



科学版研究生教学丛书

大陆边缘构造与地球动力学

周祖翼 李春峰/著



科学出版社
www.sciencep.com

科学版研究生教学丛书

大陆边缘构造 与地球动力学

周祖翼 李春峰 著

科学出版社

北京

内 容 简 介

本书以目前国际上最新的科研成果为基础,同时结合作者多年来在这一领域的科研积累,系统介绍了大陆边缘构造研究的地质与地球物理方法,阐述了大陆边缘从张裂到俯冲汇聚的构造与地球动力学过程,并且以实例介绍了我国重要边缘海的构造与演化。另外,本书还介绍了当前国际上相关的重大科学计划,以便读者把握这一学科的国际前沿和未来的发展方向。

本书可供高等学校、科研院所海洋地质、构造地质、地球物理、石油地质以及古环境等专业的研究生作为教材或教学参考书,也可供从事相关专业教学和研究人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

大陆边缘构造与地球动力学/周祖翼,李春峰著. —北京:科学出版社, 2008

(科学版研究生教学丛书)

ISBN 978-7-03-021218-4

I. 大… II. ①周…②李… III. 大陆边缘—地质构造—地球动力学—研究生—教材 N. P736.15 P541

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 027410 号

责任编辑:郭 森 王日臣 / 责任校对:陈玉凤

责任印制:张克忠 / 封面设计:陈 敬

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>

骏杰印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2008 年 5 月第 一 版 开本:B5(720×1000)

2008 年 5 月第一次印刷 印张:20 1/4 插页 4

印数:1—2 500 字数:398 000

定价:48.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈环伟〉)

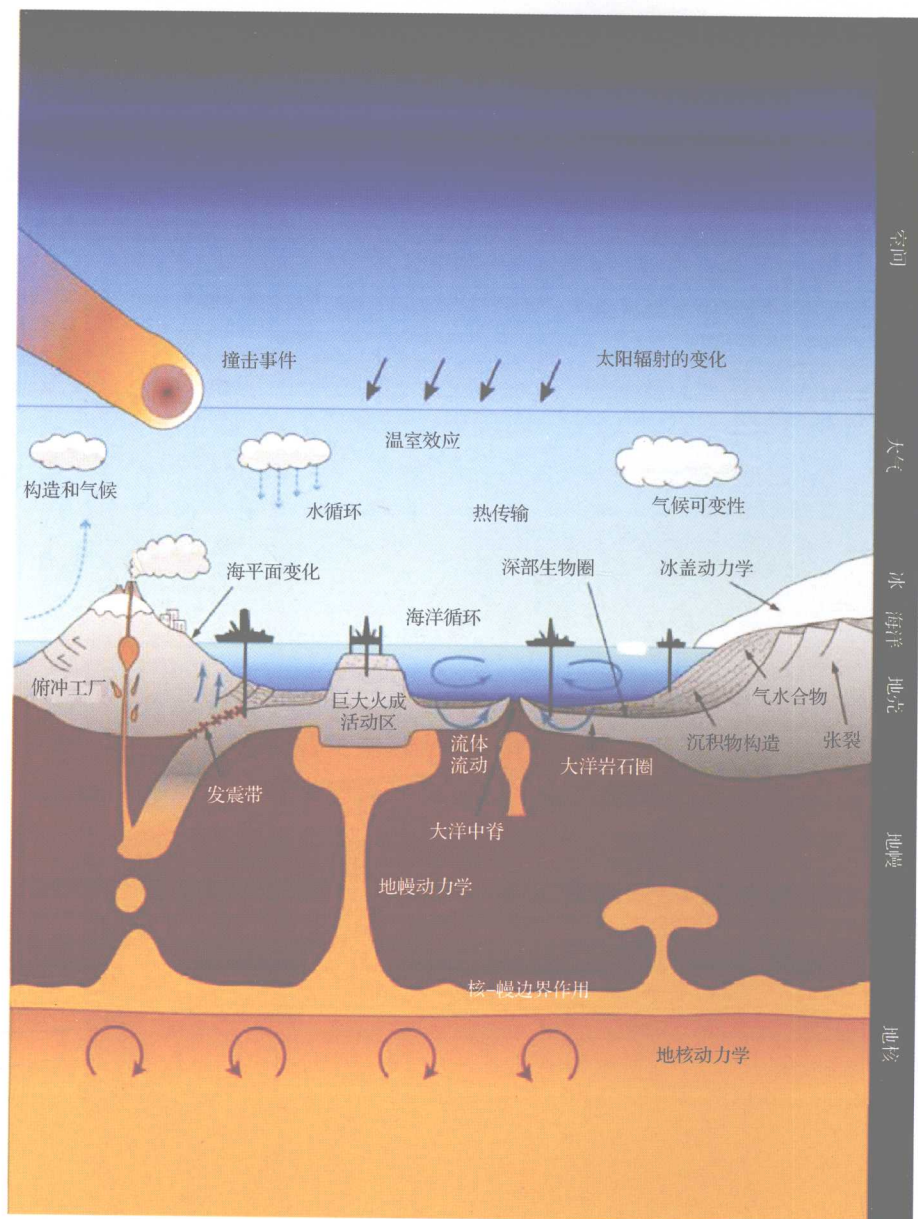


图 1-1 地球系统的组成、作用和现象 (ISPWG, 2001)

大陆边缘在地球系统演化中起着十分重要的作用

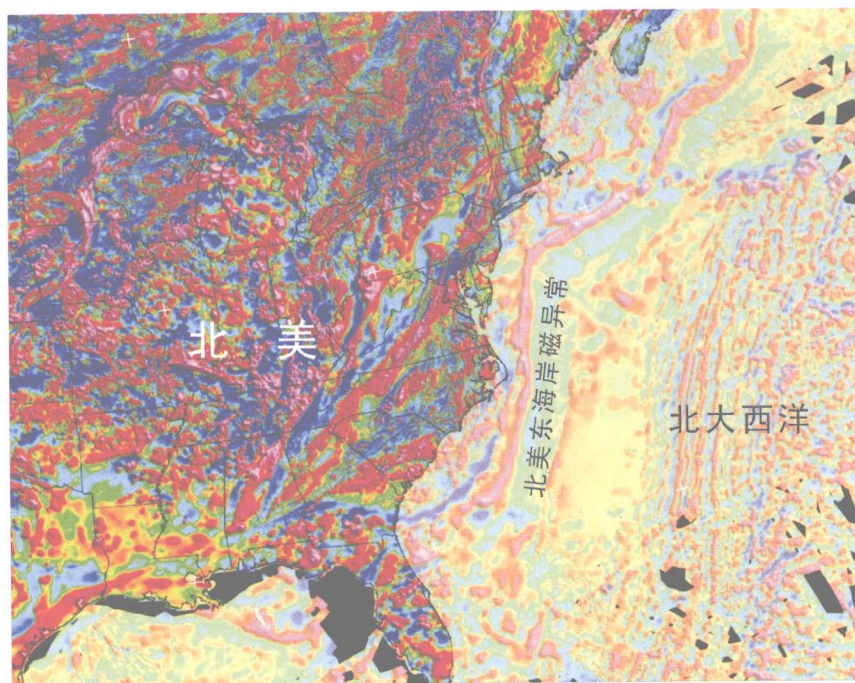


图 2-16 北美东海岸磁异常的展布 (USGS, 2002)

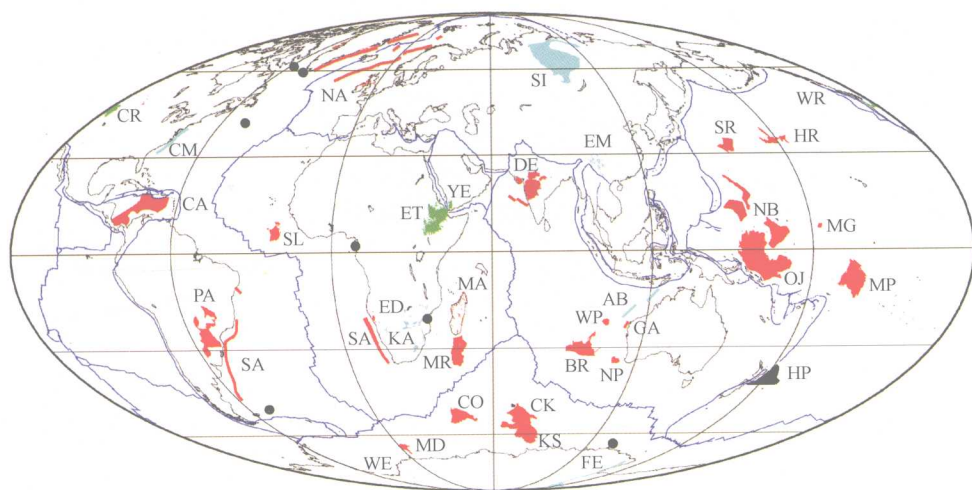


图 2-28 全球主要中、新生代 LIPs 的分布图 (Eldholm and Coffin, 2000)

包括深海高原、火山型张裂边缘、大陆溢流玄武岩、洋中脊以及海山链。天蓝色, 大于 150 Ma; 红色, 150~50 Ma; 绿色, 50~0 Ma; 黑色, 尚未定年。火山型张裂边缘的 LIPs(线条和黑圆点)由在地震剖面上出现的向海倾斜反射层 SDRs 的出现而确定。现代板块边界以深蓝色表示。DE 为德干暗色岩(Daccan traps); OJ 为翁通-爪哇高原(Ontong-Java Plateau); KS 为 Kerguelen 海台

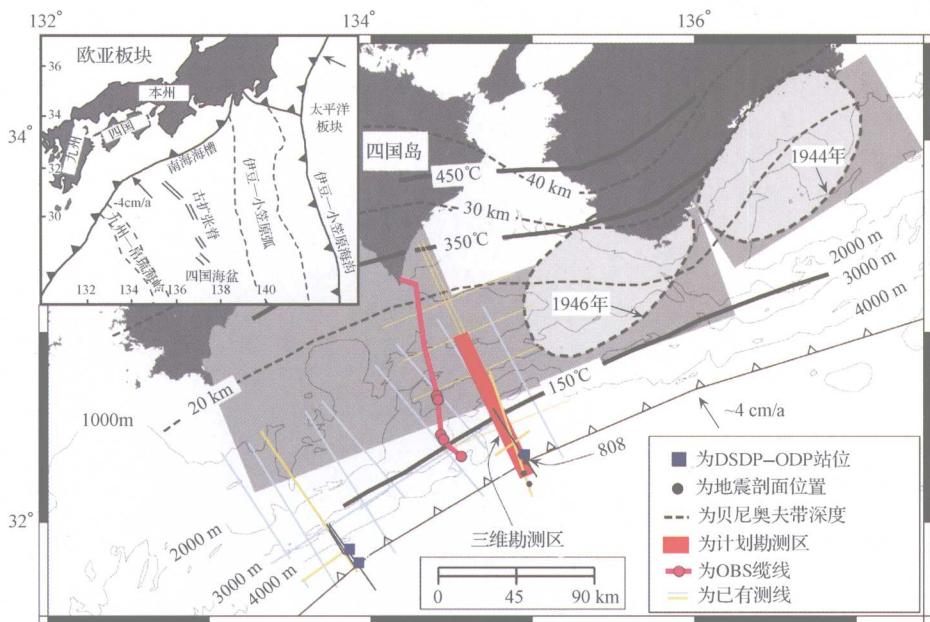


图 3-10 西南日本南海海槽俯冲逆断层不同深度的温度分布图(Bangs et al., 2004)
1000~4000 m 表示海底等深线;20~40km 为俯冲逆断层等深线;150~450℃为俯冲逆断层处的等温线;深灰色代表陆地(四国、本州部分);中灰色(长方形)代表由同地震地表形变和海啸资料得出的 1944 年和 1946 年地震的破裂带位置;浅灰色代表 1944 年和 1946 年主震后一天余震的分布范围

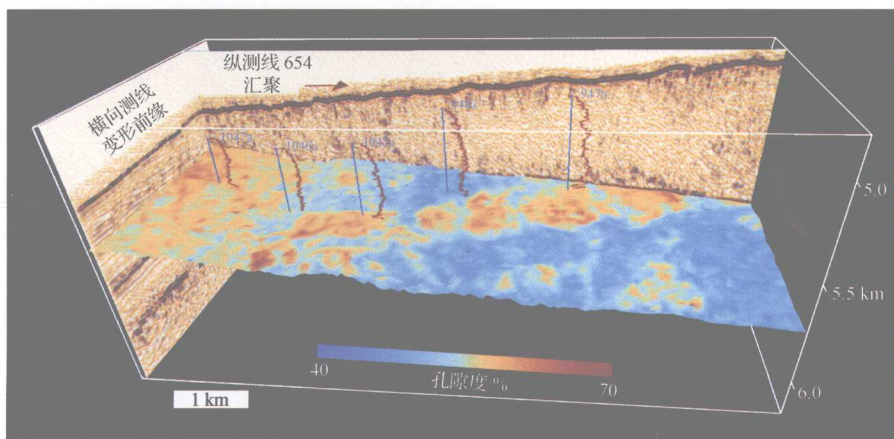


图 3-37 巴巴多斯板块边界滑脱面上、下地震反射三维透视图(Bangs et al., 1999)
垂线代表大洋钻井,其右侧曲线为对应的密度录井。滑脱面的孔隙度是根据地震反射资料并经 ODP156 和 171A 航次的随钻录井(LWD)校准得出的,图中央一条 NE-SW 走向,宽 1~2 km 的高孔隙度和高流体压力带被解释为主要的流体通道

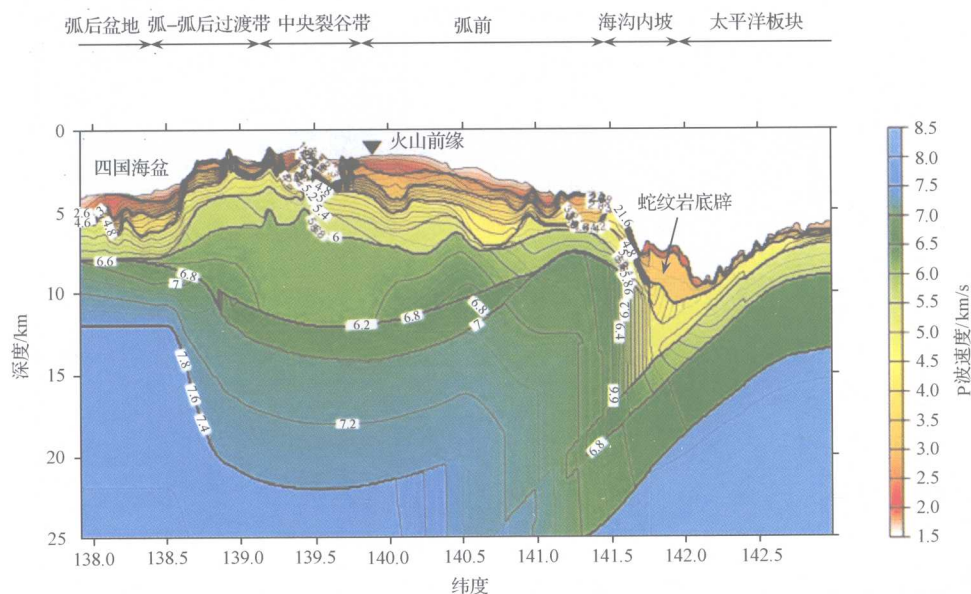


图 3-41 横切过伊豆-小笠原岛弧的 P 波速度结构(Suyehiro et al. , 1996)
断面位于 $32^{\circ}15'N$; 所示的波速结构是根据详尽的海底地震仪(OBS)探测资料得出的

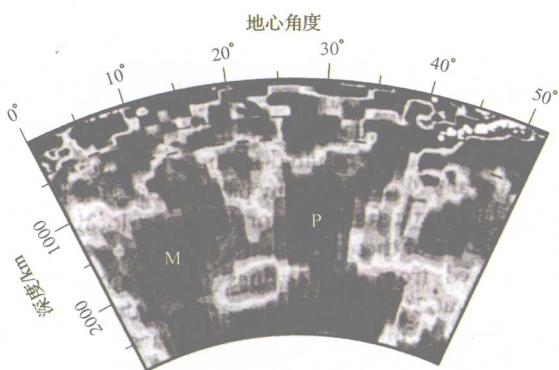


图 3-51 自日本北部向西的层析成像垂直断面(Van der Voo et al. , 1999)
P 为太平洋俯冲板片; M 为蒙古-鄂霍次克板片

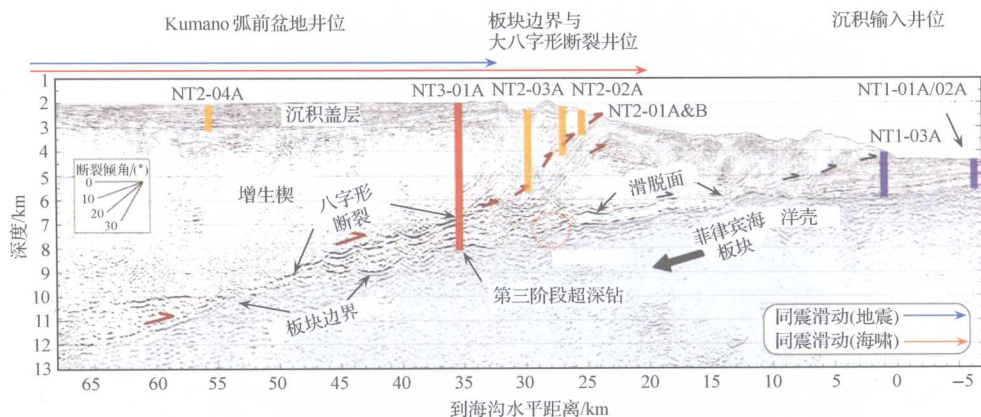


图 3-58 研究区叠后深度偏移剖面(Kimura et al., 2003)

展示了 Kii/Kumano 板块接触面、增生楔、Kumano 盆地和主要的八字形断层系统。1944 年 Tonankai 地震的同震海啸滑动向海延伸范围(粗线)和同震地震滑动向海延伸范围(细线)投影在剖面上。圆圈内是陆壳向下滑脱至洋壳顶部的位置。3 个阶段的井位也投影在剖面上

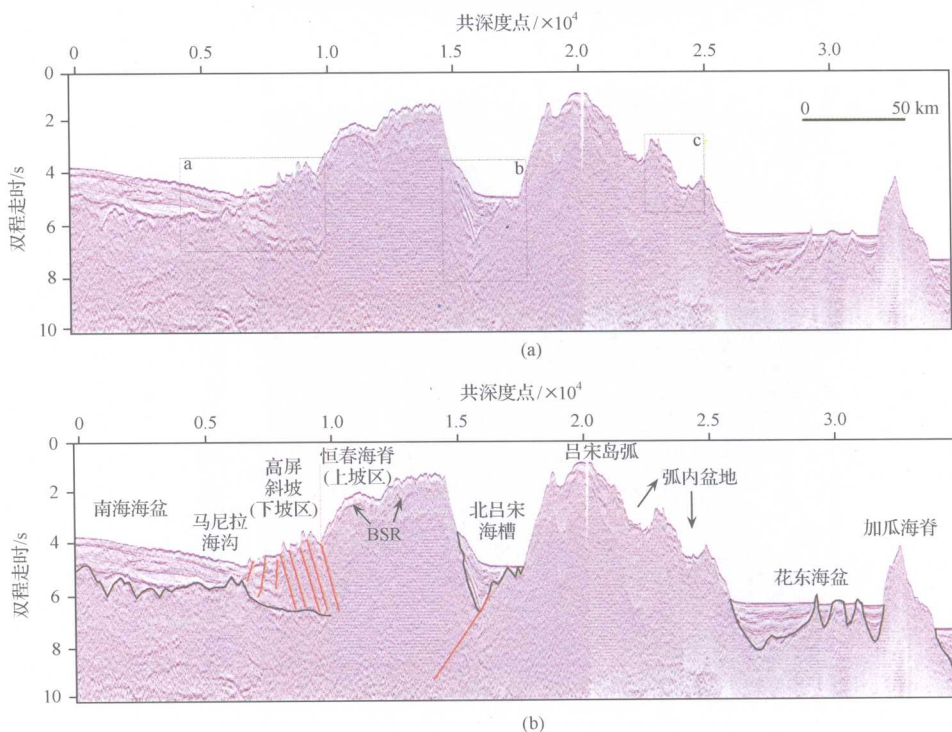


图 3-59 地震偏移剖面(a)和地震剖面的构造解释(b)(李春峰等, 2007)

BSR 为似海底反射, 图(a)中 a、b、c 框分别表示图 3-62、图 3-63、图 3-64 的位置

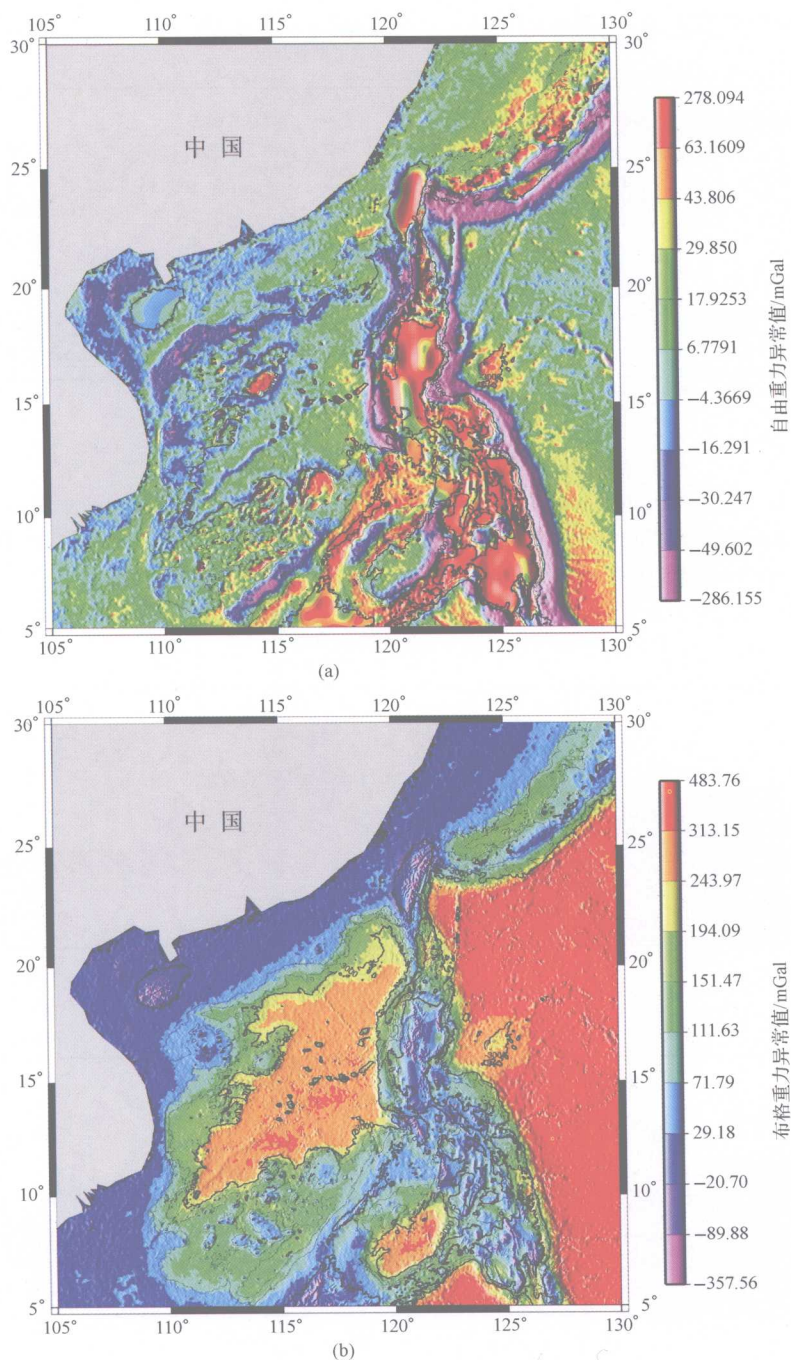


图 3-61 卫星测高自由重力异常图(a)和计算得到的简单布格重力异常图(b)(李春峰等,2007)

图上覆盖了 0 m、1000 m、2000 m 和 3000 m 的等深线。地形与构造单元名称与位置见图 3-22

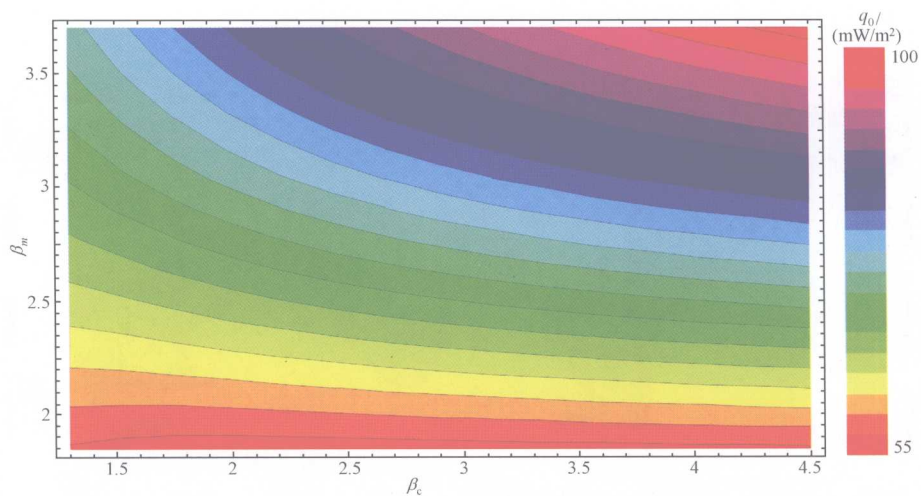


图 4-10 地表热流与拉张因子的关系 (Li et al., 2007b)

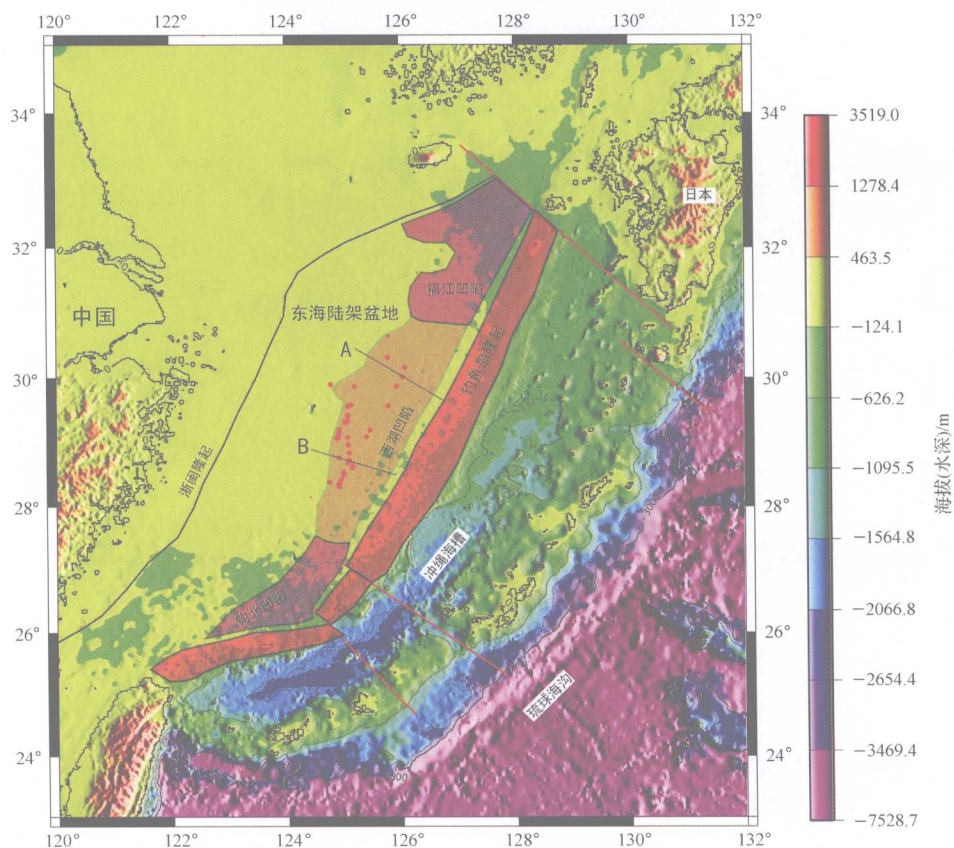


图 4-11 研究区域彩色地形与构造单元展布图 (Li et al., 2007a)

A 和 B 分别为两条地球物理剖面的位置。A 地震剖面见图 4-1。

红点代表钻井的位置, 红线段为北西向主要断裂

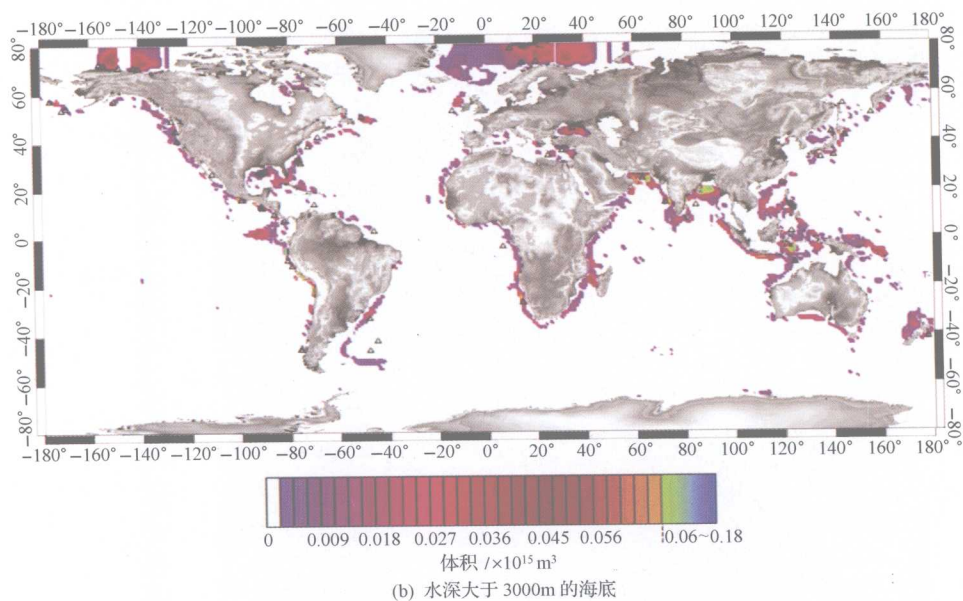
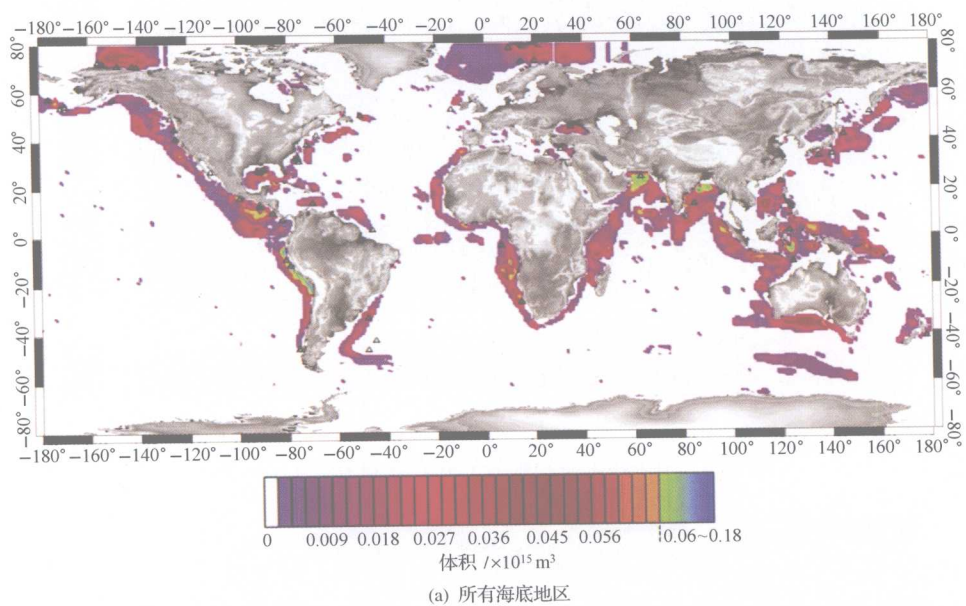


图 6-1 全球实际观测的气体水合物的分布(三角点)以及标准温压条件下每 $1^\circ \times 1^\circ$ 面积内的气体水合物预测量分布图(Klauda and Sandler, 2005)

前 言

大陆边缘地区既是地震、火山、滑坡以及各种与气候变化有关的灾害频发的地区,也是人类经济、社会活动的重要场所。20 世纪 90 年代以来,由于大陆边缘为各种地质作用集中发生的主要场所,对大陆边缘的地质研究成为世界各国科学家们关注的重要的科学热点。继美国于 1998 年正式启动其大陆边缘研究计划(MARGINS)后,欧洲(EUROMARGINS)和日本也启动了各自的大陆边缘研究计划,一个由世界主要发达国家参与的国际大陆边缘研究计划(InterMARGINS)也已启动。我国也于 21 世纪初加入了 InterMARGINS 研究计划。

同济大学的大陆边缘构造研究方向是已故朱夏院士在 20 世纪 80 年代初期创立的,是国内高校第一个该领域的硕士和博士培养方向,经过几代人的共同努力,同济大学的大陆边缘构造研究集体迄今为止已培养了近百位博士、硕士研究生,在中国南方古大陆边缘构造和边缘海区构造演化研究等方面取得了重要成果,形成了鲜明的学科特色,已成为国内大陆边缘构造及沉积盆地构造研究领域的一个重要的科学研究和人才培养基地。本研究集体编纂的《大洋钻探与中国地球科学》、《板块构造基础》、《大陆边缘地质学》、《漂移的大陆》等教材和专著深受广大读者和专业人员的喜爱。

在 21 世纪,各国对海洋资源与权益的竞争日趋激烈。以大洋钻探(ODP/IODP)为代表的国际深海研究计划不断取得新的科学发现,与此相对照,国内现有教材的内容已经远远不能反映大陆边缘构造领域的国际研究前沿和进展。自 1996 年以来,我们在给本校研究生开设的“大陆边缘构造”课程中,一直不断充实各种新的国外研究进展和我们自己的研究成果,课程内容也得到许多同学的积极反馈。国内有关院校的老师也不断向我们索取课程材料。因此,面对国内外对大陆边缘地质研究日益重视的形势,以及近 10 年来随着 GPS、地震数据采集、IODP、海底观测系统、计算机模拟、实验室技术的进展而在大陆边缘领域所取得的大量新的成果和研究方法,编写一本适应时代特征的《大陆边缘构造与地球动力学》已成当务之急。

在编写本书时,一方面,我们立足于介绍研究的前沿领域及其进展,以及我们近年来在中国海区构造研究的一些成果;另一方面,我们尽量注意本书的系统性,对一些基本理论及研究方法进行了重点介绍。由于大陆边缘构造和地球动力学所涵盖的领域甚广,学科进展层出不穷,我们期望本书只是读者了解大陆边缘构造及地球动力学的一本入门读物,书中所列的参考文献及网址能够成为读者进一步深入研究的基础。同时我们也希望本书的出版能吸引更多的国内学者关注大陆边缘

构造的研究,共同推动我国大陆边缘构造研究朝着定量化、探索机理的方向不断深入。

金性春教授参与了本书“大陆边缘的汇聚过程”一章的编写,并对其他章节的完善提出了宝贵的建议。马婷婷女士协助整理了本书的参考文献。本书的出版得到了同济大学研究生教材出版基金的部分资助,书中介绍的我们的研究成果得到了国家自然科学基金项目(49876013,40621063,40776026,40504016),国家重点基础研究发展规划(973 计划)项目(G2000078501,G200004760404,2007CB411702)以及 863 项目(2004AA615030)的支持。在此,我们对上述个人和单位表示衷心的感谢。

周祖翼 李春峰

2007 年 11 月 25 日

于同济大学

目 录

图版

前言

第 1 章 大陆边缘构造研究概述	1
1.1 主要大陆边缘研究计划简介	1
1.1.1 国际大陆边缘研究计划	1
1.1.2 美国的 MARGINS 计划	3
1.1.3 EUROMARGINS 计划	4
1.2 大洋钻探与大陆边缘研究	6
1.3 海底观测系统	7
1.4 大陆边缘构造研究的地球物理方法	8
1.4.1 反射地震学	8
1.4.2 海底地震仪(OBS)与波速度反演	9
1.4.3 层析成像	11
1.4.4 电磁测深	12
1.4.5 重磁数据的处理与解释	12
第 2 章 大陆边缘的张裂过程	15
2.1 大陆张裂的构造物理条件	15
2.2 大陆裂谷作用的特征	18
2.2.1 大陆裂谷深部结构模式	19
2.2.2 大陆裂谷内热流作用	20
2.2.3 岩浆的底侵作用	20
2.3 大陆张裂的力学模型	21
2.3.1 Vening Meinesz 模型	21
2.3.2 Vening Meinesz 模型的改进	23
2.3.3 简单剪切模式与挠曲旋转模型	23
2.3.4 纯剪切拉张的 McKenzie 模型及其改进	25
2.3.5 弹性梁模型	28
2.3.6 地幔柱上涌与三叉裂谷	29
2.4 张裂大陆边缘的构造——岩浆模式	31
2.4.1 火山型被动大陆边缘	33

2.4.2	非火山型张裂边缘	41
2.4.3	过渡型张裂边缘	48
2.5	巨大火成活动区	53
2.5.1	LIPs 的基本特征	54
2.5.2	ODP 对 LIPs 的研究	55
2.5.3	LIPs 的成因	58
2.5.4	IODP 对 LIPs 的研究展望	61
2.6	冲绳海槽: 弧后背景下大陆张裂的最高阶段	62
2.7	南海北部新生代张裂大陆边缘研究	69
2.8	IODP 对张裂大陆边缘的研究计划	72
2.9	“破裂大陆岩石圈”科学计划介绍	73
2.9.1	RCL 科学计划部署与研究方法	74
2.9.2	RCL 研究区域简介: 以加利福尼亚湾地区为例	78
第 3 章	大陆边缘的汇聚过程	83
3.1	组成单元及地球物理特征	83
3.1.1	活动边缘的组成单元	83
3.1.2	贝尼奥夫带及深源地震的成因	87
3.1.3	俯冲逆断层型大地震与发震带研究	91
3.1.4	重力与热流特征	95
3.2	弧前地质作用	96
3.2.1	俯冲增生与增生楔	96
3.2.2	沉积物俯冲	101
3.2.3	俯冲侵蚀	104
3.2.4	大型海山和无震海岭的俯冲	106
3.2.5	增生边缘与非增生边缘	109
3.3	俯冲工厂与俯冲再循环中的大陆物质	112
3.3.1	俯冲工厂与俯冲再循环概述	112
3.3.2	俯冲沉积物的去向: 增生还是俯冲至地幔	116
3.3.3	俯冲侵蚀物质输入地幔的速率	121
3.3.4	大陆物质返回地幔的速率与陆壳的净生长速率	123
3.3.5	俯冲工厂与俯冲再循环重点研究区的评价	125
3.4	活动边缘的流体地质作用	128
3.4.1	活动边缘流体活动的表现和证据	129
3.4.2	俯冲带上部流体活动的途径和流体渗出口的化学合成生物群	133
3.4.3	弧前地幔的水化与蛇纹岩泥火山	136

3.4.4	流体的化学成分与俯冲板片的脱水作用	138
3.5	活动边缘研究中几个值得探讨的问题	139
3.5.1	活动边缘陆壳的增生	140
3.5.2	俯冲作用的起始	142
3.5.3	俯冲板片的结局	148
3.6	发震带试验	155
3.6.1	SEIZE 的研究内容	157
3.6.2	SEIZE 的研究区域介绍	162
3.7	南海东部马尼拉俯冲带	166
3.7.1	地球物理数据处理与正反演	166
3.7.2	马尼拉俯冲带的构造形态	170
3.7.3	恒春海脊与吕宋岛弧之间的构造关系	171
3.7.4	吕宋岛弧上的弧内盆地	172
3.7.5	台湾南部马尼拉俯冲带特征总结	173
第4章	大陆边缘的构造沉降、隆升与剥蚀	175
4.1	大陆边缘的构造沉降	175
4.2	构造沉降分析	181
4.2.1	影响构造沉降分析的因素	182
4.2.2	回剥分析	190
4.2.3	热-构造沉降	192
4.2.4	拉张盆地的地热史与地热场	197
4.3	大陆边缘构造沉降例析	203
4.3.1	东海陆架盆地西湖凹陷的构造沉降特征	203
4.3.2	南海曾母盆地岩石圈特性与有效弹性厚度	207
4.4	大陆边缘的沉积特征	209
4.4.1	被动大陆边缘初期的沉积特征	210
4.4.2	年轻被动大陆边缘的沉积特征	211
4.4.3	成熟大陆被动边缘的沉积序列	212
4.4.4	深海海沟、弧前和弧后盆地	213
4.4.5	其他类型的边缘盆地	216
4.5	大陆边缘的隆升与剥蚀	217
4.5.1	大陆边缘的反转构造	217
4.5.2	东海盆地西湖凹陷中央反转带的剥蚀与隆升	221
4.6	从源到汇(S2S)简介	228
4.6.1	从源到汇系统	228

4.6.2	关键科学问题	229
4.6.3	研究方法和技术手段	229
第5章	边缘海的形成与演化	231
5.1	弧后扩张	232
5.2	构造转换	238
5.3	被捕获的边缘海	239
5.4	边缘海盆地成因讨论	240
5.5	南海海盆的拉张模式	241
5.6	西太平洋边缘海与古特提斯边缘海的对比	245
5.6.1	西太平洋边缘海	246
5.6.2	古特提斯残留边缘海	247
5.6.3	西太平洋边缘海与古特提斯残留边缘海的对比	248
5.6.4	小结	252
第6章	大陆边缘构造的资源与环境效应	254
6.1	大陆边缘中的气体水合物	254
6.1.1	气体水合物的主要特性	255
6.1.2	气体水合物的重要意义	261
6.1.3	科学大洋钻探与天然气水合物	263
6.2	大陆边缘与深部生物圈	268
6.2.1	DSDP 与深部生物圈	270
6.2.2	ODP 与深部生物圈	270
6.2.3	IODP 与深部生物圈	274
6.3	印尼海道的关闭与西太平洋暖池的形成	275
6.3.1	印尼海道的五道屏障	276
6.3.2	印尼海道的两度关闭	281
6.3.3	构造对暖池演变的双向复合控制作用	282
6.3.4	古海洋学研究的初步验证	283
6.4	印尼海道的关闭与东非干旱化	285
6.5	巨大火成岩区的形成对环境的影响	286
6.5.1	对大气的影响	286
6.5.2	对海洋的影响	286
6.5.3	生物灭绝事件	287
	主要参考文献	289