

doi:10.3969/j.issn.2097-0013.2024.02.007

华夏地块中部震旦系区域对比及其大地构造意义： 来自碎屑锆石年代学证据

宋 芳, 牛志军, 何珪砚, 杨文强

SONG Fang, NIU Zhi-Jun, HE Yao-Yan, YANG Wen-Qiang

古生物与地质环境演化湖北省重点实验室, 湖北 武汉 430205;

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

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

Wuhan Center, China Geological Survey (Central South China Innovation Center for Geosciences), Wuhan 430205, Hubei, China

摘要: 华夏地块中部震旦纪沉积地层广泛分布, 由于岩性较为单一、受后期构造及岩浆作用影响, 缺乏顶、底齐全且具有标志层位的剖面, 其区域地层对比一直存在争议。本文在粤北和粤东地区对震旦纪沉积地层开展路线剖面调查和碎屑物源研究, 结果表明: 该地区震旦纪沉积岩是以一套浅变质砂岩、粉砂岩为主, 间夹硅质岩的深海-半深海沉积, 顶、底以硅质较高的层位为标志; 碎屑锆石 U-Pb 定年结果显示其物源具有~1000 Ma 及 650 ~ 600 Ma 两个显著峰值, 同时有较为复杂的组成, 是典型的“华夏型”物源; 根据岩性及碎屑物源特征, 华夏地块中部震旦纪沉积地层可以与华夏地块其他地区及华南板块部分区域同时期沉积地层进行对比, 指示震旦纪期间华南板块中部不存在宽阔的华南海, 属于统一的沉积盆地。

关键词: 震旦系; 碎屑锆石 LA-ICP-MS U-Pb 定年; 物源; 地层对比; 华夏地块

中图分类号: P542; P535

文献标识码: A

文章编号: 2097-0013(2024)02-0286-21

Song F, Niu Z J, He Y Y, and Yang W Q. 2024. Regional Correlation of Sinian Sedimentary of Central Cathaysia Block and Its Tectonic Significance: Evidence from Detrital Zircon Chronology. *South China Geology*, 40(2):286–306.

Abstract: Sinian sedimentary strata widely spread in central Cathaysia Block with unitary lithology and influences of subsequent tectonic-magmatic events, making it very difficult to find complete section with top and bottom in the area. Therefore, the Sinian strata correlation between the Cathaysia and Yangtze blocks has still been controversial. This research focuses on the area of the central Cathaysia Block, northern Guangdong and eastern Guangdong, to conclude the lithology characteristics of late Neoproterozoic strata as a set of abyssal and semi-abyssal deposits dominated by shallow metamorphic sandstone and siltstone interspersed with siliceous rocks, with high silica content on the bottom and top, by geological route survey. The results of U-Pb dating of detrital zircon show that its provenance has two significant peaks of ~1000Ma and ~650Ma, with relatively complex composition, which is a typical "Cathaysia-typed" provenance. Based on the above-mentioned results, the Sinian strata in central Cathaysia Block could be well correlated to that of the other areas

收稿日期: 2024-03-26; 修回日期: 2024-04-17

基金项目: 中国地质调查局地质调查项目(DD20243455、DD20240038、DD20230226、DD20221634), 国家自然科学基金项目(U2244212、41772019)和古生物与地质环境演化湖北省重点实验室开放基金课题(PEL-202106)

第一作者: 宋芳(1978—), 女, 高级工程师, 从事华南新元古代地层调查研究工作, Email: laurasongfang@foxmail.com

of the South China Block, indicating a united sedimentary basin in the central South China without a wide ocean.

Key words: Sinian System; LA-ICP-MS U-Pb dating of detrital zircon; material source; stratigraphic correlation; Cathaysia Block

华夏地块与扬子地块组成了华南板块,一般认为两者界线为江绍-萍乡-郴州-临武-防城港一线(张国伟等,2013;张克信等,2023)(图1),但二者的拼合时限与方式目前仍存在争议。主要认识包括:1)华夏具有前寒武纪古老基底,在新元古代晚期分裂为破碎的小陆块,其中武夷微古陆在新元古代早期与扬子地块发生碰撞,在早古生代,随着华南加里东运动,几个小陆块造山隆起为新的统一板块(舒良树,2006;于津海等,2006);2)不存在前震旦纪的华夏古陆,华夏为一加里东造山带,武夷云开为造山带根部(任纪舜和李崇,2016);3)华夏在晚新元古代为洋盆,后在早古生代末期-晚二叠世由北向南以“增生体”的性质与扬子地块拼合(何卫

红等,2014);4)华夏以闽西北走滑断裂为界分为西华夏和东华夏,西华夏为罗迪尼亚超大陆的一部分,东华夏则为印支期古特提斯造山带的一部分(Lin S F et al., 2018; Wang L J et al., 2020)。以上争论也造成了对华夏地块新元古代-早古生代(或者自新元古代始)沉积地层的不同解读(宋传中等, 2019 及其参考文献)。

新元古代晚期(720 ~ 538Ma, 即南华纪-震旦纪)是罗迪尼亚超大陆裂解到冈瓦纳古陆开始聚合的重要转换阶段(Meert, 2003; Collins and Pisarevsky 2005; Cawood and Buchan, 2007; Boger, 2011),是全球超大陆重建等基础地质问题研究的关键点。作为罗迪尼亚超大陆重要组成部分的华南

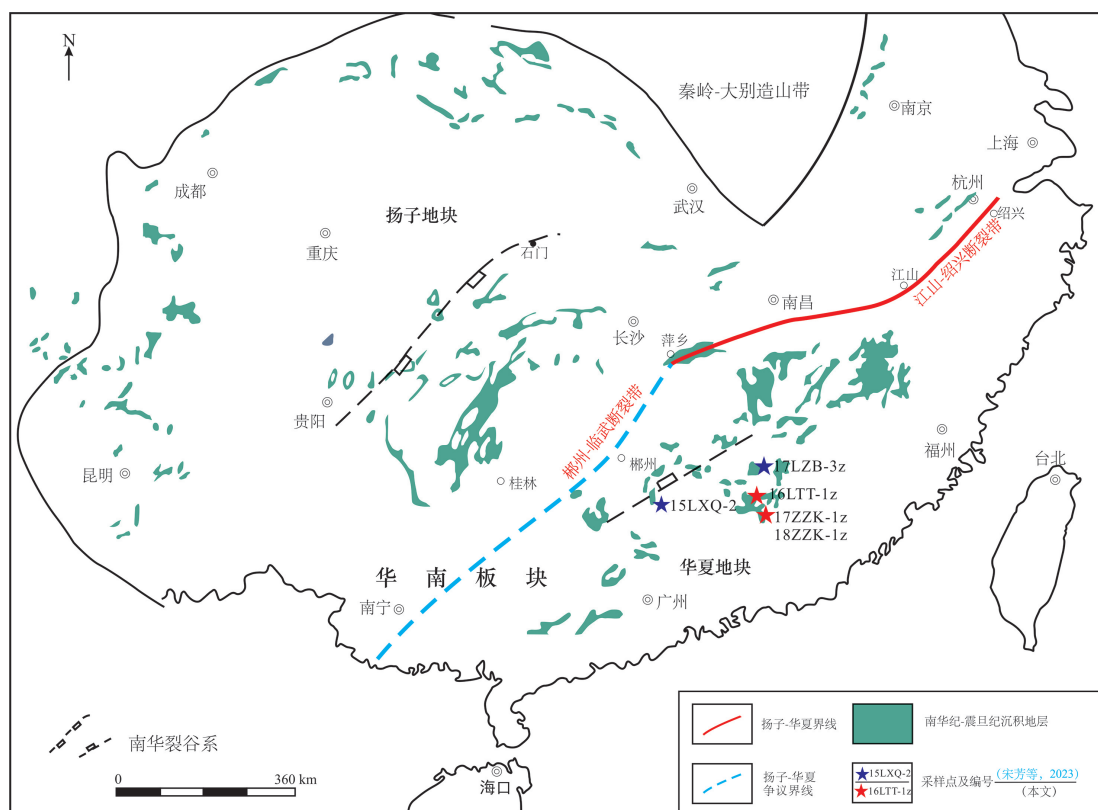


图1 华南板块地质简图

Fig. 1 Sketch geological map of South China Block

据 Du Q D et al. (2013) 简化修改

板块(Zhao J H et al., 2018),在新元古代晚期是否已经完成拼合也是地质学研究中持续关注的热点问题(于津海等, 2007; 郑永飞和张少兵, 2007;李献华等, 2012;宋传中等, 2019),对于组成华南板块的扬子和华夏两个地块前泥盆纪、尤其是新元古代晚期沉积地层的对比也存在不同认识。扬子地块新元古代晚期沉积地层发育连续、标志层清楚(湖南省地质调查院, 2017);华夏地块同时期沉积地层广泛出露,因岩性特征及后期构造、岩浆作用影响,缺少顶、底齐全的剖面资料,对地层对比存在争议,并影响了对该时段大地构造背景的认识(张克信等, 2018, 2023;舒良树等, 2020)。尤其是华夏地块内部的粤北至粤东的广大地区,新元古代晚期地层以成层较厚的碎屑岩为主,存在较多的硅质岩和硅质泥岩夹层,缺乏火山岩层位或生物标志等可以确定沉积时限的研究材料,在区域地层对比等基本问题上仍存在一些争议。本次研究聚焦华夏地块中部粤北

和粤东两个地区,总结两地区震旦纪沉积岩性及物源特征,并讨论震旦纪华南东南部的总体沉积格架,为新元古代晚期华南大陆沉积构造背景提供地层学证据。

1 地质背景

华夏地块中部新元古代晚期地层岩性以厚层状碎屑岩沉积为主(图 2)(广东省地质矿产局, 1996;广西壮族自治区地质矿产局, 1997;福建省地质调查研究院, 2017;湖南省地质调查院, 2017)。前人认为的“南华系砾岩层位”,如福建南部丁屋岭组、广东境内大绀山组等随着进一步的古生物学研究及同位素测年工作均被证明并非南华系沉积(张开华等, 2004;张迎迎等, 2019);福建南部的楼子坝组主体亦为震旦系沉积(Wang W et al., 2018;宋芳等, 2023),《中国区域地质志·福建志》(福建省地质



图2 华夏地块中部震旦纪沉积地层露头特征

Fig. 2 Characteristics of the Sinian Sedimentary in central Cathaysia Block

a. 韶关乐昌乐昌峡老虎塘组砂岩与板岩互层;b. 韶关乐昌乐昌峡老虎塘组岩屑砂岩;c. 粤东梅州钻子坑南岩组绢云母片岩与片理化变质砂岩互层;d. 粤东梅州蕉岭县滩头水库黄连组中硅质岩

调查研究院,2017)中,将楼子坝组置于早震旦世。震旦系在本次研究区分布广泛。粤北地区震旦系称老虎塘组,顶、底界均以硅质岩为划分标志,主要岩性为灰白、灰黑色中厚层—薄层状变质岩屑杂砂岩、变质长石石英砂岩、硅质板岩夹凝灰质板岩、含炭质绢云母千枚岩、粉砂质板岩等,是深海—浅海类复理石沉积碎屑岩夹硅质岩,变质程度属低绿片岩相(广东省地质矿产局,1996)。粤东梅州地区震旦系划分为南岩组及黄连组。南岩组岩性为变质钙质细砂岩、变质粉砂岩、千枚岩间夹硅质岩、硅质粉砂岩、变质砂泥岩及磷质条带显示海相钙硅质、砂泥质细碎屑沉积,与上覆和下伏地层均为整合接触。黄连组为一套灰、灰白、灰绿色薄—中层状硅质岩、条带状硅质岩,夹变质细砂岩、粉砂岩及千枚岩,其顶底均以硅质岩或硅质板岩与下伏南岩组及上覆林田组均为整合接触。粤东梅州地区所出露的南岩组及黄连组缺乏顶、底标志,出露厚度巨大(广东省地质矿产局,1996)。

2 样品及测试分析方法

华夏地块中部震旦纪沉积地层以浅变质的厚层碎屑岩为主,由于构造作用导致顶、底不全,主要

通过区域地层综合对比确定其沉积层位,本次工作在路线剖面调查基础上,采集碎屑锆石样品,开展碎屑锆石 U-Pb 定年工作,分析区域上震旦系碎屑物源特征,进而讨论震旦纪的区域地层对比及大地构造背景。

本次研究采集样品3件,分别采自粤东梅州地区周边的震旦系黄连组(16LTT-1z,不等粒岩屑砂岩)和南岩组(17ZZK-1z,变石英砂岩;18ZZK-1z,岩屑石英砂岩)(图1)。前期在粤北新秦地区采集的老虎塘组岩屑砂岩样品15LXQ-2、在福建境内采集的楼子坝组样品17LZB-3z(宋芳等,2023)与本文研究地区属同一沉积体系,本文将一起进行讨论。

所有样品的碎屑锆石挑选、制靶及CL图像拍摄由南京宏创地质科技有限公司完成。锆石 U-Th-Pb 同位素测试利用激光剥蚀电感耦合等离子体质谱仪(LA-ICP-MS)在武汉上谱分析科技有限责任公司(17ZZK-1z和16LTT-1z)和南京宏创地质科技有限公司(18ZZK-1z)完成。锆石 U-Th-Pb 同位素测试流程一致,使用束斑直径32 μm ,打点位置避开包体和裂缝。年龄数据处理外部标样为91500,其 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄为 $1065.4 \pm 0.6\text{Ma}$ (1 σ) (Wiedenbeck et al., 1995)。锆石 U、Th 和 Pb 含量采用

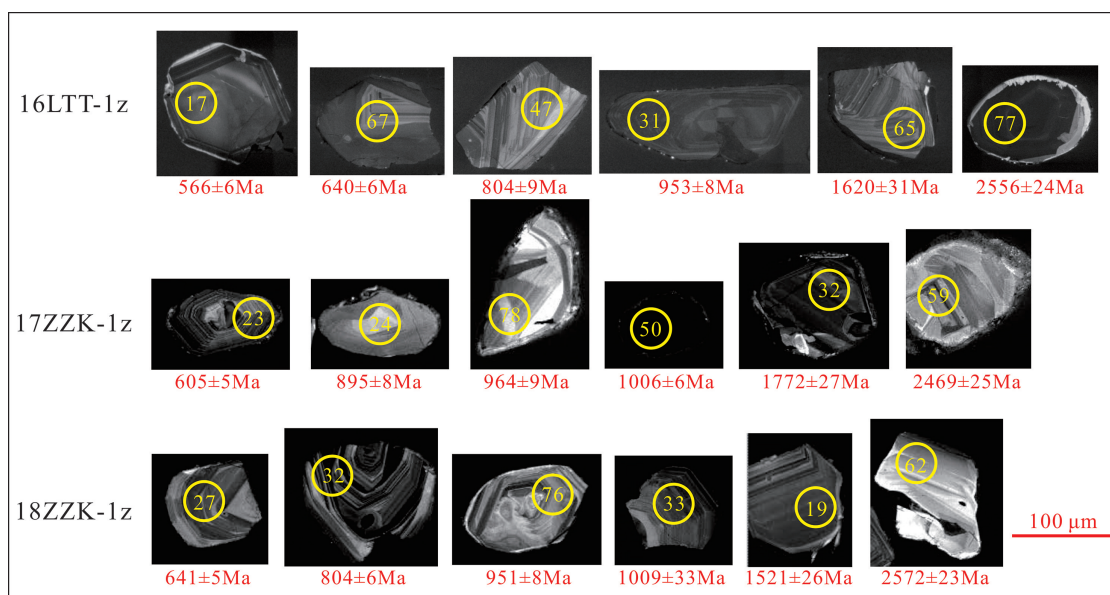


图3 华夏地块中部新元古代晚期沉积岩中部分碎屑锆石 CL 图像

Fig. 3 CL images of the Zircons from late Neoproterozoic Sedimentary of central Cathaysia Block

NIST610 作为外部标准进行计算。

对分析数据的离线处理(包括对样品和空白信号的選擇、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 完成。锆石选择及测试过程、仪器操作条件和数据处理方法见吴元保和郑永飞(2004)及 Liu Y S et al.(2010a, 2010b)。

3 碎屑锆石特征及年龄

分选出的锆石总体发育清晰的岩浆振荡环带,未见明显的“核-边”结构,少量锆石内部结构均一。锆石颗粒较均匀,粒径以 100 ~ 120 μm 为主,显示出较好的分选度。碎屑锆石磨圆度中等到较好,次圆状为主,占比 60% 以上,次棱角状约 10%,其他约 30% 为圆状。次圆状锆石颜色以褐色和深粉红色为主,透明度差或者一般;圆状锆石以褐色和深褐色为主,普遍不透明;次棱角状锆石颜色以浅粉红色为主,透明度一般,少量呈无色透明。3 个样品的碎屑锆石形态特征一致,显示出其经历了一定距离的搬运,CL 图像(图 3)及 Th/U 比值(仅 3 颗锆石 Th/U < 0.1,年龄分别为 881 $\pm$ 5 Ma、944 $\pm$ 6 Ma、1342 $\pm$ 13 Ma)显示其主要是岩浆成因锆石。各样品 U-Pb 定年结果见表 1。

样品 16LTT-1z 采自黄连组,获得年龄谐和度在 90% 以上的锆石年龄 78 个,锆石年龄在 566 ~ 3453 Ma 之间;其中 566 ~ 992 Ma 的新元古代锆石 33 颗,占比 42.3%;1000 ~ 1568 Ma 中元古代锆石 9 颗,占比 11.5%;1620 ~ 2491 Ma 古元古代锆石 28 颗,占比 35.9%;2556 ~ 2761 Ma 新太古代锆石 7 颗,占比 9.0%;3453 Ma 古太古代锆石 1 颗,占比 1.3%。样品 17ZZK-1z 采自南岩组上部,获得谐和度在 90% 以上的锆石年龄 74 个,锆石年龄在 601 ~ 2469 Ma 之间;其中 601 ~ 997 Ma 新元古代锆石 24 颗,占比 32.4%;1522 ~ 1003 Ma 中元古代锆石 41 颗,占比 55.4%;1609 ~ 2469 Ma 古元古代锆石 9 颗,占比 12.2%。样品 18ZZK-1z 采自南岩组下部,获得谐和度在 90% 以上的锆石年龄 74 个,锆石年龄在 619 ~ 3254 Ma 之间;其中 619 ~ 991 Ma 新元古代锆石 15 颗,占比 20.3%;1002 ~ 1561 Ma 中元古代锆石 50

颗,占比 67.5%;1695 ~ 2440 Ma 古元古代锆石 6 颗,占比 8.0%;2572 Ma 新太古代锆石 1 颗,占比 1.4%;3184 Ma 中太古代锆石 1 颗,占比 1.4%;3254 Ma 古太古代锆石 1 颗,占比 1.4%。

4 讨论

4.1 区域地层对比

本次在华夏地块南部未能测得顶、底齐全的新元古代地层剖面,通过对粤北乐昌峡、桂中金秀及粤东梅州地区出露的新元古代地层的路线剖面地质调查,选取了粤东梅州地区大埔钻子坑震旦系南岩组剖面(广东省地质调查院,2016)以及蕉岭滩头震旦系黄连组剖面(广东省地质调查院,1999)对岩性特征进行确认并开展层序测量。两个剖面岩石变质程度略有不同,南岩组基本层序由变砂岩 $\rightarrow$ 千枚岩或变砂岩 $\rightarrow$ 变粉砂岩 $\rightarrow$ 千枚岩组成;黄连组基本层序由砂岩 $\rightarrow$ 砂板岩 $\rightarrow$ 硅质岩/板岩组成,总体上两个组碎屑粒度均由粗到细组成基本层序(图 4),南岩组到黄连组粒度也呈向上变细的趋势。

宏观上,南岩组以厚层、巨厚层状粒度不等的碎屑岩为主,夹硅质岩层,属于海相砂泥质沉积体(广东省地质矿产局,1996)。黄连组为中厚层状硅质岩、硅质板岩夹变质砂岩、粉砂岩及千枚岩,沉积粒度较南岩组细。硅质岩在该区横向厚度及层数均有变化。震旦系普遍为绿片岩相变质,区域上变形较弱(图 2c、2d)。两个组的岩石在显微镜下均具有变余砂状结构,泥质填隙物普遍重结晶(图 5)。粤东地区震旦系沉积基本特征与粤北乐昌峡地区的震旦系岩性相似,该套地层在粤北被称为坝里组和老虎塘组(广东省地质矿产局,1996),岩性上为一套厚层、巨厚层状绿片岩相变质的碎屑岩夹硅质岩,顶、底以硅质岩、硅质泥岩或泥质硅质岩等硅质含量高的层位为标志进行划分,区域上厚度达千米左右。

扬子地块南华系具有典型的冰期 $\rightarrow$ 间冰期沉积特征(包括陆相及海相),震旦系为深海相细碎屑沉积与硅质岩沉积组合;华夏地块南华系以巨厚层状浅变质砂泥岩夹硅质岩为主要特征。其中冰期沉

表 1 华夏地块中部新元古代晚期沉积岩中碎屑锆石 U-Pb 年龄测试结果
Table 1 Results U-Pb dating of detrital zircons from Late Neoproterozoic sedimentary rocks in the Central Cathaysian Block

测点号	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$		$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$		$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$		$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$		$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$		$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$		Th/U		谐和度 %
	比值	误差	比值	误差	比值	误差	年龄 (Ma)	误差	年龄 (Ma)	误差	年龄 (Ma)	误差			
样品号: 16LTT-1Z															
16LTT-1Z-01	0.16179	0.00295	9.72818	0.1895	0.43367	0.00394	2474	30	2409	18	2322	18	0.86	96	
16LTT-1Z-02	0.09464	0.00155	3.3786	0.06094	0.25728	0.00253	1521	29	1499	14	1476	13	0.36	98	
16LTT-1Z-03	0.14266	0.00436	7.19505	0.19823	0.36579	0.00485	2260	54	2136	25	2010	23	0.91	92	
16LTT-1Z-04	0.09706	0.00207	3.638	0.0801	0.26952	0.00241	1568	39	1558	18	1538	12	1.22	98	
16LTT-1Z-05	0.06547	0.00182	1.37733	0.03902	0.15145	0.0018	789	55	879	17	909	10	0.49	96	
16LTT-1Z-06	0.15968	0.00293	10.36647	0.19187	0.46587	0.00471	2452	27	2468	17	2465	21	0.19	99	
16LTT-1Z-07	0.06497	0.00146	1.18772	0.02679	0.13126	0.00144	773	42	795	12	795	8	0.84	99	
16LTT-1Z-08	0.15171	0.00266	8.61911	0.14718	0.40781	0.00356	2365	26	2299	16	2205	16	1.04	95	
16LTT-1Z-09	0.06482	0.00206	1.2542	0.03742	0.14012	0.00149	769	60	825	17	845	8	0.43	97	
16LTT-1Z-10	0.06851	0.00121	1.464	0.02629	0.15338	0.00134	884	33	916	11	920	7	0.42	99	
16LTT-1Z-11	0.17274	0.00338	11.31369	0.22234	0.47057	0.0045	2584	29	2549	18	2486	20	0.78	97	
16LTT-1Z-12	0.16064	0.00327	9.38518	0.22539	0.41797	0.00559	2462	34	2376	22	2251	25	0.56	94	
16LTT-1Z-13	0.10571	0.00235	4.74726	0.10801	0.32304	0.00354	1727	37	1776	19	1805	17	0.57	98	
16LTT-1Z-14	0.10952	0.00267	4.96407	0.12331	0.32699	0.0041	1791	40	1813	21	1824	20	0.45	99	
16LTT-1Z-15	0.07083	0.00182	1.5263	0.03782	0.15573	0.00158	953	47	941	15	933	9	0.51	99	
16LTT-1Z-16	0.15473	0.00258	9.81364	0.176	0.45601	0.00429	2399	27	2417	17	2422	19	1.02	99	
16LTT-1Z-17	0.05893	0.00179	0.74689	0.02216	0.09177	0.00096	565	62	566	13	566	6	2.86	99	
16LTT-1Z-18	0.16334	0.00443	9.50244	0.22992	0.42193	0.00516	2491	47	2388	22	2269	23	0.48	93	
16LTT-1Z-19	0.16095	0.00305	10.44482	0.21284	0.46647	0.00466	2466	31	2475	19	2468	20	0.60	99	
16LTT-1Z-20	0.07203	0.00166	1.55779	0.03632	0.1559	0.00156	987	44	954	14	934	9	0.62	97	
16LTT-1Z-21	0.15839	0.00268	9.31093	0.17174	0.42253	0.00396	2439	28	2369	17	2272	18	0.75	95	
16LTT-1Z-22	0.0758	0.00254	1.63853	0.05341	0.15658	0.00166	1090	63	985	21	938	9	0.73	95	
16LTT-1Z-23	0.06102	0.00232	0.8298	0.03296	0.09803	0.0013	640	82	614	18	603	8	1.08	98	
16LTT-1Z-24	0.07018	0.0033	1.23664	0.05742	0.12792	0.00192	934	92	817	26	776	11	1.04	94	
16LTT-1Z-25	0.17505	0.00356	12.33787	0.26607	0.50546	0.005	2607	33	2630	20	2637	21	0.49	99	
16LTT-1Z-26	0.10507	0.00194	4.60845	0.08845	0.31472	0.00287	1715	32	1751	16	1764	14	0.52	99	
16LTT-1Z-27	0.13028	0.00276	6.95474	0.15358	0.38294	0.00386	2102	35	2106	20	2090	18	0.70	99	

续表1

测点号	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$		$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$		$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$		$^{207}\text{Pb}/^{238}\text{U}$		$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$		$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$		$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$		Th/U		谐和度 %
	比值	误差	比值	误差	比值	误差	比值	误差	年龄 (Ma)	误差	年龄 (Ma)	误差	年龄 (Ma)	误差	Th/U		
17ZZK-1Z-75	0.0707	0.0011	1.5543	0.0247	0.1578	0.0011	950	33	952	10	944	6	944	6	0.06	99	
17ZZK-1Z-36	0.0679	0.0011	1.4920	0.0243	0.1586	0.0011	866	35	927	10	949	6	949	6	1.60	97	
17ZZK-1Z-52	0.0740	0.0022	1.6210	0.0459	0.1590	0.0013	1043	59	978	18	951	7	951	7	0.35	97	
17ZZK-1Z-43	0.0741	0.0021	1.6370	0.0432	0.1592	0.0023	1056	57	985	17	952	13	952	13	0.62	96	
17ZZK-1Z-61	0.0715	0.0015	1.5769	0.0326	0.1596	0.0010	972	44	961	13	954	6	954	6	0.49	99	
17ZZK-1Z-06	0.0802	0.0027	1.7754	0.0547	0.1605	0.0014	1267	67	1037	20	960	8	960	8	1.58	92	
17ZZK-1Z-38	0.0710	0.0017	1.5810	0.0350	0.1608	0.0013	967	48	963	14	961	7	961	7	0.33	99	
17ZZK-1Z-78	0.0754	0.0016	1.6931	0.0347	0.1612	0.0016	1080	43	1006	13	964	9	964	9	0.47	95	
17ZZK-1Z-18	0.0695	0.0018	1.5491	0.0392	0.1615	0.0013	922	54	950	16	965	7	965	7	0.58	98	
17ZZK-1Z-68	0.0820	0.0059	1.8226	0.1203	0.1618	0.0011	1256	141	1054	43	967	6	967	6	0.35	91	
17ZZK-1Z-31	0.0750	0.0020	1.6830	0.0452	0.1625	0.0014	1133	54	1002	17	970	8	970	8	0.52	96	
17ZZK-1Z-21	0.0817	0.0021	1.8374	0.0478	0.1629	0.0011	1239	50	1059	17	973	6	973	6	0.65	91	
17ZZK-1Z-56	0.0734	0.0014	1.6851	0.0311	0.1657	0.0011	1028	39	1003	12	988	6	988	6	0.10	98	
17ZZK-1Z-66	0.0733	0.0014	1.6912	0.0308	0.1669	0.0010	1020	38	1005	12	995	6	995	6	0.13	98	
17ZZK-1Z-26	0.0733	0.0013	1.6944	0.0309	0.1672	0.0011	1020	37	1006	12	997	6	997	6	0.41	99	
17ZZK-1Z-16	0.0746	0.0077	1.6179	0.1532	0.1672	0.0042	1057	210	977	59	997	23	997	23	3.00	98	
17ZZK-1Z-65	0.0759	0.0014	1.7679	0.0331	0.1685	0.0011	1092	38	1034	12	1004	6	1004	6	0.29	97	
17ZZK-1Z-50	0.0687	0.0010	1.6068	0.0244	0.1689	0.0011	900	31	973	10	1006	6	1006	6	0.15	96	
17ZZK-1Z-63	0.0770	0.0016	1.8063	0.0396	0.1694	0.0010	1120	42	1048	14	1009	6	1009	6	0.44	96	
17ZZK-1Z-07	0.0737	0.0014	1.7506	0.0368	0.1707	0.0014	1035	39	1027	14	1016	8	1016	8	0.30	98	
17ZZK-1Z-22	0.0758	0.0014	1.7925	0.0319	0.1717	0.0013	1100	37	1043	12	1021	7	1021	7	0.56	97	
17ZZK-1Z-05	0.0726	0.0012	1.7343	0.0283	0.1720	0.0010	1003	34	1021	11	1023	5	1023	5	0.57	99	
17ZZK-1Z-53	0.0743	0.0013	1.7974	0.0331	0.1746	0.0014	1050	35	1045	12	1037	8	1037	8	0.73	99	
17ZZK-1Z-33	0.0761	0.0013	1.8424	0.0314	0.1748	0.0010	1098	34	1061	11	1038	5	1038	5	0.33	97	
17ZZK-1Z-25	0.0802	0.0022	1.9351	0.0521	0.1750	0.0015	1267	54	1093	18	1040	8	1040	8	0.35	94	
17ZZK-1Z-17	0.0793	0.0018	1.9483	0.0432	0.1774	0.0012	1181	49	1098	15	1053	6	1053	6	0.58	95	
17ZZK-1Z-29	0.0769	0.0013	1.9110	0.0316	0.1794	0.0010	1120	33	1085	11	1064	6	1064	6	0.24	98	
17ZZK-1Z-58	0.0785	0.0019	1.9413	0.0445	0.1795	0.0014	1158	48	1095	15	1064	8	1064	8	0.72	97	
17ZZK-1Z-57	0.0784	0.0019	1.9489	0.0452	0.1797	0.0011	1167	79	1098	16	1065	6	1065	6	0.33	96	

续表 1

测点号	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$		$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$		$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$		$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{Pb}$		$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$		谐和度		
	比值	误差	比值	误差	比值	误差	年龄 (Ma)	误差	年龄 (Ma)	误差	Tb/U	%	
17ZZK-1Z-70	0.0746	0.0014	1.8560	0.0347	0.1797	0.0012	1057	38	1066	12	1065	7	99
17ZZK-1Z-47	0.0743	0.0014	1.8520	0.0338	0.1797	0.0013	1050	37	1064	12	1066	7	99
17ZZK-1Z-15	0.0749	0.0015	1.8671	0.0356	0.1798	0.0012	1133	39	1069	13	1066	7	99
17ZZK-1Z-35	0.0764	0.0012	1.9006	0.0297	0.1798	0.0011	1106	33	1081	10	1066	6	98
17ZZK-1Z-60	0.0783	0.0016	1.9509	0.0387	0.1803	0.0012	1155	36	1099	13	1069	6	97
17ZZK-1Z-13	0.0776	0.0020	1.9407	0.0489	0.1804	0.0015	1139	52	1095	17	1069	8	97
17ZZK-1Z-39	0.0719	0.0013	1.8038	0.0319	0.1804	0.0015	983	37	1047	12	1069	8	97
17ZZK-1Z-71	0.0833	0.0021	2.0872	0.0521	0.1805	0.0012	1277	48	1145	17	1070	7	93
17ZZK-1Z-12	0.0741	0.0014	1.8666	0.0335	0.1813	0.0012	1043	37	1069	12	1074	6	99
17ZZK-1Z-34	0.0754	0.0012	1.8926	0.0309	0.1813	0.0010	1080	33	1078	11	1074	5	99
17ZZK-1Z-37	0.0762	0.0015	1.9452	0.0392	0.1839	0.0013	1100	39	1097	14	1088	7	99
17ZZK-1Z-51	0.0764	0.0012	1.9663	0.0316	0.1859	0.0011	1106	33	1104	11	1099	6	99
17ZZK-1Z-14	0.0731	0.0013	1.9039	0.0341	0.1874	0.0014	1018	35	1082	12	1107	8	97
17ZZK-1Z-04	0.0818	0.0019	2.1257	0.0463	0.1877	0.0011	1240	45	1157	15	1109	6	95
17ZZK-1Z-76	0.0764	0.0013	2.0052	0.0327	0.1884	0.0015	1106	33	1117	11	1113	8	99
17ZZK-1Z-30	0.0889	0.0017	2.4111	0.0465	0.1960	0.0014	1411	36	1246	14	1154	8	92
17ZZK-1Z-10	0.0846	0.0023	2.3028	0.0644	0.1961	0.0016	1306	56	1213	20	1154	8	95
17ZZK-1Z-41	0.0798	0.0017	2.1781	0.0425	0.1961	0.0023	1194	42	1174	14	1154	12	98
17ZZK-1Z-67	0.0819	0.0016	2.3335	0.0441	0.2060	0.0012	1243	38	1223	13	1207	7	98
17ZZK-1Z-44	0.1221	0.0175	3.6796	0.6453	0.2088	0.0039	1987	258	1567	140	1222	21	95
17ZZK-1Z-72	0.1248	0.0352	3.5945	0.9693	0.2116	0.0015	2028	520	1548	214	1237	8	97
17ZZK-1Z-09	0.0835	0.0014	2.4714	0.0406	0.2132	0.0013	1283	34	1264	12	1246	7	98
17ZZK-1Z-28	0.0888	0.0016	2.6353	0.0605	0.2133	0.0027	1411	34	1311	17	1246	14	94
17ZZK-1Z-80	0.0934	0.0022	2.8219	0.0681	0.2172	0.0021	1496	46	1361	18	1267	11	92
17ZZK-1Z-11	0.0806	0.0014	2.4456	0.0421	0.2184	0.0014	1213	40	1256	12	1274	8	98
17ZZK-1Z-02	0.0820	0.0018	2.4950	0.0560	0.2192	0.0017	1256	11	1271	16	1278	9	99
17ZZK-1Z-08	0.0860	0.0018	2.7357	0.1179	0.2205	0.0057	1339	47	1338	32	1284	30	95
17ZZK-1Z-20	0.0889	0.0018	2.7578	0.0568	0.2247	0.0017	1411	41	1344	15	1307	9	97
17ZZK-1Z-45	0.0833	0.0014	2.6085	0.0429	0.2248	0.0021	1276	33	1303	12	1307	11	99

续表 1

测点号	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$		$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$		$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$		$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$		$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$		$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$		Th/U		谐和度
	比值	误差	比值	误差	比值	误差	年龄 (Ma)	误差	年龄 (Ma)	误差	年龄 (Ma)	误差	Th/U		
18ZZK-1Z-20	0.0633	0.0011	0.8812	0.0167	0.1007	0.0010	717	37	642	9	619	6	0.17	96	
18ZZK-1Z-21	0.0780	0.0012	1.8600	0.0310	0.1728	0.0016	1146	31	1067	11	1028	9	1.01	96	
18ZZK-1Z-22	0.0728	0.0011	1.7000	0.0282	0.1688	0.0015	1009	25	1009	11	1005	8	1.67	99	
18ZZK-1Z-23	0.0750	0.0010	1.9220	0.0307	0.1853	0.0017	1133	28	1089	11	1096	9	0.22	99	
18ZZK-1Z-24	0.0708	0.0013	1.6682	0.0310	0.1705	0.0015	954	36	996	12	1015	8	0.17	98	
18ZZK-1Z-25	0.0780	0.0014	2.1872	0.0394	0.2032	0.0020	1147	29	1177	13	1192	11	0.39	98	
18ZZK-1Z-26	0.0744	0.0014	1.8553	0.0372	0.1804	0.0017	1054	44	1065	13	1069	9	0.53	99	
18ZZK-1Z-27	0.0602	0.0011	0.8684	0.0156	0.1045	0.0009	609	42	635	9	641	5	0.55	99	
18ZZK-1Z-28	0.0727	0.0013	1.5662	0.0285	0.1559	0.0013	1006	37	957	11	934	7	0.55	97	
18ZZK-1Z-29	0.0791	0.0018	1.9023	0.0407	0.1749	0.0018	1176	44	1082	14	1039	10	0.87	95	
18ZZK-1Z-30	0.1272	0.0015	6.5588	0.0877	0.3728	0.0034	2061	21	2054	12	2043	16	0.37	99	
18ZZK-1Z-31	0.0496	0.0018	0.1603	0.0057	0.0235	0.0002	176	81	151	5	150	2	0.75	99	
18ZZK-1Z-32	0.0672	0.0010	1.2355	0.0197	0.1328	0.0011	856	31	817	9	804	6	0.55	98	
18ZZK-1Z-33	0.0729	0.0012	1.6755	0.0281	0.1664	0.0016	1009	33	999	11	992	9	0.76	99	
18ZZK-1Z-34	0.0935	0.0013	3.1383	0.0449	0.2428	0.0020	1498	26	1442	11	1401	10	0.52	97	
18ZZK-1Z-35	0.0764	0.0011	1.8135	0.0282	0.1716	0.0015	1106	34	1050	10	1021	8	0.32	97	
18ZZK-1Z-36	0.0756	0.0010	1.8325	0.0266	0.1751	0.0015	1084	26	1057	10	1040	8	0.35	98	
18ZZK-1Z-37	0.1297	0.0014	6.8453	0.0856	0.3813	0.0033	2094	23	2092	11	2082	15	0.67	99	
18ZZK-1Z-38	0.0745	0.0009	1.6529	0.0269	0.1601	0.0019	1057	24	991	10	957	10	0.29	96	
18ZZK-1Z-39	0.0498	0.0015	0.1667	0.0052	0.0242	0.0003	183	64	157	5	154	2	0.36	98	
18ZZK-1Z-40	0.0707	0.0013	1.5029	0.0298	0.1540	0.0016	950	39	932	12	923	9	0.43	99	
18ZZK-1Z-41	0.0740	0.0009	1.7042	0.0245	0.1665	0.0014	1040	26	1010	9	993	8	0.55	98	
18ZZK-1Z-42	0.0483	0.0017	0.1630	0.0056	0.0246	0.0003	122	81	153	5	157	2	0.42	97	
18ZZK-1Z-43	0.1585	0.0017	10.1464	0.1274	0.4628	0.0041	2440	19	2448	12	2452	18	0.71	99	
18ZZK-1Z-44	0.0852	0.0017	2.5910	0.0536	0.2202	0.0022	1321	39	1298	15	1283	12	0.75	98	
18ZZK-1Z-45	0.0878	0.0014	2.8079	0.0491	0.2312	0.0022	1389	32	1358	13	1341	12	0.37	98	
18ZZK-1Z-46	0.0860	0.0020	2.4999	0.0578	0.2108	0.0022	1339	43	1272	17	1233	12	0.79	96	
18ZZK-1Z-47	0.0710	0.0012	1.6314	0.0278	0.1662	0.0016	967	33	982	11	991	9	0.71	99	
18ZZK-1Z-48	0.0778	0.0012	2.0675	0.0327	0.1917	0.0017	1143	25	1138	11	1131	9	0.59	99	
18ZZK-1Z-49	0.0715	0.0015	1.6332	0.0361	0.1653	0.0017	972	43	983	14	986	9	2.76	99	

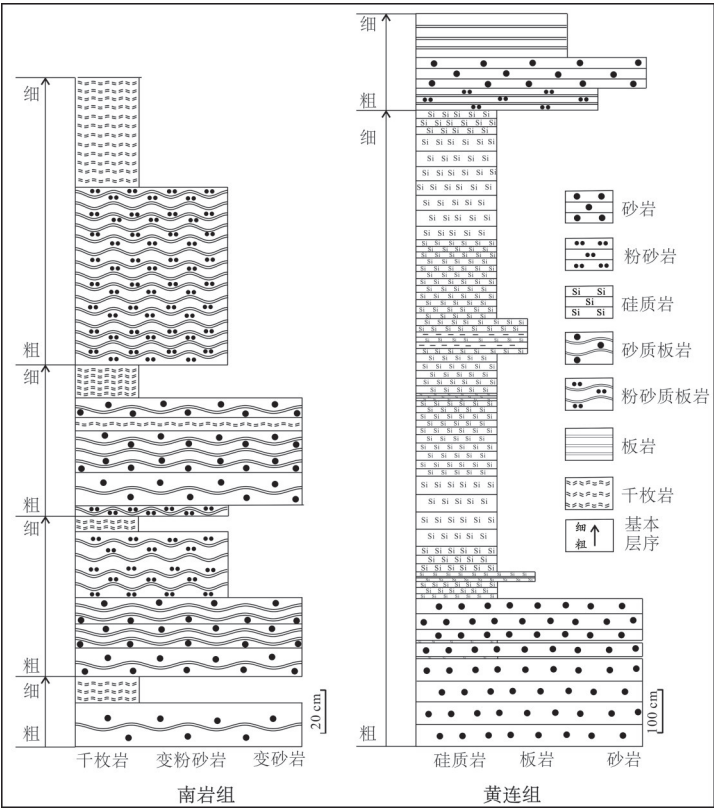


图4 粤东梅州地区周边震旦系基本层序

Fig. 4 Sedimentary sequence of Sinian system in the Meizhou area, Eastern Guangdong province

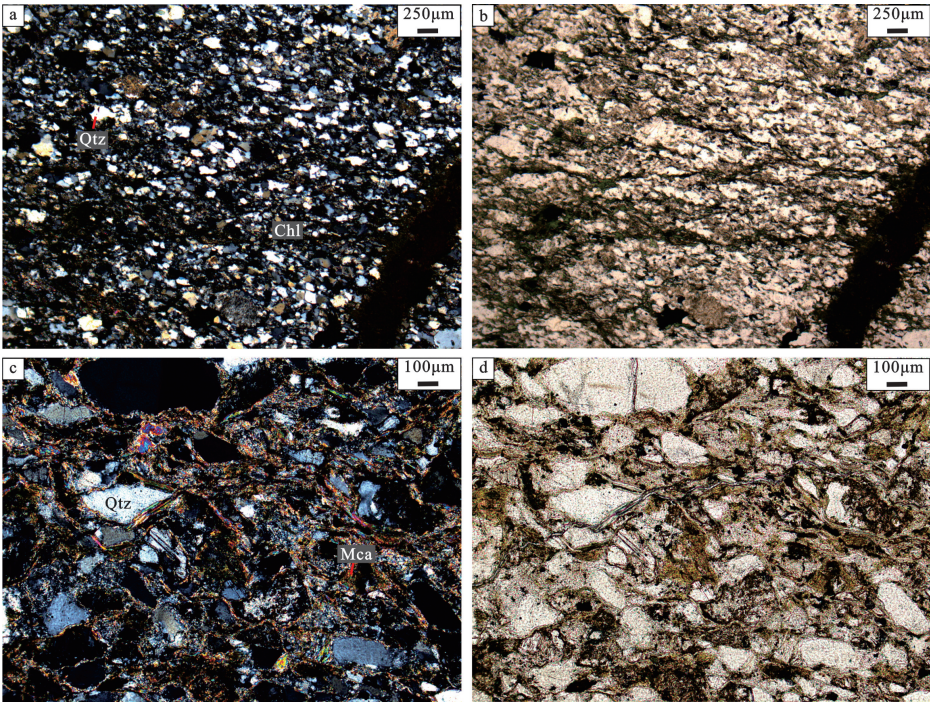


图5 粤东地区震旦系南岩组(a,b)与黄连组(c,d)岩性特征

Fig. 5 Lithology feature of Sinian Nanyan Formation(a, b) and Huanglian Formation(c, d) in Eastern Guangdong province

a, b: 具变余砂状结构, 碎屑定向分布, 泥质重结晶普遍, 其中含绿泥石(a为正交偏光, b为单偏光); c, d: 具变余砂状结构, 碎屑大小不等, 定向排列, 泥质填充物普遍发生重结晶, 形成鳞片状云母或绢云母(c为正交偏光, d为单偏光). Qtz—石英; Chl—绿泥石; Mca—云母

积物的分布被当作二者之间存在大洋阻隔的重要证据之一(何卫红等,2014;张克信等,2018)。近年来的研究在华夏地块西北缘发现了冰期沉积物存在的沉积学及地球化学证据(Qi L et al.,2020;宋芳等,2023),而华夏地块中部之前被认为是南华系的大绀山组、楼子坝组和丁屋岭组等地层被证实主体并非南华系(张开毕等,2004;Wang W et al.,2018;张迎迎等,2019;本文作者未发表成果)。这就意味着南华纪冰期沉积从扬子东南缘至华夏西北缘均有分布且可以对比(Qi L et al., 2020;牛志军等,2023,表2),而在华夏地块中部南华系可能并未出露。

表2 华南板块新元古代晚期沉积地层对比表

Table 2 Correlation Table of the late Neoproterozoic Sedimentary Strata in South China Block

位置 地层		扬子地块				华夏地块		
		扬子台地	江南造山带	扬子地块东南缘		西北缘	中部	
下古生界	震旦系	灯影组/老堡组	老堡组	老堡组	老堡组	丁腰河组	老虎塘组	黄连组
	震旦系	陡山沱组	金家洞组	金家洞组	培地组	埃歧岭组	坝里组	南岩组
	南华系	南沱组	南沱组	洪江组	洪江组	正园岭组		楼子坝组
		大塘坡组	大塘坡组	大塘坡组		天子地组		
		古城组	古城组	古城组		泗洲山组		
	青白口系	莲沱组	板溪群/高洞群	长安组		大江边组		

震旦系在华南板块岩性存在明显的过渡(表2)。在扬子地块内部,震旦系下统陡山沱组以白云岩夹黑色页岩为主,含有硅质结核,其中产丰富的胚胎化石(刘鹏举等,2010),向南东硅质岩层逐渐增加;向南至扬子地块东南缘其相变为金家洞组页岩夹硅质岩,在桂北永福地区培地组底部为白云岩、板岩夹硅质岩建造,硅质岩呈夹层出现于板岩、白云岩之间,向上以岩屑砂岩为主,显示出岩性上的过渡(Song F et al., 2020);华夏地块西北缘埃歧岭组及华夏地块内部培地组下部、坝里组及楼子坝组上部和南岩组,为具有深海浊积岩特征的厚层砂岩、板岩夹硅质薄层,硅质岩呈薄层状产于砂岩中。震旦系上统在扬子地块内部为灯影组/老堡组,岩性由碳酸盐岩沉积逐步向硅质岩沉积过渡;至扬子东南缘为老堡组,是极少陆源混入的厚层条带硅质岩。华夏地块西北缘为丁腰河组,其岩性为厚度开始减薄的硅质岩;至华夏地块内部的培地组顶部/老虎塘组/黄连组,为厚层硅质板岩夹硅质岩。总体上硅质岩在北部成层性好、厚度大、物源混入极少,通常被认为是正常的海水沉积型硅质岩(彭军和徐望国,2001;常华进等,2008,2010;张亚冠等,2015;谈昕等,2018),局部具有热水沉积的特征(杨恩林等,2011);而向南至盆地内部,这套硅质岩层厚变薄的同时显示了陆源物质的混入,地球化学分析显示其主要成因为热水型(李红中等,2015;荣红

等, 2023), 但也可能属于生物型成因(张立杨, 2023)。总体上, 分布于华南板块震旦系底部至中部的碎屑岩沉积, 在华夏地块主要表现为巨厚层状砂岩、板岩互层的砂体组合, 这套砂体沉积向北西层位逐渐提升、厚度逐步减薄至尖灭, 与硅质岩相对厚度此消彼长。

通过地层对比, 在新元古代晚期南华纪-震旦纪, 华夏地块与扬子地块的地层沉积在横向上连续变化, 存在明显的过渡, 地层学的证据不支持它们之间存在宽阔的大洋阻隔。

4.2 沉积物源特征

华夏地块中部震旦系沉积广泛分布, 以陆源碎屑沉积为主, 本文在粤东梅州周边地区采集震旦系样品3个, 与前期在福建境内楼子坝组和粤北新秦地区老虎塘组样品(宋芳等, 2023)共同讨论沉积物源特征。

粤东梅州地区南岩组样品17ZZK-1z年龄谱主峰值1093 Ma, 次峰值602 Ma和1258 Ma, 其他峰值包括965 Ma、1411 Ma以及1771 Ma(图6a); 样品18ZZK-1z年龄谱主峰值1012 Ma, 次峰值621 Ma及1100 Ma, 其他峰值包括1392 Ma、1535 Ma、2098 Ma、2436 Ma和3259 Ma(图6b)。

粤东梅州地区黄连组样品16LTT-1z年龄谱主峰值796 Ma, 次峰值960 Ma及和2454 Ma, 其他峰值包括566 Ma、656 Ma、2580 Ma等(图6c)。

前期在福建境内楼子坝组采集的样品17LZB-3z年龄谱主峰值959 Ma, 次峰值577 Ma, 其他峰值包括680 Ma、791 Ma及2300 Ma(图6d, 宋芳等, 2023); 粤北新秦地区老虎塘组样品15LXQ-2主峰值年龄为1076 Ma, 次峰值年龄包括632 Ma、670 Ma、882 Ma、935 Ma、979 Ma、2364 Ma及3088 Ma和3520 Ma(图6e, 宋芳等, 2023)。

总体上, 前期研究(宋芳等, 2023)及本次采集的震旦系沉积岩样品中碎屑锆石年龄谱均存在1100~900 Ma的主峰值, 又在900~550 Ma之间存在多个较为复杂的峰值, 还在2500~2300 Ma之间形成一个较为明显的次峰值, 同时普遍缺乏扬子地块东部前寒武纪沉积岩碎屑锆石年龄谱860~810 Ma的特征峰值(李献华等, 2012), 年龄谱形态与华夏地块震旦系沉积岩表现出相似的碎屑锆石年龄

分布特征(熊晨, 2019; 图6f), 属于“华夏型”物源(宋芳等, 2023)。

4.3 不同年龄峰值碎屑锆石来源

华夏陆块中部震旦系碎屑锆石年龄峰值主要为~2500 Ma的新太古代、1100~900 Ma的中-新元古代以及900~550 Ma的新元古代三个时期, 其他时期虽然在不同样品中存在极低的峰值, 但分布零散。

新太古代(~2500 Ma)是全球古陆核的形成时代, 华夏地块目前并未发现相关的地质记录(Yu J H et al., 2010), 扬子地块崆岭杂岩的时代又明显老于上述峰值年龄(Guo J L et al., 2014); 锆石阴极发光图像(图3)中, 该时代的碎屑锆石以次圆-圆状为主, 少量内部呈均一化, 显示出再循环锆石的特征。根据熊晨(2019)的研究, 认为华夏陆块~2500 Ma的碎屑物源来自印度和南极洲板块。

1100~900 Ma的碎屑物源峰值是华夏地块前寒武纪沉积岩中碎屑锆石年龄谱的特征峰值, 也是与扬子地块同时代沉积岩在物源上最主要的区别(李献华等, 2012), 该时期是格林威尔造山事件的主要时期。华南板块中该时期碎屑锆石十分丰富, 却并未大面积出露相应的岩体。同时, 碎屑锆石CL图像(图3)中, 1100~900 Ma的锆石普遍显示分选好、磨圆好的特征, 说明经过了长距离的搬运。根据本区该时期的古地理格局(刘宝珺和许效松, 1994), 这一期的锆石不太可能来自于北西方向的扬子地块, 而是来自于南东方向的华夏地块之外。

900~550 Ma的新元古代时期, 是从罗迪尼亚超大陆解体到冈瓦纳古陆形成的转折阶段, 存在多期岩浆活动(Yu J H et al., 2010)。新元古代早期(820~705 Ma)华南板块内部广泛发育裂谷系, 华夏内部也在部分区域有岩浆活动(黄家龙, 2018), 为华夏地块提供了近距离的物质来源, 该期碎屑锆石在CL图像(图3)中出现较多的次棱角状, 同时锆石的振荡环带也更为清晰。700 Ma之后冈瓦纳古陆开始形成, 华夏地块震旦系沉积岩物源中542 Ma的锆石峰值年龄对应泛非造山运动(Cawood and Nemchin, 2000), 鉴于目前尚未发现华南板块与冈瓦纳古陆聚合事件有关的地质证据, 结合华南板块震旦系岩相古地理的研究成果(刘宝珺和

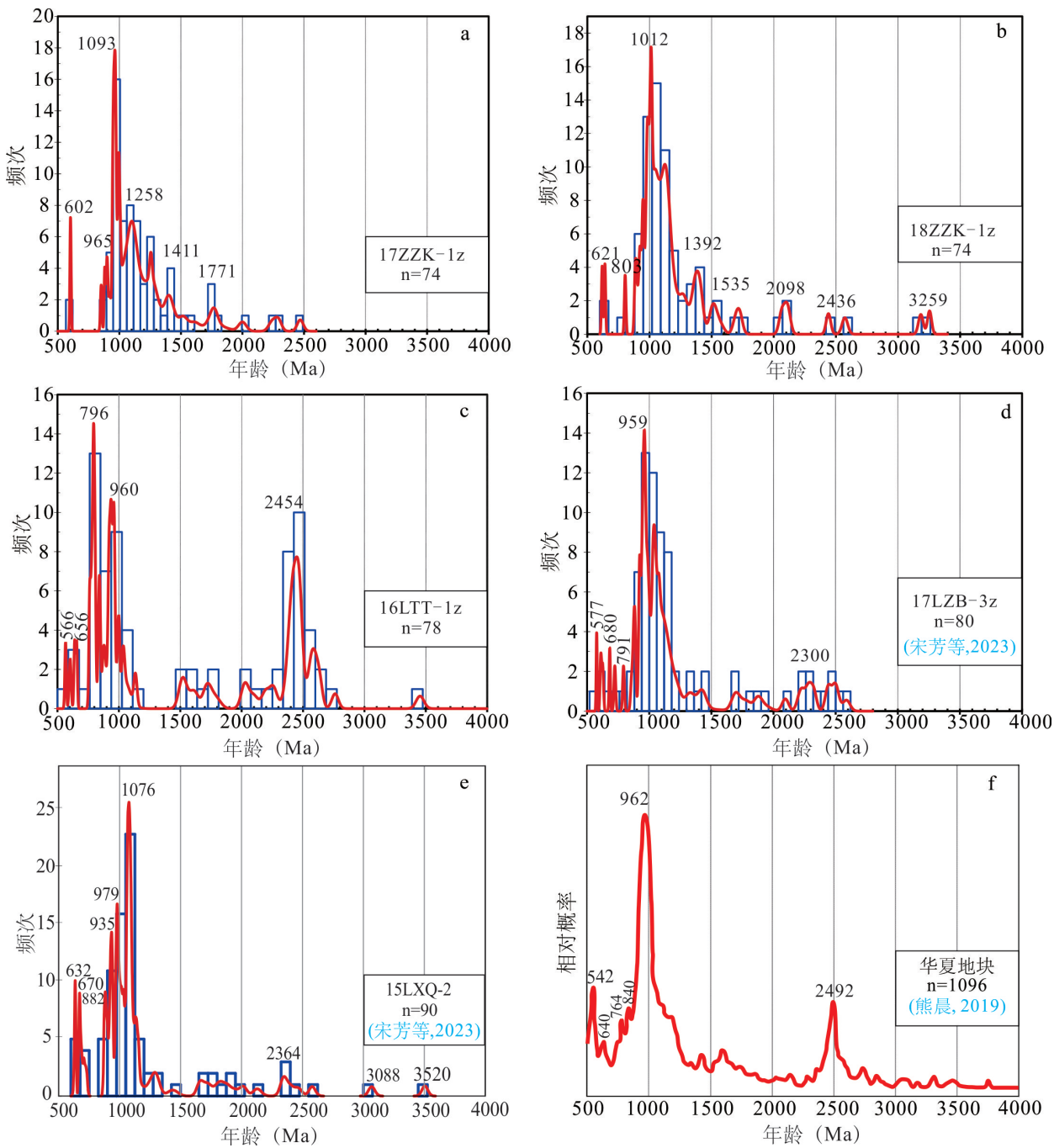


图6 华夏地块中部震旦纪沉积岩碎屑锆石年龄谱

Fig. 6 Age spectrum of detrital zircons from the Sinian sedimentary of Central Cathaysia block

许效松, 1994), 本期物源应来自南东方向的华夏地块之外。

4.4 大地构造意义

前人的研究证实, 扬子地块南华系物源为典型的“扬子型”(具有~ 850 Ma左右的锆石主峰值年龄及~2000 Ma的次峰值年龄)(王鹏鸣等, 2013; 伍皓

等, 2013; 韩坤英等, 2016; 胡蓉等, 2016; 宋芳等, 2016; Song F et al., 2020; 牛志军等, 2022)。“华夏型”和“扬子型”两种物源在扬子东南缘和华夏西北缘存在交叉过渡(伍皓等, 2013; Qi L et al., 2020; Song F et al., 2020; 刘奕志等, 2021), 发生转换的时间自东向西越来越晚, 如在华夏西北缘郴州地区,

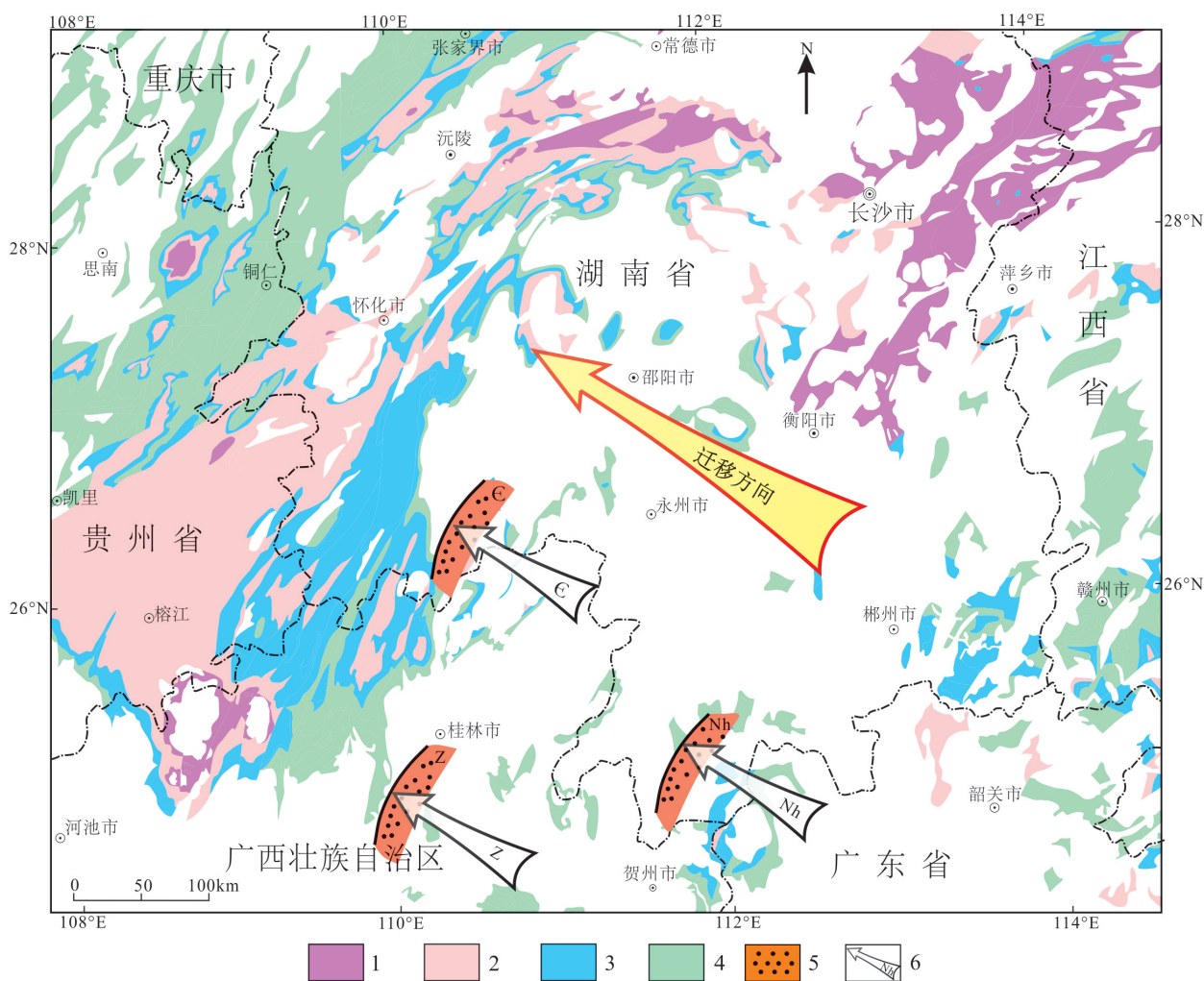


图7 华南板块南华纪-奥陶纪华夏物源迁移示意图

Fig. 7 Diagram of Cathaysia-typed provenance migration in the South China Block from Nanhuan to Ordovician

据何奎砚等(2020)、牛志军等(2020)修改;1. 冷家溪群及其相当层位;2. 板溪群及其相当层位;3. 南华系-震旦系;

4. 寒武系-奥陶系 5. 华夏型物源砂体; 6. 华夏型物源砂体到达地区及时代

转换发生在南华纪早期(宋芳等, 2023),而在扬子东南缘永福地区,转换发生在震旦纪早期(Song F et al., 2020; 刘奕志等, 2021)。同时据 Yu W C et al. (2015)及何奎砚等(2020)的研究,“华夏型”物源向西的推进一直持续到早古生代晚期。碎屑锆石显示的“华夏型”物源连续迁移(图7)表明,在新元古代晚期南华纪-震旦纪,华夏地块和扬子地块之间并不存在大洋的阻隔。

5 结论

(1)华夏地块中部震旦系沉积岩为厚层、巨厚

层状绿片岩相变质的碎屑岩夹硅质岩,顶、底以硅质岩、硅质泥岩或泥质硅质岩为划分标志,与华夏西北缘和扬子地块震旦系岩性上过渡,可以进行区域对比。

(2)华夏地块中部震旦系沉积岩中碎屑锆石年龄谱存在1100~900 Ma的主峰值、900~550 Ma区间的多个次峰值以及~2500 Ma的次峰值,其中1100~900 Ma、~2500 Ma以及700~542 Ma的沉积物源来自于华夏地块以外的南东方向,900~705 Ma的物源则很可能是华夏地块内部的物源。碎屑锆石年龄谱特征显示,华夏地块中部震旦系沉积岩物源是典型的“华夏型”物源,结合华南板块其

他地区的相关研究,该套沉积物源在新元古代-早古生代由南东向北西逐步推进。

(3)华夏地块中部震旦系沉积岩物源以碎屑岩为主,向北东逐渐过渡为扬子东南缘硅质岩为主和扬子地块内部碳酸盐岩为主的沉积体系,显示出岩性上逐步过渡的特征;结合“华夏型”碎屑物源向北东方向的迁移,暗示新元古代晚期华南板块属于统一的沉积盆地。

参考文献:

- 常华进,储雪蕾,冯连君,黄晶,张启锐.2008.湖南安化留茶坡硅质岩的REE地球化学特征及其意义[J].中国地质,35(5):879-887.
- 常华进,储雪蕾,冯连君,黄晶,张启锐.2010.桂北泗里口老堡组硅质岩的常量、稀土元素特征及成因指示[J].沉积学报,28(6):1098-1107.
- 福建省地质调查研究院.2017.中国区域地质志·福建志[M].北京:地质出版社.
- 广东省地质调查院.2016.广东1:5万明山嶂煤矿(G50E023010)、高陂圩(G50E023011)、砂田圩(G50E023010)、潭江圩(G50E023011)等幅区域地质矿产调查报告[R].
- 广东省地质调查院.1999.白湖幅(G50E020009)、蕉岭县幅(G50E021009)1:5万区域地质调查报告[R].
- 广东省地质矿产局.1996.广东省岩石地层[M].武汉:中国地质大学出版社.
- 广西壮族自治区地质矿产局.1997.广西壮族自治区岩石地层[M].武汉:中国地质大学出版社.
- 韩坤英,王梁,丁孝忠,任留东,高林志,刘燕学,庞健峰,薛玖红.2016.桂北地区南华系沉积物源分析——来自碎屑锆石U-Pb年龄的证据[J].岩石学报,32(7):2166-2180.
- 何卫红,唐婷婷,乐明亮,邓晋福,潘桂棠,邢光福,骆满生,徐亚东,韦一,张宗言,肖非凡,张克信.2014.华南南华纪一二叠纪沉积大地构造演化[J].地球科学,39(8):929-953.
- 何垚砚,牛志军,张遵遵,宋芳,姚华舟,杨文强,龚银杰,王忠伟,甘金木,王志宏.2020.黔东北沿河县奥陶系湄潭组碎屑锆石特征、物源——构造意义及其成矿年代学启示[J].中国地质,47(4):1025-1040.
- 胡蓉,李双庆,王伟,陈福坤.2016.扬子北部三峡地区南沱组冰碛岩的物源特征:锆石年龄和地球化学证据[J].地球科学,41(10):1630-1654.
- 湖南省地质调查院.2017.中国区域地质志·湖南志[M].北京:地质出版社.
- 黄家龙.2019.华夏地块东南缘南华纪岩浆事件的发现及地质意义[J].福建地质,38(2):79-97.
- 李红中,周永章,杨志军,高乐,何俊国,梁锦,曾长育,吕文超.2015.钦-杭结合带硅质岩的分布特征及其地质意义[J].地学前缘,22(2):108-117.
- 李献华,李武显,何斌.2012.华南陆块的形成与Rodinia超大陆聚合-裂解——观察,解释与检验[J].矿物岩石地球化学通报,31(6):543-559.
- 刘宝珺,许效松.1994.中国南方岩相古地理图集[M].北京:科学出版社.
- 刘鹏举,尹崇玉,陈寿铭,唐烽,高林志.2010.华南埃迪卡拉纪陡山沱期管状微体化石分布、生物属性及其地层学意义[J].古生物学报,49(3):308-324.
- 刘奕志,庞崇进,冯佐海,康志强,蓝健宁,朱家明,肖冰清,喻文亮.2021.桂东北晚震旦世-寒武纪砂岩物源特征:对华南早古生代构造演化的制约[J].大地构造与成矿学,45(4):761-800.
- 牛志军,杨文强,宋芳,何垚砚,田洋.2020.湘桂地区新元古代地层序列物源分析与构造演化[M].北京:科学出版社.
- 牛志军,邓新,刘浩,李福林,宋芳,何垚砚,杨文强.2022.扬子陆块南北缘新元古代火山-沉积岩系研究现状与问题[J].华南地质,38(1):27-45.
- 牛志军,宋芳,何垚砚,安志辉,田洋,刘浩,杨文强.2023.中南地区南华纪地层序列及对重大地质事件的响应[J].华南地质,39(2):173-185.
- 彭军,徐望国.2001.湘西上震旦统层状硅质岩沉积环境的地球化学标志[J].地球化学,30(3):293-298.
- 任纪舜,李崇.2016.华夏古陆及相关问题——中国南部前泥盆纪大地构造[J].地质学报,90(4):607-614.
- 荣红,吴年冬,王忠伟.2023.桂东大桂山地区震旦系培地组硅质岩地球化学特征及沉积环境探讨[J].四川地质学报,43(2):339-346.
- 舒良树,陈祥云,楼法生.2020.华南前侏罗纪构造[J].地质学报,94(2):333-360.
- 舒良树.2006.华南前泥盆纪构造演化:从华夏地块到加里东期造山带[J].高校地质学报,12(4):418-431.
- 宋芳,何垚砚,牛志军,杨文强,王志宏.2023.华南板块东南部南华纪-震旦纪沉积地层区域对比、物源特征及构造演化[J/OL].地球科学.<https://kns.cnki.net/kcms2/detail/42.1874.P.20230802.1212.010.html>
- 宋芳,牛志军,何垚砚,杨文强.2016.中扬子地区南华纪早期碎屑锆石U-Pb年龄及其对物源特征和古地理格局的约束[J].地质学报,90(10):2661-2680.
- 宋传中,李加好,严加永,王阳阳,刘振东,袁芳,李振伟.2019.

- 华南大陆东部若干构造问题的思考[J].中国地质,46(4):704-722.
- 谈昕,邱振,卢斌,董大忠,施振生,陈留勤,江增光.2018.华南地区不同时代硅质岩地球化学特征及地质意义[J].科学技术与工程,18(2):7-19.
- 王鹏鸣,于津海,孙涛,时毓,陈培荣,赵葵东,陈卫峰,刘潜.2013.湘桂震旦-寒武纪沉积岩组成的变化—对华南构造演化的指示[J].中国科学:地球科学,43(11):1893-1906+附录1-7.
- 吴元保,郑永飞.2004.锆石成因矿物学研究及其对U-Pb年龄解释的制约[J].科学通报,49(16):1589-1604.
- 伍皓,江新胜,王剑,汪正江,杜秋定,邓奇,崔晓庄,杨菲.2013.湘东南新元古界大江边组和埃岐岭组的形成时代和物源——来自碎屑锆石U-Pb年代学的证据[J].地质论评,59(5):853-868.
- 熊晨.2019.华夏陆块西缘震旦-寒武纪沉积物源分析及其构造古地理意义[D].成都理工大学博士学位论文.
- 杨恩林,陈恨水,陈焕,吴波,陈宇,杨友,罗建均.2011.黔东南留茶坡组硅质岩元素地球化学特征与形成环境[J].矿物学报,31(3):406-411.
- 于津海,O'Reilly Y S,王丽娟,Griffin W L,蒋少涌,王汝成,徐夕生.2007.华夏地块古老物质的发现和前寒武纪地壳的形成[J].科学通报,52(1):11-18.
- 于津海,魏震洋,王丽娟,舒良树,孙涛.2006.华夏地块:一个由古老物质组成的年轻陆块[J].高校地质学报,12(4):440-447.
- 张国伟,郭安林,王岳军,李三忠,董云鹏,刘少峰,何登发,程顺有,鲁如魁,姚安平.2013.中国华南大陆构造与问题[J].中国科学:地球科学,43(10):1553-1582.
- 张开毕,黄昌旗,林亨才,何文兴,马爱双.2004.闽西南“丁屋岭砾岩”孢子的发现[J].地层学杂志,28(3):240-243.
- 张克信,徐亚东,何卫红,于洋,王丽君,王嘉轩,寇晓虎,骆满生.2018.中国新元古代青白口纪早期(1000~820Ma)洋陆分布[J].地球科学,43(11):3837-3852.
- 张克信,何卫红,徐亚东,翟刚毅,石万忠,陆永潮.2023.华南青白口纪—三叠纪构造-地层区划及特征[J].华南地质,39(1):1-23.
- 张立杨.2023.硅质岩的成因与沉积环境及其在重建洋板块地层中的应用[J].地球科学进展,38(5):453-469.
- 张亚冠,杜远生,徐亚军,余文超,黄虎,焦良轩.2015.湘中震旦纪—寒武纪之交硅质岩地球化学特征及成因环境研究[J].地质论评,61(3):499-510.
- 张迎迎,罗泰义,甘甜,周明忠,韩心巧.2019.粤西大隆坪硫铁矿浅变质钾质斑脱岩的锆石U-Pb定年[C].//第九届全国成矿理论与找矿方法学术讨论会论文摘要集.专题10:成矿作用示踪及成矿年代学,370.
- 郑永飞,张少兵.2007.华南前寒武纪大陆地壳的形成和演化[J].科学通报,52(1):1-10.
- Boger S D. 2011. Antarctica—Before and after Gondwana[J]. Gondwana Research, 19(2): 335-371.
- Cawood P A, Nemchin A A. 2000. Provenance record of a rift basin: U/Pb ages of detrital zircons from the Perth Basin, Western Australia[J]. Sedimentary Geology, 134(3-4): 209-234.
- Cawood P A, Buchan C. 2007. Linking accretionary orogenesis with supercontinent assembly[J]. Earth-Science Review, 82(3-4): 217-256.
- Collins A S, Pisarevsky S A. 2005. Amalgamating eastern Gondwana: The evolution of the Circum-Indian Orogens[J]. Earth-Science Review, 71(3-4):229-270.
- Du Q D, Wang Z J, Wang J, Qiu Y S, Jiang X S, Deng Q, Yang F. 2013. Geochronology and paleoenvironment of the pre-Sturtian glacial strata: Evidence from the Liantuo Formation in the Nanhua rift basin of the Yangtze Block, South China[J]. Precambrian Research, 233:118-131.
- Guo J L, Gao S, Wu Y B, Li M, Chen K, Hu Z C, Liang Z W, Liu Y S, Zhou L, Zong K Q, Zhang W, Chen H H. 2014. 3.45 Ga Granitic Gneisses from the Yangtze Craton, South China: Implications for Early Archean Crustal Growth[J]. Precambrian Research, 242:82-95.
- Lin S F, Xing G F, Davis D W, Yin C Q, Wu M L, Li L M, Jiang Y, Chen Z H. 2018. Appalachian-style multi-terrane Wilson cycle model for the assembly of South China[J]. Geology, 46(6): 319-322.
- 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 from mantle xenoliths[J]. Journal of Petrology, 51(1-2): 537-571.
- Liu Y S, Hu Z C, Zong K Q, Gao C G, 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(15): 1535-1546.
- Meert J G. 2003. A synopsis of events related to the assembly of eastern Gondwana[J]. Tectonophysics, 362(1):1-40.
- Qi L, Cawood P A, Xu Y J, Du Y S, Zhang H C, Zhang Z K. 2020. Linking South China to North India from the late

- Tonian to Ediacaran: Constraints from the Cathaysia Block[J]. *Precambrian Research*, 350:105898.
- Song F, Niu Z J, He Y Y, Algeo T J, Yang W Q. 2020. Geographic proximity of Yangtze and Cathaysia blocks during the late Neoproterozoic demonstrated by detrital zircon evidence[J]. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 558: 109939.
- Wang L J, Zhang K X, Lin S F, He W H, Kou X H, Zhou X H. 2020. Turbidite record of a middle Neoproterozoic active continental margin in the West Cathaysia terrane, South China: Implications for the relationships between the Yangtze and Cathaysia blocks and their positions in Rodinia[J]. *Precambrian Research*, 337: 105457.
- Wang W, Zeng M F, Zhou M F, Zhao J H, Zheng J P, Lan Z F. 2018. Age, provenance and tectonic setting of Neoproterozoic to early Paleozoic sequences in southeastern South China Block: Constraints on its linkage to western Australia-East Antarctica[J]. *Precambrian Research*, 309: 290-308.
- Wiedenbeck M, Alle P, Corfu F, Griffin W L, Meier M, Oberli F, Vonquadt A, Roddick J C, Spiegel W. 1995. Three natural zircon standards for U-Th-Pb, Lu-Hf, trace element and REE analyses[J]. *Geostandards Newsletter*, 19(1): 1-23.
- Yu J H, O'Reilly S Y, Wang L J, Griffin W L, Zhou M F, Zhang M, Shu L S. 2010. Components and episodic growth of Precambrian crust in the Cathaysia Block, South China: Evidence from U-Pb ages and Hf isotopes of zircons in Neoproterozoic sediments[J]. *Precambrian Research*, 181(1-4): 97-114.
- Yu W C, Du Y S, Cawood P A. 2015. Detrital zircon evidence for the reactivation of an Early Paleozoic syn-orogenic basin along the North Gondwana margin in South China[J]. *Gondwana Research*, 28(2): 769-780.
- Zhao J H, Zhang S B, Wang X L. 2018. Neoproterozoic geology and reconstruction of South China[J]. *Precambrian Research*, 309:1-5.