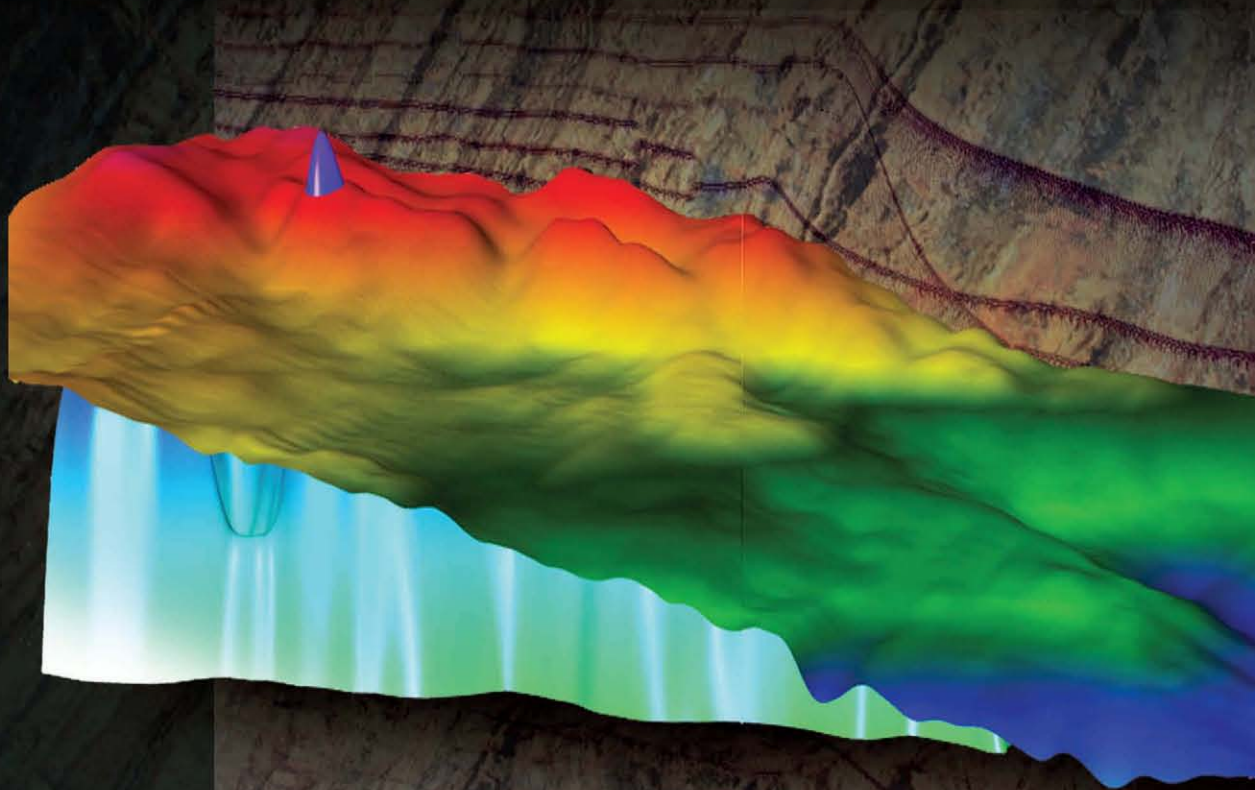


莺琼盆地高精度 地震资料采集处理新技术

YINGQIONG PENDI GAOJINGDU
DIZHEN ZILIAO CAIJI CHULI XINJISHU

谢玉洪 李列 编著



中国地质大学出版社
ZHONGGUO DIZHI DAXUE CHUBANSHE

莺琼盆地高精度地震 资料采集处理新技术

YINGQIONG PENDI GAOJINGDU DIZHEN
ZILIAO CAIJI CHULI XINJISHU

谢玉洪 李 列 编著



中国地质大学出版社
ZHONGGUO DIZHI DAXUE CHUBANSHE

内容提要

本书以海洋地震资料采集处理方法为研究对象,从莺琼盆地高温高压区采集关键技术、提高中深层地震资料信噪比关键技术、中深层多次波压制关键技术、叠前偏移成像与偏移速度分析技术、中深层地震资料分辨率关键技术等几个方面的方法技术及其应用效果进行了深入分析。

本书可用于从事海洋地震资料处理解释技术研究的科研人员参考,也可用于从事海洋地震资料处理解释生产的技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

莺琼盆地高精度地震资料采集处理新技术/谢玉洪,李列编著. —武汉:中国地质大学出版社,2015. 10

ISBN 978-7-5625-3645-1

I. ①莺…

II. ①谢…②李…

III. ①海洋-盆地-地震勘探-数据采集

IV. ①P631.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 103112 号

莺琼盆地高精度地震资料采集处理新技术

谢玉洪 李列 编著

责任编辑:王凤林

选题策划:张晓红

责任校对:周旭

出版发行:中国地质大学出版社(武汉市洪山区鲁磨路 388 号)

邮政编码:430074

电话:(027)67883511

传真:67883580

E-mail:cbb@cug.edu.cn

经销:全国新华书店

<http://www.cug.edu.cn>

开本:787 毫米×1 092 毫米 1/16

字数:403 千字 印张:15.75

版次:2015 年 10 月第 1 版

印次:2015 年 10 月第 1 次印刷

印刷:武汉中远印务有限公司

印数:1—600 册

ISBN 978-7-5625-3645-1

定价:96.00 元

如有印装质量问题请与印刷厂联系调换

序

《莺琼盆地高精度地震资料采集处理新技术》一书,是中国海洋石油(中国)有限公司(简称中海油)湛江分公司承担的国家重大专项课题“莺琼盆地高温高压天然气成藏主控因素及勘探突破方向”研究成果,也是南海西部油田 30 年来众多专家和学者共同辛勤劳动的成果,理论和实践结合是本书的突出特点。

为了更有效、快捷地获得地震资料成果,为海洋油气勘探开发生产提供真实、丰富的构造、岩性、油气等信息,对海洋地震资料进行分析研究,并提出相应的技术方法是十分必要的。由于区域和靶点所处的环境不同,地下地质条件各异,其相应的技术措施就必须有很强的针对性。

《莺琼盆地高精度地震资料采集处理新技术》一书,以海洋地震资料采集处理为研究对象,读者可以通过具体实例了解研究成果,主要内容包括以下 5 个方面。

(1)莺琼盆地高温高压区采集关键技术。气枪震源阵列参数优选能改善海洋地震子波特性和观测系统论证和评价优选出最优观测系统能提高地震信号的有效频带和振幅、相位特征以及反射目的层覆盖的范围。通过分析影响气枪阵列设计的因素,提出了立体阵列的设计,其激发的子波不仅主脉冲和初波比都不同程度地高于平面阵列,而且能抑制震源鬼波的陷波作用。重点阐述面向勘探目标的观测系统评价技术,主要包括:通过射线追踪法分析观测系统各属性参数的均衡性、数值和物理模拟,通过偏移成像技术评价指定观测系统下的面向目的层偏移成像效果,通过面向目标层的波动方程照明能量分析优化观测系统设计参数。

(2)莺琼盆地高温高压区提高中深层地震资料信噪比关键技术。复杂海底地形、地下构造等会造成地震数据的稀疏和缺失,并降低信噪比,利用共反射面元(CRS)波场参数做部分 CRS 叠加可以补齐缺失地震道,实现叠前数据规则化。CRS 参数可以用来计算稳相点位置和菲涅耳带半径,能实现最优孔径偏移。二维小波变换阈值去噪方法利用信号和噪声在小波域表现出的不同特性来去除随机噪声,经过阈值去噪后的剖面,信噪比得到较大提高,断点更加清晰,同相轴更加连续,便于层位追踪。

(3)莺琼盆地高温高压区中深层多次波压制关键技术。如何把海洋中深层地震资料多次波从记录中分离并加以剔除,一直是海洋地震资料处理的一个重要问题。常规压制多次波方法以信号定义噪音,噪音衰减的前提是有效信号是相干的,没有避免线性滤波的限制,存在混波效应。FTX 波场变换法压制中深层多次

波只应用于数据受噪声干扰的部分,而未受噪声干扰的部分没有任何改变,且对数据中任何时差模式的噪声均有效;实现了中深层地震资料多次波与一次波的真正分离,剔除中深层地震资料多次波,避免常规信噪分离方法以信号定义噪音或以噪音定义信号的理论。

(4) 莺琼盆地高温高压区叠前偏移成像与偏移速度分析技术。在偏移速度分析方面,利用了时移道集和角度域共成像点道集进行偏移速度分析、速度更新,使得选择的道集更为全面,速度控制更为精确。在叠前偏移成像方面,利用了平面波成像的高效性和方向性特点,实现了在倾斜坐标系下进行平面波偏移成像,既能够保证平面波成像的效率,又提高了波动方程偏移成像对高陡倾角构造的成像能力。在保幅成像方面,通过在波场延拓过程中引入振幅校正项,修正波场外推的振幅因子,并且通过修改成像条件,得到相对保幅的成像结果,并阐述了根据 Radon 变换实现保幅的角度域共成像点道集生成。

(5) 莺琼盆地高温高压区提高中深层地震资料分辨率关键技术。包括基于衰减函数的 Gabor 域衰减因子提取技术,实现了高精度稳定衰减信息值提取与补偿处理;基于 VSP 数据的地震数据高频恢复滤波技术、高分辨率 $L^1 - L^2$ 范数联合约束稀疏脉冲反演技术、谱分解 MP 算法的峰值瞬时频率薄层反演技术,实现了高精度快速谱分解处理。针对非双曲 NMO 长偏移距动校拉伸现象,采用抗拉伸 Gabor 谱均衡叠加成像技术,提高了叠后地震记录的分辨率。

《莺琼盆地高精度地震资料采集处理新技术》一书的方法和技术在海洋石油勘探开发的应用中取得了良好的效果,为海洋石油的增储上产作出了贡献。希望该书能够对从事海洋地震资料处理技术研究的科研人员起到参考作用,对从事海洋地震资料处理生产的技术人员起到指导作用。

本书以中海油(中国)湛江分公司、中海油服务股份有限公司物探事业部、中海油能源发展股份有限公司工程技术物探技术研究所、同济大学、中国石油大学(华东)、中国地质大学(武汉)、中国海洋大学、吉林大学等单位提供的莺琼盆地高温高压区高精度地震资料采集处理技术专题研究报告为基础,由谢玉洪、李列编写完成,李添才、袁全社、欧阳敏协助完成部分资料整理。本书编写过程中,上述单位的相关领导和专家给予了大力支持和帮助,在此表示衷心的感谢!

由于作者水平有限,书中表述、观点及技术方面可能存在不足之处,敬请读者批评指正!

作 者

2015 年 1 月

目 录

第一章 概 述	(1)
第一节 莺琼盆地高温高压区基本地质、地层特征	(1)
一、地质构造特征	(2)
二、区域地层特征	(4)
第二节 莺琼盆地地震资料采集及处理存在的主要问题	(8)
第三节 莺琼盆地地震资料采集及处理主要技术手段	(9)
第二章 莺琼盆地高温高压区采集关键技术	(11)
第一节 气枪震源阵列参数优选技术	(11)
一、相干枪间距及沉放深度参数优选	(11)
二、子阵列沉放深度对子波特性的影响	(15)
三、震源容量对子波特性的影响分析	(18)
四、压制震源鬼波的立体子阵列设计	(23)
五、适用南海勘探的最优气枪阵列设计	(25)
第二节 莺琼盆地高温高压地震采集观测系统评价技术	(29)
一、三维模型射线追踪法观测系统参数评价技术	(29)
二、面向目标成像效果的观测系统评价技术	(33)
三、目标层双程波波场照明能量的观测系统评价技术	(40)
第三章 莺琼盆地高温高压区处理关键技术	(47)
第一节 莺琼盆地高温高压区提高中深层地震资料信噪比关键技术	(47)
一、莺琼盆地共反射面叠加技术提高中深层资料信噪比	(47)
二、莺琼盆地时频分析叠前去噪技术	(67)
第二节 莺琼盆地高温高压区中深层多次波压制关键技术	(73)
一、自由界面多次波的预测与压制	(73)
二、FTX 域波场变换法中深层多次波压制	(77)
第三节 莺琼盆地高温高压区叠前偏移成像与偏移速度分析技术	(82)
一、基于时移角度域共成像点道集的速度分析	(82)
二、倾斜坐标系平面波偏移成像技术	(93)
三、波动方程角度道集生成与保持振幅偏移技术	(104)
第四节 莺琼盆地高温高压区提高中深层地震资料分辨率关键技术	(115)
一、高精度衰减信息提取与补偿技术	(112)

二、高频恢复滤波技术及应用	(119)
三、联合范数稀疏脉冲反演方法	(127)
四、抗拉伸 Gabor 谱均衡叠加成像提高分辨率技术	(128)
第四章 采集处理关键技术 在莺琼高温高压区的应用实例	(132)
第一节 采集处理关键技术组合在莺歌海盆地的应用实例	(132)
一、莺歌海盆地面向地质目标的射线照明分析法观测系统参数论证应用实例	(132)
二、莺歌海盆地面向地质目标的波动方程照明分析法观测系统评价应用实例	(141)
三、莺歌海盆地正演模拟进行波场特征分析应用实例	(147)
四、莺歌海盆地三维倾斜坐标系平面波偏移成像技术的应用实例	(153)
五、莺歌海盆地高精度反 Q 滤波的应用实例	(157)
第二节 采集处理关键技术组合在琼东南盆地的应用实例	(168)
一、琼东南盆地面向地质目标的射线法正演模拟进行观测系统应用实例	(168)
二、琼东南盆地面向地质目标的波动方程照明分析进行观测系统参数评价	(172)
三、琼东南盆地正演模拟进行波场特征分析应用实例	(185)
四、琼东南盆地二维共反射面(CRS)叠加及小波阈值法去噪技术的应用实例	(195)
五、FTX 域波场变换压制中深层多次波的效果分析	(206)
六、琼东南盆地二维偏移成像新技术的应用实例	(218)
七、琼东南盆地高精度反 Q 滤波的应用实例	(222)
第五章 莺琼盆地地震资料采集及处理技术理念	(234)
展 望	(236)
参考文献	(237)

第一章 概 述

第一节 莺琼盆地高温高压区基本地质、地层特征

琼东南盆地位于海南岛以南、西沙群岛以北的海域中,其西以 1 号断层与莺歌海盆地分界,北临海南岛,其东与珠三坳陷相接,南界永乐隆起,是一个坐落在前第三系基底上发育起来的新生代陆缘拉张型含油气盆地。琼东南盆地处于欧亚板块、印支板块和太平洋板块的交会处(欧亚板块东南边缘的南海北部大陆架),属滨太平洋构造域。可进一步划分为北部坳陷带、北部隆起构造带、中央坳陷带和南部隆起构造带等(“南北分带”)(图 1-1-1)。

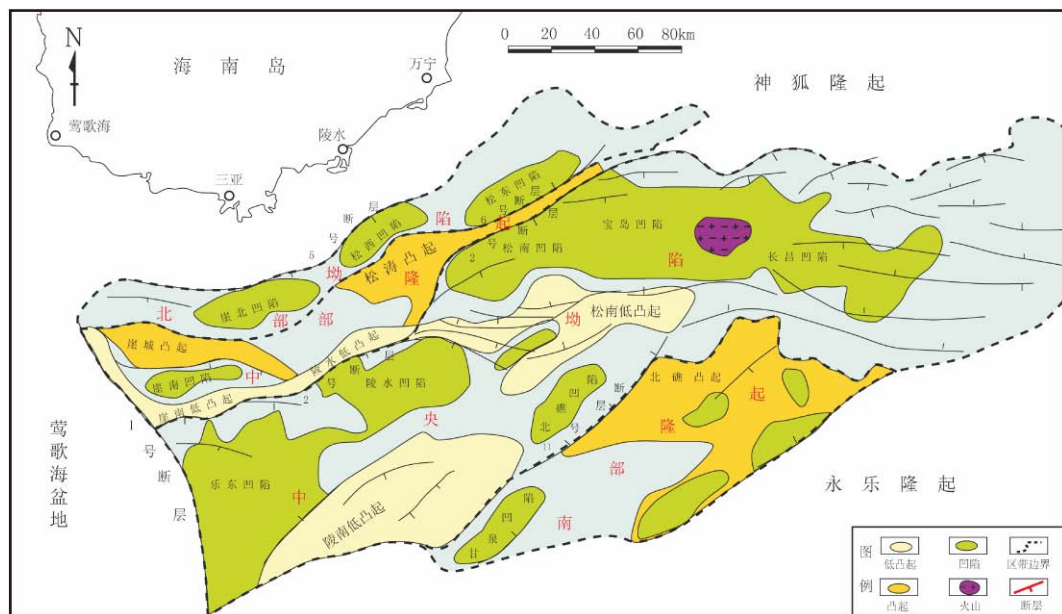


图 1-1-1 琼东南盆地构造单元划分图

莺歌海盆地位于我国海南岛与越南之间的海域,呈北西向展布,面积约 $11.3 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。该盆地是在伸展和红河断裂右旋走滑的双重运动机制下形成的快速沉降盆地,平均地温梯度较高($4.0 \sim 4.4^\circ \text{C}/100\text{m}$),中部有泥底辟发育,并常伴有异常高压。一般将盆地划分为斜坡和中央拗陷等构造单元(图 1-1-2)。

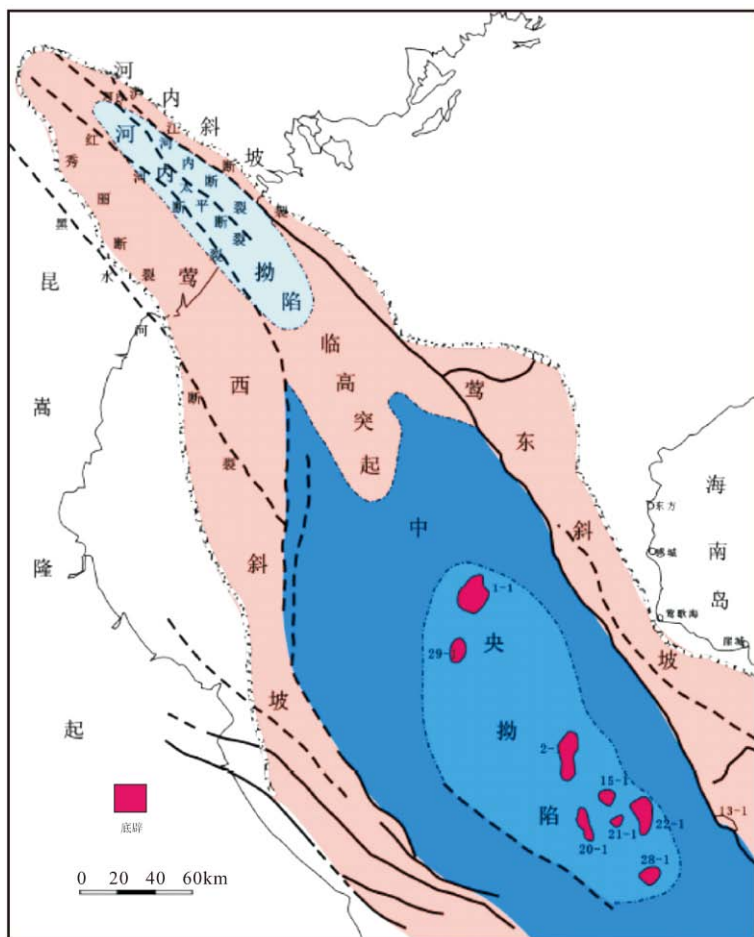


图 1-1-2 莺歌海盆地构造单元划分图

一、地质构造特征

(一) 琼东南盆地构造演化特征

琼东南盆地位于南海北部陆缘的西部,其形成演化明显地受控于南海北部陆缘的区域地球动力学背景:①晚白垩纪—古新世太平洋板块与欧亚板块之间相互作用控制的伸展动力学过程(神狐运动);②始新世—早渐新世的南海北部大陆边缘的陆壳裂解(南海运动);③晚渐新世—中中新世的南海海底扩张;④晚中新世—第四纪海底热沉降期间的构造叠加活动(东沙运动)。

研究区钻遇的最早地层为早渐新世崖城组,同时,部分始新统在地震剖面上也得以揭示,但晚白垩纪—古新世的断陷沉积目前尚无证据表明其存在,因此,认为研究区的裂陷可能始于始新世。分析表明,盆地自进入成盆期以来,经历了裂陷和裂后两大构造演化阶段,具有明显的“下断上拗”的双层构造格架,以破裂不整合面 T_{60} 为界,可分为下、上两大构造层,分别代表

早期裂陷作用和晚期裂后拗陷和热沉降作用的产物(图 1-1-3)。上述两大演化阶段可进一步细分为裂陷阶段的始新世—早渐新世断陷期和晚渐新世断拗期,裂后阶段的早—中中新世拗陷期和晚中新世—第四纪热激活期。结合断裂的剖面、平面展布特征及其变形机制,可将研究区的断裂活动分为三期四幕,其中裂陷阶段两幕、裂后期两幕(表 1-1-1)。

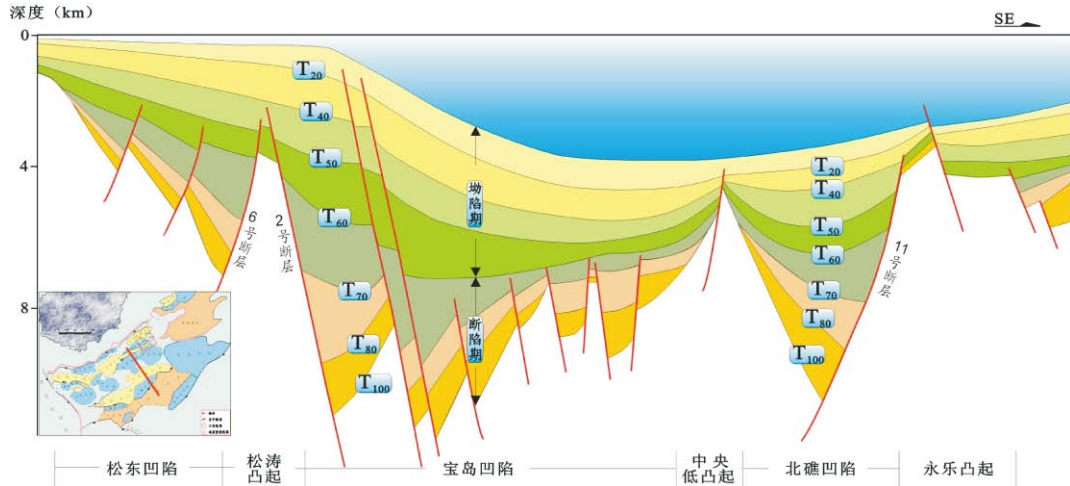


图 1-1-3 琼东南盆地地质剖面示意图(据朱光辉等,2000)

表 1-1-1 琼东南盆地构造演化序列

构造演化	裂陷阶段		裂后阶段	
	裂陷 I 幕	裂陷 II 幕	裂后 I 幕	裂后 II 幕
构造变形	断陷期	断拗期	拗陷期(热沉降)	热激活期(再活动)
变形开始时间	始新世早期	晚渐新世早期	早中新世早期	晚中新世早期
主变形层序	T ₁₀₀ —T ₇₀	T ₇₀ —T ₆₀	T ₆₀ —T ₄₀	T ₄₀ —Q
主应力方向	NW—SE 向拉张及近 SN 向拉张	SN 向拉张	热沉降	地幔垂向动力以及 NW 向左旋平移动力
断裂发育情况	NNE—NE、近 EW 向断裂发育及部分 NW—NNW 断裂发育	近 EW 向断裂强烈活动,其他两组断裂继承性改造	发展成为隐伏断裂,活动性不强	NNW—NW 向断裂发育和其他断裂继承性活动
变形期次	第 1 期	第 2 期	第 3 期	
动力学背景	太平洋-欧亚板块相互作用产生的 NW 向拉张应力场及印支-欧亚板块相互作用产生的近 SN 向拉张应力场	南海海底扩张产生近 SN 方向的拉张应力场	热沉降时的差异压实和重力滑塌	地幔活动以及菲律宾海板块逆时针转动,碰撞亚洲大陆所产生的 NW 向运动

(二) 莺歌海盆地构造演化特征

莺歌海盆地发育在红河断裂带向东南延伸方向上,构造演化十分复杂。印度-亚洲大陆的陆-陆碰撞和太平洋板块向欧亚板块俯冲是该盆地发育的一级区域构造控制背景,南海扩张也对其施加了重要的影响。莺歌海盆地形成演化的研究是揭示南海西北部大陆边缘历史、地球动力学过程及其印度-亚洲大陆碰撞和太平洋板块俯冲的相互关系的关键地区之一。

始新世—早渐新世左旋斜向拉分盆地形成,古新世末,在印度—欧亚板块碰撞的板块构造背景之中,印支地块被挤出,向南偏东方向运动,地块内部和边界的北西向断裂表现为左旋滑动,如红河断裂、马江断裂等,它们的位移量有往南逐渐增加的趋势,其中,印支地块的挤出伴随有顺时针旋转。因此,古新世末期,莺歌海地区主要受到南偏东方向的区域拉张应力作用。此时,印支地块与华南地块在中生代期间碰撞缝合并焊接为一体。

晚渐新世—中新世热沉降和左旋剪切的影响,伸展裂陷之后,即初期沉降之后,以热沉降为主要特征。从地震剖面上看,莺歌海盆地在陵水组($T_{70}-T_{60}$)就具有热沉降的特点,中新世以后,地层的热沉降性质更为明显。前人研究发现,莺歌海盆地的构造沉降中,初期沉降与热沉降不匹配。这可能是由于左旋拉分过程中,盆地西侧岩石圈往南迁移的缘故。

上新世—第四纪热沉降和右旋剪切的影响,中新世(T_{30})以后,莺歌海盆地演化的主要特征还是热沉降,但是,沉降速率再次明显加快。这可能是盆地之下岩石圈热衰减过程伴随了火山喷发,岩石圈冷却过程加快,从而导致盆地沉降加快,沉降面积扩大。盆地边界断裂,如1号断裂、莺东断裂和莺西断裂均有小规模的活动。盆地内部的底辟构造活动达到高峰,这些底辟构造是应力释放背景下,由盆地早期快速埋藏形成的三亚组—梅山组欠压实泥岩及其排出的流体沿破碎带上升而形成的。

结合区域构造背景,中新世以后,印支地块往南运动已停止,华南地块开始被印藏碰撞所挤出,莺歌海盆地处于右旋剪切应力场的作用下。这一作用导致盆地岩石圈应力状态的改变,如早期的南北断裂变为张性,造成深部压力释放和周边岩浆活动,最终诱发了盆地底辟构造的大规模发育。

二、区域地层特征

莺琼盆地沉积充填序列主要由古近系、新近系和第四系地层组成,从下向上依次为始新统、渐新统的崖城组和陵水组,中新统的三亚组、梅山组和黄流组,上新统的莺歌海组,以及第四系乐东组地层。从地震资料分辨率来看,琼东南盆地可以分辨基岩以上的所有岩层。莺歌海盆地北部可分辨基底以上地层、南部坳陷带可分辨崖城组以上地层。

(一) 琼东南盆地地层特征

琼东南盆地的基底由前第三系的火成岩、变质岩及沉积岩组成。盆地的充填序列则主要由第三系和第四系地层组成,从下往上依次为始新统,渐新统的崖城组和陵水组,中新统的三亚组、梅山组和黄流组,上新统的莺歌海组以及第四系地层(图1-1-4)。盆地的地层单元具有如下特征。

1. 前第三系

前第三系岩性主要为火成岩、变质岩及沉积岩,包括花岗岩、混合岩、角岩、凝灰岩、集块

地层					地震界面	界面年龄 (Ma)	岩性剖面	岩性描述	沉积相	生储盖组合		
系	统	组	段	代号 厚度 (m)						烃源岩	储集层	盖层 生储类型
第四系	更新统	乐东组		Qld 377~2512				以浅海相灰色黏土为主, 夹薄层浅灰、绿灰色粉砂、细砂, 富含生物碎屑, 松散, 未成岩				
第三系	上新统	莺歌海组	一	Nygh ₁ 463~2435	T ₂₀	1.64		本组二分, 呈下细上粗反旋回。整体岩性以灰色、绿灰色厚层泥岩为主, 夹薄层浅灰色、灰白色泥质粉砂岩、细砂岩及薄煤层	浅—半深海相	局部油积砂、斜坡扇	自生自储	
			二	Nygh ₂	T ₂₇	2.40						
		上流组	一	Nhl ₁	T ₃₀	5.50		灰色砂质灰岩、灰黄色生物灰岩与灰色、深灰色泥岩、浅灰色粉砂岩和细砂岩不等厚互层				
			二	Nhl ₂	T ₃₁	8.20		浅灰色、灰白色细砂岩、泥质粉砂岩夹薄层灰色、深灰色泥岩				
	中新统	梅山组	一	Nms ₁ 29~1324	T ₄₀	10.5		浅灰色泥质粉砂岩、细砂岩与灰色泥岩互层, 局部见灰质砂岩、砂质灰岩	滨浅海相 (浅水台地亚相)		自生自储	
			二	Nms ₂	T ₄₁	13.8		灰色、深灰色泥岩与浅灰色、灰白色粉砂岩、细砂岩不等厚互层, 局部见灰质砂岩、灰质泥岩、灰岩				
		三亚组	一	Nsy ₁	T ₅₀	15.5		浅灰、灰白色粉砂岩、细砂岩、砾状砂岩与灰色、深灰色泥岩互层, 局部含灰质				
			二	Nsy ₂	T ₅₂	17.5		浅灰色、灰白色粉砂岩、含砾砂岩为主, 间夹薄层灰色泥岩、砂质泥岩, 局部见灰岩				
			三	Nsy ₃	T ₆₀	21.0		浅灰色、灰白色砾状细砂岩、中粗砂岩与深灰色泥岩呈不等厚互层, 局部见砂质灰岩				
			四	Nsy ₄	T ₆₁	23.0		岩性较细, 为灰色、深灰色厚层泥岩、砂质泥岩夹浅灰色薄层泥质砂岩、粉细砂岩、细砂岩				
第三系	渐新统	陵水组	一	Es ₁ 0~1680	T ₆₂	25.5		灰白色、浅灰色含砾不等粒砂岩、砾状砂岩、中砂岩夹薄层深灰色泥岩	滨浅海相 扇三角洲相		自生自储	
			二	Es ₂	T ₇₀	30.0		灰白色砾状砂岩、含砂质泥岩与泥岩的不等厚互层, 局部见薄煤层				
			三	Es ₃	T ₇₁	32.0		岩性较细, 以深灰色泥岩为主夹砂岩, 上部见一大套纯泥岩, 局部夹薄煤层				
			四	Es ₄	T ₇₂	33.5		岩性较粗, 为灰白色砂质砾岩、砾状砂岩、粉细砂岩与浅灰色泥岩互层, 夹薄煤层和炭屑				
	下新统	崖城组	一	Eyc ₁ 0~910	T ₈₀	36.0		目前琼东南盆地尚未钻遇, 但在地震剖面上可追踪出这套地层。北部湾盆地钻井中有该套地层显示, 除顶部、底部有白色砂岩、砂砾岩外, 大部分为深灰色、褐灰色等泥岩	半封闭浅海—海岸平原相		自生自储	
			二	Eyc ₂	T ₉₀	56.0		火成岩、变质岩及沉积岩, 包括花岗岩、混合岩、角闪岩、英安流纹岩、白云岩等				
	始新统			未钻遇	T ₁₀₀	56.0			湖相		自生自储	
前第三系												

图 1-1-4 琼东南盆地的沉积充填特征

(据王春修等, 1992; 龚再升等, 1997 资料修改)

岩、安山玢岩、英安流纹岩、白云岩等。

2. 古近系

古近系主要包括始新统、崖城组和陵水组地层。

(1)始新统。属于非海相沉积,为断陷早期的产物。盆地受早期断裂格架控制而呈地层多凹多凸的特点,凹与凸之间相互独立,具有多物源的特征,隆起区物源均四处扩散。此时沉积面积较小,沉积中心多,岩性与岩相变化大,发育了多个断陷湖盆,每个湖盆中心有中—深湖相沉积,滨浅湖相在其外围呈环带状展布,沉积的最大厚度可达 2000m。该套地层在北部湾盆地的钻井则显示,其顶、底部有白色砂岩、砂砾岩,其大部分为深灰色、褐灰色等泥岩。总体上为河流—湖泊—扇三角洲沉积体系的产物。

(2)崖城组。崖城组三分,其底界面为 T_{80} ,顶界面为 T_{70} 。属于断陷晚期的沉积,在该沉积的早期仍有海陆过渡环境的存在,中、晚期已完全变为海相环境,为滨浅海相沉积。崖三段底部为棕红色砂砾岩夹深灰色薄层泥岩;中上部为灰白色砂岩与深灰色泥岩的不等厚互层,且夹煤层和煤线。崖二段则以深灰色厚层泥岩为主,下部夹灰白色薄层砂岩。崖一段为灰白色砂岩、深灰色泥岩、砂质泥岩夹煤层和炭质泥岩。崖城组地层在盆地西部的最大厚度可达 2500m,且呈北厚南薄的格架样式。本时期仍具有多水系、多凸起、多凹陷的特点,隆凹格局仍较明显,沉积体系丰富,多物源现象仍然存在,物源从隆起区多方扩散。本组为碎屑滨岸(含沼泽)沉积体系的产物,是盆地重要的烃源岩层段。

(3)陵水组。陵水组亦三分,其底界面为 T_{70} ,顶界面为 T_{60} (区域不整合面),地层仍呈北厚南薄之势,属于断陷晚期的产物。陵三段主要由灰白—浅灰色砾岩、砂岩组成,夹深灰色泥岩,局部见生物灰岩,是盆地的重要产气层;陵二段则以灰—深灰色泥岩为主,夹浅色薄层砂岩;而陵一段为浅灰色砂砾、中粗砂岩与灰—深灰色泥岩呈不等厚互层状产出(其顶部的不整合面特征明显)。该组下部为海陆过渡相沉积,中上部以海相沉积为主(局部出现了半深海相),可以说,该组以滨岸碎屑沉积体系和半封闭浅海沉积体系为主体。

3. 新近系

新近系主要包括三亚组、梅山组、黄流组和莺歌海组地层。

(1)三亚组。三亚组是断拗或拗陷早期(盆地裂后充填初期)的产物,属于上构造层最底部的沉积,上、下二分,其底界为 T_{60} 界面。下部以灰—深灰色泥岩、砂质泥岩与灰白色砂岩、砂砾岩互层沉积组成,顶部为块状泥岩。上部沉积物进一步变细,颜色变深。该组是浅海—深海沉积体系的产物(早期发育有滨岸碎屑沉积体系)。物源具有海相单方向的特征,多凸、多凹的古地理背景已经消失,但是陆架坡折不甚明显,盆地性质可能与末端陡倾的缓坡类似,该期物源方向主要为北西向。三亚组一段物源方向明显变为北西,水体较三亚组早期深,深海、半深海面积扩大,其余特征与三亚组二段相似。

(2)梅山组。南海北部陆架勘探实践证实,早—中中新世是重要的灰岩发育期,梅山组时期最为典型。梅山组上下二分,其底界为 T_{50} ,顶界为 T_{40} 。梅二段为褐色、灰白色砂岩、钙质砂岩及钙质、白垩质砂岩与灰岩及深灰泥岩不等厚互层状产出,梅一段为浅灰色泥岩,夹薄层粉砂岩、细砂岩。总体上为浅海—半深海沉积体系(其中以深水沉积为主)。该时期物源方向明显变为北—北东向,同时在盆地中部偏东出现了横贯全区的海底峡谷。

(3)黄流组。黄流组上下二分,底界为 T_{40} ,顶界为 T_{30} ,为拗陷阶段的产物。崖北凹陷缺

失黄流组,崖南凹陷钻厚 0~644m。黄二段主要为浅灰色、灰白色细砂岩、泥质粉砂岩夹薄层灰色、深灰色泥岩;黄一段主要为浅灰色、灰色砂质灰岩、灰黄色生物灰岩与灰色、深灰色泥岩、浅灰色粉、细砂岩不等厚互层。主要为滨—浅海沉积体系的沉积物。黄流组沉积期真正属于被动大陆边缘盆地环境,陆架坡折容易识别,高频层序非常发育。在盆地中部偏南横贯全区的海底峡谷依然存在,且在南西方向向广海伸展。

(4)莺歌海组。莺歌海组则由大套浅灰色、深灰色厚层块状泥岩组成,夹薄层浅灰色粉砂岩、泥质砂岩,中部夹厚层块状细砂岩组成。整体上该组以浅海—半深海沉积体系为主,物源主要为北西向,横贯全区的海底峡谷渐趋扩大,在南西方向分叉成两条路径伸入广海,高频层序样式非常典型,其重要特征是前积楔—斜坡扇非常发育。

4. 第四系

第四系主要以浅灰色、绿灰色黏土岩为主,夹薄层粉砂、细砂,富含生物碎屑未成岩。

(二)莺歌海盆地地层特征

莺歌海盆地边缘斜坡带探井所揭示的前第三系基底主要由花岗岩、变质岩、凝灰质砂岩和灰岩、白云岩组成。综合盆地已有钻探资料和地震解释以及地层区域的对比分析,目前在莺歌海盆地已经建立了较为完整的新生界地层序列。自下而上依次为始新统的岭头组、渐新统的崖城组和陵水组,中新统的三亚组、梅山组和黄流组,上新统的莺歌海组以及第四系乐东组地层。其岩性、地震反射等特征概述如下。

1. 前第三系

前第三系基底主要由花岗岩、变质岩、凝灰质砂岩和灰岩、白云岩组成。

2. 古近系

古近系主要包括始新统、崖城组和陵水组地层。

(1)岭头组。在莺歌海盆地尚未钻遇。根据构造发育和沉积演化史,认为地震剖面上盆地底部具楔状发散、强—中振幅、连续—较为连续地震相、上超现象明显的一套反射波组所代表的、与前第三系基底呈不整合接触的充填型沉积,在沉积环境和沉积年代上与北部湾盆地始新统流沙港组相似。为河流—湖泊—扇三角洲环境沉积的白色砂岩、砂砾岩和深灰色、褐灰色泥岩。

(2)崖城组。该组为三分(由上至下分别为一、二、三段),其相应的地震分层界面为 T_{70} — T_{71} 、 T_{71} — T_{72} 、 T_{72} — T_{80} 。目前莺歌海盆地只有莺东斜坡带的 LT1-1-1 井和 LT9-1-1 井钻遇该套地层,但由于地层中缺乏标志性生物化石而不能确定地层的确切时代归属。岩性为灰白色砂砾岩、砾状砂岩、砂岩与深灰色泥岩互层,并可见煤层。

(3)陵水组。该组为三分(由上至下分别为一、二、三段),其相应的地震分层界面为 T_{60} — T_{61} 、 T_{61} — T_{62} 、 T_{62} — T_{70} 。岩性为浅灰色砾状砂岩、中—粗砂岩与深灰色泥岩互层,局部可有灰岩。

3. 新近系

新近系主要包括三亚组、梅山组、黄流组和莺歌海组地层。

(1)三亚组。其底界为 T_{60} 界面,地震响应为中—强振幅,相位连续—较连续,界面上的超覆和界面下的削截、侵蚀等现象十分明显。该组下部岩性为浅灰色中—粗砂岩、含砾砂岩、粉

砂岩、泥质粉砂岩与灰—深灰色泥岩、粉砂岩泥岩互层,局部含钙或含煤;上部岩性为灰白、浅灰色中—细砂岩与灰色泥岩互层;顶部为块状泥岩。

(2)梅山组。岩性以普含灰质为特征。上下二分,梅下段为浅灰色厚层细砂岩夹深灰色泥岩、粉砂质泥岩;上部为浅灰色厚层泥岩、粉砂质泥岩、夹薄层粉—细砂岩或与粉—细砂岩互层,可含钙质。

(3)黄流组。 T_{40} 为区域性不整合界面,与 10.5Ma 的全球海面下降事件有关,形成区域性大海退的剥蚀面,界面之下的侵蚀、剥蚀和界面之上的上超现象非常清晰。钻井揭露岩性多为粉、细砂岩与泥岩互层,细砂岩夹泥岩互层,或泥岩夹粉、细砂岩;平面上沿海南岛周缘地层厚度薄,岩性粗,向盆地中央厚度渐渐增大,岩性逐渐变细。

(4)莺歌海组。主要由大套浅灰色、深灰色厚层泥岩或粉砂质泥岩组成,夹薄层浅灰色粉砂岩、泥质砂岩,在盆地中部见块状细砂岩。莺歌海组可分为上下两段,岩性向上有所变粗。该组以明显的陆架、陆坡沉积和 S 形前积层为特征。盆地总体具有北高、南低趋势,因而盆地西、西北部陆坡推进较快,陆架宽广;东部推进缓慢,呈加积式,陆架较窄。

4. 第四系

第四系主要以浅灰色、绿灰色黏土为主,夹薄层粉砂、细砂,富含生物碎屑。

第二节 莺琼盆地地震资料采集及处理存在的主要问题

南海海域的莺歌海盆地和琼东南盆地是油气富集区,勘探前景非常广阔。在近 40 年的勘探中,经历了由浅海到深海的多层次、多目标的勘探。在莺歌海盆地,浅层已成为高开发、高成熟区,高温高压中深层领域受资料品质所限,勘探研究及作业进展非常缓慢;琼东南盆地浅水区以崖城 13-1 大型气田为代表,开展了大量的勘探开发研究工作,也显示出中深层勘探潜力巨大,勘探工作在该区其他领域相继展开。从莺歌海地区到琼东南地区海水深度变化很大,最浅处几十米到最深处几千米不等。该地区地质条件复杂,中深部存在低速层,存在异常高压,局部形成高密度流,使上部地层垂向裂隙发育且充气。莺歌海盆地中央底辟区发育诸多底辟构造,但中深层勘探层系大多为地层或者岩性圈闭。底辟构造区及周缘受构造运动,在中浅层地层中形成众多断距较小、近垂直的裂隙,这些裂隙会造成地震波传播过程中能量的散射,削弱下传的透射波能量和上传的反射波能量,浅层聚集形成的浅层气屏蔽层对地震能量衰减也非常明显,加之大套泥岩地层造成的吸收衰减非常严重,莺歌海盆地中深层地震资料表现出信噪比低、频带较窄、成像质量差的特征。琼东南盆地又面临崎岖海底、陆架坡折带问题,加上地层对能量的吸收和频率衰减严重,造成采集的野外地震资料信噪比和分辨率都很低,下伏目标地层中构造假象也较多。简要归纳为这几个方面:①中深层反射能量弱、资料的信噪比和分辨率低;②海底多次波严重;③大偏移距观测时的电缆漂移问题;④高陡复杂构造及海底高程剧烈变化时的偏移成像问题以及保幅偏移成像问题;⑤偏移速度分析与速度模型建立问题。

第三节 莺琼盆地地震资料采集及处理主要技术手段

地震资料采集、处理、解释一体化技术已经成为新一轮的高精度、高分辨率地震勘探的发展趋势。一体化过程是以地质模型为核心的,这要求我们在地震资料采集时应根据地质任务结合实际地质情况设计观测系统,从处理解释的角度论证采集方案;在处理时需要根据地质情况建立合理的速度模型,提高资料保真度、信噪比和分辨率,为正确解释提供保障,同时对解释方案进行验证;解释过程形成的速度模型可以供精细地质构造成像和岩性分析使用,并指导下一轮的采集工作。

海洋高分辨率三维地震采集质量的好与坏受诸多因素的影响,但最为关键的是震源系统和接收系统,震源系统决定了地震子波,接收系统决定了记录地震信号的有效频带和振幅、相位特征以及反射目的层覆盖的范围,而这两者是相互联系和相互制约的。如何在现有的设备和技术手段的情况下充分发挥这两者的作用,取得高品质的地震采集资料,就需要基于正演模拟技术进行采集参数论证和优化。本书重点以南海北部西区莺歌海盆地和琼东南盆地地震勘探所面临的问题,从实际资料分析出发,建立典型地质地球物理模型,从震源优化组合、子波模拟及正演分析技术探索针对中深层高温高压区地震采集技术发展方向,提出有效的解决办法。研究采用有针对性的去噪处理、提高分辨率和信噪比等地震资料关键处理方法和技术,开发实用的速度分析建模和偏移成像处理技术。

随着海洋地震采集和处理技术的提高,研究方法和手段的不断增加,需要针对具代表性地质地球物理难题开展细致、深入的研究和探索应用。本书采用的是面向地质目标的地震勘探研究思路,如何有针对性地选择及合理使用地球物理手段与地质紧密结合,以提高海洋地震勘探研究精度,并为中深层高温高压这一领域勘探研究生产提供指导。

主要技术手段突出创新性、针对性和实用有效性,整个研究过程采用一种技术体系来设计布局,既强调单项技术效果,又重视技术组合的优势。最终目标是形成一套成熟完整的中深层高温高压区地震采集处理技术系列。

首先,在地震波动理论指导下,基于子波模拟手段,系统开展气枪震源子波影响因素以及气枪震源气泡压制组合方法研究,优选出适合莺琼盆地复杂地质结构条件下的气枪及阵列震源工作参数。

其次,在充分认识莺琼盆地高温高压区地层基本特征及地震波响应特征的基础上,建立适合莺歌海盆地东方地区的三维地震地质物理模型和琼东南盆地陵水凹陷典型二维地震地质物理模型及数值模型,基于地震波场模拟和地震照明分析技术开展地震采集参数研究,形成一套适合中深层地震勘探的采集参数,提高地震采集资料的品质。

再次,开展共反射面元叠加技术和基于小波变换去噪技术应用于提高莺琼盆地地震资料的信噪比处理研究,开展中深层地震资料多次波的压制方法研究,形成一套适合于海洋中深层地震资料多次波压制的处理与分析新理论和新方法;开展提高中深层地震数据的分辨率方法研究,通过约束反演和谱分解技术算法来提高分辨薄层的能力,通过长偏移距非双曲动校正和谱均衡抗拉伸技术实现高分辨率叠加成像。

最后,在国内外最新的偏移速度分析以及偏移成像等研究的基础上,开展基于时移共成像

点道集偏移速度分析和倾斜坐标系下平面波偏移的研究工作,形成一套适用于莺琼盆地复杂构造的叠前偏移成像与偏移速度分析关键技术。

研究思路方面,通过扎实的基础理论研究建立关键技术方法,通过典型理论模型和莺琼盆地的典型模型分析验证,发展、完善方法软件,在生产中探索应用进一步优化总结,开展现场采集处理试验,积极推广新技术,最终形成成熟稳定的技术系列。