

文章编号:1000-582x(2000)02-0016-04

准直管结构参数对磨料射流切割性能的影响

李晓红¹, 王建生¹, 卢义玉¹, 杨林¹, 孙家骏²

(1. 重庆大学, 重庆 400044; 2. 中国矿业大学, 徐州 221008)

摘要:对于多相流体介质在准直管内有阻流动过程进行了数值分析,讨论了准直管结构参数对磨料加速效果的影响。理论与试验研究表明,磨粒在准直管入口段加速度很大,经过0.5 m的加速距离后基本上达到了最大速度。准直管应用管长范围为0.4~1.5 m,管径越小磨粒加速越快,长准直管适宜采用较大的管径,短管应采用小直径。采用管径较大的准直管时射流的冲蚀性能较好,采用管径较细的准直管时射流的切割性能较好。

关键词:磨料射流; 准直管; 多相流; 切割岩石
中图分类号: TD 421

文献标识码: A

切割性能

结构参数, 采掘机械

为非自由射流,从纯水喷嘴喷出的高速水射流束进入混合腔后扩散,在扩散区形成很高的真空度,磨料被卷吸进入,在准直管中形成水滴、水蒸汽、空气和磨料的多相混合介质,沿准直管高速喷出。

1 准直管磨料射流的结构和工作原理

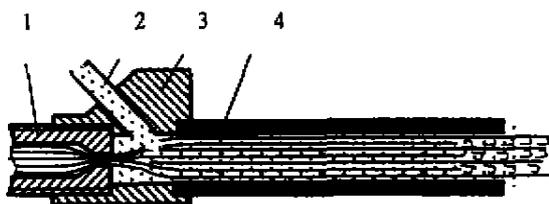
为了开发高效低廉的坚硬岩巷掘进装备,美国内务部矿业局80年代后期开始实施一项开发选择性采矿工艺装置的中长期计划,研制了准直管磨料射流深槽切割、深孔钻机,切割深度可达1~1.5 m,炮孔钻进速度已超过了美国JOY等公司生产的300~400 MPa的水射流锚杆钻机^[1-3]。同时我们也开始研究准直管磨料射流的基本理论及其应用技术。

高速射流在准直管内的流动图形分成三个区段——扩散段、准直流动段和回流段^[3-5]。扩散段内射流破碎扩散;准直流动段内水滴、水蒸汽、空气和磨料弥散分布组成稀疏多相混合介质(密度比小小2个数量级),该段内处于高真空度状态(真空度接近0.1 MPa),流动阻力损失较小;在很短的回流段内,蒸汽凝聚成大水滴,液体强烈紊流。

2 准直管磨料射流在准直管内的流动机理

准直管磨料射流流动机理复杂,目前尚不能对其流动过程进行精确数学描述,因此作以下假设:(1)忽略多相混合介质在准直管内流动过程产生的热量及热交换;(2)忽略磨粒之间的相互作用^[3],由单个磨粒的运动方程表示所有磨粒的运动规律;(3)将磨粒看作理想小圆球;(4)忽略管壁振动对射流的影响;(5)准直管内的流体看作无相变的多相混合介质,各断面流体介质均布,不考虑整个管内多相混合介质压力变化^[3-5]。

根据假设可忽略磨粒在流体介质中前后压力差作用力、附加质量力、Basset力、质量力、Magnus力和Saff-



1—纯水喷嘴 2—供料管 3—混合腔 4—准直管

图1 准直管磨料射流系统结构原理图

准直管磨料射流属于后混合磨料射流,图1所示为准直管磨料射流系统结构原理图。准直管磨料射流

· 收稿日期:1999-08-06

基金项目:国家杰出青年基金项目资助(59725410)

作者简介:李晓红(1959-),男,重庆合川人,博士,教授、博士生导师,主要从事高速水射流及破碎硬岩方面的研究。

man 力等,仅考虑磨粒惯性与流体介质间的摩擦力。磨粒的牛顿方程式为:

$$\frac{\pi}{6} d_p^3 \rho_p \frac{du_p}{dt} = C_d \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho_c (u_c - u_p) \cdot |u_c - u_p| \cdot \frac{\pi}{4} d_p^2 \quad (1)$$

多相混合介质在准直管内的流动损失主要包括多相混合介质与管内壁之间的摩擦力 F_f 、扩散段损失 F_d 和回流段损失 F_r 三部分。根据实验知,当流速小于 500 m/s 时扩散段损失流体总能量的 5% ~ 10% (对于长度 0.1 ~ 3 m 的准直管)。准直管内任意截面上的磨料质量流率 \dot{m}_p 和气液混合介质的质量流率 \dot{m}_c 均不变,准直管中气、汽、液、固多相流体介质动量方程为:

$$m_c \cdot du_c + \dot{m}_p \cdot du_p = -dF_f - dF_d - dF_r \quad (2)$$

联合求解式(1)和式(2)得磨粒速度近似表达式(无准确解析式)为:

$$u_p = u_m + (u_{p0} - u_m) \exp\left(-\frac{t}{\varphi_c \tau_v}\right) \quad (3)$$

其中 $u_m = \varphi_c \cdot u_c + \varphi_p \cdot u_p$;

$$du_m = -\frac{2}{D} \cdot C_f \cdot u_f \cdot u_c \cdot dt - \frac{dF_d}{m_f} - \frac{dF_r}{m_f};$$

$$\tau_v = \frac{\tau_{v0}}{f(\text{Re}_p)}; \quad \tau_{v0} = \frac{\rho_p \cdot d_p^2}{18\mu_c};$$

$$f(\text{Re}_p) = \begin{cases} 1 + \frac{1}{6} \text{Re}_p^{2/3} & (\text{Re}_p < 1000) \\ 0.01767 \text{Re}_p & (\text{Re}_p \geq 1000) \end{cases}$$

$$\text{Re}_p = \frac{\rho_c d_p |u_c - u_p|}{\mu_c}$$

式中, u_{p0} —时间 $t = 0$ 时磨粒进入混合腔时的速度; u_m —流体介质和磨粒的瞬时最终趋同速度; φ_c —流体介质中多相混合介质中所占质量分数, $\varphi_c = \dot{m}_c / \dot{m}_f$; \dot{m}_c —流体介质质量流率; φ_p —磨粒流在多相混合介质中所占的质量分数, $\varphi_p = \dot{m}_p / \dot{m}_f$; \dot{m}_p —磨料流质量流率; \dot{m}_f —多相混合介质质量流率; u_p, u_c —分别为磨粒、流体介质的速度; D —准直管内径; C_f —多相混合介质与准直管内壁之间的摩擦系数,采用柏拉休斯计算式^[5]: $C_f = 0.3164 \text{Re}_f^{-0.25}$; Re_f —密实流体 Re 数,计算式为 $\text{Re}_f = \frac{4\dot{m}_f}{\pi D \mu_f}$; μ_f —密实流体粘度,采用 Einstein 计算式 $\mu_f = \mu_w (1 + 2.5\alpha)$, μ_w —水粘度; α —磨料在流体介质中的体积百分比; dF_d —扩散段损失,为流体总能量的 5% ~ 10%; dF_r —回流段损失,为流体总能量的 3% ~ 5%; d_p —磨粒直径; ρ_p, ρ_c —分别为磨粒、流体介质的密度, $\rho_c = \dot{m}_c / (u_c \cdot A)$; A —准直管内径

断面面积, $A = \pi D^2 / 4$; μ_c —流体介质动力粘度; l —准直管管长。

3 数值与试验结果分析

式(3)数值计算结果如图 2、图 3 所示,准直管磨料射流对岩石的切割试验结果如图 4、图 5 所示。通用参数为:管长 1 m,管径 15 mm,泵压 80 MPa,流量 48 L/min,磨粒:人造棕刚玉,磨粒初速:10 m/s,切割试件移动速度 0.3 m/s,靶体汉白玉硬度 $f = 11$,靶距(喷嘴出口到试件的距)12.5 mm。

图 2、图 3 所示,磨粒在准直管入口段加速度很大。经过 0.5 m 的加速距离后,直径 2 mm 的磨粒的速度达到初始水速(从纯水喷嘴喷出的射流速度)的 43% ~ 60% (供料量 5 kg/min),直径 0.71 mm 的磨粒的速度达到初始水速的 50% ~ 66% (供料量 2.7 kg/min),基本上达到了磨粒能够达到的最大速度。管径越小磨粒加速越快,如图 2 所示直径 10 mm 的准直管 0.5 m 处磨粒的速度为直径 20 mm 准直管的 1.4 倍。随着管长的增大,直径较小的准直管(在本试验条件下,指直径小于 15 mm 的准直管)中磨粒速度增至最大值保持一段时间,然后又逐渐降低,管径越细减速程度越大,其原因是管径越细流体介质流动阻力损失越大;直径较大的准直管(在本试验条件下,指直径大于 15 mm 的准直管)中磨粒一直在加速。管径 10 mm 的准直管内粒径 2 mm 的磨粒在 1.5 m 处速度达到最大值(为初始水速的 64%),3 m 处速度降至初始水速的 45%;而对于管径 20 mm 的准直管,粒径 2 mm 磨粒在 1.5 m 处的速度为初始水速的 59%,3 m 处为 80%。因此,长管适宜采用较大直径的准直管,短管应采用小直径准直管。

从图 4 可以看出,随着准直管管长的增加,射流切割岩石的性能越来越好,切深(δ)逐渐增加,磨蚀率(r) (指单位质量的磨料冲蚀掉的靶体材料岩石的质量,磨蚀率越大,冲蚀掉的靶体材料的体积越大)的增大,比能耗(e)减小,但在 0.4 ~ 1.5 m 长度范围内其变化幅度不大。结合理论分析,可以确定管径 15 mm 的准直管应用管长范围为 0.4 ~ 1.5 m。从图 5 可以看出,随着准直管管径的增加,切深虽然逐渐降低,但磨蚀率增大,比能耗减小。从破岩体积考虑时,射流的冲蚀性能随着管径增加越来越好;若仅考虑切割深度时应选用较细的准直管。试验发现存在最佳管径,本试验最佳管径为 12 mm。图 4、图 5 的试验结果与理论分析基本相符。

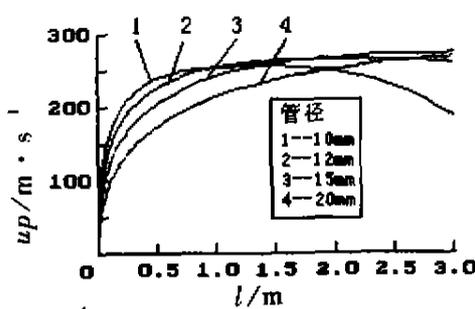


图2 磨粒在准直管中的速度
(粒径:2 mm, 供料量 5 kg/min)

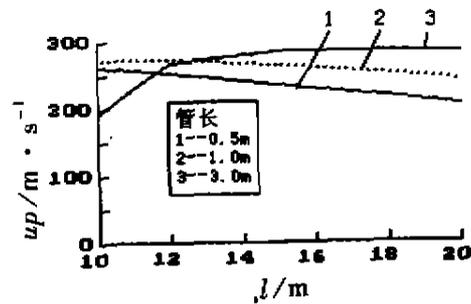
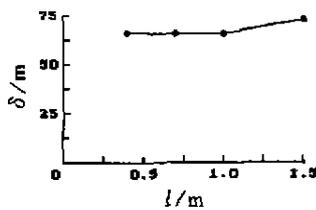
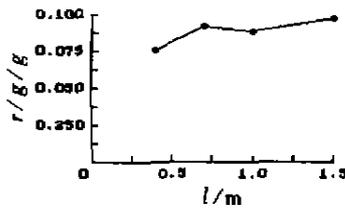


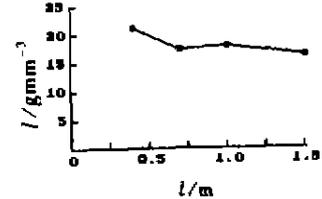
图3 粒速与准直管直径的关系
(粒径:0.71 mm, 供料量 2.7 kg/min)



(a) 切深与管长的关系

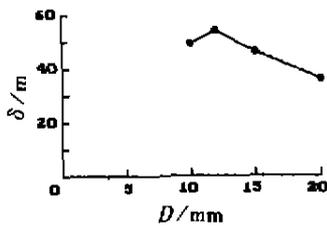


(b) 磨蚀率与管长的关系

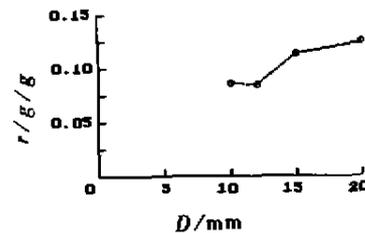


(c) 比能耗与管长的关系

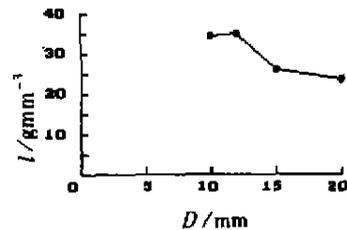
图4 管长对切割性能参数的影响(粒径:2 mm, 供料量 5 kg/min)



(a) 切深与管径的关系



(b) 磨蚀率与管径的关系



(c) 比能耗与管径的关系

图5 管径对切割性能参数的影响(粒径:0.71 mm, 供料量 2.7 kg/min)

4 结论

通过对多相流体介质在管内有阻流动过程的数值分析和试验结果分析可得如下初步结论:

1) 磨粒在准直管入口段加速度很大。经过 0.5 m 的加速距离后直径 2 mm 的磨粒的速度达到初始水速的 43% ~ 60% (供料量 5 kg/min), 直径 0.71 mm 的磨粒的速度达到 50% ~ 66% (供料量 2.7 kg/min), 基本上达到了磨粒能够达到的最大速度。直径 15 mm 的准直管应用管长范围为 0.4 ~ 3 m, 长管适宜采用较大直径的准直管, 短管应采用小直径准直管。

2) 采用管径较大的准直管, 仅考虑切割深度时, 应选择管径较细的准直管。

参考文献

[1] MILLER A L, KUGEL R W, SAVANICK G A. The dynamics of

multi-phase flow in collimated jets [C]. in: Proceeding of 5th U. S. Water Jet Conference, Toronto, Canada, 1989: 179 - 189.

[2] SAVANICK G A. An abrasive water jet device for cutting deep kerfs in hard rock [C]. in: Proceeding of 3rd U. S. Water Jet Conference, Houston, 1985, 98 - 121.

[3] SAVANICK G A, KRAWAZ W C. An abrasive water jet rock drill [C]. in: Proceeding of 4th U. S. Water Jet Conference. Univ. of California, Berkeley, CA, Aug. 26 - 28, 1987: 129 - 132.

[4] 孙家骏. 水射流切割技术 [M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 1992.

[5] 王建生. 准直管磨料射流与深槽切割工艺 [D]. [硕士学位论文], 徐州, 中国矿业大学, 1991.

[6] 张君远, 王慧玉, 张振鹏. 两相液体动力学基础理论及工程应用 [M]. 北京: 北京航空学院出版社, 1987.

[7] 刘大有. 二相流体动力学 [M]. 北京: 高等教育出版社, 1993.

[8] 白铭声, 王维新, 陈祖苏. 流体力学及流体机械 [M]. 北京: 煤炭工业出版社, 1980.

Effect of the Parameters of the Collimating Pipe on the Efficiency of Cutting Rock of Collimated Abrasive Water Jets

LI Xiao-hong¹, WANG Jian-shen¹, LU Yi-yu¹, YANG Lin¹, SUN Jia-jun

(1. Chongqing University, Chongqing 400044, China;

2. China University of Mining & Technology, Xuzhou 221008, China)

ABSTRACT: Flow of a multiphase fluid with energy loss in the collimating pipe is analyzed by calculational methods, and the effect of configuration parameters of the collimating pipe on the acceleration of the abrasive particles in Collimated Abrasive Water Jet (CAWJ) is discussed. Theoretical and experimental results show that particles accelerate rapidly in the entrance of the pipe, and the abrasive particle speed basically reaches its maximum when the particles pass about 0.5 meter from the pipe entrance. There is an applied length of the collimating pipe in the range of 0.4 ~ 1.5 meter. The speed of abrasive particles is higher for the smaller diameter of the collimating pipe. The larger diameter of the collimating pipe is better for the longer pipe, and the smaller diameter for shorter pipe. The breakage depth of CAWJ is deeper for the larger diameter of the collimating pipe, on the other hand the cutting depth of CAWJ is deeper for the smaller diameter.

KEYWORDS: collimated abrasive water jet; collimating pipe; multiphase fluid; cutting rock

(责任编辑 成孝义)

* * * * *

(上接4页)

Numerical Analysis on Mechanism of the Metal Pushing Type Continuously Variable Transmission

YANG Wei, QIN Da-tong, HU Jian-jun, LIU Shi-ming

(State Key Lab of Mechanical Transmission, Chongqing University, Chongqing 400044, China)

ABSTRACT: Continuously variable transmissions have attracted a great deal of interest in recent years because they shift with very little shock and offer significant advantages of acceleration performance and fuel economy for automobile. The slide angle is very important physical parameter in belt study. It's magnitude expresses the changing of direction of friction force's and makes the distribution of force very complicated. In this paper, the reason of the slide angle has been discussed. The formulae of wrapping angle relation with slide angle is put forward. The magnitude of slide angle is computed by used the Runge-Kutta method in different speed ratios. On the basis of study a new discrete numerical analyse approach is proposed to analysis and calculate the tension and thrust of the key work-piece's the metal rings and the metal blocks of the metal pushing type continuously variable transmission respectively under different speed ratios and torque ratios. The research result in this paper can be used to analyse the strength of the metal rings and the metal blocks and improve the load capability of the CVT gearbox.

KEYWORDS: continuously variable transmission; numerical analysis; model

(责任编辑 成孝义)