

煤层气勘探井井斜原因分析及预防措施

李向荣¹, 田智生^{2,3}

(1. 陕西澄合天宇勘探建井工程有限责任公司, 陕西 渭南 715200; 2. 陕西省一九四煤田地质有限公司, 陕西 铜川 727000; 3. 国土资源部煤炭资源勘查与综合利用重点实验室, 陕西 西安 710021)

摘要:在煤层气勘探井钻井中,经常发生井斜超标的现象,给后期钻井施工及煤层气抽排采带来许多不利影响,严重的还可能导致井眼报废。为此,分析造成井斜的主要原因,采取切实可行的预防井斜技术措施,对于提高钻井效率和工程质量,有效降低钻井成本,加快煤层气勘探开发有重要意义。结合煤层气钻井施工实践,就发生井斜的主要原因进行了简要分析,并提出了具体应对措施。

关键词:煤层气钻井;井斜;井斜角;井底位移;钻具级配

中图分类号:P634.7 文献标识码:A 文章编号:1672-7428(2017)07-0019-05

Causes Analysis on Coal Bed Gas Exploration Well Slanting and the Preventive Measures/LI Xiang-rong¹, TIAN Zhi-sheng^{2,3} (1. Shaanxi Chenghe Tianyu Exploration and Well Construction Engineering Co., Ltd., Weinan Shaanxi 715200, China; 2. Shaanxi 194 Coalfield Geology Co., Ltd., Tongchuan Shaanxi 727000, China; 3. Key Laboratory of Coal Resources Exploration and Comprehensive Utilization, Ministry of Land and Resources, Xi'an Shaanxi 710021, China)

Abstract: In the coal bed was mad in the vertical shaft well drilling, has the well slanting exceeding the allowed figure phenomenon frequently, Pulls out the platoon for the later period well drilling construction and the coal bed gas to pick brings many adverse effects, serious also possibly causes the bore hole abandonment. Therefore, the analysis creates the well slanting primary causAbstract: In the coal bed gas exploration well drilling, the well slanting exceeding occurs frequently, which has adverse effects for the coal bed gas extraction, drainage and collection in later period, even can lead the bore hole abandonment. Therefore, the analysis on the primary causes of well slanting and taking the practical technical measures to prevent well slanting are important to improve drilling efficiency and engineering quality, reduce drilling cost and speed up coal bed gas exploration development. Combined with the coal bed gas drilling practice, the primary causes of well slanting are briefly analyzed and the concrete preventive measures are put forward.

Key words: coal bed gas drilling; well slanting; deviation angle; bottom hole displacement; drilling tool grading

0 引言

在煤层气勘探开发中,先期采用参数+实验井,井型一般为直井。评价钻井的井身质量指标主要有井斜、井底水平位移、全角变化率、全井井径扩大率、煤层段井径扩大率等。而井斜指标比较难于控制,常常由于施工过程中技术措施采取不当或者地层等因素,出现井斜超标的现象较多。在《煤层气钻井工程质量验收评级标准》(Q/CUCBM 0305—2004)中,对井斜指标的要求是:井深≤500 m时井斜≤1.5°,井深≤1000 m时井斜≤2°,井深≤1500 m时井斜≤2.5°为优良;井深≤500 m时井斜≤2°,井深≤1000 m时井斜≤2.5°,井深≤1500m时井斜≤3°为合格;井深≤500m井斜时≤2.5°,井深≤1000m

时井斜≤3°,井深≤1500m时井斜≤3.5°为基本合格;超出以上范围为不合格。

对于煤层气钻井和后期抽采,井斜的危害主要表现为:(1)资料失真,影响开发布井方案实施;(2)易造成钻井工程事故(钻柱套管磨损,破裂折断和卡钻等);(3)下套管柱时困难,影响固井质量和后期作业;(4)影响抽采工作(下封隔器困难,封隔密封不好,抽油杆偏磨折断等);(5)延长钻井周期,增加钻井成本。

为确保钻井质量,钻井过程中应高度重视井斜预防问题。本文结合在山西晋城地区的煤层气钻井实践,对发生井斜的原因进行具体分析,并提出预防措施。

收稿日期:2017-03-08; 修回日期:2017-05-29

基金项目:陕西省2016年工业科技攻关项目“黄陇煤田转角地区低阶煤储层特征与煤层气勘探开发对策研究”(编号:2016GY-187)

作者简介:李向荣,男,汉族,1970年生,地质钻探工程专业,从事煤田地质和煤层气、水源井、地热井等钻探技术研究和管理工作,陕西省渭南市澄城县庄头镇,751571126@qq.com。

通讯作者:田智生,男,汉族,1966年生,高级工程师,地质钻探工程专业,长期从事煤层气、页岩气、盐井、地热井等钻探技术研究和管理工作,陕西省铜川市延安路82号,tianzhisheng555@163.com。

1 井斜超标钻井实例分析(以SQ-906井为例)

1.1 井身质量数据

SQ-906井是陕西省一九四煤田地质有限公司在山西晋城完钻的第一口煤层气直井,井斜超标严重,具体井斜数据见表1。

表1 SQ-906井井斜数据

深 度/ m	井斜 角/ (°)	方位 角/ (°)	全角变化 率/[(°)· (25 m) ⁻¹]	深 度/ m	井斜 角/ (°)	方位 角/ (°)	全角变化 率/[(°)· (25 m) ⁻¹]
25	1.21	67.38	0.00	425	6.11	199.26	0.13
50	1.17	146.26	1.64	450	5.77	200.70	0.37
75	1.71	153.13	0.56	475	5.48	203.25	0.39
100	1.68	159.01	0.18	500	5.05	203.97	0.44
125	1.98	165.84	0.37	525	4.92	206.54	0.26
150	2.66	175.02	0.78	550	4.44	210.11	0.57
175	2.93	179.62	0.35	575	4.59	210.17	0.15
200	3.20	192.66	0.75	600	4.57	201.41	0.70
225	3.53	199.30	0.51	625	4.48	199.45	0.18
250	4.24	198.01	0.72	650	3.95	198.22	0.54
275	4.65	199.61	0.43	675	4.21	195.76	0.31
300	4.64	201.61	0.16	700	4.62	192.38	0.49
325	4.82	203.39	0.23	725	5.08	193.11	0.46
350	5.63	204.36	0.81	750	6.11	194.87	1.06
375	6.05	204.47	0.43	775	7.93	195.16	1.81
400	5.98	199.09	0.57	799	8.78	198.72	1.57

该井最大井斜为8.78°,全角变化率最大为1.81°/25 m,所在深度为775 m。本井最大位移为56.54 m(验收标准要求不超过25 m为基本合格),所在深度为799 m。在井身质量指标中,井斜、全角变化率、井底位移都严重超标,该井井身质量验收被判定为不合格。

1.2 井眼轨迹

从该井井斜数据中可以看出,该井井斜角随着深度加深呈现增大趋势,在0~375 m增大到6.05°,在375~425 m先减少后增大到6.11°,从425~750 m井斜角先减小到3.95°后又开始增大,从750~799 m井斜一直增大,最大为8.78°。该井在井斜角不断增大的同时,方位角变化不大,因此,从井眼轨迹来看,该井几乎就是一个小斜度、小位移的定向斜井。SQ-906井的井眼轨迹见图1。

1.3 钻井过程

井队在钻井施工中,没有采取切实可行的预防井斜的技术措施,所使用的钻具组合、选用的钻井参数等达不到防斜的效果;另外,在发现井斜超标后,采取纠斜技术方法不当。从该井钻井原始资料中

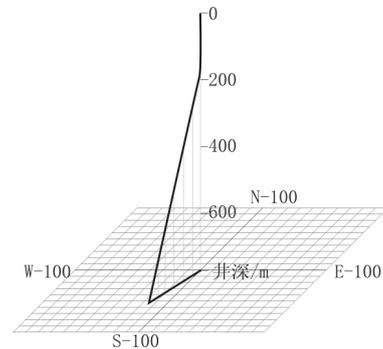


图1 SQ-906井井眼轨迹图

可以看到,在钻进过程中,施工钻机没有严格按照设计要求进行单点测斜。在井深100 m时井斜角就达到了1.68°,一直钻进到井深420 m时进行了第一次单点测斜,实测井斜为6.0°,发现井斜已经严重超标。虽然采取了轻压吊打、调整钻具、控制进尺等一些技术措施,取得了一定的降斜效果,但从井深650 m至完钻,井斜持续增大,最大为井底8.78°,纠斜效果很不理想,造成了无法挽回的严重后果。

2 井斜原因分析

分析SQ-906井井斜的原因,主要有钻进方法、钻具级配、钻进参数选择等因素,以及地层因素等。下面从设备安装、开孔表层钻进、钻具级配、钻进参数、钻头类型、钻进方法、地层等几个方面逐一进行分析。

2.1 设备安装

设备安装对于井斜控制具有重要影响,钻机底盘是否水平、井架是否垂直,天轮中心、转盘中心和井口是否在同一条直线上,直接影响钻井质量。在该井设备安装中,没有严格执行安装规范,在钻机底盘水平校正上误差较大,导致一开孔便出现井斜,在井深25 m时井斜角为1.21°。

2.2 开孔表层钻进

开孔及表层钻进,对后期成井质量以及各项钻井质量指标都有很大的影响,特别是对井斜影响更大;只有在开钻后表层钻进井斜符合要求,才能为后续井斜控制奠定良好基础。该井表层钻进中钻井参数选择不合理,在表层段就发生了井斜超标,给二开钻进防斜和纠斜造成了较大困难。

2.3 钻具级配

钻进过程中钻具的倾斜和弯曲是影响井斜的主要因素,而影响最大的是靠近钻头的“底部钻具组

合”,它的倾斜和弯曲将会产生2个后果,一是钻头倾斜,在井底形成不对称切削;二是钻头受侧向力,进行侧向切削。钻具的倾斜和弯曲原因是:(1)钻具直径小于井眼直径,钻具和井眼间有间隙,为弯曲提供了空间;(2)由于钻压的作用,下部钻具靠向井壁而倾斜。此外,井眼的扩大也会使井眼轴线和钻头轴线不重合,发生井斜。因此钻铤、稳定器(扶正器)、钻杆的直径规格、数量的相互组合等一定要合理,稳定器直径要和钻头直径基本相近,所采用的钻具级配应具有防斜效果。SQ-906井钻进过程中所选取的主要钻具组合为:Ø215.9 mm 牙轮钻头 + Ø165 mm 无磁钻铤1根(8.00 m) + Ø159 mm 钻铤6根 + Ø127 mm 钻杆。从中可以看出,钻具组合不合理,存在钻铤直径偏小、长度不够,缺少稳定器等缺陷。

2.4 钻进参数选择

钻进参数选择要根据地层变化进行适当调整,尤其在钻遇地层倾角大,软硬互层变化频繁等情况下,要对钻压、转速进行优化选择。从该井钻井原始资料中可以看出,钻井过程中钻压、转速和所钻遇地层不完全配套,多次出现钻压选择过大或者过小的现象,很容易造成井斜角增大。

2.5 钻头类型

所选用的钻头类型不同,对于控制井斜有不同的效果。不同齿高、齿宽、齿距等结构参数的铣齿牙轮钻头,楔形、圆锥形、球形齿等齿形的镶齿牙轮钻头,不同冠部形状、水力结构、切削齿分布排列方式的金刚石钻头,它们除了分别适应不同硬度的地层钻进外,在井斜控制技术方法的要求上也不尽相同。该井所选择的钻头为镶齿三牙轮钻头,规格为HJ517和HJ537型,适应于软到中硬地层;由于该井地层软硬变化较大,所选用钻头类型不完全适应地层需要。

2.6 钻进方法

选择不同的钻进方法,比如牙轮钻进、金刚石复合钻进、空气钻进、液动潜孔锤钻进、涡轮钻进等,对井斜的影响也不一样。该井采用的是牙轮钻进这一最常使用的方法。

2.7 地层因素

主要包括地层倾角、层状结构、地层各向异性、岩层软硬交替及断层等。由于地层可钻性的各向异性,钻头总有向着容易钻进的方向钻进的趋势,在地层倾斜的情况下就会发生井斜;地层可钻性的纵向变化,在纵向上地层产生软硬交错的变化,在倾斜地

层钻进时,软地层和硬地层钻头发生钻速差异,导致井眼轴线偏离,发生井斜;地层可钻性的横向变化,在水平层面上,当钻头的一侧可钻性高,另一侧可钻性低时,钻头前进方向就会发生偏斜。地质因素的影响主要体现在钻头对井底的不对称切削,使钻头轴线相对于井眼轴线发生倾斜,从而引起井斜。SQ-906井由于受到局部构造影响,该井场地面地层倾角较大,实际测量倾角为35°,属于较大倾角地层。

3 防斜措施

根据以上所分析造成井斜的原因,应分别采取相应的防斜技术措施。

3.1 严把设备安装关

在钻井设备安装中,要严格按照规程规范进行安装,机台基座平面必须水平,钻井转盘面要用水平尺反复校正;必须保证天轮中心、游动滑车大钩中心、转盘中心在一条直线上。在完成设备安装后,要启动设备空负荷运转30 min以上,通过设备运转来检验安装质量;设备安装完成后要先经过自检,再经项目方和监理单位的开钻验收,全部符合要求后方可开钻。

3.2 开孔表层段打直

表层段打直是直井防斜的关键,尽量不用大直径钻头一次完成,要采取小直径钻头逐级扩径的方式,扩径钻头要带有导向,导向长度为350~400 mm;表层钻进及扩径时,钻具组合中必须要有与钻头规格相配套的扶正器;为防止主动钻杆高压水龙带一侧偏重导致井斜,要对水龙头高压水龙带一侧采取钢丝绳固定的方式,尽可能消除高压水龙带偏重的影响。在二开钻进前,要及时进行测斜,并根据井斜角大小决定采取相应的技术措施。

3.3 选择合理钻具组合

在保证钻井液循环正常的前提下,尽可能选择合理的钻具组合。根据钻头尺寸选择扶正器、钻铤的直径和长度、数量等。扶正器与井眼间的间隙大小对钻具性能影响非常显著,一般应控制在0.8~1.6 mm。在钻铤的选择上,应优先选择大一级的;在钻压相同时,大直径钻铤的刚度大,不易弯曲;另外在保证同样井斜角的前提下,大直径钻铤可允许增加钻压,提高钻速。在钻具的配备上,要尽可能选用2~3种直径规格的钻铤,还要配备足够数量的加重钻杆,满足不同钻具组合和钻井防斜的需要。

3.4 优选钻进参数

钻井参数包括钻压、转速、泵量等,其中钻压尤为关键。井眼轨迹的形成是钻头与地层相互作用的结果,井斜是由钻头侧向力和钻头倾角的联合作用产生的,而钻头侧向力是引发井斜的主要因素。不同大小的钻压会产生不同的地层侧向力,通过合理优选钻压,就能确保井斜始终处于受控状态。钻压的选择要根据地层软硬变化,适时进行调整。

3.5 选择适宜钻头类型

要根据不同地层特点选择适宜的钻头类型。该施工区普遍采用的是镶齿三牙轮钻头,齿形以圆锥形、球形、楔形为主,其中圆锥形、球形齿使用较多;刮刀钻头在该地区使用也较普遍,虽然其钻进效率相对较高,但经常出现由于钻压选择不当,容易造成钻具粘扣现象,给起下钻具带来严重影响,造成钻井成本的增大。

3.6 选择合理钻进方法

在设备能力许可的范围内,尽量选择经济性好、防斜效果明显或者易于控制井斜的钻进方法,如在上部漏失层段采取空气潜孔锤钻进,中间采用单弯螺杆复合钻进,钻遇坚硬地层时采用金刚石钻进等不同的钻进方法。

3.7 充分考虑地层因素

地层倾角对于井斜控制影响非常大,要针对地层因素采取适宜的钻进方法,特别是在高陡构造以及造斜能力强的地层中,即使是用很小的钻压和很低的转速,往往也难以有效地控制井斜。为此在进行钻井设计时,要具体分析钻井现场地层情况,包括地层倾角等,采取多种技术方法相结合,才能有效控制井斜。比如可选择满眼钻具、钟摆钻具、偏斜钻具、塔式钻具等不同钻具组合方式。

4 防斜措施应用及效果

在对山西晋城沁水地区煤层气钻井易发生井斜的原因具体分析后,陕西省一九四煤田地质有限公司山西煤层气项目部所属的GZ-2000型钻机,在该区采取了相应的预防和控制井斜措施,煤层气钻井施工获得了良好效果,所完成的3口煤层气勘探井,质量验收等级均为优良。

4.1 施工区地层概况

施工区位于山西沁水盆地南部,行政隶属山西省晋城市沁水县管辖。构造位置为沁水向斜东南斜

坡地带,该地区地层从老到新依次为:

石炭系上统太原组(C_{3t}):以砂岩、粉砂岩、灰岩、泥岩及炭质泥岩组成,含多层煤;

二叠系下统山西组(P_{1s}):是主要含煤地层之一,由砂岩、粉砂及泥岩组成,含煤4层,3号煤较厚,厚约6 m,为目的煤层;

二叠系下统下石盒子组(P_{1x}):灰绿色、灰色泥岩,夹浅灰色砂岩;

二叠系上统上石盒子组(P_{2s}):由砂岩、粉砂岩及泥岩组成;

二叠系上统石千峰组(P_{2sh}):上段以棕红、紫红、暗红色泥岩、砂质泥岩为主,夹灰色泥岩及浅灰绿色细砂岩、泥灰岩,下段以黄绿、灰绿、紫色、暗紫色细砂岩为主,底部为灰白色中—粗粒砂岩;

第四系(Q):为黄色粘土层,夹有姜结石薄层,底部为砾石层与下伏地层呈不整合接触。其中山西组、上下石盒子组、石千峰组为主要易井斜地层。

4.2 设计井身结构及完钻原则

钻井设计采用二开结构:一开井深0~30 m,用 $\varnothing 311.15$ mm三牙轮钻头钻进至超过风化带10 m后,下入 $\varnothing 244.5$ mm套管至29.90 m,固井水泥返至地面,管内留足10 m水泥塞,井口平面保证水平;二开井深30 m~完井深度,用 $\varnothing 215.9$ mm牙轮钻头钻至设计井深,全井下入 $\varnothing 139.7$ mm套管,套管悬空2 m,固井水泥返深为3号煤层顶板以上200 m。

完钻原则:钻至3号煤层底板以下45 m完钻。

4.3 设计钻井质量

设计井深1000 m以浅,最大井斜 $\geq 3.0^\circ$,全角变化率 $\geq 1.4^\circ/25$ m,井底最大位移 < 25 m,全井井径扩大率 $< 25\%$,煤层段井径扩大率 $< 40\%$ 。

4.4 施工中所采取的主要防斜措施

(1) 安装过程中反复校正水平,确保“三点一线”。

(2) 开钻保证井眼垂直,表层段井斜 $\geq 0.5^\circ$ 。

(3) 做到及时测斜,正常情况下每50 m测斜一次,纠斜段每单根测一次。

(4) 增加钻铤数量,加扶正器,钻具级配为: $\varnothing 215.9$ mm牙轮钻头+ $\varnothing 178$ mm无磁钻铤1根(8 m)+ $\varnothing 214$ mm扶正器1个+ $\varnothing 178$ mm钻铤4根+ $\varnothing 214$ mm扶正器1个+ $\varnothing 159$ mm钻铤10根+ $\varnothing 127$ mm钻杆。

(5) 下部使用复合钻进技术,带单弯螺杆钻进,钻具级配为: $\varnothing 215.9$ mm牙轮钻头+ $\varnothing 165$ mm单弯螺

杆(1.25°) + Ø178 mm 无磁钻铤 1 根(8 m) + Ø214 mm 扶正器 1 个 + Ø178 mm 钻铤 2 根 + Ø214 mm 扶正器 1 个 + Ø165 mm 钻铤 6 根 + Ø127 mm 钻杆。

(6) 采用塔式钻具组合, 钻具级配为: Ø215.9 mm 牙轮钻头 + Ø178 mm 无磁钻铤 1 根(6 m) + Ø203 mm 钻铤 2 根 + Ø178 mm 钻铤 4 根 + Ø165 mm 钻铤 8 根 + Ø159 mm 钻铤 6 根 + Ø127 mm 钻杆。

(7) 采用满眼钻具组合, 钻具级配为: Ø215.9 mm 牙轮钻头 + Ø214 mm 扶正器 1 个 + Ø165 mm 无磁钻铤 1 根(6 m) 钻铤 + Ø159 mm 钻铤 1 根(4.50 m) + Ø214 mm 扶正器 1 个 + Ø159 mm 钻铤 1 根 + Ø214 mm 扶正器 1 个 + Ø159 mm 钻铤 12 根 + Ø127 mm 钻杆。

(8) 在软硬互层井段每钻进 50 ~ 80 m 采用短起钻方式划眼, 消除井壁台阶, 确保井眼轨迹光滑。

(9) 优先选择适用于中硬地层的镶齿牙轮钻头, 齿形选择适合中硬地层的 H527 和 H537 型钻头; 选用 PDC 刮刀钻头时, 优先选用防斜效果明显的六翼钻头。

(10) 根据井场附近岩层倾角状况, 分析比较后在不同井段选用相应的钻具级配和适宜的钻进参数。

4.5 钻井质量

采用以上防斜措施相继完成了 3 口勘探井, 井号分别为 SQ-912、SQ-915、SQ-919。从这 3 口井的井斜数据表中可以看出, 井斜控制的均比较成功, 方位角变化范围也不大, 井眼轨迹平滑, 呈现出均匀变化趋势。其中 SQ-912 井井斜角控制的比较理想, 在 525 m 时, 井斜角达到 1.01°, 采取了适宜的降斜措施, 在 625 m 时井斜角为 0.75°, 在完井 776 m 井斜角 1.97°; SQ-915 井井斜控制的最为理想, 在井深 700 m 时井斜角为 0.49°, 完井深度 827 m 井斜角为 1.47°; SQ-919 井在二开钻井深度 34 m 时井斜角为 0.43°, 及时采取了稳斜措施, 取得了良好效果, 井斜保持了基本稳定, 在井深 500 m 时, 井斜角为 1.10°, 在完钻井深 798 m 时井斜角为 1.45°。SQ-912、SQ-915、SQ-919 这 3 口井的井身质量数据汇总见表 2。

以上 3 口井, 井身质量各项指标均符合要求, 经综合验收评定质量等级为优良。

5 结语

通过煤层气钻井实践, 得出了以下体会。

表 2 井身质量数据汇总

井号	完钻井深/m	最大井斜角		最大全角变化率		井底位移/m	全井径扩大率/%	煤层径扩大率/%
		数值/度	所在深度/m	数值/度	所在深度/m			
SQ-912	776	1.97	776	0.42	125	8.50	12.64	16.17
SQ-915	827	1.47	827	0.47	800	5.16	13.08	18.11
SQ-919	798	1.45	798	0.61	750	7.93	10.66	17.83

(1) 影响煤层气直井井斜的因素可分为可控因素和不可控因素 2 种, 利用好可控因素, 可以有效控制井斜。

(2) 钻进设备的安装质量, 对井斜有一定的影响, 要严格按照规范组织安装。

(3) 选择合理的钻具级配, 能够有效控制井斜。

(4) 选用适宜的钻井方法, 优化钻井参数, 可以达到控制井斜的目的。

(5) 满眼钻进、钟摆钻具、塔式钻具都能够有效预防和控制井斜。

(6) 要充分考虑地层因素对井斜控制的影响, 尤其是在倾角较大的地层钻进, 需要采取相应的预防井斜措施。

参考文献:

- [1] DZ/T 0250—2010, 煤层气钻井作业规范[S].
- [2] 王建学, 万建仓, 沈慧. 钻井工程[M]. 北京: 石油工业出版社, 2008.
- [3] 曹铁军, 左明星, 徐培武. 煤层气钻井技术应用研究[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2005, 32(11): 48-50.
- [4] 吴小建. 螺杆定向钻探技术在煤层气钻井中的应用[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2006, 33(11): 48-49, 51.
- [5] 包贵全. 煤层气钻井工程中几个重点技术问题的探讨[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2007, 34(12): 4-8.
- [6] 邓昌文, 莫日和. 贵州宝田—青山煤层气参数井钻井工艺技术[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2007, 34(1): 53-54.
- [7] 李云峰. 沁水盆地煤层气参数井钻井工艺[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2006, 33(9): 55-57.
- [8] 吴小建. 沁南煤层气参数井钻井工艺[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2007, 34(5): 43-44, 46.
- [9] 尹中山, 胡勋茂. 四川煤层气井施工的问题与对策[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2010, 37(2): 4-8.
- [10] 任杭州, 李翔. 松辽地区油气勘探优快钻井技术思路[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2011, 38(10): 15-18.
- [11] 张建龙, 刘建华. 松南地区复合钻井技术分析[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2012, 39(2): 15-17.
- [12] 薛改珍, 金学锋, 张景良, 等. 沁水盆地煤层气安全钻井工艺[J]. 石油钻探技术, 2007, 35(5): 65-67.
- [13] 申瑞臣, 夏焱. 煤层气井气体钻井技术发展现状与展望[J]. 石油钻采工艺, 2011, 33(3): 74-77.
- [14] 涂乙, 涂辉, 藏真霞. 煤层气井钻井工艺及完井技术适应性研究[J]. 中国煤层气, 2012, (1): 31-33, 9.
- [15] 杨胜春, 温丙初, 种衍飞. 煤层气钻井探技术实践[J]. 西部探矿工程, 2012, 24(3): 173-175.