

doi:10.3799/dqkx.2010.020

越南西北部地区 Sinh Quyen 岩组 副片麻岩的锆石年龄及其地质意义

HIEU Pham Trung(范忠孝)^{1,2,3}, 陈福坤¹, 祝禧艳^{1,2}, 王芳^{1,2}

1. 中国科学院地质与地球物理研究所矿产资源研究重点实验室, 北京 100029

2. 中国科学院研究生院, 北京 100039

3. 河内地质矿业大学地质系, 越南

摘要: 在大地构造位置上, 越南西北部地区是古特提斯造山带东段重要的组成部分, 并记录了印支陆块和华南板块碰撞拼合历史。其构造归属是厘定该地区古特提斯板块缝合带位置的关键。报道了出露的基底岩石 Sinh Quyen 岩组副片麻岩的碎屑锆石年龄, 探讨其沉积物源和归属问题。该岩组主要由长英质副片麻岩和混合岩等岩石类型构成, 被认为是越南西北部中元古代—古元古代基底岩石。采用 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年方法分析了 3 个长英质副片麻岩样品的 116 粒碎屑锆石, 123 个分析点锆石年龄的统计结果显示, 碎屑锆石形成时代主要集中在约 1.8 Ga 左右, 有少量约 2.2~3.0 Ga 中太古代碎屑锆石, 暗示 Sinh Quyen 副片麻岩沉积物源主要为早古元古代基底岩石。基底岩石在形成时间与华南板块古老基底相似, 推断 Sinh Quyen 岩组在构造归属上可能来自华南板块。部分碎屑锆石边部记录约 250 Ma 变质增生作用, 可能与华南板块—印支板块的印支期拼合有关, 记录了古特提斯造山作用。

关键词: 越南北部; 特提斯造山带; 片麻岩; 古元古代; 锆石 U-Pb 年龄; 地质年代学。

中图分类号: P597

文章编号: 1000-2383(2010)02-0201-10

收稿日期: 2009-05-28

Zircon Ages of Paragneisses from the Sinh Quyen Formation in Northwestern Vietnam and Their Geological Significances

HIEU Pham Trung^{1,2,3}, CHEN Fu-kun¹, ZHU Xi-yan^{1,2}, WANG Fang^{1,2}

1. Key Laboratory of Mineral Resources, Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029, China

2. Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China

3. Department of Geology, Hanoi University of Mining and Geology, Hanoi, Vietnam

Abstract: Northwestern Vietnam tectonically is an important part of the eastern Tethyan orogenic belt and this terrain has recorded the amalgamation history of the Indochina and South China blocks. Tectonic provenance of the terrain plays a key role for constraints on the location of the suture between these two blocks in NW Vietnam. In this study, detrital zircon ages of the Sinh Quyen Formation as part of the Paleoproterozoic to Mesoproterozoic basement rocks in NW Vietnam are reported for discussion of sedimentary sources and tectonic province of the basement. The rock formation is composed mainly of felsic paragneiss and migmatite. One hundred and sixteen zircon grains separated from three felsic paragneiss samples were analyzed by the LA-ICP-MS U-Pb dating method. Results of a total of 123 analytical spots demonstrate that crystallization ages of the detrital zircons mainly cluster around ~1.8 Ga with minor ~2.2 Ga to ~3.0 Ga, indicating Paleoproterozoic basement rocks as major sedimentary sources of the Sinh Quyen Formation. Basement rocks in northwestern Vietnam are similar to old basements in South China in formation time and so it can be proposed that the Sinh Quyen Formation is of the South China affinity or originated from crustal material of the South China block. Part of detrital zircon grains record ~250 Ma metamorphic overgrowth in the rim, probably related to the collision of South China and Indochina blocks and therefore recording the paleo-Tethyan orogenic event.

Key words: northern Vietnam; Tethyan orogenic belt; gneiss; Paleoproterozoic; zircon U-Pb age; geochronology.

东南亚地区是由多个地块或微板块拼合形成,经历了长期的地质演化. 华南地块、印支地块和 Sibumasu 地块 3 个主要微板块构成它的主体部分,这些地体经历了特提斯造山作用而形成统一的陆块 (Tapponnier *et al.*, 1981; Metcalfe, 1988, 1996, 1998, 2002; Sengör *et al.*, 1988; Hutchison, 1994; Sengör and Natal'in, 1996; Singharajwarapan and Berry, 2000; Sone and Metcalfe, 2008). 东亚半岛大部分属于印支地块,其西、北部分别受 Nan-Uttaradit 带和马江带 (Song Ma) 控制. 越南大部分地区归属于印支地块东部,这个地区发育大量的 SE-NW 向的剪切带 (图 1a), 尤其是越南北部和中部地区. 早期的研究者将越南北部的构造划归印支地块 (Fromaget, 1937, 1941; Dovjikov, 1965; Bao and Luong, 1985), 但是近年来, Tri (1977) 认为越南北部大部分地区应该属于华南地块,大地构造属性主要表现在构造演化特征、沉积作用、古生物特征、岩浆作用、地壳形成时代、构造热事件等等. 这些属性可以为揭示造山带演化过程提供重要的依

据. 还有不少学者通过分析造山带内沉积岩的碎屑矿物的形成时代和地球化学特征研究地体的演化和归属问题 (Valverde-vaquero *et al.*, 2000; Nelson, 2001; Cawood *et al.*, 2003, 2007; Chen *et al.*, 2003a, 2009; Dickinson and Gehrels, 2009). 由于强烈的特提斯造山作用的叠加,越南西北部记录了大量的古生代晚期至中生代甚至新生代的构造—岩浆—变质作用事件,仅有少数的研究结果显示在越南西北部可能存在太古代—古元古代的岩浆作用和地壳生长 (Lan *et al.*, 2001; Nam *et al.*, 2002, 2003). 本文报道越南西北部 Sinh Quyen 岩组长英质副片麻岩的锆石 U-Pb 年龄,通过探讨沉积物质来源与地壳形成历史,进一步理解越南西北部地体的大地构造属性,为限定印支地块与华南地块之间的缝合带位置提供年代学数据支持.

1 地质背景和样品特征

越南西北部的大地构造单元由 2 个断裂带,即 齐江断裂 (Song Chay fault) 和马江断裂 (Song Ma fault) 所控制 (图 1a). 早期的地质工作者把越南西北部看作是印支板块的一部分,由前寒武纪结晶基底组成,上覆古生代褶皱盖层,沿沱江或者黑水河 (Song Da) 伸展的中央部分是一个大的推覆体构造 (Fromaget, 1937, 1941). 20 世纪中后期以来,多数研究者将越南西北部称为“西北部褶皱带” (Dovjikov, 1965)、“北部褶皱带” (Tri, 1977) 或“中越地台”一部分 (Bao and Luong, 1985).

在先前的地槽理论基础上,根据岩石—构造特征,前人将越南西北部划分成若干具有不同演化历史和属性的构造带. 该地区西北缘由多期变形和角闪岩相变质的元古代正片麻岩和副片麻岩组成. 这些片麻岩被经历低级变质的新元古代—早寒武世沉积岩覆盖,共同构成 NW-SE 向红河 (Song Hong) 复背斜的核部. 秀丽盆地 (Tu Le) 分布在红河断裂带的南西翼,大部分由侵入前寒武纪基底的双峰式火山岩、铁镁质岩体和磨拉石沉积建造组成. 中间地带为 NW-SE 向断裂沉陷带,称为黑水河裂谷带. 该沉陷带内的岩石组成、形成时代和成因以及后期变形特征复杂,包括高级变质的早古生代陆源碳酸盐沉积和晚古生代—早中生代双峰式火山岩夹厚层陆源碳酸盐岩以及晚中生代陆相红层沉积.

本文的研究对象为越南西北部的 Sinh Quyen 岩

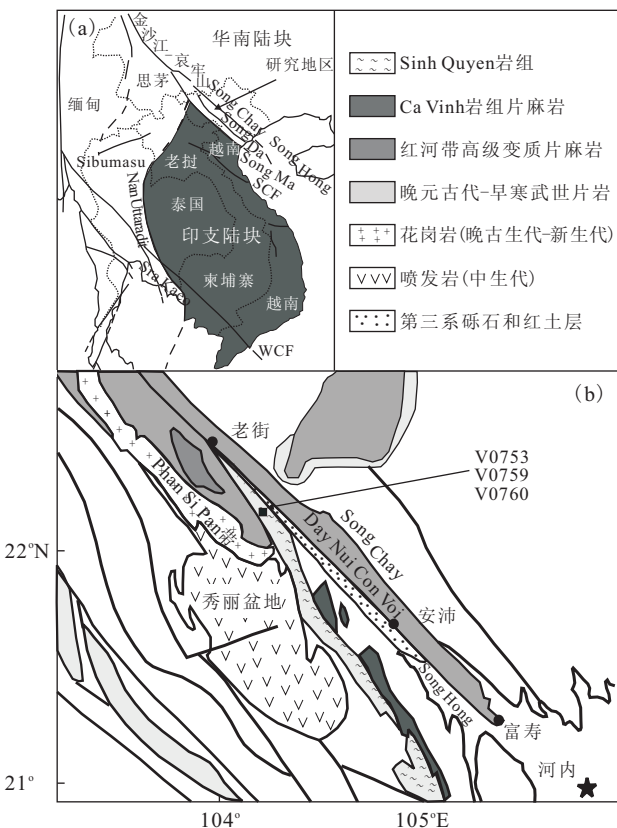


图 1 东南亚构造简图 (据 Lepvrier *et al.*, 2004 修改)

Fig. 1 Tectonic sketch of southeastern Asia

Song Hong, 红河断裂; Song Da, 沱江 (或黑水河); SCF, 兰江断裂; WCF, Wangchao 断裂

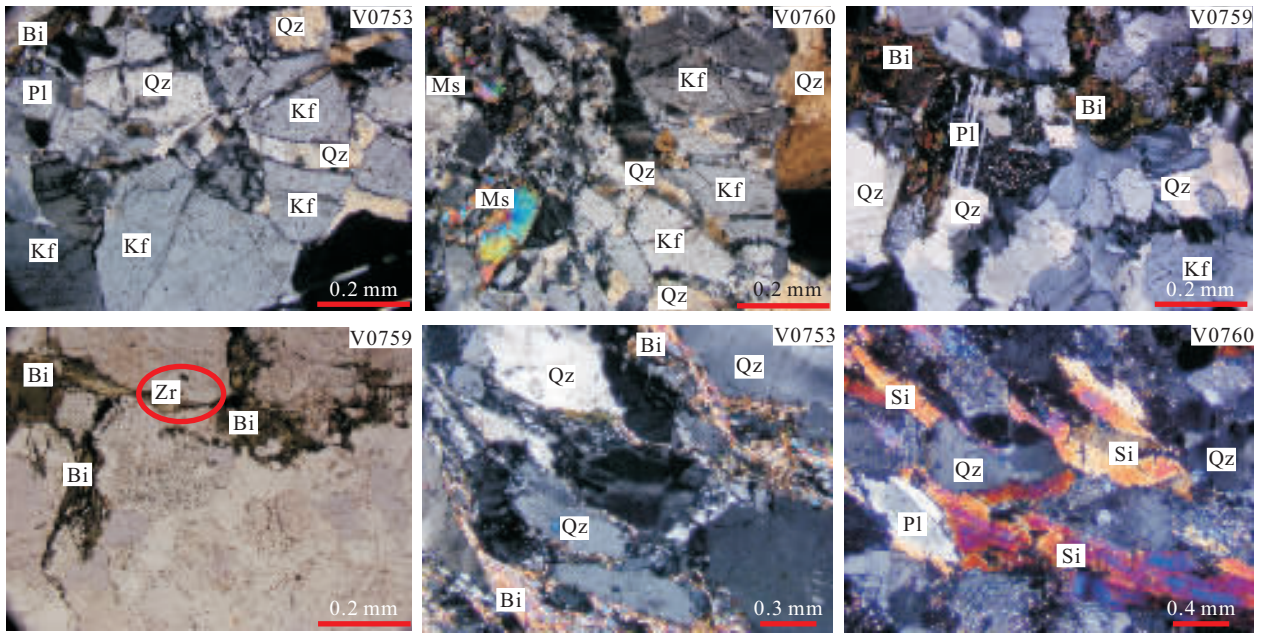


图 2 Sinh Quyen 岩组副片麻岩的显微结构

Fig. 2 Microstructure photographs of paragneisses from the Sinh Quyen Formation

Kf. 钾长石; Qz. 石英; Pl. 斜长石; Bi. 黑云母; Ms. 白云母; Si. 夕线石; Zr. 锆石

组,位于红河断裂带南缘和 Phan Si Pan 带东缘(图 1b)。Sinh Quyen 岩组变质沉积岩主要分布于 3 个 SE-NW 方向延伸的狭长区带内,出露面积约 8 km²,另外在 Phan Si Pan 带内有零星出露。Sinh Quyen 岩组由副片麻岩、混合岩、黑云母片岩和黑云斜长片麻岩等岩石类型构成,变质程度达到高绿片岩相—低角闪岩相。3 个产自 Sinh Quyen 岩组的长英质副片麻岩样品 V0753 (22° 08' 02" N, 104° 17' 10" E)、V0759 (22° 08' 21" N, 104° 18' 12" E) 和 V0760 (22° 08' 21" N, 104° 18' 15" E) 的矿物组成主要有钾长石(40%~45%)、斜长石(20%~25%)、石英(20%~25%)、黑云母(3%~5%)、夕线石(1%~2%)、少量绿泥石和白云母以及黑云母和少量白云母具有定向的排列(图 2)。副矿物有独居石、锆石、磷灰石和黝帘石。样品 V0760 具有少量的夕线石(图 2),夕线石也具有定向的排列。岩石遭受明显的钾化,大部分经历强烈的糜棱化作用。原岩恢复表明,出露于研究区的变质岩大部分为长英质沉积岩(Bao and Luong, 1985)。

2 分析方法

所采集的样品,经破碎后按标准流程分选出锆石矿物。采用环氧树脂固定待测试的锆石颗粒之后,将其抛磨至露出锆石的核部。锆石阴极发光成像

(CL)分析在中国科学院地质与地球物理研究所 CAMECA SX100 型电子探针上进行,工作条件是 15 kV 加速电压和 15~20 nA 电流。激光剥蚀电感耦合等离子体质谱(LA-ICP-MS)微区锆石 U-Pb 定年工作在中国地质大学(武汉)地质过程与矿产资源国家重点实验室完成。采用 Agilent 7500a 型 ICP-MS 与 GeoLas 200M ComPex102(193 nm) 激光剥蚀探针联机方式。每组分析前后各进行两次标样 GJ-1 分析,其中包含 10 个样品分析点。每组分析中进行标准锆石 91500 测试,以检测分析的重现性和仪器的稳定性。激光分析蚀点的直径一般为 40~50 μm。原始数据使用 GLITTER 4.0 软件(Macquarie University)进行处理,详细的分析流程、分析精度和准确性说明参见 Liu *et al.* (2007) 的描述。由于用 LA-ICP-MS 测得的²⁰⁴Pb 含量有很大的不确定性,因此处理后的数据使用 ComPbCorr # 3_151 软件(Andersen, 2002)进行普通铅校正,这个校正方法假定²⁰⁶Pb/²³⁸U、²⁰⁷Pb/²³⁵U 和²⁰⁸Pb/²³²Th 比值不谐和是由于在某一时间的铅丢失造成的。锆石 U-Pb 年龄计算使用 Isoplot3 软件(Ludwig, 2003)。

3 锆石 U-Pb 年龄

3 个长英质副片麻岩(样品编号 V0759、V0760

和 V0753)的锆石主要以琥珀色、短柱状晶形为主。阴极发光 CL 图像显示,锆石内部结构有较大区别(图 3),指示它们经历了复杂的演化历史或后期变质作用的改造。部分锆石无明显的内部环带结构,小部分颗粒的边部可见变质增生的晶区,普遍较窄。样品 V0753 含有一些变质增生部分较宽的锆石颗粒,可用于定年分析。采用 LA-ICP-MS 定年分析方法,对 3 个副片麻岩样品共 116 粒锆石进行了 123 个点分析,数据结果列于表 1 中。

所分析的锆石具有较宽的 Th/U 值变化范围,分别为 0.01~1.43(样品 V0753)、0.07~1.82(样品 V0759)和 0.01~1.16(样品 V0760)。86% 锆石颗粒的 Th/U 比值 > 0.1,只有 14% 颗粒的 Th/U 比值 < 0.1,说明锆石主要具有岩浆特征,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(图 4),但大部分位于大约 1.8 Ga 的谐和曲线上或不谐

和线上(图 4)。大于 1.8 Ga 的锆石大部分为残留或继承的,年龄值变化大约在 2.2~3.0 Ga 之间,以靠近谐和线的锆石颗粒的 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 年龄值进行加权平均,可以获得 $1\,840 \pm 10$ Ma(样品 V0759)和 $1\,828 \pm 7$ Ma(样品 V0760)。其中,对 6 个锆石颗粒的变质增生边进行分析(图 3),Th/U 值小于 0.05,年龄值变化较大,为元古代晚期至中生代早期。

分析结果显示,副片麻岩含有的碎屑锆石形成时代宽(表 1)。在年龄直方图上,可以辨别出约 2.2 Ga、约 1.8 Ga 和约 250 Ma 3 个年龄峰(图 4d)。碎屑锆石主要为古元古代晚期,小部分为晚太古代(约 2.5~2.8 Ga)和中太古代(约 3.0 Ga),表明越南北部存在古元古代和太古代的地壳物质。年轻的锆石年龄(约 250 Ma)可能与印支期华南板块和印支板块的拼合作用有关。由于 Sinh Quyen 岩组与下部的古元古代早期 Suoi Chieng 岩组是整合接触、上覆奥陶纪地层,且被秀丽盆地内的火山岩

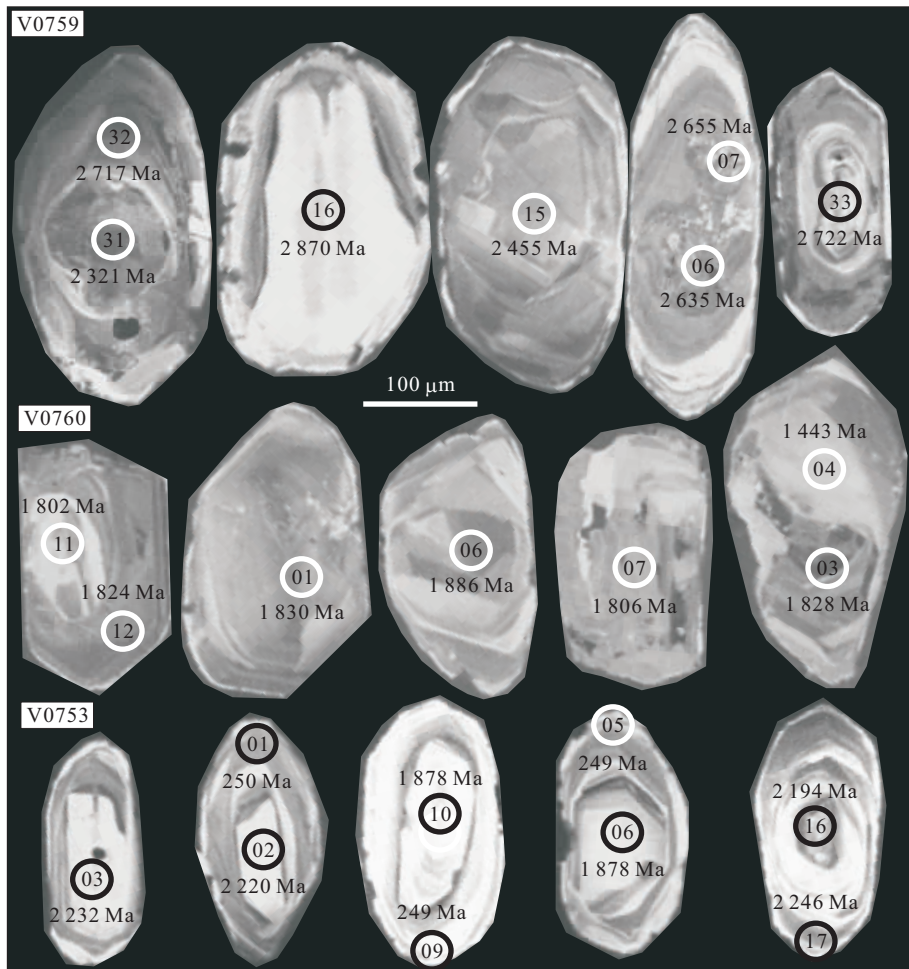


图 3 Sinh Quyen 岩组副片麻岩中代表性锆石的阴极发光图像(圆圈代表 U-Pb 年龄分析点)

Fig. 3 Cathodoluminescence images of typical zircon grains of paragneisses from the Sinh Quyen Formation

表 1 Sinh Quyen 岩组长英质副片麻岩锆石年龄

Table 1 Zircon ages of felsic paragneisses from the Sinh Quyen Formation

样品 编号	Pb* (10 ⁻⁶)	U (10 ⁻⁶)	Th/U	同位素比值			表面年龄(Ma)		
				²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb
V0759									
01	631	1 119	0.50	0.476 8±50	11.13±12	0.169 4±17	2 513	2 534	2 552
02	242	671	0.31	0.303 8±32	4.675±49	0.111 6±11	1 710	1 763	1 826
03	252	709	0.29	0.301 2±32	4.615±49	0.111 1±11	1 697	1 752	1 818
04	168	455	0.31	0.312 1±33	4.785±51	0.111 2±11	1 751	1 782	1 819
05	220	404	0.25	0.450 2±47	9.791±104	0.157 8±16	2 396	2 415	2 432
06	250	442	0.08	0.477 7±50	11.73±12	0.178 1±18	2 517	2 583	2 635
07	262	452	0.07	0.489 9±52	12.17±14	0.180 2±19	2 570	2 618	2 655
08	235	1 040	0.94	0.251 7±30	3.342±93	0.096 3±29	1 447	1 491	1 554
09	159	394	0.59	0.314 5±35	4.866±81	0.112 2±22	1 763	1 796	1 835
10	83	216	0.57	0.296 5±33	4.337±77	0.106 1±22	1 674	1 700	1 733
11	329	587	0.38	0.448 6±47	9.888±103	0.159 9±16	2 389	2 424	2 454
12	462	1 135	0.65	0.317 0±33	4.914±51	0.112 4±11	1 775	1 805	1 839
13	423	2 191	0.12	0.167 2±17	3.018±32	0.130 9±20	996	1 412	2 110
14	182	450	0.75	0.310 0±32	4.810±51	0.112 6±12	1 740	1 787	1 841
15	240	462	0.33	0.449 3±48	9.906±109	0.159 9±17	2 392	2 426	2 455
16	129	141	1.82	0.548 3±58	15.53±168	0.205 4±22	2 818	2 848	2 870
17	337	1 036	1.16	0.297 9±31	4.702±52	0.114 5±12	1 681	1 768	1 871
18	416	1 034	0.70	0.309 0±32	4.819±50	0.113 1±11	1 736	1 788	1 850
19	199	519	0.41	0.310 9±33	4.869±70	0.113 6±20	1 745	1 797	1 858
20	433	1 712	0.16	0.220 3±33	3.348±38	0.110 2±17	1 283	1 492	1 803
21	350	1 020	0.80	0.247 2±28	3.301±73	0.096 8±24	1424	1 481	1 564
22	364	892	0.87	0.303 2±32	4.696±49	0.112 3±11	1 707	1 767	1 838
23	253	725	0.15	0.305 8±32	4.694±49	0.111 3±11	1 720	1 766	1 821
24	507	1 008	0.50	0.430 7±47	9.323±114	0.157 0±19	2 309	2 370	2 423
25	382	1 062	0.61	0.286 8±32	4.289±73	0.108 5±22	1 626	1 691	1 774
26	496	1 186	0.99	0.301 7±32	4.717±49	0.113 4±11	1 700	1 770	1 854
27	441	1 198	0.82	0.305 8±35	4.582±93	0.108 7±25	1 720	1 746	1 777
28	393	845	1.71	0.302 8±32	4.734±50	0.113 4±12	1 705	1 773	1 854
29	558	1 520	0.47	0.309 3±32	4.943±53	0.115 9±12	1 737	1 810	1 894
30	416	1 409	0.99	0.209 3±24	3.193±70	0.110 7±27	1 225	1 456	1 810
31	650	1 517	0.17	0.357 8±37	7.291±81	0.147 8±23	1 972	2 148	2 321
32	513	2 155	0.17	0.206 3±21	2.991±35	0.105 2±16	1 209	1 405	1 717
33	215	333	0.21	0.517 8±54	13.40±16	0.187 7±29	2 690	2 708	2 722
34	429	870	0.08	0.411 5±42	10.36±11	0.182 7±26	2 222	2 468	2 677
35	171	468	0.25	0.309 1±32	4.769±60	0.111 9±18	1 736	1 779	1 831
36	602	1 458	0.81	0.301 2±34	4.422±90	0.106 5±25	1 697	1 716	1 740
V0760									
01	542	1 290	0.69	0.327 2±37	5.047±92	0.111 9±18	1 825	1 827	1 830
02	854	2 168	0.74	0.297 0±32	6.334±67	0.154 6±25	1 677	2 023	2 398
03	245	972	0.55	0.197 4±22	2.473±49	0.090 9±24	1 161	1 264	1 443
04	135	355	0.35	0.322 5±35	4.970±55	0.111 8±15	1 802	1 814	1 828
05	159	438	0.02	0.336 0±35	5.424±57	0.117 1±21	1 867	1 889	1 912
06	392	1 104	0.03	0.325 6±34	5.180±54	0.115 4±12	1 817	1 849	1 886
07	223	688	0.48	0.274 1±30	4.173±46	0.110 4±17	1 562	1 669	1 806
08	109	280	0.51	0.316 3±36	4.755±79	0.109 0±17	1 772	1 777	1 783
09	297	732	0.86	0.305 1±33	4.668±51	0.111 0±11	1 716	1 761	1 816
10	239	539	1.12	0.317 2±35	4.920±54	0.112 5±11	1 776	1 806	1 841
11	309	929	0.24	0.289 0±32	4.443±57	0.111 5±19	1 636	1 720	1 824
12	278	803	0.25	0.302 9±33	4.598±50	0.110 1±11	1 706	1 749	1 802
13	334	1 017	0.14	0.291 1±31	4.332±46	0.107 9±11	1 647	1 699	1 765
14	545	1 531	0.15	0.314 2±33	4.838±50	0.111 7±11	1 761	1 792	1 827
15	277	1 681	0.21	0.142 2±15	2.072±22	0.105 7±11	852	1 103	1 639
16	194	576	0.20	0.293 0±31	4.400±48	0.108 9±12	1 653	1 699	1 755
17	371	1 273	0.15	0.255 0±27	3.891±42	0.110 7±12	1 457	1 579	1 747
18	525	1 502	0.17	0.307 9±32	4.733±49	0.111 5±11	1 730	1 773	1 824
19	404	1 655	0.15	0.216 2±23	3.209±33	0.107 6±11	1 259	1 446	1 732
20	139	363	0.24	0.328 1±35	5.193±57	0.114 8±12	1 825	1 833	1 843
21	459	1 252	0.15	0.323 4±34	5.055±52	0.113 4±11	1 803	1 817	1 833
22	456	1 422	0.15	0.284 1±30	4.334±46	0.110 6±11	1 610	1 692	1 796
23	591	1 740	0.14	0.302 7±32	4.682±49	0.112 1±11	1 705	1 764	1 834
24	458	1 295	0.14	0.313 8±33	4.847±51	0.112 0±11	1 757	1 782	1 812
25	430	1 369	0.13	0.281 0±30	4.254±49	0.109 8±12	1 595	1 680	1 788

续表 1

样品 编号	Pb* (10 ⁻⁶)	U (10 ⁻⁶)	Th/U	同位素比值			表面年龄(Ma)		
				²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb
V0760									
26	492	1 593	0.15	0.315 2±33	4.887±51	0.112 4±12	1 763	1 786	1 813
27	509	1 490	0.13	0.305 1±32	4.738±49	0.112 6±11	1 717	1 774	1 842
28	238	647	0.22	0.320 7±33	4.960±53	0.112 2±12	1 793	1 813	1 835
29	563	1 553	0.19	0.318 3±33	5.038±53	0.114 8±12	1 779	1 817	1 861
30	444	1 333	0.14	0.298 1±31	4.618±48	0.112 4±11	1 682	1 752	1 838
31	149	203	0.65	0.520 6±56	14.79±7	0.206 1±23	2 679	2 762	2 823
32	452	1 107	0.04	0.339 5±35	8.403±88	0.179 5±18	1 880	2 265	2 634
33	237	660	0.02	0.316 0±35	5.142±74	0.118 0±17	1 766	1 826	1 894
34	615	1 280	0.13	0.399 4±42	8.510±89	0.154 6±16	2 163	2 278	2 384
35	616	1 797	0.08	0.290 9±30	5.766±60	0.143 8±14	1 645	1 939	2 270
36	124	173	0.56	0.530 2±55	14.30±15	0.195 6±20	2 742	2 770	2 790
37	450	1 389	0.18	0.311 0±32	4.841±50	0.112 9±11	1 746	1 792	1 846
38	262	534	0.15	0.399 2±42	9.270±98	0.168 4±17	2 160	235	2 522
39	133	194	0.56	0.525 0±56	13.95±16	0.192 8±21	2 720	2 7461	2 766
40	226	408	0.15	0.454 1±48	10.09±11	0.161 1±17	2 412	2 439	2 462
41	160	248	0.31	0.494 7±52	12.95±14	0.189 8±20	2 582	2 657	2 716
42	185	302	0.17	0.491 0±51	11.93±12	0.176 0±18	2 572	2 591	2 606
43	763	2 626	0.21	0.232 7±24	5.073±52	0.158 2±16	1 342	1 807	2 397
44	46	59	0.61	0.556 9±77	15.98±32	0.208 0±42	2 854	2 875	2 890
45	356	1 039	0.16	0.286 9±30	4.593±49	0.116 1±12	1 617	1 710	1 826
46	587	1 333	0.52	0.037 2±04	0.537±06	0.104 8±11	1 789	1 814	1 866
47	445	1 707	0.25	0.215 8±22	3.281±34	0.110 3±11	1 260	1 477	1 804
48	541	1 448	0.15	0.314 6±33	4.889±51	0.112 7±12	1 758	1 777	1 801
49	426	1 716	0.23	0.269 8±28	4.380±49	0.117 7±13	1 522	1 630	1 773
50	460	1 243	0.13	0.312 8±33	4.941±54	0.114 5±12	1 750	1 791	1 839
51	414	980	0.87	0.313 8±33	4.797±50	0.110 9±11	1 759	1 784	1 814
52	540	1 334	0.74	0.307 0±32	4.759±51	0.112 4±12	1 719	1 751	1 789
53	164	471	0.01	0.316 9±33	4.954±53	0.113 4±12	1 775	18 119	1 852
54	319	517	0.14	0.508 7±54	13.44±15	0.191 6±24	2 646	2 702	2 744
55	336	925	0.03	0.325 4±34	5.250±54	0.117 0±12	1 808	1 829	1 852
56	183	333	0.23	0.455 8±48	10.06±11	0.160 1±16	2 421	2 441	2 457
57	333	595	0.36	0.453 3±47	9.936±102	0.159 0±16	2 410	2 429	2 445
58	312	1 383	0.05	0.277 4±29	4.150±49	0.108 5±13	1 576	1 656	1 758
59	69	88	0.49	0.589 9±63	18.45±20	0.226 9±24	2 989	3 014	3 030
60	641	1 058	1.03	0.434 7±45	8.939±92	0.149 2±15	2 327	2 332	2 336
61	98	112	1.16	0.549 6±58	15.39±17	0.203 1±22	2 823	2 839	2 851
62	268	689	0.49	0.318 4±33	4.968±54	0.113 2±12	1 782	1 814	1 851
63	225	543	0.25	0.509 8±69	15.20±29	0.216 3±42	2 656	2 828	2 954
64	74	122	0.54	0.464 1±49	12.19±14	0.190 5±21	2 458	2 619	2 746
65	25	29	0.81	0.542 7±59	15.03±18	0.200 9±24	2 795	2 817	2 834
66	286	582	0.73	0.433 4±45	8.983±92	0.150 3±15	2 321	2 336	2 350
67	288	562	0.10	0.460 7±48	11.54±12	0.181 7±19	2 443	2 568	2 668
68	458	967	0.33	0.391 9±40	7.822±80	0.144 8±15	2 125	2 191	2 254
69	183	478	0.16	0.412 4±43	8.085±88	0.142 2±15	2 226	2 241	2 254
70	43	60	1.01	0.550 2±68	15.38±20	0.202 7±27	2 826	2 839	2 848
V0753									
01	76	420	0.03	0.039 5±4	0.341 0±41	0.062 5±8	250	298	691
02	186	348	0.35	0.404 4±42	7.772±80	0.139 4±14	2 189	2 205	2 220
03	326	629	0.36	0.406 6±43	7.870±84	0.140 4±15	2 199	2 216	2 232
04	10	190	0.04	0.039 9±4	0.285 0±61	0.051 8±11	252	255	278
05	31	577	0.02	0.039 4±4	0.279 0±40	0.051 4±7	249	250	260
06	81	174	1.43	0.321 1±36	5.085±77	0.114 9±17	1 795	1 834	1 878
07	18	94	0.52	0.147 4±16	1.592±23	0.078 3±11	876	876	876
08	38	235	0.01	0.038 4±4	0.275 0±4	0.051 9±7	243	246	283
09	11	235	0.53	0.040 1±4	0.287 0±6	0.051 9±11	253	256	282
10	54	132	0.51	0.317 9±34	4.937±57	0.112 7±13	1 774	1 789	1 805
11	5	110	0.04	0.039 9±5	0.278 0±8	0.050 6±15	252	249	222
12	14	133	0.58	0.083 7±9	0.677 0±12	0.058 6±10	518	525	553
13	12	104	0.58	0.083 9±9	0.701 0±14	0.060 6±12	520	539	624
14	33	208	0.67	0.123 6±13	1.131±15	0.066 3±9	751	768	817
15	109	244	0.47	0.355 6±38	6.007±67	0.122 5±13	1 961	1 977	1 993
16	72	127	0.86	0.405 4±43	7.817±86	0.139 8±15	2 194	2 210	2 225
17	183	332	0.60	0.416 8±44	8.226±89	0.143 1±15	2246	2 256	2 266

(侏罗纪—白垩纪)穿入,因此,副片麻岩的原岩可能形成于古元古代晚期(Bao and Luong, 1985).

4 讨论和主要认识

越南西北部出露的变质岩的锆石年代学研究显示,红河带—马江带地区具有不同的构造—热历史.较早的研究显示,越南西北部记录了大量的古生代晚期至中生代甚至新生代的构造—岩浆—变质作用事件,但没有发现存在强烈的约 1.8 Ga 的岩浆活动.近年来,仅有少数的研究结果表明,越南西北部可能存在太古代—古元古代的岩浆作用和地壳生长(Lan *et al.*, 2001; Nam *et al.*, 2002, 2003). Sinh Quyen 长英质副片麻岩记录了古元古代约 1.8~2.2 Ga、晚太古代约 2.5~2.8 Ga 和中太古代约 3.0 Ga 的岩浆活动.从副片麻岩普遍含有单一的晚太古代—古元古代锆石这一现象可以推断越南西北部附近和地壳深部可能存在过早前寒武纪基底和地体.这种不一致可能是:(1)越南西北部曾经存在 1.8 Ga 岩浆作用或变质作用,而所形成的岩石经历

强烈的后期地质作用被彻底改造和再循环;(2)越南西北部没有发生超过约 1.8 Ga 的岩浆活动或变质作用,这些物质来自其他曾经与之相连的陆块.已报道的研究显示在华南地块大量的古元古代和晚太古代(约 1.8~2.8 Ga)的岩浆活动非常频繁(Zhang *et al.*, 2006; Zheng *et al.*, 2006; Yu *et al.*, 2007).虽然 Sinh Quyen 岩组长英质副片麻岩不能直接代表晚太古代—古元古代的地质体,但其富含晚太古代—古元古代碎屑地壳物质,与华南地块具有相似之处. Sinh Quyen 岩组长英质副片麻岩的碎屑锆石年龄强峰值为 1.8 Ga 左右(图 4d),暗示沉积物源可能来自华南古陆或可能位于华南板块.

样品 V0759 和 V0760 的碎屑锆石²⁰⁷Pb/²⁰⁶Pb 年龄大部分为古元古代至太古代,少数为中元古代,但样品 V0760 有一粒锆石的²⁰⁶Pb/²³⁸U 年龄是 852 Ma. 样品 V0753 的碎屑锆石年龄主要为古元古代至太古代,但有两粒锆石的²⁰⁶Pb/²³⁸U 年龄为 876 Ma 和 751 Ma. 这 3 粒新元古代锆石阴极发光图像显示明显的振荡环带, Th/U 比值>0.2, 具有岩浆成因特征,可能记录了新元古代岩浆作用(约

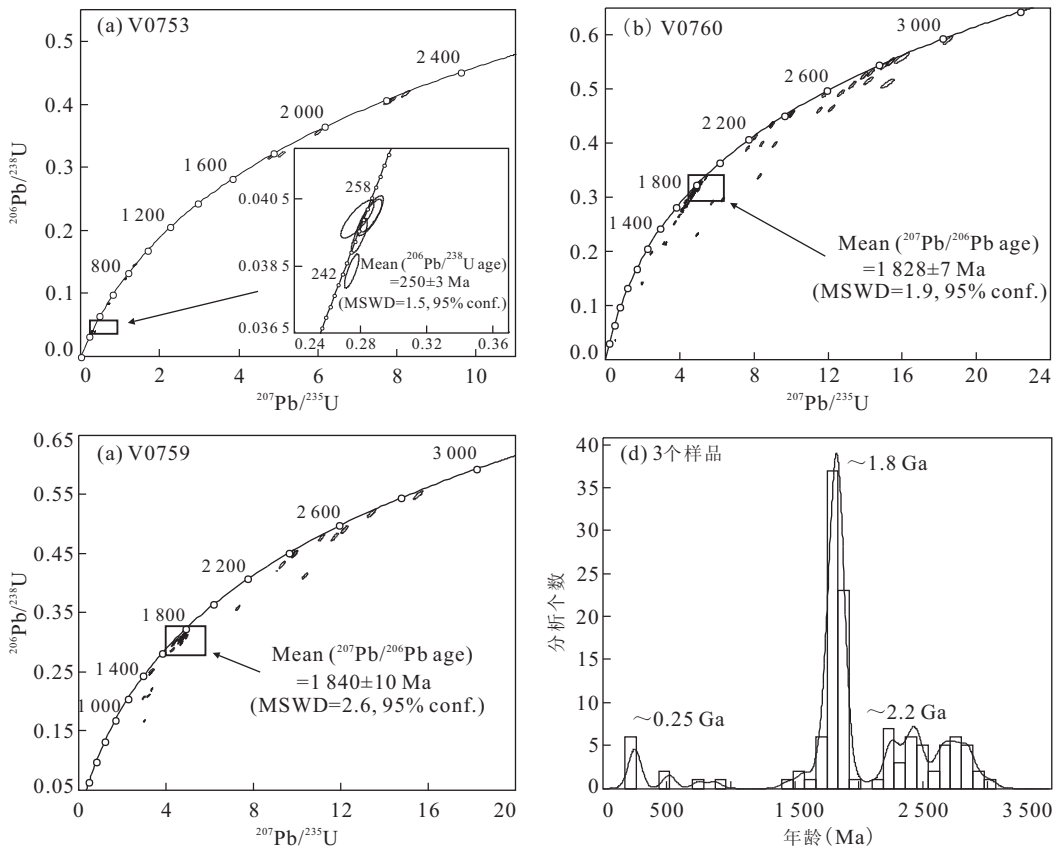


图 4 Sinh Quyen 岩组长英质副片麻岩锆石 U-Pb 年龄

Fig. 4 Zircon U-Pb ages of felsic paragneisses from the Sinh Quyen Formation

0.8 Ga). 在华南板块尤其是扬子地体, 新元古代岩浆活动广泛发育(Li, 1999; Li *et al.*, 2002, 2003; Zhou *et al.*, 2002a, 2002b; Chen *et al.*, 2003a, 2003b; Zheng *et al.*, 2007, 2008). 但是研究者对它们的成因和构造背景认识上具有不同观点, 有地幔柱成因(Li *et al.*, 1999, 2003)、岛弧岩浆作用成因(Zhou *et al.*, 2002a, 2002b; Xu *et al.*, 2007)或裂谷环境岩浆作用成因(Wu *et al.*, 2006; Zheng *et al.*, 2007, 2008). 因此, 新元古代碎屑锆石可以进一步提供证据说明越南西北部地区基底岩石具有华南板块属性. 然而数据较少, 有待于更多分析数据的获得. 如果新元古代岩浆岩提供了 Sinh Quyen 岩组副片麻岩的沉积物源, 该岩组形成时代就不是先前认为的元古代早期(Dovjikov, 1965; Tri, 1977; Bao and Luong, 1985), 沉积时代应该晚于 820 Ma, 即属于新元古代沉积系列.

定年分析显示, 副片麻岩样品 V0753 的部分碎屑锆石颗粒记录了约 250 Ma 的增生. 这些增生大部分没有明显的成分环带, 具有低 Th/U 比值 (<0.1), 表现为变质增生特征(Rubatto, 2002; Möller *et al.*, 2003; Bingen *et al.*, 2004). 在越南北部地区普遍存在约 260~230 Ma 岩浆活动, 与印支地块和华南板块俯冲汇聚和碰撞造山作用有关, 如在齐江杂岩(Song Chay)、大像山地体(Day Nui Con Voi)、三圻—富山带(Tam Ky-Phuoc Son)、昆嵩地块(Kon Tum)、长山构造带(Truong Son)以及马江(Song Ma)构造带出露晚古生代—早中生代岩浆岩. 根据前人研究, 印支地块与华南板块拼合并按顺时针旋转碰撞, 至 230 Ma 左右完成拼合过程(Lepvrier *et al.*, 1997, 2004; Carter *et al.*, 2001; Nam *et al.*, 2004; Pham *et al.*, 2008). 因此, 可以认为 Sinh Quyen 长英质副片麻岩碎屑锆石的增生记录了约 250 Ma 变质作用事件, 它应该与华南板块和印支地块印支期的拼合作用有关.

总之, 越南西北部 Sinh Quyen 岩组副片麻岩碎屑锆石分析结果表明, 早古元古代至中太古代的古老基底物质为其主要的沉积物源, 也记录了新元古代地壳演化信息. 该岩组形成时代很可能是新元古代, 而非古元古代或中元古代的沉积系列. 通过与华南板块基底岩石的对比研究, 可以认为 Sinh Quyen 岩组古元古代—晚太古代碎屑物质具有华南属性或可能来源于华南板块, 即在晚太古代—古元古代时期, 越南西北部可能位于华南板块附近, 印支板块和华南板块之间的缝合线应该位于马江(Song Ma)断

裂带. 部分碎屑锆石增生边部记录了约 250 Ma 与古特提斯造山作用有关的变质事件.

致谢: 感谢中国地质大学(武汉)地质过程与矿产资源国家重点实验室刘勇胜教授在实验分析过程的帮助, Tam, B. M. 教授和 Thuy, N. T. B. 博士提供野外工作条件.

References

- Andersen, T., 2002. Correction of common lead in U-Pb analyses that do not report ^{204}Pb . *Chemical Geology*, 192(1-2): 59-79. doi:10.1016/S0009-2541(02)00195-X
- Bao, N. X., Luong, T. D., 1985. Geological map of Viet Nam at 1:500 000 scale. Geological Survey of Viet Nam, Hanoi (in Vietnamese).
- Bingen, B., Austrheim, H., Whitehouse, M. J., et al., 2004. Trace element signature and U-Pb geochronology of eclogite-facies zircon, Bergen Arcs, Caledonides of Western Norway. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 147(6): 671-683. doi:10.1007/s00410-004-0585-z
- Carter, A., Roques, D., Bristow, C., et al., 2001. Understanding Mesozoic accretion in Southeast Asia; significance of Triassic thermotectonism (Indosinian orogen) in Vietnam. *Geology*, 29: 211-214. doi:10.1130/0091-7613(2001)029<0211
- Cawood, P. A., Nemchin, A. A., Freeman, M., et al., 2003. Linking source and sedimentary basin; detrital zircon record of sediment flux along a modern river system and implications for provenance studies. *Earth and Planetary Science Letters*, 210(1-2): 259-268. doi:10.1016/S0012-821X(03)00122-5
- Cawood, P. A., Nemchin, A. A., Strachan, R., et al., 2007. Sedimentary basin and detrital zircon record along East Laurentia and Baltica during assembly and breakup of Rodinia. *Journal of the Geological Society*, 164: 257. doi:10.1144/0016-76492006-115
- Chen, F., Guo, J. H., Jiang, L. L., et al., 2003a. Provenance of the Beihuaiyang lower-grade metamorphic zone of the Dabie ultrahigh-pressure collisional orogen, China; evidence from zircon ages. *Journal of Asian Earth Sciences*, 22(4): 343-352. doi:10.1016/S1367-9120(03)00068-3
- Chen, F., Siebel, W., Guo, J. H., et al., 2003b. Late Proterozoic magmatism and metamorphism recorded in gneisses from the Dabie high-pressure metamorphic zone, eastern China; evidence from zircon U-Pb geochronology. *Precambrian Research*, 120(1-2): 131-148.

- Chen, F., Zhu, X. Y., Wang, W., et al., 2009. Single-grain detrital muscovite Rb-Sr isotopic composition as an indicator of provenance for the Carboniferous sedimentary rocks in northern Dabie, China. *Geochemical Journal*, 43: 257—273.
- Dickinson, W. R., Gehrels, G. E., 2009. U-Pb ages of detrital zircons in Jurassic eolian and associated sandstones of the Colorado plateau; evidence for transcontinental dispersal and intraregional recycling of sediment. *Geological Society of America*, 121: 408—433. doi: 10.1130/B26406.1
- Dovjikov, A. E., 1965. Geology of northern Vietnam. Technical and Scientific Publisher, Hanoi (in Vietnamese).
- Fromaget, J., 1937. Etudes géologiques sur de Nord-Quest du Tonkin et le Nord du Haut-Laos. Bull. Survey, Geol. Ind. XXIII, fasc. 1, Hanoi, 153.
- Fromaget, J., 1941. L'Indochine Française sa structure géologique, ses mines et leurs relations possibles avec tectonique. Bull. Surv. Geol. Ind., 262, Hanoi.
- Hutchison, C. S., 1994. Gondwana and Cathaysian blocks, Palaeotethys sutures and Cenozoic tectonics in Southeast Asia. *Geologische Rundschau*, 82(2): 388—405. doi: 10.1007/BF00210553
- Lan, C. Y., Chung, S. L., Lo, C. H., et al., 2001. First evidence for Archean continental crust in northern Vietnam and its implications for crustal and tectonic evolution in Southeast Asia. *Geology*, 29: 219—222. doi: 10.1130/0091-7613(2001)29<0219:FEFACC>2.0.CO;2
- Lepvrier, C., Maluski, H., Van Vuong, N., et al., 1997. Indosinian NW-trending shear zones within the Truong Son belt (Vietnam): ⁴⁰Ar-³⁹Ar Triassic ages and Cretaceous to Cenozoic overprints. *Tectonophysics*, 283: 105—128. doi: 10.1016/S0040-1951(97)00151-0
- Lepvrier, C., Maluski, H., Van Tich, V., et al., 2004. The Early Triassic Indosinian orogeny in Vietnam (Truong Son belt and Kontum massif): implications for the geodynamic evolution of Indochina. *Tectonophysics*, 393(3—4): 87—118. doi: 10.1016/j.tecto.2004.07.030
- Li, X. H., 1999. U-Pb zircon ages of granites from the southern margin of the Yangtze block; timing of Neoproterozoic Jinning; orogeny in SE China and implications for Rodinia assembly. *Precambrian Research*, 97(1—2): 43—58. doi: 10.1016/S0301-9268(99)00020-0
- Li, X. H., Li, Z. X., Zhou, H. W., et al., 2002. U-Pb zircon geochronology, geochemistry and Nd isotopic study of Neoproterozoic bimodal volcanic rocks in the Kangdian rift of South China; implications for the initial rifting of Rodinia. *Precambrian Research*, 113(1—2): 135—154. doi: 10.1016/S0301-9268(01)00207-8
- Li, Z. X., Li, X. H., Kinny, P. D., et al., 1999. The breakup of Rodinia; did it start with a mantle plume beneath South China? *Earth and Planetary Science Letters*, 173(3): 171—181. doi: 10.1016/S0012-821X(99)00240-X
- Li, Z. X., Li, X. H., Kinny, P. D., et al., 2003. Geochronology of Neoproterozoic syn-rift magmatism in the Yangtze craton, South China and correlations with other continents; evidence for a mantle superplume that broke up Rodinia. *Precambrian Research*, 122(1—4): 85—109. doi: 10.1016/S0301-9268(02)00208-5
- Liu, X. M., Gao, S., Diwu, C. R., et al., 2007. Simultaneous in-situ determination of U-Pb age and trace elements in zircon by LA-ICP-MS in 20 μm spot size. *Chinese Science Bulletin*, 52(9): 1257—1264. doi: 10.1007/s11434-007-0160-x
- Ludwig, K. R., 2003. User's manual for Isoplot 3.0: a geochronological Toolkit for Microsoft Excel. *Berkeley Geochronology Center, Special Publication*, 4: 1—71.
- Metcalfe, I., 1988. Origin and assembly of Southeast Asian continental terranes. *Geological Society, London Special Publications*, 37: 101—118.
- Metcalfe, I., 1996. Gondwanaland dispersion, Asian accretion and evolution of eastern Tethys. *Australian Journal of Earth Science*, 43(6): 605—623.
- Metcalfe, I., 1998. Palaeozoic and Mesozoic geological evolution of the SE Asian region, multidisciplinary constraints and implications for biogeography. In: Hall, R., Holloway, J. D., eds., *Biogeography and geological evolution of SE Asia*. Backhuys Publishers, Amsterdam, 25—41.
- Metcalfe, I., 2002. Permian tectonic framework and palaeogeography of SE Asia. *Journal of Asian Earth Science*, 20(6): 551—566. doi: 10.1016/S1367-9120(02)00022-6
- Möller, A., O'Brien, P. J., Kennedy, A., et al., 2003. Linking growth episodes of zircon and metamorphic textures to zircon chemistry: an example from the ultrahigh-temperature granulites of Rogaland (SW Norway). *Geological Society, London Special Publications*, 220: 65—81. doi: 10.1144/GSL.SP.2003.220.01.04
- Nam, T. N., Toriumi, M., Sano, Y., et al., 2003. 2.9, 2.36, and 1.96 Ga zircons in orthogneiss, south of the Red River shear zone in Viet Nam; evidence from SHRIMP U-Pb dating and tectonothermal implications. *Journal of Asian Earth Sciences*, 21(7): 743—753. doi: 10.1016/S1367-9120(02)00089-5
- Nam, T. N., Osanai, Y., Nakano, N., et al., 2004. Permo-Triassic ultrahigh-temperature metamorphism and con-

- tinental collision in the Kon Tum massif. *Journal of Geology of Vietnam*, A/285: 1–8, Hanoi, Vietnam.
- Nam, T. N., Sano, Y., Chung, S. L., 2002. New evidences of 2 840 Ma from SHRIMP U-Pb zircon dating for Archean age of the Ca Vinh complex and tectonothermal implication. *Journal of Geology (Series B)*, 22: 41–48.
- Nelson, D. R., 2001. An assessment of the determination of depositional ages for Precambrian clastic sedimentary rocks by U-Pb dating of detrital zircons. *Sedimentary Geology*, 141–142: 37–60. doi:10.1016/S0037-0738(01)00067-7
- Pham, T. H., Chen, F., Wang, W., et al., 2008. Formation ages of granites and metabasalts in the Song Ma belt of northwestern Vietnam and their tectonic implications. Abstract Volume of 13th Gondwana Conference, Dali, China, 14–21.
- Rubatto, D., 2002. Zircon trace element geochemistry: partitioning with garnet and the link between U-Pb ages and metamorphism. *Chemical Geology*, 184 (1–2): 123–138. doi:10.1016/S0009-2541(01)00355-2
- Sengör, A. M. C., Natal'in, B. A., 1996. Palaeotectonics of Asia: fragments of a synthesis. In: Yin, A., Harrison, T. M., eds., *Tectonic evolution of Asia*. Cambridge Univ Press, Cambridge, 486–640.
- Sengör, A. M. C., Altiner, D., Cin, A., et al., 1988. Origin and assembly of the Tethyside orogenic collage at the expense of Gondwana Land. *Geological Society, London Special Publications*, 37: 119–181.
- Singharajwarapan, S., Berry, R., 2000. Tectonic implications of the Nan suture zone and its relationship to the Sukhothai fold belt, Northern Thailand. *Journal of Asian Earth Sciences*, 18(6): 663–673. doi:10.1016/S1367-9120(00)00017-1
- Sone, M., Metcalfe, I., 2008. Parallel Tethyan sutures in mainland Southeast Asia: new insights for Palaeo-Tethys closure and implications for the Indosinian orogeny. *Comptes Rendus Geosciences*, 340 (2–3): 166–179. doi:10.1016/j.crte.2007.09.008
- Tapponnier, P., Mercier, J. L., Proust, F., et al., 1981. The Tibetan side of the India-Eurasia collision. *Nature*, 294 (5840): 405–410. doi:10.1038/294405a0
- Tri, T. V., 1977. *Geology of Viet Nam: the northern part*. Science Publisher, Hanoi, 354 (in Vietnamese).
- Valverde-Vaquero, V. P., Dörr, W., Belka, Z., et al., 2000. U-Pb single-grain dating of detrital zircon in the Cambrian of central Poland: implications for Gondwana versus Baltica provenance studies. *Earth and Planetary Science Letters*, 184(1): 225–240. doi:10.1016/S0012-821X(00)00312-5
- Wu, R. X., Zheng, Y. F., Wu, Y. B., et al., 2006. Reworking of juvenile crust: element and isotope evidence from Neoproterozoic granodiorite in South China. *Precambrian Research*, 146(3–4): 179–212. doi:10.1016/j.precamres.2006.01.012
- Xu, D. R., Gu, X. X., Li, P. C., et al., 2007. Mesoproterozoic-Neoproterozoic transition: geochemistry, provenance and tectonic setting of clastic sedimentary rocks on the southeastern margin of the Yangtze block, South China. *Journal of Asian Earth Sciences*, 29: 637–650. doi:10.1016/j.jseas.2006.04.006
- Yu, J. H., O'Reilly, Y. S., Wang, L. J., et al., 2007. Finding of ancient materials in Cathaysia and implication for the formation of Precambrian crust. *Chinese Science Bulletin*, 52 (1): 13–22. doi:10.1007/s11434-007-0008-4
- Zhang, S. B., Zheng, Y. F., Wu, Y. B., et al., 2006. Zircon isotope evidence for ≥ 3.5 Ga continental crust in the Yangtze craton of China. *Precambrian Research*, 146 (1–2): 16–34. doi:10.1016/j.precamres.2006.01.002
- Zheng, J. P., Griffin, W. L., O'Reilly, S. Y., et al., 2006. Widespread Archean basement beneath the Yangtze craton. *Geology*, 34: 417–420. doi:10.1130/G22282.1
- Zheng, Y. F., Wu, R. X., Wu, Y. B., et al., 2008. Rift melting of juvenile arc-derived crust: geochemical evidence from Neoproterozoic volcanic and granitic rocks in the Jiangnan orogen, South China. *Precambrian Research*, 163 (3–4): 351–383. doi:10.1016/j.precamres.2008.01.004
- Zheng, Y. F., Zhang, S. B., Zhao, Z. F., et al., 2007. Contrasting zircon Hf and O isotopes in the two episodes of Neoproterozoic granitoids in South China: implications for growth and reworking of continental crust. *Lithos*, 96 (1–2): 127–150. doi:10.1016/j.lithos.2006.10.003
- Zhou, M. F., Kennedy, A. K., Sun, M., et al., 2002a. Neoproterozoic arc-related mafic intrusions along the northern margin of South China: implications for the accretion of Rodinia. *The Journal of Geology*, 110(5): 611–618. doi:10.1086/341762
- Zhou, M. F., Yan, D. P., Kennedy, A. K., et al., 2002b. SHRIMP U-Pb zircon geochronological and geochemical evidence for Neoproterozoic arc-magmatism along the western margin of the Yangtze block, South China. *Earth and Planetary Science Letters*, 196(1–2): 51–67. doi:10.1016/S0012-821X(01)00595-7