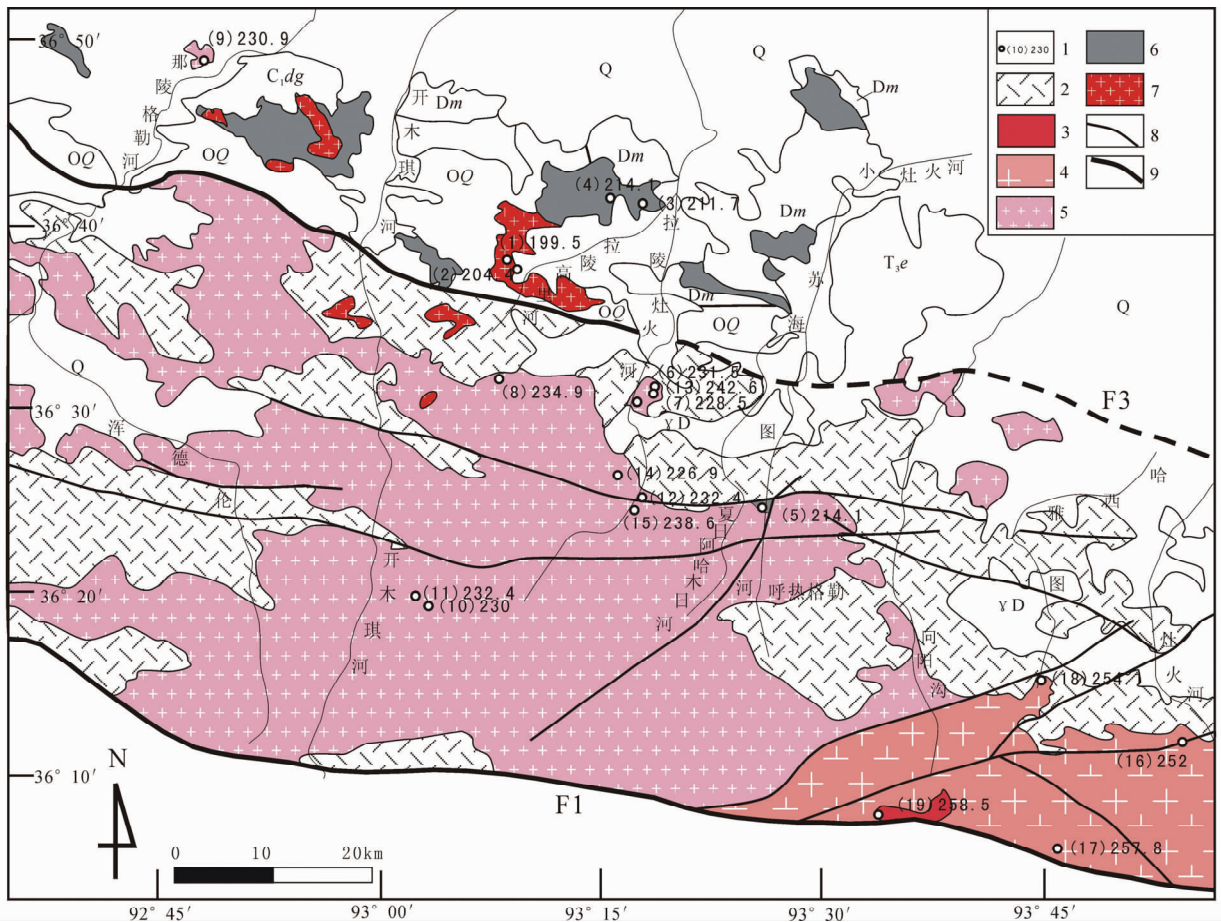


图2 祁漫塔格东段晚二叠世-早侏罗世花岗岩分布图

1-同位素采样点及年龄;2-古元古代金水口岩群;3-晚二叠世向阳沟二长花岗岩+正长花岗岩组合;4-晚二叠世灶火河英云闪长岩+花岗闪长岩组合;5-中三叠世开木琪闪长岩+英云闪长岩+(斑状)花岗闪长岩+二长花岗岩组合;6-晚三叠世拉陵灶火石英闪长岩+英云闪长岩+花岗闪长岩+二长花岗岩组合;7-晚三叠世-早侏罗世拉陵高里正长花岗岩组合;8-地质界线;F1-昆中断裂;F3-昆北断裂;OQ-祁漫塔格群;Dm-牦牛山组;C₁dg-大干沟组;T₃e-鄂拉山组;γD-泥盆纪花岗岩;Q-第四系。图中年龄编号对应表2

Fig.2 Distribution of the Late Permian-Early Jurassic granites in eastern Qimantag

1-sampling point and age; 2-Paleoproterozoic Jinshuiou Group; 3-Late Permian Xiangyanggou monzogranite + syenogranite assemblage; 4-Late Permian Zaohuohe tonalite + granodiorite assemblage; 5-Middle Triassic Kaimuqi diorite + tonalite + (porphyritic) granodiorite + monzogranite assemblage; 6-Late Triassic Lalingzaohuo quartz diorite + tonalite + granodiorite + monzogranite assemblage; 7-Late Triassic-Early Jurassic Lalinggaoli syenogranite assemblage; 8-geological boundary; 9-fault; F1-Middle Kunlun fault; F3-North Kunlun fault; OQ-Qimantage Group; Dm-Maoniushan Formation; C₁dg-Dagangou Formation; T₃e-Elashan Formation; γD-Devonian granite; Q-Quaternary. Age number in this figure corresponds to Table 2

2 地质特征

除泥盆纪花岗岩外,该区晚二叠世-晚三叠世花岗岩出露占主体。可以识别出4个阶段5个花岗岩组合,晚二叠世向阳沟二长花岗岩+正长花岗岩组合与灶火河英云闪长岩+花岗闪长岩组合,中三叠世开木琪闪长岩+英云闪长岩+(斑状)花岗闪长岩+二长花岗岩组合,晚三叠世拉陵灶火石英闪长岩+英云闪长岩+花岗闪长岩+二长花岗岩组合,晚三叠世-早侏罗世拉陵高里正长花岗岩组合。目前侵入岩区填图单位的建立还未形成一个统一的、被广泛接受的划分体

系,给区调填图工作带来了很大的不便,为了便于区域对比研究,上述岩石组合均加了地理名称命名。

晚二叠世向阳沟组合呈小的岩株零星分布于研究区东南部(图2),岩性主要为浅肉红色-肉红色中细粒正长花岗岩与二长花岗岩,暗色矿物为少量的黑云母(<5%)与普通角闪石(<3%)。晚二叠世灶火河组合主要分布在研究区东南部,呈岩基状产出,岩性主要为灰白色中细粒英云闪长岩和灰色中细粒花岗闪长岩,暗色矿物主要为黑云母(7%~15%)和少量角闪石(<3%),岩石中可见闪长质微粒包体,包体的大小一般5~20cm,形态近圆形及椭圆形。

中三叠世开木琪组合主要分布于北昆仑岩浆弧内,昆北



图3 开木组合花岗闪长岩岩貌及暗色包体

γδ-花岗闪长岩; MME-铁镁质暗色微粒包体

Fig. 3 Granodiorite appearance and enclaves of Kaimuqi assemblage

γδ-granodiorite; MME-mafic microgranular enclaves

断裂以北有极少量分布。岩带呈北西向展布,其中闪长岩、石英闪长岩、英云闪长岩均呈规模较小的岩株状产出,花岗闪长岩出露占绝对优势,占该组合出露面积的80%以上,以开木琪岩基为主体,其它岩体呈岩株产出,围绕开木琪岩基北西向展布。开木琪组合是祁漫塔格东段北昆仑岩浆弧出露面积最大的深成侵入岩组合,与祁漫塔格西部的中三叠世莫斯图组合(王秉璋等,2009)相似,共同构成了东昆仑西段北昆仑岩浆弧的主体,该组合在北昆仑岩浆弧中的巨量产出是东昆仑西段的一个显著特征。岩体侵入于古元古代金水口岩群白沙河岩组,含有十分丰富的暗色铁镁质微粒包体(图3),这也是该组合的一个特征,包体主要以浑圆状为主,其次见椭圆状,次棱角状等。石英闪长岩为中细粒,细粒花岗结构,块状构造,主要由石英(10%~20%)、斜长石(60%~70%)、普通角闪岩(5%~15%)、黑云母(<5%)等矿物组成;英云闪长岩具中细粒、细粒花岗结构,块状构造,矿物组成主要为斜长石(67%~68%)、钾长石(2%~10%)、石英(23%~24%)、黑云母(6%~7%)、角闪石(<4%)等。花岗闪长岩为中细粒花岗结构,块状构造,矿物成份主要为斜长石(40%~50%)、钾长石(10%~15%)、石英(20%~30%)、黑云母(1%~3%)和角闪石(10%)。岩石中普遍含有微量磁铁矿(<2%)。

晚三叠世拉陵灶火组合主要分布在研究区北部那陵格勒河-苏海图河一带,主体分于昆北断裂以北的早古生代弧后盆地中。以岩基和岩株近东西向展布,岩体中暗色闪长质包体也较为发育,大多数包体具有熔融状态下的流动变形特点。闪长岩具中细粒半自形粒状结构,块状构造,矿物成分为斜长石(80%~85%)、角闪石(10%~15%)、黑云母(1%~6%)等;石英闪长岩为灰中-细粒半自形粒状结构,块状构造,岩石由斜长石(60%)、角闪石(24%)、黑云母(6%)、石英(8%)及少量磁铁矿、磷灰石等组成;英云闪长岩为中粒半

自形粒状结构,块状构造,矿物组成主要有斜长石(66%~67%)、石英(24%~25%)、黑云母(3%)、钾长石(2%~3%)、角闪石(1%~2%)。花岗闪长岩具中-细粒半自形粒状结构,块状构造,岩石由斜长石(50%,主要为中长石)、钾长石(23%)、石英(20%)、黑云母(7%)及少量不透明矿物、褐帘石、榍石等组成;二长花岗岩具细粒花岗结构,块状构造,矿物成份主要为斜长石(35%~40%),黑云母(<3%)、钾长石(30%~35%)、石英(20%~25%)、斜长石(35%~40%,为更长石)。

晚三叠世-早侏罗世拉陵高里组合分布零星,岩体出露规模均较小,具有后造山小岩体群的特征。岩石类型相对单一,野外露头上岩石多显肉红、浅肉红色,多具中细粒半自形粒状结构,块状构造,岩石由钾长石(60%~70%,主要为正长石)、石英(20%~30%)、斜长石(5%~10%)、黑云母(2%~4%)组成。

3 主元素和微量元素特征

晚二叠世花岗岩组合数据来自中国地质大学(武汉)地质调查研究院(2013^①),其它样品由武汉岩矿测试中心分析,主元素分析测试采用X荧光光谱法(XRF)完成,分析仪器为菲利普PW2440型波长色散X-射线荧光光谱仪,稀土元素采用阳离子交换分离-电感耦合等离子体原子发射光谱法(ICP-AES),测试仪器采用法国JY公司JY38S型单道扫描电感耦合等离子体原子发射光谱仪,微量元素采用电感耦合等离子质谱法(ICP-MS),测试仪器采用美国热电公司X7电感耦合等离子质谱仪。测试结果列于表1中。

晚二叠世向阳沟组合岩石具高硅(SiO_2 在67.68%~74.52%,均值71.35%)、高碱(ALK在5.78%~7.69%)、低铁(FeO^T 在1.7%~4.1%)、低镁(0.03%~0.09%)的特征, Na_2O 含量略小于 K_2O ($\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$ 均值为0.9)。采用干体系进行岩石地球化学分类(图4),为二长花岗岩+正长花岗岩组合,与实际矿物分类是一致的,A/CNK在0.96~1.14,均值为1.05,属弱过铝质高钾钙碱性系列岩石。 ΣREE 在 108.7×10^{-6} ~ 287.1×10^{-6} , $(\text{La}/\text{Yb})_N$ 在6.9~20.1,轻稀土强烈富集, δEu 在0.4~0.7,具明显负异常(图5a(1))。微量元素比值蛛网图(图6a(1))中Nb、Ta、P、Ti、Sr具有负异常。该组合与祁漫塔格西部北昆仑岩浆弧中的晚二叠世-早三叠世尕斯库勒塔格(斑状)二长花岗岩+正长花岗岩组合具有一定的相似性,均为高硅、高钾偏铝质-弱过铝质碱性系列或高钾钙碱性系列岩石,岩体中含有较丰富的暗色铁镁质微粒包体(王秉璋,2011),说明整个青海东昆仑西段北昆仑岩浆弧中该组合分布是比较广泛的。

① 中国地质大学(武汉)地质调查研究院.2013.青海东昆仑中灶火地区1:5万J46E024015、J46E023015、J46E022015、J46E021015四幅区域地质调查报告

表 1 研究区花岗岩类主量元素 (wt%) 和微量元素 ($\times 10^{-6}$) 分析结果Table 1 Analytical results of major (wt%) and trace elements ($\times 10^{-6}$) for granites

序号	KMQ1	KMQ2	KMQ3	KMQ4	KMQ5	KMQ6	KMQ7	KMQ8	KMQ9	KMQ10
岩性	二长花岗岩			花岗闪长岩			石英闪长岩	英云闪长岩	二长花岗岩	英云闪长岩
样品号	Pm20 Gs8-1	Pm20 Gs1-1	Pm20 Gs2-1	Pm20 Gs3-1	10DQ9 Gs6025	10DQ9 Gs6633	Pm22 Gs3-1	Gs5035-1	Pm20 Gs13-1	GsU002
年龄 (Ma)					232.4		232.4		230	
SiO ₂	69.97	69.64	71.05	70.97	70.95	71.14	60.76	63.37	70.44	69.76
TiO ₂	0.37	0.33	0.35	0.34	0.42	0.35	1.02	0.80	0.37	0.40
Al ₂ O ₃	14.79	15.14	14.48	14.61	14.05	14.45	15.49	16.43	14.42	14.7
Fe ₂ O ₃	1.01	0.79	0.78	0.94	0.83	1.00	1.54	1.16	1.00	0.72
FeO	1.50	1.50	1.67	1.42	1.93	1.65	4.45	3.60	1.53	2.05
MnO	0.06	0.05	0.06	0.05	0.05	0.06	0.10	0.08	0.06	0.06
MgO	0.93	0.91	0.89	0.82	0.99	0.85	3.62	2.37	1.05	1.27
CaO	2.72	2.50	2.55	2.37	3.01	2.77	5.88	5.38	2.48	2.96
Na ₂ O	3.50	3.64	3.62	3.53	3.26	3.63	3.25	3.33	3.38	2.55
K ₂ O	3.88	3.88	3.34	3.76	3.00	3.02	2.21	2.08	3.92	4.41
P ₂ O ₅	0.10	0.10	0.10	0.10	0.13	0.11	0.18	0.20	0.11	0.11
H ₂ O ⁺	0.83	0.95	0.81	0.74	1.05	0.68	1.12	0.87	0.88	0.66
LOS	0.12	0.31	0.08	0.12	0.1	0.08	0.18	0.13	0.12	0.11
总量	99.78	99.74	99.78	99.77	99.77	99.79	99.80	99.80	99.76	99.76
Ba	684	1001	670	788	648	671	303	440	834	788
Rb	147	125	145	125	78	95	74	91.9	129	119
Sr	401	492	452	416	440	432	403	425	440	294
Y	14.38	13.18	15.62	14.73	13.8	12.2	24.9	17.5	13.27	27.7
Zr	120	128	129	143	163	166	198	170	120	160
Nb	8.34	8.05	9.37	7.84	8.32	8.95	7.74	10.6	6.71	7.69
Th	16.89	12.87	15.2	15.2	18.6	17.2	9.43	12.5	16.12	17.3
Hf	4.31	4.19	4.36	4.69	5.04	5.12	5.41	5.38	3.98	4.96
Ta	1.11	0.86	1.17	0.96	0.95	0.95	0.81	1.21	0.91	1.08
La	30.14	33.61	36.02	35.62	42.1	38.7	19.8	28.3	23.78	25.1
Ce	59.88	64.97	70.77	71.11	81.3	77.2	46.3	56.1	49	47.3
Pr	6.41	6.81	7.53	7.29	8.73	8.02	5.8	6.95	5.47	5.19
Nd	22.66	23.58	26.43	24.74	29.5	26	21.9	25.6	20.14	17.7
Sm	3.97	4.25	4.62	4.21	4.85	4.1	4.76	4.87	3.85	3.08
Eu	0.92	0.91	0.89	0.87	1.2	1	1.37	1.35	0.99	0.93
Gd	3.59	3.05	3.44	3.1	4.4	3.91	4.96	4.13	3.37	2.78
Tb	0.49	0.48	0.54	0.49	0.53	0.46	0.73	0.63	0.46	0.4
Dy	2.64	2.6	2.84	2.66	2.68	2.18	4.43	3.35	2.47	2.2
Ho	0.49	0.47	0.53	0.5	0.51	0.41	0.9	0.63	0.46	0.44
Er	1.43	1.22	1.49	1.39	1.36	1.23	2.54	1.74	1.26	1.51
Tm	0.22	0.18	0.23	0.22	0.2	0.19	0.4	0.27	0.19	0.19
Yb	1.53	1.21	1.52	1.47	1.29	1.25	2.5	1.73	1.3	1.33
Lu	0.23	0.17	0.22	0.21	0.21	0.2	0.4	0.25	0.19	0.2

序号	KMQ11	KMQ12	KMQ13	KMQ14	KMQ15	LLZH1	LLZH2	LLZH3	LLZH4
岩性	石英闪长岩	闪长岩	闪长岩	花岗闪长岩	英云闪长岩	二长花岗岩			
样品号	Pm23 Gs2-1	10DQ9 Gs4375	10DQ9 Gs4516	X II Gs043	X II Gs031	Pm24 Gs1-1	Pm24 Gs6-1	Pm24 Gs2-1	Pm24 Gs5-1
年龄 (Ma)	231.5		228.5	234.9	230.9				
SiO ₂	56.37	57.32	51.55	69.39	60.06	69.19	65.76	67.45	68.07
TiO ₂	1.82	0.75	1.06	0.37	1.18	0.49	0.64	0.56	0.53
Al ₂ O ₃	17.46	16.74	17.97	15.17	14.5	14.59	14.96	15.02	14.72
Fe ₂ O ₃	1.19	2.93	3.85	0.96	3.96	1.18	2.33	1.54	1.44
FeO	5.60	4.62	6.00	1.75	3.93	1.90	1.97	1.90	1.97
MnO	0.10	0.16	0.17	0.06	0.13	0.04	0.07	0.06	0.05

续表 1

Continued Table 1

序号	KMQ11	KMQ12	KMQ13	KMQ14	KMQ15	LLZH1	LLZH2	LLZH3	LLZH4
岩性	石英闪长岩	闪长岩	闪长岩	花岗闪长岩	英云闪长岩	二长花岗岩			
样品号	Pm23	10DQ9	10DQ9	X II Gs043	X II GS031	Pm24	Pm24	Pm24	Pm24
年龄 (Ma)	Gs2-1	Gs4375	Gs4516			Gs1-1	Gs6-1	Gs2-1	Gs5-1
MgO	3.30	3.09	4.18	1.04	3.39	1.30	1.88	1.57	1.70
CaO	6.57	6.87	8.38	3.13	5.37	3.17	3.60	3.69	2.96
Na ₂ O	3.87	3.09	2.94	3.62	3.17	3.52	3.50	3.59	3.31
K ₂ O	1.77	2.73	1.66	3.46	1.66	3.67	3.63	3.56	4.04
P ₂ O ₅	0.44	0.28	0.29	0.11	0.29	0.15	0.25	0.21	0.19
H ₂ O ⁺	1.26	1.07	1.60	0.08	0.18	0.53	0.92	0.58	0.72
LOS	0.06	0.12	0.12	0.63	1.97	0.06	0.25	0.04	0.08
总量	99.81	99.77	99.77	99.77	99.79	99.79	99.76	99.77	99.78
Ba	358	515	402	712	426	594	703	608	649
Rb	64	72	60	88.5	115	143	123	115	149
Sr	400	498	537	72.8	303	413	515	496	481
Y	33.67	31.3	26.1	15.6	19.9	15.2	17.1	16.8	14.5
Zr	141	212	221	125	251	149	195	180	158
Nb	11.2	9.18	6.77	10.3	11.8	10.1	11.4	11.7	11.2
Th	7.55	26.3	10.1	17.9	12.7	21.8	20	26.9	19.2
Hf	6.32	6.17	5.9	3.49	6.74	4.92	6.04	5.9	5.44
Ta	1.03	0.83	0.51	0.87	1.13	1.25	1.18	1.39	1.26
La	30.26	50.2	30.3	23.5	28.7	34.4	37.4	45.9	45.7
Ce	68.65	105	66.9	46.2	58.3	65.9	76.7	88.1	79.1
Pr	8.5	12	8.27	5.36	7.58	7.03	8.41	9.19	7.79
Nd	35.66	43.2	31.4	19.7	29.9	24.6	30.4	32.1	26.2
Sm	7.78	8.44	6.56	4.03	6.27	4.47	5.43	5.51	4.46
Eu	1.9	1.81	1.75	1.14	1.53	0.947	1.25	1.25	0.955
Gd	6.79	7.82	6.41	3.51	5.71	3.75	4.65	4.92	3.43
Tb	1.09	1.04	0.86	0.512	0.814	0.531	0.631	0.652	0.511
Dy	6.43	5.76	4.79	2.78	4.52	2.72	3.26	3.32	2.76
Ho	1.19	1.11	0.94	0.518	0.769	0.498	0.603	0.602	0.495
Er	3.17	3.17	2.68	1.45	1.86	1.43	1.64	1.67	1.38
Tm	0.45	0.48	0.39	0.234	0.282	0.216	0.241	0.251	0.212
Yb	2.79	3.15	2.57	1.54	1.76	1.42	1.56	1.68	1.4
Lu	0.4	0.48	0.38	0.219	0.24	0.205	0.238	0.246	0.213

序号	LLZH5	LLZH6	LLZH7	LLGL1	LLGL2	LLGL3	LLGL4	LLGL5	LLGL12	LLGL13
岩性	花岗闪长岩	石英闪长岩	花岗闪长岩				花岗岩			
样品号	2555	Pm026	10DQ9	Pm25	Pm25	Pm25	Pm21	Pm21	10DQ9	10DQ9
年龄 (Ma)	211.7	JD4-1	Gs6479	Gs3-3	Gs3-4	Gs3-5	Gs1-1	Gs6-1	Gs3132	Gs3603
SiO ₂	67.38	59.44	63.58	76.09	76.17	76.15	75.77	73.13	76.16	76.43
TiO ₂	0.56	0.97	0.69	0.07	0.10	0.08	0.17	0.22	0.14	0.16
Al ₂ O ₃	15.18	16.68	15.87	12.35	12.3	12.49	12.41	13.51	12.67	12.44
Fe ₂ O ₃	1.66	2.13	1.00	0.58	0.94	0.8	0.94	0.75	0.26	0.40
FeO	1.98	4.60	3.40	0.50	0.42	0.33	0.68	1.00	1.13	1.03
MnO	0.06	0.13	0.07	0.02	0.03	0.03	0.03	0.04	0.04	0.04
MgO	1.64	2.93	2.00	0.2	0.17	0.15	0.37	0.56	0.29	0.33
CaO	3.39	6.73	4.98	0.64	0.65	0.65	0.99	1.52	0.74	0.80
Na ₂ O	3.29	3.35	3.55	3.44	3.25	3.54	3.8	3.88	3.09	3.18
K ₂ O	3.77	1.56	2.30	5.32	5.18	5.14	4.22	4.12	4.73	4.44
P ₂ O ₅	0.21	0.14	0.20	0.02	0.03	0.03	0.05	0.06	0.07	0.07
H ₂ O ⁺	0.58	1.08	1.33	0.43	0.45	0.32	0.38	0.54	0.44	0.45

续表 1

Continued Table 1

序号	LLZH5	LLZH6	LLZH7	LLGL1	LLGL2	LLGL3	LLGL4	LLGL5	LLGL12	LLGL13
岩性	花岗闪长岩	石英闪长岩	花岗闪长岩				花岗岩			
样品号	2555	Pm026 JD4-1	10DQ9 Gs6479	Pm25 Gs3-3	Pm25 Gs3-4	Pm25 Gs3-5	Pm21 Gs1-1	Pm21 Gs6-1	10DQ9 Gs3132	10DQ9 Gs3603
年龄(Ma)	211.7	214.1	214.1							199.5 204.4
LOI	0.07	0.06	0.12	0.21	0.16	0.16	0.06	0.51	0.09	0.09
总量	99.77	99.8	99.09	99.87	99.85	99.87	99.87	99.84	99.85	99.86
Ba	683	392	568	278	370	258	227	492		
Rb	138	53.2	62	128	112	140	187	171		
Sr	505	341	457	101	82.5	53.7	81.1	195		
Y	23.2	22.3	10.8	16.8	11.4	15.6	28.3	17.9		
Zr	184	118	146	61.9	59.2	66.1	112	135		
Nb	12.4	5.74	8.77	8.8	1.89	6.75	14	12.3		
Th	14.4	4.96	6.72	18.1	16	16.2	26.4	24		
Hf	5.8	3.5	4.31	3.3	2.66	3.4	4.84	5.12		
Ta	1.32	0.52	0.88	1.55	1.13	1.43	1.82	1.4		
La	34.7	17.9	21.8	29.5	29	22.3	46.5	43.4	34.6	32.4
Ce	63.2	37.4	48.2	57.8	58.6	47.7	98.4	90.3	66.5	63.5
Pr	7.04	4.51	5.41	6.01	6.07	5.29	10.4	8.88	7.55	7.36
Nd	24.2	18.2	19.1	19.1	19.1	17.6	35.2	29.1	24.8	24.7
Sm	4.18	4.04	3.58	3.32	3.08	3.54	6.64	4.93	4.51	4.71
Eu	1.07	1.17	1.09	0.319	0.418	0.262	0.284	0.531	0.304	0.279
Gd	3.51	4.19	3.29	3.27	2.77	3.19	5.9	4.24	3.74	3.93
Tb	0.477	0.65	0.417	0.486	0.395	0.491	0.858	0.594	0.529	0.599
Dy	2.45	4.01	2.06	2.76	1.95	2.83	4.75	3.18	2.78	3.43
Ho	0.428	0.801	0.378	0.551	0.367	0.542	0.879	0.59	0.515	0.632
Er	1.43	2.28	1.02	1.61	1.08	1.54	2.52	1.77	1.68	2.08
Tm	0.183	0.35	0.142	0.262	0.183	0.247	0.397	0.288	0.237	0.304
Yb	1.19	2.36	0.968	1.78	1.1	1.68	2.67	1.9	1.65	1.95
Lu	0.193	0.336	0.153	0.258	0.166	0.248	0.388	0.275	0.239	0.29

注:KMQ1-KMQ15 号为开木琪组合;LLZH1-LLZH7 号为拉陵灶火组合;LLGL1-LLGL13 号为拉陵高里组合

晚二叠世灶火河组合 SiO_2 含量在 62.95% ~ 68.63%, 全碱含量在 5.3% ~ 6.1%, Na_2O 含量大于 K_2O ($\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$ 平均值为 1.8), K_2O 含量相对偏低(1.56% ~ 2.26%), 铝含量较高, Al_2O_3 在 15.64% ~ 16.88%, 均值为 16.3%, FeO^T 含量在 2.9% ~ 5.1%。岩石化学分类(图 4)中岩石组合为英云闪长岩 + 花岗闪长岩, 为偏铝质-弱过铝质钙碱性系列岩石(图 4), A/CNK 在 0.95 ~ 1.08, 平均值为 1.0。 ΣREE 在 85.61×10^{-6} ~ 180.8×10^{-6} , $(\text{La}/\text{Yb})_N$ 在 11.6 ~ 26.2, 轻稀土富集, δEu 在 0.6 ~ 0.9, 具轻度负异常(图 5a(2)), 微量元素比值蛛网图(图 6a(2))中 Nb、Ta、P、Ti 具有负异常。Sr 具微弱的负异常, Sr 浓度比较高, 在 291×10^{-6} ~ 453×10^{-6} , 均值为 370×10^{-6} , 接近高 Sr 花岗岩, Yb 浓度低, 在 0.61×10^{-6} ~ 1.49×10^{-6} 。

中三叠世开木琪组合(KMQ1-KMQ15)中闪长岩、石英闪长岩 SiO_2 含量在 51.55% ~ 60.76%, TiO_2 含量较高, 在 0.75% ~ 1.82%, 均值 1.17%, Al_2O_3 含量介于 14.5% ~ 17.97%, FeO^T 介于 5.8% ~ 9.5%, MgO 含量介于 3.09% ~ 4.18%, CaO 含量在 5.37% ~ 8.38%, 全碱含量在 4.6% ~

5.8%, $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$ 在 1.1 ~ 2.2, 均值 1.7, 为钾质类型, 岩石化学分类(图 4)中为辉长闪长岩和闪长岩, 和实际矿物分类一致, 为偏铝质钙碱性系列(图 4)岩石, A/CNK 在 0.82 ~ 0.86。英云闪长岩与花岗闪长岩具高硅(SiO_2 含量在 63.37% ~ 71.14%, 均值为 69.7%)、高碱(ALK 在 5.41% ~ 7.52%)的特点, 钾钠含量基本相等, $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$ 在 0.58 ~ 1.6, 均值为 1.1, 为钾质类型, Al_2O_3 含量低, 在 14.05% ~ 16.43%, 均值 14.8%。 A/CNK 在 0.82 ~ 1.03 之间, 为偏铝质-弱过铝质岩石。硅碱图(图 4a)中多数样品分布于花岗岩区, 与实际矿物分类略有差异, 可能与角闪石、黑云母等富钾矿物较高的含量有关, 图 4b 中样品主要分布于花岗闪长岩区, 部分为英云闪长岩, 结合实际矿物分类该组合岩性为闪长岩 + 石英闪长岩 + 英云闪长岩 + (斑状)花岗闪长岩 + (二长花岗岩), 其中花岗闪长岩是该组合的主体。该组合所有岩石类型稀土元素组成具有相似性(图 5b), $\Sigma \text{REE} = 108.4 \times 10^{-6}$ ~ 243.7×10^{-6} , $(\text{La}/\text{Yb})_N$ 在 5.3 ~ 22.0, 轻稀土富集, δEu 在 0.67 ~ 0.95, 轻度亏损。微量元素比值蛛网图(图 6b)中 Nb、P、Ti 具有负异常。Sr 具微弱的负异常, Sr

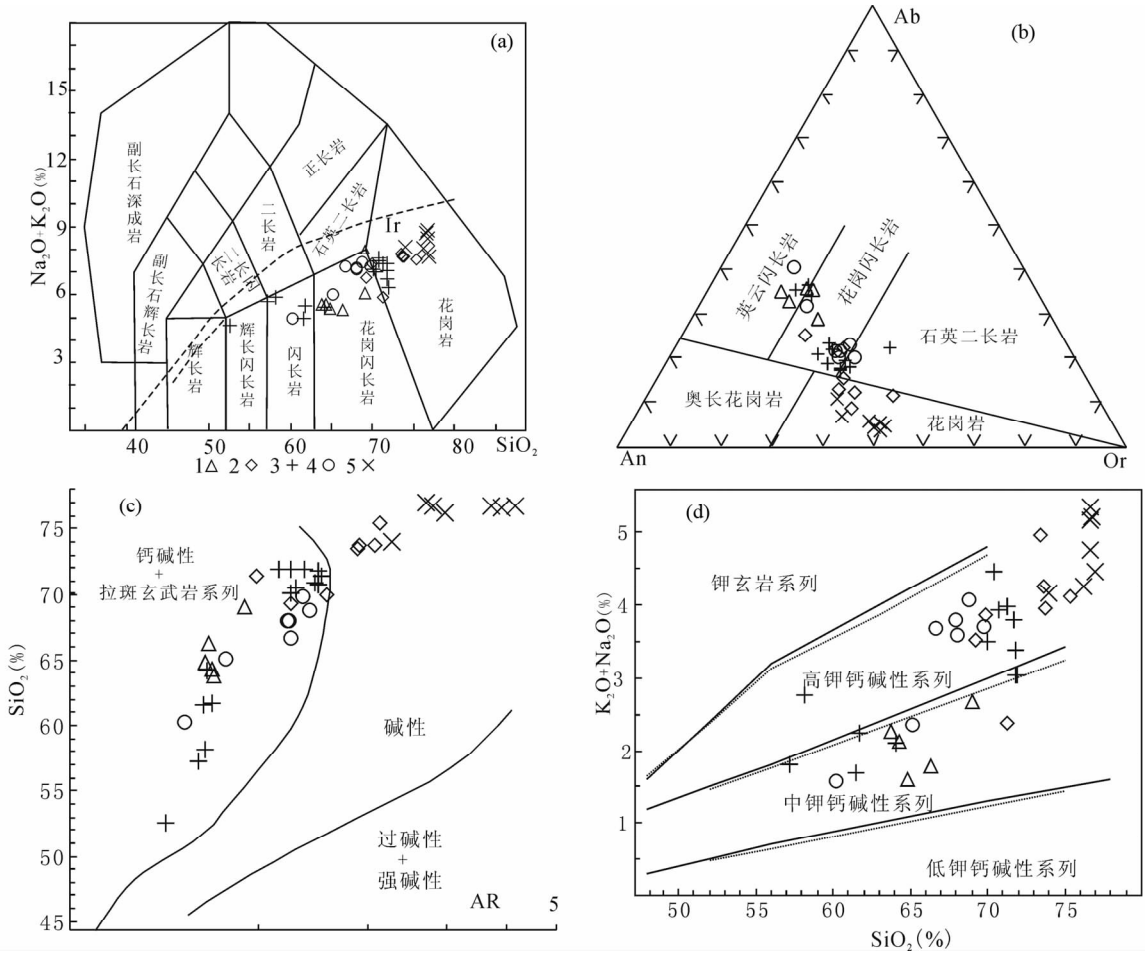


图4 花岗岩的岩石分类图解

(1) 硅碱图解(据 Middlemost, 1994); (2) Ab-An-Or 图解(据 O' Connor, 1965); (3) SiO_2 -AR 图解(据 Wright, 1969); (4) SiO_2 - K_2O 图解(据 Rollinson, 1993). 1-灶火河组合; 2-向阳沟组合; 3-开木琪组合; 4-拉陵灶火组合; 5-拉陵高里组合

Fig. 4 Granite classification diagram

(1) silicon and alkali diagram (after Middlemost, 1994); (2) Ab-An-Or diagram (after O' Connor, 1965); (3) SiO_2 -AR diagram (after Wright, 1969); (4) SiO_2 - K_2O diagram (after Rollinson, 1993). 1-Zaohuohe assemblage; 2-Xiangyanggou assemblage; 3-Kaimuqi assemblage; 4-Lalingzaohuo assemblage; 5-Lalinggaoli assemblage

浓度高,一般在 $400 \times 10^{-6} \sim 537 \times 10^{-6}$, 具高 Sr 花岗岩的特征, 闪长岩类 Yb 含量较高, 在 1.76 ~ 3.15, 平均值为 2.55, 具高 Sr 高 Yb 型花岗岩的特点, 而英云闪长岩、花岗闪长岩、二长花岗岩 Yb 含量低, 在 1.25 ~ 1.73 之间, 平均值为 1.4, 具有高 Sr 低 Yb 型花岗岩的特点。

晚三叠世拉陵灶火组合(LLZH1-LLZH7)岩石也采用 O' Connor(1965) An-Ab-Or 标准矿物分类方案与 Middlemost(1994) 化学分类(图4), 结合实际矿物分类, 岩石组合为石英闪长岩+英云闪长岩+花岗闪长岩+(二长花岗岩), 其中花岗闪长岩与英云闪长岩出露面积占绝对优势。岩石 SiO_2 含量在 59.19% ~ 69.19% 之间, Na_2O 含量在 3.29% ~ 3.59%, K_2O 含量在 1.56% ~ 4.04%, $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$ 在 0.8 ~ 2.1, 平均值为 1.2, 钾钠含量近于相等, 为钾质类型($\text{Na}_2\text{O}-2.0 \geq \text{K}_2\text{O}$ 为标准)(Le Maitre *et al.*, 1989), TiO_2 含量在

0.49% ~ 0.97% 之间, Al_2O_3 的含量介于 14.59% ~ 16.68% 之间, FeO^{T} 的含量介于 2.96% ~ 6.51% 之间, MgO 的含量介于 1.3% ~ 2.93% 之间, CaO 的含量在 3.17% ~ 6.73%。岩石属于钙碱性系列(图4c), 硅钾图(图4d)中样品主要投于高钾钙碱性系列区。A/CNK 值变化较大, 在 0.86 ~ 0.97, 平均值为 0.97, 为偏铝质岩石为主。不同类型岩石具有相似稀土元素配分模式(图5c)分布特点, $(\text{La}/\text{Yb})_{\text{N}}$ 主要在 5.1 ~ 22.06 之间, 轻稀土分馏较强烈, $(\text{La}/\text{Sm})_{\text{N}}$ 在 2.8 ~ 6.4 之间, 曲线陡倾。重稀土分馏程度相对弱一些, $(\text{Gd}/\text{Yb})_{\text{N}}$ 在 1.4 ~ 2.7 之间, Eu 具轻度的负异常, δEu 在 0.69 ~ 0.95 之间, 平均值 0.79。微量元素比值蛛网图中(图6c) Ba、Nb、P、Ti 具有强烈的负异常, Sr 含量主要集中在 $341 \times 10^{-6} \sim 515 \times 10^{-6}$ 之间, 平均值为 458×10^{-6} 。这一特征与其南部的中三叠世开木琪组合是非常相似的, Yb 含量较低, 在 0.97 ~ 2.36,

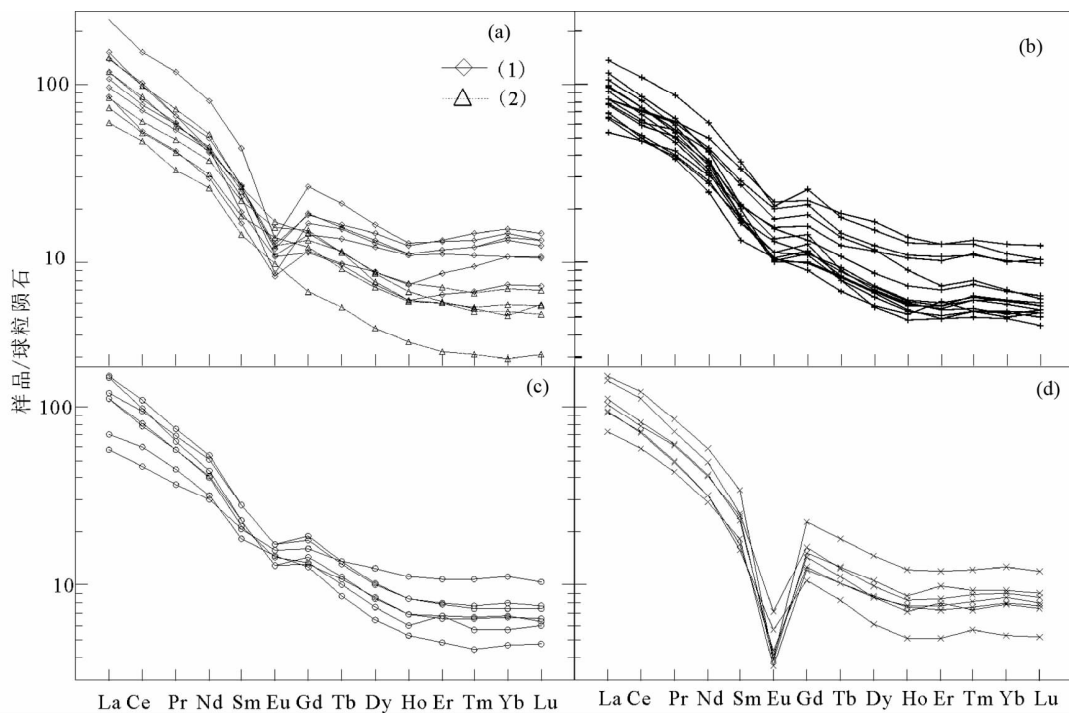


图5 稀土元素球粒陨石标准化分配曲线图(标准化数值据 Boynton, 1984)
 Fig.5 Chondrite-normalized REE distribution patterns (normalized values after Boynton, 1984)

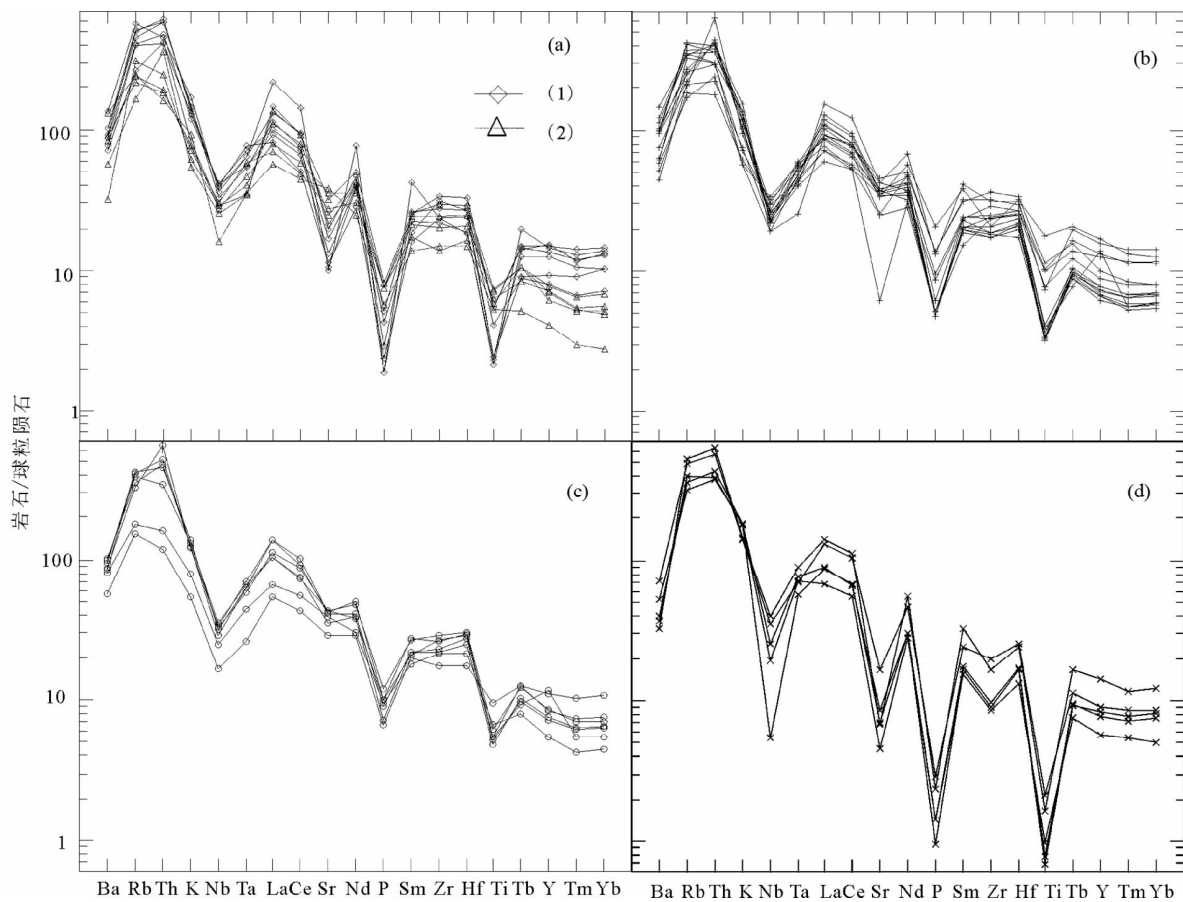


图6 微量元素球粒陨石标准化分配曲线图(标准化数值据 Thompson, 1982)
 Fig.6 Chondrite-normalized trace element distribution patterns (normalized values after Thompson, 1982)

表2 研究区花岗岩同位素年龄一览表

Table 2 Table of isotopic ages of granites in study area

序号	样品号	岩石组合	岩性	年龄 (Ma)	测试单位及方法	资料来源
(1)	10DQ9Gs3132	晚三叠世-早侏	正长花岗岩	199.5 ± 1.2		文献②
(2)	10DQ9Gs3603	罗世拉陵高里组合	正长花岗岩	204.4 ± 1.1		
(3)	2555		花岗闪长岩	211.7 ± 0.7		文献③
(4)	10DQPm026JD4-1	晚三叠世拉陵灶火组合	石英闪长岩	214.1 ± 1.0		本文
(5)	10DQ9Gs6479		花岗闪长岩	214.1 ± 0.8		文献③
(6)	10DQ9Gs4375		闪长岩	231.5 ± 0.78	天津地质矿产研究所	文献④
(7)	10DQ9Gs4516		闪长岩	228.5 ± 0.8	LA-ICP-MS	文献③
(8)	X II Gs043		花岗闪长岩	234.9 ± 1.3		文献④
(9)	X II Gs031		英云闪长岩	230.9 ± 0.7		
(10)	GsU002	中三叠世开木琪组合	英云闪长岩	230 ± 1.0		
(11)	Gs5035-1		英云闪长岩	232.4 ± 1.0		文献③
(12)	10DQ9Gs6025		花岗闪长岩	232.4 ± 1.0		
(13)	DYSZXT6-1		似斑状花岗闪长岩	242.6 ± 3.4		陈静等,2013
(14)	DYSG2		似斑状花岗闪长岩	226.9 ± 2.3	西北大学大陆动力学国家重点实验室 LA-ICP-MS	本文
(15)	DYSG3		中细粒花岗闪长	238.6 ± 2.9		文献③
(16)	P22Gs1-1		英云闪长岩	252.0 ± 0.8		文献③
(17)	Pm018-0-1	晚二叠世灶火河组合	花岗闪长岩	257.8 ± 5	中国地质大学(武汉)	
(18)	PB86-1		英云闪长岩	254.1 ± 1.3	地质过程与矿产资源国家重点实验室 LA-ICP-MS	文献①
(19)	Pm016-26-1	晚二叠世向阳沟组合	二长花岗岩	258.5 ± 2		

注:资料来源①中国地质大学(武汉)地质调查研究院,2013;②王秉璋,王涛. 2011. 青海省东昆仑祁漫塔格火成岩类成矿作用及找矿靶区优选. 85-90;③青海省地质调查院. 2010. 青海1:5万拉陵灶火地区地质矿产调查报告;④青海省地质调查院. 2014. 青海1:25万布伦台(J46C 004002)区域地质调查报告

均值1.51,为高Sr低Yb型花岗岩组合。

晚三叠世-早侏罗世正长花岗岩组合(LLGL1-LLGL13)岩石化学分类图解(图4)中样品集中分布于花岗岩(正长花岗岩)区。岩石具高SiO₂(含量在73.13%~76.43%)、富碱的特点(ALK在7.62%~8.76%),Na₂O/K₂O平均值为0.74,为钾质类型,Al₂O₃的含量介于12.3%~13.51%之间,FeO^T的含量介于1.02%~1.67%之间,MgO的含量介于0.15%~0.56%之间,CaO的含量在0.64%~1.52%,岩石属于碱性系列(图4c),A/CNK值主要变化在0.98~1.1,以偏铝质为主,个别为弱过铝质岩石。稀土总量变化大,在107.5 × 10⁻⁶~218.5 × 10⁻⁶之间,稀土配分模式具有右倾(图5d)轻稀土富集的特点,(La/Yb)_N主要在在8.9~17.8之间,轻稀土分馏强烈,(La/Sm)_N在4.0~5.9之间,曲线陡倾。重稀土分馏程度低,(Gd/Yb)_N在1.5~2.0之间,曲线基本平坦,Eu具强烈的负异常,δEu平均值为0.3。微量元素比值蛛网图中(图6d)Ba、Sr、P、Ti具有强烈的负异常。Sr含量在53 × 10⁻⁶~195 × 10⁻⁶,Yb含量在1.18 × 10⁻⁶~2.67 × 10⁻⁶。

4 年代学研究

近几年,随着祁漫塔格整装勘查区区域地质调查的开展,获得了一批该地区侵入岩的测年数据(表2),可以较好的约束祁漫塔格东段晚二叠世-早侏罗世不同类型侵入岩岩

石组合的时间格架。

4.1 分析方法及样品采集

本文对拉陵灶火河沟脑地区的DYSG2、DYSG3、10DQPM026JD4-1三个样品开展了年代学研究。所需锆石挑选工作由河北省区域地质调查大队地质实验室完成。DYSG2、DYSG3两个样品年代学测试在西北大学地质学系“教育部大陆动力学重点开放实验室”完成。在双目显微镜下挑选具有代表性的锆石颗粒粘贴在双面胶表面,制靶后进行反射光照相和阴极发光扫描电镜显微照相(CL)。(LA-ICP-MS)U-Pb同位素分析在采用ComPex102ArF准分子激光器(波长193nm)和带有动态反应池的四级杆Elan6100DRC型ICP-MS进行锆石U和Pb的测定。试验中采用He作为剥蚀物质载气,用美国国家标准技术研究院研制的人工合成硅酸盐玻璃标准参考物质NISTSRM610进行仪器最佳化,采样方式为单点剥蚀,每5点的样品测定,加测标样一次,样品测定时用哈佛大学标准锆石91500作为外部校正。本次实验所采用的激光束斑直径为30μm,能量为80mJ。同位素测定时,普通铅计算按Andersen(2002)的3D坐标法进行校正,样品的同位素比值和元素含量计算采用GLITTER软件处理,锆石的谐和曲线和加权平均年龄的计算采用Isoplot3.2等程序完成。

另一样品10DQPM026JD4-1在天津地质矿产研究所同位素实验室利用激光烧蚀多接收器等离子体质谱仪(LA-

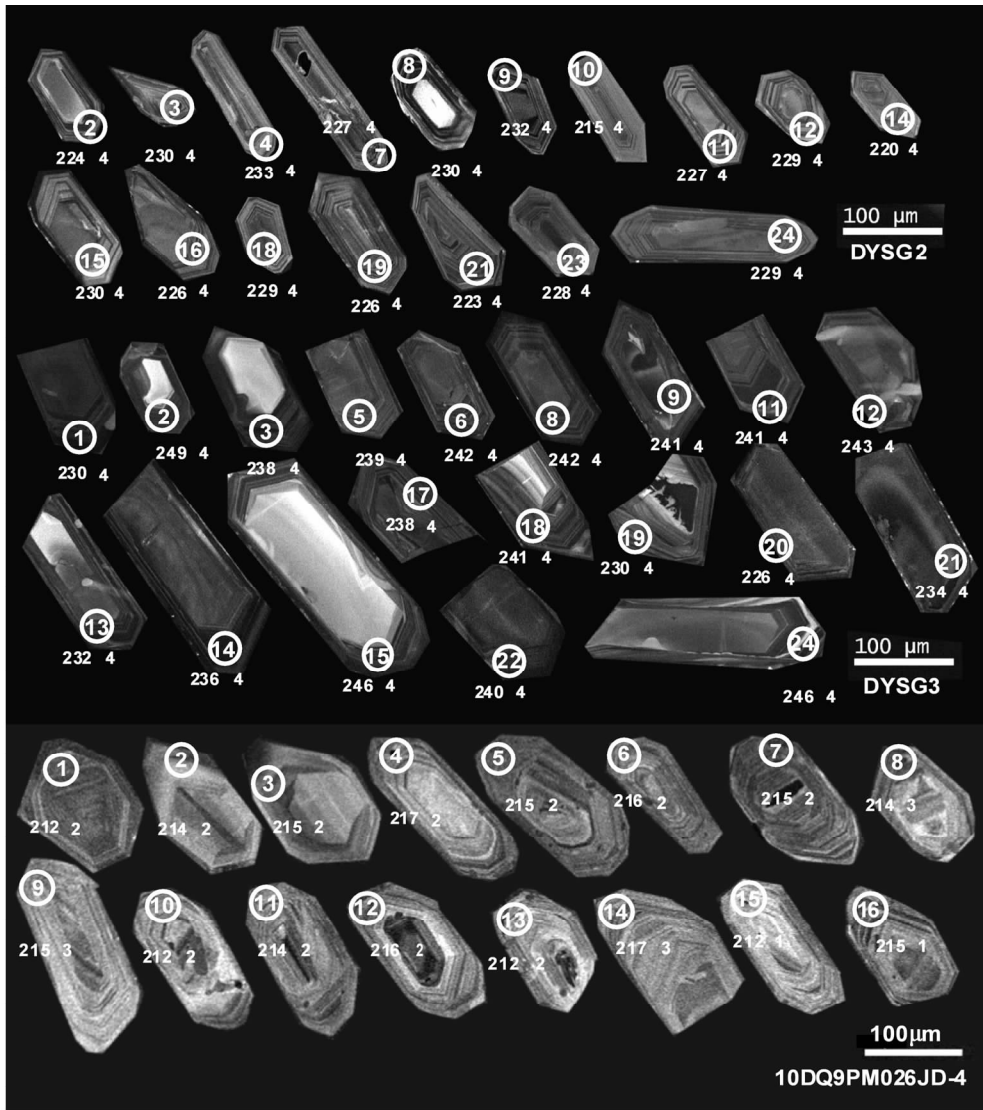


图7 锆石阴极发光图像及定年结果

Fig.7 CL images and dating results of zircons

MC-ICPMS)进行了微区原位 U-Pb 同位素测定,测试方法与数据处理参见李怀坤等(2009)。

样品 DYSG2 采自拉陵灶火河沟脑地区,岩性为似斑状花岗闪长岩,灰白色,似斑状结构,细粒花岗结构,块状构造,似斑晶含量约占 25%,石英(14%),中长石(10%),微斜长石(1%),基质约占 75%,由中长石(48%)、石英(13%)、微斜长石(1%)、黑云母(4%),金属矿物(1%)组成。

样品 DYSG3 采自拉陵灶火河沟脑地区,岩性为中细粒花岗闪长岩,灰白色,中细粒花岗结构,块状构造。矿物成份为斜长石(46%)、钾长石(20%)、石英(28%)、黑云母(6%)、金属矿物含量约为 1%。

样品 10DQPM026JD4-1 采自拉陵高里河西测,岩性为石英闪长岩,灰色,中细粒花岗结构,块状构造。矿物成份主要为斜长石(75%)、黑云母(5%~10%)、角闪石 10%、钾长石

(2%)、石英(5%)。

4.2 锆石 U-Pb 年龄

锆石 U-Pb 同位素分析结果列于表 3。样品 DYSG2 似斑状花岗闪长岩中锆石呈细长柱状,晶体大小在 100~250 μm ,阴极发光图像显示具有很好的岩浆振荡环带结构(图 7),锆石的 Th、U 含量分别为 $274 \times 10^{-6} \sim 927 \times 10^{-6}$, $114 \times 10^{-6} \sim 682 \times 10^{-6}$, Th/U 比值为 0.42~0.84,所测 17 个锆石 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄在 215~233Ma,加权平均值 $226.9 \pm 2.3\text{Ma}$ (图 8)。

DYSG3 花岗闪长岩中锆石呈柱状,晶体大小在 100~260 μm ,阴极发光图像显示具有很好的岩浆振荡环带结构(图 7),锆石的 Th、U 含量分别为 $324 \times 10^{-6} \sim 1382 \times 10^{-6}$, $90 \times 10^{-6} \sim 446 \times 10^{-6}$, Th/U 比值为 0.17~0.59,共完成 24

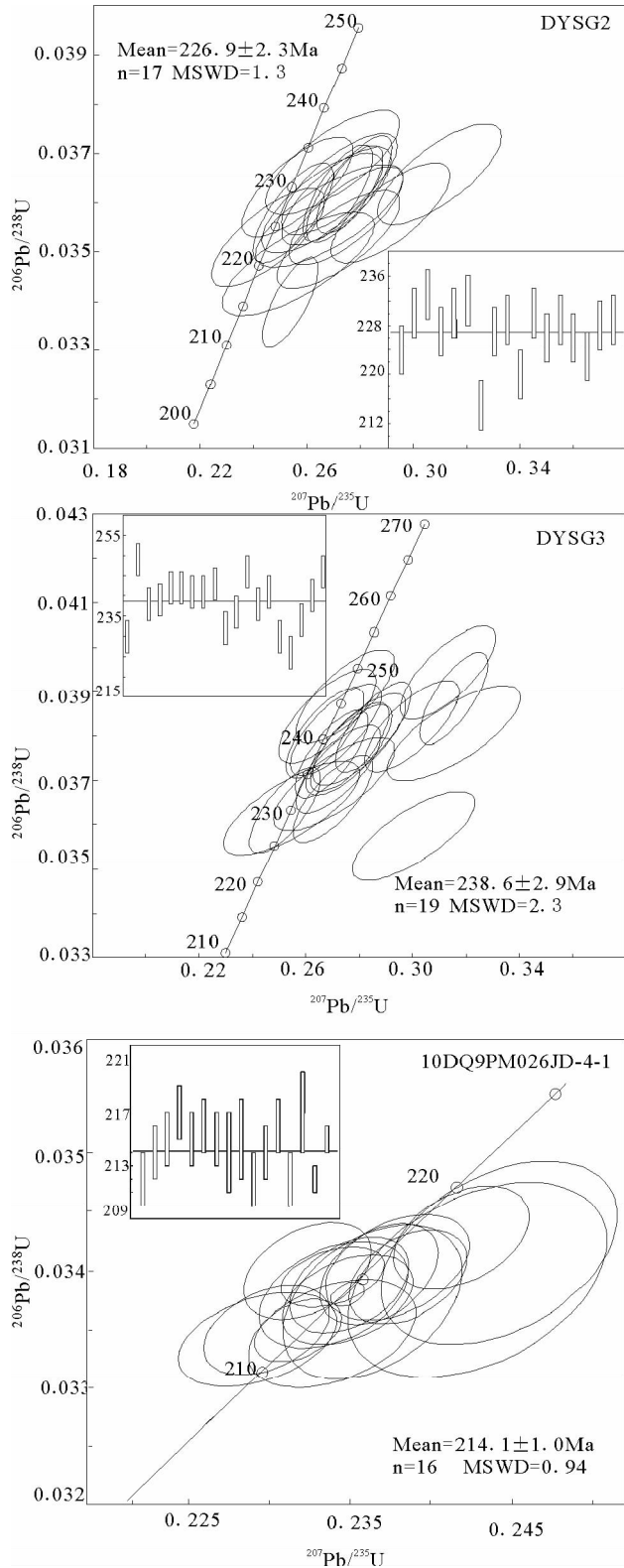


图8 锆石 U-Pb 谐和图

Fig. 8 U-Pb isotopic concordant plots for zircons

锆石的 19 个有效点的测试(表 3), $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄在 226 ~ 249Ma, 一致年龄为 $238.6 \pm 2.9\text{Ma}$ (表 3, 图 8)。

样品 10DQ9PM026JD-4-1 锆石呈状, 晶体大小在阴极发光图像显示具有较好的岩浆振荡环带结构(图 7), 锆石 U、Th 含量分别为 $63 \times 10^{-6} \sim 435 \times 10^{-6}$, $33 \times 10^{-6} \sim 833 \times 10^{-6}$, Th/U 比值为 0.53 ~ 1.91, 共完成 16 个有效点的测试(表 3), $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 在 212 ~ 219Ma, 加权平均值 $214.1 \pm 1.0\text{Ma}$ (图 8)。

4.3 讨论

从本次同位素测年及前人资料的分析可确定出各组合较为精确的成岩时代(表 2), 晚二叠世灶火河组合与向阳沟组合见于研究区东南部, 空间上紧密伴生, 形成时间在 254.1 ~ 258.5Ma, 中三叠世开木琪组合形成时间在 226.9 ~ 242.6Ma, 晚三叠世拉陵灶火组合形成时间在 211.7 ~ 214.1Ma, 拉陵高里组合的形成时代在 199.5 ~ 204.4Ma。

5 侵入岩组合时空分布与形成的大地构造背景

5.1 时空分布

晚二叠世存在灶火河与向阳沟两个岩石组合, 分布于北昆仑岩浆弧内, 祁漫塔格西段该阶段已经厘定出了晚二叠世-早三叠世豹子沟花岗闪长岩 + (斑状) 二长花岗岩组合与求勉雷克塔格二长花岗岩 + 正长花岗岩组合(王秉璋, 2011), 前者分布于祁漫塔格早古生代弧后盆地内, 为偏铝质碱性系列和高钾钙碱性系列岩石, LA-ICP-MS 测年时代范围为 241.7 ~ 250Ma, 后者分布于北昆仑岩浆弧, 为偏铝质 ~ 弱过铝质高钾钙碱性系列岩石, 黑云母 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 法测年时代范围为 240.6 ~ 254.1Ma, 这两个组合出露面积也较大, 且均含有铁镁质暗色微包粒体, 因此晚二叠世这种高钾钙碱性系列的以(斑状)二长花岗岩为主的岩石组合在东昆仑西段北昆仑岩浆弧中是十分发育的。

中三叠世开木琪组合主体分布于北昆仑岩浆弧内, 祁漫塔格弧后盆地内少量出露, 与祁漫塔格西段的情况相似, 那些地区中三叠世侵入岩组合为莫斯图闪长岩 + 石英闪长岩 + 英云闪长岩 + 花岗闪长岩 + (斑状) 二长花岗岩, 其中花岗闪长岩与英云闪长岩为主体, 其余岩性出露极少(王秉璋, 2011)。因此, 从青新边界向东至开木琪近 300km 范围内的资料看, 东昆仑西段北昆仑岩浆弧内富含暗色铁镁质微粒包体并以花岗闪长岩 + 英云闪长岩为主体的岩石组合巨量出露, 构成了北昆仑岩浆弧的主体, 是北昆仑岩浆弧最发育的岩浆岩岩石组合。开木琪组合具有高 Sr 花岗岩的特征, 15 件样品 Sr 含量平均值 424×10^{-6} , 与莫斯图组合略有差异, 莫斯图组合 69 件样品 Sr 含量平均值为 296×10^{-6} 。

晚三叠世拉陵灶火组合主要分布于祁漫塔格弧后盆内, 除时代和空间展布上略有差异外, 该组合的其它特征均与开木琪组合是相似的。除本研究区外, 祁漫塔格西段该时期花岗岩分布也十分广泛(丰成友, 2012), 在南昆仑结合带, 巴颜

表3 LA-ICP-MS U-Pb 年代学分析结果

Table 3 U-Pb dating results by LA-ICP-MS

测点号	Th U		²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb		²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U		²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U		²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U		²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	
	(×10 ⁻⁶)		Ratio	1σ	Ratio	1σ	Ratio	1σ	Age (Ma)	1σ	Age (Ma)	1σ
DYSG2-2	302.44	173.89	0.05046	0.00305	0.24552	0.01409	0.03529	0.00066	223	11	224	4
DYSG2-3	473.64	284.39	0.05541	0.00235	0.27796	0.00931	0.03637	0.00066	249	7	230	4
DYSG2-4	335.91	230.39	0.05313	0.00343	0.26973	0.01666	0.03682	0.0007	242	13	233	4
DYSG2-7	559.96	330.15	0.05166	0.00244	0.25499	0.01002	0.03579	0.00067	231	8	227	4
DYSG2-8	489.23	293.12	0.05119	0.00289	0.25639	0.0137	0.03632	0.00067	232	11	230	4
DYSG2-9	575.38	356.29	0.06143	0.00325	0.3098	0.01535	0.03658	0.00068	274	12	232	4
DYSG2-10	927.45	682.74	0.05417	0.00204	0.25382	0.00697	0.03398	0.0006	230	6	215	4
DYSG2-11	638.27	336.27	0.05908	0.00319	0.29152	0.01477	0.03579	0.00067	260	12	227	4
DYSG2-12	618.51	392.61	0.05443	0.00223	0.27176	0.00861	0.0362	0.00065	244	7	229	4
DYSG2-14	564.68	298.74	0.05358	0.00407	0.25678	0.01885	0.03476	0.00069	232	15	220	4
DYSG2-15	338.62	163.52	0.0543	0.00303	0.27232	0.01433	0.03638	0.00068	245	11	230	4
DYSG2-16	563.2	476.39	0.05449	0.00386	0.26846	0.0183	0.03573	0.00069	241	15	226	4
DYSG2-18	383.27	197.98	0.05444	0.0029	0.27123	0.01356	0.03613	0.00066	244	11	229	4
DYSG2-19	508.25	326.07	0.05576	0.00305	0.27471	0.01412	0.03573	0.00066	246	11	226	4
DYSG2-21	350.1	170.49	0.05594	0.0033	0.27191	0.01522	0.03525	0.00066	244	12	223	4
DYSG2-23	371.37	197.15	0.05357	0.00318	0.26581	0.01498	0.03599	0.00067	239	12	228	4
DYSG2-24	274.4	114.51	0.05496	0.00238	0.27424	0.00947	0.03618	0.00065	246	8	229	4
DYSG3-1	480.58	131.46	0.05077	0.00349	0.25462	0.01682	0.03637	0.0007	230	14	230	4
DYSG3-2	1382.16	239.23	0.05763	0.00241	0.31328	0.01182	0.03942	0.0007	277	9	249	4
DYSG3-3	797.92	149.56	0.05203	0.00195	0.26966	0.00896	0.03759	0.00065	242	7	238	4
DYSG3-5	917.39	237.96	0.05312	0.00208	0.27651	0.00968	0.03775	0.00066	248	8	239	4
DYSG3-6	1050.8	224.46	0.05416	0.00202	0.28531	0.00942	0.0382	0.00067	255	7	242	4
DYSG3-8	514.84	142.59	0.05688	0.00244	0.29971	0.01171	0.03822	0.00068	266	9	242	4
DYSG3-9	693.16	140.74	0.0509	0.00204	0.26717	0.00963	0.03807	0.00067	240	8	241	4
DYSG3-11	453.57	267.06	0.06012	0.00334	0.31552	0.01649	0.03806	0.00071	278	13	241	4
DYSG3-12	447.44	150.26	0.05056	0.00245	0.26808	0.01203	0.03845	0.0007	241	10	243	4
DYSG3-13	776.96	190.71	0.05357	0.00217	0.27019	0.00981	0.03658	0.00065	243	8	232	4
DYSG3-14	952.55	296.2	0.053	0.00224	0.2722	0.01045	0.03725	0.00065	244	8	236	4
DYSG3-15	678.99	138.72	0.05888	0.00216	0.31547	0.00837	0.03885	0.00069	278	6	246	4
DYSG3-17	868.12	295.32	0.05318	0.00225	0.27629	0.01061	0.03768	0.00067	248	8	238	4
DYSG3-18	708.55	161.57	0.05159	0.00233	0.27128	0.01126	0.03814	0.00068	244	9	241	4
DYSG3-19	736.51	166.9	0.05035	0.00197	0.25217	0.00884	0.03632	0.00064	228	7	230	4
DYSG3-20	1214.69	446.14	0.06092	0.00328	0.30029	0.01518	0.03575	0.00066	267	12	226	4
DYSG3-21	331.19	89.94	0.05319	0.0031	0.27067	0.01495	0.03691	0.00069	243	12	234	4
DYSG3-22	809.3	227.22	0.05359	0.0024	0.2802	0.01148	0.03792	0.00068	251	9	240	4
DYSG3-24	324.24	101.87	0.05125	0.00245	0.27484	0.01215	0.03889	0.0007	247	10	246	4
10DQPM026JD4-1	54.7	76.6	0.0509	0.0005	0.2299	0.0026	0.0335	0.0003	210	2	212	2
10DQ PM026JD4-2	61.8	112.3	0.0514	0.0004	0.2348	0.0027	0.0338	0.0003	214	2	214	2
10DQ PM026JD4-3	75	122.5	0.0514	0.0004	0.235	0.0024	0.0339	0.0003	214	2	215	2
10DQ PM026JD4-4	84.1	127.9	0.0522	0.0004	0.2419	0.0028	0.0343	0.0003	220	2	217	2
10DQ PM026JD4-5	55.2	100.1	0.0521	0.0004	0.2386	0.0024	0.034	0.0003	217	2	215	2
10DQ PM026JD4-6	76	110	0.0506	0.0004	0.2324	0.0026	0.034	0.0003	212	2	216	2
10DQ PM026JD4-7	90.9	131.7	0.0516	0.0003	0.2368	0.0024	0.034	0.0003	216	2	215	2
10DQ PM026JD4-8	833.3	435.4	0.0518	0.0003	0.2364	0.0037	0.0337	0.0004	215	3	214	3
10DQ PM026JD4-9	81.6	95.2	0.0531	0.001	0.2429	0.0053	0.0339	0.0006	221	4	215	3
10DQ PM026JD4-10	40	67.8	0.0518	0.0006	0.2339	0.0034	0.0335	0.0003	213	3	212	2
10DQ PM026JD4-11	54.6	92.9	0.0513	0.0005	0.234	0.003	0.0338	0.0003	213	2	214	2
10DQ PM026JD4-12	92.3	132.4	0.0517	0.0004	0.2379	0.0029	0.034	0.0003	217	2	216	2
10DQ PM026JD4-13	33.3	63.4	0.0508	0.0006	0.2293	0.0032	0.0334	0.0003	210	3	212	2
10DQ PM026JD4-14	363.1	310.9	0.0529	0.0006	0.2442	0.0048	0.0342	0.0005	222	4	217	3
10DQ PM026JD4-15	107.3	150.7	0.0512	0.0003	0.2318	0.0018	0.0335	0.0002	212	1	212	1
10DQ PM026JD4-16	79.5	111	0.051	0.0004	0.2339	0.0021	0.034	0.0002	213	2	215	1

喀拉地块也有少量分布(张学雪等,2007)。

晚三叠世-早侏罗世正长花岗岩组合呈小的岩株状稀疏分布在北昆仑岩浆弧的北部及祁漫塔格弧后盆地内,祁漫塔格西段景仁岩体正长花岗岩与本区也有相似性,景仁岩体锆石 SHRIMP U-Pb 年龄为 204.1 Ma(刘云华等,2006)。

5.2 构造环境讨论

东昆仑及临区海西-印支造山旋回有两个重要的角度不整合,一个是上二叠统(更多是中下三叠统)与中下二叠统及其以前地层之间的角度不整合,该不整合被一些学者看作东昆仑碰撞造山的标志(殷鸿福和张克信,1998),即东昆仑地区晚二叠世格曲组为造山磨拉石,任纪舜(2004)也明确指出,昆仑石炭纪-二叠纪海底裂谷带或可能的小洋盆在晚二叠世前就已经消失,三叠纪已不再有大洋型地壳存在,标志 Pangea 超大陆最终形成的晚二叠世之前的构造运动(相当于海西运动)在整个青藏地区是普遍存在的,晚二叠世-三叠纪-侏罗纪 Pangea 超大陆裂解,形成 Suess (1983)所说的特提斯海。另一个是上三叠统与下伏地层之间的角度不整合(相当于印支运动),该不整合更具有区域性,广泛存在于整个东昆仑地区,更多的学者也认为昆南、勉略洋应当演化到中三叠世(许志琴等,1996;张国伟等,2003;潘桂棠等,1997;莫宣学等,2007),因此,该区域性角度不整合代表印支碰撞造山事件也是一个合理的推断。李瑞保等(2012)通过这些角度不整合及地层沉积体系的研究提出格曲组下部的角度不整合代表了晚二叠世古特提斯洋向北俯冲的构造事件,而上三叠统与下伏地层之间的角度不整合代表了碰撞造山事件。

祁漫塔格地区含有暗色铁镁质微粒包体的晚二叠世偏铝质-弱过铝质钙碱性系列英云闪长岩+花岗闪长岩组合的存在可以说明晚二叠世不存在陆陆碰撞构造环境的可能,含有暗色铁镁质微粒包体的晚二叠世高钾钙碱性系列(斑状)二长花岗岩+正长花岗岩组合在东昆仑西段北昆仑岩浆弧中的广泛出露也能说明这一问题,高钾钙碱性系列(HKCA)广泛出现与安第斯弧是相似的,因此至少在晚二叠世存在洋陆俯冲作用与安第斯型高钾钙碱性岩浆弧的推断是合理的。

祁漫塔格中三叠世富含 MME 的钙碱性-高钾钙碱性系列闪长岩+石英闪长岩+英云闪长岩+(斑状)花岗闪长岩+(二长花岗岩)组合的产出很难用洋陆俯冲作用来解释,晚二叠世祁漫塔格已经存在高钾钙碱性弧花岗岩组合,而一般而言,弧的生长是很难向基性和低钾的方向演化的,中三叠世强烈的壳幔岩浆混合作用不仅发育在东昆仑西段,而可能是整个东昆仑岩浆弧最为强烈的一次壳幔岩浆混合作用事件,例如,东昆仑东部约格鲁岩体也具有这种特征,约格鲁岩体中角闪辉长岩、暗色微粒包体与花岗闪长岩(寄主岩)的 U-Pb 年龄分别为 239 ± 6 Ma, 241 ± 5 Ma 和 242 ± 6 Ma(刘成东等,2004)。祁漫塔格地区中三叠世构造岩浆阶段这种地幔物质与能量的注入最好的解释就是幔源岩浆的底侵作用,然

而这种底侵入作用的构造意义是什么?中三叠世东昆仑西段并不具备碰撞造山带加厚大陆岩石圈拆沉作用发生的条件,那么大洋俯冲岩石圈板片的断离应当是更为合理的解释,这种断离也被一些学者(Sacks and Secor, 1990)称为洋壳的拆沉作用。

祁漫塔格晚三叠世拉陵灶火石英闪长岩+英云闪长岩+花岗闪长岩+二长花岗岩与中三叠世开木琪组合具有相似的特征,时间上近于连续,但空间分布规律上是有差别的,从更大尺度上看,晚三叠世花岗岩几乎横切造山带分布于东昆仑造山带所有的地质构造单位中,这种特征很难将它们与俯冲作用或俯冲岩石圈板片断离联系,后碰撞底侵-混合-拆沉模型(邓晋福等,2004)可能是一个合理的解释。东昆仑造山带印支晚期广泛发育一期以石灰沟外滩岩体为代表幔源岩浆活动(罗照华等,2002),石灰沟外滩岩体角闪辉长岩角闪石⁴⁰Ar/³⁹Ar 同位素年龄为 220 Ma,是加厚陆壳的底部幔源玄武质岩浆底侵作用的一个证据。

祁漫塔格晚三叠世-早侏罗世正长花岗岩组合构造含义尚不清楚,尽管东昆仑造山带侏罗纪阶段有后造山伸展的认识(罗照华等,2002),但目前尚未发现可靠的碱性花岗岩类或基性岩墙群等标志性地体,这一认识还需进一步研究。

6 结论

(1)研究区从晚二叠世-早侏罗世可以识别出 4 个构造阶段 5 个花岗岩组合:①晚二叠世洋陆俯冲阶段形成的向阳沟二长花岗岩组合+正长花岗岩组合和灶火河英云闪长岩+花岗闪长岩组合,为大陆边缘弧火成岩构造组合;②中三叠世俯冲-碰撞转换阶段与俯冲岩石圈板片断离相关的开木琪闪长岩+英云闪长岩+(斑状)花岗闪长岩+(二长花岗岩)组合;③晚三叠世后碰撞阶段形成的拉陵灶火石英闪长岩+英云闪长岩+花岗闪长岩+二长花岗岩组合;④晚三叠世-早侏罗世正长花岗岩组合。

(2)代表古特提斯洋俯冲的弧花岗岩主要形成于晚二叠世,和格曲组与其下伏地层的角度不整合是相对应的。

(3)富含铁镁质暗色微粒包体的中三叠世开木琪组合的出露面积巨大,构成了印支期北昆仑岩浆弧的主体,是东昆仑造山带最具规模的地幔物质注入与壳幔岩浆混合事件,俯冲岩石圈板片的断离是这一过程最好的成因解释,这一事件在东昆仑具有普遍意义,是印支期北昆仑岩浆弧形成的最重要的构造过程,这一过程与古特提斯洋的俯冲有关,但其岩浆作用与传统洋陆俯冲背景下的岩浆作用是有区别的。

(4)晚三叠世花岗岩组合形成于后碰撞阶段,与上三叠统底部的区域性角度不整合相对应,看来这个不整合很难代表经典的碰撞造山事件,晚三叠世同样存在强烈的壳幔岩浆混合作用的,是加厚陆壳的底部幔源玄武质岩浆底侵作用的产物。

(5)通过岩石构造组合的分析,结合东昆仑几个重要角

度不整合及沉积学的认识,海西-印支期碰撞(狭义)造山事件的痕迹并不是很清楚的,我们为了理清东昆仑造山该阶段构造演化而在努力寻找诸如强过铝质花岗岩这样的标志性的岩石组合,现在看来这种努力可能是徒劳的。中三叠世、晚三叠世两个阶段不同动力学背景的岩浆混合、壳幔物质与能量的交换是东昆仑造山带俯冲-碰撞与后碰撞阶段最重要的特征,与冈底斯岩基带形成的深部过程(罗照华等,2008)是相似的。

致谢 笔者在野外工作中得到青海省地质调查院拉陵灶火地区矿产远景调查、矿产勘查项目组同志的帮助;西北大学大陆动力学实验室、武汉岩矿测试中心在测试和数据处理过程中给予了帮助;在审稿过程中得到审稿人的支持与帮助,并给予了有益指导;在此一并向他们深表感谢。

今年正值邓晋福先生 80 华诞,谨以此文向敬爱的邓先生表达我们最衷心的祝贺和敬意,感谢他对我们的长期关怀与教诲。

References

Andersen T. 2002. Correction of common lead in U-Pb analyses that do not report ²⁰⁴Pb. *Chemical Geochimistry*, 192(1-2): 59-79

Boynton WV. 1984. Geochemistry of the rare earth elements; Meteorite studies. In: Henderson P (ed.). *Rare Earth Element Geochemistry*. Amsterdam: Elsevier, 63-114

Bureau of Geology and Mineral Resources of Qinghai Province. 1991. *Regional Geology of Qinghai Province*. Beijing: Geological Publishing House, 1-662 (in Chinese)

Bureau of Geology and Mineral Resources of Xinjiang Uygur Autonomous Region. 1993. *Regional Geology of Xinjiang Uygur Autonomous Region*. Beijing: Geological Publishing House (in Chinese)

Chen J, Xie ZY, Li B, Li SP, Tan SX, Ren H and Zhang QM. 2013. Geological and geochemical characteristics of the ore-bearing intrusions from the Lalingzaohuo Mo polymetallic deposit and its metallogenic significance. *Geology and Exploration*, 49(5): 813-824 (in Chinese with English abstract)

Deng JF, Luo ZH, Su SG, Mo XX, Yu BS, Lai XY and Chen HW. 2004. *Petrogenesis, Tectonic Setting and Mineralization*. Beijing: Geological Publishing House, 1-381 (in Chinese with English abstract)

Feng CY, Wang S, Li GC, Ma SC and Li DS. 2012. Middle to Late Triassic granitoids in the Qimantage area, Qinghai Province, China: Chronology, geochemistry and metallogenic significances. *Acta Petrologica Sinica*, 28(2): 665-678 (in Chinese with English abstract)

Le Maitre RW, Bateman P, Dubek A, Keller J, Lameyre J, Le Bus MJ, Sabine PA, Sohimid R and Sorensen H. 1989. *A Classification of Igneous Rocks and Glossary of Terms; Recommendations of the International Union of Geological Sciences Subcommission on the Systematics of Igneous Rocks*. Oxford: Blackwell Scientific Publications, 1-253

Li HK, Geng JZ, Hao S, Zhang YQ and Li HM. 2009. Determination of zircon U-Pb isotopic age with multiple receivers laser ablation plasma mass spectrometry (LA-MC-ICPMS). *Acta Mineralogica Sinica*, 29 (Suppl.): 600-601 (in Chinese with English abstract)

Li RB, Pei XZ, Li ZC, Liu ZQ, Chen GC, Chen YQ, Wei FH, Gao JM, Liu CJ and Pei L. 2012. Geological characteristics of Late

Paleozoic-Mesozoic unconformities and their response to some significant tectonic events in eastern part of Eastern Kunlun. *Earth Science Frontiers*, 19(5): 244-254 (in Chinese with English abstract)

Liu CD, Mo XX, Luo ZH, Yu XH, Chen HW, Li SW and Zhao X. 2004. Crust-mantle magma mixing of the East Kunlun: Evidence from SHRIMP zircon geochronology. *Chinese Science Bulletin*, 49(6): 592-602 (in Chinese)

Liu YH, Mo XX, Yu XH, Zhang XT and Xu GW. 2006. Zircon SHRIMP U-Pb dating of the Jingren granite, Yemaquan region of the East Kunlun and its geological significance. *Acta Petrologica Sinica*, 22(10): 2457-2463 (in Chinese with English abstract)

Luo ZH, Ke S, Cao YQ, Deng JF and Chen HW. 2002. Late Indosinian mantle-derived magmatism in the East Kunlun. *Geological Bulletin of China*, 21(6): 292-297 (in Chinese with English abstract)

Luo ZH, Lu XX, Chen BH, Huang F, Yang ZF and Wang BZ. 2008. The constraints from deep processes on the porphyry metallogenesis in collisional orogens. *Acta Petrologica Sinica*, 24(3): 447-456 (in Chinese with English abstract)

Middlemost EAK. 1994. Naming materials in the magma/igneous rock system. *Earth Science Reviews*, 37(3-4): 215-224

Mo XX, Luo ZH, Deng JF, Yu XH, Liu CD, Chen HW, Yuan WM and Liu YH. 2007. Granite and crustal growth in East Kunlun orogenic belt. *Geological Journal of China Universities*, 13(3): 403-414 (in Chinese with English abstract)

O'Connor JT. 1965. A classification for quartz-rich igneous rocks based on feldspar ratios. U. S. Geological Survey Professional Paper, 525-B, B79-B84

Pan GT, Chen ZL, Li XZ, Yan YJ, Xu XS, Xu Q, Jiang XS, Wu YL, Luo JN, Zhu TX and Peng YM. 1997. *Geological-Tectonic Evolution in the Eastern Tethys*. Beijing: Geological Publishing House, 24-183 (in Chinese with English abstract)

Pan GT, Li XZ, Wang LQ, Ding J and Chen ZL. 2002. Preliminary division of tectonic units of the Qinghai-Tibet Plateau and its adjacent region. *Geological Bulletin of China*, 21(11): 701-707 (in Chinese with English abstract)

Ren JS. 2004. Some problems on the Kunlun-Qinling orogenic system. *Northwestern Geology*, 37(1): 1-5 (in Chinese with English abstract)

Rollinson HR. 1993. *Using Geochemical Data: Evaluation, Presentation, Interpretation*. New York: Longman Scientific and Technical, 1-352

Sacks PE and Secor DT Jr. 1990. Delamination in collisional orogens. *Geology*, 18(10): 999-1002

Suess E. 1983. Are great oceans depth permanent? *Natural Science*, 2: 180-187

Thompson RN. 1982. Magmatism of the British Tertiary volcanic province. *Scottish Journal of Geology*, 18: 49-107

Wang BZ, Luo ZH, Li HY, Chen HW and Hu XL. 2009. Petrotectonic assemblages and temporal-spatial framework of the Late Paleozoic-Early Mesozoic intrusions in the Qimantage Corridor of the East Kunlun belt. *Geology in China*, 36(4): 769-782 (in Chinese with English abstract)

Wang BZ. 2011. *The study and investigation on the assembly and coupling Petrotectonic assemblage during Paleozoic-Mesozoic period at Qimantage geological corridor domain*. Ph. D. Dissertation. Beijing: China University of Geosciences, 85-90 (in Chinese with English summary)

Wang BZ, Luo ZH, Pan T, Song TZ, Xiao PX and Zhang ZQ. 2012. Petrotectonic assemblages and LA-ICP-MS zircon U-Pb age of Early Paleozoic volcanic rocks in Qimantag area, Tibetan Plateau. *Geological Bulletin of China*, 31(6): 860-874 (in Chinese with English abstract)

Wright JB. 1969. A simple alkalinity ratio and its application to questions of non-orogenic granite genesis. *Geological Magazine*, 106(4): 370-384

Xu ZQ, Yang JS and Chen FY. 1996. A 'nyemaqen suture zone and "subduction-collision" dynamics. In: Zhang Q (ed.). *Study on*

- Ophiolites and Geodynamics. Beijing: Geological Publishing House, 185–189 (in Chinese with English abstract)
- Yin HF and Zhang KX. 1998. Evolution and characteristics of the Central Orogenic Belt. *Earth Sciences*, 23(5): 438–442 (in Chinese with English abstract)
- Zhang GW, Dong YP, Lai SC, Guo AL, Meng QR, Liu SF, Cheng SY, Yao AP, Zhang ZQ, Pei XZ and Li SZ. 2003. Mianlue tectonic zone and Mianlue suture zone in southern margin of Qinling-Dabie orogenic belt. *Science in China (Series D)*, 33(12): 1121–1135 (in Chinese)
- Zhang XT, Yang SD, Yang ZJ, Wang BZ, Yu J and Ding XQ. 2007. Tectonic Plates in Qinghai Province. Beijing: Geological Publishing House, 1–221 (in Chinese with English abstract)

附中文参考文献

- 陈静, 谢智勇, 李彬, 李善平, 谈生祥, 任华, 张启梅. 2013. 东昆仑拉陵灶火铜多金属矿床含矿岩体地质地球化学特征及其成矿意义. *地质与勘探*, 49(5): 813–824
- 邓晋福, 罗照华, 苏尚国, 莫宣学, 于炳松, 赖兴运, 谌宏伟. 2004. 岩石成因、构造环境与成矿作用. 北京: 地质出版社, 1–381
- 丰成友, 王松, 李国臣, 马圣钊, 李东生. 2012. 青海祁漫塔格中晚三叠世花岗岩: 年代学、地球化学及成矿意义. *岩石学报*, 28(2): 665–678
- 李怀坤, 耿建珍, 郝爽, 张永清, 李惠民. 2009. 用激光烧蚀多接收器等离子体质谱仪(LA-MC-ICPMS)测定锆石 U-Pb 同位素年龄的研究. *矿物学报*, 29(增刊): 600–601
- 李瑞保, 裴先治, 李佐臣, 刘战庆, 陈国超, 陈有妍, 魏方辉, 高景民, 刘成军, 裴磊. 2012. 东昆仑东段晚古生代-中生代若干不整合面特征及其对重大构造事件的响应. *地学前缘*, 19(5): 244–254
- 刘成东, 莫宣学, 罗照华, 喻学惠, 谌宏伟, 李述为, 赵欣. 2004. 东昆仑壳-幔岩浆混合作用: 来自锆石 SHRIMP 年代学的证据. *科学通报*, 49(6): 592–602
- 刘云华, 莫宣学, 喻学惠, 张雪亭, 许国武. 2006. 东昆仑野马泉地区景忍花岗岩锆石 SHRIMP U-Pb 定年及其地质意义. *岩石学报*, 22(10): 2457–2463
- 罗照华, 柯珊, 曹永清, 邓晋福, 谌宏伟. 2002. 东昆仑印支晚期幔源岩浆活动. *地质通报*, 21(6): 292–297

- 罗照华, 卢欣祥, 陈必河, 黄凡, 杨宗锋, 王秉璋. 2008. 碰撞造山带斑岩型矿床的深部约束机制. *岩石学报*, 24(3): 447–456
- 莫宣学, 罗照华, 邓晋福, 喻学惠, 刘成东, 谌宏伟, 袁万明, 刘云华. 2007. 东昆仑造山带花岗岩及地壳生长. *高校地质学报*, 13(3): 403–414
- 潘桂棠, 陈智梁, 李兴振, 颜仰基, 许效松, 徐强, 江新胜, 吴应林, 罗建宁, 朱同兴, 彭勇民. 1997. 东特提斯地质构造形式与演化. 北京: 地质出版社, 24–183
- 潘桂棠, 李兴振, 王立全, 丁俊, 陈智梁. 2002. 青藏高原及邻区大地构造单元初步划分. *地质通报*, 21(11): 701–707
- 青海省地质矿产局. 1991. 青海省区域地质志. 北京: 地质出版社, 1–662
- 任纪舜. 2004. 昆仑-秦岭造山系的几个问题. *西北地质*, 37(1): 1–5
- 王秉璋, 罗照华, 李怀毅, 谌宏伟, 胡旭莉. 2009. 东昆仑祁漫塔格走廊晚古生代-早中生代侵入岩岩石组合及时空格架. *中国地质*, 36(4): 769–782
- 王秉璋. 2011. 祁漫塔格地质走廊古生代-中生代火成岩岩石构造组合研究. 博士学位论文. 北京: 中国地质大学, 85–90
- 王秉璋, 罗照华, 潘彤, 宋泰忠, 校培喜, 张志青. 2012. 青藏高原祁漫塔格地区早古生代火山岩岩石构造组合和 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄. *地质通报*, 31(6): 860–874
- 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
- 许志琴, 杨经绥, 陈方远. 1996. 阿尼玛卿缝合带及“俯冲-碰撞”动力学. 见: 张旗主编. 蛇绿岩与地球动力学研究. 北京: 地质出版社, 185–189
- 殷鸿福, 张克信. 1998. 中央造山带的演化及其特点. *地球科学*, 23(5): 438–442
- 张国伟, 董云鹏, 赖绍聪, 郭安林, 孟庆任, 刘少峰, 程顺有, 姚安平, 张宗清, 裴先治, 李三忠. 2003. 秦岭-大别造山带南缘勉略构造带与勉略缝合带. *中国科学(D辑)*, 33(12): 1121–1135
- 张学雪, 杨生德, 杨站君, 王秉璋, 俞建, 丁西歧. 2007. 青海省板块构造研究. 北京: 地质出版社, 1–221