

当代地学进展丛书

含油气盆地分析新进展

姜衍文 吴智勇 兰世雄等译



西北大学出版社

P618.130.2
046

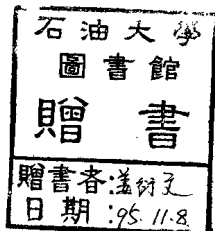
· 094476

《当代地学进展》丛书

含油气盆地分析新进展

姜衍文 吴智勇 兰世雄等译

S23/11



西北大学出版社

(陕)新登字 011 号

内容简介

盆地分析和盆地模拟是当前油气勘探领域中最活跃、进展最快的前沿技术之一。盆地分析理论模型的日臻成熟和在油气勘探实践中的不断成功,日益引起了学术界与石油工业界的广泛兴趣和高度重视。

本书选译了散见于国外各类核心期刊上近期发表的有代表性的 14 篇论文,内容涉及沉积盆地的构造沉降正演模拟、半地壳充填模型、构造抬升与侵蚀量的定量模拟、流体流动及压力发展问题,以及北印尼盆地、加拿大、阿联酋等含油气盆地的地史、热史和生烃史的研究现状与进展。文章从不同的角度阐述了含油气盆地分析的各个侧面,基本上代表了当前含油气盆地分析的最新进展和研究动态。

本书取材新颖、编排科学、系统性强,可供地质类大专院校师生、石油勘探开发的生产科研人员参考。

含油气盆地分析新进展

姜衍文 吴智勇 兰世雄 等译

*

西北大学出版社出版发行

(西安市太白路)

新华书店经销 西安友谊印刷厂印刷

*

787×1092 毫米 1/16 开本 15 印张 365 千字

1994 年 12 月第 1 版 1995 年 3 月第 1 次印刷

印数: 1—400

ISBN 7-5604-0773-0/P·41 定价:30.00 元

《当代地学进展》丛书编委会

主任委员	戴世昭		
副主任委员	姜衍文	汪仕忠	
委	戴世昭	姜衍文	汪仕忠
	刘正珏	江荣沛	倪昌祥
	赵心一	窦茂泽	王典教
	吴智勇	兰世枢	

7.30

10.7

导 言

姜 衍 文

最近 10 年来,含油气盆地分析一直是油气勘探领域中最活跃、进展最快的前沿技术之一 (S. Cloetingh et al, 1993; Ian Lerche, 1990)。盆地分析在理论模型方面的日臻成熟和在油气勘探实践中的不断成功,日益引起了学术界与石油工业界的广泛兴趣和高度重视。作为这项新技术的生长点,层序地层学的进展、高精度地震资料的广泛应用以及计算机模拟技术的不断开发,分别从不同方面推动了这个跨学科前沿的迅速进步。从某种意义上说,盆地分析和盆地模拟可以被认为是当代计算机技术与新的地学思维相结合的产物。新地学思维最本质的特征便是,在地学研究中引入了系统论的思想,把沉积盆地的形成和演化过程看作一个开放的宏观系统,其中包含了构造和沉降过程、沉积物的沉积和压实过程、有机质的热演化成烃过程、流体流动和压力发展过程、烃类排替和运聚过程等多个子系统。这些子系统彼此之间既相互关联、相互依存、相互制约,又相对独立、自成体系,盆地分析的首要步骤便是根据初始条件建立盆地系统以及各个子系统的概念模型,然后转化为数学模型,进而再转化为适用于计算机定量模拟的计算机模型,最终实现对沉积盆地形成和演化过程进行整体化计算机处理。

盆地分析和盆地模拟技术的兴起,无论从石油地质学理论意义上,还是从油气勘探实践的角度,都是一个划时代的贡献。它突破了经典的石油地质研究方法的樊篱,把石油地质学从静态的、单因素的定性描述,提升到动态的、整体化的定量模拟。换言之,它能以某种逼真度定量地再现含油气盆地形成和演化的全部动力学过程以及伴随的成烃、排烃和运聚过程,并模拟这些过程之间的时间配置关系和瞬态变化。因此,从勘探的意义上说,盆地模拟技术提供了含油气盆地早期评价的有效工具。借助于早期的地震剖面资料,转化成能预测生烃时间、生烃门限以及烃类运聚过程的模拟程序,尤其是对于那些尚未钻探的远景区、艰难地区或者边远地区,可以应用卫星遥感信息或机载雷达进行油气藏类型和资源量的先期预测。

应用盆地模拟来预测产油气带,北海的 Viking 地堑已经为之提供了一个成功的范例 (J. E. Iliff et al; 1991)。模拟预测表明:地堑中央部位的 Draupne 组的生烃过程始于 115Ma,终于大约 75Ma;而地堑外部的生烃过程则始于白垩纪/第三纪之交,并持续至今。预测还表明,Viking 地堑挪威辖区一侧以生气为主,而西区则以生油为主。模拟预测的 Draupne 组的生油成熟区同沿剖面线所发现的油田的实际情况完全相符。

在世界上其他一些含油气盆地,如意大利北部 (B. P. Wygrala, 1988) 以及土耳其南部的 Adana 盆地 (M. N. Yalcin et al, 1988),用盆地模拟的方法预测盆地的地史、热史和生烃史,均取得了令人满意的效果。鉴于盆地分析模拟技术在降低勘探风险,提高勘探成功率方面所带来的重大效益,国际石油界和各石油公司都竞相将其列入自己的优

先发展的战略性的研究领域。1990年,美国南卡罗莱纳大学的 Ian Lerche 教授和他的合作者们率先推出了两卷集专著《用定量方法进行盆地分析》,卷1有11章,涉及到盆地的地史、热史和生烃史;盆地评价;热指标;生烃模式;流体流动及压实过程;根据热指标确定热流量、活化能、地层时代及不整合;热指标层析成像、盆地形态的发展以及盆地模拟敏感度分析等诸多问题。卷2由两部分组成:第一部分共6章,涉及一维空间中解决的问题。第二部分分为7章,总标题为二维问题,涉及旋转断块对压实及热聚集过程的影响、Pinedale 背斜的定量动力地质学、喀尔巴阡前渊的板块挠曲转换、碳酸盐生长的动力学模型;随后是以西欧、西非和北海为例分析动力学、热力学对成熟度的影响;最后论述了低产层段的水动力学特征。该书理论与实践分析并重,资料翔实,不失为盆地分析领域中颇有价值的力著。

1991年3月,由挪威石油学会组织的盆地模拟学术会议在挪威的油都 Stavanger 市举行。提交会议的论文逾百篇,内容涉及到盆地形成和演化的许多方面。正如人们对这次会议作出的述评:这些成果清楚地表明现代计算机科学应用于地学研究正在取得有意义的进展(《Marine Petroleum Geology》,1991, Vol. 8, No. 49)。1993年4月,在法国的 Strasbourg 市举行的欧洲地科联学术会议期间,提交会议的特邀论文反映了沉积盆地动力学演化研究领域的方方面面。会后选辑了10篇论文以特刊(《Sedimentary Geology》, Vol. 86, 1993)的形式发表,标志着盆地分析和模拟研究走向成熟。

自那时以来,有关这一领域的研究成果又有了长足的增长。为了展现这个活跃领域日新月异的面貌,我们选译了散见于各类核心期刊上有代表性的14篇论文汇成一集,这些文章覆盖了沉积盆地的构造沉降正演模拟、半地壳充填模型、构造抬升与侵蚀量的定量模拟、流体流动及压力发展问题以及北印尼盆地、加拿大、阿联酋等含油气盆地的地史、热史和生烃史的研究现状与进展。然而,盆地分析和盆地模拟所涉及的学科和方面是如此之多,正如 Ian Lerche 教授在他的《盆地分析》序言中所指出的:“对盆地分析的每一个细节、每个学科的每一方面进行阐述是困难的,这需要宏篇巨著才能实现。”本书的目的在于,也仅能够为读者展示一个有关这个前沿领域的飞速发展的现时的横断面。他山之石,可以攻玉。如果本书能够为我国石油界的朋友们带来一点有益的启迪的话,那正是编译者们所翘首期待的。

最后,愿借本书付梓之际,向中国石油天然气总公司新技术推广中心石宝珩主任、江汉石油管理局戴世昭局长等表达编译者们深深的谢忱。如果没有他们的热情关怀、鼓励以及经费上的支持,本书的出版将是无法实现的。

参 考 文 献

1. S. Cloetingh, W. Sassi, F. Horvath and C. Puigdefabregas, Basin analysis and dynamics of sedimentary basin evolution—an introduction. *Sedimentary Geology*, 1993, 86, 1~4
2. Ian Lerche, Basin analysis: Quantitative methods. 1990, Academic Press, San Diego, Calif. P561.

3. J. E. Iliff, I. Lerche and S. Cao, Basin analysis predictions of known hydrocarbon occurrences, the North Sea Viking Graben as a test case. 1990, *Earth Sci. Rev.* , 30, 51~80
4. Wygrala B. P. , Integrated computer-aided basin modeling applied to analysis of hydrocarbon generation history in northern Italian oil field. In: L. Mattavelli and L. Novelli (Editors) *Advances in organic Geochemistry*, 1987, *Org. Geochem.* , 13:187~197
5. Yalcin M. N. , Numerical simulation of the geologic evolution, the thermal history and the hydrocarbon generation potential of the Adana Basin (South Turkey). 1988, *Abstracts A. A. P. G. Bull.* , 72:1031~1032

目 录

导 言	姜衍文
松巴岛弧前基底的成因	(1)
多米诺断块系对变拉伸速率响应的定量模拟	(16)
西南巴伦支海新生代抬升与剥蚀的构造地层模型	(25)
位移和变形模拟的简单矩阵运算	(40)
半地堑盆地充填模型:大陆拉张盆地发育的新限制	(47)
应用白垩层及基末里粘土层的声波速度资料定量分析 Inner Moray 海湾的第三系 剥蚀量	(68)
加拿大北部利亚德盆地的古生界埋藏和有机质的成熟	(82)
盆地正演模拟确定构造沉降曲线的分辨率极限	(98)
阿拉伯联合酋长国热成熟过程及油气生成的动态模拟	(113)
印度尼西亚北部盆地的地质史、热力史和油气生成史	(127)
北印度尼西亚盆地的地压演化和烃类生成:二维定量模拟	(150)
沉积盆地中的流体流动	(168)
艾伯塔盆地东北部的地层水水文地质学	(187)
北达科他州 Billings Nose 地区 Mission Canyon(密西西比系)油藏的水动力 效应	(212)

松巴岛弧前基底的成因

Wytze van der Werff Dida Kusnida

Hardi Prasetyo Tjeerd C. E. Van Weering

兰世雄 译 姜衍文 校

【摘要】 对东巽他(Sunda)群岛/西班牙达(Banda)弧前区域声波基底构造的解释,揭示了松巴岛与北帝汶岛存在构造上的连续性。松巴岛与帝汶岛之间的这一地区表现为一条连续的构造带,不存在大型走滑运动。构造走向在西部呈EW向,向东部逐渐转变为NE—SW向。在松巴岛以西 $117^{\circ}30' \sim 118^{\circ}30' E$ 位置发育的一条走向NE—SW大型不连续带标志着西部洋内火山弧系与东部火山弧-大陆碰撞带之间的构造转换。松巴岛基底的展布范围表明,这里或者经历了松巴岛与北帝汶岛一体的板块裂陷/漂移过程(晚侏罗世),或者经历了两个来源不同的大陆碎块的岩浆焊接作用(早中新世),从而导致两个微板块的构造连续性。第一种解释表明,松巴岛起源于特提斯洋以南澳大利亚陆缘的西北部,在晚侏罗世时期从那里分裂、漂移出来。本文赞同第二种假设,即松巴岛采自于北部,是于始新世从特提斯洋以北的亚洲大陆的东南缘分裂出来的。

弧前盆地通常发育在不同成因的基底岩石之上,这取决于成弧时期的区域板块构造背景。东巽他群岛/西班牙达弧前基底可能由洋壳、大陆碎块、增生岩石及岩浆侵入体组合而成,构成一个复合型弧前系统。

本文是对与松巴岛相关的海域区声波基底构造在海域的结构形态与展布范围的研究结果。文中绘出了 $117^{\circ} \sim 124^{\circ} E$ 之间的东巽他群岛/西班牙达弧的构造图,包含了我们从本区区域范围对弧前基底构造的解释。地震剖面网格密度足以绘制出脊与盆的分布走向,但是不足以绘出基底的详细构造。本文旨在对松巴岛的成因提供一限制条件。

区域构造背景

东巽他群岛/西班牙达弧(图1)标志着从西部的洋内火山弧系统与东部的火山弧-大陆碰撞系统之间的构造转换带,该俯冲/碰撞系统的西半部分至少从晚渐新世以来就已经存在。巽他群岛弧以发育海沟、弧前脊、弧前盆地及火山弧这一典型形态为特征。该弧一直延伸至西班牙达弧,在那里,澳洲板块与亚洲板块大约于3Ma年前发生碰撞。研究表明,在晚中新世,澳大利亚北部边缘高原与西班牙达弧碰撞,由此而形成了萨武(Savu)逆冲带。

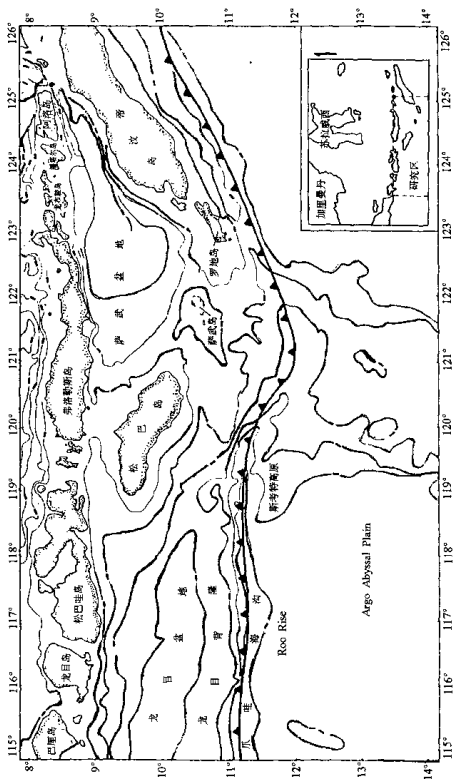


图 1 东巽他群岛/西萨达弧前区

小框图为研究区范围, 锯齿线表示俯冲/碰撞锋的位置, 箭头表示俯冲方向, 等深线单位为 m. 引自 Van Weering 等 (1989)

目前,该碰撞带可能类似于一个正常的正在俯冲的弧系统,俯冲作用仍在进行中,尽管可能呈间歇状。在松巴哇(Sumbawa)、弗洛勒斯(Flores)、阿洛(Alor)、韦塔(Wetar)一系列火山岛以北,后冲断层作用大约始于3Ma之前。在帝汶岛以北,介于阿洛与韦塔火山岛之间,发育一条NNE—SSW走向的走滑冲断层带以及可能伴生的正断层系。

浅源地震资料表明,介于爪哇(Java)海沟与松巴哇-弗洛勒斯(Sumbawa-Flores)火山岛之间,存在着一条不连续带,这可以用Roo Rise深海高地的俯冲加以解释。萨武海域地震研究表明,弧前区并未受到由于内部冲断作用和地壳增厚作用所产生的变形,而是被向北推覆到了弧后盆地之上。在东萨武海之下50~100km的深部,俯冲的岩石圈正在从澳洲陆壳拆离下来,松巴岛被认为或是从亚洲、或是从澳洲裂离漂移出来的一个陆壳碎块,于晚渐新世被拦截在弧前盆地环境之中。其陆壳成因是根据大气重力异常、沉积学研究以及地震折射剖面资料推断的。

松巴岛构成弧前基底的一个抬升部分,其特点是呈中生代基底之掀斜断块形式。松巴岛晚第三纪以前的岩石由晚白垩世海底扇沉积以及侵入其中的晚白垩世-早第三纪钙碱性火山岩组成。海底扇沉积之上不整合地覆盖着始新世、渐新世及早中新世的浅海沉积和台地碳酸盐岩沉积。再向上,依次为中新世生物礁、中新世-上新世NNE向展布的火山碎屑海底扇沉积以及深海灰岩。

关于松巴岛的成因,已经提出了各种解释。第一种解释强调松巴岛源自澳大利亚之西北陆缘,于晚侏罗世从那里拆离出来。第二种解释认为,松巴岛源于其北面的巽他群岛,并于新生代早期从那里分裂出来。第三种观点则认为,松巴岛来自特提斯的某一区域。

帝汶岛位于大陆地壳之上。该岛构造复杂,包括冲断体、蛇绿岩、增生楔以及陆壳碎块。它又可划分为一个异地单元、一个由陆壳碎块构成的亲澳大利亚的准原地单元以及一个原地单元。

方 法

在一组地震剖面解释的基础上,对117°~124°E的东巽他群岛/西班达弧的声波基底构造进行了研究,作出了构造图(图2A和图2B)。此项研究的资料来自Snellins-I勘查和Rama 12勘查期间获得的单道地震剖面(Van Weering等,1989)。多道剖面则承蒙壳牌国际石油公司、日本地质调查局和汉诺威BGR公司等惠于提供。

弧前地区的钻井资料,除DSDP262钻位的资料之外,其它未采用资料。为了更准确地进行岩性和年代对比,收集了已公开发表的松巴岛、萨武岛、罗地岛、帝汶岛的有关地质学的数据。

一般情况下,多道地震数据的贯入地壳深度可达8km。但其分辨率仅能从中识别出较大的地震层序和地震相。单道地震资料反映的深度较浅,但对地震层序和地震相具有较高的分辨率。研究区地震测线覆盖密度足以研究声波基底构造及总体构造走向。这里声波基底被定义为无清晰反射的、不透明的、杂乱的或透明的地震相。

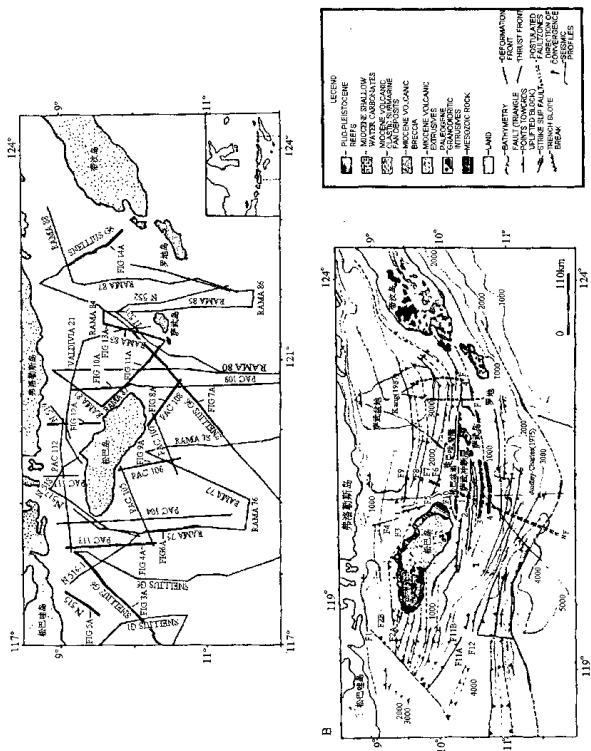


图 2 A. 用于研究声波基底构造的地震测线位置图 B. 配有地震测线的声波基底地貌构造图
数字 3A~14A 为引用剖面的位置, 小插图为研究区范围。

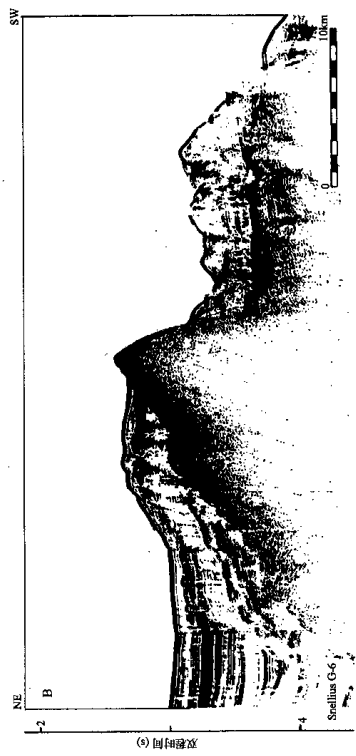
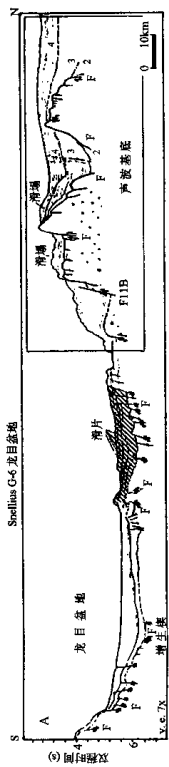


图 3 A. 根据松巴岛以西地震剖面 G6 作出的解释剖面图 B. 地震剖面 G6 (测线位置见图 2A) 剖面位置及于图 2A. 断层箭头指示基底相对运动方向. 数字 1, 2, 3, 4 代表正交坐标系的地震层序.

结 果

松巴岛以西

松巴岛以西地区以一系列 WNW—ESE 走向的线性基底脊状隆起为特点, 向西一直延伸至 $117^{\circ}30' \sim 118^{\circ}30' E$ (图 3A 和图 4A)。这些脊隆延伸至松巴岛, 可与那里的中生代基底和早第三纪花岗岩侵入体相连接 (Effendi 和 Apandi, 1981), 局部地, 它们的边缘与礁丘相接 (图 4A)。

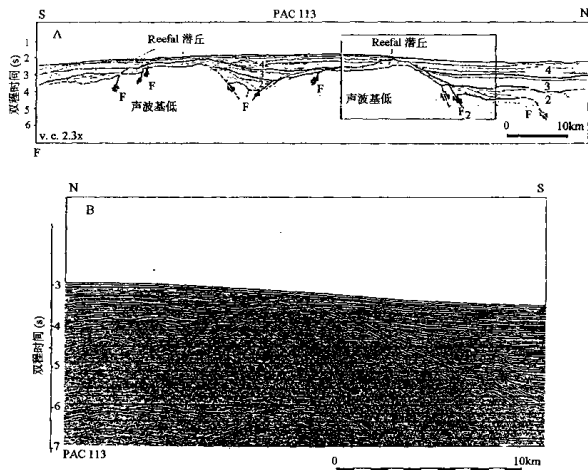


图 4 A. 地震剖面 PAC113 的解释剖面 B. 地震剖面 PAC113 的一段, 示 A 中方框部分。

地堑中充填了约 1.8km 的沉积物, 由 3 个大的地震层序组成, 上超并覆盖于基底高点上。这些层序被解释为下-中中新统 (层序 2), 上中新统 (层序 3) 和上新统至现代沉积 (层序 4)。层序 3 和层序 4 内部发育的局部不整合, 是松巴哇和弗洛勒斯火山岛在晚中新世至今的演化过程中, 高的沉积速率与下伏基底差异抬升的结果。

根据这些年龄推断, 地堑与地垒构造发育时代最大的可能是早第三纪之前或早第三纪期间。新构造运动导致基底断块局部向北掀斜和抬升 (图 3A), 以及松巴岛基底的近海延伸部的南侧发生断陷。图 3A 显示了广泛存在的沉积扰动, 使地震反射失去连续性, 并产生滑塌作用, Fortuin 等 (1992) 在近岸露头区亦观察到了此滑塌现象。存在两期主

要的基底抬升作用。第一期发生于早中新世，第二期出现于晚中新世至现今的地震层序中（图 3A）。

向北，基底脊隆被 EW 走向的基底断层截断并下落，消失于一个浊积岩充填盆地之下（图 2B，F2A，F2B），在西龙目盆地，解释出一 NNE—SSW 走向的断层带（图 2B，F1）。剖面 N515（图 5A）和 N516（图 2A）显示了一个深埋的基底，无地垒和地堑构造。剖面 N516（图 2B）显示了从 WNW—ESE 走向的地垒与地堑构造向深埋基底的转换。松巴岛基底被走向垂直于基底脊隆的倾向 NNW 的正断层系所切割，并断陷于龙目盆地之下。

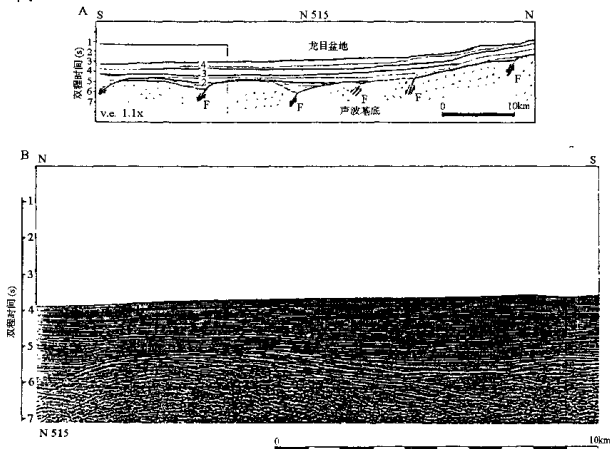


图 5 A. 地震剖面 N515 的解释剖面 B. 地震剖面 N515 的一段（示 A 中方框部分）

向南，F1 断层带以东，声波基底沿两条向南陡倾、走向 WNW—ESE、垂向断距为 1500m 的正断层下落于龙目盆地之下（图 2B 和图 3A，F11A，F11B）。F11A 断层以南声波基底在构造模式和形态上的变化，表明它构成了与松巴岛相关的声波基底的南缘。松巴岛基底与增生楔向东延伸并在那里聚会成一直接触带（图 2B 和图 6，PAC109）。

在 $118^{\circ}30'E$ 附近，发育一条 SN 走向的走滑断层（F12）。该断层以东的外弧脊向北逆冲达 18km。

松巴岛以南

此处的碰撞带以强烈变形的外弧脊形式出现，这一外弧脊由一系列不连续的线状脊和槽组成（图 2B），与松巴岛相关的基底同外弧脊之间的确切转换界线难以确定。不论怎

杆, 松巴岛基底至少延至 $10^{\circ}30'S$ 。

西松巴岛以南, 增生楔的构造轮廓位于 $10^{\circ}30' \sim 11^{\circ}05'S$ 之间 (图 6)。位于北侧的松巴岛相关声波基底被一较浅地堑隔开, 地堑中充填的可能是晚第三纪和早第三纪的沉积物 (图 8, PAC106)。基底脊隆上覆盖了 $0 \sim 0.3\text{km}$ 厚的沉积物。

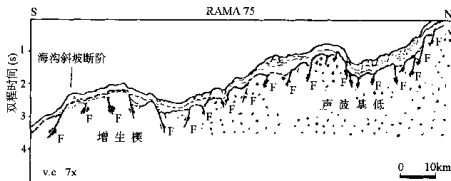


图 6 地震剖面 RAMA75 的部分解释剖面

东松巴岛以南, 增生柱可划分成为一个内侧的海沟斜坡和一个外侧的弧脊高点, 弧脊高点被逆冲断层所切割 (图 7, 剖面 G6)。海沟斜坡下段地震相上呈不透明、强变形、多断层的特征。上斜坡段由中等变形的、几乎缺乏构造特征的抬升了的增生楔片体组成。抬升片体北界与断层控制的盆地相接 (图 2B 和图 7A, 冲断层 4)。

在外弧脊以北、东松巴岛正南, 声波基底被走向 WNW—ESE 的断层切断, 其上覆盖了 0.9km 厚的沉积物。图 9 (PAC108) 所示为一地堑构造, 盆内充填了厚 $0.9 \sim 1.4\text{km}$ 的沉积物。由于地堑南侧的声波基底的抬升, 使沉积层向北掀斜 (图 9)。剖面东南端发育一条南倾的后冲断层。该断层一直向东延伸, 构成了萨武岛正西 4 条后冲断层组成的断层系 (图 2B, 冲断层 3)。剖面以西未发现任何冲断层, 这表明了后冲断层作用作为弧-陆碰撞的一种机制仅限于松巴岛东南地区。

松巴岛以东

东松巴岛沿 ESE—WNW 走向海底脊隆 (松巴脊隆) 一直延伸至 $122^{\circ}30'E$ (图 2B)。脊隆南侧为松巴盆地。该盆地受到 3 条地震相上不很清楚的后冲断层的作用而变形 (图 7A 和 7B)。在萨武岛, 属于萨武冲断层上的岩石露头经鉴定确认为亲澳大利亚的、已变形的二叠纪与中生代沉积物。松巴盆地南界为第 4 条主后冲断层, 本文称之为罗地冲断层, 松巴脊隆消失于这些冲断层之下, 并沿一组向南陡倾、EW 走向、总垂向断距达 4km 的正断层陷落 (F10)。松巴盆地沉积厚度为 0.9km , 由 4 个地震层序组成, 其时代分别是早第三纪 (层序 1)、早中新世 (层序 2)、晚中新世 (层序 3) 和上新世至现代 (层序 4)。它们上超于松巴脊隆之上, 其在脊隆顶部的分布表明, 脊隆可能至少在早第三纪即已形成。松巴脊隆与罗地冲断层向东汇聚。根据水下测深结果, 松巴盆地可能延伸至帝汶岛上的中央盆地。同样, 罗地冲断层似乎延伸至罗地, 并上冲至帝汶岛的南部 (图 2B)。

向北, 松巴脊隆被向北陡倾的走向 EW 的正断层系切成一系列基底断块 (F6, F7, F8, F9), 被埋于南萨武盆地之下, 并延伸至西帝汶岛以北、 $122^{\circ}45'E$ 附近 (图 10, 图 13 和图 14)。这些断层总垂向断距约为 4km 。

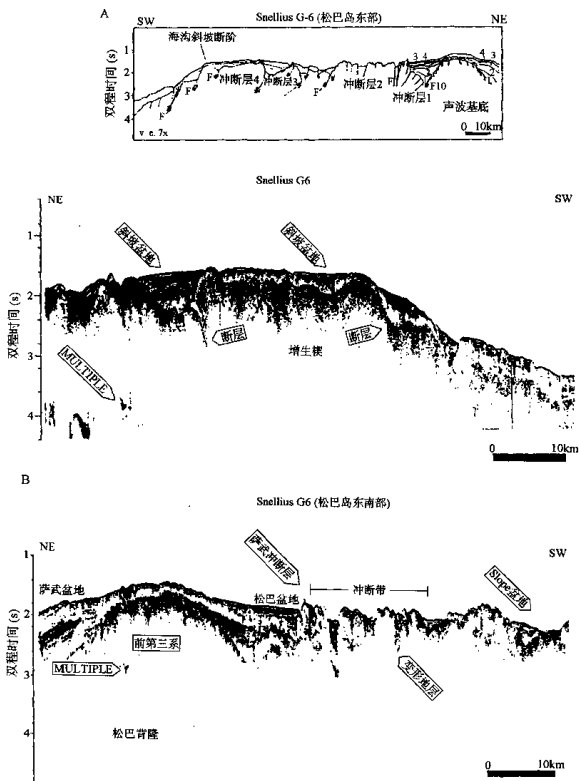


图 7 A. 松巴岛以东地震剖面 G6 (1900~2100 时段) 的解释剖面

B. 松巴岛以东地震剖面 G6 (1100~1500 时段) 的解释剖面