

一种基于渗流理论的油藏压力插值新方法

冯少华

(中国石油辽河油田分公司, 盘锦 124010)

摘 要 基于渗流理论的势叠加原理和计算机三角形剖分技术,提出了一种新的油田压力场插值方法。该方法具有区域适应能力强、插值结果合理、计算时间短的特点。通过对油层的渗流机理推导,得到了利用井点压力求解地层特定点压力的方程组表达式。方法应用了 VC++ 作为编程工具,以实现了快速网格剖分及数据计算。

关键词 网格剖分 压力场插值 渗流 势叠加
中图法分类号 TE312 TP311.11; **文献标志码** A

压力场图在油藏分析中具有重要的意义,它能为油藏工程师认识压力场分布和变化趋势提供帮助。目前压力场插值方法有线性插值、距离加权等方法,井点坐标见表 1。然而这些方法都是用来描述原始地质特性的,并不适于由于生产造成的压力场改变的情况。例如:如果两口相邻生产井的井底压力分别为 5 MPa 和 7 MPa,则上述的插值技术不能将两井之间的压力值插到 7 MPa 以上,而我们可知两井之间的压力一定要大于 7 MPa,否则是不合理的。

表 1 井点坐标														
X	9	11	12	11	8	6	5	6	6	7.7	8	9.5	10	11
Y	14	12	8	5	6	7	10	12	8	8	10	11	7	9

已有的压力场插值只考虑到了压力和坐标的关系,而没有考虑到其他的变量,本文给出的方法考虑到了产量变量,这样便引入了渗流理论中的势叠加原理。

1 应用技术

三角形剖分^[1],本方法首先将要插值的井点进行迪洛尼(Delaunay)三角形剖分。这种剖分技术的

特点是:每个三角形的内角和最大,即最大限度地接近正三角形。本方法使每口井都处于三角形的顶点位置,实现步骤为:先得到研究井所处范围的最外边界,做到该范围的最大外接三角形,然后将井点逐个插入到最大三角形中。本文采用了 vc 中常用的数据链类实现,剖分结果如图 1 所示。

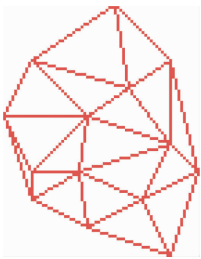


图 1 数据链

井点坐标列表如表 1。

2 理论推导

2.1 选用插值假设条件

认为在每个小三角形内部的地层厚度相同,位于同一三角形顶点位置的 3 口井距边界的距离相同,因此三角形单元内可以应用统一的插值系数。

2.2 公式推导

假定地层比较大,考虑到的井到供给边界的距离近似相等均为 r_e ,各井的产量 q_i 已知,则由渗流力学^[2]得知,地层中任意一点的压力为:

2011 年 6 月 23 日收到
作者简介:冯少华,男,东北石油大学硕士研究生。E-mail: fuku-haraai@ hotmail. com。

$$p = p_e - \frac{1}{2\pi h} \sum_{i=1}^n \pm \frac{\mu_i q_i}{K_i} \ln \frac{r_e}{r_i} \tag{1}$$

式(1)中, p_e 为供给边界的压力, μ_i 为流体的黏度, K_i 为本地地层的渗透率, h 为地层厚度, q_i 为井的产量, r_i 为井到所求点的距离, r_e 为井到边界的距离。

将式(1)变形得

$$p = p_e - \frac{1}{2\pi h} \ln r_e \left(\sum_{i=1}^n \pm \frac{\mu_i q_i}{K_i} \right) + \frac{1}{2\pi h} \left(\sum_{i=1}^n \pm \frac{\mu_i q_i}{K_i} \cdot \ln r_i \right) \tag{2}$$

令 $A = \frac{1}{2\pi h} \ln r_e, B = \frac{1}{2\pi h}, C = p_e。$

则式(2)变为:

$$p = C - A \left(\sum_{i=1}^n \pm \frac{\mu_i q_i}{K_i} \right) + B \left(\sum_{i=1}^n \pm \frac{\mu_i q_i}{K_i} \ln r_i \right) \tag{3}$$

同一三角形单元内,顶点对应井的井底压力都可以用上式表示,为每个顶点在其周围选取适当量的井 n 口,每个井的 n 值并不相同,则均有 $x_j = p_{wff}, y_j = \left(\sum_{i=1}^n \pm \frac{\mu_i q_i}{K_i} \right)_j, z_j = \left(\sum_{i=1}^n \pm \frac{\mu_i q_i}{K_i} \ln r_i \right)_j, j = 1, 2, 3。$

r_w 为井筒的半径,对应为井底的压力 $p_{wf}。$

如果认为计算范围内的流体黏度或地层渗透率一样,即

$$\mu_m = \mu_n \text{ 或 } K_m = K_n。$$

其中 $m, n \in \{1, 2, 3, \cdots, n\}。$

令

$$A = \frac{\mu^\alpha K^\beta}{2\pi h} \ln r_e, B = \frac{\mu^\alpha \cdot K^\beta}{2\pi h}, C = p_e。$$

则:

$$p = C - A \left(\sum_{i=1}^n \pm q_i \right) + B \left(\sum_{i=1}^n \pm q_i \ln r_i \right) \tag{4}$$

列出方程组:

令

$$x_j = p_{wff},$$

$$y_j = \left(\sum_{i=1}^n \pm \frac{\mu_i^{1-\alpha} \cdot K_i^{1-\beta} \cdot q_i}{K_i} \right)_j,$$

$$z_j = \left(\sum_{i=1}^n \pm \frac{\mu_i^{1-\alpha} \cdot K_i^{1-\beta} \cdot q_i}{K_i} \ln r_i \right)_j。$$

其中 $\alpha, \beta \in \{0, 1\}。$

这样就得到一个方程组

$$\begin{bmatrix} 1, x_1, y_1 \\ 1, x_2, y_2 \\ 1, x_3, y_3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} C \\ -A \\ B \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} z_1 \\ z_2 \\ z_3 \end{bmatrix} \tag{5}$$

求解式(5)得到该三角形单元对应的 $A、B、C。$ 将 $A、B、C$ 带入式(3)或式(4),则得到了该三角形单元内的插值函数表达式。为三角形单元中的任意一点选取周围合适范围的井,即可求出该点的压力值。

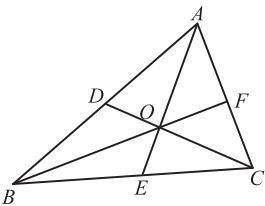


图2 三角形插值

2.3 插值点归属区域选取

连接三角形单元 $\triangle ABC$ 的中线,交于 O 点,如图2。如果三角形内需要插值的点 M 在 $ADOFA$ 范围内,则用 A 顶点的控制井,以此类推;如果在出现两口井(比如 A 和 B)的控制井的产量和相等的情况,这时每两口井就能确定一个插值函数,那么如果 M 点在 $ADBO$ 范围内,则就用 $A、B$ 两口井得出来的插值系数计算,如果 M 在 ADO 的范围内,则用 A 井的控制井进行计算。

注:若考虑位于兴趣点三角形单元以外的井的影响,根据平面内径向流势定义可知,只需计算该井到兴趣点的距离,其黏度与渗透率都使用趣点所在三角形单元的。

3 实例

测试值:地层中有4口井,流体性质相同,渗透率相同,假定井筒半径为0.1 m,各井参数如表2。

表2 各井参数			
井名	横纵坐标	井底压力/MPa	产量
井1	0,50	5	10
井2	0,-50	6	9
井3	-100,0	7	8
井4	100,0	7.3	7.8

坐标如图 3。

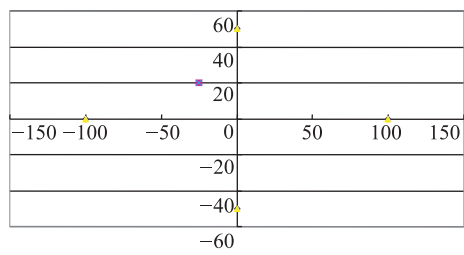


图 3 各井坐标

三角形剖分结果为左右两个三角形单元,计算出 A,B,C 。

按式(4)求出该三角形单元 $M(-25,20)$ 处的压力为:16.7 MPa,可见插值压力比 M 点临近井的井底压力高,结果合理。

4 结语

本文渗流机理应用到了油藏地层压力插值中,使插值结果有了真实的物理意义;

依靠于三角形剖分技术,将待处理区块分成多个三角形单元,对于每个三角形单元单独处理,能够应对地层渗流率和流体性质分布不均匀的情况;

可以自由设定和选取兴趣点所利用的参考井点,得出合理的插值效果,且此方法不必对产量进行劈分。

参 考 文 献

1 陈学工, 潘 懋. 平面散乱点集约束 Delaunay 三角形剖分切割算法. 计算机工程与应用, 2001;15:96—97,104
2 翟云芳. 渗流力学. 石油工业出版社, 2004

A New Method of Reservoir Pressure Interpolation
Based on Percolation Theory

FENG Shao-hua

(Liaohe Oilfield Company, PetroChina, Panjin 124010, P. R. China)

[Abstract] A new method for oilfield pressure interpolation is provided, based on the superposition principle of potential in percolation theory, and computer technology of triangle subdivision. This method has characteristics of strong adaptive ability in an area, reasonable results of interpolation, short time of calculation. It deduce a function group expression to calculate the special point's pressure with the bottomhole pressure from the filtration theory. VC++ is used as programming tool here, for implement of rapid grid subdivision and data calculation.

[Key words] grid subdivision pressure field interpolation percolation potential superposition