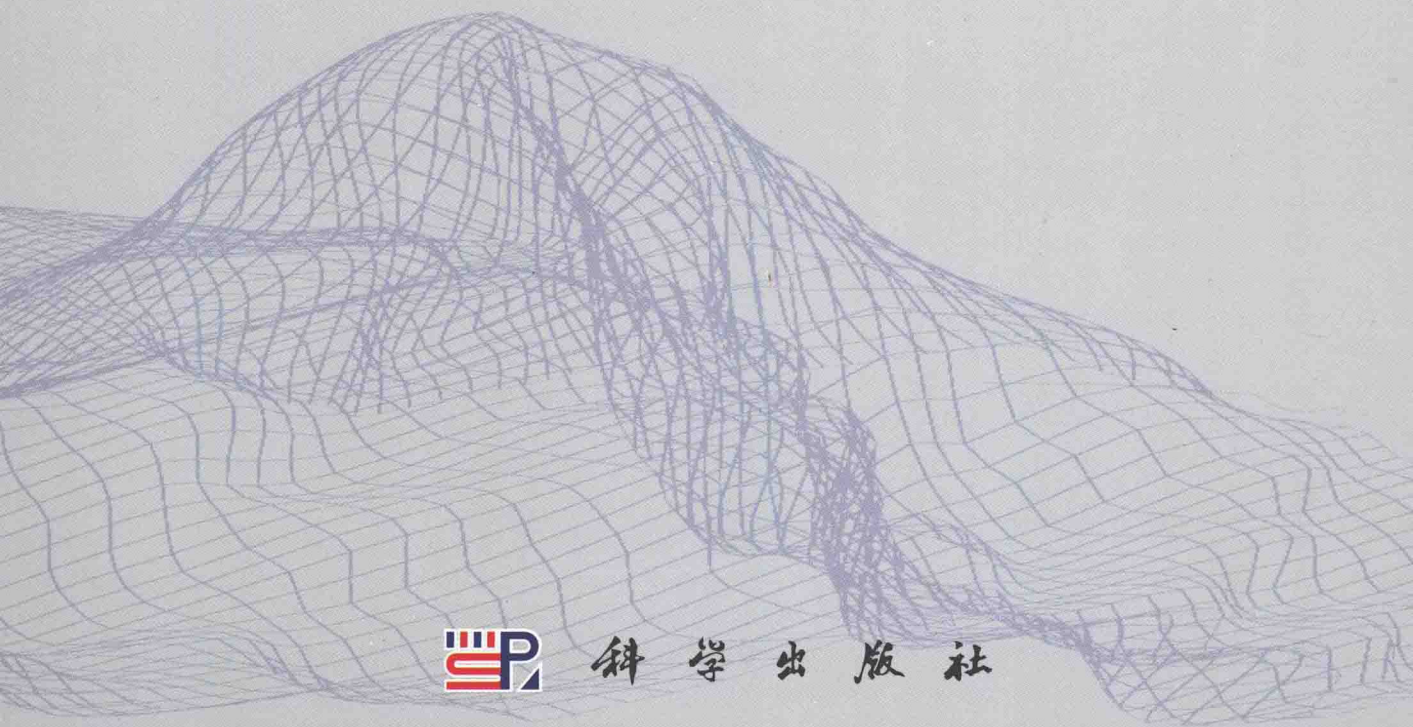




中国海底科学研究进展

——庆贺金翔龙院士八十华诞

刘光鼎 秦蕴珊 李家彪 主编



科学出版社

中国海底科学研究进展

——庆贺金翔龙院士八十华诞

刘光鼎 秦蕴珊 李家彪 主编

科学出版社

北 京



内 容 简 介

本文集是为祝贺金翔龙院士八十华诞而编撰的专辑,为金院士的学生和晚辈们的最新的研究成果。内容主要涉及边缘海地质与地球物理、大洋中脊地质与成矿以及深海探测的技术与方法三个方面。边缘海地质与地球物理部分介绍了在中国边缘海包括主动源和被动源的地壳深部结构探测和动力学特征,大陆边缘构造变形、沉积演化与地形特征,油气资源,地震海洋学等方面的最新研究成果;大洋中脊和成矿部分展示了东太平洋和西南印度洋不同性质洋中脊区的深部地壳结构、深海地质过程和相应的成矿体系;深海探测技术和方法部分让我们了解了包括多波束声呐及声学特征、水下无线光通信以及电磁探测多金属硫化物等多方面的海洋高新探测技术。

本文集可供从事海底科学研究的专业人员 and 大专院校师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

中国海底科学研究进展:庆贺金翔龙院士八十华诞 / 刘光鼎, 秦蕴珊, 李家彪主编. —北京: 科学出版社, 2013. 11

ISBN 978-7-03-039104-9

I. ①中… II. ①刘… ②秦… ③李… III. ①海洋地质学—文集
IV. ①P736-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 266651 号

责任编辑: 韦 沁 / 责任校对: 鲁 素

责任印制: 钱玉芬 / 封面设计: 耕者设计工作室

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

北京通州皇家印刷厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2013 年 11 月第 一 版 开本: 787×1092 1/16

2013 年 11 月第一次印刷 印张: 26 3/4

字数: 620 000

定价: 198.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

前 言

这本论文集是为祝贺金翔龙先生八十华诞而编撰的专辑。

金翔龙院士是新中国成立后海洋地质与地球物理工作的开拓者之一。为我国海洋地质与地球物理科学，尤其是边缘海的地球物理科学的建立、发展做出了重要的贡献。多年来，他坚持以“任务带学科”，将科研工作与社会发展和国家需求紧密相连，积极推动涉及边缘海及深海大洋的国家基础研究和专项工作的开展，为我国大陆架划界、大洋矿产资源及海洋高新探测技术的引进开发做出了重要贡献。

金翔龙院士敏锐的战略学术思维、不畏艰辛勇于开拓的实干精神令人印象深刻。早在1959年，带领我国第一个海洋地震队成功地完成了中国海上第一条地震剖面（龙口-秦皇岛剖面），实现了中国海上勘测“零的突破”。20世纪60年代，他转战中国海，对渤海和南北黄海的构造格局与盆地性质进行研究，为早期的海上石油勘探工作做出了重要贡献。改革开放后，我们的国家迎来了科学的春天，金翔龙院士更是学术成果丰富。对边缘海陆架浅海的构造格局、冲绳海槽的地壳性质与发育和边缘海形成演化提出了自己独特的认识与见解，并主持了在南海开展的第一次大规模中德合作地质与地球物理调查航次，同时在大陆架划界以及大洋成矿系统等方面也取得了丰硕的成果。金翔龙院士深知，高新探测技术在深海研究中的重要性，积极推动海洋863项目，在“海底地形地貌与地质构造探测技术研究”方面打破了国外软件对该领域的长期垄断。研究开发出多波束探测实时监控和处理系统，自行设计研制了声学超短基线定位系统，并大大提高了多波束勘测技术精度。对我国海底探测、海洋调查、海洋测绘和海底科学等行业产生了深远的影响。

20世纪90年代，随着《联合国海洋法公约》正式生效，世界各国的蓝色国土意识日益增强，特别是深海探测技术的迅猛发展极大地推动了不同学科的交叉、融合和协同发展。在这种背景下，金翔龙院士审时度势提出了“海底科学”的系统论。海底科学的研究对象是海底及其水圈、生物圈界面，研究内容即包括海底的物理、化学、生物和地质过程及其相互作用等基础理论问题，也包括满足海洋开发与利用的、海洋权益与战略需求的应用基础与社会科学问题。

“学科的发展依靠人才队伍的拉动”。在从事海洋工作之初，金翔龙院士就注重团队的合作，专业队伍的建设。多年来，他花大力气指导培养研究生，先来培养的学生专业涉及海洋地球物理与海底构造、海洋地质、海洋矿物、海洋地球化学、大洋矿床和模式识别与图像处理等方面。几十年来已培养了硕士、博士研究生以及博士后50余名，不断为海洋事业注入强有力的新生力量。“桃李不言，下自成蹊”，受他言传身教过的学生目前已遍布祖国海洋系统的各个领域，有的甚至已成为国家级、部级干部，在国家海洋事业中正发挥着中流砥柱的作用。

本论文集主要是金院士的学生和晚辈们的最新的研究成果，主要涉及边缘海地质与地球物理、大洋中脊地质与成矿以及深海探测的技术与方法三个方面。边缘海地质与地球物

理部分介绍了在中国边缘海包括主动源和被动源的地壳深部结构探测和动力学特征，大陆边缘构造变形、沉积演化与地形特征，油气资源，地震海洋学等方面的最新研究成果；大洋中脊和成矿部分展示了东太平洋和西南印度洋不同性质洋中脊区的深部地壳结构、深海地质过程和相应的成矿体系；深海探测技术和方法部分让我们了解了包括多波束声呐及声学特征、水下无线光通信以及电磁探测多金属硫化物等多方面的海洋高新探测技术。

本论文集由李家彪、初凤友、陶春辉、于晓果、丁巍伟进行组稿，李家彪、于晓果、丁巍伟进行汇总、统稿，并最后由刘光鼎、秦蕴珊院士审定完成。在编辑出版过程中还得到许多专家学者的大力支持，同时国家海洋局海底科学重点实验室方银霞、阮爱国、余星以及包括张洁、梁裕扬、程子华、于志腾、张妍在内的研究生为本书进行了大量的编辑和校订工作，尤其是丁巍伟为本文集的出版投入了大量精力和时间，由于他们的积极工作，本书才得以顺利出版，在此谨表谢忱。

目 录

前言

发展中的海底科学

李家彪 初凤友 方银霞	1
-------------------	---

边缘海地质与地球物理

西太平洋的边缘海系统

李家彪 丁巍伟 张 洁	7
-------------------	---

中国海陆莫霍面深度及深部构造特征

郝天珧 胡卫剑 邢 健 胡立天 秦静欣 徐 亚 雷受旻	25
-----------------------------------	----

南沙海域首次海底地震仪(OBS)探测和研究

丘学林 阮爱国 游庆瑜 赵明辉 吴振利	40
---------------------------	----

环渤海地区地壳结构、地球物理场与动力学特征研究

姜迪迪 江为为 胡卫剑	51
-------------------	----

被动大陆边缘洋陆过渡带研究进展及其对南海扩张的启示

任建业 解习农 雷 超	63
-------------------	----

地震海洋学进展与展望

宋海斌 黄兴辉 拜 阳 刘伯然 陈江欣	78
---------------------------	----

西沙海区生物礁与火成岩的重磁频率分解与 GPU 并行反演

于 磊 张 健 林 巍 魏荣强 吴时国	92
---------------------------	----

海底高地形地质特征对外大陆架划界影响

方银霞 李家彪 黎明碧 唐 勇 丁巍伟 董崇志	103
-------------------------------	-----

拉布拉多海扩张演化史对南海深部结构研究的启示

贺恩远 王 建 赵明辉 丘学林 卫小冬 张佳政	117
-------------------------------	-----

Carbonate platforms in the Reed Bank Area, South China Sea: seismic characteristics, development and controlling factors

Ding Weiwei, Li Jiabiao, Dong Congzhi, Fang Yinxia, Tang Yong, Fu Jie	131
---	-----

南海东北部中生界的综合地球物理研究

吴健生 王家林 雷文敏 陈 冰 张新兵 于 鹏 钟慧智	149
-----------------------------------	-----

南海古洋脊俯冲及板片窗构造问题讨论

吴时国 马本俊 范建柯	164
-------------------	-----

南海北部边缘盆地生物气/亚生物气资源与天然气水合物成矿成藏

何家雄 颜 文 祝有海 张 伟 龚发雄 刘士林 张景茹 龚晓峰	172
---------------------------------------	-----



珠江口伶仃洋近现代海底地形地貌演变

吴自银 姚才华 李家彪 金翔龙 尚继宏 李守军 罗孝文 191

南海东北部陆缘区中浅层地震剖面中的特殊地质构造现象及其解释

尚继宏 李家彪 吴自银 李守军 208

利用远震接收函数和 S 波分裂研究老挝巴色地壳结构和运动方向

潘少军 阮爱国 吴振利 牛雄伟 郝天珢 胥颐 219

基于小波变换的 ODP1148A 井测井层序地层研究

王 辉 黎明碧 唐 勇 付 洁 王 聪 陈武珍 230

大洋中脊地质与成矿

西南印度洋中脊地壳结构的主要特点

阮爱国 李家彪 牛雄伟 吴振利 潘少军 241

Characteristics of Silicon and Oxygen Isotopic Composition of Basalts near East Pacific Rise 13°N

Wang Xiaoyuan, Zhao Huijing, Zeng Zhigang, Yin Xuebo, Chen Shuai 254

Component Characteristics of Organic Matter in Hydrothermal Barnacle Shell in Southwest Indian-ridge

Huang Xin, Zeng Zhigang, Chen Shuai, Yin Xuebo, Wang Xiaoyuan, Zhao Huijing, Yang Baoju, Rong Kunbo, Ma Yao 262

洋脊热液区蛇纹石化作用与非生物成因 CH₄ 的形成

于晓果 雷吉江 276

洋中脊热液沉积物地球化学特征及其对海底找矿的指示作用

王振波 韩沉花 武光海 286

超慢速洋脊 Moho 面震相及其重要意义

张佳政 赵明辉 丘学林 李家彪 阮爱国 294

中印度洋脊热液成矿系统的稀有气体丰度及 He、Ar 同位素组成

王叶剑 韩喜球 邱中炎 311

超慢速扩张洋脊地形地貌研究进展

梁裕扬 李家彪 321

大洋核杂岩和海洋拆离断层研究评述

于志腾 李家彪 丁巍伟 336

深海探测技术与方法

多波束声呐在水下目标探测中的应用

阳凡林 吴自银 陶春辉 李家彪 初凤友 355

海底沉积物声学特性测量方法研究	
周建平 张国堙 金翔龙 陶春辉 邓显明	369
基于海洋多震源混合采集数据的全波形反演	
韩立国 韩 森 段超然	378
水下无线光通信非准直链路衰落特性研究	
汤世健 张学聃 董宇涵	386
水下无线光通信研究进展	
董宇涵 汤世健 戈 智 张学聃	392
水下无线光通信研究综述	
戈 智 汤世健 张学聃 董宇涵	399
海底多金属硫化物调查中的电磁方法	
熊 威 陶春辉 邓显明	409

发展中的海底科学

李家彪 初凤友 方银霞

(国家海洋局海底科学重点实验室)

海底是地球系统中海洋岩石圈、水圈、生物圈相互作用最为活跃的区域,也是物质循环、能量传输的重要场所。海底科学(Submarine Geosciences)是一门揭示海底物质组成、结构构造、动力过程、演变机制及其资源环境变化规律的综合交叉学科,是海洋科学的重要组成部分。它不仅着眼于海底本身的演变过程,更将理解这种演变过程构建在对海洋岩石圈演化及其与水圈、生物圈相互作用的认识上,是可持续利用海底资源环境的重要科学理论。海底科学从海洋地质学和海洋地球物理学起步,并与海洋地球化学、海洋生物学等学科相互渗透、交叉,围绕海底这个多要素相互作用的对象,强调其资源环境效应,发展出海底研究的理论体系和海底探测的高新技术,形成了一门新兴的学科体系——海底科学。

海底科学是我国科学家创先提出的一个新兴学科,奠基人是我国海洋地质、地球物理学家金翔龙院士。他从海底资源科学研究需求出发,敏锐意识到海底演变是各种动力过程相互作用的综合反映,是地球系统科学的早期思想形式和重要组成部分。海底科学在中国经历了从近海到大洋、从海底表层到深部岩石圈、从寻找海底资源到关注极端环境生物圈、从满足现实海底环境需求到探索海底演化机理和生命起源的发展过程。这个发展过程,代表了中国海洋地质与地球物理学科不断拓展的历程,也是中国海洋科学之学科交叉和综合发展的缩影。

根据学科发展特征,中国海底科学发展可划分为积累期、创立期和发展期三个阶段。在20世纪50年代中期至90年代中期的近40年的积累期中,我国的海底科学根植于海洋地质和地球物理学科,并与我国海洋科学的其他学科一道,开始了起步和发展的历程。1958年开始的第一次海洋普查拉开了我国大规模、有组织的海洋系统调查的序幕。值得指出的是,这期间金翔龙院士等我国早期地球物理学家突破技术封锁,立足自力更生,改装地震仪、研制水听器、编制电缆,组装海洋地震勘测采集系统,在渤海完成了我国第一条海洋地震测线,开启了我国海洋地球物理勘探与海底石油探测的先河。20世纪80年代,为和平利用国际海底资源,拓展近海调查研究范围,我国开始把目光转向大洋,从此我国科学家有机会直面国际海底区域热点问题。随着我国国际海底资源调查研究的深入,我国适时提出矿区申请,1990年12月,金翔龙院士代表中国在纽约联合国总部接受联合国对中国太平洋多金属结核矿区申请的技术审查,次年我国申请案被核准,并顺利成为该领域第五个先驱投资国。

从20世纪90年代中期至2005年的近10年是海底科学的创立期。经过前期以海底为

主要对象的海洋地质和地球物理的学科发展和知识积累,为海底科学的提出奠定了基础。这个时期,金翔龙院士敏锐地意识到这一新的学科如东方红日,即将诞生,并开始对海底科学进行理论概括和系统总结。海底科学的概念和科学理念迅速被国内外学者接受。1997年第一个以海底科学为学科研究对象的重点实验室——国家海洋局海底科学重点实验室宣告成立,这是海底科学在学科基地建设上的里程碑事件,也标志着我国海底科学正式启动和发展。海底科学的创立,极大地推动了大陆边缘和深海大洋的研究,拓展了大陆架划界问题的科学技术研究,引进发展了一批现代海洋地球物理技术与装备,启动了我国第一个海洋地质 973 项目——中国边缘海形成演化及其重要资源的关键问题(2000~2005 年)。2002 年应国际大陆边缘(InterMARGIMS)科学组织主席的邀请,金翔龙院士等三位科学家作为观察员参加了该科学组织在法国尼斯召开的科学指导委员会年会,次年我国正式加入了国际大陆边缘(InterMARGIMS)科学组织。

2005 年开始,海底科学进入了发展期。在中国大陆边缘研究不断深入的过程中,我国又进一步启动了大洋中脊的国家计划,海底科学进入了多圈层相互作用和地球系统科学研究的新阶段。这个阶段,中国大陆边缘和国际大洋中脊的海底科学认识不断深化,刷新了中国边缘海动力演化和大洋中脊硫化物成矿等一系列传统认识和理论框架,涌现了一批诸如海底地震仪(OBS)、海底电磁仪(OBEM)、深海声学拖体、原位探测系统、深海岩心钻机、水下有缆遥控潜器(ROV)、水下自治机器人(AUV)以及 7000m 蛟龙号载人深潜器(HUV)等的新技术和新方法,为我国大陆架划界和国际海底找矿奠定了科学基础。

海底科学在中国的发展,得益于“以任务带学科”的指导思想。早年刚听到时颇感奇怪,似乎有悖学科发展常理,但后来的发展历程充分说明,这是一个值得坚持的科学理念。海底科学与其他学科相比,更依赖高技术装备,需要更多经费的投入,因此不与国家需求紧密结合是很难获得持续发展的机会的。同时科学的发展也需要实践来检验,并在实践中不断发展,没有大的国家任务就没有充分实践的机会。“以任务带学科”在今天还是海洋科研梦想的具体体现,海洋科学只有与国家和人类未来紧密结合,才是科学追求的最终理想和终极目标。

正是在这一理念指导下,我国的海底科学在理论和应用两个方面均做出了重要贡献。中国边缘海两期 973 项目的实施,在中国大陆边缘岩石圈结构、前新生代基底特征、大陆边缘构造张裂、冲绳海槽弧后扩张、南海海盆演化模式和中国边缘海动力过程等方面取得了系统性认识和创新。结合我国大陆架专项调查研究,进一步实现了海底科学与海洋法学的跨领域交叉联合创新,构建了我国自主的大陆架划界领域的理论技术体系。2013 年 12 月 14 日,我国政府向联合国提交了“中华人民共和国东海部分海域 200 海里以外大陆架划界案”,这是我国大陆架划界科技成果的重要体现。在深入研究和完成我国大陆架划界工作的同时,我国还将所形成的科学技术输出国外,支援和帮助其他国家开展大陆架调查和研究。2012 年 8 月 21 日国家海洋局海底科学重点实验室启动了尼日利亚大陆架科学调查航次,开启了中国-尼日利亚大陆架联合研究的新纪元,也是中非第一个海洋科技合作项目。该项合作被联合国大陆架界限委员会主席 Awosika 博士誉为中非合作的典范。我国的大陆架划界科技和法律研究得到了国际同行的认可。我国开创的大陆架国际高峰论坛“大陆架与国际海底区域制度国际研讨会”每年召开一次,吸引了联合国海洋法司、大陆



架界限委员会、国际海洋法庭、国际海底管理局等机构的负责人和大量委员、法官以及大量国际知名的科学家和法律专家参加，已成为推动大陆架划界理论和实践发展的重要平台。

同时，我国海底科学围绕洋底地球动力过程、多金属海底成矿作用和热液生态系统，开展了洋中脊 OBS 海底地震三维深部结构、海底热液活动喷口、极端环境生物基因和成矿元素迁移富集等的探测和研究，揭示了洋中脊多金属硫化物的全球分布规律，并在西南印度洋超慢速扩张洋中脊多金属硫化物找矿上实现了突破，提出了局部岩浆供给和洋壳渗透率控制超慢速扩张洋脊热液系统分布的构造-岩浆控矿新机制，被《自然》杂志评论为是一个对传统大洋中脊扩张理论的挑战。2011 年，经联合国海底管理局核准，我国暨 1990 年在东太平洋获得 7.5 万 km^2 多金属结核矿区之后，又在西南印度洋中脊获得 1 万 km^2 多金属硫化物的矿区，使我国成为世界上首个获得多金属硫化物专属勘探开采权的国家。我国在大洋中脊研究的国际影响不断加大。2003 年我国与国际大洋中脊（InterRIDGE）科学组织首次在中国联合举办大洋中脊科学研讨会，同年我国加入了该科学组织。随着我国大洋中脊科学研究的不断发展，2007 年我国成为国际大洋中脊（InterRIDGE）科学组织的主要会员国。2013 年通过选举，我国首次当选为国际大洋中脊（InterRIDGE）科学组织的主席国（2013 ~ 2015 年）。同年，我国又获得西太平洋海山区 3000 km^2 富钴结壳矿区的勘探开采权。

我国海底科学的发展是我国学科建设从小变大，由弱变强，从关注近海到进军大洋，由区域海底研究变为全球海底研究，最后实现从跟踪到超越的典范。经过三个阶段的不断发展，在金翔龙院士的推动和指导下，我国的海底科学虽历史不长，但已基本完成了理论体系框架和核心探测技术的构建，建立了海底科学重点实验室和中国海洋学会海底科学分会等学术机构，培养了大量年轻英才，并在某些研究领域站到了国际前沿，不仅为地球系统科学等全球理论，而且还为我国海底资源可持续利用和维护国家海洋权益做出了重要贡献，实现了科学前沿与国家目标的完美结合。

今后，海底科学将继续以海底为纽带，各圈层相互作用为基础，重点开展大洋中脊和大陆边缘这两个地球演化端元的研究，深化地球系统科学的认识，并可望在深海和深部，极端环境和现代过程，古今分析和洋陆对比等方面研究实现突破。作为中国海底科学的新一代研究者，回顾发展历史，心潮蓬勃。

谨此献给金翔龙院士八十华诞。

边缘海地质与地球物理

西太平洋的边缘海系统

李家彪^{1,2} 丁巍伟¹ 张 洁^{1,2}

(1. 国家海洋局第二海洋研究所, 杭州 310012;

2. 浙江大学地球科学系, 杭州 310027)

摘 要 本文探讨了西太平洋区边缘海盆地的地质和地球物理特征、形成演化和动力学机制。研究表明西太平洋边缘海可以分为两类: 岛弧拉张型和陆壳拉张型, 它们之间存在不同的演化特征。前者形成的弧后盆地是西太平洋边缘海的主体, 后者的代表是南海。弧后盆地均为西太平洋俯冲带沟-弧-盆体系的一部分, 其形成与俯冲带发生后撤, 从而导致火山岛弧发生裂解和海底扩张。弧后盆地具有不同的地质背景和构造演化特征, 根据弧后盆地的发育成熟度, 可以将弧后盆地分为初始阶段, 半成熟阶段和成熟阶段。南海的形成可能受到印藏碰撞效应的影响, 从而发生唯一的陆壳拉张型海底扩张作用。太平洋西侧洋壳年代较老, 可能是弧后盆地主要集中在西太平洋区的主要原因。

关键词 西太平洋 俯冲带后撤 岛弧拉张型 陆壳拉张型

1 引 言

板块构造是一个复杂的动力学体系, 而板块汇聚边缘的俯冲带系统是其最为重点的研究区, 全球绵延近四万公里, 集中了众多的地球科学问题: 如洋壳的俯冲和消亡、陆壳的增生、沟弧盆体系的形成、火山和地震的孕育机制、壳幔物质的相互作用、海底流体活动等^[1~5]。同时俯冲带也是地球最为庞大的循环系统的重要区域, 如果说洋中脊是新地壳和板块的诞生地, 那么俯冲带就是板块的终结地, 地表的物质和水在此进入地球内部, 通过一系列的构造变形和岩石化学反应, 推动岩石圈、甚至更深层次的演化和物质-能量的交换与循环, 并控制和影响了俯冲带区和弧后区矿产资源的富集。全球大部分金属矿床的形成都与岛弧区地幔物质部分熔融导致的微量元素的聚集相关^[6], 而弧后盆地区也孕育了丰富的油气、天然气水合物和热液硫化物资源。俯冲带也是板块活动最为强烈的区域, 以强烈的地震、火山活动为主要特征, 据统计, 全球所有地震能量的 90% 以上是由俯冲带地震释放的^[7], 而 M_w 8.0 级以上的大震 80% 发生在俯冲带^[8]。此外, 洋壳俯冲殆尽后进入弧陆碰撞阶段, 后者被认为是参与造陆作用的主要过程之一^[9~11]。由此诸多大型国际计划, 包括大洋发现计划 (Integrated Ocean Discovery Program, IODP), InterMargins 计划, 美国自然科学基金委的 GeoPrisms 计划等都将其作为关键的科学问题。IODP 在设定未来十年 (2013 ~ 2023 年) 的科学目标中尤其指出: 地球的深部过程及对地球表面环境的影响是其中非常关键的一部分, 而俯冲带的形成、物质循环以及陆壳的初始形成是其重要的挑战之一。

西太平洋地区位于印度-澳大利亚板块、欧亚板块和太平洋板块的交汇处,夹持在西侧的特提斯构造域与东部的太平洋构造域之间,是现今世界上构造活动最为活跃和复杂地区。晚中生代以来印度-澳大利亚板块的北向迁移、俯冲碰撞以及太平洋板块的西向俯冲在该区形成了一系列的俯冲带,并伴随着边缘海的扩张和年轻洋壳的形成,包括洋-洋俯冲、洋-陆俯冲、弧-陆碰撞、弧后扩张、扩张脊俯冲、海山-海底高原和海岭俯冲、双向俯冲等各类地质现象塑造了丰富的地质环境,形成了多套并存的俯冲体系(马尼拉-菲律宾弧-伊豆-小笠原-马里亚纳)、串珠状展布的边缘海盆地、时空上交替变换的主被动陆缘体系。本文将关注西太平洋区弧后扩张系统,尤其是西太平洋区不同类型边缘海盆地的地质-地球物理特征,演化史和构造机制,以期通过对比分析,探讨西太平洋俯冲系统演化的动力学机制及其控制因素。

2 西太平洋区边缘海盆地的类型及主要特征

西太平洋区分布着全球 70% 以上的边缘海盆地,典型代表包括欧亚大陆东缘的白令海、鄂霍次克海、日本海、冲绳海槽,欧亚大陆东南缘的南海、苏禄海、苏拉威西海、班达海、卡罗拉海,澳大利亚东缘的珊瑚海、斐济盆地、劳盆地、塔斯曼海等。这些边缘海盆地绝大部分为弧后盆地,位于火山岛弧的后方,与俯冲带密切相关(图 1)。但也有边缘海盆地,如南海等,并没有一个俯冲带与其对应,显示出不同于弧后盆地的特征,为近似大西洋型的陆壳拉张的小洋盆。以下将分别介绍两种不同类型边缘海盆地的主要特征。

2.1 陆壳拉张型(南海)海盆

南海位于太平洋板块、欧亚板块和印度洋-澳大利亚板块的结合带上,是西太平洋最大的陆壳拉张型边缘海。自晚白垩世以来,南海经历了从主动大陆边缘到被动大陆边缘性质的转变,包括多期的陆缘裂解、海底扩张、部分洋壳向东侧的俯冲消减以及南侧与婆罗洲的碰撞,形成了目前北侧拉张、东侧俯冲、南侧前期拉张后期挤压以及西侧走滑的构造格局。

虽然曾有学者将南海归结为弧后盆地,但其为陆壳拉张型海底扩张成因已为众多学者公认。Taylor 和 Hayes^[12,13]通过对南海东部海盆进行了较为可信的地磁条带识别(图 2),从南、北两侧向中央鉴别出 C11 ~ C5d 的磁异常,认为扩张总体沿 15°N 附近的近 E-W 向黄岩海山链为残留扩张中心对称分布,扩张时代为 32 ~ 17Ma。之后 Briasis 等^[14]对 1990 年以前的南海磁异常资料进行了详细对比和综合分析,验证了 Taylor 和 Hayes^[12,13]的磁异常条带划分的观点,并在扩张中心附近又鉴别出 C5c 磁条带,因此南海海盆扩张年龄为 30 ~ 16.5Ma(磁异常年代根据 Cande 和 Kent^[15]发表的新地磁倒转年表进行了修正)。

南海的海底扩张模式虽已被众多学者公认,但海底扩张模式的动力学模型仍然存在不同的观点,主要可以分为印度板块的碰撞挤出模型和古南海的拖拽俯冲模型。前者最早由 Tapponnier 等^[17]提出,他们通过物理模拟实验提出印藏碰撞使得印支半岛向南东方向发生大位移量的构造逃逸,而南海是位于滑移带(红河断裂带)末端的拉分盆地。随后,

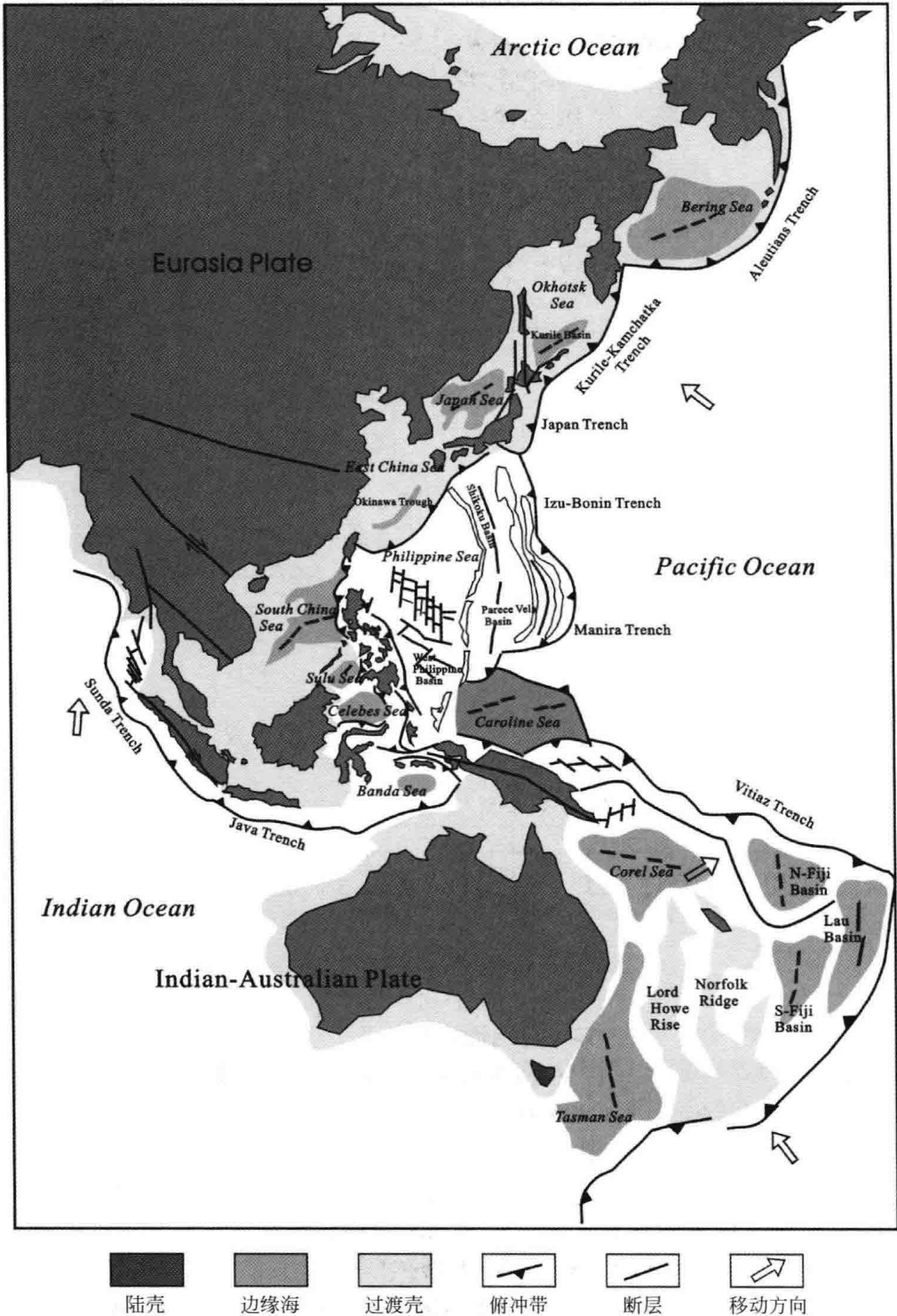


图1 西太平洋构造图