

# 一种新的调剖堵水处理半径计算方法

刘长贵

(大庆油田有限责任公司第四采油厂, 大庆 163511)

**摘要** 针对非均质多储层或非均质厚油层油田,在注水开发过程中,注水井吸水剖面和产液井产液剖面的不均匀性,从调剖堵水前后地层流体渗流特性的变化出发,提出了一种新的残余阻力系数确定方法,用来计算调剖堵水时的处理半径以及最佳处理液用量。该方法对矿场调剖堵水处理具有较大的指导意义。

**关键词** 注水开发 调剖堵水 残余阻力系数实验 处理半径

**中图分类号** TE358.3; **文献标志码** A

注水开发的非均质多储层或非均质厚油层油田,由于各层性质如孔隙度、渗透率、有无裂缝等,造成注水井吸水剖面不均匀。使得高渗透、有裂缝的层段迅速水淹,对应的油井严重出水,而中低渗透率层段由于地下亏空而使地层压力迅速下降,从而影响采收率的提高。为了使注入水均匀推进,改善注水井的吸水剖面或控制油井的含水率上升,就必须实施以“稳油控水”为目的的调剖堵水作业<sup>[1,2]</sup>。

在进行调剖堵水作业时,如果调剖剂或堵水剂的用量比需要的量少,就达不到处理要求,起不到调剖堵水的应有效果。如果处理剂用量比需要的量大,就会造成处理剂的浪费,增加作业成本。因此,在进行调剖堵水作业前,必须确定出为达到施工目标所需的最佳调剖半径<sup>[3]</sup>。为此,本文提出了一种利用试验方法确定调剖后的残余阻力系数,从而精确的计算调剖堵水时的处理半径以及最佳处理液用量和添加剂浓度,并结合矿场实例进行了处理方案设计及评价。结果表明,该方法对矿场调剖堵水施工具有较大的指导意义。

## 1 实验方法确定残余阻力系数

由于地层差异度和平均渗透率的大小是影响调剖效果的主要因素,同时由于不同渗透率的地层,当调剖半径一样时,封堵的程度也不同,因此在考虑调剖半径设计时,首先应确定残余阻力系数的确定方法。

$F_r$ 参数的确定:假设调剖储层有两个以上储层,存在一定渗透率差异,可以根据渗透率高低划分成两个高渗透和低渗透储层,分别计算其各自平均渗透率<sup>[4,5]</sup>,如图1。

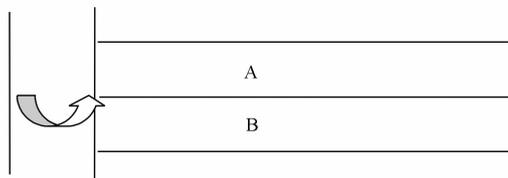


图1 注水储层示意图

假定A储层的渗透率大于B储层渗透率,分别用 $S_a$ 和 $S_b$ 表示。调剖前后的残余阻力系数 $F_r$ 参数的确定是基于:由于A储层的渗透率大于B储层的渗透率,所以,在一定的注入压力和调剖液量的前提下,调剖液优先进入A储层,A储层的渗透率发生了一定程度的变化,而B储层的渗透性假设未改变,则残余阻力系数的确定方法<sup>[6]</sup>如下:

1) 用柱状人造岩心,气测渗透率 $S_a$ 接近A储层的渗透率,饱和模拟水;

2012年7月31日收到,8月22日修改

作者简介:刘长贵,男。大庆油田有限责任公司第四采油厂工程技术大队硕士研究生。E-mail: xuzhiyan0606@163.com。

- 2) 饱和模拟油;
- 3) 水驱至岩心出口端无油;
- 4) 注入 1.5 PV 的调剖液, 侯凝;
- 5) 完全成胶后, 测量突破后的岩心渗透率, 并将所测渗透率按一定系数换算为气测渗透率  $S_{ah}$ ;
- 6) 计算公式如下:

$$\begin{cases} F_{rr} = \frac{S_a + S_b}{2S_b} (S_{ah} < S_b) \\ F_{rr} = \frac{S_a + S_b}{2S_{ah}} (S_b < S_{ah}) \end{cases} \quad (1)$$

式(1)中:  $F_{rr}$ —残余阻力系数;

$S_a$ —高渗层气测渗透率;

$S_b$ —低渗透层气测渗透率;

$S_{ah}$ —岩心突破后气测渗透率。

则调剖半径计算公式应为:

$$r_p = \exp\left\{\frac{(e-1)\ln r_e + [F_{rr} - e]\ln r_w}{F_{rr} - 1}\right\} \quad (2)$$

式(2)中:  $S_a$ —高渗透层渗透率;

$S_b$ —低渗透层渗透率;

$S_{ah}$ —岩心突破后剩余渗透率;

$r_w$ —井筒半径, m;

$e$ —处理前后注水能力(或产率)之比;

$r_e$ —泄油半径, m。

## 2 X1 注入井调剖实例计算

### 2.1 X1 注入井调剖目的层数据

表 1 X1 注入井基本数据表

油压 /MPa	套压 /MPa	日配水 /m <sup>3</sup> · d <sup>-1</sup>	日注水 /m <sup>3</sup> · d <sup>-1</sup>	原始 压力 /MPa	吸水指数 /M(d· kPa) <sup>-1</sup>	破裂压 力/MPa	调剖目 的层
11.5	0	240	211	11.5	0.47	13.6	P I 2.2— P I 3.33

表 2 X1 注入井调剖目的层小层数据表

	小层	有效厚度/m	渗透率/md
	P1	22	1.9
	P1	32	1
	P1	32	2
	P1	33	3
	高渗层(渗透率大于 400 的平均值)		1.9
	低渗层(渗透率小于 400 的平均值)		4.1

### 2.2 $F_{rr}$ 值确定

选取人造岩心的渗透率与调剖目的层高渗层渗透率平均值 410 md, 注入 1.5 PV (用分子量为 1 900 万、浓度为  $3\ 000 \times 10^{-6}$  (ppm) 聚丙烯酰胺溶液, 交联剂浓度为 0.8%) 配制的调剖液, 24 h 完全成胶后测量堵后渗透率, 实验结果如表 3。

表 3 实验岩心渗透率变化表

岩心原始气测渗 透率/md	岩心水测 渗透率/md	岩心堵后 渗透率/md	相当于气测 渗透率/md
410	236.5	95.2	272

$$\text{则: } F_{rr} = \frac{S_a + S_b}{2S_{ah}} = (409 + 236.5) / (2 \times 272) = 1.19。$$

### 2.3 调剖半径计算

已知: 泄油半径  $r_e = 150$  m,

井筒半径  $r_w = 0.062$  m。

假设调剖后压力由 11.5 MPa 增加 13.5 MPa (设计压力增加程度与调剖效果有关)。

$$e = 11.5 / 13.5 = 0.85;$$

$$r_p = \exp\left[\frac{2.78 + 5.01F_{RR} - 7.79e}{K(F_{RR} - 1)}\right] = \exp 2.3 = 9.97 \text{ m}。$$

### 2.4 现场实施效果

X1 注入井调剖, 现场共注入调剖剂 510 m<sup>3</sup>, 封口半径达到 10 m, 注入泵出口压力为 13.0 MPa。在 13.5 MPa 的注水压力下日注入量下降了 21 m<sup>3</sup>, 证明该调剖半径计算公式合理有效。

X1 注入井共有 Y1 和 Y2 两口连通油井, 对比回注调剖前后生产状况, 连通油井的产液下降, 产油增加含水下降, 调剖取得了效果。

表 4 X1 注入井及连通油井生产状况

注入压 力/MPa	注入量 /m <sup>3</sup>	Y1 井			Y2 井			
		日产 液/t	日产 油/t	含水 /%	日产 液/t	日产 油/t	含水 /%	
调剖前	11.5	211	120	7	94.2	81	3.0	96.3
调剖后	13.5	190	115	7.5	93.5	78	3.45	95.6

## 3 结论

(1) X1 注入井注入调剖剂 510 m<sup>3</sup>, 封口半径达

到 10 m, 调剖施工取得成功;

(2) X1 注入井压力升高 2 MPa, 日注入量下降了  $21 \text{ m}^3$ ;

(3) X1 注入井连通油井 Y1 日产液下降 5 t, 产油增加 0.5 t, 含水下降 0.7%。连通油井 Y2 日产液下降 3 t, 产油增加 0.45 t, 含水下降 0.7%;

(4) X1 注入井调剖效果符合调剖半径计算方法, 证明用实验方法确定残余阻力系数可行, 调剖半径计算方法有效。

### 参 考 文 献

1 唐孝芬, 刘玉章, 刘戈辉. 配套暂堵实现强凝胶堵剂的选择性堵

水实验研究. 石油勘探与开发, 2003;30(01):102—104

2 秦 涛, 杜永慧, 刘文梅, 等. 调剖堵水优化设计软件在濮城油田的应用. 钻采工艺, 2004;21(02):47—50

3 徐 霜, 张兴焰, 闫志军, 等. 低渗透储层微观孔隙结构及其微观剩余油分布模式. 西部探矿工程, 2005;113(09):57—59

4 贾晓飞, 雷光伦, 贾晓宇. 注水井深部调剖技术研究现状及发展趋势特. 种油气藏, 2009;4(8):6—12

5 高 炎, 李维锋, 饶 勇, 等. 准噶尔盆地滴西 12 井区呼图壁河组储层研究. 断块油气田, 2009;16(3):27—29

6 曹宝格, 罗平亚. 缔合聚合物溶液在多孔介质中的流变性实验. 石油学报, 2011;32(4):652—657

## A New Calculation Method of Treatment Radius about Profile Control and Water Shutoff

LIU Chang-gui

(The Fourth Plant of Daqing Oilfield Limited Liability Company, Daqing 163511, P. R. China)

[Abstract] According to the characteristics of the oilfield with heterogeneous multiple or the heterogeneous thick reservoirs, during the process of waterflooding, unhomogeneity exists between the water injection profile of water injection well and the production profile of liquid producing well. Starting with the changes of seepage characteristics of formation fluid between pre-and post profile control and water shutoff, a new determination method of residual resistance factor to calculate treatment radius and optimum account of treatment liquid about profile control and water shutoff was proposed. This method has fairly good directive function to the profile control and water shutoff in field.

[Key words] waterflooding profile control and water shutoff experimental of residual resistance factor treatment radius

(上接第 9949 页)

## Shuanghe Water Flooding Characteristics of Compatibility

SHANG Li<sup>1</sup>, PENG Wen-tao<sup>1</sup>, YUAN Guang-jun<sup>1</sup>, LIU Xiao-li<sup>2</sup>

(Zhongyuan Oilfield Exploration and Development Institute<sup>1</sup>, Puyang 457001, P. R. China;

Puyang vocational and Technical College<sup>2</sup>, Puyang 457000, P. R. China)

[Abstract] The field is located in the Ordos Basin Shuanghe Yishan in the middle slopes. Head of the main reservoir 6, the average reservoir porosity is 12.05% and average permeability is  $0.992 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ , is a low permeability reservoir. Shuanghe oil and gas reservoir of oil than the original formation pressure was lower, the natural reservoir of energy is limited. Based on the analysis Shuanghe Injected water and formation water properties, sensitivity test, ompatibility test and other aspects of research are researched. To ensure the injection of water into the reservoir to meet water quality requirements, reservoir protection, to enhance the effect of water injection and water flooding techniques provide an important basis for the program are presented.

[Key words] injection formation water sensitivity compatibility