

# 长春岭地区泉四段储层敏感性伤害评价

谢俊<sup>1</sup>,孟宁宁<sup>1</sup>,于江涛<sup>1</sup>,张泽林<sup>2</sup>

(1. 山东科技大学地质科学与工程学院, 山东 青岛 266510; 2. 中国石油天然气股份有限公司吉林油田分公司, 吉林 松原 138003)

**摘要:**以研究区储层敏感性实验为依据,结合粘土矿物含量及注入水水质的分析,对长春岭地区泉四段进行储层敏感性评价,认为该区储层表现为无—弱速敏、中等偏强—强水敏、中等偏强盐敏、中等偏强酸敏和中等碱敏,储层中水敏性矿物的大量存在导致水敏和盐敏对该区储层伤害最大。因此,为避免水敏和盐敏对低温低压储层的继续伤害,在油藏开发过程中,宜采用矿化度为7 500~10 000 mg/L、水型为NaHCO<sub>3</sub>型的注入水进行水驱开发。

**关键词:**长春岭油田;储层评价;敏感性评价;水敏性;粘土矿物

中图分类号:P618.13

文献标志码:A

文章编号:1672-3767(2011)04-0039-06

## The Evaluation on the Sensitivity Damages of the Quan 4 Formation in Changchunling District

XIE Jun<sup>1</sup>, MENG Ningning<sup>1</sup>, YU Jiangtao<sup>1</sup>, ZHANG Zelin<sup>2</sup>

(1. College of Geological Science and Engineering, Shandong University of Science and Technology,

Qingdao, Shandong 266510, China; 2. Branch of Jilin Oilfield Company CNPC, Songyuan, Jilin 138003, China)

**Abstract:** On the basis of the experiment of reservoir sensitivity in study area and combining with the analysis of clay mineral contents and the water quality injected, the article evaluated the reservoir sensitivity of Quan 4 formation in Changchunling district. The experiment showed that the behavior of reservoirs in that area was non-velocity sensitivity of flow. It belonged to strong water sensitivity, moderate to strong salt and acid sensitivities, medium alkaline sensitivity. There exist lots of water sensitivity minerals, resulting in water and salt sensitivities, which formed the most damage to reservoirs. Therefore, in order to avoid the continuous damage to the reservoirs with low temperature and low pressure, it is considered that the water flooding development method is suitable for the reservoir development with the water salinity of 7 500-10 000 mg/L and the water style of NaHCO<sub>3</sub>.

**Key words:** Changchunling oil field; reservoir evaluation; sensitivity evaluation; water sensitivity; clay mineral

储层敏感性是指当储层与外来流体接触时,由于外来流体与地层流体不配伍,造成储层中的粘土矿物水化膨胀、微粒迁移或产生沉淀并堵塞孔道从而使渗透率降低的现象<sup>[1]</sup>。储层敏感性在油气田的钻探和开发过程中容易对储层造成伤害,如何解决这一问题,将直接影响油气田的产量<sup>[2]</sup>。前人对储层敏感性伤害的研究较多,而针对长春岭油田这种浅层、低温、低压储层的敏感性伤害未做过系统研究,该油田在开发过程中逐渐暴露出产能降低的迹象,其中储层敏感性伤害是造成产能降低的一个至关重要的原因。为了防止敏感性矿物对储层的伤害,通过对研究区储层岩心进行各种敏感性评价实验,分别对储层速敏性、水敏性、盐敏性、酸敏性和碱敏性进行分析评价,明确了该区敏感性程度,根据敏感性伤害程度制定了相应的治理对策,试图为该油藏的高效开发提供理论依据。

## 1 储层地质、岩石特征

长春岭油田表现出浅层、低温、低压、高含蜡、高孔中渗的油藏特点,具有较丰富的油气资源量。开发过

收稿日期:2011-06-15

基金项目:中石油吉林油田重点科技攻关项目:长春岭油田有效开发技术研究。

作者简介:谢俊(1968—),男,湖北京山人,教授,博士,主要从事储层评价与油藏描述方面的研究。E-mail: xiejun0532@163.com.

程中粘土矿物的敏感性严重制约了稠油油藏的有效开发<sup>[3]</sup>, 长春岭地区开发目的层为白垩系下统泉四段的扶余油层, 油藏埋深在 210~400 m, 工区地势相对平缓, 构造南高北低, 东高西低, 接受来自东南部和西南部两个方向物源的沉积, 沉积环境为三角洲相, 可细分为三角洲平原和三角洲前缘两个亚相, 主要发育分流河道、水下分流河道等沉积微相, 泉四段地层压力平均为 2.24 MPa, 储层平均孔隙度为 27.9%, 平均渗透率为  $272.7 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ , 地面原油密度平均为 0.887 g/cm<sup>3</sup>, 粘度 49.01 mPa·s, 含蜡量 14.5%, 含胶质 26.1%。

据砂质岩成分鉴定, 储层碎屑含量一般 75%~85.1%。碎屑中石英含量 25%~36%, 长石含量 25%~36%, 岩屑含量 26%~38%。碎屑组分含量在平面和纵向上变化不大, 岩石类型为岩屑长石砂岩。泉四段岩石类型以长石岩屑细砂岩为主, 其次为粉砂岩; 岩石颗粒多呈点-线状接触, 少量呈镶嵌状; 胶结类型以孔隙式为主, 其次为孔隙-接触式; 胶结物主要为泥质和灰质, 泥质含量一般为 3%~13%, 灰质含量一般为 1%~17%。

## 2 粘土矿物

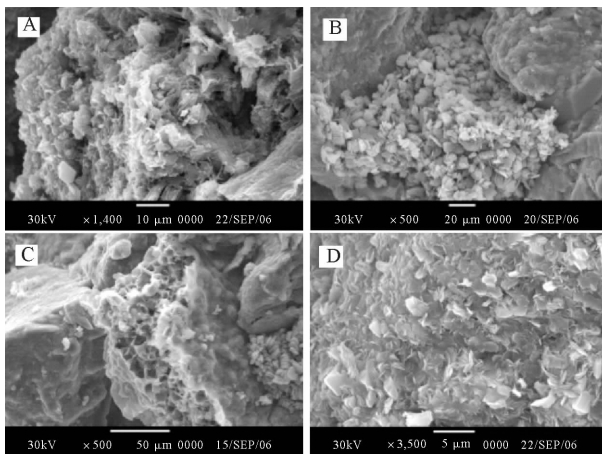
储层岩石中存在多种敏感性矿物, 油气田开发引起地下条件变化时, 可能导致地层渗透率降低, 造成储层伤害<sup>[4]</sup>。粘土矿物是粘土和粘土岩中的晶体, 一般小于 2 μm, 主要是含水的铝、铁和镁的层状结构硅酸盐矿物。粘土矿物包括高岭石族矿物、蒙皂石、蛭石、粘土级云母、伊利石、海绿石、绿泥石和膨胀绿泥石以及有关的混层结构矿物<sup>[5]</sup>。长春岭地区 8 口井共 108 块样品的 X 衍射资料表明, 该区粘土矿物总量在 4.6%~30.4%之间, 平均为 12.0%; 粘土矿物以伊/蒙混层和高岭石为主, 绝对含量分别为 4.53% 和 3.48%, 其次为绿泥石和伊利石, 绝对含量分别为 2.47% 和 1.52% (表 1)。

表 1 长春岭油田泉四段粘土矿物绝对含量统计表

Tab. 1 The absolute contents of clay mineral in Quan 4 formation of Changchunling oilfield

	粘土矿物含量				混层比(S)
	伊/蒙混层(I/S)	伊利石(I)	高岭石(K)	绿泥石(C)	
分布区间	0.1~20.7	0~4.8	0~14.2	0.4~16.7	1.9~15.2
平均值	4.53	1.52	3.48	2.47	5.98

研究区伊/蒙混层在扫描电镜下单体呈弯曲片状, 集合体呈蜂窝状, 具刺状凸起。含量在 0.1%~9.9%之间, 平均 4.5%, 因此, 伊/蒙混层是造成该区储层水敏性伤害的主要原因 (图 1A); 高岭石主要以孔隙充填方式产出, 扫描电镜下单个高岭石晶体呈六方板状, 集合体呈书页状或蠕虫状, 储层的危害表现为其迁移性, 其晶间结构比较松, 在流体的冲刷下容易随流体移动, 堵塞、分割孔隙和喉道, 尤其在细小喉道中, 影响很大, 是重要的速敏矿物 (图 1B); 本区伊利石含量较低, 主要在 0.1%~4%之间, 平均 1.5%。在显微镜下呈细而薄的鳞片状集合体或网状集合体充填粒间孔隙, 常被亮晶方解石矿物交代, 在阴极发光显微镜下不发光。扫描电镜下呈弯曲片状及不规则板条状 (图 1C); 研究区内内生绿泥石晶体大小很均匀, 一般在 2~3 μm, 杂乱堆放在一起时, 形如一片片散落的柳叶, 以叶片状、蜂窝叠层状居多, 主要以孔隙衬垫式包裹在碎屑颗粒外围, 其含量



A 伊/蒙混层, 214.27~214.42 m; B 高岭石, 212.37~212.52 m;  
C 伊利石, 189.8~189.9 m; D 绿泥石, 214.87~215.02 m。  
A illite/smectite mixed layer, 214.27-214.42 m; B kaolinite,  
212.37-212.52 m; C illite, 189.8-189.9m; D chlorite, 214.87-215.02 m。

图 1 长 107 井粘土矿物扫描电镜特征图

Fig. 1 The characteristics of scanning electron microscope of clay minerals of Chang107 well

主要在 0.4%~6% 之间,平均 2.5%,是酸性矿物(图 1D);蒙脱石比面很大,有很强的吸水膨胀率,遇矿化度低的淡水等发生膨胀,体积可增大 30 倍以上,堵塞孔隙和喉道,影响渗透率,是对储层伤害最大的水敏性粘土矿物,但该研究区内很少存在。

### 3 敏感性分析

储层非均质性变化是影响地下油、气、水运动及油气采收率的主要因素<sup>[6-7]</sup>,而储层敏感性伤害对渗透率的影响制约着储层非均质性的强弱,该区储层表现出高孔-细喉的微观孔隙特征且粘土矿物含量高。注水开采或注蒸汽过程中敏感性强,是制约油藏开发的关键因素,本文对储层岩心进行各种敏感性评价实验,以确定储层与外来流体接触时,对储层可能造成的伤害程度。在作业过程中,通过采取必要的措施,防止储层伤害或降低储层伤害程度。

#### 3.1 速敏性

储层速敏是指在完井及其生产过程中,当流体在储层中流动时引起微粒的移动,堵塞孔喉而造成渗透率下降的现象<sup>[1-2]</sup>。研究区 6 口井 26 块储层岩样的速敏性实验结果有 18 块样品速敏性损害程度为无一弱,占总样品数的 69.2%,8 块岩样速敏性损害程度为中等(其中 7 块样品为中等偏弱),占样品总数的 30.8%(表 2)。可见,研究区速敏性总体属于无一偏弱速敏,对储层伤害较小。

表 2 长春岭地区部分样品的速敏性试验结果统计表

Tab. 2 The statistics of velocity sensitivity tests of partial samples in Changchunling area

井号	岩样号	井深/m	初始渗透率 /( $\times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ )	速敏指数 $D_k/\%$	速敏程度	井号	岩样号	井深/m	初始渗透率 /( $\times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ )	速敏指数 $D_k/\%$	速敏程度
长 110	S6		177.000		无速敏	长 107	20-1			1.02	无速敏
	S7		244.000	58.76	中等偏强		S10		12.569	47.70	中等偏弱
	64	223.06	222.070	46.65	中等偏弱		31-1	212.38	222.070	20.86	弱速敏
	69	223.60	74.320	37.26	中等偏弱		51-1	214.48	74.320	33.46	中等偏弱
长 107-1-5	84	225.61	131.803	35.81	中等偏弱	长 107-1-2	80-1	217.63	131.803	20.36	弱速敏
	93	226.69	35.609	44.92	中等偏弱		93-1	218.36	121.505	29.44	弱速敏
	102	227.72	27.126	37.02	中等偏弱		113-1	221.30	5.747		无速敏

#### 3.2 水敏性

水敏是指当与储层不配伍的外来流体进入储层后引起粘土膨胀、分散和运移,从而导致渗透率下降的现象<sup>[8]</sup>。对长春岭油田研究区 7 口井的 27 块岩样进行的水敏性评价实验,部分样品的实验结果见表 3。研究区 27 块岩样的水敏性实验结果表明,该区储层中等偏强水敏样品为 11 块,占总样品数的 40.74%;强一极强水敏样品 7 块,占样品总数的 25.93%;中等偏弱水敏样品为 6 块,占总样品数的 22.22%;无水敏和弱水敏样品仅有 3 块,占样品总数的 11.11%,说明该地区的水敏指数总体上属于中等偏强一强水敏。因此,长春岭地区水敏指数较大,对储层伤害的程度大,这与该区粘土矿物含量高(12.0%)有关,尤其是遇水易膨胀的粘土矿物(伊/蒙混层)含量较高。

#### 3.3 盐敏性

盐敏性是指不同矿化度的外来水与粘土矿物相互作用对储层渗流能力的影响程度<sup>[1,8]</sup>。共完成该研究区储层 6 口井 23 块岩心的盐敏性试验,随着注入水矿化度的降低,岩心渗透率均有不同程度的降低,临界矿化度 7 500 mg/L。长春岭地区储层表现为中等偏强盐敏性。因此,在各种井下作业时,各种工作液的盐度应小于临界盐度,否则可能产生盐敏伤害。

储层盐敏性伤害与水敏发生的影响因素相似,研究区储层含有较高的伊/蒙混层和伊利石(水敏性矿物),矿化度的降低会导致伊/蒙混层和伊利石的逐渐膨胀<sup>[7]</sup>,且本区储层的孔喉较细,易堵塞孔隙通道,造成渗透率下降,图 2 为长 109-4-8 井岩心盐敏实验曲线。矿化度过高时,会使得粘土矿物收缩、脱落,之后随水

流运移,在喉道较细处沉积而阻塞喉道,也会造成渗透率下降,影响产能,因此,对注入水的矿化度要求为 7 500~10 000 mg/L,水型为 NaHCO<sub>3</sub> 型,且需要加入适量的粘土稳定剂,以便阻止储层中的矿物进一步膨胀,同时还需注意所有注入地层的流体必须与地层中的粘土矿物特征相配伍,使钻井液的矿化度与原始地层水基本一致。

表 3 长春岭地区部分样品的水敏性试验结果统计表

Tab. 3 The statistics of water sensitivity tests of partial samples in Changchunling area

井号	岩样号	井深/m	空气渗透率 $K_a$ /( $\times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ )	水敏指数 $I_w/\%$	水敏程度	井号	岩样号	井深/m	空气渗透率 $K_a$ /( $\times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ )	水敏指数 $I_w/\%$	水敏程度
	43	261.91	186.734	63.46	中等偏强		31-2	212.38	830.705	61.40	中等偏强
109-4-8	61	263.68	186.734	64.34	中等偏强		51-2	214.48	219.152	78.87	强水敏
	68	264.35	254.167	70.58	强水敏	107-1-2	80-2	217.63	318.099	63.40	中等偏强
长 110	S6	219.05	453.000	48.96	中等偏强		93-2	218.36	204.901	75.98	强水敏
	64	223.06	204.268	70.75	强水敏		113-2	221.30	436.327	69.14	中等偏强
	69	223.60	135.378	83.07	强水敏		16-1			62.50	中等偏强
107-1-5	84	225.61	108.251	59.72	中等偏强	长 107	S17-2			94.00	极强水敏
	93	226.69	122.472	56.02	中等偏强		20-2			69.60	中等偏强
	105	227.72	84.874	67.55	中等偏强		8			11.40	弱水敏

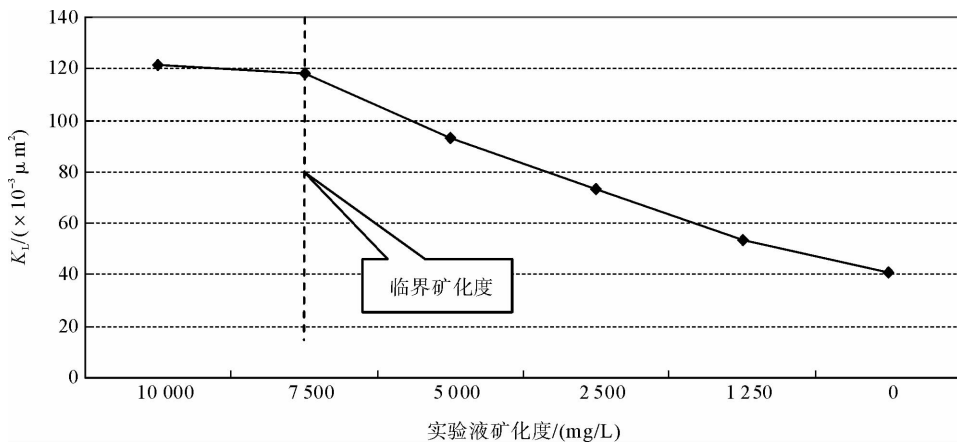


图 2 长 109-4-8 井岩心盐敏实验曲线图

Fig. 2 The curve of salt sensitivity experiment of Chang109-4-8 well

### 3.4 酸敏性

岩心酸敏性是指酸性液体进入储层后与储层中的酸敏性矿物或原油发生反应,或产生凝胶、沉淀或释放微粒,导致储层渗透率或有效渗透率下降的现象<sup>[8]</sup>。研究区 22 块样品酸敏实验结果为:中等偏弱酸敏样品为 3 块,占总样品数的 13.6%;中等偏强酸敏样品为 15 块,占总样品数的 68.2%;强—极强酸敏样品 3 块,占样品总数的 13.6%;无酸敏样品仅有 1 块,占样品总数的 4.6%。表明该地区的酸敏程度以中等偏强酸敏为主。图 3 为长春岭地区部分样品酸化前后的渗透率变化对比图,说明长春岭地区酸敏对储层的伤害也较大,因此在添加酸化剂提高采收率时要预防酸敏对储层的伤害。

研究区储层呈现中等偏强酸敏性,其主要原因是储层含有一定量的绿泥石、方解石等(酸敏性矿物)。如果采用弱酸或用较低浓度的浓酸酸化时,都可能会形成凝胶状 CaF<sub>2</sub>、CaCO<sub>3</sub> 或 Fe(OH)<sub>3</sub> 沉淀。因此,可采取有效措施为保持注入流体的低 pH 值,防止 CaF<sub>2</sub> 大量沉淀,加入 HCl 可以增加 CaF<sub>2</sub> 的溶解度,从而减轻钙盐沉淀引起的储层伤害,因而在酸化作业过程中可适当加酸液添加剂,以改善酸液性能。

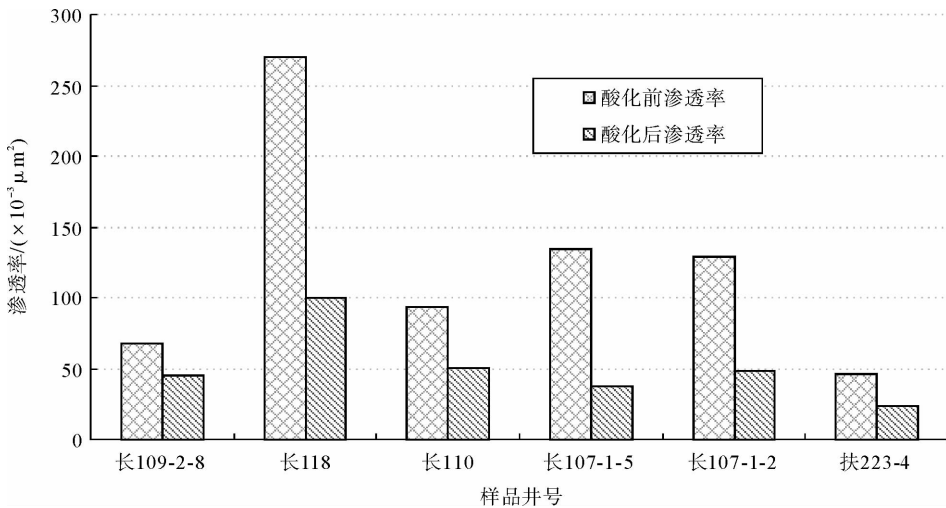


图3 长春岭油田储层酸化前后的渗透率变化对比图

Fig. 3 The comparison diagram on permeability changes of reservoirs before and after acidulation in Changchunling oilfield

### 3.5 碱敏性

岩心碱敏性是指碱性液体与储层矿物或流体接触发生反应,产生沉淀或释放出颗粒,导致岩石渗透率或有效渗透率下降的现象<sup>[1,8]</sup>。本区共完成了7口井21块岩心的储层岩心碱敏试验,其中,中等偏强碱敏样品9块,占总数的47.4%;中等偏弱碱敏样品5块,占总数的26.3%;强碱敏样品3块,占总数的15.8%;弱碱敏样品2块,占总数的10.5%,部分样品碱敏性实验结果统计见表4。因此,研究区储层碱敏程度是以中等碱敏为主。研究区注入水的pH值为6~6.5,对储层的碱敏伤害较小,该区的碱敏伤害主要由钻井过程中加入的钻井液引起,所以在注水过程中需保持注入水的pH值,可防止碱敏对储层的进一步伤害。

表4 长春岭地区部分样品的碱敏性试验结果统计表

Tab. 4 The statistics of alkaline sensitivity test of partial samples in Changchunling area

井号	岩样号	井深/m	碱敏指数 $I_b/\%$	碱敏程度	井号	岩样号	井深/m	碱敏指数 $I_b/\%$	碱敏程度
	43	261.91	69.34	中等偏强		64	223.06	58.65	中等偏强
长109-4-8	61	263.68	65.42	中等偏强	长107-1-5	84	225.61	79.45	强碱敏
	68	264.35	64.12	中等偏强		105	227.72	69.77	中等偏强
长110	S6		83.21	强碱敏	长107-1-2	80-4	217.63	69.32	中等偏强
长107	S19		63.2	中等偏强		93-4	218.36	82.35	强碱敏

## 4 结论

1) 长春岭油田的储层表现为无一弱速敏、中等偏强—强水敏、中等偏强盐敏、中等偏强酸敏和中等碱敏,水敏对储层伤害最大。

2) 研究区储层粘土矿物含量高,尤其是水敏性矿物伊/蒙混层含量最高,加大了水敏对储层的伤害。

3) 注水开发过程中,应采用矿化度为7 500~10 000 mg/L,水型为  $\text{NaHCO}_3$  型的注入水进行水驱开发。

### 参考文献:

[1] 罗东红,唐海雄,熊友明,等.南海流花11-1礁灰岩油田储层敏感性评价[J].中国海上油气,2007,19(5):315-318.  
 LUO Donghong, TANG Haixiomg, XIONG Youming, et al. A sensitivity evaluation of reef limestone reservoirs in Liuhua 11-1 oilfield, South China sea[J]. China Offshore Oil and Gas, 2007, 19(5): 315-318.

[2] 王海军,邓媛,段春节,等.大牛地气田储层伤害研究[J].岩性油气藏,2010,22(4):125-129.

- WANG Haijun, DENG Yuan, DUAN Chunjie, et al. Study on reservoir damage in Daniudi gasfield[J]. Lithologic Reservoirs, 2010, 22(4): 125-129.
- [3] 张关龙, 陈世悦, 鄢继华. 郑家-王庄地区沙一段粘土矿物特征及对储层敏感性影响[J]. 矿物学报, 2006, 26(1): 99-106.  
ZHANG Guanlong, CHEN Shiyue, YAN Jihua. Characteristics of clay minerals and their effects on formation sensitivity in Sha-1 member in Zhengjia-Wangzhuang area[J]. Acta Mineralogica Sinica, 2006, 26(1): 99-106.
- [4] 徐保庆. 临盘油田储层敏感性评价[J]. 特种油气藏, 2006, 13(45): 94-96.  
XU Baoqing. Reservoir sensitivity evaluation in Linpan oilfield[J]. Special Oil and Gas Reservoirs, 2006, 13(45): 94-96.
- [5] 袁黎明. 松辽盆地常家围子地区储层敏感性评价[D]. 长春: 吉林大学, 2007.
- [6] 谢俊, 张金亮. 法21断块储层非均质性研究[J]. 山东科技大学学报: 自然科学版, 2003, 22(3): 10-13.  
XIE Jun, ZHANG Jinliang. Research on the reservoir heterogeneity in Fa21 block[J]. Journal of Shandong University of Science and Technology: Natural Science, 2003, 22(3): 10-13.
- [7] 谢俊, 张金亮, 梁会珍, 等. 濮城油田末端扇储层隔夹层成因及分布特征[J]. 中国海洋大学学报, 2008, 38(4): 653-656.  
XIE Jun, ZHANG Jinliang, LIANG Huizhen, et al. Genesis and distribution characteristics of interbeds in the terminal fan of Pucheng oilfield[J]. Periodical of Ocean University of China, 2008, 38(4): 653-656.
- [8] 裘亦楠, 薛叔浩. 油气储层评价技术[M]. 北京: 石油工业出版社, 1997.

(上接第33页)

- [4] 杨怀敏. 复杂地质条件下薄煤层综采技术的研究与实践[J]. 矿业研究与开发, 2009, 29(1): 7-8, 37.  
YANG Huaimin. Mechanized mining technology research and practice of thin seam under complicated geological conditions [J]. Mining Research and Development, 2009, 29(1): 7-8, 37.
- [5] 张明, 刘成涛. 薄煤层综采工艺探讨与应用[J]. 山东煤炭科技, 2010(3): 87-88.
- [6] 盛国军, 孙启生, 宋华岭. 薄煤层综采的综合创新技术[J]. 煤炭学报, 2007, 32(3): 230-234.  
SHENG Guojun, SUN Qisheng, SONG Hualing. The innovational mining technology of fully mechanized mining on thin coal seam[J]. Journal of China Coal Society, 2007, 32(3): 230-234.
- [7] 张华兴, 赵有星. 条带开采研究现状及发展趋势[J]. 煤矿开采, 2000(3): 5-7.  
ZHANG Huaxing, ZHAO Youxing. Research and development of strip mining[J]. Mining, 2000(3): 5-7.
- [8] 郭文兵, 邓喀中, 邹友峰. 我国条带开采的研究现状与主要问题[J]. 煤炭科学技术, 2004, 32(8): 7-11.  
GUO Wenbing, DENG Kazhong, ZOU Youfeng. Research status and main issues of strip mining in China[J]. Coal Science and Technology, 2004, 32(8): 7-11.
- [9] 常西坤. 村庄下大倾角煤层条带煤柱合理尺寸研究[D]. 青岛: 山东科技大学, 2007.
- [10] 国家安全生产监督管理总局, 国家煤矿安全监察局. 煤矿防治水规定[M]. 北京: 煤炭工业出版社, 2009.
- [11] 王立伟, 田玉春, 韩涛. 太平煤矿开采17煤十四灰及奥灰的突水分析[J]. 山东煤炭科技, 2009(5): 130-131.