

文章编号: 1004—5589 (2007) 01—0098—04

潜孔锤反循环钻头体的改进与内部流场的仿真分析

郝树青, 殷琨, 王清岩, 任红

吉林大学 建设工程学院, 长春 130026

摘要: 介绍了潜孔锤反循环钻头改进设计的思想, 运用 CFD 技术对钻头体内部流场进行了数值模拟与仿真分析。结果表明: 卷吸作用与钻头体底部的喷射孔形成的反循环气流共同作用, 加强了反循环形成效果; 且钻头体内部上返风速 >15.24 m/s, 使岩芯得以顺利地排至地表。设计加工了带有不同倾角引射孔的钻头体模型, 经实验室验证表明, 当引射孔倾角为 30° 时形成的压力最大。将加工出的钻头用于栾川钼矿生产, 钻遇采空区时或穿过采空区后, 反循环都正常形成, 应用该技术共完成勘探孔 66 个, 累计进尺 $>2\,500$ m, 钻进时效 4.08 m。

关键词: 反循环钻头; CFD 技术; 内部流场; 钻头模型

中图分类号: P634.41

文献标识码: A

Improvement of DTH reverse circulation bit and its emulator on interior fluid field

HAO Shu-qing, YIN Kun, WANG Qing-yan, REN Hong

College of Construction Engineering, Jilin University, Changchun 130026, China

Abstract: The philosophy of the improved design on the DTH reverse circulation bit was introduced and numerical simulation and emulator analysis were carried through on the interior fluid field of the bit by using CFD technique. The results show that the reverse circulation effects were improved by the combined actions of pumping and reverse air flow from the jet orifice at the bit bottom, which made the ascending air flow inside the bit more than 15.24 m/s; therefore, the core samples could be easily lifted up to the surface. The authors designed and made bit models with the injector hole at different obliquity in the bit. The experiment shows that the maximum pressure is formed when the injector hole obliquates at 30° . While the same bits are applied to the Luanchuan molybdenum deposit digging, the natural reverse circulation could be formed either the drilling penetrates through worked-out area or beneath it. Sixty-six prospect boreholes have been drilled with the same technique and accumulated footage is over 2 500 m, with 4.08 m in drilling hour efficiency.

Key words: reverse circulation bit; CFD technique; interior fluid field; bit model

0 引言

潜孔锤反循环钻头是贯通式潜孔锤反循环连续取芯钻进技术的关键部件。它不仅影响孔底岩石破碎情况, 而且影响清洗孔底和输送岩屑的效果。90

年代研制出的反循环钻头, 在固体矿床勘探和水文水井钻探中得到推广应用, 取得较好效果, 但是当钻进复杂条件地层时, 由于压缩空气从裂隙和空洞漏失, 反循环难以形成^[1,2]。为解决该难题, 笔者对反循环钻头进行了改进。

收稿日期: 2006-02-28; 改回日期: 2006-09-26

基金项目: 吉林省科学技术厅科技发展引导项目 (2004050330)

1 反循环形成的机理

反循环即钻进过程中冲洗介质（液、气和泡沫等）携钻头破碎的岩芯、岩屑（粉）及孔内物质沿钻杆中心通道排至地表。冲洗介质反循环减弱了对孔壁的冲刷与扰动，有利于孔壁稳定，同时又以高流速增强了携带能力，孔内排渣干净，可实现连续取芯，也可直接用于钻孔采矿。

2 反循环钻头体设计

2.1 设计原则

钻头在设计时应注意：

(1) 取芯直径不能过大，一般以内管内径的一半为宜；

(2) 取芯钻头的吸渣口在岩芯进入后过水断面减少，为了防止产生液流阻力，必须在主吸渣口周边开设辅助吸渣口。图 1 为潜孔锤钻头体结构。

2.2 设计中的改进思路

在设计该钻头体时，进行了一系列的改进：

(1) 钻头体中心通道设计，将中心线 12 与 13 之间设计一个夹角（图 1），避免直孔时，岩芯与外圆柱面形成同心孔，岩芯与岩屑同时上升而产生堵塞，影响反循环过程中岩（芯）屑的上返。

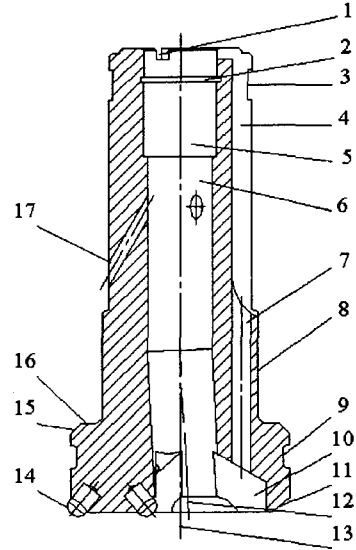
(2) 在钻头体上设计环槽 9，利于阻碍流体泄漏，使反循环形成时压力稳定和岩（芯）屑上返。

(3) 钻头胎体设有硬质合金齿 14，增强钻头的耐磨性和破岩效率。

(4) 钻头体底喷排风孔 7 的设计。通过钻头底喷排风孔喷出气体的射流作用，高速气流束对周围流体产生卷吸作用，致使排风孔附近形成低压区，对外环间隙构成抽吸，多个排风孔随钻头不断旋转，在孔底形成环状低压区，有效阻止正循环的形成，使气流携带岩芯或岩粉通过导流和扩散进入钻头中心孔，形成反循环。

(5) 新增引射孔结构。在钻头的花键槽内向上钻出具有一定直径的孔 17 作为引射孔，由于卷吸作用^[3]，在中心孔道内再次形成低压区，这样进入中心孔内的岩芯或岩粉在上下压力差的作用下，进一步得到加速，更有利于反循环的形成。而在压缩空气漏失严重，底排风孔无法形成负压的情况下，岩芯或岩粉也会由于引射孔在中心孔道内形成的负压，在压力差作用下进入中心孔，使钻头形成

反循环。



1. 泄风槽；2. 密封槽；3. 卡槽；4. 花键；5. 芯管内孔；6. 中心通道；7. 底喷排风孔；8. 圆柱面；9. 密封环槽；10. 扩散槽；11. 外缘台肩；12. 取芯偏心孔；13. 钻头中心；14. 合金柱齿；15. 上锥面；16. 台肩面；17. 引射孔

图 1 反循环钻头体结构图

Fig.1 Structure of DTH reverse circulation bit

3 反循环钻头体内部流场数值模拟与仿真计算

3.1 钻头体内部流场分析基本步骤

采用 FLUENT 软件^[4]进行流场分析，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。

3.2 计算流体力学通用软件的功能

FLUENT 是一种 CFD 求解器^[5]，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。还可提供丰富的物理模型，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。

3.3 计算模式

本文用 SOLIDWORKS 软件建立钻头体底部流

场模型，导入 GAMBIT 软件生成正四面体网格，在近壁面处生成附面层网格，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 320 000。将施加了边界条件的网络导入 FLUENT，并检查。

利用有限体积法建立离散方程，在固定壁面上采用无滑移条件，设置离散边界条件，流体材料为理想气体，全场初始条件为：入口压力 0.6 MPa，出口压力 0.1 MPa。温度 300 K，选择标准 $\kappa - \epsilon$ (双方程) 模型，采用分离式求解模式、隐式方案进行控制方程的线性化。四面体网格保形适应，完全非结构化网格的有限体积法，二阶迎风格式^[6,7]。通过基于压力修正的非耦合求解 SIMPLEC 算法迭代 30 次求得收敛解。得到反循环钻头体内部流场压力分布云图 2 与速度分布云图 3。

结果分析：①从压力云图上可以看出，扩压区位于喷射孔上方，低压区处于扩压区下方，卷吸作用吸入的气体由钻头下部原有钻头的喷射孔形成的反循环气流来补充，两股气流相加形成反循环流体，大大加强了反循环的效果；且在钻头底部形成的低压区均匀；②从速度云图上看出，向上风速 > 15.24 m/s (即，携岩上返风速最低要求)，并且速度稳定，足以形成效果良好的反循环，使岩芯(样)顺利地排至地表。

4 实验研究

在上述设计思想和仿真结果的指导下，设计加工了同时带有与中心线夹角成 30°、45°、60°引射孔的钻头体模型(图 4)。在试验台上对该模型中心通道内产生的压强进行测定，由于实验室条件所

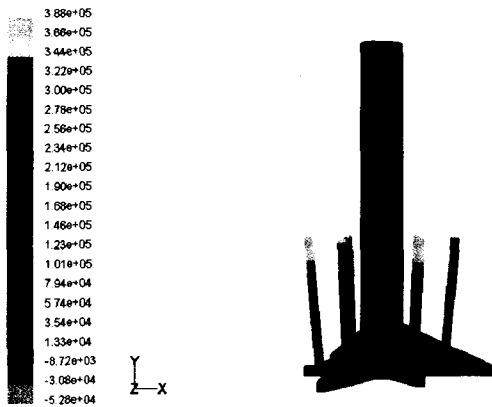


图 2 钻头体内部压力分布云图

Fig.2 Interior pressure distribution nephogram of the bit

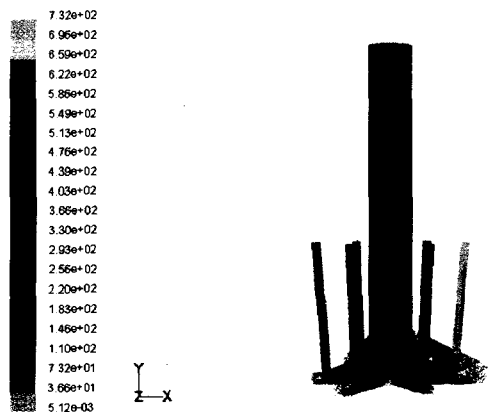


图 3 钻头体内部速度分布云图

Fig.3 Interior velocity distribution nephogram of the bit

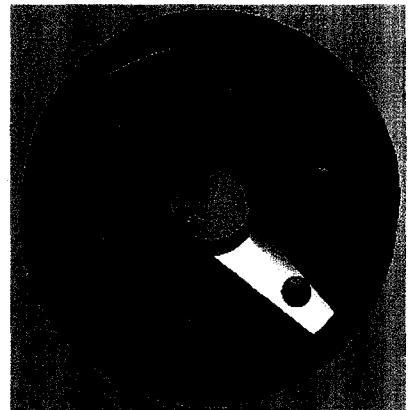


图 4 反循环钻头模型

Fig.4 Experimental model of the bit



图 5 反循环钻头

Fig.5 The reverse circulation bit

限, 采用压力水管粗略测量, 但不影响得到令人信服结论 (表 1)。结果分析: 从该组数据可以看出, 30°倾角引射孔所形成的压力是最大的。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。这一结果又为钻头体引射孔倾角的改进提供了指导。图 5 为设计加工的钻头。

表 1 不同倾角引射孔下形成压力值

距离 /cm	角度 / (°)			距离 /cm	角度 / (°)		
	30	45	60		30	45	60
4	0	0	正压	15	-0.10431	-0.02393	-0.02020
5	0	0	正压	16	-0.10531	-0.02837	-0.02089
6	0	0	正压	17	-0.11441	-0.03520	-0.02193
7	-0.00112	0	正压	18	-0.12451	-0.04657	-0.04221
8	-0.00647	-0.00480	-0.00083	19	-0.13412	-0.10686	-0.05959
9	-0.00862	-0.00512	-0.00144	20	-0.14422	-0.11755	-0.06000
10	-0.00991	-0.00651	-0.00244	21	-0.15647	-0.11916	-0.05050
11	-0.01022	-0.00731	-0.00247	22	-0.11993	-0.09774	-0.04988
12	-0.01116	-0.00822	-0.01044	23	-0.11141	-0.08176	-0.04588
13	-0.09431	-0.01284	-0.01090	24	-0.10745	-0.00971	-0.04364
14	-0.09455	-0.01384	-0.02000				

5 应用效果与小结

在 2005 年洛阳栾川钼矿生产中, 运用该钻头结合配套钻具, 当钻遇采空区时或穿过采空区后, 反循环仍能正常形成。钻进 ZK3192 孔时, 0~20 m 为破碎带, 岩石破碎, 胶结差, 使用反循环钻进, 上返气体从双壁钻杆内管排出, 对不稳定的孔壁不产生扰动, 顺利穿过破碎带。并有利于岩样的收集, 可使岩样按顺序排列, 便于观察地层的变化情况。

应用贯通式潜孔锤反循环连续取样钻进技术在该矿区共完成勘探孔 66 个, 累计进尺 >2 500 m, 钻进时效 4.08 m, 探明采空区多处, 为安全生产提供了重要资料, 为矿石品位分析提供了大量岩样。可见, 该钻头结合贯通式潜孔锤反循环连续取芯 (样) 钻进技术的配套钻具使用, 具有极大的优越性, 值得在复杂地层探矿施工中推广应用。

然而, 目前反循环钻头在应用于严重破碎、漏失等复杂地层时, 仍存在反循环质量不好, 岩芯

(样) 采取不足等问题, 所以, 加强对反循环钻头体结构的优化与改进, 还需要作大量的工作与努力。

参考文献:

- [1] 耿瑞伦, 陈星庆. 多工艺空气钻探 [M]. 北京: 地质出版社, 1995: 74-102.
GENG Rui-lun, CHEN Xing-qing. Multi-crafts air drilling [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1995: 74-102.
- [2] 郝树青, 殷琨, 王清岩, 等. 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 [J]. 探矿工程 (岩土钻掘工程), 2006, 33 (5): 37-41.
HAO Shu-qing, YIN Kun, WANG Qing-yan, et al. The emulator analyse and experiment study on the influence from diverse obliquity and diameter injector hole used in the reverse circulation core drilling bit [J]. *Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling)*, 2006, 33 (5): 37-41.
- [3] 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): 20-24.
ZHAO Jing-ye, SUN Hou-jun, GAO Jun. The basic work principle and application of the injector [J]. *Journal of Beijing Institute of Civil Engineering and Architecture*, 2000, 16 (4): 20-24.
- [4] 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: 2-19, 185-209.
WANG Fu-jun. Computational fluid dynamics analysis—CFD software principle and application [M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2004: 2-19, 185-209.
- [5] 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, 2004: 19-26.
HAN Zhan-zhong, WANG Jing, LAN Xiao-ping. FLUENT fluid engineer emulator computing example and application [M]. Beijing: Beijing Institute of Technology Press, 2004: 19-26.
- [6] Warren T M. Evaluation of jet-bit pressure losses [J]. *SPE Drilling Engineering*, 1976, 4: 335-340.
- [7] Shim J H, Lee Y S, Kim M R, et al. Use of the Keele injector for sample introduction for gas chromatographic analysis of vinclozolin in lettuces [J]. *Journal of Chromatography*, 2003, 1015: 233-237.