

海上地震导航数据处理技术

陈浩

中海油田服务股份有限公司 天津 300459

摘要：随着海洋地震勘探技术的快速发展，海上地震导航数据处理成为确保勘探数据精度和可靠性的关键环节。本文全面概述了海上地震导航数据的采集系统、数据类型与特点，并深入探讨了数据处理中的关键技术，包括数据预处理、滤波与去噪、数据同步与校准、高精度定位算法以及运动补偿与姿态校正。同时，本文还详细介绍了数据处理流程及其对应的软件工具，旨在为海上地震勘探领域的技术人员提供一套系统、专业的数据处理方案。

关键词：海上地震勘探；导航数据；数据处理；滤波去噪；运动补偿

海洋地震勘探作为油气资源勘探的重要手段之一，其数据质量直接关系到勘探结果的准确性和可靠性^[1]。在海上地震勘探过程中，导航数据作为连接地震数据与地理位置信息的桥梁，其处理技术的优劣直接影响到勘探数据的精度和解释效果。因此，深入研究海上地震导航数据处理技术，对于提高勘探效率、降低勘探成本、提升勘探成果质量具有重要意义。

1 海上地震导航数据概述

1.1 数据采集系统

海上地震导航数据采集系统主要由导航设备、地震仪、数据采集单元及数据传输系统等组成。其中，导航设备包括GPS接收机、惯性导航系统（INS）等，用于实时获取勘探船的位置、速度、姿态等信息；地震仪则用于记录地震波的传播情况；数据采集单元负责将地震仪和导航设备的数据进行同步采集并存储；数据传输系统则负责将采集到的数据传输至处理中心进行后续处理^[2]。

1.2 数据类型与特点

海上地震导航数据主要包括位置数据、速度数据、姿态数据以及地震数据等。这些数据具有以下特点：1）高精度要求。由于海洋环境的复杂性，对导航数据的精度要求极高，以确保地震数据的准确位置信息。2）实时性。海上地震勘探需要实时获取和处理导航数据，以便及时调整勘探方案。3）大数据量。随着勘探规模的扩大和采样率的提高，导航数据量急剧增加，对数据处理能力提出了更高要求。4）多源异构。导航数据来源于不同的传感器和设备，具有多源异构的特点，需要进行统一处理和分析^[3]。

1.3 数据处理的意義

海上地震导航数据处理的意義在于提高地震数据的精度和可靠性，为后续的地震解释和油气资源评估提供有力支持。通过精确处理导航数据，可以消除或减小由

于海浪、海流等环境因素引起的误差，提高地震数据的空间分辨率和信噪比^[4]。同时，数据处理还可以帮助识别并剔除异常数据，确保数据的完整性和一致性。

2 海上地震导航数据处理关键技术

2.1 数据预处理

数据预处理作为海上地震导航数据处理的起点，其重要性不言而喻。这一步骤如同对数据进行的“初筛”，直接关系到后续处理的效果与成败。就数据预处理而言，其主要包括：1）数据清洗。在复杂的海洋环境中，地震导航数据的采集过程极易受到各种干扰，包括设备本身的性能波动、海洋环境的突变（如极端天气、海底地形变化）等，这些都会导致数据中掺杂着无效或异常的“噪声”。数据清洗的目的就是识别并剔除这些噪声数据，确保后续处理的数据集纯净可靠。通过设定合理的阈值、采用统计方法检测异常值或利用机器学习算法自动识别并排除噪声，可以显著提高数据的质量。2）格式转换。海上地震勘探中，不同设备、不同厂商提供的数据往往遵循不同的格式和标准。格式转换的任务就是将这些多样化的数据统一转换为一种标准格式，以便于后续的集中处理和分析。这不仅简化了处理流程，提高了处理效率，还确保了数据在不同软件工具之间的兼容性，为数据共享和跨平台分析提供了便利^[5]。3）初步校正。由于设备间的性能差异、环境因素的变化以及数据采集过程中的不确定性，地震数据与导航数据之间可能存在时间和空间上的不一致性。初步校正的目的就是通过一系列算法和模型，对这些不一致性进行初步的调整和校正，以减小误差，为后续处理打下良好的基础。这包括时间戳的同步校正、空间位置的初步校准等。

2.2 滤波与去噪

滤波与去噪是海上地震导航数据处理中不可或缺的一环。海洋环境的复杂性使得导航数据中不可避免地掺

杂着各种噪声成分，这些噪声会严重影响地震数据的精度和可靠性。因此，必须采取有效的滤波与去噪技术来抑制或消除这些噪声。

在滤波过程中，常用的滤波方法包括低通滤波、高通滤波和带通滤波等。低通滤波主要用于去除高频噪声，保留低频信号；高通滤波则相反，用于去除低频噪声，保留高频信号；带通滤波则是在一定的频率范围内进行滤波，既去除了高频噪声，又保留了有用的高频信号。这些滤波方法的选择和应用需要根据具体的数据特征和噪声类型进行灵活调整。

就去噪而言，除了传统的滤波方法外，还有一些更为先进的去噪技术，如小波变换去噪、经验模态分解去噪等。小波变换去噪利用小波变换的多尺度特性，将信号分解成不同频率的子带，然后对各子带进行阈值处理以去除噪声；经验模态分解去噪则是一种基于数据自适应的信号分解方法，它能够将复杂的非线性非平稳信号分解为一系列本征模态函数（IMF）和一个残余项，通过去除包含噪声的IMF分量来实现去噪。这些去噪方法具有更高的灵活性和适应性，能够更好地满足海上地震导航数据处理的需求^[6]。

2.3 数据同步与校准

数据同步与校准是确保地震数据与导航数据一致性的重要步骤。由于地震仪和导航设备在采样率和时间基准上可能存在差异，以及数据传输过程中的延迟和丢失等问题，都可能导致数据间的不一致性。因此，必须进行精确的数据同步与校准处理。就数据同步而言，其目的是确保地震数据与导航数据在时间上的一致性。这通常通过对时间戳进行校正来实现，包括时间延迟的补偿、采样率的调整等。在同步处理过程中，还需要考虑数据传输过程中的时间抖动和延迟变化等因素，以确保同步的准确性和可靠性。对校准处理做总结，其主要是为了消除或减小由于设备误差或环境因素引起的偏差。这包括对导航数据进行位置、速度、姿态等方面的校准，以及对地震数据进行波速、衰减等参数的校准。通过校准处理，可以进一步提高数据的精度和可靠性，为后续处理提供更为准确的数据基础。

2.4 高精度定位算法

高精度定位算法是海上地震导航数据处理中的核心技术之一。由于海洋环境的特殊性以及传统定位算法的局限性，传统的定位方法往往难以满足高精度要求。因此，需要采用更加先进的定位算法来提高定位精度。在目前的算法应用实践中，主要使用的是差分GPS定位和紧组合导航算法，其中紧组合导航算法尤为重要。由于

勘探船在广阔无垠的海洋中作业，面临复杂的海洋环境和多变的天气条件，单一的导航手段往往难以保证长期、稳定的定位精度。因此，通过将GPS、惯性导航系统（INS）、多普勒声呐、水声定位系统等多种导航设备的数据进行紧组合处理，可以显著提升定位精度和鲁棒性。具体来说，GPS提供绝对位置信息，但易受到信号遮挡和多路径效应的影响；INS则能自主连续提供位置、速度和姿态信息，但长时间运行会累积误差；多普勒声呐和水声定位系统则能在水下提供高精度的相对位置信息，但作用范围有限^[7]。通过紧组合算法，可以充分发挥这些导航手段的互补优势，实现全天候、高精度的海上定位。

2.5 运动补偿与姿态校正

运动补偿与姿态校正是海上地震导航数据处理中不可或缺的一环。由于勘探船在海上航行时会受到风浪、潮汐、海流等多种环境因素的影响，产生复杂的运动和姿态变化。这些变化会直接影响地震数据的采集质量和后续处理结果。因此，必须进行精确的运动补偿与姿态校正处理。

运动补偿的目的是消除或减小勘探船运动对地震数据的影响。这通常通过对导航数据进行处理来估计勘探船的运动轨迹和速度变化，并据此对地震数据进行相应的校正。常见的运动补偿方法包括基于惯性导航系统的补偿、基于多普勒声呐的补偿以及基于水声定位系统的补偿等。这些方法各有优缺点，需要根据具体作业条件和设备配置进行选择和优化。

姿态校正则是为了消除或减小勘探船姿态变化对地震数据的影响。这包括对俯仰角、横滚角和航向角等姿态参数的精确测量和校正。姿态校正可以通过安装在勘探船上的姿态传感器（如陀螺仪、倾角传感器等）来实现。通过实时监测和校正勘探船的姿态偏差，可以确保地震数据的采集和记录始终保持在预定的参考坐标系内，从而提高数据的精度和可靠性。

3 数据处理流程与软件工具

3.1 处理流程设计

海上地震导航数据的处理流程通常包括以下几个步骤：1) 数据接收与存储。数据采集系统接收原始数据，并将其安全、完整地存储到数据中心或本地服务器上。此步骤需确保数据在传输过程中不受损坏，并保持数据的原始性和完整性。2) 数据预处理。对接收到的数据进行清洗、格式转换和初步校正，以消除或减小无效数据、异常数据以及由于设备或环境因素引起的误差。3) 滤波与去噪。采用适当的滤波和去噪算法，对预处理后

的数据进行进一步处理,以抑制或消除噪声成分,提高数据信噪比。4)数据同步与校准。根据地震仪和导航设备的采样率和时间基准,对数据进行精确同步处理,并校准导航数据中的偏差,确保地震数据与地理位置信息的一致性。5)高精度定位。应用高精度定位算法,综合利用多种导航信息,提高勘探船的定位精度,为地震数据的精确解释提供有力支持。6)运动补偿与姿态校正。根据导航数据中的运动参数和姿态参数,对地震数据进行运动补偿和姿态校正,以消除或减小勘探船运动和姿态变化对地震数据的影响。7)数据分析与解释。在完成上述处理步骤后,对处理后的数据进行深入分析,提取有用信息,进行地震解释和油气资源评估。8)结果验证与评估。对处理结果进行验证和评估,确保数据的准确性和可靠性,并根据评估结果对处理流程进行优化和调整。

3.2 软件工具与应用

在海上地震导航数据处理过程中,需要使用一系列专业的软件工具来辅助完成各项任务。这些软件工具通常包括以下几个方面:1)数据采集软件。用于控制数据采集系统的运行,实时接收并存储原始数据。这些软件需要具备高度的稳定性和可靠性,以确保数据的完整性和准确性。2)数据处理软件。包括数据预处理、滤波去噪、数据同步与校准、高精度定位、运动补偿与姿态校正等功能模块。这些软件需要支持多种数据格式和算法,并具备灵活的数据处理流程和可视化界面,方便用户进行操作和分析。3)数据分析与解释软件。用于对处理后的数据进行深入分析,提取地震波形特征、地层结构等信息,并进行地震解释和油气资源评估。这些软件需要具备强大的数据处理能力和先进的解释技术,以提高解释结果的准确性和可靠性。4)质量控制软件。用于对数据处理结果进行质量控制和评估,确保数据的准确性和可靠性。这些软件可以通过对比、统计等方法,对处理结果进行验证和分析,并提供报告和建议供用户参考。

在实际应用中,这些软件工具往往相互协作,形成一个完整的海上地震导航数据处理系统。用户可以根据实际需求选择合适的软件工具进行数据处理和分析工作。同时,随着技术的不断发展和更新换代,这些软件工具也在不断升级和完善中,以适应海上地震勘探领域的新需求和新挑战。

结束语

综上所述,海上地震导航数据处理技术是海上地震勘探领域中的关键技术之一。通过深入研究和应用这些技术,可以显著提高地震数据的精度和可靠性,为后续的地震解释和油气资源评估提供有力支持。本文全面概述了海上地震导航数据的采集系统、数据类型与特点以及数据处理中的关键技术,并详细介绍了数据处理流程及其对应的软件工具,最终目的是要为海上地震勘探领域的技术人员提供有益的参考和借鉴。

参考文献

- [1]袁培信.关于海上地震数据采集导航系统中电缆旋转的研究[J].设备管理与维修,2024(10):150-152.
- [2]张振波,王征,董水利,等.海上多源多缆地震采集综合导航定位数据处理技术[J].石油物探,2013,52(6):630-635.
- [3]钱庚,杨牧萍.基于阿尔法导航系统记录分析2010年玉树MS7.1地震异常[J].地震地磁观测与研究,2022,43(3):101-108.
- [4]陈刚.导航金字塔分解技术在储层地震预测中的应用研究[J].中国石油勘探,2021,26(5):125-131.
- [5]孙燕国,周仁达,张宁,等.浅海OBC地震勘探弯线施工导航质控方式优化研究[J].物探装备,2022,32(1):17-20.
- [6]谭明明,樊亚灵,吕柯欣,等.不同卫星导航系统组合监测的玛多地震同震形变与精度分析[J].测绘通报,2023(7):80-84.
- [7]赵庶凡,张学民,廖力,等.2010年玉树7.3级地震前阿尔法导航信号场强异常分析[J].地震,2016,36(4):153-162.