

青藏高原羌塘中部果干加年山一带晚三叠世花岗岩的特征、锆石定年及其构造意义

胡培远¹, 李 才¹, 杨韩涛¹, 张海波¹, 于 红²

HU Pei-yuan¹, LI Cai¹, YANG Han-tao¹, ZHANG Hai-bo¹, YU Hong²

1. 吉林大学地球科学学院, 吉林 长春 130061; 2. 中国地质大学(北京), 北京 100083

1. College of Earth Science, Jilin University, Changchun 130061, Jilin, China;

2. China University of Geosciences, Beijing 100083, China

摘要:藏北羌塘果干加年山的东部出露有一处花岗岩岩体,其主要岩性为黑云母二长花岗岩和花岗细晶岩岩脉,侵入晚三叠世望湖岭组和晚石炭世—早二叠世展金岩群之中。锆石 LA-ICP-MS U-Pb 年龄测定结果表明,该花岗岩的形成时代为晚三叠世(210.3Ma±2.6Ma),略晚于区域上高压变质带的变质峰期年龄和望湖岭组底部流纹岩的年龄。岩石地球化学数据显示,该花岗岩岩体属高钾钙碱性过铝质花岗岩,形成于后碰撞环境,是岩石圈碰撞加厚之后减压过程中岩浆活动的产物,说明在 210Ma 左右果干加年山地区的构造环境开始由碰撞阶段向板内阶段转化,进入了后碰撞阶段。

关键词:青藏高原;羌塘;果干加年山;后碰撞花岗岩;锆石 LA-ICP-MS U-Pb 定年

中图分类号: P588.12⁺1; P597⁺.3

文献标志码: A

文章编号: 1671-2552(2010)12-1825-08

Hu P Y, Li C, Yang H T, Zhang H B, Yu H. Characteristic, zircon dating and tectonic significance of Late Triassic granite in the Guoganjianianshan area, central Qiangtang, Qinghai-Tibet Plateau, China. *Geological Bulletin of China*, 2010,29(12): 1825-1832

Abstract: The granite rock body located in Guoganjianianshan area, Qiangtang, Northern Tibetan Plateau mainly includes biotite adamellite and granite aplite dike and intrudes into Late Triassic Wanghuling Formation and Late Carboniferous - Early Permian Zhanjin Group-complex. LA-ICP-MS U-Pb dating were carried on the zircons of this granite rock body and the dating results showed that it was formed in Late Triassic (210.3Ma±2.6Ma). This age is slightly later than the metamorphic peak time of the high-pressure metamorphic belt in this area and the age of the rhyolite in lower Wanghuling Formation. Geochemistry studies indicate that this granites belong to high-potassium peraluminous calc-alkaline granites and were formed in post-collisional tectonic setting and by the magmatic activity of the decompression process after the collision and thickening of lithosphere, which means that the tectonic setting of Guoganjianianshan area was transforming from collision stage to intraplate stage and entered post-collision stage.

Key words: Tibetan Plateau; Qiangtang; Guoganjianianshan; post-collision granite; zircon LA-ICP-MS U-Pb dating

青藏高原经历过古特提斯、新特提斯等多个阶段的地质事件,花岗岩浆作用记录了不同时期大陆地壳形成与演化的过程。近年来许多研究者对大陆碰撞带与花岗岩带形成、演化过程的关系进行了深

入研究,发现大量的岩浆作用发生于碰撞期或碰撞期之后的后碰撞作用阶段^[1-3],其年代学研究可以为板块碰撞的时限提供有效的制约。西藏境内的同碰撞或后碰撞花岗岩主要出露于班公湖-怒江带以南

收稿日期:2010-09-03;修订日期:2010-11-24

基金项目:国家自然科学基金项目(编号:40872146、40672187)与中国地质调查局项目(编号:1212010818015)资助

作者简介:胡培远(1987-),男,在读硕士,构造地质学专业。E-mail: azure_jlu@126.com

通讯作者:李才(1953-),男,教授,博士生导师,从事青藏高原大地构造与区域地质研究。E-mail: licai010@126.com

的冈底斯—念青唐古拉和喜马拉雅—拉轨岗日构造岩浆带^[4-11]。与此相比,对西藏北部的相关研究还相对较少^[12-13]。在羌塘中部果干加年山东部发现有黑云母二长花岗岩出露,本文在野外工作的基础上,对其进行了精确的锆石 LA-ICP-MS U-Pb 定年研究,并初步探讨了其构造意义。

1 区域地质概况与花岗岩岩石学特征

果干加年山的大地构造位置处于龙木错—双湖板块缝合带之上,是冈瓦纳和欧亚 2 个大陆的结合部位,是研究青藏高原大陆碰撞、增生和古特提斯洋演化的关键地区^[14]。果干加年山夹持于龙木错—双湖缝合带南北主边界断裂之中,有大量的蛇绿混杂岩出露,地质构造复杂,断裂构造发育^[15]。晚三叠世望湖岭组是蛇绿混杂岩之上的沉积盖层,底部角度不整合于龙木错—双湖缝合带蛇绿混杂岩和晚石炭世—早二叠世展金岩群之上,顶部被渐新统喷呐湖组不整合覆盖^[16](图 1)。

研究区内花岗岩发育很少,本文所研究的花岗岩岩体位于果干加年山东部,面积约 5km²,与晚三叠世望湖岭组和晚石炭世—早二叠世展金岩群呈侵入接触关系(图 2)。花岗岩的岩性主要为黑云母二长花岗岩,细粒—中粒结构,块状构造(图版 I-a、b),矿物组成为石英(40%~45%)、斜长石(15%~20%)、碱性长石(25%~30%)、黑云母(5%~10%)及少量的磁铁矿,矿物粒度在 1~5mm 之间(图版 I-c、d);少数似斑状结构,斑晶主要为碱性长石,大小一般为 0.5cm×1cm,大者可至 1cm×3cm。此外,在黑云母二长花岗岩岩体中还可见花岗细晶岩岩脉侵入,其矿物组成与围岩相似,细粒结构,块状构造。

2 花岗岩地球化学特征

样品的主量元素、稀土元素和微量元素的分析结果见表 1。花岗岩中 SiO₂ 为 72.84%~73.95%,K₂O 为 4.25%~4.51%,TF₂O₃ 为 1.85%~2.18%,TiO₂ 为 0.22%~0.25%,Na₂O 为 2.84%~3.77%,Al₂O₃ 为 12.81%~13.71%,MgO 为 0.54%~0.68%;K₂O>Na₂O, K₂O/Na₂O=1.34~1.50,平均 1.41,略微富钾;Al 饱和指数 ASI 为 1.14~1.17;样品的里特曼指数 δ=1.62~2.08,平均 1.85,属钙碱性过铝质花岗岩。在 Si-K 图中,所有样品投点均落入高钾钙碱性系列^[17](图略,下同);在花岗岩的 R₁-R₂ 构造环境判别图解中,所

有样品投点均落入碰撞期花岗岩区;再运用 Maniar 等(1989)提出的多组主元素构造环境判别图解对花岗岩样品的构造环境进行判别,所有样品投点在 TFeO-MgO 图解、Al₂O₃-SiO₂ 图解、TFeO/(TFeO+MgO)-SiO₂ 图解和(TFeO+MgO)-CaO 图解中均落入后造山花岗岩(POG)区。

花岗岩样品的稀土元素总量偏低,为 78×10⁻⁶~109×10⁻⁶,平均值为 94×10⁻⁶,轻稀土元素富集,重稀土元素亏损,LREE/HREE=4.49~4.65,轻重稀土元素分馏不明显(La_N/Yb_N=2.94~3.22),具较强烈的 Eu 负异常(δEu=0.45~0.57,平均值为 0.51);Rb、Th 和 K 较强烈富集,Ba、P 和 Ti 强烈亏损,Nb 和 Sr 略微亏损,大离子亲石元素相对富集,高场强元素相对亏损。其中,Nb、P、Ti 明显亏损是后碰撞花岗岩的微量元素图谱特征。在 Pearce 等^[18]提出的 Rb-(Y+Nb)和 Nb-Y 图解上所有样品投点均落于同碰撞花岗岩(Syn-COLG)和火山弧花岗岩(VAG)的过渡区域。事实上现在的研究表明,大量在 Pearce 等^[18]图解中的同碰撞花岗岩其实是后碰撞的产物^[3]。综合主量元素、稀土元素和微量元素的特征,果干加年山花岗岩应当形成于后碰撞环境。

3 花岗岩锆石 LA-ICP-MS U-Pb 测年

为了精确地测定果干加年山花岗岩的形成年龄,采用 LA-ICP-MS 法对花岗岩中的锆石进行了 U-Pb 同位素年龄测试。年龄样品采集于花岗岩岩体的中心位置,坐标为 N33°37'16"、E86°15'34"。

3.1 分析方法

锆石在河北省区域地质调查院进行分选,在双目镜下挑选出锆石单矿物。样品靶的制备在中国地质科学院地质研究所进行。锆石的阴极荧光图像分析在北京大学物理学院电镜室的阴极荧光分析系统(FEI 公司生产的 Quatan 200F 型场发射环境扫描电镜+Gatan 公司 Mono CL3 阴极荧光谱仪)上完成,分析方法和条件见参考文献[19]。

锆石 U-Th-Pb 年龄分析在中国地质大学地质实验中心元素地球化学研究室完成,分析仪器为由美国 New Wave Research Inc. 公司生产的 193nm 激光剥蚀进样系统(UP 193SS)和美国 AGILENT 科技有限公司生产的 Agilent 7500a 型四级杆等离子体质谱仪联合构成的激光等离子体质谱仪(LA-ICP-MS)。本次分析 193nm 激光器工作频

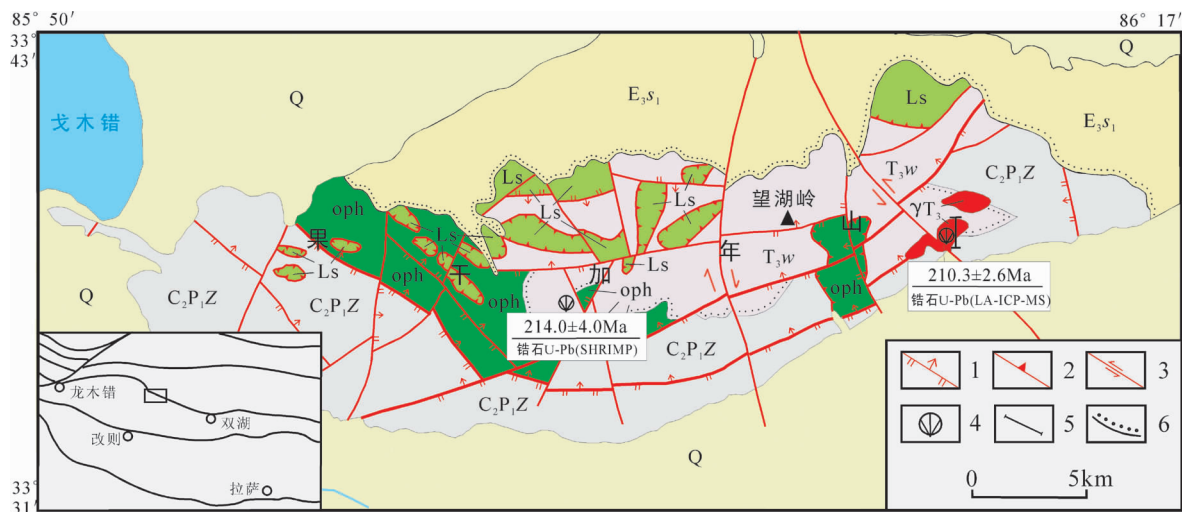
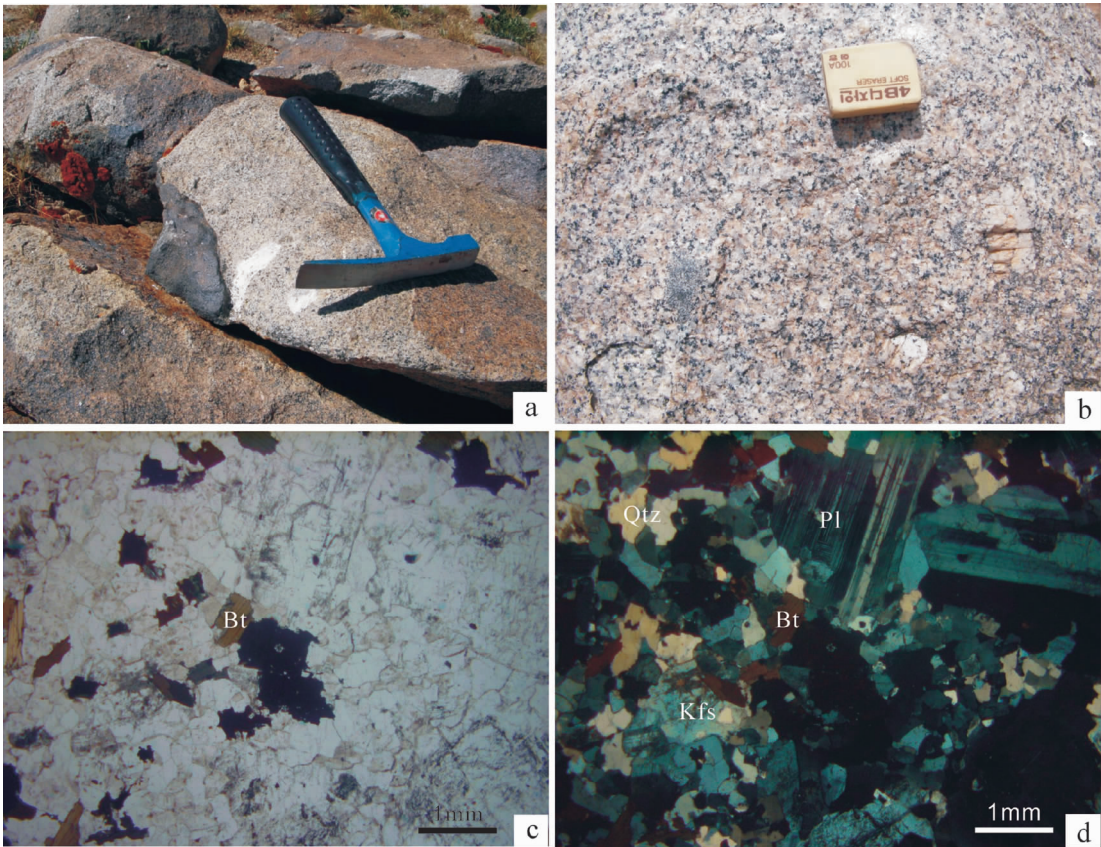


图 1 青藏高原羌塘中部果干加年山地区区域地质简图

Fig. 1 Geological sketch map of the Guoganjianianshan area of the central Qiangtang in northern Tibet

1—区域性主干断层;2—逆冲推覆断层;3—平移断层;4—同位素定年样品;5—地质剖面;6—角度不整合界线;
oph—蛇绿混杂岩; C₂P₁Z—展金岩群; T_{3w}—望湖岭组; Ls—外来岩块; E_{3s1}—喷呐湖组; γT₃—晚三叠世花岗岩; Q—第四系沉积物

图版 I Plate I



a—花岗岩野外露头照片(远);b—花岗岩野外露头(近);c—花岗岩镜下照片(单偏光);
d—花岗岩镜下照片(正交偏光);Qtz—石英;Kfs—钾长石;Pl—斜长石;Bt—黑云母

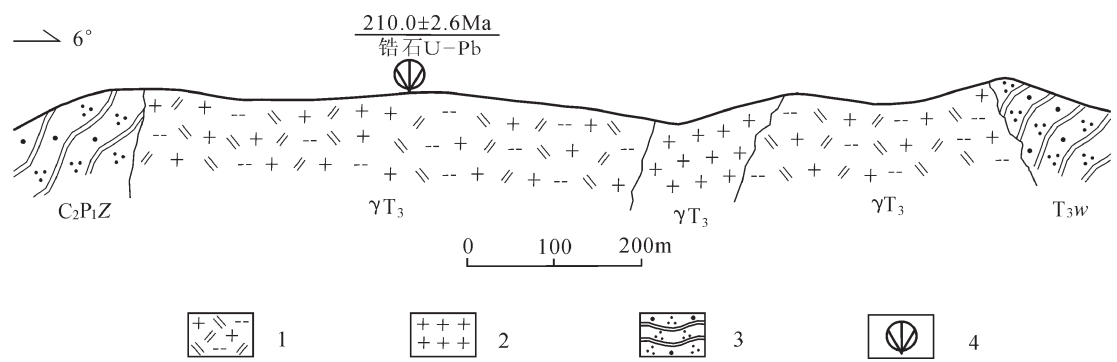


图 2 果干加年山花岗岩实测剖面

Fig. 2 Geologic section of the granite in the Guoganjianianshan area
1—黑云母二长花岗岩; 2—花岗细晶岩岩脉; 3—变质石英砂岩; 4—同位素定年样品;
C₂P₁Z—晚石炭世—早二叠世展金岩群; γT₃—晚三叠世花岗岩; T_{3w}—晚三叠世望湖岭组

表 1 果干加年山花岗岩主量元素、稀土元素和微量元素分析结果
Table 1 Concentrations of major elements, REE and trace elements
of the granite in the Guoganjianianshan area

样品号	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	TFe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	LOI	TOTAL
PM601-6-h2	73.95	0.22	12.81	1.85	0.06	0.54	1.82	2.84	4.25	<0.02	0.46	98.81
08-03T	72.84	0.25	13.71	2.18	0.03	0.68	1.91	3.37	4.51	0.09	0.60	100.17
样品号	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	
PM601-6-h2	14.32	30.42	3.43	12.67	3.01	0.58	3.23	0.56	3.70	0.78	2.43	
08-03T	20.60	42.50	4.72	17.40	4.18	0.63	4.45	0.78	5.06	1.02	3.29	
样品号	Tm	Yb	Lu	Y	ΣREE	LREE	HREE	LREE/HREE	La _N /Yb _N	δEu	δCe	
PM601-6-h2	0.40	2.83	0.43	24.18	78.78	64.43	14.35	4.49	2.94	0.57	1.04	
08-03T	0.51	3.72	0.55	29.10	109.41	90.03	19.38	4.65	3.22	0.45	1.04	
样品号	Li	Be	Sc	V	Cr	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Rb	
PM601-6-h2	13.80	3.96	4.64	28.28	8.65	3.04	4.90	3.14	43.28	14.84	212.20	
08-03T	10.50	5.43	6.03	29.40	5.18	3.21	2.78	2.78	17.90	18.90	282.00	
样品号	Sr	Y	Zr	Nb	Cs	Ba	Hf	Ta	Pb	Th	U	
PM601-6-h2	153.10	24.18	98.98	11.25	13.10	322.40	3.07	1.83	34.80	21.76	3.78	
08-03T	156.00	29.10	93.90	14.70	16.00	360.00	3.63	3.05	282.00	30.30	12.30	

注:由中国地质大学(北京)地学实验中心测试;氧化物含量为%;稀土元素和微量元素含量为 10⁻⁶

率为 10Hz,剥蚀物质载气为高纯度氦气,流量为 0.7L/min;Angilent 等离子质谱仪工作条件:冷却气(Ar)流量 1.13L/min;测试点束斑直径为 36mm,剥蚀采样时间为 45s。元素含量以 NIST612 为外部标准进行标定,Si 为内部标准计算;锆石 U-Pb 年龄用澳大利亚 Glitter4.4 数据处理软件计算获得,所用的标准锆石为 91500,单个数据点误差均为 1σ,加权平均值误差为 2σ,平均年龄值选用 ²⁰⁶Pb/²³⁸U 年龄。

3.2 分析结果
分离出的锆石阴极发光图像显示,锆石具有较典型的岩浆振荡环带结构(图 3),且晶形比较完整,长约 200μm,长/宽比为 1:3~2:5,符合岩浆型锆石的特点。从样品测试得到的同位素比值和年龄数据(表2)可见,该样品的 15 个测点的 Th 含量变化为 203×10⁻⁶~995×10⁻⁶,U 含量变化为 535×10⁻⁶~3278×10⁻⁶,Th/U 比值为 0.22~0.46,全部大于 0.1,且 Th、

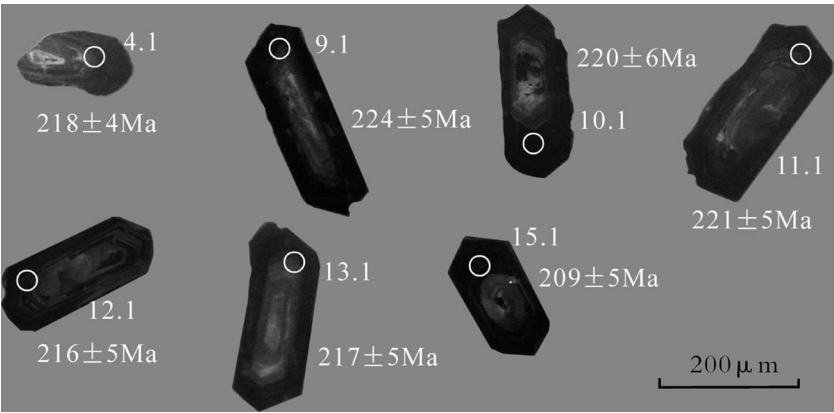


图 3 花岗岩中典型锆石的 CL 照片和 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄
Fig. 3 CL images and $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ ages of typical zircons of the granite

U 含量呈现出较好的正相关关系(图 4),而且这些测点多位于明显的岩浆环带上。锆石的稀土元素组成(表 3)及其球粒陨石标准化图解(图 5)表明,锆石中稀土元素总量较高,为 $822 \times 10^{-6} \sim 3052 \times 10^{-6}$,平均值为 1533×10^{-6} ,轻稀土元素亏损,重稀土元素强烈富集,具有不同程度的 Ce 异常($\delta\text{Ce}=0.62 \sim 137.51$,平均值为 21.58)和明显的 Eu 负异常($\delta\text{Eu}=0.12 \sim 0.35$,平均值为 0.23),符合花岗岩中锆石的特征^[20-21]。锆石中 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 比值介于 0.0314~0.0340 之间, $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ 为 0.228~0.250,所有的数据点在 U-Pb 谐和图(图 6)上集中落在谐和线上及其附近,获得 $210.3\text{Ma} \pm 2.6\text{Ma}$ 的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 谐和年龄。

通过上述分析,果干加年山花岗岩的锆石 LA-ICP-MS U-Pb 年龄为 $210.3\text{Ma} \pm 2.6\text{Ma}$,为花岗岩的岩浆结晶年龄,时代为晚三叠世。

4 讨论与结论

果干加年山位于龙木错-双湖板块缝合带中,以地质内容复杂和引起的讨论而闻名,是研究古特提斯洋演化和冈瓦纳大陆与欧亚大陆汇合事件的关键区域。2007—2009 年在果干加年山地区发现了较完整的晚古生代蛇绿岩组合,施建荣等^[22]对其中的斜长花岗岩进行了地球化学研究,初步认为斜长花岗岩是俯冲洋壳高压条件下直接部分熔融的产物,产于消减带上的环境(SSZ 型),表明果干加年山地区在晚古生代存在一定规模的洋盆(即古特提斯洋),与羌塘中部角木日^[23-24]、红脊山^[25]等地的二叠纪蛇绿岩的研究成果相一致。

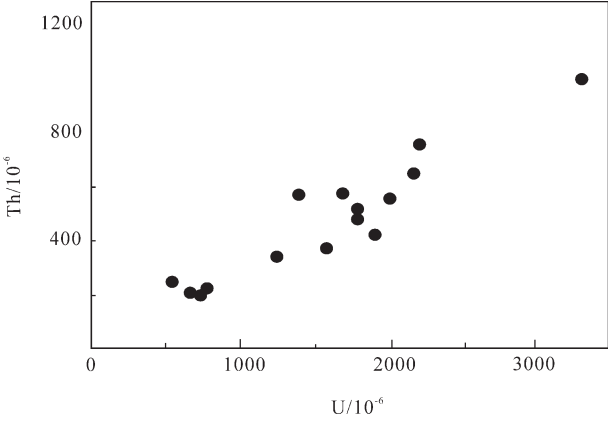


图 4 花岗岩锆石 U-Th 图解
Fig. 4 Zircon Th-U diagram of the granite

2004 年 Li 等^[26]在果干加年山以南的片石山发现了榴辉岩,研究结果表明,榴辉岩的变质峰期年龄为 243Ma ^[27],折返年龄为 220Ma 左右^[28-29]。董永胜等^[30]和张修政等^[31]分别对榴辉岩的围岩石榴子石白云母片岩和硬玉石榴子石二云母片岩进行了研究,认为榴辉岩的围岩至少经历了 2 期变质作用,并且主期蓝片岩相高压变质作用的时代为 218Ma 左右,说明冈瓦纳大陆与欧亚大陆在晚三叠世开始碰撞,古特提斯洋闭合,进入碰撞造山阶段。

此外,在果干加年山还发现了一个重要的不整合面,未变质的沉积岩(望湖岭组)以角度不整合覆盖于蛇绿混杂岩和晚石炭世—早二叠世展金岩群之上,上覆地层底部流纹岩夹层的锆石 SHRIMP U-Pb 年龄为 $(214.0 \pm 4.0)\text{Ma}$ (图 1)^[16],表明望湖岭组于晚三叠世诺利期(Norian stage)开始沉积;而不整合面

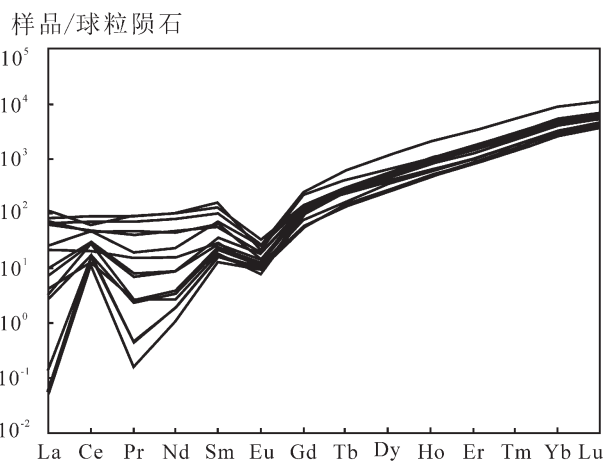


图5 花岗岩中锆石的 REE 球粒陨石标准化曲线

Fig. 5 Chondrite-normalized REE patterns of zircons in the granite

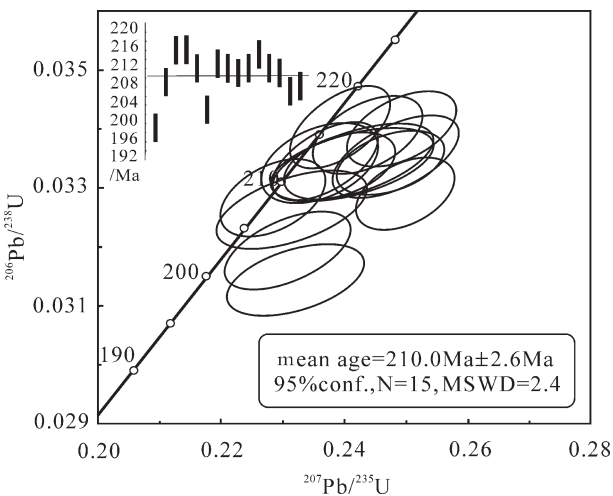


图6 花岗岩中锆石的 U-Pb 谐和图

Fig. 6 LA-ICP-MS zircon U-Pb concordia diagram of the granite

表 2 花岗岩锆石 LA-ICP-MS U-Th-Pb 同位素分析结果

Table 2 LA-ICP-MS U-Th-Pb data for zircons from the granite

点号	Th / 10^{-6}	U / 10^{-6}	Pb / 10^{-6}	Th/U	^{238}U / ^{232}Th	同 位 素 比 值			$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ /Ma(1 σ)	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ /Ma(1 σ)	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ /Ma(1 σ)
						$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$			
1.1	556	1987	70	0.28	3.57	0.0535 $\pm$ 0.0018	0.2320 $\pm$ 0.0073	0.0314 $\pm$ 0.0004	352 $\pm$ 79	212 $\pm$ 6	199 $\pm$ 3
2.1	995	3274	120	0.30	3.29	0.0550 $\pm$ 0.0011	0.2498 $\pm$ 0.0054	0.0329 $\pm$ 0.0004	413 $\pm$ 27	226 $\pm$ 4	209 $\pm$ 3
3.1	339	1226	45	0.28	3.61	0.0531 $\pm$ 0.0013	0.2491 $\pm$ 0.0060	0.0340 $\pm$ 0.0004	335 $\pm$ 32	226 $\pm$ 5	216 $\pm$ 3
4.1	509	1778	66	0.29	3.49	0.0510 $\pm$ 0.0011	0.2393 $\pm$ 0.0054	0.0340 $\pm$ 0.0004	241 $\pm$ 29	218 $\pm$ 4	216 $\pm$ 3
5.1	248	535	20	0.46	2.15	0.0511 $\pm$ 0.0014	0.2359 $\pm$ 0.0067	0.0334 $\pm$ 0.0005	247 $\pm$ 41	215 $\pm$ 5	212 $\pm$ 3
6.1	217	757	26	0.29	3.49	0.0524 $\pm$ 0.0015	0.2308 $\pm$ 0.0065	0.0319 $\pm$ 0.0004	304 $\pm$ 40	211 $\pm$ 5	203 $\pm$ 3
7.1	417	1884	68	0.22	4.52	0.0537 $\pm$ 0.0016	0.2485 $\pm$ 0.0068	0.0335 $\pm$ 0.0004	360 $\pm$ 70	225 $\pm$ 6	213 $\pm$ 3
8.1	642	2145	81	0.30	3.34	0.0524 $\pm$ 0.0018	0.2418 $\pm$ 0.0078	0.0335 $\pm$ 0.0004	303 $\pm$ 81	220 $\pm$ 6	212 $\pm$ 3
9.1	209	748	27	0.28	3.58	0.0537 $\pm$ 0.0014	0.2465 $\pm$ 0.0065	0.0333 $\pm$ 0.0004	356 $\pm$ 36	224 $\pm$ 5	211 $\pm$ 3
10.1	570	1668	62	0.34	2.93	0.0525 $\pm$ 0.0018	0.2420 $\pm$ 0.0078	0.0334 $\pm$ 0.0004	309 $\pm$ 81	220 $\pm$ 6	212 $\pm$ 3
11.1	368	1559	57	0.24	4.24	0.0521 $\pm$ 0.0012	0.2437 $\pm$ 0.0059	0.0339 $\pm$ 0.0004	292 $\pm$ 32	221 $\pm$ 5	215 $\pm$ 3
12.1	566	1374	51	0.41	2.43	0.0513 $\pm$ 0.0012	0.2369 $\pm$ 0.0057	0.0335 $\pm$ 0.0004	255 $\pm$ 32	216 $\pm$ 5	212 $\pm$ 3
13.1	203	659	24	0.31	3.24	0.0518 $\pm$ 0.0014	0.2379 $\pm$ 0.0067	0.0333 $\pm$ 0.0005	278 $\pm$ 40	217 $\pm$ 5	211 $\pm$ 3
14.1	489	1775	64	0.28	3.63	0.0514 $\pm$ 0.0019	0.2312 $\pm$ 0.0080	0.0326 $\pm$ 0.0004	258 $\pm$ 87	211 $\pm$ 7	207 $\pm$ 3
15.1	750	2185	79	0.34	2.91	0.0504 $\pm$ 0.0012	0.2282 $\pm$ 0.0057	0.0328 $\pm$ 0.0004	214 $\pm$ 34	209 $\pm$ 5	208 $\pm$ 3

之下强烈变形的阳起片岩(原岩为蛇绿岩中的玄武岩)中阳起石的 Ar-Ar 年龄为(219.7 $\pm$ 6.5)Ma^[32],说明果干加年山地区冈瓦纳板块与扬子板块在 6~8Ma 的时间内完成了碰撞闭合的过程,开始接受沉积。

以上研究成果为古特提斯洋的演化时限提供了很好的制约,但是无法确定古特提斯洋闭合之后的演化过程,即无法解决龙木错-双湖板块缝合带何时由碰撞阶段进入板内演化阶段。其主要原因是果干加年山地区花岗岩的出露面积很少,区内花岗岩

的研究程度很低。果干加年山花岗岩的发现填补了这一空白,其岩浆结晶年龄为(210.3 $\pm$ 2.6)Ma,略晚于高压变质带的峰期变质年龄和望湖岭组底部流纹岩的年龄,与望湖岭组的沉积时代一致;地球化学数据的分析结果表明其形成于冈瓦纳板块与扬子板块碰撞闭合之后的减压过程,属后碰撞花岗岩;从而将果干加年山地区冈瓦纳板块与扬子板块的主碰撞期限制在 210Ma 之前,即在 210Ma 左右果干加年山地区的构造环境开始由碰撞阶段向板内阶段转化,进入

表 3 花岗岩中锆石稀土元素含量
Table 3 REE contents of the zircons from the granite

点号	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dv	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
1.1	70.42	46.55	47.58	46.55	64.58	14.69	113.6	247.1	490.1	846.1	1404	2454	4382	5742
2.1	26.20	48.24	19.48	22.68	71.83	25.98	250.4	594.1	1180	2081	3169	5264	9133	11402
3.1	4.34	12.88	2.69	2.78	18.89	7.95	101.8	255.1	511.6	924.7	1510	2458	4269	5428
4.1	7.44	28.61	7.93	8.89	27.91	12.62	101.6	244.7	505.9	918.4	1489	2498	4540	5758
5.1	0.05	16.29	0.46	1.85	16.54	10.16	60.73	131.8	267.0	487.3	799.3	1395	2572	3563
6.1	0.14	13.04	0.44	1.92	16.34	11.14	75.57	166.6	344.4	610.6	1006	1762	3255	4498
7.1	21.98	20.82	15.43	15.76	29.41	9.98	103.6	271.1	575.7	1072	1809	3135	5565	7227
8.1	109.9	64.77	91.58	100.5	156.9	22.26	219.5	398.1	650.6	1101	1684	2769	4947	6386
9.1	85.99	87.34	89.37	106.8	131.4	32.24	151.6	231.6	380.4	635.3	1021	1771	3205	4452
10.1	65.57	49.30	41.58	44.43	57.84	19.59	128.2	288.2	591.9	1058	1777	3016	5430	7269
11.1	69.20	73.35	70.53	81.61	100.6	26.90	143.5	247.6	446.4	794.0	1263	2187	3994	5273
12.1	9.87	31.31	7.21	8.80	36.99	18.33	138.9	308.3	616.8	1097	1753	2891	5150	6887
13.1	0.05	12.91	0.16	1.04	13.27	9.67	57.47	138.5	281.4	510.4	865.9	1545	2893	3977
14.1	2.77	17.24	2.29	3.43	21.37	11.14	97.08	259.1	542.1	980.0	1598	2686	4813	6331
15.1	3.22	27.19	2.59	3.88	25.23	14.26	120.0	288.2	592.8	1068	1704	2834	4874	6388

注:元素含量为 10⁻⁶

了后碰撞阶段。

Paul Kapp 等^[33]报道位于果干加年山东南的冈塘错花岗岩的年龄为(210±5)Ma;黄小鹏等^[12]对冈塘错花岗岩的地球化学特征进行了研究,认为其成因类型为同碰撞花岗岩,是冈瓦纳大陆与欧亚大陆碰撞期岩浆活动的物质记录。熊兴国等^[13]分析了羌塘中部达尔应地区的强过铝质花岗岩的地球化学特征,认为其成因类型也为同碰撞花岗岩;同时也对达尔应花岗岩岩体进行了单颗粒锆石 U-Pb 法年龄测试,获得下交点年龄值为(236±56)Ma。这 2 个年龄均不晚于果干加年山花岗岩的岩浆结晶年龄,说明将 210Ma 左右作为龙木错-双湖板块缝合带主碰撞期的上限在区域上是有意义的。

综上所述,果干加年山花岗岩形成于后碰撞环境,并且其岩浆结晶年龄为(210.3±2.6)Ma,与果干加年山地区及其邻区已有的研究成果一致。将果干加年山地区龙木错-双湖板块缝合带的主碰撞期的上限限制在 210Ma 左右,为研究冈瓦纳大陆与欧亚大陆汇聚事件的演化历史提供了新的年代学依据。

致谢:成文过程中得到徐锋老师和吉林大学西藏科研队全体成员的帮助,在此表示诚挚的谢意。

参考文献

[1]韩宝福.后碰撞花岗岩类的多样性及其构造环境判别的复杂性[J].

地学前缘,2007,14(3):64-72.
[2]刘新秒.后碰撞岩浆岩的大地构造环境及特征[J].前寒武纪研究进展,2000,23(2):121-127.
[3]肖庆辉,邓晋福,马大荃,等.花岗岩研究与思维方法[M].北京:地质出版社,2002.
[4]廖忠礼,莫宣学,潘桂棠,等.过铝花岗岩的研究动向和进展——兼论西藏过铝花岗岩[J].沉积与特提斯地质,2004,24(2):22-29.
[5]廖忠礼,莫宣学,潘桂棠,等.西藏过铝花岗岩副矿物特征及岩石成因意义[J].地球学报,2006,27(2):115-122.
[6]廖忠礼,莫宣学,潘桂棠,等.西藏过铝花岗岩锆石群型的成因信息[J].大地构造与成矿学,2006,27(2):63-71.
[7]廖忠礼,莫宣学,潘桂棠,等.西藏过铝花岗岩的岩石化学特征及成因探讨[J].地质学报,2006,80(9):1329-1341.
[8]童劲松,钟华明,夏军,等.藏南洛扎地区过铝质花岗岩的地球化学特征及构造背景[J].地质通报,2003,22(5):308-318.
[9]卢书炜,任建德,白国典,等.西藏尼玛县南部中晚侏罗世松木果强过铝花岗岩带的发现及其意义[J].中国地质,2006,33(2):232-239.
[10]邓晋福,赵海玲,赖绍聪,等.白云母/二云母花岗岩形成与陆内俯冲作用[J].地球科学,1994,19(2):139-147.
[11]翟庆国,李才,王天武,等.西藏折无地区晚白垩世二云母花岗岩地球化学及构造环境[J].吉林大学学报(地球科学版),2004,34(1):27-31.
[12]黄小鹏,李才,翟庆国,等.西藏羌塘中部玛依岗日地区印支期花岗岩的地球化学特征及其形成环境[J].地质通报,2007,26(12):1646-1653.
[13]熊兴国,岳龙,徐安全,等.西藏羌塘达尔应强过铝花岗岩地球化学特征及地球动力学意义[J].沉积与特提斯地质,2006,26(4):40-46.
[14]李才,黄小鹏,翟庆国,等.龙木错-双湖-吉塘板块缝合带与青藏高原冈瓦纳北界[J].地学前缘,2006,13(4):136-147.

- [15]李才,董永胜,翟庆国,等.青藏高原羌塘早古生代蛇绿岩——堆晶辉长岩的锆石 SHRIMP 定年及其意义[J].岩石学报, 2008, 24(1): 31–36.
- [16]李才,翟庆国,董永胜,等.青藏高原羌塘中部果干加年山上三叠统望湖岭组的建立及意义[J].地质通报,2007,26(8):1003–1008.
- [17]Peccherillo A, Taylor S R. Geochemistry of Eocene cal–alkaline volcanic rocks from the Kastamonu area, northern Turkey[J]. Contrib. Mineral. Petrol., 1976, 58(1): 63–81.
- [18]Pearce J A, Harris N B W, Tindle A G. Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks[J]. J. Petrol., 1984, 25(4): 956–983.
- [19]陈莉,徐军,苏犁.场发射环境扫描电子显微镜上阴极荧光谱仪特点及其在锆石研究中的应用[J].自然科学进展,2005,15(11):1403–1408.
- [20]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.
- [21]李长民.锆石成因矿物学与锆石微区定年综述[J].地质调查与研究,2009,33(3):161–174.
- [22]施建荣,董永胜,王生云.藏北羌塘中部果干加年山斜长花岗岩定年及其构造意义[J].地质通报,2009,28(9):1236–1243.
- [23]翟庆国,李才,程立人,等.西藏羌塘角木日地区二叠纪蛇绿岩的地质特征及意义[J].地质通报,2004,23(12):1228–1230.
- [24]翟庆国,李才,程立人,等.西藏羌塘中部角木日地区二叠纪玄武岩的地球化学特征及其构造意义[J].地质通报,2006,25(12): 1419–1427.
- [25]陆济璞,张能,黄位鸿,等.藏北羌塘中部红脊山地区蓝闪石+硬柱石变质矿物组合的特征及意义[J].地质通报,2006,25(1/2):70–75.
- [26]Li C, Zhai Q G, Dong Y S, et al. Discovery of eclogite and its significance from the Qiangtang area, central Tibet[J]. Chinese Science–Bulletin, 2006, 51(9): 1095–1100.
- [27]翟庆国,李才,董永胜,等.西藏羌塘中部荣玛地区蓝片岩岩石学、矿物学和 Ar–Ar 年代学[J].岩石学报,2009,25(9):2281–2288.
- [28]李才,翟庆国,陈文,等.青藏高原羌塘中部榴辉岩 Ar–Ar 定年[J].岩石学报,2006,22(12):2843–2849.
- [29]Li Cai, Zhai Qingguo, Dong Yongsheng, et al. High–Pressure Eclogite–Blueschist Metamorphic Belt and Closure of Paleo–Tethys Ocean in Central Qiangtang, Qinghai–Tibet Plateau[J]. Journal of Earth Science, 2009, 20(2): 27–37.
- [30]董永胜,张修政,施建荣,等.藏北羌塘中部高压变质带中石榴子石白云母片岩的岩石学和变质特征[J].地质通报,2009,28(9):1201–1206.
- [31]张修政,董永胜,施建荣,等.羌塘中部龙木错–双湖缝合带中硬玉石榴石二云母片岩的成因及意义[J].地学前缘,2010,17(1):93–103.
- [32]李才,翟庆国,陈文.青藏高原龙木错–双湖板块缝合带闭合的沉积学证据——来自果干加年山蛇绿岩与流纹岩 Ar–Ar 和 SHRIMP 年龄制约[J].岩石学报,2007,23(5):911–918.
- [33]Paul Kapp, An Yin, Craig E Manning, et al. Tectonic evolution of the early Mesozoic blueschist–bearing Qiangtang metamorphic belt, central Tibet[J]. Tectonics, 2003, 22(4): 1043, doi: 10.1029/ 2002TC001383.