

# 海洋地震勘探检波点声学定位数据处理及应用研究

王兴华

(中海油田服务股份有限公司(物探事业部), 天津 300450)

**摘要:** 海洋地震勘探中检波点声学定位技术是海洋地震勘探的核心技术之一,但由于海底地质条件复杂,造成了检波点声学定位存在严重的噪声干扰和波阻抗参数难以确定等问题,给实际应用带来了困难。因此,对检波点声学定位数据进行降噪处理和波阻抗参数精确计算是十分必要的。本文针对海洋地震勘探检波点声学定位数据噪声干扰问题,提出了改进的信号处理方法和高精度波阻抗标定方法,并进行了实际应用。研究结果表明,在实际应用中将该方法与常规信号处理方法结合起来会得到较好效果。

**关键词:** 海洋地震勘探 检波点声学定位 数据处理 应用研究

**DOI:** 10.12319/j.issn.2096-1200.2022.36.169

海洋地震勘探是在海洋中进行地震勘探,其勘探工作主要包括:海底地震勘探、海底浅层三维地震数据采集、水深测量等。海底地质条件复杂,给海洋地震的检波点声学定位带来了困难。检波点声学定位技术是在海洋中进行三维地震探测的核心技术之一,通过在海底布置检波器来记录声波的传播路径和位置来实现对目标区的地质构造探测。目前,检波器的主要类型有三种:被动式、主动式和主动型。从工作原理上讲,被动式检波点技术属于人工震源探测中最简单实用的一种,它通过在海底设置一系列人工震源(一般为人工井)来实现对目标区的声波反射波接收并进行处理分析;主动式检波点技术属于人工震源探测中最复杂、难度最大的一种,它需要布置大量人造震源来接收目标波场信号并进行处理分析;而主动型检波点技术属于主动式探测中最复杂,它通过发射一定频率的声波来接收目标波场信号并进行处理分析。其中前两种技术都属于被动式技术类型,后两种类型属于主动式技术类型。从工作原理上讲,被动式检波点是利用声波在传播过程中遇到障碍物时会发生反射或者折射等现象造成声波传播路径与实际地质情况不一致而产生误差而影响勘探结果;主动型检波点则是利用人工震源和仪器对海底采集到的声波进行记录计算后再进行处理分析从而得到探测目标区地质构造信息。

## 一、海洋地震勘探检波点声学定位技术的发展现状、历史和研究意义

### (一) 发展现状

我国海域广阔,近海海域海底地质构造复杂。我国海陆地震勘探都采用了检波点声学定位方法,并取得了一定的效果。其中在我国南海地区采用了基于海底电缆的海底

检波器声学定位方法进行地震检测,这种方法在实际应用中取得了良好的效果和经济效益,为我国海洋地震勘探提供了可靠的依据并形成了相关配套设施;在我国东海地区采用主动式检波点声学定位方法进行海陆地震勘探,这种方法也为我国海洋地震勘探提供了可靠的数据支持和技术保障。

检波点声学定位技术是一种有效的地质解译方式,可以为目标区提供准确的地震解释资料。

应用检波器的方式有很多种:(1)埋置在地下,直接利用检波器接收从海面传来的反射波;(2)埋置在海底,通过电缆发射信号;(3)埋置在海底,利用人工震源发射声音信号。

应用海底电缆检波点声学定位技术在海陆地震勘探中已取得良好效果和经济效益。但是我国大部分海域海底地质构造复杂、水深较大、浅层岩石性质不均匀且易出现断层等地质构造及各种类型的海洋工程活动使海陆地震勘探面临着许多困难和挑战。近年来,随着科技的进步和对海洋科学的深入研究,传统海洋地震勘探技术受到了很大的挑战,传统的检波点声学定位技术已经无法满足实际工作的需求。

### (二) 发展历史

近几年,随着海底地震勘探的发展,传统检波技术和数字处理技术在地球物理勘探中得到了广泛的应用。因此,为了提高传统检波点声学定位技术在海底地质构造探测方面的效果,人们开始研究利用数字处理技术来对传统检波器进行改造从而提高海洋地震勘探检测分辨率。20世纪70年代以来,一些具有创新意义和实用价值的检波器陆续被研制出来:如基于不同介质特征的三参数(频率、振

幅、相位)检波器、基于频率偏移原理研究检波定位技术等。20世纪80年代以来,一些国家如美国、英国、加拿大等开始进行海洋地震探矿工作[]其中在海洋地震探矿方面比较著名的有:挪威等国家进行了海底浅层地质构造探测和矿产资源调查工作<sup>[1]</sup>。

## 二、勘探过程中所存在的问题

### (一) 海底环境噪声干扰问题

检波点定位过程中,由于海床地形起伏变化较大,波浪作用强烈,从而产生大量的海底环境噪声。检波点接收到的反射波信息由海底地震信号转换而来。检波点到达海底后会受到海水、海底沉积物、海流等影响发生反射:(1)海水:由于波浪、海底沉积物等作用,产生大量干扰信号;(2)海流:当海流过大时,会引起海水横向流速发生变化,使反射波受到影响;(3)岩石密度:由于海底岩石的密度较低,在接收到地震波时会发生反射。由于各测线测点位置和水深不同,因此各测点附近的岩石密度也存在差异;当震源信号在这些测点附近传播时,接收到的波形会发生畸变。以上各种因素共同作用,造成了海洋地震勘探检波点声学定位数据中噪声干扰严重。

### (二) 海洋地震勘探检波点到达海底后的声学反射

检波点到达海底后,对海底地层进行检波,可以直接接收到反射波。由于海洋地震勘探的工作环境比较复杂,特别是在浅海海域,受到海流、海底沉积物等影响较大,因此反射波信息会受到一定影响。这些影响表现为反射强度和波形畸变以及对一些特殊目标的识别。检波点到达海底后主要发生以下三种反射:海水、沉积物和海流。①海水:当检波线之间的距离小于15m时,由于受到波阻以及波浪作用,接收到的波阻不一致。②沉积物:当水深大于15m时,地震波形畸变现象明显;当水深大于15m时,由于波浪作用,信号发生衰减和畸变现象。

③海流:由于在海床表面存在大量流体与海底沉积物的相互作用;因此地震波形会产生畸变、波阻抗也会发生变化。检波点在到达海底后受三种反射的影响很大:海水、沉积物、海流(图1);由于以上影响使检波点信号发生畸变、波阻抗也受变化影响而变化<sup>[2]</sup>。

由于海洋地震勘探中检波点到达海底时存在上述各种影响,所以海洋地震采集到的检波信息与我们常规海洋地震勘探得到的资料在分辨率上存在较大差异。同时,由于环境噪声的干扰造成了检波点距远小于常规海洋地震勘探所得到的距离(图一)。当检波点定位测线之间距离大于15m时,信号反射强度会显著增加;当深度大于15m时会发

生明显畸变。

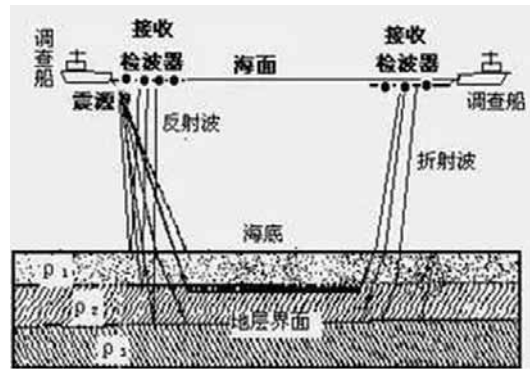


图1 检波点信号变化

### (三) 海洋环境对地震勘探的影响

海洋勘探对海底地形地貌和地质构造会产生一定的影响,其中地震勘探具有明显的优势,对勘探结果起到了决定性的作用。检波点到达海底后,受到海水流动引起的海水横向流速变化和不同深度处岩石密度差异影响,形成了一系列反射信号。在地震波到达海底时,震源处于水下或近水下约1~2m深度处时发生强烈折射,同时地震波波速与入射波速度相等。由于检波点到达海底时速度极快,因此很容易被海水中的泥沙或其他沉积物阻挡而失去反射信号。

因此通过对检波点信号接收过程中产生的海水横向流速变化进行处理可以得到不同深度处地质构造的特征和发育程度。

对于海洋地震勘探而言,由于采用海底检波点作为地震资料采集仪器时需要在一定深度下才能工作并进行数据采集和处理工作。因此需要采用人工检波器对海底岩层进行检测和记录。由于人工检波器在海底的位置、形状和质量等不同于海洋地震勘探采集仪器,所以其采集质量和效率也受到一定影响。

## 三、波阻抗参数计算

根据上述对检波点数据降噪处理的方法和结果,可以将海底地质情况划分为三个区域:①软覆盖层区域;②混合覆盖层区域;③硬覆盖层区域。根据三个区域的特点,结合海底地质情况与检波点位置分布状况,可将海底分为4种不同性质的地层:①岩性界面地层类;②沉积相界面地层类;③岩性夹层地层类;④构造界面地层类。对于第一种类型的地震资料处理方法是声波测井方法计算出海底各层地震波传播速度、传播方向等数据信息,再通过反演法求得各层地震波传播速度。对于第二种类型的地震资料处理方法是声波测井方法计算出水下各层各点记录的反射系数及深度,再结合检波点定位数据对各个记录进

行分析处理,从而得到海底地质情况。由于检波器与目标点距离过远,造成无法获得准确的检波器位置。为提高地震波检测的精度,本文提出了一种利用声波测井计算海水对检波器影响程度和速度的研究方法<sup>[3]</sup>。由于声波测井资料中含有丰富的声速信息,利用测井资料中的声速信息可以求出检波器与目标点之间的距离。利用测井波理论计算各井段测点速度比在海水中进行测点定位时,采用两个相邻测点相之间速度比等于或大于1.5倍测点距进行计算。如果目标距离在0.5~0.8 km范围内有2个不同水深处(从海底最低点到最高点)测点信号衰减相同,则根据速度比即声速差等于或大于1.5倍测点距可以得到不同深度下目标区地震波传播速度,从而可以获得准确的海底地质情况信息。由于检波器与目标点距离较远,因此检波点声波测井资料处理过程中不需要考虑海底地层界面反射波对波阻抗估计的影响。

#### 四、实际数据处理成果分析

根据检波点的理论定位原理,本文所提出的检波信号处理方法,主要用于对检波点声学定位数据进行降噪和波阻抗参数计算。由于海洋环境复杂,噪声干扰较大,本文对改进的方法进行了实际应用。首先在实际数据中选取了10个波阻抗曲线,然后对噪声情况进行分析。结果表明:基于改进的检波点信号处理方法可以有效去除噪声干扰,并精确计算波阻抗参数。

为了进一步验证改进后的信号处理方法和高精度测量技术的有效性,将该方法与常规信号处理方法进行了对比分析。首先针对该方法与传统滤波技术的不同点展开研究:在传统滤波技术中选取了2个参数指标:信噪比和有效波高。通过对比分析,可以得出传统滤波技术在去除噪声方面效果很好,但不能精确计算波阻抗参数;而改进的信号处理方法在消除噪声的同时能获得较高的测量精度,并且有效波高精度能够满足精度要求。根据研究结果以及实际地震资料对改进后信号处理方法和高精度测量技术进行了验证,实验结果表明:改进算法能够有效消除干扰数据造成的影响,提高实际数据采集中检波点定位准确度此外,本文还研究了采用新的检波信号处理和高精度测量技术对检波点声学定位数据进行了分析处理;最后对实际资料进行对比分析表明:将信号处理与高精度测量技术结合起来能够有效地提高信号处理效果以及波阻抗参数计算的准确性。

##### (一) 检波点数据处理

原始检波数据包含较多的随机噪声,并且具有明显的

非线性特征。在进行声学定位处理时,必须要考虑海洋环境的影响;同时,声学定位系统本身也受到来自自身的噪声干扰,这会导致定位精度下降。需要采用虚拟检波器技术进行数据处理。接收到检波信号后,利用FFT变换,得到目标层位参数,并对数据分别进行滤波去噪和波阻抗标定获得目标地震记录。利用高精度波阻抗标定法得到波阻抗曲线。在处理过程中,要充分考虑原始检波数据的非线性特征。通过对检波点进行滤波、波阻抗提取及波阻抗标定等处理步骤后,获得高精度的海底目标层位资料。

##### (二) 海底目标层位偏移方法比较选择

采用多道(多个检波点)采集方式,同时接收两次定位结果。通过对地震记录进行滤波、归一化等处理后,利用反演计算方法求得地层界面的位置和深度,再根据地质的需要进一步计算出断层及有利储层的倾角、方位角,为后续的目标层位偏移提供依据。根据地震记录和地质认识得到的地震界面和地下构造位置关系是不同的,因此可以通过不同的偏移方法对目标层进行处理。在反演过程中,使用不同方法得到的成像结果是不一样的。对于常规地震资料反演,使用多道数据进行联合反演;对于海洋地震学中海底地震检波点声学定位数据处理而言,在地震资料中加入一条虚拟检波点信号记录是最佳组合方式。在实际应用中可以结合多种数据分析对目标层位进行偏移处理,得到不同偏移效果。

本文提出了一种改进的、具有更高精度的波阻抗标定方法。采用该方法对检波点进行声学定位后,其原始数据与实际数据在波阻抗参数上存在较大差异,通过对原始检波点数据进行多次重采样,有效地降低了原始数据中的背景噪声和残余噪声。提高计算精度。通过实际应用证明了该方法是可行有效的,可以为海上地震勘探中检波点声学定位提供一定参考。其目的是为了应用于海洋地震勘探中的检波点声学定位技术更加成熟。

#### 参考文献

- [1]张虹斌,周忠海,刘军礼等.水声定位系统的研制及在海洋勘探中的应用[J].中国水运(下半月),2012,12(12):211-212.
- [2]裴彦良,王揆洋,李官保等.海洋工程地震勘探震源及其应用研究[J].石油仪器,2007(02):20-23,98.
- [3]慕虹,蔡加铭.地震勘探数据处理工程化质量控制方法及其应用[J].石油工业技术监督,2008(01):30-34.