

大口径高保直钻孔的孔斜控制技术

张平占

(中国矿业大学·徐州)

叶礼明

耿洪洲

贺兆惠

张根志

(淮北矿务局)

TD 231.6

A

总结了高保直钻孔的概念与特点;分析了井斜原因;确定了合理的钻进规程参数及满眼钻具组合;介绍了施工中的具体防斜措施,并在实践中获得很好的效果。

关键词 大口径高保直钻孔 井斜控制 钻进规程 满眼钻具



钻探技术

1 高保直钻孔的概念与用途

目前由于矿区开采水文地质条件越来越复杂,煤矿原来的设计排水能力远远满足不了意想不到的突水事故的要求,所以防治水工程显得十分紧迫。为此煤矿系统相继开展了以大口径钻孔扩大排水量为主的防治水工程。其特点是:钻孔布置在煤矿巷道正上方(图1),并且要求终孔点必须落在巷道上,这就要求钻孔要有更高的垂直度。除此之外,煤矿及金属矿山还有类似要求的钻孔,如矿山小型通风孔、送料孔及煤矿冻结孔等。笔者把这一类钻孔统称为大口径高保直钻孔。本文以煤矿排水孔为例。

2 大口径高保直钻孔的特点

2.1 口径大

钻孔直径由矿山设计部门根据排水量的大小,确定排水通道直径后,进行推算,主要考虑井管壁厚和水泥固井间隙两个因素。淮北矿区一般采用 $\varnothing 610$ 开孔至基岩后,下入 $\varnothing 529$ 护壁管,然后 $\varnothing 445$ 喷射式牙轮钻头一径终孔,再下入 $\varnothing 377$ 井管作为排水通道。因此,所钻井径及所下套管直径均属大口径钻

进范畴。

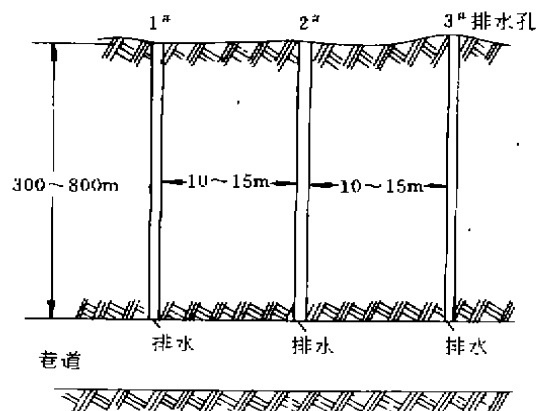


图1 大口径排水孔示意图

2.2 深度大

排水孔终孔深度由矿井巷道的埋深确定,一般在300~800m。这一深度相对于目前的大口径钻孔来说是较大的。因此所用设备能力远远大于煤田钻孔及常规大口径钻孔的设备能力。

2.3 高保直

钻孔垂直度的衡量标准为每1000m孔深,其终孔位置相对于孔口的水平偏距不大于8~10m,称此为“水平偏移率不大于8‰~10‰”,若折算成顶角变化率,则为 $0.046^\circ/100m \sim 0.057^\circ/100m$ 。这个要求是相当苛刻的。众所周知,煤田特级孔孔斜质量仅

本文1993年11月收到,王梅编辑。

要求每 100m 深,顶角允许变化 1° ,即 $1^\circ/100\text{m}$ 。由此,定义类似于煤矿排水孔垂直度的钻孔为高保直钻孔。

3 施工条件

3.1 地层情况

第四系厚约 76~260m,可钻性 I~Ⅲ级;基岩中有少量砂岩和火成岩,抗压强度 54~141MPa,除薄层砂岩达 185.4MPa 外,其余均在 50MPa 以下,可钻性多在 IV~Ⅶ级,个别达Ⅷ级。地层倾角 $8\sim 13^\circ$ 。

3.2 设备与机具

TSJ-6/660 水源钻机;TBW850/50 泥浆泵 3 台,2 台并用,1 台备用;另备 NBB250/50 泥浆泵供注浆用;改制的煤田钻探 22.5m 四脚角钢钻塔,拉力 36t;矿用输电线路,钻机 110kW,每台泥浆泵 90kW; $\varnothing 114$ 钻杆, $\varnothing 228$ 钻铤, $\varnothing 445$ 扶正器; $\varnothing 445$ 喷射式牙轮钻头, $\varnothing 610$ 刮刀钻头;JDT-ⅢA 型冻结孔专用陀螺测斜仪,用于小顶角高精度测量。

4 影响孔斜的因素

4.1 孔斜的形成条件

(1)孔壁间隙是底部钻具组倾斜的空间条件。

(2)倾倒地矩和造斜力是孔斜的力学条件。

(3)底部钻具组合有固定的倾倒地方向,造成沿固定方向的孔斜。

预防孔斜主要从以上三个方面入手,同时由于大口径高保直基岩孔,一旦孔斜,水平偏距必然超标,而且几乎无法在基岩孔段进行纠斜,因此,这类钻孔应以防斜为主,纠斜为辅。不到万不得已,不要考虑纠斜问题。

孔壁间隙是不可避免的,但应尽可能减少钻具振动,提高其回转稳定性,减小扩径造成孔壁间隙,同时尽可能使用与钻头直径接近的扶正器,减小孔壁间隙对孔斜的影响。E. Л. 里马诺夫推导公式表明,在一定条件下

钻孔弯曲强度与孔壁间隙成正比,与底部粗径钻具长度的平方成反比,即:

$$i = 114.6b/l^2 \quad (1)$$

式中: i ——由于钻具倾倒地后孔斜的弯曲强度,(度/m); b ——孔壁间隙,m; l ——底部粗径钻具长度。

因此,减少孔隙间隙,适当加长粗径钻具长度,对防治孔斜有利。

倾倒地矩和造斜力则是由多种因素造成的。一是底部钻具组合弯曲后及自重等引起的钻头侧向力;二是地层各向异性造成的地层力。解决这个问题主要从改进底部钻具组合(BHA)的设计入手。

4.2 孔斜的地质因素

(1)遇到软、硬互层时,将出现“顶层进”,造成顶角和方位角漂移,使顶角上漂,方位角趋于垂直岩层走向,这一点已为测斜资料所证实。

(2)在换层界面上,一方面由于钻速差造成“顶层进”,另一方面,由于软、硬岩石硬度不同,对钻头的阻力不同,从而使钻头承受一倾倒地矩,该力矩与二层的硬度差成正比,与钻头半径的三次方成正比(图 2)。

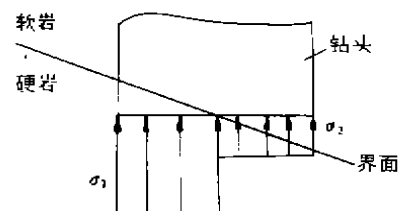


图 2 软、硬互层界面受力不等产生倾倒地

4.3 孔斜的技术因素

(1)钻具在直孔内由于孔壁间隙倾倒地后,产生增斜力。如图 3,BHA 倾倒地角为 β 时,钻压 P 分解为一个垂直方向的力(F_v)和水平侧向力(F_h),它可使钻头向侧向移动,称为增斜力。

(2)下部钻具组合(BHA)因受压弯曲,也造成偏斜,导致孔斜。

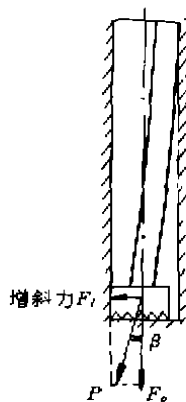


图3 BHA 增斜力的产生

(3) 钻头直径也影响孔斜, 尤其是软、硬换层频繁的孔段。采用小直径钻头先打小眼, 然后扩孔, 其孔斜质量要比大直径一径成孔效果好。这是因为钻头直径增大, 造成在换层界面上造斜时间和造斜孔段加长。如所周知, 钻头通过软、硬互层界面时, 因存在钻速差, 导致孔斜, 但这一造斜作用仅发生在软、硬互层界面 AB 上(图4), 进入同一种岩石后, 造斜作用消失。其造斜的有效孔段长度为:

$$h = D \tan \varphi \quad (2)$$

式中: h ——有效造斜孔段长度; D ——钻头直径或孔径; φ ——地层倾角。

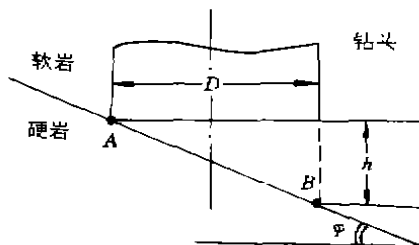


图4 钻头直径对孔斜的影响

显然, 钻头直径 D 越大, 则 h 也越大, 即钻头有效造斜孔段越长, 孔斜加剧。因此, 从这一点来看, 用大口径一次成孔, 对防斜不利。但合理设计 BHA 后, 可以消除由此而造成的孔斜。

(4) 钻进规程对孔斜的影响, 一是钻压,

钻压过大, BHA 弯曲, 产生增斜力; 二是设备回转的稳定性, 稳定性差时, 钻具容易冲撞孔壁, 造成扩径, 不利于防斜。

5 钻进规程参数的确定

基于以上分析, 确定钻进规程参数的原则是, 首先要有利于钻孔保直, 其次要有利于提高钻效, 同时, 要结合现有设备能力。

5.1 钻压

按照石油钻井常规要求, 每英寸直径钻头上的比压为 1.5t 左右。故 $\varnothing 445$ 喷射式牙轮钻头的钻压应为 26.25t。显然, 对于只有 36t 提升能力的煤田钻塔来说, 钻进 500m 左右的钻孔, 要加这么大的钻压是不现实的。计算表明, 所能使用的 $\varnothing 228$ 钻铤长度只能为 40~50m 左右, 因此, 只能采用小钻压钻进, 并且使中和点落在钻铤上。

考虑到防斜要求, 钻压应小于一次临界弯曲钻压或大于二次弯曲临界钻压。按照鲁宾斯基的一、二次弯曲临界理论:

$$P_1 = L_1 q \quad P_2 = L_2 q$$

式中: P_1 、 P_2 ——分别为一、二次弯曲临界钻压, kg; L_1 、 L_2 ——分别为一、二次弯曲时钻具受压部分长度, cm, $L_1 = 2.04 \sqrt[3]{EJ/q}$, $L_2 = 4.05 \sqrt[3]{EJ/q}$; q ——钻铤在泥浆中每 cm 长度上的重量, 2.39kg/cm; E ——钢材弹模, $2.1 \times 10^8 \text{ kg/cm}^2$; J ——轴惯性矩, $J = \frac{\pi}{64} (D^4 - d^4)$, cm^4 ; D 、 d ——钻铤内外径, cm, $D = 22.8 \text{ cm}$, $d = 7.6 \text{ cm}$ 。代入求得:

$$P_1 = 11 \text{ t} \quad P_2 = 21.9 \text{ t}$$

根据一、二次弯曲形成的偏斜角的大小, 满足下列条件有利于防斜:

$$P < P_1 \text{ 或 } P > P_2$$

由前分析可知, 只能选择 $P < P_1 = 11 \text{ t}$, 根据施工经验, 钻压 $P = 3 \sim 6 \text{ t}$ 时, 防斜效果较好。故选定 $P = 3 \sim 6 \text{ t}$ 。

5.2 转速

TSJ-6/660 钻机只有 3 档转速。由于钻塔是煤田钻塔,用于大口径施工后,稳定性较差,只有使用最低档 $n=37\text{rpm}$ 时,回转比较平稳,其他转速则摇摆严重,不宜采用。

5.3 泵量

泵量的大小由喷射钻进的最佳水力参数决定。优选结果是双泵并用, $Q=170\text{L/min}=28.3\text{L/s}$ 。

6 BHA 的合理设计

底部钻具组合(BHA)的设计对于井斜控制至关重要。对于高保直孔来说,必须采用刚性大、能保直的满眼钻具组合。满眼钻具之所以能防斜保直,是因为:①它能填满钻孔,保持钻具在孔内居中,减小钻头偏斜角;②刚度大,不易被压弯,能限制和减小钻柱弯曲;③扶正器支承在孔壁上,限制钻头横向移动,同时,在钻头处产生一个抵抗地层力的纠斜力。

满眼钻具扶正器的位置设计是满眼钻具的核心,仍不够完善,还处于研究阶段。目前主要有霍奇(Hoch)公式,西南石油学院的修正霍奇公式及杨勋尧的计算公式等。其中,杨勋尧公式认为,井斜原因由两方面的偏斜角造成:①BHA 自身的弯曲和倾斜,使钻头偏离井眼轴线,形成偏斜角 θ ;②钻头受到横向造斜力(地层造斜力、钻具弹性变形力及钻压分量等)的影响,迫使钻头作横向切削,产生横向移动,钻头产生附加的偏斜角 θ' 。

总偏斜角为 $[\theta]=\theta+\theta'$,该方法的目的是使 $[\theta]$ 达到最小值为优化目标。

6.1 下稳定器安放位置

下稳定器紧挨钻头安放,增强钻头稳定器抵抗横向偏斜力的能力,并限制钻头产生横向切削作用。

6.2 中稳定器的安放位置

其安放原则是尽量减小 BHA 的弯曲变形,使总偏斜角 $[\theta]$ 为最小,为简化计算,给出

公式为:

$$L_{\alpha} = \sqrt[4]{\frac{16CEI}{q\sin\alpha}}$$

式中: C ——井壁间隙, m ; E ——钢材弹模, $2.058 \times 10^8 \text{kN/m}^2$; I ——轴惯性矩, $I = \frac{\pi}{64}(D^4 - d^4)$, m^4 ; q ——单位长度钻铤在泥浆中的重量, kN/m ; α ——井斜角(顶角)。

得 $L_{\alpha} = 15.7\text{m}$ ($\sin\alpha = 6\%$)

$L_{\alpha} = 14.65 \sim 13.8\text{m}$ ($\sin\alpha = 8\% \sim 10\%$)

故取中稳定器距钻头距离为 15m ,在实际施工中,尽可能用短钻铤配齐最优长度。

6.3 上稳定器的位置

一般上稳定器可放在中稳定之上距单根钻铤大约 $9 \sim 10\text{m}$ 处。至于第三个稳定器之上,是否再安放扶正器及钻铤,则视具体情况,结合钻压大小决定。

6.4 BHA 总长度

按照钻铤在泥浆中单位长度重量,可求出提供钻压(6t)的钻铤长度: $l_p = 25.1\text{m}$ 。再根据使中和点落在距钻铤顶部 $1/3 \sim 1/4$ 处的经验,则钻铤总长度为 $l_c = 37.5\text{m}$,据此,取钻铤总长 $l_c = 40\text{m}$,并在上部再安放一个扶正器。

满眼钻具组合在使用中要特别注意扶正器外径的磨损。

7 施工中的防斜技术措施

1. 注意地层倾角各向异性的影响,换层时及时采取措施

2. 把好安装开孔关

①地基基台平实稳固,钻机水平周正;

②孔口、转盘通孔及天轮三点一线;

③开孔时随孔深增加,加长钻铤(因开孔偏差一丝一毫,后患无穷);

④孔口管下正牢固;

⑤换径时尽可能带导向,并逐级加长粗径钻具。

3. 减小偏斜力措施

(1) 减小钻具弯曲

- ①使用刚性好而平直的钻杆;
- ②合理的钻具组合,使用稳定器;
- ③控制钻压及转速,按设计执行;
- ④使用钻铤加压,提高刚性;
- ⑤使中和点落在钻铤上。

(2) 严格控制孔壁间隙

①经常量取钻头外径磨损情况并保持一致;

②严格量取扶正器外径,若外径磨损严重,要么更换,要么采取补救措施;

③采用合理的满眼钻具组合。

8 钻进效果

在排水孔井斜控制中虽然采用了低钻压,但由于研究出一套适于低泵压条件的喷射钻进优化设计,因此,实现了低钻压下的快速钻进,取得了可观的经济效益和社会效益。

在井斜控制中,随着施工经验及设计的成熟,钻孔质量达到国内同类工程的先进水平且钻孔质量稳定,目前钻孔水平偏移率基本上控制在3%以内,取得了很好的质量信誉。

本文是中国矿业大学与淮北矿务局勘探队合作项目,是双方共同合作的结果,在试验研究中得到了双方单位有关领导和人员的大力支持,在此一并致谢。

参考文献

- 1 刘希圣. 钻井工艺原理(中册). 北京:石油工业出版社,1988.
- 2 本书编写组. 钻井手册(上册). 北京:石油工业出版社,1990.
- 3 吴光琳. 定向钻进工艺原理. 成都:成都科技大学出版社,1990.
- 4 白家祉,苏义脑. 井斜控制理论与实践. 北京:石油工业出版社,1990.
- 5 杨勋尧. 防斜满眼钻具组合的优化设计方法. 石油学报,1982.

Drilling Deviation Control for Large-diameter and Highly-straight Hole

Zhang Pingzhan, Ye Liming, Geng Hongzhou, He Zhaohui, Zhang Genzhi

The definition and characteristics of highly-straight hole are summarized in the paper; the factors related to the hole deviation analyzed; a set of reasonable drilling parameters and full-size bottom hole assembly (BHA) designed; the deviation-resistant measures detailedly introduced; and as a result of this technique, satisfied hole quality has been obtained in the field operations.

