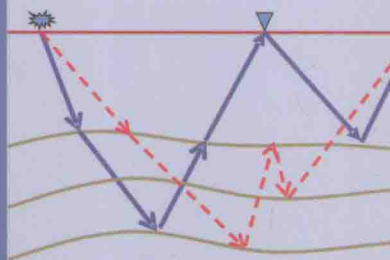


深水油气地震勘探研究与实践丛书



南海深水多次波压制 理论与实践

刘伊克 金德刚 谢宋雷 编著



科学出版社

深水油气地震勘探研究与实践丛书

南海深水多次波压制理论与实践

刘伊克 金德刚 谢宋雷 编著



科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书为深水油气地震勘探研究与实践系列丛书之一,全面阐述南海深水地震资料处理中的多次波的压制理论及方法,从实例出发,对南海深水多次波压制方法做了全面系统的分析和总结。本书共6章,从南海深水的区域地质构造特征和多次波发育特征出发,重点介绍了基于波动方程的自由表面多次波压制方法、逆散射级数层间多次波压制方法、基于波动方程预测多次波的匹配相减方法和在偏移的过程中压制多次波。在讨论多次波压制方法和实践的基础上,对多次波的利用及展望也做了相应的介绍和说明。

本书可以作为石油及天然气勘探开发专业的高校、科研院所研究生教材,也可供广大油气地质工作者和科研人员阅读和参考。

图书在版编目(CIP)数据

南海深水多次波压制理论与实践/刘伊克,金德刚,谢宋雷编著. —北京:科学出版社,2014.2

(深水油气地震勘探研究与实践丛书/朱伟林主编)

ISBN 978-7-03-039644-0

I. ①南… II. ①刘…②金…③谢… III. ①南海-海洋物探-地震勘探-研究 IV. ①P631.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 016304 号

责任编辑:周 丹 罗 吉 / 责任校对:郭瑞芝
责任印制:肖 兴 / 封面设计:许 瑞

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

*

2014 年 2 月第 一 版 开本:16(787×1092)

2014 年 2 月第一次印刷 印张:10 1/4

字数:241 000

定价:98.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

深水油气地震勘探研究与实践丛书

编委会名单

主 编：朱伟林

编 委：（以姓氏拼音为序）

常 旭 金德刚 李绪宣 刘伊克

孙启良 王大伟 王建花 王一博

吴时国 谢宋雷 姚根顺

丛 书 序

随着我国经济的持续高速发展,能源供应日趋紧张。根据国际能源组织发布的资料,近10年来世界上油气资源的新探明储量大部分来自海洋,尤其是深水区。据最新一轮全国油气资源评价,南海油气资源量为230亿~300亿吨,约占全国总资源量的1/3,但大部分蕴藏在深水区。一方面,与世界大西洋两侧典型被动大陆边缘深水盆地相比,南海深水盆地发育在边缘海边缘,其成盆机制、盆地演化及其油气地质条件存在显著差异,进一步增加了勘探的风险;另一方面,南海深水区发育崎岖海底、陡陆坡、海底火山等复杂地震地质条件,地震资料品质相对较差,严重影响了深水油气资源评价和勘探研究。因此,迫切需要开展与深水油气资源相关的地质和地球物理基础科学问题的研究,研发具有自主创新和自主知识产权的深水区油气勘探的理论、方法和技术。

973计划“南海深水盆地油气资源形成与分布基础性研究”项目针对制约深水油气资源勘探的科学技术瓶颈及其基础科学问题,以我国南海北部深水盆地为靶区,利用地球物理、地球化学和石油地质学科相结合的手段,研究南海深水盆地的形成演化和石油地质特征、研究深水地球物理方法的基础性和前沿性问题,旨在建立适合南海深水区的地震采集设计方案、地震成像理论、地震多次波压制及油藏地震响应模式;阐明南海北部深水盆地的成盆机制和演化;分析深水盆地烃源条件和生烃机理;研究远源沉积条件下沉积体系特征及储层特征;揭示深水盆地大中型油气成藏规律,预测深水盆地大中型油气田分布;为我国深水油气资源的勘探开发提供前瞻性科学方法和技术。

经过5年的产学研协同攻关,项目创建了南海北部深水区复杂地质结构地震勘探基础理论和方法,首次全面揭示了南海北部深水盆地油气地质条件和油气成藏特征,在烃源和储层两个最核心的科学问题上取得重要进展,填补了我国深水油气成藏研究的空白。并通过理论和实践的紧密结合,研究成果直接应用,指导了我国深水油气勘探,获得了一系列商业性油气发现,推动了我国深水勘探的进程。

本系列丛书主要总结该项目与地球物理理论方法相关的研究成果。丛书共4册,分别是:《南海深水区地震采集技术研究与实践》、《深水油气地震成像研究与实践》、《南海深水多次波压制理论与实践》、《南海深水沉积与储层的地球物理识别》。希望能对从事石油天然气地质和地球物理工作者以及相关专业研究人员具有参考价值。

973项目首席科学家



2013年11月

前 言

目前的偏移成像算法大多是假设地震数据中只含有一次反射波信息，即无多次反射信息。因而多次波在地震数据的处理过程当中不是有效信号，而是噪声干扰。在这种情况下，多次波的存在会影响到后期的速度分析和偏移成像，从而影响地震成像效果以及反演解释的准确度，最终影响到整个区域的勘探决策。故在面向复杂介质的海上地震勘探过程中，多次波的存在是一个重大隐患，多次波消除的好坏甚至直接关系到海上勘探的成败。

本书介绍多次波压制的最新研究成果和方法技术，着重阐述地震数据当中多次波的形成机理、多次波的类型和多次波的压制方法，全部素材取自于研究组的科研成果与实践，是中国科学院地质与地球物理研究所地震波传播与成像学科组多年的研究工作总结。这些研究成果曾经得到国家自然科学基金、国家基础研究发展计划（973 项目）、国家油气重大专项和中国海洋石油总公司研究总院的资助，这些资助是地震波多次波压制方法和理论研究得以顺利进行的保证，作者对这些科研资助表示衷心的感谢。

本书共 6 章，主要内容包括南海深水多次波压制概述、直接滤波法压制深水多次波、自由表面多次波预测方法、层间多次波预测方法、多次波的自适应匹配相减方法和多次波成像与偏移压制多次波等。

学科组的常旭研究员、李鹏、李学聪、武银婷等对上述研究成果均做出了重要贡献；中国海洋石油总公司朱伟林、米立军、杜向东、张金森等在本书的形成过程中，给予了多方面的支持与帮助，在此一并表示诚挚的感谢。

目 录

丛书序

前言

第 1 章 南海深水多次波压制概述	1
1.1 南海深水区域地质构造特征	1
1.2 南海深水多次波发育特征	3
1.3 南海深水多次波压制对策	6
第 2 章 直接滤波法压制深水多次波	10
2.1 引言	10
2.2 直接叠加压制多次波	10
2.3 F-K 滤波法压制多次波	14
2.4 Radon 变换压制多次波	16
2.4.1 Radon 变换基本原理	16
2.4.2 Radon 变换压制多次波实例	17
2.5 预测反褶积压制多次波	19
2.5.1 预测反褶积压制多次波理论	20
2.5.2 预测反褶积压制多次波实例	20
2.6 小结	22
第 3 章 自由表面多次波预测方法	25
3.1 引言	25
3.2 波场延拓方法压制自由表面多次波	25
3.2.1 波动方程延拓方法预测多次波的方法原理	27
3.2.2 波动方程延拓方法预测多次波的实际应用效果	29
3.2.3 波动方程延拓方法压制多次波优势及缺陷	30
3.3 反馈迭代方法	30
3.4 基于反馈迭代模型的自由表面多次波预测方法	34
3.4.1 加入震源特性	38
3.4.2 二维模型的预测公式	40
3.5 模型试算及南海深水实际资料应用	43
3.5.1 模型资料试算	43

3.5.2 南海深水多次波压制结果及分析一	46
3.5.3 南海深水多次波压制结果及分析二	49
3.6 小结	59
第4章 层间多次波预测方法	61
4.1 引言	61
4.2 散射理论基础	62
4.2.1 Lippmann-Schwinger 方程	62
4.2.2 Lippmann-Schwinger 方程的 Born 近似	63
4.2.3 Lippmann-Schwinger 方程 Born 近似解的收敛性	64
4.3 逆散射级数层间多次波预测方法	66
4.3.1 散射反演	67
4.3.2 常速度逆散射级数反演	68
4.3.3 逆散射层间多次波反演	69
4.4 模型试算及实际地震资料应用	76
4.4.1 水平层状模型	76
4.4.2 倾斜的 2D 层状模型	77
4.4.3 Pluto 1.5 模型	78
4.4.4 南海深水实际地震资料压制效果分析	82
4.5 小结	83
第5章 多次波的自适应匹配相减方法	84
5.1 引言	84
5.2 最小二乘自适应匹配滤波方法	84
5.2.1 最小二乘自适应匹配滤波的方法原理	84
5.2.2 单道最小二乘自适应匹配滤波	86
5.2.3 多道最小二乘自适应匹配滤波	88
5.2.4 南海深水多次波匹配滤波效果对比分析	90
5.2.5 小结	98
5.3 中值自适应匹配滤波方法	99
5.3.1 中值自适应匹配滤波方法原理	99
5.3.2 单道中值自适应匹配滤波	102
5.3.3 均衡拟多道中值自适应匹配滤波	104
5.3.4 中值自适应匹配滤波应用效果分析	106
5.3.5 小结	113

5.4 逆子波域的多次波匹配滤波方法	114
5.4.1 基本原理	114
5.4.2 模型试算	118
5.5 小结	127
第6章 多次波成像与偏移压制多次波	128
6.1 引言	128
6.2 波路径偏移压制层间多次波的理论与应用	128
6.2.1 波路径偏移压制层间多次波原理	129
6.2.2 数值模拟计算	130
6.2.3 小结	133
6.3 南海深水多次波成像方法研究	134
6.3.1 地震多次波预测	135
6.3.2 地震多次波偏移	135
6.3.3 数值实验与南海深水多次波偏移	138
6.3.4 小结	145
参考文献	146

第 1 章 南海深水多次波压制概述

南海是中国最大的外海,亚洲三大边缘海之一。面积为 356 万平方公里,为渤海、黄海、东海总面积的三倍,平均水深 1212 米,中部深海平原中最深处达 5567 米。据国土资源单位考察,南海海底石油天然气储量巨大,南海海域有含油气构造 200 多个,油气田约 180 个,预测远景油气当量在 230 亿~300 亿吨,相当于全球储量的 12%,约占当前中国石油资源储量的三分之一。仅在南海的曾母盆地、文莱-沙巴盆地和万安盆地,石油总储量就接近 200 亿吨,该区域超过一半的石油天然气储量分布在中国所主张管辖的海域之内。同样,西沙群岛、中沙群岛、北部湾、海南岛等地也有很好的油气远景。目前,南海深水油气田的勘探和开发已经成为我国石油勘探领域的当务之急。

地震勘探作为石油天然气资源勘探领域最重要的手段之一,通过记录到的地震波场来确定地下介质的构造和属性。当前的地震波成像算法大多是假设地震数据当中只含有一次波信息,但是在地震勘探当中,特别是海洋地震勘探当中,地震数据往往不只含有一次波,在很多情况下都含有较为明显的多次波信息。而这些多次波信息的存在,作为一种相干噪声,可以较为明显地干扰后期的速度分析和偏移成像。因此,如何有效地压制南海深水多次波,成为南海深水油气田勘探和开发的重要研究课题之一。

1.1 南海深水区域地质构造特征

南海位于太平洋构造域和特提斯构造域的中间部位,在欧亚板块、印度-澳大利亚板块和菲律宾板块的相互作用下形成了南海边缘海,主要有大陆架、大陆坡和中央海盆三个部分,呈环状分布。中央海盆位于南海中部偏东,大体呈扁菱形,海底地势东北高、西南低;大陆架沿大陆边缘和岛弧分别以不同的坡度倾向海盆,其中北部和南部面积最广;在中央海盆和周围大陆架之间是陡峭的大陆坡,分为东、南、西、北四个区(任纪舜,1980)。南海经历多起复杂的地壳运动和构造演化,燕山运动导致陆缘活化和大陆增生,形成许多重要的大型内生矿床,喜马拉雅运动导致陆缘扩张,形成一系列与陆缘地堑有关的含油气盆地,且具有良好的生、储、盖条件。目前,在南海北部陆坡已经发现和圈定了珠江口、琼东南、莺歌海和北部湾等多个具有较好油气远景的含油气盆地(图 1.1)。受海盆的形成机制和边界条件影响,南海为北—东向菱形海盆,四周边缘均为岩石圈断裂和地壳断裂。菱形海盆的边缘构造具有不同的性质和特征:海盆的北部边缘为北—东向的华南陆架,或称南海北部陆架,该区域发育一系列阶梯状正断层及其所围限的基底地堑和地垒,基底地堑控制新生代含油气断拗盆地的形成和发展,为拉张型或离散型边缘构造;南海海盆南部边缘的主体为南沙海槽,走向同样为北—东向,南沙海槽为特提斯的残留海,自燕山期开始依次向南消减,在加里曼丹北部形成向南凸出的弧形断褶带及一系列叠瓦状冲断层,前

第四系遭受不同程度的变形和变质,为挤压型或聚敛型构造;南海的东部边缘为正南—北向的凸向大陆一侧的台湾—北吕宋弧和马尼拉海沟,其中,马尼拉海沟构造演化历史复杂,经历了拉张—剪切—挤压三个发展阶段,中新世以后,南海海盆东缘具有挤压边缘构造;南海海盆西部边缘为近南—北向的越东陆架,发育一系列平直的解体正断层,先剪切破裂后张性破裂,并由西向东断落,具有典型的剪切-拉张型边缘构造特征(刘昭蜀,2000)。

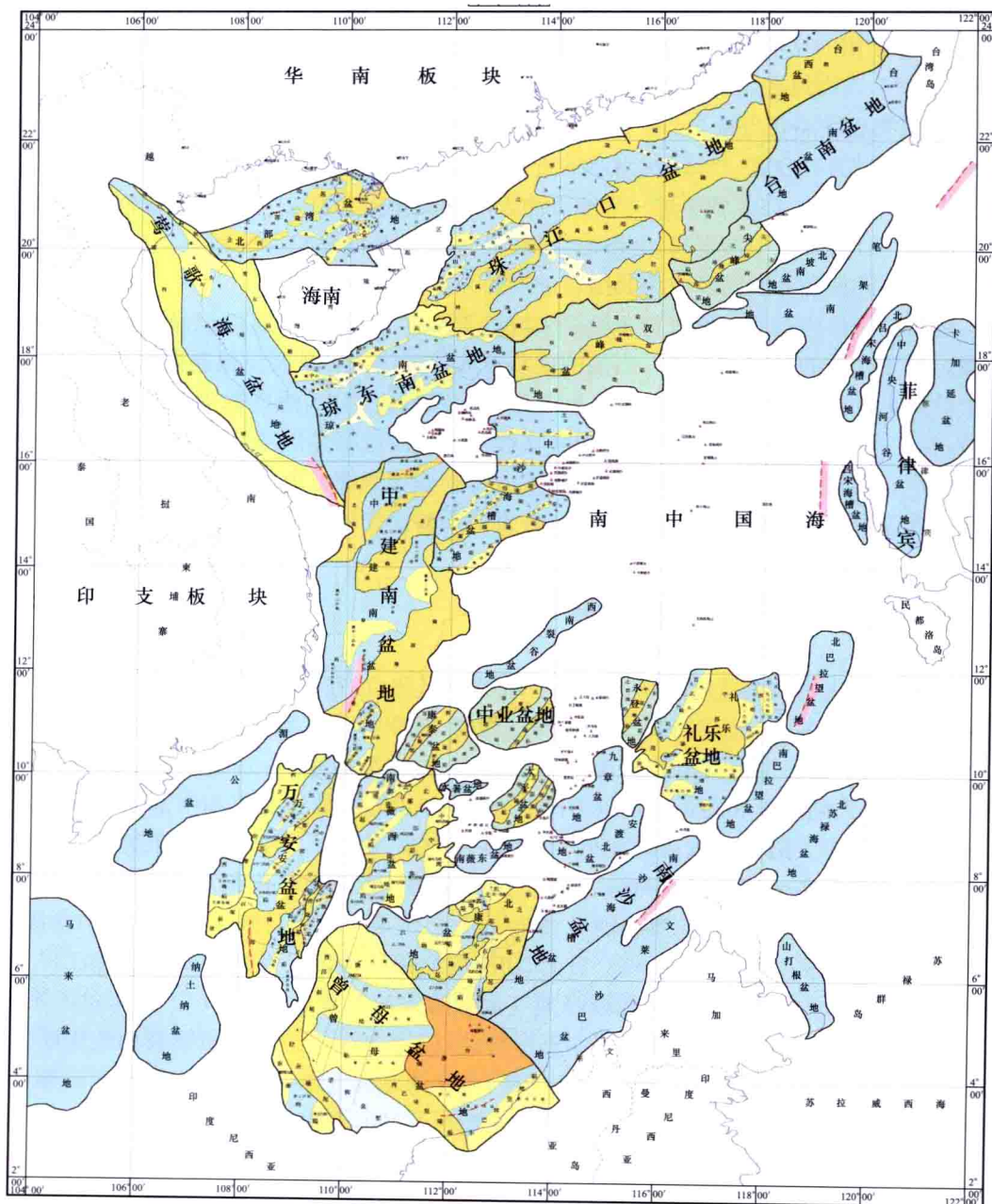


图 1.1 南海深水盆地地理位置分布图

总之,南海海盆的边缘构造特征反映了华南陆缘由西北向东南蠕散、后缘拉张、前缘挤压、两侧剪切的陆缘扩张活动特点。

南海及围区的断裂构造可以划分为印支期特提斯碰撞陆缘断裂体系、燕山期华夏活动陆缘断裂体系和喜马拉雅期东亚扩张陆缘断裂体系。南海内部的断裂构造几乎皆为锯齿状断裂,它们是陆缘扩张的主要表现形式,又是陆缘扩张的导因与主要依据。

印支期特提斯碰撞陆缘断裂体系是由南海西部和西北部系列北—西向断裂带为主体组成的断裂体系。该断裂体系的岩石圈断裂有超基性岩侵入,沿着断裂带分布,有些巨大的岩石圈断裂带还发育有较好的蛇绿岩套,伴有高压低温和高温低压的变质带,并有构造混杂岩出现。地壳断裂带常有基性岩的侵入或喷发,有的为花岗岩侵入,这些断裂特点都具有重磁异常特征(刘昭蜀等,1988)。

燕山期华夏活动陆缘断裂体系由我国东南部一系列北—东向断裂带为主、北—东—东向断裂和北—西向断裂为辅的断裂构造组成,是大洋板块直接对大陆板块的俯冲挤压,造成与挤压应力方向垂直的断裂活动剧烈,从而发生岩浆的侵入和喷发,形成规模巨大的火山山弧,俯冲带的后退形成了燕山褶皱带。华夏活动陆缘断裂体系以北—东向的岩石圈断裂带和地壳断裂带构成中生代的主要构造格局。近陆一侧发生强烈的中酸性火山岩喷发和花岗岩侵入,形成火山弧特征,靠洋一侧以无火山构造混杂堆积和蛇绿岩套为特色;断裂活动从陆架至海盆逐渐增强,时代也逐渐变新,形成一系列与断裂带平行的小型断堑盆地。断裂带以压性和压剪性为主,常发育有强烈的动力变质带。

喜马拉雅期东亚扩张陆缘断裂体系经历了几个发展阶段。早期发育阶段大致是白垩世—早渐新世,是扩张陆缘形成的初始时期。这一时期的断裂主要是继承性断裂活动,即燕山期形成的北—东向和北—东—东向为主的剪切性断裂转变为张性断裂。随着断裂的拉张和向下深切,地幔物质沿岩石圈断裂上升,使陆缘地堑系得以形成和发展。由于地堑不断加深加宽,陆缘向洋扩张以致拉开成洋壳。这一时期开始形成中央海盆。第二阶段即断裂体系发育中期,大致是中渐新世—早中新世,太平洋板块从北—西向挤压转变为北—西—西向挤压,在大陆前缘产生近东—西向挤压应力,是相对隆起的岛弧区形成剪切断裂。这一阶段的断裂多以新生断裂为主。第三阶段即断裂体系发育晚期,大致是中中新世—第四纪。这一时期断裂活动渐弱,表现为南海下沉,岛弧向海盆挤压仰冲,岛弧与中央海盆交界的海沟断裂由剪切转变为俯冲挤压,形成南海凸出、向大洋方向俯冲的反向俯冲带以及向边缘海一侧凸出的反向岛弧(刘昭蜀等,1988)。

总之,南海区域构造复杂,大规模的水平运动伴随着大规模的垂直运动,强烈的陆缘扩张伴随着强烈的陆缘挤压;陆壳在北缘离散解体,又在南缘拼接增生,洋壳在中央海盆新生,又在其东邻的马尼拉海沟消减,陆缘地堑系在陆缘扩张过程中形成,岛弧-海沟断褶在挤压过程中发育。几乎所有类型的构造运动、沉积作用、岩浆活动、变质作用和成矿作用都有一定发生、发展和演化。

1.2 南海深水多次波发育特征

多次波,顾名思义,即多次反射波。地震波从激发到接收,经受过不止一次向下反射

传播的记录波场,波场对地下同一个界面经历了多次向上反射。多次波是相对一次波而言的,在反射地震勘探中,只有从地下不同界面反射回来并被检波器接收到的一次反射波才被认为是有效信号,现有的地震处理方法绝大多数是应用一次反射波来对地下介质成像,所以多次波被认为是噪声,且是规则的相关噪声。在应用一次反射波去偏移成像之前,需要把多次波从地震记录中分离出去,否则它将影响地震成像的真实性和可靠性,干扰地震资料的正确解释。

多次波在海洋和陆上地震勘探中普遍存在,海洋地震数据中,自由表面多次波比较强烈,在某些地区,陆上地震数据中,层间多次波比较发育。多次波按照不同规则可以有不同的分类,例如,按照多次波和一次波旅行时的长短比较,分为长程多次波和短程多次波,长程多次波又可分为虚反射、表层多次波等,短程多次波可分为微曲多次波、层间多次波等;按照多次波向下反射界面的不同,分为自由表面多次波和层间多次波,自由表面多次波是指至少在自由表面(对于海洋地震勘探为海平面,陆地地震勘探为地表面)发生一次向下反射的多次波,而层间多次波是指所有向下反射都发生在自由表面以下的多次波;自由表面多次波又可分为海底混响型多次波和海底相关 peg-leg 型多次波等。对于海洋地震数据,分为自由表面多次波和层间多次波更为方便,同时按照多次波向下反射的次数不同,分为不同阶次多次波,如一阶多次波、二阶多次波等。

依据南海的区域地质构造特征及相应的多次波发育特征,大体可以分为以下几种类型,在这里,以南海北部陆坡区域为例作进一步的分析。

第一类:南海北部深水陆坡区大多起源于中生代末至新生代早期。由于一系列的北—东向张性断裂的影响,在地表产生一系列的北—东向地堑和半地堑。由于热沉降的作用,地堑当中的湖相沉积沉降至水下,地堑开始接收海陆相交互沉积和海相沉积,从而导致部分沉积盆地逐渐形成(吴时国等,2011)。由于这些地堑、半地堑彼此分割,这就导致了各个沉积盆地的沉积厚度不一致,一部分面积大、沉积厚度深的盆地地层分布均匀,地层速度发生反转的可能性小,主要的多次波反射界面以自由表面为主,所以这部分区域的多次波以自由表面多次波发育为主,由这种构造演化形成区域的多次波依照常规的自由表面多次波压制方法可以得到较好压制。面积小、沉积厚度小的盆地由于盆地边缘绕射点的影响,容易形成不规则干扰,给多次波的压制带来较大困难。

第二类:自古近纪末期,南海北部深水陆坡沉降幅度和速度降低,陆坡区构造演化由裂谷作用转为热沉降作用,由于印支半岛和加里曼丹岛之间地幔羽的存在,上地幔的部分熔融岩浆沿地表运动,这部分熔融岩浆因为和原地表沉积物的速度和密度有差异,冷却以后形成火成岩或者风化剥蚀以后形成不整合面(李亚敏等,2010;宋海斌等,2001;姚伯初等,1994),且地层厚度小、地震波传播速度高。当地震波传播到这部分地层的时候,由于遇到较强的速度反转层,通常在这部分区域容易产生层间多次波。层间多次波和一次波形态相似、能量接近,难以区分,经常为我们的后期地震资料解释引入十分隐蔽的假象。

另外,在南海的新生代沉积盆地中,由于印度板块对欧亚大陆的北—东向挤压作用,发育各种局部构造,有挤压背斜、披覆背斜、不整合构造和底辟等,也成了多次波发育的有利条件,严重影响到该区域自由表面多次波和层间多次波发育的复杂程度和压制效果。

图 1.2 为南海北部陆坡区速度模型正演生成的地震剖面,图 1.2(a)为不含有多次波记录的地震剖面,图 1.2(b)为含有多次波记录的地震剖面。不难发现,南海北部陆坡区的多次波对一次波的干扰和噪声极其严重,在浅海区、陆坡区和复杂构造区域,对应的自由表面多次波与层间多次波发育的强度和分布区域也不尽相同。

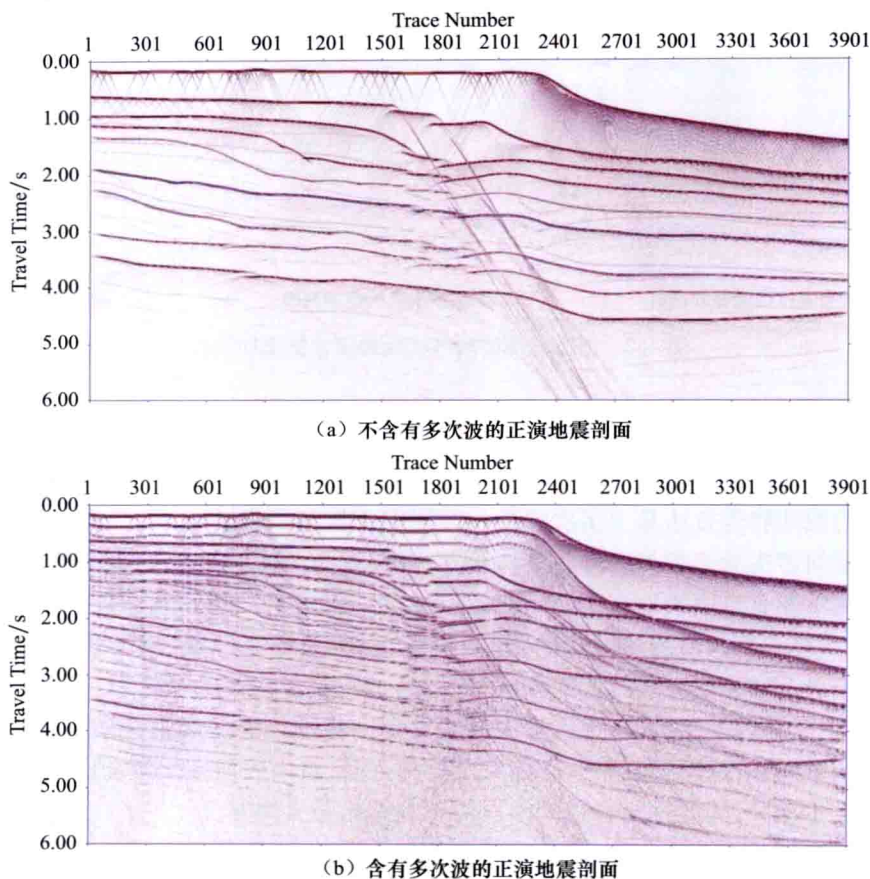


图 1.2 南海北部陆坡区速度模型正演生成的地震剖面

总的来说,南海北部陆坡区新生代构造经历了海底扩张、红河断裂大型走滑、印度板块向欧亚板块俯冲碰撞等复杂构造演化的叠加,造就了该地区海底陆坡坡度较大、新生代断层复杂、地层速度反转等地质和地球物理特征,为自由表面多次波、层间多次波的发育提供了极好的地球物理条件(张军华等,2009),两种多次波的干扰相互混杂,相当难以辨识和压制。图 1.3 为南海北部陆坡区实际地震数据的叠加剖面,图 1.3(a)为含有多次波记录的叠加剖面,图 1.3(b)为压制多次波以后的叠加剖面,图 1.3(c)为消去的多次波记录。从图 1.3(c)可以看出,多次波的发育和分布状况与图 1.2(b)的模型正演数据一致,进一步表明在不同的地层产状下,多次波的强度和分布区域的不确定性以及自由表面多次波和层间多次波相互干扰的复杂性。在这种情况下,多次波已经成为一种非规则的强噪声干扰,如何有效压制多次波、凸显一次波成像效果,成为进一步辨识南海陆坡区构造的当务之急。

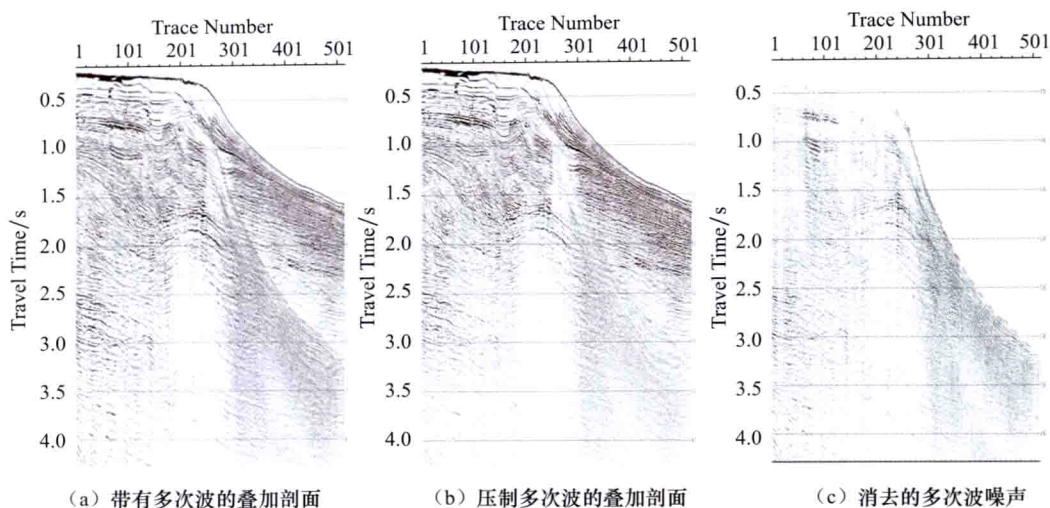


图 1.3 南海北部陆坡区实际地震数据叠加剖面

1.3 南海深水多次波压制对策

常规的地球物理方法基于多次波是一种规则干扰的假设前提下:首先要求自由表面多次波和层间多次波必须彻底分离,自由表面多次波的预测不能有层间多次波干扰,层间多次波预测不能有自由表面多次波干扰;然后针对不同类型的多次波,选择合适的预测方法,通过一次波和多次波的动力学特征预测多次波模型;最后将预测得到的多次波记录和原始地震记录上的多次波进行匹配相减,从而达到压制多次波的最终目标。但是在复杂构造地区,由于海底地层的复杂性,多次波的发育已经不再满足规则性条件假设,自由表面多次波和层间多次波相互干扰,不能完全分离,而且自由表面多次波和层间多次波的压制方法也大不相同,因此选择合适的多次波压制策略至关重要。

南海北部深水陆坡区不同区域之间构造特征差异较大,造就了不同区域多次波的发育及分布状况有较大差异。该区域构造主要经历了的两次不同方向的海底扩张和短期改造,造就了该区域海底陆坡坡度大、新生代断层复杂、地层速度反转等地质和地球物理特征。如图 1.4 所示,图 1.4(a)为南海北部陆坡区未消去多次波的原始地震叠加剖面,图 1.4(b)为消去多次波的叠加剖面,对比图中的 A、B、C 三个方框的位置可以发现,在这些区域,多次波发育明显,且不同区域的多次波发育特征大不相同。由图 1.4 可知,A 区域的多次波主要由叠加剖面 A 区域上方 2.5 s 附近的强反射轴产生,该时间段地层产状复杂,伴随有多种构造,该区域同相轴反射能量强,也就是能量封闭性好,较容易产生自由表面多次波和层间多次波的混合干扰;B 区域海底底层平缓,没有较大或较为复杂的构造,故可以判断该区域的多次波形态以海底产生的自由表面多次波为主,由于该区域的海水深度较深,所以该区域的自由表面多次波以高能量、高频形式覆盖在南海大峡谷的底部;C 区域接近大陆坡,该区域海水深度较浅、海底地层产状变化快,且由于构造活动,会产生较多的新生代断裂,故该区域多次波发育状况更为复杂。从图 1.4 中不难发现,多次波的存在严重影响了一次波的识别,具有较强的迷惑性。

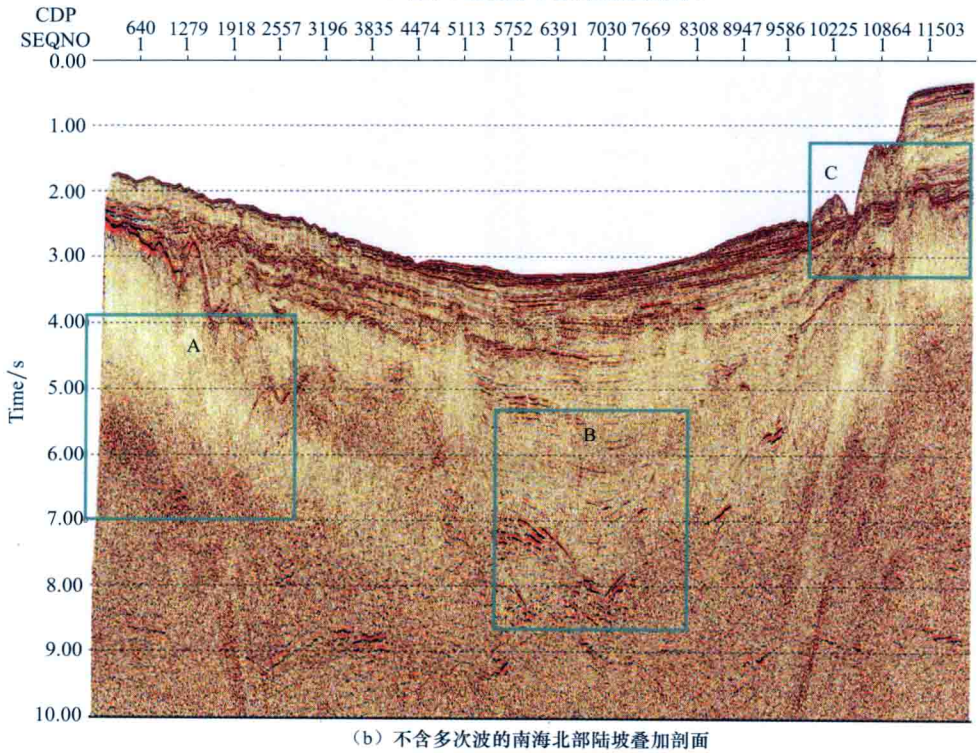
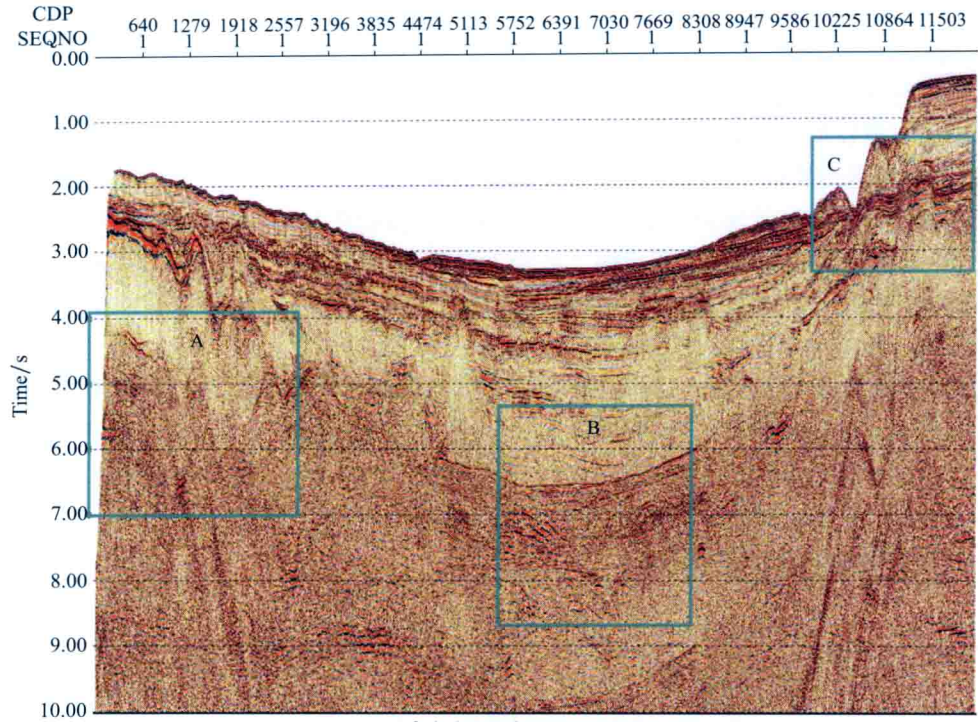


图 1.4 南海北部陆坡区实际地震资料叠加剖面

由大地滤波效应可知,当地震波在地下介质中传播时,由于地下岩层是非完全弹性的不均匀介质,地震波的部分弹性能量不可逆地转化为热能而发生耗散,因此使得地震波的振幅产生衰减,这种衰减随着地震波传播距离或深度的增加,高频成分会很快衰减,从而使得深层有效反射波的频带变窄,以低频成分为主。而产生多次波需要有良好的反射界面,只有在反射系数较大的反射界面上才能发生多次波反射,而且地震波的能量衰减少,导致高频能量得到有效保留。南海北部陆坡区的地质构造复杂,水深变化较大,因而在不同区域,能量被吸收的程度也不一样。如图 1.5 所示,(a)~(h)为该区域不同频率成分的叠加剖面,不难发现,在较低频成分叠加剖面(图 1.5(a)~(c)),多次波并不发育,几乎很难影响到一次波频率成分,但是在频率成分 30~60 Hz(图 1.5(d)~(f)),由海底底层多次反射形成的多次波就开始出现,这其中包含自由表面多次波和层间多次波两种类型,且自由表面多次波能量较弱,在这种情况下,可以优先考虑压制层间多次波;如图 1.5(g)和(h)所示,在频率成分为 60 Hz 以上时,以自由表面多次波为主,在该频率成分范围内,一阶、二阶自由表面多次波十分明显,层间多次波能量相对较弱,故在这类频率成分中,应该优先考虑压制自由表面多次波。

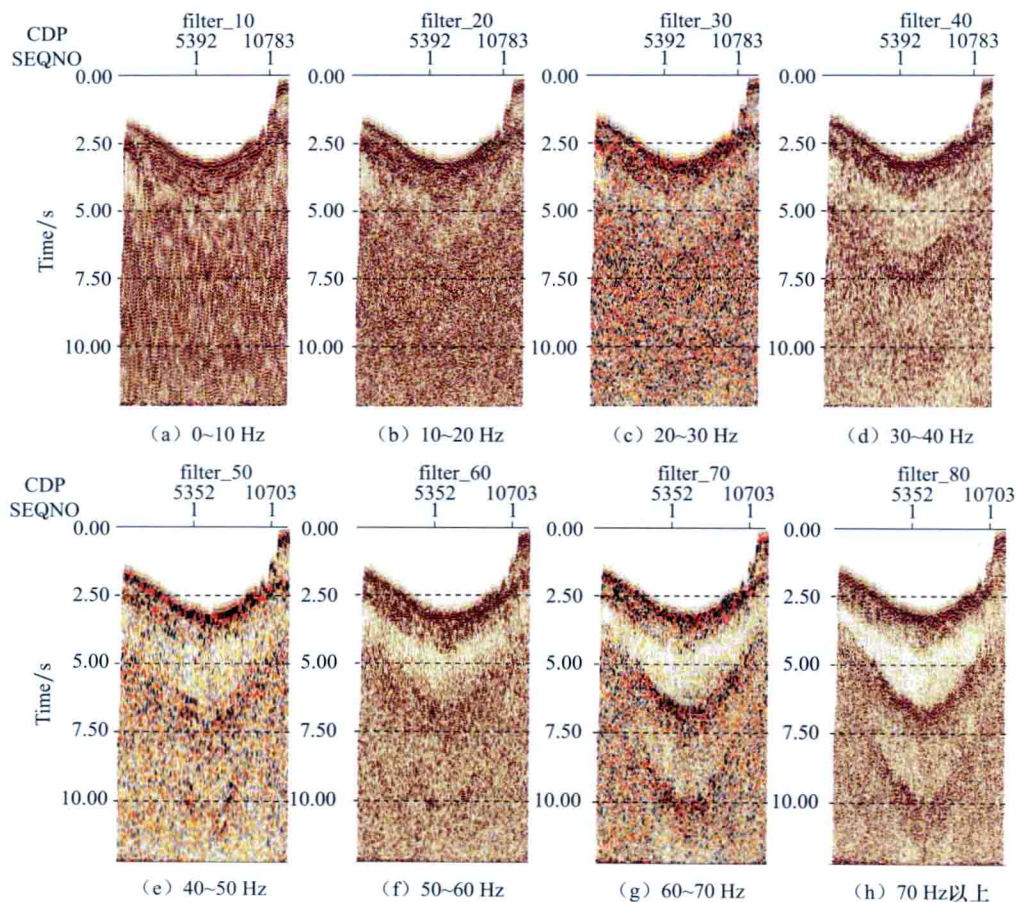


图 1.5 南海北部陆坡区不同频率成分的地震叠加剖面