

江山—绍兴断裂带陈蔡岩群片麻岩 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄及其地质意义

高林志¹, 丁孝忠¹, 刘燕学¹, 张传恒², 张 恒¹, 黄志忠³, 许兴苗⁴, 周宗尧⁴
GAO Lin-zhi¹, DING Xiao-zhong¹, LIU Yan-xue¹, ZHANG Chuan-heng²,
ZHANG Heng¹, HUANG Zhi-zhong³, XU Xing-miao⁴, ZHOU Zong-yao⁴

1. 中国地质科学院地质研究所, 北京 100037; 2. 中国地质大学(北京), 北京 100083;
3. 江西省地质调查院, 江西 南昌 330201; 4. 浙江省地质调查院, 浙江 杭州 311203
1. Institute of Geology, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China;
2. China University of Geosciences, Beijing 100083, China;
3. Jiangxi Institute of Geological Survey, Nanchang 330201, Jiangxi, China;
4. Zhejiang Institute of Geological Survey, Hangzhou 311203, Zhejiang, China

摘要:浙江诸暨陈蔡地区发育一套副变质岩层, 由中深度变质的片麻岩、片岩和大理岩组成, 与双溪坞群为断层接触, 其地质时代多被视为与江山—绍兴断裂带南东侧的华夏地块古老变质基底相同。陈蔡岩群地处江绍断裂带北东端, 变质和变形较深, 前人将其划归为华夏古陆的小块体, 地层时代曾与福建古元古代麻源岩群或浙江八都岩群和江西中元古代铁砂街组对比。在陈蔡岩群下吴宅组含榴夕线黑云斜长片麻岩及含榴黑云斜长片麻岩中获得大量的锆石, 具有典型的核-幔-边结构, 核部年龄集中在新元古代, $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄加权平均值为 $848 \pm 10\text{Ma}$ 和 $845 \pm 9\text{Ma}$, 锆石后期增生边部年龄多为加里东期的年龄, $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄加权平均值为 $431.4 \pm 7.8\text{Ma}$ 。陈蔡岩群斜长片麻岩获得的锆石核部较单一的 U-Pb 年龄, 反映出陈蔡岩群下吴宅组夕线石所代表的泥质成分所含的锆石单一, 其锆石核部年龄应代表陈蔡岩群下吴宅组的原岩年龄; 同时, 认为陈蔡岩群既不能与福建古元古代的麻源岩群对比, 也不能与江西地区中元古代铁砂街组对比。其原岩为稍晚于双溪坞群 (905~877Ma) 的新元古代地层 (848~845Ma), 从年代上倾向于江南造山带范畴。该年龄对江山—绍兴断裂带变质地层的区域对比和构造演化有重要意义。

关键词:浙东南地区; 陈蔡岩群; 变质岩; SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄

中图分类号: P595; P597+.3 **文献标志码:** A **文章编号:** 1671-2552(2014)05-0641-08

Gao L Z, Ding X Z, Liu Y X, Zhang C H, Zhang H, Huang Z Z, Xu X M, Zhou Z Y. SHRIMP zircon U-Pb dating of Neoproterozoic Chencai Complex in Jiangshan-Shaoxing fault zone and its implications. *Geological Bulletin of China*, 2014, 33(5):641-648

Abstract: A series of parametamorphic rocks, as the oldest metamorphosed basement in the Jiangshan-Shaoxing fault zone, consist of gneiss, schist and marble of medium-deep metamorphism and are in fault contact with the Shuangxiwu Group in Chencai area, Zhuji County, Zhejiang Province. Because the Chencai Group which suffered deep metamorphism and deformation is developed in the southern part of the Jiangshan-Shaoxing fault zone, most Chinese geologists assign the group to the small patch of the Cathaysia Plate and make correlation with Paleoproterozoic Mayuan Group in Fujian Province or the Badu Group in Zhejiang Province and the Mesoproterozoic Tieshajie Formation in Jiangxi Province. Lots of zircons were collected from garnet sillimanite biotite plagiogneiss and

收稿日期: 2013-11-27; 修订日期: 2014-03-18

资助项目: 中国地质调查局项目 (编号: 12120113013900) 和全国油气基础地质研究与编图项目 (编号: 2011ZX05043-005)

作者简介: 高林志 (1955-), 男, 研究员, 从事生物地层、层序地层和灾变事件地层方面的研究。E-mail: gaolzh@cags.ac.cn

sillimanite garnet biotite gneiss in the Xiawuzhai Formation of the Chencai Group. The zircons have a typical core, mantle and edge structure, the age of the core is usually in the range of 848~845Ma and the age of the late accretion edge is Caledonian (431Ma). According to the zircon dating of the plagioclase gneiss of the Chencai Group, the authors consider that the Chencai Group can not only be correlated with the Paleoproterozoic Mayuan Group of Fujian Province, but also with Mesoproterozoic Tieshajie Formation of Jiangxi Province. The protolith age of the Chencai Group suggests Neoproterozoic (848~845Ma), which is younger than that of the Shuangxiwu Group (905~877Ma) in the stratigraphic column and the stratigraphic division, and the age belongs to the domain of the Jiangnan Orogenic Belt. However, this age has an important significance in the correlation of metamorphosed provinces in the Jiang-ShaoXing fault zone and the study of its tectonic evolution.

Key words: Southeast Zhejiang; Chencai Group; metamorphosed rock; SHRIMP zircon U-Pb ages

江山—绍兴断裂带向西至江西省萍乡,沿该深大断裂带发育一系列变质程度较高的岩石,其中铁沙街组^[1-3]、田里片岩^[4]、周潭群^[2,5]、万源群(高林志等,待刊)等岩组已获得精确的锆石年龄。而对江绍断裂带陈蔡岩群的年龄争议最大,有太古宙、古元古代、新元古代、晚古生代^[6-10]等认识。发育在浙江诸暨陈蔡地区的陈蔡岩群是浙东南地区重要的岩石单位之一,被认为是华夏地块变质基底的重要组成部分,20世纪以来众多地质学家对其开展过岩石地球化学、同位素测年和构造环境解译等研究^[11-13,6-9]。野外考察中发现,陈蔡岩群为一套副变质岩层,由中深变质的片麻岩、片岩、变粒岩、角闪岩、大理岩等组成,总厚度可达8500 m,不整合于三叠系乌灶组之下^[14]。浙江省区测队^①将陈蔡岩群分为a、b、c、d四个岩性段,并认为各段间均为整合接触。底部a段以含榴夕线黑云斜长片麻岩及含榴变粒岩为主,夹斜长角闪岩、透辉石大理岩、少量石墨片岩和含磁铁矿石片岩。与双溪坞群呈断层接触。b段以黑云二长变粒岩及斜长角闪片岩为主,夹白云石英片岩及浅粒岩。c段为大理岩、白云质大理岩与斜长角闪岩互层,夹浅粒岩、二云石英片岩及石墨片岩,夹磁铁矿石岩薄层。d段为黑云斜长片麻岩或含榴夕线黑云斜长片麻岩,间夹夕线二云斜长片麻岩、夕线二云石英片岩、石墨片麻岩及变粒岩,底部发育斜长角闪岩^[12]。关于陈蔡岩群的构造解释。孔祥生等^[7]依据岩石地球化学和同位素年龄资料认为,中国东南地区的威尔逊旋回于中元古代晚期开始,此时扬子古陆与华夏地块之间存在一大洋盆地,洋壳上可能存在拉张期残留的花岗质陆壳碎块。中元古代晚期开始洋壳消减作用及与其有关的火山—沉积作用;孔祥生等^[7]推测陈蔡大洋岛弧地体在新元古晚期与双溪坞陆弧地体拼贴、碰撞,壳体间发生聚合,也触发了陈蔡岩群岩

石的变质、变形;并认为陈蔡岩群原岩主体形成于大洋岛弧环境,由拉斑玄武岩和同源辉长岩、碳酸盐岩和浊流沉积的泥砂质碎屑岩组成;经受了中压角闪岩相区域动力—热流变质作用和多期褶皱变形。叶瑛等^[9]提出,浙江陈蔡岩群的原岩建造为孔兹岩系,属火山—沉积型,具有明显的旋回。其原岩建造包含了2个大的火山—沉积旋回,即从基性火山岩→泥砂质碎屑岩→碳酸盐岩沉积;指出孔兹岩系的原岩建造形成于古岛弧环境,受多期变质变形作用的影响,其早期变质发生于晋宁期,加里东期出现叠加变质,表现为从低角闪岩相到高角闪岩相阶段的2期变质,均属中压相系区域动力热流变质。陈迪云等^[6]认为,陈蔡岩群泥质变质岩中石榴子石的化学成分只是反映变质强度。陈蔡岩群变质岩中石榴子石的成分特征反应其岩石的变质程度深,达到了角闪岩相;同时,根据变质矿物的出现及镁在石榴子石—黑云母矿物对的分配与温度的关系计算,变质温度为550~700℃,压力为400~800MPa,相当于中压角闪岩相。对陈蔡岩群变质岩的岩石化学、微量和稀土元素的特征研究表明,陈蔡岩群变质岩成岩构造环境类似于活动大陆边缘环境。关于陈蔡岩群的构造位置始终是中国地质学家探讨陈蔡岩群变质、变形的基础问题,而同位素年龄标定是关键。笔者试图通过陈蔡岩群的原岩锆石定年,为浙西地区江南造山带与华夏古陆的构造解译提供精确的测年依据。

1 采样位置

本文重点报道来自陈蔡岩群c段下吴宅组含榴夕线黑云斜长片麻岩及含榴黑云斜长片麻岩的锆石年龄。样品CH1211-1为陈蔡岩群含石榴黑云斜长片麻岩,采自陈蔡村孝四水电站(图2-A),采样位置坐标为N29°37.466'、E119°25.517',样品矿物成

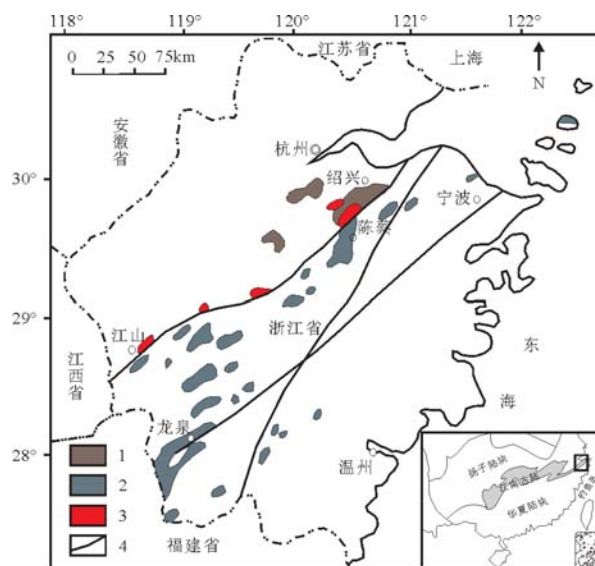


图1 江山—绍兴断裂带周边地区地质略图(据参考文献[19]修改)

Fig. 1 Sketch geological and tectonic map of Jiangshan-Shaoxing fault zone

1—双溪坞群;2—陈蔡岩群;3—花岗岩;4—断层

分为鳞片状变晶结构,由斜长石(60%)、石英(20%~25%)、黑云母(10%~15%)、石榴子石(5%)和少量钾

长石组成。钾长石呈他形粒状,零星分布,粒度一般在0.2~0.5mm之间,具高岭土化,局部交代斜长石。样品CH1211-2为陈蔡岩群含夕线石榴黑云片麻岩,采自下吴宅村小桥下(图2-B),采样位置坐标:N29°37.340′、E119°26.028′,为鳞片状变晶结构,由斜长石(45%)、石英(20%~25%)、黑云母(15%)、石榴子石(10%)、夕线石假象(5%~10%)和钾长石组成。本文所采集的片麻岩锆石年龄测试样品来自陈蔡岩群的c段下吴宅组,其年龄测定对江绍断裂带变质岩地层原岩定年具有重要的年代学意义。

2 分析方法

SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄测定在西澳大利亚佩斯理工大学的 SHRIMP- II 仪器上进行,详细的分析流程见参考文献[15]。年龄测定时仪器质量分辨率约为5000(1%峰高)。分别采用标准锆石 TEM 和 M257 进行元素间的分馏校正及 U 含量标定。TEM 具有 U-Pb 谐和年龄,其 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄为 $416.8 \pm 1.1\text{Ma}$,但 U、Th 及 Pb 含量不均一;用于校正的 RSES(澳大利亚国立大学地学院)参考标



图2 陈蔡地区陈蔡岩群下吴宅组片麻岩野外露头 and 显微照片

Fig. 2 Sampling outcrops and thin sections of the gneiss in Xiwuzhai

Formation of Chencai Group in Chencai area

A—陈蔡村孝四水电站陈蔡岩群采样点;B—下吴宅村南小桥下采样点;C—陈蔡岩群含石榴黑云斜长片麻岩薄片(正交偏光);D—陈蔡岩群含夕线石榴黑云片麻岩(正交偏光)

样锆石 M257 的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄为 840 Ma。原始数据的处理和锆石 U-Pb 谐和图的绘制采用 Ludwig 博士编写的 Squid 和 Isoplot 程序^[15-17]。普通铅校正根据实测的 ^{204}Pb 进行, 普通铅的组成根据 Stacey 等^[18] 给出的模式计算得到。表 1 中, 年龄的绝对误差为 1σ , 同位素比值的相对误差为 1σ ; 文中所使用的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄加权平均值为 95% 的置信度。

3 分析结果

锆石的阴极发光(CL)图像显示, 锆石核部为典型的岩浆生长振荡环带和韵律结构, 均属于岩浆结晶的产物, 锆石多具有变质边(图 3)。锆石晶体测定位置的选取, 需要结合可见光和 CL 图像, 以避免锆石晶体中的裂纹和包裹体。由于多数变质岩锆

石具有核、幔、边结构, 在没有高清晰图像的情况下测年会出现一次离子流斑点落于不同时代锆石区域的情况, 个别测年结果会出现混合年龄, 不能代表锆石的真实年龄。陈蔡村孝四电站的陈蔡岩群片麻岩样品(CH1211-1、CH1211-2)中锆石总体上晶型好, 保存有变质岩特有的核、幔、边结构, 多为浅黄色透明椭圆状晶体, 粒度多在 100~200 μm 之间, 晶体长宽比为 2~3。上述锆石核部 U、Th 含量较高, Th/U 值较大(一般大于 0.4), 明显为岩浆锆石, 锆石边部 Th/U 值较小。

陈蔡岩群下吴宅组含榴黑云斜长片麻岩样品(CH1211-1)12 个测点中 U 含量变化范围为 $47\times 10^{-6}\sim 1095\times 10^{-6}$, Th 含量变化范围为 $42\times 10^{-6}\sim 759\times 10^{-6}$; Th/U 值变化范围为 0.11~0.99(表 1)。测得的

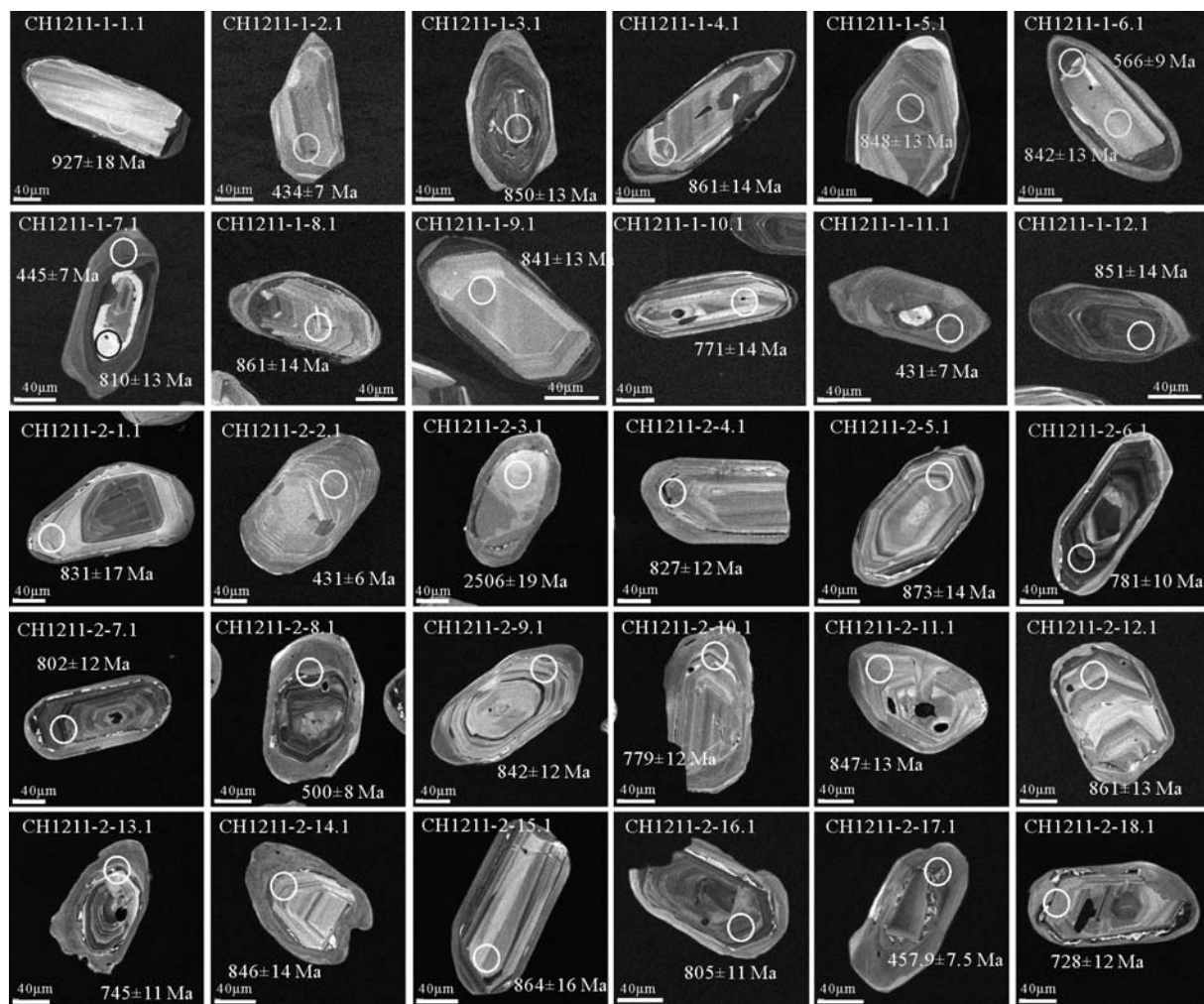


图 3 陈蔡岩群片麻岩锆石特征及测点和 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄

Fig. 3 Features of zircon (CL), spots and $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ age of gneiss from Chencai Group

$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄,可分为 927Ma(1.1 点)、771~861Ma 之间(3.1~6.1、7.1、8.1、9.1、10.1、12.1,共 9 个点)、566Ma(6.2 点)和 431~445Ma 之间(2.1、7.2、11.1,共 3 个点)共 4 个群落(图 3、图 4)。其中测点 1.1 位于锆石晶体核部(927±18Ma)(图 3),其年龄为残留锆石的年龄;该颗粒边缘有宽度很小且 U 和 Th 含量较高的区域,应是后期变质作用形成的。566Ma(6.2 点)为测点锆

石核部和变质边之间的混合年龄;771~861Ma 中的 7 个数据(3.1~6.1、8.1、9.1、12.1)给出的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄加权平均值为 845.0±8.4Ma(MSWD=1.5)。最年轻的 431~445Ma 之间的 3 个数据(2.1、7.2、11.1)给出的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄加权平均值为 436.4±7.8Ma(MSWD=1.3)。笔者将 845.0±8.4Ma 和 436.4±7.8Ma 分别解释为陈蔡岩群的原岩形成时代及变质年代。

表 1 陈蔡岩群片麻岩样品(CH1211-1、CH1211-2)SHRIMP U-Th-Pb 同位素测定结果

Table 1 SHRIMP U-Th-Pb isotopic compositions of zircons from gneiss (CH1211-1 and CH1211-2) in Chencai Group

测点	$^{206}\text{Pb}_e$ /%	U /10 ⁻⁶	Th /10 ⁻⁶	^{232}Th / ^{238}U	$^{206}\text{Pb}^*$ /10 ⁻⁶	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄/Ma	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 年龄/Ma	不谐和 性度/%	$^{207}\text{Pb}^*/^{206}\text{Pb}^*$ 比值	$^{207}\text{Pb}^*/^{206}\text{Pb}^*$ ±%	$^{207}\text{Pb}^*/^{235}\text{U}$ 比值	$^{207}\text{Pb}^*/^{235}\text{U}$ ±%	$^{206}\text{Pb}^*/^{238}\text{U}$ 比值	$^{206}\text{Pb}^*/^{238}\text{U}$ ±%	误差相 关系数
CH1211-1															
1.1	0.83	47	42	0.92	6.33	927±18	579±140	-60	0.0593	6.6	1.265	6.9	0.1547	2.1	0.304
2.1	0.11	499	69	0.14	29.9	434±7	396±39	-10	0.0546	1.8	0.524	2.4	0.0696	1.6	0.668
3.1	0.00	646	400	0.64	78.2	850±13	844±18	-1	0.0672	0.9	1.307	1.8	0.1410	1.6	0.878
4.1	0.00	258	165	0.66	31.7	861±14	837±29	-3	0.0670	1.4	1.320	2.2	0.1430	1.7	0.765
5.1	0.00-	179	172	0.99	21.6	848±13	935±47	9	0.0702	2.3	1.361	2.8	0.1406	1.7	0.588
6.1	0.15	162	123	0.78	19.4	842±13	810±36	-4	0.0661	1.7	1.272	2.4	0.1395	1.7	0.700
6.2	0.00	410	84	0.21	32.3	566±9	605±26	6	0.0600	1.2	0.760	2.0	0.0918	1.6	0.802
7.1	0.39	175	88	0.52	20.2	810±13	782±55	-4	0.0652	2.6	1.204	3.1	0.1338	1.7	0.545
7.2	0.07	490	57	0.12	30.1	445±7	512±39	13	0.0575	1.8	0.567	2.4	0.0715	1.6	0.670
8.1	0.00	249	132	0.55	30.5	861±14	860±37	0	0.0677	1.8	1.334	2.5	0.1428	1.8	0.711
9.1	0.08	253	179	0.73	30.3	841±13	876±38	4	0.0682	1.9	1.311	2.5	0.1393	1.7	0.667
10.1	0.00	128	52	0.42	13.9	771±14	999±44	23	0.0725	2.2	1.270	2.9	0.1271	1.9	0.665
11.1	0.00	482	50	0.11	28.6	431±7	473±28	9	0.0565	1.3	0.539	2.0	0.0691	1.6	0.780
12.1	0.00	1095	759	0.72	133	851±14	859±11	1	0.0677	0.6	1.318	1.8	0.1412	1.7	0.954
CH1211-2															
1.1	1.47	50	24	0.48	6.03	831±17	786±150	-6	0.0654	7.2	1.240	7.6	0.1376	2.2	0.290
2.1	0.10	337	3	0.01	20.1	431±6	452±49	5	0.0560	2.2	0.534	2.7	0.0692	1.5	0.568
3.1	0.15	62	79	1.32	25.3	2510±41	2506±9	0	0.1648	1.1	10.82	2.3	0.4761	2.0	0.872
4.1	0.36	186	74	0.41	22.0	827±12	813±42	-2	0.0662	2.0	1.250	2.6	0.1369	1.6	0.614
5.1	0.45	115	50	0.45	14.4	873±14	690±57	-27	0.0625	2.7	1.250	3.2	0.1451	1.7	0.541
6.1	0.05	806	563	0.72	89.2	781±10	813±22	4	0.0662	1.0	1.177	1.7	0.1289	1.4	0.801
7.1	0.36	203	146	0.74	23.2	802±12	869±67	8	0.0680	3.2	1.242	3.6	0.1325	1.6	0.449
8.1	0.72	237	17	0.07	16.5	500±8	455±100	-10	0.0561	4.7	0.624	5.0	0.0807	1.7	0.344
9.1	0.08	202	258	1.32	24.3	842±12	922±35	9	0.0698	1.7	1.343	2.3	0.1396	1.6	0.676
10.1	0.14	212	88	0.43	23.4	779±12	761±45	-2	0.0646	2.1	1.143	2.7	0.1284	1.6	0.595
11.1	0.26	159	79	0.51	19.3	847±13	796±43	-6	0.0657	2.1	1.271	2.6	0.1404	1.6	0.620
12.1	0.00	176	63	0.37	21.6	861±13	892±36	3	0.0688	1.7	1.354	2.4	0.1428	1.6	0.679
13.1	0.11	246	40	0.17	26.0	745±11	750±42	1	0.0642	2.0	1.085	2.5	0.1225	1.6	0.628
14.1	0.23	123	103	0.86	14.9	846±14	758±55	-12	0.0645	2.6	1.247	3.1	0.1402	1.8	0.558
15.1	0.00	83	62	0.77	10.2	864±16	1003±68	14	0.0726	3.4	1.436	3.9	0.1434	1.9	0.497
16.1	0.21	298	165	0.57	34.1	805±11	821±47	2	0.0665	2.3	1.219	2.7	0.1330	1.5	0.558
17.1	0.75	230	5	0.02	14.6	458±8	427±61	-7	0.0554	2.7	0.562	3.2	0.0736	1.7	0.526
18.1	0.46	133	49	0.38	13.7	728±12	838±62	13	0.0670	3.0	1.104	3.5	0.1195	1.8	0.508

注: Pb_e 为普通铅的 ^{206}Pb 占全部 ^{206}Pb 的百分比, Pb^* 代表放射成因铅, 用于校正待测样品的并与之同时测定的标准样品的误差为 0.41%(1 σ), 普通铅校正采用实测的 ^{204}Pb



Fig. 4 Zircon U–Pb concordia diagram of gneiss from Chencai Group



Fig. 5 Neoproterozoic sequence and geochronological zircon U–Pb dating

1—花岗岩;2—枕状熔岩;3—辉绿岩墙;4—武陵运动界面;5—凝灰质粉砂岩;6—砾岩

陈蔡岩群下吴宅组含榴夕线黑云斜长片麻岩样品(CH1211-2)18个测点的U含量变化范围为 $50 \times 10^{-6} \sim 806 \times 10^{-6}$, Th含量变化范围为 $3 \times 10^{-6} \sim 563 \times 10^{-6}$; Th/U值变化范围为0.1~1.32(表1)。CH1211-2共测试了18个数据点。其中数据点3.1位于锆石晶体核部(图3),从清晰的CL图像(图3-CH1211-2-3.1)明显为较老的捕获锆石核部,其年龄为残留锆石的年龄($2506 \pm 9 \text{ Ma}$);该颗粒边缘发育有后期变质作用形成的变质边。谐和图中排除数据点3.1的离群值;另外,其中6个数据点(6.1、7.1、10.1、13.1、16.1、18.1)与其他锆石有所差异。其余8个数据点均位于谐和线上(图4右图),8个数据点(1.1、4.1、5.1、9.1、11.1、12.1、14.1、15.1)的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄加权平均值为 $848 \pm 10 \text{ Ma}$ (MSWD=1.3),揭示了陈蔡岩群片麻岩原岩的形成时代。同时,结合高清晰的CL图像分析,由于测点8.1和17.1均在核与边的结合部(CH1211-2-8.1、CH1211-2-17.1),应视为混合年龄,由于接近变质年龄,而不具真正的时代意义。测点2.1锆石为典型变质期锆石(CH1211-2-2.1),其 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄值 $431 \pm 6 \text{ Ma}$ (Th/U值为0.01)应为下吴宅组含榴夕线黑云斜长片麻岩的最终变质年龄。

4 讨 论

本文报道的锆石 U-Pb 年龄为江山—绍兴断裂带陈蔡岩群原岩归属提供了直接的年龄证据,其年代学意义在于对江绍断裂带变质基底的时代限定。在整个“江南古陆”沿着扬子陆块的南缘发育的一系列岩浆事件揭示,江山—绍兴断裂带中陈蔡岩群($848 \sim 845 \text{ Ma}$)比浙西地区的双溪坞群(岛弧)发育要晚,为不同构造阶段产物和不同阶段地层。陈蔡岩群应是双溪坞岛弧的弧前增生,而双溪坞群火山岩—碎屑岩沉积发育在 $902 \sim 877 \text{ Ma}$ 之间,两大块体碰撞,陈蔡岩群代表了 845 Ma 左右的弧前增生,其原岩的锆石年龄基本反映了该群增生的时代依据。中深度变质片麻岩的锆石所发育的增长边应是后期加里东期变质事件的叠加,该期的变质锆石 Th/U 值小于 0.01~0.07,说明加里东期岩浆岩的发育对变质增生边的影响。然而,沿江山—绍兴断裂带向西,在江西弋阳地区发育一套变流纹岩的铁沙街组,锆石年龄为 $1173 \sim 1143 \text{ Ma}$ ^[9],该套地层的锆石中未发现加里东期构造变质事件叠加的年龄,仅为中元古代晚期的锆石 U-Pb 年龄,

因此铁沙街组从时代上和构造域上分析,应隶属华夏块体或中间地块。而在同一构造带上的田里片岩受到后期多次变质叠加,虽然与浙西地区晚前寒武纪地层的构造关系不清,但是两者均被新元古代板溪期的似盖层沉积覆盖。

纵观江南造山带前寒武纪地层重新厘定修正图^[20-27](图5),江南古陆南华系之前,发育了一套似盖层的沉积(河上镇群、历口群、登山群、板溪群、丹州群、下江群),变质程度明显低于下伏地层(双溪坞群、双桥山群、溪口群、冷家溪群、四堡群、梵净山群)及大量锆石 U-Pb 年龄的依据,使人们逐渐认识到过渡层(板溪群)沉积与下伏地层(冷家溪群)低变质绿片岩相和上覆未变质的沉积盖层(南华系)应属于不同时期构造层的产物。由于浙西地区地处江山—绍兴断裂带两端,地层序列更为复杂,构造关系更为多样。因此,笔者认为,获得该地层的精确锆石 U-Pb 年龄有助于正确认识三者之间的沉积关系,同时将有利于理清地层对比问题和探讨浙西的成矿地质背景。

5 结 论

(1)在陈蔡岩群下吴宅组含榴夕线黑云斜长片麻岩及含榴黑云斜长片麻岩中获得的锆石都具有典型的核、幔、边结构,锆石的核部年龄集中在新元古代($848 \sim 845 \text{ Ma}$),代表了陈蔡岩群下吴宅组原岩的年龄。

(2)陈蔡岩群变质、变形主要发生在加里东期,锆石后期增生边年龄为加里东期的年龄提供了依据,同期岩浆岩锆石年龄为加里东期事件的年龄(431 Ma)。

(3)陈蔡岩群下吴宅组的锆石年龄说明,该岩群与福建古元古代麻源群和江西铁沙街组均不能对比。

致谢:北京离子探针中心刘敦一研究员、董春燕博士、马铭株博士、周丽芹硕士和李宁工程师在测试和锆石阴极发光照相中给予的技术支持,任留东博士进行了薄片鉴定,在此一并表示感谢。

参考文献

- [1]程海,胡世玲,唐朝辉.赣东北铁沙街变质混杂岩块的同位素年代[J].中国区域地质,1991,2:151-154.
- [2]余达淦,饶明辉,管太阳.江西广丰桃源自然铜类型铜矿化特征及找矿意义[J].东华理工大学学报(自然科学版),2012,35(3):201-207.

- [3]高林志,刘燕学,丁孝忠,等.江山—绍兴断裂带铁沙街组流纹岩 SHRIMP 锆石 U-Pb 测年及其意义[J].地质通报,2013,32(7): 996-1005.
- [4]Li X H, Li W X, Li Z X, et al. Amalgamation between the Yangtze and Cathaysia blocks in South China: constraints from SHRIMP U-Pb zircon ages, geochemistry and Nd-Hf isotopes of the Shuangxiwu volcanic rocks[J]. Precambrian Research, 2009, 174:117-128.
- [5]王孝磊,于津海,舒徐洁,等.赣中周潭群副变质岩碎屑锆石 U-Pb 年代学[J].岩石学报,2013,29(3): 801-811.
- [6]陈迪云,徐伟昌.陈蔡群变质岩铀的地球化学特征[J].铀矿地质,1993,9(4):31-37.
- [7]孔祥生,包超民,顾明光.浙江诸暨地区陈蔡岩群主要地质特征及其构造演化探讨[J].浙江地质,1994,10(1): 15-29.
- [8]赵国春,孙德有,贺同兴.陈蔡岩群构造变形特征及变形时代讨论[J].浙江地质,1994,10(1): 38-46.
- [9]叶瑛,兰玉琦,沈忠悦.浙江陈蔡岩群两类斜长角闪岩的地球化学及原岩构造环境[J].矿物岩石地球化学通讯,1995:7-12.
- [10]胡肇荣,邓国辉.钦—杭接合带之构造特征[J].东华理工大学学报(自然科学版),2009,26(2): 114-122.
- [11]水涛,徐步台,梁如华,等.绍兴—江山陆对接带[J].科学通报,1996,31(6):444-448.
- [12]谢奎克,史鸿竣,黄海,等.浙江诸暨陈蔡岩群的角闪石研究[J].中国地质科学院南京地质矿产研究所所刊,1986,7(3): 57-70.
- [13]章邦桐,凌洪飞,沉渭州,等.浙江双溪坞群 Sm-Nd 同位素年龄的确定和 Sm-Nd 体系在陈蔡岩群正斜长角闪岩中重置现象的发现[J].地球科学进展,1992,7(4): 94.
- [14]Li Z X, Li X H, Wartho J A, et al. Pressure-temperature conditions orogeny, southeastern South China: New age constraints and Magmatic and metamorphic events during the early Paleozoic Wuyi? Yunkai[J]. Geological Society of America Bulletin, 2010, 122(5/6): 772-793.
- [15]Lance P B, Sandra L K, Charlotte M A, et al. TEMORA 1: a new zircon standard for Phanerozoic U-Pb geochronology[J]. Chemical Geology, 2003, 200: 155-170.
- [16]Lance P Black, Sandra L Kamo, Ian S Williams, et al. The Application of SHRIMP to Phanerozoic geochronology: A critical appraisal of four zircon standards[J]. Chemical Geology, 2003, 200: 171-188.
- [17]Ludwig K R. SQUID 1.02, a user's manual[M]. Berkeley Geochronology Center Special Publication No. 2.2455 Ridge Road, Berkeley, CA 94709, USA. 2002.
- [18]Stacey J S, Kramers J D. Approximation of terrestrial lead isotope evolution by two-stage model[J]. Earth Planet. Sci. Lett., 1975, 26: 207-221.
- [19]徐步台,水涛.浙江绍兴—江山断裂带混合岩及其两侧基底变质岩的同位素年龄测定[J].科学通报,1983,24:1510-1512.
- [20]Li X H. U-Pb zircon ages of granites from the southern margin of the Yangtze margin: timing of Neoproterozoic Jinning Orogen in SE China and implication for Rodinia assemble[J]. Precambrian Research, 1999, 97: 43-57.
- [21]Li X H, Li Z X, Ge W C, et al. Neoproterozoic granitoids in South China: Crustal melting above a mantle plume at ca. 825 Ma? [J]. Precambrian Research, 2003, 122: 45-83.
- [22]江西省地质矿产厅.江西省岩石地层[M].1997: 9-49.
- [23]Zhou J C, Wang X L, Qiu J S. Geochronology of Neoproterozoic mafic rocks and sandstones from northeastern Guizhou, South China: Coeval arc magmatism and sedimentation[J]. Precambrian Research, 2009, 170: 27-42.
- [24]Li Z X, Li X H, Kinny P D, et al. The breakup of Rodinia: Did it start with a mantle plume beneath South China? [J]. Earth Planet Sci. Lett., 1999, 173(3): 171-181.
- [25]马慧英,孙海清,黄建中,等.湘中地区高洞群凝灰岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄及其地质意义[J].矿产勘查,2013,4(1): 69-74.
- [26]高林志,丁孝忠,刘燕学,等.浙江浦江县蒙上地区陈堂坞组在地层柱中的位置:来自锆石 SHRIMP U-Pb 年龄的制约[J].地质通报,2013,32(7): 988-995.
- [27]刘树文,杨朋涛,王宗起,等.赣东北婺源—德兴地区新元古代浅变质火山岩的地球化学和锆石 U-Pb 年龄[J].岩石学报,2012,29(2):581-593.
- ①浙江区域地质测量大队.1:20 万诸暨幅区域地质测量报告.1975.