

王存智, 邢光福, 陈荣, 等. 浙江嵊州地区陈蔡岩群变质岩的锆石年代学研究: 江绍结合带对华南印支期造山运动的响应[J]. 中国地质, 2015, 42(6): 1700-1714.

Wang Cunzhi, Xing Guangfu, Chen Rong, et al. Zircon geochronology of the metamorphic rocks of Chencai Group in Shengzhou area, Zhejiang Province: The response of the Jiangshan—Shaoxing suture zone to the Indosinian orogenic event[J]. *Geology in China*, 2015, 42(6): 1700-1714 (in Chinese with English abstract).

浙江嵊州地区陈蔡岩群变质岩的锆石年代学研究： 江绍结合带对华南印支期造山运动的响应

王存智 邢光福 陈 荣 洪文涛 朱清波 赵希林 姜 杨

(中国地质调查局南京地质调查中心, 江苏 南京 210016)

摘要:陈蔡岩群是华夏地块西北缘的主要前寒武纪变质基底, 蕴含着有关江绍结合带构造演化的丰富信息, 长期为众多学者所关注。作者最近通过路线调查和地质剖面测制, 将研究区“陈蔡岩群”解体为条带状黑云斜长片麻岩、侵入其中的二长花岗岩及后期基性岩脉等。黑云斜长片麻岩的锆石年龄数据可分为多组, 其中以约 1800 Ma、约 700 Ma、220 Ma 三组最为集中, 前者给出了片麻岩继承锆石年龄的峰值, 中者给出了片麻岩原岩时代的上限, 后者为变质年龄; 二长花岗岩年龄为 220 Ma, 与前述变质年龄对应, 均为印支期构造热事件, 显示了江绍结合带对华南印支期造山运动的响应。

关键词:黑云斜长片麻岩, 二长花岗岩, 年代学, 陈蔡岩群, 江绍结合带

中图分类号: P597.3; P588.3 文献标志码: A 文章编号: 1000-3657(2015)06-1700-15

Zircon geochronology of the metamorphic rocks of Chencai Group in Shengzhou area, Zhejiang Province: The response of the Jiangshan—Shaoxing suture zone to the Indosinian orogenic event

WANG Cun-zhi, XING Guang-fu, CHEN Rong, HONG Wen-tao,
ZHU Qing-bo, ZHAO Xi-lin, JIANG Yang

(Nanjing Center, China Geological Survey, Nanjing 210016, Jiangsu, China)

Abstract: Chencai Group is the main Precambrian basement at the northwest edge of Cathaysia. Researchers have focused on the study of Chencai Group over a long period of time because of its abundant information about the evolution of Jiangshan—Shaoxing suture zone. The authors divided the Chencai Group into banded biotite plagiogneiss, monzonitic granite and mafic dikes which intruded into the plagiogneiss. The zircon ages of biotite plagiogneiss are mainly concentrated around 1800 Ma, 700 Ma and 220 Ma. The age of about 1800 Ma is the peak value of inherited zircon in gneiss. The age of about 700 Ma is the minimum formation

收稿日期: 2014-11-12; 改回日期: 2015-01-04

基金项目: 中国地质调查局项目“浙江 1:5 万崇仁镇、长乐镇、巍山镇、岭口幅区域地质调查”(121201112083)、“武夷山关键地区区域地质调查”(12120113070800)和“华东重大岩浆事件及其成矿作用和构造背景综合研究”(12120114020801)。

作者简介: 王存智, 男, 1983 年生, 硕士, 助理研究员, 构造地质学研究方向; E-mail: 32107407@qq.com。

time of gneiss protolith, and the age of about 220 Ma is the metamorphism age of gneiss. Monzonitic granite crystallized at 220Ma. Metamorphism and magmatism resulted from the tectonothermal event during Indosinian period, which responded to the Indosinian orogeny of South China.

Key words: biotite plagiogneiss; monzonite granite; chronology; Chencai Group; Jiangshan-Shaoxing suture zone

About the first author: WANG Cun-zhi, male, born in 1983, assistant researcher, majors in structural Geology and engages in the study of structural geology; E-mail: 32107407@qq.com.

1 引言

浙西南前寒武纪陈蔡岩群作为华夏地块西北缘主要的前寒武纪变质基底,蕴含着有关江绍结合带构造演化的丰富信息,一直被众多学者所关注,成为华南前寒武纪研究的热点。

陈蔡岩群变质岩主体分布于绍兴—江山断裂带与余姚—丽水断裂带之间的浙江省诸暨境内,在新昌—嵊州一带由于被白垩纪火山岩所覆盖,加之被后期断裂严重破坏,因而多呈小的断块或构造窗的形式分布,出露较为零星^[1]。陈蔡岩群主要岩石类型有石榴黑云斜长片麻岩、变粒岩、浅粒岩、云母片岩、斜长角闪岩及大理岩,整体为一套中压角闪岩相变质岩系,变质温度为550~700℃,压力为400~800 MPa^[2]。其原岩建造主体是成层的火山—沉积岩系,形成于活动大陆边缘或岛弧环境^[3-4];自下而上划分为:捣臼湾组、下河图组、下吴宅组和徐岸组^[5]等四个岩组,经受了多期变形变质改造,其原始的固有的地层特征已经发生明显改变。

20世纪90年代出现陈蔡岩群研究的热潮,前人对陈蔡岩群的同位素年代学、变质地质学、岩石地球化学、矿物学、构造变形等进行了诸多研究^[2-10]。对于其时代以往根据K-Ar、Rb-Sr、单颗粒锆石U-Pb等方法测得其主体成岩年龄介于900~2000 Ma^[4,11-12],而长期归为中元古代—古元古代。近年来,高精度定年方法LA-ICP-MS和SHRIMP锆石U-Pb定年技术的应用,使得陈蔡岩群年代学研究有了新的进展,越来越多的年龄资料显示其主体形成于新元古代^[13-14],部分形成于古元古代和古生代,主要经历了加里东期变质^[9,14],且为其主期变质^[15]。因此,原有的陈蔡岩群可能需要进一步的解体工作,同时,陈蔡岩群是否存在印支期的变质作用尚需要进一步的研究。

笔者在最近的1:5万区域地质调查中,注意到嵊州市崇仁镇一带的陈蔡岩群与印支期花岗岩关系密切,至少有两期花岗岩侵入于其中,并部分地参与了变形变质作用。因此,本研究对嵊州市崇仁镇一带的陈蔡岩群与印支期花岗岩分别开展了锆石同位素定年,并结合前人研究成果,探讨陈蔡岩群变质历史和江绍结合带演化过程。

2 地质概况及样品特征

研究区位于江绍结合带北东段,区内早白垩世上火山岩系发育,余姚—丽水断裂贯穿本区。区内陈蔡岩群主要分布于嵊州市通源乡王公坑一带(图1),主体岩性为一套中深变质系,前人将其时代置于中元古代^①。本次研究在路线地质调查基础上,进行了1:1000大比例尺地质剖面测制。剖面沿公路测制,沿途露头连续,主要出露一套黑云斜长片麻岩,片麻理发育,产状陡立,被中细粒二长花岗岩枝和中粗粒似斑状二长花岗岩及后期若干条基性岩脉侵入,并且与早白垩世高坞组(K_{1g})火山岩呈断层接触,两者接触面近直立(图2)。

本次研究的测年对象为黑云斜长片麻岩和中细粒二长花岗岩,它们的岩石学特征如下(图3)。

黑云斜长片麻岩(样品11SZ-2-3):灰黑色,片麻状构造,鳞片粒状变晶结构。主要由石英(30%, 0.1~2 mm)、斜长石(30%~40%, 0.5~2 mm)、黑云母(30%, 0.5~1 mm)及少量楣石和其他不透明矿物组成。部分片麻岩由浅色脉体和深色基体构成条带状构造,脉体主要为长英质矿物集合体,基体为黑云母及其他暗色矿物组成。

中细粒二长花岗岩(样品11SZ-3-3):岩石新鲜面为灰白—浅肉红色,大部分风化呈灰白色。块状构造,花岗结构。岩石主要由石英(30%)、斜长石(30%~40%)、钾长石(30%)及少量黑云母(<5%)组

①邢光福,等.1:25万嵊县区域地质调查成果报告.南京地质矿产研究所,2004.

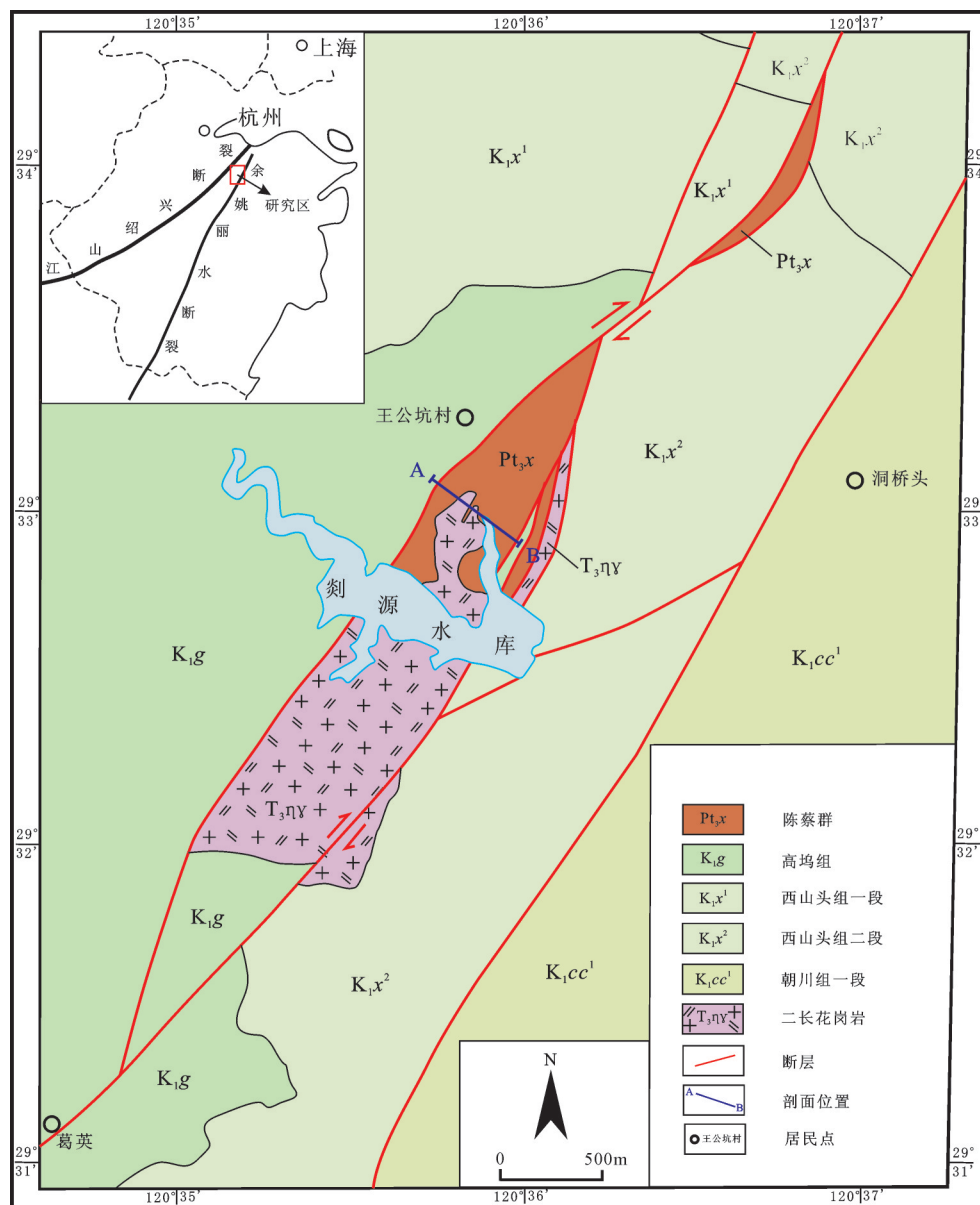


图1 浙江省嵊州市王公坑地区陈蔡岩群变质岩地质简图

Fig.1 Schematic geological map of Chencai Group in Wanggongkeng, Shengzhou City, Zhejiang Province

成, 粒径一般0.2~2 mm, 极个别石英可达4 mm。岩石整理碎裂化较强。部分露头上可见中细粒二长花岗岩中包裹了黑云斜长片麻岩团块。

3 试分析方法

选择新鲜无污染的11SZ-2-3和11SZ-3-3号样品为测试对象。锆石的选择工作在河北省廊坊宇能岩石矿物分选技术服务有限公司完成, 样品破碎后手工淘洗分离出重砂, 经磁选和电磁选后,

在双目镜下挑纯, 选出晶形较好、具代表性的锆石粘贴在环氧树脂表面, 抛光后将待测锆石进行透射光、反射光、背散射及阴极发光扫描电镜照相(CL)。LA-ICP-MS锆石U-Pb定年测试分析在中国地质科学院矿产资源研究所MC-ICP-MS实验室完成, 锆石定年分析所用仪器为Finnigan Neptune型MC-ICP-MS及与之配套的Newwave UP213激光剥蚀系统。激光剥蚀所用斑束直径为25 μm, 频率为10 Hz, 能量密度约为2.5 J/cm², 以He为载气。LA-

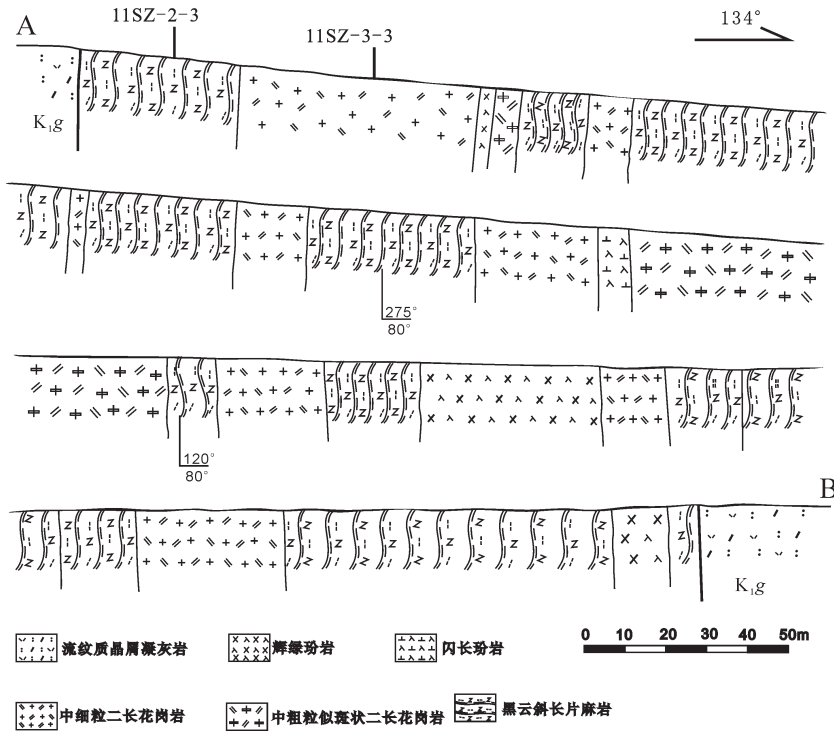


图2 浙江省嵊州市王公坑陈蔡岩群实测剖面图

Fig.2 Measured geological section of Chencai Group in Wanggongkeng, Shengzhou City, Zhejiang Province

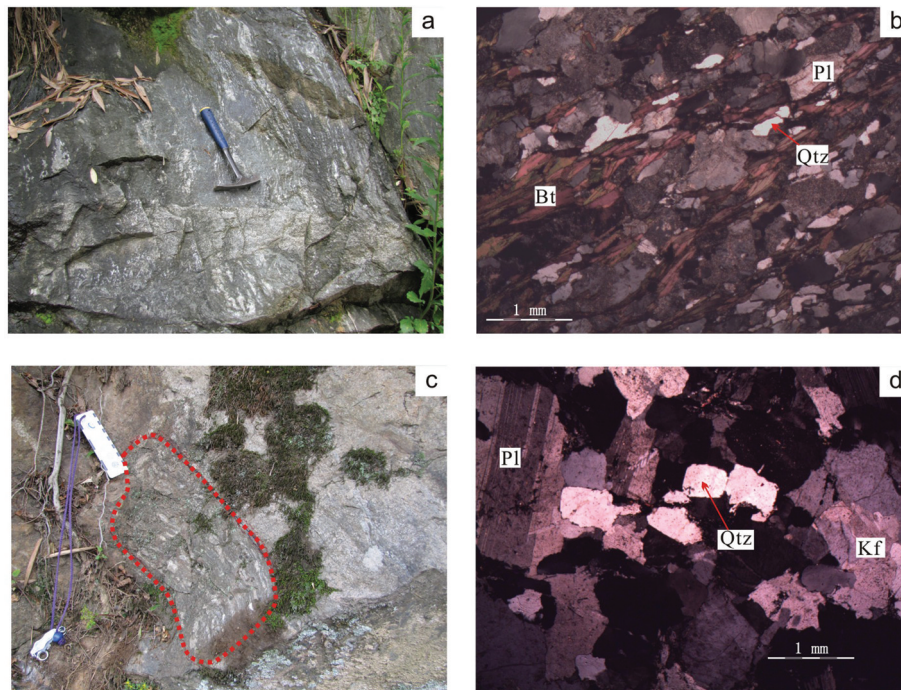


图3 黑云斜长片麻岩(a,b)和中细粒二长花岗岩(c,d)野外露头及显微照片
(c中红色圈内为黑云斜长片麻岩团块)

Bt—黑云母;Pl—斜长石;Qtz—石英;Kf—钾长石

Fig.3 Field and microscope photographs of biotite plagiogneiss (a,b) and fine-grained monzonitic granite (c,d)(The red circle in photograph C shows biotite plagiogneiss mass in monzonitic granite)

Bt—Biotite;Pl—Plagioclase;Qtz—Quartz;Kf—K—feldspar

MC-ICP-MS 激光剥蚀采用单点剥蚀的方法, 数据分析前用锆石 GJ-1 为外标, U、Th 含量以锆石 M127^[16] 为外标进行校正。数据处理采用 ICPMSDataCal 程序^[17-18], 测量过程中绝大多数分析点 $n(^{206}\text{Pb})/n(^{204}\text{Pb}) > 1000$, 未进行普通铅校正, ^{204}Pb 由离子计数器检测, ^{204}Pb 含量异常高的分析点可能受包体等普通 Pb 的影响, 对 ^{204}Pb 含量异常高的分析点在计算时剔除。谐和度计算公式采用 $100 * (1 - \text{abs} (^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U} \text{ 年龄} - ^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U} \text{ 年龄}) / ^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U} \text{ 年龄})$ 。锆

石年龄谐和图用 Isoplot3.0 程序获得。详细参数及实验测试过程参见侯可军等^[19]。分析结果如表 1 所示。

4 分析结果

4.1 黑云斜长片麻岩

样品 11SZ-2-3 号中锆石以滚圆状或短柱状为主, 多在 80~120 μm 。CL 图像显示锆石内部结构有较大区别(详述如下), 指示它们经历了复杂的演化历史或后期变质作用的改造(图 4-a)。

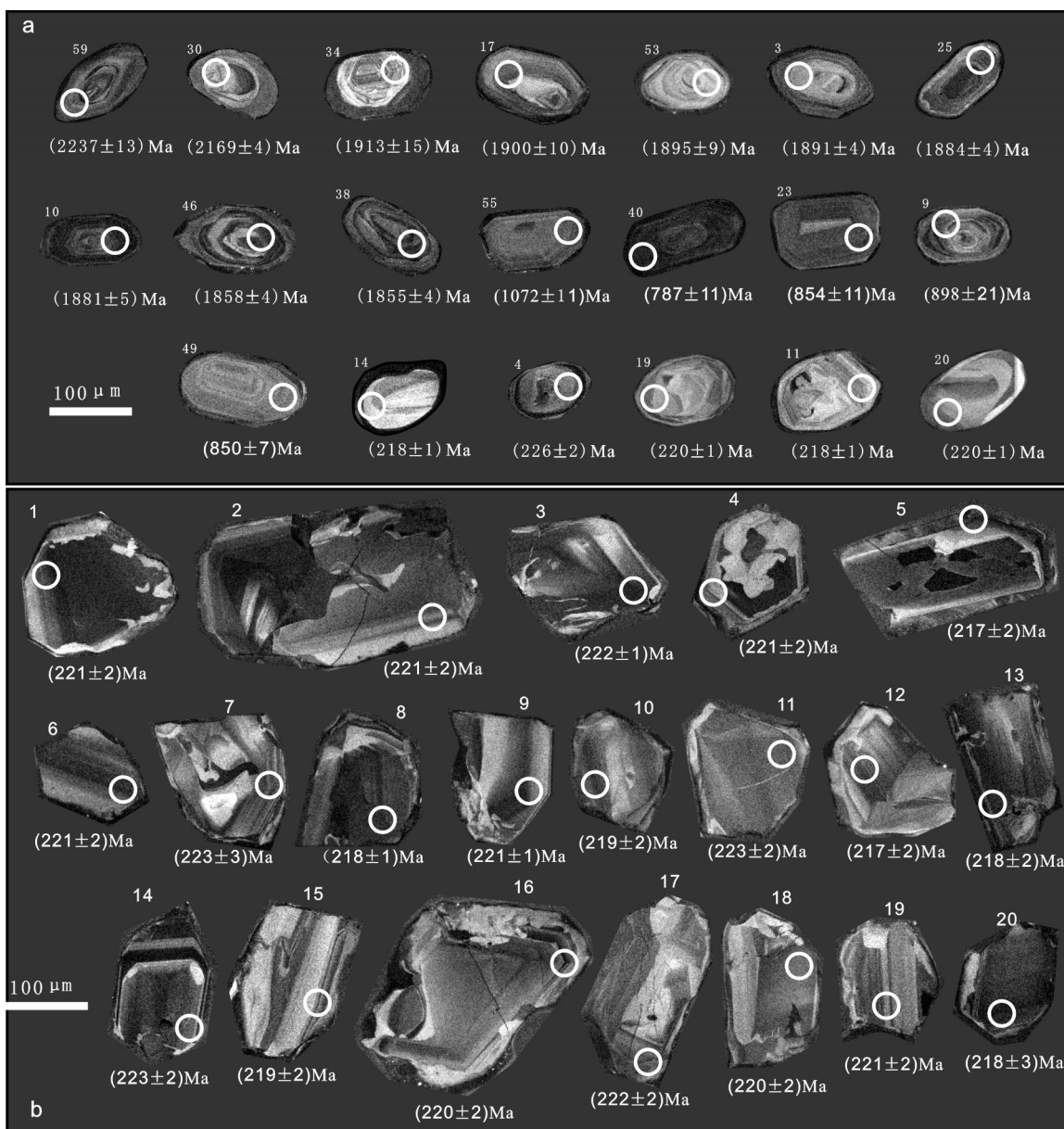


图4 王公坑陈蔡岩群黑云斜长片麻岩代表性锆石(a)和二长花岗岩锆石(b)阴极发光图像

Fig.4 CL images of typical zircon grains for biotite plagiogneiss (a) and monzonitic granite (b) of Chencai Group in Wanggongkeng area

对 11SZ-2-3 样品共分析了 60 个点, 锆石的 U-Pb 同位素分析显示它们的年龄较为分散, 但大多靠近谐和曲线(图 5)。所分析的锆石具有较宽的 Th/U 值变化范围, 主要集中在 0.01~2.03。77% 锆石颗粒的 Th/U 比值 > 0.1, 只有 23% 颗粒的 Th/U 比值 < 0.1, 说明锆石以岩浆成因占主体, 部分颗粒或晶区可能为变质成因。有些分析点的数据表明锆石经历明显的铅丢失过程而偏离谐和线。

锆石年龄频率直方图(图 5)显示约 2.2 Ga、1.8 Ga、0.8 Ga 和 0.22 Ga 等 4 个年龄峰。根据锆石 CL 图像(图 4-a)和年龄结果, 可将样品中的锆石分为 3 组。

第一组锆石发育核幔结构, 核部发亮, 边部为浅灰色, 发育韵律环带, 并且锆石多有浑圆状外形, 应为继承碎屑锆石^[20-21]。41 个年龄点中除掉 12 个谐和度小于 80% 的年龄点外, 其中 8 个锆石 ²⁰⁷Pb/²⁰⁶Pb 年龄值变化在 2.0~2.4 Ga, 剩下 21 个分析点的年龄较为集中且谐和, 其 ²⁰⁷Pb/²⁰⁶Pb 年龄值为 1929~

1733 Ma, 加权平均值为(1848±23)Ma, 锆石 U 含量变化范围为 576×10⁻⁶~29×10⁻⁶, Th 含量变化范围为 733×10⁻⁶~16×10⁻⁶, 锆石的 Th/U 比值除 11SZ-2-3-18 点较低为 0.02 和 11SZ-2-3-50 点较高为 4.78 外, 其余均介于 0.15~1.03, 显示了岩浆成因的特点^[22]。因此, 这组碎屑锆石应为岩浆成因, 记录了古元古代晚期的岩浆事件。

第二组锆石发育明显的岩浆韵律环带, 12 个分析点略偏离谐和线, 显示一定的 Pb 丢失, 因此我们选择 ²⁰⁷Pb/²⁰⁶Pb 年龄作为锆石形成年龄。除掉 7 个谐和度小于 80% 的年龄点外, 其余 5 个点年龄跨度较大, 从 787 Ma 到 1072 Ma, 集中在新元古代。锆石 U 含量变化范围为 593×10⁻⁶~27×10⁻⁶, Th 含量变化范围为 394×10⁻⁶~7×10⁻⁶, 除了 11SZ-2-3-1 分析点的 Th/U 比值为 0.01 偏小, 大部分锆石的 Th/U 比值介于 0.14~1.16, 表明了岩浆成因锆石的特征。

第三组锆石 CL 图像无岩浆韵律环带, 且边部

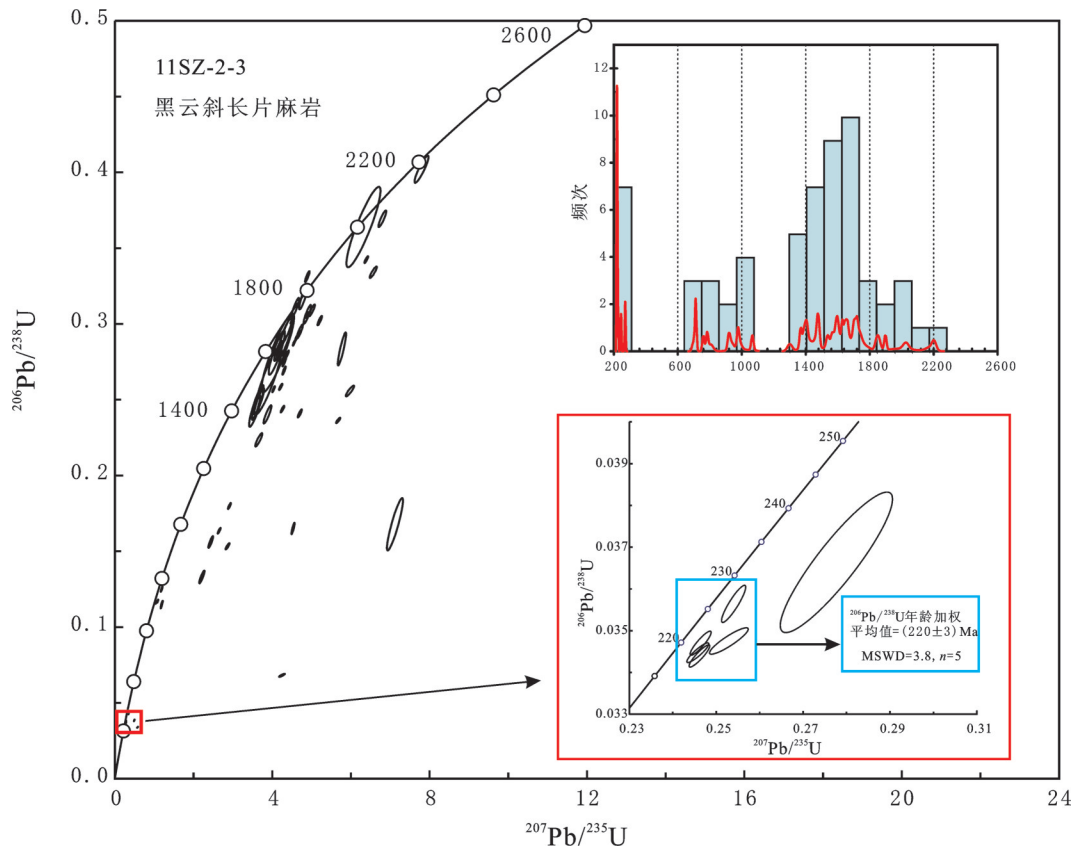


图 5 王公坑陈蔡岩群黑云斜长片麻岩锆石 U-Pb 年龄谐和图

Fig.5 Zircon U-Pb concordia diagram for biotite plagiogneiss of Chencai Group in Wanggongkeng area

大多有亮薄的变质增生边,显示变质锆石的特点^[23]。7个点显示印支期的年龄(220~271 Ma,表1),其中5颗锆石U含量值较高为 1324×10^{-6} ,Th含量值为 64×10^{-6} ,Th/U比值较低,均小于0.12,为变质成因。这5颗锆石的年龄基本一致,加权平均值是(220±3)Ma,代表岩石最后一次经历构造事件的年龄。

4.2 二长花岗岩

样品11SZ-3-3号中CL图像显示锆石大多晶形较为完好,呈长柱状至短柱状,长宽比为1.5:1~4:1。锆石的长度为100~200 μm,阴极发光照片显示清楚的韵律环带(图4-b),为典型的岩浆锆石。

对该样品分析了20个点(表1),测试结果表明,锆石U、Th值变化范围较大,分别介于 932×10^{-6} ~ 60×10^{-6} 和 1640×10^{-6} ~ 12×10^{-6} ,均有较高的Th/U比值(介于0.62~3.67),具有岩浆成因锆石的特征^[20]。除5、6、10和12号点外,16个测点具有谐和的²⁰⁶Pb/²³⁸U年龄和²⁰⁷Pb/²³⁵U年龄,其²⁰⁶Pb/²³⁸U年龄和²⁰⁷Pb/²³⁵U年龄分别介于217~223 Ma和218~244 Ma,数据点全部落在谐和线上,其²⁰⁶Pb/²³⁸U年龄加权平均为(220.1±0.9) Ma($n=16$,MSWD=1.05)(图6),代表了岩体的结晶年龄,属于晚三叠世。

5 讨 论

5.1 陈蔡岩群原岩时代

关于陈蔡岩群变质岩的原岩成岩时代,前人进行过较多的研究但是仍然存在着争议。最早一般根据K-Ar、Rb-Sr、单颗粒锆石U-Pb等同位素数据认为其原岩主体年龄大于900 Ma^[4,11-12],从而长期归为中元古代;之后Li等^[14]获得陈蔡岩群捣臼湾组角闪岩中的SHRIMP锆石U-Pb年龄为(1781±21) Ma,认为其成岩于古元古代末;片麻状花岗岩SHRIMP锆石谐和年龄为(435±4)Ma,成岩于加里东期。除此少量古元古代及古生代成岩年龄外,大量的年龄资料显示其主体形成于新元古代:如舒良树等^[13]在陈蔡岩群中获得面理化辉长岩SHRIMP锆石U-Pb年龄为(858±11)Ma;Li等^[14]测得下吴宅组流纹岩的锆石谐和年龄为(838±5)Ma,形成于新元古代;石榴片麻岩(原岩为泥岩)岩浆锆石²⁰⁶Pb/²³⁸U年龄为950~660 Ma(峰值为820 Ma),成岩于新元古代。高林志等^[24]最近在下吴宅组含榴砂线黑云斜长片麻岩及含榴黑云斜长片麻岩中获得(848±10)

Ma和(845±9)Ma锆石SHRIMP年龄,被认为是陈蔡岩群原岩年龄。

本文研究结果表明,王公坑一带陈蔡岩群黑云斜长片麻岩中大量继承锆石均有不同程度磨圆,表明岩浆锆石结晶之后曾经过了搬运、破碎、再堆积的过程,说明其寄主岩的原岩应是沉积岩,其时代从古元古代到新元古代晚期,获得的约2.2 Ga、约1.8 Ga的年龄峰可与华夏地块已知的岩浆岩年龄一致^[25],获得最小的岩浆碎屑锆石年龄约为790 Ma,应代表了本区陈蔡岩群最大沉积年龄。

对于二长花岗岩,定年结果显示其结晶年龄为(220.1±0.9)Ma,为晚三叠世岩体。浙江印支期花岗岩极少发育,本区中粗粒似斑状二长花岗岩年龄为235 Ma左右(笔者未发表数据);与此具有相同岩相特征的大爽岩体成岩年龄也为235 Ma左右^[26-27],均属于印支早期。Sun等^[28]报道了遂昌翁山岩体年龄为224 Ma,李万友等^[29]报道了丽水靖居岩体年龄为215 Ma,与本次所获得的中细粒二长花岗岩年龄一致,均为印支期晚期岩浆活动产物。

5.2 陈蔡岩群变质年龄

关于陈蔡岩群变质时代前人存在较大争议,其主变质期存在不同观点。赵国春等^[8]认为陈蔡岩群自古元古代末至早古生代经历了多期的变质变形作用,古元古代末期的吕梁运动是陈蔡岩群的主变质期;徐步台等^[30]认为其变质作用主要发生在晋宁期,孔祥生等^[4]根据角闪石⁴⁰Ar-³⁹Ar年龄为(844.7±10)Ma解释为主变质期冷却年龄也赞同此观点;叶瑛等^[9]对采自陈蔡岩群的角闪石进行了⁴⁰Ar-³⁹Ar年代学工作,认为陈蔡岩群变质岩形成于加里东期,其所处的变质带为加里东变质带;Li等^[14]和胡艳华等^[15]对陈蔡岩群的年代学研究也表明其峰期变质作用发生在加里东期;Yao等^[31]通过对陈蔡岩群的混合岩和变辉长岩的锆石定年,也认为在加里东期发生变质。总体看来,陈蔡岩群主变质期应为加里东期为大多数学者所认同,晋宁期甚至中元古代末期变质作用的信息^[8,14]也存在。但对于印支期变质事件尚无人提及。

本文黑云斜长片麻岩7个显示印支期年龄的锆石数据点中,5个给出了(220±3) Ma加权平均值,可能代表了其变质年龄,指示了印支期改造事件。这一年龄与侵入其中的中细粒二长花岗岩一致,表明

表1 王公坑陈蔡岩群锆石U-Pb年龄的LA-ICP-MS分析结果
Table 1 LA-ICP-MS zircon dating results of Chencai Group in Wanggongkeng area

分析点号	元素含量/ 10^{-6}		比值	同位素比值				表面年龄/Ma				谐和度/%				
	^{232}Th	^{238}U		$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$^{207}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$					
	1 σ	1 σ		1 σ	1 σ	1 σ	1 σ	1 σ	1 σ	1 σ	1 σ					
11SZ-2-3 黑云斜长片麻岩																
11SZ-2-3-1	7	593	0.01	0.2009	0.0032	4.5290	0.0269	0.1651	0.0025	2833	26	1736	5	985	14	24
11SZ-2-3-2	80	232	0.34	0.1080	0.0004	4.5114	0.0301	0.3027	0.0017	1766	6	1733	6	1705	8	98
11SZ-2-3-3	75	220	0.34	0.1157	0.0003	4.8802	0.0216	0.3060	0.0013	1891	4	1799	4	1721	7	95
11SZ-2-3-4	64	1324	0.05	0.0517	0.0005	0.2540	0.0018	0.0356	0.0003	333	19	230	1	226	2	98
11SZ-2-3-5	83	303	0.27	0.1416	0.0008	4.7012	0.0347	0.2409	0.0018	2247	10	1767	6	1392	9	73
11SZ-2-3-6	59	140	0.42	0.1250	0.0004	5.2077	0.0383	0.3022	0.0020	2029	6	1854	6	1702	10	91
11SZ-2-3-7	168	336	0.50	0.1741	0.0006	5.6773	0.0351	0.2364	0.0012	2598	6	1928	5	1368	6	59
11SZ-2-3-8	41	374	0.11	0.1068	0.0011	3.6683	0.0831	0.2490	0.0058	1746	19	1565	18	1433	30	91
11SZ-2-3-9	20	27	0.77	0.0689	0.0005	1.1902	0.0151	0.1251	0.0012	898	21	796	7	760	7	95
11SZ-2-3-10	49	302	0.16	0.1151	0.0003	4.6123	0.0232	0.2907	0.0013	1881	5	1752	4	1645	7	93
11SZ-2-3-11	32	261	0.12	0.0517	0.0003	0.2458	0.0017	0.0345	0.0002	272	11	223	1	218	1	98
11SZ-2-3-12	119	279	0.43	0.1070	0.0006	4.5896	0.0628	0.3109	0.0042	1750	11	1747	11	1745	21	100
11SZ-2-3-13	56	259	0.22	0.1095	0.0012	4.7959	0.0740	0.3178	0.0054	1792	20	1784	13	1779	27	100
11SZ-2-3-14	19	345	0.05	0.0519	0.0002	0.2461	0.0016	0.0344	0.0002	280	-17	223	1	218	1	98
11SZ-2-3-15	119	268	0.45	0.0590	0.0003	0.3501	0.0038	0.0429	0.0004	569	5	305	3	271	2	87
11SZ-2-3-16	75	143	0.53	0.1070	0.0004	4.8910	0.0387	0.3312	0.0024	1750	12	1801	7	1844	11	98
11SZ-2-3-17	22	43	0.51	0.1156	0.0006	4.7012	0.0515	0.2950	0.0030	1900	10	1767	9	1667	15	94
11SZ-2-3-18	13	576	0.02	0.1268	0.0008	4.2601	0.0305	0.2438	0.0014	2054	10	1686	6	1406	7	80
11SZ-2-3-19	43	745	0.06	0.0528	0.0006	0.2529	0.0029	0.0348	0.0002	320	26	229	2	220	1	96

续表1

分析点号	元素含量/ 10^{-6}		比值		同位素比值				表面年龄/Ma				谱和度/%			
	^{232}Th	^{238}U	Th/U	Th/U	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1σ	1σ		
					1σ	1σ	1σ	1σ	1σ	1σ	1σ	1σ	1σ	1σ		
11SZ-2-3-20	80	722	0.11	0.0515	0.0002	0.2464	0.0016	0.0347	0.0002	261	40	224	1	220	1	98
11SZ-2-3-21	82	227	0.36	0.1139	0.0002	4.0347	0.0226	0.2570	0.0013	1862	4	1641	5	1474	7	89
11SZ-2-3-22	132	115	1.14	0.1061	0.0007	3.5978	0.1222	0.2459	0.0091	1733	12	1549	27	1417	47	91
11SZ-2-3-23	80	73	1.08	0.0675	0.0004	1.0907	0.0081	0.1172	0.0007	854	11	749	4	714	4	95
11SZ-2-3-24	59	427	0.14	0.1353	0.0005	2.8655	0.0334	0.1533	0.0014	2169	6	1373	9	920	8	51
11SZ-2-3-25	27	88	0.31	0.1152	0.0003	4.6652	0.0248	0.2937	0.0014	1884	4	1761	4	1660	7	94
11SZ-2-3-26	21	264	0.08	0.1063	0.0012	4.1165	0.1358	0.2811	0.0096	1739	21	1658	27	1597	49	96
11SZ-2-3-27	90	117	0.77	0.1149	0.0003	4.5532	0.0201	0.2874	0.0012	1880	5	1741	4	1629	6	93
11SZ-2-3-28	278	304	0.91	0.1068	0.0008	4.3457	0.1051	0.2947	0.0063	1746	13	1702	20	1665	31	98
11SZ-2-3-29	71	307	0.23	0.1181	0.0003	4.2156	0.0285	0.2585	0.0013	1929	5	1677	6	1482	7	87
11SZ-2-3-30	83	81	1.03	0.1354	0.0003	6.3905	0.0310	0.3424	0.0015	2169	4	2031	4	1898	7	93
11SZ-2-3-31	394	502	0.79	0.6916	0.1515	7.1195	0.1342	0.1679	0.0114	error		2126	17	1000	63	-13
11SZ-2-3-32	59	144	0.41	0.1176	0.0005	5.0108	0.0494	0.3089	0.0026	1920	8	1821	8	1736	13	95
11SZ-2-3-33	175	242	0.72	0.1264	0.0059	6.3198	0.2858	0.3639	0.0175	2050	82	2021	40	2001	83	99
11SZ-2-3-34	19	29	0.65	0.1171	0.0009	3.8799	0.0660	0.2403	0.0039	1913	15	1610	14	1388	21	84
11SZ-2-3-35	27	251	0.11	0.2416	0.0012	13.5773	0.1381	0.4073	0.0028	3131	8	2721	10	2203	13	76
11SZ-2-3-36	45	196	0.23	0.1132	0.0006	2.4378	0.0401	0.1562	0.0025	1851	9	1254	12	936	14	66
11SZ-2-3-37	72	113	0.64	0.1159	0.0003	4.3010	0.0285	0.2692	0.0018	1894	5	1694	5	1537	9	98
11SZ-2-3-38	51	108	0.47	0.1134	0.0003	4.3761	0.0311	0.2798	0.0017	1855	4	1708	6	1590	9	89
11SZ-2-3-39	479	552	0.87	0.1692	0.0009	5.9759	0.0691	0.2558	0.0023	2550	10	1972	10	1468	12	91

续表1

分析点号	元素含量/ 10^{-6}		比值		同位素比值				表面年龄/Ma				谐和度/%			
	^{232}Th	^{238}U	Th/U	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	1σ	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	1σ	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1σ	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	1σ	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$		1σ		
	11SZ-2-3-40	110	159	0.69	0.0654	0.0003	1.0495	0.0068	0.1164	0.0007	787	11		729	3	710
11SZ-2-3-41	476	278	1.71	0.6067	0.0756	18.1567	0.2468	0.3607	0.0168	4524	182	2998	13	1986	80	49
11SZ-2-3-42	145	197	0.74	0.1173	0.0003	2.9133	0.0245	0.1799	0.0013	1917	-1	1385	6	1066	7	70
11SZ-2-3-43	99	131	0.76	0.1176	0.0006	2.6513	0.0241	0.1636	0.0012	1920	9	1315	7	977	7	65
11SZ-2-3-44	239	118	2.03	0.0929	0.0008	0.4934	0.0054	0.0385	0.0004	1487	15	407	4	244	2	33
11SZ-2-3-45	94	318	0.30	0.1074	0.0003	3.8940	0.2277	0.2628	0.0149	1767	5	1612	47	1504	76	93
11SZ-2-3-46	53	201	0.26	0.1136	0.0003	4.3050	0.0313	0.2749	0.0019	1858	4	1694	6	1566	10	92
11SZ-2-3-47	97	224	0.43	0.1425	0.0005	6.5681	0.0596	0.3341	0.0025	2258	6	2055	8	1858	12	89
11SZ-2-3-48	106	295	0.36	0.1067	0.0014	3.5907	0.0693	0.2448	0.0054	1743	25	1547	15	1411	28	90
11SZ-2-3-49	231	203	1.14	0.0674	0.0002	1.1998	0.0097	0.1293	0.0011	850	7	801	4	784	6	98
11SZ-2-3-50	733	153	4.78	0.1079	0.0003	4.3244	0.1390	0.2907	0.0099	1765	5	1698	27	1645	50	97
11SZ-2-3-51	81	201	0.40	0.1069	0.0007	4.1422	0.2737	0.2808	0.0171	1747	-21	1663	54	1595	86	96
11SZ-2-3-52	35	239	0.15	0.1182	0.0008	3.6584	0.0587	0.2236	0.0029	1929	13	1562	13	1301	15	80
11SZ-2-3-53	43	138	0.31	0.1160	0.0006	4.8928	0.0628	0.3063	0.0041	1895	9	1801	11	1722	20	95
11SZ-2-3-54	130	337	0.39	0.1552	0.0052	5.7715	0.0692	0.2835	0.0072	2406	58	1942	10	1609	36	79
11SZ-2-3-55	290	251	1.16	0.0751	0.0004	1.1907	0.0183	0.1149	0.0017	1072	11	796	8	701	10	86
11SZ-2-3-56	16	197	0.08	0.1065	0.0004	4.1475	0.0638	0.2823	0.0044	1743	-26	1664	13	1603	22	96
11SZ-2-3-57	60	163	0.37	0.1336	0.0006	6.7997	0.0659	0.3694	0.0036	2146	7	2086	9	2027	17	97
11SZ-2-3-58	65	196	0.33	0.1071	0.0003	4.1589	0.0252	0.2816	0.0016	1750	4	1666	5	1599	8	96
11SZ-2-3-59	112	202	0.55	0.1408	0.0010	7.7946	0.1171	0.4020	0.0059	2237	13	2208	14	2178	27	99
11SZ-2-3-60	133	264	0.51	0.1207	0.0008	2.2120	0.0445	0.1331	0.0028	1966	17	1185	14	805	16	53

续表1

分析点号	元素含量/ 10^{-6}		比值		同位素比值				年龄/Ma						
	^{232}Th	^{238}U	Th/U	比值	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	1σ	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1σ	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	1σ	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	1σ	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1σ	
11SZ-3-3 二长花岗岩															
11SZ-3-3-1	12.5	383.0	0.03	0.0511	0.0002	0.2457	0.0020	0.0349	0.0002	256	11	223	2	221	2
11SZ-3-3-2	628.3	751.4	0.84	0.0515	0.0002	0.2485	0.0018	0.0350	0.0002	261	40	225	2	222	1
11SZ-3-3-3	73.1	84.2	0.87	0.0508	0.0006	0.2434	0.0034	0.0348	0.0003	232	23	221	3	221	2
11SZ-3-3-4	439.9	163.2	2.70	0.0522	0.0011	0.2466	0.0063	0.0343	0.0004	295	50	224	5	217	3
11SZ-3-3-5	175.1	119.9	1.46	0.0577	0.0005	0.2739	0.0037	0.0343	0.0002	520	20	246	3	217	2
11SZ-3-3-6	1640.3	591.3	2.77	0.0644	0.0008	0.3111	0.0053	0.0348	0.0002	754	31	275	4	221	2
11SZ-3-3-7	489.0	497.3	0.98	0.0656	0.0095	0.2557	0.0048	0.0351	0.0005	794	307	231	4	223	3
11SZ-3-3-8	363.6	140.9	2.58	0.0526	0.0005	0.2489	0.0028	0.0344	0.0002	309	22	226	2	218	1
11SZ-3-3-9	9.2	313.2	0.03	0.0510	0.0003	0.2447	0.0019	0.0348	0.0002	239	13	222	2	221	1
11SZ-3-3-10	360.4	250.1	1.44	0.0507	0.0003	0.2413	0.0020	0.0346	0.0002	233	13	220	2	219	2
11SZ-3-3-11	1041.1	771.8	1.35	0.0506	0.0002	0.2449	0.0018	0.0352	0.0002	220	7	222	2	223	2
11SZ-3-3-12	245.5	172.2	1.43	0.0578	0.0005	0.2727	0.0036	0.0342	0.0003	524	20	245	3	217	2
11SZ-3-3-13	537.5	282.9	1.90	0.0510	0.0003	0.2413	0.0022	0.0343	0.0003	243	15	220	2	218	2
11SZ-3-3-14	121.6	196.2	0.62	0.0795	0.0012	0.3834	0.0059	0.0351	0.0003	1183	30	330	4	223	2
11SZ-3-3-15	64.8	60.4	1.07	0.0517	0.0013	0.2454	0.0064	0.0345	0.0003	333	57	223	5	219	2
11SZ-3-3-16	843.6	229.6	3.67	0.0517	0.0003	0.2475	0.0020	0.0348	0.0002	333	13	225	2	220	2
11SZ-3-3-17	24.6	932.4	0.03	0.0512	0.0002	0.2472	0.0022	0.0350	0.0003	256	7	224	2	222	2
11SZ-3-3-18	1545.8	475.8	3.25	0.0565	0.0006	0.2696	0.0039	0.0346	0.0004	472	22	242	3	220	2
11SZ-3-3-19	165.1	133.3	1.24	0.0565	0.0005	0.2719	0.0034	0.0349	0.0003	472	23	244	3	221	2
11SZ-3-3-20	21.4	304.1	0.07	0.0505	0.0006	0.2396	0.0042	0.0344	0.0005	217	26	218	3	218	3

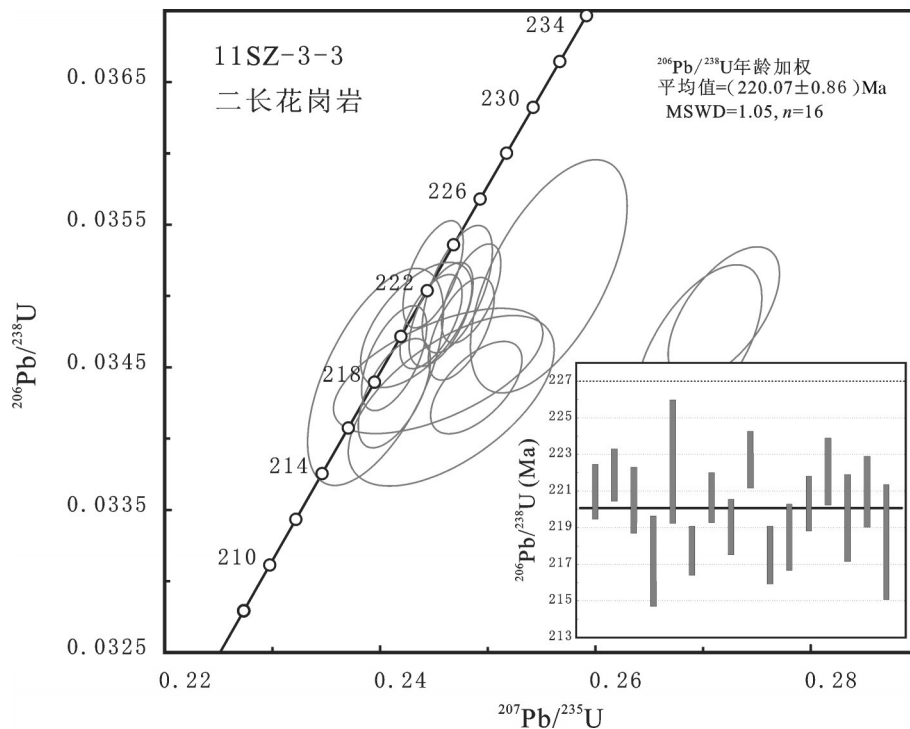


图6 王公坑二长花岗岩锆石U-Pb年龄协和图

Fig.6 Zircon U-Pb concordia diagram for monzonitic granite of Chencai Group in Wanggongkeng area

其受该岩体热事件影响。可见,陈蔡岩群不仅经历了前述如中元古代末期、晋宁期及加里东主变质期,尚经历了印支期变质作用。

5.3 江绍结合带对华南印支期造山运动的响应

华南板块由扬子地块和华夏地块沿江绍结合带碰撞拼合^[11-12,32]。受扬子地块与华北地块以及 Sibumasu 地块与印支—华南地块碰撞的影响,华南地块普遍受到印支期构造热事件的作用。前人对华南广泛发育的印支期岩浆活动进行了大量研究^[33-37],但关于印支期变质作用研究相对薄弱,且主要集中在华南西南部^[38],在江绍结合带报道较少,如陈多福等^[39]对浙江景宁地区鹤溪群斜长角闪岩的变质新生锆石的 SHRIMP U-Pb 定年结果为(252±5) Ma;向华等^[40]对浙江淡竹黑云斜长角闪岩、斜长角闪岩及景宁角闪岩的变质锆石的 SHRIMP U-Pb 定年结果分别为(240±2.8)Ma,(233.8±2.8)Ma,(251.1±1.9)Ma。上述年龄的报道均表明浙江地区经历了较为强烈的印支期变质作用。

前人对于华南印支期花岗岩形成的构造背景进行了较多的研究,一般将其分为前后两期,早期

(250~225 Ma)为形成于挤压环境的同碰撞花岗岩,晚期(225~205 Ma)为伸展环境下碰撞晚期或后碰撞花岗岩^[41-43]。本文获得中细粒二长花岗岩年龄为(220.07±0.86)Ma,应为印支晚期后碰撞或者碰撞晚期的产物。原岩形成于新元古代的黑云斜长片麻岩,经历了(220±3)Ma的变质事件,以及在浙西北江绍结合带中还识别出了一系列印支期逆冲推覆构造^[44],显示江绍结合带在晚三叠世存在强烈的变质变形及岩浆作用,共同响应了华南印支期造山运动。

6 结 论

(1)浙江嵊州王公坑陈蔡岩群黑云斜长片麻岩中获得的大量具有清晰的韵律环带岩浆碎屑锆石,其时代从古元古代到新元古代晚期,获得最小的岩浆碎屑锆石年龄约为790 Ma,代表了本区陈蔡岩群原岩年龄。

(2)陈蔡岩群黑云斜长片麻岩变质年龄为(220±3)Ma,与侵入其中中细粒二长花岗岩年龄(220.1±0.9 Ma)一致,表明江绍结合带北东段经历了印支期构造热事件,响应了华南印支造山运动。

致谢:中国地质科学院矿产资源研究所侯可军在年龄测试方面给予了帮助,张彦杰、廖圣兵、褚平利、曾剑威、黄文成等一起参与了野外工作,在此一并表示诚挚谢意!

参考文献(References):

- [1] 浙江省地质矿产局. 浙江省岩石地层[M]. 武汉:中国地质大学出版社, 1996: 14-17.
Zhejiang Geology and Mineral Exporation Bureau. Stratgraphy lithostrata of Zhejiang Province[M]. Wuhan, China university of Geosciences Press, 1996: 14-17 (in Chinese).
- [2] 陈迪云, 徐伟昌. 浙江陈蔡群变质岩变质条件及构造环境的地球化学探讨[J]. 矿物岩石, 1993, 13(2): 29-36.
Chen Diyun, Xu Weichang. The geochemical study of metamorphic conditions and tectonic settings for metamorphic rocks of Chencai Group Zhejiang, China [J]. Journal of Mineralogy and Petrology, 1993, 13(2):29- 36 (in Chinese with English abstract).
- [3] 陈迪云, 凌洪飞. 陈蔡群斜长角闪岩的地球化学特征及成因分析[J]. 浙江地质, 1994, 10(1): 30-37.
Chen Diyun, Ling Hongfei. The geochemical characteristics and Genesis of Chencai Group amphibolite [J]. Geology of Zhejiang. 1994, 10(1): 30-37(in Chinese with English abstract).
- [4] 孔祥生, 包超民, 顾明光. 浙江诸暨地区陈蔡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.
Kong Xiangsheng, Bao Chaomin, Gu Mingguang. Discussion for main geological features and tectonic evolution of Chencai group in Zhuji district, Zhejiang Province. Geology of Zhejiang [J]. 1994, 10, 15-29 (in Chinese with English abstract).
- [5] 孔祥生, 李志飞, 冯长根, 等. 浙江陈蔡地区前寒武纪地质[M]. 北京:地质出版社, 1995: 1-119.
Kong Xiangsheng, Li Zhifei, Feng Changgen, et al. The Precambrian Geology of Chencai Area in Zhejiang Province[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1995, 1-119 (in Chinese).
- [6] 李福佩, 董传万, 沈忠悦, 等. 浙北诸暨陈蔡地区韧性剪切带的研究[J]. 浙江大学学报(自然科学版), 1991, 25(6): 644-650.
Li Fupei, Dong Chuanwan, Shen Zhongyue. Research of the dutile shear zone of Chencai area in north Zhejiang[J].Journal of Zhejiang University(Engineering Science), 1991, (6): 644-650(in Chinese with English abstract).
- [7] 赵国春, 孙德有. 浙西南陈蔡群变质阶段划分及变质作用P—T—D轨迹研究[J]. 长春地质学院学报, 1994, 24(3): 246-253.
Zhao Guochun, Sun Deyou. The study on metamorphic stages and metamorphic PTD path of Chencai Group, Southwestern Zhejiang Province [J]. Journal of Changchun University of Earth Sciences.1994, 24(3): 246-253 (in Chinese with English abstract).
- [8] 赵国春, 孙德有, 贺同兴. 陈蔡群构造变形特征及变形时代讨论[J]. 浙江地质, 1994, 10(1): 38-46.
Zhao Guochun, Sun Deyou, He Tongxing. Discussion on characteristics of structural deformations and the ages of deformations about Chencai group [J]. Geology of Zhejiang. 1994, 10(1): 38-46 (in Chinese with English abstract).
- [9] 叶瑛, 兰玉琦, 陈彦绍, 等. 浙江省陈蔡群的⁴⁰Ar—³⁹Ar年龄与变质年代[J]. 岩石学报, 1994, 10(2): 193-201.
Ye Ying, Lan Yuqi, Chen Yanshao, et al. ⁴⁰Ar—³⁹Ar chronology and metamorphic age of Chencai Group, Zhejiang Province, China [J]. Acta Petrologica Sinica. 1994, 10(2), 193-201(in Chinese with English abstract).
- [10] 陈绍海, 周新华, 李继亮, 等. 浙江陈蔡群斜长角闪岩的地球化学特征及其大地构造背景探讨[J]. 地质科学, 1999, 34(2): 154-165.
Chen Shaohai, Zhou Xinhua, Li Jiliang, et al. Geochemistry of the amphibolites from Chencai Group, Zhejiang Province: Implicantions for the tectonic setting [J]. Chinese Journal of Geology, 1999, 34(2): 154- 165 (in Chinese with English abstract).
- [11] 水涛, 徐步台, 梁如华, 等. 绍兴—江山古陆对接带[J]. 科学通报, 1986, 31(6): 444-448.
Shui Tao, Xu Butai, Liang Ruhua, et al. The Shaoxing—Jiangshan pangea opposite zone [J]. Chinese Science Bulletin, 1986, 31(6): 444-448 (in Chinese).
- [12] 水涛. 中国东南大陆基底构造格局[J]. 中国科学(B辑), 1987, (4): 414-422.
Shui Tao. Tectonic framework of basement in Southeast China continental area [J]. Science in China (Series B), 1987, (4): 414-422 (in Chinese).
- [13] 舒良树. 华南前泥盆纪构造演化: 从华夏地块到加里东期造山带[J]. 高校地质学报, 2006, 12(4): 418-431.
Shu Liangshu. Predevonian tectonic evolution of South China: from Cathaysian Block to Caledonian period folded orogenic belt [J]. Geological Journal of China Universities, 2006, 12(4), 418-431 (in Chinese with English abstract).
- [14] Li Z X, Li X H, Wartho J A, et al. Magmatic and metamorphic events during the early Paleozoic Wuyi—Yunkai orogeny, southeastern South China: New age constraints and pressure-temperature conditions[J]. Geological Society of America Bulletin, 2010, 122(5-6): 772-793.
- [15] 胡艳华, 顾明光, 徐岩, 等. 浙江诸暨地区陈蔡群加里东期变质年龄的确认及其地质意义[J]. 地质通报, 2011, 30(11): 1661-1670.
Hu Yanhua, Gu Mingguang, Xu Yan, et al. The confirmation of the age of Caledonian Chencai Group in Zhuji area of Zhejiang Province and its geological significance. Geological Bulletin of China [J]. Geological Bulletin of China, 2011, 30(11), 1661-1670 (in Chinese with English abstract).
- [16] Nasdala L, Hofmeister W, Norberg N, et al. Zircon M257: A homogeneous natural reference material for the ion microprobe

- U–Pb analysis of zircon[J]. *Geostandards and Geoanalytical Research*, 2008, 32: 247–265.
- [17] Liu Y S, Hu Z C, Gao S, et al. In situ analysis of major and trace elements of anhydrous minerals by LA–ICP–MS without applying an internal standard[J]. *Chemical Geology*, 2008, 257(1/2): 34–43.
- [18] Liu Y S, Gao S, Hu Z C, et al. Continental and oceanic crust recycling–induced melt–peridotite interactions in the Trans–North China Orogen: U–Pb dating, Hf isotopes and trace elements in zircons of mantle xenoliths[J]. *Journal of Petrology*, 2010, 51(1–2): 537–571.
- [19] 侯可军, 李延河, 田有荣. LA–MC–ICP–MS 锆石微区原位 U–Pb 定年技术[J]. *矿床地质*, 2009, 28(4): 481–492.
Hou Kejun, Li Yanhe, Tian Yourong. In situ U–Pb zircon dating using laser ablation–multi ion counting–ICP–MS [J]. *Mineral Deposits*, 2009, 28(4): 481–492 (in Chinese with English abstract).
- [20] 耿元生, 王新社, 沈其韩, 等. 内蒙古阿拉善地区前寒武纪变质岩系形成时代的初步研究[J]. *中国地质*, 2007, 34(2): 251–261.
Geng Yuansheng, Wang Xinshe, Shen Qihan, et al. Chronology of the Precambrian metamorphic series in the Alxa area, Inner Mongolia[J]. *Geology in China*, 2007, 34(2): 251–261 (in Chinese with English abstract).
- [21] 李春海, 邢光福, 姜耀辉, 等. 浙江平水铜矿含硫化物石英脉锆石 U–Pb 定年及其地质意义[J]. *中国地质*, 2010, 37(2): 477–487.
Li Chunhai, Xing Guangfu, Jiang Yaohui, et al. LA–ICP–MS U–Pb dating of zircons from sulfide–bearing quartz veins in the Pingshui copper deposit, Zhejiang Province, and its geological implications[J]. *Geology in China*, 2010, 37(2): 477–487 (in Chinese with English abstract).
- [22] 吴元保, 郑永飞. 锆石成因矿物学研究及其对 U–Pb 年龄解释的制约[J]. *科学通报*, 2004, 49(16): 1589–1604.
Wu Yuanbao, Zheng Yongfei. The minerageny of zircons and it restricts explaining U–Pb age [J]. *Chinese Science Bulletin*, 2004, 49(16): 1589–1604 (in Chinese).
- [23] 林彦嵩, 张泽明, 贺振宇, 等. 中天山北缘华力西期造山作用——变质岩锆石 U–Pb 年代学限定[J]. *中国地质*, 2011, 38(4): 820–828.
Lin Yanhao, Zhang Zeming, He Zhenyu, et al. Variscan orogeny of Central Tianshan Mountains: Constrains from zircon U–Pb chronology of high–grade metamorphic rocks[J]. *Geology in China*, 2011, 38(4): 820–828 (in Chinese with English abstract).
- [24] 高林志, 丁孝忠, 刘燕学, 等. 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[J]. *地质通报*, 2014, 33(5): 641–648.
Gao Linzhi, Ding Xiaozhong, Liu Yanxue, et al. SHRIMP zircon U–Pb dating of Neoproterozoic Chencai Complex in Jiangshan–Shaoxing fault zone and its implication [J]. *Geological Bulletin of China*, 2014, 33(5): 641–648 (in Chinese with English abstract).
- [25] 李献华, 李武显, 何斌. 华南陆块的形成与 Rodinia 超大陆聚合–裂解——观察、解释与检验[J]. *矿物岩石地球化学通报*, 2012, 31(6): 543–559.
Li Xianhua, Li Wuxian, He Bin. Building of the South China Block and its relevance to assembly and breakup of Rodinia supercontinent: Observations, interpretations and tests [J]. *Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry*, 2012, 31(6): 543–559 (in Chinese with English abstract).
- [26] Mao J R, Ye H M, Liu K, et al. The Indosinian collision–extension event between the South China Block and the Palaeo–Pacific plate: Evidence from Indosinian alkaline granitic rocks in Dashuang, eastern Zhejiang, South China[J]. *Lithos*, 2013, 172–173: 81–97.
- [27] 徐岩, 胡艳华, 顾明光, 等. 浙江东南印支晚期的构造伸展事件: 来自诸暨大爽岩体的证据[J]. *岩石学报*, 2013, 29(9): 3131–3141.
Xu Yan, Hu Yanhua, Gu Mingguang, et al. The tectonic extensional event during the Late Indosinian Period in the southeastern Zhejiang Province: Evidence from the Dashuang pluton in Zhuji County [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2013, 29(9): 3131–3141 (in Chinese with English abstract).
- [28] Sun Y, Ma C Q, Liu Y Y. Geochronological and geochemical constraints on the petrogenesis of late Triassic aluminous A–type granites in southeast China[J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 2011, 42: 1117–1131.
- [29] 李万友, 马昌前, 刘园园, 等. 浙江印支期铝质 A 型花岗岩的发现及其地质意义[J]. *中国科学: 地球科学*, 2012, 42(2): 164–177.
Li Wanyou, Ma Changqian, Liu Yuanyuan, et al. Discovery of the Indosinian aluminum A–type granite in Zhejiang Province and its geological significance [J]. *Science in China (Series D)*, 2012, 42(2), 164–177 (in Chinese).
- [30] 徐步台. 浙东南古基地的变质岩的同位素地质年代问题[J]. *地质论评*, 1987, 33(5): 468–474.
Xu Butai. Isotopic geochronology of Paleo–basement metamorphic rocks in southeastern Zhejiang Province[J]. *Geological Review*, 1987, 33(5): 468–474 (in Chinese with English abstract).
- [31] Yao J L, Shu L S, Santosh M., Palaeozoic metamorphism of the Neoproterozoic basement in NE Cathaysia: Zircon U–Pb ages, Hf isotope and whole rock geochemistry from the Chencai Group [J]. *Journal of the Geological Society*, 2013.
- [32] 周新民, 朱云鹤. 江绍断裂带的岩浆混合作用及其两侧的前寒武纪地质[J]. *中国科学(B辑)*, 1992, 22(3): 296–303.
Zhou Xinmin, Zhu Yunhe. Magmatic mixing of Jiangshan–Shaoxing fracture belt and related Precambrian geology [J].

- Science in China (Series B), 1992, 22(3): 298–303(in Chinese).
- [33] 王岳军, 范蔚茗, 梁新权, 等. 湖南印支期花岗岩 SHRIMP 锆石 U–Pb 年龄及其成因启示[J]. 科学通报, 2005, 50(12): 1259–1266.
- Wang Yuejun, Fan Weimin, Liang Xingquan, et al. SHRIMP zircon U–Pb geochronology of Indosinian granites in Hunan Province and its petrogenetic implications[J]. Chinese Science Bulletin. 2005, 50: 1259–1266 (in Chinese).
- [34] Liang X Q, Li X H. Late Permian to Middle Triassic sedimentary records in Shiwandashan basin: implication for the Indosinian Yunkai orogenic belt, South China [J]. Sedimentary Geology. 177: 297–320.
- [35] 陈卫锋, 陈培荣, 黄宏业, 等. 湖南白马山岩体花岗岩及其包体的年代学和地球化学研究[J]. 中国科学(D辑), 2007, 37(7): 873–893.
- Chen Weifeng., Chen Peirong., Huang, Hongye, et al. Chronological and geochemical studies of granite and enclave in Baimashan pluton, Hunan, South China.[J] Science in China (Series D), 2007, 37(7): 873–893(in Chinese).
- [36] Mao J R, Takahashi Y, Kee W S, et al. Characteristics and geodynamic evolution of Indosinian magmatism in South China: A case study of the Guikeng pluton [J]. Lithos, 2011, 127: 535–551.
- [37] 柏道远, 陈必河, 钟响, 等. 湘西南印支期五团岩体锆石 SHRIMP U–Pb 年龄、地球化学特征及形成背景[J]. 中国地质, 2014, 41(6): 2002–2018.
- Bai Daoyuan, Chen Bihe, Zhong Xiang, et al. Zircon SHRIMP U–Pb age, geochemistry and tectonic setting of Indosinian Wutuan pluton in southwestern Hunan Province[J]. Geology in China, 2014, 41(6): 2002–2018(in Chinese with English abstract).
- [38] 于津海, 王丽娟, 魏震洋, 等. 华夏地块显生宙的变质作用期次和特征[J]. 高校地质学报, 2007, 13(3): 474–483.
- Yu Jinhai, Wang Lijuan, Wei Zhenyang, et al. Phanerozoic metamorphic episodes and characteristics of Cathaysia Block [J]. Geological Journal of China Universities.2007, 13(3): 474–483 (in Chinese with English abstract).
- [39] 陈多福, 李献华, 潘晶铭, 等. 浙江景宁鹤溪群斜长角闪岩变质新生锆石特征、离子探针 (SHRIMP)U–Pb 年龄及地质意义[J]. 矿物学报, 1998, (4): 396–400.
- Chen Duofu, Li Xianhua, Pan Jingmin, et al. SHRIMP ion microprobe U–Pb age of amphibolite of Hexi Group, Zhejiang and its implication [J]. Acta Mineralogica Sinica. 1998, (4): 396–400 (in Chinese with English abstract).
- [40] 向华, 张利, 周汉文, 等. 浙西南变质基底基性–超基性变质岩锆石 U–Pb 年龄、Hf 同位素研究: 华夏地块变质基底对华南印支期造山的响应[J]. 中国科学(D辑), 2008, 38: 401–413.
- Xiang Hua, Zhang Li, Zhou Hanwen, et al. U–Pb zircon geochronology and Hf isotope study of metamorphosed basic–ultrabasic rocks from metamorphic basement in southwestern Zhejiang: The response of the Cathaysia Block to Indosinian orogenic event [J]. Science in China (Series D), 2008, 38: 401–413 (in Chinese).
- [41] Zhou X M, Sun T, Shen W Z, et al. Petrogenesis of Mesozoic granitoids and volcanic rocks in South China: A response to tectonic evolution [J]. Episodes, 2006, 29: 26–33.
- [42] Wang Y J, Fan W M, Sun M, et al. Geochronological, geochemical and geothermal constraints on petrogenesis of the Indosinian peraluminous granites in the South China Block: A case study in the Hunan Province[J]. Lithos, 2007, 96: 475–502.
- [43] 于津海, O’Reilly Y S, 王丽娟, 等. 华夏地块古老物质的发现和前寒武纪地壳的形成[J]. 科学通报, 2007, 52: 11–18.
- Yu Jinhai, O’Reilly S Y, Wang Lijuan, et al. Finding of ancient materials in Cathaysia and implication for the formation of Precambrian crust[J]. Chinese Science Bulletin, 2007, 52(1): 13–22 (in Chinese).
- [44] Xiao W J, He H Q. Early Mesozoic thrust tectonics of the northwest Zhejiang region (Southeast China) [J]. GSA Bull, 2005, 117(7–8): 945–961.