

文章编号:0253-9985(2010)05-0552-09

渤海湾盆地东营凹陷博东潜山周缘地区 沙河街组等时地层对比

邱隆伟¹,符晶²,杨勇强¹,王新征³,蔡宏兴³

(1. 中国石油大学 地球资源与信息学院, 山东 青岛 266555;

2. 中国石油化工股份有限公司 胜利油田分公司 河口采油厂, 山东 东营 257000;

3. 中国石油化工股份有限公司 胜利油田分公司 现河采油厂, 山东 东营 257068)

摘要:渤海湾盆地东营凹陷博东潜山周缘地区古近系沙河街组厚度变化大,岩-电标志难于寻找,地层对比划分难度大。以区域地质背景为出发点,在标准地震反射界面的环山引入、古生物地层分析、地震不整合分析等基础上,综合应用岩性、电性等识别方法,进行了界面的准确识别以及等时地层格架的建立,探索了适合环山地区“标准界面引入-多因素约束”的等时地层分析和对比方法。研究区沙河街组发育完整,发育了大致和沙河街组四段下亚段、沙河街组四段上亚段、沙河街组三段下亚段、沙河街组三段中亚段、沙河街组三段上亚段-沙河街组二段下亚段、沙河街组二段上亚段-沙河街组一段等地层单元相对应的6个三级层序。博东潜山的发育对沙河街组四段-沙河街组三段下亚段沉积时期的地层发育特征影响最大,而对沙河街组二段上部及其上覆地层的影响则不明显。

关键词:沙河街组;层序地层;博东潜山;东营凹陷;渤海湾盆地

中图分类号:TE121.3

文献标识码:A

An isochronous stratigraphic correlation of the Shahejie Formation in the periphery of the Bodong buried hill in the Dongying Sag, the Bohai Bay Basin

Qiu Longwei¹, Fu Jing², Yang Yongqiang¹, Wang Xinzheng³ and Cai Hongxing³

(1. College of Geo-resources and Information, China University of Petroleum, Qingdao, Shandong 266555, China;

2. Hekou Oil Production Plant of SINOPEC Shengli Oil Company, Dongying, Shandong 257000, China;

3. Xianhe Oil Production Plant of SINOPEC Shengli Oil Company, Dongying, Shandong 257068, China)

Abstract: The Paleogene Shahejie Formation in the periphery of the Bodong buried hill of the Dongying Sag, the Bohai Bay Basin, features in large variation of thickness and subtle lithologic and electric markers, challenging stratigraphic correlation and division. Based on an analysis of regional geological background, an application of standard seismic reflectors and analyses of paleontology and seismic unconformity, the paper accurately identifies layer boundaries and establishes an isochronostratigraphic framework by using lithologic and electric property identification methods. It presents an isochronostratigraphic correlation method known as “standard seismic reflector introduction-multiple factor constraint”. The Shahejie Formation is well developed in the study area and six third-order sequences are recognized. Development of the Bodong buried hill had the greatest influence over the deposition of the fourth member-the lower part of the third member of the Formation, but had only a minor effect upon the sedimentation of the upper part of the second member and its overlaying layers.

Keywords: Shahejie Formation, stratigraphic sequence, Bodong buried hill, Dongying Sag, Bohai Bay Basin

博东潜山位于石村断层以北,通20井以西, 潜山高点位于通古2井区附近,构造上位于渤海

收稿日期:2010-06-02。

第一作者简介:邱隆伟(1967—),男,教授、博士生导师,储层沉积学及层序地层学。

基金项目:国家科技重大专项(2009ZX05009-002);山东省自然科学基金项目(Y2006E13)。

湾盆地济阳拗陷东营凹陷南斜坡、牛庄洼陷南缘、博兴洼陷东缘的广饶凸起向西延伸所形成的断裂-鼻状构造带上(图1)。博东潜山是在中生代构造背景上,受石村断层影响而形成的新生代凸起,是一个在大型边缘斜坡构造带上形成的,靠近隆、凸起,三面临洼、向西及向北洼陷区倾没的鼻状单斜构造。

博东潜山及周缘地区于1961年开始地震勘探,1965年进行钻探,目前自上而下已经发现了馆陶组、沙河街组、孔店组及奥陶系碳酸盐岩等多套含油层系,探明含油面积为82.93 km²,探明石油地质储量为13 966.9 × 10⁴ t,并已建成了草桥油田。草桥油田分为东区、南区和西区(图1),主要开发层位为馆陶组。而在馆陶组油藏的开发过程中,部分井不断钻遇下部沙河街组油层,表明该层位具有较大的勘探潜力。

然而由于地处盆地边缘斜坡,受频繁的地壳运动和长期继承性古隆起的控制,研究区古近系沙河街组厚度变化大、岩-电标志难于把握;受石村断层南、北两侧地层差异活动性的影响,石村断层两侧地层差异更大,地层发育特征长期以来认识不清,造成地层对比划分难度大;目前研究发现

研究区发育了沙河街组,但是到底发育了哪几个组段?一直没有得到解决,而且区块之间(西区、东区、南区及博19块之间)地层划分标准不统一,这种状况严重制约了研究区沙河街组的进一步勘探。

本次研究主要针对困扰研究区进一步勘探的地层对比问题,探索适合于潜山周缘环山等时地层对比的方法,从而正确认识该地区地层发育特征及其演化规律,为沙河街组油气勘探提供有益的指导。研究重点层位为沙河街组四段上亚段—沙河街组一段。

1 东营凹陷南斜坡地区沙河街组发育特征

东营凹陷南斜坡为洼陷向凸起的过渡地区,南北向延伸的纯化-草桥断裂鼻状构造带将南斜坡分为西段和东段,总体上呈向东南抬起、向西北倾没的趋势,具有缓坡地垒形态^[1]。东营凹陷南斜坡沙河街组据岩性和沉积环境主要划分为沙河街组四段(Es⁴)、沙河街组三段(Es³)、沙河街组二段(Es²)和沙河街组一段(Es¹)(图2)。

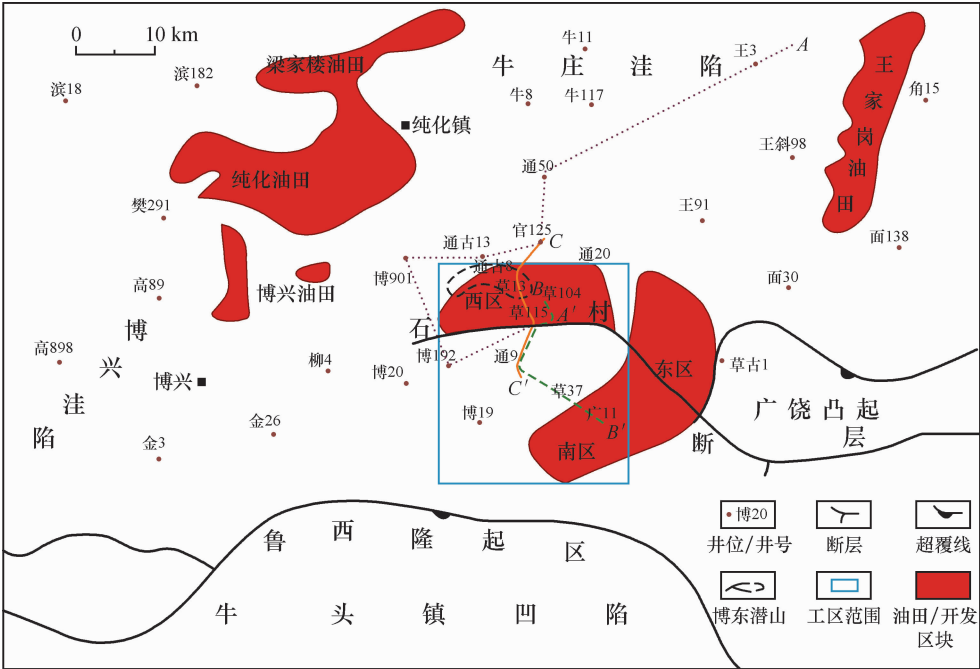


图1 东营凹陷博东潜山及研究区位置

Fig. 1 Location map of the Bodong buried hill and its adjacent areas

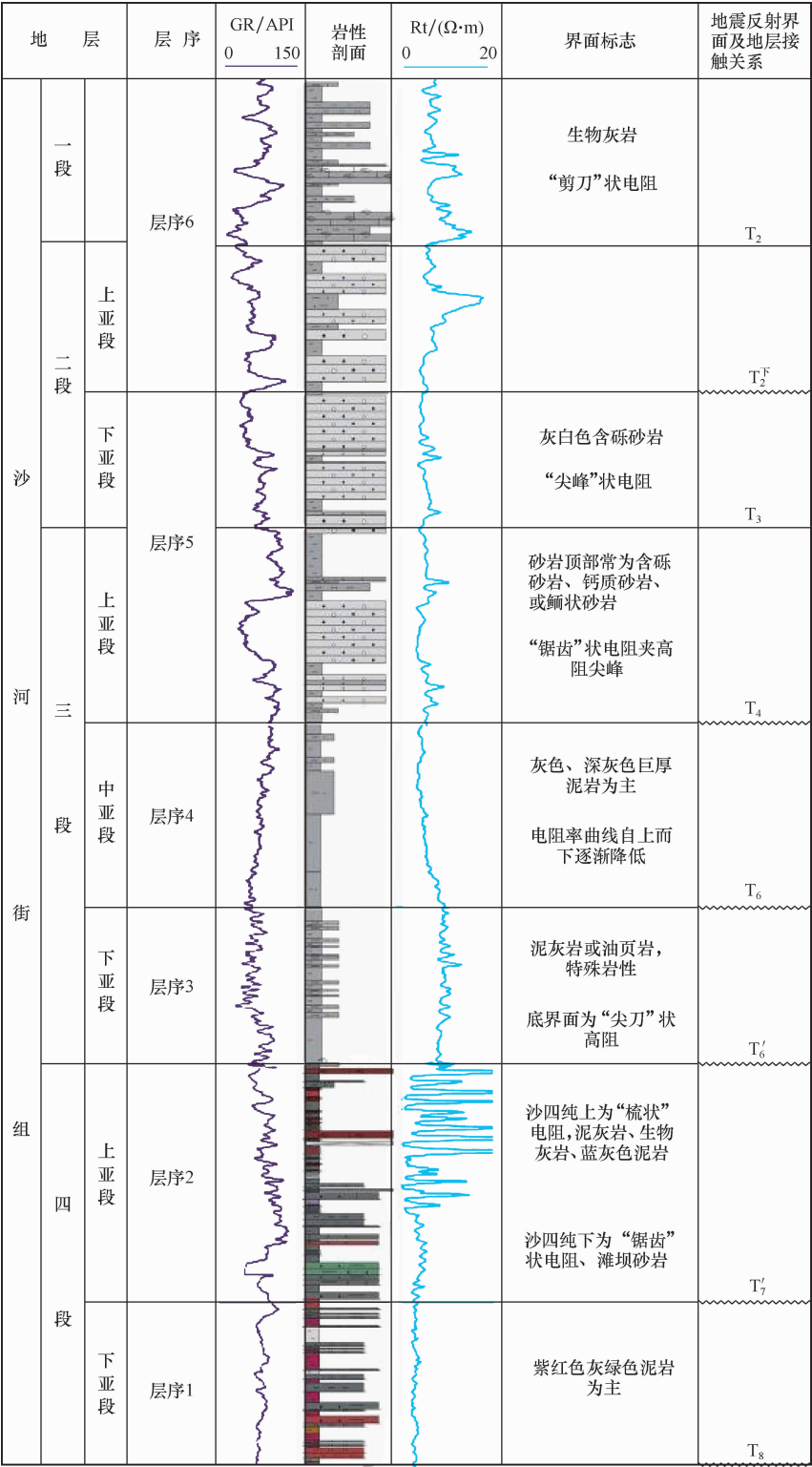


图 2 东营凹陷南斜坡地区沙河街组区域综合地层格架

Fig. 2 Regional stratigraphic framework of the Shahejie Formation in the south slope of the Dongying Sag

1.1 沙河街组四段 (Es⁴)

沙河街组四段可划分为下亚段和上亚段。下

亚段以灰色、紫红色泥岩为主，夹砂岩、粉砂岩、含砾砂岩及薄层盐岩、石膏和碳酸盐岩等。

上亚段是东营凹陷主要的生油岩发育层

段^[2,3],岩性以褐灰色泥岩与深灰色油页岩不等厚互层为主,夹含油薄层砂岩、白云岩、灰岩和生物灰岩,局部见块状砂岩和礁灰岩。

沙河街组四段上、下亚段分界面地震反射界面为 T_7' ,下亚段底界地震反射界面为 T_8 。

1.2 沙河街组三段(Es^3)

沙河街组三段以湖相沉积暗色砂岩、泥岩为特征,岩性主要为灰色及深灰色泥岩夹砂岩、油页岩及炭质泥岩,油页岩集中出现于下部,与沙河街组四段呈假整合或不整合接触。沙河街组三段可分为3个亚段,自下而上分别为下亚段、中亚段、上亚段。

沙河街组三段下亚段主要为灰黑色油页岩,褐灰色、深灰色泥岩与灰色粉砂岩、细砂岩不等厚互层;中亚段以灰色、深灰色泥岩夹油页岩为主,为不规则砂岩透镜体;上亚段以中-厚层细砂岩为主,与深灰色泥岩、少量灰绿色泥岩互层,夹薄层白云质砂岩、灰质砂岩。

沙河街组三段下亚段底界对应于 T_6' 地震反射(或称为 T_6^F),中亚段、下亚段之间的分界面对应于 T_6 地震反射(或称为 T_6^L),而上亚段、中亚段之间的界面对应于 T_4 地震反射(图2)。

1.3 沙河街组二段(Es^2)

沙河街组二段为河流-三角洲沉积,可分为上、下亚段。下亚段为紫红色、灰色泥岩与砂岩、含砾砂岩互层,夹炭质泥岩,主要特点是发育紫红色泥岩,与下伏沙河街组三段呈整合接触;上亚段为灰绿色、紫红色泥岩与中厚层状浅灰色灰质砂岩、含砾砂岩互层。

沙河街组二段和沙河街组三段之间的界面对应于 T_3 地震反射,而上、下亚段之间的界面对应于 T_2^F (或称 T_2')地震反射。

1.4 沙河街组一段(Es^1)

沙河街组一段主要由灰色、深灰色、灰褐色泥岩、碳酸盐岩和油页岩组成。

沙河街组一段下部为灰色、深灰色、灰绿色泥岩夹中厚层状粉细砂岩、灰质砂岩及白云质灰岩;中部为灰色、深灰色泥岩夹粉砂岩、生物灰岩、鲕状灰岩及白云岩等;上部主要为灰色至浅灰色厚

层块状粉砂岩、含砾砂岩、中-细砂岩,夹中薄层灰色生物灰岩、灰绿色泥岩及灰质粉砂岩^[4]。沙河街组一段和沙河街组二段之间的界面对应于 T_2 地震反射。

在上述相对较明显的地震反射轴中,除 T_2, T_3 为整合接触之外, $T_2^F, T_4, T_6, T_6', T_7', T_8$ 等均为不整合接触。

2 等时地层对比方法探讨

研究区位于东营凹陷南斜坡背景之上,区内发育了博东潜山及石村断层,受潜山的继承性高点及石村断层两侧地层差异性活动的影响,沙河街组在研究区内厚度变化大,对比标志不明显,导致地层对比划分难度较大。本次研究提出了适用于环山地层划分的“标准界面引入-多因素约束”的思路与方法。

2.1 主要地震反射层的“环山引入”建立南、北地层发育特征的宏观联系

博东潜山为一个经历多次构造运动的继承性古隆起,形成于早、中侏罗世末的燕山运动二幕,随石村断层的形成和发展,潜山隆起幅度进一步加大。喜马拉雅运动一幕时期,草桥地区进入第二次大规模基准面上升期,沉积了古新世孔店组,伴有基性岩浆喷发,这个时期博东潜山继续隆起。沙河街组四段上亚段纯上沉积时期博东潜山快速隆升,直到沙河街组三段上亚段沉积时期,潜山隆起运动才逐渐停止。此后,博东潜山一直处于稳定接受沉积过程中。

博东潜山周缘存在一条长期活动的、继承性同生基底大断裂——石村断层(图1);平面上,石村断层横跨广饶凸起,连接利津、博兴、牛庄3个生油洼陷。石村断层为西北走向,水平断距为3500m,为左旋张剪断裂^[5,6],纵向深达太古界地层,向上延伸到明化镇组下部。由于断层的差异性活动和遮挡,使得断层南、北地层发育特征差异大,加上石村断层南部和北部地区的取心井也较少,分层标志也难于把握,很难直接从南北向连井剖面及地震剖面上进行地层的追踪和对比。

由于博东潜山向西倾没,且向西断层发育较少,地震反射轴较清楚,特别是 T_1, T_6, T_6' 等标准反

射轴连续性较好。在此情况下,可以绕过博东潜山地区,从北部的牛庄西—博兴洼陷—博东潜山南部,通过连井地震剖面(图 1 中 AA′)将 T_1 、 T_6 、 T_6' 反射轴进行区域引入,确定这 3 个标准反射轴在工区中的位置,从而初步建立与东营凹陷宏观上统一的地震地层格架。

2.2 古生物地层对比法限定地层时间单元

由于地层界面上下气候变化以及由此所导致的湖水深浅等沉积参数的影响,古生物组合会相应地存在明显变化,反映生物演化的阶段性和环境突变。不同的地层,具有不同的代表性化石组合,生物演化的阶段性反映了地层的演化特征。

研究区古生物分析资料较少,总共只有 6 口井的古生物分析资料,其中草 104 井的 1 134.4 ~ 1 142.3 m 井段内,主要为惠民小豆介组合、上旋脊渤海螺—短圆恒河螺腹足类组合和薄球藻—菱球藻孢粉组合,属沙河街组一段古生物组合;草 104 井的 1 215 ~ 1 246 m 和 1 213 ~ 1 244.49 m,草 109 井的 1 172.99 ~ 1 234.59 m 和 1 175.5 ~ 1 234 m,草 106 井的 1 164.33 ~ 1 166 m,草 108 井的 1 164.33 ~ 1 166 m 井段内古生物组合主要为中国华北介组合、优美山东轮藻组合、渤海藻—副渤海藻组合和小亨氏—小榆粉孢粉组合,为沙河街组三段常见化石组合,可能属于沙河街组三段上部;合成记录标定结果也表明上述位置和 T_6 反射轴

相距甚远,进一步说明其多数位置应当对应于沙河街组三段上亚段;草 37 井的 972 m ~ 998 m 与广 11 井的 867 m ~ 868.2 m 井段内主要发现光滑南星介、火红美星介介形组合,旋纹中华扁卷螺、河北豆螺组合,为沙河街组四段常见化石组合。

综合各门类化石的地质时代分布,通过对 6 口井连井剖面(其中 5 口井为有古生物资料的井)(图 1 中 BB′)对比,草 104 井发育沙河街组一段;草 104 井、草 108 井、草 109 井、草 106 井均发育沙河街组三段上亚段;草 37 井、广 11 井的古生物化石发育于沙河街组四段。通过对古生物资料的分析整理和对比,可以得出研究区发育沙河街组一段、沙河街组三段上亚段及沙河街组四段的认识(图 3)。

2.3 典型地震不整合响应分割事件地层单元

东营凹陷在沉积过程中,发育了和 T_8 、 T_7' 、 T_6' 、 T_6 、 T_4 、 T_2^F 、 T_1 等相对应的区域性不整合,分别大致代表了沙河街组与孔店组之间的不整合(E_s/E_k)、沙河街组四段上亚段与下亚段之间的不整合($E_s^{4(上)}/E_s^{4(下)}$)、沙河街组三段与沙河街组四段之间的不整合(E_s^3/E_s^4)、沙河街组三段中亚段和下亚段($E_s^{3(中)}/E_s^{3(下)}$)之间的不整合、沙河街组三段中亚段和上亚段($E_s^{3(中)}/E_s^{3(上)}$)之间的不整合、沙河街组二段上亚段与下亚段($E_s^{2(上)}/E_s^{2(下)}$)的不整合,以及馆陶组与东营组(Ng/Ed)之间的不整合^[7~13],这些不整合位置的确定对于确

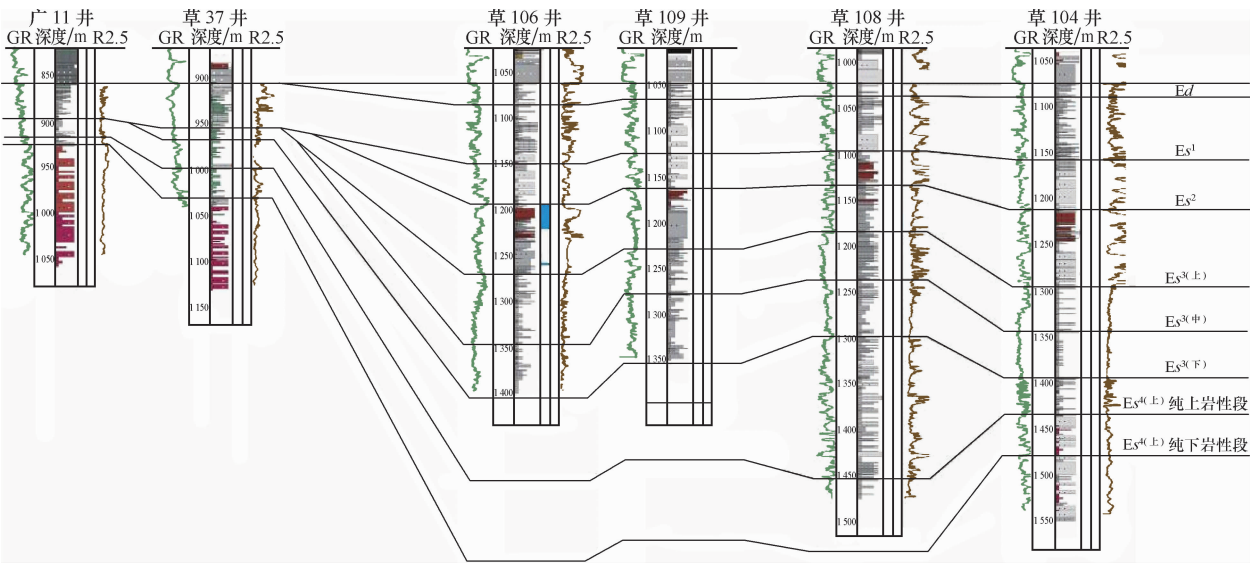


图 3 东营凹陷博东潜山周缘地区古生物连井剖面(图 1 中 B—B′)对比
Fig. 3 Paleontologic strata correlation on well-tie section in the periphery of the Bodong buried hill, the Dongying Sag (section B—B′ in Fig. 1)

定层序地层格架具有重要的意义。研究区地处博东潜山周缘,古近系沉积时期,由于受构造运动及多次水进、水退的影响,古近系多次沉积、多次剥蚀,故以残存方式仅在潜山两侧分布,形成多个不整合接触,该位置的地震反射会更加明显。上面提到的区域性不整合在研究区都有明显的响应(图4)。

如果没有时间单元约束,仅从地震反射上形成的不整合响应还是没法确定其构造及地层学意义。结合区域构造演化的认识,根据不整合面响应的位置,出现于 T_1 和沙河街组三段上亚段古生物取样井段之间的不整合应当是 T_2^F ,沙河街组三段上亚段古生物取样井段和区域引入所确定的 T_6 之间的不整合为 T_4 ,而 T_6 之下的两个不整合响应应当是 T_7 和 T_8 ,但是对于后者,还需根据具体情况进一步确认。

综合以上3种方法,通过区域引申,可以确定 T_1 , T_6 , T_6' 反射轴位置;通过不整合响应特征分析确定了 T_6' , T_4 , T_2^F , T_1 等反射轴位置,以及可能的 T_7 (可以结合岩电关系来确定),由此建立了该区

域各个标准反射轴的地震地层格架。再结合古生物地层分析出的 Es^1 , Es^3 , Es^4 的分布井段及其位置,这样可以确定研究区沙河街组4个段都有不同程度的发育。

2.4 博东潜山周缘等时地层格架

根据研究区确定的地震地层格架及其相应的沉积响应特点,以及对前人研究成果^[13~20]的综合分析,采用姜在兴等的划分方案^[11],将沙河街组划分为6个三级层序,建立了研究区的层序地层格架(图2)。

通过前面的探究,已经能够大致确定研究区沙河街组的主要层序界面,但是地震-生物等方法所确定的界面还需要在录井资料中找到相应的岩石组合及岩-电响应,才能进行准确的井-震结合和追踪。

根据在地震地层界面约束下的岩-电响应特征研究,结合各地层界面的区域对比特征,通过对100余口探井的分析,总结了博东潜山及其南、北部地区地层的岩-电响应模式(图5)。

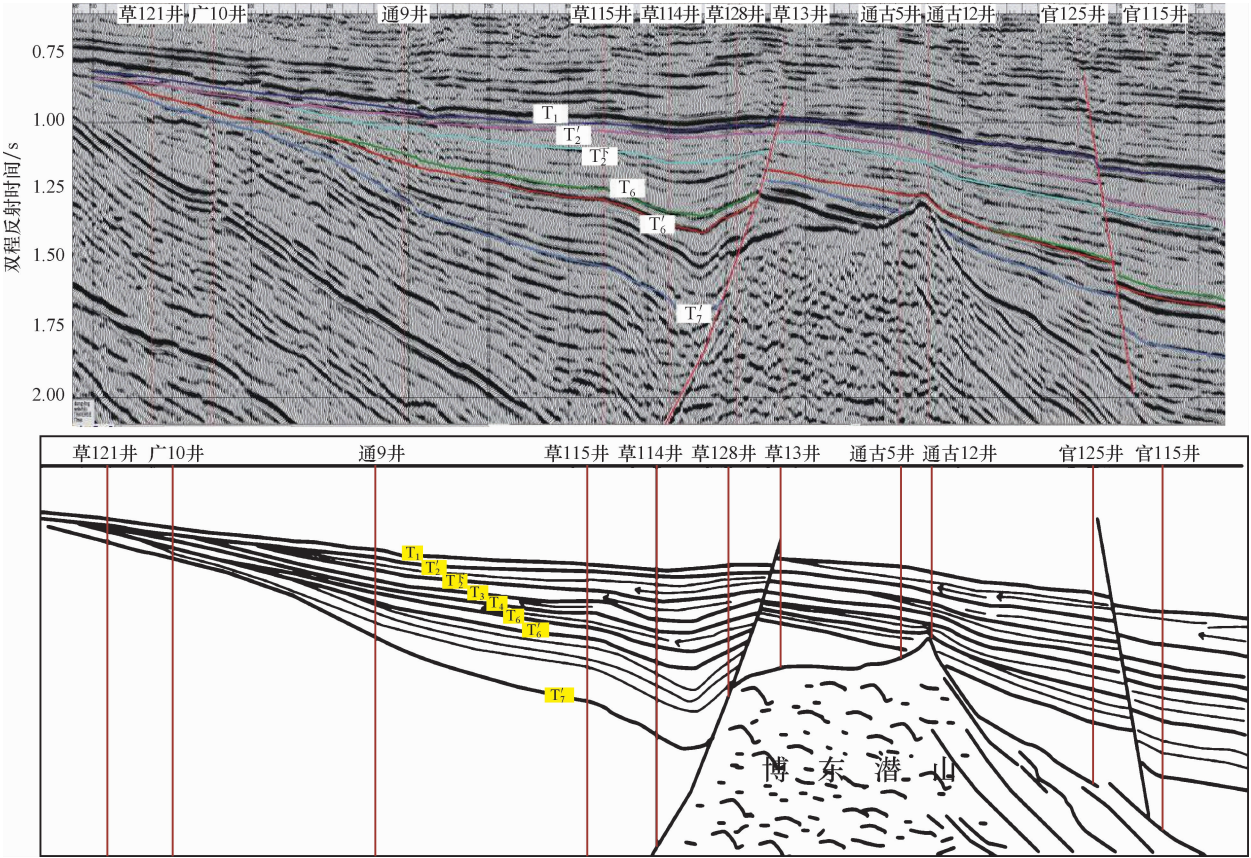


图4 东营凹陷博东潜山周缘地区南北剖面地震反射特征及地震层序解释(图1中C—C')

Fig.4 Seismic reflectance signatures and seismic sequence interpretation on NS profile in the periphery of the Bodong buried hill,the Dongying Sag(section C—C' in Fig.1)

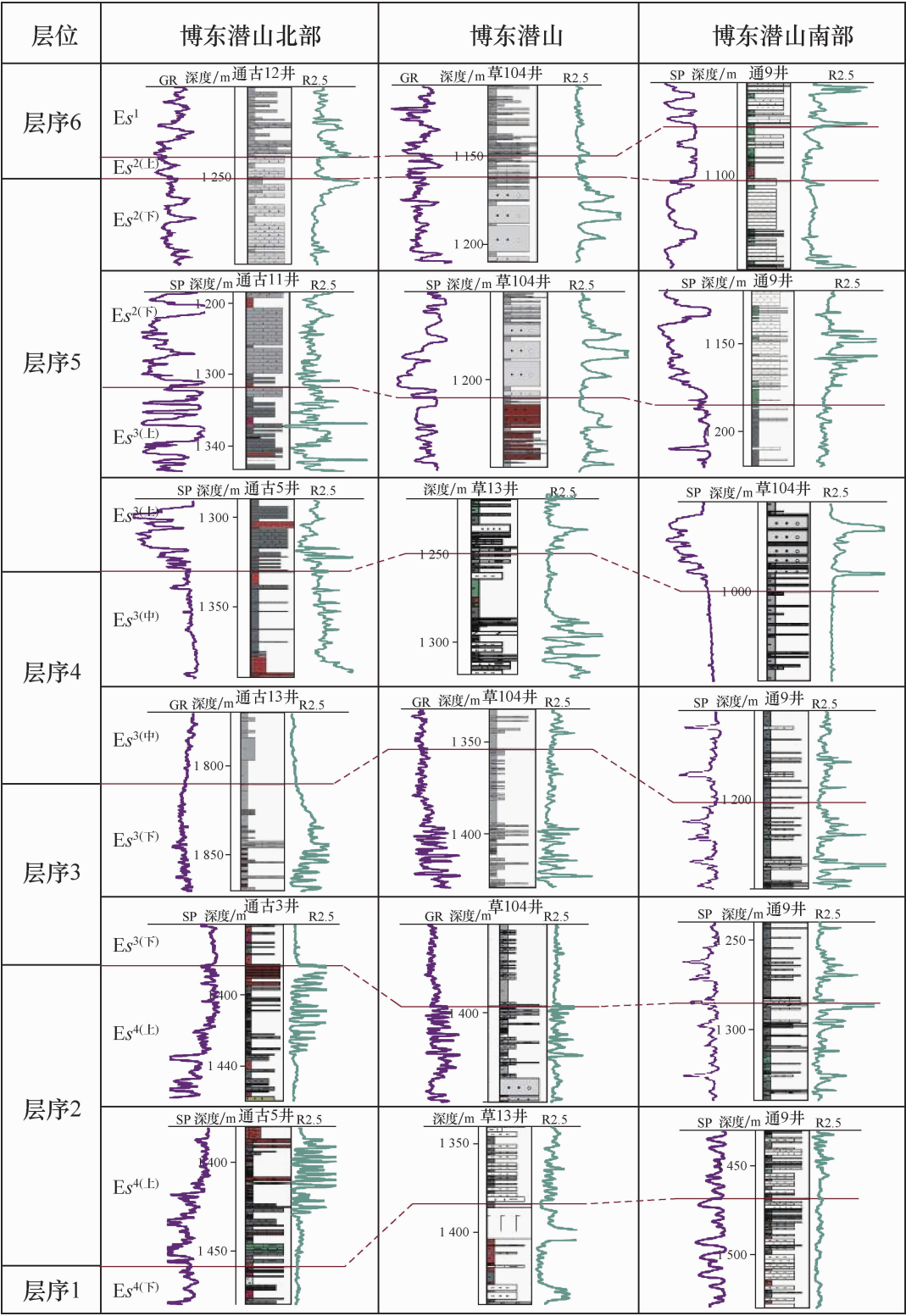


图 5 东营凹陷博东潜山周缘地区主要地层界面岩-电响应特征

Fig. 5 Lithologic and electric properties of the main stratigraphic boundaries in the periphery of the Bodong buried hill, the Dongying Sag

层序 1 (沙河街组四段下亚段) 以含红色泥岩为特征, 又称“红层”段, 厚度一般为几十米。由于

该区沙河街组四段下亚段厚度较薄, 通过测井资料难于识别, 且不是目的层段, 故本次研究主要分

析 $E_s^{4(上)}-E_s^1$ 层位。

层序2(沙河街组四段上亚段)由于主要含油层位于纯化镇地区,也称“纯化镇岩性段”,并可进一步细分为纯上和纯下两个次级岩性段,或简称“纯上”、“纯下”。沙河街组四段上亚段的泥岩以灰绿色、灰色和暗灰色为主,为湖泊沉积,此外在层序2底部的红色泥岩段之上存在一低电阻泥岩段,该段泥岩以灰色和灰绿色为主,可作为稳定的标志层。层序2电阻率曲线上常表现为上部两套梳状电阻,往下一定井段电阻率曲线的幅度及跳跃特征明显减弱的位置(图5)。而纯上及纯下岩性段之间的界面则以高幅梳状电阻和中幅梳状电阻之间为界面。

层序3(沙河街组三段下亚段)底部是一段大套的灰色、暗灰色泥岩夹油页岩,属于湖泛时期沉积物,感应电导率曲线俗称呈“王八盖子”状,且该泥岩段以下的电性曲线明显不同于沙河街组三段,出现刺刀状的尖峰(图5)。

层序4(沙河街组三段中亚段)在研究区以灰色、深灰色巨厚泥岩为主,电阻率曲线自下而上逐渐降低,自然伽马和电阻率曲线都总体趋于平直(图5)。

层序5(沙河街组三段上亚段-沙河街组二段

下亚段)以大套反序砂层的底部为其底界,该套砂岩顶部常为钙质砂岩,含砾砂岩或者鲕状灰岩;电阻率曲线多呈锯齿状夹高阻尖峰。上部(对应于沙河街组二段下亚段)主要为含砾砂岩与绿色、灰色泥岩互层,其上亚段见少量紫红色泥岩。

层序6(沙河街组二段上亚段-沙河街组一段)下部以薄层砂泥岩(或有时为薄层砾岩)为主,在多数位置上,这套相当于沙河街组二段上亚段的地层厚度较薄,在岩性上与沙河街组一段底部生物灰岩标志层在深度上相距很近,在这种情况下,该层序的底部常见电阻率曲线呈现连在一起的两个高阻尖峰,俗称剪刀电阻,在沙河街组二段上亚段很薄的位置,其电阻率曲线有合并为一个高阻尖峰的特征。

3 博东潜山南、北两翼地层发育的差异性

为了展示本次研究所建立的博东潜山周缘沙河街组等时地层格架特征,以及南北向地层发育特征的差异,选取了一条南北向剖面地层格架图(图1中CC',图6)来进行说明。研究区尽管处于东营凹陷南斜坡地层发育频繁变化的位置,但是

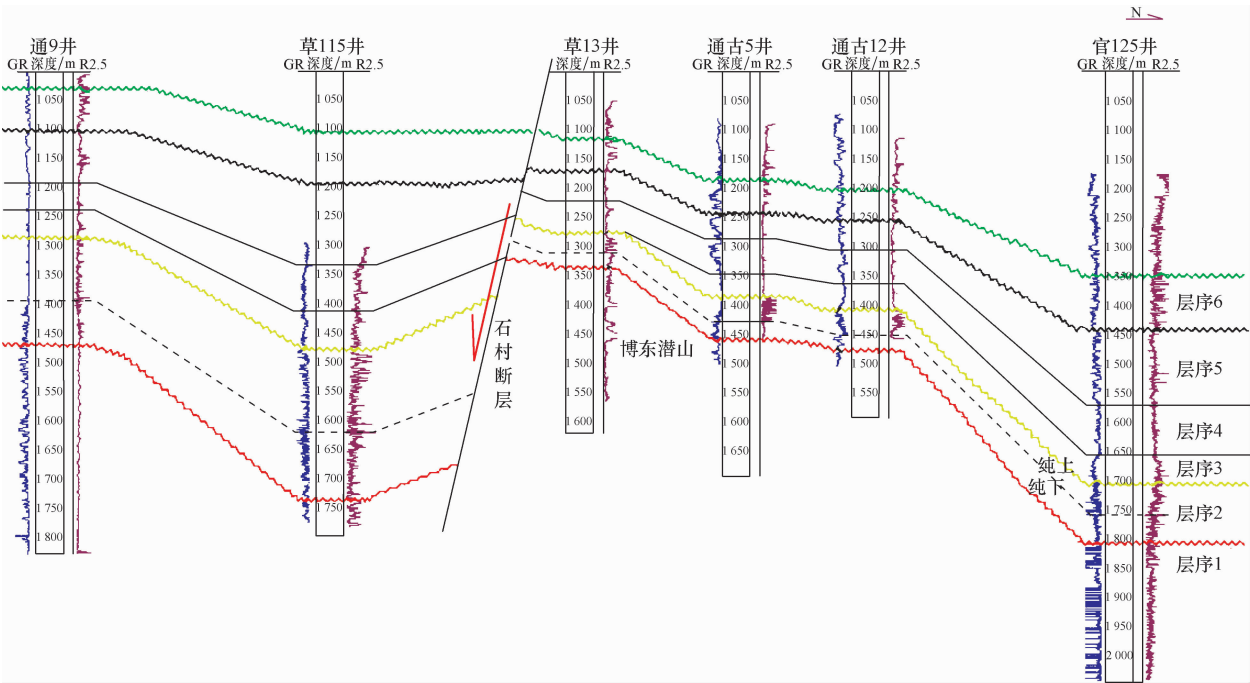


图6 东营凹陷博东潜山周缘地区南北向地层格架

Fig. 6 NS section showing the stratigraphic framework in the periphery of the Bodong buried hill, the Dongying Sag

东营凹陷沙河街组各段及亚段在研究区都有不同程度的发育。博东潜山(草 13 井、通古 5 井、通古 12 井等位置)的发育对层序 5 及其下覆地层的发育影响明显(图 6)。层序 2 纯下岩性段在通古 12 井处为潜山高部位,潜山高部位地层较薄,往南逐渐加厚,且石村断层的南翼地层厚度明显大于北翼,两翼地层厚度差异明显;纯上岩性段沉积时期也是博东潜山快速隆升的时期,受石村断层的影响潜山南部开始逐渐翘起,潜山主体部位厚度较薄,且总体差别不大,潜山南侧地层厚度也明显大于北侧地层厚度。层序 3 沉积时期,潜山的南翘达到最大幅度,草 13 井附近成为高部位,地层总体较薄,潜山南部地层厚度明显大于北部,而在潜山高部位的草 13 井附近区域出现了尖灭现象;层序 4 及层序 5 发育过程中,受断层和潜山影响较小,地层发育较完整,但是受潜山继承性高点的影响,潜山主体部位地层都总体较薄。到层序 6 沉积时期,潜山的影响已经变得不明显。

4 结论

1) 沙河街组各组段在博东潜山周缘都有不同程度的发育,在潜山高部位沙河街组三段下亚段存在无沉积现象。通过“标准界面引入-多因素约束”的等时地层分析和对比方法,在研究区划分了 6 个三级层序,建立了区域地层格架。

2) 沙河街组四段上亚段沉积早期博东潜山的高点位于通古 2 井附近,该井南、北两翼地层存在明显差异,后期由于石村断层的翘倾,沙河街组四段下亚段沉积时期潜山明显向北翘起,潜山高点南移至草 13 井附近,在此后的各个沉积阶段其高点位置变化不明显。博东潜山的发育对其周缘层序 1—层序 5 的发育具有明显的控制作用,总体早期控制作用较强,往晚期逐渐减弱,层序 6 沉积时期,潜山的影响已经变得不明显。

参 考 文 献

1 张凡芹,王伟峰. 东营凹陷南斜坡古近系不整合及其在油气成藏中的作用[J]. 石油天然气学报,2005,27(2):294~297

2 冯磊,姜在兴,田继军. 东营凹陷沙四上亚段层序地层格架研究[J]. 特种油气藏,2009,16(1):16~19

3 张永旺,邓宏文,高霞,等. 东营凹陷南坡东段沙河街组四段上亚段高分辨率层序地层与沉积演化特征[J]. 沉积与特提斯地质,2006,26(3):37~44

4 王秉海,钱凯. 胜利油区地质研究与勘探实践[M]. 山东东营:石油大学出版社,1992. 34~38

5 纪友亮,杜金虎,赵贤正,等. 冀中拗陷饶阳凹陷古近系层序地层学及演化模式[J]. 古地理学报,2006,8(3):397~406

6 魏魁生,史淑玲,厉大亮,等. 渤海湾盆地沾化凹陷下第三系高精度层序地层学研究[J]. 石油与天然气地质,2004,5(3):513~518,538

7 田景春,曾允孚,张长俊,等. 东营凹陷沙河街组层序地层及地层格架研究[J]. 矿物岩石,1994,14(2):37~461

8 刘晖,操应长,姜在兴,等. 渤海湾盆地东营凹陷沙河街组四段膏盐层及地层压力分布特征[J]. 石油与天然气地质,2009,30(3):287~293

9 邓继新,王尚旭,伍向阳. 渤海湾盆地东营凹陷砂岩储层地震特征及对岩石结构的指示[J]. 石油与天然气地质,2009,30(3):294~299,309

10 李阳,蔡进功,刘建民. 东营凹陷下第三系高分辨率层序地层研究[J]. 沉积学报,2002,20(2):210~216

11 姜在兴,杨伟利,操应长. 东营凹陷沙河街组三段-二段下亚段沉积层序及成因[J]. 石油与天然气地质,2002,23(2):127~129,153

12 姜在兴,向树安,陈秀艳. 淀南地区古近系沙河街组层序地层模式[J]. 沉积学报,2009,27(5):931~938

13 王化爱. 东营凹陷古近系岩性地层油气藏层序地层学特征[J]. 石油与天然气地质,2010,31(2):158~164

14 郭洪金. 乐安稠油油田开发技术[M]. 北京:石油工业出版社,2003. 17~18

15 赵良金,黄新文,王军. 文东油田沙河街组三段中亚段油藏裂缝发育规律及其对注水开发的影响[J]. 石油与天然气地质,2009,30(1):102~107

16 苏宗富,邓宏文,陶宗普,等. 济阳拗陷古近系区域层序地层格架地层特征对比[J]. 古地理学报,2006,8(1):89~102

17 宁方兴. 东营凹陷乐安油田不整合与油气成藏[J]. 甘肃地质,2009,18(1):56~59

18 张宗峰,查明,高长海. 大港油田埕北断阶区地层水化学特征与油气成藏[J]. 石油与天然气地质,2009,30(3):268~274

19 武法东,陆永潮,李思田,等. 东海陆架盆地第三系层序地层格架与海平面变化[J]. 地球科学:中国地质大学学报,1994,23(1):13~20

20 冯有良. 东营凹陷下第三系层序地层格架及盆地充填模式[J]. 地球科学,1999,24(6):635~642

(编辑 张亚雄)