

引射孔倾角与孔径对钻头体反循环形成影响的仿真分析与实验研究

郝树青, 殷 琨, 王清岩, 任 红

(吉林大学建设工程学院, 吉林 长春 130026)

摘 要: 介绍了引射装置的工作原理及其在反循环取心钻头体上的应用, 运用 FLUENT 流体工程仿真软件分别对不同倾角与不同直径引射孔内部形成的负压进行模拟, 得到对应压力分布云图与数值, 并根据所得结论制造出带有不同角度和不同孔径的引射装置, 在实验室进行试验研究, 所得数据与仿真结果比较, 二者基本吻合, 说明运用仿真技术对引射结构进行优化设计是可靠的, 并且过程简单, 与过去常用的经验法与试验法相比, 成本低, 周期短, 结论更准确。

关键词: 引射器; 引射孔倾角; 引射孔孔径; 反循环; FLUENT 仿真模拟; 反循环取心钻头

中图分类号: P634.4⁺¹ 文献标识码: A 文章编号: 1672-7428(2006)05-0037-05

The Emulator Analyse and Experiment Study on the Influence from Diverse Obliquity and Diameter Injector Hole Used in the Reverse Circulation Core Drilling Bit/HAO Shu-qing, YIN Kun, WANG Qing-yan, REN Hong (College of Construction Engineering, Jilin University, Changchun Jilin 130026, China)

Abstract: The article introduced the work principle of the injector device and the application in the reverse-circulation sampling drilling bit. Then use the FLUNET fluid engineer emulator software to simulate the onerous formed inside the different obliquity and hole diameter respectively. The pressure distributing nephogram and the corresponding numerical value has been gotten. Injectors with different degrees and different hole diameters according the conclusion from FLUENT be designed to experiment in the laboratory. Comparing the two values we found that they are anastomose essentially. It shows that using emulator technology to design is credible and simple, and the cost is lowered, the design cycle is shorten compared with the method through experience and test.

Key words: injector; obliquity of inject hole; diameter of inject hole; reverse circulation; FLUENT emulator simulate; reverse circulation core bit

反循环形成质量的好坏是衡量潜孔锤性能优劣的重要指标, 现有的反循环钻头在钻进条件复杂时, 反循环难以形成。为解决这个难题, 在原有钻头结构基础上增加一级引射装置, 来改善反循环形成质量以及钻头体性能^[1]。对于该引射装置的合理设计, 找到最优结构参数, 将会为钻头的优化设计提供指导。本文采用 FLUENT 流体工程仿真软件, 针对影响负压形成条件的引射孔倾角和孔径进行优选, 并与实验结果进行对照。

1 引射器工作原理

引射器由工作喷嘴、接受室、混合室及扩散室等部件组成(见图 1)。进入装置前, 压力较高的流体叫做工作流体, 它以很高的速度从喷嘴流出, 进入接受室, 由于射流的紊动扩散作用, 卷吸周围的流体而

发生动量交换, 被吸走的压力较低的流体叫引射流体。工作流体与引射流体在混合室内混合, 进行动量和质量交换, 在流动过程中速度渐渐均衡, 这期间常常伴随压力的升高。流体从混合室出来进入扩散室, 压力继续升高。在扩散室出口处, 混合流体的压力高于进入接受室时引射流体的压力^[2]。

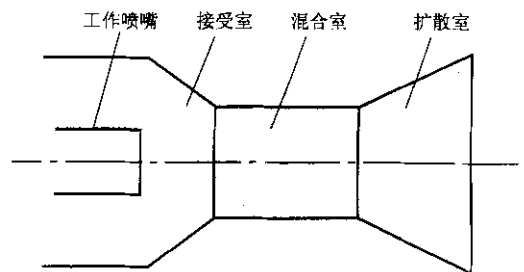


图 1 引射器工作原理简图

收稿日期 2005-11-21; 改回日期 2006-03-27

基金项目: 吉林省科技发展引导项目(编号 200405033)

作者简介: 郝树青(1975-), 女(汉族), 山西平遥人, 吉林大学博士在读, 地质工程专业, 研究方向为多工艺潜孔锤钻进技术, 吉林省长春市西民主大街 6 号吉林大学朝阳校区建设工程学院 2004 级博, 13500807547, jdhsq@163.com。

2 引射原理在反循环钻头体上的应用现状

目前的反循环钻头 根据引射器基本结构 将钻头排风孔设计成引射器的喷嘴,合理设计钻头底部结构,使其较好地构成混合室与扩散室,由于排风孔数量一般为多个,故形成多喷嘴引射结构,经过潜孔锤后的压气进入喷嘴产生高速射流,对周围流体产生卷吸作用,对外环间隙构成抽吸,多个喷嘴随钻头不断旋转,在孔底形成环状负压区,气体被导流到贯通孔内再行压力恢复^[3],这样将有助于反循环的形成。孔底射流携带岩屑沿钻杆中心通道返回地表^[4]。但是,对于地层极其复杂而且破碎、有溶洞的情况,通入的压缩空气从裂隙和空洞漏失,反循环难以形成。故需对钻头体结构进行改进。

3 新增引射装置的思想

在原有结构基础上,增加一级引射装置,由于卷吸作用^[5],在中心孔道内再次形成负压区,在一段路程上形成压力差,进入中心孔内的岩心(样)在上下压力差的作用下,得到加速,更顺利地排出孔外,从而改善反循环形成效果,避免孔底堵塞。如图2上的引射孔开孔位置。对新增引射装置的结构参数进行优化设计,是本次研究的重点。以下是对该引射孔倾角与孔径两个参数下所形成的内部流场进行数值模拟。

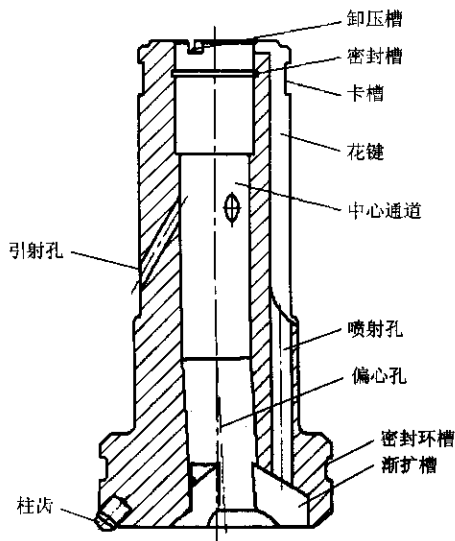


图2 新型反循环钻头结构图

4 引射装置的数值模拟与仿真计算

4.1 引射装置的流场分析基本步骤

引射装置内部流场采用 FLUENT 软件进行分析,通入引射器中的气体属于可压缩非定常流,求解

过程包括建模、前处理、求解、后处理4个步骤。

4.2 计算流体力学通用软件的功能

FLUENT 是一种 CFD 求解器,可求解各种复杂流动,包括不可压缩、弱可压缩和强压缩性流动问题。FLUENT 软件采用适当的数值解法,在计算速度、稳定性和精度等方面达到优化组合,高效解决各种复杂流动计算模拟。有多种求解方法可供选择,并提供多重网格方法以加快收敛速度,因此可为速度范围很广的流动问题提供高效准确的最优求解方案。并提供丰富的物理模型,可准确预测层流和湍流问题,各种形式的换热、化学反应、多相流以及各种移动网格和网格自适应的问题。

4.3 计算模式

研究以往试验结论,在引射结构侧壁上均布6个直径均为5mm的孔进行引射孔倾角的研究,另外,还在引射结构侧壁上均布6个直径分别为3、5、6、7、8、9、10mm,倾角为45°的孔,通过Solidworks软件建立引射结构内部流场简化模型导入GAMBIT,生成四面体网格,并在引射器接收管、混合管和扩散管内壁面生成附面层网格,喷嘴附近网格被加密,在计算中对网格自适应,最终网格数大约为320000。

采用K-epsilon模型进行计算,对所有壁面取标准壁面函数,对能量及湍流相应方程使用二阶精度迎风格式离散。引射流入口采用压力入口边界、质量入口边界,在出口处采用压力出口,气体密度按理想气体。全场进口压力为2.8MPa,进风量6m³/min,进口质量流量为0.1225kg/s。得到引射孔中心线与钻头轴线向上夹角呈30°、45°、60°时内部流场压力分布(如图3、4、5所示),引射孔孔径分别为3、5、6、7、8、9、10mm时的压力分布云图(如图6、7、8、9、10、11、12所示)。

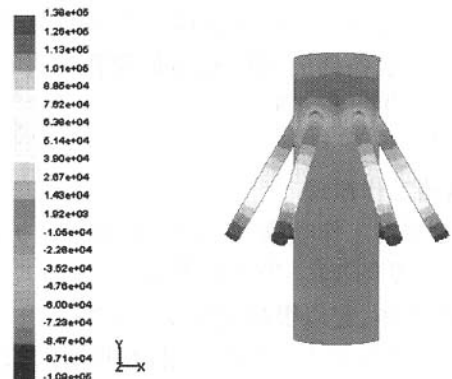


图3 30°角时的压力分布云图

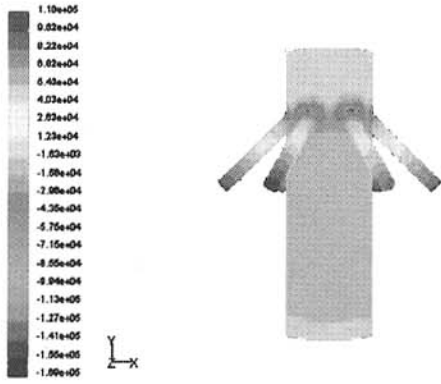


图 4 45°角时的压力分布云图

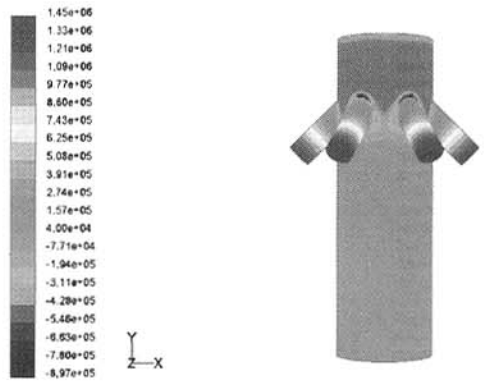


图 8 6 mm 直径引射孔的压力分布云图

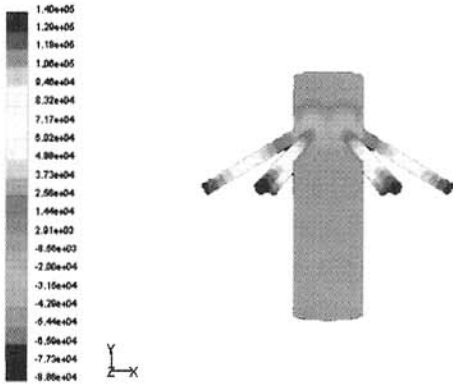


图 5 60°角时的压力分布云图

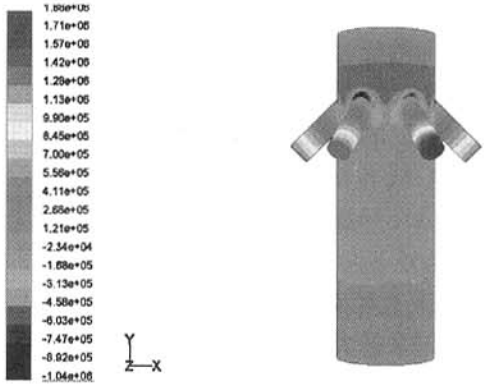


图 9 7 mm 直径引射孔的压力分布云图

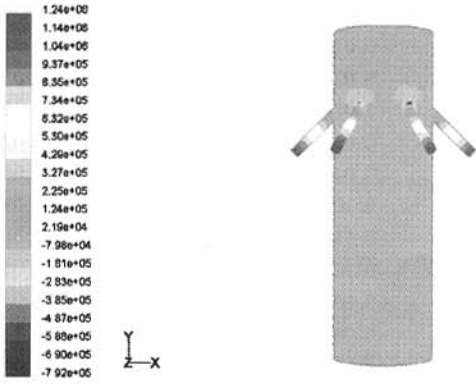


图 6 3 mm 直径引射孔的压力分布云图

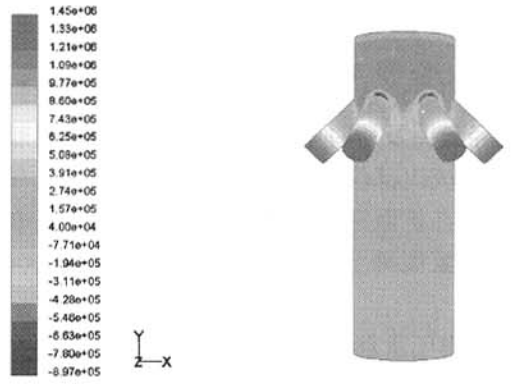


图 10 8 mm 直径引射孔的压力分布云图

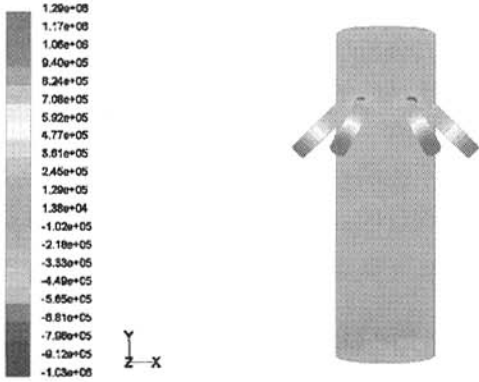


图 7 5 mm 直径引射孔的压力分布云图

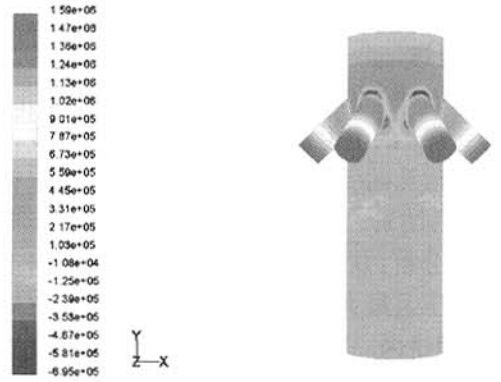


图 11 9 mm 直径引射孔的压力分布云图

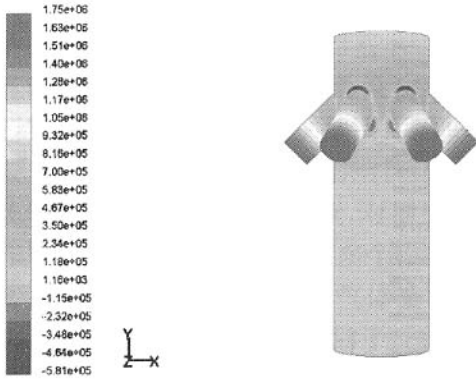


图12 10 mm 直径引射孔的压力分布云图



图13 带有30°、45°、60°三种角度的引射器

4.4 结果分析

从以上的压力云图可以得出以下结论。

(1)当引射孔中心线与钻头中心轴线夹角成45°角时,形成的负压最大,负压区也最大。即,当把引射孔中心线与钻头轴线夹角向上成45°时,将更有利于反循环形成。

(2)孔径不同的引射孔所形成的负压值是不同的,从3 mm 直径引射孔到7 mm 直径引射孔所形成的负压值越来越大,当直径>7 mm 后,所形成的负压开始减小,也就是说,并不是孔径越大,形成负压便越好,而是存在一个最优孔径,可以产生最大的负压。本次模拟的结果是,孔径为7 mm 时,产生的负压最大。

(3)研究形成负压区、负压值最大的45°倾角、7 mm 孔径云图及所对应数值,可以看出,从孔底到引射孔气流流出部位,中心通道内一直为负压,压强变化趋势为在扩散室结束部位变大,然后变小,在引射孔中心线汇聚稍下一点的部位负压达到最大,之后又变小。

(4)由于求解倾角与求解直径时所建模型略有不同,故在求解5 mm 直径时所得压力值稍有差异,但不影响得出令人信服结论。

5 试验研究

据此设计了同时带有30°、45°、60°三种角度,孔径均为5 mm 的引射器(如图13所示),以及带有不同直径引射孔的引射器,在实验室进行测试,得到表1和表2的结果。

结果分析:从表1数据看出,45°倾角引射孔所形成的负压是最大的;从孔底到引射孔气流流出部位,中心通道内一直为负压,在引射孔中心线汇聚稍下一点的部位负压达到最大,之后又变小。从表2数据看出,随着孔径增大,从3 mm 到7 mm 所形成

表1 不同倾角引射孔下形成的负压值 /MPa

长度 /cm	倾角/(°)		
	30	45	60
4	0	-0.00020	正压
5	0	-0.00049	正压
6	0	-0.00032	正压
7	0	-0.00415	正压
8	-0.00480	-0.00647	-0.00083
9	-0.00512	-0.00862	-0.00144
10	-0.00651	-0.00991	-0.00244
11	-0.00731	-0.01022	-0.00247
12	-0.00822	-0.01116	-0.01044
13	-0.01284	-0.09431	-0.01090
14	-0.01384	-0.09455	-0.02000
15	-0.02393	-0.10431	-0.02020
16	-0.02837	-0.10531	-0.02089
17	-0.03520	-0.11441	-0.02193
18	-0.04657	-0.12451	-0.04221
19	-0.10686	-0.13412	-0.05959
20	-0.11755	-0.14422	-0.06000
21	-0.11916	-0.15647	-0.05050
22	-0.09774	-0.11993	-0.04988
23	-0.08176	-0.11141	-0.04588
24	-0.00971	-0.10745	-0.04364

注:长度表示伸入引射器中的气接管长度。

的负压逐渐增大,之后,随着孔径增大,负压逐渐减小。与仿真分析结果基本吻合。仿真分析在确定参数上不仅比试验的方法简单而且准确。本试验数据与仿真分析有一定误差,这是由于实际操作过程中,存在一些不能满足的条件,而仿真分析完全是在理想状态下进行的。

6 结论

(1)运用 FLUENT 流场分析软件对相同孔径、不同倾角引射孔所形成的内部流场进行分析,得出结论,当引射孔中心线与钻头中心轴线上夹角为

表 2 不同直径引射孔下形成的负压值

/MPa

长度 /cm	直径/mm						
	3	5	6	7	8	9	10
4	-0.00004		-0.00133	-0.00980	-0.00360	-0.00300	
5	-0.00178	正压	-0.00210	-0.02290	-0.02220	-0.00980	
6	-0.00632		-0.09330	-0.09910	-0.02560	-0.01000	正压
7	-0.00632		-0.17400	-0.19010	-0.03000	-0.02980	
8	-0.00632	-0.00800	-0.36700	-0.46050	-0.05900	-0.02920	
9	-0.00632	-0.00630	-0.44700	-0.52770	-0.07200	-0.04850	-0.03250
10	-0.06100	-0.07770	-0.51900	-0.55810	-0.08520	-0.05400	-0.04300
11	-0.19500	-0.33000	-0.53100	-0.56000	-0.09520	-0.08740	-0.06900
12	-0.30400	-0.57400	-0.59400	-0.61110	-0.14500	-0.09000	-0.08720
13	-0.52200	-0.64000	-0.64500	-0.72400	-0.34100	-0.14200	-0.09660
14	-0.71000	-0.84500	-0.97000	-1.02000	-0.36900	-0.20000	-0.12500

注 :长度表示伸入引射器中的气压管长度。

45°时 ,形成负压最大 ,负压区也最大 ,从而越有利于反循环的形成。

(2)同样运用 FLUENT 流场分析软件对相同倾角、不同孔径引射孔所形成的内部流场进行分析 ,得到结论 ,孔径不同 ,所形成的负压值也不同。随着孔径增大 ,所形成的负压值先增加 ,后减小。当孔径为 7 mm 时 ,形成的负压最大 ,对反循环形成最有利。

(3)根据结论制造出实体模型 ,在实验室进行试验 ,得到的数据与仿真分析结果进行比较 ,二者基本吻合 ,说明运用仿真分析技术进行参数优化设计结论可靠。为合理设计钻头结构提供了指导。

7 展望

本次试验考虑了在 6 孔均布、孔径均为 5 mm

(上接第 36 页)

了地质灾害危险性评估、岩土工程勘察及边坡岩体结构与地质条件评价 ,资料齐全、内容丰富 ,为设计提供了可靠的依据。

(2)施工采用潜孔锤风动干式成孔工艺 ,效率高 ,成本低 ,对边坡扰动小 ,采用 2 ~ 3 次压力注浆工艺 ,增加了锚固体粘结强度 ,并加强锚索(杆)的防腐处理和排水系统设置 ,确保了边坡的安全。

(3)应用有限元方法来验证设计方案的合理性 ,模拟结果与工程实践基本吻合。

(4)强化施工管理 ,实施“ 动态设计与信息化施工 ” ,确保边坡支护工程质量。边坡设计经广州市科技委组织专家评审通过 ,大大提高了该边坡的设计与施工质量。

情况下 ,不同倾角引射孔所引起的流场分布情况 ,以及不同直径均布引射孔所引起的流场压力分布情况。对孔的不同分布位置、孔的个数等将在以后的研究中进一步分析。

参考文献 :

- [1] 赵静野 ,孙厚钧 ,高军. 引射器基本工作原理及其应用[J]. 北京建筑工程学院学报 ,2000 ,16(4) :12 - 15.
- [2] 詹军 ,殷琨 ,于清杨 ,曾建华. 风动冲击器活塞冲击末速度的有限元研究[J]. 煤田地质与勘探 ,2003 ,31(6) :58 - 60.
- [3] 王福军. 计算流动动力学分析——CFD 软件原理与应用[M]. 北京 :清华大学出版社 ,2004. 185 - 209.
- [4] 韩占忠 ,王敬 ,兰小平. FLUENT 流体工程仿真计算实例与应用[M]. 北京 :北京理工大学出版社 ,2005. 19 - 26.
- [5] 耿瑞伦 ,陈星庆. 多工艺空气钻探[M]. 北京 :地质出版社 ,1995. 74 - 102.

参考文献 :

- [1] 张倬元 ,王士天 ,王兰生. 工程地质分析原理[M]. 北京 :地质出版社 ,1994.
- [2] 肖树芳 ,杨淑碧. 岩体力学[M]. 北京 :地质出版社 ,1991.
- [3] 单灰祖. 材料力学[M]. 北京 :高等教育出版社 ,2002.
- [4] 东南大学 ,浙江大学 ,湖南大学 ,苏州城建环保学院. 土力学[M]. 北京 :中国建筑工业出版社 ,2002.
- [5] 张有天. 岩石边坡的变形与稳定[M]. 北京 :中国水利水电出版社 ,1999.
- [6] 陈清远. 数值模拟法在边坡稳定分析中的应用[A]. 力学与工程学术讨论会论文集[C]. 1999.
- [7] 汪益敏. 有限元法在边坡岩体稳定分析中的应用[J]. 西安公路学院学报 ,1994 ,14(2) .
- [8] 黄润秋 ,许强 ,陶连金 ,林峰. 地质灾害过程模拟和过程控制研究[M]. 北京 :科学出版社 ,2002.
- [9] G ·哥得赫. 有限元法在岩土力学中的应用[M]. 张清 ,张弥译. 北京 :中国铁道出版社 ,1983.