

XISHA HAIYU SHENGWUJIAO TEZHENG
JI YOUQI KANTAN QIANJING

西沙海域生物礁特征 及油气勘探前景



◎ 魏 喜 著

地 质 出 版 社

西沙海域生物礁特征及 油气勘探前景

魏 喜 著

地 质 出 版 社

· 北 京 ·

内 容 提 要

《西沙海域生物礁特征及油气勘探前景》一书,是基于二维地震资料和钻探资料对西沙海域生物礁的研究成果。主要内容包括西沙海域生物礁的分布,岩相学、岩石矿物学和地球化学特征,生物礁形成条件、模式和古海洋特征,以及生物礁储层特征、控制因素分析和油气勘探前景。应用的测试方法包括薄片、元素、同位素、包裹体、X衍射、电子探针、背散射、扫描电镜、图像分析、压汞、岩石物性等。

本书可供从事海洋石油地质研究的地质工作者参考,也可作为大专院校师生的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

西沙海域生物礁特征及油气勘探前景 / 魏喜著. —北京:
地质出版社, 2007. 5
ISBN 978-7-116-05328-1

I. 西… II. 魏… III. ①西沙群岛—海域—生物礁—研
究②西沙群岛—海域—油气勘探 IV.
P736. 21 P618. 130. 8

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 077504 号

责任编辑: 蔡卫东
责任校对: 李 玫
出版发行: 地质出版社
社址邮编: 北京海淀区学院路 31 号, 100083
咨询电话: (010)82324508 (邮购部); (010)82324571 (编辑部)
网 址: <http://www.gph.com.cn>
电子邮箱: zbs@gph.com.cn
传 真: (010)82310759
印 刷: 北京印刷学院实习工厂
开 本: 787mm × 1092mm $\frac{1}{16}$
印 张: 8.5
字 数: 200 千字
印 数: 1—600 册
版 次: 2007 年 5 月北京第 1 版·第 1 次印刷
定 价: 30.00 元
书 号: ISBN 978-7-116-05328-1

(如对本书有建议或意见, 敬请致电本社; 本书如有印装问题, 本社负责调换)

前 言

中国南海是太平洋西南侧的一个边缘海,位于欧亚板块东南部边缘。西部和南部有印度板块和澳大利亚板块向北漂移和俯冲;东部有太平洋板块和菲律宾板块向北西西漂移和俯冲。因此,从全球构造角度看,南海又处于欧亚、印度、澳大利亚、太平洋和菲律宾等几大板块的相互作用带上。南海的形成演化备受国内外地质学家的关注,对南海形成提出了多种观点。如 Tapponnier (1986) 认为南海的形成与印度-欧亚板块碰撞引起的印支地块挤出逃逸有关; Fukao (1994)、Tamaki (1995)、邓晋福 (1996) 和 Flower (1998) 等认为南海的形成与青藏高原软流圈物质向东南流动引起的深部过程有关; Karig (1973)、Ben Avraham (1973)、Hilda (1977) 和郭令智 (1983) 认为南海的形成与太平洋和菲律宾板块俯冲引起的弧后扩张有关; Howlloway (1982)、Taylor (1980、1983) 和 Hall (1996、1998) 等认为南海的形成与古南海俯冲拖曳作用有关。这些观点不仅从不同侧面探讨了南海的形成和演化,而且充分说明了南海盆地的研究在全球构造演化研究中具有十分重要的意义。

近年来,随着全球对石油这一不可再生战略物资需求量的逐年增加,东南亚部分国家把目光盯在我国南海,并进行了实质性油气勘探,勘探领域已延伸到我国传统疆域(九段线)之内,每年获得油气产量几千万吨。因此,加大南海研究力度,加快南海地区的实质性勘探研究步伐,尽早在南海南部实施钻探对维护我国主权和领土完整,具有重大意义。

国内外油气勘探实践表明,生物礁油气藏在世界油气储量中占有重要的地位,目前已知全球大约有 $43.4 \times 10^8 \text{t}$ 原油储存在生物礁中。不少国家的油气产量中生物礁油气藏占有相当大的比例,如加拿大占 60%,墨西哥占 70%。生物礁产能十分惊人,在全球日产万吨原油的 8 口井中,生物礁占一半,如墨西哥赛罗·阿苏耳油田 4 号井日产油达 $3.714 \times 10^4 \text{t}$; 加拿大艾伯塔省纳尔逊堡地区的一口井日产气达 $2200 \times 10^4 \text{m}^3$ 。因此,开展生物礁研究具有极大的经济价值。生物礁也是南海盆地的重要储层,如珠江口盆地的流花油田和曾母盆地 L 气田等。因此,在南海盆地开展礁相碳酸盐岩的特征和形成条件研究,有利于对南海盆地油气勘探潜力进行分析。

西沙海域位于南海西北部陆坡区,有 40 多个岛、洲、礁、滩分布在这个海域内(即西沙群岛),岛屿总面积 8km^2 ,是我国南海四大群岛中陆地总面积最大的群岛。西沙海域既有目前正在生长的现代生物礁,又有第四纪生物礁露头,还有针对生物礁的钻探和地震勘探的相关资料,是开展南海盆地礁相碳酸盐岩研究的有利地区。

本书主要利用西沙海域的地震资料和钻井岩心的测试资料,对礁相碳酸盐岩的地震反射特征、岩石学和地球化学特征、储层地质特征进行研究;进而探讨礁相碳酸盐岩的形成条件及其对陆壳隆升、幔源岩浆喷发活动和古气候变化的表现;最后重点对礁相碳酸盐岩的油气勘探前景进行了分析。研究取得以下成果:

(1) 建立了西沙海域生物礁地震识别标志。对西沙海域生物礁的平面和剖面上的分布进行了研究。对生物礁的演化期次进行了划分。

(2) 根据西沙海域西琛1井钻井取心资料,分析了礁相碳酸盐岩的沉积相特征,划分了岩石类型。对礁相碳酸盐岩的岩性特征和纵向变化规律进行了描述和成因解释。

(3) 根据岩石化学分析结果,对西沙海域礁相碳酸盐岩主要元素、微量元素和同位素地层特征进行了分析,对元素和同位素地层的分段性进行了划分和描述。提出古气候、青藏高原隆升、幔源火山活动和古海洋事件是形成元素地层分段性的主要原因。

(4) 从宏观上探讨了南海盆地形成演化和周围大陆三角洲对生物礁形成和发育的控制。分析了西沙海域生物礁的形成条件。对礁相碳酸盐岩的成岩作用进行了研究。

(5) 在分析礁相碳酸盐岩储层特性的基础上,探讨了储层特征影响因素。对南海盆地礁相碳酸盐岩油气藏形成的生油条件、储层条件、盖层条件、圈闭条件、运移条件和后期保存条件进行了分析。预测了礁油气藏的勘探前景。

本书是在中国地质大学(北京)2005年优秀博士论文扶持奖励基金的部分资助下完成。邓晋福、祝永军、莫宣学、张方礼、赵海玲、罗照华、王永成、方念乔、赵国春、梅冥相、苏尚国、吴宗絮、刘树文、李玉喜、郭友钊、石学法、许红等同志在本书编写过程中给予了不同程度的帮助。谨向上述单位和个人表示衷心的感谢。

作者

2007年3月20日

目 次

前 言

第一章 区域地质概况	(1)
1.1 海底地形地貌特征	(1)
1.2 大地构造位置及构造区划	(2)
1.2.1 大地构造位置和深部地质特征	(2)
1.2.2 断裂体系	(4)
1.2.3 构造区划	(4)
1.3 区域地层分布及对比	(5)
1.4 区域岩浆岩分布及特征	(9)
1.5 南海海盆的形成时间和成因机制	(9)
第二章 西沙海域生物礁分布及特征	(12)
2.1 地震剖面上生物礁识别标志	(12)
2.1.1 生物礁一般分布于古构造高部位	(12)
2.1.2 地震波外形和内部结构	(12)
2.1.3 地震波速度	(13)
2.1.4 区域类比标志	(13)
2.1.5 古海洋条件分析	(13)
2.2 生物礁纵向发育特征	(13)
2.2.1 西沙海域东部岛礁区生物礁纵向发育特征	(14)
2.2.2 西沙海域西部盆地区生物礁纵向发育情况及地震反射特征	(15)
2.3 生物礁平面分布规律	(20)
第三章 西沙海域生物礁岩相学及岩石矿物学特征	(21)
3.1 生物礁性质	(21)
3.2 生物礁沉积相	(24)
3.3 生物礁岩石学特征	(33)
3.3.1 结构组分及岩石结构特征	(33)
3.3.2 礁相碳酸盐岩矿物组成特征	(35)
3.3.3 礁相碳酸盐岩类型及特征	(38)

第四章 西沙海域礁相碳酸盐岩地球化学特征	(40)
4.1 主要元素特征	(40)
4.2 微量元素特征	(40)
4.2.1 Sr、Co 元素	(47)
4.2.2 Na、K、P 元素	(48)
4.2.3 Fe、V、B 元素	(49)
4.2.4 Cd、Ba、Mn、Li、Rb、Ni、Pb 元素	(50)
4.3 同位素特征	(50)
4.3.1 碳、氧同位素	(50)
4.3.2 锶同位素	(56)
第五章 西沙海域古海洋特征	(61)
5.1 礁相碳酸盐岩对古海洋特征的记录	(61)
5.1.1 西沙海域礁相碳酸盐岩的几何形态和分布记录了古海平面升降变化的整体特征	(61)
5.1.2 礁相碳酸盐岩岩性特征的古海洋记录	(63)
5.1.3 礁相碳酸盐岩主要元素和微量元素特征的古海洋记录	(63)
5.1.4 礁相碳酸盐岩同位素特征的古海洋记录	(65)
5.2 古地理环境及古海洋学	(76)
5.2.1 海平面相对变化及古地理环境	(76)
5.2.2 古气候分析	(78)
第六章 西沙海域生物礁形成模式与演化	(81)
6.1 生物礁的形成条件	(81)
6.1.1 南海盆地生物礁形成条件分析	(81)
6.1.2 西沙海域生物礁的形成	(85)
6.2 西沙海域生物礁的成礁作用	(87)
6.2.1 西沙海域晚新生代生物礁整体生长发育格局	(87)
6.2.2 生物礁成礁模式	(90)
6.3 生物礁成岩演化特征	(91)
6.3.1 矿物相变	(91)
6.3.2 白云岩化作用	(91)
6.3.3 重结晶作用	(92)
6.3.4 自生矿物胶结作用	(92)
6.3.5 淋滤溶蚀作用	(99)
6.4 火山活动对生物礁成岩演化的影响	(99)

第七章 西沙海域生物礁储层控制因素及油气勘探前景	(100)
7.1 生物礁储层特征和控制因素分析	(100)
7.1.1 生物礁储集空间类型及特征	(100)
7.1.2 孔隙结构参数和储集性能	(103)
7.1.3 储集性能分布规律和影响因素分析	(106)
7.2 生物礁储层成藏条件和油气勘探前景分析	(110)
7.2.1 生油条件	(110)
7.2.2 盖层条件	(112)
7.2.3 圈闭条件	(112)
7.2.4 运移和后期保存条件	(112)
7.2.5 油气勘探前景	(115)
7.2.6 研究取得的主要结论	(117)
参考文献	(119)

第一章 区域地质概况

1.1 海底地形地貌特征

中国南海是太平洋西南侧的一个边缘海,北边是我国的华南大陆和台湾岛,西边是中南半岛和马来半岛,南边是苏门答腊岛和加里曼丹岛,东边是菲律宾群岛。南海外形大致呈椭圆形,长轴 3140km, NE 向,短轴 1250km, NW 向,面积 $350 \times 10^4 \text{km}^2$ (刘昭蜀等, 2002)。南海北部、西部和南部水较浅,中部较深,东部最深。大陆架、大陆坡和深海盆地组合成缺口朝东的马蹄形海底地形(图 1.1)。大陆架水深 150m 以上,面积 $168.5 \times 10^4 \text{km}^2$;大陆坡水深 150~3800m,面积 $126.4 \times 10^4 \text{km}^2$;深海平原水深 3800~4200m,面积 $55.1 \times 10^4 \text{km}^2$ 。海底地形整体上构成三级阶梯。其中,陆坡坡度较大,陆架和深海盆地地势平坦。海底平原分布有海岭和海山,东部有马尼拉海沟,深达 5377m (刘昭蜀等, 2002)。

西沙海域位于南海西北部陆坡区,海底地形表现为东部和西部较高,中间较低,最大水深 1500m (图 1.2)。目前有 40 多个岛、洲、礁、滩分布在这个海域内(即西沙群岛),岛屿总面积 8km^2 ,是我国南海四大群岛中陆地总面积最大的群岛。包括 8 个环礁,即永乐环礁(辖 12 岛、1 礁、1 沙洲)、宣德环礁(辖 6 岛、6 沙洲、1 滩)、东岛环礁、华光环礁、浪花环礁、玉琢环礁、北礁环礁、盘石屿环礁;1 个台礁(中建岛)和 1 个淹没的滩(嵩焘滩,水深 232m)。本书中提到的西琛 1 井位于西沙群岛永乐环礁的琛航岛上,西永 1 井位于西沙群岛宣德环礁的永兴岛上。

西沙海域各岛、洲、礁、滩地貌特征受东北和西南方向季风及相应海流潮差的影响,风浪作用将珊瑚和贝壳碎屑等堆积成大小不等、形状各异的灰沙岛。一般高度不大或仅高于高潮面,海拔最高的石岛高度为 13m,其余高度均在 9m 以下,一般为 1~5m。灰沙岛地貌形态以沙堤、潟湖、沙平台、洼地、海滩岩等最为常见。由于年降雨日达 133 天,降雨量 1505mm,年平均相对湿度 82%,故有 15 个岛植被较为发育,包括永兴岛、东岛(现为自然保护区,面积 1.6km^2 ,为第二大岛,有野生黄牛数十头)、金银岛、甘泉岛、珊瑚岛、晋卿岛、琛航岛、广金岛、中建岛、南沙岛、赵述岛、中沙岛、北岛、中岛、南岛。另外,石岛有少量灌木,银屿岛有少量杂草生长(许红等, 1989)。

按照基底构造和上覆沉积地层特征,西沙海域可分为东部岛礁区(礁盖区)和西部盆地(图 1.2)。东部岛礁区为西沙隆起的较高部位,海水深浅不一,基底之上直接覆盖礁相沉积地层,目前西沙海域出露的岛礁主要位于该区;西部盆地处于西沙隆起的西斜坡向琼东南盆地延伸部位,海水普遍较深,地质历史时期有生物礁发育,但目前多被淹没和覆盖。

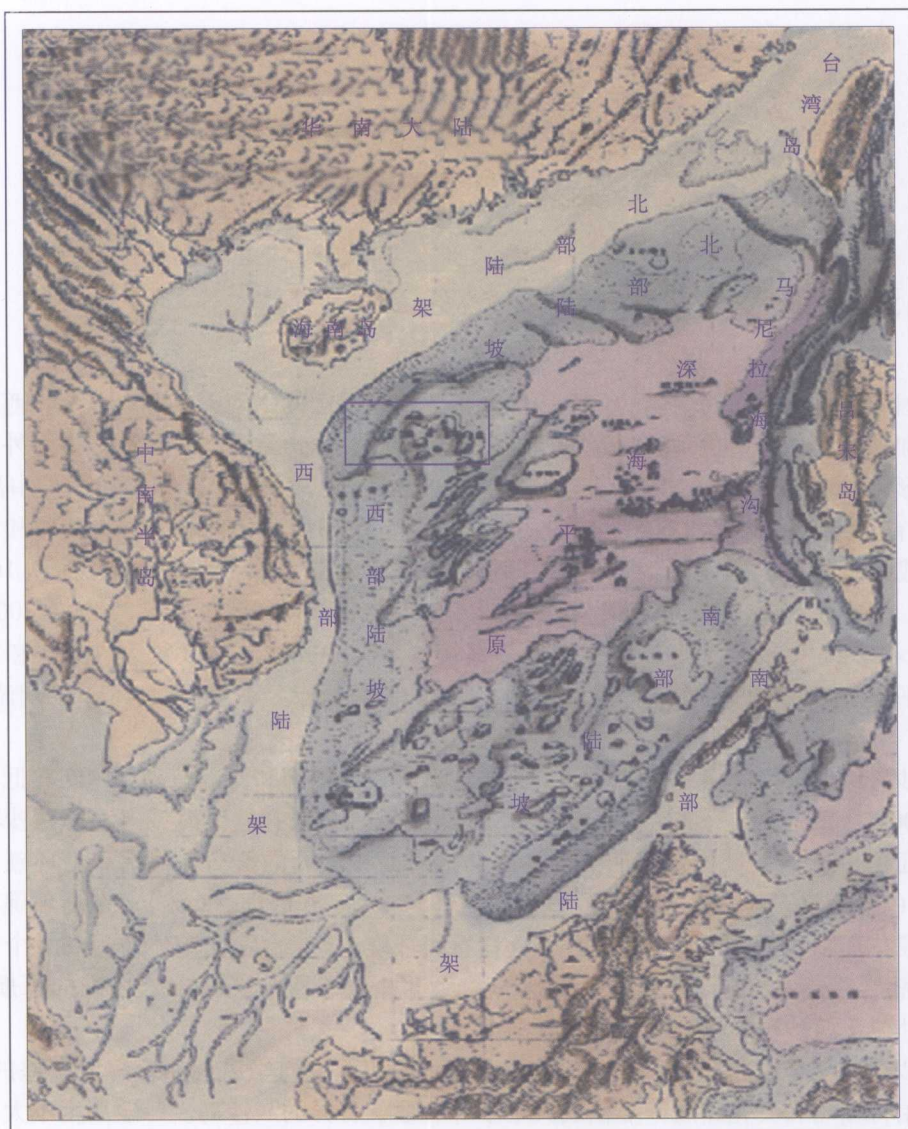


图 1.1 南海地貌特征
(图中方框为本次研究工区西沙海域的范围)

1.2 大地构造位置及构造区划

1.2.1 大地构造位置和深部地质特征

南海位于欧亚板块东南部边缘带部位。西部和南部有印度板块和澳大利亚板块向北漂移和俯冲；东部有太平洋板块和菲律宾板块向北西西漂移和俯冲。这些决定了南海的整体构造背景。

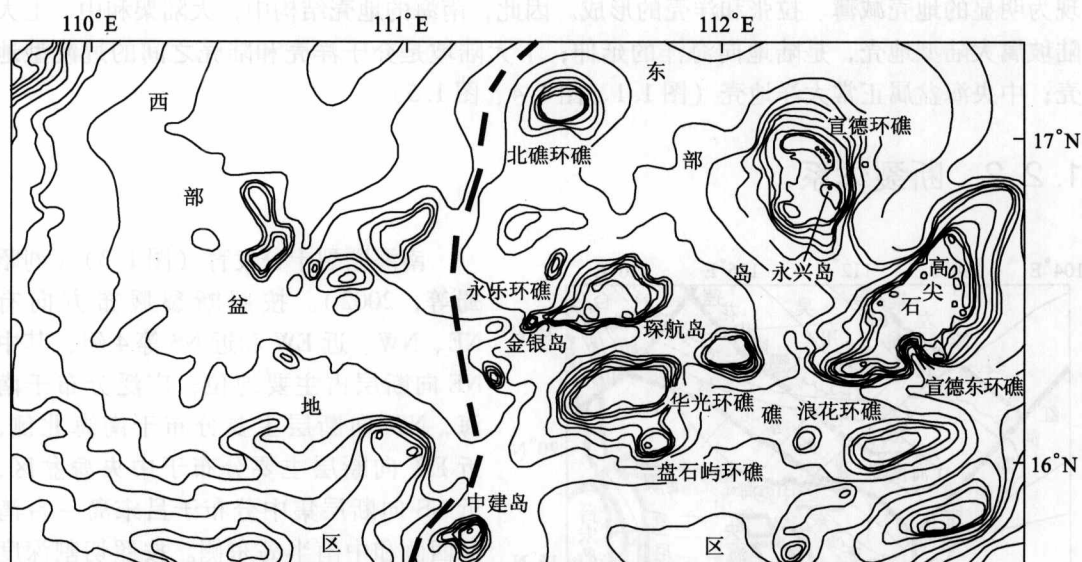


图 1.2 西沙海域海底地形及岛礁分布
(位置见图 1.1)

欧亚、印度、澳大利亚、太平洋和菲律宾等板块的相互作用，在南亚和东南亚有明显的表现。整体上，以欧文断裂、东经 90°海岭、南海西缘断裂和马尼拉海沟为界，将上述板块相互作用带分为 3 个板条区：印度－西藏板条区、印支－苏门答腊板条区和南海－苏拉威西板条区（Wei Xi et al., 2004）。马宗晋等（1999、2003）称其为板条构造。

印度－西藏板条区，以欧文断裂和东经 90°海岭为边界。平面上表现为向北漂移的印度板块与欧亚板块挤压碰撞；纵向上表现为印度板块向欧亚板块之下俯冲，陆壳增厚变形，其中，上部表现为山峰，下部表现为山根和岩石圈根。岩石圈根的形成导致软流物质挤出，软流圈下凹。受板块俯冲和碰撞变形构造走向约束，软流物质挤出方向为北东向到南东向。

印支－苏门答腊板条区，以东经 90°海岭和南海西缘断裂（该断裂可能通过西纳吐纳盆地向南延伸至巽他海峡）为走滑边界，以爪哇海沟为自由边界。浅层表现为禅泰和印支地块向南东逃逸，沿红河、文东－劳勿（吴根耀，1998）等 NW－SE 向断裂带走滑、抬升和旋转；深层表现为软流圈物质自西向东流动。

南海－苏拉威西板条区，以南海西缘断裂和马尼拉海沟为走滑或俯冲走滑边界，以爪哇海沟为自由边界。平面上表现为南海、苏禄海、苏拉威西海和马鲁古海等边缘海盆的形成。纵向上，上部表现为岩石圈的拉张、减薄和洋壳的形成；下部表现为软流物质上拱，软流圈凸起。

综上所述，欧亚、印度、澳大利亚、太平洋和菲律宾等板块的相互作用，在南亚和东南亚等地区的表现不是孤立的，而是相辅相成的统一体。既存在大尺度的盆山耦合关系，也存在岩石圈变形与地幔深部过程的耦合关系。从区域大地构造特征上讲，南海盆地位于南海－苏拉威西板条区的北部，是各大板块相互作用的结果。但它的表现与印度－西藏板条区和印支－苏门答腊板条区不同，具有南海－苏拉威西板条区构造作用和变形特征，表

现为明显的地壳减薄、拉张和洋壳的形成。因此，南海的地壳结构中，大陆架和中、上大陆坡属大陆型地壳，是陆地向海洋的延伸；下大陆坡是介于洋壳和陆壳之间的过渡型地壳；中央海盆属正常大洋地壳（图 1.1、图 1.4、图 1.5）。

1.2.2 断裂体系

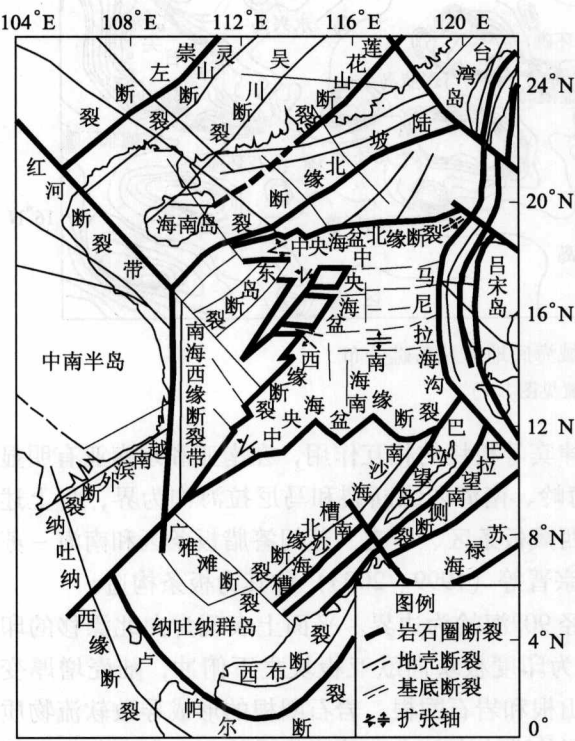


图 1.3 南海盆地断裂系统
(据刘昭蜀等, 2002, 略有修改)

南海断裂十分发育（图 1.3）（刘昭蜀等, 2002）。按照断裂展布方向有 NE、NW、近 EW 和近 NS 等 4 组，其中 NE 向断层占主要地位，广泛分布于南海，NW 向断层主要分布于南海北侧，近 EW 向断层主要分布于中央海盆区，近 NS 向断层集中分布于吕宋岛 - 台湾岛西侧和中南半岛东侧。按照切割深度有岩石圈断裂、壳断裂、基底断裂和盖层断裂，其中的岩石圈断裂对南海的演化特征和分布形态起控制作用。如图 1.1 中表现的菱形海底地形就是北东向和南北向断裂控制的结果。从力学性质和运动学特征上看，有张性伸展断层、剪切走滑断层、压性逆冲断层及其他复合性断层等。另外，南海海盆存在 6 条扩张轴（扩张中心）。

从海陆演化关系上看，南海北部、西部和南部为被动边界，东部为主动边缘。其中，西部表现为走滑，南沙以北表现为拉张，东部边缘表现为消减俯冲，南部边缘是古南海消亡而残留的碰撞挤压带。

1.2.3 构造区划

南海位于欧亚板块、印度板块、澳大利亚板块、菲律宾板块和太平洋板块的相互作用带上，其地质构造形成演化受这些板块运动的制约。按照陆缘扩张观点，将南海划分为 3 个一级构造单元：南海陆缘地堑系、沙巴 - 沙捞越挤压陆缘地堑系和菲律宾岛弧断褶陆缘地堑系（赵焕庭, 1998）。其中，南海陆缘地堑系是南海的主体部分，进一步划分出多个盆地单元（图 1.4）。南海盆地所处大地构造位置决定了它的构造演化和充填特征。也就是说次一级盆地是碎屑岩的沉积中心，而相对凸起部位（包括次一级盆地内的凸起部位）是生物礁的重要形成场所，如西沙、东沙和南沙等隆起区。

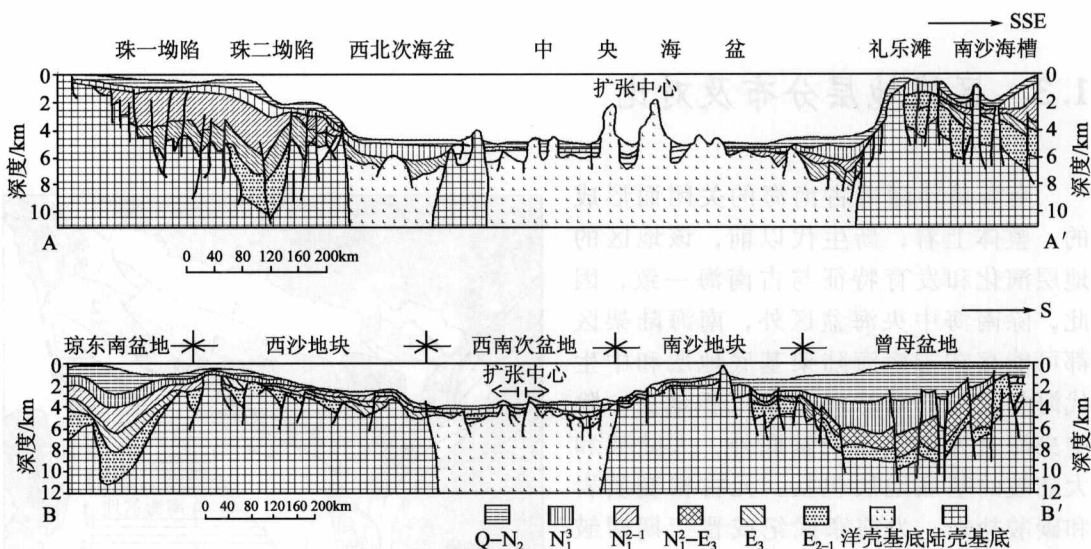


图 1.5 南海 AA' 和 BB' 剖面地质特征
(据张学光等, 2002, 剖面位置见图 1.4)

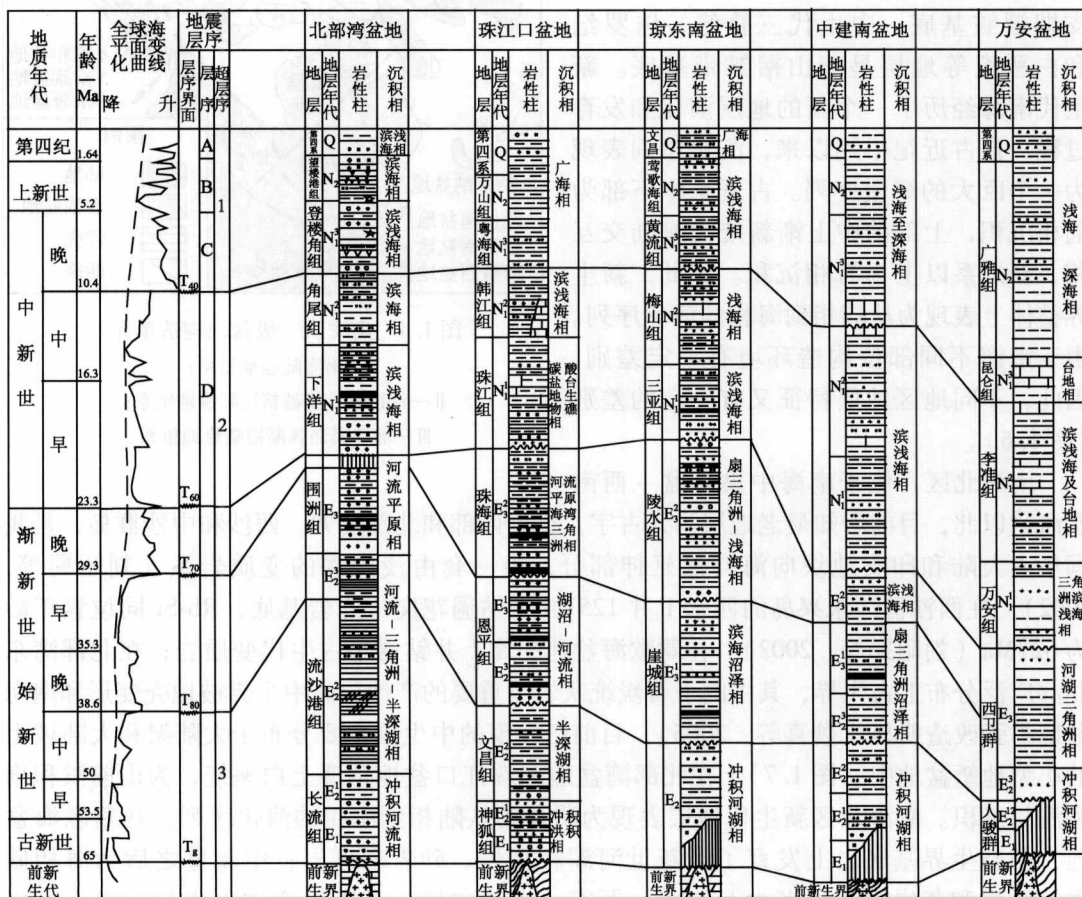


图 1.6 南海部分盆地地层对比

浅海-广海-潮汐环境的泥岩、砂岩和礁灰岩 (N_1^1)，浅海-深海相砂岩、泥岩和礁灰岩 (N_1^{2-3})，浅海相泥岩、细砂岩 (N_2)。珠江口盆地也有类似的沉积序列 (刘昭蜀等, 2002)，前新生界为黑云母花岗岩。古近系神狐组为浅灰、灰白色厚层砂岩夹灰色泥岩及棕色砂质泥岩，凝灰质砂岩夹棕色泥岩，浊积扇相；文昌组为深灰色砂岩、泥岩互层，夹薄煤层，湖沼相；恩平组为深灰色泥岩夹灰色、褐黄色砂岩，河

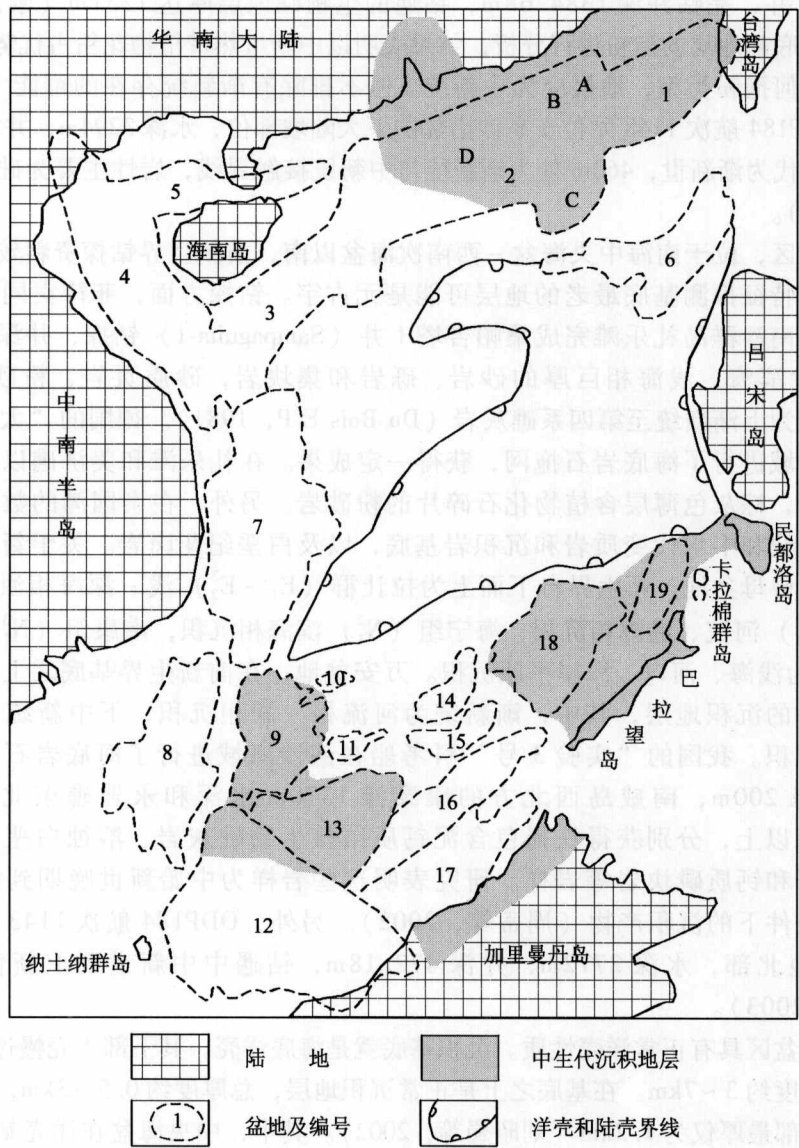


图 1.7 南海盆地中生代海相沉积岩分布
(据魏喜等, 2005)

1~19 分别代表台西南、珠江口、琼东南、莺歌海、北部湾、笔架南、中建南、万安、南薇西、永署、南薇东、曾母、北康、九章、安渡北、南沙海槽、文莱沙巴、礼乐和北巴拉望等盆地，
A、B、C 和 D 分别为东山浅滩、韩江、潮汕和惠州凹陷

泛平原相；珠海组上部为灰黄色砂岩和灰色泥岩互层，海陆过渡相，下部为棕灰色砂岩夹深灰色泥岩，河流相。新近系珠江组为灰色泥岩夹砂岩、钙质砂岩，中下部夹灰岩；韩江组为灰绿色泥岩夹灰色中-细砂岩或粉砂岩，浅海-三角洲相；粤海组为灰绿色泥岩夹中-细砂岩；万山组为灰绿-绿灰色泥岩夹中-细砂岩，富含生物碎片，浅海-滨海相。第四系为浅海-滨海相泥岩夹砂岩。另外，在西沙群岛永兴岛西永1井，完钻井深1384.68m，钻遇的生物礁地层厚达1251m（黎昌，1986）。对靠近礁体底部地层的孢粉进行分析，结果表明以中新世热带植物花粉占优势，没有发现古近纪的任何孢粉类型，地层应为中新统。但不排除有渐新统存在的可能（吴作基等，1982）。ODP184航次1148站位于东沙南部的下大陆坡部位，水深3294m，井深850.85m，井底地层时代为渐新世，460m处为渐新统与中新统接触界线，岩性主要为硅质岩（房殿勇等，2002）。

南部海区，位于南海中央海盆-西南次海盆以南，前新生界钻探资料较少，根据磁场、地震等特征推测基底最老的地层可能是元古宇。钻探方面，菲律宾同国外某石油公司在我国南沙群岛礼乐滩完成桑帕吉塔1井（Sampaguita-1）钻探，井深4125m，钻遇早白垩世滨海、浅海相巨厚的砂岩、砾岩和集块岩，砂质页岩、粉砂岩夹煤层，2160m以上为上渐新统至第四系礁灰岩（Du Bois E P, 1981）。德国的“太阳号”科考船在南沙海域进行了海底岩石拖网，获得一定成果。在礼乐滩和美济礁以东获得三叠系硅质页岩，棕灰色薄层含植物化石碎片的粉砂岩。另外，在泰国湾的数口井中钻遇石炭-二叠纪和中生代变质岩和沉积岩基底，以及白垩纪花岗岩。关于新生界目前了解较多，在曾母盆地，新生界自下而上为拉让群（ $E_1-E_2^3$ ）浅-深海相浊积岩，曾母组（ $E_3^1-N_1^1$ ）河流、港湾相沉积，海宁组（ N_1^2 ）滨海相沉积，南康组（ N_1^3 ）和北康组（ N_2-Q ）为浅海、河口、海岸平原沉积。万安盆地，在前新生界基底之上，直接覆盖渐新世以后的沉积地层，其中，渐新统为河流相-湖相沉积，下中新统及其以上地层为海相沉积。我国的“实验3号”科考船在南沙海域进行了海底岩石拖网，在曾母盆地北缘200m，南威岛西北方的康泰滩1370m水深和永暑礁东北55km海山2000m水深以上，分别获得铁褐色含泥钙质结核生物礁灰岩、溶蚀白垩状灰岩、含磷生屑灰岩和钙质磷块岩等岩样。研究表明这些岩样为中始新世晚期到渐新世的半深海环境条件下的沉积产物（周蒂等，2002）。另外，ODP184航次1143站在南沙群岛南薇盆地北部，水深2772m，井深472.18m，钻遇中中新世到上新世硅藻地层（陆钧等，2003）。

中央海盆区具有正常洋壳性质。沉积基底就是海底洋壳，其下部为壳幔过渡层和火山岩层，总厚度约3~7km。在基底之上是正常沉积地层，总厚度约0.5~3km，北部最厚可达3km，南部最厚仅为1.2km（刘昭蜀等，2002）。其中，中央海盆在洋壳基底之上覆盖中新世以来的深海沉积层，中央海盆边缘在洋壳基底之上覆盖晚渐新世的浅海碳酸盐岩沉积层，西南次海盆则在洋壳基底之上覆盖中、晚始新世以来的海相沉积层（姚伯初等，1994）。

南海部分盆地沉积地层的对比关系见图1.6。

1.4 区域岩浆岩分布及特征

伴随着地壳拉伸和减薄，南海及其比邻地区火山岩十分发育（金庆焕，1989）（图 1.8）。其中，古近纪火山岩主要见于南海深海盆地和菲律宾的各个岛屿。在深海盆地，较薄的沉积层之下广泛分布大洋玄武岩，是南海扩张的产物。油气钻探在珠江口盆地也发现古近纪火山岩。新近纪早期火山活动相对较弱，在南海部分海岛有该期火山岩分布。上新世—更新世火山活动强烈，主要分布在雷琼地区、西沙海域和中南半岛等地，岩石类型主要为玄武岩。

南海盆地火山喷发作用可能导致海水温度升高，或海水中微量元素和同位素等含量和组成的变化。这种变化在沉积岩，特别是礁相碳酸盐岩中得到记录。



图 1.8 南海盆地及邻区火山岩分布
(据金庆焕，1989，略有修改)

1.5 南海海盆的形成时间和成因机制

南海盆地处于欧亚板块的东南边缘，是欧亚、印度、澳大利亚和太平洋等几大板块相互作用十分强烈的地区，因此，其形成演化备受国内外地质学家的广泛重视，并提出多种观点。主要有：

(1) 南海的形成与印度—欧亚板块碰撞引起的印支地块挤出逃逸有关（Tapponnier et al., 1986）。

(2) 南海的形成与青藏高原软流圈物质东南向流动引起的深部过程有关（Fukao et al., 1994；Tamaki, 1995；邓晋福等，1996；Flower et al., 1998）。

(3) 南海的形成与板块俯冲引起的弧后扩张有关（Karig, 1973；Ben-Avraham et al., 1973；Hilda et al., 1977；郭令智等，1983）。

(4) 南海的形成与古南海俯冲拖曳作用有关（Howllo-way, 1982；Taylor et al., 1980、1983；Robert Hall, 1996、2002）。

这些观点从不同侧面探讨了南海的形成和演化。笔者认为，南海所处大地构造位置复杂，很难用简单的成因模式加以解释。实际上，南海盆地处于区域大的板块相互作用的强烈碰撞活动带上，是在欧亚、印度、澳大利亚、菲律宾和太平洋等几大板块整体会聚和挤压的背景下形成的，是在大尺度板块整体汇聚和挤压背景下的局部伸展扩张（魏喜等，2005）（图 1.9）。它与印度—欧亚板块碰撞引起的深部软流圈物质向东南方向流动，红河断裂和南海西缘断裂走滑活动，禅泰和印支等微板块旋转和逃逸，以及软流物质在南海地区底辟上拱等密切相关，是全球板块构造的一个枢纽带和调节带。它既是