

引用格式:步玉环,路通,路畅,等. 毕节试验区煤层气开发分支井类型优选[J]. 油气藏评价与开发, 2025, 15(6): 1088-1095.

BU Yuhuan, LU Tong, LU Chang, et al. Optimal selection of lateral well types for coalbed methane development in Bijie test area[J]. Petroleum Reservoir Evaluation and Development, 2025, 15(6): 1088-1095.

DOI: 10.13809/j.cnki.cn32-1825/te.2025.06.015

毕节试验区煤层气开发分支井类型优选

步玉环^{1,2}, 路通^{1,2}, 路畅³, 向刚^{4,5}, 郭胜来^{1,2}

(1. 非常规油气开发教育部重点实验室中国石油大学(华东), 山东 青岛 266580; 2. 中国石油大学(华东)石油工程学院, 山东 青岛 266580; 3. 青岛理工大学环境与工程学院, 山东 青岛 266520; 4. 自然资源部复杂构造区非常规天然气评价与开发重点实验室, 贵州 贵阳 550009; 5. 贵州省油气勘查开发工程研究院, 贵州 贵阳 550009)

摘要: 多分支水平井是煤层气高效开发方式之一, 具有较高的产能潜力。研究选取贵州省毕节试验区作为研究对象, 该区域煤层气资源丰富, 地质储量可观, 整体构造相对简单, 无较大断裂带发育, 具有典型的煤层气开发地质特征。为探究适合毕节试验区的分支井类型, 研究基于PETREL软件建立煤层气数值模拟模型, 分析鱼骨状分支井和扇形分支井2种典型多分支井型在煤层气开发中的产能影响规律, 研究过程中, 重点考察了分支角度、分支长度、分支间距等关键参数对产能的影响, 并通过数值模拟方法定量评价了2种井型的开发效果差异。同时还综合对比分析了两者在钻井难度、施工成本、适应性方面的差异。研究结果表明: 在一定范围内, 鱼骨状分支井产能随分支长度增大, 分支井波及范围增大, 产量也随之增大但增大到一定程度, 产能增幅减小; 鱼骨状分支井产能随分支角度、分支数量、井斜角的增大而增大。扇形分支井主井筒夹角介于 $30^{\circ}\sim 90^{\circ}$ 时, 随夹角增大, 日产气量增大; 在一定条件下, 产能随分支长度增大而增大, 但达到一定程度后增长减缓。扇形分支井分支角度和数量增大时, 产能也增大。鱼骨状分支井在复杂地层条件下适应性更强, 能够有效降低钻井难度和施工成本, 而扇形分支井在提高单井产能方面表现更为突出。因此, 在实际煤层气开发中, 需综合考虑地质条件、经济成本和技术水平等因素, 选择合适的分支井类型, 以实现最佳的开发效果和经济效益。研究为毕节试验区及类似地区煤层气高效开发提供了理论依据和实践价值。

关键词: 分支井; 煤层气; 降压模型; 产能分析; 钻井难度

中图分类号: TE22

文献标识码: A

Optimal selection of lateral well types for coalbed methane development in Bijie test area

BU Yuhuan^{1,2}, LU Tong^{1,2}, LU Chang³, XIANG Gang^{4,5}, GUO Shenglai^{1,2}

(1. Key Laboratory of Unconventional Oil and Gas Development, Ministry of Education, China University of Petroleum (East China), Qingdao, Shandong 266580, China; 2. School of Petroleum Engineering, China University of Petroleum (East China), Qingdao, Shandong 266580, China; 3. School of Environmental and Municipal Engineering, Qingdao University of Technology, Qingdao, Shandong 266520, China; 4. Key Laboratory of Unconventional Natural Gas Evaluation and Development in Complex Tectonic Regions, Ministry of Natural Resources, Guiyang, Guizhou 550009, China; 5. Guizhou Engineering Research Institute of Oil & Gas Exploration and Development, Guiyang, Guizhou 550009, China)

Abstract: Drilling multi-lateral horizontal wells is an efficient method for coalbed methane (CBM) development, offering high production potential. This study selected the Bijie test area in Guizhou Province as the research object. This region is characterized by abundant CBM resources, substantial geological reserves, a relatively simple structural setting, and the absence of major fault zones, representing typical geological conditions for CBM development. To identify the suitable lateral well types for this area, a CBM numerical simulation model was established using the PETREL software. Two typical multi-lateral well types, fishbone-shaped lateral wells and fan-shaped lateral wells, were analyzed to investigate their production performance. The study specifically examined the influences of key parameters, including lateral angle, lateral length, and lateral spacing, on production capacity. The differences in development effectiveness between the two well types were quantitatively evaluated using numerical simulations. Differences in drilling difficulty, construction cost, and adaptability were also comprehensively compared. The results showed that within a certain range, the production capacity of fishbone-shaped lateral wells increased with increasing lateral length and the extent of drainage area, but the increase rate decreased beyond a threshold. The production

收稿日期: 2024-11-05。

第一作者简介: 步玉环(1966—), 女, 博士, 教授, 从事油气井化学与工程、油气井力学与工程、固井与完井工程、井筒完整性、新型固井材料方向研究。地址: 山东省青岛市黄岛区长江西路66号, 邮政编码: 266580。E-mail: buyuhuan@163.com

通信作者简介: 路通(2001—), 男, 硕士, 从事煤层气多分支水平井研究。地址: 山东省青岛市黄岛区长江西路66号, 邮政编码: 266580。E-mail: 1534605235@qq.com

基金项目: 贵州省科技计划项目“贵州高阶煤储层多分支水平井煤层气开发的关键理论与技术研究”(黔科合支撑[2023]一般369); 贵州省地质勘查资金项目“毕节试验区煤层气资源调查评价与开发技术研究”(52000021MGQSE757K6PRP)。

capacity also increased with increasing lateral angle, number of laterals, and well inclination angle. For fan-shaped lateral wells, when the angle between main boreholes ranged from 30° to 90° , the daily gas production increased with larger angles. Similarly, the production capacity increased with increasing lateral length, but the growth rate slowed after a certain threshold. The production capacity also increased with increasing lateral angle and number of laterals. Fishbone-shaped lateral wells demonstrated stronger adaptability under complex geological conditions and could effectively reduce drilling difficulty and construction costs, while fan-shaped lateral wells performed better in enhancing single-well production capacity. Therefore, in practical CBM development, geological conditions, economic costs, and technical capabilities should be comprehensively considered to select the appropriate lateral well type for optimal development performance and economic benefit. This study provides a theoretical basis and practical guidance for the efficient development of CBM in the Bijie test area and similar regions.

Keywords: lateral well; coalbed methane; pressure drop model; production capacity analysis; drilling difficulty

毕节试验区煤层气资源丰富,尤其是黔北、织纳煤田,煤层气资源潜力极高,是贵州省重要的能源基地^[1]。然而该地区原油资源缺乏,油气自身供给不足,煤层气产业发展基础相对薄弱。毕节试验区整体构造相对简单,无较大断裂带发育,局部存在小型构造发育,地层倾角多介于 $3^\circ\sim 5^\circ$,相对平缓,目标煤体结构主要以原生结构为主,煤岩类型以无烟煤为主,煤岩质地较坚硬,机械强度相对较高,煤层稳定性较好。前期开发中,毕节试验区主要采用丛式井和鱼骨状分支井开采,具有良好的采收效益。近年来,多分支水平井技术可以有效提高煤层气开采效率,减少钻井数量,降低综合成本,逐渐成为煤层气开发的重要方向^[2-3]。

目前,国内外煤层气多分支水平井主要分为扇形分支井和鱼骨状分支井2种类型。鱼骨状分支井能够有效缩短压降路径、改善导流能力并增加泄流面积,从而显著提高产能;扇形分支井即单煤层双主支分支井^[4-5],则有助于改善井眼稳定性、扩大单井覆盖面积并降低井眼坍塌风险等^[2-3]。然而,针对毕节试验区的地质条件和开发需求,尚未有研究明确哪种分支井类型更为适合。

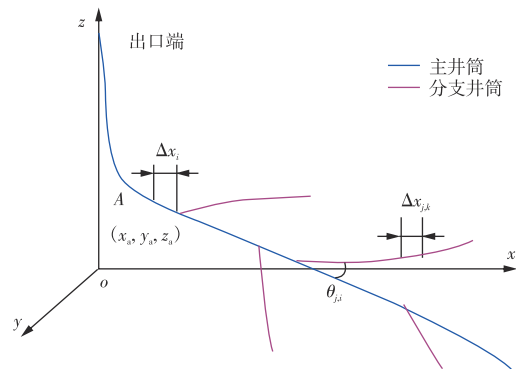
毕节试验区多分支水平井开发尚处探索阶段,目前仅完成1口鱼骨状分支井,根据已钻井施工设计,其分支井水平段长度为500 m,分支角度为 30° ,分支长度为200 m,分支数量为4,分支间距为50 m,因此在研究中主要是以1L1-1H分支井的形态参数作为依据和参考。

研究以毕节试验区为研究对象,参考已建分支井形态参数,通过建立分支井产能模型,使用PETREL软件模拟分析鱼骨状分支井和扇形分支井的形态参数对产能的影响,对比相同进尺长度下两者的产能和钻井难度,来确定适合毕节试验区煤层开发的最佳分支井类型,为该地区煤层气高效开发提供理论依据和技术支持。

1 煤层气分支井筒压降模型

在煤层气生产过程中,地层流体可以通过分支井筒流入主井筒,然后通过出口端到达地面,也可以直接从主井筒流入出口端到达地面^[6]。图1为煤层气鱼骨状分支

井三维井眼轨迹示意图,假设有 T 个分支,将主井筒沿跟端至指端分成 n 个微元段,各微元段长度为 Δx_i ($1\leq i\leq n$);将第 j 分支井眼由跟端至指端分为 m_j 段,第 k 微元段的长度为 $\Delta x_{j,k}$ ($1\leq j\leq T, 1\leq k\leq m_j$),第 j 分支井筒与主井筒的夹角为 $\theta_{j,i}$ 。考虑摩擦压降和加速压降^[7]。



注:A为井筒跟端; (x_a, y_a, z_a) 为微元段 Δx_i 坐标。

图1 煤层气鱼骨状分支井三维井眼轨迹示意图
Fig. 1 Schematic diagram of a fishbone-shaped wellbore trajectory in 3D for coalbed methane well

1) 鱼骨状分支井主井筒流动模型

井段内无分支情况下,主井筒压降为:

$$\Delta p_i = \frac{\rho_i f_i \Delta x_i (2Q_i + Q_{Ri})^2}{1.6\pi D^5} + \frac{2\rho_i g Q_{Ri} (2Q_i + Q_{Ri})}{\pi^2 D^4} \quad (1)$$

式中: Δp_i 为主井筒第 i 微元段压降,单位Pa; ρ_i 为主井筒第 i 微元段内混合流体密度,单位 kg/m^3 ; f_i 为主井筒第 i 微元段内流体与井筒管壁间的摩擦因数; Δx_i 为主井筒第 i 微元段长度,单位m; Q_i 为由主支井段相邻上游流入第 i 微元段的流量,单位 m^3/d ; Q_{Ri} 为由煤层流入第 i 微元段的流量,单位 m^3/d ; D 为井筒直径,单位m; g 为重力加速度,单位 N/kg 。

井段内有分支情况下,主井筒压降为:

$$\Delta p_i = \frac{\rho_i f_i \Delta x_i (2Q_i + Q_{Ri} + Q_{Hi})^2}{1.6\pi D^5} + \frac{0.5\rho_i \sin \theta_{j,i} (Q_i + Q_{Ri} + Q_{Hi})^2}{\pi^2 D^4} + \frac{\rho_i g \cos \theta_{j,i} (Q_{Ri} + Q_{Hi}) (2Q_i + Q_{Ri} + Q_{Hi})}{\pi^2 D^4} \quad (2)$$

式中: Q_{Hi} 为由分支流入第 i 微元段的流量, 单位 m^3/d ; $\theta_{j,i}$ 为第 j 分支井筒与主井筒夹角, 单位 $(^\circ)$ 。

主井筒相邻上游流入第 i 微元段的流量为该井段所有上游主支和分支流量之和:

$$Q_i = \sum_{f=i+1}^n Q_{Rf} + \sum_{j=w+1}^T \sum_{k=1}^{m_j} Q_{Rj,k} \quad (3)$$

式中: Q_{Rf} 为上游井筒的流量, 单位 m^3/d ; w 为主井筒第 i 微元段至跟端分支井的数量; $Q_{Rj,k}$ 为由煤层流入第 j 分支的第 k 微元段的流量, 单位 m^3/d 。

2) 鱼骨状分支井分支井筒流动模型

鱼骨状分支井分支井筒压降为:

$$\Delta p_{j,k} = \frac{\rho_{j,k} f_{j,k} \Delta x_{j,k} (2Q_{j,k} + Q_{Rj,k})^2}{1.6\pi d_j^5} + \frac{2\rho_{j,k} g Q_{Rj,k} \sin \theta_{j,i} (2Q_{j,k} + Q_{Rj,k})}{\pi^2 d_j^4} \quad (4)$$

式中: $\Delta p_{j,k}$ 为第 j 分支第 k 微元段压降, 单位 Pa; $\rho_{j,k}$ 为流入第 j 分支第 k 微元段流体的密度, 单位 kg/m^3 ; $f_{j,k}$ 为第 j 分支第 k 微元段流体阻力系数; $\Delta x_{j,k}$ 为第 j 分支的第 k 微元段长度, 单位 m; $Q_{j,k}$ 为流入第 j 分支第 k 微元段上游的流量, 单位 m^3/d ; d_j 为第 j 分支井眼的直径, 单位 m。

分支段相邻上游流入微元段的流量:

$$Q_{j,k} = \sum_{a=k+1}^{m_j} Q_{Rj,a} \quad (5)$$

式中: $Q_{Rj,a}$ 为由煤层流入第 j 分支的第 a 微元段的流量, 单位 m^3/d 。

2 不同分支井类型煤层气产能影响分析

毕节试验区整体构造相对简单, 无较大断裂带发育, 局部存在小型构造发育, 地层倾角多介于 $3^\circ \sim 5^\circ$, 相对平缓, 满足构造要求。煤体结构主要以原生结构为主, 煤岩类型以无烟煤为主, 煤岩质地较坚硬, 机械强度相对较高、煤层稳定性较好, 钻水平井把握性相对较大。目标煤层渗透率介于 $(0.0197 \sim 0.1680) \times 10^{-3} \mu m^2$, 基本能够达到开发所需的对煤层渗透率的要求, 且含气量充足^[8]。目标区块煤层位于地表下 400~900 m, 顶部覆盖一层泥质粉砂岩, 厚度大、致密坚硬, 破坏压力介于 9.84~19.31 MPa, 相对不易发生应力破坏, 能够保证在钻井过程中地层的稳定, 有利于封盖煤层气藏。

图2为煤层气多分支水平井几何形态示意图^[4-5], 结合分支井产能模型, 应用 PETREL 软件进行分支井建模, 代入目标煤层地质参数, 得到模型基本参数: 煤层厚度为 10 m, 煤层密度为 1.62 t/m³, 地层压力为 4.8 MPa, 水密度

为 1 kg/m³, 水黏度为 0.833 mPa·s, 气体密度为 0.856 kg/m³, 临界解析压力为 1.53 MPa, Langmuir (朗缪尔) 体积常数为 0.025 3 kg/m³, 裂缝孔隙度为 0.03, 裂缝渗透率为 $1.97 \times 10^{-3} \mu m^2$, 煤层基质孔隙度为 7.27%, 煤层基质渗透率为 $6.9 \times 10^{-5} \mu m^2$, 区块面积为 $(1\ 000 \times 1\ 500) m^2$, 岩石压缩系数为 $1.45 \times 10^{-5} MPa^{-1}$, 井底压力为 3.59 MPa, 扩散系数为 0.28 m²/d。根据邻井轨迹, 在其形态参数的基础上, 模拟不同形态参数的分支井产气量, 对比得到最优结果。

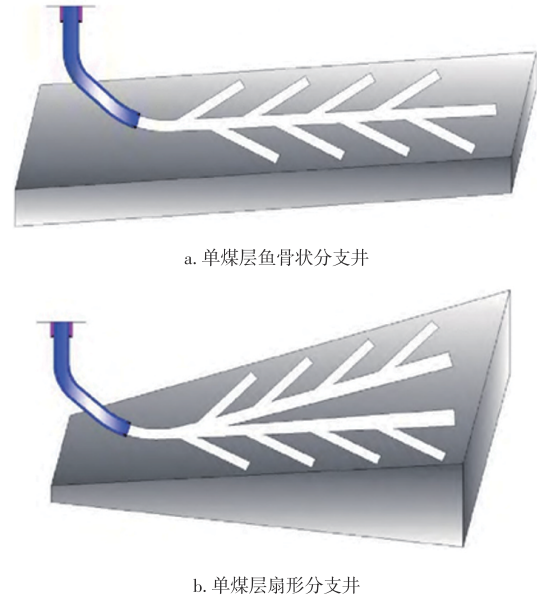


图2 煤层气多分支水平井几何形态示意图

Fig. 2 Schematic diagram of geometric morphology for coalbed methane multi-lateral horizontal well

2.1 鱼骨状分支井形态参数对产能的影响

2.1.1 分支长度对产能的影响

如图3所示, 在地层中设置分支井主井筒水平段长度为 1 000 m, 分支角度为 30° , 分支数量为 4, 分支间距为 150 m, 井斜角 94° 的条件下, 改变分支长度研究分支长度

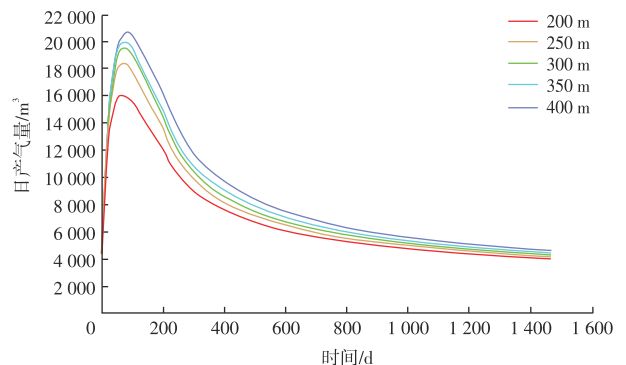


图3 不同分支长度对煤层气日产气量的影响

Fig. 3 Effect of lateral length on daily gas production of coalbed methane

对煤层气产能的影响。将单分支长度设置为200、250、300、350、400 m,可以看到随着分支长度的增大,煤层气日产气量增大,峰值也随之增大。随分支长度增大,分支井波及范围增大,日产气量也随之增大。但是当分支长度增大到300~400 m时,日产气量增大幅度变小^[9],因此继续增大分支长度,开采成本就加大,从收益上看并不是分支长度越长越好。

2.1.2 分支角度对产能的影响

图4为不同分支角度对煤层气日产气量的影响,在地层中设置分支井主井筒水平段长度为1 000 m,单分支长度为200 m,分支数量为4,分支间距为150 m,井斜角为94°的条件下,改变分支角度研究分支角度对煤层气产能的影响。将分支角度分别设置为15°、30°、45°、60°,可以从图4中看到,随分支角度的增大,日产气量和峰值都增大,主要是因为分支角度越大,对主井筒的干扰作用减小^[10],水平井对周围地层的影响范围越大,分支井日产气量就增大。因此提高分支与主井筒的夹角能适当提高分支井日产气量,但是在实际设计过程中还需要考虑钻井、完井工具最小许可弯曲半径的影响。

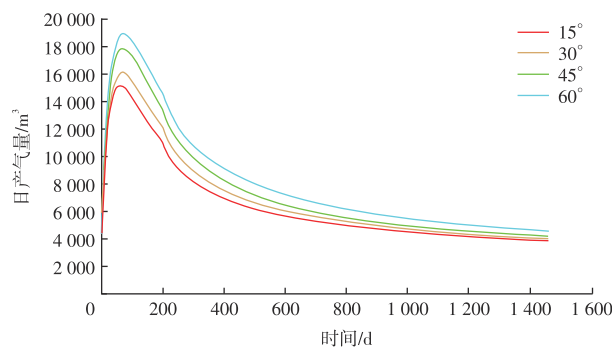


图4 不同分支角度对煤层气日产气量的影响

Fig. 4 Effect of lateral angle on daily gas production of coalbed methane

2.1.3 分支数量对产能的影响

图5为不同分支数量对煤层气日产气量的影响,在地层中设置分支井主井筒水平段长度为1 000 m,单分支长度为200 m,分支角度为30°,分支间距为150 m,井斜角为94°的条件下,改变分支数量研究分支数量对煤层气产能的影响。将分支数量分别设置为2、4、6,可以看到随着分支数量增加,煤层气日产气量增大,峰值越高,随后日产气量下降速度就越快,随着生产的进行日产气量趋于一致。主要是由于随着分支数量的增加,其压力传导范围也相应增大^[11]。理论上分支数量越多产气量就越大,但是从经济上讲并不是分支数量越多越好,需要根据投入和产出,来选择合适的分支数量。

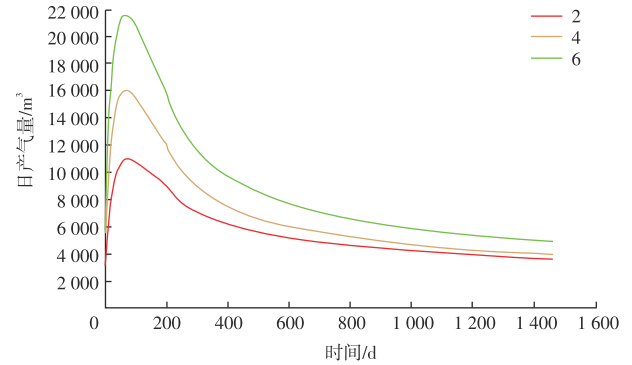


图5 不同分支数量对煤层气日产气量的影响

Fig. 5 Effect of number of laterals on daily gas production of coalbed methane

2.1.4 分支间距对产能的影响

图6为不同分支间距对煤层气日产气量的影响,在地层中设置分支井主井筒水平段长度为1 000 m,单分支长度为200 m,分支角度为30°,分支数量为4,井斜角为94°的条件下,改变分支间距研究分支间距对煤层气产能的影响。将分支间距分别设置为50、100、150、200 m的条件下,可以看到随着分支间距的增大,分支井的产能也随之增大,这是因为随分支间距增大,其波及范围增大,分支井间的干扰减小^[12]。

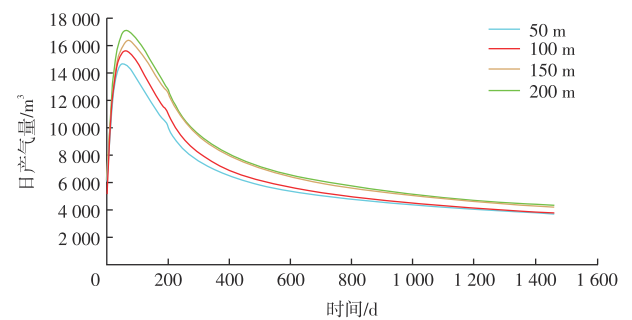


图6 不同分支间距对煤层气日产气量的影响

Fig. 6 Effect of lateral spacing on daily gas production of coalbed methane

2.1.5 井斜角对产能的影响

图7为不同井斜角对煤层气日产气量的影响,在地层中设置分支井主井筒水平段长度为1 000 m,单分支长度为200 m,分支角度为30°,分支数量为4,分支间距为150 m的条件下,改变井斜角研究井斜角对煤层气产能的影响。

由图7可见,在一定范围内,随井斜角增大,煤层气产能增大。主要是由于随井斜角增大,水相流动性增强,有利于气井稳定排水降压,水平井高部位没有与任何井眼对接,解吸出来的煤层气在构造高部位逐渐聚集

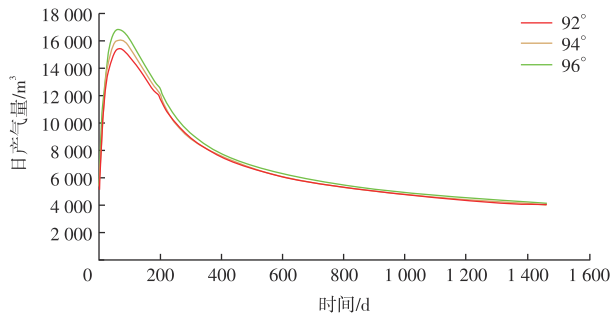


图7 不同井斜角对煤层气日产气量的影响

Fig. 7 Effect of well inclination angle on daily gas production of coalbed methane

增压,进而驱动煤层水流向构造低部位,形成气驱水,节省地层能量^[13]。但在选择井斜角时,还需考虑施工难度等问题。

2.2 扇形分支井形态参数对产能的影响

2.2.1 双主井筒间角度对产能的影响

在地层中设置分支井双主井筒水平段长度为500 m,分支角度为45°,分支长度为200 m,分支数量为4的条件下,图8和图9分别给出双主井筒间角度在30°、50°、70°和90°条件下的煤层气日产气量和累计产气量,由图8和图9可以看到,当双主井筒间角度为90°时,煤层气的日产气量和累计产气量达到最大,而双主井筒间角度分别为30°、50°、70°时,日产气量出现较复杂的变化。

通过调研发现^[14],双主井筒间角度在30°时日产气量在一段时间内较高,其主要原因是井间干扰的影响,当两井筒之间的距离为较合理的长度时,随着抽水的继续,就会形成压降漏斗的有效叠加,加快解析,达到“1+1>2”的效果。当双主井筒间角度为30°时,其产能会在一段时间内较高,而随着对储层的进一步开采,压降漏斗叠加所带来的效果逐渐减弱,且由于井筒间的距离较近,造成开采

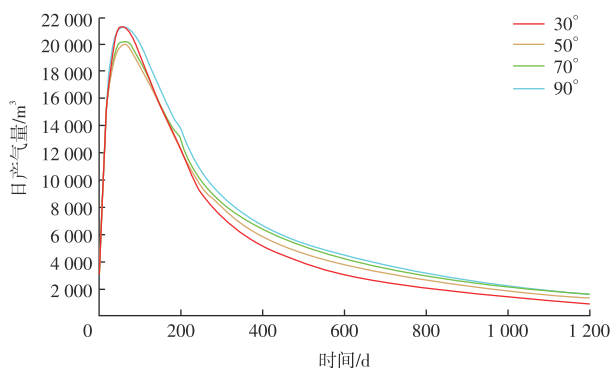


图8 不同双主井筒间角度对煤层气日产气量的影响

Fig. 8 Effect of angle between main wellbores on daily gas production of coalbed methane

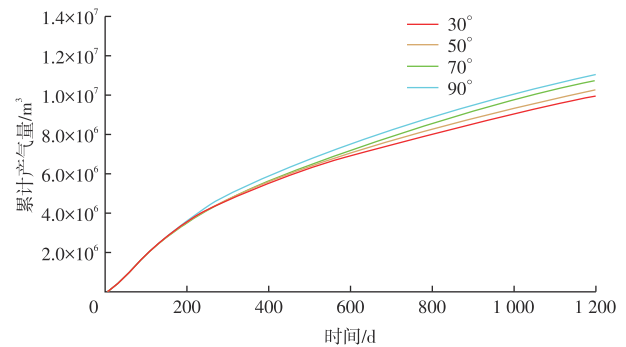


图9 不同双主井筒间角度对煤层气累计产气量的影响

Fig. 9 Effect of angle between main wellbores on cumulative gas production of coalbed methane

面积的重叠,而井筒较远时则不会出现这种现象。因此,随着开采的进行,双主井筒间角度为30°时的日产气量和累计产气量会慢慢低于夹角为50°和70°时的日产气量。

总体来说,随双主井筒间角度的增大,分支井的波及范围增大,井间干扰程度降低,煤层气的产量会不断增大。

2.2.2 双主井筒水平段长度对产能的影响

图10为不同双主井筒水平段长度对煤层气日产气量的影响,在地层中设置分支井双主井筒间角度为50°,分支角度为45°,分支长度为200 m,分支数量为4的条件下,双主井筒水平段长度在400、500、600、700、800 m条件下的煤层气日产气量。可以看到,随双主井筒水平段长度增大,其煤层气日产气量峰值增大,累计产气量增大,主要原因还是双主井筒水平段增长,分支井波及范围增大,产气量增大。但当长度增加到600 m之后,煤层气日产气量峰值增加幅度降低,因此双主井筒水平段长度并非越长越好,可根据具体煤层边界及投入成本,选择合适的双主井筒水平段长度。

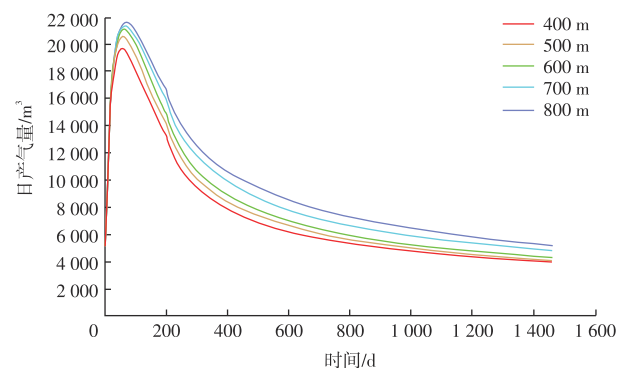


图10 不同双主井筒水平段长度对煤层气日产气量的影响

Fig. 10 Effect of horizontal section length of main wellbores on daily gas production of coalbed methane

2.2.3 分支数量对产能的影响

图11为不同分支数量对煤层气日产气量的影响,在地层中设置分支井双主井筒间角度为 50° ,双主井筒水平段长度为500 m,分支角度为 45° ,分支长度为200 m的条件下,分支数量为2、4、6(即每个主井筒上有1、2、3条分支)条件下的煤层气日产气量,可以看到,随着分支数量的增大,日产气量也相应地增大,峰值越高,随后日产气量下降速度变大^[15]。

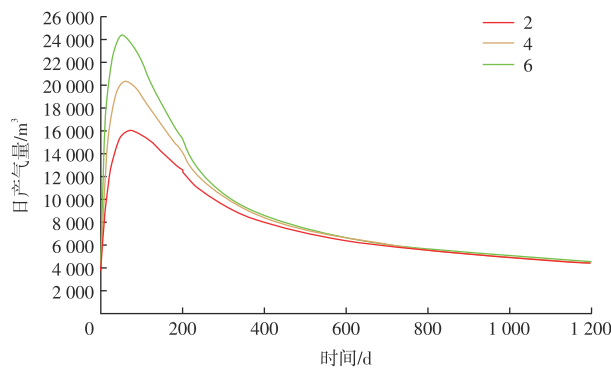


图11 不同分支数量对煤层气日产气量的影响

Fig. 11 Effect of number of laterals on daily gas production of coalbed methane

随着分支数量的增加,其压力传导范围也相应增大,但井间干扰也逐步加强,钻井成本也会增大,因此并不是越多越好。

2.2.4 分支角度对产能的影响

图12为不同分支角度对煤层气日产气量的影响,在地层中设置分支井双主井筒间角度为 50° ,双主井筒水平段长度为500 m,分支数量为4,分支长度为200 m的条件下,分支角度为 15° 、 30° 、 45° 、 60° 条件下的煤层气日产气量。

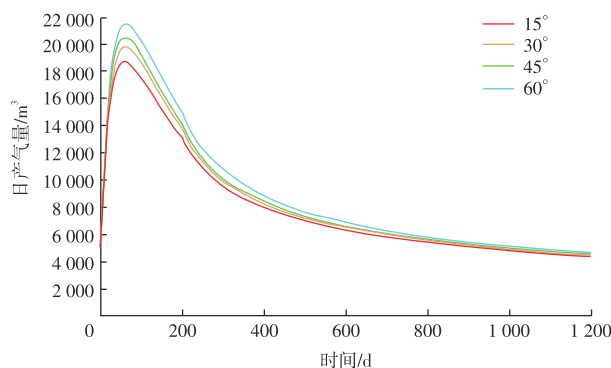


图12 不同分支角度对煤层气日产气量的影响

Fig. 12 Effect of lateral angle on daily gas production of coalbed methane

由图12可以看到,随角度的增大产气量和峰值都是增大。主要原因分支角度较小时,井间干扰较为严重,随分支角度增大,井间干扰逐渐减弱,同时井筒波及范围增大,增产效果明显。

3 相同进尺长度下不同分支井类型煤层气产能、钻井难度对比

3.1 相同进尺长度下不同分支井类型对煤层气产能影响

在产能模拟过程中,应用部分毕节地层数据如表1所示,研究不同分支井类型对煤层气产能的影响。鱼骨状和扇形分支井(双主井筒分支井)形态参数见表1。

表1 对比研究中鱼骨状和扇形分支井形态参数

Table 1 Morphological parameters of fishbone-shaped and fan-shaped lateral wells in comparative studies

分支井类型	主井筒水平段长度/m	主井筒间角度/ $^\circ$	分支长度/m	分支角度/ $^\circ$	分支数量	总进尺长度/m
鱼骨状	1000		250	45	4	2000
扇形	600+600	50(25+25)	200	45	4	2000

图13为不同分支井类型煤层气日产气量变化,扇形分支井产能峰值高于鱼骨状分支井,随着开采时间增加,日产气量趋于相同。其主要原因为扇形分支井的波及范围大于鱼骨状分支井^[16],导致其开采初期产期速率较大。

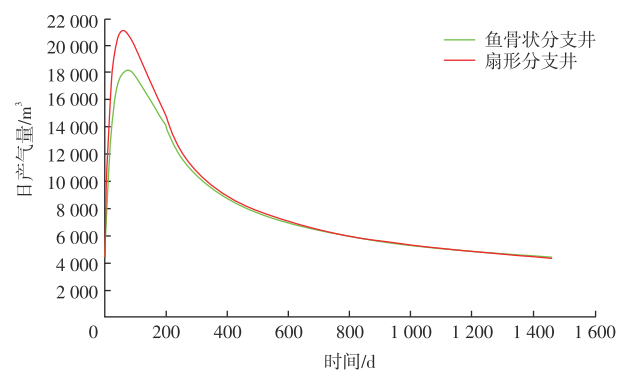


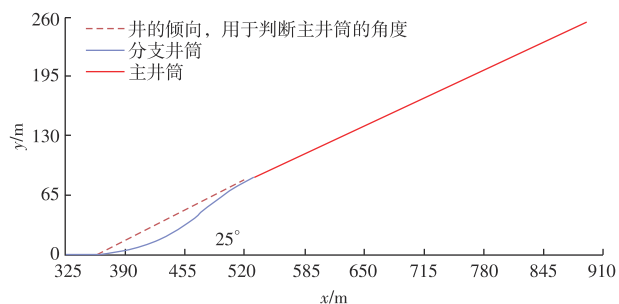
图13 不同分支井类型煤层气日产气量变化

Fig. 13 Variations in daily gas production of coalbed methane for different lateral well types

3.2 相同进尺长度下不同分支井类型钻井难度分析

多分支水平井的产能受到形态参数的影响,然而除了考虑产能影响还需要考虑分支的钻井可行性问题。同样采用产能对比研究中的鱼骨状和扇形分支井的形态参数(表1)。其主要钻井难度差别在于分支井筒的钻井和双主井筒造斜段。

应用 COMPASS 软件分析计算双主井筒构造的造斜率,扇形分支井双主支均需要造斜,以其中一主井筒为例,设置造斜段长度为 200 m,分 2 次进行造斜,计算单个井筒 25° 条件下的造斜率。图 14 为扇形分支井的主井筒造斜段与水平段井眼平投影示意图。

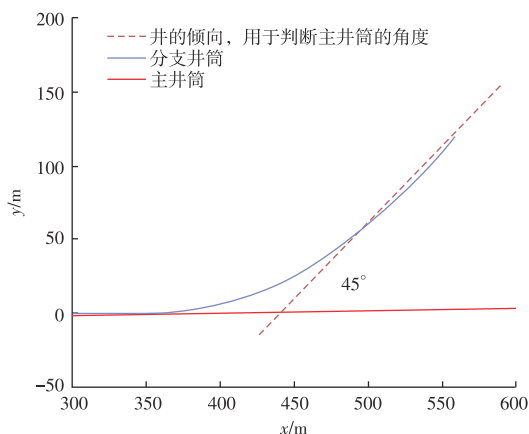


注: x 为东西方向坐标; y 为南北方向坐标。

图 14 扇形分支井的主井筒造斜段与水平段井眼平投影示意图
Fig. 14 Horizontal projection diagram of boreholes in build-up and horizontal sections of main wellbore in a fan-shaped lateral well

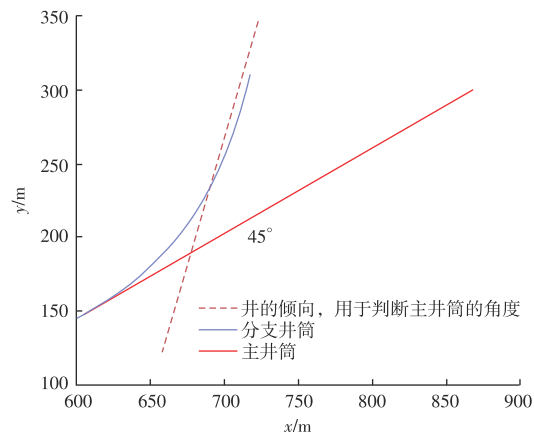
应用 COMPASS 软件分析计算在鱼骨状分支井主井筒上侧钻分支角度为 45°, 长度为 250 m 分支井筒,造斜率为 8°/30 m 时造斜段长度,主井筒示意图见图 15。在扇形分支井主井筒上侧钻分支角度为 45°,造斜率为 8°/30 m, 长度为 200 m 分支井筒情况下造斜段长度,井筒示意图见图 16。扇形分支井与鱼骨状分支井钻井难度数据对比见表 2。

由表 2 可以看到,设计过程中为达到双主井筒间角度要求,扇形分支井需额外进行主井筒造斜,且造斜率过大,施工难度大,成本高。相比之下,鱼骨状分支井不需要进行额外主井筒造斜,因此鱼骨状分支井的钻井难度明显低于扇形分支井钻井难度。



注: x 为东西方向坐标; y 为南北方向坐标。

图 15 鱼骨状分支井主井筒侧钻 250 m 井眼水平投影示意图
Fig. 15 Horizontal projection diagram of a 250-m sidetracked borehole from main wellbore in a fishbone-shaped lateral well



注: x 为东西方向坐标; y 为南北方向坐标。

图 16 扇形分支井的主井筒侧钻 200 m 井眼水平投影示意图
Fig. 16 Horizontal projection diagram of a 200-m sidetracked borehole from main wellbore in a fan-shaped lateral well

表 2 扇形分支井与鱼骨状分支井钻井难度数据对比

Table 2 Statistical comparison of drilling difficulty between fan-shaped and fishbone-shaped lateral wells

分支井类型	主井筒段		分支段		
	造斜段造斜率/(°)/30 m]	造斜长度/m	分支井筒长度/m	造斜段长度/m	最大造斜率/(°)/30 m]
扇形	9.139/7.543	205.95	200	168.75	8
鱼骨状			250	168.75	8

4 结论

1)对于煤层气鱼骨状分支井,其产能随着分支长度的增大而增大,但在达到一定长度后,其增长幅度逐渐减小。同时,随着分支角度、分支数量、分支间距的增大,煤层气产能也呈现增大的趋势,但并非越大越好,仍需考虑钻井难度、预算等因素。分支井的产能随着井斜角的增大而增大,但在选择合适的井斜角时,还需要考虑地层倾角的影响,以实现最佳的产能效果和经济效益。

2)对于煤层气扇形分支井,当双主井筒间角度为 30° 时,煤层气的产能随着主井筒角度的增大而增大;且初始阶段的日产气量较高,但随着进一步的开采,产量会迅速下降。随着双主井筒水平段长度的增加,产能也会增加,但在达到一定长度后,增长幅度逐渐减小。随着分支角度和分支数量的增加,煤层气产能呈现增加趋势,但并非越大越好,仍需综合考虑钻井难度、预算等因素。

3)对于同一地层,在相同进尺条件下,采用产能最佳形态参数搭配的鱼骨状分支井和扇形分支井相比较,扇形分支井的产能高于鱼骨状分支井,而鱼骨状分支井的钻井难度较低。因此,在选择合适的分支井类型时,还需根据具体地质条件和开采需求进行综合评价,以实现最佳的产能效果和经济效益。

参考文献

- [1] 曾家瑶,高为,颜智华,等. 毕节地区煤层气产业现状及“十四五”开发战略构想[J]. 天然气技术与经济, 2022, 16(6): 23-29.
ZENG Jiayao, GAO Wei, YAN Zhihua, et al. CBM industrial development status in Bijie area and strategical thinking on the 14th Five-Year Plan[J]. Natural Gas Technology and Economy, 2022, 16(6): 23-29.
- [2] 饶孟余,杨陆武,张遂安,等. 煤层气多分支水平井钻井关键技术研究[J]. 天然气工业, 2007, 27(7): 52-55.
RAO Mengyu, YANG Luwu, ZHANG Suian, et al. Critical drilling techniques of multilateral horizontal wells used to develop coalbed methane reservoirs[J]. Natural Gas Industry, 2007, 27(7): 52-55.
- [3] 吴彬彬. 晋平2井组煤层气羽状多分支水平井钻井工程设计与实践[D]. 东营: 中国石油大学(华东), 2011.
WU Binbin. Drilling engineering design and practice of Jinping 2 plume-like horizontal well[D]. Dongying: China University of Petroleum (East China), 2011.
- [4] 高德利,毕延森,鲜保安. 中国煤层气高效开发井型与钻完井技术进展[J]. 天然气工业, 2022, 42(6): 1-18.
GAO Deli, BI Yansen, XIAN Bao'an. Technical advances in well types and drilling&completion for high-efficient development of coalbed methane in China[J]. Natural Gas Industry, 2022, 42(6): 1-18.
- [5] 高德利,鲜保安. 煤层气多分支井身结构设计模型研究[J]. 石油学报, 2007, 28(6): 113-117.
GAO Deli, XIAN Bao'an. Research on design models of multi-lateral well structure for coal-bed methane[J]. Acta Petrolei Sinica, 2007, 28(6): 113-117.
- [6] 张冬丽. 煤层气定向羽状水平井开采数值模拟方法研究[D]. 北京: 中国科学院研究生院(渗流流体力学研究所), 2004.
ZHANG Dongli. A study on numerical simulation method of pinnate horizontal multilateral well for coalbed gas recovery[D]. Beijing: Graduate University of Chinese Academy of Sciences, 2004.
- [7] 姜婷婷,杨秀娟,闫相祯,等. 分支参数对煤层气羽状水平井产能的影响规律[J]. 煤炭学报, 2013, 38(4): 617-623.
JIANG Tingting, YANG Xiujuan, YAN Xiangzhen, et al. Influences of branch parameters on productivity of CBM pinnate horizontal well [J]. Journal of China Coal Society, 2013, 38(4): 617-623.
- [8] 李琦琳. 郑庄区块煤层气多分支水平井钻井工程优化设计与应用[D]. 东营: 中国石油大学(华东), 2017.
LI Qilin. Optimization design and application of multi-branch horizontal well drilling engineering in Zhengzhuang block[D]. Dongying: China University of Petroleum (East China), 2017.
- [9] 张冬丽,王新海. 煤层气羽状水平井开采的影响因素分析及增产机理[J]. 科学通报, 2005, 50(B10): 147-154.
ZHANG Dongli, WANG Xinhai. Analysis of influencing factors and stimulation mechanism of pinnate horizontal well mining of coalbed methane[J]. Chinese Science Bulletin, 2005, 50(B10): 147-154.
- [10] 李娜. 煤层气分支井产能及优化技术[D]. 东营: 中国石油大学(华东), 2010.
LI Na. Productivity and optimum technique of coal-bed gas multilateral well[D]. Dongying: China University of Petroleum (East China), 2010.
- [11] 王静丽,万庭辉,李占钊,等. 分支参数对天然气水合物羽状多分支井降压开采产能的影响规律[J]. 科学技术与工程, 2021, 21(23): 9747-9757.
WANG Jingli, WAN Tinghui, LI Zhanzhao, et al. Influences of branch parameters on depressurized productivity of nature gas hydrate pinnate multilateral well[J]. Science Technology and Engineering, 2021, 21(23): 9747-9757.
- [12] 任建华,张亮,任韶然,等. 柳林煤层气区块不同井型产能分析研究[J]. 煤炭学报, 2015, 40(Suppl.1): 158-163.
REN Jianhua, ZHANG Liang, REN Shaoran, et al. Productivity analysis of different types wells in Liulin coalbed methane block[J]. Journal of China Coal Society, 2015, 40(Suppl.1): 158-163.
- [13] 吕玉民,王存武,柳迎红. 多分支水平井在煤层气开发中的应用与分析: 以沁水盆地S区块为例[C]//2019年煤层气学术研讨会论文集. 2019: 133-140.
LYU Yumin, WANG Cunwu, LIU Yinghong. Application of Multi-lateral horizontal well in the development of coalbed methane: A case study in Shouyang block, Qinshui Basin[C]. //The 2019 Academic Symposium on Coalbed Methane. 2019: 133-140.
- [14] 刘玮,张遂安,赵威,等. 基于三维精细地质模型的煤层气水平分支井参数优化[J]. 煤炭科学技术, 2020, 48(Suppl.1): 109-112.
LIU Wei, ZHANG Suian, ZHAO Wei, et al. Parameters optimization of horizontal branching well of CBM based on 3D fine geological model[J]. Coal Science and Technology, 2020, 48(Suppl.1): 109-112.
- [15] 张磊. 水平井筒与煤层气藏耦合的理论研究[D]. 东营: 中国石油大学(华东), 2009.
ZHANG Lei. Research on coupling theory of horizontal borehole and coalbed methane reservoir[D]. Dongying: China University of Petroleum (East China), 2009.
- [16] 田国涛. 基于风险与收益权衡分析的煤层气多分支水平井优选研究[D]. 北京: 中国石油大学(北京), 2022.
TIAN Guotao. Optimization of multi-lateral horizontal wells based on risk and benefit[D]. Beijing: China University of Petroleum (Beijing), 2022.

(编辑 尹淑容)