doi:10.6053/j.issn.1001-1412.2021.01.008

攀枝花市大田地区古元古代康定岩群斜长角闪岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄及岩石地球化学特征

王婷[1,2],郭道军[1],胡阳[1],龚晓波[1],王茜[1]

(1.四川省地质矿产勘查开发局一〇六地质队,成都 611130;
2.四川省地质矿产勘查开发局攀西地质队,四川 西昌 615000)

摘要: 康定岩群出露在四川康定—西昌—攀枝花—云南元谋一带,前人曾测得过较多的康定岩群太古代—古元古代同位素年龄,随着工作的深入,亦获得大量的青白口纪同位素年龄。本文对出露于攀枝花大田地区的康定岩群咱里岩组斜长角闪岩进行岩石学、岩石地球化学特征研究,同时进行了 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄分析。结果表明,康定岩群咱里岩组斜长角闪岩原岩为基性火山岩,野外露头具有喷发韵律旋回特征,其变质作用起于古元古代末期,为多期次热变质作用叠加改造形成,并达到高角闪岩相变质程度;锆石环带获得的 807 Ma±4.8 Ma 锆石年龄仅代表了一次较强的热变质事件。

关键词: 锆石 U-Pb 年龄;岩石地球化学;古元古代;康定岩群;斜长角闪岩;大田地区;四川省

中图分类号: P597.1 **文献标识码:** A

0 引言

从四川康定到攀枝花仁和地区呈南北向展布的康滇地轴内,发育有多套变质程度不同的前寒武纪变质系地层,构成扬子地台西缘的基底[1]。其中康定岩群多被认为是结晶基底,并在斜长角闪岩中获得锆石 U-Pb 年龄 2451 Ma—2046 Ma[2-3],其原岩生成时代属古元古代。随着研究工作的不断深入,近年来 1∶5 万、1∶25 万区域地质调查在该岩群中新获许多青白口纪同位素年龄,如冕宁一带变粒岩 783 Ma—786 Ma、德昌一带斜长角闪岩 799 Ma—839 Ma 等,因此,耿元生等认为康定岩群形成于新元古代,“在扬子地台西缘并不存在太古宙—古元古代的结晶基底”[4]。而继承锆石年龄反映有古元古代—太古代地体存在。

本文对大田地区出露的斜长角闪岩进行 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年,并结合岩石地球化学分析,旨在为该地区斜长角闪岩的形成时代提供进一步研究资料,为建立区域早前寒武地层-构造格架提供依据。

1 研究区地质概述

出露于攀枝花市仁和区大田镇一带的康定岩群,李春昱、黄汲清、张兆瑾等称其为“康定片麻岩”、“磨盘山结晶片岩”、“康定杂岩”等,并认为其系康滇地区最古老的结晶基底。1∶20 万永仁幅

收稿日期: 2020-08-04; **责任编辑:** 赵庆

基金项目: 中国地质调查局“龙门山—滇中成矿带通安和宁蒗地区地质矿产调查”项目(编号:DD20160017)资助。

作者简介: 王婷(1989—),女,工程师,主要从事地质调查和矿产勘查工作。通信地址:四川省凉山彝族自治州西昌市三叉口东路 13 号;邮政编码:615000;E-mail:276130209@qq.com

通信作者: 郭道军(1972—),男,高级工程师,硕士研究生,主要从事地质调查和矿产勘查工作。通信地址:成都市温江区柳城大道西段 6 号百利大厦;邮政编码:611130;E-mail:847765221@qq.com

区域地质调查将本区出露的含斜长角闪岩的变质岩地层划分为下元古界会理群大田组，李复汉等将其称为仁和群，并划分为仰天窝组和大田组[3]；《四川岩石地层》将大田地区出露的变质混合杂岩系定义为康定岩群，并自下而上划分为咱里（岩）组和冷竹关（岩）组，其顶部与河口（岩）群为整合接触[5]。

攀枝花大田地区的康定岩群咱里岩组主要为一套深变质火山岩，岩性以深灰—灰色的中—细粒斜长角闪岩、黑云斜长角闪岩夹斜长角闪岩及暗绿色变质玄武岩为主，局部有变质碎屑岩（硅质岩、含石墨片岩）等细小夹层（厚度以 1～2 cm 为主，多被后期构造作用强烈改造），组成了一套火山喷发-沉积建造韵律。

咱里岩组整体呈条带状分布于啊喇彝族乡起查喇村—大田街—小阿喇一带（图 1），与冷竹关岩组的板岩、千枚岩、石英片岩等副变质岩系，呈“整合”层状产出。受变质作用影响，火山岩岩石普遍发生角闪岩相变质，岩石类型为斜长角闪岩，黑云斜长变粒岩，黑云角闪斜长片麻岩、变粒岩等，岩石组构均已无保留。从地表片理及局部小褶皱构造来看，咱里岩组岩石中发育一系列走向为北东东向的褶皱构造。其北部及南部均被南华纪—青白口纪二长花岗岩、斜长花岗岩、花岗闪长岩及黑云石英闪长岩（TGG 组合）所围。在康定岩群咱里岩组中大致以杨家湾—上那峨断层为界，北部以片理化斜长角闪岩或斜长角闪片麻岩为主，片理极为发育，有较强烈的混合岩化现象。在斜长角闪岩露头处多见片理化斜长角闪岩（图 2a）和具混合岩化现象的强片理化斜长角闪岩（图 2b）。

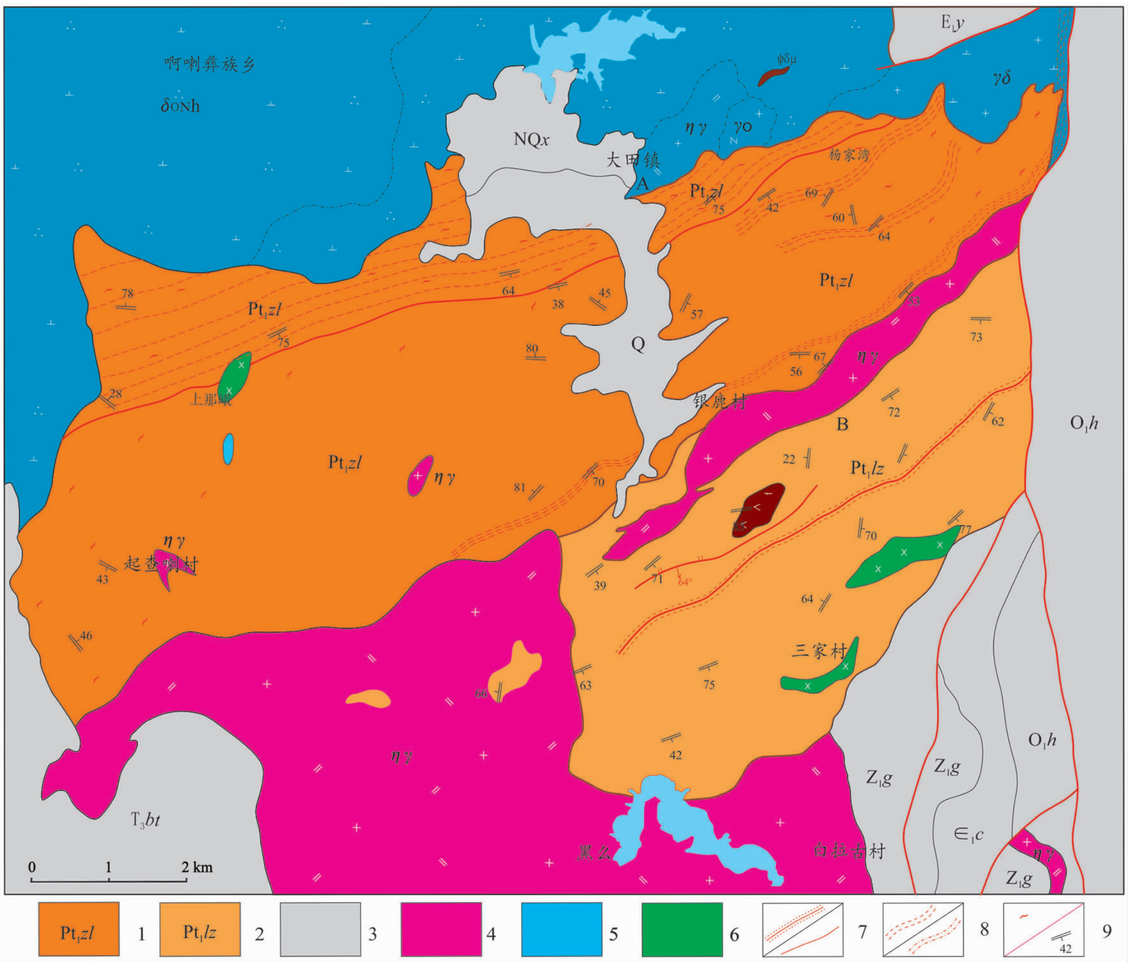

图 1 大田地区地质简图

Fig. 1 Geological sketch of the Datian area

1. 康定岩群咱里岩组；2. 康定岩群冷竹关岩组；3. 震旦—第四系地层；
4. 花岗岩；5. 石英闪长岩—二长花岗岩—斜长花岗岩—花岗闪长岩；6. 辉绿辉长岩；
7. 韧性、脆性断裂构造；8. 糜棱岩化带及片理化带；9. 混合岩化及片理产状

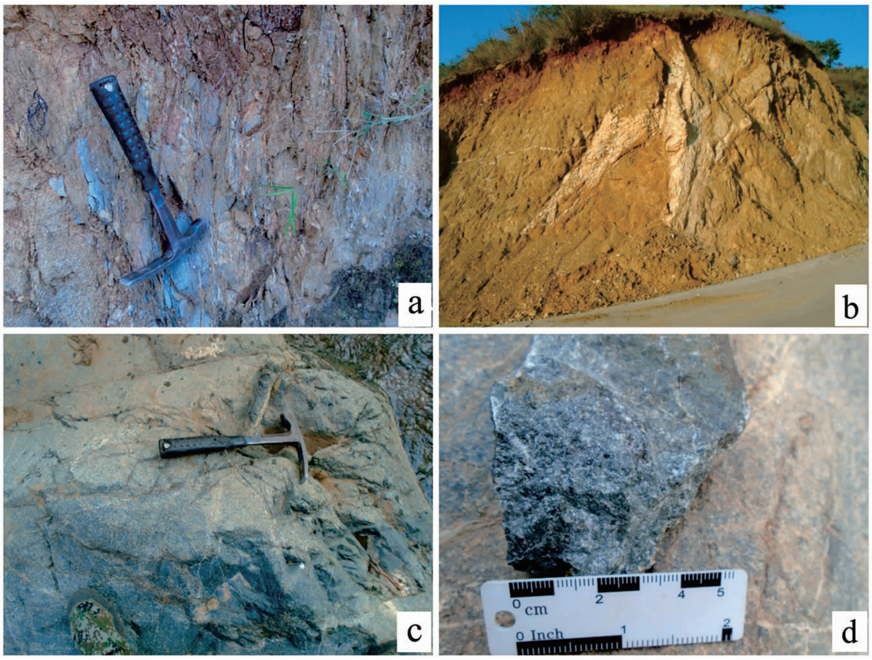

图 2　斜长角闪岩野外露头特征

Fig. 2　Field outcrop characteristics of plagioclase amphibolite

a. 片理化斜长角闪岩;b. 具混合岩化现象的强片理化斜长角闪岩露头;
c. 样品采集处岩石特征;d. 斜长角闪岩岩石特征

2　样品采集与测试方法

本次研究采集的样品为咱里(岩)组中的斜长角闪岩,采集位置地理坐标 E101°48′49″、N 26°18′19″,基岩新鲜,厚度大,无混合岩化现象(图 2c、图 2d)。

本次所采样品的薄片鉴定结果显示,斜长角闪岩具有细粒粒状变晶结构、块状构造,矿物成分以斜长石、角闪石为主,含少量的黑云母、石英以及不透明矿物等。其中,斜长石呈他形粒状,多发生绢云母化蚀变,含量(体积分数)35%～50%;角闪石呈他形粒状—柱状,与斜长石紧密镶嵌,发生次闪石化,含量(体积分数)45%～60%。

锆石 U-Pb 测试工作由中国冶金地质总局山东局测试中心完成,采用激光剥蚀电感耦合等离子体质谱仪(LA-ICP-MS)对锆石进行 U-Pb 测试。测试前选择原岩石样品经粉碎、粗选后在双目镜下精选出 155 颗锆石,然后按照相关要求进行制靶、透射光、反射光和阴极发光(CL)图像拍照,以确定锆石颗粒的内部结构,选择最佳的测试位置(图 3)。

岩石地球化学分析工作由国土资源部成都矿产资源监督检测中心完成。依据 DZG20－02－2010,采用重量法、容量法、ICP-AES 法等完成硅酸盐分析,采用 ICP-MS 法完成稀土元素检测分析,采用 ICP-MS 法及 XRF 法完成微量元素检测分析。

3　分析结果与讨论

3.1　锆石特征及 U-Pb 年龄

根据锆石阴极发光 CL 图像(图 3),挑选出的锆石大多呈短柱状,棱角分明,少数呈大小不一的椭球粒状、长柱状等,粒径多在 80 μm—120 μm 之间,锆石内部结构多为均一的图像,环带较弱或无环带特征,属变质成因。样品中 Th 含量 $w(Th)=21.26\times10^{-6}\sim243.06\times10^{-6}$,U 含量 $w(U)=31.52\times10^{-6}\sim193.27\times10^{-6}$,$w(U)/w(Th)$ 值为 0.83～2.01,变化范围较大。

选择锆石测点 1—33 号所示锆石的核部与边部之间的环带过渡部位进行测试,其 U-Th-Pb 分析结果见表 1。锆石 U-Pb 谐和年龄作图结果(图 4a)表明,33 个测点中有 6 个点偏离谐和线,其余均位于谐和线上,误差较小,计算获得 $^{206}Pb/^{238}U$ 加权平均年龄 807 Ma±4.8 Ma(MSWD=0.59),这可能代表了区域性热变质事件或区域性角闪岩相变质作用的时代。

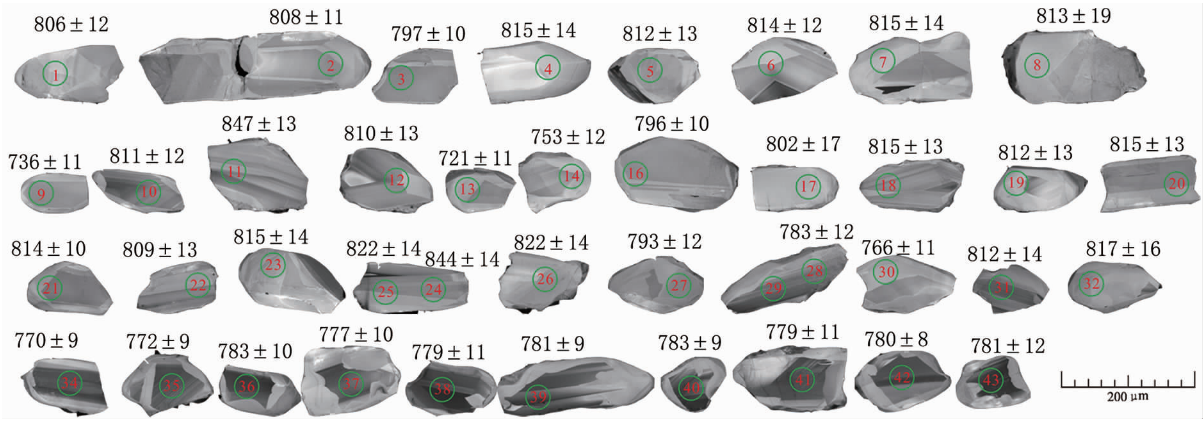

图 3　斜长角闪岩锆石阴极发光(CL)图像及 U-Pb 测点

Fig. 3　Zircon CL images and ages of plagioclase amphibolite

表 1　斜长角闪岩锆石 U-Th-Pb 分析结果

Table 1　Results of zircon U-Th-Pb dating of plagioclase amphibolite

测点编号	同位素含量/10^{-6}		w(U)/w(Th)	同位素比值						同位素年龄/Ma						谐和度
	^{232}Th	^{238}U		^{207}Pb/^{206}Pb		^{207}Pb/^{235}U		^{206}Pb/^{238}U		^{207}Pb/^{206}Pb		^{207}Pb/^{235}U		^{206}Pb/^{238}U		
1	103.6245	86.2775	1.20	0.0702	0.0024	1.2716	0.0395	0.1331	0.0021	1000	72	833	18	806	12	96%
2	81.1054	121.3096	0.67	0.0632	0.0017	1.1612	0.0313	0.1336	0.0019	722	57	783	15	808	11	96%
3	167.4552	152.3825	1.10	0.0653	0.0018	1.1861	0.0325	0.1316	0.0017	783	57	794	15	797	10	99%
4	36.0522	53.5548	0.67	0.0690	0.0029	1.2760	0.0533	0.1347	0.0025	898	87	835	24	815	14	97%
5	43.4970	84.6366	0.51	0.0660	0.0019	1.2116	0.0368	0.1342	0.0023	806	68	806	17	812	13	99%
6	84.2406	86.3965	0.98	0.0633	0.0022	1.1686	0.0398	0.1347	0.0021	720	68	786	19	814	12	96%
7	30.0227	48.1100	0.62	0.0650	0.0027	1.1965	0.0496	0.1348	0.0024	776	87	799	23	815	14	97%
8	34.6810	47.2678	0.73	0.0793	0.0036	1.4231	0.0641	0.1344	0.0033	1189	90	899	27	813	19	90%
9	95.9955	112.8194	0.85	0.0695	0.0024	1.1528	0.0363	0.1209	0.0018	922	72	779	17	736	11	94%
10	192.2755	177.5603	1.08	0.0662	0.0019	1.2218	0.0359	0.1340	0.0022	813	61	811	16	811	12	99%
11	50.4984	80.1629	0.63	0.0703	0.0024	1.3610	0.0464	0.1404	0.0022	1000	69	872	20	847	13	97%
12	133.0953	121.6267	1.09	0.0668	0.0021	1.2263	0.0368	0.1340	0.0023	831	65	813	17	810	13	99%
13	57.3937	109.1572	0.53	0.0652	0.0023	1.0688	0.0371	0.1184	0.0019	789	74	738	18	721	11	97%
14	66.7406	73.9576	0.90	0.0705	0.0031	1.2026	0.0565	0.1239	0.0021	943	91	802	26	753	12	93%
15	92.4577	105.6560	0.88	0.0704	0.0020	1.2735	0.0345	0.1314	0.0017	939	59	834	15	796	10	95%
16	90.3761	104.3239	0.87	0.0656	0.0019	1.1986	0.0357	0.1328	0.0020	794	61	800	16	804	12	99%
17	21.2590	31.5236	0.67	0.0724	0.0036	1.3191	0.0706	0.1325	0.0029	998	102	854	31	802	17	93%
18	138.3885	125.3834	1.10	0.0665	0.0020	1.2315	0.0380	0.1348	0.0024	833	60	815	17	815	13	99%
19	40.8208	63.1359	0.65	0.0728	0.0033	1.3352	0.0590	0.1343	0.0023	1009	92	861	26	812	13	94%
20	151.2457	145.8046	1.04	0.0660	0.0019	1.2265	0.0343	0.1348	0.0023	807	59	813	16	815	13	99%
21	220.4701	181.8270	1.21	0.0651	0.0017	1.2131	0.0319	0.1346	0.0017	789	54	807	15	814	10	99%
22	243.0556	193.2700	1.26	0.0688	0.0018	1.2835	0.0399	0.1336	0.0022	894	54	838	18	809	13	96%
23	45.5050	64.3581	0.71	0.0681	0.0024	1.2527	0.0445	0.1347	0.0025	872	73	825	20	815	14	98%
24	68.9258	82.3279	0.84	0.0637	0.0023	1.2192	0.0434	0.1399	0.0025	731	77	809	20	844	14	95%
25	55.6598	76.5886	0.73	0.0630	0.0025	1.1632	0.0434	0.1360	0.0025	706	83	783	20	822	14	95%
26	104.1118	86.6649	1.20	0.0687	0.0024	1.2593	0.0449	0.1340	0.0025	900	72	828	20	811	14	97%
27	112.3796	120.6630	0.93	0.0681	0.0021	1.2261	0.0377	0.1309	0.0022	872	62	813	17	793	12	97%
28	94.2047	102.9386	0.92	0.0697	0.0032	1.2428	0.0556	0.1291	0.0021	920	88	820	25	783	12	95%
29	107.9310	127.9712	0.84	0.0654	0.0019	1.1826	0.0367	0.1305	0.0019	787	62	793	17	791	11	99%
30	31.2316	42.9770	0.73	0.0694	0.0036	1.1743	0.0539	0.1262	0.0023	909	−94	789	25	766	13	97%
31	132.9540	115.6818	1.15	0.0795	0.0029	1.4743	0.0566	0.1343	0.0025	1184	66	920	23	812	14	87%
32	21.5698	39.7951	0.54	0.0686	0.0029	1.2622	0.0522	0.1351	0.0028	887	86	829	23	817	16	98%
33	98.8142	125.8386	0.79	0.0643	0.0018	1.1321	0.0340	0.1273	0.0024	754	56	769	16	772	14	99%

续表 1：

34	320.8429	196.6185	1.63	0.0678	0.0017	1.1918	0.0291	0.1270	0.0016	863	56	797	13	770	9	96%
35	466.9549	290.4291	1.61	0.0655	0.0013	1.1538	0.0234	0.1273	0.0016	791	41	779	11	772	9	99%
36	339.9242	275.7974	1.23	0.0676	0.0014	1.2065	0.0251	0.1291	0.0017	857	43	804	12	783	10	97%
37	236.7023	170.8651	1.39	0.0655	0.0015	1.1634	0.0299	0.1280	0.0018	791	48	784	14	777	10	99%
38	248.6043	209.3318	1.19	0.0631	0.0016	1.1165	0.0279	0.1285	0.0019	722	56	761	13	779	11	97%
39	351.8281	250.5611	1.40	0.0646	0.0014	1.1574	0.0264	0.1287	0.0016	763	46	781	12	781	9	99%
40	400.3067	300.3682	1.33	0.0657	0.0013	1.1751	0.0240	0.1291	0.0016	798	43	789	11	783	9	99%
41	275.3094	176.5611	1.56	0.0670	0.0017	1.1866	0.0305	0.1285	0.0020	839	58	794	14	779	11	98%
42	287.9855	224.1592	1.28	0.0659	0.0015	1.1793	0.0279	0.1286	0.0015	1200	47	791	13	780	8	98%
43	483.2666	282.3113	1.71	0.0656	0.0016	1.1697	0.0336	0.1287	0.0021	794	56	786	16	781	12	99%

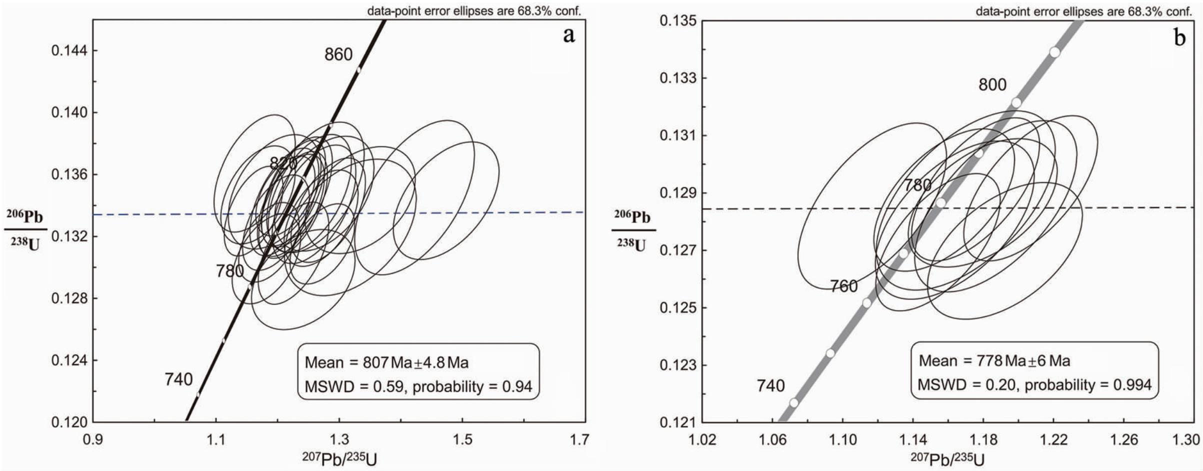

图 4　斜长角闪岩锆石 U-Pb 谐和年龄图

Fig. 4　U-Pb concordia diagram of zircons from plagioclase amphibolite

a. 1—33 号测点；b. 34—43 号测点

另外，选择 34—43 号 10 个锆石测点（w(U)/w(Th)值均大于 1）在内核位置进行测试，分析数据见表 1 中所述，锆石 U-Pb 谐和年龄图（图 4b）除 3 个点偏离谐和线外，其余测点均位于谐和线上，误差均匀，没有铅丢失，计算获得 $^{206}Pb/^{238}U$ 加权平均年龄为 778 Ma±6 Ma（MSWD＝0.20），结果显示岩石明显受到了后期变质或热液活动的影响。

3.2　岩石地球化学特征

（1）主量元素特征

斜长角闪岩的主量元素分析数据见表 2。从表 2 可知，斜长角闪岩 SiO_2 含量平均为 $w(SiO_2)$＝43.20%～50.88%；$w(Na_2O+K_2O)$＝2.17%～3.50%，平均 3.02%，$w(Na_2O)>w(K_2O)$；TiO_2 含量 $w(TiO_2)$＝0.49%～3.43%；Al_2O_3 含量较高，$w(Al_2O_3)$值普遍大于 11%；CaO 含量高于 MgO，w(CaO)平均为 10.36%，w(MgO)平均为 7.73%。

斜长角闪岩样品 A/CNK＜1，A/NK＝2.04～2.90，平均 3.39，属正常玄武岩类。SI＝21.06～69.22，属分异型岩浆。$w(TiO_2)<2\%$、$w(Na_2O+K_2O)<5\%$，具岛弧玄武岩特征。从岩石化学 TAS 图解（图 5a）及 w(Zr)/$w(TiO_2)$—w(Nb)/w(Y)图解（图 5b）可见，绝大多数样品落入玄武岩区。

（2）稀土元素特征

表 3 为斜长角闪岩的稀土元素分析数据。从表 3 可知，斜长角闪岩稀土元素总体具高丰度，$w(\Sigma REE)$值（不含 Y）一般为 81.61×10^{-6}～120.93×10^{-6}；δEu 较稳定，一般在 0.94～1.17，δCe 为 0.82～1.16，亏损不明显，表明原生岩浆生成之后，可能只经历过很弱的结晶分离作用而具幔源岩浆特征。配分曲线呈平坦或略具右倾（图 6a），轻稀土富集相对较高，而重稀土轻度富集；配分曲线与洋岛玄武岩相似，而且配分曲线十分协调，表明为同源岩浆演化序列。

斜长角闪岩稀土元素特征值 $w(La)_N/w(Yb)_N$＝2.84～6.60，$w(Ce)_N/w(Yb)_N$＝2.06～5.92，w(Eu)/w(Sm)＝0.20～0.40，w(Sm)/w(Nd)＝0.20～0.25，表明斜长角闪岩物源来自上地幔。

表 2　斜长角闪岩的主量元素分析结果

Table 2　Analysis of major elements of the amphibolite

样品编号	SiO_2	TiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	FeO	MnO	MgO	CaO	Na_2O	K_2O	P_2O_5	Loss	H_2O^+
DT1	49.19	1.02	15.71	9.40	8.16	0.19	7.52	10.07	2.36	1.03	0.14	2.36	0.52
DT2	48.41	1.04	15.91	9.72	8.25	0.18	7.36	10.10	2.49	1.01	0.16	2.42	0.57
DT3	48.90	1.14	15.39	9.81	8.68	0.20	7.22	10.39	2.46	0.90	0.17	2.38	0.41
DT4	50.07	0.91	15.59	2.17	0.57	0.16	7.39	10.64	2.44	0.85	0.14	6.81	1.80
DT5	49.35	0.64	12.22	2.35	0.10	0.14	10.37	10.99	1.27	1.05	0.16	7.24	3.11
DT6	47.71	0.49	15.34	2.07	0.58	0.15	9.83	11.38	1.23	0.94	0.03	6.69	3.02
DT7	43.20	3.43	13.05	6.29	10.12	0.24	5.15	9.42	2.01	0.99	1.25	1.55	0.34
DT8	50.88	1.12	14.31	6.34	3.41	0.17	6.98	9.89	2.63	0.56	0.13	1.52	0.37

量单位：w_B/%。

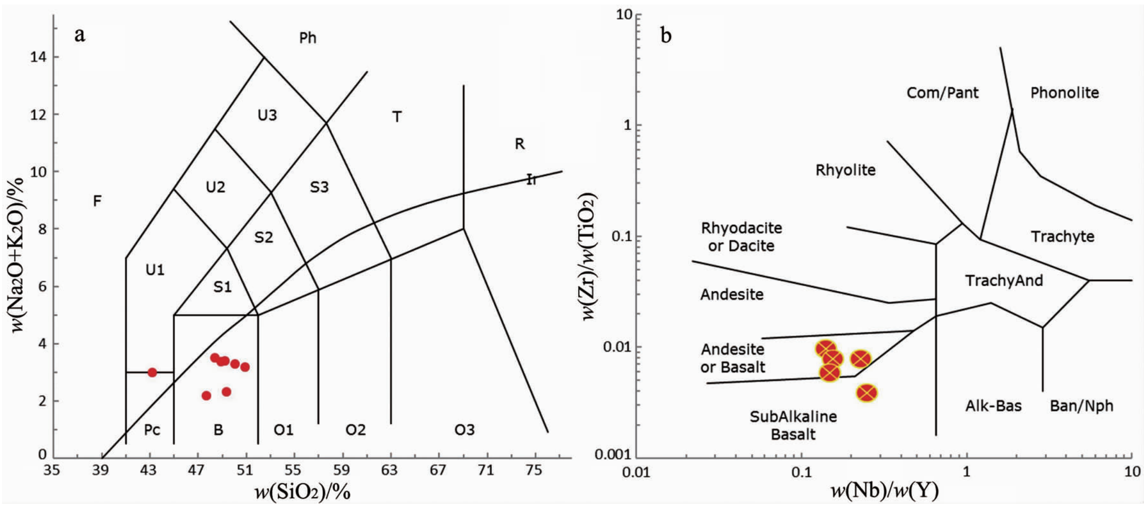

图 5　斜长角闪岩的 TAS 图解(a)和 $w(Zr)/w(TiO_2)$—$w(Nb)/w(Y)$ 图解(b)

Fig. 5　TAS diagram (a) and $w(Zr)/w(TiO_2)$—$w(Nb)/w(Y)$ diagram (b) of amphibolite

(a 图底据 Maitre，1988；b 图底据 Winchester，1977)

(3)微量元素特征

表 4 为斜长角闪岩的微量元素分析数据。从表 4 可知，斜长角闪岩微量元素组成中，$w(Rb)/w(Sr)=0.05\sim0.16$，比值普遍较低；$w(Ti)/w(Y)=154\sim257$，小于 350；$w(Ti)/w(V)=11.3\sim118.1$，除 DT7 号样品外均小于 30；$w(Hf)/w(Th)=1\sim22$，除 DT2 号样品外均小于 8；$w(Ce)/w(Nb)=6.0\sim9.5$，均大于 2。

斜长角闪岩微量元素原始地幔标准化蛛网图(图 6b)显示岩石具有明显的 Nb、Sr、P、Ti 等元素的亏损，与大陆裂谷玄武岩微量元素组合的特征相似。Ti 的负异常显示其可能属于岛弧系统岩浆岩成因，或者是受到了地壳混染的大陆玄武岩。

3.3　讨论

区内康定(岩)群咱里岩组表现为遭受了不同程度区域混合岩化的中—高级变质岩，在化学成分和稀土地球化学方面，混合岩与其赋存层位岩石成分有对应关系，表明其具有原地转化性质。在混合岩化较弱部分或残留体中，野外可见部分层理，虽受变形变质改造，原始产状及结构构造不同程度遭受破坏，但总体化学成分未发生根本改变。在$(al+fm)-(c+alk)—Si$ 图解中，岩石多落入火山岩区和火山岩与泥质沉积岩区界线处，在 $w(SiO_2)$—$w(TiO_2)$图解中大部分投入火成岩区。结合地表露头特征，岩石风化程度、片理化发育程度在个别区域具有一定的韵律特征，且发现有细小硅质岩、含石墨片岩层发育，也指示原岩可能具有喷发韵律特征，综合推断原岩可能为基性火山岩，如大洋拉斑玄武岩等。覆于其上的冷竹关(岩)组下部变粒岩、浅粒岩原岩为钙碱性中酸性火山岩、火山碎屑岩，逐渐向上过渡为原岩由砂岩、粉砂岩、页岩构成的复理石建造，大地构造环境上也体现了由洋壳到过渡壳的演化过程。

表 3　斜长角闪岩的稀土元素分析结果

Table 3　Analysis of REE of the amphibolite

样品编号	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Y	w(ΣREE)	w(LREE)	w(HREE)	w(LREE)/w(/HREE)	$w(La)_N/w(Yb)_N$	δEu	δCe
DT1	12.5	22.6	3.68	16.8	4.09	1.18	3.59	0.80	7.71	1.71	3.03	0.42	3.02	0.48	35.8	81.61	60.85	20.76	2.93	2.97	0.94	0.82
DT2	13.8	25.9	4.21	18.9	4.78	1.38	3.93	0.90	8.95	1.94	3.40	0.49	3.49	0.54	40.5	92.61	68.97	23.64	2.92	2.84	0.97	0.83
DT3	14.7	27.0	4.35	19.6	4.81	1.31	4.20	0.92	8.61	1.94	3.33	0.50	3.57	0.55	40.1	95.39	71.77	23.62	3.04	2.95	0.89	0.83
DT4	20.2	44.1	5.35	22.9	5.26	1.50	5.64	0.96	5.95	1.22	3.42	0.53	3.38	0.52	31.3	120.93	99.31	21.62	4.59	4.29	0.84	1.04
DT5	17.7	40.5	5.25	24.4	5.87	1.15	6.07	1.01	6.07	1.21	3.32	0.50	3.10	0.48	30.1	116.63	94.87	21.76	4.36	4.10	0.59	1.03
DT6	10.9	21.7	2.51	10.1	2.45	0.97	2.60	0.45	2.79	0.59	1.59	0.27	1.60	0.27	15.4	58.79	48.63	10.16	4.79	4.89	1.17	1.02
DT7	51.8	120	15.1	73.0	14.7	3.23	14.4	2.27	14.4	2.62	7.69	0.96	5.63	1.02	79.9	326.82	277.83	48.99	5.67	6.60	0.68	1.05
DT8	14.7	29.6	2.68	15.5	3.83	1.24	3.94	0.71	5.03	0.98	2.98	0.42	2.51	0.46	30.0	84.58	67.55	17.03	3.97	4.20	0.98	1.16

量单位：$w_B/10^{-6}$。

表 4　斜长角闪岩的微量元素分析结果

Table 4　Analysis of trace elements of the amphibolite

样品编号	Ba	Co	Cr	Ga	Hf	Nb	Ni	Pb	Rb	Sr	Ta	Th	V	Zr	Li	Mo	Cd	U
DT1		23.2	350		4.13				21.3	237	3.19	1.12	186	107		0.71		0.30
DT2		25.8	300		5.68				21.3	243	8.82	0.26	187	99.1		0.81		0.16
DT3		25.9	255		4.13				19.8	237	4.01	2.30	193	90.4		0.84		0.17
DT4	252	22.8	231	18.8	2.58	7.17	2.44	3.72	19.5	322	0.44	3.40	275	70.7	5.02	0.59	0.12	0.94
DT5	333	28.7	524	16.6	2.28	4.27	11.3	3.41	24.4	152	1.08	2.49	195	61.5	3.75	1.79	0.11	0.61
DT6	270	22.3	402	15.8	1.80	2.40	2.12	3.72	19.1	240	0.14	2.25	260	38.3	5.31	0.38	0.083	0.58
DT7	471	43.1	35.0	23.8	4.16	19.9	4.11	2.78	24.5	252	0.99	1.58	174	132	8.89	1.21	0.21	0.24
DT8	153	43.3	359	17.3	3.94	4.47	23.7	2.57	13.0	247	0.63	0.86	200	65.1	7.12	0.58	0.13	0.18

量单位：$w_B/10^{-6}$。

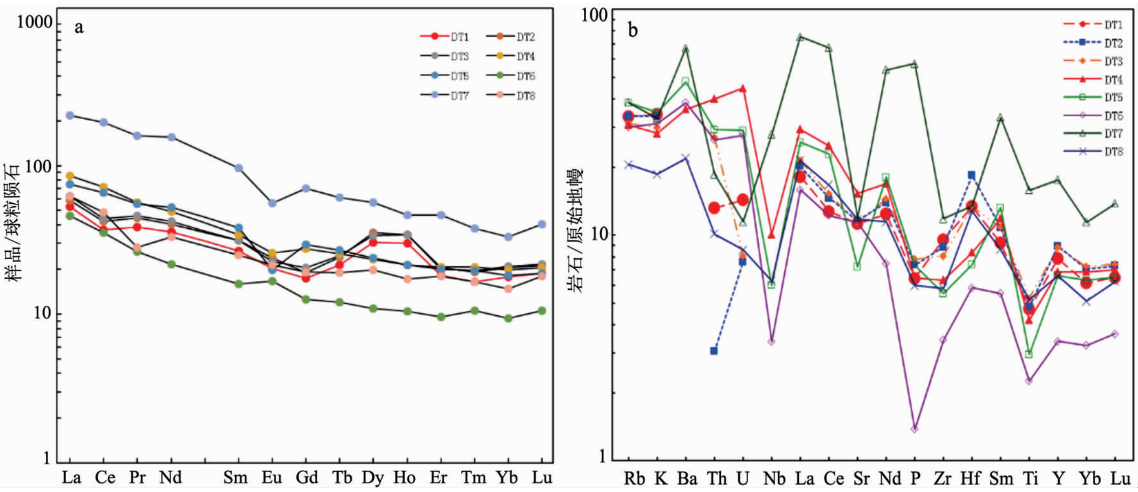

图 6　斜长角闪岩的稀土元素配分模式图(a)和微量元素原始地幔标准化蛛网图(b)

Fig. 6　Chondrite-normalized REE distribution pattern (a) and primitive mantle-normalized pattern spidegram (b) of trace elements of amphibolites

(标准化值据 Sun 和 McDonough,1989)

前人在不同区域获得了从新太古代至古元古代[2,6]、中元古代[7-8]、新元古代[4,9-12]的较多锆石年龄数据，指示区域上存在古老基底，康定杂岩(康定岩群)的斜长角闪岩、麻粒岩、片麻岩等高级变质岩是多期次不同强度的变质作用相叠加改造的结果。笔者本次获得了单颗锆石$^{206}Pb/^{238}U$最大年龄为 847 Ma±13 Ma，多数锆石年龄数据集中在 770 Ma—815 Ma，加权平均年龄 792 Ma±7.6 Ma，与该地层周围分布的岩体成岩时期、混合岩化中的浅色体的锆石年龄数据(730 Ma—772 Ma，待发表)基本

一致，与区域上晋宁造山运动活动时间可以对应，可能反映了康定岩群斜长角闪岩的原岩形成后遭受的较强的一次变质作用，变质程度最终达到角闪岩—高角闪岩相，伴随着深熔锆石的形成[13]。姚建在本区出露的黑云斜长混合岩、角闪斜长混合岩、石英闪长岩中获得了 740 Ma—930 Ma 的锆石 U-Pb 年龄，并认为其为混合岩化作用的时限，原岩形成时间为古元古代[14]。笔者在研究区周边的岩浆岩中获得青白口纪岩浆成岩年龄，在东部黎溪—姜驿增生杂岩带中的石英岩中获得 2241 Ma±16 Ma 的碎屑锆石年龄，其中最年轻的碎屑锆石年龄为 1807 Ma±33 Ma(待发表)，虽锆石来源尚不明确，但也指示了区域上不可否认地存在太古宙—古元古代的结晶基底。目前尚未有准确的年代学证据证明本区的斜长角闪岩原岩时代属于结晶基底，但结合对混合岩、混合岩化作用的测试研究成果，以及区域上大量的年代学数据资料，将其原岩成岩时代置于新太古代至古元古代，推断其起始主要变质作用时期为古元古代末期，同时在青白口纪末期、南华纪均遭受了不同程度的变质作用，最终形成角闪岩相。

4 结语

通过对大田地区康定岩群咱里(岩)组中斜长角闪岩的岩石学、地球化学、锆石 U-Pb 年龄分析，得出以下认识：

(1)咱里(岩)组斜长角闪岩中获得锆石 U-Pb 年龄 807 Ma±4.8 Ma，内核获得的 778 Ma±6 Ma 年龄值与晋宁期主体岩浆活动一致，指示岩石受多期热变质作用事件影响，锆石发生了深熔，从而具有较弱的环带特征。

(2)斜长角闪岩的野外地质特征、地球化学特征等指示其原岩可能为基性火山岩(玄武岩等)，地表露头上具有喷发旋回韵律特征。变质后的岩石中残留的钾长石等高角闪岩相的变质作用由于尚无可靠的年代学依据，结合目前混合岩、混合岩化斜长角闪岩的测试研究以及区域上康定岩群年代学资料，将其变质作用时期归为古元古代末期。

参考文献：

[1] 马玉孝，王大可，纪相田，等. 川西攀枝花—西昌地区结晶基底的划分[J]. 地质通报，2003(9)：688－694.

[2] 袁海华，张树发，张平. 康滇地轴结晶基底的时代归属[J]. 成都地质学院学报，1986(4)：64－70.

[3] 李复汉，覃嘉铭，申玉连，等. 康滇地区的前震旦系[M]. 重庆：重庆出版社，1988.

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

[5] 刘啸虎，辜学达. 四川省岩石地层[M]. 武汉：中国地质大学出版社，1997.

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

[7] 从柏林. 攀西古裂谷的形成与演化[M]. 北京：科学出版社，1988.

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

[9] 胥德恩，陈友良，张应全. 康定杂岩时代及成因探讨[J]. 地质论评，1995，41(2)：101－111.

[10] 陈岳龙，罗照华，赵俊香，等. 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[J]. 中国科学：D辑，2004，34(8)：687－697.

[11] 刘文中. 四川冕宁沙坝麻粒岩的岩石地球化学性质及形成时代[J]. 四川地质学报，2006，26(4)：193－198.

[12] 杜利林，耿元生，杨崇辉，等. 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[J]. 地质学报，2007(11)：1562－1577.

[13] 陈岳龙，王忠，罗照华，等. 康定杂岩 Rb-Sr、Sm-Nd 同位素系统及其意义[J]. 现代地质，2008(5)：707－714.

[14] 姚建. 攀枝花市大田地区混合岩成因研究[D]. 成都：成都理工大学，2014.

LA-ICP-MS zircon U-Pb age and petrogeochemical characteristics of plagioclase amphibolite in Palaeoproterozoic Kangding Group-complex in Datian area, Panzhihua city

WANG Ting[1], GUO Daojun[2], HU Yang[2], GONG Xiaobo[2], WANG Qian[2]

(1. *Panxi Geological Brigade of Sichuan Bureau of Geology and Mineral Resources*, *Xichang* 615000, *Sichuan*, *China*;

2. 106 *Geological Brigade of Sichuan Bureau of Geology and Mineral Resources*, *Chengdu* 611130, *China*)

Abstract: For a long time, many Archean-Paleoproterozoic isotopic ages have been obtained from Kangding Group-complex in Kangding-Xichang-Panzhihua-Yuanmou area, Sichuan province. With deepening of researches a large number of isotopic ages of Qingbaikou Period have been obtained. In this paper are analyzed data of petrology, geochemistry and LA-ICP-MS zircon U-Pb age of the plagioclase amphibolite of Zanli Formation of Kangding Group-complex exposed in Datian area of Panzhihua city. The results show that protolith of the amphibolite is basic volcanic rock with eruption rhythmic cycle at outcrops in the field. It is formed by multi-thermal metamorphic reworks from the Late Paleoproterozoic Era as the amphibolite to the end. The zircon age of 807 ± 4.8 Ma obtained from zircon zonation only represents a strong thermal metamorphism event.

Key Words: zircon U-Pb age; rock geochemistry; Paleo-proterozoic; Kangding Group-complex; plagioclase amphibolite; Datian area; Sichuan province