

文章编号: 1009-3850(2016)03-0098-06

## 东营凹陷永北地区古近系顶部不整合结构及其物性响应

操应长<sup>1</sup>, 王铸坤<sup>1</sup>, 王艳忠<sup>1</sup>, 李宇志<sup>2</sup>, 赵博<sup>2</sup>

(1. 中国石油大学(华东), 地球科学与技术学院, 山东 青岛 266580; 2. 胜利油田分公司, 东辛采油厂, 山东 东营 257094)

**摘要:** 综合三维地震、钻井岩心、测录井、物性分析、薄片鉴定资料, 通过宏观描述与显微镜下分析相结合的方法, 系统分析了东营凹陷永北地区古近系顶部不整合结构体岩石学特征、测井曲线特征、物性响应特征及其与圈闭的关系。研究表明, 不整合可划分为3层结构: 水进砂层、风化粘土层和半风化淋滤层。每个结构层具有不同的岩石学和测井响应特征。水进砂层孔隙度高; 风化粘土层风化作用最强, 泥质含量高, 孔隙度低; 半风化淋滤层溶蚀作用强, 次生溶孔发育, 孔隙度较高; 未风化层未受风化作用改造, 孔隙发育差。永北地区沙三上段发育断块掀斜型和盆缘型两种地层不整合圈闭模式: 断块掀斜型模式受到不整合与二级或二级以下序级断层的共同控制, 圈闭发育规模较小; 盆缘模式多出现在抬升强烈的湖盆边缘, 主要受控盆断层的控制, 圈闭发育规模较大。

**关键词:** 风化作用; 物性响应; 不整合; 地层不整合圈闭; 沙三段; 永北地区

中图分类号: P534.6

文献标识码: A

### 引言

东营凹陷是我国东部典型的断陷湖盆, 是一个自古新世发育的、具有“北断南超”特征的半地堑张扭型裂谷盆地<sup>[1]</sup>。渐新世末东营期至中新世馆陶早期(24.0~13.8Ma), 古近系的右旋张扭转化为新近系的右旋压扭。由于构造应力性质的改变而变化, 盆地由裂陷变为拗陷, 在裂陷后的隆升阶段遭受强烈风化剥蚀<sup>[2-6]</sup>, 形成了东营凹陷古近系顶部区域分布的不整合。不整合是一个特殊的地质体而非简单的面<sup>[7]</sup>, 在油气成藏过程中起到重要的作用, 既可作为油气运移通道, 又可改善储集性能<sup>[8-10]</sup>。目前, 不整合结构特征研究已较为深入, 根据风化剥蚀程度的不均一性, 将典型不整合纵向划分为三层结构, 从上到下依次为不整合面之上的岩石、风化粘土层、半风化淋滤带。当风化粘土层不

发育时, 不整合面之上的岩石和半风化淋滤带直接接触<sup>[11-17]</sup>。

永北地区位于东营凹陷北部陡坡带东段, 北临陈家庄凸起, 南邻民丰洼陷, 东为青坨子凸起, 西接盐家地区(图1)。在东营运动时期, 此区遭受强烈剥蚀, 新近系馆陶组直接覆盖于古近系沙三上亚段之上, 形成不整合。沙三上亚段时期, 沉积基底坡度缓、气候较湿润、湖盆水体浅、沉积过补偿, 沿陈家庄凸起发育了向湖盆进积的扇三角洲砂砾岩体<sup>[18]</sup>。目前, 对于永北地区不整合结构层的识别及其对储层的影响方面尚无针对性研究<sup>[19-22]</sup>。本文旨在充分利用三维地震、测录井、钻井岩心、薄片分析测试等资料对永北地区古近系顶部区域不整合结构层进行研究, 寻找有利圈闭, 为下一步碎屑岩地层油气藏的勘探提供理论依据。

收稿日期: 2014-11-20; 改回日期: 2015-01-04

作者简介: 操应长(1969-), 男, 教授, 博士生导师, 从事沉积学、层序地层学及油气储层地质学教育与研究。

E-mail: cyc8391680@163.com

通讯作者: 王铸坤(1990-), 男, 硕士研究生, 专业: 沉积储层地质。E-mail: wangzhukun1126@163.com

资助项目: 中央高校基本科研业务费专项资金(15CX08001A); 国家自然科学基金石油化工联合基金重点项目(U1262203)

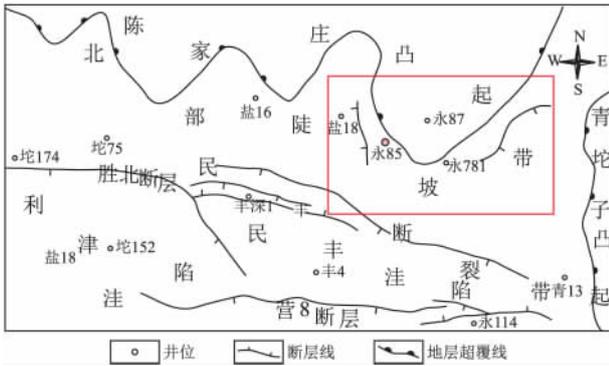


图1 东营凹陷永北地区构造位置图

Fig. 1 Tectonic setting of the Yongbei region in the Dongying depression

### 1 不整合结构体特征

不整合面下伏地层代表了后期地质作用对前期沉积岩(物)不同程度的改造<sup>[12-14]</sup>,上覆地层则代表较新沉积环境的产物。由于岩性、组分、形成环境的差异,导致不整合面上、下地层测井响应特征

不同。因此 根据测井响应特征可以精细描述不整合的结构<sup>[14]</sup>。永北地区古近系顶部不整合可划分为水进砂层、风化粘土层、半风化淋滤层典型3层结构 结构层基本特征在永北鼻状构造西斜坡带的永85井(图1)剖面表现明显(图2)。

#### 1.1 水进砂层

为馆陶组河流相砂体,岩性为厚层含砾砂岩,为湖平面上升初期的辫状河道沉积。电阻率曲线(R25)显示低值,最低至 $1.8\Omega\cdot m$ ;声波时差(AC)为中-低值,最高不超过 $95\mu s/ft$ ;密度值(DEN)相对较高,一般在 $2.1g/cm^3$ ,反映岩性较为致密,岩石粒度粗;井径测井(CAL)低值且变化不大,范围在24~29cm之间;水进砂层的深侧向(LLD)、浅侧向(LLS)电阻率在不整合结构体中为最低值,曲线出现小幅度分离。

#### 1.2 风化粘土层

风化粘土层又称为古土壤,紧邻水进砂层之下发育,是在物理化学风化的基础上,生物化学风化作

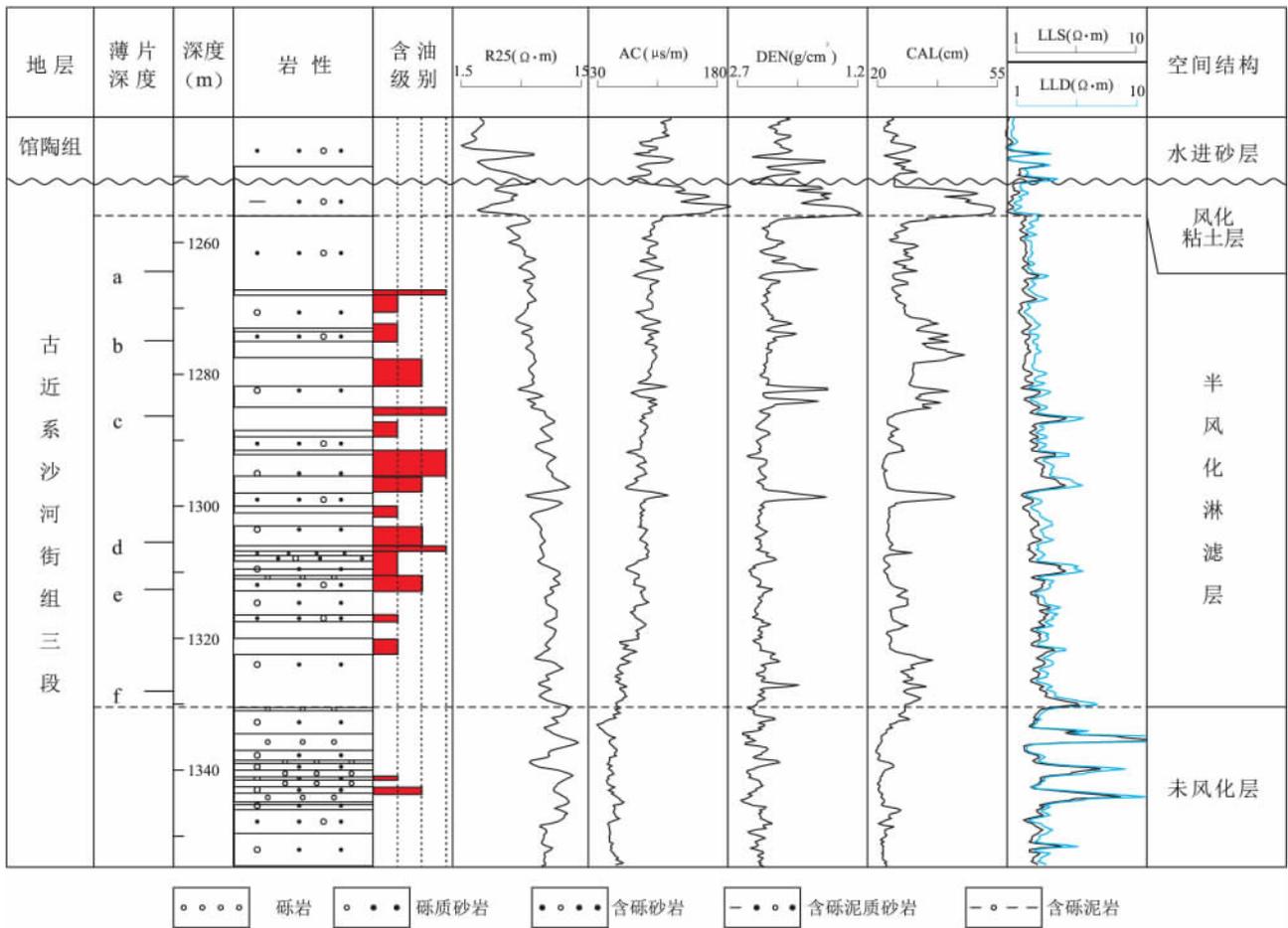


图2 永北地区永85井不整合结构分层

Fig. 2 Architectures of the unconformity through the Yong-85 well in the Yongbei region

用改造下形成的细粒残积物,深度为1251~1256m,厚度为5m。岩性为含砾泥质砂岩,砾石多为抗风化能力强的石英、火成岩岩屑。结构层在测井曲线上有明显的响应,有“三高两低”的特征:声波时差为异常高值,曲线呈齿化的“漏斗形”,且由上往下数值增大,最高可达到 $172\mu\text{s}/\text{ft}$ ;密度测井曲线为异常低值,最低可达 $1.2\text{g}/\text{cm}^3$ ;井径曲线异常高值,反映了明显的扩径现象,曲线变化范围在42~51cm;电阻率测井数值介于水进砂层和半风化淋滤层之间,显示为中-低值;深侧向(LLD)、浅侧向(LLS)电阻率曲线呈近微齿化的“箱状”,两曲线出现微小的幅度差。

### 1.3 半风化淋滤层

在不整合结构体中,风化粘土层和半风化淋滤层形成于对原始沉积地层的成岩改造。风化作用随深度增加呈渐变过渡的特点,并且在不同古气候环境、构造环境、沉积环境、成岩环境中形成的不整合体具有不同的岩性配置、结构层规模、测井曲线组合和成岩作用特征。因此,在实际工作中很难确定不整合结构体的深度下限。通过对比永北地区永85井半风化淋滤层和未风化层测井曲线特征的差异性,将不整合结构体深度下界限定为1330m。

半风化淋滤层深度范围1256~1330m,厚度为74m,岩性以砾质砂岩、含砾砂岩为主,夹砾岩和含

砾砂岩的互层。测井曲线表现为“三增大两减小”的趋势:电阻率、密度、井径逐渐增大;声波时差、双侧向测井曲线幅度差逐渐减小。由于岩性的非均质特点,测井曲线在整体增大或减小的背景上存在突变现象。未风化层的测井值变化不大,其中电阻率为高值,声波时差、密度、井径测井为低值,深侧向(LLD)、浅侧向(LLS)电阻率无幅度差。

## 2 不整合结构体的物性响应特征

### 2.1 储集空间特征

风化粘土层是地表岩石遭受风化作用形成的细粒沉积物,后期遭受埋藏和压实。由于永北地区风化粘土层风化不彻底,风化稳定性强的石英、变质岩岩屑含量较高,抑制了后期的压实作用,加之不整合体埋藏浅( $<1300\text{m}$ ),整体压实作用弱。因此,永85井风化粘土层没有获得岩心,图2中井径测井为异常高值提供了直接的证据。在氧、水和溶于水中的各种酸的作用下,母岩遭受氧化、水解和溶滤等化学作用,母岩分解而产生新矿物<sup>[23]</sup>。在大气淡水淋滤的风化环境中,岩石颗粒普遍发生溶蚀作用,但风化淋滤层不同深度发育次生孔隙的规模不同:顶部1263.86m紧邻风化粘土层,镜下观察到颗粒悬浮于杂基中,孔隙发育很少,粒间残留少量沥青(图3a);上部1276.85m发育较少的次生孔隙,

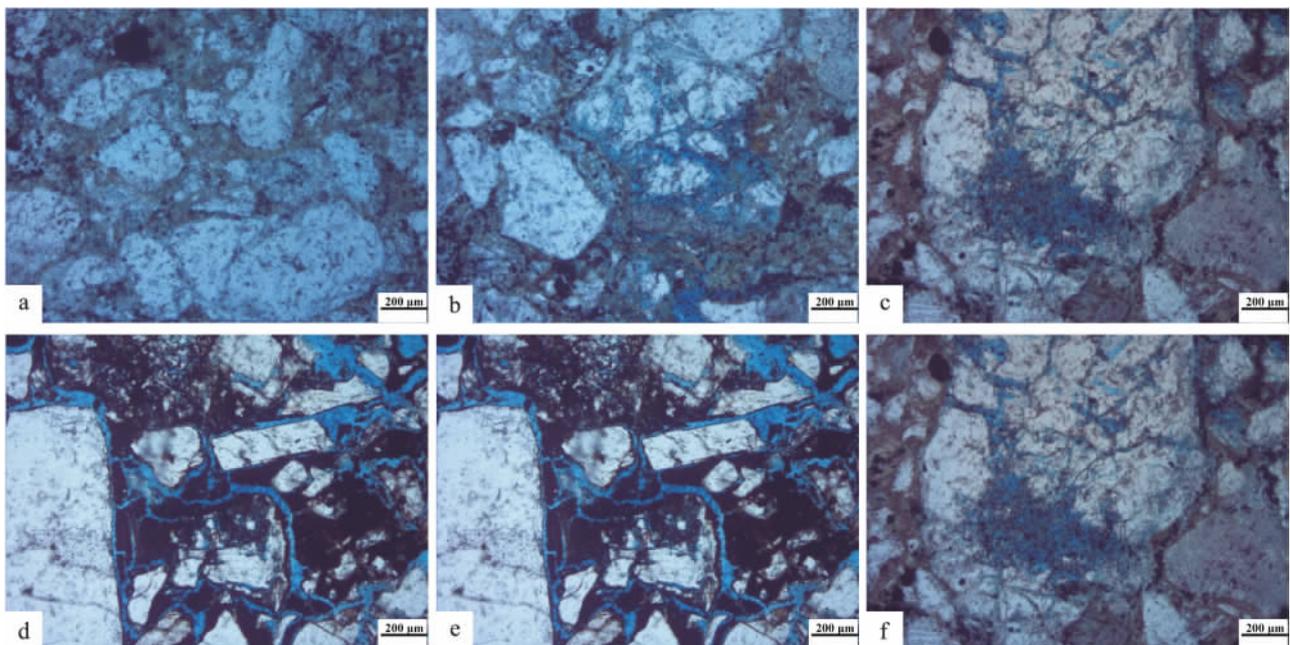


图3 永北地区永85井不整合结构储集空间特征

a. 杂基充填,孔隙不发育,1263.86m,  $\times 200(-)$ ; b. 少量溶蚀孔隙,1276.85m,  $\times 200(-)$ ; c. 长石粒内溶孔及压裂缝,1285.9m,  $\times 200(-)$ ; d. 大量长石、岩屑溶孔,沥青充填,1303.48m,  $\times 200(-)$ ; e. 少量长石溶孔,1311.59m,  $\times 200(+)$ ; f. 杂基含量高,孔隙发育很少,1334.6m,  $\times 200(-)$

Fig. 3 Characteristics of the reservoir spaces in the unconformity through the Yong-85 well in the Yongbei region

原生孔隙不发育,大量粘土杂基充填于颗粒之间(图3b);中上部1285.9m,长石颗粒内部溶蚀较强,形成次生溶孔。颗粒压实作用产生的压裂缝既是储集空间,又可以作为大气淡水渗流的通道,可以促进溶蚀产物的带出(图3c);中下部1303.48m发育大量次生溶孔,且被沥青充填(图3d);底部1311.59m只发育少量的次生溶蚀孔隙,杂基含量很高(图3e);未风化层1329.73m杂基含量高,颗粒点接触或线接触,孔隙发育少(图3f)。

## 2.2 物性响应特征与控制因素分析

基于永85井物性分析结果,发现不整合面上、下地层储集特征具有明显规律:水进砂层孔隙度好,尤其以紧靠不整合面位置最高,可达40%;风化粘土层的孔隙度急剧降低,范围约15%~18%;半风化淋滤层孔隙度普遍较高,最高可达到33%;风化淋滤层可分为两个亚段,A段孔隙度逐渐增大,B段孔隙度逐渐减小;未风化层的孔隙度低,范围约15%~24%(图4a)。

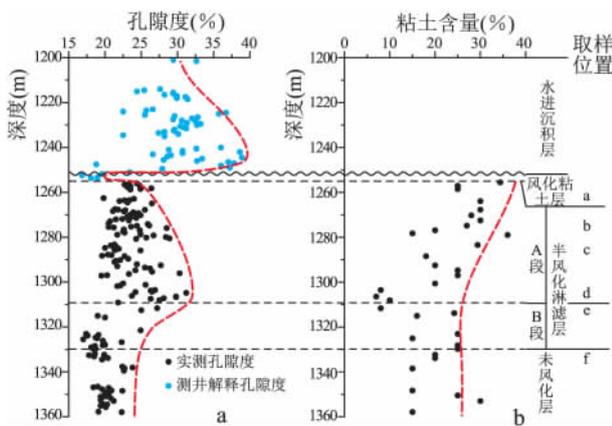


图4 永北地区永85井不整合结构体孔隙度-粘土含量垂向分带

A. 不整合结构体孔隙度垂向变化; B. 不整合结构体粘土含量垂向变化  
Fig. 4 Vertical zonation of porosity and clay contents in the unconformity through the Yong-85 well in the Yongbei region

由图3、图4b可以看出,不整合结构层的孔隙度受孔隙发育情况、粘土物质含量的双重控制。分析表明,风化粘土层以泥质为主,孔隙被填充,导致孔隙度最差;半风化淋滤带的大气淡水溶蚀作用随深度减弱,次生孔隙含量减少,粘土物质随着大气淡水向下迁移含量逐渐降低。对于A段,次生孔隙发育的增孔效应强于粘土物质充填孔隙的减孔效应,孔隙度逐渐增大,在1305m附近粘土含量达到最低,孔隙度最高;对于B段,粘土含量变化不大,而大气淡水的溶蚀作用强度降低,次生孔隙含量降

低,导致孔隙度逐渐减小;未风化层次生孔隙发育较少,孔隙度则较低。

## 3 不整合空间结构与圈闭

永北地区沙三上亚段发育扇三角洲砂砾岩储层,紧邻北部陈家庄凸起,具有近物源、岩性粗、分选磨圆差、结构成熟度和成分成熟度低的特点<sup>[18]</sup>,储集性能相对较差。不整合的存在满足了地层不整合圈闭的发育条件,不整合下伏地层多为单斜形态。风化粘土层粒度细,孔隙相对不发育,物性差,可以作为良好的盖层;半风化淋滤层的存在改善了砂体的储集性能,形成了永北地区不整合面之下的优质储层。扇三角洲不同期次砂体之间的泥岩层可以起到侧向遮挡的作用。在永85井剖面,不整合结构体中风化淋滤层含油性较好,含油高度达到55m,形成了有效的圈闭(图2)。

通过对永北地区沙三段层序地层的研究,总结出两种地层不整合圈闭类型:(1)断块掀斜型,断层的活动导致下降盘地层发生掀斜运动,断块整体抬升发生风化剥蚀。此类圈闭受到不整合与二级或二级以下序级断层的共同控制,一般规模较小(图5a、c);(2)盆缘型,湖盆边缘抬升量最大,地层剥蚀程度最大,向湖盆方向地层剥蚀量随着抬升量的减小而减少。此类圈闭一般发育在湖盆边缘,规模较大,如果地层被低序级断层切割,断块不发生掀斜运动(图5b、d)。

## 4 结论与认识

(1) 风化剥蚀程度的不均一性使东营凹陷永北地区不整合具有典型的三层结构:水进砂层、风化粘土层、半风化淋滤层,每层结构在岩石学和测井响应特征上具有显著差异。

(2) 不整合不同结构层的物性特征不同:水进砂层物性最好;风化粘土层以粘土物质为主,孔隙不发育,物性差;半风化淋滤层次生溶孔发育,可分为A、B段:A段随埋深次生孔隙发育的增孔效应强于粘土物质充填孔隙的减孔效应,孔隙度逐渐增大;B段溶蚀作用减弱,孔隙度减小。

(3) 永北地区沙三段发育两种地层不整合圈闭模式:断块掀斜型模式受不整合与二级及低级序断层共同控制,发育规模较小;盆缘型模式一般发育在湖盆边缘,地层剥蚀和不整合发育范围广。

(4) 永北地区沙三段扇三角洲砂砾岩岩性粗,泥质含量高,储集性能较差。地层不整合圈闭中的风化淋滤层是优质储层的有利位置,为永北地区沙三段下一步油气藏勘探指明了方向。

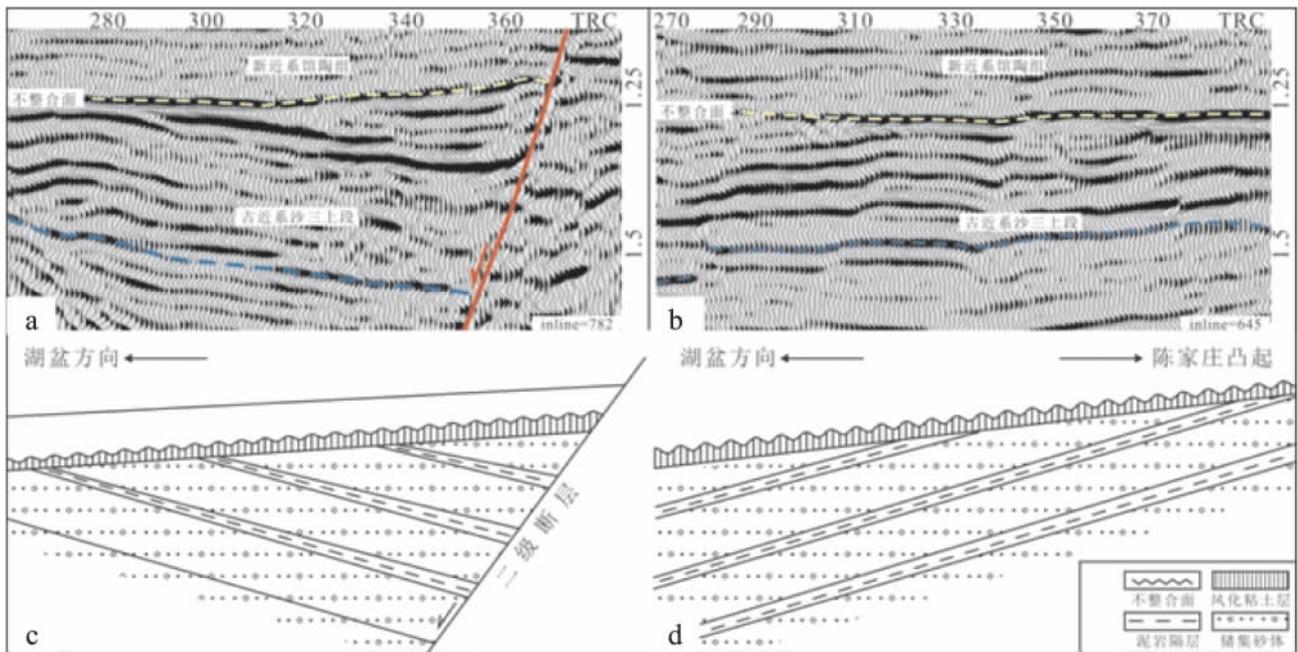


图5 永北地区地层不整合圈闭发育模式

Fig. 5 Model for the stratigraphic traps in the unconformity in the Yongbei region

## 参考文献:

- [1] 邱桂强,王居峰,李从先. 东营凹陷沙三中东营三角洲地层格架与油气勘探[J]. 同济大学学报 2001 29(10):1195-1199.
- [2] 冯有良,李思田,解习农. 陆相断陷盆地地层形成动力学及层序地层模式[J]. 地质前缘 2000 7(3):119-132.
- [3] 李兆奇,陈红汉,刘惠民,等. 流体包裹体多参数综合划分东营凹陷沙三段油气充注期次及充注时期确定[J]. 地质科技情报 2008 27(4):69-74.
- [4] 武法东,陈建渝,刘从印,等. 东营凹陷第三纪层序地层格架及沉积体系类型[J]. 现代地质 1998 12(4):559-565.
- [5] 祝厚勤,庞雄奇,姜振学,等. 东营凹陷岩性油藏成藏期次与成藏过程[J]. 地质科技情报 2007 26(1):65-69.
- [6] 杨品荣,陈洁,蔡进功,等. 济阳凹陷构造转型期及其石油地质意义[J]. 油气地质与采收率 2001 8(3):5-7.
- [7] TANDARICH J P, DARMODY R G, FOLLMER L R, et al. Historical development of soil and weathering profile concepts from Europe to the United States of America[J]. Soil Sci. Soc. Am., 2002 66(2):335-346.
- [8] 张建林. 地层不整合对油气运移和封堵的作用[J]. 油气地质与采收率 2005 12(2):26-29.
- [9] 潘忠祥. 不整合对于油气运移聚集的重要性[J]. 石油学报, 1983 4(4):1-10.
- [10] 郭维华,牟中海,赵卫军,等. 准噶尔盆地不整合类型与油气运聚关系研究[J]. 西南石油学院学报 2006 28(2):1-3.
- [11] 王艳忠,操应长,王淑萍,等. 不整合空间结构与油气成藏综述[J]. 大地构造与成矿学 2006 30(3):326-330.
- [12] 吴孔友,查明,洪梅. 准噶尔盆地不整合结构的地球物理响应及油气成藏意义[J]. 石油实验地质 2003 25(4):328-332.
- [13] 曲江秀,查明,田辉,等. 准噶尔盆地北三台地区不整合与油气成藏[J]. 新疆石油地质 2003 24(5):386-388.
- [14] 陈涛,宋国奇,蒋有录,等. 不整合油气输导能力定量评价[J]. 油气地质与采收率 2011 18(5):27-30.
- [15] 陈涛,蒋有录,宋国奇,等. 济阳拗陷不整合结构地质特征及油气成藏条件[J]. 石油学报 2008 29(4):499-502.
- [16] TIJANI M N, OKUNLOLA O A, ABIMBOLA A F. Lithogenic concentrations of trace metals in soils and saprolites over crystalline basement rocks: A case study from S W Nigeria[J]. Journal of African Earth Sciences 2006 46(5):427-438.
- [17] RITZ MICHEL, PARISOT JEAN-CLAUDE, DIOUF S, et al. Electrical imaging of lateritic weathering mantles over granitic and metamorphic basement of eastern Senegal, West Africa[J]. Journal of Applied Geophysics 1999 41(4):335-344.
- [18] 王居峰. 陆相断陷盆地陡坡带沉积相类型与沉积演化特征——以东营凹陷民丰地区沙三段、沙四段为例[J]. 天然气地球科学 2008 19(5):611-617.
- [19] 孟玮,钟建华,王嘉玮. 东营凹陷永北地区砂砾岩体储集层特征及影响因素[J]. 地质力学学报 2009 15(3):305-314.
- [20] 张晶,王伟峰,史文东,等. 东营凹陷永北地区隐蔽油气藏分布规律及勘探方向[J]. 石油天然气学报 2005 27(6):831-834.
- [21] 于建群,姜东波. 永北地区砂、砾岩油藏油气富集规律及勘探开发实践[J]. 特种油气藏 2001 8(2):11-14.
- [22] 王书宝,钟建华,王勇,等. 永北地区砂砾岩体成岩作用及次生孔隙成因[J]. 西南石油大学学报(自然科学版) 2008 30(4):19-23.
- [23] 姜在兴. 沉积学[M]. 北京:石油工业出版社 2003. 7-15.

## Architectures and responses of physical properties of the unconformity in the uppermost part of the Palaeogene strata in the Yongbei region , Dongying depression

CAO Ying-chang<sup>1</sup> , WANG Zhu-kun<sup>1</sup> , WANG Yan-zhong<sup>1</sup> , LI Yu-zhi<sup>2</sup> , ZHAO Bo<sup>2</sup>

(1. *School of Geosciences , China University of Petroleum , Qingdao 266580 , Shandong , China*; 2. *Dongxin Oil Plant , Shengli Oil Field Company , CNPC , Dongying 257094 , Shandong , China*)

**Abstract:** The architectures and responses of physical properties of the unconformity are discussed according to the 3-D seismic data , thin section examination , well logs and physical properties of the unconformity at the uppermost part of the Palaeogene strata in the Yongbei region , Dongying depression. The three-layer architectures are discriminated for the unconformity , including the transgressive sand layer with high porosity , weathered clay layer with higher mud contents and lower porosity , and semi-weathered leached layer with developed secondary opening solutions and higher porosity. There occur two types of stratigraphic traps such as the block-tilting and basin-margin types developed in the upper part of the third member of the Shahejie Formation in the Yongbei region. The block-tilting model is controlled by the unconformity and second-order or lower-order faults , and thus displays relatively small scales of traps. The basin-margin model often appears on the highly-uplifted basin margins constrained by the faults , and thus display relatively larger scales of traps.

**Key words:** weathering; physical response; unconformity; stratigraphic trap; third member of the Shahejie Formation; Yongbei region