

文章编号: 1001-1986(2012)02-0028-03

煤层气直井开发井网适应性优选

石军太¹, 李相方¹, 张冬玲², 胡小虎¹, 李 骞¹, 胡素明³, 吴克柳¹

(1. 中国石油大学石油工程教育部重点实验室, 北京 102249;
2. 中石油煤层气有限责任公司, 北京 100028;
3. 塔里木油田公司勘探开发研究院, 新疆库尔勒 841000)

摘要: 利用直井井网开发煤层气, 优选合理的井网对于煤层气藏的高效开发关系重大, 因此, 有必要针对不同储层条件的煤层气藏研究优化井网类型。通过数值模拟方法, 针对不同渗透率、不同各向异性的煤层气藏, 进行了正方形、矩形和菱形 3 种不同井网的数值模拟, 得出适合不同井网开发的储层渗透率和各向异性的范围。模拟研究表明: 正方形井网不适合煤层气的开发; 矩形井网适合于中渗、低渗至特低渗煤储层; 菱形井网适合于中渗至高渗煤储层。

关 键 词: 煤层气; 井网; 数值模拟; 优选

中图分类号: P618.13 **文献标识码:** A **DOI:** 10.3969/j.issn.1001-1986.2012.02.007

Optimization of well pattern in the development of coalbed methane through vertical wells

SHI Juntai¹, LI Xiangfang¹, ZHANG Dongling², HU Xiaohu¹, LI Qian¹, HU Suming³, WU Keliu¹

(1. MOE Key Laboratory of Petroleum Engineering, China University of Petroleum, Beijing 102249, China;

2. Petrochina Coalbed Methane Company Limited, Beijing 100028, China;

3. Research Institute of Petroleum Exploration and Development, Tarim Oilfield Company, Kuerle 841000, China)

Abstract: Optimization of well pattern in coalbed methane reservoir has very critical effect on its effective development through vertical wells. At present, in the form of areal development of several coalbed methane (CBM) reservoirs in China, the selection of vertical well pattern should be further investigated. For effective development and higher recovery, it is essential to optimize well pattern for coalbed methane reservoirs with different formation properties. In this work, for coalbed methane reservoirs with different face cleat permeability and heterogeneity coefficients, reservoir simulation is used to simulate the production with three well patterns including square, rectangle and rhombus, the reasonable range of face cleat permeability and heterogeneity coefficient is obtained for each well pattern. The simulation results indicate that square well pattern is not applicable to the development of coalbed methane reservoir, rectangle well pattern is appropriate to the development of coalbed methane reservoirs with medium, low or ultralow permeability, rhombus well pattern is suitable to the development of coalbed methane reservoirs with medium or high permeability.

Key words: coalbed methane; well pattern; reservoir simulation; optimization

由于煤储层的非均质性, 地质条件、水文条件复杂等因素, 导致煤层气作业理论和施工工艺与应用相对复杂, 煤层气生产井井网布置方法就是一个难题。煤层气生产井井网布置取决于诸多因素, 包括煤层渗透率、储层压力、煤层破裂压力、煤层闭合压力、煤层压力梯度、水动力条件等^[1]。布设井网可以扩大压降影响的范围, 各井之间压力变化的干扰会对煤层气的解析非常有利^[2]。对于低渗透率

煤层, 在部署煤层气井井网时, 还须要考虑煤层渗透率的各向异性^[3]。目前, 对煤层气直井开发井网的选择认识还不是太清楚, 缺乏针对不同储层条件煤层气藏的井网优选方法。为了高效开发煤层气藏, 提高煤层气藏的采收率, 需提出不同储层条件下煤层气藏的合理井网。本文针对不同渗透率、不同各向异性的煤层气藏, 基于数值模拟方法, 对正方形、矩形以及菱形等 3 种不同井网进行模拟, 以期得出

收稿日期: 2011-04-21

基金项目: 国家重点基础研究发展计划(973 计划)项目(2009CB219606); 国家科技重大专项课题(2009ZX05038-005)

作者简介: 石军太(1984—), 男, 甘肃白银人, 博士研究生, 从事数值模拟、气藏开发及试井等研究工作。

适合不同井网开发的储层渗透率和各向异性的范围。

1 煤层气直井井网优选方法

应用数值模拟技术, 使用 CMG 组分模拟器对煤层气直井开发中正方形、矩形和菱形 3 种井网进行适应性优选。模拟采用双孔单渗模型, 基质孔隙和割理为储存空间, 割理为渗流通道, 基质孔隙不参与渗流。结合国内煤储层的实际情况, 压裂裂缝半长为 60~80 m, 因此模拟中裂缝半长采用 75 m。在美国, 对于渗透率小于 6 mD 的煤层, 最大井距一般为 300 m^[4]; 若渗透率高于 6 mD, 井距可大于 300 m。由于研究的渗透率范围较广(0.4~20 mD), 选取具有代表性的井距(350 m), 正方形井网情况下单井井网控制面积 122 500 m²。为了保证 3 种井网开发的效果具有可比性, 保持 3 种井网的单井控制面积相同(122 500 m²), 矩形井网的长宽比为 3:2, 菱形井网的边长夹角为 60°和 120°。3 种井网如图 1 所示。

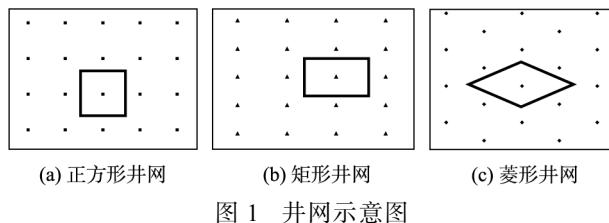


Fig. 1 Schematic diagram of well patterns

模拟煤层厚度为 12 m, 地层压力为 2.8 MPa, 割理孔隙度为 3%, 割理中的原始含水饱和度为 100%, 含气量为 15.1 m³/t, 兰氏体积为 28 m³/t, 兰氏压力为 2.4 MPa, 临界解吸压力为 2.8 MPa。模拟主裂缝方向渗透率 k_x (即面割理渗透率)分别为 0.4、0.8、1.6、3、6、12 和 20 mD, 各向异性系数 k_y/k_x 分别为 0.033、0.1、0.167、0.33、0.5、0.67 和 1。共模拟了 7(不同渗透率)×7(不同各向异性系数)×3(正方形、矩形和菱形井网)=147 套方案, 均以 0.3 MPa 的定井底流压生产, 优化指标为 15 a 后的累产量。

2 煤层气直井井网优选结果

图 2 为当面割理渗透率(k_x)分别为 20、1.6 和 0.4 mD 时, 3 种井网在不同各向异性煤层中 15 a 累产量的对比图。图 3 为正方形井网与菱形井网开发效果对比图。图 4 为矩形井网与菱形井网开发效果图。图 3 和图 4 的纵坐标大于 1, 表明该井网的开发效果好于菱形井网的开发效果; 纵坐标小于 1, 表明

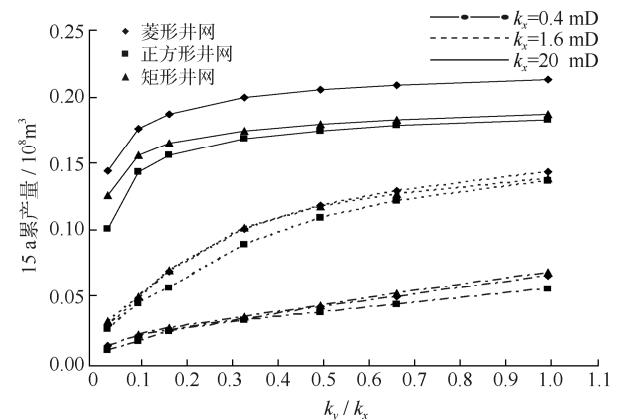


图 2 不同面割理渗透率煤储层 3 种井网开发效果对比图

Fig. 2 Comparison of developing efficiencies by using 3 well patterns for coal reservoirs with different face cleat permeability

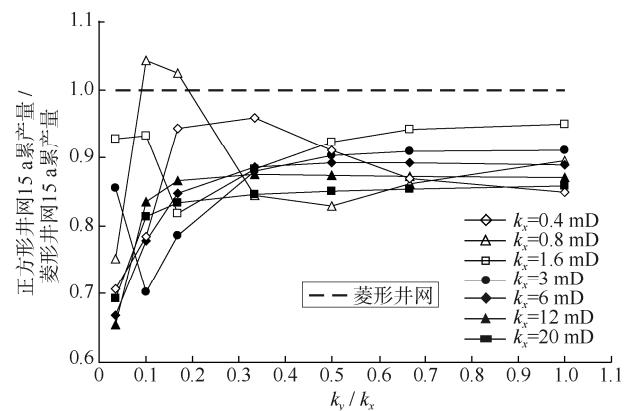


图 3 正方形井网与菱形井网开发效果对比图

Fig. 3 Comparison of development efficiencies between square well pattern and rhombus pattern

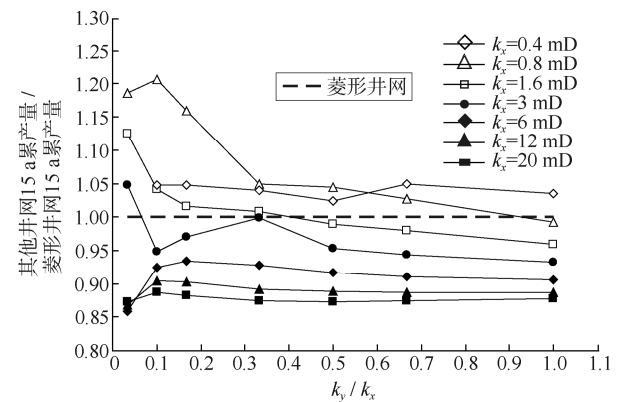


图 4 矩形井网与菱形井网开发效果对比图

Fig. 4 Comparison of development efficiencies between rectangular well pattern and rhombus pattern

该井网的开发效果差于菱形井网的开发效果。

模拟结果表明: 当面割理渗透率(k_x)在 0.4~20 mD 范围内, 正方形井网开发效果低于矩形井网和菱形井网(图 2 和图 3); 当渗透率(k_x)大于 6 mD, 菱形井

网的开发效果都好于正方形井网和矩形井网(图 4);当渗透率(k_x)小于 0.4 mD, 距形井网的开发效果都好于正方形井网和菱形井网(图 2 和图 4)。当渗透率(k_x)介于 0.8~3 mD, 且各向异性系数小于某一临界值, 距形井网的开发效果好于菱形井网; 当各向异性系数大于该临界值, 菱形井网的开发效果好于距形井网(图 4)。如渗透率(k_x)为 0.8 mD, 该临界值为 0.9; 渗透率(k_x)为 1.6 mD, 该临界值为 0.4; 如渗透率(k_x)为 3 mD, 该临界值为 0.06。

通过研究, 首次制作出基于国内一般煤层气藏物性特征的直井井网优选图版(图 5)。应用该图版可以指导煤层气藏开发中优选合理井网。对于一个特定的煤层气藏, 根据其面割理方向的渗透率和各向异性系数, 用本图版可以优选出该煤层气藏开发效果最优的井网。以陕西韩城矿区为例, 其煤层面割理的平均渗透率约为 2 mD, 渗透率各向异性系数的平均值约为 0.6, 应用直井井网优选图版可知, 菱形井网开发效果最优。因此, 韩城矿区选用菱形井网进行煤层气开发, 目前各气井开发效果良好。

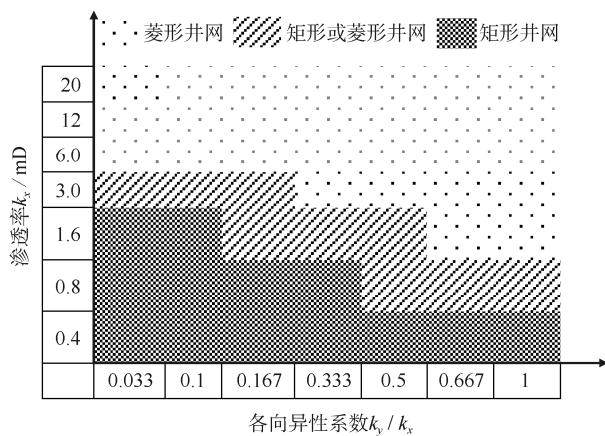


图 5 直井井网优选图版

Fig. 5 Plate for optimization of vertical well patterns

3 煤层气直井井网优选结果的理论分析

对于煤层气藏开发中的井网优选, 应首先均衡压力在面割理和端割理方向的干扰时间, 使压力均衡下降, 达到解析、扩散、渗流的目的。无论渗透率多高, 正方形井网由于在面割理和端割理方向的干扰时间相差较大(面割理方向很快达到干扰, 而端割理方向很慢才达到干扰), 开发效果都低于矩形井网和菱形井网。

排除正方形井网后, 菱形井网和矩形井网的对比与渗透率和各向异性程度有关。

高渗情况下, 压力在面割理方向的传播很容易,

但在端割理方向的传播相对较难, 因此应尽可能增加端割理方向的干扰。在同样大小的单井控制面积下, 菱形井网的排距小于矩形井网的排距, 因此菱形井网在端割理方向的干扰强于矩形井网, 菱形井网的开发效果优于矩形井网的开发效果。

低渗情况下, 压力在面割理和端割理方向的传播都较慢, 但在面割理方向的传播要好于端割理方向, 因此在均衡面割理方向和端割理方向干扰时间的基础上, 应尽可能增加面割理方向的干扰。在同样大小的单井控制面积下, 矩形井网的井距小于菱形井网的井距, 因此矩形井网在面割理方向的干扰程度要强于菱形井网, 矩形井网的开发效果优于菱形井网的开发效果。

中渗情况下, 视各向异性系数的不同, 矩形井网与菱形井网的过度带有所差异。各向异性系数较低的情况下, 应尽可能关注面割理方向的干扰; 各向异性系数较高的情况下, 应尽可能关注端割理方向的干扰。

4 结 论

a. 通过数值模拟研究, 在同样大小的单井控制面积下得出如下认识: 当渗透率在 0.8~20 mD 范围内, 正方形井网效果最差; 当渗透率大于 6 mD, 采用菱形井网效果最优; 当渗透率低于 0.4 mD, 矩形井网效果最优; 当渗透率介于 0.8~3 mD, 可根据各向异性系数的值, 选择矩形井网或菱形井网。

b. 通过研究, 首次制作出基于国内一般煤层气藏物性特征的直井井网优选图版。根据面割理方向的渗透率和各向异性系数, 应用该图版可以优选出煤层气藏开发效果最优的井网。

c. 由于我国煤层气藏的开发还处于初期阶段, 鉴于现场资料的局限性, 本文的研究结论还有待于进一步检验。

参考文献

- [1] 冯培文. 潞安矿区煤层气生产井井网布置方法的探讨[J]. 中国煤炭地质, 2008, 20(11): 21~23.
- [2] 杨曙光, 周梓欣, 秦大鹏, 等. 新疆阜康市阜试 1 井煤层气产气分析及小井网布设建议[J]. 中国西部科技, 2010, 9(26): 3~4, 9.
- [3] 李明宅. 沁水盆地枣园井区煤层气采出程度[J]. 石油学报, 2005, 26(1): 92~95.
- [4] 钱凯, 赵庆波, 汪泽成, 等. 煤层气甲烷勘探开发理论与实验测试技术[M]. 北京: 石油工业出版社, 1997.