

· 油气钻采工程 ·

油气井防砂效果评价方法体系的研究及应用

董长银¹, 李长印², 扈福堂³, 冯胜利³, 武 龙¹

(1. 中国石油大学(华东)石油工程学院, 山东 东营 257061; 2. 徐州市翟山管道储运公司, 江苏 徐州 221008;
3. 中国石油青海油田公司钻采工艺研究院, 甘肃 敦煌 736200)

摘要:防砂效果评价是油气井防砂综合决策的重要内容之一,科学客观的效果评价有助于评判防砂措施的成败,总结成功的经验,寻找失败的原因。根据油气井防砂前后的生产状态,分析了防砂措施对油气井生产动态 3 个方面的作用,提出从挡砂效果、增产效果和改善井底流动条件 3 个方面评价防砂措施的效果,并提出了评价的具体计算方法和标准。最后综合考虑 3 个方面的评价结果及其权重系数,得到综合评价结果。建立了一套科学合理的防砂效果综合评价方法体系,使用简单,可操作性强。应用于涩北气田的防砂效果评价,结果客观准确。

关键词:防砂;效果评价;评价方法体系;技术界限;涩北气田

中图分类号: TE358.1

文献标识码: A

文章编号: 1009-9603(2009)01-0103-04

防砂是中外疏松砂岩出砂油气藏开采过程中采取的主要措施之一,防砂效果的评价是油气井防砂综合决策的重要内容。只有进行科学客观的评价,才能确定防砂决策是否科学、防砂措施是否合理,总结成功的经验,寻找失败的原因,为改进防砂工艺决策和参数设计提供依据^[1-8]。目前,中国各个油气田进行防砂的具体目的各异,防砂效果评价没有客观统一的工作程序和标准,造成评价效果差别较大,评价结果的准确性和客观性有待进一步提高^[2-3]。为此,笔者根据实际矿场条件,考虑油气井防砂前后的生产状态,分析防砂措施的挡砂效果、增产效果以及改善井底流动的效果等多方面的因素,建立了油气井防砂效果综合评价方法体系。

前后油气井的产量变化除了与井底流动条件改善有关外,还可能与采取的工作制度有关;而表皮系数、采液指数和无阻流量等指标则与工作制度无关,但它们在措施前后的变化特征更能真实地体现防砂措施对油气井生产动态的影响。

根据上述分析,防砂措施效果的综合评价应考虑上述 3 个方面的作用,相应的效果评价体系应分为 3 个层次:第 1 个层次为挡砂效果评价;第 2 个层次为增产效果评价;第 3 个层次为防砂措施改善井底流动条件的效果评价。前 2 个层次的评价反映的是表面现象,而第 3 个层次的评价反映防砂措施对油井流动条件的影响,对于分析防砂参数设计和施工是否合理具有重要的意义。

1 防砂措施效果评价的基本内容

防砂措施对油气井生产动态主要产生 3 个方面的作用:挡砂作用,这是采取防砂措施的基本目的之一;增产作用,有些情况下防砂是为了能够放大压差进行生产,从而达到增产的效果;对井底流动条件的改善作用,任何防砂措施都会在井底产生新的阻力区域或改变已有渗流介质的特性,即改变井底附近的流动条件,从而对油气井的表皮系数、油井的采液指数和气井的无阻流量产生影响。防砂措施

2 防砂效果综合评价方法

2.1 挡砂效果评价方法

1 口井采取防砂措施前后所处的生产状态有 5 种,即不出砂正常生产(A)、出砂但正常生产(B)、出砂被迫停产(C)、政策性停产(D)和新井待投产(E)。判断油井或气井防砂前后生产状态可以根据生产日报和含砂资料来确定。根据防砂前后生产状态的可能组合得到的挡砂效果评价结果(M_1)来评价挡砂效果(表 1): M_1 为 1 时表示效果最好, M_1 为 0 时

收稿日期 2008-11-11;改回日期 2008-12-05。

作者简介:董长银,男,副教授,1998年毕业于石油大学(华东)石油工程专业,2003年获该校油气田开发工程专业博士学位,主要从事采油(气)工程、油气井防砂完井和水平井开采等方面的教学与研究。联系电话:(0532)86981910,13805466030, E-mail: dongcy@hdp.edu.cn

基金项目:中国石油与天然气股份有限公司项目“涩北疏松砂岩气藏精细描述及提高采收率配套技术研究”(2008D-1502-09)

表示无效, M_1 为 - 1 时表示出砂趋于严重, 即效果最差。如果防砂措施前后均为出砂状态, 则挡砂效果评价指标须根据措施前后的含砂率来计算。

当防砂前后井的生产状态均为 B 时, M_1 的计算式为

$$M_1 = 1 - \frac{C_{s1} - C_{sc}}{C_{s0} - C_{sc}} \quad (1)$$

式中: M_1 为防砂措施挡砂效果评价指标; C_{s1} 为防砂后的井口体积含砂率, %; C_{sc} 为判断井口是否出砂的体积含砂率界限, %; C_{s0} 为防砂前的井口体积含砂率, %。

当防砂前后井的生产状态分别为 C 和 B 或 E 和 B 时, 则 M_1 计算式为

$$M_1 = 0.5 + 0.5 \frac{C_{sc}}{C_{s1}} \quad (2)$$

表 1 油气井防砂措施挡砂效果评价指标

| 生 产 状 态 | | 评 价 指 标 |
|---------|-------|-------------|
| 防 砂 前 | 防 砂 后 | |
| A | A | $M_1 = 1$ |
| A | B | $M_1 = - 1$ |
| A | C | $M_1 = - 1$ |
| B | A | $M_1 = 1$ |
| B | B | 使用式 (1) 计算 |
| B | C | $M_1 = - 1$ |
| C | A | $M_1 = 1$ |
| C | B | 使用式 (2) 计算 |
| C | C | $M_1 = 0$ |
| D | A | $M_1 = 1$ |
| D | C | $M_1 = - 1$ |
| E | A | $M_1 = 1$ |
| E | B | 使用式 (2) 计算 |
| E | C | $M_1 = - 1$ |

2.2 增产效果评价方法

防砂措施的增产效果评价仅反映防砂措施在增产方面的作用。增产效果评价指标包括平均日增油量、平均日增气量、累积增油量和累积增气量。增产效果评价的基础数据为油气井防砂措施前后的生产日报资料。具体进行评价时须首先确定措施前后的评价期限。

防砂措施前、后评价期限内的平均产量的表达式分别为

$$\bar{q}_0 = \frac{1}{T_0} \int_0^{T_0} q_{0i} dt \quad (3)$$

$$\bar{q}_1 = \frac{1}{T_1} \int_0^{T_1} q_{1i} dt \quad (4)$$

式中: \bar{q}_0 为措施前评价期限内的平均产油或产

气量, t/d 或 $10^4 \text{ m}^3/\text{d}$; T_0 为措施前的评价期限, d; i 表示评价期限内的天数; q_{0i} 为措施前评价期限内第 i 天的产油或产气量, t/d 或 $10^4 \text{ m}^3/\text{d}$; \bar{q}_1 为措施后评价期限内的平均产油或产气量, t/d 或 $10^4 \text{ m}^3/\text{d}$; T_1 为防砂措施后的评价期限, d; q_{1i} 为措施后评价期限内第 i 天的产油或产气量, t/d 或 $10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。

将防砂措施前后的平均日增油 (气) 量与措施前的平均日产量之比作为防砂措施增产效果的评价指标, 其表达式为

$$M_2 = \begin{cases} \frac{\bar{q}_1 - \bar{q}_0}{\bar{q}_0} & \bar{q}_0 > 0 \\ 1.0 & \bar{q}_0 = 0 \end{cases} \quad (5)$$

式中: M_2 为防砂措施增产效果评价指标。

M_2 值越大, 表示增产效果越好。可以将 M_2 划分为不同的区间并用不同的定性描述来表示增产效果, 即当 $M_2 > 0.3$ 时, 增产效果为很好; 当 $0.15 < M_2 < 0.3$ 时, 为较好; 当 $0.05 < M_2 < 0.15$ 时, 为一般; 当 $0 < M_2 < 0.05$ 时, 为基本无效; 当 $M_2 = 0$ 时, 为差。该划分方法可以根据具体情况灵活调整。

2.3 改善井底流动条件效果评价方法

改善井底流动条件效果评价依据数据来源有 2 种: 防砂措施前后的产能试井资料, 这是最直接也是最准确的资料^[2]; 防砂措施前后的生产日报资料。根据实际矿场资料的齐备情况, 按照优先顺序使用以下 3 个指标作为防砂措施前后评价油气井井底流动条件改善的评价指标。

2.3.1 油井的采液指数或气井的无阻流量

油井的采液指数或气井的无阻流量是通过产能试井资料进行流入动态拟合得到的^[9]。如果没有试井资料, 则可通过对生产日报的预处理得到稳定的井底流压与产量的关系数据, 然后拟合流入动态关系得到油井的采液指数或气井的无阻流量。

2.3.2 拟井底采液 (气) 指数

拟井底采液 (气) 指数定义为产液 (气) 量与拟生产压差 (前区块的统一压力即拟静压与井底流压的差值) 的比值。该指标越大, 表示较大的井底流压即较低的生产压差便可得到较高的产量, 说明井底流动条件越好。对于不同阶段的同一口井, 比较措施前后的拟井底采液 (气) 指数可以判断措施后井底流动条件是否得到改善。

2.3.3 拟井口采液 (气) 指数

对于无法计算得到井底流压的情况, 可以使用拟井口采液 (气) 指数作为评价井底流动条件的指标, 其计算式为

$$J_i = \frac{q}{P_{tr} - P_i} \quad (6)$$

式中: J_i 为拟井口采液或采气指数, $t/(d \cdot \text{MPa})$ 或 $10^4 \text{m}^3/(d \cdot \text{MPa})$; q 为措施前或后的平均产油或产气量, t/d 或 $10^4 \text{m}^3/d$; P_{tr} 为虚拟生产系统静压, 即将井筒与地层看成一个整体生产系统, 当井口产出流体流量为 0 时的井口油压, MPa ; P_i 为措施前或后的井口油压, MPa 。

通过防砂措施改善井底流动条件评价流程 (图 1), 来确定拟井口采液 (气) 指数。该值越大, 说明在较低的生产压差下可以得到较高的产量, 井底流动条件越好。对于不同阶段的同一口井, 比较措施前后的拟井口采液 (气) 指数可以判断措施后井底流动条件是否得到改善。

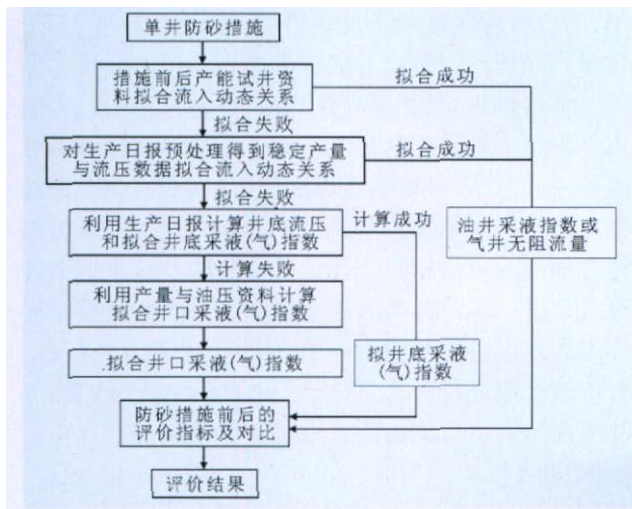


图 1 防砂措施改善井底流动条件效果评价流程

在进行具体的防砂措施改善井底流动条件效果评价时, 根据试井和生产日报等基础资料的齐备情况, 依据图 1 在油井采液指数或气井无阻流量、拟井底采液 (气) 指数和拟井口采液 (气) 指数中选择其一作为效果评价指标。假设计算得到防砂前和防砂后的井底流动条件评价指标分别为 K_0 和 K_1 , 则改善井底流动条件评价指标的表达式为

$$M_3 = \frac{K_1 - K_0}{K_0} \quad (7)$$

式中: M_3 为防砂措施改善井底流动条件效果评价指标; K_1 和 K_0 分别为措施后和措施前的井底流动条件评价指标。

改善井底流动条件效果评价定量指标与定性指标之间的关系可参考增产效果评价的作法灵活设定。

2.4 防砂效果综合评价指标计算

挡砂效果评价指标、增产效果评价指标和改善

井底流动条件效果评价指标是反映防砂措施对油气井影响的 3 个不同的方面。引入权重系数, 将这 3 个方面的效果评价指标加权即可得到综合评价评价指标, 其表达式为

$$M = M_1W_1 + M_2W_2 + M_3W_3 \quad (8)$$

式中: M 为综合评价指标; W_1 , W_2 和 W_3 分别为挡砂效果、增产效果和改善井底流动条件效果的权重系数, 三者之和为 1, 具体数值可根据 3 个方面评价结果的重要性灵活设定, 建议分别取值为 0.3, 0.3 和 0.4。

M 值越大, 表示防砂措施效果越好。笔者将使用的定性描述与定量指标之间的关系设定为: 当 $M > 0.75$ 时, 效果为很好; 当 $0.4 < M < 0.75$ 时, 为较好; 当 $0.2 < M < 0.4$ 时, 为一般; 当 $0.05 < M < 0.2$ 时, 为较差; 当 $M < 0.05$ 时, 为差。该划分方法可以根据具体情况灵活调整。

3 现场应用

准噶尔盆地涩北气田为疏松砂岩气藏, 出砂严重, 近几年进行了近百井次的防砂试验。但由于缺乏科学准确的评价方法和技术界限, 这些防砂措施成功与否, 效果如何评定, 防砂参数设计及施工是否科学合理等问题一直不明确。解决上述问题须对已实施的防砂措施进行科学客观的综合评价。

本次评价收集了 75 井次防砂措施前后的生产日报及含砂资料: 涩北一号气田 50 井次, 涩北二号气田 20 井次, 台南气田 5 井次。其中压裂防砂 48 井次, 高压充填 19 井次, 人工井壁与机械筛管各 3 井次, 化学固砂 2 井次。

3.1 总体评价结果

笔者提出的防砂效果综合评价方法体系已在笔者开发的 Sandcontrol Office 系统平台中实现。使用该软件对 75 井次防砂措施的挡砂效果、增产效果以及改善井底流动条件效果分别进行了评价。设定挡砂、增产和改善井底流动条件 3 个方面的权重系数分别为 0.3, 0.3 和 0.4, 根据式 (8) 计算得到防砂效果综合评价指标。

根据评价结果可知 (图 2), 收集到的涩北气田 75 井次防砂措施中, 综合效果“很好”与“较好”的共有 55 井次, 占 73.33%, 效果一般的有 3 井次, 占 4.0%; 效果差或较差的有 16 井次, 占 21.33%。总的来讲, 涩北气田防砂措施的效果较好, 但也有超过 20% 的防砂措施效果不甚理想。这说明, 部分防砂

井次的防砂工艺决策、设计和实施等环节可能还存在一些问题。

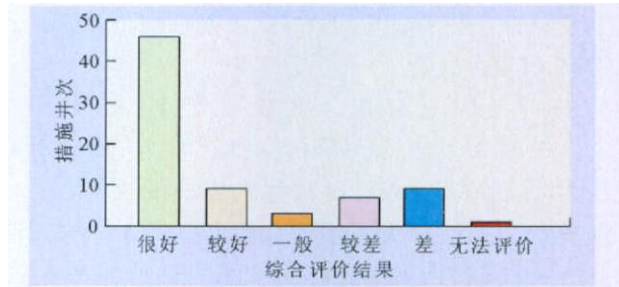


图 2 75井次防砂措施综合评价结果

在参与评价的 75井次防砂措施中,压裂充填与高压充填防砂占 89.3%。根据压裂充填和高压充填防砂的基本原理,如果设计与施工合理,防砂措施应在井底形成负的表皮系数,即防砂措施改善井底流动条件。但改善井底流动条件效果评价结果显示,其中 22%的井次效果较差。这说明,这部分防砂井的防砂措施并未真正达到好的效果,其设计和实施环节可能存在较大的问题。

3.2 改善井底流动条件效果的单井评价

涪 2 - 23井于 2005年 6月 29日实施纤维压裂充填防砂。该井无措施前后的试井资料,因此使用拟井底采气指数指标评价防砂措施改善井底流动条件效果。

从涪 2 - 23井措施前后的油压和流压随产量的变化动态关系可以明显看出(图 3),该井措施后的流压和油压均有所提高,并且产量也有一定幅度的提高。这说明与措施前相比,措施后只需相对较小的生产压差即可得到更高的产量;防砂措施后井底流动阻力和表皮系数减小,防砂措施大大改善了井底的流动条件。

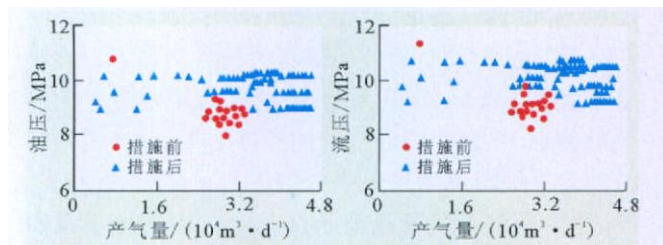


图 3 涪 2 - 23井防砂前后油压和流压随产量的变化动态

该井的具体评价结果为:措施前平均产量为 $2.91 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,油压为 8.83MPa,流压为 9.15MPa,评价指标为 1.399;措施后平均产量为 $3.70 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,油压为 9.65MPa,流压为 10.03MPa,评价指标为 3.083;改善井底流动条件效果的评价指标为 1.000,评价结果为很好。

综上所述,笔者提出的防砂措施效果综合评价方法体系方便灵活,操作性强。既可以通过权重系数设置单独体现某一方面的效果,又可以体现考虑各方面效果的综合效果。可以根据油气田的具体情况进行灵活调整,使得评价结果更加客观合理。

4 结论

防砂措施对油气井生产动态的影响体现在挡砂、增产以及对井底流动条件改善等 3个方面。针对这 3个方面,研究并建立了油气井防砂效果综合评价方法体系。

对涪北气田 75井次的防砂措施评价结果客观反映了防砂措施在 3个方面的单项及综合效果。其中,对改善井底流动条件效果的评价尤为重要,用于定量判断防砂措施对井底流动条件的改善程度。

评价过程中,相关评价界限、权重系数的设置对于评价结果有一定的影响。除了采用笔者推荐的数值外,这些参数须根据具体油气田的防砂目的、评价侧重点等实际情况进行适当的调整,从而得到更加客观准确的评价结果。客观准确的防砂效果综合评价对于进一步改善防砂工艺技术水平具有重要指导作用。建议进一步对效果评价的合理界限与标准、方法流程等进行研究,形成更加完备的方法体系,为油田现场提供可靠的评价方法和手段。

参考文献:

- [1] 何生厚,张琪. 油气井防砂理论及其应用 [M]. 北京:中国石化出版社, 2003.
- [2] 魏晓霞,程金凤,孙刚. 跃进二号油田防砂效果评价 [J]. 青海石油, 2007, 25(4): 46 - 51.
- [3] 黄晓君. 署三区砂岩油藏防砂经验与效果评价 [J]. 断块油气田, 2008, 15(1): 66 - 68.
- [4] 姜瑞忠,刘小波,王海江,等. 指标综合筛选方法在高含水油田开发效果评价中的应用——以埕东油田为例 [J]. 油气地质与采收率, 2008, 15(2): 99 - 101, 107.
- [5] 叶俊华,谈卫,章跃中,等. 酸化效果评价方法 [J]. 西部探矿工程, 2007, 13(2): 59 - 62.
- [6] 王学忠,曾流芳. 孤东油田挖潜剩余油实用技术应用效果评价 [J]. 石油勘探与开发, 2008, 35(4): 467 - 475.
- [7] 刘北羿. 压裂防砂技术进展及存在问题 [J]. 油气地质与采收率, 2008, 15(4): 105 - 107.
- [8] 周承诗,曲杰,王威,等. 水平井砾石充填 SLCH防砂工艺矿场试验 [J]. 油气地质与采收率, 2006, 13(5): 86 - 87, 90.
- [9] 杨川东. 采气工程 [M]. 北京:石油工业出版社, 2001.

编辑 常迎梅

tal line of the total pore-crack-vug system is over 0.5. As flow velocity in immediate vicinity of wellbore is bigger, the influencing region of non-Darcy flow is bigger. And along with decreasing of interporosity flow coefficient and storativity ratio of the limestone cave, the appearing time of pressure derivative transition section delays and the concave degree of pressure derivative curve deepens. The reliability and practicability of the new model has been validated by the example of well No. S74 in Tahe Oilfield.

Key words: high-velocity non-Darcy flow; triple porosity system; inter-porosity flow coefficient; storativity ratio; well testing

Zhang Dezhi, Geoscience Research Institute, Shengli Oilfield Company, SINOPEC, Dongying City, Shandong Province, 257015, China

Wang Bin. Computation module of initial marginal production rate and its influencing factors. *PGRE*, 2009, 16(1): 100 ~ 102

Shengli Oilfield has been entered "three high" development stages. The computation module of initial marginal production rate was developed to avoid deficient working capacity and input based on the field data and the rule of taking the benefit as center. The effects of input and cost of economic factors and time efficiency and declining rate of development factors on the marginal production rate were analyzed, and the determining method was given. The chart of initial marginal production rate of Shengli Oilfield was given considering the characteristics of unpartitioned reservoirs, fault blocks, low permeability reservoirs and horizontal wells. Through case calculation, it was proved applicable and may provide reliable foundation for development decision and operation, and also guide the calculation on the economic threshold production in other oilfields in China.

Key words: newly drilled well; marginal production rate; computation module; influencing degree; influencing factor

Wang Bin, College of Petroleum Engineering, China University of Petroleum (East China), Dongying City, Shandong Province, 257061, China

Dong Changyin, Li Changyin, Hu Futang et al. Comprehensive evaluation methodology for sand control effect in oil&gas wells. *PGRE*, 2009, 16(1): 103 ~ 106

Sand control effect evaluation is one of the important works in systemic sand control decision. Accurate evaluation results are

helpful to judge the success or failure of sand control measures. The successful experiences should be summarized and the reasons for the failures should be analyzed. Sand control measures affect well performances on formation sand retention, well stimulations and the improvement of flowing conditions around the wellbore. Considering the well performances before and after the sand control, a series of new evaluation methods and corresponding criteria were put forward from the above three aspects. By the weight factor settings, each evaluation results were used to calculate the comprehensive index of sand control effects. A comprehensive evaluation methodology for systemic sand control effect was set up, which is easy and operational to be used and has been used in Sebei gas field. Accurate results have been achieved.

Key words: sand control; effect evaluation; evaluation methodology; technique limit; Sebei gas field

Dong Changyin, College of Petroleum Engineering, China University of Petroleum (East China), Dongying City, Shandong Province, 257061

Li Gongrang, Xue Yuzhi, Liu Baofeng et al. Analysis and proposal of low permeability reservoir protection while drilling, Shengli Oilfield. *PGRE*, 2009, 16(1): 107 ~ 110

The reservoir protection issues and drilling technology situation were analyzed for high-efficiency development in the low permeability reservoirs. Many kinds of reservoir damages have encountered when drilling in the low permeability reservoirs, including solid particle invasion, sensitive damages induced by liquid invasion, liquid entrap in narrow pore throat, plugging by emulsions and so on, in which, the liquid entrap is the main damage type. There are many drilling technologies applicable to the low permeability reservoirs in Shengli Oilfield, of which the multi-lateral horizontal drilling is the most successful. The combination of different advanced drilling technologies and the research of new type of completion fluid technology should be strengthened. Many new technologies should be applied together and the reservoir protection measures should be managed during the low permeability oil reservoir development.

Key words: low permeability reservoir; liquid entrap; reservoir protection; drilling technologies; Shengli Oilfield

Li Gongrang, School of Petroleum Engineering, China University of Petroleum (East China), Dongying City, Shandong Province, 257061, China