

# 鄂尔多斯盆地塔巴庙地区二叠系 下石盒子组盒1段砂岩成岩相与储集性能关系

王代国<sup>1,2</sup>

(1. 西北大学 地质学系, 陕西 西安 710069; 2. 中国石化华北分公司 勘探开发研究院, 河南 郑州 450006)

[摘要] 塔巴庙地区下石盒子组盒1段发育了辫状河道相沉积, 砂体厚度10~60 m, 横向上连片, 分布较稳定。勘探证实, 盒1段砂岩非均质性较强, 含气性呈局部分布、不连片, 圈闭类型为岩性圈闭气藏。根据薄片、铸体薄片、X衍射、扫描电镜及压汞分析等资料对盒1段砂岩进行微观分析, 了解其自生矿物类型、成岩作用及成岩序列、孔隙演化特征和孔隙发育的影响因素, 进而分析胶结物组合类型及其对储集性能影响关系。认为以胶结物主要组合类型进行盒1段砂岩成岩相划分, 结合录井油气显示、试气和测井等资料分析各成岩相储集性能、含气性和测井曲线上反映特征, 找出有利的成岩相, 以此在平面上预测盒1段砂岩天然气富集有利区, 为勘探寻找天然气富集区提供依据。

[关键词] 鄂尔多斯盆地; 塔巴庙区块; 岩性圈闭; 含气性; 成岩作用; 孔隙演化; 成岩相; 有利区

[中图分类号] P618.130.21 [文献标识码] A [文章编号] 1672-6561(2006)04-0032-05

## Diagenetic Facies and Reservoir Capability of $p_{x1}^1$ Sandstone in Tabamiao Area of Ordos Basin

WANG Dai guo<sup>1,2</sup>

(1. Department of Geology, Northwest University, Xi'an 710069, Shaanxi, China; 2. Research Institute of Exploration and Exploitation, North China branch of SINOPEC, Zhengzhou 450006, Henan, China)

**Abstract** The Tabamiao Area grows the braided river facies in  $p_{x1}^1$  period, in which sandstone thickness is from ten to sixty meters and distribution has the feature of the stronger heterogeneity, the lateral continuity and stability. Exploration proved it is local and discontinuous for hydrocarbon content distribution of  $p_{x1}^1$  sandstone and the trap type belongs to the lithologic trap. According to the lab data of thin section, cast thin section, X ray diffraction and injection,  $p_{x1}^1$  sandstone is known in some hands of self reproducing mineral type, diagenesis and diagenetic sequence, pore evolving feature and growing controlled factor. And then analysis is carried out on the main combination type of cement favorably growing pore in relation to which affects reservoir capability of the sandstone. The diagenetic facies of  $p_{x1}^1$  sandstone is sorted in terms of the cement combination type, which is analyzed on some sides of reservoir capability, pore growing situation, hydrocarbon content, and log reflection character from log hydrocarbon showings, testing and log data, so the favorable diagenetic facies of  $p_{x1}^1$  sandstone is found to forecast the favorable accumulation area of  $p_{x1}^1$  sandstone in the plane and offer the evidence of the proving  $p_{x1}^1$  gas accumulation.

**Key words** Ordos Basin; Tabamiao Area; hydrocarbon content; lithologic trap; diagenesis; pore evolution; diagenetic facies; favorable area

[收稿日期] 2005 04 14

[基金项目] 中国石化股份有限公司“鄂尔多斯盆地塔巴庙地区天然气勘探”项目

[作者简介] 王代国(1971-), 男, 四川广安人, 工程师, 从事天然气地质研究。

## 0 引言

塔巴庙地区地处陕西省榆林市与内蒙古自治区伊金霍洛旗、乌审旗交界地区, 构造上位于鄂尔多斯盆地伊陕斜坡东北部。勘探成果表明, 盒 1 期, 区内处于低可容纳空间时期, 接受了辫状河道相沉积, 砂体由多期旋回砂岩切割叠置而成, 砂体厚度 10~60 m, 横向上连片性较好, 分布较稳定; 岩性由砾砂岩、含砾中砂岩、粗砂岩、中粒砂岩、粗粒砂岩和细砂岩等组成, 自然伽马曲线上多呈箱状特征。钻探气测资料及试气结果表明, 盒 1 段砂岩含气性呈局部分布、不连片, 且产能较低。因此, 运用薄片、铸体薄片、X 衍射及电镜扫描、压汞分析等化验分析资料, 研究其成岩作用、成岩相及其孔隙演化特征和发育影响因素, 结合录井油气显示和试气成果分析其有利成岩相<sup>[1-2]</sup>, 从而在平面上预测天然气相对富集的有利成岩相区。

## 1 成岩作用

根据 732 块常规薄片和铸体薄片观察及 X 衍射和扫描电镜分析, 盒 1 段砂岩现今成岩阶段处于晚成岩 C 期(表 1), 主要成岩作用有压实压溶、溶蚀、胶结交代及破裂等作用, 成岩序列为机械压实作用—绿泥石—石英加大边—高岭石(已假象水云母化)—水云母—高岭石—溶蚀作用—方解石—微裂缝<sup>[3-4]</sup>。

### 1.1 压实压溶作用

铸体薄片鉴定资料表明, 盒 1 段砂岩机械压实作用表现强烈, 压溶作用表现则相对中等—偏弱。压实压溶作用主要表现为塑性岩屑等发生变形, 较稳定的石英颗粒多为线接触, 有的呈缝合或凹凸接触, 从而导致原生粒间孔隙大大减小, 甚至减少到零而变成压实致密层, 致使流体不能进入砂层, 从而溶蚀、蚀变等建设作用无法对其孔隙结构进行改善。总之, 碎屑粒间孔隙小、少, 构成大颗粒、小孔隙的孔隙组合特点; 压实作用所排出的水和压溶作用溶解的物质是孔隙水及其中组分的主要来源, 也是其他成岩作用发生的主要营力和营造的物质基础<sup>[4]</sup>。

### 1.2 胶结交代作用

随着压实压溶作用的进行, 砂岩孔隙水中析出

的自生矿物, 主要为石英、绿泥石、伊利石、高岭石等胶结物, 充填于粒间孔隙以及贯穿于早、晚成岩期的石英颗粒加大边而导致原生粒间孔隙进一步大大减小。早期绿泥石和伊利石薄膜的形成, 使部分孔隙转化为喉道, 进一步使孔隙减小; 但是环边绿泥石和伊利石的形成, 增强了砂岩颗粒抗压实压溶作用的能力, 因而对原生粒间孔隙起到保护作用。此外, 在酸性水介质作用下易发生溶解形成贴粒缝, 可改善储层渗透性。薄片鉴定结果表明, 盒 1 段砂岩存在两期高岭石形成, 第一期已假象水云母化, 保持原有的晶形, 形成晶间孔; 第二期高岭石干净明亮, 为微晶状交代碎屑、假象水云母和水云母, 充填于粒间孔和粒间溶蚀孔中, 发育了高岭石晶间孔, 但总孔隙度减小。随着埋深、温度、压力增大, 高岭石又向伊利石转化, 使高岭石晶间孔消亡, 总孔隙度又进一步减少。在成岩过程中, 随着孔隙水中钾含量增高, 高岭石等自生矿物云母化和其他岩屑水云母化, 形成水云母胶结物, 呈毛发状充填于孔隙中, 使高岭石晶间孔消失; 在成岩晚期, 地层水性性质改变(碱性化), 方解石形成并交代碎屑和部分填隙物, 呈连晶形充填于孔隙空间, 使孔隙结构再次遭到破坏<sup>[5]</sup>。

表 1 盒 1 段砂岩成岩作用

Tab. 1 Diagenesis of *pl*<sub>1</sub> Sandstone

成岩作用类型	成岩阶段				
	早成岩		晚成岩		
	A	B	A	B	C
机械压实作用	—————				
压溶作用	—————				
胶结作用	环边绿泥石	—————			
	自生石英	—————			
	伊利石	—————			
	高岭石	—————			
	假象水云母	—————			
	水云母	—————			
	方解石	—————			
石英次生加大	—————				
溶蚀作用	—————				
交代作用	—————				
破裂作用	—————				

### 1.3 溶蚀作用

主要表现为碎屑颗粒和填隙物的溶蚀, 常见的有长石、岩屑、胶结物等的溶蚀, 发生在晚成岩期, 但在 C 期溶蚀作用相对较弱, 对砂岩孔隙发育意义

不大。泥质岩中的有机质在烃化脱羧基时释放  $\text{CO}_2$ , 使地下水呈酸性, 当其渗入到砂岩中时, 对长石、岩屑、胶结物等进行选择性溶蚀, 从粒间开始向碎屑扩展, 形成次生溶蚀孔隙, 从而扩大和改善了储集空间, 有利于烃类的运移和聚集<sup>[9]</sup>。一些长石、云母、绿泥石、水云母、岩屑边缘假杂基等被溶蚀形成粒间溶孔, 部分长石、粉砂岩、泥岩岩屑内等不同程度溶蚀形成粒内溶孔。在较强烈的压实压溶作用条件下, 溶蚀作用就成为盒 1 段砂岩次生孔隙产生、孔喉结构改善的主导因素, 使砂岩发育了粒间溶孔、粒内溶孔、铸模孔等次生孔隙。

#### 1.4 破裂作用

发生在晚成岩 C 期, 主要是成岩后在区域构造应力作用下产生的。根据岩心观察和测井裂缝解释资料, 破裂作用在盒 1 段砂岩中较弱。少数井中盒 1 段岩心中见有 1~2 条垂直裂缝, 未见充填现象; 薄片见 0.005~0.01 mm 微裂缝, 对砂岩的储集和渗透能力有所改善。

## 2 成岩作用对砂岩储集条件的影响

根据以上成岩作用叙述及铸体薄片观察结果, 盒 1 段砂岩主要有 3 种孔隙类型: 粒间余孔、溶蚀孔、晶间孔。

粒间余孔主要是由早期环边绿泥石和伊利石或硅质胶结物形成之后剩余的粒间孔隙, 孔隙形态呈三角形、四边形, 并见有石英、高岭石、水云母、方解石、白云石等充填。此类孔隙较大, 但喉道为一般发育, 孔喉配位数较低。溶蚀孔主要有粒间溶孔、粒内溶孔和铸模孔, 在有的薄片中还见及晶间、晶内溶孔, 其主要在成岩晚期形成, 但对砂岩的孔

渗意义不大。粒间溶孔主要由长石、云母、绿泥石、水云母、岩屑边缘假杂基以及水云母化高岭石等被溶蚀形成, 孔径一般为 30~400  $\mu\text{m}$ ; 粒内溶孔多出现在部分长石、粉砂岩、泥岩岩屑内等不同程度溶蚀而形成粒内孤立状、蜂窝状溶孔, 孔径 30~350  $\mu\text{m}$ , 铸模孔是由重矿物、长石、云母、岩屑等强溶蚀形成。晶间孔则主要发育在绿泥石、假象水云母、高岭石、水云母、水云母化高岭石内, 孔径一般为 1~10  $\mu\text{m}$ , 少数可达 50  $\mu\text{m}$ 。

总之, 在较强烈压实压溶作用下, 盒 1 段砂岩孔隙结构得以改善的主要营力是溶蚀作用, 储集空间类型组合主要有溶蚀孔-晶间微孔和晶间微孔, 成为天然气主要的储集空间。

## 3 成岩相划分与砂岩储集性能的关系

铸体薄片观察及统计结果表明, 自生矿物绿泥石、高岭石、假象水云母、水云母等不仅为溶蚀作用营造了一个建设性物质基础, 而且其组合类型及含量多少制约着砂岩孔隙结构的发育, 从而控制着砂岩储集性能和含气性。粘土矿物分析表明(表 2), 绿泥石与高岭石的含量增高, 砂岩随钻过程全烃值增高, 气显示级别高, 在测试中往往获得工业性气流, 而伊利石和伊/蒙混层的含量增加, 砂岩随钻过程全烃值变低, 气显示级别低。综合各方面资料分析, 以砂岩胶结物主要组合类型及其相对含量大于 50% 以上来进行盒 1 段成岩相划分, 共划出 4 种成岩相, 分别是高岭石+绿泥石、假象水云母+绿泥石、水云母+绿泥石和方解石等成岩相; 在平面上, 以有利成岩相单层砂岩厚度大于 3 m 以上来划分有利成岩相区。

表 2 盒 1 段砂岩粘土分析统计

Tab. 2 Analysis Data of Clay Mineral of  $p_{1x}$  Sandstone

井号	样品号	井深/m	岩性	粘土矿物相对质量分数/%				间层比/%	全烃质量分数/%
				伊利石	高岭石	绿泥石	伊/蒙混层		
X6	02s	2 445.62	中粗砂岩	43	7	29	21	10	2.885
	08s	2 449.86		44	5	31	20	10	
	21s	2 457.20		41	6	38	15	10	
	27s	2 464.61		48	5	34	13	10	
X10	D10 146	2 610.07	粗砂岩	23	7	63	7	10	11.034(已获工业气流)
	D10 166	2 613.68		23	10	65	2	10	
X13	D13 45	2 673.40	含砾中粗砂岩	23	10	60	7	11.344~38.075	
	D13 107	2 702.94	粗砂岩	18	10	66	6		10

### 3.1 高岭石+绿泥石成岩相

岩性主要为砾状粗砂岩和粗砂岩, 主要发育溶蚀孔和晶间孔, 次为粒间余孔。面孔率大于 1%, 孔隙度大于 8%, 渗透率大于  $10 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。在测井曲线上, 自然伽马为低值, 自然电位呈负异常, 声波时差大于  $230 \mu\text{s}/\text{m}$ 。此类砂岩含气性较好, 气显示级别较高, 常获工业气流, 如 X28 井盒 1 段底砂岩, 经测试获气产量  $2.8128 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ , 无阻流量达  $6.4753 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$  (图 1)。

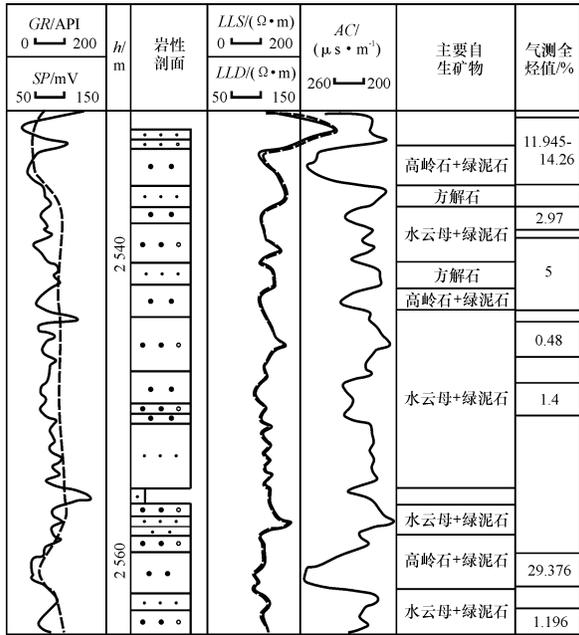


图 1 大 28 井盒 1 段成岩相剖面

Fig. 1 Profile of the  $p_{di}$  Diagenetic Lithofacies of Well Da 28

### 3.2 假象水云母+绿泥石成岩相

岩性主要为含砾中粗粒砂岩, 在砂砾岩中也见及, 主要发育粒间余孔和晶间孔, 次为溶蚀孔。面孔率为 0.1%~1.2%, 孔隙度一般大于 5%, 渗透率一般大于  $0.1 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。测井曲线上, 自然伽马为低值, 自然电位呈负异常, 声波时差大于  $220 \mu\text{s}/\text{m}$ 。此类砂岩含气性也较好, 气显示级别较高, 试气时也常获工业气流, 如 X24 井盒 1 段砂岩, 经试气获气产量  $0.7559 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ , 无阻流量达  $2.0101 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$  (图 2)。

### 3.3 水云母+绿泥石和方解石成岩相

主要在晚成岩 B 期以后差异成岩作用形成, 在各类砂岩中都有见及。有的随着孔隙水中含量增高, 高岭石等自生矿物云母化和其他岩屑水云母化, 形成水云母胶结物, 呈毛发状充填于孔隙中; 有的随着地层水性质改变 (碱化), 方解石形成并交

代碎屑和部分填隙物, 呈连晶形充填于孔隙空间, 使孔隙再次遭到破坏。因此, 这两类成岩相砂岩多见发育晶间微孔, 砂岩致密, 偶见发育溶蚀孔, 粒间余孔已收缩成缝 (粒间缝或贴粒缝), 面孔率小于 0.1%, 物性较差, 孔隙度一般小于 5%。测井曲线上, 自然伽马为中低值, 自然电位负异常不明显, 甚至与泥岩一样, 声波时差低于  $225 \mu\text{s}/\text{m}$ , 呈致密层特征 (见图 1 图 2)。此类砂岩含气性较差, 只见微弱的气显示, 试气见气显示或气流。

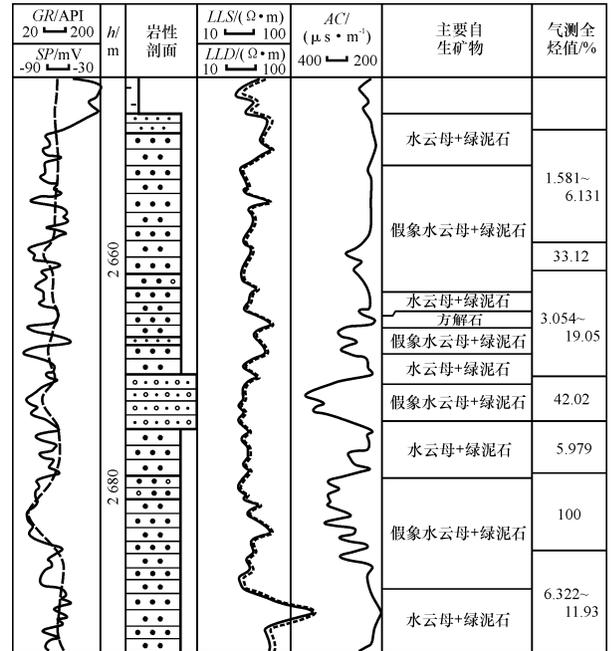


图 2 大 24 井盒 1 段成岩相剖面

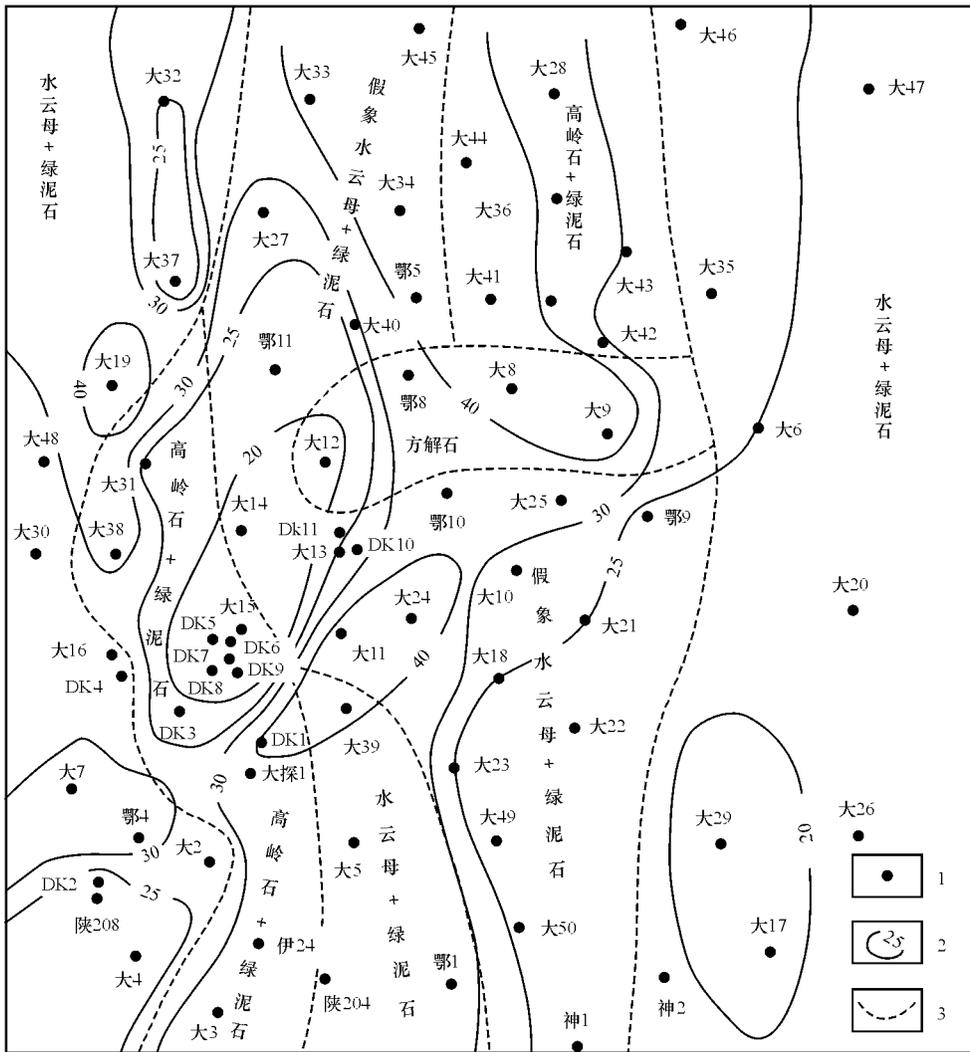
Fig. 2 Profile of the  $p_{di}$  Diagenetic Lithofacies of Well Da 24

### 3.4 毛管压力特征参数

压汞资料统计表明, 高岭石+绿泥石和假象水云母+绿泥石成岩相砂岩多数分析样品汞饱和度 10% 时的毛管压力小于 3 MPa, 中值压力小于 20 MPa, 均值半径大于  $0.05 \mu\text{m}$ ; 水云母+绿泥石和方解石成岩相砂岩大部分分析样品汞饱和度 10% 时的毛管压力大于 3 MPa, 中值压力大于 20 MPa, 均值半径小于  $0.05 \mu\text{m}$ 。

### 3.5 成岩相平面分布

从图 3 看, 盒 1 段两个有利成岩相区分布在主河道砂岩带上, 成为盒 1 段天然气有利富集区。高岭石+绿泥石成岩相区分布在大 28—大 36—大 42 井区和大 31—DK5—大探 1—伊 24—大 3 井区, 假象水云母+绿泥石成岩相区分布在大 33—大 27—鄂 11 井区和鄂 9—大 10—大 18—大 23—大 50 井区。水云母+绿泥石成岩相区分布在区块东西两侧



1 - 井位; 2 - 砂岩厚度; 3 - 相界

图 3 塔巴庙区块盒 1 段成岩相分布

Fig. 3 Diagenetic Facies Distribution of  $p_{1n}$  Sandstone in Tabamiao Block

及南边大 39—大 5—鄂 1 井区, 方解石成岩相区分布在区块中部大 8—大 12—大 14 井区, 为盒 1 段不利相区。

## 4 结论

(1) 通过微观实验分析资料, 研究砂岩成岩作用、孔隙结构演化及其影响因素, 运用自生矿物组合类型进行成岩相划分, 结合钻测井资料界定有利成岩相区并分析其储集性能和含气性, 从而可有效预测天然气有利富集区。

(2) 研究表明, 盒 1 段砂岩孔隙结构得以改善的主要营力是溶蚀作用, 自生矿物不仅为溶蚀作用营造了一个建设性物质因素, 而且其组合类型及含量多少制约着砂岩孔隙结构发育, 从而控制砂岩储

集性能和含气性。

(3) 高岭石+绿泥石和假象水云母+绿泥石成岩相砂岩储集性能较好, 孔隙较发育, 含气性好, 试气常获工业气流, 成为盒 1 段天然气富集的有力成岩相。

## [ 参 考 文 献 ]

- [ 1 ] 裴泽楠, 陈子琪. 油藏描述[ M ]. 北京: 石油工业出版社, 1996.
- [ 2 ] 杨小萍, 陈丽华. 陕北斜坡延长统低渗储集层成岩相研究[ J ]. 石油勘探与开发, 2001, 4( 28 ): 38 - 40.
- [ 3 ] 刘宝, 张锦泉. 沉积成岩作用[ M ]. 北京: 科学出版社, 1992.
- [ 4 ] 张明禄, 达世攀, 陈调胜. 苏里格气田二叠系盒 8 段储集层的成岩作用及孔隙演化[ J ]. 天然气工业, 2002, 22( 6 ): 13 - 16.
- [ 5 ] 孟国玲, 吴吉元. 鄂尔多斯盆地北部塔巴庙地区二叠系储层物性影响因素研究[ J ]. 西安工程学院学报, 2002, 24( 4 ): 13 - 17.
- [ 6 ] 王少依, 王行信, 韩守华. 影响中国陆相碎屑储集层粘土矿物组合和分布的因素[ J ]. 石油勘探与开发, 2002, 29( 6 ): 19 - 21.