

油藏岩石渗透率合成方法*

孙喜新^{1,2}

(1. 中国科学院广州地球化学研究所, 广东广州 510640;

2. 中国石化胜利油田有限公司地质科学研究院, 山东东营 257015)

摘要: 渗透率合成在石油储量计算、油田开发方案编制、油藏数值模拟等油藏工程研究中经常遇到, 主要包括垂向上不同层段渗透率的合成以及沿渗流方向不同渗透率带渗透率的合成。根据达西定律, 结合建立的渗流模型, 经数学推导, 得到两类渗透率的合成公式。其中, 垂向上不同层段渗透率的合成公式与前人文献中一致; 而沿渗流方向不同渗透率带的合成公式与前人有较大差别。经实测数据检验, 用新推导的公式计算所得的结果误差为 0.28%~5.35%, 基本上在允许的范围之内。

关键词: 渗透率; 油藏工程; 渗透率合成; 平均渗透率

作者简介: 孙喜新, 男, 39 岁, 高级工程师(博士生), 石油地质学

中图分类号: TE122

文献标识码: A

不同沉积相的储层, 储层参数的空间分布规律不同^[1], 因此, 在石油地质储量计算、油田开发方案编制、油藏数值模拟等油藏工程研究中, 经常会遇到垂向上不同层段渗透率的合成以及沿渗流方向不同渗透率带的渗透率合成问题, 尤其是在油藏物理模型制作和油藏物理模拟实验中, 这是一个无法回避的计算问题。通常的做法是, 对于垂向上不同层段平均渗透率采取厚度加权平均的办法^[2], 但现有的文献中没有从理论上予以证明。对于沿渗流方向不同渗透率带的渗透率的合成则很少有人考虑, 文献中没有该合成方法的报道。笔者在国家“973”重大基础研究专题“复杂驱动体系物理模型研制和实验技术”研究实践中, 提出了渗透率合成的概念, 即模型的总的渗透率并不是各层或各段渗透率的简单平均, 并且两类渗透率的合成规律也不同。

1 垂向上不同层段渗透率合成

首先建立垂向上不同层段渗透率合成的物理模型, 假设某油藏有 n 层组成, 其总厚度为 H , 合成渗透率(平均渗透率)为 K , 各层的渗透率和有效厚度分别为 $K_1, H_1; K_2, H_2; K_3, H_3; \dots; K_n, H_n$ 。相应各层的渗流流量为 $Q_1, Q_2, Q_3, \dots, Q_n$ 。垂向上不同层段渗透率合成的物理模型及参数见图 1。

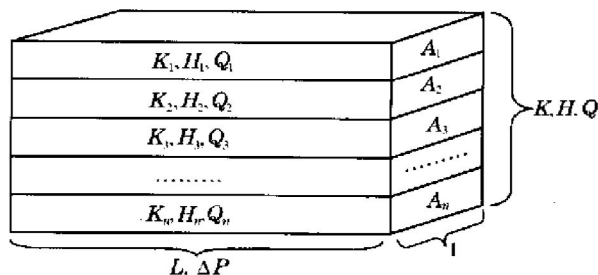


图 1 垂向上不同层段渗透率合成的物理模型及参数

Fig. 1 Physical pattern and parameters of permeability composition in vertically different stratigraphic horizons

根据达西公式有

$$Q = \frac{KA \Delta P}{L \mu} \quad (1)$$

由图 1 可知

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 + \dots + Q_n \quad (2)$$

$$\text{即 } \frac{KA \Delta P}{L \mu} = \frac{K_1 A_1 \Delta P_1}{L \mu} + \frac{K_2 A_2 \Delta P_2}{L \mu} + \frac{K_3 A_3 \Delta P_3}{L \mu} + \dots + \frac{K_n A_n \Delta P_n}{L \mu} \quad (3)$$

油藏处于同一油水系统, 因此有

$$\frac{\Delta P}{L \mu} = \frac{\Delta P_1}{L \mu} = \frac{\Delta P_2}{L \mu} = \frac{\Delta P_3}{L \mu} = \dots = \frac{\Delta P_n}{L \mu} \quad (4)$$

由(3)和(4)可知

$$KA = K_1 A_1 + K_2 A_2 + K_3 A_3 + \dots + K_n A_n \quad (5)$$

$$\text{即 } KIH = K_1 I H_1 + K_2 I H_2 + K_3 I H_3 + \dots + K_n I H_n$$

$$K = \frac{H_1}{H} K_1 + \frac{H_2}{H} K_2 + \frac{H_3}{H} K_3 + \dots + \frac{H_n}{H} K_n$$

* 国家“973”重大基础研究项目“大幅度提高石油采收率的基础研究”(G1999022511)

收稿日期: 2003-08-11

$$K = \sum_{i=1}^n \frac{H_i}{H} K_i \tag{6}$$

推导出的合成公式与文献中提供的计算方法一致, 本文不再进行实验验证。

2 沿渗流方向的渗透率合成

沿渗流方向不同渗透率带的渗透率合成的物理模型及参数如图 2, 假设某油藏沿渗流方向有 n 段不同渗透率的储层组成, 其总长度为 L , 总的渗流压降为 ΔP , 合成渗透率(平均渗透率)为 K , 各渗透率带的渗透率和有效长度分别为 $K_1, L_1; K_2, L_2; K_3, L_3; \dots; K_n, L_n$ 。相应各渗透率带的渗流压降为 $\Delta P_1, \Delta P_2, \Delta P_3, \dots, \Delta P_n$ 。

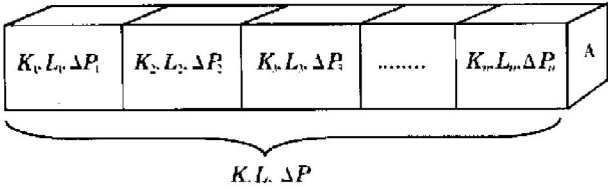


图 2 沿渗流方向不同渗透率带的渗透率合成物理模型及参数

Fig. 2 Physical pattern and parameters of permeability composition in the different permeable zones along filtrational directions

2.1 合成公式推导

根据达西公式有

$$\Delta P = \frac{Q\mu}{KA} \tag{7}$$

由图 2 可知

$$\Delta P = \Delta P_1 + \Delta P_2 + \Delta P_3 + \dots + \Delta P_n \tag{8}$$

即
$$\frac{Q\mu}{KA} = \frac{Q_1\mu_1L_1}{K_1A} + \frac{Q_2\mu_2L_2}{K_2A} + \frac{Q_3\mu_3L_3}{K_3A} + \dots + \frac{Q_n\mu_nL_n}{K_nA} \tag{9}$$

油藏处于同一油水系统, 因此有

$$Q\mu = Q_1\mu_1 = Q_2\mu_2 = Q_3\mu_3 = \dots = Q_n\mu_n \tag{10}$$

由(9)和(10)可知

$$\frac{L}{K} = \frac{L_1}{K_1} + \frac{L_2}{K_2} + \frac{L_3}{K_3} + \dots + \frac{L_n}{K_n}$$

即
$$\frac{1}{K} = \frac{1}{L} \sum_{i=1}^n \frac{L_i}{K_i}, \text{ 所以有}$$

$$K = L / \sum_{i=1}^n \frac{L_i}{K_i} \tag{11}$$

2.2 实验数据验证及误差分析

共进行了8组验证实验(表1), 用本文推导

表 1 沿渗流方向不同渗透率带渗透率合成实验验证数据表

Table 1 Experimental data of permeability composition in the different permeable zones along filtrational directions

样品编号	样品长度 / cm	渗透率 /(10 ⁻³ μm ²)	平均渗透率 (实测值) /(10 ⁻³ μm ²)	合成渗透率 (计算值) 1 /(10 ⁻³ μm ²)	相对误差 1 / %	合成渗透率 (计算值) 2 /(10 ⁻³ μm ²)	相对误差 2 / %
f1	f1- 1	3.84	898	1 300	3. 12	1 458	8. 68
	f1- 2	3. 21	1 814				
	f1- 3	2. 87	1 810				
f2	f2- 1	3. 66	742	1 248	4. 44	1 576	20. 65
	f2- 2	3. 31	2 141				
	f2- 3	3. 07	1 960				
f3	f3- 1	3. 98	993	1 359	4. 14	1 481	4. 44
	f3- 2	3. 22	1 868				
	f3- 3	2. 73	1 736				
f4	f4- 1	4. 03	739	1 103	0. 28	1 346	21. 71
	f4- 2	3. 39	1 941				
	f4- 3	1. 67	1 604				
fa	fa- 1	4. 22	915	1 313	5. 35	1 465	7. 04
	fa- 2	3. 13	1 898				
	fa- 3	2. 57	1 843				
fb	fb- 1	3. 78	987	1 431	2. 87	1 619	9. 91
	fb- 2	3. 08	2 120				
	fb- 3	2. 69	1 934				
fc	fc- 1	3. 76	741	1 217	4. 04	1 533	20. 89
	fc- 2	3. 38	2 207				
	fc- 3	2. 83	1 779				
fd	fd- 1	4. 12	1 053	1 416	4. 20	1 532	3. 66
	fd- 2	3. 20	1 850				
	fd- 3	2. 68	1 890				

的合成公式计算出的合成渗透率(1)与实测平均渗透率的相对误差(1)为0.28%~5.35%,基本在实验测定允许误差5%以内,如果参照传统的垂向上不同层段渗透率的平均方法(用厚度加权平均),用长度的加权平均值代表合成渗透率,计算出的合成渗透率(2)与实测平均渗透率的相对误差(2)为3.66%~21.71%,远远大于本文推荐的合成方法计算的相对误差。因此,对于沿渗流方向不同渗透率带的渗透率合成,本文推导的合成公式(方程11)具有科学性和推广性。

3 结论与认识

(1) 垂向上不同层段渗透率合成公式为 $K =$

$$\sum_{i=1}^n \frac{H_i}{H} K_i, \text{ 表明垂向上不同层段的合成渗透率为各}$$

层段厚度和渗透率的函数,数值上等于各层段渗透率的厚度加权平均值。

(2) 沿渗流方向不同渗透率带渗透率的合成公式为 $K = L / \sum_{i=1}^n \frac{L_i}{K_i}$, 表明沿渗流方向不同渗透率带的合成渗透率为各渗透率带长度和渗透率的函数,其合成渗透率的倒数数值上等于各渗透率带渗透率的倒数的长度加权平均值。

参 考 文 献

- 1 信荃麟, 张一伟. 油藏描述与油藏模型[M]. 山东东营: 石油大学出版社, 1989
- 2 杨通佑, 范尚炯, 陈元千, 等. 石油及天然气储量计算方法[M]. 东营: 石油工业出版社, 1990

COMPOSITE METHOD OF ROCK PERMEABILITY IN RESERVOIR

Sun Xixin^{1,2}

(1. Guangzhou Research Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou, Guangdong;

2. Shengli Oilfield Company, SINOPEC, Dongying, Shandong)

Abstract: The composite method of rock permeability have always been applied in the calculation of oil reserves, compilation of oilfield development plan, numerical simulation of reservoirs and other reservoir engineering research, which mainly include the permeability composition of vertically different stratigraphic horizons and the permeability composition of different permeable zones along filtrational directions. Based on Darcy's law and combined with established filtration pattern, two composite formulas of permeability have been derived from mathematic calculation. The composite formula of permeability in vertically different stratigraphic horizons corresponds to that in historical literature, but the composite formula in different permeable zone is more different from the forefathers' formula. Based on the examination of actual data, calculated error of new formula is about 0.28%–5.35%, which is basically within permissible error range.

Key words: permeability; reservoir engineering; permeability composition; average permeability