

DOI: 10.16562/j.cnki.0256-1492.2017.06.009

## 南海南部珊瑚礁区新生代突变事件研究

胡守祥<sup>1,2</sup>, 唐琴琴<sup>1,2</sup>, 孙杰<sup>1</sup>, 姚衍桃<sup>1</sup>, 姜莲婷<sup>1,2</sup>, 詹文欢<sup>1,2</sup>

(1 中国科学院边缘海与大洋地质重点实验室, 南海海洋研究所, 广州 510301;

2 中国科学院大学, 北京 100049)

**摘要:** 南海南部珊瑚礁区的突变事件记录了构造、沉积环境等的改变, 根据收集的地球物理资料, 结合前人工作, 总结研究区新生代发生的多次突变事件, 对主要突变事件进行分析。发生在不同构造单元的主要突变事件会有所不同, 如曾母盆地的突发事件发生于晚白垩世晚期、始新世晚期、早中新世后期、中中新世末、晚中新世末和上新世末, 而万安盆地的突发事件则发生于晚白垩世晚期、始新世末、早中新世末、中中新世末和晚中新世晚期, 但由于珊瑚礁区突变事件往往是区域性的, 因此可以互相对比。分析研究区盆地所记录的突变事件, 得出由于礼乐运动、西卫运动和南沙运动的影响, 研究区在白垩纪末—早古新世、晚始新世和中中新世末普遍存在 3 次构造不整合面。早中新世盆地保存的侵蚀不整合面, 反映全球海平面下降, 北康盆地缺失不整合面是由于南沙地块的运动。3 次构造不整合面与侵蚀不整合面共同反映了南海的构造演化过程。

**关键词:** 地层不整合; 新生代; 珊瑚礁; 曾母盆地; 南海南部

中图分类号:P736.1

文献标识码:A

文章编号:0256-1492(2017)06-0084-09

南海南部珊瑚礁区与南海的形成演化密切相关, 且资源丰富<sup>[1,2]</sup>, 前人在此做了大量的工作<sup>[3]</sup>。研究区的突变事件属于南海演化过程中的一部分。对于南海成因有诸多不同的认识, 如古南海的构造属性是海湾、中特提斯海的东延还是陆缘扩张成因<sup>[4-6]</sup>, 这些问题仍需进一步的研究。南海演化过程中存在两次构造旋回<sup>[7,8]</sup>, 南海的形成可按照大型的多相大陆裂谷盆地混合构造模型进行研究<sup>[9]</sup>, 其直接影响南沙地块的形成和运动, 这与研究区的突变事件具有紧密关系。

从 1987 年至今, 我国在南沙采集了大量的地震数据<sup>[10]</sup>, 随着研究资料的丰富和技术的突破, 对南海南部的突变事件开展了不同角度的研究。南沙新生代以来以压缩变形为主, 延伸属于次要, 早渐新世晚期研究区多发断块活动<sup>[11]</sup>, 演化过程中发生三幕构造沉降<sup>[12]</sup>。南沙海区的块体划分有不同方案<sup>[13,14]</sup>, 南沙地块的一级边界是西南次海盆扩张脊, 而不是早先认为的南海中央海盆和西南次海盆的南界<sup>[15-16]</sup>。前人对南沙地区地层划分不尽相同,

对区域不整合面和对应的地震层序界面的认识也有所差异, 但大的区域不整合面是基本一致的。据 91N3、91N4、87N4、02N02 等测线(图 1)数据对比, 本文采取  $T_{20}$ 、 $T_{30}$ 、 $T_{32}$ 、 $T_{40}$ 、 $T_g$ 、 $T_h$  的地层划分方案<sup>[17-19]</sup>。对研究区新生代地层和不整合面影响较大的 4 次构造活动, 分别是礼乐运动、西卫运动、南海运动和南沙运动<sup>[20-21]</sup>, 南沙地块内的破裂不整合面和碰撞不整合面是地块构造演化的证据<sup>[22]</sup>, 中中新世  $T_{32}$  不整合面是南海海底扩张停止的界面, 对应南海南部海域的南沙运动<sup>[18]</sup>。研究区分布众多的盆地, 对突变事件有很好的记录, 前人已对研究区的单一或数个盆地有较多的研究<sup>[23-26]</sup>, 但缺少整体的对比和分析。本文以收集的地球物理资料(图 1 测线所测数据)为基础, 结合前人的研究成果, 对研究区盆地内突变事件进行识别, 并对相近时期内的突变事件进行对比分析。

### 1 区域地质背景

中国南海南部的生物礁区分布在  $4^{\circ} \sim 12^{\circ}\text{N}$ 、 $108^{\circ} \sim 120^{\circ}\text{E}$  之间的海域。研究区(图 1)位于太平洋板块、欧亚板块和印澳板块三大板块的结合部, 是东亚陆缘地壳运动最为活跃的地区之一, 地形起伏大<sup>[13,27]</sup>。南海南部珊瑚礁区的中新生代构造演化与古南海密切相关<sup>[6]</sup>, 如中生代发育广泛的海相沉积就与古南海有关<sup>[5]</sup>, 三叠系与下伏层呈不整合接

**基金项目:** 国家自然科学基金项目(41376063); 国家重点基础研究计划项目(2013CB956104)

**作者简介:** 胡守祥(1993—), 男, 硕士研究生, 主要从事海洋新构造研究。E-mail: hushouxiang16@mails.ucas.ac.cn

**通讯作者:** 詹文欢, 研究员, 研究方向为海洋新构造与地质灾害, E-mail: whzhan@scsio.ac.cn

**收稿日期:** 2017-05-21; **改回日期:** 2017-06-30. 文凤英编辑

触,由复理石建造和火山岩系组成。晚三叠世由于印支运动,欧亚大陆东南边缘形成了稳定的巽他陆块,其边界在南沙地块的东缘<sup>[6]</sup>。三叠系之上是侏罗纪—白垩纪的不整合地层,下部岩性复杂,有灰岩、泥岩、砂岩等,厚度可达3 000 m。南沙地块自三叠纪到早白垩世都处于海相环境,在晚白垩世初突然上升成陆,形成了一个区域不整合<sup>[6]</sup>。白垩纪末,年龄约101~76 Ma的花岗岩大规模侵入<sup>[28]</sup>。始新世时南沙地块与加里曼丹发生碰撞。中新世末,澳大利亚陆块与巽他弧沟系碰撞<sup>[29]</sup>和菲律宾岛弧沿NW走向的断裂左行滑动到达南海东部<sup>[30]</sup>,这都使研究区域应力场由张性重新变为压性,并持续至今<sup>[6]</sup>。研究区新生代以来发生的区域构造运动可划分为4次主要的构造运动,即中生代末至新生代初的礼乐运动、中晚始新世的西卫运动、早渐新世的南海运动和中晚中新世的南沙运动<sup>[20,21]</sup>,4次运动塑造了该区复杂的地质现象。在中、新生代地层中普遍存在两个区域性的不整合面,把沉积层分为上、中、下三组建造系列或构造层。下构造层主要是中生界,据礼乐滩的钻孔和拖网取样分析为滨海—沼泽相含煤建造,代表稳定克拉通沉积;中构造层为古新统一始新统,具有断陷特征,礼乐滩钻孔显示为滨海—浅海一半深海相复理石建造,早于万安和曾母盆地附近的突变事件<sup>[26]</sup>;上构造层主要为上渐新统一第四系,部分地区包括晚始新世至早渐新世沉积,各盆

地表现为浅海一半深海沉积,构造沉积特征基本相似<sup>[26]</sup>。

研究区在伸展和挤压构造作用下形成了一系列盆地<sup>[31]</sup>。根据盆地演化阶段的主控因素,可将区域内地盆划分:裂陷盆地群(南薇西、北康、礼乐)、裂陷—拉分—前陆叠合盆地(曾母)以及裂陷—前陆盆地群<sup>[32]</sup>。曾母盆地是研究区最大的新生代沉积盆地,其基底较为复杂,南部基底为晚白垩世—始新世浅变质深海浊积岩,西部和西南部基底为中生代—古新世火成岩,东部和北部基底不明<sup>[33]</sup>,盆地新生代地层发育完整,中新世—上新世有中酸性岩浆活动<sup>[34]</sup>。万安盆地的基底是由长期风化剥蚀的中生代花岗岩、花岗闪长岩和中生代沉积变质岩组成的<sup>[35]</sup>,国外已有多口钻井钻遇该套岩层<sup>[36]</sup>,基底之上沉积超过10 km的碎屑沉积物和碳酸盐岩及生物礁体<sup>[24]</sup>。北康盆地基底主要是火成岩及新生代前期变质岩<sup>[37]</sup>,沉积盖层由7套地层组成,最厚可达12 km,发育三组断层,以雁行排列的NE向为主<sup>[38]</sup>。南薇西盆地基底为前新生代变质岩及中酸性—基性火成岩组成<sup>[39]</sup>,沉积盖层为新生代地层,具南厚北薄,西厚东薄特征,主要为滨海—浅海相沉积<sup>[38]</sup>。礼乐盆地地壳为过渡型地壳,可分为三层,上地壳以沉积层为主,中地壳由中生代变质岩、岩浆岩组成,下地壳磁性较强,属基性岩类<sup>[39]</sup>,新生代发育海相碎屑岩和碳酸盐岩沉积<sup>[40]</sup>。

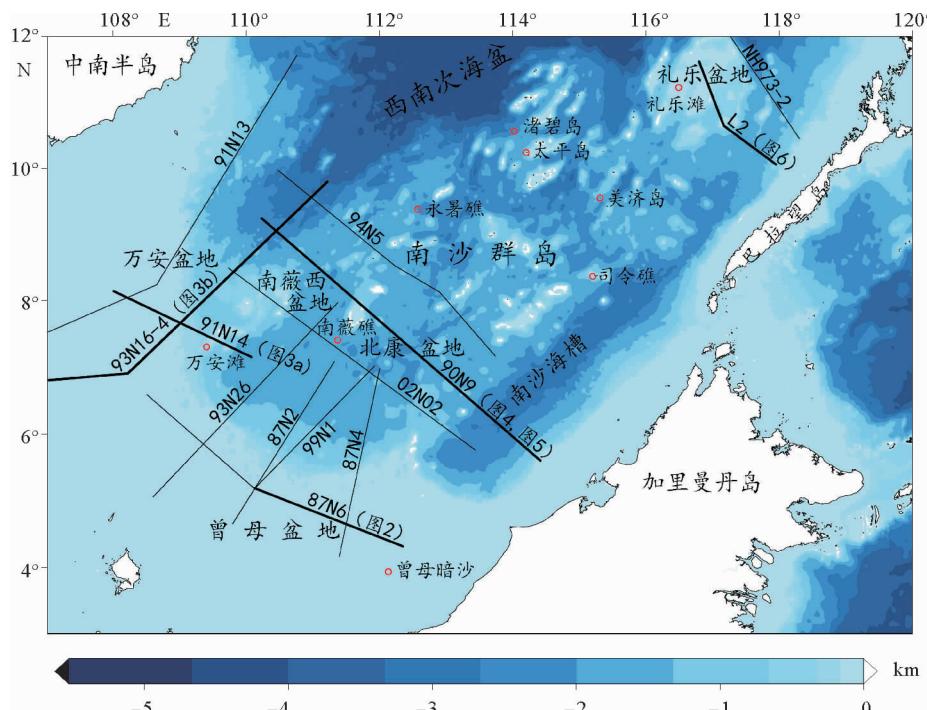


图 1 南海南部盆地、岛礁及测线分布简图

Fig. 1 Distribution of some basins, island reefs and seismic lines in the southern South China Sea

## 2 主要构造单元的突变事件

南海南部珊瑚礁区的沉积盆地有曾母盆地、万安盆地、北康盆地、南薇西盆地和礼乐盆地等。这些盆地大多形成和发育于新生代以来,保存了较好的地层不整合面。地层不整合是突变事件在沉积地层中的一种反映,通过对地层不整合记录的对比分析,可揭示研究区演化过程中的突变事件<sup>[4,26,41]</sup>。

### 2.1 曾母盆地发生的突变事件

曾母盆地位于南沙群岛西南部,主体在大陆架之上,是一个新生代后期的前陆盆地,覆盖在新生代早期被动陆缘沉积之上<sup>[42]</sup>。据前人的研究和中科院南海海洋研究所的调查资料发现,在曾母盆地及其邻近海区的中、新生代海相沉积中普遍存在上(I)、中(II)、下(III)3个构造层或地层建造,往往以T<sub>g</sub>和T<sub>h</sub>两个区域性不整合面为界(图7)。下构造层主要为白垩系,基底岩性较为复杂,南部由变质深海浊积岩等组成,西部和西南部由火成岩组成<sup>[33]</sup>;中构造层为古新统—始新统,据地震相特征分析,其由滨海—浅海一半深海相复理石建造组成,反映被动陆缘沉积;上构造层主要为上渐新统—第四系,部分地区包括晚始新世—早渐新世的沉积,具有多个海退沉积旋回组成的复理石建造,总特征是盆地南缘靠近造山带为河流相、滨海沼泽相沉积,盆地中、北部为浅海一半深海相灰岩、页岩沉积,上构造层可分为4套海退沉积,反映前陆盆地南侧造山带在新生代晚期的主要造山事件<sup>[43]</sup>。地层描述结合地球物理资料(图2),发现该盆地主要存在6次明显的突变事件(图中黑线),其时代分别为晚白垩

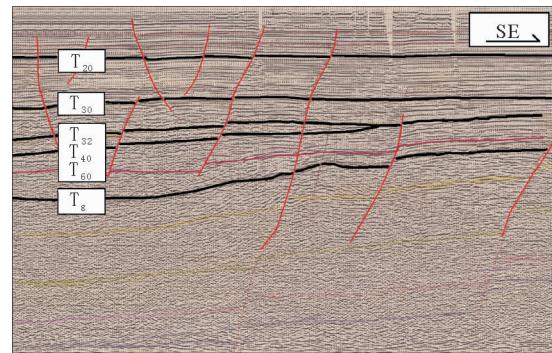


图2 曾母盆地87N6测线局部反射特征(修改自文献[26])  
Fig. 2 Profile 87N6 in Zengmu Basin (modified from [26])

世晚期、始新世晚期、早中新世后期、中中新世末、晚中新世末和上新世末。

### 2.2 万安盆地发生的突变事件

万安盆地位于南沙群岛西南部,为新生代晚期陆缘盆地。盆地基底为中生界中酸性喷发岩和玄武质砾岩、砂页岩组成<sup>[35]</sup>,新生代沉积从渐新世到第四纪,与基底呈不整合接触,大部分地区缺失古新统—始新统。早中新世起,盆地整体断坳沉降,从非海相变为海陆交互相,再到陆架沉积<sup>[44]</sup>。早中新世末存在一个不整合—假整合界面,其上为滨海沼泽—浅海相泥岩和砂岩沉积。中中新世末,浅滩—滨浅海转化为以滨浅海及台地为主,岩性变为以碎屑岩为主。上新世到第四纪,为巨厚泥岩夹砂岩沉积到砂泥互层,沉积环境由半深海到深海。上述地层描述结合地球物理资料(图3),显示该盆地主要存在5次突变事件(图中黑线),其时代分别为晚白垩世晚期、始新世末、早中新世末、中中新世末和晚中新世晚期。

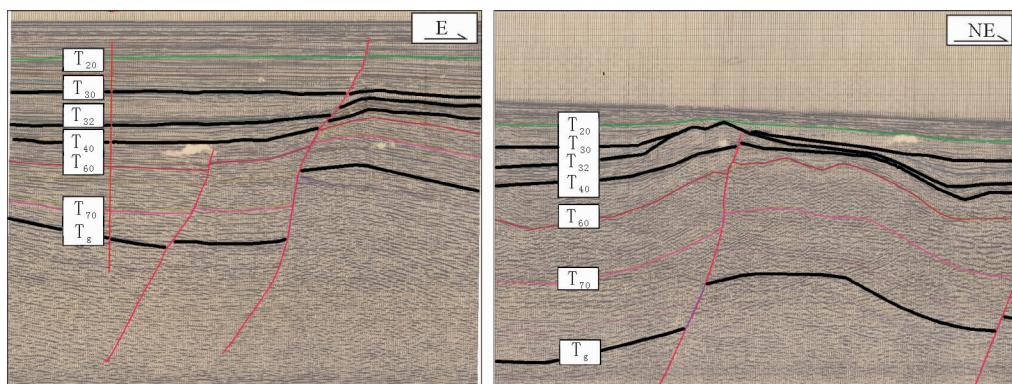


图3 万安盆地91N14和93N16-4测线局部反射特征(修改自文献[26])  
Fig. 3 Profiles 91N14 and 93N16-4 in Wan'an Basin (modified from [26])

### 2.3 北康盆地发生的突变事件

北康盆地位于南沙地块中部,白垩纪末酸性—基性火成岩和变质岩<sup>[25]</sup>经过长期风化剥蚀形成盆地的基底面。古新世—中始新世是盆地断陷期,发育三角洲相、浅海—半深海相,岩性以砂泥岩为主<sup>[45]</sup>,沉积环境以陆相沉积为主<sup>[46]</sup>。在中始新世、早渐新世—上新世和上新世—第四纪期间,经历3次快速沉降作用。晚始新世—中中新世为拗陷期,盆地主体转为海相沉积,盆地发育滨浅海相泥岩,碳酸盐台地和生物礁发育在隆起区。中新世—晚中新世,水体加深,碳酸盐台地淹没,陆源物质供应增加<sup>[37]</sup>,泥质岩仅盆地南部发育。晚中新世—第四纪区域沉降期,滨浅海—半深海相泥岩发育<sup>[45]</sup>。上述地层描述结合地球物理资料(图4),发现该盆地主要存在4次突变事件(图中黑线),其时代分别为白垩世末、中始新世末、中新世末和晚中新世末。

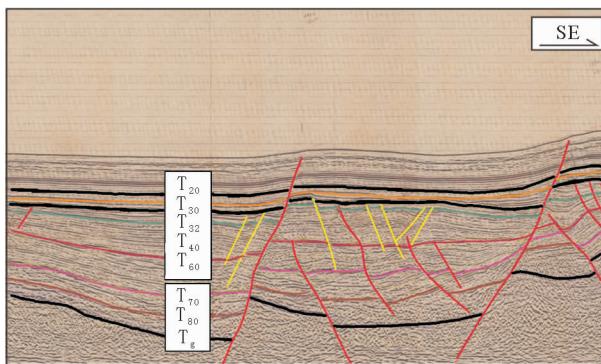


图4 北康盆地 90N9 测线局部反射特征 (修改自文献[26])

Fig. 4 Profile 90N9 in Beikang Basin (modified from [26])

### 2.4 南薇西盆地发生的突变事件

南薇西盆地位于南沙中部海域陆坡区,为新生代沉积盆地,其成盆始于白垩纪晚期,发育的主要地层为古新统—第四系。在古新世—中始新世期间,该盆地陆相沉积发育,沉积以河流、冲积扇、扇三角洲和湖泊相为主的陆相地层。早渐新世末,仅在东北部隆起内局部发育潟湖,南部断层下降盘一侧还零星分布扇状三角洲,滨岸平原内局部也发育漫滩泥岩和煤层。在晚渐新世—中新世期间,盆地由北向东南依次解释为浅海砂泥相、浅海偏泥相和浅海—半深海偏泥相<sup>[47]</sup>。中新世末全区经历强烈的抬升剥蚀后,在晚中新世,盆地进入了沉降阶段,该时期仅西北部为浅海相沉积,大部分地区均为半深海相沉积,至上新世—第四纪水深进一步加大,

形成了较稳定、物源较缺乏的半深海相细碎屑沉积,全区已形成统一的沉积格局<sup>[48]</sup>。上述地层描述结合地球物理资料(图5),表明该盆地主要存在4次明显的突变事件(图中黑线),其时代分别为晚白垩世末、中始新世晚期、晚渐新世和中新世末。

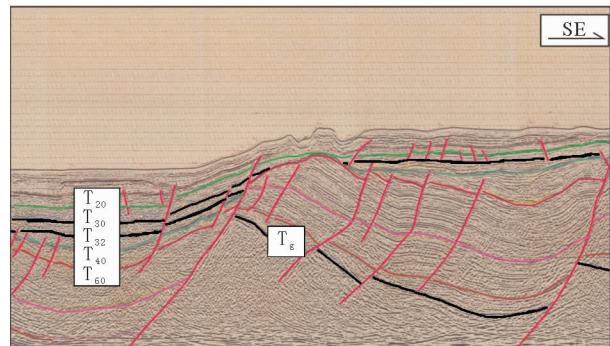


图5 南薇西盆地 90N9 测线局部反射特征

(修改自文献[26])

Fig. 5 Profile 90N9 in NanWeiXi Basin (modified from [26])

### 2.5 礼乐盆地发生的突变事件

礼乐盆地位于南沙群岛东北部,为新生代沉积盆地。据 Sampaguita-1 井揭示<sup>[26]</sup>,该盆地基底为早白垩世地层,浅海相含煤碎屑岩建造,反映稳定克拉通沉积;古新统—始新统为滨浅海—半深海相复理石建造,代表被动陆缘的沉积建造,与下伏地层呈不整合接触;晚渐新世后,盆地进入整体沉降阶段,以海相碳酸盐岩和碎屑岩沉积序列为主,形成披覆盖层沉积<sup>[39]</sup>。中新世地层以浅海沉积为主,随后地层抬升褶皱明显,上中新世以来盆地进入区域沉降阶段,沉积浅海—半深海砂、泥相和台地碳酸盐岩、生物礁相地层<sup>[40]</sup>。上述地层描述结合地球物理资料(图6),表明该盆地主要存在4次明显的突变事件(图中黑线),其时代分别为晚白垩世晚期—早古新世早期、晚始新世、晚渐新世和中新世末。

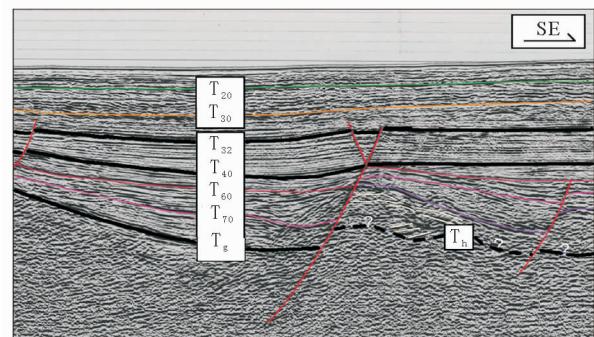


图6 礼乐盆地 90N9 测线局部反射特征 (修改自文献[26])

Fig. 6 Profile L2 in Liyue Basin (modified from [26])

### 3 突变事件对比分析

根据各盆地地层中所记录的主要不整合事件：曾母盆地主要发生在晚白垩世晚期、始新世晚期、早中新世后期、中中新世末、晚中新世末和上新世末；万安盆地主要发生于晚白垩世晚期、始新世末、早中新世末、中中新世末和晚中新世晚期；北康盆地主要发生于白垩世末、中始新世末、中中新世末和晚中新世末；南薇西盆地主要发生于晚白垩世末、中始新世晚期、晚渐新世和中中新世末；礼乐盆地主要发生于晚白垩世晚期—早古新世早期、晚始新世、晚渐新世和中中新世末。将以上地层不整合事件进行汇总，整理出各盆地突变事件对比图（图7）。

**晚白垩世晚期—早古新世早期：**5个盆地中保存的突变事件均是构造不整合事件，这表明研究区发生了区域性的构造事件。在晚白垩世时期，太平洋板块的运动方向由北西向转为北向，平均汇聚速率由130 mm/a下降为78 mm/a，构造应力场也由挤压转为拉张<sup>[8]</sup>。一系列的运动变化导致古南海发生早期的裂陷运动<sup>[49]</sup>，形成于中生代末的“古南海陆块”由于持续的裂陷作用而分解，这一阶段是古南海的扩张阶段。东亚陆缘也发生裂解，为研究区盆地的形成奠定基础。这次张性构造运动称为礼乐运动，与南海北部陆缘的神狐运动相当<sup>[20]</sup>，礼乐运动是研究区此时期发生构造突变事件的原因。新生代，南沙地块的构造活动主要受到NW方向构造应

力场影响，而万安盆地的构造活动主要受其东侧的万安断裂影响<sup>[36]</sup>，与万安盆地相比，曾母盆地的构造活动特征与南沙地块较为接近。因此，万安盆地的突变事件与曾母盆地、北康盆地和南薇西盆地的不尽相同。

**晚始新世：**研究区再次记录到区域性的构造不整合面。在这个时期前后，东南亚地区发生了板块的重组和运动变化，印度板块与欧亚板块碰撞，造成青藏高原的隆升，太平洋板块俯冲方向转为NWW向，印度板块发生第三次海底扩张，菲律宾海板块形成<sup>[21]</sup>。古南海进入闭合阶段，其向南俯冲灭亡，其中西段先开始消亡，古洋盆伴随着消失。南沙块体从华南地块裂解向南挤压，研究区的构造特征由断拗向挤压改造转变，并伴有岩浆活动，这一普遍性的构造运动，造成了区域性的抬升，称为西卫运动<sup>[20]</sup>。5个盆地所记录的构造不整合面正是由该运动造成的。万安盆地自中侏罗世开始，受燕山运动的影响，长期抬升，经历较长时间的风化剥蚀作用，直到晚始新世发生改变，因此盆地内大部分地区缺失古新统一始新统<sup>[44]</sup>。

**早中新世期间：**只有北康盆地没有记录到地层不整合，曾母盆地和万安盆地记录到侵蚀不整合面。其原因可能是16 Ma之前南沙地块仍未与婆罗洲相撞，两者以大洋盆地相连；在16 Ma时该盆地关闭，两者发生碰撞<sup>[50]</sup>。位于南沙地块中部的北康盆地，中东部被海水覆盖，在这一时期处于坳陷下降，至到早中新世末，北康盆地遭到挤压抬升<sup>[46]</sup>，在此

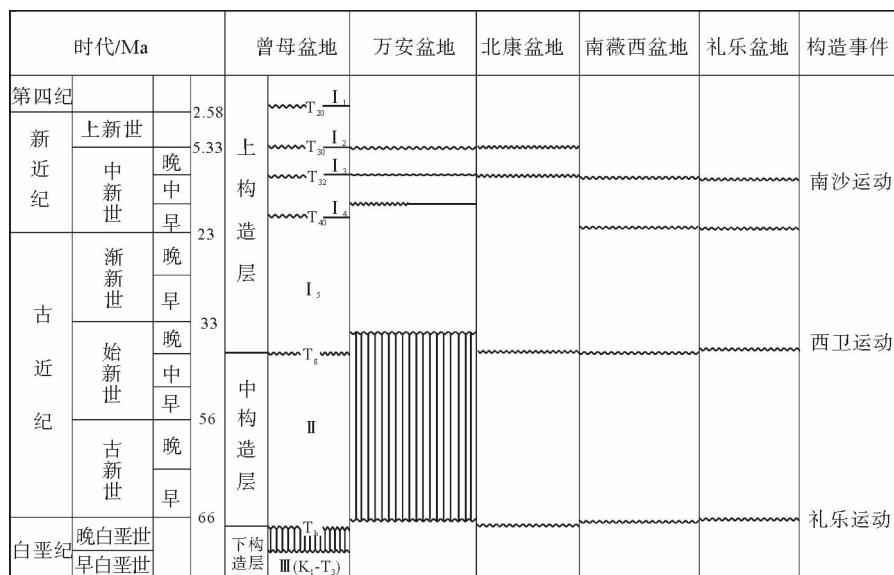


图7 南海南部珊瑚礁区的地层不整合(修改自文献[20,25,26,33,35,37,39,40,42-48])

Fig. 7 Stratigraphic disconformity in coral reef area of the southern South China Sea

(modified from [20,25,26,33,35,37,39,40,42-48])

期间北康盆地相对稳定。同时期发生全球性的海水急剧下降,伴随着南海运动,南海东部次海盆发生扩张运动,扩展方向变为南北向,但是该构造运动并不强烈,岩浆活动也不强烈<sup>[21]</sup>,研究区记录的不整合面既受构造影响又受海平面变化的影响。

**中中新世末:**研究区各盆地均记录到构造不整合事件,其原因是中中新世期间,北向漂移的澳大利亚板块与菲律宾海板块相撞,向北漂移的菲律宾弧与巴拉望地块发生碰撞,菲律宾海向欧亚大陆的俯冲,使得南海地区处于挤压的构造应力场之下,从而引发了南沙运动<sup>[21]</sup>,与南海北部的东沙运动和台湾的海岸山脉运动相对应。南沙运动表现为盆地的走滑和挤压改造,构造活动强烈,整个研究区都受其影响,南沙地块发生了大规模的北西向逆冲<sup>[16]</sup>,岩浆活动沿着断裂向上侵入,形成较多的基性火成岩体<sup>[20]</sup>。南沙运动使得古南海洋壳加速向南滑动以及古南海的彻底消亡。现今南海的扩张可能始于华南地块与南沙地块之间的一个渐新世中期开裂的古隆起,在中中新世期间,隆起进一步地裂开、塌陷,随着南北向的海底扩张,形成了中央为洋壳、周边为大陆边缘的边缘海格局<sup>[8]</sup>,从而奠定了现今南沙海域的构造格局。

**晚中新世至今:**研究区主要在曾母、万安和北康盆地记录到侵蚀不整合。自中中新世末,南海海底扩张处于停滞状态,构造应力场处于松弛状态,其原因可能是作为裂陷活动驱动力的俯冲板块在约 8 Ma 时发生了拆沉作用<sup>[51]</sup>,构造活动相比此前平静很多,构造对于沉积作用的影响显著减少,自晚中新世末至第四纪,研究区发生海平面下降<sup>[44]</sup>,因此,研究区所保存的地层不整合均为侵蚀不整合面。礼乐盆地的构造背景有所不同,菲律宾海板块的 NW 向仰冲,使礼乐盆地发生区域性的拱起,并且在西北巴拉望北侧产生一系列逆冲断层<sup>[52]</sup>,可能导致未记录到不整合面。曾母盆地的海平面在上新世末达到最浅,并且伴有中基性、基性岩的喷发<sup>[34]</sup>,盆地因此记录了侵蚀不整合面。

## 4 结论

通过对前人工作的总结分析,结合收集到的地震物理资料,在研究区的曾母盆地、万安盆地、北康盆地、南薇西盆地和礼乐盆地中识别出多期次的突变事件,并对不同盆地同一时期内突变事件进行对比研究。

在白垩纪末—早古新世期间、晚始新世和中

新世末,5个盆地均记录到构造不整合事件,这是由于研究区发生了区域性的构造运动,分别是礼乐运动、西卫运动和南沙运动,随着 3 次运动,古南海由扩张转变向萎缩,古新世后南海的洋壳由扩张转向萎缩,构造应力场的性质由断拗转变为挤压构造,再由挤压构造转为区域沉降。早中新世除北康盆地外其余 4 个盆地均记录到侵蚀不整合面,这一时期全球海平面下降,而构造活动并不强烈,所以区域内的突变事件以侵蚀不整合为主,北康盆地的缺失是由于南沙地块的运动。中中新世末至今,南海南北向的海底扩张处于停滞状态,处于松弛状态的构造应力场对于沉积的影响显著减少,研究区内突变事件以侵蚀不整合为主。以曾母盆地为例,其为新生代沉积盆地,在白垩纪形成基底后发生 6 次突变事件,在时空上向南(或西南)向北(或北东)迁移,且强度由强变弱,力的性质由压、张—压交替到压,并随着海平面的升降,多次发生海进海退,构造不整合面和侵蚀不整合面在不同时期均有分布。

## 参考文献(References)

- [1] 姚伯初,万玲,刘振湖.南海海域新生代沉积盆地构造演化的动力学特征及其油气资源[J].地球科学—中国地质大学学报,2004,29(5): 543-549. [YAO Bochu, WAN Ling, LIU Zhenhu. Tectonic dynamics of Cenozoic sedimentary basins and hydrocarbon resources in the South China Sea[J]. Earth Science-Journal of China University of Geosciences, 2004, 29 (5): 543-549.]
- [2] 国土资源部油气资源战略研究中心.新一轮全国油气资源评价[M].北京:中国大地出版社,2009: 1-383. [Strategic Research Center of Oil And Gas Resources, M L R. A New Round of Oil and Gas Resources Evaluation[M]. Beijing: China Land Publishing House, 2009: 1-383.]
- [3] 夏戡原.南沙群岛及其邻近海区地质地球物理与油气资源[M].北京:科学出版社,1996: 252. [XIA Kanyuan. Geological, Geophysical and Hydrocarbon Resources in Nansha Islands and Adjacent Areas [M]. Beijing: Science Press, 1996: 252.]
- [4] Taylor B, Hayes D E. Origin and history of the South China Sea basin[C]// Hayes D E. The Tectonic and Geologic Evolution of Southeast Asian Seas and Islands: Part 2. Washington: AGU, 1983: 23-56.
- [5] 夏戡原,黄慈流.南海中生代特提斯期沉积盆地的发现与找寻中生代含油气盆地的前景[J].地学前缘,2000,7(3): 227-238. [XIA Kanyuan, HUANG Ciliu. The discovery of Mesotethys sedimentary basins in the South China Sea and their oil And gas perspective[J]. Earth Science Frontiers, 2000, 7(3): 227-238.]
- [6] 周蒂,吴世敏,陈汉宗.南沙海区及邻区构造演化动力学的若

- 干问题[J]. 大地构造与成矿学, 2005, 29(3): 339-345. [ZHOU Di, WU Shimin, CHEN Hanzong. Some remarks on the tectonic evolution of Nansha and its adjacent regions in Southern South China Sea[J]. Geotectonica et Metallogenica, 2005, 29(3): 339-345.]
- [7] 姚伯初. 南海海盆新生代的构造演化史[J]. 海洋地质与第四纪地质, 1996, 16(2): 1-13. [YAO Bochu. Tectonic evolution of the South China Sea in Cenozoic[J]. Marine Geology & Quaternary Geology, 1996, 16(2): 1-13.]
- [8] 张功成, 王璞珺, 吴景富, 等. 边缘海构造旋回: 南海演化的新模式[J]. 地学前缘, 2015, 22(3): 27-37. [ZHANG Gongcheng, WANG Pujun, WU Jingfu, et al. Tectonic cycle of marginal oceanic basin: a new evolution model of the South China Sea[J]. Earth Science Frontiers, 2015, 22(3): 27-37.]
- [9] Cullen A, Reemst P, Henstra G, et al. Rifting of the South China Sea: new perspectives[J]. Petroleum Geoscience, 2010, 16(3): 273-282.
- [10] 金庆焕. 南海地质与油气资源[M]. 北京: 地质出版社, 1989: 20-27. [JIN Qinghuan. Geology and Oil-Gas Resources of South China Sea[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1989: 20-27.]
- [11] Zhou D, Ru K, Chen H Z. Kinematics of Cenozoic extension on the South China Sea continental margin and its implications for the tectonic evolution of the region[J]. Tectonophysics, 1995, 251(1-4): 161-177.
- [12] 张云帆, 廖杰, 孙珍, 等. 南沙海域构造沉降特征[J]. 地球科学—中国地质大学学报, 2011, 36(5): 949-955. [ZHANG Yunfan, LIAO Jie, SUN Zhen, et al. Characteristics of tectonic Subsidence of Nansha area[J]. Earth Science-Journal of China University of Geosciences, 2011, 36(5): 949-955.]
- [13] 金庆焕, 李唐根. 南沙海域区域地质构造[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2000, 20(1): 1-8. [JIN Qinghuan, LI Tanggen. Regional geologic tectonics of the Nansha Sea area[J]. Marine Geology & Quaternary Geology, 2000, 20(1): 1-8.]
- [14] 刘昭蜀. 南海地质构造与油气资源[J]. 第四纪研究, 2000, 20(1): 69-77. [LIU Zhaochu. Geotectonic and hydrocarbon resources in the South China Sea[J]. Quaternary Sciences, 2000, 20(1): 69-77.]
- [15] 苏达权, 黄慈流, 夏戡原. 论南沙海槽的地壳性质[J]. 地质科学, 1996, 31(4): 409-415. [SU Daquan, HUANG Ciliu, XIA Kanyuan. The crust in the Nansha trough[J]. Chinese Journal of Geology, 1996, 31(4): 410-415.]
- [16] 吴世敏, 周蒂, 刘海龄. 南沙地块构造格局及其演化特征[J]. 大地构造与成矿学, 2004, 28(1): 23-28. [WU Shimin, ZHOU Di, LIU Hailing. Tectonic framework and evolutionary characteristics of Nansha Block, South China Sea[J]. Geotectonica Et Metallogenica, 2004, 28(1): 23-28.]
- [17] 杨木壮, 吴进民, 杨锐, 等. 南沙海域西南部地层划分及命名[J]. 南海地质研究, 1996(8): 37-47. [YANG Muzhuang, WU Jinmin, YANG Rui, et al. Stratigraphic division and nomenclature of the Southwestern Nansha Sea area[J]. Research of Eological South China Sea, 1996(8): 37-47.]
- [18] 姚永坚, 杨楚鹏, 李学杰等. 南海南部海域中中新世( $T_3$ 界面)构造变革界面地震反射特征及构造含义[J]. 地球物理学报, 2013, 56(4): 1274-1286. [YAO Yongjian, YANG Chupeng, LI Xuejie, et al. The seismic reflection characteristics and tectonic significance of the tectonic revolutionary surface of Mid-Miocene ( $T_3$  seismic interface) in the Southern South China Sea[J]. Chinese Journal of Geophysics, 2013, 56(4): 1274-1286.]
- [19] 周蒂, 孙珍, 杨少坤, 等. 南沙海区曾母盆地地层系统[J]. 地球科学—中国地质大学学报, 2011, 36(5): 789-797. [ZHOU Di, SUN Zhen, YANG Shaokun, et al. The stratigraphic system of the Zengmu basin, the southern South China Sea[J]. Earth Science-Journal of China University of Geosciences, 2011, 36(5): 789-797.]
- [20] 姚永坚, 姜玉坤, 曾祥辉. 南沙海域新生代构造运动特征[J]. 中国海上油气(地质), 2002, 16(2): 113-117, 124. [YAO Yongjian, JIANG Yukun, ZENG Xianghui. Cenozoic tectonic movements in Nansha area, South China Sea[J]. China Offshore Oil and Gas (Geology), 2002, 16(2): 113-117, 124.]
- [21] 万玲, 吴能友, 姚伯初, 等. 南沙海域新生代构造运动特征及成因探讨[J]. 南海地质研究, 2003: 8-16. [WAN Ling, WU Nengyou, YAO Bochu, et al. Cenozoic tectonic movement and the genetic discussion in Nansha sea area[J]. Geological Research of South China Sea, 2003: 8-16.]
- [22] 孙珍, 赵中贤, 李家彪, 等. 南沙地块内破裂不整合与碰撞不整合的构造分析[J]. 地球物理学报, 2011, 54(12): 3196-3209. [SUN Zhen, ZHAO Zhongxian, LI Jiabao, et al. Tectonic analysis of the breakup and collision unconformities in the Nansha[J]. Chinese Journal of Geophysics, 2011, 54(12): 3196-3209.]
- [23] 姚伯初. 南海南部地区的新生代构造演化[J]. 南海地质研究, 1994: 1-15. [YAO Bochu. Tectonical evolution on the southern margin of South China Sea[J]. Geoloical Research of South China Sea, 1994: 1-15.]
- [24] 邱燕, 吴进民. 南沙海域万安盆地地震相解释及沉积相分析[J]. 南海地质研究, 1995: 30-41. [QIU Yan, WU Jinmin. Seismic facies interpretation and sedimentarl facies analysis of the Wan'an Basin, South China Sea[J]. Geological Research of South China Sea, 1995: 30 -41.]
- [25] 刘振湖, 郭丽华. 北康盆地沉降作用与构造运动[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2003, 23(2): 51-57. [LIU Zhenhu, GUO Lihua. Sedimene and tectonic evolution of the Beikang Basin, the South China Sea[J]. Marine Geology & Quaternary Geology, 2003, 23(2): 51-57.]
- [26] 孙珍, 赵中贤, 周蒂, 等. 南沙海域盆地的地层系统与沉积结构[J]. 地球科学—中国地质大学学报, 2011, 36(5): 798-806. [SUN Zhen, ZHAO Zhongxian, ZHOU Di, et al. The stratigraphy and the sequence architecture of the basins in Nansha Region[J]. Earth Science-Journal of China University of Geosciences, 2011, 36(5): 798-806.]
- [27] 王国忠. 南海珊瑚礁区沉积学[M]. 北京: 海洋出版社, 2001: 48-73. [Wang Guozhong. Sedimentology of Coral

- Reefs in South China Sea [M]. Beijing: China Ocean Press, 2001: 48-73.]
- [28] 钟建强. 南沙群岛含油气盆地的前新生代基底及与北部陆缘的关系[J]. 中国海上油气(地质), 1997, 11(2): 124-130. [ZHONG Jianqiang. Pre-Cenozoic basement of oil and gas bearing basins in Nansha islands and its relationship with north continental margin [J]. China Offshore Oil and Gas (Geology), 1997, 11(2): 124-130.]
- [29] Hall R, Ali J R, Anderson C D, et al. Origin and motion history of the Philippine Sea Plate[J]. Tectonophysics, 1995, 251(1-4): 229-250.
- [30] Rona P A, Richardson E S. Early cenozoic global plate reorganization[J]. Earth and Planetary Science Letters, 1978, 40 (1): 1-11.
- [31] Morley C K. A tectonic model for the Tertiary evolution of strike-slip faults and rift basins in SE Asia[J]. Tectonophysics, 2002, 347(4): 189-215.
- [32] 熊莉娟, 李三忠, 索艳慧, 等. 南海南部新生代控盆断裂特征及盆地群成因[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2012, 32(6): 113-127. [XIONG Lijuan, LI Sanzhong, SUO Yanhui, et al. Cenozoic basin-controlling faults and the their bearing on basin groups formaion in the southren South China Sea [J]. Marine Geology & Quaternary Geology, 2012, 32(6): 113-127.]
- [33] 姚永坚, 吴能友, 夏斌, 等. 南海南部海域曾母盆地油气地质特征 [J]. 中国地质, 2008, 35 (3): 503-513. [YAO Yongjian, WU Nengyou, XIA Bin, et al. Petroleum geology of the Zengmu Basin in the southern South China Sea [J]. Geology in China, 2008, 35(3): 503-513.]
- [34] 吴庐山, 邱燕, 解习农, 等. 南海西南部曾母盆地早中新世以来沉降史分析[J]. 中国地质, 2005, 32 (3): 370-377. [WU Lushan, QIU Yan, XIE Xinong, et al. Analysis of the subsidence history of the Zengmu basin in the southwest South China Sea since the early Miocene [J]. Geology in China, 2005, 32(3): 370-377.]
- [35] Areshev E G, Dong T L, San N T, et al. Reservoirs in fractured basement on the continental-shelf of Southern Vietnam [J]. Journal of Petroleum Geology, 1992, 15(4): 451-464.
- [36] 杨木壮, 王明君, 梁金强, 等. 南海万安盆地构造沉降及其油气成藏控制作用[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2003, 23 (2): 85-88. [YANG Muzhuang, WANG Mingjun, LIANG Jinqiang, et al. Tectonic subsidence and its control on hydrocarbon resources in Wan'an Basin in the South China Sea [J]. Marine Geology & Quaternary Geology, 2003, 23(2): 85-88.]
- [37] 王嘹亮, 梁金强, 曾繁彩. 北康盆地新生代沉积特征[J]. 南海地质研究, 2000: 58-72. [WANG Liaoliang, LIANG Jinjiang, ZENG Fancai. Cenozoic sedimentary of Beikang Basin [J]. Geological Research of South China Sea, 2000: 58-72.]
- [38] 刘振湖. 南海南沙海域沉积盆地与油气分布[J]. 大地构造与成矿学, 2005, 29(3): 410-417. [LIU Zhenhu. Distribution of sedimentary basins and petroleum potential in Southern South China Sea [J]. Geotectonica et Metallogenica, 2005, 29 (3): 410-417.]
- [39] 孙龙涛, 孙珍, 周蒂, 等. 南沙海区礼乐盆地沉积地层与构造特征分析[J]. 大地构造与成矿学, 2008, 32(2): 151-158. [SUN Longtao, SUN Zhen, ZHOU Di, et al. Stratigraphic and structural characteristics of Lile Basin in Nansha area [J]. Geotectonica et Metallogenica, 2008, 32(2): 151-158.]
- [40] 张莉, 李文成, 曾祥辉. 礼乐盆地地层发育特征及其与油气的关系[J]. 石油实验地质, 2003, 25 (5): 469-472, 480. [ZHANG Li, LI Wencheng, ZENG Xianghui. Stratigraphic sequence and hydrocarbon potential in Lile basin [J]. Petroleum Geology & Experiment, 2003, 25(5): 469-472, 480.]
- [41] 姚伯初, 曾维军, Hayesde, 等. 中美合作调研南海地质专报 [M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1994: 204. [YAO Bochu, ZENG Weijun, Hayesde, et al. The Geological Memoir of South China Sea Surveyed Jointly by China & USA [M]. Wuhan: China University of Geoscience Press Co., 1994: 204.]
- [42] 中国科学院南海海洋研究所. 曾母暗沙——中国南疆综合调查研究报告[R]. 北京: 科学出版社, 1987: 13-23. [South China Sea Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences. Zengmu Ridge—the Report on the Comprehensive Investigation of Southern China [R]. Beijing: China Science Publishing & Media Ltd, 1987: 13-23.]
- [43] 中国科学院南沙综合科学考察队. 南沙群岛及其邻近海区地质地球物理及岛礁研究论文集(二)[M]. 北京: 科学出版社, 1996: 13-23. [Chinese Academy of Sciences Nansha Comprehensive Scientific Research Team. A Proceedings of Geological Geophysics and Island Reef Research on the Nansha Islands and Its Adjacent Sea Areas, South China Sea (2) [M]. Beijing: China Science Publishing & Media Ltd, 1996: 13-23.]
- [44] 吴峻岐, 高红芳, 孙桂华. 南沙海域万安盆地地质构造与沉积体系特征[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2012, 32(5): 1-11. [Wu Jiaoqi, Gao Hongfang, Sun Guihua. Geological structure and sedimentary systems of the Wan'an basin, Nansha Waters [J]. Marine Geology & Quaternary Geology, 2012, 32(5): 1-11.]
- [45] 张厚和, 刘鹏, 廖宗宝, 等. 南沙海域北康盆地油气勘探潜力[J]. 中国石油勘探, 2017, 22(3): 40-48. [ZHANG Houhe, LIU Peng, LIAO Zongbao, et al. Oil and gas exploration potential in Beikang basin, the Nansha sea area [J]. China Petroleum Exploration, 2017, 22(3): 40-48.]
- [46] 王嘹亮, 吴能友, 周祖翼, 等. 南海西南部北康盆地新生代沉积演化史[J]. 中国地质, 2002, 29(1): 96-102. [WANG Liaoliang, WU Nengyou, ZHOU Zuyi, et al. History of the Cenozoic sedimentary evolution of the Beikang Basin, southwestern South China Sea [J]. Geology in China, 2002, 29 (1): 96-102.]
- [47] 徐行, 姚永坚, 王立非. 南海南部海域南薇西盆地新生代沉积特征[J]. 中国海上油气(地质), 2003, 17(3): 170-175. [XU Xing, YAO Yongjian, WANG Lifei. Cenozoic sedimentation of NanWeixi basin, the Southern South China Sea [J]. China Offshore Oil and Gas (Geology), 2003, 17(3): 170-175.]

- [48] 高红芳. 南沙中部海域南薇西盆地、南薇东盆地构造演化差异性分析[J]. 南海地质研究, 2003(14): 35-44. [GAO Hongfang. Comparison study of tectonic evolution between Nanweixi basin and Nanweidong basin, South China Sea[J]. Geological Research on the China Sea, 2003(14): 35-44.]
- [49] 孙晓猛, 张旭庆, 张功成, 等. 南海北部新生代盆地基底结构及构造属性[J]. 中国科学地球科学, 2014, 44(6): 1312-1323. [SUN Xiaomeng, ZHANG Xuqing, ZHANG Gongcheng, et al. Texture and tectonic attribute of Cenozoic basin basement in the northern South China Sea[J]. Science China Earth Sciences, 2014, 57(6): 1199-1211.]
- [50] Clift P, Lee G H, Duc N A, et al. Seismic reflection evidence for a Dangerous Grounds miniplate: No extrusion origin for the South China Sea[J]. Tectonics, 2008, 27(3): TC3008.
- [51] Morley C K. Major unconformities termination of extension events and associated surfaces in the South China Seas: Review and implications for tectonic development[J]. Journal of Asian Earth Sciences, 2016, 120: 62-86.
- [52] 李鹏春, 赵中贤, 张翠, 等. 南沙海域礼乐盆地沉积过程和演化[J]. 地球科学—中国地质大学学报, 2011, 36(5): 837-844. [LI Pengchun, ZHAO Zhongxian, ZHANG Cui, et al. Depositional process and evolution of Liyue Basin in Southern South China Sea[J]. Earth Science-Journal of China University of Geosciences, 2011, 36(5): 837-844.]

## ANALYSIS OF CENOZOIC ABRUPT EVENTS IN CORAL AREAS IN SOUTHERN SOUTH CHINA SEA

HU Shouxiang<sup>1,2</sup>, TANG Qinjin<sup>1,2</sup>, SUN Jie<sup>1</sup>, YAO Yantao<sup>1</sup>, JIANG Lianting<sup>1,2</sup>, ZHAN Wenhuan<sup>1,2</sup>

(1. CAS Key Laboratory of Ocean and Marginal Sea Geology, South China Sea Institute of Oceanology, Guangzhou 510301, China;

2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

**Abstract:** In the coral reef area of the southern South China Sea, abrupt events are quite often, which well recorded the changes in tectonic and sedimentary environment. In this paper, we summarized the Cenozoic abrupt events in the research area and discussed their relation with major tectonic abrupt events according to the collected geophysical data and the previous works. Tectonic events vary with tectonic units. For examples, tectonic events in the Zengmu basin were happened in late Cretaceous, late Eocene, late early Miocene, late middle Miocene, late Miocene and late Pliocene respectively, while the events in the Wan'an Basin happed in the Late Cretaceous, early Eocene, early Miocene, Late Miocene and Late Miocene. Since the events in coral reef area are usually regional, they are easy to trace and make correlation. In the basins of the study, there are 3 tectonic events happened respectively in late Cretaceous-early Paleocene, late Eocene and late middle Miocene as the records of the Liyue movement, the Xiwei movement and the Nansha movement. The erosional unconformities saved in the Early Miocene basins reflects the drop of global sea level. However, it is missing in the Beikang Basin due to the Nansha movement. The three unconformities and the erosion recorded the tectonic evolution of the South China Sea.

**Key words:** unconformity; Cenozoic Era; coral reef; Zengmu basin; southern South China Sea