

文章编号: 1001-1986(2015)06-0133-04

# 煤层气开发 U 型井施工技术及增产措施试验研究

## ——以寺河煤矿 15 号煤 2014ZX-U-05V/H 井组为例

黄 巍<sup>1</sup>, 王 军<sup>2</sup>, 郝世俊<sup>1</sup>, 郑玉柱<sup>1</sup>, 祁宏军<sup>1</sup>, 张 强<sup>1</sup>

(1. 中煤科工集团西安研究院有限公司, 陕西 西安 710077;

2. 山西蓝焰煤层气集团有限责任公司, 山西 晋城 048204)

**摘要:** 煤矿区煤层气地面高效开发具有资源、安全、环保等多重效应。针对沁水盆地 15 号煤储层煤层气开发地质条件特点, 提出并试验了地面 U 型井开发方案, 钻成了第一口带分支的 U 型井, 研究实践了新的增产措施, 取得了良好产气效果, 日产气量超过了  $2.0 \times 10^4 \text{ m}^3$ , 为区域内 15 号煤层的煤层气地面高效开发提供了新的技术途径。介绍了试验井组的工程概况、井身结构设计、施工技术及完井工艺等, 对同类型井组的实施具有重要借鉴作用。

**关键词:** 煤层气开发; U 型井; 轨迹控制; 增产措施; 分段压裂

中图分类号: P634 文献标识码: A DOI: 10.3969/j.issn.1001-1986.2015.06.028

### Construction technologies and stimulation of U-shape well for CBM development ——with 2014ZX-U-05V/H well of coal 15 in SiHe Mine as an example

HUANG Wei<sup>1</sup>, WANG Jun<sup>2</sup>, HAO Shijun<sup>1</sup>, ZHENG Yuzhu<sup>1</sup>, QI Hongjun<sup>1</sup>, ZHANG Qiang<sup>1</sup>

(1. Xi'an Research Institute, China Coal Technology & Engineering Group Corp, Xi'an 710077, China;

2. China University of Mining and Technology; Shanxi Lanyan CBM Group Co., Ltd, Jincheng 048204, China)

**Abstract:** Ground efficient construction techniques of coalbed methane has multi-effect on resources, security and environmental protection. In the coal mining area, exploration and utilization of CBM is beneficial for economy, safety and environment protection. Based on geological condition characteristics of CBM development of coal 15 in Qinshui basin, the U-shape well development project was put forward, which successfully guide the first multi-lateral U-shape well construct. As a result the stimulation increase the output to more than  $2.0 \times 10^4$  cubic metres gas per day, and also provides a new way for the CBM ground efficient development of coal 15 in this area. This study introduced the general situation, well structure design, construction technology and well completion of test well group, which is important to the same type well group construction.

**Key words:** CBM development; U-shape well; trajectory control; stimulation; multi-stage fracturing

我国煤层气资源丰富, 埋深 2 000 m 以浅煤层气资源总量为  $36.81 \times 10^{12} \text{ m}^3$ , 其中, 沁水盆地煤层气总资源量为  $3.97 \times 10^{12} \text{ m}^3$ , 占全国总资源量的 10.8%<sup>[1]</sup>, 该区域为我国最主要的高阶煤发育区, 具有低压、低渗、低饱和、非均质性强的特征, 煤层气开采难度大<sup>[2-3]</sup>。区域内主产煤层为 3、9、15 号煤层, 15 号煤层的煤层气开发采用的井型主要是直井, 井型单一, 且存在单井产量低, 前期投资大, 成本回收期长, 经济效益差等问题。到目前为止, 尚未有成功开发 15 号煤层的煤层气 U 型井施工记

录。本文以 2014ZX-U-05V/H 井组为例, 旨在研究 15 号煤层 U 型井钻完井工艺, 以期对沁水盆地南端 15 号煤层 U 型井技术的运用提供借鉴作用。

### 1 工程概况

2014ZX-U-05V/H 井组位于山西省沁水县嘉峰镇李庄村和郭南村, 地质构造上属于沁水盆地东南部斜坡潘庄区块。地层倾角一般为  $2^\circ \sim 10^\circ$ 。区内有小规模褶曲, 没有明显的断层。先后钻遇新生界第四系、二叠系和石炭系上统( $C_3t$ )。15 号煤层埋深

收稿日期: 2015-05-23

基金项目: 国家科技重大专项课题(2011ZX05063-001)

作者简介: 黄巍(1982—), 男, 甘肃酒泉人, 硕士, 工程师, 从事煤层气钻井技术与工艺研究。E-mail: huangwei@cctegxian.com

引用格式: 黄巍, 王军, 郝世俊, 等. 煤层气开发 U 型井施工技术及增产措施试验研究——以寺河煤矿 15 号煤 2014ZX-U-05V/H 井组为例[J]. 煤田地质与勘探, 2015, 43(6): 133-136.

385~439 m。钻井主要面临以下难点：

- a. 勘探程度低,邻井资料少,地质认识不详细；
- b. 煤层厚度变化大局部尖灭,且煤层底板局部含有黄铁矿,对定向仪器信号造成屏蔽,给井眼轨迹控制带来困难；
- c. 煤质松软破碎,对井眼成孔带来困难。

## 2 井身结构

目前沁水盆地煤层气直井因地质条件简单,无漏失、垮塌地层,地层压力小,无需考虑井壁坍塌压力和破裂压力,井身结构简单<sup>[4-6]</sup>。设计井身结构时主要考虑:钻井成本、进尺效率在经济上是否可行,水平段井径大小是否有利于井眼稳定,固井水泥浆是否对煤层造成污染和破坏,侧钻开分支的位置、分支与主井眼夹角以及分支长度。设计井身结构如图 1、表 1。

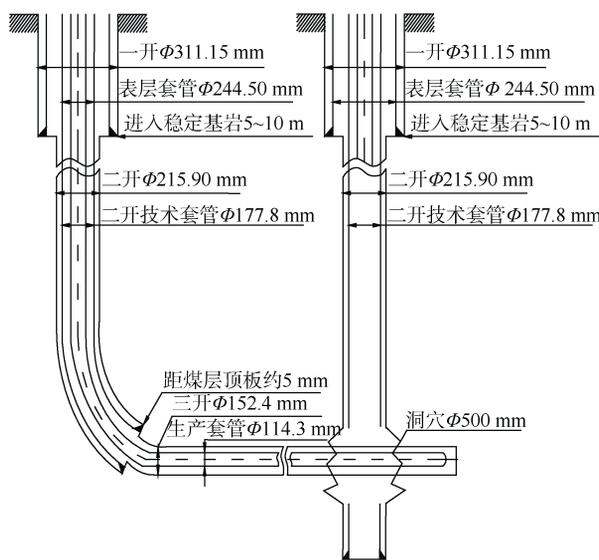


图 1 设计井身结构示意图

Fig. 1 The schematic diagram of designing well structure

表 1 设计井身结构数据  
Table 1 The data of designing well structure

井别	开钻次序	井段	井径/mm	套管尺寸/mm	套管下深/m	水泥返高	备注
直井 2014ZX-U-05V	一开	0 m~ 进入稳定基岩 5 m 至 10 m	311.15	244.5	井底	地面	
	二开	稳定基岩 5 m 至 10 m~ 15 号煤层底板以下 40 m	215.9	177.8	井底	地面	15 号煤层段造穴, 洞穴直井 ≥ 500 mm
水平井 2014ZX-U-05H	一开	0 m~ 进入稳定基岩 5 m 至 10 m	311.15	244.5	井底	地面	
	二开	稳定基岩 5 m 至 10 m~ 15 号煤层顶板以上 5 m	215.9	177.8	井底	地面	
	三开	15 号煤层顶板以上 5 m~ 与直井连通	152.4	114.3	距井底约 30 m	—	前进式开分支, 连通后继续延伸

2014ZX-U-05V 直井采用二开井身结构:a. 一开采用  $\phi 311.1$  mm 钻头,钻穿第四系黄土层,进入稳定基岩,井深 35.89 m。下入  $\phi 244.5$  mm 表层套管,封固地表疏松层、砾石层。b. 二开采用  $\phi 215.9$  mm 钻头,钻至 15 号煤层底板以下 40 m,防止沟通奥陶系含水层,井深 405 m。下入  $\phi 177.8$  mm 生产套管完井,15 号煤层段为玻璃钢套管。

2014ZX-U-05H 水平井采用三开井身结构:a. 一开采用  $\phi 311.1$  mm 钻头,钻穿第四系黄土层,进入稳定基岩,井深 48.3 m。下入  $\phi 244.5$  mm 表层套管,封固地表疏松层、砾石层。b. 二开采用  $\phi 215.9$  mm 牙轮钻头,钻至造斜点后开始定向钻进,煤层顶板以上 5 m 二开完钻<sup>[7]</sup>,防止固井水泥浆压漏、污染煤层,井深 508.69 m。下入  $\phi 177.8$  mm 技术套管固井,水泥返至造斜点以上。c. 三开煤层段采用  $\phi 152.4$  mm 钻头钻进,根据岩屑录井和钻时录井判断煤层在着陆点下方 5 m 处,继续向下定向钻进,于 676 m 见煤,随后沿 15 号煤层钻进,于井深 1 099.37 m 处与直井

对接,主井眼井深 1 356.72 m 完钻,并开分支四个。主井眼下入 114.3 mm 生产套管。

## 3 轨迹控制

该井组钻具组合及钻进参数为:

a. 一开: $\phi 311.15$  mm 牙轮钻头+接头+ $\phi 165$  mm 无磁钻挺+ $\phi 165$  mm 钻挺串。钻压 10~30 kN,转速 50~80 r/min,排量 30 L/s。

b. 二开直井段: $\phi 215.9$  mm 钻头+接头+ $\phi 165$  mm 无磁钻挺+ $\phi 165$  mm 钻挺串+ $\phi 127$  mm 加重钻杆串+ $\phi 114$  mm 钻杆串。钻压 30~50 kN,转速 50~80 r/min,排量 25 L/s。

c. 二开定向段: $\phi 215.9$  mm 牙轮钻头/PDC 钻头+ $\phi 165$  mm 单弯螺杆钻具+转换接头+ $\phi 127$  mm 无磁承压钻杆+MWD 悬挂短节+ $\phi 127$  mm 无磁承压钻杆+ $\phi 114$  mm 钻杆串+ $\phi 127$  mm 加重钻杆串+ $\phi 114$  mm 钻杆串。钻压 20~50 kN,复合钻进转速 30 r/min,排量 15~28 L/s。

d. 水平井三开:  $\phi 152.4$  mm 牙轮钻头+ $\phi 120$  mm 单弯螺杆+转换接头+UBHO+ $\phi 120$  mm 无磁钻铤+调整短节+绝缘短节+电池短节+ $\phi 89$  mm 钻杆串+  $\phi 89$  mm 加重钻杆串+ $\phi 89$  mm 钻杆串。钻压 20~50 kN, 复合钻进转速 35 r/min, 排量 8~15 L/s。

2014ZX-U-05H 水平井施工前, 收集周围煤层气直井钻井资料, 结合前期三维地震勘探资料, 利用 Sufer 软件绘制 2014ZX-U-05V/H 井组所在区域 15 号煤层底板等高线图, 制作两口井连线上的 15 号煤层剖面图, 根据煤层倾角分段设计目的层靶框。

沁水盆地南部煤层气水平井合理的水平段长度为 500~1 000 m, 分支夹角为  $30^\circ$  时, 因为分支间垂直裂缝发育方向的水平长度较长, 而且其控制的面积和形成压力叠加的速度较为合理。分支间距为 300 m 时, 累计产气量的值最高, 开发效果最好<sup>[3]</sup>, 以此研究为依据设计井眼轨道。采用前进式开分支的方式, 如图 2 所示, 在侧钻时充分考虑井眼在煤层中的延伸方向和夹壁墙的厚度<sup>[8-9]</sup>, 防止后续施工煤粉堵塞分支井眼和夹壁墙坍塌。

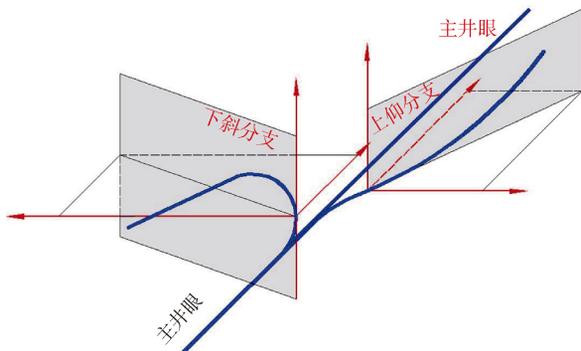


图 2 前进式开分支示意图

Fig.2 The schematic diagram of advancing open branch

由于地质资料不准确, 2014ZX-U-05H 井使用了 BlackStar 电磁波无线随钻测量工具, 利用井斜、方位数据和近钻头井斜数据, 通过定向软件调整和预测井眼轨迹, 利用方向和电信号判断井眼轨迹在煤层中的位置, 利用环空压力判断井壁是否有坍塌掉块以及井眼是否清洁。

在水平段钻进过程中, 由于煤层底板局部含有黄铁矿, 对定向仪器信号造成屏蔽。通过计算岩屑上返迟到时间和每米捞取的岩样, 准确记录钻遇地层, 结合地质资料和每米钻时记录, 判断煤层走向和井眼轨迹在煤层中的位置<sup>[10]</sup>, 从而定向钻进实现井眼轨迹尽可能沿煤层延伸。

该井未进入煤层时, 实钻井眼轨迹与设计轨道高度吻合, 受黄铁矿屏蔽影响, 煤层中主井眼轨迹与设计轨道略有不同, 开分支井眼的位置与设计的位置有出

入, 主井眼和煤层进尺详见表 3, 井组示意图 3。

表 3 2014ZX-U-05V/H 井煤层进尺数据表

Table 3 Drilling data of coal seam			
井眼	入煤井深/m	完钻井深/m	长度/m
主井眼	676.00	1 356.72	680.72
分支一	797.00	1 358.91	561.91
分支二	882.00	1 350.98	468.98
分支三	1 150.42	1 356.72	206.30
分支四	1 200.00	1 356.72	156.72
合计			2 074.63

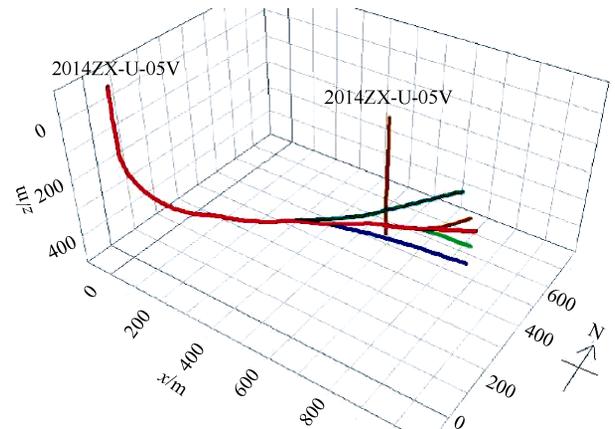


图 3 2014ZX-U-05V/H 井组示意图

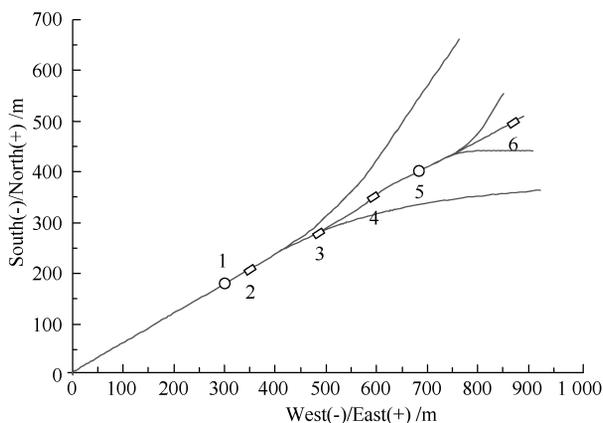
Fig.3 The schematic diagram of well group 2014ZX-U-05V/H

#### 4 完井

2014ZX-U-05H 水平井完钻后下入  $\phi 114.3$  mm 生产套管以及  $\phi 146$  mm 封隔器 7 个、 $\phi 139.7$  mm 压裂滑套 4 个, 采用滑套分段压裂完井, 分四段对煤层进行压裂。完井管串结构为: 浮鞋+承压短节+套管串+压差滑套+套管串+裸眼封隔器 1+套管串+裸眼封隔器 2+投球滑套 1/2.5"+裸眼封隔器 3+套管串+裸眼封隔器 4+投球滑套 2/2.625"+裸眼封隔器 5+套管串+裸眼封隔器 6+套管串+投球滑套 3/2.812"+套管串+裸眼封隔器 7+悬挂封隔器+插管+套管串。

滑套下深为: 1 290 m、1 003 m、837 m 和 717 m。滑套位置见图 4。

在压裂第二段过程中, 压裂滑套打开后对地层进行压裂时出现砂堵, 压力达到 50 MPa 后泄压放喷, 泵入清水压力又上升至 50 MPa, 随后压力下降并稳定在 15 MPa。压裂第三段和第四段时, 泵入前置液压力没有上升, 压力均为 15 MPa, 分析认为砂堵导致第四段滑套提前打开, 第三段滑套未能打开。压裂曲线见图 5。因此在压裂施工中若压力突然上升时, 且幅度较大时, 应立即停泵, 分析确认为砂堵, 停止加砂, 用大排量平稳挤压裂液的方法进行解堵, 若解堵不成功则井口放喷解除砂堵, 待正常后再继续加砂压裂。



1—入煤点; 2—压裂滑套3; 3—压裂滑套2; 4—压裂滑套1; 5—直井洞穴; 6—压差滑套

图 4 压裂滑套位置示意图

Fig.4 The schematic diagram of fracturing sliding sleeve position

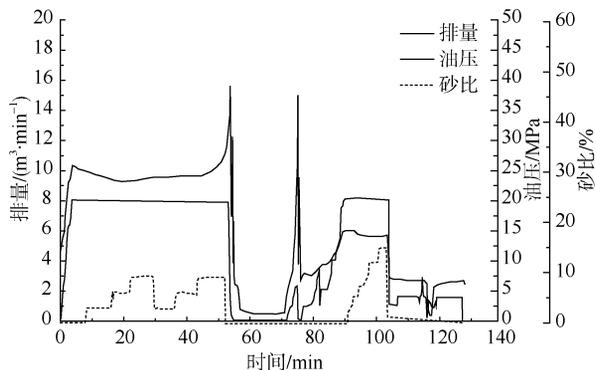


图 5 第二段压裂施工曲线图

Fig.5 The graph of the second fracturing operation

目前国内 U 型井完钻后, 均由直井下入磨鞋磨铣水平井生产套管, 连通直井和水平井的输气通道, 易造成生产套管变形、洞穴前后两部分套管错位, 影响排采后期修井。为防止上述情况出现, 该井在压裂施工结束后, 用油管自 2014ZX-U-05H 水平井送入 2 m 长 73-5 型射孔枪, 携 10 mm 射孔弹 32 发, 分三次由深及浅对生产套管洞穴段 1 097.37~1 101.37 m 进行射孔, 连通水平井和直井。射孔顺序见图 6。

### 5 排采

2014ZX-U-05V/H 井组自 2015 年 1 月初开始排水降压, 采用直井排水、直井与水平井共同采气的方式, 3 月底修泵后, 日产气量突破  $2 \times 10^4 \text{ m}^3$ , 到目前为止除几次停机和修泵外日产气量均稳定在  $2 \times 10^4 \text{ m}^3$  以上, 井底流压维持在 0.838~0.986 MPa, 截止 2015 年 6 月底累计产气量  $189 \times 10^4 \text{ m}^3$ (图 7)。

### 6 结论

a. 针对沁水盆地 15 号煤层的煤层气开发地质条件, 应用 U 型井施工技术在潘庄区块建成了第一

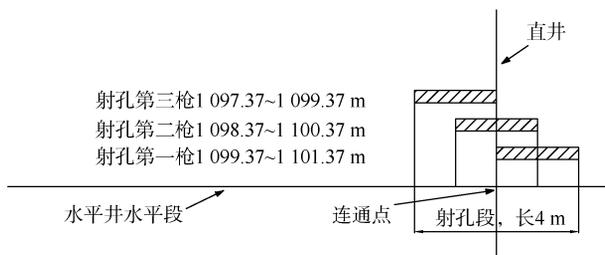


图 6 射孔顺序示意图

Fig.6 The schematic diagram of perforating order

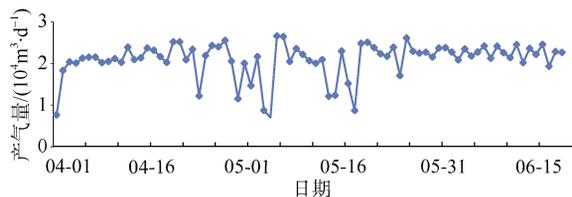


图 7 2014ZX-U-05V/H 井组产气量曲线图

Fig.7 Gas production the graph of well group 2014ZX-U-05V/H

个 U 型井组, 在平均厚度 2.87 m 的煤层中钻进进尺 2 074.63 m, 煤层钻遇率 100%, 为区域煤层气高效开发提供钻进技术支撑, 发挥了示范作用。

b. 首次试验了 U 型井组滑套分段压裂完井工艺, 取得了良好效果, 日产气量超过  $2 \times 10^4 \text{ m}^3$ , 最高产气量超过  $2.5 \times 10^4 \text{ m}^3$ 。证明了滑套分段压裂完井工艺在该区是可行的, 并为区域内 15 号煤储层煤层气高效开发提供了新的增产技术途径。

c. 2014ZX-U-05V/H 井组截止到 2015 年 6 月底, 已累计产气  $189 \times 10^4 \text{ m}^3$ , 收回成本约 27.6%。

### 参考文献

- [1] 刘庆昌, 冯文廖, 于文军, 等. 沁水盆地南部煤层气田勘探开发技术探索与认识[J]. 天然气工业, 2011, 31(11): 6-10.
- [2] 李文阳, 马新华, 赵庆波, 等. 中国煤层气地质评价与勘探技术新进展[M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 2001.
- [3] 孟庆春, 左银卿, 周毅, 等. 沁水盆地南部煤层气水平井井型优化及应用[J]. 中国煤层气, 2010, 7(6): 15-19.
- [4] 乔磊, 申瑞臣, 黄洪春, 等. 沁水盆地南部低成本煤层气钻井完井技术[J]. 石油勘探与开发, 2008, 35(4): 482-486.
- [5] 李云峰. 沁水盆地煤层气钻井工艺方法[J]. 中国煤田地质, 2005, 17(6): 52-53.
- [6] 娄昊, 张强, 郝世俊, 等. 松软突出煤层地面 U 型井钻井完井施工工艺研究[J]. 煤田地质与勘探, 2014, 42(2): 89-92.
- [7] 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.
- [8] 李昌盛, 徐术国, 杨传书, 等. 煤层气多分支水平井井眼轨道优化设计模型[J]. 煤田地质与勘探, 2015, 43(2): 48-57.
- [9] 黄合锋, 高德利. 多分支井井眼轨道优化设计研究[J]. 西部探矿工程, 2012(1): 43-45.
- [10] 孙佃金, 孙蕾. 地质导向技术在煤层气水平井施工中的应用[J]. 煤田地质与勘探, 2015, 43(2): 106-108.

(责任编辑 晋香兰)