西藏班戈雪如岩体岩石成因及构造意义

——来自 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄、地球化学特征及 Hf 同位素证据

高轲1),刘治博2),宋扬2),李发桥3),滕磊3),郑卫红4)

1) 中国地质调查局成都地质调查中心,成都,610081;2) 中国地质科学院矿产资源研究所,北京,100037;

3) 中国地质大学(北京) 地球科学与资源学院, 北京,100083;

4) 重庆市地质矿产勘查开发局川东南地质大队, 重庆,400038

内容提要:西藏班戈雪如岩体对探讨班公湖—怒江成矿带在班戈地区的区域构造演化具有重要指示意义。本 文根据似斑状二长花岗岩精确的岩石地球化学、锆石 U-Pb 定年和 Lu-Hf 同位素数据,探讨了雪如岩体的成岩时代、 岩石类型、物质来源及其构造背景。锆石 LA-ICP-MS U-Pb 加权平均年龄为 78.59 ± 0.55 Ma(MSWD=0.96),形成 时代为晚白垩世中期,与前人获得的雪如岩体的成岩年龄基本一致。岩石地球化学显示,岩体属于高钾钙碱性系 列,铝饱和指数 A/CNK=1.03 ~ 1.04,为过铝质花岗岩。岩石整体富集大离子亲石元素 Th、U、Zr、Hf 和 LREE,不同 程度的亏损 Nb、P、Ti 和 HREE 等元素,具有中等的负 Eu 异常(δEu=0.71 ~ 0.73)。锆石 ε_{Hf}(t)值为-10.05 ~ 0.37,均值为-3.34。岩石属于 I 型花岗岩类,总体显示其源区以壳源物质为主。雪如岩体显示同碰撞构造背景,代 表的是班公湖—怒江洋闭合之后羌塘地块与拉萨地块碰撞的产物,反映在晚白垩世中期已经处于碰撞挤压和陆壳 抬升阶段。

关键词:岩石地球化学;锆石 U-Pb 定年;Hf 同位素;构造背景;雪如岩体;西藏班戈

处于特提斯构造域的东段,夹持于拉萨地块和南羌 塘---保山地块之间。该缝合带在我国境内西起班公 湖,向东经改则、尼玛、聂荣、丁青,然后经嘉玉桥呈 弧形向东南延伸,沿怒江延伸至云南西部。Pan Guitang 等(2012)总结了 177 幅 1:25 万区域地质 资料,系统构建了青藏高原构造分区图,详细表达了 班-怒缝合带的范围和构造单元。虽然班-怒缝合带 在横向上延伸范围长达 2800 km, 但其宽度较小。 由于班-怒缝合带的时空演化对指示青藏高原的形 成演化过程有重要作用,因此班-怒缝合带的研究一 直是国内外地质地学界研究的重点和热点,。前人 对该缝合带的研究主要集中于对分布其中的沉积地 层和两侧的岩浆岩开展研究。目前,有关班-怒缝合 带的性质尚有不同认识,有些学者认为该缝合带是 冈瓦纳大陆与欧亚大陆的界线(潘桂棠等, 1982, 2004; Chang Chengfa et al., 1986; Pan Guitang et

al., 2012);另有学者认为是雅鲁藏布江洋盆演化配 套的弧后盆地(王希斌等, 1987),也有学者认为班 公湖—怒江洋(班-怒洋)并不是严格意义上的大洋 (赵文津等, 2004)。班-怒洋关闭的时间同样有不 同的结论。有学者认为班-怒洋在晚侏罗世---早白 垩世闭合(余光明和王成善, 1990;王建平等, 2002; 陈国荣等, 2004; 曲晓明等, 2012, 2013), 也 有学者认为是早白垩世(Kapp et al., 2003),越来越 多的观点倾向于早白垩世中晚期(Li Jinxiang et al., 2011, 2012, 2013; 张志等, 2013, 2015; Fan Jianjun et al., 2014, 2015a, 2015b),同时也有早白 垩世晚期—晚白垩世早期闭合的认识(Baxter et al., 2009; Zhang Kaijun et al., 2012; Liu Weiliang et al., 2014;李华亮等,2016)。尽管前人对班-怒洋的闭 合时间存在不同的认识,但不同的学者探讨的区域 位置不同,班-怒洋汇聚消亡过程整体具有东早西晚 的横向穿时性(余光明和王成善, 1990; 雍永源和

注:本文为国家自然科学基金资助项目(编号:41702080),中国地质调查局项目(编号:DD20190147),国家重点研发计划深地资源开采项目(编号:2018YFC0604103;2016YFC0600308)的成果。

收稿日期:2019-03-14;改回日期:2019-08-20;责任编辑:章雨旭。Doi: 10.16509/j.georeview.2019.05.008

作者简介:高轲,男,1987年生,工程师,主要从事成矿规律研究; Email: gaokely@163.com。通讯作者:刘治博,男,1981年生,助理研究员, 主要从事区域构造地质学研究; Email:geoleo@163.com。

贾宝江, 2000; Yin An and Harrison, 2000; 王冠民 和钟建华, 2002; Fan Jianjun et al., 2014; 范建军, 2016)。

班戈岩浆弧属于昂龙岗日—班戈岩浆弧带的东 段部分,位于班-怒缝合带的南侧、拉萨地块的北缘, 已有资料显示其成因与班-怒洋的俯冲和闭合后碰 撞造山关系密切(高顺宝等,2011b)。班戈岩浆弧 是一条呈北东向展布的较连续的花岗岩带,从西段 的多巴区向东经班戈县、巴木错、青龙乡,至纳木错 东北部,长约130 km,宽约20~40 km。该岩浆弧 中花岗岩的时代主要分为两期,分别为130~110 Ma和90~77 Ma。雪如岩体是班戈岩浆弧的重要 组成部分,通过对雪如岩体研究,可以确定班-怒洋 闭合时限及成岩构造背景,明确拉萨地块与羌塘地 块的碰撞作用与成岩的关系。前人对雪如岩体开展 过年代学和地球化学的研究,初步探讨了成岩过程 的构造环境。但是,前人针对雪如岩体的研究所反 映的构造环境尚无定论,主要分歧在于是同碰撞还 是后碰撞,岩浆源区的探讨缺乏同位素证据的支持。 本文在对雪如岩体中的似斑状二长花岗岩开展锆石 U-Pb 定年和岩石地球化学分析基础上,补充了锆石 Hf 同位素分析,为探讨岩石成因、岩浆源区和反演



班戈地区的区域构造演化提供了较可靠的数据支 撑。

1 区域地质概况

雪如岩体在大地构造位置上位于班公湖—怒江 缝合带南侧,地理位置处于班戈县城南部。班戈地 区分布有班戈岩体、多巴岩体和雪如岩体等,均属于 班戈岩浆弧的重要组成部分。研究区内地层包括 中—下侏罗统拉贡塘组(J₂₋₃l)、下白垩统多尼组 (K₁d)、下白垩统朗山组(K₁l)、上白垩统竟柱山组 (K₂j)、始新统—古新统牛堡组(E₁₋₂n)(图1)。拉 贡塘组岩性主要为石英砂岩夹粉砂质页岩、页岩和 灰岩,岩石组合与沉积构造特征均显示为典型的半 深海-深海环境下的浊流沉积,说明中—晚侏罗世 经历过水深较大的环境。多尼组整合于日拉组地层 之上,具有海陆交互相环境,说明此时区内已经完成 深海、浅海、滨海和海陆交互向逐渐过渡的过程。朗 山组晚于多尼组,是一套浅海碳酸盐台地相沉积,说 明在早白垩世晚期发生过较大规模的海侵作用。竟 柱山组岩性均为陆相的磨拉石建造,其沉积时代为 晚白垩世早期,说明此时洋向陆的转换已经结束,并 已发生隆升造山。研究区内岩浆岩分布面积广阔, 主要为中酸性侵入岩,可见(黑云母)二长花岗岩、 花岗闪长斑岩、石英闪长岩等岩性。变质岩分布面 积很小,主要于侵入岩与朗山组灰岩接触带展布少 量砂卡岩,局部砂卡岩可见铁、铜等矿化显示。

2 岩体地质与样品特征

班戈一带出露大面积酸性侵入岩,包括班戈岩体、雪如岩体、多巴岩体和青龙岩体,均是班戈岩浆弧的重要组成部分。雪如岩体呈岩基产出,出露面积大,呈东西向展布,东西长约35km,南北最宽达14km左右。该岩体岩性主要为似斑状二长花岗岩,局部夹石英闪长岩脉等。

雪如岩体与郎山组地层的外接触带部位与环形构造套合度高,与W、Pb、Bi、Ag、Sn元素异常浓集区



图 2 西藏班戈雪如岩体手标本(a,b)及显微照片(c,d; 正交偏光) Fig. 2 Hand specimen (a, b) and microscopic photos (c, d, crossed polars) of the Xueru pluton, Ban'ge County, Xizang Bt—黑云母;Pl—斜长石;Kfs—钾长石;Qtz—石英 Bt—bitotite; Pl—Plagioclase; Kfs—K-feldspar; Qtz—Quartz 套合良好,具有较强的相关性;可见角岩化、绿帘石 化、羟基、铁染等四类异常呈斑状、团块状、面状分 布,套合性较高,具有重要的找矿指示意义。现已发 现的矿点有雪如多金属矿点、棋玛多金属矿点、更乃 锡多金属矿点、查郎拉铜矿点,均主要位于岩体边 部。最新资料显示,研究区西南侧的雄梅地区的土 壤地球化学特征同样显示存在 W、Sn、Bi 等元素异 常区,并圈定了多个找矿远景区(丁吉顺等, 2019)。

似斑状二长花岗岩显示肉红色,粗粒似斑状结 构、块状构造。岩石主要由钾长石(22%)、斜长石 (37%)、石英(32%)和黑云母(4%)组成(图2)。 钾长石粒径多为0.5~1.5 cm,个别达2 cm 左右; 少量钾长石具明显结晶环带,说明岩体结晶时间充 分。斜长石斑晶粒度较大且环带清晰。石英斑晶部 分存在溶蚀边和碎裂结构,说明同一岩体可能多期 侵入成因。黑云母颗粒较小,结晶普遍较好。

3 分析测试方法

本文对1件似斑状二长花岗岩样品进行了锆石 U-Pb 定年和Lu-Hf 同位素分析,对4件样品进行了 岩石地球化学主量和微量元素分析,采样位置为 (N31°13′56.74″, E 90°2′50.46″)(见图1)。

锆石挑选工作委托河北 省地质测绘院完成。锆石制 靶、照相与测年工作在武汉上 谱分析科技有限责任公司完 成.其中锆石测年工作由第一 作者亲自操作完成。制靶及 照相程序:首先将锆石置于环 氧树脂表面,磨去一半后经抛 光依次讲行诱反射及阴极发 光照相,阴极发光拍摄仪器为 高真空扫描电子显微镜。定 年测试仪器参数和分析流程 见 Zong Keqing 等 (2017)。 对分析数据的离线处理采用 软件 ICPMSDataCal (Liu Yongsheng et al., 2008, 2010) 完成。U-Pb 年龄谐和 图绘制和加权平均计算通过 Isoplot/Ex _ ver3 (Ludwig, 2003)获得。

岩石化学分析在澳实分 析检测(广州)有限公司完 成。主量元素分析试剂为四硼酸锂混合熔剂与偏硼 酸锂。分析程序:先将样品粉碎至 200 目,煅烧后加 入试剂助熔,并在充分混合后放置于自动熔炼仪上 使其在 1000℃以上熔融;熔融物倒出以后形成扁平 玻璃片,再用 X 荧光光谱仪分析。微量元素检测使 用试剂为偏硼酸锂与四硼酸锂加热后的混合熔剂。 检测程序:将试样加入到偏硼酸锂/四硼酸锂熔剂 中,在 1025℃以上的温度下彻底熔化;熔融物冷却 后通过盐酸、硝酸、氢氟酸定容,再使用等离子体质 谱仪分析。

锆石 Lu-Hf 同位素测试在中国地质科学院地质 研究所完成。同位素分析使用 Neptune 多接收等离 子质谱仪和 Newwave UP213 激光剥蚀系统。根据 锆石直径选定剥蚀直径为 50 ~ 60 μm,采用 6 ~ 8 Hz 激光频率、100 mJ 激光强度。测试过程中选用国 际标样 91500 作为标准,分析点与锆石 U-Pb 测年点 位一致或相近。

4 分析结果

4.1 锆石 U-Pb 定年

似斑状二长花岗岩锆石 U-Pb 测年分析结果见 表1。阴极发光图像显示(图3),锆石主要为自形



图 3 西藏班戈雪如岩体锆石阴极发光(CL)图像

Fig. 3 CL images of Zircons from Xueru pluton, Ban'ge, Xizang (Tibet)

[able 1 LA-ICP-MS U-Pb analyses of zircons from the porphyritic monzogranite in Xueru pluton, Bange, Xizang (Tibet) 表1 西藏班戈雪如岩体似斑状二长花岗岩锆石 TA-ICP-MS U-Pb 分析结果

	谐和度	(%)	76	76	92	88	93	66	76	76	87	66	95	76	66	76	66	98	66	98
同位素年龄(Ma)	$n(^{238}U)$	lσ	1.03	1.17	1.22	1.18	1.29	1.02	0.99	1.33	1.5	0.96	1.81	2.33	1.1	1.37	1.04	1.21	1.34	
	$n(^{206}\mathrm{Pb})/m$	测值	77.64	78.73	78.35	77.52	80.95	77.38	77.46	77.98	79.93	77.1	77.83	80	78.78	79.37	80.32	79.17	79.04	79.65
	$n(^{235}U)$	lσ	3.39	4.02	4.55	4.68	4.93	2.91	3.53	4.68	7.9	3.1	5.99	6.52	2.8	3.67	3.79	5.17	5.38	3.95
	$n(^{207}{ m Pb})/n$	测值	75.51	80.65	84.73	87.31	86.76	77.22	75.85	80.15	90.91	77.64	74.42	77.89	78.58	77.1	80.03	80.2	78.28	80.6
同位素比值	$n(^{206}{ m Pb})/n(^{238}{ m U})$	1σ	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0003	0.0004	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002
		测值	0.0121	0.0123	0.0122	0.0121	0.0126	0.0121	0.0121	0.0122	0.0125	0.012	0.0121	0.0125	0.0123	0.0124	0.0125	0.0124	0.0123	0.0124
	$n(^{207}{ m Pb})/n(^{235}{ m U})$	1σ	0.0036	0.0043	0.0049	0.005	0.0053	0.0031	0.0038	0.005	0.0085	0.0033	0.0063	0.0069	0.003	0.0039	0.004	0.0055	0.0057	0.0042
		测值	0.0772	0.0827	0.087	0.0898	0.0892	0.079	0.0776	0.0821	0.0937	0.0795	0.076	0.0797	0.0805	0.0789	0.082	0.0822	0.0801	0.0826
	$n(^{207}{ m Pb})/n(^{206}{ m Pb})$	1σ	0.0022	0.0024	0.003	0.003	0.0033	0.0019	0.0022	0.0031	0.0052	0.002	0.0042	0.0046	0.0017	0.0024	0.0024	0.0035	0.0036	0.0025
		测值	0.0464	0.0486	0.0519	0.0536	0.0523	0.0474	0.0463	0.0495	0.0561	0.0479	0.0473	0.049	0.0476	0.0469	0.0476	0.0496	0.0474	0.0485
	Th/U		0.54	0.96	0.56	2.04	0.47	0.57	2.20	1.57	0.73	0.52	1.32	0.75	0.73	0.79	0.66	0.53	1.99	0.68
元素含量(×10 ⁻⁶)	Ŋ		2293	2049	1836	1729	1249	2413	1886	1146	1182	2837	653	974	3245	1464	2080	1208	833	1819
	Th		1237	1964	1024	3519	587	1374	4147	1803	864	1481	862	733	2373	1153	1369	644	1657	1243
	Pb		56	72	46	110	32	62	123	58	34	68	29	31	92	46	61	33	49	55
测点号			RA02-01	RA02-02	RA02-03	RA02-04	RA02-05	RA02-06	RA02-07	RA02-08	RA02-09	RA02-10	RA02-12	RA02-13	RA02-14	RA02-15	RA02-16	RA02-17	RA02-19	RA02-20

晶,呈柱状或长柱状; 锆石长度主要为 160 ~ 320μm,宽度主要为 90 ~ 120μm,长宽比为1:1 ~ 2.5:1;大部分锆石表现典型的振荡环带。挑选 20 颗晶型较好的锆石进行测试,其中 2 颗锆石的测试

结果谐和度较低,因此将其舍去。 18颗有效锆石的U含量为653× 10^{-6} ~3245×10⁻⁶,平均值为1716× 10^{-6} ;Th含量为587×10⁻⁶~4147× 10^{-6} ;Th含量为587×10⁻⁶~4147× 10^{-6} ,平均值为1557×10⁻⁶;Th/U值 为0.47~2.20,平均值为0.98,结 合锆石振荡环带的特征说明其为岩 浆锆石(Rubatto and Gebauer, 2000; Moller et al., 2003; Hoskin and Schaltegger, 2003; 吴元保和郑 永飞, 2004)。有效的锆石²⁰⁶ Pb/ ²³⁸U年龄值介于77.10~80.95 Ma,加权平均年龄为78.59±0.55 Ma(*n*=18, MSWD=0.96),表明岩 体结晶时间为晚白垩世中期。

4.2 岩石地球化学

4.2.1 主量元素

岩石地球化学分析结果见表 2。4件样品的 SiO2含量为 72.13% ~ 73.15%,平均含量为 72.65%; Al, 0, 为 13.62% ~ 14.04%, 平均 为13.88%;K,O含量为3.85%~ 4.50%,平均为4.25%; Na, 0 含量 为 3.23% ~ 3.66%, 平均为 3.43%; K, O/Na, O 值为 1.05 ~ 1.39,均值为 1.24: Mg[#]值为 36.29 ~ 37.65,总体显示富硅、高铝、富碱 和低镁的特征。 $R_1 - R_2$ 岩石分类图 解由于 R1参数中把 Na 和 K 放在了 一起,造成无法识别出英云闪长岩, 但对本文区别似斑状二长花岗岩无 明显影响(邓晋福等, 2015b)。如 图 5 所示,所有样品均落于二长花 岗岩范围,属于亚碱性岩石系列。 硅—钾(SiO,—K,O)图解中,样品 均落于高钾钙碱性岩石系列(图 6a)。A/CNK—A/NK 图解中,所有 样品均落于过铝质岩石区域(图 6b)

4.2.2 微量元素

4件似斑状二长花岗岩样品的

微量元素分析结果见表 2。稀土元素总量(ΣREE) 为 182. 9×10⁻⁶~193.6×10⁻⁶,平均为 188.9×10⁻⁶; 轻稀土总量为173.6×10⁻⁶~183.6×10⁻⁶,平均为



图 4 西藏班戈雪如岩体锆石 U-Pb 谐和图(a)及加权平均年龄(b) Fig. 4 U-Pb Concordia diagram (a) and U-Pb weighted mean age (b) of Zircons from the Xueru pluton, Ban'ge, Xizang (Tibet)

179.1×10⁻⁶;重稀土总量为9.3×10⁻⁶~10.0×10⁻⁶, 平均含量为9.75×10⁻⁶;轻重稀土元素比值(LREE/ HREE)为18.08~18.75,平均为18.37。球粒陨石 标准化的稀土元素配分曲线中,所有样品表现一致

的右倾特征(图 7a)。(La/Yb)_N值为 21.79 ~ 23.16。δEu 值为 0.71 ~ 0.73,表现较弱 Eu 负异常,说明岩浆演化过程中发生少量斜长石分离结晶。 δCe 值为 0.96 ~ 1.02,均值为 1,表明岩石化学数据

1175

表 2 西藏班戈雪如岩体似斑状二长花岗岩主量(%)和微量元素(×10⁻⁶)分析结果 Table 2 Major (%) and trace (×10⁻⁶) element compositions of the porphyritic monzogranite in Xueru pluton, Ban'ge, Xizang (Tibet)

_															
	样号	RA2-2	RA2-3	RA2-4	RA2-5	样号	RA2-2	RA2-3	RA2-4	RA2-5	样号	RA2-2	RA2-3	RA2-4	RA2-5
	SiO ₂	72.13	73.1	73.25	72.13	DI	85.67	86.87	86.43	86.24	Eu	0.88	0.86	0.79	0.84
	Al_2O_3	14.04	13.62	13.86	13.98	Cr	20	20	20	20	Gd	3.12	2.98	2.83	2.98
	TFe_2O_3	2.26	2.23	2.23	2.24	Cs	12	11.7	10.85	11.45	Tb	0.43	0.42	0.39	0.44
	CaO	1.87	1.64	1.76	1.74	Ga	18.5	17.2	17.6	18	Dy	2.38	2.47	2.2	2.44
	MgO	0.65	0.68	0.65	0.67	Hf	5.1	5.1	4.8	4.7	Ho	0.51	0.48	0.46	0.49
	K ₂ O	3.85	4.5	4.28	4.35	Nb	15.4	14.6	14.5	15.8	Er	1.48	1.31	1.34	1.51
	Na_2O	3.66	3.23	3.42	3.4	Rb	274	303	274	294	Tm	0.24	0.23	0.22	0.26
	MnO	0.04	0.04	0.04	0.04	Sr	261	232	256	260	Yb	1.59	1.53	1.55	1.65
	TiO_2	0.31	0.32	0.31	0.32	Та	1.7	1.4	1.6	1.6	Lu	0.28	0.27	0.27	0.27
	P_2O_5	0.12	0.12	0.11	0.12	Th	30.4	32.5	31.8	30.2	Y	14.8	13.4	12.5	14
	BaO	0.03	0.03	0.04	0.04	U	6.18	5.71	6.2	5.54	Ba	244	273	314	392
	LOI	0.42	0.45	0.42	0.5	V	29	29	30	31	ΣREE	191.4	187.5	182.9	193.6
	Total	99.42	99.99	100.42	99.57	Zr	178	184	172	169	LREE	181.4	177.8	173.6	183.6
	A/NK	1.378	1.337	1.351	1.357	La	48.3	49.4	47.8	50.2	HREE	10	9.7	9.3	10
	A/CNK	1.033	1.034	1.03	1.038	Се	91.8	87.6	87.9	92	LREE/HREE	18.08	18.35	18.75	18.28
	R_1	2570	2622	2605	2544	Pr	8.47	8.52	7.98	8.69	La_N/Yb_N	21.79	23.16	22.12	21.82
	R_2	514	479	493	499	Nd	27.8	27.4	25.5	27.8	δEu	0.72	0.73	0.72	0.71
_	$Mg^{\#}$	36.29	37.65	36.6	37.2	Sm	4.12	4.01	3.66	4.05	δCe	1.02	0.96	1.01	0.99



可靠。微量元素原始地幔标准化图解显示(图7b), 相对富集 Th、U、Zr、Hf 等大离子亲石元素和 LREE, 不同程度的亏损 Nb、P、Ti 和 HREE 等元素。

4.3 锆石 Lu-Hf 同位素

1176

对 18 颗锆石中的 10 个测点进行了 Hf 同位素 测试,点位与测年点位基本一致,测试结果见表 3。 有效测点的 10 颗锆石的 $n(^{176} Yb) / n(^{177} Hf)$ 值为 0.018251 ~ 0.054308,平均值为 0.032832。 $n(^{176} Lu) / n(^{177} Hf)$ 值范围为 0.000756 ~ 0.001934,均小于 0.002,说明成岩之后基本没有放 射性成因的 Hf 累积。因此,此次测试获得的 $n(^{176} Hf) / n(^{177} Hf)$ 值可以准确表示形成时的 Hf 同 图 5 西藏班戈雪如岩体 R1-R2岩石分类图解

(底图据 Roche et al., 1980)

Fig. 5 R_1 — R_2 rock classification of Xueru pluton, Ban'ge,

Xizang (Tibet) (After Roche et al., 1980) 1—碱性辉长岩:2—橄榄辉长岩:3—辉长苏长岩:4—正长辉长 岩:5-二长辉长岩:6-辉长岩:7-闪长正长岩:8-二长岩:9-二长闪长岩;10—闪长岩;11—霞石正长岩;12—正长岩;13—石 英正长岩:14—石英二长岩:15—英云闪长岩:16—碱性花岗岩: 17-正长花岗岩;18-二长花岗岩;19-花岗闪长岩;20-碱性 辉长岩--霓辉二长岩:21--橄榄岩:22--霞霓岩:23--碧玄岩: 24—霓霞岩;25—响岩质碱玄岩;26—霞石正长岩 essexite; 2 olivine gabbro; 3-gabbronorite; 4syenogabbro; 5- monzogabbro; 6- gabbro; 7- Diorite syenite; 8- monzonite; 9-monzodiorite; 10-diorite; 11- nepheline syenite; 12-syenite; 13-quartz syenite; 14- quartz monzonite; 15-tonalite: 16-alkaline granite: 17- svengranite: 18monzogranite; 19-granodiorite; 20-essexite-aegirinite; 21peridotite; 22-sussexite; 23- basanite; 24-ijolite; 25-

位素组成(吴福元等, 2007)。*I*_{Hf}变化于 0.28244 ~ 0.282734, 对应的 ε_{Hf}(*t*)值为-10.05 ~ 0.37。地壳 一阶模式年龄(*t*_{DM})为 728 ~ 1168 Ma, 二阶模式年 龄(*t*_{DM2})为 1123 ~ 1785 Ma。

5 讨论

5.1 岩石类型与岩浆来源

phonolitic tephrite; 26-nepheline syenite

花岗岩成因类型普遍认为可分为 I 型、S 型、 A 型和 M 型四大类,其中前两种岩石类型分



图 6 西藏班戈雪如岩体硅—钾图解(a)(据 Peccerillo and Taylor, 1976; Middlemost, 1985)和 A/CNK—A/NK 图解(b)(底图据 Maniard and Piccoli, 1989)

Fig. 6 SiO₂— K_2O (a) (after Peccerillo and Taylor, 1976; Middlemost, 1985) and A/CNK—A/NK (b)

(after Maniard and Piccoli, 1989) diagrams of Xueru pluton, Ban'ge, Xizang (Tibet)



图 7 西藏班戈雪如岩体稀土元素配分模式图和(a)和微量元素蛛网图(b)(标准化值据 Sun and McDonough, 1989) Fig. 7 Chondrite-normalized REE pattern and primitive mantle-normalized trace elements patterns for Xueru pluton, Ban'ge, Xizang (Tibet) (values for standardization from Sun and McDonough, 1989)



图 8 西藏班戈雪如岩体 Rb—P₂O₅及 Rb—Th 图解(引用数据引自高顺宝 等, 2011b; 王江朋等, 2012; 定立等, 2012; 李小赛等, 2013; 张乐, 2015)

Fig. 8 Rb—P₂O₅ and Rb—Th diagrams for discrimination of Xueru pluton,石、堇青石等特征矿物,可排除过铝质 S Ban'ge, Xizang (Tibet) (Reference data from Gao Shunbao et al., 2011b&;型花岗岩的可能。如图 6 所示,该岩体主 Wang Jiangpeng et al., 2012&; Ding Li et al., 2012&; Li Xiaosai et al., 要属于高钾钙碱性系列,属于过铝质花岗 2013&; Zhang Le, 2015&)

布最为广泛。铝饱和指数(A/CNK)可作 为判别 I 和 S 型花岗岩的有效手段, I 型花 岗岩的 A/CNK 通常小于 1.1,为壳源岩浆 岩重熔形成:S型花岗岩该数值则大于1.1 (Chappell and White, 1974, 1992)。本次 研究的所有样品的 A/CNK 均小于 1.1.根 据以上标准可初步判断为下地壳物质重 熔形成的 I 型花岗岩。但是,该标准在判 别高分异花岗岩的岩石类型时效果欠佳 (Wu Fuyuanet al., 2003; 吴福元等, 2007),而雪如岩体的分异指数(DI)变化 范围为 85.67~86.87,均值为 86.3,说明 岩体的分异程度较高,因此仅仅通过 A/ CNK 的数值判断岩石类型显然并不合适, 需要结合其他手段进行判别。Rb、Th、P, 0,等元素或物质含量的相对变化特征是 判别 I 和 S 型花岗岩较为可靠的标志 (Chappell and White, 1992; Chappell, 1999)。如图 8 所示,多个元素之间的相 对变化关系确定似斑状二长花岗岩具I型 花岗岩特征,与前人获得的雪如岩体及邻 区同期岩体的地球化学特征相似。此外, 岩相学证据显示未发现白云母、石榴子 型花岗岩的可能。如图6所示,该岩体主 要属于高钾钙碱性系列,属于过铝质花岗 岩体。

1177

	$f_{ m Lw Hf}$		-0.96	-0.96	-0.98	-0.97	-0.94	-0.95	-0.98	-0.96	-0.97	-0.97							CHUR,0	; f _{cc} =		
bet)	T _{DM2}	(Ma)	1416	1435	1123	1242	1379	1785	1231	1449	1176	1360							$\frac{(176 \text{ Hf})}{(177 \text{ Hf})}$	= 0.015		
iT) gua	T _{DM1}	(Ma)	922	931	728	807	914	1168	795	944	764	882			·				$332, \left[\frac{n}{n}\right]$	平均地壳		
ge, Xiza	$arepsilon_{ m Hf}(t)$		-4.24	-4.5	0.37	-1.48	-3.6	-10.05	-1.34	-4.76	-0.44	-3.37		$\left(\frac{1}{1}\right)_{\rm DN}$	[(n])	⁷ Hf) _{DN}			= 0.0	$\frac{(176 \mathrm{Lu})}{(177 \mathrm{Hf})}$		
ı, Bang	$arepsilon_{ m Hf}(0)$		-5.87	-6.17	-1.31	-3.14	-5.28	-11.65	-2.99	-6.4	-2.15	-5.01		$-\left[\frac{n(176)}{n(177)}\right]$	$[n(^{170})$	$\left \frac{1}{n} \right ^{1/2}$			$\left(\frac{5 \text{Lu}}{7 \text{Hf}}\right)_{\text{CF}}$	$\left[\frac{n}{n}\right]$; (0)		
a plutor	年龄 (Ma)	(ma)	77.64	78.73	78.35	77.52	80.95	77.38	77.46	77.98	79.93	77.1		$\left[\frac{176 \text{ Hf}}{177 \text{ Hf}}\right]_{\text{s}}$	76 Lu) 7	(11) s			$; \left[\frac{n(1)}{n(1)}\right]$	al., 200		
te in Xuer	(Hf)	2σ	0.000020	0.000024	0.000024	0.000023	0.000028	0.000033	0.000021	0.000022	0.000024	0.000024			$\left[\prod_{n \in \mathbb{Z}} 1 + \prod_{n \in \mathbb{Z}} n^{-1} \right]$				样品测量值	5 (Griffin et		
onzograni	$\frac{n(176}{n(177)}$	测值	0.282606	0.282598	0.282735	0.282683	0.282623	0.282443	0.282687	0.282591	0.282711	0.282630		-	$V_{\rm DM1} = \frac{1}{\lambda} \cdot V_{\rm DM1}$				$\frac{176 \text{ Hf}}{177 \text{ Hf}}]_{S} \frac{3}{3}$	= 0.2832		。物。
phyritic m	⁷ Hf)	2σ	0.000008	0.000023	0.000014	0.000030	0.000018	0.000072	0.000018	0.000032	0.000013	0.000018			1 >: 1			_	$\frac{1}{f} \int_{S} \frac{\pi_{I}}{n} \left[\frac{n}{n} \right]$	$\frac{n\left(\frac{176\mathrm{Hf}}{\mathrm{Hf}}\right)}{n\left(\frac{177\mathrm{Hf}}{\mathrm{Hf}}\right)}\right]_{\mathrm{I}}$)锆石结晶年
of the por	$\frac{n(176)}{n(177)}$	测值	0.001298	0.001173	0.000756	0.001055	0.001934	0.001763	0.000783	0.001347	0.000919	0.001090		$(e^{\lambda t} - 1)$	(YI I)	• (e ²² – 1)	$\left(\frac{Lu}{Hf}\right)_{S}$	() CHUR); $\left[\frac{n(176 \text{LL})}{n(177 \text{H})}\right]$	0.0384,		→ 1; t 犬 HUR
npositions	Yb) Hf)	2σ	0.000266	0.000680	0.000347	0.000923	0.000572	0.002079	0.000605	0.001004	0.000395	0.000363		$\left(\frac{76 \text{ Lu}}{77 \text{ Hf}}\right)_{\text{s}} \cdot ($	L (nT ⁹⁷¹	177 Hf) CHUF	$\left[\frac{n(\frac{176}{17}]}{n(\frac{177}{17}]}\right]$	$=\frac{n(176 \text{ Lu})}{n(177 \text{ Hi})}$	et al.,2004	$\frac{76}{10}$ Hf) $\int_{DM} =$	$\frac{n(176 \mathrm{Lu})}{n(177 \mathrm{Hf})}$	$\frac{n(176 \text{Lat})}{n(177 \text{Hf})} _{\text{Cl}}$
sotopic coi	$\frac{n(1^{76})}{n(1^{77})}$	测值	0.033903	0.032251	0.018251	0.028672	0.054308	0.050452	0.019627	0.036523	0.025151	0.029184		$\frac{1}{2} \int_{S} - \left[\frac{n(1)}{n(1)} \right]_{S}$		$- \frac{1}{n(n+1)}$	- fs	$-f_{\rm DM}$; $f_{\rm Lw/Hf}$	t (Söderlund	$\frac{1}{n(\frac{1}{n})}; \left[\frac{n(\frac{1}{n})}{n(\frac{1}{n})}\right]$		Hf: $f_{\rm DM} = -$
con Hf i	Hf (~ 10 ⁻⁶		34318	30588	34873	26916	36938	32248	27380	28559	33579	34806		$\left[\frac{n(176 \text{ Hf})}{n(177 \text{ Hf})}\right]$	(176 Hf)	(Hf) ($f_{\rm cc}$	$f_{\rm CC}$	×10 ⁻¹¹ /а	ft et al.,1		$f_{\rm S} = f_{\rm Luv}$
ble 3 Zir	Lu (~ 10 ⁻⁶	012)	215	382	221	458	147	277	537	243	209	305	山下:		$ _{n}$	$\left[\right]_{n}$	ļ	- (<i>I</i> DMI -)= 1.867	lichert-To	+	^z 均地売 ————————————————————————————————————
Tal	म्ह क	י	XA2-01	XA2-02	XA2-03	XA2-04	XA2-05	XA2-06	XA2-07	XA2-08	XA2-09	XA2-10	注:计算公式处		$\varepsilon_{\rm Hf}(t) = 1000$		1	I DM 2CC = I DM1	其中:λ(¹⁷⁶ Lu	= 0.282772(B	$\left[\frac{n(176 \mathrm{Lu})}{n(177 \mathrm{Hf})}\right]_{m}$	$\left[\frac{n\left(\frac{176}{\mathrm{Lu}}\right)}{n\left(\frac{177}{\mathrm{Hf}}\right)}\right]$

微量元素显示,Th/U值为4.92~5.69,均值为 5.3,介于下地壳平均值(6.0)与中地壳平均值 (4.9)之间(Rudnick and Gao, 2003)。Nb/Ta值为 9.06~10.43,均值为9.61,略高于下地壳的平均值 (8.3, Rudnick and Gao, 2003)。La/Ta较高(>25) 时通常表示地幔或受地幔混染的岩浆来源;当La/ Sm值大于5时通常指示存在壳源物质混染 (Lassiter and Depaolo, 1997)。文中探讨的岩体La/ Ta 值为 28.4 ~ 35.3,均值为 31.2; La/Sm 值为 11.7 ~ 13.1,均值为 12.4,说明物质并非唯一来源 于地壳,也可能存在幔源物质的加入。而直接来源 于地幔的岩浆通常具有较高的 Mg^{*}值,一般大于 50。 雪如岩体的 Mg^{*}值为 36.29 ~ 37.65,表明该岩体并 非直接来自地幔(Rapp et al., 1999)。似斑状二长 花岗岩的 Sm/Nd 值为 0.144 ~ 0.148,均小于 0.3, 说明主要为壳源成因(许荣华等, 1985)。通过岩石

西藏班戈雪如岩体似斑状二长花岗岩锆石 Lu-Hf 同位素组成

表3]

化学微量元素综合分析认为,岩浆来源并非单一的 来自壳源或幔源,而是两种来源均存在,可以理解为 以古老壳源为主。

相对于 Nd 同位素特征, 锆石 Hf 同位素对判断 岩浆物质来源具有其优越性(Griffin et al., 2002; Belousova et al., 2006; Yang Jinhui et al., 2006; 2007;李皓扬等, 2007)。岩体的锆石 Hf 同位素 Im 值为 0.28244 ~ 0.282734, 变化范围较小, 锆石的 Hf 同位素分布均一; $\varepsilon_{\rm Hf}(t)$ 值为-10.05 ~ 0.37,总 体显示壳源特征;二阶模式年龄为1123~1785 Ma. 平均值为1360 Ma,表现为较古老的二阶模式年龄。 图9所示,所有测点均落在球粒陨石与下地壳之间, 接近于古拉萨地块范围,暗示岩体的形成主要来自 古老地壳源区,与古拉萨地块的岩浆源区相近;同 时,锆石 Hf 同位素也指示雪如似斑状二长花岗岩更 可能为 I 型花岗岩(Chappell and White, 1992)。张 立雪等(2013)在对整个拉萨地块进行 Hf 同位素分 布综合研究分析认为,拉萨地块中部曾是一个微陆 特征;南拉萨地块 $\varepsilon_{\rm HF}(t)$ 值均总体显示为接近 0 的 负值,二级模式年龄显示新生地壳的特征:北拉萨地 块北缘的班戈地区的 $\varepsilon_{\rm HF}(t)$ 值位于 0.1 ~ 8.4, 锆石 Hf 同位素的模式年龄多数为 0.8~1.2 Ga, 显示新 生地壳特征。本次获得的雪如岩体的 $\varepsilon_{\rm H}(t)$ 值与张 立雪等(2013)收集或测试的数据存在一定差异,此 次研究证实班戈地区于中生代—早新生代不仅存在 新生代地壳物质来源的岩浆岩,同时存在来自古老 地壳部分熔融成因的岩浆岩。

综上所述,岩石地球化学微量元素和锆石 Hf 同

位素特征说明,似斑状二长花岗岩属于过铝质 I 型 花岗岩,岩浆源区主要为壳源,源自古老地壳物质的 部分熔融。

5.2 成岩构造环境

前人对班-怒带闭合时间的认识观点较多,究其 原因则是大洋东西延伸范围较大,而且班-怒洋闭合 曾经历过东早西晚的横向穿时性(余光明和王成 善,1990; Yin An and Harrison, 2000; 雍永源等, 2000; 王冠民等, 2002; Fan Jianjun et al., 2014; 范建 军, 2016)。由此来看, 班-怒洋在东西向延伸的各个 位置获得不同的闭合年龄存在其合理性, 但不能认 为是大洋闭合的时代, 但可以认为是大洋在某段较 小区域范围内的闭合及碰撞造山事件的初始时代。

班戈地区出露的众多中酸性侵入岩体的成岩时 代均为白垩纪(表4),不仅如此,邻区的侵入岩和火 山岩的年龄也均显示为白垩纪,并对各个岩体的成 岩构造背景进行了有效的约束。康志强等(2009) 对色林错一带的多尼组火山岩研究认为,早白垩世 研究区可能仍处于班-怒洋—陆俯冲阶段。赵元艺 等(2011)对雄梅地区舍索矿床研究过程中获得了 116 Ma 左右尚处于俯冲背景的岩体,并认为此时 班-怒洋俯冲作用仍在继续。曲晓明等(2012, 2013) 通过班戈—申扎一带 A 型花岗岩年代学及地 球化学证据认为,班-怒洋闭合的时间在早白垩世晚 期。青龙岩体位于雪如岩体的东侧,黄瀚霄等 (2012)获得青龙岩体中花岗闪长岩锆石 U-Pb 年龄 为123.1 ± 3.4 Ma, 形成于俯冲背景环境, 说明班 戈---青龙--带在早白垩世中期仍存在俯冲过程,班-怒洋在该区域尚未完全闭合。班戈县城四周广泛分



图 9 西藏班戈雪如岩体锆石 Hf 同位素组成与 U-Pb 年龄图解 Fig. 9 Hf isotopic composition and U-Pb ages of zircons fromXueru pluton, Ban'ge, Xizang (Tibet)

		~ uge of the	man pravor	ge uren				
岩体	岩性	年龄(Ma)	测试方法	资料来源				
班戈	石英闪长岩	137.8 ± 1.3	LA-ICP-MS					
班戈	花岗闪长岩	132.7 ± 1.3	LA-ICP-MS	同 <u>顺</u> 玉守, 2011a				
班戈	黑云英云闪长岩	121	Sm-Nd					
班戈	黑云角闪花岗闪长岩	118	黑云母 K-Ar	再费白公区地长调木院●				
班戈	黑云母角闪石英闪长岩	124	黑云母 K-Ar	四澱日石区地灰师宜阮*				
班戈	二云二长花岗岩	110	黑云母 K-Ar					
班戈	花岗闪长岩	128	LA-ICP-MS					
多巴	二云二长花岗岩	131.4	LA-ICP-MS	同 <u>顺</u> 玉守, 2011a				
雪如	二长花岗岩	79.25 ± 0.97	LA-ICP-MS	首顺 空笙 20111				
雪如	二长花岗岩	79.72 ± 0.51	LA-ICP-MS	同顺玉守, 2011b				
雪如	二长花岗岩	78.7 ± 1.7	LA-ICP-MS	李小赛等, 2013				
雪如	似斑状二长花岗岩	78.59 ± 0.55	LA-ICP-MS	本文				
雪如	二长花岗岩	79.72 ± 0.5	LA-ICP-MS	工江田笙 2012				
雪如	二长花岗岩	76.1 ± 0.4	LA-ICP-MS	土江加寺,2012				
雪如	二长花岗岩	77.8	K-Ar	西藏自治区地质调查院♥				
雄巴	花岗闪长岩	77.37 ± 0.55	LA-ICP-MS	空立笙 2012				
雄巴	花岗闪长岩	79.78 ± 0.99	LA-ICP-MS	疋立守, 2012				
青龙	花岗闪长岩	123.1 ± 3.4	LA-ICP-MS	黄瀚霄等, 2012				

表 4 班戈地区主要岩体锆石 U-Pb 同位素年龄 Table 4 Zircon U-Pb age of the main pluton in Ban'ge area

布有多种岩性的酸性侵入岩体,前人对该区域的侵 入岩开展的年代学研究获得不同岩体的年龄分别为 137.8 ± 1.3 Ma(石英闪长岩、132.7 ± 1.3 Ma(花岗 闪长岩)、114.8 ± 1.9 Ma 和 127.2 ± 1.3 Ma(二云 二长花岗岩),岩石地球化学证据均证实雪如岩体 北部的多巴岩体、班戈岩体均形成于早白垩世,属于 火山弧花岗岩类(高顺宝等, 2011a, 2011b)。显生 宙以来,在岛弧和活动大陆边缘地带形成的岩浆弧 和弧地壳是洋陆转换的最重要的证据(邓晋福等, 2015a),说明了班-怒带班戈地区早白垩世经历了洋 和洋陆转换的过程。竟柱山组反映的是班-怒洋闭 合后的陆相山间盆地沉积环境,李华亮等(2016)根 据竟柱山组时代判定洋陆转换结束的时间为 96 Ma 左右。综合前人观点认为,班-怒洋在班戈一带闭合 时间在96 Ma之前,说明这一区域的大洋关闭时间 最可能在早白垩世晚期—晚白垩世早期。

研究区及邻区内同期的花岗岩岩石类型、岩石 成因等基本一致,但成岩构造背景存在争议。研究 区西侧多巴区幅雄巴岩体边部梭沙矿区的细粒斑状 花岗闪长岩和再阿矿区中细粒花岗闪长岩的年龄分 别为 77. 37 ± 0. 55 Ma 和 79. 78 ± 0. 99 Ma,后碰撞 背景的成岩环境说明含矿花岗岩的成岩作用与班-怒洋闭合后羌塘地块与拉萨地块碰撞作用有关(定 立等, 2012)。高顺宝等(2011b)对雪如岩体中两件 中粗粒二长花岗岩的定年结果显示,成岩年龄分别 为 79. 25 ± 0. 97 Ma 和 79. 72 ± 0. 51 Ma,认为成岩

环境为后碰撞环境,此时羌塘地 块与拉萨地块在 78 Ma 左右已经 发生碰撞并处于后碰撞阶段。此 外,雪如岩体中的雪如、查朗拉两 个矿区中的成矿岩体的年龄分别 为 79.72 ± 0.5 Ma 和 76.1 ± 0.4 Ma,两者年龄相差3 Ma 左右,雪 如岩体成岩环境为同碰撞环境, 不同位置成岩时代存在差异(王 江朋等, 2012)。更乃矿区位于 雪如岩体边部,其中侵位于朗山 组灰岩中的似斑状二长花岗岩的 成岩年龄为78.7±1.7 Ma,岩体 形成于同碰撞环境(李小赛等. 2013)。野外路线地质调查证 实,雪如岩体与下白垩统朗山组 和多尼组呈侵入接触关系,明确 了岩体形成晚于两地层沉积时

代。研究区及其邻区出露的多尼组火山岩成岩年龄 集中于116~114 Ma,说明该地层的沉积时代为早 白垩世晚期(康志强等, 2009; 袁四化, 2009; 张 财,2016)。朗山组灰岩代表的浅海相的沉积环境, 该地层不整合覆盖于多尼组之上^❷,说明其沉积时 间同样处于早白垩世晚期,进一步说明雪如岩体的 成岩时代为早白垩世晚期之后。1:5万区域地质 调查成果显示,似斑状二长花岗岩中穿插多种花岗 岩类岩脉,不同位置的似斑状二长花岗岩的颜色、斑 晶大小也存在差异,凸显了多期或多阶段成岩过程。 高顺宝等(2011b)野外调查发现雪如岩体主要由中 细粒二长花岗岩和中粗粒斑状二长花岗岩组成,局 部发育花岗细晶岩脉,暗色包体较少。雪如岩体东 西长约35 km,南北最宽达14 km,显然如此大规模 岩体的形成并非一次成岩作用形成,而是多期成岩 作用叠加形成。综前所述,班-怒洋在班戈一带闭合 的时间均在晚白垩世早期及其之前,说明晚白垩世 早期大洋整体已经闭合并发生羌塘地块与拉萨地块 的碰撞隆升。雪如岩体的成岩时代为晚白垩世中 期,形成背景处于南北两个地块的碰撞隆升阶段。 多个同时期的侵入岩均证实为同碰撞构造背景,而 高顺宝等(2011b)和定立等(2012)认为的后碰撞背 景与王江朋等(2012)、李小赛等(2013)及本文的观 点存在分歧。

本次研究获得雪如岩体中的似斑状二长花岗岩的成岩年龄为 79.58 ± 0.55 Ma。根据岩石地球化





and Bowden, 1985; b, d, after Pearce et al., 1984; c, the same after Pearce, 1996; Reference data with fig. 8)

学数据判断其构造背景,在 Batchelor 等(1985)反映 造山带演化旋回的 R₁—R₂图解中(图 10a),样品均 位于同碰撞花岗岩范围,与前人认为的雪如岩体及 相邻的同期侵入岩体形成于同碰撞背景这一主流观 点一致。Pearce 等(1984)的构造环境判别图解中, 样品均位于同碰撞花岗岩范围内,均反映了同碰撞 作用过程中的成岩环境(图 10b, d)。而在图 10c 中多数点落在同碰撞花岗岩和后碰撞花岗岩重叠区 域。尽管主流观点是同碰撞背景的成岩环境,但如 何进一步支撑这种观点呢?

Pearce 等 (1984) 通过大量的已知构造背景的 花岗岩证据将其分为四大类,其中将碰撞背景花岗 岩细分为同碰撞和后碰撞花岗岩。而后, Pearce (1996)对两种碰撞类型花岗岩产生环境进行了初步定义,他认为洋壳俯冲结束转而开始发生陆—陆碰撞作用,此时碰撞花岗岩开始形成;造山过程相关的成岩作用停止,则后碰撞花岗岩的成岩作用也相应停止。由此可见,由于两种构造背景的花岗岩仅仅是限定碰撞造山作用的开始和结束,因此我们很难精确界定两种构造环境的花岗岩的产出时代。Pearce (1996)还提到一个观点认为,火山弧岩浆岩和同碰撞岩浆岩可以归并讨论,后碰撞岩浆岩和板内岩浆岩同样可归并讨论。我们理解这种观点旨在表示当弧岩浆岩和同碰撞岩浆岩同时出现时则表示

1181

该时代可代表洋陆转换过程的时代;后碰撞岩浆岩 和板内岩浆岩同时出现则代表碰撞造山作用结束的 过程。研究区及邻区尚未发现同时期板内花岗岩的 相关证据,说明雪如岩体形成时很可能并未处于造 山结束阶段。此外,Pearce,(1996)在对(Nb+Y)— Rb构造环境判别图解进行优化过程中发现,同碰撞 背景的花岗岩均来自壳源或者含大量俯冲地壳成分 的幔源物质,说明均以壳源为主;而后碰撞背景的花 岗岩通常显示丰富的幔源岩石圈来源。雪如岩体岩 浆源区为壳源,并未有幔源物质的加入,说明其更可 能为同碰撞环境的构造背景。

综合现有研究成果认为,雪如岩体由多期次成 岩作用形成,成岩时代主要介于 79 ~ 76 Ma,集中 于 79 Ma 左右,形成于晚白垩世中期,岩体形成于拉 萨地块与羌塘地块碰撞造山阶段,为同碰撞构造背 景。班戈地区在晚白垩世早期至中期(96 ~ 79 Ma) 较长时间处于拉萨地块与羌塘地块碰撞造山阶段, 其中在 79 Ma 左右为相对活跃期。

6 结论

(1) 班戈雪如岩体中似斑状二长花岗岩锆石 UPb 年龄为 78.59 ± 0.55 Ma (n = 18, MSWD = 0.96),形成时代为晚白垩世中期。

(2)岩石具有富硅、高铝、富碱的特征,总体显示高钾钙碱性岩石系列,过铝质 I 型花岗岩类。岩石化学微量元素和锆石 Hf 同位素特征均说明岩浆 源区主要为古老地壳物质。

(3)雪如岩体的成岩环境为同碰撞环境。班公 湖—怒江洋在班戈—带的闭合时间为早白垩世晚 期—晚白垩世中期,在96~79 Ma,拉萨地块与羌 塘地块处于碰撞造山阶段,其中于79 Ma 处于相对 活跃期。

致谢:感谢两位审稿专家和责任编辑对本文提出的宝贵意见和建议。

注释 / Notes

- 西藏自治区地质调查院. 2002. 西藏自治区班戈县幅1:25万区 域地质调查报告.
- 吉林省地质调查院. 2003. 西藏自治区多巴区幅1:25 万区域地 质调查报告.

参考文献 / References

(The literature whose publishing year followed by a "&" is in Chinese with English abstract; The literature whose publishing year followed by a "#" is in Chinese without English abstract)

陈国荣,刘鸿飞,蒋光武,曾庆高,赵守仁,张相国. 2004. 西藏班公

湖—怒江结合带中段沙木罗组的发现.地质通报,23(2):193~194.

- 邓晋福, 冯艳芳, 狄永军, 刘翠, 肖庆辉, 苏尚国, 赵国春, 孟斐, 马帅, 姚图. 2015a. 岩浆弧火成岩构造组合与洋陆转换. 地质论 评,61(3):473~484.
- 邓晋福,刘翠,冯艳芳,肖庆辉,狄永军,苏尚国,赵国春,段培新, 戴蒙. 2015b.关于火成岩常用图解的正确使用:讨论与建议.地 质论评,61(4):717~734.
- 丁吉顺,陈伟,周恒,郭奇奇,孙渺,张祎. 2019. 西藏雄梅地区 1:5 万 水系沉积物地球化学特征及找矿远景. 地质与勘探,55(1):48 ~63.
- 定立,赵元艺,杨永强,崔玉斌,吕立娜. 2012. 西藏班戈县多巴区砂 卡岩型铁多金属矿床含矿花岗岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年、 地球化学及意义. 岩石矿物学杂志,31(4): 479~496.
- 范建军. 2016. 班公湖—怒江洋中西段晚中生代汇聚消亡时空重建. 导师:李才. 长春: 吉林大学博士学位论文:1~225.
- 高顺宝,郑有业,王进寿,张众,杨成. 2011a. 西藏班戈地区侵入岩年 代学和地球化学:对班公湖—怒江洋盆演化时限的制约. 岩石 学报,27(7): 1973~1982.
- 高顺宝,郑有业,谢名臣,张众,闫学欣,武斌,罗俊杰. 2011b. 西藏班 戈地区雪如岩体的形成环境及成矿意义. 地球科学(中国地质 大学学报),36(4):729~739.
- 黄瀚霄,李光明,董随亮,刘波,张晖,张丽,李应栩,石洪召. 2012. 西 藏班戈地区青龙花岗闪长岩 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄及其地球 化学特征. 地质通报,31(6): 852~859.
- 康志强,许继峰,王保弟,董彦辉,王树庆,陈建林. 2009. 拉萨地块北 部白垩纪多尼组火山岩的地球化学:形成的构造环境. 地球科 学,34(1): 89~104.
- 李皓扬,钟孙霖,王彦斌,朱弟成,杨进辉,宋彪,刘敦一,吴福元. 2007. 藏南林周盆地林子宗火山岩的时代、成因及其地质意义: 锆石 U-Pb 年龄和 Hf 同位素证据. 岩石学报,23(2):493~500.
- 李华亮,高成,李正汉,张璋,彭智敏,关俊雷. 2016. 西藏班公湖地区 竟柱山组时代及其构造意义. 大地构造与成矿学,40(4):663~ 673.
- 李小赛,赵元艺,王江朋,许虹. 2013. 西藏更乃矽卡岩型铁多金属矿 床地球化学特征、年代学及意义. 地质学报, 87(11): 1679~ 1693.
- 潘桂棠,郑海翔,徐跃荣,王培生, 焦淑沛. 1982. 初论班公湖-怒江结 合带. 见:青藏高原地质文集, (4): 229~242.
- 潘桂棠,朱弟成,王立全,廖忠礼,耿全如. 2004. 班公湖—怒江缝合 带作为冈瓦纳大陆北界的地质地球物理证据. 地学前缘,11 (4):371~382.
- 曲晓明,辛洪波,杜德道,陈华. 2012. 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. 地球化 学,41(1):1~14.
- 曲晓明,辛洪波,杜德道,陈华. 2013. 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. 地质学报,87(6):759~ 772.
- 王冠民,钟建华. 2002. 班公湖—怒江构造带西段三叠纪—侏罗纪构 造—沉积演化. 地质论评,48(3): 297~303.
- 王建平,刘彦明,李秋生,岳国利,裴放.2002. 西藏班公湖—丁青蛇 绿岩带东段侏罗纪盖层沉积的地层划分.地质通报,21(7):405 ~410.
- 王江朋,赵元艺,崔玉斌,吕丽娜,许虹. 2012. 西藏班戈地区重要砂 卡岩型铁(铜)多金属矿床 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 测年与花岗岩 地球化学特征. 地质通报,31(9): 1435~1450.

王希斌,鲍佩声,邓万明. 1987. 西藏的蛇绿岩. 北京: 地质出版社.

吴福元,李献华,杨进辉,郑永飞.2007.花岗岩成因研究的若干问题.

岩石学报,23(6):1217~1238.

- 吴元保,郑永飞. 2004. 锆石成因矿物学研究及其对 U-Pb 年龄解释 的制约. 科学通报,49(16): 1589~1604.
- 许荣华,张宗清,宋鹤彬. 1985. 稀土元素地球化学和同位素地质新 方法. 北京: 地质出版社.
- 雍永源,贾宝江. 2000. 板块剪式汇聚加地体拼贴——中特提斯消亡的新模式. 沉积与特提斯地质,20(1):85~89.
- 余光明,王成善. 1990. 西藏特提斯沉积地质. 北京: 地质出版社.
- 袁四化. 2009. 冈底斯带中段北部早白垩世火山岩及其大地构造意 义. 北京:中国地质科学院博士学位论文.
- 张财. 2016. 西藏拉萨地块北部永珠地区岩浆岩年代学与地球化学. 导师:杨经绥.北京:中国地质大学(北京)硕士学位论文:1~ 76.
- 张乐. 2015. 西藏冈底斯中北部永珠地区花岗岩类年代学与地球化 学.导师:董永胜.长春:吉林大学硕士学位论文:1~84.
- 张立雪, 王青, 朱弟成, 贾黎黎, 吴兴源, 刘盛遨, 胡兆初, 赵天培. 2013. 拉萨地体锆石 Hf 同位素填图: 对地壳性质和成矿潜力的 约束. 岩石学报, 29(11): 3681~3688.
- 张志,陈毓川,唐菊兴,李壮,宋俊龙,杨毅,胡正华,杨欢欢,杨超,康 浩然. 2015. 西藏尕尔穷—嘎拉勒铜金矿集区火山岩年代学及 地球化学.地球科学,40(1):77~97.
- 张志,唐菊兴,李志军,杨毅,胡正华,姚晓峰,宋俊龙,陈伟,王红星. 2013. 西藏尕尔穷—嘎拉勒铜金矿集区侵入岩岩石地球化学特征及其地质意义. 地质与勘探,49(4):676~688.
- 赵文津,刘葵,蒋忠惕,吴珍汉,赵逊,史大年,熊嘉育. 2004. 西藏班 公湖—怒江缝合带——深部地球物理结构给出的启示. 地质通 报,23(7):623~635.
- 赵元艺,崔玉斌,吕立娜,石登华. 2011. 西藏舍索砂卡岩型铜多金属 矿床年代学与地球化学特征及意义. 岩石学报,27(7):2132~ 2142.
- Batchelor R A and Bowden P. 1985. Petrogenetic interpretation of granitoid rock series using multicationic parameters. Chemical. Geology, 48 (1~4):43~55.
- Baxter A T, Aitchison J C, Zyabrev S V. 2009. Radiolarian age constraints on Mesotethyan ocean evolution, and their implications for development of the Bangong—Nujiang suture, Tibet. Journal of Geological Society, 166(4): 689~694.
- Belousova E A, Griffin W L, O' Reilly S Y. 2006. Zircon crystal morphology, trace element signatures and Hf isotope composition as a tool for petrogenetic modelling: Examples from eastern Australian granitoids. Journal of Petrology, 47(2): 329~353.
- Blichert-Toft J, Albarède F. 1997. The Lu-Hf isotope geochemistry of chondrites and the evolution of the mantle—crust system. Earth and Planetary Science Letters, 148(1): 243~258.
- Chang Chengfa, Chen Nansheng, Coward M P, Deng Wanming, Dewey J F, Gansser A, Harris N B W, Jin Chengwei, Kidd W S F, Leeder M R, Li Huan, Lin Jinlu, Liu Chengjie, Mei Houjun, Molnar P, Pan Yun, Pan Yusheng, Pearce J A, Shackleton R M, Smith A B, Sun Yiyin, Ward M, Watts D R, Xu Juntao, Xu Ronghua, Yin Jixiang, Zhang Yuquan. 1986. Preliminary conclusions of the Royal Society and Academia Sinica 1985 geotraverse of Tibet. Nature, 323 (6088): 501~507.
- Chappell B W, White A J R. 1974.Two contrasting granite types. Pacific Geology, 8: 173~174.
- Chappell B W, White A J R. 1992.I- and S-type granites in the Lachlan Fold Belt. Transactions of the Royal Society of Edinburgh (Earth Sciences), 83(1~2): 1~26.
- Chappell B W. 1999. Aluminium saturation in I- and S-type granites and

the characterization of fractionated haplogranites. Lithos, $46\,(\,3\,):$ 535~551.

- Chen Guorong, Liu Hongfei, Jiang Guangwu, Zeng Qinggao, Zhao Shouren, Zhang Xiangguo. 2004&. Discovery of the Shamuluo Formation in the central segment of the Bangong Co—Nujiang River suture zone, Tibet. Geological Bulletin of China, 23(2): 193~194.
- Deng Jinfu, Feng Yanfang, Di Yongjun, Liu Cui, Xiao Qinghui, Su Shangguo, Zhao Guochun, Meng Fei, Ma Shuai, Yao Tu. 2015a&. On the correct application in the common igneous petrological diagrams: discussion and suggestion. Geological Review, 61(3): 473~484.
- Deng Jinfu, Liu Cui, Feng Yanfang, Xiao Qinghui, Di Yongjun, Su Shangguo, Zhao Guochun, Duan Peixin, Dai Meng. 2015b&. Magmatic arc and ocean—continent transition: discussion. Geological Review, 61(4): 717~734.
- Ding Jishun, Chen Wei, Zhou Heng, Guo Qiqi, Sun Miao, Zhang Yi. 2019&. Geochemical characteristics from 1: 50000 mapping data of drainage sediments and ore-search prospects in the Xiongmei area, Tibet. Geology and Exploration, 55(1):48~63.
- Ding Li, Zhao Yuanyi, Yang Yongqiang, Cui Yubin, Lü Lina.2012&. LA-ICP-MS zircon U-Pb dating and geochemical characteristics of ore-bearing granite in skarn-type iron polymetallic deposits of Duoba area, Baingoin County, Tibet, and their significance. Acta Petrologica et Mineralogica, 31(4): 479~496.
- Fan Jianjun, Li Cai, Xie Chaoming, Wang Ming, Chen Jingwen. 2015a. Petrology and U – Pb zircon geochronology of bimodal volcanic rocks from the Maierze Group, northern Tibet: Constraints on the timing of closure of the Banggong – Nujiang Ocean. Lithos, 227: 148~160.
- Fan Jianjun, Li Cai, Liu Yiming, Xu Jianxin. 2015b. Age and nature of the late Early Cretaceous Zhaga Formation, northern Tibet: constraints on when the Bangong—Nujiang Neo-Tethys Ocean closed. International Geology Review, 57(3): 342~353.
- Fan Jianjun, Li Cai, Xie Chaoming, Wang Ming. 2014. Petrology, geochemistry, and geochronology of the Zhonggang ocean island, northern Tibet: implications for the evolution of the Banggongco— Nujiang oceanic arm of the Neo-Tethys. International Geology Review, 56(12): 1504~1520.
- Fan Jianjun.2016. Reconstructing the late Mesozoic closing process of the middle and western segments of the Bangong - Nujiang Ocean in space and time. Tutor: Li Cai. Changchun: Jilin University Ph. D. thesis: 1~225.
- Gao Shunbao, Zheng Youye, Wang Jiangpeng, Zhang Zhong, Yang Cheng. 2011a&. The geochronology and geochemistry of intrusive rocks in Ban'ge area: Constraints on the evolution time of the Bangong Lake—Nujiang ocean basin. Acta Petrologica Sinica, 27 (7): 1973~1982.
- Gao Shunbao, Zheng Youye, Xie Mingchen, Zhang Zhong, Yan Xuexin, Wu Bin, Luo Junjie. 2011b&. Geodynamic setting and mineralizational implication of the Xueru intrusion in Ban'ge, Tibet. Earth Science, 36(4): 729~739.
- Griffin W L, Wang Xiang, Jackson S E, Pearson N J, O'Reilly S Y, Xu Xisheng, Zhou Xinmin. 2002. Zircon chemistry and magma mixing, SE China: In-situ analysis of Hf isotopes, Tonglu and Pingtan igneous complexes. Lithos, 61(3): 237~269.
- Hoskin P W O, Schaltegger U. 2003. The composition of zircon and igneous and metamorphic petrogenesis. Reviews in Mineralogy and Geochemistry, 53(1): 27~62.

- Huang Hanxiao, Li Guangming, Dong Suiliang, Liu Bo, Zhang Hui, Zhang Li, Li Yingxu, Shi Hongzhao.2012&. SHRIMP zircon U-Pb age and geochemical characteristics of Qinglung granodiorite in Baingoin area, Tibet. Geological Bulletin of China, 31(6): 852 ~ 859.
- Kang Zhiqiang, Xu Jifeng, Wang Baodi, Dong Yanhui, Wang Shuqing, Chen Jianlin.2009&. Geochemistry of Cretaceous volcanic rocks of Duoni Formation in northern Lhasa block: Discussion of tectonic setting. Earth Science, 34(1): 89~104.
- Kapp P, Murphy M A, Yin A, Harrison T M, Ding Lin, Guo Jinghu. 2003. Mesozoic and Cenozoic tectonic evolution of the Shiquanhe area of western Tibet. Tectonics, 22(4): 1~25.
- Lassiter J C, Depaolo D J. 1997. Plumes/lithosphere interaction in the generation of continental and oceanic flood basalts: chemical and isotope constraints. Geophysical Monography 100, American Geophysical Union, 335~355.
- Li Haoyang, Zhong Sunlin, Wang Yanbin, Zhu Dicheng, Yang Jinhui, Song Biao, Liu Dunyi, Wu Fuyuan.2007 &. Age, petrogenesis and geological significance of the Linzizong volcanic successions in the Linzhou basin, southern Tibet: Evidence from zircon U-Pb dates and Hf isotopes. Acta Petrologica Sinica, 23(2): 493~500.
- Li Hualiang, Gao Cheng, Li Zhenghan, Zhang Zhang, Peng Zhimin, Guan Junlei. 2016&. Age and tectonic significance of Jingzhushan Formation in Bangong Lake area, Tibet. Geotectonica et Metallogenia, 40(4): 663~673.
- Li Jinxiang, Li Guangming, Qin Kezhang, Xiao Bo, Chen Lei, Zhao Junxing. 2012. Mineralogy and mineral chemistry of the Cretaceous Duolong gold-rich porphyry copper deposit in the Bangongco arc, northern Tibet. Resource Geology, 62(1): 19~41.
- Li Jinxiang, Li Guangming, Qin Kezhang, Xiao Bo, Zhao Junxing, Chen Lei. 2011. Magmatic—hydrothermal evolution of the Cretaceous Duolong gold-rich porphyry copper deposit in the Bangongco metallogenic belt, Tibet: Evidence from U-Pb and ⁴⁰Ar/³⁹ Ar geochronology. Journal of Asian Earth Science, 41(6); 525~536.
- Li Jinxiang, Qin Kezhang, Li Guangming, Xiao Bo, Zhao Junxing, Cao Mingjian, Chen Lei. 2013. Petrogenesis of ore-bearing porphyries from the Duolong porphyry Cu Au deposit, central Tibet: Evidence from U Pb geochronology, petrochemistry and Sr Nd Hf O isotope characteristics. Lithos, 160~161(1): 216~227.
- Li Xiaosai, Zhao Yuanyi, Wang Jiangpeng, Xu Hong. 2013&. Geochemical characteristics, chronology and significance of Gengnai skarn-type iron polymetallic deposit, Tibet. Acta Geologica Sinica, 87(11): 1679~1693.
- Liu Weiliang, Xia Bin, Zhong Yun, Cai Jianxin, Li Jianfeng, Liu Hongfei, Cai Zhourong, Sun Zhilei.2014. Age and composition of the Rebang Co and Julu ophiolites, central Tibet: implications for the evolution of the Bangong Meso-Tethys. International Geology Review, 56(4): 430~447.
- Liu Yongsheng, Gao Shan, Hu Zhaochu, Gao Changgui, Zong Keqing, Wang Dongbing. 2010. Continental and oceanic crust recyclinginduced melt - peridotite interactions in the Trans-North China orogen: U - Pb dating, Hf isotopes and trace elements in zircons from mantle xenoliths. Journal of Petrology, 51(1~2): 537~571.
- Liu Yongsheng, Hu Zhaochu, Gao Shan, Gunther D, Xu Juan, Gao Changgui, Chen Haihong.2008. In situ analysis of major and trace elements of anhydrous minerals by LA-ICP-MS without applying an internal standard. Chemical Geology, 257(1~2): 34~43.

Ludwig K R. 2003. ISOPLOT 3. 00: A Geochronological Toolkit for

Microsoft Excel. Berkeley, California: Berkeley Geochronology Center: 1~ 39.

- Maniard P D, Piccoli P M. 1989. Tectonic discrimination of granitoids. Geological Society of America Bulletin, 101(5): 635~643.
- Middlemost E A K. 1985. Magmas and Magmatic Rocks. London: Longman: 1~266.
- Moller A, O' Brien P J, Kennedy A, Kroner A. 2003. Linking growth episodes of zircon and metamorphic textures to zircon chemistry: an example from the ultrahigh-temperature granulites of Rogaland (SW Norway). Geological Society of London Special Publications, 220 (1): 65~81.
- Pan Guitang, Wang Liquan, Li Rongshe, Yuan Sihua, Ji Wenhua, Yin Fuguang, Zhang Wanping, Wang Baodi.2012. Tectonic evolution of the Qinghai—Tibet Plateau. Journal of Asian Earth Sciences, 53 (2): 3~14.
- Pan Guitang, Zheng Haixiang, Xu Yuerong, Wang Peisheng, Jiao Shupei. 1982#. A priliminary stydy on Bangongco—Nujiang suture. In: Geological Collections of the Qinghai —Tibet Plateau, (4): 229~242.
- Pan Guitang, Zhu Dicheng, Wang Liquan, Liao Zhongli, Geng Quanru. 2004&. Bangong Lake—Nu River suture zone——the northern boundary of Gondwanaland: Evidence from geology and geophysics. Earth Science Frontiers, 11(4):371~382.
- Pearce J A, Harris N B W, Tindle A G. 1984. Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks. Journal of Petrology, 25(4): 956~983.
- Pearce J A. 1996. Source and setting of granitic rocks. Episodes, 19: 120 ~ 125.
- Peccerillo A, Taylor S R. 1976. Geochemistry of Eocene calc-alkaline volcanic rocks from the Kastamonu area, Northern Turkey. Contributions to Mineralogy & Petrology, 58(1): 63~81.
- Qu Xiaoming, Xin Hongbo, Du Dedao, Chen Hua.2012&. Ages of postcollisional A-type granite and constraints on the closure of the oceanic basin in the middle segment of the Bangonghu—Nujiang suture, the Tibetan plateau. Geochimica, 41(1): 1~14.
- Qu Xiaoming, Xin Hongbo, Du Dedao, Chen Hua. 2013&. Magma source of the A-type granite and slab break-off in the middle segment of the Bangonghu—Nujiang Suture, Tibet Plateau. Acta Geologica Sinica, 87(6): 759~772.
- Rapp R P, Shimizu N, Norman M D, Applegate G S. 1999. Reaction between slab-derived melts and peridotite in the mantle wedge; experimental constraints at 3.8 GPa. Chemical Geology, 160(4): 335~356.
- Roche H D L, Leterrier J, Grandclaude P, Marchal M. 1980. A classification of volcanic and plutonic rocks using R1—R2-diagram and major-element analyses——Its relationships with current nomenclature. Chemical Geology, 29(1): 183~210.
- Rubatto D, Gebauer D. 2000. Use of Cathodoluminescence for U-Pb Zircon Dating by Ion Microprobe: Some Examples from the Western Alps. Berlin: Springer: 373~400.
- Rudnick R L, Gao S. 2003. Composition of the continental crust. In: Rudnick R L. ed. The Crust, Treatise on Geochemistry, 3: 1~70.
- Söderlund U, Patchett P J, Vervoort J D, Isachsen C E. 2004. The decay constant of ¹⁷⁶Lu determined from Lu-Hf and U-Pb isotope systematics of terrestrial Precambrian high-temperature mafic intrusions. Meteoritics & Planetary Science Supplement, 38.
- Sun S S, Mcdonough W F. 1989. Chemical and isotopic systematics of ocean basalts: Implications for mantle composition and processes, in

Magmatism in the Ocean Basins. Geological Society London Special Publications, 42: 313~345.

- Wang Guanmin, Zhong Jianhua.2002&. Tectonic—sedimentary evolution of the west segment of the Bangong Co—Nujiang structural belt in the Triassic and Jurassic. Geological Review, 48(3): 297~303.
- Wang Jiangpeng, Zhao Yuanyi, Cui Yubin, Lü Lina, Xu Hong.2012&. LA-ICP-MS zircon U-Pb dating of important skarn type iron (copper) polymetallic deposits in Baingoin County of Tibet and geochemical characteristics of granites. Geological Bulletin of China, 31(9): 1435~1450.
- Wang Jianping, Liu Yanming, Li Qiusheng, Yue Guoli, Pei Fang. 2002&. Stratigraphic division and geological significance of the Jurassic cover sediments in the eastern sector of the Bangong Lake— Dingqing ophiolite belt in Tibet. Geological Bulletin of China, 21 (7): 405~410.
- Wang Xibin, Bao Peisheg, Deng Wanming. 1987#. Ophiolite in Tibet. Beijing: Geological Publishing House.
- Wu Fuyuan, Jahn B M, Wilde S A, Lo C H, Yui T F, Lin Qiang, Ge Wenchun, Sun Deyou. 2003. Highly fractionated I-type granites in NE China(I): geochronology and petrogenesis. Lithos, 66(3~4): 241~273.
- Wu Fuyuan, Li Xianhua, Yang Jinhui, Zheng Yongfei. 2007&. Discussions on the petrogenesis of granites. Acta Petrologica Sinica, 23(6): 1217~1238.
- Wu Yuanbao, Zheng Yongfei. 2004&. Genesis of zircon and its constraints on in terpretation of U-Pb age . Chinese Science Bulletin, 49(16): 1589~1604.
- Xu Ronghua, Zhang Zongqing, Song Hebin. 1985#. New methods of geochemistry and isotopic geology of rare earth elements. Beijing: Geological publishing house.
- Yang Jinhui, Wu Fuyuan, Chung Sunli, Wilde S, Chu Meifei. 2006. A hybrid origin for the Qiansha A-type granite, Northeast China: Geochemical and Sr—Nd—Hf isotopic evidence. Lithos, 89(1~2): 89~106.
- Yang Jinhui, Wu Fuyuan, Wilde S A, Xie Liewen, Yang Yueheng, Liu Xiaoming. 2007. Trace magma mixing in granite genesis: In-situ U-Pb dating and Hf isotope analysis of zircons. Contributions to Mineralogy and Petrology, 153(2): 177~190.
- Yin An, Harrison T M. 2000. Geologic evolution of the Himalayan Tibetan orogen. Annual Review of Earth and Planetary Sciences, 28: 211~280.
- Yong Yongyuan, Jia Baojiang. 2000&. Shear convergence of plates and suturing of terranes: a new model for the comsumption of the Meso-Tethys. Sedimentary Geology and Tethyan Geology, 20(1): 85~89.
- Yu Guangming, Wang Chengshan. 1990#. Tethys Sedimentary Geology of

Tibet. Beijing: Geological Publishing House: 1~185.

- Yuan Sihua. 2009&. The Early Cretaceous Volcanic Rocks in North Part of Central Segment of the Gangdese in the Tibet and Its Tectonic Implications. Tutor: Pan Guitang. Beijing: Ph. D. thesis of Chinese Academy of Geological Sciences:1~225.
- Zhang Cai. 2016&. Geochronology and Geochemistry of Magmatic Rock in Yongzhu at North Lhasa Block, Tibet. Tutor: Yang Jingsui. Beijing: M. D. thesis of China University of Geosciences(Beijing): 1~76.
- Zhang Kaijun, Zhang Yuxiu, Tang Xianchun, Xia Bin. 2012. Late Mesozoic tectonic evolution and growth of the Tibetan plateau prior to the Indo—Asian collision. Earth-Science Review, 114(3~4): 236 ~249.
- Zhang Le. 2015&. Geochronology and Geochemistry of the Yongzhu Granitoids in Middle—North Gangdese, Tibet. Tutor: Dong Yongsheng.Changchun: M. D. thesits of Jilin University:1~84.
- Zhang Lixue, Wang Qing, Zhu Dicheng, Jia Lili, Wu Xingyuan, Liu Shengao, Hu Zhaochu, Zhao Tianpei. 2013 &. Mapping the Lhasa Terrane through zircon Hf isotopes: Constraints on the nature of the crust and metallogenic potential. Acta Petrologica Sinica, 29(11): 3681~3688.
- Zhang Zhi, Chen Yuchuan, Tang Juxing, Li Zhuang, Song Junlong, Yang Yi, Hu Zhenghua, Yang Huanhuan, Yang Chao, Kang Haoran.2015&. Zircon U-Pb age and geochemical characteristics of volcanic rocks in Gaerqiong—Galale Cu—Au ore district, Tibet. Earth Science, 40(1): 77~97.
- Zhang Zhi, Tang Juxing, Li Zhijun, Yang Yi, Hu Zhenghua, Yao Xiaofeng, Song Junlong, Chen Wei, Wang Hongxing. 2013&. Petrology and geochemistry of intrusive rocks in the Ga'erqiong— Galale ore concentration area, Tibet and their geological implications. Geology and Exploration, 49(4): 676~688.
- Zhao Wenjin, Liu Kui, Jiang Zhongti, Wu Zhenhan, Zhao Xun, Shi Danian, Xiong Jiayu. 2004 &. Bangong Co—Nujiang suture zone, Tibet—a suggestion given by deep geophysical structure. Geological Bulletin of China, 23(7): 623~635.
- Zhao Yuanyi, Cui Yubin, Lü Lina, Shi Denghua.2011&. Chronology, geochemical characteristics and the significance of Shesuo copper polymetallic deposit, Tibet. Acta Petrologica Sinica, 27(7):2132~ 2142.
- Zong Keqing, Klemd R, Yuan Yu, He Zhenyu, Guo Jingliang, Shi Xiaoli, Liu Yongsheng, Hu Chaochun, Zhang Zeming. 2017. The assembly of Rodinia: The correlation of early Neoproterozoic (ca. 900 Ma) high-grade metamorphism and continental arc formation in the southern Beishan Orogen, southern Central Asian Orogenic Belt (CAOB). Precambrian Research, 290; 32~48.

Petrogenesis and tectonic implications of Xueru pluton, in Ban'ge County, Xizang (Tibet): Constraints from LA-ICP-MS zircon U-Pb age, geochemical characteristics and Hf isotopic compositions

GAO Ke¹⁾, LIU Zhibo²⁾, SONG Yang²⁾, LI Faqiao³⁾, TENG Lei³⁾, ZHENG Weihong⁴⁾

1) Chengdu Center, China Geological Survey, Chengdu, 610081;

2) Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing, 100037;

3) School of Earth Sciences and Resources, China University of Geosciences (Beijing), Beijing, 100083;

4) Southeast Sichuan Geological Team, Chongqing Municipal Bureau of Geology and Mineral Exploration

and Development, Chongqing, 400038

Objectives: Xueru pluton is an important indicator to discuss the regional development and evolution of Bangong Lake—Nujiang River metallogenic belt in Ban' ge area. It is essential to carry out geochronological, Lu-Hf isotope study and petrogeochemical analysis for better understanding of the porphyritic monzonitic granite.

Methods: On the basis of detailed field work, the petrogeochemical testing and LA-ICP-MS zircon U-Pb dating age are carried out on the porphyritic monzonitic granite.

Results: LA-ICP-MS zircon U-Pb age 78.59±0.55 Ma (MSWD=0.96), belongs to the interim of the Late Cretaceous and is basically consistent with the diagenesis age obtained by predecessors. Petrogeochemical researches indicate that the granite belongs to high-K calc-alkaline, and is peraluminous granite with A/CNK=1.03 ~1.04. The granite is enriched in Th, U, Zr, Hf and LREE, depleted in Nb, P, Ti and HREE, with medium negative Eu anomly (δ Eu = 0.71 ~ 0.73). The value of zircon $\varepsilon_{Hf}(t)$ is $-10.05 \sim 0.37$, and the mean value is -3.34. Petrogechemical analysis shows that the granite has the characteristics of I-type granite. Its source rock is continental crust and it is from partial melting.

Conclusions: Comprehensive studies indicate that the granite formed in the syn-collision background, which represents the collision event between Qiangtang block and Lhasa block after the closure of Bangong Lake—Nujiang River ocean.

Keywords: geochemistry; zircon U-Pb age; Hf isotope; tectonic; Xueru pluton; Ban'ge(Bange) in Xizang (Tibet)

Acknowledgements: This study was supported by National Natural Science Foundation of China (No. 41702080), Deep Resources Exploration And Mining of National Key R & D Program of China (Nos. 2018YFC0604103, 2016YFC0600308), China Geological Survey (No. DD20190147). We are grateful to anonymous reviewers and editing committee for their thoughtful reviews and constructive comments

First author: GAO Ke, born in 1987, Seinor Engineerer, is mainly engaged in mineral and metallogeny; Email: gaokely@163.com

Manuscript received on: 2019-03-14; Accepted on: 2019-08-20; Edited by: ZHANG Yuxu

Doi: 10.16509/j.georeview.2019.05.008