

文章编号: 1001-1749(2023)02-0187-05

川中水域区地震采集技术探讨

任承豪¹, 杨智超², 石勇², 周晓冀², 王雪梅², 王占斌¹

(1. 中国石油东方地球物理公司 综合物化探处, 保定 072750;
2. 中国石油东方地球物理公司 西南物探分公司, 成都 610213)

摘要: 在四川盆地中部, 分布大量河流、湖泊, 以往在该区地震勘探遇到河流湖泊时, 基本采用测线偏移避开水域或直接丢道等方法, 使得地震资料覆盖次数、偏移距的均匀性受到较大影响, 甚至由于丢道太多, 造成资料缺失。随着川中地区勘探精度要求越来越高, 急需解决河流湖泊地震采集技术难题, 但在该地区水域进行地震勘探难度很大, 它们具有分布散、面积小、流动水、水底结构复杂等特点, 成熟的海洋勘探方法难以应用。针对川河流湖泊的特点, 通过多方法构建精确的水域区近地表模型, 对水深、水流速度、水底情况进行精确描述, 利用水面定位, 垂直沉放水下检波器方法, 较好解决了河流湖泊区地震资料采集难的问题。

关键词: 河流; 湖泊; 地震采集; 水体结构模型; 水下检波器

中图分类号: P 631.4 **文献标志码:** A **DOI:** 10.3969/j.issn.1001-1749.2023.02.07

0 引言

四川盆地中部是中国天然气的主产区, 具有丰富的油气资源。近年来, 该地区油气勘探进入了精细勘探阶段, 对地震勘探的要求极高。但是该地区分布大量河流、湖泊, 基本不能进行正常地震勘探, 对地震资料采集影响极大, 对地震资料覆盖次数、偏移距的均匀性都有影响, 甚至由于丢道太多, 造成资料缺失, 在地震剖面上形成缺口、反射空白。

1 川中水域地震采集面临的难题

四川盆地中部水域主要分为河流和湖泊两种, 它们具有分布散、面积小、流动水、水底结构复杂等特点, 河流是流动的水, 水底地形和水流变化复杂。湖泊基本属于静态水, 水下 0.5 m 以下基本无明显

的水流动, 但是湖泊都是依山而建, 水底往往切割剧烈, 水深会从几米快速过渡到 20 m~40 m, 并且水底还有较厚的淤泥层, 相对滩浅海地区水域结构更复杂。与海洋、浅海区域存在较大差异, 海洋或浅滩的地震勘探技术难以借鉴和应用。目前川中水域地震采集所面临的问题:

1) 川中河流湖泊水体结构模型建立难。河流湖泊水底结构如同地表一样复杂多变, 如果借用海洋的浅层剖面法, 由于水面面积小, 成本会很高, 只有寻找一种更方便、经济、有效的方法^[1-3]。

2) 水下检波器定位难。水流和风吹导致水下检波器的移动, 会带来位移误差, 影响成像精度, 如何定位是水下检波器应用的关键技术。海洋勘探中二次定位技术已经较成熟, 由于河流湖泊勘探与浅海滩和海洋勘探相比, 存在深度更浅和面积较小的差异, 不可能完全借鉴海洋勘探中的二次定位技术。

3) 获得高品质水下检波器资料难。选用什么类

型水下检波器、沉放深度、水流速度对接收资料的影响程度如何,野外怎样放置水下检波器才能尽量减少外界的干扰,这些难题都很棘手。

2 水体结构调查

由于川中河流湖泊的水底起伏厉害,静校正问题突出,水体模型精度的高低,直接影响资料成像效果。同时水下检波器灵敏度高,易受到水深、水压、水流速度、水面干扰等因素的影响,因而必须对水体区进行详细的调查,建立水体结构模型,为检波器的放置水深、放置位置、静校正提供参考依据。水体结构模型主要包括水深变化、水流速度、水底岩性等内容^[4-5]。

2.1 水深参数测定

针对川中河流湖泊的特点,我们主要采用物理接触法和回声测深法两大类方法。物理接触法是采用绳子或竿等工具,对水深进行直接测量的方法,该方法适用于水深小于 10 m 的静水湖泊水域,测量精度较高,误差在 2 cm 范围内。物理接触法完成一次测量的时间较长,一般需要 1 min,在流动水域由于测量船位置随时都在变化,采用物理接触法很难垂直测量水体深度,误差在 10 cm 以上。在较深水域,由于浮力,易造成测量绳或测量竿漂移,形成非垂直测量。

回声测深法是利用声波反射的信息测量水深,是利用一组发射换能器在水下发射声波,使声波沿海水介质传播,直到碰到目标后再被反射回来,反射回来的声波被接收换能器接收,根据声波往返的时间和所测水域中声波传播的速度,就可以求得障碍物与换能器之间的距离,计算公式为式(1)。

$$H = \frac{1}{2} \int_{t_r}^{t_r} c(t) dt \quad (1)$$

式中: H 为水底深度; $c(t)$ 为声波在水中的任意时刻的传播速度; t_r 为发射换能器产生声波时的时间; t_r 为接收换能器接收到声波时的时间。

由于声波在淡水中的传播速度是 1 450 m/s,因此在水深 100 m 的情况下,采用回声测深法只需 0.14 s,在流动水域船发生的位移较小,测量的精度也相对较高,在水较深区效果也较好。但是在水体较浅地区,由于声波发生与接收时间间隔太短,10 m 时只有 0.014 s,很容易造成较大误差。因此在水体深度小于 10 m 区域,建议物理接触法测量水深。

2.2 水流速度参数测定

目前水流速度的常规测量方法主要有两大类:

①示踪法;②涡轮感应水流速度测量方法。

示踪法测量结果需采用经验系数修订才能得到水流速度,而经验系数受多种因素的影响,在不同的条件下使用,有较大的随意性。同时经验系数与水流速度有关,这样就出现了循环引用的问题。因此示踪法的精度有限,测定结果难以满足地震勘探要求。

涡轮传感方法的原理是当水流作用于涡轮传感仪器时,水流带动涡轮沿摩擦很小的轴转动,旁边的磁性金属在涡轮转动时会产生电信号脉冲,通过转换装置可以将转速转换成水流速度。水流速度越快,涡轮转速也越快。它们之间存在一定的函数关系,起转速度 V_0 到临界速度 V_K 之间,函数呈曲线形式,而临界流速 V_K 以上则为一线性关系。经验公式为式(2)。

$$V = bn + a \quad (2)$$

式中: V 为流速, m/s; n 为旋桨转速率,等于旋桨总转数 N 与相应测速历时 T 之比,即 $n = N/T, 1/s$; b 为水力螺距, m; a 为常数, m/s; 系数 b, a 值与旋桨和支承系统的性能有关。

受仪器设备灵敏度的影响,在水流速度相对较高的地区测量数据误差较小,一般都在 0.01 m/s 内;但在流速较慢,我们发现是由于水流速度过慢,造成水动力不足,不能使仪器正常工作,特别是流速低于 0.2 m/s 时,误差达到 10% 以上。在这种情况下,建议采取统计方法来获取水流速度(即多次测量,取平均值),可以减小水流速度过慢所产生的误差。

3 水下检波器定位

在浅海地震勘探中普遍采用声纳测量定位方法和初至波定位数学方法对检波器进行定位^[6]。

初至波定位技术是通过地震记录的初至时间通过统计分析确定水中检波器准确位置的定位方法。声波定位系统是一种测距定位系统,或者说是一种圆—圆定位系统^[7]。在地震采集作业时,每道检波器上安装有一个声波接收器,当从地震仪器上发射的声波信号经水传播被声波接收器接收到时,定位系统将记录下包括炮点坐标、开始发射信号的时间和接收到声波信号的时间等数据。因而每放一炮,都有一系列的数据被记录下来。理论上,各检波器接收的有效信号个数越多,二次定位精度越高^[8-9]。

川中河流湖泊涉及的点多,但每个点上水下检



图 1 钢丝绳辅助定位方法野外操作图

Fig. 1 Field operation diagram of wire rope auxiliary positioning method

波器使用道数较少,采用声纳测量定位方法成本太高。我们对声学定位系统进行了试验,在水底较平坦区,可以较好完成定位,但在水底起伏较大水域,信号很容易被屏蔽,约有 60% 的检波器接收不到信号。采用初至波定位数学方法需要有充足的道来保证计算的精度,而河流湖泊难以保证有足够的道,因此两种方法都不适用于河流湖泊。

根据川中河流湖泊的特点,我们形成了检波器钢丝绳辅助定位方法。图 1 是检波器钢丝绳辅助定位方法野外施工照片,该方法是沿测线方向将钢丝绳拉直,固定在水域两岸,再按道距的距离在钢丝绳上做上标记,根据标志放置漂浮物,将 FDU 固定在漂浮物上,再根据设计沉放深度放置水下检波器。这种方法的特点是易于操作,成本较低(相对声纳测量定位方法),但是精度可能不是很高,影响精度的主要原因是受水流、风吹影响,浮标会随水会发生位置移动,拉产生垂直移的移动会带动检波器的移动。据野外实际测量,在水域宽度在 400 m 内,移动距离一般小于 1 m,符合地震勘探规程对检波器偏移的要求。

4 水流和检波器沉放深度对资料的影响

根据海洋地震勘探的经验,为了增强有效波的能量,减少水面干扰的影响,一般要求把检波器沉入水下 $1/4$ 地震波波长处,这一深度共振造成的能量最强。根据主频 30 Hz、速度 1 450 m/s,计算沉放水深应在 12 m。

图 2 是水下检波器不同沉放深度采集资料显

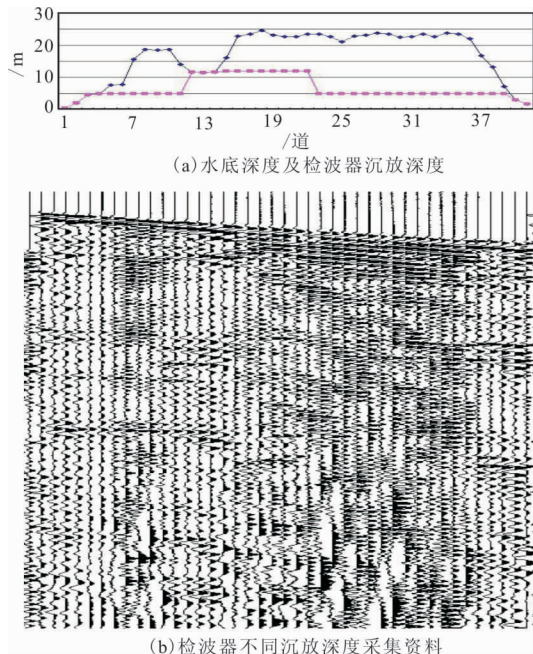


图 2 水下检波器不同沉放深度采集资料对比

Fig. 2 Comparison of data collected by underwater geophone at different sinking depths

示,沉放深度达到 12 m,明显比 5 m 好,所获得资料频率更高,低频干扰叫弱,检波器沉放到水底的效果最好,信噪比更高,波组特征也更明显。因而针对川中河流湖泊水深一般较浅的情况,建议把水检沉放水底,即能增强有效波能量,又可以减少水检位置随水流变化而变化,同时减少地震波在水中传播造成的时差。

不同水流速度水域采集资料对比(图 3)试验表明,在水流速度较低情况下(一般在 0 m/s ~ 0.5 m/s),对资料影响较弱,流速为 0.2 m/s 水中的试验资料,资料中干扰很弱,随着水流速度增加,对资料影响较大,在水流速度大于 0.5 m/s 水域不建议进行地震资料采集。

5 应用实例

在四川盆地中部某水库,某三维地震项目穿过该水库,涉及水域面积 1.5 km² 左右,水中地震采集道 34 道。如果按照以往丢道方法,对资料影响较大,图 4(a)是缺失水域接收资料叠加的剖面,最高覆盖次数 50 次。在该水域我们根据上述方法和结论,采用压电水下检波器与陆地动感式检波器进行混采施工,补齐了水域内 34 道地震道,获得了良好效果。图 4(b)是水下检波器+陆上检波器接收资

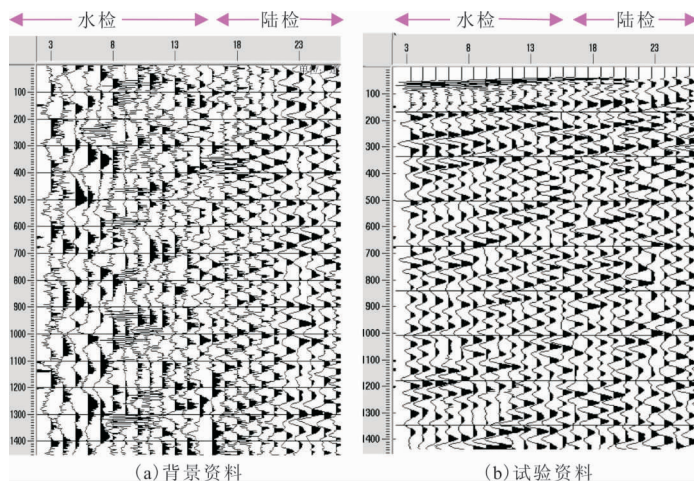


图3 不同水流速度水域采集资料对比

Fig. 3 Comparison of data collected in water areas with different flow velocities

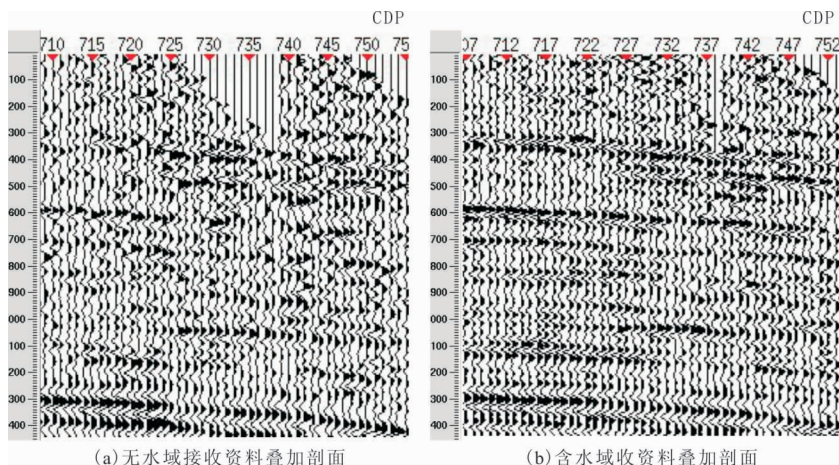


图4 水下检波器接收段资料剖面叠加

Fig. 4 Section superposition of underwater geophone receiving section

料叠加剖面,覆盖次数提升到 60 次,水下检波器段资料与陆地检波器资料很好地融合在一起,有效补偿了浅层资料的空白区,并提升了资料的成像质量。

6 结论

1)在四川盆地水域区,水深大于 10 m 的水域采用回声测深法,小于 10 m 水域采用物理接触法,可以较准确获得水域模型。

2)针对四川盆地水域区面积小跨度不大的特点,采用钢丝绳辅助定位方法,可以较准确固定检波器的位置,该方法易于操作,成本较低。

3)针对四川盆地水域区水深一般较浅的情况,建议把水检沉放水底,即能增强有效波能量,又可以

减少检波器再水中移动所产生的干扰。

参考文献:

- [1] 杨智超. 四川盆地复杂地表高精度建模技术及应用[J]. 天然气勘探与开发, 2019, 42(4): 75—83.
YANG Z C. High-precision modeling for complex surface conditions and its application to Sichuan Basin [J]. Natural Gas Exploration and Development, 2019, 42(4): 75—83. (In Chinese)
- [2] 张新东, 吕景峰, 蔡明, 等. 一种适用于复杂地貌山前带的表层调查方法[J]. 天然气勘探与开发, 2015, 38(2): 35—38.
ZHANG X D, LV J F, CAI M, et al. A method to investigate the surface conditions in complex mountain front [J]. Natural Gas Exploration and Development,

- 2015, 38(2):35-38. (In Chinese)
- [3] 何光明. 复杂地区表层建模技术研究与应用[D]. 成都:成都理工大学,2007.
HE G M. Surface modeling technology and its application to complex areas[D]. Chengdu: Chengdu University of Technology, 2007. (In Chinese)
- [4] 杨智超. 四川盆地近地表吸收衰减模型构建与补偿应用[C]. 重庆:第32届全国天然气学术年会,2020:5.
YANG Z C. Construction of near surface absorption attenuation model and its compensation application in Sichuan Basin[C]. Chongqing: The 32nd National Natural Gas Academic Annual Conference, 2020:5. (In Chinese)
- [5] 杨智超,张孟. 广角地震反射在四川盆地超深储层勘探中的应用[J]. 天然气勘探与开发,2020, 43(4): 62-68.
YANG Z C, ZHANG M. Application of wide-angle seismic reflection to exploration of ultra deep reservoirs in Sichuan basin[J]. Natural Gas Exploration and Development, 2020, 43(4):62-68. (In Chinese)
- [6] 段承州. 地震检波器埋置探讨[J]. 石油仪器,2007,21(6):87-89.
DUAN C Z. Discussion on the placement of geophone. [J] Petroleum Instruments, 2007,21(6):87-89. (In Chinese)
- [7] 杨京涛. 海上地震勘探高精度定位技术报告[R]. 东营:胜利油田,2002.
YANG J T. Technical report on high precision positioning for offshore seismic exploration[R]. Dongying: Shengli Oilfield, 2002. (In Chinese)
- [8] 易碧金,穆群英. 地震压电检波器及其测试仪原理与测试方法[J]. 地质装备, 2007(2):32-35.
YI B J, MU Q Y. Principle and test method of seismic piezoelectric geophone and its tester[J]. Geological Equipment,2007(2):32-35. (In Chinese)
- [9] 周建新. 双检波器压制海上鸣震[J]. 中国海上油气(地质),1999,13(5):359-360.
ZHOU J X. The double detector suppresses the ringing at sea[J]. China Offshore Oil and Gas (Geology), 1999,13(5):359-360. (In Chinese)

Discussion on seismic acquisition technology in central Sichuan water area

REN Chenghao¹, YANG Zhichao², SHI Yong², ZHOU Xiaoji², WANG Xuemei², WANG Zhanbin¹

(1. BGP Integrated Geophysical and Geochemical Company, Baoding 072750, China;

2. BGP Southwest Geophysical Branch Company, Chengdu 610213, China)

Abstract: In the middle of the Sichuan basin, many rivers and lakes are distributed. In the past, when seismic exploration in this area encountered rivers and lakes, it adopted the methods of line migration to avoid the water area or direct throw-away, which greatly affected the uniformity of seismic data coverage and offset, and even caused the lack of data due to too many throw away. With the higher and higher requirements of exploration accuracy in Central Sichuan, it is urgent to solve the technical problems of river and lake seismic acquisition. However, it is tough to carry out seismic exploration in the waters of this area. They have the characteristics of scattered distribution, small areas, flowing water, and complex underwater structure. Mature marine exploration methods are difficult to apply. According to the characteristics of rivers and lakes in Sichuan, this paper constructs an accurate near-surface model of water area through multiple methods, accurately describes the water depth, water velocity, and underwater situation, and solves the problem of complex seismic data acquisition in rivers and lakes by using the methods of water surface positioning and vertical sinking of underwater geophones.

Keywords: river; lake; seismic acquisition; water structure model; underwater geophon