

doi:10.3969/j.issn.2097-0013.2022.01.006

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

龙文国^{1,2}, 周岱^{1,2}, 柯贤忠¹, 王晶¹, 吴俊^{1,3}, 张健钰^{1,3},
王磊^{1,2}, 王祥东^{1,2}, 徐德明^{1,2}

LONG Wen-Guo^{1,2}, ZHOU Dai^{1,2}, KE Xian-Zhong¹, WANG Jing¹, WU Jun^{1,3}, ZHANG Jian-Yu^{1,3},
WANG Lei^{1,2}, WANG Xiang-Dong^{1,2}, XU De-Ming^{1,2}

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), 武汉 430205;

2. 中国地质调查局花岗岩成岩成矿地质研究中心, 武汉 430205; 3. 古生物与地质环境演化湖北省重点实验室, 武汉 430205

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

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

3. Hubei Key Laboratory of Paleontology and Geological Environment Evolution, Wuhan 430205, Hubei, China

摘要: 北东向乐东-定安断裂的具体位置及演化对海南岛大地构造单元划分及构造演化研究意义重大。本文采用碎屑锆石年代学方法, 分析了乐东-定安断裂南西段两侧志留纪兰多维列世沉积物物源的特征及其差异, 并讨论其中蕴含的大地构造意义。研究结果表明东方江边娜姆河地区志留纪兰多维列世陀烈组中碎屑锆石年龄介于 1457~3124 Ma 之间, 显示 1 个主峰年龄约 1840 Ma, 大多数锆石年龄介于 1624~2046 Ma 之间。保亭南好地区志留纪兰多维列世足赛岭组中碎屑锆石年龄介于 417~2937 Ma 之间, 其中最年轻一组锆石年龄介于 417~501 Ma 之间, 形成了一个 449 Ma 的主峰, 其余锆石年龄多介于 1300~1800 Ma 之间。东方江边娜姆河地区陀烈组和保亭南好地区足赛岭组沉积特征和物源的差异性暗示它们形成的沉积背景与物源区不同, 结合其他相关地质资料, 认为以乐东-定安断裂为界可将海南岛划分为琼西北地块与琼东南地块, 二者拼合形成统一的海南地块, 拼合时间应晚于早志留世。

关键词: 志留纪; 锆石 U-Pb 定年; 乐东-定安断裂; 大地构造单元; 海南岛

中图分类号: P544; P534.43

文献标识码: A

文章编号: 2097-0013(2022)01-0079-15

Long W G, Zhou D, Ke X Z, Wang J, Wu J, Zhang J Y, Wang L, Wang X D and Xu D M. 2022.
Early Paleozoic Tectonics of Hainan Island: Constraints from the Detrital Zircons U-Pb
Geochronology on Early Silurian Sandstones. *South China Geology*, 38(1):79-93.

Abstract: Constraining the location and formation age of the NE-Trending Ledong-Dingan fault is crucial to better understand the tectonic unit division and tectonic evolution of Hainan island. In this contribution, detrital zircon geochronology is used to analyze the characteristics and differences of the lower Silurian sediment sources on both sides of the southwestern segment of the Ledong-Dingan fault, and to interpret the tectonic significance indicated by the provenance differences. The dating results show that the detrital zircon ages from the early Silurian Tuolie Formation in the Jiangbian area (Dongfan County) which located at the northwest of

收稿日期: 2021-12-13; 修回日期: 2022-1-21

基金项目: 中国地质调查局项目(DD12120113066400、DD20160031、DD20190047、DD20221634)

第一作者: 龙文国(1967-), 男, 研究员, 主要从事地层与岩石学研究工作, E-mail: longwg21cn@126.com

Ledong-Dingan fault range from 1457 Ma to 3124 Ma, and most zircon ages range from 1624 Ma to 2046 Ma, with the main peak at about 1840 Ma. And the detrital zircon ages from the early Silurian Zusailing Formation in Nanhao area (Baoting county) which is located at the southeast of Ledong-Dingan fault range from 417 Ma to 2937 Ma, in which the youngest group of zircons is from 417 Ma to 501 Ma, forming the main peak of 449 Ma, while the rest mostly range from 1300 Ma to 1800 Ma. The differences of the sedimentary characteristics and source between the two Formation suggest the different sedimentary background and provenance area. Together with other relevant geological data, Hainan island should be subdivided into the Qiongxibei block (northwest Hainan Island) and the Qiongdongnan block (southeast Hainan Island) with the fault as boundary which are combined to form a unified Hainan block during the time later than the Early Silurian.

Key words: Silurian; Zircon U-Pb dating; Ledong-Dingan fault; tectonic units; Hainan island

海南岛位于华南板块、太平洋板块、印支地块、南海地块的交汇部位,具有复杂的构造演化历史,是研究各块体构造演化及东(原、古)特提斯洋闭合的重要窗口(李献华等,2000;Li X H et al.,2002)。关于海南岛大地构造单元划分及其各单元构造属性的认识,长期以来存在较大分歧。郭令智等(1980)将琼中地体划归云开地体,杨树锋等(1989)以东西向的九所-陵水断裂为界将海南岛划分为崖县和琼中两个古生代地体并认为它们在白垩纪中期拼合,Hsü et al.(1990)、Chen H H et al.(1993)和陈海泓等(1994)提出了“石碌混杂岩”的模式,认为华南(包括海南岛北部)和东南亚(包括海南岛中南部)在中生代早期沿昌江-琼海构造带碰撞,海南岛中部的“石碌群”以及周边大多数古生代地层为碰撞混杂岩,汪啸风等(1992)则提出海南岛晚古生代属于特提斯构造域范围的见解。Metcalf et al.(1993)主张以北东向白沙构造带为界进行构造单元划分。海南省地质矿产局(1997)以九所-陵水断裂带为界,将南侧的三亚和南海等地区划归为南海地台,北侧的五指山地区划归华南褶皱带;李献华等(2000)、Li X H et al.(2002)认为沿昌江-琼海一带出露的古生代变质基性火山岩具有洋中脊玄武岩特征,认为金沙江-哀牢山-马江缝合带向东延伸到海南岛中部,从而将构造带以北地区划归华夏地块,构造带以南地区划入印支地块,这一观点得到了部分学者(Zhang F F et al., 2011; Faure et al., 2016, 2017; He H Y et al., 2018a,b; Wang Y J et al., 2018)的认同。Zhou Y et al.(2021)则认为 Truong Son 和 Tam Ky-Phuoc Son 缝合带(Wang Y J et al.,

2020, 2021a, 2021b)东延至海南岛邦溪-晨星一带。

近年来越来越多的研究成果显示北东向乐东-定安断裂(与 Metcalfe 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,海南岛古生代构造形迹主体呈北东向,可以以此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西北侧的琼西北地块,二者在志留纪-泥盆纪拼合过程中(二者间的洋壳呈南东向俯冲)于琼东南地块西北缘的黄竹岭地区形成了一套活动大陆边缘弧岩浆岩(龙文国等,2022),为乐东-定安构造带北东段具体位置的厘定提供了直接证据,但其南西段尚未发现火成岩的相关记录(可能已风化剥蚀或被掩盖)。本文通过对乐东-定安构造带南西段两侧志留系兰多维列统的沉积特征和碎屑岩中锆石 U-Pb 年龄进行研究,并与周边及潜在的源区年龄信息进行对比分析,以期揭示乐东-定安构造带两侧早古生代晚期沉积岩的沉积背景与物源特征,从而为乐东-定安构造带南西段的具体位置及海南岛古生代大地构造单元划分提供依据与制约。

1 区域地质背景

海南岛地表出露的前寒武纪地质体主要分布于西部抱板、大蟹岭、冲卒岭、石碌等地,包括抱板群、石碌群和石灰顶组(中科院华南富铁矿科学研究所,1986;张仁杰等,1991;张业明等,1997;马大铨等,1997;龙文国等,2005a)。抱板群形成于中元

古代,石碌群形成于青白口纪(张仁杰等,1991),二者呈断层接触,而与上覆震旦纪石灰顶组呈不整合接触(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,分布面积不足全岛总面积的 10%,其中三亚地区出露的寒武系和奥陶系产丰富化石,由下而上由浅海相碎屑岩过渡到含磷、锰硅质岩,碳酸盐岩和滨浅海相陆源碎屑岩系;其它地区出露的寒武系和奥陶系多无可靠的古生物化石证据或精细年代学数据。志留系分布广泛而零散,主要分布于海南岛九所-陵水断裂以北地区,自西部的东方往东至昌江、白沙、儋州、乐东及东部的万宁均有分布(图 1)。曾庆奎等(2003)以尖峰-吊罗断裂为界进一步将志留系分为南北两个沉积区,南区岩性由变质砂岩和粉砂岩、板岩、千枚岩、片岩及局部出露的结晶灰岩组成;北区岩性为粉砂岩、页岩、硅质岩、夹炭质硅质岩及砂质灰岩。保亭南好地区志留系为一套形成于滨海-浅海陆棚沉积环境的碎屑岩及碳酸盐岩沉积,岩性主要为变质砂岩和粉砂岩、板岩、千枚岩、片岩、结晶灰岩,下部为滨海相沉积的石英砂岩、粉砂岩,夹碳酸盐岩透镜体,局部砂岩中含碳;中部岩性主要为远滨-浅海相沉积泥岩、粉砂质泥岩,夹中厚层碳酸盐岩;上部为滨

海-浅海相沉积的粉砂岩、石英砂岩,夹碳酸盐岩透镜体,产大量腕足类、珊瑚、三叶虫、腹足类等化石(陈哲培和钟盛中,1987;汪啸风等,1992;海南地质矿产局,1997;张仁杰等,2000, 2002, 2004;李志宏等,2000, 2006, 2009;曾庆奎等,2003, 2004)。东方江边娜姆河-广坝地区的志留系为一套形成于陆棚远岸-深海沉积环境的细粒碎屑岩沉积,岩性主要为粉砂岩、页岩、硅质岩,夹炭质硅质岩、砂质灰岩。下部以泥质沉积为主,夹硅质泥质灰岩透镜体,在泥质岩中可见由砂质及泥质构成的水平条带及纹层构造;中部为黑色炭质泥质岩建造,主要由黑色炭质绢云母板岩组成,局部夹炭质硅质岩及硅质白云岩薄层或透镜体;上部为一套具复理石韵律的泥质岩建造,由泥岩、粉砂岩和细砂岩组成的条带和条纹非常发育,产几丁虫、笔石化石(汪啸风等,1992;龙文国等,2016)。除保亭南好和东方江边-广坝地区以外其余地区志留纪地层的划分及时代归属大多据岩石组合特征或其中所含微体古生物化石,昌江邦溪、儋州、琼海等地区原划归志留纪的地层其形成时代大多应为晚古生代(张立敏等,2017)。上古生界出露于九所-陵水断裂以北地区,由海相砂岩、板岩、砂质板岩、灰岩组成。中生代地层多分布于断陷盆地中,为巨厚的陆

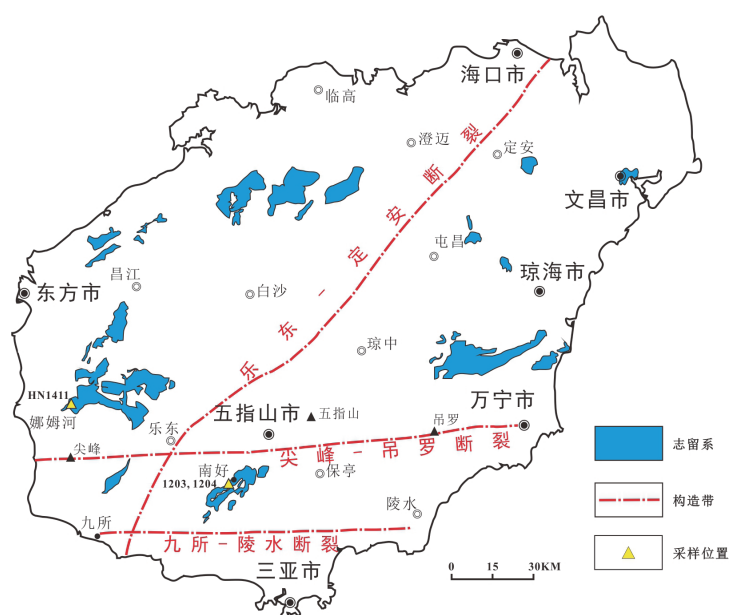


图 1 海南岛志留纪地层分布图(引自李孙雄等,2017)

Fig. 1 The spatial distribution of Silurian in Hainan Island (after Li S X et al., 2017)

相红色粗碎屑岩夹泥页岩、火山岩。新生界古近系 - 新近系出露或隐伏分布于琼北广大地区, 琼南沿海地区则多隐伏分布, 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。中元古代片麻状花岗岩侵入抱板群中, 加里东期岩浆岩主要见黄竹岭地区 S 型花岗岩(丁式江等, 2005; 龙文国等, 2022) 和中酸性火山岩(丁式江等, 2002; 龙文国等, 2005b)。海西 - 印支期岩浆作用非常强烈, 岩浆岩呈面状分布于全岛, 其成因与古特提斯洋的演化密切相关, 多为与俯冲、碰撞和后碰撞相关的系列岩浆岩(李孙雄等, 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(李孙雄等, 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。

海南地块(其范围包括海南岛及周缘陆架海域)由琼东南地块与琼西北地块组成, 北东向的乐东 - 定安断裂具块体边界性质, 乐东 - 定安断裂从白沙县城东侧穿过, 与 Metcalfe et al. (1993) 所指的“白沙断裂”位置大致相同(但 Metcalfe 称之为“白沙断裂”不妥, 因从白沙县城穿城而过的一条北东向断裂早已被命名为“白沙断裂”, 我们现以乐东 - 定安断裂带称之), 东西向的昌江 - 琼海、尖峰 - 吊罗、九所 - 陵水等断裂为海南地块形成后发育的晚期板内断裂。总体而言海南岛北东向、东西向、南北向、北西向构造形迹均较发育(广东省地质局, 1988; 汪啸风等, 1992; Metcalfe et al., 1993; Metcalfe, 1996; 李孙雄等, 2017)。

2 样品特征与测试方法

本次研究的碎屑锆石定年样品分别采自乐东 - 定安断裂北西侧的东方江边地区娜姆河陀烈组层型剖面(HN1411)(图 1, 图 2a) 和南东侧的保亭南好地区的足赛岭组(1203、1204)(图 1, 图 2b), 岩性均为低绿片岩相的变质砂岩。东方江边 - 广坝地区和保亭南好地区的志留纪地层现均划归志留纪早期, 其时代归属均有可靠的古生物证据(陈哲培和钟盛中, 1987; 汪啸风等, 1992; 海南地质矿产局, 1997; 张仁杰等, 2000, 2002, 2004; 李志宏等, 2000, 2006, 2009; 曾庆鑫等, 2003, 2004)。

样品的锆石分选在河北省廊坊市诚信地质服务公司完成。在测试之前, 先在中国地质大学地质过程与矿产资源国家重点实验室进行透射、反射光拍照, 并利用 JEOL JXA-8100 型电子探针对锆石进行阴极发光(CL)照相。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利用激光剥蚀电感耦合等离子质谱仪(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 20~30s 空白和 50s 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

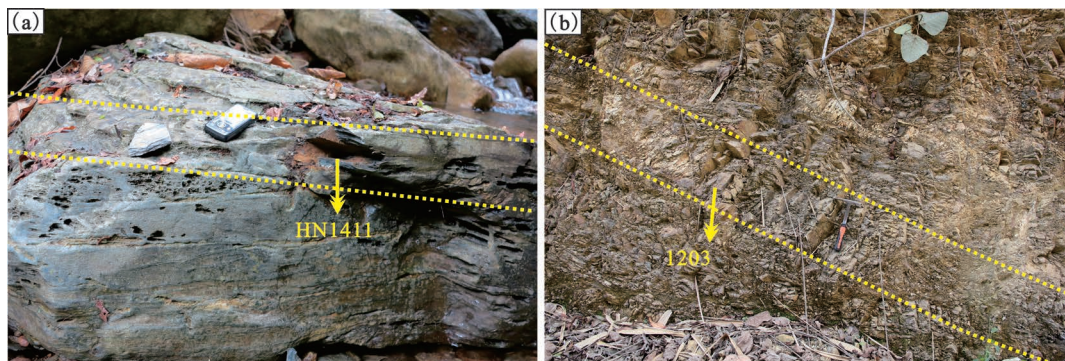


图 2 变质砂岩野外露头特征(a: HN1411; b: 1203)

Fig. 2 Field outcrop and its characteristics of metasandstone (a: HN1411; b: 1203)

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, b)。所有锆石分析点的 U-Pb 同位素体系均较谐和, 利用 Andersen 的普通铅校正程序 ComPbCon#3-151(Andersen et al., 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 et al., 2003)完成。在讨论中对于 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄小于 1 Ga 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 1 Ga 的颗粒采用 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 年龄, 谐和度小于 95% 的数据不参加讨论。

3 分析结果

三个样品的锆石颜色主要为浅棕到无色, 半自形晶体, 部分受到破碎作用而晶形不完整, 多发育较为规律的振荡环带结构, Th/U 比值变化较大, 多介于 0.2~0.8 之间, 指示其为岩浆成因。少部分锆石具有残留核或均质结构, 个别锆石具薄的变质亮边或溶蚀边, 表明样品中锆石来源较复杂。整体上多数锆石存在一定程度的磨圆, 呈现出碎屑锆石的形貌特征。三个样品的锆石 U-Pb 年龄测试结果见表 1。

对样品 HN1411 的 72 粒岩浆成因锆石进行

了年龄测定(表 1), 获得 64 组有效数据(谐和度大于 95%), 有效锆石年龄均位于谐和曲线上或附近(图 3a), 年龄值介于 1457~3124 Ma 之间, 集中分布在 4 个年龄组, 由新到老依次为: 1457~1533 Ma(2 颗)、1624~2046 Ma(51 颗)、2394~2622 Ma(10 颗)、3124 Ma(1 颗)。其中 1624~2046 Ma 组年龄形成了一个主要的峰值 1840 Ma, 2394~2622 Ma 组年龄形成另一个次峰值 2600 Ma(图 3b)。

对样品 1203 的 50 粒岩浆成因锆石进行了年龄测定(表 1), 获得 36 组有效数据(谐和度大于 95%), 有效锆石年龄均位于谐和曲线上或附近(图 4a), 年龄值介于 437~2616 Ma 之间, 集中分布在 7 个年龄组, 由新到老依次为: 437~501 Ma、653 Ma、867~1243 Ma、1294~1561 Ma、1643~1939 Ma、2292~2311 Ma、2577~2616 Ma, 其中最年轻一组(N=8)的加权平均年龄为 449 Ma, 形成了一个主要的峰值(图 4b), 867~1243 Ma、1294~1561 Ma、1643~1939 Ma 这 3 组年龄形成 3 个次峰。

对样品 1204 的 50 粒岩浆成因锆石进行年龄测定(表 1), 获得 40 组有效数据(谐和度大于 95%), 有效锆石年龄均位于谐和曲线上或附近(图 4c), 年龄值为 417~2937 Ma, 集中分布在 8 个年龄组, 由新到老依次为: 417~497 Ma、760 Ma、981 Ma、1365~1574 Ma、1662~1803 Ma、2127~2478 Ma、2613~2776 Ma、2937 Ma, 最年轻一组(N=22)的加权年龄为 447 Ma, 形成了一个主要的峰值, 1365~1574 Ma、1662~1803 Ma 这两组年龄形成两个次峰(图 4d)。

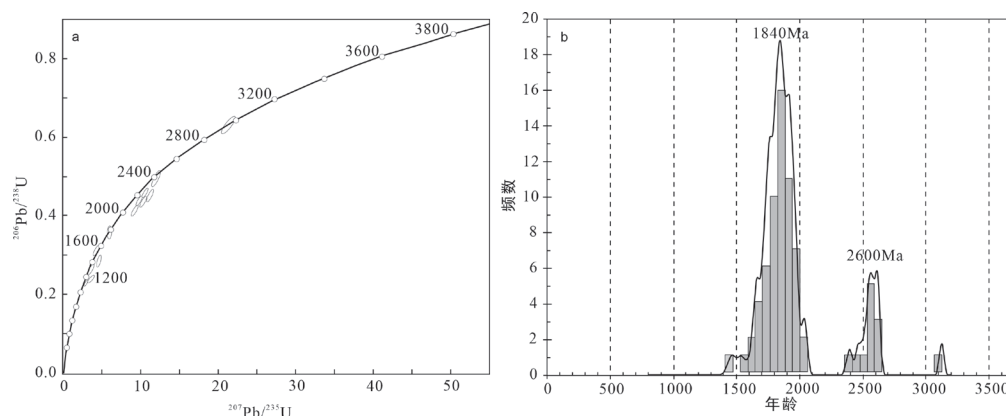


图 3 东方江边娜姆河地区下志留统变质粉砂岩(HN1411)锆石 U-Pb 年龄谐和图和直方图

Fig. 3 U-Pb Concordia diagrams and age histogram (HN1411) of zircons from metasiltstone in Namuhe area

表 1 锆石 U-Pb 测年数据 (仅示谐和度 >95% 的分析数据)

Table 1 Zircon LA-ICP-MS dating results (Only the analysis data with harmony > 95% are shown)

样品及 测点号	Th ($\times 10^{-6}$)	U ($\times 10^{-6}$)	Th/U	同位素比值				年龄值 (Ma)				谐和度				
				$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$\pm \sigma$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$\pm \sigma$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$\pm \sigma$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$\pm \sigma$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$\pm \sigma$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$\pm \sigma$	%
HN1411																
1	138.3	152.4	1.1	0.1041	0.0021	3.8090	0.1010	0.2564	0.0058	1698	22	1595	21	1471	30	97
2	320.5	333.3	1.04	0.1054	0.0022	3.9117	0.1089	0.2642	0.0060	1721	23	1616	23	1511	31	95
3	58.7	87.3	1.49	0.1170	0.0024	5.3439	0.1345	0.3275	0.0074	1911	20	1876	22	1826	36	98
5	71.5	120.8	1.69	0.1115	0.0022	4.7030	0.1148	0.3062	0.0070	1824	20	1768	20	1722	34	96
6	277.8	403.7	1.45	0.1098	0.0022	4.7438	0.1133	0.3123	0.0071	1795	20	1775	20	1752	35	98
7	127.1	262.5	2.07	0.1159	0.0024	4.9769	0.1258	0.3045	0.0069	1894	20	1815	21	1714	34	97
8	170.1	209.6	1.23	0.1079	0.0022	4.1965	0.1079	0.2850	0.0065	1764	21	1673	21	1616	33	96
9	469.3	521.4	1.11	0.1178	0.0024	5.0987	0.1238	0.3118	0.0071	1923	19	1836	21	1750	35	99
10	376.2	522.0	1.39	0.1215	0.0024	5.6485	0.1366	0.3381	0.0077	1978	19	1924	21	1878	37	98
11	65.9	118.9	1.8	0.1153	0.0024	4.8105	0.1288	0.2996	0.0068	1884	22	1787	23	1689	34	97
12	107.1	107.6	1.01	0.1190	0.0024	4.9996	0.1344	0.3034	0.0069	1941	22	1819	23	1708	34	98
13	149.8	164.2	1.1	0.1759	0.0035	11.1545	0.2681	0.4523	0.0103	2614	18	2536	22	2405	46	99
14	59.7	136.6	2.29	0.1202	0.0024	4.9027	0.1192	0.2936	0.0067	1959	19	1803	21	1660	33	99
15	96.2	241.1	2.51	0.1125	0.0024	4.4498	0.1315	0.2890	0.0066	1840	25	1722	24	1636	33	95
17	167.4	376.4	2.25	0.1201	0.0024	5.3947	0.1303	0.3247	0.0074	1957	19	1884	21	1813	36	98
18	236.4	523.1	2.21	0.1195	0.0025	5.4137	0.1659	0.3267	0.0075	1949	26	1887	26	1823	36	98
19	318.1	534.7	1.68	0.1109	0.0022	4.6864	0.1178	0.3129	0.0071	1814	20	1765	21	1755	35	97
20	361.7	821.7	2.27	0.1180	0.0024	5.2630	0.1290	0.3266	0.0074	1926	20	1863	21	1822	36	99
21	147.8	286.0	1.94	0.1135	0.0023	4.5990	0.1251	0.2879	0.0066	1856	22	1749	23	1631	33	98
22	129.4	112.2	0.87	0.2405	0.0048	21.3953	0.5462	0.6303	0.0144	3124	18	3157	25	3151	57	99
23	219.3	292.8	1.34	0.1604	0.0032	9.2978	0.2454	0.4138	0.0095	2460	20	2368	24	2232	43	98
24	289.2	343.5	1.19	0.1020	0.0021	4.1541	0.1138	0.2867	0.0066	1660	23	1665	22	1625	33	99
25	155.5	155.1	1	0.1022	0.0021	3.2822	0.0805	0.2309	0.0053	1665	20	1477	19	1339	28	98
26	391.2	821.3	2.1	0.1095	0.0022	4.5407	0.1127	0.3025	0.0069	1792	20	1738	21	1704	34	99
27	159.7	255.4	1.6	0.1142	0.0023	4.7819	0.1248	0.3029	0.0069	1867	21	1782	22	1706	34	96
28	273.9	416.8	1.52	0.1123	0.0023	4.8184	0.1208	0.3100	0.0071	1836	20	1788	21	1741	35	97
29	80.4	144.9	1.8	0.1684	0.0034	10.3505	0.2515	0.4364	0.0100	2542	18	2467	22	2335	45	95
30	409.1	442.2	1.08	0.1072	0.0023	4.1133	0.1187	0.2823	0.0065	1751	24	1657	24	1603	33	98
32	168.0	323.6	1.93	0.1166	0.0024	5.3254	0.1570	0.3270	0.0075	1905	24	1873	25	1824	37	97
33	188.3	265.8	1.41	0.1645	0.0033	10.5616	0.2690	0.4566	0.0105	2502	19	2485	24	2424	46	99
34	142.7	795.8	5.58	0.1686	0.0034	10.4131	0.2494	0.4378	0.0100	2544	18	2472	22	2341	45	98

续表 1

样品及 测点号	Th ($\times 10^{-6}$)	U ($\times 10^{-6}$)	Th/U	同位素比值				年龄值 (Ma)				谐和度				
				$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$\pm \sigma$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$\pm \sigma$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$\pm \sigma$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$\pm \sigma$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$\pm \sigma$	%		
HN1411																
35	58.5	100.7	1.72	0.1169	0.0024	4.7937	0.1190	0.2915	0.0067	1910	20	1784	21	1649	33	99
36	75.4	86.0	1.14	0.1079	0.0022	4.6935	0.1163	0.3169	0.0073	1764	20	1766	21	1774	35	98
37	128.8	177.8	1.38	0.1114	0.0023	4.9647	0.1279	0.3273	0.0075	1823	21	1813	22	1825	36	99
41	149.0	299.8	2.01	0.1114	0.0023	4.7017	0.1292	0.3040	0.0070	1822	22	1768	23	1711	35	99
42	568.7	414.7	0.73	0.1181	0.0026	4.5160	0.1518	0.2777	0.0065	1927	30	1734	28	1580	33	99
43	877.0	1210.2	1.38	0.1543	0.0031	9.8830	0.2767	0.4426	0.0102	2394	22	2424	26	2362	46	96
44	552.2	796.7	1.44	0.1222	0.0025	5.7616	0.1394	0.3568	0.0082	1989	19	1941	21	1967	39	97
45	243.7	155.1	0.64	0.1131	0.0023	5.4242	0.1365	0.3427	0.0079	1850	20	1889	22	1900	38	99
46	240.5	488.6	2.03	0.1190	0.0024	5.9474	0.1589	0.3552	0.0082	1942	21	1968	23	1959	39	99
47	213.6	601.1	2.81	0.1767	0.0036	11.9122	0.3063	0.4968	0.0114	2622	19	2598	24	2600	49	99
48	599.6	896.5	1.5	0.1760	0.0036	12.1007	0.3296	0.4976	0.0115	2616	20	2612	26	2603	49	98
49	817.2	689.8	0.84	0.1058	0.0022	3.9947	0.1128	0.2859	0.0066	1729	24	1633	23	1621	33	99
50	367.9	500.2	1.36	0.1253	0.0025	6.5750	0.1613	0.3735	0.0086	2033	19	2056	22	2046	40	98
51	229.0	441.9	1.93	0.1055	0.0021	4.7018	0.1156	0.3200	0.0074	1724	20	1768	21	1789	36	99
52	113.5	114.2	1.01	0.1097	0.0022	5.0098	0.1218	0.3260	0.0075	1794	20	1821	21	1819	36	99
53	106.5	139.4	1.31	0.1144	0.0024	5.1957	0.1591	0.3264	0.0076	1870	26	1852	26	1821	37	98
54	627.8	851.0	1.36	0.1146	0.0024	5.0909	0.1429	0.3253	0.0075	1873	23	1835	24	1815	37	96
55	123.4	611.9	4.96	0.1138	0.0024	5.1141	0.1538	0.3228	0.0075	1861	25	1838	26	1803	37	97
56	263.0	162.4	0.62	0.1151	0.0024	5.4023	0.1513	0.3373	0.0078	1881	23	1885	24	1873	38	99
57	224.0	185.2	0.83	0.1078	0.0022	4.7131	0.1154	0.3141	0.0072	1763	20	1770	21	1761	35	99
58	42.1	75.2	1.79	0.1127	0.0023	5.0517	0.1345	0.3280	0.0076	1844	22	1828	23	1829	37	99
59	291.7	486.0	1.67	0.1720	0.0035	11.2462	0.3154	0.4821	0.0111	2577	21	2544	26	2536	48	98
60	72.8	365.3	5.02	0.1728	0.0035	11.6325	0.3333	0.4845	0.0112	2585	22	2575	27	2547	49	99
61	182.0	232.9	1.28	0.1130	0.0023	4.8477	0.1354	0.3038	0.0070	1848	23	1793	24	1710	35	98
62	646.3	432.5	0.67	0.1262	0.0026	6.1812	0.1616	0.3547	0.0082	2046	21	2002	23	1957	39	99
63	380.1	182.9	0.48	0.1174	0.0024	5.8523	0.1454	0.3504	0.0081	1916	20	1954	22	1936	39	99
64	167.1	230.9	1.38	0.1133	0.0026	3.8032	0.1322	0.2414	0.0057	1853	31	1593	28	1394	29	99
65	74.1	109.7	1.48	0.1711	0.0034	11.3406	0.2728	0.4829	0.0111	2568	18	2552	22	2540	48	98
66	145.2	205.6	1.42	0.1041	0.0025	4.4203	0.1802	0.3069	0.0073	1698	41	1716	34	1726	36	99
68	78.9	144.9	1.84	0.1070	0.0023	4.3900	0.1370	0.3021	0.0071	1750	27	1710	26	1701	35	98
69	85.0	95.4	1.12	0.1000	0.0024	4.2221	0.1705	0.3116	0.0074	1624	41	1678	33	1748	36	99
71	401	2001	0.2	0.0914	0.0015	2.8259	0.0537	0.2237	0.0024	1457	31	1362	14	1301	12	98
72	403	835	0.48	0.0953	0.0017	3.5778	0.0663	0.2721	0.0022	1533	34	1545	15	1551	11	99

续表 1

样品及测点号	Th		U		Th/U	同位素比值				年龄值 (Ma)				谐和度	
	($\times 10^{-6}$)	($\times 10^{-6}$)	($\times 10^{-6}$)	($\times 10^{-6}$)		$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$\pm \sigma$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$\pm \sigma$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$\pm \sigma$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$\pm \sigma$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$\pm \sigma$
1203															
4	113	395	0.29	0.0571	0.0019	0.6016	0.0203	0.0765	0.0009	498	74	478	13	475	6
6	301	696	0.43	0.1761	0.0042	13.0187	0.3275	0.5339	0.0053	2616	41	2681	24	2758	22
7	117	208	0.56	0.1720	0.0038	12.1394	0.2842	0.5095	0.0055	2577	37	2615	22	2654	23
8	111	598	0.19	0.0841	0.0018	2.6977	0.0605	0.2315	0.0023	1294	41	1328	17	1342	12
9	51.6	195	0.26	0.1142	0.0027	5.1910	0.1235	0.3279	0.0034	1933	38	1851	20	1828	17
10	129	211	0.61	0.0780	0.0023	2.0073	0.0609	0.1855	0.0023	1148	59	1118	21	1097	13
11	206	372	0.55	0.0584	0.0019	0.6565	0.0230	0.0807	0.0010	546	70	512	14	501	6
12	117	88.0	1.33	0.1137	0.0036	5.3652	0.1750	0.3409	0.0044	1861	53	1879	28	1891	21
15	484	684	0.71	0.0568	0.0016	0.5796	0.0155	0.0734	0.0008	483	61	464	10	457	5
16	309	383	0.81	0.0548	0.0019	0.6053	0.0199	0.0798	0.0009	406	76	481	13	495	6
17	80.9	293	0.28	0.1175	0.0026	5.3634	0.1363	0.3258	0.0042	1918	40	1879	22	1818	20
19	334	539	0.62	0.0555	0.0014	0.6247	0.0158	0.0809	0.0009	432	56	493	10	501	5
20	120	196	0.61	0.1748	0.0043	12.0906	0.3011	0.4961	0.0055	2606	41	2611	23	2597	24
21	90.0	241	0.37	0.0839	0.0022	2.6038	0.0708	0.2228	0.0025	1300	52	1302	20	1297	13
22	106	253	0.42	0.0883	0.0020	3.0693	0.0729	0.2501	0.0026	1388	44	1425	18	1439	13
23	319	281	1.13	0.0962	0.0020	3.5788	0.0786	0.2676	0.0024	1551	34	1545	17	1528	12
25	288	328	0.88	0.1168	0.0026	5.7559	0.1331	0.3554	0.0034	1909	41	1940	20	1960	16
26	139	174	0.80	0.0589	0.0020	0.5722	0.0201	0.0702	0.0008	565	76	459	13	437	5
27	223	207	1.08	0.0719	0.0018	1.4365	0.0372	0.1439	0.0015	983	50	904	16	867	9
28	84.5	122	0.69	0.0701	0.0020	1.5490	0.0458	0.1601	0.0023	931	57	950	18	957	13
29	251	822	0.30	0.0622	0.0013	0.9219	0.0210	0.1067	0.0012	680	44	663	11	653	7
30	35.6	35.1	1.01	0.1009	0.0031	3.8464	0.1205	0.2758	0.0042	1643	57	1603	25	1570	21
31	224	83.3	2.68	0.0958	0.0026	3.9050	0.0993	0.2978	0.0034	1544	51	1615	21	1681	17
36	516	759	0.68	0.1188	0.0025	5.7109	0.1204	0.3459	0.0034	1939	37	1933	18	1915	16
37	62.7	195	0.32	0.1093	0.0024	4.7839	0.1049	0.3155	0.0032	1789	39	1782	18	1768	16
38	186	210	0.88	0.1068	0.0023	4.7821	0.1084	0.3226	0.0037	1746	39	1782	19	1802	18
41	43.6	50.0	0.87	0.0818	0.0034	2.4261	0.0938	0.2170	0.0031	1243	81	1250	28	1266	17
42	242	366	0.66	0.0568	0.0018	0.6104	0.0183	0.0777	0.0009	487	70	484	12	482	5
43	39.0	110	0.35	0.1122	0.0029	5.4129	0.1362	0.3483	0.0040	1835	46	1887	22	1927	19
44	213	306	0.70	0.0914	0.0022	3.0820	0.0717	0.2424	0.0024	1455	46	1428	18	1399	12
45	84.7	288	0.29	0.1080	0.0028	4.8879	0.1310	0.3245	0.0043	1766	48	1800	23	1812	21
46	263	801	0.33	0.0559	0.0016	0.6239	0.0177	0.0801	0.0008	456	67	492	11	497	5
47	282	596	0.47	0.1454	0.0033	8.5555	0.1968	0.4210	0.0043	2292	39	2292	21	2265	20
48	202	333	0.60	0.1469	0.0031	8.8686	0.1916	0.4323	0.0041	2311	37	2325	20	2316	19
49	34.6	277	0.12	0.0966	0.0021	3.7216	0.0800	0.2763	0.0026	1561	240	1576	17	1573	13
50	58.1	130	0.45	0.0759	0.0024	1.9346	0.0633	0.1825	0.0021	1094	63	1093	22	1080	12

续表 1

样品及测点号	Th		U		Th/U	同位素比值				年龄值 (Ma)				谐和度	
	($\times 10^{-6}$)	($\times 10^{-6}$)	($\times 10^{-6}$)	($\times 10^{-6}$)		$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$\pm \sigma$	$^{207}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$\pm \sigma$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$\pm \sigma$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$\pm \sigma$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	%
1204															
2	43.5	203	0.21	0.1035	0.0022	4.2645	0.0858	0.2975	0.0028	1689	39	1687	17	1679	14 99
3	167	427	0.39	0.0950	0.0018	3.6031	0.0737	0.2727	0.0027	1528	35	1550	16	1554	14 99
4	151	472	0.32	0.0564	0.0016	0.5799	0.0165	0.0744	0.0008	465	31	464	11	463	5 99
5	151	226	0.67	0.0867	0.0022	2.8689	0.0704	0.2385	0.0024	1354	53	1374	18	1379	12 98
6	159	245	0.65	0.1710	0.0033	11.8743	0.2325	0.4998	0.0043	2569	32	2595	18	2613	19 99
7	132	332	0.40	0.0544	0.0017	0.5441	0.0174	0.0721	0.0008	387	68	441	11	449	5 97
8	127	315	0.40	0.0558	0.0018	0.5650	0.0180	0.0733	0.0008	456	75	455	12	456	5 97
9	78.9	924	0.09	0.2053	0.0034	15.3441	0.2609	0.5383	0.0043	2868	27	2837	16	2776	18 96
12	98.2	126	0.78	0.1382	0.0030	7.4801	0.1666	0.3908	0.0041	2205	37	2171	20	2127	19 98
13	206	1272	0.16	0.0582	0.0012	0.6002	0.0131	0.0745	0.0007	600	48	477	8	463	4 98
14	166	854	0.19	0.0566	0.0014	0.5678	0.0145	0.0726	0.0007	476	57	457	9	452	4 98
15	141	480	0.29	0.0569	0.0020	0.5717	0.0196	0.0729	0.0007	487	80	459	13	454	4 99
16	370	709	0.52	0.0565	0.0017	0.5686	0.0178	0.0727	0.0008	472	67	457	12	452	5 98
17	73.6	360	0.20	0.0643	0.0018	1.1126	0.0325	0.1252	0.0012	750	55	759	16	760	7 98
18	134	331	0.41	0.0568	0.0024	0.5757	0.0243	0.0732	0.0010	483	91	462	16	455	6 98
19	197	153	1.28	0.1117	0.0028	4.9159	0.1255	0.3177	0.0033	1828	44	1805	22	1778	16 98
20	108	400	0.27	0.2195	0.0042	17.5758	0.3446	0.5770	0.0053	2977	31	2967	19	2937	22 98
21	204	893	0.23	0.0562	0.0016	0.5556	0.0171	0.0712	0.0008	461	65	449	11	443	5 96
22	142	721	0.20	0.0567	0.0017	0.5700	0.0172	0.0723	0.0007	480	65	458	11	450	4 95
23	269	404	0.67	0.1775	0.0032	11.5842	0.2348	0.4687	0.0060	2629	30	2571	19	2478	26 95
24	303	1017	0.30	0.0601	0.0015	0.6712	0.0174	0.0801	0.0008	609	56	521	11	497	5 98
25	161	504	0.32	0.0589	0.0020	0.5875	0.0193	0.0720	0.0008	565	76	469	12	448	5 99
26	107	351	0.30	0.1136	0.0026	5.1176	0.1148	0.3227	0.0031	1857	41	1839	19	1803	15 99
27	60.3	202	0.30	0.0576	0.0028	0.5993	0.0275	0.0762	0.0011	517	77	477	17	473	7 95
28	182	665	0.27	0.0565	0.0017	0.5849	0.0178	0.0745	0.0007	472	36	468	11	463	4 99
29	518	1248	0.41	0.0590	0.0014	0.6168	0.0142	0.0753	0.0006	565	47	488	9	468	4 96
30	136	1119	0.12	0.0564	0.0017	0.5603	0.0161	0.0720	0.0008	478	67	452	11	448	5 99
31	524	1299	0.40	0.0593	0.0016	0.5904	0.0155	0.0719	0.0007	576	59	471	10	447	4 98
32	629	1066	0.59	0.0578	0.0014	0.6138	0.0151	0.0762	0.0006	520	47	486	9	473	4 97
33	97.8	1623	0.06	0.0964	0.0017	3.6763	0.0656	0.2740	0.0023	1567	32	1566	14	1561	11 99
34	90.6	499	0.18	0.1073	0.0022	4.8038	0.0957	0.3222	0.0027	1754	37	1786	17	1801	13 98
35	106	477	0.22	0.0992	0.0023	4.0545	0.0904	0.2941	0.0027	1609	42	1645	18	1662	13 96
36	299	1003	0.30	0.0578	0.0017	0.5377	0.0162	0.0675	0.0007	520	65	437	11	421	4 99
41	151	866	0.17	0.0542	0.0016	0.5839	0.0199	0.0769	0.0012	389	60	467	13	478	7 97
42	254	522	0.49	0.0875	0.0018	2.8755	0.0610	0.2357	0.0025	1372	39	1376	16	1365	13 99
43	69.1	195	0.35	0.0770	0.0020	1.7594	0.0448	0.1645	0.0018	1120	18	1031	16	981	10 95
44	265	425	0.62	0.0581	0.0019	0.5580	0.0176	0.0694	0.0007	600	72	450	11	432	4 95
46	173	383	0.45	0.0557	0.0019	0.5161	0.0179	0.0669	0.0008	439	81	423	12	417	5 98
47	66.3	443	0.15	0.0997	0.0022	3.8289	0.0856	0.2766	0.0029	1618	41	1599	18	1574	15 98
49	161	165	0.98	0.0997	0.0024	3.6155	0.0884	0.2611	0.0028	1618	44	1553	19	1496	14 96

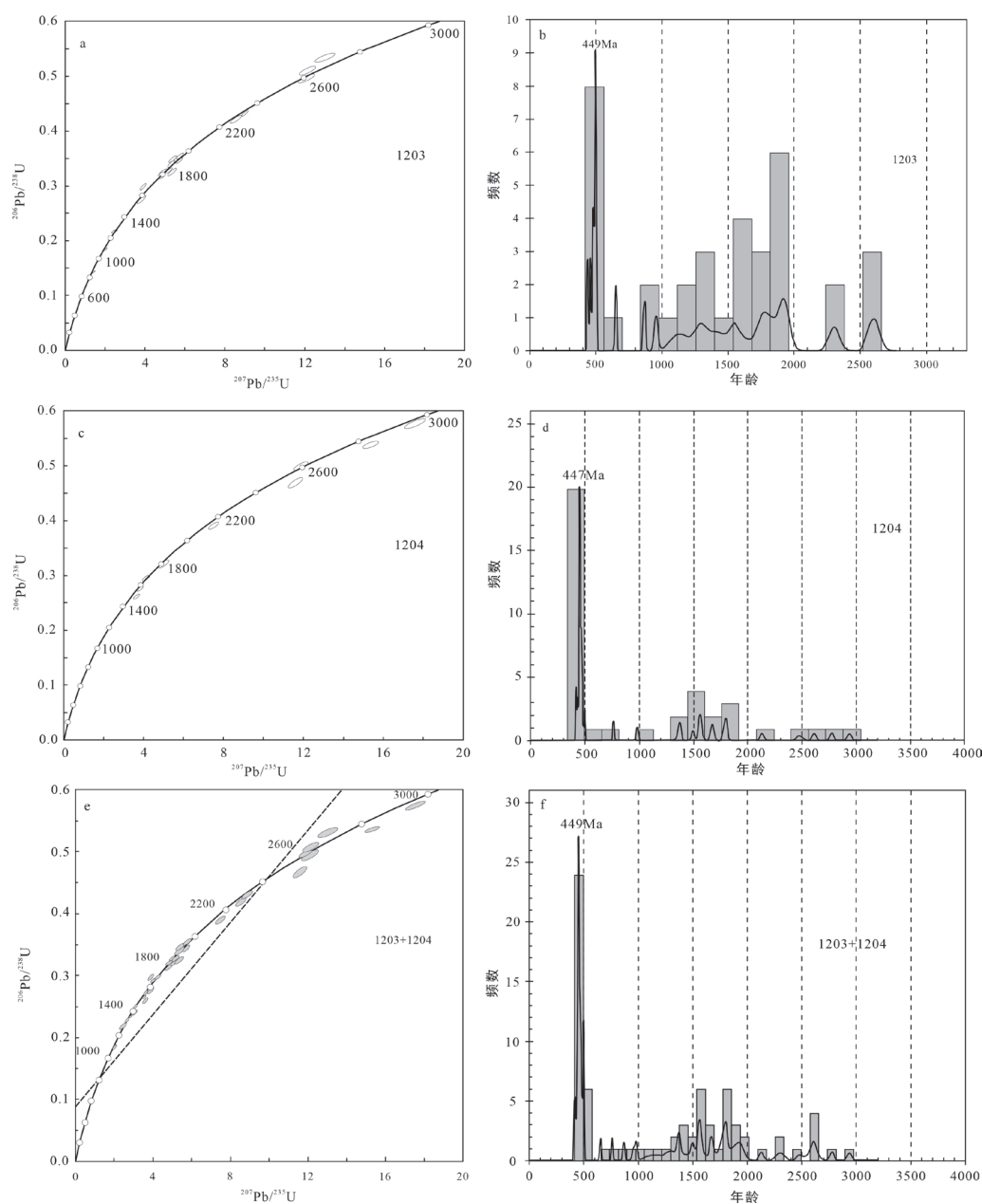


图 4 保亭南好地区下志留统变质细砂岩 (1203, 1204) 锆石 U-Pb 年龄谐和图和直方图

Fig. 4 U-Pb Concordia diagrams and age histogram of zircons from Metamorphic fine sandstone (1203, 1204) in Nanhao area

4 讨论

4.1 锆石年龄及源区

本次研究于东方江边娜姆河地区志留系兰多维列统陀烈组变质粉砂岩 (HN1411) 中获得锆石 U-Pb 年龄介于 1457~3124 Ma 间。Zhou Y et al. (2015) 于东方江边陀烈组中获碎屑锆石年龄介于 1172~2986 Ma 间 (原文献中报道了东方江边地区两个样品 2011GB-1 和 2011JB-1 的测试结果, 虽然样

品 2011JB-1 测年结果中出现 440~1100 Ma 的数据, 但是我们先后于该点处两次采样的测年结果中均未出现小于 1100 Ma 的数据, 因而本文在分析讨论中未采用 2011JB-1 的测试数据), Zou S H et al. (2016) 于乐东抱伦地区陀烈组中获碎屑锆石年龄介于 1384~2536 Ma 间。上述研究成果显示, 东方江边 - 乐东抱伦一带陀烈组中碎屑锆石年龄均大于 1150 Ma, 多介于 1150~3100 Ma 间, 而缺少年龄 < 1150 Ma 的碎屑锆石。区域上年龄大于 1400 Ma

的锆石在前寒武纪地质体(抱板群、石碌群和石灰顶组)中常见(马大铨等, 1997; Li Z X et al., 2002, 2008; Wang Z L et al., 2015; Yao W H et al., 2017; Zhang L M et al., 2019, 2020; Xu Y J et al., 2020), 推断陀烈组中年龄大于 1400 Ma 的锆石来源于前寒武纪沉积岩系或与它们具相同的源区, 其中年龄介于 1500~1400 Ma 间的部分锆石可能直接来源于抱板群中的火成岩(马大铨等, 1997; Li Z X et al., 2002, 2008; Yao W H et al., 2017; Zhang L M et al., 2019; Xu Y J et al., 2020), 年龄小于 1400 Ma 的部分锆石来源于前寒武纪石碌群和石灰顶组或与它们具相同的源区(Li Z X et al., 2008; Wang Z L et al., 2015; Yao W H et al., 2017; Zhang L M et al., 2020)。由此可见, 陀烈组的物源应主要来自分布于海南岛西部的前寒武纪抱板群(抱板杂岩)、石碌群和石灰顶组, 大多属前寒武纪基底物质的再循环。值得一提的是陀烈组中未见 1150~900 Ma 间的年龄, 而石碌群和石灰顶组中具此组年龄(许德如等, 2007; Wang Z L et al., 2015; Yao W H et al., 2017; Zhang L M et al., 2020), 具体原因值得进一步研究(也许是测点数量少的原因)。

保亭南好地区的志留系兰多维列统足赛岭组变质细砂岩中两个样品(1203、1204)的锆石年龄数据及谱系特征大致相同, 两个样品(1203、1204)的锆石年龄介于 417~2937 Ma 间(图 4e), 其中最年轻一组锆石年龄介于 417~501 Ma(27 颗), 形成了一个 449 Ma 的主峰, 其余锆石年龄介于 1300~1800 Ma(28 颗)之间, 形成多个小的峰值(图 4f)。三亚地区寒武系、奥陶系中存在 900~2600 Ma 间的碎屑锆石(Xu Y J et al., 2014; Zhou Y et al., 2015), 可见足赛岭组的物源部分来源于三亚地区寒武系、奥陶系, 或三亚地区寒武系、奥陶系物源区亦为保亭南好地区足赛岭组的物源区, 尤其奥陶系的物源区基本上应为足赛岭组的物源区。Xu Y J et al. (2014)认为三亚地区奥陶系中年龄介于 450~520 Ma 间的碎屑锆石与九所-陵水断裂以北琼中地块上的弧岩浆岩有关, 但笔者认为其与琼东南地块西北缘的弧岩浆岩有关。加里东期琼西北地块与琼东南地块间的原特提斯洋南东向俯冲, 于琼东南地块西北缘形成的弧岩浆岩为三亚地区奥陶系沉积提供了部分物

源, 也为保亭南好地区的志留系沉积提供了部分物源。保亭南好地区的足赛岭组中 <450 Ma 的碎屑锆石与琼东南地块西北缘加里东持续的岩浆活动有关。

4.2 锆石年龄的构造意义

此次研究的样品分别位于乐东-定安断裂南西段北西侧的东方江边地区与南东侧的保亭南好地区, 两个地区兰多维列统中碎屑锆石年龄数据及谱系特征完全不同。东方江边地区的年龄均 >1400 Ma, 大多数锆石年龄介于 1624~2046 Ma 之间, 形成了一个主要的峰值 1840 Ma; 区域上东方江边-乐东抱伦一带陀烈组中碎屑锆石年龄均大于 1150 Ma, 多介于 1150~3100 Ma 间。而保亭南好地区出现较多 <500 Ma 的锆石年龄, 介于 417~501 Ma 之间的一组最年轻年龄形成了 449 Ma 的主峰(图 4f)。由此可见, 兰多维列世时期两地区间存在沉积阻隔, 其物源存在较大差异, 应分属两个不同块体上的沉积区。

实际上, 曾庆奎等(2003)已经关注东方江边地区与保亭南好地区兰多维列统的沉积差异, 东方江边地区的志留系为一套形成于陆棚远岸-深海沉积环境的细粒碎屑岩沉积, 而保亭南好地区志留系为一套形成于滨海-浅海陆棚沉积环境的碎屑岩及碳酸盐岩沉积, 并以尖峰-吊罗断裂为界将海南岛志留系进一步分为南北两个沉积区, 且两地区的古生物组合亦存在较大差异, 南好地区志留系中产大量腕足类、珊瑚、三叶虫、腹足类等化石(陈哲培和钟盛中, 1987; 汪啸风等, 1992; 海南地质矿产局, 1997; 张仁杰等, 2000, 2002, 2004; 李志宏等, 2000, 2006, 2009; 曾庆奎等, 2003, 2004), 江边娜姆河-广坝地区志留系中产几丁虫、笔石(汪啸风等, 1992; 龙文国等, 2016), 古生物相明显不同。但我们认为以尖峰-吊罗断裂为界划分沉积区不妥, 一是东西向的尖峰-吊罗断裂明显斜穿早古生代原型盆地的北东走向, 且尖峰-吊罗断裂是中生代才开始活动的隐伏断裂(汪啸风等, 1992)。介于东方江边地区与保亭南好地区之间的北东向的乐东-定安断裂是划分琼西北地块与琼东南地块的界线, 亦可作为划分志留系沉积区的界线。该断裂带亦呈现为一条规模较大的北东向航磁异常带, 且以此为界可将

海南岛划分为琼西北与琼东南两个不同布格重力异常特征的小区(李孙雄等,2017)。琼西北地块与琼东南地块于加里东期完成拼合形成统一的海南地块,于缝合带北东段南东侧的黄竹岭地区形成了S型花岗岩(丁式江等,2005;龙文国等,2022)和酸性火山岩(丁式江等,2002;龙文国等,2005b),但该缝合带南西段的乐东一带未见火成岩出露,可能已风化剥蚀或被掩盖,志留纪地层的碎屑锆石信息为该带南西段的具体位置提供了制约。

4.3 海南地块的形成与演化

海南地块由琼东南地块与琼西北地块组成,琼西北地块(乐东-定安断裂以西地区)的抱板、大蟹岭、冲卒岭、石碌等地出露前寒武纪抱板群、石碌群和石灰顶组(中科院华南富铁矿科学研究所,1986;张仁杰等,1991;张业明等,1997;马大铨等,1997;龙文国等,2005a)。通过对这些前寒武纪地质体形成时代、形成的大地构造背景及可能的物源区进行研究,大多数学者(Li Z X et al., 2002, 2008; Yao W H et al., 2017; Zhang L M et al., 2019; Liu H C et al., 2019)认为中元古代时海南地块(实际上只能指示琼西北地块)位于东澳大利亚地块与劳伦大陆间,新元古代时海南地块(实际上只能指示琼西北地块)的大地构造位置则有位于澳大利亚板块的东部与西部之争(Li Z X et al., 2002, 2008; Wang Z L et al., 2015; Yao W H et al., 2017; Liu H C et al., 2019; Zhang L M et al., 2019, 2020)。由此推测,琼西北地块可能为Rodinia超大陆裂解时从澳大利亚板块毗邻地区(或其一部分)裂解出进而向北漂移,成为漂浮于原特提斯洋中的小地块。

琼东南地块(乐东-定安断裂以东地区)尚未有高精度年龄报道的前寒武纪地质体出露,原划归前寒武纪的地质体主要分布于屯昌、琼海、定安三县交界的黄竹岭地区(龙文国等,2002, 2005a;李孙雄等,2017)及琼中上安地区(马大铨等,1997;张业明等,1997),近年来的研究成果显示其均为显生宙形成的地质体(Li X H et al., 2006;陈新跃等,2011;周岱等,2021)。琼东南地块三亚-保亭一带出露早古生代浅海相碎屑岩、碳酸盐岩夹含磷硅质岩和笔石页岩建造,含丰富的三叶虫、腕足类及小壳类等化石(汪啸风等,1992;海南地质矿产局,1997;曾

庆奎等,2003)。寒武系含有以*Xystridura*、*Galahetes*和*Pagetia*为代表的生物组合和含磷沉积组合,它们可与澳大利亚昆士兰地区的寒武纪地层进行对比(汪啸风等,1992)。据此推测其寒武纪时属北澳大利亚地块的一部分,尔后脱离冈瓦纳大陆向北漂移,成为漂浮于原特提斯洋中的小地块。但Xu Y J et al.(2014)据碎屑锆石研究结果,认为其邻近西澳大利亚地块。

琼西北地块率先向北漂移,琼东南地块后续脱离冈瓦纳大陆向北漂移(二者均成为原特提斯洋中的两个小地块)。可能二者北漂时间与速度的差异,导致二者间的洋壳于中奥陶世-志留纪末发生南东向俯冲消减,直至二者拼合成统一的海南地块,乐东-定安断裂是琼西北地块与琼东南地块拼合过程中的产物。

5 结论

(1) 东方江边地区的志留系陀烈组为一套形成于陆棚远岸-深海沉积环境的细粒碎屑岩沉积,其砂岩中碎屑锆石年龄范围介于1457~3124 Ma间,均大于1400 Ma,大多数锆石年龄介于1624~2046 Ma间,形成了一个1840 Ma主峰,2394~2622 Ma间年龄形成一个次峰。陀烈组的物源主要来自海南岛西部的前寒武纪抱板群(抱板杂岩)、石碌群和石灰顶组基底岩石。

(2) 保亭南好地区志留系足赛岭组为一套形成于滨海-浅海陆棚沉积环境的碎屑岩及碳酸盐岩沉积,其砂岩中碎屑锆石年龄范围介于417~2937 Ma间,其中最年轻一组锆石年龄介于417~501 Ma,形成了一个449 Ma的主峰。其余锆石年龄多介于1300~1800 Ma间,形成多个小的次峰。足赛岭组的物源一部分来自三亚地区的寒武系、奥陶系,或与三亚地区寒武系、奥陶系的大部分物源区相同;另一部分物源来自琼东南地块西北缘的加里东期弧岩浆岩。

(3) 以乐东-定安断裂为界,可将海南岛划分为琼西北与琼东南两个地块。乐东-定安断裂具块体边界性质,其形成与琼西北地块与琼东南地块间的原特提斯洋南东向俯冲有关。

参考文献:

- 陈哲培, 钟盛中. 1987. 海南岛南好地区发现志留纪地层 [J]. 地层学杂志, 11 (3): 230-233.
- 陈海泓, 孙枢, 李继亮, Haag M, Dobson J, 许靖华, Heller F. 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位深熔花岗岩锆石 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 [C]. 国际交流地质学术论文集 (一). 北京: 地质出版社.
- 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.
- 李孙雄, 云平, 林义华, 陈哲培 主编. 2017. 海南省区域地质志 [M]. 北京: 地质出版社.
- 李献华, 周汉文, 丁式江, 李寄嶠, 张仁杰, 张业明, 葛文春. 2000. 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.
- 李志宏, 谢才富, 傅太安, 龙文国, 陈沐龙. 2000. 海南省南好地区志留纪地层新知 [J]. 华南地质与矿产, (4): 23-27.
- 李志宏, 谢才富, 傅太安, 罗郢. 2006. 海南岛南好地区志留纪软骨鱼类化石的发现及地质意义 [J]. 华南地质与矿产, (4): 39-44.
- 李志宏, 周鹏, 彭中勤, 程龙, 魏运许. 2009. 海南岛保亭县南好地区特列奇期地层层序的厘定 [J]. 地层学杂志, 33 (2): 206-212.
- 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, 周岱, 王晶, 柯贤忠, 周建波, 汪焰华. 2016. 海南岛西部大广坝地区晚奥陶世—早志留世笔石地层的发现及意义 [J]. 华南地质与矿产, 32(1): 10-14.
- 龙文国, 周岱, 柯贤忠, 王磊, 王晶, 徐德明, 胡军. 2022. 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/OL]. 中国地质, <https://kns.cnki.net/kcms/detail/11.1167.P.20201130.1120.002.html>
- 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.
- 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.
- 许德如, 马驰, 李鹏春, 夏斌, 张玉泉. 2007. 海南岛变碎屑沉积岩锆石 SHRIMP U-Pb 年龄及地质意义 [J]. 地质学报, 81(3): 381-393.
- 杨树锋, 虞子冶, 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.
- 曾庆奎, 李志宏, 谢才富, 傅太安, 张森. 2003. 论海南岛地区志留系 [J]. 地层学杂志, 27(4): 267-275.
- 曾庆奎, 李志宏, 谢才富, 付太安, 张森. 2004. 海南岛早志留世晚期腕足类 *Xinanospirifer* 的发现——兼论南好组 [J]. 古生物学报, 43 (1): 86-93.
- 张立敏, 王岳军, 张玉芝, 刘汇川, 张新昌. 2017. 海南岛北部古生界时代: 碎屑锆石 U-Pb 年代学约束 [J]. 吉林大学学报 (地球科学版), 47(4): 1187-1206.
- 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.
- 张仁杰, 胡宁, 冯少南. 2000. 海南岛保亭地区南好组发现志留纪化石 [J]. 中国学术期刊文摘 (科技快报), 6 (7): 882-883.
- 张仁杰, 胡宁, 姚华舟, 冯少南. 2002. 海南岛保亭地区南好组的地质时代 [J]. 地层学杂志, 26 (2): 101-105.
- 张仁杰, 张业明, 段其发, 姚华舟. 2004. 海南岛南好组剖析 [J]. 地层学杂志, 28 (3): 208-214.

- 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.
- 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.
- 周岱, 胡军, 王磊, 王祥东, 吴俊, 张健钰. 2021. 海南省黄竹岭地区区域地质调查报告 [R]. 武汉: 中国地质调查局武汉地质调查中心.
- Andersen T. 2002. Correction of common lead in U-Pb analyses that do not report ^{204}Pb [J]. Chemical Geology, 192: 59-79.
- Chen H H, Sun S, Hsü K J, Dobson J, Yu Z. 1993. Tectonics of the Hainan orogenic belt: a preliminary study[C]. In: Memoir of Lithosphere Tectonic Evolution Research[M]. Beijing: Seismorology Press, 43-48.
- Faure M, Lin W, Chu Y, Lepvrier C. 2016. Triassic tectonics of the southern margin of the South China Block [J]. Comptes Rendus Geoscience, 348(1): 5-14.
- Faure M, Chen Y, Feng Z H, Shu L S, Xu Z Q. 2017. Tectonics and geodynamics of South China: An introductory note [J]. Journal of Asian Earth Sciences, 141: 1-6.
- He H Y, Wang Y J, Zhang Y H, Qian X, Zhang Y Z. 2018a. Fingerprints of the Paleotethyan back-arc basin in Central Hainan, South China: Geochronological and geochemical constraints on the Carboniferous metabasites [J]. International Journal of Earth Sciences, 107(2): 553-570.
- He H Y, Wang Y J, Qian X, Zhang Y Z. 2018b. The Bangxi Chenxing tectonic zone in Hainan Island (South China) as the eastern extension of the Song Ma-Ailaoshan zone: Evidence of Late Paleozoic and Triassic igneous rocks [J]. Journal of Asian Earth Sciences, 164: 274-291.
- Hsü K J, Li J L, Chen H H, Wang Q C, Sun S, A.M.C. Sengor. 1990. Tectonic of South China: Key to understanding West Pacific geology [J]. Tectonophysics, 183: 9-39.
- 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 zircon 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.
- Liu H C, Zi J W, Cawood P A, Cui X, Zhang L M. 2019. 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. 2003. ISOPLOT 3.00: A Geochronological Toolkit for Microsoft Excel [M]. Berkeley Geochronology Centre Special Publication, 4: 1-74.
- Metcalf I, Shergold J H, Li Z X. 1993. IGCP321 Gondwana dispersion and Asian accretion: field work on Hainan island [J]. Episodes, 16: 443-447.
- Metcalf I. 1996. Gondwanaland dispersion, Asian accretion and devolution of eastern Tethys [J]. Australian Journal of Earth Sciences, 43(6): 605-623.
- Wang Y J, Qian X, Cawood P A, Liu H C, Feng Q L, Zhao G C, Zhang Y H, He H Y, Zhang P Z. 2018. Closure of the East Paleotethyan Ocean and amalgamation of the Eastern

- Cimmerian and Southeast Asian continental fragments [J]. *Earth-Science Reviews*, 18(6):195-230.
- Wang Y J, Wang Y K, Qian X, Zhang Y Z, Gan C S. 2020. Early Paleozoic subduction in the Indochina interior: Revealed by Ordo-Silurian mafic-intermediaterocks in South Laos [J]. *Lithos*, 362-363: 105488.
- Wang Y J, Zhang Y Z, Qian X, Wang Y, Cawood P A, Gan C S, Senebottalath V. 2021a. Early Paleozoic accretionary orogenesis in the northeastern Indochina and implications for the paleogeography of East Gondwana: constraints from igneous and sedimentary rocks[J]. *Lithos* 382-383: 105921.
- Wang Y J, Zhang Y Z, Qian X, Senebottalath V, Wang Y, Wang Y K, Gan C S, Zaw K. 2021b. Ordo-Silurian assemblage in the Indochina interior: Geochronological, elemental, and Sr-Nd-Pb-Hf-O isotopic constraints of early Paleozoic granitoids in South Laos [J]. *GSA Bulletin*. 133 (1-2), 325-346.
- 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.
- Xu Y J, Cawood P A, Du Y S, Zhong Z Q, Hughe N C. 2014. Terminal suturing of Gondwana along the southern margin of South China Craton: Evidence from detrital zircon U- Pb ages and Hf isotopes in Cambrian and Ordovician strata, Hainan Island [J]. *Tectonics*, 33: 2490-2504.
- 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.
- Zhang F F, Wang Y J, Chen X Y, Fan W M, Zhang Y H, Zhang G W, Zhang A M. 2011. Triassic high strain shear zones in Hainan Island (South China) and their implications on the amalgamation of the Tndochina and South China Blocks: KinematicandAr/Argeochronologicalconstraints [J]. *Gondwana Research*, 19(4): 910-925.
- Zhang L M, Zhang Y Z, Cui X. 2019. Mesoproterozoic rift setting of SW Hainan: Evidence from the gneissic granites and metasedimentaryrocks[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]. *Tectonic*, <https://doi.org/10.1029/2020TC0060>.
- 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.
- Zhou Y, Sun S Y, Feng Z H, Xu C, Cai Y F, Liang X Q, Liu X J, Du Y J.2021. A new insight into the eastern extension of the Proto-Tethyan margin of Gondwana by Early Paleozoic volcanic rocks in South China [J]. *Lithos*, 398-399: 106328.
- Zou S H, Wu C J, Xu D R. Shan Q, Zhang X W, Holling P, Hou M Z. 2016. Provenance and depositional setting of Lower Silurian siliciclastic rocks on Hainan Island, South China: Implications for a passive margin environment of South China in Gondwana [J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 123: 243-262.