

文章编号: 1671-8585(2009)05-0342-04

VSP 资料辅助地震勘探观测系统设计方法探讨

晋志刚, 张宇生, 李可恩

(中国石油东方地球物理公司东部勘探事业部新区经理部, 河北涿州 072751)

摘要: 在地震采集技术设计中, 常常需要参考目的层反射特征和速度变化等情况, 利用 VSP 资料是获得这些信息的重要途径。在苏北某地区地震勘探中, 利用 VSP 资料获得了目的层反射特征、层速度、地震波吸收衰减等情况, 并在地震采集技术设计中加以利用, 开展了针对性的观测系统设计。最终勘探成果证明, 利用 VSP 资料辅助地震勘探观测系统设计的方法可行, 有效提高了费效比。

关键词: 地震采集技术设计; VSP 资料; 反射特征; 层速度; 吸收衰减; 观测系统设计

中图分类号: P631.4

文献标识码: A

地震采集技术设计是指从已有的地震、地质数据出发, 有效地确定施工参数, 保护有效信号、衰减噪声, 在获取高品质地震资料的前提下, 最大限度地控制勘探费用。主要目的层反射时间、层速度和反射波最高频率是地震采集技术设计的主要依据。一般情况下, 这些参数是通过以往剖面、单炮记录分析得到的, 受当时的施工因素、设备条件、质量控制等因素影响很大, 尤其是目的层反射波最高频率, 难以通过老资料分析得到准确的结果。充分利用 VSP 资料是获得这些信息的重要途径。

1 利用 VSP 资料辅助地震采集技术设计的方法

VSP 资料对于分析目的层反射波最高频率具有独特的优势。VSP 检波器靠近目的层, 可以避开低、降速带对地震波的吸收以及浅层干扰的影响, 记录到较为保真的地震波形, 进而较准确地反映目的层的物理特征。同时, VSP 记录中速度准确, 多次波来源及发育情况清楚, 可以为地震采集技术设计提供准确的参数^[1]。

1.1 根据 VSP 资料确定勘探目的层反射特征

VSP 资料在井中接收, 其地质分层非常明确, 通常被作为地层深度与剖面反射时间标定的桥梁, 利用 VSP 走廊叠加资料可以直观地得到目的层段的反射波特征(图 1)。

在针对转换波的地震采集技术设计中, 还可以通过非零偏 VSP 记录直观地了解目的层转换波发育情况, 获得转换波速度及 t_0 时间(图 2)。

1.2 根据 VSP 资料确定目的层层速度

在 VSP 资料采集中, 震源置于地面, 检波器置于地层内部, 首先接收到的是自上而下的下行波,

利用其初至走时可以计算出各地层速度。特别是零偏 VSP 资料, 射线路径简单, 资料质量高, 提取的地层层速度准确。

1.3 根据 VSP 资料确定目的层最高频率

利用 VSP 资料确定目的层反射波最高频率时, 最简单的方法是对上行波资料进行分频分析。通过分析上行波在不同深度的频率变化, 可以定性得到目的层反射波最高频率, 但这种方法受 VSP 资料质量影响较大。

比较准确的方法是通过研究直达波的频率变化来得到地震波在目的层以上地层中传播的吸收衰减情况, 进而根据仪器动态范围得到工区在当前设备条件下可达到的最高频率。VSP 的激发方式和接收设备与地面地震基本相同, 其反射特征与地面地震的反射特征也基本相同。但是, VSP 与地面地震也有不同, 表现为 VSP 激发药量较小, 靠近目的层接收, 记录频率较高, 同时, VSP 记录质量受井筒影响大, 局部资料难以反映真实的衰减情况。另外, 直达波在与反射波交汇的地方还受到反射波的影响, 且影响程度随界面反射特征不同而不同^[2]。所以, 研究地震波的吸收衰减时, 需要利用一定范围的数据, 按照趋势求取平均吸收衰减率。谱比法是应用较为广泛的一种方法, 它利用地震波在地层中传播时高频成分衰减快的原理求取吸收衰减参数, 并通过对不同深度接收的信号振幅谱进行最小平方线性拟合来求取各地层的平均吸收衰减率^[3]。

得到地层的平均吸收衰减率之后, 根据地震波

收稿日期: 2009-05-11; 改回日期: 2009-08-25。

第一作者简介: 晋志刚(1970—), 男, 高级工程师, 现主要从事地震采集、VSP 采集及处理与综合解释工作。

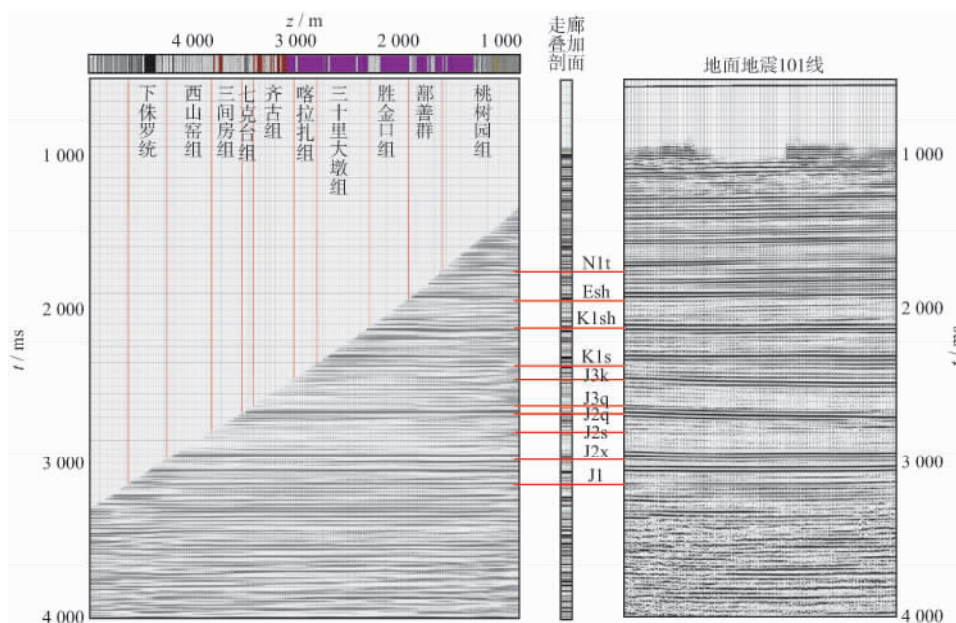


图 1 VSP 桥式对比

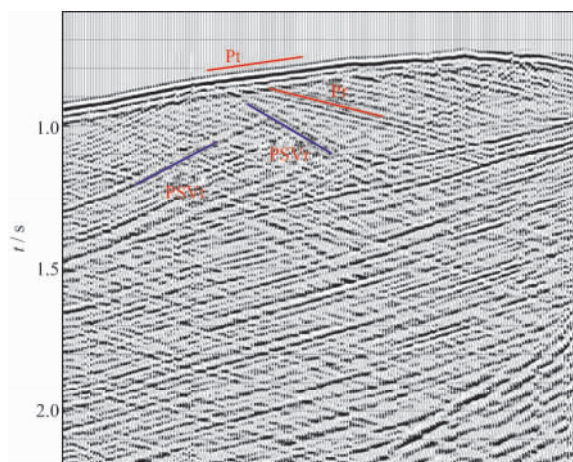


图 2 非零偏 VSP Z 分量记录

的不同频率成分从地面传播到目的层再回到地面的过程中的最大衰减量,来判断目的层反射能达到的最高频率。一般认为,某个频率成分的衰减量达到 120 dB 时,即使激发了全频子波,也无法收到高于此频率的反射信息^[4]。另一方面,如果同一信号不同频率成分的衰减量之差超过 60 dB,则由于检波器的畸变,低频强能量成分产生的畸变干扰将达到或超过高频弱信号的能量级别,此时高频信噪比在无其他干扰的情况下达到 1 : 1。多次覆盖技术可有效提高资料的信噪比,在一定条件下,提高的幅度为 $n^{1/2}$ 倍(n 为覆盖次数)^[5]。综合考虑地层吸收衰减率、当地的环境噪声水平及需要达到的资料信噪比,可以确定设计的覆盖次数。根据计算得到的最高频率,综合地层速度、反射时间等,可以确定观测系统的其它参数。

VSP 处理常常采用中值滤波法,这种处理方法会严重改变子波的频谱和相位^[5]。所以,分析地震波传播过程中的吸收衰减情况时,尽量不要使用波场分离后的数据。

2 应用效果

在苏北某区地震勘探设计中,最初的地质任务要求目的层最高频率达到 65 Hz。而在此之前采集的二维地震资料主频才 20 Hz 左右,最高频率还不到 45 Hz,新一轮勘探能否把最高频率提高到地质任务要求的水平? 在当前的激发、接收条件下,本区目的层反射最高频率能达到多少? 这是该区进行地震采集技术设计时需要考虑的问题。

我们对该区 VSP 资料进行分析。从 VSP 记录及其直达波频谱来看,地震波高频能量随深度增加逐渐衰减,但这种衰减不是一个平稳过程,而是在几个深度段快速衰减(图 3)。这种情况表明,不同深度目的层能够得到的最高主频差距很大。

通过对比各个深度的直达波频谱和子波频谱,可以得到不同深度子波的衰减情况。由图 3 可以看出:①3 200 m 处直达波 38 Hz 以上频率比子波衰减了 50 dB,折合成双程反射,衰减达到了 110 dB。考虑 24 位地震仪器在本区干扰背景下的有效动态范围也就 100 dB 左右,这样的衰减量表明,在近道不超调的情况下,深层次反射 38 Hz 以上的信噪比达到 1 : 1 左右。要提高信噪比,可以考虑增加适当的偏移距或设置高通滤波。②在

3 200 m 处直达波频谱中,从 25 Hz 到 41 Hz,振幅差在 30 dB 左右,折合成双程反射,在 60 dB 左右,这是常规检波器的动态范围。要想提高频宽,需要提高检波器的动态范围,可以考虑选用低畸变

检波器或采用多次覆盖。多次覆盖可以提高资料信噪比,相当于提高接收系统的动态范围。假设畸变产生的干扰是随机的,多次覆盖可以提高动态范围 $20 \times \lg n^{1/2}$ dB (n 为覆盖次数)^[6]。

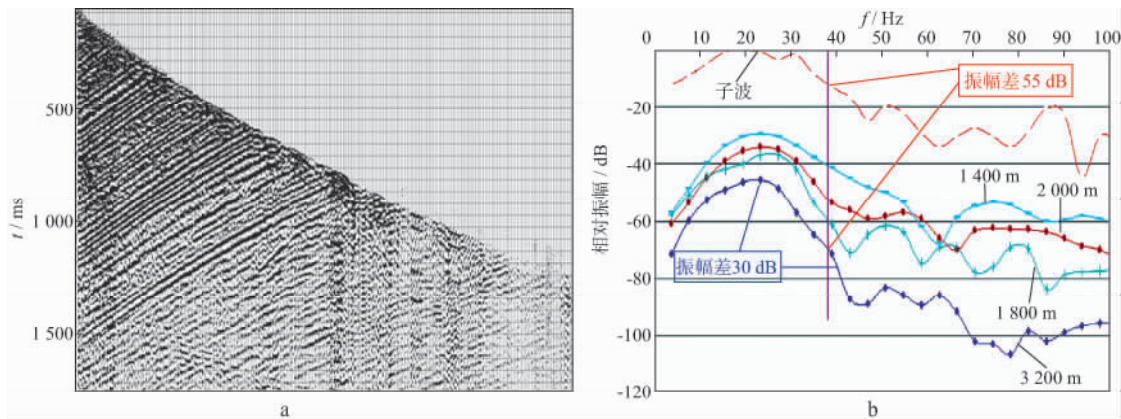


图 3 苏北地区某井 VSP 记录(a)和不同深度直达波频谱(b)

综合考虑本区信号衰减特点、地质要求和勘探经费,覆盖次数选 100 次左右。这样接收系统等价动态范围达到 80 dB,从衰减曲线看出,可接收到的最大频率为 44 Hz 左右。按照最大保护频率 45 Hz,加上从 VSP 资料得到的速度、埋深数据,通过理论论证,面元尺寸 30 m 即可满足要求。因为本文方法是首次使用,为保险起见,生产使用的观测系统是按最大保护频率 65 Hz 设计的,面元

尺寸定为 20 m,比以前使用的 12.5 m 放宽了一些,降低了生产成本。

最终的勘探成果证明,VSP 资料分析结果是正确的(图 4),利用 VSP 资料辅助观测系统设计可有效提高费效比。图 5 为同一位置新老三维地震剖面对比,由图可见,相对老资料而言,本次勘探得到的地震剖面同相轴更为连续,目的层反射更为清楚,信噪比高。

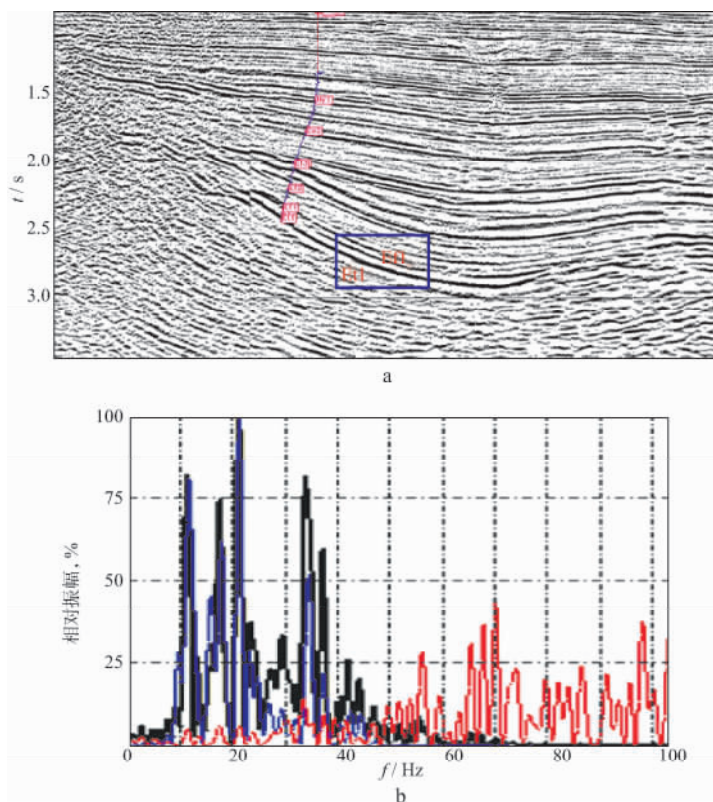


图 4 苏北某区新三维地震剖面(a)与目的层频谱(b)

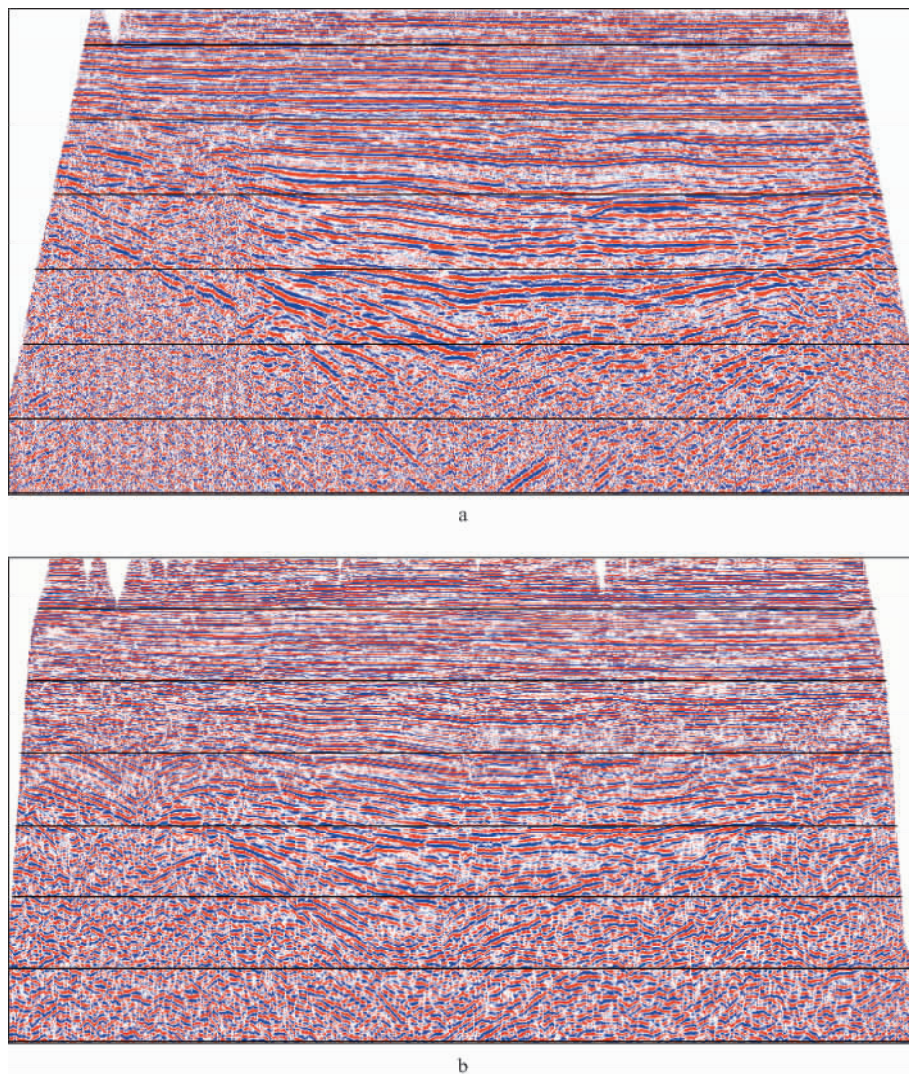


图 5 苏北某区新(a)老(b)三维地震剖面对比

3 结论

利用探区已有的 VSP 资料可为采集技术设计提供目的层有效反射特征、层速度以及目的层最高频率,从而得到经济实用的观测系统设计方案,避免为达到难以实现的目标而造成的不必要的浪费。从苏北地区的应用实践看,利用 VSP 资料辅助地震勘探观测系统设计是切实可行的。

参 考 文 献

1 张晓江,王元君. 关于三维地震勘探设计思路的探讨

[J]. 石油天然气学报,2006,28(3):270~272

2 李淑宁,刘荣,金东民. 利用 VSP 资料研究地层吸收衰减规律[J]. 石油物探,1999,38(4):114~119

3 Rainer Tomn. 由 VSP 资料确定地震品质因子 Q—不同计算方法的比较[J]. 王焕弟译. 石油物探译丛,1991,3:36~40

4 李桂林. 现有技术条件下松辽盆地北部地区地震勘探分辨率潜力研究[D]. 北京:中国地质大学,2006

5 冯晷,刘财,杨宝俊,等. 中值滤波器对信号相位和形状影响的研究[J]. 石油物探,2002,41(1):37~75

6 陆基孟. 地震勘探原理[M]. 北京:石油大学出版社,1993. 179~181

(编辑:戴春秋)