

DOI: 10.16108/j.issn1006-7493.2017110

## 地震反射特征对风化壳发育带的指示意义： 以东营凹陷永北地区沙三上亚段为例

王铸坤<sup>1,2</sup>, 操应长<sup>1,2\*</sup>, 王艳忠<sup>1,2</sup>, 李宇志<sup>3</sup>, 赵博<sup>3</sup>, 欧浩文<sup>3</sup>

1. 中国石油大学(华东)地球科学与技术学院, 青岛 266580;

2. 海洋国家实验室海洋矿产资源评价与探测技术功能实验室, 青岛 266071;

3. 胜利油田分公司东辛采油厂, 东营 257094

**摘要:** 东营凹陷永北地区T1不整合面之下风化壳发育带的预测是地层油藏勘探的重点与难点。综合利用高精度三维地震解释、岩心观察、薄片鉴定、测录井分析及物性分析等方法,结合构造发育史、埋藏史等研究成果,对东营凹陷永北地区T1不整合面下沙三上亚段地层中特殊的地震反射特征进行研究,并对其地质意义进行了探讨。研究表明:T1不整合面下发育典型埋藏风化壳,包括风化粘土层和半风化淋滤带2层结构;在大气淡水风化、淋滤作用下,半风化淋滤带内部地震同相轴消失,表现为空白反射特征;半风化淋滤带物性得到改善,与未风化岩石之间形成一个物性差异界面,表现为不连续的角度不整合面;未受明显风化、淋滤作用的地层,则表现为典型的角度不整合;地震反射特征的演化过程可划分4个阶段:沙三上沉积后阶段、沙三上抬升后阶段、风化壳形成早期阶段、风化壳形成阶段。地震空白反射带的发育范围是风化壳发育带的保守范围或最小范围,向湖盆方向逐渐过渡为正常地层。风化壳的发育大大改善了原岩的储集性能,可作为良好的油气储集空间和运移通道,是下步地层油气藏勘探的重点目标。

**关键词:** 地震反射特征; 风化壳; 不整合; 沙三上亚段; 永北地区; 东营凹陷

中图分类号: P618.13

文献标识码: A

文章编号: 1006-7493(2018)03-0401-11

## Investigation of Weathered Clastic Crust Based on Its Seismic Reflection Characteristics: the upper Layer of Es<sub>3</sub> in Yongbei Area of Dongying Sag

WANG Zhukun<sup>1,2</sup>, CAO Yingchang<sup>1,2\*</sup>, WANG Yanzhong<sup>1,2</sup>, LI Yuzhi<sup>3</sup>, ZHAO Bo<sup>3</sup>, OU Haowen<sup>3</sup>

1. School of Geosciences, China University of Petroleum, Qingdao 266580, China;

2. Laboratory for Marine Mineral Resources, Qingdao National Laboratory for Marine Science and Technology, Qingdao 266071, China;

3. Dongxin Oil Plant, Shengli Oilfield Branch Company Ltd, SINOPEC, Dongying 257094, China

**Abstract:** Prediction of the developing zone of weathered elastic crust under the T1 unconformity is one of the key and critical issues in the exploration of stratigraphic reservoirs in the Yongbei area, Dongying sag. Based on integrated analyses of high-precision 3D seismic interpretation, core observation, thin section observation, logging interpretation and physical property testing, combined with the setting of structural and burial histories, we investigate the special characteristics of seismic reflection of the upper layer of the Es<sub>3</sub> Formation under the T1 unconformity surface in Yongbei area, Dongying sag, and further address their geological implications. Results

收稿日期: 2017-09-20; 修回日期: 2017-12-14

基金项目: 国家科技重大专项(2016ZX05006-007; 2016ZX05006-003); 中央高校基本科研业务费专项资金(15CX08001A)联合资助

作者简介: 王铸坤,男,1990年生,博士研究生,地质学专业,主要从事沉积学、油气储层地质学方面的研究; E-mail: wangzhukun1126@163.com

\*通讯作者: 操应长,男,1969年生,教授,博士生导师,从事沉积学、层序地层学、油气储层地质学方面的教学与研究;

E-mail: cyc8391680@163.com

reveal a typical development of buried weathered clastic crust in the study area, which has a two-layer structure including weathered clay rocks and semi-weathered rocks. In the semi-weathered rocks, seismic event disappears to show blank reflection due to meteoric weathering and solution. This results in an improvement of reservoir properties and an interface with underlying unweathered rocks. A discontinuous angular unconformity surface was formed. In contrast, the unweathered and undissolved strata shows typical angular unconformities. The evolution of seismic reflection characteristics could be divided into 4 phases, e.g., deposition of the Es<sub>3</sub> Formation, uplifting of the Es<sub>3</sub> formation, early stage of the formation of the weathered clastic crust, and the main formation stage of the weathered clastic crust. The development of the seismic blank zone is not smaller than that of the weathered clastic crust. It changes to normal strata to the basinward. Development of weathered clastic crust improves reservoir properties largely, which could act as reservoir space and migration path for oil and gas. Therefore, such crusts are important exploration targets of stratigraphic reservoirs in the study area for the next step.

**Key words:** seismic reflection characteristics; weathered clastic crust; unconformity; upper layer of the Es<sub>3</sub> Formation; Yongbei area; Dongying Sag

**Corresponding author:** CAO Yingchang, Professor; E-mail: cyc8391680@163.com

济阳拗陷已累积探明古近系和新近系不整合油藏70余个,探明储量 $3.9 \times 10^8$  t,对胜利油区增储上产起到重要作用,其中古近系/新近系(T1不整合面)、古近系/前古近系(Tg不整合面)2个一级不整合面附近的地层油藏约占已探明储量的90%(隋风贵等,2009)。济阳拗陷东营凹陷永北地区T1不整合面下的沙三段地层也发现了与不整合有关的稠油油藏,其中最新完钻的永斜852井通过试油试采已获得工业油流,具有较大的资源潜力。研究区探井数量较少且大多是20世纪八十年代的老井,虽三维地震覆盖全区,但钻井取心、分析资料缺乏,导致对不整合结构的准确识别以及风化壳发育范围的预测十分困难,圈闭条件也认识不清。如何充分利用研究区高精度地震资料进行风化壳发育带的识别与预测,是目前加快研究区地层油藏勘探步伐最可行、最实际的方法。笔者立足于勘探实践,以地震资料为基础,结合测录井、分析化验资料,创新性的以地震反射特征为发起点和落脚点,对东营凹陷永北地区T1构造不整合面下风化壳进行研究,以期指导永北地区地层油藏的勘探进展,同时对缺乏地质资料的其他地区地层油藏的研究具有重要的借鉴意义。

## 1 地质背景

东营凹陷位于济阳拗陷的东南部,是济阳拗陷的一个次级负向构造单元,东接青坨子凸起,南邻鲁西隆起,东南为广饶凸起,西以林樊家—高青凸起为界,北以陈家庄—滨县凸起与沾化凹陷相望,整体走向NE-NEE,是在古生界基岩地

形背景上发育起来的中新生代箕状断一拗陷盆地(冯有良,1999;操应长等,2009)。永北地区位于东营凹陷与陈家庄凸起结合部的东段,东为青坨子凸起,南邻民丰生油洼陷,构造形态为地层南倾的鼻状构造(图1)。东营运动使古近纪负反转期进入新近纪整体抬升、剥蚀正反转期,形成了济阳拗陷乃至全华北地区的区域性T1构造不整合(冯有良等,2010;杨品荣等,2001),在地震剖面上表现为界面之下呈削截反射结构,界面之上呈上超、平行或披覆反射结构,界面定年24.6 Ma(冯有良等,2010)。由于盆地边界断裂活动的差异性(隋风贵等,2007),研究区缺失东营组、沙一段、沙二段及沙三上亚段的顶部,形成超过10 Ma的沉积间断(朱光有等,2004)。沙三上亚段沉积时期,边界断层坡角变缓,可容空间减小,沿陈南断层下降盘发育扇三角洲沉积(张晶等,2005;刘鑫金等,2012)。岩石类型主要为杂基支撑砾岩、砾质砂岩、砂岩,其中砂岩主要为长石质岩屑砂岩和岩屑质长石砂岩,分选磨圆差,成熟度低。

## 2 地震反射特征分析

1963年Sloss根据不整合层序边界将北美克拉通盆地整个显生宙地层划分为6个主层序,强调了构造作用对层序形成和边界不整合的重要性。地震剖面上反射终端特征是确定不整合类型的依据,包括上超、下超、顶超和削截。削截关系是侵蚀作用造成的地层侧向中断,代表构造运动(区域抬升或褶皱运动)造成的侵蚀性间断,是角

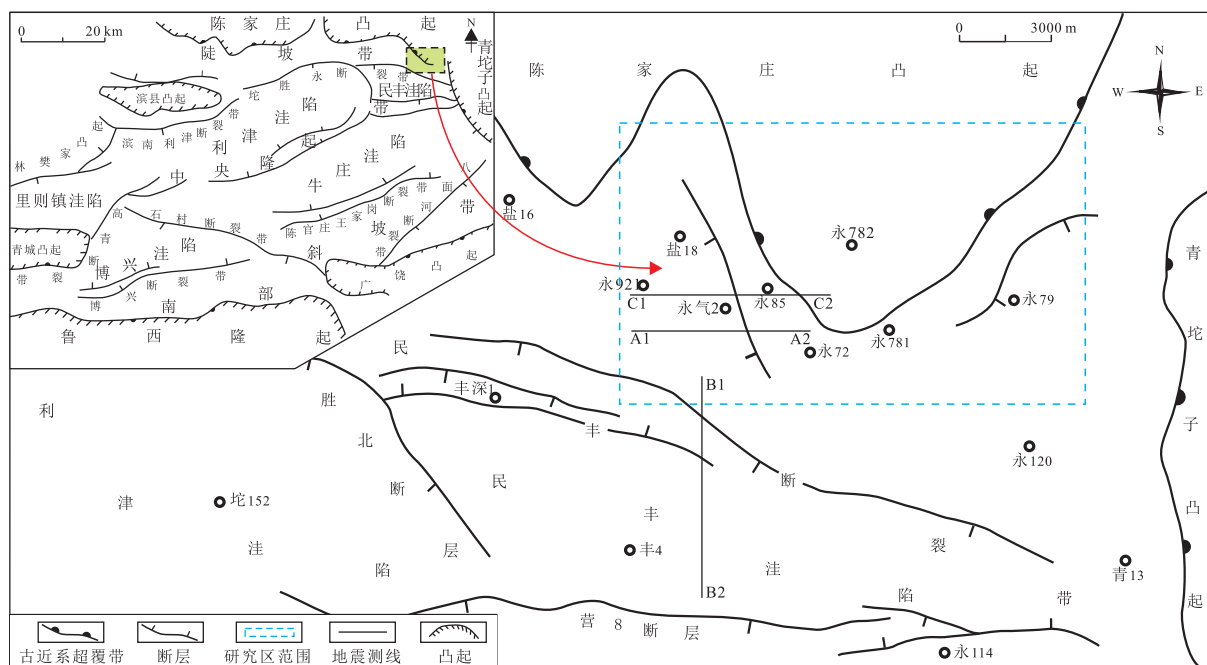


图1 东营凹陷永北地区构造位置

Fig. 1 Structural location of the Yongbei area, Dongying sag

度不整合的标志(姜在兴, 2003)。古近系末期渤海盆地强烈的构造抬升, 形成了1个一级层序边界(T1界面), 分隔了2个构造层序(古近系裂陷层序和新近系拗陷层序), 不同构造层的沉积组合、地震反射特征具显著差异。

永北地区T1界面之上沉积馆陶组河流相地层, 地震相表现为平行—亚平行反射、中等振幅、中等连续性特征, 相邻同相轴之间时间厚度较稳定, 反映了新近系早期湖盆地形平坦、构造条件稳定、物源供应较为充足和基准面变化缓慢的沉积环境(图2a, b)。研究区T1界面表现为一条高连续、强反射地震同相轴, 反射能量强、容易识别, 在陈家庄凸起顶部与代表古断剥面的Tg地震反射界面重合(图2a)。该界面可在整个华北地区连续追踪, 是重要的等时界面与地层界面。与典型的构造不整合相反, 研究区T1界面之下没有明显的地震削截反射现象, 取而代之的是一套相对连续的、厚度约30~50 m的地震空白反射带。该反射带的底部为典型的角度不整合面, 下覆的沙三上段地层呈0~15°削截于该角度不整合面。该不整合界面振幅强、连续性较差, 是仅次于T1构造不整合界面规模的较强反射界面(图2a)。但是, 该角度不整合界面的空间发育范围具有局限性: 在靠近陈家庄凸起的永北地区该界面容易识

别; 向湖盆方向的永北断裂带部位该角度不整合面开始消失, 沙三段地层界面直接削截于T1不整合面; 永北断裂带以南的深湖—半深湖沉积地区, 地层界面明显呈角度关系削截于T1构造不整合面, 此时T1界面表现为明显的角度不整合特点(图2b)。根据油田多年的勘探实践及前人研究成果(宋国奇等, 2014; 于建群等, 2001; 王书宝等, 2008), 研究区沙三上亚段内部不存在明显的构造活动, 即沙三上亚段底界与T1界面之间不发育角度不整合。因此, 对地震反射特征的合理解释是研究风化壳发育带的关键。

### 3 地震反射特征成因

地震反射界面本质是地震波阻抗界面, 地震波在地下介质中传播受到界面影响而发生各种变化, 并最终表现为不同的地震反射特征(陈茂山, 2014; 梁全胜, 2016)。波阻抗界面不仅代表等时地层界面、特殊岩性界面(Brown et al, 1988), 相邻地层间岩石的物性(如孔隙度)的差异也会导致界面两侧地震波能量的变化(宋桂桥等, 2013; 王明飞等, 2015)。前人对不整合或风化壳结构岩性、物性特征做了大量有益的探讨(郭佳等, 2013; 邹才能等, 2014; 王东旭等, 2012), 在此基础上本文通过分析永北地区T1不整

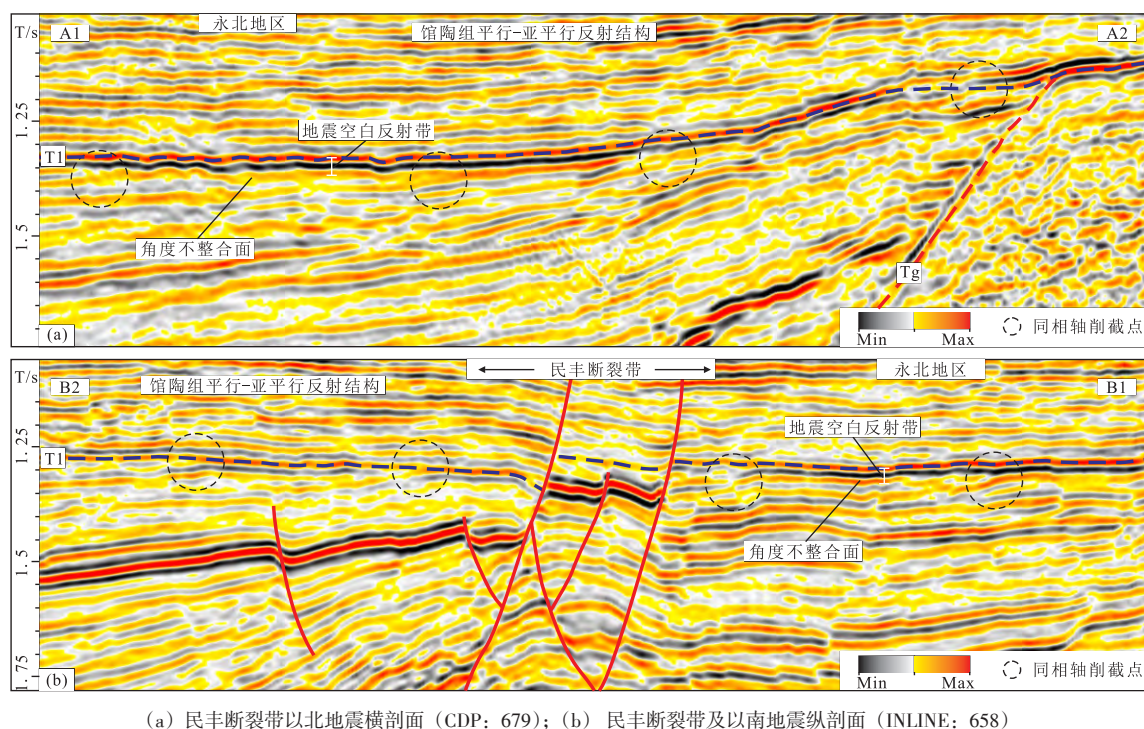


图2 东营凹陷永北地区T1不整合面之下沙三上亚段地震反射特征

Fig. 2 Seismic reflection of the Es<sup>3</sup> layer under the T1 unconformity surface in the Yongbei area, Dongying sag

合界面下典型井风化壳结构的岩性、电性、物性特征,认为风化壳的发育是T1不整合界面下地震反射现象的成因,地震削截界面或角度不整合面是风化壳与未风化母岩之间存在物性差异而形成的物性界面。

### 3.1 风化壳结构的识别

不同结构层在风化程度上存在差异,根据其矿物学、元素地球化学和风化指数等呈现出来的规律性变化可比较准确的对碎屑岩风化壳结构进行识别(邹才能等,2014; Parker, 1970; Ruxton, 1968)。研究区风化壳特征典型,通过地震、岩心与测井资料便可对风化壳垂向结构进行精确识别与划分。

#### 3.1.1 岩石学标志

岩心资料是研究风化壳结构比较直接可靠的资料,是识别风化壳结构特征的基础和依据。根据合成地震记录确定的时深关系,确定各井剖面T1不整合面的发育位置。以研究区典型的永85井风化壳为例,对风化壳结构层进行划分。靠近不整合面的岩石呈土黄色,根据薄片分析结果,粘土杂基含量可达30%,平均值高于27%,属于杂基支撑岩石类型。颗粒以抗风化能力强的变质岩

岩屑、石英为主,极少见到残存的长石,反映了地层遭受强烈的风化作用。随埋深增大,岩石本色逐渐向灰白色、灰色过渡,粘土杂基含量减少,岩石含油性变好,表明风化淋滤作用产生了大量储集空间,为油气的聚集提供了场所。埋深超过1325.0 m,岩石本色呈灰白色,不含油,杂基含量降到最低,手标本上可以观察到大量长石,反映了母岩沉积时弱氧化-弱还原的强水动力环境,后期抬升过程中处于风化前锋未达到的深度(图3)。

#### 3.1.2 测井相标志

岩性、组分、形成环境的差异导致不整合面上、下岩石测井响应特征不同,根据测井响应特征便可以精细描述风化壳的结构(曲江秀等,2003)。受取心资料的限制,风化粘土层的岩心未能获取,但该层具有明显的测井响应特征。风化粘土层泥质含量高,岩石密度小,表现为声波时差(AC)、井径测井(CAL)异常高值,密度测井(DEN)为异常低值,此外,深、浅侧向电阻率(RLLD、RLLS)无明显幅度差也是泥岩层的典型特征;半风化淋滤带风化强度随埋深减弱,泥质含量也相应减少,测井响应表现为声波时差、井



(a)土黄色含砾砂岩, 1257.01 m, 粘土含量高; (b)土黄色含砾砂岩, 1258.47 m, 油味; (c)土黄色含砾砂岩, 1267.68 m, 含油; (d)砾质砂岩, 1280.5 m, 含油; (e)砾质砂岩, 1292.5 m, 含油; (f)细砾岩, 1325.0 m, 不含油

图3 东营凹陷永北地区永85井不整合结构岩心特征

Fig. 3 Core characteristics showing unconformity structures of the Yong 85 well in the Yongbei area, Dongying sag

径测井值逐渐减小, 密度、电阻率测井 (R25) 逐渐增大, 深、浅侧向电阻率存在明显幅度差; 未风化层各系列测井值变化不大, 双侧向电阻率测井无幅度差 (图4)。

### 3.1.3 物性响应

大气淡水的淋滤作用使风化壳内溶解物质带出, 形成次生孔隙。实测孔隙度剖面显示, 半风化淋滤带物性相对未风化层有大幅改善, 孔隙度增量可达10%, 表明大气淡水的淋滤作用导致该结构层储集空间增加。

### 3.2 沉积特征差异性分析

前有述及, 岩性、岩石密度及物性差异皆可形成地震反射界面。研究区扇三角洲在单井剖面上主要表现为砂泥互层或厚层砂夹薄层泥的特征, 其中大套砂夹薄层泥主要发育在靠近陈家庄凸起的扇三角洲平原, 砂泥互层则主要发育在扇三角洲前缘。通过沙三上亚段内部, 也即地震空白反射带底部的角度不整合面上下岩性的对比, 发现该角度不整合面上、下地层的岩性特征差别不大, 在扇三角洲平原亚相, 角度不整合面上下

都发育厚层砂夹薄层泥的特征, 在扇三角洲前缘亚相, 角度不整合面上下的地层都表现为砂泥互层的特点, 表明此界面处不发育沉积间断 (图4)。分析认为, 此界面之下地震相标志的差异并非由岩性的变化导致, 即该界面不是地层界面或岩性界面。

### 3.3 地震反射特征的地质解释

碳酸盐岩风化壳的垂向分带结构业已形成较成熟、统一的认识, 由地表到地下深处可划分地表岩溶带、垂直渗流带、水平潜流带和深部缓流带 (何江等, 2013)。地表岩溶带位于风化壳表面, 多充填铝土质泥岩或残积角砾岩等地表残积物, 在不同地貌条件下发育赤铁矿或黄铁矿层或结核; 垂直渗流带分布于地表和第一潜水面之间, 此带内大气水下渗速度快, 以垂直运动为主; 水平潜流带位于第一潜水面与最低泄水口之间, 流体以水平流动为主。基于前人研究, 笔者认为碎屑岩中埋藏风化壳与碳酸盐岩溶型风化壳具可对比性, 风化粘土层对应碳酸盐风化壳的地表岩溶带, 半风化淋滤带与碳酸盐风化壳中垂直

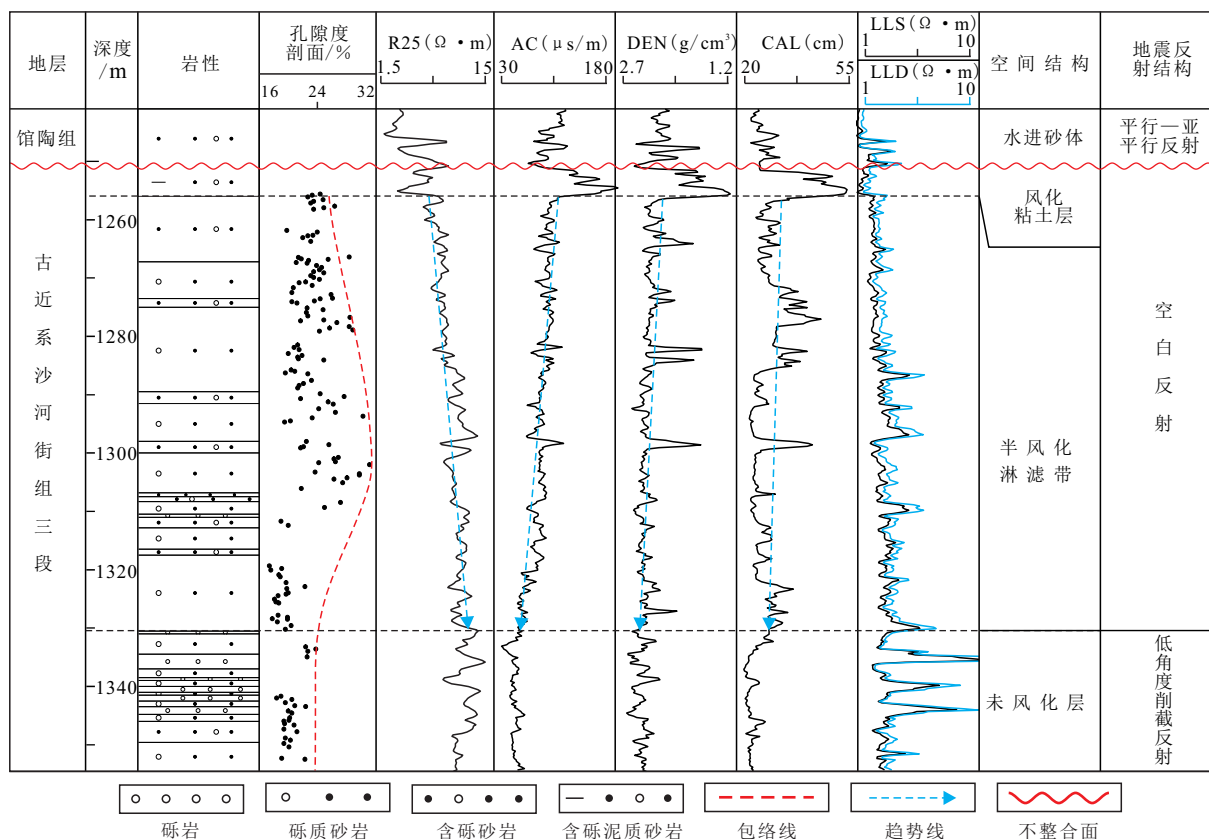


图4 东营凹陷永北地区永85井不整合结构分层

Fig. 4 Division of unconformity structures of the Yong 85 well in the Yongbei area, Dongying sag

渗流带相当，而未风化母岩对应水平潜流带。

碳酸盐岩比碎屑岩更具脆性，在构造抬升过程中更发育构造裂隙，有利于含 $\text{CO}_2$ 或其他酸性溶质的大气水下渗。碎屑岩本身具多孔性，除抬升过程中形成的构造裂缝、伴生微裂缝以外，其连通的孔隙空间网络也可以作为大气水渗流的良好通道。相对于裂缝，孔隙网络的输导性能差，此外，碎屑颗粒比表面积大，对流体有减速截留的作用（邹才能等，2014），故碎屑岩风化壳的规模一般小于碳酸盐岩，碳酸盐岩风化壳可达百米以上，后者一般发育几十米。随着酸性物质不断消耗，大气水的淋滤作用随埋深增加逐渐减弱，对储层的改造也趋于停止。基于永北地区部分探井的测井解释成果发现，半风化淋滤带内部孔隙度高，最高可达40%，且随埋深增加孔隙度减小；角度不整合面之下，孔隙度变化不大（图5）。可以认为，风化壳结构的发育导致地层界面消失，且风化壳厚度与地震空白反射带厚度相差不大。综上所述，地震空白反射带的底界（角度不整合

面）代表物性界面，界面之上岩石物性较好，风化、淋滤程度高，界面下岩石几乎不受风化作用的储层改造影响。界面上下物性的差异实质是流体化学性质发生改变，因此该物性界面也代表了成岩作用表生期的古流体界面。

在明确沙三上亚段地震特征的地质解释意义后，选取了3口发育风化壳的典型井，通过连井分析风化壳发育带的剖面延伸特征。剖面井包括永85井、永气2井及永921井，其中永921井在研究区范围之外。选择对应地震剖面的原则为同相轴接触关系清晰、剖面断层少、易分析。由图6可以看出，靠近凸起角度不整合面连续性差，而远离凸起方向连续性变好；永85井附近地震空白反射带垂向厚度大，永气2井厚度次之，永921井最薄。构造抬升、不整合结构形成过程中，地层受剥蚀的程度不同。一般的，靠近凸起，地层剥蚀量越大，大气水侵入的深度越大，风化壳往往越发育。但是抬升最强烈的部位往往搬运作用也强烈，早期形成的风化壳可能减薄，甚至完全破

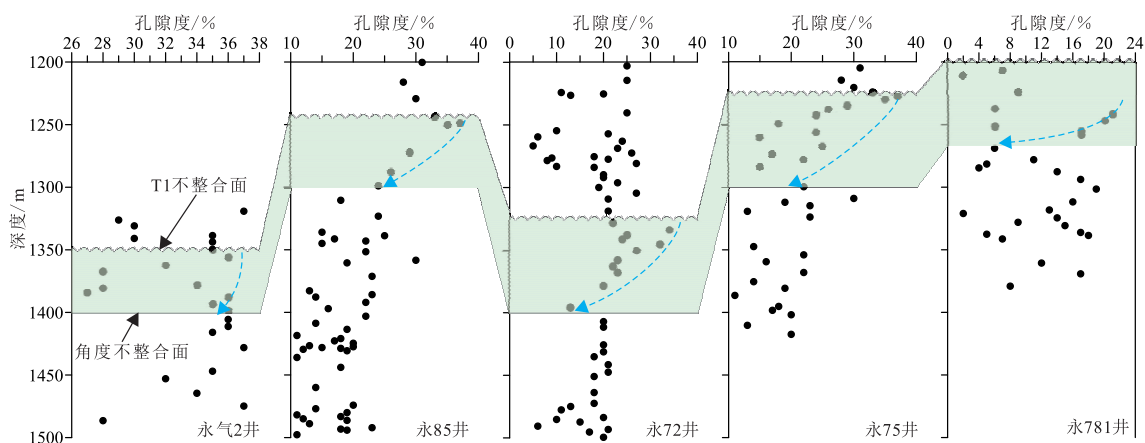


图5 东营凹陷永北地区地震空白反射带孔隙度分布剖面

Fig. 5 Distribution profile of porosity in the blank zone of seismic reflection in the Yongbei area, Dongying sag

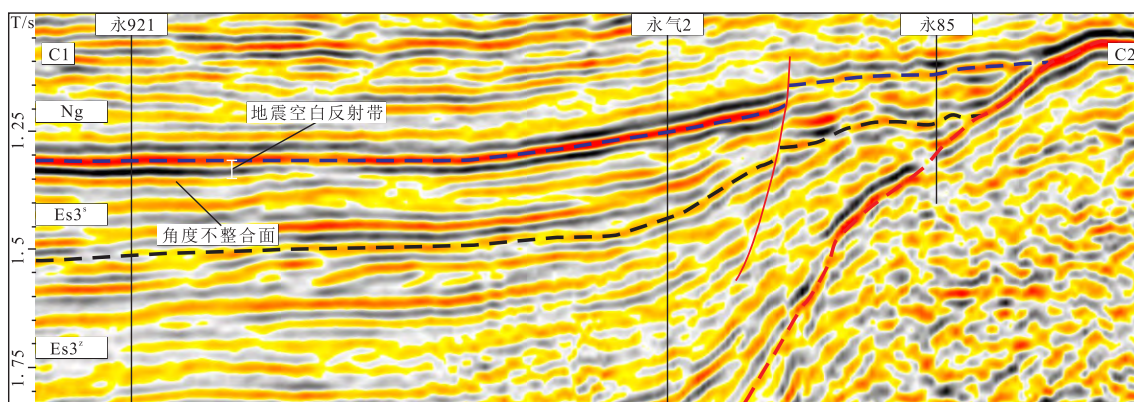


图6 东营凹陷永北地区风化壳发育带典型地震剖面

Fig. 6 Typical seismic section of the weathered clastic crust in the Yongbei area, Dongying sag

坏。远离凸起，一方面地层剥蚀量小，风化壳保存程度好，但另一方面远离母岩区地层的砂/泥减小，泥岩层的隔挡作用导致早期发育的风化壳也较薄。总体上由凸起向盆内方向，风化壳厚度减小。

在如图7所示的连井剖面中，永85井风化壳发育带厚度最大，风化粘土层的厚度近8 m，半风化淋滤带厚度超过70 m，油气显示厚度可达60 m。永气2井风化壳发育带厚度有所减薄，永921井风化壳发育带厚度最薄。分析认为，永气2井泥岩层对风化作用的阻碍作用导致风化壳厚度减薄，但风化壳内半风化淋滤带的砂岩仍达10余米，表现出比正常地层明显的SP负异常。永921井风化壳以泥岩、粉砂质泥岩为主，风化作用强度最弱，且难以划分内部2层结构。

#### 4 地震反射特征的演化模式

前已述及，永北地区风化壳的发育导致了地

震同相轴的消失，地震反射空白带与正常地层之间形成一定规模的角度不整合。风化壳结构的发育过程决定了地震反射特征的演化阶段，而构造活动的阶段性决定了风化壳的发育过程，因此，地震反射特征的发育根本上受到构造活动的控制作用。

综合地层发育特征及构造抬升过程，研究区地震反射特征的演化可划分4个阶段：(1) 沙三上沉积后阶段。沙三上段沉积时期环境为半干旱—半湿润气候，物源供应充分，地形山高坡陡，可容空间稳定或减小，陈家庄凸起向湖盆方向发育进积型扇三角洲，距离物源区近，砂质含量高且单砂层厚度大，此外，母岩为太古界花岗片麻岩，长石含量高，这为大气淡水淋滤、溶蚀提供了充足的物质基础(图8a)；(2) 沙三上抬升后阶段。古近纪晚期，东营凹陷整体抬升，由于构造强度的不均衡性，凹陷北部陡坡带抬升剧烈，永北地区缺失东营

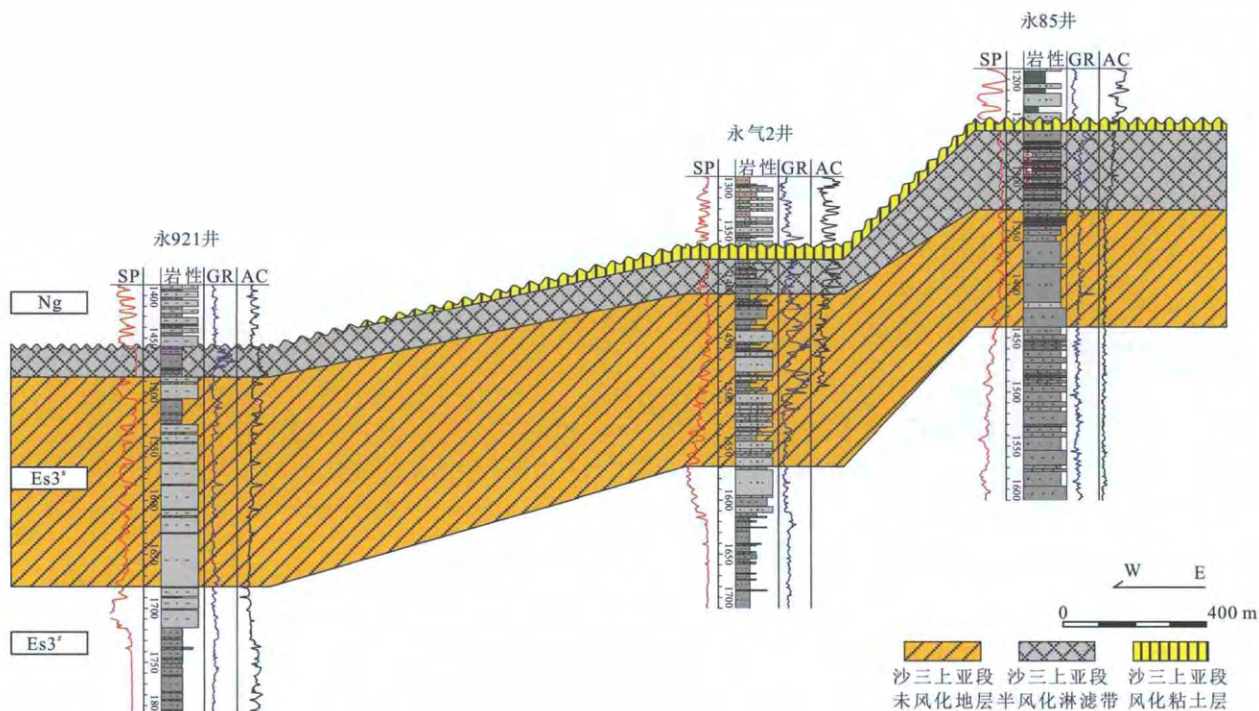


图7 东营凹陷永北地区风化壳发育带典型连井剖面

Fig. 7 Typical well cross section of the weathered clastic crust in the Yongbei area, Dongying sag

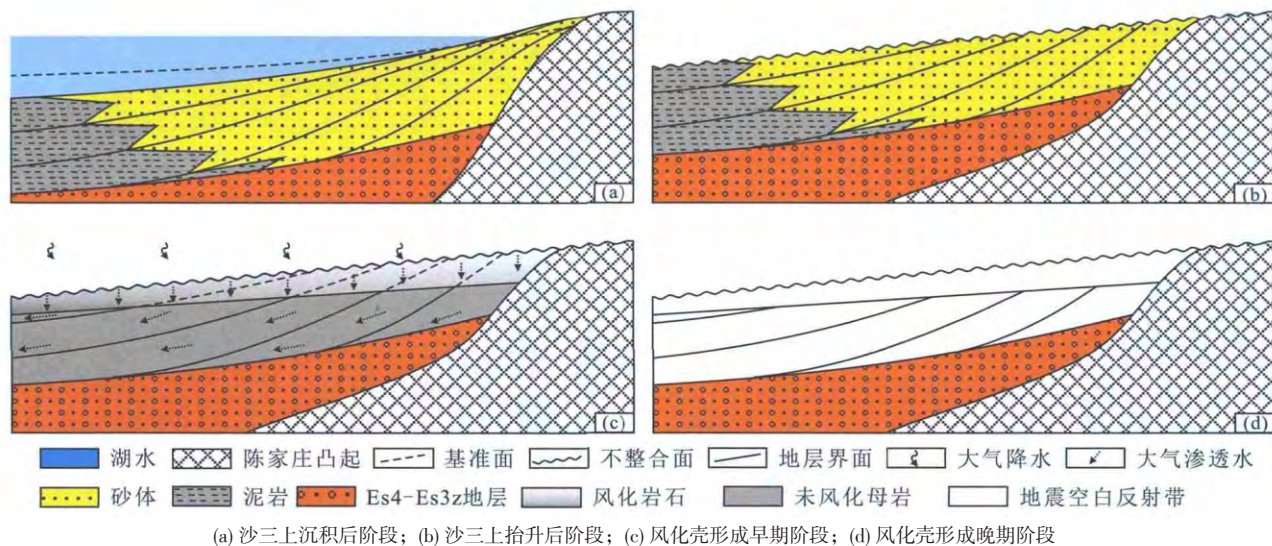


图8 东营凹陷永北地区地震反射特征形成模式

Fig. 8 Formation model of seismic reflection characteristics in the Yongbei area, Dongying sag

组、沙一段、沙二段及沙三段顶部地层，地层界面与T1不整合面呈低角度相交，沙三上扇三角洲地层暴露于大气中，接受大气淡水风化、淋滤（图8b）；（3）风化壳形成早期阶段。东营运动抬升导致的沉积间断超过10 Ma，大气水沿不整合面下渗、淋滤，在风化壳内部垂直运动，逐渐形成次生高孔带，在风化前锋处逐渐形成代表物性界面

的角度不整合面。在未受到风化作用影响的地层内，大气水沿层缓慢流入湖盆（图8c）；（4）风化壳形成晚期阶段。东营凹陷开始沉降之前，风化壳发育彻底结束。T1不整合面之下、角度不整合面之间的地层界面消失，形成地震空白反射带，角度不整合面之下地层仍然表现为低角度削截现象（图8d）。



## 5 风化壳发育带的预测及成藏意义

### 5.1 风化壳发育带的预测

在地震反射特征描述与地质解释的基础上，通过标定第一个明显削截点（沙三上亚段地层角度削截于T1不整合面的点）的位置，在平面圈定了风化壳发育带的范围。如图所示，风化壳发育带的发育范围由陈家庄凸起根部向南可达民丰断裂附近，甚至可局部覆盖民丰洼陷，由青坨子凸起向西，风化壳发育带可延伸至洼陷部位。需要指出的是，地层不发育明显的地震空白反射特征并不代表风化壳缺失，这与地层的砂/泥比、古地

形及暴露时间等多种因素有关，因此地震空白反射带的范围是风化壳发育带的保守范围或最小范围（图9）。此外，永北地区东部风化壳不发育，这可能与边界断层活动的差异性导致风化壳破坏有关（隋风贵，2009）。

### 5.2 风化壳发育带的成藏模式

通过实测物性统计，半风化淋滤带物性改善，孔隙度最高可达32%，是良好的储集砂体。通过沙三上亚段扇三角洲砂体的含油性统计，发现研究区试油井钻穿的半风化淋滤带砂体大多含油（表1；图10），无油气显示的井（例如，永气2井）距离凸起较远，不利于油气富集。因此，半

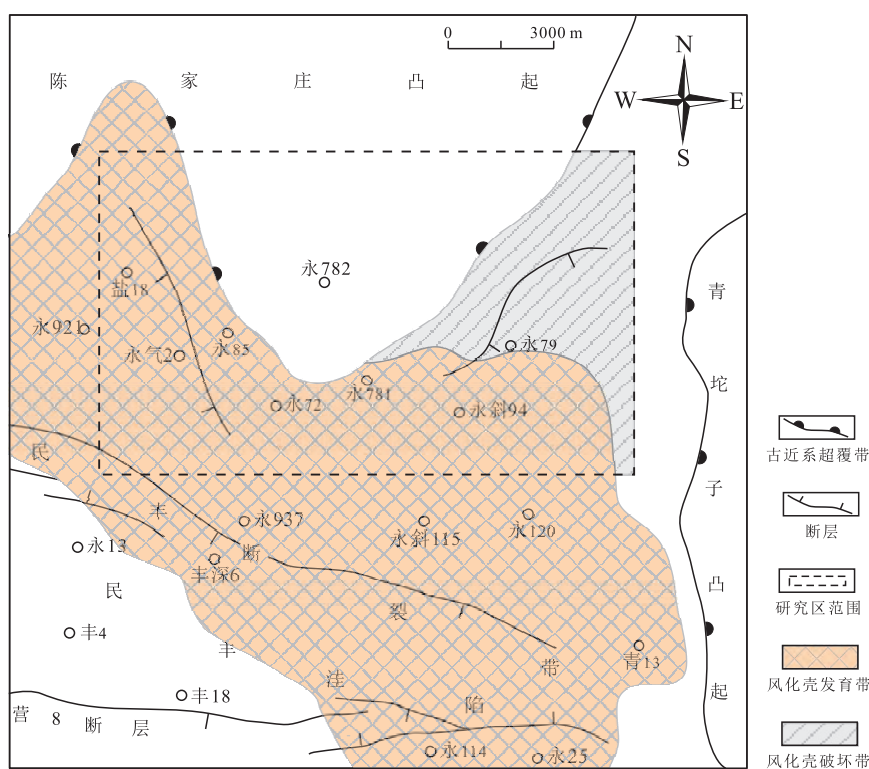


图9 东营凹陷永北地区风化壳发育带平面预测

Fig. 9 Planar prediction of the weathered clastic crust in the Yongbei area, Dongying sag

表1 东营凹陷永北地区风化淋滤带含油性统计

Table 1 Oil-bearing characteristics of the weathered and dissolved rocks in the Yongbei area, Dongying sag

井号	构造位置	不整合面深度/m	风化粘土层厚度/m	风化淋滤带含油性	含油厚度/m
永72	西翼	1311.0	6	含油	37
永75	西翼	1244.0	1.5	含油	12
永85	西翼	1248.5	19	含油	55
永气2	西翼	1364.0	15	—	—
永斜851	西翼	1350.5	8	—	—
永斜852	西翼	1368.5	7	含油	89

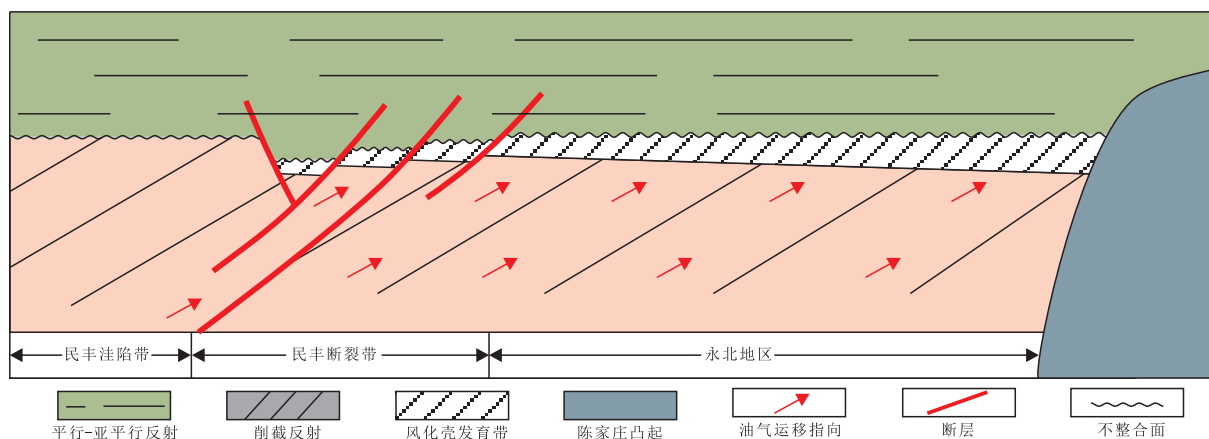


图10 东营凹陷永北地区风化壳发育带成藏示意图

Fig. 10 Schematic model showing hydrocarbon migration and accumulation in the weathered clastic crust in the Yongbei area, Dongying sag

风化淋滤带是研究区油气富集的有利场所，距凸起越近，含油性越好。

关于不整合对圈闭、成藏的控制作用，前人做了大量研究（隋风贵等，2006；高长海等，2013），削-超不整合与削-平整合对圈闭形成与成藏最有利，平行不整合最不利于成藏。由于不整合面下伏地层产状倾斜，油气运移的阻力相对小，盆地边缘凸起或鼻状构造带地势高，是油气有利的运移指向。永北地区古近系地层经历长期的抬升剥蚀，T1不整合面下发育碎屑岩风化壳，风化粘土层或上覆非渗透层可以遮挡油气的运移，半风化淋滤带由于物性改善可以作为油气运移通道和储集场所，储层和盖层配合良好，具备形成地层不整合油藏的有利条件（图10）。

风化壳的发育是一种地质现象，是在原岩基础上，期暴露、剥蚀及淋滤条件下形成的结构体，因此风化壳与原岩在地震属性、波阻抗、相干性等地球物理学性质上必然存在差异。地震资料在横向上连续最好，在对风化壳发育带的地质认识基础上，优选多种地球物理分析方法对储、盖层进行评价，是下步风化壳储层预测的可行方法。

## 6 结论

永北地区不整合面之下风化壳可划分风化粘土层、半风化淋滤带2层结构，不整合结构在岩心、测井、物性响应方面都有明显的识别特征。

T1不整合面之下特殊的地震反射特征的形成与风化壳发育有关。风化壳发育过程中大气淡水

的风化、淋滤作用导致风化壳发育带内地层界面的消失，形成地震空白反射带，风化壳发育带之下未受到破坏而保留了原始地层界面的削截反射特征。风化壳内岩石受到风化淋滤作用物性较大提高，与原岩之间存在物性界面，形成了物性差异控制的角度不整合面。地震反射特征的演化过程可划分为4个阶段：沙三上沉积后阶段、沙三上抬升后阶段、风化壳形成早期阶段、风化壳形成晚期阶段。

地震空白反射带的发育范围是风化壳发育带的保守范围，风化粘土层或不整合面上覆非渗透层可作为圈闭封堵条件，半风化淋滤带物性得到改善，可作为良好的油气储集空间和运移通道。在地质认识的基础上，综合利用地震波阻抗反演、地震属性技术等地球物理方法对风化淋滤带范围进行验证，并对盖层封堵能力进行评价，是下步地层油藏勘探工作的重点。

## 参考文献(References):

- 陈茂山. 2014. 地震地层体及其分析方法[J]. 石油地球物理勘探, 19(5): 1020-1026.
- 操应长, 徐涛玉, 王艳忠, 等. 2009. 东营凹陷古近系储层超压成因及其成藏意义[J]. 西南石油大学学报(自然科学版), 31(3): 34-38.
- 冯有良. 1999. 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—中国地质大学学报, 24(6): 635-641.
- 冯有良, 周海民, 任建业, 等. 2010. 渤海湾盆地东部古近系层序地层及其对构造活动的响应[J]. 中国科学(D辑), 40(10): 1356-1376.
- 高长海, 彭浦, 李本琼. 2013. 不整合类型及其控油特征[J]. 岩性油气藏, 25(6): 1-7.
- 郭佳, 曾溅辉, 宋国奇, 等. 2013. 东营凹陷沙河街组储层高岭石分布特征及其影响因素[J]. 现代地质, 27(5): 1089-1098.

- 何江,方少仙,侯方浩,等.2013.风化壳古岩溶垂向分带与储集层评价预测—以鄂尔多斯盆地中部气田区马家沟组马五<sub>1</sub>—马五<sub>2</sub>亚段为例[J].石油勘探与开发,40(5):534-541.
- 姜在兴.2003.沉积学[M].北京:石油工业出版社:458-463.
- 梁全胜.2016.鄂尔多斯盆地高家河地区上古生界地震沉积学研究[J].石油物探,55(1):107-114.
- 刘鑫金,宋国奇,刘惠民,等.2012.东营凹陷北部陡坡带砂砾岩油藏类型及序列模式[J].油气地质与采收率,19(5):20-23.
- 曲江秀,查明,田辉,等.2003.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,24(5):386-388.
- 隋风贵,王学军,赵乐强.2009.济阳拗陷不整合油气成藏与勘探[J].油气地质与采收率,16(6):1-7.
- 隋风贵,王学军,卓勤功,等.2007.陆相断陷盆地地层油藏勘探现状与研究方向—以济阳拗陷为例[J].油气地质与采收率,14(1):1-6.
- 隋风贵,赵乐强.2006.济阳拗陷不整合结构类型及控藏作用[J].大地构造与成矿学,30(2):161-166.
- 宋桂桥,马灵伟,李宗杰.2013.基于随机介质正演模拟的塔中顺南地区风化壳储层地震响应特征分析[J].石油物探,52(3):307-311.
- 宋国奇,王永诗,程付启,等.2014.济阳拗陷古近系二级层序界面厘定及其石油地质意义[J].油气地质与采收率,21(5):1-7.
- 王明飞,陈超,屈大鹏,等.2015.涪陵页岩气田焦石坝区块五峰组—龙马溪组一段页岩气储层地球物理特征分析[J].石油物探,54(5):613-620.
- 王东旭.2012.东营南坡新生界与中古生界不整合面特征及对油气成藏的影响[J].天然气地球科学,23(2):279-282.
- 王书宝,钟建华,王勇,等.2008.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),30(4):19-23.
- 于建群,姜东波.2001.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,8(2):11-14.
- 杨品荣,陈洁,蔡进功,等.2001.济阳拗陷构造转型期及其石油地质意义[J].油气地质与采收率,8(3):5-7.
- 邹才能,侯连华,杨帆,等.2014.碎屑岩风化壳结构及油气地质意义[J].中国科学(D辑),42(12):2652-2664.
- 朱光有,金强,戴金星,等.2004.东营凹陷油气成藏期次及其分布规律研究[J].石油与天然气地质,25(2):215-218.
- 张晶,王伟峰,史文东,等.2005.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,27(6):831-834.
- Brown L F and Fisher W J. 1988. 地震地层学解释与油气勘探[M]. 增洪流,张万选,译.北京:石油工业出版社:2-5.
- Parker A. 1970. An index of weathering for silicate rocks [J]. Geological Magazine, 107(6): 501-504.
- Ruxton B P. 1968. Measures of the degree of chemical weathering of rocks [J]. Journal of Geology, 76(5): 518-527.
- Sloss L. 1963. Sequence in the cratonic interior of North America [J]. Geological Society of American Bulletin, 74: 93-114.