人造金刚石，孕镶钻头，磨损

金刚石钻头

58-62 P634.41

人造金刚石孕镶钻头磨损特征的研究

罗 超 李世忠 李砚藻 刘宝林 夏柏如

（中国地质大学·北京·100081）

金刚石钻头定每转进尺钻进试验表明：在每转进尺合理范围内，钻头磨损率较低，在此范围外，则较高；并发现钻头多出现内喇叭型不均匀磨损唇面。本文从理论上解释了金刚石钻头出现这种磨损唇面的原因：即内侧金刚石切深、受力及每周碎岩体积较大；并据此探讨了包括表镶钻头在内的金刚石镶嵌措施，以使唇面均匀磨损。

关键词 金刚石 切深 受力 每周碎岩体积 镶嵌

金刚石钻头在碎岩的同时，本身也受到岩石的磨损。磨损是钻进过程中一个非常重要的方面，是伴随碎岩同时进行的复杂过程。

1 试验条件

试验在中国地质大学（北京）实钻模拟钻进试验台上进行。该试验台采用微机在钻进过程中对钻压、转速、进尺、钻速、冲洗液量和压力等参数进行自动检测，并实现对 3 个主要钻进工艺规程参数的闭环自动控制。

试验用钻头性能参数见表，岩石为混合花岗岩（压入硬度 $\sigma_K=4070$MPa，塑性系数 $K=1.44$）。

2 金刚石钻进钻头磨损规律

本试验采用定每转进尺钻进控制方式，转速恒定。研究表明，在常规转速范围内，转速对磨损影响较小，且转速太高时，由于岩心较短，不利于数据采集，因此，这里转速采用 600r/imn。

图 1 是钻头磨损率随每转进尺变化的情况。钻头磨损率是指单位进尺钻头失重。测量时，钻进前称其重量，钻进后刷净、烘干、称，即得钻头失重。可见，钻头磨损率包括了金刚石和胎体的磨损，反映了整个钻头的磨损结果。

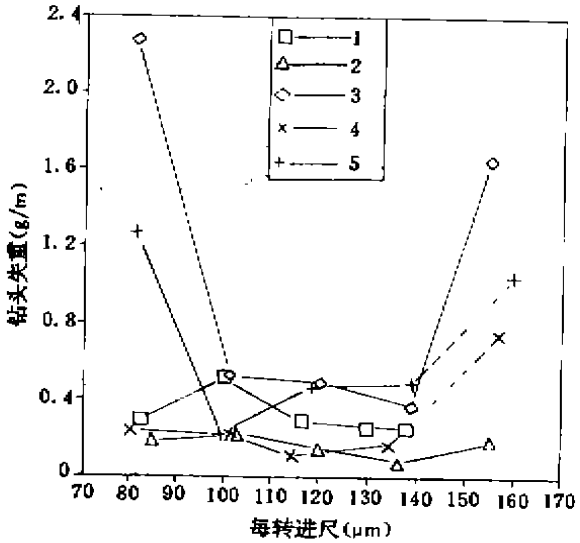

图 1 实钻定每转进尺钻进钻头磨损率随每转进尺变化情况

1—485#钻头；2—486#钻头；3—501#钻头；4—905#钻头；5—706#钻头

图中，除 485#、486#钻头外，其它钻头在 $h=160\mu$m 时磨损都大幅度加剧，706#、501#

本文 1993 年 10 月收到，王梅编辑。

维普资讯 http://www.cqvip.com

在 $h=80\mu m$ 也很高，486# 一直保持较低的磨损率，在 $h=100、120、140\mu m$ 时，每个钻头失重都较低，这说明当切入岩石太深时，金刚石损坏的可能性大大增加，这就导致了胎体乃至整个钻头的磨损率加剧；相比之下，在混合花岗岩中进行定每转进尺钻进时，486# 和 905# 钻头较耐磨，这表明具较大金刚石颗粒及胎体硬度的钻头较耐磨。同时，还可看出：当 $h=100\sim140\mu m$ 时，钻头磨损率都较低，即从钻头磨损角度出发该范围为这一岩石中每转进尺的合理范围。

3 金刚石钻头唇面磨损特征

金刚石钻进中发现：钻头常出现内喇叭型磨损唇面。相比之下，微钻头更为显著；一是微钻头金刚石分布更趋于均匀（未进行内外特殊保径）；二是微钻头规格尺寸较小，更易受环境因素的影响。

附表 ∅56/39 人造孕镶金刚石钻头性能

钻头编号	金刚石参数			胎体硬度 (HRC)	唇面形状	水口数量及规格 (个数－宽度×深度) (个－mm×mm)
	品质	浓度(%)	粒度(目)			
485#	JR_4	75	80	33	平底形	6－6×4
486#	JR_4	75	46	34	平底形	6－6×4
501#	JR_5	75	60～70	30～35	梯齿形	6－6×4
905#	JR_3	75	80	42.9	平底形	6－6×4
706#	JR_4	75	70	29	平底形	8－5×5

现从理论上探讨这种磨损唇面的原因。

假设人造金刚石为圆球体，且在工作层内均匀分布。设钻头金刚石浓度为 K（400%浓度制），则单位体积内金刚石实际所占体积 V_1 为：

$$V_1 = 0.25K(mm^3) \tag{1}$$

单粒金刚石体积 V_0 为

$$V_0 = \frac{200}{n \cdot \gamma}(mm^3) \tag{2}$$

式中：200——1 克拉金刚石质量(mg)；γ——人造金刚石比重，取 $\gamma=3.52mg/mm^3$；n——1 克拉中金刚石颗粒数(粒)。

则单位体积的工作层内金刚石数目 m_V 为

$$m_V = \frac{V_1}{V_0} = 4.4\times10^{-3}n \cdot K(粒/mm^3) \tag{3}$$

金刚石在胎体内均匀排列，按晶体正方结点排列计算唇面单位长度出刃金刚石颗粒数量 m_l 为：

$$m_l = (m_V)^{1/3} = 0.164\times(n \cdot K)^{1/3}(粒/mm) \tag{4}$$

当钻头每转进尺为 h，因金刚石相比于钻头胎体极其微小，可以认为钻头为刚性体，即唇面上每一点都同步前进，亦即唇面每一切削线上所有金刚石每转切深之和相等，为 h，则钻头径向位置 r 处切削线上每粒金刚石切深 h_r 为：

$$h_r = \frac{h}{(2\pi r - ab)\cdot m_l}\cdot\frac{C_3C_4}{C_1C_2}\cdot\frac{6.1\times hC_3C_4}{(2\pi r - ab)(n\cdot K)^{1/3}C_1C_2}(\mu m) \tag{5}$$

式中：r——唇面金刚石距钻头中心的距离，简称唇面半径(mm)；a——水口数；b——水口宽度(mm)；h——钻头每转进尺(μm)；C_1——金刚石分布不均匀系数，$C_1\leqslant1$，金刚石分布越均匀，C_1 越接近于 1；C_2——参与刻取岩石的金刚石百分率，C_2 由出刃不均引起，取 $C_2=\frac{1}{2}\sim\frac{1}{3}$，混合目数时，$C_2$ 取较小值；C_3—金刚石非球体系数，为球体时不易脱落，且无尖锐切刃，取 $C_3=1.2\sim1.5$；C_4——金刚石加强系数，一般取 $C_4=1.2\sim1.5$，即

维普资讯 http://www.cqvip.com

由于金刚石钻进过程中崩刃、脱粒而钻速加快之故，金刚石品级越低，C_4 越大。

$$A_0 = \pi(2a_0h_r - h_r^2) \times 10^{-3} = \pi h_r(2a_0 - h_r) \times 10^{-3}(\text{mm}^2) \quad (6)$$

式中：a_0——金刚石半径(mm)。

设岩石抗压入硬度为 σ_K，为使金刚石切入岩石深度为 h_r，据式(8)其上所受压力 p_r 要满足如下条件：

$$p_r = A_0\sigma_K = 0.314h_r\sigma_K(2a_0 - h_r)(\text{N}) \quad (7)$$

式中 σ_K——岩石压入硬度(MPa)；

由于金刚石切深 h_r 小其直径 $2a_0$ 许多，可得金刚石受力 p_r 为：

$$p_r = \frac{1.22\pi a_0 h\sigma_K C_3 C_4}{(2\pi r - ab)(n_s \cdot K)^{1/3} C_1 C_2}(\text{N}) \quad (8)$$

$$V_r = \pi r a_0^2(2\lambda - \sin 2\lambda)$$

$$= 2\pi r\left[a_0^2\cos^{-1}\left(1 - \frac{h_r}{a_0}\right) - (a_0 - h_r)\sqrt{2a_0h_r - h_r^2}\right](\text{mm})^3 \quad (9)$$

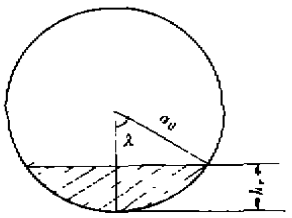

图 2　金刚石碎岩体积计算示意图

式(5)可以证明，对一钻头，当其每转进尺 h 一定时，金刚石的碎岩体积 V_r 是其离钻头中心距 r 的减函数，即钻头唇面内侧金刚石的每转碎岩体积较外侧金刚石的大，如图3(钻头每转进尺：$h=140\mu$m；浓度：75%)。

磨损唇面的原因为：

①内侧金刚石碎岩体积 V_r 较大，表明其自身受岩石磨损也较严重，即内侧磨损较重。

②内侧金刚石切入岩石 h_r 及其受力 p_r 较大，其折断、脱粒、碎裂可能性也较大，导致内侧磨损加剧。

③据布加耶夫等人试验研究证实[1]：由于岩石脆性和不均匀性的存在，当钻头在孔底工作时，在岩石表明产生由稠密网状结构构成的预破碎层，此层是毛细系统，孔底冲洗液流可以渗透到预破碎层中形成润湿带，润湿带的厚度 δ 取决于渗滤速度和钻头水口在该处停留时间。

则径向位置 r 半径为 a_0 的金刚石与岩石接触圆截面积 A_0 为：

式(5)和式(8)表明：金刚石切深、受力与其距钻头中心距离 r 有关。r 越小处的金刚石切深、受力越大，即钻头内侧金刚石较外侧金刚石切深、受力要大。

下面来考查金刚石每周碎岩体积(工作量)大小，它是影响金刚石寿命的重要因素。工作量大，金刚石磨损则严重。

如图 2 所示，设钻头唇面半径 r 处直径为 $2a_0$ 的金刚石切入岩石深度为 h_r，则其回转一周碎岩体积 V_r 为：

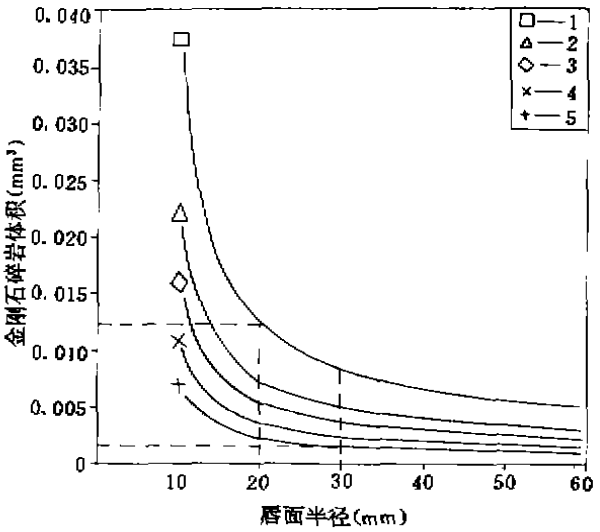

图 3　金刚石每周碎岩体积与其所处径向位置的关系
1—46 目；2—60 目；3—70 目；4—80 目；5—100 目

如果金刚石吃入深度 h_r 小于润湿层厚度 δ，即 $h_r < \delta$，则钻进是在"湿摩擦"状态下进行的；如果 $h_r > \delta$，则钻进是在"干摩擦"状态下进行的，这时的金刚石磨损速度将大大

维普资讯 http://www.cqvip.com

加剧。可见，内侧金刚石进入于摩擦状态的可能性较外侧金刚石大，自然内侧磨损较重。

4 金刚石镶嵌的探讨

这里所谈的金刚石镶嵌是为了使唇面磨损趋于均匀，它包括金刚石品级、粒度、浓度、出刃及其在唇面的分布方式和唇面结构等问题。

金刚石出刃的控制，对于表镶、聚晶或硬合金钻头，是钻头制造过程中，根据岩层性质就已经规定好的；对于孕镶钻头，一方面是钻头制作中根据岩层性质采用适宜的胎体配方和合适的烧结工艺；另一方面是在钻头使用过程中，根据岩层性质采用适宜的钻进施工工艺，使金刚石出刃控制在最优范围内，这点是很重要的，但又是非常难以控制的，于是本文采用一种最接近这种控制方式的方法，即亦即：根据具体岩石、具体钻头，控制唇面出刃金刚石共同作用的结果即每转进尺在合理范围内。这即是前面所谈本试验所采用的定每转进尺钻进。

根据以上分析，我们知道：在钻头制作方面，金刚石在唇面的均匀分布是造成唇面不均匀磨损的重要原因一，如本试验用微钻头未经专门保径处理，这种非均匀磨损唇面就更加明显。下面探讨通过改变金刚石的分布方式和采用合理的唇面结构以改善唇面金刚石工作量从而达到唇面均匀磨损。

为使唇面各处磨损一致，则应该具备：金刚石每周破碎岩石体积 V_r 相同，即：

$$V_{r1} = V_{r2} \tag{10}$$

据式(9)，对一具体钻头有：

$$\frac{r_1}{r_2} = \frac{2\lambda_2 - \sin 2\lambda_2}{2\lambda_1 - \sin 2\lambda_1} \tag{11}$$

$$\frac{r_1}{r_2} = \frac{a_0^2\cos^{-1}(1 - \frac{h_{r2}}{a_0}) - (a_0 - h_{r2})\sqrt{2a_0h_{r2} - h_{r2}^2}}{a_0^2\cos^{-1}(1 - \frac{h_{r1}}{a_0}) - (a_0 - h_{r1})\sqrt{2a_0h_{r1} - h_{r1}^2}} \tag{12}$$

据式(5)又有：

$$\frac{h_{r1}}{h_{r2}} = \frac{(2\pi r_2 - ab)^3\sqrt{n_{s2}\cdot K_2}}{(2\pi r_1 - ab)^3\sqrt{n_{s1}\cdot K_1}} \tag{13}$$

将式(13)代入式(12)去求 K、n_s 与 r 的关系。可以看出，这在数学上是困难的。但我们可以从式(9)推测：半径 r 较小处唇面的金刚石浓度 K、粒度 n_s 应较大。事实上，金刚石颗粒较小时，其工作能力较低，且易脱落，反而不耐磨，因此应采用较大颗粒的金刚石，即 n_s 较小，图 1 中 486# 钻头的使用结果证明了这一点。

4.1 切削刃分布方式

对于表镶、聚晶或硬合金钻头切削刃的镶嵌，传统方法有放射式、等间距式、螺旋式等。若采用放射方式，外径金刚石由于行程大而磨损较重；若采用等间距方式，即类似于均匀分布，内径金刚石由于切深大而磨损严重；螺旋状排列方式的切削刃工作量类似于放射状，其磨损也类似于放射状。可见，表镶钻头金刚石在唇面的分布密度或分布方式应介于放射状和等间距状之间，即内侧附近要求金刚石密度最大，外侧附近次之，中部最小。

对于孕镶金刚石钻头，在技术条件允许的情况下，为使每粒金刚石工作量相近，可在内、外侧附近采用高品质、高浓度、较粗颗粒的金刚石及耐磨硬胎体。前苏联已研制出沿唇面径向按金刚石粒度排列的孕镶金刚石钻头，内径附近颗粒最大，这种钻头已申请专利。这种形式排列的金刚石可以保证岩石与胎体材料之间具有最佳的间隙〔内径金刚石切深较大，但颗粒亦大，式(5)〕而降低岩粉对胎体的作用力并能确保冲洗液从钻头底部将岩粉携带出来[2]。

另外，前苏联在制作表镶钻头时，以 20

维普资讯 http://www.cqvip.com

～30、30～40、40～50、50～60 和 60～90 粒/克拉的金刚石作为底刃，以 10～20、20～30 和 30～40 或 50 粒/克拉的金刚石作为侧刃；在制作孕镶钻头时，以 120～300 粒/克拉的金刚石作为底刃，以 30～40、40～60 粒/克拉的金刚石作侧刃[3]。这些钻头都取得了很好效果。

4.2 钻头唇面结构选择

根据以上讨论可知：类似于平底型唇面（如矩形、圆弧形、半圆形等）在进尺一定程度后，内侧附近往往磨损严重，以致失去工作能力。相比之下，阶梯形唇面效果则要好些，究其原因，内径金刚石层高，即参与保径碎岩的金刚石数量多，据式(9)，这样的钻头则耐磨。

同时，根据上述分析，钻头使用中唇面不同部位金刚石切深、受力及每转碎岩体积的差异随钻头壁厚的增大而增大，钻头唇面的非均匀磨损亦加剧。Гинзбург[4]曾对前全苏勘探所建立的金刚石钻头工作性能资料库的一万多个各种型号钻头的磨损情况进行统计，结果表明：标准钻头的均匀磨损占 18%～28%，而薄壁钻头的均匀磨损却占 45%。因此，在钻头强度允许范围内，应尽量采用较薄壁钻头。

5 结论

(1)在合理的每转进尺范围内，金刚石钻头的磨损率较低。在混合花岗岩中，该范围大概为 100～140μm。

(2)在钻进中，钻头易出现内喇叭形磨损唇面。究其原因有：内侧金刚石的切深、受力及每周碎岩体积较外侧金刚石的大。

(3)为使金刚石钻头唇面均匀磨损，可在内外侧附近采用较高强度、较大颗粒、较高浓度的金刚石和耐磨性胎体。

(4)钻头唇面结构的选择应是内侧耐磨的唇面，如阶梯形唇面，且在钻头强度允许范围内，宜采用较薄壁钻头。

参考文献

1 A. A. 布加耶夫，人造金刚石在地质勘探中的应用．地质出版社，1981.

2 按金刚石粒度排列的孕镶金刚石钻头（胡滨译）．国外探矿工程情报，1988(1).

3 Б. Н. 沃兹德维任斯基等．岩心钻探学．地质出版社，1985.

4 И. М. Гинзбург. 金刚石钻头磨损的研究．探矿工程译丛，1990(2).

（上接第 57 页）

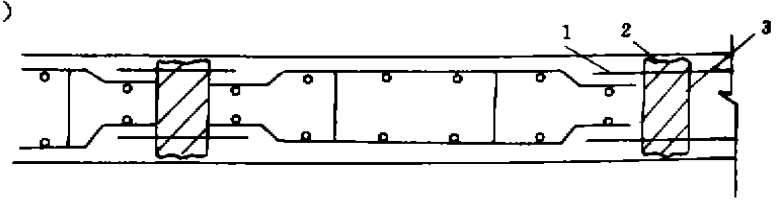

图 11 先做接头缝的形式

1—钢板；2—罩布；3—混凝土

这种施工方法的地下墙墙面光洁、墙体质量好、强度高，并可避免在现场制作钢筋笼及浇筑混凝土，也可免去废泥浆处理，对于狭窄施工场地特别有意义。

在撰写本文得到了我的硕士生导师长春地质学院勘察工程系郑培根教授的精心指导，在此致以衷心的感谢。

Study on Technigue of Jointing between Diaphragm Walls

Dai Guozhong

In this paper the current methods of jointing between diaphragm walls at home and abroad have been analyzed and discussed. jointing pipe、jointing box、seperating slab、overlaping hole and other structures of longitudinal joints between diaphragm walls were intreduced also.

Key words: diaphragm walls、longitudinal joints