

扬子地台西缘康定群的再认识： 来自地球化学和年代学证据

杜利林^{1,2)}, 耿元生¹⁾, 杨崇辉¹⁾, 王新社¹⁾, 周喜文¹⁾, 任留东¹⁾, 王彦斌^{1,3)}, 杨铸生⁴⁾

1) 中国地质科学院地质研究所, 北京, 100037; 2) 中国科学院地质与地球物理研究所, 北京, 100029;
3) 北京离子探针中心, 100037; 4) 四川省地质矿产厅攀西地质大队, 四川, 西昌, 615000

内容提要:康定群(康定杂岩)在扬子地台前寒武纪地质研究中具有非常重要的意义,但对其具体的形成时代存在不同认识。本文选择位于德昌茨达一大六槽之间康定群咱里组中斜长角闪岩、斜长片麻岩和花岗质片麻岩进行了较为系统的岩石学和地球化学研究。斜长角闪岩的主、微量元素主要具有 N-MORB 特征,一个斜长角闪岩样品的地球化学特征介于 E-MORB 和 OIB 之间,而斜长片麻岩地球化学具有岛弧岩浆特征。斜长角闪岩的 $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$ 为 $+3.65 \sim +12.65$,具有亏损地幔岩浆特征,综合分析认为其形成于弧后盆地环境,与盐边群类似。斜长角闪岩和斜长片麻岩的离子探针(SHRIMP II)定年结果表明,康定群玄武岩的形成时代约为 830Ma,为新元古代,同时经历了约 700Ma 的变质作用。本文研究不支持扬子地台西缘存在新太古代—古元古代的古老结晶基底,同时研究表明扬子地台西缘新元古代为岛弧环境。

关键词: 康定群; 咱里组; 地球化学; 离子探针; 新元古代

扬子地台西缘(即传统意义的“康颠地轴”)是华南前寒武纪地质研究的重要地区之一。前人长期研究认为,区内前震旦系具有结晶基底和褶皱基底双层基底特征,其中康定杂岩代表扬子地台西缘的结晶基底(徐先哲等,1985;四川省区域地质志,1991;程裕淇,1994)。多年来,许多学者曾利用传统的同位素年代学方法对康定杂岩的时代进行了大量研究工作,存在几种不同的认识:袁海华等(1985)获得同德角闪混合片麻岩的 Pb-Pb 等时线年龄为 $2957 \pm 304\text{Ma}$,冕宁沙坝混合片麻岩的 Rb-Sr 等时线年龄 $2404 \pm 189\text{Ma}$,认为结晶基底岩系的形成时代为新太古代—古元古代;从柏林(1988)获得冕宁沙坝麻粒岩和斜长角闪片麻岩的 Rb-Sr 等时线年龄分别为 1185.6Ma 和 $1088.8 \pm 44.7\text{Ma}$,同时计算麻粒岩的 Nd 模式年龄为 1462.8Ma 。徐士进等(2002)根据沙坝麻粒岩矿物 Sm-Nd 等时线结果认为,其原岩应形成于中元古代;胥德恩等(1995)利用单颗粒锆石 U-Pb 法获得康定杂岩的时代为新元古代,并认为其由新元古代变质杂岩和晋宁—澄江期岩浆杂岩组成。近年来,随着 SHRIMP 锆石微区 U-Pb 同位素

定年技术的发展,对于扬子地台西缘地质研究获得了许多新的同位素年代学成果,认为康定杂岩并非形成于新太古代—古元古代,而是形成于新元古代[●](Li et al., 2003a; Sinclair, 2001; Zhou et al. 2002a; 陈岳龙等, 2004; 杜利林等, 2006)。

在康定杂岩中存在许多沉积变质岩、火山岩及火山碎屑变质岩组合,这些地层单元被命名为康定群,自下而上划分为咱里组、冷竹关组和五马箐组(邢无京, 1989)。四川省区域地质志(1991)依据前人的研究资料和区域岩石、构造变形特征,将康定群划分为咱里组和冷竹关组(本文将采用本划分方案表述)。地层的时代为新太古代—古元古代,属于结晶基底的一部分(四川省区域地质志, 1991; 李复汉等, 1988)。但大量新的 SHRIMP 锆石年龄资料并不支持扬子西缘存在双层基底特征[●](Li et al., 2003a; Zhou et al. 2002a; 陈岳龙等, 2004; 杜利林等, 2005, 2006)。由于以往的研究工作主要集中于岩浆杂岩的研究,对地层研究相对较少。因而,通过对康定群中地层部分进行研究,对全面认识扬子地台前寒武纪地质具有重要意义。

注:本文为中国地质调查局地质调查项目(编号 200313000061)和国家自然科学基金项目(编号 40603001)资助的成果。

收稿日期:2007-05-28;改回日期:2007-10-02;责任编辑:郝梓国。

作者简介:杜利林,男,1973年生,副研究员。中国科学院地质与地球物理研究所在职博士研究生,从事变质岩石学与岩石地球化学研究。

通讯地址:100037,北京阜外百万庄26号,中国地质科学院地质研究所;Email: dulilin7310@cags.net.cn。

本文在野外地质调查的基础上,选择部分康定群地层出露较好的地区,对康定群咱里组中斜长角闪岩、斜长片麻岩和花岗质片麻岩进行较为详细的岩石学、地球化学和同位素年代学研究。康定群咱里组的形成时代为约 830Ma,为新元古代,并可能经历了约 700Ma 的角闪岩相变质作用,再次证实康定群(康定杂岩)并不是扬子地台西缘的古老基底。同时结合岩石特征、地球化学与同位素资料对扬子地台西缘新元古代的构造环境进行了讨论。

1 样品地质背景

研究区位于康滇地轴的中—南段,四川省西昌市德昌县南约 30km 的德昌茨达乡—大六槽乡之间。据岩性与岩石组合特征,出露的变质地层为康定群咱里组(邢无京,1989;四川省区域地质志,1991),主要由角闪斜长片麻岩、长英质片麻岩和斜长角闪岩组成。区内康定群地层出露范围不大,主要与新元古代花岗岩类接触,部分露头可见被震旦系白云岩不整合覆盖,或与中—新元古界地层和古生界—中生界地层呈断层接触(图 1)。样品选自较为连续且新鲜的地质露头,具体采样位置为: CX60-1 (N27° 11. 709', E102° 00. 007'); CX61-1、CX61-2、CX61-3、CX61-4、CX61-5、CX61-6 (N27° 11. 696', E102° 00. 240'); CX62-1 (N27° 11. 825', E102° 00. 489'); CX223-1 (N27. 11. 509', E102. 01. 105')。

2 岩相学特征

斜长角闪岩(或角闪片岩)(CX61-1, CX61-3, CX61-4, CX63-1, CX223-1, CX61-5), 弱片麻状构造, 粒状、柱状变晶结构。主要组成矿物为角闪石、斜长石和石英。角闪石含量 50%~70%, 半自形—他形, 弱定向, 绿帘石化强烈; 斜长石约 15%~35%, 多已强烈绢云母化和绿帘石化; 石英约 10%, 粒状, 分布不均匀; 副矿物主要为榍石, 少量锆石、磷灰石、磁铁矿等, 其中榍石多呈集合体围绕在斜长石颗粒边缘或包裹于斜长石颗粒中。CX61-5 样品中, 榍石较其他样品含量高, 约占 5%。

角闪斜长片麻岩(CX60-1), 弱片麻状构造, 板状、粒状变晶结构, 主要矿物为斜长石、角闪石和石英。斜长石含量约 60%, 绢云母化和绿帘石化强烈, 但可见长石的聚片双晶和板状晶形; 角闪石约 20%~25%, 他形, 多色性明显, 局部绿泥石化、绿帘石化; 石英含量 10%左右, 他形粒状, 散布于长石和角闪石的矿物间隙中; 副矿物为磁铁矿和锆石。

CX62-1 样品中, 角闪石被黑云母替代, 同时有少量的石榴石与黑云母共生。黑云母棕红色, 具棕红色—浅棕红色多色性, 定向排列, 石榴石呈筛状, 已发生退变。矿物组合表明该样品已发生了角闪岩相—高角闪岩相变质作用。

花岗质片麻岩(CX61-2、CX61-6), 片麻状构造, 片状、粒状变晶结构, 主要组成矿物为长石和石英。长石为条纹长石和钠长石, 两者含量约 60%, 局部保留有板状长石晶形; 石英约 25%, 他形粒状, 具波状消光; 少量的白云母、角闪石和绿泥石, 具定向排列。

3 地球化学特征

全岩地球化学分析样品被破碎并研磨至 200 目以下。全岩样品主量、稀土和微量元素分析在中国地质科学院国家地质实验测试中心完成。主量元素分析用 X 荧光光谱仪(3080E)测定, 分析的相对标准偏差小于 2%~8%; 微量元素 Nb、Zr、Rb、Sr、Ba、Ga、Pb、V 分析用 X 荧光光谱仪(RIX2100)测定, 分析的相对标准偏差小于 5%; 稀土元素和其他微量元素分析用 ICP-MS(Excell)测定, 分析的相对标准偏差小于 10%。全岩样品 Rb-Sr、Sm-Nd 同位素分析在中国科学院地质与地球物理研究所固体同位素实验室的 TIMS(MAT262)上测试; 所有样品的 $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ 和 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 分别采用 $^{146}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}=0.7219$ 和 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}=0.1194$ 进行标准化, 分析流程中实验室本底为: Rb、Sr 小于 100pg, Sm、Nd 小于 50pg。

3.1 主量元素

主量元素分析见表 1。斜长角闪岩(角闪片岩)的 SiO_2 (48.16%~54.37%) 多数低于 50%; MgO (5.87%~8.52%) 变化范围较大, $\text{Mg}^\#$ 为 49~59, 相对低于大洋玄武岩值; $\Sigma\text{FeO}(\text{FeO}+0.899\text{Fe}_2\text{O}_3)$ (10.00%~10.91%) 相对较为稳定; CaO (9.38%~12.26%)、 Al_2O_3 (12.96%~15.59%) 有一定变化; Na_2O (1.74%~2.97%) 相对 K_2O (0.21%~1.48%) 含量明显高; TiO_2 (0.74%~2.11%) 变化较大, 而多数样品低于 1.5%; P_2O_5 (0.07%~0.23%) 含量低。与斜长角闪岩相比, 斜长片麻岩中的 SiO_2 变化不大, MgO 、 ΣFeO 、 CaO 含量相对低, Al_2O_3 、 K_2O 、 Na_2O 相对较高, TiO_2 含量中等。花岗质片麻岩中, K_2O 含量相对较其他两组样品高, 而 MgO 、 ΣFeO 、 CaO 含量明显较低。由于岩石普遍经历了角闪岩相变质作用, 故采用相对不活泼元素进行岩石系列分类。在 Nb/Y-Zr/ P_2O_5 岩

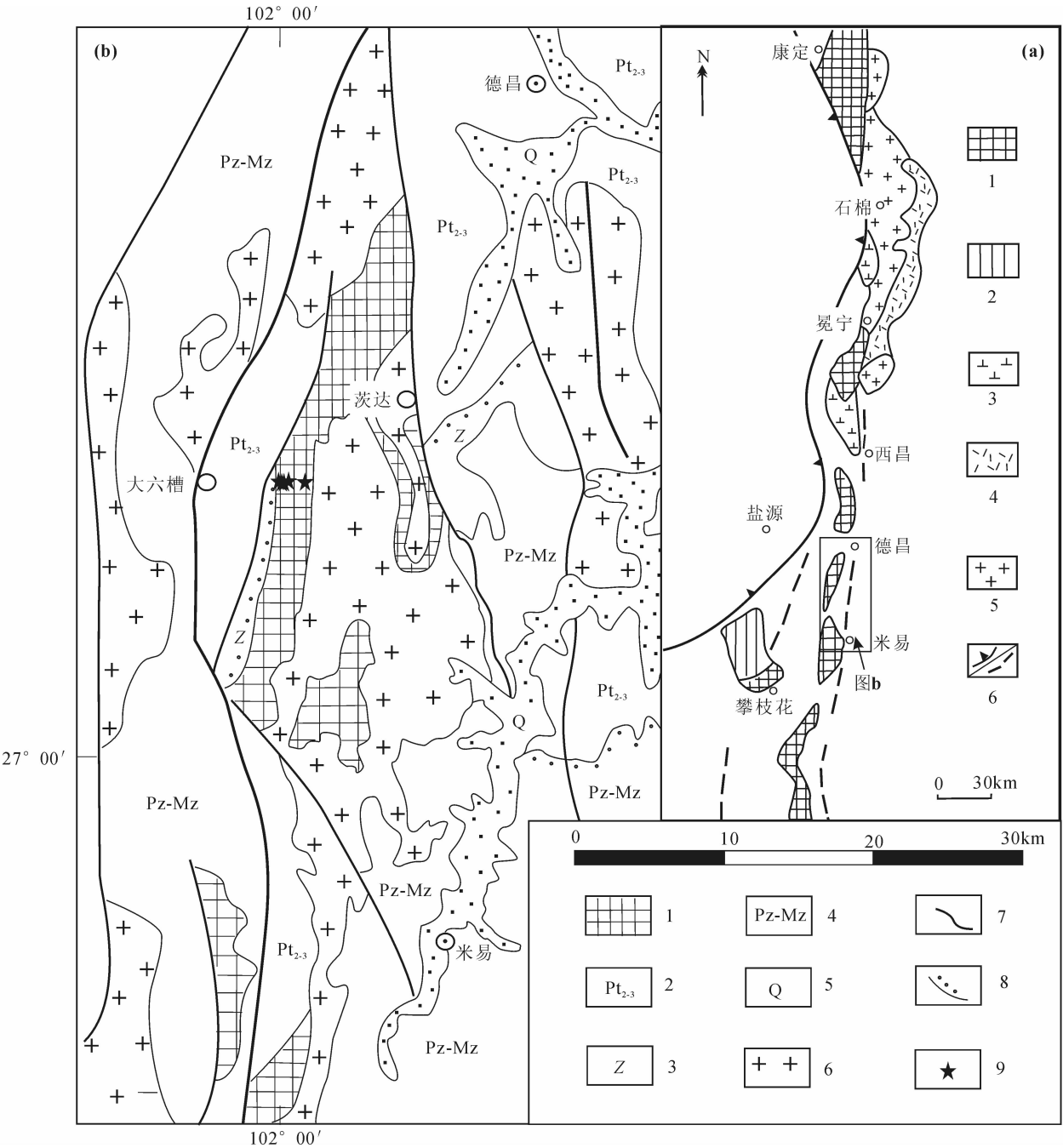


图 1 川西德昌茨达一大六槽地质略图

Fig. 1 Geological sketch map in Cida-Daliucao of Dechang county, western Sichuan

(a) 1—康定群;2—中-新元古界;3—石英闪长岩;4—苏雄组;5—新元古代花岗岩;6—逆断层/推测断层;(b) 1—康定群;2—中-新元古界;3—震旦系;4—古生界—中生界;5—第四系;6—新元古代花岗质岩类;7—断层;8—角度不整合;9—采样点

(a) 1—Kangding Group;2—Meso-Neoproterozoic;3—quartz diorite;4—Suxiong Formation;5—Neoproterozoic granite;6—overthrust fault/inferred fault; (b) 1—Kangding Group;2—Meso-Neoproterozoic;3—Sinian;4—Paleozoic-Mesozoic;5—Quaternary;6—Neoproterozoic granitoid;7—fault;8—unconformity;9—sampling locality

石分类图中(Winchester and Floyd, 1976),咱里组斜长角闪岩和斜长片麻岩样品皆为亚碱性系列(图 2a);利用 $\text{SiO}_2\text{-FeO}^*/\text{MgO}$ 图解进一步区分钙碱性和拉斑玄武岩系列(Miyashiro, 1974),几乎所有的

斜长角闪岩与斜长片麻岩皆属于拉斑玄武岩系列,而两个花岗质片麻岩为钙碱性玄武岩系列(图 2b)。

3.2 稀土元素

在稀土元素分析表中(表 1),咱里组斜长角闪

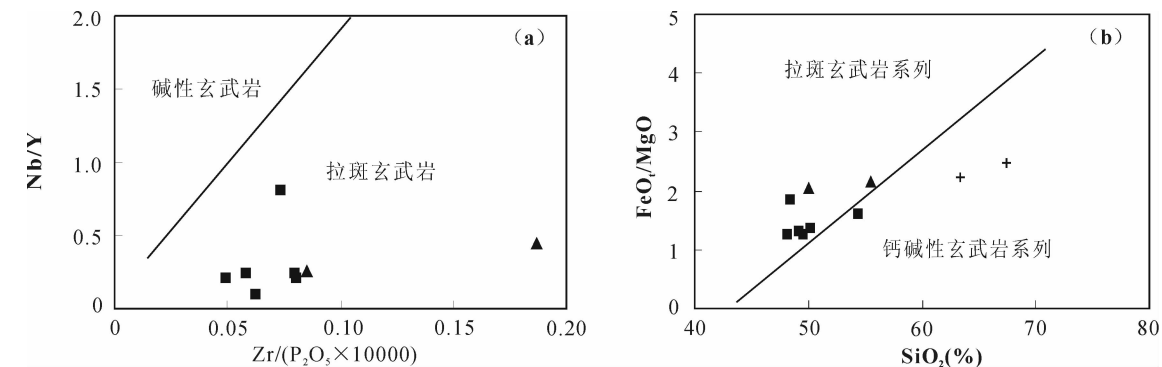


图 2 康定群咱里组岩石分类图解

Fig. 2 Classification on Zanli formation of Kangding group

■—斜长角闪岩;▲—斜长片麻岩;+—花岗质片麻岩

■—amphibolite;▲—plagioclase gneiss;+— granitic gneiss

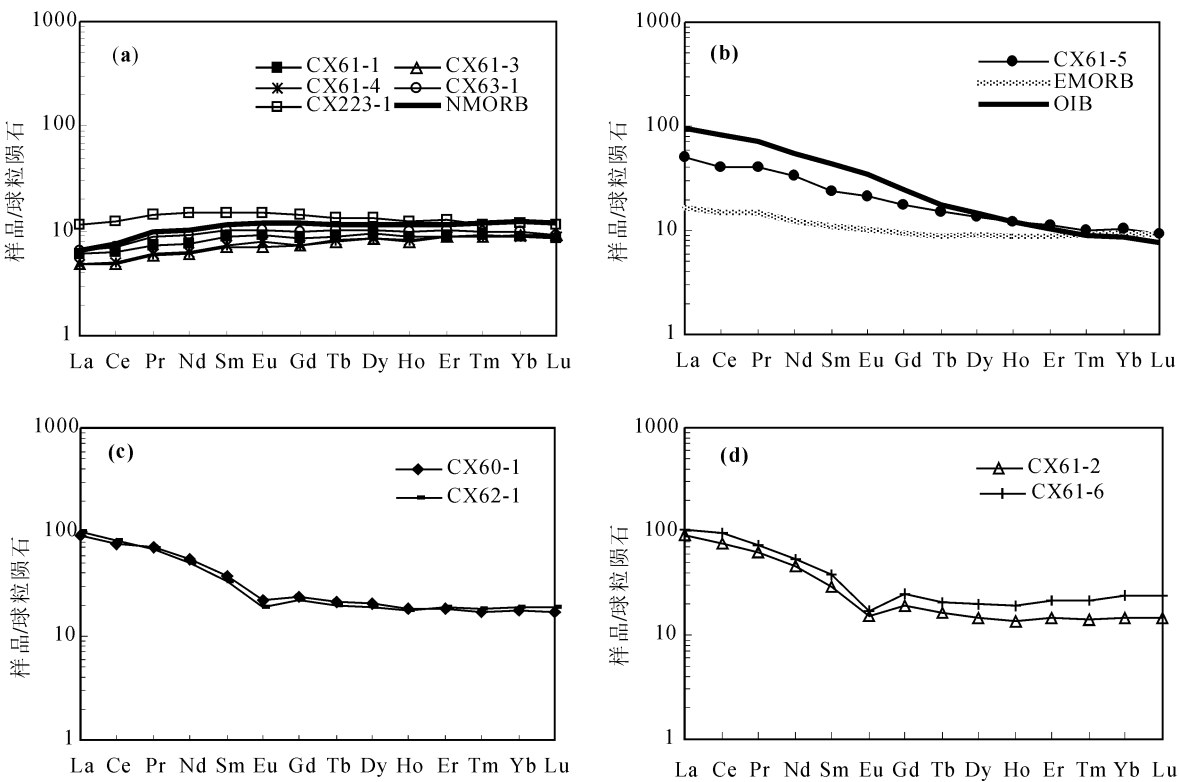


图 3 康定群咱里组稀土元素配分图解

Fig. 3 REE distribution patterns on Zanli formation of Kangding group

岩的稀土总量相对低 $(25.82\sim52.13)\times10^{-6}$,样品 CX61-5 稀土含量较其他样品明显高 $(113.62)\times10^{-6}$ 。斜长片麻岩和花岗质片麻岩稀土总量较斜长角闪岩明显增高。在球粒陨石标准化的稀土元素配分图解中(图 3a),斜长角闪岩大都表现为轻稀土略具亏损的稀土配分模式 $((La/Lu)_N=0.53\sim1.00)$,无明显的 Eu 异常 $(Eu/Eu^*=0.97\sim1.07)$,类似于大洋中脊玄武岩特征 (Saunders, 1983; Sun &

McDonough, 1989);而 CX61-5 样品的稀土配分模式与其他斜长角闪岩样品明显不同,轻稀土相对重稀土中等程度富集,配分曲线具有较明显的右倾特征 $((La/Lu)_N=5.4)$,无明显的 Eu 异常 $(Eu/Eu^*=1.03)$,配分曲线介于 MORB 和 OIB 之间,具 EMORB 和 OIB 特征 (Saunders, 1983; Sun & McDonough, 1989)(图 3b)。斜长片麻岩稀土配分模式表现为轻重稀土的中等程度分异,其中轻稀土

分异较重稀土强烈,具有微弱的负 Eu 异常(图 3c)。 异明显较重稀土强烈,同时具微弱的负 Eu 异常(图 3 d),其稀土配分模式与北美和欧洲页岩非常相似

表 1 康定群咱里组主量与微量元素化学分析

Table 1 Major (%) and trace elements ($\times 10^{-6}$) analysis of Zanli formation in Kangding group

样品号	CX61-1	CX61-3	CX61-4	CX63-1	CX223-1	CX61-5	CX60-1	CX62-1	CX61-2	CX61-6
SiO ₂	48.16	54.37	49.56	50.21	49.20	48.35	49.98	55.53	67.44	63.39
TiO ₂	0.87	0.74	0.77	1.06	1.48	2.11	1.13	1.10	0.68	0.74
Al ₂ O ₃	14.11	12.96	13.98	15.26	14.24	15.59	17.56	19.53	15.96	14.49
Fe ₂ O ₃	5.11	3.71	3.89	1.95	4.10	4.13	3.59	1.48	1.46	1.90
FeO	6.16	7.10	6.50	8.32	6.84	7.20	6.56	6.02	3.56	5.01
MnO	0.18	0.16	0.20	0.21	0.19	0.18	0.18	0.18	0.09	0.38
MgO	8.52	6.48	7.87	7.34	8.03	5.87	4.80	3.44	1.97	3.00
CaO	12.21	9.38	12.26	10.77	10.39	9.38	7.23	4.51	0.44	3.02
Na ₂ O	1.76	1.94	1.74	2.18	1.80	2.79	3.62	3.15	1.83	2.27
K ₂ O	0.21	0.41	0.21	0.66	0.30	1.48	1.97	2.48	3.18	2.43
P ₂ O ₅	0.07	0.10	0.09	0.09	0.13	0.23	0.26	0.14	0.13	0.20
H ₂ O ⁺	2.18	1.48	2.30	1.66	0.30	1.64	2.34	2.38	2.86	2.80
CO ₂	0.74	0.47	0.30	0.21	2.38	0.39	0.30	0.47	0.39	0.30
LOI	2.25	1.26	1.94	0.96	1.98	1.24	1.82	2.00	2.82	2.50
Mg [#]	59	53	58	56	58	49	47	45	42	44
总量	100.28	99.30	99.67	99.92	99.38	99.34	99.52	100.40	99.99	99.93
La	2.30	1.82	1.80	2.46	4.30	19.00	35.00	37.70	35.50	39.10
Ce	6.12	4.68	4.97	6.76	12.00	39.30	75.90	79.80	75.50	93.30
Pr	1.01	0.78	0.82	1.21	1.94	5.40	9.73	9.26	8.62	10.10
Nd	5.46	4.29	4.46	6.45	10.60	23.80	39.30	36.90	33.30	39.30
Sm	2.06	1.65	1.67	2.34	3.40	5.53	8.47	7.78	6.83	8.66
Eu	0.78	0.61	0.68	0.89	1.30	1.84	1.88	1.66	1.32	1.46
Gd	2.68	2.29	2.31	3.03	4.43	5.39	7.32	6.97	6.08	7.69
Tb	0.52	0.46	0.48	0.60	0.79	0.90	1.27	1.17	0.97	1.24
Dy	3.74	3.27	3.35	4.02	5.20	5.24	7.95	7.34	5.83	7.73
Ho	0.78	0.70	0.74	0.87	1.08	1.06	1.61	1.54	1.20	1.72
Er	2.29	2.28	2.28	2.63	3.24	2.88	4.66	4.77	3.75	5.39
Tm	0.35	0.34	0.34	0.38	0.45	0.38	0.66	0.70	0.55	0.84
Yb	2.22	2.30	2.20	2.47	2.96	2.54	4.32	4.77	3.69	6.11
Lu	0.33	0.35	0.34	0.36	0.44	0.36	0.66	0.73	0.56	0.94
Y	23.20	21.20	20.30	23.00	28.10	26.10	46.00	40.70	31.80	45.10
V	211.00	247.00	230.00	207.00	266.00	248.00	218.00	143.00	87.80	91.90
Cr	615.00	154.00	117.30	332.00	212.00	99.30	28.20	161.00	56.70	135.00
Co	51.00	39.10	39.70	44.00	48.80	41.10	25.60	24.10	14.20	19.70
Ni	248.00	69.30	97.60	151.00	64.30	53.30	15.80	56.00	25.90	53.30
Ga	15.30	15.10	15.80	16.30	18.60	21.40	21.90	21.90	19.60	19.20
Rb	7.41	13.90	8.35	23.10	9.20	40.90	69.90	86.50	88.20	79.30
Sr	266.00	94.00	177.00	112.00	103.00	264.00	447.00	345.00	67.30	158.00
Ba	35.70	43.50	23.20	79.00	41.30	191.00	479.00	539.00	740.00	725.00
Th	0.14	1.91	0.14	0.12	0.26	1.65	3.63	11.80	7.02	11.00
Sc	53.20	51.40	53.90	47.80	49.30	45.60	36.40	30.50	17.60	19.70
Pb	3.72	18.40	7.49	6.36	2.60	26.90	12.90	30.00	7.57	12.60
U	0.06	0.10	<0.05	<0.05	0.08	0.54	0.94	2.08	1.31	1.09
Zr	56.00	49.10	52.10	71.80	80.70	169.00	222.00	262.00	195.00	216.00
Nb	5.00	4.50	5.00	5.50	2.90	21.20	11.60	17.90	12.70	18.80
Hf	1.82	1.56	1.35	2.09	2.51	4.76	6.80	7.98	6.01	6.96
Ta	0.35	0.26	0.25	0.21	0.22	1.40	0.90	1.28	0.88	1.13
Nb/La	2.17	2.47	2.78	2.24	0.67	1.12	0.33	0.47	0.36	0.48
Nb/U	83.33	45.00	100.00	110.00	36.71	39.26	12.34	8.61	9.69	17.25
Th/La	0.06	1.05	0.08	0.05	0.06	0.09	0.10	0.31	0.20	0.28

(Rollison,1993 转引自杨学明等,2000)。

3.3 微量元素

从表 1 可以看出,多数斜长角闪岩 V、Cr、Co、Ni 含量明显高,Th、U、Zr、Hf 含量相对低。但 CX61-5 样品相对其他斜长角闪岩低 Cr、Ni,明显高 Th、U、Zr、Hf、Nb、Ta。斜长片麻岩和花岗质片麻岩相对斜长角闪岩低 V、Cr、Co、Ni、Sc,其他微量元素皆有不同程度的增高。

在微量元素原始地幔标准化配分图解中,德昌茨达一大六槽康定群咱里组斜长角闪岩表现为两组明显不同的微量元素配分模式。主要的一组微量元素配分曲线类似于大洋中脊玄武岩(Sun & McDonough, 1989)(图 4a)。大离子亲石元素 Rb、Ba、Sr 变化较大,与角闪岩相变质作用中活动性元素的迁移有关。而 CX61-5 斜长角闪岩样品特征介于 OIB 和 E-MORB 之间(图 4b)。斜长片麻岩的微量元素配分图解中具有明显的 Nb、Ta、P、Ti 负异常,类似于岛弧岩浆特征(Sun & McDonough, 1989)(图 4c)。花岗质片麻岩在微量元素配分图解中表现为明显的 Nb、Ta、P、Sr、Ti 的负异常(图 4d)。

在玄武岩微量元素构造环境判别图解中(Meschede, 1986; Wood, 1980),该区斜长角闪岩(角闪片岩)大多位于正常洋中脊玄武岩区域内,而具有明显的稀土元素和微量元素富集特征的斜长角闪岩(CX61-5)样品落入板内玄武岩区域;两个斜长片麻岩样品皆位于岛弧玄武岩区域(图 5a、b)。

3.4 Rb-Sr 与 Sm-Nd 同位素

茨达一大六槽地区康定群咱里组变质岩石的 Rb-Sr 与 Sm-Nd 同位素分析见表 2,该区斜长角闪岩(CX61-1、CX61-3、CX61-4、CX63-1、CX223-1)的 $\epsilon_{Nd}(t=0.8Ga)$ 在 5.94~12.65 之间,大多与同期亏损地幔 ϵ_{Nd} 值相当或略低一些,表明其物质来源于长期亏损的地幔源区,而 CX61-5 斜长角闪岩样品的 $\epsilon_{Nd}(t=0.8Ga)$ 值为 3.62,比同期的亏损地幔值明显偏低,同时结合其主、微量元素地球化学特征,该样品可能与其他斜长角闪岩具有不同的源区特征。而花岗质片麻岩(CX61-2、CX61-6)的 $\epsilon_{Nd}(t=0.8Ga)$ 为 1.09 和 1.4,显然与斜长角闪岩不同源,可能与地壳的重熔有关。斜长角闪岩和片麻岩 Sr 同位素的初始比值都变化较大(表 2),可能由于 Rb、Sr 为活动性元素,Sr 同位素体系在变质作用过程中受到了不同程度的改造,所以其不作为岩石成因讨论的依据。

4 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄

本次选取斜长角闪岩(CX61-5)和黑云斜长片麻岩(CX62-1)进行了 SHRIMP 锆石 U-Pb 同位素定年。样品具体处理过程是破碎、淘洗和重液分离,然后进行电磁分离,最后对锆石进行手工挑纯。然后将其与 TEM 标样一起粘在树脂台上,打磨抛光,去掉约锆石颗粒一半的厚度,尽可能得到横切颗粒中心的剖面,制成样靶(宋彪等,2002)。离子探针测试之前,在电子探针上进行阴极发光照相,确定锆石的内部结构和成因。最后再经清洗镀金,在 SHRIMP II 上进行同位素测试(Williams, 1998)。应用锆石标样 SL13(年龄 572Ma,U 含量 238×10^{-6})标定样品的 U、Th、Pb 含量,应用锆石标样 TEM(年龄 417Ma)进行年龄校正。测试过程中一次离子流 O_2^- 的强度为 6~8nA。每分析 4 个待测样品点进行一次 TEM 标样测定,每个测点记录采用 5 次扫描。数据处理采用 Ludwig SQUID1.0 及 ISPLIT 程序。普通铅应用实测 ^{204}Pb 校正。单个测定的数据点误差采用 1σ 。年龄结果采用 $^{206}Pb/^{238}U$ 加权平均值,误差为 2σ (95% 的置信度)。本文锆石阴极发光图像在中国科学院地质与地球物理研究所电子探针实验室完成;锆石 SHRIMP U-Pb 年龄测定在北京离子探针中心的 SHRIMP II 上完成。

表 2 康定群咱里组 Rb-Sr 与 Sm-Nd 同位素分析
Table 2 Rb-Sr and Sm-Nd isotopic analysis of
Zanli formation in Kangding group

样品号	Rb	Sr	$^{87}Rb/^{86}Sr$	$^{87}Sr/^{86}Sr$	2σ	$^{87}Sr/^{86}Sr_i$
CX61-1	13.584	318.329	0.126485	0.711455	76	0.710010
CX61-3	10.862	99.020	0.320118	0.706663	14	0.703006
CX61-4	4.933	200.799	0.071885	0.708432	14	0.707611
CX63-1	21.597	112.482	0.555507	0.707520	13	0.701173
CX223-1	8.426	106.348	0.229149	0.704589	14	0.701971
CX61-5	33.184	237.173	0.409392	0.708630	14	0.703953
CX62-1	87.522	366.952	0.698748	0.714357	16	0.706374
CX61-2	92.075	67.665	3.939520	0.730538	13	0.685530
CX61-6	79.213	168.966	1.355657	0.718015	15	0.702527

样品号	Sm	Nd	$\frac{^{147}Sm}{^{144}Nd}$	$\frac{^{143}Nd}{^{144}Nd}$	2σ	$\frac{^{143}Nd}{^{144}Nd_i}$	$\epsilon_{Nd}(t)$
CX61-1	2.323	6.481	0.216956	0.513392	22	0.512254	12.65
CX61-3	1.648	4.469	0.223197	0.513093	13	0.511922	6.18
CX61-4	1.800	4.856	0.224450	0.513087	42	0.511910	5.94
CX63-1	2.429	6.742	0.217863	0.513239	14	0.512096	9.57
CX223-1	3.518	10.498	0.202610	0.513056	12	0.511993	7.57
CX61-5	6.070	25.702	0.142973	0.512531	12	0.511752	3.62
CX62-1	8.776	41.628	0.127626	0.512310	13	0.511641	0.68
CX61-2	7.372	36.090	0.123650	0.512326	13	0.511678	1.40
CX61-6	10.679	50.189	0.128804	0.512338	11	0.511662	1.09

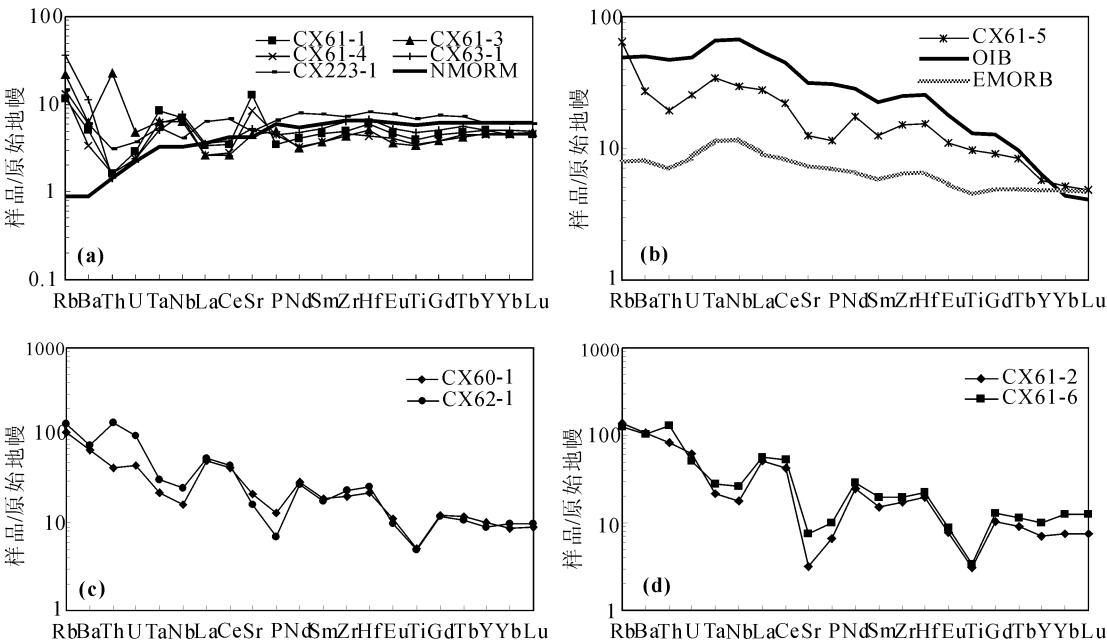


图 4 康定群咱里组微量元素配分图解

Fig. 4 Trace elements distribution patterns on Zanli formation of Kangding group

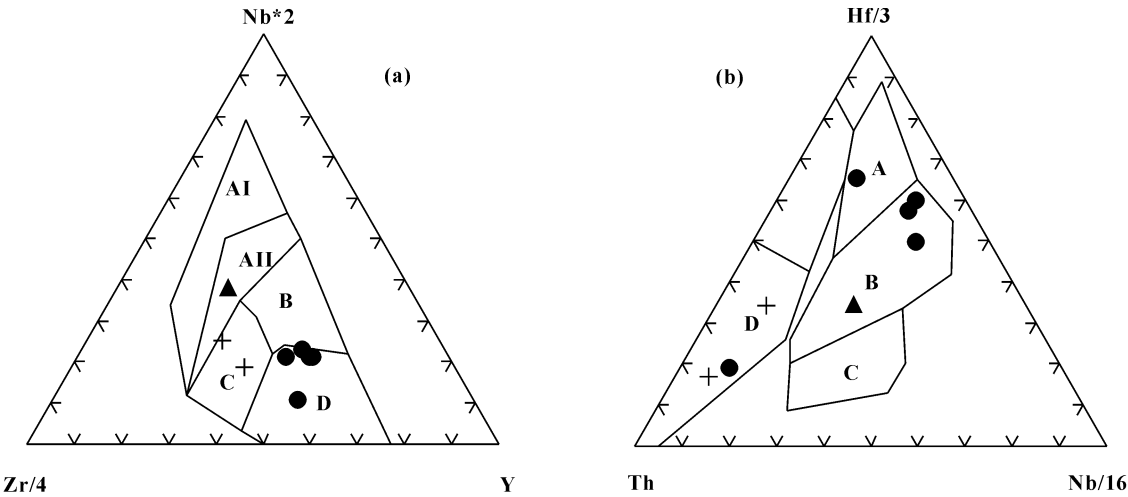


图 5 康定群咱里组岩石构造环境判别图解

Fig. 5 Identification diagrams of tectonic setting on Zanli formation of Kangding group

(a) $Zr/4-Y-Nb \times 2$ 图(引自 Meschede, 1986): A I — 板内碱性玄武岩图; A II — 板内碱性玄武岩和板内拉斑玄武岩; B — 富集型洋中脊玄武岩; C — 板内拉斑玄武岩和火山弧玄武岩; D — 正常型洋中脊玄武岩和火山弧玄武岩; (b) $Th-Nb/16-Hf/3$ 图(图引自 Wood, 1980): A — 正常洋中脊玄武岩; B — 富集型洋中脊和板内玄武岩; C — 板内碱性玄武岩; D — 岛弧拉斑玄武岩; ● — 斜长角闪岩(N-MORB 特征); ▲ — 斜长角闪岩(E-MORB 或 OIB 特征); + — 斜长片麻岩

(a): Tectonic setting discrimination of $Zr/4-Y-Nb \times 2$ for basalt (after Meschede M, 1986); A I — within plate alkalic basalt; A II — Within plate alkalic basalt and tholeiite; B — enriched middle oceanic ridge basalt; C — within plate tholeiite and volcanic arc basalt; D — normal middle oceanic ridge basalt and volcanic arc basalt; (b): tectonic setting discrimination of $Th-Nb/16-Hf/3$ for basalt (after Wood, 1980): A — Normal middle oceanic ridge basalt; B — Enriched middle oceanic ridge basalt and within plate basalt; C — within plate alkalic basalt; D — island arc tholeiite; ● — amphibolites (with characteristics of N-MORB); ▲ — amphibolites (with characteristics of E-MORB or OIB); + — plagioclase gneiss

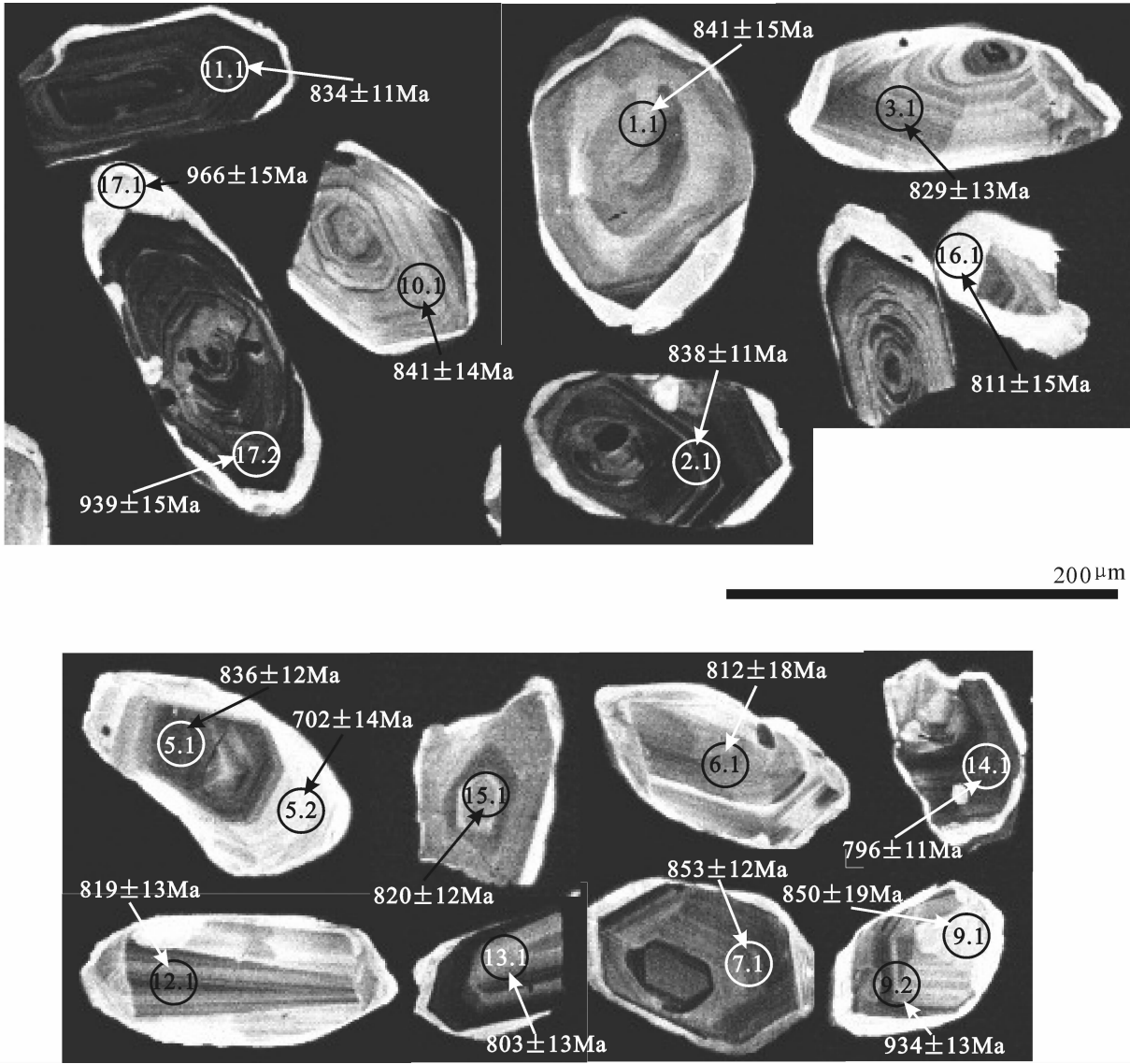


图 6 康定群咱里组细粒斜长角闪岩锆石阴及发光图像

Fig. 6 CL images of zircons from fine-grained amphibolite in Zanli formation of Kangding group

4.1 细粒斜长角闪岩

细粒斜长角闪岩(CX61-5)样品中的锆石呈大小不等的椭圆粒状,少数具短柱状、长柱状,粒度多在 100~200 μm 之间。在阴极发光图像中,几乎所有的锆石颗粒具有核边双层结构(图 6)。核部多具有清晰规则的岩浆韵律环带,类似于岩浆锆石特征(Rowley et al, 1997; Keay et al, 1999; Hoskin & Black, 2000)。增生边一般较窄,皆具有高亮度,反映低 Th、U 含量特征,表明与核部的岩浆锆石可能具有不同的形成环境。结合岩相学证据,边部应为角闪岩相变质过程中的变质成因锆石。

对该样品中的 17 粒锆石共进行了 20 个点的测定,其中对具有韵律环带的核部进行了 16 个测点的

分析,U、Th 含量和 Th/U 比值分别为:(53~564) $\times 10^{-6}$ 、(33~971) $\times 10^{-6}$ 和 0.30~1.81。选择 13 个位于谐和线上并相对集中的测点进行计算,其 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 加权平均年龄为 $830 \pm 7\text{Ma}$,代表岩浆锆石的结晶时代(图 7)。选择四个锆石增生边相对较宽的颗粒进行年龄测定,其 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄为 702~966Ma,变化范围较大。部分原因可能是得到了混合年龄。在较宽的增生边测定的 5.2 点($702 \pm 14\text{Ma}$)几乎位于谐和线上,可能代表了约 700Ma 的变质作用,与岩相学观察的角闪岩相变质作用吻合。值得注意的是 17 号颗粒,核部具有岩浆韵律环带,但 U 和 Th 含量高(表 3),在阴极发光条件下呈暗黑色,得到的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄为 $939 \pm 15\text{Ma}$,其发

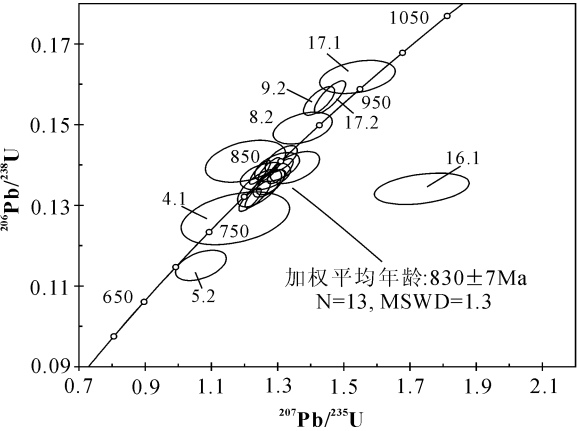


图 7 康定群咱里组细粒斜长角闪岩锆石 U-Pb 年龄协和图

Fig. 7 Concordia diagram of zircon U-Pb ages from fine-grained amphibolite in Zanli formation of Kangding group

光强的边部得到的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄为 $966 \pm 15\text{Ma}$ ，核部与边部的年龄相近，其边部年龄可能是一个混合年龄，也可能代表早期的变质事件。但核部 $939 \pm 15\text{Ma}$ 的结果，明显不同于其他锆石测点，表明该颗粒可能属于继承锆石。9 号颗粒核部 $934 \pm 13\text{Ma}$

的年龄(图 6,表 3)，也表明斜长角闪岩的原岩中有较老的继承锆石。

4.2 黑云斜长片麻岩

黑云斜长片麻岩(CX62-1)样品中锆石呈不规则粒状,粒度多小于 $150\mu\text{m}$ 。在阴极发光图像中,大多数锆石颗粒也具有核边双层结构。核部韵律环带发育,具有明显的岩浆锆石特征,边部发光较强,为变质增生锆石(图 8),其特征与斜长角闪岩锆石相似。

对该样品的 13 颗锆石共测定了 16 个点,对核部共测定了 12 个点,U、Th 含量和 Th/U 比值分别为: $(40 \sim 489) \times 10^{-6}$ 、 $(11 \sim 367) \times 10^{-6}$ 和 $0.28 \sim 1.32$ 。选择其中位于谐和线上具有明显环带的 6 个核部测点的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 加权平均年龄为 $827 \pm 10\text{Ma}$,代表岩浆锆石的形成时代。还有 4 个核部的测点(1.1,3.1,12.1,13.1) $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄值明显偏小(表 3,图 9),可能是受到后期变质或热液活动影响所致。高亮度的增生边部 4 个测点的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄可分为两组,7.2 和 9.2 两个测点分别给出了 $708 \pm 12\text{Ma}$ 和 $686 \pm 11\text{Ma}$,代表高角闪岩相变质作用的时期,也与前述的斜长角闪岩变质年龄误差

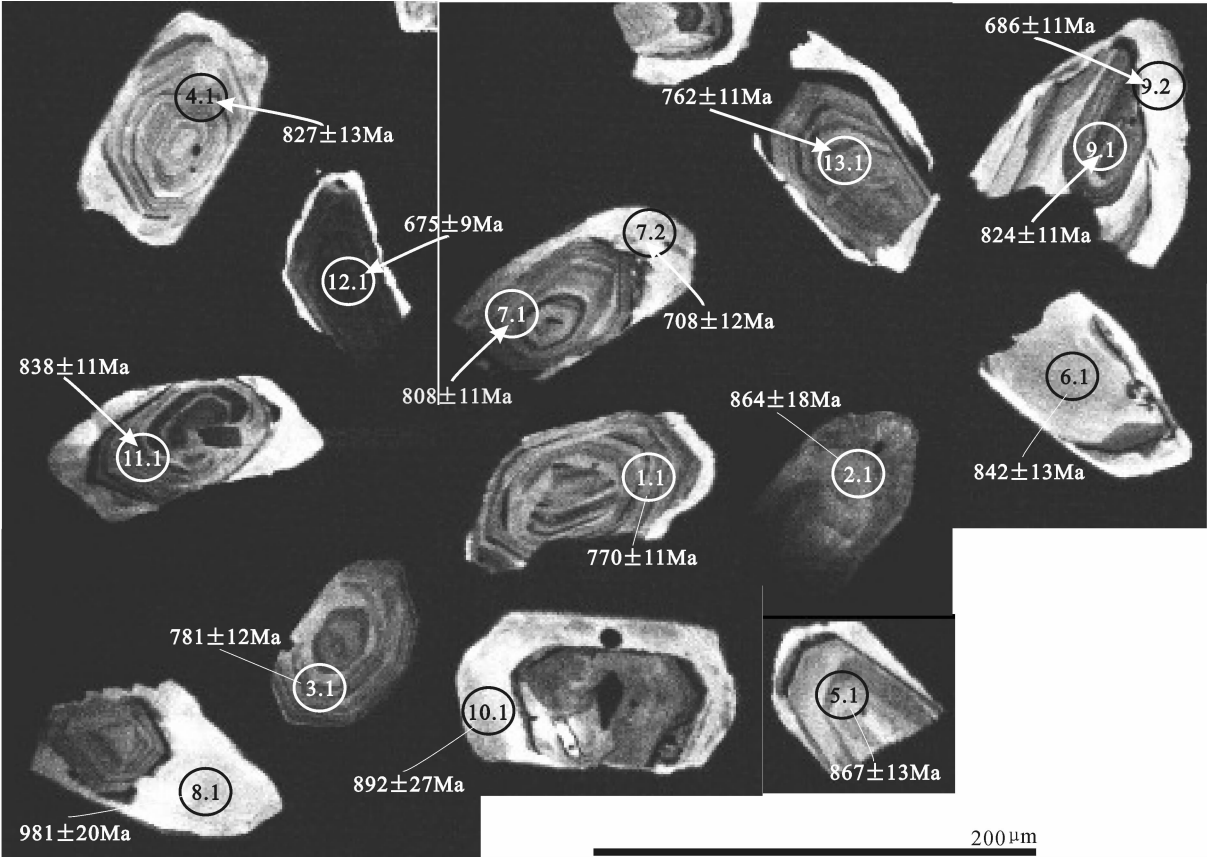


图 8 康定群咱里组黑云斜长片麻岩锆石阴极发光图像

Fig. 8 CL images of zircons from biotite plagioclase gneiss in Zanli formation of Kangding group

表 3 康定群咱里组锆石离子探针分析表

Table 3 Zircon SHRIMP U-Pb analysis of Zanli formation in Kangding group

样点号	²⁰⁶ Pb _c (%)	U /10 ⁻⁶	Th /10 ⁻⁶	²³² Th / ²³⁸ U	²⁰⁶ Pb* /10 ⁻⁶	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U 年龄(Ma)	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb 年龄(Ma)	²⁰⁷ Pb* / ²⁰⁶ Pb*	±%	²⁰⁷ Pb* / ²³⁵ U	±%	²⁰⁶ Pb* / ²³⁸ U	±%
细粒斜长角闪岩(CX61-5)													
1. 1	0. 29	77	33	0. 45	9. 21	841±15	939± 64	0. 0704	3. 1	1. 352	3. 7	0. 1394	1. 9
2. 1	0. 13	554	971	1. 81	66. 2	838±11	826± 22	0. 06663	1. 0	1. 275	1. 7	0. 1388	1. 4
3. 1	0. 38	124	99	0. 82	14. 7	829±13	830±75	0. 0668	3. 6	1. 263	4. 0	0. 1372	1. 6
4. 1	1. 22	53	36	0. 70	5. 89	769±25	840±180	0. 0671	8. 6	1. 17	9. 2	0. 1267	3. 4
5. 1	0. 00	234	320	1. 41	27. 8	836±12	884±27	0. 06852	1. 3	1. 308	2. 0	0. 1385	1. 5
5. 2r	0. 98	50	44	0. 91	5. 02	702±14	848±88	0. 0673	4. 2	1. 068	4. 7	0. 1151	2. 2
6. 1	0. 27	133	100	0. 78	15. 3	812±18	847±56	0. 0673	2. 7	1. 245	3. 5	0. 1342	2. 3
7. 1	0. 31	192	159	0. 86	23. 4	853±12	845±39	0. 0672	1. 9	1. 311	2. 4	0. 1414	1. 6
8. 1	0. 75	87	60	0. 72	11. 2	896±15	835±81	0. 0669	3. 9	1. 375	4. 3	0. 1491	1. 7
9. 1r	0. 79	61	38	0. 65	7. 42	850±19	671 130	0. 0619	6. 2	1. 202	6. 7	0. 1409	2. 4
9. 2	0. 22	290	200	0. 71	38. 9	934±13	817±33	0. 0663	1. 6	1. 425	2. 2	0. 1558	1. 5
10. 1	0. 63	89	42	0. 50	10. 7	841±14	854±62	0. 0675	3. 0	1. 298	3. 5	0. 1394	1. 7
11. 1	0. 06	564	477	0. 87	67. 0	834±11	789±20	0. 06547	0. 93	1. 247	1. 7	0. 1381	1. 4
12. 1	0. 17	136	208	1. 58	15. 9	819±13	875±38	0. 0682	1. 8	1. 274	2. 5	0. 1354	1. 7
13. 1	0. 09	427	126	0. 30	48. 7	803±13	862±24	0. 06780	1. 2	1. 240	2. 0	0. 1327	1. 7
14. 1	0. 06	426	315	0. 76	48. 1	796±11	843±23	0. 06717	1. 1	1. 217	1. 8	0. 1314	1. 4
15. 1	0. 19	210	156	0. 77	24. 5	820±12	881±35	0. 0684	1. 7	1. 280	2. 3	0. 1357	1. 5
16. 1r	0. 93	112	15	0. 14	13. 0	811±15	1,506±96	0. 0939	5. 1	1. 735	5. 4	0. 1340	1. 9
17. 1r	0. 98	107	45	0. 44	15. 1	966±15	901±95	0. 0691	4. 6	1. 540	4. 9	0. 1617	1. 7
17. 2	0. 10	485	395	0. 84	65. 4	939±15	851±27	0. 06744	1. 3	1. 458	2. 1	0. 1568	1. 7
黑云斜长片麻岩(CX62-1)													
1. 1	0. 22	226	136	0. 62	24. 7	770±11	796± 35	0. 0657	1. 7	1. 150	2. 2	0. 1269	1. 5
2. 1	1. 02	40	11	0. 28	4. 95	864±18	2,025± 89	0. 1247	5. 0	2. 47	5. 5	0. 1434	2. 2
3. 1	0. 37	171	172	1. 04	19. 0	781±12	809± 51	0. 0661	2. 5	1. 173	2. 9	0. 1288	1. 6
4. 1	0. 21	124	80	0. 66	14. 6	827±13	909±45	0. 0694	2. 2	1. 309	2. 7	0. 1369	1. 6
5. 1	0. 18	163	76	0. 48	20. 2	867±13	887±41	0. 0686	2. 0	1. 361	2. 5	0. 1439	1. 6
6. 1	0. 34	132	141	1. 11	15. 8	842±13	863±68	0. 0678	3. 3	1. 305	3. 7	0. 1396	1. 7
6. 2	0. 00	121	130	1. 11	14. 3	827±13	823±60	0. 0665	2. 9	1. 256	3. 3	0. 1369	1. 6
7. 1	0. 36	213	273	1. 32	24. 5	808±11	834±45	0. 0669	2. 2	1. 231	2. 7	0. 1335	1. 5
8. 1r	2. 52	48	0	0. 01	6. 99	981±20	473±280	0. 0566	13	1. 28	13	0. 1644	2. 2
9. 1	0. 25	303	295	1. 00	35. 6	824±11	810±32	0. 0661	1. 5	1. 243	2. 1	0. 1364	1. 5
10. 1r	2. 16	100	10	0. 10	13. 0	892±27	723±200	0. 0635	9. 4	1. 30	9. 9	0. 1484	3. 2
9. 2r	0. 83	195	28	0. 15	18. 9	686±11	1,031±64	0. 0736	3. 2	1. 140	3. 6	0. 1123	1. 6
11. 1	0. 25	364	147	0. 42	43. 6	838±11	891±29	0. 06874	1. 4	1. 316	2. 0	0. 1389	1. 4
12. 1	0. 54	489	367	0. 77	46. 7	675±9	701±37	0. 0628	1. 8	0. 956	2. 3	0. 1104	1. 4
7. 2r	0. 86	185	47	0. 26	18. 6	708±12	713±72	0. 0631	3. 4	1. 010	3. 8	0. 1160	1. 8
13. 1	0. 32	262	184	0. 72	28. 3	762±11	778±41	0. 0651	1. 9	1. 126	2. 4	0. 1254	1. 5

注:误差为 1σ,Pb_c和 Pb* 分别代表普通铅和放射成因铅;标准校正误差为 0. 68%。(1)普通铅校正用²⁰⁴Pb 测量值;(2)普通铅用推测的²⁰⁶Pb/²³⁸U-²⁰⁷Pb/²³⁵U 一致性年龄校正;(3)普通铅用推测的²⁰⁶Pb/²³⁸U-²⁰⁸Pb/²³²Th 一致性年龄校正。其中“r”标志为边部测点。

差范围内一致。8. 1 和 10. 1 两个颗粒增生边的宽度较大,获得²⁰⁶Pb/²³⁸U 年龄结果分别为 981±20Ma 和 892±27Ma,(图 9),表明黑云斜长片麻岩中也可能存在较老的变质成因的继承性锆石。

5 讨论

5.1 基底时代与变质特征

自 20 世纪 30 年代以来,扬子地台西缘陆续发

现了许多岩浆杂岩体,这些岩浆杂岩被称为“康定片麻岩”、“磨盘山结晶片岩”、“康定杂岩”、“康滇灰色片麻岩”,其时代为新太古代—古元古代,是扬子西缘最老的结晶基底(邢无京,1989;胥德恩,1995;贺节明,1988)。从其中厘定出的康定群变质地层与康定杂岩的时代相当(邢无京,1989;李复汉,1988;四川省区域地质志,1991)。冯本智(1989)、邢无京(1989)研究认为康定杂岩(康定群)的构造岩石组合

可与世界其他地区的太古代绿岩带相对比,因此认为康定群属于新太古代—古元古代绿岩带。康定群咱里组和冷竹关组是在原始硅铝地壳形成后的绿岩带盆地阶段形成的(吴根耀,1990)。但是,许多新的康定杂岩 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄数据表明,其形成时代为 721~864Ma^①(Li et al., 2003a; Sinclair, 2001; Zhou et al. 2002a; 陈岳龙等, 2004; 杜利林等, 2006), 所以其不可能作为扬子地台最古老的结晶基底^①(Zhou et al. 2002a)。本文咱里组中斜长角闪岩和黑云斜长片麻岩分别获得 830 ± 7Ma 和 827 ± 10Ma 的岩浆锆石年龄, 表明咱里组中玄武岩的形成时代与区域上康定杂岩的形成时代近于一致, 远小于河口群、会理群和登相营群(原为褶皱基底)的时代^①(耿元生等, 2007a), 可能与盐边群玄武岩的形成时代相当^①(杜利林等, 2005)。最近, 耿元生等(2007b)在四川泸定地区获得康定群冷竹关组火山岩的时代为 818Ma 和 816Ma。这些结果进一步表明扬子西缘并不存在所谓的“双层基底”, 前人所认为的大量古老结晶基底岩系实际为新元古代的地层和岩浆杂岩体。

扬子地台西缘的康定杂岩(康定群)根据变质特征分为高级变质地体和低级变质地体, 前者是主要分布于冕宁沙坝和盐边同德地区的片麻岩—混合岩—麻粒岩组合, 后者为分布较广的 TTG 组合(又称花岗绿岩带), 它们可能经历了类似华北克拉通新太古代和古元古代两次重要的构造变质事件(邢无京, 1989)。对于扬子地台西缘是否存在麻粒岩一直存在一些不同的认识: 曾宪教等(1985)认为川西地区的麻粒岩为康定杂岩的重要组成部分, 区域上不仅存在麻粒岩相变质, 而且在麻粒岩相变质基础上经历了混合岩化作用。张儒媛等(1985)认为麻粒岩的原岩为侵入岩, 而后经历麻粒岩相和角闪岩相变质。翟明国和杨瑞英(1986)研究提出, 川西麻粒岩是受到退变质和变形作用改造的辉长苏长岩体, 未经历过麻粒岩相变质作用。沈其韩等(1992)对中国早前寒武纪麻粒岩总结认为, 川西地区麻粒岩的原岩可能属于侵入体, 麻粒岩相变质作用的依据不完全充分。近几年, 对川西的“麻粒岩”开展了一些同位素研究工作: 同德和沙坝麻粒岩的 Sm-Nd 矿物等时线结果表明, 麻粒岩相变质的时代 1186 ~ 1128Ma(徐士进等, 2002, 2003), 并经历 778 ~ 877Ma 的角闪岩相变质作用(徐士进等, 2003; 刘文中等, 2005)。但是, 耿元生等^①野外调查和室内研究工作发现, 所谓冕宁麻粒岩区并不存在大面积的

麻粒岩, 其主体岩性为一套正片麻岩, 变质程度并未达到麻粒岩相; 而同德地区的麻粒岩实际为辉长苏长岩体。因此, 区域上的麻粒岩并不存在^①。该认识已有许多锆石特征研究和年代学资料的支持。如 Li 等(2003a)研究发现冕宁沙坝康定杂岩中锆石具有明显的岩浆锆石特征, 其成岩年龄为 752Ma。Sinclair(2001)获得同德杂岩中辉长岩和闪长岩的 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄为 820 ± 13 和 813 ± 14Ma。另外, 1 : 5 万区域地质调查(米易幅)在米易横山所划出的晚太古代麻粒岩实际为辉长岩体, 其侵位时代为 257 ± 4Ma(耿元生等未发表数据), 与川西大面积分布的峨眉山玄武岩的时代一致(Zhou et al., 2002c)。

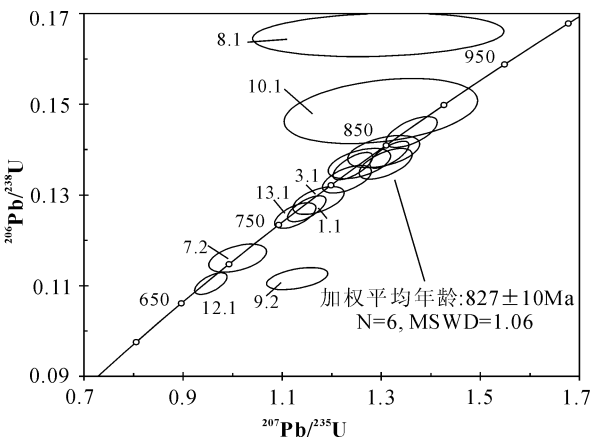


图 9 康定群咱里组黑云斜长片麻岩锆石 U-Pb 年龄协和图

Fig. 9 Concordia diagram of zircon U-Pb ages from biotite plagioclase gneiss in Zanli formation of Kangding group

Zhou 等(2002a)在扬子西北缘贡才杂岩中获得 177 ± 3Ma 的角闪岩相变质作用年龄, 陈岳龙等(2004)在冕宁杂岩中得到 99 ~ 531 的变质锆石年龄, 这些资料反映了扬子地台西缘在寒武纪后可能经历了多期变质作用。本次岩相学观察发现德昌茨达一大六槽咱里组样品普遍经历了角闪岩相变质作用, 个别样品变质程度可能达到了高角闪岩相。该期变质作用在锆石中有较明显记录, 其时代约为 700Ma。耿元生等^①对川西米易垭口五马嘴组和盐边高坪冷竹关组变质泥质岩进行独居石的 U-Th-Pb 原位化学法定年表明, 他们均经历了约 750Ma 的变质作用。这些研究表明扬子西缘存在新元古代的变质作用。

5.2 新元古代构造环境

川西部分地区康定群咱里组中保留残余枕状构造和变余杏仁体(四川省区域地质志,1991)。本文结合主微量元素地球化学研究表明,咱里组斜长角闪岩原岩为玄武岩。根据地球化学特征可将玄武岩分为两组:主要一组特征类似于大洋中脊玄武岩(N-MORB),另一组特征介于富集型洋中脊玄武岩(E-MORB)和洋岛玄武岩(OIB)之间。前者的 $Mg^\#$ 值为53~59,略低于大洋中脊玄武岩, ϵ_{Nd} 值与同时期的亏损地幔值相当或略低一些, TiO_2 普遍低于大洋中脊玄武岩,这些特征表明咱里组玄武岩在喷发过程中可能受到少(微)量地壳物质或俯冲带流体的影响(Sun & McDonough, 1989)。斜长角闪岩相对大洋中脊玄武岩富集 Nb、Ta, Nb/La 值(0.67~2.78)、Nb/U 值(36.71~110.00)多高于正常洋中脊玄武岩(0.97, 47 ± 10), Th/La 值(0.05~1.05)接近或略高于正常洋中脊玄武岩(0.05)。富 Nb 组分并不存留于大陆岩石圈,而是通过大洋岩石圈消减进入下地幔或聚集于上地幔的底部(Sun & McDonough, 1989)。Weaver(1991)研究认为,俯冲消减的洋壳脱水后高场强元素相对大离子亲石元素和轻稀土元素富集。另外,咱里组斜长角闪岩 ϵ_{Nd} 值皆为高的正值,与地幔柱成因的峨眉山玄武岩明显不同(Xiao et al., 2004)。所以,笔者更倾向于这套玄武岩为亏损上地幔部分重熔,受到俯冲脱水后的残留洋壳和少(微)量地壳物质的混染。具有富集特征的斜长角闪岩(CX61-5)由于 ϵ_{Nd} 值相对低一些(+3.62),同时该样品中发现有老的继承性锆石,可能与受到俯冲洋壳和陆源沉积物的影响更大有关。虽然,洋中脊玄武岩中发现古老残留锆石也有报道(Pilot et al., 1998),但川西区域上大面积分布具有岩浆弧特征的新元古代花岗岩也不支持本文玄武岩形成于洋中脊环境。同时,咱里组斜长片麻岩具有岛弧岩浆特征。所以,本文康定群咱里组玄武岩具有大洋中脊玄武岩和岛弧玄武岩的双重地球化学特征,其形成环境近于弧后盆地(Keleman et al., 1990; Li et al., 2006),与盐边群玄武岩形成时代和形成环境十分相似(杜利林等,2005)。

近年来,随着新元古代 Rodinia 超大陆成为前寒武纪研究热点(Hoffman, 1991),许多学者提出了不同的超大陆重建方案(Moores, 1991; Dalziel, 1991; Hoffman, 1991; Gose et al., 1997; Karlstrom et al. 1999; Burrett and Berry, 2000; Wingate et al., 2002)。Li 等(1995, 1996, 2002a)

研究认为,华南板块在中元古代末位于澳大利亚和劳亚大陆之间,为汇聚的 Rodinia 超大陆的中心。扬子地块周围分布的大量新元古代岩浆岩是地幔柱活动的产物,与 Rodinia 超大陆的裂解有关(Li et al., 1999; Li et al., 2002b, 2003a, b; Ling et al., 2003; 李献华等,2002;朱维光等,2004;Zhu et al., 2006)。对这些岩浆岩形成的构造环境也存在一些不同的观点(Zhou et al., 2002a, b; 周金城等, 2003; Wang et al., 2004a, b, 2006; 杜利林等, 2005, 2006; Zhao & Zhou, 2007)。综合分析已有资料发现,川西地区的岩浆活动时间约为 720~860Ma,跨度达 140Ma。Li 等(2003a)对此提出了两阶段超级地幔柱模式。Hofmann(1997)认为,地幔柱可源自上下地幔和核幔边界两个不同的位置,大范围、时间跨度大并产生巨量溢流玄武岩的地幔柱主要源于核幔边界。扬子西缘以致整个扬子地块周围主体的岩浆岩为中酸性岩,显然与超级地幔柱模式不完全符合。本文康定群咱里组变质基性岩具有弧后盆地玄武岩特征,其成岩时代约为 830Ma,同时可能经历了约 700Ma 的角闪岩相变质作用。而目前川西约 700Ma 的岩浆活动未见报道资料,所以该期变质作用难以用接触变质来解释。耿元生等^①研究认为,扬子西缘存在约 750Ma 的区域变质作用,变质矿物组合温压估算均表明体系具有碰撞后隆升的特征,变质岩具有顺时针演化的 P-T 轨迹,其退变质为等温降压过程,反映体系具有与增厚有关的抬升历史,主期变形-变质活动似乎反映了 Rodinia 古陆裂解过程中的局部挤压、俯冲活动。因此,扬子西缘新元古代构造环境可能为岛弧环境。

6 结论

通过对康定群咱里组斜长角闪岩、斜长片麻岩和花岗质片麻岩较为详细的岩石学、地球化学和锆石同位素年代学研究可得到如下结论:

(1) 康定群咱里组斜长角闪岩和斜长片麻岩原岩为玄武岩,其形成时代约为 830Ma,为新元古代,与区域上大量分布的康定杂岩时代近于一致,再次证明扬子西缘并不存在古老的结晶基底。约 700Ma 的变质锆石年龄为角闪岩相变质作用的时期,也表明川西地区存在新元古代的变质作用。

(2) 斜长角闪岩和斜长片麻岩的岩石地球化学特征具有大洋中脊玄武岩和岛弧玄武岩的特征,其形成环境类似于弧后盆地。同时这些岩石经历了新元古代的变质作用,表明新元古代扬子地台西缘可

能为岛弧环境。

致谢: Sr、Nd 同位素测试得到中国科学院地质与地球物理研究所固体同位素实验室陈福坤研究员、储著银博士及其他人员的热情帮助; 锆石 CL 照相得益于中国科学院地质与地球物理研究所电子探针实验室徐平博士、马玉光博士和毛骞博士的支持; 锆石 SHRIMP 测试过程中得到北京离子探针中心刘敦一研究员及中心其他老师的支持和帮助; 审稿专家提出宝贵的修改意见。在此谨致谢意。

注 释

① 耿元生, 杨崇辉, 王新社, 等. 2005. 扬子地台西缘变质基底演化研究. 地质调查研究报告.

参 考 文 献

陈岳龙, 罗照华, 赵俊香, 等. 2004. 从锆石 SHRIMP 年龄及岩石地球化学特征论四川冕宁康定杂岩的成因. 中国科学(D 辑), 34(8): 687~697.

程裕洪主编. 1994. 中国区域地质概论. 北京: 地质出版社, 1~517.

从柏林. 1988. 攀西古裂谷的形成与演化. 北京: 科学出版社, 1~96.

杜利林, 耿元生, 杨崇辉, 等. 2005. 扬子地台西缘盐边群玄武质岩石地球化学特征及 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄. 地质学报, 79(6): 805~813.

杜利林, 耿元生, 杨崇辉, 等. 2006. 扬子地台西缘新元古代 TTG 的厘定及其意义. 岩石矿物学杂志, 25(4): 273~281.

冯本智. 1989. 论扬子准地台西缘前震旦纪基底及其成矿作用. 地质学报, 1989(4): 339~348.

耿元生, 杨崇辉, 杜利林, 等. 2007a. 天宝山组形成时代和形成环境——锆石 SHRIMP U-Pb 年龄和地球化学证据. 地质论评, 53(4): 556~563.

耿元生, 杨崇辉, 王新社, 等. 2007b. 扬子地台西缘结晶基底的时代. 高校地质学报, 13(3): 429~441.

贺节明, 陈国豪, 杨兆兰, 等. 1988. 康滇灰色片麻岩. 重庆出版社, 1~174.

李复汉, 覃嘉铭, 申玉连, 等. 1988. 康滇地区的前震旦系. 重庆: 重庆出版社. 1~160.

李献华, 李正祥, 周汉文, 等. 2002. 川西南关刀山岩体的 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄、元素和 Nd 同位素地球化学——岩石成因与构造意义. 中国科学(D 辑), 32: 60~68.

刘文中, 徐士进, 王汝成, 等. 2005. 攀西麻粒岩锆石 U-Pb 年代学: 新元古代扬子古陆块西缘地质演化新证据. 地质论评, 51(4): 470~476.

沈其韩, 徐惠芬, 张宗清, 等. 1992. 中国早前寒武纪麻粒岩. 地质出版社. 1~237.

四川省区域地质志. 1991. 北京: 地质出版社. 7~47.

宋彪, 张玉海, 万渝生, 等. 2002. 锆石 SHRIMP 样品靶制作、年龄测定及有关现象讨论. 地质论评, 48(Supp): 26~30.

吴根耀. 1990. 川西康定—泸定地区前寒武纪大地构造演化——

个地壳多次活化、“动”“定”递进的实例. 大地构造与成矿学, 14(3): 239~246.

邢无京. 1989. 康定群的地质特征及其在扬子地台基底演化中的意义. 中国区域地质, (4): 347~356.

胥德恩, 陈友良, 张应全, 等. 1995. 康定杂岩的时代及成因探讨. 地质论评, 41(2): 101~111.

徐士进, 宇航波, 王汝成, 等. 2002. 川西沙坝麻粒岩的 Sm-Nd 和 Rb-Sr 同位素年龄及其地质意义. 高校地质学报, 8(4): 399~406.

徐士进, 刘文中, 王汝成, 等. 2003. 攀西微古陆块的变质演化与地壳抬升史——中基性麻粒岩的 Sm-Nd, ⁴⁰Ar/³⁹Ar 和 FT 年龄证据. 中国科学(D 辑), 33(11): 1037~1049.

徐先哲, 李卫, 杨七文. 1985. 康定杂岩特征及成因. 见张云湘等主编: 中国攀西裂谷文集(1). 北京: 地质出版社, 26~40.

杨学明, 杨晓勇, 陈双喜. 2000. 岩石地球化学. Hugh R Rollison edited: Using Geochemical Data: Evaluation, Presentation, Interpretation. 1~275.

袁海华, 张树发, 张平. 1985. 渡口市同德混合片麻岩初获太古宙年龄信息. 成都理工大学学报(自然科学版), 3: 82~87.

翟明国, 杨瑞英. 1986. 攀西地区早前寒武纪片麻岩基底. 岩石学报, 2(3): 22~37.

张儒媛, 从柏林, 杨瑞英. 1985. 岩石学研究, 地质出版社, 第六辑, 13~30.

曾宪教, 徐先哲, 袁荫平. 1985. 四川冕宁沙坝地区康定杂岩中的麻粒岩岩石学和地球化学特征. 见张云湘等主编: 中国攀西裂谷文集(1). 北京: 地质出版社, 41~56.

周金城, 王孝磊, 邱检生, 等. 2003. 桂北中-新元古代镁铁质-超镁铁质岩的岩石地球化学. 岩石学报, 19(1): 9~18.

朱维光, 邓海林, 刘秉光, 等. 2004. 四川盐边高家村镁铁-超镁铁质杂岩的形成时代: 单颗粒锆石 U-Pb 和角闪石 ⁴⁰Ar-³⁹Ar 年代学制约. 科学通报, 49(10): 985~992.

Burrett C, Berry R. 2000. Proterozoic Australia - Western United States (AUSWUS) fit between Laurentia and Australia. Geology, 28, 103~106.

Cheng Yuqi, edited. 1994. Regional geological conspectus of China. Beijing: Geological Publishing House, 1~517 (in Chinese).

Chen Yuelong, Luo Zhaohua, Zhao Junxiang, et al. 2005. Petrogenesis and dating of the Kangding complex, Sichuan Province. Science in China (Series D), 48(5): 622~634.

Cong Bailin. 1988. Formation and evolution of Panxi paleo-rift. Beijing: Science Press. 1~96 (in Chinese).

Daziel I W D. 1991. Pacific margins of Laurentia and east Antarctica-Australia as conjugate rift pair: evidence and implications for an Eocambrian supercontinent. Geology, 19, 598~601.

Du Lilin, Geng Yuansheng, Yang Chonghui, et al. 2005. Geochemistry and SHRIMP U-Pb zircon chronology of basalt from the Yanbian group in the western Yangtze block. Acta Geologica Sinica, 79(6): 805~813 (in Chinese with English abstract).

Du Lilin, Geng Yuansheng, Yang Chonghui, et al. 2006. the Stipulation of neoproterozoic TTG in western Yangtze block and

- its significance. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 25(4): 273~281 (in Chinese with English abstract).
- Feng Benzhi. 1989. the Presinian Basement on the Western Margin of the Yangtze Paraplatform and its Mineralization. *Acta Geologica Sinica*, 1989(4): 339~348(in Chinese with English abstract).
- Geng Yuansheng, Yang Chonghui, Du Lilin, et al. 2007a. Chronology and Tectonic Environment of Tianbaoshan Formation: New Evidence from Zircon SHRIMP U-Pb Age and Geochemistry. *Geological Review* 53(4):556~563(in Chinese with English abstract).
- Geng Yuansheng, Yang Chonghui, Wang Xinshe, et al. 2007b. Age of Crystalline Basement in Western Margin of Yangtze Terrane. *Geological Journal of China Universities* 13(3): 429~441 (in Chinese with English abstract).
- Gose W A, Helper M A, Connelly J N, et al. 1997. Paleo-magnetic data and U-Pb isotopic age determinations from Coats Land, Antarctica; implications for late Proterozoic reconstructions J. *Geophys Res*, 102, 7887~7902.
- Hoffman P F. 1991. Did the breakout of Laurentia turn Gondwanaland inside-out? *Science*, 252, 1409~1412.
- Hofmann A W. 1997. Mantle geochemistry: the message from oceanic volcanism. *Nature*, 385(16):219~229.
- He Jieming, Chen Guohao, Yang Zhaolan, et al. Grey gneiss in Kangdian area. Chongqing Publishing House, 1~174 (in Chinese with English abstract).
- Hoskin P W O, Black L P. Metamorphic zircon formation by solid-state recrystallization of protolith igneous zircon. *Journal of Metamorphic Geology*, 2000,18:423~439.
- Karlstrom K E, Williams M L, McLelland J, et al. 1999. Refining Rodinia; Geological evidence for the Australia-western U. S. connection in the Proterozoic; *GSA Today*, 9, 1~7.
- Kelemen P B, Johnson K T M, Kinziert R J, et al. High field strength element depletions in arc basalts due to mantle-magma interaction. *Nature*, 1990, 345(7):521~523.
- Li Fuhuan, Qin Jiaming, Shen Yulian, et al. 1988. The pre-Sinian in the Kangdian area. Chongqing; Chongqing Publishing House. 1~160(in Chinese with English abstract).
- Li X H, Li Z X, Zhou H W, et al. 2002b. U-Pb zircon geochronology, geochemistry and Nd isotopic study of Neoproterozoic bimodal volcanic rocks in the Kangdian rift of South China; implications for the initial rifting of Rodinia. *Precambrian Research*, 113:135~154.
- Li X H, Li Z X, Ge W C, et al. 2003b. Neoproterozoic granitoids in South China; crustal melting above a mantle plume at ca. 825Ma?. *Precambrian Research*, 122:45~83.
- Li Xianhua, Li Zhengxiang, Zhou Hanwen, et al. 2003. SHRIMP U-Pb zircon age, geochemistry and Nd isotope of the Guandaoshan pluton in SW Sichuan; Petrogenesis and tectonic significance. *Science in China (Series D)*, 46 (Supplement): 73~83.
- Li X H, Li Z X, Sinclair A J. 2006. Revisiting the “Yanbian Terrane”: Implications for Neoproterozoic tectonic evolution of the western Yangtze Block, South China. *Precambrian Research* 151,14~30.
- Li Z X, Zhang L, Powell C M. 1995, South China in Rodinia: part of the missing link between Australia-East Antarctica and Laurentia? *Geology*, 23: 407~410.
- Li, Z. X., Zhang, L., Powell, C. M., 1996. Position of the east Asian cratons in the Neoproterozoic supercontinent Rodinia. *Aust. J. Earth Sci.*, 43: 593~604.
- Li Z X, Li X H, Kinny P D, et al. 1999. The breakup of Rodinia: did it start with a mantle plume beneath South China? *Earth and Planetary Science Letters*, 173:171~181.
- Li, Z. X., Li, X. H., Zhou, H., Kinny, P. D., 2002. Grenvillian continental collision in South China; New SHRIMP U-Pb zircon results and implications for the configuration of Rodinia. *Geology*, 30, 163~166.
- Li Z X, Li X H, Kinny P D, et al. 2003a. Geochronology of Neoproterozoic syn-rift magmatism in the Yangtze Craton, South China and correlations with other continents; evidence for a mantle superplume that broke up Rodinia. *Precambrian Research*, 122:85~109.
- Ling W L, Gao S, Zhang B R, et al. 2003. Neoproterozoic tectonic evolution of the northwestern Yangtze cration, South China; implications for amalgamation and break-up of the Rodinia Supercontinent. *Precambrian Research*, 122:111~140.
- Liu Wenzhong, Xu Shijin, Wang Rucheng, et al. Zircon U-Pb geochronology of granulites in Panzhihua-Xichang area; new evidence for the neoproterozoic geological evolution in the western margin of Yangtze block. *Geological Review*, 51(4): 470~476 (in Chinese with English abstract).
- Meschede M. 1986. A method of discrimination between different types of Mid-ocean ridge basalts and continental tholeiites with the Nb-Zr-Y diagram. *Chemical Geology*, 56: 207~218.
- Miyashiro A. 1974. Volcanic rock series in island areas and active continental margins. *American Journal of Science*, 247:237~245.
- Moore, E. M. 1991. Southwest U. S.-East Antarctic (SWEAT) connection; a hypothesis. *Geology*, 19: 425~428.
- Pilot J, Werner C D, Haubrich F, et al. 1998. Palaeozoic and proterozoic zircons from the mid-Atlantic ridge. *Nature*, 676~679.
- Regional Geology of Sichuan province. 1991. Beijing: Geological Publishing House. 7~47(in Chinese).
- Rowley D B, Xue F, Tucker R D, et al. 1997. Ages of ultrahigh pressure metamorphism and prolioth orthogneisses from the eastern Dabie Shan; U/Pb zircon geochronology. *Earth and Planetary Science Letters*, 151: 191~203.
- Saunders A. D.. The rare earth element characteristics of igneous rocks from the ocean basins. In P. Henderson edited; *Rare earth element geochemistry*, 1983, 205~236.
- Shen Qihan, Xu Huifen, Zhang Zongqing, et al. 1992. Early Precambrian Granulite in China. Geological Publishing House.

- 1~237 (in Chinese).
- Sinclair J A. 2001. A re-examination of the "Yanbian ophiolite suite": Evidence for western extension of the Mesoproterozoic Sibai orogen in South China. *Geol. Soc. Aust. Abst.*, 65: 99~100.
- Song Biao, Zhang Yuhai, Wan Yushen, et al. 2002. Mount making and procedure of the SHRIMP dating. *Geological Review*, 48 (Supp): 26~30 (in Chinese with English abstract).
- Sue Keay, David Steele, William Compston. 1999. Identifying granite sources by SHRIMP U-Pb zircon geochronology: an application to the Lachlan foldbelt. *Contribution to Mineral and Petrology*, 137:323~341.
- Sun S - s, McDonough W F. 1989. Chemical and isotopic sysematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes. In Saunders A D & Norry M J, ed: *Migmatism in the Ocean Basins*. The Geological Society Publishing House, 313~345.
- Wang X L, Zhou J C, Qiu J S, et al. 2004a. Comment on "Neoproterozoic granitoids in South China: crustal melting above a mantle plume at ca. 825Ma?" by Xian-Hua Li et al. [*Precambrian Research*. 122 (2003) 45-83.]. *Precambrian Research*, 132:401~403.
- Wang X L, Zhou J C, Qiu J S, et al. 2004b. Geochemistry of the Meso- to Neoproterozoic basic-acid rocks from Hunan Province, South China: Implication for the evolution of the western Jiangnan orogen. *Precambrian Research*, 135:79~103.
- Wang X L, Zhou J C, Qiu J S, et al. 2006. LA-ICP-MS U-Pb zircon geochronology of the Neoproterozoic igneous rocks from Northern Guangxi, South China: Implications for tectonic evolution. *Precambrian Research*, 145:111~130.
- Weaver B L. 1991. The origin of ocean island basalt end-member composition: trace element and isotopic constraints. *Earth and Planetary Science Letters*, 104: 381~397.
- Williams I S. 1998. U-Th-Pb geochronology by ion microprobe. Mickibben, M. A., Shanks III, W. C. and Ridley, W. I., Applications of micro analytical techniques to understanding mineralizing processes. *Reviews Econ. Geol.*, 7: 1~35.
- Winchester J A, Floyd P A. 1976. Geochemical magma type discrimination: Application to altered and metamorphosed igneous rocks. *Earth and Planetary Science Letters*, 28: 459~469.
- Wingate M T D, Pisarevsky S A, Evans D A D. 2002. Rodinia connections between Australia and Laurentia: no SWEAT, no AUSWUS. *Terra Nova*, 14, 121~128.
- Wood D A. 1980. The application of a Th-Hf-Ta diagram to problems of tectonomagmatic classification and establishing the nature of crustal contamination of basaltic lavas of the British Tertiary volcanic province. *Earth and Planetary Science Letters*, 50: 11~30.
- Wu Genyao. 1990. Precambrian Tectonic Evolution of Kangding-Luding Area, Western Sichuan—— an Example for Crustal Poly-activation and Alternate Progress of "Mobilization" and "Stabilization". *Geotectonica et Metallogenia*, 14(3): 239~246 (in Chinese with English abstract).
- Xiao Long, Xu Yigang, Mei Houjun, et al. 2004. Distinct mantle sources of low-Ti and high-Ti basalts from the western Emeishan large igneous province, SW China: implication for plume-lithosphere interaction. *Earth and Planetary Science Letters*, 228: 525~546.
- Xing Wujing. 1989. the Characteristics of the Kangding Group and Its Implication for the Evolution of the Yangtze platform Basement. *Regional Geology of China*, 1989(4): 347~356 (in Chinese with English abstract).
- Xu De'en, Chen Youliang, Zhang Yingquan, et al. 1995. The study on the age and origin of the Kangding Complex. *Geological Review*, 41(2): 101~111 (in Chinese with English abstract).
- Xu Shijin, Yu Hangbo, Wang Rucheng, et al. 2002. Sm-Nd and Rb-Sr Isotopic Ages of Shaba Granulite from Western Sichuan Province and Their Geological Significance. *Geological Journal of China Universities*, 8(4): 399~406 (in Chinese with English abstract).
- Xu Shijin, Liu Wenzhong, Wang Rucheng, et al. 2004. The history of crustal uplift and metamorphic evolution of Panzhihua-Xichang micro-palaeoland, SW China: Constraints on Sm-Nd, $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ and FT ages of granulites. *Science in China (Series D)*, 47(8): 689~703.
- Xu Xianzhe, Li Wei, Yang Qiwen. 1985. Character and Origin of the Kangding Complex in Southwestern Sichuan. In: Zhang Yunxiang eds. *Contribution to Panzhihua-Xichang Rift China* (No. 1) Beijing: Geological Publishing House, 26~40 (in Chinese with English abstract).
- Yang Xueming, Yang Xiaoyong, Cheng Shuangxi. 2000. Litho-geochemistry. Hugh R Rollison edited: *Using Geochemical Data: Evaluation, Presentation, Interpretation*. 1~275.
- Yuan Haihua, Zhang Shufa, Zhang Ping. 1985. an archean age information in Dukou district Sichuan, China. *Journal of Chengdu University of Technology (Science of Technology Edition)*, 3: 82~87 (in Chinese with English abstract).
- Zeng Xianjiao, Xu Xianzhe, Yuan Linping. 1985. Petrological and Geochemical Characters of Granulites from Kangding Complex Terrain in Shaba District, Mianning County, Sichuan Province. In: Zhang Yunxiang eds. *Contribution to Panzhihua-Xichang Rift China* (No. 1) Beijing: Geological Publishing House, 41~56 (in Chinese with English abstract).
- Zhai Mingguo, Yang Ruiying. 1986. Early Precambrian Gneiss Basement in the Panxi Area, Southwest China. *Acta Petrologica Sinica*, 2(3): 22~37 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Ruyuan, Cong Bailin, Yang Ruiying. 1985. Petrological Research. Geological Publishing House, Vol 6, 13~30 (in Chinese with English abstract).
- Zhao J H, Zhou M F. 2007. Geochemistry of Neoproterozoic mafic intrusions in the Panzhihua district (Sichuan Province, SW China): Implications for subduction-related metasomatism in

the upper mantle. *Precambrian Research*, 152: 27~47.

Zhou J C, Wang X L, Qiu J S, et al. 2003. Lithogeochemistry of Meso- and Neoproterozoic mafic-ultramafic rocks from northern Guangxi. *Acta Petrologica Sinica*, 19(1): 9~18 (in Chinese with English abstract).

Zhou M F, Yan D P, Kennedy A K, et al. 2002a. SHRIMP U-Pb zircon geochronological and geochemical evidence for Neoproterozoic arc-magmatism along the western margin of the Yangtz Block, South China. *Earth and Planetary Science Letters*, 196:51~67.

Zhou M F, Kennedy A K, Sun M, et al. 2002b. Neoproterozoic Arc-Related Mafic Intrusion along the Northern Margin of South China: Implication for the Accretion of Rodinia. *Journal of Geology*, 110: 611~618.

Zhou M F, Malpas J, Song X Y, et al. 2002c. A temporal link between the Emeishan large igneous province (SW China) and the end-Guadalupian mass extinction. *Earth and Planetary Science Letters*, 196:113~122.

Zhu Weiguang, Deng Hailin, Liu Bingguang, et al. 2004. The age of the Gaojiacun mafic-ultramafic intrusive complex in the Yanbian area, Sichuan Province: Geochronological constraints by U-Pb dating of single zircon grains and ⁴⁰Ar/³⁹Ar dating of hornblende. *Chinese Science bulletin*, 49(10): 1077~1085.

Zhu W G, Zhong H, Deng H L, et al. 2006. SHRIMP zircon U-Pb age, geochemistry, and Nd-Sr isotopes of the Gaojiacun mafic-ultramafic intrusive complex, southwest China. *International Geological Review*, 48: 650~668.

New Understanding on Kangding Group on Western Margin of Yangtze Block: Evidence from Geochemistry and Chronology

DU Lilin^{1,2)}, GENG Yuansheng¹⁾, YANG Chonghui¹⁾, WANG Xinshe¹⁾, ZHOU Xiwen¹⁾
REN Liudong¹⁾, WANG Yanbin^{1,3)} YANG Zhusheng⁴⁾

1) *Institute of Geology, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing, 100037;* 2) *Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Sciences, Beijing, 100029;* 3) *Beijing SHRIMP Center, Beijing, 100037;* 4) *Panxi Geological Team, Sichuan Bureau of Geology and Mineral Exploration and development, Xichang, Sichuan, 615000*

Abstract

Kangding Group (also named as the Kangding complex) is of significance for Precambrian research in the Yangtze block, but its age is still in dispute. This paper studied the petrology and geochemistry of amphibolite, plagioclase gneiss and granitic gneiss from the Zanli formation of Kangding Group in Cida abd Daliucaof Dechang county, western Sichuan. The amphibolite is consistent with N-MORB in major elements and trace elements, while one amphibolite is similar with E-MORB or OIB, and plagioclase gneiss are of the characteristics of island arc volcanics. The $\epsilon_{Nd(t)}$ of amphibolite ranges from +3.65 to +12.65, with characteristics of depleted mantle. So the basic volcanics in the Zanli Formation erupted in the back arc environment. Zircon SHRIMP U-Pb dating from amphibolite and plagioclase gneiss yielded ages of ~830Ma and ~700Ma respectively, which indicate they (the basalts) erupted in Neoproterozoic and underwent the metamorphism of amphibolite phase soon after their emplacement. The result in this paper doesn't agree with the idea that the Kangding Group formed in Neoproterozoic or Paleoproterozoic, and meanwhile put forward new evidence that the western margin of the Yangtze block was the active island arc in Neoproterozoic.

Key words: Kangding group; Zanli formation; geochemistry; SHRIMP II ; neoproterozoic