

冲击器射流元件内部流场 CFD 模拟仿真分析

陈晶晶¹, 陈家旺², 殷 琨³

(1. 广东宏大爆破股份有限公司, 广东 广州 510623; 2. 浙江大学, 浙江 杭州 311251; 3. 吉林大学建设工程学院, 吉林 长春 130026)

摘要:利用 CFD 数值模拟手段,对射流元件内部流场进行模拟,并对数据进行分析研究,得出结论为:在空载作用下,元件在一侧出流。赋予不同的主喷嘴流量,元件的属性各参量变化不大,可见,元件结构既定,元件射流附壁属性基本确定。该模拟仿真分析丰富了射流元件内部流动的理论研究,完善了参数设计,这对射流式冲击器的设计理念 and 理论研究有很好的指导意义。

关键词:液动冲击器;射流元件;内部流场;仿真

中图分类号:P634.4 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-7428(2008)12-0026-02

Numerical Simulation and Analysis on the Flow Fields in Jet Element by CFD/CHEN Jing-jing¹, CHEN Jia-wang², YIN Kun³ (1. Guangdong Hongda Blasting Co., Ltd, Guangzhou Guangdong 510623, China; 2. Zhejiang University, Hangzhou Zhejiang 311251, China; 3. Jilin University, Changchun Jilin 130026, China)

Abstract: In this paper, flow field inside jet element was simulated with CFD numerical simulation, and the results were analyzed. While with no-load, jet flow attached to and out flowed from one side of the jet element. With different flow to main nozzle, difference of parameters and characteristic of the jet stream is not obvious, so the conclusion is that wall-attached property of jet element is stable with existing structure. This simulation enriched theory of inside flow in jet element and perfected parameter design.

Key words: hydraulic compactor; jet element; inside flow field; simulation

0 引言

计算流体动力学(Computational Fluid Dynamics,简称 CFD)是通过计算机数值计算和图像显示,对包含有流体流动和热传导等相关物理现象的系统所做的分析。CFD 的基本思想可以归结为:把原来在时间域及空间域上连续的物理量的场,如速度场和压力场,用一系列有限个离散点上的变量值的集合来代替,通过一定的原则和方式建立起关于这些场变量之间关系的代数方程组,然后求解代数方程组获得场变量的近似值。CFD 可以看做是在流动基本方程(质量守恒方程、动量守恒方程、能量守恒方程)控制下对流动的数值模拟。通过这种模拟,可以得到极其复杂问题的流场内各个位置上的基本物理量(如速度、压力、温度、浓度等)的分布,以及这些物理量随时间的变化情况。此外,与 CAD 联合,还可进行结构优化设计等。

1 流体力学控制方程

1.1 能量守恒方程(连续方程)

任何流体问题都必须满足质量守恒定律。该定律可表述为:单位时间内流体微元体中质量的增加,

等于同一时间间隔内流入该微元体的净质量。按照这一定律,可以得出质量守恒定律:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho w)}{\partial z} = 0 \quad (1)$$

引入矢量符号 $\text{div}(\alpha) = \frac{\partial \alpha_x}{\partial x} + \frac{\partial \alpha_y}{\partial y} + \frac{\partial \alpha_z}{\partial z}$,式(1)

写成:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \text{div}(\rho u) = 0 \quad (2)$$

式中: ρ ——密度; t ——时间; u 、 v 、 w ——速度矢量在 x 、 y 和 z 方向上的分量。

1.2 动量守恒方程

动量守恒定律也是任何流体系统都必须满足的基本定律。该定律可表述为:微元体中流体的动量对时间的变化率等于外界作用在该微元体上的各种力之和,该定律实际上是牛顿第二定律。按照这一定律,可导出 x 、 y 和 z 三个方向的动量守恒方程:

$$\frac{\partial(\rho u)}{\partial t} + \text{div}(\rho u u) = \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yx}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zx}}{\partial z} + F_x \quad (3)$$

$$\frac{\partial(\rho v)}{\partial t} + \text{div}(\rho v u) = \frac{\partial p}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yy}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zy}}{\partial z} + F_y \quad (4)$$

收稿日期:2008-07-22

作者简介:陈晶晶(1982-),男(汉族),河南周口人,广东宏大爆破股份有限公司工程师,地质工程专业,硕士,从事矿山开采的技术研究以及管理工作,广东省广州市天河区珠江新城华夏路1号信合大厦南翼三楼, chj11201982@163.com。

$$\frac{\partial(\rho w)}{\partial t} + \text{div}(\rho w u) = \frac{\partial p}{\partial z} + \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zz}}{\partial z} + F_z \quad (5)$$

式中： p ——流体微元上的压力； τ_{xx} 、 τ_{xy} 、 τ_{xz} ——因分子粘性作用而产生的作用在微元体表面上的粘性应力 τ 的分量； F_x 、 F_y 、 F_z ——微元体上的体力，若体力只有重力时，且 z 轴竖直向上，则 $F_x = 0$ ， $F_y = 0$ ， $F_z = -\rho g$ 。

1.3 湍流的附加控制方程

一般认为，无论湍流运动多么复杂，非稳态的连续方程和 Navie - Stokes 方程对于湍流的瞬时运动仍然是适用的。在此，考虑不可压流动，使用笛卡尔坐标系，速度矢量 u 在 x 、 y 和 z 方向的分量为 u 、 v 和 w ，写出湍流瞬时控制方程如下：

$$\text{div}(u) = 0 \quad (6)$$

$$\frac{\partial u}{\partial t} + \text{div}(uu) = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + v \text{div}(\text{gradu}) \quad (7)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + \text{div}(vu) = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} + v \text{div}(\text{grad}v) \quad (8)$$

$$\frac{\partial w}{\partial t} + \text{div}(wu) = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} + v \text{div}(\text{grad}w) \quad (9)$$

2 基于 CFD 技术的数值模拟仿真分析

2.1 模拟仿真的目的

本次模拟仿真主要目的是利用先进的 CFD 技术对射流元件工作条件下其内部流场的分布情况进行分析，力求在仿真分析过程中有新发现，丰富理论研究，完善射流元件工作腔室参数设计，由此来指导射流式液动冲击器的设计理论。

2.2 模型建立

首先需要对所要分析的区域建立数学模型，利用 Gambit 软件或其他 CAD 软件建立几何模型。模型建立以后，使用软件进行网格划分。采用 solid-works 建立三维图形(如图 1)，将所得图形导入进行网格划分，如图 2 所示。

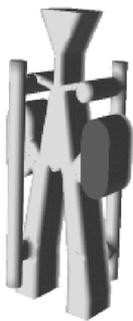


图 1 射流元件内部流道几何模型



图 2 有限元模型

2.3 边界条件及仿真结果

研究对象工作参数：计算得到喷嘴处水力直径为

33 mm，排空道水力直径为 34.3 mm，输出道水力直径 33 mm，采用的泵量不同，压力出口均为 0.1 MPa。

图 3 是流体介质粒子运动速度路径图，由于无负载作用，信号控制道内的流体随附壁射流卷吸至工作腔内，附壁侧信号道流体流速要明显高于非附壁侧的流体速度，工作腔存在 2 个漩涡，一个是位于劈尖上方的锁涡，一个是位于劈尖非附壁侧排空道侧的小涡。锁涡是由于附壁射流的卷吸形成，由于射流速度高，其影响范围大，该涡内流体夹杂从非附壁侧卷吸入的流体，速度相对较小，该涡在劈尖上方，由于劈尖为凹形，更有利于涡的形成及稳定。由于模拟时各出口都采用压力出口，实际流动状态由计算程序控制，可以看到非附壁侧输出道也输出流体，而两侧的排空道内流体都被抽吸到元件腔内，由于非附壁侧输出流体与锁涡之间存在剪切作用，形成一个小漩涡，小漩涡的存在有利于附壁侧射流稳定。

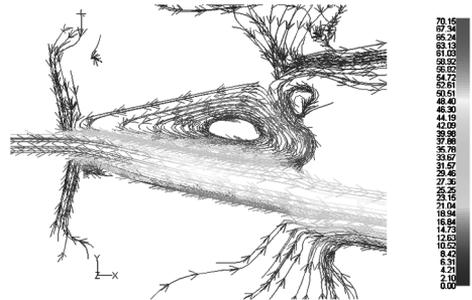


图 3 流体介质粒子运动速度路径图

可见，对已经形成的附壁射流，无喷嘴控制流作用下，喷嘴流量的变化对附壁射流的附着点及压力分布影响不大，工作腔内的宏观流动状态基本保持一致，由于流量的不同，工作腔内的速度分布和涡量分布有区别但不大。

各出口速度、压力、流量、信号道出口速度、压力、流量见表 1。

表 1 各出口参数表

	速度/(m·s ⁻¹)	压力/Pa	流量/(L·min ⁻¹)
输出道 A	21.679144	0	-375.482664
	16.246151	0	-281.960742
输出道 B	1.3362428	0	-23.0079696
	0.98438996	0	-17.1916782
排空道 A	3.9741397	13.899684	95.009718
	2.9913249	7.761219	71.514582
排空道 B	0.43970546	0.17889197	10.3916184
	0.3358914	0.11914248	7.9435158
信号道 A	2.3405066	31.943287	
	1.6152524	18.980988	
信号道 B	9.988183	1316.6638	
	7.5457802	742.28857	

6.2.3 取心和涌水量分析

从检查孔和先导孔取心的情况来看,水泥浆液与岩石胶结良好,岩石的取心率明显高于先导孔。

从灌浆前和灌浆后检查孔的涌水情况来看,灌前基本孔的最大涌水压力为 0.5 MPa,涌水量达到 70 L/min。检查孔施工时没有发现涌水现象,证明采用这种锥形帷幕灌浆方法是成功的,灌浆效果是显著的。

6.2.4 质量评定

1号上斜井锥形共完成帷幕灌浆孔(含检查孔)111个,其中优良率93%,合格率达到100%。

7 结语

(1)抽水蓄能电站引水系统由于其承受的水头压力较大,而且水压经常变化等,对引水系统围岩稳定性的要求很高,对于该工程穿过2层古风化壳的

引水系统来说,围岩的稳定性问题显得尤为重要。

(2)通过在开挖前进行阻水帷幕灌浆证明,帷幕灌浆不但减少了地下水的渗水量,为开挖和砼衬砌提供有利的条件,同时通过灌浆增加了围岩的承载能力,减少了临时支护的投入。

(3)根据各项灌浆资料数据统计,表明锥形帷幕灌浆取得了良好的灌浆效果。1号上斜井锥形帷幕灌浆结束后,施工与其相距34.63m的2号上斜井锥形帷幕灌浆时,可以明显的感到2号上斜井岩石的吸浆量降低,这说明灌浆施工对整个古风化壳在工程影响范围内得到了有效的改善。

(4)此工程2条斜井4回次穿过古风化壳,不但给开挖工作带来很多难题,灌浆工程也是通过阻水帷幕、高压固结、锥形帷幕几个基础处理的不同手段的联合处理才取得了满意的效果。

(上接第25页)

(4)通过改变动力头2个马达的工作方式,扩大了钻机转速和扭矩的变化范围,较好的满足了不同工况的使用要求。

(5)钻机使用液控自动进给系统,操作者随时观察到钻进过程中显示的孔底钻压,可根据地层变化随时进行调整,实现在给定压力下的孔底恒压自动进给,并实现过载自动保护。

(6)钻机采用分泵启动的开式液压系统,机构动作分组控制,可防止由于误操作而引发事故。系统管路中插装阀集成块的使用,简化了系统结构,合理利用了空间。

(7)钻机系列化、标准化、通用化程度高,元件

的互换性能好,操作简单,维修方便,为GYD系列钻机在激烈的市场竞争中占有一席之地创造了有利条件。

参考文献:

- [1] 路雨祥. 液压气动技术手册[M]. 北京:机械工业出版社, 2002.
- [2] 刘旭明. 大口径桩基工程钻机发展趋势初探[J]. 矿产与地质, 2001, (1): 563-566
- [3] 胡少韵, 赵学社, 姚宁平, 等. GY-15型全液压力头工程钻机的研制[J]. 煤田地质与勘探, 1998, (S1): 63-65.
- [4] 姚亚峰, 王贺剑, 凡东, 等. ZDY1200型履带式全液压力坑道钻机的研制[J]. 煤田地质与勘探, 2008, (6): 75-78.
- [5] 孙笑萍. 液压传动在工程钻机上的应用[J]. 工程机械, 1999, (1): 27-29, 42-48.

(上接第27页)

从表1可知,实际工作时,排空道并非起排空作用,而是由于元件工作腔内压力降而抽吸入工作腔随工作介质送至输出道,信号道内流体都由喷嘴处流至输出道信号口。

3 结论

由以上分析可以得出:在空载作用下,元件在第一侧出流。赋予不同的主喷嘴流量,元件的属性各参量变化不大,可见,元件结构即定,元件射流附壁属性基本确定。

CFD方法与传统的理论分析方法、实验测量方

法组成了研究流体流动问题的完整体系。通过模拟仿真分析,说明三维湍流数值计算方法应用于双稳射流元件内部流动是可行的、准确的。

参考文献:

- [1] 王福军. 计算流体力学分析[M]. 北京:清华大学出版社, 2004. 13-16.
- [2] 康琦, 申功焱. 全速测速技术进展[J]. 力学进展, 1997, 27(1): 160-161.
- [3] 盛森芝, 等. 近十年来流动测量技术的新发展[J]. 力学与实践, 2002, (5): 8-12.
- [4] 郭鸿志. 数值传热学[M]. 北京:冶金工业出版社, 1998.