



Research on the Method of Using Wide-angle Reflection to Improve the Exploration Effect of Weak Reflection Layers

Ruizhen Wang^{*}, Xiaodong Wang, Feng Yan, Wei Wang, Hongliang Cui, Zhanzhan Cheng

Bureau of Geophysical Prospecting INC., China National Petroleum Corporation, Renqiu, China

Email address:

wangruizhen@cnpc.com.cn (Ruizhen Wang)

^{*}Corresponding author

To cite this article:

Ruizhen Wang, Xiaodong Wang, Feng Yan, Wei Wang, Hongliang Cui, Zhanzhan Cheng. Research on the Method of Using Wide-angle Reflection to Improve the Exploration Effect of Weak Reflection Layers. *Asia-Pacific Journal of Energy and Power Engineering*. Vol. 3, No. 1, 2021, pp. 1-5.

Received: February 27, 2021; Accepted: March 13, 2021; Published: March 22, 2021

Abstract: The low reflection coefficient and weak reflection energy of the main target layer often encountered in the seismic exploration of complex areas lead to the low S/N ratio and poor imaging effect of data. In the past, such problems were generally solved by increasing the number of folds, which had the shortcoming of high costs and poor benefits. Wide-aperture reflection, characterized by strong energy and high S/N ratio, is an effective method to effectively increase the energy and S/N ratio from weak reflection layers and improve the economic and exploration result of seismic acquisition without changing the number of folds; however, it has not been applied universally due to the NMO stretch, muting and phase conversion problems existing in the wide-aperture reflection seismic data. In this paper, through the wide-aperture reflection theory research and forward modeling, the characteristic rule of wide-aperture reflection is analyzed, the NMO stretch, the first break muting and the wavelet consistency between wide-aperture reflection and non-wide-aperture reflection zones are dissected, a weak reflection layer based wide-aperture reflection geometry design method is proposed, several methods, such as the terrain partitioning based space-variant muting, the wide-aperture reflection zone velocity analysis as well as the high-order NMO and the dominant offset array stacking methods are studied; and they have achieved good effects after being applied in SLK area.

Keywords: Weak Reflection Layer exPLoration, Wide-Aperture Reflection, Forward Modeling, Partition Muting, High-order NMO, Array Stacking

利用广角反射提高弱反射层勘探效果的方法研究

王瑞贞^{*}, 王晓东, 晏丰, 王伟, 崔宏良, 程展展

中国石油集团东方地球物理勘探有限责任公司, 任丘, 中国

邮箱

wangruizhen@cnpc.com.cn (王瑞贞)

摘要: 在复杂地区地震勘探中经常遇到主要目的层反射系数小、反射能量弱, 导致资料信噪比低和成像效果差的问题, 以往一般采用提高覆盖次数的方法来解决此类问题, 这种方法成本高, 效益差。广角反射具有能量强、信噪比高的特点, 充分利用广角反射, 在覆盖次数不变的前提下有效提高弱反射层能量和信噪比, 提高地震资料采集经济效益和勘探效果, 是一项行之有效的办法。但因广角反射地震资料存在动校拉伸、切除和相位转换等问题, 目前尚未得到普遍应用。本文通过对广角反射理论研究和正演模拟, 分析了广角反射特征规律, 剖析了广角反射的动校拉伸、初至切除以及广角反射区与非广角反射区的子波一致性问题, 提出了基于弱反射层的广角反射观测系统设计方法, 研究了基于地形分区的空变切除、广角反射区速度分析与高阶动校正、优势炮检距组合叠加等方法, 在SLK地区应用后取得了较好效果。

关键词：弱反射层勘探，广角反射，正演模拟，分区切除，高阶动校正，组合叠加

1. 问题的提出

在地震勘探中，受复杂近地表和深层地层不同反射系数的影响，经常导致某一地层能量变弱，尤其是近几年兴起的大规模单点检波器采集资料，由于其更宽的频带范围和动态范围，使得接收与识别反射系数较小的弱反射信号成为地震勘探的一个瓶颈问题。在常规地震勘探中，人们常用增加覆盖次数、野外检波器组合、室内多道叠加等方法来增强弱信号[1-2]，但这种方法不仅生产成本高、效益差，而且利用这些常规技术难以彻底解决面临的实际问题。众所周知，在地震勘探中，当地层反射超过临界角时会发生广角反射[3-4]，在地震记录上广角反射出现在较大炮检距的远道，有的出现在记录初至以外，而且其振幅能量也较强，几乎不受面波等干扰波的影响，广角反射波的频率也较一般反射波低。所以利用广角反射的特点，获取深层弱反射信号，达到提高地震资料采集经济效益和勘探效果是可行的。

近年来广角地震采集作为获取野外高质量地震数据的一种重要方法，引起了业界的广泛重视，目前已取得了一些突破性进展和实际应用效果。LIU Kai、王瑞贞、李怀胜等分别介绍了南黄海深层碳酸盐岩、二连朝克乌拉火成岩和塔中奥陶系内幕反射广角勘探的实例[5-7]。王小六等[8]认为，在某些复杂地质体地区，为实现其基底或内幕以及下覆沉积层的正确成像，广角地震有着经济和技术的潜在优势。广角地震采集在实际资料处理中，若采用常规方法对远炮检距处的广角反射同相轴进行动校正会出现严重的校正不足和波形拉伸现象[9]，其根本原因在于所应用的时距关系公式不满足实际广角反射旅行时精确计算。国内刘骁、陈雨红等许多学者对此问题进行了研究[10-14]，提出了多种方法提高速度分析和动校正精度，普遍认为广角地震资料处理的关键是速度分析和动校正的精度以及二者的统一协调性。

本文在对广角反射理论研究和正演模拟基础上，提出了基于地形分区的空变切除、广角反射区速度分析与高阶动校正、优势炮检距组合叠加等方法，在SLK地区应用后取得了较好效果。

2. 方法介绍

利用广角反射提高弱反射层勘探效果的方法主要包括最大炮检距设计、基于地形分区的空变切除、广角反射区速度分析与高阶动校正、优势炮检距组合叠加。

2.1. 最大炮检距设计

根据地震波传播原理，当入射角大于临界角时发生广角反射，广角反射的能量一般大于常规反射的能量[15-16]（图1）。从地质模型（图2a）正演单炮（图2b）看，近道各层反射信噪比相对低，能量相对较弱，而广角反射能量强，信噪比高，证明了这一规律。通常情况下，最大炮检距要满足反射能量稳定性，最大不能超过产生临界反射时的炮检距。在广角地震勘探中，最大炮检距应大于产生临界反射时的炮

检距，但最大炮检距也不能太大，太大引起高动校拉伸畸变超标，同时还造成资源浪费。在实际生产中，最大炮检距的选择主要考虑两点，一是最大炮检距大于弱反射目的层的1.5倍，同时兼顾最深目的层埋深，二是在满足高阶动校正的前提下，广角反射动校拉伸不超过15%。

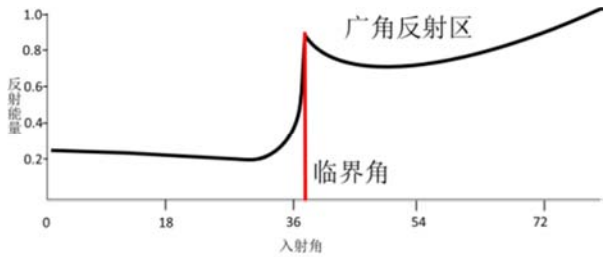
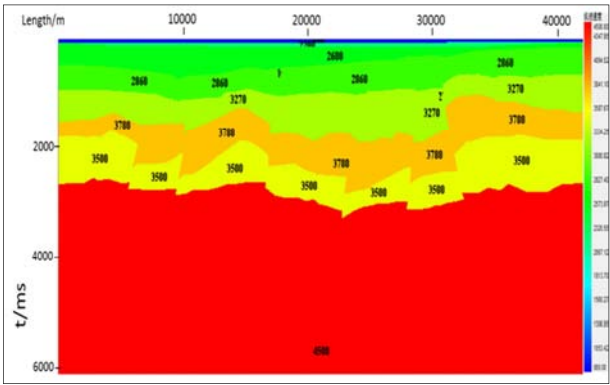
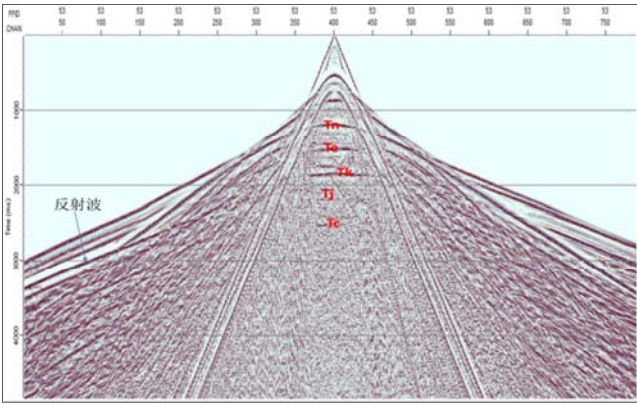


图1 反射能量与排列长度关系图。



(a)



常规处理中对原始单炮或CMP道集的初至切除一般采用统一的切除方法,但针对存在广角反射的地震资料尤其是地表条件复杂造成广角反射分布存在变化的情况下(图3),应用统一切除方法会导致初至折射波附近以及初至以外的广角反射信息都被切除掉,广角反射信息无法得到有效利用;为此本文采用基于地形分区的空变切除技术用以保留广角反射信息。其实现过程为:首先利用单炮初至层析反演表层速度再结合野外近地表调查结果,综合划分不同地表类型(图4);其次是根据原始地震记录的大地坐标将所有单炮按不同的地表类型分块输出;最后依据相同地表类型单炮具有相同表层速度,其广角反射分布形态基本一致的原则,对分区单炮分别定义切除库并实施初至切除;从而实现基于地形分区的空变切除(图5)。对于空变切除后,广角反射区残余的初至折射波可以采用FK滤波技术或线性干扰压制技术很好的实现波场分离,提高信噪比。

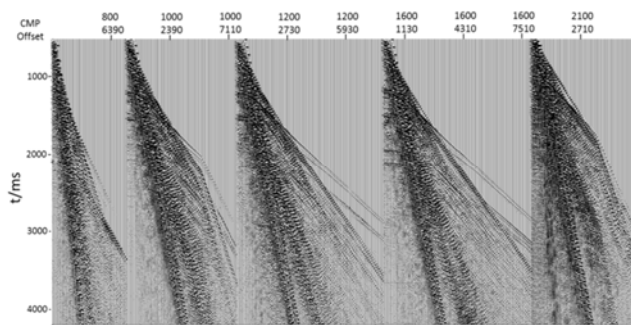


图3 同一测线不同位置的道集显示。

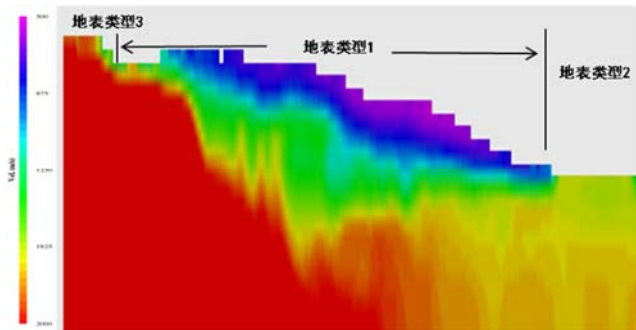


图4 利用反演表层速度确定不同地表类型。

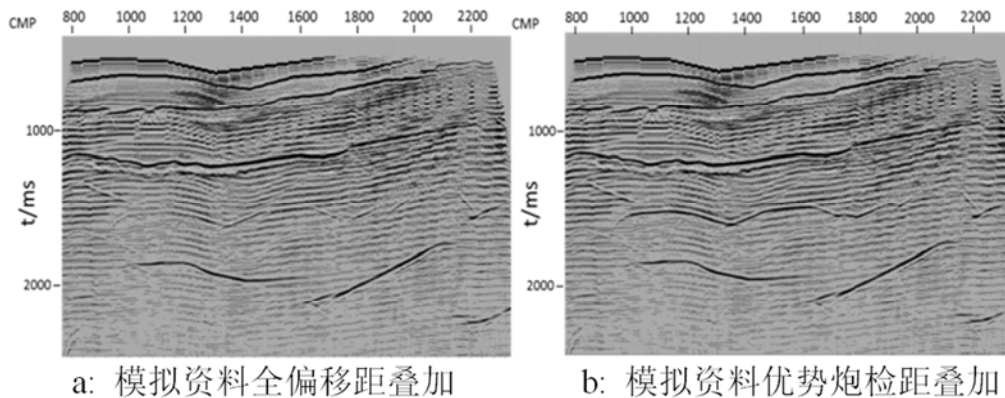


图6 模拟数据全偏移距叠加与优势炮检距叠加对比效果图。

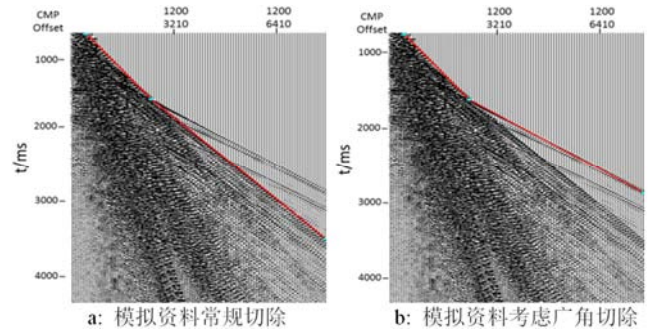


图5 常规切除与考虑广角反射切除的对比。

2.3. 优势炮检距速度与差异化加权叠加

常规速度谱制作是针对所有炮检距的地震数据进行等权计算获得。含有广角反射的地震数据虽然炮检距分布范围较小,但广角反射层的反射能量强,极性和频率也有一定的变化,因此与非广角反射资料合在一起进行速度分析,必然会降低速度谱质量和速度拾取精度;本文针对广角反射区采用优势炮检距地震道制作速度谱和拾取广角反射的地震速度,再利用全炮检距地震道制作速度谱求取非广角反射区地震速度,最后将两套速度分析结果进行速度融合,从而完成广角反射区嵌入式全区速度场的精确建立。

弱反射层广角反射资料一方面存在虽然反射能量较强但分布的偏移距范围较小的特点,另一方面存在炮检距较大而常规动校正难以保证同相轴校平的情况,解决这两个问题的有效方法:一是采用高阶动校正技术确保远偏移距广角反射波成为一组水平同相轴[2],二是采用优势炮检距差异化加权组合叠加的方法,即对全偏移距资料与广角区偏移距资料分别进行动校正和叠加,然后根据同一反射层广角反射与非广角反射振幅关系比例确定广角区资料在整个叠加中所占的比重,通过调整广角反射区资料在整个道集集中所占的比例权重完成差异化加权叠加,从而达到提高弱反射信号信噪比的目的。图6为正演数据通过全偏移距叠加与优势炮检距组合叠加处理后的效果对比,从图中可见,新方法应用后有效提升了剖面上弱反射层信号的资料品质。

3. 应用实例

SLK 地区地表为高大起伏沙丘，海拔高程在 1299m-1477m，近地表低速层厚度在 10-50m，速度 370m/s-720m/s。深层地震地质条件复杂，主要目的层侏罗系埋深约为 2600m、石炭系埋深约 3800m。以往资料显示侏罗系具有典型的弱反射层特征。通过基于弱反射层的广角反射观测系统参数分析，确定采集纵向观测系统为 4795-5-10-5-4795。通过实际采集单炮（图 7）可以看到广角反射信息得到了有效接收。

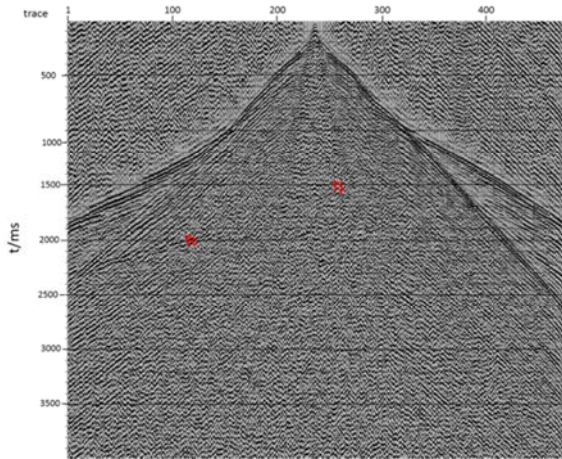


图7 实际单炮分频效果图。

在实际资料处理中，通过针对广角反射的利用地形分区空变切除（图 8）、优势炮检距组合叠加（图 9）等处理技术，取得了较好的应用效果。

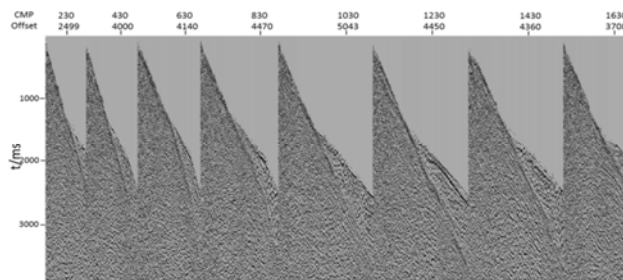


图8 实际道集地形分区空变切除。

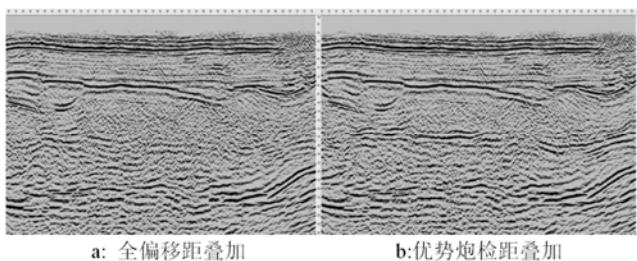


图9 实际资料优势炮检距组合叠加对比图。

从图 10 的最终成果来看，通过对提高弱反射地震勘探方法的应用，深层侏罗系弱反射地层反射信息得到大幅提升，能量及信噪比得到提高，同相轴可连续追踪，波组特征清晰（图 10）。

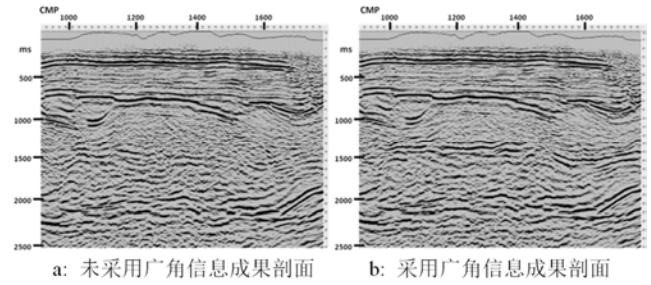


图10 采用广角信息前（左）后（右）实际剖面效果图。

4. 结论

通过上述分析，得出以下结论：

- (1) 广角反射波在实际地震记录上普遍存在，在目的层弱反射地区，可以有效利用广角反射波提高弱反射层的地震成像，该方法不仅是可行的，而且具有重要的推广应用价值。
- (2) 常规处理技术无法适用于广角反射地震采集资料的处理，基于地形分区的空变切除、分偏移距速度分析及高阶动校正、优势炮检距组合叠加等技术的综合应用，能够提高弱反射层的信噪比，是广角反射地震资料处理的有效方法。
- (3) 广角反射资料与非广角反射资料的子波一致性问题还有待于深入研究，特别是解决广角反射层的频率问题需要借助于研究区的钻测井资料。

参考文献

- [1] 陈吴金, 于静, 张怀邦, 等. 高密度地震采集弱反射信号的变化规律 [J]. 物探与化探, 2014, 38 (4): 701-710.
- [2] 李文建, 王雷, 韩春瑞, 等. 柴达木盆地南祁连山前带深层弱反射地震勘探技术 [R]. 中国石油学会 2019 年物探技术研讨会, 北京, 2019.
- [3] 王志, 贺振华, 黄德济, 等. 广角反射波场特征研究及正演模拟分析 [J]. 地球物理学进展, 2003, 18 (1): 116-121.
- [4] 曹文俊, 李振春, 王小六. 广角地震处理方法研究进展 [J]. 地球物理学进展, 2004, 19 (2): 296-299.
- [5] Kai Liu, Huaishan Liu, Zhiqiang Wu, et al, Seismic acquisition parameters analysis for deep weak reflectors in the South Yellow Sea [J]. Journal of Ocean University of China Volume 15, Issue 5. 2016. PP 758-766.
- [6] 王瑞贞, 白旭明, 王金宽, 等. 朝克乌拉凹陷火成岩覆盖区地震勘探方法研究 [J]. 石油物探, 2020, 59 (3): 382-395.
- [7] 李怀胜. 广角反射在塔中地区的应用 [J]. 石油物探, 2005 (3): 292-295.
- [8] 王小六, 李振春, 曹文俊. 广角地震采集综述 [J]. 勘探地球物理进展, 2004 (5): 321-326.

- [9] 孙成禹.广角地震反射数据特征及校正方法研究[J]. 石油地球物理勘探, 2007,42 (1): 24-29。
- [10] 刘骁, 高尔根, 丁亮, 等. 一种新的高精度广角反射动校正方法[J].石油地球物理勘探, 2016, 51(5):894-900。
- [11] 陈雨红,李强. 分偏移距动校正方法的改进[J]. 石油物探, 2007(2):107-111。
- [12] 甘永忠. 广角层速度分析[J]. 石油物探,1994,33(3):40-46。
- [13] 张文坡, 郭平, 胡天跃. 广角反射地震资料特殊处理方法研究[J]. 应用地球物理, 2004,1 (1): 31-37。
- [14] 庄道川, 曾庆才, 张亚斌, 等. 超大偏移距地震资料处理方法[J]. 西南石油学院学报, 2003,25 (2): 11-14。
- [15] 陆基孟. 地震勘探原理[M].北京: 石油大学出版社, 2006.75
- [16] 田乔. 基于Zoeppritz方程的广角反射振幅和相位特征分析[D],成都, 西南石油大学, 2016。