

# 孕镶工具金刚石失效机理探讨

⑪

章兼植

T6639.07

31-35

(桂林矿产地质研究院, 桂林 541007)

**摘要:** 对于孕镶工具中金刚石的失效问题, 已有不少学者对其进行了探讨, 提出了一些机理假设。本文对这些假设进行了分析, 认为依据不足。作者对失效机理进行了新的思考和论述了金刚石失效与其吃入深度的关系, 提出了正常磨损具有与岩石单位体积破碎功同样的特征和早期失效是整体掉落和整体破裂这两种不同机理的集合。

**关键词:** 金刚石 失效 机理 正常磨损 早期失效 孕镶工具

## 一、传统的解释

对于孕镶工具中金刚石的失效问题, De Beers 公司的学者在多篇文章中进行过讨论。他们的观点较具代表性。图 1 是这些文献中示出的两种失效机理与工

具圆周线速度的关系。

文<sup>[1]</sup>对图 1 作了如下的解释: “当圆周线速度增大时, 每一个金刚石每次切削的深度降低, 因而金刚石上受力减小, 结果是只有少量颗粒在其能做有效的工作之前就被从胎体上拔去了, 即当圆周线速度增大时, 较少的完整颗粒掉落。而当圆周线速度增大时,

作者地址: 广西桂林市三里店  
收稿日期: 2000-09-18

户可以根据处理水量的大小选用不同的型号, 混浊的水经过这一系统处理之后, 满足了工艺要求, 也行使了环保的高标准。近几年来, 这种处理方式在国内的部分较大工厂也相继得到了应用。

很明显, 上述处理方式虽然效果不错, 但是初期投资较大, 因此, 不少工厂仍然采用简单的沉淀水池的方式进行处理。根据笔者的经验, 要用一般的水池来达到较好的效果可以考虑以下几点。

1、尽量减小沉淀水池内水的流速, 使水在池里的时间得以延长, 有利于液固分离。

2、采用多级沉淀, 也就是把多个水池串联起来, 让水从第一个水池溢出进入第二个水池, 以此类推, 水便依次逐渐变清。

3、水池入口处设立缓冲沉降井, 也就是不要让从生产线流回的水直接冲入大地, 而是在水池的入口处设置一个比回水槽截面颇大的一个间隔, 该间隔在水池底部开口, 其结构可参看图 3, 从示意图中可以看出, 含固体浓度很高的生产用水来到水池后不会

对整个水池造成冲击和新的搅拌, 因为其比重较井外的水要大, 隔离井的作用就是使之直接沉入水池底部, 而在缓慢上升的过程中, 水中的细粉较容易地得以分离沉淀。当水从一级沉淀池进入第二级时, 也可以采用同样的方法。工厂可据自身的生产能力, 循环水量的大小及自然条件设置水池的大小和分级的多少。

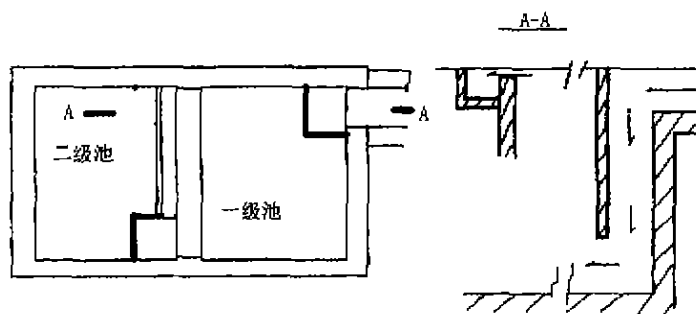


图 3 循环水池示意图

4、要及时地清除池底的污泥, 池底污泥的多少直接影响沉淀效果。

以上是本人的一些意见, 仅供同行们参考。

(注: 标题为本刊改动)

每一颗金刚石上承受到的冲击也增大, 导致颗粒的破碎和开裂, 由于在高圆周线速度时破碎了的金刚石颗粒趋于碎片, 这些碎片不久完全掉落而留下十分类似于整顶掉落那样的深坑。”该公司的另一位学者<sup>[2]</sup>:

“当锯片圆周线速度降低时, 非变形切屑横断面尺寸变大, 结果在每一颗金刚石上的机械载荷增大, 如果该载荷超过胎体保持金刚石的能力, 金刚石将掉落或破碎……, 当锯片圆周线速度增大超过最佳值时, 锯片磨损快速增大, 此处温度随圆周线速度的增大而升高是最起支配作用的因素。”还有其它的论述不再一一列举。

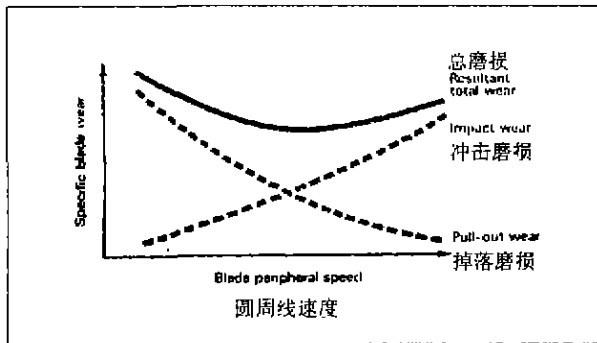


Fig1 The influence of peripheral speed on two types of blade wear

图 1

从上述二位学者的论述中可以看到, 对于“掉落”失效的机理有一致的观点, 并与金刚石的吃入深度关联起来了。而对于图 1 中的另一条曲线, 二位的观点有所不同, 一是机械应力(冲击)说, 一是热应力说。

表 1

人造金刚石粒度	加载方向	静压强度 GPa	动载强度 GPa
18/20	(100) [001]	3.5 ± 1.0	5.5 ± 0.9
20/25	(100) [001]	4.5 ± 1.7	5.9 ± 1.2
30/35	(100) [001]	6.5 ± 1.6	7.5 ± 1.5
40/45	(100) [001]	11.1 ± 1.1	11.1 ± 0.9
40/45	(100) [111]	10.1 ± 1.4	11.6 ± 1.2

## 二、对传统观点的分析

文献<sup>[3]</sup>介绍了金刚石的静、动载荷强度测试结果

对比于表 1, 其中动载的冲击速度为 15m/s。

由表 1 可见, 金刚石的动、静载强度基本一致。文<sup>[3]</sup>对此作了如下解释: “尽管应变速率差 10<sup>7</sup>, 而金刚石动载和静载强度的一致是因为金刚石的化学惰性好。与玻璃、陶瓷材料大不相同, 它们展示出应力腐蚀(大气疲劳), 在不同的加载时有十分不同的强度。”但也有试验表明, 金刚石动载强度要远低于静载强度<sup>[4]</sup>, 表 2 为 50/60 目金刚石的测试结果。

这些试验结果确实出现了矛盾, 但从金刚石的碎岩过程来看, 既然金刚石上受到了动载, 被切岩石上

表 2

静载 kg	2	4	6	10	12	14	16
动载 N	5.1	6.15	6.30	6.75	7.65	7.90	8.10

同样也受到了动载, 则金刚石的抗破碎强度若会下降, 岩石同样会下降, 因而肯定金刚石在碎岩过程中因加载速度的增高而易于(冲击)破碎的依据十分不足, 这也可能是 De Beers 公司另一位学者未用“机械应力”而用“热应力”来解释该失效的原因。

文献<sup>[5]</sup>对圆周线速度与温度的关系作了试验测试和计算。图 2 是锯片锯切深度、圆周速度、温度的关系。文中指出, 锯切深度与温度有特定的关系而圆周速度与温升无明显关系。并解释为: “在高的圆周速度时, 每个孕镶块每转的削岩量减少, 因而单颗金刚石的工作面积减少, 岩屑厚度也减少, 结果是工具上的载荷也降低, 因而温度不会升高, 但也没有降低, 这是由于高圆周速度时发现需要较大的回转能量, 这种较大能量的导入与切削过程的较低能耗相抵。”这就使得在同一锯切深度下, 圆周线速度变化一倍(从 8 米/秒到 16 米/秒)而温度几乎不变。这样的解释是否合理在此不加评论, 但温度未因圆周速度的变化而改变这一实验结果说明了金刚石上的温度(也即热应力)随圆周线速度的加大(这时金刚石上吃入深度相应减少)而升高的观点也是缺乏依据的。

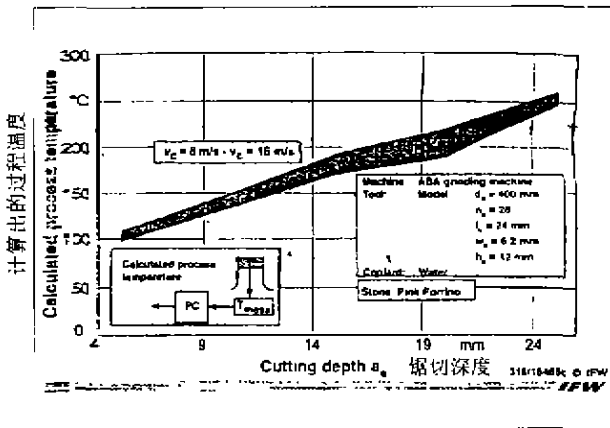


图 2

### 三、金刚石的失效机理

在探讨失效机理之前，首先要建立二个基本条件：

#### 1、关系图坐标系统的选定

传统的图 1 是表达磨损(失效)与圆周线速度间的关系，这未能抓住事物的本质。正确的选择应是失效与金刚石吃入深度的关系，实际上 De Beers 公司的学者在分析掉落磨损时已提到了吃入深度的关系，而对另一条磨损曲线，用圆周速度引起的冲击或热载荷的变化均不能作出合理的解释，也需要用吃入深度这一参数来作为关系确立的基础。

#### 2、金刚石颗粒许用工作高度的确定

孕镶工具中金刚石的失效包括二大部分，一是自然失效，一是工作失效。关于自然失效的理论和概念，作者已在文<sup>(6)</sup>中阐述，在此不再重复。本文要探讨的是工作失效，即金刚石颗粒许用工作高度这一部分失效的机理。图 3 示意了一颗金刚石许用工作高度的确定原理，可见，许用工作高度  $h_0 = D - KD - H$ ，其中 K 为金刚石在胎体中的最少植入高度系数，H 为正常工作间隙值。该颗金刚石开始参与切削工作即刚与岩石接触时，其在胎体中的植入高度为  $KD + h_0$ ，随着金刚石的不断磨损，胎体也同步磨损以保持 H 不变，则金刚石在胎体中的植入高度从  $KD + h_0$  逐步减

少至 KD，这时金刚石自然失效。所以金刚石的可用工作高度  $h_0$  仅为其直径的一小部分。

金刚石颗粒工作失效又可以分为正常磨损和早期失效两种型式。

#### (1)、正常磨损机理探讨

从宏观上看，金刚石的正常磨损是一个连续的逐步失去其许用工作高度的过程，该型失效的特征曲线示意于图 4。在  $T_{tc}$  之前，随着金刚石吃入深度的增大，金刚石的磨损率减少，从表观上看，图 4 中的这段曲线与图 1 中的冲击磨损曲线有相同的特征。这是因为圆周速度的降低也意味着吃入深度的增加。如何来解释这一种特征呢？金刚石与岩石这一对“摩擦付”中金刚石被比它硬度低得多的岩石磨损可由变形——裂纹机制来解释。尽管金刚石在常规的机械实验时是典型的脆性材料，但在磨损时都会发生磨损表层的塑性变形。这种材料表面的磨损过程是塑性变形的积累；裂纹的成核；裂纹的扩展<sup>(7)</sup>。很显然，在切割岩石的同时，金刚石本身发生的塑性变形的积累程度

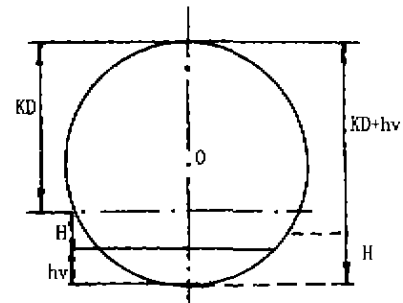


图 3

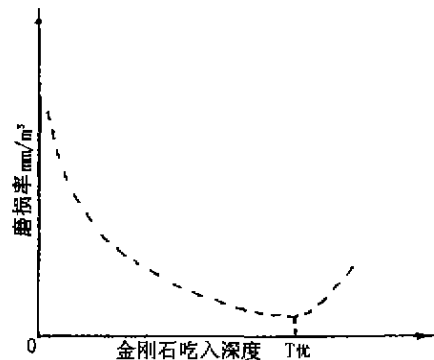


图 4

是与岩石破碎功的累加相应的。因而，金刚石在破碎单位体积岩石期间的磨损量应与被切割岩石的单位体积破碎功相关。作者在文<sup>[3]</sup>中介绍过单位体积碎岩功(比功耗)的概念。随着吃入深度的增加，破碎单位体积岩石时由金刚石付出(传递)的比功耗将降低，达一定程度后又将上升。这也是金刚石磨损率先降后升的机理所在。因而比功耗曲线与磨损率曲线具有同样的特征。

(2)、早期失效机理探讨

金刚石的早期失效有两种型式，一是金刚石在自然失效之前就发生整体掉落，二是金刚石在自然失效之前就发生整体破裂。产生第一种早期失效是由于金刚石颗粒上受的力已超过了胎体的“包镶能力”。第二种早期失效是金刚石颗粒上受的力已超过了金刚石的破碎强度，发生整体破裂。整体掉落和整体破裂这两种不同机理所导致的失效曲线特征是不一样的。

由于我们用于工具中的金刚石，即使是同一粒度同一品质的，其“强度”组成如图5所示，不是每颗均一样的。作者在文<sup>[3]</sup>中分析过工作金刚石与岩石的接触(切削)线是从0到 $L_{max}$ 随机排布的，在一个排列周期中，接触线为0的金刚石受载最小，接触线为 $L_{max}$ 的金刚石受载最大。假若每颗金刚石的承载能力均一样，则当金刚石的吃入深度增大时，超过某一载荷的金刚石数大致比例地增多，即可认为超载而破裂的金刚石量将比例地增加，这将使W相对于T呈一条水平线，但当吃入深度达到某一值时，几乎所有的工作金刚石均会破裂而使W值直线上升。图6的实线示意了这一特征。实际上，由于金刚石的“强度”呈图5所示的分布特征，因而当金刚石吃入深度T增

大时，金刚石整体破裂失效也将按这样的特征来变化，图6中的虚线示意了对应的“实际”曲线。整体掉落失效也是呈图6实线所示的特征，这是因为胎体对金刚石的“包镶”能力应看作是处处一致的，因而随着金刚石吃入深度的增加，整体掉落金刚石的量与被切除岩石量为同比例增长，W值呈水平线，当吃入深度达到某一值时，几乎全部金刚石均掉落而使W直线上升。把图6中各实线的标注更改一下，低强改为弱包镶，中强改为中等包镶，高强改为强包镶，则就是整体掉落的特征线。

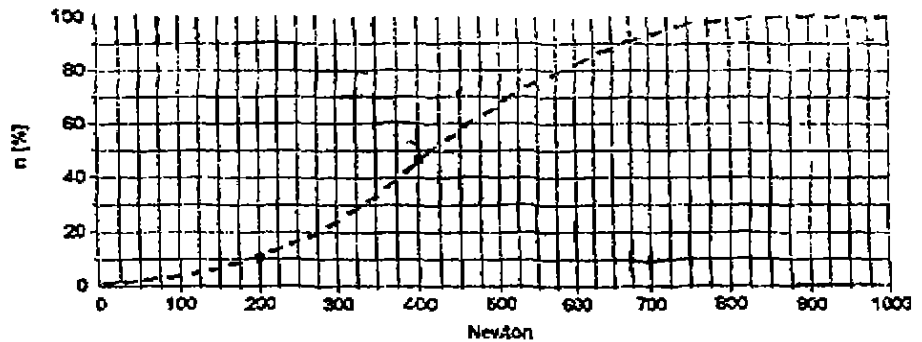


图5

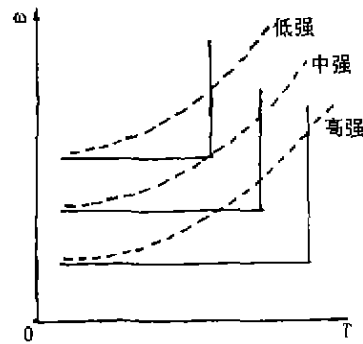


图6

金刚石早期失效是整体掉落和整体破裂的集合，图7示意了某一工具的金刚石早期失效特征曲线：由添加短斜线的三线段组成。

当该工具工作于金刚石的吃入深度为 $T_1$ 工况下，若想入进工具性能，则应提高包镶能力，使整体掉落的水平线降低至低于点1，而采用提高金刚石“强度”使整体破裂曲线向下位移的措施是无效的。若在

$T_2$  的工况下, 则应提高金刚石的“强度”, 使整体破裂曲线降至 2 点以下。由此可见, 我们在研究金刚石的早期失效时, 不仅要关心其失效的最终特征曲线, 而且要注意整体破裂和整体掉落这两种不同失效曲线之间的相对关系。在实践中, 往往会发生提高“包镶”能力后, 例如采用了金刚石表面金属化技术, 并没有显示出效果, 究其原因, 是在该工具的工况下, 整体掉落线上相应的交点已低于整体破裂线上相应的交点, 因而“包镶”能力的再提高对于早期失效已无作用了。这时应该采取的措施是提高金刚石的“强度”而不是改善“包镶”。

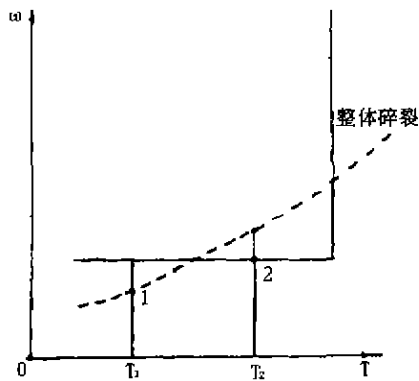


图 7

### (3)、金刚石工作失效曲线的特征

金刚石的工作失效是正常磨损和早期失效之和, 图 8 示意了这一原理。从图可知, 存在着一个最佳吃入深度  $T_0$ , 作者在文<sup>(6)</sup>中曾分析过, 一般工况下, 工具的功耗(锋利度)曲线具有与单位体积岩石破碎功有同样的特征, 也即与正常磨损曲线有同样的特征。所以由图也可以看出, 在  $T_0$  的左边工况条件下, 随着吃入深度的增大, 工具寿命增长, 功耗下降, 而当超过  $T_0$  时, 也会出现寿命降低, 功耗反而升高的结果。

研究金刚石的失效是把握工具寿命和降低工具成本的基础, 本文所述主要是在定性上对失效机理作了探讨, 也提出了一些实现定量的依据, 望能起到抛砖

引玉的作用, 激起同行们对这一重要问题的思考和讨论。

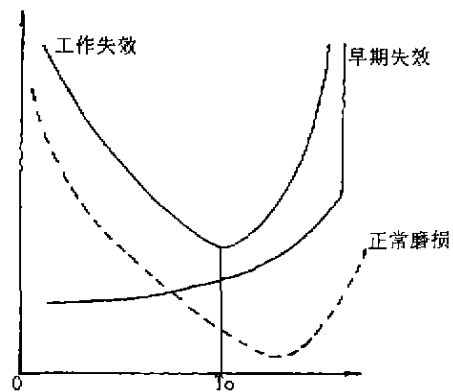


图 8

### 参考资料

- (1) . M. W. BAILEY 等, 《IDR》1978. 1 P10
- (2) . D. M. Busch 等, 《DIAMOND INFORMATION L30》P3 - 4
- (3) . Z. FENG 等, 《IDR》1983(3). P105 - 107
- (4) . 张祖培等, 《金刚石与磨料磨具工程》99(1). P15
- (5) . J. Asche, 《IDR》1999(2). P119
- (6) . 章兼植, 《中国超硬材料》1999(3). P18
- (7) . 孙家枢, 《金属的磨损》1992. P190 - 191
- (8) . 章兼植, 《第八届全国超硬材料与制品研讨会论文集》2000(3)P99

## 《建筑材料放射卫生防护标准》简介

由中华人民共和国卫生部提出, 辽宁省放射卫生防护所起草, 卫生部工业卫生实验所负责解释的《建筑材料放射卫生防护标准》(GB6566—2000) 已于 2000 年 6 月 1 日起实施, 原标准 GB6566—1986 同时作废。该标准也将建筑材料分为三类, 分别控制使用:

$$A \text{ 类: (内) } M_{Ra} = \frac{S_{Ra}}{200} \leq 1.0, \text{ (外) } M_{\gamma} = \frac{S_{Ra}}{370} + \frac{S_{Th}}{260} + \frac{S_K}{4000} \leq 1.0, \text{ 建筑材料使用不受限制;}$$

B 类:  $M_{\gamma} \leq 2.0$ , 限制销售和使用;

C 类:  $M_{\gamma} > 2.0$ , 只可用于路基, 涵洞, 桥、水坝等建筑物。

有购买该标准的, 请与石材杂志社读者服务部联系。地址、电话同石材杂志社。每本 6 元。邮购须加 15% 邮资。

(侯建华)