

藏北尼木冬勒钾长花岗岩地球化学特征、物质源区及构造环境分析

朱国宝¹,余旭辉^{1,2},胡古月³

(1. 四川省地质矿产勘查开发局区域地质调查队,成都 四川 610213,2. 成都理工大学地球科学学院,成都 四川 610059;3. 中国地质科学院矿产资源研究所,自然资源部成矿作用与资源评价重点实验室,北京 100037)

[摘要]藏北尼木冬勒钾长花岗岩大地构造位置为冈底斯火山-岩浆岩带,岩体呈不规则状侵入位于古近纪帕那组、新近纪雄巴组火山岩地层中,与各地层均呈角度不整合接触关系。尼木冬勒钾长花岗岩主微量元素地球化学总体特征表明区内早白垩世钾长花岗岩主要为准铝质-过铝质高钾钙碱性岩石系列。与原始地幔相比,花岗岩相对富集不相容元素 Rb、Th、U、La、Ce、Nd、Zr、Hf 等,而 Ba、Nb、Sr、P、Ti 呈现低谷,富集轻稀土和大离子亲石元素,强烈亏损 Nb、Ta、P 和 Ti 等高场强元素。通过对尼木冬勒钾长花岗岩体地球化学特征研究,进而讨论该地区钾长花岗岩的物质源区及构造环境。研究表明该区钾长花岗岩岩浆源区遭受了俯冲板片沉积物熔体的交代作用,具有岛弧岩浆岩特征,为典型的活动大陆边缘构造环境。

[关键词]早白垩世钾长花岗岩;地球化学特征;物质源区;构造环境;藏北尼木冬勒

[中图分类号] P588.12⁺1;P594⁺.1;P545 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1000-5943(2022)02-0122-08

尼木冬勒钾长花岗岩位于拉萨地块西部阿里地区革吉县雄巴乡。拉萨地块自晚三叠世从印度板块分离后相继经历了数次构造-岩浆事件,形成了现今长达 1 500 km 的冈底斯火山-岩浆岩带(陈兴等,2020),洛巴堆-米拉山断裂及狮泉河-纳木错蛇绿混杂岩带由南向北将其分解为南部、中部、北部三个次级构造单元。而尼木冬勒钾长花岗岩体处于中部拉萨地块最南端与南部拉萨地块相接处,属冈底斯-念青唐古拉构造-岩浆岩带。

前人对班公湖-怒江特提斯洋的俯冲及碰撞演化进程做了大量的研究,该洋盆的打开、关闭时限、俯冲极性等均有不同的观点。已有研究表明班公湖-怒江特提斯洋的打开具有穿时性,不同地区打开时间差异明显(邱婵媛等,2018;雷传扬等,2019a)。俯冲极性方面主要存在向南俯冲(邱瑞照等,2004)、向北俯冲(李金祥等,2008)及双向俯冲

(曲晓明等,2009)的3种观点。本文以班公湖-怒江成矿带铜多金属矿资源基地调查项目为依托,结合 1:5万雄巴地区区域地质调查成果,通过对研究区大面积展布的白垩系钾长花岗岩地球化学特征探究其岩浆源区特征、构造环境,为班公湖-怒江特提斯洋的构造演化提供新的地质资料。

研究区内岩浆活动强烈,主要为侏罗纪、白垩纪的中酸性岩浆岩,早白垩世钾长花岗岩主要出露于雄巴乡南部结克村尼木冬勒地区,出露面积 32.19 km²,为研究区出露面积最大的侵入体,被古近纪帕那组、新近纪雄巴组火山岩覆盖(图1),根据岩性特征可将尼木冬勒钾长花岗岩划分为细粒钾长花岗岩、中粗粒钾长花岗岩 2 个填图单元。由尼木冬勒地区采集的钾长花岗岩样品室内锆石 U-Pb 同位素测年结果为(102.36±0.49~134.9±1.4 Ma),时代为早白垩世(胡古月等,2019)。

[收稿日期] 2021-12-05 **[修回日期]** 2022-03-25

[基金项目] 西藏革吉县雄巴南 1:5万 4 幅(H44E001014、H44E001015、H44E001016、H44E001017)区域地质调查项目、班公湖-怒江成矿带铜多金属矿资源基地调查项目(DD20160026、DD20190167)联合资助”。

[作者简介] 朱国宝(1988—),男,四川射洪市人,地质调查与矿产勘查工程师,研究方向:区域地质调查及矿床学, E-mail: xueqike@126.com。

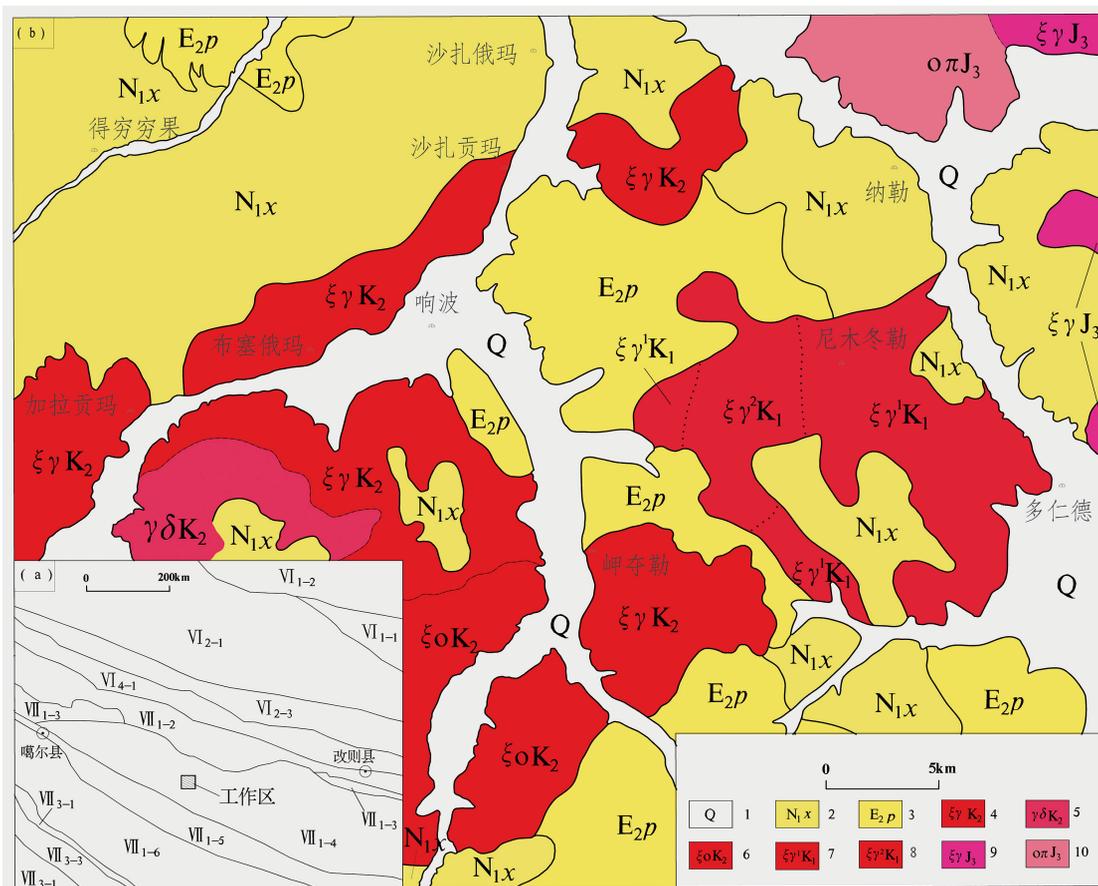


图1 研究区大地构造位置(a)和地质简图
(注:b. 据1:5万雄巴南区调报告,2019)

Fig. 1 Tectonic position (a) and geological sketch map (b) of the study area
(b. modified from 1:50000 Regional Survey Report of Xiongbanan, 2019)

1—第四系;2—雄巴组;3—帕那组;4—晚白垩世钾长花岗岩;5—晚白垩世花岗闪长岩;6—晚白垩世石英正长岩;7—早白垩世细粒钾长花岗岩;8—早白垩世中粗粒钾长花岗岩;9—晚侏罗世钾长花岗岩;10—晚侏罗世石英斑岩;VI—班公湖-双湖-怒江-昌宁对接带;VI1—龙木错-双湖结合带;VI1-1—龙木错-双湖蛇绿混杂岩带;VI1-2—托和平措-查多岗日洋岛增生杂岩带;VI2—南羌塘增生弧盆系;VI2-1—多玛(增生)地块;VI2-3—扎普-多不杂岩弧带;VI4—班公湖-怒江结合带;VI4-1—班公湖-怒江蛇绿混杂岩带;VII—冈底斯-喜马拉雅造山系;VII1—拉达克-冈底斯-察隅弧盆系;VII1-2—昂龙岗日-班戈-腾冲岩浆弧带;VII1-3—狮泉河-申扎-嘉黎蛇绿混杂岩带;VII1-4—措勤-申扎岩浆弧带;VII1-5—隆格尔-工布江达复合岛弧带;VII1-6—拉达克-南冈底斯-下察隅岩浆弧带;VII3—印度河-雅鲁藏布江结合带;VII3-1—雅鲁藏布蛇绿混杂岩带;VII3-3—仲巴地块;VII4—喜马拉雅地块;VII4-1—拉轨岗日被动前陆盆地;VII4-3—高喜马拉雅基底杂岩带;VII4-4—低喜马拉雅被动陆缘盆地

1 地质概况及岩石学特征

尼木冬勒钾长花岗岩体位于藏北雄巴地区南部结克村,平面形态呈不规则状岩株展布。新近纪雄巴组中酸性火山岩为工作区早白垩世钾长花岗岩的主要围岩,钾长花岗岩和上覆帕那组、雄巴组火山岩地层为角度不整合接触关系。侵入体风化程度较低,蚀变、矿化及脉体均不发育。本次工作将尼木冬勒钾长花岗岩解体为细粒钾长花岗岩及中粗粒钾长花岗岩。

细粒钾长花岗岩:岩石中斑晶含量48%~54%,

斑晶主要为钾长石、斜长石、石英。钾长石为长柱状,半自形-自形粒状结构,含量约18%~20%。斜长石主要为更长石,板状,半自形-自形粒状结构,含量约15%~18%,少量斜长石表面发育少量绢云母化、粘土化蚀变。石英呈烟灰色-无色透明状,玻璃光泽,它形粒状结构,含量约5%~10%,此外还可见少量角闪石和黑云母斑晶。基质为微晶状的长英质、玻璃质,少量白云母,发育星点状-团斑状绢云母蚀变,玻璃质为英安岩成分,呈褐色。

中粗粒钾长花岗岩:岩石中斑晶含量占50%~58%,斑晶成分与细粒钾长花岗岩一致,亦为钾长石、斜长石及石英。钾长石为正长石,呈它形粒

状,半自形板状,部分具卡氏双晶,部分晶体包含斜长石,形成包含结构,弱的粘土蚀变,部分有不规则团状的绿帘石蚀变。斜长石为更长石,晶体呈半自形板状,有弱的粘土、绢云母蚀变。石英呈烟灰色-无色透明状,玻璃光泽,它形粒状结构。基质为显微晶质状的长英质,占42%~50%左右。

2 岩石地球化学

工作中共采集了2套(共计6件)早白垩世钾长花岗岩全岩主微量地球化学分析样品,由中国地质科学院国家地质测试中心完成测试工作。采用XRF(X射线荧光光谱分析)方法测试主量元素,测试仪器选用X荧光光谱仪3080E,测试精度为5%。微量元素、稀土元素(REE)则由等离子质谱仪(ICP-MS-Excell)进行分析,含量大于 10×10^{-6} 的元素其测试精度为5%,而小于 10×10^{-6} 的元素精度为10%,样品中个别含量较低的元素,其测试误差超过10%,详细的原理及测试方法参考(卓尚军,2003;吉昂,2012)。

样品 SiO_2 含量介于64.96%~72.19%之间,整体 SiO_2 含量变化较小,平均为68.54%。 Na_2O 平均含量为4.01%;全碱含量 $w(\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O})$ 为6.88%~9.17%,平均为8.15%,全碱含量较高,含量变化较小。 $w(\text{Na}_2\text{O})$ 含量小于 $w(\text{K}_2\text{O})$ 含量, $w(\text{Na}_2\text{O})/w(\text{K}_2\text{O})$ 比值在0.87~1.17之间,属高钾钙碱性岩石(图2a)。 Al_2O_3 含量一般,介于13.37%~16.59%之间,平均为14.64%,铝饱和指数(A/CNK)范围位于0.91~1.18之间,平均为1.01,A/NK值在1.07~1.62区间范围,平均值为1.35,属于准铝质-过铝质系列(图2b)。 CaO 含量处于0.91%~3.45%之间,平均为1.88%;Mg#值变化较大,介于21~60之间,平均值为35.6。CIPW标准矿物法计算显示,早白垩世钾长花岗岩刚玉分子数较高,介于0~4.16之间,分异指数(DI)较高,指数值在71.65~92.29,平均值为83.28,表明岩体经历了较低程度的岩浆分异过程。样品主微量元素地球化学总体特征表明区内早白垩世钾长花岗岩主要为准铝质-过铝质高钾钙碱性岩石系列。

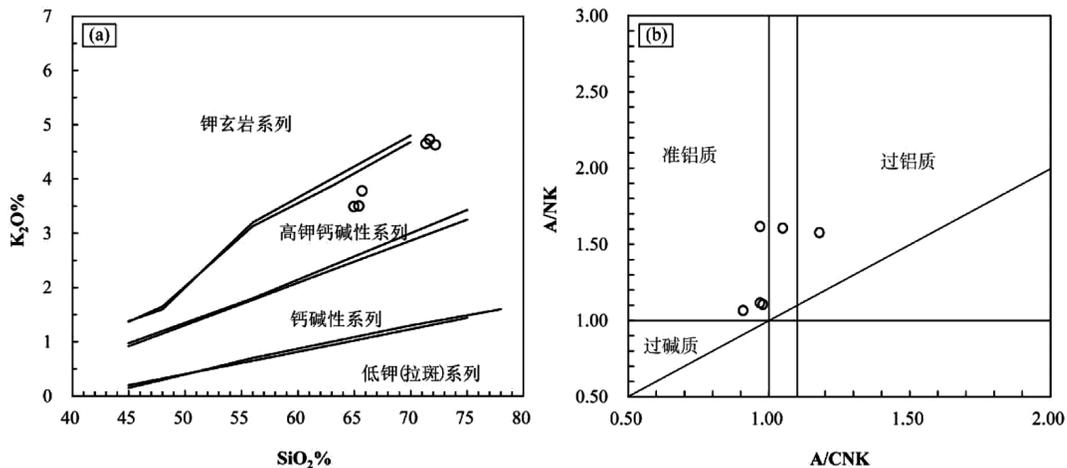


图2 研究区钾长花岗岩 SiO_2 与 K_2O 关系图解(a)和A/CNK-A/NK图解(b)

Fig. 2 SiO_2 vs. K_2O (a) and A/CNK-A/NK (b) diagrams for the moyite in the study area

表1 研究区钾长花岗岩主量(%)、微量(10^{-6})、稀土(10^{-6})元素含量及特征参数表

(据中国地质科学院国家地质测试中心)

Table 1 Contents and characteristic parameters of major (%), trace (10^{-6}) and rare earth (10^{-6}) elements concentrations ($\times 10^{-6}$) for moyite in the study area

样品号	TD17-16-2	TD17-16-3	TD17-16-4	TD17-9-2	TD17-9-3	TD17-9-4
主量元素(%)						
SiO_2	71.35	71.68	72.19	64.96	65.41	65.68
TiO_2	0.33	0.34	0.34	0.57	0.63	0.58
Al_2O_3	13.37	13.64	13.83	15.14	16.59	15.28
Fe_2O_3	1.73	1.35	1.44	2.50	0.87	2.28

续表

样品号	TD17-16-2	TD17-16-3	TD17-16-4	TD17-9-2	TD17-9-3	TD17-9-4
FeO	1.31	1.13	0.87	2.27	1.92	2.20
MnO	0.13	0.09	0.09	0.06	0.05	0.05
MgO	0.44	0.35	0.34	2.08	2.25	1.92
CaO	1.20	0.97	0.91	3.45	1.94	2.79
Na ₂ O	4.52	4.32	4.51	3.39	4.09	3.28
K ₂ O	4.65	4.73	4.63	3.49	3.50	3.78
P ₂ O ₅	0.10	0.09	0.10	0.14	0.15	0.14
LOI	0.59	0.58	0.54	1.45	2.45	1.72
TOTAL	99.72	99.27	99.79	99.50	99.85	99.70
微量元素 (10 ⁻⁶)						
Ba	543.52	729.96	809.78	329.04	482.16	423.99
Rb	162.08	164.55	145.38	147.20	194.99	167.32
Sr	118.61	148.74	160.39	274.53	201.90	229.35
Zr	128.10	157.87	144.44	135.21	140.95	137.75
Nb	10.31	9.41	8.81	8.10	8.20	8.09
Th	20.53	16.21	16.62	18.43	20.45	18.36
Ni	3.85	4.53	2.93	8.35	7.19	7.18
V	16.08	22.36	16.39	83.65	92.14	92.93
Hf	4.81	5.32	5.12	4.55	4.75	4.71
Cs	42.74	44.53	20.16	7.56	6.88	8.31
Sc	4.40	5.77	5.38	11.42	11.19	10.94
Ta	1.10	0.95	0.92	0.97	0.99	1.00
Co	1.55	2.17	1.63	7.95	4.07	6.50
U	3.41	3.35	3.44	1.84	4.10	3.02
稀土元素 (10 ⁻⁶)						
La	32.79	34.63	39.06	35.49	18.74	31.50
Ce	59.91	65.91	71.64	62.12	32.17	53.27
Pr	6.52	6.95	7.91	6.57	3.61	5.61
Nd	23.48	25.29	28.36	23.72	13.55	20.67
Sm	4.00	4.57	4.84	4.22	2.60	3.86
Eu	0.87	1.12	1.20	1.08	0.54	1.11
Gd	3.63	4.15	4.87	3.77	2.33	3.41
Tb	0.64	0.75	0.90	0.69	0.44	0.65
Dy	3.45	4.07	4.90	3.69	2.35	3.56
Ho	0.75	0.90	1.06	0.81	0.53	0.79
Er	1.99	2.38	2.76	2.06	1.35	2.00
Tm	0.34	0.39	0.46	0.32	0.23	0.33
Yb	2.22	2.47	2.89	1.97	1.38	2.00
Lu	0.37	0.39	0.47	0.31	0.23	0.30
Y	17.35	19.75	25.76	18.54	11.20	18.90
ΣREE	140.97	153.96	171.31	146.81	80.04	129.08
LREE	127.58	138.46	153.00	133.19	71.21	116.02
HREE	13.39	15.49	18.30	13.62	8.83	13.05
LREE/HREE	9.53	8.94	8.36	9.78	8.07	8.89
La _N /Yb _N	10.58	10.06	9.68	12.95	9.73	11.28

续表

样品号	TD17-16-2	TD17-16-3	TD17-16-4	TD17-9-2	TD17-9-3	TD17-9-4
La _N /Sm _N	5.29	4.89	5.21	5.43	4.65	5.26
Gd _N /Yb _N	1.35	1.39	1.39	1.59	1.39	1.41
δEu	0.70	0.78	0.76	0.83	0.67	0.94
δCe	1.00	1.04	1.00	1.00	0.96	0.98
A/NK	1.07	1.12	1.11	1.62	1.58	1.61
A/CNK	0.91	0.97	0.98	0.97	1.18	1.05
Mg#	21.50	21.00	21.90	45.10	59.70	44.60
CIPW(%)						
Q	25.07	26.66	26.62	21.65	22.15	23.83
An	2.58	2.61	2.12	14.99	5.60	11.37
Ab	38.23	36.81	38.17	29.03	35.21	28.10
Or	27.57	28.26	27.50	20.97	21.11	22.75
R1	1 982.00	2 079.00	2 065.00	2 204.00	2 034.00	2 229.00
R2	415.00	393.00	387.00	783.00	658.00	706.00
DI	90.87	91.73	92.29	71.65	78.47	74.68

钾长花岗岩稀土元素含量波动范围较大,但总体含量较低,ΣREE(稀土元素总量)介于 $80.04 \times 10^{-6} \sim 171.31 \times 10^{-6}$ 之间,平均为 137.03×10^{-6} ;La_N/Yb_N介于9.68~12.95之间,平均为10.71;La_N/Sm_N介于4.65~5.43之间,平均为5.12;Gd_N/Yb_N介于1.39~1.59,平均值为1.44;LERR/HERR值(轻重稀土元素比值)可在一定程度上反映稀土元素的分离程度,该值介于8.07~9.78之间,平均为8.93;表明LREE明显富集,而HREE亏损不明显,轻重稀土分馏不明显,稀土元素含量球粒陨石标准化稀土配分曲线左半部斜率较大,右半部则近水平(图3a),属于轻稀土富集型。Eu=0.67~0.94,平均为0.78,

负锕异常明显,表明岩浆演化过程中,存在斜长石的分离结晶作用。δCe=0.96~1.04,平均为1.00,表明样品铈异常不明显。

钾长花岗岩样品微量元素分布模式图表现为总体特征相似,形态呈向右倾的“多峰多谷”的特点(图3b),曲线总体向右倾斜,各样品显示出几乎一致的曲线特征,富集大离子亲石元素Rb、Th,而K、Sr较低,高场强元素相比大离子亲石元素有明显的降低,尤以Ba、Nb、Sr、Ti等呈现出明显的V型谷形态,其总体特征反映岩浆源区有俯冲沉积物的参与(曾禹人等,2017)。与原始地幔相比,相对富集不相容元素Rb、Th、U、La、Ce、Nd、Zr、Hf等,而Ba、Nb、Sr、P、Ti呈现低谷特征。

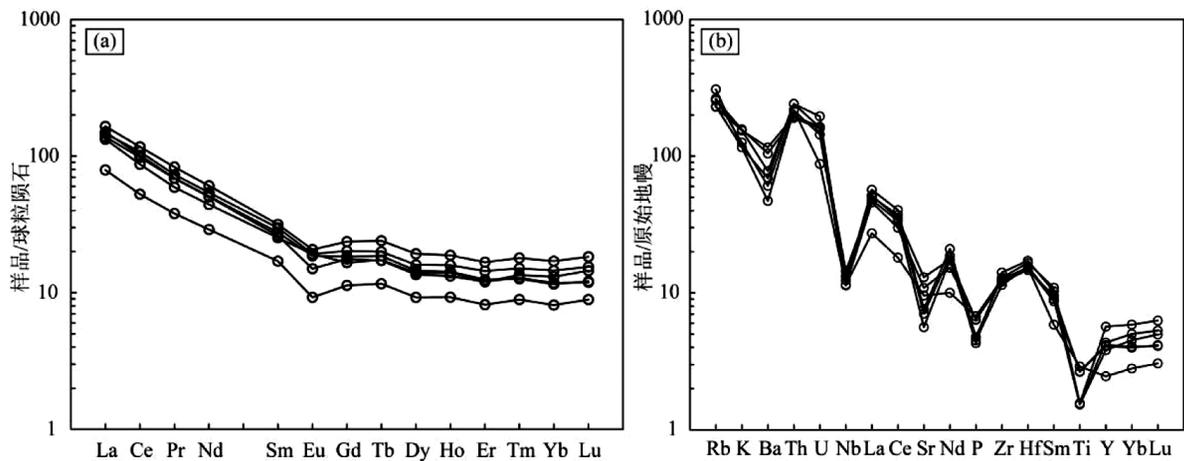


图3 研究区钾长花岗岩稀土元素配分曲线和微量元素原始地幔标准化蛛网图
(球粒陨石标准化值引自 Sun et al., 1989)

Fig. 3 Chondrite-normalized REE patterns(a) and primitive mantle-normalized trace element spider diagram(b) for moyite in the study area(standand value of chondrite is modified from Sun et al., 1989)

3 物质源区及构造背景

3.1 物质源区分析

由于在侵蚀和变质作用过程中 Nb、Ta 比较稳定,表现为对原始岩浆源区有示踪的意义(邱婵媛等,2018),幔源岩浆的 Nb/Ta 值为 17.5 ± 2.0 (Jochum et al., 1989),下地壳的 Nb/Ta 值为 8.3 (Rudnick and Gao, 2003),幔源岩浆的 Nd/Th 值 > 15,而壳源岩石的 Nd/Th 值约为 3 (Bea et al., 2001),地壳岩石的 Rb/Sr 值为 0.35,地幔岩石 Rb/Sr 比值为 0.034 (Taylor and McLennan, 1995),

工作区早白垩世钾长花岗岩的 Nb/Ta 值为 8.09 ~ 19.50,均值为 11.92; Nb/Th 值为 0.66 ~ 7.31,均值为 3.17; Rb/Sr 值为 0.03 ~ 1.37,均值为 0.63,此外钾长花岗岩的 Zr/Hf 值为 26.63 ~ 29.72,均值为 28.26,明显小于幔源岩石的 Zr/Hf 值而接近下地壳岩石的 Zr/Hf 值(约 33, Green, 1995)。钾长花岗岩遭受过板片来源流体的交代(图 4),由板片脱水产生的流体引发部分熔融并交代地幔楔,其形成过程中经历了部分熔融(图 5, Schiano et al., 2010),表明其形成与洋壳俯冲板片有关。样品中 Zr/Y 的比值范围在 5.61 ~ 12.58 之间,小于 18,指示花岗岩体岩浆来源于富集地幔(岳龙等, 2021)。

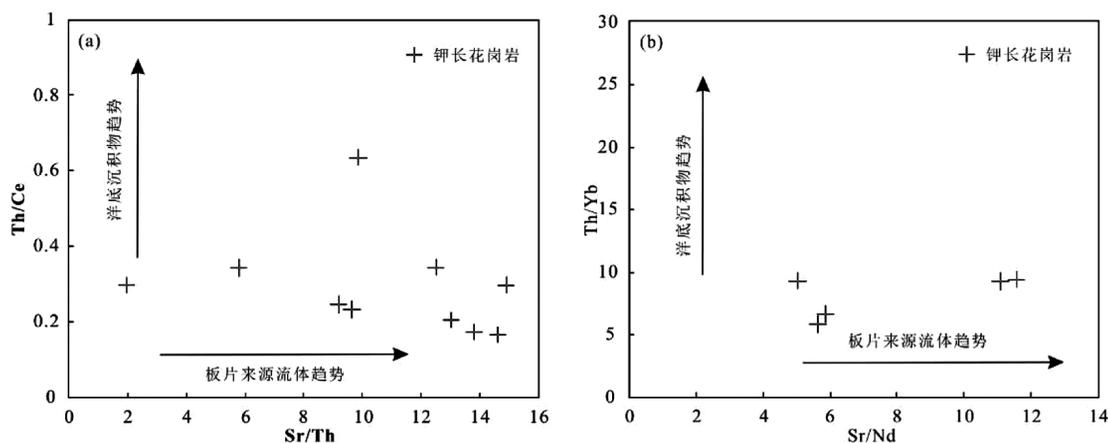


图 4 研究区早白垩世钾长花岗岩的 Th/Ce-Sr/Th 图解和 Th/Yb-Sr/Nd 图解

(注:a. 据 Zhu et al., 2005; b. 据 Woodhead et al., 1998)

Fig. 4 Th/Ce-Sr/Th diagrams and Th/Yb-Sr/Nd diagrams of early Cretaceous potassic feldspar granites in the study area

在成岩阶段岩石中稀土元素的含量仅有小幅度波动,其地球化学特征稳定,由此可用于判别岩浆源区的属性。工作区早白垩世钾长花岗岩的 Sm/Yb 比值均在 3 以内,有三件样品的 La/Sm 值小于 4,三件样品的 La/Sm 值介于 4 ~ 8,剩余三件样品的 La/Sm 值大于 8(图 6a),根据已有研究成果(Ahmadian et al., 2009; Shafiei et al., 2009; Haschke et al., 2010; 李晓峰等, 2013), La/Sm 值小于 4 的三件样品代表了低压的辉石为残留相的源区,比值在 4 ~ 8 的三件样品代表了压力稍高的辉石为残留相的源区,而 La/Sm 值超过 8 的三件样品则代表了以角闪石为残留相的富集源区。在 Th/Ce-Th/Sm 图(图 6b)中钾长花岗岩沿着俯冲沉积物交代曲线分布,其比例为 3% ~ 8%,指示俯冲板片沉积物熔体与岩浆源区进行了交代作用。

尼木冬勒钾长花岗岩 CaO/Na₂O 比值为 0.20

~ 7.08(平均值 2.67),且 A/CNK 值为 0.91 ~ 1.18,均值 1.01,小于 1.1,表明钾长花岗岩不可能由硬砂岩和泥质岩石部分熔融形成(马乐天等, 2010),钾长花岗岩在 Rb/Ba-Rb/Sr 图解(图 7)中主要落在贫粘土源岩的砂质岩区,源区成分为杂砂岩,表明钾长花岗岩的物质源区成熟度相对较低。

3.2 构造环境讨论

早白垩世钾长花岗岩亏损 Ba、Nb、P、Ti、Ta 等高场强元素,在地球化学特征上表现为富集轻稀土和大离子亲石元素,具有岛弧岩浆岩的特征(陈华安等, 2013)。在板片俯冲作用过程中多数弧型岩浆被俯冲流体(包括沉积物中携带的水)进入地幔楔后产生交代作用,表现为具有相对高的 LILE/HFSE 和 LREE/HREE 比值现象(Hawkesworth et al., 1997)。本文通过 Th/Ta 比值有效的

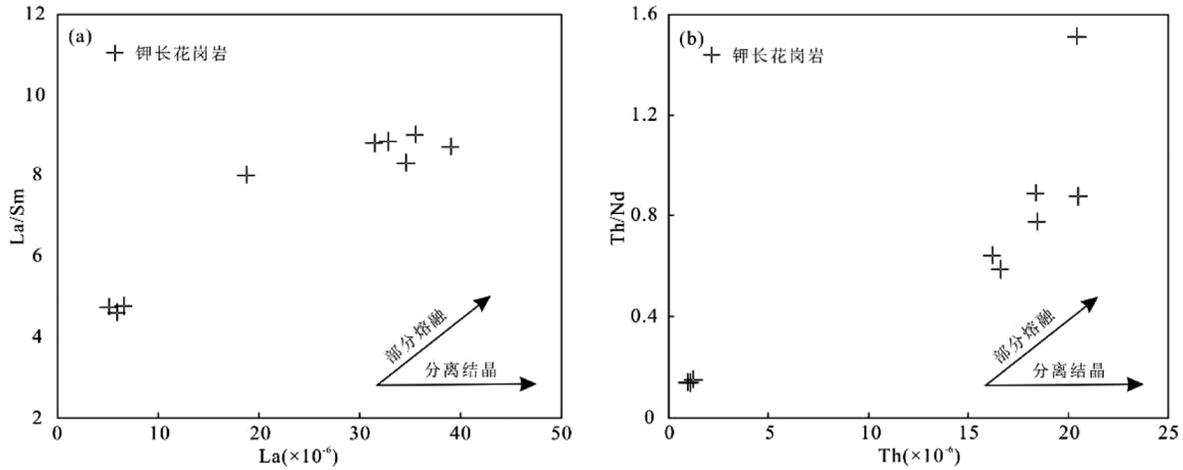


图5 研究区钾长花岗岩 La/Sm-La 图解和 Th/Nd-Th 图解

(注:a. 据 Allegre and Minster, 1978; b. 据 Schiano et al., 2010)

Fig. 5 La/Sm-La diagrams and Th/Nd-Th diagrams of potassic feldspar granites in the study area

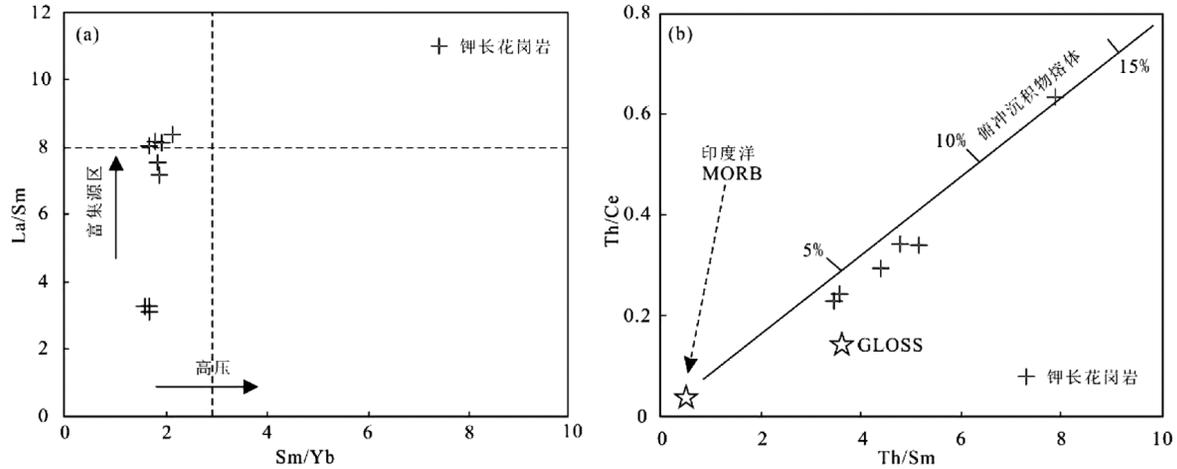


图6 La/Sm-Sm/Yb diagrams and Th/Ce-Th/Sm diagrams of potassic feldspar granites

Fig. 6 La/Sm vs. Sm/Yb and Th/Ce vs. Th/Sm

(a. modified from Fu Changlei et al., 2016; b. diagrams for the moyite modified from Martin, 1999)

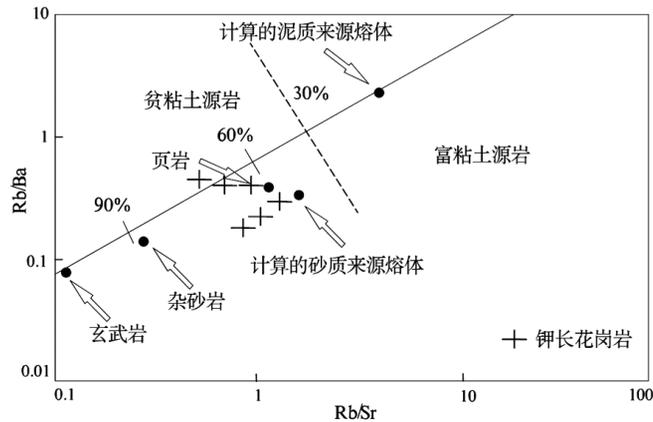


图7 钾长花岗岩 Rb/Sr-Rb/Ba 图解(注:据 Sylvester, 1998)

Fig. 7 Rb/Sr-Rb/Ba diagrams of potassic feldspar granites

区分出板块内部火山带、活动大陆边缘和大洋岛弧构造环境(吴才来等, 2014), 岛弧成分的增加成为岩浆岩中 Th 含量的增多的主要因素, 工作区早白

垩世钾长花岗岩 Th/Ta 比值为 6.20 ~ 20.66 (平均值为 14.70), 远大于 6, 表明了岩浆活动的构造环境为典型的活动大陆边缘(Gorton et al., 2000)。

4 结论

(1) 尼木冬勒钾长花岗岩根据岩性解体为细粒钾长花岗岩及中粗粒钾长花岗岩,根据岩石 U-Pb 同位素测年结果为 ($102.36 \pm 0.49 \sim 134.9 \pm 1.4$ Ma), 其时代为早白垩世。

(2) 岩石地球化学特征显示其属准铝质-过铝质高钾钙碱性岩石系列, LREE 明显富集, 而 HREE 亏损不明显, 属于轻稀土富集型, 具明显负铕异常。

(3) 工作区早白垩世钾长花岗岩主要由古老下地壳物质部分熔融形成, 但其形成也有地幔物质的参与, 岩体在 Th/Ce-Th/Sm 图解中沿俯冲沉积物交代曲线分布, 表明岩浆源区遭受了俯冲板片沉积物熔体的交代作用。

(4) 钾长花岗岩体分异指数 (DI) 较高 (平均值 83.28), 表明岩体经历了较低程度的岩浆分异过程, 富集轻稀土和大离子亲石元素, 具有岛弧岩浆岩的特征, 为典型的活动大陆边缘构造环境。由钾长花岗岩物质源区特点可知其形成与狮泉河-改则-洞错俯冲带向北俯冲于羌塘地块之下有关, 且早白垩世晚期俯冲作用仍然存在 (雷传扬等, 2019b)。尼木冬勒钾长花岗岩丰富了利用拉萨地块白垩纪岩浆记录建立的班-怒洋俯冲-消减的地球动力学模式 (邱婵媛等, 2018), 具有重要的地质意义。

致谢: 本文为西藏革吉县雄巴南 1:5 万 4 幅区域地质调查项目成果之一, 参加野外工作及报告编写的主要成员还有雷传扬、陈翰、郭英帅、吴纯能、吴鑫、曾伟、唐广成等, 定稿过程中匿名审稿人对稿件提出了宝贵的修改意见, 在此表示诚挚的感谢!

[参考文献]

- 陈华安, 祝向平, 马东方, 等. 2013. 西藏波龙斑岩铜金矿床成矿斑岩年代学、岩石化学特征及其成矿意义[J]. 地质学报, 87(10): 1593-1611.
- 陈兴, 吴开彬, 杨天南, 等. 2020. 西藏驱龙矿区流纹斑岩及英安流纹斑岩年代学研究及其地质意义[J]. 贵州地质, 37(02): 175-188.
- 付长全, 闫臻, 郭现轻, 等. 2016. 西秦岭与赛什塘铜矿床有关的花岗质岩石岩浆源区特征及大地构造背景探讨. 岩石学报, 32(7): 1997-2014.
- 胡古月, 余旭辉, 朱国宝, 等. 2019. 西藏革吉县雄巴南 1:5 万 4 幅区域地质调查报告[R]. 北京: 中国地质科学院矿产资源研究所. 227-228.
- 吉昂. 2012. X 射线荧光光谱三十年[J]. 岩矿测试, 31(03): 384-394.
- 李金祥, 李光明, 秦克章, 等. 2008. 班公湖带多不杂富金斑岩铜矿床斑岩-火山岩的地球化学特征与时代: 对成矿构造背景的制约. 岩石学报, 24(3): 531-543.
- 李晓峰, 胡瑞忠, 华仁民, 等. 2013. 华南中生代与同熔型花岗岩有关的铜铅锌多金属矿床时空分布及其岩浆源区特征. 岩石学报, 29(12): 4037-4050.
- 雷传扬, 吴建亮, 尹显科, 等. 2019a. 藏北阿翁错复式岩体及其暗色微粒包体年龄、地球化学与地球动力学意义[J]. 地质通报, 38(04): 494-508.
- 雷传扬, 吴建亮, 尹显科, 等. 2019b. 班公湖-怒江缝合带西段阿翁错地区中酸性侵入岩的成因及其对区域构造演化的指示[J]. 大地构造与成矿学, 43(01): 168-185.
- 马乐天, 张招崇, 董书云, 等. 2010. 南天山英买来花岗岩的地质、地球化学特征及其地质意义[J]. 地球科学, 35(6): 908-920.
- 邱瑞照, 周肃, 邓晋福, 等. 2004. 西藏班公湖-怒江西段舍马拉沟蛇绿岩中辉长岩年龄测定—兼论班公湖-怒江蛇绿岩带形成时代. 中国地质, 31(3): 262-268.
- 曲晓明, 王瑞江, 辛洪波, 等. 2009. 西藏西部与班公湖特提斯洋盆俯冲相关的火成岩年代学和地球化学. 地球化学, 38(6): 523-525.
- 邱婵媛, 肖倩茹, 魏永峰, 等. 2018. 冈底斯带西北缘别若则错地区晚白垩世闪长岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 测年、地球化学及地质意义[J]. 地质学报, 92(11): 2215-2226.
- 吴才来, 邵源红, 雷敏, 等. 2014. 南阿尔金茫崖地区花岗岩类锆石 SHRIMP U-Pb 定年、Lu-Hf 同位素特征及岩石成因[J]. 岩石学报, 30(08): 2297-2323.
- 岳龙, 王敏, 曾昌兴, 等. 2021. 西藏改则县鱼鳞山地区新近系鱼鳞山组火山岩特征[J]. 贵州地质, 38(01): 35-42+64.
- 卓尚军, 吉昂. 2003. X 射线荧光光谱分析[J]. 分析实验室, 2003(03): 102-105.
- 曾禹人, 白培荣, 黄建国, 等. 2017. 西藏班公湖怒江结合带中段恐弄拉地区卡来花岗闪长斑岩岩石地球化学特征、锆石 U-Pb 年代学及其构造背景[J]. 贵州地质, 34(04): 262-272.
- Ahmadian J, Haschke M, McDonald I, et al. 2009. High magmatic flux during Alpine-Himalayan collision: Constraints from the Kale-Kafi complex, central Iran. Geological Society of America Bulletin, 121(5-6): 857-868.
- Bea F, Arzamastsev A, Montero P, et al. 2001. Anomalous alkaline rocks of Soustov, Kola: evidence of mantle-derived metasomatic fluids affecting crustal materials. Contributions to Mineralogy Petrology, 140(5): 554-566.
- Green T H. 1995. Significance of Nb/Ta as an indicator of geochemical processes in the crust-mantle system. Chemical Geology, 120(3-4): 347-359.
- Gorton M P, Schandl E. 2000. From continents to island arcs: a geochemical index of tectonic setting for arc-related and within-plate felsic to intermediate volcanic rocks[J]. The Cana. Mineral, 38:

- 1065–1073.
- Hawkesworth C, Turner S, Peater D, et al. 1997. Element U and Th variations in island arc rocks: implications for U-series iso-topes [J]. *Chem. Geol.*, 139: 207–221.
- Haschke M, Ahmadian J, Murata M et al. 2010. Copper mineralization prevented by arc-root delamination during Alpine-Himalayan collision in central Iran. *Economic Geology*, 105(4): 855–865.
- Jochum K P, McDonough W F and Palme H. 1989. Compositional constraints on the continental lithospheric mantle from trace elements in spinel peridotite xenoliths. *Nature*, 340(6234): 548–550.
- Martin H. 1999. Adakitic magmas: Modern analogues of Archaean granitoids. *Lithos*, 46(3): 411–429.
- Rudnick R L and Gao S. 2003. Composition of the continental crust // Rudnick R L. *The Crust: Treatise on Geochemistry*. Oxford: Elsevier, Pergamon: 1–64.
- Sun S S, McDonough W F. 1989. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: Implications for mantle composition and processes [M]. In: Saunders A D, Norry M J, eds. *Magmatism in the Ocean Basins*. Geological Society, London, Special Publications, 42: 313–345.
- Sylvester P J. 1998. Post-collisional strongly peraluminous granites [J]. *Lithos*, 45(1/4): 29–44.
- Shafiei B, Haschke M and Shahabpour J. 2009. Recycling of orogenic arc crust triggers porphyry Cu mineralization in Kerman Cenozoic arc rocks, southeastern Iran. *Mineralium Deposita*, 44(3): 265–283.
- Schiano P, Monzier M, Eissen J P, Martin H et al. 2010. Simple mixing as the major control of the evolution of volcanic suites in the Ecuadorian Andes. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 160(2): 297–312.
- Taylor S R and McLennan S M. 1995. The geochemical evolution of the continental crust [J]. *Reviews of Geophysics*, 33(2): 241–265.
- Woodhead J D, Eggins S M and Johnson R W. 1998. Magma genesis in the New Britain Island arc: Further insights into melting and mass transfer processes. *Journal of Petrology*, 39(9): 1641–1668.
- Zhu Y F, Zhang L F, Gu L B, et al. 2005. The zircon SHRIMP chronology and trace element geochemistry of the carboniferous volcanic rocks in western Tianshan Mountains. *Chinese Science Bulletin*, 50(19): 2201–2212.

Analysis on Geochemical Characteristics, Material Source Area and Tectonic Environment of the Nimudongle Moyite in Northern Tibet

ZHU Guo-bao¹, YU Xu-hui^{1,2}, HU Gu-yue³

(1. *Sichuan Geology and Mineral Bureau Regional Geological Survey Team, Chengdu 610213, Sichuan, China*; 2. *College of Earth Sciences, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, Sichuan, China*; 3. *MRL Key Laboratory of Metallogeny and Mineral Assessment, Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China*)

[**Abstract**] The Nimudongle moyite in northern Tibet is located in gangdise volcanic-magmatic belt. The rock mass is irregularly emplaced in volcanic strata of Pana formation in Paleogene and Xiongba Formation in Neogene, and it is in angular unconformable contact with all layers. The geochemical characteristics of the main and trace elements of the Nimudongle moyite show that the early Cretaceous potassic feldspar granites are mainly peraluminous high-k calc-alkaline rocks. Compared with the original mantle, the potassic feldspar granites are enriched in incompatible elements Rb, Th, U, La, Ce, Nd, Zr, Hf, etc., while Ba, Nb, Sr, P, Ti show low trough, enriched in LREE and large ion lithophile elements, and depleted of Nb, Ta, P, Ti and other high field strength elements. Based on the study of the geochemical characteristics of the Nimudongle moyite, the material source area and tectonic environment of the moyite in this area are discussed. It shows that the magma source area of the moyite in this area was metasomatic by subduction plate sediment melt, and has the characteristics of island arc magmatic rock, which is a typical active continental margin tectonic environment.

[**Key Words**] Early Cretaceous moyite; Geochemical characteristics; Source area; Tectonic environment; Northern Tibet, Nimudongle