

西藏冈底斯岩带曲水杂岩体锆石 LA-ICP-MS U-Pb 年龄及其地质意义

次琼¹, 永忠拉达¹, 阿旺旦增¹, 次仁吉²

(1. 西藏自治区地质矿产勘查开发局第二地质大队, 西藏 拉萨 850000; 2. 西藏自治区地质矿产勘查开发局第六地质大队, 西藏 拉萨 850000)

摘要:曲水杂岩体位于冈底斯构造-岩浆岩带东段南缘,其岩浆活动与雅鲁藏布江新特提斯洋壳向北俯冲、消减以及印度与欧亚板块碰撞息息相关。本文以曲水县-昌果乡广泛分布的中酸性花岗岩体为研究对象,进行了系统的LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年代学和岩石地球化学研究。结果表明,曲水杂岩体由3期时代和规模不同的花岗质岩体构成,其LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄分别为 $95.2 \pm 1.0 \sim 88.5 \pm 1.0$ Ma、 65.2 ± 0.6 Ma 和 $48.5 \pm 0.5 \sim 43.3 \pm 0.7$ Ma;岩石地球化学研究表明,晚白垩世和古新世花岗岩以中性-中酸性为主,属钙碱性系列,具中铝特征,A/CNK 比值小于1.1,属于I型花岗岩,是玄武质地壳部分熔融产物,指示其形成于特提斯洋壳俯冲过程的岛弧构造环境。始新世花岗岩以高钾钙碱性系列为主,并出现钾玄岩系列,具偏铝-过铝质特征,指示岩浆上侵过程中遭受了不同程度的地壳物质混染,其形成于印度-欧亚板块强烈碰撞的构造环境。

关键词:锆石 U-Pb 年龄;地质意义;曲水杂岩体;冈底斯岩浆岩带;西藏

中图分类号:P588.12

文献标识码:A

冈底斯-构造岩浆带呈东西向平行雅鲁藏布江缝合带展布(图1a),东西延伸约2600km,南北宽约80~150km。该带岩浆岩分布广泛,岩浆活动期次多、岩石类型复杂,由北至南划分为北亚带、中亚带和南亚带^[1-2],岩浆活动与雅鲁藏布江新特提斯洋壳向北俯冲、消减以及印度与欧亚板块碰撞息息相关^[3]。

曲水杂岩体位于冈底斯构造-岩浆岩带东段南缘,属于冈底斯花岗岩带南亚带,岩石类型以花岗闪长岩、石英闪长岩、石英二长岩、二长花岗岩为主,含大量的暗色镁铁质微细粒包裹体及其它岩浆混合作用标志^[4-5]。前人在不同地段从不同的角度对冈底斯带花岗岩类进行了系统的研究工作,取得了一大批重要的研究成果^[6-22],但是针对曲水岩体依然缺乏精确的年代学和系统的地球化学研究。笔者在近年来开展“西藏贡嘎地区矿产远景调查”(2008~2010)项目过程中,在翔实的野外地质调查基础上,重新厘定了冈底斯东段南缘曲水杂岩体花

岗岩的分布范围与岩石类型,并对主要的岩石类型进行了LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 同位素年代学和岩石地球化学研究,试图精细地揭示曲水杂岩体的形成时代,探讨其成因及构造意义。

1 地质背景和样品描述

1.1 地质背景

曲水杂岩体位于拉萨市西约40km的曲水县-昌果乡一带,面积约388km²,呈近东西向不规则条带状分布于雅鲁藏布江以北(图1b),属于冈底斯花岗岩带南亚带^[1-2]。杂岩体与围岩呈侵入接触,接触界线为不规则港湾状。围岩为麻木下组、比马组、楚木龙组、塔克那组和典中组地层。杂岩体的岩石类型由花岗闪长岩、石英闪长岩、石英二长岩、二长花岗岩等组成,其中二长花岗岩是主体岩石。从空间分布上看,杂岩体的南部以中粗粒黑云二长花岗岩、中细粒石英闪长岩为主,中部以中-中细粒花岗闪长岩为主,北部以中粗粒二长花岗

收稿日期:2020-03-12; 改回日期:2020-05-19

作者简介:次琼(1972-),男,高级工程师,从事区域地质调查与矿床勘查工作。E-mail:346755881@qq.com

资助项目:中国地调局“西藏贡嘎地区矿产远景调查”青藏专项(1212010818031)

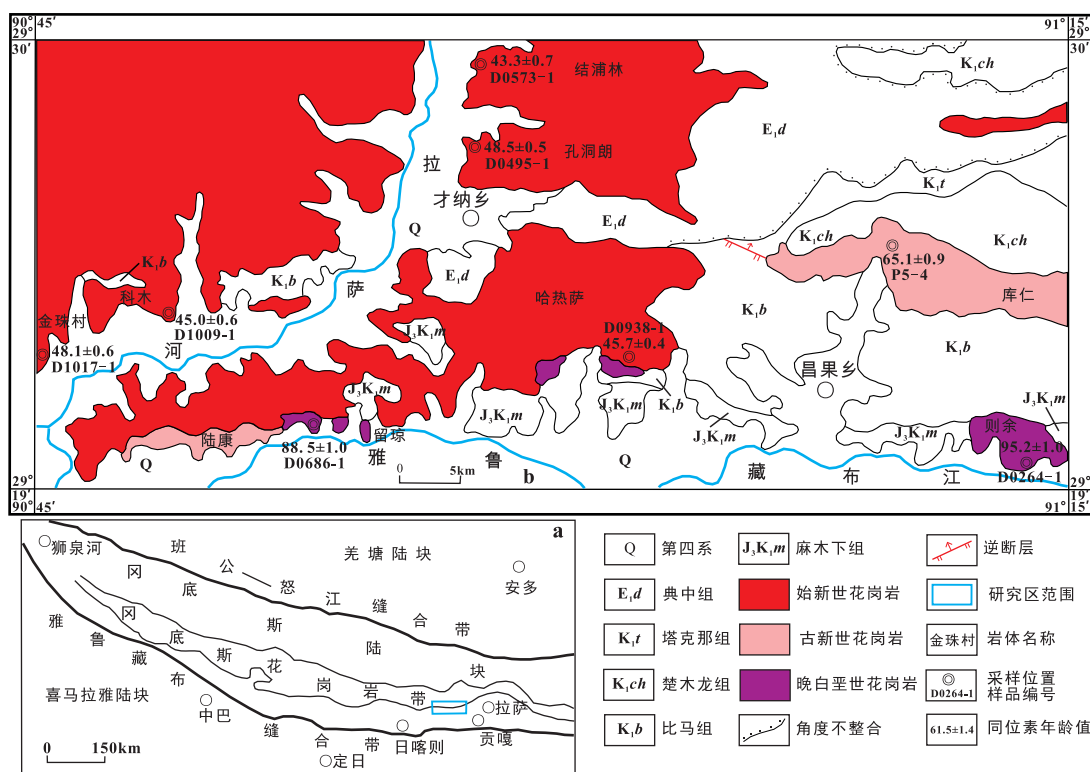


图1 曲水杂岩体地质简图

Fig. 1 Simplified geological map of the Quxu granitic complex

岩为主。根据岩浆侵入序次和空间分布情况,可进一步解体为晚白垩世则余中粗粒黑云二长花岗岩和留琼中细粒石英闪长岩、古新世库仁中-细粒黑云角闪花岗闪长岩和陆康中-细粒角闪花岗闪长岩、始新世金珠村细中粒黑云石英二长闪长岩、孔洞朗中粗粒似斑状黑云角闪二长花岗岩、哈热萨中细粒黑云二长花岗岩、结蒲林中粒黑云二长花岗岩和科木细-中粒角闪黑云花岗闪长岩等9个侵入岩体。

晚白垩世则余中粗粒黑云二长花岗岩体和留琼中细粒石英闪长岩体出露面积约8.7km²,侵入于桑日群麻木下组和比马组地层之中,被始新世花岗闪长岩侵入(图2a)。古新世库仁中-细粒黑云角闪花岗闪长岩面积约35.4km²,侵入于比马组、楚木龙组(图2b)及塔克那组地层之中,被晚期始新世哈热萨中细粒黑云二长花岗岩侵入。始新世花岗岩分布范围广,面积约343.6km²,岩石类型复杂,以含大量的暗色镁铁质微细粒包裹体及其它岩浆混合作用标志为特征,构成了曲水杂岩体的主体,也是冈底斯东段中酸性侵入岩带的重要组成部分。根据岩浆侵入序次,由早到晚进一步划分为孔洞朗中粗粒似斑状黑云角闪二长花岗岩(图2c)、金珠村细

中粒黑云石英二长闪长岩、哈热萨中细粒黑云二长花岗岩、科木细-中粒角闪黑云花岗闪长岩和结蒲林中粒黑云二长花岗岩(图2d)。始新世岩体之间呈脉动侵入接触(图2e,f),并侵入于早期的晚白垩世留琼岩体(图2a)、古新世库仁岩体和围岩地层中,可见围岩比马组安山岩捕虏体(图2g,2h)。

1.2 样品描述

对9件曲水花岗质杂岩体主要岩石类型样品进行了常量元素、微量元素分析和室内的薄片鉴定,对其中的8件样品进行了锆石 LA-ICP-MS U-Pb 定年。测试样品的岩石名称、岩性特征及采样位置见表1。

2 分析方法

2.1 主量、微量元素

主量、微量元素及稀土元素在自然资源部武汉矿产资源监督检测中心测定,选择无脉体、无蚀变的新鲜样品,首先将样品粗碎至直径3cm左右,挑选新鲜的样品碎块,细碎至200目以下,然后分析其主量元素和微量元素含量。主量元素除Fe²⁺用化学方法测定外,其它元素采用XRF方法测定,分析精度优于1%。稀土和微量元素用ICP-MS方法测定,检测限低于0.5×10⁻⁹,相对标准偏差小于5%。



图2 曲水杂岩体花岗岩野外露头及显微结构特征

a. 留琼岩体与科木岩体侵入接触;b. 库仁岩体侵入于楚木龙组地层中;c. 孔洞朗岩体似斑状结构;d. 结蒲林中粒黑云二长花岗岩(50 × (+))格子双晶(上部)和卡氏双晶(中部);e. 金珠村岩体与科木岩体侵入接触;f. 哈热萨岩体与科木岩体脉动侵入接触;g. 结蒲林岩体中的比马组安山岩捕虏体;h. 科木岩体中的比马组安山岩捕虏体;δoK₂LQ-留琼石英闪长岩体;ψγδK₂KR-库仁黑云角闪花岗闪长岩体;βηγE₂Kd-孔洞朗似斑状黑云角闪二长花岗岩体;ηδoE₂J-金珠村黑云石英二长闪长岩体;ψηγE₂H-哈热萨黑云二长花岗岩体;βγδE₂K-科木角闪黑云花岗闪长岩体;βηγE₂JP-结蒲林中粒黑云二长花岗岩体;K₁b-比马组;K₁ch-楚木龙组。

Fig.2 Outcrop photographs and microstructures of the Quxu granitic complex

表1 西藏曲水杂岩体花岗岩样品概况

Table 1 Locations of samples from the Quxu granitic complex ,Tibet

样品号	岩石名称	岩体	采样位置	岩性简述
D0264-1	中粗粒黑云二长花岗岩	则余	91°13'51.4"E 29°19'7.2"N	斜长石 25 ~ 30% , 石英 20 ~ 25% , 钾长石 25 ~ 30% , 为微斜 - 微纹长石 , 黑云母 3 ~ 5% , 角闪石 1 ~ 2% , 磁铁矿 2 ~ 3% 。
D0686-1	中细粒石英闪长岩	留琼	90°53'5.4"E 29°20'5.7"N	斜长石 65% , 为中 - 更长石 , 可能以更长石为主 , 有大的晶体呈似斑晶 , 隐约可见环带构造 , 石英 5% , 角闪石及黑云母占 30% , 两者含量相近。
P5-4	黑云角闪花岗闪长岩	库仁	91°09'36.8"E 29°24'33.7"N	斜长石 55% , 为中长石 , 石英 23% , 钾长石 ≤ 5% , 为微斜长石 , 暗色矿物 ≤ 20% 。
D0904-1	角闪花岗闪长岩	陆康	90°48'5.3"E 29°19'46.7"N	斜长石 60% , 更长石为主 , 石英 15% , 角闪石 15% , 黑云母 < 5% , 于角闪石边部伴生 , 为不规则叶片状。
D1017-1	黑云石英二长闪长岩	金珠村	90°45'21.4"E 29°21'47.2"N	斜长石 50 ~ 55% , 钾长石 10 ~ 15% , 微斜 - 微纹长石 , 石英含量 < 5% , 黑云母含量 10 ~ 15% , 磁铁矿 1 ~ 2% , 方解石呈自形粒状集合体沿裂隙充填。
D0495-1	似斑状黑云角闪二长花岗岩	孔洞朗	90°57'24.7"E 29°27'27.1"N	斜长石 30% , 为中长 - 更长石 , 钾长石 45% , 为微纹长石 , 有巨斑状似斑晶 , 粒径可达 15 × 11mm , 具卡氏双晶 , 石英 20% , 角闪石 - 黑云母 5% 。
D0938-1	黑云二长花岗岩	哈热萨	90°02'4.2"E 29°21'43.7"N	斜长石 30 ~ 35% , 钾长石 25 ~ 30% , 为粗大板状微斜 - 微纹长石 , 石英 20 ~ 25% , 黑云母 3 ~ 5% , 磁铁矿约 1% , 方解石 1 ~ 2% 。
D0573-1	黑云母二长花岗岩	结蒲林	90°55'43.2"E 29°24'28.2"N	斜长石 40% , 为中长石 , 钾长石 35% , 为条纹长石 , 石英 20% , 黑云母 5% , 角闪石少见。
D1009-1	角闪黑云花岗闪长岩	科木	90°49'3.0"E 29°22'56.6"N	斜长石 50 ~ 55% , 钾长石 5 ~ 8% , 石英 20 ~ 25% , 黑云母 3 ~ 5% , 角闪石 3 ~ 5% , 磁铁矿 2 ~ 3% 及少量的方解石磷灰石等。

表 2 曲水杂岩体主量元素 ($w_B/\%$) 和微量、稀土元素 ($w_B/10^{-6}$) 分析结果

Table2 Analysis results of major elements ($W_B/\%$), trace elements and rare earth elements ($W_B/10^{-6}$) for the Quxu granitic complex

地质年代	晚白垩世		古新世		始新世				
岩体名称	则余	留琼	库仁	陆康	金珠村	孔洞朗	哈热萨	结蒲林	科木
样号	D0264-1	D0686-1	P5-4	D0904-1	D1017-1	D0495-1	D0938-1	D0573-1	D1009-1
SiO ₂	70.93	59.32	62.49	66.1	61.26	68.52	69.16	67.8	66.86
TiO ₂	0.27	0.83	0.57	0.44	0.58	0.41	0.32	0.42	0.45
Al ₂ O ₃	14.59	16.9	16.39	16.06	17.35	14.76	15.08	15.31	15.49
Fe ₂ O ₃	1.15	2.54	2.59	1.93	2.37	1.64	1.41	1.48	1.93
FeO	1.07	4	2.53	1.83	2.75	1.8	1.35	1.4	1.57
MnO	0.04	0.11	0.1	0.09	0.09	0.06	0.06	0.05	0.07
MgO	0.83	3	2.36	1.55	2.3	1.26	1.14	1.2	1.5
CaO	2.48	5.73	5.14	3.95	4.93	3.17	2.59	2.78	3.39
Na ₂ O	3.78	3.61	3.18	4.08	4.05	3.15	3.92	3.69	3.92
K ₂ O	3.81	2.51	2.17	2.74	2.96	3.97	3.7	4.64	3.57
P ₂ O ₅	0.08	0.22	0.15	0.16	0.2	0.1	0.14	0.2	0.16
CO ₂	0.29	0.08	0.41	0.14	0.16	0.06	0.08	0.04	0.12
H ₂ O ⁺	0.48	0.93	1.73	0.69	0.73	0.9	0.81	0.59	0.72
H ₂ O ⁻	0.2	0.24	0.32	0.25	0.31	0.2	0.24	0.26	0.13
总量	100	100.02	100.13	100.01	100.04	100	100	99.86	99.88
A/CNK	1	0.886	0.968	0.953	0.921	0.968	0.995	0.948	0.94
Mg [#]	0.7	0.82	0.87	0.76	0.83	0.67	0.74	0.79	0.79
σ	2.06	2.29	1.47	2.01	2.69	1.99	2.22	2.8	2.35
La	21.32	21.98	15.72	27.8	20.88	22.36	41.03	59.42	33.79
Ce	36.19	45.28	29.71	52.62	42.5	42.15	68.97	105.6	58.76
Pr	4.16	6.3	3.71	6.01	5.79	5.57	7.83	11.57	6.86
Nd	13.96	22.52	14.49	22.77	20.7	17.84	25.01	37.66	22.82
Sm	2.39	4.71	3.1	3.96	3.88	3.3	3.81	5.96	3.8
Eu	0.67	1.21	0.96	0.97	1.13	0.79	0.95	1.19	0.9
Gd	1.74	4.14	2.75	2.87	3.06	2.76	2.54	3.77	2.55
Tb	0.26	0.65	0.44	0.42	0.48	0.43	0.37	0.52	0.36
Dy	1.39	3.27	2.51	2.11	2.61	2.4	1.75	2.29	1.77
Ho	0.28	0.66	0.54	0.45	0.55	0.54	0.35	0.45	0.39
Er	0.77	1.78	1.5	1.12	1.28	1.51	0.84	1.03	1.01
Tm	0.13	0.27	0.25	0.19	0.21	0.25	0.13	0.17	0.16
Yb	0.78	1.76	1.54	1.16	1.38	1.66	0.81	1.01	0.99
Lu	0.13	0.28	0.26	0.19	0.24	0.28	0.14	0.17	0.17
Y	6.92	16.62	13.9	10.22	20.88	13.71	7.71	10.54	8.71
ΣREE	91.09	131.43	91.38	132.86	116.79	115.55	162.24	241.35	143.04
La/Yb	18.44	8.42	6.88	16.16	10.2	9.08	34.11	39.69	23
δEu	0.96	0.82	0.98	0.84	0.97	0.78	0.87	0.72	0.83
Rb	113	84.9	46.7	74.2	68.2	109	108	297	61.7
Sr	498	587	459	660	718	365	538	576	657
Zr	95.2	16.62	113	128	12.1	145	121	194	153
Nb	6.02	167	5.22	7.4	175	7.03	9.13	15.5	7.79
Th	10.2	7.66	4.35	12.4	5.92	19.1	32.1	62.4	15.7
Pb	16.5	9.87	13.6	22.9	7.14	24	19.2	71.2	20.8
Ga	16.7	17.9	18.3	21	12.9	16.4	17.8	20.4	20.9

续表 2

地质年代	晚白垩世		古新世		始新世				
岩体名称	则余	留琼	库仁	陆康	金珠村	孔洞朗	哈热萨	结蒲林	科木
Zn	19.9	21.2	61.3	52.2	22	42.8	37.7	45.3	45.1
Cu	5.5	83.2	16.6	11.1	65.7	4.48	15.4	58.7	10.3
Ni	3.67	46.6	8.2	5.56	30.8	4.44	5.77	8.13	7.93
V	39.8	15	98.9	59.1	8.05	58.5	44.4	46.2	61.8
Cr	3.4	129	17.8	11.5	91.1	10.5	8.5	13.9	12.7
Hf	3.5	23.3	3.3	4.5	23.2	4.6	4	7.2	4.8
Sc	3.65	5.2	13.7	7.27	5.2	7.49	4.19	5.19	6.62
Ta	0.86	14.8	0.49	0.64	11.6	0.72	0.87	1.59	0.66
Co	5.19	0.63	16.5	10.5	0.45	9.27	7.46	7.74	10.5
U	2.86	23	1.02	3.02	15.5	2.48	4.3	11.7	2.66
Ba	486	2.41	488	614	1.83	576	801	768	709
Sr/Y	72	35	33	65	34	27	70	55	75

2.2 锆石 U-Pb 定年

锆石激光剥蚀等离子体质谱仪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,采用了锆石 U-Pb 定年和微量元素同时测定的分析方法。实验所采用的激光束斑直径 32 μm ,实验中采用 He 作为剥蚀物质的载气,锆石 U-Pb 年代学计算 91500 作为同位素分馏校正的外标。微量元素数据处理采样 NIST610 作为内标, Si 作为内标的方法完成。数据处理采用 ICPMSDataCa (Liu et al., 2009) 程序,利用 Andersen et al. (2002) 方法对普通 Pb 进行了校正,并采用 ISOPLLOT 程序 (Ludwig, 2001) 进行锆石加权平均年龄计算及谐和图的绘制。

3 测试结果

3.1 主量元素

曲水杂岩体主量元素分析结果(表 2)显示,花岗岩体的 SiO_2 质量分数为 59.32% ~ 70.93%, Al_2O_3 为 14.59% ~ 17.35%, CaO 介于 2.48% ~ 5.73%, K_2O 为 2.17% ~ 4.64%, Na_2O 为 3.15% ~ 4.08%, MgO 为 0.83% ~ 3%, FeO 为 1.07% ~ 4%, Fe_2O_3 为 1.15% ~ 2.59%, $\text{Mg}^\# [100 \times \text{Mg}^{2+} / (\text{Mg}^{2+} + \text{Fe}^{2+})]$ 变化较大(67 ~ 87),里特曼指数(σ)为 1.47 ~ 2.8,岩石属钙碱性岩类。在 SiO_2 - K_2O 图上,曲水杂岩体花岗岩均属于钙碱性系列-高钾钙碱性系列(图 3a)。铝饱和指数 A/CNK 为 0.886 ~ 1,在 A/CNK - A/NK 图上,曲水杂岩体花岗岩均属于准铝质(图 3b)。

3.2 微量元素特征

曲水杂岩体的微量元素分析结果(表 2)显示,岩体的稀土总量(ΣREE)变化范围较大(91.09 ~

241.35 $\times 10^{-6}$),在经球粒陨石标准化的稀土元素配分模式图(图 4a)上总体表现为轻稀土富集程度不同的右倾斜型,其 La/Yb 比值为 6.88 ~ 39.69,铈负异常($\delta\text{Eu} = 0.72 \sim 0.98$)均不明显。曲水杂岩花岗岩体的大离子亲石元素 Rb、Ba 的含量分别为 $(46.7 \sim 297) \times 10^{-6}$ 和 $(1.83 \sim 801) \times 10^{-6}$;高场强元素 Nb、Ta、Zr、Hf 的含量分别为 $(5.22 \sim 175) \times 10^{-6}$, $(0.49 \sim 14.8) \times 10^{-6}$, $(12.1 \sim 194) \times 10^{-6}$ 和 $(3.3 \sim 23.3) \times 10^{-6}$;在经过原始地幔标准化后的微量元素比值蛛网图(图 4b)上,曲水杂岩体表现出 Rb、Th、U 等元素的正异常和 Ba、Ta 等元素的负异常。

3.3 锆石 LA-ICP-MS U-Pb 年龄

曲水杂岩体的 8 件锆石样品呈灰色、灰褐色,部分无色透明,自形程度较高,呈柱状-棱柱状,阴极发光电子(CL)图像(图 5)显示,锆石具清晰振荡环带结构。

锆石 U-Pb 测试结果(表 3、表 4、表 5)显示,晚白垩世花岗岩体 D0264-1(则余岩体)和 D0686-1(留琼岩体)样品 Th/U 比值分别在 0.91 ~ 1.742 和 0.9637 ~ 1.4634 之间;古新世花岗岩体 P5-4(库仁岩体)样品 Th/U 比值为 1.3758 ~ 2.0271;始新世花岗岩体 D0495-1(孔洞朗岩体)锆石 Th/U 比值为 1.2502 ~ 2.0599, D1017-1(金珠村岩体)锆石 Th/U 比值为 0.7204 ~ 1.2878, D0938-2(哈热萨岩体)锆石 Th/U 比值为 0.3721 ~ 0.9576, D1009-1(科木岩体)锆石 Th/U 比值为 0.6433 ~ 9.6675, D0573-1(结蒲林岩体)锆石 Th/U 比值为 0.8574 ~ 4.6186,均大于 0.4,为典型的岩浆成因锆石^[23],锆石 U-Pb 年龄可代表岩体的形成时间。

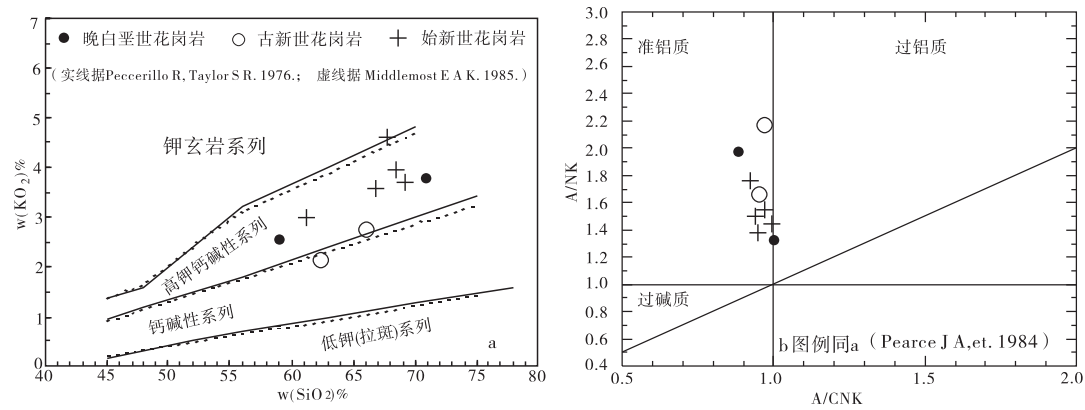


图3 曲水杂岩体花岗岩分类图解

Fig. 3 Classification diagrams of the Quxu granitic complex

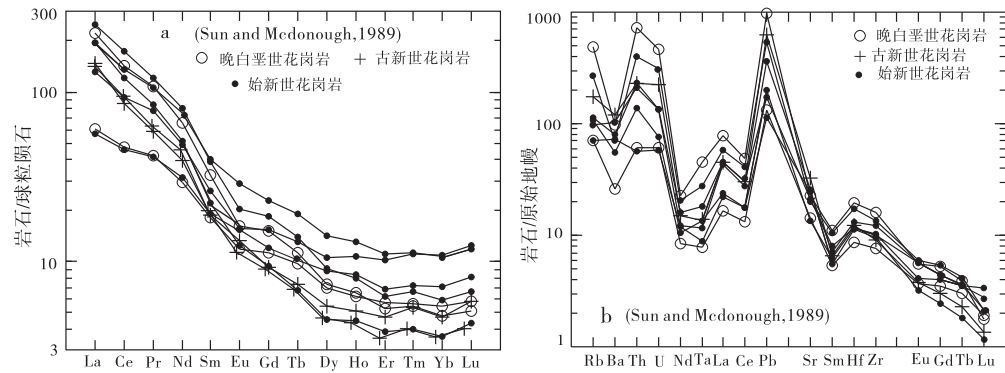


图4 曲水杂岩体稀土元素配分模式图(a)和微量元素比值蛛网图(b)

Fig. 4 Chondrite-normalized REE patterns (a) and primitive mantle-normalized trace element patterns (b) of the Quxu granitic complex

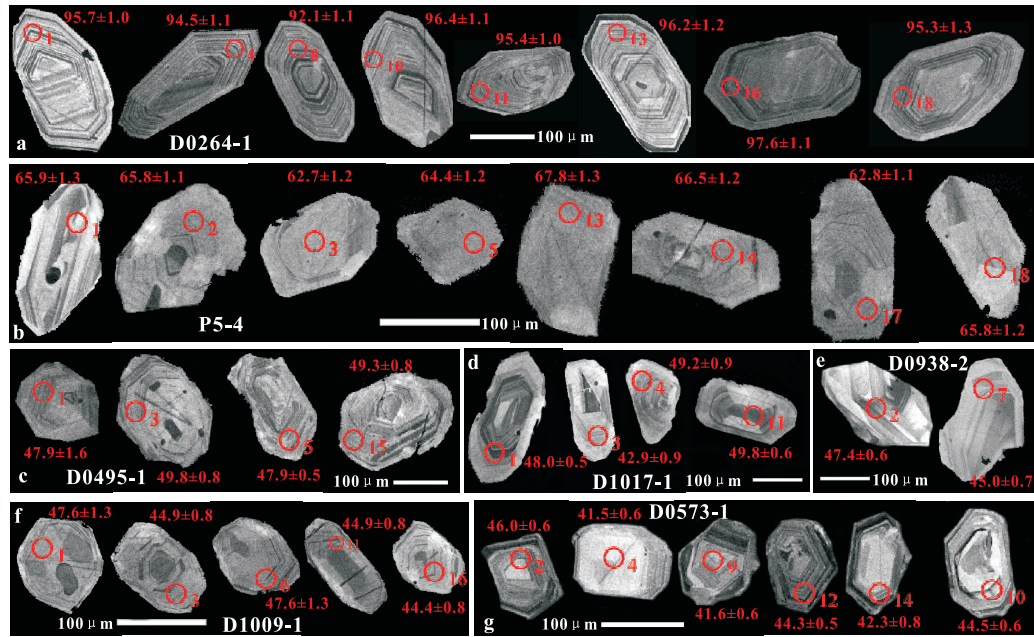


图5 曲水杂岩体花岗岩锆石阴极发光电子图像

Fig. 5 Cathodoluminescence electron images of zircons from the Quxu granitic complex

则余岩体(D0264-1)测定了18颗锆石, $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄在92.0~98.8Ma之间,在U-Pb年龄谐和图线上形成聚集束(图6a), $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 加权平均年龄为 $95.2 \pm 1.0\text{Ma}$ (1σ ,MSWD=3.4);D0686-1(留琼岩体)测定了14颗锆石, $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄在85.4~91Ma之间,在U-Pb年龄谐和线附近形成聚集束(图6b), $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 加权平均年龄为 $88.5 \pm 1.0\text{Ma}$ (1σ ,MSWD=1.7)。因此,则余岩体和留琼

岩体锆石U-Pb年龄为 $88.5 \pm 1.0 \sim 95.2 \pm 1.0\text{Ma}$,形成于晚白垩世(K_2)时期。

P5-4(库仁岩体)测定了18颗锆石,在U-Pb年龄谐和线附近形成聚集束(图6c), $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄在61.9~67.8Ma,加权平均年龄为 $65.2 \pm 0.6\text{Ma}$ (1σ ,MSWD=2.4),表明其形成时代为古新世(E_1)时期。

表3 曲水杂岩体晚白垩世花岗岩锆石分析结果

Table3 Zircon analysis results of the Late Cretaceous granite from the Quxu complex

样品号及 分析点号	含量(× 10 ⁻⁶)			Th/ U	同位素比值			年龄(Ma)
	Pb	Th	U		²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb ± 1σ	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U ± 1σ	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U ± 1σ	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U ± 1σ
D0264-1	则余岩体加权平均年龄 95. 2 ± 1. 0							
D0264-1-01	14. 471	623	724	1. 23	0. 048 ± 0. 002	0. 098 ± 0. 004	0. 015 ± 0. 000	95. 747 ± 0. 957
D0264-1-02	19. 701	1036	893	0. 91	0. 048 ± 0. 002	0. 102 ± 0. 004	0. 015 ± 0. 000	98. 404 ± 1. 058
D0264-1-03	12. 987	551	680	1. 276	0. 049 ± 0. 002	0. 099 ± 0. 005	0. 015 ± 0. 000	92. 954 ± 0. 982
D0264-1-04	9. 515	353	504	1. 477	0. 047 ± 0. 002	0. 096 ± 0. 004	0. 015 ± 0. 000	94. 487 ± 1. 052
D0264-1-05	9. 133	308	493	1. 664	0. 052 ± 0. 002	0. 105 ± 0. 005	0. 015 ± 0. 000	93. 57 ± 1. 209
D0264-1-06	12. 452	591	643	1. 124	0. 049 ± 0. 002	0. 096 ± 0. 004	0. 014 ± 0. 000	92. 043 ± 0. 968
D0264-1-07	9. 071	350	481	1. 414	0. 049 ± 0. 003	0. 099 ± 0. 006	0. 015 ± 0. 000	93. 395 ± 1. 051
D0264-1-08	11. 166	470	591	1. 301	0. 047 ± 0. 002	0. 092 ± 0. 004	0. 014 ± 0. 000	92. 112 ± 1. 073
D0264-1-09	10. 228	387	534	1. 446	0. 046 ± 0. 002	0. 093 ± 0. 005	0. 015 ± 0. 000	95. 275 ± 1. 102
D0264-1-10	8. 433	291	449	1. 612	0. 048 ± 0. 002	0. 099 ± 0. 004	0. 015 ± 0. 000	96. 384 ± 1. 112
D0264-1-11	9. 793	438	496	1. 165	0. 045 ± 0. 003	0. 091 ± 0. 005	0. 015 ± 0. 000	95. 412 ± 1. 035
D0264-1-12	10. 772	461	532	1. 216	0. 055 ± 0. 003	0. 116 ± 0. 007	0. 015 ± 0. 000	96. 887 ± 1. 114
D0264-1-13	9. 413	355	493	1. 437	0. 049 ± 0. 003	0. 1 ± 0. 005	0. 015 ± 0. 000	96. 159 ± 1. 219
D0264-1-14	12. 114	461	633	1. 422	0. 05 ± 0. 002	0. 101 ± 0. 004	0. 015 ± 0. 000	94. 733 ± 1. 033
D0264-1-15	8. 594	269	456	1. 742	0. 048 ± 0. 002	0. 101 ± 0. 005	0. 015 ± 0. 000	98. 774 ± 2. 797
D0264-1-16	10. 295	345	544	1. 642	0. 044 ± 0. 002	0. 093 ± 0. 005	0. 015 ± 0. 000	97. 648 ± 1. 143
D0264-1-17	10. 411	379	528	1. 431	0. 051 ± 0. 002	0. 106 ± 0. 005	0. 015 ± 0. 000	98. 382 ± 1. 06
D0264-1-18	10. 571	384	575	1. 544	0. 047 ± 0. 002	0. 095 ± 0. 005	0. 015 ± 0. 000	95. 263 ± 1. 26
D0686-1-01	4. 07	235	221	0. 9704	0. 0623 ± 0. 0046	0. 1078 ± 0. 0058	0. 0134 ± 0. 0002	85. 9 ± 1. 5
D0686-1-02	4. 85	276	268	1. 0065	0. 0556 ± 0. 0027	0. 1014 ± 0. 0047	0. 0135 ± 0. 0002	86. 3 ± 1. 3
D0686-1-03	5. 68	313	304	1. 0019	0. 0555 ± 0. 0033	0. 1056 ± 0. 0067	0. 0138 ± 0. 0002	88. 4 ± 1. 2
D0686-1-04	3. 8	183	223	1. 2579	0. 0582 ± 0. 0033	0. 1062 ± 0. 0062	0. 0133 ± 0. 0002	85. 4 ± 1. 4
D0686-1-05	4. 41	242	240	1. 0283	0. 0618 ± 0. 0041	0. 1118 ± 0. 0066	0. 0137 ± 0. 0002	87. 8 ± 1. 5
D0686-1-06	5. 05	280	274	1. 0116	0. 0538 ± 0. 0033	0. 1021 ± 0. 0059	0. 014 ± 0. 0002	89. 8 ± 1. 3
D0686-1-07	3. 99	218	220	1. 0555	0. 0578 ± 0. 0037	0. 1079 ± 0. 0069	0. 0137 ± 0. 0002	88 ± 1. 5
D0686-1-08	4. 53	190	269	1. 4634	0. 0509 ± 0. 0031	0. 0931 ± 0. 0054	0. 0135 ± 0. 0002	86. 7 ± 1. 2
D0686-1-09	3. 92	216	214	1. 0313	0. 0612 ± 0. 0036	0. 1134 ± 0. 0062	0. 0137 ± 0. 0003	88 ± 1. 7
D0686-1-10	3. 91	224	209	0. 9637	0. 059 ± 0. 0031	0. 1121 ± 0. 0057	0. 0142 ± 0. 0002	91 ± 1. 4
D0686-1-11	6. 73	285	391	1. 4112	0. 0566 ± 0. 0029	0. 1084 ± 0. 0054	0. 014 ± 0. 0002	89. 8 ± 1. 1
D0686-1-12	6. 38	350	353	1. 0409	0. 0521 ± 0. 0025	0. 1016 ± 0. 0048	0. 0141 ± 0. 0002	90. 1 ± 1
D0686-1-13	4. 45	258	249	0. 9972	0. 0587 ± 0. 0034	0. 1098 ± 0. 006	0. 0139 ± 0. 0002	88. 9 ± 1. 4
D0686-1-14	3. 57	211	198	0. 9684	0. 0644 ± 0. 0042	0. 1216 ± 0. 0074	0. 014 ± 0. 0002	89. 8 ± 1. 5

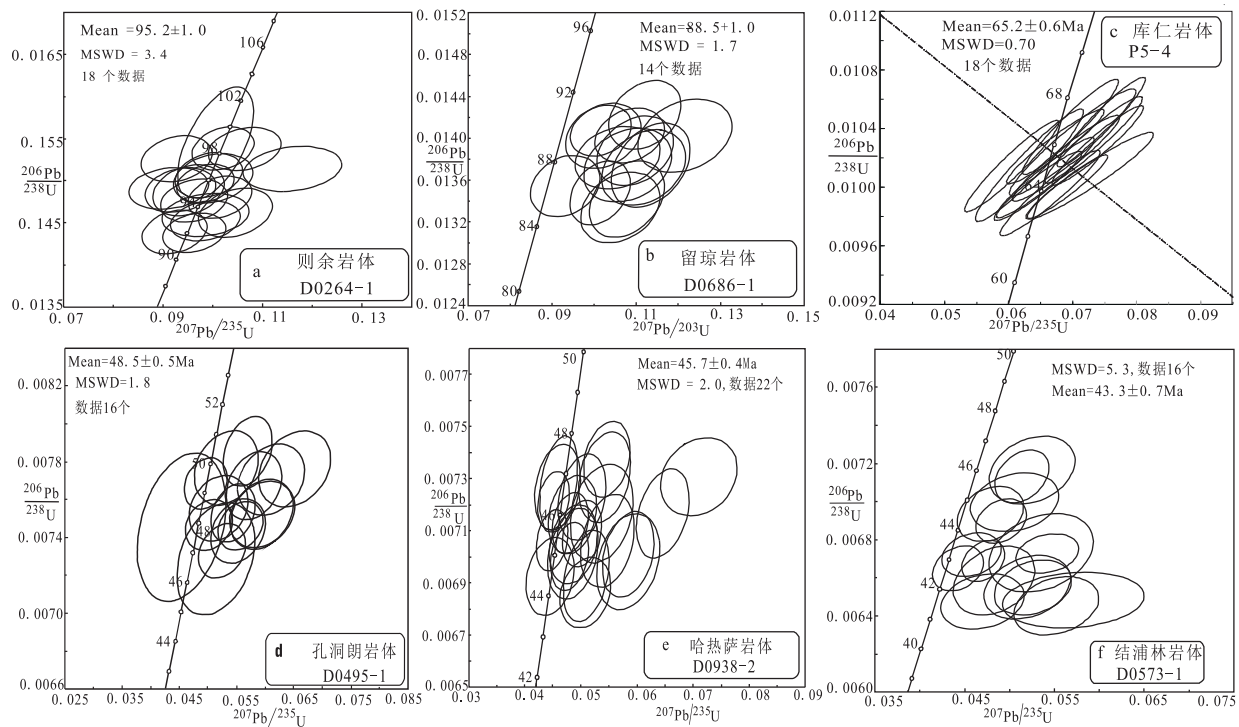


图 6 曲水杂岩体花岗岩锆石 U-Pb 谐和图

Fig. 6 Zircon U-Pb concordia diagrams of the Quxu granitic complex

表 4 冈底斯岩带曲水杂岩体古新世花岗岩锆石分析结果

Table 4 Zircon analysis results of the Paleocene granite from the Quxu granitic complex

样品号及 分析点号	含量(×10 ⁻⁶)			Th/ U	同位素比值			年齡(M a)
	Pb	Th	U		²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb ± 1σ	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U ± 1σ	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U ± 1σ	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U ± 1σ
P5-4	库仁岩体加权平均年龄 65.2 ± 0.6							
P5-4-01	2.86	176	210	1.376	0.0656 ± 0.0042	0.0898 ± 0.0053	0.0103 ± 0.0002	65.9 ± 1.3
P5-4-02	3.55	173	265	1.64	0.0654 ± 0.0037	0.0901 ± 0.0047	0.0103 ± 0.0002	65.8 ± 1.1
P5-4-03	2.47	114	200	1.838	0.0707 ± 0.0042	0.093 ± 0.0053	0.0098 ± 0.0002	62.7 ± 1.2
P5-4-04	5.38	241	435	1.94	0.0539 ± 0.0029	0.073 ± 0.004	0.0099 ± 0.0002	63.2 ± 0.8
P5-4-05	2.1	86.2	163	1.982	0.085 ± 0.0065	0.1109 ± 0.007	0.01 ± 0.0002	64.4 ± 1.2
P5-4-06	3.4	142	261	1.914	0.0634 ± 0.0045	0.0865 ± 0.0057	0.0105 ± 0.0002	67.2 ± 1.2
P5-4-07	3.17	134	250	1.931	0.0541 ± 0.0033	0.0757 ± 0.0048	0.0101 ± 0.0002	64.9 ± 1.0
P5-4-08	1.95	80.2	152	1.973	0.0712 ± 0.0047	0.0955 ± 0.0061	0.0103 ± 0.0002	65.8 ± 1.5
P5-4-9	6.72	283	494	1.98	0.0531 ± 0.003	0.0763 ± 0.0042	0.0105 ± 0.0002	67.3 ± 1.0
P5-4-10	3.4	161	275	1.843	0.0638 ± 0.0043	0.0829 ± 0.0053	0.0097 ± 0.0002	61.9 ± 1.1
P5-4-11	3.59	167	267	1.73	0.0652 ± 0.0039	0.0916 ± 0.0054	0.0105 ± 0.0002	67.2 ± 1.1
P5-4-12	3.29	143	253	1.846	0.0659 ± 0.0066	0.0922 ± 0.0101	0.0103 ± 0.0002	66 ± 1.1
P5-4-13	2.52	92.6	180	2.027	0.0879 ± 0.0061	0.1221 ± 0.0073	0.0106 ± 0.0002	67.8 ± 1.3
P5-4-14	3.12	124	233	1.943	0.0597 ± 0.0042	0.0824 ± 0.0053	0.0104 ± 0.0002	66.5 ± 1.2
P5-4-15	2.44	106	191	1.903	0.076 ± 0.0057	0.1021 ± 0.0068	0.0101 ± 0.0002	64.5 ± 1.3
P5-4-16	3.63	185	281	1.585	0.0607 ± 0.0041	0.0843 ± 0.0053	0.0101 ± 0.0002	64.9 ± 1.0
P5-4-17	2.78	125	222	1.86	0.0704 ± 0.0048	0.0936 ± 0.006	0.0098 ± 0.0002	62.8 ± 1.1
P5-4-18	3.12	152	239	1.703	0.0553 ± 0.0034	0.0774 ± 0.005	0.0103 ± 0.0002	65.8 ± 1.2

表5 曲水杂岩体始新世花岗岩体锆石分析结果

Table 5 Zircon analysis results of the Eocene granite from the Quxu granitic complex

样品号及 分析点号	含量(× 10 ⁻⁶)			Th/ U	同位素比值			年龄(M a)
	Pb	Th	U		²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb ± 1σ	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U ± 1σ	²⁰⁶ Pb / ²³⁸ U ± 1σ	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U ± 1σ
D0495-1	孔洞朗岩体加权平均年龄 48. 5 ± 0. 5							
D0495-1-01	7. 62	632	791	1. 3185	0. 0446 ± 0. 005	0. 0454 ± 0. 0051	0. 0075 ± 0. 0003	47. 9 ± 1. 6
D0495-1-02	5. 62	350	636	1. 8886	0. 0517 ± 0. 0045	0. 0514 ± 0. 0045	0. 0073 ± 0. 0002	46. 8 ± 1. 3
D0495-1-03	3. 86	240	391	1. 7003	0. 0636 ± 0. 0043	0. 0652 ± 0. 0042	0. 0078 ± 0. 0001	49. 8 ± 0. 8
D0495-1-04	5. 68	359	578	1. 6775	0. 0535 ± 0. 0028	0. 057 ± 0. 0028	0. 0079 ± 0. 0001	50. 4 ± 0. 8
D0495-1-05	8. 97	760	912	1. 2502	0. 0542 ± 0. 0025	0. 0557 ± 0. 0026	0. 0075 ± 0. 0001	47. 9 ± 0. 5
D0495-1-06	4. 15	231	455	2. 0599	0. 0585 ± 0. 0038	0. 0594 ± 0. 0037	0. 0075 ± 0. 0001	48. 3 ± 0. 7
D0495-1-07	4. 72	284	513	1. 8884	0. 0554 ± 0. 0034	0. 0553 ± 0. 0031	0. 0074 ± 0. 0001	47. 7 ± 0. 7
D0495-1-08	4. 43	282	460	1. 6901	0. 0583 ± 0. 0037	0. 061 ± 0. 0039	0. 0077 ± 0. 0001	49. 5 ± 0. 8
D0495-1-09	7. 71	594	807	1. 4233	0. 0492 ± 0. 0027	0. 0502 ± 0. 0027	0. 0075 ± 0. 0001	47. 9 ± 0. 6
D0495-1-10	8. 9	643	928	1. 5057	0. 047 ± 0. 0024	0. 0496 ± 0. 0025	0. 0077 ± 0. 0001	49. 4 ± 0. 6
D0495-1-11	7. 24	535	773	1. 4984	0. 0524 ± 0. 0028	0. 0525 ± 0. 0027	0. 0073 ± 0. 0001	47. 1 ± 0. 6
D0495-1-12	5. 06	337	542	1. 6595	0. 0508 ± 0. 0034	0. 0519 ± 0. 0034	0. 0076 ± 0. 0001	48. 5 ± 0. 7
D0495-1-13	4. 24	278	438	1. 6305	0. 0509 ± 0. 0037	0. 0532 ± 0. 0037	0. 0078 ± 0. 0001	49. 9 ± 0. 8
D0495-1-14	7. 52	636	771	1. 2679	0. 0529 ± 0. 0025	0. 0544 ± 0. 0026	0. 0075 ± 0. 0001	48. 4 ± 0. 6
D0495-1-15	5. 69	411	593	1. 4882	0. 0558 ± 0. 0033	0. 058 ± 0. 0032	0. 0077 ± 0. 0001	49. 3 ± 0. 8
D0495-1-16	3. 58	207	391	1. 9577	0. 0589 ± 0. 0036	0. 0594 ± 0. 0036	0. 0075 ± 0. 0001	48. 3 ± 0. 8
D1017-1	金珠村岩体加权平均年龄 48. 1 ± 0. 6							
D1017-1-01	13. 14	1528	1242	0. 8433	0. 0472 ± 0. 002	0. 0484 ± 0. 002	0. 0075 ± 0. 0001	48 ± 0. 5
D1017-1-02	2. 01	185	205	1. 1519	0. 0783 ± 0. 0056	0. 0751 ± 0. 005	0. 0073 ± 0. 0001	47. 1 ± 0. 9
D1017-1-03	3. 12	283	299	1. 1004	0. 072 ± 0. 0048	0. 0717 ± 0. 0043	0. 0077 ± 0. 0002	49. 2 ± 1
D1017-1-04	3. 67	462	320	0. 7204	0. 0559 ± 0. 0032	0. 0581 ± 0. 0032	0. 0077 ± 0. 0001	49. 2 ± 0. 9
D1017-1-05	4. 01	395	410	1. 082	0. 0568 ± 0. 004	0. 056 ± 0. 0038	0. 0073 ± 0. 0001	47. 1 ± 0. 7
D1017-1-06	3. 07	304	304	1. 0672	0. 06 ± 0. 0037	0. 0593 ± 0. 0035	0. 0075 ± 0. 0001	48. 1 ± 0. 9
D1017-1-07	3	293	282	1. 0281	0. 0809 ± 0. 0058	0. 0829 ± 0. 0065	0. 0076 ± 0. 0002	48. 8 ± 1. 1
D1017-1-08	2. 74	252	276	1. 1332	0. 0731 ± 0. 0051	0. 0735 ± 0. 0053	0. 0075 ± 0. 0002	48 ± 1. 0
D1017-1-09	4. 59	434	472	1. 1333	0. 0529 ± 0. 0032	0. 0518 ± 0. 003	0. 0073 ± 0. 0001	46. 8 ± 0. 8
D1017-1-10(幔)	4. 89	525	473	0. 9365	0. 0591 ± 0. 0032	0. 058 ± 0. 003	0. 0073 ± 0. 0001	46. 9 ± 0. 7
D1017-1-11 (核)	23. 6	3181	1920	0. 97	0. 0734 ± 0. 003	0. 079 ± 0. 0033	0. 0078 ± 0. 0001	49. 8 ± 0. 6
D1017-1-12	4. 91	462	494	1. 1065	0. 0578 ± 0. 0034	0. 0569 ± 0. 003	0. 0074 ± 0. 0001	47. 7 ± 0. 8
D1017-1-13	2. 81	305	273	0. 9511	0. 0732 ± 0. 0058	0. 0712 ± 0. 0049	0. 0073 ± 0. 0002	47. 2 ± 1. 0
D1017-1-14	3. 46	276	347	1. 2878	0. 0669 ± 0. 0043	0. 068 ± 0. 0042	0. 0076 ± 0. 0001	48. 9 ± 0. 9
D0938-2	哈热萨岩体加权平均年龄 45. 7 ± 0. 4							
D0938-2-01	5. 18	635	514	0. 8451	0. 0497 ± 0. 003	0. 0485 ± 0. 0028	0. 0072 ± 0. 0001	46 ± 0. 6
D0938-2-02	9. 47	1526	781	0. 5329	0. 0544 ± 0. 0028	0. 0546 ± 0. 0027	0. 0074 ± 0. 0001	47. 4 ± 0. 6
D0938-2-03	14. 5	2730	1134	0. 4413	0. 0493 ± 0. 0023	0. 0481 ± 0. 0021	0. 0071 ± 0. 0001	45. 8 ± 0. 5
D0938-2-04	10. 96	1455	1066	0. 7707	0. 0466 ± 0. 002	0. 0449 ± 0. 0019	0. 0071 ± 0. 0001	45. 4 ± 0. 5
D0938-2-05	5. 44	880	466	0. 5572	0. 054 ± 0. 0034	0. 0537 ± 0. 0037	0. 0072 ± 0. 0001	46 ± 0. 8
D0938-2-06	5. 05	605	510	0. 8837	0. 0509 ± 0. 0031	0. 0486 ± 0. 0029	0. 007 ± 0. 0001	45 ± 0. 7
D0938-2-07	6. 36	833	615	0. 772	0. 0459 ± 0. 0027	0. 0459 ± 0. 0027	0. 0073 ± 0. 0001	46. 7 ± 0. 69
D0938-2-08	4. 92	567	510	0. 9398	0. 062 ± 0. 0033	0. 0585 ± 0. 003	0. 007 ± 0. 0001	45 ± 0. 7
D0938-2-09	5. 19	716	495	0. 7204	0. 055 ± 0. 0032	0. 051 ± 0. 0027	0. 0069 ± 0. 0001	44. 5 ± 0. 7
D0938-2-10	6. 38	959	566	0. 6126	0. 0507 ± 0. 0029	0. 0502 ± 0. 0028	0. 0072 ± 0. 0001	46. 4 ± 0. 7

续表 5

样品号及 分析点号	含量($\times 10^{-6}$)			Th/ U	同位素比值			年龄(M a)
	Pb	Th	U		$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb} \pm 1\sigma$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U} \pm 1\sigma$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U} \pm 1\sigma$	
D0938-2-11	9.21	1548	761	0.5142	0.0518 ± 0.0024	0.0502 ± 0.0023	0.0071 ± 0.0001	45.5 ± 0.5
D0938-2-12	4.3	529	420	0.8273	0.0565 ± 0.0035	0.0547 ± 0.0032	0.0071 ± 0.0001	45.4 ± 0.8
D0938-2-13	20.5	4230	1476	0.3721	0.0455 ± 0.0019	0.0451 ± 0.0019	0.0072 ± 0.0001	46.3 ± 0.48
D0938-2-14	5.86	950	498	0.5462	0.0503 ± 0.0029	0.0487 ± 0.0028	0.007 ± 0.0001	45.3 ± 0.6
D0938-2-15	5.81	876	515	0.6102	0.055 ± 0.0031	0.0543 ± 0.0031	0.0073 ± 0.0001	46.9 ± 0.7
D0938-2-16	3.25	395	323	0.8532	0.0619 ± 0.0042	0.0584 ± 0.0037	0.007 ± 0.0001	44.9 ± 0.8
D0938-2-17	4.64	606	464	0.7956	0.0472 ± 0.003	0.0445 ± 0.0028	0.0069 ± 0.0001	44.5 ± 0.6
D0938-2-18	7.39	993	702	0.7359	0.0504 ± 0.0024	0.0479 ± 0.0022	0.007 ± 0.0001	45 ± 0.6
D0938-2-19	5.5	619	568	0.9576	0.0553 ± 0.0034	0.0508 ± 0.003	0.0069 ± 0.0001	44.1 ± 0.6
D0938-2-20	11.63	2045	871	0.4477	0.0692 ± 0.004	0.071 ± 0.0045	0.0073 ± 0.0001	46.9 ± 0.6
D0938-2-21	16.3	2860	1332	0.5162	0.0465 ± 0.0023	0.0461 ± 0.0023	0.0073 ± 0.0001	46.7 ± 0.8
D1009-1	科木岩体加权平均年龄 45.0 ± 0.6							
D1009-1-01	1.56	142	150	1.1033	0.0884 ± 0.006	0.0814 ± 0.0048	0.0074 ± 0.0002	47.6 ± 1.3
D1009-1-02	5.06	714	455	0.6964	0.061 ± 0.0036	0.0586 ± 0.0032	0.0071 ± 0.0001	45.5 ± 0.6
D1009-1-03	3.79	520	351	0.7002	0.0608 ± 0.0038	0.0569 ± 0.0033	0.007 ± 0.0001	44.9 ± 0.8
D1009-1-04	5.19	636	507	0.828	0.0591 ± 0.0037	0.055 ± 0.0032	0.007 ± 0.0001	44.9 ± 0.7
D1009-1-05	2.73	300	273	0.9658	0.0788 ± 0.0053	0.073 ± 0.0048	0.0068 ± 0.0001	43.6 ± 0.8
D1009-1-06	2.22	312	200	0.8978	0.088 ± 0.0075	0.0859 ± 0.0061	0.0074 ± 0.0002	47.6 ± 1.3
D1009-1-07	2.93	313	272	0.9047	0.069 ± 0.0053	0.0661 ± 0.0045	0.0073 ± 0.0001	46.7 ± 0.9
D1009-1-08	2.77	309	276	0.9316	0.0682 ± 0.005	0.0615 ± 0.0041	0.0069 ± 0.0001	44.6 ± 0.9
D1009-1-09	3.75	402	354	0.9076	0.0657 ± 0.0042	0.0643 ± 0.0035	0.0074 ± 0.0001	47.3 ± 0.9
D1009-1-10	2.9	470	274	0.6433	0.0779 ± 0.006	0.0691 ± 0.0049	0.0067 ± 0.0002	42.8 ± 1.1
D1009-1-11	2.97	324	294	0.951	0.0669 ± 0.0052	0.0631 ± 0.0048	0.007 ± 0.0001	44.9 ± 0.8
D1009-1-12	5.55	648	557	0.8989	0.0532 ± 0.0032	0.0498 ± 0.003	0.0069 ± 0.0001	44.1 ± 0.6
D1009-1-13	5.95	102	782	8.1016	0.0465 ± 0.0024	0.0442 ± 0.0022	0.007 ± 0.0001	44.9 ± 0.6
D1009-1-14	2.01	195	214	1.1393	0.0698 ± 0.0055	0.0635 ± 0.0044	0.007 ± 0.0001	45.2 ± 1
D1009-1-15	7.28	115	957	9.6675	0.0519 ± 0.0026	0.0492 ± 0.0024	0.0069 ± 0.0001	44.5 ± 0.5
D1009-1-16	2.87	366	293	0.8377	0.0714 ± 0.005	0.0652 ± 0.0041	0.0069 ± 0.0001	44.4 ± 0.8
D0573-1	结浦林岩体加权平均年龄 43.3 ± 0.7							
D0573-1-01	4.04	493	460	0.9739	0.0586 ± 0.0032	0.0526 ± 0.0028	0.0065 ± 0.0001	42.1 ± 0.6
D0573-1-02	5.21	630	552	0.89	0.0553 ± 0.0038	0.0525 ± 0.0032	0.0072 ± 0.0001	46 ± 0.8
D0573-1-03	3.45	460	382	0.866	0.06 ± 0.0046	0.0535 ± 0.0038	0.0067 ± 0.0001	43.2 ± 0.9
D0573-1-04	3.43	477	387	0.8574	0.0641 ± 0.0039	0.0552 ± 0.0031	0.0065 ± 0.0001	41.5 ± 0.6
D0573-1-05	3.82	484	429	0.9333	0.0581 ± 0.0036	0.052 ± 0.0032	0.0065 ± 0.0001	42.1 ± 0.7
D0573-1-06	14.13	1293	1583	1.3109	0.0525 ± 0.0021	0.0514 ± 0.002	0.0071 ± 0.0001	45.8 ± 0.6
D0573-1-07	5.25	623	592	0.9927	0.0531 ± 0.0036	0.047 ± 0.0031	0.0065 ± 0.0001	41.6 ± 0.6
D0573-1-08	15.77	1605	1733	1.1569	0.0581 ± 0.0024	0.0542 ± 0.0023	0.0067 ± 0.0001	43.2 ± 0.4
D0573-1-09	6.35	738	707	1.0031	0.0617 ± 0.0045	0.0571 ± 0.0052	0.0065 ± 0.0001	41.6 ± 0.6
D0573-1-10	9.37	991	1005	1.0408	0.0503 ± 0.0026	0.0479 ± 0.0024	0.0069 ± 0.0001	44.5 ± 0.6
D0573-1-11	5.6	591	592	1.0359	0.0529 ± 0.0033	0.0506 ± 0.0032	0.007 ± 0.0001	44.9 ± 0.7
D0573-1-12	12.94	696	1607	2.4252	0.0519 ± 0.002	0.0491 ± 0.0019	0.0069 ± 0.0001	44.3 ± 0.5
D0573-1-13	6.53	199	863	4.6186	0.0498 ± 0.0024	0.0458 ± 0.0022	0.0067 ± 0.0001	43.2 ± 0.5
D0573-1-14	3.54	449	387	0.8959	0.0548 ± 0.0037	0.0483 ± 0.003	0.0066 ± 0.0001	42.3 ± 0.8
D0573-1-15	18.11	1644	2065	1.8264	0.0512 ± 0.0018	0.0471 ± 0.0016	0.0067 ± 0.0001	43 ± 0.5
D0573-1-16	12.22	1157	1432	1.2849	0.0484 ± 0.0021	0.0443 ± 0.0019	0.0066 ± 0.0001	42.7 ± 0.5

D0495-1(孔洞朗岩体)测定了16颗锆石,锆石测点在U-Pb年龄谐和线上形成集中的聚集束(图6d), $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 加权平均年龄为 $48.5 \pm 0.5\text{Ma}$ (1σ ; MSWD = 1.8);D1017-1(金珠村岩体)测定了13颗锆石,锆石测点在U-Pb年龄谐和线附近形成集中的聚集束, $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 加权平均年龄为 $48.1 \pm 0.6\text{Ma}$ (1σ ; MSWD = 1.7);D0938-2(哈热萨岩体)测定21颗锆石,锆石测点在U-Pb年龄谐和线上形成集中的聚集束(图6e), $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 加权平均年龄为 $45.7 \pm 0.4\text{Ma}$ (1σ ; MSWD = 2.0);D1009-1(科木岩体)测定16颗锆石,锆石测点在U-Pb年龄谐和线附近形成集中的聚集束, $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 加权平均年龄为 $45.0 \pm 0.6\text{Ma}$ (1σ);D0573-1(结蒲林岩体)测定16颗锆石,锆石测点在U-Pb年龄谐和线附近形成集中的聚集束(图6f), $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 加权平均年龄为 $43.3 \pm 0.7\text{Ma}$ (1σ ; MSWD = 5.3)。因此,曲水杂岩体始新世花岗岩形成年龄为 $48.5 \pm 0.5 \sim 43.3 \pm 0.7\text{Ma}$ 。

4 讨论

4.1 岩石成因

研究区晚白垩世和古新世花岗岩以中性-中

酸性钙碱性系列为主,为中铝类型,A/CNK 小于1.1,具有I型花岗岩特征。始新世花岗岩以高钾钙碱性系列为主,并出现钾玄岩系列,为偏铝-过铝类型,具碰撞花岗岩特点。其中晚白垩世和古新世花岗岩在(Y+Nb)-Rb图解上(图7a),样品落在火山弧花岗岩区,在 R_1 - R_2 图7b中全部落在板块碰撞前的区域,指示岩浆为新特提斯洋北向俯冲的产物^[3,24-25]。而始新世花岗岩在(Y+Nb)-Rb图解(图7a)中,样品主要落在同碰撞花岗岩区,少量落在火山弧花岗岩区;在 R_1 - R_2 图解(图7b)中大部分落在同碰撞花岗岩区,并具同碰撞-碰撞抬升-造山晚期的演化趋势,这些特征说明其形成于印度-亚洲陆块碰撞构造环境^[13]。

岩石地球化学特征表明,曲水杂岩体晚白垩世-始新世花岗岩Sm/Nd比值0.15~0.21,均小于地壳平均值0.30,指示其源区应为地壳^[26]。Rb/Sr值为0.09~0.52,介于地幔平均值0.03和地壳平均值0.24之间;Zr/Hf值0.52~34.24,接近幔源岩浆的Zr/Hf平均值36.3^[27],暗示岩浆源区有幔源物质的加入。

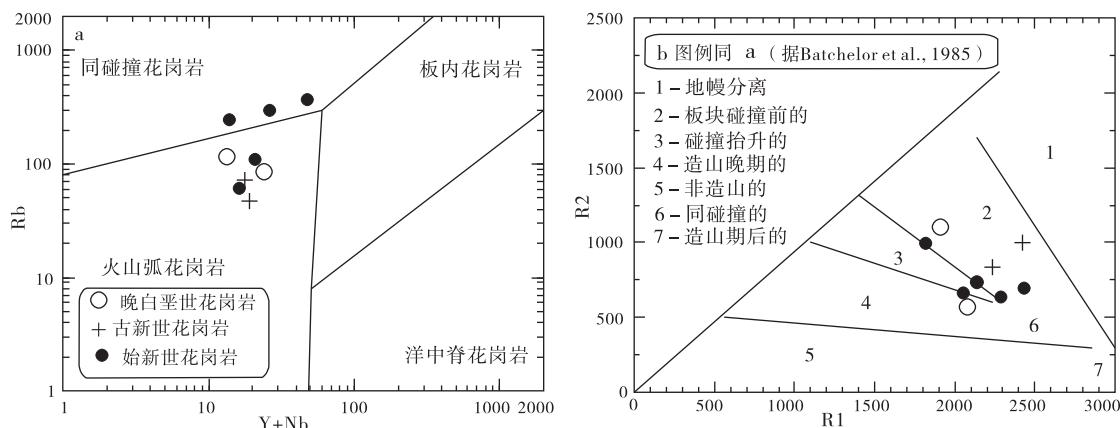


图7 曲水杂岩体侵入岩 Rb-Y + Nb 图和 R_1 - R_2 图

Fig. 7 Rb-Y + Nb diagram and R_1 - R_2 diagram for intrusive rocks from the Quxu granitic complex

4.2 形成时代

前人对冈底斯带的构造-岩浆演化进行了较为深入的研究^[3,7,18-21]。纪伟强^[18]等(2009)将南冈底斯岩浆活动划分为3个时期:(1)中生代时期(205~152Ma,109~80Ma),岩浆为新特提斯洋北向俯冲的产物;(2)古新世-始新世(65~41Ma),岩浆作用与印度-欧亚板块碰撞密切相关;(3)渐新世-中新世(33~13Ma),岩浆形成于碰撞后东西

向伸展背景。莫宣学和潘桂棠(2006)^[3]将青藏高原构造-岩浆事件划分为碰撞前(>65Ma)、碰撞期(65~45Ma)和后碰撞(<45Ma)三个阶段,认为三个阶段在冈底斯岩浆岩带都产生了具有各自特点的花岗岩构造-岩浆类型。

曲水杂岩体则余中粗粒黑云二长花岗岩 U-Pb 年龄为 $95.2 \pm 1.0\text{Ma}$,留琼中细粒石英闪长岩 U-Pb 年龄为 $88.5 \pm 1.0\text{Ma}$,库仁中-细粒黑云角闪花岗

闪长岩 U-Pb 年龄为 65.2 ± 0.6 Ma, 表明三个岩体形成于新特提斯洋北向俯冲作用时期。在 (Y + Nb)-Rb 图解上 (图 7a), 样品落在火山弧花岗岩区; 在 R_1 - R_2 图 (图 7b) 中全部落在板块碰撞前的区域。因此, 曲水杂岩体晚白垩世与古新世花岗岩岩浆活动与新特提斯洋板片北向俯冲的动力学背景有关^[3,24-25]。孔洞朗中粗粒似斑状黑云角闪二长花岗岩为 48.5 ± 0.5 Ma, 金珠村细中粒黑云石英二长闪长岩为 48.1 ± 0.6 Ma, 哈热萨中细粒黑云二长花岗岩为 45.7 ± 0.4 Ma, 科木细-中粒角闪黑云花岗岩闪长岩为 45.0 ± 0.6 Ma, 结蒲林中粒黑云二长花岗岩 43.3 ± 0.7 Ma, 表明岩体形成于印度-欧亚大陆碰撞俯冲作用时期^[1-2]; 在 (Y + Nb)-Rb 图解上 (图 7a), 样品落在火山弧和同碰撞花岗岩区; 在 R_1 - R_2 图 (图 7b) 中全部落在同碰撞和碰撞抬升区。因此, 始新世的岩浆活动与印度-欧亚板块的俯冲碰撞有关^[24-25,28]。

综上所述, 曲水杂岩体的花岗岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年结果给出了晚白垩世 ($95.2 \pm 1.0 \sim 88.5 \pm 1.0$ Ma)、古新世 (65.2 ± 0.6 Ma) 和始新世 ($48.5 \pm 0.5 \sim 43.3 \pm 0.7$ Ma) 3 期花岗岩的形成时期, 与纪伟强^[18]等 (2009) 划分的南冈底斯岩浆活动时限相比较, 除样品 P5-4 (库仁岩体) 的 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄 65.2 ± 0.6 Ma 大于古新世—始新世 ($65 \sim 41$ Ma) 而接近于 K/T 界线年龄 (65.5 Ma)^[29], 其余均在前述纪伟强所划分的三期岩浆活动时限范畴内, 总体反映了冈底斯造山带俯冲 (碰撞前) 型花岗岩、同碰撞型花岗岩、后碰撞型花岗岩的构造岩浆组合演变规律, 其构造演化受到新特提斯演化及印-亚大陆碰撞制约。

5 结论

(1) 冈底斯岩浆岩带曲水杂岩体花岗岩的锆石 LA-ICP-MS U-Pb 定年结果表明, 该杂岩体晚白垩至古近纪期间发生了中性-中酸性岩浆侵位活动, 所形成的花岗岩岩体结晶时代分别为 $95.2 \pm 1.0 \sim 88.5 \pm 1.0$ Ma、 65.2 ± 0.6 Ma 和 $48.5 \pm 0.5 \sim 43.3 \pm 0.7$ Ma, 分别对应晚白垩世、古新世和始新世 3 个时期。

(2) 岩石地球化学结果表明, 晚白垩世和古新世花岗岩以中性-中酸性为主, 属钙碱性系列, 具中铝特征, A/CNK 小于 1.1, 属于 I 型花岗岩, 是玄武质下地壳部分熔融产物, 并有少量幔源物质加

入, 指示其形成于特提斯洋壳俯冲过程的岛弧构造环境; 始新世以高钾钙碱性系列为主, 并出现钾玄岩系列, 具偏铝-过铝质特征, 指示岩浆上侵过程中遭受了不同程度的地壳物质混染, 其形成于印度-欧亚板块强烈碰撞的构造环境。

(3) 曲水杂岩体岩浆演化反映了冈底斯造山带俯冲 (碰撞前) 型花岗岩-同碰撞型花岗岩-后碰撞型花岗岩的构造岩浆演变序列, 形成于新特提斯洋板片北向俯冲及印度-欧亚板块碰撞构造。

感谢审稿专家对本文提出的宝贵修改意见。

参考文献:

- [1] 莫宣学, 董国臣, 赵志丹, 等. 西藏冈底斯带花岗岩的时空分布特征及地壳生长演化信息[J]. 高校地质学报, 2005, 11(3): 281-290.
- [2] 潘桂棠, 莫宣学, 侯增谦, 等. 冈底斯造山带的时空结构及演化[J]. 岩石学报, 2006, 22(3): 521-533.
- [3] 莫宣学, 潘桂棠. 从特提斯到青藏高原形成: 构造-岩浆事件的约束[J]. 地学前缘, 2006, 13(6): 43-51.
- [4] 江万, 莫宣学, 赵崇贺, 等. 青藏高原冈底斯花岗岩带花岗岩闪长岩及其中岩石包体的岩石学特征[J]. 沉积与特提斯地质, 1998, 2: 94-99.
- [5] 董国臣, 莫宣学, 赵志丹, 等. 冈底斯岩浆带中段岩浆混合作用: 来自花岗岩岩体的证据[J]. 岩石学报, 2006, 22(4): 835-844.
- [6] 耿全如, 潘桂棠, 郑来林, 等. 论雅鲁藏布大峡谷地区冈底斯岛弧花岗岩带[J]. 沉积与特提斯地质, 2001, 21(2): 16-22.
- [7] 莫宣学, 赵志丹, 邓晋福, 等. 印度-亚洲大陆主碰撞过程的火山作用响应[J]. 地学前缘, 2003, 10(3): 135-148.
- [8] 赵志丹, 莫宣学, 罗照华, 等. 印度-亚洲俯冲带结果: 岩浆作用证据[J]. 地学前缘, 2003, 10(3): 149-157.
- [9] 李光明, 芮宗瑶. 西藏冈底斯成矿带斑岩铜矿的成岩成矿年龄[J]. 大地构造与成矿学, 2004, 22(2): 165-170.
- [10] 侯增谦, 孟祥金, 曲晓明, 等. 西藏冈底斯斑岩铜矿带埃达克质斑岩含矿性: 源岩相变及深部过程约束[J]. 矿床地质, 2005, 24(2): 108-121.
- [11] 赵志丹, 莫宣学, Sebastien N., 等. 青藏高原拉萨地块碰撞后超钾质岩石的时空分布及其意义[J]. 岩石学报, 2006, 22(4): 787-794.
- [12] 侯增谦, 莫宣学, 高永丰, 等. 印度大陆与亚洲大陆早期碰撞过程与动力学模型——来自西藏冈底斯新生代火成岩证据[J]. 地质学报, 2006, 80(9): 1233-1248.
- [13] 侯增谦, 杨竹森, 徐文艺, 等. 青藏高原碰撞造山带: I. 主碰撞造山成矿作用[J]. 矿床地质, 2006, 25(4): 337-358.
- [14] 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): 31-37.

- [15] 莫宣学,赵志丹,周肃. 印度-亚洲大陆碰撞的时限[J]. 地质通报,2007,26(10):1240-1244.
- [16] 耿全如,郑来林,董翰,等. 冈底斯带东段鲁朗-墨脱地区中新世花岗岩的地球化学、年代学及成因[J]. 地质通报,2008,27(1):69-82.
- [17] 朱弟成,潘桂棠,王立全,等. 西藏冈底斯带中生代岩浆岩的时空分布和相关问题的讨论[J]. 地质通报,2008,27(9):1535-1550.
- [18] 纪伟强,吴福元,等. 西藏南部冈底斯岩基花岗岩时代与岩石成因[J]. 地球科学, 2009, 39(7):849~871.
- [19] 孟元库,许志琴,陈希节,等. 藏南冈底斯中段谢通门始新世复式岩体锆石 U-Pb 年代学、Hf 同位素特征及其地质意义[J]. 大地构造与成矿学,2015,39(5):933-948.
- [20] 孟元库. 藏南冈底斯中段南缘构造演化[D]. 北京:中国地质科学院, 2016.
- [21] 杨震,姜华,杨明国,等. 冈底斯中段岗班斑岩铜铅矿床锆石 U-Pb 和辉钼矿 Re-Os 年代学及其地质意义[J]. 地球科学, 2017,42(3):339-356.
- [22] 王健,魏启荣,次琼,等. 西藏鸡公村铅矿区中酸性岩体的时代、岩石地球化学特征及构造背景[J]. 地学前缘,2018,25(6):152-164.
- [23] 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(15):1554-1569.
- [24] CHUNG S L, CHU M F, ZHANG Y. et al. Tibetan tectonic evolution inferred from spatial and temporal variations in post-collisional magmatism [J]. Earth-Science Reviews, 2005, 68(3):173-196.
- [25] MO XX, HOU Z Q, NIU Y L. et al. Mantle contributions to crustal thickening during continental collision: evidence from Cenozoic igneous rocks in southern Tibet [J]. Lithos, 2007, 96(1):225-242.
- [26] 陈德潜,陈刚. 实用稀土元素地球化学[M]. 北京:冶金工业出版社,1990.
- [27] NIU Y. ChemInform abstract: Earth processes cause Zr-Hf and Nb-Ta fraction, but why and how [J]? ChemInform, 2012, 43(29):3587-3591.
- [28] JI W Q, WU F Y, CHUNG S L, et al. Zircon U-Pb geochronology and Hf isotopic constraints on petrogenesis of the Gangdise batholiths, southern Tibet [J]. Chemical Geology, 2009, 262(3/4):229-245.
- [29] Gradstein F M, Ogg J G, Smith A G. A geologic time scale [M]. Cambridge: Cambridge University Press, 2004. 384.

Zircon U-Pb dating for the Quxu granitic complex in the Gangdise belt, Tibet, and its geological significance

CI Qiong¹, YONGZHONG Lada¹, AWANG Danzeng¹, CI Renji²

(1. No. 2 Geological Party of Tibet Bureau of Geological Survey, Lhasa 850000, Tibet, China; 2. No. 6 Geological Party of Tibet Bureau of Geological Survey, Lhasa 850000, Tibet, China)

Abstract: The Quxu granitic complex is located at the southern margin of the eastern Gangdise tectonic-magmatic belt. Magmatic activities of the Quxu granitic complex were closely related to the northward subduction of the Neotethys and the Indo-Asian collision. In this paper, a systematic study of LA-ICP-MS zircon U-Pb geochronology and petrochemistry have been carried out on the intermediate-acidic granites widely distributed in the Changguo village, east of Quxu county. The results show that the Quxu complex is characterized by three stages of granitoids with different ages and scales. The zircon U-Pb ages of LA-ICP-MS are $95.2 \pm 1.0 \sim 88.5 \pm 1.0$ Ma, 65.2 ± 0.6 Ma and $48.5 \pm 0.5 \sim 43.3 \pm 0.7$ Ma, respectively. The results of petrochemistry show that the late Cretaceous and Paleocene granites are mainly neutral to intermediate-acidic, calc-alkaline series, with the characteristics of medium aluminum, A/CNK less than 1.1, belonging to I-type granites, which are the products of partial melting of basaltic lower crust formed in the arc tectonic setting during the subduction of the Tethyan oceanic crust. The Eocene granites are mainly high-K calc-alkaline series as well as shoshonitic series and are metaluminous to peraluminous, which indicate that the magma was formed in the collisional setting of India-Eurasia plates and mixed with crustal materials at different degrees during the magma underplating processes.

Key words: zircon U-Pb dating; geological significance; the Quxu granitic complex; magmatic belt in the Gangdise; Tibet