

层序地层格架下的速度研究及其应用： 以准噶尔盆地腹部石南21井区为例

李杏莉¹, 王彦春¹, 郑晓东²

1. 中国地质大学地球物理与信息技术学院, 北京 100083

2. 中国石油勘探开发研究院, 北京 100083

摘要: 在对准噶尔盆地腹部石南21井区岩性地层油气藏研究中, 将层序地层学的研究成果与地球物理中的速度分析相结合, 以高精度层序地层格架为指导, 对层序地层格架内的地层进行速度研究, 目的在于预测出储层内部有利砂岩发育区及储层埋深, 为井位论证提供重要的基础资料。首先以岩心资料、测井资料和地球化学资料为基础, 确定层序界面识别标志, 通过单井相划分、合成地震记录制作, 在地震剖面上识别层序界面, 通过层序对比和追踪, 建立起研究区等时地层格架, 并以此作为速度研究的模型层位, 利用模型迭代层速度反演法, 有针对性地进行层序地层格架内部的层速度分布规律研究。结果表明, 研究目标层序白垩系清水河组(CX0-CX3)的层速度分布规律是: 南及东南部砂体发育区地层速度高, 北部泥岩相对发育区地层速度低, 速度的高低反映了砂岩含量的多少; 速度图上高速区和低速区的平面分布形态, 与属性图的平面分布范围和形态基本吻合, 振幅属性图上的异常体是高速异常体, 速度与振幅类地震属性在反映储层非均质性和砂体横向变化方面是相互印证、相互补充的。此外, 在层序格架下的层速度反演基础上得到的目标层序 CX3 界面的平均速度图, 其系统误差和随机噪音的影响小, 时深转换所得 CX3 界面构造图等值线走势合理, 即使井资料较少, 也能得到形态正确精度较高的构造图。模拟勘探评价5个阶段的误差分析表明, 钻前预测误差不超过0.33%, 有效降低了岩性地层油气藏勘探的深度设计误差和风险。

关键词: 层序地层格架; 石南21井区; 速度研究; 构造成图; 误差分析。

中图分类号: P618

文章编号: 1000-2383(2009)03-0477-09

收稿日期: 2008-11-26

Seismic Velocity Study and Application Constrained by Sequence Stratigraphy Framework—A Case Study on the SN21 Well Area, Junggar Basin, China

LI Xing-li¹, WANG Yan-chun¹, ZHENG Xiao-dong²

1. School of Geophysics and Information Technology, China University of Geosciences, Beijing 100083, China

2. Research Institute of Petroleum Exploration and Development, CNPC, Beijing 100083, China

Abstract: In this paper, we present a case study where we combine sequence stratigraphy with seismic velocity study for a 3D seismic survey landing at the SN21 well area in Junggar Basin, China. The main trap in this area is subtle composite trap of structure and lithology. Our purpose is to provide essential maps for demonstrating well location by predicting reservoir's lateral distribution and its depth. Firstly, according to the principle of sequence stratigraphy and the correlation analysis of well logs and seismic data, we constructed high-resolution stratigraphic frameworks in this subtle-reservoir area. Each framework has its given geological meaning. The three main frameworks are CX0 (reflection of QSH top), CX3 (reflection of TTH top), and CX5 (reflection of TTH bottom). Secondly, by using ray tracing techniques, we merged these sequence stratigraphic frameworks with the seismic rms velocities, as well as controlled logging and geological constraints, to estimate seismic interval velocity model of these stratigraphic frameworks. Study results demonstrate that, within target strata (CX0-CX3), the south and southeastern sand distribution area shows high velocity values, while the north mudstone low velocity values. The magnitude of velocity reflects the sand content. Study results also prove that the seismic velocity and the seismic amplitude attribute corroborate

基金项目: “十五”课题攻关项目“岩性地层油气藏形成理论与勘探实践”(No. 040501-09)。

作者简介: 李杏莉(1963—), 女, 博士研究生, 高级工程师, 从事地震资料处理、地震资料综合解释及岩性油气藏预测工作。

E-mail: smilingxl@yahoo.com.cn

rates each other in predicting sand distribution. Furthermore, the estimated final velocity model for time to depth conversion has few systemic and random errors, and the predicted structure maps with this velocity model turn out to be of relatively high precision and coincide with the subsequent drilling data.

Key words: sequence stratigraphic framework; SN21 well area; seismic velocity study; structure mapping; error analysis.

0 引言

层序地层学(sequence stratigraphy)的概念是 Vail *et al.* (1977)在震地地层学的基础上首次提出的。目前被广泛接受的定义为:“是一套相对整合的、彼此有成因联系的地层组成的、顶底以不整合面或与之可对比的整合面为边界的地层单位”(Vail, 1988)。层序地层学(徐怀大, 1993; 纪有亮和张世奇, 1996; 朱筱敏, 2000)已越来越广泛应用于油气地质领域及沉积储层地质研究(贾振远和蔡忠贤, 1997; 李思田等, 2002; 王家豪等, 2003; 廖远涛等, 2005; 段云卿等, 2007)。准噶尔盆地腹部 SN21 井区位于准噶尔盆地陆梁隆起西段基东鼻凸的南翼斜坡上, 其产油层侏罗系头屯河组和白垩系清水河组均为构造背景下的岩性油气藏, 迄今已有不少学者利用层序地层学理论对准噶尔盆地 SN21 井区的岩性油气藏进行了研究, 多数是利用地震相分析和属性分析技术定性研究 SN21 井区层序地层格架内沉积储层的分布特征(匡立春等, 2005; 洪太元等, 2006; 凌云等, 2006), 对于 SN21 井区层序格架下的储层速度分布规律认识及运用速度分析技术提高目的层位构造图成图精度方面的文献尚不多见。本文在对准噶尔盆地腹部石南 21 井区岩性地层油气藏研究中, 将层序地层学的研究成果与地球物理中的速度研究相结合, 以高精度层序地层格架为指导, 对层序地层格架内的地层进行了层速度反演及应用研究。

地震波传播速度参数贯穿于地震数据采集、处理 and 解释的整个过程。早在数字处理出现之前, Dix (1955)就利用单次覆盖资料采用共深度点的几何形式, 通过量板方式手工估算地层速度, 这就是我们熟知的 Dix 公式。20 世纪 60 年代末, 一些学者(Garotta and Michon, 1967; Cook and Taner, 1969; Taner and Koehler, 1969)提出了常规叠加速度分析方法, 利用的是反射波的双曲线型时距方程。该方法基于水平层状介质, 计算效率高。虽然常规叠加速度分析原理简单, 却在地震资料的常规叠加处理中起重要作用, 是常规叠加处理和时间偏移的必要环节, 而且是层析反演、叠前偏移与偏移速度分析等处理中速度模型建立的必要手段(Al-Chalabi, 1973; Causes

et al., 2000; Sun *et al.*, 2002; 刘超颖等, 2003; Taner and Al-Chalabi, 2005; 辛可峰等, 2005), 所以目前业界仍对常规动校正速度分析方法予以足够的重视, 叠加速度参数一直得到广泛的应用(马涛等, 1996; 李杏莉等, 1997; 陈传仁和周熙襄, 1999; 王树华等, 2004; 袁井菊, 2006)。尽管如此, 在叠加速度的应用方面, 仍有许多学者对叠加速度参数的准确性、唯一性持怀疑态度, 指出地震叠加速度受控于方法原理的简化、采集和处理过程中的噪音注入、速度谱解释过程中的人为随机误差等干扰因素的影响。笔者认为, 从概念上讲, 叠加成像速度严格来说应称为一种“处理参数”, 它具有速度的量纲, 但它不能代表地下真实传播速度; 然而, 与稀疏的井孔测量速度相比, 由于地震速度所具有的高密度空间分布均匀的特点, 多数地球物理学家和地质学家毫不怀疑地震速度在反映井间速度的真实变化趋势方面的地质统计规律性; 从地震勘探理论上讲, 地下真实速度信息又隐含在成像速度和旅行时信息中, 因此, 在地层倾角不是很大或进行倾角校正之后, 通过一定的估算手段和方法排除系统误差和随机噪音的影响, 利用处理过程中使得成像效果最佳的速度参数以及成像后的地震层位数据, 来“恢复”地下地层的真实速度结构或认为真实“层速度”信息是可行的。如果再与研究区内的地质、钻井和测井信息相结合, 那么“恢复”出的地下层速度信息就是可靠的、合理的。本文正是基于这样的理论思考, 把地质学中的层序地层学理论引入到地球物理学的速度研究中, 并将速度预测结果与地震属性分析结果相结合, 在一定程度上提高了岩性地层油气藏的预测效果。

1 层序地层格架的建立

建立层序地层格架的具体技术路线是: 以岩心资料、测井资料和地球化学资料为基础, 建立层序界面识别标志, 进行体系域及沉积体系分析, 通过单井相划分、合成地震记录制作, 在地震剖面上识别层序界面, 搭建层序地层格架, 其中合成地震记录是连接深度域层序地层格架和时间域层序地层格架的桥梁。制作合成记录首先要选取标志层。SN21 井区位

于基东鼻状凸起东斜坡上,本区的标志层是全区分布稳定的中侏罗统西山窑组煤层顶界反射,这是一套可在全区连续追踪对比的标志层,在自然电位、自然伽马、电阻率和声波时差上都有表现.在声波测井曲线上表现为一段明显的台阶状的低速值,与上覆地层的速度差较大,由上覆地层进入该煤层表现为从高速到低速,在正极性的合成记录上呈现出一强的反射波谷同相轴,其与上覆地层之间产生的反射界面在地震剖面上是一很好的标志层.图 1 是研究区内石 112 井的层位标定结果.认准标志层,对工区内的每一口井都认真分析其地球物理测井特征,并作合成记录,以此为基础,通过层序对比和追踪,建立了全区层序地层格架.在此基础上通过区域连井大剖面的精细小层对比,划分出研究目标层 CX0(清水河顶)、CX3(头屯河组二段顶)和 CX5(头屯河二段底)3 个层位,建立起研究区主要目的层段的层序地层格架,如图 2 所示.

图 2 中上半部分是深度域联井剖面,其构造高点位置在石 108 井;下半部分是时间域联井剖面,其构造高点位置在石 106 井与石 109 井之间.很明显,

时间域地震剖面的高点位置和深度域联井剖面的高点位置不吻合,横向上有错位,即由时间域地震剖面所成 T0 图形态不能真实反映地下地质构造形态,根本原因在于本区存在着速度的横向变化.因此有必要进行层序地层格架下的速度研究,并进一步对时间域 T0 图进行变速时深转换,得到能真实反映地下地质构造形态的深度域构造图.

2 层序地层格架约束下的速度反演

在以上层序地层格架建立基础上,利用地层等时对比结果建立的等时地层格架作为速度研究的模型层位,有针对性地进行层序地层格架内部的层速度分布规律研究.

速度研究的核心是求取地层格架内的层速度.目前业界普遍采用的层速度计算方法有:Dix 公式法、模型层析法和模型迭代法.本次速度分析采用的是模型迭代反演法.该方法以速度谱分析点为独立计算单元,根据该点处的自激自收 T0 时间、叠加速度参数及该 T0 时间处同相轴的时间梯度,利用计

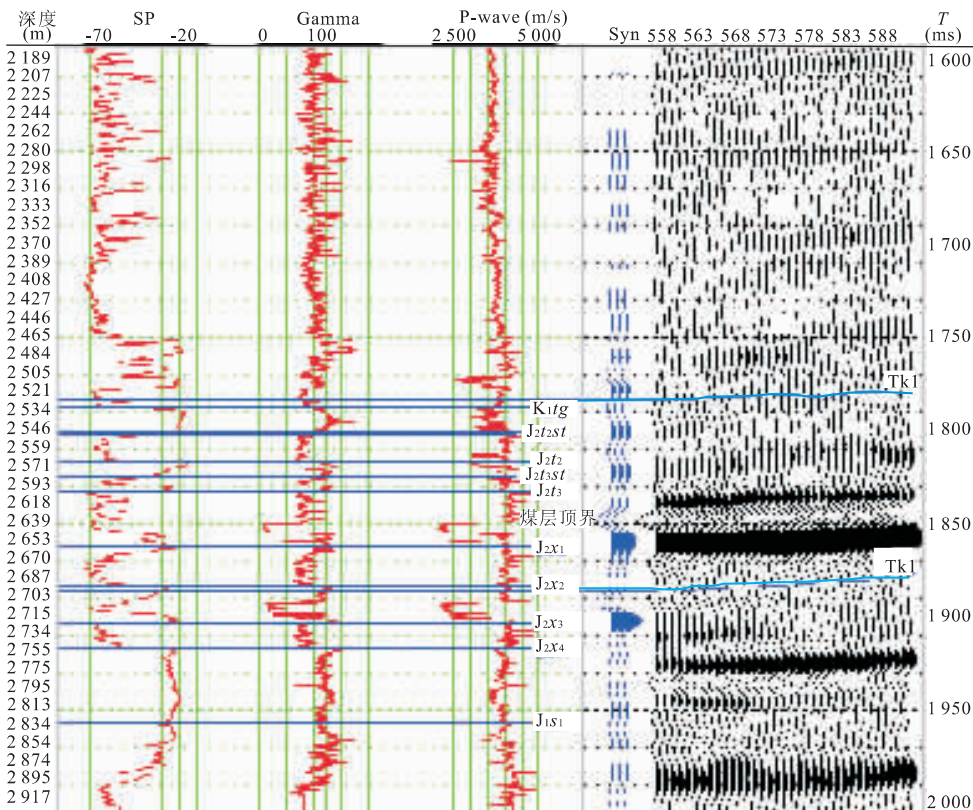


图 1 石 112 井的层位标定结果

Fig. 1 The result of horizon calibration of seismic interface of well SH112

以煤层的顶界反射为标准参考层,这是一套可在全区连续追踪对比的标志层,在声波测井曲线上表现为一段明显的台阶状的低速值,与上覆地层的速度差较大,由上覆地层进入该煤层表现为从高速到低速,在正极性的合成记录上呈现出一强的反射波谷同相轴

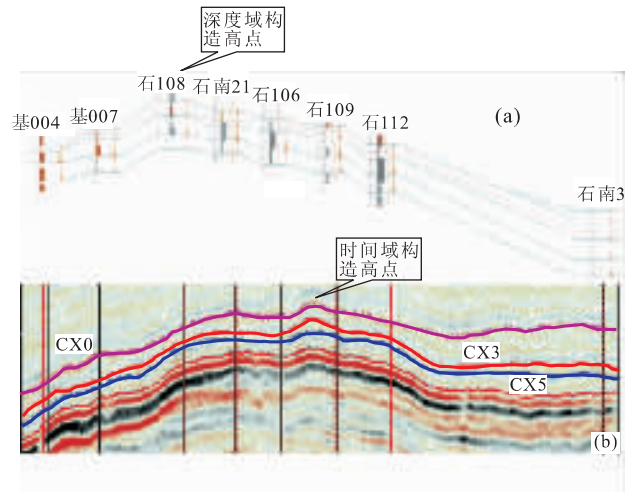


图 2 基 004-基 007-石 108-石南 21-石 106-石 109-石 112-石南 3 层序地层格架联井对比剖面

Fig. 2 Sequence stratigraphic frameworks in well SN21 aera
a. 深度域层序地层格架; b. 时间域层序地层格架

计算机模拟野外排列来计算层速度。基本思路是：给定初始层速度模型，计算叠加速度，并与输入的叠加速度对比，若有误差，修改层速度模型，反复迭代直到计算叠加速度与输入叠加速度误差最小。该方法的优点是考虑了地层倾角的影响，且计算精度较高，有着广泛应用。

3 SN21 井区速度分布规律研究

3.1 基础资料分析

进行速度研究所需的基础资料有：原始叠加速度和地震 T₀ 层位数据。图 3 是层速度反演时所用原始叠加速度点位置平面分布图，此图说明：地震速度分析点在空间上远比井点分布均匀，因此在反映井间速度的真实变化趋势方面比单独用井点速度值插值得出的速度场具有好的地质统计规律。图 4 是工区内两个不同位置处的叠加速度曲线对比图。图 4 表明了位于工区西部的 JI004 井和位于工区东部的 SN3 井在速度上的横向变化：在目的层段，相同时间上，SN3 井点处的速度数值（红色）比 JI004 井点处的速度数值（蓝色）高，可见在叠加速度曲线上就已经反映出本区速度的横向变化。图 5 是速度建模使用的包含目的层位的地震剖面，图中层序（CX0-CX3）即为所研究的目标层白垩系清水河组地层。

3.2 层序地层格架内的速度分布规律分析

利用前述建立的层序地层格架和基础速度资料，通过射线追踪模型迭代方法（马涛等，1996；王树

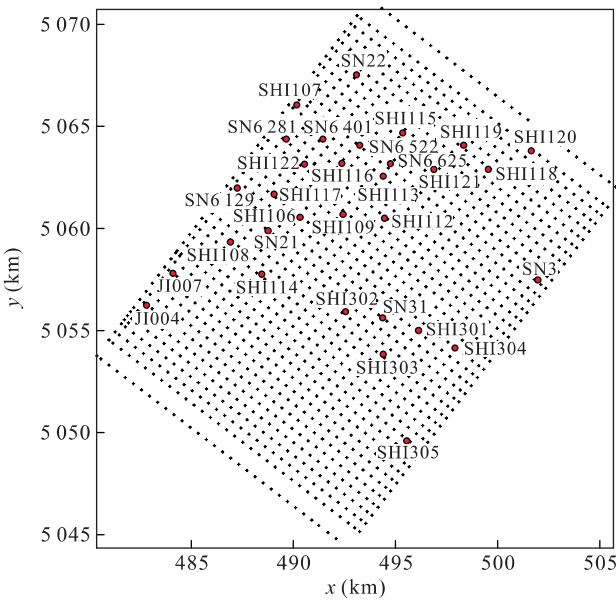


图 3 原始叠加速度分析点平面分布图

Fig. 3 Distribution of stacking velocity analyzing points
速度分析点分布均匀：500 m×500 m；共 1 435 个速度分析点

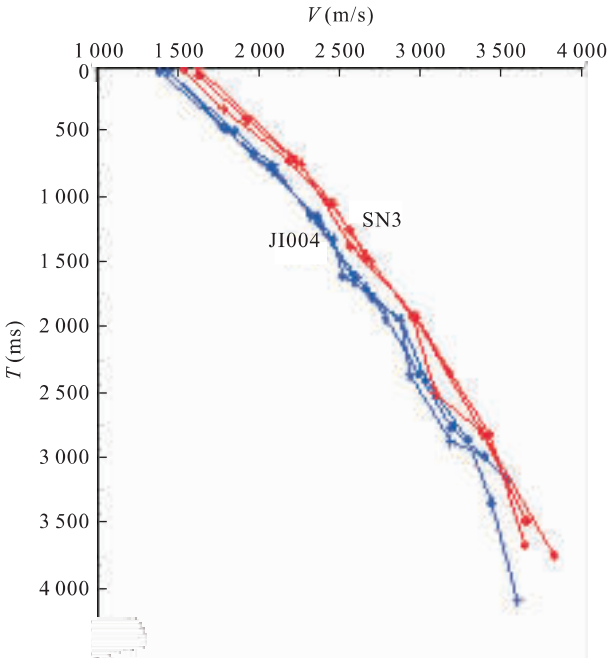


图 4 SN3 井和 JI004 井的叠加速度曲线对比图

Fig. 4 Stacking velocity contrast of well SN3 and well JI004

华等，2004）及普通克里格数据网格化技术（魏文博等，2001），得到相应各层序地层格架内部的层速度。那么，得到的这些层速度是否合理反映了各层序格架内部地层的分布规律呢？下面以研究目标层白垩系清水河组（CX0-CX3）地层的层速度分布规律为例进行分析。图 6a 是通过模型迭代方法得到的层序

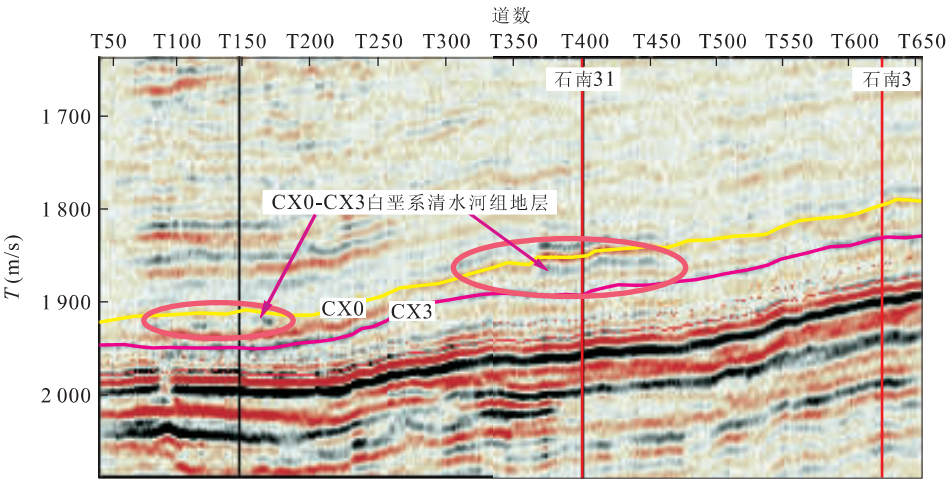


图 5 研究区内一条过石南 31 井、石南 3 井的地震剖面
Fig. 5 Profile connecting well SN31 and well SN3

(CX0-CX3)内部的层速度平面图,总体规律是北部速度值低,南部和东南部速度相对高.图 6b 是层序(CX0-CX3)内部砂岩厚度图.对比图 6a 和 6b 可知,清水河组二段砂岩发育的东南部对应层速度平面图上的高速区,且砂体发育的 SN31 恰好位于高速区域,钻探失利的 SN38 井则位于相对低速区;而泥岩相对发育、砂岩不发育的西北部,则表现为低速区;可见速度的高低反映了砂岩含量的多少.若将层速度分布图(图 6a)与相应层序内部的地震平均反射能量属性图(图 7a)、弧长属性(图 7b),可以发现速度图上高速区和低速区的平面分布形态与属性图的平面分布对比范围和形态基本相吻合,从而使我们

认识到振幅属性图上的异常体上是高速异常体,其速度范围在 3 850~3 950 m/s,有向南部及东南部延伸的趋势,此砂体上倾方向存在岩性尖灭,可形成岩性地层圈闭,在石南 31 井的西边存在残留砂体,也表现为高速特征.由此可见,速度与振幅类地震属性在反映储层非均质性和砂体横向变化方面是相互一致、相互印证的.

4 层序地层界面的构造成图精度研究

本文研究的目标层段(CX0-CX3)内发育的是

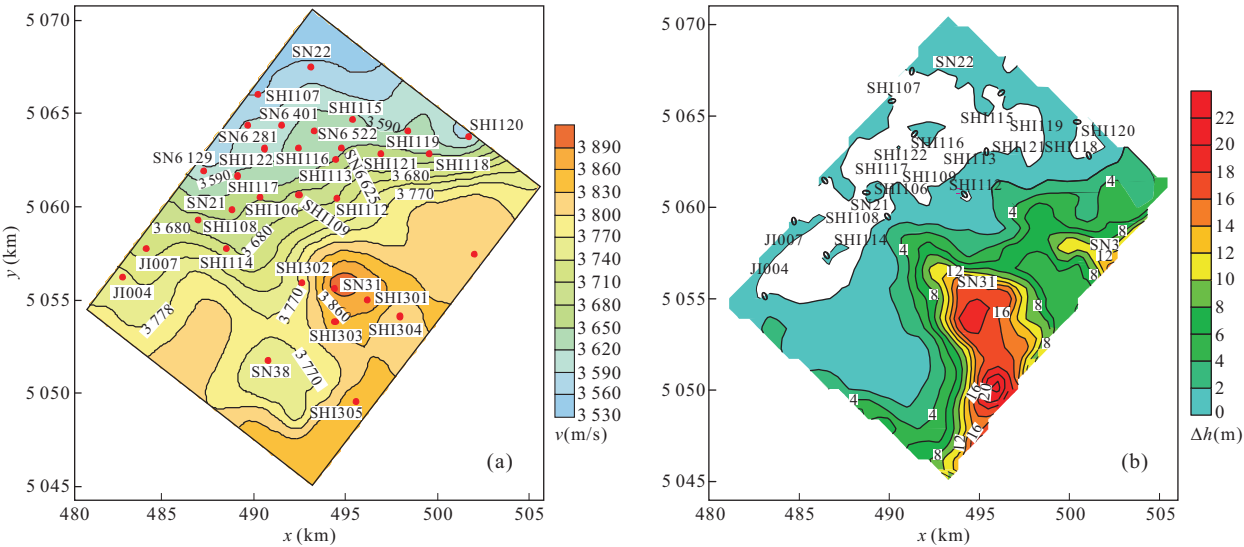


图 6 层序(CX0~CX3)层速度平面图(a)和砂岩厚度图(b)

Fig. 6 Interval velocity map (a) and the sand thick map (b) of stratigraphy (CX0—CX3)
a. 蓝色区带为低速区,粉色区带为高速区; b. 白色区带为泥岩发育区,红色区带为砂岩发育区

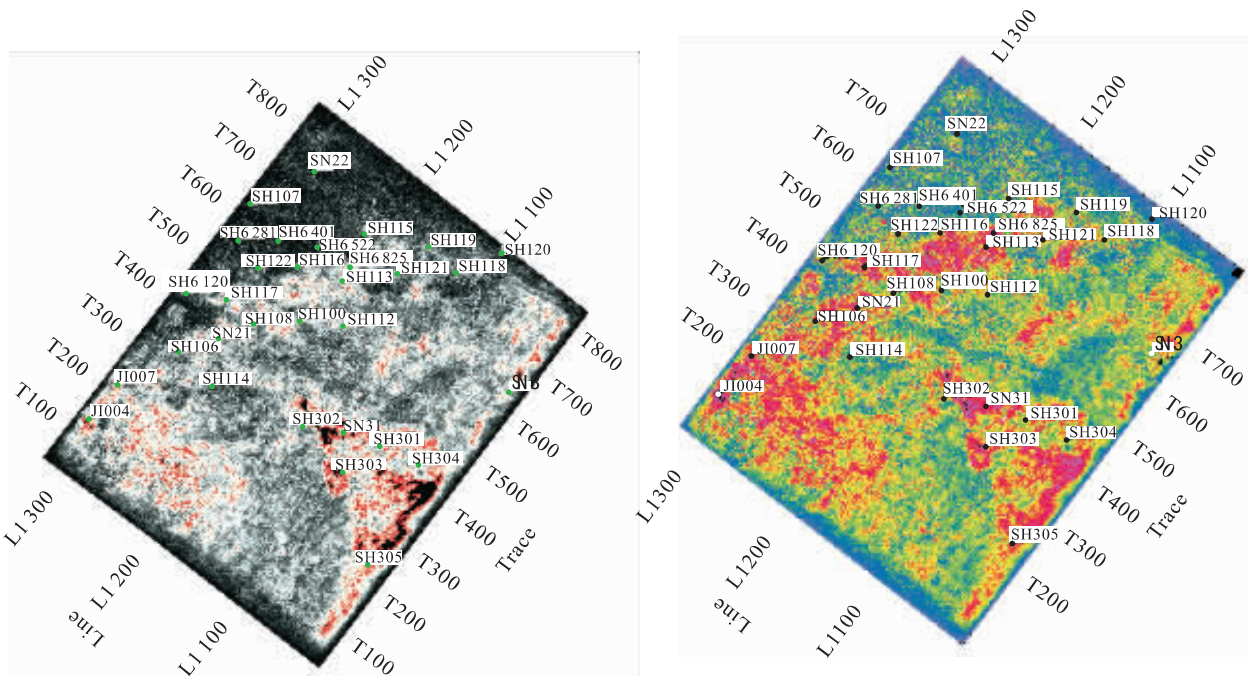


图 7 层序(CX0~CX3)瞬时振幅属性图(a)和弧长属性图(b)
Fig. 7 Instantaneous amplitude map (a) and the arc length map (b) of stratigraphy (CX0—CX3)

构造背景下的岩性油气藏. 从地质勘探目标角度讲, 寻找隐蔽的岩性油气藏是一种战略转变; 而从地震勘探技术上看, 岩性油气藏勘探是构造油气藏勘探的延续和深入, 因此, 目标层位的构造形态、断层的空间展布同样是岩性油气藏的重要控制因素和布井依据, 高精度构造图同样是岩性油气藏勘探不可或缺的基础图件. 本文采用在层序格架约束下的层速度反演基础上得到的沿 CX3 层序界面的平均速度

图, 对 CX3 层序界面时深转换后, 得到 CX3 层序界面构造图(图 8a). 在此构造图上, SN31 井白垩系底界的钻前预测深度是 2 651 m, 而 SN31 井白垩系底界的实际钻探井深为 2 659 m, 预测误差仅 8 m, 相对误差只有 0. 3%, 远低于预测误差 2% 的行业标准.

为了进一步说明层序格架下的速度研究在提供高精度构造图方面的特点, 本文按照勘探评价井的

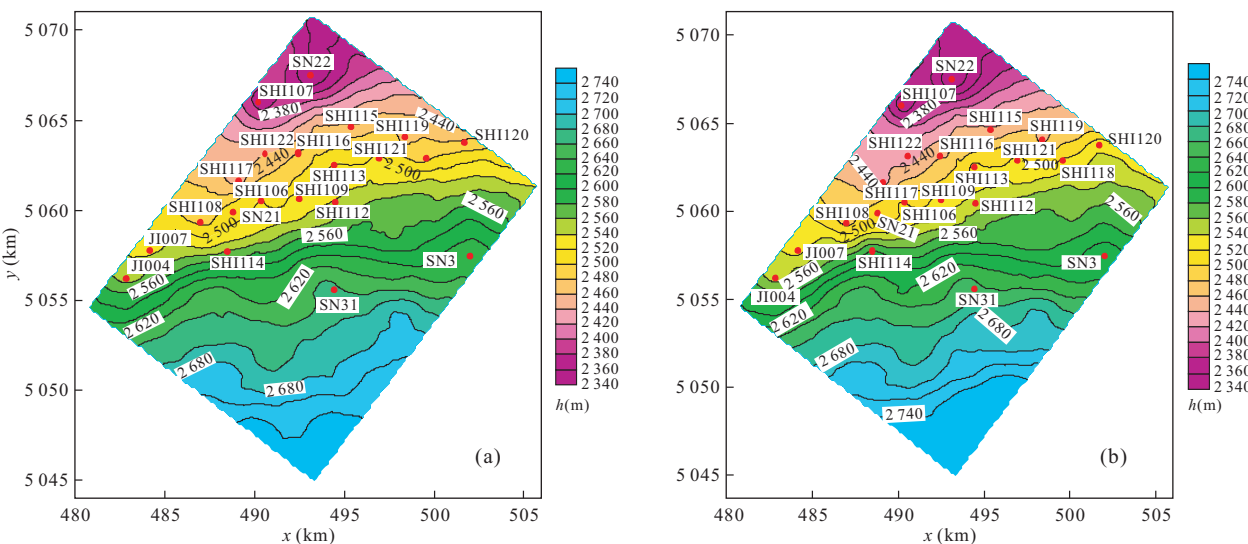


图 8 用 20 口井(a)和 9 口井(b)预测的白垩系底界构造图
Fig. 8 Structure map of K bottom constrained by 20 wells (a) and 9 wells (b)

表 1 地震预测深度和预测误差统计

Table 1 Seismic computing depth and estimating errors

井名	实际钻井深度(m)	地震预测深度 ^① (m)	绝对误差(%)	地震预测深度 ^② (m)	绝对误差(%)
Jl004	2 533	2 532. 964	0. 036	2 532. 974	0. 026
Jl007	2 512. 5	2 512. 538	—0. 038	2 512. 535	—0. 035
SN3	2 613	2 612. 983	0. 017	2 612. 996	0. 004
SN22	2 329	2 329. 040	—0. 040	2 328. 979	0. 021
SN21	2 489	2 488. 907	0. 093	2 488. 934	0. 066
SHl106	2 500	2 499. 989	0. 011	2 500. 019	—0. 019
SHl107	2 352. 5	2 352. 566	—0. 066	2 352. 521	—0. 021
SHl108	2 476. 5	2 476. 697	—0. 197	2 476. 599	—0. 099
SHl109	2 509	2 508. 868	0. 132	2 508. 955	0. 045
SHl112	2 531	2 530. 851	0. 149	2 526. 757	4. 243
SHl113	2 504	2 504. 066	—0. 066	2 507. 254	—3. 254
SHl114	2 581	2 580. 734	0. 266	2 573. 227	7. 773
SHl115	2 442. 5	2 442. 558	—0. 058	2 443. 204	—0. 704
SHl116	2 457	2 457. 018	—0. 018	2 457. 836	—0. 836
SHl117	2 435	2 435. 077	—0. 077	2 438. 457	—3. 457
SHl118	2 502. 5	2 502. 427	0. 073	2 494. 146	8. 354
SHl119	2 458	2 457. 978	0. 022	2 451. 831	6. 169
SHl120	2 510	2 510. 002	—0. 002	2 505. 589	4. 411
SHl121	2 504. 5	2 504. 559	—0. 059	2 504. 821	—0. 321
SHl122	2 430	2 430. 004	—0. 004	2 427. 783	2. 217
SN31	2 659	2 651. 280	7. 720	2 651. 086	7. 914

注:①用 20 口井约束的速度场;②用 9 口井约束的速度场.

上钻历史,在速度建模时,首先只利用第 1 轮 9 口评价井(Jl004、Jl007、SN3、SN22、SN21、SHl106、SHl107、SHl108 和 SHl109)的井点约束值对速度场进行约束,时深转换后,再读取其他未参与计算的 11 口井的地震预测深度和预测误差;接着利用第 2 轮 12 口井(Jl004、Jl007、SN3、SN22、SN21、SHl106、SHl107、SHl108、SHl109、SHl112、SHl113 和 SHl114)、第 3 轮 15 口井、第 4 轮 18 口井、第 5 轮 20 口井(Jl004、Jl007、SN3、SN22、SN21、SHl106、SHl107、SHl108、SHl109、SHl112、SHl113、SHl114、SHl115、SHl116、SHl117、SHl118、SHl119、SHl120、SHl121 和 SHl122)的资料重复上述过程,分别得到不同勘探评价阶段的构造图和各相应阶段其他未参与计算的 8 口井、5 口井与 2 口井的地震预测深度及预测误差.

图 8b 是用 9 口井预测的 CX3 层序界面构造图,其形态和用 20 口井预测的 CX3 层序界面构造图(图 8a)基本一样,都是向北倾斜的单斜构造,说明即使井资料较少,用层序地层格架约束下的速度场也能得到形态准确的构造图.表 1 是地震预测深度和预测误差统计表,此表说明,用 20 口井预测,井点最大绝对误差只有 0. 27 m;用 9 口井预测,井点最大绝对误差 9. 35 m,相对误差 0. 33%.这说明,层

序地层格架下的速度分析技术及在此基础上得到的速度场,在有效降低目标层位的深度设计误差和风险方面,能满足勘探评价阶段的要求,井越多,预测精度越高,构造图越可信.

5 结论

(1)就储层预测而言,以高精度层序地层格架为指导,针对储层的内部结构和顶面形态开展速度研究,可使速度研究具有更强的地质针对性.研究表明,目的层序(CX0-CX3)的层速度分布规律是:南和东南部砂体发育区地层速度高,北部泥岩相对发育区地层速度低,速度的高低反映了砂岩含量的多少.(2)速度研究与地震属性分析相结合,可深化岩性油气藏的认识,提高岩性油气藏预测效果.研究证明,速度与振幅属性从不同侧面共同反映了储层非均质性和砂体横向变化.(3)在层序格架下的层速度反演基础上得到的目标层序界面的平均速度图,没有系统误差和随机噪音的影响,时深转换所得构造图等值线走势合理.误差分析表明,钻前预测误差不超过 0. 33%,即使井资料较少,也能得到平面形态准确纵向误差较小的构造图,有效降低储层的深度设计误差和风险.

References

- Al-Chalabi, M. , 1973. Series approximation in velocity and traveltime computations. *Geophysical Prospecting*, 21 (4): 783—795.
- Causse, E. , Haugen, G. V. , Rommel, B. , et al. , 2000. Large offset approximation to seismic reflection traveltimes. *Geophysical Prospecting*, 48(4): 763—778.
- Chen, C. R. , Zhou, X. X. , 1999. An inversion method of intercal velocity. *Computing Techniques for Geophysical and Geochemical Exploration*, 21 (3): 212—215 (in Chinese with English abstract).
- Cook, E. E. , Taner, M. T. , 1969. Velocity spectra and their use in stratigraphic and lithologic differentiation. *Geophysical Prospecting*, 17(4): 433—448.
- Dix, C. H. , 1955. Seismic velocity from surface measurement. *Geophysics*, 20: 68.
- Duan, Y. Q. , Wang, Y. C. , Qin, T. , et al. , 2007. Application of reservoir seismic inversion at Damintun sag in Liaohe oilfield. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 32(4): 554—558 (in Chinese with English abstract).
- Garotta, R. , Michon, D. , 1967. Continuous analysis of the velocity function and the move out corrections. *Geophysical Prospecting*, 15(4): 584—597.
- Hong, T. Y. , Cai, X. Y. , He, Z. L. , et al. , 2006. Unconformity features of Cretaceous bottom in the back-land of Junggar basin. *Xinjiang Geology*, 24(3): 229—233 (in Chinese with English abstract).
- Ji, Y. L. , Zhang, S. Q. , 1996. The sequence stratigraphy of continental fault depression of lake basin. Petroleum Industry Press, Beijing (in Chinese).
- Jia, Z. Y. , Cai, Z. X. , 1997. Sequence and cycle. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 22 (5): 449—455 (in Chinese with English abstract).
- Kuang, L. C. , Lü, H. T. , Qi, X. F. , et al. , 2005. Exploration and targets for lithologic reservoirs in Junggar basin, NW China. *Petroleum Exploration and Development*, 32(6): 32—37, 65 (in Chinese with English abstract).
- Li, S. T. , Pan, Y. L. , Lu, Y. C. , et al. , 2002. Key technology of prospecting and exploration of subtle traps in lacustrine fault basins: Sequence stratigraphic researches on the basis of high resolution seismic survey. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 27 (5): 592—598 (in Chinese with English abstract).
- Li, X. L. , Liu, W. L. , Ma, T. , et al. , 1997. Seismic velocity study in Yingmaili area of Tarim basin. *Oil Geophysical Prospecting*, 32 (Suppl.): 75—85 (in Chinese with English abstract).
- Liao, Y. T. , Zhang, S. M. , Xia, P. Y. , et al. , 2005. Sequence stratigraphy of Es₃ member in Wendong district, Dongpu depression. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 30 (2): 133—139 (in Chinese with English abstract).
- Ling, Y. , Liu, D. G. , Huang, G. R. , et al. , 2006. The study on sedimentary facies of Toutunhe Formation in Shinan area. *Xinjiang Oil and Gas*, 2(2): 19—22 (in Chinese with English abstract).
- Liu, C. Y. , Wang, C. X. , Zhao, B. , et al. , 2003. Interval velocity scan for model building using CFP technology. *Geophysical Prospecting for Petroleum*, 42(3): 294—297 (in Chinese with English abstract).
- Ma, T. , Yan, Y. S. , Liu, W. L. , et al. , 1996. Determination of velocity field in the Tarim basin and its application. *Oil Geophysical Prospecting*, 31(3): 382—393 (in Chinese with English abstract).
- Sun, C. , Martinez, R. , 2002. Amplitude preserving 3D pre-stack Kirchhoff time migration for V (z) and VTI media. *SEG Expanded Abstracts*, 21: 1224—1227.
- Taner, M. T. , Al-Chalabi, M. , 2005. A new travel time estimation method for horizontal strata. *SEG Expanded Abstracts*, 2273—2276.
- Taner, M. T. , Koehler, F. , 1969. Velocity spectra—Digital computer derivation applications of velocity functions. *Geophysics*, 34(6): 859—881.
- Vail, P. R. , 1988. Seismic stratigraphy interpretation procedure. *AAPG Studies in Geology*, 27: 1—10.
- Vail, P. R. , Mitchum, R. M. , Thompson, S. III. , 1977. Global cycles of relative changes of sea level. *AAPG Memoir*, 26: 51—212.
- Wang, J. H. , Wang, H. , Zhao, Z. X. , et al. , 2003. Sequence stratigraphy in paleogeomorphology analysis: An example from Tahe oilfield. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 28(4): 425—430 (in Chinese with English abstract).
- Wang, S. H. , Liu, H. S. , Zhang, Y. Y. , et al. , 2004. Research on variable-velocity structure mapping and its application. *Journal of Ocean University of China*, 34(1): 139—146 (in Chinese with English abstract).
- Wei, W. B. , Ye, G. F. , Jin, S. , et al. , 2007. Three dimensional P-wave velocity structure of the crust of North China. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 32(4): 441—452 (in Chinese with English abstract).
- Xin, K. F. , Wang, H. Z. , Ma, Z. T. , et al. , 2005. Interactive velocity analysis on CFP gathers. *Oil Geophysical Prospecting*, 40(4): 386—390, 399 (in Chinese with English abstract).

abstract).

Xu, H. D., 1993. The principle and methodology of sequence stratigraphy. Petroleum Industry Press, Beijing (in Chinese).

Yuan, J. J., 2006. Application of layer-cake method to make structure map and geological base. *Geophysical Prospecting for Petroleum*, 45(3): 285—289 (in Chinese with English abstract).

Zhu, X. M., 2000. The sequence stratigraphy. Petroleum Industry Press, Dongying (in Chinese).

附中文参考文献

陈传仁, 周熙襄, 1999. 一种精细层速度反演方法. 物探化探计算技术, 21(3): 212—215.

段云卿, 王彦春, 覃天, 等, 2007. 储层地震反演在辽河油田大民屯凹陷的应用. 地球科学——中国地质大学学报, 32(4): 554—558.

洪太元, 蔡希源, 何治亮, 等, 2006. 准噶尔盆地腹部白垩系底部不整合特征. 新疆地质, 24(3): 229—233.

纪有亮, 张世奇, 1996. 陆相断陷湖盆层序地层学. 北京: 石油工业出版社.

贾振远, 蔡忠贤, 1997. 层序与旋回. 地球科学——中国地质大学学报, 22(5): 449—455.

匡立春, 吕焕通, 齐雪峰, 等, 2005. 准噶尔盆地岩性油气藏勘探成果和方向. 石油勘探与开发, 32(6): 32—37, 65.

李思田, 潘元林, 陆永潮, 等, 2002. 断陷湖盆隐蔽油藏预测及勘探关键技术——字精度地震基础上的层序地层学研

究. 地球科学——中国地质大学学报, 27(5): 592—598.

李杏莉, 刘文利, 马涛, 等, 1997. 新疆英丫区三维资料速度场研究与应用. 石油地球物理勘探, 32(增刊): 75—85.

廖远涛, 张世民, 夏鹏远, 等, 2005. 东璞凹馆文东地区沙三段层序地层学特征. 地球科学——中国地质大学学报, 30(2): 133—139.

凌云, 刘得光, 黄国荣, 等, 2006. 石南地区田头屯河组沉积相研究. 新疆石油天然气, 2(2): 19—22.

刘超颖, 王成祥, 赵波, 等, 2003. CFP 层速度扫描建模方法. 石油物探, 42(3): 294—297.

马涛, 严又生, 刘文利, 等, 1996. 塔里木盆地速度场的建立及应用. 石油地球物理勘探, 31(3): 382—393.

王家豪, 王华, 赵忠新, 等, 2003. 层序地层学应用于古地貌分析. 地球科学——中国地质大学学报, 28(4): 425—430.

王树华, 刘怀山, 张云银, 等, 2004. 变速成图方法及应用研究. 中国海洋大学学报, 34(1): 139—146.

魏文博, 叶高峰, 金胜, 等, 2007. 华北地区地壳 P 波三维速度结构. 地球科学——中国地质大学学报, 32(4): 441—452.

辛可锋, 王华忠, 马在田, 等, 2005. CFP 道集交互速度分析. 石油地球物理勘探, 40(4): 386—390, 399.

徐怀大, 1993. 层序地层学原理. 北京: 石油工业出版社.

袁井菊, 2006. 层叠法变速构造成图的地质基础及其应用. 石油物探, 45(3): 285—289.

朱筱敏, 2000. 层序地层学. 东营: 石油工业出版社.