

鄂尔多斯盆地陇东地区侏罗系/三叠系不整合结构特征及其对油气成藏的作用

段祎乐^{1,2}, 李元昊^{1,2}, 马婷钰^{1,2}, 王首良^{1,2}

(1. 西安石油大学地球科学与工程学院, 陕西 西安 710065; 2. 陕西省油气成藏地质学重点实验室, 陕西 西安 710065)

摘要: 陇东地区位于鄂尔多斯盆地西南缘, 三叠纪末的印支运动导致鄂尔多斯盆地抬升侵蚀, 形成了陇东地区前侏罗纪古地貌。测井、地震等资料研究发现不同古地貌单元不整合结构特征存在差异, 并对侏罗系油藏有一定的控制作用。结果表明: 不整合之上岩层主要为河道充填砂岩, 测井曲线呈现高电阻率、低自然伽马特征; 风化黏土层是不整合结构中物性较差的层, 岩性主要为泥岩, 测井曲线呈高自然伽马、低密度特征; 风化淋滤带具有多种岩石类型, 且储层连通性较好, 井径曲线锯齿化明显, 电阻率低值。不整合结构对油气成藏的影响主要体现在两个方面: 一是风化淋滤带提供了油气向上运移的通道, 二是风化黏土层的分布控制了油气进入侏罗系储层的位置。

关键词: 古地貌; 油气运移; 风化淋滤带; 不整合结构; 陇东地区

中图分类号: TE122 **文献标志码:** A

Characteristics of Jurassic/Triassic unconformity structure in Longdong area, Ordos Basin and its effect on hydrocarbon accumulation

DUAN Yile^{1,2}, LI Yuanhao^{1,2}, MA Tingyu^{1,2}, WANG Shouliang^{1,2}

(1. School of Earth Sciences and Engineering, Xi'an Shiyou University, Xi'an 710065, China;

2. Shaanxi Key Laboratory of Petroleum Accumulation Geology, Xi'an 710065, China)

Abstract: The Longdong area is located on the southwest edge of the Ordos Basin. The Indosinian movement at the end of the Triassic led to the uplift and erosion of the Ordos Basin, forming the pre-Jurassic paleo-morphology in the Longdong area. Through the study of logging and seismic data, it was found that there are differences in the structural characteristics of the unconformities in different paleomorphologic units, and have a certain control on the Jurassic reservoirs. The results show that the strata above the unconformity are mainly channel-filled sandstone, and the logging curve is characterized by high resistivity and low natural gamma ray. The weathered clay layer is a poor physical layer in the unconformities. Its lithology is mainly mudstone, and its logging curve is characterized by high natural gamma and low density. The weathered leaching zone has a variety of rock types, and the reservoir is well connected, with obvious sawtooth diameter curves and low resistivity values. The impact of unconformity structure on oil and gas accumulation is mainly reflected in two aspects: firstly, the weathered drainage zone provides a channel for the upward transport of hydrocarbons, and secondly, the distribution of weathered clay layers controls the location of hydrocarbons into Jurassic reservoirs.

Key words: paleomorphology; oil and gas migration; weathering leaching belt; unintegrated structure; Longdong area

不整合是一种常见的地质现象, 作为地质发展的标志之一, 认为不整合的出现是由于地层经历了一定区域内的抬升、沉降等构造运动后形成的。长期以来, 许多学者^[1-4]认为不整合并不是一个简单的“面”, 而是一个具有三层结构的完整“结构体”, 这种结构决定了不整合与油气的运移有着紧密的关系。在我国含油气盆地都发育着不同类型的不整合结构, 它影响了含油气盆地的形成与演化。所

以, 不整合结构的研究一直都是油气勘探开发过程中的热点。目前, 关于不整合的研究主要集中在不整合的识别和分类、不整合纵向结构特征、不整合对油气的影响几个方面^[5]。三叠系—侏罗系不整合

收稿日期: 2022-09-05; 改回日期: 2023-01-30。

第一作者简介: 段祎乐(1997—), 在读硕士研究生, 石油地质综合研究方向, E-mail: 1014523215@qq.com。

结构受古地貌的影响明显,不同古地貌单元的不整合结构特征尚不明确,且不整合对于油藏的作用少有系统性的研究。针对这些问题,在前人研究的基础上,结合鄂尔多斯盆地陇东地区岩心,地震以及测井资料、野外露头等资料,对该地区不整合结构进行分析,总结不整合结构分布规律及其对油藏的作用,为进一步油气勘探开发提供地质依据。

1 区域地质概况

鄂尔多斯盆地构造上位于华北克拉通,北临阴山山脉,南至秦岭山脉,西接贺兰山和六盘山,东靠吕梁山,面积约为 $37 \times 10^4 \text{ km}^2$,包括伊盟隆起、西缘逆冲带、天环凹陷、伊陕斜坡、晋西挠褶带及渭北隆起,从剖面上来看,东缓西陡,北缓南陡,呈现出不对称箕状向斜特征^[6]。

陇东地区位于鄂尔多斯盆地西南部(图1),区内构造条件稳定,为西低东高的单斜构造,平均倾角小于 1° ,鼻状隆起发育,受西南和东北两大物源方向控制。前侏罗纪古地貌的形成经历了多个时期的构造演化,形成了水系广布、沟壑纵横、丘陵起伏的古地貌景观(图1)^[7]。

陇东地区不整合面上下地层的沉积特征受延长组地层的剥蚀程度和前侏罗纪古地貌特征共同控制。延长组和延安组根据沉积旋回和标志层特

征,自上而下均可划分为10个油层组,分别是长1—长10和延1—延10(图2)。

2 不整合结构划分及特征

不整合是地层长期间断沉积的产物,在这个过程中,暴露在地表的地层都经历了一定程度的风化剥蚀作用,出露的地层层位不同也说明了所受的风化剥蚀作用的程度不同,不整合面在纵向上也表现出了层次性,也就是所谓的不整合结构体。不整合结构经历不同程度的风化剥蚀过程在宏观和微观上具有一定的差异性^[8]。综上所述,结合野外露头、测井数据等资料分析,将陇东地区不整合分为三层结构:不整合之上岩层、风化黏土层和风化淋滤带(图3)。

2.1 结构特征及识别

不整合之上岩层的岩石类型主要为砂岩和泥质砂岩。具有孔隙度高、渗透率好等特征,是良好的油气运移通道和油气储层。陇东地区由于受到强烈构造运动影响,导致不同古地貌单元不整合结构不同。不整合之上岩层测井曲线特征为低自然电位(*SP*),低自然伽马(*GR*),井径曲线(*CAL*)多为扩径等(图3)特征。陇东地区不整合之上岩层厚度不等,不同古地貌单元之上的岩石厚度有差异,一般在20~150 m之间。

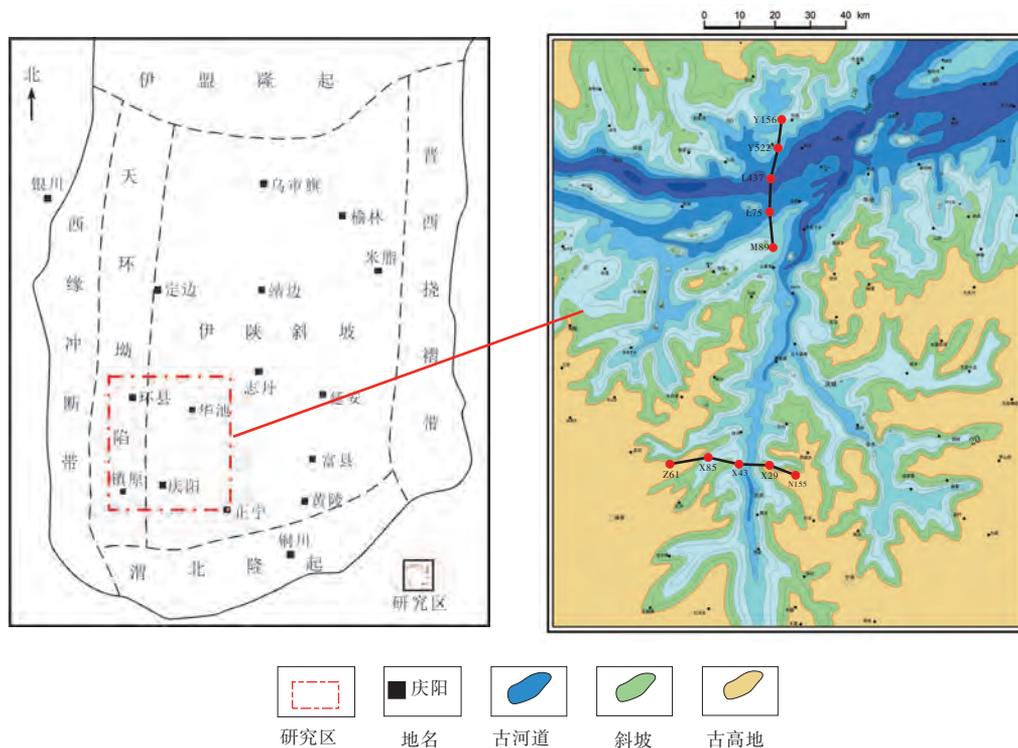


图1 陇东地区研究区域及古地貌

地层系统				厚度/m	岩性	测井曲线		标志层特征
系	统	组	油层组			GR/APL ₁₀₀ SP/mV ₁₀₀	RLD/(Ω·m) 0—200	
侏罗系	下侏罗统	延安组	延8					
			延9	35~40	灰黑色泥岩夹煤层及炭质页岩			顶煤层0~8 m
			延10	0~260	灰白色含砾粗砂岩夹灰黑色、杂色泥岩			顶煤层, 炭质泥岩、厚砂岩0~70 m
三叠系	上三叠统	延安组	富县组					底厚砂岩0~150 m
			长1	0~240	暗色泥岩、泥质粉砂岩、粉细砂岩等厚互层, 夹炭质泥岩及煤线			K9 瓦窑堡煤层
			长2	120~150	灰绿色、浅灰色细砂岩, 夹暗色泥岩			K8 泥岩凝灰岩 块状砂岩厚10~30 m
			长3	90~110	浅灰、灰褐色细砂岩, 夹暗色泥岩			K7 泥岩凝灰岩 K7 泥岩凝灰岩
			长4+5	80~100	浅灰色粉砂岩与暗色泥岩互层			K5 泥岩页岩 K5 泥岩页岩
			长6	120~150	褐灰色块状细砂岩夹灰黑色泥岩, 泥质砂岩、粉细砂岩互层夹薄层凝灰岩			K3 凝灰岩
			长7	70~120	暗色泥岩、炭质泥岩、油页岩夹薄层粉细砂岩			K2 泥岩凝灰岩 K1 张家滩页岩
			长8					

图2 研究区地层对比

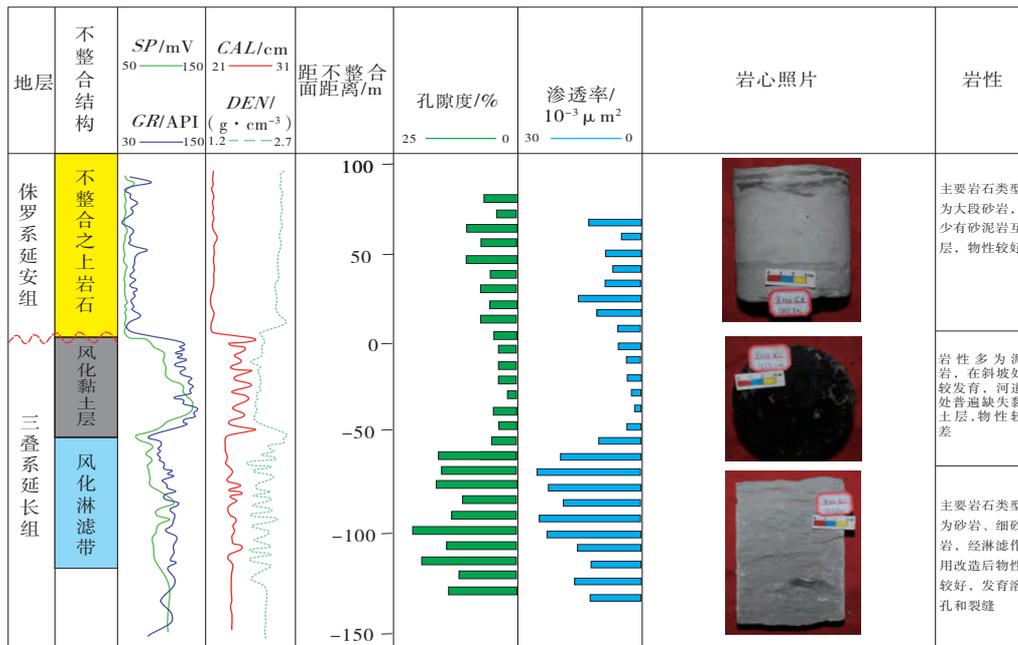


图3 不整合结构基本特征

风化黏土层位于风化淋滤带之上,是经历了风化作用及后期沉积压实而形成的以泥岩为主的残积物,多为泥岩和砂质泥岩,可以作为良好的盖层。风化黏土层在不同地区的发育程度不同,在局部地区也会出现风化黏土层缺失的情况。由于岩石中不同元素迁移能力的不同,岩石矿物在风化作用中

元素存在分解和转化的过程,风化黏土层中相对富含铝、铁、锰等不易迁移的惰性元素,而钙、镁、钾、钠等活泼元素含量相对较低,通过L456井的主量元素含量分布可以很好地识别风化黏土层(图4)。

风化淋滤带是不整合结构的重要组成部分,由于岩石所经受风化作用不彻底,且长期受到大气淡

水的淋滤作用,风化淋滤主要以物理风化和化学作用为主。在不整合发育过程中,大气淡水经过裂缝等进入到地表之下,使得风化淋滤带发育次生溶孔和裂缝,从而使风化淋滤带储集和渗透性能得到了改善。同时淋滤作用也伴随着溶蚀作用,风化淋滤带中的长石、岩屑等矿物发生溶蚀作用,生成大量孔隙和裂缝,很好地改善了物性条件(图5)。

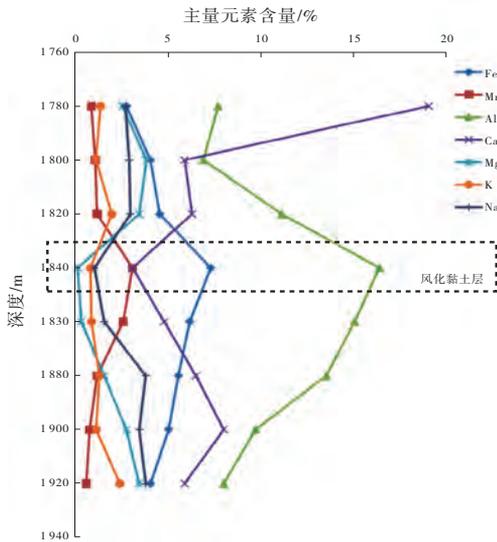


图4 L456井主要元素含量与深度关系

2.2 分布特征

2.2.1 纵向展布特征

据陇东地区不整合结构东西向展布图可以看出(图6),不整合之上岩层连续性较好,风化黏土层相对较薄,在地貌单元河道处X43井、X29井风化黏土层缺失,风化淋滤带厚度则与古地貌地形相关,古河道处深度较大,由于该区长期有水渗入,风化淋滤效果最好,整体连续性好;由陇东地区不整合结构南北向展布图可以看出(图7),不整合之上岩层由北向南先变厚再变薄,河道处最厚,风化黏土层在Y522井、M89井附近厚度较为发育,风化淋滤带在河道深度较大,两边斜坡处较薄。总体上符合陇东地区古地貌地形特点。

2.2.2 平面展布特征

根据不整合结构平面分布特征(图8),并结合陇东地区古地貌特征,认为不整合之上岩层在该区普遍较发育,不同古地貌单元岩层厚度不同。在研究区河道处,不整合之上岩层厚度较大,约为70~150 m,其余地方较薄。

从岩性特征来看,不整合之上岩层主要以砂岩和泥质砂岩为主,是很好的油气输导层。

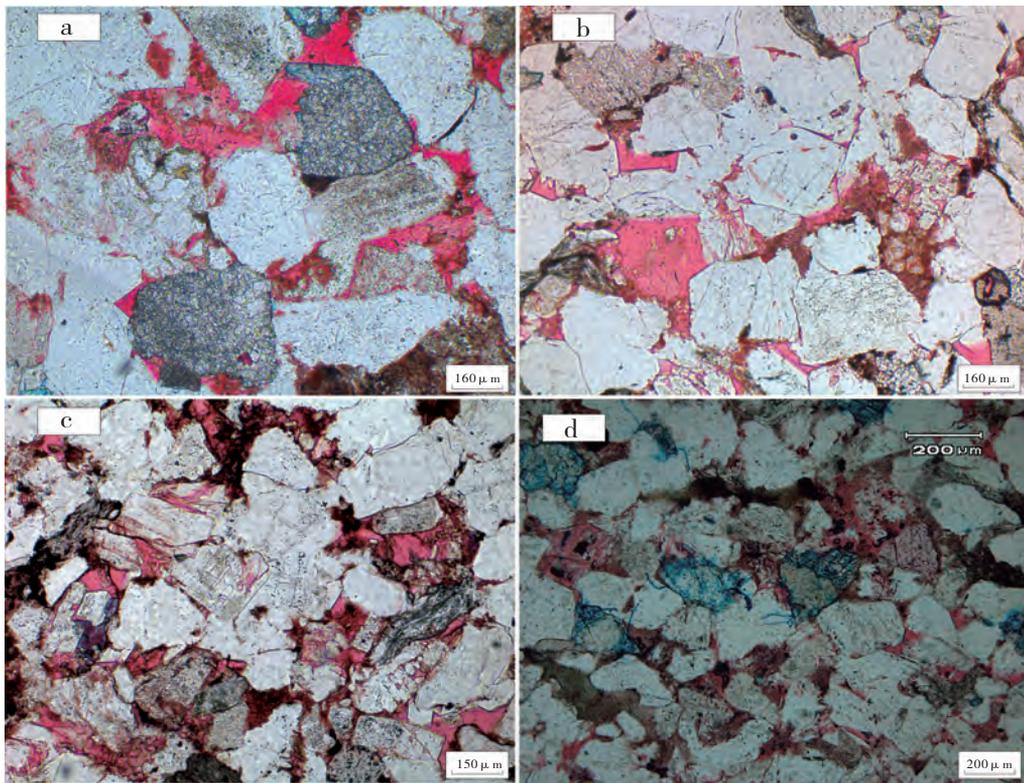


图5 不整合结构风化淋滤带物性及孔隙类型

- a. 长石、石英加大,具粒间孔及粒间溶孔,M25井,2 226.5 m;
- b. 高岭石充填孔隙,具粒间孔及长石溶孔,L44井,1 925 m;
- c. 铁方解石充填孔隙,具粒间孔、长石溶孔及晶间孔,Z88井,1 477.7 m;
- d. 溶蚀粒间孔,Y4井,2 111.9 m。

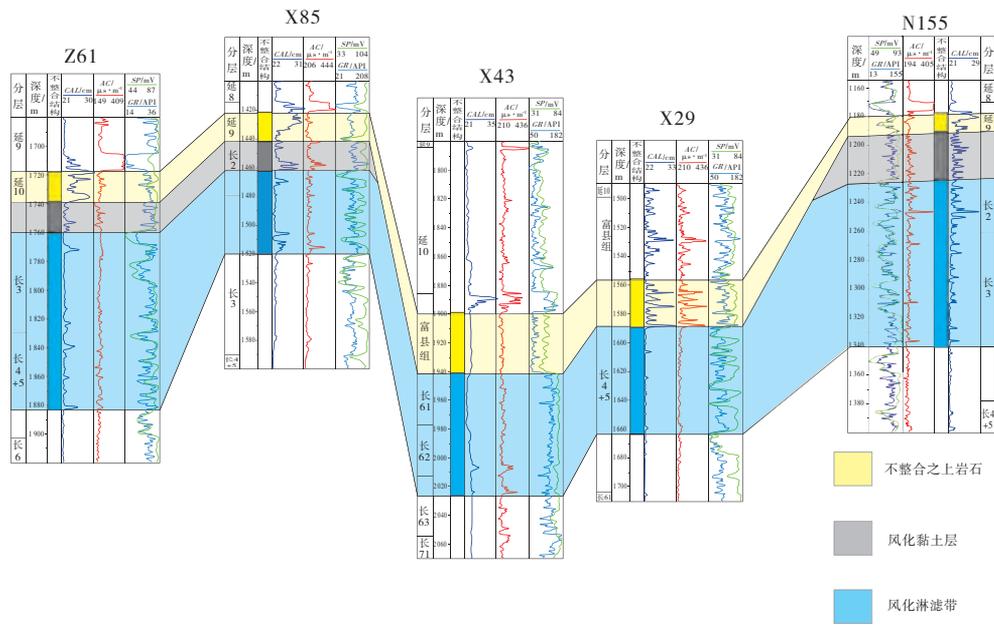


图6 不整合结构东西向结构特征(剖面位置见图1)

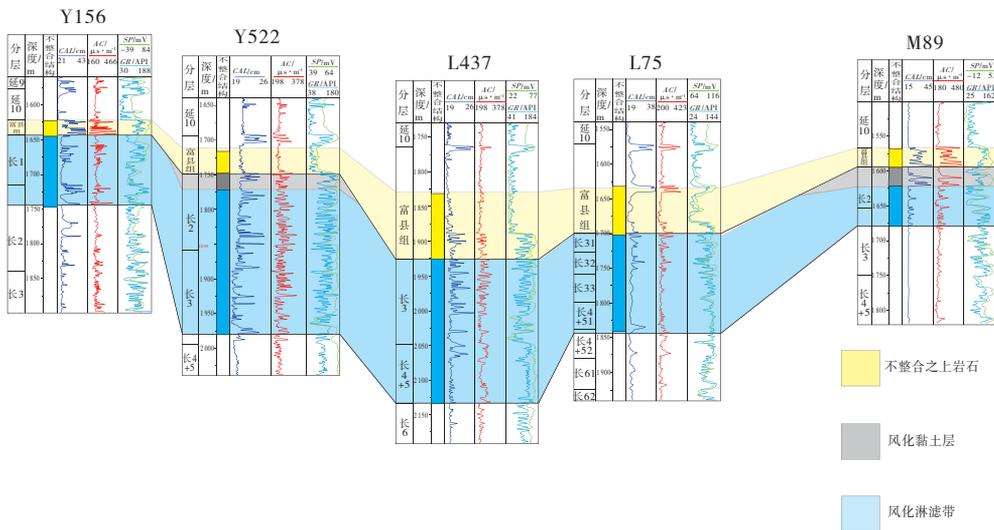


图7 不整合结构南北向结构特征(剖面位置见图1)

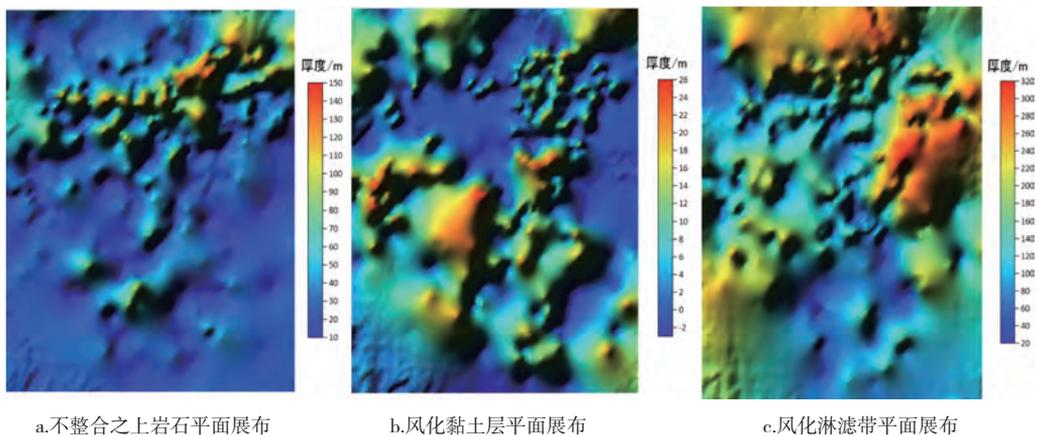


图8 不整合结构平面分布

风化黏土层平面分布上具有明显特征,从图中可以看出在古地貌单元高地、斜坡处风化黏土层较为发育,厚度较大,河道处发育较少甚至缺失,风化黏土层岩性以泥岩为主,孔渗较差,油气遮挡能力较强,是主要的盖层。

风化淋滤带分布特征则为古地貌单元的斜坡处较为发育,与上覆风化黏土层相互作用,形成良好的储盖组合。

3 不整合结构控油作用

不整合的结构体性质决定了其与油气的运聚有着密切的联系。一方面既能够作为油气运移的良好通道和储集空间,另一方面,也能作为遮挡层对油气进行封堵。

研究区侏罗系与三叠系不整合面之上岩石主要为砂岩,物性较好,是油气运移的良好通道;风化黏土层则都属于较好的盖层;而风化淋滤带则由于风化淋滤的作用物性得到了很大程度的改善,孔渗条件很好,同样是油气运移和聚集的良好场所。综合来看,不整合结构在油气成藏过程中具有重要的作用。

石、风化黏土层和风化淋滤带由于岩性、物性的差异,以及在空间上的不同组合,构成了多种控油方式,这些方式控制着油气的运移和聚集方向,形成了许多与不整合相关的油藏。风化黏土层分布控制了石油进入侏罗系储层位置,研究认为陇东地区不整合结构中风化黏土层平面上具有薄厚间隔片状分布特征,河道处及陡坡区较薄或没有,缓坡区相对较厚,主要受河道侵蚀强度及不整合下部岩性控制。由风化黏土层与侏罗系油藏关系图可以看出,油藏主要分布在厚层黏土岩周围(图9)。综上所述,陇东地区不整合结构风化黏土层对油藏的分布起着决定性作用。

4 结论

(1)陇东地区侏罗系与三叠系之间的不整合面广泛发育,不同古地貌单元发育的不整合结构存在差异。

(2)结合陇东地区古地貌特征,认为不整合面之上岩石普遍发育;风化黏土层主要发育在古地貌单元的高地、斜坡处,河道处不发育;而风化淋滤带主要分布在斜坡处且与上覆风化黏土层在垂向上相互配置,有利于油气藏的形成。

(3)不整合结构中的风化淋滤带为油气提供了向上运移的主要通道,风化黏土层的分布控制了油气进入侏罗系油藏的位置。

参考文献:

[1] 官伟. 准噶尔盆地陆梁隆起带二叠系-三叠系不整合体结构特征研究[D]. 北京:中国石油大学(北京),2019.

[2] 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(5):16-19,82.

[3] 孙晓,李良,丁超. 鄂尔多斯盆地杭锦旗地区不整合结构类型及运移特征[J]. 石油与天然气地质,2016,37(2):165-172.

[4] 李慧琼,蒲仁海,屈红军,等. 鄂尔多斯盆地三叠系与侏罗系不整合面测井识别方法讨论[J]. 西北大学学报(自然科学版),2017,47(4):577-584.

[5] 潘钟祥. 不整合对于油气运移聚集的重要性及寻找不整合面下的某些油气藏[J]. 地质论评,1983,29(4):374-381.

[6] 赵俊兴,陈洪德. 鄂尔多斯盆地侏罗纪早中期甘陕古河的演化变迁[J]. 石油与天然气地质,2006,27(2):152-158.

[7] 付广,段海凤. 不整合及输导油气特征[J]. 大庆石油地

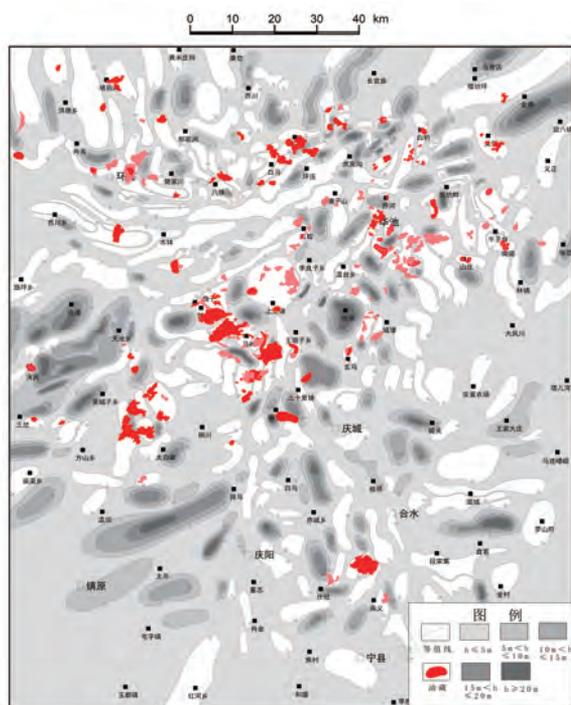


图9 风化黏土层厚度分布与侏罗系油藏分布

研究认为,陇东地区侏罗系与三叠系不整合结构控油作用主要体现在两个方面:(1)不整合结构的发育很大程度上改善了储层的物性;(2)在改善不整合面之下储层物性的基础上,不整合面之上岩

- 质与开发, 2005(1):13-16, 105.
- [8] 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.
- [9] 朱静, 李文厚, 韩永林, 等. 陇东地区前侏罗纪古地貌及油藏成藏规律研究[J]. 沉积学报, 2010, 28(6):1229-1237.
- [10] 杨勇, 查明, 孟闲龙. 地层油气藏类型与成藏规律[J]. 新疆石油地质, 2007, 28(5):647-649.
- [11] 杨俊杰, 张伯荣. 陕甘宁盆地油气区及油气藏序列[J]. 石油学报, 1988(1):1-8.
- [12] 赵振宇, 郭彦如, 徐旺林, 等. 鄂尔多斯盆地3条油藏大剖面对风险勘探的意义[J]. 石油勘探与开发, 2011, 38(1):16-22.
- [13] 赵俊兴, 陈洪德. 鄂尔多斯盆地侏罗纪早中期甘陕古河的演化变迁[J]. 石油与天然气地质, 2006, 27(2):152-158.
- [14] 郭正权, 张立荣, 楚美娟, 等. 鄂尔多斯盆地南部前侏罗纪古地貌对延安组下部油藏的控制作用[J]. 古地理学报, 2008, 10(1):63-71.
- [15] 时志强, 韩永林, 张锦泉. 鄂尔多斯盆地早侏罗世富县期岩相古地理特征[J]. 矿物岩石, 2001, 21(3):124-127.
- [16] 袁珍, 李文厚, 朱静, 等. 鄂尔多斯盆地陇东地区侏罗系古地貌恢复及其对石油聚集的影响[J]. 地质通报, 2013, 32(11):1806-1814.
- [17] 李元昊, 杨桂茹, 彭建, 等. 鄂尔多斯盆地前侏罗纪古地貌形成演化及沉积充填特征[J]. 世界地质, 2020, 39(1):56-71.
- [18] 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.
- [19] 孙冬胜, 李双建, 朱东亚, 等. 四川盆地都匀运动不整合及其油气意义[J]. 石油与天然气地质, 2015, 36(5):721-728.
- [20] 丁晓琪, 张哨楠. 镇泾地区延长组碎屑岩古风化壳研究[J]. 西南石油大学学报(自然科学版), 2010, 32(4):16-19.
- [21] 李元昊, 张铭记, 王秀娟, 等. 鄂尔多斯盆地西北部上三叠统延长组复合油藏成藏机理[J]. 岩性油气藏, 2010, 22(2):32-36.
- [22] 王兆明, 罗晓容, 汪立群, 等. 柴达木盆地北缘西段不整合发育特征及其油气地质意义[J]. 中国石油勘探, 2010, 15(4):19-25, 8.
- [23] 任长青, 高先志, 张永庶, 等. 柴北缘牛东地区古近系/侏罗系不整合结构特征及其控油气作用[J]. 地球学报, 2019, 40(6):795-804.
- [24] 范巍. 彭阳地区砂体和不整合面输导体系及其对石油运移聚集的影响[D]. 西安:西北大学, 2020.
- [25] 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.
- [26] 鲁鹏善. 高青地区中生界不整合结构特征及其控油作用[D]. 青岛:中国石油大学(华东), 2018.
- [27] 吴孔友, 邹才能, 查明, 等. 不整合结构对地层油气藏形成的控制作用研究[J]. 大地构造与成矿学, 2012, 36(4):518-524.
- [28] 高长海, 查明, 曲江秀, 等. 柴达木盆地东部不整合结构的地球物理响应及油气地质意义[J]. 石油学报, 2007, 28(6):32-36.
- [29] 叶博, 梁晓伟, 李卫成, 等. 鄂尔多斯盆地陇东地区侏罗系油藏分布规律及成藏模式[J]. 新疆石油地质, 2014, 35(6):659-663.
- [30] 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.

(编辑 刘义梅)