

物探数据处理中的噪声压制技术研究

许卫华

中石化胜利分公司物探研究院 山东 东营 257022

摘要: 物探数据处理是地球物理勘探中的重要环节,其中噪声压制技术对于提高数据的信噪比和分辨率具有至关重要的作用。随着地震勘探的深入,地震勘探的地表地质条件越来越复杂,导致地震勘探数据中的噪声也更强、更复杂。本文综述了物探数据处理中噪声压制技术的研究现状,并探讨了几种主要的噪声压制方法。

关键词: 物探; 数据处理; 噪声; 压制技术

引言

物探技术,特别是地震勘探技术,在油气资源勘探中发挥着不可替代的作用。然而,野外采集到的地震数据往往包含着大量的噪声,这些噪声严重影响了数据的信噪比和分辨率,给后续的反演、成像和解释工作带来了巨大困难。因此,噪声压制技术一直是物探数据处理领域的研究热点。

1 物探数据中的噪声类型

物探数据中的噪声可大致分为随机噪声和规则噪声两大类。

1.1 随机噪声

随机噪声是物探数据中一种普遍存在的噪声类型,其特点是没有固定的频率和出现模式,在地震记录上呈现出随机分布的状态。这种噪声的频带范围很宽,可以从低频延伸到高频,且其视速度(即噪声在记录上表现的传播速度)是不确定的,没有一定的传播方向。来源包括:(1)仪器噪声:地震仪器本身的电子元件、传感器等可能产生的噪声,这种噪声通常与仪器的性能和稳定性有关。(2)环境噪声:周围环境中的自然噪声,如风噪、雨噪、交通噪声等,这些噪声会干扰地震波的接收和记录。(3)地震波散射和衰减:地震波在传播过程中,由于地下介质的非均质性、裂隙、孔隙等因素,会发生散射和衰减,从而产生随机噪声。随机噪声的存在会显著降低地震数据的信噪比,使得有效信号被淹没在噪声中,难以准确识别和提取。这直接影响了数据的解释精度和可靠性,给地震勘探工作带来很大的挑战。

1.2 规则噪声

规则噪声与随机噪声不同,它具有明显的运动学特征,可以进一步细分为多种类型,如面波、多次波等。面波是陆地地震勘探中主要的规则噪声之一。它沿着地表传播,能量强、频率低、速度快。面波的传播距离较远,且衰减较慢,因此容易对深层反射波造成严重干

扰。面波的存在会掩盖深层反射波的有效信号,使得地震剖面的清晰度降低,难以准确识别地下构造和岩性变化。多次波是地震波在地下界面多次反射形成的。它具有与一次波(即直接由震源产生的地震波)相似的波形特征,但传播路径和到达时间不同^[1]。多次波可能在地表与地下界面之间多次反射,也可能在地下多个界面之间反射。多次波容易与一次波混淆,干扰地震成像的准确性。在地震剖面上,多次波可能表现为虚假的反射波或干扰波,使得地下构造的解释变得复杂和困难。除了面波和多次波外,还有其他类型的规则噪声,如折射波、工业噪声等。这些噪声也具有明显的运动学特征,会对地震数据的质量和解释精度产生不同程度的影响。

2 物探数据处理中的噪声压制技术研究

2.1 经典噪声压制方法

2.1.1 f-x域预测技术

f-x域预测技术是一种有效的随机噪声压制方法,它基于地震道之间的相关性来分离噪声和有效信号。在地震数据中,有效信号通常表现出一定的连续性和相关性,而随机噪声则呈现出随机、无序的特点。f-x域预测技术正是利用这一差异,通过预测相邻地震道之间的信号差异来压制噪声。具体来说,f-x域预测技术首先需要对地震数据进行傅里叶变换,将其从时间域转换到频率-空间(f-x)域。在这个域中,地震数据被表示为频率和空间位置的函数。然后,利用相邻地震道之间的相关性,通过预测滤波器对噪声进行压制。预测滤波器通常是根据地震数据的统计特性来设计的,它能够估计出相邻地震道之间的信号差异,并将这些差异作为噪声进行压制。最后,将处理后的数据反变换回时间域,得到去噪后的地震数据。然而,常规的f-x域预测技术也存在一些不足。例如,在处理弯曲同相轴或低信噪比的倾斜同相轴时,可能会使这些有效信号受到衰减。这是因为预测滤波器在设计时通常假设地震道是直线的,对于弯曲

或倾斜的同相轴, 预测结果可能会偏离实际信号, 导致信号损失。此外, 由于空间混扰的存在, 断点位置可能会变得模糊。为了克服这些问题, 学者们提出了多种改进方法。例如, 将二维滤波与f-x域预测技术并用, 可以在空间域和频率域同时进行噪声压制, 提高处理效果。另外, 还可以用信噪比值对预测结果进行自适应的加权处理, 使得在高信噪比区域更多地保留有效信号, 在低信噪比区域更多地压制噪声。

2.1.2 小波滤波

小波滤波是一种基于多分辨率分析的噪声压制方法, 它能够将信号分解到不同的尺度上, 从而在不同尺度上分别进行噪声压制。小波滤波的核心思想是利用小波基函数的时频局部化特性, 将信号分解为不同频率和尺度的成分, 然后对这些成分进行噪声识别和压制处理。具体来说, 小波滤波首先选择合适的小波基函数和分解层数, 对地震数据进行小波变换。小波基函数的选择对于滤波效果至关重要, 不同的小波基函数具有不同的时频特性和紧支撑性, 对噪声的压制效果也会有所不同。分解层数的选择则需要根据地震数据的特性和噪声的分布情况来确定。通过小波变换, 地震数据被分解为不同尺度和频率的成分, 这些成分分别对应着信号的不同特征。然后, 在不同尺度上分别进行噪声识别和压制处理。对于包含噪声的成分, 可以采用阈值处理、滤波等方法进行噪声压制。最后, 将处理后的各尺度数据重构回原始信号, 得到去噪后的地震数据。小波滤波的优势在于它能够处理非平稳信号和具有局部化特征的噪声^[2]。在地震数据中, 有效信号和噪声往往呈现出不同的时频特性, 小波滤波能够利用这些特性进行噪声压制, 同时保留有效信号的边缘和细节信息。然而, 小波滤波也存在一些局限性。例如, 对于某些类型的噪声(如与有效信号频率相近的噪声), 小波滤波可能无法完全压制。此外, 小波基函数的选择和分解层数的确定也需要一定的经验和技巧。

2.1.3 Radon变换

Radon变换是一种将信号从空间域变换到参数域的方法, 它能够有效压制具有特定运动学特征的噪声, 如面波、多次波等。在地震数据中, 面波和多次波等噪声通常具有特定的传播方向和速度, 这些特征在Radon域中能够得到很好的体现。具体来说, Radon变换首先需要对地震数据进行预处理, 如去均值、归一化等。然后, 对预处理后的数据进行Radon变换, 将其从时间-空间域转换到时间-慢度(或时间-角度)域。在这个域中, 地震数据被表示为时间和慢度(或角度)的函数。面波、多次

波等噪声在Radon域中通常呈现出特定的分布规律, 如线性、抛物线等形状。根据这些分布规律, 可以设置合适的阈值或滤波器进行噪声压制。最后, 将处理后的数据反变换回时间-空间域, 得到去噪后的地震数据。Radon变换的优势在于它能够处理具有复杂运动学特征的噪声, 提高地震数据的信噪比。然而, Radon变换也存在一些问题。例如, 由于端点效应的存在, Radon变换并不能完全压制噪声。端点效应是由于数据边缘的不连续性引起的, 可能导致在Radon域中出现虚假的噪声成分。为了减小端点效应的影响, 可以采用加窗处理、边界拓展等方法。此外, 切除Radon域中的噪声成分可能会影响有效信号的完整性, 导致畸变。因此, 在进行Radon变换时, 需要谨慎选择阈值和滤波器, 以避免对有效信号造成过大的影响。同时, 也可以结合其他噪声压制技术进行联合处理, 提高处理效果。

2.2 先进噪声压制方法

2.2.1 自适应迭代法消除多次波

自适应迭代法消除多次波是一种集成了广义Radon变换与地表相关多次波消除技术优势的先进方法。该方法的核心在于其自适应性和迭代性。首先, 对输入的地震资料进行部分时差校正。这一步骤是为了减小多次波与一次波之间的时差差异, 使得后续处理更为准确。时差校正的过程中, 会考虑地震波的传播路径和速度等因素, 以确保校正的准确性。接着, 将剩余时差假定为抛物线形状, 并利用最小平方矩阵反演技术将校正后的资料转换到Radon域。在Radon域中, 多次波会呈现出更为明显的特征, 便于后续的压制处理。通过设定合适的阈值或滤波器, 可以有效地压制多次波, 同时保留一次波等有效信号。这一步骤需要精细地调整阈值和滤波器参数, 以确保处理的准确性和效果^[3]。然后, 将压制多次波后的输出作为没有多次波资料的初始猜测, 输入给与地表有关的多次波消除技术。这一技术会进一步利用地表反射特性等信息, 对剩余的多次波进行精细消除。通过迭代处理, 即多次将处理结果作为输入进行再次处理, 可以逐渐提高消除多次波的效果。一般来说, 经过一、两次迭代后, 就能获得较好的消除多次波后的结果。自适应迭代法消除多次波的优势在于其能够适应不同地震资料的特性, 自动调整处理参数, 实现高精度的多次波压制。同时, 该方法还具有较强的鲁棒性和稳定性, 能够在复杂的地震数据中有效地压制多次波。

2.2.2 基于深度学习的噪声压制方法

近年来, 深度学习技术在地震数据去噪领域取得了显著进展。其中, 卷积神经网络(CNN)作为深度学

习中最具代表性的技术之一,被广泛应用于地震资料消噪。基于CNN的地震资料消噪技术通过训练大量的地震数据样本,学习到地震波的有效特征和噪声的分布规律。在训练过程中,CNN会通过多次卷积运算提取地震数据的内在高维特征,这些特征包括地震波的波形、振幅、频率等关键信息。通过局部感知和权值共享的优势,CNN能够高效地处理高维、冗杂、高噪的复杂地震数据。在实际应用中,基于CNN的噪声压制方法能够自动地识别并压制地震数据中的噪声成分,同时保留有效信号。该方法具有较高的准确性和效率,能够处理各种类型的地震数据噪声。此外,通过不断地训练和优化CNN模型,还可以进一步提高噪声压制的性能和效果。基于深度学习的噪声压制方法的优势在于其能够自动学习和适应地震数据的特性,无需人工干预即可实现高精度的噪声压制。同时,该方法还具有较强的泛化能力和鲁棒性,能够在不同的地震数据和噪声环境下保持稳定的性能。

2.2.3 多尺度并行注意力残差网络(PA-MRNet)

针对井中分布式光纤声传感(DAS)勘探数据的噪声压制问题,提出了一种多尺度并行注意力残差网络(PA-MRNet)方法。该方法充分利用了DAS勘探数据的特性和深度学习的优势,实现了高精度的去噪效果。PA-MRNet首先通过多尺度思想对含噪DAS地震数据进行不同尺度的采样。这一过程中,网络会自动地提取数据在不同分辨率、不同感受野内的浅层特征。这些浅层特征包含了数据的基本信息和噪声的分布情况,为后续的深层特征提取提供了基础。接着,利用多尺度残差模块逐步提取深层特征。残差模块的设计能够有效地缓解深度学习网络中的梯度消失问题,提高网络的训练稳定性和收敛速度。在多尺度残差模块中,网络会对浅层特征进行进一步的卷积和池化操作,提取出更为抽象和高级的深层特征。最后,通过并行注意力模块进行多尺度特征

融合。注意力机制能够自动地关注数据中的重要特征,忽略无关或噪声特征^[4]。在并行注意力模块中,网络会对多尺度特征进行加权处理,使得重要特征得到更多的关注和保留,而噪声特征则被抑制和消除。通过多尺度特征融合,PA-MRNet能够充分利用不同尺度的信息,实现高精度的去噪效果。PA-MRNet方法的优势在于其能够充分利用DAS勘探数据的特性和深度学习的优势,实现高精度的噪声压制。同时,该方法还具有较强的鲁棒性和泛化能力,能够在不同的噪声环境下保持稳定的性能。此外,通过不断地训练和优化网络模型,还可以进一步提高噪声压制的性能和效果。

结语

物探数据处理中的噪声压制技术是一个复杂而重要的研究领域。随着地震勘探的深入和地质条件的复杂化,噪声压制技术面临着越来越大的挑战。本文综述了物探数据处理中噪声压制技术的研究现状,并探讨了了几种主要的噪声压制方法。未来,随着人工智能和大数据技术的不断发展,深度学习等先进技术将在噪声压制领域发挥更加重要的作用。同时,针对不同类型的噪声和特定的地质条件,开发更加高效、精准的噪声压制方法也将是未来的研究方向。

参考文献

- [1] 聂沙沙,杨晶,韩文明,等.物探节点数据质控技术研究与实现[C]//中国石油学会石油物探专业委员会.第二届中国石油物探学术年会论文集(下册).中石化地球物理公司科技研发中心;中石化地球物理公司生产支持中心,2024:4.
- [2] 张彦军,安云松,季志强,等.石油物探野外采集定位数据质量控制的大变革[J].物探装备,2024,34(01):16-19.
- [3] 陈旭彤,张盛,张明华,等.物探数据在线处理平台算法集成技术研究[J].地质论评,2023,69(S1):349-352.
- [4] 卓聪志.斜沟煤矿物探数据处理及分析[J].能源与节能,2022,(08):141-144.