

电镀金刚石孕镶钻头使用探讨

武汉地质学院 李大佛

金刚石钻头损坏主要根源是热损伤(金刚石碳化)和磨料磨损(金刚石脱落),而其磨损过程的一般规律都遵循三个阶段:初期磨损段(初磨或磨合段)、均匀磨损段(正常磨损段)和急剧磨损段(非正常损坏段)。图1所示为钻头典型磨损曲线。图中AB线段为初期磨损阶段,初期磨损率 $\text{tg } \alpha_1$ 是变化的,逐渐趋于稳定;BC线段为均匀磨损阶段,其磨损率 $\text{tg } \alpha$ 为常数;CD线段为急剧磨损阶段,其磨损率 $\text{tg } \alpha_2$ 比 $\text{tg } \alpha$ 大得多。

钻头初磨

新钻头使用一个回次不可能与前一个钻头所造成的孔底表面吻合,与岩石接触面积比所计算的底唇面积要小得多。特别是新的电镀钻头下孔,因为其粗糙度比较突出,与孔底岩石的接触实际上只是少数的点接触,将造成极大的单位面积载荷。钻头的初磨是使电镀钻头粗糙接触面上的载荷逐渐增加,将唇面的突起高点逐渐磨平,形成理想工作面,整个初磨阶段的磨损率 $\text{tg } \alpha_1$ 是变化的,其值从A点开始逐渐变小,直至在磨损曲线中出现转折点B,最终过渡到具有均匀磨损的阶段,此时 $\text{tg } \alpha$ 为常数。

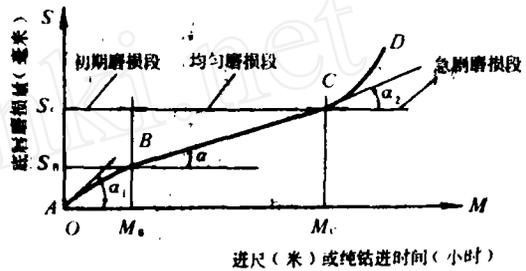


图1 钻头进尺与底唇磨损量之间的关系

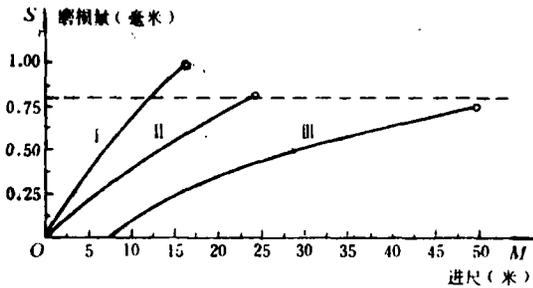


图2 钻头初磨曲线

图2中曲线I为在北京101队试验的8号电镀钻头初磨曲线,钻进6个回次,进尺16.25米,底唇突起高点消耗1毫米而磨平(该钻头寿命为70.93米)。

曲线II为在广东723队试验的17号电镀钻头初磨曲线,钻进9个回次,进尺23.57米,底唇突起高点消耗0.8毫米而磨平(该钻头寿命为150.99米)。

曲线III为在江西916队试验的2号电镀钻头初磨曲线,钻进18个回次(其中头三个回次,进尺7.41米,突起高量不出消耗),进尺49.93米,底唇突起高点消耗0.75毫米才磨平(该钻头寿命为588.85米)。

从上面实测钻头初磨曲线看出,电镀钻头底唇表面的突起高点,如能采用合适的钻进参数,不仅能获得相当的进尺,并为获得高寿命提供了前提。从生产实践中得知,高寿命的电镀钻头都是经过良好初磨,轻压慢转,特别是头一两个回次,钻压应尽量小,转速从低档开起,并合理控制时效。行之

有效的经验是以不超过0.5~1米为好。

钻压、给进深度与钻头寿命关系

钻头经济指标好坏主要看磨损率 $\operatorname{tg} \alpha$ 的大小。在均匀磨损阶段：

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{S_C - S_B}{M_C - M_B} = \text{常数}$$

上述三个钻头的均匀磨损曲线如图3所示。

从实测的三个钻头的均匀磨损曲线看，其曲率半径趋于无穷大。因此，各对应试验点 (S_i, M_i) 可视为都在一条直线上， $\operatorname{tg} \alpha$ 则是该直线的斜率（亦即磨损率）。由图看出，三个钻头的磨损率分别为：

$$\operatorname{tg} \alpha_I = \frac{S_{IC} - S_{IB}}{M_{IC} - M_{IB}} = \frac{0.0008}{51.15} = 1.56 \times 10^{-5}$$

$$\operatorname{tg} \alpha_{II} = \frac{S_{IIC} - S_{IIB}}{M_{IIC} - M_{IIB}} = \frac{0.0006}{72.47} = 8.28 \times 10^{-6}$$

$$\operatorname{tg} \alpha_{III} = \frac{S_{IIIc} - S_{IIIB}}{M_{IIIc} - M_{IIIB}} = \frac{0.0019}{172.2} = 1.02 \times 10^{-5}$$

从钻头磨损曲线图看出，要用好电镀钻头，初磨阶段不可忽视，而均匀磨损阶段更须特别重视，因为钻头寿命主要靠这一段，而且它还与急剧磨损段的起点直接相关，即关系到钻头是否早期非正常损坏。

钻进中产生的热量大部分通过冲洗液传走，但其前提是钻进中产生的岩粉能及时排净。岩粉产生的多少决定于对岩石每转给进量的大小。如果岩粉太多，说明给进深度过大，亦说明钻进压力过高。由于给进量过大而使岩石与钻头底唇胎体之间的间隙过小，岩粉不能很快带走而要受到重复破碎，因此温度相对增高，加速金刚石损耗而缩短钻头寿命。

当然，给进深度太小则会导致抛光现象的产生，不仅影响钻进效率，而且这种压应力的作用会由于金刚石接触岩石面积过小导致金刚石尖角磨钝、碎裂或者疲劳破坏。

因此，合理地选择钻进压力、给进深度是与钻头寿命息息相关的。

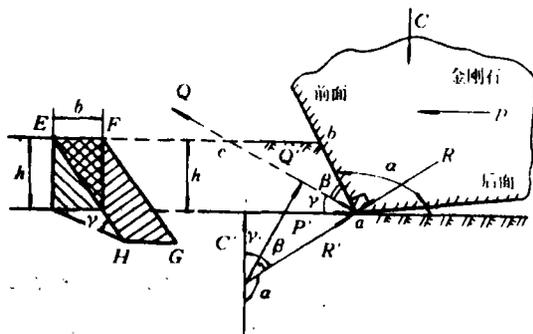


图4 金刚石受力分析

岩体 abc 就被金刚石切割下来，根据力学原理与几何关系，其钻进压力 (C) 与给进深度 (h) 之间的

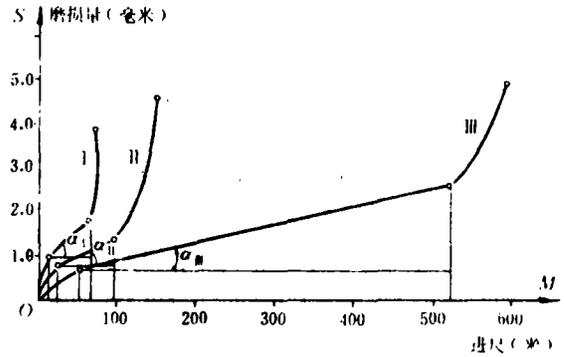


图3 电镀钻头磨损曲线

孕镶人造金刚石钻头上的每一颗金刚石，都可看做是一把具有负前角的切削具，钻进时由于垂直压力及旋转二向载荷的组合作用，实现破碎岩石并产生了岩粉。如图4所示，根据单颗金刚石的受力分析与计算，其理论钻进压力分别按同一岩石的抗压强度与抗剪强度计算的结果基本一致，与现场实际应用也较接近。

当作用在金刚石刃口上的钻进压力 C 和旋转力 P 的合力 R 在沿剪切平面 $EFGH$ 方向上的分力 Q 所产生的剪切应力大于岩石的抗剪强度 R 时，

关系可按式计算:

$$C = P \operatorname{ctg} \gamma - \frac{R_c \cdot b \cdot h}{\sin^2 \gamma} \quad (1)$$

式中 C —钻进压力 (公斤);

P —旋转力 (公斤);

R_c —岩石抗剪强度 (公斤/厘米²);

b —金刚石切割宽度 (厘米);

h —金刚石切割深度 (每转给进深度, 厘米);

当 $\alpha = 100$ 、 $\beta = 50$ 、 $\gamma = 20$ 时, 旋转力 $P = 3.5bhR_c$ 。

由于理论钻进压力是在没有考虑摩擦力、后角影响, 而且是把金刚石刃口视为尖角, 岩石看做刚体的假设条件下计算的。同时, 是以不太坚硬的岩石以切削方式破碎为前提的, 因此存在一定误差。

钻进压力还可根据岩石的抗压强度进行计算。作用在金刚石上的压力要大于岩石的抗压入强度, 但要小于金刚石本身的强度, 即

$$\delta_{\text{岩}} \leq \frac{C}{mS} \leq \delta_{\text{金}}$$

则钻进压力至少应为:

$$C = \delta_{\text{岩}} m S \quad (2)$$

式中 C —钻进压力 (公斤);

$\delta_{\text{岩}}$ —岩石的抗压强度 (公斤/毫米²);

m —钻头底唇起刻取作用的金刚石数量, 一般按金刚石数量的 $2/3$ 计算;

S —单颗金刚石与岩石的接触面积, 毫米²

如用 $\phi 56$ 钻头钻进 8 级左右的花岗岩, 分别按其抗剪强度 (200 公斤/厘米²) 和抗压强度 (700 ~ 3300 公斤/厘米²) 通过 (1) 式和 (2) 式计算, 钻进压力均为 300 公斤左右。用双管钻头和绳索钻头的试验, 一般都可获得 2 米左右的时效。

钻头转速、小时效率与钻探成本的关系

对于一定的钻进工艺和地层条件, 钻头性能与型式选定之后, 小时效率就成为影响钻头寿命的主要因素。

小时效率与钻头转速成正比, 也与钻头每转的给进深度成正比。即

$$V = nhK \quad (3)$$

式中 V —小时效率 (米/小时);

n —钻头转速 (转/分);

h —钻头每转给进深度 (米/转);

K —钻速降低系数 (重复破碎的影响)

K 值与岩石性质和压力大小有关: 对于坚硬岩石, K 值取 0.2 ~ 0.4; 对于中硬岩石, K 值取 0.5 ~ 0.6; 对于较软岩石, K 值取 0.75 ~ 0.9。

因此, 当地层条件一定, 钻头转速越高, 机械钻速就会越高。但是, 生产效率高并不意味着钻探成本低。在研究钻进过程的最佳化生产条件中, 对于所选用的钻进参数, 需要知道钻头转速 (或平均线速度) 与钻头寿命 (时间或进尺) 之间的关系。当地层性质、钻进压力等条件确定后, 可通过试验数据用泰勒 (Taylor) 经验公式表达这种关系:

$$\left(\frac{V}{V_r}\right) = \left(\frac{t_r}{t}\right)^n \quad (4)$$

式中 V —钻头平均线速度 (米/分);

V_r —对应已知 (或试验) 的钻头寿命 (t_r) 的参考平均线速度 (米/分);

t_r —对应已知 (或试验) 的钻头平均线速度 (V_r) 的参考钻头寿命 (分);

t —钻头寿命 (分);

n —取决于钻头性能的指数 (常数)

现用两个80目 $\phi 56$ 孕镶钻头在较完整的岩石 (主要为辉长岩、片岩, 其次为煌斑岩和闪长岩) 钻进的试验资料说明其使用。两个钻头的试验结果分别为: $V_1 = 133$ 米/分, $t_1 = 1320$ 分, 钻头寿命 $L = 64$ 米; $V_2 = 68$ 米/分, $t_2 = 3060$ 分, 钻头寿命 $L = 81$ 米。

将 (4) 式两边取对数化简得:

$$n = \frac{\lg V - \lg V_r}{\lg t_r - \lg t} \quad (5)$$

将以上数据代入 (5) 式得指数 $n = 0.797$ 。

由 (4) 式得 $V t^n = V_r t_r^n$, 即 $V t^{0.797} = V_r t_r^{0.797}$, 将以上数据代入得:

$$V t^{0.797} = 41000 \quad (6)$$

而钻头在不同平均线速度 (V) 和寿命 (t) 的进尺数可由下式求得:

$$L = \frac{V}{\pi D} h t \quad (7)$$

式中 L —钻头进尺 (米);

V —钻头平均线速度 (米/分);

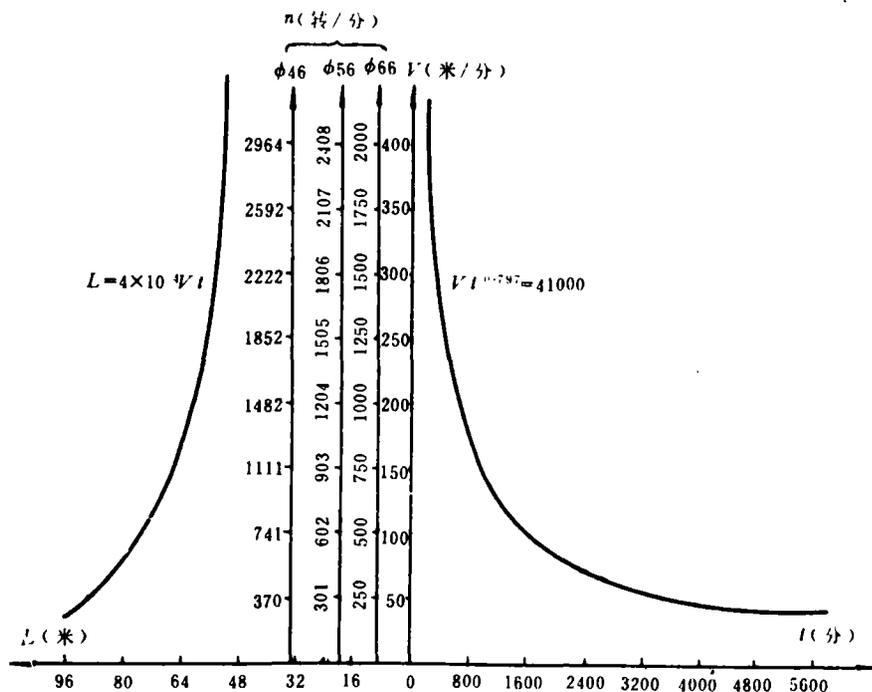


图5 V 、 t 、 L 关系曲线

D —钻头平均直径 (米);

h —钻头每转给进深度 (米);

t —钻头寿命 (分)

将上述任一钻头资料代入 (7) 式得:

$$L = 4 \times 10^{-4} \times Vt \quad (8)$$

于是, 给定一个 V (或 t) 就可由 (4) 式求得一个 t (V), 然后连接各对应点便得 V, t 的关系曲线 (如图 5 的右边所示) 同时, 根据 V, t 可由 (7) 式求得钻头进尺米数, 然后连接各对应点便得 V, t, L 的关系曲线 (如图 5 的左边所示)。

将对应的 V, t, L 以及时效 V_t 列入表 1, 以便对照。

| | 表 1 | | | | | | | | | | | | |
|--------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| t (分) | 0 | 240 | 480 | 720 | 960 | 1200 | 1440 | 1680 | 1920 | 2160 | 2400 | 2640 | 2880 |
| V (米/分) | ∞ | 521 | 301 | 218 | 174 | 146 | 126 | 112 | 100 | 92 | 84 | 78 | 73 |
| L (米) | 0 | 50 | 58 | 63 | 67 | 70 | 73 | 75 | 77 | 80 | 81 | 82 | 84 |
| V_t (米/小时) | | 12.5 | 7.25 | 5.2 | 4.2 | 3.5 | 3 | 2.7 | 2.4 | 2.2 | 2 | 1.86 | 1.75 |
| t (分) | 3120 | 3360 | 3600 | 3840 | 4080 | 4320 | 4560 | 4800 | 5040 | 5280 | 5520 | 5760 | 6000 |
| V (米/分) | 68 | 65 | 61 | 58 | 55 | 53 | 51 | 49 | 47 | 45 | 44 | 42 | 41 |
| L (米) | 85 | 87 | 88 | 89 | 90 | 92 | 93 | 94 | 95 | 95 | 97 | 97 | 98 |
| V_t (米/小时) | 4.64 | 4.55 | 4.5 | 4.4 | 4.32 | 4.28 | 4.22 | 4.18 | 4.13 | 4.1 | 4.05 | 4.01 | 0.98 |

从上列图表可以看出, 随着钻头转速的增高, 小时效率跟着提高, 但钻头寿命要相应缩短。是不是钻头寿命因钻进转速提高而相应缩短一些就一定导致钻探成本增高呢? 那不一定。因为钻探成本中钻头费用不是唯一的一项。所以有必要求其最低钻探成本的最佳钻头转速。

现假定绳索取芯钻进深度为 N_b 米深的钻孔。其总工时可分为:

1. 非生产时间 $N_b t_1$, t_1 为辅助时间;
 2. 总纯钻进时间 $N_b t_m$, t_m 为进尺每米的机动时间;
 3. 换钻头时间 $N_b t_c$, 其中 N_b 为换钻头数目, t_c 为换一个钻头的的时间 (并设一个钻头提下钻一次)。
- 设 M 是整个设备与人工总费用率 (单位时间总费用)。

则设备和人工总费用是:

$$M (N_b t_1 + N_b t_m + N_b t_c) \quad (9)$$

设每个钻头费用为 C_b , 则每米进尺平均成本为:

$$C_{b,m} = M t_1 + M t_m + M \frac{N_b}{N_b} t_c + \frac{N_b}{N_b} C_b \quad (10)$$

根据 (1) 式, 在某一给定的钻头速度 (V) 下的钻头寿命为:

$$t = t_0 \left(\frac{V_0}{V} \right)^n \quad (11)$$

假定钻头在全部纯钻进时间 (机动时间) 内都在切割岩石, 则钻一个 N_b 米深的钻孔所更换的钻头数目为

$$N_b = \frac{N_b t_m}{t}$$

于是:

$$\frac{N_b}{N_b} = \frac{t_m}{t} = \frac{t_m}{t_0} \left(\frac{V}{V_0} \right)^n \quad (12)$$

最后得每米进尺的纯钻进时间是

$$t_m = \frac{K}{V} \quad (13)$$

式中 K 是钻头金刚石在岩石上所走过的距离 πdL ； d 为钻孔直径； L 为进尺 1 米； V 为钻头线速度
现在便可求出钻探成本和线速度之间的关系。将 (12) 式、(13) 式代入 (10) 式可得：

$$C_{Pr} = M_{tL} + MKV^{-1} + \frac{K}{V^{1+n}} (M_{tL} + C_1) V^{(1+n)n} \quad (14)$$

为了求出最低钻探成本时的线速度 V_c ，必须把 (14) 式对 V 微分，并令其等于零（即求 C_{Pr} 的极小值），得：

$$V_c = V \left(\frac{n}{1-n} \cdot \frac{M_{tL}}{M_{tL} + C_1} \right)^{\frac{1}{n}} \quad (15)$$

根据上述钻探成本中各项费用所代表的方程特性，可分别描述出各自的特性曲线，如图 6 所示。
该图表明在给定的一组条件下，如何出现一个最佳线速度。

钻头急剧磨损阶段

从电镀钻头的磨损特征看，其急剧磨损阶段都无一例外， $\lg a$ 值极大，其金刚石镀层的消耗一般都在 2~3 毫米左右，几乎占镀层厚度的一半，而其进尺一般还不到钻头寿命的 1/10。从使用比较好的三个钻头资料看（表 2），其急剧磨损段的平均磨损量占镀层厚度 57%，而平均进尺只占其寿命的 17%。急剧磨损段的磨损率比均匀磨损段的磨损率高 11 倍多。这种现象（热压钻头也是这种类似情况）应当引起重视，钻头潜力远远没有充分发挥。

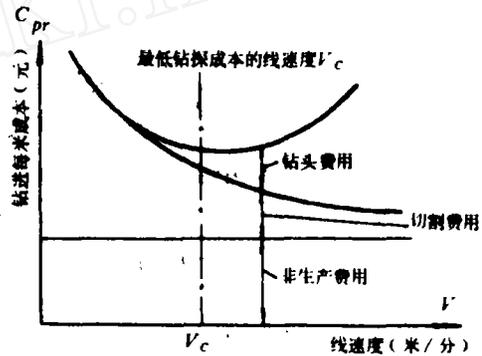


图 6 钻探成本与线速度关系

表 2

| 编号 | 初期磨损段 | | | | 均匀磨损段 | | | | 急剧磨损段 | | | |
|-----|-----------|------------|-------------|-------------|-----------|------------|-------------|-------------|-----------|------------|-------------|-------------|
| | 进尺 (米) | 磨损 (毫米) | 磨损比例 (%) | 进尺比例 (%) | 进尺 (米) | 磨损 (毫米) | 磨损比例 (%) | 进尺比例 (%) | 进尺 (米) | 磨损 (毫米) | 磨损比例 (%) | 进尺比例 (%) |
| 8* | 16.25 | 1.0 | 45 | 23 | 51.15 | 0.8 | 20 | 72 | 3.53 | 2.2 | 55 | 5 |
| 17* | 23.57 | 0.8 | 17 | 16 | 72.43 | 0.6 | 13 | 18 | 54.99 | 3.2 | 70 | 36 |
| 2* | 19.93 | 0.75 | 15 | 8 | 472.2 | 1.9 | 38 | 80 | 66.72 | 2.35 | 47 | 11 |
| 平均 | 29.92 | 0.85 | 26 | 16 | 199 | 1.1 | 24 | 67 | 42 | 2.58 | 57 | 17 |

钻头寿命应当说是钻头质量、钻进参数和地层条件这三个可变因素互相配合的综合结果，其中每一个因素都可能成为影响钻头进尺的致命因素。然而，在钻头急剧磨损阶段的进尺多少，看来主要取决于钻头本身的质量，或者说主要取决于该钻头金刚石的热损伤影响。因为钻头从均匀磨损段过渡到急剧磨损段后，尽管岩石性质和钻进参数依然不变，但钻头磨损率成倍增加，可以推测甚至可以断定急剧磨损段的起点（即磨损曲线中的 C 点）的那个回次有烧钻或微烧现象。因此，要延长钻头寿命，就要设法推迟急剧磨损段的起点（C 点），其实质就是防止或减少金刚石的热损伤。

电镀钻头水口较多，为充分冷却钻头提供了有利条件。在湖北一队使用的 $\phi 56$ 绳索钻头中，以 12 个水口（ 5×5 ）的两个钻头（45* 和 46*）进尺最多（分别为 168 米和 120 米）；在北京 101 队使用 30 多个 $\phi 56$ 双管钻头中，也以 12 个水口（ 5×5 ）的一个钻头进尺最多。

电镀钻头水槽部位镀有0.5~1毫米的耐磨镀层,这对于加大泵量冷却钻头,延长寿命,并防止钻头被岩粉冲蚀是有帮助的。

参 考 资 料

- [1] 袁培仪,怎样用好表镶式金刚石钻头,探矿工程,1979年第3期
- [2] 王贵和,金刚石钻头转速与寿命的关系,探矿工程,1980年第2期
- [3] 李大佛,低温电镀镍锰胎体人造金刚石孕镶钻头,探矿工程,1980年第4期
- [4] 北京地质学院编,钻进时岩石破碎原理与井底过程,1964年
- [5] 勘探技术研究所情报室,金刚石钻进手册
- [6] G·布恩罗伊德著,山东工学院机制教研室译,金属切削加工理论基础,山东科学技术出版社,1980年

薄壁金刚石钻头的钻岩效果

冶金部地质研究所 程钟寿

薄壁金刚石钻头在国外已广泛应用于工程建筑、矿山坑道探矿,并已开始应用于地表探矿。

薄壁钻头是为了在中硬至特硬的岩层中用以提高钻进效率、降低钻探成本而设计的,一般在钻进条件比较好的情况下采用。岩层要比较完整、均质,研磨性要低,使用清水或乳化液洗井。

问题的提出

冶金地质系统在推广人造金刚石钻探技术过程中,常遇到如石英岩、强硅化灰岩、磁铁石英岩、石英化细砂岩、碧玉岩、燧石岩等。这类岩石的特点是:含石英成分高,一般在60~70%,有的甚至高达90%以上(如锡矿山的似碧玉岩),而且石英颗粒很细,大部粒径为0.01~0.20毫米,结构极致密,研磨性很低。岩石抗压强度也很高,一般达2000~3000公斤/平方厘米。岩石硬度很大且岩性发艱。可钻性级别均在10级以上。在钻进过程中,一般双管或绳索取芯孕镶人造金刚石钻头,一旦遇到这类岩层时,钻头即处于“打滑”状态,既不进尺也不磨损。即使能钻进,回次进尺也很短,小时效率极低。

1975年我们研制出一种锯齿形钻头,作为处理这类“打滑岩层”的尝试。在钻进鞍山式磁铁石英岩时,时效由0.1~0.3米提高到0.7~1.0米,钻头寿命达7~10米。当绳索取芯钻进遇到这类硬岩夹层时,使用这种锯齿形钻头,也能得到满

意的效果。在此基础上,我们从1978年开始寻找另一种对付打滑岩层的手段,这就是薄壁孕镶金刚石钻头。

薄壁孕镶金刚石钻头的钻岩效果

1979年为了配合 $\phi 46$ 毫米口径的绳索取芯钻进试验,研制了一批 $\phi 46.5 \times 33.5$ 毫米薄壁孕镶人造金刚石钻头,在海南岛冶勘934队试用。能快速穿过硬地层,而且钻头寿命比其他类型钻头稍长些。1980年某水电站在工程地质钻探中遇到抗压强度为1916~2500公斤/平方厘米、石英含量为70~80%的细粒石英砂岩夹层,采用一般双管孕镶金刚石钻头,时效只有0.05~0.20米,要穿过此夹层很困难。我们建议该单位使用薄壁孕镶钻头,并为其设计和制造了 $\phi 56.5 \times \phi 43.5$ 毫米的薄壁孕镶人造金刚石钻头,取得了良好的效果。

下面将不同壁厚的金刚石钻头钻进打滑岩层的试验效果作一个简单的介绍。

1. 一般双管孕镶金刚石钻头,在钻进过程中遇到打滑岩层的钻岩效果见表1

从表1看出,常规双管孕镶金刚石钻头在打滑岩层中的钻岩效果很差,钻进时效在0.2米左右,回次进尺也很短。

2. 为了克服岩层打滑,地质矿产部勘探所用不同品级的金刚石研制了几批钻头,在山西岚县铁矿对石英磁铁矿和石英镜铁矿进行了试