

渤南洼陷钻前地层压力地震预测

罗胜元*^① 何生^① 宋国奇^② 王永诗^② 郝雪峰^② 金秋月^③

(^①中国地质大学(武汉)构造与油气资源教育部重点实验室,湖北武汉 430074; ^②中国石化胜利油田分公司,山东东营 257015; ^③中海石油(中国)有限公司湛江分公司,广东湛江 524057)

罗胜元,何生,宋国奇,王永诗,郝雪峰,金秋月. 渤南洼陷钻前地层压力地震预测. 石油地球物理勘探, 2014, 49(2):349-359.

摘要 沾化凹陷渤南洼陷沙三段和沙四段普遍存在着异常高压。为全面了解该区纵、横向压力分布特征,采用叠前时间偏移速度谱资料,利用 VSP 速度,应用 Fillippone 公式压力预测模型,成功地预测了渤南洼陷的孔隙压力体。采用 VSP 测井优化校正地震层速度,可以使速度误差小于 8%,从源头上降低地层孔隙压力的不确定性。在确定研究区相对应的模型参数前提下,依照每个速度谱点分别求取最大、最小压实速度,为压力预测模型提供了良好的速度处理方法。利用经校正的速度资料和预测模型,获得了流体压力的三维数据体,可以从任意方向切片观察凹陷内压力的空间展布。由于地震垂向分辨率影响着地震速度精度,再加上多种地质因素影响地震速度,从而导致地震预测压力值与实测值存在误差。经速度校正系数和实测值的校正,82%的统计数据误差在±10%的允许范围内,基本能满足勘探、开发的需要。

关键词 渤南洼陷 叠前偏移地震速度谱 压力预测 三维超压体

中图分类号:P631 **文献标识码**:A

1 引言

在石油勘探开发中研究沉积盆地地层压力具有重要的理论和实际意义。在理论上由于高效源岩、有效储层、异常高的地层流体压力等各成藏的有利因素是相伴出现的^[1],对超压的预测实际上就是对有利成藏区段的圈定;在实际勘探中,超压的存在会使勘探的时间、成本和风险急剧增加。

渤南洼陷作为胜利油田的主要产油区之一,具有较高的勘探程度,在地层压力研究方面也有大量的研究成果^[2~5]。相关的压力预测通常以测井资料为基础,在泥浆密度和试油资料的约束下,也可以对部分已钻探井的邻近地层做出连续且比较准确的孔隙压力预测,但对有些探井的地层压力分析和预测仍然存在很多问题。由于检测超压地层的几种方法均基于钻井数据、电缆测井等井孔资料,受井位分布制约只能对井孔小尺度范围内的地层压力进行预测,不能全面掌握纵向和横向上的全局压

力面貌。而且以井孔资料为基础的地层压力预测只能在完钻后才能实现,对勘探开发过程中新井钻前压力预测基本不适用。因此有必要充分利用丰富的地震资料获得横向及纵向上压力分布特征,进而可研究不同层位间的水力连通性和封闭(如断层)效果。

本文针对沾化凹陷渤南洼陷复杂构造条件和压力结构,从原始地震 CDP 道集的时间域模型入手,获取叠前偏移速度场,并用实际地质资料作为约束条件,探究渤南洼陷钻前地层压力的地震预测方法,建立盆地级别的三维压力模型,分析预测压力的误差与影响因素,为渤南洼陷的精细勘探提供流体动力学的依据。

2 研究区概况

渤南洼陷位于沾化凹陷的中部,是胜利油区沾化凹陷中地层埋藏深度最大的次级洼陷。北以埕南—埕东断层与埕东凸起相接,南邻陈家庄凸起斜

* 湖北省武汉市洪山区鲁磨路 388 号中国地质大学(武汉)资源学院,430074。Email:loshyv@163.com

本文于 2012 年 10 月 30 日收到,最终修改稿于 2014 年 1 月 20 日收到。

本研究受国家油气重大专项课题“渤海湾盆地精细勘探关键技术”(2011ZX05006-002)和中国地质大学构造与油气资源教育部重点实验室开放基金项目(TPR-2011-10)联合资助。

坡带,西以义东、罗西断裂与义和庄凸起相连,东以孤西断层与孤北洼陷、孤岛凸起相邻,东南以垦西地垒与三合村洼陷相接。渤南洼陷为一西北陡、东南

缓、北东走向的箕状断陷盆地,面积约 600km²。受几条近东西向盆倾断层切割,从北向南可划分为北部陡坡带、中部洼陷带和南部缓坡带(图 1)。

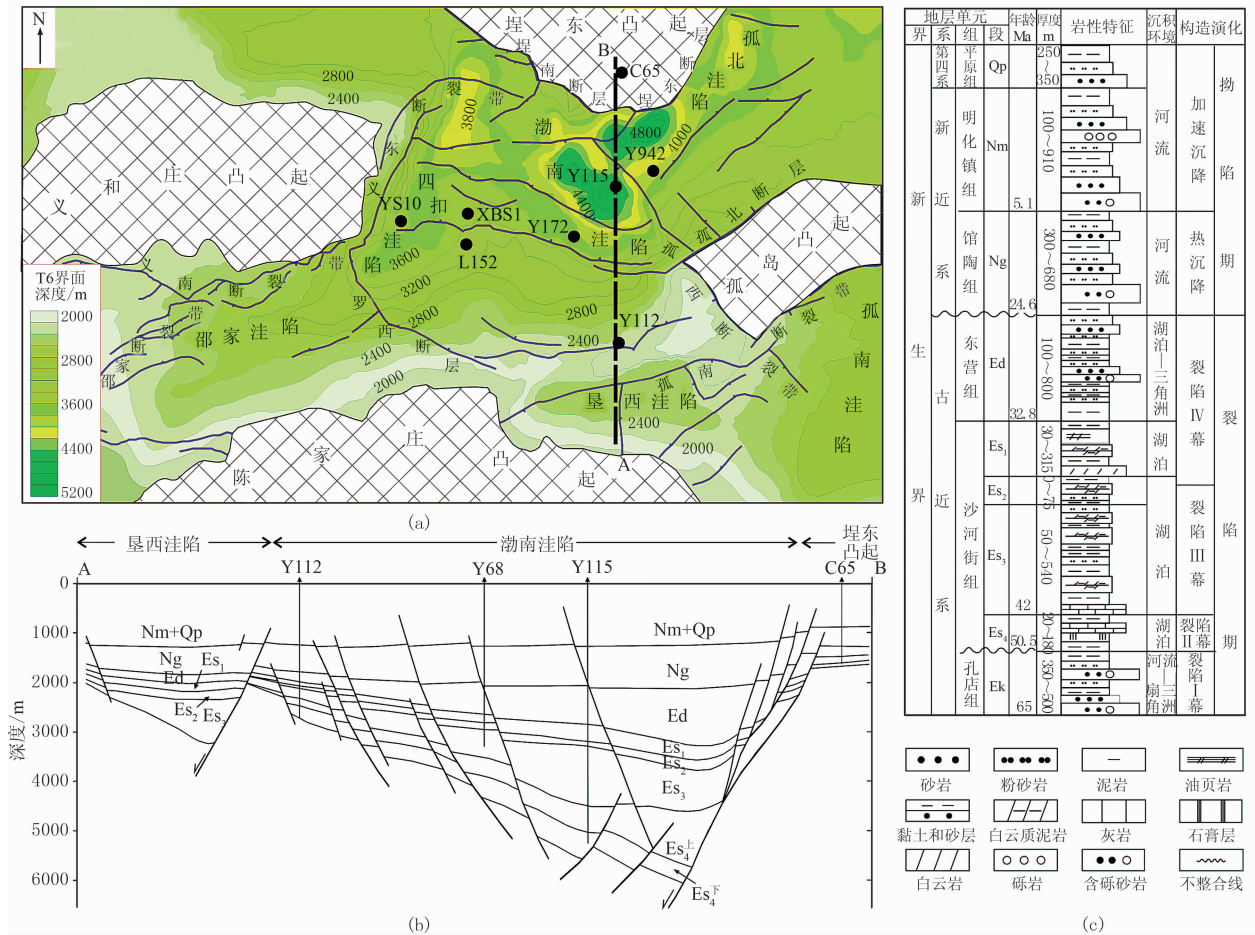


图 1 渤南洼陷地质简图及新生界地层序列(据胜利油田地质院,有修改)
(a)区域位置与 T6 构造图; (b)南北向构造剖面; (c)岩性综合柱状图

渤南洼陷是沾化凹陷的一个主要沉积和沉降中心,新生界沉积厚度超过 7km,地温梯度为 3.4°C~4.1°C/100m,属于高温盆地。渤南洼陷内部超压普遍发育,从渤南洼陷地层压力—埋深交会图可以看出(图 2),洼陷内中、浅部地层大部分处于静水压力状态,大规模异常高压出现在沙三—沙四段,超压出现的深度范围在 2300~4100m,强超压(压力系数大于 1.5)主要出现在 3000~4000m 处,最大压力系数可达 1.8,自 4100m 开始,实测压力显示超压幅度降低,趋于静水压力。

3 压力预测步骤及模型

地震纵波速度是进行地层压力预测的主要依

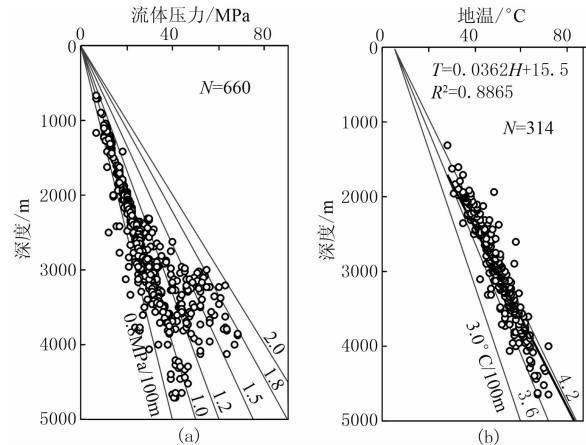


图 2 渤南洼陷钻井测试温、压分布特征

(a)实测流体压力随深度变化关系;(b)实测地温随深度变化关系
图中 T 为地层温度;H 为埋深;R 为数据拟合时的相关系数;N 为样品数

据,它与地层岩性、岩层的压实程度、埋深、地质年代、岩石的孔隙度以及流体等因素紧密相关。通常情况下,岩石越致密、地层埋深越大,地震波的传播速度越高,在高孔隙度、超压地层中地震波传播速度偏低。超压地层中通常表现出孔隙度偏高、地震速度偏低的特点^[6, 7],这是利用地震波速度预测地层压力的物理基础。本文通过借鉴单井模型指导下的速度分析思路^[8, 9],利用三维地震叠加速度资料、测井和试油数据,在测井和测试压力建立的单井模型基础上,分析压力对井旁道速度的影响,提取压力在速度上的响应特征,在获取层速度后,利用 Phillip-pone 经验公式计算地层压力。在压力预测过程中,层速度获取和预测模型的选择尤为重要,是压力预测的两个关键点。

3.1 速度谱校正和层速度获取

叠前偏移技术是近年来油气地球物理勘探领域的研究热点^[10~12],偏移可以使绕射波收敛,地下界面的地震反射波归位到实际的空间位置,最终得到反映地下界面形态的真实地震图像。李强等^[13]认为与常规叠后时间偏移剖面相比,叠前偏移可以提高断层下盘的成像质量,反映丰富的构造细节。对于中浅层地质条件相对较好、深层构造复杂的地区^[14],如我国东部渤海湾盆地、西部的准噶尔盆地,应用叠前偏移技术的条件比较成熟。

本文采用广泛应用于勘探中的流程建立叠前偏移速度场,从建立时间域模型开始,对工区内所有的二维测线层位从浅到深进行并列处理。具体步骤为^[15]:①叠加速度经过偏移处理,获取沿层均方根

速度;②均方根速度垂向内插(时间间隔为 50ms)并平滑;③通过迪克斯公式转换初始层速度;④平滑获得层速度剖面;⑤时间切片检查,剔除速度异常点;⑥时间层位图转换到深度域;⑦建立深度—层速度模型。

影响地震记录精度的因素很多,如子波延时、大地滤波因子,记录仪器响应等,在渤南洼陷的碎屑岩砂泥岩互层地层中,地震精度还受砂体分布范围小、小断层系发育、地层倾斜等因素响应影响,因此需要利用测井资料对地震层速度解释模型进行标定和校正^[16, 17],使地震层速度与 VSP 层速度吻合,提高速度谱精度,在此基础上再利用校正后的地震层速度预测钻前压力。

图 3 是 XBS1、Y172、L152、Y942 和 YS10 共 5 口探井(井位见图 1)的井孔速度测量(VSP、声波测井等)和井旁地震速度谱速度换算的时差随深度变化情况对比图。参考实测压力和泥浆密度录井资料,大致划分出这些井的压力分布结构。虽然速度谱点比较稀疏,垂向分辨率不够,但在地层达到一定厚度时,井旁地震层速度换算时差在超压带内有倒转趋势,并且基本与由井孔速度换算的时差变化趋势相符。可见该区的速度谱资料可靠,能基本反映该区的速度变化规律。从图中还可以看出,由井孔速度换算的层速度变化大小和趋势基本一致,而井旁地震层速度则与前两者存在一定偏差。浅层通常表现出井孔速度大于井旁地震层速度,中、深层则正好相反,考虑到超压分布在盆地中、深层,可以认为井旁速度谱计算出的层速度稍有偏大。

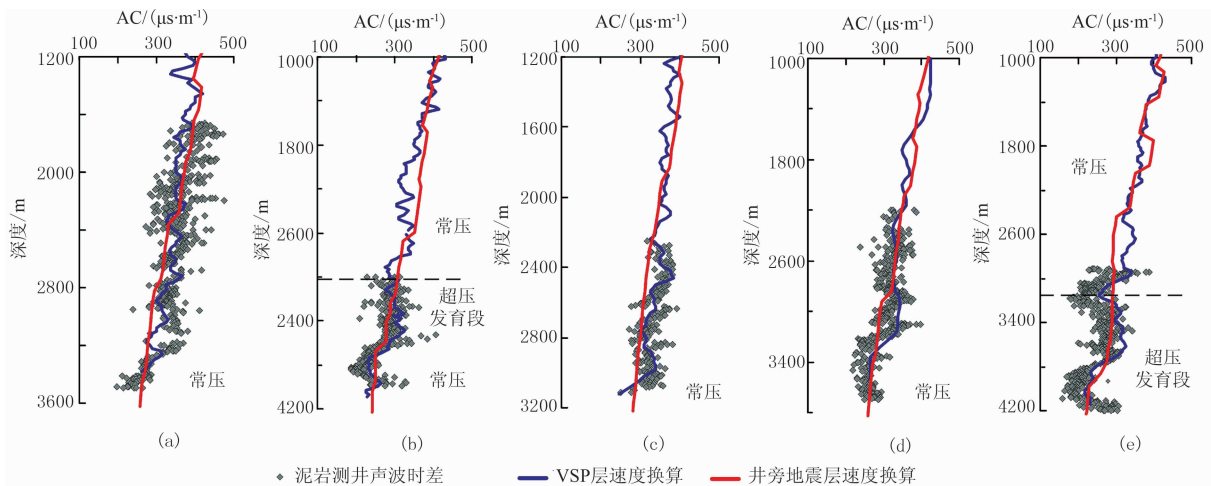


图 3 部分单井泥岩测井声波时差、VSP 层速度和井旁地震层速度换算的时差对比图
(a)XBS1; (b)Y172; (c)L152; (d)Y942; (e)YS10。井位见图 1

鉴于地震速度能很好地控制区域速度横向与纵向的变化、反映区域速度变化特征,但与测井资料计算得到的层速度相比还是存在误差,因此需要利用VSP测井速度对其进行校正。图4为采用多项式回归计算各井VSP层速度和井旁地震层速度的差值随深度变化的情况。原则上应该逐点建立每口井的回归方程,然后采用平面网格化插值的方法,得到每个速度谱点的速度校正量^[18]。但由于VSP测井资料极少,声波测井资料又受扩径、地层岩性、构造、

含流体类型等多种因素的影响。本文采用上述5口单井来建立全区统一的速度校正方程,在0~5000m深度范围内,其速度校正量在-600~+400m/s之间。以叠前深度偏移速度谱为基础,再结合计算的速度校正量,获得了每个网格节点的地震层速度。以VSP层速度为标准,对校正后的井旁地震层速度做误差分析,井旁地震层速度的时差绝对误差小于8%,表明在稀井条件下利用该方法可以提高地震层速度的精度,且地震速度点覆盖面积大,能够更加客

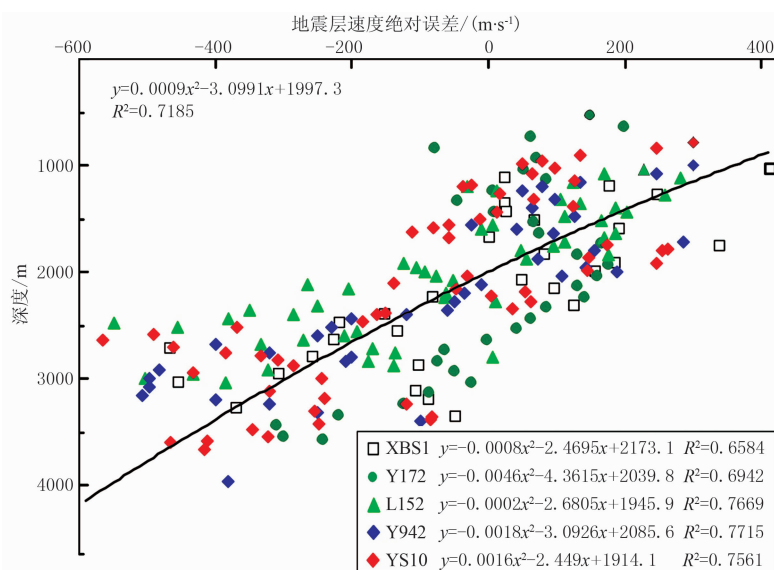


图4 部分单井井旁地震层速度与VSP层速度的误差与深度关系图

地震层速度绝对误差 = VSP层速度 - 速度谱层速度

图中 x 为地震层速度绝对误差; y 为地层深度; R 为数据拟合时的相关系数

观地提供全面和丰富的纵、横向压力结构信息。

3.2 超压预测方法

如何用地震速度资料预测地层压力是另一个关键,为此Fillippone先后提出了两套实用而简单的计算方法^[19],其压力计算的精度主要受控于研究区的实际情况与各经验假设条件的符合程度以及相关经验参数的准确性。本文选用Fillippone改进后的地层压力预测方法,针对区域的地质特点,优选出与之相对应的孔隙压力计算参数组合,表达式为^[20]

$$P = \frac{v_{\max} - v_i}{v_{\max} - v_{\min}} \times \rho \times D \times 0.12 \quad (1)$$

式(1)中的各参数如何正确获取和确定对压力的预测至关重要,分别描述如下:

(1) P 为地层压力(MPa); v_i 为第 i 层的层速度(m/s); v_{\max} 为最大层速度(m/s),是岩层有效孔隙度近于零时的纵波速度; v_{\min} 为最小层速度(m/s),是

岩层刚性近于零时的纵波速度; v_{\max} 和 v_{\min} 是随反射时间线性增大的速度,可用

$$\begin{cases} v_{\max} = 1.4v_{r0} + 3kt \\ v_{\min} = 0.7v_{r0} + 0.5kt \\ v_{r0} = v_r - kt_0 \end{cases} \quad (2)$$

计算。式中: v_r 和 t 分别为由速度谱获取的均方根速度(m/s)和反射时间(s); v_{r0} 和 t_0 为地表处的均方根速度和反射时间; k 为 $\Delta v_r / \Delta t$, 是 $v_r - t$ 在浅层线性关系的斜率。

(2) ρ 为地层密度(g/cm^3),与层速度有关。对于新勘探区砂泥岩剖面的 ρ 值常用经验公式计算

$$\rho = 1.73 + 1.64 \exp(-3084/v_a) \quad (3)$$

式中 v_a 为平均速度(m/s)。为了提高预测效果,一定要根据研究区实际测量的岩石地球物理参数,拟合出适合该区的密度与纵、横波速度关系(图5)。

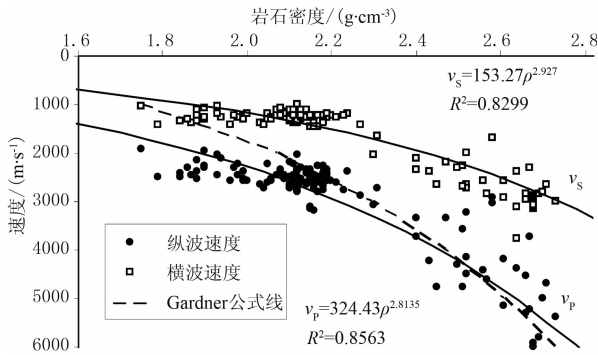


图 5 渤南洼陷饱和流体岩石纵、横波速度与密度关系
图中 v_p 和 v_s 分别为纵波、横波速度; R 为数据拟合时的相关系数

(3) D 为深度 (m), 利用层速度 v_i 和双程反射时间 t 求取

$$\begin{cases} D_1 = \frac{v_1 t_1}{2} \\ D_2 = D_1 + \frac{v_2 (t_2 - t_1)}{2} \\ D_n = D_{n-1} + \frac{v_n (t_n - t_{n-1})}{2} \end{cases} \quad (4)$$

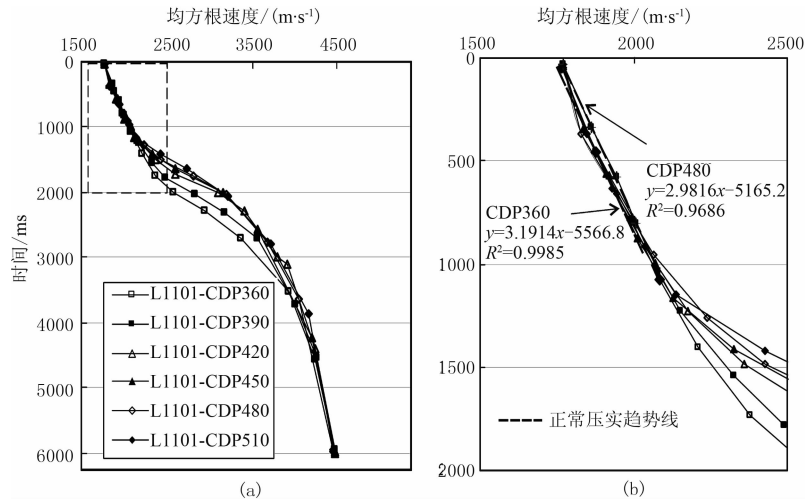


图 6 L1101 测线上若干 CDP 谱点地震均方根速度随时间的变化关系

(b) 为 (a) 中黑色虚线框部分的放大图; 图中 x 为地震均方根速度, y 为反射时间, R 为数据拟合时的相关系数

4 由地震速度谱建立三维超压数据体模型

按照上述处理流程对该区的二维测线资料进行处理, 共解释了 46 条测线的 3439 个点的地震速度谱资料。如图 7 所示, 渤南洼陷地震速度谱资料覆盖河口—陈家庄连片地区, 面积约为 1432.7 km^2 。3D 区在 InLine 和 CrossLine 上, 速度谱点密度为 $0.75 \text{ km} \times 1 \text{ km}$; 纵向上经插值、平滑处理后的时

(4) 常数 0.12, 渤南洼陷地层水矿化度在 2600m 时达到 200g/l, 常数 0.12 相当于 200g/l NaCl 溶液矿化度的地层水压力梯度值。计算过程中该区的静水压力梯度取 0.012 MPa/m 。

应用式 (1) 估算压力主要是靠线性内插的办法来求得, 因为式 (2) 实际上隐含了最大、最小压实速度符合线性变化, 地层压力与速度之间呈线性变化这样一个假设条件。虽然普遍认为该方法预测压力方法不直接建立正常趋势线, 但对异常地层压力的判断和估算仍然要借用“正常值”, 利用所建立的压实层速度与实际地震层速度间比值的相对大小, 来预测地层流体压力的大小^[21]。经过多次尝试, 笔者认为依照各个速度谱点分别求 k 值来计算正常趋势线效果更好。图 6 为 L1101 测线上 6 个相邻 CDP 点地震均方根速度随深度的变化关系, 依照每个 CDP 谱点的浅层速度分别建立 $v_r - t$ 的正常压实趋势关系, 得到式 (2) 中的相关参数。

间采样间隔为 50ms, 直至地震记录全长 6000ms 结束。

叠加速度平面上分布均匀而密集, 纵向、横向的变化是地下地质情况的综合反映。运用上述压力预测方法, 获得了全区地震层速度、流体压力、压力系数、剩余压力等三维数据体, 据此可以了解研究区在 0~5000m 深度内的任意一点的速度、流体压力等信息。运用 Petrel 油藏综合描述软件, 通过克里金插值方法分别建立了渤南洼陷三维空间的地震层速度数据体和流体压力系数数据体 (图 8、图 9)。利用

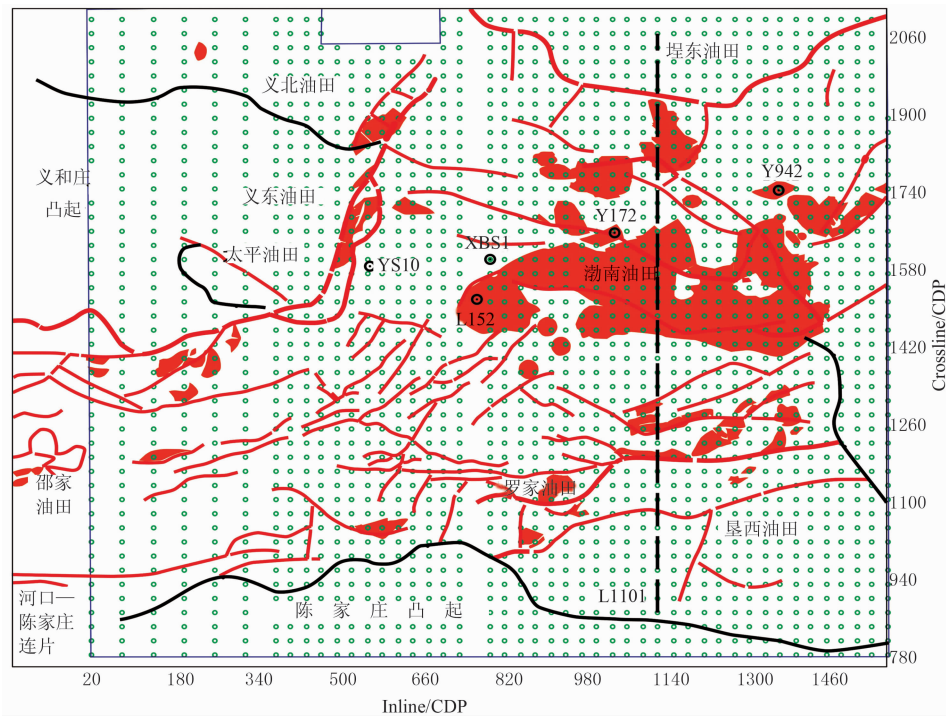


图7 渤南洼陷地震速度谱点、L1101测线及部分井位分布图

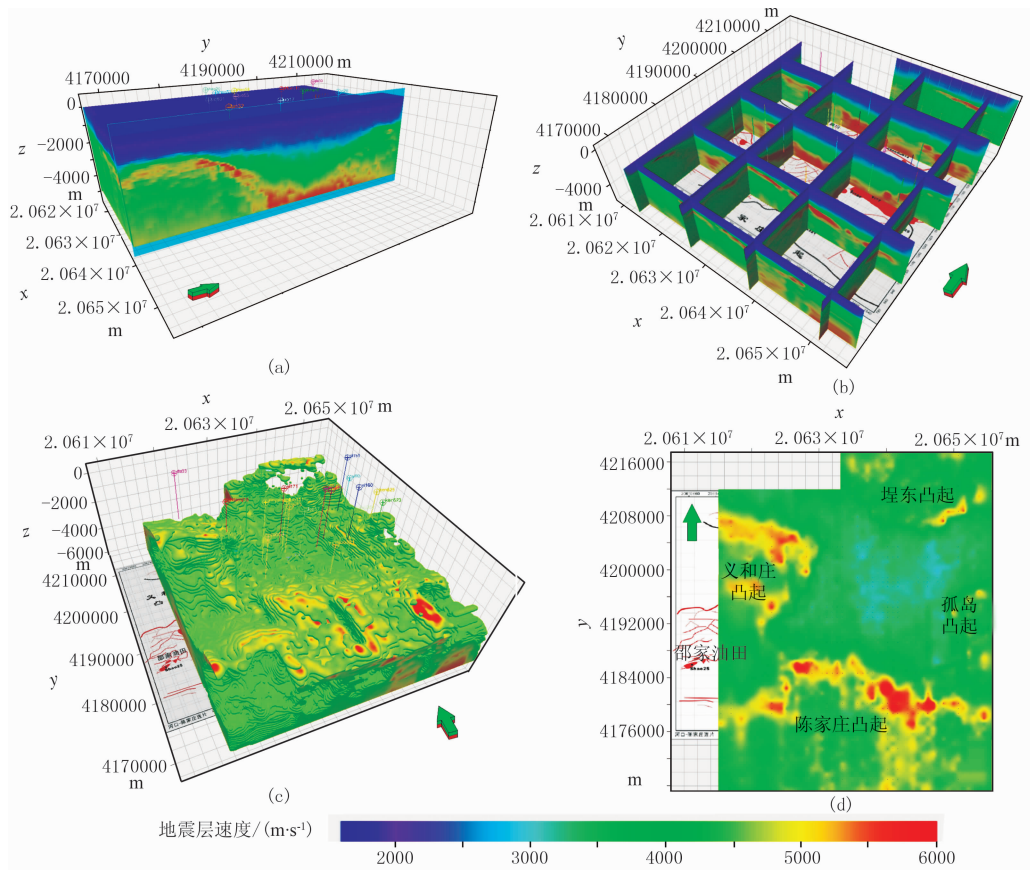


图8 渤南洼陷地震层速度三维数据体模型及其切片

(a)三维数据体 L949 测线剖面；(b)三维地震层数据体栅状图；(c)地震层速度大于 4500m/s 的空间分布图；(d)地震层数据体 4000ms 水平切片

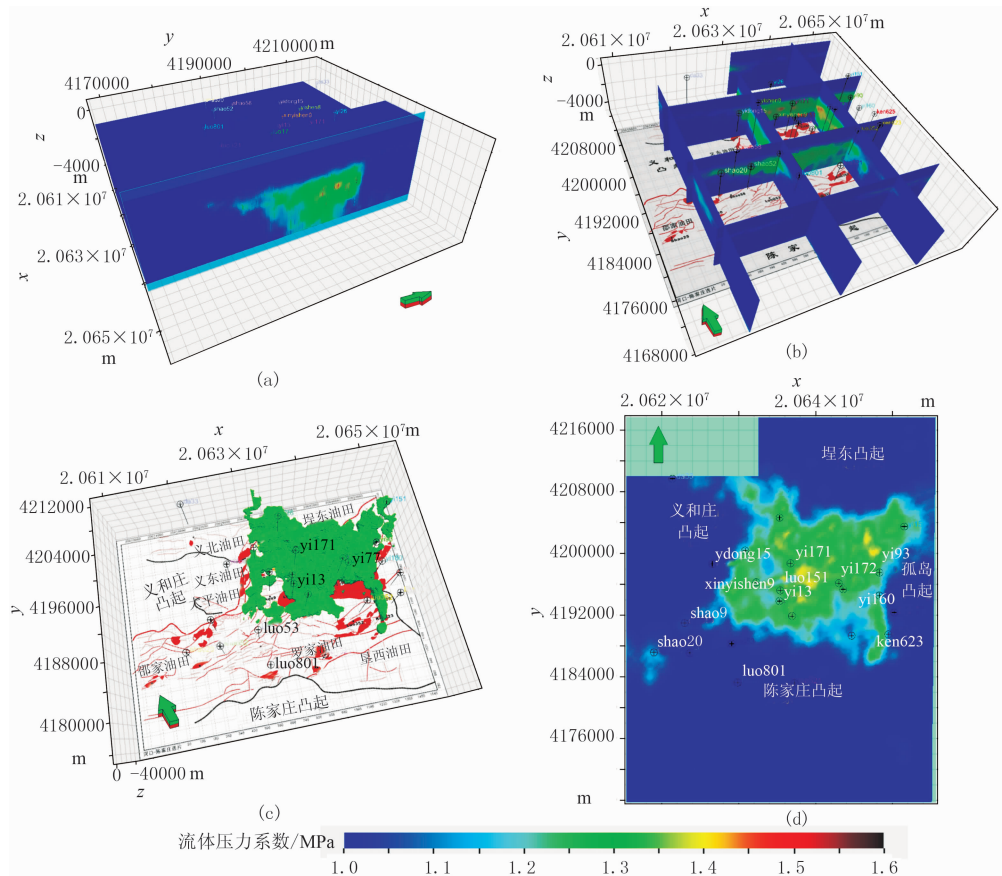


图 9 渤南洼陷流体压力系数三维数据体模型及其切片

(a) 三维数据体 L1101 测线剖面; (b) 三维流体压力数据体栅状图; (c) 压力系数大于 1.3 的空间分布范围; (d) 压力系数数据体 3500m 深度水平切片

这些三维数据体,可从任意方向切片观察洼陷内地层压力的空间展布状况,不仅可以从油藏的角度识别压力异常部位,还可以更好地识别断层圈闭和油气运移路径。

根据层速度的分布范围,可识别出两类不同的速度区域,分别是在洼陷边缘高点发育的高速异常区(4000~5500m/s)和洼陷内部广泛发育的低速区(2700~3300m/s)。不同的速度分布反映了地层压力的分布情况,高速度异常区对应盆地周缘的若干凸起,盆地内部的低速区为超压发育区,之间夹杂着部分常压区间。根据研究,低速异常区的范围长 20km,宽 16km,厚度至少 2km,基本代表了渤南洼陷超压的发育范围。

由预测的压力系数数据体不同方向的切片可以获得地层超压的空间变化特征,图 10 为从三维数据体中截切的二维测线(L1101)的地震剖面、地震层速度分布剖面 and 流体压力系数分布剖面。该测线长约 50km,过垦西洼陷北部和渤南洼陷主体(测线位

置见图 7),建立在地震速度资料之上的压力系数等值线图提供了该区压力垂向分布的信息。渤南洼陷地层压力在垂向上表现为“双层结构”,埋藏深度小于 2300m 时,地层压力为正常压力,压力系数为 1~1.2,地层层位基本上对应于沙河街组二段及其以上地层,为浅层正常压力系统;当埋藏深度大于 2300m 时,地层压力为中超压或强超压,压力系数一般为 1.2~1.6,基本上对应于沙河街组三段、四段地层,为深层超压系统。超压多发育在洼陷中心区域,靠近洼陷中心部位的高流体压力带厚度大,往斜坡部位其厚度逐渐减小,变为正常压力。毋庸置疑,洼陷深部位发育的异常高压对该区油气运移与聚集具有重要的影响作用。

5 误差分析与校正

5.1 误差来源及分析

计算压力与实际测量压力间存在误差的原因主

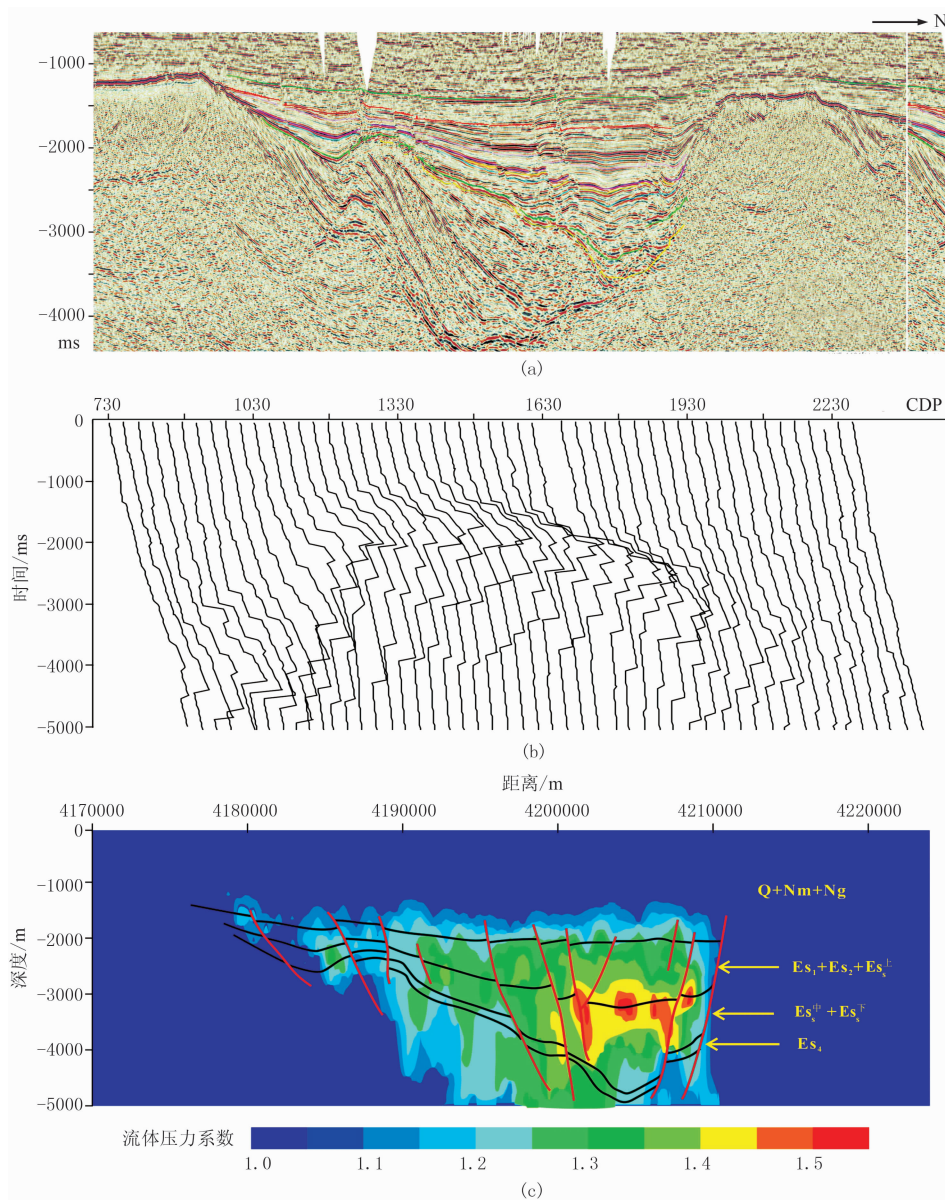


图 10 渤南洼陷 L1101 测线流体压力预测结果

(a)南北向地震剖面；(b)迪克斯层速度剖面(地表速度为 1737.1m/s)；(c)流体压力系数剖面

要有以下几个：

(1)基础数据误差是构成地层孔隙压力不确定度的重要因素之一，其中以拾取速度精度最重要^[22,23]，特别是对于深层，通常同相轴拾取越深，速

度函数的质量越低。此外，由于受地震垂向分辨率的限制，速度估算的精度有限，这种地震速度本身所固有的误差，必然会对地层压力预测造成一定的影响。表1显示了传统速度的垂直和横向分辨率^[8]。

表 1 从地震资料中提取的速度分辨率^[8]

	垂直分辨率	横向分辨率/m	注 释
低分辨率地震资料 (标准地震资料)	0~20Hz (400~500ms)	1609	能识别的超压层厚不小于 152.4~243.84m
重新处理的地震线 (更易拾取和质量控制)	0~40Hz (200~400ms)	304.8	能识别的超压层厚不小于 76.2~121.92m
高分辨率地震资料	8~60Hz (10~20ms)	30.48	能识别的超压层厚不小于 30.48~61m

从传统叠加速度分析中计算出的层速度的频率一般小于 20~40Hz, 这使得所能识别的超压层不小于 190m。

假设层厚为 h , 层深度为 D 处的均方根速度的标准方差是 χ , 从均方根速度计算出层速度的标准方差是 χ_{int} , 则它们之间的关系可近似表示为

$$\chi_{int} \approx \frac{1.4\chi^D}{h} \quad (5)$$

上式表明速度函数的质量是由叠加质量表示的, 从叠加速度到层速度, 计算的误差逐渐增大。假定深度 3000m 的地层层速度误差为 10%, 对应 200m 厚的地层顶部和底部的均方根速度误差为 0.5%, 实际上这种精度很难得到。

(2) 地震地层压力预测的理论依据不完善, 包括 Fillippone 预测公式在内的大多数压力预测方法均以压实概念为基础^[24, 25], 其对于非压实成因的超压层的预测适用性有限。现有的资料和研究结果表明, 渤南洼陷的超压主要由流体膨胀造成, 这也导致该区中、深层预测的超压值部分偏低。在层速度随地层有效应力变化的关系图上, 欠压实成因的超压遵循原始加载曲线, 流体膨胀形成的超压则遵循卸载曲线, 在相同层速度情况下, 原始加载曲线比卸载曲线有着更大的有效应力, 也就对应着更小的孔隙压力^[26]。

(3) 前期用地震速度与井孔测量速度比较、校正过程中, 挑选的是井旁最近的地震速度谱点, 速度谱点与实际井孔位置在平面上并不完全重合, 在南北方向和东西方向上的水平距离偏差分别为 0~375m 和 0~500m。后期用井孔实测流体压力与预测压力比较时, 两者不仅在平面上不重合, 在纵向上也存在 0~(25~45m) 的距离差距。在数据处理时, 这种距离上产生的误差可能使相比较的两类数据不在同一区块中, 其影响也不能消除。

(4) 应用地震速度预测超压的前提是地震纵波速度在超压层中会减小, 而在实际地层中, 孔隙度、泥质含量、岩性变化等多种因素都会影响地震纵波速度^[10]。因此要想利用层速度来作出准确的压力预测, 理论上应当消除压力之外的其他任何因素对速度的影响, 只保留压力的影响。

5.2 预测压力校正

云美厚^[25]考虑了其他因素对速度的影响, 在式(1)的基础上引入了一个随深度变化的速度校正

系数 $F_C(v)$, $F_C(v_i)$ 与速度成指数关系, 得到经改进的预测方程

$$P = F_C(v_i) \frac{v_{max} - v_i}{v_{max} - v_{min}} \times \rho \times D \times 0.12 \quad (6)$$

就是说利用 Fillippone 公式由已知点的地震速度来估算出地层压力值, 然后将实测值与估算值做比较, 就是说与相对应的地震层速度进行回归分析, 便可以建立该区的校正系数关系式。图 11 是根据渤南洼陷有实测压力值井孔的 598 个数据点的实际资料与预测结果进行统计分析得到的校正系数曲线, 相应的回归方程为

$$F_C(v_i) = 0.203 \exp 0.0005v_i \quad (7)$$

当确定了校正系数之后, 利用式(6)、式(7)进行压力预测, 并将预测压力值与实测压力值做简单线性关系拟合, 通过拟合的回归方程再次对预测压力值做校正。图 12 为最终计算的预测压力和实测压力的大小和误差图, 通过两次校正后, 整体上有 82% 的统计数据误差在 $\pm 10\%$ 的允许误差范围之内, 91% 的统计数据误差在 $\pm 20\%$ 内, 与实测压力相比, 部分深层预测压力偏小。校正系数的引入和实测值的约束, 会大大改善地层压力的预测精度, 基本上能够满足地质勘探和开发工作的需要。

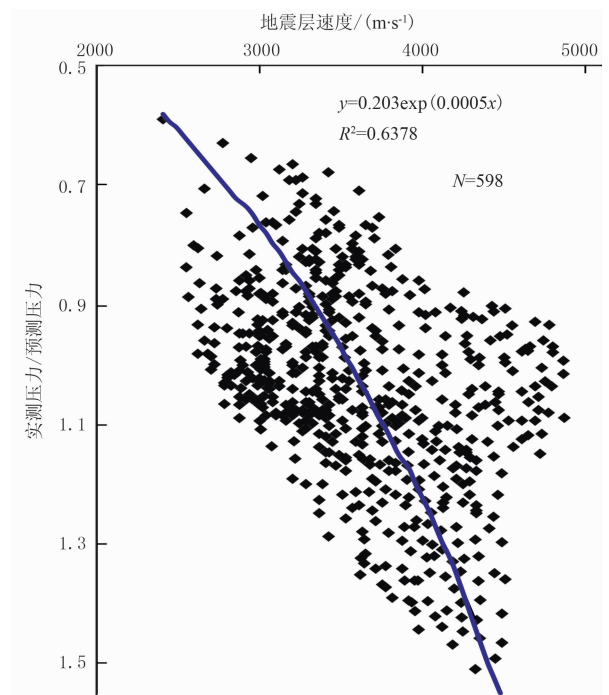


图 11 Fillippone 法校正系数参数曲线

图中 x 为地震层速度; y 为速度校正系数; R 为数据拟合时的相关系数; N 为统计点数

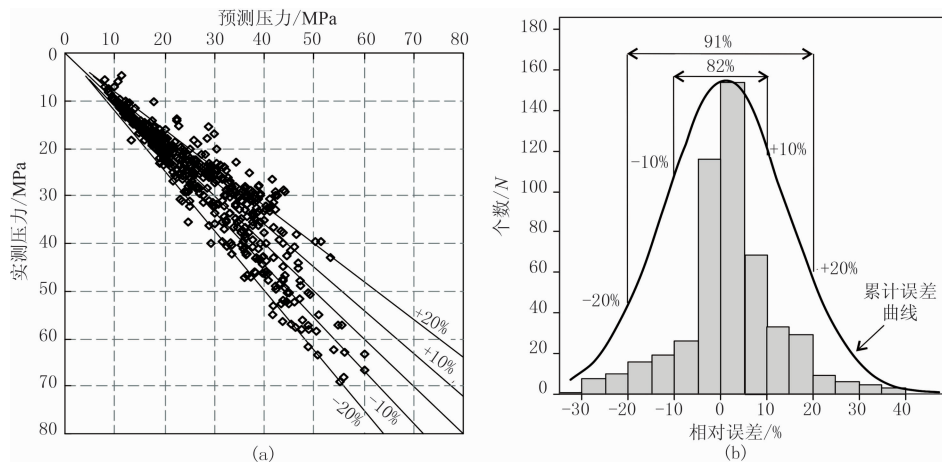


图 12 两次校正后预测压力与实测压力误差分析

(a) 预测压力与实测压力比较; (b) 相对误差, 其中相对误差 = (预测值 - 实测值) / 实测值

6 结论

地震速度资料预测压力方法已成为钻前地层压力预测的主要手段。地震层速度的获取、预测模型的选择和地质因素的消除是影响影响压力预测结果的关键。

(1) 利用渤南洼陷三维地震叠加速度资料, 获得该区的叠前深度偏移速度场。经处理获得的速度谱资料能基本反映该区的速度变化规律, 与井孔速度相比, 井旁地震层速度基本与井孔的速度变化趋势相拟合, 其换算声波时差在超压带内有倒转趋势。由于受垂向分辨率的限制, 速度估算的精度有限, 以 VSP 层速度为标准校正井旁地震层速度, 可使误差小于 8%, 提高了地震层速度的精度。

(2) Fillippone 公式压力的估算主要是靠线性内插的办法求得, 关键是获取与研究区相对应的参数。本文依照每个速度谱点分别求取最大、最小压实速度, 为压力预测模型提供了良好的速度处理方法。

(3) 利用叠前偏移速度和 Fillippone 压力预测模型, 获取了本研究区的地震层速度、流体压力、压力系数、剩余压力等三维数据体, 在 0~5000m 深度内, 可以求取研究区任意位置的流体压力值。用油藏综合描述软件建立的三维数据体可以从任意方向切片观察洼陷内地层超压的空间展布, 直观地反映了洼陷整体地层的压力分布特征。

(4) 地震预测压力与实测压力间存在误差的原因包括多个方面。地震垂向分辨率决定了速度处理

时的精度, 这种地震速度本身所固有的误差, 对地层压力预测造成的误差难以消除。本文利用 Fillippone 公式预测压力的方法基于超压压实成因, 现有的资料和研究成果指示该区超压主要为流体膨胀造成, 这是导致该区中、深层预测的超压值偏低的主要原因。此外, 实际地质条件复杂, 断层、岩性、流体类型等多种地质因素均会影响地震纵波速度, 也会给利用地震层速度预测压力带来系统误差。

(5) 经过速度校正系数的压力计算模型校正及预测压力值与实测压力值的线性拟合校正, 极大地改善了地层压力的预测精度。82% 的统计数据误差在 ±10% 的允许误差范围之内, 91% 的统计数据误差在 ±20% 内, 基本上能够满足地质勘探和开发工作的需要。

参考文献

- [1] 郝芳. 超压盆地生烃作用动力学与油气成藏机理. 北京: 科学出版社, 2005, 1-36.
- [2] 李胜利, 于兴河, 陈建阳等. 渤海湾盆地济阳拗陷沾化凹陷地层流体压力分布规律及其对油气成藏的影响. 地质力学学报, 2006, 12(1): 37-42.
Li Shengli, Yu Xinghe, Chen Jianyang et al. Distribution characteristics of fluid pressure in the Zhanhua subbasin, Jiyang depression, Bohai Gulf Basin, and there influence on oil and gas accumulations. Journal of Geomechanics, 2006, 12(1): 37-42.
- [3] 刘震, 许晓明, 谢启超等. 渤海湾盆地异常高压晚期形成特征分析. 现代地质, 2006, 20(2): 259-267.
Liu Zhen, Xu Xiaoming, Xie Qichao et al. Analysis on late origin of overpressure in Bohai Bay Basin. Geoscience, 2006, 20(2): 259-267.
- [4] 秦润森, 徐国盛, 徐兴友等. 济阳拗陷沾化凹陷古近系沙四段现今压力场特征及其与油气分布的关系.

- 石油与天然气地质, 2007, 28(3): 329-336.
- Qin Runsen, Xu Guosheng, Xu Xingyou et al. Characteristics of the present pressure filed in the Paleogene Sha-4 Member of Zhanhua sag, Jiyang depression and their function to the distribution of oil and gas pools. *Oil & Gas Geology*, 2007, 28(3): 329-336.
- [5] 卓勤功, 隋风贵, 银燕等. 济阳拗陷地层油气藏油气运移动力与方式探讨. *油气地球物理*, 2006, 4(4): 36-40.
- Zhuo Qingong, Sui Fenggui, Yin Yan et al. Hydrocarbon migration agent and fashion of the stratigraphic reservoir in Jiyang Depression. *Petroleum Geophysics*, 2006, 4(4): 36-40.
- [6] Teige G M G, Hermanrud C, Wensaas L et al. The lack of relationship between overpressure and porosity in North Sea and Haltenbanken shales. *Marine and Petroleum Geology*, 1999, 16(4): 321-335.
- [7] Osborne M J, Swarbrick R E. Mechanisms for generating overpressure in sedimentary basins; a reevaluation. *AAPG Bulletin*, 1997, 81(6): 1023-1041.
- [8] Dutta N C. Geopressure prediction using seismic data: current status and the road ahead. *Geophysics*, 2002, 67(6): 2012-2041.
- [9] 张卫华, 何生, 郭全仕. 地震资料预测压力方法和展望. *地球物理学进展*, 2005, 20(3): 814-817.
- Zhang Weihua, He Sheng, Guo Quanshi. The methods and headway for pressure prediction. *Progress in Geophysics*, 2005, 20(3): 814-817.
- [10] López J L, Rappold P M, Ugueto G A et al. Integrated shared earth model: 3D pore-pressure prediction and uncertainty analysis. *The Leading Edge*, 2004, 23(1): 52-59.
- [11] Chopra S, Huffman A R. Velocity determination for pore-pressure prediction. *The Leading Edge*, 2006, 25(12): 1502-1515.
- [12] Fomel S. Time-migration velocity analysis by velocity continuation. *Geophysics*, 2003, 68(5): 1662-1672.
- [13] 李强, 何晓松. 利用三维速度场控制实现二维叠前深度偏移. *石油地球物理勘探*, 2007, 42(增刊): 14-18.
- Li Qiang and He Xiaosong. Using 3-D view to operate 2-D multi-line prestack depth migration. *OGP*, 2007, 42(S): 14-18.
- [14] 王喜双, 梁奇, 徐凌等. 叠前深度偏移技术应用与进展. *石油地球物理勘探*, 2007, 42(6): 727-732.
- Wang Xishuang, Liang Qi, Xu Ling et al. Application and progress of prestack depth migration technology. *OGP*, 2007, 42(6): 727-732.
- [15] Dix C H. Seismic velocities from surface measurements. *Geophysics*, 1955, 20(1): 68-86.
- [16] 张建宁. 地震速度谱资料预测地层压力的陷阱分析. *勘探地球物理进展*, 2005, 28(1): 51-56.
- Zhang Jianning. Pitfalls in prediction of formation using seismic velocity. *Progress in Exploration Geophysics*, 2005, 28(1): 51-56.
- [17] 秦凤荣. 用层速度计算砂(泥)岩含量的几种校正方法及其在 BY 盆地的应用. *石油物探*, 1995, 34(1): 28-34.
- Qin Fengrong. The methods for interval velocity correction in computing the contents of sandstone or mudstone and their application in BY Basin. *GPP*, 1995, 34(1): 28-34.
- [18] 牟中海, 谢桂生, 代宗仰等. 自动变速空校的原理及应用. *石油地球物理勘探*, 2000, 35(3): 366-371.
- Mou Zhonghai, Xie Guisheng, Dai Zongyang et al. Principle and application of automatic spatial correction using varying velocity. *OGP*, 2000, 35(3): 366-371.
- [19] Fillippone W R. On the prediction of abnormally pressured sedimentary rocks from seismic data. *Offshore Technology Conference*. Houston, Texas, 1979, 2667-2676.
- [20] Fillippone W R. Estimation of formation parameters and the predicting of overpressure from seismic data. *SEG Technical Program Expanded Abstract*, 1982, 1: 17-21.
- [21] Bell D W. Velocity estimation for pore-pressure prediction, in Huffman A R and Bowers G L. *Pressure regimes in sedimentary basins and their prediction*. AAPG Memoir 76, 2002, 177-215.
- [22] 罗晓容, 杨计海, 王振峰. 盆地内渗透性地层超压形成机制及钻前压力预测. *地质论评*, 2000, 46(1): 22-31.
- Luo Xiaorong, Yang Jihai, Wang Zhenfeng. The overpressuring mechanisms in aquifers and pressure prediction in basins. *Geological Review*, 2000, 46(1): 22-31.
- [23] Sayers C M, Johnson G M, Denyer G. Predrill pore-pressure prediction using seismic data. *Geophysics*, 2002, 67(4): 1286-1292.
- [24] Katz S, Chilingarian G V, Aminzadeh F et al. Bi-linear models for simultaneous estimation of a formation pressure and lithological characteristics in interbedded sands and shales. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 1994, 12(1): 37-48.
- [25] 云美厚. 地震地层压力预测. *石油地球物理勘探*, 1996, 31(4): 575-586.
- Yun Meihou. Formation pressure prediction using seismic data. *OGP*, 1996, 31(4): 575-586.
- [26] Tingay M R P, Hillis R R, Swarbrick R E et al. Origin of overpressure and pore-pressure prediction in the Baram Province, Brunei. *AAPG Bulletin*, 2009, 93(1): 51-74.

(本文编辑:刘英)

作者简介



罗胜元 博士研究生, 1986 年生; 2009 年本科毕业于中国地质大学(武汉)石油地质专业, 获学士学位, 2011 年毕业于中国地质大学(武汉)矿产普查与勘探专业, 获硕士学位, 现在中国地质大学(武汉)资源学院攻读矿产普查与勘探专业博士学位, 主要从事成油体系与成藏动力学方面的研究。