

# Discussion on Evaluation Scheme of Physical Property Boundary for Tight Fractured Porous Sandstone Reservoirs in Kuqa Depression\*

Kangxu Ren<sup>1#</sup>, Zhongyao Xiao<sup>2</sup>, Shaofang Cao<sup>2</sup>, Wenfang Yuan<sup>2</sup>, Ronghu Zhang<sup>3</sup>, Zhiyuan Ma<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Research Institute of Petroleum Exploration and Development, PetroChina, Beijing

<sup>2</sup>Exploration and Development Research Institute, PetroChina Tarim Oilfield Company, Korla

<sup>3</sup>Hangzhou Research Institute of Petroleum Geology, PetroChina, Hangzhou

<sup>4</sup>Western China Sales, Schlumberger Company, Korla

Email: <sup>#</sup>renkangxu@163.com

Received: Oct. 17<sup>th</sup>, 2012; revised: Oct. 29<sup>th</sup>, 2012; accepted: Nov. 8<sup>th</sup>, 2012

**Abstract:** Experienced a strong tectonic stress, the main exploration layers of Cretaceous-Paleogene in thrust belt of Kuqa foreland basin of Tarim basin buried deeply and were very tight. The reservoirs were characteristic of very poor physical property about the matrix but with abundant tectonic fractures. They were tight fractured porous sandstone reservoirs with dual-porosity and dual-permeability. Reservoirs productivity of the studied area were controlled definitively by the total stratum permeability and have no obvious relation with the porosity. Unfilled and semi-filled structural fractures are the main contributing factors for the total permeability of the tight reservoirs. Boundaries of stratum permeability for different reservoirs productivity were proposed based on well testing data. Tectonic fractures were evaluated in four types according to their contribution for the stratum permeability. A scheme of evaluation parameters about the tight fractured porous sandstone reservoirs adapting to the natural gas exploration in Kuqa depression was established.

**Keywords:** Tight Fractured Porous Sandstone; Dual-Porosity and Dual-Permeability; Evaluation; Physical Property Boundary; Kuqa Depression

## 库车坳陷致密裂缝孔隙型砂岩储层评价的物性界限探讨\*

任康绪<sup>1#</sup>, 肖中尧<sup>2</sup>, 曹少芳<sup>2</sup>, 袁文芳<sup>2</sup>, 张荣虎<sup>3</sup>, 马志远<sup>4</sup>

<sup>1</sup> 中国石油勘探开发研究院, 北京

<sup>2</sup> 中国石油塔里木油田公司勘探开发研究院, 库尔勒

<sup>3</sup> 中国石油杭州地质研究院, 杭州

<sup>4</sup> 斯伦贝谢公司中国西部销售, 库尔勒

Email: <sup>#</sup>renkangxu@163.com

收稿日期: 2012年10月17日; 修回日期: 2012年10月29日; 录用日期: 2012年11月8日

**摘要:** 塔里木盆地库车前陆盆地冲断带经历强烈构造应力作用, 勘探目的层古近系-白垩系埋藏超深, 储层致密, 基质物性非常差, 但构造裂缝相对比较发育, 为具有双孔双渗特征的致密裂缝孔隙型砂岩储层。储层产能大小主要与地层渗透率有关, 而与孔隙度关系不明显。大量未充填-半充填构造裂缝是这类致密储层总渗透率的主要贡献因素。基于单井测试资料讨论了不同产能对应地层渗透率的界限。对构造裂缝的贡献按照四个层次进行评价。建立了适合库车坳陷致密裂缝性砂岩天然气勘探的储层物性综合评价方案。

\*资助信息: 本文受国家 973 项目“中国西部叠合盆地深部油气富集规律与勘探潜力预测”(2011CB201106)资助。

<sup>#</sup>通讯作者。

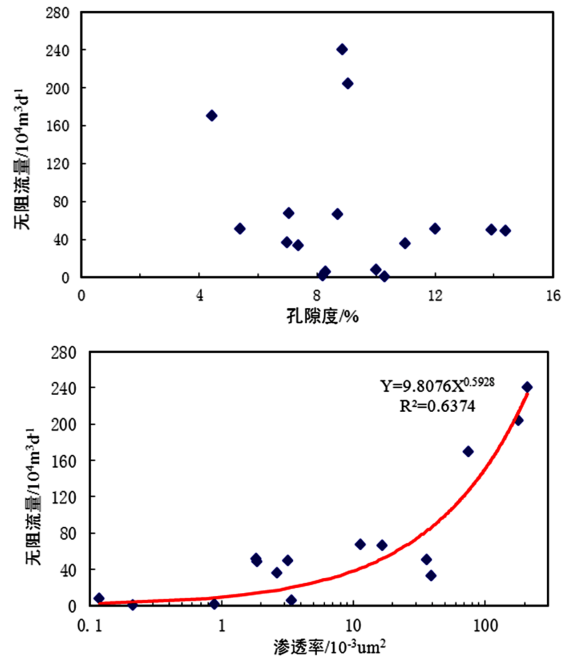
**关键词：**致密裂缝孔隙型砂岩；双孔双渗；评价；物性界限；库车坳陷

### 1. 引言

疏松砂岩油(气)藏的生产实践表明, 由于储层孔隙连通性较好, 孔渗之间表现出较好的线性关系, 地层产能与储层孔隙度大小关系密切<sup>[1,2]</sup>。但致密砂岩储层的情况与此大不一样, 通过对库车坳陷古近系-白垩系储层试井产能的分析, 发现该区广泛发育的致密裂缝性砂岩储层孔隙度一般较小, 其大小变化对试井产能无明显影响, 产能主要受地层渗透率控制, 呈现出正相关变化的趋势(图 1)。岩心物性实测资料表明, 上述致密砂岩储层基质孔隙度一般低于 7%~8%, 渗透率集中在  $0.01\sim 0.1 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$  之间, 对储层总渗透率的贡献非常小, 储层中发育的构造裂缝才是总渗透率的决定因素。过去本地区建立碎屑岩储层评价方案时, 主要基于传统评价思路, 考虑更多的是储层孔隙发育程度(表 1)<sup>[3]</sup>, 对裂缝的作用讨论较少。但实际观察表明, 对基质物性特征相似的致密储层, 由于构造位置的差异, 可以发育不同程度的构造裂缝, 从而形成不同渗透率的储层, 这种情况在过去开展储层评价时考虑不足, 以至于低孔(中)高渗、高孔(中)低渗等储层类型被遗漏掉(图 2)。因此, 非常有必要系统讨论致密裂缝性砂岩储层的物性界限, 建立适合该地区天然气勘探的储层评价标准, 从而更好地指导油气勘探和生产部署。

### 2. 地质概况

库车坳陷是一个典型的陆相前陆盆地, 地处塔里木盆地北缘, 拥有丰富的天然气资源。库车坳陷自中



**Figure 1. Relation between reservoirs physical property and productivity of the tight fractured porous sandstone**  
**图 1. 致密裂缝性砂岩产能与储层物性变化关系**

生代以来受到来自天山造山带的强烈挤压, 山前褶皱强烈, 高陡地层发育, 地质构造复杂, 地层变化大, 膏盐岩层分布广且厚度变化大, 主要勘探目的层地质特征非常复杂, 构造解释难度大<sup>[4]</sup>。

大北-克深区带是致密裂缝性砂岩储层发育的典型地区之一, 目前勘探目的层段主要为白垩系巴什奇克组和古近系底砂岩段。从沉积早期到晚期, 白垩系主要为扇三角洲沉积体系到辫状河三角洲沉积环境, 砂岩成分成熟度和分选性相对较好。白垩系巴什

**Table 1. Traditional evaluation scheme for tight sandstone from bashijiqike Fm. of cretaceous in Kuqa depression**  
**表 1. 库车坳陷白垩系巴什奇克组致密砂岩储层传统评价标准表**

分级	I	II	III	IV
物性				
Φ(%)	≥9	9~6	6~3.5	<3.5
K( $\times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ )	>1	1~0.1	0.1~0.055	<0.055
岩性	粉砂岩、中细砂岩	粉砂岩、中细砂岩, 含砾	灰质粉砂岩、含砾砂岩	泥质质粉砂岩、含泥粉砂岩、砂砾岩
面孔率(%)	>5	5~2	2~1	<1
裂缝发育程度	裂缝发育好	裂缝发育较好	裂缝发育较差	裂缝不发育
填隙物含量(%)	<5	10~5	15~10	>15
孔隙特征	剩余原生粒间孔为主, 次为粒间溶孔, 孔隙连通性好	剩余原生粒间孔为主, 次为粒间溶孔, 孔隙连通性中等-较好	粒间溶孔、粒内溶孔、孔隙连通性中-差	杂基微孔、孔隙连通性差
综合评价	好	较好	中等	差-非储层

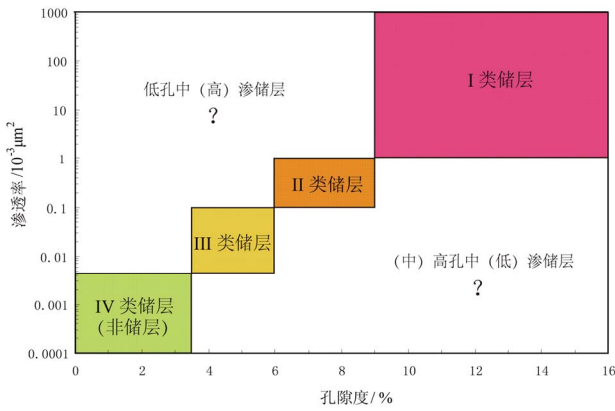


Figure 2. Traditional evaluation scheme of physical property boundary for tight sandstone in Kuqa depression  
图 2. 库车坳陷致密砂岩储层传统评价方案物性界限

基奇克组储层岩石类型以长石岩屑中细砂岩、岩屑石英中细砂岩为主，少量岩屑细砂岩；古近系底砂岩段储层岩石类型以岩屑细砂岩为主。岩石粒度总体上以中-细粒为主，次为粗粒，砂岩分选中-好，个别样品分选差，次棱角-次圆状，颗粒间以点-线接触为主，成分成熟度低-中等，结构成熟度中等。储层填隙物中，杂基主要为铁泥质和泥质。胶结物以方解石为主，普遍含量偏高。颗粒间有点-线接触、线接触、局部镶嵌接触的特征<sup>[4,5]</sup>。

白垩系巴什基奇克组-古近系底砂岩段总体上储层比较致密，经历多期高强度构造应力作用，砂岩中构造裂缝一般都较发育，可划分出3~4期，裂缝发育段流体对储层的溶蚀作用加强，储层物性得到较大改善。目的层储集空间主要为残余原生粒间孔、粒间溶孔、少量长石或岩屑粒内溶孔、溶蚀缝、构造缝和微孔隙。储集空间类型为裂缝-孔隙型、孔隙型，其中裂缝-孔隙型储集空间类型是本区获得高产的重要类型。

### 3. 测试成果分析

库车坳陷古近系-白垩系致密砂岩岩心实测物性统计表明，裂缝不发育型储层在孔隙度  $\Phi < 9\%$  时，渗透率  $K$  一般小于  $1 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ ；而裂缝发育型储层的渗透率相对前者来说一般要高1~2个数量级，并常常在试井中获得高产。为了有效地反映地层渗透率与产能关系，本文统计了库车坳陷古近系-白垩系致密砂岩单井试井产液量或产气量数据，编制出储层各种流体产能与渗透率关系图(图3)。

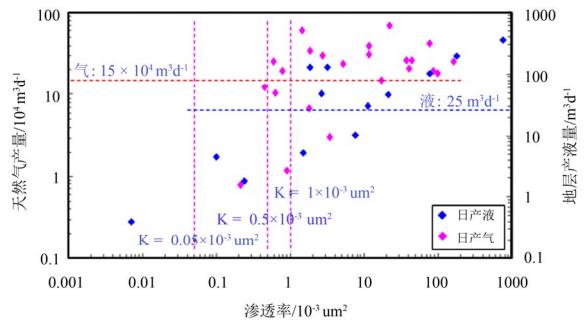


Figure 3. Relation between reservoirs permeability and well testing productivity of tight sandstone in Kuqa depression  
图 3. 库车地区致密砂岩试井产能与渗透率关系

根据图3的统计关系，研究区地层流体产能与渗透率之间关系密切，高产能与较高渗透率储层相对应。参考行业标准 DZ/Z0217-2005(油(气)藏(田)产能分类)的相关规定，研究区天然气稳产量达到  $15 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 、原油稳定产量达到  $25 \text{ m}^3/\text{d}$  即可确定为中产的界限，以此进行地层流体产能量化分析。对图3中的生产数据进行分析，当符合上述稳产条件的样品达到85%时，储层渗透率条件一般满足  $K \geq 1 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。可见，对于库车坳陷超深高压致密裂缝性砂岩气藏，储层渗透率  $K$  达到  $1 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$  可以考虑为优质储层的下限。另一方面，根据沃尔法和渗透能力分布法，当累计渗透能力达到99.9%以上时，可以确定出最小流动孔喉半径，进而求取对应的渗透率值<sup>[6]</sup>，研究结果表明满足这一条件的储层渗透率界限  $K$  为  $0.05 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。在这个下限以下，即  $K < 0.05 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$  时，研究区统计样品点基本属于特低产——不出液状况；当  $0.05 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2 \leq K < 0.5 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$  时，样品点基本分布在低-特低产能区域；当  $0.5 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2 \leq K < 1 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$  时，获得中高产样品点占到总样品的60%以上，如果选用以往评价方案中界定的  $0.1 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$  为该档下限，则满足同样条件的样品仅有25%，而且在  $0.1 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2 \leq K < 0.5 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$  区间的数据点均为特低产能，可见界定渗透率以  $0.5 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$  做为该级别储层评价的界限更适合。

### 4. 评价方案的建立

裂缝精细评价是一个学术界难题，法国著名裂缝油气藏研究专家T.D.范高尔-拉特根据裂缝强度提出相对全面的裂缝评价方案，但并未明确裂缝级别与储层类型之间的关系，因此建立不同级别裂缝参数的

界限<sup>[7]</sup>, 探讨构造裂缝渗透率对储层物性的贡献在储层描述中意义重大。库车坳陷古近系 - 白垩系致密碎屑岩构造裂缝比较发育, 前人利用测井资料对裂缝密度、裂缝宽度、裂缝孔隙度和渗透率等参数进行了解释, 通过斯通利波提取的流动指数, 进而计算储层总渗透率, 这在一定程度上对储层评价发挥了积极的作用<sup>[8]</sup>。但是, 如何量化评价裂缝参数? 能否建立起相应标准? 如何界定构造裂缝对致密裂缝性砂岩储层的贡献, 进而量化地划分储层级别? 在油田实际生产中诸如开展储量计算、开发方案编制、储层建模、成藏模拟等多项工作时, 非常有赖于上述问题的解决, 需要量化描述构造裂缝的作用, 从而对储层类别进行有效划分, 明确资源量大小。研究区此前在构造裂缝有关方面的研究还比较薄弱, 因此这些工作还远未能完成。

通过对库车坳陷古近系 - 白垩系裂缝性砂岩储层裂缝特征、计算参数与产能关系的深化研究, 按照充要条件形成的相关程度, 以起决定性作用的裂缝渗透率绝对值大小作为充分条件, 其他起非决定性作用但有相关性的参数或表征关系作为必要条件。鉴于前文所述本区致密裂缝性砂岩储层基质孔隙度对产能影响比较小的原因, 讨论构造裂缝的作用时, 以基质孔隙度极低的储层类型来锁定裂缝单因素贡献, 建立起裂缝渗透率评价标准。

前文已经提到, 研究区地层渗透率  $K \geq 1 \times 10^{-3}$

$\mu\text{m}^2$  的储层在测试中大多数都能获得较高产能, 其构造裂缝发育程度高, 岩心观察统计裂缝密度一般大于 2~4 条/m, 裂缝开度 0.2 mm 以上, 未充填或充填程度低于 1/4, 裂缝多属于中高角度缝, 贯穿单层数多, 裂缝走向与最大主应力方向基本一致, 多为张性缝, 测录井响应比较显著, 把满足这种条件的构造裂缝评价为“优”等级(表 2)。

当岩心裂缝密度达到 1~2 条/m、裂缝开度在 0.1~0.2 mm 范围、并属于低充填到半充填时, 对应的致密砂岩储层渗透率一般满足  $0.5 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2 \leq K < 1 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ , 这种情况的构造裂缝产状也比较大, 走向与最大主应力方向一致或小角度相交, 测录井响应较明显, 地层在测试中通过采取措施常常也能获得中高产, 把能满足这种条件的构造裂缝评价为“良”等级(表 2)。

岩心裂缝密度低于 1 条/m、开度小于 0.1 mm、充填程度较高的构造裂缝, 通常以中低倾角产出, 而且与最大主应力方向交角较大, 以压性缝居多, 测录井响应弱到无。对于裂缝渗透率满足  $0.05 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2 \leq K < 0.5 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$  的储层, 试井通常都要采取井措施才能出液, 但也只能获得中 - 低产或极低产, 把对应的这类构造裂缝评价为“中”等级; 而对于  $K < 0.05 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$  的储层, 即使采取了各种井措施, 试井一般也不产液或极低产液, 基本不能获得产能, 裂缝评价为“差”等级(表 2)。

Table 2. Tectonic fracture evaluation scheme for tight sandstone from Dabei-Keshen area in Kuqa depression  
表 2. 库车坳陷大北 - 克深地区致密砂岩储层裂缝评价方案

必 要 条 件											充分条件	
裂缝密度	裂缝开度 mm	充填程度%	倾角	走向	性质	倾角测井	录井	常规测井特征	FMI 成像特征	渗透率 $10^{-3} \mu\text{m}^2$	裂缝评级	
一般 >2~4 条/m	>0.2	<25	中高角度 (贯穿 单层 数较 多)	一般与 最大主 应力方 向呈低 角度关 系	张性裂缝	粗红模式 + 粗蓝模式	钻时突然减小, 常发生井漏、井喷、溢流等且计量比较大, 岩屑常发现裂缝充填物	1) 深浅双侧向相对低值且幅度差大, 微电阻很低, 尖峰状异常; 2) 密度值异常大, 密度值低; 3) SP 可能异常增大, 声波时差可能增大。	1) GR 无异常连续性较好黑色正弦曲线; 2) 裂缝孔隙度、裂缝长度、裂缝密度相对较大; 3) 裂缝宽度大, 未充填空间占 3/4 以上。	≥1	优	
	0.1~0.2	25~75								0.5~1	良	
<0.5 条/m	0.005~0.1	75~95	一般与 最大主 应力方 向呈高 角度关 系	剪性裂缝	压性裂缝	粗绿模式	钻时变化不明显, 微弱到无井漏、溢流、井喷等现象	1) 深浅双侧向相对高值且幅度差小到无, 微电阻为高背景值且与深电阻接近; 2) 致密储层的孔隙度测井曲线仅有微弱到无的异常。	1) 裂缝一般表现为较亮正弦波或 GR 值异常尖峰状的暗色正弦波; 2) 裂缝孔隙度、长度、密度、宽度一般非常低, 且绝大部分空间被充填为无效缝。	0.05~0.5	中	
		<0.005								>95	≤0.05	差

针对大北 - 克深地区古近系 - 白垩系致密裂缝性砂岩储层, 由于构造裂缝对储层贡献度非常大, 需要单独进行描述和评价, 之后再开展储层的综合评价, 即需要采用两个步骤来进行储层评价。

第一步主要针对构造裂缝的评价。在这个环节需要精细描述构造裂缝, 包括岩心观察测量与统计、结合常规测井和地质资料描述其倾角、走向, 统计录井参数的变化, 在此基础上结合常规测井解释与成像测井解释资料, 系统提取裂缝参数, 求取渗透率, 然后开展裂缝评级。该环节的难点在于准确提取裂缝参数并求得合理的裂缝渗透率。现场研究认为未充填缝的渗透率主要与裂缝张开度、裂缝长度、裂缝倾角等因素有关<sup>[9]</sup>, 其关系式可表述为:

$$K = (d_{dip})^3 \times (L/L_d)^3 / 12H$$

(式中:  $d_{dip} = d_H \times d_c / L = dH \times L_d / L$ ,  $H = \tan \theta \times d_c$ ,  $\theta$ -裂缝倾角;  $d_c$ -井径;  $L$ -裂缝层内椭圆轨迹长度;  $d_{dip}$ -倾斜裂缝开度;  $L_d$ -井眼周长;  $H$ -裂缝带厚度;  $d_H$ -水平裂缝开度), 即裂缝渗透率与裂缝开度等因素呈三次方的关系。根据上述表达式求得裂缝渗透率并其他统

计参数参照表 2 的界限即可对裂缝进行定量评价。

第二步是构造裂缝与储层基质参数相结合进行储层综合评价, 划分储层级别。考虑到常规测井对构造裂缝解释的局限性, 实际生产中, 基于岩心实测物性建立骨架进行的测井解释, 其孔隙度、渗透率值基本代表了致密砂岩储层基质的物性特征, 试井资料也表明地层实际渗透率与常规测井解释值相差很大。因此, 储层评价时需要在常规测井解释的基础上, 充分结合构造裂缝精细描述和评价的结果来进行储层综合评价。由于构造裂缝孔隙度绝对值一般都很低(一般低于 0.5%), 储层孔隙度主要由基质贡献, 而储层总渗透率则主要由构造裂缝贡献, 局部位置由于强烈的储层改造基质孔隙度较高时, 基质渗透率也有较明显的贡献, 因此总渗透率为裂缝和基质在一定渗流条件约束下共同的贡献<sup>[10,11]</sup>。据此, 根据不同渗透率、不同孔隙度组合求取了不同类型储层的物性边界, 建立了库车坳陷致密裂缝性砂岩储层综合评价物性界限方案(表 3), 并在实际工作中对工区单井进行了应用, 见下文讨论。

Table 3. Systemic evaluation scheme of physical property boundary for tight sandstone in Kuqa depression  
表 3. 库车坳陷致密裂缝性砂岩储层综合评价物性界限方案表

裂缝评价		基质物性因素		储层综合评价		备注	
裂缝渗透率 $10^{-3} \mu\text{m}^2$	评级	孔隙度%	基质渗透率 $10^{-3} \mu\text{m}^2$	储层渗透率 $10^{-3} \mu\text{m}^2$	储层评级		
≥1	优	≥6	>0.4	≥1.4	I	裂缝型储层	
		3.5~6	0.15~0.4	1.1~1.4	II		
		≤3.5	<0.15	≥1.0~1.1	II-III		
0.5~1	良	≥9	>0.65	≥1.1	I		
		6~9	0.4~0.65	0.8~1.6	I-II		
		3.5~6	0.15~0.4	0.6~1.4	II-III		
≤3.5		<0.15	<0.15	0.5~1.1	III-IV		
		≥12	>1.0	≥1	I		孔隙型储层
		9~12	0.65~1.0	0.65~1.5	I-II		
0.05~0.5	中	6~9	0.40~0.65	0.4~1.1	II-III		
		3.5~6	0.15~0.4	0.2~0.85	II-III		
		≤3.5	<0.15	0.05~0.55	III-IV		
≥12		>1.0	>1.0	≥1	I	孔隙型储层	
		9~12	0.65~1.0	0.65~1.0	II		
		6~9	0.40~0.65	0.40~0.68	III-IV		
≤0.05	差	3.5~6	0.15~0.4	0.15~0.4	III-IV		
		≤3.5	<0.15	≤0.15	IV	非储层	

## 5. 应用与讨论

库车坳陷大北-克深地区古近系-白垩系致密砂岩勘探取得了极大的突破, 万亿方的储量规模已经形成, 但是储层评价工作还严重滞后于勘探, 亟待深入开展相关的研究工作, 进一步指导今后的开发工作。本文依据裂缝是致密砂岩储层物性主要贡献因素、储层孔隙度主要与基质有关、产能关系确定储层级别的思路, 讨论了构造裂缝评价的界限, 建立了储层物性综合评价的详细方案。通过这种方法对新完钻的 X 井和 Y 井进行储层综合评价, 由于构造裂缝精细描述表明白垩系中上部构造裂缝较为发育, 在充分进行裂缝评级后再进行储层综合评价, I、II 类储层累计厚度比用传统方法评价分别增加了 11 m 和 17 m, 增幅为 28.8% 和 17.1%(表 4)。上述评价结果不仅在试油层位选取讨论时具有重要的指导意义, 而且测试产能与评价结果具有较好吻合性: X 井测试日产液 129 m<sup>3</sup>, Y 井测试天然气获高产, 日产量达到 1.10 × 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup> 水平。

相对于传统评价方案, 本文建立的储层评价方案具有简单实用, 可操作性强的特点。但是, 要准确求取地层渗透率并非易事, 关键工作是裂缝精细描述并有效提取裂缝参数, 否则最终评价结果可能会出现与

**Table 4. Evaluation resulting of tight sandstone for well X and Y well in different methods**  
**表 4. 致密裂缝性砂岩储层综合评价结果对比表(单位 m)**

储层类别	X 井传统评价累厚	X 井综合评价累厚	Y 井传统评价累厚	Y 井综合评价累厚
I 类	5	12	30	40
II 类	31.5	35	69.5	76.5
III 类	60.5	50	44	27

测试不吻合的情况。必须指出, 致密裂缝性砂岩储层评价认识也是一个动态变化的过程, 伴随着油气藏的不断开采, 地层压力下降导致构造裂缝逐渐向闭合方向变化, 地层渗透率随之降低。因此在生产中必须控制好生产压差, 防止构造裂缝较快闭合。此外, 大北-克深地区不同钻井所处的局部构造特征差异非常大, 构造应力场复杂, 基于构造裂缝评价基础上开展的单井储层综合评价对于开展井间储层预测也具有重要参考意义。

## 参考文献 (References)

- [1] 曾流芳. 疏松砂岩油藏大孔道形成机理及渗流规律研究[M]. 东营: 石油大学出版社, 2002.
- [2] 郝以岭, 周明顺, 宁志英等. 自由流体孔隙度评价砂岩储层产能的方法探讨[J]. 测井技术, 2005, 29(2): 141-143.
- [3] 寿建峰, 张惠良, 沈扬等. 库车-塔北古近系-白垩系及重点地区志留系沉积储层精细研究[R]. 塔里木: 塔里木油田外协科研项目报告, 2008.
- [4] 张丽娟, 李多丽, 孙玉善等. 库车坳陷西部古近系-白垩系沉积储层特征分析[J]. 天然气地球科学, 2006, 17(3): 355-360.
- [5] 张荣虎, 张惠良, 寿建峰等. 库车坳陷大北地区下白垩统巴什基奇克组储层成因地质分析[J]. 地质科学, 2008, 43(3): 507-517.
- [6] 李军, 李进福. 库车地区裂缝性砂岩测井解释评价技术研究[R]. 塔里木: 塔里木油田外协科研项目报告, 2008.
- [7] 范·高尔夫-拉特. 裂缝油藏工程基础[M]. 北京: 石油工业出版社, 1989: 31-69.
- [8] 李军, 李军, 张超谟等. 库车地区砂岩裂缝测井定量评价方法及应用[J]. 天然气工业, 2008, 28(10): 25-27.
- [9] 成荣红, 段婉露. 大北裂缝性砂岩储层测井精细描述[R]. 塔里木: 塔里木油田外协科研项目报告, 2009.
- [10] 黄延章. 低渗透油层渗流机理[M]. 东营: 石油工业出版社, 1998.
- [11] 白矛, 刘天泉. 孔隙裂隙弹性理论及应用导论[M]. 东营: 石油工业出版社, 1999.