

doi:10.3969/j.issn.2097-0013.2024.02.006

海南岛抱板岩群的形成时代及其大地构造意义

龙文国^{1,2}, 王 晶¹, 谭满堂^{1,2}, 田 洋^{1,2}, 金 巍^{1,2}, 杨 博¹, 童喜润^{1,2}, 周进波³

LONG Wen-Guo^{1,2}, WANG Jing¹, TAN Man-Tang^{1,2}, TIAN Yang^{1,2}, JIN Wei^{1,2}, YANG Bo¹,
TONG Xi-Run^{1,2}, ZHOU Jin-Bo³

1. 中国地质调查局武汉地质调查中心(中南地质科技创新中心), 湖北 武汉 430205; 2. 中国地质调查局花岗岩成岩成矿地质研究中心, 湖北 武汉 430205; 3. 海南省地质调查院, 海南 海口 570206

1. Wuhan Center, China Geological Survey (Geosciences Innovation Center of Central South China), Wuhan 430205, Hubei, China;

2. Research Center for Petrogenesis and Mineralization of Granitoid Rocks, China Geological Survey, Wuhan 430205, Hubei, China;

3. Hainan Geological Survey, Haikou 570206, Hainan, China

摘要:抱板岩群(原称抱板群)是目前海南岛发现的最古老的前寒武纪结晶基底,经历了多期构造热事件的改造,是研究海南(海南岛)地块大地构造属性及块体划分的重要载体。在总结前人已有研究成果的基础上,本文对海南岛东方市抱板地区抱板岩群混合岩及后期侵入的花岗岩、基性岩开展了 SHRIMP 和 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年代学研究,厘定了抱板杂岩的形成时代、经历的构造热事件,并探讨其所代表的大地构造意义。根据岩石组合特征,本文将抱板岩群进一步划分为戈枕村岩组和峨文岭岩组,二者均被晚期花岗质和基性岩浆侵入,它们一起构成了抱板杂岩。锆石年代学结果表明:戈枕村岩组形成时代应介于 1480 ~ 1440 Ma 之间,峨文岭岩组形成时代介于 1460 ~ 1430 Ma 之间,片麻状花岗岩侵入时代为 1450 ~ 1430 Ma,基性岩侵入时代为 1425 ~ 1410 Ma。抱板岩群在中元古代早中期经历了花岗岩侵入、混合岩化作用、基性岩侵入等多期构造热事件的改造,中元古代晚期-新元古代早期经历了与罗迪尼亚超大陆汇聚有关的构造热事件。区域上块体对比分析表明,海南地块与越南昆嵩地块具有相似的前寒武纪结晶基底组成及多期构造热事件记录,显示二者具有亲缘关系。

关键词:抱板岩群;中元古代;前寒武纪;结晶基底;锆石;海南地块

中图分类号:P56

文献标识码:A

文章编号:2097-0013(2024)02-0270-16

Long W G, Wang J, Tan M T, Tian Y, Jin W, Yang B, Tong X R and Zhou J B. 2024. The Formation Age of Baoban Group in Hainan Island and its Tectonic Significance. *South China Geology*, 40(2): 270–285.

Abstract: The Baoban Group is the oldest Precambrian crystalline basement discovered on Hainan Island to date, having undergone multiple tectonothermal events, making it an important carrier for studying the geotectonic attributes and block division of the Hainan (Hainan Island) Block. On the basis of summarizing the previous research results, this paper conducts a new study on the zircon U-Pb geochronology through SHRIMP and LA-ICP-MS of migmatite and later intrusive granites and mafic rocks in the Baoban Group in the Baoban area of Dongfang city, Hainan Island to determine the formation age of the Baoban complex, the tectonothermal

收稿日期:2024-04-02;修回日期:2024-04-29

基金项目:中国地质调查局地质调查项目(DD20230226, DD12120113066400, DD20160031, DD20240065, DD20243446)

第一作者:龙文国(1967—),男,研究员,从事区域地质与矿产地质调查与研究, E-mail: longwg21cn@126.com

mal events it has undergone, and its tectonic significance. According to the characteristics of rock combinations, the Baoban Group can be further divided into the Gezhecun Formation and the Ewenling Formation, both of which are intruded by later granitic and basic magmas and together constitute the Baoban complex. Zircon geochronology results indicate that the Gezhecun Formation was formed between 1480 ~ 1440 Ma, the Ewenling Formation was formed between 1460 ~ 1430 Ma, the gneissic granite intrusion occurred between 1450 ~ 1430 Ma, and the mafic intruded later between 1425 ~ 1410 Ma. During the early to middle Mesoproterozoic, it underwent multiple tectono-thermal events including granite intrusion, migmatite, and mafic rock intrusion, while in the late Mesoproterozoic to early Neoproterozoic, it experienced tectono-thermal events related to the convergence on the Rodinia supercontinent. Regional block comparison analysis shows that the Hainan Block shares a similar Precambrian crystalline basement composition and multiple tectono-thermal event records with the Kontum Block of Vietnam, indicating an obvious affinity between them.

Key words: Baoban Group; Proterozoic; Precambrian; crystal basement; zircon; Hainan block

海南地块的范围包括海南岛及周缘陆架海域(龙文国等,2023a)。抱板岩群(原称抱板群)是海南岛已知最古老的前寒武纪结晶基底,其经历了多期构造热事件的改造,是研究海南(海南岛)地块大地构造属性及块体划分的重要载体。长期以来,海南岛多被认为是华夏地块向西南的延伸部分,是华夏古陆的一部分(广东省地质矿产局,1988;Jahn et al., 1990;张仁杰等,1991;侯威等,1992;梁新权,1995;张业明等,1997;许德如等,2000,2001;Li Z X et al., 2002, 2008; Zhou Y et al., 2015; Yao W H et al., 2017),而另一些学者则持否定态度(马大铨等,1998;Xu Y J et al., 2020;刘晓春等,2022)。实际上,海南岛(海南地块)前寒武纪基底组成与形成时代与华夏地块前寒武纪基底组成与形成时代截然不同,海南岛标志性的中元古代岩浆事件(约1450~1430 Ma)在华夏地块未见,而华夏地块古元古代晚期(1970~1770 Ma)的火成岩和变质岩(八都群)、新元古代火成岩以及沉积岩等基底岩石在海南岛也是缺失的(Zhao G C and Cawood,2012),因此海南地块与华夏地块在中元古代可能没有亲缘性。最近部分学者推断海南岛在中元古代晚期-新元古代时可能与扬子地块相连,而并不与华夏地块相连(Cawood et al,2020;Liu H C et al,2020;Zhang L M et al., 2020)。

前人对原“抱板群”主要集中在岩石组合特征、岩性及层序等方面的研究上,长期以来人们对其岩石组合特征、原岩性质、形成时代等方面的认识不一(王赐银等,1979;夏邦栋和任震鹏,1979;任纪

舜,1983;广东省地质矿产局,1988;单惠珍,1990;叶伯丹和朱家平,1990;张仁杰等,1991;俞受鋆等,1992;侯威等,1992;梁新权,1995;马大铨等,1997,1998;张业明等,1997;许德如等,2000,2001;龙文国等,2001, 2002, 2005a;徐德明等,2006,2008),分歧主要集中在:(1)晚期侵入“抱板群”中的片麻状花岗岩或片麻状花岗质岩石究竟是侵入岩还是混合岩;(2)片麻状花岗岩与混合岩化片麻岩的本质区别;(3)“抱板群”中斜长角闪岩的原岩性质及形成时代。

近年来,部分学者于海南岛西部原“抱板群”中的片麻状花岗岩、变质基性岩及变质沉积岩中获得了高精度的锆石 U-Pb 年龄(Li Z X et al., 2002, 2008;许德如等,2006;龙文国等,2007;Yao W H et al.,2017;张立敏等,2017;李宝龙等,2018;Zhang L M et al., 2018, 2019; Xu Y J et al., 2020;陈龙耀等,2024),但混合岩的原岩及混合岩化事件的研究仍较薄弱。本文在总结前人已有的研究成果基础上,结合本次新获得的锆石年代学数据,对抱板岩群的岩石组合及形成时代进行了重新厘定,进而探讨抱板岩群形成演化过程中经历的构造热事件及其所代表的构造含义,为海南岛前寒武纪大地构造属性提供约束。

1 区域地质背景

海南地块长期以来被大多数学者认为由两个

地块于古生代拼合而成(郭令智等,1980;王鸿祯,1982;杨树锋等,1989;Hsü K J et al.,1990;汪啸风等,1992;Metcalf et al.,1993;Chen H H et al.,1992;陈海泓等,1994;海南省地质矿产局,1997;李献华等,2000a,2000b;Li X H et al.,2002;龙文国等,2022a,2023a),而刘晓春等(2022)则将海南岛视作一个地体。二分方案中是以东西向的九所-陵水断裂或昌江-琼海构造带(郭令智等,1980;杨树锋等,1989;Hsü et al.,1990;汪啸风等,1992;海南省地质矿产局,1997;李献华等,2000a,2000b;Li X H et al.,2002)还是以北东向白沙或戈枕构造带(王鸿祯,1982;Hsü K J et al.,1990;Metcalf et al.,1993;Chen H H et al.,1992;陈海泓等,1994;龙文国等,2022a,2023a)为界进行构造单元划分莫衷一是。近年来越来越多的研究成果显示,北东向乐东-定安断裂[与Metcalf et al.(1993)所指白沙断裂位置大致相同,具体位置有调整与细化]两侧前寒武纪基底组成、早古生代地层的沉积特征与古生物组合等方面具有明显的差异,加之海南岛早古生代构造形迹主体呈北东向,可以以此断裂为界将海南岛划分为两个构造单元,即南东侧的琼东南地块与北西侧的琼西北地块(王鸿祯,1982;Metcalf et al.,1993;龙文国等,2022a,2023a),二者于志留纪-泥盆纪拼合成海南地块(龙文国等,2023a)。

琼西北地块出露的前寒武纪地质体主要分布于海南岛西部抱板、大蟹岭、冲卒岭、石碌等地区(图1),包括抱板岩群、石碌群和石灰顶组(中科院华南富铁矿科学研究队,1986;张仁杰等,1991;汪啸风等,1992;张业明等,1997;马大铨等,1997,1998;龙文国等,2002,2005a;海南省地质调查院,2017)。抱板岩群(原称抱板群)形成于中元古代,主要岩性为一套经历了角闪岩相变质的岩浆岩和沉积岩,部分岩石遭受了混合岩化作用的改造(马大铨等,1997,1998),石碌群形成于青白口纪(张仁杰等,1991;汪啸风等,1992),二者呈断层接触,而与上覆震旦纪石灰顶组呈不整合接触(张仁杰等,1991;汪啸风等,1992;海南省地质矿产局,1997;Li Z X et al.,2002,2008;Yao W H et al.,2017;Zhang L M et al.,2019)。下古生界出露零星,上古

生界相对发育,均由海相砂岩、板岩、砂质板岩、灰岩组成(海南省地质矿产局,1997)。琼东南地块上具精确年代学依据的前寒武纪地质体出露稀少,屯昌黄竹岭地区(汪啸风等,1992;海南省地质矿产局,1997;马大铨等,1997,1998;龙文国等,2002,2005a;丁式江等,2005;海南省地质调查院,2017)及琼中上安地区(马大铨等,1997,1998;张业明等,1997;徐德明等,2006,2008)原划归前寒武纪的地质体,近年来的研究成果显示其均为显生宙地质体(Li X H et al.,2006;陈新跃等,2011;龙文国等,2022b,2023b)。刘晓春等(2022)于琼北文昌木兰头一带发现了少量残留的前寒武纪地质体,并认为其与琼西抱板群可对比,但笔者认为其变质沉积岩(样品MLT15-1)最大沉积时代为古元古代,与琼西抱板群变质沉积岩最大沉积时代为中元古代(Yao W H et al.,2017;Zhang L M et al.,2019)明显有差别。下古生界相对发育,为一套滨浅海相沉积,其岩石组合与沉积特征与琼西北地块上出露的同时代深水相沉积明显不同(龙文国等,2022a)。上古生界出露面积较小,其沉积特征与岩石组合特征与琼西北地块上出露的同时代地层大致相同,均为滨浅海相沉积。海南岛中生代地层处于同一大地构造背景下,多分布于断陷盆地中,为巨厚的陆相红色粗碎屑岩夹泥页岩、火山岩。新生界古近系-第四系出露或隐伏分布于琼北广大地区,琼南沿海地区则为隐伏分布,为粗碎屑岩系夹粉砂泥页岩,夹多层玄武岩。

海南岛岩浆岩分布广泛,以酸性和中酸性岩为主(图1)。中元古代片麻状花岗岩侵入抱板岩群中,加里东期岩浆岩主要为见于屯昌黄竹岭地区的S型花岗岩(丁式江等,2005;龙文国等,2022a)和中酸性火山岩(丁式江等,2002;龙文国等,2005b,2023b)。海西-印支期岩浆作用非常强烈,呈面状分布于全岛,其形成与古特提斯洋的演化密切相关,为与俯冲、碰撞和后碰撞相关的系列岩浆岩(海南省地质调查院,2017)。燕山期岩浆活动也较发育,早燕山期侵入岩较少,主要发育晚燕山期岩浆岩(海南省地质调查院,2017)。新生代岩浆活动以基性火山岩喷发为特征,广布于琼北地区,形成于大陆拉张构造背景。

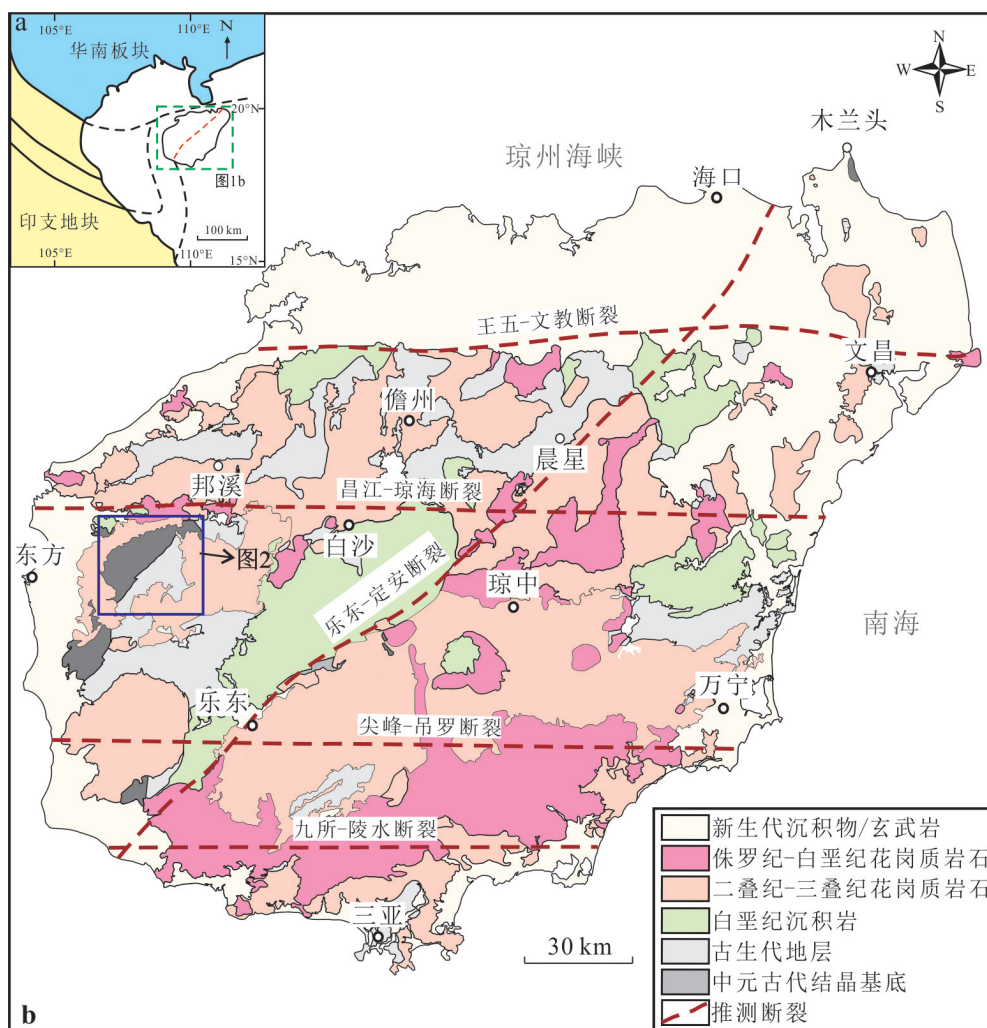


图1 海南岛地质简图

Fig. 1 Simplified geological map of the Hainan Island

据海南岛1:50万地质图(海南省地质调查院, 2017)简化

2 样品特征与测试方法

2.1 样品特征

本次对东方市抱板地区抱板岩群中混合岩及后期侵入的片麻状斑状花岗岩、变质基性侵入岩进行了锆石年代学研究(图2)。混合岩样品0528、0635、0714-1分别采自戈枕村-红泉农场一带(图2、图3a、3b、3c),岩性均为条带状混合片麻岩,基体(约占60%)和脉体(约占40%)相间分布(脉宽多5 mm~5 cm不等)呈现出条带状与片麻状构造,不同地段岩石中脉体的含量存在变化。基体矿物成分主要为斜长石(约40%)、钾长石(约10%)、石英

(约38%)、黑云母及角闪石(合计约12%),黑云母及角闪石定向排列,局部含量可高达30%。脉体与基体矿物组分相似,与基体相比脉体中暗色矿物明显减少,矿物粒径稍增大,石英为他形,波状消光明显,含量有所增加,而长石仍以斜长石为主,石英常与长石分别集中构成条带。片麻状斑状花岗岩样品HN1413采自东方二甲村附近(图2、图3d),岩石中发育片麻状、斑状构造,矿物成分主要为斜长石(约36%)、钾长石(约32%)、石英(约28%)、少量云母(约4%)。变质基性侵入岩样品0714-5(图2、图3c)采自东方戈枕村附近,其晚期侵入混合片麻岩中(图3c),岩性为斜长角闪岩,矿物成分主要为斜长石(约55%)、角闪石(约40%)、钾长石及少量石英。

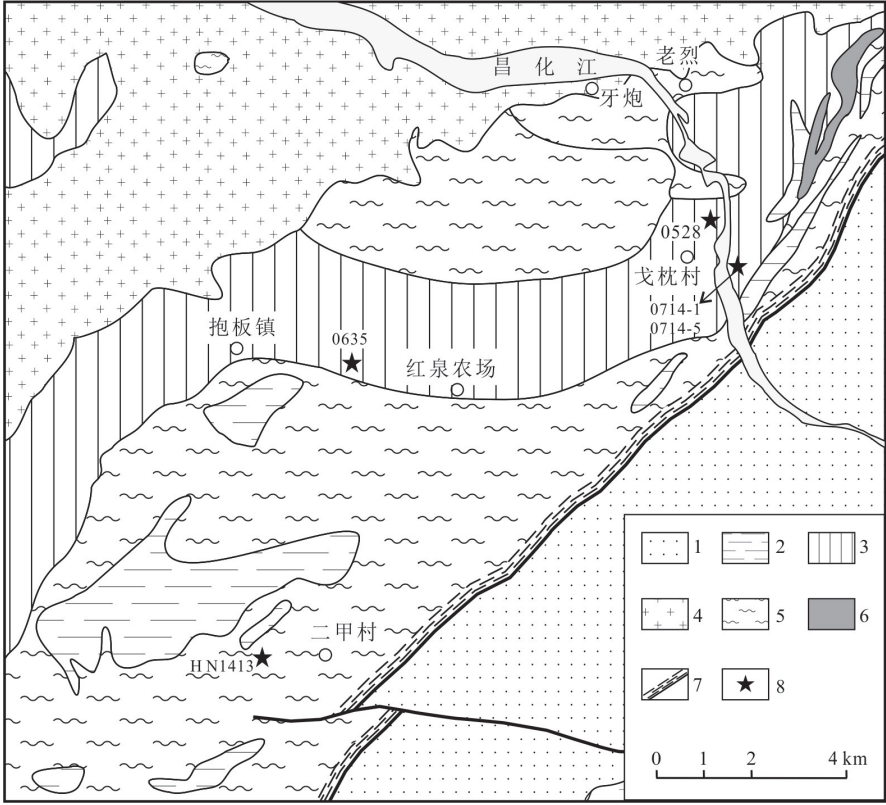


图2 东方市抱板地区地质简图

Fig. 2 Simplified geological map of the Baoban area, Dongfang City

1. 古生代地层; 2. 中元古代峨文岭岩组; 3. 中元古代戈枕村岩组; 4. 印支期花岗岩; 5. 中元古代花岗岩; 6. 中元古代基性侵入岩;
7. 断裂带; 8. 采样位置

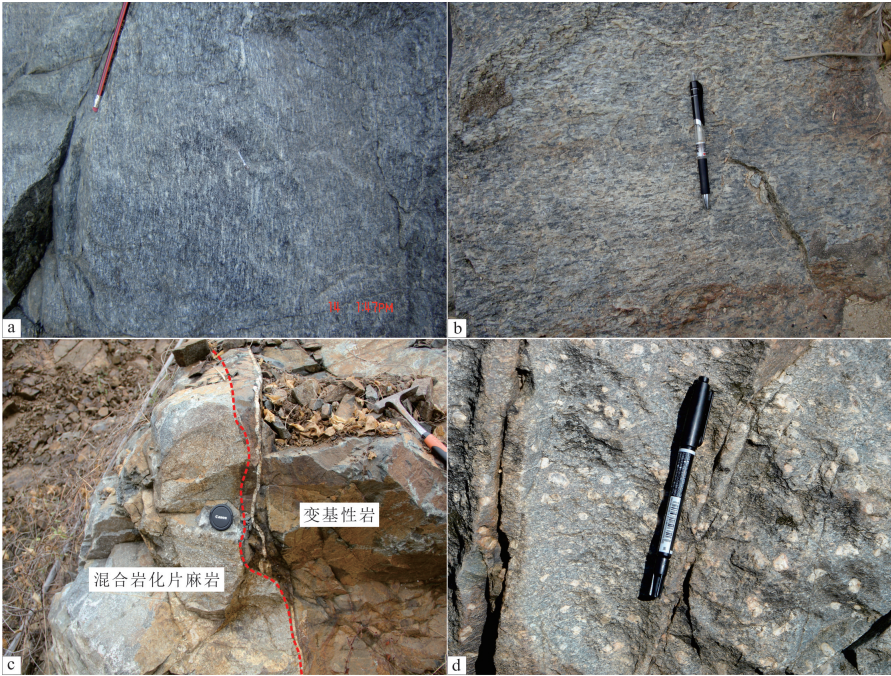


图3 抱板岩群及侵入岩野外露头特征

Fig. 3 Field outcrop and characteristics of the Baoban Group and later intrusive rocks

a: 样品 0528 采样处; b: 样品 0635 采样处; c: 样品 0714-1 和 0714-5 采样处; d: 样品 HN1413 采样处

2.2 测试方法

样品的锆石分选均在河北省廊坊市诚信地质服务公司完成。选取新鲜样品,去除风化面和表面污物,剔除非同期包裹体,而后进行机械破碎,锆石经手工淘洗、强磁选、电磁选、重液分选和双目镜下手工挑选程序。

样品 0528、0635 中锆石 U-Pb 定年测试分析在北京离子探针中心 SHRIMP II 上完成,未知样品 U 含量标定和年龄校正的测定原理和方法见 Williams (1998)。一次离子流强度 3~4 nA,一次离子流束斑为 25~30 μm 。每个数据点测定由 5 次扫描构成。标样为 SL13 (U 含量为 238×10^{-6}) 和 TEM (年龄为 417 Ma) (Williams, 1998; Black et al., 2003),分别用于 U 含量和年龄校正。标准锆石 TEM 与未知样品之比为 1:4~1:5。数据处理采用 SQUID 和 ISOPLOT 程序 (Ludwig, 2001),用实测 ^{204}Pb 进行普通铅校正,由于为中元古代岩石,锆石年龄使用 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 年龄,单个数据点误差为 1σ ,加权平均年龄误差为 95% 置信度。

样品 0714-1、0714-5 和 HN1413 中锆石 U-Pb 同位素分析在中国地质大学地质过程与矿产资源国家重点实验室 (GPMR) 利用激光剥蚀电感耦合等离子体质谱仪 (LA-ICP-MS) 分析完成。激光剥蚀系统为 GeoLas 2005, ICP-MS 为 Agilent 7500a。激光剥蚀过程中采用氦气作为载气以提高气溶胶运输到质谱仪的效率,并且减少气溶胶沉积在消融部位及运输管的周围。样品测试过程中采用束斑直径为 32 μm ,每个分析点由 20~30 s 空白和 50 s 采集信号组成。U-Pb 同位素定年中 U、Th 和 Pb 含量采用 ^{29}Si 为内标, NIST610、锆石标准 91500 作为外标进行同位素分馏校正,每分析 5 个样品点,分析 2 次 91500。对于与分析时间有关的 U-Th-Pb 同位素比值漂移,利用 91500 的变化采用线性内插的方式进行校正 (Liu Y S et al., 2010a)。对分析数据的离线处理 (包括对样品和空白信号的选择、仪器灵敏度漂移校正、元素含量及 U-Th-Pb 同位素比值和年龄计算) 采用软件 ICPMSDataCal (Liu Y S et al., 2008, 2010a) 完成。详细的仪器操作条件和数据处理方法见 Liu Y S et al. (2008, 2010a, 2010b)。所有锆石分析点的 U-Pb 同位素体系均较谐和,利用 An-

dersen 的普通铅校正程序 ComPbCon#3-151 (Andersen, 2002) 进行校正时,同位素结果基本未发生改变,表明普通铅含量很低。锆石样品的 U-Pb 年龄计算及谐和图采用 Isoplot 程序 (Ludwig, 2003) 完成。在讨论中对于 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄小于 1000 Ma 的颗粒采用 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄,对于 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄大于 1000 Ma 的颗粒采用 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 年龄,不谐和度大于 5% 的数据不参加讨论。测试中 91500 标样 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 加权平均年龄为 1060 ± 4 Ma。

3 结果

条带状混合片麻岩 (样品 0528) 中所测锆石颗粒主要为短柱状,少量长柱状,粒径多为 50~110 μm ,长宽比 2:1~1:1。大多数锆石颗粒均具有明显的核-幔-边结构,核部多数为椭圆状和溶蚀柱状,部分核见有环带,而幔部具有环带特征,边部多呈狭窄的灰白边。简平等 (2001) 认为深熔锆石是原岩在深熔过程中晶出的锆石,大部分具有晶核和增生边,晶核可能是继承性的、原岩的锆石,增生边则是深熔作用的结果,也叫深熔增生。深熔锆石与岩浆型锆石有较多的相似性,其增生部分在阴极发光 (CL) 下常见同心韵律环带结构,不同于从固态-亚固态介质中晶出的变质锆石 (Liati et al., 2002; Zeh et al., 2010)。由此可以得出,样品 0528 中锆石的核部和幔部区域应为原岩锆石和深熔锆石,边部为后期变质成因。从该样品中获得了 12 粒锆石幔部的 SHRIMP U-Pb 分析结果 (表 1),其中 2 号测点的 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 年龄小于 300 Ma,解释为后期变质年龄,其余 11 个测点位于谐和曲线上,其 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 年龄介于 1444~1382 Ma 之间,其 Th/U 比值介于 0.14~0.63 之间,11 个测定点的 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 加权平均年龄为 1425 ± 7 Ma (图 4a, 95% 置信度误差),代表混合岩化事件的形成年龄。

条带状混合片麻岩 (样品 0635) 中所测锆石的粒径多为 70~150 μm ,锆石颗粒主要为长柱状,少量短柱状,其长宽比 2:1~1:1。大多数锆石颗粒均具有明显的核-幔-边结构,锆石的形成顺序是从核经幔 (有时形成单独颗粒) 到狭窄的亮边,分别被解释为继承、混合岩化和变质成因。从该样品中获得

了12粒锆石的SHRIMP U-Pb分析结果(表1),其中3号测点的 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 年龄为1380 Ma,为相对离群点,其余11个测点的 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 年龄介于1471~1426 Ma之间,其Th/U比值介于0.26~0.67之间, $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 加权平均年龄为 1443 ± 11 Ma(图4b, 95%置信度误差),可代表混合岩化事件的形成年龄。

条带状混合片麻岩(样品0714-1)中所测锆石的粒径多为60~120 μm ,其形态以短柱状为主,长宽比介于2:1~1:1之间。大多数锆石具有明显的核-幔-边结构,锆石的形成顺序是从核经幔(有时形成单独颗粒)到狭窄的亮边,分别被解释为继承、混合岩化和变质成因。对样品中的20粒锆石进行了年龄测定(表2),获得19组有效数据(谐和度大于95%),其Th/U比值介于0.3~0.9之间,其中14个测点的 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 年龄介于1465~1391 Ma之间,其 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 加权平均年龄为 1429 ± 18 Ma(图4c, 95%置信度误差),可代表混合岩化事件的形成年龄。其余5个测点的 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 年龄相对较老,介于1525~1481 Ma之间,解释为继承锆石的年龄。

片麻状斑状花岗岩HN1413中所测岩浆锆石粒径多为60~130 μm ,主要为短柱状,长宽比介于2:1~1:1之间。锆石均发育完好的振荡环带,属岩浆结晶过程中生长的锆石,边部多具有狭窄的灰白边。对样品中的22粒锆石进行了年龄测定(表2),获得21组有效数据(图4d, 谐和度大于95%),其Th/U比值介于0.2~0.6之间,其中2个测点在谐和曲线的下方(图4d),其余19个点的 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 年龄介于1533~1411 Ma之间,明显可分为两组,第一组6个点年龄介于1533~1483 Ma之间,为继承锆石年龄,第二组13个点年龄介于1454~1411 Ma之间,加权平均年龄为 1432 ± 18 Ma(图4d, 95%置信度误差),代表片麻状斑状花岗岩的原岩形成年龄。

变质基性侵入岩样品0714-5中所测岩浆锆石粒径多为60~120 μm ,颗粒以短柱状为主,长宽比介于2:1~1:1之间。绝大部分锆石均发育振荡环带,部分锆石的边部多具有狭窄的灰白边。对样品中的18粒锆石进行了年龄测定(表2),获得15组有效数据(图4e, 谐和度大于95%),其Th/U比值介于0.1~0.5之间。其中,3个测点的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄小于450 Ma,解释为后期变质年龄;剩余12个测点的

$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 年龄介于1459~1383 Ma之间,其年龄值可以分为两组。其中,5个测点的 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 年龄相对较老,介于1459~1456 Ma之间,且大于其围岩条带状混合片麻岩(样品0714-1,见图3c)的混合岩化年龄(~1429 Ma),故将这组偏老年龄解释为继承锆石的年龄。其余7个测点 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 加权平均年龄为 1413 ± 26 Ma(95%置信度误差),可代表变基性侵入岩样品的原岩形成年龄。

4 讨论

4.1 抱板岩群的岩石组合

近三十多年来,1:5万、1:25万区调及科研成果资料表明:海南岛的前寒武纪结晶基底呈大小不等的“残留体”分布于海南岛西部地区(图1),其由表壳岩系和以花岗岩类为主的侵入岩组成(中科院华南富铁矿科学研究所,1986;张仁杰等,1991;汪啸风等,1992;张业明等,1997;马大铨等,1997, 1998;龙文国等,2002, 2005a;海南省地质调查院,2017)。两者的分布面积比例在各地有较大变化,东方市抱板地区一带约各占一半,乐东县冲卒岭一带地区则是表壳岩系占主体,东方市大蟹岭则是以侵入岩占主体(马大铨等,1997, 1998)。马大铨等(1997, 1998)首次将表壳岩系厘定为“抱板群”,并认为其具明显的二元结构,下部的戈枕村组为混合岩化斜长片麻岩,变质程度为高角闪岩相,上部峨文岭组为片岩夹石英岩、变粒岩,变质程度为低角闪岩相。侵入“抱板群”的花岗岩主要是钙碱性系列的同造山片麻状二长花岗岩、花岗闪长岩(涂绍雄,1993;马大铨等,1997, 1998;龙文国等,2001),局部还有少量钾长花岗岩,以及造山期后的基性岩(已变质为斜长角闪岩)。

长期以来,对“抱板群”的划分及时代归属意见不一(表3)。考虑到原“抱板群”是一套变质变形较强的岩石,且部分岩石遭混合岩化作用改造,用史密斯地层单位群组来命名不妥,笔者根据其岩石组合特征、变质变形及同位素年龄资料将“抱板群”改称抱板岩群(用岩群代替史密斯地层单位一群),但仍沿用马大铨等(1997, 1998)的划分方案将此套表壳岩系二分,即将抱板岩群进一步划分为戈枕村

表1 抱板岩群及其侵入岩锆石SHRIMP U-Pb同位素数据

Table 1 SHRIMP U-Pb data for zircons from the Baoban Group and intrusive rock

测点号	U		Th	年龄(Ma)				同位素比值(测定值)				同位素比值(²⁰⁴ Pb校正值)				相关		不谐和度 (%)					
	(×10 ⁻⁶)	(×10 ⁻⁶)	(×10 ⁻⁶)	²³² Th/ ²³⁸ U	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	²⁰⁶ Pb/ ²³² Th	²³⁸ U/ ²⁰⁶ Pb	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb ±0.1%	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb ±0.1%	²³⁸ U/ ²⁰⁶ Pb* ±0.1%	²⁰⁷ Pb*/ ²⁰⁶ Pb* ±0.1%	²⁰⁷ Pb*/ ²³⁸ U ±0.1%	²⁰⁶ Pb*/ ²³⁸ U ±0.1%	误差 ±%								
0528-1	1168	343	0.30	1396.2	36.8	1444	8	1408	42	4.13	2.9	0.0911	0.4	4.14	2.9	0.0909	0.4	3.03	3.0	0.2418	2.9	0.99	3
0528-2 [#]	1631	997	0.63	241.4	6.9	239	29	249	8	26.16	2.9	0.0523	1.0	26.20	2.9	0.0509	1.3	0.27	3.2	0.0382	2.9	0.92	-1
0528-3	698	153	0.23	1352.3	37.0	1440	13	1298	42	4.28	3.0	0.0910	0.7	4.28	3.0	0.0907	0.7	2.92	3.1	0.2334	3.0	0.98	6
0528-4	209	98	0.49	1342.5	36.0	1399	23	1379	46	4.30	3.0	0.0915	0.8	4.32	3.0	0.0888	1.2	2.83	3.2	0.2315	3.0	0.93	4
0528-5	319	93	0.30	1418.2	37.5	1435	14	1424	46	4.06	2.9	0.0912	0.7	4.06	2.9	0.0905	0.7	3.07	3.0	0.2461	2.9	0.97	1
0528-6	299	137	0.47	1356.6	36.9	1424	17	1353	44	4.26	3.0	0.0920	0.7	4.27	3.0	0.0899	0.9	2.90	3.1	0.2342	3.0	0.96	5
0528-7	901	536	0.61	1414.9	37.2	1418	8	1451	44	4.07	2.9	0.0899	0.4	4.07	2.9	0.0896	0.4	3.03	3.0	0.2454	2.9	0.99	0
0528-8	622	97	0.16	1360.3	36.0	1434	10	1392	44	4.25	2.9	0.0908	0.5	4.26	2.9	0.0904	0.5	2.93	3.0	0.2349	2.9	0.98	5
0528-9	1572	213	0.14	1390.3	36.5	1411	7	1424	44	4.15	2.9	0.0896	0.3	4.15	2.9	0.0893	0.3	2.96	2.9	0.2407	2.9	0.99	1
0528-10	311	97	0.32	1387.1	36.8	1426	22	1434	48	4.16	3.0	0.0913	1.0	4.17	3.0	0.0900	1.2	2.98	3.2	0.2401	3.0	0.93	3
0528-11	520	293	0.58	1405.5	37.1	1428	11	1438	43	4.10	2.9	0.0907	0.5	4.10	2.9	0.0901	0.6	3.03	3.0	0.2436	2.9	0.98	2
0528-12	321	138	0.45	1395.2	37.0	1382	25	1473	47	4.13	2.9	0.0902	1.2	4.14	2.9	0.0880	1.3	2.93	3.2	0.2416	2.9	0.91	-1
0635-1	906	321	0.37	1354.3	18.9	1426	11	1231	22	4.27	1.5	0.0906	0.5	4.28	1.5	0.0900	0.6	2.90	1.7	0.2338	1.5	0.934	5
0635-2	657	167	0.26	1460.9	20.3	1426	12	1397	26	3.93	1.6	0.0904	0.6	3.93	1.6	0.0900	0.6	3.16	1.7	0.2544	1.6	0.929	-2
0635-3 [#]	90	58	0.67	1464.5	23.7	1380	49	1386	48	3.90	1.8	0.0926	1.6	3.92	1.8	0.0879	2.5	3.09	3.1	0.2551	1.8	0.581	-6
0635-4	560	172	0.32	1374.3	19.9	1436	15	1459	31	4.20	1.6	0.0915	0.7	4.21	1.6	0.0905	0.8	2.97	1.8	0.2376	1.6	0.896	4
0635-5	243	95	0.40	1413.3	20.7	1445	19	1367	30	4.07	1.6	0.0919	0.9	4.08	1.6	0.0909	1.0	3.07	1.9	0.2451	1.6	0.847	2
0635-6	362	185	0.53	1437.4	20.6	1440	16	1397	26	4.00	1.6	0.0908	0.8	4.00	1.6	0.0907	0.8	3.12	1.8	0.2498	1.6	0.887	0
0635-7	404	199	0.51	1434.4	20.4	1429	15	1351	26	4.01	1.6	0.0911	0.7	4.01	1.6	0.0902	0.8	3.10	1.8	0.2492	1.6	0.900	0
0635-8	778	264	0.35	1437.4	21.5	1456	11	1365	26	4.00	1.7	0.0920	0.5	4.00	1.7	0.0914	0.6	3.15	1.8	0.2498	1.7	0.944	1
0635-9	810	259	0.33	1442.7	20.0	1451	10	1412	24	3.99	1.5	0.0913	0.5	3.99	1.5	0.0912	0.5	3.15	1.6	0.2508	1.5	0.944	1
0635-10	275	117	0.44	1434.1	20.8	1439	18	1370	27	4.01	1.6	0.0908	0.9	4.01	1.6	0.0906	0.9	3.11	1.9	0.2491	1.6	0.868	0
0635-11	294	143	0.50	1437.6	20.8	1438	17	1374	26	4.00	1.6	0.0910	0.9	4.00	1.6	0.0906	0.9	3.12	1.9	0.2498	1.6	0.871	0
0635-12	722	284	0.41	1466.1	21.4	1471	11	1379	25	3.92	1.6	0.0922	0.6	3.92	1.6	0.0922	0.6	3.25	1.7	0.2554	1.6	0.945	0

注:带“#”号测点年龄未参与计算

表 2 抱板岩群及侵入岩锆石 LA-ICP-MS U-Pb 同位素年龄
Table 2 LA-ICP-MS U-Pb data for zircons from the Baoban Group and later intrusive rocks

样品及 测点号	Th ($\times 10^{-6}$)	U ($\times 10^{-6}$)	Th/U	同位素比值				年龄(Ma)				谐和度			
				$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$\pm\sigma$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$\pm\sigma$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$\pm\sigma$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$\pm\sigma$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$\pm\sigma$	%	
0714-1															
1	217	618	0.4	3.0481	0.0013	0.0476	0.0019	1411	30	1420	12	1427	10	99	
2	485	775	0.6	3.1220	0.0013	0.0458	0.0018	1417	26	1438	11	1447	9	99	
3	334	549	0.6	3.0621	0.0015	0.0557	0.0023	1428	31	1423	14	1413	12	99	
4	242	527	0.5	3.0975	0.0014	0.0527	0.0021	1391	31	1432	13	1454	11	98	
5	247	554	0.4	3.0272	0.0015	0.0536	0.0019	1421	33	1414	14	1404	10	99	
6	371	728	0.5	3.2420	0.0016	0.0543	0.0021	1525	36	1467	13	1423	11	96	
7 [#]	267	228	1.2	0.2421	0.0024	0.0121	0.0005	80	115	220	10	236	3	93	
8	424	698	0.6	3.1034	0.0013	0.0467	0.0017	1450	22	1434	12	1415	9	98	
9	302	638	0.5	3.0161	0.0014	0.0490	0.0016	1455	30	1412	12	1375	8	97	
10	236	918	0.3	3.2191	0.0016	0.0576	0.0020	1450	33	1462	14	1462	10	99	
11	226	565	0.4	3.3796	0.0016	0.0654	0.0027	1506	33	1500	15	1486	14	99	
12	878	1024	0.9	3.0410	0.0014	0.0511	0.0022	1400	30	1418	13	1423	12	99	
13	265	587	0.5	3.1740	0.0014	0.0514	0.0021	1465	29	1451	13	1436	11	98	
14	395	614	0.6	3.1485	0.0015	0.0533	0.0021	1481	36	1445	13	1415	11	97	
15	433	714	0.6	3.3029	0.0017	0.0603	0.0019	1502	39	1482	14	1461	10	98	
16	285	696	0.4	2.7667	0.0019	0.0780	0.0045	1406	45	1347	21	1297	24	96	
17	457	708	0.6	3.0654	0.0015	0.0538	0.0018	1418	33	1424	13	1420	9	99	
18	272	646	0.4	3.2657	0.0015	0.0536	0.0019	1494	30	1473	13	1450	10	98	
19	352	655	0.5	3.1383	0.0014	0.0497	0.0018	1450	29	1442	12	1429	9	99	
20	169	581	0.3	2.9821	0.0015	0.0534	0.0024	1406	31	1403	14	1393	12	99	
0714-5															
1	277	2684	0.1	0.4087	0.0011	0.0085	0.0004	261	55	348	6	360	3	96	
2	340	1219	0.3	3.1523	0.0016	0.0566	0.0017	1420	35	1446	14	1458	9	99	
3 [#]	1362	5959	0.2	1.8409	0.0015	0.0404	0.0021	1447	31	1060	14	877	12	81	
4	664	3100	0.2	3.0239	0.0015	0.0542	0.0024	1383	32	1414	14	1427	13	99	
5	318	1251	0.3	0.4812	0.0014	0.0121	0.0005	432	56	399	8	391	3	98	
6	873	2006	0.4	3.0986	0.0018	0.0598	0.0020	1426	39	1432	15	1429	10	99	
7	464	1932	0.2	3.2197	0.0018	0.0609	0.0019	1459	39	1462	15	1456	10	99	
8 [#]	1055	4811	0.2	1.5712	0.0016	0.0349	0.0019	1413	39	959	14	769	11	78	
9	699	1940	0.4	3.0440	0.0015	0.0488	0.0016	1429	31	1419	12	1405	8	99	

续表 2

样品及 测点号	Th	U	Th/U	同位素比值				年龄(Ma)				谐和度				
	($\times 10^{-6}$)	($\times 10^{-6}$)		$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$\pm\sigma$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$\pm\sigma$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$\pm\sigma$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$\pm\sigma$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$\pm\sigma$	%		
10	1167	2923	0.4	0.0909	0.0014	3.0889	0.0588	0.0034	0.0034	1456	29	1430	15	1415	18	98
11	439	1287	0.3	0.0910	0.0015	3.1710	0.0524	0.0017	0.0017	1456	31	1450	13	1448	9	99
12	814	2834	0.3	0.0910	0.0014	3.1407	0.0543	0.0023	0.0023	1456	30	1443	13	1435	12	99
13	979	1865	0.5	0.0915	0.0015	3.1472	0.0540	0.0018	0.0018	1457	38	1444	13	1431	9	99
14	1662	3905	0.4	0.0888	0.0014	2.4680	0.0487	0.0027	0.0027	1411	31	1263	14	1180	15	93
15 [#]	1064	2564	0.4	0.0722	0.0016	0.5174	0.0122	0.0005	0.0005	991	46	423	8	326	3	73
16	605	2315	0.3	0.0553	0.0011	0.5037	0.0114	0.0008	0.0008	433	44	414	8	411	5	99
17	1180	2531	0.5	0.0886	0.0016	3.0604	0.0613	0.0029	0.0029	1395	35	1423	15	1436	15	99
18	700	1923	0.4	0.0899	0.0019	3.0489	0.0614	0.0019	0.0019	1433	40	1420	15	1412	10	99
HN1413																
1	420	1213	0.1	0.0921	0.0018	3.1652	0.0618	0.0017	0.0017	1533	37	1449	15	1432	9	98
2	482	1348	0.3	0.0933	0.0016	3.3785	0.0691	0.0028	0.0028	1494	32	1499	16	1498	14	99
3	1192	3883	0.3	0.0937	0.0014	3.2253	0.0508	0.0016	0.0016	1503	29	1463	12	1432	8	97
4	894	3544	0.2	0.0936	0.0014	3.2221	0.0505	0.0016	0.0016	1502	28	1462	12	1433	8	97
5	536	1457	0.4	0.0927	0.0016	3.1861	0.0593	0.0027	0.0027	1483	32	1454	14	1431	14	98
6 [#]	612	5312	0.2	0.0931	0.0016	2.7018	0.0492	0.0016	0.0016	1500	33	1329	14	1228	9	92
7	858	2775	0.3	0.0933	0.0017	3.3357	0.0691	0.0034	0.0034	1494	33	1489	16	1484	17	99
8	1074	3678	0.3	0.0913	0.0015	3.1280	0.0649	0.0037	0.0037	1454	31	1440	16	1430	19	99
9	801	2952	0.3	0.0909	0.0014	3.1684	0.0697	0.0043	0.0043	1444	30	1449	17	1452	22	99
10	1205	5748	0.2	0.0908	0.0013	3.1315	0.0488	0.0018	0.0018	1443	27	1440	12	1438	9	99
11	487	2951	0.2	0.0905	0.0015	3.1422	0.0647	0.0035	0.0035	1437	64	1443	16	1447	18	99
12	902	3873	0.2	0.0895	0.0015	3.1015	0.0592	0.0023	0.0023	1417	32	1433	15	1443	12	99
13	1854	6870	0.3	0.0906	0.0015	2.8736	0.0518	0.0018	0.0018	1439	30	1375	14	1332	10	96
14	1324	6155	0.2	0.0900	0.0014	2.8685	0.0461	0.0016	0.0016	1426	29	1374	12	1339	8	97
15	821	3418	0.2	0.0895	0.0013	3.0946	0.0516	0.0024	0.0024	1417	28	1431	13	1440	12	99
16	719	1596	0.5	0.0889	0.0014	3.1542	0.0625	0.0032	0.0032	1411	30	1446	15	1473	17	98
17	762	1320	0.6	0.0910	0.0015	3.1227	0.0592	0.0031	0.0031	1447	33	1438	15	1431	16	99
18	740	2838	0.3	0.0904	0.0016	3.1054	0.0672	0.0036	0.0036	1435	61	1434	17	1429	18	99
19	745	2565	0.3	0.0897	0.0016	3.1568	0.0827	0.0051	0.0051	1420	33	1447	20	1460	26	99
20	401	1656	0.2	0.0900	0.0015	3.1024	0.0566	0.0027	0.0027	1426	31	1433	14	1433	14	99
21	919	4474	0.2	0.0913	0.0013	3.1458	0.0533	0.0027	0.0027	1454	29	1444	13	1432	14	99
22	684	2873	0.2	0.0897	0.0015	3.1125	0.0613	0.0032	0.0032	1420	32	1436	15	1441	16	99

说明:表中带“#”号的测试点谐和度小于95%,为无效点

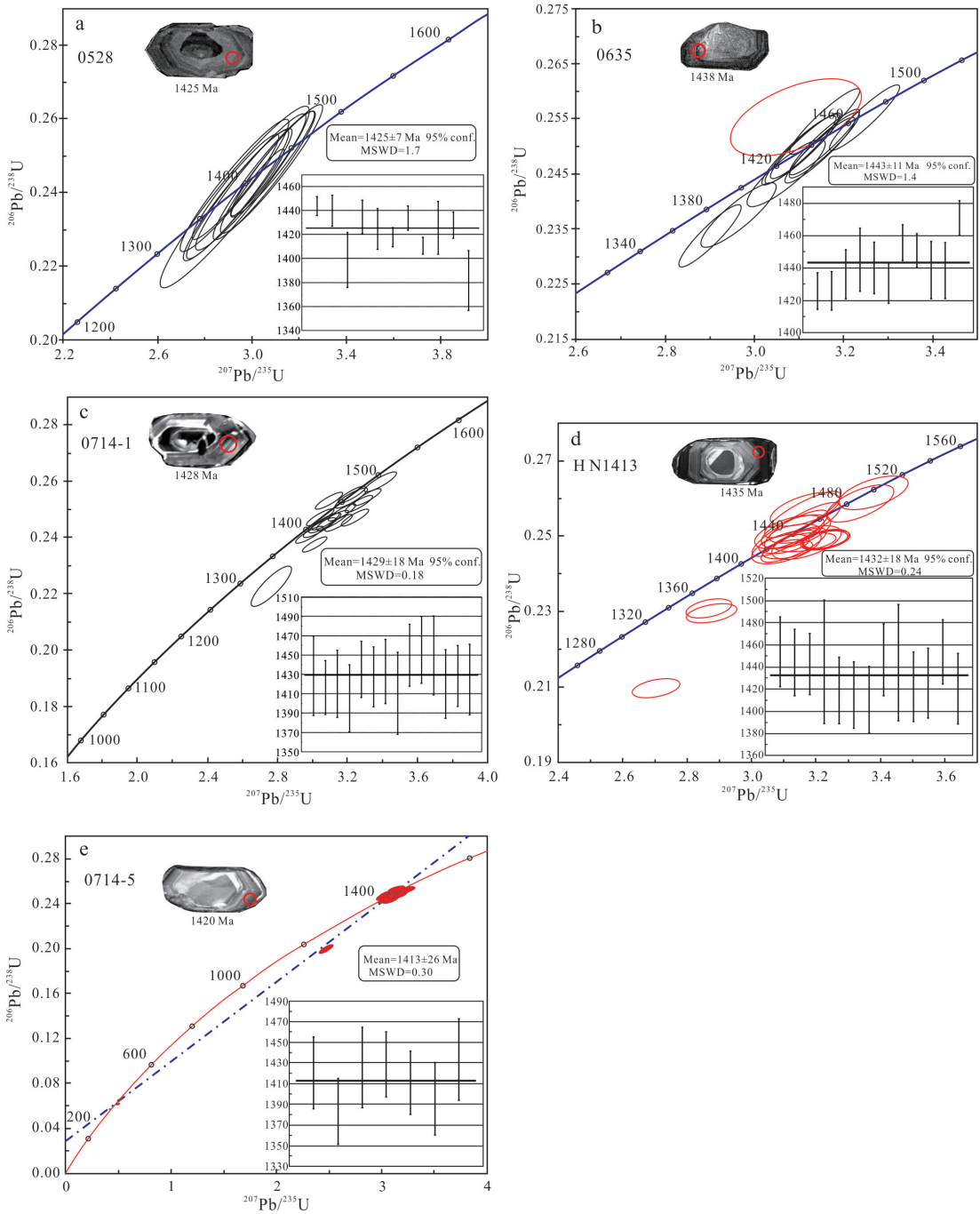


图4 抱板岩群及侵入岩中锆石 U-Pb 谐和图

Fig.4 U-Pb Concordia diagrams for zircons from Baoban Group and later intrusive rock

图 a、b 为 SHRIMP 测年, 图 c、d、e 为 LA-ICP-MS 测年

岩组(原戈枕村组)和峨文岭岩组(原峨文岭组),形成时代均属中元古代。峨文岭岩组(原峨文岭组)主要为片岩夹石英岩、变粒岩,近年来,野外调查中于乐东县冲卒岭一带发现少量副片麻岩;戈枕村岩组(原戈枕村组)为一套具不同程度混合岩化的混合岩,可进一步划分为混合质片麻岩、混合片麻岩、混

合花岗岩。混合岩的原岩除了马大铨等(1997, 1998)认为是中酸性火山岩以外,尚见沉积岩及基性岩(野外发现混合岩部分基体为基性岩类,但不能判别其原岩是侵入岩还是喷出岩)。本文将抱板岩群及中元古代晚期侵入其中的中酸性花岗岩和基性侵入岩合称为抱板杂岩。

表3 海南岛抱板岩群划分沿革表

Table 1 Classification and evolution of the Baoban group in Hainan Island

划分方案	资料来源
寒武系 混合岩田	广东区域地质测量大队(1964)
寒武系—中奥陶统 抱板群	夏邦栋和任震鹏(1979)
震旦系 抱板群	广东省地质局(1988)
中元古界 抱板群	单惠珍(1990)
蓟县系 抱板群	张仁杰等(1991)
长城系 抱板群	马大铨等(1997)
戈枕村组+峨文岭组	
长城系 抱板群	海南省地质矿产局(1997)
戈枕村组+峨文岭组	
蓟县系 抱板岩群	
峨文岭岩组+戈枕村岩组	本文

4.2 抱板岩群及后期侵入岩的形成时代

马大铨等(1997, 1998)认为戈枕村岩组混合岩化事件年龄为早元古代(1637±31 Ma),而不是早古生代(王赐银, 1979),龙文国等(2007)和李孙雄等(2013)则均认为混合岩化事件形成于中元古代。此次,笔者于东方市抱板地区、昌江县红林农场一带混合片麻岩(0528、0635、0714-1)中获得锆石的年龄分别为1425±7 Ma、1443±11 Ma、1429±18 Ma,表明混合岩化事件年龄介于1440~1425 Ma之间,本文样品0714-1中存在年龄值介于1633~1484 Ma之间的继承锆石,由于年龄值不集中,推测原岩为沉积岩类,原岩的形成时代小于1480 Ma(如原岩为火成岩类,则表明原岩形成时代为1480 Ma左右)。

尽管长期以来,对侵入抱板岩群中的“片麻状花岗质岩石”究竟是混合岩还是侵入岩一直存在着不同的看法,但其形成时代多被认为属中元古代(王赐银, 1979;夏邦栋和任震鹏, 1979;叶伯丹和朱家平, 1990;侯威等, 1992;俞受鋆等, 1992;梁新权, 1995;马大铨等, 1997, 1998;龙文国等, 2001, 2005a)。近二十年来,学者们于片麻状花岗岩(部分侵入戈枕村岩组,部分侵入峨文岭岩组)中获得了高精度的锆石U-Pb年龄(Li Z X et al., 2002, 2008;许德如等, 2006;龙文国等, 2007; Yao W H et al., 2017;张立敏等, 2017;李宝龙等, 2018; Zhang L M et al., 2018, 2019),其年龄大多介于1450~1430 Ma之间。本文在片麻状花岗岩(HN1413)中获得的年龄为1432±18 Ma,与前人的定年结果一致;该样品

中存在年龄介于1533~1483 Ma之间的锆石,与戈枕村岩组中继承锆石年龄1525~1481 Ma(0714-1)接近,暗示部分花岗岩的源区与戈枕村岩组关系密切。值得一提的是, Xu Y J et al. (2020)报道了乐东县冲卒岭地区存在1550 Ma的片麻状花岗岩,野外考证发现其样品采自混合质副片麻岩,该年龄应是原岩中一组年轻的继承锆石的年龄。

关于侵入抱板岩群中的斜长角闪岩的原岩的认识有两种对立的观点:部分学者认为是浅成的基性岩脉(王赐银等, 1979;马大铨等, 1997, 1998;龙文国等, 2005b),另一部分学者则认为是火山岩(中科院华南富铁矿队, 1986;叶伯丹和朱家平, 1990;张仁杰等, 1991;侯威等, 1992;涂绍雄, 1993;张业明等, 1997;许德如等, 2001)。野外调查显示大多数是较晚侵入的岩脉(图3),但分布于东方抱板一带昌化江中混合岩中少量基性岩类的基体,尚不能排除原岩为喷出岩,此类基性岩的形成早于混合岩化事件。Zhang L M et al. (2018)认为东方市抱板地区侵入戈枕村岩组中基性岩的形成时代为1436~1433 Ma,东方县冲卒岭地区侵入峨文岭岩组中基性岩的形成时代为1441~1424 Ma。本文于东方市抱板地区戈枕大坝东侧侵入戈枕村岩组的基性岩中获得了1413±26 Ma的年龄,其形成时代略晚于混合岩化事件(时代为1425 Ma),考虑到同位素测年数据的误差,推断东方抱板基性岩的侵入年龄介于1425~1413 Ma间,比乐东县冲卒岭地区侵入峨文岭岩组中基性岩的形成时代(Zhang L M et al., 2018)稍晚。虽然 Xu Y J et al. (2020)和陈龙耀等(2024)认为冲卒岭地区侵入峨文岭岩组中基性岩的形成年龄为1460 Ma,但峨文岭岩组中最年轻碎屑锆石峰值年龄为1460~1450 Ma(Yao W H et al., 2017; Zhang L M et al., 2019),间接限定了基性岩的形成年龄小于1450 Ma。实际上, Xu Y J et al. (2020)和陈龙耀等(2024)样品中许多测点的数据大于1460 Ma,笔者认为继承/捕获锆石,而不是基性岩侵位过程中形成的同岩浆锆石。

从野外地质体间的接触关系及上述年代学分析结果可以看出,峨文岭岩组的形成时代早于花岗岩的形成时代(1450~1430 Ma),考虑到峨文岭岩组中存在1460~1450 Ma年轻碎屑锆石及峰值年

龄(Yao W H et al., 2017; Zhang L M et al., 2019), 因此其形成时代介于 1460 ~ 1430 Ma 之间; 戈枕村岩组形成时代应晚于 1480 Ma (混合岩原岩中最年轻继承锆石的年龄), 考虑到戈枕村岩组形成时代早于花岗岩的形成时代(1450 ~ 1430 Ma), 因此其形成时代应介于 1480 ~ 1440 Ma 之间。

4.3 对构造演化的指示

海南地块由琼东南地块与琼西北地块(王鸿祯, 1982; Metcalfe et al., 1993; 龙文国等, 2022a, 2023a)组成, 抱板岩群主要分布于琼西北地块的抱板、大蟹岭、冲卒岭、石碌等地区(中科院华南富铁矿科学研究队, 1986; 张仁杰等, 1991; 汪啸风等, 1992; 张业明等, 1997; 马大铨等, 1997, 1998; 龙文国等, 2002, 2005a; 海南省地质调查院, 2017), 刘晓春等(2022)于琼东北地区文昌木兰头一带发现了少量残留的前寒武纪地质体, 其变质沉积岩(样品 MLT15-1)碎屑锆石年龄显示其最大沉积时代为古元古代, 且记录了古元古代晚期变质事件, 以及花岗质片麻岩(样品 MLT14-13)给出的原岩侵位年龄为 1414 ± 29 Ma, 二者均明显与抱板岩群及后期侵入花岗岩的形成时代不同。

抱板岩群形成于 1480 ~ 1430 Ma 间, 峨文岭岩组变质沉积岩中最年轻碎屑锆石峰值年龄为 1460 ~ 1450 Ma (Yao W H et al., 2017; Zhang L M et al., 2019; Xu Y J et al., 2020)。近年来越南中部昆嵩地块(Koutum Massif)也识别出了约 1450 Ma 的岩浆岩以及与峨文岭岩组变质沉积岩中类似的碎屑锆石年龄峰值(Kawaguchi et al., 2021; Nakano et al., 2021; Jiang W et al., 2022), 琼西北地块可能与昆嵩地块相关联, 而并不是华夏地块的一部分(马大铨等, 1998; Xu Y J et al., 2020; 刘晓春等, 2022)。当然, 扬子地块西缘也发现了一定数量 1530 ~ 1380 Ma 的岩浆岩, 沉积岩中碎屑锆石也存在约 1450 Ma 的年龄峰值(Cawood et al., 2020; Liu H C et al., 2020; Zhang L M et al., 2020), 但扬子地块西缘岩浆岩的期次和形成时代明显与琼西北地块有别。可见, 中元古代时琼西北地块与昆嵩地块具有亲缘性, 可称为琼西北-昆嵩地块。中元古代早中期琼西北地块参与了 Columbia / Nuna 超大陆汇聚与形成, 于海南岛西部地区形成了一套活动型建造——

抱板岩群, 地壳被挤压加厚从而诱发变质与深熔, 深熔作用形成的花岗岩形成于挤压碰撞过程中相对松弛阶段, 可见花岗质岩浆作用与混合岩化作用属同一构造热事件的产物(龙文国等, 2007), 花岗岩与抱板岩群一同经历了区域变质作用与变形改造, 显示出同碰撞侵入体特征(马大铨等, 1997, 1998; 许德如等, 2001; 龙文国等, 2001, 2005a; 张立敏等, 2017)。随后 1425 ~ 1410 Ma 期间基性岩浆侵入抱板岩群中, 基性岩的侵入标志着此时地壳处于伸展构造背景, 暗示琼西北地块从 Columbia / Nuna 超大陆裂解始于此时。中元古代晚期-新元古代早期, 琼西北地块抱板岩群中记录的 Grenville 期变质作用指示其与西劳伦和塔斯马尼亚可能具有一定的联系(Li Z X et al., 2002, 2008; Wang Z L et al., 2015; Yao W H et al., 2017; Zhang L M et al., 2018, 2020; Xu Y J et al., 2020), 此期变质作用是对全球性的 Rodinia 超大陆形成过程中构造热事件的响应。

5 结论

(1) 海南岛西部地区存在中元古代结晶基底——抱板杂岩, 其由抱板岩群及中元古代晚期侵入的中酸性花岗岩和基性侵入岩组成。抱板岩群可进一步划分为戈枕村岩组和峨文岭岩组, 戈枕村岩组为一套具不同程度混合岩化的混合岩, 其原岩形成时代为 1480 ~ 1440 Ma, 峨文岭岩组主要为片岩夹石英岩、变粒岩, 少量副片麻岩, 其原岩形成时代为 1460 ~ 1430 Ma。

(2) 中元古代早中期混合岩化作用(1440 ~ 1425 Ma)、片麻状花岗岩侵入(1450 ~ 1430 Ma)形成了琼西北地块成型的、稳定的结晶基底, 基性岩侵入(1425 ~ 1410 Ma)约束了伸展事件的时限, 中元古代晚期-新元古代早期的变质作用则是对 Rodinia 超大陆形成过程中构造热事件的响应。

(3) 综合分析对比研究表明, 海南岛的琼西北地块与越南昆嵩地块具有相似的基底组成和多期构造热事件的记录, 二者具有明显的亲缘关系, 它们并不是华夏地块的一部分。

感谢武汉地质调查中心牛志军研究员及两位

匿名审稿人提出的宝贵建议;感谢武汉地质调查中心柯贤忠、周岱在锆石同位素测试分析及数据处理中给予的支持和帮助。

参考文献:

- 陈海泓, 孙 枢, 李继亮, Maja Haag, Jon Dobson, 许靖华, Friedrich Heller. 1994. 华南早三叠世的古地磁学与大地构造[J]. 地质科学, 29(1): 1-9.
- 陈龙耀, 刘晓春, 胡 娟, 夏蒙蒙, 韩建恩. 2024. 海南岛抱板杂岩记录的多期构造热事件: 锆石和独居石 U-Pb 年代学的制约[J]. 岩石学报, 40(1): 119-139.
- 陈新跃, 王岳军, 范蔚茗, 张菲菲, 彭头平, 张玉芝. 2011. 海南五指山地区花岗岩片麻岩锆石 LA-ICP-MS U-Pb 年代学特征及其地质意义[J]. 地球化学, 40(5): 454-463.
- 丁式江, 许长海, 龙文国, 周祖翼, 廖宗廷. 2002. 海南屯昌变火山岩构造属性及其年代学研究[J]. 岩石学报, 18(1): 83-90.
- 丁式江, 胡健民, 宋 彪, 陈沐龙, 谢盛周, 范 渊. 2005. 海南岛抱板群内顺层侵入深熔花岗岩锆石 U-Pb 定年及其构造意义[J]. 中国科学(D辑): 地球科学, 35(10): 937-948.
- 郭令智, 施央申, 马瑞士. 1980. 东南大地构造格架和地壳演化[A]. // 国际交流地质学术论文集(一)[C]. 北京: 地质出版社.
- 广东区域地质测量大队. 1964. 1: 20 万海南岛区域地质测量报告[R].
- 广东省地质局. 1988. 广东省区域地质志[M]. 北京: 地质出版社.
- 海南省地质调查院. 2017. 中国区域地质志·海南志[M]. 北京: 地质出版社.
- 海南省地质矿产局. 1997. 海南省岩石地层[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1-44.
- 侯 威, 陈惠芳, 梁新权, 王可伏. 1992. 海南岛前寒武纪地层的确定及其大地构造演化[J]. 长春地质学院学报, 22(2): 136-143.
- 简 平, 程裕淇, 刘敦一. 2001. 变质锆石成因的岩相学研究——高级变质岩 U-Pb 年龄解释的基本依据[J]. 地学前缘, 8(3): 183-191.
- 李宝龙, 王丹丹, 张 建, 毛景文, 马 波. 2018. 海南岛西部戈枕含金剪切带花岗质糜棱岩中锆石 SHRIMP U-Pb 年代学及其地质意义[J]. 岩石学报, 34(9): 2687-2702.
- 李孙雄, 高林志, 陈沐龙, 丁孝忠. 2013. 海南岛中元古代混合岩化作用时代的锆石 SHRIMP 年龄制约[J]. 地层学杂志, 37(4): 635-636.
- 李献华, 周汉文, 丁式江, 李寄崛, 张仁杰, 张业明, 葛文春. 2000a. 海南岛洋中脊型变质基性岩: 古特提斯洋壳的残片[J]. 科学通报, 45(1): 84-89.
- 李献华, 周汉文, 丁式江, 李寄崛, 张仁杰, 张业明, 葛文春. 2000b. 海南岛“邦溪-晨星蛇绿岩片”的时代及其构造意义——Sm-Nd 同位素制约[J]. 岩石学报, 16(3): 425-432.
- 龙文国, 黄正壮, 王大英. 2001. 海南抱板地区片麻状花岗闪长岩锆石 Pb-Pb 同位素年龄及地质意义[J]. 广东地质, (2-3): 7-12.
- 龙文国, 符策锐, 朱耀河. 2002. 海南岛东部黄竹岭地区“抱板群”的解体[J]. 地层学杂志, 26(3): 212-215.
- 龙文国, 丁式江, 马大铨, 林义华, 莫位明, 周进波. 2005a. 海南岛前寒武纪基底组成及演化[J]. 地球科学——中国地质大学学报, 30(4): 421-429.
- 龙文国, 丁式江, 李惠民, 林义华. 2005b. 海南岛东部黄竹岭地区变质火山岩锆石 U-Pb 同位素年龄及其地质意义[J]. 地质通报, 24(1): 92-94.
- 龙文国, 李献华, 林义华, 周进波. 2007. 琼西抱板地区中元古代构造岩浆热事件——混合岩及片麻状花岗岩锆石 SHRIMP 年代学证据[A]. // 2007 全国岩石学与地球动力学暨化学地球动力学研讨会, 179-180.
- 龙文国, 周 岱, 柯贤忠, 王 晶, 吴 俊, 张榭钰, 王 磊, 王祥东, 徐德明. 2022a. 海南岛早古生代大地构造格局: 来自志留纪早期碎屑锆石年代学的约束[J]. 华南地质, 38(1): 79-93.
- 龙文国, 周 岱, 柯贤忠, 王 磊, 王 晶, 徐德明, 胡 军. 2022b. 海南岛屯昌地区泥盆纪片麻状花岗岩锆石 SHRIMP U-Pb 年龄报道[J]. 中国地质, 49(1): 339-340.
- 龙文国, 王 晶, 谭满堂, 王 磊, 王祥东, 吴 俊, 李 岩. 2023a. 海南地块形成与拼合时限: 来自早石炭世变质粉细砂岩中碎屑锆石年代学的约束[J]. 华南地质, 39(2): 259-277.
- 龙文国, 王 晶, 吴 俊, 张榭钰, 周 岱, 王祥东. 2023b. 海南岛东部黄竹岭地区原“抱板群”的重新解体[J]. 地层学杂志, 47(1): 80-90.
- 刘晓春, 胡 娟, 陈龙耀, 夏蒙蒙, 韩建恩, 胡道功. 2022. 海南岛东北部木栏头变质杂岩的组成、时代及其区域大地构造意义[J]. 地质学报, 96(9): 3051-3083.
- 梁新权. 1995. 海南岛前寒武纪花岗岩-绿岩系 Sm-Nd 同位素年龄及其地质意义[J]. 岩石学报, 11(1): 72-76.
- 马大铨, 黄香定, 陈哲培, 肖志发, 张旺驰, 钟盛中. 1997. 海南省抱板群研究的新进展[J]. 中国区域地质, 16(2): 130-136.
- 马大铨, 黄香定, 肖志发, 陈哲培, 张旺驰, 钟盛中. 1998. 海南岛结晶基底—抱板群层序与时代[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1-52.
- 任纪舜. 1983. 中国东部构造单元划分的几个问题[J]. 地质论评, 30(4): 382-385.

- 单惠珍.1990.海南抱板地区金矿地层时代归属的研究[J].中山大学学报(自然科学版),29(2):71-77.
- 涂绍雄.1993.海南抱板群变质岩系的原岩建造和地质演化初探[J].广东地质,8(3):71-77.
- 王赐银,季寿元,刘家旺.1979.海南岛东方县抱板群混合岩的岩石学特征及其成岩、时代的探讨[J].南京大学学报,地质学专刊(一),23-42.
- 王鸿祯.1982.历史大地构造学及其研究方法//构造地质学进展[M].北京:科学出版社,42-50.
- 汪啸风,马大铨,蒋大海(主编).1992.海南岛地质(一)地层古生物[M].北京:地质出版社,1-103.
- 夏邦栋,任震鹏.1979.海南岛石碌及其外围地区的地层及沉积建造[J].南京大学学报,地质学专刊(一):43-55.
- 许德如,梁新权,唐红峰.2000.琼西抱板群变质基性火山岩的地球化学特征及其大地构造意义[J].大地构造与成矿学,24(4):303-313.
- 许德如,梁新权,陈广浩,黄智龙,胡惠东.2001.海南岛中元古代花岗岩地球化学及成因研究[J].大地构造与成矿学,25(4):420-433.
- 许德如,夏斌,李鹏春,李鹏春,张玉泉,陈广浩,马驰.2006.海南岛北西部前寒武纪花岗质岩 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄及地质意义[J].大地构造与成矿学,30(4):510-518.
- 徐德明,谢才富,张业明,付太安,李志宏.2006.琼中古-中元古代变基性火山岩地球化学特征及其地质意义[J].地球学报,27(3):227-234.
- 徐德明,桑隆康,马大铨,谢才富,张业明,付太安.2008.海南岛中新元古代花岗质岩类的成因及其构造意义[J].大地构造与成矿学,32(2):247-256.
- 叶伯丹,朱家平.1990.海南岛东方二甲抱板群和金矿的时代[J].地质找矿论丛,5(1):12-17.
- 杨树锋,虞子治,郭令智,施央申.1989.海南岛的地体划分、古地磁研究及其板块构造意义[J].南京大学学报(地球科学版),1(1-2):38-46.
- 俞受璠,夏萍,邓铁殷,李强,陈毓蔚.1992.海南抱板地区中元古代花岗岩副矿物锆石的特征及 U-Pb 同位素年龄测定[J].地球化学,(3):213-220+313.
- 中科院华南富铁矿科学研究队.1986.海南岛地质与石碌铁矿地球化学[M].北京:科学出版社.
- 张立敏,王岳军,李庶波,张玉芝.2017.海南公爱地区抱板群花岗片麻岩的年代学、地球化学及其构造意义[J].大地构造与成矿学,41(2):396-411.
- 张仁杰,马国干,蒋大海,冯少南,陈明是,徐光洪,汪啸风,陈平.1991.海南岛前寒武纪地质[M].武汉:中国地质大学出版社.
- 张业明,张仁杰,姚华舟,马国干.1997.海南岛前寒武纪地壳构造演化[J].地球科学——中国地质大学学报,22(4):395-400.
- Andersen T. 2002. Correction of common lead in U-Pb analyses that do not report ^{204}Pb [J]. Chemical Geology, 192: 59-79.
- Black L P, Kamo S L, Allen C M, Aleinikoff J N, Davis D W, Korsch R J, Foudoulis C. 2003. TEMORA 1: A new zircon standard for Phanerozoic U-Pb geochronology[J]. Chemical Geology, 200(1-2): 155-170.
- Cawood P A, Wang W, Zhao T Y, Xu Y J, Mulder J A, Pisarevsky S A, Zhang L M, Gan C S, He H Y, Liu H C, Qi L, Wang Y J, Yao J L, Zhao G C, Zhou M F, Zi J W. 2020. Deconstructing South China and Consequences for reconstructing Nuna and Rodinia[J]. Earth-Science Reviews, 204: 103169.
- Chen H H, Sun S, Hsü K J, Dobson J, Yu Z. 1992. Tectonics of the Hainan orogenic belt: a preliminary study[A].// Memoir of Lithosphere Tectonic Evolution Research[M]. Beijing: Seismology Press, 43-48.
- Hsü K J, Li J L, Chen H H, Wang Q C, Sun S, Sengor A M C. 1990. Tectonics of south China: key to understanding west Pacific geology[J]. Tectonophysics, 183: 9-39.
- Jahn B M, Zhou X H, Li J L. 1990. Formation and tectonic evolution of Southeast China and Taiwan: Isotopic and geochemical constraints[J]. Tectonophysics, 183: 145-160.
- Jiang W, Yu J H, Griffin W L, Wang F Q, Wang X L, Pham T, Nguyen D. 2022. Where did the Kotum Massif in central Vietnam come from?[J]. Precambrian Research, 377: 106725.
- Kawaguchik, Minh P, Hieu P T, Cuong TC, Dask. 2021. Evolution of supracrustal rocks of the Indochina Block: Evidence from new detrital zircon U-Pb ages of the Kontum Massif, Central Vietnam[J]. Journal of Mineralogical and Petrological Science, 116(2): 69-82.
- Li X H, Zhou H W, Chung S L, Ding S J, Liu Y, Lee C Y, Ge W C, Zhang Y M, Zhang R J. 2002. Geochemical and Sm-Nd isotopic characteristics of metabasites from central Hainan Island, South China and their tectonic significance[J]. Island Arc, 11(3): 193-205.
- Li X H, Li Z X, Li W X, Wang Y J. 2006. Initiation of the Indosinian Orogeny in South China: evidence for a Permian magmatic arc in the Hainan Island [J]. The Journal of Geology, 114(3): 341-353.
- Li Z X, Li X H, Zhou H W, Kinny P D. 2002. Grenvillian continental collision in south China: New SHRIMP U-Pb zir-

- con results and implications for the configuration of Rodinia[J]. *Geology*, 30(2):163-166.
- Li Z X, Li X H, Li W X, Ding S J. 2008. Was Cathaysia part of Proterozoic Laurentia? - new data from Hainan Island, South China[J]. *Terra Nova*, 20(2): 154-164.
- Liati A, Gebauer D, Wysoczanski R. 2002. U-Pb SHRIMP dating of zircon domains from UHP garnet-rich mafic rocks and late pegmatoids in the Rhodope zone (N Greece): Evidence for early Cretaceous crystallization and Late Cretaceous metamorphism[J]. *Chemical Geology*, 184(3-4):281-299.
- Liu H C, Zi J W, Cawood P A, Cui X, Zhang L M. 2020. Reconstructing South China in the Mesoproterozoic and its role in the Nuna and Rodinia supercontinents[J]. *Precambrian Research*, 337: 105558.
- Liu Y S, Hu Z C, Gao S. 2008. In situ analysis of major and trace elements of anhydrous minerals by LA-ICP-MS without applying an internal standard[J]. *Chemical Geology*, 257: 34-43.
- Liu Y S, Gao S, Hu Z C, Gao C G, Zong K Q, Wang D B. 2010a. 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*, 51: 537-571.
- Liu Y S, Hu Z C, Zong K Q, Gao C G, Gao S, Xu J, Chen H H. 2010b. Reappraisal and refinement of zircon U-Pb isotope and trace element analyses by LA-ICP-MS [J]. *Chinese Science Bulletin*, 55:1535-1546.
- Ludwig K R. 2001. *Squid 1.02: A user's manual*[M]. Berkeley Geochronology Centre, Berkeley.
- Ludwig K R. 2003. *ISOPLOT 3: A Geochronological Toolkit for Microsoft Excel*[M]. Berkeley Geochronology Centre Special Publication, 4: 1-74.
- Metcalf I, Shergold I H, Li Z X. 1993. IGCP 321 Gondwana dispersion and Asian accretion: Fieldwork on Hainan Island[J]. *Episodes*, 16:443-447.
- Nakano N, Osanai Y, Owada M, Binh P, Hokada T, Kaiden H, Bui V T S. 2021. Evolution of the Indochina block from its formation to amalgamation with Asia: Constraints from protoliths in the Kontum Massif, Vietnam[J]. *Gondwana Research*, 90:47-62.
- Wang Z L, Xu D R, Hu G C, Yu L L, Wu C J, Zhang Z C, Cai J X, Shan Q, Hou M Z, Chen H Y. 2015. Detrital zircon U-Pb ages of the Proterozoic metaclastic-sedimentary rocks in Hainan Province of South China: New constraints on the depositional time, source area, and tectonic setting of the Shilu Fe-Co-Cu ore district [J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 113: 1143-1161.
- Williams I S. 1998. U-Th-Pb Geochronology by Ion Microprobe[A].//Mickibben, M. A, Shanks W C, Ridley W I, (eds). *Applications of microanalytical techniques to understanding mineralizing processes*[C]. *Review Economic Geology*, 7:1-35.
- Xu Y J, Cawood P A, Zhang H C, Zi J W, Zhou J B, Li L X, Du Y S. 2020. The Mesoproterozoic Baoban Complex, South China: A missing fragment of western Laurentian lithosphere[J]. *GSA Bulletin*, 132(7-8): 1404-1418.
- Yao W H, Li Z X, Li W X, Li X H. 2017. Proterozoic tectonics of Hainan Island in supercontinent cycles: new insights from geochronological and isotopic results[J]. *Precambrian Research*, 290: 86-100.
- Zeh A, Gerdes A, Barton J and Klemd R. 2010. U-Th-Pb and Lu-Hf systematic of zircon from TTG's, leucosomes, meta-anorthosites and quartzites of the Limpopo Belt (South Africa): Constraints for the formation, recycling and metamorphism of Palaeoarchaean crust[J]. *Precambrian Research*, 179(1-4): 50-68.
- Zhang L M, Wang Y J, Qian X, Zhang Y Z, He H Y, Zhang A M. 2018. Petrogenesis of Mesoproterozoic mafic rocks in Hainan (South China) and its implication on the Southwest Hainan-Laurentia-Australia connection[J]. *Precambrian Research*, 313:119-133.
- Zhang L M, Zhang Y Z, Cui X. 2019. Mesoproterozoic rift setting of SW Hainan: Evidence from the gneissic granites and metasedimentary rocks[J]. *Precambrian Research*, 325: 69-87.
- Zhang L M, Cawood P A, Wang Y J, Cui X, Zhang Y Z, Qian X, Zhang F F. 2020. Provenance Record of Late Mesoproterozoic to Early Neoproterozoic Units, West Hainan, South China, and Implications for Rodinia Reconstruction[J]. *Tectonics*, 39(7-8):976-994.
- Zhao G C, Cawood P A. 2012. Precambrian geology of China[J]. *Precambrian Research*, 222:13-54.
- Zhou Y, Liang X Q, Liang X R, Jiang Y, Wang C, Fu J G, Shao T B. 2015. U-Pb geochronology and Hf-isotopes on detrital zircons of Lower Paleozoic strata from Hainan Island: New clues for the early crustal evolution of southeastern South China[J]. *Gondwana Research*, 27 (4): 1586-1598.