

海上多波多分量地震勘探技术 现状及应用展望

张树林¹, 张 懿²

(1 中国海洋石油总公司国际石油勘探中心, 北京 100027;

2 中国地质大学(武汉)资源学院, 武汉 430074)

摘 要:中国海域多波多分量地震勘探经历了 2 个阶段。第 1 阶段始于 1995 年, 为前期可行性研究阶段, 系统分析了莺歌海盆地、琼东南盆地纵横波地震参数及其衍生参数的变化规律。研究认为, 多波多分量地震技术在莺歌海盆地、琼东南盆地的应用是可行的。第 2 阶段始于 1998 年, 为现场试验及室内研究阶段。在这一阶段共采集了 3 批多波多分量地震数据(即有二维, 也有三维), 并研发了多波多分量地震数据处理与解释系统。中国海域多波多分量地震勘探取得了良好的地质效果, 证明了多波多分量地震技术可以解决勘探中遇到的棘手难题。

关键词:多波多分量地震; 岩石物理; 构造; 储层预测; 莺歌海盆地

中图分类号:P631.4 **文献标识码:**A

早在 1828 年, 泊松就从理论上证明了地震波(弹性波)由纵波和横波组成^[1]。地震勘探包括纵波勘探、横波及转换横波勘探, 即所谓的多波勘探。从全球来看, 多波多分量(后文简称多波)地震勘探的发展已经经历了 3 个阶段。20 世纪 30 年代, 前苏联、美国进行了横波(SH 波)勘探和转换横波(P—SV 波)勘探的研究和试验。这个阶段的主要目的是想利用横波或转换横波的相对较高的分辨率来开展勘探, 但由于当时没有高能量的 SH 波震源, 加之 P—SV 波的记录很复杂, 横波、转换横波的分辨率提高不是很明显^[2]。20 世纪 80 年代初期, 全球形成了多波联合勘探的热潮。这个阶段的多波勘探的主要目的是识别真假亮点, 预测岩性, 但由于其费用高, 加之 AVO 技

术的出现, 使得多波勘探的发展和应用受到影响。20 世纪 90 年代以来, 又一次掀起了多波勘探的热潮, 这个阶段主要是想利用多波地震数据来研究地层各向异性, 预测裂缝油气储层和油气层, 但由于各向异性的问题过于复杂, 未能进入实用阶段。海上多波出现相对陆地较晚, 但海域多波勘探技术发展很迅速。20 世纪 80 年代, 在墨西哥湾海域利用 P—SV—SV—P 波进行了勘探, 但未能得到推广应用。20 世纪 90 年代以来, 由于 OBC 的出现使得海域多波地震勘探技术发生了飞跃性的变化^[3]。

2013 年 11 月初, 由中国地球物理学会主办、中国石化“多波地震技术”重点实验室等单位共同承办的中国首届“多波多分量地震技术发展论坛”在北京召开。中国石油界和学术界又掀起了一轮多波地震技术研究与应用的高潮。本文总结会议主旨, 从 3 个方面简要介绍了中国海域多波地震技术现状及未来的应用展望。

收稿日期:2014-05-19

作者简介:张树林(1965—), 男, 博士, 研究员, 主要从事石油物探及油气地质综合研究工作。E-mail:zhangshl3@cnooc.com.cn

1 多波地震数据的采集

中国海域的第 1 次多波地震数据采集是在南海海域莺歌海盆地。20 世纪 80 年代末至 90 年代初中期,勘探家们利用亮点、AVO 等技术在莺歌海盆地先后发现了乐东 22-1 等气田。利用纵波地震资料落实了一批未钻圈闭,不但有构造型圈闭,而且有一批砂岩岩性型圈闭。初步研究认为,莺歌海盆地和琼东南盆地具备发现万亿大气区的地质条件。在勘探过程中,最为突出的难题有 2 个:一是浅层、中深层圈闭落实难;二是烃类预测难。莺歌海盆地广泛发育泥底辟和“气烟囱”(图 1)。泥底辟分为弱能量型、中能量型和强能量型 3 类。泥底辟的发育和幕式活动为油气成藏提供了良好的运移条件,但这种泥底辟的发育严重影响纵波地震成像。浅层气层的发育对纵波高频能量有强烈的吸收和屏蔽作用。低速气层的存在导致下覆地层地震反射同向轴出现严重的下拉现象,使得下覆圈闭落实难度很大,从而严重影响圈闭成藏条件研究和资源量的计算。利用常规亮点技术预测莺歌海盆地气层也有严重的多解性。研究发现,莺歌海盆地纵波地震剖面上的强反射的形成原因有多种:砂岩含气可以导致纵波地震剖面上出现亮点;岩性的变化或者含钙质也可以导致纵波剖面上出现强反射。如乐东 8-1-1 井的钻探失利就是因为亮点技术和 AVO 技术的判断失误造成的。如此一来,如何提高气层预测的准确性就成了急迫的问题。

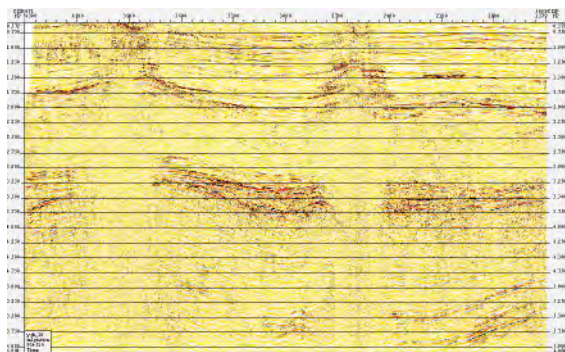


图 1 莺歌海盆地某测线的纵波叠前时间偏移剖面

Fig. 1 Pre-stack time migration profile of P-wave in Yinggehai Basin

为了解决上述勘探难题,勘探家们想到了基于 OBC(海底电缆)的多波地震勘探技术。当时国外有多个盆地应用这一技术很好地解决了上述类似问题。为了预判莺歌海盆地和琼东南盆地是否具备应用多波地震技术的地质条件,中国石油公司开展了第 1 阶段的前期研究工作。

2 海上多波地震勘探的 2 个阶段

2.1 第 1 阶段:1995—1997 年前期可行性研究阶段

在这一阶段,主要利用莺歌海盆地和琼东南盆地的岩心测试数据和全波列测井数据对岩石物理、纵横波地震参数及衍生参数进行了详细的研究分析^[4]。主要包括以下 5 个方面的研究内容。

(1)对莺歌海盆地和琼东南盆地含不同流体储层弹性模量、纵横波速度与速度比及泊松比的变化规律进行了研究。研究发现,莺歌海盆地和琼东南盆地的砂岩储层含天然气和含盐水时的体积模量和剪切模量的变化规律是不同的。不论含盐水还是含气,它们的剪切模量几乎是不变的,但含气砂岩的体积模量明显低于含盐水。这说明,不管砂岩含什么流体,其横波速度均没有明显变化,横波传播与孔隙流体没有关系,表明浅层气层对横波能量的传播没有什么影响,但纵波速度与流体类型关系比较密切。含气时的纵波速度低于含盐水时的速度。

同时,中国石油公司在实验室测试了莺歌海盆地含不同流体砂岩的纵波传播速度和横波传播速度,测试结果发现,含天然气与含盐水的砂岩岩心的横波速度几乎一样,而纵波速度则不同。含气砂岩岩心的纵波速度明显低于含盐水岩心的纵波速度,含气砂岩岩心的纵横波速度比和泊松比均低于含盐水砂岩岩心的纵横波速度比和泊松比。含天然气砂岩岩心的平均纵横波速度比为 1.556,平均泊松比为 0.148;而含盐水砂岩岩心的平均纵横波速度比为 1.782,平均泊松比为 0.27。

位于琼东南盆地的崖城 13-1 气田是南海海域最大的气田。该气田有 4 口井做了全波列测井。分析发现,该气田泥岩盖层的纵波速度明显

高于气层,盖层横波速度略低于气层。盖层的纵横波速度比和泊松比明显高于气层。

(2)对纵横波波阻抗与纵横波速度比、泊松比的相关性进行了研究。制作了利用多波地震参数预测地层岩性和储层流体的量版,为多波地震资料的应用打下了良好的基础。

(3)对纵横波地震速度、波阻抗、岩石密度和孔隙度的关系进行了研究。研究后发现,莺歌海盆地的砂岩孔隙度与纵横波速度比的相关性不好。这预示着很难应用纵横波地震参数来预测储层孔隙度。

(4)对纵横波速度、速度比与温压的关系进行了研究。莺歌海盆地和琼东南盆地都是高温高压盆地。该研究为压力预测提供了依据。

(5)开展了正演模拟研究。设计了 2 个地质模型:①气砂岩模型;②含钙质砂岩模型。分别进行了纵波、纯横波和转换横波的模拟,结果为后续多波地震数据的解释和应用起到了很好的指导作用。

上述研究表明,多波地震勘探技术在莺歌海盆地、琼东南盆地的应用是可行的,有望解决棘手的勘探难题。

2.2 第 2 阶段:1998—2002 年现场试验及室内研究阶段

(1)现场试验阶段 从 1998 年起,中国石油公司在中国海域共开展了 3 次多波地震数据采集,共采集了 1 372 km 的二维多波地震数据,46 km² 的三维多波地震数据。

1998 年,在莺歌海盆地 LD22-1、LD15-1、LD8-1 及 LT33-1 构造上采集了 8 条测线的二维多波地震数据,总计 132 km。

2000 年,在琼东南盆地崖城凹陷采集了 4 条测线的二维多波地震数据,测线总长度 200 km 左右,意在探讨多波地震数据在开发崖城 13-1 气田上的应用效果。

蓬莱 19-3 油气田是在渤海湾海域发现的一个巨型油气田。该油气田南部发育了一大片“气云”^[5]。“气云”的发育严重地影响了气层圈闭的落实,使得蓬莱 19-3 油气田储量评估存在困难。为了解决这一难题,中国石油公司在蓬莱 19-3 油气田南部采集了 1 040 km 的二维多波地震数据,

应用效果很好。之后,又在该油气田采集了 46 km² 的三维多波地震数据^[6]。

海域多波地震采集基于海底电缆(OBC),使用双船作业,1 个地震作业船,船上配备了 8 条空气枪震源;1 个地震记录船,用以记录地震数据(3 个速度分量,3 个压力分量)。具体采集参数不再赘述^[7]。

(2)室内研究阶段 从 1997 年起,就开展了海上多波地震数据处理与解释方法研究及模块研制工作。经过几年的努力,成功开发了 OMS 海上多波地震系统,研发了包括共转换点道集分选、P 与 Z 分量叠加压制海底多次波、转换波静校正、转换波速度分析在内的多波地震数据处理模块。在多波地震数据解释方面,研究开发了纵、横波地震层位标定与对比方法及模块;研发了多波地震参数及衍生参数计算、多波地震岩性与流体预测、地层岩石各向异性预测方法与模块。多波地震数据处理与解释系统的开发为海域多波地震数据的应用提供了良好的技术支撑。

3 海上多波地震试验

3.1 P—SV 波分辨率高于纵波

通过对莺歌海盆地中、浅层纵横波速度及频谱分析后发现,中浅层转换横波的分辨率明显高于纵波数据。在转换横波剖面上能够很好地识别出纵波不能识别的小断层及微幅度构造(图 2)。

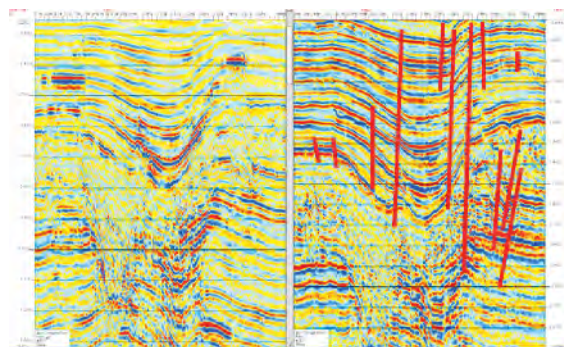


图 2 莺歌海盆地纵波(左)、横波(右)地震剖面
Fig. 2 Seismic profiles of P-wave (left) and S-wave (right) in Yinggehai Basin

3.2 浅层、中深层构造型圈闭和岩性圈闭

很好地落实了浅层、中深层构造型圈闭和岩性圈闭,并把莺歌海盆地纵波反射模糊带分为3类:

(1)浅层气屏蔽型(单纯的“气云”型) 这种类型的纵波反射模糊区是由浅层气屏蔽和浅层气对纵波地震波能量的强烈吸收造成的,泥拱不强烈,属于弱能量型泥拱。泥拱产生的微裂隙不足以导致反射同向轴错断。这种类型的纵波反射模

糊带在转换横波剖面上是不存在的。也就是说在转换横波反射剖面上,成像很好,不但气层下覆地层反射能量没有变化,而且也不会出现同向轴下拉现象,能够真实地反映地层和构造的本来面貌。综合利用纵横波地震资料可以很好地解决了砂体及油气层横向分布问题(图3)。对比渤海海域蓬莱19-3油气田纵、横波地震剖面后不难看出,纵波剖面上的“气云”模糊带在转换横波剖面上是不存在的,转换横波剖面成像很好。

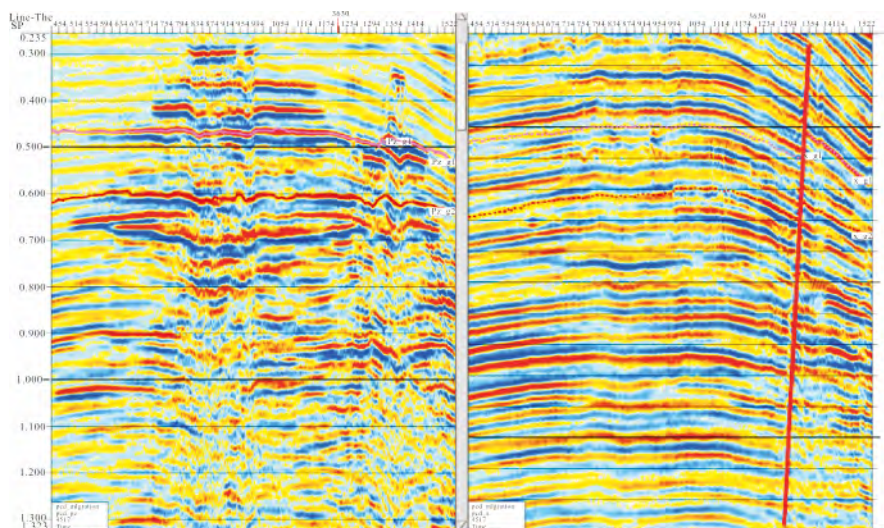


图3 莺歌海盆地纵波(左)、横波(右)地震剖面

Fig. 3 Seismic profiles of P-wave (left) and S-wave (right) in Yinggehai Basin

(2)浅层气屏蔽与微裂隙共同作用型 中、强能量型泥拱会形成有一定断距的裂隙或微小断层。这种裂隙不但在纵波地震剖面上能够反映出来,也能在转换横波地震剖面上反映出来。这种泥拱型微小断层多且杂乱,导致纵、横波地震剖面上均会出现一定程度的错断,从而出现反射成像变差。但由于转换横波的成像不受浅层气的影响,所以,这种类型的纵波反射模糊带在转换横波剖面上成像较纵波有所改善,但改善没有第1类好。

(3)地层岩石高度破碎型或火成岩型 这种类型的纵波模糊带在转换横波地震剖面上也发育,且成像没有本质性改善。

另外,国内外部分地球物理学家认为,深层转换横波能量一般不如纵波。但从莺歌海等盆地的转换横波地震剖面来看,深层转换横波的能量依旧很强。相比于纵波,更能反映出地层的形态。

利用转换横波,可以很好地落实中、深层构造和圈闭。同时,利用转换横波资料,可以很好地落实生烃凹陷及凹陷规模问题(图4)。

3.3 储层岩性预测和流体预测

在莺歌海盆地及海域其他盆地的油气勘探中,经常发生钻前含油气性预测与钻后结果不一致的现象。以莺歌海盆地 LD8-1-1 井和 Y2 井钻探的砂岩岩性圈闭为例。钻前利用亮点、AVO 等技术对这2个砂体圈闭进行了含流体性预测,认为均含天然气。钻后发现,Y2井预测结果与钻探结果一致,是含气砂体;而 LD8-1-1 井钻遇的砂体却不含气,钻前预测结果是错误的,保幅地震剖面上的强振幅是由于含钙质引起的。

利用多波地震资料对这2个砂体进行了分析(图5)。从纵横波地震剖面看,Y2井钻遇的含气

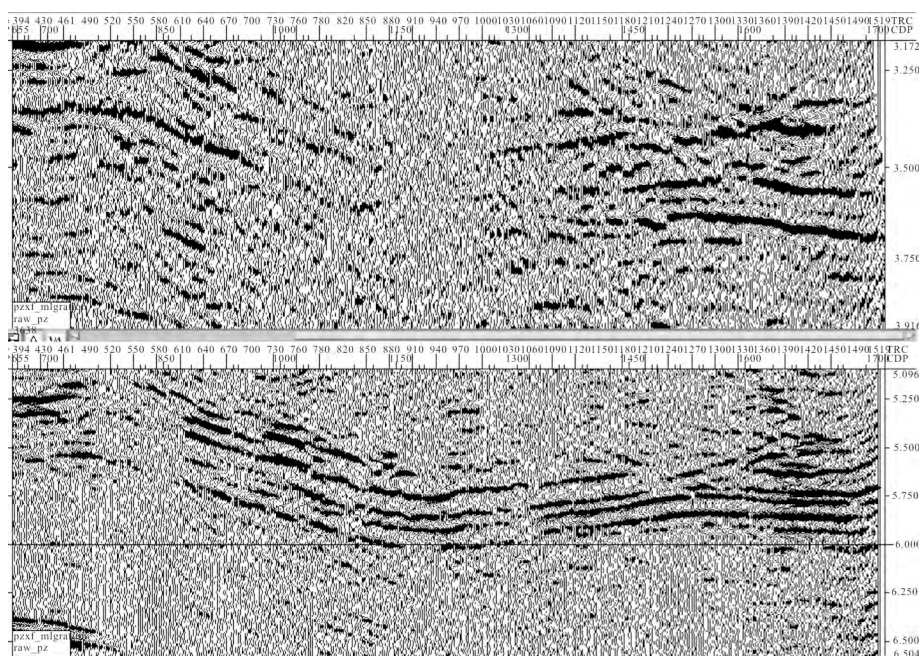


图 4 莺歌海盆地纵波(上)、横波(下)地震剖面

Fig. 4 Seismic profiles of P-wave (upper) and S-wave (down) in Yinggehai Basin

砂体在纵波保幅剖面上是 1 个亮点,而在转换横波剖面上并无亮点出现。LD8-1-1 井钻遇的含钙质砂层在纵、横波保幅剖面上均表现为强振幅反射(含钙质砂层的纵波速度、横波速度均比围岩高)。这说明,直接对比利用纵横波保幅地震剖面就可以直观地预测出砂岩的含流体类型。

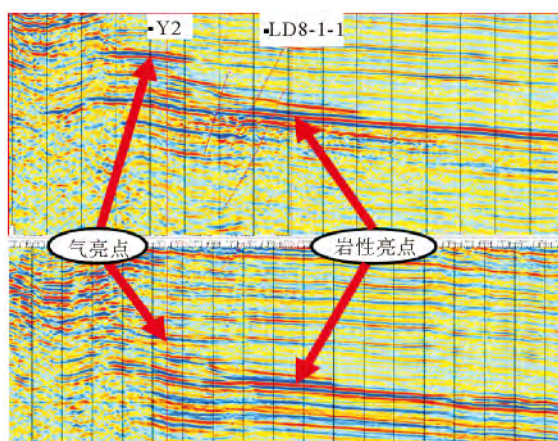


图 5 过 Y2 井与 LD8-1-1 井的纵横波高保真地震剖面
(上:纵波剖面;下:转换横波剖面)

Fig. 5 Seismic profiles of P-wave (upper) and S-wave (down) with preserve amplitude through well Y2 and LD8-1-1 in Yinggehai Basin

另外,从计算的 2 个砂体的纵横波振幅比、速

度比和泊松比来看,Y2 井钻遇的含气砂体具有高纵横波振幅比、低纵横波速度比和泊松比特征;而 LD8-1-1 井钻遇砂体的振幅比、速度比和泊松比则无异常。

莺歌海盆地 LD22-1 与 LD15-1 气田、琼东南盆地崖城 13-1 气田、渤海海域蓬莱 19-3 油气田的纵横波地震资料研究结果均表明,利用高保真的纵横波地震资料是可以准确地预测出砂体及其含流体类型的。

利用目的层 Y 分量地震资料、测线交点的转换横波闭合差及振幅差异、泊松比及计算的准各向异性系数对 LD8-1、LD22-1、LD11-1、LT33-1 目的层地层各向异性进行了初步研究,得出了有意义的结论。

4 多波地震技术发挥更大作用

多波地震必将取代单一的纵波地震勘探而成为常规的油气勘探技术。对于中国海域和海外油气勘探而言,多波地震技术将在以下 4 个方面发挥更大的作用。

4.1 中国海域应用多波地震技术

纵观中国几个海域,均存在一系列的纵波勘

探难题。南海的主要难题有:泥底辟带纵波地震成像、中深层构造成像、非构造型油气藏勘探、高温高压条件下储层预测等系列难题;东海的主要难题有:古近系纵波地震成像问题及隐蔽型油气藏勘探问题;渤海海域的主要难题有:复杂构造纵波地震成像、陆相复杂储层预测和描述、稠油油田开采和剩余油分布预测等系列问题。从上述看出,各海域均存在构造问题、构造型尤其是隐蔽型圈闭储层预测问题。几十年来,纵波地震技术在解决海域勘探难题方面发挥了不可磨灭的作用,但对有些问题,纵波地震技术始终无法很好的解决。

以渤海海域河流相储层为例。该海域储层厚度薄,横向变化非常快,非均质性很严重,砂体连通性差。多期次发育的砂体通常叠置在一起,不同期次的砂体可能连通也可能不连通。同时,该盆地断层非常发育,断层对油气成藏的影响非常大(有时小断层对油气成藏都有控制作用)。纵波地震在渤海海域油气勘探与开发上起到了很大的作用,但仍然不能完全解决所有难题。利用多波地震技术的优势能够更好地解决目前遇到的薄互层储层预测难题。

近年来,中国石油公司加快了走向海外的步伐。非洲是中国石油公司海外勘探的重要战略方向。四大石油公司(中石油、中石化、中海油、保利石油)均在非洲(尤其是西非)有各自的勘探区块。西非海域发育15个叠合型沉积盆地(早期的裂谷盆地叠加晚期的被动大陆边缘盆地)。在被动大陆边缘,发育大量的晚白垩世和古、新近纪浊积扇和浊积水道砂体。这些砂体是西非海域重要的勘探目标。浏览大量的纵波地震剖面后发现,这些海相砂体下覆地层的纵波地震剖面大部分都伴随着反射模糊带,使得下覆构造和圈闭难以准确落实。同时,利用纵波地震资料预测这些砂体的含油气性也经常出现失误。因此,利用多波地震资料有望解决西非海域纵波反射模糊带的问题和砂体含油气性预测难题。

4.2 多波地震技术在地层压力预测、提高油气采收率等方面的应用

中国海域多个盆地存在高温高压(如莺歌海盆地、琼东南盆地)。南海海域也多次发生因为钻

前地层压力预测失误而导致钻井事故。如1991年11月5日开钻的DF1-1-1井因为高压问题发生井涌井漏事故。2000年,西方某石油公司在琼东南盆地崖城凹陷钻探时,也因地层压力预测不准而导致发生事故,损失惨重。

利用单一的纵波速度预测地层压力存在较严重的多解性。纵波速度的降低不但可能由地层压力的变化引起,也可能由地层岩性或流体成分的变化引起。联合利用纵、横波速度可以有效区分纵波速度的降低是由哪种因素引起的。国外有多个联合应用纵横波地震资料预测地层压力的成功实例。

海域有多个油气田进入了开发中晚期阶段,如琼东南盆地崖城13-1气田,已经开采了近20年。对于类似油气田,面临着寻找剩余油气、提高采收率的问题。联合应用纵横波地震资料有望实现上述目的。

4.3 多波地震技术在盐层及盐下成像、火成岩及下覆成像、裂缝描述等方面的应用

据统计,全球发育500~1000个沉积盆地,其中含盐盆地有170~300个,占35%左右。在全球>5亿桶油当量的大型油气田发现中,超过60%位于含盐盆地中。近10年来发现的大型、巨型油气田主要位于含盐盆地深水区(如巴西深水、墨西哥湾深水、西非深水),且几乎都是在盐下层系中。深水含盐沉积盆地是油气勘探十分重要的一类,勘探潜力还十分巨大。

中国石油公司在海外多个含盐盆地的多个区块或油气田拥有股份。以国内某个石油公司为例,该公司在18个国家有27个油气项目,其中有勘探项目13个,勘探项目中有9个项目位于含盐盆地(且主要在深水区),占69.2%。对于纵波地震而言,含盐盆地最大的关键技术难题是盐层成像及盐下成像。盐岩与油气成藏的关系十分密切。盐层顶底成像对油气成藏分析有影响;而盐下成像严重影响盐下构造落实。地震学家们尝试着应用多波地震技术来解决盐层及盐下成像问题,取得了良好的试验效果。

火成岩的发育对油气勘探也有十分大的影响。火成岩的发育对纵波地震能量的下传有较大影响。火成岩常常是油气藏的良好盖层。某些情

况下,火成岩也可作为储层。国内外已经在火成岩内发现了多个油气田。火成岩的识别有难度,国内外发生了多次把火成岩当沉积岩钻探的例子,最后导致钻探失利。国内外初步分析认为,多波地震技术可以有效解决火成岩及下覆地层成像、火成岩预测问题。大庆油田曾经联合利用纵横波振幅比、速度比和泊松比有效刻画火成岩气藏分布范围。

4.4 应用多波地震技术勘探海域天然气水合物

世界上已有多个利用多波地震技术勘探水合物先例。1998 年,勘探家们利用多波地震技术成功地预测了加拿大西北地区的 Mackenzie 三角洲东北端冻土中的天然气水合物。2002 年,勘探家们利用多波地震技术勘探了卡斯卡迪亚古陆的水合物,联合利用 P 波和 S 波速度较好地确定了含天然气水合物带,并量化了水合物饱和度。中国海域水合物资源量巨大,是中国 21 世纪最具商业开发前景的战略资源。多波地震技术可能是海域水合物勘探很有用的技术,主要表现在以下 4 个方面:①南海北部海域实钻水合物厚度较薄,一般在 18~34 m 之间,这就要求地震资料有较高的分辨率。转换横波在水合物埋藏深度的分辨率远高于纵波,分辨水合物的能力比纵波强;②利用多波地震资料可以降低水合物沉积层和之下游离气藏勘探的多解性;③联合利用纵横波地震资料可以更好地勘探渗漏型水合物。④利用多波地震数据可以开展多参数的全波形反演或弹性波反演,进而得到水合物沉积层及围岩的纵横波速度与速度比、泊松比、岩石密度、弹性模量等参数。综合利用上述参数可以有效勘探水合物。

5 结论与建议

5.1 主要结论

(1)OBC 的出现加速了海域多波地震技术的发展。

(2)中国海域的多波地震技术研究与应用已经走过了 2 个阶段。第 1 阶段的岩石物理研究是十分重要的基础研究。

(3)中国石油公司在海上多波地震资料处理

与解释方法研究及模块研制方面已经取得了初步的成果。

(4)多波地震技术在中国海域油气勘探中取得了良好的地质效果,值得大力推广。

(5)多波地震技术有望在中国海域复杂构造落实、复杂储层预测、地层压力高精度预测及寻找剩余油气、提高油气采收率等方面发挥更大的作用。

(6)中国石油公司在走向海外勘探的过程中,遇到了诸如盐岩自身(盐岩顶底)及盐下成像、火成岩及下覆成像、碳酸盐岩裂缝描述及预测等方面的关键技术难题,多波地震技术有望在解决上述难题方面发挥良好的作用。

(7)中国海域水合物资源量巨大,是未来最重要的替代能源。多波地震技术是勘探水合物的有效技术。

5.2 主要建议

(1)重视技术发展 从技术角度考虑,多波地震的发展趋势有以下几个方面:①继续发展超多道高分辨率地震采集技术;②深化研究基于处理、解释一体化的纵横波联合叠前深度偏移;③发展基于方位各向异性、高分辨率、高保真、高信噪比多波地震技术;④下大力气,开展纵横波层位高精度对比方法研究;⑤深化研究纵横波 AVO 联合反演问题。顾汉明等在多波 AVO 方面做了大量的研究工作,取得了丰富的成果^[8-10]。建议国内地球物理学者在此基础上继续深化多波 AVO 方面的研究,为储层预测做出更大的贡献;⑥多波地震勘探、开发一体化。

(2)加强基础研究 例如,加强各类岩石的实验室研究工作,总结它们的岩石物理规律,为多波地震技术的广泛应用打下良好的基础。

(3)加大投入 目前国内在多波地震技术方面的技术水平与国外的差距还比较大。多波地震还一直处于试验应用阶段,离商业化应用还有一段距离。建议各方加大人力、物力的投入,尽早使多波地震技术走向商业化应用阶段。

参考文献:

- [1] 张树林.地震勘探新领域[J].天然气地球科学,1993,7(1): 31-39.

- [2] 张树林,朱介寿. 横波激发新技术[J]. 地球科学进展,1991,11(1):49-53.
- [3] 姚 姚. 多波地震勘探的发展历程和趋势展望[J]. 勘探地球物理进展,2005,14(3):169-173.
- [4] 张树林. 莺琼盆地纵横波地震参数及衍生参数的变化规律[J]. 中国海上油气,2001,17(3):214-219.
- [5] 刘春成,刘宝睿. 渤海多波地震勘探在复杂构造研究中的初步应用[J]. 铀矿地质,2006,25(4):235-238.
- [6] 田立新,夏庆龙,刘春成,等. 多分量地震勘探在渤海海域的应用[J]. 石油勘探与开发,2005,29(3):78-83.
- [7] 张树林. 海上多波多分量地震采集技术的应用[J]. 天然气地球科学,2005,19(1):103-107.
- [8] 顾汉明,江 涛,朱培民,等. 海底多波多分量 AVO 反演岩性参数的敏感性分析[J]. 石油物探,1999,31(6):36-43.
- [9] 顾汉明,王家映,江 涛,等. 海底多波多分量 AVO 蕴含弹性参数信息的定量分析[J]. 石油地球物理勘探,2000,33(1):56-62.
- [10] 顾汉明,张太保,王家映,等. 海底多分量数据的弹性参数多尺度反演[J]. 石油物探,2002,34(1):65-71.

CURRENT STATUS AND FUTURE DEVELOPMENT OF OFFSHORE MULTIWAVE AND MULTICOMPONENT SEISMIC SURVEY IN CHINA

ZHANG Shulin¹, ZHANG Yi²

(1 International Petroleum Exploration Center of CNOOC, Beijing 10027, China;

2 Faculty of Earth Resources, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China)

Abstract: The development of multiwave and multicomponent seismic survey in the China Seas could be divided into two stages. The first stage, began in 1995, is the preliminary feasibility study with the mandate to systematically analyze the variation in p-wave and s-wave seismic parameters and their derived parameters in the Yinggehai Basin and Qiongdongnan Basin. Results suggest that it is feasible to apply the multiwave and multicomponent seismic technique in these basins. The second stage, started from 1998, is the stage of field test and indoor research. Three batches of multiwave and multicomponent seismic data (both 2D and 3D) are collected. Moreover, the multiwave and multicomponent seismic data processing and interpretation system is developed during this stage. Facts show that the method of multiwave and multicomponent seismic survey is effective in China Seas, and it can solve some difficult problems encountered in exploration and worth to be used in the other parts of China Seas. It could also be used to solve the key technical problems encountered in the oversea exploration by Chinese oil corporations.

Key words: multiwave and multicomponent seismology; rock physics; structure; reservoir prediction; Yinggehai Basin