

关于用螺杆钻施工小口径定向钻孔的若干问题

朱 恒 银 (执笔)

(安徽省地矿局337地质队)

介绍了应用螺杆钻具及配套工具进行定向钻进的技术、定向方法及其选择;工具面向角的确定;反扭转角的控制与消除;造斜工具及钻头的选择;钻孔轨迹的控制。结合生产实践,为在小口径金刚石钻进中打定向孔提供了有益的经验。

用小直径液动螺杆钻和与之配套的器具进行受控定向钻探,是一项先进的钻探技术。这项技术现已在安徽地矿局337队李楼矿区推广。自1983年以来,共施工5个钻孔,完成工作量2800米,最深孔深803米,中靶精度都较高,突破了李楼矿区多年来存在的陡矿体施工技术难关,取得了良好效果。本文结合几年来的生产实践,就有关施工技术问题作初步探讨。

定向方法及其选择

(一) 直接定向

直接定向是按需要,将造斜工具的对称面对于子午线或坐标已知点进行定向。常用经纬仪、定向钻杆、定向夹板或导向滑架等装置,使连接造斜工具的钻杆不发生扭转,把每根钻杆的定向母线相连,并一一重合,下到孔内预定位置,达到定向目的。

在螺杆钻造斜钻具定向过程中,应先在孔口和其附近定出几个定向方位桩。开钻后,在预定位置造斜,将带有母线的螺杆造斜钻具与钻杆连接,每接一根,用肉眼瞄准将母线往上引一次,在立根上端画上标志线,直到下到预定位置。然后,根据方位桩,扭转孔口钻杆,使钻杆母线与定向方位一致。

(二) 间接定向

1. 直孔间接定向:在直孔的预计造斜孔段,用造斜工具进行不定向造斜,使顶角增大到 $3 \sim 5^\circ$,并测量方位角,然后再用斜孔间接定向方法进行纠方位稳顶角的定向钻进。此方法在李楼矿区ZK05孔进行了试验。该孔为直孔,设计在150米开始不定向造斜,实际在155米自然弯曲顶角 5° 。方位角 302° ,设计方位 90° ,相差 148° 。后来用间接定向,顺时针纠方位,

稳顶角,在155~179.36米孔段用螺杆钻造斜钻具纠斜4次,钻进12米,方位由 302° 纠至 65° ,顶角基本保持在 5° ,方位变化率 $10.5^\circ/\text{米}$,达到设计要求。

2. 斜孔间接定向:在顶角大于 3° 时使用。通常借助于测斜仪或指示器、偏心块、定位座等。非磁性矿区的定向方法较多,磁针式测斜仪、定向指示器均可选用。磁性矿区的定向就受到一定限制,可用小径陀螺测斜仪或定向指示器。

定向指示器定向是一种综合定向法,定向前需用测斜仪测出钻孔的顶角和方位角,再将造斜工具下到预定位置,用定向指示器定向。李楼矿区选用DD-1型水银触点式单点定向仪及与之配套的斜口管鞋装置(图1)。

定向时,从孔口顺时针扭转钻杆,用单点定向指示器找出钻孔倾斜面的最低点,再根据需要将钻杆扭转一定角度(也可不扭转,但事先要使斜口管鞋的母线与定向接头母线有一装合角),此时,定向接头母线的方向,就是所要定的工具面向角。定向完毕后,取出孔内定向指示器,检查斜口管鞋上定位打印块,如发现变形即可判明定向可靠。在李楼矿区施工中定向30余次,成功率达100%。

此法适应性广,操作方便,仪器简单,造价低,在钻孔轨迹可控程度要求不很高时,值得推荐。

(三) 随钻定向

随钻定向是在孔底动力机配合造斜工具造斜时,把随钻定向仪或指示器装在钻具中,钻进时,将孔底钻具方向的信息传送到地表,然后根据此信息将钻具调整到预定方位。传送信息的通道可以是电线、钻杆或液柱。在石油钻井方面,美国已研制出DOT方向

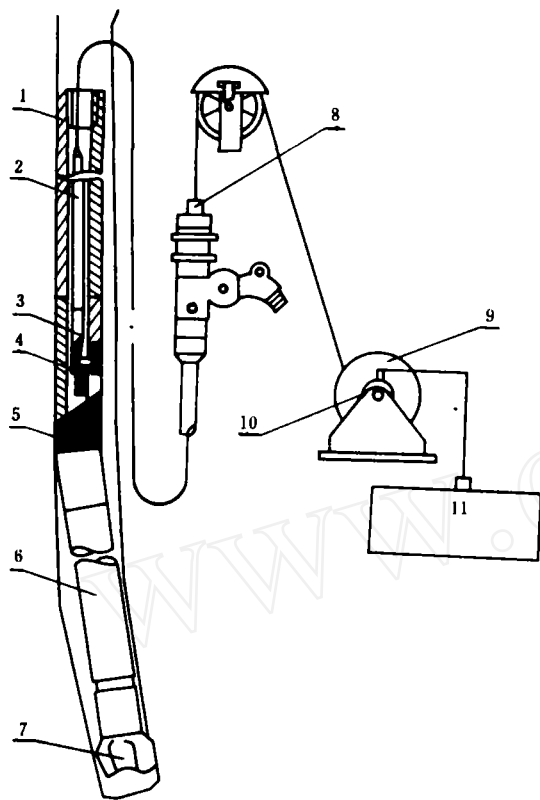


图1 单点定向系统示意图

- 1— $\varnothing 53$ 绳索取心钻杆；2—孔内定向仪探管；
3—斜口管鞋；4—键；5—定向弯接头；
 σ —螺杆钻；7—钻头；8—TMS水龙头；
9—电缆滚筒；10—集流环；11—地面仪表。

定位器和E Y E随钻定向系统。我国近年来已研制出ZS-1型和YS-1型有缆小口径随钻定向监测仪，并在李楼矿区下孔试验，获得成功。

工具面向角的确定

钻孔顶角和方位角的变化不仅与工具面向角、工具造斜强度有关，而且与造斜段长度等因素有关。实际造斜施工中，采用以下计算公式：

$$\Delta\theta = K \cdot \cos\beta \cdot \Delta L \quad (1)$$

$$\Delta\alpha = K \cdot \frac{\sin\theta}{\sin\beta} \cdot \Delta L \quad (2)$$

式中， ΔL —造斜段长度； $\Delta\theta$ —顶角增量； $\Delta\alpha$ —方位角增量； θ —造斜后钻孔顶角； K —造斜工具的造斜强度； β —工具面向角。

运用上述关系式确定连续造斜参数与实际相差较小，具体情况见表1。

也可用拉格兰向量图解法求造斜诸参数，但偏心楔的顶角 γ ，要以螺杆钻造斜工具在 ΔL 孔段全角变化 $K \cdot \Delta L$ 代之。这种方法在顶角和方位角增值不大时使用误差较小。

通过实践及公式计算、作图等方法均可表明：

1. 钻孔顶角和方位角的增量都与工具的造斜强度、连续造斜段长度成正比。

2. 当工具造斜强度一定时，在同一造斜段中，钻孔顶角越大，则改变的方位角增量越小；钻孔顶角大小对顶角增量无影响。

连续造斜的计算参数与实际数值的比较

表1

造斜工具	造斜工具角度 (度)	造斜强度 (度·米)	安装角 (度)	造斜长度 (米)	造斜前		造斜后		实际增量		计算增量		岩层
					顶角 (度)	方位角 (度)	顶角 (度)	方位角 (度)	$\Delta\theta$ (度)	$\Delta\alpha$ (度)	$\Delta\theta$ (度)	$\Delta\alpha$ (度)	
弯接头	1.5	0.27	348	11.98	6	85	9.3	80	3.3	-5	3.16	-5.02	灰岩
	1.5	0.27	5	4.64	3.4	76.5	4.3	77	0.9	1.5	1.24	1.53	灰岩
	1.5	0.118	280	2.06	7.6	93.6	7.6	91.3	0	-2.3	0.04	-1.81	片岩
弯外壳	1.5	1	100	1.99	6.5	15	6.5	37	0	22	-0.34	17.31	灰岩
	1.5	0.8	220	2	10.6	76	9.4	66	-1.2	-10	-1.23	-5.9	片岩
	1.5	0.8	25	1.5	4.9	86	6.1	90	1.2	4	1.08	5.2	片岩

3. 在不同顶角的钻孔中, 造斜工具的面向角对钻孔顶角及方位变化的影响是不同的。对于垂直孔来说, 由于顶角为 0° , 造斜工具的造斜强度和造斜段长度的乘积即为新孔顶角, 造斜工具的定位方向就是新孔方位; 对于倾斜孔来说, 由于顶角大于 0° 小于 90° , 其工具面向角与钻孔顶角和方位角的变化关系见图 2。

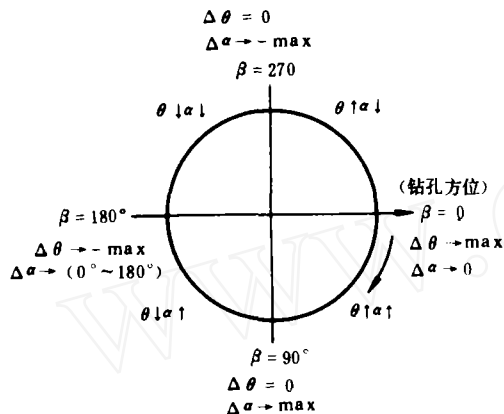


图 2 工具面向角与钻孔造斜角度的关系

图中工具的面向角按顺时针方向旋转;

↑ ↓ 符号分别表示增加与减小的变化趋势;

max, -max 分别表示增斜和降斜的最大量。

反扭转角的控制与消除

孔底动力机工作时所产生的反扭矩, 使钻柱发生扭转变形, 产生扭转角。控制和消除这一反扭转角对工具面向角的影响的最好的办法, 是使用随钻定向测量仪来监测, 并在造斜钻进中给予控制和消除。

目前, 小口径随钻定向测量仪尚未普及, 采用单点定向测量仪是无法监测的, 要解决这个问题, 只有利用实际经验数据, 来确定反扭转角的大小, 也可用 (3)、(4)、(5) 式计算。

$$\phi = \frac{57.3 \times (M_T L - 57.3 u q d_1 \frac{L^2}{2\theta} \sin \frac{\theta}{2})}{G J_p} \quad (3)$$

$$\phi' = \frac{57.3 \times (M_T L_0 - 57.3 u q d_1 \frac{L_0^2}{2\theta} \sin \frac{\theta}{2})}{G J_p} \quad (4)$$

$$L_0 = \frac{M_T \theta}{57.3 u q d_1 \sin^2 \frac{\theta}{2}} \quad (5)$$

式中, ϕ, ϕ' —— 分别是反扭转角, 度; M_T —— 孔底动力钻具反扭矩, 公斤力·厘米; L —— 钻杆柱长度, 厘米; L_0 —— 钻杆柱临界长度, 厘米; u —— 钻柱与孔壁摩擦系数, $0.1 \sim 0.3$; q —— 钻柱单位长度重量, 公斤力/厘米; d_1, d_2 —— 钻杆外径和内径, 厘米; θ —— 造斜段平均钻孔顶角, 度; G —— 钻柱剪切弹性模量, 公斤力/厘米²; J_p —— 钻柱截面极惯性矩, 厘米⁴;

$$J_p = \frac{\pi}{32} (d_1^4 - d_2^4)$$

钻柱长 L 在钻进中不断增加。 M_T 不随 L 变化, 而钻柱的摩擦力矩 M' 随 L 加长而加大。当 L 达到某一值时, 必有 $M' = M_T$, 此时钻柱长度为 L_0 。当 $L > L_0$, 则 L_0 以上钻柱不受外扭矩作用, 所以扭转角不再增加。在实际工作中, 可先求出 L_0 , 如果 $L < L_0$ 按 (3) 式计算, 如果 $L \geq L_0$ 则用 (4) 式计算。

在李楼矿区 ZK06 孔用 YL-54 螺杆钻造斜时, 采用了 ZS-1 型随钻定向监测仪, 实测数据见表 2。

实测的钻柱反扭转角值 表 2

钻杆直径 (毫米)	孔深 (米)	钻孔顶角 (度)	泵量 (升/分)	泵压 (公斤力/厘米 ²)	钻杆反扭 转角 (度)
53	292	4°	120	30~35	2.18~7.99
53	292	4	160	38~42	10.13~24.30

由表 2 看出, 反扭转角的大小与泵量、泵压等有关, 当泵量、泵压恒定之后, 即可认为反扭转角为一定值。在定向时, 只要把初始定向方向顺时针扭转 ϕ 或 ϕ' 角度, 就能消除反扭转角对工具面向角的影响。反之, 也可利用反转角的变化来调节、控制工具面向角的大小。

造斜工具及钻头的选择

(一) 造斜工具的选择

定向钻探中, 螺杆钻只是孔底动力, 造斜还须另有造斜工具与之相配合, 才能使钻头产生偏斜力, 实现定向造斜。与螺杆钻配合的常用造斜工具主要有弯接头、弯外壳、造斜靴。

造斜工具的选择,首先以定向孔的孔径及设计要求为依据,还要考虑每一种工具所能达到的造斜强度。造斜工具的造斜强度,一般应根据矿区的造斜经验数据来确定,也可用公式计算,但与实际相差较大。

李楼矿区使用的是DW-54型小径弯接头,弯曲角有0、0.5、1、1.5、2等五种,同时对1.5弯外壳和弹簧片式造斜靴也进行了多次试用,其造斜效果见表3。

不同工具造斜强度比较表

表3

螺杆钻 类型	造斜 工具	工 具 角 度	孔 径 (毫米)	岩 石 名 称	岩 石 级 别	造 斜 工 作 量 (米)	平均造斜 强 度 (度/米)
YL — 54 型	弯接头	2°	110	亚粘土	2~3	23.55	0.19
	弯接头	1.5°	59	灰 岩	4~5	60	0.27
	弯接头	1.5°	59	片 岩	5~7	51	0.118
	弯外壳	1.5°	59	灰 岩	4~5	30	1.00
	弯外壳	1.5°	59	片 岩	5~7	35	0.80
L G Z*—55	造斜靴	弹簧片	59	灰 岩	4~5	5	0.60

*L G Z—55是安徽地矿局探矿处研制的单头液动螺杆钻。

通过实践可初步总结以下几点认识:

1. 在 $\varnothing 59$ 毫米口径钻孔中造斜,用 1.5° 弯接头,在 $\varnothing 91 \sim 110$ 毫米的钻孔中,用 2° 的弯接头较为合适。
2. 在相同条件下,弯外壳造斜强度较大,适用范围广,在较硬的岩层中可在较短的进尺内获得效果。
3. 造斜靴位于钻头上部驱动轴的外壳处,造斜时,借助造斜靴弹簧片的张力,可得到不同的造斜强度。用造斜靴,其凸起面半径不得超过钻头半径 $0.3 \sim 0.5$

毫米。

(二) 造斜钻头的选择

1. 要保证钻头唇部外侧刃及钻头中心孔的质量。
2. 钻头唇部过水断面要大,水眼、水槽分布要合理,以有利于排粉和冷却钻头。
3. 钻头底唇部面积要小,同时采用优质金刚石,尽量减少金刚石的覆盖面积,增强比压,提高效率。
4. 钻头底唇外侧棱的形状以不带弧度为好。否则对孔壁侧向克取岩石能力差,造斜时易下滑。

Some Problems of Small Directional Hole Drilling with Positive Displacement Motor

Zhu Hengyin

(No. 337 Geological Party, Anhui Bureau of Geology and Mineral Resources)

Abstract

In this paper following problems of small directional hole drilling with positive displacement motor are discussed: the selection of orientation methods, the determination of the assembly angle of the drilling stool with the pipe, the control of reactive torsion angle, the selection of deflection tools and drilling bits, and the control of hole trajectory. Some practical examples are cited for illustration.