

滇西芒市地区钾长花岗岩的成因及构造背景: 岩石地球化学和锆石 U-Pb 同位素年代学证据

邹光富¹ 毛 英² 邹 鑫³ 毛 琼⁴ 罗 滨⁴
林仕良¹ 丛 峰¹ 李再会¹ 谢 韬¹

(1.成都地质矿产研究所,四川 成都 610082;2.成都岩矿分析测试中心,四川 成都 610081;
3.北京大学 心理学系,北京 100871;4.华北油田勘探开发研究院,河北 任丘 062552)

摘要:腾冲地块芒市地区钾长花岗岩分布于芒市北部五叉路乡核桃洼、江东乡杨家寨和轩岗乡南约村一带,主要由钾长花岗岩组成。芒市地区钾长花岗岩大部分是作者通过 1:5 万区域地质填图,从原高黎贡山群中解体出来的。为了限定该地区岩浆事件的准确时间,本文对该区钾长花岗岩进行了 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年和地球化学研究。测得芒市地区钾长花岗岩中锆石的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄加权平均值为 (60.8 ± 0.8) Ma, 其形成时代属于古近纪。该区钾长花岗岩具有高 SiO_2 (67.97%~80.62%)、高碱 ($\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O} = 5.08\% \sim 8.79\%$)、中-高钾 ($\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O} = 1.11 \sim 17.80$)、低 P_2O_5 含量 (0.01%~0.15%) 的特征。铝饱和指数 (A/CNK) 介于 1.03~2.31 之间, 岩石属钾玄岩-高钾钙碱性过铝质-强过铝质 S 型花岗岩。岩石总体上富集大离子亲石元素 Rb、Th、U、Ta、La、Pb、Nd、Sm、Gd 等, 明显亏损高场强元素 Ba、Nb、Ce、Sr、Zr、Hf、Eu 等。稀土元素总量 (ΣREE) 为 $56 \times 10^{-6} \sim 323 \times 10^{-6}$, 平均为 183×10^{-6} , 稀土元素配分曲线呈右倾型, La_N/Yb_N 为 1.58~41.60, $\delta \text{Eu} = 0.18 \sim 0.71$, 显示弱到中等程度的负铕异常, 具有明显的轻稀土富集, 重稀土亏损的特征。地球化学研究表明, 该花岗岩是以含粘土的变质杂砂岩和粘土岩部分熔融形成的, 岩浆可能来源于本区中晚元古代高黎贡山群为代表的地壳物质的部分熔融。是典型壳源成因类型, 具岛弧型同碰撞花岗岩特征。该区古近纪钾长花岗岩的形成表明, 在 60.8 Ma 以前, 雅鲁藏布江-密支那洋已关闭, 印度板块与冈底斯-腾冲板块之间的俯冲、碰撞作用已经发生, 并处于岩浆弧形成阶段, 为印度板块与冈底斯-腾冲板块之间俯冲、碰撞、成弧造山构造岩浆活动的响应。古近纪钾长花岗岩形成时代及其构造环境的厘定, 为进一步探讨腾冲地块构造演化提供了新证据。

关键词:古近纪钾长花岗岩; 锆石 U-Pb 定年; 地球化学; 构造意义; 腾冲地块; 滇西

中图分类号: P588.12; P597+.3 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-3657(2013)05-1421-12

滇西腾冲地块位于班公湖—怒江—龙陵—瑞丽板块缝合带与雅鲁藏布江—密支那板块缝合带之间, 为冈底斯—腾冲板块的组成部分, 属于西南三江构造带南段, 是青藏高原冈底斯构造岩浆岩带的东(南)延部分^[1,2]。为东特提斯构造带的重要组成部分, 是研究青藏高原东缘造山带形成演化的重要窗口。该区构造岩浆活动频繁, 地质构造复杂而独特, 历来受到中外地质学家们的关注。多期次强烈的构造岩

浆活动导致在腾冲地块中形成多期花岗岩浆的侵入, 并形成以不同类型花岗岩为主的波密—腾冲构造岩浆带^[3]。前人对腾冲地块部分花岗岩做过一些岩石学、地球化学及 Rb-Sr 和锆石 U-Pb 年龄测试工作^[4-8]但对本文工作区花岗岩的时代及侵入期次、花岗岩的时空分布及岩石学、地球化学特征缺乏相应的研究。笔者通过对滇西芒市和梁河地区详细的 1:5 万区域地质填图, 在滇西芒市北部五叉路乡核桃洼、

收稿日期: 2012-12-03; 改回日期: 2013-04-09

基金项目: 中国地质调查局项目“云南 1:5 万梁河县、江东、帕底幅区域地质调查项目”(1212010784007)资助。

作者简介: 邹光富, 男, 1963 年生, 博士, 研究员, 长期从事青藏高原区域地质调查和矿产资源研究工作; E-mail: zguangfu@163.com。

江东乡杨家寨和轩岗乡南约村一带从原高黎贡山群中解体出了古近纪钾长花岗岩,圈定了其空间分布特征(图1)。本文以本次圈定的古近纪钾长花岗岩为研究对象,通过对其岩石学、地球化学及其锆石 LA-ICP-MS U-Pb 年龄研究,揭示其形成的时代、岩石成因,探讨其大地构造背景。为建立腾冲地块岩浆活

动的年代学框架和探讨腾冲地块中新生代花岗岩形成的大地构造环境及其地质演化历史提供科学依据。

1 地质背景

研究区古近纪钾长花岗岩位于腾冲地块芒市北部五叉路乡核桃洼、江东乡杨家寨和轩岗乡南约村

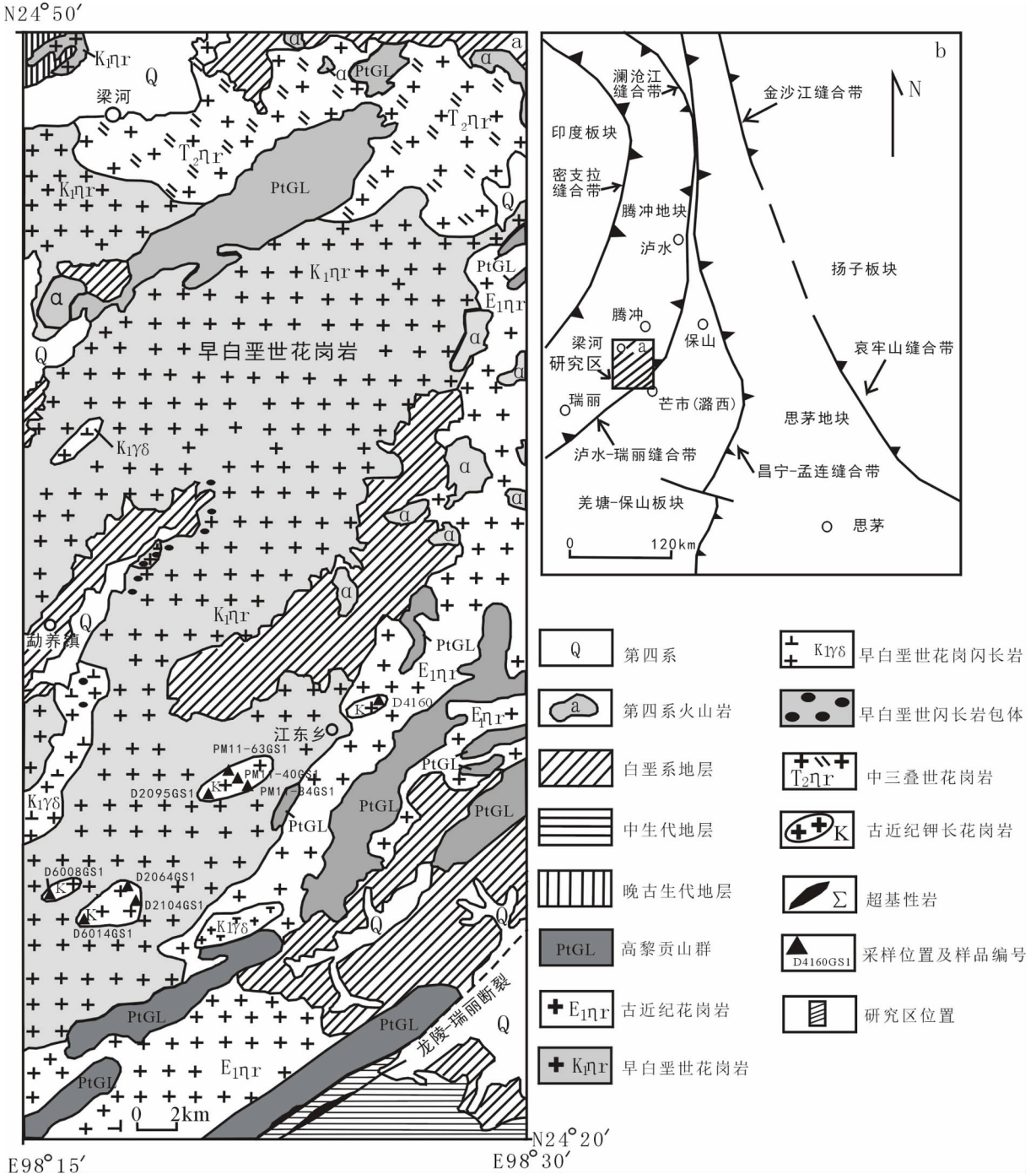


图1 研究区区域地质简图及采样位置

Fig.1 Simplified geological map of the study area, showing sampling positions

一带,东以泸水—瑞丽板块缝合带与保山地块为界,西以密支那板块缝合带与印度板块相邻(图 1)。区内出露的最老地层为元古宙高黎贡山群结晶基底,其岩性主要为黑云斜长片麻岩、花岗片麻岩、混合岩、云母片岩、云母石英片岩、斜长角闪岩、黑云母斜长变粒岩、大理岩及石英岩^[1,7,9],变质程度达绿片岩相—角闪岩相。向南西延至缅甸境内称为 Mogok 岩系^[1,9]。研究区北西部主要地层为古生代下石炭统邦读组(C_1b),岩性组合为灰、灰紫色中厚层状浅变质长石石英细砂岩、浅变质粉砂岩、灰色绢云板岩、粉砂质板岩、灰色钙质板岩夹白云岩、大理岩。研究区中部和东北部主要分布有新近纪芒棒组(N_2m),为一套陆相沉积的砾岩、砂岩和粘土岩夹火山岩、褐煤层。第四纪火山和沉积岩主要分布于研究区西北部梁河、西部勐养镇及东部江东乡一带(图 1)。研究区广泛发育三叠纪、早白垩世和古近纪花岗岩(图 1)。

2 岩体地质特征

研究区古近纪钾长花岗岩体在平面上呈不规则透镜状、岩株状,呈 NE—SW 向带状展布,与区域构造方向一致(图 1)。岩体与早白垩世花岗岩和古近纪花岗岩呈侵入接触关系(图 1)。

古近纪钾长花岗岩岩石具中粒花岗结构和似斑状结构,眼球状构造,主要矿物组合为钾长石(45%~48%)+斜长石(5%~10%)+石英(30%~35%)+黑云母(5%)。钾长石(主要为微斜长石)多呈压扁拉长的眼球状,大小为 1 mm×4 mm~5 mm×10 mm,内部含微条纹,格子双晶发育(图 2-a~d)。斜长石呈板状、碎斑状,大小为 0.5~1.5 mm,具轻度的绢云母化、高岭石化现象。石英呈它形粒状、条带状,粒度 0.3~1 mm,填于钾长石、斜长石颗粒间,具锯齿状颗粒边界。黑云母呈细片状、条带状,绿泥石化明显。副矿物主要有锆石、帘石、榍石、磁铁矿和磷灰石等,锆石晶形较好,呈长柱状,大小为 0.02~0.3 mm。

用于本文研究的 9 件钾长花岗岩样品采自于芒市北部五叉路乡核桃洼、江东乡杨家寨和轩岗乡南约村一带花岗岩体中,采样位置示于图 1。

3 分析方法

本文用于主量元素和微量元素测定的样品为代表性新鲜样品,单件重量为 2 kg,用球磨方法将其粉碎至 200 目以下。主量元素分析在国土资源部成

都地质矿产研究所完成,分析方法为 X-荧光光谱法(XRF),分析误差 1%~3%。微量元素分析在中国科学院地球化学研究所矿床地球化学国家重点实验室完成,分析方法为等离子质谱(ICP-MS),分析准确度优于 5%。主量元素、微量元素分析结果见表 1。

本次用于 LA-ICP-MS U-Pb 同位素地质年代学研究所用样品的锆石挑选在河北省廊坊区域地质调查研究院完成。锆石样品经常规的粉碎、磁选和重选,然后在双目镜下挑选晶形完好的锆石颗粒,与标准锆石 TEM 一起粘贴在环氧树脂中,抛光后制成样靶,用于阴极发光(CL)照相和随后的 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 分析。锆石阴极发光照相和 LA-ICP-MS 分析在中国地质大学(武汉)地质过程与矿产资源国家重点实验室完成,使用的 ICP-MS 为 ELan6100-DRC,激光剥蚀系统为德国 LamdaPhysik 公司的 GeoLas200M 深紫外(DUV)193 nm ArF 准分子激光剥蚀系统。激光束斑直径为 32 μ m,实验中采用 He 作为剥蚀物质的载气。锆石年龄采用国际标准锆石 91500 作为外标标准物质,元素含量采用 NIST SRM 610 作为外标,²⁹Si 作为内标。详细分析方法、仪器参数和数据处理方法参照 Liu 等(2008,2010)^[10,11]。锆石测定点的同位素比值、U-Pb 表面年龄和 U-Th-Pb 含量计算采用 GLITTER(Ver4.0)程序,实验获得的数据采用 Andersen(2002)^[12]方法进行同位素比值的校正,以扣除普通 Pb 的影响。采用 Isoplot 程序(Ver3.0)^[13]进行锆石年龄加权平均计算及谐和图的绘制。采用年龄为 ²⁰⁶Pb/²³⁸U 年龄,其加权平均值的误差为 2 σ ,U/Pb(和 Pb/Pb)平均年龄误差为 95%置信度。

4 岩石地球化学特征

4.1 主量元素

本文研究的 9 件代表性钾长花岗岩样品的主量元素和微量元素分析结果及相关参数列于表 1。在 TAS 岩石分类图中(图 3),钾长花岗岩样品 7 件落入花岗岩范围内,2 件落入花岗闪长岩范围内。所有岩石样品落在虚线以下,属于亚碱性岩石(图 3)。研究区钾长花岗岩的 SiO₂=67.97%~80.62%,Na₂O+K₂O=5.08%~8.79%,高 K₂O 含量(4.11%~6.22%),中—高 K₂O/Na₂O 比值(1.11~17.80),显示出富钾的特征;低 P₂O₅ 含量(0.01%~0.15%);MgO=0.04%~0.80%。在 A/CNK-A/NK 图解中,样品点落入过铝

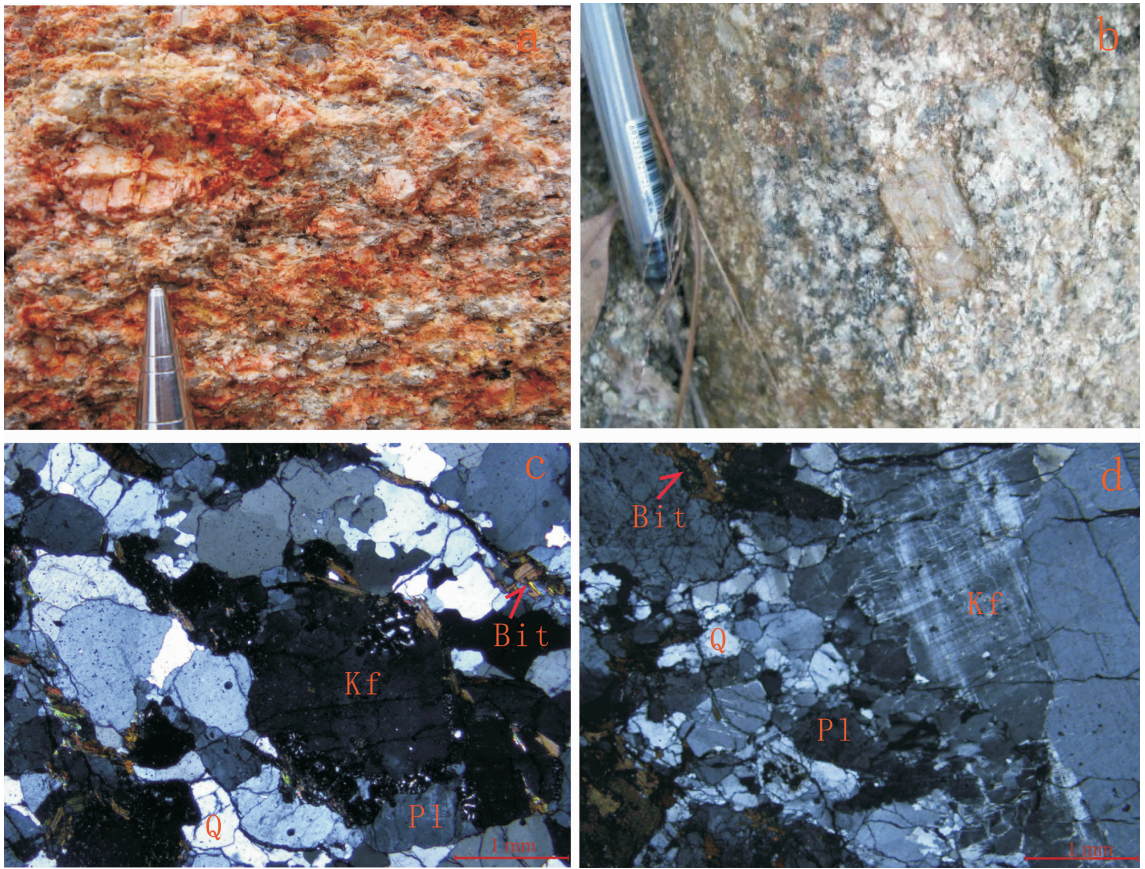


图 2 芒市地区钾长花岗岩野外(a, b)及镜下(c, d)特征

Kf—钾长石;Q—石英;Pl—斜长石;Bit—黑云母

Fig.2 Photographs of samples (a, b), microphotographs (c, d) of K-feldspar granite in Mangshi area

Kf—Potash feldspar;Q—Quartz;Pl—Plagioclase;Bit—Biotite

质花岗岩区域(图 4)。在 SiO_2-K_2O 图解中,样品点主要落入钾玄岩系列区域,有 2 个点落入高钾钙碱性系列区域(图 5)。 $Al_2O_3=11.27\% \sim 16.42\%$, 铝饱和指数(A/CNK)主要为 1.03~2.31,属过铝质—强过铝质花岗岩系列(图 4)。CIPW 计算结果显示,标准矿物中皆出现钾长石(Or)、钠长石(Ab)和石英(Qz),且刚玉分子(C)含量为 0.84~9.81,平均含量达 3.06,说明岩石属铝和硅过饱和类型。在 ACF 图解上(图 6),样品点主要落入 S 型花岗岩区域,反映研究区钾长花岗岩具有 S 型花岗岩特点。因此,研究区钾长花岗岩属钾玄岩—高钾钙碱性过铝质—强过铝质 S 型花岗岩。

4.2 稀土元素

本区钾长花岗岩的 ΣREE 为 $56 \times 10^{-6} \sim 323 \times 10^{-6}$, 平均为 183×10^{-6} , $\Sigma LREE / \Sigma HREE = 1.99 \sim 37.70$, LREE 相对富集, HREE 相对亏损,轻重稀土元素分

馏明显(表 1)。球粒陨石标准化稀土配分曲线均向右倾斜,具有右斜“V”字型的特征,为富集轻稀土型配分模式(图 7-a), $\delta Eu = 0.18 \sim 0.71$, 显示存在弱到中等程度的负 Eu 异常。弱—中等的负 Eu 异常可能与部分熔融残留体中斜长石的存在或岩浆演化过程中斜长石的分离结晶有关。 $(La/Yb)_N$ 值为 1.58~41.60,表明轻、重稀土之间分馏相对明显,轻稀土的分馏程度高于重稀土。

4.3 微量元素

从微量元素分析结果(表 1)和微量元素原始地幔标准化蛛网图(图 7-b)可以看出,该区古近纪钾长花岗岩具有元素 Rb、Th、U、Ta、La、Pb、Nd、Sm、Gd 等为正常峰,而元素 Ba、Nb、Ce、Sr、Zr、Hf、Eu 等为负异常谷的特征,岩石中大离子亲石元素(LILE)相对富集,高场强元素(HFSE)相对亏损。Ba 的亏损与结晶晚期碱性长石的分离关系密切,是残余花岗岩浆

表 1 芒市地区钾长花岗岩的主量元素(%)和微量元素(10^{-6})的地球化学分析数据

Table 1 Major (%) and trace element (10^{-6}) compositions of granites in Mangshi area

样号	D2064GS1	D2095GS1	D2104GS1	D4160GS1	D6008GS1	D6014GS1	PM11-34GS1	PM11-40GS1	PM11-63GS1
SiO ₂	80.62	72.91	74.07	68.96	70.03	74.68	76.35	74.75	67.97
TiO ₂	0.05	0.18	0.06	0.24	0.39	0.11	0.16	0.10	0.50
Al ₂ O ₃	11.27	13.78	14.14	16.42	14.30	13.19	13.12	13.8	15.48
Fe ₂ O ₃	0.75	1.19	0.37	2.22	2.01	0.79	0.66	0.61	2.41
FeO	0.27	0.52	0.16	1.50	0.88	0.35	0.29	0.27	0.95
MnO	0.05	0.02	0.01	0.07	0.06	0.02	0.02	0.02	0.06
MgO	0.04	0.25	0.05	0.42	0.64	0.20	0.10	0.12	0.80
CaO	0.10	0.72	0.86	0.27	1.82	1.24	0.52	0.86	2.47
Na ₂ O	0.27	2.79	2.57	0.49	2.19	2.19	1.85	2.45	3.69
K ₂ O	4.81	5.66	6.22	5.38	5.26	5.44	6.19	6.14	4.11
P ₂ O ₅	0.01	0.07	0.02	0.05	0.13	0.03	0.01	0.03	0.15
烧失量	2.21	0.76	0.78	5.08	1.32	0.80	1.01	0.54	0.76
总量	100.45	98.85	99.31	101.10	99.03	99.04	100.28	99.69	99.35
A/CNK	1.93	1.15	1.13	2.31	1.13	1.12	1.23	1.13	1.03
Rb	295	376	236	409	280	231	195	244	152
Sr	23.9	50.6	59.4	73.2	515	214	101	70.6	222
Y	43.1	26.3	34.6	22.6	34.2	5.79	7.71	29.2	25.1
Zr	39.1	131	56.9	138	142	76.7	62.7	82.3	219
Nb	10.8	22.4	24.3	29.3	21.3	2.17	7.16	4.27	15.5
Mo	3.70	0.95	0.35	0.28	0.37	0.31	0.57	0.25	0.75
Ag	0.25	0.35	0.37	0.46	0.36	0.07	0.17	0.12	0.30
Cd	0.13	0.46	0.02	0.33	0.16	0.02	0.03	0.11	0.12
Sn	2.89	13.7	0.71	8.52	4.40	1.05	1.29	1.48	2.08
Sb	7.94	0.32	0.29	0.74	0.49	1.24	1.28	0.45	0.50
Cs	7.29	20.8	2.15	12.0	19.5	6.05	3.80	2.74	4.42
Ba	201	278	223	365	989	1120	824	188	800
La	17.2	53.5	10.9	29.3	74.8	48.6	55.7	21.0	78.6
Ce	33.1	111	15.7	56.2	141	82.9	95.7	41.5	140
Pr	3.88	12.7	1.94	6.48	15.8	8.16	9.49	4.68	14.5
Nd	13.6	43.5	6.73	23.1	55.3	24.3	30.5	16.2	46.9
Sm	3.72	11.0	1.93	4.75	10.6	2.68	4.54	4.12	7.56
Eu	0.26	0.57	0.37	0.60	1.40	0.42	0.88	0.34	1.35
Gd	3.84	7.79	2.52	3.51	7.86	1.50	2.98	3.82	5.70
Tb	0.93	1.26	0.67	0.67	1.30	0.21	0.39	0.73	0.86
Dy	6.30	5.61	4.99	3.86	6.66	0.89	1.68	4.50	4.38
Ho	1.52	0.96	1.22	0.87	1.34	0.20	0.30	0.99	0.91
Er	4.39	2.15	3.66	2.56	3.32	0.63	0.78	2.75	2.53
Tm	0.73	0.27	0.59	0.41	0.44	0.10	0.11	0.39	0.35
Yb	4.97	1.52	4.47	3.39	2.72	0.77	0.87	2.51	2.21
Lu	0.72	0.21	0.73	0.56	0.38	0.13	0.15	0.37	0.31
Hf	1.63	4.47	2.84	4.38	3.48	2.30	1.86	2.82	4.88
Ta	1.04	2.29	4.50	3.43	1.64	0.25	0.85	0.22	0.87
Pb	45.6	64.7	34.8	62.2	37.2	40.6	37.2	43.3	21.3
Th	19.1	52.7	31.8	33.4	35.7	57.7	46.6	26.0	29.6
U	6.08	8.18	11.1	8.44	2.51	7.18	2.21	2.85	2.40
∑REE	95.16	252.04	56.42	136.25	322.91	171.48	204.06	103.90	306.16
δ Eu	0.21	0.18	0.54	0.45	0.47	0.60	0.71	0.26	0.63
(La/Yb) _N	2.24	22.79	1.58	5.59	17.76	40.75	41.60	5.41	23.03

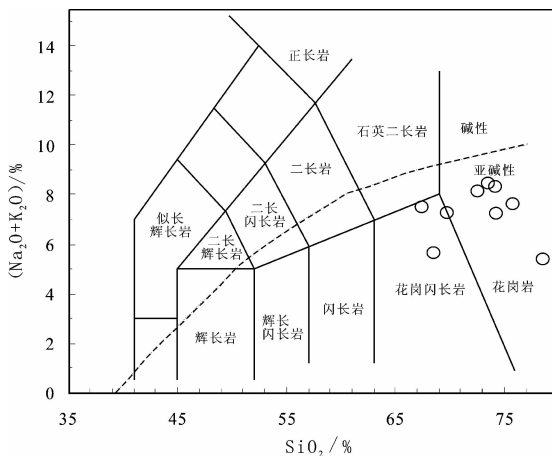


图 3 芒市地区钾长花岗岩 SiO₂-(Na₂O+K₂O)图解(据文献[14])

Fig.3 SiO₂-(Na₂O+K₂O) diagram(after Middlemost,1994^[14])

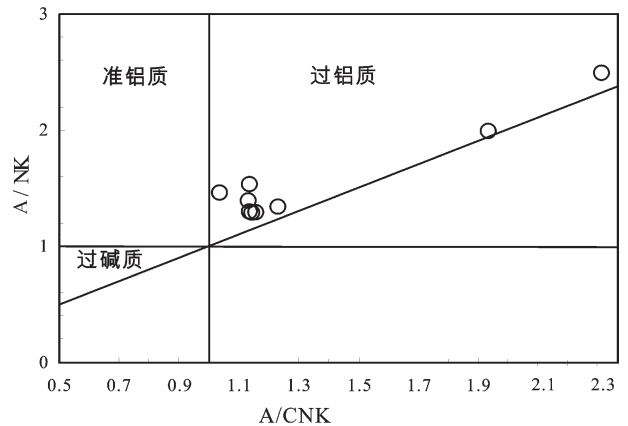


图 4 芒市地区钾长花岗岩 A/CNK-A/NK 图解(据文献[15])

Fig.4 A/CNK-A/NK diagram(after Rickwood,1989^[15])

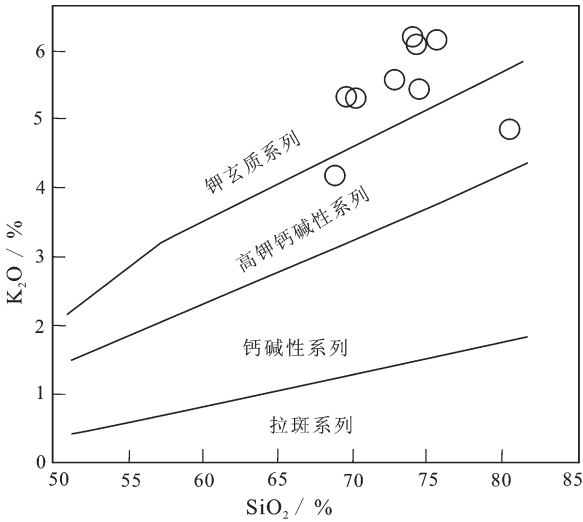


图5 芒市地区钾长花岗岩 SiO₂-K₂O 图解(据文献[16])

Fig.5 SiO₂-K₂O diagram (after Maniar, 1989 [16])

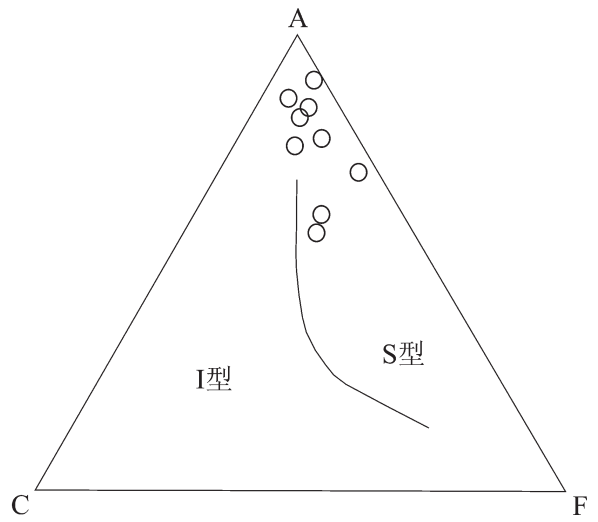


图6 芒市地区钾长花岗岩 ACF 图解(据文献[17])

Fig.6 ACF plot of Mangshi K-feldspar granite (after Nakada & Takahashi, 1979 [17])

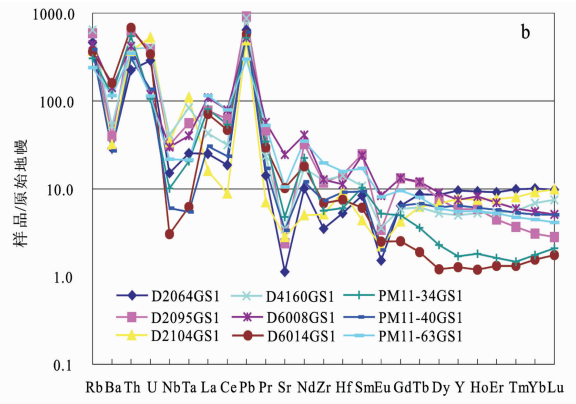
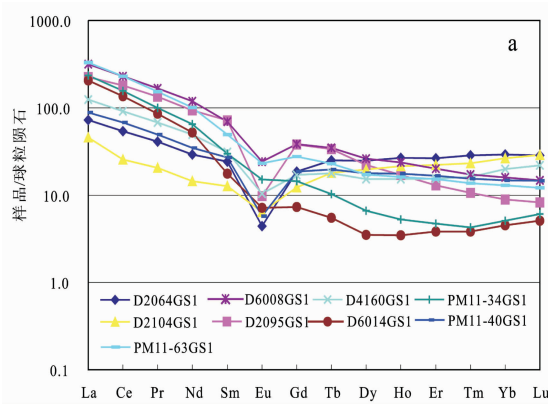


图7 芒市地区钾长花岗岩的稀土元素球粒陨石标准化配分曲线图(a)及微量元素原始地幔标准化蛛网图(b) (标准化数值据文献[18])

Fig.7 Chondrite-normalized REE patterns (a) and primitive mantle-normalized trace element patterns (b) for Mangshi granites in western Yunnan (normalized data after Reference[18])

的体现^[9]。Sr 的亏损与 Eu 的负异常是一致的,暗示了斜长石在花岗岩中发生了分离结晶作用^[9]。

5 锆石 U-Pb 年龄

本文所研究锆石主要呈无色透明,以柱状为主,少量为短柱状,长度变化于 100~150 μm,长宽比 1.5:1~3:1,大部分形态较完整,晶体棱角分明,部分锆石边部具有熔蚀现象(图 8)。锆石的 Th/U 比值为 0.12~1.97 (表 2),属典型的岩浆成因。选择样品 D4160N1 中的 25 颗锆石进行了 26 个点的定年分析(图 8 中锆石测点号与表 2 中的点号对应)。锆石

年龄可以明显地分为 3 组:第一组有 3 个测点(测点 02、13、17,图 8),分析点位于继承性的锆石晶核上,其 ²⁰⁶Pb/²³⁸U 年龄分别为 (143±2)Ma、(115±1) Ma、(119±2) Ma,与研究区早白垩世花岗岩的年龄一致,属早白垩世继承锆石或捕获锆石年龄。为岩体侵位过程中捕获的围岩或继承的早白垩世花岗岩的锆石。第二组年龄有 3 个测点(测点 16、19、20,图 8),其中样品 N1-16 分析点(测点 16,图 8)在老核和岩浆锆石的生长层上,为混合年龄;样品 N1-19 分析点(测点 19,图 8)由于分析仪器的原因,所测数据有误;样品 N1-20 分析点(测点 20,图 8)打在岩浆锆石的

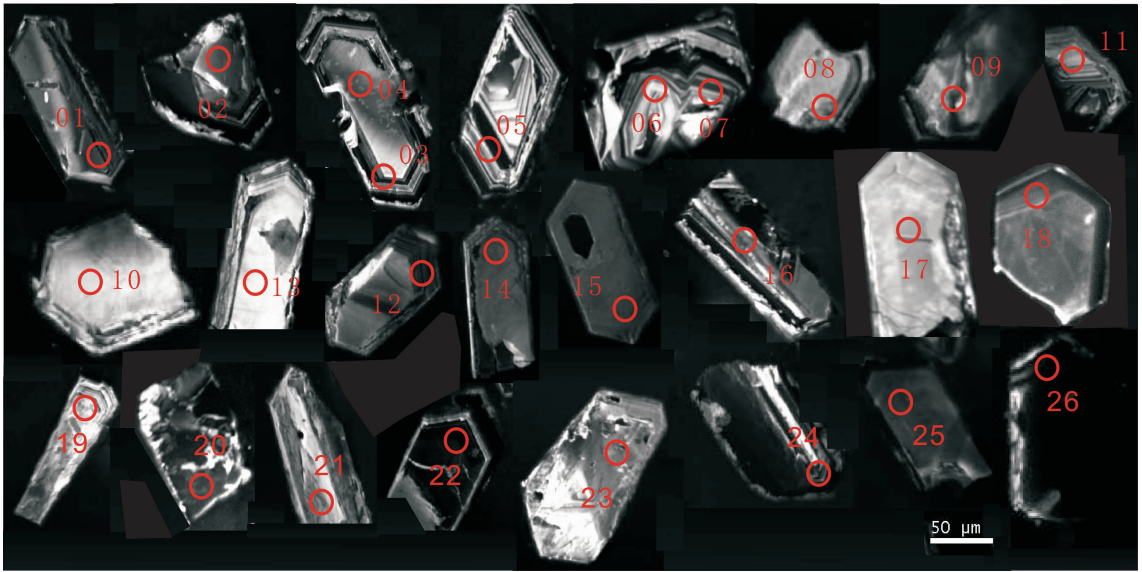


图 8 芒市地区钾长花岗岩锆石 CL 图像及 U-Pb 年龄测点

Fig.8 CL images of zircons from biotite monzo-granite in Mangshi granites

表 2 腾冲地块芒市地区钾长花岗岩锆石 LA-ICP MS U-Pb 同位素分析结果分析结果

Table 2 LA-ICP MS zircon U - Pb data of Mangshi granites from Tengchong block

点号	Pb/10 ⁻⁶	Th/10 ⁻⁶	U/10 ⁻⁶	Th/U	同位素比值						年龄/Ma			
					²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	±1 σ	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	±1 σ	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	±1 σ	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	±1 σ	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	±1 σ
01	21.97	796	2230	0.35	0.0473	0.0015	0.0632	0.0019	0.0097	0.0001	62.3	1.8	62.1	0.5
02	16.88	345	712	0.48	0.0497	0.0022	0.1537	0.0064	0.0225	0.0003	145	6	143	2
03	16.87	615	1780	0.34	0.0494	0.0022	0.0649	0.0028	0.0095	0.0001	63.8	2.7	61.2	0.8
04	18.35	441	2093	0.50	0.0450	0.0014	0.0572	0.0018	0.0092	0.0001	56.4	1.73	58.9	0.5
05	15.53	380	1711	0.31	0.0462	0.0022	0.0613	0.0031	0.0096	0.0001	60.4	2.9	61.4	0.9
06	76.5	11481	5825	1.97	0.0552	0.0013	0.0694	0.0017	0.0090	0.0001	68.1	1.6	57.9	0.4
07	24.51	879	2681	0.32	0.0471	0.0014	0.0604	0.0018	0.0093	0.0001	59.6	1.7	59.5	0.5
08	24.2	1768	2073	0.85	0.0482	0.0015	0.0664	0.0020	0.0100	0.0001	65.2	1.9	64.2	0.6
09	21.51	798	2238	0.35	0.0475	0.0013	0.0634	0.0017	0.0097	0.0001	62.5	1.6	62.1	0.5
10	54.70	654	6143	0.12	0.0520	0.0012	0.0685	0.0016	0.0095	0.0001	67.3	1.5	61.2	0.4
11	26.07	1323	2718	0.49	0.0495	0.0022	0.0644	0.0030	0.0094	0.0001	63.3	2.9	60.4	0.8
12	8.62	226	922	0.24	0.0497	0.0023	0.0657	0.0031	0.0096	0.0001	64.6	3.0	61.5	0.6
13	18.59	866	830	1.04	0.0494	0.0019	0.1228	0.0047	0.0181	0.0002	118	4	115	1
14	22.66	775	2463	0.32	0.0501	0.0016	0.0659	0.0022	0.0095	0.0001	64.8	2.1	61.1	0.5
15	28.28	645	3146	0.20	0.0485	0.0019	0.0647	0.0025	0.0097	0.0001	63.7	2.4	62.4	0.7
16	22.96	580	1898	0.31	0.0468	0.0012	0.0829	0.0025	0.0129	0.0002	80.9	2.4	82.5	1.4
17	8.32	205	416	0.49	0.0621	0.0028	0.1578	0.0069	0.0186	0.0002	149	6	119	2
18	17.85	535	1827	0.29	0.0506	0.0017	0.0700	0.0025	0.0100	0.0001	68.7	2.3	64.3	0.7
19	7.44	719	524	1.37	0.0826	0.0045	0.1103	0.0058	0.0097	0.0001	106	5	62.4	0.9
20	30.5	460	871	0.53	0.3148	0.0173	0.7935	0.0962	0.0143	0.0009	583	55	91.2	5.4
21	10.32	959	900	1.07	0.0672	0.0055	0.0842	0.0070	0.0094	0.0002	82.1	6.5	60.4	1.1
22	17.22	1635	1413	1.16	0.0513	0.0017	0.0672	0.0022	0.0095	0.0001	66.0	2.1	61.1	0.6
23	11.91	368	1321	0.28	0.0490	0.0018	0.0616	0.0021	0.0092	0.0001	60.7	2.0	58.9	0.5
24	30.83	712	3445	0.21	0.0478	0.0012	0.0617	0.0016	0.0093	0.0001	60.8	1.5	59.9	0.5
25	37.09	1378	3979	0.35	0.0472	0.0013	0.0612	0.0017	0.0094	0.0001	60.3	1.7	60	0.5
26	30.62	904	3345	0.27	0.0497	0.0018	0.0668	0.0023	0.0098	0.0001	65.7	2.2	62.9	0.8

包体上,导致所测数据有误。因此,这3个锆石所测年龄数据不能用。第三组年龄有20个分析点,所有20个分析点都位于谐和线上及其附近(图9),对测得的20颗锆石的数据进行处理,获得了²⁰⁶Pb/²³⁸U年龄加权平均值为(60.8±0.8) Ma (MSWD=9.1) (95%置信度)(图9)。所测的这20个点为岩浆型锆石的年龄,因而其年龄应代表花岗岩岩体的结晶年龄。按照最新国际地质年表的划分方案,其时代属于古近纪。该年龄代表了钾长花岗岩的岩浆结晶年龄。因此,本区钾长花岗岩形成于古近纪。

6 讨论

6.1 岩体形成时代

本文用LA-ICP-MS方法对分布于芒市北部的钾长花岗岩进行锆石U-Pb定年,测得的锆石²⁰⁶Pb/²³⁸U年龄加权平均值为(60.8±0.8) Ma (MSWD=9.1) (95%置信度);结合锆石阴极发光图像和Th/U比值范围表明它们是岩浆结晶锆石的U-Pb年龄,代表了钾长花岗岩的侵位时代。该年代学信息表明,腾冲—梁河地块在60.8 Ma左右的古近纪发生了钾长花岗岩浆活动。

6.2 岩浆起源和岩石成因

Sylvester PJ(1998)^[21]通过研究认为与碰撞有关的强过铝质花岗岩的源区尽管具有多样性,但主要的源区是地壳中的碎屑沉积岩类(如泥质岩、砂屑岩及杂砂岩)和变质沉积岩。实验岩石学研究也表明地

壳中碎屑沉积岩类部分熔融形成偏酸性的过铝质花岗岩类^[22],只有泥砂质沉积岩类部分熔融才可能形成强过铝质花岗岩^[22,23]。对于SiO₂含量在67%~77%之间的过铝质花岗岩,其CaO/Na₂O摩尔比值可以反映其源区成分特征^[21]。由泥岩生成的过铝质花岗岩的CaO/Na₂O摩尔比值一般小于0.3,而砂屑岩、正片麻岩生成的过铝质花岗岩的CaO/Na₂O摩尔比值一般大于0.3^[21]。本区古近纪钾长花岗岩除D2095GS1、PM11-34GS1和PM02-9-GS1的CaO/Na₂O摩尔比值均为0.3外,其余7件样品的CaO/Na₂O摩尔比值主要为0.4~0.8,大于0.3。表明本区花岗岩浆源区岩石成分主要为砂屑岩和正片麻岩,但有部分为泥岩。在Rb/Sr-Rb/Ba图解(图10)中,本区古近纪钾长花岗岩样品点构成了一定的线性关系,而且有4件样品分布在砂屑岩源区和杂砂岩源区,其中有5件样品分布在粘土源岩区,也表明其源区成分为砂页岩、杂砂岩和粘土岩。因此,该区古近纪钾长花岗岩属于砂页岩、杂砂岩和粘土岩系部分熔融的产物。可以推断研究区古近纪钾长花岗岩的源岩来自地壳物质^[24]。根据区域地质情况,本区古近纪钾长花岗岩出露区分布有较多的高黎贡山群变质砂岩、板岩,在局部地区见高黎贡山群变质砂岩、板岩呈残留包体保存在古近纪钾长花岗岩中,部分地点见钾长花岗岩与围岩(高黎贡山群变质砂岩、板岩)的过渡现象。因此,推测该期钾长花岗岩很可能来自高黎贡山群砂页岩、杂砂岩和粘土岩部分熔

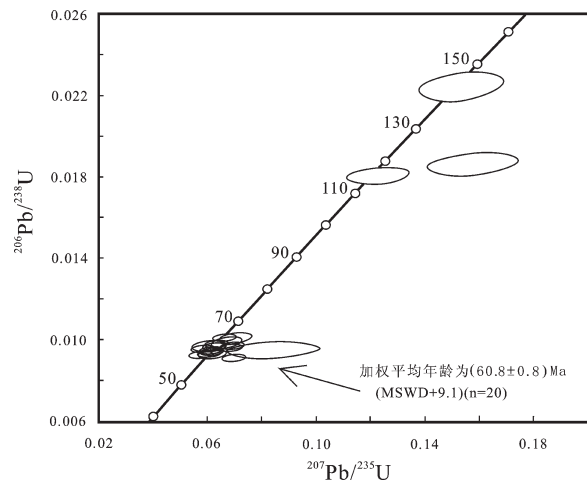


图9 芒市地区钾长花岗岩锆石U-Pb谐和图
Fig.9 U-Pb ages of zircons from biotite monzo-granite in Mangshi granites

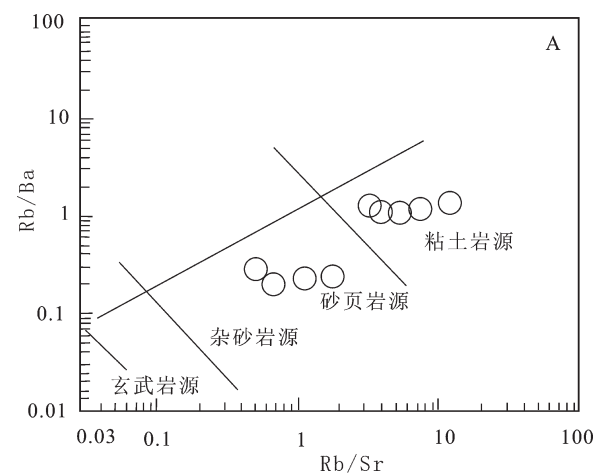


图10 芒市地区钾长花岗岩的Rb/Sr-Rb/Ba图解
(据文献[21]图解)
Fig.10 Diagrams of Rb/Sr-Rb/Ba for granites in Mangshi area, western Yunnan (after Sylvester P J, 1998^[21])

融产物。为印度板块与冈底斯—腾冲板块发生板块之间的俯冲碰撞, 使区域地壳不断加厚和地壳深融作用的结果^[3]。

6.3 构造环境

已有的研究表明, 花岗质岩石可以形成于多种构造环境, 如岛弧造山带、活动大陆边缘、大陆碰撞带、板内造山带及大型逆冲断层带、大陆裂谷甚至大洋中脊等构造部位。强过铝质花岗岩的成因往往与陆—陆碰撞、深俯冲作用有关^[20], 为陆—陆碰撞过程中同碰撞早期挤压环境下地壳加厚及碰撞高峰期后的岩石圈伸展背景而发生部分熔融的产物^[21, 25-28]。本研究区古近纪钾长花岗岩在(Yb+Ta)-Rb 和(Y+Nb)-Rb 图解^[29](图 11-a, b)上, 样品点主要落入同碰撞花岗岩(Syn-COLG)、火山弧花岗岩(VAG)区域及其附近(图 11-a, b)。在(Rb/30)-Hf-(Ta×3)图解^[28](图 12)上, 数据点主要落入同碰撞花岗岩(Syn-COLG)和火山弧花岗岩(VAG)区域, 仅有 1 个数据点落入后碰撞花岗岩(Post-COLG)区域(图 12)。说明本区古近纪钾长花岗岩主要为岛弧花岗岩和同碰撞花岗岩的特征。表明本区古近纪钾长花岗岩形成的构造环境应为具火山弧特征的同碰撞花岗岩, 是在地壳强烈挤压岛弧形成为主导的动力学机制下, 由粘土及含粘土的变质杂砂岩系部分熔融岩浆侵位冷凝形成。因此, 本区古近纪钾长花岗岩主要是同碰撞环境形成的花岗岩。为印度板块与冈底斯—腾冲板块发生板块之间的俯冲碰撞, 使区域地壳不断加厚和地壳深融作用的结果。古近纪同碰撞钾长花岗

岩的形成, 表明印度板块与冈底斯—腾冲板块在 60.8 Ma 之前已发生板块之间的俯冲碰撞, 并在 60.8 Ma 形成冈底斯—腾冲岩浆弧。

6.4 构造意义

在大地构造位置上滇西腾冲地块位于班公湖—怒江—龙陵—瑞丽板块缝合带与雅鲁藏布江—密支那板块缝合带之间, 为冈底斯—腾冲板块的组成部分, 是青藏高原冈底斯构造岩浆岩带的东(南)延部分。多期次强烈的构造岩浆活动导致在腾冲地块中形成多期花岗岩浆的侵入, 并形成以不同类型花岗岩为主的中新生代冈底斯—腾冲花岗岩浆带。腾冲地块是特提斯构造带的一部分, 与冈底斯带在中新生代具有相似的地球动力学背景。该区岩浆岩活动与特提斯构造带的形成演化密切相关^[2-5, 7]。

前已述及, 本区古近纪钾长花岗岩为具火山弧特征的同碰撞花岗岩, 为印度板块与冈底斯—腾冲板块发生板块之间的俯冲碰撞, 使区域地壳不断加厚和地壳深融作用构造环境下形成的花岗岩。根据作者对研究区古近纪钾长花岗岩的成因及其构造环境的综合分析, 结合前人研究成果^[2-5, 7-9], 作者认为腾冲地块古近纪钾长花岗岩浆活动与印度板块同冈底斯—腾冲板块发生板块之间的俯冲碰撞密切相关。其构造岩浆形成演化过程为“在中白垩世, 冈瓦纳大陆北缘沿雅鲁藏布江—密支那板块缝合带发生海底扩张, 开始形成雅鲁藏布江—密支那洋盆。在晚白垩世, 雅鲁藏布江—密支那洋壳沿北东方向俯冲于冈底斯—腾冲板块之下, 随着洋壳俯冲作用的进行, 雅

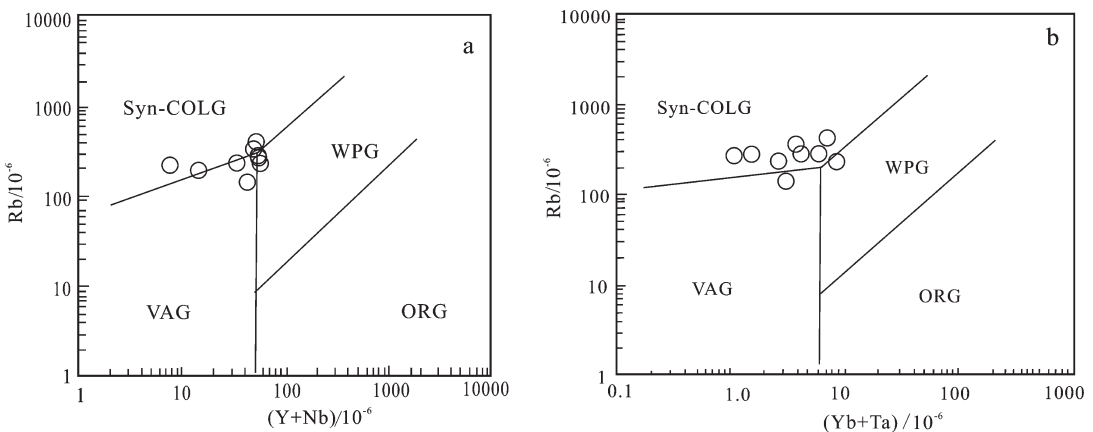


图 11 芒市地区钾长花岗岩(Y+Nb)-Rb(a)和(Yb+Ta)-Rb (b) (据文献[27]判别图解)

VAG-火山弧花岗岩; Syn-COLG-同碰撞花岗岩; WPG-板内花岗岩; ORG-洋脊花岗岩;

Fig.11 Diagrams of the tectonic setting of trace elements for Mangshi granites (after Pearce et al., 1996^[27])

VAG-Volcanic Arc Granites; Syn-COLG-Syn-Collision Granites; WPG-Intraplate Granites; ORG-Ocean Ridge Granites

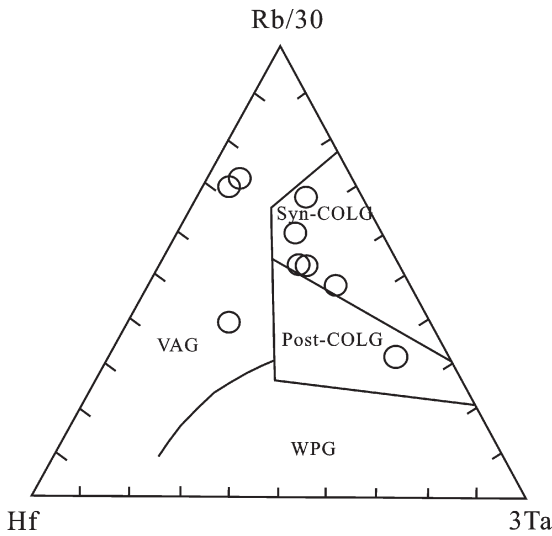


图 12 芒市地区钾长花岗岩(Rb/30)-Hf-(Ta×3)
(据文献[28]判别图解)

VAG-火山弧花岗岩;Syn-COLG-同碰撞花岗岩;WPG-板内花岗岩;Post-COLG-后碰撞花岗岩

Fig.12 Diagrams of the tectonic setting of trace elements for Mangshi granites (after Harris et al.,1986^[28])

VAG-Volcanic Arc Granites; Syn-COLG-Syn-Collision Granites; WPG-Intraplate Granites; Post-COLG-Post-Collision Granites

鲁藏布江—密支那洋逐渐关闭。在晚白垩世末—古近纪初,随着雅鲁藏布江—密支那洋盆的闭合,印度板块俯冲插入与冈底斯—腾冲板块发生俯冲、碰撞造山作用,形成古近纪冈底斯—腾冲岛弧。在板块发生碰撞造山阶段,由于印度板块及洋壳俯冲插入到冈底斯—腾冲板块之下,使冈底斯—腾冲板块及其邻区处于强烈挤压应力状态,持续的陆内俯冲碰撞使区域地壳不断加厚并导致区域重力均衡隆升,深部地壳物质在加热后抬升减压过程中发生部分熔融,形成大量的花岗岩浆。同时由于俯冲洋壳板块在俯冲、碰撞、成弧过程中诱导的幔源岩浆及其高温热源引起腾冲地块古老地壳物质的重熔并与重熔物质发生岩浆混合作用,也形成大量的花岗岩。其中,研究区具有岛弧型同碰撞特征的古近纪钾长花岗岩就是该期印度板块与冈底斯—腾冲板块之间俯冲、碰撞、成弧造山构造岩浆活动的响应。

7 结 论

(1)本文用 LA-ICP-MS 方法对分布于芒市北部五叉路乡核桃洼、江东乡杨家寨和轩岗乡南约村一带的古近纪钾长花岗岩进行锆石 U-Pb 定年,测得的锆石 ²⁰⁶Pb/²³⁸U 年龄加权平均值为 (60.8±0.8)

Ma (MSWD=9.1),表明腾冲—梁河地块在 60.8 Ma 左右的古近纪发生了钾长花岗岩浆活动。

(2)研究区古近纪钾长花岗岩具有岛弧型同碰撞花岗岩的地球化学特征。岩石地球化学特征表明,其岩浆可能来源于本区中晚元古代高黎贡山群为代表的地壳物质的部分熔融。

(3)在晚白垩世,雅鲁藏布江—密支那洋壳沿北东方向俯冲于冈底斯—腾冲板块之下,随着洋壳俯冲作用的进行,雅鲁藏布江—密支那洋逐渐关闭。腾冲地块古近纪钾长花岗岩是在晚白垩世末—古近纪初,印度板块俯冲进入冈底斯—腾冲板块之下,在与冈底斯—腾冲板块之间俯冲、碰撞、造弧造山作用过程中,使冈底斯—腾冲板块及其邻区处于强烈挤压应力状态,持续的陆内俯冲碰撞使区域地壳不断加厚并导致区域重力均衡隆升,在形成岩浆弧的过程中,深部地壳物质在加热后抬升减压过程中发生部分熔融,形成大量的花岗岩浆。同时由于俯冲洋壳板块在俯冲、碰撞、成弧过程中诱导的幔源岩浆及其高温热源也引起腾冲地块古老地壳物质的重熔并与重熔物质发生岩浆混合作用,也形成大量的花岗岩。具有岛弧型同碰撞特征的古近纪钾长花岗岩的形成,表明在 60.8 Ma 以前雅鲁藏布江—密支那洋已关闭,板块之间俯冲、碰撞作用已发生。并在 60.8 Ma 时,印度板块与冈底斯—腾冲板块之间的碰撞造弧构造作用达到高峰。形成具有岛弧型同碰撞特征的古近纪钾长花岗岩就是该期印度板块与冈底斯—腾冲板块之间俯冲、碰撞、成弧造山构造岩浆活动的响应。

致谢:两位审稿专家和本刊编辑部编辑对本文进行了细致的评审,提出了宝贵的修改意见。锆石 LA-ICP-MS 分析测试和阴极发光照相得到中国地质大学(武汉)地质过程与矿产资源国家重点实验室郑署教授、胡兆初老师和宗克清博士等的帮助。在此一并表示衷心感谢。

参考文献(References):

[1] 云南省地质矿产局. 云南省区域地质志 [M]. 北京:地质出版社, 1990:1-290.
Bureau of Geology and Resources of Yunnan. Regional Geology of Yunnan [M]. Beijing:Geological Publishing House, 1990:1-290 (in Chinese with English abstract).
[2] 李兴振,江新胜,孙志明,等. 西南三江地区碰撞造山过程[M]. 北京:地质出版社, 2002, 1-213.

- Li Xingzhen, Jiang Xinsheng, Sun Zhiming, et al. Collision Orogenetic Process of the Nujiang-Lancangjiang-Jinshajiang Area, Southwest China [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2002: 1-213 (in Chinese).
- [3] 刘增乾, 李兴振, 叶庆同, 等. 三江地区构造岩浆带的划分与矿产分布规律[M]. 北京: 地质出版社, 1993:6-85.
- Liu Zengqian, Li Xingzhen, Ye Qingtong, et al. Division of Tectono-magmatic Zone and the Distribution of Deposits in the Sanjiang Area (Nujiang-Lancang-Jinsha Rivers Area) [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1993: 6-85 (in Chinese with English abstract).
- [4] 陈吉琛. 滇西花岗岩类 Pb-Sr 同位素组成特征及其基底时代和性质[J]. 地质科学, 1991, 26(2):174-183.
- Chen Jichen. Characteristics of Pb, Sr isotopic compositions in west Yunnan granites discussion on the age and nature of the basement in west Yunnan[J]. Scientia Geologica Sinica, 1991, 26(2): -174-183 (in Chinese with English abstract).
- [5] 吕伯西, 王增, 张能德, 等. 三江地区花岗岩类及其成矿专属性[M]. 北京: 地质出版社, 1993:1-245.
- Lv Boxi, Wang Zeng, Zhang Nengde, et al. Granitoids in the Sanjiang Region and Their Metallogenic Specialization[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1993:1-245(in Chinese with English abstract).
- [6] 陈福坤, 李秋立, 王秀丽, 等. 滇西地区腾冲地块东侧混合岩锆石年龄和 Sr-Nd-Hf 同位素组成 [J]. 岩石学报, 2006, 22 (2):439-448.
- Chen Fukun, Li Qiuli, Wang XiuLi, et al. Zircon age and Sr-Nd-Hf isotopic composition of migmatite in the eastern Tengchong block, western Yunnan [J], Acta Petrologica Sinica, 2006, 22 (2): 439-448 (in Chinese with English abstract).
- [7] 邹光富, 林仕良, 李再会, 等. 滇西潞西邦木二长花岗岩 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄及其构造意义[J]. 中国地质, 2011, 38(2): 77-85.
- Zou Guangfu, Lin Shenliang, Li Zaihui, et al. SHRIMP zircon U-Pb dating of bangmu admellite in Luxi, western Yunnan, and its tectonic implications[J]. Geology in China, 2011, 38(2): 77-85 (in Chinese with English abstract).
- [8] 杨启军, 徐义刚. 滇西怒江—高黎贡构造带内花岗岩的侵入过程及其对特提斯演化过程的响应 [J]. 吉林大学学报 (地球科学版), 2011, 41(5):1353-1361.
- Yang Qijun, Xu Yigang. The emplacement of granites in Nujiang-Gaoligong Belt, western Yunnan, and response to the evolution of Neo-Tethys[J]. Journal of Jilin University (Earth Science Edition), 2011, 41(5):1353-1361 (in Chinese with English abstract).
- [9] 钟大赉. 滇川西部古特提斯造山带[M]. 北京: 科学出版社, 1998, 1-232.
- Zhong Dalai. Paleotethysides in West Yunnan and Sichuan, China[M]. Beijing: Science Press, 1998:1-232 (in Chinese with English abstract).
- [10] Liu Yongsheng, Hu Zhaochu, Gao Shan, et al. In situ analysis of major and trace elements of anhydrous minerals by LA-ICP-MS without applying an internal standard [J]. Chem. Geol., 2008, 257: 34-43.
- [11] Liu Yongsheng, Hu Zhaochu, Zong Keqing, et al. Reappraisal and refinement of zircon U-Pb isotope and trace element analyses by LA-ICP-MS [J]. Chin. Sci. Bull., 2010, 55: 1535-1546.
- [12] Anderson W, Jarzynski J and Salan R. T. Monitoring the condition of liquid-lubricated mechanical seals[J]. Sealing Technology, 2002, (2): 6-11.
- [13] Ludwig K R. User's Manual for A Geochronological Toolkit for Microsoft Excel [M]. Berkeley: Berkeley Geochronology Center, Specpubl, 2003, 4:1-30.
- [14] Middlemost E A K. Naming materials in the magma/igneous rock system[J]. Earth-Sci. Rev., 1994, 37:215-224.
- [15] Rickwood P C. Boundary lines within petrologic diagrams which use oxides of major and minor elements [J]. Lithos, 1989, 22(4): 247-263.
- [16] Maniar P D and Piccolli P M. Tectonic discrimination of granitoids [J]. Geol. Soc. Am. Bull, 1989, 101(5):635-643.
- [17] Nakada S and Takahashi M. Regional variation in chemistry of the Miocene intermediate to felsic magmas in the outer zone and the Setouchi province of Southwest Japan [J]. Mining Geology, 1979, 85 (9):571-582.
- [18] Sun S S, McDonough W F. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: Implications for mantle composition and processes [J]. Geol. Soc. London Spec. Pub, 1989, 42:313-345.
- [19] Zhou X M, Li W X. Origin of Late Mesozoic igneous rocks in South eastern China: Implications for lithosphere subduction and underplating of mafic magmas [J]. Tectonophysics, 2000, 326 (3-4):269-287.
- [20] Altherr R, Holl A, Hegner E. High-potassium, calc-alkaline plutonism in the European Variscides: northern Vosges (France) and northern Schwarzwald (Germany)[J]. Lithos, 2000, 50:51-73.
- [21] Sylvester P J. Post-collisional strongly peraluminous granites [J]. Lithos, 1998, 45:29-44.
- [22] Patino Douce A E and Harris N. Experimental constraints on Himalayan anatexis[J]. Journal of Petrology, 1998, 39(4):689-710.
- [23] Vielzeuf D and Montel J M. Partial melting of metagreywackes. Part I: Fluid-absent experiments and phase relationships [J]. Contribution to Mineralogy and Petrology, 1994, 117 (4):375-393.
- [24] Rudnick R L, Fountain D M. Nature and composition of the continental crust: A lower crustal perspective [J]. Reviews of Geophysics, 1995, 33: 267-309.
- [25] Pitcher W S. Granite type and tectonic environment [C] // Mountain Building Processes. London: Academic Press, 1983: 19-40.
- [26] Pearce J A. Trace Element Characteristics of Lave from Destructive Plate Boundaries [M]//Thorpe R S. Andesites. Chichester: Wiley, 1982, 525-548.
- [27] Pearce J A, Harris N B W and Tindle A G. Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks[J]. Journal of Petrology, 1984, 25(4):956-983.

- [28] Harris N B W, Pearce J A, Tindle A G. *Geochemical Characteristics of Collision-zone Magmatism* [M]. In: Coward M P, Reis A C. *Collision Tectonics*. Geological Society of London, Special Publication, 1986, 19:67-81.
- [29] Pearce J A. Sources and setting of granitic rocks[J]. *Episodes*, 1996, 19 (4):120-125.

Petrogenesis and tectonic setting of the K-feldspar granites in Mangshi area, western Yunnan: Evidence from petro-geochemistry and zircon U-Pb isotope chronology

ZOU Guang-fu¹, MAO Ying², ZOU Xin³, MAO Qiong⁴, LUO Bin⁴,
LIN Shi-liang¹, CONG Feng¹, LI Zai-hui¹, XIE Tao¹

(1. Chengdu Institute of Geology and Mineral Resources, Chengdu 610082, Sichuan, China; 2. Chengdu Comprehensive Rock and Mineral Testing Center, Chengdu 610081, Sichuan, China; 3. Department of Psychology, Peking University, Beijing 100871; 4. Research Institute of Petroleum Exploration and Development, North China Oil Field Company, PetroChina, Renqiu 062552, Hebei, China)

Abstract: Located in Tengchong block of western Yunnan, the Paleocene K-feldspar granites in northern Mangshi are mainly composed of K-feldspar granites. Most of the Mangshi K-feldspar granites resulted from the disintegration of original Gaoligong Group, as evidenced by 1:50000 regional geological mapping. To precisely limit the age of the K-feldspar magmatic mineralization in Mangshi area, the authors analyzed the granites by using LA-ICP-MS zircon U-Pb technique and geochemical methods. The zircon LA-ICP-MS dating indicates that the K-feldspar granites was emplaced at (60.8 ± 0.8) Ma. The granite mass was formed in the Paleocene period. Geochemical data show that the Lianghe granites are K basaltic, high-K calc-alkaline and peraluminous to strongly peraluminous series, characterized by high content of SiO_2 (67.97%~80.62%), high content of $\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}$ (5.08%~8.79%), medium to high K ($\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}=1.11\sim 17.80$), and lower content of P_2O_5 (0.01%~0.15%) with peraluminous ratio (A/CNK) being 1.03~2.31. ACF plot indicates that the granites are S type granites. Mangshi granites are also enriched in Rb, Th, U, Ta, La, Pb, Nd, Sm and Gd, but strongly depleted in Ba, Nb, Ce, Sr, Zr, Eu and Hf. The REE content is between 56.42×10^{-6} and 322.91×10^{-6} , 183.15×10^{-6} on average, with $(\text{La}/\text{Yb})_N$ ratios being 1.58~41.60 and δEu being 0.18~0.71. REE diagram shows right inclination and obvious negative Eu anomalies. The intrusion is remarkably characterized by enriched LREE and depleted HREE. The chondrite-normalized REE patterns show negative Eu anomalies. Magma source was probably derived from the emplacement of partially melted granitic magma dominated by greywacke and claystone, which is typical of crustal genesis. The K-feldspar granite was derived from partial melting of the Mid-Proterozoic metamorphosed basement (Gaoligong Group). According to geochemistry and the trace element discrimination diagrams for tectonic interpretation, the Paleocene K-feldspar granites are considered to be of the island arc and syn-collision type formed in a transitional tectonic setting from the compressional system to the island arc system. The Paleocene K-feldspar granite was formed in the syn-collision and island arc tectonic setting. The Paleocene K-feldspar granites in northern Mangshi area indicate that the Yaluzangbu-Mizhila Ocean had been closed and the subduction and collision between the Indian plate and the Gangdise-Tengchong massif had occurred before 60.80Ma. Tengchong block was formed in magmatic arc tectonic setting at that time. The Gangdise-Tengchong block tectono-magmatic orogenesis was intimately related to the closure and subduction and collision orogenesis between the Indian plate and the Gangdise-Tengchong massif. The determination of the crystallization and origin of Mangshi K-feldspar granites provides new evidence for the Paleocene tectonic evolution of the Tengchong massif.

Key words: Paleocene K-feldspar granite; zircon U-Pb dating; geochemistry; tectonic implications; Tengchong block; western Yunnan

About the first author: ZOU Guang-fu, male, born in 1963, senior researcher, mainly engages in the study of regional geological survey and mineral resources research of the Tibetan Plateau; E-mail: zguangfu@163.com.