

金刚石钻进及其试验

研究译文集

(二)

0236

地质出版社

金刚石钻进及其试验研究译文集

(二)

屠厚泽 汤风林 等译

朱定宇 屠厚泽 等校

地 质 出 版 社

前 言

金刚石钻进及其试验研究译文集(二)收集了英、美、奥、荷兰、南非、苏联等有关金刚石钻进理论和钻进工艺方面的文章20余篇。

本译文集除收集了金刚石钻进的基本理论问题和钻进规程工艺、孕银金刚石的粘结参数外,还广泛的收集了金刚石钻进各个特殊领域的工艺问题:如裂隙地层金刚石钻进工艺、金刚石定向钻进、冲击一回转金刚石钻进工艺、金刚石钻进的防震、金刚石钻进的保安规程等。此外还着重收集了金刚石制品的新成就—复合体的机械物理性能、复合体加工岩石的工艺等。内容比较广泛和丰富。

本译文集(一)(七)(十三)(十九)由屠厚泽、(二)(六)(十)(十七)(廿)由汤风林(四)(八)(十一)(十五)(十八)(廿一)由李晓、(三)(十六)由刘士迈、(五)由杨学涵、(九)由张德俊、(十二)由隋宗俊、(十四)由周培健翻译。本译文集(五)(六)(九)(十六)篇由朱定宇同志审校、(一)(二)(七)(十三)(十九)篇由李晓同志审校外,其余均由屠厚泽同志审校。

本译文集可供从事金刚石钻进和金刚石钻头制造、钻探保安等方面教学、科研和现场科技人员参考。

金刚石钻进及其试验研究译文集

(二)

屠厚泽 汤风林 等译
朱定宇 屠厚泽 等校

*

地质部书刊编辑室编辑
责任编辑 励美恒
地质出版社出版
(北京西四)
地质印刷厂印刷
(北京安德路47号)

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

*

开本: 787×1092¹/₁₆ 印张: 7¹/₂ 字数: 172,000
1981年11月北京第一版·1981年11月北京第一次印刷
印数1—1,620册·定价1.20元
统一书号: 15038·新700

目 录

一、金刚石钻进的理论分析·····	1
二、孔底条件下金刚石钻头的热平衡·····	10
三、金刚石钻头冷却表面的几何特征对钻进时钻头热状态影响的 研究·····	13
四、复合体的机械和物理性能·····	17
五、裂隙性岩层金刚石钻进的技术和工艺·····	25
六、金刚石钻进的防振手段·····	42
七、金刚石的主要机械性质·····	46
八、超室温时金刚石复合体的热传导率·····	54
九、论金刚石钻进时回转功率的消耗·····	57
十、借助水力冲击器进行快速金刚石钻进·····	61
十一、孕镶金刚石制品用的金属粘结剂技术参数的分析·····	65
十二、选择和调整金刚石钻进规程参数的新资料·····	70
十三、受载金刚石钻头磨损的分析式·····	76
十四、金刚石钻头的新成就·····	81
十五、金刚石定向钻进的前景·····	86
十六、冲击一回转钻进使用金刚石钻头时机械钻速与冲击功之间的 关系·····	92
十七、使用镶有人造金刚石和超硬材料斯拉乌季奇的钻头·····	95
十八、复合体应用于岩石加工·····	98
十九、金刚石钻进保安规程·····	106
廿、新型乳化液和防震润滑脂·····	109
廿一、金刚石钻头性能的模式分析·····	112

金刚石钻进的理论分析

D.S. 罗来 (D.S. Rowley) H.C. 布赖德威尔 (H.C. Bridwell)

一、与钻进有关的岩石机械物理性质

最近几年来对岩石力学的研究有了发展,出现了许多种论述岩石变形和破碎的刊物,特别值得注意的是由R.O.布镜照 (Breolthauer) 所作的“岩样在静水压力下的强度特性”和P.F.格尼尔克 (Gnirk) 等所作的“在围岩压力由0—5000磅/英寸²单齿切入干燥岩石的实验研究”

岩石在单向拉伸时,抗拉能力很小。在单向压缩时,所表现的强度只是中等。拉伸破碎和压缩破碎通常都具有脆性破碎的性质,这就是说在单向载荷作用下岩石在破碎以前几乎看不出有任何的塑性流动和塑性形变,因此在单向载荷作用下岩石破碎发生以前近似弹性材料。

岩石在三向载荷作用下,其性质发生根本性的变化,随着围压的增大,塑性增加,在围压增大到一定值后便产生塑性破碎。

格尔尼克等用尖棱压模实验研究表明当围岩压力由500—700磅/英寸²印第安那 (Indiana) 灰岩转变为塑性,围压由750—1200磅/英寸²卡扎吉 (Carthage) 大理石转变为塑性,其他岩石的转变压力范围如下:比瑞阿 (Berea) 砂岩2500—500磅/英寸²;渥近尼阿 (Uirginia) 绿岩2500—3000磅/英寸²;顿拜 (Danby) 大理石2500—500磅/英寸²;哈斯玛柯 (Hasmark) 白云岩在5000磅/英寸²以上。

从以上的数值和其他文献看到的数据可以看出很多岩石在较低的围岩压力下都出现塑性状态。

在三向载荷作用下岩石的破碎,可以认为如果不是完全的断裂,就是宏观的塑性流动,所以岩石的一般破碎特性就可用早已熟悉的莫尔圆的包络线来描述,但这并不是说已经是一个完善的破碎准则了,因为在这过程中忽略了中间的主应力的影响,但对大多数工程上的要求还是能满足的。

在目前的研究工作中,对切削破碎岩石而言,还是以莫尔圆的包络线为基础的。

莫尔圆的包络线通常是由三向载荷试验的数据画出的,为了分析的方便通常用方程式表示,近似的方程式有的建议用抛物线方程,有的建议用指数方程,在本文采用的是指数方程,下面是几种岩石的莫尔圆的包络线和适当的参数。

从上面的莫尔圆包络线可以看出:不同的岩石有不同的莫尔圆包络线,强度大的岩石如胶结致密的砂岩有较宽的发散的包络线,软岩石如大多数页岩其包络线则较平缓。

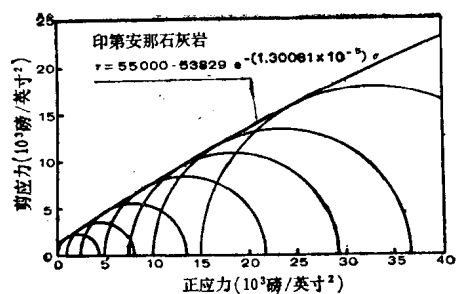


图1 印第安那石灰岩近似的莫尔圆包络线

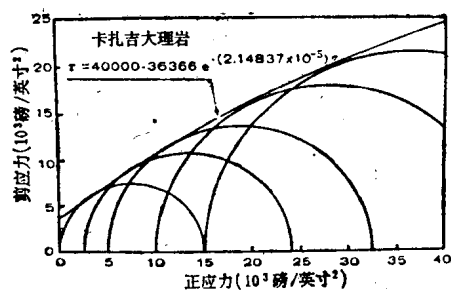


图2 卡扎吉大理岩近似的莫尔圆包络线

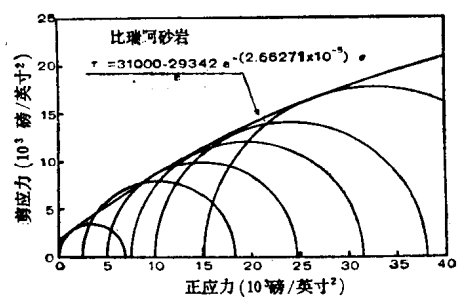


图3 比瑞阿砂岩近似的莫尔圆包络线

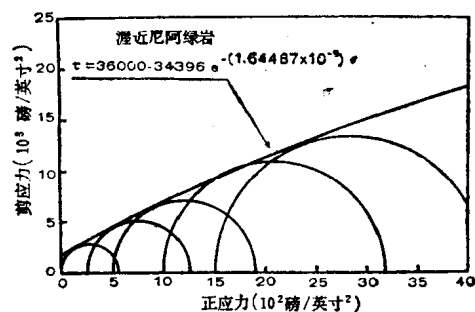


图4 渥近尼阿绿岩近似的莫尔圆包络线

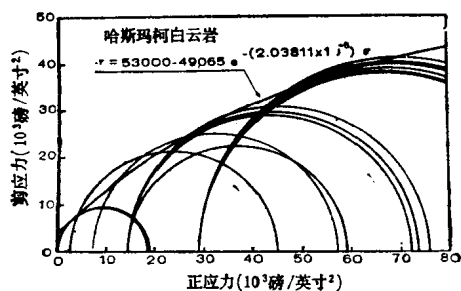


图5 哈斯玛柯白云岩近似的莫尔圆包络线

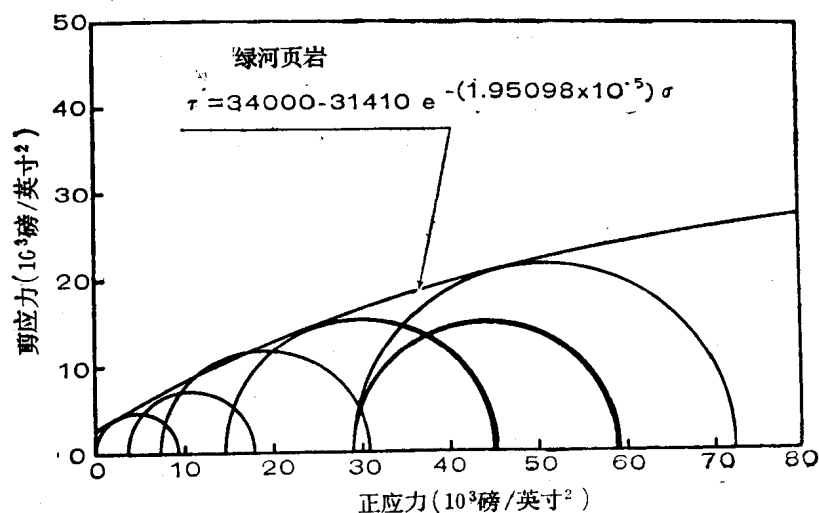


图6 绿河页岩近似的莫尔圆包络线

用符号 α 表示岩石的内摩擦角，内摩擦角是岩石性质的一种，用以度量莫尔圆包络角的发散度，强度大的典型岩石其内摩擦角可达到 50° ，亦就是莫尔圆包络线的包角可达到 100° 。对相对软一些的岩石内摩擦角为 30° ，莫尔圆的包络线包角为 60° 。表1例出某些岩石的内摩擦角。

某些岩石的性质

表1

岩石名称	无围岩压力抗压强度磅/英寸 ²	内摩擦角度
涅夫卡角灰岩	16100	40.5
顿拜大理岩	11000	40.5
哈斯玛柯白云岩	19000	45.0
D-1白云岩	24200	49.0
巴恩斯砂岩	5690	35.0
油希腊砂岩	14200	50.0
绿河页岩	9250	31.5,
芮皮托泥砂岩	8500	28.0
渥尔尼阿绿岩	5500	29.5
石英	340000	21.0

二、金刚石破碎岩石的机理

金刚石钻进时岩石破碎过程还有一些地方不很清楚，有些研究者认为有两种破碎机理。第一种，金刚石在被破碎的岩石表面滑移，压入一定深度，使其岩石表面产生轻微的塑性屈服，在金刚石移动过的岩石表面由于弹性恢复便产生岩屑，在这种过程下将岩屑的形成和破碎形式连系起来看是脆性的拉伸破碎

南非的约翰内斯堡，费特瓦特斯兰得大学H.H.斯科罗荪(H.H.Schlosion)教授持有和上述相同的观点，认为最大的拉应力出现在移动的金金刚石后面的一个距离内，由此而产生一个变形的环形状的拉伸裂隙(变形是由于金刚石移动时所产生的切向应力而造成的)。H.H.斯科罗荪教授还作了一些实验，用单粒金刚石在石英晶体上滑移，确实证实了这种裂隙的发生，但遗憾的是石英比大多数岩石强度都要大好多倍，因此斯科罗荪认为作用在单颗金刚石刀尖上的载荷不足以产生一定数量的岩屑，还是需要用金刚石工具进行典型切削，这种实验可能是滑动摩擦比切削更典型一些。

第二种破碎机理是犁入作用，在这种情况下随着金刚石移动岩屑被推到金刚石前面或者两侧，这种破碎类型是被剪切，可能是脆性或者是塑性破碎。

上述破碎机理是可能的，但更合理的是在某些情况下两种破碎机理同时发生，主要的问题是那一种机理为主使岩体产生岩屑

另一研究者所作的实验工作，帮助澄清了一些问题，用粒度为每克拉三粒的金刚石、作单粒金刚石破碎机理的实验，实验的岩石为印第安那石灰岩和赛门纳里页岩，也用 $\frac{1}{8}$ 英寸的球形硬合金作了实验。

实验表明金刚石和岩石之间轴载大于极限值时，在岩石面上形成凹槽，当无侧压时(即从0到很低值)出现了较大的岩屑，即表示出现脆性破碎。在大的侧压下没有什么岩

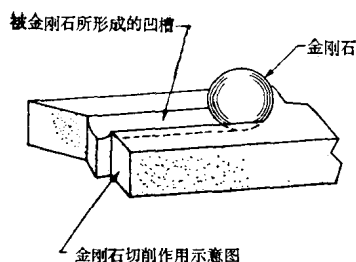


图7 金刚石切削作用示意图

屑出现，而且凹槽是光滑的，且和金刚石的外形相吻合，在所有极限载荷的情况下，在凹槽的底部都存在着一定数量的细的被压实的粉状岩屑，这确实证明凹槽是由于犁入作用而形成的，由于拉伸而造成的脆性破碎不会产生这种状态的岩石表面，这种实验进一步说明了在金刚石切削时，脆性破碎和塑性破碎都可能发生，如果侧压相当大则完全转入塑性破碎。

由于金刚石的磨损是影响钻头寿命的主要因素，因此所研究的理论已延伸到与金刚石磨损率有关的已磨损的金刚石切削性能的研究。这就有可能在理论上预测金刚石在整个使用寿命中的切削特性。

主要的切削理论已应用于金刚石钻头和金刚石磨削工具上，金刚石磨损理论也已用于磨削工具方面，在这两方面，理论上的结果与实验结果相吻合。

(一) 单粒金刚石的切削作用

目前用于表银钻头的金刚石形状并没有统一的要求，通常是采用其自然状态的浑圆形，为了便于分析假定金刚石是半径为 a 的球形，

在金刚石切削工作时，其运动轨迹在某种程度上是曲线形的，但金刚石的粒度与整个半径相比也是很小，因此将金刚石切削轨迹的曲率忽略不计是合理的。

所以研究单粒金刚石切削作用时，可以看作金刚石是在半无限体平面上即岩石平面上作直线运动。

在分析单粒金刚石切削作用时，需要研究切削时所要求的力的大小和方向，和金刚石能切掉岩屑的数量。

在研究单粒金刚石切削时，自然会想到利用金属切削领域中的理论和实验工作，大多数金属切削和磨削都是以塑性剪切方式出现的，理论处理和实验结果相当的吻合，但是大多数金属在侧压力下抗剪强度并不增加或者增加甚微，这种效应在理论处理中并没有考虑，因而对非金属材料如岩石的剪切就不大适用。

面临的问题与过去用尖棱形压模压入岩石研究更密切一些。作一些简化的假定，用二维尖棱模压入岩石的分析过程得到了顺利地进展和应用。

在这项实验中认为岩石的性质在宏观流变条件下可以用理想的刚塑性体(库伦材料)来表示。虽然岩石具有一定的弹性和一定程度的可压缩性，但在宏观的流变情况下，这些特性是不重要的，当切削作用具有连续性质或者即连续又是周期性循环就更符合了。当发生大的滑移和流变时，弹性应力可以忽略不计。

将岩石的性质假定为均质的和各向同性并不是不合适的，虽然岩石性质变化是多样化的。另一个假定就与岩石破碎性质有关，库伦材料(刚塑性体)就不是按莫尔圆的包络线为准则了，因为莫尔圆包络线是曲线，而刚塑性体的库伦材料其破碎时包络线便限制成为直线状态，但是由于在计算莫尔圆的包络线数学上的困难，在实际分析也可以使用简化的库伦材料破碎准则，目前已有可能用直线来近似计算莫尔圆的包络线。

(二) 金刚石切削表面上的应力分布

在假定所切削的岩性可以用理想的刚塑性库伦材料来模拟，就可以分析金刚石切削表面上的应力分布。利用一些研究者所作过的工作可以得出在两维的圆形压模滑动线场。圆

形压模是沿着半无限体的岩面切向滑动。这个滑动线场和“作用区”与内摩擦的库伦角有关，如果压模与岩石的表面摩擦力不计，当 $\alpha = 30^\circ$ ，滑动线场如图 8 所示。

这场与用圆压模在正常钻进时所得到的滑移线场的一半相吻合，产生在压模和岩石间的应力 $\sigma(\theta)$ 如图 9 所示。

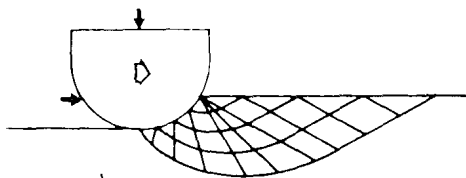


图 8 滑动线场

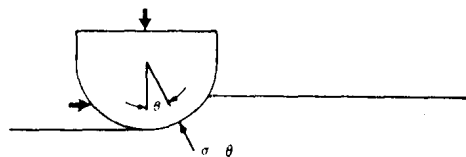


图 9 压模上的正应力

正应力的值用下式表示：

$$\sigma(\theta) = \frac{\hat{\sigma}_0}{\sin \alpha} \left[(1 + \sin \alpha) e^{2(\pi/2 - \theta) \tan \alpha} - (1 - \sin \alpha) \right]$$

此处 $\hat{\sigma}_0$ 是有效强度或者是原地的岩石抗压强度。

岩石的有效强度与无侧压强度的关系如下式所表示：

$$\hat{\sigma}_0 = \sigma_0 + 2\sigma_c \left[\frac{\sin \alpha}{1 - \sin \alpha} \right]$$

式中： α ——有效的内摩擦角或者岩层的内摩擦库伦角。

σ_c ——侧压

和金刚石切削相连系的滑移场是三维的，但直接堆积在金刚石前面的岩屑在很大程度上受到两边岩屑的限制，所以在实际应用时，在滑移区可以看成产生的是平面应力，这个平面是通过金刚石的中心与切削法向平行，垂直于被切削工件的表面，实际上如果忽略摩擦，滑动线场在金刚石的正前方和以前所讨论过的两维的压模状态相似。

参考图 9、图 10 的座标系统正应力和金刚石切削面上的正应力 $\sigma(\theta, \phi)$ 可由下公式给出

$$\sigma(\theta, \phi) = \hat{\sigma}_0 (A_1 e^{\beta(\pi - 2\theta)} - A_2)$$

式中： $A_1 = (1 + \sin \alpha) / (2 \sin \alpha)$

$$A_2 = (1 - \sin \alpha) / (2 \sin \alpha) \quad \beta = \tan \alpha$$

上式并没有考虑金刚石和岩石之间滑动摩擦，因为切削面上的摩擦应力对正应力的分

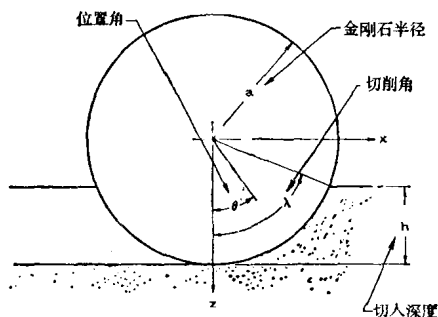


图 10 金刚石切削作用的座标系

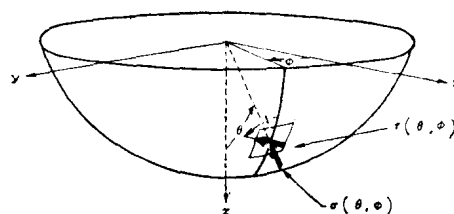


图 11 金刚石切削表面上的正应力和剪应力

布影响很小，因此将摩擦或剪应力略去不计可以得出正应力的分布，主要由正应力控制的剪应力可以叠加起来。

现在可以清楚了正应力在靠近金刚石侧边时不存在了，假定正应力在 $\phi = \pm \pi/2$ 时消失，则正应力在两侧都和 ϕ 成线形关系，正应力的分配变成

$$\sigma(\theta, \phi) = \hat{\sigma}_2 \left[1 - \left| \frac{2\phi}{\pi} \right| \right] \left[A_1 e^{\beta(\pi - 2\theta)} - A_2 \right]$$

应力分布的模型见图12

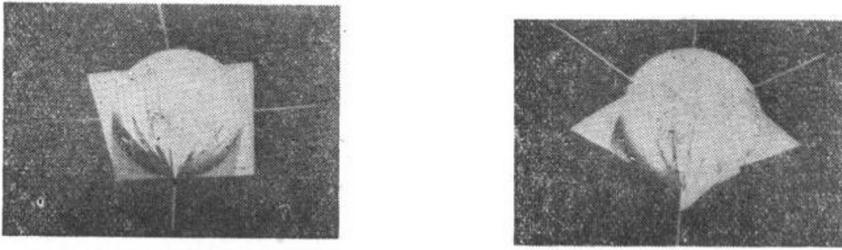


图12 在金刚石剪切表面正应力的分布：右图主应力面正对视线；左图主应力面沿着运动方向

为了便于分析将正应力用向量来表示。i j k 代表在 x y z 方向的单位向量，法线方向单位向量 $\vec{n}$ 用下式表示之。

$$\vec{n} = -(i \sin\theta \cos\phi + j \sin\theta \sin\phi + k \cos\theta)$$

在金刚石切线面上的法线应力向量变为

$$\sigma(\theta, \phi) = \sigma(\theta, \phi) \vec{n}$$

$$\sigma(\theta, \phi) = -\sigma(\theta, \phi) (i \sin\theta \cos\phi + j \sin\theta \sin\phi + k \cos\theta)$$

有意思的是最大的正应力发生在金刚石切削表面底部的位置 $\theta = 0$ 其值

$$\sigma_{\max} = \sigma_0 (A_1 e^{\pi\beta} - A_2)$$

在确定金刚石切削表面上的切应力 (θ, ϕ) 时，假定切应力的大小正比于正应力 $\sigma(\theta, \phi)$ ，并且剪应力方向是岩屑相对于金刚石切削表面运动的方向，令 μ 表示金刚石和岩石的滑动摩擦。

$$\tau(\theta, \phi) = \mu \sigma(\theta, \phi)$$

由于岩屑流向的真正模式并不知道，必须作一些假设，在金刚石的切削尾刃 ($\phi = \pm \pi/2$) 处，岩石是对其作相对的向后运动。在金刚石切削前刃岩石有向上运动的速度分量，在尾刃和前刃之间，这种岩石运动方向的过渡应当是平滑的。

首先假定在前刃上岩屑的运动方向是完全向上的，角度的变化是与成线性的，这个假设当然是有些过份了，靠近切削表面的底部假定有较大的向前运动的分量，这种情况如果将摩擦考虑在内的钻头扭矩，比将摩擦忽略不计要低。这是不现实的，并作了修正，现在认为岩屑在主切削刃上的运动既有向上的又有水平的，对后刃则有一个线性变化，用角度 λ 表示剪应力的方向如图11所示，关系式整理如下：

$$\lambda = m\phi + \Omega \quad \text{当 } 0 \leq \phi$$

$$\lambda = m\phi - \Omega \quad \text{当} \phi \leq 0$$

式中:

$$m = (2c)/(\pi)$$

$$\Omega = (\pi)/(2) - c$$

在主刃 ($\phi = 0$), $\lambda = \pm (\pi)/(2) - c$, 为了便于计算, 已假定 A 值 $C = 10^\circ$ 而且找出了金刚石切削工具特性的现实的结果。

为了确定在金刚石切削表面上切应力的向量 $\tau(\theta, \phi)$, 为了方便将这个向量作为水平分量 $\tau_n(\theta, \phi)$ 和垂直分量 $\tau_v(\theta, \phi)$ 的总和, 剪应力方向如图11所表示, 转换成分量得

$$\tau(\theta, \phi) = \tau_n(\theta, \phi) + \tau_v(\theta, \phi)$$

通过几何作图和采用单位向量 i 、 j 、 k 分量可表为

$$\tau_n(\theta, \phi) = \tau_n(\theta, \phi)(-i \sin \phi + j \cos \phi)$$

$$\tau_v(\theta, \phi) = \tau_v(\theta, \phi)(i \cos \theta \cos \phi + j \cos \theta \sin \phi - k \sin \theta)$$

与剪应力向量有关的分量值:

$$\tau_v(\theta, \phi) = \cos \lambda \tau(\theta, \phi)$$

$$\tau_h(\theta, \phi) = \sin \lambda \tau(\theta, \phi)$$

根据前述方程式 $\tau(\theta, \phi)$ 又能表示为

$$\tau_v(\theta, \phi) = \mu \cos \lambda \sigma(\theta, \phi)$$

$$\tau_h(\theta, \phi) = \mu \sin \lambda \sigma(\theta, \phi)$$

通过将方程式的置换得到剪切应力分量的最后关系式

$$\tau_v(\theta, \phi) = \mu \cos \lambda (i \cos \theta \cos \phi + j \cos \theta \sin \phi - k \sin \theta) \sigma(\theta, \phi)$$

$$\tau_h(\theta, \phi) = \mu \sin \lambda (-i \sin \phi + j \cos \phi) \sigma(\theta, \phi)$$

通过方程式置换剪应力向量 $\tau(\theta, \phi)$ 如下式:

$$\begin{aligned} \tau(\theta, \phi) = \mu \sigma(\theta, \phi) [& i(\cos \theta \cos \phi \cos \lambda - \sin \phi \sin \lambda) \\ & + j(\cos \theta \sin \phi \cos \lambda + \cos \phi \sin \lambda) - k(\sin \theta \cos \lambda)] \end{aligned}$$

(三) 金刚石切掉岩石的量

金刚石每运动单位长度所切掉的岩石数量取决于由于金刚石移动而产生的滑动区内岩石的性质。在克划玻璃时发现, 在某些条件下可以形成连续的玻璃切屑, 这并不以为奇, 因为现在的理论证明了在破坏区域内存在十分高的应力, 在这些高应力下玻璃实际上完全是塑性的, 在足够大的侧压下页岩也是塑性的, 在这种条件下切槽的断面将和金刚石的横截面完全一致。

也有相反的报告, 在切削某些材料时有脆性性质出现, 尤其是在侧压不大时, 当有脆性时切槽就不规则, 其断面就比金刚石的断面要大。

这就证明在任何情况下被金刚石单位长度行程所切掉的体积 V_c 将等于或略大于金刚石表面积所走的单位长度的体积 V_d , 所以 V_c/V_d 将等于或大于 1, 随着岩石塑性增加比值减小, 脆性增大比值增加。

由于已假定金刚石是半径为 a 的球形, 被金刚石投影表面所切掉的体积可用几何关系确立起来, 当切深为 h 时 (相应角为 λ 见图10) 可得出下列关系式

$$V_d = (a^2/2)(2\lambda - \sin 2\lambda)$$

被金刚石切掉的体积可以写成

$$V_c = (V_c/V_d)(a^2/2)(2\lambda - \sin 2\lambda)$$

由于缺乏准确的 (V_c/V_d) 之值,在现在分析情况下,认为 $(V_c/V_d) = 1.1$,可能对脆性材料而言这个值是有些小,应当指出的是:当金刚石连续切削,被切削工件表面处于压缩状态,不可能出现大的切屑,这就促使 V_c/V_d 将趋近于1。

(四) 磨钝金刚石的切削理论分析

在金刚石切削时其磨钝的宏观状态主要是切削顶部磨成平面,如果切削具过份地过载或磨损过渡,金刚石可能产生损坏,有时希望产生局部破碎,以减小平面面积使切削具锐化。

使金刚石磨平的机理还不完全清楚,目前所研究的金刚石磨损相信包括了力学机理,也可能有化学的和热力学的机理使金刚石磨损。无疑的,当超过极限温度时,由于炭化金刚石磨损急剧上升,在实际上金刚石是烧毁,很快地缩短钻头寿命,因而研究钻进过程中金刚石的温度是非常需要的。

(五) 磨钝的金刚石表面应力的分布

分析磨钝金刚石切削作用的座标系统如图13所示,其有效切入深度是 h_w 。在考虑切削应力时,确信前刃的表面上的应力和未磨损时的相同,最大的正应力发生在 $\theta = \lambda_w$ 。

$$\sigma_{max} = \sigma_0 (A_1 e^{(\beta\pi - \lambda_w)} - A_2)$$

平面部位的应力分布不是马上能算出来的,无疑的当 $\theta = \lambda_w$ 时在切削表面上应力和速度都是特殊的,根据在金属切削中磨损的工具中应力分布得出的在金刚石磨平部位的应力是很大的,遗憾的是这种应力的性态还不能确定

在钻进过程中磨损平面事实上是逐渐发展的,所以可以认为金刚石和被加工工件之间的全部接触面积上的应力是均布的,如果不是这种情况,由于磨损速率将随着应力改变而变化,磨损部份将是曲面(可以认为运动速度沿整个磨损面是均匀的,剪应力与正应力成比例的),而且由于被加工工件在靠近金刚石的磨损面不可能发生塑变和屈服,其结论应力只能是在极限莫尔圆包络线之内。

产生在加工工件表面上的沿着切削方向和与这方向相平行面上的应力是很小的,在靠近磨损面的后缘甚至是负值。紧靠在单刃金刚石前缘后边的切向应力应更高一些,以构成沿磨损面的切剪应力,但由于这些值相对的小没有什么更大的意义,这些观察证实了这些假说,即应力沿整个金刚石磨损面是均匀的,事实上说明了最小的主应力是零,而且指明了在磨损面上的正应力 σ_w 是近似的等于在岩石原位置的压缩强度,因此可以认为

$$\sigma_w = \sigma_0$$

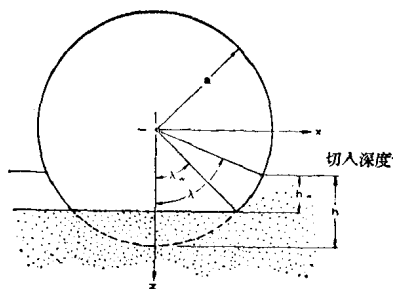


图13 磨钝金刚石切削的座标系统

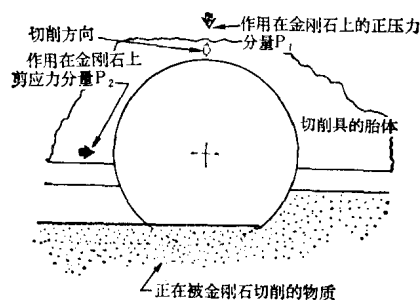


图14 作用在磨损了的金刚石上的力

(六) 磨钝金刚石切削时所需的力

为了确定用磨钝金刚石切削时所需的力,最方便的是考虑如图14所示的法向和切向应

力分量, 如果对未磨损的金刚石而言、由于在前缘切削表面上的正应力和前缘切削表面上的剪应力, 更需要将法向应力和切向应力进一步区分开, 此外由于在磨损平面处 P_{1w} 和 P_{2w} 分量合力可以写成下式。

$$P_1 = P_{1N} + P_{1S} + P_{1W}$$

$$P_2 = P_{2N} + P_{2S} + P_{2W}$$

$$P_{1N} = \int \int_A \cos\theta \sigma(\theta, \phi) dA$$

$$P_{2N} = \int \int_A \sin\theta \cos\phi \sigma(\theta, \phi) dA$$

$$P_{1S} = \mu \int \int_A \sin\theta \cos\lambda \sigma(\theta, \phi) dA$$

$$P_{2S} = \mu \int \int_A (\sin\phi \sin\lambda - \cos\theta \cos\phi \cos\lambda) \sigma(\theta, \phi) dA$$

上述式子只要切削面积 A 在积分限 $\phi = -\pi/2$ 到 $\phi = \pi/2$ 和 $\theta = \lambda_w$ 到 $\theta = \lambda$ 之内全是准确的。

因为假定分布在金刚石磨损面上的应力分布是均匀的, 切削力分量 P_{1w} 和 P_{2w} 可立即写成下式:

$$P_{1w} = \pi a^2 \sigma_w \sin^2 \lambda_w$$

$$P_{2w} = \mu \pi a^2 \sigma_w \sin^2 \lambda_w$$

(七) 被磨损过的金刚石切掉的岩屑

被磨损过的金刚石单位行程所切掉的岩屑容积可以非常相似地用未经磨损金刚石的方式来表示。单位行程距离被切掉的岩屑用下列方程表示:

$$U_d = (a^2/2) [(2\lambda - \sin 2\lambda) - (2\lambda_w - \sin 2\lambda_w)]$$

遗憾的是还未有已知的用单刃的磨损金刚石切削岩石的有关实验资料, 即使如此, 这种理论已用于确定表镶砂轮的性能和寿命特性, 其理论结果和实验结果显然的相吻合。

金刚石工具的寿命在很大程度上与金刚石的磨损有关, 因此, 改进金刚石工具的切削的经济性, 需要作的很重要的理论和实践的工作是有关在切削环境下金刚石的基本磨损

屠厚泽编译自〔美〕: ①表镶金刚石工具切削和磨损的理论

分析—克里司坦森金刚石制品公司

②1978年克里司坦森金刚石制品公司来华座谈

孔底条件下金刚石钻头的热平衡

〔苏〕 工程师 Е.Г.格莱钦(Е.Г.Гречин)

丘 緬 工 业 学 院

可用出刃进行剪切切削的单层金刚石钻头的工作情况可看作金刚石磨削^[1]，但是所形成的不是连续切屑而是剪切体。

根据^[2]的假定，切削具在剪切前弹性地和塑性地压缩岩石，在切削具切槽断面上产生压缩应力 $\sigma_{\text{压}}$ （同时在 $a\delta$ 面上产生剪切应力 σ 剪，见图1）。对于单粒金刚石来说，剪切切削的功率可用 $\sigma_{\text{压}}$ 、切槽断面和速度表示：

$$N_{\text{切}} = \frac{s}{m} \left(\frac{R-r}{K} \right) \sigma_{\text{压}} \frac{\pi n}{30} \left(\frac{R+r}{N} \right) \quad (1)$$

式中： $N_{\text{切}}$ ——单粒金刚石的切削功率，瓦特；

S ——给进，米/转；

m ——一条切削线上的金刚石粒数；

K ——切削线数目；

R, r ——钻头半径，米；

n ——钻头回转速度，转/分钟；

$\sigma_{\text{压}}$ ——岩石单轴压缩强度，牛顿/米²。

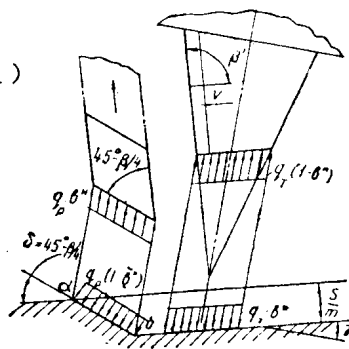


图1 计算示意图

(1)式所确定的功率，在剪切面 $a\delta$ 内（见图1）以热的形式散放出来。如把相邻切削线上的切削具工作考虑在内，则可将此剪切面近似地认为是长 $S/m \sin \delta$ 、宽 $(R-r)/K$ 的长方形。因而在 $a\delta$ 面内的热流量为：

$$q_p = \frac{1}{30} \pi n \sigma_{\text{压}} (R+r) \sin \delta \quad (2)$$

式中： δ ——剪切角（图1）。

利用文献^[3]中推导的公式，对于产生单体切屑的脆性材料来说，可以近似选取（图1）：

$$\delta = 90^\circ - \beta/2 = 45^\circ - \beta/4$$

切削的形式对岩屑和孔底间热量的分配不产生影响，因此可将剪切岩屑比作是一个无限长的杆件，与其成 $(45^\circ - \beta/4)$ 角的快速作用的热源沿此杆件传递。假设岩屑带走的热量为 $q_p b^*$ ，则可将接触面 $a\delta$ 内岩屑方面的平均温度写成下式^[1]：

$$t_{\text{岩粉}} = \frac{60 q_p b^* \alpha_n \lg (45^\circ - \beta/4)}{\lambda_n \pi n (R+r)} \quad (3)$$

* 见参考文献〔4〕

式中： λ_n 、 α_n ——分别为岩石的导热系数（瓦特/米℃）和导温系数（米²/℃）。

在（3）中取的是，岩屑没有残余塑性变形（弹性很大），岩屑速度和圆周速度的关系是用（45°- $\beta/4$ ）角的正切确定的，而不是用岩屑厚度和切槽深度关系确定的。利用沿着半有限空间绝热表面运动的带状热源的解，我们可把同一 $\alpha\phi$ 面中孔底的平均温度写成下式：

$$t_{\text{孔底}} = \frac{4q_p(1-b^*)\sqrt{60\alpha_n S/m \sin(45^\circ - \beta)}}{3\lambda_n \pi \sqrt{n(R+r)}} \quad (4)$$

利用接触面中温度恒等原理，从（3）和（4）中解出 b^* ，然后把 b^* 乘以（2）、乘以 $\alpha\phi$ 面的面积和金刚石粒数 m_k ，我们得出岩粉带走热量的表达式：

$$Q_{\text{岩粉}} = \frac{5.2 \cdot 10^{-2} n s \sigma_{\text{压}} (R^2 - r^2)}{1 + 5.8 \operatorname{tg}(45^\circ - \beta/4) \sqrt{\alpha_n \sin(45^\circ - \beta/4)} / \sqrt{n(R+r)} S/m} \quad (5)$$

（5）式是按金刚石出刃最普通形状截圆锥形推导出来的。如果形状是圆柱形或棱柱形的，则角 $\beta = 0$ 。在金刚石出刃部分为球形时，应与截锥形类似。

在磨钝面半径为 r_s 时，单颗金刚石产生的摩擦热量等于：

$$N_{\text{摩}} = \frac{\pi n P \mu (R+r)}{60 m_K} \quad (6)$$

式中： P ——轴心压力，牛顿；

μ ——金刚石与岩石的摩擦系数（通常等于0.2~0.4）。

摩擦面上的热流密度为：

$$q_{\text{摩}} = \frac{n p \mu (R+r)}{60 m_K r_s^2} \quad (7)$$

钻头和孔底间摩擦热量的分配，一般用热物理性质关系来考虑^[4]，然而此种见解中没有考虑切削具是沿着孔底移动的，即没有考虑切削具是在离开产生不稳定热流的孔底升温部分^[5]。

令在孔底产生的热量为 $q_T b^*$ ，在切削具上的为 $q_T (1-b^*)$ 。对于孔底来说可以认为强度为 $q_T b^*$ 的带状快速流动热源是沿着半有限空间绝热表面运动的（假定热量分布与接触面的形状关系不大，如接触面看成是边长为 $2r_s$ 的正方形。接触面中孔底处的平均温度为：

$$t_{\text{孔底}} = \frac{4.6 q_T b^*}{\lambda_n} \sqrt{\frac{\alpha_n r_s}{n(R+r)}} \quad (8)$$

对于切削具来说，强度为 $q_T (1-b^*)$ 的热源是不动的。切削具接触面的平均温度为^[11]：

$$t_{\text{切具}} = \frac{2.10^3 q_T (1-b^*) r_s M}{\lambda_n} \quad (9)$$

式中： λ_n ——金刚石导热系数，通常等于145瓦特/米、度；

M ——是 β 角、切槽宽度与摩擦面长度比值的函数。例如，对于此比值等于1、 $\beta = 90^\circ$ （把金刚石看成是圆柱体）时， $M = 0.1$ 。

从（8）和（9）解出 b^* ，考虑到（6），我们就得到传到钻头的热量为：

$$Q_{\text{钻头}} = \frac{\pi n p \mu (R + r)}{60} \left\{ 1 - \frac{2 \cdot 10^3 M r_3}{\lambda_a \left[\frac{2 \cdot 10^3 M r_3}{\lambda_a} + \frac{4.6}{\lambda_n} \sqrt{\frac{\alpha_n r_3}{n(R + r)}} \right]} \right\} \quad (10)$$

方程(10)花括号中的表达式,表示传到钻头中的摩擦热量部分。

我们指出,金刚石颗粒是以比磨钝面小的小的面积与孔底接触的。如果解决了热从一个物体传到另一物体的问题,则在物体界面上就会有由于有非固体接触的夹层存在而产生温度降。然而在我们的情况下,在界面上产生热量,因此可以采用接触温度恒等的原理。

对于孕镶钻头来说,岩粉带走的热量可以忽略不计,就象对金刚石磨削进行热物理分析时所作的那样。在计算钻头与孔底间的热量的分布,与单层金刚石钻头相同。

参 考 文 献

1. Резников А.Н. Теплофизика резания. М., «Машиностроение», 1969.
2. Шамшев Ф.А. и др. Технология и техника разведочного бурения. М., «Недра», 1973.
3. Вульф А.М. Резание металлов. М.-Л., Машгиз, 1963.
4. Кудряшов Б.Б., Михайлова Н.Д. Влияние промывочной среды на охлаждение буровых коронок при вращательном бурении. Изв. вузов. Горный журнал, 1964, №11.
5. Левицкий М.П. О температуре поверхности трения твердых тел. Журнал технологической физики, т. XIX. вып. 9, 1949.

汤风林译自 цзвестия высших заведений горный жсурнал 1976, №9.

金刚石钻头冷却表面的几何特征对 钻进时钻头热状态影响的研究

〔苏〕 技术科学付博士 Л.К.戈尔什科夫 (Л.К.Горшков)

列宁格勒矿业学院

为了得到最优的解决钻进时强制冷却钻头问题而进行了研究,在研究过程中,搞清楚了循环剂流量、和作为循环剂通道的水口断面积以及气流阻力之间的关系。

由对流热交换理论得知,循环剂流单位时间内自冷却表面带走的热量(热流)由下式确定:

$$Q = \alpha F_{CT} \Delta t \quad (1)$$

式中: F_{CT} ——热交换面积

α ——散热系数 瓦/米²·度

Δt ——钻头温度 t_{CT} 与循环剂温度 t_0 的温差℃

由式(1)知,冷却效率随公式右部所有的数值增大而提高。实际上最简单的是增大 F_{CT} ,例如胎体内外表面带肋。增大 α 与 Δt 则较为复杂。

由下式确定 α :

$$\alpha = 0.9 \cdot 10^{-3} \left(\frac{p_K w}{\mu t_0} \right)^{0.8} \frac{\lambda_B}{d_{\varnothing}^{0.2}} \quad (2)$$

式中: p_K ——循环剂在钻头(孔底)处的压降

牛顿/米²;

$d_{\varnothing}$ ——循环剂通路水口的换算直径

米;

λ_B ——循环剂导热率

瓦/米·度;

μ ——循环剂动力粘度

公斤·秒/米²;

w ——循环剂在换算直径为 $d_{\varnothing}$ 间隙中的流速

米/秒;

t_0 ——循环剂在孔底处的温度

℃。

由于 w 与水口横截面积成反比,由式(2)可能得出必需减少 $d_{\varnothing}$ 值,从而增加 α 和同时增加 Q 的错误结论。然而显然,循环剂的(首先,压缩空气的)运动速度很高时,由动能转换为热量(由于摩擦)的部份使水口壁冷却的同时往往被加热到平衡温度,此时实际的温差由下式确定:

$$\Delta t = t_{CT} - t_0 - r \frac{Aw^2}{2gc_p} \quad (3)$$

式中: r ——温度恢复系数,表示动能转化为热量的程度, $r = 0.89$;

A ——热功当量, $A = \frac{1}{427}$ 仟卡/公斤·米;