

欧阳黎明, 杨少春, 张博明, 等. 南堡凹陷3号构造区古近系东营组/沙河街组不整合结构特征[J]. 地球科学与环境学报, 2018, 40(3): 322-333.

OUYANG Li-ming, YANG Shao-chun, ZHANG Bo-ming, et al. Characteristics of Unconformity Structure Between Paleogene Dongying Formation and Shahejie Formation in No. 3 Tectonic Region of Nanpu Sag[J]. Journal of Earth Sciences and Environment, 2018, 40(3): 322-333.

南堡凹陷3号构造区古近系东营组/ 沙河街组不整合结构特征

欧阳黎明¹, 杨少春^{1*}, 张博明², 冯建伟¹, 何妮茜³, 王喜冬¹, 王亚¹

(1. 中国石油大学(华东)地球科学与技术学院, 山东 青岛 266580; 2. 中国石油冀东油田分公司勘探开发研究院, 河北 唐山 063004; 3. 中石化重庆涪陵页岩气勘探开发有限公司, 重庆 408014)

摘要:南堡凹陷古近系东营组/沙河街组(Ed/Es)不整合结构普遍发育,不同区域的发育特征不尽相同,其中南堡凹陷3号构造区就显示出了明显的差异性。综合三维地震、测井曲线、钻井岩芯、物性分析等资料,系统分析南堡凹陷3号构造区Ed/Es不整合结构岩石学、测井响应、物性以及空间分布特征。结果表明:Ed/Es不整合结构可以划分为不整合面之上的岩石、风化黏土层和半风化层3层,其中风化黏土层发育程度较低;不整合结构具有不同的岩石学特征,不整合面之上的岩石风化程度最低,泥质含量高,风化黏土层风化程度高,物性最差,半风化层受改造程度高,物性最好;不整合结构的分布在平面和空间上较为一致,不整合面之上的岩石和半风化层岩石在顺物源方向上较为发育,在垂物源方向上发育程度较低,风化黏土层在垂物源方向上中部地区较为发育,在顺物源方向上欠发育;不整合结构发育程度上的非均一性对油气产生不同影响,其中不整合面之上的岩石和风化黏土层主要作为油气的封盖层,半风化层则主要作为油气运移的输导层。

关键词:不整合结构;东营组;沙河街组;三维地震;测井响应;空间分布;南堡凹陷

中图分类号:P542+.34

文献标志码:A

文章编号:1672-6561(2018)03-0322-12

Characteristics of Unconformity Structure Between Palaeogene Dongying Formation and Shahejie Formation in No. 3 Tectonic Region of Nanpu Sag

OUYANG Li-ming¹, YANG Shao-chun^{1*}, ZHANG Bo-ming², FENG Jian-wei¹,
HE Ni-qian³, WANG Xi-dong¹, WANG Ya¹

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

2. Research Institute of Petroleum Exploration and Development, Jidong Oilfield Company,

PetroChina, Tangshan 063004, Hebei, China; 3. Chongqing Fuling Shale Gas Exploration and
Development Company, SINOPEC, Chongqing 408014, China)

Abstract: The unconformity structure between Palaeogene Dongying Formation and Shahejie Formation (Ed/Es) in Nanpu sag is widely developed, and the development characteristics are different in distinct regions, especially in No. 3 tectonic region of Nanpu sag. Combined with 3D

收稿日期:2017-12-18;修回日期:2018-03-13

投稿网址: <http://jese.chd.edu.cn/>

基金项目:国家科技重大专项项目(2017ZX05009-001)

作者简介:欧阳黎明(1990-),男,湖北应城人,工学硕士研究生,E-mail:oylm1002@163.com。

* 通讯作者:杨少春(1962-),男,广西桂林人,教授,博士研究生导师,理学博士,E-mail:scyang@upc.edu.cn。

seismic, well logging curves, drilling core, physical analysis and other data, the characteristics of lithology, logging response, physical property and spatial distribution of Ed/Es unconformity structure in No. 3 tectonic region of Nanpu sag were systematically analyzed. The results show that Ed/Es unconformity structure can be divided into rocks above the unconformity, weathering clay layer and semi-weathered layer, and the development degree of weathering clay layer is low; the unconformity structure has different characteristics of lithology, the rocks above the unconformity have the lowest weathering degree and high shale content, and the weathering clay layer has high weathering degree and the worst physical property, while the semi-weathered layer suffers strongly modification and has the best physical property; the distributions of unconformity structure are more consistent in plane and space, and the rocks above the unconformity and the semi-weathered layer are more developed along the parallel direction of sediment sources, and are lower developed along the vertical direction of sediment sources, while the weathered clay layer is developed in the middle area along the vertical direction of sediment sources, and is undeveloped along the parallel direction of sediment sources; the heterogeneity of development degree of unconformity structure has different effects on oil and gas, the rocks above the unconformity and the weathering clay layer are mainly as sealing barrier for oil and gas, and the semi-weathered layer is mainly as a carrier bed of oil and gas migration.

Key words: unconformity structure; Dongying Formation; Shahejie Formation; 3D seismic; logging response; spatial distribution; Nanpu sag

0 引言

传统意义上,不整合被认为只是一个面。近年来随着研究的深入,对不整合一种新的认识逐渐为大家所接受,不整合不仅是一个二维上的面,更是三维上的体。不整合不仅记录了海平面的变化和沉积的间断,还代表了后期地质作用对沉积物不同程度的改造。正是由于沉积物受到不同程度的改造,不整合在纵向上具有明显的分层结构。张克银等在研究塔北隆起碳酸盐岩顶部不整合时首次提出不整合三层结构,在纵向上将不整合划分为残积层、渗流层和潜流层,并相应地讨论了各层的控矿意义^[1]。何登发认为不整合三层结构包括不整合面之上的岩石、风化黏土层和半风化层,不整合在油气成藏过程中扮演着重要角色,主要体现在封堵油气和运移通道两个方面,同时总结出不整合结构的作用主要与不整合结构的特征及其与上、下地层的配置关系有关^[2]。此外,也有很多学者对不整合控油作用开展研究。例如,吴孔友等在研究准噶尔盆地时提出,风化黏土层受上覆沉积物压实作用导致岩性致密,可以作为良好的封盖层,半风化层受风化淋滤改造,可作储层^[3];王艳忠等认为不整合面之上的岩石和半风化层为高孔隙度和渗透率的岩石,岩石裂隙、溶蚀孔洞发育,既可以作为油气运移通道,又可成为油气聚集的

有效储层^[4]。综合前人的研究成果,不整合的控油作用主要体现在改善下部储层、作为油气运移通道和提供圈闭3个方面^[5-12]。

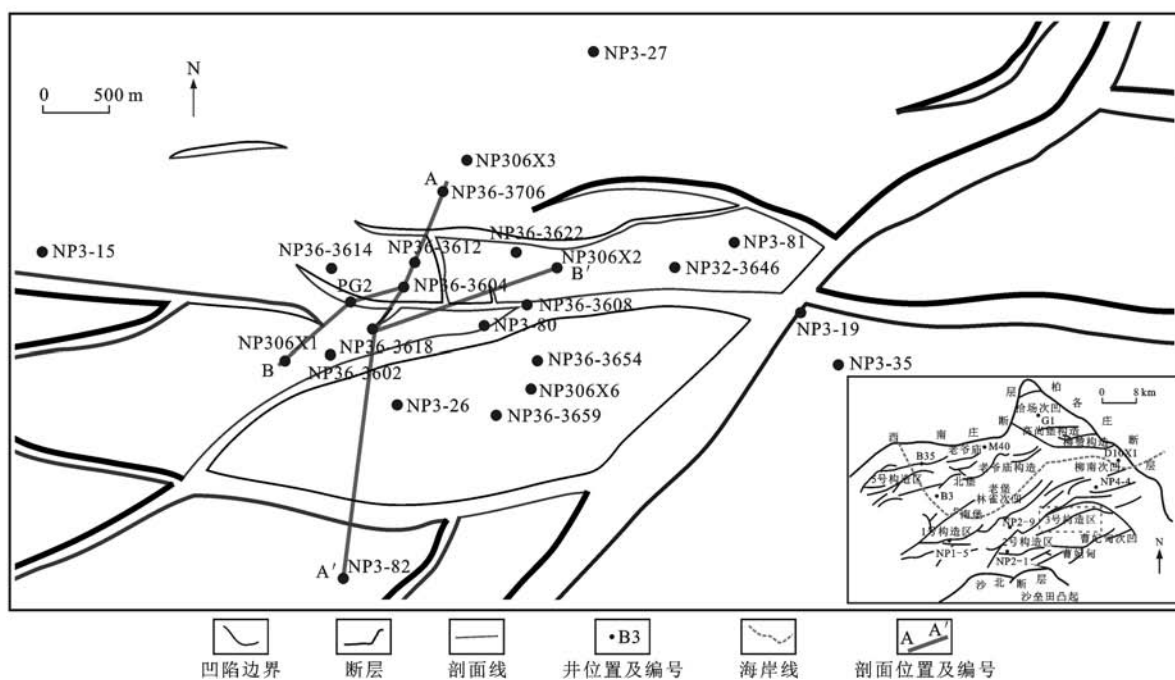
南堡凹陷属于走滑伸展型断陷,构造演化具有幕式裂陷特征,南堡凹陷3号构造区在此构造背景下经历了多期裂陷演化,形成多个区域性不整合^[13-16]。其中,古近系东营组/沙河街组(Ed/Es)不整合对应于裂陷四幕^[17-18],由沙河街组沉积晚期地层遭受剥蚀后东营组沉积其上形成。国内外学者对研究区的不整合及其相关油气藏进行了大量研究^[14,16,19],揭示了Ed/Es不整合之下沙河街组一段油气分布范围广,之上东营组三段油气分布相对局限的特点,但研究多集中在这种现象与断层发育的联系^[19-20],少有对与之相关不整合的研究。因此,本文在前人研究的基础上,利用岩芯观察、矿物分析、测井与地震识别等手段,对南堡凹陷3号构造区Ed/Es不整合进行分析和总结,为揭示Ed/Es不整合结构特征及其与油气差异性分布之间的关系奠定基础,以满足后续勘探开发的需要。

1 区域地质概况

南堡凹陷位于渤海湾盆地黄骅坳陷的东北部,是黄骅坳陷的次级构造单元,属断陷型富油气凹陷。3号构造区位于南堡凹陷东南部,北部与曹妃甸次

凹相邻,南部紧邻沙垒田凸起,整体呈 EW 向展布,构造面积比较大,物源来自于沙垒田凸起,持续时间

长及变化类型多的构造演化使其具备多套生储盖组合,是油气聚集的有利场所(图 1)。



图件引自中国石油冀东油田分公司内部资料,有所修改

图 1 南堡凹陷 3 号构造区地质简图

Fig. 1 Geological Sketch Map of No. 3 Tectonic Region of Nanpu Sag

南堡凹陷 3 号构造区内地层发育较全,自下而上依次发育古近系沙河街组和东营组、新近系馆陶组和明化镇组、第四系平原组,本文研究对象 Ed/E_s 不整合上、下分别为古近系东营组和沙河街组地层。沙河街组和东营组为南堡凹陷 3 号构造区的主力产油层,主要发育滨湖相、三角洲相砂岩以及砂砾岩储层,物性较好。沙河街组自下而上依次可划分三段(E_{s3})、二段(E_{s2})、一段(E_{s1}),东营组也细分为三段(E_{d3})、二段(E_{d2})、一段(E_{d1})。研究区构造方面具有多幕断陷演化的特点,存在多个层位不同程度的风化剥蚀,发育构造、岩性、构造-岩性等多种油气藏类型,油源主要来自于东营组三段下部地层,生储盖配置较好^[14,21-22]。

2 不整合结构划分

Ed/E_s 不整合在南堡凹陷 3 号构造区发育广泛。地震同相轴的上、下接触关系表明 Ed/E_s 不整合以削截不整合为主,主要分布在斜坡区和中部地区,位于潜山的顶部,是在构造挤压背景下早期沉积的地层发生抬升、掀斜,风化作用使翘起的地层遭受剥蚀,后期再次接受沉积而形成的^[13,18]。在此过程中,地层受到的风化剥蚀具有一定程度的差异性,因此,会在纵向上表现出不同特征。研究区不整合埋

深较大,取芯井较少,取到不整合深度段的井更少,因此,通过分析少量岩芯,并主要利用录井、测井以及矿物成分分析资料,综合岩性特征、测井曲线的突变特征(图 2)以及黏土矿物在纵向上的分段特征^[23-25],将 Ed/E_s 不整合结构划分为不整合面之上的岩石、风化黏土层、半风化层 3 层(图 3)。

对南堡凹陷 3 号构造区多口井进行不整合结构的划分,发现各井的发育情况不尽相同。风化黏土层只在部分井上发育,不整合面之上的岩石与半风化层则发育较为广泛,呈现出一部分井发育完整的三层结构(不整合面之上的岩石、风化黏土层、半风化层),另外一部分井则发育两层结构(不整合面之上的岩石、半风化层)(表 1)。

3 不整合结构特征

地层遭受风化剥蚀程度的不同会导致各结构层在微观特征和宏观分布上都表现出不同特征。

3.1 基本特征

3.1.1 不整合面之上的岩石

不整合面之上的岩石是指紧邻不整合面之上,位于上覆岩层底部的那套岩石。Ed/E_s 不整合面之上的岩石类型主要有泥岩、泥质粉砂岩、细砂岩和粉砂岩,个别井上发育薄层玄武岩,厚度为 1~40 m

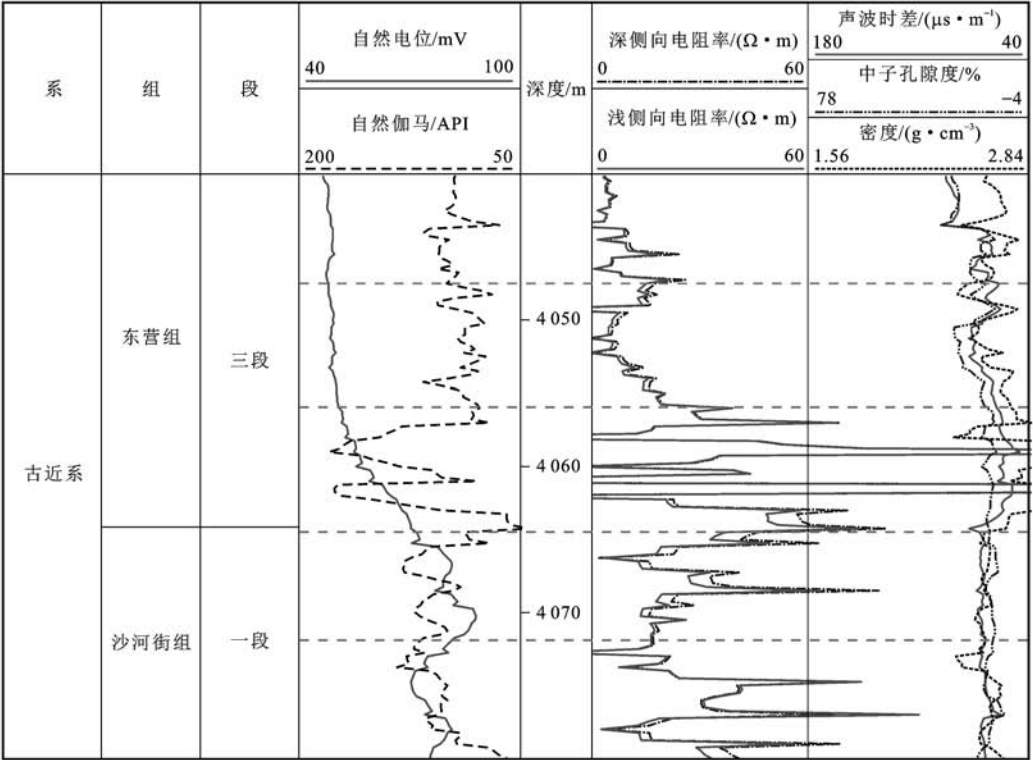


图 2 不整合面附近测井曲线的纵向突变特征

Fig. 2 Vertical Mutation Characteristics of Well Logging Curves near Unconformity

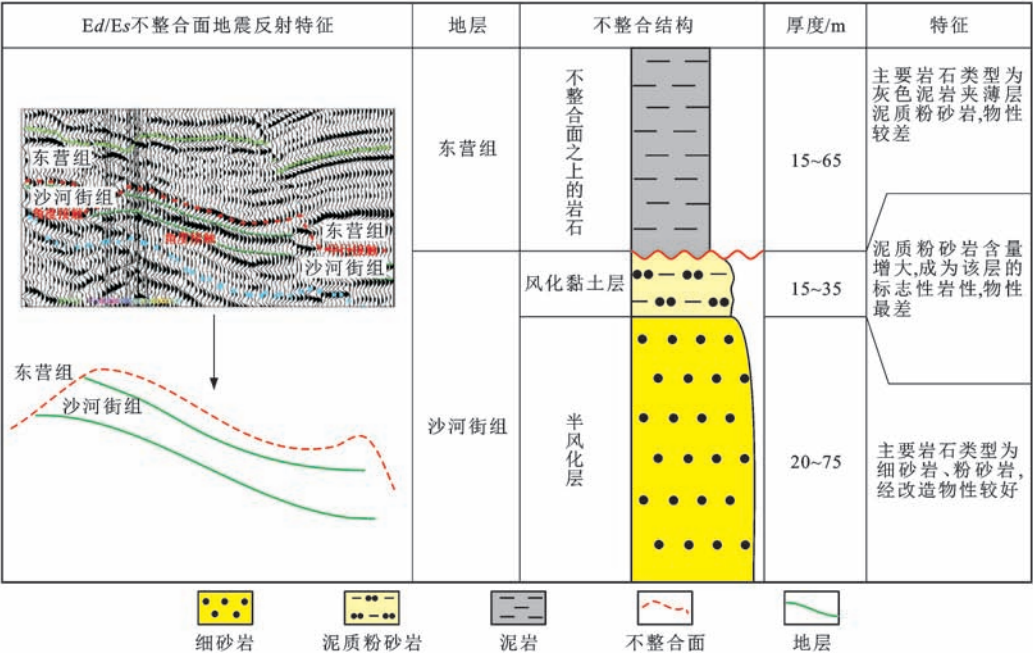


图 3 不整合结构划分

Fig. 3 Division of Unconformity Structure

不等,泥岩厚度最大。该结构层是沉积间断之后再次沉积的地层,风化剥蚀程度低,因此,黏土矿物含量(体积分数,下同)较低,具体表现为高岭石含量相对较高,伊利石含量相对于上覆岩石有上升趋势,但总的黏土矿物含量依然较低(图 4)。测井响应特征

主要表现为自然电位呈现低幅度异常,声波时差较低(图 5)。
南堡凹陷 3 号构造区不整合面之上的岩石类型主要为泥岩,厚度较大,因此,孔隙度和渗透率相对较低,整体物性较差。在横向发育连续的情况下,该

表 1 不同井的不整合结构划分

Tab. 1 Divisions of Unconformity Structure in Different Wells

井号	不整合结构	顶深/m	底深/m	厚度/m
PG2	不整合面之上的岩石	4 027	4 064	37
	半风化层	4 064	4 093	29
NP36-3622	不整合面之上的岩石	3 936	3 968	32
	半风化层	3 968	4 016	48
NP3-80	不整合面之上的岩石	3 910	3 956	46
	半风化层	3 956	4 010	54
NP3-82	不整合面之上的岩石	3 962	3 998	36
	风化黏土层	3 999	4 022	23
	半风化层	4 023	4 055	32
NP36-3618	不整合面之上的岩石	4 051	4 072	21
	风化黏土层	4 073	4 090	17
	半风化层	4 091	4 130	39
NP306X6	不整合面之上的岩石	4 036	4 069	33
	风化黏土层	4 070	4 095	25
	半风化层	4 096	4 119	23
NP306X1	不整合面之上的岩石	4 047	4 112	65
	半风化层	4 112	4 167	55
NP36-3604	不整合面之上的岩石	3 910	3 975	65
	半风化层	3 976	4 050	74
NP36-3614	不整合面之上的岩石	4 022	4 081	59
	半风化层	4 081	4 152	71
NP36-3706	不整合面之上的岩石	4 459	4 474	15
	风化黏土层	4 475	4 507	32
	半风化层	4 508	4 536	28
NP306X2	不整合面之上的岩石	3 942	3 998	56
	风化黏土层	3 999	4 024	25
	半风化层	4 025	4 058	33

层多作为封盖层,对下面的油气起到封堵作用。少数砂岩相对发育的地区可作为油气的输导层。

3.1.2 风化黏土层

风化黏土层也称古土壤,位于风化壳最上部,是在物理风化的基础上经生物化学风化作用改造形成的细粒残积物,后经上覆沉积物的压实作用而形成的^[26]。风化黏土层区别其他结构层的岩性特征为泥质粉砂岩的累积厚度明显变高,占总厚度的比例超过 20%,但整体岩性以泥岩为主,也发育一定厚度的泥岩、泥质粉砂岩、粉砂岩互层的过渡性岩相。

岩石的矿物成分分析结果(表 2)表明,风化黏土层遭受一定程度的风化剥蚀,其稳定成分的含量相对较高,主要体现在石英和黏土矿物含量要明显

表 2 岩石矿物成分分析结果

Tab. 2 Analysis Results of Rock Mineralogical Composition

不整合结构	采样点编号	石英含量/%	钾长石含量/%	斜长石含量/%
不整合面之上的岩石	1	19.6	31.3	26.1
	2	18.8	24.3	28.8
	3	24.1	32.8	31.6
	4	25.1	24.9	25.5
	5	20.7	33.6	26.9
	6	21.9	32.8	30.0
	7	23.1	41.0	21.1
	8	21.3	28.6	25.8
	9	26.4	27.9	26.5
	10	22.2	35.3	22.8
风化黏土层	1	55.3	2.7	5.4
	2	42.2	3.0	8.4
	3	49.8	3.6	10.0
	4	51.0	1.9	10.1
	5	43.8	2.7	10.4
	6	49.2	5.4	2.9
	7	49.3	4.6	3.7
	8	59.5	5.1	4.1
	9	50.2	5.3	5.5
	10	54.9	5.0	7.3
半风化层	1	36.3	6.8	20.2
	2	41.7	7.4	21.9
	3	30.3	21.3	22.7
	4	44.7	20.2	20.6
	5	32.5	17.0	19.8
	6	30.5	20.5	17.6
	7	31.8	14.3	18.1
	8	39.1	9.3	19.5
	9	38.8	14.0	19.1
	10	36.1	18.3	20.8

高于不整合面之上的岩石和半风化层,而长石等不稳定矿物含量相对较低(图 4)。在风化剥蚀过程中,随着风化程度的加强,K 的富集有利于高岭石向伊利石的转化,因此,黏土矿物表现出高岭石含量较低、伊利石含量较高的特点,同时,黏土矿物总含量为 Ed/Es 不整合三层结构中最高。测井响应特征表现出低密度、高声波时差、高自然伽马(图 5)。

风化黏土层受上覆沉积物的压实作用导致岩性致密,孔隙度和渗透率相对较低,物性差,可作为良

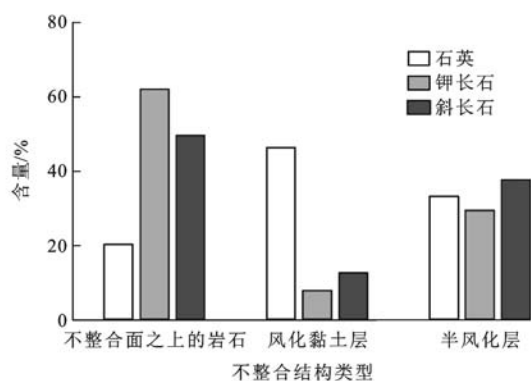


图 4 不整合结构石英-长石含量变化

Fig. 4 Content Variation of Quartz-feldspar of Unconformity Structure

好的封盖层。

3.1.3 半风化层

半风化层位于风化黏土层之下,是风化还不彻底的岩石。岩石类型主要以细砂岩、粉砂岩为主,其发育少量不等粒砂岩,泥岩较少,各井段厚度不同,多在 10~50 m 之间。

在矿物特征方面,黏土矿物含量在经历了风化黏土层的峰值之后,在半风化层有明显下降的趋势。半风化层总体上呈现出贫高岭石、富伊利石,黏土矿物总含量明显降低的特点(图 4)。半风化层的测井响应特征与不整合面之上的岩石差别较大。其中,自然伽马大于不整合面之上的岩石,低于正常泥岩;声波时差较大(图 5)。

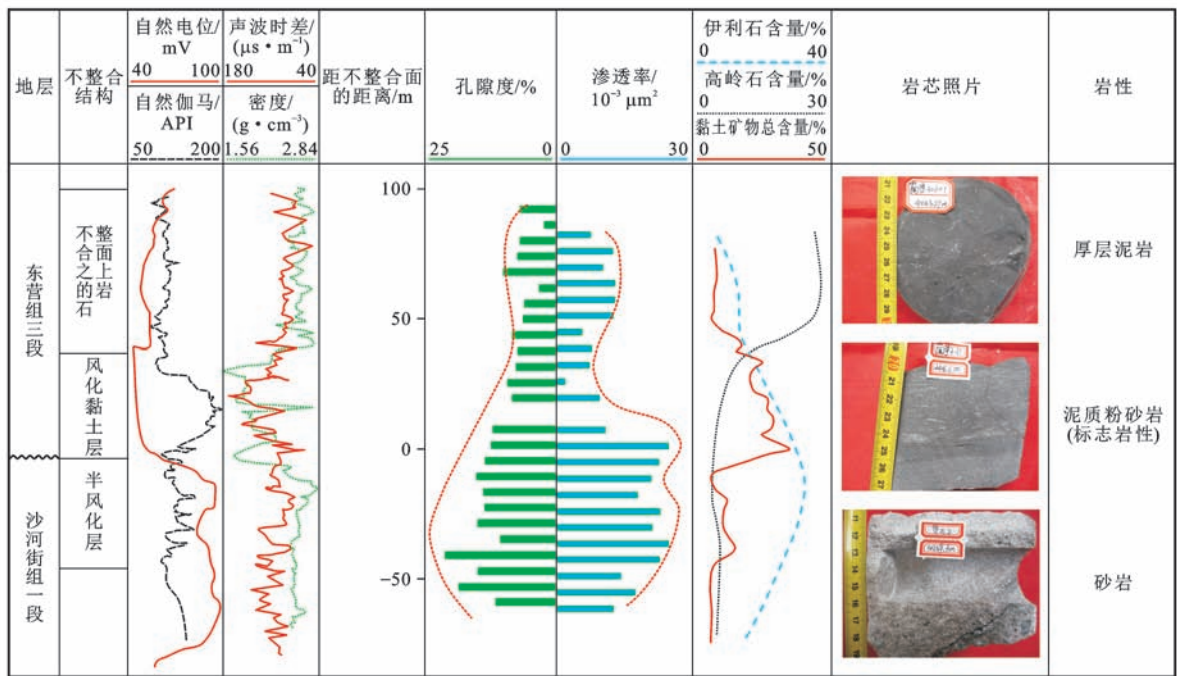


图 5 不整合结构基本特征

Fig. 5 Basic Characteristics of Unconformity Structure

受风化淋滤作用改造,半风化层的物性整体上高于不整合面之上的岩石和风化黏土层,岩石的孔隙度和渗透率发育,可以作为油气的运移通道或者储层。

3.2 分布特征

3.2.1 剖面发育特征

井剖面上,不整合面上、下岩性的组合关系会影响其在油气运聚过程中的作用。由于南堡凹陷 3 号构造区不同井岩性发育特征不同,岩性多样,同时也存在发育厚度不均一的现象,故采取以累积厚度占总厚度 20% 为界,高于 20% 的岩性可作为该井区不整合结构的代表岩性,低于 20% 的岩性则统一归为

其对应的大类。从各井的岩性组合(表 3)可以看出,Ed/Es 不整合结构以 CNB 组合和 BAB 组合为主。CNB 组合是一个上泥下砂、中间风化黏土层缺失的组合类型,上覆泥岩封堵能力强,下伏砂岩被改造物性较好,在配合有效的侧向封堵和油源条件下,油气可聚集在不整合面之下成藏;BAB 组合中间的风化黏土层较为发育,岩性较为致密,风化黏土层作为盖层,不整合面之上的岩石可起到输导作用,半风化层则可以作为良好的储层,通过断层等的连接,可在风化层形成上、下侧向输导的双输导层油气运移。

根据多口井的不整合结构划分结果,在顺物源和垂直物源方向分别建立一条不整合结构连井剖面

表3 不整合结构岩性组合

Tab.3 Lithology Combinations of Unconformity Structure

井号	不整合面之上的岩石	风化黏土层	半风化层	组合名称
PG2	泥岩(C)	缺失(N)	细砂岩(B)	CNB
NP36-3622	泥岩(C)	缺失(N)	细砂岩(B)	CNB
NP3-80	泥岩(C)	缺失(N)	粉砂岩(B)	CNB
NP306X1	水进砂体(B)	缺失(N)	砂岩(B)	BNB
NP36-3604	水进砂体(B)	缺失(N)	细砂岩(B)	BNB
NP363-3614	泥岩(C)	缺失(N)	泥岩(C)	CNC
NP3-82	泥岩(C)	黏土层(A)	砂岩(B)	CAB
NP36-3618	泥岩(C)	黏土层(A)	砂岩(B)	CAB
NP306X6	水进砂体(B)	黏土层(A)	砂岩(B)	BAB
NP36-3706	泥岩(C)	黏土层(A)	砂岩(B)	CAB
NP306X2	水进砂体(B)	黏土层(A)	砂岩(B)	BAB

注:砂岩包括细砂岩和粉砂岩;黏土层是以泥质粉砂岩为代表的黏土层。

(图6、7)。结果表明,Ed/Es不整合结构发育特征在顺物源和垂直物源方向上存在明显的差异性。在顺物源方向A—A'剖面上,风化黏土层的发育厚度不大,多稳定在20 m左右,且在部分井上不发育,

如NP36-3604井;不整合面之上的岩石和半风化层则在各井上都较为发育,且厚度较为稳定。在垂直物源方向B—B'剖面上,风化黏土层发育厚度较大,达到50 m,但也存在部分井不发育风化黏土层。

3.2.2 平面分布特征

根据不整合结构平面厚度分布(图8),不整合面之上的岩石和半风化层在顺物源方向上较为发育,主要分布在北部、中部和南部地区,东部和西部地区欠发育;而风化黏土层发育程度较大的区域集中在垂直物源方向的零散带上,在顺物源方向上除了中部地区较为发育,南部和北部地区都欠发育。

3.2.3 空间分布特征

以测井识别的不整合结构为依据,通过地震资料建立南堡凹陷3号构造区构造格架,利用Petrel软件对不整合结构的空间分布进行建模。通过多次模拟直至实现预期结果,发现不整合结构发育程度具有很强的非均质性(图9)。靠近物源区不整合结构整体较为发育,不整合面之上的岩石和半风化层在全区分布较好,且厚度较为稳定,中间的风化黏土层则集中在西南部以及中部地区,不同地区厚度差别较大。这与连井剖面以及平面分布特征分析中的认识

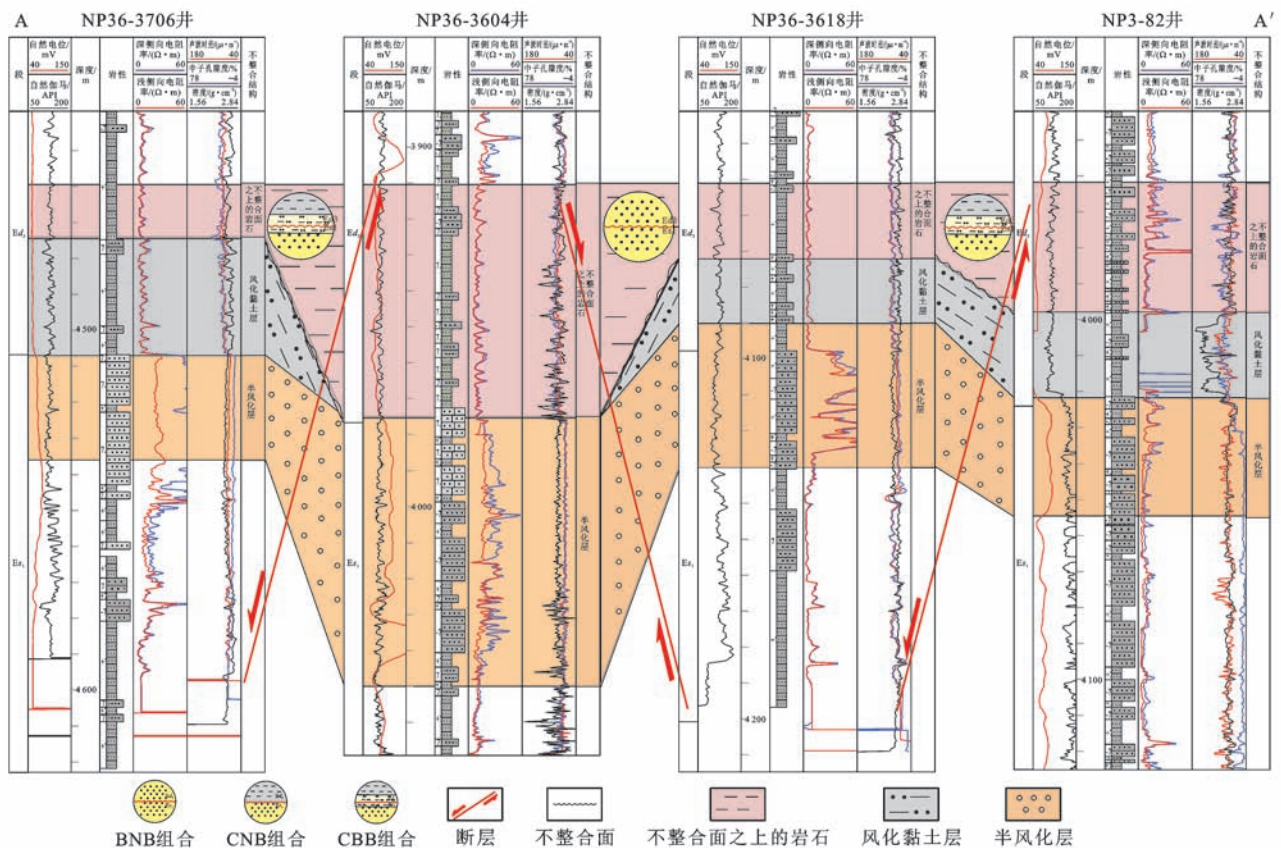


图6 不整合结构顺物源方向A—A'剖面及岩性组合

Fig.6 A-A' Profiles and Lithology Combinations of Unconformity Structure Along the Parallel Direction of Sediment Sources

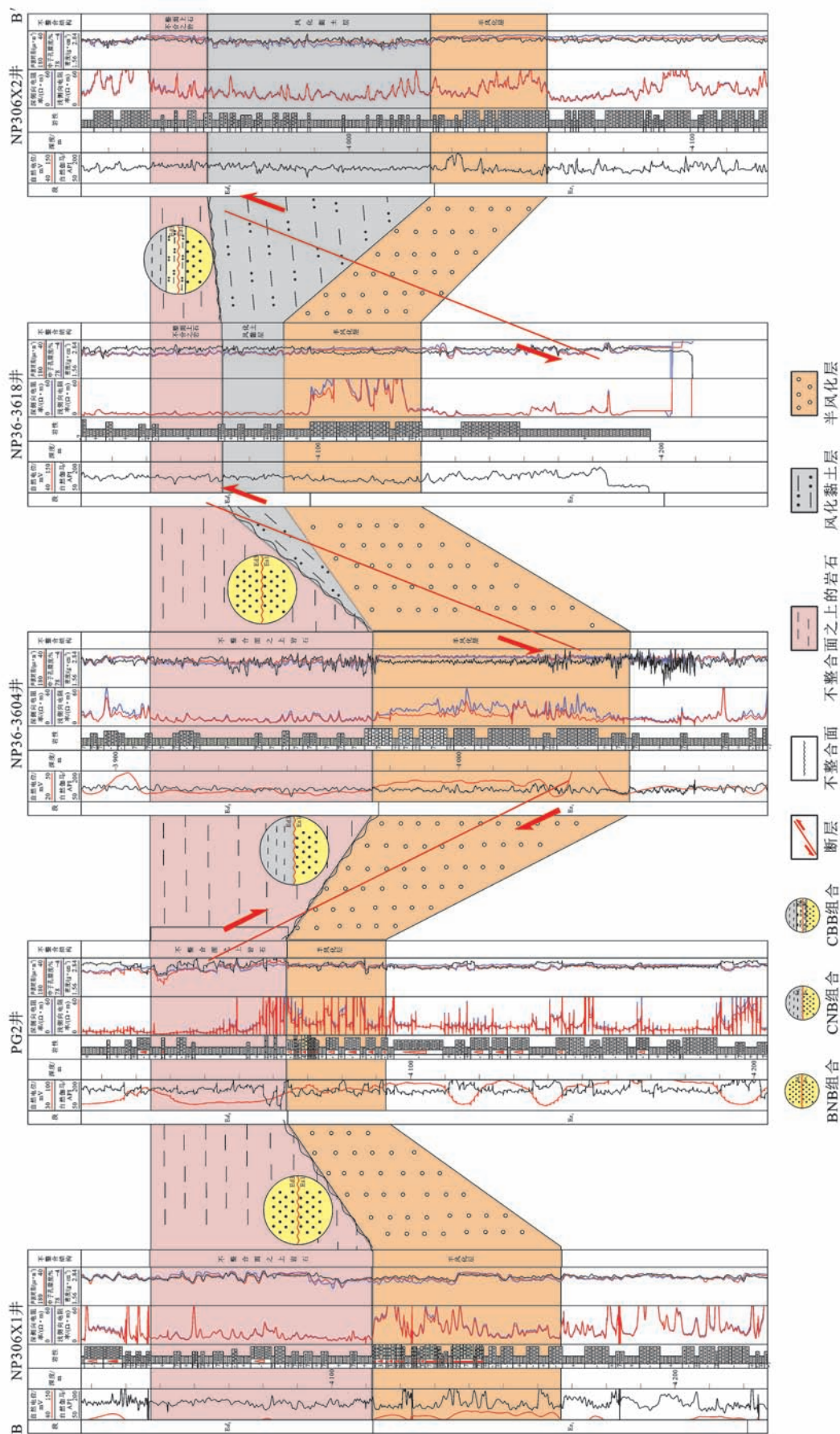


图 7 不整合结构垂直物源方向 B—B' 剖面及岩性组合
Fig.7 B-B' Profiles and Lithology Combinations of Unconformity Structure Along the Vertical Direction of Sediment Sources

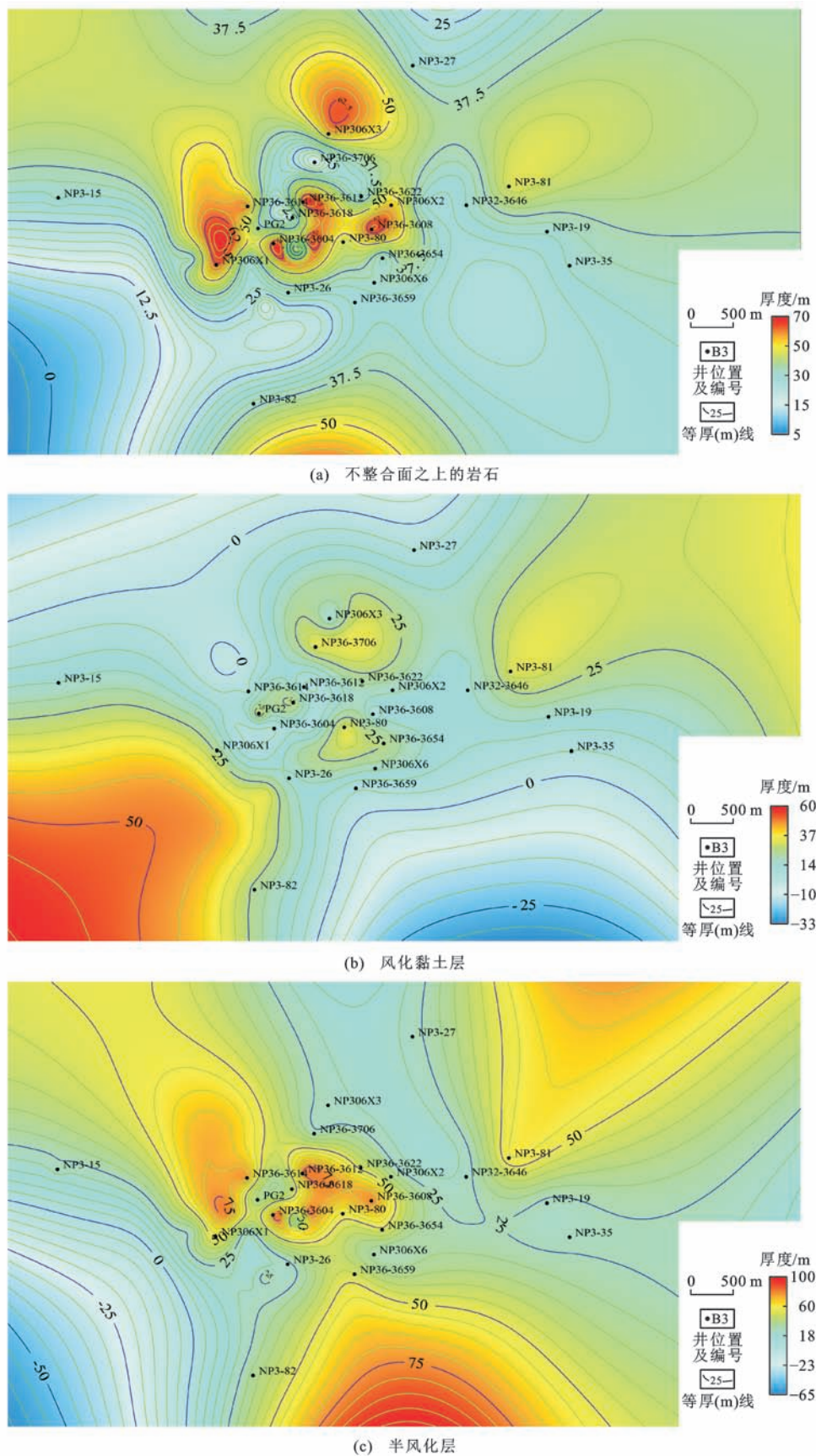


图8 不整合结构平面厚度分布

Fig. 8 Plane Distributions of Thickness of Unconformity Structure

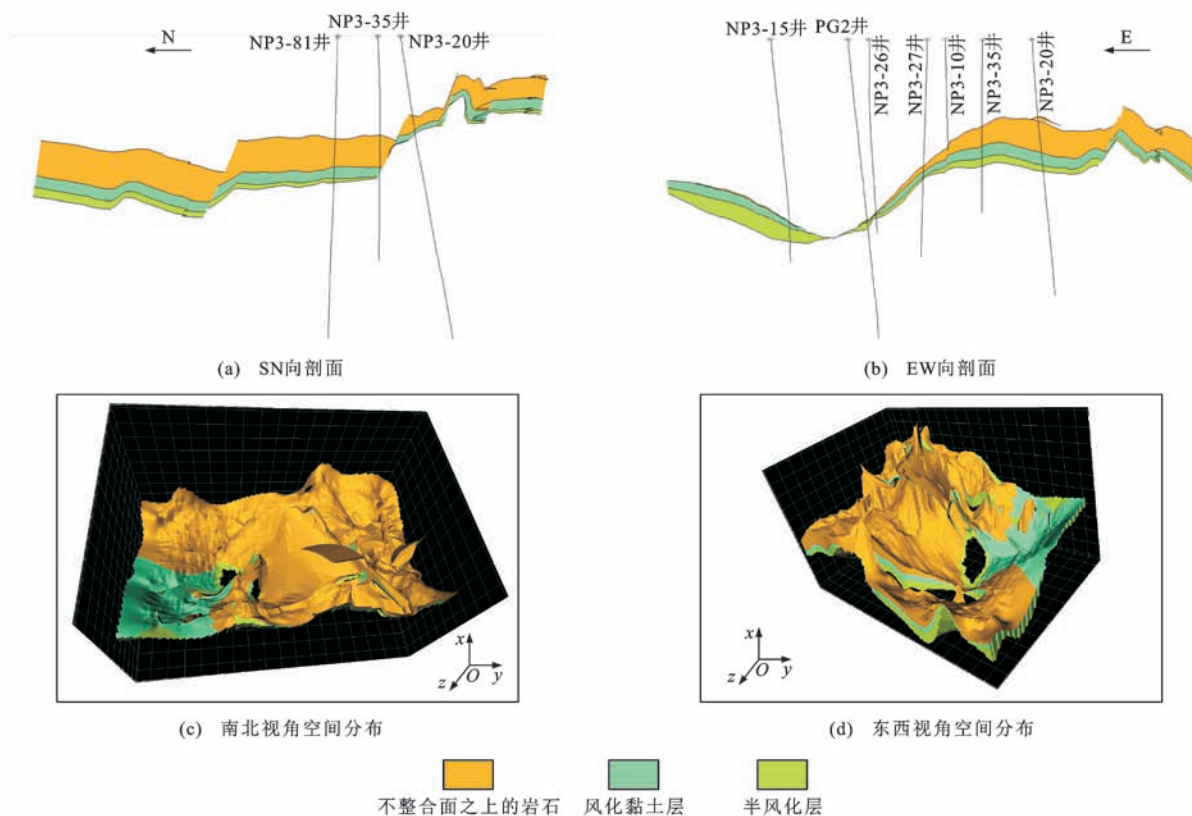


图9 不整合结构空间分布

Fig. 9 Spatial Distributions of Unconformity Structure

一致。整体上看,Ed/E_s不整合三层结构完整发育的区域集中在中部地区,其他区域多以发育不整合面之上的岩石和半风化层两层结构为主。结合不整合结构的基本特征,可以初步判断南堡凹陷3号构造区中部地区不整合结构对油气产生封堵作用,其他大部分地区则多作为输导层对油气进行运移。

3.3 小结

不整合结构特征以及分布上的差异是决定不整合控油作用的主要因素。不整合面之上的岩石和半风化层物性较好,分布厚度相对稳定,而风化黏土层则发育相对局限,物性较差。因此,在风化黏土层发育的地区,油气在风化黏土层的遮挡下沿着半风化层向高处运移,表现出油气在Ed/E_s不整合之下的沙河街组一段连片发育,例如南堡凹陷3号构造区中部地区;而在风化黏土层缺失的地区,在无上覆盖层的遮挡条件下,油气直接通过不整合结构向上运移,从而分布在东营组三段中,这就是东营组三段油气平面上分布不连续和零散分布的原因。

4 结语

(1)由于风化剥蚀程度的不同,南堡凹陷3号构造区Ed/E_s不整合结构可以划分为不整合面之

上的岩石、风化黏土层及半风化层3层,其中不整合面之上的岩石和半风化层较发育,风化黏土层欠发育。

(2)风化黏土层受风化剥蚀程度较高,黏土矿物含量高,岩石中稳定成分相对较高,孔隙度和渗透率低,物性最差;半风化层受淋滤作用改造,孔隙度和渗透率较高,物性最好;不整合面之上的岩石由于未受改造,与上覆岩层特征相似。

(3)不整合面之上的岩石和半风化层在顺物源方向较发育,在垂利物源方向欠发育;风化黏土层主要发育在垂利物源方向的零散带上,在顺物源方向除了中部地区较发育,南部和北部地区都欠发育。南堡凹陷3号构造区Ed/E_s不整合结构在顺物源方向主要发育不整合两层结构,在垂利物源方向则发育三层结构。由于风化黏土层的物性较差,半风化层物性较好,故在发育完整三层结构的区域,不整合结构通常作为封盖层,而在缺失风化黏土层的区域,不整合结构则作为输导层。

参考文献:

References:

- [1] 张克银,艾华国,吴亚军. 碳酸盐岩顶部不整合面结构层及控油意义[J]. 石油勘探与开发, 1996, 23(5):

- 16-19.
- ZHANG Ke-yin, AI Hua-guo, WU Ya-jun. Characteristics and Oil-controlling Significance of Unconformity Structure Layer on Top of Carbonate Rock[J]. Petroleum Exploration and Development, 1996, 23(5): 16-19.
- [2] 何登发. 不整合面的结构与油气聚集[J]. 石油勘探与开发, 2007, 34(2): 142-149, 201.
- HE Deng-fa. Structure of Unconformity and Its Control on Hydrocarbon Accumulation[J]. Petroleum Exploration and Development, 2007, 34(2): 142-149, 201.
- [3] 吴孔友, 查明, 洪梅. 准噶尔盆地不整合结构模式及半风化岩石的再成岩作用[J]. 大地构造与成矿学, 2003, 27(3): 270-276.
- WU Kong-you, ZHA Ming, HONG Mei. Structural Models of Unconformity and Recurrent Diagenesis of Semi-weathering Rock in Junggar Basin[J]. Geotectonica et Metallogenia, 2003, 27(3): 270-276.
- [4] 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.
- WANG Yan-zhong, CAO Ying-chang, WANG Shu-ping, et al. Advances in Research of Spatial Structures of Unconformity[J]. Geotectonica et Metallogenia, 2006, 30(3): 326-330.
- [5] 吴孔友, 臧明峰, 崔永谦, 等. 冀中坳陷前第三系顶面不整合结构特征及油气藏类型[J]. 西安石油大学学报: 自然科学版, 2011, 26(1): 7-13.
- WU Kong-you, ZANG Ming-feng, CUI Yong-qian, et al. Structural Characteristics of the Unconformities on the Top of Pre-Tertiary and Reservoir Types in Jizhong Depression[J]. Journal of Xi'an Shiyou University: Natural Science Edition, 2011, 26(1): 7-13.
- [6] 操应长, 王铸坤, 王艳忠, 等. 东营凹陷永北地区古近系顶部不整合结构及其物性响应[J]. 沉积与特提斯地质, 2016, 36(3): 98-103.
- CAO Ying-chang, WANG Zhu-kun, WANG Yan-zhong, et al. Architectures and Responses of Physical Properties of the Unconformity in the Uppermost Part of the Palaeogene Strata in the Yongbei Region, Dongying Depression[J]. Sedimentary Geology and Tethyan Geology, 2016, 36(3): 98-103.
- [7] 刘克奇, 蔡忠贤, 张淑贞, 等. 塔中地区奥陶系碳酸盐岩不整合带的结构[J]. 地球科学与环境学报, 2006, 28(2): 41-44.
- LIU Ke-qi, CAI Zhong-xian, ZHANG Shu-zhen, et al. Structure of Ordovician Carbonate Unconformity Zone in Tazhong Area[J]. Journal of Earth Sciences and Environment, 2006, 28(2): 41-44.
- [8] 张阳, 邱隆伟, 杨勇强, 等. 频繁超剥地区层序、不整合特征及圈闭发育模式: 以东营凹陷草桥北部地区沙河街组四段上亚段—东营组为例[J]. 石油学报, 2014, 35(5): 857-866.
- ZHANG Yang, QIU Long-wei, YANG Yong-qiang, et al. Sequence and Unconformity Characteristics and Trap Development Model in Frequent Onlap-denudation Area: A Case Study of the Ed-Es₄ in Northern Cao-qiao Area, Dongying Sag[J]. Acta Petrolei Sinica, 2014, 35(5): 857-866.
- [9] 李坤, 赵锡奎, 黄科, 等. 阿克库勒凸起不整合结构类型与油气输导[J]. 大庆石油地质与开发, 2009, 28(6): 12-16.
- LI Kun, ZHAO Xi-kui, HUANG Ke, et al. Unconformity Structure Type and Hydrocarbon Migration in Akekule Uplift[J]. Petroleum Geology and Oilfield Development in Daqing, 2009, 28(6): 12-16.
- [10] 高长海, 彭浦, 李本琼. 不整合类型及其控油特征[J]. 岩性油气藏, 2013, 25(6): 1-7.
- GAO Chang-hai, PENG Pu, LI Ben-qiong. Unconformity Types and Their Constraints on Hydrocarbon Behavior[J]. Lithologic Reservoirs, 2013, 25(6): 1-7.
- [11] 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.
- ZHANG Jian-lin. The Function of Stratigraphic Unconformity to the Oil-gas Migration and Seal[J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2005, 12(2): 26-29.
- [12] 秦峰, 曾治平, 宫亚军, 等. 车排子地区白垩系底部不整合结构及输导作用[J]. 特种油气藏, 2015, 22(4): 1-3.
- QIN Feng, ZENG Zhi-ping, GONG Ya-jun, et al. Unconformity and Translocation of Cretaceous Bottom Formation in Chepaizi[J]. Special Oil and Gas Reservoirs, 2015, 22(4): 1-3.
- [13] 周海民, 魏忠文, 曹中宏, 等. 南堡凹陷的形成演化与油气的关系[J]. 石油与天然气地质, 2000, 21(4): 345-349.
- ZHOU Hai-min, WEI Zhong-wen, CAO Zhong-hong, et al. Relationship Between Formation, Evolution and Hydrocarbon in Nanpu Sag[J]. Oil and Gas Geology, 2000, 21(4): 345-349.
- [14] 徐安娜, 董月霞, 邹才能, 等. 南堡凹陷岩性-地层油气藏区带划分与评价[J]. 石油勘探与开发, 2008, 35(3): 272-280.
- XU An-na, DONG Yue-xia, ZOU Cai-neng, et al. Division and Evaluation of Oil-gas Prolific Zones for

- Litho-stratigraphic Reservoirs in the Nanpu Sag[J]. Petroleum Exploration and Development, 2008, 35(3): 272-280.
- [15] 齐振勤,李长洪,王建伟,等. 南堡凹陷古近系不整合油气藏特征[J]. 录井工程, 2016, 27(2): 84-86.
- QI Zhen-qin, LI Chang-hong, WANG Jian-wei, et al. Hydrocarbon Reservoir Characteristics of Unconformity of Paleogene in Nanpu Sag[J]. Mud Logging Engineering, 2016, 27(2): 84-86.
- [16] 彭清华,周江羽,蒋少斌,等. 南堡凹陷不整合类型及剥蚀量恢复[J]. 新疆石油地质, 2013, 34(6): 657-660.
- PENG Qing-hua, ZHOU Jiang-yu, JIANG Shao-bin, et al. Unconformity Types and Erosion Restoration in Nanpu Sag[J]. Xinjiang Petroleum Geology, 2013, 34(6): 657-660.
- [17] 姜 华,王 华,林正良,等. 南堡凹陷古近纪幕式裂隙作用及其对沉积充填的控制[J]. 沉积学报, 2009, 27(5): 976-982.
- JIANG Hua, WANG Hua, LIN Zheng-liang, et al. Periodic Rifting Activity and Its Controlling on Sedimentary Filling of Paleogene Period in Nanpu Sag[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2009, 27(5): 976-982.
- [18] 徐安娜,郑红菊,董月霞,等. 南堡凹陷东营组层序地层格架及沉积相预测[J]. 石油勘探与开发, 2006, 33(4): 437-443.
- XU An-na, ZHENG Hong-ju, DONG Yue-xia, et al. Sequence Stratigraphic Framework and Sedimentary Facies Prediction in Dongying Formation of Nanpu Sag[J]. Petroleum Exploration and Development, 2006, 33(4): 437-443.
- [19] 董月霞,汪泽成,郑红菊,等. 走滑断层作用对南堡凹陷油气成藏的控制[J]. 石油勘探与开发, 2008, 35(4): 424-430.
- DONG Yue-xia, WANG Ze-cheng, ZHENG Hong-ju, et al. Control of Strike-slip Faulting on Reservoir Formation of Oil and Gas in Nanpu Sag[J]. Petroleum Exploration and Development, 2008, 35(4): 424-430.
- [20] 黄曼宁,董月霞,庞雄奇,等. 南堡凹陷构造型油气藏分布主控因素及预测方法[J]. 石油与天然气地质, 2012, 33(5): 695-704.
- HUANG Man-ning, DONG Yue-xia, PANG Xiong-qi, et al. Controlling Factors of Structural Reservoir Distribution and Its Prediction Method in Nanpu Depression, Bohai Bay Basin[J]. Oil and Gas Geology, 2012, 33(5): 695-704.
- [21] 马光华,高贺存. 冀东油田南堡3号潜山烃源岩特征[J]. 海洋地质前沿, 2012, 28(9): 34-39, 53.
- MA Guang-hua, GAO He-cun. Hydrocarbon Source Rocks in Nanpu No. 3 Buried-hill of Jidong Oilfield[J]. Marine Geology Frontiers, 2012, 28(9): 34-39, 53.
- [22] 汪泽成,郑红菊,徐安娜,等. 南堡凹陷源上成藏组合油气勘探潜力[J]. 石油勘探与开发, 2008, 35(1): 11-16, 39.
- WANG Ze-cheng, ZHENG Hong-ju, XU An-na, et al. Oil-gas Exploration Potential for Above-source Plays in Nanpu Sag[J]. Petroleum Exploration and Development, 2008, 35(1): 11-16, 39.
- [23] 陈 涛,宋国奇,蒋有录,等. 不整合结构定量判别方法[J]. 大庆石油地质与开发, 2011, 30(1): 21-24.
- CHEN Tao, SONG Guo-qi, JIANG You-lu, et al. The Recognizing Method for the Unconformity Structure in Jiyang Depression[J]. Petroleum Geology and Oil-field Development in Daqing, 2011, 30(1): 21-24.
- [24] 陈钢花,张 蕾,宋国奇,等. 测井资料在地层不整合纵向结构研究中的应用[J]. 中国石油大学学报:自然科学版, 2010, 34(1): 50-54.
- CHEN Gang-hua, ZHANG Lei, SONG Guo-qi, et al. Application of Logging Data to Unconformable Vertical Structure Research of Stratum[J]. Journal of China University of Petroleum: Edition of Natural Sciences, 2010, 34(1): 50-54.
- [25] 管永国,李艳英,孙 波,等. 准噶尔盆地车排子地区石炭系不整合结构测井特征及识别[J]. 测井技术, 2014, 38(6): 749-754.
- GUAN Yong-guo, LI Yan-ying, SUN Bo, et al. Logging Characteristics and Identification of the Carboniferous Unconformity Structure in Chepaizi Area of Junggar Basin[J]. Well Logging Technology, 2014, 38(6): 749-754.
- [26] 邹才能,侯连华,杨 帆,等. 碎屑岩风化壳结构及油气地质意义[J]. 中国科学:地球科学, 2014, 44(12): 2652-2664.
- ZOU Cai-neng, HOU Lian-hua, YANG Fan, et al. Structure of Weathered Clastic Crust and Its Petroleum Potential[J]. Science China: Earth Sciences, 2014, 44(12): 2652-2664.