

## 海南岛东北部侏罗纪以来应力场演化研究

朱江建<sup>1,2</sup>, 许德如<sup>2</sup>, 蔡建新<sup>3</sup>, 陈沐龙<sup>4</sup>, 于亮亮<sup>2</sup>, 周进波<sup>4</sup>, 林 舸<sup>2</sup>

(1. 北京矿产地质研究院 北京 100012; 2. 中国科学院矿物学与成矿学重点实验室 广州地球化学研究所 广东 广州 510640;  
3. 中国科学院边缘海地质重点实验室 南海海洋研究所 广东 广州 510301; 4. 海南省地质调查院 海南 海口 570226)

**摘要:** 为了探讨海南岛东北部侏罗纪以来水平主压应力的方向及其演化,对海南岛东北部二叠纪与侏罗纪花岗岩中大量节理的产状进行了野外实测与室内计算分析。节理特征表明,研究区二叠纪与侏罗纪花岗岩均有三组共轭剪节理。这三组共轭剪节理的错动关系及室内计算分析表明,研究区的水平主压应力方向由北北东—南南西(35.8°~215.8°),依次演化为南南东—北北西(143.1°~323.1°)、南东东—北西西(94.4°~274.4°)。区域构造活动期、岩浆作用期、成矿期的对比研究结合节理所在花岗岩的时代、所处的空间位置表明,侏罗纪以来太平洋板块运动事件对本区产生的挤压作用,较好的解释了研究区侏罗纪以来的水平主压应力方向及其演化。南东东—北西西(94.4°~274.4°)的水平主压应力方向及其在本区最为发育,可能是喜山期哀牢山—红河韧性剪切带大规模左行走滑从而产生南东东—北西西向的水平主压应力。之后的板块运动亦可能对研究区的应力场产生影响。

**关键词:** 共轭节理; 花岗岩; 中、新生代; 应力场; 海南岛; 太平洋板块

**中图分类号:** P54 **文献标识码:** A **文章编号:** 1674-3504(2014)02-0101-10

朱江建,许德如,蔡建新,等.2014.海南岛东北部侏罗纪以来应力场演化研究[J].东华理工大学学报:自然科学版,37(2): 101-110.

Zhu Jiang-jian, Xu De-ru, Cai Jian-xin, et al. 2014. Evolution of stress field since the Jurassic in Northeastern Hainan Island, China [J]. Journal of East China Institute of Technology (Natural Science), 37(2): 101-110.

海南岛位于华南板块的最南部,处于欧亚板块、印度板块和菲律宾海板块的交界部位(图1A),具有复杂的地质构造演化历史(汪啸风等,1991;张业明等,1998;夏斌等,2004,2005)。前人已对海南岛的地槽、地台、地洼发展阶段(彭格林,1990;侯威等,1992;侯威,1992)、大地构造(杨树锋等,1989;Metcalfe et al.,1993;Hsu et al.,1990;陈海泓等,1994;张业明等,2005)、前寒武纪构造(侯威等,1992;张业明等,1997;许德如等,2001a,2001b,2001c,2002,2006a,2007;龙文国等,2005)、三叠纪所处的造山环境(谢才富等,2005)、白垩纪的古地磁(付璐露等,2010)、新构造分区及阶地演化(刘瑞

华等,1989;张军龙等,2008)等构造问题开展了一些有益的探讨。构造应力场演化方面,汪啸风等(1991)认为晋宁期主要为近东西向的构造。这与万天丰(2003)指出青白口纪(即晋宁期)扬子和华夏板块上褶皱轴以东西向为主一致,说明晋宁期海南岛形成于近南北向的挤压作用。古生代(汪啸风等,1991)及三叠纪(汪啸风等,1991;Lin et al.,2008)地质体中一些近北东向的褶皱变形,表明其形成于北西向的挤压作用(汪啸风等,1991;Wang et al.,2007)。三叠纪以来海南岛经历了与板块运动有关的作用,其中包括侏罗纪末至白垩纪与太平洋板块有关的俯冲作用(Xu et al.,1987;Zhou et al.,2000;Zhu et al.,2005;Zhou et al.,2006)、古新世开始的印度-欧亚碰撞、渐新世开始的南海海洋脊的扩张、上新世(5~3 Ma)开始的南海向菲律宾岛弧的俯冲、更新世开始的菲律宾洋板向台湾岛弧的仰冲(Ludmann et al.,1999;Lee et al.,1995;Sibuet et al.,1997)等。

那么海南岛是否记录了这些板块作用的痕迹呢?邹和平(1989)根据水系格局,确立海南岛第四

收稿日期:2013-11-25

基金项目:国家重点基础研究发展计划(973计划“我国富铁矿成矿机制与预测研究”(2012CB416800);老矿山典型矿床成矿规律总结研究(121200113086300);中国地质调查局地质调查工作项目资助(1212011120095)

作者简介:朱江建(1985—),男,博士,北京矿产地质研究院博士后,主要从事大地构造与成矿学研究。E-mail: zjj3xsj@163.com 通讯作者:许德如(1966—),男,博士,研究员,主要从事大地构造与成矿学研究, E-mail: xuderu@gig.ac.cn

纪构造应力场的水平主压应力方位为北西  $294.3^{\circ} \pm 4.3^{\circ}$  陈恩民等(1979)由地震影响场构造效应或震源机制解方法得出海南岛北部构造应力场的水平主压应力方向为  $NW300^{\circ}$ 。这些主要反映了地质历史近期的构造应力场,而对于侏罗纪以来的应力场,以往缺乏研究。而后者对探讨海南岛甚至整个华南的板块构造演化具有重要意义,因此有必要进行深入的研究。本文对海南岛东北部二叠纪与侏罗纪花岗岩中大量节理的产状进行了野外实测与室内计算分析并结合前人研究结果,以期对海南岛东北部侏罗纪以来水平主压应力的方向及其演化进行有益的探讨。

## 1 海南岛及研究区域地质概况

海南岛位于华夏板块的南西端,与华夏板块类似,主要发育一些北东—南西向构造,如断层、褶皱,以及相同走向的白垩纪裂谷盆地。北西—南东向构造也较为发育,主要表现为一些断裂。近东西向的构造主要表现为三条横贯全岛的断裂带,即王武—文教断裂带、昌江—屯昌断裂带、九所—陵水断裂带。全岛花岗岩最为发育,主要为印支期花岗岩,呈面状分布;其次为燕山期花岗岩,成孤立的岩体或者沿北东—南西向断裂带分布。古生代以及前寒武纪地层零星出露,中生代地层主要分布于一些北东—南西向的断陷盆地之中。新生代沉积地层和玄武岩主要分布于海南岛的北部与琼海一带,为典型的海相裂谷成因。

根据海南岛的地层、岩浆、断裂分布情况,几个主要的构造运动期较为明显。古生代,特别是晚古生代,发育的地层主要为一些浅海相碳酸盐岩和碎屑岩,缺乏代表构造运动的火成岩和变质岩方面的证据,因此是相对构造平静时期。从晚二叠世开始,印支运动开始影响整个华南,海南岛也不例外。这个时期的构造运动产生了大量的S型、I型花岗岩(Li et al. 2002; 李孙雄等 2005),几乎覆盖整个岛屿。从中侏罗纪开始,燕山构造运动开始影响海南岛,造成一些北东—南西分布的断裂红层盆地和相同走向分布的花岗岩带。从晚白垩开始,华南带的南部边缘开始发生大陆裂解,相关的陆壳抬升、剥蚀被北部湾周围地区的裂变径迹数据广泛的记录到(邓孝等,1997; Carter et al. 2000; Maluski et al. 2001; Li et al. 2005; 周祖翼等,2005; 覃小锋等 2010; Shi et al. 2011),最终导致南海海洋壳的形

成。

研究区域位于海南岛东北部的铜鼓岭地块区,地质特征较为独特。其与琼北盆地通过一条北北西—南南东向断裂带(清澜铺前断裂带)分割,不像琼北裂陷盆地区域,铜鼓岭地块第四纪以来主要表现为地壳抬升。因此大面积出露印支期和燕山期花岗岩、以及辉长岩脉或者岩体。此处花岗岩体基本没有变质,略微风化,变形基本上为脆性,主要为节理、断裂,表明这些岩体主要是在地壳的浅层遭受构造应变的。

## 2 节理野外测量与期次划分

工作区位于海南岛东北部(图1A,底图据曾普胜等 2002 修改),东临大海,东北部出露中二叠世中粗粒巨斑状角闪黑云母花岗闪长岩—长花岗岩,测点 a, g 位于其中,西南部出露晚侏罗世中粒黑云母钾长花岗岩,测点 b, c, d, e, f, h, i 位于其中(图1B)。各测点均位于海边的花岗岩中(GPS坐标,见表1),其主要特点是露头良好,节理较为发育。

各测点的节理展布、野外期次划分如图2所示。

工区的节理主要具有如下特征:(1)各测点的节理附近基本未见的针状矿物、片状矿物排列而显示的流动构造(原生节理所具有的特征);(2)各测点的节理基本表现出受水平主压应力作用而形成的共轭剪节理而不是原生节理中由与流线、流面的关系而显示的横节理、纵节理、层节理、斜节理;(3)可见切过花岗岩中矿物的节理;(4)可见切割岩脉的节理(图3b、图3e);(5)节理可切过岩体以外的围岩(图3e);(6)节理内未见原生节理所具有的高温矿物。以上特征表明工区的节理并非与流动构造有密切关系,或因岩浆冷却并收缩而引起的原生节理,而是在岩浆结晶后受应力作用而形成的次生节理。研究区的节理有近似的密度、延伸长度,都没有充填物或有相同的充填物,可见表现为相互切割且一组是右行,另一组是左行,显示为共轭节理特征(万天丰,1988)。

根据构造变形所指示的水平主压应力的不同(图2)及水平主压应力对应构造变形的切割错动关系(图3),野外可确立研究区主要经历三期的水平主压应力作用,第一期为北北东—南南西向的水平主压应力作用;第二期为南南东—北北西向的水

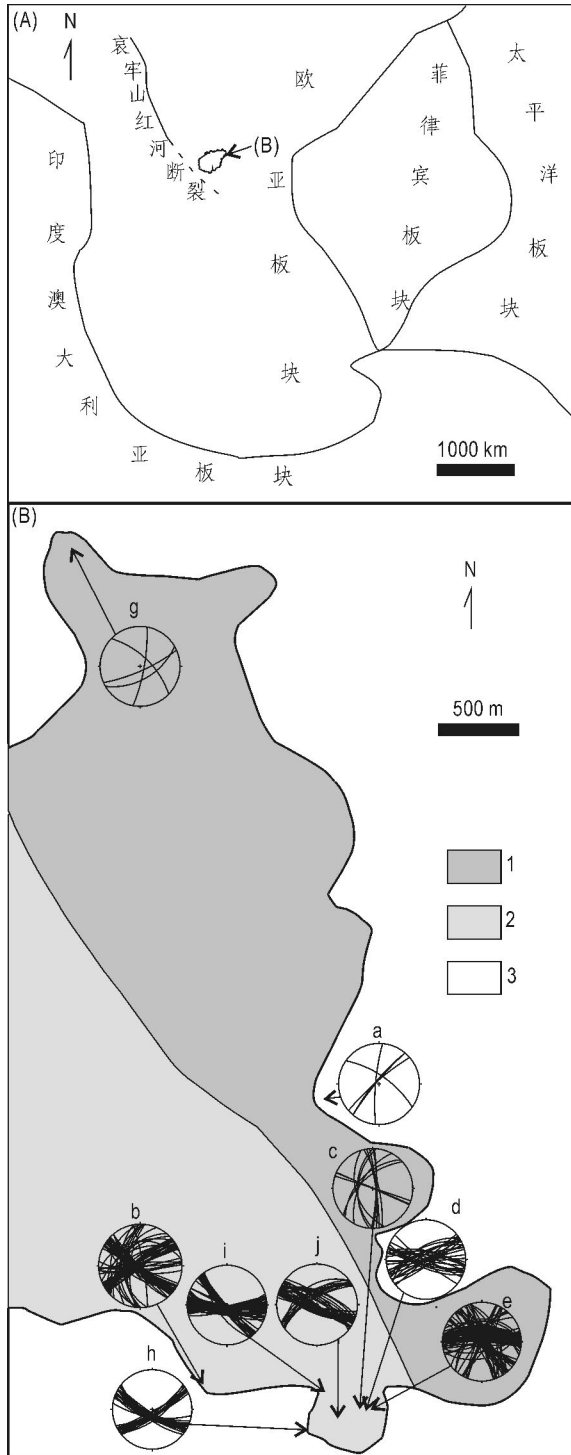


图 1 海南岛所在的大地构造位置 (A) 及各测点节理产状赤平投影图 (B)

Fig. 1 Structural location of Hainan Island (A) and stereonets of joints for each surveying point (B)

1. 中二叠世中粗粒巨斑状角闪黑云母花岗岩闪长岩-二长花岗岩; 2. 晚侏罗世中粒黑云母钾长花岗岩; 3. 海水水平主压应力作用; 第三期为南东东-北西西向的水平主压应力作用。测点 a 包含第一期、第二期、第

三期, 其中第二期的张节理 17 将第一期的剪节理 2 错开约 11 cm(图 2a、图 3a1) 第三期的节理 10 将表 1 各测点节理指示的水平主压应力方向

Table 1 The horizontal principal compressive stress indicated from joints in surveying points

测点编号	走向平均值	统计数	水平主压应力方向
测点 a 经度: 110°01'39.4" 纬度: 19°39'15.8"	6.9° ~ 186.9°	8	28.6° ~ 208.6°
	50.3° ~ 230.3°	4	135.0° ~ 315.0°
	135.0° ~ 315.0°	1	90.3° ~ 270.3°
	66.5° ~ 246.5°	2	
	114.0° ~ 294.0°	3	
测点 b 经度: 111°01'13.5" 纬度: 9°38'17.1"	2.0° ~ 182.0°	8	42.9° ~ 222.9°
	83.9° ~ 263.9°	7	
	128.2° ~ 308.2°	32	92.2° ~ 272.2°
	56.1° ~ 236.1°	23	
测点 c 经度: 111°01'47.4" 纬度: 19°38'12.7"	2.3° ~ 182.3°	3	161.8° ~ 341.8°
	141.3° ~ 321.3°	6	
测点 d 经度: 111°01'48.9" 纬度: 19°38'12.3"	108.3° ~ 288.3°	15	86.2° ~ 266.2°
	64.2° ~ 244.2°	17	
测点 e 经度: 111°01'49.8" 纬度: 19°38'12.0"	141.1° ~ 321.1°	16	141.1° ~ 321.1°
	90.8° ~ 270.8°	49	90.8° ~ 270.8°
	111.5° ~ 291.5°	2	134.3° ~ 314.3°
测点 f 经度: 111°01'52.0" 纬度: 19°38'12.4"	157.0° ~ 337.0°	1	
	88.0° ~ 268.0°	1	107.5° ~ 287.5°
	127.0° ~ 307.0°	1	
测点 g 经度: 111°0'44.2" 纬度: 19°41'9.4"	134.0° ~ 314.0°	1	98.5° ~ 278.5°
	63.0° ~ 243.0°	2	
测点 h 经度: 110°01'36.1" 纬度: 19°38'8.1"	116.6° ~ 296.6°	21	87.3° ~ 267.3°
	57.9° ~ 237.9°	16	
测点 i 经度: 111°01'39.3" 纬度: 19°38'16.1"	90.7° ~ 270.7°	47	110.5° ~ 290.5°
	130.3° ~ 310.3°	27	
测点 j 经度: 111°01'42.4" 纬度: 19°38'10.5"	57.9° ~ 237.9°	10	86.1° ~ 266.1°
	114.3° ~ 294.3°	30	

注: 除测点 a 的 17、18、19、20 及测点 e 用张节理走向指示水平主压应力方向外, 其余均用共轭剪节理所对的锐夹角指示水平主压应力方向(郑亚东等 2007), 测点 j 实际上包含 5 个测点, 但由这 5 个测点距离接近, 断裂产状指示的水平主压应力方向一致将其当成一个测点处理。

第一期的节理 11 错开(图 2a、图 3a2)。测点 b 可分为第一期与第三期, 其中第一期延伸长而稳定, 被石英脉充填且被第三期的节理 4、5、7、8 所切割(图 2b、图 3b); 测点 c 明显可见第一期与第二期, 其中第一期的节理 2、3 也被石英脉充填, 第二期为

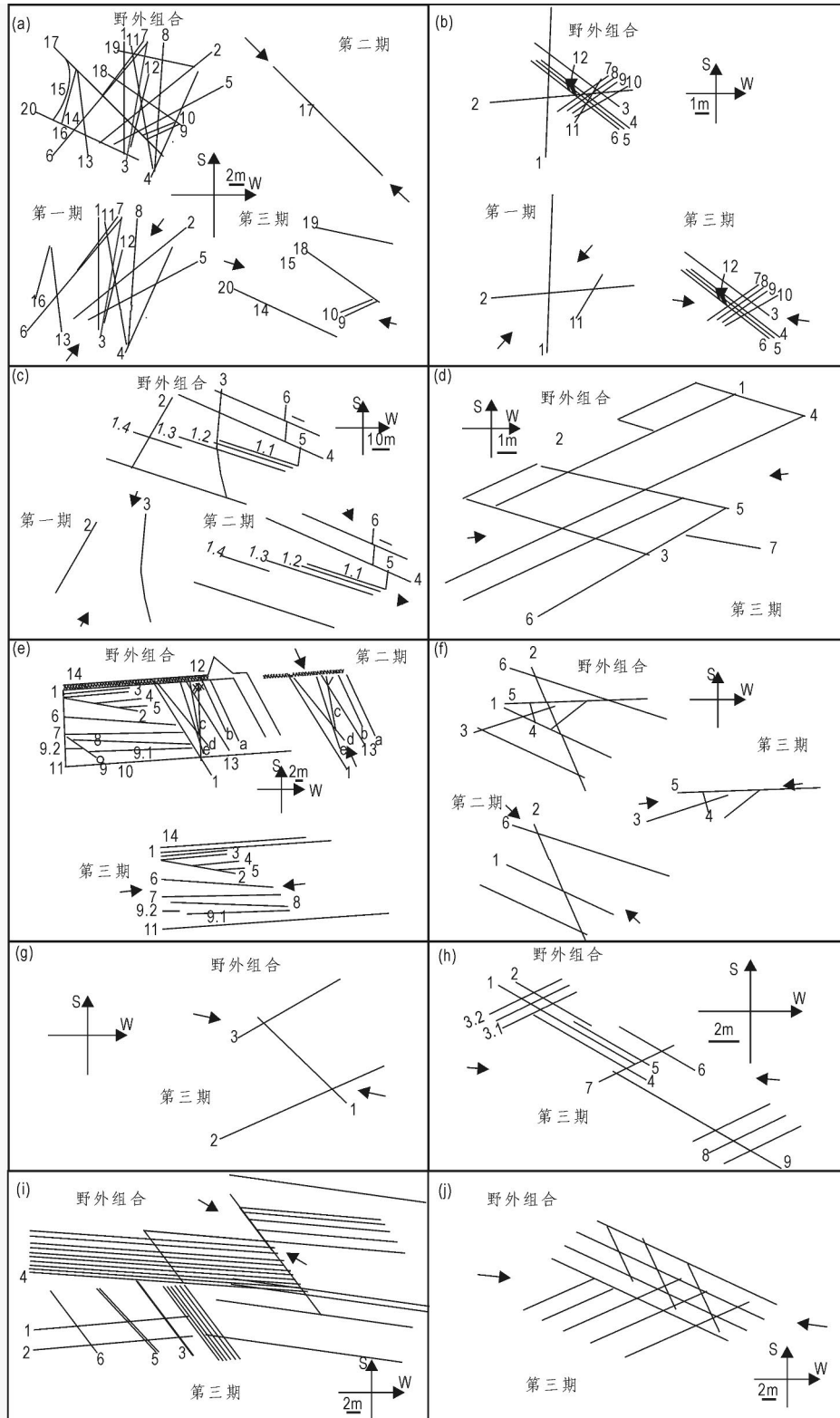


图2 测点 a—j 野外节理展布及节理指示的水平主压应力示意图

Fig.2 Exhibition of joints for surveying points a to j and the indicating horizontal principal compressive stress  
 注:除测点 a 的 17、18、19、20 及测点 e 用张节理走向指示水平主压应力方向外,其余均用共轭剪节理所对的锐夹角指示水平主压应力方向(郑亚东等 2007) 测点 j 实际上包含 5 个测点,但由这 5 个测点距离接近,断裂产状指示的水平主压应力方向一致将其当成一个测点处理

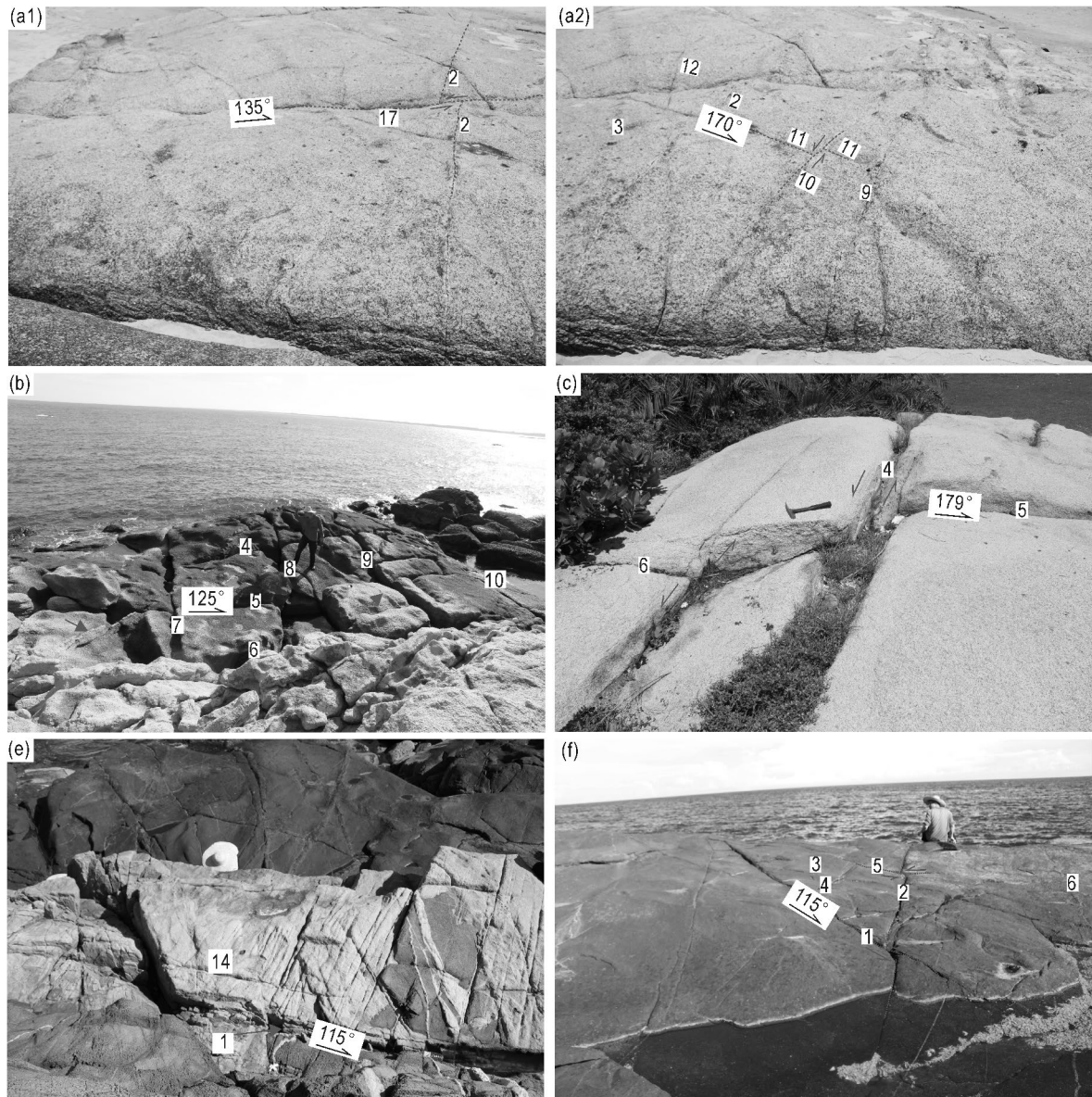


图 3 节理期次野外划分

Fig. 3 The division for phases of joints in the study area

平直光滑的共轭节理,其中节理 5、6 被错开(图 2c、图 3c 可能是由第三期北西西向的水平主压应力作用下发生错动所致);测点 d 发育完好的共轭剪节理,指示了第三期的应力作用(图 2d);测点 e 发育了第二期与第三期,其中第二期的构造变形主要表现为白色长英质脉中发育了较为密集的共轭剪节理;第三期产生的近东西向张性脉体将第二期的共轭剪节理切割(图 2e、图 3e);测点 f 发育第二期与第三期的构造变形,其中第二期的节理 2 被第三期的节理 5 错开,而第二期的节理 1 发生左行滑动亦可能为第三期北西西向的水平主压应力所致(图 2f、图 3f);测点 g、h、i、j 基本未发育第一期与第二

期的构造变形,第三期的构造变形明显且主要表现为共轭剪节理(图 2g—j)。

### 3 水平主压应力方向定量计算

图 2 为各测点节理总体的走向,图 4 为各测点局部测量后所作的节理走向玫瑰花图。图 2 与图 4 各测点整体测量与局部测量的一致性,指示了本区节理平直稳定的特征,说明用本区局部测量的统计分析数据指示本区总体水平主压应力方向可行。

由各测点不同期次(据野外划分,图 2)的节理走向求得水平主压应力方向(表 2)。由表 2 得各测点所指示的水平主压应力可分为北北东—南南

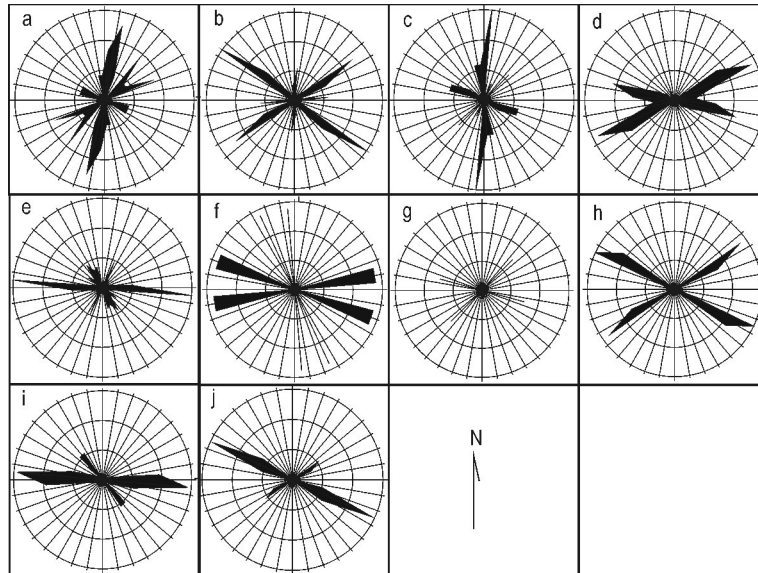


图4 各测点节理走向玫瑰花图

Fig. 4 Rosettes for joint strikes of surveying points

各测点节理的统计数如表1所示,玫瑰花图均被36等分

西向,其中包括测点a的 $28.6^{\circ} \sim 208.6^{\circ}$ 、测点b的 $42.9^{\circ} \sim 222.9^{\circ}$ ,取其平均值得北北东—南南西向的水平主压应力方向为 $35.8^{\circ} \sim 215.8^{\circ}$ ;南南东—北北西向,其中包括测点a的 $135.0^{\circ} \sim 315.0^{\circ}$ 、测点c的 $161.8^{\circ} \sim 341.8^{\circ}$ 、测点f的 $134.3^{\circ} \sim 314.3^{\circ}$ ,取其平均值得南南东—北北西的水平主压应力方向为 $143.1^{\circ} \sim 323.1^{\circ}$ ;南东东—北西西向,其中包括测点a的 $90.3^{\circ} \sim 270.3^{\circ}$ 、测点b的 $92.2^{\circ} \sim 272.2^{\circ}$ 、测点d的 $86.2^{\circ} \sim 266.2^{\circ}$ 、测点e的 $90.8^{\circ} \sim 270.8^{\circ}$ 、测点f的 $107.5^{\circ} \sim 287.5^{\circ}$ 、测点g的 $98.5^{\circ} \sim 278.5^{\circ}$ 、测点h的 $87.3^{\circ} \sim 267.3^{\circ}$ 、测点i的 $110.5^{\circ} \sim 290.5^{\circ}$ 、测点j的 $86.1^{\circ} \sim 266.1^{\circ}$ ,取其平均值得南东东—北西西向的水平主压应力方向为 $94.4^{\circ} \sim 274.4^{\circ}$ 。

#### 4 讨论

结合野外期次划分,说明研究区的水平主压应力方向由北北东—南南西向( $35.8^{\circ} \sim 215.8^{\circ}$ ),依次演化为南南东—北北西向( $143.1^{\circ} \sim 323.1^{\circ}$ )、南东东—北西西( $94.4^{\circ} \sim 274.4^{\circ}$ )。其中 $94.4^{\circ} \sim 274.4^{\circ}$ 的水平主压应力方向与邹和平(1989)利于水系格局分析法确立海南岛第四纪构造应力场的水平主压应力方向北西 $294.3^{\circ} \pm 4.3^{\circ}$ 及陈恩民等(1979)由地震影响场构造效应或震源机制解方法得出海南岛北部构造应力场的水平主压应力方向北西 $300^{\circ}$ 较为吻合。结合太平洋板块现今以 $70.1$

mm/a向西北移动(金双根等,2002)推断 $94.4^{\circ} \sim 274.4^{\circ}$ 的水平主压应力方向与现今太平洋板块北西向运动有关且为本区最后一期的水平主压应力方向。

125~140 Ma太平洋板块向南南西方向漂移(Koppers et al., 2001)。中国东部构造活动期(楼亚儿等,2006;刘红涛等,2002;邱连贵等,2008;宋明春等,2010)、岩浆作用期(王强等,2005;周建波等,2003;Wu et al., 2005;Sun et al., 2007;孙卫东等,2008;杜杨松等,2007;谢成龙等,2009,2008;徐勋胜等,2010;王保峰等,2011;武珺等,2013)、成矿期(王京彬等,2005;邓平等,2003;毛景文等,2004;张竹如等,2001;王义天等,2001;翟裕生等,2002;宋明春等,2010)与125~140 Ma的一致性,支持了125~140 Ma太平洋板块运动事件的存在,许德如(2006b)指出海南岛屯昌晨星地区130~90 Ma显示一个可能与区域/热变质有关的绿片岩相变质条件,并认为其最可能与古太平洋板块俯冲导致的大陆边缘裂解及洋壳化和随后的年轻洋壳、陆(华南大陆)-陆(印支板块)碰撞事件相关。50 Ma时,俯冲方向发生大幅度逆时针偏转,由北北西转向北西方向俯冲(Sun et al., 2007)。中国东部构造活动期、岩浆作用期与成矿期(宋明春等,2010;姜继玉等,2009;吴中海等,2003;王凯红等,2008;韩娟等,2011)与50 Ma的一致性,支持了50 Ma太平洋板块运动事件的存在。54 Ma广东沿海地区与海

南岛基性岩脉及玄武岩浆喷发(曹建劲等,2007),说明50 Ma太平洋板块的运动事件对海南岛产生了影响。

以上研究表明,太平洋板块先后经历了南南西向、北北西向及北西西向的运动,这与本文通过节理研究确立研究区先后经历了 $35.8^{\circ} \sim 215.8^{\circ}$ , $143.1^{\circ} \sim 323.1^{\circ}$ , $94.4^{\circ} \sim 274.4^{\circ}$ 的水平主压应力方向一致,说明本区 $35.8^{\circ} \sim 215.8^{\circ}$ , $143.1^{\circ} \sim 323.1^{\circ}$ , $94.4^{\circ} \sim 274.4^{\circ}$ 的水平主压应力方向及其演化可能成由于125~140 Ma与50 Ma的太平洋运动事件对本区产生的挤压作用。即 $35.8^{\circ} \sim 215.8^{\circ}$ 的水平主压应力方向可能成由于140~125 Ma太平洋板块南南西向运动对本区造成的挤压作用; $143.1^{\circ} \sim 323.1^{\circ}$ 的水平主压应力方向可能成由于50 Ma以前太平洋板块北北西向运动对本区造成的挤压作用;而 $94.4^{\circ} \sim 274.4^{\circ}$ 的水平主压应力方向可能成由于可能成由于50 Ma以来太平洋板块北西西向运动对本区造成的挤压作用。

本研究区发育的花岗岩为中二叠世、晚侏罗世(图1B),这为125 Ma与50 Ma的太平洋板块运动在本区产生构造变形提供了可能。而海南岛靠近太平洋板块(图1A)也较合理的解释了白垩纪以来其构造变形主要受太平洋板块控制。本区节理统计揭示北北东向( $35.8^{\circ}$ )的水平主压应力过渡到北北西向( $323.1^{\circ}$ )与北西西向( $274.4^{\circ}$ )的水平主压应力表现为中间缺乏过渡的突变,这与白垩纪以来太平洋板块运动方向也是在短期内(主要集中在125 Ma与50 Ma两个时间点)发生较大转向一致。

红河-哀牢山是一条喜山期内(20~44 Ma)大型的左行走滑韧性剪切带(吴海威等,1989)。据报道其左行位移量多达760 km(Tapponnier et al., 1990),少则200 km以上,且总体形态具有北窄南宽的特点(吴海威等,1989),说明20~44 Ma在在这种大规模的左行走滑的作用下,整个海南岛都可能产生北西西向的水平主压应力及这种水平主压应力而产生的剪节理与张节理(图5)。说明第三期北西西向的水平主压应力方向及其在本区最为发育亦可能与此有关。

古新世开始的印度-欧亚碰撞、渐新世开始的南海海洋脊的扩张、上新世(5~3 Ma)开始的南海向菲律宾岛弧的俯冲、更新世开始的菲律宾洋板向台湾岛弧的仰冲等(图1A)(Ludmann et al., 1999; Lee et al., 1995; Sibuet et al., 1997)也都可能对本

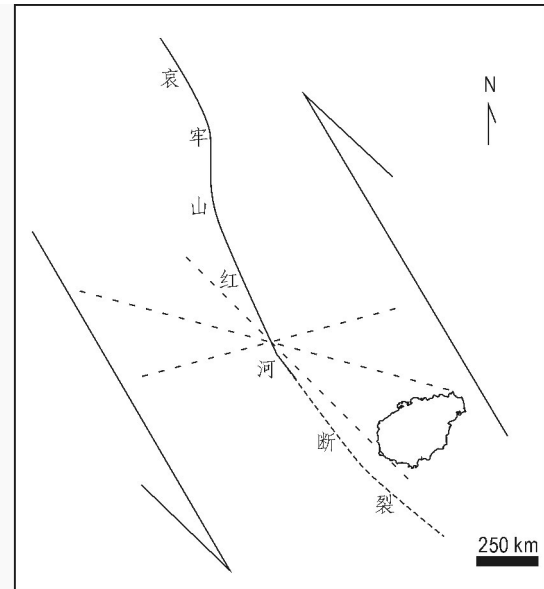


图5 哀牢山红河断裂带大规模左行走滑对海南岛可能的影响(底图据曾普胜等2002修改)

Fig. 5 The possible influence of the sinistral strike slip of the Ailao Shan-Red River metamorphic belt on the stress field and fracture distribution in the Hainan Island region. So, the formation and evolution of fractures in this area are related to the Pacific Plate movement events, the Red River-Ailao Shan large-scale left strike slip movement, and the tectonic stress field. The above fracture formation and evolution in this area are related to the Pacific Plate movement events, the Red River-Ailao Shan large-scale left strike slip movement, and the tectonic stress field. The above fracture formation and evolution in this area are related to the Pacific Plate movement events, the Red River-Ailao Shan large-scale left strike slip movement, and the tectonic stress field.

## 5 结论

(1) 海南岛东北部二叠纪与侏罗纪花岗岩中大量节理产状的野外实测与室内计算分析表明,海南岛东北部二叠纪与侏罗纪花岗岩均显示水平主压应力方向由 $35.8^{\circ} \sim 215.8^{\circ}$ 依次演化为 $143.1^{\circ} \sim 323.1^{\circ}$ , $94.4^{\circ} \sim 274.4^{\circ}$ 。其中北西西向( $274.4^{\circ}$ )的水平主压应力方向与水系格局分析法、震源机制解法确立的水平主压应力方位较为吻合。

(2) 125~140 Ma和50 Ma太平洋板块运动事件对本区产生的挤压作用,较好地解释了研究区侏罗纪以来的水平主压应力方向及其演化,且较好地解释了海南岛构造应力场在转化的过程中表现的突变特征。 $35.8^{\circ} \sim 215.8^{\circ}$ 的水平主压应力方向可能成由于140~125 Ma太平洋板块南南西向运动对本区造成的挤压作用; $143.1^{\circ} \sim 323.1^{\circ}$ 的水平主压应力方向可能成由于50 Ma以前太平洋板块北北西向运动对本区造成的挤压作用;而 $94.4^{\circ} \sim 274.4^{\circ}$ 的水平主压应力方向可能成由于50 Ma以来太平洋板块北西西向运动对本区造成的挤压作

用。中国东部构造活动期、岩浆作用期、成矿期与 125~140 Ma 和 50 Ma 的一致性支持了 125~140 Ma 和 50 Ma 太平洋板块运动事件的存在及其在海南岛产生影响的可能性; 节理所在花岗岩的时代、所处的空间位置支持了以上应力场成因的合理性。

(3) 94.4°~274.4°的水平主压应力方向及其在本区最为发育可能还与喜山期(20~44 Ma) 哀牢山-红河韧性剪切带大规模左行走滑所产生的北西西向的水平主压应力有关。之后的板块运动亦可能对研究区的应力场产生影响。

因本次测点有限, 上述结论还有待今后工作的进一步证实。

### 参考文献

- 曹建勋, 胡瑞忠, 刘燊, 等. 2007. 广东沿海地区及海南岛晚中生代以来的构造转折和拉张期次[J]. 矿物学报(增刊): 3-4.
- 陈恩民, 黄咏茵. 1979. 1605年海南岛琼州大地震及其发震构造的初步探讨[J]. 地震地质, 1(4): 37-44.
- 陈海泓, 孙枢, 李继亮, 等. 1994. 华南早三叠纪的古地磁与大地构造[J]. 地质科学, 29(1): 1-9.
- 邓平, 沈渭洲, 凌洪飞, 等. 2003. 地幔流体与铀成矿作用: 以下庄矿田仙山铀矿床为例[J]. 地球化学, 32(6): 520-528.
- 邓孝, 陈墨香, 汪缙安, 等. 1997. 南海北部陆架西区磷灰石裂变径迹的分析[J]. 岩石学报, 13(4): 507-514.
- 杜杨松, 曹毅, 袁万明, 等. 2007. 安徽沿江地区中生代碰撞后到造山后岩浆活动和壳幔相互作用——来自火山-侵入杂岩和岩石包体的证据[J]. 岩石学报, 23(6): 1294-1302.
- 付璐露, 沈忠悦, 贺丽, 等. 2010. 海南岛白垩纪古地磁结果及其构造地质意义[J]. 地质学报, 84(2): 183-194.
- 韩娟, 王彦斌, 王登红, 等. 2011. 江西黄蜂岭铀矿床花岗岩时代、成因: 锆石铀-铅 U-Pb 年龄和 Hf 同位素证据[J]. 地质与勘探, 47(2): 284-293.
- 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[J]. 长春地质学院学报, 22(2): 136-143.
- 侯威. 1992. 海南岛地壳演化的基本特征[J]. 大地构造与成矿学, 16(2): 131-140.
- 姜继玉, 姜艳春, 王剑峰, 等. 2009. 磷灰石裂变径迹在滨北地区热史研究中的应用[J]. 大庆石油学院学报, 33(3): 43-48.
- 金双根, 朱文耀. 2002. 太平洋板块运动和形变及其边缘现今相对运动[J]. 大地测量与地球动力学, 22(2): 57-60.
- 李建新. 1991. 海南岛地区断裂构造体系与区域稳定性[J]. 海洋科学, 15(3): 19-21.
- 李孙雄, 云平, 范渊, 等. 2005. 海南岛琼中地区琼中岩体锆石 U-Pb 年龄及其地质意义[J]. 大地构造与成矿学, 29(2): 227-233.
- 刘红涛, 翟明国, 刘建明, 等. 2002. 华北克拉通北缘中生代花岗岩: 从碰撞后到非造山[J]. 岩石学报, 18(4): 433-448.
- 刘瑞华, 张仲英. 1989. 海南岛的新构造运动特征[J]. 热带地理, 9(2): 174-182.
- 龙文国, 丁式江, 马大铨, 等. 2005. 海南岛前寒武纪基底组成及演化[J]. 地球科学——中国地质大学学报, 30(4): 421-429.
- 楼亚儿, 杜杨松. 2006. 安徽繁昌中生代侵入岩的特征和锆石 SHRIMP 测年[J]. 地球化学, 35(4): 359-366.
- 毛景文, 谢桂青, 李晓峰, 等. 2004. 华南地区中生代大规模成矿作用与岩石圈多阶段伸展[J]. 地学前缘, 11(1): 45-55.
- 彭格林. 1990. 海南岛沉积建造特征及大地构造问题[J]. 大地构造与成矿学, 14(4): 293-303.
- 覃小锋, 潘罗忠, 胡贵昂, 等. 2010. 桂南钦防构造带两侧中生代差异隆升的磷灰石裂变径迹证据[J]. 桂林理工大学学报, 30(3): 325-331.
- 邱连贵, 任风楼, 曹忠祥, 等. 2008. 胶东地区晚中生代岩浆活动及对大地构造的制约[J]. 大地构造与成矿学, 32(1): 117-123.
- 宋明春, 崔书学, 周明岭, 等. 2010. 山东省焦家矿区深部超大型金矿床及其对“焦家式”金矿的启示[J]. 地质学报, 84(9): 1349-1358.
- 孙卫东, 凌明星, 汪方跃, 等. 2008. 太平洋板块俯冲与中国东部中生代地质事件[J]. 矿物岩石地球化学学报, 27(3): 218-225.
- 万天丰. 1988. 古构造应力场[M]. 北京: 地质出版社: 22-35.
- 万天丰. 2003. 中国大地构造学纲要[M]. 北京: 地质出版社: 56-58.
- 汪啸风, 马大铨, 蒋大海. 1991. 海南岛地质(三) 构造地质[M]. 北京: 地质出版社: 1-140.
- 王保峰, 巫建华. 2011. 江西南部版石盆地火山岩 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄及其意义[J]. 东华理工大学学报: 自然科学版, 34(1): 18-24.
- 王京彬, 王玉往, 王莉娟. 2005. 大兴安岭南段锡多金属成矿系列[J]. 地质与勘探, 41(6): 15-20.
- 王凯红, 贾海明, 张俊影, 等. 2008. 中国东北 44 Ma/42 Ma 火山事件的出现及其地质找矿意义[J]. 地质与资源, 17(3): 161-165.
- 王强, 赵振华, 简平, 等. 2005. 华南腹地白垩纪 A 型花岗岩类或碱性侵入岩年代学及其对华南晚中生代构造演化的制约[J]. 岩石学报, 21(3): 795-808.
- 王义天, 毛景文, 卢欣祥. 2001. 嵩县祁雨沟金矿成矿时代的  $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$  年代学证据[J]. 地质论评, 47(5): 551-555.
- 吴海威, 张连生, 嵇少丞. 1989. 红河-哀牢山断裂带——喜山期陆内大型左行走滑带[J]. 地质科学, 24(1): 1-8.
- 吴中海, 吴珍汉. 2003. 燕山及邻区晚白垩世以来山脉隆升历史的低温热年代学证据[J]. 地质学报, 77(3): 399-406.
- 武琨, 巫建华. 2013. 江西双峰岭组及其地质时代[J]. 东华理工大学学报: 自然科学版, 36(1): 17-24.
- 夏斌, 崔学军, 谢建华, 等. 2004. 关于南海构造演化动力学机制研究的一点思考[J]. 大地构造与成矿学, 28(3): 221-227.
- 夏斌, 崔学军, 张宴华, 等. 2005. 南海扩张的动力因素及其数值模拟讨论[J]. 大地构造与成矿学, 29(3): 328-333.
- 谢才富, 朱金初, 赵子杰, 等. 2005. 三亚石榴霞辉石正长岩的锆石 SHRIMP U-Pb 年龄: 对海南岛海西-印支期构造演化的制约[J]. 高校地质学报, 11(1): 47-57.
- 谢成龙, 朱光, 牛漫兰, 等. 2008. 庐庐断裂带巢湖——庐江段晚中生代火山岩的锆石 U-Pb 年代学[J]. 地质科学, 43(2): 294-



- 308.
- 谢成龙,朱光,牛漫兰,等. 2009. 滁州火山岩地球化学及其对庐庐断裂带内岩石圈减薄的指示[J]. 岩石学报, 25(1): 92-108.
- 徐勋胜,巫建华. 2010. 江西南部蔡坊盆地火山岩系层序与地质时代[J]. 东华理工大学学报: 自然科学版, 33(3): 211-218.
- 许德如,范蔚茗,梁新权,等. 2001b. 海南岛元古宙变质基底性质和地壳增生的Nd、Pb同位素制约[J]. 高校地质学报, 7(2): 146-157.
- 许德如,梁新权,唐红峰. 2002. 琼西抱板群变质沉积岩地球化学研究[J]. 地球化学, 31(2): 153-160.
- 许德如,梁新权,陈广浩,等. 2001c. 海南岛中元古代花岗岩地球化学及成因研究[J]. 大地构造与成矿学, 25(4): 420-433.
- 许德如,林舸,梁新权,等. 2001a. 海南岛前寒武纪岩石圈演化的记录: 基性岩类岩石地球化学证据[J]. 岩石学报, 17(4): 598-608.
- 许德如,马驰,李鹏春,等. 2007. 海南岛变碎屑沉积岩锆石SHRIMP U-Pb年龄及地质意义[J]. 地质学报, 81(3): 381-393.
- 许德如,夏斌,Nonna B C,等. 2006b. 海南岛屯昌晨星地区变基性岩体变质特征及构造意义[J]. 岩石学报, 22(12): 2987-3006.
- 许德如,夏斌,李鹏春,等. 2006a. 海南岛西北部前寒武纪花岗岩质岩SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄及地质意义[J]. 大地构造与成矿学, 30(4): 510-518.
- 杨树锋,虞子冶,郭令智,等. 1989. 海南岛的地体划分、古地磁研究及其板块构造意义[J]. 南京大学学报(地球科学), 1(1-2): 38-46.
- 曾普胜,莫宣学,喻学惠. 2002. 滇西富碱斑岩带的Nd、Sr、Pb同位素特征及其挤压走滑背景[J]. 岩石矿物学杂志, 21(3): 231-241.
- 翟裕生,苗来成,向运川,等. 2002. 华北克拉通绿岩带型金成矿系统初析[J]. 地球科学, 27(5): 522-531.
- 张军龙,田勤俭,李峰,等. 2008. 海南岛西北部新构造特征及其演化研究[J]. 地震, 28(3): 85-94.
- 张业明,谢才富,付太安,等. 2005. 海南岛地质构造演化刍论[J]. 科学技术与工程, 5(20): 1485-1487.
- 张业明,徐安武,付建明,等. 1998. 海南岛几个重大基础地质问题的探讨[J]. 地质论评, 44(6): 568-575.
- 张业明,张仁杰,姚舟舟,等. 1997. 海南岛前寒武纪地壳构造演化[J]. 地球科学——中国地质大学学报, 22(4): 395-400.
- 张竹如,唐波,聂爱国,等. 2001. 山东牟平宋家沟金矿床地质特征[J]. 黄金, 22(7): 1-5.
- 郑亚东,王涛,王新社. 2007. 最大有效力矩准则及其相关地质构造[J]. 地学前缘, 14(4): 49-60.
- 周建波,郑永飞,赵子福. 2003. 山东五莲中生代岩浆岩的锆石U-Pb年龄[J]. 高校地质学报, 9(2): 185-194.
- 周祖翼,郭彤楼,许长海,等. 2005. 广西十万大山盆地中生代地层的裂变径迹研究及其地质意义[J]. 地质学报, 79(3): 395-401.
- 邹和平. 1989. 根据水系格局探讨海南岛第四纪构造应力场[J]. 华南地震, 9(1): 28-31.
- Carter A, Roques D, Bristow C S. 2000. Denudation history of onshore central Vietnam: constraints on the Cenozoic evolution of the western margin of the South China Sea[J]. Tectonophysics, 322: 265-277.
- Ho K S, Chen J C, Juang W S. 2000. Geochronology and geochemistry of late Cenozoic basalts from the Leiqiong area, southern China[J]. Journal of Asian Earth Science, 18: 307-324.
- Hsu K J, Li J L, Chen H H, et al. 1990. Tectonics of South China: key to Understanding West Pacific geology[J]. Tectonophysics, 183: 9-39.
- Koppers A A P, Morgan J P, Morgan J W, et al. 2001. Testing the fixed hotspot hypothesis using  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  age progressions along seamount trails[J]. Earth and Planetary Science Letters, 185: 237-252.
- Lee T Y, Lawver L A. 1995. Cenozoic plate reconstruction of Southeast Asia[J]. Tectonophysics, 251: 85-138.
- Lei J S, Zhao D P, Steinberger B, et al. 2009. New seismic constraints on the upper mantle structure of the Hainan plume[J]. Physics of the Earth and Planetary Interiors, 173: 33-50.
- Li X H, Zhou H W, Chung S L, et al. 2002. Geochemical and Sm-Nd isotopic characteristics of metabasites from central Hainan Island, South China and their tectonic significance[J]. Isl Arc, 11: 193-205.
- Li X M, Wang Y J, Tan K X, et al. 2005. Meso-Cenozoic uplifting and exhumation on Yunkaidashan: Evidence from fission track thermochronology[J]. Chinese Science Bulletin, 50(9): 903-909.
- Lin W, Wang Q C, Chen K. 2008. Phanerozoic tectonics of south China block: New insights from the polyphase deformation in the Yunkai massif[J]. Tectonics, 27: TC6004.
- Ludmann T, Wong H K. 1999. Neotectonic regime on the passive continental margin of the northern South China Sea[J]. Tectonophysics, 311: 113-138.
- Maluski H, Lepvrier C, Jolivet L, et al. 2001. Ar-Ar and fission-track ages in the Song Chay Massif: Early Triassic and Cenozoic tectonics in northern Vietnam[J]. J Asian Earth Sci, 19: 233-248.
- Metcalfe I, Shergold I H, Li Z X. 1993. IGCP 321 Gondwana dispersal and Asian accretion: fieldwork on Hainan Island[J]. Episodes, 16: 443-447.
- Shi X B, Kohn B, Spencer S, et al. 2011. Cenozoic denudation history of southern Hainan Island, South China Sea: Constraints from low temperature thermochronology[J]. Tectonophysics, 504(1-4): 100-115.
- Sibuet J C, Hsu S H. 1997. Geodynamics of the Taiwan arc-arc collision[J]. Tectonophysics, 274: 221-251.
- Sun W D, Ding X, Hu Y H, et al. 2007. The golden transformation of the Cretaceous plate subduction in the west Pacific[J]. Earth and Planetary Science Letters, 262: 533-542.
- Tapponnier P, Lacassin R, Leloup P H. 1990. The Ailao Shan/Red River metamorphic belt: Tertiary leftlateral shear between Indochina and South China[J]. Nature, 343: 431-437.
- Wang Y J, Fan W M, Peter A C, et al. 2007. Indosinian high-strain deformation for the Yunkaidashan tectonic belt, south China: Kinematics and  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  geochronological[J]. Tectonics, 26: TC6008.
- Wu F Y, Lin J Q, Wilde S A, et al. 2005. Nature and significance of the Early Cretaceous giant igneous event in eastern China[J]. Earth

- and Planetary Science Letters ,233: 103-119.
- Xu J W ,Zhu G ,Tong W X , et al. 1987. Formation and evolution of the Tancheng-Lujiang wrench fault system: a major shear system to the northwest of the Pacific Ocean [J]. Tectonophysics 134: 273-310.
- Yan D P ,Zhou M F ,Song H L , et al. 2003. Origin and tectonic significance of a Mesozoic multi-layer over-thrust system within the Yangtze Block( South China) [J]. Tectonophysics ,361: 239-254.
- Zhou X M ,Li W X. 2000. Origin of Late Mesozoic igneous rocks in Southeastern China: implications for lithosphere subduction and unroofing of mafic magmas [J]. Tectonophysics ,326: 269-287.
- Zhou X M ,Sun T ,Shen W Z , et al. 2006. Petrogenesis of Mesozoic granitoids and volcanic rocks in South China: a response to tectonic evolution [J]. Episodes ,29: 26-33.
- Zhu G ,Wang Y S ,Liu G S , et al. 2005.  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  dating of strike-slip motion on the Tan-Lu fault zone , East China [J]. Journal of Structural Geology ,27: 1379-1398.
- Zou H B ,Fan Q C. 2010. U-Th isotopes in Hainan basalts: Implications for sub-asthenospheric origin of EM2 mantle endmember and the dynamics of melting beneath Hainan Island [J]. Lithos ,116: 145-152.

## Evolution of Stress Field Since the Jurassic in Northeastern Hainan Island , China

ZHU Jiang-jian<sup>1 2</sup> , XU De-ru<sup>2</sup> , CAI Jian-xin<sup>3</sup> , CHEN Mu-long<sup>4</sup> ,  
YU Liang-liang<sup>2</sup> , ZHOU Jin-bo<sup>4</sup> , LIN Ge<sup>2</sup>

( 1. Beijing Institute of Geology for Mineral Resources ,Beijing ,100012 ,China; 2. Key Laboratory of Mineralogy and Metallogeny ,Guangzhou Institute of Geochemistry ,Chinese Academy of Sciences ,Guangzhou ,GD 510640 , China; 3. Key Laboratory of Marginal Sea Geology ,South China Sea Institute of Oceanology ,Chinese Academy of Sciences ,Guangzhou ,GD 510301 ,China; 4. Hainan Institute of Geological Survey ,Haikou ,HN 570206 ,China)

**Abstract:** In order to reveal the evolution of horizontal principal compressive stresses in the northeastern Hainan Island of China , this paper conducts a survey on joints and fractures developed in the Permian and Jurassic granites. The character of joints , shows there are three groups of conjugate joints in the granites. The dislocation and calculation of above three groups of conjugate joints , indicate that the horizontal principal compressive stress in the northeastern Hainan island had undergone direction from NNE—SSW (  $35.8^\circ \sim 215.8^\circ$  ) , through SSE—NNW (  $143.1^\circ \sim 323.1^\circ$  ) , and finally to SEE—NWW (  $94.4^\circ \sim 274.4^\circ$  ) . A comparative study on magmatic activities , structural events and mineralizations , with conferring to the period and place of granites in which the joints occurred , we put forward that the compressive force of the Pacific plate motion can explain the direction and evolution of the horizontal principal compressive stresses in the study area since the Jurassic. The principal horizontal compressive stresses of SEE—NWW (  $94.4^\circ \sim 274.4^\circ$  ) and its dominance in the study area may derive from the long-range effects of the left-lateral strike-slip of the Ailao Shan-Red River metamorphic belt in the Himalaya orogeny. The movement of plates after that may also have affected the stress field of the study area.

**Key Words:** conjugate joint; granite; Mesozoic and Cenozoic; stress field; Hainan Island; Pacific plate