

文章编号:100922722(2007)0920001207

# 南海形成演化综合模式的初步探讨

符启基<sup>1</sup>, 蔡周荣<sup>2</sup>, 马 驰<sup>2</sup>

(1 海南省地质勘查局资源环境调查院, 海口 570260;

2 中国科学院广州地球化学研究所与南海海洋研究所边缘海地质重点实验室, 广州 510640)

**摘 要:**南海是西太平洋边缘海中最大海盆之一, 这里构造运动频繁, 多种构造相互叠加, 其形成演化过程非常复杂。许多学者对南海的成因持有各种不同的看法, 主要有弧后扩张模式、地幔上涌模式、印度—欧亚板块碰撞挤出模式、海底扩张模式和陆缘扩张模式。作者在前人研究的基础上, 提出各种成因模式在南海的形成演化中起到不同的作用, 但是可以相互兼容而统一于南海的形成演化中, 把多种成因模式综合起来才能更合理地解释南海的形成演化过程。

**关键词:**形成演化; 综合模式; 初步探讨; 南海

**中图分类号:** P541      **文献标识码:** A

南海是西太平洋边缘海中最大海盆之一, 面积约 300 万 km<sup>2</sup><sup>[1]</sup>, 其中的中央海盆是中国 4 大海域中惟一发育有洋壳的边缘海盆, 也是认识西太平洋边缘海沟—弧—盆体系的重要窗口。南海处于欧亚板块、太平洋板块和印度—澳大利亚板块的交汇处, 并且在地质历史上又受到特提斯构造域演化的制约, 经历了复杂的地质演化过程, 形成了裂谷、海盆、推覆、走滑拉分盆地等多种地质构造现象。在这里构造运动复杂, 大规模的水平运动伴随着大规模的垂直运动, 强烈的陆缘扩张伴随着强烈的陆缘挤压, 陆壳在北缘离散解体, 又在南缘拼贴增生; 洋壳在中央海盆新生, 又在其东邻的马尼拉海沟消减; 陆缘地堑系在陆缘扩张过程中形成, 岛弧—海沟断褶系在挤压过程中发育。在这里, 几乎

所有类型的构造运动、沉积作用、岩浆活动、变质作用和成矿作用都有其一定的发生、发展和演化过程。更重要的是, 南海还蕴藏着丰富的石油矿产天然气等资源, 弄清其形成演化历史及其动力学机制, 对其蕴藏地下资源的正确评价具有重大的意义和作用<sup>[2]</sup>。因此, 研究南海及围区纷繁复杂的构造运动和丰富多彩的地质现象, 对深入研究其形成演化过程, 了解岩石圈的结构组成, 进一步深入研究东亚大陆地壳和全球构造, 均具有十分重要的理论和实际意义。正因为如此, 南海吸引了中外许多专家学者的广泛关注, 提出了很多关于南海成因的演化模式, 但到目前为止, 还没有一种模式能完全合理的解释南海的形成演化, 各种模式均存在着诸多的争议。本文试图以已存在的几种主要的成因模式为基础, 按南海形成演化过程为顺序, 把已存在的各种合理的模式归纳综合起来, 建立一个南海形成演化的综合成因模式, 为研究南海的形成演化提出一种新的途径。

收稿日期: 2007207217

基金项目: 中国科学院知识创新工程重要方向项目 (KZCX—SW—117) 资助。

作者简介: 符启基 (1980—), 男, 助理工程师, 主要从事矿产地质调查和海洋地质的研究工作。E2mail: fuqiji @yahoo.com.cn

## 1 目前南海形成演化的几种主要成因模式

对于南海的成因,中外不同大地构造学派均持有各自的观点和认识,并相应地将南海归属于各自所划分的大地构造单元,他们试图从地质力学<sup>[3]</sup>、多旋回构造学说<sup>[4]</sup>、断块构造学说<sup>[5]</sup>、地洼学说<sup>[1]</sup>、板块构造学说等来解释南海的形成与演化。从动力学机制来说又有多种演化模式,归纳起来,其主要的成因模式有如下几种:

### 1.1 板块俯冲弧后扩张模式

1971年,Karig D E.就提出了南海的弧后扩张的观点<sup>[6]</sup>,后来有人不断进行新的补充,提出南海是菲律宾岛弧的弧后扩张盆地,其形成时代为晚白垩世—早第三纪,并且指出南海的弧后扩张可能与古西太平洋的洋中脊俯冲作用有关<sup>[7,29]</sup>。

张文佑认为,东海是处于拉张应力场下的大陆边缘,而南海具有与东海相似的构造特点,只是已有扩张脊和新生洋壳形成,反映在陆壳向洋壳的转化方面比东海又前进了一步,指出可称东海为弧后陆架海,南海为弧后边缘海,它们均具有大西洋型大陆边缘的特点,反映在总体上处于挤压应力作用下的西太平洋边缘地区有局部遭受拉张的地区存在,同时认为弧后拉张和新洋壳的生成是大洋岩石圈俯冲时大陆岩石圈仰冲的结果。李春昱等也有类似于张文佑的看法,但强调俯冲作用,认为在亚洲东侧,自新生代初期以来,太平洋板块不断地向西移动俯冲,生成自勘察加、千岛、日本、琉球以南马里亚纳一系列深海沟、岛弧和弧后盆地,并导致边缘海盆的扩张<sup>[10]</sup>。

这种模式在南海的研究早期一度占主要的统治地位,直到1980年Taylor对比出5d~11号东西向磁异常条带<sup>[11]</sup>,这种推测才为众多学者所怀疑,因为南海中央海盆近EW向的海底扩张轴与其东侧的吕宋岛弧近SN向的构造近

于垂直、用弧后扩张理论难以解释。刘昭蜀等对此的解释是:这种构造格局与变形体的边界条件、断裂的构造部位及力学机制有密切关系,在近EW向的区域挤压应力场下,相对隆起的吕宋岛弧出现近SN向的局部应力场,形成NEE和NNW向的X型剪切断裂,而在相对凹陷的南海海盆地区,形成NEE和NNW向X型剪切断裂,在吕宋岛弧地区牵就上述两组X型剪切断裂,形成近SN向的地堑、地垒,而南海中央海盆,牵就上述两组X型剪切断裂,则形成近EW向的断裂构造,其中包括近EW向的海底扩张轴,这就是为什么南海中央海盆近EW向的海底扩张轴与其东侧吕宋岛弧近SN向的构造近于垂直的主要原因<sup>[12]</sup>。陈国达<sup>[2]</sup>进一步指出,如果弧后扩张理论正确,则在弧后由于次生张力所造成的张性断裂,深度有限,因为这样产生的断裂仅见于拱曲构造的应力中和面以上的拉伸带,而中和面以下即因进入了挤压带而不发育,它们与本区盆地带的实际情况不相一致,依据中国科学院地质研究所地热研究室资料表明,南海的地热特点显然是裂谷型的,因为只有属于穿透型构造的(即穿过)断裂即深大断裂才具这样高的地热特征。

### 1.2 地幔上涌模式

华南大陆边缘与其他的被动大陆边缘的最大不同就是其具有高的热流值<sup>[13]</sup>。张用夏根据对菲律宾海盆地、日本海盆和南海海盆的分析,指出西太平洋大多数边缘海既不是洋壳的局部圈闭,也不是由消亡作用引起的弧后扩张形成,它们主要是受孤立的地幔热源对陆壳边缘的强烈作用,高温的地幔上升,岩石圈自下而上发生重熔,引起地壳的上拱并开裂<sup>[14]</sup>。

王贤觉等对南海海底玄武岩的研究也提出该区具有存在地幔热柱的可能性<sup>[15]</sup>;朱炳泉等对东南沿海新生代玄武岩及其中地幔包体的岩石学及地球化学研究,查明了包括东南沿海、台、澎、菲律宾等地的环南海地区存在一个Dupal型的异常地幔域<sup>[16,17]</sup>。

龚再升、李思田、朱炳泉等则根据南海北部大陆边缘的盆地及深部构造发育特征推测南海及其边缘盆地的形成可能与地幔柱及侧向地幔流有关<sup>[17,219]</sup>。

岩石物理实验研究和地球动力学模拟研究结果<sup>[20]</sup>以及海底扩张形成的板块构造运动使地幔热对流说广泛地为地质学家们所接受。地幔的上涌不但能引起地壳的减薄和裂隙,而且还会带动深层的地幔的局部流动,从而引起地块的移动或旋转<sup>[21]</sup>。

黄福林侧重从南海基底和地壳结构特征两方面探讨南海成因,提出陆壳洋化的观点,认为南海深海盆形成过程为地幔上拱,地台裂隙,陆壳下沉到热的上地幔中,地幔岩取代原有的陆壳而形成新的洋壳<sup>[22]</sup>;龚再升和李思田等则提出地幔柱引起的局部对流与岩石层底部的摩擦力导致大面积的伸展可以解释南海不同方向、不同构造部位的盆地在早第三纪同期伸展的构造现象<sup>[18,19]</sup>;张健等指出地幔对流对中央海盆扩张轴和北部边缘盆地基底的热流及构造活动影响明显<sup>[20]</sup>。

崔学军等采用有限差分数值模拟方法,对“地幔上涌”作用对南海扩张的影响进行了数值模拟实验研究,结果表明地幔上涌能引起很大的岩石圈减薄,但对地壳减薄影响很小,需更长时间打开南海<sup>[21]</sup>。

### 1.3 印度—欧亚板块碰撞挤出模式

从地形地貌上来看,在我国西部的横断山脉处,地形明显向东凹进去,好像是被印度板块强烈挤压而扭曲一样,而中南半岛及其南边的陆块则好像是从印支板块向东南方向被挤出来的一样。由此很多的学者认为南海的打开也与此有关,持这一观点的学者认为南海的形成是由于印度—欧亚板块的碰撞,导致印支半岛向东南方向挤出<sup>[2,32,7]</sup>。但是最近的 GPS 资料分析和研究表明,红河地区和南海西北部向东南逃逸的成分,最多只能占喜马拉雅碰撞挤出的 25%,因此导致南海 700 km 扩张的可能性不

大<sup>[28]</sup>。

詹文欢等采用有限元数值模拟方法,定量地研究了红河断裂带及其邻域、莺歌海盆地及其周边地块的应力场分布状况。红河断裂带的分布方向为 NW 向,是印支地块与华南地块之间相对运动的主位移带,它是喜马拉雅中央主逆冲带的走滑部分,根据哀牢山 10 km 宽的片麻岩核最小平均剪切应变为 20 m 计算,走滑位移的下限为 200 km,而要将西藏以东的金沙缝合线与老挝和泰国中部的 Uttaradit 缝合线连接起来,至少需要 500 km 的走滑<sup>[29]</sup>。

印度—欧亚板块的碰撞可以产生向东、南东方向的物质流动,而太平洋板块向欧亚板块俯冲方向的转变对向东、东南方向的物质逃逸起了阻挡作用,而使得这些物质向南运动,从而在南海地区产生了广泛的南北向拉张,这有利于南海扩张,但对南海扩张的贡献大小仍需要讨论<sup>[30]</sup>。

印度—欧亚板块的碰撞使得印支地块沿红河走滑断裂带向东南方向的逃逸对南海的形成起到了重要的作用,尤其是对南海西南缘的莺歌海盆地和北部湾盆地的形成起到重要的控制作用。

目前,大多数学者都承认印度—欧亚板块的碰撞对南海的形成起了很重要的作用,但单靠这一力量来打开南海,很多学者认为几乎是不可能的,一定还有其他的动力机制共同作用。

### 1.4 海底扩张模式

Taylor 等分析了中央海盆的磁异常,并首次对比出 5d ~ 11 号东西向磁异常条带,由此计算出它是在晚渐新世到早中新世(32 ~ 17 MaBP)期间通过南北向海底扩张而形成的<sup>[11]</sup>。

郭令智等早在 1975 年已提出南海有微型扩张的存在,认为南海海盆的形成经历了复杂的构造发展过程:近 EW 走向中央海盆的扩张时期是晚中生代至早第三纪,后来由于区域应力场的变化,出现 NW—SE 方向的挤压;西沙海槽形成于渐新世至晚第三纪,然后又出

现 NWW—SEE(近于 EW 向)的挤压; 马尼拉海沟原为一转换断层, 上新世末至更新世转化为向东倾斜的俯冲带<sup>[18]</sup>。李卢玲根据对磁测资料的分析, 认为南海中、北部海域至少有 4 处扩张中心存在, 指出这些对称磁异常的出现, 显示了南海深海海盆具有不规则的多中心微型扩张的景象。但是这种微型扩张的观点, 无论是郭令智还是李卢玲都认为是地幔上涌的结果。

Briais 等对南海磁异常的研究工作建立了一个详细的南海单期海底扩张模式, 他们提出在磁异常 11~7(32~21 Ma) 期间, 南海海底扩张活动主要发生在西北海盆及东部海盆; 在磁异常 7~6b(26~24 Ma) 期间, 扩张脊发生了一次向南跃迁的过程, 并且扩张脊走向从近东西向转变为 NE—SW 向, 西南海盆开始扩张; 随后, 东部海盆与西南部海盆在磁异常 6b~5c(24~15.5 Ma) 期间同时发生扩张, 并最终在 15.5 Ma(磁异常 5c) 时海底扩张活动停止<sup>[27]</sup>。

Ru 和 Pigott 根据南海的幕式裂谷及沉降作用, 提出南海存在两阶段的扩张作用, 其中, 西南海盆在晚古新世—始新世期间扩张, 而东部海盆则在晚渐新世—早中新世期间扩张<sup>[31]</sup>。

何廉声指出南海发生了 2 次海底扩张, 第 1 次海底扩张发生于白垩纪(126~120 Ma), 形成西南海盆, 第 2 次海底扩张则发生于渐新世—中新世(32~17 Ma), 产生中央海盆<sup>[32,33]</sup>; 吕文正在西南海盆对比出 32~27 号磁异常条带, 并由此推断第 1 次海底扩张发生于晚白垩世至早古新世(70~60 Ma)<sup>[34]</sup>。

姚伯初推测南海既不是如菲律宾海、日本海那样的弧后盆地, 也不是像白令海那样的被岛弧圈捕的边缘海, 而是像大西洋那样通过大陆分离、海底扩张而形成的边缘盆地<sup>[35]</sup>。

### 1.5 陆缘扩张模式

刘昭蜀等认为, 南海是在华夏型活动大陆边缘的背景上, 区域应力场从挤压转为松弛, 地幔向洋一侧蠕散, 陆缘断裂解体, 海底多期、多

轴扩张, 陆块向洋离散过程中形成的<sup>[12]</sup>。

1956 年陈国达曾提出一种新的大地构造学说: 地洼学说, 它是继承和发展地槽学说而逐步形成的, 主要用于解释亚洲东部中生代以来的地壳运动。该学说认为, 地槽学说把地壳构造划分为地槽区(活动区)和地台区(“稳定”区), 后者由前者转化而来符合中国东部中生代以前的情况, 但从印支或燕山运动开始, “中国地台”已大部分衰亡, 转化为新型活动区, 命名活化区或地洼区。地洼构造学说从整个东亚陆缘出发, 认为整个亚洲东部的大陆边缘, 介于大陆与大洋之间, 存在着一条离散式的陆缘扩张带。陈国达从整个东亚边缘的地型地貌特征、地壳性质以及其形成演化过程和成因机制等论述了整个东亚大陆边缘从白令海、鄂霍茨克海、日本海至中国东海和中国南海皆为从大陆拉伸扩张出去的离散式大陆边缘海。在成因机制方面, 陈国达认为有关壳体的演化运动是进入到华夏型地洼区余动期这个特定阶段的产物, 并与其一般性特点具有密切的关联。由于华夏型地洼区在其发展中期(激烈期——在本区为中生代中、晚期)的地热流值最高, 地壳膨胀最大, 故内挤压所致的地壳缩短最显著; 而当它发展到了晚期(余动期——在本区为新生代), 则由于大地热流已经降低, 体积相对收缩, 故壳体的体内间的运动转为从区域性拉伸运动为主, 这是本区自第三纪以来发生拉伸运动的地壳本身的直接原因<sup>[2]</sup>。

日本的 Yukari Kido, Kiyoshi Suyehiro 和 Hajimu Kinoshita 通过综合利用新获得的和已有的地球物理资料研究认为, 南海北部大陆边缘是从裂谷到扩张的变迁过程<sup>[36]</sup>。

邹和平继承并发展了陈国达关于陆缘扩张的观点, 认为南海北部陆缘扩张是该区大陆构造演化到大陆活化造山带后期, 在深部壳—幔的相互作用下, 岩石圈所发生的垂向减薄和侧向伸展, 既不同于弧后扩张, 也不是受控于大西洋式的海底扩张<sup>[37]</sup>。

陆缘扩张观点得到了许多学者的认同。但

是这一观点的学者却又无法辩驳在 15°E 附近的近东西向的磁异常条带的事实,由此说明,单凭陆缘扩张也一样无法解释南海的形成与演化。

## 2 综合模式的初步探讨

很多学者都认识到了南海构造演化的复杂性,用一个成因模式难以解释,陈国达提出陆缘扩张的同时,认为地幔的上涌及其蠕动可能是其主要的动力<sup>[21]</sup>;郭令智和卢玲的微型扩张的观点也肯定了地幔的上涌作用<sup>[8]</sup>;姚伯初等更是把陆缘扩张和海底扩张结合起来解释南海的形成<sup>[35]</sup>;黄福林认为南海的成因机制可以概括为地幔上拱,引起区域隆升,在张应力控制下深断裂活动,裂谷发育,地壳变薄,然后强烈沉降,陆壳下沉到热的上地幔中,地幔熔融物取代原来陆壳形成新洋壳<sup>[22]</sup>。夏斌等认为这种“南北向构造拉张”和“地幔上涌”的共同作用方式最有利于南海的扩张<sup>[30]</sup>。

由此可以认为,南海的形成与演化是多种构造运动的叠加,是多种成因模式和动力学机制的共同作用,所以在探究南海的成因时,不应只考虑一种或两种成因模式,而应该把所有能在南海发生的合理的模式都考虑进去。每一种模式或许只能解释南海形成演化的某一个阶段

或局部地区,但如果把所有合理的模式都综合起来,从局部到整体,或许能更加合理而全面的解释南海的形成和演化。基于这一思想,笔者把目前几种主要的南海成因模式综合起来,按时间序列,从整体上对南海的成因进行综合解释。以下为综合模式的简单叙述:

中生代开始,由于受印支运动和燕山运动的影响,华南大陆由地台型的稳定区转化为华夏型的地洼区,由于华夏型地洼区在其发展中期(激烈期——在本区为中生代中、晚期),地热流值最高,地壳膨胀最大,故内挤压所致的地壳缩短最显著;而当它的发展到了晚期(余动期——在本区为新生代),则由于大地热流已经降低,体积相对收缩,故壳体的体内间的运动转为以区域性拉伸运动为主,与些同时再加上欧亚板块与印度板块的碰撞导致地幔流向东南方向蠕动及中南半岛的部分物质向东南方向逃逸,华南陆缘壳体发生强烈的拉伸减薄,最终形成一条离散型的大陆边缘;随后,火山活动强烈,地幔柱沿地壳减薄处上升,最终导致了海底扩张,同时也使得一些地块发生旋转或漂移,至早中新世,南海中央海盆形成,此时南海受太平洋板块的阻挡而停止东南方向的扩张。地幔流上升所造成的底侵和拆沉作用加速了地壳的减薄坍塌,最终形成南海今日景观(图 1)。

图 1 南海形成演化综合模式图

Fig. 1 The forming and evolution integration of the South China Sea

以上提出的南海的形成与演化模式是一种简单的综合模式,包含了陆缘扩张模式、印度—欧亚板块碰撞挤出模式、地幔上涌模式和海底扩张模式。这几种模式在南海的形成与演化中既有时间的先后,又起着不同的作用,还可能一种模式与另一种模式相互叠加或相互制约,但它们都统一于南海的形成演化中。

有必要说明的是,建立这种综合模式意在指明我们研究南海的一个方向,那就是南海的各种成因模式并不是相互排斥、水火不容的,每种模式在南海的一个特定阶段或是特定区域都可能起着主要的作用,在解释南海的形成演化时,应根据不同的时间段,不同的区域运用合理的成因模式,然后把各种的模式综合起来,在今天关于南海的各种成因模式争持不下的情况下,挑出单一的成因模式,或许会有另外一种前景。至于每一种成因模式里面,也同样存在着不同的意见,比如在海底扩张模式中,很多学者在扩张的期次和扩张脊的位置上就有很大的争议;在陆缘扩张模式中,其动力学机制上也有很多说法;在印度—欧亚板块碰撞挤出模式中,印支地块沿红河走滑的距离上也有很多不同的意见;在地幔上涌模式中,有学者对在南海是否存在地幔对流也提出质疑,这些都有赖于深入的研究。

另外,本综合模式之所以没有把弧后扩张模式考虑进去,一方面是20世纪90年代以来,弧后扩张所支撑的证据越来越少,并且不断的为一些新的发现所否定,这一成因模式被越来越多的学者所抛弃;另一方面是由于弧后扩张模式在综合模式中的兼容性问题,我们知道弧后扩张模式跟陆缘扩张模式、海底扩张模式是相互矛盾的,它不能统一于南海的形成演化中。

### 3 结论

(1)南海的形成演化是一个复杂的过程,在其研究进程中有很多不同的观点,许多学者提出了很多不同的成因模式和动力学机制,但是,

单靠一种成因模式或者一种机制是无法解释的,因为它们有各自的优点和缺点,有其适用和不适用之处。

(2)南海应是多种复杂构造叠加,多种成因模式互存的演化过程,并且综合多种成因模式来看,它们并不矛盾,可以相互共存。建立一种南海形成演化的综合模式,集百家之所长,或许会为研究南海的形成演化指明新的方向。

#### 参考文献:

- [1] 薛万俊.南海地貌图[C]//南海地质地球物理图集.广州:广东省地图出版社,1987.
- [2] 陈国达.东亚陆缘扩张带——一条离散式大陆边缘成因的探讨[J].大地构造与成矿学,1997,21(4):285293.
- [3] 李四光.地质力学概论[M].北京:科学出版社,1973.
- [4] 黄汲清,任纪舜,姜春发,等.中国大地构造及其演化[M].北京:科学出版社,1980.
- [5] 张文佑.断块构造导论[M].北京:石油工业出版社,1984.
- [6] Karig D E. Origin and development of marginal basins in the western Pacific [J]. J. Geophys. Res., 1971, 76: 2 54322 561.
- [7] Ben Avraham, Uyeda S. The evolution of the China Ba2 sin and the Mesozoic paleogeography of Borneo [J]. Earth Planet Sci. Lett., 1973, 18: 3652376.
- [8] 郭令智,施央申,马瑞士.西太平洋中新世活动大陆边缘和岛弧构造的形成和演化[J].地质学报,1983,57(1):11212.
- [9] 金性春,周祖殿.大洋钻探与中国地球科学[M].上海:同济大学出版社,1995:1832193.
- [10] 李春昱.亚洲大地构造的演化[J].中国地质科学院院报,1984,第10号.
- [11] Taylor B, Hayes D E. The tectonic evolution of the South China Sea Basin [C]// The Tectonic and Geologic Evolution of Southeast Asia Seas and Islands (Geophysical Monograph). AGU, Washington, 1980, (23):892104.
- [12] 刘昭蜀,杨树康.南海陆缘地堑系及边缘海的演化旋回[J].热带海洋,1983,2(4).
- [13] 姚伯初,曾维军,陈永清,等.南海北部陆缘的重力、热流和地震资料对地壳拉伸模式之检验[J].地球物理学研究,1995,100(B11):22 447222 483.
- [14] 张用夏.东亚中新世地幔热源活动与西太平洋边缘海的成因[R].第二届全国海洋地质会议文件,1985.

- [15] 王贤觉,吴明清,梁德华,等.南海玄武岩的某些地球化学特征[J].地球化学,1984,4:3322340.
- [16] 朱炳泉,王慧芬,雷琼地区 MORB—OIB 过渡型地幔源火山作用的 Nd2S2Pb 同位素证据[J].地球化学,1989,8(3):1932201.
- [17] 朱炳泉,王慧芬,陈毓蔚,等.新生代华夏岩石圈减薄与东亚边缘海盆构造演化的年代学与地球化学制约研究[J].地球化学,2002,31(3):2132221.
- [18] 龚再升,李思田.南海北部大陆边缘盆地分析与油气聚集[M].北京:科学出版社,1997.
- [19] 李思田,林畅松,张启明,杨士恭,吴培康等.南海北部大陆边缘盆地幕式裂陷的动力过程及 10 Ma 以来的构造事件[J].科学通报,1998,43(8):7972810.
- [20] 张健.南海深部地球动力学特征及其演化机制[J].地球物理学报,2001,44(5):6022610.
- [21] 崔学军,夏斌,张宴华等.地幔活动在南海扩张中的作用数值模拟与讨论[J].大地构造与成矿学,2005,29(3):3342338.
- [22] 黄福林.论南海的地壳结构及深部过程[J].海洋地质与第四纪地质,1986,6(1):31240.
- [23] Tapponnier P, Molnar P. Slip2line field theory and large2scale continental tectonics [J]. Nature, 1976, 264:3192324.
- [24] Tapponnier P, Peltzer G, Armijo P. On the mechanics of the collision between India and Asia [J]. Geol. Soc. Lond. Spec. Pub. 1986, 19:1152157.
- [25] Tapponnier P, Peltzer G, Armijo P, et al. Propagating extrusion tectonics in Asia: New insights from simple experiments with plasticine [J]. Geology, 1982, 10:6112616.
- [26] Tapponnier P, Lacassin R, Leloup P H, et al. The Ailaoshan2Red River metamorphic belt: Tertiary left2lateral shear between Indochina and South China [J]. Nature, 1990, 243:4312437.
- [27] Briais A, Patriat P, Tapponnier P. Updated interpretation of magnetic anomalies and seafloor spreading stages in the South China Sea: Implications for the Tertiary tectonics of Southeast Asia [J]. J. Geophys. Res., 1993, 98 (B4):6 29926 328.
- [28] Shen Z, Zhao C, Yin A, et al. Contemporary crustal deformation in East Asia constrained by global positioning system measurements [J]. J. Geophys. Res., 2000, 105 (B3):5 72125 734.
- [29] 詹文欢.南海及邻区现代构造应力场与形成演化[M].北京:科学出版社,1993:28230.
- [30] 夏斌,崔学军,张宴华等.南海扩张的动力学因素及其数值模拟讨论[J].大地构造与成矿学,2005,29(3):3282333.
- [31] Ru K, Pigott J D. Episodic rifting and subsidence in the South China Sea [J]. Am. Assoc. Petroleum Geol. Bul., 1986, 70:1 13621 155.
- [32] 何廉声.南海地质地球物理图集:南海大地构造图[M].广州:广东地图出版社,1987.
- [33] 何廉声.南海的形成、演化与油气资源[J].海洋地质与第四纪地质,1988,8(2):15228.
- [34] 吕文正.南海中央海盆条带磁异常特征及构造演化[J].海洋学报,1987,9(1):69278.
- [35] 姚伯初,曾维军.中美合作南海调研报告[R].武汉:中国地质大学出版社,1994.
- [36] Yukari Kido, Kiyoshi Suyehiro, Hajimu Kinoshita.南海北部大陆边缘从裂谷到扩张的演化过程[J].海洋地球物理研究,2001,22:1215.
- [37] 邹和平.南海北部及其沿岸中、新生代壳幔相互作用与构造演化——纪念“陆缘扩张带”概念的倡导者陈国达教授[J].大地构造与成矿学,2005,29(1):78286.