

# 基于 CFD 的大通孔开闭式钻头流场研究

陈 鱼<sup>1</sup>, 王义红<sup>1</sup>, 乔慧丽<sup>2</sup>, 李彦明<sup>1</sup>

(1. 中煤科工集团重庆研究院, 重庆 400039; 2. 重庆理工大学, 重庆 400032)

**摘要:**采用计算流体力学方法对大通孔开闭式钻头<sup>[1]</sup>的流场进行数值模拟。对不同工况下的速度场进行分析, 获得了最佳钻进风量, 并发现流场中存在“阻塞漩涡”。对最佳流量工况下的压力场进行分析, 发现流场中还存在“抽吸压差”。获得了“阻塞漩涡”和“抽吸压差”对排渣和散热的影响机理, 为钻头的优化设计提供了一些参考依据, 为松软突出煤层全孔筛管护孔瓦斯抽采技术在煤矿中推广应用奠定了基础。

**关键词:**CFD; 大通孔开闭式钻头; 阻塞漩涡; 抽吸压差; 松软突出煤层

**中图分类号:**P634.4<sup>+</sup>1    **文献标识码:**A    **文章编号:**1672-7428(2013)09-0052-03

**Study on Flow field of the Large Via Open-closed Bit Based on CFD/CHEN Yu<sup>1</sup>, WANG Yi-hong<sup>1</sup>, QIAO Hui-li<sup>2</sup>, LI Yan-ming<sup>1</sup>** (1. Chongqing Research Institute of China Coal Technology & Engineering Group Corporation, Chongqing 400039, China; 2. Chongqing University of Technology, Chongqing 400032, China)

**Abstract:** The computational fluid dynamics (CFD) method is employed for numerical simulating the flow field in the bit which can be opened and closed with large via. Analysis was made on the speed field under different flow conditions, the optimum drilling air volume is acquired and the “obstruction vortex” is found in the flow field. And through the analysis on the pressure field under the optimal flow conditions, the existence of “suction pressure difference” is found in the flow field. The influence mechanism of “obstruction vortex” and “suction pressure difference” to the heat dissipation and slag discharge is realized, which can be the references to the optimized design of the bit and will lay a foundation for the popularization and application of the technology of gas drainage with screen pipe protection for the whole borehole in soft outburst coal seam.

**Key words:** CFD; large via open-closed bit; obstruction vortex; suction pressure difference; soft outburst coal seam

## 0 引言

松软突出煤层顺层钻孔的高效成孔技术一直是制约我国煤矿井下瓦斯抽采的难题<sup>[2]</sup>。在松软突出煤层瓦斯抽放钻孔过程中经常发生垮孔或塌孔等异常情况, 这些导致成孔深度浅、成孔率低<sup>[3]</sup>。即使好不容易成孔了, 由于松软煤层裸眼孔壁的稳定性的差, 在成孔提钻后, 短时间内孔壁就会坍塌堵塞钻孔, 使得大部分钻孔失效<sup>[4]</sup>。针对这一情况, 中煤科工集团重庆研究院开发了“松软煤层全层筛管下放工艺”, 采用这套工艺, 钻孔完毕后, 在退钻之前将筛管从钻杆内部下放至孔底, 真正实现了“钻到位、管到底”的目的, 增大了瓦斯抽放孔利用率, 大大提高了瓦斯抽采效率。“大通孔开闭式钻头”(见图1)是这套工艺的关键所在。本文采用计算流体力学的方法对这种钻头的内部流场进行了研究, 获得了“阻塞漩涡”和“抽吸压差”对排渣和散热的影响规律, 为钻头的优化设计提供了一些参考依据, 为“松软煤层全层筛管下放工艺”在煤矿中推广应用

奠定了基础。对于提高松软突出煤层瓦斯抽采效率具有一定意义。

## 1 数值模拟的实现

### 1.1 大通孔开闭式钻头介绍

图1是大通孔开闭式钻头的结构图, 它与普通钻头的最大区别在于, 在钻头的顶部有一根可以打开和闭合的横梁。采用该钻头钻进至设计深度后, 可以将筛管从钻杆内部下放至孔底, 打开横梁后, 再退出钻头和钻杆。它包含4部分结构: 钻头体、横梁

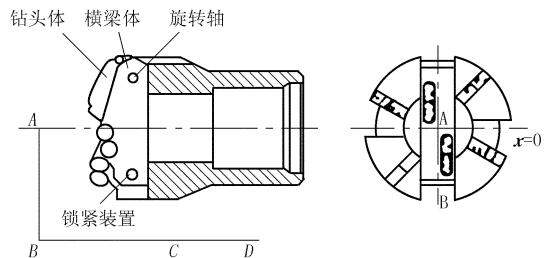


图1 大通孔开闭式钻头结构示意图

收稿日期: 2013-08-05

基金项目: “十二五”国家科技重大专项“大型油气田及煤层气开发”(2011ZX 05041-002); 中煤科工集团重庆研究院青年创新基金项目(2011QNJJ)

作者简介: 陈鱼(1976-), 男(汉族), 四川广安人, 中煤科工集团重庆研究院工程师, 流体机械及工程专业, 主要从事流场数值模拟、钻探工艺及装备的研发等工作, 重庆市九龙坡区二郎新城科城路6号重庆煤科院701, cy\_home@163.com。

体、旋转轴和锁紧装置。在钻头体顶端有 4 个排屑口,其中 2 个排屑口刚好在横梁的两端,称为横梁排屑口,另外 2 个在与横梁垂直的方位,称为侧排屑口,在 2 个侧排屑口下面还分别设有侧流孔。

### 1.2 网格划分

在松软突出煤层空气钻进中,孔深一般从几十米到上百米左右。如果对几十米甚至上百米的环空划分网格的话,所需的网格数量将会非常庞大,导致计算速度十分缓慢,甚至无法进行计算。由于我们最关心的是钻头附近的流场,因而划分网格的时候,只划分了钻头附近环空内的区域。除此以外,还进行了以下简化:忽略横梁与钻头体之间的间隙、忽略保径条凸出部分、忽略一些小的倒角特征。

网格划分计算方法采用八叉数算法,面网格采用三角形网格,体网格采用四面体网格,在横梁的 4 个小孔和钻头体的 2 个侧流孔处设置了“密度体”,为了准确捕捉环空的流场,必须保证最窄间隙处的网格数量在 5 个以上。最终,借助 ICEMCFD 对钻头体附近流场进行了网格划分,网格数量是 458 万左右,图 2 是钻头表面网格。

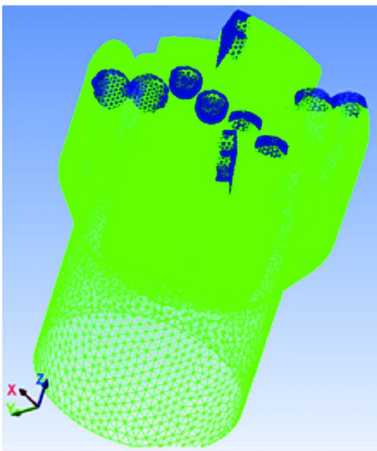


图 2 钻头表面网格图

### 1.3 计算方法及边界条件

考虑到所计算的空气钻进环空进出口温升很小,同时流速也不高,所以可以把空气当作不可压缩气体,并将密度定义为常数。在对不可压流体的动量方程(即  $N-S$  方程)求解时,采用 SIMPLEC 算法解决速度与压力的耦合问题。环空内的流态为湍流,采用  $RNGk-\varepsilon$  模型。对近壁区域,采用增强型壁面函数法进行处理。根据空气钻进时的风量设置速度进口边界条件,出口采用压力出口边界条件。对钻头内外表面设置为运动壁面,孔壁为静止壁面。

## 2 CFD 结果及分析

### 2.1 速度分析

本次对 3 种不同流量工况下的流场进行了数值模拟,这 3 种流量分别是  $Q_0$ 、 $1.25Q_0$  和  $1.5Q_0$ 。其中  $Q_0$  指不堵塞临界风量,按下面的公式计算得出:

$$Q = (\pi/4)(D_h^2 - D_r^2)v_b \quad (1)$$

式中: $Q$ ——空气钻进所需的体积流量; $D_h$ ——钻孔直径; $D_r$ ——钻杆外径; $v_b$ ——满足不堵塞条件的临界风速,可按文献[5]中的公式进行计算。

图 3~5 是不同工况下,  $x=0$  平面上的速度矢量图,图中颜色代表速度的大小,越红表示速度越大。 $x=0$  平面的具体位置见图 1 所示;由图 3 可知,当流量为  $Q_0$  时,气体从横梁两侧流出,碰到孔底后分成左右两股,左边的气体促进了逆时针漩涡的形成,右边的气体促进了顺时针漩涡的形成;从横梁中间的两个小孔流出的气体还来不及到达孔底,就被卷入了漩涡;从左侧孔流道流出的气体,一部分

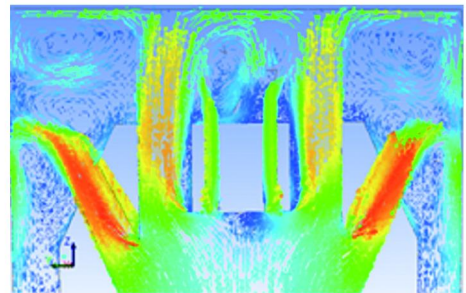


图 3  $Q = Q_0, x=0$  平面速度矢量图

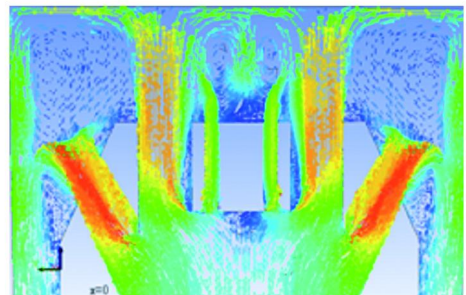


图 4  $Q = 1.25Q_0, x=0$  平面速度矢量图

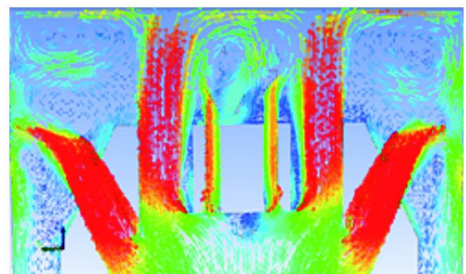


图 5  $Q = 1.5Q_0, x=0$  平面速度矢量图

向上形成了顺时针漩涡;另一部分向下,其中一小部分沿环空流出,另一小部分形成了逆时针漩涡,该漩涡对环空流道形成了阻塞,不利于热量和钻屑的排除,我们将这种漩涡称为阻塞漩涡。右侧孔流道出口附近也存在同样的阻塞漩涡。

由图4可知,当流量增加为 $1.25Q_0$ 时, $x=0$ 平面上,横梁两侧和横梁小孔内的流速增加了,但是侧孔流道内的速度降低了。速度的这种变化导致钻头左上角区域内漩涡由2个变成了一个,右上角区域也一样。更重要的是,“阻塞漩涡”的强度降低了,影响范围也缩小了。这肯定有利于空气钻进过程中热量的散发和钻屑的排除。

由图5可知,当流量增加到 $1.5Q_0$ 时,横梁两侧、横梁小孔与侧孔流道内的流速均增加了。随着侧孔流道内流速的增加,“阻塞漩涡”的强度和影响范围也增加了,反而不利于热量和钻屑的排走。由此可见,当钻进风量为 $1.25Q_0$ 时,最有利于散热和排渣。

## 2.2 压力分析

图6是 $Q=1.25Q_0$ 时, $x=0$ 平面上的静压力云图,由图可见,在气体到达横梁和侧排水孔以前,整个流道上的静压力分布比较均匀,差异并不是太大。流体从钻头内孔进入侧排水孔时,速度增加,静压力逐渐减小;在侧排水口进口偏上的地方有一个低压区,这是因为流动在该处出现分离现象的缘故。此外,侧排水孔出口附近的环空内也存在低压区,这是“阻塞漩涡”导致的低压区。在图6的顶部有一片高压区,这是因为从横梁两侧流出的流体大部分会冲向孔底,形成了一个堆积的效应,对这部分空气有一个挤压效果,使得该区域的静压力上升。

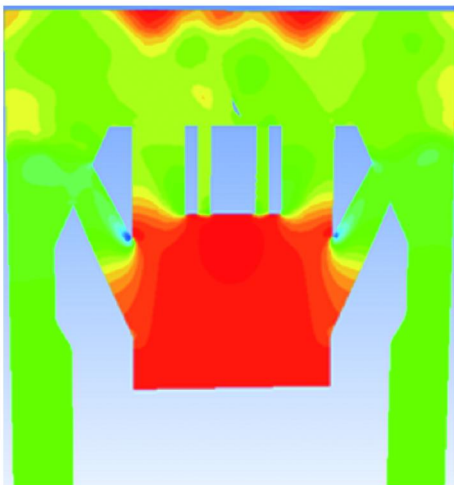


图6  $x=0$  静压力云图

图1中的线段 $AB$ 、 $BC$ 和 $CD$ 位于钻头附近环空内,图7是这些线段所在位置的静压力系数曲线,图中横坐标 $\varepsilon_x$ 代表线段上的相对位置,见式(2)所示。

$$\varepsilon_x = L_x/L_{AD} \quad (2)$$

式中: $L_x$ ——线段上任意一点到A点的长度, $L_{AD}$ —— $ABCD$ 线段的总长度。

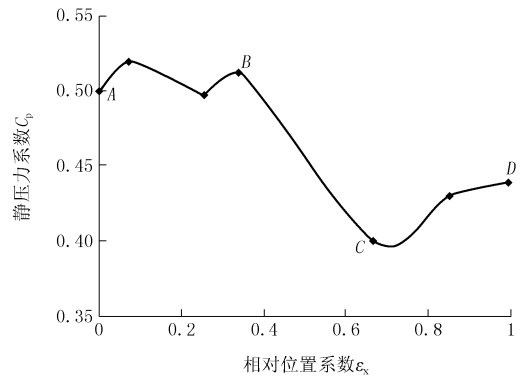


图7 静压力系数曲线

纵坐标 $C_p$ 代表静压力系数,如式(3)所示:

$$C_p = P/[(1/2)\rho V_0^2] \quad (3)$$

式中: $P$ ——线段上某点处的静压力; $\rho$ ——空气的密度; $V_0$ ——钻头进口处的速度。

由图7可知,在线段 $BC$ 上,从 $B$ 点到 $C$ 点,静压力系数有一个明显的下降,这个压差对钻头顶部的钻屑存在一个抽吸作用,简称“抽吸压差”。显然,“抽吸压差”越大,就越利于钻屑和热量的排出。

## 3 结论

(1)在钻头附近环空流场内存在一个“阻塞漩涡”,该漩涡不利于钻屑和热量的排出。当风量为不堵塞风量的1.25倍时,为最佳钻进风量。

(2)在钻头附近环空内存在“抽吸压差”,抽吸压差越大,越有利于钻屑的排出和热量的散发。

(3)对钻头的优化设计可以围绕减小“阻塞漩涡”和增大“抽吸压差”进行。

## 参考文献:

- [1] 王义红.大通孔开闭式全方位钻进钻头:中国,ZL2011120481198.1[P].2012-07-11.
- [2] 侯红,凌标灿,罗维,等.松软突出煤层中三角形钻杆成孔技术研究[J].煤炭科学技术,2012,(8):67-70.
- [3] 杨明艳.三棱钻杆在松软突出煤层中的应用[J].煤矿机械,2012,(5):218-220.
- [4] 孙新胜,王力,方有向,等.松软煤层筛管护孔瓦斯抽采技术与装备[J].煤炭科学技术,2013,(3):74-76.
- [5] 杨华,谢伦.气力输送工程[M].北京:机械工业出版社,2006.107-116.