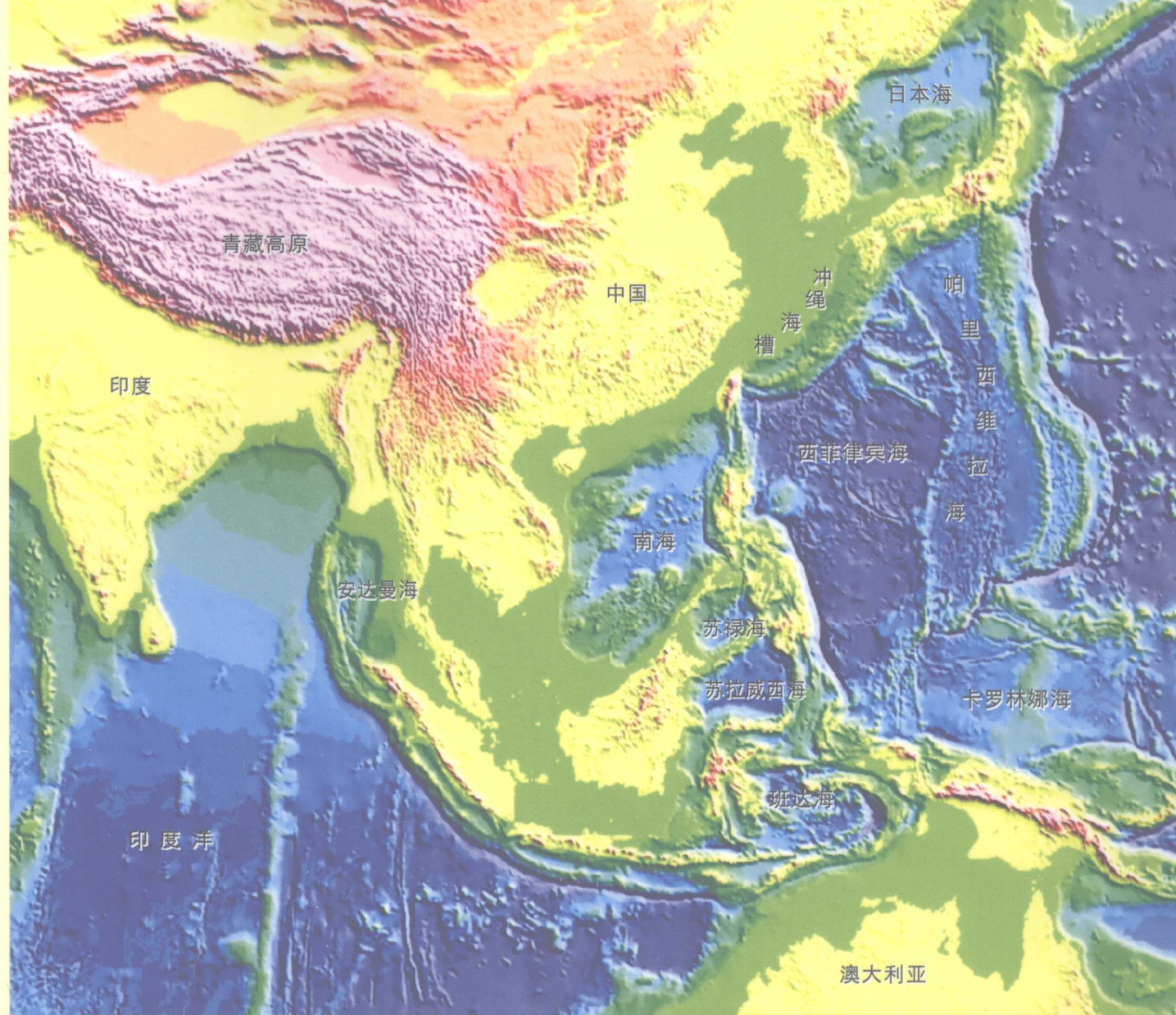




中国边缘海形成演化 与资源效应

李家彪 主编



海洋出版社

中国边缘海形成演化与资源效应

EVOLUTION OF CHINA'S MARGINAL SEAS AND ITS
EFFECT OF NATURAL RESOURCES

李家彪 主编

海洋出版社

2008 年 · 北京

图书在版编目(CIP)数据

中国边缘海形成演化与资源效应/李家彪主编. —北京:海洋出版社,2005.9(2008.11 重印)

ISBN 978-7-5027-6452-4

I. 中… II. 李… III. ①边缘海—海洋演化—研究—中国 ②边缘海—海洋资源—研究—中国
IV. P722

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 109658 号

责任编辑:王 溪

责任印制:刘志恒

海洋出版社 出版发行

<http://www.oceanpress.com.cn>

北京市海淀区大慧寺路 8 号 邮编:100081

北京画中画印刷有限公司印刷 新华书店发行所经销

2005 年 9 月第 1 版 2008 年 11 月第 2 次印刷

开本:889mm×1194mm 1/16 印张:32.75

字数:986.6 千字 定价:210.00 元

发行部:62147016 邮购部:68038093 总编室:62114335

海洋版图书印、装错误可随时退换

《中国边缘海形成演化与资源效应》

编写委员会

顾问：刘光鼎、秦蕴珊、金翔龙、欧阳自远、冯志强

主编：李家彪

编委（以姓氏笔画为序）：王家林、方念乔、丘学林、李安春、李家彪、
张健、陈汉林、宋海斌、周蒂、郝天珧、姚伯初、高金耀

撰写人（以姓氏笔画为序）：丁巍伟、于兴河、万玲、王秀娟、王英名、
王家林、王海荣、方念乔、邓安雄、叶芳、丘元禧、丘学林、
付永涛、任建业、刘学伟、刘建华（女）、刘建华、刘振湖、
刘海龄、刘晓峰、江为为、许鹤华、孙珍、孙春岩、阮爱国、
苏新、杜德莉、李安春、李春峰、李家彪、杨木壮、吴小强、吴
世敏、吴时国、吴庐山、吴振利、吴健生、邱燕、沙志彬、宋海
斌、张健、张毅祥、陆永潮、陈美、陈汉林、陈汉宗、周蒂、
周祖翼、赵明辉、胡小强、郝天珧、施小斌、姜涛、胥颐、姚
伯初、徐宁、徐辉龙、高金耀、郭军华、栾锡武、黄朋、黄忠
贤、阎贫、梁金强、蒋富清、程晓敢、曾志刚、解习农

序

中国边缘海作为我国地质研究的一大特色,不仅蕴涵着许多重要的前沿科学问题,而且还对认识我国资源环境演变规律具有重要意义。在西太平洋众多边缘海中,中国边缘海形成演化的研究具有独特的地位。中国大陆边缘性质在地质历史时期发生了重大转变,东海经历了由被动大陆边缘向主动大陆边缘的转化,南海经历了由主动大陆边缘向被动大陆边缘的转化。在新生代演化过程中,东海具有典型的海沟-岛弧-弧后盆地的聚敛型板块边界,冲绳海槽是西太平洋最年轻的正在形成中的边缘海盆;南海发生了大陆边缘分裂和边缘海盆的形成,其内部具有多期次幕式演化的复杂特点,目前海盆已停止扩张并转而向东部俯冲削减。中国边缘海已成为认识西太平洋地区板块相互作用、大陆边缘演化、边缘海动力学机制及其资源形成的重要窗口。同时随着科学技术的不断进步和陆地资源的日渐减少,围绕海洋权益和海洋资源开发的国际竞争愈演愈烈,已成为世界各国政治、经济、军事战略的优先目标。中国边缘海的研究将关系到我国的主权权益、国家安全和未来发展等的重大事宜。

为探索中国边缘海演化与重要资源形成的规律性认识,建立中国边缘海形成演化的构造动力模式,丰富全球动力学理论,推动大陆边缘裂解与增生机制、洋陆物质交换与能量传递、特提斯构造带空间展布、全球气候演变等重大科学问题的深化和发展,国家重点基础研究发展规划项目“中国边缘海的形成演化及重要资源的关键问题”组织国家海洋局第二海洋研究所、中国科学院海洋研究所、中国科学院地质与地球物理研究所、中国科学院南海海洋研究所、国土资源部广州海洋地质调查局以及中国地质大学、同济大学等国内边缘海研究的优势单位,围绕中国边缘海岩石圈结构、边缘海前新生代基底特征及其

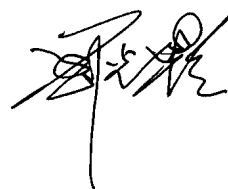
构造格局、东海沟-弧-盆体系形成演化、边缘海形成演化的动力学机制和边缘海沉积盆地形成及油气资源效应五个方面进行了多学科交叉联合研究。

通过5年的研究,项目在多个方面取得了重要进展,形成了一批高水平的创新性成果,深化了中国边缘海形成演化和资源分布的认识,并为环境演变、气候变迁、海洋过程、物质交换、能量传递、油气勘探、海域划界、地质灾害以及大陆地质等提供了重要信息,为其他地球科学研究提供了重要边界条件。

这部专著是对项目多年研究的总结,希望能够对今后边缘海形成演化及其资源效应等科学问题的进一步研究有所贡献,对其他相关地球科学的研究有参考意义,同时也希望得到学术界的批评指正。

《中国边缘海的形成演化及
重要资源的关键问题》

项目专家组组长



2005年9月15日

前 言

东亚和西太平洋大陆边缘分布了众多的规模不一、机制不同、演化各异的边缘海盆,它们在数量上约占全球边缘海的70%,彼此存在复杂的成生联系,蕴藏着重大的科学问题和资源环境问题,是目前海洋地球科学主要国际计划研究的重要目标和优先领域。中国边缘海在西太平洋众多边缘海中具有独特的地位。东海冲绳海槽是正在分裂的弧后盆地,它与琉球岛弧和琉球海沟一起构成了完整的沟-弧-盆构造体系,是研究板块运动引起的现代地质活动的理想场所;南海海盆是东亚大陆边缘裂解,经多次、多方向扩张形成的大型海盆,其演化模式和动力学机制复杂、独特,目前该海盆已停止扩张,内部记录了大量大陆边缘张裂和海盆形成演化的信息。由于中国边缘海的形成演化不仅涉及海洋地球科学国际前沿的重要科学问题,而且也直接控制了我国的海底资源分布和环境气候演变格局,因此2000年科技部启动了国家重点基础研究发展规划项目“中国边缘海的形成演化及重要资源的关键问题”(G2000046700),以期推动该领域的发展。

经过五年的多学科联合研究,中国边缘海项目组围绕中国边缘海形成演化研究中的关键科学问题,结合国际关注的热点,进行了多时空尺度、多学科视野、多技术方法的联合攻关,在中国边缘海地球物理场特征、中国边缘海岩石圈结构及深部动力学过程、前新生代的基底组成和构造格局、东海沟-弧-盆体系形成演化、南海新生代陆缘张裂和海盆演化、中国边缘海形成演化的动力学机制、中国边缘海特提斯构造带的分布和中国边缘海沉积盆地形成及其资源效应等方面取得了重要进展,在学科交叉中提高了成果的原创性水平。为总结项目五年来所取得的进展和成果,并能更好地与学术界同行进行交流,中国边缘海项目组织编写了本书。全书共分九章。第一章绪论,介绍了边缘海的研究动态和中国边缘海研究的科学目标;第二章边缘海岩石圈结构,介绍了中国边缘海的地球物理场特征,讨论了岩石圈密度结构、热结构、速度结构及有效弹性厚度;第三章边缘海前新生代基底特征,介绍了中国边缘海前新生代的基底组成和构造格局、中生代岩相古地理演变和海相地层分布,探讨了特提斯构造带的分布特征;第四章东海冲绳海槽弧后扩张,介绍了冲绳海槽张裂构造、岩浆作用、热液活动和沉积响应,讨论了菲律宾海板块俯冲板片的构造特征和冲绳海槽的张裂机制;第五章南海陆缘张裂与海盆演化,介绍了南海北部大陆边缘张裂、南海海盆演化、马尼拉海沟俯冲及其动力学特征,探讨了泛南海构造演化与板块构造动力背景;第六章边缘海演化的构造动力学模拟,介绍了中国边缘海天然地震的岩石圈应力场特征、南海重要边界构造带活动历史的物理模拟以及中国边缘海岩石圈热-流变结构及其动力学过程的数值模拟,探讨了东亚张裂盆地的地球动力学背景;第七章边缘海演化的区域构造问题,重点讨论了黄海及邻区扬子板块与中朝板块的分界、南海及邻区中特提斯的展布、台湾构造带的板块碰撞动力学意义及南海北部陆缘从主动边缘到被动边缘的转化四个与边缘海演化密切相关的重要区域构造问题;第八章边缘海演化的沉积响应与油气资源,以南海为例介绍了张裂盆地、走滑拉张盆地、前陆盆地、叠合盆地和陆架陆坡沉积体系的演化与油气资源,探讨了前新生代沉积盆地的资源效应和南海油气资源分布的深部动力学机制;第九章边缘海天然气水

合物研究,介绍了含天然气水合物沉积物的地球物理研究方法和天然气水合物带顶、底界识别方法,探讨了南海北部天然气水合物形成的地质条件和成藏模式,讨论了东海陆坡及冲绳海槽天然气水合物的地球物理特性、稳定域分析及资源前景。

本书是项目组五年集体研究的结晶,项目组的大多数研究人员均积极参与了本书的各章节的撰写,所涉及的资料不仅包括项目组新获取的数据,而且还包括了撰写人自己掌握的大量宝贵数据。本书前言、第一章由李家彪执笔,第二章第一节由黄忠贤、郝天珧、刘建华、丘学林、施小斌、江为为、高金耀、徐辉龙、赵明辉执笔,第二节由施小斌执笔,第三节由付永涛、叶芳执笔,第四节由刘建华、胥颐、黄忠贤、高金耀执笔,之后郝天珧、丘学林对第二章各节进行了修改、统稿;第三章第一节由刘建华、吴健生执笔,第二节由王家林、吴世敏、张毅祥执笔,第三节由阎贫、刘海龄执笔,第四节由周蒂、王家林执笔,第五节由周蒂、孙珍执笔,之后周蒂、王家林对第三章各节进行了修改、统稿;第四章第一节由栾锡武、高金耀、吴振利执笔,第二节由黄朋、李安春执笔,第三节由曾志刚执笔,第四节由蒋富清、李安春执笔,第五节由高金耀、吴振利执笔,之后李安春、高金耀对第四章各节进行了修改、统稿;第五章第一节由宋海斌、张健执笔,第二节由李家彪、丁巍伟、姚伯初执笔,第三节由李家彪执笔,第四节由姚伯初执笔,之后李家彪对第五章各节进行了修改、统稿;第六章第一节由高金耀、阮爱园、陈美执笔,第二节由孙珍执笔,第三节由张健、施小斌执笔,第四节由张健、高金耀、陈美执笔,第五节由许鹤华执笔,之后张健对第六章各节进行了修改、统稿;第七章第一节由郝天珧执笔,第二节由周蒂、陈汉宗、孙珍、丘元禧执笔,第三节由陈汉林、丁巍伟、程晓敢执笔,第四节由周祖翼、李春峰执笔,之后陈汉林对第七章各节进行了修改、统稿;第八章第一节由杜德莉、于兴河执笔,第二节由杨木壮、梁金强、沙志彬、胡小强执笔,第三节由邱燕、吴庐山、刘晓峰执笔,第四节由刘振湖、王英民、邓安雄、王海荣执笔,第五节由解习农、姜涛、陆永潮执笔,第六节由任建业、姜涛执笔,第七节由姚伯初、万玲执笔,之后姚伯初、方念乔对第八章各节进行了修改、统稿;第九章第一节由宋海斌执笔,第二节由刘学伟执笔,第三节由孙春岩执笔,第四节由苏新执笔,第五节由杨木壮执笔,第六节由栾锡武执笔,第七节由吴时国、徐宁、王秀娟、郭军华执笔,之后宋海斌、方念乔对第九章各节进行了修改、统稿。全书最后由李家彪汇总、统稿,并最后修改、编辑完成。

本书在编辑过程中得到了项目专家组专家刘光鼎院士、秦蕴珊院士、金翔龙院士、欧阳自远院士和冯志强研究员的大力支持和热心指导,并欣然担任本书的编委会顾问,在此表示衷心地感谢。同时项目组各课题负责人和各章编辑的负责人对本书倾注了大量的心血,没有他们的积极工作,本书将无法顺利出版。本书虽然是对中国边缘海项目五年研究成果的一个总结,但中国边缘海形成演化的研究应是一个长期目标,项目组五年的研究也只是解决了其中的部分科学问题,有些问题仍有待进一步深化。因此从这种意义上来讲,本书应被理解为是中国边缘海研究的一个阶段性成果,希望与同行交流,敬请批评指正。

本书第一版出版之后,项目组又在项目成果凝练、总结的基础上,深化了中国边缘海形成演化的认识,提出了新的科学问题和研究方案,并据此推动了第二轮新的 973 项目(南海大陆边缘动力学及油气资源潜力,2007CB411700)的立项。本书第二版是在上述研究的基础上对第一版内容进行的进一步调整和更新,保留了原有章节风格,增强了内容的紧凑和完整。

目 次

第一章 绪 论	(1)
第一节 中国边缘海研究的科学背景与研究目标	(1)
第二节 中国边缘海的研究现状与发展趋势	(3)
第二章 边缘海岩石圈结构	(7)
第一节 重磁场特征与地壳结构	(7)
第二节 热流分布特征与岩石圈热结构	(52)
第三节 岩石圈强度与有效弹性厚度	(68)
第四节 岩石圈速度结构与各向异性	(75)
第三章 边缘海前新生代基底特征	(114)
第一节 东海前新生代基底组成和构造格局	(114)
第二节 南海北部前新生代基底组成和构造格局	(134)
第三节 南海南部前新生代基底组成和构造格局	(148)
第四节 南海及其围区中生代岩相古地理和构造演变	(155)
第五节 中国边缘海及其围区中生代海相地层的分布及资源潜力	(162)
第四章 东海冲绳海槽弧后扩张	(173)
第一节 冲绳海槽张裂构造和张裂机制	(173)
第二节 冲绳海槽的岩浆作用	(180)
第三节 冲绳海槽现代海底热液活动	(195)
第四节 冲绳海槽弧后扩张的沉积响应	(201)
第五节 天然地震数据反映的菲律宾海板块俯冲板片构造特征	(210)
第五章 南海陆缘张裂与海盆演化	(220)
第一节 南海北部大陆边缘张裂及其动力学机制	(220)
第二节 南海海盆形成机制与扩张方式	(228)
第三节 南海海盆俯冲削减及其动力学特征	(240)
第四节 泛南海构造演化与板块构造动力学背景	(246)
第六章 边缘海演化的构造动力学模拟	(260)
第一节 天然地震的岩石圈应力场特征	(260)
第二节 南海重要边界构造带活动历史的物理模拟	(272)
第三节 南海岩石圈热-流变结构及其张裂动力学过程的数值模拟	(283)
第四节 东海岩石圈热-流变结构及其弧后扩张动力学过程的数值模拟	(306)
第五节 东亚张裂盆地的地球动力学背景	(321)

第七章 边缘海演化的区域构造问题	(333)
第一节 黄海及邻区扬子板块与中朝板块的分界及其动力学意义	(333)
第二节 南海及邻区中特提斯展布及与古太平洋构造过程的复合	(349)
第三节 台湾构造带的地壳结构及其板块碰撞动力学意义	(356)
第四节 南海北部陆缘从主动边缘到被动边缘转化的地质地球物理证据	(364)
第八章 边缘海演化的沉积响应与油气资源	(375)
第一节 珠江口盆地(张裂盆地)构造演化与油气资源	(377)
第二节 万安盆地(走滑拉张盆地)构造演化与油气资源	(384)
第三节 南海南部前陆盆地演化与油气运移和圈闭	(390)
第四节 台湾海峡盆地(叠合盆地)构造演化与油气资源	(398)
第五节 莺歌海-琼东南盆地陆架陆坡沉积体系及其油气资源效应	(408)
第六节 南海东北部前新生代沉积盆地分布及其资源效应	(417)
第七节 南海油气资源分布的深部动力学	(426)
第九章 边缘海天然气水合物研究	(439)
第一节 含天然气水合物沉积物的地球物理研究方法	(439)
第二节 天然气水合物带顶、底界识别方法	(452)
第三节 南海北部陆缘西沙海槽研究区天然气水合物成藏模式	(465)
第四节 南海陆坡天然气水合物形成的沉积成藏条件	(473)
第五节 南海北部陆坡特殊地质环境与BSR分布	(482)
第六节 东海陆坡及相邻槽底天然气水合物的稳定域分析	(487)
第七节 东海冲绳海槽天然气水合物地球物理特性及资源前景	(495)

EVOLUTION OF CHINA'S MARGINAL SEAS AND ITS EFFECT OF NATURAL RESOURCES

Contents

Chapter 1 Introduction	(1)
Sec. 1 Scientific backgrounds and objectives of China's marginal seas	(1)
Sec. 2 Research status and trends of China's marginal seas	(3)
Chapter 2 Lithospheric structures of the marginal seas	(7)
Sec. 1 Characteristics of the gravity/magnetic field and crust structure	(7)
Sec. 2 Characteristics of the heat flow distribution and lithospheric thermal structure	(52)
Sec. 3 Lithospheric strength and effective elastic thickness	(68)
Sec. 4 Lithospheric velocity structure and anisotropy	(75)
Chapter 3 Pre – Cenozoic basement of the marginal seas	(114)
Sec. 1 Pre – Cenozoic basement of East China Sea and its tectonic framework	(114)
Sec. 2 Pre – Cenozoic basement in northern South China Sea and its tectonic framework	(134)
Sec. 3 Pre – Cenozoic basement in southern South China Sea and its tectonic framework	(148)
Sec. 4 Mesozoic lithofacies, palaeogeography, and tectonic evolution of South China Sea and adjacent areas	(155)
Sec. 5 Distribution of the marine strata in China's marginal seas and their resource potential	(162)
Chapter 4 Backarc spreading in the Okinawa Trough, East China Sea	(173)
Sec. 1 Extensional and rifting structure and their mechanism	(173)
Sec. 2 Magnetism	(180)
Sec. 3 Modern seafloor hydrothermal activities	(195)
Sec. 4 Sedimentary response to the backarc spreading	(201)
Sec. 5 Subductional slab structure of the Philippine Sea Plate; reflected by the natural earthquake data	(210)
Chapter 5 Continental marginal rifting and seafloor spreading of the South China Sea	(220)
Sec. 1 Northern continental margin rifting and dynamic mechanism	(220)
Sec. 2 Dynamic mechanism and spreading patterns of oceanic basins	(228)
Sec. 3 Subduction of oceanic basins and its dynamic characteristics	(240)
Sec. 4 Tectonic evolution of the Pan – South China Sea and geodynamic background	(246)
Chapter 6 Geodynamic simulation of the marginal sea evolution	(260)
Sec. 1 Lithospheric stress field deduced from the natural earthquake	(260)
Sec. 2 Physical simulation for the movement history important border – structural belts of the South China Sea	(272)
Sec. 3 Thermal and rheological structure of the South China Sea's lithosphere and the numerical simulation of the continental rifting	(283)

Sec. 4 Thermal and rheological structure of the East China Sea's lithosphere and the numerical simulation of the backarc spreading	(306)
Sec. 5 Geodynamic mechanism of the extensional basins of East Asia	(321)
Chapter 7 Regional structure backgrounds of the marginal sea evolution	(333)
Sec. 1 Boundary between the Sino – Korean plate and its Yangtze plate in Yellow Sea and adjacent areas and its dynamic significance	(333)
Sec. 2 Distribution of the Meso – Tethys in South China Sea and adjacent areas and its relationship with the Paleo – Pacific tectonics	(349)
Sec. 3 Crustal structure of Taiwan Oregon and its dynamic significance of the arc – continental collision	(356)
Sec. 4 Geological and geophysical proves for the transfer from the active continental margin to passive continental margin in the northern continental margin of South China Sea	(364)
Chapter 8 Sedimentary responses to the marginal sea evolution and the hydrocarbon resources	(375)
Sec. 1 Tectonic evolution of the Pearl River Mouth Basin (extensional basin) and the hydrocarbon resources	(377)
Sec. 2 Tectonic evolution of the Wan'an Basin (strike – slip basin) and the hydrocarbon resources	(384)
Sec. 3 Tectonic evolution of the forland basins in southern South China Sea, and its hydrocarbon migration and traps	(390)
Sec. 4 Tectonic evolution of the Taiwan Strait Basin (superposed basin) and the hydrocarbon resources	(398)
Sec. 5 Continental shelf and slope's sedimentary system of Yinggehai – Qiongdongnan basins and its the effect of hydrocarbon resources	(408)
Sec. 6 Distribution of Pre – Cenozoic basins in the northeastern South China Sea and the effect of hydrocarbon resources	(417)
Sec. 7 Dynamic mechanism of the hydrocarbon resources' distribution in the South China Sea	(426)
Chapter 9 Gas hydrates in the marginal seas	(439)
Sec. 1 Geophysical methods on the research to the sediments with gas hydrates	(439)
Sec. 2 Top and bottom boundary's identification of the gas hydrates' belts	(452)
Sec. 3 Gas hydrate deposit formation models in the Xisha trough, South China Sea	(465)
Sec. 4 Sedimentation and accumulation conditions for gas hydrates formation in the slope of South China Sea	(473)
Sec. 5 Special geological circumstance in the north slope and BSR's distribution, South China Sea	(482)
Sec. 6 Stable zone of the gas hydrates in the slope of the East China Sea and neighboring through	(487)
Sec. 7 Geophysical characteristics and resource potentials of the gas hydrates in the Okinawa trough, East China Sea	(495)

第一章 绪 论

自板块构造理论问世以来,边缘海的成因一直是地球科学关注的焦点。边缘海与岛弧、海沟一起构成全球构造运动最为活跃的地带,是大陆边缘演化和地球动力学研究的热点。边缘海位于大陆和大洋两大构造-地貌单元之间,不仅是大陆与大洋岩石圈的过渡地带和大陆边缘的复杂而特殊的类型,同时也是全球板块构造理论中动力学机制认识较为薄弱的部分。对其深入研究将有助于完善和深化全球板块理论的认识。由于边缘海的形成演化不仅具有重要的科学意义,而且还包含了重要的资源和环境问题,因此一直是国际计划研究的重要目标。目前国际上最活跃的三大研究计划,IODP(综合大洋钻探)、Inter-Ridge(国际洋中脊计划)和 InterMargins(国际大陆边缘计划)都将大陆边缘演化和边缘海成因机制作为其研究主题。

第一节 中国边缘海研究的科学背景与研究目标

在东亚和西太平洋地区,印度-欧亚板块碰撞引发的青藏高原隆升,以及大陆岩石圈分裂,洋陆板块聚敛、俯冲、碰撞、俘获导致的众多边缘海的形成是新生代全球构造中最为壮观的地质现象,它不仅控制了该地区的海洋过程、气候变化、物质交换、能量传递、环境演变和资源分布,而且也构成了其他地球科学研究的重要边界条件,其本身蕴含着十分重大的地球科学理论问题。

西太平洋大陆边缘目前分布了约占全球 70% 的边缘海,这已在该地区形成了鲜明的构造特点,并在全球边缘海研究中占据着独特地位(图 1-1)。中国边缘海包括东海(冲绳海槽)和南海,是西太平洋边缘海的重要组成部分。从青藏高原到中国边缘海,无论在地形地貌还是地质构造上都构成了东亚和西太平洋地区变化最为剧烈的过渡地带。青藏高原是大陆岩石圈急剧增厚的场所,中国边缘海是大陆岩石圈迅速减薄的地区。青藏高原剧烈隆起的正向构造单元和边缘海剧烈下沉的负向构造单元,确立了中国东西均衡对比的构造格局,规定了中国壳幔演变的地球动力调整过程,也是中国自然环境演变的控制系统。

中国边缘海是太平洋板块、印度洋-澳大利亚板块对欧亚板块的俯冲、碰撞,在中国大陆板块前缘发育的独特的复杂构造单元。东海有典型的海沟-岛弧-弧后盆地的聚敛型板块边界,冲绳海槽是西太平洋最年轻的边缘海盆,其研究可以揭示边缘海的成因及初期地质过程。南海位于西太平洋边缘海与地中海-喜马拉雅构造带的交接部位,是研究特提斯构造域与太平洋构造域相互作用的关键地区。中、新生代期间,中国东南大陆边缘发生过地球动力学体制的重大转折,且新生代东海、南海构造机制存在重大差别。因此,研究与认识西太平洋大陆边缘洋陆岩石圈的相互作用、边缘海发生发展的构造过程,被当今国际地球科学界喻为是认识洋陆岩石圈板块相对运动、物质交换、能量传递的窗口,是推动地球科学理论产生重大变革的策源地,也是中国地球科学对全球地球科学可望作出的一个独特贡献。在中国边缘海形成演化研究中值得关注的主要科学问题应包括:

一、中国边缘海岩石圈结构及其动力学机制

42 Ma 以来,太平洋板块和印度板块相对于欧亚板块的运动状况致使欧亚板块内部应力场处于旋转挤压的构造背景,青藏高原急剧隆起,地幔物质向东部边缘流动;太平洋和菲律宾海板块与欧亚板块的聚敛、俯冲、碰撞、俘获导致亚洲东部边缘的破裂,形成边缘海。为了研究上述事件的深部地球动力学过程,首先必须弄清区域岩石圈及海陆交接带的结构与转换。中国边缘海形成演化的动力学过程实质又是边缘海大陆岩石圈拉张、分裂和洋壳形成的过程。边缘海大陆岩石圈破裂作用和形变模式的研究是解决边

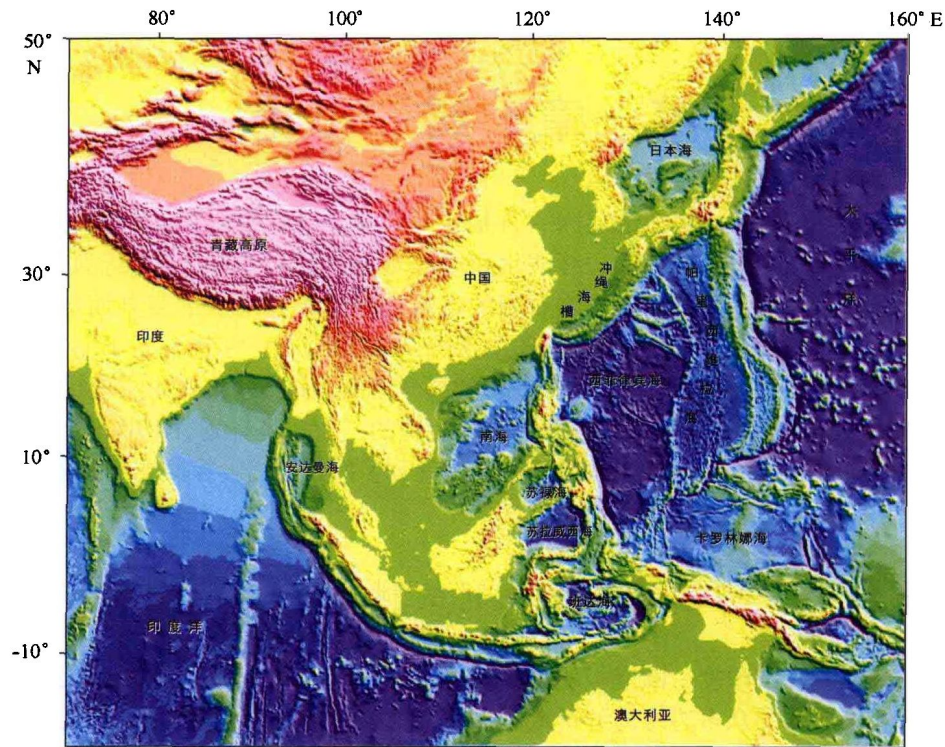


图 1-1 西太平洋边缘海分布

缘海形成演化动力学机制的关键。该问题的解决不仅关系到边缘海的岩石圈及基底的性质与结构,陆架、陆坡和深海盆的沉积、构造作用及地壳演化,而且有助于被动大陆边缘形成演化动力学机制的认识。

二、东海、南海构造演化的差异及其地质意义

中国边缘海地处欧亚板块与菲律宾海板块洋陆相互作用的构造前锋。菲律宾海板块、印-澳板块对欧亚板块的聚敛、俯冲、碰撞在中国东海、南海的构造机制上产生了不同效应。东海、南海在形成演化上存在重大差别,这是地学界长期以来无法明确回答的重大科学问题。东海具有典型的沟-弧-盆演化特点,冲绳海槽作为西太平洋最年轻的边缘海,是研究西太平洋弧后盆地形成的早期历史过程的重要区域。南海的形成演化则很难用弧后扩张加以解释,已经发现两个不同方向的磁条带异常,说明存在不同方向的海底扩张。因此,它是边缘海演化历史最为复杂、国际上最为关注的热点地区之一。弄清东海、南海在构造演化上的差异及其原因,对于板块相互作用和两个边缘海沉积体系、资源格局的研究具有关键的作用。

三、中国边缘海特提斯构造带的存在性及其地质意义

特提斯构造带经横断山至越南北部后,不知所终,是否进入南海?在南海又是怎样的格局?中国边缘海的形成基底是否完全是中国大陆或相邻陆地的自然延伸,不存在来自不同古陆的成分?由于特提斯构造带的研究涉及冈瓦纳和劳亚两个古大陆的构造演化和古环境恢复,因此在中国边缘海中识别出不同来源的基底就成为研究的关键和需解决的重要问题。中国边缘海基底存在的差异,是一个困扰中国边缘海油气资源勘探开发的科学问题,也是认识中国东南部大陆与太平洋板块、印度洋板块相互作用和地质演变的关键性科学问题,并关系到恢复中国东部古生代-中生代的地质历史、预测前新生代油气资源的重大问题。

四、中国边缘海形成演化的资源效应

中国边缘海的形成演化是油气资源和天然气水合物等新资源形成的基础。中国边缘海基底的差异性及其前第三系盆地、边缘海大陆岩石圈破裂机制及其深部作用、地壳过渡带的特征及其物质供给等边缘海形成演化的重要问题,也是边缘海形成演化的重要的资源响应因子。建立边缘海形成演化与油气资源和天然气水合物等新资源形成的关系,是寻找海底油气资源新区以及天然气水合物等新资源类型的关键。

由于中国边缘海是陆海相互作用强烈的地带,其形成演化规律也将直接影响我国和东亚地区的环境演变和气候系统,并对海洋科学的许多前沿领域,如全球海平面—气候变化、大洋环流变迁、陆海物质交换与能量传递、生物地球化学循环、新资源形成过程等,将产生巨大的推动作用。

由于研究对象的综合性,从而导致中国边缘海形成演化的研究必须是多学科联合、交叉研究。中国边缘海研究的大区域、大深度和整体性的特点,使我们在研究思路必须从深、中、浅层物质相互制约和洋陆相互作用的角度,将中国边缘海置于全球动力学背景下,开展地质、地球物理、地球化学等的综合研究。并将深部地质作用过程与浅部地质作用、新生代构造过程和前新生代构造过程,局部构造与区域构造及全球构造等相结合,进行多维的动态分析和机制、过程的研究,并对现代仍在发生作用的构造现象、岩石变形和沉积历史给予足够的重视。

为建立中国边缘海形成演化的构造动力模式,推动大陆边缘裂解与增生机制、洋陆物质交换与能量传递、特提斯构造带空间展布等重大科学问题的深化和发展,中国边缘海形成演化的研究主要应包括如下几个方面:

中国边缘海岩石圈结构及深部动力学过程。研究中国边缘海岩石圈结构、组成,大陆岩石圈张裂变形与应力分布,洋陆岩石圈相互作用,岩石圈热演化及深部过程。

中国边缘海特提斯构造带的分布规律。研究中国边缘海前新生代沉积盆地的基底特征和中生代以来我国东南大陆边缘的构造格局。探讨特提斯构造带的存在性及可能空间位置,以及与滨太平洋构造带的复合叠加效应。

中国东海沟—弧—盆体系形成演化。研究东海沟—弧—盆体系的形成演化史,以及板块俯冲过程与弧后地幔上涌、沟—弧—盆体系的热演化、弧后扩张机制和冲绳海槽现代海底热液活动与矿化条件。

中国南海新生代陆缘张裂和海盆演化。研究南海大陆边缘的张裂、岩浆活动及沉积演化,南海多期次海盆扩张的时间及其相互关系,南海扩张停止、构造反转以及与加里曼丹、苏禄海、菲律宾海等板块的相互作用及其形式,上新世南海区域构造变动与弧陆碰撞效应。

中国边缘海形成演化的动力学机制。研究青藏高原的隆升与中国边缘海形成的关系,东海沟—弧—盆体系形成演化及冲绳海槽早期扩张、南海张裂边缘与海盆启闭及幕式扩张的动力学机制,东海、南海构造交接带地质构造、形成演化特征及在边缘海构造机制转变中的作用。

中国边缘海沉积盆地形成及其资源效应。研究不同类型沉积盆地的成盆条件、沉积体系、构造热演化,研究边缘海形成演化对成盆动力过程的控制作用。研究陆坡深水浊积扇的空间展布、结构特征及油气地质条件,分析前第三纪海相地层的分布规律和构造环境。研究东海与南海地壳过渡带的岩石圈构造—热动力过程,以及天然气水合物形成、水气平衡、成藏分布的构造动力学机制。

第二节 中国边缘海的研究现状与发展趋势

1971年D. E. Karig赋予西太平洋边缘海新的板块构造内容后,边缘海的形成演化研究已成为地球科学的重要基本问题。之后的20多年来,许多重大国际地球科学合作计划,如国际岩石圈计划(ILP)、大洋钻探计划(ODP)、地学大断面计划(GGT)、深海沟计划、国际地质对比计划(IGCP)等都把边缘海地质构造

造成因作为重要研究内容。大洋钻探计划自 1990 年以来,对东印度洋与西太平洋边缘海进行专门航次的钻探就达 18 次,超过航次总数的 1/3。在全球约 250 条地学大断面中,通过中国边缘海及相邻边缘海的就有 5 条。1998 年美国国家自然科学基金会 (NSF) 大陆边缘计划 (MARGINS) 的公布,1999 年 3 月东亚边缘海研究计划 (SEAS) 的发起,都对边缘海的研究起到了积极的推动作用。进入新千年,海洋地球科学中的三大国际计划:综合大洋钻探 (IODP)、国际洋中脊计划 (InterRidge) 和国际大陆边缘计划 (Inter-Margins) 更是将大陆边缘和边缘海的研究作为其主要的研究目标。2004 年,由大洋钻探计划 (ODP) 演变而来的综合大洋钻探 (IODP, 2004 ~ 2013) 正式启动,其八个优先研究领域中有一个研究领域与大陆边缘和边缘海的研究直接相关,即大陆破裂与沉积盆地形成,另有两个研究领域与大陆边缘和边缘海的研究相关,即天然气水合物和发震带 (IODP 科学规划委员会 2003)。1992 年启动的国际洋中脊计划 (Inter-Ridge) 在新千年再次提出新的计划:“全球大洋中脊研究十年科学规划 (2004 ~ 2013)”,在其 7 个主要研究方向上,也有一个研究方向与大陆边缘和边缘海的研究直接相关,即弧后扩张系统与弧后盆地,而在全球洋中脊考察研究方向中的已经停止的扩张中心的研究,边缘海也将是理想的研究场所。而以大陆边缘计划为主要研究目标的国际大陆边缘计划 (InterMargins) 更将大陆边缘的研究发展到了一个崭新的阶段。

边缘海是全球研究大陆岩石圈破裂机制最为理想的场所,也是大洋与大陆之间的物质、能量交换的重要窗口,它构成了了解洋、陆演变地质过程的重要信息库。迄今对边缘海的钻探和研究取得的主要成果有:获得了大部分边缘海的形成年代;认识到边缘海的形成在地域上主要集中于西太平洋边缘、在时代上相对集中于始新世和渐新世、在寿命上大多短于 25 Ma、在扩张方式上常表现为多期多方向等特点;在成因机制方面提出了多种演化模式。主要的模式包括:(1) 捕获机制 (Ben - Avraham et al. 1983; Hilde et al. 1984),适用于一些具有较老年龄洋壳的边缘海盆地的形成;(2) 弧后盆地扩张机制,包括被动扩张机制 (Carlson et al. 1984) 和主动扩张机制 (Miyashiro et al. 1986),反映了与俯冲带相关的边缘海的形成规律;(3) 陆内应力传播机制 (Tapponnier et al. 1982),认为南海、日本海等一些东亚大陆的边缘海盆的扩张是印度与欧亚大陆的碰撞、应力传递的结果;(4) 地幔挤入机制 (Flower et al. 1998),认为印度与欧亚大陆的碰撞、澳洲与东南亚的碰撞引起地幔横向运动,形成大规模浅层地幔囊,是西太平洋边缘海形成的重要动力。

近期对边缘海研究的新趋势主要有:(1) 重视大陆边缘岩石圈破裂机制的研究,揭示大陆岩石圈从破裂、分离到海底扩张转化过程中的壳幔相互作用、地幔柱或地幔流特征和火成活动的记录和规律;(2) 重视与大陆动力学研究的结合,利用大陆碰撞造山带研究的理论成果,如地幔底蚀、岩石圈拆层、大火成岩区等;(3) 将大陆边缘视为一个受多种因素制约的复杂物理、化学及生物系统,进行地质、地球物理和地球化学等多学科紧密结合、多种高新技术综合利用的系统研究。

随着地球科学的不断发展和探测手段的不断提高,边缘海的形成演化机制及盆地动力学研究不仅在思路,而且在方法上都有了显著进展,并呈现出一些明显的发展趋势:(1) 从定性研究逐渐向计算机模拟和定量研究发展;(2) 立足于深部岩石圈结构、变形特征和动力学机制进行边缘海形成演化的深部地质特征和背景研究;(3) 从地球系统科学的角度,采用地质、地球物理、地球化学相结合,深部和浅部、宏观与微观并举,模拟与观测有机统一的方法,进行多学科交叉和综合研究;(4) 充分运用新理论、新技术和新方法,如深地震反射、海底地震仪观测、三维地震层析成像、海底地壳热流测量、海底大地电磁探测、地震重磁联合反演、三维海底地貌扫描技术等,以获得海底地壳浅部与深部结构、岩石圈的图像,同时加强海底原位观测采样,同位素示踪、包裹体元素地球化学、盆地描述与动态模拟和计算机信息处理及模拟等技术。

我国自 20 世纪 70 年代以来,在中国海域开展了以油气资源普查勘探为目的的海洋地质与地球物理工作,取得巨大进展,发现了 16 个新生代大型含油气远景沉积盆地,形成了我国海洋油气工业。80 年代以来,伴随资源开发、海洋环境,以及与海洋权益有关的海底地质背景和边缘海基础地质研究,一系列国家重点项目和国际合作项目相继展开,如国家计委“东海含油气盆地资源勘查 (1979 ~ 1996)”、国家专

项“南沙海域油气勘查(1987~1996)”、国家科技攻关“南沙及其邻近海区综合科学考察(1987~1995)”、国家科技攻关“大陆架及邻近海域勘查和资源远景评价研究(1992~1995)”、国家海洋专项“大陆架与专属经济区海洋勘测(1995~2001)”、国家海洋专项“西太平洋海洋环境调查研究(2000~2005)”等重大项目和中美合作“长江口及其邻近陆架现代沉积过程联合研究(1980~1981)”、中美合作“南海中北部综合地球物理调查”第一、二阶段(1979~1982,1985)、中法合作“南海中部地球科学调查研究(1985)”、中德合作“南海地球科学调查研究(1987~1988)”、中日合作“冲绳海槽及东海陆架区海底热流测量(1991~1992)”、中日合作“南海北部东沙群岛附近海域海底地震探测(1993)”、中德合作“南海西北部及西沙海槽海区海底地震探测(1996)”和 ODP 第 184 航次(1999)等。1992 年,刘光鼎院士主编完成了 1:500 万《中国海区及邻域地质地球物理系列图》,其中包括地形图、地貌图、地质图、大地构造图、新生代盆地图及重力和磁力图等系列基础图件,并出版了《中国海区及邻域地质地球物理图集》,对中国海及邻域的地质、地球物理与资源背景进行了系统总结。秦蕴珊等(1987)主编出版了《东海地质》,全面总结了东海的地质特征和沉积动力过程;金庆焕等(1989)主编出版了《南海地质与油气资源》,全面总结了南海的地质构造特征和含油气盆地的分布规律;金翔龙(1992)主编出版了《东海海洋地质》,系统阐述了东海的地质、地球物理特征和构造演化规律;刘光鼎(1992)主编出版了《中国海区及邻域地质地球物理特征》,全面系统地阐述了中国海区及邻域地质、地球物理特征,提出了地球物理资料的地质解释的基本原理和中国海构造演化的基本规律。这些成果对中国边缘海的全面深入研究起到了重要的导向性作用,是中国边缘海研究十分重要的基础。

中国边缘海中的东海冲绳海槽和南海分别作为西太平洋刚发育的和发育成熟的边缘海盆地,具有不同的演化模式。为此,把边缘海大陆岩石圈破裂机制和形成演化研究与全球构造相联系,将有助于完善和深化全球构造理论模式。然而目前对南海的形成演化虽已提出了多种模式和观点,但在时空演化和成因机制上迄今尚无公认而一致的结果;对东海冲绳海槽来说,虽然作为一个年轻的弧后盆地意见比较一致,但其详细的分裂过程和动力学机制依然是一个需要攻克的难题。同时中生代特提斯和太平洋构造域在我国边缘海的相互作用是另一个尚未解决的重要科学问题。此外,在中国边缘海的资源研究方面,东海、南海的油气勘探开发仅局限于大陆架新生代陆相盆地中,对海相沉积盆地、深海浊积扇尚未开展系统研究,对中国边缘海内的其他海底矿产资源如较深海域的铁锰结核和水热矿物等还未给予足够的重视。上述问题的解决除需要在综合地质、地球物理和地球化学等多学科的联合研究基础上进行方法和手段的创新外,概念和理论的创新也是中国边缘海研究的重要组成部分。

参考文献

- 龚再升等. 1997. 南海北部大陆边缘盆地分析与油气聚集. 北京:科学出版社
- IODP 科学规划委员会. 2003. 地球,海洋与生命. IODP 初始科学计划 2003-2013, 同济大学海洋地质教育部重点实验室译. 上海:同济大学出版社
- 金庆焕等. 1989. 南海地质与油气资源. 北京:地质出版社
- 金翔龙主编. 1992. 东海海洋地质. 北京:海洋出版社
- 刘光鼎. 1992. 中国海区及邻域地质地球物理系列图. 北京:地质出版社
- 刘光鼎主编. 1992. 中国海区及邻域地质地球物理图集. 北京:科学出版社
- 刘光鼎. 1992. 中国海地球物理场和地球动力学特征. 地质学报, 66:300~410
- 刘光鼎主编. 1992. 中国海区及邻域地球物理场特征. 北京:科学出版社
- 南海海洋研究所. 1988. 南海地质构造与陆缘扩张. 北京:科学出版社
- 姚伯初等. 1994. 中美合作调研南海地质专报. 北京:中国地质大学出版社
- 姚伯初等. 1983. 南海海盆的地壳结构. 中国科学, B 辑, 2