

砂岩油田开发过程中出砂规律分析

段贺海^{1,2}, 史涣颠^{1,2}, 李晓良^{2,3}, 王庆魁^{2,3}

(1. 中国地质大学, 北京 100083; 2. 大港油田 南部油气开发公司,
河北 沧县 061023; 3. 成都理工大学 能源学院, 四川 成都 610059)

摘要: 王官屯油田孔一段储层为近源快速堆积的扇三角洲砂体, 岩性细、层薄, 成岩作用弱, 储层结构疏松, 油井生产时普遍出砂。从沉积微相、储层非均质性、岩石微观结构、开发措施等多方面, 论述了王官屯油田官 195 断块孔一段枣(Ⅱ)^下油组油井出砂问题, 基本搞清了地层出砂机理、原因和规律; 通过定量计算, 预测了出砂层位和出砂部位, 提出了综合治理的技术对策, 即对出砂严重的油水井采取封堵出砂严重层位, 新井避开薄油层和厚油层顶部, 注水井控制好注水压力和合理配注。

关键词: 储层结构; 出砂规律; 扇三角洲; 王官屯油田

中图分类号: TE343

文献标识码: A

王官屯油田官 195 断块位于河北省沧县王官屯乡境内, 处于孔店构造带中部孔东大断层的上升盘, 为潜伏的被断层切割的半背斜构造, 地层倾角 $13^{\circ} \sim 15^{\circ}$ 。含油层系主要为孔一段枣(Ⅱ)^下、枣(Ⅱ)^上、枣(Ⅲ)油组, 为一套以红色泥岩为主, 底部为灰绿色泥岩夹砂岩的沉积剖面, 总厚度 700~ 750 m, 其中, 主力油层枣(Ⅱ)^上油组自下而上又分为 5 个小层。

官 195 断块 56 口油井普遍出砂, 检泵周期短以及套管变形、砂埋油层, 造成综合时率低。据生产井统计表明, 官 195 断块枣(Ⅱ)^上油组出砂井都集中在断块中部 49- 5- 2, 49- 5- 3, 49- 6- 3, 49- 4- 3, 48- 3- 3 等井, 这些井先投产枣(Ⅱ)^上(³⁺⁴), 后补开枣(Ⅱ)^上(¹⁺²), 因严重出砂影响正常生产, 说明纵向上出砂层位主要是枣(Ⅱ)^上(¹⁺²)小层, 如官 49- 5- 3 井于 1995 年 5 月补开枣(Ⅱ)^上(¹⁺²), 一年时间内检泵防砂 5 次, 冲出砂 20.34 m³, 49- 5- 2 井于 1996 年 9 月补开枣(Ⅱ)^上(¹⁺²), 一年时间内检泵 8 次, 冲出砂 10.06 m³。

本文通过岩心观察、沉积微相分析并结合油水井单井生产情况统计, 从而在纵向上找准出砂层位, 摸清了平面上的出砂规律。

1 油井出砂规律分析

1.1 沉积微相宏观上控制出砂层位和出砂部位

官 195 断块孔一段属于扇三角洲沉积, 其沉积环境一部分属水上的冲积扇- 辫状河体系, 一部分

属水下的三角洲体系, 其主要沉积特征有:

a) 岩石颜色既有水上环境, 也有水下沉积环境的特征。

b) 岩石成分成熟度低, 砂岩中碎屑成分以长石为主, 占 50%~ 55%, 石英含量为 30%~ 32%, 岩屑含量 10%~ 20%, 胶结物为泥质和钙质。砂岩类型主要为岩屑长石砂岩, 具有成分成熟度低的特点, 反映孔一段为近物源快速堆积的产物。

c) 实体生物化石很少, 但遗迹化石较为普遍, 有丰富的生物钻孔和生物扰动构造, 常出现在灰绿色粉细砂岩中。如官 47- 31 井的岩心见有呈灰绿色虫孔, 钻孔直径 2 cm 左右, 钻孔长度 10 cm 左右, 钻孔壁面光滑。孔一段中部的枣(Ⅲ)油组在扇三角洲平面地层中可出现植物根屑, 具植物根屑的砂岩含油或饱含油。

d) 沉积构造类型多, 常见各种层理、层面和准同生构造。孔一段主要发育 7 种岩相类型: 块状层理砂岩相、高角度斜层理砂岩相、平行层理砂岩相、递变层理砂岩相、波状层理砂岩相、灰色、灰绿色泥岩相、紫红色泥岩相。

e) 测井相模式, 枣(Ⅱ)^上油组主要是属于扇三角洲前缘亚相, 典型电测曲线为漏斗型, 曲线下部由平直渐变为齿型, 向上幅度增大, 成前积式, 中部为中幅度箱形加积式组合(图 1a)。枣(Ⅲ)-枣(Ⅱ)^上油组主

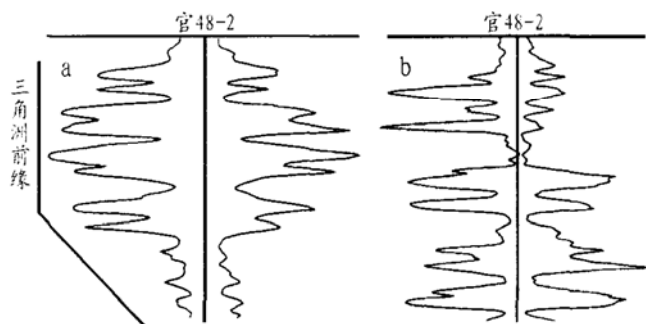


图1 官195断块枣(Ⅱ)^F(a)和枣(Ⅱ)^L(b)油组典型电测曲线类型图

Fig. 1 Typical well logging curves in the lower (a) and upper (b) groups of Zao (Ⅱ) Guan 195 fault block

要是扇三角洲平原亚相,典型电测曲线为指型,成加积式组合(图1b),是分支河道的响应。

根据上述扇三角洲沉积特征,枣(Ⅱ)^F为扇三角洲前缘,枣(Ⅱ)^L、枣(Ⅱ)³⁽²⁾油组都是扇三角洲平原,枣(Ⅱ)⁴⁽²⁾油组为辫状河沉积,扇三角洲前缘分为4个微相:水下分支河道、河口坝、席状砂、水下分支河道间;扇三角洲平原和辫状河也分为5个微相:主分支河道、次分支河道、堤岸微相、分支河道间、河漫沼泽。

垂向上,枣(Ⅱ)^L油组是一个完整的水动力由弱到强再到弱的沉积旋回过程,枣(Ⅱ)^{L(5)}—枣(Ⅱ)^{L(4)}时间单元之间为厚层泥岩,预示着较长时间的静水动力条件,枣(Ⅱ)^{L(4)}小层是一个反旋回的短期扇三角洲前缘亚相,发育3期水下分支河道砂体,单层厚,分布稳定。到枣(Ⅱ)^{L(3)}小层开始扇三角洲平原沉积,水动力能量开始降低,到枣(Ⅱ)^{L(1)}时间单元水动力能量达最低。枣(Ⅱ)^{L(3-1)}小层都是次分支河道为主的沉积,粒度细。

总的来说,纵向上枣(Ⅱ)^{L(1+2)}小层水动力弱、层薄、粒度细、泥质含量重,易出砂,沉积微相研究和生产情况分析是一致的。平面上出砂较为严重的井区集中分布次分支河道、分支河道间、河漫滩沉积微相。

1.2 油层出砂的微观机理

油层出砂机理很复杂,从宏观上看,油层出砂是井筒不稳定和射孔孔眼不稳定造成的;从微观上看,其与岩石强度、胶结状况、变形特征、所受外力(地应力、孔隙中流体压力、毛管力等)及外力施加过程等因素有关^[1,2]。微观地质因素是油井出砂的客观原因,是由于储层本身胶结疏松,含泥质重,粒度细,造成地层出砂的。

1.2.1 出砂油层砂岩粒度细、胶结程度差

从岩性上看,通过观察官195断块枣(Ⅱ)^F、枣(Ⅱ)^{L(3+4)}的岩心,发现枣(Ⅱ)^F的岩心多为分选较好的细

砂岩,含泥质轻。枣(Ⅱ)^{L(3+4)}的主力油层也以分选较好的细砂岩为主,在电性上反映SP负异常大,呈箱状,反映水动力较强;非主力油层以含泥质重的粉砂岩为主,在电性上反映SP负异常幅度小,呈锯齿状,RI较低,层薄,反映水动力较弱,且变化较大。由于没有枣(Ⅱ)^{L(1+2)}的岩心,所以没有直观的感性认识,但是,从油井曲线上看,枣(Ⅱ)^{L(1+2)}小层SP曲线负异常明显幅度小,单层减薄。观察油井现场冲出的地层砂也证实,出砂地层是泥质粉砂层,含泥质重。

从砂岩粒度中值分析数据看,枣(Ⅱ)^F油组粒度中值在0.09~0.10 mm之间,而枣(Ⅱ)^{L(3+4)}小层粒度中值在0.07~0.08 mm之间,从沉积学特点可以推测,枣(Ⅱ)^{L(1+2)}小层粒度中值更低,因此,官195断块易出砂的油层粒度细。

从油层厚度看,枣(Ⅱ)^{L(3+4)}小层的主力油层枣(Ⅱ)^{L(3(2))}、枣(Ⅱ)^{L(4(2))}单层厚度分别在5~7.4 m和2.4~6 m之间,明显大于枣(Ⅱ)^{L(1+2)}小层,后者的油层单层厚度都在1~2 m之间,最厚2.8 m。因此官195断块易出砂的是薄层。

从岩石胶结特征上看,枣(Ⅱ)^L油组砂岩类型以岩屑长石砂岩为主,石英含量低(30%),岩石颗粒圆度差、分选差,分选系数平均为1.68,胶结物以泥质胶结为主,胶结类型为接触-孔隙式,胶结程度低,岩石疏松。从官48-4-3井取心矿物成分分析可以看出,从枣(Ⅱ)^F向上到枣(Ⅱ)^{L(3)}小层,不稳定组分含量增加,胶结物中泥质成分增加,钙质成分减少。这些都说明,枣(Ⅱ)^L油组比枣(Ⅱ)^F油组沉积水动力明显低,胶结程度差。可以想象,到枣(Ⅱ)^{L(1+2)}小层,岩石胶结程度更差。

1.2.2 出砂油层粘土矿物以不稳定组分为主,储层敏感性强

官195断块孔一段粘土矿物中不稳定组分蒙脱石比例很高,一般都在70%以上,伊利石含量低,而且,粘土矿物主要分布在岩石的颗粒间及粒表。由于蒙脱石遇淡水时易发生膨胀,在一定流速的流体冲击作用下,极易造成微粒的迁移,最终导致岩石结构变得疏松,油井出砂。

1.3 开发措施对油层出砂的影响

从岩石强度、岩石变形特性和地应力等角度考察,油井出砂是由于孔隙或井筒周围的有效压应力大于地层强度,井底压降大于临界井底压降(即可将脱落的颗粒带走时的井底压降)。导致油井出砂的其它原因还有油井见水、交替开关井、油井工作制度、注入水强度对地层出砂的影响等等。

2 出砂预测

2.1 组合模量法出砂预测

针对油井出砂严重问题,首先是要准确地预测出砂层位和出砂地区,然后才能采用相应的防沙工艺措施。人们已经研究了一些定量的观测方法,如利用声波、密度曲线、井底压降等等^[3,4]。组合模量法(Mobil 公司法)是一种计算简便、易于获得资料的方法,根据声速及密度油井资料,用下式计算岩石的弹性组合模量:

$$E_c = 9.94 \times 10^8 \times \rho_f / \Delta t_c^2$$

式中, E_c 为岩石弹性组合模量, MPa; ρ_f 为地层岩石体积密度, kg/L; Δt_c 为纵波声波时差, $\mu s/m$ 。

借鉴其它油田经验,官95断层预测出砂的界限值为:组合模量 $E_c \geq 2.0 \times 10^4$ MPa, 正常生产时油井不出砂; 1.5×10^4 MPa $< E_c < 2.0 \times 10^4$ MPa, 正常生产时油井轻微出砂; $E_c \leq 1.5 \times 10^4$ MPa, 正常生产时油井严重出砂。

以小层为单位,用声波时差计算每口井的组合模量,分别绘制各小层组合模量等值线图。从组合模量等值线图(图2a, b)可以看出,枣(Ⅱ)⁴油组各个小层都存在出砂的问题,只不过有的层出砂严重,有的层出砂轻微。枣(Ⅱ)⁽³⁺⁴⁾小层只有官47-3-2、官47-3-4、官48-34、官52-4、官45-5-1等个别井点有可能出砂。枣(Ⅱ)⁽²⁾小层在断块中南部有大面积出砂区,在断层中部的官49-4-2、官49-4-3、官49-

5-2、官49-5-3等井区出砂严重。枣(Ⅱ)⁽¹⁾小层除了与枣(Ⅱ)⁽²⁾小层相似的出砂区外,在断块西北部构造低部位还有官51-4、官50-4等井区出砂严重,与沉积微相分析结论一致(图2b、图3)。

2.2 储层非均质参数预测出砂

储层非均质性是宏观上的沉积微相和微观上的岩石结构、粘土成分、物性等因素的综合反映,上面提出的油层出砂的各种地质因素最终都要表现在储层非均质性上,因此,利用储层非均质参数就能预测出砂部位。

从枣(Ⅱ)⁽¹⁺²⁾小层变异系数等值线图(图4a)上看,断块中部非均质性较强,官49-4-3、官49-5-3、官50-4-2、官51-5、官47-3-1等井属于中等-强非均质,断块南部的官46-0-2井属于中等非均质,预测这些区域可能出砂严重。

从枣(Ⅱ)⁽³⁺⁴⁾小层变异系数等值线图(图4b)上看,有多个局部井点非均质性较强,官49-4-3、官49-5-3、官47-3-4等井属于中等-强非均质,这些井中应注意防砂,尤其是枣(Ⅱ)⁽³⁾小层有出砂可能。

3 防砂建议

a) 根据出砂规律的认识和出砂观测情况,对出砂严重的油水井采取封堵出砂严重层位的办法,不同的井可能出砂层位是不一样的,不能笼统地封堵枣(Ⅱ)⁽⁴⁾、枣(Ⅱ)⁽³⁾、枣(Ⅱ)⁽²⁾。在枣(Ⅱ)⁽¹⁾油组调整时,避免射薄油层和厚油层顶部。

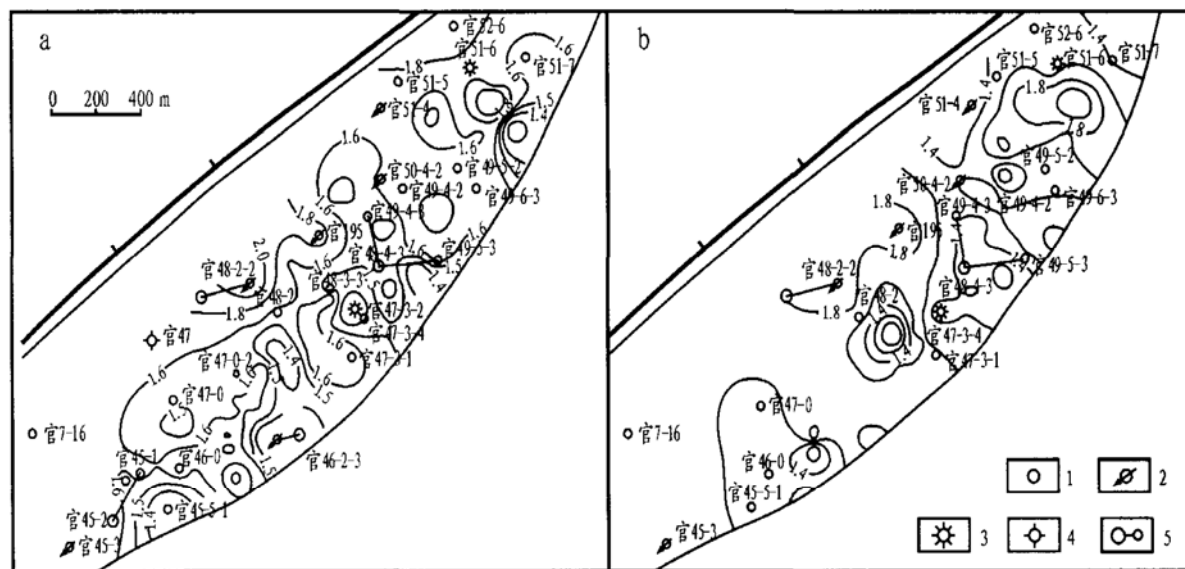


图2 枣(Ⅱ)⁽⁴⁾(a)和枣(Ⅱ)⁽¹⁾(b)小层出砂预测图(组合模量等值线图)

1. 采油井; 2. 注水井; 3. 工程报废; 4. 地质报废; 5. 地面地下位置

Fig. 2 Predictions of sand production in the 4th (a) and 1st (b) layers of the upper group of Zao (Ⅱ)

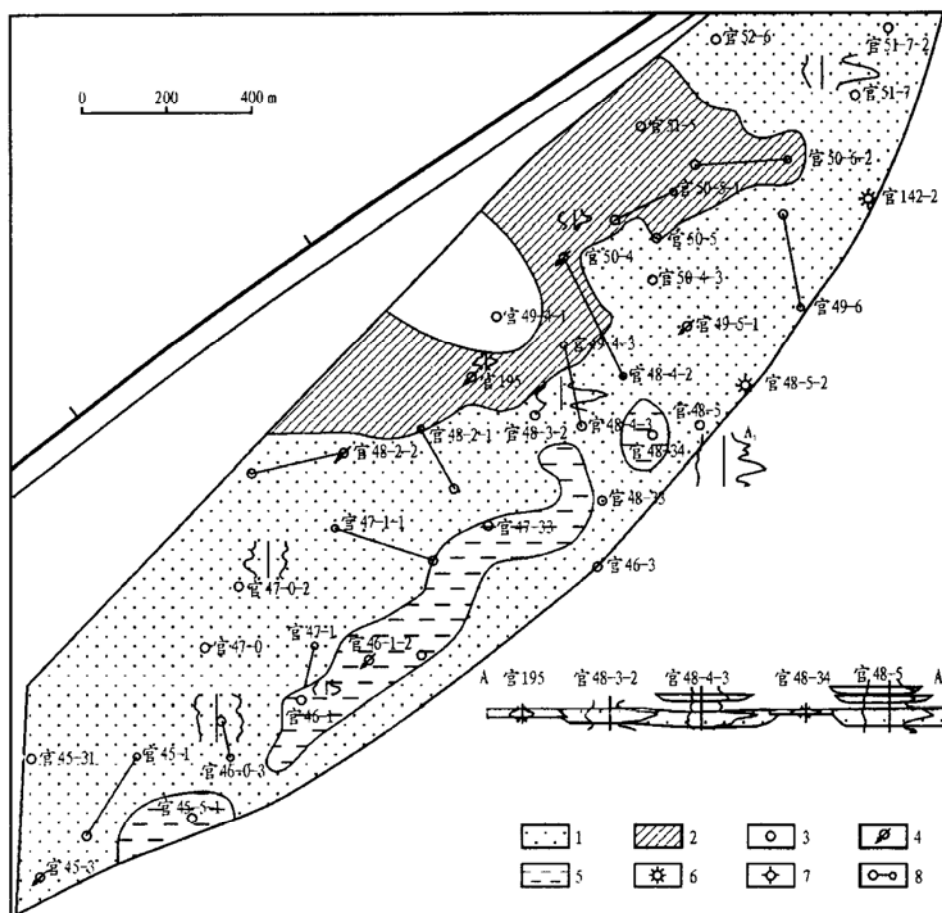


图3 官195断块枣 $(\mu)^{L(1)}$ 时间单元沉积微相分布图

1. 次分支河道; 2. 河漫沼泽; 3. 采油井; 4. 注水井; 5. 分支河道间; 6. 工程报废; 7. 地质报废; 8. 地面地下井位

Fig. 3 Distribution of sedimentary microfacies of the 1st time unit of the 1st layer of the upper group of Zao (μ) Guan 195 fault block

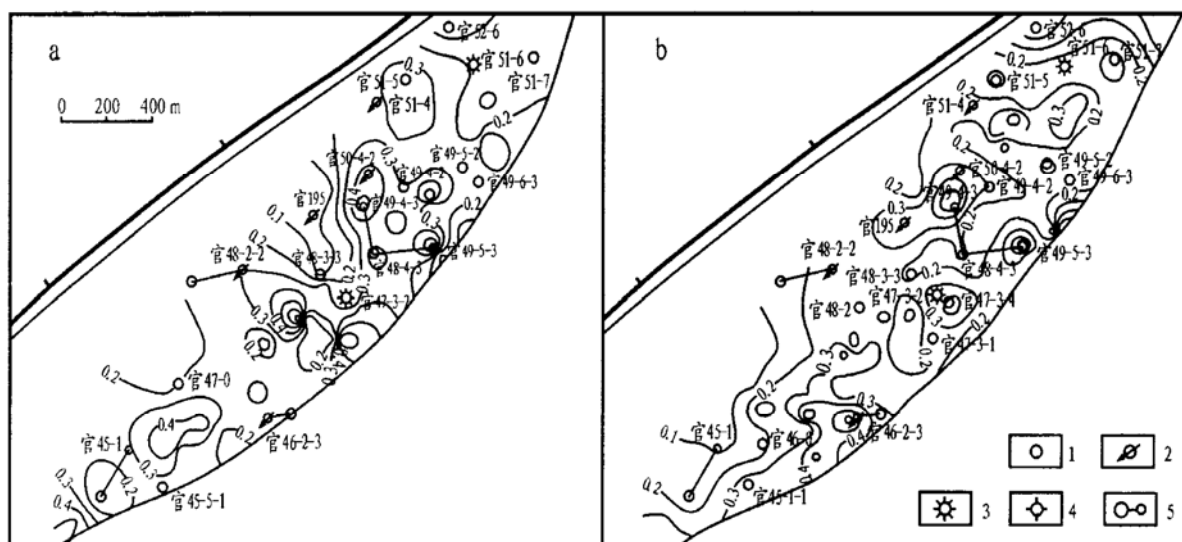


图4 枣 $(\mu)^{L(1+2)}$ (a)和枣 $(\mu)^{L(3+4)}$ (b)小层渗透率变异系数等值线图

1. 采油井; 2. 注水井; 3. 工程报废; 4. 地质报废; 5. 地面地下位置

Fig. 4 Contours of permeability variance coefficient of the 1st and 2nd (a) and the 3rd and 4th (b) layers of the upper group of Zao (μ)

b) 针对性地实施防砂工艺, 如防砂液、化学固砂、控制流量、控制井底压降等。

c) 注水保持油层压力。油层压力下降后, 地应

力增大, 使油层岩石遭受剪破坏; 另外, 油层压力下降后, 油层岩石可产生压实和水化膨胀现象, 致使油层渗透率降低。为此, 通过打新井对注采井网进行

完善, 注水井控制好注水压力和合理配注。

4 结论与认识

王官屯油田孔一段储层为近源快速堆积的扇三角洲砂体, 岩性细、层薄、成岩作用弱、储层结构疏松是油井出砂的根本原因。通过定量计算, 预测了出砂层位和出砂部位, 在此基础上提出了综合治理的技术对策。即对出砂严重的油水井采取封堵出砂严重层位, 新井避射薄油层和厚油层顶部; 针对性地实施防砂工艺; 通过打新井对注采井网进行完善, 优化井身结构, 注水井控制好注水压力和合理配注。

参考文献:

- 1 李宾元, 王成武. 青海台南—涩北气田出砂机理及防砂技术研究[J]. 西南石油学院学报, 2000, 22(1): 40~43
- 2 王玉纯, 顾宏伟, 张晓芳. 油层出砂机理与防砂方法综述[J]. 特种油气藏, 1998, 5(4): 63~66
- 3 Morita N, Whitfill D L. Realistic sand production prediction: numerical approach[J]. SPE Production Engineering, 1989, 4(1): 15~24
- 4 Weingarten J S, Perkins T K. Prediction of sand production in gas wells: methods and Gulf of Mexico case studies[A]. In: Society of Petroleum Engineers, ed. SPE 67th Annual Technical Conference and Exhibition, Washington D C, 1992. 17~324
- 5 何汉平, 林永学, 杨顺辉等. 雅克拉凝析气田出砂预测及防砂措施初探[J]. 石油钻探技术, 1999, 27(5): 51~53

SAND PRODUCTION PREDICTION DURING THE DEVELOPMENT OF SANDSTONE OILFIELDS

DUAN He-hai^{1,2}, SHI Huan-dian^{1,2}, LI Xiao-liang^{2,3}, WANG Qing-kui^{2,3}

(1. China University of Geosciences, Beijing 100083, China; 2. Southern Petroleum Exploration Company, Dagang Oilfield, Cangxian, Hebei 061023, China; 3. School of Resources, Chengdu University of Science and Engineering, Chengdu, Sichuan 610059, China)

Abstract: The reservoir of Wangguantun oilfield is a rapidly deposited fan-delta sandbody near source area. Because of fine lithology, thin layer, poor diageneses and loose reservoir structure, sand production is quite common in production wells. The problem of sand production is discussed from the aspects of sedimentary microfacies, reservoir heterogeneity, rock microstructure and development measure, and the mechanism, reason and law of sand production are found. Through quantitative analysis, the sand production layer and area are predicted, and the technique methods for controlling sand production are proposed, that is, sealing off sand layers in serious sand production wells, avoiding the thin oil layers and the top of thick oil layers during gun perforation in new wells, and controlling flood pressure and injection allocation.

Key words: reservoir structure; sand production; fan-delta; Wangguantun oilfield