

钻头参数与其性能间的定量关系

张绍和¹ 杨凯华¹ 鲁凡² 潘秉锁¹

(1. 中国地质大学工程学院, 武汉 430074; 2. 中南工业大学资环学院, 长沙 410083)

摘要: 孕镶金刚石钻头参数与其性能间的定量关系问题, 一直是钻头研究中的薄弱环节. 通过定量分析、严密的理论计算与推导, 得出了钻头时效和寿命与钻头有关参数的量化关系. 定量研究结论与有关定性结果完全吻合, 说明通过研究钻头性能与参数间的定量关系是可行的; 钻头性能与参数间定量关系, 可以用于指导钻头的参数设计, 并可以根据钻头的设计参数预知钻头的性能情况.

关键词: 钻头; 参数; 性能.

中图分类号: P634.4⁺1 文献标识码: A

文章编号: 1000-2383(2000)06-0647-04

作者简介: 张绍和, 男, 讲师, 1967年生, 1999年中南工业大学获地质工程专业博士学位, 现在中国地质大学(武汉)工程学院从事博士后研究工作, 研究方向为金刚石及其工具.

自从孕镶金刚石钻头问世以来, 国内外许多专家学者对钻头性能与钻头参数间的影响规律进行过很多研究, 但这些研究工作大多主要集中在定性分析方面, 而定量计算方面的讨论和研究却做得较少. 孕镶金刚石钻头在我国的生产与应用已有几十年的历史, 在一定程度上可以认为, 我国孕镶金刚石钻头的设计制造水平目前已处于停滞不前的发展状态, 要使孕镶金刚石钻头的设计制造水平在现有的基础上产生一个大的飞跃, 则必须在钻头参数与钻头性能间的定量研究方面有所突破.

孕镶金刚石钻头的性能主要包括两个方面: 即钻头的锋利性和耐磨性. 钻头在钻进过程中, 钻头的锋利性表现为钻进时效的高低, 钻头的耐磨性表现为寿命的长短. 钻头钻进时效的高低和寿命的长短是衡量钻头质量好坏的两大指标. 进行钻头设计的目的是要使钻头在使用时表现出理想的效率和寿命. 钻头效率和寿命的好坏主要取决于钻头的金刚石参数、胎体参数等.

1 理论计算和推导^[1]

为了计算的简单和讨论的方便, 将金刚石看成

球状, 设 1 cm^3 单位体积胎体内的金刚石颗粒数为 ρ^3 , 则按下式可计算得金刚石颗粒数为:

$$\rho^3 = \frac{1500\varphi}{\pi d^3}; \quad (1)$$

式中: ρ^3 — 1 cm^3 单位体积胎体内的金刚石颗粒数; φ —孕镶金刚石钻头的金刚石体积分数(400%制); d —金刚石颗粒直径, mm. 根据球体积计算公式, 单颗金刚石的体积为 $\pi d^3/6$.

在 1 cm^3 体积中有 ρ^3 粒金刚石, 则在 10 mm 的高度内应有 ρ 层金刚石. 将这个计算出的金刚石层数称为标准层数, 根据金刚石在胎体中的理想分布(图1), 每个标准层的厚度 h 按下式计算为:

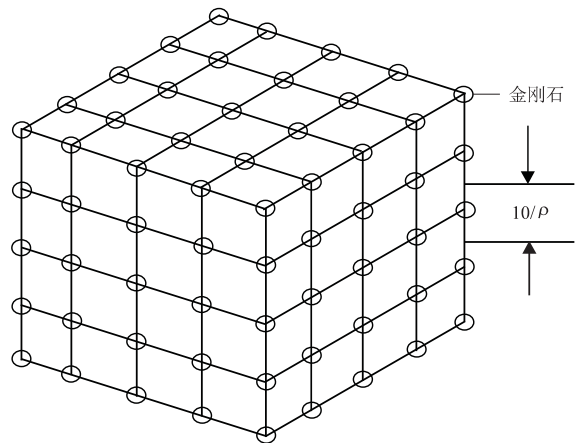


图1 金刚石在胎体中的理想分布

Fig. 1 Ideal distribution of diamond in bit's grit

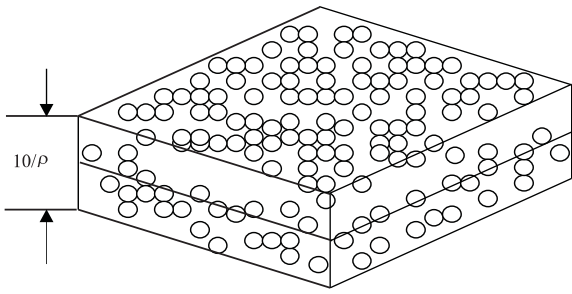


图 2 金刚石在一个标准层内的分布

Fig. 2 Distribution of diamond in standard layer

$$h=10/\rho. \quad (2)$$

这样在每个标准层内金刚石的颗粒数应为 ρ^2 ，但是在这每个标准层内的 ρ^2 粒金刚石并不是位于一个理想平面内，而是位于这一理想平面的上下浮动区(图 2)。

从微观上看，每颗金刚石都不会与另一颗金刚石处于同一平面，但是每一颗金刚石都处在属于自己的平面内。这样，可以把每一个标准层分为 ρ^2 个平面，设平面与平面之间的平均距离为 ΔL ， ΔL 也即为一颗金刚石与另一颗金刚石间的平均距离，则按下式计算得：

$$\Delta L = \frac{h}{\rho^2} = \frac{10}{\rho^3}. \quad (3)$$

这个 ΔL 的值非常小。如假设某孕镶金刚石钻头的金刚石粒度为 60/70 目，金刚石粒径为 $d=0.231$ mm，钻头的体积分数 φ 为 80%，则由公式(1)计算得 1 cm^3 单位体积胎体内的金刚石颗粒数为：

$$\rho^3 = \frac{1500\varphi}{kd^3} = 30988 \text{ 粒}/\text{cm}^3;$$

$$\rho = 31.4.$$

由公式(2)计算得该孕镶金刚石钻头中的标准层厚度为：

$$h = 10/\rho = 0.318 \text{ mm}.$$

由公式(3)计算得标准层中平面间的距离 ΔL 为：

$$\Delta L = 10/\rho^3 = 0.000323 \text{ mm}.$$

由上述计算可说明，两颗金刚石间的高度差极小，即使用很精确的仪器也难以测量出来，但这一高度差的确存在。只有存在金刚石颗粒间的这一高度差，才能保证孕镶金刚石钻头在钻进过程中有包镶不住的旧粒金刚石的脱落和新粒包镶较好的金刚石出来工作。

金刚石在工作时的脱落高度可用 d/β 来表示，其中 d 为金刚石的粒径， β 为某一常数。 β 值越小，金刚石的脱落高度就越大。金刚石的脱落高度 d/β 与胎体对金刚石的包镶强度有关，用 τ 表示胎体对金刚石的包镶强度，则 $\tau=1/\beta$ 。胎体对金刚石的包镶强度就是通常所讲的胎体给予金刚石的包镶力，这种包镶力实质上是金刚石所承受的预应力。日本利根公司的研究表明：当包镶力太大时能挤碎金刚石，包镶力太小时将使金刚石包镶不牢。包镶强度是胎体在烧结后期胎体冷却时所产生的收缩力，其数值的大小与材料的膨胀系数有关，可根据下式计算：

$$\tau = \frac{\Delta J A E}{d} = \frac{\Delta J \pi d^2 E}{d} = \Delta J \pi d E. \quad (4)$$

式中： ΔJ 。胎体的膨胀变化量，mm； τ 。金刚石所承受的内部应力，即胎体对金刚石的包镶强度，kg； d 。金刚石的粒径，mm； A 。金刚石的断面积，mm²； E 。胎体的杨氏系数。由公式(4)可以看出，胎体给予金刚石的包镶强度与胎体材料的性能、金刚石粒度等有关，若胎体材料的膨胀变化量和杨氏系数越大，则胎体给予金刚石的包镶强度也就愈大；从公式(4)还可以看出，胎体给予大颗粒金刚石的包镶强度比给予小颗粒金刚石的包镶强度大。

当一个新钻头在开始钻进时，钻头胎体每磨损一个 ΔL ，就有一颗金刚石出露。胎体磨损至金刚石的脱落高度 d/β 时，再磨损一个 ΔL ，则在出露一颗新金刚石的同时，就会有一颗旧粒金刚石脱落(出露高度超过脱落高度 d/β)，达到这一状态后，钻头胎体工作面上的金刚石颗粒数将不再增加(图 3)。

故有： $N=(d/\beta)/\Delta L$ 。

将式(3)，(1)代入上式得：

$$N = \frac{150\varphi\tau}{\pi d^2}. \quad (5)$$

将式(4)代入(5)得：

$$N = \frac{150\varphi\Delta J E}{d}. \quad (6)$$

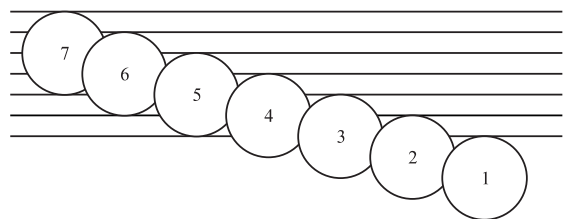


图 3 钻头胎体工作面上恒定金刚石颗粒数

Fig. 3 Constant-diamond grit in the surface of bit
在金刚石“5”号出露的同时，金刚石“1”号脱落

用 η 表示作用于钻头中单颗金刚石上的平均载荷, η 值可按下式计算得出:

$$\eta = \frac{R}{N} = \frac{\pi d^2 P}{150 \varphi \tau}, \quad (7)$$

式中: η . 作用于钻头中单颗金刚石上的平均载荷, N/颗; P . 作用于钻头胎体单位面积上的压力, N/cm².

将式(4)代入(7)得:

$$\eta = \frac{\pi d^2 P}{150 \varphi \Delta J d E} = \frac{d P}{150 \varphi \Delta J E}. \quad (8)$$

根据前面讨论可以判定, N 值代表了钻头胎体工作面上金刚石的平面密度, 而钻头 $1/\Delta L$ 表示了钻头胎体工作面上金刚石的纵向密度. 选用 ψ 表示钻头胎体工作面上金刚石的平面密度, ξ 表示钻头胎体工作面上金刚石的纵向密度, 即有:

$$\psi = N = \frac{150 \varphi \tau}{\pi d^2}, \quad (9)$$

$$\xi = \frac{1}{\Delta L} = \frac{\rho^3}{10} = \frac{150 \varphi}{\pi d^3}. \quad (10)$$

将式(4)代入(9)得:

$$\psi = \frac{150 \varphi \tau}{\pi d^2} = \frac{150 \varphi \Delta J \pi d E}{\pi d^2} = \frac{150 \varphi \Delta J E}{d}. \quad (11)$$

式(10)和(11)示出了钻头性能(寿命和时效)与其有关参数的定量关系.

2 分析与讨论

有关定性研究^[2]表明, 作用在钻头中单颗金刚石上的载荷 η 越大, 则钻头时效就越高; 相反, 作用在钻头中单颗金刚石上的载荷 η 越小, 则钻头的时效就越低. 由公式(7)可以看出: 作用于钻头中单颗金刚石上的载荷 η 与作用于钻头胎体单位面积上的压力 P 、钻头胎体对金刚石的包镶强度 τ 、钻头所选用的金刚石粒度 d 和体积分数 φ 有关. 作用于钻头胎体单位面积上的压力 P 愈大, 将使作用在钻头中单颗金刚石上的载荷 η 越大, 导致钻头的时效越快; 钻头胎体对金刚石的包镶强度 τ 取决于胎体材料的膨胀能力和杨氏系数, 胎体材料的膨胀能力和杨氏系数愈大, 则钻头胎体对金刚石的包镶强度 τ 也愈大, 将使作用在钻头中单颗金刚石上的载荷 η 愈小, 导致钻头的时效也愈慢; 钻头所选用的金刚石粒度愈粗, 将使作用在钻头中单颗金刚石上的载荷 η 愈大, 导致钻头的时效也愈快; 钻头所选用的金刚石体积分数愈高, 将使作用在钻头中单颗金刚石上的载

荷 η 愈小, 导致钻头时效也愈慢.

钻头胎体工作面上金刚石的平面密度 ψ 和钻头胎体工作层内金刚石的纵向密度 ξ 在一定程度上反映了钻头的寿命情况. 钻头胎体工作面上金刚石的平面密度 ψ 愈大, 则钻头的耐磨性愈好, 表现出钻头的寿命愈长; 相反, 钻头胎体工作面上金刚石的平面密度 ψ 愈小, 则钻头的耐磨性愈差, 表现出钻头的寿命愈短. 由公式(9)可以看出: 钻头胎体工作面上金刚石的平面密度 ψ 与钻头胎体对金刚石的包镶强度 τ 、钻头所选用的金刚石粒度 d 和体积分数 φ 有关. 若钻头胎体材料的膨胀能力和杨氏系数愈大, 则钻头胎体对金刚石的包镶强度 τ 就愈强, 钻头胎体工作面上金刚石的平面密度 ψ 愈大, 钻头的耐磨性就愈好, 钻头寿命愈长; 钻头选用的金刚石体积分数 φ 越高, 钻头胎体工作面上金刚石的平面密度 ψ 越大, 钻头的耐磨性就愈好, 钻头寿命愈长; 钻头选用的金刚石粒度越粗, 则钻头胎体工作面上金刚石的平面密度 ψ 越小, 钻头的耐磨性就愈差, 钻头寿命愈短.

钻头胎体工作层内金刚石的纵向密度 ξ 愈大, 说明钻头胎体工作层中金刚石层数就愈多, 钻头胎体内较多的金刚石层数, 有利于延长钻头寿命. 由公式(10)可以看出: 钻头胎体工作层内金刚石的纵向密度 ξ 与钻头所选用的金刚石粒度 d 和体积分数 φ 有关. 钻头所选用的金刚石体积分数 φ 愈高, 钻头胎体工作层内金刚石的纵向密度 ξ 越大, 钻头胎体内的金刚石层数就愈多, 钻头寿命愈长; 钻头所选用的金刚石粒度越细, 则钻头胎体内的金刚石层数就愈多, 钻头寿命愈长.

3 结论

(1) 定量研究结论与有关定性结果完全吻合, 说明通过研究得到钻头性能与参数间的定量关系是可能的; (2) 钻头性能与参数间的定量关系的得出, 可以用于指导钻头的参数设计; (3) 钻头性能与参数间的定量关系的得出, 可以根据钻头的设计参数预知钻头的性能情况; (4) 要弄清楚钻头所有参数与其性能间的内在定量关系, 是一项十分困难和复杂的科研工作, 有待作更进一步的工作.

参考文献:

[1] 张绍和. 孕镶金刚石钻头参数设计神经网络专家系统研究[D]. 长沙:中南工业大学, 1999.

[2] 袁公昱. 人造金刚石合成与金刚石工具制造[M]. 长沙:中南工业大学出版社, 1992

QUANTITATIVE RELATION BETWEEN DIAMOND-BIT PARAMETER AND PERFORMANCE

Zhang Shaohé¹ Yang Kaihua¹ Lu Fan² Pan Bingsuo¹

(1. *Faculty of Engineering, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China*; 2. *Faculty of Environmental Construction Engineering, Zhongnan University of Technology, Changsha, 410083, China*)

Abstract: The quantitative relation between parameters and performance of the impregnated diamond bit has always been a weak research area in the study of the diamond bit. In this paper, the quantitative analysis, rigorous theoretical calculation and derivation are both employed to obtain the quantitative relation between the diamond bit efficiency and life span and the diamond bit parameters. The conclusion from the quantitative research is in perfect conformity with the qualitative results concerned, indicating that the research is feasible into the quantitative relation between the diamond bit performance and the diamond bit parameters. The result of the quantitative relation between the diamond bit performance and the diamond bit parameters can be applied to the guidance to the diamond-bit parameter design that might be used to forecast the performance of the diamond bit.

Key words: diamond bit; parameter; performance.