

海南岛前寒武纪基底组成及演化

龙文国^{1,2}, 丁式江¹, 马大铨³, 林义华¹, 莫位明¹, 周进波¹

1. 海南省地质调查院, 海南海口 570226

2. 中国地质大学地球科学学院, 湖北武汉 430074

3. 宜昌地质矿产研究所, 湖北宜昌 443003

摘要: 海南岛位于欧亚板块、印度板块和太平洋板块的交接部位, 区内构造复杂. 根据沉积地层学、岩石学、岩石地球化学、同位素年代学等研究成果综合分析, 海南岛存在元古代的古老变质基底, 以九所—陵水断裂为界, 可进一步划分为南部的三亚块体和中北部的五指山块体. 二者的基底组成及特征明显不同, 三亚块体的基底属南海—印支地块的一部分. 五指山块体在早元古代末期地壳初步固结, 形成古陆的雏形; 中元古代大规模构造热事件(1.63 Ga、1.4 Ga)形成了海南岛中北部地区成型的、稳定的结晶基底; 晚元古代(0.95 Ga)构造活动相对和缓, 已固结成型的古陆局部增生. 此间深大断裂即开始活动并控制前寒纪基底构造格局和演化, 五指山块体的空间范围几乎遍及整个海南岛中北部地区.

关键词: 前寒武纪; 构造格局; 演化; 海南岛.

中图分类号: P54

文章编号: 1000—2383(2005)04—0421—09

收稿日期: 2004—12—29

Formation and Evolution of the Precambrian Basement in Hainan Island

LONG Wen-guo^{1,2}, DING Shi-jiang¹, MA Da-quan³, LIN Yi-hua¹, MO Wei-ming¹, ZHOU Jin-bo¹

1. Hainan Geology Survey, Haikou 570226, China

2. Faculty of Earth Sciences, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China

3. Yichang Institute of Geology and Mineral Resources, Yichang 443003, China

Abstract: Hainan island is located at the connection place of Eurasia, India and Pacific plates, the structure in the area is complex. An integrated analysis of stratigraphy, isotope dating and petrochemistry indicates that a Proterozoic metamorphic basement exists in Hainan island. It is divided into the southern Sanya terrain and the central-northern Wuzhishan terrain by the Jiusuo-Lingshui fault. The terrains have different basements in composition and characteristics. The Sanya terrain might be part of the South China Sea-Indochina terrain. An embryonic Wuzhishan terrain originated in the Early Proterozoic, and tectonic activity became relatively strong so that the old-land formed a stable, finished metamorphic basement in the Middle Proterozoic until it became weak in the Late Proterozoic. Active deep faults controlled the tectonic framework and evolution of the basement. The Wuzhishan terrain covers nearly all the central-northern Hainan island.

Key words: Precambrian; tectonic framework; evolution; Hainan island.

海南岛位于欧亚板块、印度板块和太平洋板块的交接部位, 区内构造复杂, 其构造格局及其特征一直是地质学界关注的一个热点, 尤对其前寒武纪基底构造的研究更是关注的一个焦点(夏邦栋和任震鹏, 1979; 王赐银等, 1979; 张仁杰等, 1991; 俞受鋈等, 1992; 侯威等, 1992; 马大铨等, 1997, 1998; 张业

明等, 1997). 到目前为止, 海南岛前寒武纪基底构造及其演化仍有如下几个问题需要进一步探讨: (1) 海南岛是否存在一个统一的前寒武纪克拉通块体, 其基底组成及性质到底如何? (2) 是否有早元古代地层, 早元古代末(1800 Ma)全球构造热事件在该区是否有反映? (3) 该区元古代古陆的时空范围如何

框定？(4)深大断裂在前寒武纪是否有活动？(5)海南古陆在元古代时是否是“华夏古陆”的一个组成部分？(6)全球 Rodinia 裂解事件在该区是否有反映？本文试图根据近年来 1：5 万、1：25 万区调成果，结合其他一些相关研究，对海南岛前寒武纪构造时空演化作一初步分析。

1 基底组成

20 世纪 70 年代以来，人们初步形成了一个共识：海南岛的结晶基底为中元古代抱板群(夏邦栋和任震鹏，1979；王赐银等，1979；任纪舜，1983；广东省地矿局，1988；张仁杰等，1991；侯威等，1992；马大铨等，1997，1998；张业明等，1997)。但最新研究成果表明，海南岛南部地区(九所—陵水断裂以南)与中北部地区(该断裂以北地区)分属 2 个不同的块体，二者具有完全不同的基底、盖层组成及演化特征，二块体可能在晚二叠世至早三叠世时期才拼合(成果另文发表)。中北部地区的五指山块体(下同)最老结晶基底为中元古代抱板群。南部地区的三亚块体(下同)的结晶基底不是中元古代抱板群，其基底与南海—印支地台相同，岩性为混合片麻岩、混合岩(任纪舜，1983)(西沙群岛永兴岛钻孔中见)，本文称其为永兴群。永兴群与抱板群关系如何，有待进一步研究。

抱板群的研究工作由来已久，广东区测大队(1964)在海南岛 1：20 万区调中，将分布于岛西部抱板、大蟹岭、冲卒岭及岛东部黄竹岭一带的一套变质较深的混合片麻杂岩名为抱板群，但当时误认为此套地层与陀烈群为整合浅变过渡，前者是后者或后者中下部不同的变质相，故在区调报告中取消了抱板群这一岩石地层单位，改为抱板、大蟹岭、冲卒岭、黄竹岭混合岩田。夏邦栋和任震鹏(1979)认为抱板、大蟹岭、冲卒岭、黄竹岭一带存在一套变质较深、被混合岩化强烈改造的片岩系，其与陀烈群属于不同的地层单元，仍称之为抱板群，并推测其时代为中寒武世—中奥陶世。广东地矿局(1988)和单惠珍(1990)认为抱板群与陀烈群为过渡关系，并将陀烈群下部划归抱板群。张仁杰等(1991)认为该地层应属于蓟县系。马大铨等(1997，1998)将抱板群下部片麻岩类新建戈枕村组，上部片岩类新建峨文岭组。长期以来，除对抱板群地质时代认识不一外，对其岩性也有不同看法，有混合岩化片岩(夏邦栋和任震鹏，1979；王赐银等，1979)、混合片麻杂岩与片岩(广

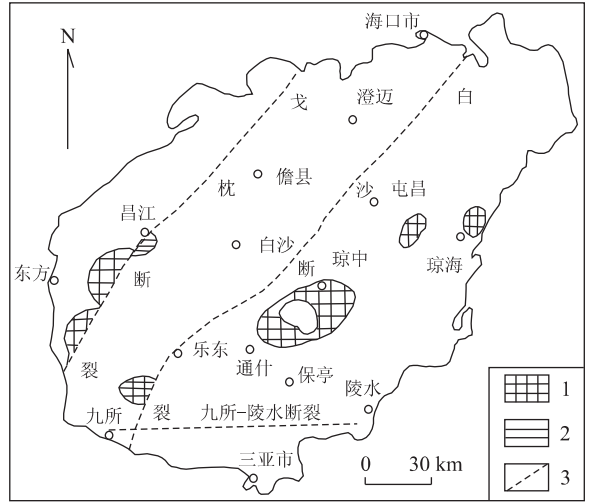


图 1 海南岛前寒武系分布

Fig. 1 Distribution of the Precambrian in Hainan island
1. 中元古代抱板群和花岗岩类(未分); 2. 新元古代石碌群; 3. 构造(断裂)带

东区测队，1964)、主体为花岗岩(俞受璠等，1992)以及包括科马提岩在内的花岗—绿岩组合(侯威等，1992；张业明等，1997；梁新权，2000；许德如等，2000，2001)。最新研究成果表明：抱板群呈大小不等的“残留体”广泛分布于海南岛中北部地区(图 1)，由表壳岩系和以花岗岩类为主的侵入岩组成(可称为抱板杂岩)。两者的比例在各地有较大变化，岛西抱板一带约占一半，冲卒岭、黄竹岭、上安、长征一带地区则是表壳岩占主体(马大铨等，1997，1998；海南省地矿局，1997；龙文国等，2002)。抱板群具明显的二元结构，下部的戈枕村组为混合岩化斜长片麻岩，变质程度为高角闪岩相，上部峨文岭组为片岩夹石英岩、变粒岩，变质程度为低角闪岩相。侵入抱板群的古花岗岩主要是钙碱性系列(涂绍雄，1993；丁式江，1995；马大铨等，1997，1998；龙文国等，2001)的同造山片麻状二长花岗岩、花岗闪长岩，局部还有少量钾长花岗岩、紫苏花岗岩以及造山期后的中基性岩(已变质为斜长角闪岩)。

三亚块体现多已沉陷于涛涛南海之中，基底岩石仅于南海诸岛(西沙群岛永兴岛)钻孔中见到，岩性为混合片麻岩、混合岩(任纪舜，1983)，其基底性质及演化特征如何，限于条件尚未研究。

2 早元古代杂岩的证据

近年来，同位素年代学研究表明，海南岛中北部

表 1 海南岛中元古代构造演化事件的同位素年龄记录

Table 1 Isotopic dating of the Mesoproterozoic tectonic events in Hainan island

校定岩性	地点	岩性(发表者描述)	样品及方法	年龄/Ma	地质解释	资料来源
片麻岩、混合岩(戈枕村组)	昌江昌化江	黑云斜长片麻岩	锆石,U—Pb 一致曲线	1 824±77	原岩形成年龄	马大铨等(1991)
	昌江抱板、土外山	片麻岩	全岩,Pb—Pb 等时线	1 751	原岩形成年龄	吴学益等,1991 ^①
	西沙永兴岛	片麻岩	矿物,Rb—Sr 等时线	1 465	变质年龄	任纪舜(1983)
	琼中长征	斜长片麻岩	锆石,Pb—Pb	1 483±13	变质年龄	张业明等(1997)
	乐东峨文岭	眼球状混合岩	脉体,Rb—Sr 等时线	1 637±31	混合岩化年龄	马大铨等(1998)
片麻状花岗岩(侵入戈枕村组、峨文岭组)	东方抱板、土外山	硅化混合岩和蚀变岩	锆石,U—Pb 一致曲线	1 403± ²³ ₁₉	原岩形成年龄	冯连顺(1988)
	东方二甲	条纹—眼球状混合岩	锆石,U—Pb 一致曲线	1 364.6±25.7	变质作用年龄	叶伯丹等(1990)
	昌江叉河农场	花岗岩	锆石,U—Pb 一致曲线	1 441	岩体侵入年龄	俞受望等(1992)
	昌江土外山	花岗质岩	Sm—Nd 全岩	1379.7±17	岩体侵入年龄	梁新权(1995)
	东方二甲	二长花岗岩	锆石,U—Pb 一致曲线	1 456.8± ⁸⁴ ₆₆	岩体侵入年龄	马大铨等(1998)
	东方二甲	二长花岗岩	锆石,Pb—Pb	1 402±20	岩体侵入年龄	马大铨等(1998)
	东方抱板	片麻状花岗岩	锆石,Pb—Pb	1 395±22	岩体侵入年龄	龙文国等(2001)
	东方红泉农场	花岗闪长岩	锆石,SHRIMP	1 430	岩体侵入年龄	Li <i>et al.</i> (2002)
变质基性岩	屯昌西昌园	基性岩	Sm—Nd 全岩	1 637~1 756	壳幔分异、壳体增生	梁新权等(2000)

五指山地块可能存在早元古代地层。例如:琼中抱板群中混合花岗质片麻岩 中暗色包体 Sm—Nd 等时线上交点年龄为(2 885±23)Ma(张业明等,1997),琼西土外山金矿一带斜长角闪岩中获 2 300~2 700 Ma 的 Nd 模式年龄,琼中长征一带斜长角闪片麻岩中获锆石等时线上交点年龄(2 562±)Ma(张业明等,1997),获全岩 Sm—Nd 等时线年龄 2 500 Ma。琼西昌化江变火山岩(已变质为斜长片麻岩) 锆石 U—Pb 一致曲线上交点年龄为(1 824±77)Ma(马大铨等,1997,1998)。即使考虑到同位素测年的误差,上述多个大于 18 亿年的同位素年代学信息也应可以作为早元古代地层存在的依据。马大铨等(1997,1998)研究抱板群戈枕村组混合岩后认为其原岩——英安质火山岩具较高的初始比值(0.710 4±0.000 6),意味着该类岩石不可能来自地幔。另外,张仁杰等(1991)对抱板群中变基性火成岩研究后认为,它们可能是在古陆壳基底上的拉张裂隙条件下形成的。上述认识暗示本区存在更老的地壳。

早元古代末期为地球演化历史上重要时期,在深部表现为全球规模的地幔均一化事件(大规模地幔对流),在浅部表现为全球规模的陆壳增生构造热事件,本区表现为地壳固结,形成古陆的雏形。

3 中元古代陆壳及其构造演化

3.1 中元古代陆壳的同位素年代学证据

大量的同位素年代学研究表明(表 1),海南岛

中北部五指山地块存在中元古代地层。在进行岩石学、同位素年代学、地层学综合研究后,中元古代抱板群被划分为戈枕村组与峨文岭组(海南省地矿局,1997;马大铨等,1997,1998;龙文国等,2002)。戈枕村组年龄应在(1 800±100)~(1 637±31)Ma 间,峨文岭组年龄在(1 420±36)~(1 637±31)Ma 间。南部三亚块体片麻岩中的矿物等时线年龄为1 465 Ma(任纪舜,1983),该年龄为变质事件年龄,可从一个侧面说明三亚块体于中元古代时已接受沉积。

3.2 中元古代陆壳构造格架及构造活动

3.2.1 戈枕、白沙断裂带 大致沿戈枕、白沙 2 个断裂带广泛分布高、低角闪岩相变质岩系(张仁杰等,1991;张业明等,1997;马大铨等,1998),经 1:5 万区调及专题研究,分别划归中元古界戈枕村组(戈枕杂岩)及峨文岭组。戈枕杂岩(戈枕村组)岩性为斜长片麻岩、混合质片麻岩、混合岩、混合花岗岩,原岩恢复为一套中酸性(钙碱性)英安岩、安山质火山岩。它们在 Irvine 等(1971)的硅碱图和 AFM 图上落入钙碱性系列区,显示了现代岛弧或陆缘火山岩系的特征,而不是部分学者认为的原岩为基性火山岩(许德如等,2000)。峨文岭组岩性为片岩、石英岩类,少量变粒岩、钙硅酸盐粒岩,原岩恢复为一套砂、泥质岩石夹中酸性火成岩(马大铨等,1997,1998;海南省地矿局,1997)。

峨文岭组中变粒岩在al+fm—(c+alk)对Si图

①吴学益等,1991. 琼西金矿带蚀变糜棱岩型金矿成矿机理及其模拟实验(研究报告)。

表 2 海南岛前寒武系基底中火成岩类元素分析结果

Table 2 Analytical results of elements in the Precambrian basement igneous rocks in Hainan island

测试项目	片麻状花岗闪长岩				片麻状二长花岗岩		斜长角闪岩		
	Ⅶ15-1*	Ⅶ15-2*	V32-1	V37-3	D336-1	V10-1*	D4760-1	D4761-1	D4762-1
SiO ₂	72.66	72.53	67.51	67.46	75.48	76.40	49.94	52.53	50.20
Al ₂ O ₃	13.29	13.63	14.41	13.57	12.69	12.40	15.04	13.99	14.43
Fe ₂ O ₃	0.89	0.84	0.55	1.22	0.68	0.56	1.58	1.84	1.22
FeO	2.84	2.48	4.98	4.55	1.86	1.05	7.88	8.2	9.37
MgO	0.64	0.54	1.01	1.45	0.43	0.05	7.3	6.03	7.02
CaO	1.46	1.88	1.88	1.74	1.10	0.26	10.68	8.73	10.3
Na ₂ O	2.97	3.15	2.78	2.61	3.08	3.08	2.68	2.81	2.7
K ₂ O	30.2	2.52	2.26	2.68	3.12	4.15	0.8	1.2	0.6
MnO	0.06	0.06	0.10	0.05	0.034	0.05	0.16	0.16	0.15
TiO ₂	0.22	0.24	0.50	0.48	0.075	0.02	1.15	1.59	1.59
P ₂ O ₅	0.05	0.06	0.12	0.10	0.05	0.06	0.12	0.21	0.22
H ₂ O	0.98	0.92	0.98	0.55	0.82	0.55	2.26	2.27	1.83
La	56	48	32	49	20	17.5	7.22	13.40	12.61
Ce	95	82	51	80	35	35.5	19.52	29.95	25.7
Pr	8.0	7.1	5.64	10	4.02	4.4	2.65	4.36	3.95
Nd	29	25	23.3	41.7	18.1	18	11.94	19.59	18.18
Sm	7.6	5.4	4.14	8.65	4.07	6.0	3.39	5.17	4.85
Eu	1.25	1.0	0.63	1.25	0.52	0.125	1.17	1.49	1.45
Gd	6.7	3.9	3.19	7.64	5.2	8.5	4.28	5.83	5.78
Tb	1.1	0.71	0.59	1.36	0.91	1.7	0.78	1.09	1.07
Dv	6.2	4.7	4.09	9.36	6.11	14.5	5.10	7.26	6.92
Ho	1.38	0.84	0.91	1.76	1.27	3.45	1.01	1.43	1.41
Er	3.8	2.7	2.67	5.11	3.77	10.1	3.07	4.3	4.24
Tm	0.6	0.41	0.36	0.57	0.59	1.45	0.48	0.67	0.65
Yb	3.5	2.5	1.92	3.0	3.1	8.4	2.98	4.13	4.09
Lu	0.48	0.38	0.28	0.43	0.43	1.15	0.44	0.60	0.60
Y	46	29	20	34	26	10.0	26.79	37.64	37.19
∑REE	266.61	213.64	150.72	253.83	129.09	140.78	90.82	136.91	128.69
Ba	559	546	559	542	691	224	97	184	87
Zn	37.3	43.4	84.6	91	64.8	21.2	74	77	78
Cu	18.8	5.1	20.3	15.6	10.2	27.2	40.4	16.1	13.7
Sr	169.8	192.4	179.9	275.6	56.6	59.9	218	201	233
Ni	5.5	5.8	11.8	9.8	9.2	3.9	57.6	47.2	55.2
Co	5.9	6.2	10.4	12.3	6.9	1.1	35.6	36.8	37.2
V	34.2	34.7	73.1	95.8	41.3	2.9	220	254	254
Th	13.0	8.6	12.8	10.8	12.5	10.5			
Nb	11.2	9.1	15.3	14.8	16.6	11.8	4.2	9.2	5.5
Zr	130	119	181	176	166	75	111	176	161
Rb	111.3	123.1	124	99.9	184.9	239.7	57	101	42
Cr	9.2	8.8	28.5	23.9	9.2	2.5			
Pb	19.4	15.7	65.3	24	23.7	31.3	16.2	8.4	9.9
As	1.4	7.1	51.9	2.7	229.5	117.7	3.6	1.5	3.0
Bi	3.78	0.41	0.28	0.19	0.06	0.36	0.2	0.4	0.3
Sb	0.18	0.11	0.59	0.18	6.97	0.56	0.3	0.3	0.3
Ta	1.88	1.42	2.14	1.53	1.96	2.41			
U	6.1	4.6	4.1	4.3	3.7	8.1			
Ge	1.51	1.64	1.17	1.92	2.06	2.51			
Ga	17.2	16.5	19.53	20.44	23.83	16.26			
Sc	5.2	5.33	9.52	11.03	10.23	1.29			
Ag	0.035	0.037	0.066	0.036	0.037	0.095	0.065	0.036	0.035

表中带*号者引自丁式江(1995),其余样品自测;表中常量元素氧化物单位为%,稀土和微量元素单位为10⁻⁶.

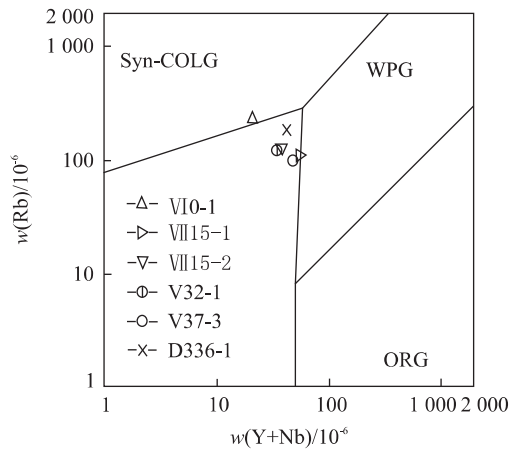


图 2 花岗岩 Rb—(Y+Nb)图解

Fig. 2 Rb-(Y+Nb) diagram of granites

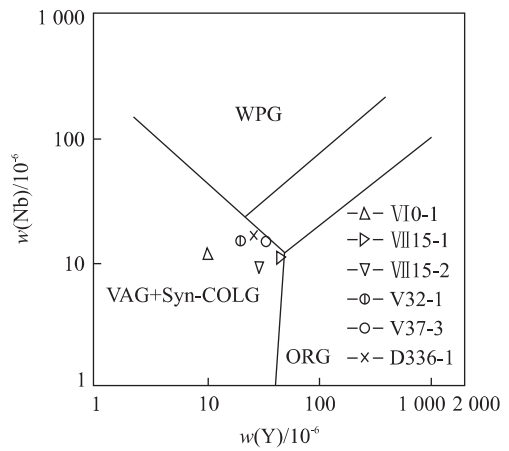


图 3 花岗岩 Nb—Y 图解

Fig. 3 Nb-Y diagram of granites

解上靠近火山岩砂质沉积岩区,钙硅酸粒岩在(al-alk)对 c 图解上位于泥灰岩区(马大铨等,1997,1998)。

综上所述,戈枕村组属岛弧型火山活动强烈作用产物,峨文岭组形成于海相环境,系以陆缘碎屑岩为主夹少量中酸性火成岩的碎屑岩建造。其大致沿戈枕、白沙断裂一带分布,可称为“戈枕、白沙优地槽褶皱带”(图 1)。

3.2.2 构造事件 中元古代早期 1.63 Ga 左右的大规模而广泛的混合岩化作用(马大铨等,1997,1998)使戈枕村组的岛弧或陆缘弧火山岩系普遍发生区域变质、混合岩化作用;中元古代中晚期的区域变质作用使戈枕村组、峨文岭组一同发生强烈的中深变质作用,从而形成了一套中深变质岩系。

中元古代中晚期 14 亿年左右发生过一次规模较大岩浆活动(俞受璠等,1992;丁式江,1995;马大铨等,1997,1998;许德如等,2001;龙文国等,2001,2002),产生了大量侵入抱板群中的花岗岩,使原分散的或规模较小的地块焊接在一起,形成了规模较大的、稳定的、成型的海南岛结晶基底。

长期以来,对中元古代中晚期侵入抱板群中的“片麻状花岗质岩石”究竟是混合岩还是侵入岩一直存在着不同的看法。早在 20 世纪 60 年代广东区测队称之为抱板混合岩田。尔后,夏邦栋和任震鹏(1979)等称其为抱板群,认为其为经混合岩化改造的片岩系,推测其时代为中寒武世—中奥陶世。王赐银(1979)亦将之归入抱板群。叶伯丹(1990)认为其为混合岩。俞受璠等(1992)认为其属中元古代花岗岩,但同时认为其为抱板群的主体,从而将抱板群的

混合岩与片麻状花岗质岩石混为一体。侯威等(1992)和梁新权(1995)认为其为花岗—绿岩系的组成部分。马大铨等(1997,1998)则明确将其从原“抱板群”中筛选出来。

笔者在 1:5 万、1:25 万区域地质调查工作中,对“片麻状花岗岩”进行野外观察、室内研究及样品测试后,认为“片麻状花岗岩”可进一步解体为 2 种不同岩性的侵入体,即片麻状花岗闪长岩、片麻状二长花岗岩,二者晚期侵入抱板群戈枕村组、峨文岭组中,并与抱板群一道发生褶皱变形。研究成果表明(表 2,表中数据均由湖北省地质实验研究所分析):片麻状花岗闪长岩、片麻状二长花岗岩均属钙碱性岩类,在 Wright(1969)R—SiO₂ 图上,样品均落入钙碱性区。“片麻状花岗岩”形成于岛弧环境。在 Rb—(Y+Nb)图解(图 2)和 Nb—Y 图解(图 3)上,几乎所有样品落入 VAG+Syn—COLG 区和 VAG 区。其 K₂O 和不相容微量元素洋脊花岗岩标准化的地球化学模式曲线(图 4),与智利岛弧花岗岩和北秦岭(漂池、安吉坪、大凹)早古生代岛弧花岗岩(张本仁等,1994)、两广交界地区元古代岛弧花岗岩(张业明和彭松柏,2000)较相似。

4 晚元古代陆壳及构造事件

4.1 晚元古代陆壳的证据

同位素年代学证据及化石表明了海南岛存在晚元古代地层。石碌群第六层中部铁矿层 Sm—Nd 等时线年龄为(840±20.4)Ma(张仁杰等,1991),铁矿层之上白云岩及之下灰色的硅质板岩中所产 Chua-

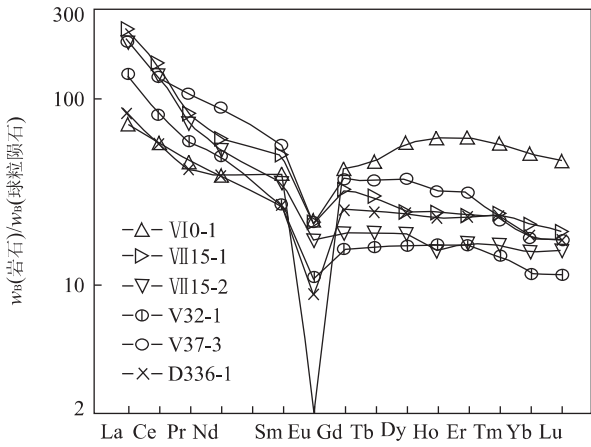


图 4 抱板地区元古宙洋脊花岗岩稀土元素模式

Fig. 4 REE distribution patterns of the Proterozoic granites in Baoban, Hainan

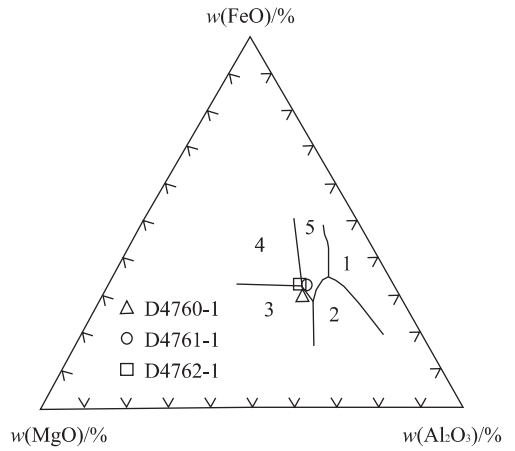


图 5 斜长角闪岩 AFM 图解

Fig. 5 AFM diagram of the amphibolites

1. 冰岛类型; 2. 造山带; 3. 大洋中脊; 4. 大洋岛; 5. 大陆裂谷

ria-Tawuia 生物群,其时代为青白口纪(张仁杰等, 1991;宜昌地矿所和海南地质矿产局,1992)。

石碌地区石碌群层位之上的硅质板岩中产宏观藻类化石: *Shouhsienia shouhsienensis*, *Chuarial circularis*, 经张仁杰研究,其时代为震旦纪(张仁杰等, 1991;宜昌地矿所和海南地质矿产局,1992)。

4.2 晚元古代构造事件

晚元古代构造事件为中元代固结成型古陆的局部增生,具体表现为: (1) 区域变质作用形成青白口系和震旦系的变质岩。青白口系是海南岛前寒武纪地层层序中的上火山沉积建造(旋回),厚度大于 1 500 m,属地槽型类复理石建造。(2) 火山岩浆活动。青白口系石碌群第二、五、六层出现流纹质熔结凝灰岩、流纹质凝灰岩、中酸性沉凝灰岩等(中科院华南富铁矿队, 1986;宜昌地矿所和海南地质矿产局, 1992),说明当时有较大规模的火山喷发。广泛侵入中元古代抱板群戈枕村组、峨文岭组中的斜长角闪岩(原岩为中基性侵入岩),多呈脉状、岩株状产出,可能为晚元古代时海南古陆裂解的产物,与全球 Rodinia 超大陆裂解有关。其全岩 Sm—Nd 等时线年龄为(975±8.5)Ma(谭忠福等, 1991),全岩—矿物 Sm—Nd 等时线年龄为(955±54)Ma(马大铨等, 1997, 1998),亦显示当时岩浆活动较活跃。

斜长角闪岩(表 2) SiO₂ 含量在 (44.94~52.52)×10⁻² 之间,属基性岩范围; Al₂O₃ 变化范围不大,为 (13.99~15.04)×10⁻²,且 Al₂O₃<CaO₂+Na₂O+K₂O; FeO+Fe₂O₃ 较稳定,在 (9.46~10.59)×10⁻² 之间; CaO>MgO; K₂O+

Na₂O 在 (3.3~4.01)×10⁻² 之间,且 Na₂O>K₂O。

微量元素(表 2)与维氏基性岩平均值相比, Ag、Cu、Zn、Mo、Ni、Nb、Sr、Ba 等元素低于维氏值, Pb、Sb、W、Li、Co、V、As、Ta 等元素与维氏基本一致, Sn、Bi、Be、Hf、稀土和 Rb 等元素比维氏值略高。

斜长角闪岩稀土元素总量较低(表 2)。ΣREE=(90.8~136.9)×10⁻⁶, 总体上随着 SiO₂ 含量的增高,稀土总量也随之增高; LREE/HREE 在 2.53~2.92 之间,表明存在一定程度的轻、重稀土分异,具富集 LREE、贫 HREE 的特征; δEu 为 0.83~0.94,说明铕有轻微亏损,稀土配分模式为稍向右倾斜的近平坦的曲线。

据 AFM 图解(图 5)和 Zr—Zr/Y 图解(图 6)综合分析,斜长角闪岩的成因与板内大陆裂谷环境有密切联系,可能为全球 Rodinia 超大陆裂解时的产物(成果另文发表)。

长期以来,关于侵入抱板群中的斜长角闪岩的原岩,有两种对立的观点:一部分学者认为是浅成的基性岩脉(王赐银等, 1979; 马大铨等, 1997, 1998),另一部分学者则认为是火山岩(中科院华南富铁矿队, 1986; 叶伯丹, 1990; 张仁杰等, 1991; 侯威等, 1992; 涂绍雄, 1993; 张业明等, 1997; 许德如等, 2001)。笔者在区调中野外观察后认为其是较晚侵入的岩脉(图 7),尽管部分斜长角闪岩一般顺层产出,部分可能是原始产状,部分可能是构造一体化的结果。侯威等(1992)关于抱板和土外山的部分斜长角闪岩是由玄武岩质科马提岩变来的说法,值得商榷。他提出的证据是鬣刺结构(未附照片,也未描述)和

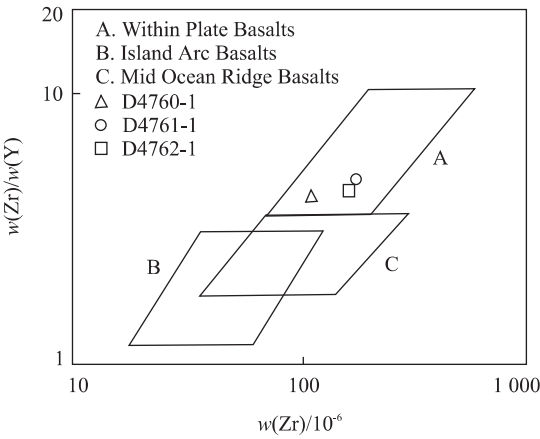


图 6 斜长角闪岩 Zr/Y—Zr 图解分析
Fig. 6 Zr/Y-Zr diagram of the amphibolites

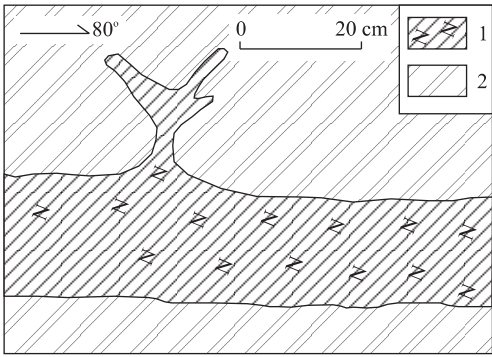


图 7 东方抱板斜长角闪岩与抱板群片麻岩接触关系
Fig. 7 Sketch map showing amphibolite intruding into the gneisses of Baoban Group in Dongfang
1. 斜长角闪岩; 2. 抱板群片麻岩

化学成分. 实际上,斜长角闪岩均为粒状镶嵌变晶结构,局部叠加了次生的放射状透闪石,并未见到鬣刺结构或其假像. 侯威等列出的 6 件样品的化学成分,投影到识别科马提岩和拉斑玄武岩的 $Al_2O_3 - (FeO + TiO_2) - MgO$ (阳离子数)三角图(Jensen, 1976)上,全部落入拉斑玄武岩区,反映出这些“科马提岩”的 MgO 明显偏低(仅 2.73%~9.62%),其 CaO/Al_2O_3 比值也低,为 0.63~0.96, TiO_2 和 K_2O 则偏高,分别介于 0.60%~1.20%和 0.46%~1.04%间. 许德如等(2000)列出的 13 件样品的化学成分, MgO 明显偏低(仅 5.15%~9.62%),其 CaO/Al_2O_3 比值也低,为 0.62~1.04, TiO_2 和 K_2O 则偏高,分别介于 0.60%~1.59%和 0.40%~1.24%间.

综上所述,部分学者认为斜长角闪岩是变火山岩(侯威等,1992;梁新权,1995;张业明等,1997;许德如等,2001),进而认为本区抱板群中存在花岗

(质)一绿岩组合是不符合实际情况的. 他们在 2 个基本事实方面产生了误差:一是斜长角闪岩是晚期侵入的岩脉,而非同沉积火山岩;二是斜长角闪岩的侵入年代是晚元古代,而非中元古代. 即使将抱板群中全部斜长角闪岩视为玄武岩或科马提岩,所占比例也不足 3%~5%,且抱板群内的花岗岩并不具奥长花岗岩趋势的灰色片麻岩,而是具钙碱性趋势的花岗闪长岩—二长花岗岩系列(丁式江,1995;马大铨等,1997,1998;龙文国等,2001). 但峨文岭组中有一种结晶较细、具芝麻点状的斜长角闪岩,才是基性火山岩. 目前,尚未有人对该类岩石进行地球化学研究,只有马大铨等(1998)提及过该类岩石可能是基性火山岩.

5 结论

(1)海南岛中北部地区五指山地块的结晶基底主要为中元古代基底,可能存在早元古代结晶基底,晚元古代结晶基底只局部存在,它是在中元古代结晶基底的基础上局部增生而成. 南部地区三亚块体的结晶基底不是抱板群,而与南海—印支地台相同.
(2)五指山地块在元古代 1.63 Ga、1.4 Ga、0.95 Ga 左右的 3 次大规模构造热事件形成了海南岛中北部地区成型的、稳定的结晶基底,其空间范围几乎遍及整个海南岛中北部地区.

本文在成文过程中得到了中国地质大学地球科学学院童金南教授、宜昌地矿所张业明研究员的指教,在此一并致谢.

References

Ding, S. J., 1995. The geological characteristics and discovery implications of the Gezhen intrusive body in western Hainan. *Geotectonica et Metallogenia*, 19(4): 336—343 (in Chinese with English abstract).
Guangdong Geological Survey Team, 1988. Regional geology of Guangdong Province (Volume 1). China University of Geosciences Press, Wuhan (in Chinese).
Hou, W., Chen, H. F., Liang, X. Q., et al., 1992. Identification of Precambrian strata and geotectonic evolution in Hainan island. *Journal of Changchun College of Geology*, 2: 133—143 (in Chinese with English abstract).
Hainan Bureau of Geology and Mineral Resources, 1997. Stratigraphy (lithostratigraphy) of Hainan Province. China University of Geosciences Press, Wuhan, 7—15

- (in Chinese).
- Liang, X. Q., 1995. Sm-Nd ages of the Precambrian granitic-greenstone series in Hainan island and their geological significance. *Acta Petrologica Sinica*, 11(1): 71–76 (in Chinese with English abstract).
- Liang, X. Q., Fan, W. M., Xu, D. R., 2000. Sm-Nd age of Tunchang basaltic komatiites and its geological significance in Hainan island. *Geochemica*, 35(2): 240–244 (in Chinese with English abstract).
- Long, W. G., Huang, Z. Z., Wang, D. Y., 2001. Zircon Pb-Pb isotope age of granodiorite in west Hainan and its geologic implications. *Guangdong Geology*, 16(2–3): 7–12 (in Chinese with English abstract).
- Long, W. G., Fu, C. R., Zhu, Y. H., 2002. Disintegration of the Baoban Group in Huangzhuling area of eastern Hainan island. *Journal of Stratigraphy*, 26(3): 212–215 (in Chinese with English abstract).
- Ma, D. Q., Huang, X. D., Chen, Z. P., et al., 1997. New advance in the study of the Baoban Group in Hainan Province. *Regional Geology of China*, 16(2): 130–136 (in Chinese with English abstract).
- Ma, D. Q., Huang, X. D., Xiao, Z. F., et al., 1998. Sequences and aging of Baoban Group—basement, Hainan island. China University of Geosciences Press, Wuhan, 1–52 (in Chinese).
- Ren, J. S., 1983. Some problems on the division of tectonic units in eastern China. *Geological Review*, 30(4): 382–385 (in Chinese with English abstract).
- South China Team of Rich Iore Deposits, Chinese Academy of Sciences, 1986. Geology of Hainan island and geochemistry of Shilu iron deposits. Sciences Press, Beijing, 1–186 (in Chinese).
- Shan, H. Z., 1990. Study on the gold-bearing stratigraphic age in Baoban region, Hainan Province. *Acta of Sun Yat-sen University*, 29(2): 71–77 (in Chinese with English abstract).
- Tan, Z. F., Jiang, D. H., Ma, G. G., et al., 1991. The isotopic ages of Baoban Group and its geological significance in Hainan island. *Regional Geology of China*, (3): 240–245 (in Chinese with English abstract).
- Tu, S. X., 1993. Preliminary study on primary rock formation and geological evolution of the metamorphic rock system in Baoban Group of Hainan Province. *Guangdong Geology*, 8(3): 17–22 (in Chinese with English abstract).
- Wang, C. Y., Ji, S. Y., Liu, J. W., 1979. Petrological characteristics of migmatite and discussion about the genesis and formation age. *Journal of Nanjing University*, 23–42 (in Chinese with English abstract).
- Xia, B. D., Ren, Z. P., 1979. Stratigraphy and sedimentary formation in Shilu and surrounded area in Hainan island. *Journal of Nanjing University*, 43–55 (in Chinese with English abstract).
- Xu, D. R., Liang, X. Q., Tang, H. F., 2000. Geochemical characteristics of metamorphic basic volcanics from the Baoban Group, western Hainan and its tectonic implication. *Geotectonica et Metallogenia*, 24(4): 303–313 (in Chinese with English abstract).
- Xu, D. R., Liang, X. Q., Chen, G. H., et al., 2001. Research on the geochemistry and genesis of Mesoproterozoic granites on Hainan island. *Geotectonica et Metallogenia*, 25(4): 421–431 (in Chinese with English abstract).
- Ye, B. D., 1990. The time of the Baoban Group and gold ore at Erjia, Dongfang, Hainan Province, China. *Contribution to Geology and Mineral Resources Research*, 5(1): 12–17 (in Chinese with English abstract).
- Yichang Institute of Geology and Mineral Resources, Hainan Bureau of Geology and Mineral Resources, 1992. Geology of Hainan island (Volume 1). Stratigraphic paleontology. Geological Publishing House, Beijing, 7–26 (in Chinese).
- Yu, S. J., Xia, P., Deng, T. Y., et al., 1992. Characteristics of the accessory mineral zircon in Mesoproterozoic granitoids and its measurements of U-Pb isotopic in Baoban area, Hainan Province. *Geochemica*, (3): 213–219 (in Chinese with English abstract).
- Zhang, B. R., Luo, T. C., Gao, S., et al., 1994. Geochemical study of the lithosphere, tectonism and metallogenesis in the Qinling-Dabieshan region. China University of Geosciences Press, Wuhan, 1–446 (in Chinese).
- Zhang, R. J., Ma, G. G., Jiang, D. H., et al., 1991. Precambrian geology of Hainan island, South China. China University of Geosciences Press, Wuhan, 1–49 (in Chinese).
- Zhang, Y. M., Peng, S. B., 2000. Chronologic framework of the Proterozoic basement and Presinian tectonic evolution in Yunkai region, South China. *Geology and Mineral Resources of South China*, (1): 1–10.
- Zhang, Y. M., Zhang, R. J., Yao, H. Z., et al., 1997. Proterozoic tectonic evolution of Hainan island. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 22(4): 395–400 (in Chinese with English abstract).

附中文参考文献

- 丁式江, 1995. 琼西弋枕侵入体的地质特殊性征及其发现意义. *大地构造与成矿学*, 19(4): 336–343.

- 广东省地矿局,1988. 广东省区域地质志. 武汉:中国地质大学出版社.
- 侯威,陈惠芳,梁新权,等,1992. 海南岛前寒武纪地层的确定及其大地构造演化. 长春地质学院学报,(2): 133—143.
- 海南地质矿产局,1997. 海南省岩石地层. 武汉:中国地质大学出版社,7—15.
- 梁新权,1995. 海南岛前寒武纪花岗岩—绿岩系 Sm—Nd 同位素年龄及地质意义. 岩石学报,11(1): 71—76.
- 梁新权,范蔚茗,许德如,2000. 海南岛屯昌玄武质科马提岩 Sm—Nd 同位素年龄及地质意义. 地质科学,35(2): 240—244.
- 龙文国,黄正壮,王大英,2001. 海南抱板地区片麻状花岗岩长岩锆石 Pb—Pb 同位素年龄及地质意义. 广东地质,16(2—3): 7—12.
- 龙文国,符策锐,朱耀河,2002. 海南岛东部黄竹岭地区“抱板群”的解体. 地层学杂志,26(3): 212—215.
- 马大铨,黄香定,陈哲培,等,1997. 海南岛抱板群研究新进展. 中国区域地质,16(2): 130—136.
- 马大铨,黄香定,肖志发,等,1998. 海南岛结晶基底——抱板群层序与时代. 武汉:中国地质大学出版社,1—52.
- 任纪舜,1983. 中国东部构造单元划分的几个问题. 地质论评,30(4): 382—385.
- 中国科学院华南富铁科学研究队,1986. 海南岛地质与石碌铁矿地球化学. 北京:科学出版社,1—186.
- 单惠珍,1990. 海南抱板地区金矿地层时代归属的研究. 中山大学学报(自然科学版),29(2): 71—77.
- 谭忠福,蒋大海,马国干,1991. 海南抱板群同位素年龄及地质意义. 中国区域地质,(3): 240—245.
- 涂绍雄,1993. 海南抱板群变质原岩建造和地质演化初论. 广东地质,8(3): 17—22.
- 王赐银,季寿元,刘家旺,1979. 海南岛东方县抱板群混合岩的岩石学特征及其成岩、时代的探讨. 南京大学学报,地质学专刊(一):23—42.
- 夏邦栋,任震鹏,1979. 海南岛石碌及其外围地区的地层及沉积建造. 南京大学学报,地质学专刊(一):43—55.
- 许德如,梁新权,唐红峰,2000. 琼西抱板群变基性火山岩的地球化学特征及其大地构造意义. 大地构造与成矿学,24(4): 303—313.
- 许德如,梁新权,陈广浩,等,2001. 海南岛中元古代花岗岩地球化学及成因研究. 大地构造与成矿学,25(4): 421—431.
- 叶伯丹,1990. 海南东方二甲抱板群和金矿的时代. 地质找矿论丛,5(1): 12—17.
- 宜昌地质矿产研究所,海南地质矿产局,1992. 海南岛地质(一). 地层古生物. 北京:地质出版社,7—26.
- 俞受璠,夏萍,邓铁殷,等,1992. 海南抱板地区中元古代花岗岩副矿物锆石特征及 U—Pb 同位素年龄测定. 地球化学,(3): 213—219.
- 张本仁,1994. 秦巴岩石圈构造及成矿规律地球化学研究. 武汉:中国地质大学出版社,111.
- 张仁杰,马国干,蒋大海,等,1991. 海南岛前寒武纪地质. 武汉:中国地质大学出版社,1—49.
- 张业明,彭松柏,2000. 云开元古宙陆壳基底年代格架及华南前震旦构造演化初论. 华南地质与矿产,(1): 1—10.
- 张业明,张仁杰,姚华舟,等,1997. 海南岛前寒武纪地壳构造演化. 地球科学——中国地质大学学报,22(4): 395—400.