



· 地球科学与环境科学 ·

## 吐哈盆地水西沟群致密砂岩储层储集性能影响因素分析

刘 选<sup>1</sup>, 钟建华<sup>1,2</sup>, 孙玉凯<sup>3</sup>, 王劲松<sup>3</sup>, 魏 婷<sup>1</sup>, 曲俊利<sup>1</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. 中国科学院 广州地球化学研究所, 广东 广州 510640; 3. 中石油吐哈油田分公司 勘探开发研究院 新疆 哈密 839009)

**摘要:**吐哈盆地水西沟群致密气藏储层以高岩屑含量的中—细砂岩为主,部分层位赋存大量碳质碎屑,孔隙度与渗透率普遍较低,而其致密化原因十分复杂,且一直没有被系统总结。文中在储层特征研究的基础上,通过大量的岩心与镜下观察、岩石物性测定及统计,对其储层储集性能的各项影响因素进行了分析。研究认为,沉积、成岩和构造3大作用分别通过影响致密砂岩储层的岩石组分与储集空间控制了其储集性能,而该区独具特色的高碳屑含量对储层物性有较显著的改善作用;水西沟群致密储层的3种主要致密化机制为原生(沉积)致密化、次生(成岩)致密化和有机质充填致密化。该研究为研究区水西沟群致密储层的综合评价和气藏类型的界定打下了良好的基础。

**关键词:**致密砂岩储层; 储层特征; 储集性能; 储层致密化; 影响因素

中图分类号: TE122.2 文献标识码: A 文章编号: 1000-274X(2014)03-0451-10

### Analysis of the reservoir performance influencing factors of the tight sandstone gas accumulations in the Shuixigou Group, Turpan-hami Basin

LIU Xuan<sup>1</sup>, ZHONG Jian-hua<sup>1,2</sup>, SUN Yu-kai<sup>3</sup>, WANG Jin-song<sup>3</sup>, WEI Ting<sup>1</sup>, QU Jun-li<sup>1</sup>

(1. Earth Science and Technology Institute, University of Petroleum, Qingdao 266555, China;

2. Guangzhou Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Science, Guangzhou 510650, China;

3. Research Institute of Exploration and Development, Tuha Oilfield Company, PetroChina, Hami 839009, China)

**Abstract:** Tight gas reservoirs of Shuixigou Group in Turpan-hami Basin are composed of medium-fine sandstones with high rock debris contents, parts of the strata have abundant occurrence of carbonaceous chippings, and their porosities and permeabilities are generally low, whereas their densification reasons are so complex that they have not been summarized systematically before. On the basis of reservoir characteristics research and through extensive and detailed core and microscopic observation, combined with sufficient petrophysical data determinations and statistics, various influencing factors of reservoir performance were objectively analyzed in this paper. Results suggest that the three major functions as the sedimentation, diagenesis and tectonism controlled the reservoir performance respectively by the influencing components and the reservoir spaces of the sandstone reservoirs, moreover, the unique high local content of carbonaceous chippings also improved the petrophysical properties of the reservoirs significantly; the three main densification mechanisms of the Shuixi-

收稿日期: 2013-10-11

基金项目: 国家自然科学基金石油化工重点基金资助项目(U1262203); 国家油气重大专项基金资助项目(20112X05009-002)

作者简介: 刘选,男,山东青岛人,中国石油大学(华东)博士生,从事构造-沉积研究。

gou tight reservoirs were summarized, namely the protogenic (sedimentation derived) densification, the secondary (diagenesis derived) densification and the densification caused by the filling of organic matters, which have laid a good foundation for the local comprehensive reservoir evaluations and gas accumulation type determinations.

**Key words:** tight sandstone reservoir; reservoir characteristics; reservoir performance; reservoir densification; influencing factors

国内外学者对于致密砂岩气藏储层物性变化的影响因素,特别是其致密化的成因有很多不同的认识。F. Leder 等(1986)认为,影响砂岩孔隙度的重要变量依次是:埋藏速率、形成时间、初始孔隙度、流体动力学、地温梯度等<sup>[1]</sup>; Scherer (1987)将砂岩埋深、形成时间、分选和石英颗粒含量等 4 项作为影响孔隙度的一级参数,列出了经验公式,并计算了不同深度、年龄的孔隙度<sup>[2]</sup>; 杨晓宁(2005)认为,由于机械压实作用,砂质岩的孔隙和喉道被网格状黏土矿物和次生加大矿物充填成微细孔喉状结构时,形成具有较高毛细管压力的致密砂岩<sup>[3]</sup>; 杨晓萍等(2006)认为,从大的方面来讲,致密含气砂岩的成因主要有 3 个:沉积作用、成岩作用、构造作用<sup>[4]</sup>; 蒋凌志等(2004)将致密储层按成因分为原生低渗透储层、次生低渗透储层和裂缝型低渗透储层,分别对应于沉积、成岩和构造作用的影响<sup>[5]</sup>; 唐海发等(2007)则认为,沉积微相对储层物性的控制是先天性的:沉积微相类型不同,其砂体的发育程度不同,最终影响了储层物性的非均质程度<sup>[6]</sup>; M. A. Islam 等(2009)研究了孟加拉盆地新近世 Bhuban 砂岩储层的性质及成岩作用对其的影响,认为沉积环境、孔隙胶结堵塞作用和储层结构参数(粒度、空隙大小及分选等)决定了储层性质<sup>[7]</sup>。此外,刘金库等(2009)在研究鄂尔多斯盆地包界地区须家河组储层时,系统介绍了绿泥石环边胶结物对致密砂岩孔隙的保存机制<sup>[8]</sup>。

中国各大油气区块均有低孔低渗透的致密砂岩气藏储层分布,吐哈盆地水西沟群致密砂岩气资源丰富,是中国近年来开发最为成功的非常规气藏之一。本区储层基础特征研究比较充分,李森明等(2002)、宋承文(2010)、梅梓等(2012)、张代生等(2000)对本区沉积作用控制原生储层性质的机制进行了探讨,指出本区优质储层最发育的部位在南物源三角洲向北入湖处,如恰勒坎、鄯勒、红旗坎、小草湖等地<sup>[9-12]</sup>; 党盆等(2002)、张世奇等(2001)也研究了盆地范围内成岩作用对孔隙演化,特别是对次生孔隙发育的影响,这些研

究探讨了成岩孔隙流体中碳酸的成因及其对区域次生孔隙发育的影响,并对不同成岩阶段中包含的各种成岩作用类型组合进行了划分,总结了不同成岩作用之于储层最终物性的影响<sup>[13-14]</sup>。此外,张小青等(2001)对本区侏罗系砂岩储层中黏土矿物组成和分布特征及其控制因素进行了探讨,表明其亦与酸性孔隙流体的作用密切相关<sup>[15]</sup>。但是,由于本区水西沟群致密气藏储层物性普遍较差,而其致密化原因十分复杂,且一直没有被系统总结,所以现有的储层致密化理论尚无法完全有效地指导本区致密气的勘探实践。张超(2011)也曾试图对巴喀油田下侏罗统气藏储层物性的主控因素进行探讨,但由于研究区和研究层位有限,且支持的实验数据偏少而缺少了代表性与说服力<sup>[16]</sup>。本研究在水西沟群致密砂岩储层特征分析的基础上,系统总结了针对吐哈盆地这一大型富煤陆相盆地的主要储层致密化机制,对于本区及类似盆地储层的分类评价及其特征研究都具有重要意义。

## 1 概述

吐哈盆地是中国新疆维吾尔自治区境内 3 大沉积盆地之一,发育在西伯利亚板块、哈萨克斯坦板块和塔里木板块的交接部位,其四周为群山环绕,呈长条状近东西向展布。致密砂岩气藏主要发现于台北凹陷,该凹陷位于盆地中部,属吐鲁番拗陷,面积 9 600 km<sup>2</sup>,由北向南可分为 3 大次级构造单元:北部山前构造带、中央凹陷带和南部斜坡带。本研究参考的主要钻井就位于台北凹陷北部山前构造带的柯柯亚地区和南部斜坡带的温吉桑地区(见图 1)。

吐哈盆地致密砂岩气主要发育在侏罗系水西沟群(西山窑组、三工河组和八道湾组)中<sup>[17-18]</sup>。其中,煤系是主要的生烃层系,而夹在两套煤系烃源岩之间的大型冲积扇和扇三角洲砂岩、砾岩是主要储集层<sup>[17]</sup>。目前已有多口探井见到丰富的油气显示,北部山前带的巴喀地区、南部斜坡区的

温吉桑地区的勘探工作已相继获得突破,发现了巴喀、丘东气田及多个含气构造。该区储集层单层厚度 20 ~ 50 m, 累计厚度 300 ~ 500 m, 孔隙度一般 4% ~ 10%, 渗透率一般  $< (0.05 \sim 1) \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ , 属致密砂岩气藏<sup>[19]</sup>。

## 2 水西沟群致密砂岩储层特征

### 2.1 岩石学特征

对 168 个岩样的岩心分析数据进行研究后表

明,吐哈盆地水西沟群储层以中—细砂岩为主,普遍含大量碳屑、碳质泥砾等有机质物质。岩石类型主要为长石岩屑砂岩,石英和长石含量低,岩屑含量高,成分成熟度低;分选中—好,其中柯柯亚地区样品颗粒磨圆度差,主要为次棱角状,结构成熟度低,表明搬运距离较短,离物源区近。储层胶结物主要是高岭石、方解石和菱铁矿,胶结类型多以压嵌型为主,接触方式则以线接触及点—线接触为主,主要为颗粒型支撑。

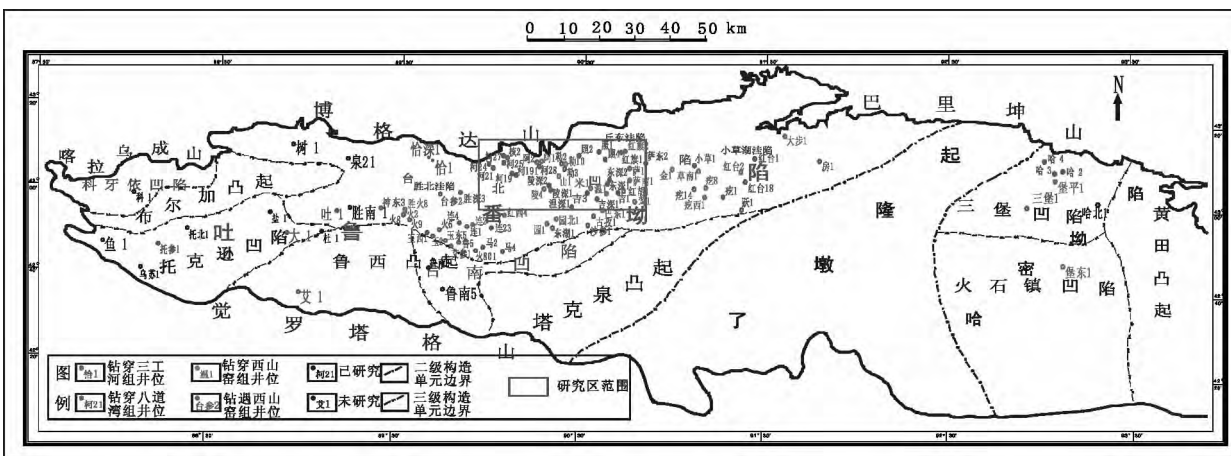


图1 主要研究区位置图

Fig.1 Location map of the main study area

### 2.2 储集空间类型与特征

本区水西沟群储层主要发育的原生孔隙为粒间孔隙和基质内微孔隙,主要发育的次生孔隙为溶蚀孔隙。另外,胶结作用形成的晶间孔隙以及裂缝也占很大比例。铸体资料表明,水西沟群致密砂岩具有 5 种孔隙类型构成的复杂孔隙系统(粒内溶孔、溶蚀扩大粒间孔、泥质杂基微孔、剩余粒间孔和构造缝),其中尤以粒内溶孔最为发育,而剩余粒间孔只在埋藏较浅的井中出现(见图 2)。随着埋深的增加,溶蚀扩大粒间孔和剩余粒间孔逐渐消失,强烈的压实作用和不断的溶蚀作用使得孔隙组合类型由多样性向单一性转化。

研究区内大部分岩样的压汞曲线显示为歪度略粗,孔喉分选性为中等偏下,孔喉分布总体呈单峰状,以小孔细喉型为主体,平均中值喉道半径小,该部分孔隙喉道对渗透率的贡献极小。

### 2.3 物性特征

吐哈盆地水西沟群致密砂岩储层的孔隙度、渗透率值均较低<sup>[10-11,16]</sup>。经 168 个岩心样品分析统计可知,  $J_2x$  砂岩孔隙度介于 2.0% ~ 7.0%, 平均 4.4%, 渗透率主要分布在  $(0.05 \sim 0.5) \times$

$10^{-3} \mu\text{m}^2$ , 平均  $0.08 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ ;  $J_1s$  砂岩孔隙度主要分布在 5.0% ~ 9.0%, 平均 5.8%, 渗透率范围为  $< 0.05 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$  和  $(0.1 \sim 0.5) \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ , 平均为  $0.1 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ ;  $J_1b$  砂岩孔隙度主要分布在 3.0% ~ 7.0%, 平均为 5.3%, 渗透率有两个分布范围:  $(0.01 \sim 0.05) \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$  和  $(0.1 \sim 0.5) \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ , 平均  $0.13 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$  (见图 3)。

## 3 吐哈盆地水西沟群致密砂岩储层储集性能的影响因素

综合前人有关致密砂岩储层物性的研究成果,可知沉积、成岩和构造 3 大作用通过影响致密砂岩储层的岩石组分与储集空间控制了其储集性能<sup>[4-6]</sup>。具体到吐哈盆地水西沟群致密储层来说,沉积作用通过沉积相控制储层粒度分布,进而决定砂岩中塑性岩屑和伊利石的相对含量及其孔隙结构特征,从而影响储层的最终储集性能。此外,沉积作用还可造成储层间的碳屑含量差异,亦能影响其物性好坏。本区成岩作用主要通过自生黏土矿物的沉淀(交代长石)、碳酸盐胶结物的晶

出和塑性碎屑的压实这 3 种方式对储层岩石组分和储集空间施加影响,形成次生致密砂岩储层。构造作用则通过形成构造裂缝,改造了储层的储集空间,进而改变了原始储层的储集性能。此外,

在本次吐哈盆地水西沟群致密砂岩储层岩心和薄片观察中还初步发现一种由于有机质充填孔隙导致的储层致密化机制,也很值得进一步研究。

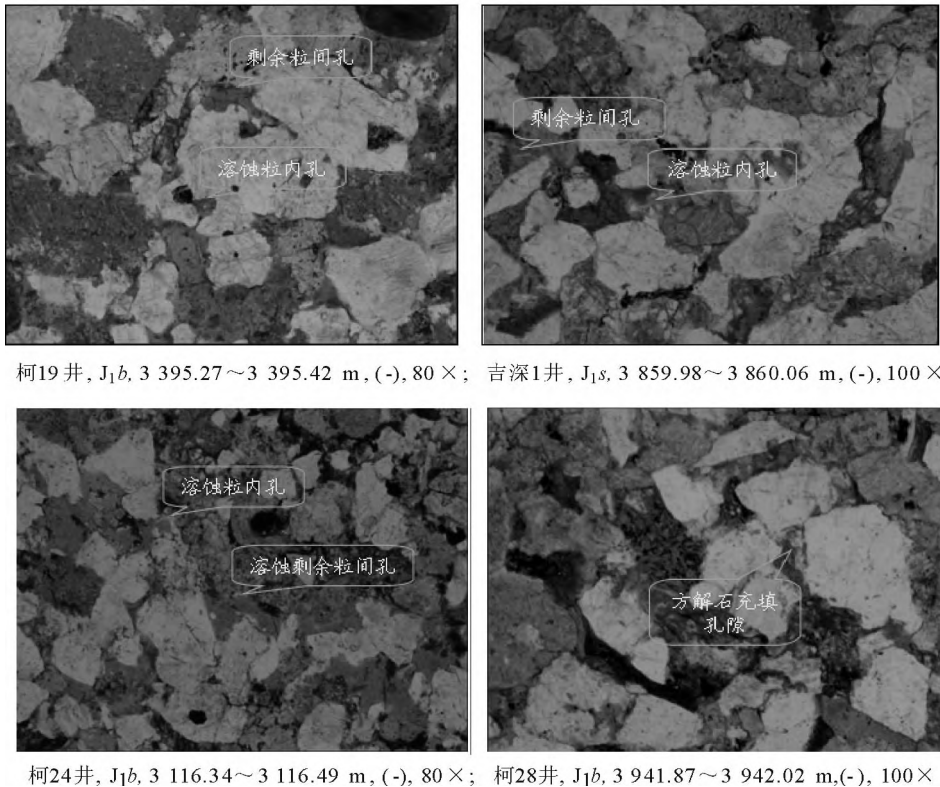


图 2 水西沟群致密砂岩储层典型孔隙结构铸体照片

Fig. 2 Casting microscopic photographs of the typical reservoir pore types of the Shuixigou Group

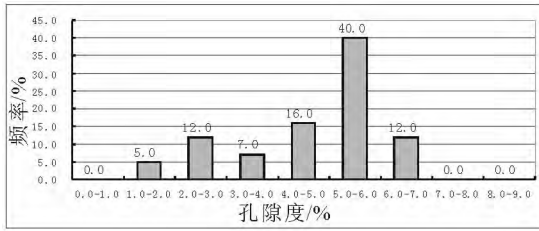
### 3.1 沉积作用的影响

不同的沉积环境具有不同的水动力特征,所形成的砂体在岩相组成、厚度、内部非均质性以及砂岩碎屑成分组成、泥质含量、颗粒的粒度、分选等多方面各具特色,造成不同沉积环境所形成的砂体具有不同的原始孔隙度和渗透率<sup>[6]</sup>。

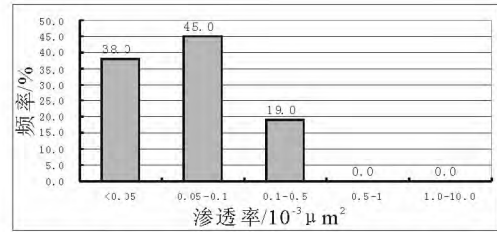
吐哈盆地水西沟群致密砂岩储层沉积母岩主要为火山碎屑岩、岩浆和变质岩等,它们的岩屑体积百分含量一般为 50% ~ 65%。本区中下侏罗统沉积体系类型属典型的辫状河与曲流河三角洲沉积体系,砂体成因类型主要为水下分流河道、河口坝砂体及少量浊积砂体。厚层砂体多为不同成因砂体相互叠置和拼合而成,沉积相对储层粒度有明显的控制作用,水下分流河道中下部、河口坝上部岩性粗,为有利储集相带,物性较好。大量的实验分析数据表明,吐哈盆地水西沟群塑性岩屑

和伊利石含量的高低是影响储集性能最主要的主控参量,其影响作用主要反映在砂岩的粒度上:因为水动力较强,矿物颗粒淘洗得干净,塑性岩屑含量低,伊利石含量也低,杂基含量更低,因此粒度越粗的储层物性越好(见图 4)。此外,砂岩粒度还决定了其孔隙结构,粒度粗的砂岩抗压能力强,且黏土矿物含量低,故其保留的孔隙和喉道较多,因此孔喉匹配关系较好,最终导致粒度越粗喉道半径就越大,排替压力越低(见图 5)。因此,粒度才是决定水西沟群致密砂岩储层储集性能的真正主控参量。

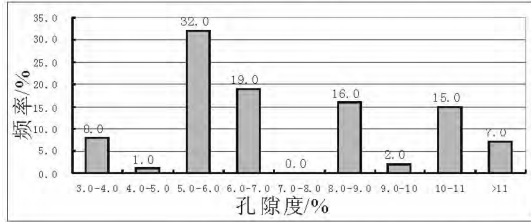
经初步研究,吐哈盆地水西沟群原生(沉积)致密砂岩储层一般有以下 2 种成因:沉积过程中分选差使储层孔渗急剧减小;粒间孔隙被碎屑沉积时的泥质充填形成的致密砂岩储层。



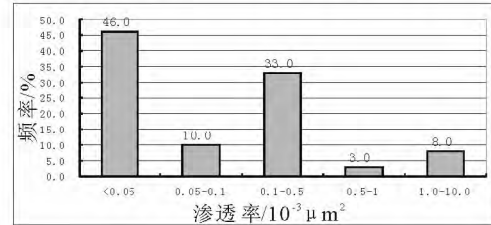
A 西山窑组岩心分析孔隙度分布频率直方图



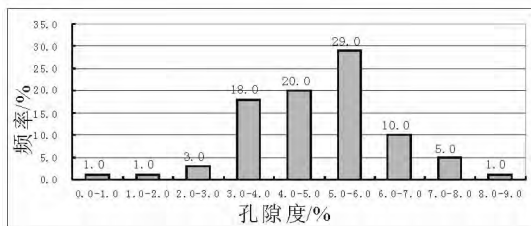
B 西山窑组岩心分析渗透率分布频率直方图



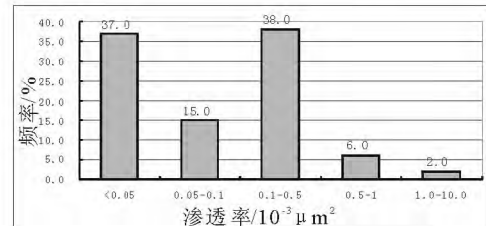
C 三工河组岩心分析孔隙度分布频率直方图



D 三工河组岩心分析渗透率分布频率直方图



E 八道湾组岩心分析孔隙度分布频率直方图



F 八道湾组岩心分析渗透率分布频率直方图

图3 吐哈盆地水西沟群致密砂岩储层物性分布特征

Fig.3 Core analysis reservoir physical property distribution frequency histogram of the Shuixigou Group

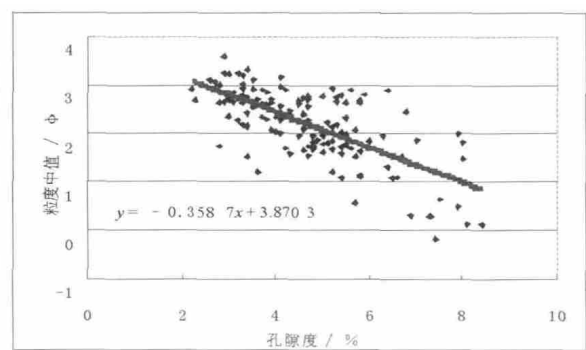
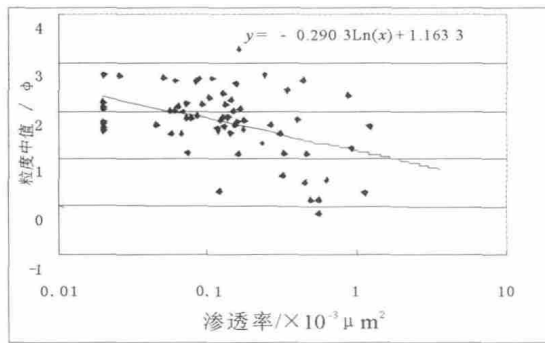


图4 水西沟群致密砂岩储层粒度中值与孔渗关系

Fig.4 Relationship between median size and physical properties of the Shuixigou Group

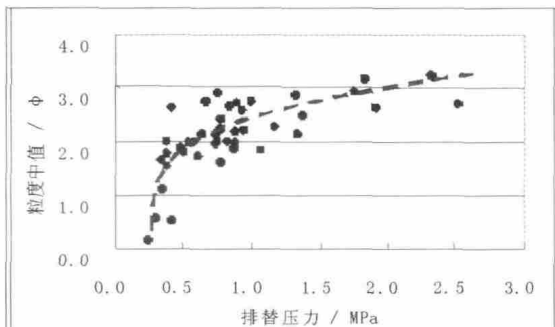
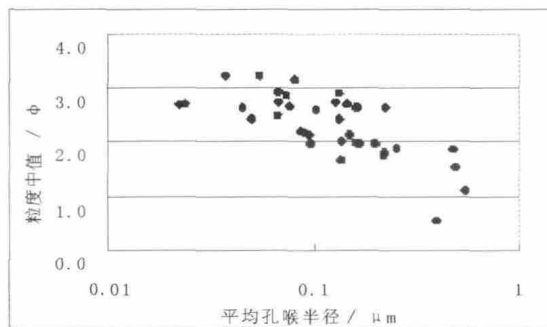


图5 水西沟群致密砂岩储层粒度中值与孔隙结构参数关系

Fig.5 Relationship between median size and pore structure parameters of the Shuixigou Group

### 3.2 成岩作用的影响

吐哈盆地水西沟群储集层成岩作用的类型归纳起来有机械压实作用、胶结作用、交代作用和溶蚀作用等,其中前3种成岩作用使储层物性变差,而溶蚀作用可改善储层物性<sup>[14]</sup>。

前已述及,吐哈盆地水西沟群塑性岩屑和伊利石含量的高低是影响储层储集性能最主要的主控参量,这也同样在成岩作用上得到体现。在强

烈的压实成岩作用背景下,岩屑中的塑性岩屑(以千枚岩、低变质泥岩和板岩为主)部分很容易产生较强压实变形,尤其是千枚岩的变形更为强烈,这使得储层在埋藏不久就遭受强烈压实;而原生孔隙的强烈破坏造成孔隙度和渗透率的急剧下降,表现为塑性岩屑含量与孔渗之间存在较好的负相关关系(见图6)。

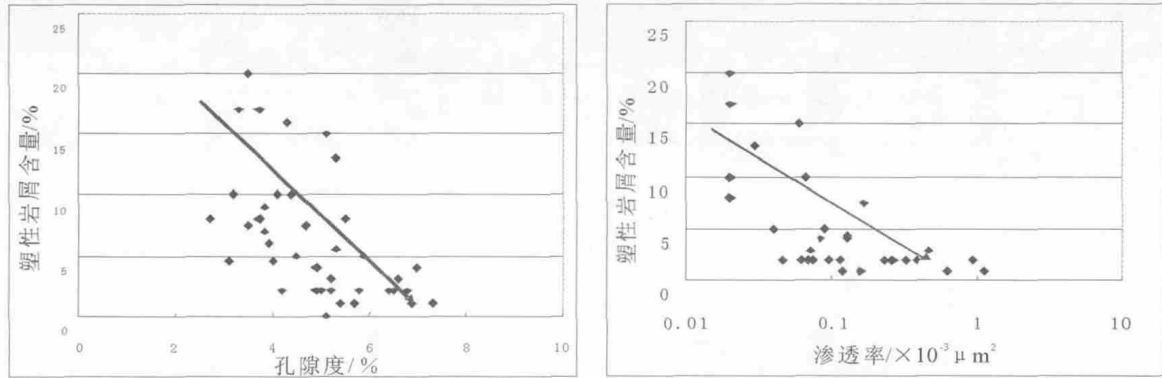


图6 水西沟群致密砂岩储层塑性岩屑含量与孔隙度、渗透率关系

Fig. 6 Relationship between plastic debris content and physical properties of the Shuixigou Group

此外,伊利石含量高低与储集性能也有密切的关系。一般情况下,伊利石含量越低,储集性越好(见图7)。伊利石是本区水西沟群黏土矿物的

描电镜资料分析,自生伊利石和伊/蒙混层矿物多分布于粒表,薄片表现为环颗粒边缘分布的薄膜,扫描电镜下表现为颗粒包壳(见图8)。这种生长方式一方面严重堵塞孔隙喉道,其充填作用使大孔隙变成微孔隙;另一方面增大了颗粒的吸附性,对储层的物性产生重要影响。

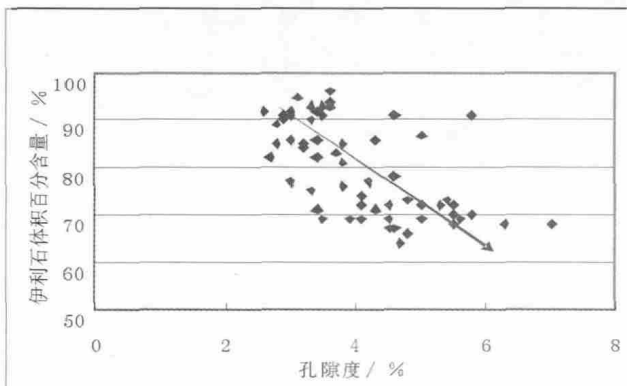


图7 水西沟群致密砂岩储层伊利石体积百分含量与孔隙度关系

Fig. 7 Relationship between volume percentage of illite and physical properties of the Shuixigou Group

主要成分,相对体积百分含量为63%~92%,其次为伊/蒙混层,相对体积百分含量占10%左右,其他黏土矿物含量很低。因为本区地层水不活跃,流体流动不畅,易溶钾离子等元素难以带出,从而形成相对封闭的环境,溶蚀作用产生的孔隙多被其产生的自生伊利石等沉淀物所充填,伊利石占据了孔隙和喉道的位置,故对物性有着较大的影响。据柯19井,柯20井等井岩薄片和扫

综合初步研究成果可知,吐哈盆地水西沟群次生(成岩)致密砂岩储层一般有以下3种成因:①由自生黏土矿物(主要是伊利石)的大量沉淀所形成的致密砂岩储层;②由方解石胶结物的晶出改变原生孔隙形成的致密砂岩储层;③高含量塑性碎屑因压实作用形成的致密砂岩储层。

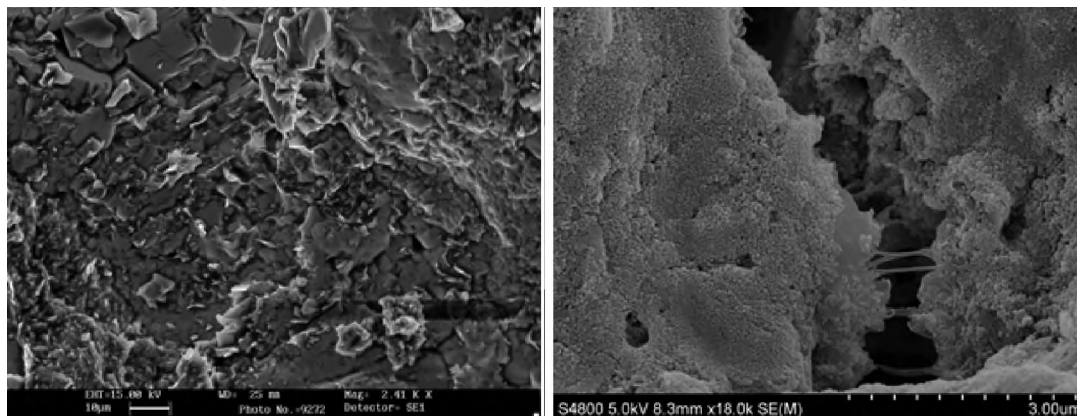
### 3.3 构造作用的影响

构造作用主要通过构造裂缝对储层物性施加影响。岩心和扫描电镜观察及成像测井资料分析表明,在本区水西沟群致密砂岩储层中,中粗砂岩内的宏观裂缝较细砂岩内更发育,纵向可延伸20cm以上,显著改善了储层的渗透率。

研究区水西沟群以构造裂缝为主,广泛分布在各种储层中,具有方向性明显、切穿深度大、矿物充填普遍等特征。裂缝多数为张开缝,有时被方解石充填或半充填,有时充填的方解石再被溶蚀,裂缝缝宽0.1~2mm(见图9)。岩心观察表明,柯19、柯191、柯21、柯24井下侏罗统八道湾组岩心裂缝较为发育,而吉深1井西山窑组裂缝

较发育;多数裂缝发育形态不规则,有时成组出现,延伸长度5~20 cm,裂缝倾角变化较大,但以

高角度的斜交缝为主。



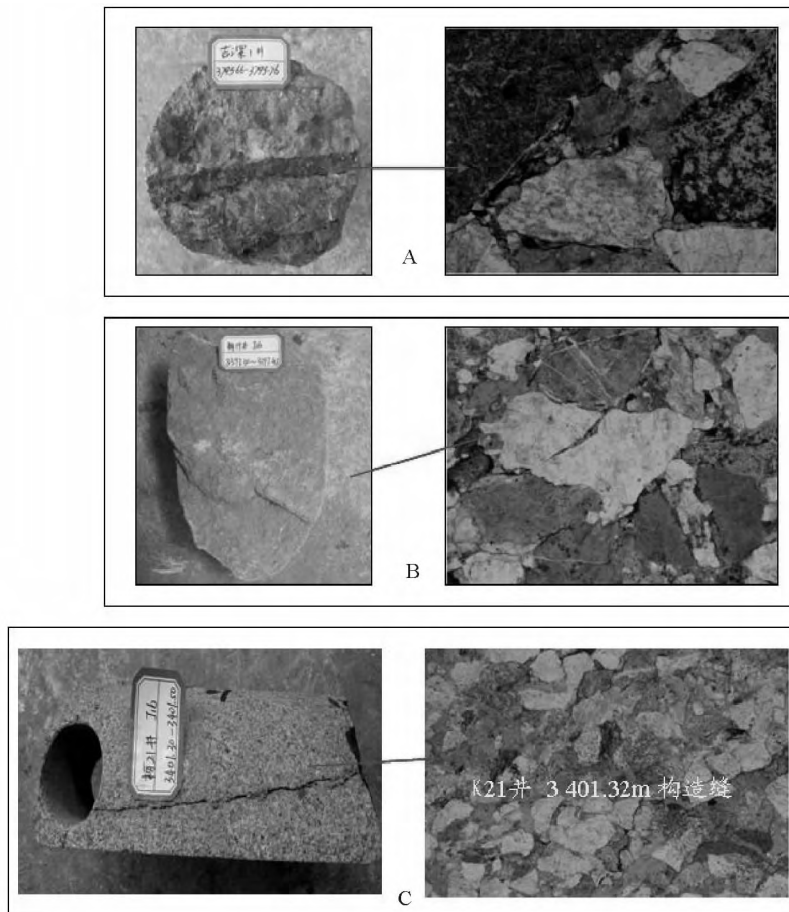
A

B

A 柯20井 3 495.26 m J<sub>1</sub>b 粗砂岩,伊蒙混层分布于颗粒表面; B 吉深1井 3 858.90 m J<sub>1</sub>s 细砂岩,孔隙及丝缕状伊利石

图8 水西沟群致密砂岩储层伊利石赋存形态扫描电镜照片

Fig. 8 Scanning electron microscope photographs of the geometrical shape of illite in the Shuixigou Group



A 吉深1井 3 795.52 m 构造缝 ( - ) 80 ×; B 柯19井 3 397.32 m 微裂缝 ( - ) 80 ×; C 柯21井 3 401.32 m,多组剪裂缝、张裂缝 ( - ) 100 ×

图9 水西沟群致密砂岩储层构造裂缝宏观(岩心)特征与显微特征

Fig. 9 Core and microscopic characteristics of tectonic fractures in the Shuixigou Group

### 3.4 有机质充填的影响

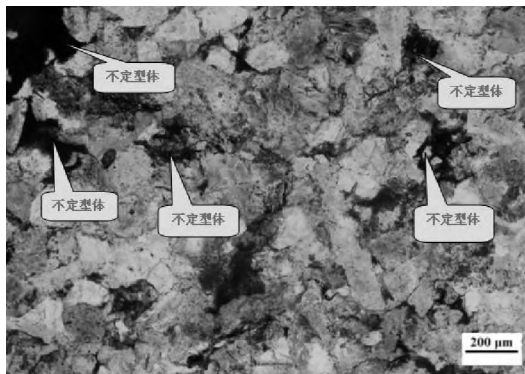
吐哈大型富煤盆地煤系地层中的砂岩多含有有机质(煤屑、碳屑或有机黏土),主要是由植物残体经凝胶化作用形成的腐植体,其塑性较大,极易变形,充填在砂岩颗粒之间,像沥青一样胶结了矿物质颗粒,大幅减小了砂岩的孔隙度。更为重要的是,它们会在成岩作用中在压力的作用下随颗粒的移位和旋转而强烈变形,进一步充填到颗粒间非常细小的孔隙中,使砂岩的孔渗进一步发生急剧减少或减小。现在的致密砂岩薄片在镜下观察仍可见大量生气后的腐植体残骸,它们保持了沉积和成岩时的部分初始形态,呈不定型体状填充在颗粒之间的孔隙内(见图 10)。

这种作用亦是本区砂岩储层致密化的原因之一,它同时贯穿了砂岩原生(沉积作用)和次生(成岩作用)致密化的双重过程,但其确切机制与影响有待进一步研究。

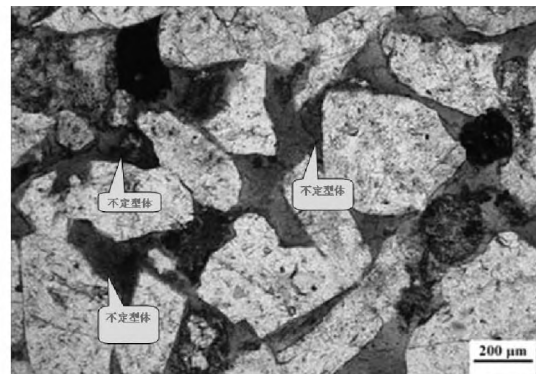
### 3.5 碳屑含量的影响

岩心观察可见,研究区西山窑组与八道湾组

上部煤层发育,且在中一粗砂岩储层中亦发育大量的煤条带和碳质碎屑,伴生丰富的波状交错层理与冲刷面(见图 11),沉积环境主要为辫状河三角洲平原相的决口扇微相。对研究区 7 口探井不同层位且碳屑含量不同的水西沟群岩心取样 117 块做物性测定与统计,结果表明,吐哈盆地水西沟群致密砂岩储层的物性与其碳屑含量关系非常密切,含碳屑较多的岩性孔隙度和渗透率明显偏高。含碳屑较高的岩心(30 块)其孔隙度平均值为 5.33%,含碳屑较少(53 块)的为 4.69%,不含碳屑(34 块)的为 4.05%,其相对数值差别可以达到 12.00%~24.01%;含碳屑较高的岩心其渗透率平均值为  $0.22 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ ,含碳屑较少的为  $0.12 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ ,而不含碳屑的仅为  $0.07 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ ,相对数值差别可以达到 45.45%~68.18%(见图 12)。



A



B

A 柯 21 井,  $J_1b$ , 3 614.35 m; B 吉 1 井,  $J_2x$ , 3 802.18 m

图 10 有机质充填水西沟群致密砂岩储层孔隙铸体照片

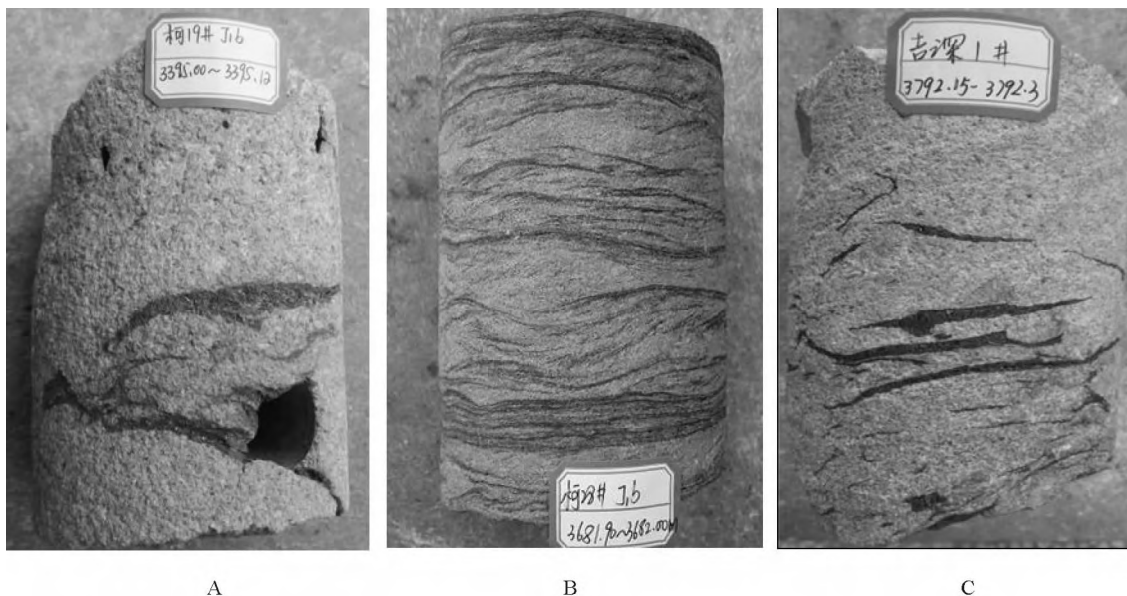
Fig. 10 Casting microscopic photos of tight-gas sandstone reservoir densification caused by organic matter filling

根据初步研究,有机质充填使储层致密化与碳屑颗粒之于储层物性改善这 2 种机制并不矛盾,它们实质是同一机制在不同发展阶段的 2 种表现形式。在沉积和成岩作用阶段,有机质凝胶腐植体充填孔隙造成储层致密化,而当这种致密砂岩储层深埋至这些分散有机质的生烃门限时,这些比表面积巨大且颗粒间排气通道畅通的 III 型干酪根物质完全可以以较高的排烃效率直接向致密砂岩储层内排气,最终达到改善储层物性的效果,且这种效果已被我们的物性测定所确证。储层内包括碳屑在内的分散有机质通过生气作用使

得储层在后期物性得到改善可能有 3 种机制: ①在植物转变成泥炭的腐殖化过程中,有机羧酸官能团会从以碳为主体的高分子团簇上“掉”下来进入到流体中,这种有机羧酸会溶解矿物和胶结物,所以在薄片中可以见到大量的溶蚀孔隙(与有机质储层致密化同期); ②泥炭碳屑在向煤碎屑转变的过程中作为烃源物质排出天然气,导致体积收缩,在其与基质之间形成大量粒间孔,改善了致密砂岩的物性; ③碳屑颗粒的刚性相对矿物和胶结物小,且其脆性较大,故受到应力作用时更容易破裂,形成微裂缝,进一步改善了储层的物



性。但是,这3种特别是第二种机制尚待进一步的地球化学实验进行多种指标的定量验证。



A 柯19井, J<sub>1</sub>b, 3 395 m; B 柯28井, J<sub>1</sub>b, 3 682 m; C 吉深1井, J<sub>2</sub>x, 3 792 m

图11 高碳屑含量水西沟群致密砂岩储层岩心照片

Fig. 11 Core photographs of high carbon bits content sediments of the Shuixigou Group

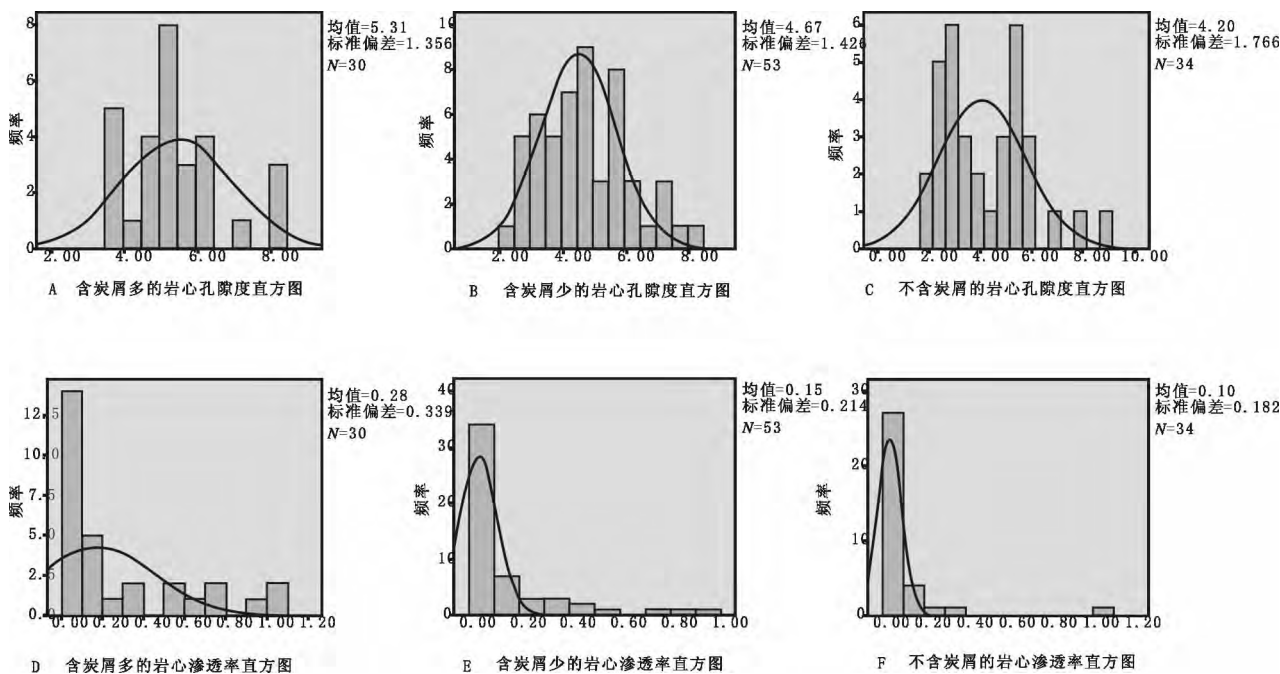


图12 吐哈盆地水西沟群致密砂岩储层碳屑含量与孔、渗分布关系直方图

Fig. 12 Distribution frequency histogram of the relationship between the carbon bits content and the physical properties of the Shuixigou Group

### 4 结 论

1) 吐哈盆地水西沟群致密砂岩储层以高岩屑含量的中—细砂岩为主,具有5种孔隙类型构成的复杂孔隙系统,孔喉分布以小孔细喉型为主

体,总体孔隙度与渗透率均较低。

2) 沉积、成岩和构造3大作用通过影响水西沟群致密砂岩储层的岩石组分与储集空间控制了其储集性能。其中,沉积作用通过沉积相控制储层粒度分布,进而决定砂岩中塑性岩屑和伊利石的相对含量及其孔隙结构特征,从而影响储层的

最终储集性能;成岩作用主要通过自生黏土矿物的沉淀(交代长石)、碳酸盐胶结物的晶出和塑性碎屑的压实 3 种方式对储层岩石组分和储集空间施加影响;构造作用则通过形成构造裂缝,改造了储层的储集空间,进而改变了原始储层的储集性能。

3) 受邻近煤系烃源岩或其本身赋存碳质碎屑的影响,水西沟群砂岩储层常被有机质充填孔隙,使其孔渗进一步发生急剧减少或减小。

4) 研究区决口扇相中一粗砂岩中常发育大量煤质条带和碳质碎屑。据物性实验统计,含碳屑较多的岩性孔隙度和渗透率明显偏高,这可能与初步推测的碳屑颗粒之于储层物性改善的 3 种机制有关,但相关机制尚待进一步的地球化学指标验证。

5) 与其物性影响因素相对应,吐哈盆地水西沟群主要储层致密化机理可概括为原生(沉积)储层致密化、次生(成岩)致密化及有机质充填致密化 3 种机制。

致谢:本文是在科技部重大专项和国家自然科学基金重点项目的资助下完成的;同时还得到了国土资源部与吐哈油田合作“致密砂岩气国家示范基地”项目的资助;本文中使用的部分资料由吐哈油田勘探开发研究院提供,借此机会一并致谢。

## 参考文献:

- [1] LEDER F, PARK W C. Porosity reduction in sandstone by quartz overgrowth [J]. AAPG Bulletin, 1986, 70(11): 1713-1727.
- [2] SCHERER M. Parameters influencing porosity in sandstone: a model for sandstone porosity prediction [J]. AAPG Bulletin, 1987, 71(5): 485-490.
- [3] 杨晓宁. 致密砂岩的形成机制及其地质意义——以塔里木盆地英南 2 井为例 [J]. 海相油气地质, 2005, 10(1): 31-36.
- [4] 杨晓萍, 裘怿楠. 低渗透储层成因机理及其优质储层的形成与分布 [C]// 中国地质学会. 第二届中国石油地质年会——中国油气勘探潜力及可持续发展论文集. 北京: 石油工业出版社, 2006.
- [5] 蒋凌志, 顾家裕, 郭彬程. 中国含油气盆地碎屑岩低渗透储层的特征及形成机理 [J]. 沉积学报, 2004, 22(1): 13-18.
- [6] 唐海发, 彭仕宓, 赵彦超, 等. 致密砂岩储层物性的主控因素分析 [J]. 西安石油大学学报(自然科学版), 2007, 22(1): 59-63.
- [7] LSLAM M A. Diagenesis and reservoir quality of Bhujan sandstones ( Neogene ), Titas Gas Field, Bengal Basin, Bangladesh [J]. Journal of Asian Earth Sciences, 2009, 35: 89-100.
- [8] 刘金库, 彭军, 刘建军, 等. 绿泥石环边胶结物对致密砂岩孔隙的保存机制——以川中—川南过渡带包界地区须家河组储层为例 [J]. 石油与天然气地质, 2009, 30(1): 53-58.
- [9] 李森明, 孔宏伟. 吐哈盆地碎屑岩储集层孔隙划分 [J]. 吐哈油气, 2002, 7(2): 130-133.
- [10] 宋承文. 吐哈盆地北部山前带下侏罗统储集层特征研究 [J]. 石油天然气学报, 2010, 32(4): 47-53.
- [11] 梅梓, 秦启荣, 王时林. 吐哈盆地巴喀西山窑组致密砂岩储层特征及主控因素 [J]. 石油化工应用, 2012, 31(5): 43-47.
- [12] 张代生, 李成明. 吐哈盆地台北凹陷沉积体系变迁对油气分布的控制 [J]. 石油与天然气地质, 2000, 21(1): 71-75.
- [13] 党犇, 赵虹, 周立发. 台北凹陷侏罗系储层次生孔隙特征及形成机理 [J]. 西北大学学报(自然科学版), 2002, 32(3): 281-285.
- [14] 张世奇, 纪友亮, 冷胜荣. 吐哈盆地丘陵构造带中下侏罗统储层成岩演化特征 [J]. 新疆石油学院学报, 2001, 13(1): 52-55.
- [15] 张小青, 黄天雪, 刘军, 等. 吐哈盆地侏罗系砂岩储层中黏土矿物组成和分布的控制因素 [J]. 沉积与特提斯地质, 2001, 21(4): 66-69.
- [16] 张超, 李旭平, 钟建华, 等. 吐哈盆地巴喀油田下侏罗统致密砂岩储层特征及主控因素分析 [J]. 山东科技大学学报, 2011, 30(6): 65-72.
- [17] 邵龙义, 高迪, 罗忠, 等. 新疆吐哈盆地中、下侏罗统含煤岩系层序地层及古地理 [J]. 古地理学报, 2009, 11(2): 215-224.
- [18] 李松, 汤达祯, 王炜, 等. 鄯善油田西山窑组层序地层格架及其油气地质意义 [J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2011, 41(4): 983-991.
- [19] 戴金星. 中亚煤成气聚集域形成及其源岩——中亚煤成气聚集域研究之一 [J]. 石油勘探与开发, 1995, 22(3): 1-6.

(编辑 雷雁林)