

南黄海海相油气地震勘探难点分析与对策建议

吴志强^{1,2}, 骆迪^{1,2}, 曾天玖³, 肖国林^{1,2}, 曾友爱³, 孙运宝^{1,2}

(1 国土资源部海洋油气资源与环境地质重点实验室; 2 青岛海洋地质研究所)

(3 中国石油集团东方地球物理勘探公司研究院大港分院)

摘要 南黄海海相残留盆地广泛分布中生代碳酸盐岩地层。盆地的油气勘探仍处于前景调查评价阶段。分析了研究区特殊地震地质条件造成的地震采集和处理所面临的诸多难点: 地下地质构造复杂造成地震波场传播路径复杂多变, 碳酸盐岩高速屏蔽层使得地震波向下传播的能量微弱, 以及海洋作业环境等。针对地震资料多次波发育、深部目标层反射能量弱、信噪比低、成像精度低、资料品质差等困难和状况, 提出了相应的勘探策略, 如: 加强理论模拟研究; 采用多层震源延迟激发技术和“长排列、上下缆”的立体宽线接收技术, 以拓宽频带、提高深部目标层反射能量; 采用多次波压制技术以突出中深层弱反射; 采用针对长排列的各向异性速度分析和各向异性叠前时间偏移以提高复杂构造成像能力等。

关键词 南黄海盆地; 海相地层; 油气勘探; 地震勘探; 勘探难点; 勘探策略

中图分类号: TE132.1

文献标识码: A

1 概况

南黄海盆地位于黄海南部海域, 构造上处于扬子地块的主体部位^[1](图1), 为海相中—古生界和陆相中—新生界大型叠合盆地, 沉积地层累计最大厚度达10000m以上。针对陆相沉积, 盆地现今的构造格局自北而南划分为北部拗陷、中部隆起、南部拗陷和勿南沙隆起。北缘以千里岩断裂为界与千里岩隆起相连, 勿南沙隆起区以南以江山—绍兴断裂与东海盆地相隔^[2-4], 中部隆起西与陆地的滨海隆起相连, 南部拗陷西与陆上苏北盆地连成一体, 因此又将苏北盆地和南黄海南部拗陷统称为“苏北—南黄海盆地”^[4]。

我国在南黄海海域的油气普查勘探大致经历了中—新生代陆相盆地油气调查与勘探阶段、相对低谷阶段和海相残留盆地油气前景调查评价阶段。

1.1 中—新生代陆相盆地油气调查与勘探阶段(1961—1990)

这一阶段包括自营勘探(1961—1978年)和中

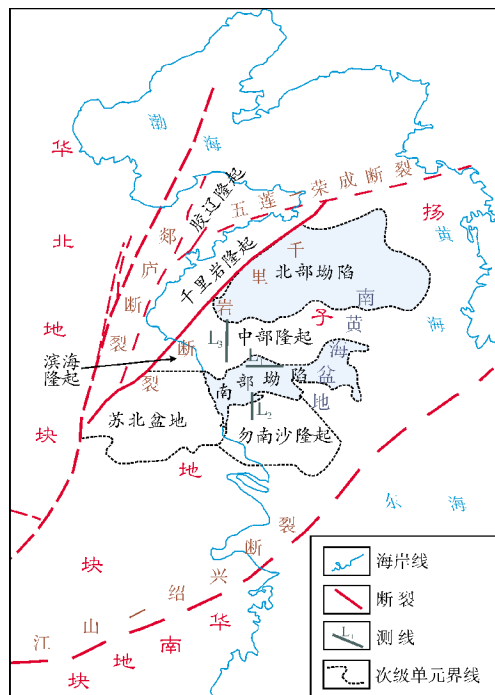


图1 南黄海盆地构造区划图(据文献[1]修改)

收稿日期: 2013-05-26; 改回日期: 2014-01-19

本文受国家自然科学基金国际(地区)合作交流项目“黄海及邻区壳幔结构及深部构造关系的综合地球物理研究”(编号: 41210005)和国家自然科学基金项目“基于约束优化算法及波场延拓的复杂地质体速度智能拾取”(编号: 41174098)联合资助

吴志强: 1964年生, 博士, 研究员, 主要从事海洋油气地球物理研究工作。通讯地址: 266071 山东省青岛市福州南路62号青岛海洋地质研究所; Email: wuzq_1964@163.com

外合作勘探(1979—1990年)两个时期^[4]。自营勘探时期采用炸药(或单气枪)震源、悬挂式24道电缆和模拟磁带地震记录仪开展了4 km×8 km测网密度的模拟地震勘探。在地震、重力和磁力资料解释与综合研究的基础上,实施了7口预探井,钻遇层位为第四纪、新近纪、古近纪和中生代碎屑岩地层。

1979年开始,随着我国对外开放政策的实施,原石油工业部通过划定招标区块,由西方国家的石油公司实施南黄海新生代油气勘探,采用气枪震源、拖缆和数字地震仪。北部拗陷地震测网密度达到4 km×8 km,南部拗陷测网密度为8 km×8 km~4 km×8 km,在中部隆起区布置了少量侦查性测线。根据钻前评价的需要,在局部进行了2 km×2 km~1 km×1 km测网的地震详查作业。在地震资料解释的基础上,实施了9口探井,钻遇了中—古生界海相碳酸盐岩和碎屑岩,并在中—新生代碎屑岩和古生代海相地层中见到了油气显示。

通过这一时期的工作,基本查清了南黄海的区域地质、构造演化特征,它是由海相中—古生代残留盆地和陆相中—新生代断陷盆地组成的大型叠合盆地,可划分出千里岩隆起、北部拗陷、中部隆起、南部拗陷、勿南沙隆起五大构造单元;探明了地层发育与分布规律,包括陆相中—新生界、海相中生界下三叠统及上二叠统煤系地层的分布;经与陆区对比,认为南黄海的古近系、中生界和古生界都具备形成油气藏的条件,其中,南、北两个拗陷是新生界含油气远景区;对勿南沙隆起的地震调查,初步揭示了一批以较宽缓背斜为主的古生界内幕构造,其保存条件优于下扬子陆区,是一个具有潜在含油气远景的区域。

受当时的装备和技术水平的限制,地震剖面只能反映新生代、中生代地层特征,多次波和各种噪声干扰严重、信噪比低,特别是海相碳酸盐岩地层的地震反射成像品质差,难以准确识别和解释,制约了对海相残留盆地地层和构造演化的深入认识。

1.2 相对低谷阶段(1991—1999)

随着中—新生代陆相盆地油气勘探的失利,南黄海勘探进入了相对低谷阶段:外国石油公司停止了在南黄海的勘探,国内的地震勘探和钻探也基本处于停顿状态。勘探家在总结前期勘探经验的基础上,逐渐地意识到中—古生代海相残留盆地具有较大油气资源潜力。在此基础上,中国海洋石油总公司

陆续对勿南沙隆起和南部拗陷的中—古生界大型局部构造进行了地震加密调查,并针对海相碳酸盐岩油气目标实施了两口探井,但仍未见到工业性油气发现。

1.3 海相残留盆地油气前景调查评价阶段(2000—现今)

从2000年开始,随着地震勘探技术的进步以及开展中深部海相残留盆地油气资源调查的需要,开始了新一轮区域地震调查工作。采用4 000 m以上的长排列电缆和总容量50 L以上的气枪阵列震源进行了地震资料采集,通过自由表面多次波压制技术(SRME)、高精度 τ - p 变换中长偏移距多次波压制技术、长排列高阶速度动校正技术和各向异性叠前时间偏移技术等先进的处理技术,来提高深层反射能量和速度分析精度,改善了深部弱反射信号的成像质量。由此,揭示了南黄海北部拗陷存在前白垩系,中部隆起区和勿南沙隆起区有厚度较大的古生界。通过上述工作,基本查明了南黄海中、新生代陆相沉积盆地的地质结构,认识到南黄海存在分布面积更大的中—古生代海相残留盆地,是油气勘探的重要方向。

与国外中—新生代为主的海相富油气盆地相比,南黄海海相残留盆地的碳酸盐岩地层以中—古生界(主要是古生界)为主,经历的地质演化历史长、构造变动次数多,构造复杂,地层横向变化大,断裂发育^[5-10]。由于海相地层地震地质条件复杂,使得基于水平叠加理论基础的地震勘探方法无法做到精确成像,这成了制约南黄海海相残留盆地油气勘探进程的瓶颈。碳酸盐岩地层纵、横向非均质性强烈,对地震波场产生了很强的散射和屏蔽作用,这也是造成地震资料品质差、成像困难的主要原因之一。另外,碳酸盐岩地层间物性差异小,内部反射能量弱,地震剖面上的目标层有效波振幅能量小、连续性差、分辨率和信噪比低,难以横向对比追踪。本文根据南黄海海相残留盆地的地震地质条件、地球物理特征和实际资料,分析了地震勘探的主要问题与难点,提出了技术对策和建议。

2 地震地质条件及地球物理特征

南黄海盆地自上而下分为新生代陆相构造层、中生代陆相构造层和早中生代—古生代海相构造层等三套构造层^[2]。

(1) 新生代陆相构造层: 全区分布, 在隆起区厚度一般为 600~1 200 m, 在坳陷区最大累计厚度可达 6 000 m。

(2) 中生代陆相构造层: 由陆相火山碎屑岩与河流相沉积岩组成, 主要分布在北部坳陷, 面积较大, 厚度一般为 1 000~2 000 m, 最大厚度达 5 000 m; 在中部隆起零星分布; 南部坳陷局限于边界断层的下降盘, 明显受边界断层控制, 一般厚度为 200~700 m, 最大厚度达 2 000 m。

(3) 早中生代—古生代海相构造层: 由海相碳酸盐岩和碎屑岩组成, 其中二叠系—三叠系受印支运动的影响, 厚度变化大, 厚度最大可达 6 000 m; 受地震资料成像品质和钻井 (仅一口井揭示了部分石炭系) 的限制, 石炭系—震旦系的分布属于推测, 岩石物性则借用苏北盆地的资料^[5-6]。

南黄海盆地的三个构造层具有相对不同的速度、密度特征^[5-6]。

(1) 新生代陆相构造层: 速度为 1 700~3 500 m/s, 密度 2.04~2.42 g/cm³, 具有速度、密度随深度增加而增加的特征, 横向变化不大。

(2) 中生代陆相构造层: 速度为 4 000~4 800 m/s, 密度 2.49~2.52 g/cm³, 速度主要受岩性变化的影响, 受深度的影响较小, 横向略有变化。

(3) 中—古生代海相构造层: 总体为高速度、高密度层, 中间夹两个低速度、低密度层 (二叠系碎屑岩, 志留系—泥盆系碎屑岩), 速度随深度的变化幅度小, 在构造复杂或岩性变化剧烈的区域, 速度横向变化剧烈。

根据南黄海盆地和陆上苏北盆地的测井资料, 将南黄海盆地三个构造层进一步划分为 9 个物性层, 构成了 9 个地震反射界面和地震反射波组 (表 1)。

表 1 南黄海盆地地层、岩性与地震波组特征

构造层	物性层	地层时代	岩性	密度 (g/cm ³)	速度 (m/s)	反射层
新生代陆相 (第一)构造层	1	Q—N	粉砂岩、泥岩	2.04~2.25	1700~2500	T ₂ —
	2	E	砂岩、泥岩	2.30~2.42	2800~3500	T ₇ —
中生代陆相(第二)构造层	3	K, J, T ₂₊₃	砂岩、泥岩	2.50~2.60	4000~4800	T ₈ —
中—古生代海相 (第三)构造层	4	T ₁	石灰岩	2.60~2.72	5200~6500	T ₉ —
	5	P ₂	碎屑岩+煤系地层	2.43~2.47	3800~5200	T ₁₀ —
	6	P ₁ , C	石灰岩	2.68~2.70	5600~6500	T ₁₁ —
	7	D, S	泥岩、石英砂岩	2.41~2.50	4200~5000	T ₁₂ —
	8	O, C	石灰岩、白云岩、硅质岩	2.61~2.76	4900~6500	T ₁₃ —
	9	Z	冰碛岩、石灰岩、白云岩	2.61~2.76	5700~6000	T ₉ —
变质基底		AnZ	变质岩	2.70~2.78	>6300	

3 地震勘探的主要难点

3.1 地震资料采集的技术难点

3.1.1 难点 1: 高速地层对地震波的屏蔽作用

按透射能量定量计算方法^[1]计算的结果^[5], 界面上下地层的速度比越大, 屏蔽作用越强烈。区内碳酸盐岩地层与上覆碎屑岩地层物性差异较大, 是一个地震强反射界面, 对地震波向下传播起到了强烈的阻抗作用, 使到达目标层的能量非常有限。特别是碳酸盐岩地层埋藏浅的隆起区, 上覆地层时代新、速度低, 界面上下地层速度比在 2.5 以上, 有的区域甚至超过 3.0, 该界面屏蔽了绝大部分下传地震波能

量, 透过该界面向下传播的地震波能量只有 8%~15% 左右。在碳酸盐岩地层埋藏深的坳陷区, 上覆碎屑岩地层厚度大, 速度在 3 500~4 500 m/s 之间, 界面上下速度比在 1.4~1.8 之间, 透过该界面向下传播的地震能量可达 25%~60%。另外, 碳酸盐岩内幕反射弱, 也是难以获得有效反射的主要因素之一。

因此, 突破高速界面对地震波的屏蔽作用, 获得碳酸盐岩内幕有效反射信号, 是地震采集面临的第一大难题。

3.1.2 难点 2: 海底多次波对原始地震有效信号的影响

海底多次波在海洋地震原始资料中普遍存在。南黄海海底地形平坦, 水深在 15~80 m 之间, 海底底

质坚硬,沉积物的速度高,是一个反射系数达 0.3 以上的强反射界面,屏蔽了下传地震波的能量,同时也产生了强振幅的海底干扰鬼波,形成对有效地震信号的陷波作用,陷波点主要分布在 10~50 Hz 左右,水越深陷波点频率越低(图 2)。南黄海地震资料中海相目标层的有效频带范围主要分布在 6~35 Hz 左右,受海底鬼波陷波作用的影响较大,因此,克服海底鬼波对原始地震有效信号的影响,是资料采集中的第二大难题。

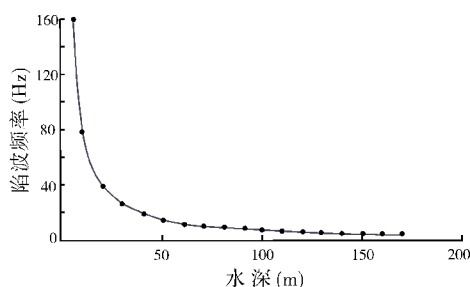


图 2 水深与地震陷波频率关系曲线

3.1.3 难点 3: 水体虚反射对地震资料频带宽度的限制

在海洋地震资料采集中,气枪和电缆以一定的深度沉放在海平面之下,这是保证激发能量和降低环境干扰的需要。在这种情况下,海平面对地震波产生了向下反射作用,在上行波和下行波之间产生了交互干涉而形成水体虚反射。水体虚反射对地震反射信号起到了压制和陷波作用,限制了原始地震资料的频带宽度。理论研究和勘探实践证明,气枪和电缆沉放越深,对低频信号越有利,对高频信号压制越多;沉放越浅,对高频信号越有利,对低频信号压制越多。为了得到深部地层的有效反射信号,在采集中加大气枪震源和电缆的沉放深度,就能增强低频能量,提高地震波的穿透能力,同时也可降低接收环节的噪音干扰水平,提高深层反射信号的能量和信噪比,但这是以压制高频信号为代价的。另外,地震波在传播过程中,高频信号的衰减比低频信号快得多,再加上粗糙的高速屏蔽界面的频散效应,获得的地震反射信号频带较窄。通过对原始记录和叠加记录带通频率扫描结果的分析,目标层反射信号的有效频带为 6~35 Hz,多次波的频率和一次波的差别不大,这给地震资料的成像和反演处理带来了不利的影响。因此,如何在得到深部弱反射信号的同时,获

得宽频带的有效地震反射信号,是地震资料采集的第三大难题。

3.1.4 难点 4: 外界环境对地震有效信号的干扰

通过地层物性特征分析可以看出,三个构造层的分界面是地震反射能量较强的分界面,第三构造层主要是碳酸盐岩地层,地层间物性差异小,又受到上覆强反射层的影响,深部目标层段的地震反射能量弱、信噪比低,微弱的有效信号基本上都淹没在各种噪音之中。同时勘探区处于商业航线上,商船和渔船多,采集环境差,外源噪音大。在采集作用中避免和降低各种干扰,是摆在我们面前的第四大难题。

3.2 地震资料处理的技术难点

地震资料处理是非常重要的环节,虽然前期在地震资料的处理上,特别针对多次波压制、噪音剔除、精细速度分析和准确偏移归位的关键技术已有不少成功经验^[12-13],但是,面对南黄海复杂的地震地质条件,地震资料处理中还存在如下技术难点。

3.2.1 难点 1: 如何有效压制环境噪音干扰,提高资料信噪比

在地震原始数据上,涌浪噪音、电缆噪音、外源干扰等环境噪音干扰发育,严重降低了目标层反射信号的信噪比。因此,有效压制各种噪音干扰、提高信噪比是地震资料处理的关键问题之一。

3.2.2 难点 2: 如何有效压制各种多次波干扰

南黄海盆地区域跨度比较大,水深较浅,海底多次波发育。同时,碳酸盐岩地层顶面是一个高速的强反射界面,对地震波向下传播起到了强烈屏蔽作用,也形成了与该界面相关的、周期不同的层间、微屈、折射等多种类型的多次波,且波场非常复杂,难以正确识别并有效压制。多次波干扰与有效波交织在一起,降低了目标层反射信号的信噪比,甚至在原始记录和初步叠加剖面上,有效信号完全淹没于多次波干扰中(图 3)。

受水体虚反射和气枪气泡振荡的影响,子波重复相位多,造成剖面波组特征差、标志层不突出、主要反射层不易追踪。如何压制鬼波及气泡震荡的影响,并压缩子波,改善波组特征,同时保证深层资料的信噪比,是地震资料处理中的重点。

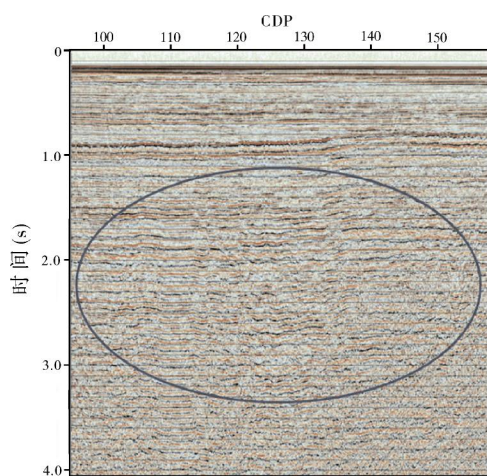


图3 地震初步叠加剖面显示的多次波发育
图中蓝线圈定部位

3.2.3 难点 3: 如何在低信噪比条件下提高中深部目标层的成像效果

南黄海盆地的勘探目的层构造破碎, 横向复杂多变, 且埋藏较深, 地震射线路径复杂, 反射能量弱, 信噪比低, 常规的处理技术已难以满足海相复杂构造地层调查的需要。同时受复杂多次波的影响, 基底反射不清, 边界模糊, 内幕反射凌乱, 有效信号的准确成像非常困难。

众所周知, 在地层埋藏较浅、速度高和纵横向非均质性强的情况下, 采用常规的双曲线速度分析方法, 必然会产生较大的速度分析误差, 造成大偏移距反射波形畸变而无法参与叠加处理, 降低有效叠加的次数和成像能量。因此, 如何在低信噪比条件下, 最大限度利用长排列(大偏移距)的优势, 提高中深部目标层的成像效果, 是地震资料处理的另一个难点。

以上技术难点严重制约了南黄海水相地层的油气勘探进程, 这也是勘探至今未取得突破的主要因素之一。

4 主要对策

在分析前期的勘探成果和主要问题的基础上, 现提出以下工作对策建议。

4.1 加强理论模拟研究

南黄海水相地层构造复杂, 由此带来了地震波

场的复杂化, 前期的认识和实施方案多建立在经验积累之上, 虽然作了一些理论研究^[5-6, 9, 14-15], 但是还无法完全回答勘探中遇到的所有问题。因此, 必须加强理论模拟研究, 重点进行基于全波波动方程的复杂构造地震波场特征模拟研究, 分析高速屏蔽层粗糙界面对地震波场的改造及对高频信号的衰减作用, 研究多次波的形成机理和表现特征等悬而未决的问题; 同时还要研究在复杂构造条件下不同信噪比与成像精度的关系, 为地震资料采集、处理和解释提供依据。

4.2 从地震资料采集入手, 着力提高对复杂地震地质条件的适应能力

地震资料采集是地震勘探工作的基础, 地震原始资料品质的优劣与采集技术方法的合理配置有着密切的关系。目前南黄海仍处于油气勘探前期阶段, 仍应侧重提高深部目标层的信噪比和反射能量以满足油气构造解释的需要。

4.2.1 采用多层气枪震源延迟激发技术, 降低高速层屏蔽作用, 提高深层反射能量

南黄海地震采集的难题是如何突破高速地层对地震信号的屏蔽, 同时避免由粗糙高速地层表面造成的频散。鉴于介质的屏蔽和频散效应与地震波的波长密切相关, 长波长信号具有较强的穿透非均匀介质的能力^[16-17], 因此, 利用低频信号可降低非均匀性强的碳酸盐岩地层对地震波场的散射和屏蔽作用, 提高深层反射信号能量。虽然利用低频信号进行采集的方法会降低地震资料的分辨率, 但是它却有效地提高了深部反射信号的能量和信噪比。故在勘探的初期阶段, 这仍是一种有效的改进原始资料品质的途径和方法。

从气枪组合与激发入手, 以低频能量强、频带宽的多层气枪阵列延迟激发技术代替同时激发的平面气枪阵列震源^[18-20], 通过分散水体虚反射的叠加效应, 可达到降低和压制水体虚反射效应、化解枪阵沉放深度对地震资料频带宽度的限制、拓展低频分量、提升低频能量、拓宽频带宽度和增加勘探深度的目的。

采用由 4 个容量为 1 260 in³ 子阵组成的枪阵, 将中间两个子阵沉放到 7 m 深度, 两边两个子阵沉放到 10 m 深度并延迟激发的双层枪阵, 与沉放深度

分别为 7m、10m 的平面枪阵远场子波频谱对比(图 4),可以看出:同时激发的平面枪阵远场子波频带主要集中在主频附近,低频段和高频段衰减严重,且虚反射的陷波效应明显;而采用双层枪阵延迟激发的震源频率能量分布较为均匀,低频和高频成分均得到了拓宽,频谱更加圆滑,陷波作用明显得到削弱。

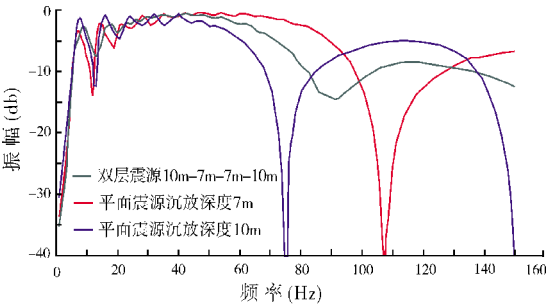


图 4 双层枪阵与平面枪阵远场子波频谱对比

在采集试验数据的成像处理剖面(图 5)上,与平面枪阵得到的剖面(图 5a)相比,双层枪阵得到的剖面(图 5b)深层反射振幅强,信噪比和分辨率均得到了明显的改善。

4.2.2 接收长排列广角反射信号,提高高速屏蔽层之下弱反射界面地震能量

反射地震学的理论表明,当地震波以广角入射到反射界面时,具有比一般入射角强得多的反射能量。长排列广角反射的采集方法,它的深层勘探和穿透具有高波阻抗差界面的能力比一般地震方法要优越得多,它可以提高高速屏蔽层之下的弱反射界面地震能量,这也是解决深层弱反射地层勘探的有效途径^[21-25],并且已通过了模型正演^[25]的证明。因此,

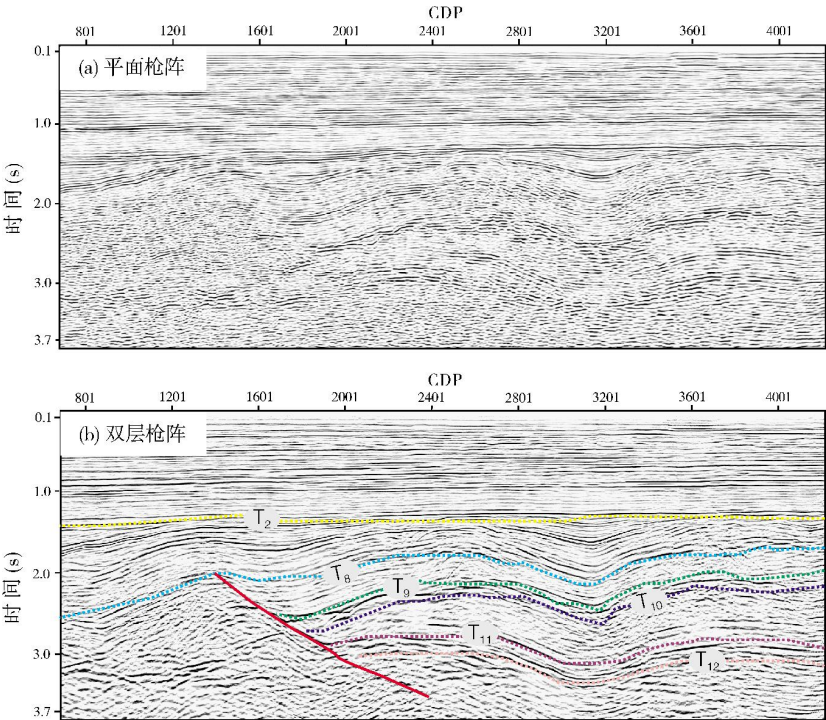


图 5 L₁ 测线平面枪阵与双层枪阵延迟激发采集效果对比图
试验测线 L₁ 位置见图 1。反射层代号见表 1

建议在以后的地震资料采集中,电缆长度应大于勘探目标层的埋藏深度。

4.2.3 采用双检拖缆和海底电缆(OBC)勘探技术,压制鸣震干扰,拓展地震频带,降低环境噪

音干扰

大量的勘探实践证明,通过双检拖缆、海底电缆的水检(即压力检波器)和陆检(即速度检波器)同时接收技术,并将这两种接收数据叠加处理,能够有效压制鸣震干扰、增强有效反射波能量和信噪

比^[26-32]。南黄海水深较浅,有利于 OBC 施工,并且 OBC 直接沉放到海底,避免了海底与水体界面对上行地震信号的强反射作用,提高了对弱反射信号的接收能力,同时海底环境噪音干扰小,原始地震数据的信噪比随之提高。另外,OBC 采集方法可以采用拖缆地震无法实现的中间激发采集方式,以增强对复杂构造成像的保真度和精度。因此,在南黄海的地震资料采集中,应采用海底电缆的勘探技术方法。

4.3 采用针对性的处理技术

4.3.1 多域、多方法联合压制各种多次波及其它干扰波

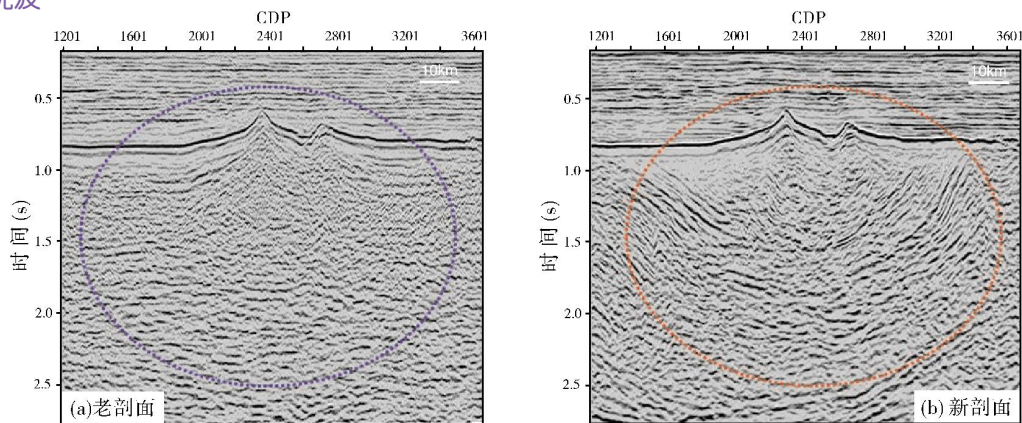


图 6 隆起区不同处理方法效果对比图

反射,改善中深层的波组特征,提高地震资料信噪比(图 6)。

运用叠前综合多域去噪技术,采用分频和多域处理的思想,可对涌浪干扰、线性干扰、外源干扰等各种噪音进行压制,在不损害有效信号的前提下,最大限度地提高资料的信噪比。

4.3.2 采用各向异性速度分析与动校正技术,提取大偏移距反射信号,提高深层成像质量

采用针对各向异性介质的速度分析与动校正技术^[33-35],利用临界角附近的远偏移距强地震反射波的能量信息,可以达到提高深层成像质量的目的。

图 7 为各向同性动校正与各向异性动校正效果对比图,在各向同性动校正的道集上,大偏移距地震道的低频、强能量广角反射波上翘,波形畸变严重(图 7b),这些数据若参与到叠加成像处理中,

针对南黄海底鸣震强烈、层间多次波发育且与有效波混合在一起的特点,应在加强多次波形成机理与特征研究分析的基础上,通过配套多次波压制技术,对复杂的多次波进行有效压制,以恢复地层的真实产状,突出中深层的有效反射。

前期的攻关处理研究,已经形成了以高精度 τ - p 反褶积技术压制海底鸣震、以 SRME 技术压制近偏移距层间多次波、以高精度 Radon 变换技术压制远偏移距残余的多次波、以分频压噪技术压制绕射多次波的处理技术流程,有效地压制了多次波干扰。此外,运用配套的子波处理技术还可消除虚反射及气泡震荡的影响,压缩子波并突出深层有效

将严重降低地震波组的分辨率和信噪比,故只能通过切除处理,放弃这部分数据;而经过各向异性动校正的道集,大偏移距地震道的低频、强能量广角反射波得到校正拉平,但最远道的广角反射波仍存在波形“发胖”的现象(图 7c),还不能全部参与叠加成像处理;经过匹配滤波处理(图 7d)后,广角反射波的波形趋于正常,满足了同相叠加的要求,达到了利用广角反射波提高地震反射能量的目的。在经各向异性动校正和匹配滤波处理后的成果剖面(图 8)上,高速屏蔽层之下地层的成像能量和信噪比得到了明显的提升。

4.3.3 采用各向异性叠前时间偏移成像技术,改善构造复杂的弱反射目标层成像效果

南黄海海相地层非均质性强、速度各向异性强烈,引起大偏移距地震波的旅行时偏离双曲线关系,这时,常规的各向同性偏移成像方法不仅会导致成

像位置误差,而且还会影响成像质量,因此,必须采用各向异性叠前时间偏移技术^[36-37],才能改善构造复杂的目标层的成像效果。

以中部隆起 L₃ 测线为例,图 9 为采用各向异性叠前时间偏移与采用各向同性叠前时间偏移的效果对比图,采用各向异性叠前时间偏移处理后,高速屏

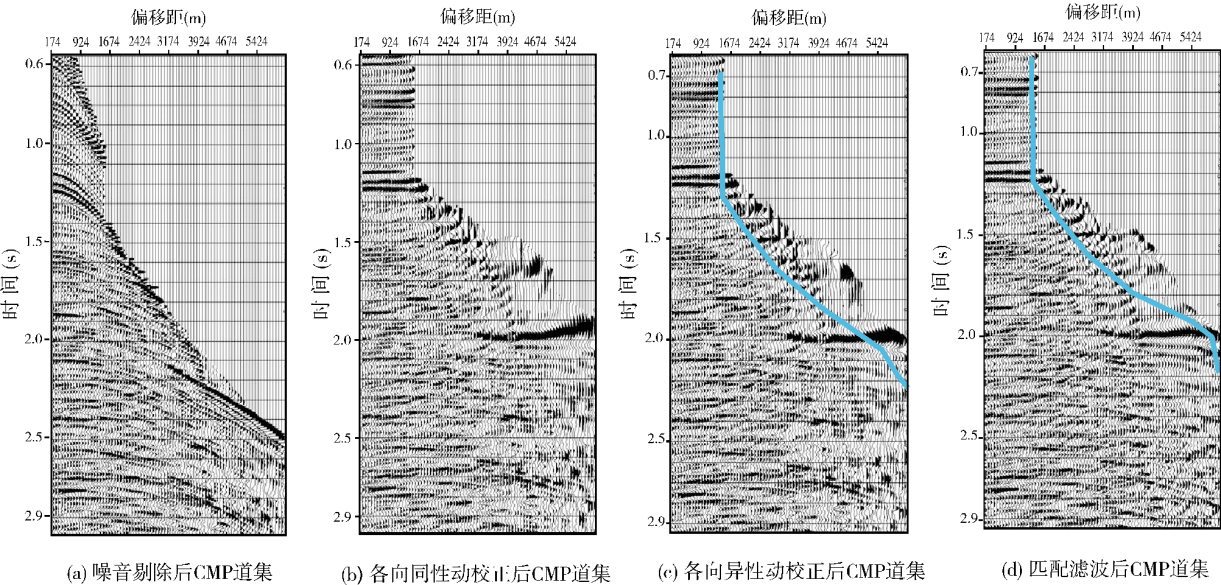


图 7 各向同性动校正与各向异性动校正效果对比图

图中蓝线为切除线

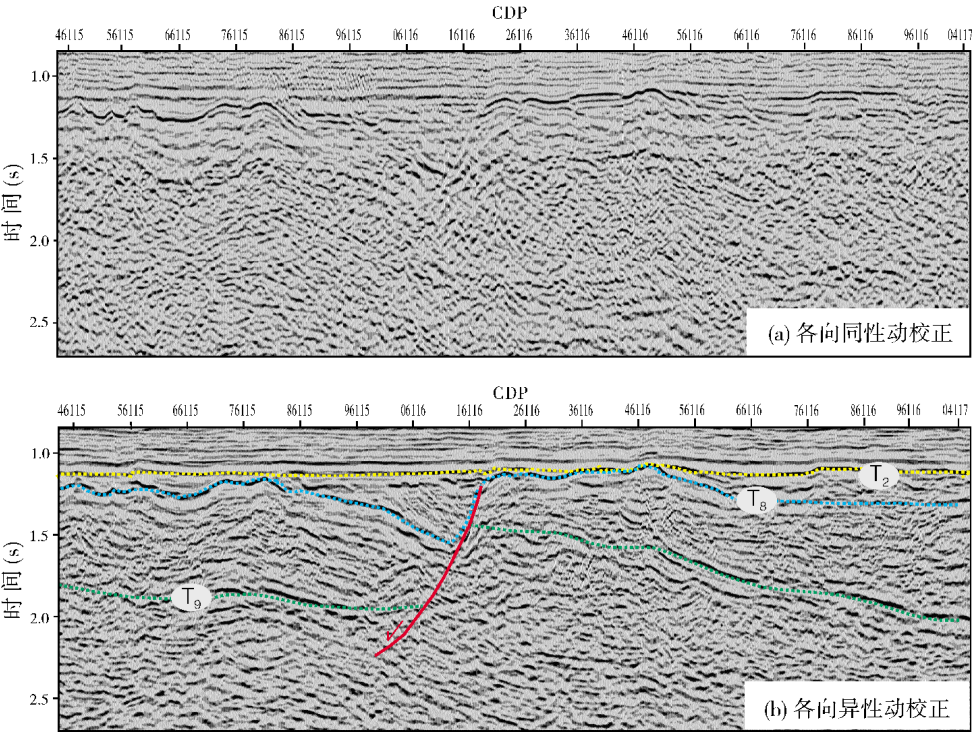


图 8 L₂ 测线各向同性动校正与各向异性动校正的叠加剖面对比图

L₂ 测线位置见图 1。反射层代号见表 1

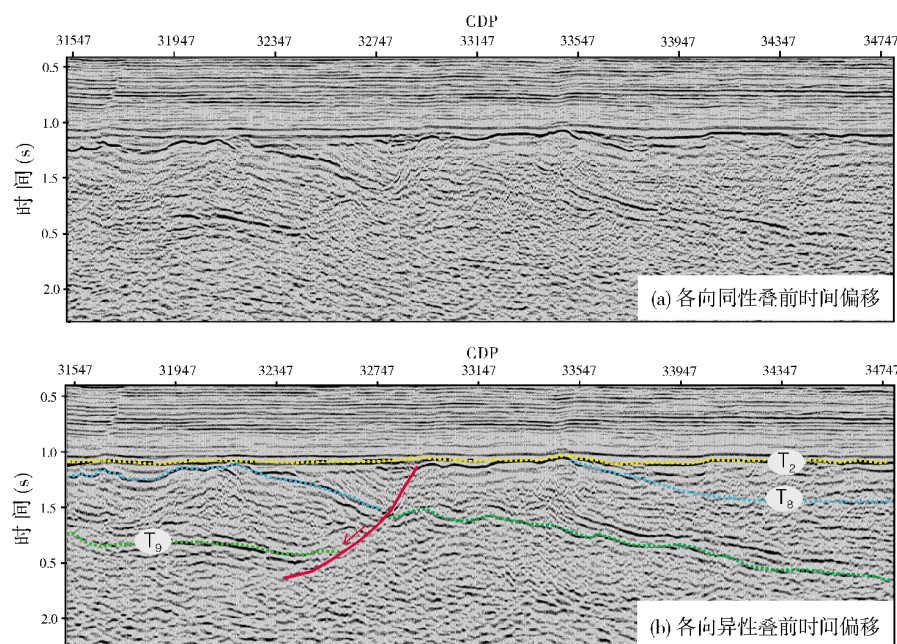


图 9 L₃ 测线各向同性偏移与各向异性偏移处理效果对比图

L₃ 测线位置见图 1。反射层代号见表 1

蔽层之下的反射波组得到了正确归位, 反射波组的信噪比得到提高, 构造形态更加清楚。

5 结 论

南黄海海相碳酸盐岩油气地震勘探面临的主要问题是地震资料多次波发育、深部目标层反射能量弱、信噪比低、成像精度低、资料品质差。造成这些问题的主要因素是地质构造复杂, 地震波场传播路径复杂多变, 在高速屏蔽层的影响下, 地震波向下传播的能量弱, 地震反射信号弱。在分析了问题和难点的基础上, 提出了如下地震勘探的对策。

(1) 加强理论模拟研究, 要研究基于复杂构造和非均匀物性条件下的地震传播机理和反射特征, 分析高速屏蔽层粗糙界面对地震波场的改造及对高频信号的衰减作用, 研究多次波的形成机理和表现特征, 以指导地震资料的采集、处理工作。

(2) 在地震资料采集上, 应采用多层震源延迟激发技术以提高低频成分能量、拓宽频带, 达到穿透崎岖的高速屏蔽层、提高深部目标层反射能量的目的; 采用“长排列、上下缆”的立体宽线地震接收技术, 以达到获得复杂构造的有效信息、压制侧面反射和利用临界角附近的远偏移距强地震反射波能量信息的目的; 大幅度地提高地震叠加次数。

(3) 在地震资料处理上, 配套采用多次波压制技术, 是突出中深层弱反射的有效手段, 针对长排列的各向异性速度分析和各向异性叠前时间偏移是解决复杂构造成像的有效手段。

(4) 运用多学科综合手段和采集、处理、解释一体化技术, 以提高南黄海海相碳酸盐岩地震勘探效果。

参 考 文 献

- [1] 冯志强, 姚永坚, 曾祥辉, 等. 对黄海中、古生界地质构造特征及油气远景的新认识[J]. 海洋地质动态, 2002, 18(11): 17-20.
- [2] 范小林. 南黄海盆地海相领域油气勘探战略思考[J]. 海相油气地质, 2001, 6(4): 35-40.
- [3] 沿海大陆架及毗邻海域油气区石油地质编写组. 中国石油地质志: 卷十六 沿海大陆架及毗邻海域油气区(上册)[M]. 北京: 石油工业出版社, 1998.
- [4] 裴振洪, 王果寿. 苏北—南黄海海相中古生界构造变形类型划分[J]. 天然气工业, 2003, 23(6): 32-36.
- [5] 吴志强, 吴时国, 童思友, 等. 基于南黄海海相油气勘探的地震采集技术研究[J]. 地球物理学报, 2011, 54(4): 1061-1070.
- [6] 吴志强, 陆凯, 施剑. 南黄海沉积层纵波速度与地震反射特征[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2011, 31(2): 73-77.
- [7] 姚伯初. 黄海海域地质构造特征及其油气资源潜力[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2006, 26(2): 85-93.
- [8] 吴志强. 黄海地层岩石地球物理特征及其对地震勘探技术的挑战[J]. 中国海上油气(地质), 2003, 17(6): 407-411.
- [9] 吴志强, 温珍河. 南黄海前第三系油气勘探策略[J]. 海洋地质动态, 2006, 22(6): 20-24.

- [10] 侯方辉,张志珣,张训华,等. 南黄海盆地地质演化及构造样式地震解释[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2008, 28(5): 61-68.
- [11] 王建华,李庆忠,邱睿. 浅层强反射界面的能量屏蔽作用[J]. 石油地球物理勘探, 2003, 38(6): 589-596.
- [12] 冯永强,石平,薛爱民,等. 南黄海前新生代地震资料处理实践[J]. 海洋地质动态, 2008, 24(8): 26-35.
- [13] 吴志强,刘协来,陈茂根,等. 叠前时间偏移技术在南黄海相地层地震成像中的应用[J]. 海洋地质前沿, 2012, 28(2): 40-44.
- [14] 吴志强,陆凯,闫桂京,等. 南黄海前新生代地球物理勘探方法[J]. 海洋地质动态, 2008, 24(8): 1-7.
- [15] 吴志强,施剑,童思友,等. 南黄海沉积层地震反射特征模拟分析与勘探技术选择的思考[J]. 海洋地质动态, 2010, 26(12): 14-18.
- [16] 余德平,管路平,徐颖,等. 应用低频信号提高高速玄武岩屏蔽层下的成像质量[J]. 石油地球物理勘探, 2007, 42(5): 564-567.
- [17] 余德平,吴继敏,李佩,等. 低频信号在玄武岩地区深层成像中的应用研究[J]. 河海大学学报:自然科学版, 2006, 34(1): 83-87.
- [18] KRAGH E, SVENDSEN M, KAPADIA D, et al. A method for efficient broadband marine acquisition and processing[C]// Amsterdam: 71st EAGE Conference and Exhibition, 2009.
- [19] CAMBOIS G, LONG A, PARKES G, et al. Multi-level airgun array—A simple and effective way to enhance low frequencies in marine seismic[C]//Amsterdam: 71st EAGE Conference and Exhibition, 2009.
- [20] 全海燕,陈小宏,韦秀波,等. 气枪阵列延迟激发技术探讨[J]. 石油地球物理勘探, 2011, 46(4): 513-516.
- [21] 周锦明. 地震广角反射的应用[J]. 石油地球物理勘探, 1989, 24(5): 512-522.
- [22] 刘宏伟,董幼瑞. 陵北玄武岩发育区广角—转换波地震勘探[J]. 物探化探计算技术, 2004, 26(3): 199-202.
- [23] 胡中平,管路平,顾连兴,等. 高速屏蔽层下广角地震波场分析及成像方法[J]. 地球物理学报, 2004, 47(1): 88-94.
- [24] 王志,贺振华,黄德济,等. 高速屏蔽层下弱反射层地震勘探——广角反射[J]. 勘探地球物理进展, 2002, 25(5): 23-27.
- [25] 吴志强,童思友,闫桂京,等. 广角地震勘探技术及在南黄海前古近系油气勘探中的应用前景[J]. 海洋地质动态, 2006, 22(4): 26-30.
- [26] MOLDOVEANU N, COMBEE L, EGAN A M, et al. Over/under towed-streamer acquisition: A method to extend seismic bandwidth to both higher and lower frequencies. The Leading Edge, 2007, 26(1): 41-58.
- [27] 赵仁永,张振波,轩义华. 上下源、上下缆地震采集技术在珠江口盆地的应用[J]. 石油地球物理勘探, 2011, 46(4): 517-521.
- [28] BARR F J. Dual-sensor OBC technology[J]. The Leading Edge, 1997, 16(1): 45-51.
- [29] HOFFE B H, LINES L R, CARY P W. Applications of OBC recording[J]. The Leading Edge, 2000, 19(4): 382-391.
- [30] 王振华,夏庆龙,田立新,等. 消除海底电缆双检地震资料中的鸣震干扰[J]. 石油地球物理勘探, 2008, 43(6): 626-635.
- [31] 贺兆全,张保庆,刘原英,等. 双检理论研究与合成处理[J]. 石油地球物理勘探, 2011, 46(4): 522-528.
- [32] 吴志强,肖国林,董贺平,等. 基于南黄海盆地海相油气的海洋立体宽线地震勘探技术设想[J]. 海洋地质前沿, 2012, 28(8): 56-60.
- [33] 孙成禹,倪长宽,李胜军,等. 广角地震反射数据特征及校正方法研究[J]. 石油地球物理勘探, 2007, 42(1): 24-29.
- [34] 孙祥娥,罗国安,金文显. 长排列条件下三种时距曲线方程精度分析[J]. 石油地球物理勘探, 2010, 45(2): 244-247.
- [35] 庄道川,曾庆才,张亚斌,等. 超大偏移距地震资料处理方法[J]. 西南石油学院学报, 2003, 25(2): 11-14.
- [36] 孙长赞,王建民,冯文霞,等. 各向异性叠前时间偏移技术

编辑:董庸,金顺爱

Technical Difficulties and Countermeasures of Petroleum Seismic Exploration in the South Yellow Sea Basin

Wu Zhiqiang, Luo Di, Zeng Tianjiu, Xiao Guolin, Zeng Youai, Sun Yunbao

Abstract: Thick Paleozoic-Mesozoic marine carbonate strata are deep buried and wide distributed in the South Yellow Sea residual basin, in which oil and gas exploration is still in prospect investigation and evaluation stages. Analysis shows that there are many difficulties of seismic data acquisition and processing caused by the special seismic and geological conditions in this area, which are: the complex and changeable propagation path of seismic waves caused by complex geologic structures, the propagating-down seismic wave amplitude getting weak resulted by high-velocity carbonate shield layers, and poor environments of marine seismic work, and so on. Based on the complex difficulties and conditions such as seismic multiples, reflected amplitude weak and low SNR of deep target layers, the low-accuracy seismic imaging and the poor data quality, some corresponding strategies of exploration are put forward that: 1) going deep into study of theoretical simulation, 2) applying the time-lapse explosion of multilevel airgun array and the stereo broad-line reception by "expanding reflection spread and over/under streamers" to broaden the seismic bandwidth and promote the reflection energy of deep layers; 3) suppressing multiple waves to improve weak reflection energy of middle to deep target layers; 4) analyzing the anisotropic velocity for expanding reflection spread and the anisotropic pre-stack time migration to improve the ability of complex structure imaging.

Key words: Oil and gas exploration; Seismic exploration; Exploration difficulty; Exploration countermeasures; South Yellow Sea Basin

Wu Zhiqiang; male, DSc., Professor. Add: Qingdao Institute of Marine Geology, 62 Fuzhounan Rd., Qingdao, 266071, China