

推广螺杆钻定向钻进技术

不容忽视的问题

方雪松

(冶金部华东地质勘查局)

通过实践和理论上的分析与研究,认为在现有条件下,只有选择合适的配用钻杆,才能增加螺杆钻具的有效工作深度,提高其工作效率,并减轻泵的工作负荷。

关键词: 螺杆钻; 定向钻进; 有效工作深度; 压力损失; 配用钻杆

螺杆钻具是靠螺杆发动机来工作的。螺杆发动机为正排量容积式液力发动机,以地表泵入的高压冲洗液作为动力。螺杆发动机的输出扭矩只与压力差 ΔP 有关,而输出转速只与流过螺杆发动机的冲洗液量有关。可见,泵压和冲洗液的沿程压力损失都极大地影响着螺杆钻具的输出扭矩,而配用钻杆的选择又决定了沿程压力损失值的大小。特别是在较深孔段进行造斜钻进,优选配用钻杆的问题就更为突出。例如,铜陵有色地质队在大青山矿区施工ZK1920孔,设计孔深800m,但在500m处发现钻孔已严重偏斜,后由813地质队进行纠斜钻进。纠斜点孔深500m,采用口径为75mm的合金钻头,螺杆钻具YL-54型,水泵BW-250型,配用钻杆是下部约180m、 $\phi 60$ 绳索取心钻杆,上部 $\phi 75$ 绳索取心钻杆。在纠斜过程中,钻头一旦接触孔底,当所加钻压不太大时,泵压上升很快,而且螺杆钻停止工作。但是将孔内钻具稍向上提,使钻头脱离孔底,螺杆钻具又转动起来,也就是说螺杆钻只能空转,不能正常工作。其主要原因是:①配用钻杆不当。造成沿程压力损失过大,压力差 ΔP 变小,从而使螺杆钻具的输出扭矩变小;②泵压太小;③钻头结构不合理,使所需的钻压值增大。通

过改进,最终完成了这个孔的纠斜工作。

可见,合理选择配用钻杆,不仅可以减轻泵的工作负荷,而且可以在泵压不变的情况下,增加螺杆钻具的有效工作深度,提高它的工作效率。

优选配用钻杆的原则

利用螺杆钻进行定向钻进时,优选配用钻杆的原则是:

1. 根据螺杆钻具的工作特性,在保证其正常工作的条件下,必须选择沿程压力损失小的钻杆。
2. 钻杆外径与钻头外径的差值要适当。
3. 由于定向仪及测斜仪必须通过上部钻杆才能到位,所以钻杆内径必须大于定向仪和测斜仪的外径,而且钻杆内壁最好是内平的。

配用钻杆的优选

目前国内螺杆钻具已形成了系列,但在岩心钻探中使用较多的是YL-54型螺杆钻具。下面以YL-54型螺杆钻具为例,讨论配用钻杆的优选问题。钻头采用口径为75mm的金刚石或合金钻头。

冶金系统岩心钻探钻杆规格

表 1

钻 杆	φ47普通	φ60普通	φ75普通	φ47S	φ60S	φ75S
外径 (mm)	43	54	67	43.5	55.5	71
内径 (mm)	31	42	55	34	46	61

冶金系统野外队金刚石岩心钻探采用的钻杆内外径见表 1。

1. 沿程压力损失

设冲洗液流经钻杆的压力损失值为 P_1 ，孔壁与钻杆外壁环空中压力损失值为 P_2 ，流经钻杆接头的压力损失为 P_3 。如果略去与钻杆选择无关的其他压力损失，则沿程压力损失值 P 可由下式求出：

$$P = (P_1 + P_2 + P_3)k \quad (1)$$

式中： k ——附加阻力系数。

①求 P_1

$$P_1 = 0.1\lambda_1\gamma_1 \frac{L}{d_1} \cdot \frac{v_1^2}{2g} \times 10^5 \text{ Pa} \quad (2)$$

式中： λ_1 ——摩擦系数，为雷诺数 Re 和管壁粗糙度的函数； γ_1 ——冲洗液比重； L ——钻杆长度，约相当于孔深； d_1 ——钻杆内径； v_1 ——冲洗液在钻杆内的流动速度； g ——重力加速度（取 9.81m/s^2 ）。

YL-54型螺杆钻具的泵量要求为 $120 \sim 150\text{L/min}$ ，现取二个泵量值 $Q_1 = 120$ ； $Q_2 = 150$ 来计算。

各种钻杆内断面面积计算公式：

$$f = \frac{1}{4} \pi d_1^2$$

冲洗液在钻杆内的流速计算公式：

$$v = Q/f$$

雷诺系数 Re 的计算公式：

$$Re = d_1 v_1 / \gamma$$

式中 γ 为粘度系数，取值 $0.04\text{cm}^2/\text{s}$ 。

若把钻杆看成光滑圆管，则摩擦系数 λ 计算公式为：

$$\text{紊流时：} \lambda = 0.316\sigma / 4\sqrt{Re} \quad (Re > 3000);$$

$$\text{层流时：} \lambda = 64 / \sqrt{Re} \quad (Re < 500).$$

将已知数据代入上述公式，计算结果列表 2。

各参数计算结果

表 2

项 目	泵 量	φ47	φ60	φ75	φ47S	φ60S	φ75S
$f_1 (\text{m}^2)$		0.000755	0.001385	0.002075	0.000908	0.001661	0.002921
$v_1 (\text{m/s})$	120	2.65	1.44	0.84	2.20	1.20	0.68
	150	3.31	1.81	1.05	2.75	1.51	0.86
Re	120	20538	15120	11550	18700	13800	10370
	150	25653	19005	14438	23375	17365	13115
λ_1	120	0.0264	0.0285	0.0305	0.0270	0.0292	0.0313
	150	0.0250	0.0270	0.0289	0.0256	0.0275	0.0295

取 γ_1 的值为 1，则将表 2 中的数据代入式 (2)，即计算出不同孔深、各种钻杆内的压力损失值 (表 3)。

②求 P_2

$$P_2 = 0.1\lambda_2\gamma_2\phi \frac{L}{D-d} \times$$

钻杆内的压力损失 P_1 ($\times 10^5 \text{Pa}$) 表3

钻杆	泵量 (L/m)	孔 深		
		200m	400m	600m
φ47	120	6.10	12.20	18.30
	150	9.02	18.03	27.05
φ60	120	1.44	2.87	4.31
	150	2.15	4.30	6.45
φ75	120	0.40	0.80	1.20
	150	0.59	1.18	1.77
φ47S	120	3.92	7.84	11.77
	150	5.81	11.62	17.44
φ60S	120	0.93	1.87	2.80
	150	1.39	2.78	4.17
φ75S	120	0.24	0.48	0.73
	150	0.37	0.73	1.10

环空压力损失值 P_2 ($\times 10^5 \text{Pa}$) 表4

钻杆	泵量 (L/m)	孔 深		
		200m	400m	600m
φ47	120	0.58	1.16	1.74
	150	0.91	1.82	2.73
φ60	120	1.65	3.29	4.94
	150	2.43	4.86	7.29
φ75	120	18.58	37.17	55.75
	150	27.32	54.64	81.96
φ47S	120	0.67	1.35	2.02
	150	0.99	1.98	2.98
φ60S	120	2.33	4.67	7.00
	150	3.43	6.87	10.30
φ75S	120	169.00	338.00	507.00
	150	248.31	496.62	744.93

$$\frac{v_2^2}{2g} \times 10^5 \text{ Pa} \quad (3)$$

式中： λ_2 ——摩擦系数，对未下套管的孔段因孔壁粗糙，取 $\lambda_2 = 0.02 + 1.7/\sqrt{Re}$ ； γ_2 ——环空中的冲洗液比重，取值1.04； ϕ ——因冲洗液含砂而增加压力损失系数，一般 $\phi = 1.05 \sim 1.1$ ； D ——钻孔直径，按冶金系统金刚石钻探标准，对普通金刚石钻进 $D = 76.5\text{mm}$ ，对绳索取心钻进 $D = 75.5\text{mm}$ ， d ——钻杆外径。

P_2 的求法同 P_1 ，几个有关的计算公式：

$$f_2 = \frac{1}{4} \pi (D^2 - d^2);$$

$$v_2 = Q/f_2;$$

$$Re = (D-d)v_2/\gamma$$

$$(\gamma \text{取} 0.04\text{cm}^2/\text{s});$$

$$\lambda_2 = 0.02 + 1.7/\sqrt{Re}.$$

将已知数据代入上式，可求出 Re 、 λ_2 、 ϕ 等值，再把求出的数据代入式(3)，即可计算出 P_2 值(表4)。

③求 P_3

接头压力损失包括接头的内、外压力损失。绳索取心钻杆接头与钻杆内、外径相差很小，故钻杆接头处压力损失可不考虑。

对普通金刚石钻杆接头， P_3 的计算公式为：

$$P_3 = P_{30} + P_{31}$$

其中： P_{30} ——接头内压力损失； P_{31} ——接头外压力损失。

由于 P_{31} 比 P_{30} 要小得多，故可忽略不计。则 $P_3 = P_{30}$ ， P_{30} 的计算公式为：

$$P_{30} = 0.008Q^2 \cdot \gamma_1 \frac{L}{l}$$

$$\times \left(\frac{1}{d_0^2} - \frac{1}{d_1^2} \right)^2 \times 10^5 \text{ Pa}$$

(4)

式中： l ——每根钻杆长； d_0 ——接头内径； d_1 ——钻杆内径。

根据冶金系统金刚石钻探标准，普通钻杆接头内径见表5。

取钻杆标准长度3m。冲洗液比重取1，由式(4)即可算出 P_3 值(表6)。

④沿程压力损失 P

根据式(1)取 k 值为1，则可求出沿程压力损失 P 值(表7)。

从表7可以看出，YL-54型螺杆钻具使用口径75mm钻头时，选择φ60、φ47S以及φ60S作为配用钻杆是合适的。

钻杆接头内径 表 5

钻杆类型	φ47	φ60	φ75
接头内径(m)	0.017	0.024	0.035

钻杆接头处的压力损失值 $P_s(\times 10^5 \text{Pa})$ 表 6

钻杆	泵量 (L/m)	孔 深		
		200m	400m	600m
φ47	120	9.37	18.73	28.10
	150	14.64	29.27	43.91
φ60	120	2.19	4.37	6.56
	150	3.42	6.84	10.25
φ75	120	0.38	0.76	1.13
	150	0.59	1.18	1.77

沿程压力损失 $P(\times 10^5 \text{Pa})$ 表 7

钻杆	泵量 (L/m)	孔 深		
		200m	400m	600m
φ47	120	16.05	32.09	48.14
	150	24.56	49.11	73.67
φ60	120	5.27	10.53	15.80
	150	8.00	16.00	24.00
φ75	120	19.26	38.72	58.08
	150	28.50	57.00	85.50
φ47S	120	4.55	9.10	13.65
	150	6.79	13.58	20.37
φ60S	120	3.26	6.52	9.78
	150	4.82	9.64	14.46
φ75S	120	169.24	338.48	507.72
	150	248.68	497.36	746.04

2. 定向钻进对钻杆选用的特殊要求

使用口径75mm的钻头, 选用φ60、φ47S和φ60S三种钻杆时, 环状间隙分别为: 11.25mm、16.5mm和10.5mm。16.5mm的间隙太大, 所以从优选原则第二条来说, 应当排除φ47S型钻杆。

为保证定向仪和测斜仪能够顺利到位和提升, 钻杆内径必须大于仪器外径, 而且钻杆内壁最好是内平的。目前野外使用较多的定向仪和测斜仪外径都在30mm左右。故选用φ60S钻杆作配用钻杆最为合适。

结 论

1. YL-54型螺杆钻具使用口径75mm钻头时, 选用φ60S钻杆作为配用钻杆的沿程压力损失最小。

2. 使用口径75mm的钻头时, 与YL-54型螺杆钻具配用的钻杆最优选择是φ60S绳索取心钻杆。

3. 在同样条件下, 选用φ60S绳索取心钻杆, 泵的工作负荷最小。

4. 在使用同样水泵的情况下, 选用φ60S绳索取心钻杆, 可提高螺杆发动机的效率, 增加螺杆钻具的有效工作深度。

A Problem not to be Ignored in Popularizing Spiral Stem

Drill for Directional Drilling

Fang Xuesong

Through practice and theoretical analysis it is found that under conditions now available only relying upon the suitable selection of fitted drilling rod can the effective working depth of screw drilling tool be increased. At the same time its drilling efficiency could be raised the load capacity of the pump reduced.