

· 综合研究 ·

地层切片技术应用的局限性

——以海拉尔盆地贝尔凹陷砂体识别为例

刘洪林*^① 杨微^① 王江^② 陈可洋^①

(①大庆石油学院地球科学学院,黑龙江大庆 163318;②大庆油田有限责任公司勘探开发研究院,黑龙江大庆,163712)

刘洪林,杨微,王江,陈可洋. 地层切片技术应用的局限性——以海拉尔盆地贝尔凹陷砂体识别为例. 石油地球物理勘探, 2009, 44(增刊 1): 125~129

摘要 本文对地层切片技术在复杂断陷盆地砂体预测中的应用进行了讨论,指出切片技术应用的局限性,主要表现为等时切片并非一定是地质沉积界面,属性切片与地震属性的敏感性和稳定性有关。本文在准确研究探区内沉积体系的基础上,精细刻画振幅型和结构异常型沉积体系,并结合三维精细解释结果及三维可视化等技术,在海拉尔盆地贝尔凹陷大磨拐河组河道砂体识别及南屯组扇体识别中,正确应用地层切片技术,分析并发现该区圈闭是以构造—岩性和岩性油气藏为主。根据预测结果部署并钻探 H12 井,获工业油流。

关键词 贝尔凹陷 地层切片 局限性 等时参考面 地震属性 砂体预测

1 引言

如今三维地震勘探技术的普遍应用,促进了地震资料处理与解释的理念和工作方式的变革。最为引人注意的是属性提取技术与切片显示技术的出现,使得构造解释、沉积相划分、储层预测以及岩性识别等方面取得了长足的进步^[1]。但是,由于研究问题的深入以及研究对象的复杂,属性与切片技术在实际的应用中逐渐显现出一些问题,引起了国内外专家和学者的关注与重视,其问题的关键可归结为两个方面:其一是地震属性的地质内涵与提取方法;其二是切片的等时问题与其地质意义。这两个问题是油田一线生产和科研工作者迫切希望解决的,也是地球物理专家目前努力攻关的难题。实际上,自从地震属性技术和切片技术问世以来这个问题就受到了应有的重视,许多专家在这方面进行了有意义的探讨,而最具影响的是 Zeng Hongliu 等^[2,3]的研究工作。他们以美国德州 Powderhorn Field 为例,由已知 110 多口井的地质、地球物理资料,根据沉积相与储层描述理论以及地球物理声学特性,模拟出构造面积近 120km² 的岩性空间变化,以及与沉积相分析结果相匹配的复杂三维多层介质

地质模型,应用切片技术沿地震同相轴提取“等时”数据与实际地层界面对比,提取地震波振幅响应及波阻抗信息与地层的岩性变化进行比较,对切片的等时问题及地震属性随岩性的变化等问题进行了系统的研究,认为不恰当的切片应用方法会产生时间穿时现象,根据这样的等时界面提取的地震属性解释岩性等将会导致错误的结论。张军华等^[4]构造了一个河道砂体沉积模型,利用时间切片、沿层切片、地层切片讨论切片的等时问题,与 Zeng Hongliu 等一样认为地层切片更具有地质意义,在此基础上讨论了时窗对属性切片的影响,指出时窗与切片属性有很大关系,若时窗选取不当会导致有关的储层属性信息丢失或错误地将其他地层信息包含进来。钱荣钧^[5]根据地震波形成的机理,讨论了地震数据的物理意义及与地质信息的关系,指出利用地层切片研究特殊岩体的形态是有效的,比水平切片、沿层切片更接近于地质的等时面,同时也指出了地层切片的适用范围与存在的缺点,并给出了有益的建议。

本文从应用实践的角度,针对复杂断陷型盆地的特点,讨论了应用切片技术时,在等时性与属性方面存在的局限性,给出了在海拉尔盆地贝尔凹陷应用的实例,以期与同行专家交流,促进切片技术应用向更高层次发展。

* 黑龙江省大庆市大庆石油学院地球科学学院, 163318

本文于 2008 年 11 月 10 日收到,修改稿于 2009 年 4 月 1 日收到,二次修改稿于 2009 年 9 月 7 日收到。

2 切片技术应用的局限性

在实际应用切片技术时,其局限性主要体现在时间与属性^[6,7]两个方面。当在复杂断陷型盆地中应用切片技术时,由于地层厚度横向变化快,地震反射特征横向变化大,因此这两方面的因素对于切片技术应用影响较大。

2.1 等时切片的局限性

切片技术应用最为关键的是切片的等时问题与其地质意义。简单地说就是两个等时参考同相轴之间的“等时切片”是否一定具有地质沉积界面意义?

实际上,由于地震反射同相轴反映的是波阻抗界面,所以简单地将等时切片等同或视为平行于地质沉积界面是不正确的。地下介质变化复杂,反映在地震波同相轴上却可能一样,例如,地层为一套水平薄互层时,地震波追踪的是强波阻抗差界面,在这样的地震剖面上得到的切片具有地质沉积界面意义。当地层倾斜、横向厚度发生变化,特别是沉积相变化时,尽管为同时代沉积,但由于沉降速度不同导致地下介质物性横向发生变化,而地震波追踪的是强波阻抗差界面,此时所有切片技术得到的“等时切片”可能都不具地质沉积界面意义,而实际地层可能远比我们认识的复杂。如在复杂断陷盆地(海拉尔)中应用切片技术时,由于断裂破碎,构造复杂,物源短,导致地层厚度横向变化快,地震反射特征横向变化大,使地层切片的等时性问题突出,应用难度增大。

因此,针对复杂断陷盆地特点讨论切片技术应用^[8~10],并采取以下措施避免切片的“穿时”现象,具有现实意义。

(1)选择不随频率变化的地震波同相轴为参考等时面。认为沉积环境较为稳定时地震波的频率成分变化不大,选择这样的反射波同相轴作为参考等时面更接近地质沉积界面。

(2)结合三维精细构造解释结果确定参考等时面。针对复杂断陷盆地特点,参考等时面时间间隔应尽量减小,以避免穿时现象发生。但这会导致在很小的时间间隔内很难确定具有地质沉积界面意义的参考等时面,与三维精细构造解释结合,可将穿时现象降低到最低。

(3)层序地层格架控制,结合三维可视化技术确定参考等时面,可以避免由沉积相等复杂因素对参考等时面影响。

当参考等时面之间存在断层时,对断距较小的小断层而言,将断层两侧的参考同相轴的内插层作为参考等时面。当参考等时面之间的断层较大,可将断面视为反射界面的一部分,合并作为参考等时面。

2.2 属性切片的局限性

切片技术应用的另一关键是地震属性的地质内涵与提取方法。地震属性能否传达一定的地质内涵,怎样辨析属性的内涵表达,以及如何提取地震属性对于正确应用切片技术十分重要。

由于在油田生产科研中,已经有许多成熟的提取属性软件,所以这里不讨论属性提取方法。

讨论属性切片的局限性,其关键在于地震属性选择,其局限性主要体现在属性的敏感性与稳定性。针对特定的地下介质而言,有些属性稳定但不敏感,也有另一些属性敏感但不稳定,这两方面的局限性都不利于地震属性的选择与其地质内涵的辨析。

事实上,除少数地震属性(如泊松比、波阻抗、速度等)具有明确的物理意义与地质内涵外,绝大多数属性没有明确的物理意义,且与地质内涵没有一一对应的必然联系,这就增加了属性的应用难度。而属性分析就是将地震数据中提取的属性解析为与储层物性、岩性等地质因素相关的信息,即地质内涵,并进行地质构造分析、沉积相分析、岩性识别以及油藏描述等方面的研究。显然,正确地应用属性切片必须对属性的内涵有深刻地理解,明确地震属性的局限性,有助于解决我们所面临的问题。

因此,在实际的应用中,属性选择^[12~14]是至关重要的。人们发现振幅、包络、均方根振幅、声阻抗、AVO等这类属性对波阻抗变化敏感;峰—谷宽度、峰值频率、带宽类属性对地层厚度敏感;相干体、边缘检测、振幅梯度、倾角—方位角、曲率等对结构、外形变化敏感。无疑,这些认识对选择属性具有重要的参考意义。但是毕竟地震属性与其相关的地下介质的性质(地质内涵)间不存在严格的一一对应关系,也没有较为成熟的理论指导属性选择。针对这一问题,笔者认为在讨论属性选择策略时应特别注意以下两点:

(1)应用地震属性时,必须结合研究工区地质特点与研究目的,选择全区稳定且能够敏感地传达地

质内涵的属性。选择这样的地震属性并不容易,应该考虑属性优化方法与专家经验相结合。

本次研究工作区域为海拉尔复杂断陷型盆地,研究目的为识别河道砂体及水下扇体,经研究发现,均方根振幅属性可有效区别河道砂体水下扇,因此选择均方根振幅属性。

(2)依据工区地质特点与研究目的,平衡取舍地震属性的敏感性与稳定性。属性的敏感性与稳定性是一对矛盾,也就是说若属性的敏感性提高,其稳定性就降低,反之亦然。诚然,我们希望属性具有较高的敏感性,问题是地震属性与其地质内涵之间不存在一一对应关系,这会增加地质内涵辨析难度,所以在属性的敏感性与稳定性选择上要根据实际情况决定。

3 应用实例

3.1 贝尔凹陷的地质特征

贝尔凹陷位于海拉尔盆地贝尔湖拗陷西部,勘探面积为500km²,已有探井23口,目的层为大磨拐河组、南屯组和布达特群^[15,16]。贝西次凹自B301区块发现油气后,2003年以来在斜坡带相继部署并

钻探了B29、B37井,见到油气显示,但试油产水,一直没有突破。

根据对贝尔凹陷的地质条件分析,人们普遍认为其中的贝西次凹为一富油次凹,剩余资源量大,具有勘探潜力。2005年提出下凹找油思路,先后开展层序地层学与沉积相等方面研究,认为该区大磨拐河组沉积时期以湖盆长轴方向远源河控三角洲沉积为主;南屯组沉积时期以湖盆短轴方向近源扇三角洲沉积和陡坡的水下扇沉积为主。明确了大磨拐河组储层为三角洲前缘的河道砂、前积砂体和前三三角洲的席状砂体;南屯组储层为扇三角洲的水下河道砂、扇前缘砂及陡坡的水下扇体。

由于该区构造与沉积变化复杂,利用常规技术很难识别这些砂体,必须结合多种地震信息,借助三维可视化技术进行三维地震数据综合解释,识别有利砂体储层。

3.2 大磨拐河组河道砂体识别实例

图1下为海拉尔盆地贝尔凹陷三维数据体2405线的剖面,其主频为30Hz,整体位于贝西次凹的中部,地层埋深为1300~1500m。通过多方验证,确定A、B反射界面为参考等时面,在制作地层切片时,在A、B之间非等间距内插时间层面,并沿层提

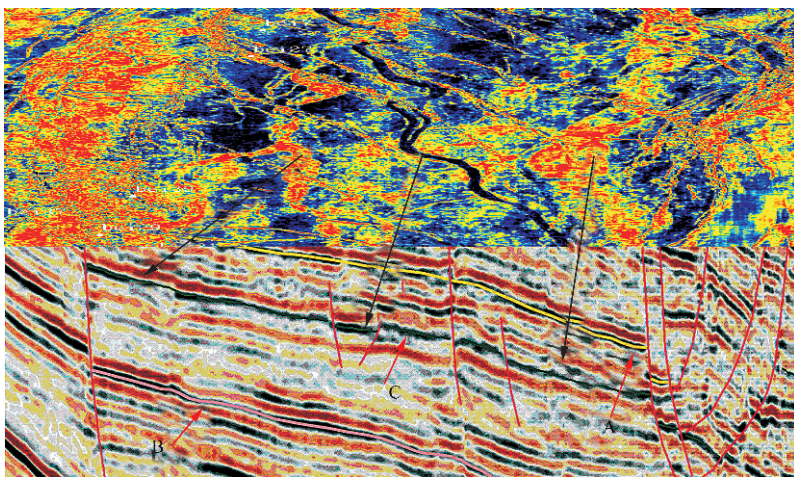


图1 大磨拐河组地层切片参考等时面

取地震属性生成地层切片。

分析发现,A与B两个参考等时面之间地震反射呈变振幅、低连续特征,探井揭示此层段河道发育,但地震剖面上缺乏河道下切特征,因此在地震剖面上很难整体识别河道,加之该区地层厚度横向变化较大,时间切片与沿层切片不能保证地层沉积的等时性,识别的河道也仅为河道局部,无法反映河道

整体规模。

图2为过地震剖面C层位的地层切片,图中可以明显看到三组河道,东、西两组为正振幅(红色),中间一组为负振幅(蓝色)(在图1中相应部位作了指示),蓝色河谷切割红色河谷并覆盖其上,这种隐蔽关系在地震剖面上很难见到,地层切片上测得河道最窄处宽度可作为该地震数据的横向分辨率。

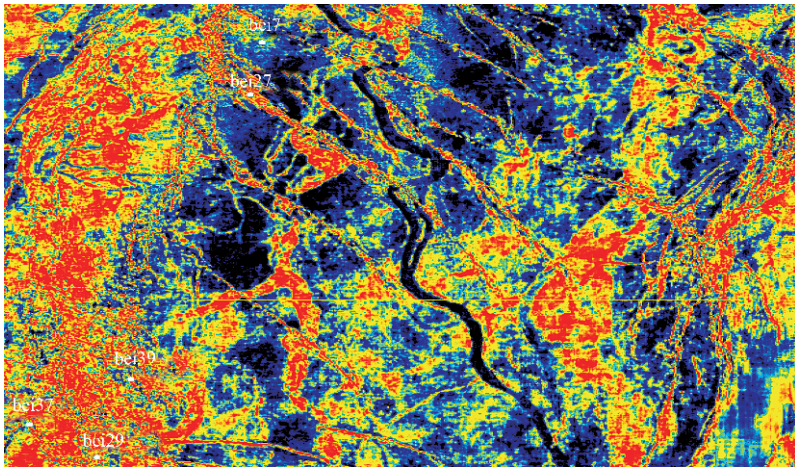


图2 大磨拐河组河道砂体地层切片

3.3 南屯组扇体识别实例

图3为海拉尔盆地贝尔凹陷三维数据体2417线剖面,整体位于贝西次凹东部霍多莫尔构造带的翼部,地层埋深2400~2700m。

在地震剖面上确认A、B反射界面为参考等时面,经分析发现,A、B两个参考等时面之间地震反射呈变振幅、低连续特点,且向深洼方向的地层存在

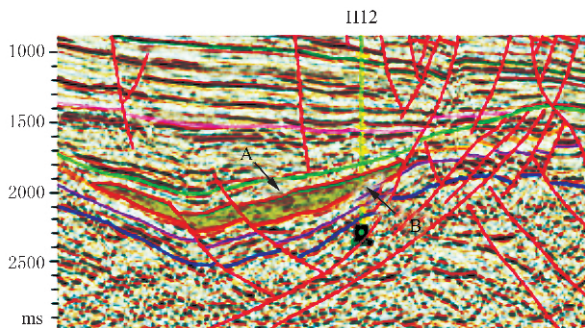


图3 贝尔凹陷三维数据体2417线剖面

较明显的上倾超覆。据沉积相研究和钻井资料揭示,该区南屯组沉积时期以湖盆短轴方向的近源扇三角洲沉积和陡坡水下扇沉积为主。从地震剖面上波组特征可发现,除上部、下部有几个连续性较好的强反射同相轴外,其充填部分均为杂乱反射,这一现象充分反映了盆地内充填物特征,表明此处为高能浊积地层,靠近扇根处地层较厚,扇端地层较薄。据此在制作地层切片时,可在不等时地层切片的时窗内进行三维可视化分析,精细刻画了扇体内有利砂层分布。

图4为三维可视化技术显示南屯组扇体分布。图中可见霍多莫尔断裂下降盘发育一个扇体(红色),且扇体边界清晰,其物源主要来自北东方向的霍多莫尔隆起。

3.4 主要成果

在贝西次凹东部陡坡带应用地层切片技术,结

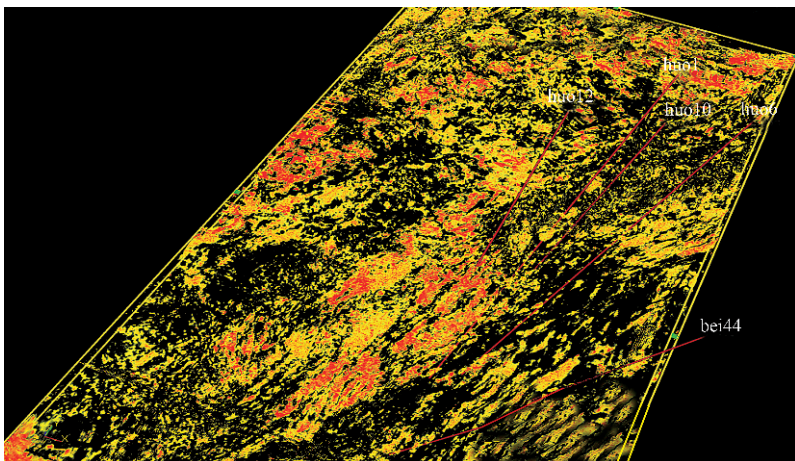


图4 南屯组扇体三维可视化显示

合三维可视化技术及三维资料精细解释结果发现、落实有利构造和岩性圈闭 12 个,层圈闭面积为 70.5km²,并认为围绕霍多莫尔构造带翼部发育一系列扇体。该区油气藏类型以构造—岩性和岩性油气藏为主,受沉积条件和储层条件控制。

据上述研究成果部署 H12 井(图 3),钻探过程中在 2738.0~2748.0m 井段遇三次气浸,后对 2740m 深度进行砂层测试,用 8mm 油嘴自喷求产,日产油 4.8m³、天然气 2668~4349m³,喜获工业油气流。

4 结束语

本文从实际应用的角度指出应用切片技术时应注意的一些问题,并针对复杂断陷型盆地的特点,讨论了切片技术应用的局限性。应用地层切片技术,结合精细三维地震构造解释及三维可视化技术,在海拉尔盆地贝西次凹大磨拐河组进行河道砂体识别及南屯组水下扇砂体识别获得成功,根据研究成果部署的 H12 井获得工业油流,实现了海拉尔盆地油气勘探的突破,同时也说明正确地层切片技术的重要作用。

值得注意的是当前在国内油田广泛应用属性切片时也逐渐显现出一些问题,如何更好地正确使用属性切片解释各种沉积现象,仍需在理论上加以系统研究,才能更好地为油田生产科研服务。

参考文献

[1] Chopra S & Marfurt K J. Introduction to this special section: Seismic attributes. *The Leading Edge*, 2008, 27(3):296~297

- [2] Zeng Hongliu, Milo M Backus et al. Stratal slicing, Part I: Realistic 3-D seismic model. *Geophysics*, 1998, 63(2):502~513
- [3] Zeng Hongliu, Stephen C Henry et al. Stratal slicing, Part II: Realistic 3-D seismic model. *Geophysics*, 1998, 63(2):514~522
- [4] 张军华,周振晓等.地震切片解释中的几个理论问题.石油地球物理勘探,2007,42(3):348~361
- [5] 钱荣钧.对地震切片解释中一些问题的分析.石油地球物理勘探,2007,42(4):482~487
- [6] Chopra S & Marfurt K J. Emerging and future trends in seismic attributes. *The Leading Edge*, 2008, 27(3):298~318
- [7] Hart B. Stratigraphically significant attributes. *The Leading Edge*, 2008, 27(3):320~324
- [8] Zhang R. Spectral decomposition of seismic with CWPT. *The Leading Edge*, 2008, 27(3):326~329
- [9] Blumentritt C H. A grand tour of multispectral components: A tutorial. *The Leading Edge*, 2008, 27(3):334~341
- [10] 巩正荣,张宝玺,马启贵.三维地震资料解释.鞍山市新闻出版社,1993,103~149
- [11] 陈遵德编著.储层地震属性优化方法.北京:石油工业出版社,1997,13~14
- [12] Mukerji T and Mavko G. The flaw of averages and the pitfalls of ignoring variability in attribute interpretations. *The Leading Edge*, 2008, 27(3):382~384
- [13] Mahapatra S N and Imhof M G. Seismic attribute analysis and geobody visualization changes our perception about a century old highly heterogeneous field. *The Leading Edge*, 2008, 27(3):368~375
- [14] Rietsch E. A designer attribute for net sand thickness estimation. *The Leading Edge*, 2008, 27(3):386~393
- [15] 林承焰,张宪.地震沉积学探讨.地球科学进展,2006,21(11),1140~1144
- [16] 李文学,李建民等.海拉尔复杂断陷盆地油气勘探与开发.北京:石油工业出版社,2005

(本文编辑:任敦占)