

doi: 10.11720/wtyht.2017.3.20

张珺.加蓬盐下复杂构造区井控高精度变速成图的方法研究[J].物探与化探,2017,41(3):535-541.http://doi.org/10.11720/wtyht.2017.3.20

Zhang J.A study of the method of well controlled high precision variable velocity mapping in the subsalt complex structure area of Gabon[J].Geophysical and Geochemical Exploration,2017,41(3):535-541.http://doi.org/10.11720/wtyht.2017.3.20

加蓬盐下复杂构造区井控高精度变速成图的方法研究

张珺

(中国石油化工股份有限公司 石油勘探开发研究院,北京 100083)

摘要: 随着油气田开发的不断深入,对地震资料解释和构造成图精度的要求越来越高。尤其是在地表复杂、地下结构复杂、陡倾角地层的地区,必须建立高精度速度场,采用变速成图来获得高精度构造图,才能精细落实构造。然而在复杂构造区,速度在纵向和横向上往往变化都很大,采用常规的速度模型,很难得到精确的构造模型。在研究目前针对复杂地区常用的速度建模技术的基础上,提出了充分利用统一校正后的钻井速度、地震速度谱等资料,再结合层位控制法来建立地震测井互相约束的三维速度模型,最后通过时深转换,绘制出构造图的技术方法。该技术在加蓬陆上开发区盐下构造的研究中取得了很好的效果。

关键词: 油气田开发;构造成图;复杂构造区;速度建模;盐下构造;时深转换

中图分类号: P631.4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-8918(2017)03-0535-07

0 引言

油气田开发阶段对地震构造解释的精度提出了更高的要求,众多的钻井资料一方面为由常规时深转换方法获得高精度构造图提供了条件,另一方面也为各种深度域地震成像结果的深度标定提供了约束。地震信息与钻井资料结合的桥梁是速度,精细的速度场(层速度与平均速度场)建立和相应的变速构造成图方法,是由不同的地震成像结果获得精确构造图的关键。

依据地震速度的建模方法发展很快,既有基于波动方程的^[1-2],也有基于射线传播路径反演的^[3-4]。不同的方法基于不同的假设,适应不同的地质条件。这些方法在反演过程中都不直接涉及到井中信息,或者都会对井约束作修改,因此都存在井校正的问题。

对于构造较平缓和速度变化轻微的区域,常规

速度建模技术,如井拟合公式法、常速法、井建平均速度场法、叠加速度体变速法等^[5-8],能够提供较准确的平均速度模型,经过时深转换可以得到研究区较可信的构造形态,基本满足勘探精度要求。但对于油气藏开发区,特别是复杂构造地区,由于地层在三维空间的展布变化很大,其速度在纵向和横向上变化都很大,常规的速度建模不能满足高精度成图的要求^[9-11]。如何综合利用开发区丰富的测井、钻井、地震、地质资料,在常规速度分析的过程中利用速度纵横向变化规律,对于提高速度建模的精度十分重要。

笔者以加蓬陆上开发区(盐构造发育区)的速度建模为例,提出了对常规速度建模技术修正的方法。通过对全区井资料作归一化处理,以统一测井数据作空间插值,生成对应于地震数据样点的空变井校正数据体,实现井与地震速度的融合,有效地改善了速度建模的精度。然后通过时深转换,最终绘制出该区域高精度构造图,得以精细落实构造。

收稿日期:2016-11-18;修回日期:2017-3-22

基金项目:十三五国家重大专项“叠前弹性反演与优质储层地震预测”(2016ZX05002-005-003);中石化科技部项目“鄂北奥陶系风化壳储层及含气性地震预测技术”(P16066)

作者简介:张珺(1979-),女,工程师,2007年毕业于中国地质大学(武汉),硕士学位,现从事地震资料解释工作,公开发表学术论文数篇。

万方数据

1 技术思路

通常,用于建立速度模型的资料有3类:VSP测井、声波测井和地震资料处理分析速度。此外,由准确的层位标定和钻井地质分层可求取伪平均速度^[12]。VSP测井是准确识别反射层和计算层速度的一种方法,由此计算得到的层速度和平均速度准确,是研究速度纵向变化的一种重要依据,因此VSP速度数据应作为速度建模中的主要约束条件^[13]。一般情况下,VSP测井较少,而多数井都作了声波测井。但是在平均速度场研究中却很少利用声波测井,因为通常生产井声波测井只测目的层段,曲线均较短,且不是全井段观测,用它求取平均速度时,不如VSP测井所求得的地层平均速度准确^[14]。而且声波测井与VSP对同一段地层测得的层速度不相等,存在“声波漂移”^[15]。对于地震资料处理求取的速度信息(如均方根速度),其平面上分布密度大,能够控制速度横向的变化规律,是速度建模的主要资料来源,但精度不如VSP和声波测井求取的平均速度。

常规开发区速度建模是以地震速度为基础,通过利用工区内密集的VSP速度数据作统计标定,校正改进地震速度的精度,达到高精度成图的要求。其中,最核心的是VSP速度数据的分析与利用。对于复杂地区如盐构造发育区,由于盐体厚度横向变化大,引起构造起伏、地层速度的横向变化剧烈,所

以井与井之间直接对比困难,井资料的统计规律复杂,无法直接利用。笔者在现有方法技术基础上,提出首先对VSP测井资料作归一化处理,然后,通过与井位处地震速度对比,计算深度方向的校正系数,再由井位校正系数形成统一的空变井约束数据体,利用这一井约束数据体校正地震速度数据,形成准确的时深转换速度模型,最终构造成图。

如图1所示具体包括如下5个步骤:

1)对井资料作一致性校正处理,统一校正到地震观测基准面,由井资料建立井位处深度与时间域地层层速度模型。

2)利用地震处理数据得到的叠加速度或者均方根速度经过Dix公式^[16]

$$v_i^2 = \frac{t_{0,i} v_{R,i}^2 - t_{0,i-1} v_{R,i-1}^2}{t_{0,i} - t_{0,i-1}} \quad (1)$$

转换为层速度,再对速度谱点进行异常分析后,得到地震速度模型。式中: v_i 是第*i*层的层速度,单位为m/s; $t_{0,i}$ 是激发点到第*i*层的 t_0 时间,单位为s; $v_{R,i}$ 是第1~*i*层的均方根速度,单位为m/s。

3)利用地震成像数据体解释关键反射层位。

4)在钻井位置,通过对比同一地层的地震与测井速度,逐点计算地震层速度的校正系数,利用第三步的层位数据进行控制约束,在全工区插值形成地震速度校正数据体。

5)由第2步、第4步的输出结果相结合建立精确的速度模型,根据求取的平均速度场作时深转换,最终构造成图。

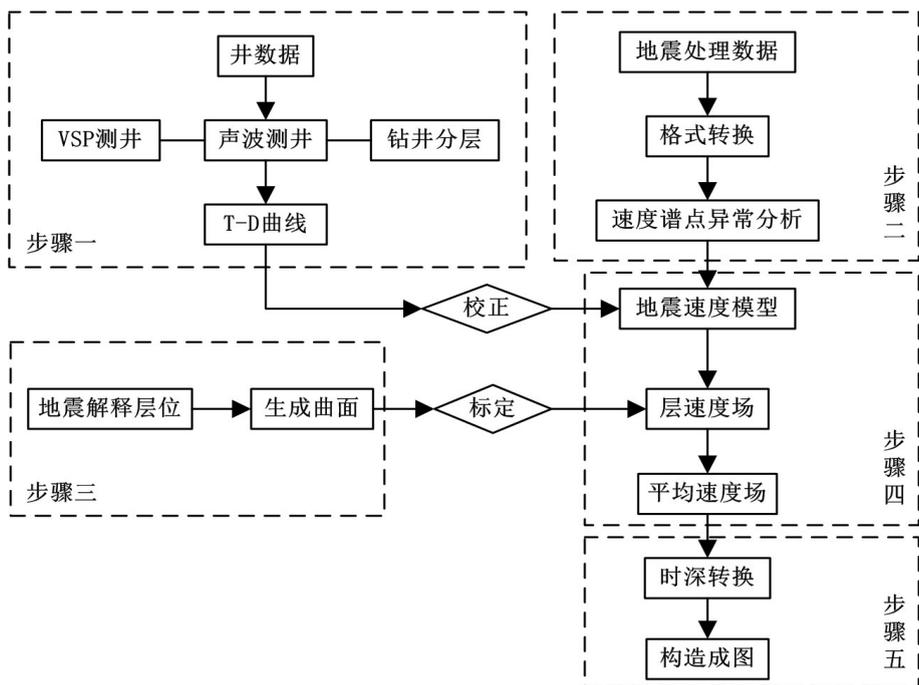


图1 井控高精度时深转换方法流程

与常规方法的不同之处在于井资料的综合分析、独立开展,统一实现,从而便于后期新井资料的加入,且容易发现井资料自身的偏差,保证井约束的正确性。

2 井控高精度时深转换方法应用

加蓬盆地为一个典型的中新生代被动大陆边缘含盐盆地,油气资源十分丰富^[17]。研究区位于加蓬中西部陆上开发区,面积 135 km²。目的层为盐下裂陷期的下白垩统甘巴组。甘巴组沉积时期为陆相

河流沉积,是一套底粗上细的正律序层序,砂岩厚度不大,最厚的仅 50 m,但在区域上分布较为稳定,物性条件好^[18-19]。

从图 2 所示的地震时间剖面可以看出,研究区岩盐侵入、穿刺现象(图 2 所示的浅绿色区域)广泛发育,盐丘(图 2 所示的浅蓝色区域)形态高且陡,目的层甘巴组砂岩构造带(箭头所指的浅黄色区域)恰好位于盐丘下。盐丘异常体的存在造成本区地层速度横向变化剧烈,很难获取精确的盐下速度场,导致盐下构造落实困难,影响本区盐下油气藏的开发生产。

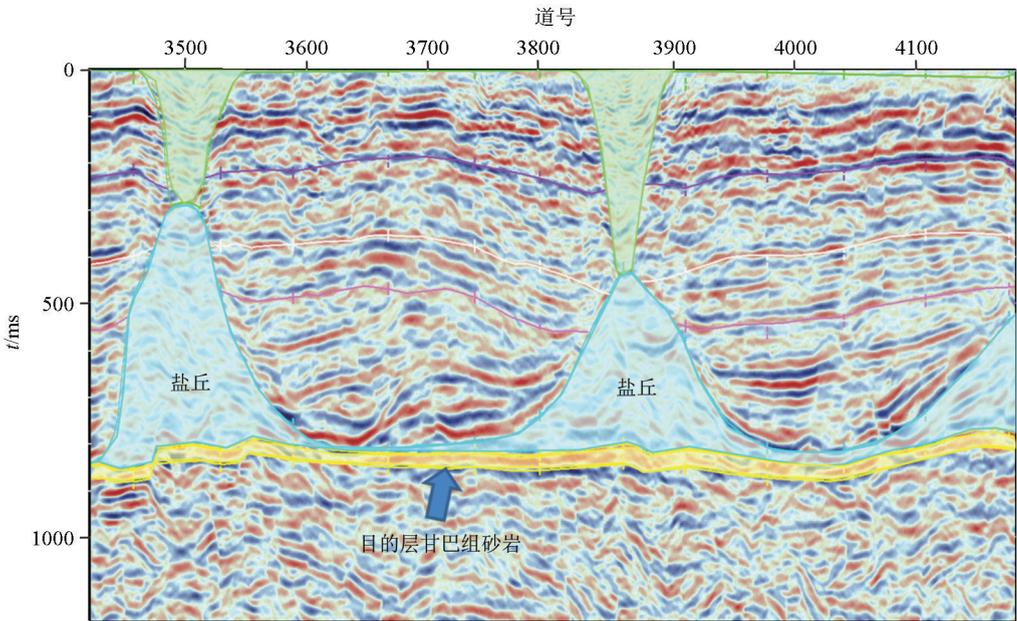


图 2 地震叠前时间偏移剖面

2.1 建立井点时深关系

研究区有大量的井点速度资料,主要包括 VSP 测井和声波测井。理论上,约束控制井点数量越多,建立的速度场就越准确,构造成图的精度就越高^[20]。但在实际操作时还需要考查井点速度精度和井点的分布是否均匀。研究区钻井共计 99 口,对于大量位置相近的井,以及个别位于三维工区边缘的井,为提高工作效率,不参与速度场建立。选择均匀分布于工区范围内(工区东、南、西、北和中部)和井资料较完整的钻井参与速度建模,共计 16 口。

井中测量数据的参考面是地表高程,而地震解释的层位时间参考面是地震基准面,因此,在作层位约束标定时,要将钻井分层数据校正到地震基准面上来^[21]。研究区地震基准面为海拔 22.5 m,选取的 16 口井资料由不同的公司所处理,不同公司之间选择的测井参考面也有差异,需要首先将井数据统一校正到地震基准面。其中 S 公司提供的 4 口井资料

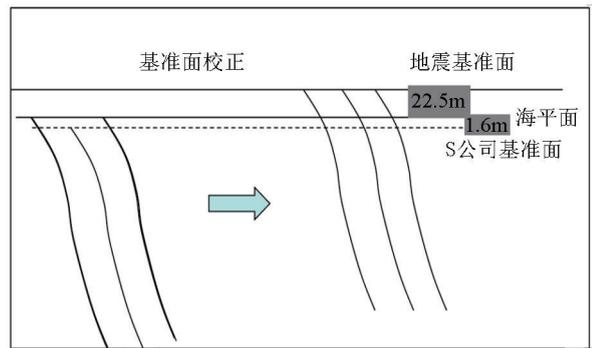


图 3 钻井基准面校正示意

参考基准面比其余 12 口井低出 1.6 m,对全部 16 口井进行基准面校正的原理如图 3 所示。

在钻井基准面校正后,VSP 测井资料的地震传播时间—井深度数据对(即 time-depth 数据对,简称 T-D 对)中的地震传播时间也发生了相对改变。因

此需要对 VSP 地震传播时间作校正,即乘以一个合理的关联系数 RC (related coefficient)。

值得注意的是, S 公司处理的 4 口井经过一定的时间漂移 (Δt) 才能达到井震合一,因此相关系数也较其他井有所变化。已知井深为 D , T 为时间解释剖面上读取的时间, Δt 为 VSP 资料的井漂移时间。根据公式速度 $v = D \times 2 / T$ (T 为双程旅行时), 得到井资料相对地震的时移校正表(表 1)。

表 1 井资料相对地震的时移校正

序号	井名	井深 D/m	相关系数 RC	校正后时间 T/ms
1	AW-1	$D+22.5$	1	T
2	S-1	$D+22.5+1.6$	$T / (T+\Delta t)$	$T \times RC$
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮

T-D 对进行基准面校正后,检查各井的时深关系曲线,由图 4 可以看出,校正后,浅层和深层各井时—深关系的一致性得到显著改善。

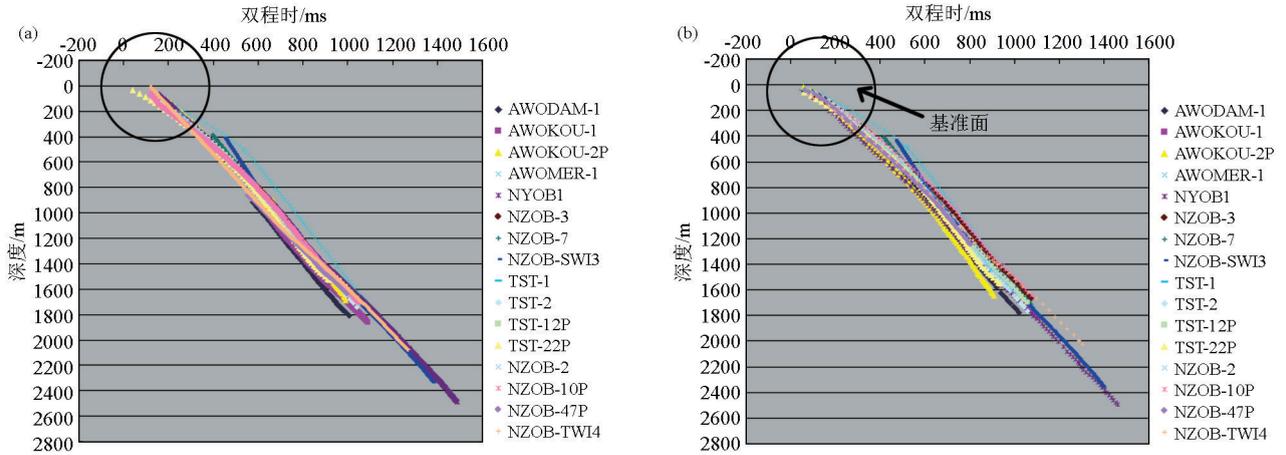


图 4 校正前(a)后(b)的时深关系曲线对比

将井的时深关系曲线转化为瞬时(层)速度函数曲线,再对瞬时(层)速度函数曲线进行空间内插,生成三维的瞬时(层)速度场。插值过程中用到了时深表、地质分层、地震时间层位。根据三维工区范围进行模型初始化,平面上按 25 m×25 m 网格间距,时间上以 50 ms 间隔建立模型。

2.2 层约束下地震速度建模

井资料建立的速度模型只是速度的基础模型,由于其受井的数量及分布等因素影响,虽然在井附近能求出较精确的速度,但在横向上特别是横向速度变化快的区域具有一定的误差,因此,必须使用地震分析速度信息来控制速度横向上的变化。

这里使用的是三维地震时间偏移速度,由于时间偏移速度分析方法对于复杂构造的平均效应及地震信噪比低等原因,地震均方根速度局部会存在偏差。特别是对于研究区盐丘构造发育这种情况,盐丘厚度的横向变化导致盐下目的层速度分析结果出现低速度异常,如图 5 左图中红框范围内有明显的蓝色低速异常条带。解决的方法是:首先结合研究区的盐丘分布范围,识别速度分析异常值的位置,对相应的速度值作编辑处理;然后,根据本文第 1 节所

述步骤,由地震处理数据获得的速度信息计算层速度,即将主要目的层甘巴组砂岩层(简称 g^s)的均方根速度根据 Dix 公式转换为层速度;最后,建立可靠的层速度模型。图 5 是经过异常速度变化校正前后的层速度平面图,其中校正前(图 5a)在工区南部地区(蓝色低速条带范围)存在速度异常,而校正后(图 5b)明显改善。

使用 Dix 公式这种方法转化速度快,但缺乏层位约束将导致转化后的速度体准确性较低,由于叠加速度的不均匀,某些点上的瞬时(层)速度会发生不符合实际地质条件的突变,必须应用“层位控制法”来限制异常值的出现。该方法的核心是假设一个地区同一地质时代(或大致相同的沉积环境)形成的地层的层速度在横向上是渐变的,则可以利用地震资料解释的时间层位作为控制层求取层速度^[22]。在本区内选取反射能量强、连续追踪性好的反射层位作控制层位,然后在地震解释层位的控制下进行层速度横向延拓,利用邻近的同一套地层的速度对异常部位速度值进行沿层内插,或是参考邻近地层的速度趋势将异常值编辑到合适的速度值范围^[23],最终建立基于地震速度谱的速度模型。

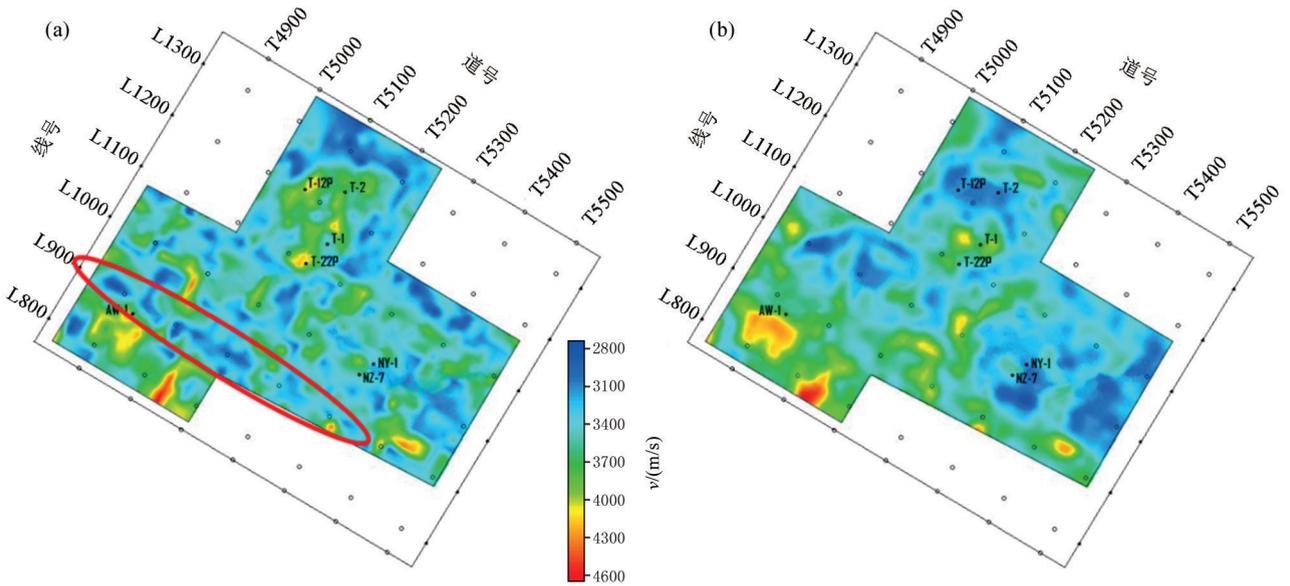


图 5 盐下目的层 g^s 异常速度变化校正前(a)后(b)低速异常

2.3 井控地震速度模型修正

由于地震数据观测及处理手段的局限性,由地震速度信息建立的层速度场与实际地层速度还存在一定的偏差,需要通过与井中速度的对比,找出偏差并作相应的校正来进行速度场的标定。速度场的标定可以通过将地震求取的速度与以下 3 种速度信

息对比实现:VSP 资料、合成记录时深关系计算的速度和钻井分层数据计算的速度。这里使用 2.2 节基于速度谱的速度模型体,再经过井资料的速度模型体来校正,实现地震速度数据体的统一标定,最终得到标定的层速度模型(图 6)。

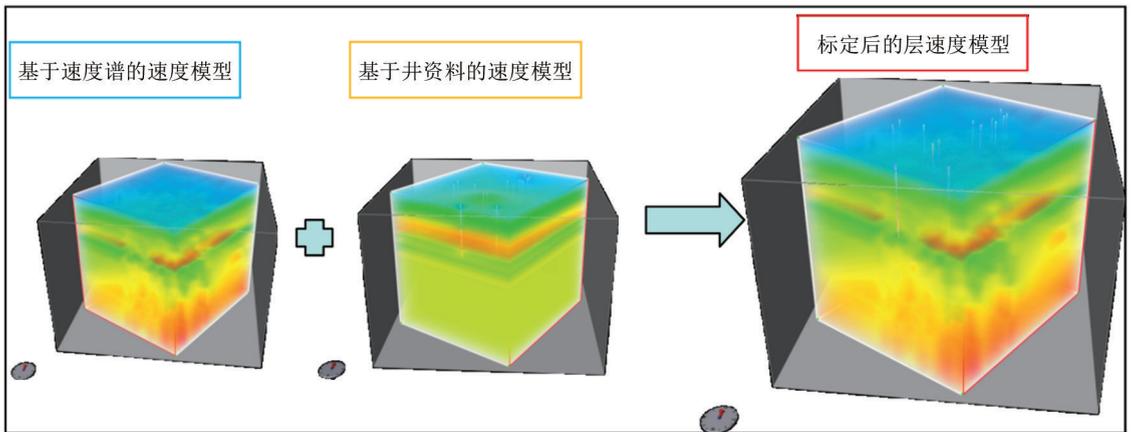


图 6 地震速度模型的标定原理示意

2.4 时深转换与误差分析

在求取了地层的层速度后,可以进一步将其转化为平均速度体,利用它就可以实现工区内任意地震解释层位的时深转换。对于研究区盐下目的层 g^s ,利用上述方法获得的平均速度场,再依据地震解释层位数据从速度场中提取沿层平均速度并对解释层位的 T_0 时间数据作时深转换,得到目的层 g^s 的构造图(图 7)。

以研究区主要目的层 g^s 为例,在研究区西南

北方向选择部分钻井,将转换深度和钻探深度作对比(表 2),表中的实钻深度为深度分层数据。分析可知,转换深度与实钻结果深度最大误差为 40 m (最大相对误差低于 3%),最小为 1 m,在深度方面吻合较好。这一误差值,对于简单构造区并不小,但是考虑到该区盐丘构造复杂,盐体厚度横向变化大,地震资料信噪比低,地震成像质量差等具体情况,该成果对于部署开发井方向具有十分重要的意义。

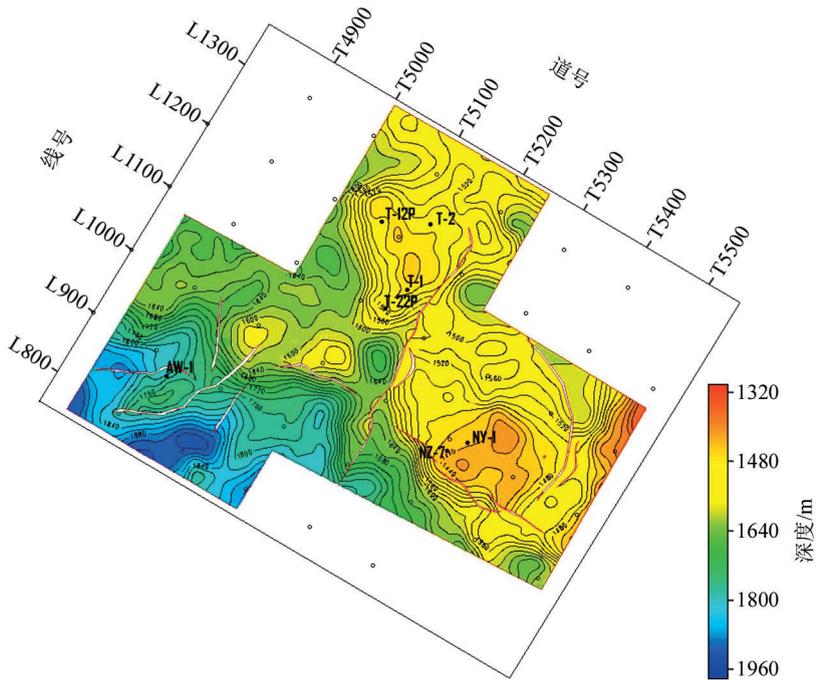


图7 主要目的层 g^s 构造图

表2 g^s 层钻井转换深度和钻探深度对比

井名	转换深度/m	实钻深度/m	误差/m
NY-1	1447	1407	40
NZ-7	1436	1401	35
AW-1	1630	1667	-37
T-1	1453	1441	12
T-2	1471	1441	30
T-12P	1453	1452	1
T-22P	1453	1469	-16

参考文献:

[1] 符力耘,肖又军,孙伟家,等.库车拗陷复杂高陡构造地震成像研究[J].地球物理学报,2013,56(6):1985-2001.

[2] 刘文卿,王西文,刘洪,等.盐下构造速度建模与逆时偏移成像研究及应用[J].地球物理学报,2013,56(2):615-625.

[3] 何际平,鲁烈琴,王红旗,等.复杂地区速度场建立与变速构造成像方法研究[J].地球物理学进展,2006,21(1):167-172.

[4] 张保银,孙建国,黄伟传,等.塔中地区速度场建立及变速成图[J].石油物探,2004,43(6):608-611.

[5] 凌云,郭建明,郭向宇,等.油藏描述中的井震时深转换技术研究[J].石油物探,2011,50(1):1-13.

[6] 杨军,王永刚,杨彦敏,等.阿尔及利亚416a-417区块构造精细成图方法[J].石油物探,2007,46(3):294-301.

[7] 袁井菊.层叠法变速构造成像的地质基础及其应用[J].石油物探,2006,45(3):285-289.

[8] 蔡刚,屈志毅.构造复杂地区地震资料速度和成图方法研究与应用[J].天然气地球科学,2005,16(2):246-249.

[9] 张锐峰,易远元,李先平,等.高精度三维空间速度场技术在龙虎庄地区的应用[J].石油天然气学报,2011,33(7):63-75.

[10] 张华军,肖富森,刘定锦,等.地质构造约束层速度模型在时深转换中的应用[J].石油物探,2003,42(4):521-525.

[11] 谢会文,许永忠,郑多明,等.火成岩速度反演及三维速度场建立的关键技术及效果分析[J].物探与化探,2013,37(6):1071-1079.

[12] 李丽贤,白云飞,罗涛,等.塔里木盆地孔雀河地区速度场的建立及应用[J].河南石油,2006,20(2):317-320.

[13] 汪功怀,秦广胜,蔡其新.东濮凹陷地震速度场建立方法与应用研究[J].中国石油勘探,2011,16(2):58-66.

[14] 曾照荣,肖玲,白兴盈,等.声波测井与VSP测井平均速度的对比分析[J].新疆石油地质,2004,25(1):50-52.

[15] 谢锐杰,朱广生,漆家福,等.声波测井资料在平均速度场中的应用[J].西南石油学院学报,2003,25(1):9-11.

3 结论

本研究在充分利用钻井资料的基础上,以地震解释反射层来控制地震速度建模,所获得的层速度场更加精准,最终得到的构造图精度也更高。在加蓬陆上开发区盐下构造的变速成图应用中效果较好,证明该技术方法适合于复杂构造的变速成图。

在研究中所涉及的速度信息主要来源于钻井及地震资料,井资料的约束和校正问题在研究过程中已经基本解决。但是当复杂地区是无井区,或钻井资料较少,又或者钻井位置不具备区域代表性时,这种方法的应用可能存在较大误差,改进的方法就是虚拟井约束^[24]。此外,使用“层位控制法”求取层速度,对地震速度谱的质量要求较高,当地震资料信噪比较低或地震反射同相轴连续性较差时,该方法须谨慎使用。

万方数据

- [16] 陈志宏,朱四新,李强,等.基于改进 Dix 公式层速度求取方法应用研究[J].科学技术与工程,2012,12(30):7840-7843.
- [17] Edwards A, Bignell R. Hydrocarbon potential of West African salt basin[J]. Oil & Gas Journal, 1988, 86(50):71-74.
- [18] 李莉,吴慕宁,李大荣.加蓬含盐盆地及邻区油气勘探现状和前景[J].中国石油勘探,2005,10(3):57-63,68.
- [19] 刘深艳,胡孝林,常迈.西非加蓬海岸盆地盐岩特征及其石油地质意义[J].海洋石油,2011,31(3):1-10.
- [20] 王西文,周嘉玺.油田开发阶段的全三维地震解释技术及其应用[J].中国海上油气:地质,2003,17(5):320-330.
- [21] 文山师,毛宁波.让纳若尔油田盐下速度场的研究[J].长江大学学报:自然科学版,2011,8(2):47-49.
- [22] 张延庆,吴清龙,金玉洁,等.“层位控制法”速度场在巨厚盐丘覆盖区的应用[J].石油地球物理勘探,2007,42(2):212-215.
- [23] 杨勤林,王彦春,张静,等.滨里海盆地 M 区块盐下构造变速成图[J].石油物探,2012,51(4):377-382.
- [24] 孙均.山前复杂构造带变速成图速度研究[J].工程地球物理学报,2013,10(6):880-884.

A study of the method of well controlled high precision variable velocity mapping in the subsalt complex structure area of Gabon

ZHANG Jun

(Petroleum Exploration and Production Research Institute, SINOPEC, Beijing 100083, China)

Abstract: With the deepening of oil and gas field development, seismic data interpretation and structural mapping accuracy requirements are also increasing. Especially in complex surface, underground complex and steep dip formation regions, high-precision velocity field must be established with variable velocity mapping to obtain a fine structure diagram and fine implementation of construction. However, in the complex structure area, it is difficult to get an accurate structural model with the conventional velocity models, because speed change is very big also in the vertical and horizontal direction. Based on the study of currently used velocity modeling techniques for complex area, the authors put forward the technical method about seismic and logging constrained 3D velocity model that takes full advantage of unified corrected wells velocity, seismic velocity spectrum and other information and, combined with layers control action, finally uses the time depth conversion to realize the structural mapping. Research on the technology for the construction of onshore Gabon Zone salt has achieved good results.

Key words: oil and gas field development; structural mapping; complex structure area; velocity modeling; subsalt structure; time-depth conversion

(本文编辑:叶佩)