

文章编号: 1009-3850(2015)03-0027-08

吐哈盆地台北凹陷柯柯亚构造中深层储层特征及成因

陈彬¹, 钟建华^{1,2}, 曲俊利¹, 魏婷¹, 徐杰³

(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. 延长油田勘探开发研究院, 陕西 西安 710075)

摘要: 通过薄片的镜下观察、扫描电镜、能谱分析和物性分析等手段的应用,对吐哈盆地北部斜坡柯柯亚构造中深层储层特征和成因进行了研究。结果表明,柯柯亚构造八道湾组储层几乎全部为碎屑岩,储层主要岩石类型为灰色、深灰色或灰黑色的中厚层状泥质粉砂岩、中-粗砂岩、含砾粗砂岩,普遍含大量碳屑。孔隙类型主要为粒内溶蚀孔和粒间剩余孔。成岩作用主要有压实作用、胶结作用和溶蚀作用。孔渗条件差,为特低孔特低渗类储层。沉积作用是特低孔特低渗储层发育的基础,成岩作用是中深层储层致密化的关键,粒度是储集性能的主控因素。

关键词: 柯柯亚构造; 中深层; 裂缝; 粒度

中图分类号: TE122.2⁺³

文献标识码: A

随着油气浅层勘探程度的不断提高和开发难度的不断增大,勘探目的层向中深层拓展成为国内外当前的一个重要趋势。国内外不同学者对“深层”的含义有着不同的认识:欧美一些国家主张把埋深超过4000m的储层称为深层;国内钟大康、朱筱敏等^[1]在研究中国不同地区不同盆地类型不同时代深层优质碎屑岩储层过程中,认为中国深层优质碎屑岩储层分布于3000~6000m深度,其中西部挤压型盆地内深层优质碎屑岩储层发育最深,大多在4000m以上;谢锐杰^[2]等在岐山地区研究时将埋深大于3500m的下第三系地层作为深层;李会军^[3]认为在中国一般把3500m以下作为深层油气的勘探领域,而牛嘉玉等^[4]则认为深层是指现已勘探开发的主力含油气层系之下的新层系和新领域。根据吐哈盆地侏罗系构造特征及埋深情况将侏罗系中深层划定为埋深大于3500m的地层,根据研究区钻井钻遇情况,本文研究层为侏罗系水西沟群的八道湾组。

吐哈盆地台北凹陷柯柯亚构造中深层储层为特

低孔特低渗致密砂岩储层。2007年,下侏罗统柯柯亚构造柯19井试油获得工业气流,打开了水西沟群致密砂岩气藏勘探的新局面。通过普通薄片、铸体薄片、能谱分析、扫描电镜和物性分析等测试分析手段,对研究区中深层储层进行深入研究,对于拓展研究区勘探新领域和为国内外深层储层研究提供参考都具有重要意义。

1 区域地质特征

台北凹陷是吐哈盆地吐鲁番坳陷北部的一个重要凹陷,其走向近为EW向,北接博格达山,西抵布尔凸起,东临了墩隆起,西南以火焰山、托克逊凹陷及艾丁湖斜坡为界^[5](图1)。柯柯亚构造位于台北凹陷中段,为一长轴近东西向的背斜,其南北两翼均遭受断层切割,从东向西邻近发育恰勒坎、核桃沟-鄯勒、照南-红旗坎3个东西向展布的鼻隆区,控制了天然气优势运聚方向和气藏分布。

吐哈盆地是一个典型的多旋回叠加沉积坳陷区,其演化过程先后经历了多个成盆的旋回期,即早、

收稿日期: 2014-07-31; 改回日期: 2014-08-08

作者简介: 陈彬(1988-),男,硕士研究生,研究方向为沉积学和储层地质学。E-mail: 1018889420@qq.com

资助项目: 国家示范工程“吐哈盆地致密砂岩气高效开发示范工程(yty2011011)

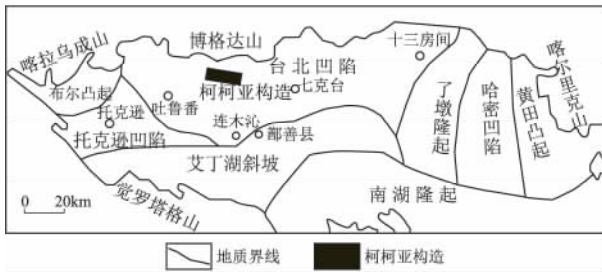


图1 吐哈盆地台北凹陷柯柯亚构造位置图^[5]

Fig.1 Tectonic setting of the Kekeya structure in the Taibei depression (after Zhang Jinyin et al. , 2010)

中二叠世为分割性凹陷期,晚二叠世至早、中侏罗世为周缘前陆坳陷期,晚侏罗世至现今为陆内再生前陆坳陷期。盆地的沉积地层包括古生界二叠系、中生界三叠系、侏罗系、白垩系、新生界第三系和第四系,最大沉积厚度逾 9000m,其中下侏罗统至中侏罗统下部称为水西沟群,包括八道湾组、三工河组和西山窑组。从柯柯亚构造钻井所揭示的地层分析,八道湾组岩性剖面特征为:顶部为浅灰色泥岩与煤层互层,中下部为浅灰色厚层中砂岩、细砂岩与灰色泥岩互层,夹薄煤层。八道湾组自上而下划分为 J_1b^1 、 J_1b^2 、 J_1b^3 3 个砂层组。 J_1b^1 具有典型的“二元结构”,上部为河泛沼泽相,为大套的煤层,在地震上剖面上为“三高”反射结构,电性上为高阻,

区域上分布稳定,是一套良好的盖层;下部为河道砂体,厚度大,分布较稳定, J_1b^2 、 J_1b^3 砂层组纵向上均为正旋回,上部为湖泛泥岩,低电阻,分布较稳定,可形成局部盖层。

2 中深层储层特征

2.1 岩石学特征

柯柯亚构造中深层储层八道湾组是气藏扩展勘探的重点层系。通过对 10 余口井的 100 余米岩心的观察,我们得出了柯柯亚构造中深层储层的宏观岩石学基本特征:中下侏罗统储层较为发育,储层几乎全部为碎屑岩。储层主要岩石类型为灰色、深灰色或灰黑色的中厚层状泥质粉砂岩、细砂岩、中砂岩、粗砂岩、含砾粗砂岩。普遍含大量碳屑、碳条带、碳团块、炭质泥屑、炭质泥砾等有机质物质。无机质以矿物颗粒为主,有少量岩屑。矿物颗粒以石英为主,长石较少(图 2)。

碎屑组分中,石英含量 25.8% ~ 35%,平均为 31.9%,石英有明显的次生加大现象;长石含量为 10.1% ~ 33.7%,平均为 21.9%,包括钾长石和斜长石,其中以斜长石为主;岩屑含量变化较大,为 41.7% ~ 58.7%,平均 47.6%。砂岩中稳定矿物与不稳定矿物比一般在 0.31 ~ 0.40 之间,成分成熟度

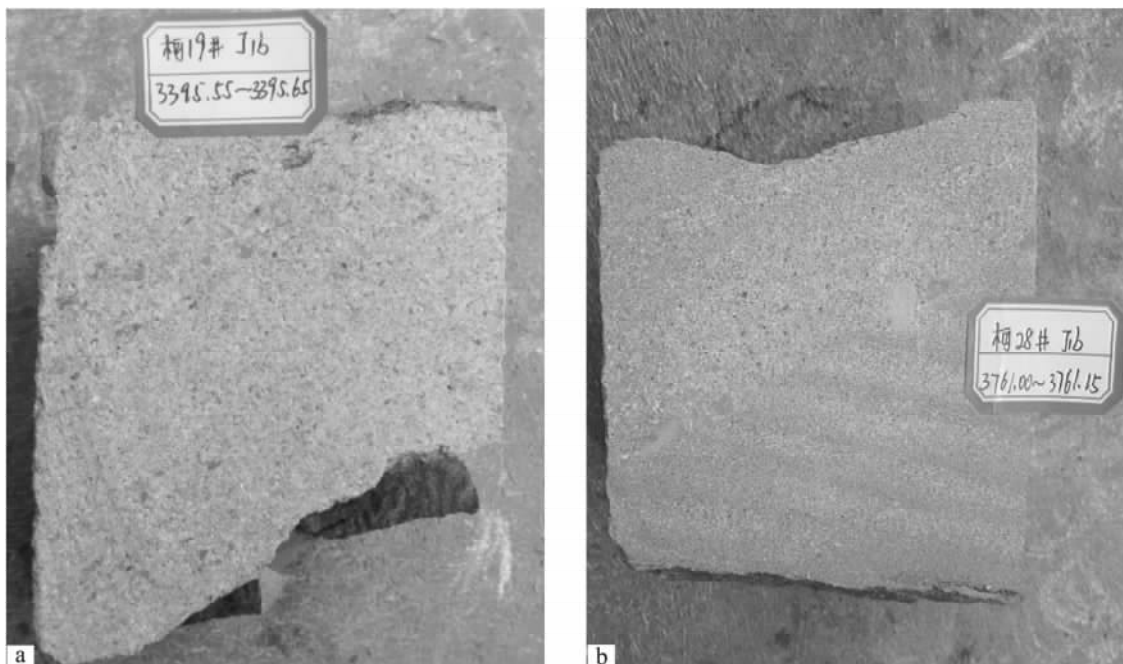


图2 柯柯亚构造八道湾组岩心照片

a. 柯 19 井(J_1b) 3395.55 ~ 3395.65m 第 4 次取心,灰色含砾粗砂岩向下突变为泥岩段,底部见冲刷面,2~3 个正韵律层; b. 柯 28 井(J_1b) 3761.08 ~ 3761.15m 第 2 次取心,灰色含砾中到粗砂岩,局部含砾石层

Fig.2 Core pictures from the Badaowan Formation in the Kekeya structure

明显偏低。

根据 30 余个薄片的结果做出的岩组三角图,通过对本区样品的薄片分析,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,结构成熟度低。岩屑与填隙物较多,填隙物与胶结类型较多成分成熟度低。分选中-好,但颗粒磨圆度差,主要为次棱角状,具有距离物源较近、南北物源混杂、堆积较快、岩性变化快的特点(图 3)。

粘土矿物和碳酸盐胶结物为主要的填隙物,方解石是最常见的碳酸盐矿物,部分层位也可见菱铁矿,存在不多的自生石英等其它矿物^[7]。通过扫描电镜和 X 射线衍射分析,柯柯亚构造粘土矿物主要为高岭石,绿泥石、伊利石为次,还有少量伊蒙混层存在。其中高岭石多呈叠层状和板状,绿泥石多呈鳞片状、针叶状,这些矿物或分布于颗粒表面或充填于孔隙之间,表现出不同的形式(图 4)。

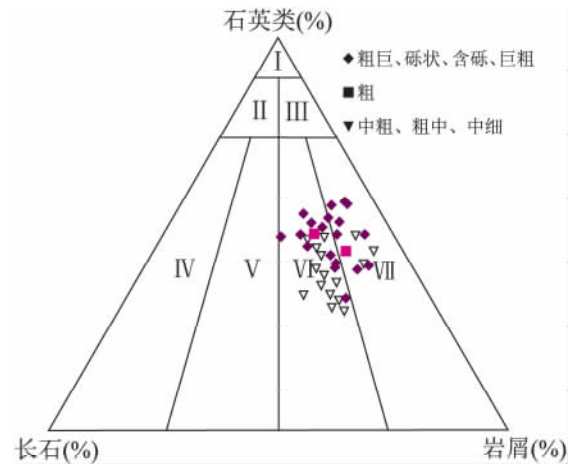


图 3 柯柯亚构造中深层砂岩类型三角投点图

I. 石英砂岩; II. 长石石英砂岩; III. 岩屑石英砂岩; IV. 长石砂岩; V. 岩屑长石砂岩; VI. 长石岩屑砂岩; VII. 岩屑砂岩
Fig. 3 Triangular diagram of the middle to deep reservoir rocks in the Kekeya structure

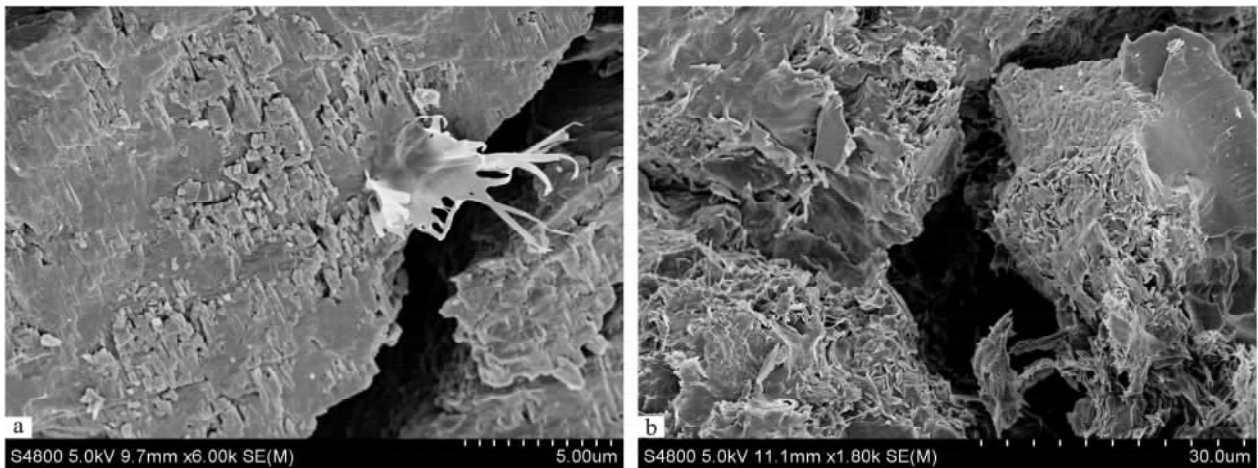


图 4 柯柯亚构造中深层储层粘土矿物

a. 柯 281 井,3707.5m,J₁b,细砂岩,孔隙及丝缕状伊利石。×6.0K,5.0kV; b. 柯 19 井,3398.35m,J₁b,细砂岩,颗粒溶蚀,可见绿蒙混层。×1.80K,5.0kV

Fig. 4 Clay minerals from the middle to deep reservoir rocks in the Kekeya structure

2.2 储集空间特征

2.2.1 孔隙类型

根据铸体薄片资料,柯柯亚构造八道湾组储层储集空间主要为粒内容蚀孔和粒间孔^[8],面孔率分别为 0.1% ~ 2% 和 0.1% ~ 1%, 偶见微裂缝(图 5)。粒内容蚀孔和粒间孔中多充填有片状伊利石(水云母)及微粒状自生石英。

2.2.2 孔隙结构

通过对研究区 6 口井 13 块压汞样品分析,储层毛管压力曲线形态属于极细歪度、极细喉道、分选

差。孔隙直径 5.51 ~ 7.181 μm, 平均值为 6.163 μm; 排驱压力 0.245 ~ 1.177 MPa, 平均为 0.667 MPa; 多数样品中值压力为 22.10 ~ 156 MPa, 平均为 68.5 MPa; 中值半径为 0.0204 ~ 0.1993 μm, 中值半径(Rc)为 0.029 μm; 平均分选系数为 2.02, 歪度为 1.65。不同粒级的砂砾岩毛管压力曲线形态有一定的差异,岩性粗者形态属于细歪度、细喉道、分选相对较好;岩性细者形态属于极细歪度、极细喉道、分选差,中值压力高、中值半径小于 0.02 μm,孔喉配位数低。

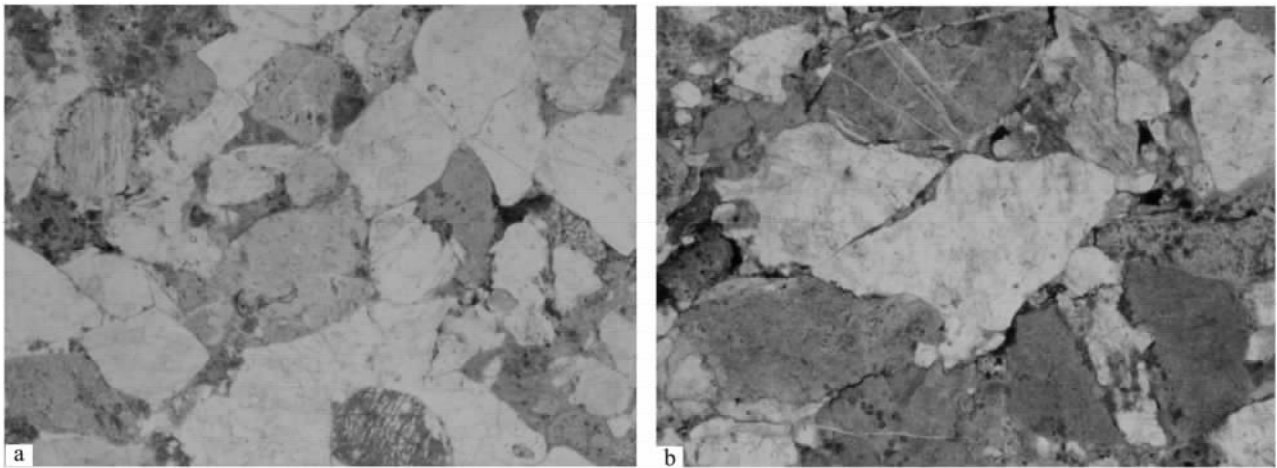


图5 柯柯亚构造中深层储层孔隙类型

a. 柯19井, 3396.20~3396.37m, $J_1 b^1$ 层, 粗巨粒长石岩屑砂岩, 粒内孔隙发育差, 为溶蚀粒内孔、剩余粒间孔; b. 柯19井, 3397.22~3397.38m, $J_1 b^1$ 层, 粗巨粒长石岩屑砂岩, 粒内溶孔发育差, 主要为溶蚀粒内孔、剩余粒间孔

Fig. 5 Porosity types of the middle to deep reservoir rocks in the Kekeya structure

表1 柯柯亚构造中深层储层孔隙结构特征

Table 1 Physical properties of the middle to deep reservoir rocks in the Kekeya structure

井号	孔渗特征		毛管压力特征					样品数	储层物性特征
	孔隙度 %	渗透率 mD	中值压力 MPa	中值半径 μm	均值	分选系数	歪度		
柯19	4.7~8.1	0.08~0.56	3.69~35.97	0.02~0.20	0.005~0.011	3.22~4.16	1.53~1.86	5	特低孔特低渗
	6.7	0.35	22.55	0.06	0.007	3.79	1.68		
柯20	3.8~5.8	0.09~0.22	7.95~30.15	0.02~0.09	0.003~.009	3.38~4.05	1.58~1.65	6	
	4.7	0.14	22.10	0.04	0.007	3.80	1.61		
柯21	3.4~3.8	0.002~0.026	99~239	0.003~0.007	0.09~0.13	0.20~0.32		3	
	3.6	0.010	156	0.005	0.11	0.25			
柯191	3.4~7.0	0.002~11.12	40~108	0.009~0.018	0.024~0.343	0.18~0.54		25	
	4.8	2.19	74	0.011	0.129	0.25			

2.2.3 裂缝分布

前人研究得出吐哈盆地具有近物源沉积、较小面积、沉积物分选差以及压实作用很强烈等特征, 导致盆地侏罗系储层的物性往往为低孔低渗或低孔特低渗的特征^[9]。柯柯亚构造八道湾组气藏储层都为典型低渗透砂岩储层, 是主要储集层类型。此类储层中因为岩石的脆性程度和强度都比较大, 在强烈而且频繁的后期构造挤压作用下, 普遍发育构造裂缝, 成为该低渗透储层的主要渗流通道和有效储集空间。构造裂缝对研究区油气藏的勘探开发具有非常重要的意义。

岩心观察表明, 柯19、柯191、柯21井、柯24井下侏罗统八道湾组岩心裂缝较为发育, 裂缝形成与构造关系密切。岩心中常见擦痕或小断层面, 裂缝常与之伴生, 裂缝的发育与小断层关系密切, 因而推测北部山前带断层上升盘构造高部位裂缝较

发育。

纵横向上, 裂缝发育程度具有不均衡性。依据岩心裂缝统计, 研究区下侏罗统裂缝的平均线密度为2.9条/m, 在不同层位和部位有相当大的变化。三工河组1.41条/m, 八道湾组密度较大, 为3.1条/m。在现有的勘探深度范围内可以得出, 研究区具有随着深度增大裂缝发育程度增加的变化趋势^[7]。

2.3 物性特征

八道湾组是柯柯亚构造带大规模成藏的主力储层。根据研究区最新实验分析的219块岩心常规物性分析资料统计结果, 八道湾组孔隙度在2.2%~8.4%之间, 平均4.8%, 绝大部分样品孔隙度为3.0%~7.0%; 渗透率为0.002~3.614mD, 平均0.070mD, 绝大部分样品渗透率小于0.640mD(图6), 属特低孔特低渗储层。

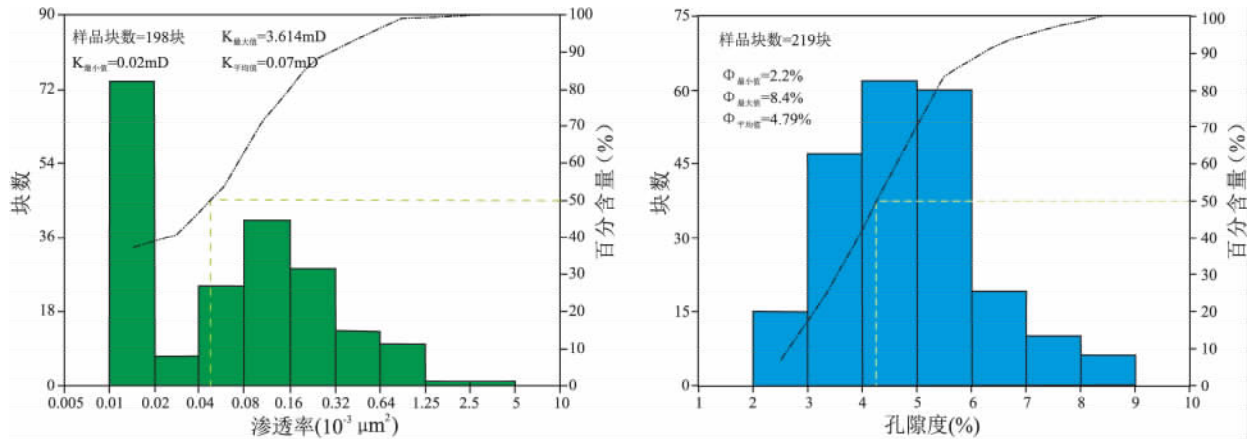


图6 柯柯亚构造中深层储层渗透率(a)、孔隙度(b)直方图

Fig. 6 Histogram showing the permeability (a) and porosity (b) of the middle to deep reservoir rocks in the Kekeya structure

八道湾组一段含气砂层有效孔隙度在4.3%~8.4%之间,平均5.9%;渗透率在0.077~3.614mD之间,平均0.373mD。有少部分样品孔隙度在8.0%~10.0%之间,渗透率在1.00mD~100.00mD之间,渗透率大于10.00mD的都有明显裂缝发育。整体上,该套储层为特低孔特低渗储层。

八道湾组二段孔隙度在2.5%~6.3%之间,平均4.7%;渗透率在0.002~11.123mD之间,平均0.358mD。含气砂层有效孔隙度在4.1%~6.3%之间,平均5.1%;渗透率在0.002~11.123mD之间,平均0.554mD。其储集性与一段没有明显的差异,也属特低孔特低渗储层。

3 储层成因

柯柯亚构造中深层储层的发育受多种因素的影响,包括沉积环境、成岩过程和物性特点等,储层成因比较复杂。

3.1 沉积作用是特低孔特低渗储层发育的基础

沉积作用除控制储层初始发育的厚度、规模和空间分布等宏观特征外,还决定着岩石的岩性、成分、结构成熟度和填隙物含量等,从而影响岩石的原始孔隙度和渗透率^[10]。研究区八道湾组沉积体系类型属典型的辫状河三角洲沉积体系,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^[11],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。表现为岩性粗的砂体物性相对较好,尤其是渗透率表现得更为明显,主要是因为水动力较强,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。柯19井区位于三角洲主流线附近,岩性较粗,物性较好;柯20井区位于三角洲侧缘,岩性较细,物性则偏差。尤其是柯22井表现得更为明显,岩心为中细砂岩,伊利石相对含量高达93%以上,渗透率绝大部分小于0.05mD。

3.2 成岩作用是中深层储层致密化的关键

研究区对中深层储层致密化有影响的成岩作用主要有压实作用、胶结作用和溶蚀作用。

3.2.1 压实作用

压实作用主要包括机械压实作用和化学压实作用,它主要破坏原生孔隙使岩石孔隙度降低^[12]。研究区八道湾组砂岩为富含塑性火山岩屑的长石质岩屑砂岩和岩屑砂岩,使得砂岩的抗压性比石英砂岩和长石石英砂岩差。随着上覆地层厚度的增加,压实作用表现的越强烈(图7a、b)。

柯柯亚地区八道湾组储层经历了早期快速深埋作用,由于煤系地层在成岩早期排羧酸引起的压溶作用,使形成致密砂岩储层时间较早。八道湾组储层砂岩由于受早期快速埋藏及成岩过程中有机酸的影响,碎屑颗粒发生压扁、碎裂等形变,使颗粒间接触紧密。另外,在颗粒接触处,尤其在石英颗粒接触处发生压溶作用。由于有机酸的作用,促进压溶作用的发生,使颗粒间由点接触,逐步演化为线接触及凹凸接触。胶结类型由孔隙型,演变成成为压嵌型。溶蚀组分及压溶组分主要以石英次生加大、微晶石英及片状伊利石粘土的形式充填于颗粒溶孔及剩余粒间孔中。

3.2.2 胶结作用

八道湾组中深层储层的胶结作用主要有粘土矿

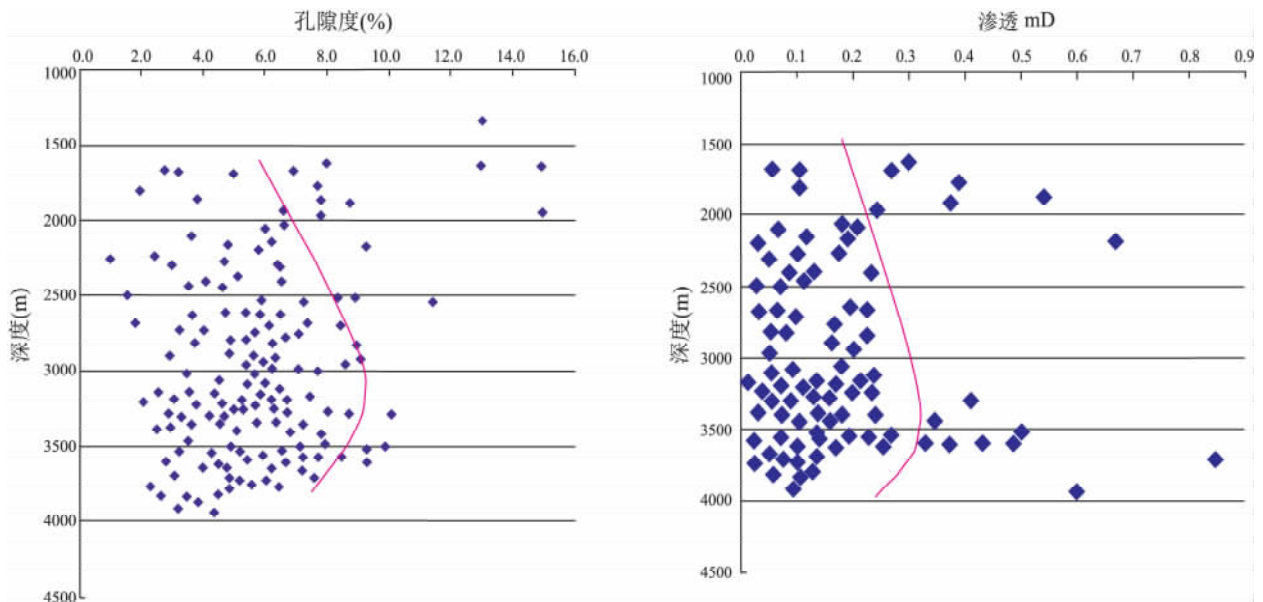


图7 研究区水西沟群孔隙度(a)、渗透率(b)与深度关系

Fig. 7 Depth vs. porosity (a) and depth vs. permeability (b) for the Shuixigou Group

物胶结、硅质胶结及碳酸盐胶结^[5]。石英与碳酸盐等自生矿物的形成,主要是粒间孔壁上和粒内溶孔中结晶沉淀析出,从而使得孔隙度减小,降低储层的储集性能。

经薄片鉴定、扫描电镜分析及X射线衍射粘土矿物分析,柯柯亚构造八道湾组砂岩中发育的自生粘土矿物主要为伊利石,少量的伊/蒙混层矿物和绿泥石。伊利石呈片状分布于粒间孔隙中,常与近于同期形成的自生石英伴生,充填于剩余粒间孔及成岩过程中长石等碎屑经溶蚀作用形成的颗粒溶蚀孔隙,大大降低了孔喉半径及渗透性。片状伊利石等粘土矿物及微晶石英在剩余粒间孔及颗粒溶蚀孔中的沉淀,是造成八道湾组储层特低渗的重要原因。

3.2.3 溶蚀作用

溶解作用是由于砂岩中孔隙水的性质发生变化,引起某些矿物或质点发生溶解的作用,而溶解的部位上没有新矿物生成^[13]。本区八道湾组砂岩中长石等碎屑常发生溶解,并有新矿物(伊利石、微晶石英等)占据了长石等碎屑被溶解的空间,而且继承了长石等碎屑的大部分化学组分。本区储层砂岩溶蚀作用较常见,主要形成粒内溶孔和粒间溶孔,粒内溶孔主要是成岩晚期长石和部分岩屑的溶解、溶蚀作用的结果。

3.3 粒度是储集性能的主控因素

柯柯亚构造八道湾组的岩屑成分主要为火山碎屑岩、岩浆和变质岩等,含量一般50%~65%。

在强烈的压实成岩作用背景下,岩屑中的塑性岩屑(千枚岩、低变质泥岩和板岩)很容易产生较强压实变形,尤其是千枚岩的变形更为厉害,从而强烈破坏原生孔,造成孔隙度和渗透率急剧下降,塑性岩屑含量与孔渗之间有良好的负相关关系(图8)。塑性岩屑含量低,石英、长石等刚性颗粒含量就高,其抗压能力强,有利于原生孔隙的保存和此生孔隙的形成。

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。伊利石是八道湾组粘土矿物的主要成分,相对含量大部分为63%~92%,其次为伊/蒙混层含量较高,为10%左右,其它粘土矿物含量很低。因为伊利石占据了孔隙和喉道的位置,对物性有着较大的影响。

然而决定塑性岩屑和伊利石相对含量的是砂岩粒度。粒度越粗的砂岩塑性岩屑含量越低,储集性也相应越好;同样,粒度越粗的砂岩粘土矿物中的伊利石相对含量越低,物性也相应变好。由以上分析可知,储层粒度是决定储集性能的真正主控参量,粒度越粗的储层储集性越好。

4 结论

(1) 柯柯亚构造中深层储层岩性主要为灰色、深灰色或灰黑色的中厚层状泥质粉砂岩、中粗砂岩、含砾粗砂岩,普遍含大量碳屑。孔隙类型主要为粒内溶蚀孔和粒间剩余孔。成岩作用主要有压实作用、胶结作用和溶蚀作用。孔渗条件差,为特低

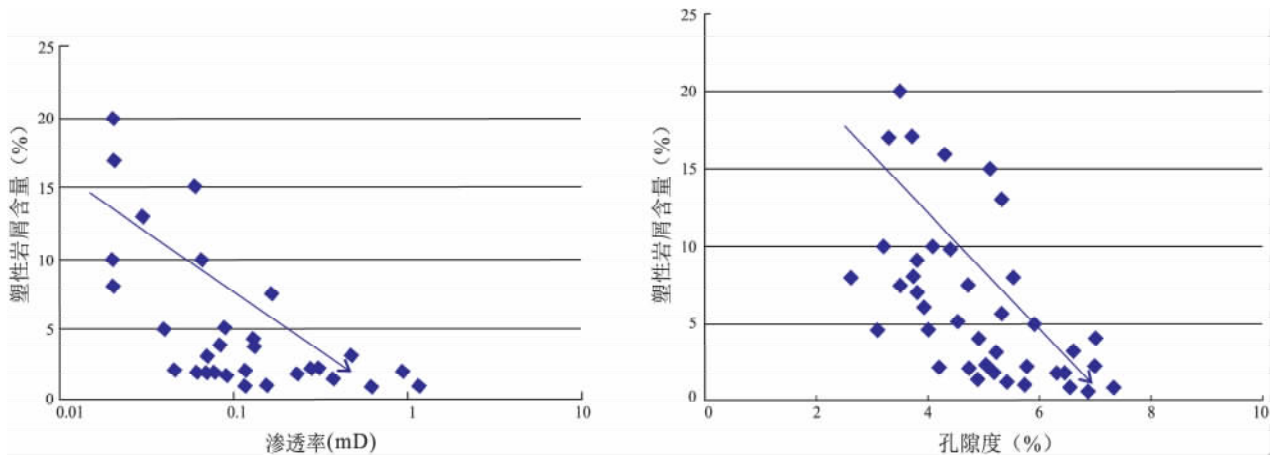


图8 柯柯亚构造中深层储层岩屑含量与渗透率(a)、孔隙度(b)关系

Fig.8 Plastic rock fragments contents vs. permeability(a) and plastic rock fragments contents vs. porosity(b) of the middle to deep reservoir rocks in the Kekeya structure

孔特低渗类储层。

(2) 沉积作用是特低孔特低渗储层发育的基础。研究区八道湾组沉积体系类型属典型的辫状河三角洲沉积体系,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。

(3) 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。粒度与伊利石、塑性岩屑含量关系密切,粒度越细伊利石相对含量越高。

参考文献:

- [1] 钟大康,朱筱敏,王红军. 中国深层优质碎屑岩储层特征与形成机理分析[J]. 中国科学 D 辑: 地球科学, 2008, 38(增刊 I): 11-18.
- [2] 谢锐杰,张喜,漆家福. 歧北地区深层储层特征及影响因素分析[J]. 石油天然气学报(江汉石油学院学报), 2010, 32(3): 47-50.
- [3] 李会军,吴泰然,吴波,等. 中国优质碎屑岩深层储层控制因素综述[J]. 地质科技情报, 2004, 23(4): 76-82.
- [4] 牛嘉玉,王玉满,淮汉生. 中国东部老油区深层油气勘探潜力分析[J]. 中国石油勘探, 2004, 9(1): 33-40.
- [5] 钟金银,戴鸿鸣,王满. 台北凹陷柯柯亚构造八道湾组储层成岩作用[J]. 岩性油气藏, 2010, 22(3): 38-42.
- [6] 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(江汉石油学院学报), 2010, 32(4): 47-53.
- [7] 徐杰. 吐哈盆地柯柯亚地区致密砂岩沉积体系与储层特征研究[D]. 山东青岛: 中国石油大学(华东), 2011.
- [8] 李阳,钟建华,李旭平,等. 吐哈盆地巴喀地区下侏罗统致密砂岩气藏成藏特征[J]. 特种油气藏, 2012, 19(2): 29-33.
- [9] 郝明强,刘先贵,胡永乐,等. 微裂缝性特低渗透油藏储层特征研究[J]. 石油学报, 2007, 28(5): 93-98.
- [10] 韩成,潘懋,关平,马力协,等. 柴达木盆地西北部碱山构造中深层储层特征及成因[J]. 天然气地球科学, 2012, 23(5): 820-825.
- [11] 冯增昭. 沉积岩石学(第二版)[M]. 北京: 石油工业出版社, 1994. 145-151.
- [12] 刘伟,林承焰,王国民,等. 柴西北地区油泉子油田低渗透储层特征与成因分析[J]. 石油学报, 2009, 30(3): 417-421.
- [13] 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]. 新疆石油地质, 2001, 13(1): 52-55.

Characteristics and genesis of the middle to deep reservoir rocks in the Kekeya structure, Taibei depression, Xinjiang

CHEN Bin¹, ZHONG Jian-hua^{1,2}, QU Jun-li¹, WEI Ting¹, XU Jie³

(1. School of Geosciences, China University of Petroleum, Qingdao 266580, Shandong, China; 2. Guangzhou Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510640, Guangdong, China; 3. Research Institute of Petroleum Exploration and Development, Yanchang Oil Field Company, Xi'an 710075, Shaanxi, China)

Abstract: The characteristics and genesis of the middle to deep reservoir rocks in the Kekeya structure, Taibei depression, Xinjiang are examined in the light of thin-section examination, SEM, energy spectrum and physical properties. The reservoir rocks in the Badaowan Formation in the Kekeya structure consist almost of elastic rocks, and are characterized by grey, dark grey or greyish black medium- to thick-bedded muddy siltstone, medium- to coarse-grained sandstone and gravel-bearing coarse-grained sandstone with abundant charcoal. The porosity types contain intragranular solution openings and intergranular residual solution openings. The diagenesis contains compaction, cementation and dissolution. These reservoir rocks have extra-low porosity and extra-low permeability caused by the deposition in the study area. The diagenesis is believed to be the key factor for the formation of the dense medium-deep reservoir rocks, and grain sizes are interpreted as main controlling factors for the reservoir quality. The results of research in this paper may provide a reference in improving exploration success in the deep reservoir rocks in China and other parts of the world.

Key words: Kekeya structure; medium to deep reservoir rocks; fissure; grain size