

# 地质导向技术在 L 型煤层气水平井 T - P05 井中的应用

郭宝林<sup>1,2</sup>, 李 琪<sup>1</sup>, 张兴龙<sup>2</sup>, 聂 涛<sup>2</sup>, 于建克<sup>2</sup>, 李盟国<sup>2</sup>

(1. 西安石油大学石油工程学院, 陕西 西安 710065; 2. 西部钻探定向井技术服务公司, 新疆 乌鲁木齐 830026)

**摘要:**通过分析山西 L 型煤层气水平井的技术难点,在此基础上探寻相应的技术对策,着重建立造斜着陆与水平段导向两大导向模型,形成了以标志层划分与对比、地层倾角推算、地质建模和实时轨迹控制 4 个方面为主的 L 型煤层气水平井地质导向技术流程。该技术在 T - P05 井的成功应用,不仅丰富了煤层气水平井地质导向技术的内容与方法,更进一步验证了该技术在现场具有较强的可操作性和良好的应用前景,值得在山西临汾区块的 L 型煤层气水平井施工中大力推广与应用。

**关键词:**地质导向;煤层气水平井;地层倾角;地质建模

**中图分类号:**P634 **文献标识码:**B **文章编号:**1672-7428(2018)01-0009-05

**Application of Geo-steering Technology in T - P05 of L - type CBM Horizontal Well/GUO Bao-lin<sup>1,2</sup>, LI Qi<sup>1</sup>, ZHANG Xing-long<sup>2</sup>, NIE Tao<sup>2</sup>, YU Jian-ke<sup>2</sup>, LI Meng-guo<sup>2</sup>** (1. College of Petroleum Engineering, Xi'an Petroleum University, Xi'an Shaanxi 710065, China; 2. China Petroleum Western Directional Drilling Technology Services Company, Urumqi Xinjiang 830026, China)

**Abstract:** Based on the analysis on the technical difficulties of L - type CBM horizontal wells in Shanxi, the corresponding technical countermeasures are explored, 2 build-up guidance models of landing and horizontal sections are established to form the geo-steering technical process mainly in 4 aspects of marker beds division and correlation, stratigraphic dip calculation, geological modeling and real-time trajectory control for L - type CBM horizontal wells. The successful application of this technology in T - P05 well not only enriched the contents and methods of geo-steering technology for CBM horizontal wells, but also further verify its good feasibility and application prospect, this technology is worth promoting and applying in L - type CBM horizontal wells in Linfen block.

**Key words:** geo-steering technology; CBM horizontal well; stratigraphic dip; geological modeling

## 1 T - P05 井基本情况

T - P05 井位于山西省临汾市吉县屯里镇阳坡村,构造位置在鄂尔多斯盆地伊陕斜坡东部晋西挠褶构造带南段,是部署在山西大宁 - 吉县区块桃园试采区的一口 L 型煤层气水平井。井口西南距 J6 井 2.35 km,东北距 J2 - 25 井 1.97 km,B 点南距 J1 - 01 向 1 井 8 号煤层靶点 0.25 km,东南距 J1 - 02 井 0.54 km;水平段距 T - P07 井垂直距离 0.46 km。主要钻探目的:一是获取 5 号煤层的各项特性参数,评价该区域煤层的产气能力;二是扩大已有井的降压范围,提高产气量;三是为大宁 - 吉县区块桃园试采区下一步规模开发奠定基础。

T - P05 井于 2017 年 2 月 17 日 22:00 一开,2017 年 2 月 18 日 09:20 一开完钻,完钻井深 162 m;2017 年 2 月 22 日 14:00 二开钻进,2017 年 3 月 4

日 14:30 钻至井深 976 m 开始造斜,于 2017 年 3 月 15 日 06:00 钻至井深 1426 m 二开中完;2017 年 3 月 24 日 1:00 三开钻进,2017 年 4 月 3 日 19:30 钻至井深 2326 m 三开完钻。该井设计钻井周期 38 d,实际钻井周期 44.9 d。T - P05 井设计轨迹剖面数据参见表 1,表 2、表 3 分别为 T - P05 井的井身结构设计数据和地质分层数据。

## 2 L 型煤层气水平井技术难点

(1)L 型煤层气水平井不同于多分支井、U 型井及山字型等井,无法依靠井组近端或远端的洞穴井资料结合实钻井资料重新对施工轨迹进行优化设计与调整,且无导眼,T - P05 井地处晋西挠褶构造带,地层倾角变化大,对于造斜段精确着陆和水平段导向控制均带来不利影响,实现一次性“软着陆”难度

表1 T-P05井轨迹剖面设计

关键点	测深/ m	井斜/ (°)	闭合 方位/ (°)	垂深/ m	全角变化 率/[(°)· (30 m) <sup>-1</sup> ]	闭合 位移/ m	靶窗 尺寸/ m
造斜点	1013.00	0.00	0.00	1013.00	0.000	0.00	
增斜点	1248.71	55.00	113.32	1214.15	7.000	104.71	高度
调整点	1385.25	86.00	113.32	1259.17	6.811	231.85	≤±
靶点A	1433.82	91.75	113.32	1260.12	3.553	280.39	1,宽度
靶点B	2284.18	91.75	113.08	1234.12	0.022	1130.35	≤±5
井底	2334.18	91.75	113.06	1232.59	0.000	1180.33	

表2 T-P05井井身结构设计数据

开钻 次序	井深/m	钻头直 径/mm	套管尺 寸/mm	套管下入 地层层位	套管下入 井段/m	环空水泥 浆返深/m
一开	74.00	444.5	339.7	纸坊组	73	0
二开	1436.82	311.1	244.5	山西组	0~1434	0
三开	2334.18	215.9	139.7	山西组	0~2330	0

表3 地质分层数据

地 层 时 代	地 质 分 层			工程提示	
	界 系 组	底部垂 深/m	厚度/ m		底部斜 深/m
新生界 第四系		32.12	32.12	32.12	防漏
	纸坊组	127.12	95.00	127.12	防卡
中生界 三叠系	和尚沟组	237.12	110.00	237.12	防卡
	刘家沟组	577.12	340.00	577.12	防漏
古生界 二叠系	石千峰组	817.12	240.00	817.12	防漏、防塌
	石盒子组	1187.12	370.00	1206.55	防塌、防喷
	山西组	1232.59	45.47	2334.18	防塌、防喷
	太原组	1260.12			防塌、防喷

增大<sup>[1,8]</sup>。

(2)L型煤层气水平井比其他类型水平井轨迹控制精度要高,设计水平段长900 m,钻至水平段后期往往会出现井下钻具摩阻大、扭矩高、托压严重,轨迹调整难度加大;另外,该井型由于采用下套管的完井方式,因此对井身轨迹控制与导向调整也提出了更高要求<sup>[1]</sup>。

(3)煤层结构胶结能力弱,因此PDC钻头煤层中破岩能力较强、机械钻速很高,这一问题对于钻井液携岩能力提出了更高的要求。若钻井液悬浮携砂能力差,将导致井底岩屑无法及时循环出井,易在煤层水平段形成岩屑床,使井下安全难以保证。为降低卡钻事故发生几率、提高钻压传递效率,建议水平段钻具组合中采用加重钻杆进行钻具倒装,但不建议配置钻具稳定器实施稳斜<sup>[9]</sup>。

(4)受常规煤层气水平井开发成本的约束,随钻地质参数仅有方位伽马,且伽马测点相距钻头约15 m,随钻工程参数滞后距约14 m,滞后距长导致

井底数据的预测精度差,对水平井井眼轨迹调控工作带来了不小的挑战。

(5)迟到时间的存在使岩屑、气测录井应用局限,现场地质判断结果相对滞后,地质导向工作的预见性较差。

(6)煤层是同时具有大量微孔和裂隙的双重孔隙介质,其机械物理性质不同于常规砂岩储层,通常情况下煤层埋藏深度较浅、地层压力低、煤层胶结疏松且易被压缩、连接微孔的节理和裂隙相对发育,具体表现在当机械强度低、胶结能力弱的煤层被钻开后,极易发生剪切破碎,因此煤层不足以支撑上覆地层的压力,在钻井过程中表现为易发生井壁坍塌、卡钻等工程复杂事故<sup>[2]</sup>。

### 3 T-P05井地质导向技术

地质导向(Geo-Steering Drilling)技术自20世纪90年代发展以来,目前仍是钻井领域的前沿技术之一。与几何导向不同,地质导向技术不仅仅是依照预设的井眼轨道实施钻井,而是以探查目的层和提高钻遇率为目的。所谓地质导向技术,就是将随钻测量和随钻评价进行有效结合,建立一个地质模型,利用获取的各种井下参数和邻井地质资料进行综合分析判断,实时修正该导向模型,供现场技术人员做出准确的决策,从而有效指导钻井施工,使井眼轨迹最大限度地依照地质目的穿行,提高储层钻遇率,以获取更大的经济效益<sup>[5]</sup>。

#### 3.1 主要标志层划分

T-P05井垂向上先后钻遇了第四系的粘土和砾石层,纸坊组的灰绿色泥质砂岩和砂砾岩,和尚沟组的棕红、紫红色泥岩及粒径成正韵律的同色砂岩,刘家沟组的灰色砂岩夹棕红色砂质泥岩、泥岩,二叠系石千峰组的棕红色泥岩和砂质泥岩,石盒子组灰色泥岩和灰白灰绿色砂岩,山西组砂层及煤层煤线。现场通过与邻井地层的分析和比对,认为石盒子组上部各地层的厚度吻合性较好,地质变化主要来自于下部地层。同时结合T-P06、T-P08井已钻井资料,本井划分了石盒子底部、山西组中部砂岩、4号煤顶底以及5号煤顶等几个主要标志层<sup>[2]</sup>,标志层预测数据详见表4。

从表5和图1的观察发现,横向上石盒子组底部砂岩、山西组中部砂岩、4号煤层厚度相似性均较好,如图1,J1-02井石盒子组底部砂层相对较厚,

表 4 T - P05 井标志层预测

主要标志层	斜深/ m	井斜角/ (°)	方位角/ (°)	垂深/ m	闭合距/ m
石盒子底	1226.97	49.08	113.00	1201.75	86.17
山西组中部砂层底	1293.77	64.40	113.00	1238.28	141.85
4 号煤顶	1340.14	75.00	113.00	1254.29	182.91
4 号煤底	1342.73	75.00	113.00	1254.96	185.41
5 号煤顶	1437.70	87.00	113.00	1269.79	279.04

表 5 T - P05 井邻井地层对比

地层	J1 - 01 向 1 井		J2 - 25 井		J1 - 02 井		T - P06 井	
	底深/ m	厚度/ m	底深/ m	厚度/ m	底深/ m	厚度/ m	底深/ m	厚度/ m
石千峰组	727.0	262.0	597.0	336.0	617.0	218.0	822.9	245.0
石盒子组	1143.2	416.2	1072.0	475.0	1037.6	420.6	1202.3	379.4
山西组	1218.5	75.3	1122.0	50.0	1123.0	85.4	1284.7	82.4
补心海拔	1081.0		986.45		1002.2		1117.67	

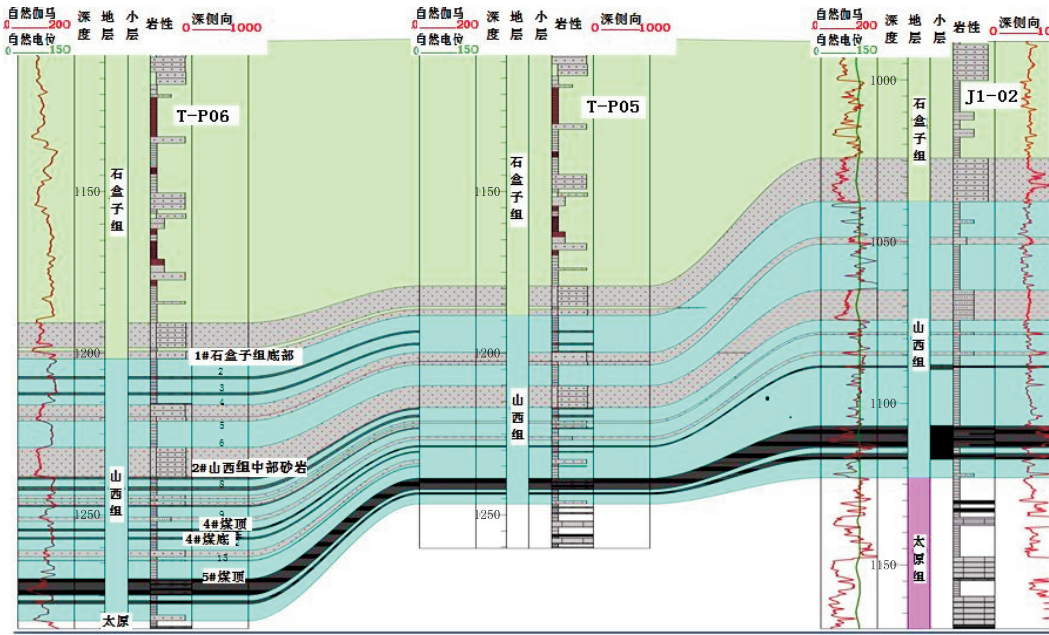


图 1 T - P05 井与邻井地层对比图

但与 5 号煤层距离相比差别不大,2 号砂层是一套低伽马砂岩,从图 1 中看的出,对比性较好,卡取 2 号砂层是关键点。

### 3.2 地层倾角与着陆靶点计算

L 型水平井由于其邻井少,构造落实程度有限,通过多种方法预测并应用发现,实钻井计算预测的地层倾角对轨迹着陆具有较大的指导意义<sup>[1]</sup>,该区块已钻水平井数据表明 T - P05 井确为上倾的地层模型,该地层模型如图 2 所示,实钻计算预测地层倾角<sup>[3,8]</sup>和着陆靶点的方法如下:

$$\alpha = \arctan |(H_2 - H_1 - h_1) / (L_2 - L_1)| \quad (1)$$

$$H = H_2 + h_2 - \tan\alpha \times (L - L_2) \quad (2)$$

式中: $\alpha$ ——地层倾角, (°);  $H_1$ 、 $H_2$ ——钻遇标志层一和标志层二时的垂深, m;  $h_1$ ——标志层一到标志层二的地层厚度, m;  $L_2$ 、 $L_1$ ——标志层一和标志层二的位移, m;  $H$ ——预测着陆点的垂深, m;  $h_2$ ——标志层二到目的层的地层厚度, m;  $L$ ——设计靶前距, m。

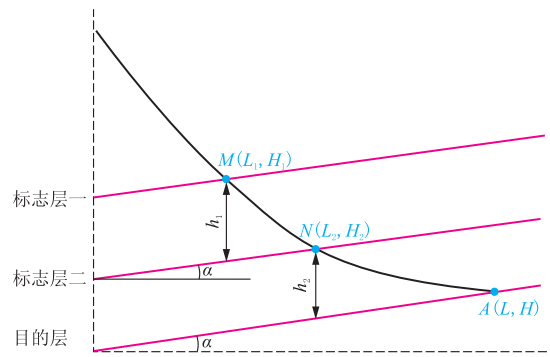


图 2 上倾型地层模型

实钻地层倾角详见表 6。

表 6 T - P05 井实测地层倾角

井段/m	地层倾角/(°)	方向	备注
976 ~ 1670	4.0 ~ 5.0	东南	依据实钻数据计算
1670 ~ 1800	7.0 ~ 8.0	东南	依据实钻数据计算
1800 ~ 2326	1.5 ~ 2.0	东南	依据实钻数据计算

### 3.3 地质建模

T-P05井依据实时钻时、地层岩性、随钻伽马、气测数据以及地层倾角等实钻数据实施地质建模,建模结果如图3所示。

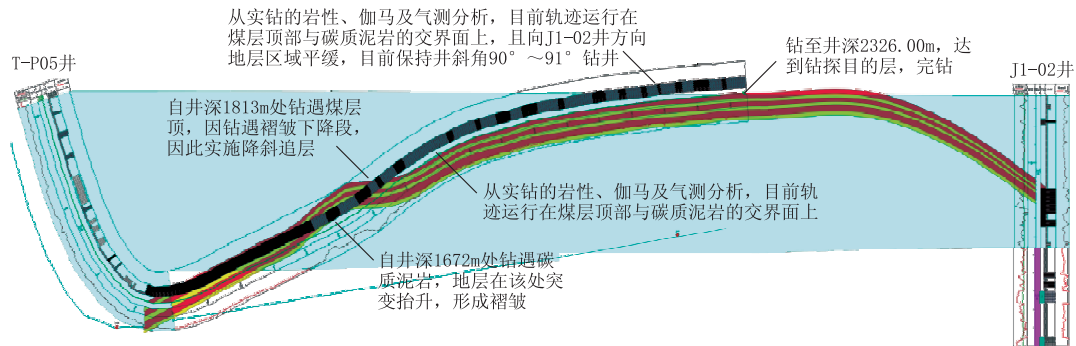


图3 T-P05井地质导向模型

### 3.4 实钻轨迹控制

#### 3.4.1 造斜段轨迹控制技术

##### 3.4.1.1 着陆控制思路

(1) 细化区域地质资料研究,通过与区域邻井地层的对比和分析,对着陆点垂深进行初步预判;加强现场监测手段,将岩屑录井获取的岩屑冲洗干净、烘焙干燥之后按照井深顺序排列,导向时应善于观察并发现岩性的变化趋势是否符合预判,对于明显的标志层要进行地层倾角的返演推算,实施地质建模并进行模型修正;此外,还应结合气测和钻时的数据,进行综合评判,从而提高煤层顶界位置预测精度,确保顺利着陆。

(2) 针对煤层着陆垂深的不确定性,应把握好钻具组合的造斜能力,在地质目标不确定的条件下对水平井井身轨迹实施优化,入层角控制在比设计的最大井斜角低于 $2^{\circ} \sim 4^{\circ}$ 为宜,以保证在探得煤顶准确位置后顺利中靶<sup>[8]</sup>。

##### 3.4.1.2 造斜段轨迹控制要点

(1) 针对T-P06和08井实钻造斜率过低的不利局面,本井直接选用 $1.75^{\circ}$ 单弯螺杆实施造斜,并且上提造斜点37m,从而确保实钻造斜率满足轨迹调控需求、井身质量符合设计要求。

(2) 针对石盒子、山西组易坍塌和掉块的现象,钻进至该段前宜适当提高泥浆密度,对井壁形成有效的物理性支撑,维护井壁稳定。

(3) 及时进行短拉作业,清除岩屑床、修整井壁,保证井眼光滑;起下钻应控制下钻速度,避免压力“激动”引起井壁失稳。

(4) 录入实测数据及时修正轨迹,以低曲率入靶着陆,既保证轨迹调整的灵活性,又能兼顾入靶轨

迹的圆滑性。

(5) 泥浆中应添加足量的固液混合型润滑剂,来降低井下摩阻、缓解托压,提高造斜效率。

#### 3.4.2 水平段轨迹控制技术

##### 3.4.2.1 水平段控制思路

本井设计水平段长达900m,考虑到地层倾角变化和井底轨迹参数预测的不确定性等因素,因此在现场施工中地质导向师应充分结合岩性、气测、方位伽玛、钻时以及井眼轨迹参数,对地质模型进行实时修正,综合分析后对后续井段的煤层顶底界及夹矸位置做出精确预判,从而有效指导水平段施工,使钻头最大限度地煤层中穿行,以提高煤层钻遇率,切不可完全按照原理想设计执行<sup>[8]</sup>。

##### 3.4.2.2 水平段轨迹控制要点

(1) 采用“两短一长”短起下方式,及时清除水平段岩屑,要求钻至水平段中部长拉至套管脚。

(2) 提高悬浮携带性,控时钻进,不要一味追求速度而丧失井下安全,防止因携带岩屑不及时引发阻卡现象。

(3) 煤层中钻进,一是细化钻具结构选择和组配分析,既要在复合钻中具备良好的稳斜性能,又要不失轨迹调整的能动性,“多转少定”,提高机械钻速,缩短钻井液对煤层的浸泡时间,控制工期在煤层坍塌周期以内,降低井壁垮塌机率。二是随钻方位伽玛要结合地质录井做好煤层走向、地层倾角的预判,对后期轨迹控制提供有针对性的预测,确保轨迹在煤层中有效穿行,从而提高煤层钻遇率。

(4) 提高MWD测量效率,减少开关泵对井壁冲刷。

(5) 为水平段保证所钻煤层结构稳定不坍塌,

建议复合钻进中采取小钻压、低转速的钻进参数<sup>[9]</sup>。

T - P05 井应用地质导向技术<sup>[4-7]</sup>结合轨迹控制技术<sup>[8]</sup>,平均机械钻速达 10.5 m/h,煤层钻遇率高达 98%,圆满完成了本井的钻探任务。T - P05 井详细钻井参数见表 7,所用钻具组合见表 8,关键节点轨迹参数详见表 9;本井轨迹走势分别见图 4、图 5。

表 7 T - P05 井钻井参数

井段	钻压/ kN	转速/(r· min <sup>-1</sup> )	排量/ (L·s <sup>-1</sup> )	泵压/ MPa	密度/ (g·cm <sup>-3</sup> )	粘度/ s
造斜段	30~130	30+螺杆	40~45	12~15	1.16~1.28	45~51
水平段	10~60	30+螺杆	26~30	11~13	1.24~1.32	42~48

表 8 T - P05 井钻具组合

井段	钻具组合
造斜段	Ø311 mm PDC 钻头 + Ø203 mm 单弯螺杆(1.75°) + Ø203 mm 单流阀 + Ø203 mm 定向接头 + Ø203 mm 无磁钻铤 + Ø127 mm 斜坡钻杆 DP(30~45 根) + Ø127 mm 加重 DP(24 根) + Ø127 mm DP
水平段	Ø216 mm PDC 钻头 + Ø172 mm 单弯螺杆(1.5°) + Ø165 mm 单流阀 + Ø165 mm 定向接头 + Ø127 mm 无磁承压钻杆 + Ø127 mm 加重钻杆(3 根) + Ø127 mm 钻杆(105 根) + Ø127 mm 加重钻杆(21 根) + Ø127 mm 钻杆

表 9 T - P05 井关键节点井眼参数统计

关键点	井深/ m	井斜 角/(°)	方位 角/(°)	垂深/ m	水平位 移/m	最大井 斜/(°)
造斜点	976	4.08	113.08	975.76	18.18	
A 点(着陆点)	1426	89.95	113.08	1253.81	318.52	98.6
B 点	2276	90.70	111.35	1197.34	1165.79	

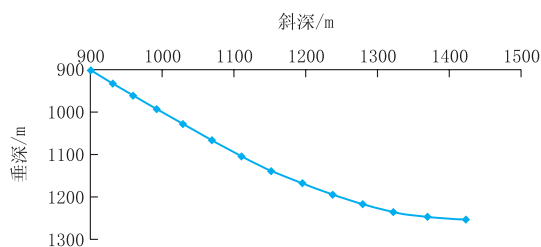


图 4 T - P05 井造斜段斜深与垂深关系图

#### 4 结语

(1) 由于 L 型煤层气水平井可参考邻井资料的局限性和地层沉积方向上的不确定性,导致该井型煤层气水平井的地质导向工作比较困难,特别在

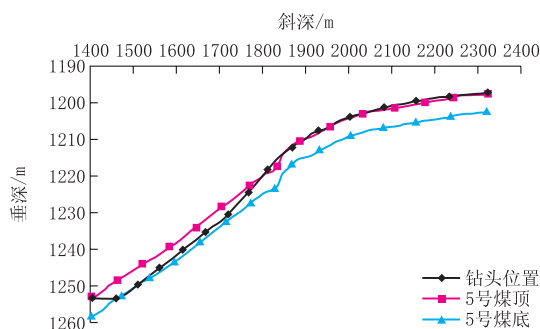


图 5 T - P05 井水平段斜深与垂深关系图

探煤顶并寻求着陆的环节上,技术控制要求高,因此需要现场导向人员做好充足的技术准备。

(2) 应用地质导向技术,能够大幅度提高在煤层气水平井中的煤层钻遇率,有利于提高煤层气产量。

(3) 地质导向技术应根据钻时、地层岩性、随钻伽马、气录测资料及地层参数,结合轨迹控制技术,实时更新、修正地质导向模型,以便更好地指导现场施工。

(4) 地质导向技术在 T - P05 井的应用成功,证明了该技术在煤层气水平井中具有良好的发展前景。

#### 参考文献:

- [1] 黎铤,姜维寨,张君子,等.煤层气 L 型水平井录井综合导向技术应用研究[J].中国煤层气,2016,(2):19-22.
- [2] 杜文忠.水平井录井地质导向技术在大庆油田的应用[J].西部探矿工程,2015,27(4):92-95.
- [3] 张正林,于海军.煤层气多分支水平井录井综合导向技术研究与应用[J].西部探矿工程,2014,26(9):26-28.
- [4] 张春泽.地质导向技术在煤层气开发中的应用[J].能源与节能,2014,(8):37-39.
- [5] 张福强,易铭.提高煤层气水平井煤层钻遇率的关键技术[J].中国煤炭地质,2012,24(9):61-65.
- [6] 张绍雄,张媛.煤层气水平井煤层判识技术的研究与应用[J].石油工业技术监督,2011,27(10):1-4.
- [7] 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,(2):106-108.
- [8] 王兴武.薄油层水平井轨迹控制技术[J].钻采工艺,2010,33(6):127-129.
- [9] 牛洪波,刘建刚,左卫青.弱胶结地层水平井钻井技术探讨[J].石油钻探技术,2007,35(5):61-64.