

# 鄂尔多斯盆地西缘麻黄山地区延 8 储层特征

晓琪, 张哨楠, 刘朋坤, 邓礼正

(成都理工大学 油气藏地质及开发工程国家重点实验室, 四川 成都 610059)

**摘要:** 通过对延 8 储层铸体薄片、扫描电镜、孔渗测定、压汞资料等分析, 延 8 储层具有以下特征: 研究区北边富长石、南边富石英, 具有不同的物源; 砂岩粒度以中粒为主, 细粒和粗粒次之; 主要的储集空间为粒间孔和粒内溶孔; 由于大量的长石、岩屑被溶, 孔隙度、渗透率不呈正态分布, 均偏大, 溶蚀作用形成的大量微孔造成高束缚水饱和度, 产纯油或含水率极低; 砂体厚度、岩石相和成岩作用共同控制着储集层的物性。结果表明, 位于河道中部弱胶结的中砂岩具有良好的储集性能。

**关键词:** 鄂尔多斯盆地; 麻黄山; 储层; 岩相

**中图分类号:** P618. 130. 2<sup>+</sup>1; TE122. 2<sup>+</sup>3 **文献标志码:** A **文章编号:** 1672-6561(2010)01-0065-05

## Reservoir Characteristic of Yan-8 Formation in Mahuangshan Area of Western Ordos Basin

DING Xiao-qi, ZHANG Shao-nan, LIU Peng-kun, DENG Li-zheng

(State Key Laboratory of Oil and Gas Reservoir Geology and Exploitation,  
Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, Sichuan, China)

**Abstract** Yan-8 Formation is an important explored layer in Mahuangshan area of western Ordos Basin. Based on cast thin section, scanning electron microscope, porosity and permeability determination and mercury penetration, characteristic of Yan-8 formation was discussed. It includes that plagioclase-rich in north and Quartz rich in south have different provenance; loam-grained is the main compost in sand rock, followed by fine-grained and coarse-grained; the main reservoir was intergranular pores and intragranular dissolved pores; because of dissolved feldspar and rock debris, porosity and permeability are overextended and not normal distribution; a large number of micro-pore caused by dissolution results in a high irreducible water saturation; production of pure oil or moisture content are very low; sand body thickness, rock facies and diagenesis control the properties of reservoir commonly. The result shows that loam sandstone of weak cementation in the middle of river has good reservoir properties.

**Key words:** Ordos Basin; Mahuangshan; reservoir; lithofacies

## 0 引言

麻黄山地区位于鄂尔多斯盆地西缘冲断带中段, 向东与天环拗陷中段衔接过渡<sup>[1]</sup> (图 1)。延长组为一套河湖相沉积, 地层厚度为 800 ~ 1 000 m<sup>[27]</sup>。三叠世末, 受西南印度洋板块碰撞挤压, 鄂尔多斯盆地西南部、西部开始抬升, 形成延长组顶部侵蚀地貌和从西向东的侵蚀河谷。早侏罗世延安期构造

运动平静, 开始接受沉积, 前期形成的侵蚀河谷开始填平补齐, 延 9 形成广覆型补偿沉积, 古地形被夷平, 演化为沼泽化平原环境<sup>[8-9]</sup>。延安期末期, 受燕山运动影响整体抬升, 延安期顶部受到不同程度的剥蚀。

近年来, 研究区多口钻井在延 8 储层获高产油流, 具有良好的油气勘探前景, 但目前对该区延 8 储层特征及优质储层的分布不清楚, 制约了下一步

收稿日期: 2009-03-20

作者简介: 丁晓琪(1981-), 男, 甘肃武威人, 讲师, 从事储层沉积学与储层地球化学研究。E-mail: evans\_qi@163.com

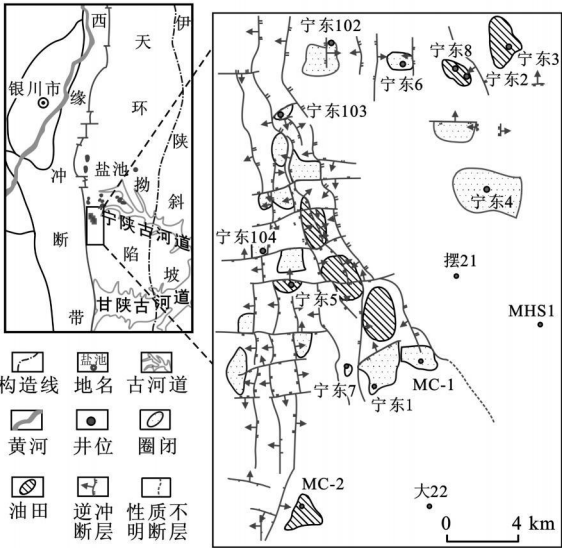


图 1 麻黄山地区地理位置

Fig. 1 Location Map of Mahuangshan Area

的勘探。笔者试图从岩石学特征、沉积相类型及储层特征等角度分析该地区优质储层的控制因素,为弄清其分布提供参考。

1 沉积相特征

延 8 储层主要为一套灰黑色-黑色泥岩与灰白色中-细砂岩的互层,夹有大量的煤线。在砂岩中

发现大量的菱铁矿砂屑(图 2a、b),菱铁矿砂屑对水深有严格的要求,如果水变深,则为黄铁矿,水变浅,则极易被氧化成褐铁矿,说明当时的沉积水体有一定的深度;在砂岩中发现大量的碳化植物茎干,植物茎干可垂直、平行或斜交于层面,碳质泥岩与煤线极为发育;地震剖面上发现延安组存在前积现象;生物扰动作用强烈,潜穴发育,说明研究区延 8 储层沉积期位于河湖交汇处,为三角洲平原沉积。研究区的主要砂体为三角洲平原的分流河道砂岩,决口扇砂岩,能够作为储集条件的砂岩只有分流河道砂岩。一个完整的分流河道砂体自下而上常常由含细砾平行层理粗砂岩相、平行层理中砂岩相、板状交错层理细砂岩相、平行层理细砂岩相及变形层理细-粉砂岩相组成(表 1)。分流河道砂岩在岩芯上表现为多期河道的叠置,底冲刷现象不明显。可见砂岩由多个向上变细的旋回组成,在测井曲线上,分流河道砂岩常常表现为箱形、箱形+钟型和圣诞树形,单砂体厚度为 2~14 m。

2 岩石学特征

2.1 碎屑物

研究区北部以长石石英砂岩为主(图 2c、图 3),岩屑长石砂岩次之,并夹有长石砂岩。研究区中部

表 1 麻黄山延 8 储层分流河道砂岩岩相类型

Tab. 1 Type of Reservoir Distributary Channel Lithofacies of Yan-8 Formation of Mahuangshan Area

序号	岩相	结构描述	沉积构造	沉积机制及沉积环境
1	浅灰色含细砾平行层理粗砂岩相	分选中等偏差,砂级碎屑以次圆-次棱角状为主,孔隙式胶结。石英体积分数主要集中于 59%~80%	平行层理	快速堆积(强水动力);分流河道底部
2	浅灰色-灰白色平行层理中砂岩相	分选好-中等,砂级碎屑以次棱角-次圆状为主,孔隙式胶结,颗粒间以线接触为主	平行层理	快速堆积;分流河道中部
3	浅灰色-灰白色板状交错层理细砂岩相	分选较好,砂级碎屑以次圆状-次棱角状为主,多为孔隙式胶结,杂基以泥质为主,胶结物多为白云石	板状交错层理	快速堆积(较强水动力);分流河道中部
4	浅灰色平行层理细砂岩相	分选较好,砂级碎屑以次棱角状为主,多为孔隙式胶结	平行层理	平底(高流态);分流河道中部及上部
5	灰色-深灰色变形层理细-粉砂岩相	粉砂含量较大,细砂次之	变形层理	分流河道侧翼、决口扇及天然堤

及南部则主要是岩屑石英砂岩(图 2d、图 3),偶夹长石岩屑砂岩,说明延 8 储层沉积期,研究区物源来自不同的区域。岩屑成分有变石英岩、千枚岩、泥板岩、中基性火山岩、硅质岩,偶见花岗岩、云母碎屑等,硅质岩屑主要分布在研究区中部。

2.2 填隙物

以水云母杂基与胶结物共同填隙为主,纯胶结物填隙次之。第一世代胶结物有菱铁矿、微晶方解

石、粉晶铁白云石。第一世代胶结物形成之后充填粒间孔隙(包括剩余原生孔及次生粒间孔)的第二世代胶结物以硅质、高岭石为主,铁白云石次之,低铁方解石少量,重晶石、硬石膏偶见。

2.3 结构特征

砂岩以中粒为主,细粒次之,偶见粗粒;分选中等,磨圆以次棱角状为主。研究区北边成分成熟度低,而中部及南部成分成熟度较高。结构成熟度均

中等偏低。颗粒支撑、孔隙式胶结; 以线—凹凸接触为主, 点—线接触次之。

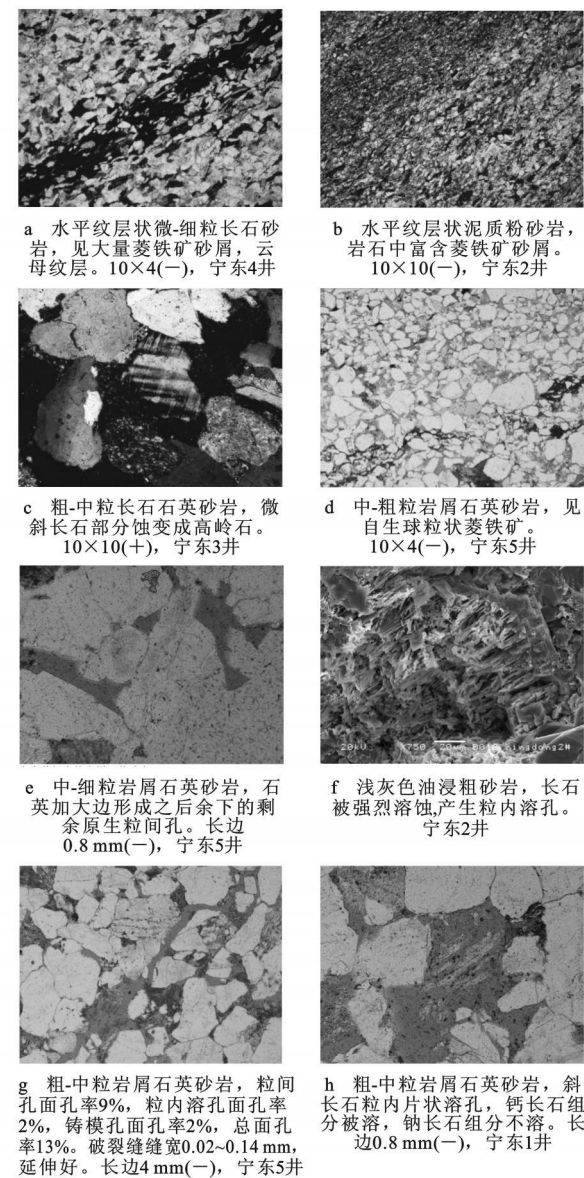


图 2 麻黄山地区延 8 储层岩石成分及孔隙类型  
Fig. 2 Typical Rock Composition and Pore of Yan-8 Formation in Mahuashan Area

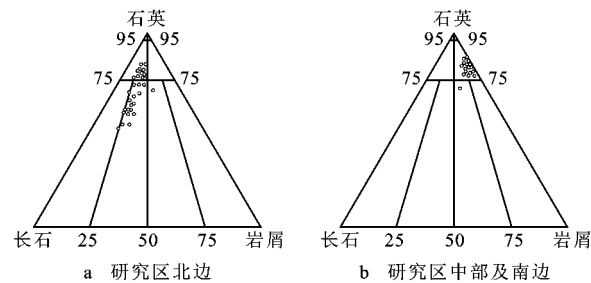


图 3 延 8 储层岩石分类三角  
Fig. 3 Ternary Diagram of Yan-8 Formation Sandstone

3 储层物性特征

3.1 储层空间类型

根据钻井岩芯、薄片、扫描电镜观察, 将延 8 砂岩储层空间分为粒间孔隙 (图 2e)、粒内溶孔 (图 2f)、铸模孔 (图 2g)、溶蚀缝和超大孔 (图 2h) 5 个大类 17 个小类 (表 2), 主要的储层空间为粒间孔隙和粒内溶孔。

3.2 储层物性特征

延 8 储层孔隙度范围为 0.9%~19.3%, 平均值为 12.8%, 孔隙度主要分布范围为 8%~18%, 渗透率范围为  $(0.047 \sim 495) \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ , 渗透率主要分布范围为  $(0.1 \sim 1) \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$  及大于  $10 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$  两区间, 平均值为  $40.7 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。孔隙度与渗透率不呈正态分布, 均有偏大的趋势 (图 4), 通过薄片观察发现, 这是因为大量长石、岩屑等被溶所致, 这部分溶孔很大一部分由微孔组成, 对渗透率的贡献不大, 而真正对渗透率起贡献的是粒内蜂窝状溶孔和粒内晶间孔。孔渗之间有明显的线性关系, 受裂缝的影响不明显。

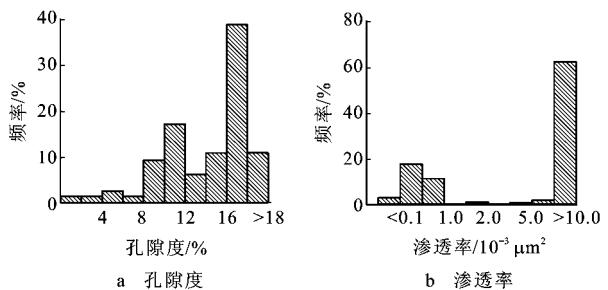


图 4 麻黄山地区延 8 储层孔隙度与渗透率分布  
Fig. 4 Porosity and Permeability of Yan-8 Formation in Mahuashan Area

3.3 孔隙结构特征

延 8 段的最大连通孔喉半径为  $10.17 \mu\text{m}$ , 平均孔喉半径为  $2.63 \mu\text{m}$ , 大于  $0.2 \mu\text{m}$  的孔喉体积分数可视为岩石中可能的最大含油饱和度<sup>[10]</sup>, 延 8 段平均值 65.77%。这样, 相应得到的束缚水饱和度为 34.23%。延 8 段高束缚水饱和度主要与孔隙类型有密切关系, 粒内晶间微孔提供了大量的微孔, 增加了储层的孔隙度, 但由于高比表面, 造成高束缚水饱和度。由于这部分水是不可动水, 在生产过程中, 并不会使产水率上升, 如宁东 3 井, 实测含水饱和度 53%, 试油含水率 3%; 宁东 5 井, 实测含水饱和度 41%, 试油含水率 1%, 均为高含水饱和度, 低含水率。

表 2 延 8 储层孔隙类型特征  
Tab. 2 Characteristics of Reservoir Pore Types of Yan-8 Formation

孔隙类型		孔隙描述
粒间孔隙	原生粒间孔	从未被胶结物充填过的粒间孔隙
	剩余原生粒间孔	第一代胶结物形成之后余下的粒间孔隙
	剩余原生粒间晶间孔	粉晶白云石晶间孔
	粒间晶间孔	地开石晶间孔
	剩余原生粒间晶间微孔	高岭石晶间微孔
	次生粒间孔	粒间填隙物(含假杂基)被溶形成的大于 0.01 mm 以上的孔隙
	次生粒间微孔	颗粒边缘被溶形成的大于 0.01 mm 以上的孔隙
粒内溶孔	粒内孤立溶孔	长石、火山岩屑、变砂岩屑等铝硅酸盐岩, 由溶蚀作用形成大于 0.01 mm 以上的孔隙
	粒内蜂窝状溶孔	长石、火山岩屑、变砂岩屑等被溶, 在颗粒内形成若干大于 0.01 mm 以上的溶孔
	粒内晶间微孔	长石、火山岩屑、变砂岩屑、花岗岩屑、云母片岩、部分或全部蚀变成高岭石集合体, 而分布于高岭石晶片集合体间小于 0.01 mm 的孔隙
	粒内晶间孔	长石、火山岩屑、变砂岩、砂岩、花岗岩、云母片岩屑、云母碎屑部分或全部蚀变成地开石集合体而分布于地开石晶片间, 地开石集合体间的孔隙一般都大于 0.01 mm
	粒内破裂缝	骨架颗粒(含重矿物)受应力作用产生破裂形成
	粒内溶缝	主要是长石、火山岩屑内沿解理缝、破裂缝发生不同程度溶蚀而形成的宽窄不一的溶缝
铸模孔	云母铸模孔	由云母碎片基本上被溶空形成
	长石铸模孔	由长石碎屑基本上被溶空形成
	岩屑铸模孔	由火山岩屑、千枚岩屑、泥板岩屑基本上被溶空形成
溶蚀缝	枝状贴粒溶缝	沿颗粒分布的枝状溶缝
	网状贴粒溶缝	沿颗粒分布的网状溶缝
超大孔	超大片状溶孔	长宽均大于颗粒并沿颗粒分布的片状孔隙
	超大粒间孔隙	颗粒填隙物大部分被溶形成, 余下颗粒呈漂浮状分布

4 储层物性控制因素分析

4.1 砂体厚度对储层物性的控制

图 5 为本区 4 口井 15 个取芯层段的砂岩厚度与孔隙度的交汇图。从图 5 可以看出, 当砂体厚度低于 10 m 时, 随着砂体厚度的增加, 孔隙度增加明显, 而当砂体厚度超过 10 m 时, 随着砂体厚度的增

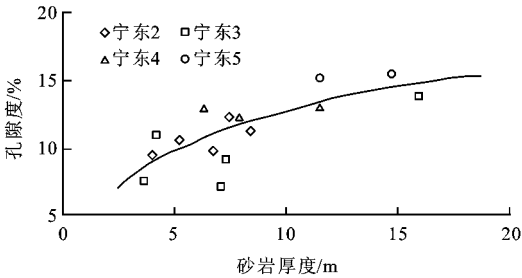


图 5 砂体厚度与孔隙度关系  
Fig. 5 Relationship Between Thickness and Porosity of Sandstone

加, 孔隙度缓慢增加。砂体厚度与孔隙度呈现一种正相关关系, 厚砂体主要发育于三角洲平原的主河道中, 强水动力对沉积物有较强地分选和带出细粒的作用, 沉积物粒度粗、分选好、泥质含量低, 储集物性相对较好。

4.2 岩相对储层物性的控制作用

图 6 表明, 平行层理中砂岩相的孔隙度最好, 平均孔隙度( $\Phi$ )为 15.5%; 次为粗砂岩相和交错层理细砂岩相, 平均孔隙度分别为 11.8%和 11.0%; 含砾粗砂岩相和平行层理细砂岩相最差。结合沉积微相分析可知, 物性最好的为分流河道的中部, 底部的含细砾粗砂岩相和顶部的平行层理细砂岩相对较差。

4.3 成岩作用对储层的控制作用

成岩相可为储层在时空分布、评价和预测提供重要依据, 这已为碎屑岩储层研究者所接受<sup>[11-14]</sup>。延 8 地层中的储层与非储层成岩相类型差别较大。

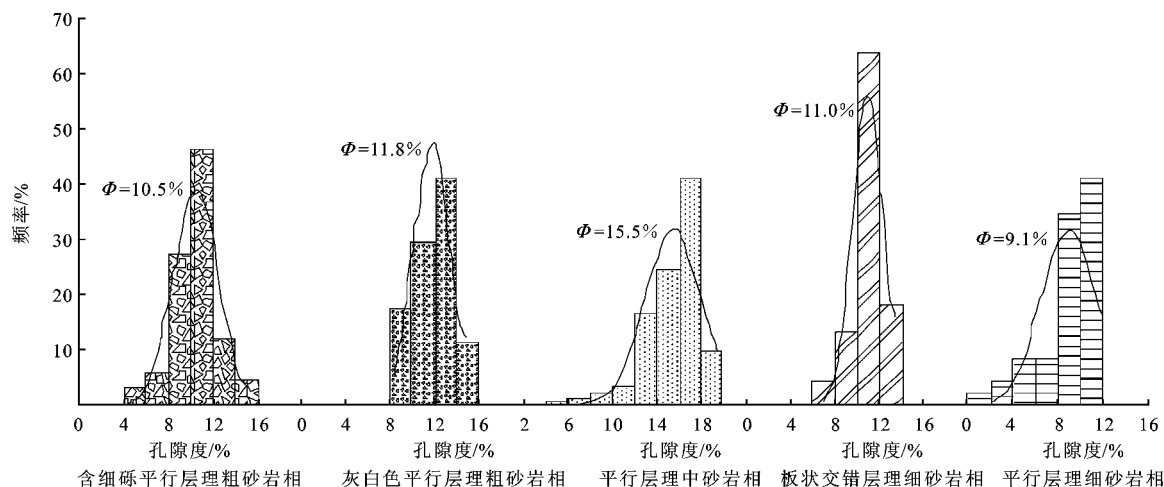


图6 不同岩相类型的孔隙度分布区间及平均孔隙度

Fig. 6 Average and Distribution of Porosity of Different Lithofacies

有利成岩相主要表现为压实弱、胶结弱或无胶结,长石及易溶岩屑蚀变严重,形成大量次生孔隙,之后形成的自生矿物少,对孔隙的破坏性不强;不利成岩相主要表现为塑性岩屑高,压实强、酸性水不活跃,中成岩B期—晚成岩期大量含铁方解石析出,热水矿物(重晶石、异形白云石、硬石膏)的析出充填各类次生孔隙及剩余原生粒间孔隙,致使储层物性变差。

通过薄片观察结合扫描电镜,宁东4井区硬石膏胶结严重,储层物性较差,而宁东2、3、5井区胶结作用相对较弱,长石碎屑溶蚀强,储层物性好。

## 5 结语

(1)研究区延8储层岩石学特征具有南北分带性,北边富长石,南边富石英,反映出延8储层沉积期受不同物源的控制。

(2)储层的主要储集空间为粒间孔隙和粒内溶孔,长石、岩屑等大量被溶,大大增加了储层的孔隙度,但对渗透率起贡献的主要是粒内蜂窝状溶孔和粒内晶间孔,微孔的存在增加了束缚水饱和度,最终导致高含水饱和度的储层不产水,只产油。

(3)砂岩厚度、岩石相和成岩作用共同控制着储层的物性。厚砂体、弱胶结的中砂岩具有高的孔隙度和渗透率。

### 参考文献:

- [1] 长庆油田石油地质志编写组. 中国石油地质志:第十二卷,长庆油田[M]. 北京:石油工业出版社,1992.
- [2] 傅强,李益. 鄂尔多斯盆地三叠系延长组长8—长7油

层组高分辨率层序地层格架及其地质意义[J]. 现代地质, 2006, 20(4): 579-584.

- [3] 李凤杰,王多云. 拗陷湖盆三角洲前缘沉积微相构成及其分带性——以鄂尔多斯盆地上三叠统延长组为例[J]. 天然气地球科学, 2006, 17(6): 775-778.
- [4] 王峰,田景春,张锦泉等. 鄂尔多斯盆地中西部延长组长6油层组物源分析[J]. 沉积与特提斯地质, 2006, 26(3): 26-30.
- [5] 武富礼,李文厚,李玉宏等. 鄂尔多斯盆地上三叠统延长组三角洲沉积及演化[J]. 古地理学报, 2004, 6(3): 307-315.
- [6] 赵虹,党华,陈永胜等. 鄂尔多斯盆地姬塬地区三叠系延长组长2油层组储层特征及影响因素[J]. 西安科技大学学报, 2009, 29(5): 579-583.
- [7] 郭强,夏玲燕,侯宝宁等. 陕北斜坡中部TBC地区侏罗系延安组延10与延9沉积相研究[J]. 西北地质, 2009, 42(2): 89-94.
- [8] 赵俊兴,陈洪德. 鄂尔多斯盆地侏罗纪早中期甘陕古河的演化变迁[J]. 石油与天然气地质, 2006, 27(2): 152-158.
- [9] 赵俊兴,陈洪德,时志强. 古地貌恢复技术方法及其研究意义——以鄂尔多斯盆地侏罗纪沉积前古地貌研究为例[J]. 成都理工学院学报, 2001, 28(3): 260-266.
- [10] 王允诚. 油层物理学[M]. 成都:四川科学技术出版社,2006.
- [11] Cowan G. Diagenesis of Upper Carboniferous Sandstones; Southern North Sea Basin[J]. Geological Society, London, Special Publications, 1989, 41: 57-73.
- [12] Barnes D A, Lundgren C E, Longman M W. Sedimentology and Diagenesis of the St. Peter Sandstone, Central Michigan Basin, United States[J]. AAPG Bulletin, 1992, 76(10): 1507-1532.
- [13] Worden R H, Oxtoby N H, Smalley P C. Can Oil Emplacement Prevent Quartz Cementation in Sandstones[J]. Petroleum Geoscience, 1998, 4(2): 129-137.
- [14] Cagatay M N, Saner S, Al-Saiyed I, et al. Diagenesis of the Safaniya Sandstone Member (Mid-Cretaceous) in Saudi Arabia[J]. Sedimentary Geology, 1996, 105(3/4): 221-239.