

Analysis of Influencing Factors of Tuning Thickness for Thin Interlayers

Tao Yuan

Northeast Oil & Gas Branch of SINOPEC, Changchun Jilin
Email: zhangd.dbsj@sinopec.com

Received: Sep. 7th, 2019; accepted: Sep. 22nd, 2019; published: Sep. 29th, 2019

Abstract

Up until now, 1/4 wavelength of the seismic wave is treated as the tuning thickness for the thin layers or thin interlayers in the seismic interpretation. To investigate this criterion, in this paper, we design several sets of thin layer and interlayer models and analyze the corresponding forward modelling results. The results show that the tuning thickness for the thin layer is different from that for the thin interlayer. This demonstrates that the theoretical tuning thickness of 1/4 wavelength is only applicable for the situation where the seismic wave propagates perpendicularly to the thin layers. The tuning thickness for the thin interlayers decreases to a certain extent depending on the variation of the structure of the thin interlayers.

Keywords

Thin Interlayer, Model Forward, Tuning Amplitude

浅析薄互层地震调谐影响因素

元 涛

中国石油化工股份有限公司东北油气分公司, 吉林 长春
Email: zhangd.dbsj@sinopec.com

收稿日期: 2019年9月7日; 录用日期: 2019年9月22日; 发布日期: 2019年9月29日

摘 要

一直以来, 地震薄层或薄互层解释以振幅极值对应地震资料的1/4波长为准则, 称为调谐厚度。本文通过设计多套薄层、薄互层模型并分析正演结果证实, 薄层和薄互层的地震调谐厚度是不同的。进一步实验证实“1/4波长”的调谐厚度理论值只适用于地震波垂直入射在单薄层的情况下, 薄互层的调谐厚度

随着薄互层结构的变化而有不同程度的减小。

关键词

薄互层, 模型正演, 调谐振幅

Copyright © 2019 by author(s) and Hans Publishers Inc.

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

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



Open Access

1. 引言

“调谐厚度”一直以来被用作薄层地震预测的重要指标。实际上, 最初的薄层定义就是以入射子波调谐厚度($\lambda/4$)为标准建立的[1]。相应的, 就出现了关于传统薄层分辨率的一系列准则, 如: $\lambda/4$ (瑞利)、 $\lambda/8$ (威迪斯)、 $\lambda/12$ (法尔)等。然而, 在模型正演和实际资料应用过程中, 关于调谐厚度的判断却往往与理论值存在差异, 尤其是面向薄互层模型开展同类研究的时候。张军华等(2004)通过对调谐厚度与速度和子波频率关系的研究, 认为实际调谐厚度小于 $\lambda/4$ 。王红(2015)则证实薄互层内部结构是影响其地震反射的最主要控因。本文通过设计多套薄互层模型, 研究薄互层结构要素对判断调谐厚度的影响。

2. 薄层与薄互层的调谐厚度对比

设计简单的水平薄互层状模型, 其中单层砂体厚度 2 m、隔层厚度 2 m; 砂岩速度 2550 m/s、泥岩速度 2400 m/s; 砂岩层数由 8 层递减至 2 层(图 1)。给定 ricker 子波频率为 30 Hz, 那么对应的地震波长约为: $\lambda = v/f \approx 82$ m。

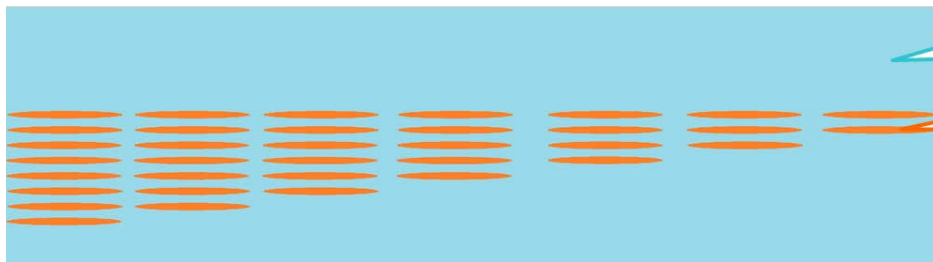


Figure 1. Thin interlayer model for shaly sandstone
图 1. 砂泥岩薄互层模型

采用简单的褶积正演方法, 获得相应的地震记录, 并统计最大振幅属性和均方根振幅属性的结果, 如图 2 所示。两种振幅属性的变化规律一致, 并且在 4 层砂体模型(即总厚度 16 m)时达到最大, 约等于 $1/5$ 波长长度。理论上, $1/4$ 波长所代表的调谐厚度应该在 20 m 附近, 即 5 层砂体模型。

为了验证单层与互层在计算调谐厚度方面的差异, 基于图 1 给出的薄互层模型, 保持地层速度参数不变, 构造同等厚度的薄层模型, 如图 3 所示。

采用 30 Hz 的标准 ricker 子波进行褶积法正演, 提取其反射振幅, 绘制反射振幅与薄层厚度的关系曲线, 如图 4 所示。可以看出, 单个薄层的厚度约在 $1/4$ 波长时, 反射振幅达到最大值。由此可见, 薄层和薄互层在振幅变化的厚度阈值方面是存在差异的。

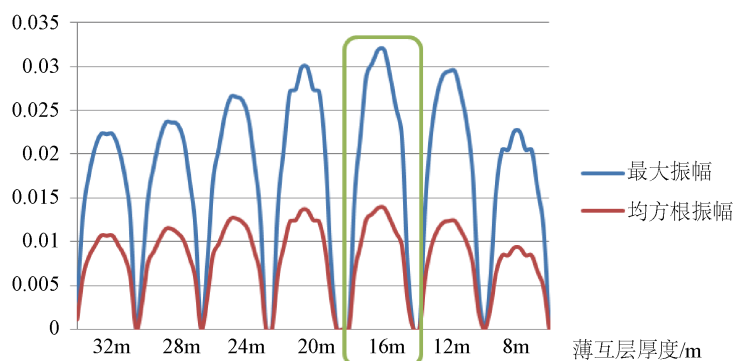


Figure 2. Relation between reflection amplitude and thickness for thin inter-layers

图 2. 薄互层反射振幅与薄互层厚度的关系

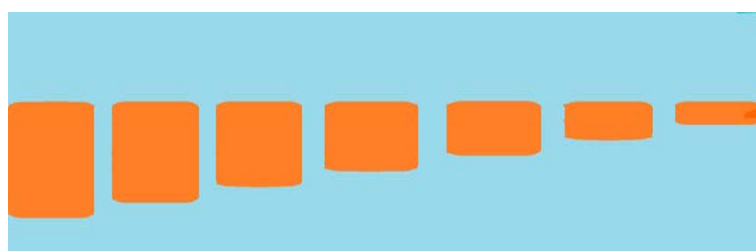


Figure 3. Thin layer model

图 3. 薄层模型

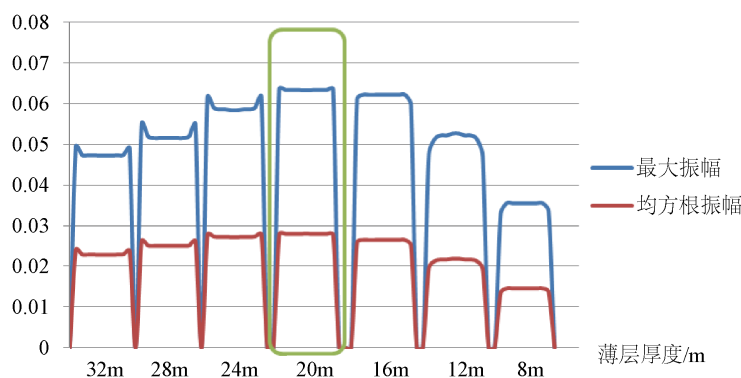


Figure 4. Relation between reflection amplitude and thickness for thin layers

图 4. 薄层反射振幅与薄层厚度的关系

进一步设计模型考察薄互层结构带来的影响。建立 8 种不同砂泥比的楔形薄互层模型(如图 5 所示), 每种薄互层总厚度变化范围为 0~90 m, 围岩为泥岩, 其中泥岩速度为 2300 m/s, 砂岩速度为 2550 m/s。

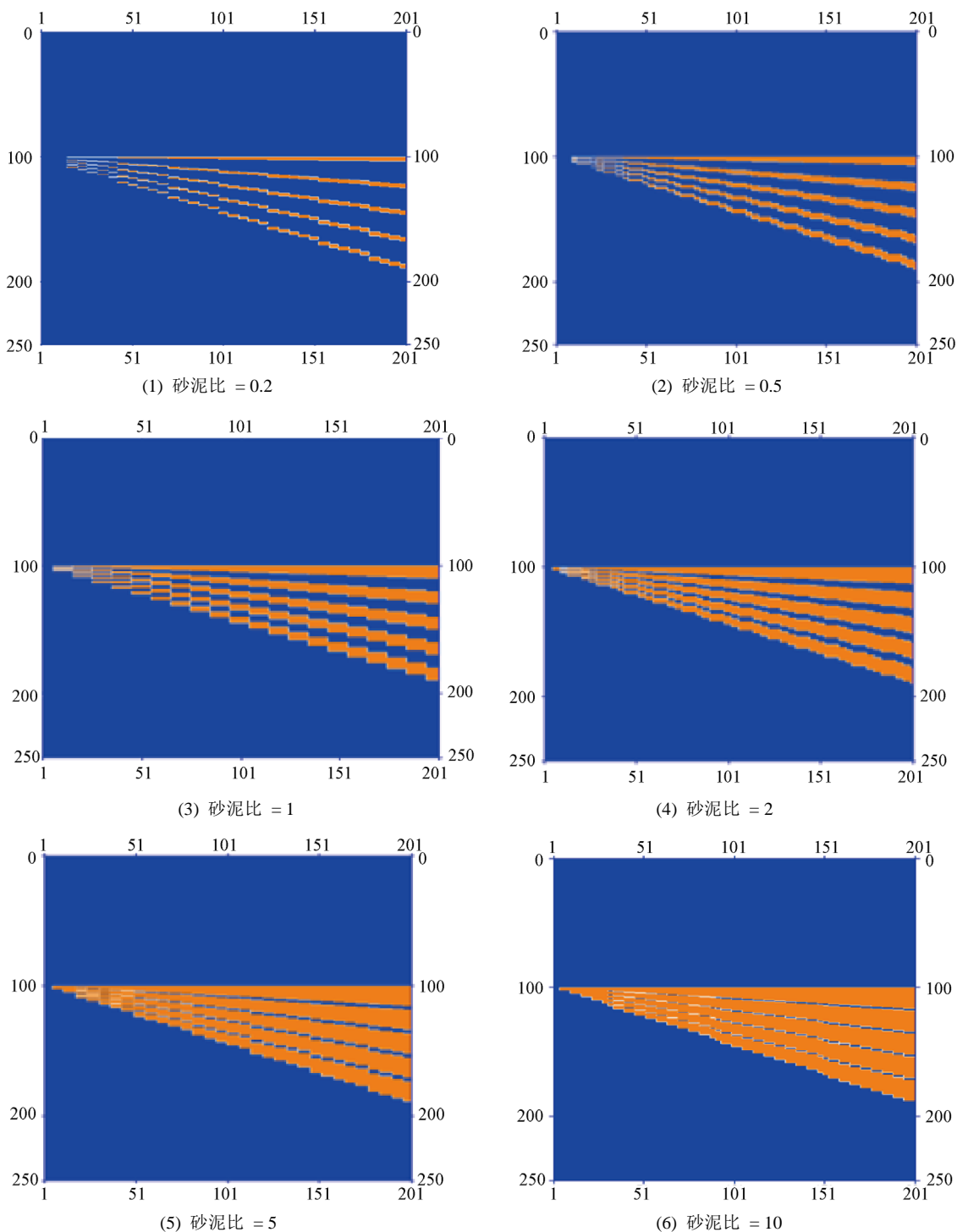
采用主频为 30 Hz 的标准 ricker 子波进行褶积法正演, 基于正演结果进行振幅分析。总厚度一定的条件下, 随着砂泥比的增大, 薄互层调谐厚度逐渐增大, 最终趋于 1/4 波长, 与薄层结论一致。因此, 导致薄互层调谐厚度偏离理论值得主要原因在于其内部结构的变化。

3. 基于反射率法正演结果的分析

褶积法正演只考虑了垂直入射时地震反射波的特征。事实上, 薄互层的反射波和透射波是由在各个薄层中经受不同次数的反射和透射后形成的单波叠加的结果。每个单波之间的时差及其干涉条件取决于

薄层厚度、薄层中波的传播速度及入射波的入射角。反射波和透射波的波形和频率成分不仅取决于入射波的波形和频谱，而且与薄层的厚度、速度及入射角有关。与两种厚层介质的分界面不同，薄层对在其中形成的反射波或透射波来说是一个线性滤波器，适合反射频率特性来描述。基于反射率法对薄互层模型数据进行正演考虑层间多次波、转换波的影响，使结果更加接近实际情况[2] [3] [4] [5] [6]。

对图 6 所示模型，同样采用主频为 30 Hz 的标准 ricker 子波，进行反射率法正演，得到图 7 所示结果。



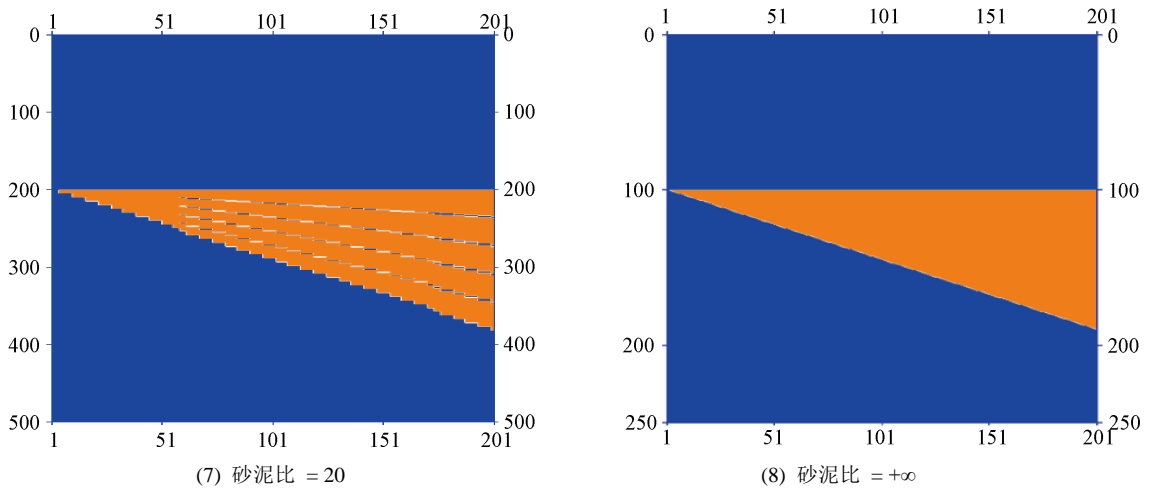


Figure 5. Wedge thin interlayer models with different ratio of sand to shale
图 5. 不同砂泥比的楔形薄互层模型

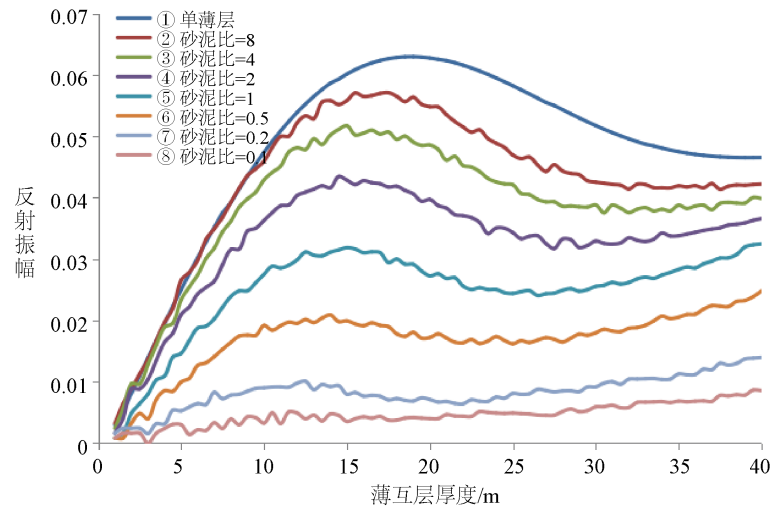


Figure 6. Variation of reflection amplitude with the thickness for thin interlayers
图 6. 薄互层反射振幅随厚度的变化曲线

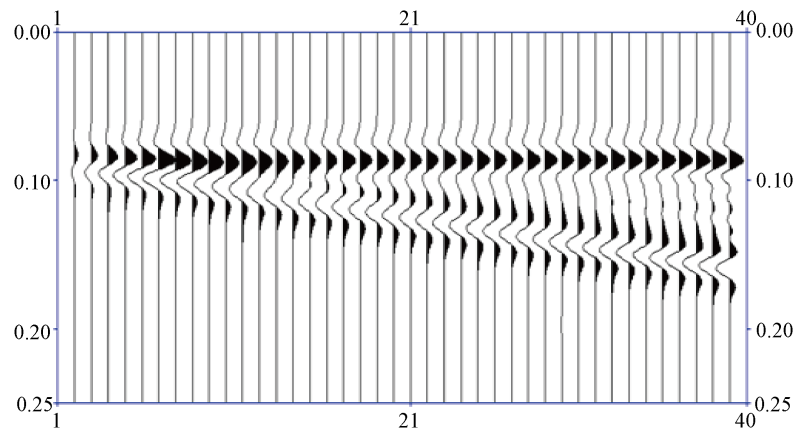


Figure 7. The seismic reflectivity profile from forward modelling for thin interlayers
图 7. 薄互层反射率正演波形(砂泥比 = 5)

提取不同砂泥比薄互层的反射振幅及其瞬时频率，得到不同砂泥比情况下，薄互层反射振幅、频率随厚度的变化曲线，如图 8 所示。

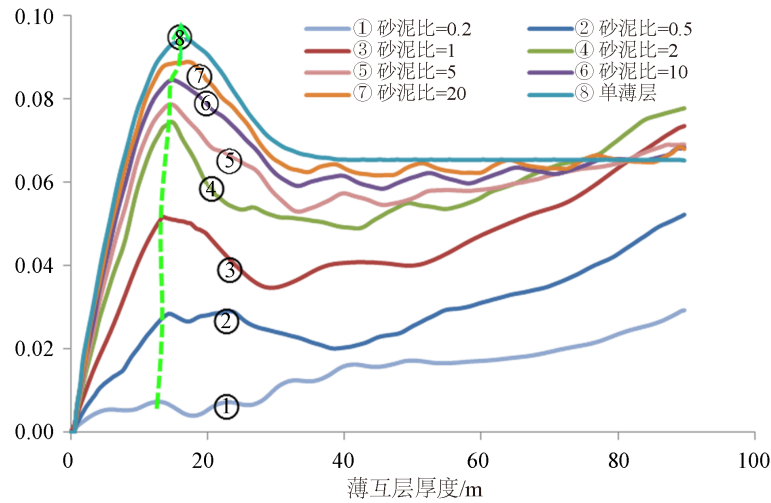


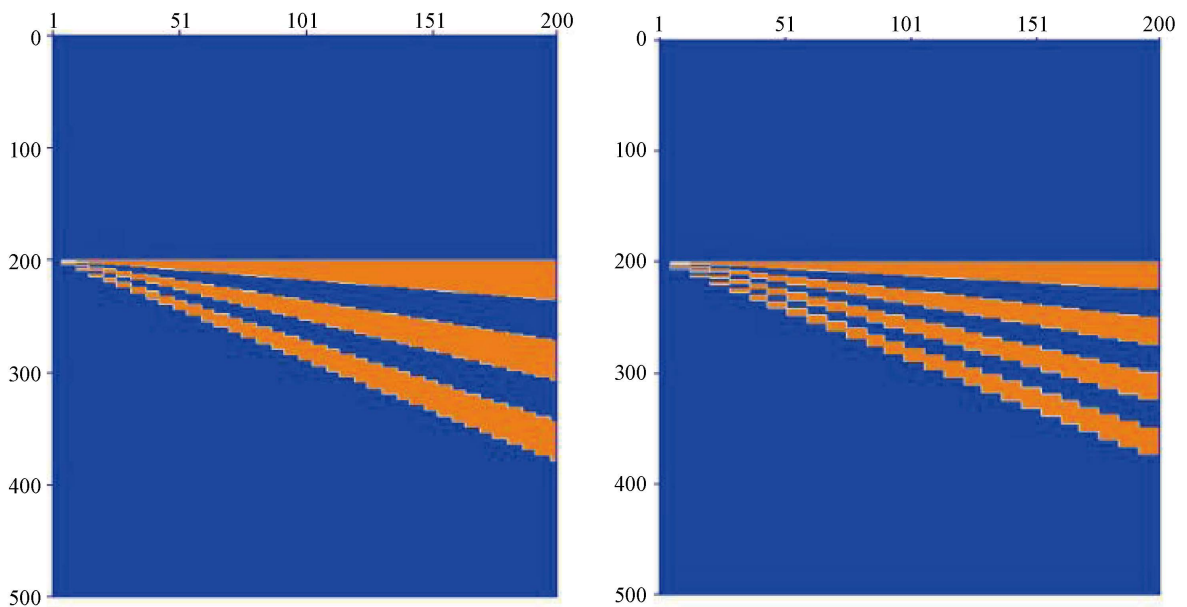
Figure 8. Variation of reflection amplitude with the thickness for the thin inter-layers

图 8. 薄互层反射振幅随厚度的变化曲线

可以看出，随着砂泥比的增大，薄互层反射振幅增强。随着砂泥比的增大，薄互层反射振幅极值对应的薄互层厚度(定义为“极值厚度”)增大，逐渐向单薄层靠近，整体仍接近 1/5 波长。

固定薄互层总厚度不变，砂泥比为 1 不变，改变砂泥岩互层数(5 层、7 层、9 层)，模型如图 9 所示。分析不同互层数情况下，薄互层反射振幅与厚度的变化关系，根据正演结果得到的变化曲线如图 10 所示。

砂泥比固定不变，不同互层数的薄互层结构，其反射振幅极值对应的厚度变化不大，但仍呈现出随层数增大而增大的趋势。受限于模型采样间隔的限制，关于层数对薄互层调谐厚度的影响只能讨论至此，但试验结果仍表明薄互层结构的互层数变化对调谐厚度是有影响的。



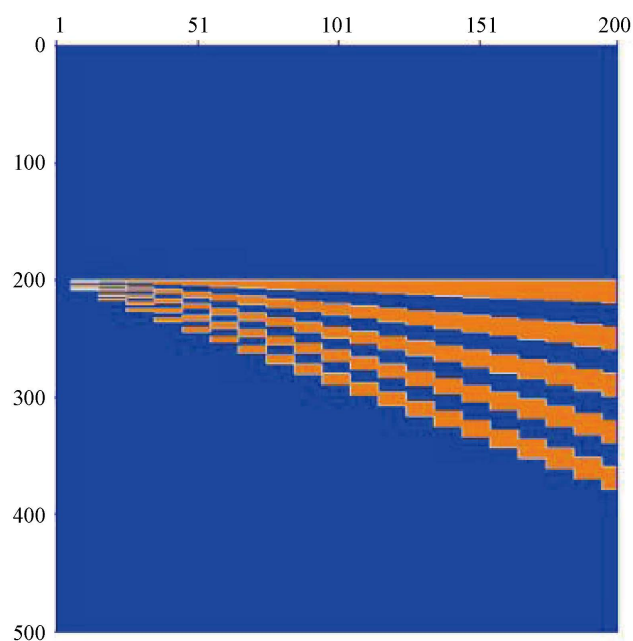


Figure 9. Structure of the thin interlayers with different interlayer numbers

图 9. 不同互层数的薄互层结构

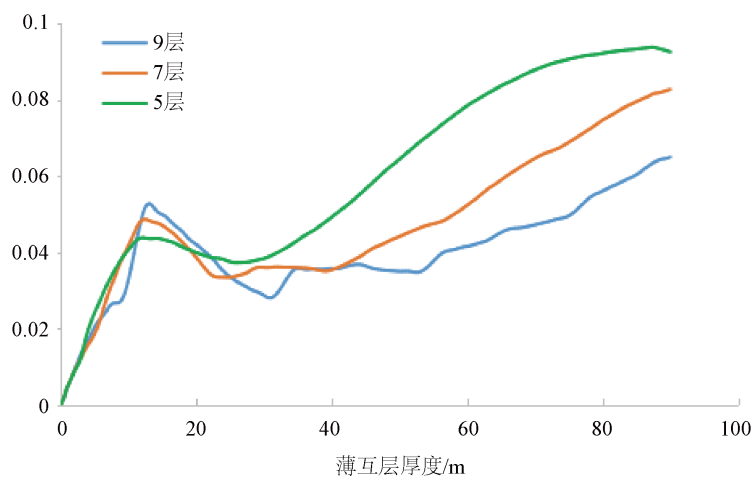


Figure 10. Variation of reflection amplitude with the thickness for the interlayers (different interlayer numbers).

图 10. 薄互层反射振幅随厚度的变化曲线(互层数不同)

4. 结论及认识

1. 关于调谐厚度为 $1/4$ 波长的理论结果，只适用于单薄层的褶积法正演结果中；薄互层的实际调谐厚度小于该理论值。

2. 薄互层结构对调谐厚度有影响，具体表现为：调谐厚度随着薄互层砂泥比的增大而增大，随层数增多而增大。

3. 尽管反射率法更适用于薄互层模型的正演，但实际资料中薄互层的层间反射更复杂，从而影响利用地震振幅属性预测薄互地层厚度的精度。

参考文献

- [1] 云美厚, 丁伟. 地震分辨力新认识[J]. 石油地球物理勘探, 2005, 40(5): 603-608.
- [2] 乐友喜. 利用模型技术研究地震属性的地质意义[J]. 物探与化探, 2001, 25(3): 191-197.
- [3] 张亚敏, 张书法. 用正演模型研究地震垂向分辨率[J]. 新疆石油地质, 2008, 29(1): 29-32.
- [4] 王贤, 杨永生, 等. 地震正演模型在预测薄储层中的应用[J]. 新疆地质, 2007, 25(4): 432-434.
- [5] 梁立锋, 刘秀娟. 弹性层系的反射系数正演[J]. 物探与化探, 2007, 31(2): 174-177.
- [6] 姜岩, 李文艳, 叶萍. 基于正演模拟的地震反射特征主要影响因素分析[J]. 大庆石油地质与开发, 2006, 25(5): 100-102.