

煤层气综合抽采技术及应用研究

庞惠龙

(安徽省地质矿产勘查局 321 地质队,安徽 铜陵 244033)

摘要:通过在井下大巷实施井下水平井与原有地面 U 型井对接连通,实现将地面抽采改为井下正压抽采,可解决煤层气地面抽采的诸多不利,有利于降低抽采成本,改进抽采管理水平。目前煤矿瓦斯治理采用的井下抽放方式为常压钻孔负压抽放,在钻孔过程中煤层原始地层压力因快速降压,导致出现损害瓦斯通道的压实效应;正压直接转换为无节制措施的负压抽放,初速过大易造成速敏效应,从而使瓦斯抽采影响范围小及瓦斯浓度和采收率低,而且产量衰减快,增加煤矿井下钻井工程量,经济性很差。为解决这个问题,通过对保德煤矿煤层气综合抽采技术及应用研究,采用井下正压抽采,可以有效提高瓦斯最终采收率,为降低保德煤矿抽采成本开辟了新的途径,项目具有广泛推广价值。

关键词:井下大巷;井下水平井;U 型井;对接连通;正压抽采

中图分类号:P634;TE243 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-7428(2020)09-0027-06

Study on comprehensive coalbed methane extraction technology and application

PANG Huilong

(321 Geological Team of Anhui Geological and Mineral Exploration Bureau, Tongling Anhui 244033, China)

Abstract: With an underground horizontal well in the underground roadway connected to the original surface extraction “U” type well, CBM surface extraction can be converted to the underground positive pressure extraction, which can eliminate many disadvantages of surface extraction of coalbed methane, help to reduce extraction cost, and improve extraction management. At present, for coal mine gas treatment, negative pressure drainage with atmospheric pressure boreholes is adopted, where in the process of drilling, the original formation pressure in the coal seam is reduced rapidly, leading to gas channel damage due to compaction effect. In order to solve this problem, the comprehensive coalbed methane extraction technology and application were investigated in Baode Coal Mine, where underground drainage at positive pressure was used. This method can effectively improve the final gas recovery; thus, providing a new way to reduce the extraction cost of Baode Coal Mine. The method is worthy of extensive popularization.

Key words: underground roadway; underground horizontal well; “U” type well; underground roadway connected; positive pressure extraction

1 项目背景

当前的瓦斯抽采方式主要有地面抽采及井下抽采,而煤层气开发主要是地面直井、丛式井及水平连通井抽采^[1-5]。在实际抽采中,地面抽采存在地面抽采管理等问题,如地面抽采需要建立环评体系;需要在地面建立集输站;要解决长期占地及处理工农关系;解决煤层气运输或建设地面输送管线;需要开

展污水治理;需要采用抽采设备及对抽采设备开展定期维护保养;地面抽采管理及监控成本高等因素。保德煤矿煤层气综合抽采技术及应用研究主要解决利用地面高效抽采工艺,结合井下抽采可利用煤矿井下现有管线及排污处理装置,从而达到降低抽采成本及环保要求等^[6-10]。

收稿日期:2019-12-13; **修回日期:**2020-07-17 **DOI:**10.12143/j.tkgc.2020.09.005

作者简介:庞惠龙,男,汉族,1965年生,高级工程师,探矿工程专业,长期从事地质勘探生产及技术管理工作,安徽省铜陵市铜官区狮子山曹山路 321 地质队,1070463465@qq.com。

引用格式:庞惠龙.煤层气综合抽采技术及应用研究[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2020,47(9):27-32.

PANG Huilong. Study on comprehensive coalbed methane extraction technology and application[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2020,47(9):27-32.

2 项目地质工程概况

2.1 矿区概况

保德煤矿位于山西省保德县,矿井设计能力 800 万 t/a,服务年限 64.6 a。根据建矿以来研究报告,保德煤矿现矿井瓦斯绝对涌出量 $130.96 \text{ m}^3/\text{min}$,相对涌出量 $9.73 \text{ m}^3/\text{t}$ 。随着开采深度增加,瓦斯压力和含量逐渐增加,对矿井安全生产影响加大。2013 年在距 81309 一号回顺开口 650 m(标高 +640 m)位置实测最大瓦斯压力 1.72 MPa,实测瓦斯含量在 $5.0 \text{ m}^3/\text{t}$ 以上。煤矿采取顺槽掘进工作面的瓦斯抽放采取双巷交替掘进,顺槽掘进过程中在另外 2 条顺槽正头施工 15~30 个区域预抽钻孔进行抽放。上述方式虽可以治理瓦斯,但严重影响掘进效率和生产接续,并且存在安全隐患。为了超前进行瓦斯治理、实现资源综合利用,确保煤矿安全生产和正常接续,决定采取地面预抽采与井下抽放相结合的思路治理瓦斯^[11-15]。

2.2 前期工程概况

为解决煤矿瓦斯有可能超限问题,于 2015 年实施一组 U 型井在地面抽采瓦斯。

2.2.1 工程简介

保德煤矿双 U 型井工程水平井轨迹距巷道 50 m,直井井口水平间距分别距 8 煤为 1020.51 m、11 煤为 1028.24 m。

水平井井身结构。一开: $\phi 311.1 \text{ mm} \times 166.85 \text{ m}$ (169.83 m);二开: $\phi 215.9 \text{ mm} \times 640.14 \text{ m}$ (800.59 m),下 $\phi 177.8 \text{ mm}$ 套管固井;11 煤 $\phi 177.8 \text{ mm}$ 套管在通过 8 煤轨迹段的套管为玻璃钢套管;三开: $\phi 152.4 \text{ mm} \times 1451.5 \text{ m}$ (1485.96 m)。水平段与对接直井连通后完钻,下入生产管串。

直井井身结构。一开: $\phi 311.1 \text{ mm} \times 111.32 \text{ m}$;二开: $\phi 215.9 \text{ mm} \times 559.89 \text{ m}$ 钻头钻穿目的煤层,在两个目的煤层段下入可钻式玻璃钢套管(供造穴)。

双 U 型井工程图如图 1 所示。

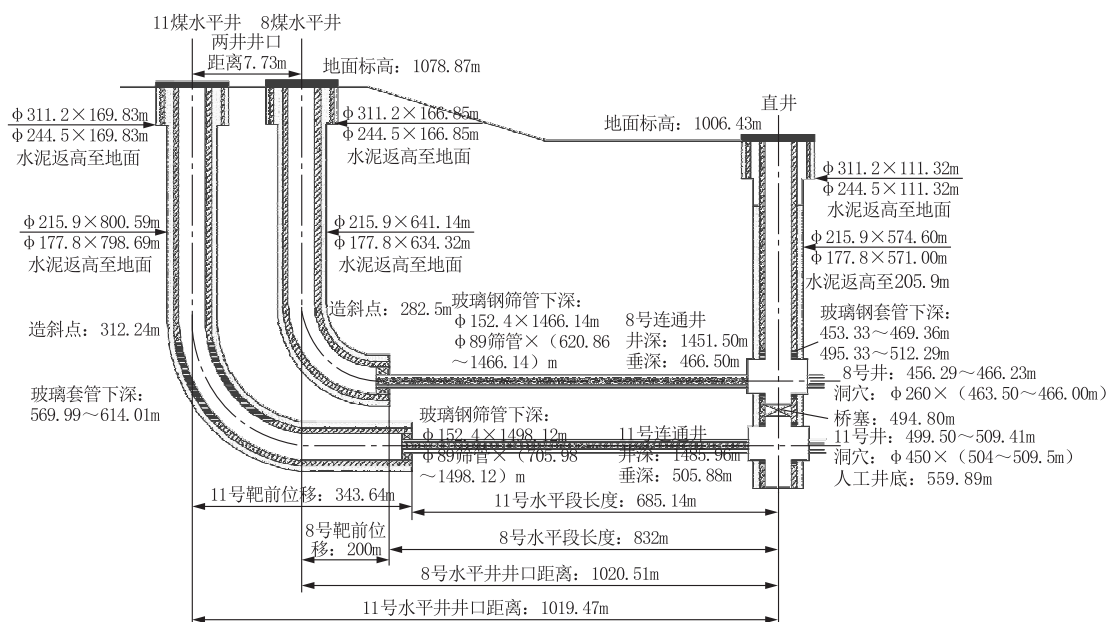


图 1 双 U 型井工程垂直剖面图

Fig.1 Vertical profile of a double "U" type well set

2.2.2 地面抽采概况

双 U 型试验井在施工过程中,根据设计技术目标,先做 11 煤完井,后钻井 8 煤层水平井,直井中 8 煤与 11 煤用可钻桥塞隔离。在 $\phi 152 \text{ mm}$ 水平段井眼中均下入了 $\phi 89 \text{ mm}$ 玻璃钢筛管。

11 煤、8 煤合层排采,经过 106 d 合层排采后,产气量一直稳定在 $2500 \sim 3500 \text{ m}^3/\text{d}$,至 2018 年 3 月 28

日,累计合采 506 d,累计产气量为 $114.81 \times 10^4 \text{ m}^3$ 。

3 工程方案

为解决地面抽采存在的上述问题,决定实施井上下联合抽采方案。工程示意图参见图 2。

在三盘区深部区二号回风大巷用定向钻机沿 8 煤层施工 1 口水平井,与原有地面完成的 U 型井组

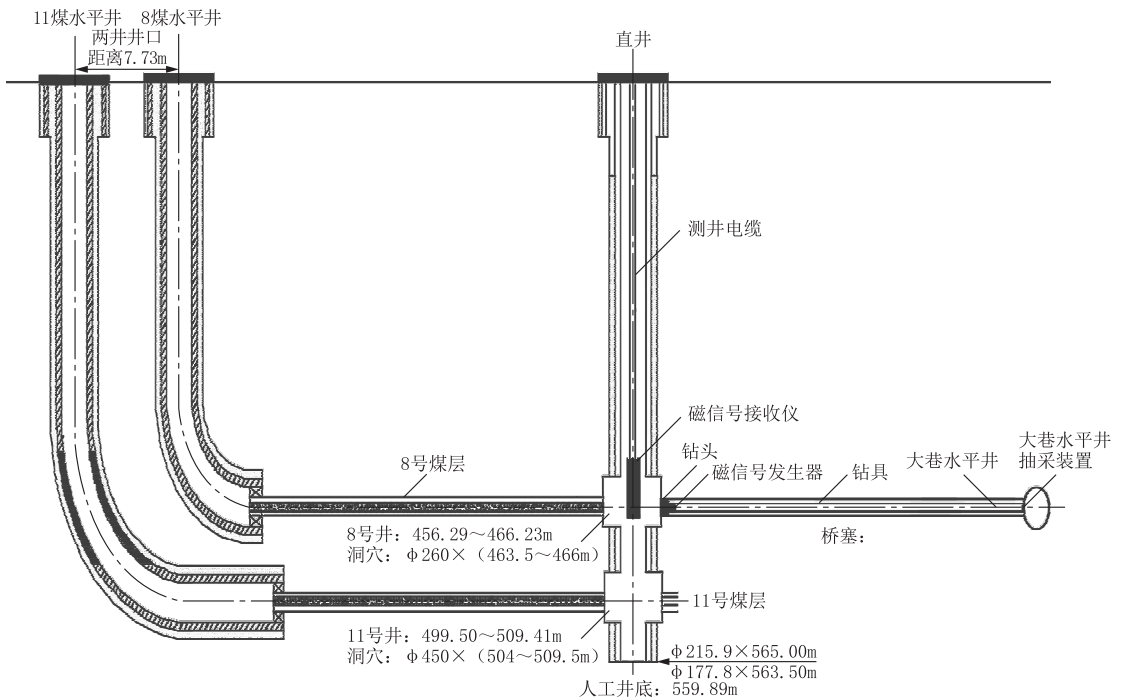


图 2 工程示意图

Fig.2 Schematic diagram of the project

的直井在 8 煤对接, 钻井进尺 1550 m, 其中孔口扩孔 50 m, 孔径 $\varnothing 215.9$ mm; 大巷水平井定向施工 1500 m, 孔径 $\varnothing 120$ mm; 大巷水平井与直井 RMRS 连通对接连通; 地面 U 型井组 3 口井自开采煤层顶板上 50 m 固井到井口, 拆除地面设施, 恢复植被。最后在大巷井下实施正压抽采。

4 工程实施

4.1 井身结构设计

一开: $\varnothing 215.9$ mm 钻头钻至 50 m, 下 $\varnothing 177.8$ mm \times 50 m J55 套管固井; 二开: $\varnothing 120$ mm 钻头钻至 1550 m。

4.2 钻具组合设计

工程钻具组合设计见表 1。

表 1 大巷井下水平井钻具组合设计

Table 1 Horizontal well drilling downhole assembly design

| 井段/m | 钻具组合 |
|-----------|---|
| 0~50 | $\varnothing 215.9$ mm 钻头 + $\varnothing 159$ mm NMDC \times 1 根 + $\varnothing 159$ mm DC \times 1 根 + $\varnothing 214$ mm LF + $\varnothing 159$ mm DC \times 6 根 + $\varnothing 127$ mm DP + 钻杆 |
| 50~1500 | $\varnothing 120$ mm 钻头 + $\varnothing 95$ mm 螺杆 (1.5 $^\circ$) + 浮阀接头 + 定向仪 + $\varnothing 89$ mm HWDP + $\varnothing 89$ mm DP |
| 1500~1550 | $\varnothing 120$ mm 钻头 + $\varnothing 95$ mm RMRS + $\varnothing 95$ mm 螺杆 (1.5 $^\circ$) + 浮阀接头 + 定向仪组 + $\varnothing 89$ mm DP + $\varnothing 89$ mm HWDP + $\varnothing 89$ mm DP |

4.3 钻头及钻井参数设计

4.3.1 钻头设计

工程大巷井下水平井钻头设计见表 2。

表 2 大巷井下水平井钻头

Table 2 Types of underground horizontal drill bits

| 开次 | 井段/m | 段长/m | 钻头直径/mm | 钻头类型 | 预计数量/只 | 地层 |
|----|-----------|------|---------|------|--------|------|
| 一开 | 0~50 | 50 | 215.9 | PDC | 1 | 8 煤层 |
| 二开 | 50~1500 | 1450 | 120.0 | PDC | 3 | |
| 二开 | 1500~1550 | 50 | 120.0 | PDC | | |

4.3.2 钻井参数

大巷井下水平井钻井参数见表 3^[16-23]。

4.4 井身剖面设计和控制

采用水平一增一稳一增一稳, 剖面设计见表 4^[24-26]。

4.4.1 一开施工

一开采用 $\varnothing 215.9$ mm PDC 钻头开孔, 采用膨润土浆钻井。下 $\varnothing 177.8$ mm 钢套管 50 m, 建立井口。

钻具组合: $\varnothing 215.9$ mm 钻头 + $\varnothing 159$ mm NMDC \times 1 根 + $\varnothing 159$ mm DC \times 1 根 + $\varnothing 214$ mm LF + $\varnothing 159$ mm DC \times 6 根 + $\varnothing 127$ mm DP + 钻杆。

4.4.2 二开钻进

4.4.2.1 定向井段 50~1500 m

表3 大巷井下水平井钻井参数

Table 3 Underground horizontal drilling parameters

| 序号 | 井段/m | 钻具组合 | 钻头规格/mm | 钻压/kN | 转速/(r·min ⁻¹) | 排量/(L·s ⁻¹) | 泵压/MPa |
|----|-----------|------|---------|-------|---------------------------|-------------------------|--------|
| 一开 | 0~50 | 钻具 | 215.9 | 10~60 | 60 | 3~10 | 3~6 |
| 二开 | 50~1500 | 螺杆钻具 | 120.0 | 10~60 | 60 | 5~7 | 6~8 |
| 二开 | 1500~1550 | 螺杆钻具 | 120.0 | 10~60 | 60 | 5~7 | 6~8 |

表4 大巷井下水平井井身剖面设计参数

Table 4 Underground horizontal well design parameters

| 井号 | 大巷水平井 | 井别 | 抽采井 | 井型 | 水平定向井 | | |
|----------|------------------------|---|---------|-------------|--------|----------|--------------------------------|
| 地面海拔 | | 459 m | | 补心高 | 0 | | |
| 设计条件 | 井口坐标 | 以实测为准 | | | | | |
| | 靶点坐标 | X=4315299.98,Y=37506871.03 | | | | | |
| | 靶点垂深 | 457~458 m | | | | | |
| | 完钻原则 | 大巷井下水平井与直井8煤连通 | | | | | |
| | 工程目的 | 现行地面排采成本高,将地面U型井排采改为井下排采,减少排采成本 解决现行排采方案需要占地、排污;需要建设地面排采系统、动力、人员及处理工农关系等 现行抽采方案抽采的瓦斯无法利用;改成井下排采,排采的瓦斯可进入煤矿井下大巷管线进行利用 ^[3] | | | | | |
| 设计靶区 | 靶点垂深:457 m;靶点位移:1540 m | | | | | | |
| 地磁参数 | 方位修正角 | -1.92° | 地磁倾角 | 43.99° | 磁场强度 | 48961 nT | |
| 井口 | 经度(B): | | 纬度(L): | | | | |
| 井身剖面类型 | 水平—增—稳—增—稳 | | | 设计方位:闭合方位1° | | | |
| 井身剖面设计数据 | 测深/m | 垂深/m | 井斜角/(°) | 沿线距离/m | 离线偏差/m | 水平位移/m | 造斜率/[(°·(30 m) ⁻¹] |
| | 50 | 0 | 90 | 100 | 0 | 100 | 0 |
| | 500 | 0 | 90 | 500 | 0 | 500 | 12 |
| | 1000 | 0 | 90 | 1000 | ±0.3 | 1000 | 12 |
| | 1300 | 0 | 90 | 1300 | ±0.3 | 1300 | 12 |
| | 1500 | 0 | 90 | 1500 | ±0.3 | 1500 | 12 |
| 1550 | 0 | 90 | 1540 | ±0.3 | 1540 | 12 | |

钻具组合:Ø120 mm 钻头+Ø95 mm 螺杆(1.5°)+浮阀接头+定向仪组合+Ø89 mm HWDP+Ø89 mm DP。

4.4.2.2 连通对接井段(1500~1550 m)

钻具组合:Ø120 mm 钻头+Ø95 mm RMRS+Ø95 mm 螺杆(1.5°)+浮阀接头+定向仪+Ø89 mm HWDP+Ø89 mm DP。

4.5 钻井液设计

钻井液的配置与使用应保证钻井、测井等施工的顺利进行,保证地质、工程各项原始资料的录取齐全、准确。选用低固相、低失水、低摩擦、携砂能力强、稳定性好、能有效保护储层的钻井液体系。钻井液设计见表5^[27-28]。

4.6 试压

固井候凝48 h,试压8 MPa,10 min 压降≤0.5 MPa合格,试压检验必须有监督现场见证。

表5 大巷井下水平井分段钻井液设计表

Table 5 Design of drilling fluids for horizontal well drilling sections

| 井段 | 井段深度/m | 密度/(g·cm ⁻³) | 泥浆体系 |
|----|-----------|--------------------------|-------------|
| 一开 | 0~50 | 1.04~1.08 | 高粘切膨润土浆(清水) |
| 二开 | 50~1500 | 1.04~1.08 | 高粘切膨润土浆(清水) |
| 三开 | 1500~1550 | 1.05~1.15 | 高粘切膨润土浆(清水) |

4.7 大巷井下水平井井口装置

大巷水平井完钻后,安装井口采油树,关闭井口闸门,与神华平-01V 连通后,安装排采装置接入煤矿抽放系统,试验合格后开始排采。煤矿需在井口一侧巷道边缘预留7.5 m×1.5 m×3 m 空间、井口另一侧预留1.5 m×1.5 m×3 m 空间安装井下排采装置(见表6)。井下排采装置上安装煤矿提供的数采压力计、瓦斯综合记录仪、数采液体流量计,接口数据直接反馈到煤矿调度室。

表6 大巷井下水平井井口装置

Table 6 Horizontal wellhead assembly

| 名称 | 型号 | 单位 | 数量 | 备注 |
|--------|---------------------|----|----|----------|
| 采油树 | 6.4 MPa, 通径 > 90 mm | 套 | 1 | 含变径法兰、四通 |
| 井下排采装置 | 6.4 MPa 铸钢 | 套 | 1 | |
| 套管引鞋 | Ø177.8 mm | 个 | 1 | |
| 套管 | 3 m/根, API J55 | m | 60 | |

5 工程实施效果

自项目完成后,井下通过控制井口阀门实施正压抽采,正压排采装置以0.75 MPa 平稳生产,日产纯瓦斯4000 m³。

6 总结

通过研究及工程实施,煤层气综合抽采技术获得以下成果:

(1)井下超长水平井与直井连通对接,1544 m RMRS 点对点对接创国内煤矿井下长距离对接连通记录。

(2)设计、制造、投产国内井下处理能力最大的正压排采装置,可同时处理多口井的瓦斯正压抽采,最大处理能力日处理气50000 m³,日处理水500 m³。

(3)首创国内煤矿井下不稳定试井。首次在煤矿井下进行存储式电子压力恢复测试,开创了煤矿井下不稳定试井先河,取得了宝贵的第一手资料,为煤矿同类型井取得了不稳定试井经验。

(4)该项目将双 U 型井井组地面排采改为井下正压排采,排采出的瓦斯和水进入煤矿抽采系统,通过项目实施验证了保德煤矿 8 煤层具备负压抽采改为正压排采的条件。通过正压排采可以有效减少煤矿井下抽放孔数量,提高瓦斯最终采收率,为降低保德煤矿抽采成本开辟了新的途径,项目实施效果好,具有广泛的推广价值。

参考文献 (References):

[1] 黄勇,姜军.U型水平连通井在河东煤田柳林地区煤层气开发的适应性分析[J].中国煤炭地质,2009,21(1):32-36.
HUANG Yong, JIANG Jun. Adaptability analysis of U shaped horizontal connected wells in CBM exploitation in Liulin area, Hedong Coalfield[J]. Coal Geology of China, 2009,21(1):32-36.

[2] 鲜保安,夏柏如,张义,等.煤层气 U 型井钻井采气技术研究[J].石油钻采工艺,2010,32(4):91-95.
XIAN Baoan, XIA Bairu, ZHANG Yi, et al. Coalbed methane U well drilling production technology[J]. Oil Drilling & Production Technology, 2010,32(4):91-95.

[3] 易铭.水平连通井技术在内蒙古乌兰察布气化采煤工程中的应用[J].中国煤炭地质,2009,21(1):40-43.
YI Ming. Application of horizontal connected well technology in coal gasifying extraction in Ulanqab, Inner Mongolia[J]. Coal Geology China, 2009,21(1):40-43.

[4] 鲜保安,夏柏如,张义,等.应用 U 型井开采倾斜构造煤层气的钻采技术研究[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2010,37(8):1-4,9.
XIAN Baoan, XIA Boru, ZHANG Yi, et al. Study on drilling and extraction technologies for high steep structure coalbed methane with U-shape slant well[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2010,37(8):1-4,9.

[5] 游云武.对接连通水平采卤井钻井工艺技术[J].江汉石油职工大学学报,2006,19(4):26-29.
YOU Yunwu. Drilling technology of horizontally-butted & connected brine extraction well[J]. Journal of Jianghan Petroleum University of Staff and Workers, 2006,19(4):26-29.

[6] 向军文.定向钻进技术及其应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2007,34(9):28-32.
XIANG Junwen. Technology of directional drilling and the application[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2007,34(9):28-32.

[7] 向军文,陈晓琳.定向对接连通井技术的发展及其展望[J].探矿工程,2003(1):20-22.
XIANG Junwen, CHEN Xiaolin. The development and expectation on the technology of crossing controlled directional well[J]. Exploration Engineering, 2003(1):20-22.

[8] 鲜保安,崔思华,蓝海峰,等.中国煤层气开发关键技术及综合利用[J].天然气工业,2004(5):104-106,155.
XIAN Baoan, CUI Sihua, LAN Haifeng, et al. Key techniques and integrative utilization of coal-bed gas development in China[J]. Natural Gas Industry, 2004(5):104-106,155.

[9] 张卫东,魏韦.煤层气水平井开发技术现状及发展趋势[J].中国煤层气,2008,5(4):19-22.
ZHANG Weidong, WEI Wei. Status of coalbed methane horizontal well technology and trend of development[J]. China Coalbed Methane, 2008,5(4):19-22.

[10] 鲜保安,高德利,王一兵,等.多分支水平井在煤层气开发中的应用机理分析[J].煤田地质与勘探,2005(6):34-37.
XIAN Baoan, GAO Deli, WANG Yibing, et al. Analysis on applied mechanism of multiple laterals horizontal well in developing coalbed methane[J]. Coal Geology & Exploration, 2005(6):34-37.

[11] 石书灿,李玉魁,倪小明.煤层气竖直压裂井与多分支水平井生产特征[J].西南石油大学学报(自然科学版),2009,31(1):48-52,186.
SHI Shucan, LI Yukui, NI Xiaoming. The coal bed methane production in vertical fracturing wells and multiple lateral horizo[J]. Journal of Southwest Petroleum University (Science & Technology Edition), 2009,31(1):48-52,186.

[12] 鲜保安,陈彩红,王宪花,等.多分支水平井在煤层气开发中的控制因素及增产机理分析[J].中国煤层气,2005(1):16-19.
XIAN Baoan, CHEN Caihong, WANG Xianhua, et al. Analysis on control factors and production enhancing mechanism of multiple laterals horizontal well in developing CBM[J]. China Coalbed Methane, 2005(1):16-19.

[13] 韩志勇.定向井设计与计算[M].北京:石油工业出版社,1989:98-130.
HAN Zhiyong. Directional well design and calculation[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1989:98-130.

[14] 向军文.定向钻进控制预测技术[J].地质与勘探,2010,46(6):1112-1115.
XIANG Junwen. Prediction technology for directional drilling control[J]. Geology and Exploration, 2010,46(6):1112-1115.

[15] 刘海翔,向军文,刘志强.基于 EXCEL 的定向钻井应用程序及其工程应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2010,37(2):14-16.
LIU Haixiang, XIANG Junwen, LIU Zhiqiang. Directional drilling application program based on EXCEL and its engineering application[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2010,37(2):14-16.

[16] 刘修善.定向钻井中方位角及其坐标的归化问题[J].石油钻采工艺,2007,29(4):1-5,119.
LIU Xiushan. Naturalization of azimuth angles and coordinates in directional drilling[J]. Oil Drilling & Production Technology, 2007,29(4):1-5,119.

[17] 同济大学计算数学教研室.现代数值数学与计算[M].上海:同济大学出版社,2004:57-89.
Teaching and Research Section of Computational Mathematics, Tongji University. Modern numerical mathematics and computing[M]. Shanghai: Tongji University Press, 2004:57-89.

—89.

- [18] 孟浩,汪益宁,滕蔓.页岩气多分支水平井增产机理[J].油气田地面工程,2012,31(12):13—15.
MENG Hao, WANG Yining, TENG Man. Shale gas stimulation mechanism with multilateral horizontal wells[J]. Oil-Gas Field Surface Engineering, 2012,31(12):13—15.
- [19] 姜振强.多分支水平井产能评价与参数优化研究[D].北京:中国地质大学(北京),2009.
JIANG Zhenqiang. Study on productivity evaluation and parameters optimization of multi-branch horizontal well[D]. Beijing: China University of Geosciences (Beijing), 2009.
- [20] 赵燕.复杂多分支水平井产能预测[D].青岛:中国石油大学,2009.
ZHAO Yan. The productivity prediction research of complex horizontal multilateral well[D]. Qingdao: China University of Petroleum, 2009.
- [21] 祁斌,刘蒙蒙.乌鲁木齐矿区大倾角地层煤层气水平井技术研究[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2019,46(10):27—33.
QI Bin, LIU Mengmeng. Technical study on horizontal coalbed methane wells in high dip strata in the Urumqi Mining Area[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2019,46(10):27—33.
- [22] 熊亮,张小连.煤层气U型对接井施工关键技术探讨[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2018,45(2):33—35,51.
XIONG Liang, ZHANG Xiaolian. Discussion on key technologies of u-shaped connected wells construction for coalbed methane[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2018,45(2):33—35,51.
- [23] 汤建江,黄建明,刘蒙蒙.定向钻井技术在阜康煤层气示范工程中的应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2018,45(1):28—30.
TANG Jianjiang, HUANG Jianming, LIU Mengmeng. Application of directional drilling technology in Fukang CBM Demonstration Project[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2018,45(1):28—30.
- [24] 徐云龙.川西采气厂首口地质导向水平井钻井技术[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2014,41(2):1—3.
XU Yunlong. Geo-steering drilling technique for the first horizontal well of Chuanxi Gas Production Plant[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2014,41(2):1—3.
- [25] 王彦祺.煤层气水平连通井钻井技术[J].中国煤层气,2010,7(2):28—31.
WANG Yanqi. CBM horizontal connected drilling technology [J]. China Coalbed Methane, 2010,7(2):28—31.
- [26] 高启瑜,周贵宗,周光,等.松软低透性薄煤层中水平对穿连通井钻井技术[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2010,37(1):20—23.
GAO Qiyu, ZHOU Guizong, ZHOU Guang, et al. Drilling technology of horizontal-oppssing communicated well in soft and low permeability thin coal seam[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2010,37(1):20—23.
- [27] 卢周芳.大牛地气田欠平衡水平井钻井技术[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2010,37(9):10—14.
LU Zhoufang. Drilling technology of underbalanced horizontal well in Daniudi Gas Field[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2010,37(9):10—14.
- [28] 申鹏磊.沁水地区煤层气水平对接多分支井钻井工艺研究[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2017,44(6):65—68.
SHEN Penglei. Study on CBM horizontally butted multi-branch well drilling technology in Qinsui Block[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2017,44(6):65—68.

(编辑 韩丽丽)