

地震沉积学探讨

林承焰 张宪国

(中国石油大学地球资源与信息学院, 山东 东营 257061)

摘要 地震沉积学是用地震手段研究沉积岩及其形成过程的学科,其研究手段主要有 90° 相位转换和地层切片技术等。 90° 相位转换使地震相位具有了岩性地层意义,可以用于高频层序地层的解释,地层切片是指对某一层位内进行等比例内插切片之后用来研究各个等时地层单元的沉积体系(相)的平面展布。文章认为:由于受地震分辨率的限制,地震沉积学目前主要应用于研究宏观的地层、岩石、沉积史和沉积体系,还没有达到全面研究沉积岩及其形成过程的程度,因此,目前的地震沉积学是利用地震手段结合并资料研究宏观的地层、岩石、沉积史和沉积体系的一门学科,它还需要进一步的发展才有可能继地震地层学、层序地层学之后真正成为一门研究沉积岩及其形成过程的新学科;相位转换技术中转换的角度并不一定局限于 90° ,可以是其它角度的相位转换,这要根据层位标定的具体情况而定;地层切片比时间切片和沿层切片更加合理,但是目前的地层切片技术还没有考虑地层的沉积速率随时间的变化,因此,地层切片还不是严格意义上等时的。

关键词 地震沉积学 相位转换 地层切片
中图分类号 P315 P512.2 文献标识码 A

人们对地震地层学、层序地层学的概念相当熟悉,而对地震沉积学则相对比较陌生。其实,国外早在 20 世纪 80 年代就已经开始了地震沉积学的研究,但是由于地震分辨率和研究手段的限制导致地震沉积学发展缓慢,国内随着三维地震资料的广泛应用,近几年普遍开展了利用地震资料进行沉积相、地层岩性识别的研究,但是还没有明确提出地震沉积学的概念。2005 年 2 月,地震沉积学国际会议在休斯敦召开,地震沉积学越来越受到人们的关注,标志着这门新学科的发展进入了一个新的阶段。正是由于地震沉积学是一门新的学科,其有关的概念、理论、方法和技术值得探讨。

1 地震沉积学的基本概念和理论

地震沉积学是利用地震资料来研究沉积岩及其形成过程的一门学科,其研究手段主要有 90° 相位转换和地层切片技术等,地震岩石学和地震地貌学

组成了地震沉积学的主干^[1,2]。地震沉积学是建立在地球物理学、沉积学、地震地层学及层序地层学等学科基础上的一门新学科,主要是在地质规律(尤其是沉积环境及沉积相模式)的指导下利用三维地震信息和现代地球物理技术进行地层岩石宏观研究和沉积体系、沉积相平面展布以及沉积发育史的研究(图 1)。

对于地震资料,我们可以近似地将其视为地震子波作用于地下波阻抗界面的响应。地震振幅、频率和相位等包含了大量的岩性信息。一方面我们可以通过各种地震处理手段(如相位调整、AVO 分析、波阻抗反演等)提取其中的岩性信息^[2]。另一方面,可以利用测井数据对地震资料进行约束,减少其不确定性,这样我们就可以将三维地震体转化为测井岩性体^[2]。在岩性体中,岩性测井曲线与邻近的地震道间在允许的偏差范围内建立联系,确保在储层研究水平上并与地震数据间最大可能的整合。

收稿日期:2006-02-27,修回日期:2006-08-28。

* 基金项目:教育部第二届高校优秀青年教师教学科研奖励基金资助。

作者简介:林承焰(1963-),男,福建福清人,教授,博导,主要从事储层地质学及油藏描述方面的研究。E-mail:lincy@hdpu.edu.cn

在高频层序研究中,目前最常用的方法是用井资料解释高频地层格架,然后用井来标定地震,建立井数据与地震剖面间的联系,在井间进行区域性地震层序追踪和地震相成图。地震层序的解释和地震相成图依据了大量的可以与生物地层和沉积过程相对应的地震反射终止形式(如上超、下超、顶超、削蚀)和地震相标志(反射结构和外部形态)。2004 年曾洪流等^[2]在墨西哥湾北部泰格(Tiger)浅滩地区中新世地层研究中发现,四级层序与一系列沉积界面组合的地震响应相对应,包括层序顶底及在地震

剖面上难以识别的内部界面。因此,四级层序边界和体系域不能通过简单的地震同相轴追踪来识别。曾洪流等人针对研究区高频层序提出了新的解释方法:首先在平面上分析低级层序(二、三级层序)地层格架中高分辨率沉积要素,然后在垂向上和三维视图中研究高频层序地层背景。在利用这种方法的研究中,地震岩石学研究具有关键作用,这种方法要借助于多种地震处理手段将地震数据体转化成岩性数据体。这是这种研究方法能取得好的效果的先决条件。

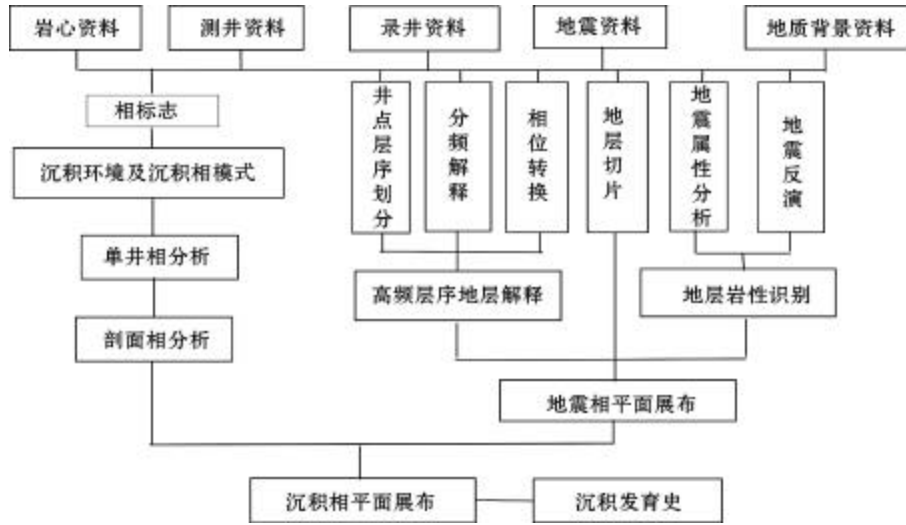


图 1 地震沉积学研究框图

Fig.1 Fram e m ap of seismic sedimentology research

2 地震沉积学的研究手段

目前地震沉积学研究所采用的研究技术还比较局限,在地震沉积学研究中提出的关键技术主要包括 90° 相位转换技术和地层切片技术等。

2.1 90° 相位转换技术

波形和测量振幅是地震相位谱的函数。地震解释人员通常要求处理人员提供零相位的地震数据,它在地震解释中具有很多优点,包括子波的对称性、主瓣中心(最大振幅)与反射界面一致以及较高的分辨率。但是在零相位地震数据中波峰、波谷对应于地层界面,岩性地层与地震相位之间不存在良好的对应关系,要建立地震相位与岩性测井曲线间的联系很困难,尤其是薄互层发育的情况下。

90° 相位转换的方法通过将地震相位旋转 90° 后把反射波瓣提到地层的中心,以此来克服零相位

波的缺点。地震反射波形相对于砂岩层对称而不是相对于地层界面对称,这使得地震反射同相轴与岩性地层对应,地震相位也就具有了岩性地层意义,这样地震相位在一个波长的厚度范围内与岩性唯一对应。一方面在应用于实际数据时,这种方法更加易于解释^[3,4],另一方面相位转换之后地震道与岩性测井更加具有一致性。图 2 是秘鲁 S 油田的一个例子,从图中可以看到,转换后地层界面的位置由蓝轴(正相位)内转换到了零相位的位置,在层位追踪时减小了视觉误差造成的层位拾取位置的误差,而且地震相位与岩性测井曲线更加吻合,使地震相位具有了岩性地层意义。

2.2 地层切片技术

Brown 等^[5]首先阐明通过三维地震的水平地震成像可以产生高分辨率的沉积相图像。自 20 世纪 90 年代起,大量的研究证实地震地貌学是沉积成像

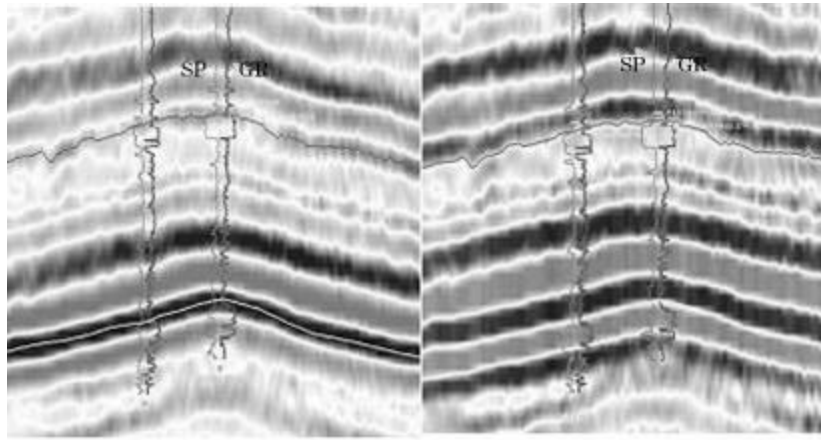


图 2 90°相转换前后测井曲线与地震同相轴对应关系的对比(秘鲁 S 油田)

Fig.2 The relationship between well log curve and seismic events before and after 90°phasing conversion (S oilfield, Peru)

研究的有力工具。地震地貌成像是沿等时沉积界面(地质时间界面)提取振幅,反映地震工区内沉积体系的展布范围。这样的地震切片称为地层切片,它主要是通过在地层时间的地震同相轴间进行线性切片来实现的^[6]。

3 对地震沉积学的几点思考

3.1 对地震沉积学概念的思考

前文已经述及,地震沉积学是运用地震手段研究沉积岩及其形成过程的学科。事实上,由于沉积岩及其形成过程的研究内容相当广泛而且深入^[7],它并不仅仅局限于判断地层岩性的工作,还包括沉积物(岩)的形成发育和演化过程、岩石学分类及特征、成岩作用及孔隙的形成、发育和演化、沉积成岩环境和相的研究等。在对古沉积环境的分析中最令人信服的做法是首先对大量地质露头或者岩心资料进行全面细致的观察描述,包括对岩性、沉积结构和构造、古生物标志、地球化学标志等方面的综合描述,然后综合利用相标志,以沉积学原理为指导,对古沉积环境作出正确的解释^[8]。由于地震分辨率和技术条件的限制,地震沉积学还不能运用地震的手段对沉积岩及其形成过程进行全面的,其研究内容目前主要涉及地震岩石学、地震地貌、沉积体系和相以及沉积史的研究^[2]。随着地震分辨率的提高以及地球物理技术的不断进步,地震沉积学才有可能真正成为继地震地层学和层序地层学之后研究沉积岩及其形成过程的一门新学科。

3.2 对 90°相转换技术的思考

90°相转换技术的核心思想是在零相位地震资料的情况下地层界面对应于波峰值或波谷值,地层的岩性与地震相位间不存在对应关系,通过相位 90°旋转使地层界面对应于零相位,这样地震道也就能更好的模拟测井波阻抗^[4],地震相位也就具有了地层意义。所以 90°相转换并没有提高地震资料的分辨率,只是使地震相位具有了地层意义。

从相位转换的方法本身来说,本文认为,不应仅局限于 90°相转换。相位转换的目的是赋予地震相位以地层的意义,将地层界面标定到零相位上,所以具体转换角度要根据标定后测井分层上目的层位对应的地震相位来决定,如经过标定某四级层序界面对应 45°相位,那么在解释这个层面时就需要将相位调整 45°,使其层面对应于零相位,只有这样才能达到通过相位转换赋予相位以地层意义的目的。

3.3 对地层切片技术的思考

目前使用的切片方法主要有 3 种:时间切片、沿层切片和地层切片。前两者在大多数地震解释软件(如 GeoFrame, Recon, Landmark 的 Openworks 等)中都提供了相应的实现工具。时间切片是沿某一固定地震旅行时,对地震数据体进行切片显示(图 3a),切片方向是沿垂直于时间轴的方向^[9];沿层切片是沿某一个没有极性变化的反射界面,即沿着或平行于追踪地震同相轴所得的层位进行切片(图 3b),它更倾向于具有地球物理意义^[10];地层切片是以解释的两个等时沉积界面为顶底,在地层的顶底界面间

按照厚度等比例内插出一系列的层面,沿这些内插出的层面逐一生成切片(图 3c),这种切片比时间切片和沿层切片更接近于等时界面^[6]。

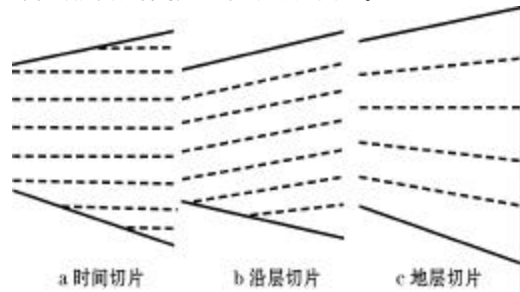


图 3 3 种切片的比较

Fig.3 The comparison of the three kinds of slices

从地层切片的原理上不难看出,它是基于两点假设:相邻切片间的沉积地层单元厚度达到地震可分辨的尺度^[2];在平面上沉积速率与沉积厚度成正比,两个等时的沉积地层界面间的沉积速率在垂向上不随时间变化。从第一点假设可以看出,用地层切片研究沉积相的方法并没有解决地震纵向分辨率限制的问题。对于薄互层的地层来说地震反射同相轴实际上是一系列薄互层的综合响应,所以并

不是在两个等时界面间的每一个等比例内插层面都对应一个等时沉积界面。因此,对于薄互层而言,利用地层切片进行沉积相研究时,地层切片的纵向密度并不是越密越好,对厚度小于地震纵向分辨率的薄层来说,地层切片显示的信息并不是该地质时间单元内发育的沉积相的反映。

地层切片技术的第二点假设认为在两个等时的沉积界面间进行垂向等厚分割是近似于沿等时沉积界面的,这种假设认为垂向上地层的沉积速率不随时间变化。事实上,沉积速率受到沉积物供应速率、可容空间变化等因素的影响,而沉积物供应速率、可容空间变化都在构造运动、古气候变化等的影响下随时间不断变化,任何地质过程都是包含时间变量的多元函数。对于某一个具体的平面位置上的点来说,它所处的构造部位和沉积环境是随着时间不断变化的,所以其沉积速率是随时间变化的,而且在很多情况下这种变化的影响之大是不容忽略的。

从以上分析可以看出,地震沉积学还处在起步和发展阶段,它的概念以及两种主要的技术手段还值得进一步探讨。下面对以曾洪流为代表的国外地震沉积学研究观点和本文的观点进行对照(表 1)。

表 1 国外学者与本文对地震沉积学认识的比较

Table 1 The comparison between the idea of external scholar and that in this paper about seismic sedimentology

概念	关键技术	
	90°相位转换	地层切片
以曾洪流等 ^[2] 为代表的国外学者观点	对地震资料进行 90°相位转换,使地震同相轴与测井岩性相对应	沿两个等时沉积界面间等比例内插出的一系列层面进行切片,这种切片具有等时性
本文观点	转换角度要依据层位标定的具体情况而定;相位转换技术并没有提高地震资料的分辨率	地层切片考虑了沉积速率在横向上不同部位的差异,比时间切片和沿层切片更加方便和准确;地层切片技术忽略了纵向上沉积速率随时间的变化,而且受到地震分辨率的制约,在具体使用时要结合研究区的地质情况分析才有可能取得更好的效果

4 结论与认识

通过上述分析可以得到以下几点结论与认识:

(1) 地震沉积学借助于地震手段进行等时地层单元的平面沉积相预测,这代表了未来的研究方向。但是由于受到地震资料分辨率和技术手段的限制,它并不能对沉积岩及沉积过程进行全面的,目前主要涉及利用地震手段结合井资料进行宏观的地层、岩石、沉积史和沉积体系(相)的研究。总体来

说,地震沉积学研究目前还处在起步和发展阶段,随着地震分辨率的提高和地球物理技术的进步,它很有可能真正成为继地震地层学、层序地层学之后研究沉积岩及其形成过程的一门新学科。

(2) 90°相位转换使地震相位具有了岩性地层意义,可以用于高频层序的地层解释。但是相位转换技术中转换的角度并不一定是 90°,转换角度要根据层位标定的具体情况而定。

(3) 地层切片是指在等时沉积单元内按厚度进

行等比例切片用以研究各个等时地层单元沉积体系(相)的平面展布的切片方法。按厚度等比例内插的切片方法比时间切片和沿层切片更加合理,但是它忽略了垂向上地层的沉积速率随时间的变化,因此,地层切片也并不是沿着严格意义上的等时沉积界面进行。

致谢:本文的完成得益于和曾洪流博士的学术交流和讨论,在此表示衷心的感谢!

参考文献(References):

- [1] Zeng Hongliu, Ambrose William A. Seismic sedimentology and regional depositional systems in Miocene Norte, Lake Maracaibo, Venezuela[J]. *The Leading Edge*, 2001, 20(11): 260-269.
- [2] Zeng Hongliu, Hentz Tucker F. High-frequency sequence stratigraphy from seismic sedimentology: Applied to Miocene, Vermilion Block 50, Tiger Shoal area, offshore Louisiana[J]. *AAPG Bulletin*, 2004, 88(2): 153-174.
- [3] Zeng Hongliu, Backus Milo M. Interpretive advantages of 90-degree phase wavelets: Part 1-Modeling[J]. *Geophysics*, 2005, 70(3): C7-C15.
- [4] Zeng Hongliu, Backus Milo M. Interpretive advantages of 90-degree phase wavelets: Part 2-Seismic applications[J]. *Geophysics*, 2005, 70(3): C17-C24.
- [5] Brown A R, Dahm C G, Graebner R J. A stratigraphic case history using three-dimensional seismic data in the Gulf of Thailand[J]. *Geophysical Prospecting*, 1981, 29(3): 327-349.
- [6] Zeng Hongliu, Backus Milo M, Barrow Kenneth T, et al. Stratal slicing, part 1: Realistic 3D seismic model[J]. *Geophysics*, 1998, 63(2): 502-513.
- [7] Wolfgang Schlager. The future of applied sedimentary geology[J]. *Journal of Sedimentary Research*, 2000, 70(1): 2-9.
- [8] Huang Feng, Li Zhirong, Liao Ling, et al. Sedimentary facies analysis using seismic data[J]. *Computing Techniques for Geophysical and Geochemical Exploration*, 2003, 25(3): 197-200. [黄锋,李志荣,廖玲,等.利用地震资料进行沉积相分析[J].物探化探计算技术,2003,25(3):197-200.]
- [9] Zeng Hongliu, Hentz Tucker F, Wood Leslie J. Stratal slicing of Miocene-Pliocene sediments in Vermilion Block 50-Tiger Shoal Area, offshore Louisiana[J]. *The Leading Edge*, 2001, 20(4): 408-418.
- [10] Zeng Hongliu, Backus Milo M, Barrow Kenneth T, et al. Facies Mapping from Three-Dimensional seismic data: Potential and guidelines from a Tertiary Sandstone-Shale Sequence Model, Powerhom Field, Calhoun County, Texas[J]. *AAPG Bulletin*, 1996, 80(1): 16-46.

The Discussion of Seismic Sedimentology

LIN Cheng-yan, ZHANG Xian-guo

(Earth Resource and Information College of China University of Petroleum, Dongying 257061, China)

Abstract: Seismic sedimentology is the use of seismic data in the study of sedimentary rocks and the processes by which they were formed. The key technology includes: ninety-degree phasing of seismic data and stratal slicing etc. The technology of ninety-degree phasing of seismic data gives lithological meaning to seismic phase and can be used in high frequency sequence interpretation; the technology of stratal slicing can be used to study the planar distribution of isochronal depositional systems by using a kind of slice named "stratal slice". To make the stratal slice, a series of surfaces are firstly inserted between two isochronal depositional surfaces and then slices are made along each of them. Ideas in this paper is that: (1) At present, seismic sedimentology is only used in the research of macroscopic formation, rock, depositional history and depositional system because of the limit of seismic resolution. It still can not reach the research of sedimentary rocks and the process in which they were formed. Therefore, seismic sedimentology at present is a subject to study macroscopic formation, rocks, depositional history and depositional system with seismic and well logging data using the geophysical technologies. It still needs a further development to be a new subject like seismic stratigraphy and sequence stratigraphy which are used to study the sedimentary rocks and sedimentary process. (2) In the use of the phasing technology, the phase-adjust angle should be limited to 90 degrees and it should be determined in the well log-seismic data calibration. (3) Strata slice is more perfect than time slice and horizontal slice, but at present, the alteration of deposition rate versus time is ignored in the strata slice technology. Therefore, strata slice is not strictly along the isochronal surfaces.

Key words: Seismic sedimentology; Phase convert; Strata slicing.