

文章编号:1009-3850(2019)01-0001-13

拉萨地块西段尼雄地区早白垩世晚期 花岗闪长岩的成因及构造意义

崔浩杰¹, 苟正彬², 刘 函², 李 俊², 杨 洋¹

(1. 成都理工大学地球科学学院, 四川 成都 610059; 2. 中国地质调查局成都地质调查中心, 四川 成都 610081)

摘要:青藏高原拉萨地体中西部广泛发育白垩纪岩浆岩,为探讨青藏高原新生代之前的地质演化历史提供了重要线索。然而其成因及构造背景还存在不同的认识,严重阻碍了青藏高原演化历程的反演工作。本文对藏西措勤县尼雄地区的一套花岗闪长岩进行了详细的年代学和全岩地球化学分析,结果表明,尼雄花岗闪长岩的 SiO_2 含量为65.24%~67.61%, $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$ 为0.91~3.93,铝饱和指数(A/CNK)为0.94~1.14,属I型钙碱性岩石。它们富集轻稀土元素(LREEs)和大离子亲石元素(LILEs,如Rb、Th等),亏损重稀土元素(HREEs)和高场强元素(HFSEs,如Nb、Ta等),轻重稀土分馏明显[(La/Yb)_N=7.6~12.2],具有弱-中等的负Eu异常(δEu 为0.6~0.9)。两个花岗闪长岩样品中获得的岩浆锆石U-Pb定年结果分别为119.7 Ma和120.5 Ma,代表了尼雄地区的花岗闪长岩为早白垩世晚期岩浆活动的产物。综合研究表明,这套花岗闪长岩主要来源于古老下地壳物质的重熔,并伴有同期幔源岩浆的加入和混合。它们可能是雅鲁藏布江新特提斯洋壳岩石圈北向俯冲的产物。

关键词:拉萨地块;早白垩世;花岗闪长岩;岩石成因;地球化学;地质年代学;特提斯

中图分类号:P524.4;P588.12

文献标识码:A

引言

印度大陆与欧亚大陆的碰撞是新生代全球最重要的地质事件,造就了号称“地球第三极”的青藏高原。位于青藏高原最南缘的拉萨地体(图1a),因其很好的保存了大量与碰撞造山过程有关的构造、岩浆和变质作用记录,是喜马拉雅-青藏高原造山带研究的核心^[1-2]。青藏高原拉萨地块中广泛发育中生代岩浆岩,蕴含了大量大陆碰撞前后的岩浆活动记录,是研究喜马拉雅造山带形成演化历史的重要载体^[3-5]。前人对拉萨地体中的岩浆事件进行了

大量研究,并获得了丰硕的成果^[6-9]。然而对于其新生代之前,尤其是中生代的岩浆-构造动力学背景目前还未形成统一的认识,部分学者认为拉萨地块南部广泛发育的中生代岩浆活动是新特提斯洋壳北向俯冲的产物^[10-11];另有部分学者认为中生代的岩浆大爆发应归功于班公湖-怒江特提斯洋壳的南向俯冲^[4,12];还有一些学者认为新特提斯洋脊俯冲导致的弧后伸展也可能是诱发中生代岩浆活动的动力学背景之一^[13]。造成上述争论的主要原因,很大程度上与拉萨地体中的白垩纪岩浆岩,尤其是早白垩世岩浆岩的地质年代学、地球化学等研

收稿日期:2018-07-16; **改回日期:**2018-09-10

作者简介:崔浩杰(1994-),男,硕士研究生,主要从事地球化学方面的研究。E-mail: 18330691108@163.com

通讯作者:苟正彬(1986-),男,博士,工程师,从事大陆造山带形成与构造演化研究。E-mail: gzb3792@163.com

资助项目:国家自然科学基金项目(41802071, 41773026和41303028);中国地质调查局项目(DD20190053)

究的程度较低有关。

本文报道了拉萨地块中西部尼雄地区早白垩世晚期的花岗闪长岩的锆石 U-Pb 年代学数据,探讨了它们的成因,简略讨论它们对喜马拉雅造山带早白垩世岩浆作用地球动力学背景的意义,相关成果为重塑拉萨地体在印度大陆与欧亚大陆碰撞之前的岩浆-构造历史提供重要信息。

1 区域地质背景与样品特征

青藏高原主要由 4 个近平行的地体组成,自北向南分别为松潘-甘孜杂地体、羌塘地体、拉萨地体和喜马拉雅地体,它们分别被金沙江缝合带、班公湖-怒江缝合带和雅鲁藏布江缝合带分割^[1](图 1a)。作为冈瓦纳大陆北缘的拉萨地体,东西延伸近 2000 km,南北宽约 300 km。根据基底岩石性质和沉积盖层岩性差异,从北向南,拉萨地块依次被分为北、中和南 3 个亚地体,它们之间的界线分别为狮泉河-纳木错断裂带(SNMZ)和洛巴堆-米拉

山断裂^[5](LMF)(图 1a)。

北拉萨地体主要由中-晚三叠世、中-晚侏罗世的沉积岩和大量白垩纪火山岩组成,暂未发现古老基底的迹象^[14]。沉积岩主要为石英砂岩、粉砂岩、泥岩及生物碎屑灰岩等,偶见火山岩夹层。火山岩主要由上白垩统多尼组和下白垩统竟柱山组火山岩组成。中拉萨地体主体为前寒武纪念青唐古拉群,是古老基底的典型代表。岩性主要为角闪岩、正片麻岩和大理岩等,局部地区偶见麻粒岩甚至榴辉岩等高级变质岩。该地块内沉积岩主要为前寒武纪-白垩纪的海相沉积物^[15],同时还伴随着大量晚三叠世-晚白垩世的岩浆活动,尤以白垩纪侵入岩和白垩纪则弄群火山岩为代表。南拉萨地体以新生地壳和古老结晶基底共存为特征^[16]。区内岩浆活动主要以三叠纪-中新世的冈底斯岩基、下侏罗统叶巴组和桑日群、上侏罗统一下白垩统麻木下组和新生界林子宗群火山岩为代表。该地块内沉积岩的形成时代主要为晚三叠世-晚白垩世^[4,5]。

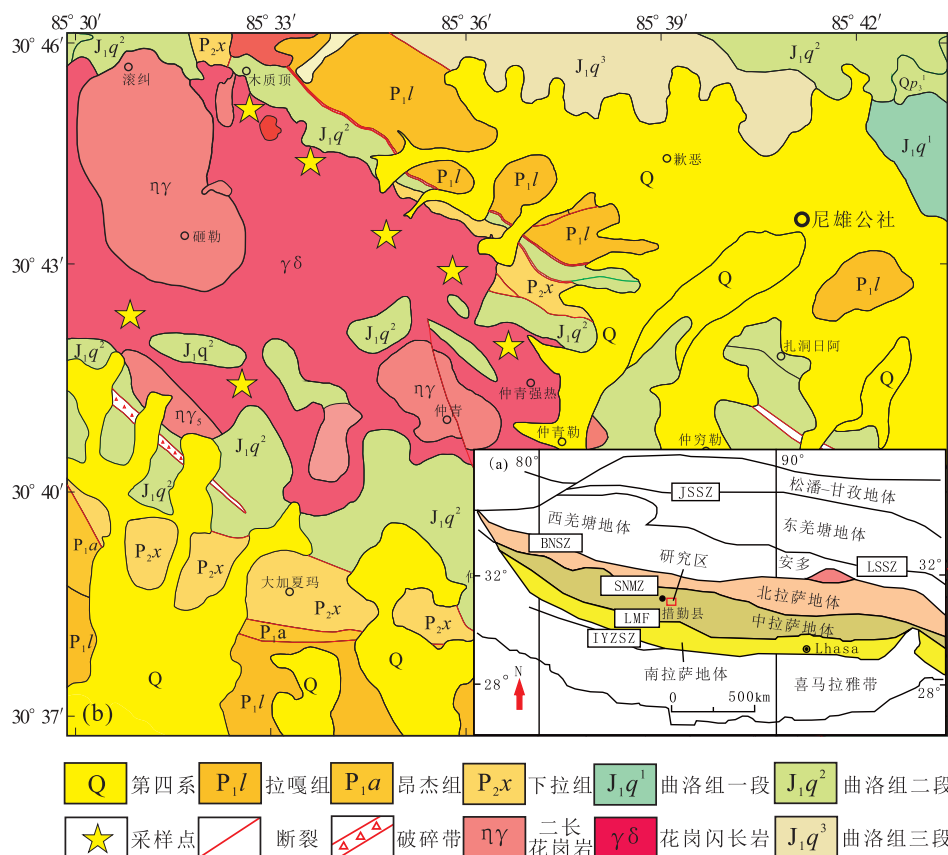


图 1 青藏高原地质简图(a)^[4]与研究区地质简图(b)

Fig. 1 Geological map of the Qinghai-Xizang Plateau (a) and geological map of the Nyixung area (b)

本文所研究的花岗闪长岩位于措勤县东南方向约 50 km 的尼雄公社附近,构造上位于南拉萨地体西段(图 1b)。研究区内沉积岩主要有下二叠统拉嘎组(P_1l)、下二叠统昂杰组(P_1a)、中二叠统下拉组(P_2x)和下侏罗统曲洛组(J_1q^1 、 J_1q^2 和 J_1q^3)。拉嘎组与昂杰组多呈沉积整合关系,昂杰组与下拉组多呈断层接触,下拉组与曲洛组多呈断层接触。该地区岩浆活动强烈,白垩纪二长花岗岩和花岗闪长岩大面积出露。花岗闪长岩位于研究区西北部木质顶和仲青强热等地,呈岩基侵入于下侏罗统曲洛组二段(J_1q^2)中(图 2a),接触面呈舒缓波状,未见明显蚀变。同时,花岗闪长岩常与二长花岗岩呈脉动侵入接触关系。岩体内原生构造不发育,岩体内局部可见暗色包裹体(图 2b)。花岗闪长岩呈花岗结构,岩石由斜长石(50%),钾长石(20%),石英(20%),黑云母(5%),角闪石(5%)组成。斜长石呈半自形板状,粒度一般为 0.3 ~ 2mm,少数粒度为 2 ~ 4mm,杂乱分布。钾长石呈半自形板状,主为条纹长石,粒度一般为 0.2 ~ 1.5mm,杂乱分布。高岭土化,局部与石英构成文象结构。其中,条纹长石

多为交代成因,客晶形态复杂,呈网状(图 2c, d)。石英呈它形粒状,粒度一般为 0.2 ~ 2mm,杂乱分布,粒内可见波状消光,局部与钾长石构成文象结构。角闪石呈半自形柱状,粒度一般为 0.5 ~ 2mm,多色性明显。黑云母呈片状,粒度一般为 0.2 ~ 1.5mm,星散分布(图 2c, d)。

2 分析方法

锆石 U-Pb 同位素定年在中国地质大学(武汉)地质过程与矿产资源国家重点实验室完成。采用的测试仪器为 LA-ICP-MS,型号为 Agilent 7500a。激光剥蚀系统为 GeoLas 2005,激光剥蚀斑束直径为 32 μ m,激光剥蚀深度为 20 ~ 40 μ m。对分析数据的离线处理采用软件 ICPMSDataCal 完成^[17]。U-Pb 年龄谱和图的绘制和加权平均年龄的计算采用 ISOPLLOT 软件完成^[18]。

本文所选取的样品均比较新鲜,未见明显的蚀变和脉体侵入。所有样品的主量、微量元素分析均在国家地质实验测试中心完成。主量元素采用 Rigaku-3080 型 X 射线荧光光谱仪(XRF)进行分析,

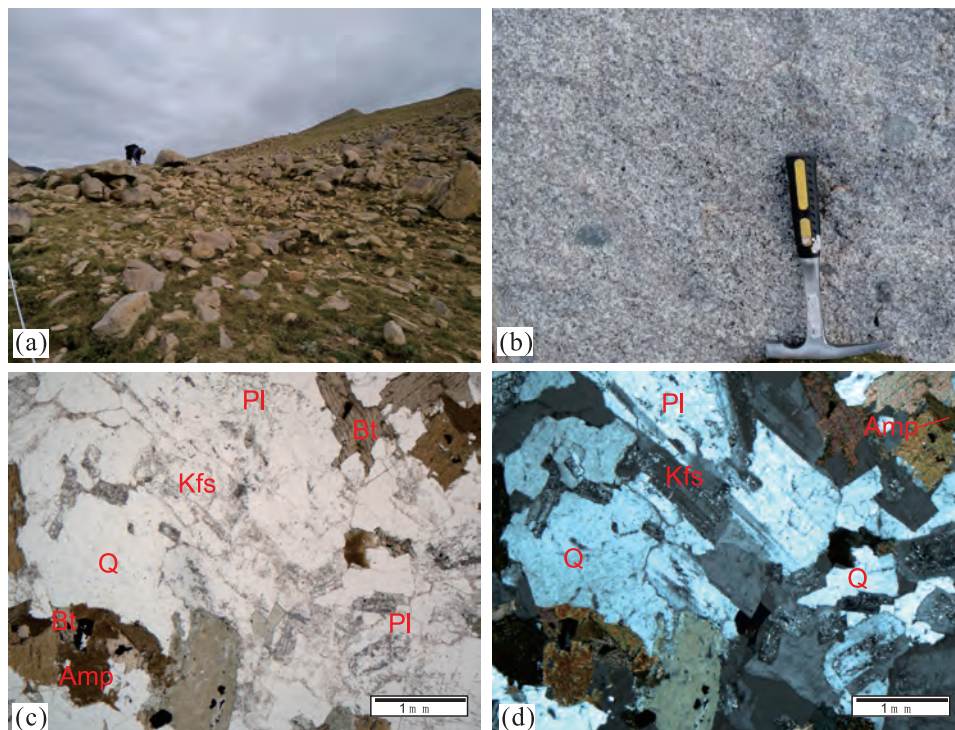


图 2 尼雄花岗闪长岩的野外特征(a 和 b)和显微照片(c 和 d)

Amp. 角闪石; Bl. 黑云母; Pl. 斜长石; Kfs. 钾长石; Q. 石英

Fig. 2 Macroscopic features (a and b) and photomicrographs (c and d) of the Early Cretaceous granodiorites from the Nyixung area

分析精度优于0.5%。微量元素和稀土元素使用电感耦合等离子体质谱(ICP-MS)进行测定,当元素含量大于 1×10^{-6} 时,分析精度优于1%~5%,当元素含量小于 1×10^{-6} 时,分析精度优于5%~10%。

3 锆石 U-Pb 年龄

花岗闪长岩样品(D1409-N1)中的锆石具有类似的外形特征,呈自形长柱状,长轴70~200 μm ,长宽比为1.5:1~3:1。阴极发光(CL)图像上,锆石具有较宽的生长韵律环带(图3a),暗示岩浆成因^[19]。笔者对该样品22颗具有代表性的锆石进行了U-Pb同位素定年分析,其结果显示,锆石的Th/U比值为1~4.4(表1),属典型岩浆锆石的特征^[19],与CL图像显示的结果吻合。样品D1409-N1的22个分析点获得了加权平均年龄为 $119.6 \pm 1.3 \text{ Ma}$ (MSWD = 2.0, n = 22;图3b)。

花岗闪长岩样品(TK1704-N2)中的锆石为自形长柱状,长轴80~300 μm ,长宽比为2:1~4:1。CL图像显示,锆石同样具有典型的韵律环带(图3c),同时Th/U比值较大(0.6~1.2;表1),属岩浆成因。17颗岩浆锆石获得的近乎一致的加权平均年龄为 $120.5 \pm 1.0 \text{ Ma}$ (MSWD = 0.13, n = 17;图3b)。

4 岩石化学

本文所研究的9个花岗闪长岩样品具有较均一的 SiO_2 含量(65.24%~67.61%;表2)。扣除烧失量(LOI),并将其换算成100%后,在深成岩R1-R2分类图解中,样品均落入花岗闪长岩范围(图4),与镜下鉴定结果一致。样品的具有明显富碱和高钾的特征, K_2O 含量为1.18%~3.44%, $\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}$ 介于5.82%和7.06%之间,在 $\text{SiO}_2 - \text{Alk}$ 图解上落入亚碱性系列范围内(图5),在花岗岩类分类图解

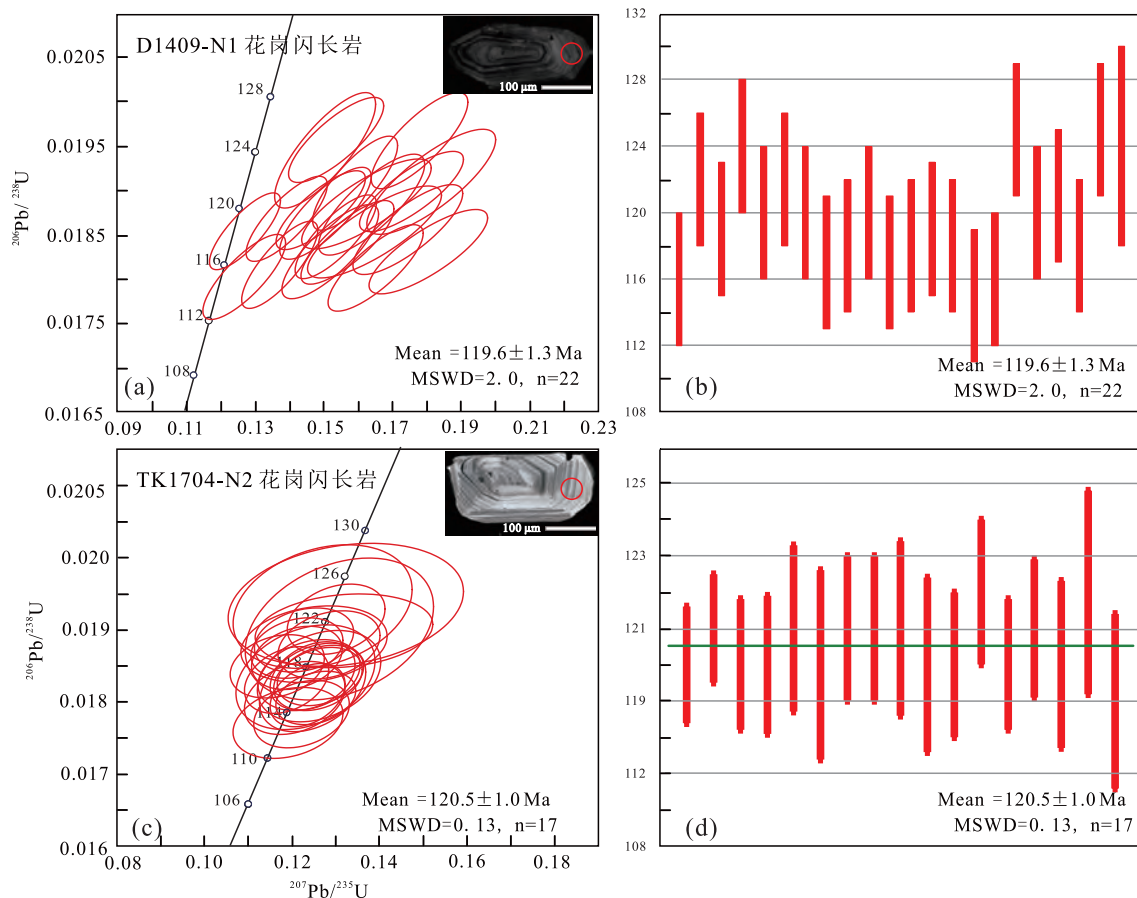


图3 花岗闪长岩的锆石 U-Pb 年龄谐和图及代表性锆石阴极发光图像

圆圈为 U-Pb 年龄分析点

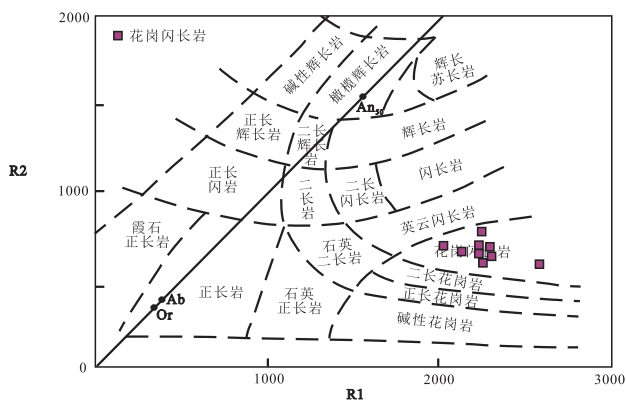
Fig. 3 Concordia plots of the zircon U-Pb age data (a and c) and CL images of the representative zircon grains (b and d) in the Early Cretaceous granodiorites from the Nyixung area

表 1 早白垩世晚期花岗闪长岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年结果
Table 1 LA-ICP-MS zircon U-Pb age determinations of the Early Cretaceous granodiorites from the Nyixung area

分析号	含量(×10 ⁻⁶)		Th/U	同位素比值				年龄(Ma)					
	Th	U		²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ Pb	1σ	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	1σ	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	1σ	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	1σ	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	1σ
D1409-N1 花岗岩长岩													
D1409-N1-02	1393	458	3.0	0.0561	0.0030	0.1371	0.0073	0.0182	0.0003	130	7	116	2
D1409-N1-03	1079	429	2.5	0.0700	0.0046	0.1812	0.0124	0.0191	0.0004	169	11	122	2
D1409-N1-04	742	282	2.6	0.0549	0.0033	0.1391	0.0078	0.0187	0.0003	132	7	119	2
D1409-N1-05	1316	435	3.0	0.0881	0.0048	0.2306	0.0112	0.0194	0.0004	211	9	124	2
D1409-N1-06	2438	592	4.1	0.0573	0.0032	0.1505	0.0088	0.0187	0.0003	142	8	120	2
D1409-N1-07	6184	1578	3.9	0.0628	0.0035	0.1590	0.0082	0.0191	0.0004	150	7	122	2
D1409-N1-08	2918	910	3.2	0.0646	0.0046	0.1624	0.0124	0.0189	0.0003	153	11	120	2
D1409-N1-09	2156	657	3.3	0.0731	0.0056	0.1804	0.0114	0.0183	0.0003	168	10	117	2
D1409-N1-10	1570	528	3.0	0.0630	0.0037	0.1568	0.0089	0.0184	0.0003	148	8	118	2
D1409-N1-12	2997	677	4.4	0.0577	0.0033	0.1490	0.0086	0.0188	0.0003	141	8	120	2
D1409-N1-13	2694	668	4.0	0.0628	0.0044	0.1519	0.0093	0.0183	0.0004	144	8	117	2
D1409-N1-14	1519	535	2.8	0.0609	0.0031	0.1535	0.0078	0.0185	0.0003	145	7	118	2
D1409-N1-15	1924	597	3.2	0.0690	0.0044	0.1744	0.0106	0.0186	0.0003	163	9	119	2
D1409-N1-16	1235	359	3.4	0.0497	0.0027	0.1270	0.0068	0.0185	0.0003	121	6	118	2
D1409-N1-17	2806	1116	2.5	0.0513	0.0032	0.1268	0.0079	0.0180	0.0003	121	7	115	2
D1409-N1-18	3742	1027	3.6	0.0670	0.0038	0.1650	0.0091	0.0181	0.0003	155	8	116	2
D1409-N1-19	710	284	2.5	0.0561	0.0031	0.1535	0.0092	0.0196	0.0003	145	8	125	2
D1409-N1-20	1355	512	2.6	0.0660	0.0044	0.1639	0.0102	0.0188	0.0004	154	9	120	2
D1409-N1-21	4720	1389	3.4	0.0673	0.0039	0.1754	0.0100	0.0190	0.0003	164	9	121	2
D1409-N1-22	2364	767	3.1	0.0643	0.0049	0.1647	0.0128	0.0185	0.0003	155	11	118	2
D1409-N1-23	645	643	1.0	0.0664	0.0033	0.1778	0.0093	0.0196	0.0004	166	8	125	2
D1409-N1-24	1850	1787	1.0	0.0588	0.0043	0.1503	0.0097	0.0195	0.0004	142	9	124	3

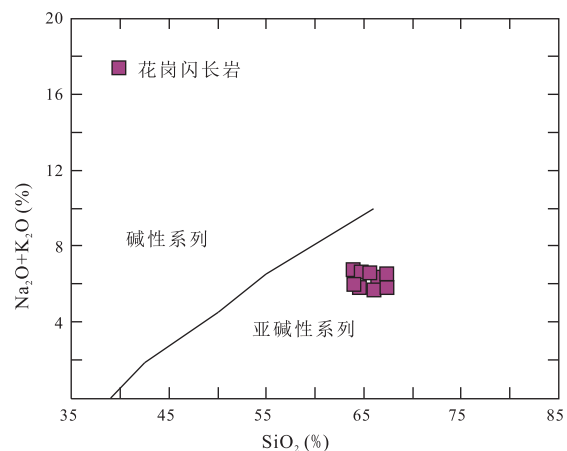
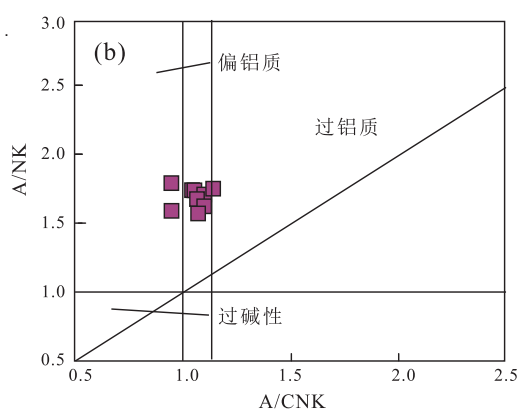
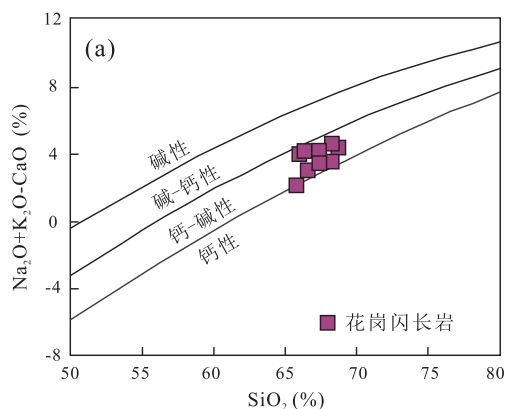
(续表 1)

分析号	含量(x10 ⁻⁶)		Th/U	同位素比值				年龄(Ma)					
	Th	U		²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	1σ	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	1σ	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	1σ				
TK1704N2 花岗岩长岩													
TK1704N2-01	10790	17058	0.6	0.0481	0.0029	0.1282	0.0071	0.0188	0.0003	122	6	120	2
TK1704N2-03	13462	17471	0.8	0.0482	0.0026	0.1293	0.0057	0.0190	0.0002	123	5	121	2
TK1704N2-05	9990	14692	0.7	0.0523	0.0036	0.1427	0.0081	0.0188	0.0003	135	7	120	2
TK1704N2-06	13141	20213	0.7	0.0487	0.0032	0.1322	0.0075	0.0188	0.0003	126	7	120	2
TK1704N2-07	17840	15113	1.2	0.0475	0.0045	0.1324	0.0095	0.0189	0.0004	126	9	121	2
TK1704N2-08	13638	14641	0.9	0.0391	0.0047	0.1322	0.0097	0.0188	0.0004	126	9	120	3
TK1704N2-09	13271	18753	0.7	0.0500	0.0039	0.1528	0.0084	0.0189	0.0003	144	7	121	2
TK1704N2-10	9939	17083	0.6	0.0489	0.0032	0.1407	0.0073	0.0189	0.0003	134	7	121	2
TK1704N2-11	13906	16704	0.8	0.0521	0.0042	0.1506	0.0102	0.0189	0.0004	142	9	121	2
TK1704N2-14	9460	10549	0.9	0.0361	0.0035	0.1213	0.0082	0.0188	0.0004	116	7	120	2
TK1704N2-15	16366	21232	0.8	0.0517	0.0030	0.1386	0.0076	0.0188	0.0003	132	7	120	2
TK1704N2-17	11852	15705	0.8	0.0485	0.0033	0.1313	0.0081	0.0191	0.0003	125	7	122	2
TK1704N2-19	15287	15149	1.0	0.0486	0.0031	0.1321	0.0073	0.0188	0.0003	126	7	120	2
TK1704N2-20	13922	16243	0.9	0.0500	0.0033	0.1338	0.0076	0.0190	0.0003	127	7	121	2
TK1704N2-21	13868	13013	1.1	0.0462	0.0032	0.1324	0.0076	0.0188	0.0004	126	7	120	2
TK1704N2-22	11976	13207	0.9	0.0478	0.0044	0.1403	0.0111	0.0190	0.0004	133	10	122	3
TK1704N2-24	10358	12831	0.8	0.0485	0.0039	0.1349	0.0081	0.0186	0.0004	128	7	119	2

图4 花岗闪长岩 R1-R2 岩石分类图解^[36]

$$R1 = 4Si - 11(Na + K) - 2(Fe + Ti); 2 = Al + 2Mg + 6Ca$$

Fig. 4 R1-R2 diagram of the Early Cretaceous granodiorites from the Nyixung area

图5 花岗闪长岩 SiO₂-Alk 分类图解^[37]Fig. 5 SiO₂ vs. Na₂O + K₂O diagram of the Early Cretaceous granodiorites from the Nyixung area图6 岩石主量元素成分图(Na₂O + K₂O-CaO)与SiO₂图解(a)和 A/NK-A/CNK 图解(b)(Na₂O + K₂O-CaO)与SiO₂图解据参考文献^[38]; A/NK-A/CNK 图解据参考文献^[39]Fig. 6 Na₂O + K₂O-CaO diagram (a) and A/NK vs. A/CNK diagram of the Early Cretaceous granodiorites from the Nyixung area

上,花岗闪长岩为钙碱性岩石(图 6a)。同时,样品具有较集中的 Al₂O₃ 含量(14.82% ~ 15.48%), A/CNK 为 0.94 ~ 1.44, A/NK 为 1.59 ~ 1.81(表 2),在 A/CNK - A/Nk 图解中,总体落入准铝质花岗岩类型区域内(图 6b)。

尼雄花岗闪长岩富集轻稀土元素(LREEs),亏损重稀土元素(HREEs),轻重稀土分馏明显[(La/Yb)_N = 7.6 ~ 12.2],具有弱-中等程度的负 Eu 异常(δEu 为 0.6 ~ 0.9;图 7a)。在微量元素原始地幔标准化模式图上,尼雄花岗闪长岩富集 Rb、Th、K、Nd 和 Hf 等元素,亏损 Nb 和 Ta 等高场强元素(图 7b;表 2)。

5 讨论

5.1 岩浆成因

研究区出露的花岗闪长岩含有较高的长石含量和较低的石英含量,常见角闪石和黑云母等镁铁质矿物,未见白云母、堇青石和石榴石等代表过铝质岩石的特征矿物。全岩地球化学分析结果表明,它们都具有较高的 Al₂O₃ 含量,绝大多数样品的 A/CNK 小于 1.1,平均值为 1.03,属 I 型花岗岩特征。9 个花岗闪长岩样品中的 P₂O₅ 介于 0.1% 到 0.18% 之间,远低于其在 S 型花岗岩中的含量(0.65%),显示 I 型花岗岩的属性^[20]。Rb/Sr 比值变化于 0.13 ~ 0.56,平均为 0.40,远远小于其在 S 型花岗岩中的比值(1.81),接近于 I 型花岗岩的值(0.61);Rb/Ba 比值变化于 0.07 ~ 0.22,平均为 0.15,与 I 型花岗岩的值接近^[20](0.28),小于 S 型花

表2 全岩化学成分分析结果表

Table 2 Analytical results of the whole-rock chemical compositions of the Early Cretaceous granodiorites from the Nyixung area

样品	D0706-H1	D1409-H1	D2007-H1	D0721-H1	D0718-H1	D0433-H1	D1309-H1	D3062-H1	TK1704-H1
岩性	花岗闪长岩								
主量元素 (wt. %)									
SiO ₂	66.12	65.49	67.61	66.73	67.49	65.38	65.24	66.99	66.73
TiO ₂	0.69	0.63	0.57	0.57	0.5	0.64	0.61	0.52	0.56
Al ₂ O ₃	15.48	14.93	15.28	15.03	14.82	15.47	15.32	15.41	15.38
Fe ₂ O ₃	4.69	5.32	3.54	4.84	4.09	4.84	5.22	4.3	4.46
MnO	0.1	0.12	0.04	0.09	0.06	0.1	0.1	0.05	0.11
MgO	1.73	1.86	1.36	1.66	1.59	1.68	1.99	1.55	1.77
CaO	3.27	2.84	3.6	2.74	2.42	3.1	4.34	3.16	2.55
Na ₂ O	4.64	3.46	3.92	3.38	3.7	3.68	3.34	3.44	3.12
K ₂ O	1.18	3.18	2.84	3.22	3	3.38	2.73	3.02	3.44
Na ₂ O/K ₂ O	3.93	1.09	1.38	1.05	1.23	1.09	1.22	1.14	0.91
P ₂ O ₅	0.18	0.13	0.16	0.12	0.1	0.17	0.16	0.14	0.14
LOI	1.83	1.92	0.95	1.51	2.14	1.46	0.86	1.33	1.65
Total	99.91	99.88	99.87	99.89	99.91	99.9	99.91	99.91	99.91
K + Na	5.82	6.64	6.76	6.6	6.7	7.06	6.07	6.46	6.56
K/Na	0.25	0.92	0.72	0.95	0.81	0.92	0.82	0.88	1.1
A/CNK	1.04	1.04	0.95	1.07	1.08	1.01	0.94	1.05	1.14
A/NK	1.74	1.63	1.6	1.66	1.59	1.59	1.81	1.73	1.74
稀土 (×10 ⁻⁶)									
La	30.1	35.4	31.9	39.5	39	38.8	35.9	27	36.1
Ce	64.1	65.8	65.3	75.5	72.8	71.8	62.2	53.9	60.9
Pr	7	7.2	7.6	8.3	7.9	7.8	6.8	5.3	6.3
Nd	25.8	26.2	27.7	30.2	28.7	27.9	29.3	21.8	26.4
Sm	4.8	5.1	5	5.7	5.4	5.1	4.6	3.9	3.9
Eu	1.3	1.2	1.2	1.2	1.1	1.4	1.1	1.2	1
Gd	4.3	4.6	4.5	5.4	5.1	4.6	4.9	4.1	4.3
Tb	0.7	0.8	0.7	0.9	0.8	0.7	0.7	0.6	0.6
Dy	4.2	4.8	4.5	5.4	5.3	4.6	3.9	3.6	3.3
Ho	0.8	0.9	0.9	1.1	1.1	0.9	0.8	0.8	0.7
Er	2.6	3	2.8	3.3	3.3	2.8	2.6	2.4	2.2
Tm	0.4	0.4	0.4	0.5	0.5	0.4	0.4	0.3	0.3
Yb	2.8	3	2.8	3.4	3.5	2.9	2.5	2.3	2.1
Lu	0.4	0.4	0.4	0.5	0.5	0.4	0.4	0.4	0.3
ΣREE	149.2	158.9	155.7	180.7	175	170.1	155.9	127.5	148.3
δEu	0.9	0.7	0.8	0.6	0.6	0.9	0.7	0.9	0.8
(La/Yb) _N	7.6	8.2	8.1	8.1	7.9	9.4	10.3	8.2	12.2
微量元素 (×10 ⁻⁶)									
Sc	9.4	13.9	10	13.1	11.2	11.3	10.7	8.6	9.3
V	81.3	92.3	62.3	83.1	67.9	78.7	91.1	68.1	81.2
Cr	4.5	8	2.8	7	4.7	5.1			
Co	16.4	12.2	5.7	11.2	9.1	10.5	10	7.5	8.9
Ni	3.5	4.2	2.7	3.3	2.3	4.1	6	5.2	5.1

(接上表)

样品	D0706-H1	D1409-H1	D2007-H1	D0721-H1	D0718-H1	D0433-H1	D1309-H1	D3062-H1	TK1704-H1
Ga	16.3	16.6	16.5	17.3	16.8	16.8	15.1	14.9	14.4
Rb	42	103	62.1	108	109	127	109	99	124
Sr	314	213	318	238	194	302	243	284	233
Y	23.2	25.7	24.9	28.9	29.3	25.1	21	18.8	17.4
Zr	237	166	163	175	139	186	144	152	167
Nb	9.2	7.8	9	8.1	7.1	8.1	8.2	8	7.3
Cs	2.2	3.3	2.1	4.1	3.8	2.2	5.4	5.4	5.2
Ba	386	789	876	785	624	848	556	672	572
Hf	6.4	5.3	5	5.9	4.8	5.7	4.3	4.7	5.1
Ta	0.8	0.7	0.8	0.9	0.7	0.7	0.7	1.1	0.7
Pb	6.3	17.4	7.3	20.1	45	13.4	11.9	10.1	12.2
Th	14.4	15	16.3	21.2	20	16.6	13.4	12.3	14.7
U	1.6	1.3	1.4	1.9	1.4	1.3	0.9	2.2	1.4

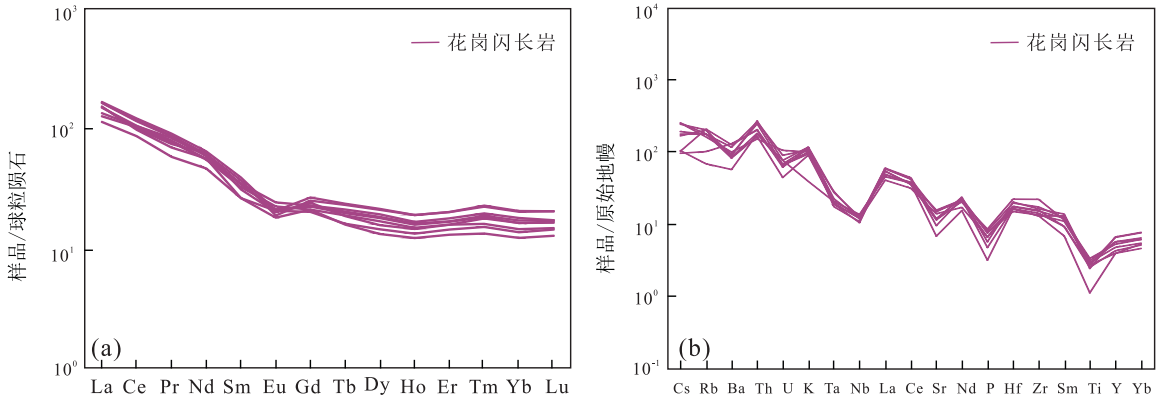


图 7 早白垩世花岗闪长岩球粒陨石标准化稀土元素模式图(a)及原始地幔标准化微量元素蛛网图(b)^[40]

Fig. 7 Chondrite-normalized REE distribution patterns (a) and primitive mantle-normalized trace element spidergram (b) of the Early Cretaceous granodiorites from the Nyixung area

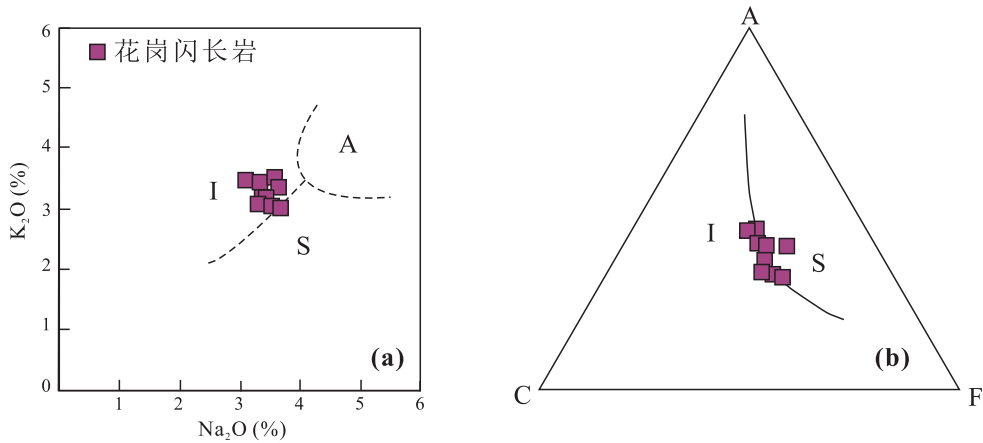


图 8 早白垩世花岗闪长岩 $\text{Na}_2\text{O}-\text{K}_2\text{O}$ (a)^[41]和 ACF (b) 判别图解^[42]

Fig. 8 Na_2O vs. K_2O diagram (a) and ACF diagram (b) of the Early Cretaceous granodiorites from the Nyixung area

岗岩的平均值(0.46)。在岩石成因分类图解中,所有样品均落入I型花岗岩区域(图8a, b)。综上所述,所研究的花岗闪长岩具有I型花岗岩属性。

岩石地球化学分析结果表明,所研究的花岗闪长岩具有较高的 SiO_2 含量和相对较低的 $\text{Mg}^\#$ 及 A/CNK 比值(<1.1),排除了直接通过地幔岩熔融而成的可能性^[21]。花岗闪长岩样品强烈亏损 Rb 、 Sr ,表明其是壳源物质部分熔融的产物^[22]。样品的 Th/U 值为 $5.6 \sim 14.9$, Nb/Ta 值为 $7.3 \sim 11.7$, Th 值介于 $(12.3 \sim 21.2) \times 10^{-6}$ 之间,与大陆地壳的相应值大部分重合^[23-24]($\text{Th/U} = 6$ 、 $\text{Nb/Ta} = 12 \sim 13$ 和 Th 为 $(6.5 \sim 10.5) \times 10^{-6}$)。综合整理前人的研究结果发现,研究区花岗闪长岩具有负的全岩 $\varepsilon_{\text{Nd}}(t)$ 值($-8.9 \sim -6.6$)和锆石 $\varepsilon_{\text{Hf}}(t)$ 值($-6.2 \sim -2.1$),对应的二阶段Nd模式年龄为 $1.34 \sim 1.56\text{Ga}$,而锆石Hf同位素地壳模式年龄为 $1.20 \sim 1.60\text{Ga}$,表明它们主要源于古老下地壳物质的部分熔融^[25]。同时,基性下地壳部分熔融形成的岩石往往具有低的 $\text{Mg}^\#$ (<40)和低的 MgO 含量^[26](大多 $<1\%$),而研究区花岗闪长岩的 MgO 含量相对较高(均大于 1%),表明它们并非全部源自下地壳物质重熔。此外,花岗闪长岩的 $\varepsilon_{\text{Nd}}(t)$ 值和 $\varepsilon_{\text{Hf}}(t)$ 值变化范围较大,暗示它们很可能源自壳幔熔体混合的结果。而在这些花岗闪长岩中常见大量的长英质包体(图2b),也进一步佐证了研究区早白垩世晚期的花岗闪长岩很可能源自于一个壳幔混合的源区,这就进一步揭示了在花岗闪长岩的形成过程中,可能伴有同期幔源岩浆的加入和混合。

5.2 构造背景

尽管前人对拉萨地块南部的白垩纪岩浆作用进行了大量研究,但其地球动力学背景还存在较大争议,概括起来有以下四种不同认识:(1)拉萨地体中的白垩纪岩浆作用形成于新特提斯洋壳北向低角度或者平板俯冲^[27];(2)冈底斯地块和羌塘地块碰撞过程中增厚下地壳的重熔^[28];(3)冈底斯岛弧陆壳和羌塘陆壳碰撞后软流圈地幔上涌引起的地壳熔融^[22];(4)班公湖-怒江洋壳的南向俯冲^[4-5]。造成上述争论的原因,可能与雅鲁藏布江缝合带和班公湖-怒江两条缝合带自身的构造演化历史还不清楚有关。就研究区早白垩世岩浆活动而言,只有更好地掌握班公湖-怒江中特提斯洋壳向南侧拉萨地块之下俯冲的时间和特提斯洋盆打开和闭

合的时间以及雅鲁藏布江新特提斯洋壳的俯冲时间和洋盆闭合的时间,才能更精准的还原拉萨地块在中生代的岩浆-构造演化历史。

Kapp等^[27]从沉积岩的角度出发,认为班公湖-怒江洋盆的闭合时间为侏罗纪末-白垩纪初(约 145Ma)。曹圣华等^[29]推断中侏罗世-晚侏罗世早期为中特提斯洋双向俯冲阶段,班公湖-怒江洋向南俯冲消减于拉萨地块之下。朱弟成等^[4-5]认为班公湖-怒江特提斯洋壳可能于 110Ma 左右发生过板片断离和软流圈地幔上涌,揭示拉萨地体于 110Ma 左右已处于板内环境。曲晓明等^[30-31]在班公湖-怒江缝合带中段发现了大量结晶时间约为 110Ma 的A型花岗岩,也认为它们是俯冲的洋壳板片断离,软流圈地幔上涌的产物,并推测班公湖-怒江中特提斯洋盆的闭合时间应为早白垩世初($140 \sim 130\text{Ma}$ 之间)。隋清霖^[32]以拉萨地体北部不同类型火山岩为研究对象,通过地球化学等研究手段,认为拉萨地体在 $140 \sim 110\text{Ma}$ 时已处于同碰撞阶段。综上所述,我们不难得出在早白垩世晚期,班公湖-怒江缝合带已处于碰撞后阶段的结论。

Garzanti等^[33]以吉隆沟二叠纪玄武岩为研究对象,提出雅鲁藏布江新特提斯的初始开启时间为二叠纪。Yin和Grant-Mackie等^[34]在雅鲁藏布江缝合带内发现了中-晚三叠世放射虫及双壳类化石,代表新特提斯洋在中-晚三叠世已经打开。同时,大量晚三叠世-早侏罗世岩浆岩的发现,代表新特提斯洋在该时期内已开始沿拉萨地体南缘北向俯冲^[11]。至于雅鲁藏布江洋盆的闭合时间,则应与印度板块和欧亚大陆在新生代发生陆陆-碰撞的时间一致,约为 65Ma 。从中不难看出,拉萨地块中西段的尼雄地区形成于俯冲碰撞背景下的早白垩世晚期花岗闪长岩的侵位时代晚于班公湖-怒江中特提斯洋盆的闭合时间,与新特提斯洋壳向北俯冲的时间一致。

所研究的尼雄花岗闪长岩以高钠低钾、偏铝质、I型为特征,富集大离子亲石元素(如 Rb 、 Th 、 K 等),亏损高场强元素(如 Nb 、 Ta 等),揭示其岛弧型岩浆岩的性质及其形成与俯冲碰撞有成因联系^[35]。在构造环境判别图解上,它们主要落在岛弧花岗岩/岛弧-同碰撞花岗岩区(图9a, b),同样揭示尼雄早白垩世晚期花岗闪长岩形成于俯冲-碰撞的构造环境。综上所述,我们认为尼雄早白垩世晚期

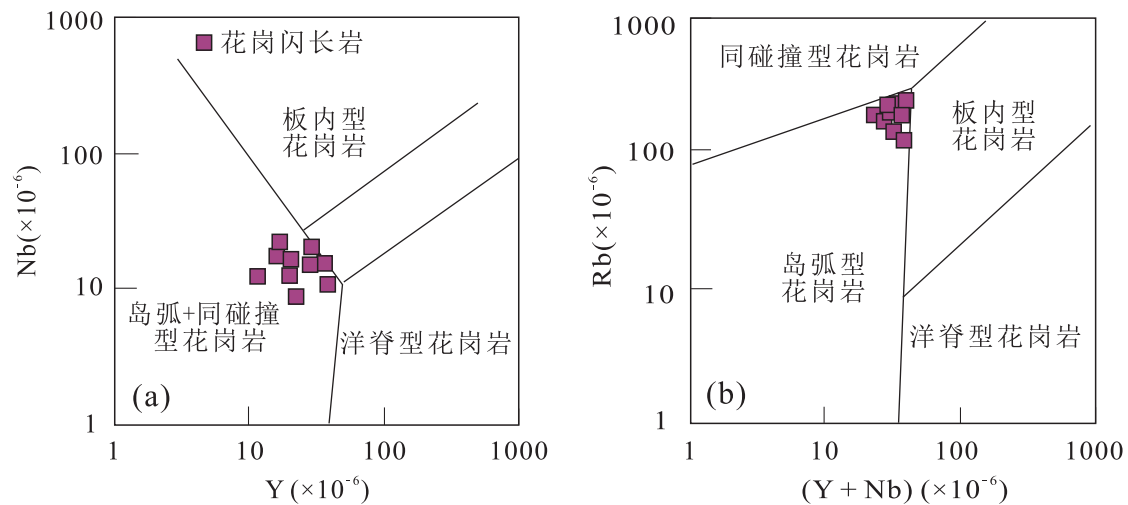


图9 早白垩世花岗闪长岩 Nb - Y (a) 和 Rb - (Y + Nb) (b) 判别图解^[43]

Fig.9 Nb vs. Y (a) and Rb vs. (Y + Nb) discrimination diagrams for the tectonic interpretation of the Early Cretaceous granodiorites from the Nyixung area

花岗闪长岩是雅鲁藏布江新特提斯洋壳板片向北侧拉萨地块之下俯冲碰撞的产物。

6 结论

(1) 拉萨地块西段尼雄花岗闪长岩的结晶年龄约为 120 Ma, 表明其形成于早白垩世晚期。

(2) 尼雄花岗闪长岩以高钠低钾、钙碱性、偏铝质 - 准铝质、I 型花岗岩为特征, 富集大离子亲石元素 (如 Rb、Th、K 等), 亏损高场强元素 (如 Nb、Ta 等), 揭示其岛弧型岩浆岩的性质。它们富含轻稀土, 轻重稀土分馏明显, 弱 - 中等负 Eu 异常, 显示出活动大陆边缘岛弧岩浆作用特征, 它们可能主要来源于古老下地壳物质的部分熔融, 并有幔源岩浆的注入。

(3) 尼雄花岗闪长岩形成于俯冲 - 碰撞的构造环境下, 可能是雅鲁藏布江新特提斯洋壳板片向北侧拉萨地块之下俯冲碰撞的产物。

致谢: 贵州地质调查院的领导和同仁在野外地质调查期间提供了大力帮助, 在成文过程中得到了李奋其研究员的指点, 3 位审稿专家及编辑部提出许多建设性的意见和建议, 在此一并表示感谢!

参考文献:

[1] Yin A, Harrison T M. Geologic evolution of the Himalayan-Tibetan orogeny [J]. Annual Review of Earth and Planetary

Sciences, 2000, 28: 211 - 280.

- [2] 曹圣华, 邓世权, 肖志坚, 等. 班公湖-怒江结合带西段中特提斯多岛弧构造演化[J]. 沉积与特提斯地质, 2006, 36(4): 25 - 32.
- [3] 李才, 王天武, 李惠民, 等. 冈底斯地区发现印支期巨斑花岗闪长岩: 古冈底斯造山的存在证据[J]. 地质通报, 2003, 22(5): 364 - 366.
- [4] Zhu D C, Pan G T, Zhao Z D, et al. Early Cretaceous subduction-related adakite-like rocks in the Gangdese, south Tibet: products of slab melting and subsequent melt - peridotite interaction [J]? Journal of Asian Earth Sciences, 2009, 34(3): 298 - 309.
- [5] Zhu D C, Zhao Z D, Niu Y L, et al. The Lhasa Terrane: Record of a microcontinent and its histories of drift and growth [J]. Earth and Planetary Science Letters, 2011, 301(1/2): 241 - 255.
- [6] 常承法, 郑锡澜. 中国西藏南部珠穆朗玛地区地质构造特征及其青藏高原东西向诸山系形成的探讨[J]. 中国科学(D 辑), 1973, 2: 190 - 201.
- [7] 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.
- [8] 张亮亮, 朱弟成, 赵志丹, 等. 西藏北冈底斯巴尔达地区岩浆作用的成因: 地球化学、年代学及 Sr - Nd - Hf 同位素约束[J]. 岩石学报, 2010, 26(6): 1871 - 1888.
- [9] 于玉帅, 高原, 杨竹森, 等. 西藏措勤尼雄矿田滚纳铁矿侵入岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄与地球化学特征[J]. 岩石学报, 2011, 27(7): 1949 - 1960.
- [10] 王力圆, 郑有业, 高顺宝, 等. 中部拉萨地体南侧吉瓦地区早白垩世则弄群火山岩的发现及意义[J]. 岩石学报, 2016, 32(5): 1543 - 1555.
- [11] Zhang K J, Zhang Y X, Tang X C, et al. Late Mesozoic tectonic

- evolution and growth of the Tibetan plateau prior to the Indo-Asian collision [J]. *Earth-Science Reviews*, 2012, 114 (3-4), 236-249.
- [12] 潘桂棠,莫宣学,侯增谦,等. 冈底斯造山带的时空结构及演化[J]. *岩石学报*, 2006, (3): 521-533.
- [13] Meng F Y, Zhao Z D, Zhu D C, et al. Late Cretaceous magmatism in Mamba area, central Lhasa subterrane: products of backarc extension of Neo-Tethyan Ocean [J]? *Gondwana Research*, 2014, 26 (2): 505-520.
- [14] Pan G T, Ding J, Yao D S. Guidebook of 1:1500000 geologic map of the Qinghai-Xizang (Tibet) plateau and adjacent areas [J]. Chengdu: Chengdu Cartographic Publishing House, 2004, 1-48.
- [15] Lin Y H, Zhang Z M, Dong X, et al. Precambrian evolution of the Lhasa terrane, Tibet: constraint from the zircon U-Pb geochronology of the gneisses [J]. *Precambrian Research*, 2013, 237: 64-77.
- [16] Mo X X, Niu Y L, Dong G C, et al. Contribution of syn-collisional silicic magmatism to continental crust growth: a case study of the Paleogene Linzizong volcanic Succession in southern Tibet [J]. *Chemical Geology*, 2008, 250 (1-4): 49-67.
- [17] Liu Y S, Hu Z C, Zong K Q, et al. Reappraisal and refinement of zircon U-Pb isotope and trace element analyses by LA-ICP-MS [J]. *Chinese Science Bulletin*, 2010, 55 (15): 1535-1546.
- [18] Ludwig, K. R. Isoplot/Ex Version 3.00: A Geochronological Toolkit for Microsoft Excel [J]. Special Publication, No. 4. Berkeley Geochronology Center, 2003. 1-73.
- [19] 吴元保, 郑永飞. 锆石成因矿物学研究及其对 U-Pb 年龄解释的制约[J]. *科学通报*, 2004, 49(16): 1589-1604.
- [20] Whalen J B, Currie K L, Chappell B W. A-type granites: geochemical characteristics, discrimination and petrogenesis [J]. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 1987, 95: 407-419.
- [21] Baker M B, Hirschmann M M, Ghiorso M S, et al. Compositions of near-solidus predictive melts from experiments and thermodynamic calculations [J]. *Nature*, 1995, 375: 308-311.
- [22] Harris N B W, Inger S, Xu R. Cretaceous plutonism in Central Tibet: an example of post-collision magmatism [J]? *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 1990, 44: 21-32.
- [23] Rudnick R L, Gao S. Composition of the continental crust [A]. Rudnick R L (Ed.). *The Crust: Treaties on Geochemistry* [C]. Oxford: Elsevier Pergamon, 2003, 1-64.
- [24] Barth M G, McDonough W F, Rudnick R L. Tracking the budget of Nb and Ta in the continental crust [J]. *Chemical Geology*, 2000, 165 (3-4): 197-213.
- [25] 张晓倩, 朱弟成, 赵志丹, 等. 西藏措勤尼雄岩体的岩石成因及其对富 Fe 成矿作用的潜在意义[J]. *岩石学报*, 2010, 26 (6): 1793-1804.
- [26] 丁慧霞, 张泽明, 向华, 等. 青藏高原拉萨地体北部早白垩世火山岩的成因及意义[J]. *岩石学报*, 2015, 31 (5): 1247-1267.
- [27] Kapp P, Yin A, Harrison T M, et al. Cretaceous-Tertiary shortening, basin development, and volcanism in central Tibet [J]. *Geological Society of America Bulletin*, 2005, 117 (7): 865-878.
- [28] Pearce J A, Mei H. Volcanic rocks of the 1985 Tibet Geotraverse Lhasa to Golmud [C]. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London, Series A, Mathematical and Physical Sciences*, 1988, 327(1594): 169-201.
- [29] 曹圣华, 陈毓川, 楼法生. 西藏措勤县尼雄矽卡岩型铁(铜)矿田特征与找矿远景分析[J]. *矿床地质*, 2010, 29 (S1): 65-66.
- [30] 曲晓明, 辛洪波, 杜德道, 等. 西藏班公湖-怒江缝合带中段碰撞后 A 型花岗岩的时代及其对洋盆闭合时间的约束[J]. *地球化学*, 2012, 41(1): 1-14.
- [31] 曲晓明, 辛洪波, 杜德道, 等. 西藏班公湖-怒江缝合带中段 A-型花岗岩的岩浆源区与板片断离[J]. *地质学报*, 2013, 87 (6): 759-772.
- [32] 隋清霖. 西藏拉萨地块盐湖地区早白垩世岩浆岩年代学、岩石成因及构造意义[D]. 北京: 中国地质大学(北京). 2014
- [33] Garzanti E, Le Fort P, Sciunnach D. First report of Lower Permian basalts in South Tibet: tholeiitic magmatism during break-up and incipient opening of Neo-Tethys [J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 1999, 17: 533-546.
- [34] Yin J R, Grant-Mackie J A. Late Triassic-Jurassic Bivalves from volcanic sediments of the Lhasa Block, Tibet. *New Zealand Journal of Geology and Geophysics*, 48(3): 555-577.
- [35] 邹洁琼, 余红霞, 王保弟, 等. 南拉萨地块中部早白垩世仁钦则花岗岩闪长岩成因及地质意义[J]. *地球化学*, 2018, 43 (8): 2795-2810.
- [36] De La, Roche H, Leterrier J, Grandclaude P, et al. A classification of volcanic and plutonic rocks using R1- R2 diagrams and major element analysis-its relationships and current nomenclature [J]. *Chemical Geology*, 1980, 29: 183-210.
- [37] Irvine T N, Baragar W R A. A guide to chemical classification of the common volcanic rock [J]. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 1971, 8, 523-548.
- [38] Frost B R, Arculus R J, Barnes C G, et al. A geochemical classification of granitic rocks [J]. *Journal of Petrology*, 2001, 42 (1): 2033-2048.
- [39] Maniar P D, Piccoli P M. Tectonic discrimination of granitoids [J]. *Geological Society of America Bulletin*, 1989, 101 (5): 635-643.
- [40] Sun S S, McDonough W F. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implication for mantle composition and process [A]. Saunders AD. *Magmatism in Ocean Basins* [C]. Geological Society Publication, 1989. 313-345.
- [41] Collins W, Beams S, White A, et al. Nature and Origin of A-

- type Granites with Particular Reference to Southeastern Australia [J]. Contributions to Mineralogy and Petrology, 1982, 80(2): 189–200.
- [42] Setsuya N, Masaki T. Regional variation in chemistry of the Miocene intermediate to felsic magmas in the Outer Zone and the Setouchi Province of Southwest Japan [J]. The Geological Society of Japan, 1979, 85(9): 571–582.
- [43] Pearce J A, Harris N B W, Tindle A G. Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks [J]. Journal of Petrology, 1984, 25: 956–983.

The petrogenesis and tectonic significance of the late Early Cretaceous granodiorites in the Nyixung area, western Lhasa block, Xizang

CUI Haojie¹, GOU Zhengbin², LIU Han², LI Jun², YANG Yang¹

(1. College of Earth Sciences, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, Sichuan, China; 2. Chengdu Center, China Geological Survey, Chengdu 610081, Sichuan, China)

Abstract: The Cretaceous magmatic rocks widely exposed in the central and western Lhasa block, Xizang may provide important clues to the study of the pre-Cretaceous evolutionary history of the Qinghai-Xizang Plateau. However, there is still considerable debate concerning the petrogenesis and tectonic significance of the Cretaceous magmatic rocks in the restoration of the evolutionary processes of the Plateau. The emphasis in this study is placed upon the late Early Cretaceous granodiorites in the Nyixung area, western Lhasa block, Xizang. The petrographic and whole-rock geochemical studies have disclosed that these rocks have SiO₂ contents from 65.24% to 67.61%, Na₂O/K₂O ratios of 0.91 to 3.93, and aluminium saturation index (A/CNK) values of 0.94 to 1.14%, indicative of I-type calc-alkaline granitic rocks. The Nyixung granodiorites are enriched in LREEs and LILEs (e. g. Rb and Th) and depleted in HREEs and HFSEs (e. g. Nb and Ta), with remarked LREE and HREE fractionation [(La/Yb)_N = 7.6–12.2] and slightly to moderately negative Eu anomalies ($\delta\text{Eu} = 0.6\text{--}0.9$). The measured two granodiorite samples give the LA-ICP-MS zircon U-Pb ages of 119.7 Ma and 120.5 Ma, respectively, which are dated at the late Early Cretaceous. The results of research in this study have reflected that the granodiorites were derived from the partial remelting of ancient lower crust, and associated with the mingling and mixing of the contemporaneous mantle-derived magmas. It is inferred that the granodiorites may be the products of the northward subduction of the Yarlung Zangbo Neo-tethyan oceanic crust.

Key words: Lhasa block; Early Cretaceous; granodiorite; petrogenesis; geochemistry; geochronology; Tethys