

海南三亚中元古代变质砾岩的发现及其对 Columbia 超大陆裂解的指示

赵小明¹, 胡在龙², 裴毅俊³, 袁海军², 邱啸飞¹, 吴年文¹, 姚华舟¹

ZHAO Xiaoming¹, HU Zailong², PEI Yijun³, YUAN Haijun², QIU Xiaofei¹, WU Nianwen¹, YAO Huazhou¹

1. 中国地质调查局武汉地质调查中心/中南地质科技创新中心, 湖北 武汉 430223;

2. 海南省地质调查院, 海南 海口 570206;

3. 中国地质大学(武汉)地质调查院, 湖北 武汉 430074

1. Wuhan Center, China Geological Survey/Central South China Innovation Center for Geosciences, Wuhan 430223, Hubei, China;

2. Hainan Institute of Geological Survey, Haikou 570206, Hainan, China;

3. Institute of Geological Survey, China University of Geosciences, Wuhan 430074, Hubei, China

摘要:海南岛中元古代沉积记录对于探讨华南陆块早期大陆演化过程起关键作用。对海南三亚三郎岭地区奥陶系干沟村组砂岩-板岩组合中的变质砾岩形成时代进行了重新厘定。碎屑锆石 U-Pb 同位素年龄分析结果表明, 65 颗锆石 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{U}$ 年龄范围为 2691~1350 Ma, 且分成 2691~2444 Ma、1838~1632 Ma、1540~1350 Ma 三组, 形成约 1699 Ma、约 1440 Ma 2 个主要峰值和约 2461 Ma 的 1 个次要峰值。基于最年轻锆石年龄为 1350 Ma, 且没有出现海南岛常见的 1250~1100 Ma 和 1000~900 Ma 年龄记录, 将该套变质砾岩沉积时代限定在 1350~1250 Ma, 而并非前人划属的奥陶纪, 这是海南岛首次发现中元古代的砾岩建造。该套变质砾岩砾石成分成熟度高、结构成熟度中等, 表现为裂谷盆地高密度的碎屑流沉积特征, 是研究区 Columbia 超大陆裂解晚期的沉积响应。变质砾岩与劳伦大陆西部的 Belt-Purcell 超群下部沉积地层具有相似的碎屑锆石年龄组成和年龄谱特征, 暗示中元古代哥伦比亚超大陆中, 海南岛与劳伦西部靠近。

关键词: 变质砾岩; 锆石 U-Pb 年龄; Columbia 超大陆裂解; 中元古代; 海南岛

中图分类号: P534.3; P588.21⁺2.5 **文献标志码:** A **文章编号:** 1671-2552(2021)06-880-09

Zhao X M, Hu Z L, Pei Y J, Yuan H J, Qiu X F, Wu N W, Yao H Z. Recognition of metamorphic conglomerate in the Sanya area of Hainan Island and its indicator to breakup of the Columbia supercontinent. *Geological Bulletin of China*, 2021, 40(6): 880-888

Abstract: Mesoproterozoic sedimentary records in the Hainan Island are significant for discussing the continental crust evolution of the South China Massif. In our studies, the formation age of metamorphic conglomerate in the sandstone-slate combination of the Ordovician Gangoucun Formation in the Sanlangling area of the Sanya city, Hainan Island, were redetermined. Total 65 detrital zircons from the conglomerate were measured for U-Pb dating. The U-Pb ages of the zircons range from 2691 Ma to 1350 Ma, and are clustered at 2691~2444 Ma, 1838~1632 Ma, and 1540~1350 Ma, with two main peaks at ~1699 Ma and ~1440 Ma and a subordinary peak at ~2461 Ma. Based on the youngest detrital zircon age of ~1350 Ma for the conglomerate, without 1250~1100 Ma and 1000~900 Ma age records which are common in the Hainan Island, it is suggested that the metamorphic conglomerate was

收稿日期: 2020-06-19; **修订日期:** 2020-07-17

资助项目: 中国地质调查局项目《地质调查综合智能编图系统与应用》(编号: DD20190415)、《桂东-粤西成矿带云开-抱板地区地质矿产调查》(编号: DD20160351) 和国家自然科学基金项目《海南岛古特提斯洋壳的地层古生物判据及海西期构造演化》(批准号: 41672030)、《早三叠世海、陆相地层对比及生物-环境演变过程》(批准号: 41530104)

作者简介: 赵小明(1970-), 男, 博士, 研究员, 从事地层古生物学调查和科研工作。E-mail: zxm20040021@163.com

deposited at 1350~1250 Ma. This is the first time that a Mesoproterozoic conglomerate formation has been recognized on Hainan Island, rather than the Ordovician sedimentary rocks previously classified. The metamorphic conglomerates have high compositional maturity and middle texture maturity, which are consistent with the sedimentary features of high-density debris flow in the rift basin. They might represent the sedimentary response to the final breakup of the Columbia supercontinent in the Hainan Island.

Key words: metamorphic conglomerate; zircon U-Pb age; Columbia supercontinent breakup; Mesoproterozoic; Hainan Island

海南岛是中国东南陆缘海域中的最大岛屿,位于太平洋板块、印度-澳大利亚板块和欧亚板块三叉结合部位。受露头条件限制,加上遭受多次变质变形,海南岛前寒武系的研究相当薄弱,以致于它们的物质组成、形成时代和沉积大地构造环境未能得到充分制约,争议极大,造成海南岛前寒武纪构造地层划分、大地构造属性,以及在超大陆演化中的位置等方面认识存在显著分歧^[1-11]。最近,笔者在海南三亚市吉阳区三郎岭一带的地质调查过程中,对原划归奥陶系干沟村组的一套变质砾岩,采用 LA-ICP-MS 方法对其碎屑锆石 U-Pb 同位素进行了测定,旨在确定该套变砾岩的沉积时限,并通过变质砾岩沉积学和 U-Pb 年龄谱对比研究,探讨其沉积大地构造环境。

1 地质概况

海南岛前寒武系包括中元古界长城系戈枕村组、长城系—蓟县系峨文岭组,新元古界青白口系石碌群、南华系—震旦系石灰顶组^[5, 12-13],主要分布于琼西东方抱板—戈枕村和昌江叉河—红林农场、琼南红五、琼中长征农场—乘坡、屯昌中建农场、琼东烟塘等地区,少量见于西沙群岛永兴岛和琼北雷琼裂隙钻孔中(图 1-a)。

戈枕村组和峨文岭组属于海南岛的基底地层,由于后期受到多期次的变质变形和构造改造作用,总体呈“残留体状”产出。戈枕村组为一套经过混合岩化作用改造的深变质岩,以混合岩和片麻岩组合为特征,年龄限于 1430~1800 Ma 之间^[7, 10, 14-16];峨文岭组整合于戈枕村组之上,以云母石英片岩、石英云母片岩、石英岩为主,夹石墨矿层,年龄限于 1300~1450 Ma 之间^[10-11, 13, 16]。

海南岛新元古界为一套浅变质岩系,自下而上分为石碌群和石灰顶组 2 套含铁岩系。石碌群主要由绢云石英片岩、石英绢云片岩、结晶灰岩、白云岩夹石英岩、凝灰岩、富铁矿层组成,为一套高-低绿片岩相浅变质岩,产孢粉、宏观藻类化石 *Chuaria*

circlaris Walcott, *Shouhsienia shouhsienensis* Xing, *Tawuia dalensis* Hofmann, *T. sinansis* Duan 等^[17]。许德如等^[18-19]利用锆石 SHRIMP U-Pb 定年,推断石碌群沉积上限年龄约为 960 Ma、下限年龄约为 1300 Ma。Wang 等^[9]获得石碌群最上部层位中碎屑锆石 2000~900 Ma 的年龄谱,存在 2700 Ma、2500 Ma、1466~1359 Ma、1073 Ma 年龄峰值,最小年龄值 1073 Ma 可以解释为石碌群上部层位沉积的初始时间。石灰顶组以石英砂岩、石英岩为主,夹泥岩、硅质岩、赤铁矿粉砂岩,为一套未变质的陆源碎屑沉积。Li 等^[20]采用 SHRIMP 锆石 U-Pb 法在石灰顶组中获得了大量 1200~2660 Ma 的碎屑锆石年龄,与下伏石碌群碎屑锆石年龄一致。Wang 等^[9]通过碎屑锆石限定石灰顶组沉积不早于 1070~970 Ma。石碌群未见底,与下伏地层断层接触,与上覆石灰顶组为角度不整合接触,石灰顶组未见顶,与上覆下古生界接触关系不清。

本次调查的变质砾岩出露于三亚市吉阳区三郎岭村一带,出露面积约 4 km²,前人将其归属奥陶系干沟村组,与奥陶系尖岭组接触关系不清,推测为断层接触,遭三叠纪二长花岗岩侵入(图 1-b)。变质砾岩野外露头上呈灰白色厚层-块状,产状变化较大(图版 I-a);砾径 0.5~25 cm,以 2~10 cm 为主;砾石分选性较好,以硅质砾石占优势(图版 I-c),另有少量片麻岩、片岩砾石(图版 I-b);砾石磨圆度中等,呈次棱角状-次圆状,长短轴比例 1:1~2.5:1;颗粒支撑,硅质胶结(图版 I-b、c)。岩石薄片,部分石英呈次圆-次棱角状,重结晶明显,但碎屑外形仍保留,另一部分呈显微变晶粒状;粘土矿物重结晶形成绢云母,显微鳞片状,镶嵌于石英颗粒间,部分绢云母呈弱定向排列(图版 I-d、e)。

2 锆石测年结果对沉积时代的限定

2.1 分析方法

采样点坐标为北纬 18°22'28"、东经 109°37'09",岩性为变质中粗砾岩(图 1-b),编号 SL-1Y。锆石

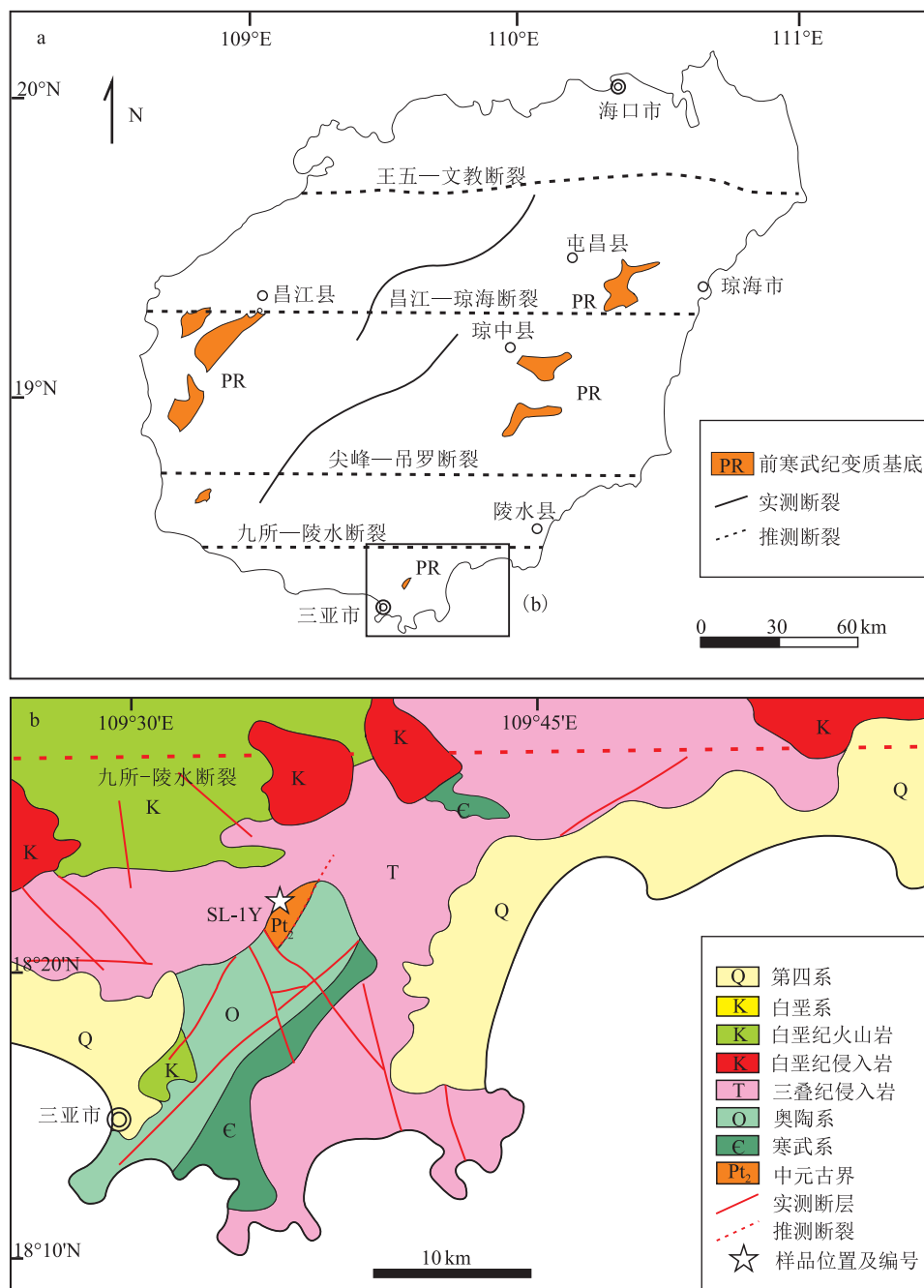


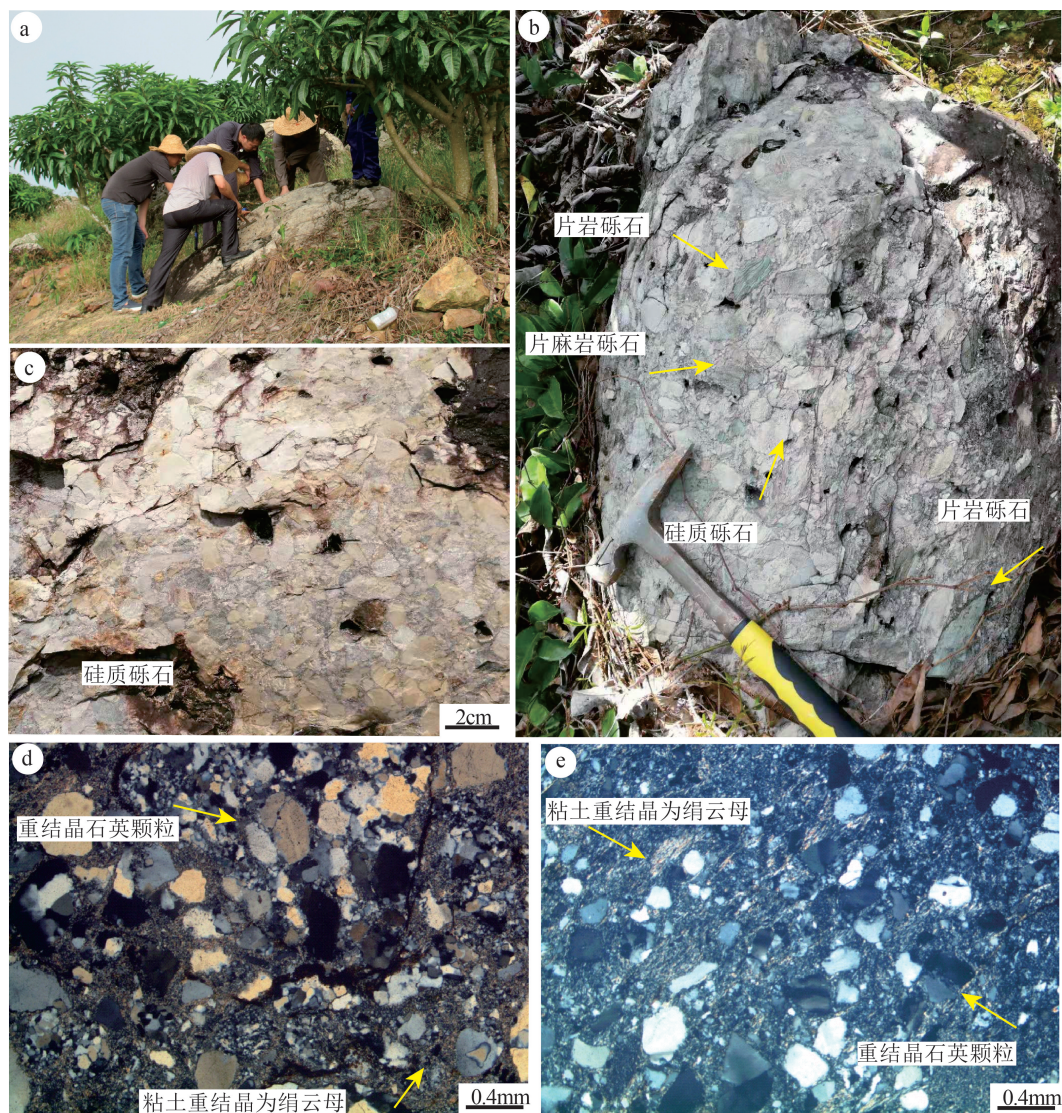
图1 研究区地质简图(据参考文献[13]修改)

Fig. 1 Geological map of the study area

单矿物分选工作由河北省廊坊市宇能岩石矿物分选技术服务有限公司完成,样品初碎后尽量选择砾径小、杂基多的碎块进行细碎分选。锆石阴极发光(CL)图像在北京锆石科技领航有限公司拍摄完成。锆石U-Pb定年分析在湖北地质实验研究所进行,测试仪器为准分子激光剥蚀系统193 nm GeoLas 2005和电感耦合等离子体质谱仪Agilent 7500a,激

光剥蚀束斑直径为32 μm ,采用标准锆石91500为外标进行同位素分馏校正。元素含量采用美国国家标准物质局研制的人工合成硅酸盐玻璃NIST 610为外标, ^{29}Si 为内标元素进行校正。数据处理采用软件ICP MS DataCal(ver 8.3)完成,年龄计算及谐和图的绘制采用Isoplot 2.7软件完成。在讨论中,因 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄均大于1 Ga,采用 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$

图版 I Plate I



a. 块状产出的变质砾岩; b. 以硅质砾石为主, 含少量片麻岩、片岩砾石的砾岩; c. 几乎全部为硅质砾石的砾岩;

d、e. 重结晶石英颗粒镜下特征(地质锤柄长 28 cm, 锤头宽 17 cm)

年龄, 谐和度大于 95% 的数据参与讨论。

2.2 分析结果及年龄约束

样品中所分选出的锆石主要呈无色或浅黄色自形、半自形晶体, 部分受到破碎作用晶型不完整。形态上多呈短柱状-柱状、少数呈椭圆状, 粒径一般为 50~100 μm , 长宽比为 1:1~2:1。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。锆石 CL 图像呈灰色、灰白色和白色, 亮度强弱不等, 可能反映不同锆石颗粒间 Th、U 等元素含量差异。锆石内部结构较简单, 多具有明显的振荡环带, 显示岩浆锆石特征, 少部分锆石具有残留核, 个别锆石具薄的变质亮边或溶蚀边(图 2)。

对样品 SL-1Y 的 70 粒锆石进行年龄测试, 其中谐和度大于 95% 的有 65 粒, 其 Th/U 值介于 0.12~0.75 之间, 结合 CL 图像, 表明这些锆石多为岩浆成因(表 1)。其谐和锆石的年龄组成大致分为 3 组, 由老至新依次为 2691~2444 Ma(4 粒)、1838~1632 Ma(48 粒)、1540~1350 Ma(13 粒), 存在约 1699 Ma 和约 1440 Ma 两个主要峰值, 以及约 2461 Ma 的次要峰值(表 1; 图 3)。结合前人的研究, 笔者认为, 约 1699 Ma 的峰值可能记录了 Columbia 超大陆裂解早期的构造热事件, 而约 1440 Ma 的峰值可能记录了哥伦比亚超大陆裂解后期的构造热事件^[7-9, 11, 16]。2691~2461 Ma 年龄表明海南岛也许存

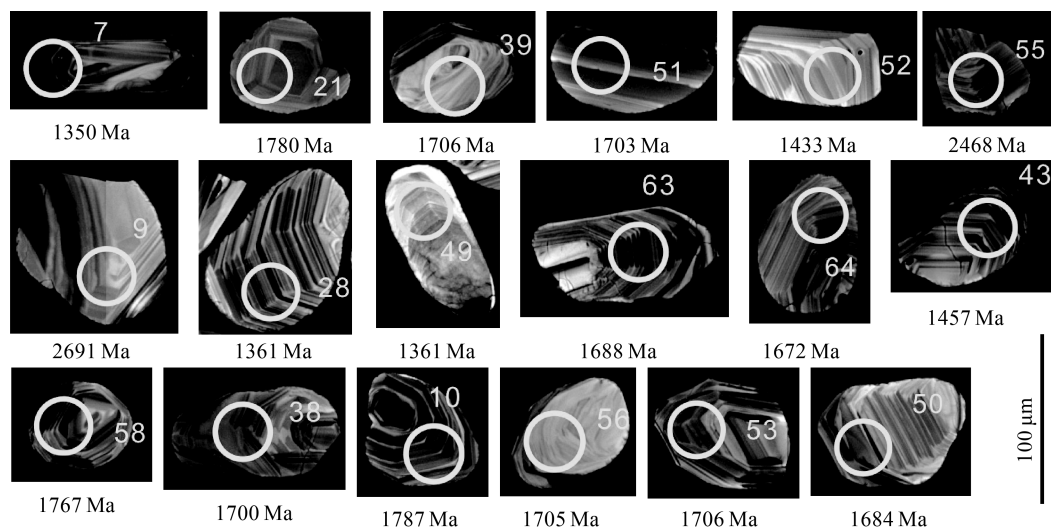


图2 变质砾岩代表性锆石阴极发光(CL)图像及其 U-Pb 年龄

Fig. 2 Typical CL images and U-Pb ages of zircons from metaconglomerate

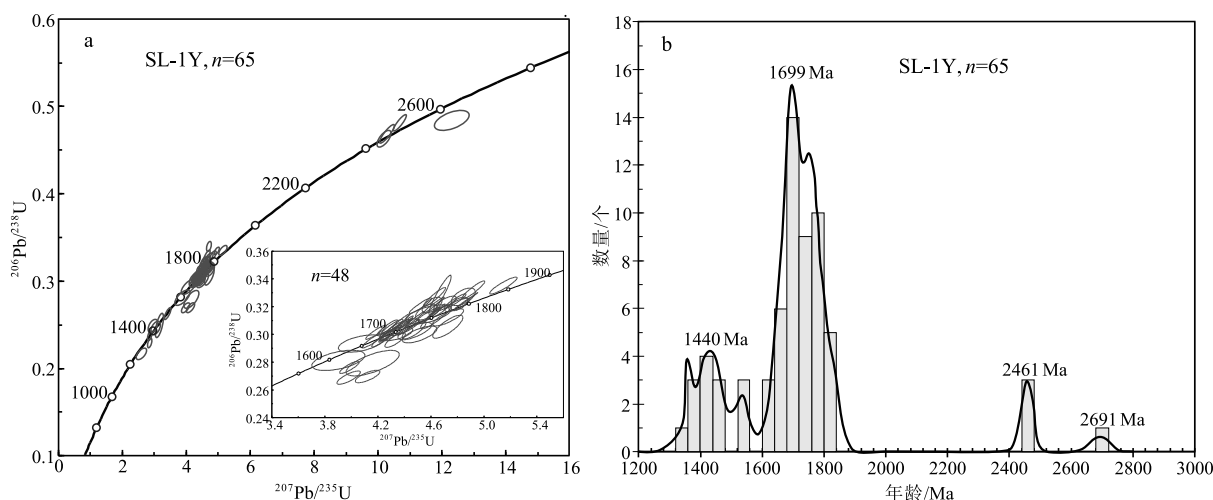


图3 三亚三郎岭地区变质砾岩碎屑锆石 U-Pb 年龄谐和图和直方图

Fig. 3 Detrital zircons U-Pb concordia diagrams and histogram of metaconglomerate in Shanlangling area, Sanya

在新太古代古老结晶基底^[3, 16, 21-23]。本次获得的最年轻锆石年龄值为 1350 Ma, 且未出现海南岛碎屑锆石研究中常见的 1250~1100 Ma 和 1000~900 Ma 年龄值^[9-11, 18, 21, 24-25], 认为该套变质砾岩的沉积时限应为 1350~1250 Ma(图 4)。

3 中元古代沉积大地构造背景

海南岛已发现的中元古界分为下部戈枕村组和上部峨文岭组。戈枕村组岩性以混合岩和片麻岩为主, 原岩以中酸性火山岩为主, 夹杂砂岩类、泥

岩等; 峨文岭组以云母石英片岩、石英云母片岩、石英岩为主, 夹石墨矿层, 原岩为泥岩、砂质泥岩、砂岩, 夹火山岩或炭质泥岩等^[13, 26]。有关海南岛中元古代构造背景存在 2 种观点: Zhang 等^[27] 基于变基性岩和同时代 A 型花岗岩的出露, 认为抱板杂岩可能形成于裂谷环境; 与之相反, 许德如等^[26] 依据区域上中元古代长英质岩石的 S 型花岗岩属性, 认为海南岛中元古代为活动大陆边缘环境。本次新发现的变质砾岩单层厚、砾石大小混杂、少量硅质泥砂杂基填隙、成分成熟度高、结构成熟度中等, 指示

表 1 海南三亚三郎岭地区变质砾岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Th-Pb 分析结果

Table 1 LA-ICP-MS zircon U-Th-Pb isotope data of metaconglomerate in Sanlangling area, Sanya city, Hainan

测点	含量/ 10^{-6}			Th/U	同位素比值						同位素年龄/Ma						谐和度
	Pb	Th	U		$^{207}\text{Pb}/$	1σ	$^{207}\text{Pb}/$	1σ	$^{206}\text{Pb}/$	1σ	$^{207}\text{Pb}/$	1σ	$^{207}\text{Pb}/$	1σ	$^{206}\text{Pb}/$	1σ	
					^{206}Pb		^{235}U		^{238}U		^{206}Pb		^{235}U		^{238}U		
01	272.8	150.7	665.7	0.226	0.095	0.002	3.159	0.096	0.249	0.009	1521	45	1447	23	1435	47	99%
02	82.1	60.6	107.7	0.563	0.089	0.002	3.032	0.083	0.247	0.004	1398	32	1416	21	1426	21	99%
03	96.7	48.3	150.7	0.321	0.105	0.002	4.583	0.141	0.314	0.006	1721	25	1746	26	1762	27	99%
04	176.5	104.6	262.8	0.398	0.108	0.002	4.161	0.164	0.279	0.008	1766	40	1666	32	1588	38	95%
05	91.2	66.5	130.9	0.508	0.087	0.002	2.976	0.113	0.248	0.004	1367	44	1401	29	1430	23	98%
06	92.0	58.9	110.6	0.533	0.101	0.002	3.903	0.163	0.281	0.006	1635	45	1614	34	1598	30	98%
07	374.1	271.0	897.7	0.302	0.087	0.002	2.592	0.104	0.216	0.004	1350	41	1299	29	1262	22	97%
08	80.1	46.2	119.3	0.388	0.100	0.002	4.072	0.138	0.293	0.005	1632	38	1649	28	1658	25	99%
09	209.7	76.9	105.4	0.730	0.184	0.003	12.308	0.356	0.484	0.008	2691	31	2628	27	2544	34	96%
10	168.2	82.8	321.7	0.257	0.109	0.002	4.516	0.107	0.300	0.005	1787	24	1734	20	1691	24	97%
11	62.9	32.6	99.7	0.327	0.104	0.002	4.388	0.098	0.305	0.005	1698	23	1710	19	1717	25	99%
12	146.5	53.6	436.5	0.123	0.109	0.001	4.730	0.096	0.312	0.005	1791	26	1773	17	1752	25	98%
13	171.1	90.1	309.7	0.291	0.106	0.001	4.331	0.063	0.296	0.004	1800	25	1699	12	1671	22	98%
14	207.9	96.2	446.5	0.215	0.107	0.001	4.474	0.074	0.303	0.005	1750	20	1726	14	1708	26	98%
15	87.1	52.3	104.6	0.500	0.112	0.001	4.727	0.093	0.305	0.007	1839	22	1772	16	1718	33	96%
16	81.0	46.2	117.5	0.393	0.106	0.001	4.576	0.077	0.313	0.005	1728	22	1745	14	1758	23	99%
17	271.7	177.3	430.0	0.412	0.108	0.001	4.640	0.096	0.313	0.007	1765	23	1757	17	1755	36	99%
18	158.5	109.0	290.5	0.375	0.095	0.001	3.426	0.064	0.262	0.005	1520	22	1510	15	1502	24	99%
19	84.2	59.8	149.9	0.399	0.091	0.001	3.225	0.063	0.256	0.004	1452	25	1463	15	1468	21	99%
20	108.1	81.1	151.0	0.537	0.092	0.001	3.121	0.053	0.245	0.004	1473	29	1438	13	1414	19	98%
21	177.9	103.1	216.6	0.476	0.109	0.001	4.868	0.071	0.324	0.005	1780	26	1797	12	1811	23	99%
22	80.1	39.4	173.2	0.228	0.104	0.001	4.386	0.065	0.306	0.005	1700	20	1710	12	1719	24	99%
23	139.2	48.6	142.5	0.341	0.159	0.002	10.281	0.163	0.468	0.007	2444	18	2460	15	2477	30	99%
24	101.5	35.7	276.0	0.129	0.102	0.001	4.523	0.069	0.321	0.005	1665	22	1735	13	1793	22	96%
25	236.1	172.9	428.6	0.403	0.089	0.001	3.103	0.049	0.252	0.005	1414	24	1433	12	1451	24	98%
26	88.4	44.0	153.5	0.287	0.103	0.001	4.628	0.068	0.327	0.006	1676	22	1754	12	1824	27	96%
27	124.4	65.6	218.6	0.300	0.104	0.001	4.351	0.075	0.303	0.006	1703	24	1703	14	1707	28	99%
28	146.6	102.4	330.6	0.310	0.087	0.001	2.876	0.052	0.240	0.005	1361	8	1376	14	1388	24	99%
29	184.2	115.1	253.0	0.455	0.102	0.001	4.164	0.069	0.296	0.004	1661	24	1667	14	1670	22	99%
30	180.8	98.0	322.5	0.304	0.103	0.001	4.236	0.068	0.297	0.005	1683	22	1681	13	1675	24	99%
31	141.7	49.3	410.4	0.120	0.103	0.001	4.300	0.067	0.301	0.004	1687	22	1693	13	1697	22	99%
32	143.0	108.5	215.2	0.504	0.089	0.001	3.049	0.053	0.248	0.004	1406	25	1420	13	1429	21	99%
33	185.3	107.5	256.6	0.419	0.102	0.001	4.273	0.062	0.305	0.004	1655	24	1688	12	1716	22	98%
34	74.5	32.4	183.2	0.177	0.101	0.001	4.186	0.063	0.302	0.004	1635	19	1671	12	1699	21	98%
35	470.3	214.8	856.6	0.251	0.108	0.001	4.920	0.071	0.332	0.005	1761	19	1806	12	1848	26	97%
36	97.0	46.8	199.8	0.234	0.106	0.001	4.432	0.068	0.305	0.005	1727	24	1718	13	1716	22	99%

续表 1

测点	含量/ 10^{-6}			Th/U	同位素比值						同位素年龄/Ma						谐和度
	Pb	Th	U		$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	1σ	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	1σ	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1σ	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	1σ	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	1σ	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1σ	
37	322.7	178.4	453.0	0.394	0.111	0.001	5.147	0.084	0.335	0.005	1833	20	1844	14	1863	24	98%
38	114.4	49.1	280.5	0.175	0.104	0.001	4.285	0.062	0.300	0.004	1700	16	1690	12	1693	20	99%
39	94.9	43.0	249.6	0.172	0.105	0.001	3.986	0.060	0.276	0.004	1706	19	1631	12	1572	18	96%
40	232.2	125.3	516.4	0.243	0.107	0.001	3.980	0.072	0.269	0.004	1754	22	1630	15	1535	20	93%
41	86.3	50.8	93.5	0.544	0.108	0.001	4.798	0.076	0.321	0.004	1770	24	1785	13	1796	19	99%
42	96.9	48.1	199.1	0.241	0.108	0.003	4.479	0.104	0.302	0.005	1766	46	1727	19	1703	25	98%
43	393.1	345.2	517.8	0.667	0.091	0.001	2.871	0.042	0.228	0.003	1457	20	1374	11	1323	17	96%
44	222.9	136.8	373.2	0.367	0.111	0.002	4.123	0.075	0.270	0.004	1814	29	1659	15	1539	19	92%
45	368.6	119.9	412.7	0.290	0.160	0.002	10.179	0.126	0.463	0.006	2454	17	2451	11	2453	27	99%
46	84.1	39.0	170.5	0.229	0.106	0.001	4.707	0.070	0.322	0.004	1729	20	1768	12	1801	21	98%
47	292.8	263.6	297.2	0.887	0.089	0.001	2.852	0.042	0.233	0.004	1411	30	1369	11	1353	19	98%
48	102.4	48.2	200.0	0.241	0.107	0.001	4.783	0.068	0.324	0.004	1747	19	1782	12	1809	21	98%
49	109.5	51.1	224.9	0.227	0.106	0.002	4.669	0.069	0.328	0.012	1800	34	1762	12	1831	56	96%
50	136.6	72.3	264.8	0.273	0.103	0.001	4.397	0.059	0.308	0.004	1684	19	1712	11	1733	20	98%
51	169.9	88.3	312.5	0.283	0.104	0.001	4.622	0.065	0.321	0.005	1703	17	1753	12	1795	23	97%
52	103.9	71.4	188.5	0.379	0.090	0.001	3.184	0.050	0.257	0.004	1433	18	1453	12	1474	21	98%
53	95.3	42.4	221.8	0.191	0.105	0.001	4.479	0.059	0.311	0.004	1706	20	1727	11	1746	21	98%
54	181.8	86.9	391.3	0.222	0.107	0.001	4.630	0.064	0.316	0.005	1746	23	1755	12	1768	25	99%
55	276.9	96.6	269.3	0.359	0.161	0.002	10.667	0.172	0.480	0.008	2468	18	2495	15	2528	35	98%
56	95.8	56.1	161.3	0.348	0.105	0.002	4.338	0.103	0.300	0.004	1706	37	1701	20	1693	20	99%
57	273.1	159.1	341.9	0.465	0.108	0.001	4.807	0.058	0.322	0.004	1769	18	1786	10	1799	19	99%
58	152.8	75.2	251.3	0.299	0.107	0.001	4.844	0.074	0.327	0.005	1767	20	1793	13	1824	25	98%
59	126.1	74.4	164.6	0.452	0.105	0.001	4.565	0.066	0.316	0.005	1710	21	1743	12	1771	23	98%
60	165.3	85.9	272.2	0.315	0.104	0.001	4.609	0.061	0.321	0.005	1698	20	1751	11	1795	22	97%
61	179.8	83.9	405.5	0.207	0.102	0.001	4.309	0.066	0.306	0.004	1661	19	1695	13	1719	22	98%
62	215.2	100.7	444.1	0.227	0.107	0.001	4.648	0.064	0.316	0.004	1743	19	1758	12	1769	20	99%
63	285.6	161.0	474.9	0.339	0.104	0.001	4.274	0.055	0.299	0.004	1689	17	1688	11	1686	19	99%
64	149.9	86.4	226.8	0.381	0.103	0.001	4.376	0.054	0.310	0.004	1673	19	1708	10	1739	21	98%
65	106.9	76.8	102.0	0.753	0.096	0.001	3.754	0.055	0.285	0.003	1540	22	1583	12	1614	17	98%

物源区岩性相对单一、高差大、剥蚀快,表现为裂谷盆地高密度的碎屑流沉积物特征,此类沉积常发育在裂谷带陡倾一侧砾质洪积扇或浊积扇内^[28-30],是海南岛中元古代一种新的沉积建造类型。该套裂谷相关沉积建造的发现,为探讨海南岛中元古代构造背景提供了新的约束。结合海南岛缺乏中元古代同期俯冲-碰撞相关的岩浆-变质记录(如高镁安山岩、埃达克岩、钙碱性玄武岩等),笔者认为,海南岛中元古代可能为裂谷相关的伸展构造背景,而不支持与俯冲相关的挤压环境。

从变质砾岩碎屑锆石年龄谱与戈枕村组、峨文岭组、石碌群、石灰项组碎屑锆石年龄谱对比结果(图4)看,戈枕村组、峨文岭组与变质砾岩具有相似

的年龄区间(1400~1580 Ma、1700~1800 Ma、2400~2700 Ma)和主要峰值;石灰顶组和石碌群除与戈枕村组、峨文岭组及本次新解体出来的变质砾岩具有3个相似的年龄区间和主要峰值外,还具有900~1150 Ma 年龄区间和970 Ma、1070 Ma 峰值。这些年龄谱特征,结合变质砾岩中的砾石组成以硅质砾石占绝对优势,仅见少量片麻岩和片岩砾石,表明该套变质砾岩物源可能为峨文岭组和同时期的岩浆岩,以及更古老的基底物质,这个古老基底也是戈枕村组、峨文岭组的物源区。而石灰顶组和石碌群中的碎屑锆石可能来自古老基底、戈枕村组与峨文岭组再循环、中元古代晚期的新生岩浆岩。值得注意的是,变质砾岩的沉积时限稍晚于峨文岭组,

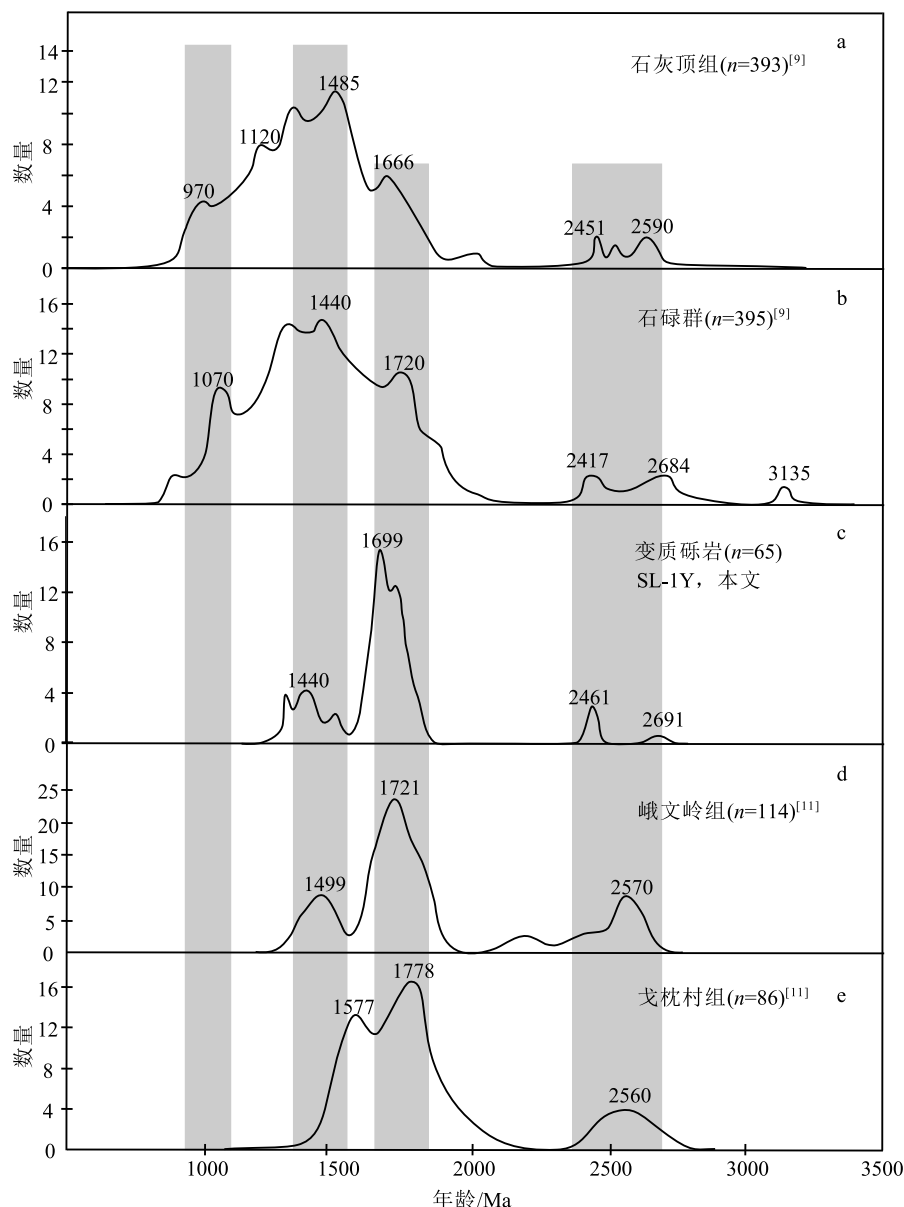


图 4 海南岛前寒武纪碎屑锆石 U-Pb 年龄谱

Fig. 4 U-Pb age spectra for Precambrian detrital zircons in Hainan Island

a—石灰顶组^[9]; b—石碌群^[9]; c—变质砾岩; d—峨文岭组^[11]; e—戈枕村组^[11]

说明峨文岭组成岩后经构造运动变质变形,快速出露至地表并遭风化侵蚀,成为变质砾岩的物源区,这一复杂的过程发生在 1440~1350 Ma 相对短的时间内,说明 1440~1350 Ma 期间海南岛发生了强烈的构造活动^[7-8, 25],该期地质事件可能与 Columbia 超大陆的裂解相关。需要指出的是,变质砾岩中 1699 Ma、1440 Ma 和 2461 Ma 的年龄峰值与劳伦大陆西部的 Belt-Purcell 超群下部沉积地层中的碎屑锆石年龄组成接近^[11, 31],这种相似性可能暗示了在中元古代海南岛南部与劳伦西部靠近。

4 结 论

(1) 海南三亚三郎岭地区变质砾岩锆石年龄集中分布在 2691~2444 Ma, 1838~1632 Ma, 1540~1350 Ma 三个区间,最年轻锆石年龄值为 1350 Ma,限定该变质砾岩沉积时限为 1350~1250 Ma,属中元古代,应该从原归属的奥陶系中解体出来。该套变质砾岩不同于海南岛已报道的中元古界戈枕村组片麻岩、混合岩和峨文岭组石英片岩、石英岩等岩石类型,是一种新的中元古代沉积建造类型。

(2) 该套变质砾岩具有与戈枕村组、峨文岭组相似的年龄区间和主要峰值, 而缺乏石灰顶组和石碌群具有的 900~1150 Ma 年龄区间和 970 Ma、1070 Ma 峰值, 结合其砾石成分单一、大小混杂、颗粒支撑, 成分成熟度高、结构成熟度一般等岩石学、沉积学特征, 推断该套变质砾岩为 1350~1250 Ma Columbia 超大陆裂解晚期的裂谷建造。

(3) 变质砾岩与劳伦大陆西部的 Belt-Purcell 超群下部沉积地层具有相似的碎屑锆石年龄组成和年龄谱特征, 暗示中元古代 Columbia 超大陆中, 海南岛与劳伦西部靠近。

致谢: 感谢海南省地质调查院云平、周进波高级工程师野外调查期间的帮助, 感谢中国地质调查局武汉地质调查中心魏运许教授、江拓博士、王磊博士在锆石处理和讨论中给予的帮助。

参考文献

- [1] 杨树锋, 虞子治, 郭令智, 等. 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), 1989, 1(1/2): 38-46.
- [2] 张业明, 张仁杰, 姚华舟, 等. 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, 1997, 22(4): 395-400.
- [3] 龙文国, 丁式江, 马大铨, 等. 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, 2005, 30(4): 421-429.
- [4] 张克信, 潘桂棠, 何卫红, 等. 中国构造-地层大区划分新方案[J]. 地球科学——中国地质大学学报, 2015, 40(2): 206-233.
- [5] 赵小明, 牛志军, 张开明, 等. 中南地区地层综合区划[J]. 地层学杂志, 2017, 41(3): 235-255.
- [6] Li Z X, Zhang L, Powell C M A. South China in Rodinia: part of the missing link between Australia - East Antarctica and Laurentia? [J]. *Geology*, 1995, 23: 407-410.
- [7] Li Z X, Li X H, Zhou H W, et al. Grenvillian continental collision in south China: New SHRIMP U-Pb zircon results and implications for the configuration of Rodinia[J]. *Geology*, 2002, 30: 163-166.
- [8] Zhao G C, Cawood P A. Precambrian geology of China[J]. *Precambrian Research*, 2012, 222: 13-54.
- [9] Wang Z L, Xu D R, Hu G C, et al. 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*, 2015, 113: 1143-1161.
- [10] Zhang L M, Wang Y J, Qian X, et al. Petrogenesis of Mesoproterozoic mafic rocks in Hainan (South China) and its implication on the southwest Hainan-Laurentia-Australia connection [J]. *Precambrian Research*, 2018, 313: 119-133.
- [11] Xu Y J, Cawood P A, Zhang H C. The Mesoproterozoic Baoban Complex, South China: A missing fragment of western Laurentian lithosphere[J]. *Geological Society of America Bulletin*, 2019, <https://doi.org/10.1130/B35380>.
- [12] 陈哲培, 钟盛中, 何圣华, 等. 海南省岩石地层[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1997: 7-20.
- [13] 李孙雄, 云平, 林义华, 等. 中国区域地质志——海南志[M]. 北京: 地质出版社, 2017: 14-53.
- [14] 马大铨, 黄香定, 肖志发, 等. 海南岛结晶基底——抱板群层序与时代[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1998: 1-52.
- [15] 龙文国, 黄正壮, 王大英. 海南抱板地区片麻状花岗岩闪长岩锆石 Pb-Pb 同位素年龄及地质意义[J]. *广东地质*, 2001, 16(2/3): 7-12.
- [16] 张立敏, 王岳军, 李庶波, 等. 海南公爱地区抱板群花岗岩片麻岩的年代学、地球化学及其构造意义[J]. *大地构造与成矿学*, 2017, 41(2): 396-411.
- [17] 张仁杰, 冯少南, 马国干, 等. 海南岛晚前寒武纪宏观藻类化石[J]. *古生物学报*, 1991, 30(1): 115-125.
- [18] 许德如, 马驰, 李鹏春, 等. 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*, 2007, 81(3): 381-393.
- [19] Zou S S, Yu L L, Yu D S, et al. Precambrian continental crust evolution of Hainan Island in South China: Constraints from detrital zircon Hf isotopes of metaclastic sedimentary rocks in the Shilu Fe-Co-Cu ore district[J]. *Precambrian Research*, 2017, 296: 195-207.
- [20] Li Z X, Li X H, Li W X, et al. Was Cathaysia part of Proterozoic Laurentia?—new data from Hainan Island, South China [J]. *Terra Nova*, 2008, 20: 154-164.
- [21] 胡在龙, 王勇, 赵小明, 等. 海南岛南部侏罗系的发现——来自碎屑锆石 U-Pb 年龄及 Hf 同位素的证据[J]. *地质通报*, 2019, 38(10): 1740-1757.
- [22] Xu D L, Ma C, Li P C, et al. U-Pb SHRIMP-dating of zircon domains from metaclastic sedimentary rocks in Hainan Island, South China, and its geological significance[J]. *Acta Geologica Sinica*, 2007, 81(3): 381-393.
- [23] Yu L L, Zou S H, Cai J X, et al. Geochemical and Nd isotopic constraints on provenance and depositional setting of the Shilu Fe-Co-Cu ore district, Hainan Province, South China[J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 2016, 119: 100-117.
- [24] 谢玉洪, 童传新, 裴健翔, 等. 莺歌海盆地黄流组二段碎屑锆石年龄与储层物源分析[J]. *大地构造与成矿学*, 2016, 40(3): 517-530.
- [25] Liu H C, Zi J W, Cawood P A. Reconstructing South China in the Mesoproterozoic and its role in the Nuna and Rodinia supercontinents[J]. *Precambrian Research*, 2020, 337: 10558.
- [26] 许德如, 梁新权, 唐红峰. 琼西抱板群变质沉积岩地球化学研究[J]. *地球化学*, 2002, 31(1): 153-160.
- [27] Zhang L M, Zhang Y Z, Cui X, et al. Mesoproterozoic rift setting of SW Hainan: Evidence from the gneissic granites and metasedimentary rocks[J]. *Precambrian Research*, 2019, 325: 69-87.
- [28] 李顺, 丁林, 付佳俊. 西藏达金砾岩的沉积时代、物源及构造背景[J]. *岩石学报*, 2016, 32(11): 3537-3546.
- [29] Zhai M G, Zhao Y, Zhao T P. Main tectonic events and metallogeny of the North China craton [M]. *Springer Geology*, 2016: 393-422.
- [30] Li S Z, Li X Y, Wang G Z. Global Meso-Neoproterozoic plate reconstruction and formation mechanism for Precambrian basins: Constraints from three cratons in China[J]. *Earth-Science Reviews*, 2019, 198(102946): 1-28.
- [31] Evans K, Aleinikoff J N, Obradovich J D, et al. SHRIMP U-Pb geochronology of volcanic rocks, Belt Supergroup, western Montana: evidence for rapid deposition of sedimentary strata [J]. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 2000, 37: 1287-1300.
- [32] Zhai M G, Zhao Y, Zhao T P. Main Tectonic Events and Metallogeny of the North China Craton [M]. *Springer Geology*, 2016: 393-422.