

冲击回转碎岩机理探讨

杨甘生

(中国地质大学(北京)深部地质钻探技术国土资源部重点实验室,北京 100083)

摘要:地下岩体中,天然地存在有许多微观裂纹与节理。在冲击回转的联合作用下,冲击使近钻头的岩石发生裂纹断裂、破碎,形成破碎小坑;使远离钻头的岩石中的微观裂纹扩展、连通、甚至断裂。在离钻头更远区域,使岩石产生新的微观裂纹。回转使冲击产生的破碎小坑沿圆周方向扩大,并使钻头上的金刚石颗粒换位。在回转冲击的联合作用下,岩石中的裂纹不断产生、扩展、断裂,从而达到高速碎岩的目的。

关键词:冲击回转;碎岩机理;断裂力学

中图分类号:P634.5⁺6 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-7428(2013)02-0019-03

Discussion on Rock Broken Mechanism of Percussive-Rotary Drilling/YANG Gan-sheng (Key Laboratory of Ministry of Land and Resources for Deep Geological Drilling Techniques, China University of Geosciences, Beijing 100083, China)

Abstract: The rock broken mechanism of percussive-rotary drilling was discussed preliminarily by fracture mechanics method. There are a lot of joints and micro-fissures in rock matrix. Shock forces make fissures in rocks nearby bit fracture, break and form crater let, make micro-fissures in rocks a little far from bit expand, joint and even break, and make rocks farther from bit generate new micro-fissures. Rotation enlarges the crater lets formed by shock along circumferential direction, and changes the positions of diamond particles on bit.

Key words: percussive-rotary; rock broken mechanism; fracture mechanics

0 引言

冲击回转钻进技术的设想始于欧洲。1867~1887年期间,一些企图代替钻杆冲击的潜孔式液动冲击器相继出现,1887年在英国曾授予德国沃·布什曼以钻井新方法的专利。我国从20世纪50年代开始研究液动冲击回转钻进技术,并在金刚石小口径取心钻进中得到了较为广泛的应用。

一般认为可钻性为6~7级以上的岩石,均由硬度较高的矿物组成^[1,2]。就其机械性能而言,此类岩石的抗压强度比较高,相应地也有较高的脆性。当实行冲击回转钻进时,岩石受到钻压的作用,切削刃将岩石表面局部压碎,同时使破碎部分处于紧张的预压应力状况,当受到来自液动锤的周期性的冲击能量时就更加容易破碎^[3]。这就是到目前为止人们对冲击回转钻进能提高机械钻速的普遍认识。

冲击破碎岩石的理论的系统研究从19世纪以来一直进展比较缓慢,仅仅停留在宏观的基础上。最初的研究者主要用静力学方法对冲击碎岩机理进行研究,如1907年H. C. 乌斯宾斯基用静力学的观点分析了外载作用下可能存在的平衡状态,得出钻进速度与各参数的关系式。又如20世纪50年代И. A. 奥斯特洛乌斯科用静力学的方法推算了冲击

功和比功的计算方法。20世纪60年代,由于凿岩生产中各种矛盾的积聚以及进一步发展的需要,冲击碎岩理论从静力学进入弹性力学的研究范畴。

本文将运用岩石断裂力学的一些成果,从微观上对冲击回转碎岩机理作一些探索性的研究。

1 微观裂纹的萌生与扩展

断裂力学主要起源与Giffith(1920)^[4]及Irwin(1958)^[5]的2篇经典论文。这2篇论文都把裂纹作为应力集中源,在研究脆性断裂中给予高度重视。本文也将从裂纹开始冲击碎岩机理的研究。

理想的微观裂纹(以下为了叙述方便,将微观裂纹称为裂纹,将普通意义上的裂纹称为宏观裂纹)是指平直、端部极其尖锐及厚度为零的裂纹。裂纹端部位移有3种基本的型式(见图1)。它们分别称为I型(拉伸型)、II型(面内剪切型)及III型(反平面剪切型)裂纹。将3种基本型式的裂纹叠加就可得到裂纹端部变形及应力场的最普遍的情形。在断裂力学中,表征裂纹力学性能的一个重要概念即应力因子,它决定于外载荷、物体的形状及裂纹的长度。为了简化应力分析,常假设裂纹前沿的应力应变场为二维的。对于任意型式的二维裂纹,

收稿日期:2012-10-09;修回日期:2013-02-20

作者简介:杨甘生(1963-),男(汉族),湖南人,中国地质大学(北京)教授,地质工程专业,博士,从事地质岩心钻探、科学钻探、非常规天然气勘探开发等方面的教学与研究,北京市海淀区成府路20号眷47号楼1305,ygansheng@cugb.edu.cn。

其应力强度因子均可表示为^[6]。

$$K = YQ_r \sqrt{\pi c}$$

式中: Q_r ——远场应力; Y ——考虑到裂纹几何关系、加载条件及边沿效应的无量纲修正系数; c ——硬币形裂纹的半径。

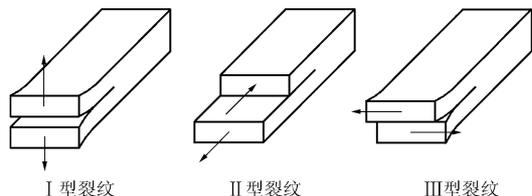


图1 微观裂纹的分类

K 值的确定方法是:用柔度标定的实验方法,通过测量得到的柔度,并将它作为裂纹长度 c 的函数,由此再求得 $\frac{dC}{dc}$ 作为 c 的函数。在实验中作用力 P 为已知,位移 μ 可以测量,因此根据 C 的定义,很容易通过计算得出 C 的值。再通过下列公式计算裂纹扩展力 G ^[6]:

$$G = \frac{1}{2} P^2 \frac{dC}{dc} \quad (\text{当作用力 } P \text{ 为常数时})$$

$$G = \frac{1}{2} \frac{\mu^2}{C^2} \frac{dC}{dc} \quad (\text{当位移 } \mu \text{ 为常数时})$$

然后再由下式求得 K :

$$G = K^2 (1 - p^2) / E$$

式中: G ——裂纹扩展力; P ——实验中施加的力; C ——柔度; μ ——施加力 P 后测得的位移; p ——泊松比; E ——杨氏弹性模量。

1.1 裂纹的萌生

预测裂纹的萌生有2种方法:材料力学方法和线弹性断裂力学方法。材料力学方法假设材料的性质是弹-脆性的,因此裂纹的萌生是突然的。它将计算出的拉应力与岩石的抗拉强度对比,认为当外部应力满足下式时,裂纹就会产生。

$$P_{cr} = \sigma_T + 3Q$$

式中: P_{cr} ——垂直应力; Q ——水平应力; σ_T ——岩石的抗拉强度。

线弹性断裂力学认为^[6]:线弹性固体中存在一孤立、尖锐、线状的平直裂纹,且裂纹表面不受力的作用,当裂纹端部的应力强度因子 K 达到一临界值 K_c 时,即 $K = K_c$ 时,裂纹将以接近于介质中声速的速度扩展,产生许多新裂纹。当 $K < K_c$ 时,裂纹停止扩展。

1.2 裂纹的扩展

在地下岩体中,存在许多孤立裂纹(微观尺度上的,其张开尺度小于基体岩石单个颗粒),这些微

观裂纹可能是孤立的平面裂纹,也可能是由许多曲折的、急剧弯曲的裂纹连接起来的。也存在许多孤立的节理(细观尺度上的裂纹)。节理的扩展将产生许多微观裂纹的分岔。在地下岩体中,预存的裂纹、节理在受到应力腐蚀、溶解、扩散、离子交换及微观塑变等作用时,会产生扩展、发生断裂。

影响裂纹扩展的因素很多,比较重要的几个因素有:应力强度因子、温度、决定化学平衡的组分、压力、岩石的微观结构。 K/K_c 值越大、环境温度越高、化学反应物活性越大,裂纹扩展速度就越快。岩石的围压越大,裂纹的扩展速度越小。岩石微观结构强烈地影响着裂纹的扩展行为。在某一临界晶粒尺寸以下,随着晶粒尺寸的增大,破裂阻抗随之增大,裂纹的扩展速度则降低;但晶粒尺寸大于此临界值时,进一步增加晶粒大小,结果却刚好相反^[7]。

裂纹的扩展过程如图2所示。最初形成少量彼此孤立的裂纹,介质仍然保持线性性质。进一步加载,裂纹密度增加,裂纹端部区域呈非线性性质。最后,由于非线性区内微裂纹的连通而导致宏观裂纹的扩展。

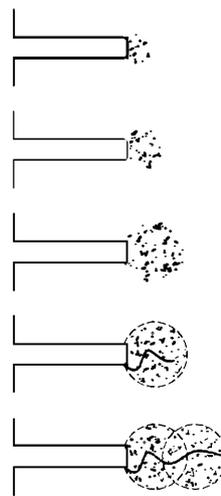


图2 裂纹的扩展过程

2 冲击回转碎岩机理

冲击回转钻进与回转钻进不同,回转钻进时,金刚石钻头上的金刚石细粒在轴向静载荷(即钻压)的作用下,吃入岩石一定深度。同时在回转作用下,金刚石细粒以吃入岩石深度为“进刀量”连续地切削岩石。冲击回转中,金刚石细粒在钻压的作用下,给孔底岩石一预压应力,在此预压应力的作用下,金刚石细粒并不吃入岩石,只是使其下区域的岩石产生弹性变形。在冲击力的作用下,由于能量的急剧

集聚,已经产生弹性变形的岩石会产生体积破碎坑。同时回转运动可以将此坑扩大,并将金刚石细粒换位。当下一冲击波到来时,该金刚石细粒又会在新的位置破碎岩石。

2.1 冲击对裂纹形成与扩展的影响

当冲击功通过钻头传递到孔底岩石上时,会在那些与钻孔轴线平行的Ⅱ型(面内剪切型)裂纹以及那些位于钻孔轴线和直径构成的平面上的Ⅲ型裂纹的端部引发高密度的应力集中(见图3),迅速将微型裂纹扩展,使其成为宏观裂纹,并将已形成的宏观裂纹撕裂,在孔底岩石表面形成数目等于跟孔底接触的金钢石细粒数量的破碎小坑。同时,未被消耗掉的冲击功以波的形式继续向下传播,使已有微观裂纹张口、扩展、连通、甚至断裂,并萌生新的微观裂纹。冲击功越大,则破碎小坑越大、微观裂纹的扩展深度越深、萌生数量越多,越有利于岩石的破碎。

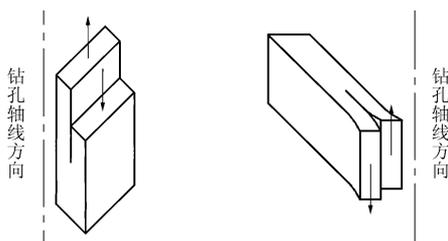


图3 受冲击影响的Ⅱ、Ⅲ型裂纹

2.2 回转对裂纹形成与扩展的影响

钻头在回转的过程中,也能促使微观裂纹的扩展。如图4所示,钻头回转时,产生切向力,那些与钻孔轴线平行且位于钻孔径向方向的Ⅰ型(拉伸型)裂纹、那些与钻头旋转切向方向同向的Ⅱ型(面内剪切型)裂纹以及那些方向与钻孔直径方向一致的Ⅲ型(剪切型)裂纹,在钻头切向力的作用下,均会发生扩展与断裂。但是,回转对裂纹的影响深度比冲击对裂纹的影响深度要小得多,仅仅局限在金刚石细粒切入(或吃入)岩石深度的范围附近。

2.3 冲击回转对岩石的联合作用

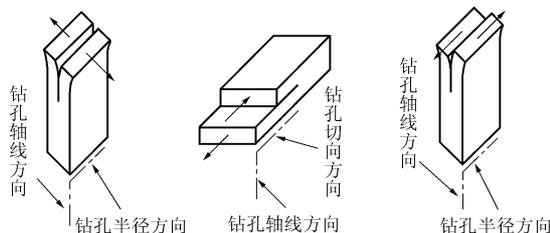


图4 回转对裂纹扩展的影响

当冲击回转同时作用于钻头上时,冲击的作用主要是在孔底岩石表面形成破碎小坑、在接近钻头的一定深度范围内扩展微观裂纹,使其断裂、连通并形成宏观裂纹,在离钻头更远的范围内扩展微观裂纹并产生新的微观裂纹。而回转虽然也可以使与钻头接触的裂纹扩展,但在有冲击存在的情况下,这种作用显得微乎其微,其主要作用是将冲击形成的破碎小坑沿圆周方向扩大,并使钻头上的金刚石细粒换位。

3 结论

地下岩体中,天然地存在有许多微观裂纹与节理,在冲击回转的联合作用下,冲击使近钻头的岩石发生裂纹断裂、破碎,形成破碎小坑;使远离钻头的岩石中的微观裂纹扩展、连通、甚至断裂。在离钻头更远区域,使岩石产生新的微观裂纹。回转使冲击产生的破碎小坑沿圆周方向扩大,并使钻头上的金刚石颗粒换位。

参考文献:

- [1] 陶兴华. 冲击旋转钻井破岩特点分析[J]. 钻采工艺,1996,(3).
- [2] 张益友. 冲击回转钻井工艺试验[J]. 石油钻探技术,1990,(2).
- [3] 王人杰,蒋荣庆,等. 液动冲击回转钻探[M]. 北京:地质出版社,1988.
- [4] Giffith, A. A. Pil. Trans. R[M]. Soc. Lond. A221, Lond, 1920.
- [5] Irwin, G. R. Handbuch der Physik. V. VI Elasticity and Plasticity [M]. Springer, Berlin,1958.
- [6] B. K. 阿特金森. 岩石断裂力学[M]. 尹祥础,等译. 北京:地震出版社,1992.
- [7] Rice, R. w., Freiman, S. W. J. Am. Ceram[M]. Soc. 64, Lond, 1981.

中国铀矿第一科学深钻即将竣工

《中国矿业报》消息(2013-02-19) 由北京中核大地矿业勘查开发有限公司承担施工的中国铀矿第一科学深钻工程进展顺利,目前已进入收尾阶段。

据了解,中国铀矿第一科学深钻于2012年7月21日正式开钻,设计深度2500m。至2013年2月5日,钻孔深度已突破2000m大关。据悉,该科学深钻所采用的施工设备为中核集团地矿事业部与中国地质装备总公司联合研发的国

内第一台XD-35DB型交流变频电动顶驱式地质岩心钻机。项目组运用液动潜孔锤+PQ绳索取心+高效长寿孕镶金刚石钻头组合钻进工艺进行施工,金刚石钻头平均使用寿命99.29m,最长寿命290.24m;钻头平均时效1.36m,最高时效2.93m;平均提钻孔深间隔51.35m,最长提钻孔深间隔273.47m,最长提钻时间间隔361h;平均回次进尺长度2.64m,平均岩矿心采取率99.82%。