

南海北部大陆边缘盆地 天然气地质

朱伟林 等著

石油工业出版社



南海北部大陆边缘盆地 天然气地质

朱伟林 张功成 杨少坤 李绪深 施和生 等著
庞 雄 骆宗强 黄保家 何 敏



石油工业出版社

内 容 提 要

本书首先阐述了我国南海北部大陆边缘盆地天然气地质特征,提出多幕沉降沉积叠加形成的厚皮叠合凹陷是主要的生气凹陷,主要分布在北部大陆边缘外带;多幕裂陷作用形成陆相、海陆相和海相三套烃源岩;天然气形成受母质类型和热演化控制;储层、盖层和储盖组合受区域海进控制;运移和保存条件受新构造运动控制,具有晚期和超晚期成藏特征;成藏单元包括(低)凸起与凹中隆等正向构造等;背斜、断层和复合圈闭是主要的圈闭类型。其次,论述了天然气藏预测方法,主要包括储层岩石物理特征、储层地球物理预测方法和储层烃类检测方法,剖析了典型实例。最后,总结了近年来天然气勘探所取得的主要成果,预测了天然气勘探的新领域。

本书可供天然气地质、石油地质、构造地质、沉积地质、地球物理、海洋地质和资源评价方面的同行参考。

图书在版编目(CIP)数据

南海北部大陆边缘盆地天然气地质 / 朱伟林等著.

北京:石油工业出版社,2007.12

ISBN 978-7-5021-6317-4

I. 南…

II. 朱…

III. 南海—大陆边缘—含油气盆地—石油天然气地质

IV. P618.130.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 168543 号

出版发行:石油工业出版社

(北京安定门外安华里 2 区 1 号 100011)

网 址: www.petropub.com.cn

编 辑 部: (010) 64251610 发 行 部: (010)64523620

经 销: 全国新华书店

印 刷: 石油工业出版社印刷厂

2007 年 12 月第 1 版 2007 年 12 月第 1 次印刷

787×1092 毫米 开本: 1/16 印张: 25.25

字数: 643 千字 印数: 1—1000 册

定价: 120.00 元

(如出现印装质量问题, 我社发行部负责调换)

版权所有, 翻印必究

前言

南海北部大陆边缘发育有珠江口盆地、琼东南盆地、莺歌海盆地、北部湾盆地、台西南盆地、笔架南盆地、双峰盆地等多个中、新生代沉积盆地。这些盆地的油气勘探最早起始于 20 世纪 50 年代末期的海底气苗调查, 20 世纪 80 年代以来取得了一系列重要的油气发现, 建成了我国南方最大的油气生产基地。

该区的天然气勘探历史较长, 也取得了重要的发现。1983 年在琼东南盆地发现了我国当时最大的气田——崖城 13-1 整装近千亿立方米大气田, 1993 年在高温高压的莺歌海盆地发现了东方 1-1 整装近千亿立方米大气田, 2006 年在珠江口盆地深水区发现了目前中国近海最大的荔湾 3-1 整装超千亿立方米大气田。此外, 气田规模在 $(300 \sim 1000) \times 10^8 \text{m}^3$ 和在 $300 \times 10^8 \text{m}^3$ 以下的也有一批。这些气田在平面上成群分布。在莺歌海盆地东方区、乐东区和琼东南盆地崖城区、珠江口盆地文昌区、番禺低隆起—白云凹陷区, 建成和即将建成 5 个天然气生产基地。

南海北部大陆边缘盆地天然气地质独具特色。我国另外三大万亿立方米气区塔里木盆地、四川盆地和鄂尔多斯盆地多属于古生代克拉通或克拉通与前陆盆地的叠合盆地, 而南海北部大陆边缘盆地属于伸展盆地中边缘海盆地的类被动大陆边缘盆地。在南海北部大陆边缘内部, 油气田分布格局也很有特点, 呈内油外气的分带格局, 在北部湾盆地—琼东南盆地北部凹陷带—珠江口盆地北部凹陷带及相邻隆起形成的主要是油田; 在莺歌海盆地—琼东南盆地中央凹陷带及其邻区—珠江口盆地南部凹陷带及其邻区形成的主要是气田。天然气地质特征与南海扩张、喜马拉雅运动等重大事件相关, 与南海北部大陆边缘的海进关系密切。

南海北部天然气勘探方法也颇具特色。从地震资料处理、储层预测、烃类检测、压力预测等方面研发了本土化的技术体系。

经过系统分析 20 多年来的研究成果，并总结天然气地质理论和勘探技术，特撰写了本书，以期给未来南海北部大陆边缘盆地、甚至中国海域天然气勘探的发展提供一些借鉴。

全书共分为四个部分，第一部分为富气凹陷分布及其地质特征，阐述了南海北部大陆边缘天然气藏形成的区域背景，提出了厚皮叠合凹陷是主要的生气凹陷，外带是生气凹陷的主要分布区域。第二部分为天然气成藏体系，细分为三篇，第一篇为气源分析，阐述了多源生气，晚期生排的基本规律；第二篇为区带与成藏，明晰了新构造运动性质与区域性海相储盖组合决定成藏的特征；第三篇为非构造圈闭。第三部分是天然气储层与烃类检测。第四部分是天然气勘探进展与勘探新领域，特别指出深水区是大中型天然气田发现的主要领域。

各章撰写人员分列如下：

第 1 章：朱伟林、张功成、孙玉梅；第 2 章：吕明；第 3 章：张道军；第 4 章：柳保军、庞雄、申俊、连世勇、吴湘杰、屈亮；第 5 章：傅宁；第 6 章：庞雄、何敏、朱俊章；第 7 章：朱伟林、黄保家；第 8 章：徐新德；第 9 章：张功成、贺清；第 10 章：施和生；第 11 章：秦成岗；第 12 章：庞雄、陈长民、陈红汉；第 13 章：李大鹏；第 14 章：张迎朝；第 15 章：张功成、吕建军、赵志刚；第 16 章：黄保家；第 17 章：骆宗强、朱伟林、张功成；第 18 章：何敏；第 19 章：朱伟林、李绪深；第 20 章：张功成、骆宗强、王春红、马立武；第 21 章：陈宝书、汪小将；第 22 章：何敏；第 23 章：陈胜红；第 24 章：邓启才；第 25 章：李维新、张文；第 26 章：杨少坤、朱伟林、施和生、陈雪芳；第 27 章：钟锴、侯国伟；第 28 章：李俊良；第 29 章：朱伟林、李绪深；第 30 章：张功成、朱伟林；第 31 章：裴健翔；第 32 章：宫少波；第 33 章：童传新；第 34 章：范彩伟；第 35 章：朱建成。本书由中国海洋石油总公司总地质师兼中海石油（中国）有限公司执行副总裁、勘探部总经理朱伟林博士统稿、审定。

本项研究得到中国海洋石油总公司前总地质师龚再升教授、前总地质师茹克教授、中海石油（中国）有限公司高级副总裁兼中海石油研究中心主任陈伟教授、中国海洋石油总公司副总地质师兼中海石油研究中心副主任邓运华教授、中海石油（中国）有限公司深圳分公司李凡荣总经理、刘再生副总经理、研究院王庆如院长、中海石油（中国）有限公司湛江分公司谢玉红总经理、蔡东升副总经理、勘探开发部易平经理、研究院王振峰院长、中海石油研究中心武文来副主任、王志君副主任、李绪宣总地球物理师、技术支持部刘一峰经理、勘探研究部吴景富经理、中海石油（中国）有限公司勘探部米立军地质总监、孙晓红高级主管、何大伟高级主管、中海石油（中国）有限公司勘探风险委员会专家杨川恒、陈斯忠、陈长民、杨甲明和王国纯等专家的指导和帮助，在此谨表衷心谢意。

作者

2007 年 12 月 28 日

目 录

第一部分 富气凹陷分布及其地质特征

001

第1章 南海北部大陆边缘构造分带性	003
1 概况	003
2 南海北部大陆边缘盆地构造演化	005
3 主力生气凹陷分布	015
4 小结	022
第2章 莺歌海盆地层序地层和沉积特征	023
1 层序地层特征	023
2 古构造、古地貌恢复	027
3 物源分析	032
4 新近系沉积相展布及演化	038
第3章 琼东南盆地同步构造—沉积演化	043
1 层序地层特征	043
2 古构造、古地貌恢复	047
3 沉积相展布及演化	054

第4章 珠江口盆地白云凹陷沉积充填演化	060
1 白云凹陷的沉积充填及演化	061
2 储盖组合及控制因素分析	065
3 小结	067
第二部分 天然气成藏体系	069
第一篇 气源分析	071
第5章 珠江口盆地白云凹陷番禺低隆起油气来源及其成藏	071
1 地质背景	071
2 烃源岩分布及主要地球化学特征	072
3 油气源自恩平组烃源岩	075
4 油气具晚期成烃的特点	079
5 小结	082
第6章 珠江口盆地珠二坳陷湖相烃源岩的形成条件	083
1 珠二坳陷始新世—早渐新世时期具备潮湿的古气候条件	083
2 珠二坳陷断陷期发育大型湖相沉积环境	084
3 白云凹陷文昌组—恩平组生烃潜力和地球化学特征	089
4 珠二坳陷烃源潜力讨论	090
第7章 莺—琼盆地烃源岩地球化学特征及生气潜力	091
1 地质背景	091
2 烃源岩的展布	092
3 烃源岩特征及生气潜力	092
4 小结	100
第8章 琼东南盆地崖城组高丰度烃源岩分布预测	101
1 琼东南盆地崖城组海陆交互相高丰度烃源岩组合展布特征	101
2 崖城组海相中等丰度烃源岩展布特征	108
3 高丰度烃源岩成熟演化对天然气分布的控制作用	111
4 天然气重要勘探领域分析	112

第二篇 区带与成藏	113
第9章 白云凹陷油气成藏单元划分及其特征	113
1 凹陷构造演化	113
2 白云凹陷及其邻区成藏单元划分	114
3 白云凹陷北部成藏单元地质特征	116
4 白云凹陷西南部成藏单元	120
5 白云凹陷东南部成藏单元	120
6 小结	121
第10章 珠江口盆地番禺低隆起复合输导体系及其天然气成藏	122
1 主要输导层位及横向输导体	122
2 断层垂向和侧向输导	123
3 断裂体系、构造脊和砂体的紧密配合构成本区最具特色的复合 输导体系	125
4 输导体系的时空展布与油气演化的匹配关系	126
5 番禺低隆起油气运移模式	128
6 小结	130
第11章 珠江口盆地番禺低隆起天然气晚期成藏	131
1 区域地质概况	131
2 天然气藏基本特征	131
3 晚期天然气成藏证据	132
4 晚期气藏形成地质条件分析	135
5 小结	137
第12章 珠江口盆地白云深水区油气成藏的动力学条件	138
1 晚期断裂控制天然气运聚成藏是白云凹陷北坡天然气藏的成藏特色	138
2 白云深水区成藏条件分析	139
3 小结	143
第13章 琼东南盆地勘探成败分析与油气成藏	145
1 崖南凹陷钻探成败分析	145
2 松南凹陷钻探成败分析	146
3 宝岛凹陷钻探成败分析	149

4 松东凹陷钻探成败分析	150
5 松西凹陷钻探成败分析	152
6 崖北凹陷钻探成败分析	152
7 乐东凹陷钻探成败分析	153
8 盆地钻探成败总结与油气聚集规律探讨	154
第 14 章 琼东南盆地天然气分布及聚集方向	157
1 近岸带控藏	157
2 琼东南盆地天然气运聚方向	163
3 小结	164
第 15 章 崖南凹陷及邻区天然气成藏组合与成藏单元	166
1 成藏组合	166
2 成藏单元解析	172
3 小结	176
第 16 章 莺歌海盆地天然气输导系统与运聚	177
1 莺歌海盆地运移通道特征与输导样式	177
2 天然气主运移方向	181
3 小结	187
第三篇 非构造圈闭	189
第 17 章 复合圈闭识别与评价方法	189
1 构造型复合圈闭识别技术	189
2 储层预测技术	191
3 烃类检测技术	192
第 18 章 珠江口盆地 HZ21-1 气藏及其外围储集体描述	195
1 地质背景	195
2 研究思路	196
3 HZ21-1 气藏及其外围储集体一体化研究	197
4 小结	203
第 19 章 莺—琼盆地隐蔽气藏形成条件及其分布	204
1 莺—琼盆地隐蔽气藏形成条件	204
2 莺—琼盆地隐蔽气藏综合识别	206

3 莺—琼盆地隐蔽气藏勘探领域与潜力	209
4 小结	210
第 20 章 琼东南盆地崖南凹陷及邻区复合圈闭成藏条件	212
1 M圈闭及其成藏条件分析	212
2 N圈闭及成藏条件分析	224
3 小结	233

第三部分 天然气储层与烃类检测

235

第 21 章 海上地震数据相对保幅处理关键技术应用	237
1 振幅补偿技术	237
2 去除直达波、折射波处理技术	238
3 多次波压制技术	239
4 提高分辨率处理技术	240
5 相对保幅处理中需要注意的几个问题	240
6 小结	243
第 22 章 深水区崎岖海底地震资料处理技术	244
1 深水崎岖海底区时深转换方法研究	244
2 应用效果	247
3 小结	248
第 23 章 番禺天然气区地震烃类检测	249
1 储层及其含气性预测	249
2 应用实例分析	252
3 小结	257
第 24 章 莺—琼盆地储层预测地震岩石物理规律研究	259
1 莺歌海盆地储层预测岩石物理研究	259
2 琼东南盆地储层预测岩石物理研究	262
第 25 章 地球物理技术在琼东南盆地勘探的应用	266
1 概况	266
2 天然气地球物理勘探技术研究思路	267

3 环崖南凹陷岩石物理和地震响应研究	268
4 环崖南凹陷天然气地球物理检测技术研究	272
5 环崖南凹陷天然气地球物理勘探技术体系	281
6 环崖南凹陷目标评价和优选	283
7 小结	284

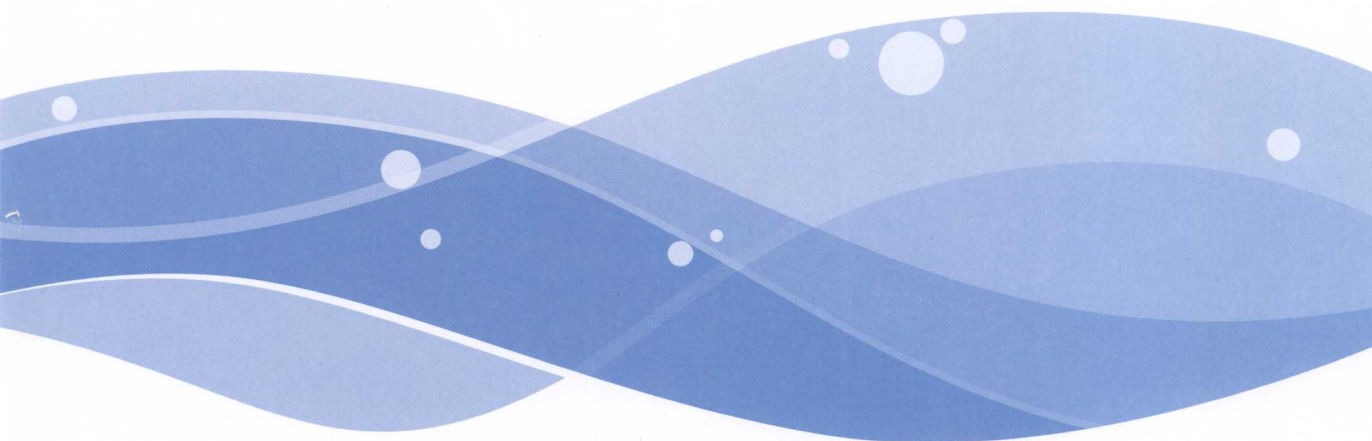
第四部分 天然气勘探进展与勘探新领域	285
---------------------------	------------

第 26 章 番禺低隆起天然气勘探实践	287
1 番禺低隆起油气地质特征	288
2 天然气勘探技术与战术	290
3 天然气勘探实践与认识	300
4 油气成藏规律	304
第 27 章 珠江口盆地云开低凸起结构与成藏分析	306
1 云开低凸起结构及其演化	306
2 成藏条件分析	308
3 小结	311
第 28 章 珠江口盆地西部文昌 A 凹陷天然气勘探潜力	312
1 文昌 A 凹陷构造演化与地层格架	313
2 文昌 A 凹陷油气成藏条件与勘探潜力分析	313
3 小结	318
第 29 章 莺—琼盆地天然气勘探成果	319
1 莺歌海盆地气藏形成条件与成藏模式	319
2 琼东南盆地气藏形成条件与成藏模式	326
第 30 章 琼东南盆地深水区大中型油气田勘探方向	329
1 深水区构造沉积演化	329
2 坳陷结构与烃源岩	332
3 深水区凸起结构及其成藏	339
4 小结	345

第 31 章 琼东南盆地浅水区天然气勘探突破方向	346
1 盆地成藏主控因素分析	346
2 盆地勘探突破方向选择	351
第 32 章 应用地质模型与统计模型综合法评价莺歌海盆地天然气资源	355
1 油气资源分类体系	355
2 油气资源评价方法	357
3 地质模型与统计模型综合法基本要点及在莺歌海盆地天然气资源评价中 的应用	359
4 地质模型与统计模型综合法与圈闭加和法的比较	365
第 33 章 莺歌海盆地中深层天然气勘探前景分析	367
1 具备形成大中型气田成藏条件	368
2 成藏模式预测	369
3 中深层天然气勘探潜力	370
第 34 章 莺歌海盆地中央底辟带乐东区中浅层岩性气藏潜力	371
1 区域沉积	371
2 烃源与运移	373
3 岩性气藏识别技术	374
4 区域岩性气藏潜力分析	376
第 35 章 莺歌海盆地莺东斜坡带成藏主控因素分析	378
1 天然气成藏条件	378
2 成藏主控因素	379
3 有利成藏区带	382
参考文献	383

第 一 部 分

富 气 凹 陷 分 布
及 其 地 质 特 征



第 1 章 南海北部大陆边缘构造分带性

1 概况

南海位于欧亚板块、菲律宾板块和印度洋板块三大板块的交汇处，是西太平洋较大的边缘海之一，北靠华南古陆，南至加里曼丹岛，东临台湾、菲律宾群岛，西界为中南半岛，总面积约 $350 \times 10^4 \text{km}^2$ 。南海地貌上中央为海盆，四周为大陆边缘，大陆边缘包括大陆架和大陆坡。南海四周不同大陆边缘性质不同，北部大陆边缘是被动型，西部大陆边缘属于扭张型，南部大陆边缘是挤压型，东部边缘属于俯冲型（图 1.1）。

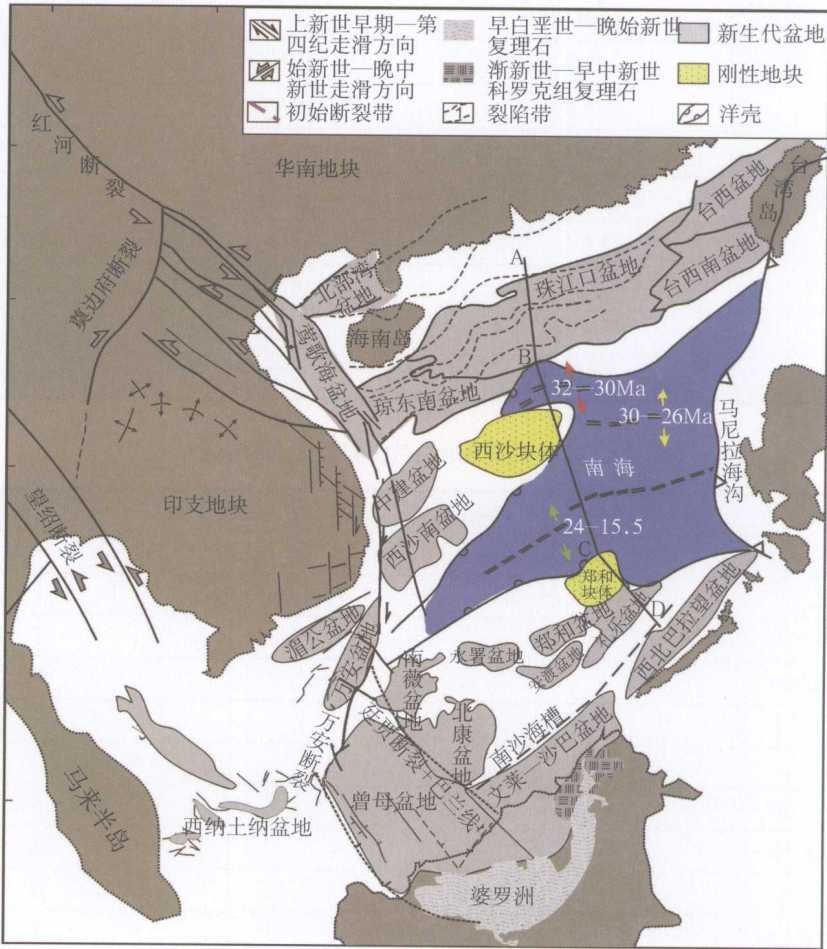


图 1.1 南海及其邻区中、新生代沉积盆地分布示意图

南海陆架和陆坡区发育 20 多个新生代盆地，局部地区保存有中生代残余盆地。沉积盆地主要分布于南海南、北两侧大陆边缘，东、西两侧大陆边缘的盆地较少，部分盆地分布于南北

和东西大陆边缘的交汇部位。不同大陆边缘的盆地动力学类型不同，北部属于伸展型，南部属于挤压型，西部属于扭张型。

南海及其周边油气勘探历史较长，油气发现很多（表 1.1 和表 1.2）。1866 年曾在文莱拉布安岛上钻浅井，产少量石油；1910 年马来西亚发现米里油田；1929 年在文莱境内发现诗里亚油田；1940 年发现杰拉东（Jerudong）油气田；1954 年荷属壳牌公司在沙捞越近海开展地震勘探；1957 年钻 Siwa-1 井，同年在文莱近海钻 SW.Ampa-1 井；1957 年我国石油工业部

表 1.1 南海主要盆地第一个油气田（井）发现时间表

盆地名称	油气田（井）名称	发现时间	备注
文莱—沙巴	藤本哥油田	1971	ESSO 公司
曾 母	特马纳油田	1962	SHELL 公司
	L 气田	1973	AGIP 公司
万 安	都油田	1975	PETEN 公司
湄 公	白虎油田	1975	MOBILE 公司
西北巴拉望	尼多油田	1976	城市服务公司
礼 乐	桑帕吉他 1 井气田	1976	AMOCO/SALEN 公司
北部湾	湾 1 井（油）	1977	石油部
珠江口	珠 5 井（油）	1979	地矿部
莺歌海	莺 2 井（气）	1978	石油部
琼东南	莺 9 井（油）	1979	石油部
台西南	致昌气田	1974	台湾石油公司

表 1.2 南海主要盆地油气田和含油气构造统计表

盆地名称	油田或含油构造（个）	气田或含气构造（个）
珠江口	29	3
北部湾	13	1
琼东南	4	4
莺歌海	—	10
台西南	—	3
湄 公	6	—
万 安	8	8
曾 母	30	56
马 来	44	35
西纳土纳	6	4
文莱—沙巴	50	11
礼 乐	—	1
西北巴拉望	11	4
中央河谷	—	1

派人调查莺歌海盆地海底气苗；1962年在曾母盆地发现特马纳油田；1963年在文莱三角洲发现西南安柏油田；20世纪60年代后期，由于采用数字地震技术，资料准确，钻探成功率大为提高，相继发现了大批油气田，目前位于陆架上的盆地多发现了重要的石油和天然气藏，其中包括一批大中型油气藏，如曾母盆地L气田，其储量约 $5 \times 10^{12} \text{m}^3$ 。南海是世界上一个重要的油气区，探明石油储量位居世界海洋石油的第五位，天然气探明储量位居第四位。

本章研究范围在构造上为中央海盆以北到华南之间的海域，即南海北部大陆边缘。该区分布有多个新生代盆地，其中莺歌海盆地、琼东南盆地、北部湾盆地和珠江口盆地勘探程度较高，除发现大量的原油之外，也发现了大量的天然气。其中探明储量在 $1000 \times 10^8 \text{m}^3$ 左右的是莺歌海盆地东方1-1气田、琼东南盆地崖城13-1气田以及珠江口盆地荔湾3-1气田（图1.1）；探明储量在 $(300 \sim 1000) \times 10^8 \text{m}^3$ 的有乐东22-1气田、番禺30-1气田和乐东22-1气田等，储量在 $100 \times 10^8 \text{m}^3$ 以下的有崖城13-4气田、惠州21-1气藏、文昌10-3气田、文昌9-1气田和文昌9-2气田等一大批气田，说明该区有丰富的天然气勘探前景。本章拟对生气凹陷或生气凹陷形成的区域地质背景、深部地质背景、盆地结构和构造热演化进行分析，预测生气凹陷的时空分布特征，明晰天然气勘探方向。

2 南海北部大陆边缘盆地构造演化

2.1 南海边缘海构造演化轮廓

南海位于欧亚板块、菲律宾板块和印度洋板块三大板块的交汇处，是西太平洋较大的边缘海之一（图1.2），前人对其发生、发展及其改造作过详尽的研究（C.Bowin, R.S.Lee and H.Schouten, 1978; B.Taylor and D.E.Haryes, 1983; 任纪舜, 陈延愚, 牛宝贵等, 1992; 《沿海大陆架及毗邻海域油气区石油地质志》编写组, 1992; 姚伯初, 曾维军等, 1993; 龚再升, 李思田等, 1997; 张功成, 徐宏, 王同和, 1999; 张功成, 米立军, 吴时国等, 2007），但至今尚未取得一致认识。大致可以分成三种认识：其一是滑移学说，认为印度板块下插到欧亚板块之下，引起东亚地块向东滑移，印支地块沿红河断裂带大位移走滑，形成南海海盆；其二认为与板块俯冲事件有关，菲律宾海板块向古南海地台俯冲，

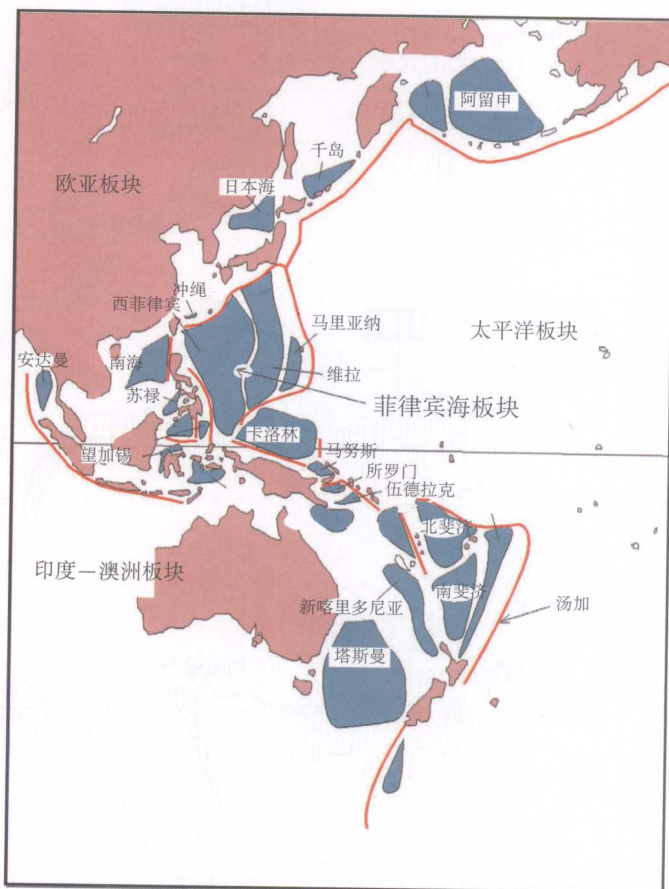


图 1.2 南海板块构造位置示意图（据 Tamaki, 1991）