

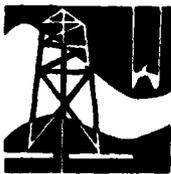
PDC 钻头切削齿受力随布齿密度变化关系研究

罗 超 王镇泉 蔡镜仑

(石油大学·北京·102200)

采用不同布齿方式的 3 个 PDC 切削齿同步连续切削转动的岩石来模拟井底钻头切削齿实际工作状态,用切削岩石时相同的布齿参数切削砂轮来磨损切削齿以模拟切削齿磨损状态,试验研究了不同磨损程度的切削齿受力与布齿密度的关系。

关键词 PDC 切削齿 受力 布齿密度 磨损高度



PDC 钻头质量对其破岩效果和寿命起重要作用。在钻头质量方面,PDC 复合片质量及钻头的合理设计是重要的影响参数。对于一定的 PDC 切削齿,如何充分发挥其优良性能,提高钻井速度和钻头寿命,钻头设计即切削齿的布齿方式则是一个重要的决定因素,它决定了钻头冠部轮廓、各切削齿之间的相互位置关系和应力分布关系,以及切削齿切削形状、磨损形状。

在目前的钻头设计中,均以新齿的破岩结果为依据,随着切削齿的磨损,当初的设计准则并不继续成立。因而,应研究切削齿的磨损过程及其磨损后受力变化规律。

切削齿布齿方式包括切削齿在钻头上的径向位置、轴向高度、相位角、前倾角、侧倾角、侧转角等,影响因素多而繁杂。为此本文研究几种布齿方式下不同磨损程度的 PDC 切削齿布齿密度对其受力的影响。

1 试验条件

1.1 试验装置

在传统的 PDC 切削齿受力分析研究中,多是以单齿切削岩石^[1]。随着进尺的增加,切削齿与岩石的接触弧长即切削弧长不断增

大,与钻头实际工作状态不符。实际上,钻头结构一定、进刀速度一定时,钻进中钻头切削齿切削弧长一定。为模拟钻头的这种工作方式,采用 3 个 PDC 切削齿(图 1)同步连续给进方式切削转动的岩石端面。

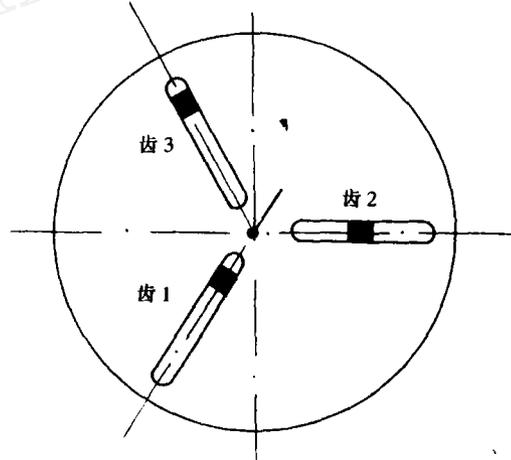


图 1 钻头切削齿模拟装置示意图

图 1 的钻头布齿方式模拟装置中,齿 1、2、3 均可沿径向、轴向移动,并可沿各自的轴心线转动,实现不同侧转角。齿 2 的径向位置在齿 1、齿 3 之间,其上有全桥应变式测力传感器。变换 3 个齿之间的相互位置关系,包括切削齿径向位置、轴向高差及相位差,可以模拟各种布齿方式的 PDC 钻头。

试验在 C620-1 型普通车床改装的装置上用 HP 公司的 HP3054A 数据采集系统

本文 1996 年 1 月收到,王梅编辑。

实时采集切削齿的受力状态,包括轴向力、切向力和侧向力。

2.2 试验方法

采用圆形常规齿,齿直径13.4mm,齿前角均为 -20° ,侧转角为 0° ,齿高相同,即齿高差为0,相位差为 120° ,所测齿径向位置为60mm。试验采用表1的布齿方式及切削参数,表中齿心距为所测齿2齿心距1齿心、

齿3齿心的距离,这里设计二齿心距相等。

为模拟钻头不同的使用阶段即磨损程度,每次切削试验后用切削岩石时相同的布齿状态切削砂轮来磨损切削齿,用JLC800243测量显微镜(分辨率0.01mm)测量切削齿各点半径磨损,以切削齿轴对称线上的最大半径磨损,即磨损高度 δ 值,表征切削齿磨损程度。

表1 试验用切削齿布齿方式及切削参数

布齿方式编号	布齿1	布齿2	布齿3	布齿4	布齿5	转速(r/min)	切深(mm)
齿心距(mm)	4	7	10	13.4	15	58	0.18,0.50,0.81

试验采用3种岩样,即红砂岩、白砂岩、黄砂岩,其力学性能参数见表2。

表2 试验用岩石力学性能

岩石名称	红砂岩	白砂岩	黄砂岩
压入硬度(MPa)	1420	1690	1960
塑性系数	3.62	3.47	2.78

2 试验结果及分析

图2是3种岩石中不同磨损程度的切削齿受力随布齿密度的变化关系及其幂函数回归结果,其中布齿密度以切削齿间的齿心距来表征。图中可见:

(1)切削齿的轴向力、切向力均随布齿密度的增大而增大,呈不同程度的幂函数关系,可用式(1)来表示:

$$F = C_0 \cdot C^{\Delta r} \quad (1)$$

式中: F —切削齿受力,为轴向力或切向力,kg; Δr —布齿密度,即齿心距,mm; C_0 、 C —为系数,因岩石、切深、磨损程度而异。在试验范围内, C_0 值随切深的增大而较显著增大,近直线关系;由新齿到磨损齿变化较大,继续磨损变化减小。 C 值变化较小,范围在(1.13~1.25)之间;新齿时, C 值较大,磨损后 C 值较小,表明新齿时受力随布齿密度的增大而显著增大,磨损后增大较缓慢,图中也可看出这种趋势。

(2)轴向力大于切向力,且轴向力随布齿密度的增大幅度较切向力大。

(3)侧向力随布齿密度的增大略有下降,这可由切削断面上的应力分布来考查:

切削断面对称时(图3a),应力分布较为对称,包括轴向力和侧向力;切削断面不对称(图3b)引起应力分布严重不对称,且轴向应力最大点也不一定在切削齿轴对称线上,远离此点后应力急剧下降,此时,切削齿两侧的侧向分力也不均衡。当切削齿与岩石接触弧长较长时,切削断面两侧不对称的部分离齿顶较远,这里的应力较小,所产生的侧向分力也较小。因此,布齿密度较小的布齿1所产生的侧向力较大。

3个力中,虽然侧向力最小(可达几十公斤),对单个切削齿的损害也不太大,但对于整个钻头,若设计不合理,可引起很大的侧向分力,其结果对钻头寿命和钻井质量危害很大。

(4)布齿4、布齿5的切削齿切削形状及切削面积理论上是一样的,但布齿5的齿间留有间隙,由于岩石的脆性可能导致较大体积的岩石崩离而可能使实际的切削面积减小,因而受力有时比布齿4的还小。这表明,岩石的脆性对破岩有利,脆性可增大破岩效率,但脆性的存在使切削过程中振动较大,这对PDC复合片是不利的方面。因此,对脆性

较大的岩石,切深不可太大,以免脆性较大的 PDC 复合片产生崩刃。

(5)切削齿受力—布齿密度关系表明,排齿较密集时,每个齿受力较小,有利于切削破岩,但这只是单个齿的情形,对于整个钻头则要考虑,因若一味追求单个齿受力较小,

必然要增加切削齿数目,一方面增加了钻头成本;另一方面,由于每个齿切削面积较小而不能充分发挥单个切削齿的作用。因而在 PDC 钻头设计中,不但要降低单齿受力,还要优化整个钻头受力状态,充分发挥单个切削齿的作用,降低钻头成本。

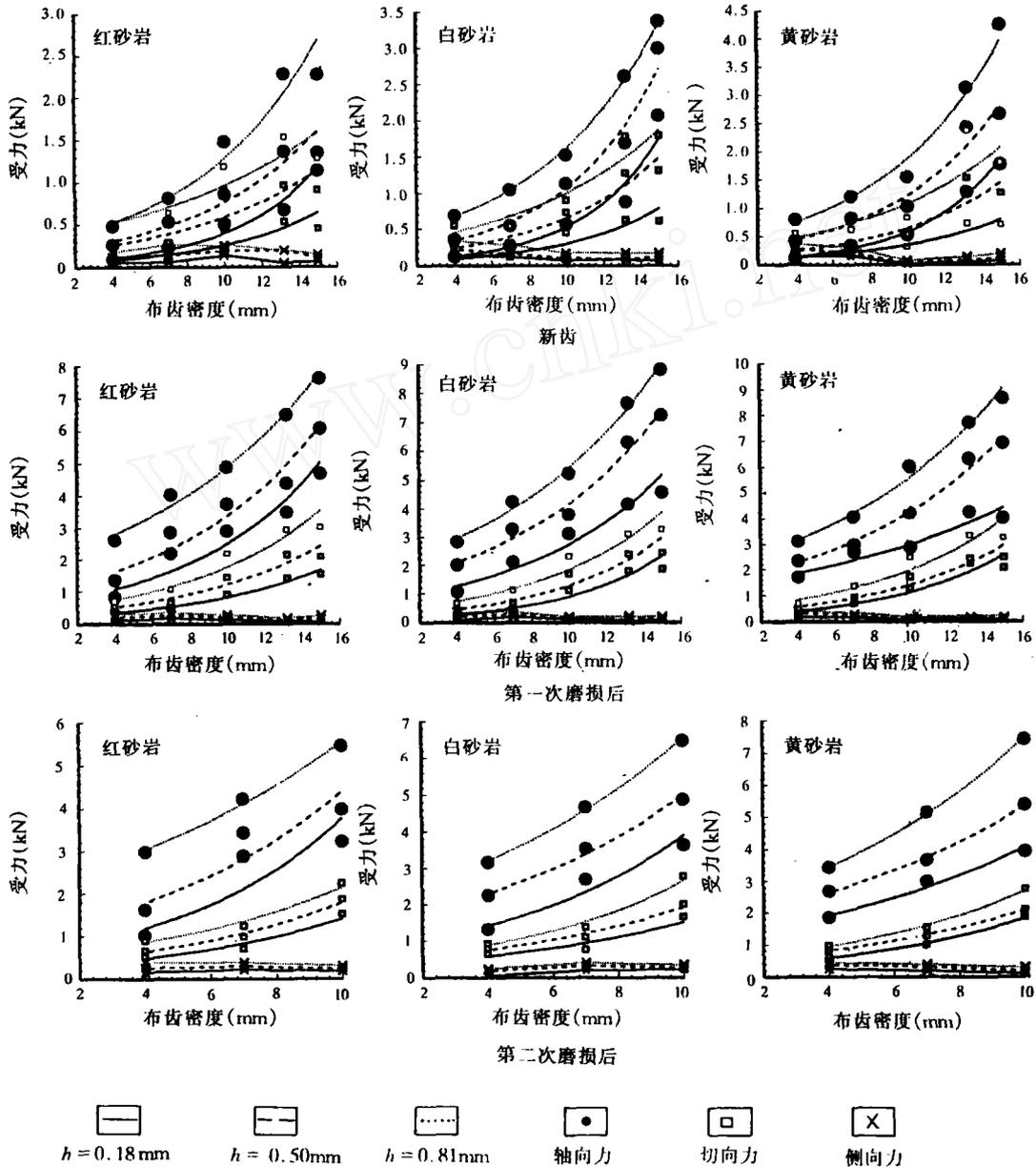
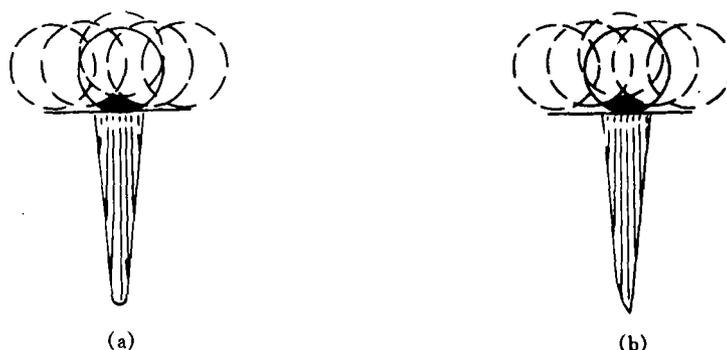


图 2 切削齿受力随布齿密度变化关系

图3 PDC切削齿切削过程中应力分布^[2,3]

参考文献

- 1 Glowka D A. The use of single cutter data in the analysis of PDC bits designs. SPE15617, Oct, 1986
- 2 Weaver G E, Clayton R I. A new PDC cutting structure improves bit stabilization and extends application into harder rock type. SPE /IADC 25734
- 3 Dahlem J S, Baxter R L. The application of advanced PDC concepts proves effective in South Texas. IADC /SPE 27472
- 4 罗超,蔡镜仑,王克雄,孙宏寿,翟应虎. 模拟井底钻头的PDC切削齿连续切削岩石受力分析. 中国科协第二届青年学术年会暨第三届全国青年岩石力学与工程学术研讨会论文. 四川:西南交通大学出版社,1995,7:340~344

3 结论

(1)切削齿的轴向力、切向力均随布齿密度的增大而增大,呈不同程度的幂函数关系。

(2)轴向力大于切向力,且轴向力随布齿密度的增大幅度较切向力大;侧向力随布齿密度的增大略有下降。

(3)PDC钻头的实际设计中,不但要降低单齿受力,还要优化整个钻头受力状态,充分发挥每个单齿的作用,降低钻头成本。

STUDY ON THE WEAR CHARACTERISTICS OF PDC CUTTER

Luo Chao, Wang Zhenquan, Cai Jinglun

Three normal PDC cutters with different set parameters were used to cut three kinds of sandstone with three cutting depth, and to cut emery wheels to wear PDC cutters under the same set condition. The effect of cutter set density on cutting force of PDC cutter was studied by experiment.

Key words PDC cutter, force, cutter set density, wear height