

浪控滨岸相储层构型要素分析

孟庆芬¹, 姜汉桥¹, 孙自金², 余娇凤³, 孙海航³, 周飞³

1. 中国石油大学(北京)石油工程教育部重点实验室, 北京 102249
2. 中国石油天然气股份有限公司新疆油田分公司实验检测研究院, 新疆克拉玛依 834000
3. 中国石油天然气股份有限公司塔里木油田分公司勘探开发研究院, 新疆库尔勒 841000

摘要 储层构型分析是开发中后期油藏研究的核心之一, 是剩余油表征的重要手段。以塔里木盆地小海子野外露头及油藏覆盖区钻井取心资料为基础, 采用 Miall 构型要素分析方法, 揭示了浪控滨岸相储层构型要素类型及特征。根据地层单元沉积构造、岩性、粒度成分等特征的差异性, 将浪控滨岸相储层构型界面划分为七个级次, 而不同级次构型界面控制着相应级次的构型单元。二级构型单元表现为单一岩相类型, 根据储层的岩性及层理特征, 结合不同岩相对油气开发的控制作用, 将二级构型单元划分为 13 种类型。根据二级构型单元时空关系, 以三级构型界面为约束条件, 参考储层内部渗流屏障产状, 将三级构型单元划分为板状、槽状、楔状和千层饼状四种类型。浪控滨岸相储层构型要素的厘定, 为储层精细刻画提供了理论依据, 对高含水期油藏开发和综合调整具有重要的指导意义。

关键词 构型界面; 构型单元; 滨岸; 塔里木盆地

中图分类号 TE122.23

文献标识码 A

doi 10.3981/j.issn.1000-7857.2012.26.001

Architecture Analysis of Wave-controlled Coastal Reservoir

MENG Qinfen¹, JIANG Hanqiao¹, SUN Zijin², SHE Jiaofeng³, SUN Haihang³, ZHOU Fei³

1. Key Laboratory of Petroleum Engineering, Ministry of Education, China University of Petroleum, Beijing 102249, China
2. Research Institute of Experiment and Detection, Xinjiang Oilfield Company, PetroChina Company Limited, Karamay 834000, Xinjiang Uygur Autonomous Region, China
3. Research Institute of Exploration and Development, Tarim Oilfield Company, PetroChina Company Limited, Korla 841000, Xinjiang Uygur Autonomous Region, China

Abstract The architecture analysis is one of the most important keys of the reservoir development during the middle-late stage, as a new method for the characterization of the residual oil. Using the architecture analysis method proposed by Miall, this paper studies the architecture of the wave-controlled coastal reservoir, based on the field outcrop and cores of the Tarim basin. The sevenfold hierarchy of the architectural surface is identified, according to the differences in the sedimentary structure, the lithology and the particle size. Different architecture elements are controlled by the same hierarchy architecture surface. The second order architectural elements are of thirteen types. Each architectural element type is related to a special combination pattern of lithology and sedimentary structure, and different architectural element types have different control effects on the residual oil. The third order architectural elements are composed of different types of second architectural elements, constrained by the third order architecture surface. According to the occurrence of the flow barrier, four types of third order architectural elements are identified, namely, the tabular element, the wedge-like element, the cross element and the multilayer element. The classification of the coastal reservoir architecture provides a theoretical basis for detailed reservoir research, and it also has a guiding significance for reservoir development.

Keywords architecture surface; architecture element; coast; Tarim Basin

收稿日期: 2012-05-14; 修回日期: 2012-07-25

基金项目: 国家科技重大专项(2011ZX05009-003)

作者简介: 孟庆芬, 博士后, 研究方向为油气田开发地质与油藏工程, 电子信箱: mengqingfen@126.com

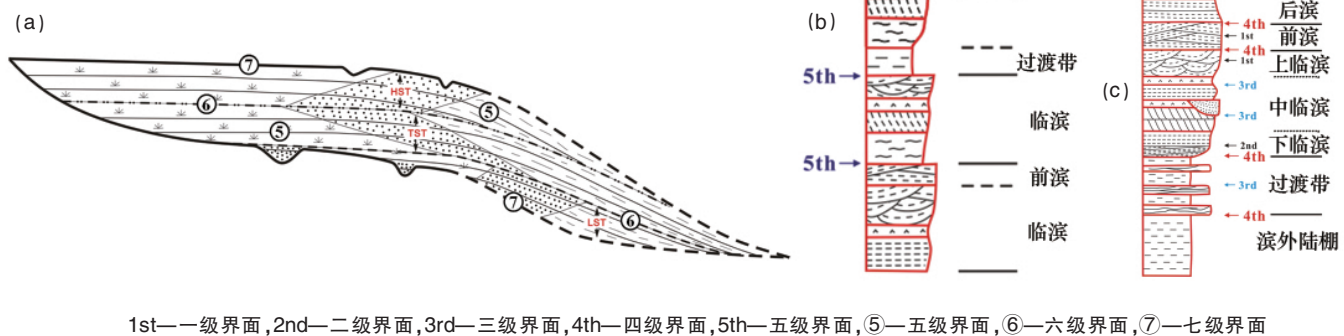
0 引言

注水油藏开发中后期,剩余油多呈现“整体分散、局部集中”的特点,单一砂体内部储层结构与渗流屏障展布特征成为控制油气开发效果的核心因素之一。为深化储层认识,提高油藏采出程度,国内学者在开发地质研究中引入了储层构型的概念,储层构型是指储层及其内部不同级次构成单元的几何形态、大小、方向及相互关系^[1-3],包括界面和结构单元两类基本要素。近年来,国内学者在河流相、三角洲相等河道化储层构型的研究中已取得了丰硕成果,并在油田开发实践中获得了巨大经济效益^[4-8],而在滨岸相储层中研究相对薄弱。目前,滨岸相储层研究主要集中在亚相层次^[9-11],现有研究成果已无法满足油藏开发中后期的生产需求。

立足于塔里木盆地野外露头及钻井取心资料,以沉积学、层序地层学等理论为指导,分析了浪控滨岸相储层构型的七个级次界面类型及特征,划分了13种二级、4种三级构型单元,为高含水期滨岸相储层剩余油分布研究提供了理论依据。

1 构型界面

构型界面是特定沉积体系中不同微环境和成因特征控制下的物理沉积界面,是不同沉积构造、岩性、粒度成分等特征所表现的差异面。以浪控滨岸相沉积模式为指导,以塔里木盆地巴楚县小海子水库东南侧的小海子野外露头剖面及油藏区钻井取心资料为依据,将浪控滨岸相储层构型界面划分为七级(图1)。



1st—一级界面,2nd—二级界面,3rd—三级界面,4th—四级界面,5th—五级界面,⑤—五级界面,⑥—六级界面,⑦—七级界面

图1 浪控滨岸相储层构型界面级次划分示意图(据 Miall 修改,1996,2000)

Fig. 1 Architecture surface classification of wave-controlled coastal reservoir (modified after Miall 1996, 2000)

(1) 一级界面

单一层系界面,界面上下具有结构特征相似的纹层,为稳定水动力条件下相似底型连续沉积结果。该级次界面内部无侵蚀或仅微弱的侵蚀。该类界面在露头或岩心剖面中有时并不明显,主要根据层系内部前积层前缘及切割作用来识别。

(2) 二级界面

不同类型层系组分界面,代表与短期不稳定流或局部不均一相关的水动力条件变化,表现为不同岩石相(岩性或层理)的差异界面。该类界面指示了流向和流动条件的变化,但没有明显的时间间断。

(3) 三级界面

与短期水动力条件变化相关的沉积物差异面,表现为沉积微相界面。界面存在一定侵蚀作用,界面附近多具钙质条带、泥质粉砂岩等非渗透层。

(4) 四级界面

粒度、底型作用方式、规模等沉积特征明显差异分界面,与中期水动力条件变化相关,相当于沉积亚相转换面。

(5) 五级界面

特定沉积体系分界面,受控于构造运动、气候、沉积物供给等因素综合变化,相当于海泛面。该类界面之上往往存在

水体突然加深的证据,如存在泥岩、粉砂质泥岩沉积等。

(6) 六级界面

代表了相对海平面的升、降趋势变化,相当于初始或最大海泛面。该类界面上下沉积体构成样式存在明显变化。

(7) 七级界面

不整合面或与之对应的整合界面,相当于三级层序界面。该类界面在野外露头可见明显的底砾岩沉积;而岩心中,界面上下在颜色、粒度等储层特征中存在明显差异。

根据构型界面级次划分方案,四级—七级界面属油藏勘探阶段研究范畴,而一级—三级界面属开发阶段研究范畴。一般情况下,一级—三级界面控制着砂体内部夹层的分布规律,是层内非均质性的重要表现形式,是砂体内部形成剩余油的重要因素。

2 构型单元

构型单元是构型界面控制下的构型实体,代表沉积体系内的特定沉积作用或一期沉积过程的产物,是储层结构性的表现形式。构型界面具有层次性,因此其所限定的构型单元亦可划分为不同级别。单一构型单元以相同级别构型界面为边界条件,而同一级别内不同类型的构型界面将该级别内储层划分为不同类型的构型单元。

根据浪控滨岸相储层构型界面的七级划分方案, 可将储层构型单元划分为相应七级。综合不同级次构型单元特征及其对油藏开发的控制作用, 将二级、三级构型单元作为油藏开发中后期研究的核心。

2.1 二级构型单元

二级构型单元表现为单一岩相类型, 是不同沉积成因条件下岩性与沉积构造的组合。浪控滨岸相沉积一般可划分为

过渡带、临滨、前滨和后滨亚相, 而临滨和前滨亚相是野外露头中保留相对完整的沉积主体。其中, 临滨亚相下部以粉砂岩沉积为主, 中上部以中-细砂岩沉积为主; 前滨亚相以中-粗砂岩或含砾砂岩沉积为主。

根据储层的岩性特征及层理类型, 结合不同岩相对油气开发的控制作用, 将浪控滨岸相储层二级构型单元(岩相)划分为13种类型(表1)。

表 1 浪控滨岸相储层二级构型单元(岩相)类型及成因解释

Table 1 Secondary architecture element classification of wave-controlled coastal reservoir

岩相代码	岩性	沉积构造	成因解释
SG	含砾砂岩, 底砾岩	交错层理、块状层理	滩砂; 滞留沉积
Sh	细-中砂岩	平行层理	临滨底砂, 沿岸砂坝, 沿岸洼槽, 滩堤; 片流
Sl	细-粗砂岩	低角度斜层理	凹槽, 滩堤, 滩后沟槽, 沟道充填, 冲蚀沙丘等
Sp	细-粗砂岩	板状交错层理	沿岸砂坝, 沿岸洼槽、滩堤; 横向舌状底型
Swl	细-粗砂岩	楔状交错层理	临滨底砂, 临滨顶砂
St	细-粗砂岩	槽状交错层理	沿岸洼槽, 临滨顶砂, 离岸沟槽, 滩后沟槽, 海滩脊; 脊部起伏舌状底型(3D)
Ssw	细-粗砂岩	冲洗交错层理	滩砂
Shc	细砂岩	丘状交错层理	风暴砂; 风暴浪沉积
Sr	细砂岩	波状层理	临滨底砂, 沿岸洼槽, 凹槽, 滩后沟槽; 波痕
Sm	细-粗砂岩	块状层理	临滨底砂, 沿岸洼槽; 重力流沉积
SC	钙质粉-细砂岩	块状或平行层理	沉积或成岩, 与界面相关
SS	(泥质)粉砂岩	小型波纹层理、块状层理, 生物扰动	临滨底砂, 凹槽, 滩后沟槽
Fmb	(粉砂质)泥岩	块状层理, 生物扰动	滨下泥

2.2 三级构型单元

以二级储层构型单元为基础, 以等时沉积界面或渗流屏障(低渗或非渗透岩相)为约束界面, 参考储层外部几何形态(向岸方向)及二级构型单元间的构成样式, 将三级构型单元划分为板状、楔状、槽状、千层饼状4种类型。

(1) 板状储层构型

板状储层构型指垂直岸线方向渗流屏障(或二级构型界

面)近似平行的储层, 剖面上呈板状。构型体沿岸线方向延伸距离可达数公里, 垂直岸线方向宽度几十米到几公里不等。

该类储层单层厚度一般在0.3—5m, 且不同成因类型的储层单层厚度存在差异(图2)。一般来讲, 对于沿岸砂坝、沿岸洼槽成因的储层单层厚度一般大于1m, 且内部储层相对均一, 渗流屏障发育频率低。而对于滩砂、滩堤、风暴砂等成因的储层单层厚度多小于1.5m, 砂体内部及砂体间多发育一

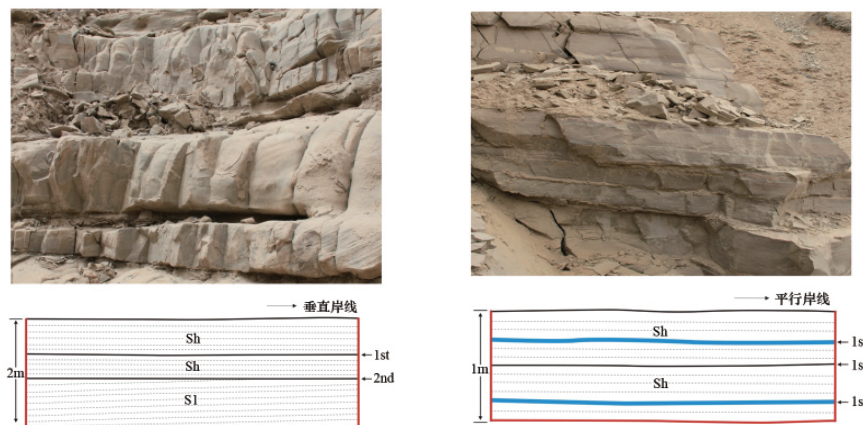


图 2 板状储层构型单元野外露头照片(Sl: 低角度斜层理细-粗砂岩相; Sh: 平行层理细-中砂岩相)
Fig. 2 Tabular reservoir architecture (Sl: fine to coarse sandstone with low angle inclined bedding; Sh: fine to middle sandstone with parallel bedding)

定规模渗流屏障, 渗流屏障频率高。

板状储层构型界面一般为钙质粉细砂岩、泥质粉砂岩, 构型单元以发育细-中砂岩岩相为主, 常见平行层理构造, 底部可见细-粗砂岩岩相, 低角度斜层理构造, 主要发育于沿岸砂坝、沿岸洼槽及滩堤等沉积体内。

(2) 楔状储层构型

楔状储层构型指在垂直岸线方向渗流屏障(或二级构型界面)相互斜交的储层, 剖面上呈楔状(图3)。构型体沿岸线方向多呈透镜状和槽状展布, 延伸数公里; 垂直岸线方向宽度数十米到数公里不等。储层单层规模一般较小, 厚度不超过1m。

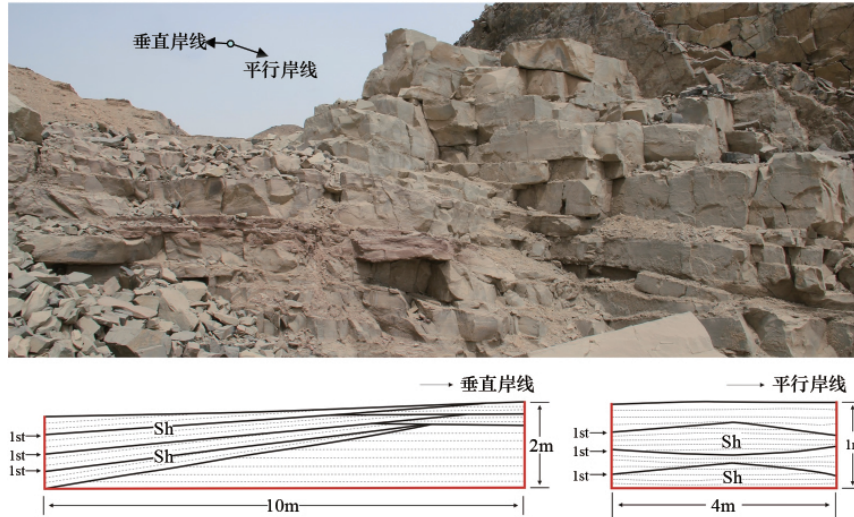


图3 楔状储层构型野外露头及素描图(Sh: 平行层理细-中砂岩相)

Fig. 3 Wedge-like reservoir architecture (Sh: fine to middle sandstone with parallel bedding)

楔状储层构型主要发育细-中砂岩岩相, 常见平行层理、槽状交错层理等构造, 多发育于临滨亚相沉积相带内。

(3) 槽状储层构型

槽状储层构型指在垂直岸线方向渗流屏障(或二级构型

界面)弧形相交的储层, 剖面上呈槽状(图4)。构型体沿岸线方向多呈透镜状和楔状展布, 延伸数公里, 垂直岸线方向延伸数十米到数公里。储层单层厚度薄, 多小于0.5m。

槽状储层构型主要发育细-粗砂岩岩相, 以槽状交错层

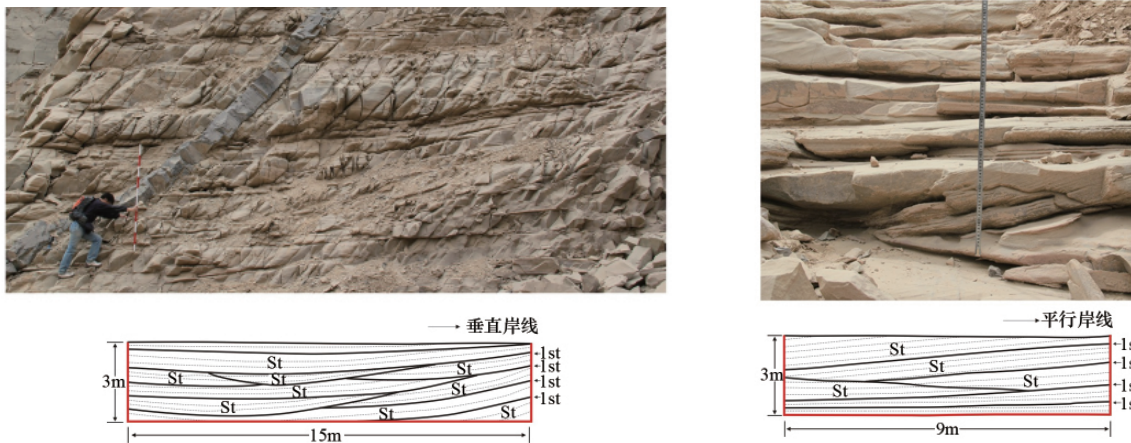


图4 槽状储层构型野外露头及素描图(St: 槽状交错层理细-粗砂岩相)

Fig. 4 Cross reservoir architecture (St: fine to coarse sandstone with trough cross bedding)

理构造为主, 在沿岸洼槽、临滨顶砂、离岸沟槽、滩后沟槽、海滩脊等沉积储层内多见此类构型。

(4) 千层饼状储层构型

千层饼状储层构型主要指层系厚度非常薄的非渗透或

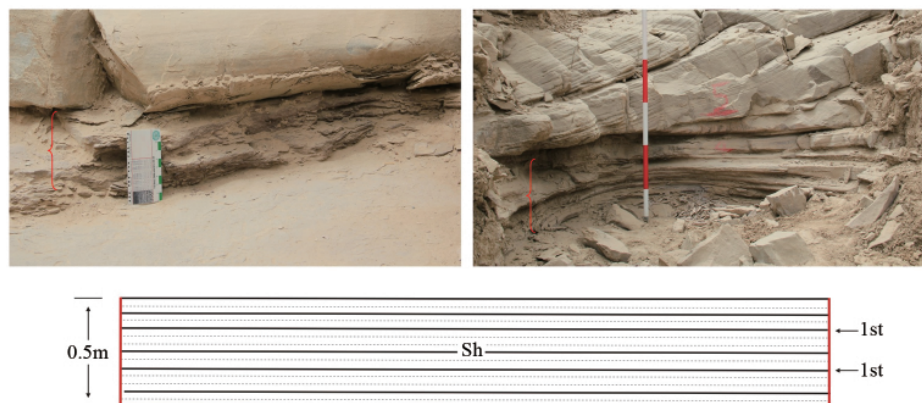


图5 千层饼状储层构型野外露头及素描图 (Sh: 平行层理细-中砂岩相)

Fig. 5 Multilayer reservoir architecture (Sh: fine to middle sandstone with parallel bedding)

低渗透层,剖面上呈千层饼状(图5)。储层整体呈薄互层状,叠合厚度一般不超过0.5m。

3 结论

储层构型分析是开发中后期油藏研究的核心之一,是剩余油表征的重要手段。对浪控滨岸相储层而言,内部渗流屏障分布复杂,不同级次和类型的储层构型单元对油气开发具有不同的控制作用。为深化储层认识、精细刻画储层精细格架,揭示了储层构型单元和构型界面类型及特征。

(1) 根据储层沉积模式和沉积物差异性,将浪控滨岸相储层构型界面划分为7级,其中二级、三级界面及其对应构型单元为油藏中后期开发研究的核心。

(2) 以等时沉积界面或渗流屏障为约束条件,参考储层外部几何形态、二级构型单元间的构成样式,可将三级构型单元划分为板状、楔状、槽状、千层饼状4种类型。

参考文献 (References)

[1] Miall A D. Architectural-elements analysis: A new method of facies analysis applied to fluvial deposits [J]. *Earth Science Reviews*, 1985, 22 (2): 261-308.
 [2] Miall A D. The geology of fluvial deposits [M]. New York: Springer-Verlag, 1996.
 [3] 吴胜和,岳大力,刘建民,等. 地下古河道储层构型的层次建模研究[J]. 中国科学 D 辑: 地球科学, 2008, 38(增刊 1): 111-121.
 Wu Shenghe, Yue Dali, Liu Jianmin, et al. Science in China, Series D:

Earth Sciences, 2008, 38(S 1): 111-121.
 [4] 岳大力. 曲流河储层构型分析与剩余油分布模式研究—以孤岛油田馆陶组为例[D]. 北京: 中国石油大学, 2006.
 Yue Dali. The study on architecture analysis and remaining oil distribution patterns of meandering river reservoir—A case study of Guantao formation, Gudao oilfield China[D]. Beijing: China University of Petroleum, 2006.
 [5] 刘建民,束青林,张本华. 孤岛油田河流相厚油层储层构型研究及应用[J]. 油气地质与采收率, 2007, 14(6): 1-4.
 Liu Jianmin, Shu Qinglin, Zhang Benhua. *Petroleum Geology and Recovery Efficiency*, 2007, 14(6): 1-4.
 [6] 马世忠. 地下曲流河道单砂体内部薄夹层建筑结构研究方法[J]. 沉积学报, 2008, 26(4): 632-639.
 Ma Shizhong. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2008, 26(4): 632-639.
 [7] 岳大力,吴胜和,谭河清,等. 曲流河古河道储层构型精细解剖—以孤岛油田七区西馆陶组为例[J]. 地学前缘, 2008, 15(1): 101-108.
 Yue Dali, Wu Shenghe, Tan Heqing, et al. *Earth Science Frontiers*, 2008, 15(1): 101-108.
 [8] 熊琦华,王志章,吴胜和,等. 现代油藏地质学[M]. 北京: 科学出版社, 2010.
 Xiong Qihua, Wang Zhizhang, Wu Shenghe, et al. *Modern reservoir geology*[M]. Beijing: Science Press, 2010.
 [9] Miall A D. Principles of sedimentary basin analysis [M]. New York: Springer-Verlag, 2000.
 [10] Einsele G. Sedimentary basins: Evolution, facies, and sediment budget [M]. New York: Springer-Verlag, 2000.
 [11] Reading H G. Sedimentary environments: Processes, facies and stratigraphy[M]. Cambridge: Blackwell Science Ltd, 1996.

(责任编辑 岳臣)

科技导报
SCIENCE & TECHNOLOGY REVIEW

《科技导报》“卷首语”栏目征稿

“卷首语”栏目每期邀请一位中国科学院院士和中国工程院院士就重大科技现象、事件,以及学科发展趋势、科学研究热点和前沿问题等,撰文发表个人的见解、意见和评论。本栏目欢迎院士投稿,每篇文章约2000字,同时请提供作者学术简历、工作照和签名电子文档。投稿邮箱:kjdbbjb@cast.org.cn。