

Correlation Technique and Application of Fluvial Strata Controlled by Complex Structure

Wenjun Zhang, Libing Wang, Lin Li, Zhaohang Ran, Jianbin Han

Bohai Oilfield Research Institute, Tianjin Branch of CNOOC Ltd., Tianjin
Email: 329452627@qq.com

Received: Jan. 24th, 2018; accepted: Apr. 24th, 2018; published: Oct. 15th, 2018

Abstract

In the process of stratigraphic correlation study of complex structural areas in P Oilfield by using traditional fluvial facies stratigraphic correlation technologies such as “equal elevation correlation method”, there existed the problems of difficulty to identify fault points and abnormal variation of formation thickness. Therefore, on the basis of traditional fluvial stratigraphic correlation, through the analysis of the development characteristics of complex structures and combined with the analysis of structural evolution and genesis, the well logging, seismic and dynamic data were comprehensively used to sum up 3 sets of stratigraphic correlation technologies of complex structural zones in the studied area: such as “inclined well correlation technology in high dip formation”, stratigraphic correlation technique of strike-slip fault zone in gas-cloud area and stratigraphic correlation techniques based on the study of regional synsedimentary processes. These three kinds of stratigraphic correlation techniques make up for the shortcomings of traditional techniques in the correlation of complex structural areas, perfect the closed reservoir scheme of the whole area, and obtain a new understanding in the distribution of faults and the characteristics of regional synsedimentary processes. It has been well applied in controlling the low efficiency oilfields and tapping the potential of reserves in P Oilfield.

Keywords

Complex Structure, Fluvial Facies, Strike-slip Fault, High Dip Formation, Synsedimentary, Stratigraphic Correlation

受复杂构造控制的河流相地层对比技术及应用

张文俊, 汪利兵, 李 林, 冉兆航, 韩建斌

中海石油(中国)有限公司天津分公司渤海石油研究院, 天津

作者简介: 张文俊(1988-), 男, 工程师, 现从事开发地质研究。

Email: 329452627@qq.com

收稿日期: 2018年1月24日; 录用日期: 2018年4月24日; 发布日期: 2018年10月15日

摘 要

在运用传统河流相地层对比技术如“等高程对比法”对P油田复杂构造区进行地层对比研究过程中, 存在断点难以识别及部分地层厚度异常变化的问题。为此, 在传统河流相地层对比方法的基础上, 通过分析研究区复杂构造发育特点, 结合构造演化成因分析, 综合运用测井、地震、动态资料, 总结了3套针对研究区复杂构造带的地层对比技术: “高倾角地层斜井对比技术”、“气云区走滑断裂带地层对比技术”以及“基于区域同沉积作用研究的地层对比技术”。3种地层对比技术弥补了传统技术在复杂构造区对比中的不足, 完善了全区闭合统层方案, 在断层的展布及区域同沉积作用特征方面取得了新的认识, 继而在P油田低效井治理及储量挖潜的工作中得到了较好的应用。

关键词

复杂构造, 河流相, 高倾角地层, 走滑断层, 同沉积, 地层对比

Copyright © 2018 by authors, Yangtze University and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

目前, 渤海部分油田已逐步进入中高含水开采阶段, 精细地层对比技术是开展储层精细表征及后期油田治理、储量挖潜的最基本、最重要的地质研究关键技术。油田精细地层对比研究的方法发展到现在, 前人累积了大量的研究成果, 已经逐步形成了许多行之有效的对比方法。传统方法主要包括: “旋回对比、分级控制、相控约束、骨架闭合”等[1] [2] [3]。而20世纪80年代以来, 国内外也开始将高分辨率层序地层学分析方法广泛应用到地层对比当中, 形成了较为完善的一套地层对比模式和方法[4] [5]。目前, 随着地震精细解释技术的发展以及油田生产数据的不断完善, “井震结合, 动静结合”的地层对比方法也逐步成熟[6] [7]。而对于构造较为复杂的油田, 特别是对比难度更大的河流相油田, 在运用上述传统方法进行对比的过程中还存在较多的困难与矛盾, 笔者在传统地层对比方法的基础上, 以P油田为例, 从模式分析的角度入手, 阐述几种具有复杂构造背景的地层对比方法。

2. 油田概况及存在问题

P油田构造位于郯庐断裂带东支、渤南低凸起带中段的东北端, 是一个在基底隆起背景上发育起来

的,受两组近南北向走滑断层控制的断裂背斜。油田主体夹持在两组走滑断裂带之间,一系列北东向及近东西向正断层将研究区构造形态进一步复杂化。P 油田主力含油层系发育于新近系明化镇组下段及馆陶组,新近纪开始,该区已进入准平原化时期,形成了一套以河流相为主的沉积体系。明化镇组下段属于曲流河沉积,馆陶组为辫状河沉积,储层岩性为河流相沉积的陆源碎屑岩。

河流相油田在渤海及我国都占有相当重要的地位。河流相储层对比具有标志层确定困难以及横向相变快等特点,给对比造成了较大的难度。针对上述特点,我国学者总结了“切片对比、等高程对比”等针对河流相地层的对比方法,为攻克河流相地层精细对比的难关奠定了坚实的理论基础[1] [4] [8]。P 油田是一个构造极其复杂的大型河流相油田,在运用“切片对比、等高程对比”等河流相传统地层对比方法时,在复杂构造区域,如“高地层倾角区、位于气云区的走滑断裂带、垒塹分界断层区”(图 1)等存在着两个主要的问题:① P 油田东支走滑断层带大多都位于气云区中,由于在井震标定及断点位置确定等方面缺乏地震资料的支持,地层对比难度较大;② 在对高地层倾角区及垒塹分界断层附近的复杂构造区域井进行对比时,地层厚度异常变化,与河流相地层发育特点不符,对比难度较大。

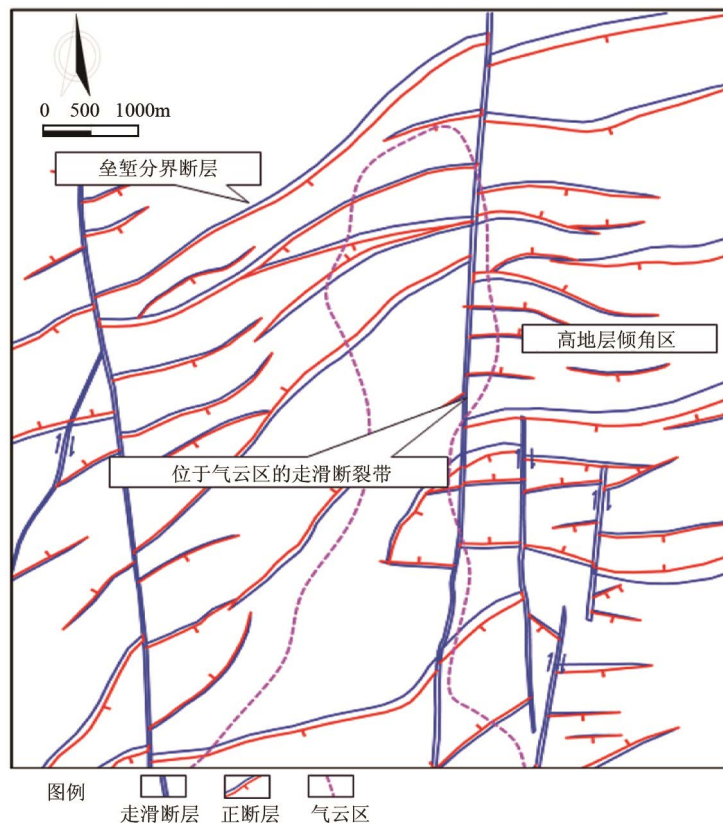


Figure 1. The distribution of complex structural areas in P Oilfield

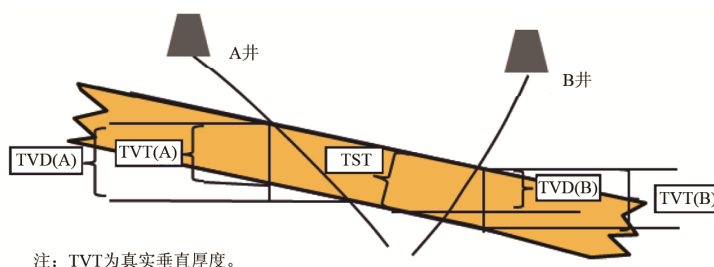
图 1. P 油田复杂构造区分布图

3. 主要研究内容及关键技术

面对上述问题,旨在形成 P 油田复杂构造带精细地层对比模式,加深对比研究的精度和深度,为油田下部的低产、低效井治理,调整方案的编制与实施打下基础。针对油田各种复杂构造的影响,结合地质、地震、测井、油藏各专业技术,从构造、沉积、钻井等方面总结了 3 种地层对比模式,形成复杂构造河流相地层对比特色技术。

3.1. 高倾角地层斜井对比技术

在海上油田的生产过程中, 开发井大都从固定的海上平台延伸到各个目的井区, 由于该种工程原因常常会采用井斜较大的定向井对一些井区进行开发, 而在大井斜与较大的地层倾角的联合影响下, 会形成一种视厚度上的误差, 该误差常常影响着海上油田地层对比的精度[9] [10]。如图 2 所示, A 和 B 两口井从不同平台、不同方向同时钻入一套厚度均匀的地层, 在具有同样的地层真实厚度(TST)的情况下, 两口井通过井斜直接所测得的井上视垂直厚度(TVD)是存在差异的, 由此通过 TVD 深度剖面进行地层对比的时候就会形成一种厚度上的误差。该误差与井斜、地层倾角以及井轨迹与地层倾向的空间关系都有联系, 一般与前两者呈正相关。



注: TVT为真实垂直厚度。
Figure 2. The mode of inclined wells drilled in high dip formation
图 2. 斜井钻入高倾角地层模式图

通过对这几种厚度与井斜角、方位角以及地层倾角等参数的关系分析后可以得到参数组合公式。通过计算, 得到油田不同区域井的 TST 与 TVD 的比值是不同的: 位于平台边缘井斜较大且具有高地层倾角的 16 区井的比值明显小于 1, 最低甚至小于 0.5, 该类区域的误差较大; 而位于地层较平缓地区且离平台较近井斜较小的 4 区的井, 其比值则几乎等于 1, 该类区域的误差较小。此外, 通过该计算结果绘制 2 种厚度的区域展布图, 还可以更加直观地对比该误差平面上的差异性, 对误差较大的区域进行优先矫正(图 3)。针对对比上的误差, 主要可以通过 Petrel 软件编制相关算法得到 TST 与测井曲线数据的对应关系, 从而通过 TST 的连井对比剖面进行对比, 矫正前的厚度异常现象在矫正后得到了较好的修正(图 4)。

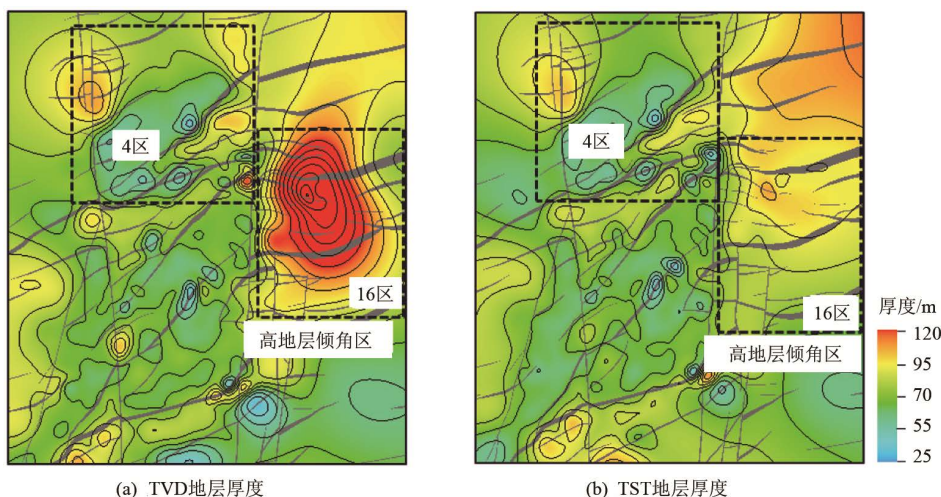


Figure 3. The plane distribution of 2 formation thickness
图 3. 两种地层厚度平面展布图

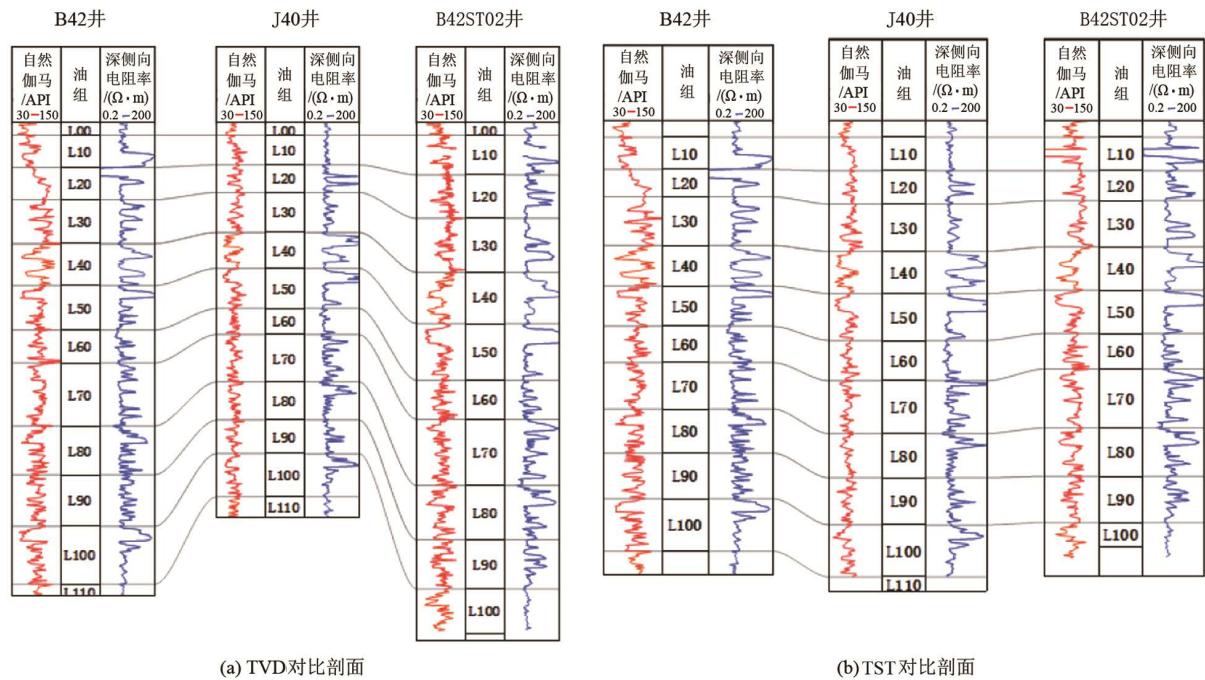


Figure 4. The correlation diagram of formation profile before and after the correction of well deviation error in high dip formation

图 4. 高倾角地层井斜误差矫正前后地层剖面对比图

3.2. 气云区走滑断裂带地层对比技术

由于 P 油田东支走滑断裂带主要处于气云区中，在缺乏精细地震资料支持的情况下，区域构造模式分析的指导作用尤为重要。P 构造区在新近纪-第四纪的新构造运动以来主要受右旋走滑应力控制，在油田的核心区两侧形成了 2 条近南北向的走滑断裂带，而主体区则发育一系列北东-南西向或近东西向的正断层，形成了一种“垒-堑”相间的构造形态。部分学者分析认为，该系列正断层是随大型走滑断层形成的伴生断层，而随着油田地震重处理资料的逐步完善，结合构造沉积演化规律，目前的研究认识主要认为：在区域弱走滑挤压背景下，古近系泥岩基底受早期基底隆起和区域热沉降差异作用，发生塑形变形，产生张性应力，形成了该类正断层，而断层在新构造运动右旋走滑应力的影响下被切割改造。当斜井钻遇切割的“错位区”时，在井上走过滑断层的断点处就会形成一种因原被切割的正断层所形成的“假断层”，明确该模式对研究区位于气云区的东支走滑断裂带井的地层对比具有重要的指导意义(图 5)。

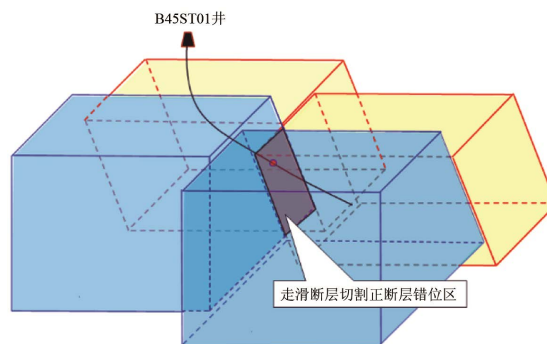


Figure 5. The pattern of cutting normal fault region of strike-slip fault

图 5. 走滑断层切割正断层区域模式图

以研究区的 B40ST01 井及 B45ST01 井对比如例(图 6)，该井组位于气云区内的东支走滑断层附近。早期的地层对比认为，B45ST01 井上不存在断点，但其 L80 油组与邻井对比性较差，由于该区位于气云区，井上是否存在断点难以通过地震资料确定。通过该井组周边的断层空间展布特征结合上述对比模式分析认为，B45ST01 井对比性差的原因是其钻遇了走滑断层切割正断层所形成的错位区，从而形成了地层重复的“假断距”所致，重复地层主要为 L60 与 L70 油组，而并非之前所认为的下覆 L80 油组。通过该方法确定了之前对比中未能识别的井上钻遇走滑断层断点，同时也可以确定由于气云区认识不清的走滑断层位置，明确了该井断点与断层的空间组合模式。

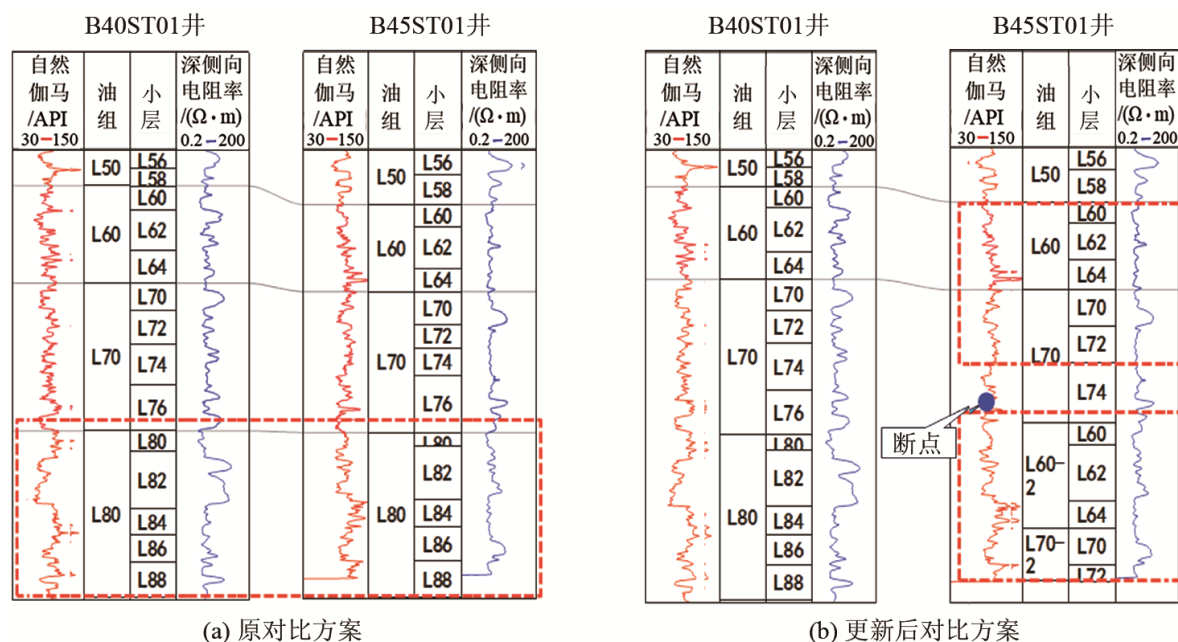


Figure 6. The application of comparison pattern of cutting normal fault of strike-slip fault
图 6. 走滑断层切割正断层对比模式

对于注水开发油田，随钻测压数据、动态监测数据、示踪剂资料以及水淹资料等油藏动态数据是检验砂体连通性及地层对比正确性的有效手段。上述引用的实例中，B40ST01 井为注水井，B45ST01 井为采油井，两口井井距为 270 m，B45ST01 井投产在 B40ST01 井投注以后，B45ST01 井初期含水率基本为 0，投产近一年后也不超过 10%，日产液量与日产油量也逐步下降呈衰竭生产的现象，充分说明了 B45ST01 井注水受效性较差，验证了两口井之间存在断层遮挡的现象，也佐证了上述对比方案的正确性。

3.3. 基于区域同沉积作用研究的地质对比技术

河流相地层对比最为经典的对比方法“等高程”法认为，河道沉积其顶面距标准层(或某一等时面)应有基本相等的“高程”，不同时期沉积的河道砂，其顶面“高程”应不相同[8]。然而，在对研究区应用“等高程”法进行对比时，在部分区域总是发现一些地层厚度异常变化的区域。如图 7 所示，P 油田 4 区南处于一条垒堑分界断层的下盘，位于堑块区域，从一条沿区块走向的近东西向对比剖面上来看，该区块地层厚度具有西薄东厚的特点，尤其以 L50 油组最为显著，在河流相地层中一般不会存在地层厚度变化如此之大的现象。在最初的研究中推测，发生该现象的原因是在区域的西侧存在一条小断层，导致地层缺失，造成了地层厚度的差异，但由于缺乏其他资料(此处地震资料难以判识该断层)及理论的支持，存在较大疑点。

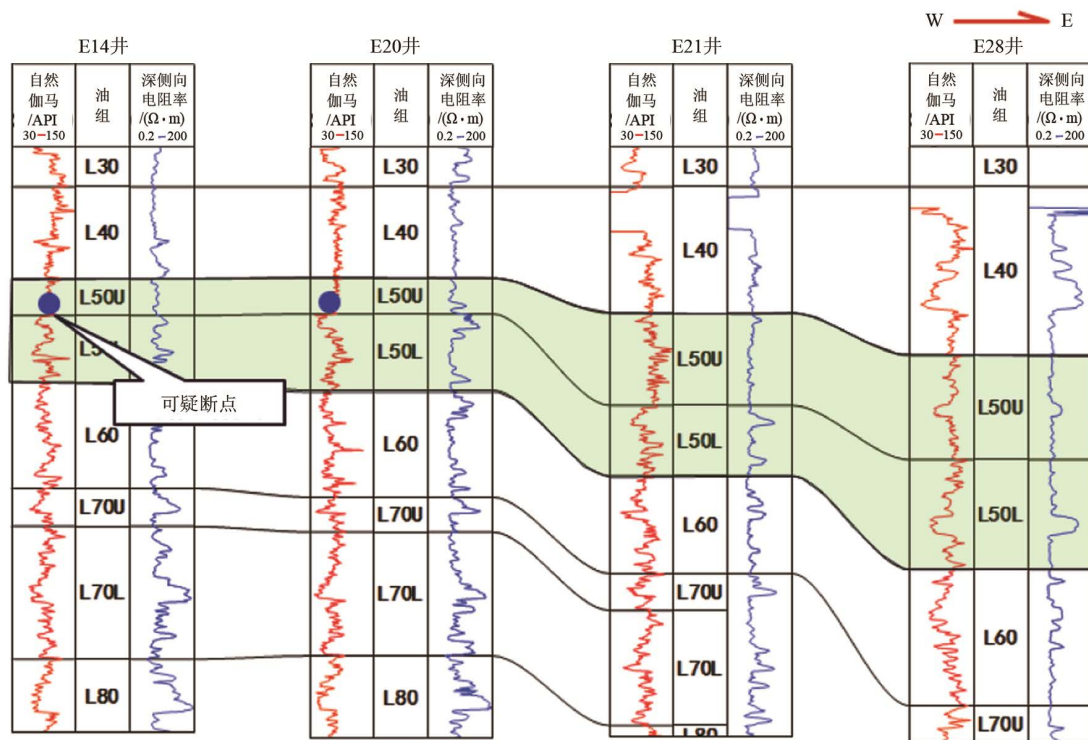


Figure 7. Regional thickness difference of graben block in study area
图 7. 研究区堑块区域地层厚度差异

针对产生该现象区域的构造演化背景入手，P 油田堑块相间的构造是在古近系泥岩基底之上受差异热沉降作用逐步形成，形成时间主要为古近纪之后的新近纪-第四纪。结合整体的构造沉降史，渤海盆地在新近纪由古近纪的断拗期转变为拗陷期，馆陶组几乎覆盖了整个盆地，为平原相沉积，表明盆地发生了整体沉降，同沉积断层不发育，主要是热沉降[11] [12]。渤海盆地古近系由于断陷作用发育了大量同沉积性质的大断层，从沙河街组三段沉积期开始即从中始新世开始，渤海发生了巨大变化，盆地进一步拉伸伸展，沉积区域扩大，同沉积断层活动强烈，沿控盆断裂定向分布着许多冲积扇、水下扇和扇三角洲[12] [13]。如图 8 所示，根据以上构造演化背景分析，结合区内地震资料，认为渤海湾盆地虽然在新近纪同沉积作用不太发育，但由于主体区的古近系巨厚泥岩基底在新近纪-第四纪时期的弱走滑挤压背景下发生了差异热沉降作用，使得主要的新近系含油地层在沉积的时候形成了独特的堑块构造。这些堑块构造分界的正断层具有同沉积性质，根据断层发育的背景分析认为其具有 2 种特点：一是断层规模较小，无法与古近系、新近系发育的大型区域控沉积断层相比，同沉积作用也不明显；二是该类断层发育具有周期性，由于断层的发育成因以及规模导致该类断层发育过程并不连续。

同沉积作用作为控制沉积的最为重要构造运动之一，对沉积体的发育意义重大，最显著的表现是断层引起的地层沉积厚度差异[10] [14] [15]。研究区发育的堑块分界断层对附近的地层厚度具有明显的控制作用，通过对周边井的对比及地震资料研究认为，主要有 2 种地层发育模式：① 堑块较垒块地层厚度厚，也就是同沉积断层的下盘较上盘要厚；② 在堑块区，也就是同沉积断层的下盘，地层厚度随断距呈正相关关系，地层厚度在走向上有所差异。通过以上模式分析可以确定，上述 4 区南地层厚度的变化是由于同沉积作用所致，排除了可疑断层的存在(图 7)。因此，在研究区这种断裂发育且存在同沉积作用的区域，井上地层对比时需将同沉积作用造成的厚度差异及断层造成的地层缺失或重复区分开来，以提高地层对比的精确性。

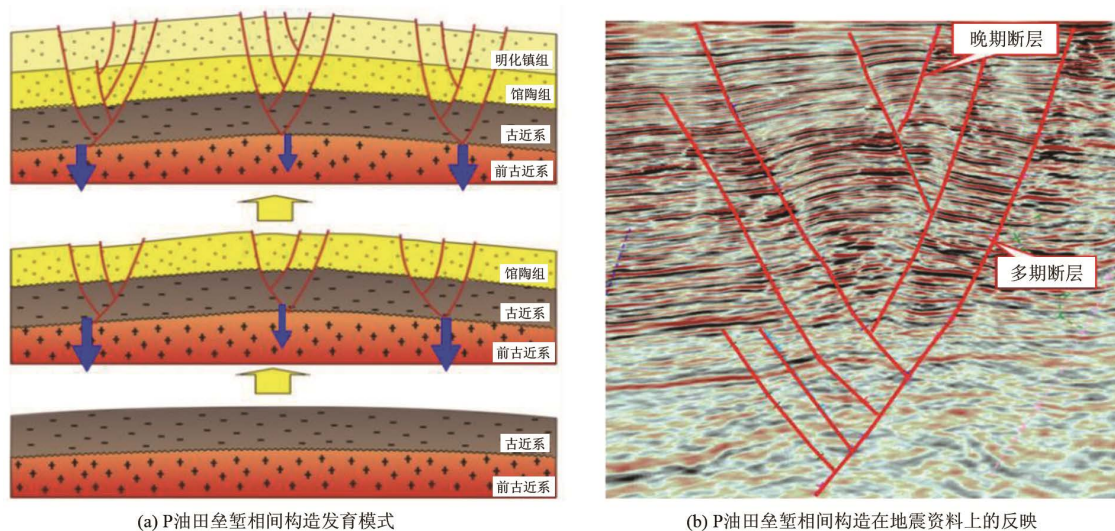


Figure 8. The tectonic pattern diagram between barrier graben phases and its reflection on seismic data in the study area
图 8. 研究区垒堑相间的构造模式图及其在地震资料上的反映

4. 成果应用

精细地层对比技术在油田低产、低效井治理以及难动用储量挖潜的工作中是最基础、最重要的关键技术。总结了 3 种受复杂构造控制的河流相地层对比方法，在 P 油田低效井治理及综合调整方案的工作中得到了较好的应用。

1) 应用高倾角斜井对比模式，在油田 16 区钻前井位优化中完成了分层调整及储层预测厚度再认识工作。P 油田 16 区井大多井斜较大，加之自身构造较陡，导致常规连井对比剖面误差较大，无法完成正常的对比工作。通过文中方法，矫正了 20 余口井的对比剖面，并且对这些井的储层真实厚度进行了矫正，有效提高了调整井储层厚度预测精度。

2) 应用气云区走滑断裂带地层对比模式，完成了 P 油田东支走滑断裂带部分低产、低效井的分层再认识工作，明确部分井低产的原因是对比分层及构造认识不清，提出了侧钻等治理措施，得到了较好的开发效果；应用该模式重新认识了东支走滑断层位置，为研究区开展钻前井位优化提供了坚实基础。

3) 应用基于区域同沉积作用研究的地层对比模式，完成了主体区同沉积断层附近井的分层再认识工作，结合地震资料修改了部分井上断点以及断层展布的认识，为油田的综合调整方案排除了区域上的开发风险。

5. 结语

总结了 3 套针对受复杂构造影响的河流相地层对比方法，完善了传统河流相地层对比方法在复杂构造区域应用中的不足，在开发生产中的低效井治理、调整方案的编制及实施等研究中起到了较为关键的作用，证实了新方法的实用性。

基金项目

国家科技重大专项(2016ZX05058001)。

参考文献

[1] 渠芳, 陈清华, 连承波. 河流相储层细分对比方法探讨[J]. 西安石油大学学报(自然科学版), 2008, 23(1): 17-21.

- [2] 裴怿楠, 薛叔浩. 油气储层评价技术[M]. 北京: 石油工业出版社, 1994.
- [3] 赵翰卿. 大庆油田河流-三角洲沉积的油层对比方法[J]. 大庆石油地质与开发, 1988, 7(4): 25-31.
- [4] 郑荣才, 柯光明, 文华国, 等. 高分辨率层序分析在河流相砂体等时对比中的应用[J]. 成都理工大学学报(自然科学版), 2004, 31(6): 641-647.
- [5] 袁新涛, 沈平平. 高分辨率层序框架内小层综合对比方法[J]. 石油学报, 2007, 28(6): 87-91.
- [6] 孔祥宇, 于继崇, 李树峰. 复杂断块老油田精细地层对比综合方法的提出与应用[J]. 岩性油气藏, 2009, 21(1): 120-124.
- [7] 杨云, 余逸凡, 毛平, 等. 复杂地层精细地层对比方法——以尕斯 N1-N21 油藏为例[J]. 石油地质与工程, 2010, 24(4): 22-25.
- [8] 裴亦楠, 张志松, 唐美芳, 等. 河流砂体储层的小层对比问题[J]. 石油勘探与开发, 1987, 14(2): 45-52.
- [9] 马成玉. 感应测井的地层倾斜和井眼偏斜影响的校正图版[J]. 国外测井技术, 1988, 3(6): 35-45.
- [10] 宋力, 宋慧莹. 复杂断块油藏精细地质研究中几项关键技术的应用——以王家岗油田王 43 断块区为例[J]. 石油地质与工程, 2015, 29(3): 90-94.
- [11] 汤良杰, 万桂梅, 周心怀, 等. 渤海盆地新生代构造演化特征[J]. 高校地质学报, 2008, 14(2): 191-198.
- [12] 侯贵廷, 钱祥麟, 蔡东. 渤海中、新生代盆地构造活动与沉积作用的时空关系[J]. 石油与天然气地质, 2000, 21(3): 201-206.
- [13] 中国石油地质志编委会. 中国石油地质志(沿海大陆架及毗邻海域油气区) [M]. 北京: 石油工业出版社, 1987.
- [14] 刘东周, 刘海波, 王长春, 等. 同生断层分段生长特征与油气的关系[J]. 西南石油学院学报, 2002, 24(2): 16-20.
- [15] 陈刚, 戴俊生, 叶兴树, 等. 生长指数与断层落差的对比研究[J]. 西南石油大学学报(自然科学版), 2007, 29(3): 20-23.

[编辑] 邓磊

知网检索的两种方式:

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>
下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2471-7185, 即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>
左侧“国际文献总库”进入, 输入文章标题, 即可查询

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: jogt@hanspub.org