

文章编号: 1001- 6112(2004)06- 0594- 03

应用等值渗流阻力法 建立面积井网水平井产能方程

周德华¹, 葛家理²

(1. 中国石化 油田事业部, 北京 100029; 2. 石油大学 石油工程学院, 北京 102200)

摘要: 水平井的广泛应用使水平井的问题日益受到重视。实际上在海上油气田开发中, 总是尽可能多地采用水平井开采。考虑面积井网条件下水平井和直井联合开采的情形, 假定中心一口直井作为注入井, 而周围部署若干口水平井作为采油井。文中利用等值渗流阻力法导出多口水平井开发单元的产能方程, 为水平井开发部署和产能预测提供了简捷有效的方法。

关键词: 保角变换; 等值渗流阻力法; 水平井; 产能预测

中图分类号: TE324

文献标识码: A

近年来, 水平井技术在国内外许多油田得到了应用, 这项技术同时也得到了飞速发展, 水平井产能问题得到了广泛的研究, 从单一水平井研究发展到水平井- 直井联合布井问题的研究^[1~4]。但是, 大多研究仅局限于单一水平井问题。实际上, 在海上油气田开发中, 总是尽可能多地采用水平井开采。考虑面积井网条件下水平井和直井联合开采的情形, 假定中心一口直井作为注入井, 而周围部署若干口水平井作为采油井。本文利用等值渗流阻力法导出多口水平井开发单元的产能方程, 为水平井开发部署和产能预测提供了简捷有效的方法。

1 等值渗流阻力法

考虑面积井网条件下水平井和直井联合开采的情形, 假定中心一口直井作为注入井, 而周围部署若干口水平井作为采油井。流体流动为单相稳定流, 满足达西定律, 孔隙介质为均匀介质^[5]。考虑五点井网如图 1 所示:

由等值渗流阻力法, 流动阻力可以分成 3 个部分: 一部分是由垂直井向排油坑道的阻力 R_0 , 可视为水平井外阻; 第二部分是椭圆形边界流向一个通过水平井假想的垂直裂缝时的阻力, 可视为水平井第一内阻 R_{i1} ; 第三部分是水平井流向井筒的水平井第二内阻 R_{i2} 。

先看椭圆形边界条件下的水平井第一内阻 R_{i1} , 映射如图 2 所示, 裂缝半长 l 等于焦距。

保角变换取茹科夫斯基函数

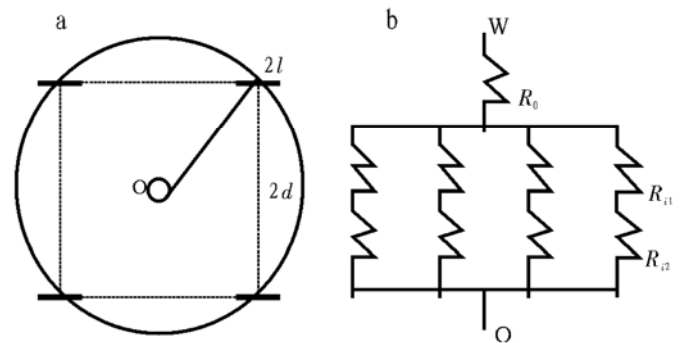


图 1 (a) 水平井和直井五点井网图; (b) 等效阻力图
Fig. 1 Five-node well spacing chart for horizontal and vertical wells a) and its equivalent resistance map b)

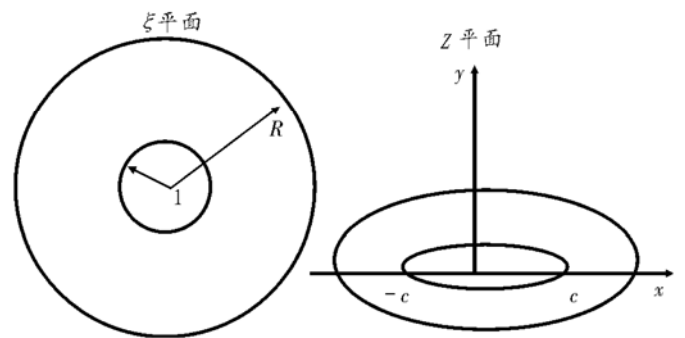


图 2 椭圆边界裂缝的保角变换图
Fig. 2 Conformal transformation diagrams for elliptical boundary fractures

收稿日期: 2004- 07- 07.

作者简介: 周德华(1968—), 男(汉族), 湖北云梦人, 博士、高级工程师, 主要从事油气田开发工作。

$$z = l(\xi + 1/\xi)/2 \quad (1)$$

该函数把 z 平面上的椭圆周边变为 ξ 平面上半径为 R 的圆周,

$$R = \left(\frac{a+b}{a-b}\right)^{\frac{1}{2}} \quad (2)$$

式中: a 为排油椭圆长半轴; b 为排油椭圆短半轴。

同时, 裂缝映射成单位圆。由丘比公式得:

$$\begin{aligned} Q &= \frac{2\pi(\phi_e - \phi)}{\ln \frac{R}{1}} = \frac{2\pi(\phi_e - \phi)}{\ln \frac{a+b}{\sqrt{a^2-b^2}}} \\ &= \frac{2\pi(\phi_e - \phi)}{\ln \frac{a+b}{l}} = \frac{2\pi(\phi_e - \phi)}{\ln \frac{a+\sqrt{a^2-l^2}}{l^2}} \end{aligned} \quad (3)$$

式中: ϕ_e, ϕ ——半径为 R 和 1 处的势。

由(3)式, 我们可以得到水平井第一内阻 R_{i1} ,

$$R_{i1} = \frac{\mu}{2\pi kh} \ln \frac{a+\sqrt{a^2-l^2}}{l} \quad (4)$$

对于水平井第二内阻系统, 可把原地层有效厚度 h 视作井距, 水平井长 $2l$ 视为地层厚度, 则可得到 R_{i2} ,

$$R_{i2} = \frac{\mu}{4\pi kl} \ln \frac{h}{2\pi r_w} \quad (5)$$

上述公式(4)和(5)也适用于七点法和九点法井网的圆形布井时内阻的计算。

2.1 五点井网

如图 1a 所示, 中心 1 口直井为注水井, 周围 4 口水平井为生产井, 等效阻力图中并联 4 个两两串联的内阻。由图 1b 等效阻力图得到:

$$Q_h = \frac{(p_w - p_o)}{R_o + \frac{1}{4}(R_{i1} + R_{i2})} \quad (6)$$

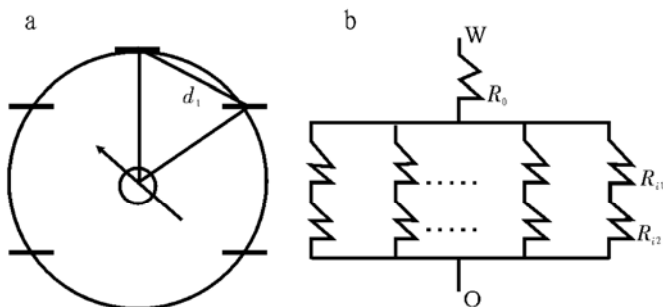


图 3 (a) 水平井和直井五点井网图; (b) 等效阻力图
Fig. 3 Severn-node well spacing chart for horizontal and vertical wells a) and its equivalent resistance map b)

代入内外阻, 并且通过有效近似得到:

$$Q_h = \frac{2\pi kh \Delta p}{\mu \left[\ln \frac{r_w}{\sqrt{2d}} + \frac{1}{4} \left(\ln \frac{2d}{l} + \frac{h}{2l} \ln \frac{h}{2\pi r_w} \right) \right]} \quad (7)$$

2.2 七点井网

如图 3a 所示, 中心 1 口直井为注水井, 周围 6 口水平井为生产井, 等效阻力图中并联 6 个两两串联的内阻。由图 3b 得:

$$Q_h = \frac{(p_w - p_o)}{R_o + \frac{1}{6}(R_{i1} + R_{i2})} \quad (8)$$

代入内外阻, 通过有效近似可以得到:

$$Q_h = \frac{2\pi kh \Delta p}{\mu \left[\ln \frac{r_w}{d} + \frac{1}{6} \left(\ln \frac{4d}{\sqrt{3}l} + \frac{h}{2l} \ln \frac{h}{2\pi r_w} \right) \right]} \quad (9)$$

2.3 九点井网

如图 4a 所示, 中心 1 口直井为注水井, 周围 8 口水平井为生产井, 等效阻力图中并联 8 个两两串联的内阻。由图 4b 得:

$$Q_h = \frac{(p_w - p_o)}{R_o + \frac{1}{8}(R_{i1} + R_{i2})} \quad (10)$$

代入内外阻, 通过有效近似可以得到:

$$Q_h = \frac{2\pi kh \Delta p}{\mu \left[\ln \frac{\pi r_w}{4d_2} + \frac{1}{8} \left(\ln \frac{8d_2}{l\pi} + \frac{h}{2l} \ln \frac{h}{2\pi r_w} \right) \right]} \quad (11)$$

式中: Q_h ——开发单元水平井产量; Δp ——生产压差; h ——油层厚度; k ——油藏有效渗透率; l ——水平井半长; r_w ——油井半径; d ——水平井间井距; μ ——流体粘度。

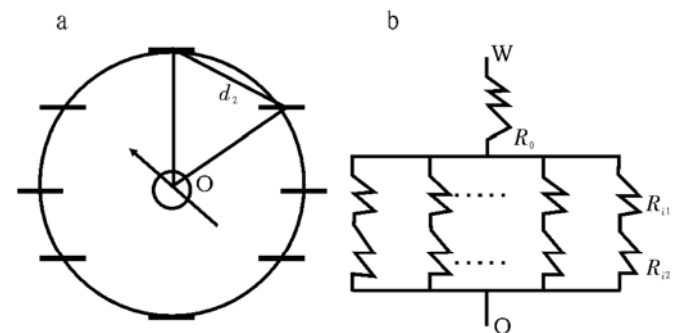


图 4 (a) 水平井和直井九点井网图; (b) 等效阻力图
Fig. 4 Nine-node well spacing chart for horizontal and vertical wells a) and its equivalent resistance map b)

2 结论

用等值渗流阻力法建立了面积井网条件下多口水平井-直井联合开采五点法、七点法、九点法的产能方程,对多口水平井开发部署和开发单元的产能预测提供了简单可行的方法。

参考文献:

1 曲德斌,葛家理,王德民等. 水平井开发基础理论——物理模型

研究[J]. 石油学报, 1994, 15(4): 49~ 57

- 2 曲德斌,葛家理,王德民. 水平井与直井联合面积布井的开发理论(一)——一般的五点面积井网[J]. 石油勘探与开发, 1995, 22(1): 35~ 38
- 3 王德民,葛家理,曲德斌. 水平井与直井联合面积布井的开发理论(二)——七点法面积井网[J]. 石油勘探与开发, 1995, 22(2): 47~ 50
- 4 郎兆新,张丽华,程林松等. 水平井与直井联合开采问题——五点法面积井网[J]. 石油大学学报(自然科学版), 1993, 17(6): 50~ 55
- 5 葛家理. 油气层渗流力学[M]. 北京:石油工业出版社, 1982. 83~ 86

PRODUCIBILITY EQUATIONS OF HORIZONTAL WELLS IN AREAL WELL SPACING SET UP BY THE EQUIVALENT FLOWING RESISTANCE METHOD

ZHOU De-hua¹, GE Jia-li²

(1. Oil and Gas Development Business Unit, SINOPEC, Beijing 100029, China;

2. School of Petroleum Engineering, Petroleum University, Beijing 102200, China)

Abstract: Horizontal wells are more and more valuable beginning from adopted to oil and gas development. In fact, horizontal wells are used as producers as more as possible in offshore fields. The case was studied when horizontal and vertical wells were simultaneously deployed as producers and injectors respectively. It assumed that a central vertical well was surrounded by several horizontal wells. The producibility equations of horizontal wells in areal well spacing were presented by the equivalent flowing resistance method. It was efficient to predict that how much output should be designed for the development units of horizontal wells.

Key words: conformal transformation; the equivalent flowing resistance method; horizontal well; producibility prediction