



## 巴颜喀拉北部曲旁浪斜地区花岗闪长岩地球化学与年代学

田光昊<sup>1</sup>, 胡新茁<sup>1</sup>, 王 明<sup>2</sup>, 王晓阳<sup>1</sup>

1. 中国地质调查局 廊坊自然资源综合调查中心, 河北 廊坊 065000;

2. 中国地质调查局 西宁自然资源综合调查中心, 青海 西宁 810000

**摘要:** 通过对曲旁浪斜花岗闪长岩进行岩相学、岩石地球化学及年代学研究, 探讨其成因及构造环境。研究获得曲旁浪斜花岗闪长岩锆石 SHRIMP U-Pb 年龄  $213.8 \pm 2.0$  Ma, 表明岩浆侵位时代为中生代晚三叠世。花岗闪长岩具有高 Si、 $Al_2O_3$ 、Na, 低 K, 贫 Ca、Mg、Fe 的特点, 属  $SiO_2$  过饱和铝过饱和 I 型花岗岩; 具有明显富集 K、Rb、Th, 亏损 Sm、Hf、Zr、Y、Yb 的特征, 并且具有负 Eu 异常。曲旁浪斜花岗闪长岩是陆内碰撞造山阶段深部滑脱构造导致地壳局部熔融的产物。

**关键词:** 花岗闪长岩; 地球化学特征; 地质年代学; 岩石成因; 曲旁浪斜; 青海省

## GEOCHEMISTRY AND GEOCHRONOLOGY OF GRANODIORITES IN QUPANGLANGXIE AREA, NORTHERN BAYANKALA TERRANE

TIAN Guang-hao<sup>1</sup>, HU Xin-zhuo<sup>1</sup>, WANG Ming<sup>2</sup>, WANG Xiao-yang<sup>1</sup>

1. Langfang Natural Resources Comprehensive Survey Center, CGS, Langfang 065000, Hebei Province, China;

2. Xining Natural Resources Comprehensive Survey Center, CGS, Xining 810000, China

**Abstract:** Through the study on the petrography, lithogeochemistry and geochronology of granodiorites in Qupanglangxie area, the paper discusses the genesis and tectonic environment of the intrusive rocks. The SHRIMP zircon U-Pb dating yields a weighted mean age of  $213.8 \pm 2.0$  Ma, indicating that the emplacement occurred in Mesozoic Late Triassic. The granodiorites are characterized by high Si,  $Al_2O_3$  and Na, low K, poor in Ca, Mg and Fe, belonging to  $SiO_2$  supersaturated and aluminum supersaturated I-type granite, with obvious enrichment of K, Rb and Th, deficiency of Sm, Hf, Zr, Y and Yb, and negative Eu anomaly. The granodiorites in the area were formed by the partial melting of crust caused by deep detachment structure in the stage of intracontinental collision orogeny.

**Key words:** granodiorite; geochemical characteristic; geochronology; petrogenesis; Qupanglangxie area; Qinghai Province

### 0 引言

巴颜喀拉地体位于青藏高原北部, 夹持于阿尼玛卿缝合带和甘孜-理塘缝合带以及龙门山断裂带之

间<sup>[1-4]</sup>, 呈北西西向展布。该地体大部分被巨厚的三叠系地层覆盖, 隐藏了大量的地质信息, 被称为“中国地质百慕大”<sup>[5]</sup>。受古特提斯造山作用的影响, 巴颜喀拉

收稿日期: 2022-07-17; 修回日期: 2022-11-01. 编辑: 李兰英.

基金项目: 中国地质调查局项目“西北沿边及特殊地区地质矿产调查”(12120114009001)、“全国金矿资源潜力评价”(ZD20220318).

作者简介: 田光昊(1989—), 男, 硕士, 工程师, 从事区域地质、矿产地质调查以及资源与环境工作, 通信地址 河北省廊坊市广阳区广阳道 93 号, E-mail//358091417@qq.com

通信作者: 胡新茁(1989—), 女, 硕士, 工程师, 从事区域地质、矿产地质研究, 通信地址 河北省廊坊市广阳区广阳道 93 号, E-mail//1261392324@qq.com

盆地内在三叠纪发育有花岗岩类岩体,主要呈分散的岩株、岩基状产出<sup>[6]</sup>,岩体分布总体上呈北西方向,是巴颜喀拉-松潘-甘孜造山带构造发展过程中的一个重要组成部分<sup>[7]</sup>(图1)。花岗岩类是大陆地壳主要的组成部分,不同成因类型的花岗岩组合反映不同的物源或岩浆演化过程,是人类了解地球深部信息的有效探针<sup>[1,8]</sup>。研究花岗岩类的岩石地球化学、侵位年龄以及岩浆源区等特征,对巴颜喀拉-松潘-甘孜造山带构造演化具有重要意义。

曲旁浪斜地区位于巴颜喀拉-松潘-甘孜造山带北部,自然气候恶劣,交通条件较差。前人在此区工作较少,研究程度不高。1:20万优云幅在测区中东部,利用钾-氩法测定黑云母年龄值 $185\pm 9$  Ma,时代为印支期早侏罗世。由于侵入体受到后期构造、风化、蚀变等多重因素影响,而黑云母矿物更易受到风化和蚀变的影响,故对此时代存在较大的质疑。本文在青海曲旁浪斜地区开展的1:5万区域地质调查(I47E010012、I47E010013、I47E011012、I47E011013)工作的基础上,结合样品的室内鉴定、测试分析研究等工作,对曲旁浪斜地区花岗闪长岩进行岩相学、岩石地球化学及年代学研究,探讨其成因及构造环境,为进一步研究古特提斯洋的闭合以及陆块碰撞拼合等构造演化过程提供新的证据。

### 1 岩石学特征

曲旁浪斜花岗闪长岩面积相对较小,约 $0.2\text{ km}^2$ ,平面形态呈规则的圆锥型(图2A)。侵入体分布于深切冲沟两侧,其中冲沟南侧部分风化剥蚀较为严重,大部分被风成沙覆盖,调查中仅见有少量碎块状浅灰白色中细粒花岗闪长岩碎块。冲沟被水流冲蚀深切,沟内风成沙覆盖严重,未见侵入岩体,见有少量灰白色花岗闪长岩碎块。冲沟北侧侵入岩体呈高耸倒圆锥状,可见的岩体高约30 m,且岩体中可见有围岩(砂岩)捕虏体(图2B)。

花岗闪长岩呈浅灰白色,肉眼可识别矿物有石英、长石、黑云母,岩石具中细粒花岗结构,块状构造。主要矿物有石英、斜长石、碱性长石(图3)。石英含量20%,他形粒状,粒度 $0.3\sim 1.5\text{ mm}$ ,为细粒,多为单晶石英,晶面较干净,正突起,正交偏光镜下可见波状消光。斜长石25%~30%,呈细粒状,粒度约 $0.15\sim 4.8\text{ mm}$ ,半自形-自形板条状,具聚片双晶,可见一级灰白干涉色。正长石含量10%~0%,无色,粒度 $0.5\sim 2.8\text{ mm}$ ,可见板状、柱状,负低突起,有一级灰白干涉色,常见卡氏双晶。黑云母10%,粒度 $0.14\sim 1.5\text{ mm}$ ,片状,可见明显多色性,黄棕色-浅棕黄色,可见一组完全解理,正交偏光镜下平行消光,干涉色较高,但常被自身颜色掩盖。绿泥石5%,粒度 $0.02\sim 1.4\text{ mm}$ ,纤维状集合体,鳞片

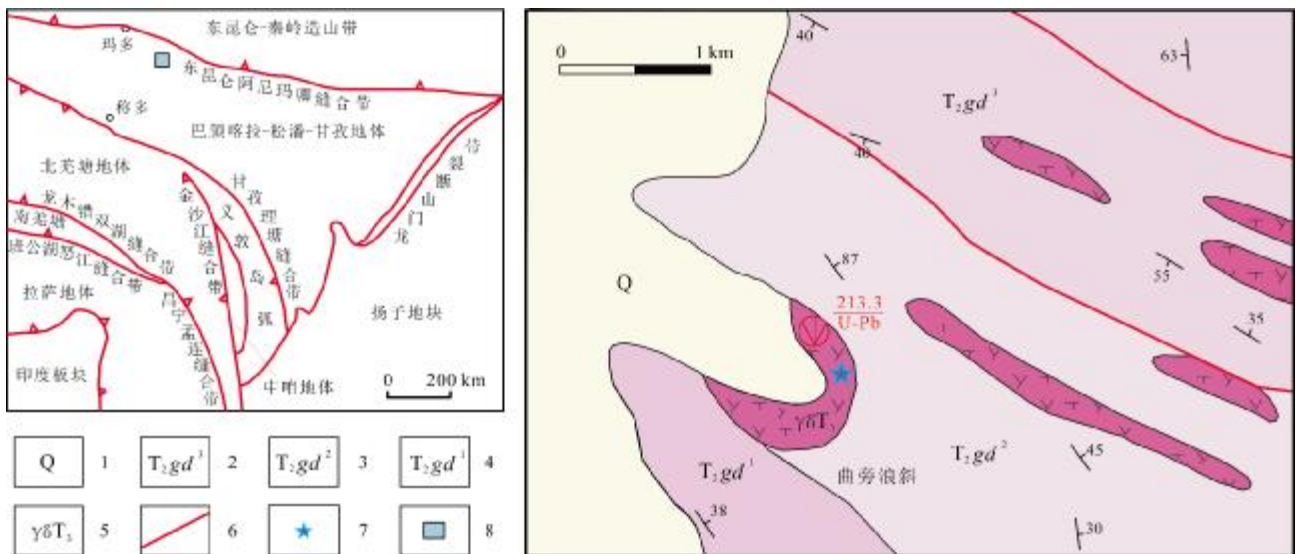


图1 研究区大地构造位置及区域地质简图

Fig. 1 Tectonic location and regional geological map of the study area

- 1—第四系(Quaternary); 2—甘德组三段(3rd mem. of Gande fm.); 3—甘德组二段(2nd mem. of Gande fm.); 4—甘德组一段(1st mem. of Gande fm.);
- 5—花岗闪长岩(granodiorite); 6—断层(fault); 7—采样位置(sampling position); 8—研究区(study area)





图 2 曲旁浪斜花岗闪长岩岩石学特征

Fig. 2 Petrological characteristics of granodiorite in Qupanglangxie area

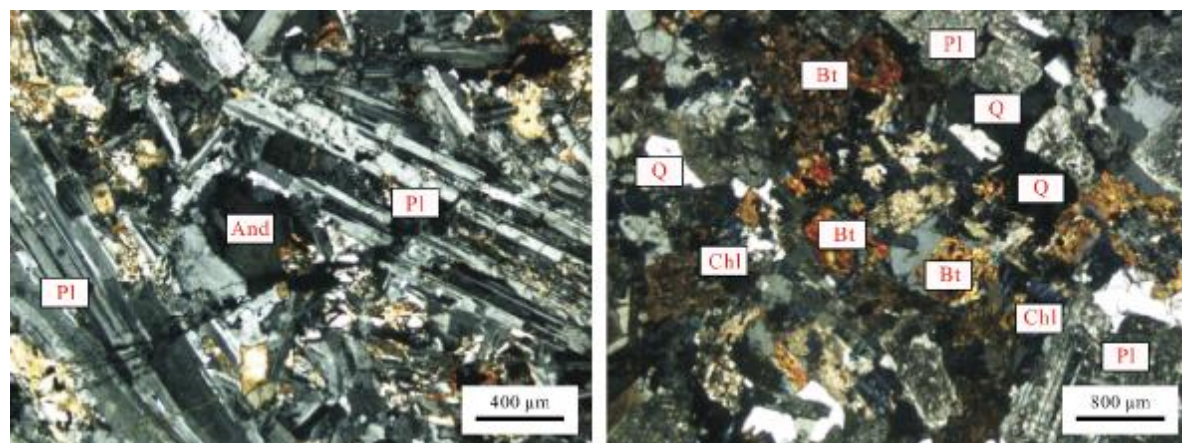


图 3 曲旁浪斜花岗闪长岩样品显微特征

Fig. 3 Microscopic characteristics of granodiorite samples in Qupanglangxie area

Q—石英(quartz); Pl—斜长石(plagioclase); Kfs—钾长石(K-eldspar); Bt—黑云母(biotite); Chl—绿泥石(chlorite); Ap—磷灰石(apatite); And—中长石(andesine); Opx—斜方辉石(orthopyroxene)

状,可见明显多色性,具有浅绿—深绿色,可见一组完全解理. 绿帘石 2%,柱状、粒状,正高突起,浅黄—黄绿色,分布不均,干涉色二级黄—二级橙—二级红—三级蓝—三级绿—三级黄,常呈彩色,斜消光. 磷灰石 3%,六方柱、针状、粒状,正中突起,无色. 锆石含量极少,柱状且常见两端双锥,断面方形、八角形,无色.

## 2 岩石地球化学特征

### 2.1 主量元素

本研究采集花岗闪长岩岩石样品 5 块,送往中国地质调查局西安地质调查中心分别进行主量、微量及稀土元素测试分析.

测试结果(表 1)显示, $\text{SiO}_2$  55.03%~65.37%,从  $\text{SiO}_2$ - $\text{K}_2\text{O}$  分类图解上可以看出,岩体属于高钾钙碱性系列岩石(图 4A);  $\text{K}_2\text{O}$  2.28%~3.59%,  $\text{Na}_2\text{O}$  3.49%~4.38%,且  $\text{K}_2\text{O} < \text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{A/NK}=1.40\sim 1.62$ ,  $\text{A/CNK}=0.88\sim 1.45$ ,属过铝质—准铝质岩石(图 4B);  $\text{Al}_2\text{O}_3$  15.79%~17.43%,略偏低;  $\text{TiO}_2$  0.63%~1.20%,较低. 岩石为高 Si、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、Na,低 K,贫 Ca、Mg、Fe. 里特曼指数  $\delta=2.09\sim 2.78$ , 碱度指数  $\text{AR}=1.72\sim 2.52$ , 固结指数  $\text{SI}=10.62\sim 23.68$ , 分异指数  $\text{DI}=54\sim 77.66$ ,为高钙碱性岩系,分异程度高,酸性程度高,说明  $\text{SiO}_2$ 、 $\text{K}_2\text{O}$  含量高,FeO、MgO、CaO 含量低,岩石属酸性高硅、铝、钾,低钙、镁、钠、铁. 岩石中的 CIPW 标准矿物缺少标准矿物透辉石

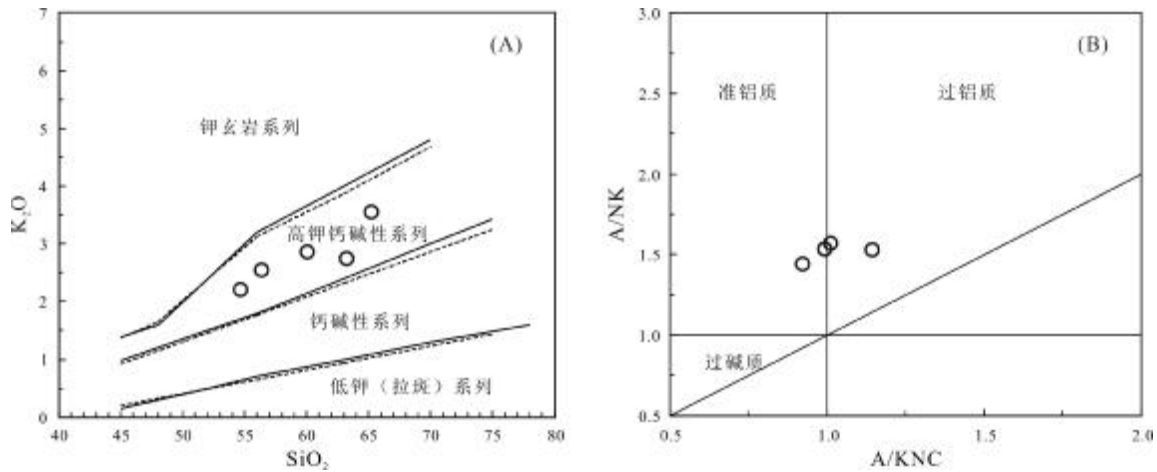


图 4 曲旁浪斜花岗闪长岩 SiO<sub>2</sub>-K<sub>2</sub>O 图解及 A/CNK-A/NK 图解

Fig. 4 The SiO<sub>2</sub>-K<sub>2</sub>O and A/CNK-A/NK diagrams of granodiorites in Qupanglangxie area

(di), 而出现标准矿物刚玉(c), 标准矿物组合为 Q、Or、Ab、An、C、Hy, 显示岩石属 SiO<sub>2</sub> 过饱和和铝过饱和类型, 具有 I 型花岗岩特征.

表 1 曲旁浪斜地区花岗闪长岩氧化物含量表

Table 1 Oxide content in granodiorites from Qupanglangxie area

样品编号	D8329-YH1*	PM014-YS07-1	PM014-YS12-1	PM014-YS08-1	PM014-YS13-1
SiO <sub>2</sub>	65.37	63.236	60.017	55.03	56.67
TiO <sub>2</sub>	0.63	0.651	0.806	1.22	0.76
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15.92	15.799	15.992	16.22	17.43
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.07	5.483	6.129	7.18	4.9
FeO	2.48				
MnO	0.066	0.073	0.095	0.11	0.07
MgO	1.5	1.4	1.942	3.87	2.08
CaO	2.57	2.421	3.88	5.54	4.26
Na <sub>2</sub> O	4.38	3.909	3.692	3.49	3.99
K <sub>2</sub> O	3.59	2.739	2.911	2.28	2.5
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.17	0.263	0.295	0.29	0.2
H <sub>2</sub> O+	1.78				

含量单位:%.

### 2.2 稀土元素

曲旁浪斜晚三叠世花岗闪长岩的稀土元素含量如表 2. 稀土总量  $\Sigma \text{REE} = 105.74 \times 10^{-6} \sim 146.23 \times 10^{-6}$ , 平均值  $133.29 \times 10^{-6}$ , 低于地壳平均值, 高于地幔平均值. 轻

表 2 曲旁浪斜地区花岗闪长岩稀土元素含量表

Table 2 REE contents in granodiorites from Qupanglangxie area

样品编号	D8329-YH1	PM014-YS07-1	PM014-YS12-1	PM014-YS08-1	PM014-YS13-1
La	33.5	27.22	28.35	25.9	21.7
Ce	56.2	57.66	59.84	54.1	43.2
Pr	6.84	7.05	7.41	6.74	5.16
Nd	23.7	25.53	27.15	25.3	18.7
Sm	4.77	5.47	5.8	5.63	4.01
Eu	1.27	1.37	1.51	1.43	1.33
Gd	4.11	4.33	4.66	4.74	3.3
Tb	0.63	0.74	0.8	0.83	0.58
Dy	3.42	3.95	4.28	4.58	3.16
Ho	0.68	0.71	0.78	0.85	0.58
Er	1.85	2.23	2.49	2.7	1.82
Tm	0.27	0.33	0.37	0.4	0.27
Yb	1.76	2.12	2.4	2.57	1.76
Lu	0.26	0.34	0.39	0.42	0.28
Y	17.2	22.23	24.49	26.1	18
$\Sigma \text{REE}$	139.26	139.05	146.23	136.19	105.85
LREE	126.28	124.3	130.06	119.1	94.1
HREE	12.98	14.75	16.17	17.09	11.75
LREE/HREE	9.73	8.43	8.04	6.97	8.01
La/Yb	19.03	12.84	11.81	10.08	12.33
Sm/Nd	0.2	0.21	0.21	0.22	0.21
Gd/Yb	2.34	2.04	1.94	1.84	1.87
(La/Yb) <sub>N</sub>	13.65	9.21	8.47	7.23	8.84
(La/Sm) <sub>N</sub>	4.79	6.95	3.46	4.6	5.41
$\delta \text{Eu}$	0.86	0.83	0.86	0.82	1.09
$\delta \text{Ce}$	0.86	1	0.99	0.98	0.97

含量单位:  $10^{-6}$ .

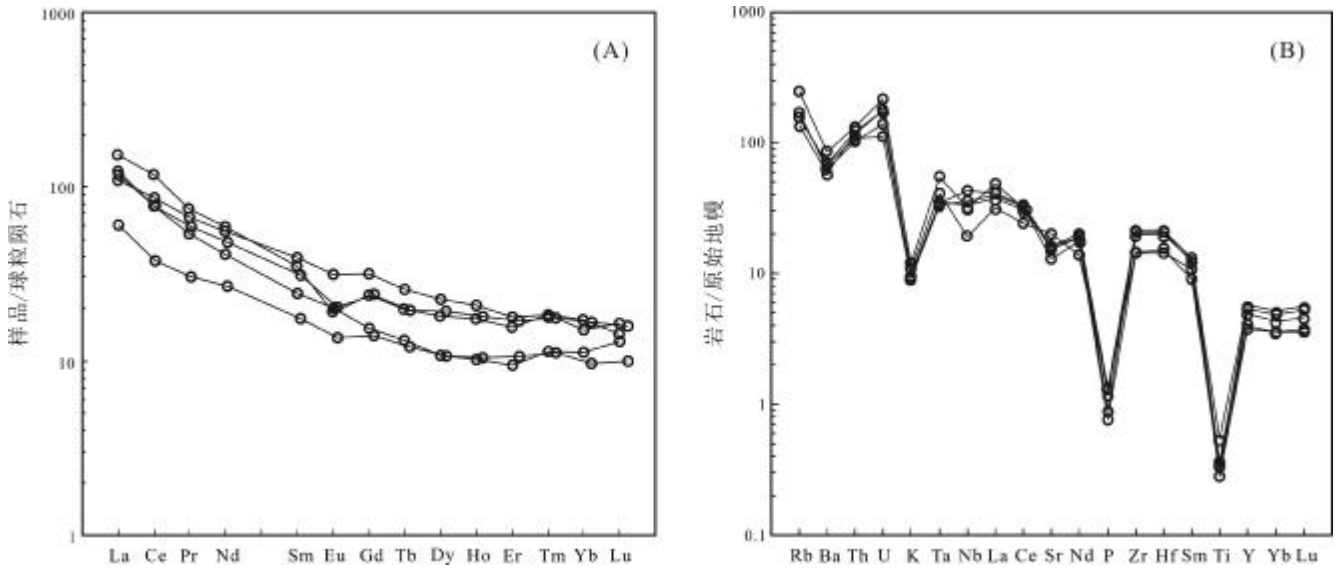


图 5 曲旁浪斜地区花岗闪长岩稀土元素配分曲线和微量元素蛛网图

Fig. 5 Chondrite-normalized REE patterns and primitive mantle-normalized trace element spidergram of granodiorites in Qupanglangxie area

稀土 LREE=94.10×10<sup>-6</sup>~130.06×10<sup>-6</sup>, 重稀土 HREE=11.75×10<sup>-6</sup>~17.09×10<sup>-6</sup>, 轻重稀土比值变化范围为 6.97~9.73, 且稀土元素曲线为右倾型, 属轻稀土富集型; La/Yb 比值高(10.08~19.03), 比值变化范围较小; 稀土分馏程度也高(La<sub>N</sub>/Yb<sub>N</sub> 值为 7.23~13.65); Gd/Yb 比值较高(1.84~2.34), 比值变化范围较小; Sm/Nd 比值低(0.20~0.21), 变化范围小, 均小于 0.333, 为富集型(据赫尔曼). LREE/HREE 比值反映了轻、重稀土元素分馏的特征.

稀土元素球粒陨石标准化曲线图(图 5A)中, 其标准化曲线为左高右低向右略陡倾的曲线, 负铕异常, δEu=0.83~0.86, 样品均有 Eu 负异常, 成岩主要处于强氧化环境. 造成 Eu 亏损可能是在分馏结晶作用中长石结晶或在部分熔融作用中长石残留在源区, 形成负 Eu 异常的残余熔体. δCe=0.86~1.00, 平均 0.95, Ce 无异常, 说明岩体受流体影响不明显. 稀土配分曲线均为向右倾斜的轻稀土富集型, 本研究的 5 件样品曲线基本一致, 显示了岩浆演化的同源性.

### 2.3 微量元素

曲旁浪斜花岗闪长岩的微量元素分析结果(表 3)和微量元素蛛网图(图 5B)表明, Co、Ni、Cr 等亲铁元素含量高于世界同类花岗岩, 预示着成矿条件较差; 而强不相容元素中 K、Rb、Th 富集明显, Ba 相对亏损, Ta、Nb、Ce 轻度富集或无异常, Sm、Hf、Zr 亏损, Y、Yb 强烈亏损, 晚期单元 Nb、Y、U、Th、K 等大离子亲石元

素的富集, 表明了岩浆演化过程中结晶分异作用的特点. 据各侵入体的微量元素均值所做的蛛网图, 基本保持一致, 由早期单元向晚期单元微量元素的含量增加, 表明微量元素向晚期单元富集, 反映出该期花岗岩

表 3 曲旁浪斜地区花岗闪长岩微量元素含量表

Table 3 Content of trace elements in granodiorites from Qupanglangxie area

样品编号	D8329-YH1	PM014-YS07-1	PM014-YS12-1	PM014-YS08-1	PM014-YS13-1
Rb	158	99.02	100.17	86.7	108
Ba	593	485.98	476.66	410	439
Th	11.3	10.38	9.12	10	8.72
U	4.51	3.67	2.33	3.69	2.91
Nb	22.6	25.55	30.72	24	13.6
Ta	2.26	1.36	1.42	1.45	1.69
Sr	274	321.78	337.62	343	425
Zr	160	229.2	241.43	223	162
Hf	4.48	6.42	6.57	6.14	4.62
Lu	0.26	0.34	0.39	0.42	0.28
Cr	37.29	95.55	43.33	95.6	26.3
La	33.5	27.22	28.35	25.9	21.7
Ce	56.2	57.66	59.84	54.1	43.2
Nd	23.7	25.53	27.15	25.3	18.7
Sm	4.77	5.47	5.8	5.63	4.01
Eu	1.27	1.37	1.51	1.43	1.33
Tb	0.63	0.74	0.8	0.83	0.58
Y	17.2	22.23	24.49	26.1	18
Er	1.85	2.23	2.49	2.7	1.82
Yb	1.76	2.12	2.4	2.57	1.76

含量单位: 10<sup>-6</sup>.

具有 I 型花岗岩的特征。

从成矿特点看研究区矿化(含矿性),贵金属和有色元素含量基本接近或小于地壳丰度值(泰勒值),不具有矿化(含矿)特征。

### 3 年代学特征

本研究在花岗闪长岩中采集单颗粒锆石 U-Pb 测年样品共 1 件,样品由西安地质矿产研究所实验测试

中心(LA-ICP-MS 实验室)进行 SHRIMP U-Pb 同位素测年分析。共选取 25 颗形态各异的锆石开展测年工作,其具体的测定结果和计算得到相关参数详见表 4。该样品中锆石以短柱状居多,少量为长柱状,淡棕色,透明,核部具有较好的振荡型环带,为无色透明中短柱状自形晶体,属岩浆成因锆石(图 6)。

所分析样品共获得了 25 个年龄数据,其  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  年龄变化于 201.7~257.6 Ma,均投影在 U-Pb 谐和曲

表 4 曲旁浪斜地区花岗闪长岩 U-Pb 同位素年龄测定结果表  
Table 4 U-Pb isotopic dating results of granodiorites in Qupanglangxie area

编号	同位素比值						年龄/Ma					
	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$1\sigma$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$1\sigma$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$1\sigma$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$1\sigma$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$1\sigma$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$1\sigma$
1	0.12141	0.0032	0.60592	0.0012	0.03633	0.0018	1977.1	49	481	9	230.1	5
2	0.05076	0.0017	0.24768	0.0014	0.03558	0.0017	229.9	75	224.7	11	225.4	5
3	0.05099	0.0021	0.2354	0.0011	0.03366	0.0019	240.2	95	214.7	10	213.4	3
4	0.22372	0.0019	0.9754	0.0017	0.03179	0.0011	3007.6	65	691.2	8	201.7	3
5	0.06375	0.0011	0.30454	0.0023	0.03483	0.0022	733.4	25	269.9	13	220.7	21
6	0.04922	0.0023	0.22217	0.0007	0.03291	0.0027	158.4	22	203.7	11	208.7	18
7	0.05355	0.0027	0.25226	0.0013	0.03434	0.0025	352	48	228.4	8	217.7	3
8	0.04618	0.0018	0.21509	0.0012	0.03395	0.0012	7.2	49	197.8	22	215.2	10
9	0.04924	0.0024	0.22636	0.0015	0.03351	0.0015	159.4	26	207.2	14	212.5	23
10	0.05389	0.0015	0.24526	0.0017	0.03317	0.0017	366.4	16	222.7	15	210.4	5
11	0.04993	0.0016	0.23407	0.0011	0.03417	0.0021	191.8	60	213.6	9	216.6	5
12	0.04811	0.0017	0.21919	0.0018	0.03321	0.0017	104.6	61	201.2	10	210.6	4
13	0.09154	0.0019	0.45992	0.0009	0.03662	0.0025	1457.7	22	384.2	12	231.8	19
14	0.04999	0.0009	0.22962	0.0020	0.03347	0.0013	194.6	79	209.9	8	212.2	3
15	0.109	0.0022	0.49206	0.0017	0.03289	0.0008	1782.8	19	406.3	11	208.6	22
16	0.17082	0.0027	0.88813	0.0015	0.03788	0.0014	2565.7	35	645.4	14	239.7	4
17	0.04642	0.0015	0.21043	0.0013	0.03303	0.0014	19.4	51	193.9	23	209.5	21
18	0.31219	0.0014	1.74701	0.0008	0.04077	0.0016	3531.8	35	1026.1	10	257.6	9
19	0.05128	0.0018	0.24089	0.0014	0.03423	0.0013	253.5	22	219.2	12	216.9	18
20	0.13437	0.0014	0.67404	0.0014	0.03655	0.0014	2155.9	22	523.2	10	231.4	16
21	0.05948	0.0015	0.27601	0.0016	0.0338	0.0014	584.8	68	247.5	24	214.3	7
22	0.05505	0.0016	0.26084	0.0013	0.03452	0.0023	414.3	65	235.3	22	218.7	14
23	0.0486	0.0013	0.2303	0.0012	0.03452	0.0012	128.8	57	210.4	26	218.8	23
24	0.05352	0.0017	0.24165	0.0015	0.03289	0.0025	350.7	48	219.8	18	208.6	19
25	0.05181	0.0025	0.23784	0.0017	0.03343	0.0017	277.2	41	216.6	12	212	19



线上或附近(图 7),其  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  加权平均年龄为  $213.8 \pm 2.0 \text{ Ma}$ ,时代为中生代晚三叠世,代表了花岗岩的结晶年龄.

### 4 讨论

#### 4.1 侵位时代

曲旁浪斜花岗闪长岩侵位于中三叠世甘德组二



图 6 曲旁浪斜地区花岗闪长岩锆石阴极发光图像

Fig. 6 CL images of zircons from granodiorites in Qupanglangxie area

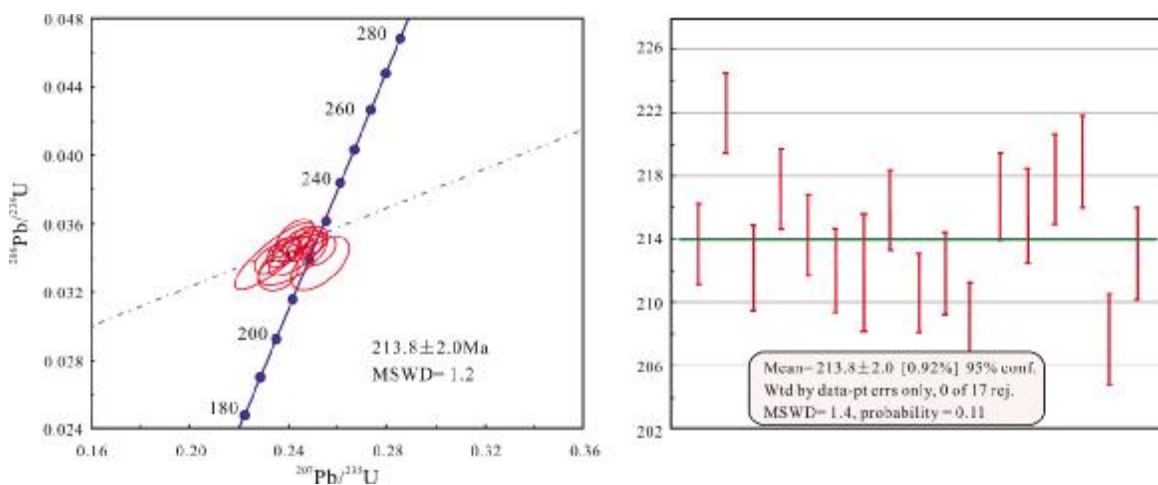


图 7 曲旁浪斜地区花岗闪长岩 U-Pb 年龄谐和图与加权平均年龄

Fig. 7 The U-Pb concordia diagram and weighted mean age of granodiorites in Qupanglangxie area

段,在岩体边部内接触带有大量的棱角状、次棱角状围岩捕虏体,外接触带可见岩枝穿插以及热接触变质现象,该事实为其侵位时代提供了年龄下限约束.本研究锆石 U-Pb 加权平均年龄为  $213.8 \pm 2.0$  Ma, 时代为中生代晚三叠世,与达日-久治地区过铝花岗岩( $213 \sim 218$  Ma)侵位于三叠纪地层的岩体年龄基本一致<sup>[7]</sup>.

#### 4.2 花岗岩成因

曲旁浪斜花岗闪长岩均含有角闪石、黑云母等铁镁矿物,副矿物含磷灰石,未见白云母、堇青石等过铝质矿物,CIPW 标准矿物见刚玉分子.从地球化学方面看,岩石具高硅、铝、钾,低钙、镁、钠、铁的特征,属于高钙碱性准铝质花岗岩类;铝饱和值 A/CNK 小于 1.1,与 I 型花岗岩典型特征相近,明显区别于 S 型花岗岩典型特征<sup>[9-10]</sup>.本研究的曲旁浪斜花岗闪长岩样品中  $P_2O_5$  与  $SiO_2$  具有明显的负相关,具有 I 型花岗岩典型特征,明显区别于 S 型花岗岩特征<sup>[11-13]</sup>.以上矿物学和元素地球化学特征均表明曲旁浪斜花岗闪长岩属于 I 型花岗岩类.根据岩石成因系列的  $SiO_2$ -Nb 及  $SiO_2$ -Zr 图解(图 8),曲旁浪斜花岗闪长岩均投在 I 型花岗岩区.综上,岩矿特征及岩石地球化学特征表明曲旁浪斜花岗闪长岩属于 I 型花岗岩.

根据主量、微量元素特点,曲旁浪斜花岗闪长岩不可能直接由地幔部分重熔而成,可能是下地壳岩石部分熔融形成的.曲旁浪斜花岗闪长岩 Th/Yb  $3.8 \sim 6.4$ ,远大于 2,表明源区有沉积物的贡献<sup>[9-10,14]</sup>.幔源岩浆的 Nb/Ta 为  $17.5 \pm 2$ ,而壳源岩浆的 Nb/Ta 为  $11 \sim 12$ ,花岗闪长岩 Nb/Ta= $10 \sim 21.6$ ,变化范围大,表明岩体源区

物质组成不均一,或是镁铁质岩浆和长英质岩浆混染作用所致<sup>[15-16]</sup>.野外观测中,曲旁浪斜花岗闪长岩可见大量暗色包体,也可以证明岩浆演化过程中存在幔源岩浆与壳源岩浆之间的混合作用.前人研究表明,松潘-甘孜造山带为一滑脱型造山带,其下部存在多层次深层高温韧性滑脱构造.巴颜喀拉山东段出露的晚三叠世花岗岩体,部分是同碰撞造山期深部滑脱构造导致地壳局部熔融的结果<sup>[7]</sup>.曲旁浪斜花岗闪长岩在构造环境判别图(图 9)中,属同碰撞花岗岩,为挤压环境下的产物,锆石年龄显示形成于晚三叠世( $213.8 \pm 2.0$  Ma).综上,曲旁浪斜花岗闪长岩应该是同碰撞造山期深部滑脱构造导致地壳局部熔融的结果.

#### 4.3 构造环境

Pitcher 认为 I 型花岗岩可以形成于弧环境,也可以形成于后碰撞(Postcollision)阶段.曲旁浪斜花岗闪长岩  $Na_2O/CaO$   $0.95 \sim 1.70$ ,具有岛弧花岗岩(IAG)特征; $Na_2O/K_2O$   $1.22 \sim 1.43$ ,具有大陆弧(CAG)和大陆碰撞(CCG)花岗岩特征; $MgO/TFeO$   $0.25 \sim 0.42$ ,具有大陆弧和大陆碰撞花岗岩特征; $MgO/MnO$   $19.17 \sim 22.73$ ,具有岛弧、大陆弧和大陆碰撞特征; $Al_2O_3/(Na_2O+K_2O)$   $1.55 \sim 1.59$ ,具有岛弧、大陆弧和大陆碰撞花岗岩特征;主量元素特征主体具有造山带岛弧、大陆弧和大陆碰撞花岗岩特征.在 Y-Nb 构造环境判别图(图 9A)中,样品落入火山弧和同碰撞花岗岩区域中;在  $R_1-R_2$  图解(图 9B)中,样品落入同碰撞花岗岩中,进一步说明曲旁浪斜花岗闪长岩形成于造山带后碰撞伸展环境.

前人认为东昆仑造山带从晚古生代到早中生代是

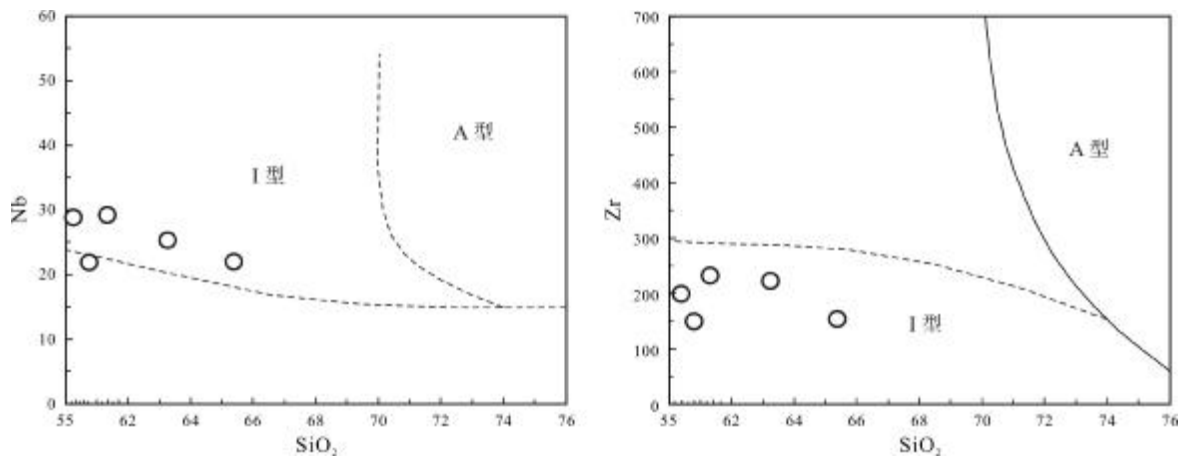
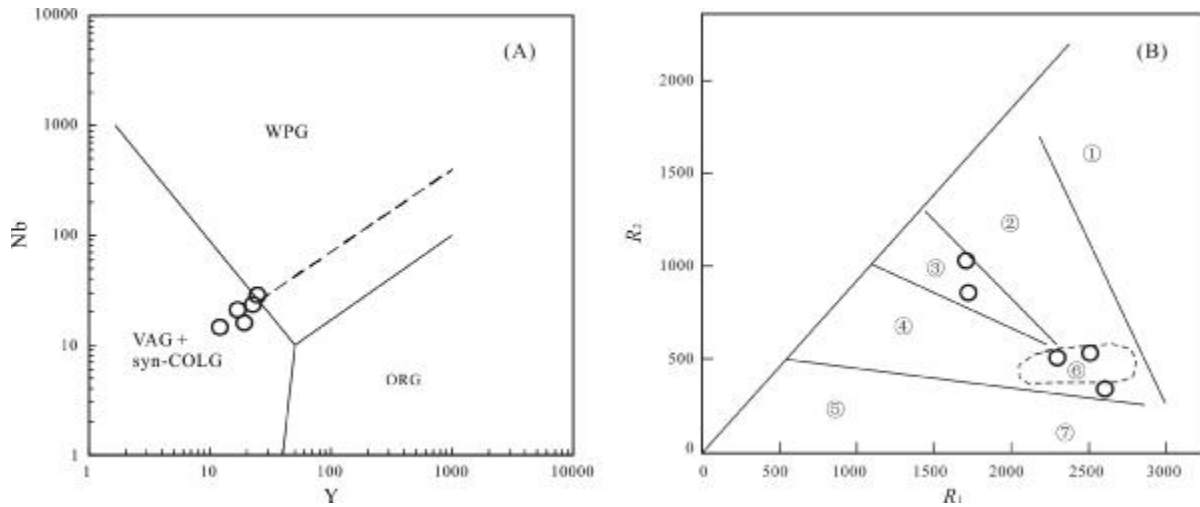


图 8 曲旁浪斜地区花岗闪长岩 Nb-SiO<sub>2</sub> 与 Zr-SiO<sub>2</sub> 图解

Fig. 8 The Nb-SiO<sub>2</sub> and Zr-SiO<sub>2</sub> diagrams of granodiorites in Qupanglangxie area



图9 构造环境判别图 Y-Nb 和  $R_1-R_2$  图解Fig. 9 The Y-Nb and  $R_1-R_2$  tectonic discrimination diagrams

VAG—火山弧花岗岩类(volcanic arc granite); syn-COLG—同碰撞花岗岩类(syn-collision granite); WPG—板内花岗岩类(within-plate granite); ORG—大洋中脊斜长花岗岩类(mid-ocean ridge plagiogranite); ①地幔分异(mantle differentiation); ②板块碰撞前(pre-plate collision); ③碰撞后的抬升(post-collisional uplift); ④造山晚期(late orogenic); ⑤非造山(anorogenic); ⑥同碰撞(syn-collision); ⑦造山期后(post-orogenic)

一个连续的构造演化过程<sup>[17-20]</sup>。莫宣学等<sup>[17]</sup>认为晚二叠世—早三叠世(260~240 Ma)东昆仑造山带主要是俯冲造山期,晚三叠世(237~210 Ma)进入碰撞—后碰撞造山阶段;王秉璋等<sup>[18]</sup>也认为中三叠世东昆仑仍处于洋陆俯冲环境;马昌前等<sup>[19]</sup>则认为东昆仑造山带洋壳俯冲作用一直持续到中三叠世;黄啸坤等<sup>[20]</sup>认为自229 Ma始东昆仑地区为后碰撞伸展环境;沙淑清等<sup>[7]</sup>认为晚三叠世古特提斯洋关闭,巴颜喀拉山造山带转入陆内碰撞造山阶段,过铝花岗岩是陆内碰撞造山晚期的产物。本文研究的曲旁浪斜花岗闪长岩形成于晚三叠世(213.8±2.0 Ma),表现出碰撞造山特征。

对于曲旁浪斜花岗闪长岩的构造属性,笔者研究认为:1)巴颜喀拉岩区花岗岩类岩浆侵位年龄为220~212 Ma之间<sup>[6,21-30]</sup>,曲旁浪斜花岗闪长岩的锆石U-Pb年龄为213.8±2.0 Ma,在此范围之内;2)从构造位置来看,曲旁浪斜花岗闪长岩属于巴颜喀拉—松潘—甘孜地体和东昆仑地块交界区域;3)从构造环境来看,曲旁浪斜花岗闪长岩是同碰撞造山期深部滑脱构造导致地壳局部熔融的结果。

## 5 结论

通过对巴颜喀拉北部曲旁浪斜花岗闪长岩开展系统的锆石U-Pb年代学、岩石学和地球化学综合研究,

得出如下结论。

1)曲旁浪斜花岗闪长岩具有高硅、铝、钾,低钙、镁、钠、铁特征,属 $\text{SiO}_2$ 过饱和铝过饱和类型,属活动大陆边缘弧环境下形成的I型花岗岩。

2)曲旁浪斜花岗闪长岩侵位于三叠系地层中,其 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 加权平均年龄为213.8±2.0 Ma,时代为中生代晚三叠世。

3)曲旁浪斜花岗闪长岩是陆内碰撞造山期深部滑脱构造导致地壳局部熔融的结果。

## 参考文献(References):

- [1]肖庆辉,邱瑞照,邢作云,等.花岗岩成因研究前沿的认识[J].地质论评,2007,53(S1):17-27.  
Xiao Q H, Qiu R Z, Xing Z Y, et al. Major frontiers on studies of granite formation[J]. Geological Review, 2007, 53(S1): 17-27.
- [2]张雪亭,王秉璋,俞建,等.巴颜喀拉残留洋盆的沉积特征[J].地质通报,2005,24(7):613-620.  
Zhang X T, Wang B Z, Yu J, et al. Sedimentary characteristics of the Bayan Hat remnant ocean basin, northwestern China[J]. Geological Bulletin of China, 2005, 24(7): 613-620.
- [3]夏蒙蒙,高万里,胡道功,等.青藏高原北部巴颜喀拉山群火山岩锆石U-Pb年龄及其地质意义[J].现代地质,2019,33(5):957-969.  
Xia M M, Gao W L, Hu D G, et al. Zircon U-Pb ages for volcanic rocks in Bayan Har group in the northern Tibetan Plateau and its

- geological significance[J]. *Geoscience*, 2019, 33(5): 957–969.
- [4] 马骥, 刘彬, 孙洋. 巴颜喀拉中部三叠纪称多高镁闪长岩的地球化学特征、岩石成因及其构造意义[J]. *矿物岩石*, 2020, 40(2): 36–47.  
Ma J, Liu B, Sun Y. Geochemistry, petrogenesis and tectonic implications of the Late Triassic Chenduo high-Mg diorites in the central Bayan Har terrane[J]. *Journal of Mineralogy and Petrology*, 2020, 40(2): 36–47.
- [5] 许志琴, 王宗秀, 侯立玮. 松潘-甘孜造山带构造研究新进展[J]. *中国地质*, 1991(12): 14–16.  
Xu Z Q, Wang Z X, Hou L W. New progress in the study of the tectonics of the Songpan-Garze Orogenic Belt [J]. *Chinese Geology*, 1991(12): 14–16. (in Chinese)
- [6] 邓金贤, 冯平, 周云龙, 等. 巴颜喀拉地块当俄花岗岩体地球化学特征及锆石年龄[J]. *地质找矿论丛*, 2019, 34(2): 242–248.  
Deng J X, Feng P, Zhou Y L, et al. Geochemical characteristics and zircon dating of Dang'e granites in the Bayanhar terrain[J]. *Contributions to Geology and Mineral Resources Research*, 2019, 34(2): 242–248.
- [7] 沙淑清, 王宗秀, 郭通珍, 等. 巴颜喀拉山东段花岗岩锆石 SHRIMP 定年及其地球化学特征[J]. *地球学报*, 2007, 28(3): 261–269.  
Sha S Q, Wang Z X, Guo T Z, et al. Zircon SHRIMP dating and geochemical characteristics of granites in the eastern part of the Bayan Har Mountains[J]. *Acta Geoscientia Sinica*, 2007, 28(3): 261–269.
- [8] 任廷仙, 李小伟, 王可, 等. 西秦岭碌础坝石英闪长岩-花岗岩长岩的地球化学、矿物学研究及其地质意义[J]. *现代地质*, 2021, 35(6): 1651–1676.  
Ren Y X, Li X W, Wang K, et al. Geochemistry, mineralogy, and geological significance of the Luchuba quartz diorite-granodiorite in the West Qinling Orogen[J]. *Geoscience*, 2021, 35(6): 1651–1676.
- [9] Sylvester P J. Post-collisional strongly peraluminous granites[J]. *Lithos*, 1998, 45(1/4): 29–44.
- [10] 韩建军, 李运冬, 宋传中, 等. 东昆仑东段都兰热水花岗岩锆石 U-Pb 年龄、地球化学及构造意义[J]. *地质学报*, 2020, 94(3): 768–781.  
Han J J, Li Y D, Song C Z, et al. Zircon U-Pb dating and geochemistry of granite in the Reshui area of Dulan County, eastern section of East Kunlun Orogen and its tectonic implications[J]. *Acta Geologica Sinica*, 2020, 94(3): 768–781.
- [11] Chappell B W. Aluminium saturation in I- and S-type granites and the characterization of fractionated haplogranites[J]. *Lithos*, 1999, 46(3): 535–551.
- [12] Wu F Y, Jahn B M, Wilde S A, et al. Highly fractionated I-type granites in NE China ( I ): Geochronology and petrogenesis[J]. *Lithos*, 2003a, 66(3/4): 241–273.
- [13] Wu F Y, Jahn B M, Wilde S A, et al. Highly fractionated I-type granites in NE China ( II ): Isotopic geochemistry and implications for crustal growth in the Phanerozoic[J]. *Lithos*, 2003b, 67(3/4): 191–204.
- [14] Elburg M A, Van Bergen M, Hoogewerff J, et al. Geochemical trends across an arc-continent collision zone: Magma sources and slab-wedge transfer processes below the Pantar Strait volcanoes, Indonesia [J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 2002, 66(15): 2771–2789.
- [15] 管琪, 朱弟成, 赵志丹, 等. 西藏南部冈底斯带东段晚白垩世埃达克岩: 新特提斯洋脊俯冲的产物? [J]. *岩石学报*, 2010, 26(7): 2165–2179.  
Guan Q, Zhu D C, Zhao Z D, et al. Late Cretaceous adakites in the eastern segment of the Gangdese belt, southern Tibet: Products of Neo-Tethyan ridge subduction? [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2010, 26(7): 2165–2179.
- [16] 严松涛, 吴青松, 谭昌海, 等. 四川理塘地区花岗闪长岩特征及其增生楔弧岩浆活动[J]. *中国地质*, 2022, 49(4): 1295–1308.  
Yan S T, Wu Q S, Tan C H, et al. Characteristics of granodiorite in the Litang area of Sichuan and its volcanic arc magmatism accretionary wedge[J]. *Geology in China*, 2022, 49(4): 1295–1308.
- [17] 莫宣学, 罗照华, 邓晋福, 等. 东昆仑造山带花岗岩及地壳生长 [J]. *高校地质学报*, 2007, 13(3): 403–414.  
Mo X X, Luo Z H, Deng J F, et al. Granitoids and crustal growth in the East-Kunlun orogenic belt [J]. *Geological Journal of China Universities*, 2007, 13(3): 403–414.
- [18] 王秉璋, 陈静, 罗照华, 等. 东昆仑祁漫塔格东段晚二叠世一早侏罗世侵入岩岩石组合时空分布、构造环境的讨论[J]. *岩石学报*, 2014, 30(11): 3213–3228.  
Wang B Z, Chen J, Luo Z H, et al. Spatial and temporal distribution of Late Permian-Early Jurassic intrusion assemblages in eastern Qimantag, East Kunlun, and their tectonic settings[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2014, 30(11): 3213–3228.
- [19] 马昌前, 熊富浩, 尹焯, 等. 造山带岩浆作用的强度和旋回性: 以东昆仑古特提斯花岗岩类岩基为例[J]. *岩石学报*, 2015, 31(12): 3555–3568.  
Ma C C, Xiong F H, Yin S, et al. Intensity and cyclicity of orogenic magmatism: An example from a Paleo-Tethyan granitoid batholith, eastern Kunlun, northern Qinghai-Tibetan Plateau[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2015, 31(12): 3555–3568.
- [20] 黄啸坤, 魏俊浩, 李欢, 等. 东昆仑巴隆地区晚三叠世石英闪长岩成因: U-Pb 年代学、地球化学及 Sr-Nd-Hf 同位素制约[J]. *地球科学*, 2021, 46(6): 2037–2056.  
Huang X K, Wei J H, Li H, et al. Zircon U-Pb geochronological, elemental and Sr-Nd-Hf isotopic constraints on petrogenesis of Late Triassic quartz diorite in Balong region, East Kunlun Orogen [J]. *Earth Science*, 2021, 46(6): 2037–2056.
- [21] 徐强, 潘桂棠, 江新胜. 松潘-甘孜带: 是弧前增生还是弧后消减? [J]. *矿物岩石*, 2003, 23(2): 27–31.  
Xu Q, Pan G T, Jiang X S. Songpan-Ganze belt: Forearc accretion or backarc collapsing? [J]. *Journal of Mineralogy and Petrology*,

- 2003, 23(2): 27–31.
- [22] Song X Y, Zhou M F, Cao Z M, et al. Late Permian rifting of the South China Craton caused by the Emeishan mantle plume? [J]. *Journal of the Geological Society*, 2004, 161(5): 773–781.
- [23] 许志琴, 侯立玮, 王大可, 等. 中国西南部松潘-甘孜中生代碰撞型造山带的薄壳构造及前陆逆冲系[J]. *中国地质科学院院报*, 1990, 11(1): 126–129.
- Xu Z Q, Hou L W, Wang D K, et al. Thin-skinned tectonics and foreland thrust sheets in the Songpan-Garze orogenic belt in southwestern China [J]. *Bulletin of the Chinese Academy of Geological Sciences*, 1990, 11(1): 126–129.
- [24] 闫全人, 王宗起, 闫臻, 等. 碧口群火山岩的时代——SHRIMP 锆石 U-Pb 测年结果[J]. *地质通报*, 2003, 22(6): 456–458.
- Yan Q R, Wang Z Q, Yan Z, et al. Geochronology of the Bikou Group volcanic rocks: Newest results from SHRIMP zircon U-Pb dating [J]. *Geological Bulletin of China*, 2003, 22(6): 456–458.
- [25] Zhang H F, Zhang L, Harris N, et al. U-Pb zircon ages, geochemical and isotopic compositions of granitoids in Songpan-Garze fold belt, eastern Tibetan Plateau: Constraints on petrogenesis and tectonic evolution of the basement [J]. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 2006, 152(1): 75–88.
- [26] 崔加伟, 郑有业, 田立明, 等. 松潘-甘孜造山带北部岗龙地区巴颜喀拉山群地球化学特征和锆石 U-Pb 年代学特征: 对物源及构造环境的启示[J]. *矿物岩石地球化学通报*, 2016, 35(4): 719–742.
- Cui J W, Zhen Y Y, Tian L M, et al. Geochemical characteristics and zircon U-Pb ages of the Bayankalashan Group in the Ganglong area of the northern Songpan-Ganzi orogenic belt: Implication for its provenance and tectonic environment [J]. *Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry*, 2016, 35(4): 719–742.
- [27] 田光昊, 侯红星, 邵兴坤, 等. 巴颜喀拉北部江日嘎玛花岗岩侵入岩地球化学特征及锆石年龄[J]. *地质找矿论丛*, 2022, 37(2): 207–215.
- Tian G H, Hou H X, Shao X K, et al. Geochemical characteristics and zircon age of Jiangri Gama intrusive granite in the North Bayan Hara area [J]. *Contributions to Geology and Mineral Resources Research*, 2022, 37(2): 207–215.
- [28] 秦利, 裴先治, 李佐臣, 等. 扬子板块西北缘碧口微地块新元古代大陆弧岩浆作用: 来自锆石 U-Pb 年代学、Hf 同位素和地球化学证据[J]. *地球科学与环境学报*, 2021, 43(4): 686–709.
- Qin L, Pei X Z, Li Z C, et al. Neoproterozoic continental arc magmatism in Bikou micro-block, the northwestern margin of Yangtze Plate, China: Evidence from Zircon U-Pb dating, Hf isotope and geochemistry [J]. *Journal of Earth Sciences and Environment*, 2021, 43(4): 686–709.
- [29] 付彦文, 张金明, 薛万文, 等. 东昆仑开木棋河东花岗闪长岩及其暗色微粒包体成因: 来自年代学和岩石地球化学的证据[J]. *矿物岩石*, 2021, 41(3): 84–94.
- Fu Y W, Zhang J M, Xue W W, et al. Genesis of the granodiorite and its dark micro-granular inclusions in the east Kaimuqihe area, East Kunlun: Evidence from chronology and petrogeochemistry [J]. *Journal of Mineralogy and Petrology*, 2021, 41(3): 84–94.
- [30] 田光昊, 侯红星, 邵兴坤, 等. 川西西康群酸性侵入岩地质、地球化学特征及找矿意义[J]. *现代矿业*, 2021, 37(12): 91–97.
- Tian G H, Hou H X, Shao X K, et al. Geological and geochemical characteristics and prospecting significance of acid intrusive rocks in Xikang Group, western Sichuan [J]. *Modern Mining*, 2021, 37(12): 91–97.
- [19] 张宏嘉. 本溪-集安地区三维地质结构重磁电综合解释[D]. 长春: 吉林大学, 2013.
- Zhang H J. Integrated geophysical interpretation of 3D geological structure of Benxi-Ji'an metallogenic belt [D]. Changchun: Jilin University, 2013.
- [20] 吴占彩, 贺克升. 重、磁、电在地热勘查中的应用[J]. *中国资源综合利用*, 2017, 35(9): 132–134.
- Wu Z C, He K S. Application of gravity, magnetism and electricity in geothermal prospecting [J]. *China Resources Comprehensive Utilization*, 2017, 35(9): 132–134.
- [21] 李玉芹, 王学贞, 王振生, 等. 大兴安岭东坡甘珠尔庙银多金属矿地质特征及找矿方向[J]. *矿物学报*, 2011, 31(3): 610–614.
- Li Y Q, Wang X Z, Wang Z S, et al. A tentative study of the geology and ore potentiality of Ganzhuermiao Ag polymetallic deposit, east-side hill of Daxinganling, China [J]. *Acta Mineralogica Sinica*, 2011, 31(3): 610–614.

(上接第 496 页/Continued from Page 496)