

# 双弯螺杆纠斜效果分析与应用

靖伟东

(山西省煤炭地质水文勘查研究院,山西太原 030006)

**摘要:**双弯螺杆是指弯接头加弯壳体螺杆的钻具组合形式。采用双弯螺杆纠斜,可以获得较大的造斜率,解决在特定条件下单弯螺杆纠斜困难的问题。选择合适角度的弯接头,减少双弯螺杆造斜进尺长度,是控制井眼“狗腿”度,保证后期工作(扩孔和下套管)顺利进行的重要因素。以在大口径钻孔中纠斜为例,列举了使用单弯螺杆纠斜遇到的困难,通过双弯螺杆造斜效果的分析,提出了一套采用双弯螺杆进行纠斜的工艺,最终实现了钻孔的纠斜成功。

**关键词:**双弯螺杆;纠斜;轨迹控制;“狗腿”度;扩孔

**中图分类号:**P634.4 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-7428(2017)08-0055-04

**Analysis on Double-bend Screw Drilling and the Application/JING Wei-dong** (Shanxi Coal Geological Prospecting Institute of Hydrology, Taiyuan Shanxi 030006, China)

**Abstract:** Double-bend screw refers to the drilling tools combination form of bending joint and bend housing screw. The use of double-bend screw for hole straightening can get larger built-up rate to solve the difficult straightening while using the single-bend screw in some specific conditions. Selecting proper angle of bend joint and shortening deflecting distance of double-bend screw are important factors to control dogleg angle, which can ensure later work of smooth reaming and casing. Take the straightening case in a large diameter drilling, the difficulties encountered in straightening with single-bend screw are listed, by the analysis on the deflecting effect of double-bend screw, a set of straightening technology with double-bend screw is put forward and successful borehole straightening is finally realized.

**Key words:** double-bend screw; hole straightening; trajectory control; dogleg angle; reaming

## 1 概述

### 1.1 项目概况

根据“先抽后采”的原则,漳村煤矿在扩建矿区新布置了2个瓦斯抽放孔,建立地面泵站对井下瓦斯进行抽放。在施工中,2个钻孔不同程度出现了井斜,其中瓦斯抽放1号孔的孔斜尤为严重。该孔纠斜过程曲折,先后使用螺杆复合钻进和滑动钻进方法纠斜,均以失败告终。在井场螺杆可选角度较少的情况下,最终选择了“弯外管+弯接头”的双弯螺杆进行纠斜,取得了成功。本孔双弯螺杆纠斜工艺可为同类工程提供借鉴。

### 1.2 地质概况

漳村煤矿位于长治盆地西北部,属盆地内的低山丘陵地貌,地形复杂,地势高差较大,沟壑发育。构造上位于太行山复背斜之西翼,总体以宽缓褶曲为主,褶曲轴向为北西向或东西向,两翼地层倾角 $3^{\circ} \sim 9^{\circ}$ ,一般 $3^{\circ} \sim 5^{\circ}$ 。

第四系(Q)地层分布广泛,厚度0~150 m,由棕黄色、浅黄色粉土,粉(细)砂层、粉质粘土及粘土

组成,含姜石及砂砾层,与下伏二叠系地层呈角度不整合接触。二叠系上石盒子组( $P_{1x}$ )150~300 m,由杂色泥岩或砂质泥岩,细、中、粗粒石英砂岩组成;下石盒子组( $P_{1s}$ )300~370 m,由泥岩、砂质泥岩,长石石英砂岩,中、粗、细粒石英砂岩组成;山西组( $P_{1s}$ )为终孔层位,其中3号煤层为主要可采煤层。

### 1.3 主要钻探设备、器具

钻机:TSJ-2000型钻机,单绳提升力90 kN,最大扭矩 $18 \text{ kN} \cdot \text{m}$ ,可以满足大口径扩孔的要求。

泥浆泵:TBW-850/5A型泥浆泵2台,并联后获得的流量可满足螺杆钻具要求。

螺杆钻具: $\varnothing 172 \text{ mm}$ 弯壳体螺杆,可选角度 $0.75^{\circ}$ 和 $1^{\circ}$ ,可配合 $\varnothing 216 \text{ mm}$ 牙轮或PDC钻头。

其他设备:HS18-36型钻塔,LHE-31A型单点测斜仪,LHE-2000型有线随钻测斜仪。

钻具: $\varnothing 178 \text{ mm}$ 无磁钻铤, $\varnothing 178 \text{ mm}$ 钻铤, $\varnothing 89 \text{ mm}$ 钻杆。

### 1.4 施工设计

漳村煤矿瓦斯抽放1号孔设计孔深370 m,孔

径 950 mm,全孔下入  $\text{Ø}720 \text{ mm} \times 14 \text{ mm}$  直缝钢管,全井段固井,水泥标号 P. O 42. 5。

施工采用逐级扩孔方式,在松散层段,首先采用  $\text{Ø}450 \text{ mm}$  牙轮钻头进行钻进,然后采用  $\text{Ø}650$ 、 $950$ 、 $1250 \text{ mm}$  组合牙轮钻头扩孔至 26 m,下入孔口管  $\text{Ø}1050 \text{ mm} \times 16 \text{ mm}$  螺旋钢管;之后使用  $\text{Ø}245 \text{ mm}$  牙轮钻头钻进导向孔,使用满眼钻具和钟摆钻具控制钻孔垂直度,再经  $\text{Ø}450$ 、 $650$ 、 $950 \text{ mm}$  三级扩孔成孔。

结合井下瓦斯抽放的具体位置,确定孔位,可以大大减少瓦斯抽排管路的铺设距离,降低管路铺设成本<sup>[1]</sup>。设计钻孔位置位于巷道东 3 m 处。巷道与钻孔不宜太近,否则钻探施工产生的震动容易震裂或压垮巷道,引起泥浆渗漏进入巷道<sup>[2]</sup>,造成不必要的麻烦。施工中在接近煤层顶板时,应及时停止向下钻进。

## 2 钻孔偏斜情况

$\text{Ø}244 \text{ mm}$  导向孔钻进至 342 m 时,孔底井斜角  $1.18^\circ$ ,方位  $20.3^\circ$ ,东位移 3.07 m,北位移 4.28 m。此时钻孔结构复杂, $\text{Ø}450 \text{ mm}$  口径扩孔至 260 m, $\text{Ø}650 \text{ mm}$  口径扩孔至 251 m, $\text{Ø}950 \text{ mm}$  口径扩孔至 237 m。

钻孔偏斜较大的原因是为缩短工期,提高钻速,施加了大钻压钻进,加之地层倾角和软硬互层等因素,孔斜不断加大。由于甲方对于井斜要求的改变(原要求钻机加快施工,对井斜未有明确要求,后改为应使钻孔偏斜西位移达到  $1.5 \sim 2 \text{ m}$ ),必须制定纠斜方案进行纠斜。

## 3 纠斜难点分析

(1)孔壁复杂。孔径扩大,孔壁不直,钻头容易顺原孔钻进,给纠斜带来困难。钻孔口径不一,钻杆上部活动空间大,下部钻具难以形成稳定支撑,横向力弱,钻头会沿阻力最小的方向钻进,滑向原孔内。

(2)设备制约。TBW - 850/5A 型泥浆泵排量较小,难以驱动大直径螺杆马达。现有  $\text{Ø}172 \text{ mm}$  弯壳体螺杆中最大角度为  $1^\circ$ ,造斜率低,出新孔困难。

(3)水泥石硬度小。多次封孔,新旧水泥混合,在钻杆碰撞下剥落,使孔壁更加复杂。在水泥石中井眼容易扩大,造斜率低。

(4)轨迹控制难。出新孔的位置,“狗腿”度不

能太大,要确保后期扩孔与下套管工作的顺利进行。造斜点与孔底距离近,从水泥面 250 m 到孔底 370 m,中间只有 120 m,调整余地小,如何在 120 m 内既控制“狗腿”度,又准确钻达靶点,是一个难题。

(5)井漏。根据邻井(2 井相距约 15 m)信息,井深 310 m 处会出现较大漏失,邻井曾采用在井口投入细煤渣(直径  $< 2 \text{ mm}$ )的方法堵漏成功。要控制好泥浆失水量,提前预备堵漏材料。

## 4 初期纠斜过程

### 4.1 复合钻进纠斜

制定滑动钻进与复合钻进交替钻进纠斜的方案。使用复合钻进的目的是获得较高钻速,提升井壁的平滑度<sup>[3]</sup>。测斜采用单点测斜仪,每单根(9 m)测斜一次,但测点位置距离孔底约 11 m,即纠斜孔底的井斜数据需要预测。钻具组合: $\text{Ø}216 \text{ mm}$  牙轮钻头 +  $\text{Ø}172 \text{ mm}$  ( $0.75^\circ$ ) 弯壳体螺杆(带  $\text{Ø}215 \text{ mm}$  螺旋稳定器) + 定向接头 +  $\text{Ø}178 \text{ mm}$  无磁钻铤 +  $\text{Ø}178 \text{ mm}$  钻铤 3 根 +  $\text{Ø}89 \text{ mm}$  钻杆。工具面选取  $270^\circ$ ,全力降方位。根据经验,反扭角一般为  $5^\circ \sim 10^\circ$ ,在井口调整钻杆位置,使工具面达到  $280^\circ$ ,可抵消反扭角的影响。

实钻中,水泥面封至 246 m,先滑动钻进扫水泥,钻进 14 m 后,返浆中水泥含量明显减少,出现大量岩屑。继续滑动钻进 13 m,采用小钻压出新孔。此时测得孔底井斜  $0.7^\circ$ ,方位  $355^\circ$ ,预测井底已经出新孔。实施复合钻进,转盘速度采用低转速,69 r/min,钻压  $10 \sim 20 \text{ kN}$ 。钻进 9 m 后,泥浆中出现水泥。改用滑动钻进,钻速增快,上返泥浆中水泥逐渐增多,继续滑动钻进,效果未有改变,测斜数据基本为原孔数据,认定重回  $\text{Ø}244 \text{ mm}$  老孔,纠斜失败。

### 4.2 滑动钻进纠斜

第一次纠斜失败,说明复合钻进不适合本孔,会破坏水泥孔壁导致复杂情况出现,应采用全孔滑动钻进,在井斜角达到设计值时,再考虑常规钻具稳斜钻进。

实钻中,钻具组合不变,水泥面 250 m,扫水泥 9 m 后,开始控制钻速,以  $2 \text{ m/h}$  的速度,缓慢送钻,采用磨孔的方法出新孔。再钻进 18 m 后,放开钻速,钻速很快,但是返浆基本为水泥,测斜数据基本为老孔数据,纠斜再次失败。

封水泥后,再换用  $1^\circ$  弯壳体螺杆,提高造斜率,

其余条件不变,纠斜依然以失败告终。

## 5 技术对策

经过3次纠斜,Ø450和244 mm换径处的台阶已经被破坏,常规纠斜难以成功,而为了后期扩孔的顺利,最佳出新孔的位置还在此台阶(260 m)附近,如果出新孔位置太靠上,那么采用Ø311 mm钻头扩孔时,因水泥较软,在水泥和岩壁相接处,钻头跟进纠斜孔较难,容易顺着原孔壁向下滑,在260 m换径的台阶处获得支撑,最终与纠斜孔分开。为了纠斜顺利进行,制定了如下技术对策。

### 5.1 调配优质泥浆<sup>[4]</sup>

严格控制失水量,减少漏失。粘度要适当提高,利于排出岩屑。根据地层资料,井下存在数层泥、页岩夹层,要注意缩径问题。控制含砂量,减少对螺杆马达的磨损。

泥浆配方:8%~10%优质钠土+0.3%~0.5% CMC+0.5%钾盐+0.1%~0.2% NaOH。

泥浆性能:密度1.06~1.10 g/cm<sup>3</sup>,漏斗粘度25~30 s,失水量10~12 mL/30 min,pH值8~9,泥皮厚度<0.5 mm,含砂率<1%。

在钻进深度接近漏失层(300 m)时,提前加入2%~3%随钻堵漏剂,确保纠斜顺利。实钻中未发生缩径卡钻和井漏等复杂情况。

### 5.2 提高固井质量

纠斜前,使用各径钻头彻底扫孔,清除老水泥。提高水泥石强度,水泥浆中添加适量早强速凝剂,控制加量在2%左右。根据经验,早强速凝剂加量太多会使水泥石脆性增加。选择合适的水灰比,根据气温<sup>[5]</sup>,选择水灰比为0.5。准确计算替浆量,改善水泥浆凝结环境。计算替浆量时,尽量使钻杆内的水泥浆面高度与环空水泥浆面保持一致。为保持压力平衡,可在孔口处灌入泥浆,使泥浆处于满井状态,在提出钻杆时,泥浆不会与水泥浆混合。

### 5.3 双弯螺杆纠斜

在常规纠斜方法失效的情况下,决定使用双弯螺杆纠斜技术。双弯螺杆是指在弯壳体螺杆与定向接头之间加一个弯接头,这样就存在2个弯角,可获得较大的造斜率。使用时要注意准确测量螺杆角差,分别测量弯壳体螺杆与弯接头的角差、弯接头与定向接头的角差,两者之和可作为双弯螺杆角差。弯壳体螺杆与弯接头的角差不宜太大,如果该角差

为180°,弯接头会抵消弯壳体螺杆的造斜效果。实际使用中,该角差 $\geq \pm 30^\circ$ 。钻具组合为:Ø216 mm PDC钻头+Ø172 mm(0.75°)弯壳体螺杆(带Ø215 mm螺旋稳定器)+1.25°弯接头+定向接头+Ø178 mm无磁钻铤+Ø89 mm钻杆。新配置有线随钻测斜仪,实时监控井下轨迹参数。

实钻中,水泥面248 m,使用有线随钻测斜仪定向270°。扫水泥,前5 m以2 m/h的速度钻进,然后控制钻速,以1 m/3 h速度磨孔,磨孔18 m后,逐渐加压,增加钻速。钻进至295 m时,去弯头,加钻铤,然后以滑动钻进方式钻进至孔底,经过计算,孔底东位移2.5 m,基本符合要求,但是双弯纠斜处的最大“狗腿”度为9.04°/30 m,扩孔时出现问题。用Ø311 mm牙轮钻头扩孔至270 m,再换Ø216 mm钻头确定扩孔是否沿着纠斜孔方向,结果下钻不畅,通孔后确定重回老孔。多次找纠斜孔,最后确定纠斜孔在261 m处,但是螺杆钻具也无法进入。此次失败原因主要为扩孔时,导向太短(约500 mm)，“狗腿”度偏大。

重新封孔后,再次使用双弯螺杆出新孔。这次换用0.75°弯接头,同时减少双弯钻进距离,以求降低“狗腿”度。实钻中,水泥面249 m,扫水泥6 m,磨孔7 m后,去弯接头,使用滑动钻进方式逐渐加压钻进至孔底。选择合适导向扩孔,最终成功。

### 5.4 轨迹控制

使用有线随钻测斜仪测斜,加密测点,每5 m测斜一次。在重点部位,每米测斜。测量时,测斜仪入键后测斜一次,然后将测斜仪器提升,每米测斜一次,测斜仪提升5 m后,钻具也要对应提升5 m,确保仪器处于无磁钻铤中,由此可快速得到井眼每米的近似轨迹参数。钻进中要根据已经得到的测斜数据,预测后面的井眼轨迹,通过调整钻进参数控制轨迹。在第二次双弯纠斜中,井斜角达到一定值时,稳斜钻进可以中靶,但考虑到井下“狗腿”度较大,若使用满眼钻具,可能会下钻遇阻,甚至遇到上不去、下不来的情况<sup>[6]</sup>。不加稳定器转盘钻进,钻压20~30 kN,钻进18 m,测斜时发现井斜角下降0.5°,方位增加20°,无法达到稳斜目的。改为螺杆滑动钻进至孔底,此段造斜率低,方位稳定,实现中靶。

### 5.5 扩孔优化

双弯纠斜处“狗腿”度大,扩孔时要选择合适导向。导向太短,会重回老孔,导向太长,阻力太大,无

法钻进。实钻中选择2 m长导向,在双弯螺杆纠斜处要轻压慢转。在扩孔口径方面,省去原定的 $\varnothing 245$  mm扩孔环节,减少可能出现偏差的步骤,使用 $\varnothing 311$  mm牙轮钻头扩孔,实现一步到位。

## 6 双弯螺杆纠斜效果分析

双弯螺杆在常规纠斜中很少使用,该钻进方法

会在出新孔处形成较大的“狗腿”度。井眼曲率、双弯螺杆的角度、钻压等因素会影响双弯螺杆的造斜力<sup>[7]</sup>。双弯螺杆中弯壳体螺杆度数的改变对于整体的造斜率影响更大<sup>[8]</sup>,但限于现场螺杆可选度数少,本孔通过选择合适的弯接头角度,减少双弯纠斜钻进距离,来降低“狗腿”度,控制井斜。2次双弯纠斜附近井段的测斜数据参见表1。

表1 2次双弯纠斜部分数据对比

次数	第一次双弯纠斜				第二次双弯纠斜			
	测深/ m	井斜/ (°)	方位/ (°)	“狗腿”度/ [(°)·(30 m) <sup>-1</sup> ]	钻进方法	井斜/ (°)	方位/ (°)	“狗腿”度/ [(°)·(30 m) <sup>-1</sup> ]
250.00	1.17	43.90	1.96		0.80	10.30	2.15	
255.00	1.00	354.70	5.50		0.90	329.70	3.58	
260.00	1.80	297.90	9.04		1.30	307.70	3.45	双弯纠斜
265.00	2.40	286.60	4.36		1.60	279.00	4.65	
270.00	2.60	287.00	1.20	双弯纠斜	2.50	273.40	5.53	
275.00	2.60	291.50	1.22		3.50	273.00	6.00	单弯纠斜
280.00	2.50	288.80	0.94		3.80	271.50	1.89	
285.00	2.40	289.20	0.61		3.90	270.00	0.85	
290.00	2.30	287.50	0.73		3.50	265.80	2.90	
295.00	2.40	285.40	0.79		3.80	274.50	3.77	正常钻进
300.00	2.40	285.60	0.05		3.40	286.40	5.07	
305.00	3.00	283.10	3.67	单弯纠斜	3.30	287.20	5.42	
310.00	3.00	290.30	2.26		3.20	288.10	0.67	单弯纠斜
315.00	2.80	280.90	3.09		3.10	287.00	0.70	
320.00	2.70	280.60	0.61		3.20	287.40	0.61	

注:第一次双弯纠斜使用0.75°螺杆+1.25°弯接头,第二次双弯纠斜使用0.75°螺杆+0.75°弯接头。

从表1中的数据可以看出,第一次双弯纠斜井段最大“狗腿”度为9.04°/30 m,第二次双弯纠斜井段最大“狗腿”度为4.65°/30 m,换用小角度的弯接头,达到了降低“狗腿”度的目的,且第二次双弯纠斜井段“狗腿”度变化更为平缓。在270~285 m井段,第一次双弯纠斜此处仍然使用双弯螺杆,但是造斜率很低,原因是此处PDC钻头遇到泥包,钻速慢;第二次双弯纠斜时此段造斜率较高,原因是钻具改为单弯螺杆,底部钻具受力状态发生变化,这说明更换钻具也可能引起“狗腿”度出现较大变化。在305~320 m井段,2次纠斜都使用单弯螺杆,但是造斜率都很低,说明此井段地层造斜力会抵消螺杆产生的造斜力。

## 7 结论与建议

(1)在大口径施工中,高垂直度的导向孔是实现高效钻进的关键因素。本孔纠斜共用时3个月,严重影响了工程进度。导向孔施工中,常规满眼钻

具、钟摆钻具通常难以保证井斜不超标,使用小角度螺杆的复合钻进方法可以实现一趟钻完成导向孔施工,即井斜正常时采用复合钻进,井斜增大时,使用螺杆定向纠斜。目前这种工艺正在逐步推广。

(2)使用双弯螺杆钻具可以解决大直径钻孔侧钻纠斜成功率低的难题,但是不可避免会带来“狗腿”度偏大的问题。本项目是在井场缺少大角度螺杆的情况下,决定使用双弯螺杆进行纠斜的,因双弯螺杆的使用频率较少,可供参考的数据有限,对于双弯螺杆的纠斜效果有待进一步研究。本次使用的双弯螺杆是分体式的,即弯壳体和弯接头是分开的,弯接头的角度加工较为简单,成本低,与弯壳体螺杆组合形式灵活,可操作性更强。

(3)双弯螺杆钻具纠斜中,改变弯接头的度数可以减少“狗腿”度,在本项目中效果较为明显。本孔如果选择0.5°弯壳体螺杆,可以进一步降低造斜率,出新孔处可以更加平滑,有利于后期工作。

(下转第62页)

元。投入费用按租用设备计算,则天然气钻井的设备成本投入比空气钻井降低21%,比氮气钻井降低58%<sup>[4]</sup>。

## 2.6 小结

综上所述,认为在徐深气田深层利用天然气作为介质进行钻井是可行的:首先从地质条件看,徐深气田有适合气体钻井地层;井壁稳定、气源丰富、地层压力系数低、水层少及不含H<sub>2</sub>S;从安全看,只要论证及准备工作充分,按标准规范操作,可以保证安全性;从经济对比看,在使用增压机条件下,天然气钻井相比空气钻井投入高一些,但天然气钻井井段可延长,综合效益好。如果不用增压机,则投入成本可降低21%。从技术看大庆油田已购买了全套空气、氮气钻井设备,进行了23口气体钻井现场试验,积累了一定的经验,为实施天然气钻井奠定了良好的技术基础<sup>[5-8]</sup>。

因此,建议在徐深气田开展天然气钻井试验。

## 3 结论与建议

(1)大庆徐深气田从地质条件、气源井条件、安全性、经济性以及技术条件几方面均具备了开展天然气钻井的可行性。应用天然气钻井将大幅度提高徐深气田深层机械钻速,显著缩短深井钻井周期,加

快勘探开发进程。建议在徐深气田开展天然气钻井技术的现场试验,扩大气体钻井的应用规模。

(2)天然气钻井由于地面工艺简单,可用于储层钻进,增加应用层位和井段。若解决天然气钻井的天然气回收问题,进一步降低天然气钻井成本,将比空气和氮气钻井具有更广阔的应用前景,建议开展天然气钻井回收利用技术的研究。

## 参考文献:

- [1] 黄仁山,刘玉华.地矿系统石油天然气钻井技术发展展望[J].探矿工程,1999,(S1):265-269.
  - [2] 陈绍云,邢琛,孙妍.提高庆深气田气体钻井效率技术研究[J].石油钻采工艺,2014,36(1):22-25.
  - [3] 吴纪修,张永勤,梁健,等.羌塘盆地天然气水合物钻探试验井工程井壁稳定性分析[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2014,41(6):8-13.
  - [4] 翟洪军,王洪英.气体钻井计算模型及应用软件的编制[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2007,28(1):47-49.
  - [5] 陈鑫,陈绍云,王楚.扭力冲击器在宋深9H侧钻小井眼水平井中的应用[J].石油钻采工艺,2014,36(6):32-35.
  - [6] 姜妮美.大庆油田气体钻井井径扩大原因[J].大庆石油地质与开发,2015,(3):91-94.
  - [7] 刘永贵,罗桂秋,宋瑞宏,等.影响徐家围子深探井钻井速度的因素分析[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2006,33(7):56-58.
  - [8] 司光,黄伟和,刘海,等.人工材料价格对天然气钻井投资的影响[J].天然气工业,2015,32(7):87-89.
- 
- (上接第58页)
- (4)本孔证实了使用双弯纠斜之后,采用合适长度的导向可以实现逐级扩孔,但是后期下套管时曾遇阻,磨孔后才顺利下入。双弯纠斜在拐点处很容易形成台阶,虽然普通钻具可以上下通畅,但是直径较大的套管会卡住,扩孔时要注意在拐点处反复磨孔,使孔壁尽量平滑。
- 参考文献:**
- [1] 董润平,胡忠义.煤矿瓦斯抽排立眼套管安设及水泥固井工艺探讨[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2013,40(2):56-58.
  - [2] 吕利强.大口径注氮孔施工工艺[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2010,37(6):36-38.
  - [3] 李文明,陈绍云,刘永贵.优快钻井配套技术在希50-54井应用实践[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2010,37(6):4-6,12.
  - [4] 乌效鸣,胡郁乐,贺冰新,等.钻井液与岩土工程浆液[M].湖北武汉:中国地质大学出版社,2002.
  - [5] MT/T 1076—2008,煤炭地质钻探规程[S].
  - [6] 吴翔,杨凯华,蒋国盛.定向钻进原理与应用[M].湖北武汉:中国地质大学出版社,2006.
  - [7] 石晓兵,李黔,施太和,等.双弯螺杆降斜时的钻柱强度分析[J].石油钻采工艺,2001,23(4):7-10.
  - [8] 苏义脑,陈祖锡,唐雪平,等.5LZ95×7.0同体双弯螺杆钻具研制[J].石油钻采工艺,2000,22(2):7-11.