

准噶尔盆地东部阜东斜坡带头屯河组 粘土矿物特征

于景维¹,郑荣才²,柳妮¹,李云²,文华国²

[1. 中国石油大学(北京)克拉玛依校区,新疆 克拉玛依 834000; 2. 成都理工大学,四川 成都 610059]

摘要:准噶尔盆地东部阜东斜坡带中侏罗统头屯河组储集层受敏感性影响比较大。影响敏感性的主要因素为粘土矿物类型及其含量,因而有必要利用岩石薄片、铸体薄片、X-衍射和扫描电镜等多种分析手段,对多口井的储集砂岩粘土矿物各项特征及其对储层敏感性的影响展开深入研究。结果表明:①头屯河组储集砂岩的粘土矿物类型多样,同时发现粘土薄膜厚度与产能有一定关系;②物源决定研究区粘土矿物成分,沉积背景、气候变化以及后期断裂构造为储集层中粘土矿物的转化及保存创造条件;③异常压力影响了粘土矿物分布;④头屯河组储集砂岩的敏感性以水敏为主,其次为速敏和酸敏,敏感性程度和粘土矿物含量有关。上述认识为阜东斜坡带头屯河组钻、注、采工艺实施提供有关储层保护和改造的地质依据。

关键词:储层敏感性;粘土矿物;头屯河组;阜东斜坡带;准噶尔盆地

中图分类号:TE122.2

文献标识码:A

Characterization of clay minerals in Toutunhe Formation of Fudong slope area in eastern Junggar Basin

Yu Jingwei¹, Zheng Rongcai², Liu Ni¹, Li Yun², Wen Huaguo²

(1. Karamay Campus of China University of Petroleum, Karamay, Xinjiang 834000, China;

2. Chengdu University of Technology, Chengdu, Sichuan 610059, China)

Abstract: The Toutunhe Formation of the Middle Jurassic is the main exploration layer in Fudong slope area in Junggar Basin, where reservoirs are greatly influenced by sensitivity to clay minerals. Contents and types of clay minerals of the reservoirs are the major factors that influence sensitivity, thus were studied through cast thin section, rock thin section, X-ray diffraction and SEM. The result shows that ① various types of clay minerals can be observed and the thickness of clay membrane is related to some extent with productivity; ② components of the clay minerals were determined by provenance, and sedimentary setting, climate change and later faulting helped transformation and preservation of the clay minerals; ③ abnormal pressure affects the distribution of the clay minerals; ④ the reservoirs are mostly water-sensitive and also acid- and speed-sensitive to some extent. The degree of sensitivity depends on the content of different types of clay minerals. The above understanding has been used as geologic basis for reservoir protection and modification during drilling, injection and production operation in the Formation.

Key words: reservoir sensitivity, clay mineral, Toutunhe Formation, Fudong slope area, Junggar Basin

准噶尔盆地为我国西部重要的陆相含油气盆地^[1],阜康凹陷属于该盆地东部的次级构造单元,研究区为其西部北西-南东走向的斜坡带,长度为15~30 km,宽度为10~20 km,面积约500 km²(图1)。2010年开始,在该斜坡带中侏罗统头屯河组屡获工业油气流,凸显巨大勘探前景。头屯河组埋藏深度为

2 100~3 500 m,东浅西深。前人对研究区头屯河组沉积相特征的研究已较为深入,认为头屯河组属于辫状河三角洲沉积体系,油藏类型为受辫状河三角洲沉积体系中分流河道砂体控制的岩性油藏和地层-岩性复合油藏^[2-7]。在油藏钻探与开发工程中,储层敏感性对单井产量影响很大,已成为头屯河组油藏高效勘探

收稿日期:2014-07-21;修订日期:2015-10-30。

第一作者简介:于景维(1985—),男,博士、讲师,沉积学。E-mail:yyjjw-1985@163.com。

通讯作者简介:柳妮(1985—),女,博士、讲师,储层沉积学。E-mail:liuni_smile@aliyun.com。

基金项目:国家科技重大专项(2011ZX05001-005-01)。

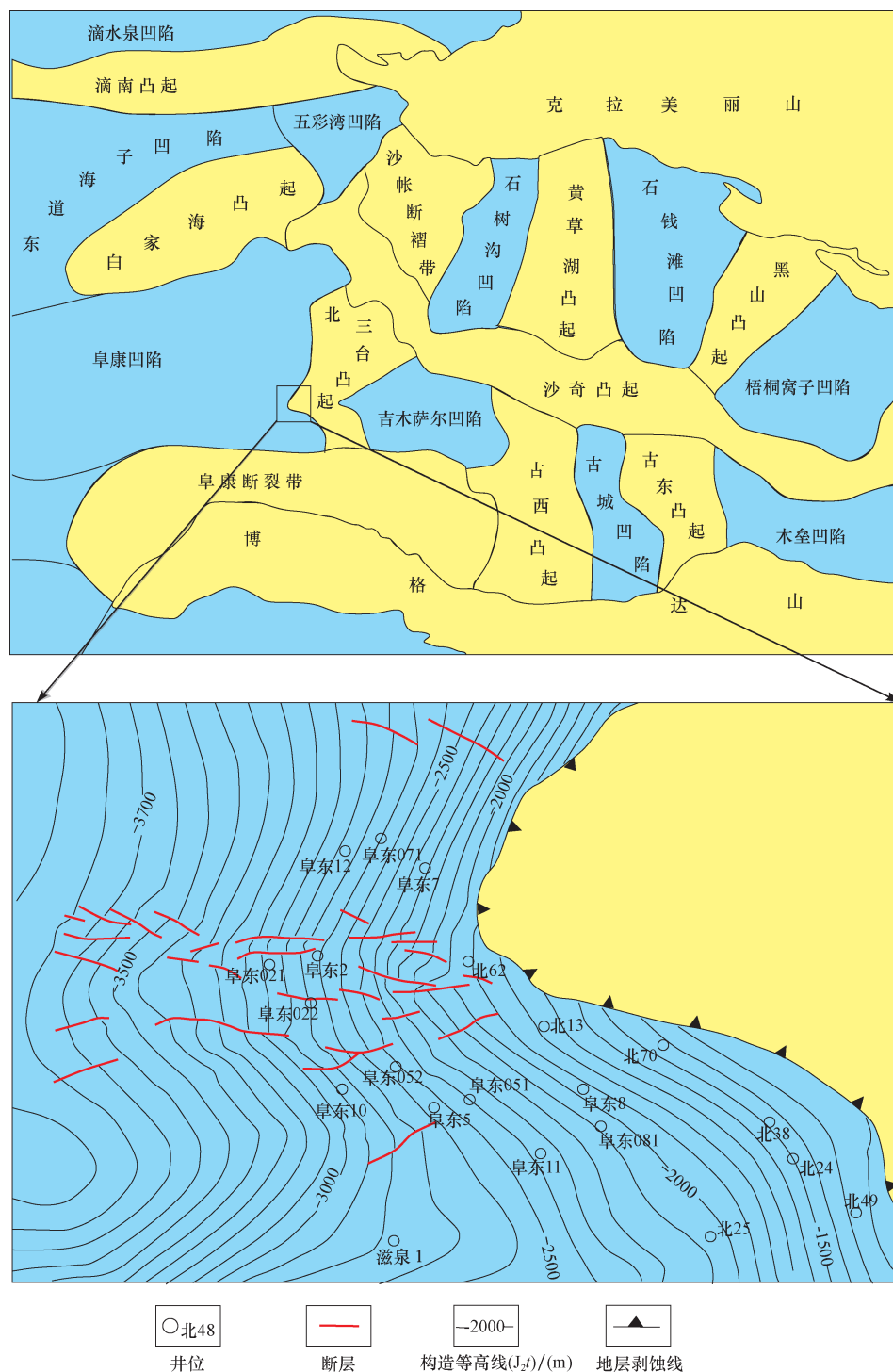


图1 准噶尔盆地东部阜东斜坡带区域构造位置

Fig. 1 Location of the study area in the Fudong slope area of the eastern Juggar Basin

开发的瓶颈,然而在已有的研究成果中,很少涉及头屯河组储层砂岩的敏感性特征及其控制因素。因此,有必要对储层敏感性的主要控制因素进行深入研究,为提高产量及后期开发方式的选择提供理论指导。

1 储层基本特征

1.1 储层岩石学特征

研究区头屯河组自下而上分为头一段(J_2t^1)、头

二段(J_2t^2)和头三段(J_2t^3)。由于头三段沉积后期受构造隆升活动影响,剥蚀量较大,地层保存不全,厚度较薄而储层不发育,主力产层主要为头一段和头二段,因此,本文主要针对头一段及头二段储层砂岩的敏感性特征及其影响和控制因素进行研究。头屯河组储层砂岩的沉积微相以辫状河三角洲沉积体系中的水下分流河道为主,岩性主要为细粒岩屑砂岩,砂岩中石英的含量为7%~35%,平均为18.63%;长石含量为8%~35%,平均为21.51%;岩屑含量为20%~67%,平均

为51.97%,岩屑组分以凝灰岩为主,其次为泥岩、粉砂岩、千枚岩、安山岩和归入岩屑单元的云母碎屑;砂岩的粒度在0.125~0.5 mm,平均为0.18 mm,以次棱角状-次圆状为主,少量为棱角状,分选系数平均为2.56,分选性中等-好,杂基含量变化为1%~10%,一般为3%~5%,成分以粘土为主。碎屑颗粒以点-线接触为主,少量为点接触,表明成岩过程中经历了中等强度的压实作用,岩石的胶结类型主要为压嵌和孔隙-压嵌式,胶结物含量为1%~3%,除钙质、硅质之外,含有少量自生绿泥石、高岭石和黄铁矿等。储层砂岩总体上具有成分成熟度低而结构成熟度高的特点,并且砂岩中粘土矿物含量较高,类型很丰富。砂岩的储集空间以原生粒间孔和剩余原生粒间孔为主,少量为粒间和粒内溶孔、铸模孔。孔隙度为2.69%~28.88%,平均为14.98%;渗透率为 $(0.01 \sim 790) \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,平均为 $26.08 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。储层的孔隙度与渗透率具有较好正相关性,属于典型的中孔-中低渗孔隙型储集类型^[7]。

1.2 粘土矿物特征

1.2.1 粘土矿物类型

通过对33口井232块样品的X-衍射及扫描电镜资料分析,阜东斜坡带头屯河组砂岩中的粘土矿物绝对含量平均仅为5%,但类型丰富,可识别出蒙脱石、伊/蒙混层、绿泥石、伊利石、高岭石和少量绿蒙混层等类型。含量以伊/蒙混层为主,绿泥石为辅(表1)。

1.2.2 粘土矿物赋存状态

头屯河组砂岩中类型丰富的粘土矿物赋存状态各不相同,自生伊/蒙混层呈不规则弯曲片状、似花朵状包绕碎屑,也往往呈包裹颗粒的薄膜状胶结物产出,部分沿孔隙周缘以孔隙衬垫的形式出现,属于早成岩阶段稍晚期的产物(图2a—c)。自生绿泥石呈叶片状、绒球状分布于碎屑颗粒表面,呈包裹颗粒的薄膜状胶结物或沿孔隙周缘形成孔隙衬垫的形式出现,属于早成岩阶段早期的产物(图2d,g)。自生伊利石多呈不规则片状、丝状分布于碎屑颗粒表面,属于中成岩阶段早期的产物(图2e,f)。自生高岭石呈假六方片状、板状、书页状集合体或蠕虫状充填于碎屑之间或溶孔之中,属于中成岩阶段稍晚期的产物(图2h,i)。

资料表明,自生粘土矿物包膜,特别是伊/蒙混层包膜在阜东斜坡带头屯河组储层砂岩中普遍发育,其产状特点为伊/蒙混层粘土矿物围绕碎屑垂直颗粒表面,或向孔隙中心定向生长,形成近于等厚的环边(图2a,c,d)。通过对包膜状胶结物厚度测量(图2)和统计,发现包膜厚度分布在12~26 μm ,平均为17 μm 。有意义的是,伊/蒙混层粘土包膜的平均厚度越大(>20 μm),对应的储集层物性越好(表2),而在后期的油气开采过程中,包膜厚度较小的(<20 μm)储层段自然产能反而变好。反映粘土矿物包膜是原生孔隙得以保存并影响自然产能的主要因素之一。究其原因,是因为早期粘土矿物包膜胶结作用对成岩和成藏过程中的原生孔隙起重要作用,而在后期勘探开发过程中,因伊/蒙混层粘土矿物的严重水敏性,越厚的包膜膨胀体积越大,对储层孔隙结构的伤害也越强烈,因而其自然产能也越低。

1.2.3 粘土矿物分布特征

由于阜东斜坡带头屯河组砂岩中粘土矿物特征各异,有必要对其纵向及平面分布特征进行探讨,有利于后期针对其分布特点,在开发过程中选择合适方案对储层进行保护。

以位于研究区中南部阜东081井为例(图3a),砂岩中的粘土矿物类型主要包括蒙脱石、伊/蒙混层、绿泥石、伊利石和高岭石。粘土矿物在纵向分布上的变化趋势为:伊/蒙混层含量随深度增加逐渐减少,伊利石、高岭石以及绿泥石含量则逐渐增加,三者含量呈正相关趋势,而与伊/蒙混层含量呈负相关趋势。伊/蒙混层平均含量占到粘土矿物总量的70%以上,伊利石、高岭石以及绿泥石平均含量分别为7.5%、3.6%和10.2%,粘土矿物含量的重大变化往往发生在储集砂体底部冲刷面附近。冲刷面附近伊蒙混层含量往往增大,绿泥石等其它类型粘土矿物含量剧烈减少。

图4反映研究区靠近剥蚀线附近北62井储集砂岩中主要粘土矿物含量纵向变化特征(图3b)。其中蒙脱石平均含量为70%以上,伊利石和绿泥石平均含量分别为6.2%和5.3%,高岭石平均含量16.5%。粘土矿物总体变化趋势:蒙脱石、伊利石和绿泥石含量总体随深度逐渐呈现减小趋势,高岭石含量变化趋势同前三者相反,可能与流体介质的酸碱度变化有关。粘土矿物含量重大变化发生在储集砂体底部冲刷面附

表1 研究区头屯河组粘土矿物平均相对含量

Table 1 Relative content(average) of clay minerals in the Toutunhe Formation of the study area

层位	蒙脱石/%	伊蒙混层/%	伊利石/%	高岭石/%	绿泥石/%
J ₂ t ¹	9.49	57.88	7.70	6.63	18.3
J ₂ t ²	19.06	48.02	9.68	9.18	14.07

近,蒙脱石和高岭石含量幅度很大。埋深 2 455 m 附近粘土含量发生变化(图 3 红线部分),岩心资料证实该位置是后期水道对前期水道冲刷面。

总体来讲,粘土矿物中最主要矿物的含量往往达到 70% 以上,矿物之间的转化可能使主要与次要矿物含量纵向变化趋势相反,而且变化部位往往出现于冲刷面附近。

头一段粘土矿物平面分布特征,首先按主粘土矿物类型(含量占 50% 以上)进行分区,一区以伊/蒙

混层为主的粘土矿物,主要分布于中部地区,伊/蒙混层含量最高可达 93%,向四周逐渐降低,二区以蒙脱石为主的粘土矿物,蒙脱石平均含量达到 65% 以上。其次依据次粘土矿物含量将两个区域分别进一步划分。一区中西部高岭石平均含量达到 20%,粘土矿物组合为伊蒙混层+高岭石,东南部伊利石含量达到 36%,粘土矿物组合为伊蒙混层+伊利石。周缘地区粘土矿物组合为伊蒙混层+绿泥石,绿泥石平均含量为 10%,二区东北部高岭石平均含量为 17%,粘土矿

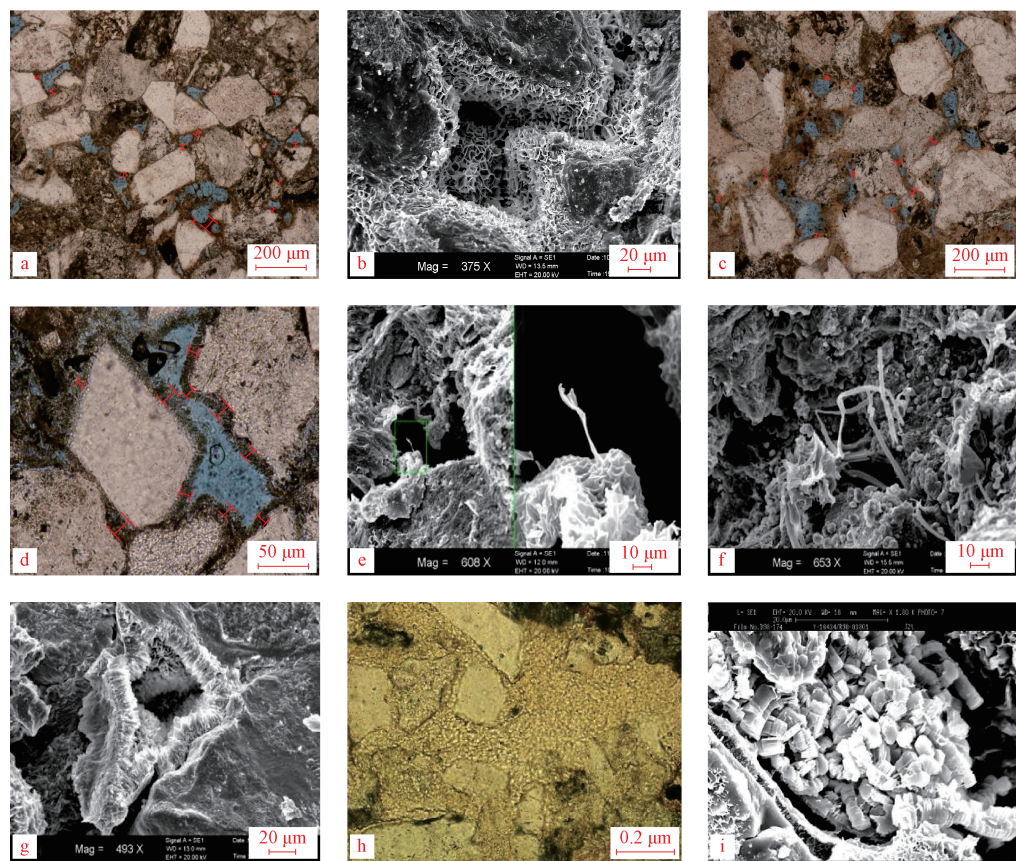


图 2 研究区头屯河组粘土矿物的赋存状态

Fig. 2 Occurrence patterns of clay minerals in the Toutunhe Formation of the study area

a. 细粒岩屑砂岩,阜东 11 井,埋深 2 944. 35 m;b. 粒表包裹的似蜂巢状伊/蒙混层矿物,阜东 8 井,埋深 2 521. 5 m,扫描电镜;c. 细粒岩屑砂岩,阜东 081 井,埋深 2 708. 43 m;d. 细粒岩屑砂岩,滋泉 1 井,埋深 3 711. 88 m;e. 粒间孔与粒表生长的丝片状伊利石,阜东 7 井,埋深 2 826. 48 m,扫描电镜;f. 粒间丝管状伊利石,阜东 5 井,埋深 3 007. 11 m,扫描电镜;g. 粒间充填的绿泥石集合体,阜东 051 井,埋深 3 053 m,扫描电镜;h. 细粒砂岩,粒间孔先后被薄膜状分布的泥质杂基和蠕虫状高岭石充填胶结,阜东 5 井,埋深 2 994. 50 m;i. 不规则状高岭石,北 82 井,埋深 2 999. 66 m,扫描电镜

表 2 研究区钻井储层中伊/蒙混层粘土矿物包膜厚度与物性数据和试油数据关系

Table 2 Relationship of clay membrane thickness with properties and well testing data in the reservoirs of some wells in the study area

井号	深度/m	层位	试油			物性		包膜厚度/ μm		
			油/ ($\text{t} \cdot \text{d}^{-1}$)	气/ ($\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$)	水/ ($\text{t} \cdot \text{d}^{-1}$)	孔隙度/ %	渗透率/ ($10^{-3} \mu\text{m}^2$)	最大值	最小值	平均值
阜东 11	2 944. 4	$J_2 t^2$				17. 8	29. 80	70. 73	11. 49	23. 48
阜东 12	3 362. 0	$J_2 t^2$			26. 22	16. 0	9. 54	23. 14	10. 62	15. 46
阜东 052	3 048. 0	$J_2 t^2$	9. 95	0. 041		7. 8	1. 39	21. 24	12. 80	16. 27
阜东 052	3 047. 5	$J_2 t^2$	9. 95	0. 041		16. 0	7. 01	20. 16	10. 70	15. 29
阜东 081	2 708. 4	$J_2 t^1$	0. 53			20. 8	312. 00	34. 34	13. 64	26. 61

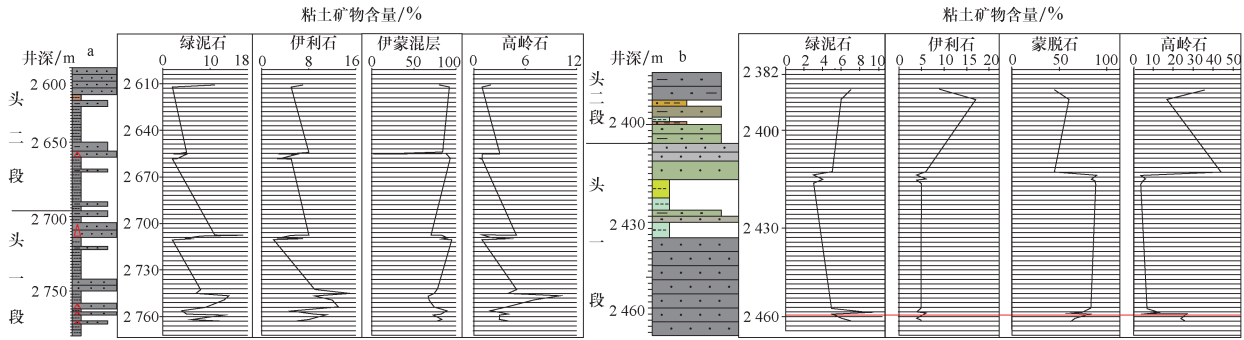


图3 研究区阜东081井(a)和北62井(b)头一段和头二段粘土矿物相对含量纵向变化

Fig. 3 Vertical changes in relative content of the main clay minerals in the first and the second members of the Toutunhe Formation in well FD081 (a) and B62 (b) in the study area

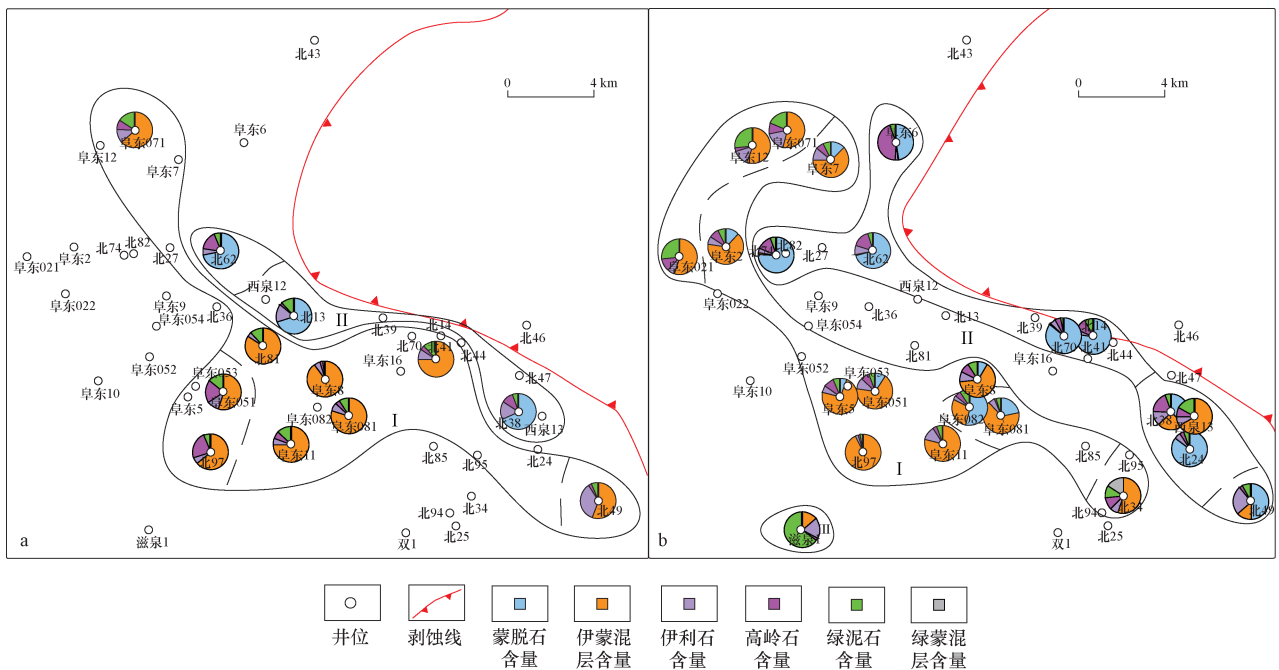


图4 研究区头一段(a)和头二段(b)主要粘土矿物相对含量

Fig. 4 Horizontal distribution of relative content of the main clay minerals in the first (a) and the second (b) members of the Toutunhe Formation in the study area

物组合为蒙脱石 + 高岭石。周缘地区为蒙脱石 + 伊利石组合,伊利石平均含量为 15.5% (图4)。

按上述划分方法,将研究区头二段粘土矿物平面分布划为3个区。一区、二区和三区分别以伊蒙混层、蒙脱石和绿泥石为主。一区可分为四个类:一类为西北区,以伊/蒙混层 + 绿泥石组合为主;二类为中部 - 中北部区,伊蒙混层矿物含量最高,其他3个主要粘土矿物含量相似;三类以阜东081和阜东082井为代表,粘土矿物组合为伊/蒙混层 + 蒙脱石;四类以北34井为代表,粘土矿物组合为伊/蒙混层 + 伊利石。二区可分为3类:一类为中部以北地区,粘土矿物组合为伊蒙混层 + 高岭石为主,北部高岭石含量可达到42%;二类为东北部地区,粘土矿物组合混杂;三类以北49井为代表,粘土矿物组合为蒙脱石 + 伊利石。三区范围较小,以滋泉1井位代表,粘土矿物组合为绿泥

石 + 伊利石 (图4)。

整体来看,一区分布面积广,其边缘粘土矿物组合有特点,其中北部,尤其是北部边缘多以伊/蒙混层 + 绿泥石组合为主,中西部边缘多以伊蒙混层 + 高岭石组合为主,东南部边缘以伊/蒙混层 + 伊利石为主,中部地区伊/蒙混层矿物含量最高,剩余3个主要粘土矿物含量相似;二区多以条带状沿剥蚀线附近分布,其中北部地区矿物组合多为蒙脱石 + 高岭石,东南部粘土矿物组合复杂,不具有规律性;三区样品分布极少,在此不做探讨。

2 粘土矿物分布控制因素

2.1 异常压力

笔者2015年在准东地区研究发现普遍存在异常

压力,并对其成因进行探讨^[8]。通过对研究区多口井头屯河组声波时差曲线分析,普遍表现出异常高值,最大值可达到 $112 \mu\text{m/s}$ ^[7]。根据阜东地区多口井地层压力系数,结合本地对压力级别的划分,制成该区异常压力分布图(图5)。可看出研究区北部出现小范围常压带,大部分地区处于高压区,在阜东7井以及阜东071井区附近出现超压区,在阜东9井以及北38井区附近甚至出现强超压区。

王芙蓉等人认为准噶尔盆地异常压力抑制蒙脱石向伊利石转化过程^[9],因此蒙脱石和伊蒙混层的含量会随着深度的加深而增加。以蒙脱石为主的粘土矿物在平面图中多分布于强超压带附近,而以伊蒙混层为主的粘土矿物则分布于超压带附近。因而当地层压力系数达到强超压时,蒙脱石基本上不向伊利石转化,随着压力系数减小,大量蒙脱石转化成伊蒙混层。同时可看出较高含量的伊利石几乎都在剥蚀线附近,远离剥蚀线范围的粘土矿物中伊利石含量很低。纵向上可看出随着深度的增加,伊利石含量整体增加,但幅度极小,从侧面反映出异常压力限制了蒙脱石向伊利石的转化。

一般来讲,高岭石的生成基本上同钾长石与钠长石的溶解有关^[10],在“流体压力封存箱”中酸性流体介质很难进行流动,钾长石以及钠长石的溶解比较有限,因此研究区高岭石的含量较低;亦或是地表条件下长

石溶解所形成的高岭石,在封闭系统内,会同长石溶蚀形成的二氧化硅和 K^+ 转化为蒙脱石^[11]。在“箱”底部或顶部,流体活动性会突然增强,在“箱”中很难形成的粘土矿物例如伊利石、高岭石以及绿泥石,此时含量会突然增加许多(图3)。

2.2 物源

根据碎屑组分特征、粘土矿物类型以及重矿物组合等方法对研究区物源方向进行分析(已做他文另讨),认为研究区物源有3个:东北部奇台凸起(克拉美丽山),南部博格达山和东部北三台凸起。其对粘土矿物的影响主要分两个方面讨论,即碎屑成分和物源影响范围。

2.2.1 碎屑成分

克拉美丽山受海西期断裂控制发育大量火山机构,中侏罗世博格达山沉积碎屑组受火山频发影响发生重大改变,使得本区占50%以上的砂岩岩屑主要以凝灰质为主,而凝灰质对于粘土矿物的形成起到关键性作用。在埋藏早期偏碱性的环境中,凝灰质岩屑极易向蒙脱石转化,并在蚀变的过程中释放二氧化硅,会在颗粒表面产生自生石英^[12]。在成岩过程中,伴随着长石溶解释放出大量的 K^+ ,蒙脱石开始向伊蒙混层转化,最终转化成伊利石,因此在研究区可普遍看到

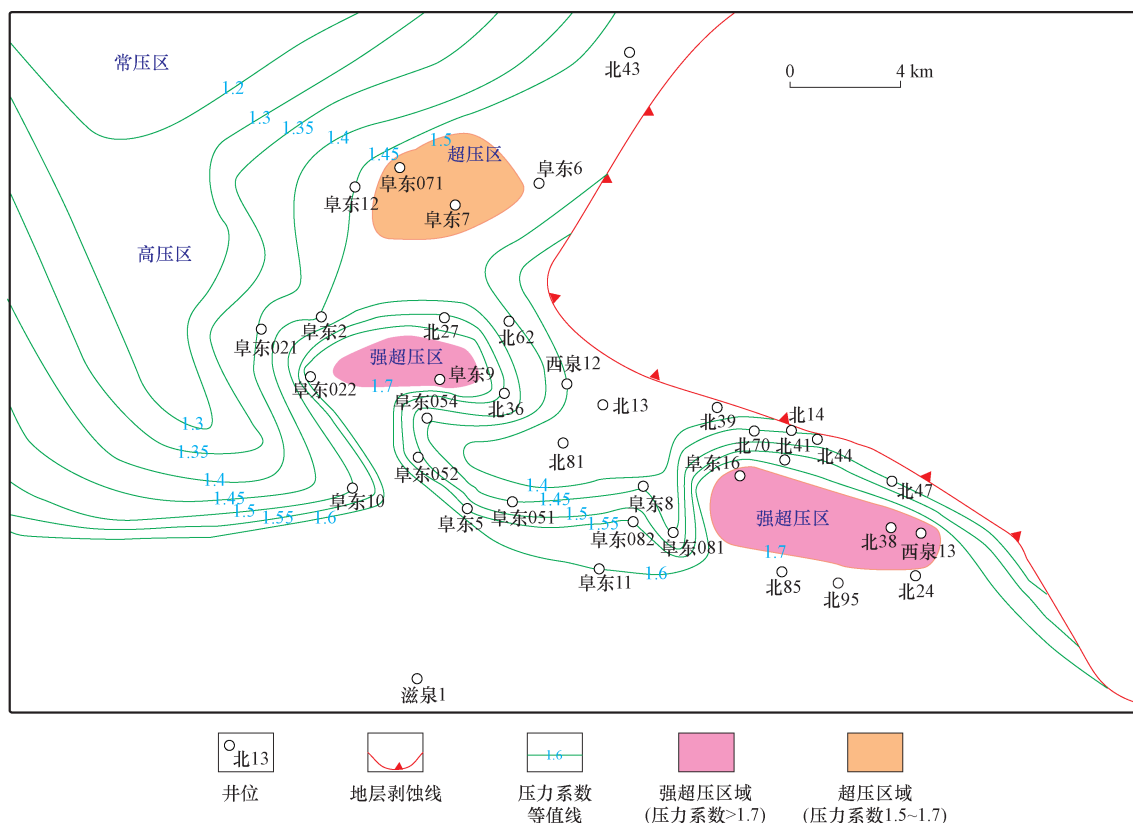


图5 研究区头屯河组地层压力系数

Fig. 5 Distribution of pressure coefficient in the Toutunhe Formation of the study area

伊/蒙混层矿物表面发育自生石英。

同时凝灰质岩屑早期水解对绿泥石的形成起到重要影响,它为孔隙溶液中注入大量 Mg^{2+} 、 Fe^{2+} 和 Al^{3+} ,使得埋藏早期偏碱性的环境中绿泥石以孔隙衬里的方式形成。蒙脱石转化成伊利石的同时释放钙、铁、镁和硅等离子,在高温条件下有利于向绿泥石转化。但准噶尔盆地的地温梯度范围为 $17.3 \sim 25.0 \text{ }^{\circ}\text{C}/\text{km}^{[13]}$,是大多数湖盆中最低的,加上超压环境中流体被限制流动,绿泥石不会于高温条件下生成。在头屯河组重矿物类型中识别出少量黑云母,其风化程度依次为绿泥石—蒙脱石—高岭石^[14],推断自生绿泥石也有部分是风化作用的产物。受南部物源影响,在头二段西南部出现绿泥石富集现象,但总体绿泥石含量在粘土矿物中所占比例不大。近物源区域中,绿泥石主要为黑云母蚀变形成,纵向上变化趋势同高岭石变化趋势相反(图3)。远物源区域中,绿泥石成因还包括成岩早期火山物质水解,纵向上变化趋势同高岭石变化趋势相似(图3)。

研究区头屯河组长石含量占20%以上,成分主要是钾长石。高岭石的转化依据镜下特征主要有两种类型:一种是碎屑高岭石,是由于物源中铝硅矿物的风化作用而形成,其镜下特点是不规则片状集合体分布于孔隙之中;另一种是自生高岭石,是成岩后期钾长石的蚀变而形成,其镜下主要表现为书页状、蠕虫状充填于孔隙之中^[11]。这两种类型都与碎屑中钾长石含量有重要关系。因此有些近剥蚀线区域高岭石含量较高,推断主要是碎屑高岭石组成,远物源区域高岭石含量较高主要是成岩后自生高岭石组成。

2.2.2 物源影响范围

头屯河组一段沉积时期,研究区存在两个物源方向,分别为北东向和南部方向,两个物源形成的三角洲相对独立,可看出粘土矿物的分布特征主要受到东北部物源影响;头屯河组二段沉积时期,研究区可能存在3个物源方向,主物源方向依然是东北方向的奇台凸起为主,但是此时由于南面博格达山逐渐隆起,南部物源对于研究区砂体分布影响较大,北三台主体已隆起是不争的事实^[1]。在沉积相平面图中可看到,研究区东南部砂体呈现混合状态,粘土矿物含量多变,从蒙脱石含量角度来看,顺物源方向的蒙脱石含量逐渐减少,在中部偏南附近,蒙脱石含量较多的原因可能是物源混积的结果。

2.3 沉积背景

结合头屯河组一、二段沉积相(图6),认为顺着主水道方向,蒙脱石基本上全部转化成为伊/蒙混层,表示水上环境或离剥蚀线较近区域蒙脱石在粘土矿物中的含量较大,水下环境伊/蒙混层的含量较高。

伊/蒙混层为主的粘土矿物主要发育在三角洲平原亚相,三角洲前缘亚相中粘土矿物主要以蒙脱石为主。这是由于湖水频繁冲刷入侵,长石以及凝灰质岩屑的溶解促进蒙脱石向伊利石转化,另一方面,虽然水上环境中砂体物性要好于水下砂体物性,易于接受大气水或酸性流体充注,更有利于长石的溶解,但是水上环境中流体流动迅速,使蒙脱石缺乏伊利石化条件。高岭石也随着主河道方向含量逐渐降低,这和早期钾

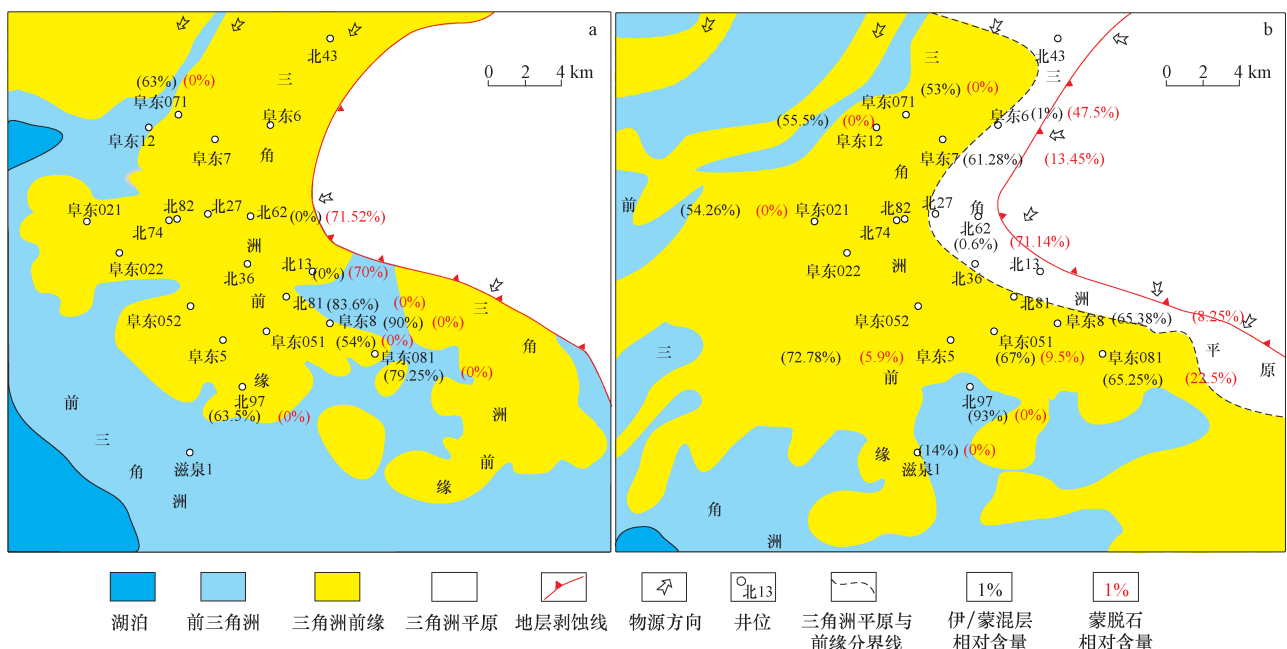


图6 研究区头屯河组一段(a)及二段(b)沉积相平面展布

Fig. 6 Horizontal distribution of sedimentary facies in the first and the second members of the Toutunhe Formation in the study area

长石风化形成的碎屑高岭石有关。

2.4 气候变化

由于研究区相对闭塞,同时构造环境相对平稳,湖平面变化主要受到气候影响。头一段沉积时期,研究区主要是潮湿气候,湖平面大幅上升,此时物源供给较充分。大多岩心颜色为灰色-浅灰色,判断此时水下环境为弱还原-还原环境,反映大气水淋滤作用较强,碱金属等元素较易迁移,在成岩早期形成大量蒙脱石。靠近剥蚀线附近地层接近地表,受到大气淡水淋滤溶蚀,有利于高岭石沉淀(图4)。总体来看,由于头一段沉积时期整体处于水下环境,成岩早期大量蒙脱石转化以及强烈母岩风化是伊蒙混层和绿泥石含量较高的原因。头二段沉积时期,气候变化相对频繁,氧化环境与还原环境频繁交替,湖平面随之上升与下降频繁变化,此时更多的物源供给使得发育进积型辫状河三角洲,沉积物可能经常暴露。头二段早期主要为季节性干旱气候环境,沉积水体的流量变化大,水上环境的出现使得蒙脱石含量大量增加,此时长石含量的增多、云母类矿物含量的减少为高岭石和伊利石含量的升高以及绿泥石含量降低提供原始条件,而水体介质 pH 值降低使自生高岭石形成相对容易。

2.5 后期构造活动

研究区中部断裂较发育(图7a),是后期构造活动的产物^[1]。虽然规模较小,但是其对于改善砂体物性有重要影响,进而改变砂体内部流体介质酸碱度。以北82井和阜东12井头二段为例(图7)。北82井南部有一条中等规模正断层,其断裂深度直达中-下侏罗统西山窑以及三工河组,这两组被证明是侏罗系较好烃源岩^[15],其生烃产生的大量有机酸或者是大气水通过断层进入砂体内部,使流体酸度增加,流体流动性增强,为高岭石的富集提供环境。而阜东12井周围构

造平稳,基本无断裂,头二段高岭石相对含量要低很多。

断裂的出现使得地层压力会发生一定程度的改变,Hillier认为邻地层压力差异会导致绿泥石的富集,研究区北部断层附近钻井岩心中头一、头二段绿泥石富集可能是这一原因。总体来讲,粘土矿物类型、相对含量、相互转化、横向及纵向上分布的差异同上述各个因素紧密相连,是多种因素共同作用的结果。

3 粘土矿物对储层敏感性影响

不同类型粘土矿物对于储集层物性会产生不同伤害,利用扫描电镜资料,分析研究区不同类型粘土矿物对储集层敏感性的影响,并探讨其相对含量与敏感性伤害率的关系。

研究区伊/蒙混层单体在扫描电镜下普遍呈弯曲片状,集合体呈蜂窝状。伊/蒙混层具有较高的亲水性、膨胀性及非常高的比表面,其损害主要表现为水敏。主要原因是蒙脱石遇淡水发生膨胀,堵塞孔喉,同时混层粘土由于膨胀层而解体,分散迁移堵塞孔喉,降低地层渗透率^[16-17]。研究区水敏损害率与蒙脱石、伊/蒙混层相对含量呈正相关(图8a)。

研究区自生绿泥石在扫描电镜下呈叶片状、花朵状、绒球状分布于碎屑颗粒表面,薄膜式胶结,沿孔隙周缘形成孔隙衬垫。虽不具膨胀性,但绿泥石具有酸敏性,易形成沉淀物。在酸性溶液中,绿泥石受反应温度以及酸浓度影响会析出 Fe^{3+} , Mg^{2+} 等离子,同砂岩石英和高岭石释放的 Si^{4+} 结合形成难溶硅酸盐沉淀;同时 pH 值升高形成絮状氢氧化物,致使岩石的物性降低^[18]。研究区酸敏损害率与绿泥石相对含量呈正相关(图8b)。

研究区单个高岭石晶体在扫描电镜下呈六方板状,集合体呈蠕虫状,储集层的危害表现为不稳定性,由于晶间结构较疏松,遇到流体冲刷会伴随其迁移,堵

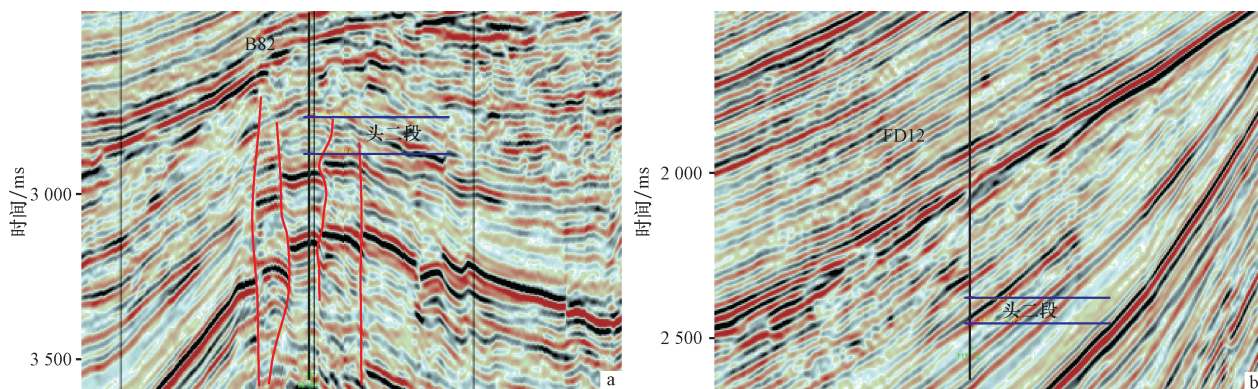


图7 研究区北82井(a)及阜东12井(b)头二段地震剖面

Fig. 7 Seismic profiles of the secondary member of the Toutunhe Formation in Well B82(a) and FD12(b) in the study area

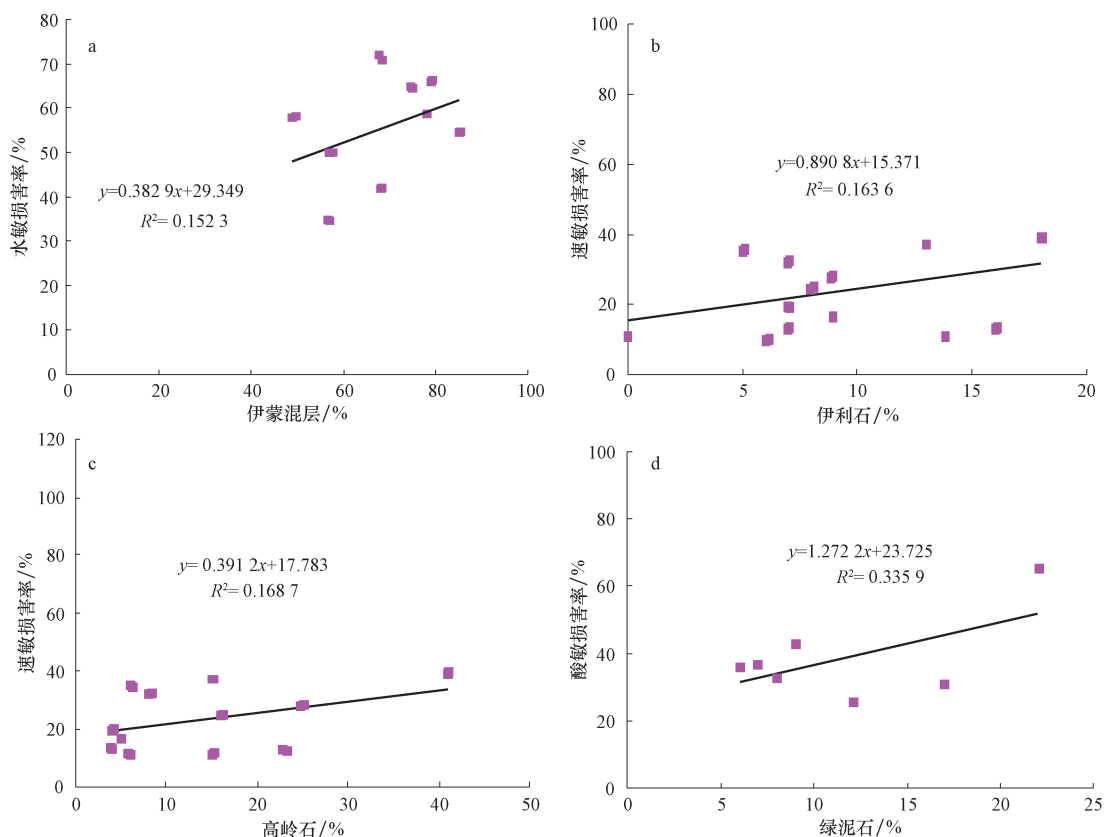


图8 研究区头屯河组储集层主要粘土矿物相对含量与敏感性损害率关系

Fig. 8 Relationships between relative content of the main clay minerals and damage levels of sensibility in the Toutunhe Formation of the study area

塞孔喉,影响很大,是重要的速敏矿物^[19]。研究区速敏损害率与高岭石相对含量呈正相关(图8c)。

研究区自生伊利石在扫描电镜下呈不规则片状、丝状分布于碎屑颗粒表面,它对储集层的潜在影响主要表现为微粒运移。研究区速敏损害率与伊利石相对含量呈正相关(图8d)。

4 结论

1) 准噶尔盆地阜东斜坡带储集层岩性主要为近物源的细粒岩屑砂岩,成分成熟度低而结构成熟度高,储集空间主要为原生粒间孔,孔喉分选一般,为典型的孔隙型储层。储层砂岩的粘土矿物类型丰富,主体以伊/蒙混层为主。伊/蒙混层和绿泥石多形成于早期成岩阶段,而伊利石和高岭石多多形成于中-晚期成岩阶段。粘土矿物包膜厚度(相对20 μm来讲)与储集层原生孔隙度成正比,与后期自然产能成反比。

2) 研究区主要粘土矿物相对含量在纵向和平面差别很大。物源中相对含量较多的凝灰质岩屑和钾长石,为成岩早期蒙脱石、伊/蒙混层和绿泥石以及成岩后期高岭石的形成提供物质基础。辫状河三角洲沉积背景限制了粘土矿物平面分布,伊/蒙混层为主的粘土矿物主要发育在三角洲平原亚相,三角洲前缘亚相中

粘土矿物主要以蒙脱石为主。气候变化以及后期构造运动改变砂体内部流体介质酸碱度以及流体活动性,为成岩后期高岭石和伊利石的转化提供必要条件;普遍存在的异常压力环境,限制砂体内部流体流动,抑制粘土矿物的转变,尤其是蒙脱石的伊利石化,是粘土矿物分布差异的关键性因素。

3) 研究区水敏损害率与蒙脱石、伊/蒙混层相对含量呈正相关。酸敏损害率与绿泥石含量呈正相关;速敏损害率与高岭石、伊利石相对含量呈正相关。重点解决普遍存在的水敏伤害问题,蒙皂石相对含量较多储集层相应考虑防膨胀问题。对于研究区粘土矿物相对含量较复杂储集层,酸化并不能解决问题,主要还是采取压裂方法,优化工艺措施,采用高压射流径向水平钻孔技术,结合N2泡沫压裂液,有利于后期开发效果提高。

参 考 文 献

- [1] 鲁兵,张进,李涛,等. 准噶尔盆地构造格架分析[J]. 新疆石油地质, 2008, 29(3): 283-289.
Lu Bing, Zhang Jin, Li Tao, et al. Analysis of tectonic framework in Junggar Basin[J]. Xinjiang Petroleum Geology, 2008, 29(3): 283-289
- [2] 朱筱敏,张义娜,杨俊生,等. 准噶尔盆地侏罗系辫状河三角洲沉积特征[J]. 石油与天然气地质, 2008, 29(2): 244-251.

- Zhu Xiaoming, Zhang Yina, Yang Junsheng, et al. Sedimentary characteristics of the shallow Jurassic braided river delta, the Junggar Basin [J]. Oil & Gas GEOLOGY, 2008, 29(2): 244–251.
- [3] 于景维, 郑荣才, 刘自军, 等. 准噶尔东部阜东及西泉地区头屯河组沉积特征及相模式[J]. 新疆地质, 2014, 32(2): 225–230.
- Yu Jingwei, Zheng Rongcai, Liu Zijun, et al. Sedimentary characteristic and model of Toutunhe Formation in east of Fukang Slope and Xiquan area, east of Jungar Basin [J]. Xinjiang Geology, 2014, 32(2): 225–230.
- [4] 于景维, 郑荣才, 祁利祺, 等. 准噶尔盆地阜康凹陷东部斜坡带中侏罗统头屯河组高分辨层序与沉积微相精细分析[J]. 地质论评, 2014, 60(6): 1337–1347.
- Yu Jingwei, Zheng Rongcai, Qi Liqi, et al. Precise analysis on high-resolution sequence stratigraphy and micro-facies of Toutunhe Formation of Middle Jurassic in the east slope zone, Fukang Sag, Junggar basin [J]. Geologic Review, 2014, 60(6): 1337–1347.
- [5] 于景维, 郑荣才, 殷新花, 等. 准东阜东斜坡区头屯河组储集层非均质性综合研究[J]. 成都理工大学学报(自然科学版), 2014, 41(5): 567–576.
- Yu Jingwei, Zheng Rongcai, Yin Xinhua, et al. A comprehensive research on reservoir heterogeneity of Toutunhe Formation in slope area, east of Fukang sag, Junggar Basin, Xinjiang, China [J]. Journal of Chengdu University of Technology (Science & Technology Edition), 2014, 41(5): 567–576.
- [6] 柳妮, 文华国, 于景维, 等. 准噶尔阜康东部斜坡区中侏罗统头屯河组高分辨层序地层格架内储集层宏观非均质性研究[J]. 地质论评, 2014, 60(5): 1158–1166.
- Liu Ni, Wen Huaguo, Yu Jingwei, et al. Analysis of macroscopic heterogeneity within high resolution sequence stratigraphic framework in Toutunhe Formation of Middle Jurassic in east of Fukang slope zone, Junggar Basin [J]. Geological Review, 2014, 60(5): 1158–1166.
- [7] 于景维, 李璐璐, 祁利祺, 等. 阜东斜坡带头屯河组二段储集层控制因素[J]. 新疆石油地质, 2014, 35(1): 34–38.
- Yu Jingwei, Li Lulu, Qi Liqi, et al. Reservoir controlling factors of Toutunhe No. 2 Member in Fudong slope zone in Eastern Junggar Basin [J]. Xinjiang Petroleum Geology, 2014, 35(1): 34–38.
- [8] 于景维, 任伟, 王武学, 等. 阜东斜坡中侏罗统头屯河组异常高压形成机理[J]. 新疆石油地质, 2015, 36(5): 521–525.
- Yu Jingwei, Ren Wei, Wang Wuxue, et al. Generation of abnormal pressure in Toutunhe Formation of Middle Jurassic in Fudong slope area [J]. Xinjiang Petroleum Geology, 2015, 36(5): 521–525.
- [9] 王芙蓉, 何生, 杨智, 等. 蒙脱石粘土矿物不正常转化的研究——以准噶尔盆地为例[J]. 油气地质与采收率, 2006, 13(4): 25–27.
- Wang Furong, He Sheng, Yang Zhi, et al. A study on abnormal transformation of smectite clay minerals—taking Junggar Basin as an Example [J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2006, 13(4): 25–27.
- [10] 梁瑞. 鄂尔多斯盆地华庆地区白254等7口井延长组长8油层组砂岩的岩石学特征研究[D]. 成都: 成都理工大学, 2011.
- Liang Rui. Ordos basin Huaqing areas such as white 254 seven Wells 8 reservoir sandstone of extended leader petrology features study [D]. Chengdu: Chengdu University of Technology, 2011.
- [11] 伏万军, 刘文彬. 塔里木盆地碎屑岩中钾长石的蚀变作用[J]. 沉积学报, 1996, 14(增刊): 84–89.
- Fu Wanjuan, Liu Wenbin. Study on the alteration of feldspar from clastic rock in Tarim Basin [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 1996, 14(S1): 84–89.
- [12] 王宏语, 樊太亮, 肖莹莹, 等. 凝灰质成分对砂岩储集性能的影响[J]. 石油学报, 2010, 31(3): 432–439.
- Wang Hongyu, Fan Tailiang, Xiao Yingying, et al. Effect of tuffaceous components on physical property of sandstone reservoir [J]. Acta Petrolei Sinica, 2010, 31(3): 432–439.
- [13] 薛叔浩, 刘雯林, 薛良清, 等. 湖盆沉积地质与油气勘探[M]. 北京: 石油工业出版社, 2002: 40–41.
- Xue Shuhao, Liu Wenlin, Xue Liangqing, et al. Sedimentary geology of lake basin and oil-gas exploration [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2002: 40–41.
- [14] 赵杏媛. 粘土矿物与粘土矿分析[M]. 北京: 海洋出版社, 1990: 58–59.
- Zhao Xingyuan. Analysis of clay minerals content and clay minerals [M]. Beijing: China Ocean Press, 1990: 58–59.
- [15] 况昊. 准噶尔盆地白家海地区侏罗系地层岩性油气藏成藏规律研究[D]. 武汉: 长江大学, 2012.
- Kuang Hao. Accumulation Regularity of Lithology reservoirs in Jurassic Baijiahai area, Jungar Basin [D]. Wuhan: Yangtze University, 2012.
- [16] Hillier S, Fallick A E. Matter Alorigin of pore – lining chlorite in the Aeolian Rotliegend of northern Germany [J]. Clay Minerals, 1996, 31: 153–1711.
- [17] 曾伟, 董明, 孔令明, 等. 鄂尔多斯盆地苏里格气田中、下二叠统砂岩储集层敏感性影响因素分析[J]. 天然气勘探与开发, 2011, 34(3): 31–38.
- Zeng Wei, Dong Ming, Kong Lingming, et al. Influencing factors of reservoir sensitivity in Middle and Lower Permian Sandstone, Sulige gasfield, Ordos Basin [J]. Natural Gas Exploration & Development, 2011, 34(3): 31–38.
- [18] 邓杰, 王震亮, 高潮, 等. 定边张韩地区长2低渗储集层敏感性分析[J]. 西北大学学报(自然科学版), 2011, 41(2): 285–290.
- Deng Jie, Wang Zhengliang, Gao Chao, et al. Estimation of sensitivity of Chang 2 reservoir in Zhanghan area [J]. Journal of Northwest University (Natural Science Edition), 2011, 41(2): 285–290.
- [19] 谢俊, 孟宁宁, 于江涛, 等. 长春岭地区泉四段储集层敏感性伤害评价[J]. 山东科技大学学报(地球科学版), 2011, 30(4): 39–44.
- Xie Jun, Meng Ningning, Yu Jiangtao, et al. The evaluation on the sensitivity damages of the Quan 4 Formation in Changchunling District [J]. Journal of Shandong University of Science and Technology (Natural Science Edition), 2011, 30(4): 39–44.

(编辑 董立)