

藏东察雅县察拉地区中生代花岗岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄和构造环境

李 彬^{1,2}, 向树元², 冯德新³, 罗拉次旺³, 噶桑顿珠³, 周 渝⁴

LI Bin^{1,2}, XIANG Shu-yuan², FENG De-xin³, LUOLA Ci-wang³,
GASANG Dun-zhu³, ZHOU Yu⁴

1. 湖南省地质调查院, 湖南 长沙 410116;

2. 中国地质大学, 湖北 武汉 430074;

3. 西藏地勘局地热地质大队, 西藏 拉萨 851400;

4. 江西省地质调查院, 江西 南昌 330043

1. *Hunan Institute of Geological Survey, Changsha 410116, Hunan, China;*

2. *China University of Geosciences, Wuhan 430074, Hubei, China;*

3. *Geothermal Geological Survey Party, Tibet Bureau of Geology and Mineral Exploration and Development, Lhasa 851400, Tibet, China;*

4. *Jiangxi Institute of Geological Survey, Nanchang 330043, Jiangxi, China*

摘要:藏东察拉地区广泛发育中生代侵入岩体,沿澜沧江结合带呈带状展布,以复式岩基、岩枝和透镜体产出,侵入于早石炭世卡贡岩卡组 and 吉塘群变质岩系中,主要岩性有二长花岗岩、花岗闪长岩及少量闪长岩。目前该区研究程度较低,报道较少,构造意义不明确。本次在察拉地区获得 4 个岩体样品的 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄数据,时代为中—晚三叠世,其中 1 件样品测试结果为 $219.8\text{Ma} \pm 2.4\text{Ma}$,代表澜沧江结合带闭合期的年龄,其余 3 件测试结果相近,分别为 $239.2\text{Ma} \pm 1.7\text{Ma}$ 、 $241.5\text{Ma} \pm 2.3\text{Ma}$ 和 $242.5\text{Ma} \pm 1.6\text{Ma}$,为俯冲消减期的年龄。岩石地球化学特征表明,区内岩体具有从同碰撞一直到碰撞后板内花岗岩的特点,经历了从造山运动的碰撞前期至造山运动最后阶段的构造体制转变过程,总体为“后造山”构造环境,为澜沧江洋板块向东与昌都微陆块碰撞之后地壳伸展、快速隆升背景下地壳深熔的结果。

关键词:藏东;澜沧江结合带;花岗岩;LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄;构造环境

中图分类号:P597^{+.3}

文献标志码:A

文章编号:1671-2552(2012)05-0696-11

Li B, Xiang S Y, Feng D X, Luola C W, Gasang D Z, Zhou Y. LA-ICP-MS zircon U-Pb age and tectonic setting of Mesozoic granite in Chala area, Caiya County, eastern Tibet. *Geological Bulletin of China*, 2012,31(5):696-706

Abstract: There are Mesozoic intrusive rocks along the Lancang River in Chala area of eastern Tibet, which mainly occur as complex batholiths and apophyses and lenticular granite that intruded in Early Carboniferous Kagongyanka Formation and Jitang Group metamorphic rocks. The intrusive rocks are mainly composed of monzonitic granite and granodiorite with a little diorite. So far, the genesis of these rocks, including their formation age and tectonic significance, has been poorly studied. In this paper, four granite samples were used for LA-ICP-MS U-Pb dating, and the dating results show that the age of a sample is $219.8\text{Ma} \pm 2.4\text{Ma}$, and the ages of the other three samples are $239.2\text{Ma} \pm 1.7\text{Ma}$, $241.5\text{Ma} \pm 2.3\text{Ma}$ and $242.5\text{Ma} \pm 1.6\text{Ma}$ respectively, suggesting similar formation ages in Middle-Late Triassic period. Geochemical studies indicate that these granites were formed in intraplate syncollisional to post-collisional tectonic setting.

收稿日期:2011-08-01;修订日期:2011-10-28

资助项目:中国地质调查局青藏专项《西藏邦达地区 1:5 万地质矿产调查》(编号:1212010918028)

作者简介:李彬(1984-),男,硕士,从事区域地质调查工作。E-mail:cuglibin@163.com

sional tectonic setting which underwent the evolution from early collision to the last stage of orogeny. The environment was a tectonic regime of the transformation stage regarded as a “post-orogenic” tectonic environment which was produced by crust anatexis melting as a result of crust extension and rapid uplift after the collision between the eastward Lancangjiang plate and the Changdu micro-plate.

Key words: eastern Tibet; Lancangjiang suture; granite; LA-ICP-MS zircon U-Pb dating; tectonic setting

藏东地区澜沧江结合带处于研究特提斯演化和冈瓦纳与扬子板块界线的关键位置^[1],多年来一直是地学界研究的热点地区之一,并取得了很多的进展^[2]。沿澜沧江断裂带呈线状展布着众多大小不一的岩体,分布范围甚广,面积巨大。由于岩体形成的地质背景、构造演化与澜沧江断裂带的形成、发展有着十分密切的联系,对其进行深入的研究不仅可以提高该区的研究程度,加深认识,而且对该区的区域构造研究有十分重要的意义。笔者在近年参与项目《西藏邦达地区地质矿产调查》的工作过程中,对处于工作区内澜沧江结合带的花岗岩体进行了 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 同位素年代学和岩石地球化学研究,试图对该地区花岗岩体的形成时代、构造意义进行初步的探讨,为解决该区具有争议的大地构造属性问题提供参考。

1 地质概况和样品岩石学特征

研究区内花岗岩体是巨大的拉吾且-他念他翁-俄让-东达山三叠纪火山岩浆弧的组成部分,面积约 300km²,大地构造位置位于羌塘-三江构造区之南羌塘-左贡陆块与昌都-思茅陆块之间^[1],呈北西-南东向长条状展布,侵入于早石炭世马察拉组变质砂岩、板岩及片岩中。区内构造以断裂为主,澜沧江断裂带在西南角通过,为两大陆块的主界断裂,发育一些北西-南东向次级断裂(图 1)。野外工作发现,岩体基岩平均海拔 4300m 左右,一些山顶发现冰斗、冰蚀谷等冰川作用的明显痕迹。在察浪多地区靠近接触带的花岗岩体中可见砂岩捕虏体,而围岩附近发育有较多的石英脉,并且硅化程度较高,局部有碳酸盐化、铁矿化、铅锌矿化、黄铁矿化等矿化现象。岩体岩性以花岗岩类为主,主要岩石类型有二长花岗岩、花岗闪长岩和少量闪长岩。基岩上可见一组 X 节理,规模较大,可能与中-新生代以来强烈的构造运动有关。

本次采集的 4 件样品的位置如图 1 所示,其岩性和岩石学特征如下。

CN-1,粗-中粒黑云母花岗岩。灰白色粗-中

粒花岗结构,块状构造。主要矿物有钾长石(约 44%)、斜长石(约 28%)、石英(约 23%)、黑云母(约 5%);副矿物有锆石、榍石等。长石呈半自形-自形板状,可见聚片双晶,常见绢云母化、高岭石化。石英呈它形粒状结构。

CN-5,闪长岩。深灰色,中粒半自形粒状结构,块状构造。主要矿物有斜长石(约 45%)、角闪石(约 35%);次要矿物有石英(约 5%)、黑云母(约 10%);副矿物有磷灰石等。岩石具蚀变现象,角闪石蚀变为绿泥石。

XD-7,粗-中粒黑云母二长花岗岩。灰白色,粗-中粒花岗结构,有的具变余花岗结构。主要矿物有钾长石(约 40%)、斜长石(约 25%)、石英(约 25%)、黑云母(约 5%);副矿物有榍石、锆石、磷灰石等。岩石蚀变现象较为普遍,黑云母蚀变成绿泥石。长石呈半自形-自形粒状,部分斜长石具绢云母化。石英呈半自形-它形粒状在岩石中均匀分布。黑云母呈鳞片状,偶见黑云母蚀变成角闪石。

JB-8,中-细粒黑云母花岗闪长岩。灰白色、灰绿色,中-细粒花岗结构,块状构造。主要矿物有斜长石(约 45%)、石英(约 20%)、钾长石(约 15%)、黑云母(约 15%);副矿物有锆石、磷灰石等。斜长石呈自形板状,可见聚片双晶;石英和少量钾长石呈它形粒状,石英具波状消光;黑云母呈片状或弯曲片状,绿泥石化,少量具波状消光。岩石蚀变强烈,压碎石英和少许绿泥石、绢云母等沿矿物裂隙充填。

2 分析方法

锆石挑选在河北省区域地质调查研究所实验室完成。将野外采集的新鲜样品(3~5kg/件)粉碎,经淘洗除去比重轻的矿物,再经重液分选和电磁分离方法得到锆石含量较高的重砂样品,最后在双目镜下挑选出锆石晶体。样品靶制备在中国地质大学地质过程与矿产资源国家重点实验室完成。在双目镜下将锆石样品用双面胶粘在载玻片上,放上 PVC 环,然后将环氧树脂和固化剂充分混合后注入 PVC 环中,待树脂充分固化后将样品座从载玻片上剥离,并

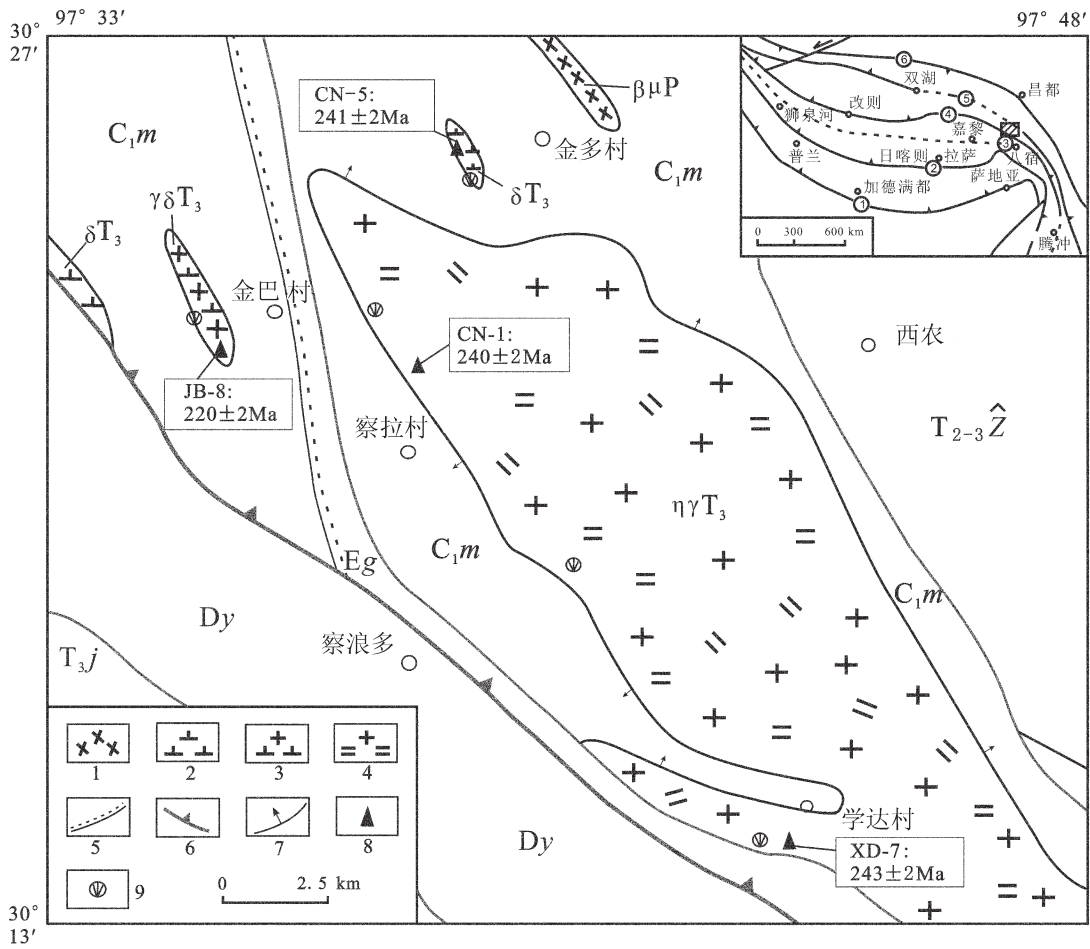


图 1 藏东察拉地区地质构造简图^[1]

Fig. 1 Geological sketch map of Chala area, eastern Tibet

1—辉绿岩;2—晚三叠世闪长岩;3—晚三叠世花岗闪长岩;4—晚三叠世二长花岗岩;5—角度不整合地层界线;6—龙木错—双湖—澜沧江板块缝合带^[2];7—岩体侵入界线(箭头表示接触面倾向);8—测年样品采样位置和结果;9—地球化学样品采样点;Eg—古近纪贡觉组;T_{3j}—上三叠统甲丕拉组;T_{2-3Z}—三叠纪中上统竹卡群;C_{1m}—石炭纪下统马察拉组;Dy—泥盆纪西西组;
①印度板块—欧亚板块主边界断裂;②雅鲁藏布江缝合带;③狮泉河—申拉蛇绿岩带;
④班公湖—怒江缝合带;⑤龙木错—双湖缝合带;⑥金沙江缝合带

对其进行打磨,直到大部分锆石晶体的中心部位暴露出来,抛光,然后对锆石进行阴极发光(CL)图像研究。最后用体积百分比为 3%的 HNO₃ 清洗样品做成样品靶。

锆石 LA-ICP-MS 原位 U-Th-Pb 同位素分析在中国地质大学地质过程与矿产资源国家重点实验室完成。实验所采用的激光束斑直径为 32μm,采用 He 作为剥蚀物质的载气,锆石 91500 作为外标,NIST610 作为内标。分析方法和仪器参数参考 Yuan 等^[3]的文献,采用 ICP-MS DataCa 处理数据^[4]。对普通 Pb 进行了校正,并采用 ISO-

PLOT/Ex3.23 程序进行锆石年龄加权平均值计算和谐和图的绘制。

岩石地球化学样品分析,在成都西南冶金测试中心用 XRF 方法测定主量元素,分析精度优于 5%,用 ICP-MS 方法测定微量元素和稀土元素,仪器型号为 ELEMENT-2 质谱仪,分析精度小于 2%。

3 分析结果

3.1 锆石 CL 图像

不同成因的锆石内部结构特征各不相同,它们都记录着锆石所经历的结晶、变质、热液蚀变等

地质事件和复杂的演化过程。因此,对锆石内部结构特征的研究是合理解释所测年龄的重要依据^[5]。目前,阴极发光(CL)图像反映锆石内部结构特征最为清楚,也是研究其内部结构特征最常用和最有效的方法之一。CL 图像可以反映晶格表面部分微量元素的含量(如 U、Y、Dy、Tb 等)和晶格缺陷差异,其发光的强弱跟锆石中 U、REE 和 Th 的含量有关^[5]。

图 2 是研究区岩体样品中典型锆石的 CL 图像、²⁰⁶Pb/²³⁸U 年龄和测定位置。

从图 2 可以看出,锆石 CL 图像多为自形—半自形柱状,大小在 70~200μm 之间,边部均具有清晰的震荡环带,并且多数震荡环带细密,显示了岩浆期

锆石的特点。少数锆石显示有“核—边”双层结构,核部呈不均匀斑杂状,为发生过重结晶作用的锆石,属于早阶段结晶的岩浆锆石;个别锆石核部 CL 较强,亮灰白色,具残留锆石的特征,可能为围岩或原岩锆石^[5-6]。从表 1 可以看出,这些锆石的 Th/U 值绝大多数大于 0.4,少数在 0.4~0.28 之间,也指示了其岩浆成因的特征^[5-7]。

3.2 锆石 LA-ICP-MS 原位 U-Th-Pb 同位素分析

4 件样品的锆石 U-Th-Pb 同位素分析结果如表 1 所示,根据这些分析数据所作的谐和图如图 3 所示,样品年龄数据显示为中生代。在 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年中,对于时代较新的样品通常 ²⁰⁶Pb/

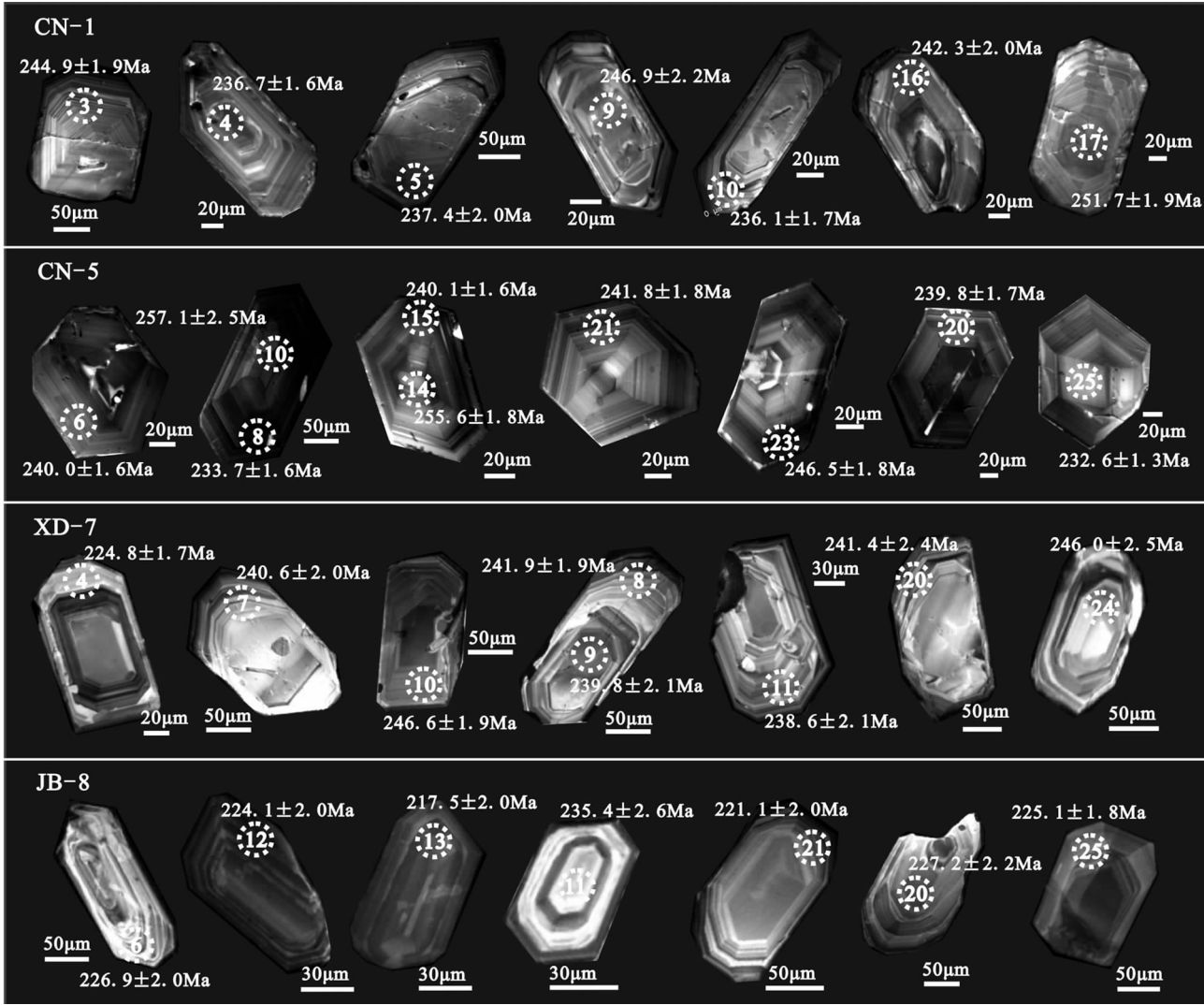


图 2 研究区花岗岩样品中典型锆石的 CL 图像和年龄数据

Fig. 2 CL images and ²⁰⁶Pb/²³⁸U ages of typical zircons from granite in the study area

²³⁸U 年龄精度较高。因此,本文采用 ²⁰⁶Pb/²³⁸U 比值年龄来计算年龄加权平均值。

样品 CN-1、CN-5、XD-7、JB-8 的分析点数分别为 19、25、20、23 个。从样品分析数据所作的谐和图可以看出,大多数分析点均落在谐和曲线上或者附近,显示较好的谐和度和可靠性,少数及个别谐和度差。这 4 个样品的年龄基本都集中在一个或者几个区间内。如样品 CN-1 分析结果中有 18 个数

表 1 研究区侵入岩体 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 同位素数据
Table 1 Zircon LA-ICP-MS U-Pb analytical data of intrusive rocks in the study area

样品号及 分析点号	²³² Th /10 ⁻⁶	²³⁸ U /10 ⁻⁶	Th/U	²⁰⁷ Pb / ²⁰⁶ Pb	1 σ	²⁰⁷ Pb / ²³⁵ U	1 σ	²⁰⁶ Pb / ²³⁸ U	1 σ	²⁰⁸ Pb / ²³² Th	1 σ	²⁰⁷ Pb / ²⁰⁶ Pb	1 σ	²⁰⁷ Pb / ²³⁵ U	1 σ	²⁰⁶ Pb / ²³⁸ U	1 σ	²⁰⁸ Pb / ²³² Th	1 σ
CN-1																			
01	276	505	0.55	0.05073	0.00146	0.26673	0.00750	0.03810	0.00034	0.01196	0.00025	227	67	240.1	6.0	241.0	2.1	240.3	5.0
02	671	702	0.96	0.05260	0.00128	0.28805	0.00652	0.03985	0.00035	0.01261	0.00022	322	56	257.0	5.1	251.9	2.1	253.2	4.5
03	406	560	0.72	0.05354	0.00128	0.28444	0.00689	0.03839	0.00031	0.01179	0.00020	350	54	254.2	5.4	242.8	1.9	236.9	4.0
04	633	1097	0.58	0.05135	0.00101	0.26583	0.00527	0.03740	0.00026	0.01153	0.00017	257	46	239.4	4.2	236.7	1.6	231.6	3.5
05	204	410	0.50	0.05293	0.00148	0.27373	0.00741	0.03752	0.00032	0.01181	0.00026	324	63	245.7	5.9	237.4	2.0	237.4	5.2
07	283	480	0.59	0.05349	0.00144	0.27704	0.00733	0.03750	0.00028	0.01102	0.00022	350	61	248.3	5.8	237.3	1.8	221.5	4.3
09	427	642	0.66	0.05371	0.00141	0.29022	0.00767	0.03904	0.00036	0.01356	0.00115	367	59	258.7	6.0	246.9	2.2	272.2	2.2
10	699	892	0.78	0.04878	0.00118	0.25194	0.00602	0.03731	0.00027	0.01117	0.00020	200	57	228.1	4.9	236.1	1.7	224.5	4.0
12	456	551	0.83	0.05097	0.00143	0.26542	0.00722	0.03778	0.00033	0.01174	0.00021	239	65	239.0	5.8	239.1	2.0	236.0	4.2
13	152	345	0.44	0.05260	0.00172	0.27973	0.00883	0.03869	0.00036	0.01175	0.00027	322	74	250.4	7.0	244.7	2.2	236.2	5.3
14	486	628	0.77	0.05214	0.00121	0.28235	0.00659	0.03926	0.00033	0.01205	0.00022	300	52	252.5	5.2	248.3	2.0	242.1	4.4
16	430	719	0.60	0.05112	0.00121	0.26993	0.00637	0.03830	0.00032	0.01168	0.00023	256	54	242.6	5.1	242.3	2.0	234.6	4.6
17	321	632	0.51	0.05176	0.00133	0.28417	0.00723	0.03981	0.00031	0.01221	0.00025	276	59	254.0	5.7	251.7	1.9	245.3	5.1
18	407	711	0.57	0.05314	0.00128	0.27896	0.00680	0.03798	0.00025	0.01180	0.00020	345	54	249.8	5.4	240.3	1.6	237.2	4.0
21	386	754	0.51	0.05417	0.00145	0.29138	0.00862	0.03872	0.00037	0.01395	0.00040	389	61	259.6	6.8	244.9	2.3	280.0	8.1
22	543	660	0.82	0.04998	0.00128	0.26186	0.00670	0.03803	0.00031	0.01199	0.00021	195	61	236.2	5.4	240.6	1.9	241.0	4.3
24	617	1270	0.49	0.05640	0.00106	0.29455	0.00532	0.03789	0.00027	0.01385	0.00022	478	38	262.1	4.2	239.7	1.7	278.0	4.3
25	344	724	0.48	0.04926	0.00120	0.26193	0.00631	0.03862	0.00034	0.01165	0.00022	167	57	236.2	5.1	244.3	2.1	234.2	4.5
26	406	617	0.66	0.05247	0.00119	0.29440	0.00686	0.04061	0.00034	0.01283	0.00025	306	56	262.0	5.4	256.6	2.1	257.7	4.9
CN-5																			
1	1065	2590	0.41	0.05069	0.00083	0.27562	0.00463	0.03932	0.00027	0.01246	0.00019	228	39	247.2	3.7	248.6	1.6	250.2	3.9
2	4620	6880	0.67	0.05020	0.00070	0.26754	0.00386	0.03852	0.00023	0.01156	0.00015	212	31	240.7	3.1	243.7	1.5	232.4	3.1
3	13951	9885	1.41	0.05154	0.00074	0.27798	0.00421	0.03898	0.00026	0.01241	0.00017	265	33	249.1	3.3	246.5	1.6	249.4	3.5
4	5230	4630	1.13	0.05338	0.00093	0.30954	0.00556	0.04191	0.00029	0.01391	0.00022	346	39	273.8	4.3	264.6	1.8	279.3	4.3
5	1420	5807	0.24	0.05005	0.00087	0.27281	0.00496	0.03936	0.00030	0.01247	0.00022	198	34	244.9	4.0	248.9	1.8	250.5	4.4
6	3864	4282	0.90	0.04980	0.00089	0.26140	0.00468	0.03793	0.00026	0.01169	0.00018	187	43	235.8	3.8	240.0	1.6	235.0	3.6
7	974	7500	0.13	0.04955	0.00074	0.26427	0.00414	0.03851	0.00029	0.01206	0.00020	172.	35	238.1	3.3	243.6	1.8	242.2	3.9
8	6203	13229	0.47	0.05121	0.00071	0.25780	0.00381	0.03632	0.00027	0.01174	0.00017	250	33	232.9	3.1	230.0	1.7	235.8	3.4
9	2806	6194	0.45	0.05012	0.00076	0.25649	0.00390	0.03692	0.00025	0.01156	0.00016	211	35	231.8	3.1	233.7	1.6	232.4	3.3
10	2255	3321	0.68	0.05258	0.00094	0.29756	0.00601	0.04070	0.00041	0.01385	0.00027	309	8.3	264.5	4.7	257.1	2.5	278.0	5.4
11	1737	6812	0.25	0.04988	0.00082	0.26172	0.00428	0.03783	0.00027	0.01175	0.00018	191	39	236.1	3.4	239.4	1.7	236.1	3.7
12	6267	6104	1.03	0.04987	0.00077	0.26653	0.00426	0.03854	0.00028	0.01222	0.00018	191	40	239.9	3.4	243.8	1.7	245.5	3.5
13	1842	3346	0.55	0.04965	0.00078	0.26487	0.00424	0.03854	0.00027	0.01196	0.00016	189	37	238.6	3.4	243.8	1.7	240.2	3.3
14	3340	4216	0.79	0.05332	0.00086	0.29905	0.00529	0.04044	0.00029	0.01352	0.00021	343	42	265.7	4.1	255.6	1.8	271.4	4.1
15	2310	3805	0.61	0.04813	0.00083	0.25248	0.00447	0.03791	0.00025	0.01148	0.00018	106	41	228.6	3.6	239.9	1.6	230.7	3.5
16	2583	4615	0.56	0.04945	0.00082	0.26587	0.00475	0.03885	0.00029	0.01248	0.00021	169	39	239.4	3.8	245.7	1.8	250.8	4.1
17	12442	8522	1.46	0.05072	0.00074	0.26341	0.00415	0.03756	0.00028	0.01172	0.00018	228	33	237.4	3.3	237.7	1.7	235.6	3.6
18	7352	7092	1.04	0.05059	0.00068	0.27220	0.00406	0.03888	0.00027	0.01242	0.00020	220	31	244.5	3.2	245.9	1.7	249.5	4.0
19	4223	5951	0.71	0.04936	0.00069	0.25885	0.00388	0.03794	0.00027	0.01129	0.00017	165	33	233.7	3.1	240.0	1.7	226.9	3.3
20	4882	7342	0.66	0.04946	0.00076	0.25914	0.00427	0.03790	0.00028	0.01119	0.00018	169	37	234.0	3.4	239.8	1.7	225.0	3.6
21	1392	4849	0.29	0.04997	0.00081	0.26398	0.00453	0.03822	0.00029	0.01140	0.00020	195	39	237.9	3.6	241.8	1.8	229.1	4.1
22	6930	6344	1.09	0.05109	0.00072	0.27511	0.00435	0.03891	0.00030	0.01176	0.00019	256	31	246.8	3.5	246.0	1.9	236.2	3.7
23	1833	6430	0.29	0.05009	0.00073	0.27003	0.00424	0.03898	0.00028	0.01179	0.00019	198	33	242.7	3.4	246.5	1.8	237.0	3.7
24	2263	6182	0.37	0.05000	0.00070	0.25325	0.00384	0.03663	0.00027	0.01098	0.00016	195	33	229.2	3.1	231.9	1.7	220.8	3.2
25	6276	6566	0.96	0.05073	0.00076	0.25791	0.00401	0.03675	0.00022	0.01095	0.00015	228	33	233.0	3.2	232.6	1.3	220.1	2.9
XD-7																			
1	293	608	0.48	0.05286	0.00140	0.28087	0.00738	0.03842	0.00033	0.01238	0.00029	324	64	251.3	5.9	243.0	2.0	248.6	5.9
2	679	1402	0.48	0.05470	0.00116	0.28968	0.00630	0.03823	0.00026	0.01128	0.00020	467	53	258.3	5.0	241.8	1.6	226.7	4.1
3	780	1725	0.45	0.05576	0.00115	0.30889	0.00640	0.04002	0.00029	0.01103	0.00028	443	46	273.3	5.0	253.0	1.8	221.7	5.6
4	874	985	0.89	0.05358	0.00124	0.28671	0.00653	0.03871	0.00028	0.01257	0.00025	354	54	256.0	5.2	244.8	1.7	252.6	4.9
7	200	411	0.49	0.05110	0.00167	0.26844	0.00890	0.03802	0.00032	0.01211	0.00029	256	76	241.4	7.1	240.6	2.0	243.3	5.8
8	325	1175	0.28	0.05070	0.00105	0.26784	0.00535	0.03823	0.00031	0.01193	0.00027	228	44	241.0	4.3	241.9	1.9	239.7	5.4

续表 1

样品号及 分析点号	²³² Th / ^{10⁻⁶}	²³⁸ U / ^{10⁻⁶}	Th/U	²⁰⁷ Pb / ²⁰⁶ Pb	1 σ	²⁰⁷ Pb / ²³⁵ U	1 σ	²⁰⁶ Pb / ²³⁸ U	1 σ	²⁰⁸ Pb / ²³² Th	1 σ	²⁰⁷ Pb / ²⁰⁶ Pb	1 σ	²⁰⁷ Pb / ²³⁵ U	1 σ	²⁰⁶ Pb / ²³⁸ U	1 σ	²⁰⁸ Pb / ²³² Th	1 σ
9	399	932	0.43	0.05109	0.00121	0.26800	0.00644	0.03790	0.00034	0.01125	0.00025	256	54	241.1	5.2	239.8	2.1	226.1	4.9
10	331	725	0.46	0.05246	0.00134	0.28315	0.00710	0.03899	0.00031	0.01176	0.00026	306	53	253.2	5.6	246.6	1.9	236.2	5.1
11	596	1614	0.37	0.05148	0.00109	0.26906	0.00563	0.03770	0.00029	0.01187	0.00024	262	48	241.9	4.5	238.6	1.8	238.5	4.8
12	1226	1688	0.73	0.05332	0.00108	0.26947	0.00544	0.03645	0.00024	0.01043	0.00019	343	46	242.3	4.4	230.8	1.5	209.7	3.8
15	444	645	0.69	0.05368	0.00153	0.28141	0.00796	0.03794	0.00031	0.01242	0.00024	367	60	251.8	6.3	240.0	1.9	249.5	4.7
16	657	772	0.85	0.05181	0.00135	0.27456	0.00715	0.03835	0.00033	0.01216	0.00023	276	64	246.3	5.7	242.6	2.0	244.2	4.5
18	4420	2776	1.59	0.05830	0.00118	0.30529	0.00657	0.03767	0.00028	0.01141	0.00016	543	44	270.5	5.1	238.4	1.7	229.2	3.3
19	221	415	0.53	0.05152	0.00164	0.27046	0.00864	0.03788	0.00033	0.01181	0.00025	265	77	243.1	6.9	239.7	2.1	237.4	5.1
20	206	476	0.43	0.05084	0.00171	0.26789	0.00891	0.03816	0.00038	0.01168	0.00029	235	78	241.0	7.1	241.4	2.4	234.8	5.8
21	572	541	1.06	0.05143	0.00154	0.27833	0.00800	0.03917	0.00036	0.01211	0.00024	261	69	249.3	6.4	247.7	2.2	243.2	4.7
22	391	364	1.07	0.05797	0.00296	0.31249	0.01526	0.03916	0.00038	0.01200	0.00024	528	112	276.1	12	247.6	2.4	241.1	4.8
23	698	896	0.78	0.04994	0.00114	0.28573	0.00693	0.04134	0.00050	0.01254	0.00023	191	58	255.2	5.5	261.1	3.1	251.9	4.6
24	235	252	0.93	0.04934	0.00202	0.26385	0.01043	0.03890	0.00040	0.01222	0.00027	165	96	237.8	8.4	246.0	2.5	245.4	5.5
25	482	1107	0.43	0.05053	0.00111	0.27242	0.00597	0.03891	0.00027	0.01220	0.00023	220	82	244.6	4.8	246.1	1.7	245.1	4.6
JB-8																			
1	124	368	0.34	0.05100	0.00161	0.25190	0.00843	0.03561	0.00041	0.01553	0.00052	239	79	228.1	6.8	225.6	2.6	311.5	10
2	207	526	0.39	0.04917	0.00127	0.24929	0.00637	0.03669	0.00032	0.01200	0.00025	167	61	226.0	5.2	232.3	2.0	241.1	5.1
4	327	809	0.40	0.05100	0.00122	0.24370	0.00579	0.03455	0.00025	0.01070	0.00024	243	56	221.4	4.7	219.0	1.6	215.2	4.7
5	194	436	0.44	0.05067	0.00149	0.25423	0.00752	0.03634	0.00032	0.01207	0.00031	233	67	230.0	6.1	230.1	2.0	242.4	6.2
6	178	550	0.32	0.05086	0.00182	0.25253	0.00979	0.03583	0.00032	0.01206	0.00032	235	86	228.6	7.9	226.9	2.0	242.2	6.4
7	183	499	0.37	0.05146	0.00171	0.25104	0.00831	0.03535	0.00035	0.01132	0.00027	261	81	227.4	6.7	224.0	2.2	227.5	5.5
8	767	1147	0.67	0.05208	0.00115	0.24046	0.00531	0.03342	0.00026	0.01059	0.00018	287	50	218.8	4.3	211.9	1.6	212.8	3.6
9	309	539	0.57	0.05005	0.00166	0.23717	0.00783	0.03441	0.00032	0.01079	0.00026	198	78	216.1	6.4	218.1	2.0	217.0	5.2
10	198	559	0.35	0.05334	0.00163	0.24823	0.00750	0.03354	0.00028	0.01043	0.00028	350	70	225.1	6.1	212.6	1.7	209.6	5.5
11	438	879	0.50	0.05371	0.00133	0.27780	0.00775	0.03719	0.00043	0.01184	0.00024	367	56	248.9	6.2	235.4	2.6	237.9	4.8
12	147	453	0.32	0.05092	0.00168	0.24829	0.00811	0.03538	0.00031	0.01084	0.00032	235	78	225.2	6.6	224.1	2.0	217.8	6.4
13	131	392	0.33	0.05135	0.00159	0.24386	0.00781	0.03431	0.00032	0.01035	0.00032	257	70	221.6	6.4	217.5	2.0	208.2	6.5
14	173	404	0.43	0.05716	0.00190	0.26853	0.00865	0.03410	0.00032	0.01134	0.00027	498	68	241.5	6.9	216.2	2.0	228.0	5.3
15	276	602	0.46	0.05101	0.00154	0.23933	0.00711	0.03401	0.00030	0.01095	0.00025	243	70	217.9	5.8	215.6	1.9	220.1	5.0
17	315	602	0.52	0.05293	0.00147	0.25235	0.00685	0.03459	0.00030	0.01060	0.00023	324	63	228.5	5.6	219.2	1.9	213.1	4.5
18	137	377	0.36	0.04704	0.00157	0.22562	0.00754	0.03484	0.00032	0.01041	0.00027	50	78	206.6	6.3	220.8	2.0	209.4	5.5
19	193	481	0.40	0.05234	0.00166	0.29116	0.00980	0.04016	0.00043	0.01197	0.00031	302	69	259.5	7.7	253.8	2.7	240.6	6.2
20	183	557	0.33	0.04979	0.00149	0.24565	0.00743	0.03587	0.00035	0.01103	0.00029	183	66	223.0	6.1	227.2	2.2	221.7	5.7
21	204	555	0.37	0.05149	0.00154	0.24751	0.00736	0.03489	0.00032	0.01077	0.00030	261	70	224.6	6.0	221.1	2.0	216.4	6.0
22	435	935	0.46	0.05410	0.00170	0.25804	0.00996	0.03402	0.00037	0.01160	0.00038	376	70	233.1	8.0	215.6	2.3	233.1	7.6
23	235	447	0.53	0.04798	0.00163	0.22400	0.00760	0.03391	0.00031	0.01064	0.00025	98	80	205.2	6.3	214.9	2.0	214.0	5.0
24	243	730	0.33	0.05070	0.00122	0.24179	0.00595	0.03456	0.00030	0.01121	0.00025	228	56	219.9	4.9	219.1	1.9	225.4	4.9
25	162	507	0.32	0.04996	0.00141	0.24479	0.00677	0.03554	0.00029	0.01157	0.00028	195	65	222.3	5.5	225.1	1.8	232.5	5.6

注:右边 8 列为同位素年龄及其误差(Ma)

据在 236~249Ma 之间,其余 3 个数据在 252~256Ma 之间;CN-5 有 4 个数据在 230~233Ma 之间,有 18 个数据在 238~248Ma 之间,其余 3 个数据在 255~264Ma 之间;XN-7 的数据主要集中在 238~247Ma 之间;而 JB-8 有 22 个数据集中在 212~235Ma 之间。除此之外,还有个别年龄数据较大,如样品 CN-1 的 20 号分析点结果为 274Ma,CN-5 的 4 号点年龄为 265Ma。

分别对照样品的 CL 图像发现,各个样品中年龄较大的一组数据来源于锆石核部,具有发生过重结晶作用的特征,其年龄值代表了早期结晶锆石的

形成时间;而年龄较小、比较集中且谐和度较好的一组数据则采于锆石边部岩浆振荡环带处,指示了晚期结晶锆石的年龄,代表了岩体侵入时间或成岩时间;而个别年龄大的数据则采自不规则、混杂状核部,为早期继承锆石的年龄。因此,采用谐和度高、具有振荡环带的锆石边部位置的 ²⁰⁶Pb/²³⁸U 年龄的加权平均值作为样品的年龄,即:CN-1 为 239.2Ma±1.7Ma,CN-5 为 241.5Ma±2.3Ma,XD-7 为 242.5Ma±1.6Ma,JB-8 为 219.8Ma±2.4Ma。

可见,研究区岩体的主体时代为中—晚三叠世,且至少发生过 2 期岩浆侵入活动,属于印支期。

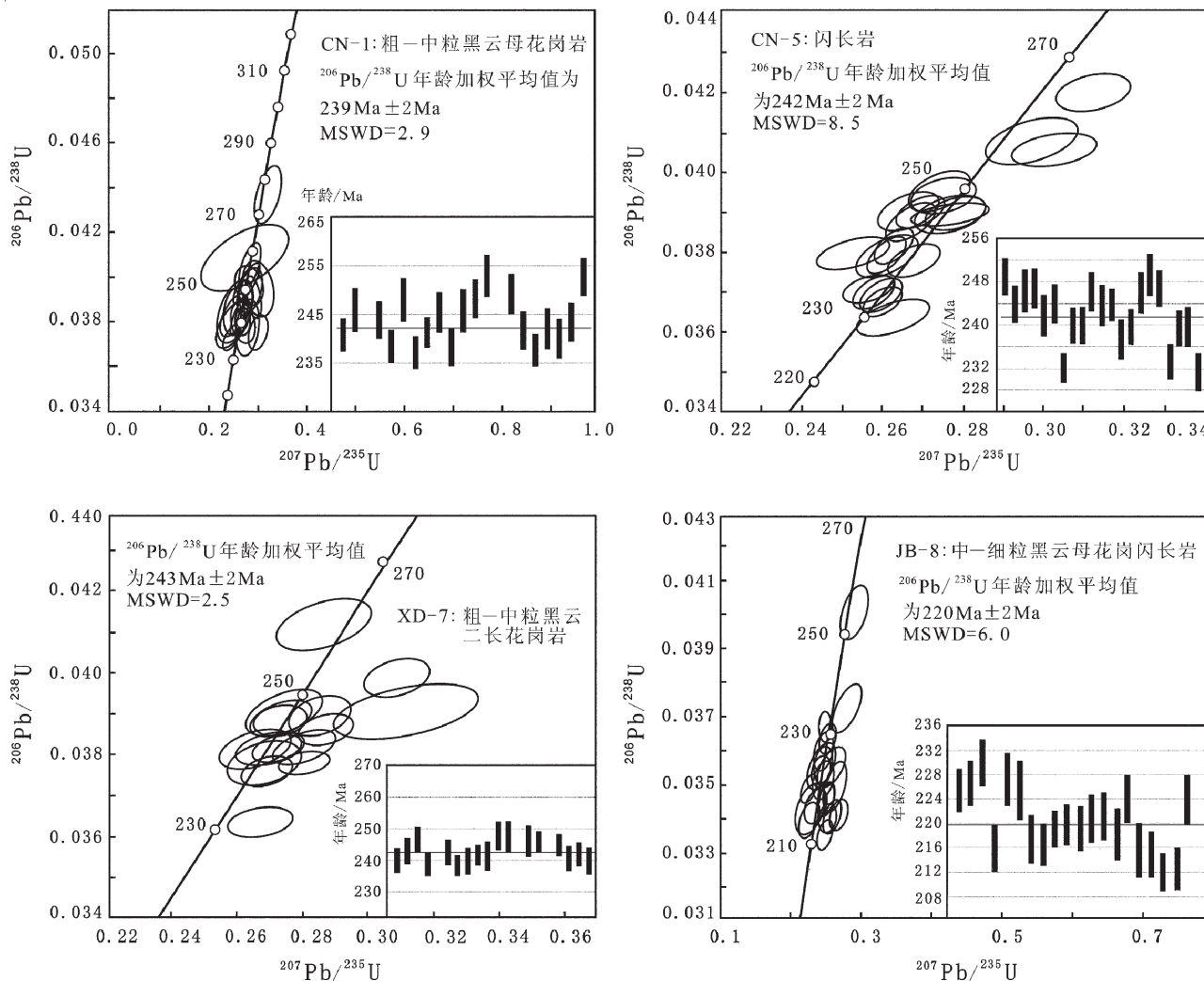


图3 研究区侵入岩锆石 U-Pb 谐和图

Fig. 3 Zircon U-Pb concordia diagrams of intrusive rocks in the study area

3.3 岩石地球化学

3.3.1 主量元素特征

岩石地球化学分析表明, SiO₂ 含量为 51.25%~76.21%, 平均 69.51%, Al₂O₃ 含量为 12.22%~16.54%, K₂O 含量为 4.22%~6.31%, 全碱指数 (Na₂O+K₂O) 为 7.06%~8.62%, K₂O/Na₂O 值为 1.04%~2.86%, 铝饱和指数 A/CNK 为 0.94%~1.18%, 具有高钾钙碱性、铝饱和度较高的特点。在图 4 中, 钾玄岩系列的出现表明该地区出现了陆内岩浆作用^[7]。

3.3.2 微量、稀土元素特征

研究区岩体样品的微量和稀土元素分析结果列于表 2, 稀土元素配分曲线和微量元素原始地幔标准化蛛网图如图 5 所示。从表 2 可以看出, 稀土

元素丰度一般, 为 109.31×10⁻⁶~254.51×10⁻⁶, 平均 187.7×10⁻⁶。LREE/HREE=1.26~30.03。(La/Yb)_N 为 0.57.71~65.44, 轻稀土元素呈现中等至强烈的富集, 表明经历了较强的磷灰石、榍石、锆石等副矿物的分离结晶作用。稀土元素标准化配分曲线呈右倾式, 左陡右缓 (图 5-a), δEu 变化于 0.01~0.31 之间, 平均为 0.16, 具有较明显的负 Eu 异常。轻稀土元素富集, 分馏明显, 重稀土元素相对亏损, 分馏不明显, 具有上地壳不同程度熔融所形成的花岗岩的特征。样品微量元素原始地幔标准化蛛网图 (图 5-b) 总体特征相似, 形态为“多谷少峰”的右倾型式。与原始地幔相比, 富集 Rb、Th、Ta、K 等大离子亲石元素, 明显亏损 Nb、Ta、P、Zr、Sr、Ti 等高场强元素, 其中 Sr、Ti

表 2 研究区花岗岩岩石地球化学分析数据和 CIPW 标准矿物特征

Table 2 Geochemical analytical data and CIPW standard mineral characteristics of granites in the study area

岩性 样号	黑云母二长花岗岩					岩性 样品号	黑云母二长花岗岩				
	CN-1	CN-2	CN-3	CN-4	CN-5		CN-1	CN-2	CN-4	CN-4	CN-5
SiO ₂	73.27	76.21	74.17	72.63	51.25	Nd	33.50	15.30	29.40	33.70	25.90
TiO ₂	0.16	0.04	0.15	0.15	1.14	Sm	6.13	6.37	5.47	3.52	5.12
Al ₂ O ₃	13.32	12.22	12.78	13.79	16.54	Eu	0.67	0.05	0.47	0.79	1.54
Fe ₂ O ₃	0.14	0.08	0.16	0.07	0.51	Gd	5.70	7.12	4.96	3.41	4.73
FeO	2.24	2.21	2.72	2.77	8.22	Tb	0.91	1.74	0.83	0.36	0.76
MnO	0.06	0.04	0.06	0.04	0.17	Dy	5.43	12.70	4.90	1.94	4.36
MgO	0.21	0.08	0.19	0.15	5.18	Ho	1.05	2.72	0.97	0.38	0.84
CaO	1.16	0.27	0.93	0.81	9.62	Er	3.09	8.47	2.80	1.08	2.29
Na ₂ O	3.50	4.07	3.33	3.24	2.39	Tm	0.59	1.76	0.55	0.15	0.40
K ₂ O	5.12	4.22	4.89	5.46	1.48	Yb	3.98	12.10	3.83	0.79	2.70
P ₂ O ₅	0.06	0.03	0.06	0.06	0.28	Lu	0.58	1.73	0.55	0.09	0.38
LOI	0.58	0.48	0.34	0.73	1.28	Y	29.60	74.30	27.30	10.80	21.80
Total	99.84	99.98	99.79	99.93	100.02	Σ REE	222.93	109.31	207.77	254.51	144.06
F/M	0.92	0.97	0.94	0.95	0.63	LREE /HREE	9.45	1.26	9.72	30.03	7.75
K/Na	1.46	1.04	1.49	1.69	0.62	(La/Yb) _N	9.51	0.57	9.58	65.44	7.66
K+ Na	8.62	8.29	8.22	8.70	3.87	δ Eu	0.11	0.01	0.10	0.23	0.31
A/CNK	0.99	1.04	1.03	1.08	0.72	Rb	300.00	440.00	240.00	340.00	100.00
Q	29.15	34.13	32.00	29.14	1.64	Ga	18.50	19.40	18.50	18.30	25.70
C	0.05	0.537	0.452	1.24	0	Sr	104.00	15.80	101.00	80.60	462.00
Or	30.49	25.07	29.06	32.53	9.04	Zr	169.00	119.00	191.00	134.00	110.00
Ab	29.84	34.61	28.33	27.64	20.9	Nb	28.00	61.60	9.15	29.40	18.00
An	5.41	1.16	4.28	3.62	31.0	Ta	4.40	8.76	2.96	4.86	1.60
La	56.00	10.50	54.30	76.50	30.60	Th	34.60	37.80	17.10	36.00	17.20
Ce	94.90	25.00	89.30	120.00	57.40	V	9.61	4.1	7.16	5.63	253
Pr	10.40	3.75	9.44	11.80	7.04	Cr	44.10	36.60	23.90	43.80	88.00

注:F/M=TFeO/(TFeO+MgO),TFeO=FeO+Fe₂O₃×0.9,球粒陨石值参考 Boynton^[10]的文献;主量元素单位为%,稀土和微量元素单位为 10⁻⁶

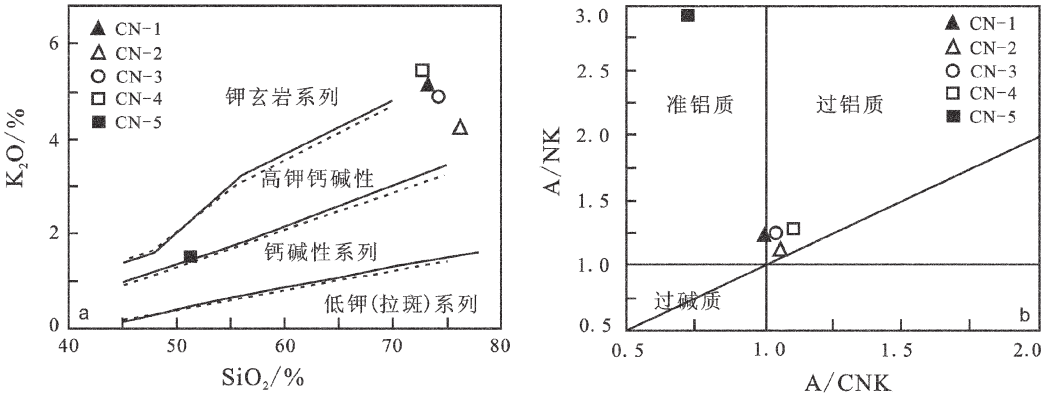


图 4 SiO₂-K₂O 图解(a)和铝饱和度图解(b)

Fig. 4 SiO₂-K₂O diagram (a) and A/CNK-A/NK diagram (b) of intrusive rocks in the study area

强烈亏损,显示有洋壳俯冲碰撞—后碰撞花岗岩的特征。

4 构造环境探讨

不同成因的花岗岩类构造环境各不相同,花岗岩成因类型一般分为 S、I、M、A 型。对于环境的划分,Maniar 等^[13]以花岗岩的主要元素成分为依据将其形成环境划分为七大类:岛弧花岗岩类(IAG)、大陆弧花岗岩类(CAG)、大陆碰撞花岗岩类(CCG)、造山后花岗岩类(POG)、与裂谷有关的花岗岩类(RRG)、陆内造陆运动隆起花岗岩类(CEUG)和大洋斜长花岗岩类(OP),其中 IAG、CAG、CCG 和

POG 属于造山花岗岩类,RRG、CEUG 和 OP 为非造山花岗岩。因而,花岗岩的形成环境探讨对大地构造研究具有十分重要的意义。

察拉地区侵入岩体的岩性主要为二长花岗岩类,其次为花岗闪长岩、闪长岩等。主要矿物组合为钾长石、斜长石、石英、角闪石和黑云母,副矿物有榍石、锆石、磷灰石等。岩石地球化学特征显示,其与板块主碰撞后具有伸展因子的后碰撞阶段形成的高钾钙碱性花岗岩的岩性特点和矿物组合一致^[12]。在岩石化学成分 CaO-(TFeO+MgO)环境判别图(图 6-a)上,区内岩石样品点均落入 IAG(岛弧花岗岩类)+CAG(大陆弧花岗岩类)+CCG(大陆碰撞花岗岩类)

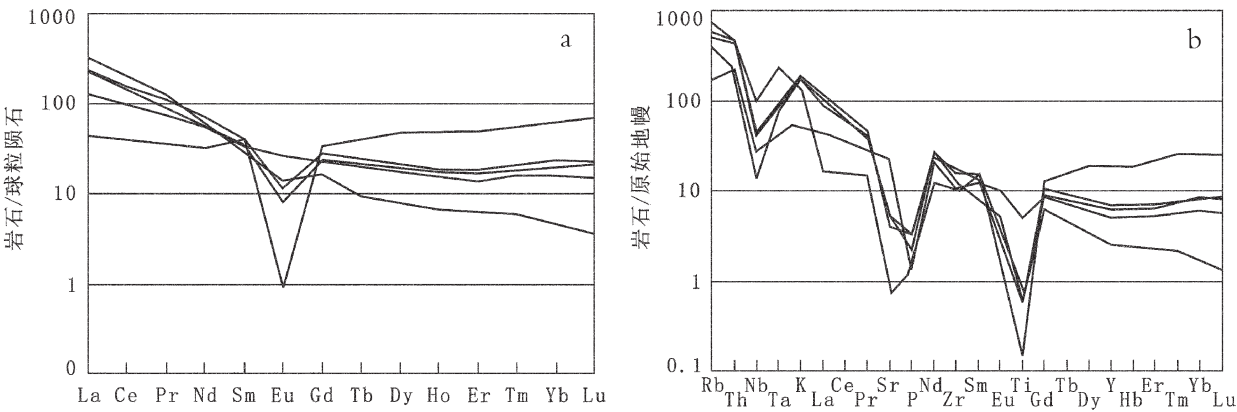


图 5 研究区岩体稀土元素配分曲线(a)和微量元素原始地幔标准化蛛网图(b)(底图分别据参考文献[10]和[11])
Fig. 5 Chondrite-normalized REE patterns (a) and primitive mantle-normalized trace element patterns (b) of intrusive rocks in the study area

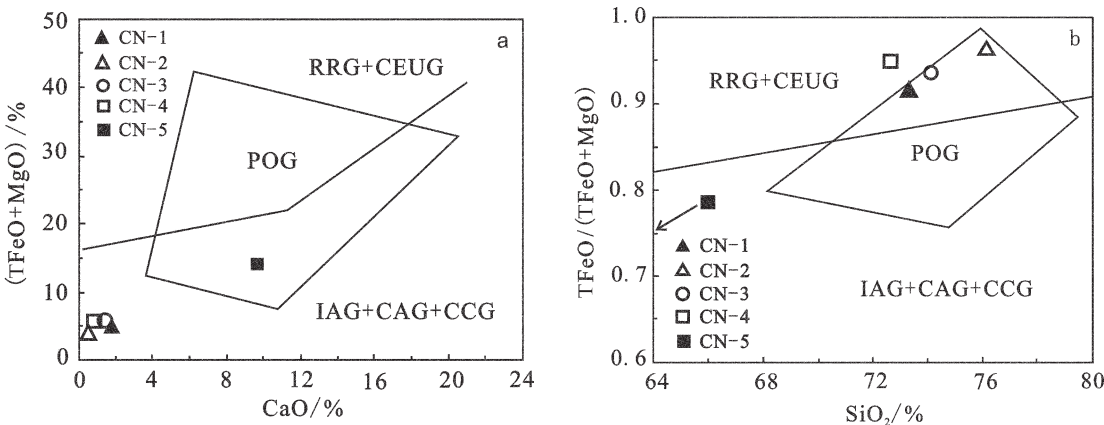


图 6 花岗岩类 CaO-(TFeO+MgO)(a)和 SiO₂-TFeO/(TFeO+MgO)(b)构造环境图解(底图据参考文献[13])
Fig. 6 CaO-(TFeO+MgO)(a) and SiO₂-TFeO/(TFeO+MgO)(b) discrimination diagrams for tectonic settings of granites
CAG—大陆弧花岗岩类;IAG—岛弧花岗岩类;CCG—大陆碰撞花岗岩类;POG—造山后花岗岩类;
RRG—与裂谷有关的花岗岩类;CEUG—与陆内隆升有关的花岗岩

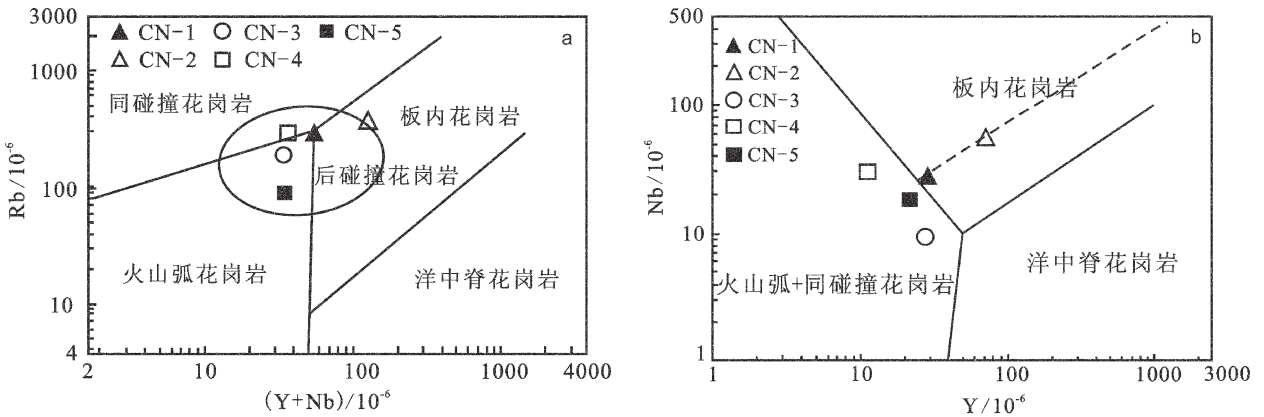


图 7 花岗岩类(Y+Nb)-Rb(a)和 Y-Nb(b)构造环境判别图解(底图据参考文献[9])

Fig. 7 (Y+Nb)-Rb (a) and Y-Nb (b) discrimination diagrams for tectonic settings of granites

混合区和 POG 区(造山后花岗岩类)。而在 SiO_2 - $\text{TFeO}/(\text{TFeO}+\text{MgO})$ 图解(图 6-b)上,样品点几乎全部落入 POG(造山后花岗岩类)区域内。以上数据表明,区内花岗岩经历了从造山运动的同碰撞期直到造山作用的最后阶段,岩浆侵位时代代表了区内大陆地壳在经历造山以后向稳定化发展的转变期^[8]。区内岩体花岗岩类和闪长岩样品的微量、稀土元素特征相似,均表现为富集大离子亲石元素和轻稀土元素,相对亏损高场强元素和重稀土元素,具有后碰撞阶段形成的花岗岩的特征。在花岗岩类(Y+Nb)-Rb 和 Y-Nb 构造环境判别图(图 7)上可见,样品点均位于火山弧花岗岩+同碰撞花岗岩+板内花岗岩区域内,为后碰撞花岗岩。该结果也表明区内花岗岩经历了从造山运动的碰撞前期直至造山运动的最后阶段,这样一个构造体制转变的过程。

5 讨论与结论

本次在研究区获得的岩体的 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄为 $242.5\text{Ma}\pm 1.6\text{Ma}\sim 219.8\text{Ma}\pm 2.4\text{Ma}$,同时花岗岩具有后碰撞-板内花岗岩的特征。其中 $219.8\text{Ma}\pm 2.4\text{Ma}$ 的年龄值为该区开始出现板内岩浆作用的年龄,其它 3 个 240Ma 左右的年龄值,对应后碰撞-板内岩浆活动期的年龄。有报道在研究区内查无拉取得 232Ma ^[14] 的碰撞花岗岩年龄,在类乌齐获得 $282.1\text{Ma}\pm 0.9\text{Ma}$ ^[15] 的洋壳消减碰撞年龄,则可能说明在藏东地区澜沧江结合带澜沧江洋的俯冲早于早二叠世($282.1\text{Ma}\pm 0.9\text{Ma}$),在晚三叠世

($219.8\text{Ma}\pm 2.4\text{Ma}$)左右闭合,并开始出现板内花岗岩。这一闭合的年龄与羌塘地区龙木错-双湖板块缝合带闭合的年龄 $219.7\text{Ma}\pm 6.5\text{Ma}\sim 214.0\text{Ma}\pm 4.0\text{Ma}$ ^[16,19]在误差范围内有较好的一致性。

研究区构造演化可大致概括为以下 5 个阶段^[17]:①元古宙晋宁运动形成结晶基底阶段;②早古生代加里东构造运动表现强烈,形成更加稳定的褶皱基底阶段;③晚古生代澜沧江洋壳向东俯冲,发育火山岩浆弧,进入弧后盆地阶段;④中生代澜沧江洋盆关闭,进入弧后前陆盆地演化阶段;⑤新生代陆内汇聚演化阶段。由岩石地球化学特征和构造环境判别图解可知,区内侵入岩体正是中生代澜沧江洋盆关闭、同碰撞期一直到造山作用最后阶段的产物。野外地质调查发现,区内岩体侵位与澜沧江结合带密切相关,多为深源物质沿超壳走滑拉张断裂侵位。这种沿 NNW 向展布的走滑拉张断裂带的存在,说明该时期为一种拉张性环境^[18]。前人对该区中生代火山岩做了双峰图解、沉积相构造环境判别、岩石地球化学的研究,表明该区火山岩有明显的“双峰”特点,并得出了研究区进入陆内演化阶段后并不是一味的挤压,而是经历短暂的挤压后进入拉张伸展体制的结论^[12],这与本文对侵入岩体的地球化学和构造环境研究有较好的一致性。综上所述,可以认为察拉地区侵入岩体总体为“后造山”构造环境,具有从同碰撞一直到碰撞后板内花岗岩的特点,为澜沧江洋板块向东与昌都微陆块俯冲碰撞之后地壳伸展、快速隆升背景下地壳深熔的结果。

致谢:参加野外工作的还有宋兴龙、陈伟军、于宝申、赵强、冯德国等同志,中国地质大学(武汉)袁晏明教授对本文提出了宝贵的修改意见,邓新、高成、蒋幸福博士及巴金同学在实验和数据处理方面给予很多帮助,在此一并致谢。

参考文献

- [1]潘桂棠,李兴振,王立全,等.青藏高原及邻区大地构造单元初步划分[J].地质通报,2002,21(11):701-707.
- [2]李才,谢尧武,董永胜,等.北澜沧江带的性质——是冈瓦纳板块与扬子板块的界线吗?[J].地质通报,2009,28(12):1711-1720.
- [3]Yuan H L, Gao S, Liu X M, et al. Accurate U-Pb age and trace element determinations of zircon by laser ablation-inductively coupled plasma mass spectrometry [J]. Geostandards and Geoanalytical Research, 2004, 28(3): 353-370.
- [4]Liu Y S, Gao S, Hu Z C, et al. Continental and oceanic crust recycling-induced melt-peridotite interactions in the Trans-North China Orogen: U-Pb dating, Hf isotopes and trace elements in zircons of mantle xenoliths [J]. Journal of Petrology, 2010, 51(1/2): 537-571.
- [5]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):1589-1605.
- [6]丁兴,陈培荣,陈卫锋,等.湖南沩山花岗岩中锆石 LA-ICP-MS U-Pb 定年:成岩启示和意义[J].中国科学(D 辑),2005,35(7):606-617.
- [7]梁银平,朱杰,次邛,等.青藏高原冈底斯带中部朱诺地区林子宗群火山岩锆石 U-Pb 年龄和地球化学特征[J].地球科学,2010,35(2): 212-225.
- [8]和钟铎,杨德明,王天武.冈底斯带谷露区中新世花岗岩地球化学特征及构造环境[J].吉林大学学报(地球科学版),2007,37(1):32-39.
- [9]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.
- [10]Boynnton W V. Geochemistry of the earth elements: meteorite studies [M]//Henderson P. Rare earth element geochemistry. Elsevier, 1984: 66-114.
- [11]Sun S S, McDonough W F. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes [J]. Geological Society Special Publications, 1989, 42: 313-345.
- [12]寇林林,钟康惠,唐菊兴,等.昌都-思茅构造带晚三叠世构造环境的火山岩地球化学判别[J].地质学报,2009,42(1):80-89.
- [13]Maniar P D, Piccoli P M. Tectonic discrimination of granitoids [J]. Geological Society of America Bulletin, 1989, 101: 635-643.
- [14]王根厚,贾建称,王永平,等.藏东巴青县以北西西岩组构造片理形成及构造意义[J].地学前缘,2006,13(4):180-187.
- [15]曾庆高,王保弟,强巴扎西,等.藏东类乌齐地区花岗质片麻岩锆石 Cameca U-Pb 定年及其地质意义[J].地质通报,2010,29(8): 1123-1128.
- [16]李才,翟庆国,陈文.青藏高原原木错-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.
- [17]谭富文,王高明,惠兰,等.藏东地区新生代构造体系与成矿的关系[J].地球学报,2001,22(2):123-129.
- [18]钟康惠,舒良树,刘肇昌,等.澜沧江断裂带的新生代走滑运动学特点[J].地质评论,2004,50(1):1-8.
- [19]胡培远,李才,杨韩涛,等.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[J].地质通报,2010,29(12): 1825-1832.