

论南海新生代的构造运动

林长松^{1,2}, 初凤友^{1,2}, 高金耀^{1,2}, 谭勇华^{1,2}

(1. 国家海洋局海底科学重点实验室, 浙江 杭州 310012; 2. 国家海洋局 第二海洋研究所, 浙江 杭州 310012)

摘要: 白垩纪末和新生代之交的构造运动揭开了新生代南海多旋回构造运动的序幕, 自此之后整个南海的地壳开始进入总体受张性背景区域构造应力场控制、以张性沉降为主要特征的地质发展时期. 七次区域性的构造运动和沉积作用具有多旋回、周期性振荡式发生的特点, 其中尤以白垩纪末和老第三纪初、晚始新世和中渐新世及中中新世和晚中新世之间的三次构造运动表现最为强烈, 形成了南海最为重要的三个区域性构造界面. 南海地壳运动是欧亚、太平洋和印度—澳大利亚三大板块相互作用效应的结果和缩影, 是跨越太平洋和印度—澳大利亚两大板块更大范围的岩石圈和软流圈流动(运动)方向、速度和强度的周期性振荡式改变所导致的.

关键词: 南海; 新生代; 构造运动

中图分类号: P738.4; P542; P738.1

文献标识码: A

文章编号: 0253-4193(2007)04-0087-10

1 引言

南海是太平洋最西缘的边缘海, 位于欧亚、太平洋、印度—澳大利亚三大板块的交汇处, 因而具有特殊的大地构造意义. 30 多年来有关南海的地质构造特征及其形成和构造演化问题引起了国内外众多研究者的极大关注. 国外的研究者如 Karig^[1,2]、Ben-Avraham 和 Uyeda^[3]、Taylor 和 Hayes^[4,5], 国内研究者如李振伍^[6]、何廉声和姚伯初^[7]、何廉声^[8,9]、姚伯初和王光宇^[10]、姚伯初^[11,12]、姚伯初等^[13,14]、陈邦彦^[15,16]、吕文正^[17]、金翔龙^[18]、李德生和杜永林^[19]、李德生和姜仁旗^[20]、金庆焕^[21]、金庆焕和李唐根^[22]、任继舜等^[23]、刘光鼎^[24]、陈国达^[25] 和吴能友等^[26], 对台湾—吕宋地区的板块相互作用、南海的地质和地球物理特征、地壳性质和结构、区域地质构造以及形成和演化机制等方面作了相当程度的研究. 特别是金庆焕^[21] 和刘光鼎^[24] 系统地总结了我国广大的南海地质和地球物理科学家数十年的调查研究成果, 广泛深入地探讨了南海地球物理特征、新生代石油地质和地质构造特征及其演化问题, 达到了

前所未有的广度和深度.

值得指出, Taylor 和 Hayes^[4] 根据当时最新的地磁资料认为, 南海深海平原是由于类似于洋中脊扩张的海底对称扩张形成的, 形成的时代大约是渐新世—早中新世(距今约 32~17 Ma). 这一观点成了其后南海东部形成和演化机制研究的主导观点. 1980 年之后国内外的一些研究者虽然对这种观点作了某些修正补充, 但基本不出其左右. 概言之, 有关南海的构造演化和成因机制, 国内外众多研究者的主导观点是一次扩张、二次扩张或多次扩张^[13] 等等一系列的洋中脊式的“扩张”, 这几乎成了研究新生代以来南海地质发展史的基础, 以致许多研究者都直接借用南海中央海盆的磁条带异常及其扩张模型来论述南海的构造运动或作为其他研究的立论依据.

这里需要进一步指出, 从南海西南海盆辨认出的磁异常序号名目繁多, 差别非常之大, 推断的洋壳时代老至早白垩世, 新到现代; 据不完全统计, 关于洋中脊式的扩张形成的时代结论至少竟有五种之多^[27,28]. 林长松等^[29] 从板块构造学、地球物理学和地球动力学等角度, 结合南海中央海盆及其周边的

收稿日期: 2006-07-31; 修订日期: 2006-09-29

资助项目: 国家重点基础研究发展规划项目(G2000046703)“南海地质地球物理调查研究”课题资助项目.

作者简介: 林长松(1947-), 男, 浙江省平阳县人, 研究员, 从事海洋地球物理与地质研究. E-mail: lin_cs_hz@sina.com

地质、地球物理资料进行综合分析论证,对南海中脊式的“扩张”成因机制提出了质疑.林长松等^[30]进一步从新生代以来南海北部的珠江口盆地区的沉积建造和构造形迹方面入手探讨和揭示了南海北部陆架陆坡区及其邻区多旋回构造运动的基本特征,并且进一步探讨其构造演化问题,认为南海“扩张成因说”无法解释南海北部地区丰富多彩的构造运动和地球动力学特征.毋庸置疑,对南海的地质地球物理特征,特别是对基底的构成以及其形成、演化和地球动力学诸问题研究仍然远未清晰或解决,许多问题仍有待于资料的进一步积累和研究工作向广度和深度方面拓展.

本文拟通过整个南海区域的地震地层学和地球动力学特征的分析,进一步结合太平洋板块和印度-澳大利亚板块的构造运动特征,就整个南海区域新生代的构造运动及其演化和地球动力学问题展开讨论,以期对整个南海区域新生代以来的构造运动和地球动力学特征获得某些更为清晰的认识.

2 基底构造的基本特征

地球物理资料^{[1,2],[22]}表明,南海地区的主构造格架是北东向,分布着一系列规模宏大的北东和北西向断裂带,它们起主导控制作用.虽然全区有一系列的东西向断裂带分布,尤其是东部深海盆和南部的南沙地块更为醒目一些,但仍然不能掩盖北东向和北西向的主导地位,其中许多北东向和北西向的断裂可以延伸到陆坡或陆架区,组成与华南沿海地区华夏构造体系联系密切的断裂体系或构造带.南海海域的北东和北西向构造体系是华南华夏构造体系向南海方向的延伸和发展.

根据地质、地球物理、地球化学和古生物学等多方面资料^{[3],[8,15,16,22,31]}的综合分析可认为,珠江口盆地区、北部湾、莺歌海、琼东南、西沙和南沙地区的新生代基底为古生界或古生界-中生界.南海的西南部和南部基底存在太古界-元古界,如在西沙地区永兴岛钻孔发现时代为元古代的变质岩系直至新生代中新世才接受西沙组沉积^[32],由此可见,在中生代南海基底与华南沿海地区具有相同的区域应力场背景;推测南海老的基底发生过燕山运动应不会有

问题,华南的华夏构造体系构成了南海新生代的构造基底也是显然的.

南海中东部深海盆区的地壳结构十分复杂.目前沉积地震学的研究程度仅达第 III 或第 IV 层组,其下由于强烈的断裂作用和岩浆活动,几乎已将老的地层破坏或覆盖殆尽,可以认为基底被新生代的构造运动极大地复杂化了^[29].据声呐浮标和双船折射资料^[10,15],层 2 普遍存在 2 层甚至 3 层结构,最多可达 5 层.层速度为 4.6~6.3 km/s,跨度较大,特别在深海海盆区较为普遍存在 5.8~6.3 km/s 高速层,厚度约为 1~3 km.5.8~6.3 km/s 高速度层相当于花岗岩层(或变质岩系).以上层速度数据意味着南海中央海盆区基底存在双层结构,其中可能存在新生代早期及更老(如中生代或更老)的地壳.它们虽然只是一些“点”,相信在中央海盆区还会有一些“窗口”存在,随着探测程度的提高应会有一些新的发现^[29].所有这些尚有待于作进一步的深入研究.

3 新生代时期的构造运动特征

地层学是研究地质过程在时间和空间上的分布和发展规律的.应用古生物学方法是目前地层学研究地层划分和对比的主要手段之一.我们可以根据地震剖面和钻井资料中所反映的沉积层的间断、缺失、古生物缺失、界面上下地层的产状变化、构造格局的改变、断裂作用、褶皱作用和变质作用的差异以及岩浆和火山活动的分布等来判断构造运动的存在.下面拟以南海珠江口盆地区和西部及南部的资料(见表 1,2)为主,并结合周边资料,进行系统的归类分析研究来确定和探讨新生代以来各个不同的地质时期南海所发生的多旋回构造运动及其地球动力学特征.

3.1 白垩世末-新生代初的构造运动特征

在南海北部新生代以来以下陷沉降发展为主,广泛发育北东东或近东西向构造带.在大陆架、大陆坡的几个拗陷区内广泛堆积了 3 000~8 000 m 厚的海相或海陆交互第三系¹⁾.

在晚白垩世与古新世之间(距今约 67~65 Ma),在南海北部陆架发生了“晚拉拉米运动”或“神狐运动”^[13,20].这个时期的块断活动造成了北东东

1) 张用夏,等.南海北部海域航空磁测概查报告.地质矿产部航空物探大队 909 队,1977.

2) 林长松,等.南海东部地质构造和地壳结构特征及其演化(研究报告).国家海洋局第二海洋研究所,2001.

3) 姚伯初,等.南海西部地质构造和地壳结构及其演化(研究报告).广州海洋地质调查局,2001.

表1 南海北部珠江口盆地地层划分与接触关系^[30]

层位	时代	地层代号	接触关系	
上第三系	万山组	上新世	N ₂	假整合
	粤海组	晚中新世	N ₁ ³	
	韩江组	中中新世	N ₁ ²	整合或假整合
	珠东组	早中新世	N ₁ ¹	
下第三系	珠海组	晚渐新世	E ₃ ³	不整合
		中渐新世	E ₃ ²	
	恩平组	中始新世—早渐新世	E ₂ ³ —E ₁ ³	不整合
	文昌组	早始新世—中始新世	E ₂ ² —E ₁ ²	
	神狐组	古新世	E ₁	假整合或不整合
前第三系			不整合	

走向的珠一、珠二和珠三坳陷。在珠江口盆地区的神狐组的底部与前第三系基底杂岩系(声波基底)之间呈不整合接触,在莺琼盆地和北部湾盆地均可发现昌头组和长流组的底部与前第三系之间亦呈不整合接触关系^[32]。区内大部分断裂活动开始于该期,故又称之为“裂开不整合”或“张裂不整合”^[13,33]。这次构造运动是一次张裂运动,此后整个新生代基本上处于张性构造应力场控制之下,产生了一系列张性基底断裂和一系列彼此分离的地堑或半地堑。珠江口盆地就是在半地堑的基础上发育起来的。断裂的视断距为0.5~2 km,最大可达3.5 km。进入新生代以来南海全区总体沉降幅度在4.5~5 km^[26]。

南海北部陆坡区东段包括台西南坳陷和笔架低隆起两个构造单元,据重磁场特征分析,笔者认为,统称之为南海东北部海盆似更为合适⁴⁾。地震资料揭示,东北部海盆与上述相当的反射界面呈明显的角度不整合接触,并且发现其下仍有中生代层组出现⁴⁾。在台湾岛与该期相当的构造运动称为太平运动。中央山脉和北港隆起间歇上升,造成了一些不整合。

据南海西部和南部的钻井资料^{3)、[33]}揭示,在几个大型盆地,如在万安和曾母盆地的基底钻遇的大部分为晚中生代至古新世的花岗岩、花岗闪长岩和变质岩系;该期所发生的运动称之为礼乐运动。地壳应力由挤压转为拉张,产生一系列的正断层,开始进入伸展断陷期的造盆阶段。据礼乐滩区钻井资料(桑帕吉塔-1井)^[24],在4200 m深处钻遇陆架边缘海相基底岩层,揭示了晚白垩世—古新世的不整合接

触关系。基底为中生界(晚三叠—白垩系)浅变质三角洲相或内浅海相沉积岩。巴拉望和外苏禄海地区的克罗克组与基底杂岩之间的紫色不整合大致与之相当。

以上充分展现了此期的构造变动和南海及其周边区域性不整合沉积建造特征,表明整个南海地区及其周边的地质从此进入一个崭新的总体以张性沉降为主要特征的地质发展时期。

需要指出,包括华南陆缘在内的南海沉降带并不是孤立地出现于我国大陆南缘,它位于李四光提出的新华夏构造体系第一沉降带的南端,它向北东通过台湾海峡的北港鞍状构造(北港地块)之后与北东走向的东海陆缘沉降带相连。它们共同围绕在我国大陆外围,是一条发育有巨厚的海相第三系为主的沉降带。

任继舜等^[23]认为,在白垩世末东亚构造运动的形式已由强烈挤压褶皱造山运动转为以张性为特征的构造运动。综上所述,这一观点对于整个南海区域也同样适用。可以认为,上述白垩纪末和新生代之交的构造运动揭开了南海在总体沉降背景之下发生多旋回的新生代构造运动的序幕。

3.2 新生代的构造运动特征

3.2.1 古新世至始新世(距今约55 Ma)

在珠江口盆地区神狐组的顶部和其上的文昌组之间呈平行不整合接触或部分地区超覆不整合于前第三系之上。在东沙隆起和番禺低隆起古新世末发生区域性抬升,在抬升剥蚀期间伴有强烈的火山喷发。在北部湾盆地长流组的上部和其上的流沙港组之间呈不整合接触。台湾岛的西部山麓及滨海平原地区和脊梁山脉的相应地层之间呈不整合接触。岭南区的右江地区的相应地层之间亦表现为不整合接触^[32]。

在南海的西部和南部地区,一些地震剖面资料表明,在白垩纪基底之上可分辨出可能分别属于古新世和早中始新世的沉积地层;据分析,万安盆地局部和南薇西盆地古新统以下和中始新统为陆相沉积⁴⁾,但是由于界面的反射能量较弱或较难以进行区域性追踪,有的钻孔又未钻穿,故往往把古新统和始新统一并讨论,并未进一步作更细致的分层分析研究。

4) 彭学超,等. 南海 SA08(09) 区块地质地球物理补充调查研究报告. 广州海洋地质调查局, 2001.

表 2 南海南部、西南部地震层序划分对比和构造运动¹⁾

地质时代		万安、曾母盆地			南薇西盆地 SA08,09,13,14 区块			构造运动
		界面	超层序	层序	界面	超层序	层序	
第四纪 (Q)	晚第三纪	上新世 (N ₂)	I	A	I	A	万安 (南沙) 运动	
				B		B		
				C		C		
	中新世 (N ₁)	II	D	II	E			
			E		F			
			F		F			
	早第三纪	渐新世 (E ₃)	II	F	T ₄	II		F
		始新世 (E ₂)	III	G	III	G		
								古新世 (E ₁)
前第三纪	T _g		T _g			礼乐运动		

注: 1) 据 4) 并结合文献 [13] 等资料综合改编。

由此可见, 此期的构造变动在南海及周边产生了一次重要的区域性不整合。

3.2.2 中始新世晚期至晚始新世早期 (距今约 45 Ma)

在珠江口盆地区的恩平组和其下伏的文昌组之间呈不整合接触。在台湾岛毕禄山组的顶部以及台北坳陷欧江组的顶面也均呈不整合接触。

在南海西部和南部地区, 该期间发生了重要的构造变动, 称之为“曾母运动”或“西卫运动”^{[14], 3, 4)}。它造成了短暂的沉积间断或部分地区遭受剥蚀, 形成区域性不整合。这次构造运动又是一次重要的造盆运动, 与万安盆地相邻近的盆地, 诸如北大年盆地、马来盆地、西纳土纳盆地、湄公盆地、曾母盆地以及更远的苏门答腊盆地等, 都是在这次造盆运动时形成的, 说明尽管发生了区域性不整合, 但并未改变南海总体背景的拉张应力状态。至中始新世晚期张裂沉降范围急剧扩大, 尤其是南海西部和南部地区均处于差异沉降状态, 隆起区表现为缓慢稳定沉降, 而凹陷区则强烈沉降^[26]。

亚洲的其他地方和欧洲、北美洲都有重要的地质界线出现, 凸显该期的构造变动将会有重要的区域性意义, 它与太平洋运动方向改变时期相关(后

述)。

3.2.3 晚始新世 (含早渐新世) 至中渐新世 (距今约 35 Ma)

在珠江口盆地区恩平组的顶部出现不整合, 为上升和剥蚀时期。南海北部陆架和陆坡的广大地区, 包括东北部海盆、莺琼盆地和北部湾盆地等普遍上升, 大部分地区遭受剥蚀, 形成区域性不整合。从之后珠一、珠二和珠三等几个坳陷盆地乃至整个南海区域基本进入了另一个继承性的沉降发展阶段。姚伯初等很重视该期的构造运动, 被称之为“分离不整合”或“南海运动”; 发生的时代定于始新世末—渐新世初^[13, 14]。琼东南盆地在始新世为陆相环境, 在早渐新世处于海陆交互环境, 晚渐新世则主要属滨海—浅海环境^[35]。

在台湾岛有与该期相当的构造运动, 它延续至中新世之前。在该期间在台湾岛脊梁山脉的毕禄山组 (时代为始新世早中期) 的顶部出现不整合, 引起了老第三纪及其更老的地层上升成陆, 部分老第三系受到褶皱断裂作用^{5), [32]}。

在南海的西部和南部地区的曾母盆地该期的构造运动被称之为“西南海盆运动”⁴⁾; 在南薇盆地也

5) 颜沧波. 台湾的地质和地史. 东海地质译文汇编(三). 地质部海洋地质调查局, 1980

有其不甚强烈的响应。在礼乐滩和巴拉望—外苏禄海地区亦有与之相当的不整合(青色不整合)发生。

3 2 4 渐新世至中新世(距今约 23 Ma)

在珠江口盆地区珠江组与其下伏的珠海组之间的不整合是这次构造运动的反映。在渐新世时的晚期本区曾经下降,接受了沉积,而在渐新世末期再一次发生上升运动,相当大的一部分地区遭受剥蚀⁶⁾;何廉声⁹⁾认为这是一次重要的构造运动。莺琼盆地的三亚组和其下伏的陵水组以及北部湾盆地的下洋组与其下伏的涠州组之间属于假整合接触关系。东北部海盆的相应反射界面的上下层组之间为不整合接触。在西沙地区,该期的构造运动之后结束了新生代以来长期遭受剥蚀的状态,开始接受西沙组的沉积。

在台湾岛该期的构造运动造成脊梁山脉礼观组(可能包括东部的都峦山组)与其下地层的不整合;在台湾浅滩的基准井中揭露出渐新统和中新统之间有一个区域性的不整合。

在南海的西部和南部地区,如在曾母盆地和万安盆地,该期的构造运动均造成了上下地层之间的不整合。

与此同时,我国东部上、下第三系之间普遍存在的不整合可能与此次运动相关。该期的构造运动相当于喜马拉雅旋回的第三幕。

值得指出,以上两次运动期间正处于所谓的南海中央海盆“扩张”期内,但是期间的海盆北面为被动大陆边缘,未见大的逆断裂⁶⁾,而其南面的巴拉望岛及邻近海区构造上属于稳定区,始新统和渐新统及上第三系为无火山产物的沉积岩系^[36]。它们面对来自邻近的深达岩石圈量级脱胎换骨般的洋中脊式的扩张运动,却未留下相互强烈挤压作用的构造形迹,这是不可思议的。因此,“南海扩张说”的倡导者有必要对此作进一步的自圆其说。

3 2 5 中中新世和晚中新世(距今约 10~ 13 Ma)

在珠江口盆地区韩江组与粤海组之间为不整合(或假整合)接触。在海盆与陆坡的过渡带有一向海盆方向倾斜的上超面,标志着此时两者之间发生过比较强烈的差异沉降。中中新世末至晚中世早期是陆缘区沉降幅度和沉积速率的高峰期,并伴有区域性的玄武质岩浆喷溢活动。该期的构造运动称为“东沙运动”^[13, 14]。

与此同时南海东北部海盆的相应反射界面上的上

下层组之间、莺琼盆地的黄流组与其下伏的梅山组之间均为不整合接触;北部湾盆地的灯楼角组与其下伏的角尾组之间属于假整合。在中沙岛坡区和礼乐滩及其周围岛坡,这两个层组之间为不整合接触^[25, 34]。在巴拉望—外苏禄海地区,与之相当的则为巴利瑞组与之下伏的崩牙加组之间的不整合(黄色不整合)。

在南海的西部和南部地区该期的构造运动称之为“万安运动”或“南沙运动”^{[14, 37], 5)}。在北康盆地和南薇西盆地均有十分强烈的反映,出现盆地构造反转、隆升、褶皱变形或遭受剥蚀,形成区域不整合。在曾母盆地和万安盆地表现一般。从此之后整体进入了区域性的沉降时期。

3 2 6 中新世末至上新世之间(距今约 5 Ma)

在珠江口盆地区地震反射剖面上的第一层组(万山组)和第二层组(粤海组)之间为不整合(或假整合)接触关系;在陆坡地区第二反射层组的顶面常出现剥蚀面反射波的特点。在陆架地区可以见到在被夷成平面的基底隆起上沉积了第一层组的现象;在西部陆架地区的某些地段可以看到第一层组下面的前积反射结构。在东北部海盆区常常能观测到波浪状的沉积层,在它的隆起部位第二层组的表面受到明显的剥蚀;在它的低洼部分沉积了水平的或接近水平的沉积层。钻井资料表明,第一和第二反射层组之间的不整合面是中新世末的一个层面⁶⁾。

在台湾岛东部大港口组或利吉组与下伏的都峦山组之间、台北坳陷的三潭组与其下伏的柳浪组之间的不整合等均与该期的不整合相当。在台湾岛该期的构造运动称为“海岸山脉运动”。在台湾浅滩上的基准井中见到上新世和中新世之间有一个区域性不整合面。在中沙岛坡区和礼乐滩及其周围岛坡的这两个层组之间以及西沙地区的永兴组与其下伏永乐组之间均为不整合接触。

在南海的西部和南部地区,该期的构造运动在曾母盆地、万安盆地和南薇西盆地形成区域不整合,局部出现前上新世地层褶皱现象。该期构造运动之后曾母盆地沉积中心北移,并开始进入区域沉降期⁴⁾。

如上所述,整个南海地区的七次(包括距今约 65 Ma)构造运动具有区域性和多旋回周期性振荡式发生的特点,而且贯穿了晚白垩世末以来的整个

6) 李振五,等. 南海海洋地质联合调查中方报告. 地质矿产部南海地质调查指挥部, 1981.

新生代, 显而易见, 南海“扩张成因说”无法解释南海地区如此丰富多彩的构造运动和地球动力学特征. 如果认为南海构造运动可以在孤立范围内单独地依靠所谓的“海盆扩张”而发生, 或者在某一小范围(如中央海盆)在某一短的时间内可以“独立行动”, 这在地球动力学上是难以理解的. 它应是处在更大范围内统一的区域构造应力场背景之下发生的, 我们应从更广大范围的地球动力学特征来探讨南海的构造运动. 南海地处欧亚、太平洋、印度—澳大利亚三大板块的交汇处, 首先应考虑与之关系密切的、新生代以来构造活动性极为强烈的太平洋板块和印度—澳大利亚板块的板块运动特征.

4 太平洋板块运动特征

4.1 太平洋板块运动与火山活动特征

王³和³⁸揭示了新生代以来太平洋板内火山作用的周期性变化与板块运动速度变化之间的相关性. Jackson 等³⁹揭示了在距今 42 Ma 太平洋板块运动方向由北北西改变为北西西之后的周期性摆动. 下面拟把它们结合在一起探讨太平洋板块运动和火山活动的特征, 从而进一步阐明它与南海构造运动之间的相关性.

白垩纪时期是太平洋的扩张速度极大增强的时期(图 1), 火山作用也普遍增强, 一些大型的海底火山隆起就形成于这个时期. 在白垩纪晚期至新生代早期太平洋海底的扩张速度和火山作用急剧降低. 在白垩纪末与新生代之交(距今约 65 Ma), 太平洋板块运动的速度由早期的高速(约 3.6 cm/a)剧降至最低点(约为 1.7 cm/a), 板内的火山作用相应降低. 至距今约 55 Ma, 为太平洋板块运动速度由古新世早期的低速(约为 1.7 cm/a)向另一期高速(约为 2.4 cm/a)的转变期, 板内的火山作用相应增强. 至距今约 45(42) Ma, 太平洋地区发生了一次重要的板块运动事件, 运动方向由北北西—北西向变为北西西向^{39, 40}, 此后板块运动方向总体转为北西西向, 同时也是新生代以来板内火山活动最活跃时期. 距今约 40~50 Ma 为新生代的海底扩张速度最大和火山作用最强的时期. 在同一时期亚洲的其他地方和欧洲、北美洲都有重要的地质界线出现, 凸显了该期构造变动的重要性.

至距今约 35 Ma 板块运动速度由前期的高速期降至约 1.8 cm/a 的新低速度期, 板内的火山作用也大为减弱, 降至新低; 至距今约 23~10 Ma 扩张速

度再次降至最低点(约 1.7 cm/a), 板内的火山作用不久也即进入低潮, 但至距今约 10 Ma 之后板块运动速度和板内的火山作用再次增强(图 1). 我们注意到, 太平洋板块内的火山活动明显具有约 10 Ma 周期性的波动变化特征(图 1).

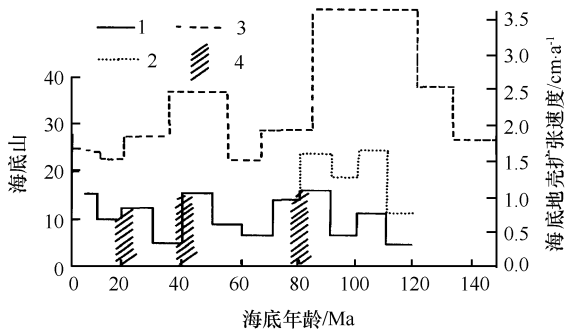


图 1 太平洋板内火山活动性与洋壳的扩张速度的关系^[38]

1. 海底山的年龄分布, 2. 推测的海底山分布, 3. 地壳的扩张速度, 4. 斜线区为磷酸盐化时期

以上对我们研究南海地区及其邻域构造运动的地球动力学分析将会有所启迪和帮助.

无独有偶, Jackson 等³⁹根据夏威夷海山链上的古地磁研究成果资料获得了在距今约 42 Ma 太平洋板块移动方向由北北西转向北西之后至今, 具有一直以北西 300° 的平均方向为中心、反复以 30° 方向周期性摆动变化的特点(见图 2). 图 2 表明, 分别在距今约 5, 14 和 25 Ma 期间, 分别是太平洋板块向西北移动方向顺时针摆动幅度最大的时期, 三者之间的时间间隔约为 10 Ma, 其变化与上述的太平洋板块运动速度变化和火山作用特征具有十分密切的呼应联系, 基本上与太平洋板块移动方向改变的摆动变化最大点相对应, 这一点显然不会仅是巧合. 这也将为我们研究南海地区及其邻域构造运动的地球动力学分析有所启迪和帮助.

4.2 印度—澳大利亚板块运动特征

以上阐明了南海的构造运动与太平洋板块运动之间具有紧密的呼应联系特征, 但是与之相邻的印度—澳大利亚板块的运动, 即印度洋的扩张作用对南海的影响也是不能忽视的.

印度板块和欧亚板块会聚角和速率变化资料^[41]表明, 晚中生代至古新世早期, 会聚速率高达 17 cm/a, 会聚方向总体上为北东—南西向, 至晚古新世早期(距今约 58 Ma)剧降至约 11 cm/a(图 3);

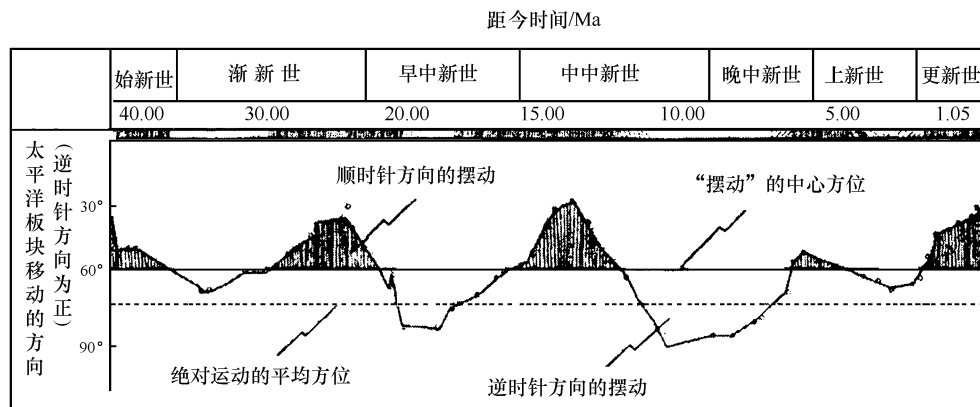


图2 太平洋板块运动方向变化(据文献[39] 简略)
竖线表示夏威夷的热点板块运动方向偏离平均方向 13° 以上的时期

至始新世(距今约44 Ma)期间会聚速率进一步降至约6 cm/a,会聚方向大致保持不变,直至渐新世最早期(距今约36 Ma)才转为更向北;在中新世中早期(距今约21 Ma),会聚速率进一步降至约4.5 cm/a,而会聚方向则转为 5° 东;至晚中新世(距今约10 Ma)会聚速度略有上升(约为5 cm/a),而会聚方向调整为正北.印度—澳大利亚板块运动速度和方向的调整同时影响到西藏地区,在这个地区发育了相应的构造形迹^[42].

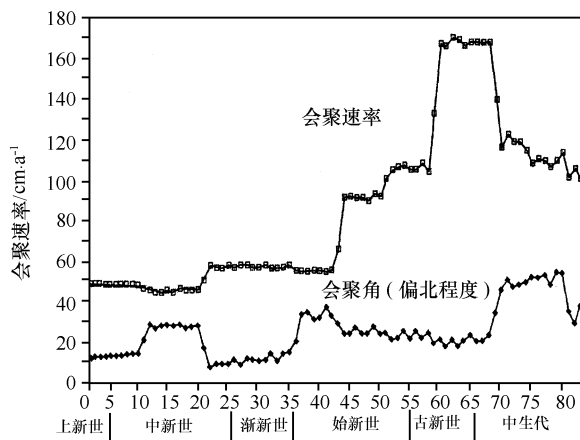


图3 印度板块和欧亚板块的会聚速率
及角度变化(据文献[41] 简略)

由以上的对比分析可见,太平洋板块运动速率和方向改变的各个重要的地质事件在印度—澳大利亚板块同样得到了响应,印度—澳大利亚板块运动

极明显地展现出与太平洋板块运动共进退运动的特征,具有明显的呼应关系,这也进一步说明太平洋板块运动的调整并非孤立事件,而且极可能具有全球性意义,今后值得进一步研究.

5 南海构造运动的地球动力学特征分析

综上所述我们不难发现,在南海的不同时空区间有强弱之分的七次周期性的构造变动事件发生的同时,太平洋地区板块运动的速度、方向和火山作用强度都发生了相应的变化,而且它们之间的时间间隔也基本相应,约为10 Ma,其中尤以白垩纪末与老第三纪初之交(距今约67~65 Ma)、晚始新世与中渐新世之间(距今约45~35 Ma)和中中新世和晚中新世之间(距今约10~20 Ma)三次重要的构造运动表现最为强烈,形成了整个南海最重要的和十分醒目的三个区域性反射界面,与此同时印度—澳大利亚板块的运动速度和方向也发生相应的改变.这表明,南海的构造运动和沉积作用的周期性振荡式变迁与太平洋板块和印度—澳大利亚板块的构造运动之间具有十分紧密的相互呼应的联系.

在南海地区这三次构造运动以张压转换为特征,但是以“张”为背景的.第一次重要的构造运动是一次张性构造运动,发生在白垩纪末与新生代之交(距今约67~65 Ma),其时南海北部陆架发生晚拉拉米(或神狐)运动之后,区内大部分张性断裂开始活动,标志南海区域的构造运动进入了一个崭新的

地质时期. 在整个南海地区总体上开始处于张性构造应力场控制之下且影响至今. 从南海北部陆架至南海南部持续发生了至少 2~ 4 km 的沉降, 在万安盆地发生了最大在 22 km 以上的整体大幅度的沉降运动. 这个时期正是太平洋板块和印度—澳大利亚板块的运动速度由晚白垩世的高速扩张急剧降低的转变期, 这似乎预示了太平洋板块的运动和作用方向将要开始作重大的调整. 南海地区开始出现的大规模应力松弛沉降乃至东亚构造运动已开始由强烈挤压褶皱造山运动形式转为以张性为特征^[23]也应与之相关; 几乎在相近时期印度—澳大利亚板块的运动速度也作了较大幅度的下降调整.

南海地区第二次重要的构造运动也是一次以张性构造应力场控制为主的造盆运动, 造就了南海的一系列盆地. 其延续时间较长, 不同区域的盆地的响应时间略有差异. 距今约 45(42) Ma, 正是太平洋板块运动方向发生重大变化的时期, 此后太平洋板块运动方向总体转为北西西向, 凸显该期构造变动的重要性, 它也是新生代以来板内火山活动的最活跃时期. 在相近时期印度—澳大利亚板块的运动方向发生较大变化, 运动速度又一次作了较大幅度的下降调整.

南海海盆第三次重要的构造运动也是以张性为主的特征, 各主要盆地由前期的断陷期转变为非补偿性的拗陷期, 与此同时太平洋的扩张速率再次降至最低; 在相近时期, 印度—澳大利亚板块运动的方向再次发生较大变化, 运动速度也再次作了较大幅度的下降调整.

上述情况表明, 南海的七次构造变动是以“张”为大背景的, 我们只能说是太平洋板块和印度—澳大利亚板块的构造变动严重地影响和制约了南海的构造运动和演化, 这显然绝非是巧合, 也就是说, 南海构造运动的特征只是更大范围的地球地壳运动应力场相互作用变化特征的缩影, 亦即是欧亚、太平洋和印度—澳大利亚三大板块相互作用的区域效应.

由于太平洋板块、印度—澳大利亚板块和欧亚板块岩石圈及其之下软流层是联为一体的, 它们之间存在互动关系. 南海地区处于交汇结合部的边缘, 正是在太平洋板块、印度—澳大利亚板块岩石圈及其之下的软流层运动的引导之下出现了南海地区与之“共舞”而导致整个南海地区的地壳(以及整个岩石圈)发生丰富多彩的构造运动.

根据物理意义上的因果律, 只有具备有序(规

律)分布的应力场才能产生有序的构造运动. 地幔对流说既无法认定其本身的生成和发展的有序性, 也更无法解释产生地壳构造变动或板块构造运动速度、强度及方向规律性改变的原因, 那么是何种“力”引起软流层和板块运动方向周期性改变的呢, 驱动板块运动的实质上的“驱动力源”是什么, 我们只能说这仍是悬在广大的地质和地球物理学家们心中的一个尚未解开的谜.

6 结论

通过南海的地震地层学和地球动力学特征的分析研究发现, 新生代以来南海地区的地壳构造运动有以下几大典型的特征.

(1) 地壳构造运动是在前新生代古老的基底之上发生的. 白垩世末之后太平洋板块、印度—澳大利亚板块和东亚地区的地壳应力场特征发生了根本性的改变. 白垩纪末和新生代之交的构造运动揭开了新生代南海多旋回构造运动的序幕, 自此之后整个南海的地壳运动开始处在统一的以张性为背景的区域构造应力场控制之下, 进入了一个崭新的总体以张性沉降为主要特征的地质发展时期.“张”是大的背景.

(2) 引发的七次比较典型和重要的构造运动具有区域性发生的特点, 这种运动是在“张”的大背景之下的“变化”. 地壳变动的时间间隔大约为 10 Ma, 渐新世之后沉陷更为明显. 构造运动和沉积作用具有多旋回周期性振荡式发生的特点, 并贯穿了晚白垩世末之后的整个新生代, 其中尤以白垩纪末与老第三纪初之交(距今约 67~ 65 Ma)、晚始新世与中渐新世之间(距今约 45~ 35 Ma)和中中新世与晚中新世之间(距今约 10~ 20 Ma)三次重要的构造运动表现最为强烈, 形成了整个南海十分醒目和最为重要的三个区域性构造界面.

(3) 南海地区的地壳运动与太平洋板块和印度—澳大利亚板块的构造运动之间有着十分紧密的相互呼应. 它是欧亚、太平洋和印度—澳大利亚三大板块相互作用效应的结果和缩影, 太平洋和印度—澳大利亚板块的构造变动严重地影响和制约了整个南海地区的构造运动及其演化的地质过程. 南海地区与太平洋和印度—澳大利亚两大板块的岩石圈和软流圈是联为一体的, 丰富多彩的构造运动正是由于跨越太平洋和印度—澳大利亚两大板块更大范围的岩石圈和软流圈流动(运动)方向、速度和强度的

- [41] LEE T Y, LAWVER L A. Cenozoic plate reconstruction of Southeast Asia[J]. *Tectonophysics*, 1995, 251(1-4): 85-138.
- [42] 赵政璋, 李永铁, 叶和飞, 等. 青藏高原大地构造特征及盆地演化[M]. 北京: 科学出版社, 2001.

On tectonic movement in the South China Sea during the Cenozoic

LIN Chang-song^{1,2}, CHU Feng-you^{1,2}, GAO Jin-yao^{1,2}, TAN Yong-hua^{1,2}

(1 *Key Laboratory of Submarine Geosciences of State Oceanic Administration, Hangzhou 310012, China*; 2 *Second Institute of Oceanography, State Oceanic Administration, Hangzhou 310012, China*)

Abstract: The tectonic movement at the end of Cretaceous and the beginning of Cenozoic had opened the Cenozoic phase of polycyclic tectonic movement, then the whole crust of the South China Sea had been mainly subjected to the regional stress field of tectonic tension, which was characterized by rifting depression. Seven times of regional tectonic movement and sedimentation had been assembled into a geological development history of polycyclic oscillatory. Especially, the tectonic movement was strongly intensified at the end of Cretaceous and the beginning of Paleogene, between the Late Eocene and the Mid-Oligocene, during the Mid- and Late Miocene. These three times of tectonic movement had built the most important regional tectonic interfaces in the South China Sea. Crust movement of the South China Sea was the result and epitome of interaction of the Eurasia, Pacific and Indo-Australia plates, that is, they were introduced by polycyclic changes of directions, rates and strengths of lithospheric movement and asthenospheric flow covering across the Pacific and Indo-Australia plates.

Key words: South China Sea; Cenozoic; tectonic movement