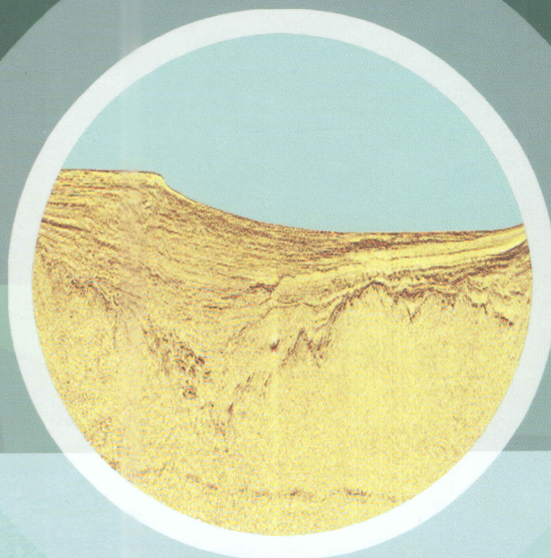


国家科技重大专项项目资助 (2016ZX005008-001-001)

国家自然科学基金项目资助 (41830537、41302082、41772093)

# 莺歌海-琼东南盆地 构造地层学分析



YINGGE HAI-QIONG DONGNAN PENDI  
GOUZAO DICENGXUE FENXI

雷超 任建业 裴健翔 童传新 编著



中国地质大学出版社  
ZHONGGUO DIZHI DAXUE CHUBANSHE

国家科技重大专项项目资助(2016ZX005008-001-001)

国家自然科学基金项目资助(41830537、41302082、41772093)

# 莺歌海—琼东南盆地构造地层学分析

YINGGE HAI—QIONG DONGNAN PENDI GOUZAO DICENGXUE FENXI

雷 超 任建业 裴健翔 童传新 编著



## 图书在版编目(CIP)数据

莺歌海—琼东南盆地构造地层学分析/雷超等编著. —武汉:中国地质大学出版社,  
2019. 6

ISBN 978—7—5625—4570—5

I. ①莺…

II. ①雷…

III. ①莺歌海盆地—构造地质学—研究

IV. ①P562. 66

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2019)第 113576 号

---

莺歌海—琼东南盆地构造地层学分析

雷超 任建业 裴健翔 童传新 编著

责任编辑:唐然坤

责任校对:徐蕾蕾

出版发行:中国地质大学出版社(武汉市洪山区鲁磨路 388 号)

邮政编码:430074

电 话:(027)67883511

传 真:(027)67883580

E-mail:cbb@cug.edu.cn

经 销:全国新华书店

http://cugp.cug.edu.cn

开本:787 毫米×1092 毫米 1/16

字数:186 千字 印张:7.25

版次:2019 年 6 月第 1 版

印次:2019 年 6 月第 1 次印刷

印刷:武汉市籍缘印刷厂

---

ISBN 978—7—5625—4570—5

定价:128.00 元

---

如有印装质量问题请与印刷厂联系调换

# 前 言

多轮大洋钻探以及多次国家级攻关项目以南海地质和地球物理为研究对象开展了系统的研究,使南海成为国际和国内地质学家关注的焦点。近年来,莺歌海盆地泥流底辟区和琼东南盆地深水油气勘探的重大突破,展现了南海油气资源勘探的广阔前景,但南海油气资源勘探也面临着与其他沉积盆地勘探显著不同的科学技术难题,特别是与盆地形成演化和变形过程相关的基础性研究成为亟待解决的关键科学问题。因此,深入认识南海大陆边缘构造变形过程和动力学特征及其油气资源潜力具有重要的科学意义和应用价值,也是保障我国社会经济持续发展、维护我国海洋权益的重要基础。

莺歌海盆地和琼东南盆地是我国海域重要的含油气盆地,它们位于南海的西北部,处于红河大型走滑断裂带向南海海域延伸的方向,两个盆地东部和南部紧邻南海洋盆。该区是挤出一逃逸构造区和古南海俯冲拖曳构造区两大区域构造变形区的结合部位,呈现北西向和北东向构造机制的交会。现有研究表明,盆地具有非常复杂的新生代演化历程,保存了丰富的变形构造。本书从大陆边缘盆地动力学分析入手,以油气勘探和科学研究积累的丰富地质与地球物理为资料,将南海北部大陆边缘西北构造交接区的变形机制、构造演化与沉积响应有机结合,将南海置于全球动力学背景框架下,立足于岩石圈和地壳结构、变形特征与深部动力学机制,通过对北西向和北东向构造体系相互作用的分析,开展南海及其周缘区域的演化动力过程研究。本书将有助于深化对莺歌海—琼东南盆地成盆动力学的研究,为盆地周缘区域构造和沉积演化的研究提供新思路,为大陆边缘盆地的油气勘探提供新启示。

为了适应岩石圈伸展变形理论的发展,以及深水和深层油气勘探的需要,莺歌海—琼东南盆地构造变形格架和成盆动力学都需要进一步探索、研究与总结。为此,本书在近几年研究和实践的基础上,主要阐述了以下内容。

(1)在区域构造背景研究的基础上,进一步厘定并强调了以红河—越东—Lupar线断裂为界,可以将南海发育的众多盆地划分为结构构造、演化特征和动力学背景有显著区别的两个构造变形区,即挤出一逃逸构造区和古南海俯冲拖曳构造区。本次研究的北西向莺歌海盆地和北东向琼东南盆地分别处于挤出一逃逸构造区和古南海俯冲拖曳构造区的结合部位。

(2)通过对大量的二维地震剖面和新近采集的三维地震资料的地质解释,在莺歌海

盆地和琼东南盆地开展了详细的构造—地层分析,识别并总结出两类盆地的原型。

(3)确定了莺歌海盆地不同构造单元变形过程中存在明显的差异,盆地南部莺歌海坳陷主要以伸展热沉降和大型底辟构造的大量发育为基本特征,盆地中部临高凸起在15.5Ma发育显著的反转构造,而盆地北部河内坳陷发育直至5.5Ma结束的反转构造层。

(4)发现了琼东南盆地深水区切穿地壳、并向下变缓汇聚到深部莫霍面(滑脱面)上的大型拆离断层,定量计算了盆地不同岩石圈深度的伸展系数,分析了不同构造单元内的基本构造几何学和运动学特征。

(5)定量去压实恢复了盆地各个时期的沉积物量,获得了盆地各个时期精度更高的沉积物总体积,估算了盆地中来自红河的沉积物量,并与青藏高原隆升和季风气候变化进行对比。

(6)确定了莺歌海—琼东南盆地新生代的演化阶段,划分为同裂陷阶段和裂后热沉降阶段。盆地同裂解阶段早期为分散的东北向展布的弥散孤立湖盆断陷群,主要受古南海向南俯冲导致南海北部陆缘岩石圈减薄的影响。渐新世以来,红河断裂在印支地块的挤出逃逸过程中开始强烈活动,莺歌海盆地和琼东南盆地发育具有明显差异的构造特征,如莺歌海盆地主要受红河走滑断裂构造活动控制,而琼东南盆地的演化仍然是古南海的向南俯冲、南海的扩张和洋脊跃迁起主导作用,形成了大型的低角度拆离断层;在盆地裂后热沉降阶段,莺歌海盆地发育典型的反转构造,并具有从南向北逐渐迁移的特征,而琼东南盆地作为拉伸盆地,在该时期断裂活动较弱。上新世以来,莺歌海—琼东南盆地沉积速率突然加快,可能与来自红河方向提供的沉积物突然增加有关。

本书依托“十一五”“十二五”和“十三五”国家重大科技攻关项目课题以及国家自然科学基金课题研究成果编写而成。在本书的编写过程中,中国海洋石油集团有限公司朱伟林、王振峰、李绪深、张迎朝、周家雄、张道军、李俊良等专家给予了支持和帮助。中国地质大学(武汉)解习农、王华、佟殿君、姜涛、陆永潮、严德天、石万忠、肖军等专家也提供了必要的帮助,在此一并感谢。中国地质大学(武汉)研究生尹新义、赵阳慧、林海涛、李桃、杨林龙参与了课题的部分研究工作,研究生左翔、刘博文和朱士国参与了部分校稿与图件清绘工作,在此也一并感谢。

由于被动陆缘岩石圈变形理论和成盆动力学的研究还处于“百花齐放”和“开放包容”的阶段,一些学术观点和技术还不完善,再加上作者的研究水平和实践经验有限,对国内外被动陆缘岩石圈变形和成盆动力学的研究的消化与吸收还存在欠妥之处,望读者批评指正。

# 目 录

<b>第一章 南海区域地质特征和陆缘盆地群</b> .....	(1)
第一节 南海洋盆扩张演化和古南海的俯冲消亡 .....	(3)
一、南海洋盆的扩张演化史 .....	(3)
二、古南海俯冲消亡和南海南部碰撞增生 .....	(5)
第二节 南海西缘大型走滑断裂和两大沉积盆地群 .....	(8)
一、红河—越东—Lupar 线断裂系统 .....	(8)
二、南海陆缘沉积盆地群 .....	(13)
三、古南海俯冲拖曳构造区沉积盆地群 .....	(14)
四、挤出—逃逸构造区沉积盆地群 .....	(18)
第三节 莺歌海—琼东南盆地沉积地层基本特征 .....	(20)
<b>第二章 莺歌海—琼东南盆地构造地层格架</b> .....	(23)
第一节 莺歌海盆地结构构造 .....	(23)
一、莺歌海盆地区域构造地层格架 .....	(23)
二、莺歌海盆地沉积特征 .....	(28)
第二节 琼东南盆地结构构造 .....	(31)
一、琼东南盆地区域构造地层格架 .....	(31)
二、琼东南盆地沉降中心迁移 .....	(36)
<b>第三章 莺歌海盆地典型构造剖析</b> .....	(40)
第一节 红河断裂带向海延伸构造样式及运动学特征 .....	(40)
第二节 莺歌海盆地泥流底辟构造样式及成因机制 .....	(47)
一、气烟囱构造 .....	(48)
二、与底辟形成过程相关断层 .....	(52)
三、古底辟喷口 .....	(55)

四、莺歌海盆地底辟构造类型划分 .....	(56)
五、莺歌海盆地底辟构造成因机制 .....	(60)
<b>第四章 琼东南盆地大型低角度拆离断层的发现 .....</b>	<b>(62)</b>
第一节 强烈减薄陆壳的识别及其特征 .....	(62)
第二节 拆离断层控制的中央坳陷带盆地结构特征 .....	(67)
第三节 低角度拆离断层系统 .....	(70)
一、中央坳陷带重要断层的几何学特征 .....	(70)
二、盆地 2 号断层的活动特征 .....	(72)
<b>第五章 琼东南盆地强烈减薄陆壳的形成机制 .....</b>	<b>(75)</b>
第一节 盆地发育过程的不同深度岩石圈变形模拟 .....	(75)
一、计算方法和实验过程 .....	(75)
二、实验结果 .....	(79)
第二节 强烈减薄陆壳的发育过程 .....	(80)
<b>第六章 莺歌海—琼东南盆地构造演化过程和成盆机制 .....</b>	<b>(82)</b>
第一节 莺歌海—琼东南盆地构造演化过程 .....	(82)
第二节 南海沉积盆地演化与周缘板块重组 .....	(88)
<b>主要参考文献 .....</b>	<b>(93)</b>

## 第一章 南海区域地质特征和陆缘盆地群

南海是西太平洋最大的边缘海,它靠近特提斯洋和环太平洋两个大型的超级汇聚带的交汇处,其四周发育了被动、主动和转换三大主要的大陆边缘类型(图 1-1),是全球板块构造重组最为活跃的地带之一,也是地球动力学研究的前缘与热点地区(Metcalf, 2011; Xia et al., 1994; 龚再升等, 1997; 周蒂等, 2002, 2006; 解习农等, 2015; 雷超等, 2015; 李三忠等, 2012a, 2012b; 张功成等, 2018; 汪品先, 2012; 李家彪, 2011; 任建业和雷超, 2011)。通过现今大量的地质和地球物理资料揭示,南海周缘保留了众多成熟陆缘张裂的变形特征。自新生代以来,在南海大陆边缘的张裂过程中,陆架和陆坡上形成了一系列新生代沉积盆地。盆地中充填了巨厚的沉积物并且类型多样,如新生代河湖相、海陆过渡相、海相和深海相沉积物。前期研究表明这些盆地充填沉积物中记录了南海大陆边缘张裂、海盆扩张演化的历史,以及青藏高原隆升和全球气候变化等诸多信息。因此,南海成为研究岩石圈破裂机制和地球系统科学的理想场所,为许多大型研究合作计划所关注,如“国际大洋发现计划”(Sun et al., 2016; Li et al., 2014)和中国国家自然科学基金委“南海深部计划”(汪品先, 2012)。

南海为我国疆域的一部分。自 20 世纪以来为查明南海海盆、南海大陆边缘及其油气资源潜力,我国科技工作者在南海北部、西部大陆边缘,南沙海域和南海海盆开展了多个国家海洋专项及国际合作项目的大规模地质、地球物理勘查与综合科学研究,积累了大量有关地壳结构、深部作用、构造演化、沉积体系和含油气盆地等的基础资料。随后,“863”“973”等国家级大型科技攻关计划多次以南海的地质和资源为选题开展了重点资助,取得了大量丰富的成果(Sun et al., 2016, 龚再升和李思田, 2003; 庞雄等, 2007; 朱伟林, 2007; 陈洁和温宁, 2010; 米立军和张功成, 2011; 杨胜雄等, 2015; 李家彪, 2008)。特别是近年来综合大洋钻探计划(IODP)349、367 和 368 航次在南海深水科学钻探的成功实施,将南海的地质演化及其相关资源和环境效应的研究推向新的高度。

本章在系统梳理南海洋盆扩张和南海区域构造演化最新研究进展的基础上,进一步确定红河—越东—Lupar 线断裂是南海及其周缘地区重要的构造界线。该界线将南海及其周缘沉积盆地划分为盆地属性完全不同的两类,即该界线的西侧为印度—亚洲大陆碰撞所产生的挤出—逃逸构造区沉积盆地群,界线的东侧为主要受古南海俯冲及其所引起的华南陆缘岩石圈拉伸、减薄和破裂形成的现今南海控制的古南海俯冲拖曳构造区沉积盆地群。

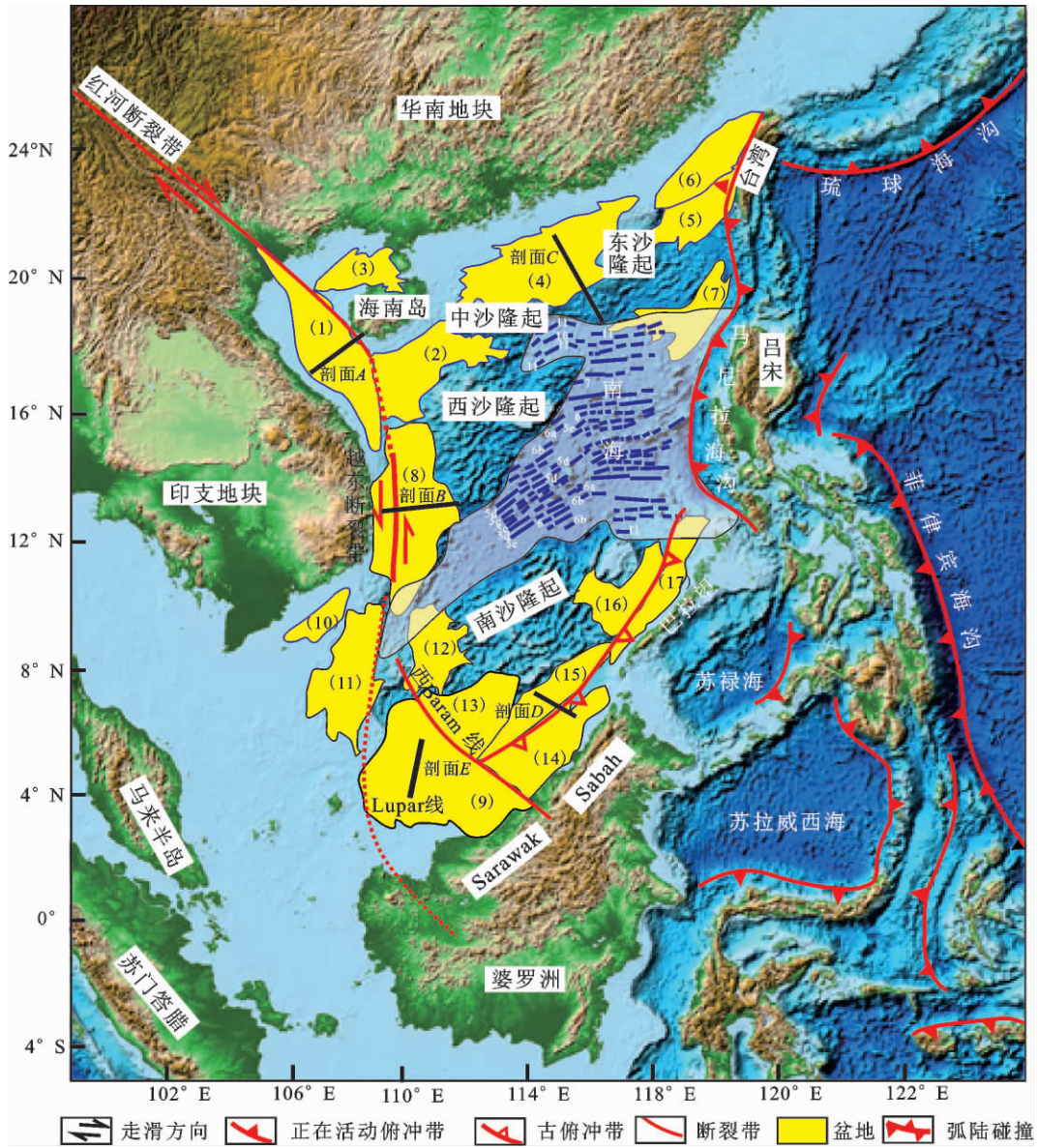


图 1-1 南海及其陆缘主要新生代沉积盆地分布

注:(1)莺歌海盆地;(2)琼东南盆地;(3)北部湾盆地;(4)珠江口盆地;(5)台西南盆地;(6)台西盆地;(7)笔架南盆地;(8)中建南盆地;(9)曾母盆地;(10)湄公盆地;(11)万安盆地;(12)南薇西盆地;(13)北康盆地;(14)文莱-沙巴盆地;(15)南沙海槽盆地;(16)礼乐盆地;(17)西北巴拉望盆地

## 第一节 南海洋盆扩张演化和古南海的俯冲消亡

### 一、南海洋盆的扩张演化史

南海洋盆面积较大,一般被划分为西北次海盆、西南次海盆和东部次海盆。对南海洋盆的扩张历史的认识依赖于对海底磁条带的研究来确定海盆的演化历史。近 40 年来,多个航次对南海海底磁异常的研究使得对南海洋盆的扩展历史重建已有显著的进步。例如 Taylor 和 Hayes(1983)利用磁条带数据,较早确定了东部次海盆的开始扩张在早渐新世—早中新世,并推断早中新世时期为西南次海盆的扩张时期。法国学者 Briaies 等(1993)基于中法合作航次采集的磁条带对比和海底地形扫描数据的分析,提出南海演化至少存在一次洋脊跃迁,他们从海底磁条带 11—6b(年龄为 32~24.7Ma)分析,洋底扩张发生在西北和中央次海盆,西北次海盆扩张作用持续至 24.7Ma 即停止了,之后 24.7~21Ma 期间扩张只在东部次海盆进行,并且东部次海盆的扩张方向从大约 24.7Ma 以前的近北向转变为 24.7~21Ma 期间的北北西—南南东向,之后扩张脊南迁,在西南次海盆和东部次海盆从磁异常条带(编号为 6,年龄大致为 21Ma)处继续扩张,并认为扩张基本上同时停止在 5c 磁条带处,即年龄大约为 16Ma。也就是说,Briaies 等(1993)有关南海洋盆演化模式认为南海的扩张发生在渐新世和早中新世之间,即 32~16Ma,而且洋脊在 24~20Ma 之间存在至少一次跃迁。因此,许多研究东南亚和青藏高原地质构造的地质学家们基于此建立了南海扩张模型,提出有关东南亚地区的构造演化模型(Briaies et al., 1993; Replumaz, Tapponnier, 2003)。

位于台湾岛西南海域获得的磁异常资料识别出了 C17 磁异常条带(Wang et al., 2006),因此认为南海洋盆开始扩张应在 37Ma。但这一新识别的洋壳的属性引起了大家的质疑,如该区域地壳厚度达到 12km(Yeh and Hsu, 2004),远远大于典型的洋壳厚度。笔者认为这可能是古太平洋洋壳在菲律宾海板块向北快速挺进的过程中捕获的古老的泛太平洋板块,由于洋壳年龄较老,所以厚度较大。

而有关南海停止扩张的年龄,德国学者 Barckhausen 等(2004)基于我国中沙和礼乐地区的磁异常资料,识别出西南次海盆最年轻的磁异常条带为 6A1,年龄大约为 20.5Ma,也就是说南海洋盆在 20.5Ma 停止扩张,其洋壳停止扩张历史比 Briaies 等(1993)演化模式的结果早了 4Ma。但是,正如 Barckhausen 等(2004)在其论文中论述的“在赤道地区,基于海底磁条带重建南海的扩张历史是一项十分复杂的工作,受多种因素影响,如年轻的火山岩和洋壳扩张停止后压扭变形对磁条带的识别存在干扰”。

2014年IODP349航次的研究团队(Li et al., 2014, 2015)开展了针对南海洋壳扩张史的钻探,发现南海洋盆的演化与Briais南海扩张模型基本一致。虽然洋盆开始打开的年龄目前还未直接确定,但根据沉积物的地层古生物学研究认为时间大约为33Ma,且南海洋盆停止扩张的年龄在东部次海盆为15Ma,西南次海盆停止扩张的年龄在16Ma。因此,基于目前南海洋盆演化历史的研究进展和Briais南海扩张模型,南海洋盆的扩张划分为3个阶段(图1-2)。

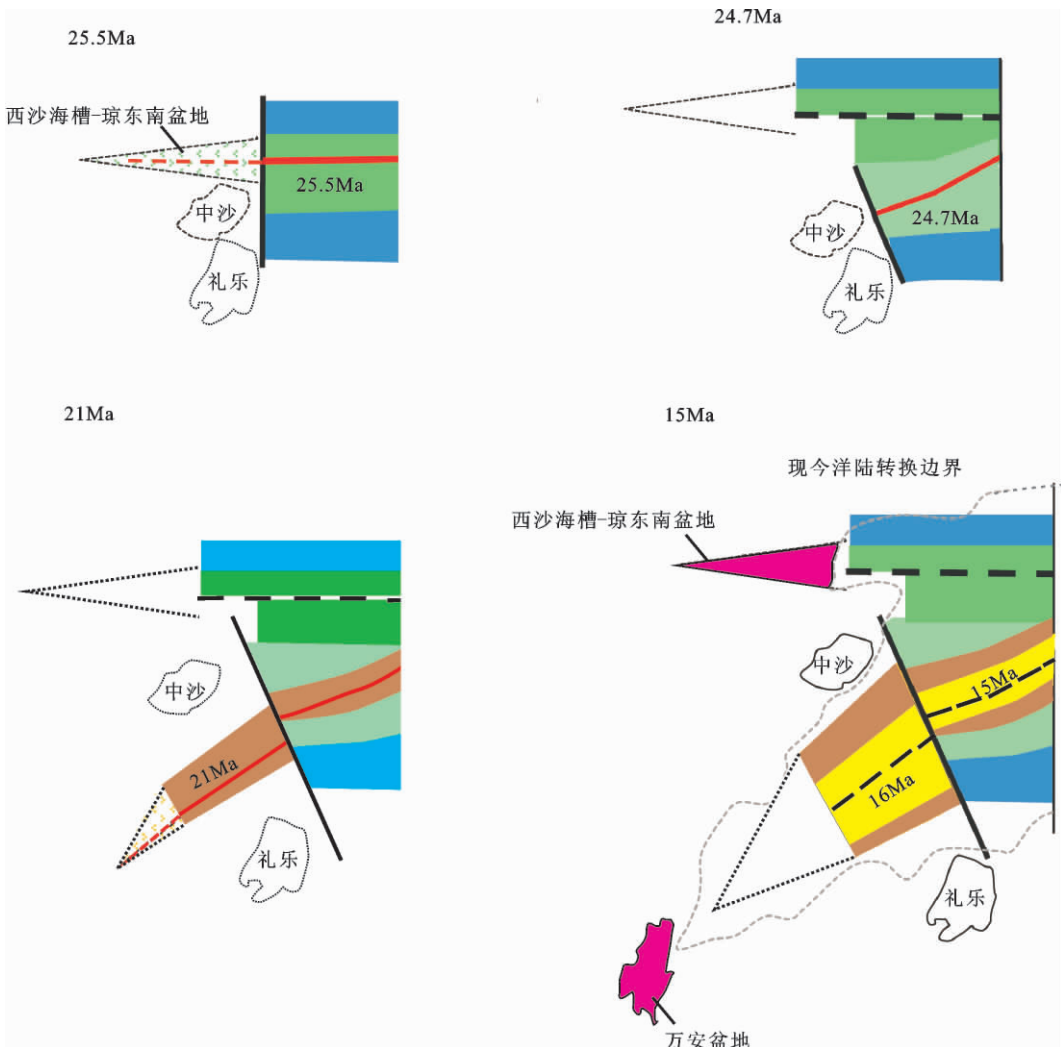


图1-2 南海洋盆扩张演化历史(Briais et al., 1993; Cullen, 2010, 有修改)

### 1. 阶段一(33~25.5Ma)

该时期南海洋脊的展布方向为近东西向,垂直于洋脊方向发育转换断层,编号 11 的磁异常条带主要发育在东部次海盆和西北次海盆。南海的扩张方向是自西向东的扩张(李家彪,2011)。此阶段半扩张速率较大,为 48~28mm/a。

### 2. 阶段二(25.5Ma~21Ma)

该阶段南海西北次海盆洋脊扩张已停止,在距其 50km 的南部的东部海盆出现了新的扩张中心和洋壳张裂,扩张方向转变为北北西—南南东向。在 24.7~20.5Ma 之间,Briaies 等(1993)发现了南海洋脊发生跃迁,西南次海盆开始扩张,导致在洋脊延伸方向的中沙和礼乐微地块开始分离,如图 1-2 所示地块之间开始形成铁镁质的大洋岩石圈。此阶段半扩张速率较小,为 20mm/a 左右。

### 3. 阶段三(21~15Ma)

此时的扩张主要集中在东部次海盆和西南次海盆,扩张也是以一种渐进式的方式向西南向扩张。根据大洋钻探 IODP349 航次的成果显示,西南次海盆停止扩张在 16Ma,东部次海盆停止扩张在 15Ma。随后,南海洋盆扩张作用停止,洋盆整体进入了热沉降阶段。此阶段半扩张速率较小,在 10~25mm/a 之间,但在扩张将要结束前期,半扩张速率突然增大,最大达到约 25mm/a。

## 二、古南海俯冲消亡和南海南部碰撞增生

古南海是否存在一直是学术界讨论的一个热门话题。Hamilton(1979)基于横穿南沙海槽的地震剖面和婆罗洲北部俯冲地貌特征,提出了“古南海”这一概念,主要证据是地震剖面上识别出一套磨拉石增生楔,分布范围较广,甚至在婆罗洲西北部都发育了约 1km 厚。地震剖面显示增生楔下伏为一套早期断陷盆地,其可从南沙海槽一直延伸到巴拉望以北的海沟。增生楔上覆为一套未变形的上新世和第四纪地层,也就是说南海南部的俯冲作用结束于上新世,约 5.5Ma 时。

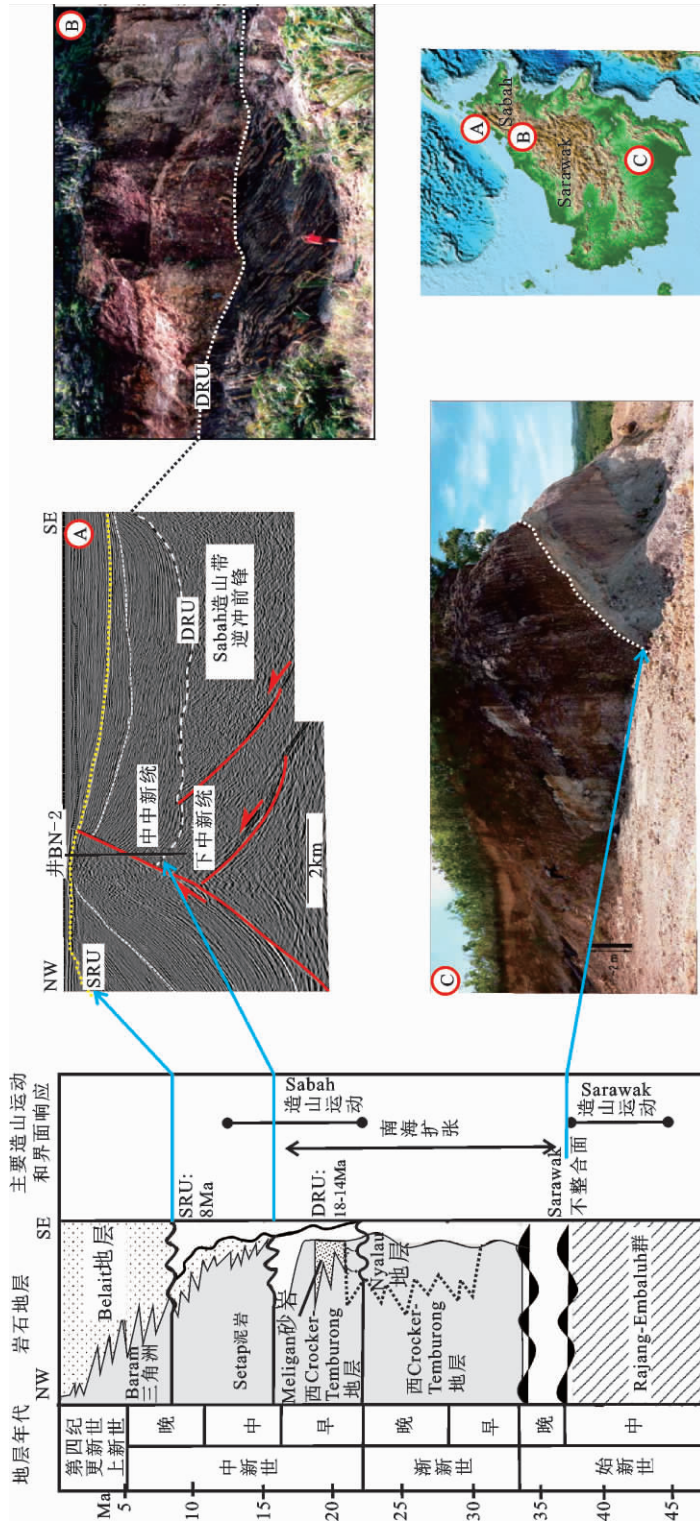
相对而言,学术界对古南海开始俯冲的年龄争议较大。在婆罗洲北部的 Sarawak 和 Kalimantan 等地区广泛分布渐新世—始新世火成岩,研究发现其具有俯冲特征的地球化学属性(Prouteau et al., 2001)。通过对巴拉望地区蛇绿岩套开展定年研究显示其年龄为 39~34Ma(Encarnacion et al., 2001),蛇绿岩套上覆一套浊积岩,其年龄可与 Sabah 地区的 Crocker 群对比,因此古南海开始俯冲的年龄应该大于 Crocker 群的沉积年龄。同样在婆罗洲北部沿 West Baram 线广泛分布含蛇绿岩块的混杂岩(Hutchison, 2004),

婆罗洲北部 Sarawak、Kalimantan 中部和 Sabah 等地区地质调查发现古新世到始新世的 Rajang—Embaluh 群地层,上覆为变形较弱的上始新世—渐新世浅海沉积层,沉积层之间有较厚地层缺失,沉积环境从半深海相突变为浅海相。该区域性不整合界面是由 Luconia 地块与婆罗洲地块碰撞形成的,即 Sarawak 造山运动,形成 Sarawak 不整合面,时间可能在晚始新世—早渐新世(45~37Ma)(图 1-3)。

现今古南海已完全俯冲到婆罗洲下面,古南海的宽度至少和俯冲到婆罗洲下面的古南海洋壳宽度相当,与不同学者估算的古南海宽度相差较大。例如 Holloway 等(1982)、Rangin 等(1999)、Clift 等(2008)和 Hall(2002)分别认为古南海的宽度为 2000km、300km、1400km 和 800km。最近对南海南部的 S 波地震层析成像研究发现一个倾角 30°、长约 500km 的高速异常体位于婆罗洲的西北方向,因此推断古南海的宽度可能在 500km 左右(Tang and Zheng,2013)。

近年来,有关古南海演化的研究进展较为显著。现今南海南部分布着 Luconia 地块和南沙地块,它们之间以 West Baram 线为界,其中 Luconia 地块上发育了曾母盆地,南沙地块上发育了北康、南薇西、文莱—沙巴、南沙海槽和礼乐等盆地(姚永坚等,2013;谢晓军等,2018;丁巍伟等,2011;孙珍等,2011)。约 45Ma,位于古南海与婆罗洲之间的俯冲带还未形成,现今的 Luconia 地块和南沙地块紧邻华南地块。45Ma 左右,印度板块和欧亚板块全面碰撞,导致印支地块的挤出和逃逸,同时印度—澳大利亚板块在苏门答腊和爪哇地区的俯冲带也开始形成,因此来自南部俯冲带强大的向北推动力以及菲律宾海板块向北漂移运动,共同导致婆罗洲地块逆时针旋转,此时的古南海南部处于强烈的挤压状态。古新世—中始新世时期婆罗洲北部古南海俯冲带形成(Hall,1996,2002),俯冲带的形成对消耗来自南部的挤压应力具有重要的作用,古南海的向南俯冲必然在其俯冲板片的尾端,也就是古南海北部的 Luconia 地块、南沙地块和华南陆缘岩石圈,将遭受强烈的伸展作用(Holloway,1982),形成了系列断陷盆地,如曾母盆地和南沙海槽盆地深部早期的断陷盆地形成于这样的构造背景。

南海洋壳的出露主要开始于约 32Ma(Briais et al.,1993),20Ma 菲律宾海板块向欧亚板块和太平洋板块楔入(Honza,1995),婆罗洲地块发生了近 50°大幅度逆时针旋转, Luconia 地块已完全和婆罗洲地块相碰,南沙地块和婆罗洲之间的洋壳面积逐渐消减。中中新世时期,南沙地块和婆罗洲地块发生陆陆碰撞,即 Sabah 造山运动,在文莱—沙巴盆地以及婆罗洲北部形成了大规模北东向逆冲冲断带(图 1-3),使古近纪 Lajang 群浊积岩向北推进 300km,形成晚始新世至早中新世 Crocker 群增生楔沉积(Tongkul,1997)。由于增生楔的持续负载作用,中中新世文莱—沙巴盆地、南沙海槽和北康盆地都处于周缘前陆盆地构造位置(Hinz et al.,1989),沉积充填了丰富的来自早中新世 Sabah 造山隆升风化剥蚀物质。因此,文莱—沙巴盆地、南沙海槽和北康盆地渐新世盆地结构



与曾母盆地晚始新世—中中新世的盆地结构特征十分类似。到上新世,南沙地块之上的沉积变形构造停止发育,盆地进入了被动大陆边缘演化阶段。

## 第二节 南海西缘大型走滑断裂和两大沉积盆地群

### 一、红河-越东-Lupar 线断裂系统

金沙江—哀牢山—红河断裂带(本书统称为红河断裂带)发育于世界屋脊青藏高原东南方向,经我国四川和云南、越南境内,向南经过莺歌海盆地并向南海海域延伸(图 1-4)。红河断裂带在陆上发育宽度为 10~20km,发育糜棱片麻岩和角闪岩等变质岩(Leloup et al., 1995),这些高级变质岩主要发育在雪龙山、点苍山、哀牢山和 Day Nui Con Voi 地区。金沙江—哀牢山—红河断裂带是在晚二叠世—早三叠世金沙江—哀牢山缝合带的基础上发育的(莫宣学和邓晋福, 1993),在新生代形成了规模较大的走滑带,有关其演化过程的成果较多,但在演化时间和表现形式上存在较大的争议(表 1-1)。目前,大量陆上野外露头调查显示断裂带内发育了左行走滑的运动学标志(Tapponnier et al., 1990)。对该带分布的构造岩和构造地貌研究表明,红河断裂带左旋走滑运动主要集中在 34~17Ma 之间,左旋规模最大值为 1400km,最小值为 500km(Tapponnier et al., 1990; Gilley et al., 2003; Harrison et al., 1992; Leloup et al., 2001)。GPS 观察数据和河流构造地貌演化特征表明,红河断裂带现今运动方向以右旋运动为主要特征,右旋运动主要发生在 5~0Ma,但运动规模较小,一般在几千米范围之类,目前报道的最大值为 25km,最小值为 1.7m(Allen et al., 1984; Zhao, 1995; To et al., 2000; Replumaz et al., 2001)。

与大量陆上部分红河断裂带的研究程度相比,对海域红河断裂带研究相对较少。近年来,随着对莺歌海盆地油气勘探的需要,对海域红河断裂带的地震成像研究取得了较大的进步(Fyhn et al., 2018; Fyhn and Phach, 2015; Lei et al., 2015)。目前公布的莺歌海盆地的地震资料(Zhu et al., 2009)基本查明红河断裂带在莺歌海盆地的分布。一些学者通过对越南东部中建南盆地地质和地球物理资料的系统研究,认为红河断裂带不是和南海的扩张脊连接在一起,而是和越东断裂带相连的,越东断裂带沿着越南东部陆架—陆坡转折带向南延伸,最后向南与南海南部的 Lupar 线断裂带相接(图 1-4)(雷超等, 2015; Clift et al., 2008; Fyhn et al., 2010; Morley, 2002; 刘海龄等, 2015)。



图 1-4 红河断裂带陆地及海域延伸变化

表 1-1 陆上红河断裂带运动学特征研究现状

运动	活动时间	位移总量	位移速率 (mm/a)	主要证据	文献
左旋	新生代	700±200km	约 33 (35~17Ma)	地质标志、岩石 学和红层盆地	Leloup et al. , 1995
左旋	36~17Ma	1400±400km	40~50 (27~22Ma)	古地磁	Leloup et al. , 2001
左旋	35~17Ma	>1000 m		热年代学	Searle et al. , 2010
左旋	35~21Ma		6	热年代学	Liu et al. , 2015a
左旋	约 23Ma	>500km		据印支地块 旋转情况估算	Tapponnier et al. , 1990
左旋		~600km		二叠纪—三叠纪玄武岩序列与 晚古近纪高钾岩浆的对比	Chung et al. , 1997
左旋		~600km		新太古代康定杂岩和 Cavinh 杂岩的对比	Lan et al. , 2001
左旋	34~17Ma	600km	60	对越南变质地块的 <sup>40</sup> Ar/ <sup>39</sup> Ar 热年代学研究	Wang et al. , 1998,2000
左旋	30~5.5Ma	10km		地震资料	Rangin et al. , 1995
左旋	36~5Ma	200km		莺歌海盆地轴向 沉积中心迁移	Sun et al. , 2003
左旋	21Ma 以来	不明		没有用于证明 500~1000km 偏移量的可靠标记	Searle,2006
左旋	中白垩世 以来	1500±800km		古地磁	Yang, Besse, 1993
右旋	全新世	6~9km	2~5	构造地貌	Allen et al. , 1984
右旋	上新世— 第四纪	25 ±0.5km	约 5	大型河流位移	Replumaz et al. , 2001
右旋	晚中新世— 现在	约 40km	5	野外编图	Schoenbohm et al. , 2006
右旋	现今	1.7±0.2 m		GPS 观测	Zhao,1995
右旋	现今		1~5	GPS 观测	To et al. , 2000