

地震资料解释文集

裘慰庭
张淑敏 编
胡钦安

石油地球物理勘探局

地震资料解释文集

裘慰庭
张淑敏 编
胡钦安

石油地球物理勘探局

地震资料解释文集

裘慰庭等 编

*

《国外油气勘探》编辑部编辑

石油物探局制图印刷厂排版印刷

*

培训教材·内部参考·不得引用

冀保出准字:950004

工本费 15 元

序 言

大家知道,地震资料解释不仅需要先进的技术手段,而且更依赖于解释人员丰富的经验和专业知识。解释人员的经验要通过自己的实践来逐步积累。但是经常学习和借鉴他人的研究成果将有助于解释人员经验的加快积累。我们组织编印这本文集的目的就是想为广大地震资料解释人员提供有一定实践效果的经验,以便拓宽视野,开启思路,丰富经验,希望能用“他山之石”攻克我们面临的解释技术难题,为找到新的油气田,并为老油田的挖潜和新油田的开发作出贡献。

这次我们编辑的文集包括三维地震资料解释、地震特征分析、VSP、多波勘探、地震模拟技术、展望及其它等八个部分共43篇文章。

从编者的角度来看,这些文章有着四个共同特点:

1. 文章都是从实际资料出发进行研究的。或者说,文章作者首先是对地震资料及相关的测井、地质等资料进行透彻分析,在找准问题的基础上才转入下一阶段的研究;

2. 有针对性地而不是盲目地研究或选用相应的技术方法,并能对方法的应用条件、局限性和研究结果进行分析。每一个人可能拥有相同的技术,但不一定获得相同的结果,关键在于谁会使用手中的技术;

3. 地下地质目标千奇百怪,反映在地震及其它资料上,既有相似之处,又有不同之点。因此需要利用尽可能多的资料及信息进行统计分析,需要解释员或解释组具有尽可能宽的专业知识对统计分析结果进行鉴别,去伪存真,减少风险,提高钻探成功率;

4. 文集中的大多数成果已得到一口以上钻井的验证,说明这些经验在某个范围内、某种程度上是有效的。但是这些经验对你是否有效,还需请君实践。有些文章中采用的技术尚不完善,亦需诸君在实践中加以发展。

一位地震资料解释员的水平,除了他的经验及使用人机联作解释系统的操作能力之外,还有专业知识面的问题。

随着地震勘探技术的进步,地震资料解释成果的应用领域正在不断扩大;同时,由于勘探和开发成本的上升,要求地震资料解释的准确

性越来越高。现在地震资料解释成果已不限于发现和落实各类圈闭,正在用于预测储层,评价油气的产能;不仅要选择成功率高的井位,而且要设计最佳钻头轨迹。换言之,当前地震资料不仅用于勘探,而且已广泛应用于油气田的开发与开采,地震资料将伴随油气田的整个生命周期才能完成其历史使命。这就是说,地震资料将在不同阶段与其它信息一起服务于油田。同时,为着降低风险,提高地震解释可靠性,也需要综合应用物探、化探及地质、测井等资料。这些都要求地震资料的解释人员具有宽广的专业知识面。这是地震技术发展的客观需要,它也是这项技术应用领域在工业结构调整方面的反映。读者可以从本文集中感受到这一点。

一位适应时代需要的地震资料解释人员首先应当是一位掌握地震及物探专业知识的称职的地球物理学家;其次要掌握地质,尤其是石油地质方面的专业知识;第三还要了解测井专业知识,至少能正确应用声波、电阻率及倾角测井方面的资料;第四要懂采油工程方面的知识,了解油藏模拟及流体力学,能够将有关信息应用于地震资料的解释中。具备这些知识的解释人员现在非常之少,在一些有条件的单位正在通过培养硕士和博士研究生的途径努力使相当一部分解释人员具备比较宽广的专业知识;也有的正在通过自学或参加短训班的形式尽可能拓宽现有知识面;也有一些单位采取将具有不同专业知识的人员组成地震及其它信息的解释小组,通过他们之间的密切合作达到取长补短的效果。上述做法都是值得倡导的。

地震勘探技术的进步展现出十分诱人的应用前景,而实实在在的丰硕成果需要有一批经验丰富、专业知识面宽广的地震资料解释人员去摘取。但愿本文集有助于我们的解释人员入地三尺挖得金娃娃。

裴慰庭

1995. 1

目 录

序言

一、解释方法与实例研究

河流相薄砂体油藏描述方法	胡强 刘福贵等(3)
塔里木盆地 TZ-4 构造油藏描述方法及 Parm 反演技术的应用	秦风荣(15)
哈南水下扇的解释	郑纪清(28)
盐控盆地的地震解释	J. Fox(36)
海侵和前积序列的地震解释	D. B. Macurda, Jr. (45)
礁的地震解释	A. K. Kuhme(50)
实用偏移:一种二维测网偏移地震资料的解释方法	C. O'Brien(58)
平衡横剖面——构造解释的辅助工具	P. B. Jones(64)
爱尔兰海上一个水下扇的交互解释实例	D. B. Macurda, Jr. 等(68)
子波估算:一种解释方法	R. L. Brown 等(75)
分层时深转换	D. Marsden(81)
补偿层速度时深转换	M. D. Carter(87)
单点地震数据的应用和解释	D. McGuire 等(90)
逆掩断层交互解释	W. O'Brien(97)
海洋磁力梯度仪——地震解释员的一种工具	R. J. Wold 等(103)
菲涅耳带及其解释意义	J. P. Lindsey(110)
断裂与油气圈闭	M. W. Downey(118)
古土壤:陆相层序中的反射体	D. L. Hanneman 等(122)
在老区应用现代技术重新研究 Bay Marchand 油田	W. L. Abriel 等(125)
地震显示的颜色使用	B. H. Russell(145)

二、三维地震勘探

三维地震数据 AVO 分析识别老气田中未经测试过的储层	K. V. Sickie 等(155)
得克萨斯州 Andrews 县 Dollarhide 油田上的三维反射地震勘探	 M. T. Reblin 等(162)
用于油田开发的三维地震资料:Landslide 油田研究实例	S. K. Raeuchle 等(169)
三维地震和水平井	A. Kühme(176)
在 Prudhoe 湾 Lisburne 碳酸盐岩油藏直接用三维地震振幅确定孔隙度 —厚度的方法	S. F. Stanulonis 等(182)

三、地震模拟技术

地震模拟(SMOL)储层预测技术及应用效果	程永明 杨梦雄等(193)
地震模拟的用途与误用	S. Edwards(203)
通过三维地震模型解释复杂构造	I. R. Mufti 等(209)

利用现实的地震模拟技术解释曲流河道点砂坝沉积 J. T. Noah 等(216)

四、地震特征分析

地震相分析的陷阱及其在克拉通盆地的应用 T. L. Davis(225)

地震振幅的价值 A. R. Brown(233)

复地震道属性 J. D. Robertson 等(238)

含气层引起的地震速度畸变的校正 S. Mastoris(244)

地震属性参数的提取:精细三维解释中的重要应用 E. J. H. Rijks 等(249)

五、VSP 技术

VSP 在解释中的价值 R. R. Stewart(261)

理解非零井源距 VSP H. E. Hartse 等(270)

盐丘悬垂体的三分量 VSP C. P. Deri 等(278)

六、测井资料在解释中的应用

测井资料在潜山内幕研究及裂隙识别中的应用 刘传虎 王超明(287)

裂缝储层研究的新成就 李姆辨尔盖尔 Ю. А. 等(297)

利用地震测井曲线识别多孔段和页岩层 R. C. Mummery(303)

七、多波勘探

普鲁德霍湾油田纵横波地震资料分析 R. A. Ensley(309)

用横波预测垂直裂缝强度的横向变化 M. C. Mueller(315)

八、展望

地震解释的现状与展望 A. R. Brown(325)

一、解释方法与实例研究

族和財產已悉數轉贈。

河流相薄砂体油藏描述方法

胡 强 刘福贵 张善文

张学工 罗 晖

薄砂体油藏描述是地球物理勘探界的一大难题,然而该类油藏在实际地层中客观存在并广泛分布。胜利探区的孤东、孤岛、埕岛三个亿吨级大油田的油气主要分布在河流相沉积的薄砂体中,能否搞好薄砂体油藏技术是确保薄砂岩油藏经济、高效勘探开发的前提与基础。经过几年的科研攻关,我们研制了一套适合于河流相薄砂体的油藏描述技术,应用于埕岛油田馆上段河流相砂体中,取得了显著的应用效果,所设计的两口验证井均在所研究的目的层段见厚油层,试油均获高产工业油流,其中 CB251 井试油获日产 240 t, CB252 井试油获日产 105 t。所预测的 6 个砂层其深度误差小于 7 m,厚度误差均小于 3 m。

储层地质特征

通过对埕岛油田馆上段大量的岩心、岩屑录井、测井及粒度分布等资料的分析,确定馆上段为曲流河相,其沉积特征如下。

岩相特征

馆上段 I ~ VI 砂层组的沉积剖面总体上呈“泥包砂”面貌。砂岩单层厚度一般小于 10 m,平均砂岩百分含量为 21%。根据岩心资料及沉积构造特征,将本区曲流河相沉积归纳为六种岩相:①块状砂岩相,由块状中粗砂岩组成,有时含砾石和泥砾,主要发育在曲流河相沉积旋回的底部,与下伏岩层冲刷接触;②大型交错层理砂岩相,由中粗砂岩和细砂岩组成,发育大型槽状或板状交错层理,层理以粒级显示,单层厚度小于 30 m,层组厚 0.5~6 m,多见于旋回的中下部;③平行层理砂岩相,岩性为中—细砂岩,有时含泥砾,纹层厚 2~4 mm,层理以粒级或片状矿物成层排列显示,多见于旋回中下部;④小型层理粉砂岩相,岩性为粉砂岩和泥质粉砂岩,具小型波状交错层理,层理以泥质或炭屑显示,位于旋回上部;⑤水平纹层泥质岩相,岩性为粉砂质泥岩和泥岩,多为灰绿色和灰色,常具变形构造,分布在旋回上部;⑥块状泥岩相,包括灰色、灰绿色、紫红色及棕褐色泥岩,具块状构造。灰绿色泥岩常含植物叶片或小型双壳类和腹足化石;紫红色泥岩常含钙质团块。本区泥岩相广泛发育,分布在沉积旋回的顶部。

沉积层序特征

上述各岩相,按一定规律组成本区曲流河相沉积层序,其典型沉积层序如图 1 所示,从下至上可分为四个层序:①河床,底部以冲刷面与下伏岩层接触,冲刷面之上为块状含砾石或泥砾的粗砂岩,是河道底部滞留沉积;②曲流砂坝,下部为大型交错层理中粗砂岩和细砂岩,是曲流砂坝沉积的主体;③堤岸,上部是小型层理的粉砂岩及泥质粉砂岩、水平层理泥质岩相,为曲流河堤岸沉积产物,包括天然堤及河漫滩沉积物;④泛滥平原,层序的顶底发育块状泥岩相,是

泛滥平原的沉积物。

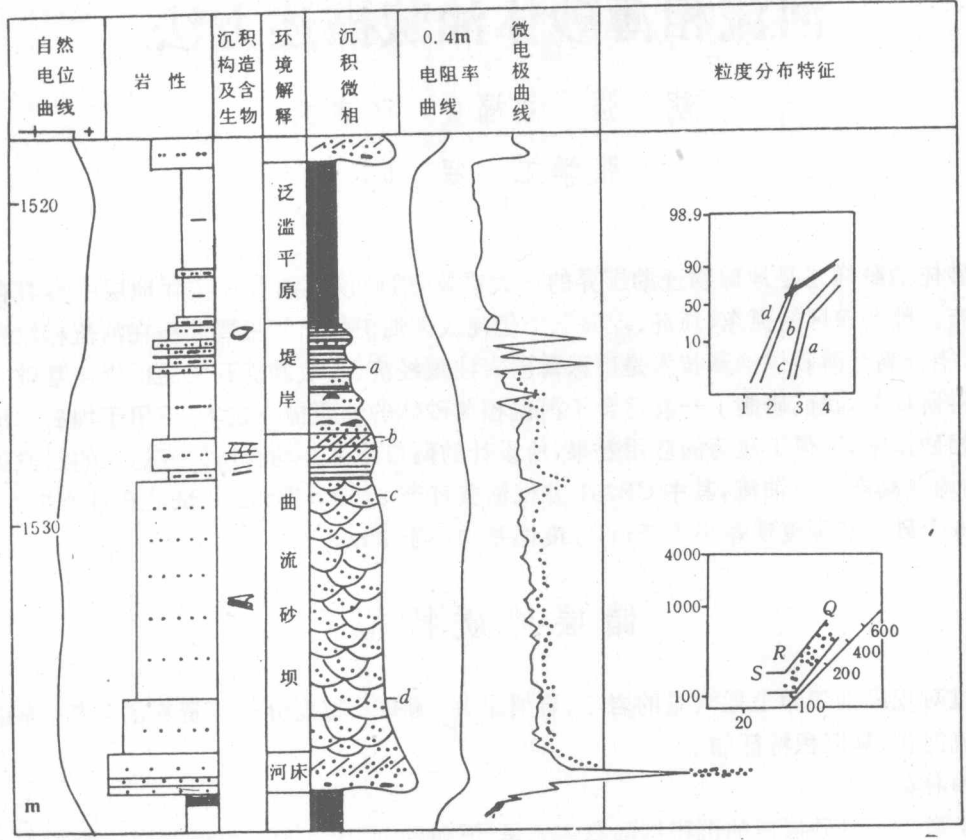


图 1 埕岛地区馆上段曲流河相沉积层序(CB20-1 井 1518~1538m 井段)

总之,本区曲流河相沉积层序是一个下粗上细的正旋回,层理规模亦自下而上变小。

测井曲线特征

与本区曲流河相沉积层序相对应的测井曲线特征为钟形—齿形—平直线形组合,即:曲流砂坝相应的曲线表现为钟形,反映正旋回特征;堤岸沉积的曲线呈叠覆齿形,反映薄互层砂泥沉积特点;泛滥平原的泥岩对应平直线形曲线。

粒度分布

本区馆上段曲流河相沉积物的 C-M 图为牵引流型(图 1),以 QRS 段为主。沉积物概率图基本由跳跃总体和悬浮总体组成,为二段式,在沉积层序上自下而上粒级、细截点和跳跃总体含量减小,悬浮总体含量增加。

层位约束提高地震剖面纵向分辨率处理技术

由于砂体厚度一般小于 10 m,所以薄砂体油藏描述在很大程度上依赖于地震剖面的纵向分辨率。为了利用测井信息合理地、大幅度地提高现有资料的纵向分辨率,我们采用一种新的提高地震剖面纵向分辨率技术,这是由李衍达教授 1991 年提出的。该方法不是利用全部的测

井信息和井旁道相关提取子波进行反褶积,而是充分利用与地震剖面上反射稳定的连续性较好的同相轴(称之为约束层位)相对应的测井高频信息,结合地震资料丰富的中频信息,采用数字信号重构原理来提高地震剖面纵向分辨率,与传统反褶积方法相比,该方法不仅能提高高频部分的能量,而且有效地展宽了频带,因此可大幅度地提高地震剖面纵向分辨率。

图2为常规高分辨率剖面 and 层位约束高分辨率剖面对比图。常规高分辨率剖面的平均主频 33Hz,平均视频 46Hz;层位约束高分辨率地震剖面的平均主频 47Hz,平均视频 64Hz,较常规地震剖面其主频提高了 14Hz。

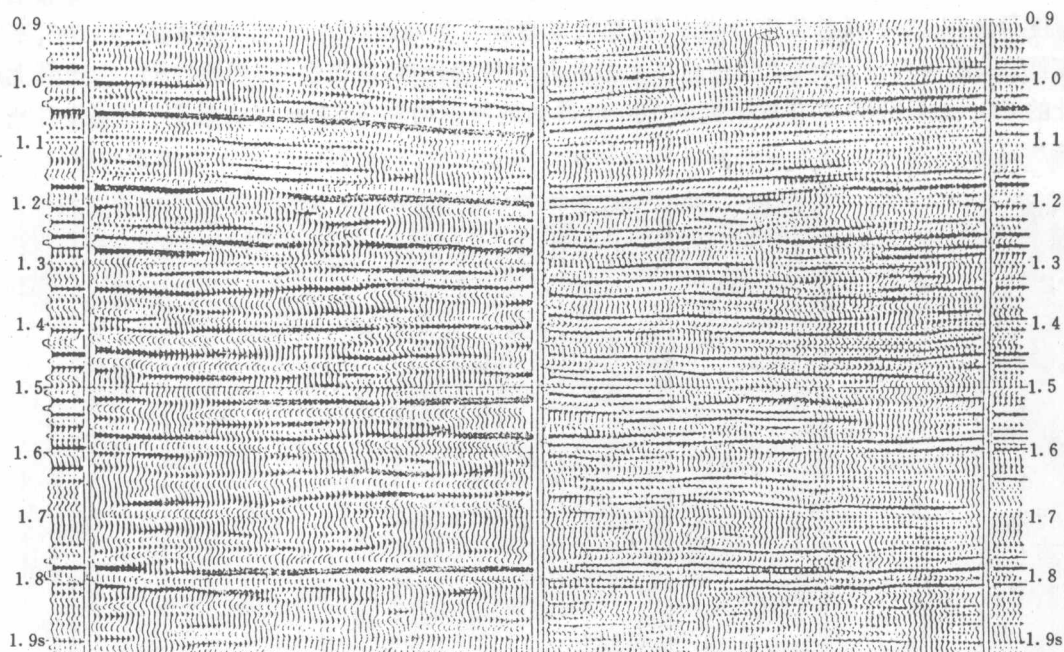


图2 处理前(常规分辨率剖面)和处理后(层位约束高分辨率剖面)的对比

左边是处理前的剖面右半部分,按道号递增排列,最左边是低分辨率的合成道
右边是处理后的剖面右半部分,按道号递减排列,最右边是高分辨率的合成道

据 30 多口井资料分析,本区目的层中砂岩速度为 2300~2650 m/s。通常以 $\frac{\lambda}{4}$ 作为时间可分辨薄层顶底反射的极限,那么本区层位约束高分辨率地震资料时间可分辨目的层中砂体厚度为 10 m 左右;若将 $\frac{\lambda}{8}$ 作为能量可分辨薄层厚度的极限计算,本区能量可分辨砂体厚度为 4~5 m。

利用人工神经网络技术进行综合分析, 优选富集区块,指导勘探开发

人工神经网络是近几年迅速发展起来的可以模拟人和动物神经系统的一种人工智能技术,由于它具有自组织、自学习及联想功能,因此在聚类分析、模式识别、参数估计、储层预测和综合评价中起着举足轻重的作用。目前在地震勘探中应用较为广泛的是有监督的人工神经网络(简称 BP 网络),BP 网络具有很好的对已知样本进行学习及判别功能,但要准确地运用该

网络,需具备以下两个条件:一是必须有足够的已知井资料作为学习样本,二是学习样本的分布要均匀。因此,在井孔稀疏或已知井样本不具有代表性的地区采用 BP 网络进行预测困难较大。自组织特征映射人工神经网络(简称 SOMA 分析)由于事先不需要已知井资料作为学习样本,可根据地震参数的相互关系及分布规律自动完成聚类,然后用已知井进行标定,在无井区可根据地质解释人员的经验对类别赋予相应的地质含义。自组织特征映射人工神经网络既可应用于井孔较多的地区,也可应用于井孔稀疏或无井区,可以弥补 BP 网络对已知井样本依赖性较大的缺陷。

图 3 为利用人工神经网络技术在优选地震参数的基础上,对主要目的层段所做的油气富集程度预测图。图中黑色代表砂岩发育,油气富集程度高,白色代表砂岩发育程度差,油气富集程度低。从图中看出,油气富集带总体上呈北西向带状分布,成带性好,规律性强。在该带上所设计的 CB251、CB252 井在所研究的 180 m 厚的地层中均获得 30 m 以上油层,试油获百吨以上高产。

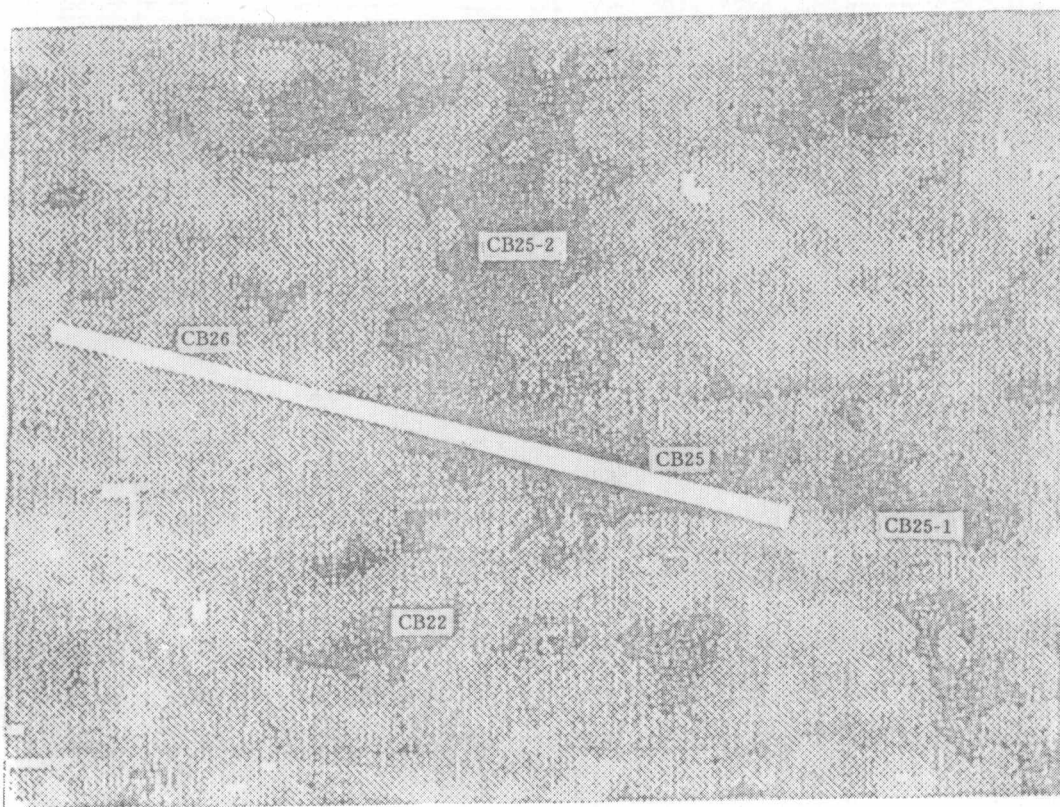


图 3 人工神经网络预测油气富集带平面分布图

沉积体系、微沉积相及古构造环境立体显示技术

任何一种沉积体系都是在特定的古构造背景上发展起来的,特定的沉积体系依赖于特定的构造环境,构造环境控制沉积体系的发生、发展及消亡。沉积体系及微沉积相研究是油藏描述的重要环节,是砂体定量、系统描述的基础。

为了搞清所研究目的层段沉积体系的分布规律,验证神经网络的判识结果及砂体定量解释成果,我们改进了从美国引进的SGM软件。改进后既能对构造图进行立体显示,恢复古构造背景,又能同时将沉积体系的属性显示出来,使两者有机地结合,为地震解释结果寻找地质依据。

振幅、频率指数法反演储层厚度

调谐曲线法求取储层厚度的缺陷

绘制砂体厚度图是人机联作定量解释的关键,“七五”期间人们普遍采用调谐曲线法来求取砂体厚度,该方法对砂体厚度特别是薄砂体厚度的求取起到了巨大的推动作用,然而该方法本身也存在一些缺陷。具体体现在:

(1)当砂体厚度小于调谐厚度时,采用振幅与厚度的近似线性关系来求取砂体厚度。但由于振幅值与储层厚度之间并非一种简单的线性关系,而是呈现出前半部分陡后半部分缓的非线性关系(图4)。在实际计算时,通常采用一种线性关系来近似代替这种非线性关系,这种替代关系不可避免地形成一种理论上的误差。

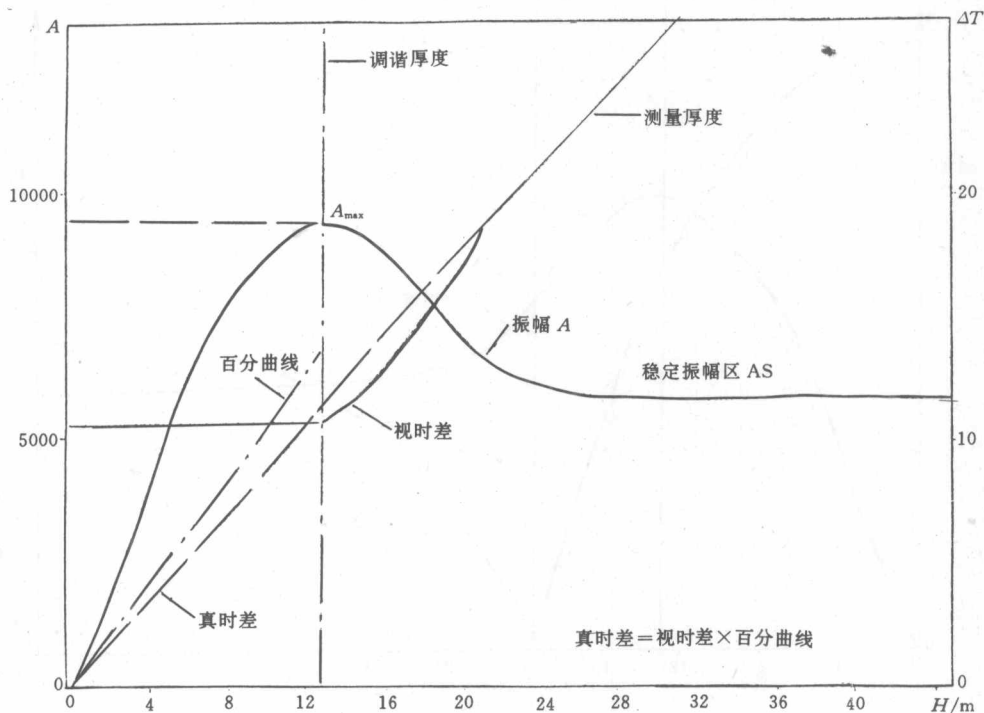


图4 楔状模型厚度与其地震响应振幅、时差三者关系图

(2)当储层厚度大于 $\lambda/4$ 时,通常采用双程反射时差与储层厚度的近似线性关系求取储层厚度。从楔状厚度与双程反射时差的关系曲线可以看出,当层厚介于 $\lambda/4$ 波长与 $3\lambda/8$ 波长之间时,双程反射时差与储层厚度之间的关系为一平缓过渡的曲线,只有当层厚大于 $3\lambda/8$ 时,这种线性关系才趋于稳定。由于实际计算时采用双程反射时差与储层厚度的线性关系来计算储

层厚度,因此对层厚在 $\lambda/4$ 和 $3\lambda/8$ 之间的储层,这种计算方法所带来的误差是不可忽视的。

(3)需打印振幅—时差散点图,建立调谐曲线,找出调谐点的位置及选取合适的子波和准确的速度参数,这在实际中很难做到。

(4)当储层物性发生变化时,影响振幅值大小,使计算的厚度偏大或偏小,影响储量计算或油气田的开发评价。

振幅、频率指数法反演储层厚度的原理及方法

为了克服调谐曲线法求取储层厚度的缺陷,我们研制了一种新的储层厚度求取方法,称之为储层厚度的振幅、频率综合反演技术,与国内普遍采用的振幅、频率联合求取厚度的方法不同。国内普遍采用的振幅频率联合求取厚度的方法是运用在小于 $\lambda/4$ 波长的薄层反射波中,振幅随厚度呈近线性增加,频率随厚度呈近线性减小的原理(图 5),采用解线性方程的方法来求解待定系数,然后利用公式 $H=K_1A+K_2F+C$ (其中 H 为厚度、 A 为振幅、 F 为频率、 K_1 、 K_2 、 C 均为求解系数),根据振幅、频率的横向变化来模拟储层厚度的横向变化。然而由于小于 $\lambda/4$ 时振幅和频率随厚度的变化规律均为非线性,采用线性方法误差较大,且这种方法只适用于小于 $\lambda/4$ 时的薄层。

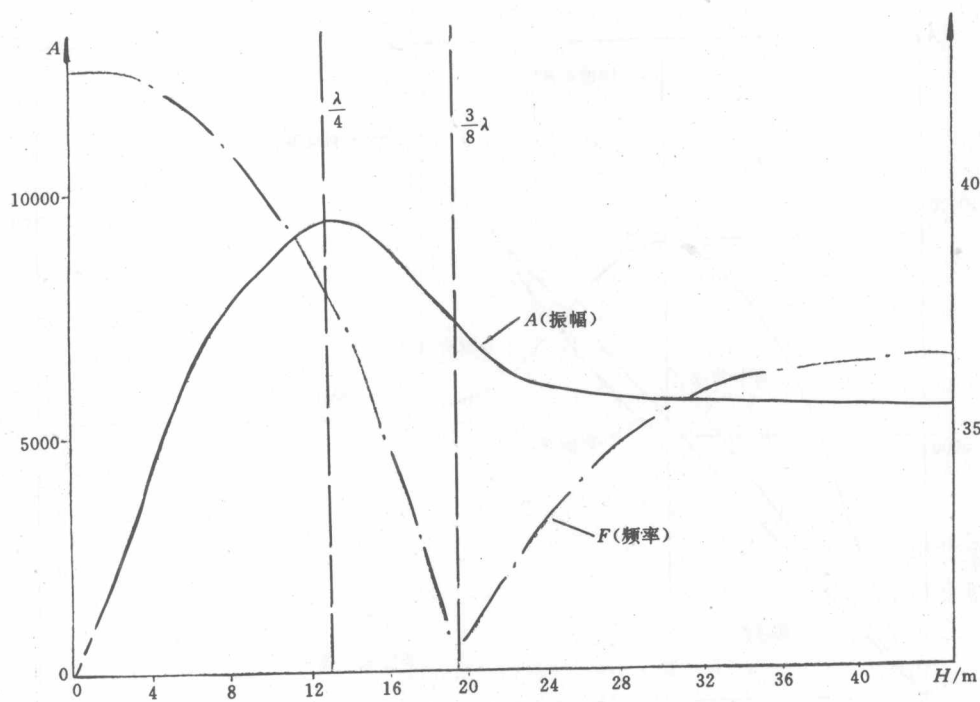


图 5 楔状模型厚度与其地震响应振幅、频率三者关系图

我们所研制的方法,由于既考虑了振幅、频率信息,又使其与厚度的线性关系延拓到 $3\lambda/8$ 处,并且这种关系更趋近于线性,精度较高,既克服了调谐振幅法抗干扰性差的缺陷,又克服了一般的振幅、频率求取储层厚度线性范围窄、精度低的缺点。

原理

应用振幅、频率指数法反演储层厚度,关键在于寻找振幅、频率信息与储层厚度之间的内

在规律。为此我们制作了 Weidess 楔状模型(图 6)。由计算机自动拾取其反射波的振幅、频率值,所统计的振幅、频率随厚度变化规律见图 5。

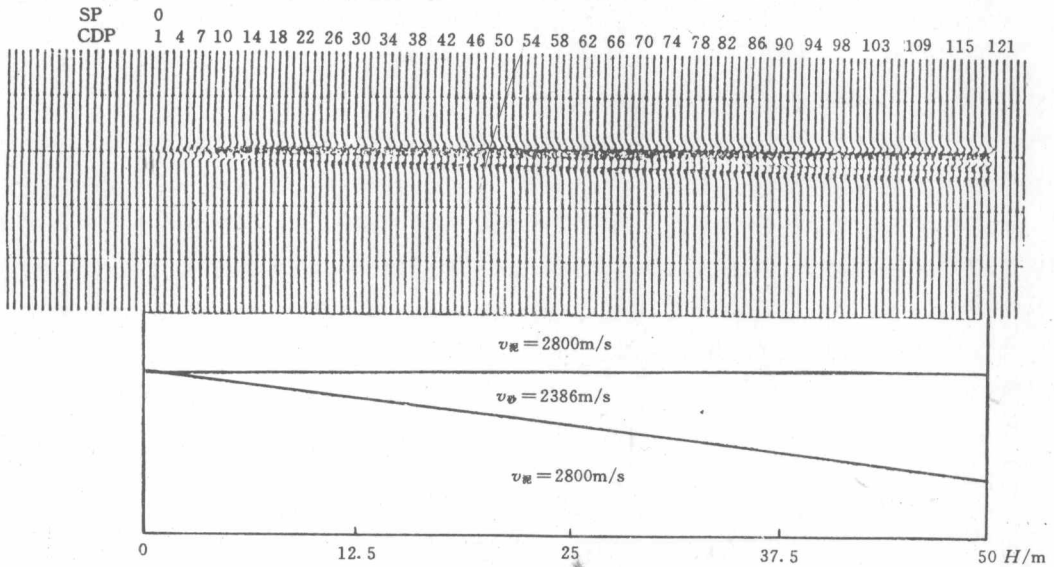


图 6 $V_{\text{砂}} < V_{\text{泥}}$ 楔状体模型

从图 5 中可以看出,在储层厚度较薄时,振幅随厚度的增加呈近似线性增加,并一直持续到层厚为 $\lambda/4$ 波长处,尔后随厚度的增加,振幅呈缓慢减小并趋于稳定;频率随厚度的增加呈近似线性减小,并一直持续到层厚为 $3\lambda/8$ 处。

再深入分析,不难发现,随着厚度的增加,等间隔的振幅所引起的厚度变化不是一个均值,而是呈增加的趋势,即振幅—厚度曲线的前半部分比较陡,而后半部分比较缓;与振幅的变化趋势相反,等间隔的频率所引起的厚度变化不是呈增加而是减小的趋势,即频率的前半部分比较缓,后半部分比较陡。这一规律表明,可以把振幅、频率参数经过一定的数学变换得到一种新的参数,要求这种变换的特点是,充分利用频率前半部分变化比较慢的特点来制约振幅前半部分变化比较快的趋势;利用频率后半部分变化比较快的特点来提高振幅后半部分(指靠近 $\lambda/4$ 的那段)的变化速度。只要频率和振幅的前半部分和后半部分(指层厚度小于 $\lambda/4$ 情况下)随厚度的变化速度满足一定的条件,就会使新拟合的参数随厚度的变化规律基本上变成一条直线;由于频率与厚度的近似线性关系持续到 $3\lambda/8$ 处,因此,如果增加频率的变化速度,就有可能使新拟合的参数与厚度的线性关系向 $3\lambda/8$ 处靠拢。

实现方法

根据以上原理,我们首先计算 A/F (其中 A 为振幅, F 为频率)值,并统计 A/F 值与厚度的关系曲线(图 7)。从图中可以看出,在层厚小于 $\lambda/4$ 的薄层区内, A/F 值随厚度的增加呈增加的趋势,与振幅随厚度增加趋势相比(图 5), A/F 值随厚度的增加规律更趋近于线性。为了使这种线性关系更理想,并使其向 $3\lambda/8$ 处靠拢,我们加大了频率的变化速度,即采用 A/F^2 (图 8),发现其近线性关系比 A/F 明显地向 $3\lambda/8$ 处延伸,只是线性关系虽有改善,但仍不理想,特别是尾部由于 A/F^2 值随厚度的变化缓慢,出现曲线尾部右摆现象,这说明频率的变化速度过小。经过反复试验,我们发现 $A/F^{2.9}$ 值与厚度的变化规律最为接近(图 9),在层厚小于 $3\lambda/8$ 的

整个厚度变化范围内, $A/F^{2.9}$ 值随厚度的增加呈增加的趋势, 并且这种关系基本上为一完全的线性关系。

通过对不同速度结构的模型、不同主频的子波反复试验, 认为该方法是可行的。加之本区

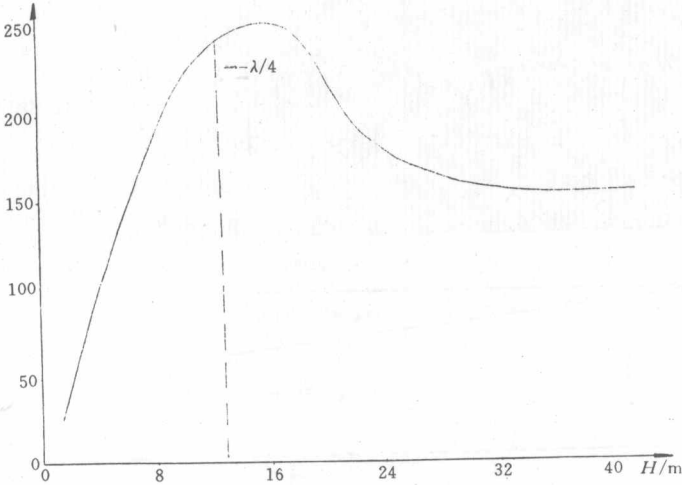


图 7 振幅、频率—厚度定量关系曲线
(纵坐标为 A/F)

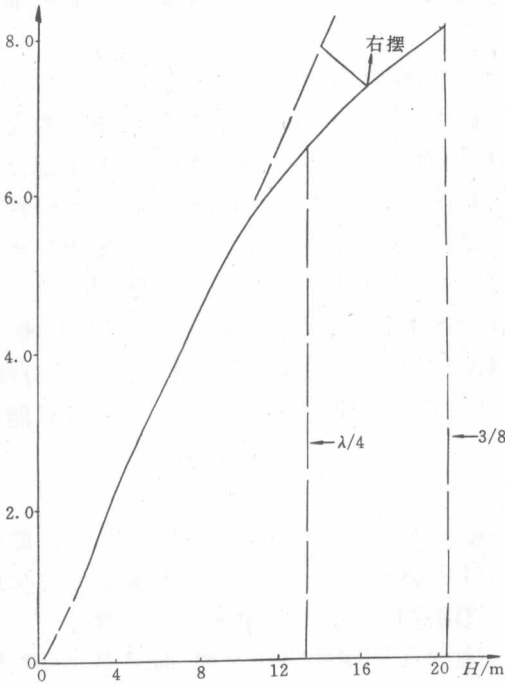


图 8 振幅、频率—厚度定量关系曲线
(纵坐标为 A/F^2)

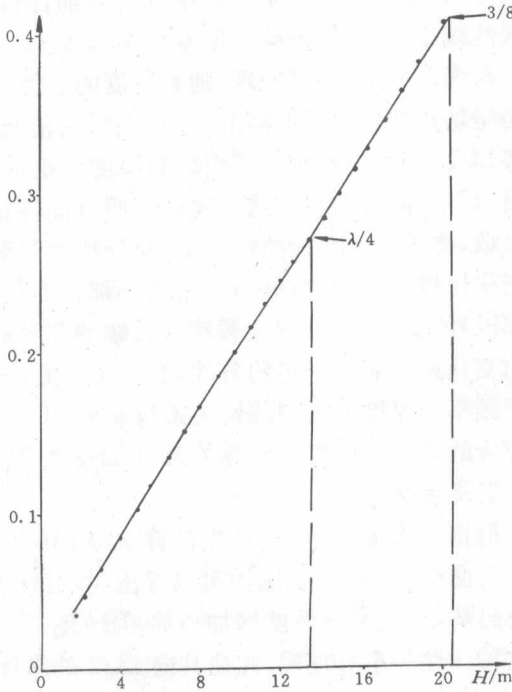


图 9 振幅、频率—厚度关系曲线
(纵坐标为 $A/F^{2.9}$)