

# 大雪山煤矿有线随钻定向钻进技术应用

王宗友, 乔生贵, 陈刚, 何逢阳  
(四川省煤田地质局一四一队, 四川 德阳 618000)

**摘要:**简述了四川省珙县筠连矿区大雪山矿段(东段)煤矿普查工程的概况、项目由来及定向孔设计。重点介绍了钻探施工定向钻进的技术路线、方案及技术要点,有线随钻定向钻进效果、经济效益、取得的成果。主要工作包括:配套 XY-2000 型立轴式液压钻机、BW-320/10 型泥浆泵、HC 绳索取心钻杆;采用 ADST 测斜仪,通缆水笼头有线随钻测量定向,螺杆马达孔底动力钻具造斜施工受控定向钻孔。在 2 个 1000 m 以深的钻孔中,共造斜 29 回次,总进尺 73.78 m。钻孔轨迹基本受控,达到了地质目的。施工中,探索了定向钻进螺杆钻具弯接头的角度选择、适宜绳索钻杆钻进的弯曲强度等问题。

**关键词:**有线随钻测斜;绳索钻杆;螺杆马达;定向钻进;弯曲强度

**中图分类号:**P634.8 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-7428(2018)01-0004-05

**Application of Cabled Directional Drilling Technology in Daxueshan Coal Mine/WANG Zong-you, QIAO Sheng-gui, CHEN Gang, HE Feng-yang** (141 Team, Sichuan Coalfield Geology Bureau, Deyang Sichuan 618000, China)

**Abstract:** This paper briefly describes the general situation of coal mine survey project in Daxueshan mining block (in the east part) of Yunlian mining area in Sichuan, including the project background and the directional hole design; mainly introduces the technical route, program and technical points, as well as the drilling effects, economic benefits and achievements obtained by cabled directional drilling. With XY-2000 spindle type hydraulic drilling machine, BW-320/10 mud pump, HC wire-line coring pipe, ADST inclinometer putting through the cable swivel for measuring while drilling, the controlled directional hole was constructed by whipstocking with screw motor BHA. In 2 ultra-deep holes of more than 1000m in depth, the total footage was 73.78m with 29 whipstockings. The drilling trajectory was basically controlled to reach the geological target. In the construction, the selection of the bent joint angle of screw drill tools for directional drilling and the decision of bending strength suitable to wire-line drill pipe were explored.

**Key words:** cabled measurement while drilling; wire-line drill pipe; screw motor; directional drilling; bending strength

## 0 引言

随着国民经济的快速发展,国家工业基础越来越厚实,工业制造能力逐步强大,在钻探工程领域的随钻测量技术、定向钻具更加成熟与可靠。随钻测量技术<sup>[1]</sup>、螺杆钻具受控定向钻进在石油、天然气、页岩气等大孔径钻探中应用较为成熟和广泛,然而在小孔径固体矿产使用绳索钻杆钻进中,随钻测斜与纠斜技术目前应用仍不普遍。无缆随钻测量(MWD)与有缆随钻对比投资高,一方面小口径固体矿产钻探配置的泥浆泵排量不能完全满足无缆随钻泥浆脉冲信号稳定传输的要求,二是煤田钻探多为复杂地层钻进,护壁质量不高,泥浆不能完全上返影响泥浆脉冲信号稳定传输。有缆随钻成本低,国内技术已经成熟,可据孔内定向钻进情况实现随钻监

控,比单点仪更先进。我队在四川省珙县王家镇大雪山煤矿东段普查项目中,采用绳索取心钻杆、有线随钻测斜仪、螺杆钻具定向钻进使钻孔轨迹按设计轨迹达到地质目的层及控制标高。

## 1 工程概况

2014 年我队承担地质勘查基金项目“四川省珙县筠连矿区大雪山矿段(东段)煤矿普查”勘查任务。项目普查区位于落木柔背斜南翼、大雪山向斜之北翼,总体呈倾向向南的单斜构造,从西向东,地层倾角 72°~83°,其走向几乎为正东西方向,倾向向南。煤系地层层位厚、倾角大。地质设计钻孔为 75°斜孔。经现场踏勘,地质、钻探技术负责人确定的钻孔孔位,斜孔顶角须 >12°,才能达到设计目的,

收稿日期:2017-06-09; 修回日期:2017-11-17

基金项目:四川省国土资源厅矿产勘查项目“四川省珙县筠连矿区大雪山矿段(东段)煤矿普查”(编号:川国土[2014]494号)

作者简介:王宗友,男,汉族,1966年生,高级工程师,探矿工程专业,从事固体矿产钻探、工程地质钻探生产技术及管理工作,四川省德阳市东海东路3号,1315994204@qq.com。

为此制定了有线随钻定向钻进工艺技术方案。

## 2 地质钻孔设计

ZK13-2、ZK17-2 钻孔地质设计见表1。

表1 钻孔地质设计

钻孔编号	设计孔深/m	设计顶角/(°)	方位角/(°)	备注
ZK13-2	1450	13	352	斜孔
ZK17-2	1400	14	355	

## 3 钻探施工技术方案

### 3.1 主要钻探设备

钻塔:23 m 直斜两用塔;

钻机:XY-2000 型钻机,钻进能力 N 口径绳索  
钻杆 2000 m 或 H 口径绳索钻杆 1700 m;

泥浆泵:BW-320/10 泵型,4 个挡位,流量 118  
~320 L/min,压力 2.2~10 MPa。

### 3.2 钻进工艺及主要钻具

采用绳索取心金刚石钻进工艺,能大幅度减小  
起钻及辅助时间,提高钻进效率及岩矿心采取  
率<sup>[2]</sup>。配套 HC、NC 绳索钻杆。造斜回次为无岩心  
钻进。

### 3.3 钻孔结构设计

采用四级钻孔结构:用  $\varnothing 150$  mm 钻头开孔,穿  
过覆盖层进入基岩;下好  $\varnothing 146$  mm 井口管并做好井  
口止水工作; $\varnothing 130$  mm 钻进至岩石完整层段换  $\varnothing 91$   
mm 绳索钻杆钻进(钻头外径 98 mm); $\varnothing 98$  mm 钻进  
至设计深度或钻至煤系顶板并段换  $\varnothing 77$  mm 终孔。  
 $\varnothing 130$  mm 段据孔内情况,一是作为备用,二是视基  
岩完整程度采用水泥固井,可不下入  $\varnothing 127$  mm 套  
管。

### 3.4 钻孔轨迹设计

据机械设备、绳索取心工艺,钻孔 ZK13-2 以  
顶角  $4^\circ$ ,方位角  $352^\circ$  的角度开孔;钻孔 ZK17-2 以  
顶角  $4.5^\circ$ ,方位角  $355^\circ$  的角度开孔,每 100 m 增斜  
 $1.5^\circ \sim 2^\circ$ ,控制钻孔轨迹达预计标高后稳斜钻进达  
到目的层控制标高,ZK13-2 孔钻孔轨迹设计见图  
1。

## 4 有线随钻定向钻进施工工艺及技术

### 4.1 有线随钻定向钻进使用的仪器及钻具

#### 4.1.1 造斜钻头

根据岩石硬度及地层情况选择不同的钻头

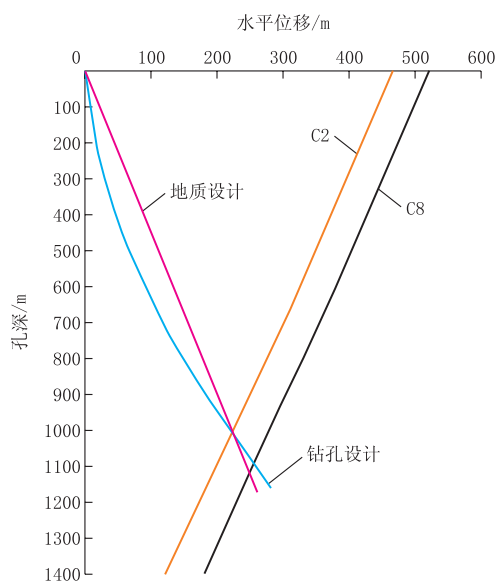


图1 ZK13-2 孔钻孔轨迹设计图

类型,对于硬度较软的砂岩、泥岩选择 PDC 造斜钻  
头(图2),对于较硬的灰岩、砂岩选择表镶金刚石全  
面造斜钻头(图3)。



图2 PDC 造斜钻头



图3 金刚石全面造斜钻头

#### 4.1.2 螺杆钻具、定向接头

(1)螺杆钻具规格及性能参数为:5LZ73  $\times$  7 型、  
L-3-600 型钻具,排量 176~616 L/min,转速 167  
~589 r/min,工作压降 2.4 MPa,输出扭矩 317 N  $\cdot$   
m,最大压降 3.39 MPa,最大扭矩 448 N  $\cdot$  m,工作钻  
压 12 kN,最大钻压 25 kN,最大功率 24 kW,长度  
3910 mm。

(2)定向接头。选择的 2 种螺杆钻具定向接头  
角度  $1.25^\circ$ 、 $1.5^\circ$ 。

#### 4.1.3 ADST 有线随钻测斜仪

##### 4.1.3.1 系统组成

采用北京长城博创科技有限公司生产的 ADST  
有线随钻测斜仪,其组成如下。

探管:这是测量仪器的核心部件,用来测量井底

的井斜( $INC$ )、方位( $AZ$ )、工具面( $GHS/MTF$ )、温度( $T$ )等参数。

**接口箱:**接口箱连接探管、司钻阅读器、计算机。用于对探管、司钻阅读器供电及相互间的数据传递。

**司钻阅读器:**用于为司钻及技术人员显示井斜、方位、工具面等数据。

**掌上电脑:**为 ADST 测斜仪随钻测量时的终端显示设备。基于 Windows CE 平台开发的嵌入式随钻应用软件 SADST。

**井下保护总成:**是 ADST 测斜仪配套的在井下使用时,起到抗压、减振、加长/加重作用的保护套件。

#### 4.1.3.2 技术性能参数

仪器测量范围及精度见表 2。

表 2 ADST 有线随钻测斜仪性能参数

参 数	精 度 指 标
井斜角 $INC/(\circ)$	0 ~ 180, -0.2 ~ +0.2
方位角 $AZ/(\circ)$	0 ~ 360, -1.5 ~ +1.5(井斜 $\geq 5^\circ$ )
重力工具面角 $/(\circ)$	0 ~ 360, -1.5 ~ +1.5(井斜 $\geq 6^\circ$ )
磁北工具面角 $/(\circ)$	0 ~ 360, -1.5 ~ +1.5(井斜 $< 6^\circ$ )
温度 $T/^\circ\text{C}$	0 ~ 125, -3 ~ +3

#### 4.1.4 通缆水龙头

通缆水龙头上部结构安装见图 4,液压油缸是外部液压系统组成之一。外部液压系统含油缸、密封件、油管 and 液压泵。将液压油缸安装在通缆水龙头上后,下放测斜仪到钻杆内,并安装密封件,在开动泥浆泵前启动液压泵,液压通过油管至液压缸压紧密封件,开泵后通缆水龙头无漏浆时方可造斜作业。

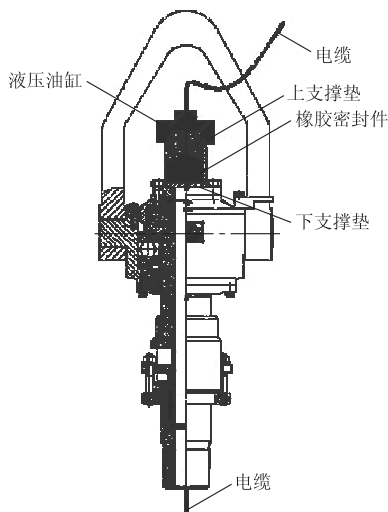


图 4 通缆水龙头上部安装示意图

#### 4.1.5 测斜仪配套设备及仪器

测斜仪地面配套设备有自排绳电动绞车、绞车控制仪。其它辅助装置有天滑轮、地滑轮。造斜钻进配套器具安装见图 5。

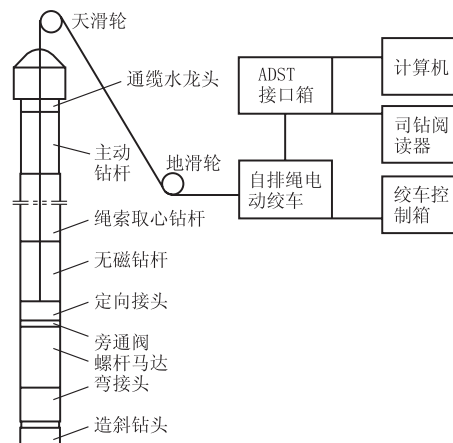


图 5 造斜钻进配套器具安装示意图

#### 4.2 有线随钻定向螺杆马达钻进工作原理

泥浆泵排出的液体经旁通阀流经马达,在压差的作用下,马达定子与转子作行星运动,万向联轴节将马达的行星运动传给传动轴的轴向转动,并将马达的扭矩及转速传递给传动轴至钻头。万向轴上壳体与定位套、定向接头相连,通过定位键按设计的方位造斜,仅轴向传递动力给钻头振动冲击破碎岩石,钻具不转动。随钻测斜仪器置于螺杆马达后部的无磁钻杆中,它提供了钻头的当前方位、顶角和工具面向角,在必要的时候,可通过调整工具面向角,改变钻头的方向,达到控制钻孔轨迹的目的<sup>[3-7]</sup>。

#### 4.3 定向钻进程序

##### 4.3.1 技术与设备状态准备

(1) 孔径要与造斜钻头匹配,孔内不能残留岩心。

(2) 冲洗液种类选择及性能指标:完整稳定的砂岩地层选择无固相冲洗液,泥岩、粉砂质泥岩等水敏性地层选择低固相冲洗液。冲洗液主要性能指标见表 3。

表 3 冲洗液主要性能指标

冲洗液种类	密度/ $(\text{g} \cdot \text{cm}^{-3})$	粘度/s	滤失量/mL	含砂量/%
无固相	1.005 ~ 1.02	18 ~ 20	15 ~ 20	0.5
低固相	1.02 ~ 1.05	20 ~ 25	< 10	< 1

(3) 泥浆泵及管路安装检查:主要检查泥浆泵挡位灵活性,设备状态、泵量及压力表是否正常,压

力管道连接是否可靠、牢固;泥浆泵吸水管笼头提离池底0.5 m,用筛网包好。

(4) 钻具组合:基本钻具组合为:通缆水龙头 + Ø89 mm 主动钻杆 + 下接手 + Ø91 mm 绳索钻杆 + 专用接手 + Ø71 mm 无磁钻杆(定向测斜仪器) + Ø73 mm 螺杆钻具(定向接头) + Ø95 mm 造斜钻头。

(5) 螺杆钻具组装:把无磁钻杆、螺杆钻具、钻头组装好,必要时通过一定的连接方式检查螺杆马达启动和运转是否正常。

#### 4.3.2 调整综合角差

螺杆钻具弯外管上有一条母线,定向接头丝扣连接弯外管,定向接头上刻有一条母线,与弯外管母线很难对中重合,存在着一定角差,称作“装合差”。每拆一次螺杆钻具弯外管和定向接头,须测量一次“装合差”值。由螺杆至钻头方向,顺时针测量所得的角度取“+”值,逆时针测量所得的角度取“-”值。仪器综合角差值指测斜仪器由于是丝扣连接,本身产生的仪器误差,需校正,校正后得仪器校正值。综合角差值 = “装合差” + 仪器校正值,将校正后的综合角差值输入电脑,连接好仪器设备。

#### 4.3.3 有线随钻定向钻进操作

钻具下入孔底,将钻头提离井底0.3~0.5 m。随钻测斜仪器经通缆水龙头、钻杆、无磁钻杆到定向接头。通过下放测斜仪使下端定向键顺利卡进定向接头内的斜口管靴进行做键,当重力高边连续3次数值在±3内,见随钻测量界面(图6),完成做键,打压封闭液压油缸。



图6 随钻测量界面

做好键后,预留 $30^{\circ} \sim 50^{\circ}$ 扭转角,将螺杆钻具工作面方向调整到 $40^{\circ}$ 方位后,用管钳钳住主动钻杆,通过人力辅以绑绳固定,开动水泵,启动螺杆钻,开始定向造斜。在钻进过程中通过调整管钳绑绳的松紧来控制钻进的方位,主要以控制工具面的角度

(重力高边)来控制钻进的方位。

### 5 有线随钻螺杆定向钻进配套器具及技术

(1) 泥浆泵性能:衡阳探矿机械厂产BW-320/10型(配Ø60 mm 柱塞)泥浆泵,其流量及泵的压力基本满足定向钻进要求;造斜时水泵2挡165 L/min 泵量,泵的压力达4 MPa,若3挡230 L/min 泵量,泵压将达8 MPa左右。钻孔深度>1200 m,应配BW-300/16型泵。

(2) 冲洗液性能:冲洗液要具有一定的粘度,便于携带岩粉,能抑制泥页岩水化保护孔壁,润滑钻具,减少钻具与孔壁之间的阻力。无固相泥浆中加化学处理剂PHP、Na-CMCA及高效润滑剂;低固相泥浆选择造浆性能好的钠土;加入磺化沥青保护孔壁。泥浆搅拌时间达到15 min以上。配置旋流除砂器和振动筛除去钻井液中的有害固相。

(3) 钻压:根据定向钻进钻速调节控制钻压,保持定向钻进匀速进尺。过大的钻压将使螺杆钻“制动”。在实际操作中,钻压略低于正常取心钻进时钻压,一般控制为1000~1200 kg。

(4) 绳索取心钻杆:材质45MnMuB,整体调质,外径91 mm、壁厚5.8 mm、螺纹长度50 mm,基本满足1500 m内定向钻进。发生丝扣折断1次,超深定向孔应配加厚型绳索取心钻杆。

### 6 有线随钻定向钻进效果分析

2个钻孔均使用PDC钻头,共造斜29回次,总进尺73.78 m(见表4),设计与实钻测斜数据测井对比见表5。

表4 定向钻进数据统计

孔号	钻头类型	回次数	回次进尺/m	总进尺/m	顶角增量/°	弯曲强度/弯接头	
						范围	平均
ZK13-2	PDC	15	1.4~3.96	41.41	14.70	0.17~0.46	0.35 1.25
ZK17-2	PDC	14	1.2~3.05	32.37	18.53	0.34~0.69	0.57 1.50

ZK13-2 钻孔定向钻进深度至1094 m,1094 m 深度以下控制钻压稳斜钻进。从600~1100 m 顶角增量与设计差 $2^{\circ} \sim 3^{\circ}$ ,进入深部煤系未再造斜,顶角偏差 $3^{\circ} \sim 4^{\circ}$ ,方位偏差 $3^{\circ}$ 。因此,定向钻探轨迹要与设计轨迹基本吻合,控制好浅部钻进顶角增量和造斜距相当关键。ZK17-2 孔定向钻进深度至1046.18 m,造斜角度和定向频率上控制相对较好,

表5 设计与实钻测斜数据对比

井深/ m	设计		实 钻 测 斜					
	ZK13-2	ZK17-2	ZK13-2			ZK17-2		
	顶角/(°)		井深/ m	顶角/ (°)	方位 角/(°)	井深/ m	顶角/ (°)	方位 角/(°)
1	4.0	4.5	95.0	4.5	335.0	85.0	4.5	348.0
100	5.0	6.0	130.0	4.8	335.0	196.0	5.2	350.0
200	6.5	8.0	157.0	5.3	331.0	222.4	6.7	353.0
300	8.0	10.0	198.0	5.6	329.6	295.0	9.7	350.0
400	9.5	12.0	290.0	6.2	343.0	399.0	10.0	350.0
500	11.0	14.0	363.0	9.8	346.5	465.0	11.8	343.2
600	12.5	15.5	494.0	11.4	347.2	534.0	12.7	348.0
700	14.0	17.0	718.5	10.9	348.2	597.0	13.9	349.0
800	15.5	18.5	739.0	11.9	345.3	646.0	15.3	349.0
900	17.0	20.0	796.0	12.0	345.2	723.0	16.2	354.0
1000	18.5	21.5	836.0	13.0	344.2	850.9	16.2	354.0
1100	20.0	23.0	890.0	15.1	344.8	893.0	17.5	355.0
1200	21.5		970.0	16.6	347.6	935.0	19.2	356.0
1300	23.0		1048.0	16.7	348.0	1000.8	19.1	358.0
			1083.0	18.0	349.0	1037.0	21.7	356.3
			1136.0	18.5	348.4	1103.0	23.0	355.0

注:ZK13-2孔设计方位角352°,ZK17-2孔设计方位角352°。

定向钻进轨迹也较平滑。经分析:Ø91 mm 绳索取心钻杆,1.5°弯头,造斜弯曲强度平均0.57°,应不超过0.6°,过大钻杆孔壁阻力大,不利于压力传导及采取岩心。有线随钻绳索取心定向钻进工艺技术在四川省珙县王家镇大雪山煤矿的应用达到了地质目的。

## 7 经济、社会效益分析

陡急倾斜地层,若采用直孔设计,钻孔较深,或达不到地质目的;有线随钻定向钻进技术的采用,降低了设计钻孔工作量,减少投资费用。以17-2号孔为例,定向斜孔见主煤层8号煤深度1142.91 m,若直孔设计见8号煤(倾角72°)推算深度1929.43 m,节省钻尺786.52 m,按地质调查预算标准(2010年试用)测算,Ⅶ类地层,定向斜孔在单价基数1287元基础上上浮30%,直孔>1200 m时,每100 m上浮5%,仅钻探一项减少投资144万元。对于复杂

孔内事故,可以采用此技术绕过事故段,节省大量事故处理时间。

## 8 获得的成果及下一步工作的方向

### 8.1 获得的成果

掌握了定向钻孔空间轨迹的测控技术及方法,积累了川南煤田勘探钻孔绳索取心工艺钻杆适宜的定向钻进弯曲强度数据,初步建立地层、定向接头度数、造斜钻头类型、绳索取心钻杆、弯曲强度之间的联系,有线随钻绳索取心定向钻进工艺的技术控制要点。

### 8.2 下一步工作的方向

可加大开孔立轴斜度,减少定向钻进工作量;做好弯曲强度及钻孔轨迹的优化,以适应绳索取心钻杆钻进;使用负角度螺纹<sup>[8]</sup>或加厚型绳索钻杆,提高绳索钻杆丝扣强度与韧性;钻井液的选型和性能优化及固相控制系统的配套使用,提高螺杆钻具使用寿命。

## 参考文献:

- [1] 吴光琳,汤顺德. 钻孔弯曲和定向钻探[M]. 四川成都:成都地质学院出版社,1984:129-131.
- [2] 张春波,等. 绳索取心金刚石钻进技术[M]. 北京:地质出版社,1985:4-9.
- [3] 周铁芳. 关于螺杆钻随钻测量定向钻探的研究[J]. 探矿工程,1986,(5):3-8.
- [4] 周铁芳,阳东升. 螺杆钻定向钻探技术研究与应用[J]. 探矿工程,1996,(4):53-55.
- [5] 张纯峰,孙贵生. 螺杆钻进技术在煤田地质勘探中应用[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2008,35(12):19-20.
- [6] 谢宏军,索晓晶. 定向钻探技术在黑龙江金厂矿区的应用[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2014,41(6):25-28.
- [7] 邹道全. 受控定向钻进技术在福建马坑矿区的应用[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2016,43(1):75-79.
- [8] 高申友,孙建华,蔡纪雄,等. 绳索取芯钻杆负角度螺纹扭矩计算分析和测试研究[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2016,43(5):50-55.