

# 一种基于吸收衰减的覆盖次数设计方法

叶 玮<sup>1</sup>, 王瑞贞<sup>2</sup>, 陈 曦<sup>3</sup>, 郭 雯<sup>4</sup>, 黄 淼<sup>2</sup>, 程展展<sup>2</sup>, 张学银<sup>2</sup>

<sup>1</sup>中国石油天然气股份公司华北油田分公司勘探开发研究院, 河北 任丘

<sup>2</sup>中国石油集团东方地球物理公司华北物探处, 河北 任丘

<sup>3</sup>中国石油集团渤海钻探工程有限公司华北井下公司, 河北 任丘

<sup>4</sup>华北石油管理局有限公司江苏储气库分公司, 河北 任丘

收稿日期: 2022年10月13日; 录用日期: 2022年11月3日; 发布日期: 2022年11月10日

## 摘 要

随着物探技术的不断进步, 地质上对地震勘探资料品质的要求越来越高。“两宽一高”地震勘探技术的规模应用, 大幅度提升了地震勘探资料的品质, 但是受勘探投资的制约, 采集参数的设计、资料品质与采集成本之间需要保持平衡。勘探新区和勘探程度较低的区域受老资料少、勘探认识程度低的制约, 采集参数的确定通常需要通过试验线资料对比得出, 在理论方法论证方面仍缺乏定量分析, 同时单一的试验线分析难以全面掌控全区资料品质变化。由于覆盖次数是影响采集参数的关键因素, 为了更好地获得高品质资料, 往往新区勘探覆盖次数设计都会较保守地设计较高覆盖, 但过高的覆盖次数会提高采集成本, 同时大量的冗余数据也为资料处理增加了不必要的工作量。本文提出了一种基于吸收衰减的覆盖次数设计方法, 通过计算地震波的球面扩散、吸收衰减和反射能量, 分析不同覆盖次数下信噪比的变化, 为地震勘探采集设计覆盖次数优化论证提供参考。

## 关键词

吸收衰减, 覆盖次数, 球面扩散, 反射能量, 信噪比定量估算, 观测系统

# A Kind of Fold Designing Method Based on Absorption Attenuation

Wei Ye<sup>1</sup>, Ruizhen Wang<sup>2</sup>, Xi Chen<sup>3</sup>, Wen Guo<sup>4</sup>, Miao Huang<sup>2</sup>, Zhanzhan Cheng<sup>2</sup>, Xueyin Zhang<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Research Institute of Exploration and Development in Huabei Oilfield Company, CNPC, Renqiu Hebei

<sup>2</sup>North China Geophysical Exploration Department of BGP, CNPC, Renqiu Hebei

<sup>3</sup>Huabei Underground Company of Bohai Drilling Engineering, CNPC, Renqiu Hebei

<sup>4</sup>Jiangsu Gas Storage Branch of Huabei Petroleum Administration Co., LTD., CNPC, Renqiu Hebei

Received: Oct. 13<sup>th</sup>, 2022; accepted: Nov. 3<sup>rd</sup>, 2022; published: Nov. 10<sup>th</sup>, 2022

文章引用: 叶玮, 王瑞贞, 陈曦, 郭雯, 黄淼, 程展展, 张学银. 一种基于吸收衰减的覆盖次数设计方法[J]. 地球科学前沿, 2022, 12(11): 1352-1359. DOI: 10.12677/ag.2022.1211131

## Abstract

With the development of geophysical exploration technology, the quality of seismic exploration data is required more and more. The large-scale application of wide azimuth, wide frequency band and high density technology greatly improves the quality of seismic data, but restricted by exploration investment, the design of acquisition parameters, data quality and acquisition cost need to be balanced. New exploration areas and less explored areas are restricted by the lack of old data and low exploration awareness, so the determination of acquisition parameters usually needs to be obtained through comparison of test line data, which still lacks quantitative analysis in theoretical and methodological demonstration, and at the same time, it is difficult for a single test line analysis to comprehensively control the data quality changes in the whole area. As the number of coverage is a key factor affecting acquisition parameters, in order to better obtain high-quality data, the design of exploration coverage in new areas is usually a conservative design with high coverage, but too high coverage will increase acquisition cost, and a large number of redundant data will also increase unnecessary workload for data processing. In this paper, a design method of coverage times based on surface absorption attenuation is proposed. By calculating spherical diffusion, absorption attenuation and reflection energy of seismic wave, the change of signal-to-noise ratio with different coverage times is analyzed, which provides reference for optimization demonstration of coverage times in seismic exploration acquisition design.

## Keywords

Absorption Attenuation, Folds, Spherical Spreading, Reflection Energy, Quantitative Estimation of SNR, Observation System

Copyright © 2022 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

地震采集是地震勘探的源头, 采集得到高质量原始地震资料是后续处理、解释工作的基础[1]。信噪比是评价地震资料品质的重要指标之一, 噪音不仅对有效信号产生干扰, 还会降低资料的分辨率[2]。随着勘探技术的不断进步, 采集方案不断强化, 高覆盖、组合激发等采集方法可以有效提升地震资料的信噪比, 但另一方面也大幅度增加了采集成本。过于强化的采集方法致使地震数据冗余, 也增加了地震资料处理工作量。科学地设计覆盖次数和组合激发方式等采集参数, 对于确保勘探质量、控制勘探成本、提高投资效率具有重要意义。

虽然多次覆盖、组合激发等技术的一些做法在早期的工程实践中已被运用, 但是采集设计的理论从上世纪 80 年代后期才被发表[3] [4] [5], 随后有关地震采集的理论研究逐渐丰富, 学者们提出了运用长排列、宽方位、小面元的方法以提高地质目标成像效果的采集方法[6] [7] [8]或是增强观测系统均匀性以压制采集脚印的方法[9], 随着“两宽一高”采集技术的发展和运用, 基于 OVT 属性分析的方法应用于采集设计[10]。

三维观测系统的设计应当从处理、解释的角度考虑, 以求得到有效信号并且尽可能地压制噪声[11]。三维采集参数主要有面元、覆盖次数、最大炮检距、接收线距、激发线距等, 其中覆盖次数与采集成本直

接相关,是现阶段观测系统设计中优先考虑的因素。

本文提出了一种基于吸收衰减的覆盖次数设计方法,通过计算地震波的球面扩散、吸收衰减效应和反射能量,分析不同覆盖次数的信噪比变化,为地震勘探采集方案设计和参数优化提供参考。在保证采集效果的同时,选取最优化的采集方法,形成经济技术一体化的采集方案。

## 2. 理论方法

地震记录中有效信号的振幅主要受三个因素的影响:一是球面扩散,二是由于地球介质的非弹性形变引起的吸收衰减,三是地层界面的反射系数。

### 2.1. 球面扩散

地震波的能量球面扩散与地震波的传播路径有关,在二维情况下,距震源点  $r_0$  处的传播能量经过扩散后,其扩散系数  $D$  为[12]:

$$D_{dis} = \frac{r_0}{r} \quad (1)$$

其中,  $r$  为地震波的传播路径长度。随着传播深度的增加,地震波能量迅速减弱。

### 2.2. 吸收衰减

由于地震波在地球介质中的传播并非是完全弹性的,因此受品质因子  $Q$  的影响,不同频率的信号能量会受到不同程度的衰减。对于双程旅行时的单频信号[13]:

$$A = e^{-i\omega \frac{2\Delta z}{v(z)}} \quad (2)$$

其中,  $A$  表示地震波信号,  $\Delta z$  是传播的深度,  $v(z)$  是随深度变化的地震波速度,  $\omega$  是角频率。

采用复速度的方法引入地震波的粘滞性[14]:

$$\frac{1}{v(z)} = \frac{1}{v(z, \omega)} \left( 1 - \frac{i}{2Q(z)} \right) \quad (3)$$

其中,  $Q(z)$  为随深度变化的品质因子。

公式(3)转换为

$$v(z, \omega) = v(z, \omega_0) \left| \frac{\omega}{\omega_0} \right|^\gamma \quad (4)$$

$$\gamma = \frac{2}{\pi} \tan^{-1} \left( \frac{1}{2Q} \right) \approx \frac{1}{\pi Q} \quad (5)$$

其中  $\omega_0$  为参考圆频率,根据公式(5)可以得到随  $Q$  变化的振幅衰减系数为

$$A_{abs} = e^{-\omega 2\Delta z * \left( \frac{1}{v(z, \omega)} \frac{1}{2Q(z)} \right)} = e^{-\omega \Delta z * \left( \frac{1}{v(z, \omega_0)} \left| \frac{\omega}{\omega_0} \right|^\gamma \frac{1}{Q(z)} \right)} \quad (6)$$

### 2.3. 反射振幅

地震波的反射能量和反射系数直接相关,反射系数可通过井资料获得。上层介质的反射系数对于下传的地震波能量也有影响,  $A_n$  为第  $n$  个地层界面的反射振幅,反射振幅可以由下式求出[15]:

$$\begin{cases} R_{ref} = r_n & (n=1) \\ R_{ref} = \frac{r_n \left( A_0 - \sum_{i=1}^{n-1} A_i \right)}{A_0} & (n \geq 2) \end{cases} \quad (7)$$

其中,  $A_0$  为激发能量,  $R_{ref}$  为第  $n$  个地层界面的反射系数,  $r_n$  为该地层界面的反射系数。

## 2.4. 覆盖次数

一般而言, 覆盖次数与信噪比是存在一定关联的。通过野外试验可以得到不同激发参数的单炮地震记录, 在单炮地震记录上, 初至波能量可以用来表示有效波能量, 而在初至波到达之前的数据可以用来估计噪声的能量。

令初始信噪比为  $R_0$ , 假设最小炮检距为 10 m, 考虑球面扩散效应后的信噪比可以用公式来计算[16]:

$$R = 10 \times \frac{R_0(f)}{z} \quad (8)$$

受近地表吸收衰减的影响, 吸收衰减后的信噪比还得乘上吸收衰减因子。由于  $n$  次水平叠加后信噪比为单次覆盖的均方根倍, 因此叠加后信噪比可估算为[17]:

$$R = 10 \times \frac{R_0(f)}{z} \times \tilde{u}(z, f) * \sqrt{n} \quad (9)$$

联合公式(1)、(6)、(7)、(9), 得到

$$R_{S/N} = \sqrt{n} \frac{A_0 D_{dis} A_{abs} R_{ref}}{N} \quad (10)$$

利用单炮资料的初至能量估算有效信号的初始能量, 结合球面扩散和吸收衰减的振幅计算结果, 与环境噪音所估算出的全炮噪声能量, 共同计算出最终采集信号的信噪比。利用信噪比图就可以对覆盖次数进行定量设计。

## 3. 应用实例

XL 三维区块位于内蒙地区, 大部分地表被全新统沉积物覆盖, 为黄河泛流相沉积。地表障碍物密集, 交通干扰严重。主要目的层埋深大, 深层反射系数小, 波阻抗界面不明显。地震波信号振幅随深度变化曲线如图 1 所示。同时, 建立不同深度频率信号的振幅(图 2), 其中(a)为吸收衰减的结果, (b)为球面扩散与吸收衰减综合效应的结果。

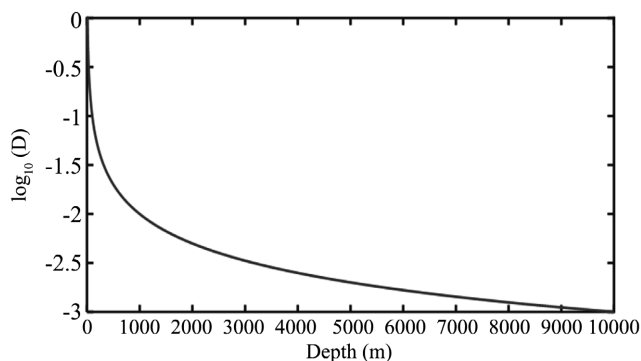
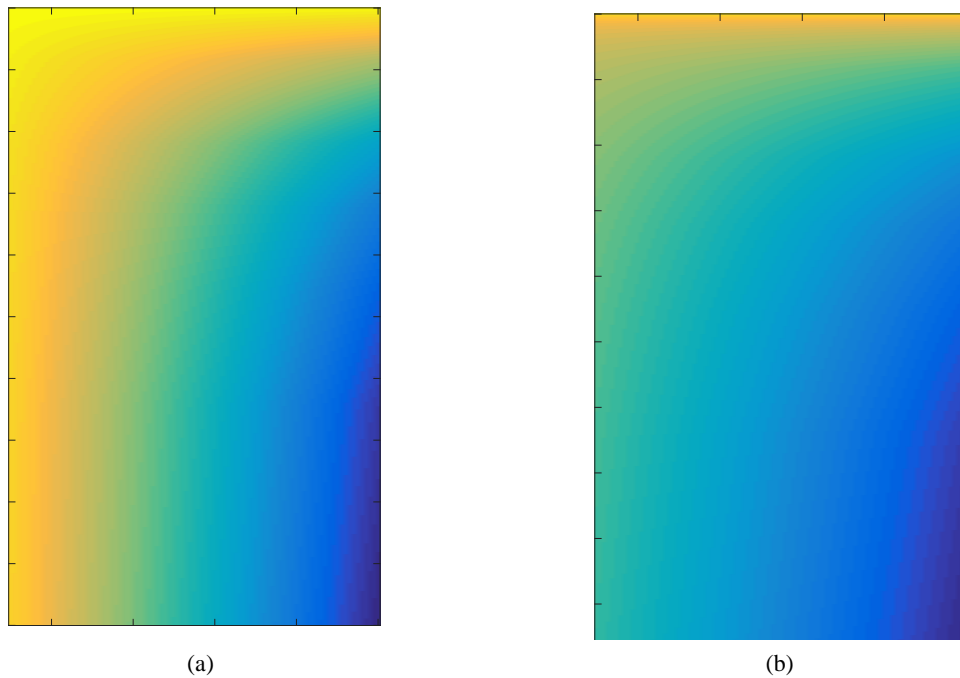
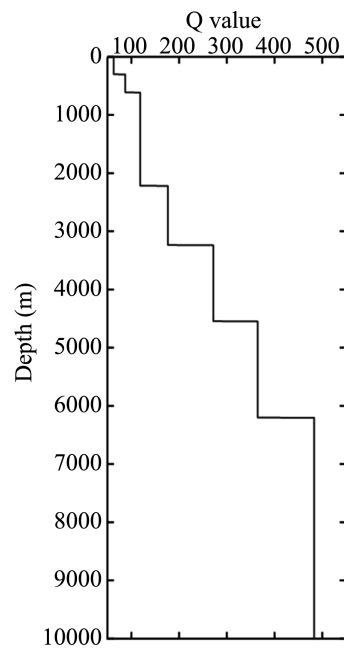


Figure 1. The amplitude of seismic waves varies with depth  
图 1. 地震波信号振幅随深度变化曲线



**Figure 2.** Signal amplitudes at different depth frequencies  
**图 2.** 不同深度频率的信号振幅

如图 3 所示，根据微测井资料，基于广义 S 变换，建立近地表 Q 值模型。深层 Q 值可以根据地震波速度估算，也可以利用 VSP 资料求取，建立表层 - 深层一体化 Q 值模型，用于计算有效信号的整体吸收衰减。



**Figure 3.** Curve of Q value with depth  
**图 3.** Q 值随深度变化曲线

设定信噪比大于 1 为合格资料，通过信噪比计算，分析 500 次覆盖、1000 次覆盖、1400 次覆盖时信噪比随深度和频率变化的规律。

图 4 中，(a)为 500 次覆盖，(b)为 1000 次覆盖，(c)为 1400 次覆盖。信噪比大于 1 的频率范围颜色是黄色，随着深度的增加，高频信号迅速衰减。随着覆盖次数的提高，信噪比合格频带范围逐渐拓宽，1000 次覆盖目的层深度高频合格信号可达到 60 Hz 以上，1400 次覆盖虽有一定改善但效果不明显。因此，建议的覆盖次数在 1000 次左右，实际施工中，为了确保资料品质，施工方确定的覆盖次数为 1152 次。

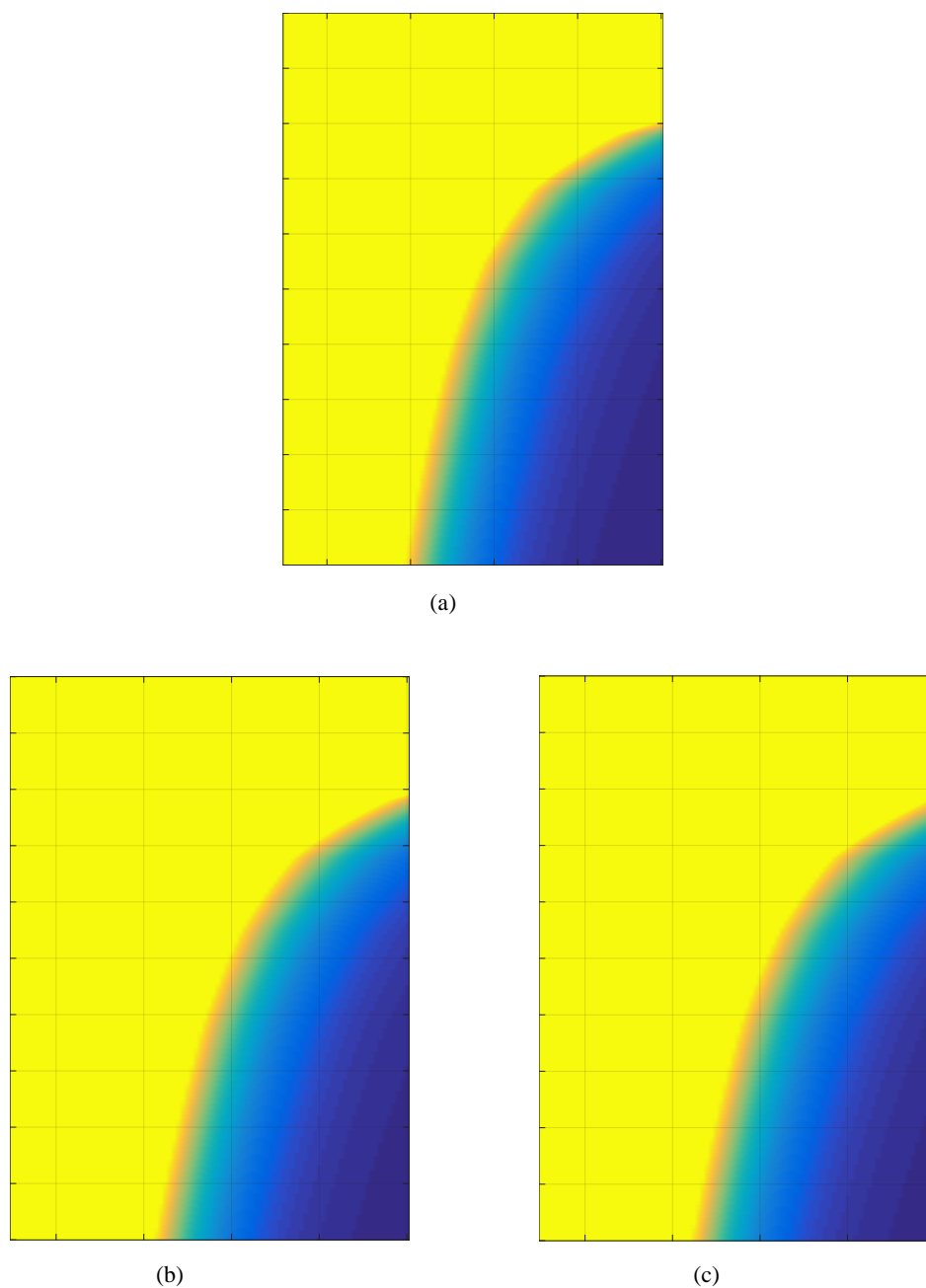


Figure 4. The S/N of different folds varies with depth and frequency

图 4. 不同覆盖次数的信噪比随深度、频率的变化

图 5 为新采集的成果剖面与老成果剖面对比((a)为老成果剖面, (b)为新成果剖面)。可以看出, 基于表层吸收衰减的覆盖次数发挥了作用, 新采集的资料较老资料品质有了较大提高, 主要标志层波组特征清晰, 层次分明, 可追踪性强, 断层更加清晰、断点干脆。

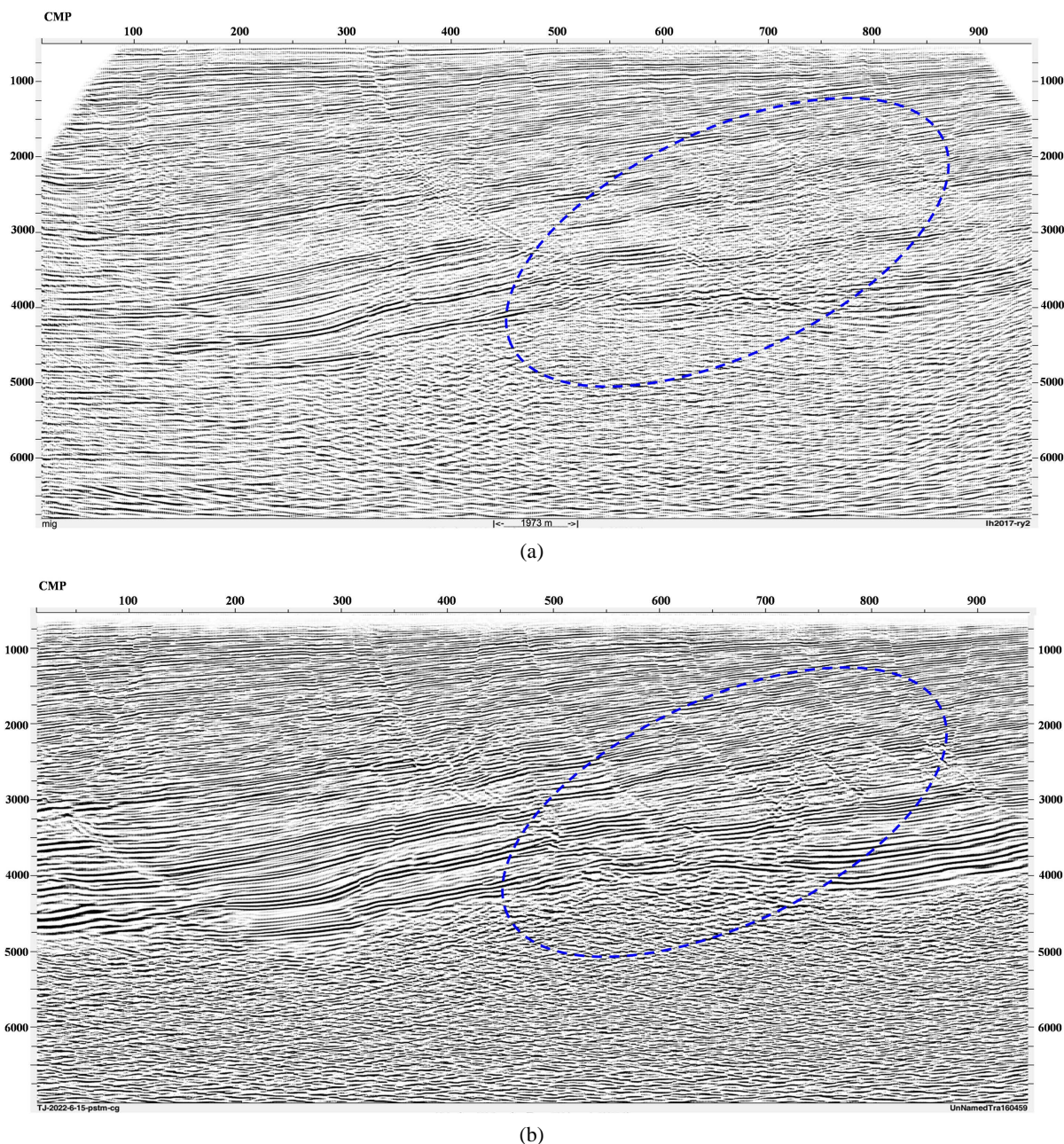


Figure 5. Comparison of new and old results  
图 5. 新老成果剖面对比

#### 4. 结论

1) 本文提出了一种基于表层吸收衰减计算覆盖次数的设计方法, 针对目的层计算地震波的球面扩散、吸收衰减和反射振幅, 结合环境噪音能量分析, 对比不同覆盖次数的信噪比变化, 优化合适的采集参数。

2) 基于吸收衰减的覆盖次数设计方法, 有效保护了深层资料的高频信号, 通过在实际资料中的应用, 取得了较好的采集效果, 能够为相似地区的地震勘探提供一种借鉴方案。

## 基金项目

本文研究受中国石油集团东方地球物理公司科研项目“地震采集方法基础研究”(基金编号: 03-01-2022)资助。

## 参考文献

- [1] 王喜双, 赵邦六, 董世泰, 等. 面向叠前成像与储层预测的地震采集关键参数综述[J]. 中国石油勘探, 2014, 19(2): 33-38.
- [2] 赵贤正, 邓志文, 白旭明, 等. 二连盆地草原区环保地震勘探技术及应用[J]. 石油地球物理勘探, 2015, 50(1): 14-19.
- [3] 陆基孟, 王永刚. 地震勘探原理[M]. 青岛: 中国石油大学出版社, 2009, 165-196.
- [4] Ongkiehong, L. and Askin, H.J. (1988) Towards the Universal Seismic Acquisition Technique. *First Break*, 6, 46-63. <https://doi.org/10.3997/1365-2397.1988003>
- [5] Vermeer, G.J.O. (1990) Seismic Wavefield Sampling. Society of Exploration Geophysicists and Shell Research B.V., Port Harcourt. <https://doi.org/10.1190/1.9781560802440>
- [6] 李庆忠. 岩性油气藏地震勘探若干问题讨论(I) [J]. 岩性油气藏, 2008, 20(2): 1-15.
- [7] 魏伟, 符力耘, 蒋韬. 复杂构造三维地震观测系统设计的共聚焦分辨率分析[J]. 地球物理学报, 2009, 52(5): 1310-1317.
- [8] 陈敬国, 王成河, 白旭明, 等. 三维观测系统属性定量评价方法探讨[J]. 中国石油勘探, 2015, 20(2): 68-74.
- [9] 刘书峰. 基于 CRP 面元的观测系统表征与优化[D]: [硕士学位论文]. 北京: 中国石油大学(华东), 2017.
- [10] 秦龙, 尹成, 刘伟, 等. 提高地震波照明均匀性的加密炮设计新方法[J]. 石油地球物理勘探, 2016, 51(4): 639-646.
- [11] 吴永国, 尹吴海, 何永清, 等. 三维观测系统属性均匀性的定量分析[J]. 石油地球物理勘探, 2012, 7(3): 361-365+353+518.
- [12] 詹仕凡, 陈茂山, 李磊, 等. OVT 域宽方位叠前地震属性分析方法[J]. 石油地球物理勘探, 2015, 50(5): 956-966.
- [13] 段文胜, 裴家定, 李飞, 等. OVT 域内插炮检线压制采集脚印[J]. 石油地球物理勘探. 2016, 51(1): 40-48.
- [14] Vermeer, G.J.O. (2012) 3D Seismic Survey Design. Second Edition, Society of Exploration Geophysicists and Shell Research B.V., Port Harcourt. <https://doi.org/10.1190/1.9781560803041>
- [15] 陈雨红, 杨长春, 曹齐放, 等. 几种时频分析方法比较[J]. 地球物理学进展, 2006, 21(4): 1180-1185.
- [16] 张霖斌, 刘迎曦, 赵振峰. 有限差分波动方程正演模拟震源处理[J]. 石油地球物理勘探, 1993, 28(1): 46-50.
- [17] 崔宏良, 刘占军, 万学娟, 等. 拟合 Q 体建模技术及应用[J]. 岩性油气藏, 2015, 27(3): 94-97.