doi: 10.11720/wtyht.2026.0072
苑书金. 储层厚度的地震属性预测技术研究和应用[J]. 物探与化探, 2026, 50(5): 903-911. https://doi.org/10.11720/wtyht.2026.0072
Yuan S J. A technique for reservoir thickness prediction based on seismic attributes and its application[J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2026, 50(5): 903-911. https://doi.org/10.11720/wtyht.2026.0072

储层厚度的地震属性预测技术研究和应用

苑 书 金
(中国石化石油勘探开发研究院, 北京 102206)

摘 要: 在油气勘探开发中, 储层厚度是油气藏描述的一个非常核心的储层参数, 是油气藏"物质基础"与"开发潜力"的直接载体, 对油气藏的勘探开发至关重要。近几年许多叠前、叠后地震储层厚度预测技术得到了大力发展, 极大地提高了储层厚度预测的精度, 但每种技术的应用都有其自身的局限性。针对勘探开发初期探井数量少的情况, 本文在研究经典 Widess 楔状储层模型地震响应特征的基础上, 引进了储层的带限波阻抗及地震净毛比参数, 建立了它们之间的函数关系, 提出了基于地震带限波阻抗的三步法储层厚度预测方法, 并通过去子波振幅调谐校正因子, 消除地震子波调谐效应, 提高了地震带限波阻抗储层厚度预测的精度。该方法不仅能够改进储层厚度超过地震 1/4 波长时, 常规地震振幅属性预测储层厚度误差较大的问题, 而且能够提高小于地震 1/8 波长薄储层的储层厚度预测精度, 在地质沉积稳定的砂岩储层中有很好的应用前景。将该技术应用于下刚果盆地深水浊积岩油藏勘探开发实践中, 显著提高了深水浊积砂岩油藏钻遇砂体的成功率, 提高了储层地质建模的精度, 取得了很好的效果。

关键词: 储层; 地震属性; 带限波阻抗; 去调谐校正因子; 地震净毛比; 储层厚度预测
中图分类号: P631.4; P31 **文献标识码**: A **文章编号**: 1000-8918(2026)05-0903-09

0 引言

在油气勘探开发中, 储层厚度是油气藏描述的一个非常核心的储层参数, 是油气藏"物质基础"与"开发潜力"的直接载体, 其作用贯穿于油气藏从早期勘探到后期开发的全流程, 对油气藏的地质建模、储量评估、井位部署至关重要, 对降低油气藏勘探开发风险、提升油气田勘探开发的经济效益具有不可替代的作用。由于油藏的地质沉积过程、成岩机理的多样性及复杂性, 导致油气藏的储层既有小于地震 1/4 波长的薄储层, 也有大于地震 1/4 波长的厚储层, 更有厚度不一的薄互层储层等多种复杂情形, 同时受地震数据采集及成像技术本身固有的带限频宽分辨率的限制, 这些诸多因素给精确储层厚度预测带来了诸多技术挑战, 促使地震储层厚度预测成为国内外油藏精细描述的核心研究课题。

近年来, 随着地震采集技术及叠前偏移成像技术的发展, 地震成像的分辨率及振幅保真技术不断提高, 依赖于地震成像分辨率的储层厚度预测精度有了极大提高, 但仍然不能满足目前复杂油气藏, 特别是探井少、深水油气藏勘探开发的需求。目前, 基于地震资料的储层厚度预测技术主要分为三类, 第一类是地震振幅属性特征的储层厚度预测技术, 特别是储层厚度小于地震 1/4 波长的储层厚度预测技术比较成功, 在生产科研中得到广泛应用, 但此类储层厚度预测方法中存在地震子波调谐效应没有消除的问题, 影响了储层厚度预测的精度。国外学者 Widess 于 1973 年首先建立了地震振幅属性特征与储层厚度调谐振幅的解释量版, 成功提出了基于地震 1/4 波长调谐振幅预测薄储层厚度的方法[1], 后来国外学者 Brown 等[2-3]、Neff[4-6]、Burge 等[7]、Connolly 等[8-10]、Simm[11] 研究了利用地震走时与振幅平面属性特征相结合的储层厚度预测技术, 改进了储层厚度预测的精度。国内学者在地震薄储层厚度预测方面也做了大量卓有成效的研究工作, 结合井震校

收稿日期: 2026-03-16; **修回日期**: 2026-07-31
基金项目: 中石化科技攻关项目 (P25055)
作者简介: 苑书金(1967-), 男, 博士, 高级工程师, 主要从事地震构造解释、储层预测和四维地震油藏动态监测的研究工作。Email: yuanshujin.syky@sinopec.com

正,在砂岩油气藏勘探开发中取得了很好的应用效果。例如,刘震等[12]研究了基于地震反射波特征点法的薄储层厚度技术方法,克服了利用反射振幅一厚度曲线定量解释薄层厚度的缺陷;张军华等[13]针对薄储层厚度预测精度不高的问题,提出了振幅、时间联合反演储层厚度的改进方法并进行应用,提升了地震薄储层厚度预测的精度;同时,张军华等[14]对薄储层、薄互层储层地震解释关键技术做了许多深入有益的研究和探讨;薛明星等[15]提出了一种联合振幅、时间厚度及频率属性预测储层厚度的方法,克服了传统方法的不足;黄文峰等[16]提出了基于90°相移地震振幅去调谐效应的薄互层储层厚度的预测技术;李雪英等[17-18]详细地概述了振幅法、反射波特征法、谱分解法、谱反演法的4种薄储层厚度定量解释技术;严皓等[19]以渤海A油田为例,研究了基于地震属性的中深层薄砂层厚度定量预测实例;依尔繁·阿西木江等[20]研究了多属性融合技术预测薄互砂体储层厚度。这些研究成果在一定程度上能够有效地改进薄储层厚度预测的精度,促进了国内砂岩油气藏的勘探开发,但对于储层厚度大于1/4地震波长、小于1/2地震波长的地震储层厚度预测精度及薄互层储层的预测仍不能满足探井少或深水域油气勘探开发的需求。第二类储层厚度预测方法为基于叠前、叠后地震反演技术的储层弹性参数门槛值预测技术,这类技术的技术流程质控严格、规范,在油气藏勘探开发的厚储层预测中被广泛推广应用,但需要建立初始地质模型,计算成本高。秦赛赛等[21]以准噶尔盆地火烧山油田H_3为例,提出了多源叠前反演数据优势频段融合薄储层预测技术,提高了薄层砂体预测的精度。主流成熟软件如国外的JASON、Hampson Russell、斯伦贝谢的IS-IS,国内北京中恒利华石油技术研究所的SMT及成都晶石石油科技有限公司Geoscope(地质放大镜)软件等,原则上可以消除地震反演的各种储层弹性参数的地震子波效应,它们主要解决了储层大于1/4地震波长的储层厚度预测,但由于受地震本身带限频率的限制,此类技术对于小于1/8地震波长的储层厚度预测仍存在较大误差。第三类是基于AI技术的智能储层厚度预测方法,包括基于神经网络算法的深度学习储层厚度预测技术和基于地质统计学算法的机器学习储层厚度预测技术,如白青林等[22]研究了基于CV-XGBoost算法的水下分流河道砂体厚度预测技术,储层厚度预测精度优于SVM方法。贺婷等[23]研究了基于深度全连接神经网络的储层有效砂体厚度预测,能够识别4 m左右的有效砂体,储层地震属性特征参数的优选对储层厚度预测精度非常敏感。但这类方法受训练样本种类、数量及地震资料本身分辨率的影响较大,在钻井数量较少、分布不合理、缺少地质沉积特征约束的情况下,预测结果虽然在井点精度高,但并不能真实反映地质沉积特征,目前在实际油气藏勘探开发中仍处于研究阶段。

本文在研究经典Widess楔状储层地震模型带限波阻抗特征的基础上,探讨了应用储层的地震带限波阻抗预测储层厚度的主要影响因素。针对储层砂体沉积特征稳定和钻井少的情形,提出了基于储层地震带限波阻抗的三步法储层厚度预测方法,该方法不需要建立初始模型,对储层的井信息依赖性弱,算法稳定,计算成本低,提高了地震储层厚度预测的精度。该方法不但适用于小于1/4波长的储层厚度预测,同时还适用于大于1/4波长的储层厚度预测,在下刚果盆地深水域浊积岩储层厚度预测的应用中取得了很好的效果。

1　经典Widess楔状地震模型再认识

Widess[1]于1973年提出了基于Rick子波的经典楔状储层地震模型研究薄储层的厚度估算问题,通过解释楔状的储层模型地震反射的波峰与波谷,建立储层平面地震振幅属性特征与储层厚度的解释量版,当储层厚度等于1/4波长时,振幅绝对值达到最大,此时振幅称为调谐振幅,对应的储层时间为调谐时间厚度;当储层厚度在1/4波长和1/2波长之间变化时,随着储层厚度的增加,振幅逐渐减小,但并不能反映真实反射系数;当储层厚度在1/8波长和1/4波长之间变化时,随着储层厚度的增加,反射振幅逐渐增大至最大调谐振幅值,此时反射振幅值大小与储层厚度几乎成线性关系;但当储层厚度小于1/8波长时,随着储层厚度逐渐减少至0,反射振幅值的大小几乎不变,因此依据反射振幅预测储层厚度存在随厚度减小而降低的问题。

针对经典的低波阻抗楔状储层模型,引入储层的带限波阻抗及储层净毛比(net to gross ratio, *NTG*)等参数变量,研究储层带限波阻抗与储层厚度的相关性,为研究应用储层地震带限波阻抗特征预测储层厚度提供依据。图1是经典的储层净毛比*NTG*为1的低阻抗楔状模型带限阻抗响应。对于楔状较薄的部分,可得到准确的带限波阻抗,但随着厚度增加,带限波阻抗会出现“下垂”现象,这意味着楔状模型中部存在高阻抗的假象,说明利用带限波阻抗属性预测储层厚度受地震子波的影响。图2是图1对

应的楔状净毛比 *NTG* 为 1 的储层模型平均带限波阻抗幅度值与储层厚度的交会图, 在储层厚度为 1/4 波长时平均带限波阻抗幅度值达到调谐最大值, 但储层厚度在 0~1/4 波长之间变化比较剧烈; 同时楔状模型的储层真实厚度与解释的地震视厚度在 0~1/4 波长之间存在明显的误差, 故利用楔状模型的带限平均波阻抗属性预测储层厚度需要进行子波效应校正。

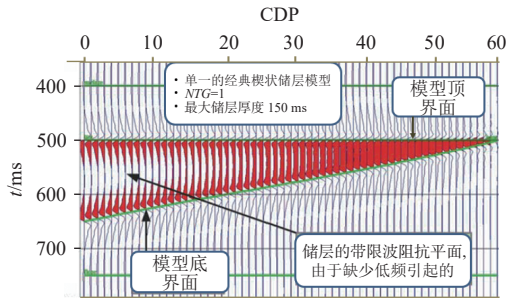
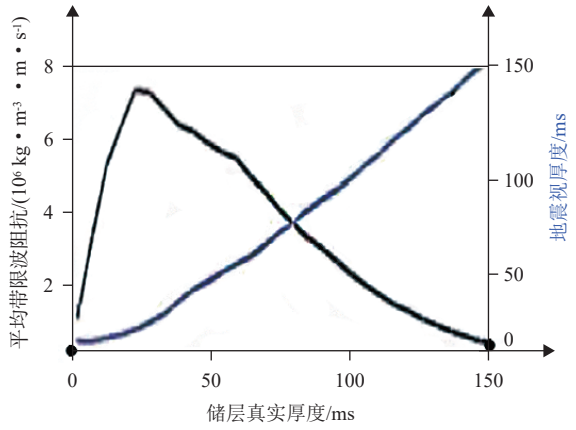


图 1　基于 Rick 子波的楔状低阻抗模型的地震带限波阻抗响应特征

Fig. 1　The band-limited impedance characteristics of a wedge-low impedance model based on the Rick wavelet



蓝色线是按图 1 零点拾取的模型顶、底层位计算的储层地震视厚度

The blue line represents the seismic apparent thickness of the reservoir calculated based on the top and bottom of the wedge model picked at zero point in Fig. 1

图 2　楔状储层模型的平均带限波阻抗与储层厚度的交会图

Fig. 2　The cross plot of the average band limited impedance and reservoir thickness of the wedge shaped reservoir model

图 3 是把经典楔状模型引入储层净毛比 *NTG* 参数后, 不同净毛比的楔状模型储层平均带限波阻抗与储层真实厚度的调谐曲线, 从图中可以看到, 调谐带限阻抗幅度值受楔状模型储层净毛比参数的影响, 楔状模型储层的净毛比越高(储层净毛比最高为 1 时,表示 100% 的纯储层), 其调谐带限阻抗值幅度越大; 楔状模型储层的净毛比越小, 其调谐带限阻抗值幅度越小; 同时通过诸多地震属性特征研究表明, 带限波阻抗幅度值大小与储层净毛比有很好的正线性关系, 因此为应用储层带限波阻抗预测储层的净毛比 *NTG* 奠定了基础。

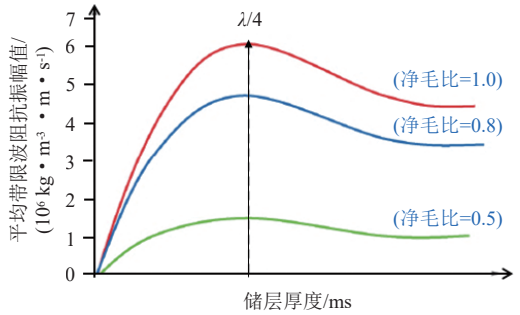


图 3　不同净毛比 *NTG* 的楔状模型地震平均带限波阻抗与储层真实厚度的调谐曲线

Fig. 3　Tuning curves of the average band limited impedance and the true reservoir thickness for wedge models with different net to gross ratios *NTG*

2　基于地震带限波阻抗储层厚度高精度预测方法

Brown 等[2-3] 提出了一种地震反射振幅去调谐校正的储层厚度预测技术, 能够同时适用于薄层和厚层(即厚度大于调谐厚度)的储层厚度预测。该方法主要应用地震子波的调谐振幅曲线作为振幅“去调谐校正的”的依据, 通过储层的平面复合振幅与储层的地震视厚度进行交会, 求取交会数据点的外包络曲线作为地震子波的调谐曲线上的数据点云轮廓, 调谐曲线不仅要包含图中的大部分点, 还要用井进行“校准”。另外定义储层大于调谐厚度以上振幅为常数, 小于调谐厚度振幅逐渐趋于零的“非调谐”基线, 它与通过已知数据中的子波得出的调谐曲线非常近似。该方法包含的地质储层含义是将调谐曲线定位为代表纯砂岩(即净毛比为 1)的反射率, 同时假设对于任何给定的地震视厚度, 复合振幅与调谐曲线振幅的比值可作为储层的净毛比 *NTG* 的度量。

但在实际应用时, 当厚度超过调谐厚度并不断增加时, 该技术容易产生误差, 因为地震振幅会越来越依赖于楔状体顶部的储层波阻抗差异, 而对储层厚度的依赖性减弱; 同时当地层小于调谐厚度时, 这种方法往往会高估纯砂厚度[11]。

在前人相关研究成果的基础上, 本文提出了基于地震带限波阻抗的三步储层厚度预测方法, 主要包括地震资料零相位处理、储层的地震波阻抗有色反演技术和基于地震带限波阻抗的地震储层厚度预测三部分。

2.1 地震资料零相位处理

地震资料零相位预处理核心步骤及流程如图 4 所示，主要包括：对地震偏移后的叠前道集反射波同相轴校平处理，消除地层倾角影响，有效聚焦并精准定位目标地震反射波同相轴成像；叠前道集去除噪声及多次波干扰，实施频散与衰减补偿（即反 Q 滤波），确保地震子波的时间稳定性并实现地震子波压缩；地震振幅与频率的均衡及校正，以及开展零相位校正，确保有效保留正确的振幅信息与一次反射波信号，增强地震信号的垂向分辨率，使目标层段顶底界面的识别精度提升，进而增强地震与测井数据的匹配精度。经过一系列偏移成像技术处理后的地震数据提升了数据的成像清晰度，同时确保了地震成像具备更均衡的振幅、更高的优势频率及更宽的频带范围，为后续地震预测储层厚度奠定了良好的基础。

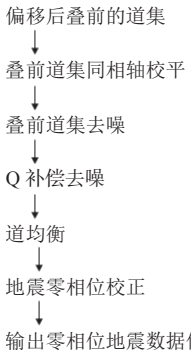


图 4 地震资料零相位预处理核心步骤及流程

Fig. 4 The main preprocessing steps of the zero phase seismic data

2.2 地震带限波阻抗有色反演技术

有色反演技术是一种频率域测井数据约束下储层的带限波阻抗反演技术，无需提取地震子波和建立初始模型，受人为干扰因素少。该技术通过分析测井曲线与地震数据的频率响应差异，对地震信号的不同频率成分进行针对性处理（如低频补偿、高频保持），使反演结果能够补充地震缺失的部分低频成分，既保留地震数据的横向连续性，又融入测井数据的纵向高分辨率，能够提高地震表征储层细节的刻画能力。其纵向分辨率高于传统的稀疏脉冲反演，且不损失地震横向分辨率。

有色反演技术的核心是通过设计匹配算子 $H(\omega)$，使地震频谱 $S(\omega)$ 与井波阻抗频谱 $Z_{\text{well}}(\omega)$ 匹配，目标函数为：

$$\min\|S(\omega)-H(\omega)\cdot Z_{\text{well}}(\omega)\|^2。\tag{1}$$

该算子通过调整地震数据的低频补偿和补充部分地震高频成分，实现频谱能量均衡化。设计的匹配算子 $H(\omega)$ 的频谱形态由低通频率 f_{low}、高通频率 f_{high} 和能量截取百分比 3 部分参数控制，通过测井储层信息提升低频补偿能量，增强地质沉积特征约束；同时通过测井储层信息补充高频保持以提升地震的纵向分辨率，而能量截取百分比的控制主要是抑制高、低频两端的噪声能量，优化地震资料数据的信噪比。

匹配算子的时间域形态可通过傅里叶逆变换得到：

$$h(t)=F^{-1}[H(\omega)],\tag{2}$$

式中：F^{-1} 表示傅里叶逆变换，算子长度和能量分布需要根据地震资料数据的频谱特征动态调整。

2.3 基于带限波阻抗的储层厚度预测技术

在地震带限波阻抗的储层厚度预测技术研究中，引入了地震净毛比参数。常规的储层净毛比 NTG 是储层评价与油气资源勘探开发中的核心参数，表示有效储层厚度占储层总厚度的百分比，即：

$$NTG=\frac{N}{G},\tag{3}$$

式中：N 表示有效储层厚度；G 表示储层总厚度。

那么在地震储层厚度预测中，地震净毛比 NTG_{seis} 的数学表达式为：

$$NTG_{\text{seis}}=\frac{N_{\text{seis}}}{G_{\text{seis}}},\tag{4}$$

式中：N_{seis} 表示地震预测的有效储层厚度；G_{seis} 表示地震预测的储层总厚度。地震净毛比 NTG_{seis} 的数学表达式可用储层的波阻抗（acoustic impedance，AI）参数表述为：

$$NTG_{\text{seis}}=\frac{AI_{\text{ave}}}{AI_{\text{env_ave}}},\tag{5}$$

式中：AI_{ave} 表示有效储层的平均波阻抗；$AI_{\text{env_ave}}$ 表示 100% 有效储层的平均波阻抗数据的包络线基值。由此可知，地震净毛比 NTG_{seis} 参数是一个与地震资料分辨率有关的函数（分辨率低时难以识别薄夹层，可能高估净厚度），主要受地震子波的频带宽度、子波的形态及子波的低频成分的影响，需要一个消除子波振幅调谐校正因子及井测试数据的验证。

因此，消除子波振幅调谐效应的地震净毛比 NTG_{seis} 参数可以表述为：

$$NTG_{\text{seis}}=\frac{AI_{\text{blave}}}{AI_{\text{env_blave}}}\cdot k,\tag{6}$$

式中：k 表示消除子波振幅调谐效应的校正因子；AI_{blave} 表示有效储层的平均地震带限波阻抗值；$AI_{\text{env_blave}}$ 表示 100% 有效储层的平均地震带限波阻抗的包络线基值。

因此，储层厚度求取公式为：

$$N=NTG_{\text{seis}}\times G_{\text{seis}}。\tag{7}$$

依据经典低阻抗楔状带限波阻抗模型研究成果, 地震净毛比NTG_{seis}与平均带限波阻抗AI_{blave}成线性关系, 那么储层厚度表达式为:

$$N = k \times AI_{blave} \times G_{seis}, \quad (8)$$

其中, 校正因子函数为k,

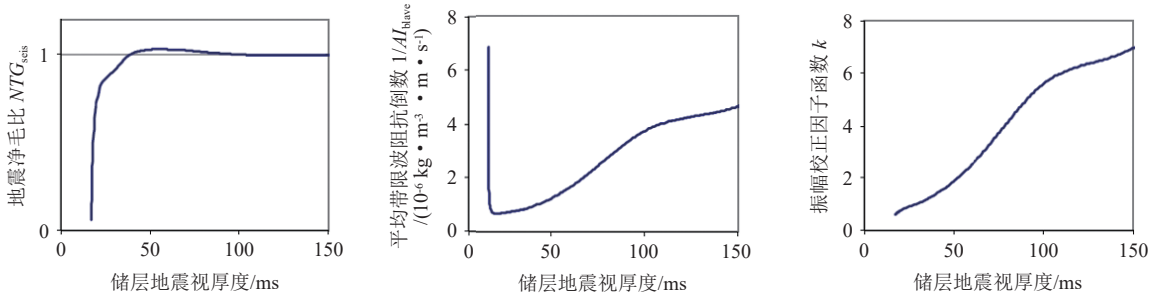
$$k = NTG_{seis}/AI_{blave}。 \quad (9)$$

该校正因子函数k是关于储层视厚度和带限阻抗中所隐含的子波参数的隐函数, 它随着储层视厚度及储层的带限阻抗中所隐含的子波参数变化而变化, 且受地震子波的低频成分影响。

可以利用带通子波计算的经典低波阻抗楔状模型来理解该方法的实现过程, 如图 5 所示。根据楔状模型顶底的过零点反射来计算平均带限阻抗AI_{ave_bl}和视厚度。由于模型中砂岩有效厚度已知, 就可以很简单地得到校正因子函数k随储层的视厚度变化。将校正因子函数k倒数绘在地震振幅调谐图上, 得到振幅"校准曲线", 就可以利用式(8)计算得到储层的有效厚度。

3　实际应用效果

以下刚果盆地深水浊积岩油藏为例。该深水域油藏主要位于西非大陆边缘中部下刚果盆地, 为南大西洋两岸典型含盐被动陆缘盆地, 水深 500~2 500 m, 埋深 2 300~4 500 m。下刚果盆地平面上分为 3 个构造带, 从东向西依次为拉张区、斜坡过渡区和挤压区。下刚果盆地内主要发育 Aptian 阶盐岩、上白垩统和古近—新近系等地层。下刚果盆地深水油藏主要含油气储层为古近—新近系渐新统和中新统浊积水道砂体。深水沉积水道作为粗粒沉积物的通道, 连结外陆架、陆坡和深水盆地。在平面图上, 水道形态多变, 从上游到下游既有呈长条状相对顺直的水道, 又有形态高度弯曲的水道。水道类型也从长形辫状分流水道到曲流水道, 其能量也逐渐减弱。浊积体系沉积分布从陆架峡谷到远端的朵叶体形态都分别具有不同的发育特征, 如图 6 所示, 其沉积发育



(a) 楔状储层模型的地震净毛比曲线　(b) 拟合的带限波阻抗调谐曲线是倒数　(c) 求取的随地震视厚度变化的校正因子函数 k

图 5　以楔状储层模型为例, 说明求取校正因子函数的技术流程

Fig. 5　Taking the wedge reservoir model as an example shows the technical process of obtaining the correction function

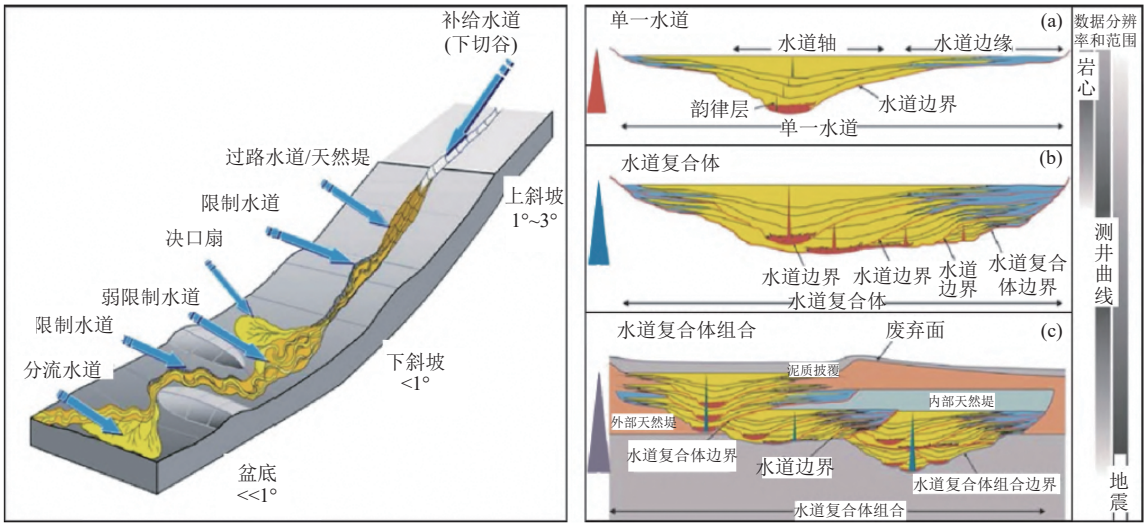


图 6　深水域浊积水道沉积模式: 形态和多尺度构型

Fig. 6　Sedimentary model of turbidite channel, morphology and multi-scale architecture in deep waters

是多期复合水道重复叠置的形成—消亡过程。其含油气储层为深水多期浊积水道叠置沉积的砂岩，发育受构造和盐底辟演化控制的构造—岩性复合圈闭。深水浊积岩油藏类型多样，浊积岩储层的物性好，属于中孔、高渗储层。西非大陆边缘中部下刚果盆地目前是世界上最富产油气的盆地之一[24-25]。

本文研究在带限波阻抗预测储层有效厚度的理论和方法的基础上，建立了基于地震带限波阻抗的储层厚度预测技术的流程，如图 7 所示。

图 8 是深水域浊积砂岩的一条储层地震带限波阻抗地震剖面，经过地震资料特殊优化处理及井震岩性标定后，其地震反射特征与含油段的岩性测井响应具有很好的一致性，随后经过有色波阻抗反演处理，获得储层的地震带限波阻抗剖面。在地震带限波阻抗剖面上存在极易识别的上下两套浊积砂岩储层(红色表示低波阻抗储层)，这两套浊积砂岩之间存在一套完整的泥岩地层，该泥岩地层的厚度足够大，使这两套浊积砂岩之间不具有连通性。把上面那套浊积砂岩储层作为研究目标，过地震带限波阻抗的零点精确地解释浊积砂岩储层的顶界和底界，而后获得了第一套浊积砂岩储层的视时间厚度(图 8b) 和平均带限阻抗 (图 8c) 的平面分布。

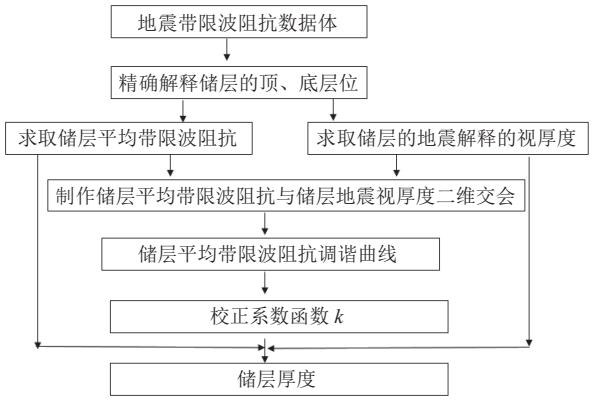
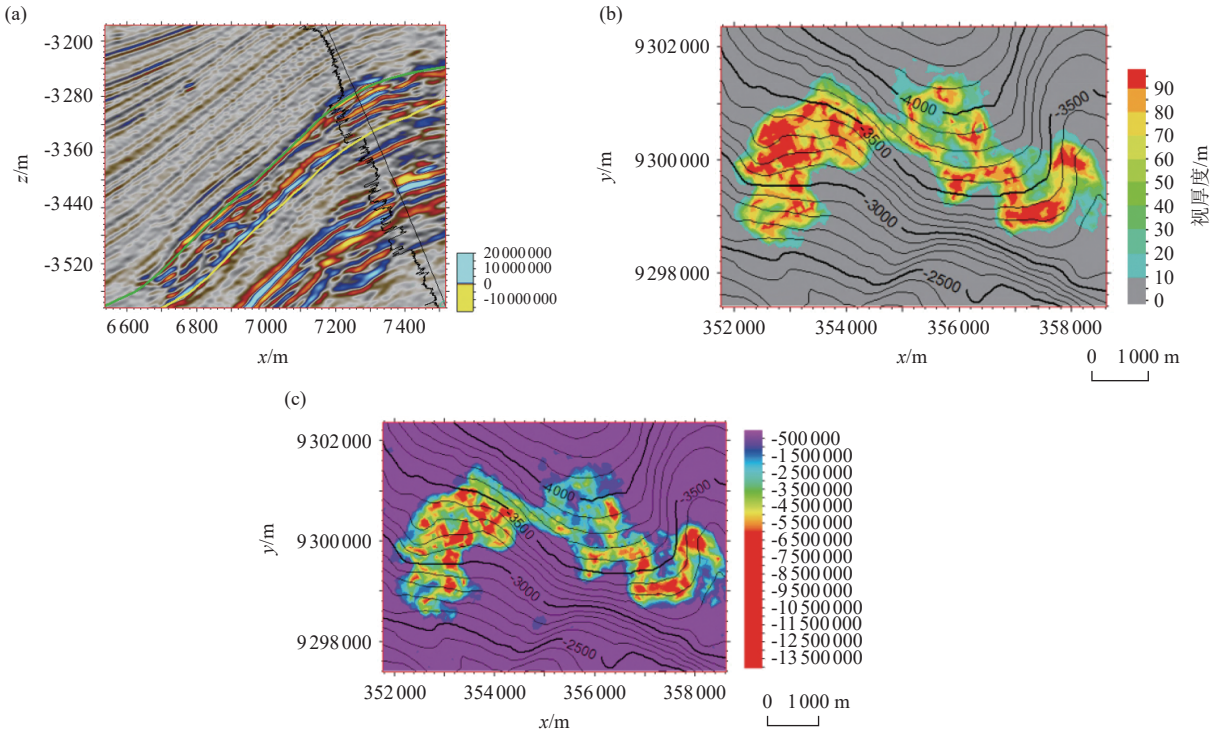


图 7　基于带限波阻抗的储层厚度预测技术流程

Fig. 7　The reservoir thickness predicting workflows based on band-limited impedance

由于浊积砂岩储层的平均带限阻抗与净毛比呈线性关系，而其他属性(如均方根振幅、振幅累加和或平均负振幅)则不具备这一特性，因此将储层的平均带限阻抗与储层解释的视厚度进行二维数据交会，其交会点的数据的外包络线就是我们拟合的平均带限波阻抗的储层厚度调谐曲线，其最高振幅对应约 25 m 的总厚度，即调谐厚度。交会图中交会点位于顶部边缘的点，对应着地震净毛比为 1 的储层，而交会点位于 x 轴附近的点，表示地震净毛比低的



a—深水地震带限波阻抗的浊积砂岩顶底解释剖面；b—地震解释的浊积砂岩地震视厚度平面分布；c—浊积砂岩的带限平均波阻抗平面分布

a—the top and bottom interpretation seismic sections of turbidite sandstone with band-limited impedance in deep-water; b—the seismic apparent thickness map of turbidite interpreted by seismic data; c—the average band-limited impedance map of turbidite sandstone

图 8　深水域浊积砂岩的一条储层地震带限波阻抗地震剖面

Fig. 8　Seismic section of band-limited acoustic impedance for deep-water turbidite sandstone reservoir

储层。通过拟合振幅厚度调谐曲线, 求取振幅调谐校正因子函数, 进一步得到储层的地震净毛比平面分布(图 9)。图 9a 是依据储层的地震带限平均波阻抗与储层地震视厚度交会数据, 拟合储层厚度与带限平均波阻抗调谐曲线, 依据此储层调谐厚度曲线将储层的平均带限波阻抗分布图校正为储层的地震净毛比平面分布图 (图 9b)。

因此, 在已知储层的地震净毛比平面分布和储层解释视厚度的基础上, 依据前面的厚度计算公式, 即可得到储层的有效厚度 (图 10a), 可以看出砂体呈东西向“S”状的分布。随后, 进一步根据已知 3 口井的实际储层厚度值与地震预测的砂体厚度进行校验 (图 10b), 校验结果表明地震预测的有效储层厚度与已知井点的储层厚度一致, 也佐证了该方法的有效性。在此储层砂体厚度研究成果的基础上, 可以开展后续的油藏地质建模和储量评估、开发方案设计等工作, 为油藏开发部署提供可靠的油藏参数, 降低油藏开发部署的风险。

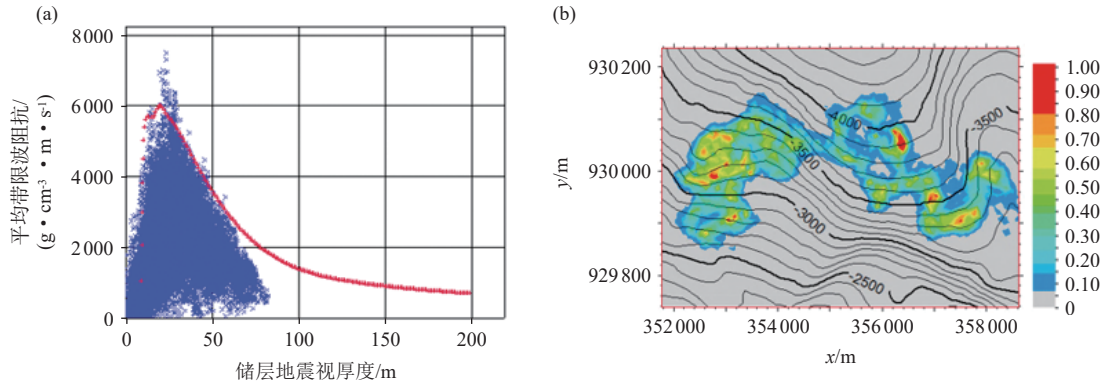
4　结论

1) 经典的楔状储层模型研究表明, 储层的地震净毛比与储层的地震带限波阻抗有良好的线性关系。

2) 基于储层地震带限阻抗的三步法储层厚度预测技术比常规的地震振幅属性储层厚度预测技术精度高, 更具有普遍的适用性。它不但适用于储层厚度小于 1/8 波长的储层厚度预测, 同时还适用于储层厚度大于 1/4 波长的储层厚度预测。

3) 地震资料低频成分是影响该技术储层厚度预测精度的敏感参数, 地震低频成分及地震子波参数对储层厚度预测精度的影响有待深入研究。

4) 三步法地震带限波阻抗储层厚度预测技术对储层的井信息依赖性弱, 不需要建立初始模型, 计算成本低, 适合于砂岩地质沉积环境稳定、探井储层信

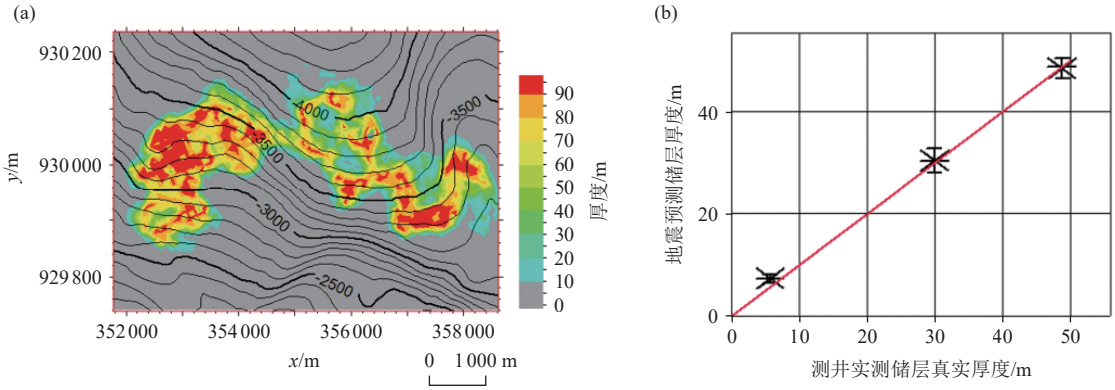


a—拟合的储层厚度与平均带限波阻抗调谐曲线; b—去振幅调谐校正后得到的地震净毛比平面分布

a—the fitted tuning curve of the reservoir thickness and the average band-limited impedance;b—the seismic net-to-gross ratio map after the detuning correction

图 9　储层的地震净毛比平面分布

Fig. 9　The seismic net-to-gross ratio map of the reservoir



a—地震预测的储层厚度平面分布; b—地震预测砂体厚度与已知盲井砂体厚度校验

a—the predicted reservoir thickness map by the seismic; b—seismic-predicted sand thickness calibration against blind well measured thickness

图 10　地震预测的储层厚度

Fig. 10　The predicting thickness map

息少的砂岩储层厚度预测，并在西非下刚果盆地深水浊积岩油藏勘探开发实践中获得了很好的应用效果。

参考文献(References)：

[1] Widess M B. How thin is a thin bed?[J]. Geophysics, 1973, 38(6): 1176−1180.

[2] Brown A R, Wright R M, Burkart K D, et al. Interactive seismic mapping of net producible gas sand in the Gulf of Mexico[J]. Geophysics, 1984, 49(6): 686−714.

[3] Brown A R, Wright R M, Burkart K D, et al. Tuning effects, lithological effects and depositional effects in the seismic response of gas reservoirs[J]. Geophysical Prospecting, 1986, 34(5): 623−647.

[4] Neff D B. Incremental pay thickness modeling of hydrocarbon reservoirs[J]. Geophysics, 1990, 55(5): 556−566.

[5] Neff D B. Estimated pay mapping using three-dimensional seismic data and incremental pay thickness modeling[J]. Geophysics, 1990, 55(5): 567−575.

[6] Neff D B. Amplitude map analysis using forward modeling in sandstone and carbonate reservoirs[J]. Geophysics, 1993, 58(10): 1428−1441.

[7] Burge D W, Neff D B. Well-based seismic lithology inversion for porosity and pay-thickness mapping[J]. The Leading Edge, 1998, 17(2): 166−171.

[8] Connolly P, Schurter G, Davenport M, et al. Estimating net pay for deep water turbidite channels offshore Angola[C]// Florence: 64th EAGE Conference & Exhibition, European Association of Geoscientists & Engineers, 2002.

[9] Connolly P. A simple, robust algorithm for seismic net pay estimation[J]. The Leading Edge, 2007, 26(10): 1278−1282.

[10] Connolly P, Kemper M. Statistical uncertainty of seismic net pay estimations[J]. The Leading Edge, 2007, 26(10): 1284−1289.

[11] Simm R. Simple net pay estimation from seismic: A modelling study[J]. First Break, 2009, 27(9): 45−53.

[12] 刘震, 张万选, 张厚福. 储层厚度定量解释方法研究 [J]. 石油地球物理勘探, 1991, 26(6): 777−784, 799.
Liu Z, Zhang W X, Zhang H F. A research into quantitative interpretation of reservoir thickness[J]. Oil Geophysical Prospecting, 1991, 26(6): 777−784, 799.

[13] 张军华, 印兴耀, 吴国忱, 等. 振幅、时间联合反演厚度方法的改进及其应用 [J]. 石油物探, 1997, 36(S1): 67−72.
Zhang J H, Yin X Y, Wu G C, et al. Improvement and application of joint inversion method of amplitude and time for thickness[J]. Geophysical Prospecting for Petroleum, 1997, 36(S1): 67−72.

[14] 张军华, 王庆峰, 张晓辉, 等. 薄层和薄互层叠后地震解释关键技术综述 [J]. 石油物探, 2017, 56(4): 459−471, 482.
Zhang J H, Wang Q F, Zhang X H, et al. Poststack interpretation key techniques for thin layer and thin interbed reservoirs[J]. Geophysical Prospecting for Petroleum, 2017, 56(4): 459−471, 482.

[15] 薛明星, 明君, 夏同星, 等. 一种厚度属性的构建及在砂体厚度预测中的应用 [J]. 复杂油气藏, 2024, 17(2): 157−161.
Xue M X, Ming J, Xia T X, et al. Construction of a thickness attribute and its application in thickness prediction of sand body[J]. Complex Hydrocarbon Reservoirs, 2024, 17(2): 157−161.

[16] 黄文锋, 姚逢昌, 李宏兵. 薄互层调谐规律研究与净厚度估算 [J]. 石油地球物理勘探, 2012, 47(4): 584-591.
Huang W F, Yao F C, Li H B. Regularities of tuning effects of thin interbedded la-yers and their net thickness determination[J]. Oil Geophysical Prospecting, 2012, 47(4): 584-591.

[17] 李雪英, 邢博, 文慧俭, 等. 基于二阶同步提取变换的厚度随机分布薄互层时频响应规律研究 [J]. 地球物理学报, 2025, 68(8): 3235−3246.
Li X Y, Xing B, Wen H J, et al. Research of time-frequency response regularity of thickness randomly distributed thin interbeds based on second-order synchroextracting transform[J]. Chinese Journal of Geophysics, 2025, 68(8): 3235−3246.

[18] 李雪英, 李东庆, 白诗缘. 薄层研究方法综述 [J]. 地球物理学进展, 2014, 29(5): 2197−2203.
Li X Y, Li D Q, Bai S Y. Review of thin layer studies[J]. Progress in Geophysics, 2014, 29(5): 2197−2203.

[19] 严皓, 李宾, 李久. 基于地震属性的中深层薄砂层厚度定量预测——以渤海 A 油田为例 [J]. 地球物理学进展, 2019, 34(1): 401−405.
Yan H, Li B, Li J. Quantitative prediction of mid-deep thin sand thickness with seismic attributes: A case study of Bohai A oilfield [J]. Progress in Geophysics, 2019, 34(1): 401−405.

[20] 依尔繁·阿西木江, 卢志明, 艾尼·买买提, 等. 多属性融合技术预测薄互砂体储层厚度——以哈萨克斯坦 W 油田为例 [J]. 物探与化探, 2025, 49(5): 1110−1117.
Yierfan Aximujiang, Lu Z M, Aini Maimaiti, et al. Prediction of thin interbedded sandstone reservoir thickness using multi-attribute fusion technology: A case study from the W oilfield, Kazakhstan[J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2025, 49(5): 1110−1117.

[21] 秦赛赛, 王晓辉, 王兵, 等. 多源反演数据优势频段融合薄储层预测技术及应用——以准噶尔盆地火烧山油田 H3 为例 [J]. 物探与化探, 2026, 50(1): 65−75.
Qin S S, Wang X H, Wang B, et al. Thin reservoir prediction technology based on dominant frequency band fusion of multi-source inversion data and its application: A case study of H3 reservoir of the Huoshaoshan Oilfield, Junggar Basin[J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2026, 50(1): 65−75.

[22] 白青林, 刘烜良, 张军华, 等. 基于 CV-XGBoost 的水下分流河道砂体厚度预测及应用 [J]. 吉林大学学报: 地球科学版, 2023, 53(5): 1602−1610.
Bai Q L, Liu X L, Zhang J H, et al. Sand body thickness prediction of underwater distributary channel based on CV-XGBoost method [J]. Journal of Jilin University: Earth Science Edition, 2023, 53(5): 1602−1610.

[23] 贺婷, 周宁, 吴啸宇. 基于深度全连接神经网络的储层有效砂体厚度预测 [J]. 吉林大学学报: 地球科学版, 2023, 53(4): 1262−1274.
He T, Zhou N, Wu X Y. Thickness prediction of reservoir effective sand body by deep fully connected neural network[J]. Journal of Jilin University: Earth Science Edition, 2023, 53(4): 1262−1274.

[24] 苑书金, 李发有, 陆文明. 加密井快速优化技术在西非深水浊积砂

油藏精细描述中的应用——以 Bata 油田为例 [J]. 物探与化探, 2025, 49(6): 1303−1310.
Yuan S J, Li F Y, Lu W M. Application of rapid infill-well optimization technology in fine-scale description of deep-water turbidite reservoirs in West Africa: A case study of the Bata oilfield[J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2025, 49(6): 1303−1310.

[25] 高君, 徐睿, 黄家宸, 等. 水道浊积体特征识别模式及其储层地震预测——以西非下刚果盆地 MC 块为例 [J]. 物探与化探, 2025, 49(4): 919−924.
Gao J, Xu R, Huang J C, et al. Feature identification model and seismic reservoir prediction of channel turbidite bodies: A case study of the MC block, Lower Congo Basin, West Africa[J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2025, 49(4): 919−924.

A technique for reservoir thickness prediction based on seismic attributes and its application

YUAN Shu-Jin
(*Petroleum Exploration and Production Research Institute*, *SINOPEC*, *Beijing* 102206, *China*)

Abstract: In hydrocarbon exploration and exploitation, reservoir thickness represents a fundamental parameter for reservoir characterization and serves as a direct determinant of both the material foundation and developmental potential of hydrocarbon reservoirs. Therefore, this parameter is vital for the exploration and exploitation of these reservoirs. In recent years, geophysical technicians have developed a variety of pre-stack and post-stack seismic techniques for reservoir thickness prediction. However, these techniques, despite significantly improving the prediction accuracy, suffer from specific application limitations. Given the limited exploratory wells during early-stage hydrocarbon exploration and exploitation, this study investigated the seismic response characteristics of the reservoir model based on the classical Widess wedge. Accordingly, two reservoir parameters were introduced: band-limited wave impedance and seismic net-to-gross ratio, and their functional relationship was determined. Then, a three-step technique for reservoir thickness prediction was developed based on band-limited wave impedance. The tuning effects of seismic wavelets were eliminated using a detuning correction factor for wavelet amplitude, significantly enhancing the prediction accuracy of the proposed technique. The proposed technique reduces the significant prediction errors inherent in conventional seismic amplitude-based methods when the reservoir thickness exceeds one-fourth of the dominant wavelength. Meanwhile, it enhances prediction accuracy for thin reservoirs with thicknesses of less than one-eighth of the dominant wavelength. Therefore, this technique holds great application potential for sandstone reservoirs formed under stable geological deposition. Furthermore, it can improve the success rate of encountering sand bodies during drilling in deep-water turbidite sandstone reservoirs and enhance the geological modeling precision of reservoirs. This technique has delivered excellent performance in application to the exploration and exploitation of deep-water turbidite reservoirs in the Lower Congo Basin.

Key words: reservoir; seismic attribute; band-limited impedance; detuning correction factor; seismic net-to-gross ratio; reservoir thickness prediction

(本文编辑: 叶佩)