

基于 Fluent 的空气射流切削式反循环钻头参数优化

宗绪永, 李柏军

(核工业二四〇研究所探矿工程院, 辽宁 沈阳 110032)

摘要:针对黄土地层,提出利用空气代替钻井液的反循环气体喷射技术。但现有技术对反循环气体喷射钻头切削土体的能力没有具体优化讨论。利用 fluent 软件,优化反循环喷射钻头结构参数,对不同底喷孔直径、底喷孔数量、底喷孔扩大段直径、底喷孔扩大段数量、喷射孔数量 5 个结构参数进行模拟分析。分析结果表明,在进风流量一定的情况下,增加底喷孔的数量或增大底喷孔的直径会削弱钻头的空气射流切削能力和反循环能力。底喷孔直径为 3 mm,底喷孔个数为 2 个,底喷孔扩大段直径为 8 mm,底喷孔扩大段长度为 5 mm,内喷孔数量为 5 个时,反循环喷射钻头喷射能力和反循环能力最优。

关键词:空气喷射钻头;CFD 流场分析;结构参数优化

中图分类号:P634.4⁺1 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-7428(2015)11-0058-04

Parameter Optimization of Air-jet-cutting Drill Bit with Reverse Circulation Technique Based on Fluent Software/
ZONG Xu-yong, LI Bai-jun (Research Institute No. 240, CNNC, Shenyang Liaoning 110032, China)

Abstract: In view of the loess formation, reverse circulation air-jet-cutting technique was proposed with air instead of drilling fluid. The bit structure parameters were optimized by Fluent software, the parameters of different diameters of bottom jet orifices, the number of bottom jet orifices, the diameters of bottom jet orifice enlarged sections, the number of bottom jet orifice enlarged sections and the number of bottom jet orifices were stimulation analyzed. The results show that in the case of a certain inlet air flow, air-jet-cutting and reverse circulation capacity of the drill bit would be weakened while increasing the diameter and number of bottom jet orifices. The best performance of air-jet-cutting and reverse circulation capacity can be achieved by the design structure with 2 bottom jet orifices of 3mm in diameter, the bottom jet orifice enlarged section of 8mm and 5mm in the diameter and the length respectively and 5 internal jet orifices.

Key words: air-jet-cutting bit; CFD flow field analysis; structure parameter optimization

0 引言

随着我国经济的迅猛发展,对资源消耗需求的大幅增长,资源勘探方向由容易开采的资源逐渐向地质环境复杂,开发难度大的地区转变。我国西部资源贮藏量大,种类丰富,是未来能源开采的主要地区。但西部地表钻探环境恶劣,地层结构复杂,干旱缺水,地表有较厚土层,且部分地区上覆较厚的黄土地层。常规钻井一般利用钻井液进行孔底排渣,冷却钻头,对于西部缺水且上覆黄土层地区,常规钻探方法在对黄土层钻进时,由于黄土具有湿陷性,在钻进过程中易发生塌孔、卡钻埋钻等事故。针对西部缺水黄土覆盖层钻进,王如生^[1]等提出利用压缩空气代替钻井液作为钻探的循环介质进行孔内的排渣并采用压缩空气的射流切削作用进行喷射钻进作业,试验证明,采用压缩空气作为土层钻进的切削介

质进行反循环气体喷射钻进比常规回转钻进方法钻进效率高,且能较好控制现场的施工环境。采用反循环气体喷射钻进技术配合贯通式潜孔锤反循环钻进技术,在不用更换钻进机具的情况下直接对上覆土层和下伏岩层进行连续钻进作业。

反循环气体喷射钻进技术工艺原理与贯通式潜孔锤反循环连续取心钻进技术类似,如图 1 所示,压缩空气由进气胶管进入双臂钻杆的环状间隙进入孔底,通过反循环喷射钻头的特殊结构,根据拉瓦尔喷管原理,压缩空气在孔底形成强力射流,对土层进行破碎,由于内喷孔产生的负压,压缩空气在孔底形成漩涡,携带孔底岩屑沿钻头中心通道上返,最后经由排渣管排出地表。利用高速气体切割土层,可防止由于土层摩擦力过大,钻头直接切割土层导致扭矩过大,钻杆扭断等现象发生。王如生^[1]等主要针对

收稿日期:2015-09-05; 修回日期:2015-11-04

作者简介:宗绪永,男,汉族,1967年生,院长,高级工程师,探矿工程专业,从事钻探生产工艺研究与管理工,辽宁省沈阳市 760 信箱,303390464@qq.com。

提高空气反循环效果进行了研究,但并未对钻头喷嘴方面的设计进行深入研究。钻头喷嘴流体对孔底土层的切削能力直接影响了钻进速度,对钻头喷嘴的结构参数优化至关重要。本文对于钻头喷嘴部位结构重新设计优化,利用流体计算动力学软件 CFD,对孔底流场进行分析,通过喷嘴部位气体速度及高速气体分布情况,判断最优喷嘴结构。

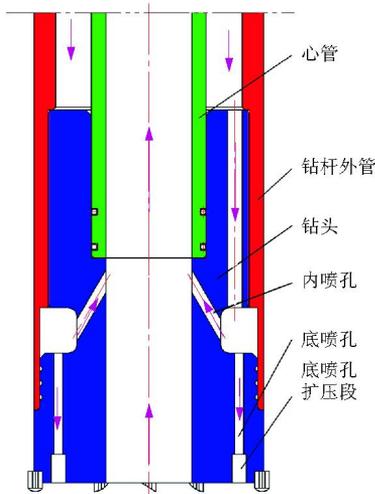


图 1 反循环气体喷射钻头设计结构

1 反循环气体喷射钻头结构设计

反循环气体喷射钻头主要由内喷孔部分和底喷孔部分两部分构成。反循环气体喷射钻头底喷孔部分的设计依据为拉瓦尔喷管原理:当气流通过窄喉部位后,气体速度超过音速,超过音速的气体流速会随着喷嘴出口面积加大而加大,高速喷射的气流形成可以切割土层的空气射流。反循环气体喷射钻头的反循环能力是通过钻头体内的内喷孔来实现的,为保证反循环效果,设计内喷孔仰角为 60° ,内喷孔中心偏距为 10.33 mm 。气体喷射钻头结构设计如图 1 所示。为了研究底喷孔结构参数和内喷孔个数对钻进能力和反循环能力的影响,本文利用 CFD 软件对不同底喷孔直径、底喷孔数量、底喷孔扩大段直径、底喷孔扩大段长度、内喷孔数量 5 个参数进行模拟分析,得到喷射能力较强,反循环能力较好的参数组合。

2 CFD 数值模拟及边界条件设置

采用 CFD 数值软件模拟反循环气体喷射钻头孔底流场。首先基于三维软件 solidworks 建立孔底

喷嘴流体三维模型,并采用 hypermesh 对建立的三维模型进行网格划分及流体区域边界条件划分命名,对细薄区域流体进行局部细化处理,划分网格总数为 547861,如图 2 所示。将钻头体网格模型导入 Fluent6.3.25 求解器中,设置好相关边界条件后开始计算。对计算结果进行后处理分析获得孔底流体可视化相关数据。

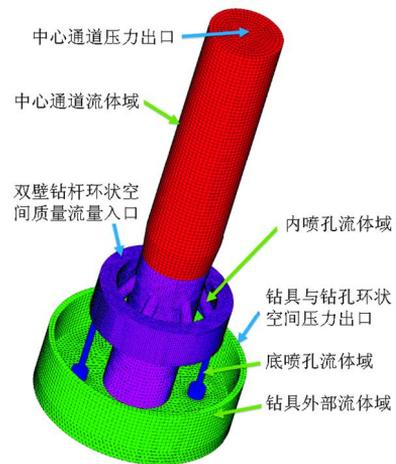


图 2 典型的钻头孔底流体域网格图

根据反循环气体喷射钻进工艺参数,当空压机工作条件为 $9 \text{ m}^3/\text{min}$ 时,设定双壁钻杆环空间隙为压缩空气质量流量入口,质量流量参数为 0.2 kg/s 。钻头与孔壁之间的外环空气顶端出口与钻头中心通道顶端出口为压力出口。压缩空气材料设置为理想气体,气体壁面为绝热壁面。保证计算精度,采用标准 $K-\varepsilon$ 湍流模型,压力-速度耦合 Coupled 算法。保证计算收敛,克朗数时间步长和空间步长均为 0.1 ,亚松弛因子能量设置为 0.5 。

3 结果与讨论

3.1 底喷孔个数对钻头钻进能力与反循环能力的影响

在内喷孔数量为 6 个、底喷孔直径为 3 mm 、内喷孔直径为 8 mm 、长度为 10 mm 的情况下,底喷孔数量对钻头底喷孔流体流速和外环空抽吸能力的影响如图 3 所示。图 3(a)表明,在分别增加底喷孔数量为 3 个和 4 个时,能够小幅提高底喷孔内流体的喷射流速,且在均布有 3 个和 4 个内喷孔时,喷射流体高速区向孔底延伸,但采用 4 个底喷孔时喷射流速和延伸距离均较 3 个时低,因此,采用 3 个底喷孔时,能够获取相对较高的孔底喷射流速并增大喷射

流的高速区,有利于提高对孔底土层的切削作用。由图3(b)可知,增加底喷孔个数使钻头的反循环卷吸能力减小较为明显,在输入空气流量一定的情况下,由于增加了底喷孔的数量,导致底喷孔分流量增大,内喷孔空气质量减小,减小内喷孔质量流量导致内喷孔流体喷射流速降低,卷吸能力下降,从而影响钻头的反循环效果。在底喷孔数量为2个时,钻头对外环空的抽吸质量流量为0.061 kg/s,当增加到4个时,抽吸质量流量减小到0.055 kg/s。因此,为在保证钻头具有较高切削能力的同时,确保钻头具有较好的反循环能力,采用3个直径为3 mm的底喷孔较为理想。

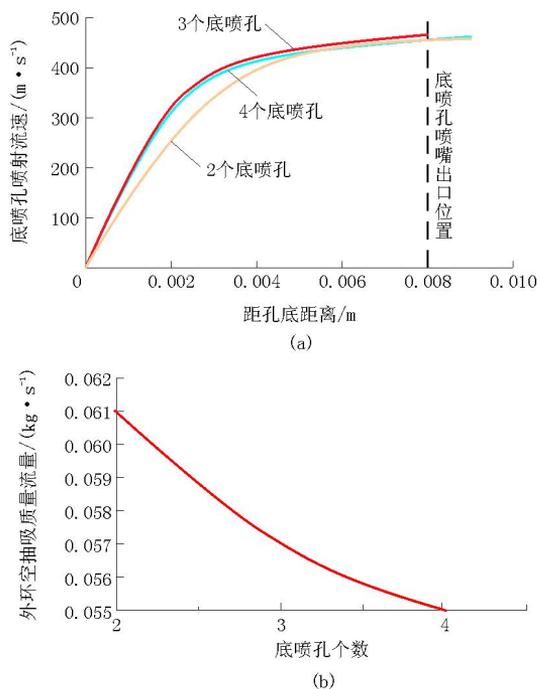


图3 底喷孔个数对底喷孔喷射流速和外环空抽吸能力的影响

3.2 底喷孔直径对钻头钻进能力和反循环能力的影响

在内喷孔数量为6个,底喷孔数量为2个,底喷孔扩大段直径为8 mm、长10 mm时底喷孔直径对底喷孔流体喷射流速和钻头抽吸能力的影响如图4所示。如图4(a)所示,2 mm直径底喷孔钻头比3 mm直径底喷孔钻头具有较好的反循环能力,但由于其直径较小,喷射流量有限,导致2 mm底喷孔直径使喷射流速较低,对土体的切削能力弱。当底喷孔直径 >3 mm时,底喷孔流体喷射流速降低较为明显,表明在该流量时,扩大底喷孔直径所增加的底喷孔气体流量不能补偿由于底喷孔过流断面面积增加造

成的流速降低,不利于底喷孔流体的喷射切削。同时,由于底喷孔直径的扩大,增加了流体的分流,减小了内喷孔流量,导致钻头反循环能力大幅降低,如图4(b)所示。为了确保钻头具有较高的钻进能力和反循环能力,底喷孔宜采用3 mm直径。

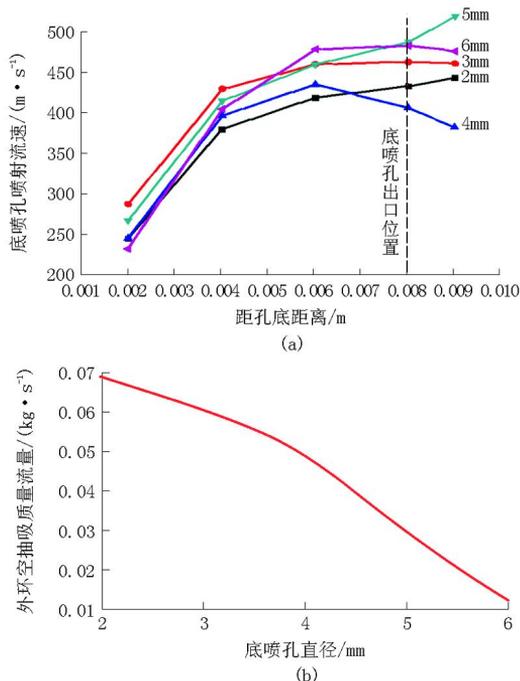


图4 底喷孔直径对底喷孔喷射流速和外环空抽吸质量流量的影响

3.3 底喷孔扩压段长度对钻头钻进能力和反循环能力的影响

在内喷孔数量为6个、底喷孔数量为2个、直径为3 mm、底喷孔扩压段直径为8 mm时,底喷孔扩压段长度直径对底喷孔喷射流速和外环空抽吸质量流量的影响如图5所示。由图5(a)可知,当底喷孔扩压段长度较小时,有利于提高底喷孔流体的喷射流速,同时有利于延伸喷射流体的高速区至孔底。当底喷孔扩压段长度较小时,底喷孔流体能够在离孔底相对较近的距离内发生扩散,扩散距离的减短有利于其高速区向孔底延伸。而在对底喷孔扩压段长度进行改变时,对钻头的反循环能力并无太大影响,如图5(b)所示。因此,底喷孔扩压段长度应采用较小的5 mm时,能够在保证钻头反循环能力的同时提高钻头的钻进能力。

3.4 底喷孔扩压段直径对钻头钻进能力和反循环能力的影响

图6为底喷孔扩大段直径为4、6、8 mm时孔底喷射流速和外环空抽吸质量流量。从图中可以看出,

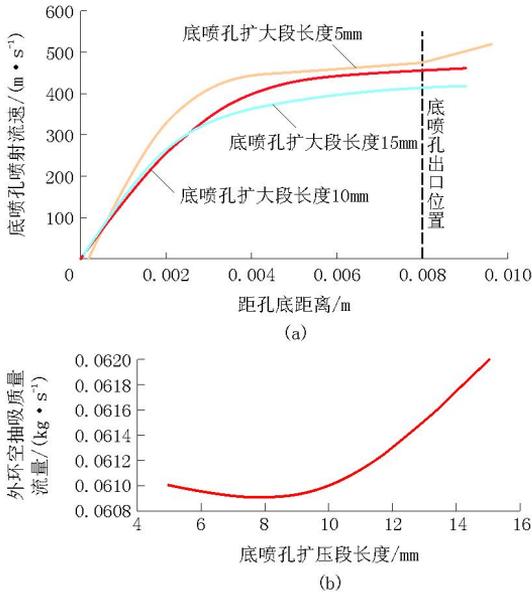


图 5 底喷孔扩压段长度对底喷孔喷射流速和外环空抽吸质量流量的影响

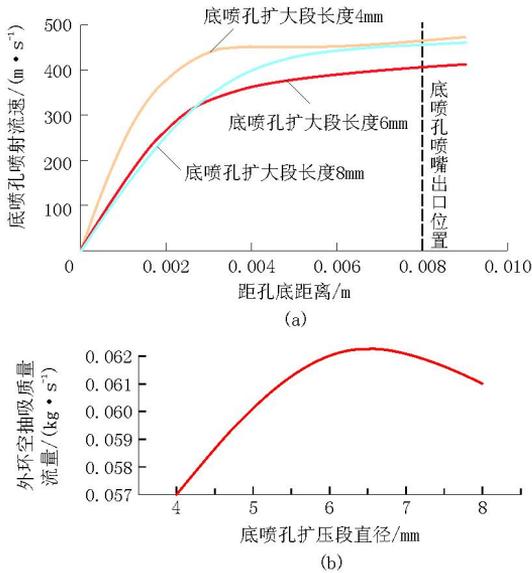


图 6 底喷孔扩压段直径对底喷孔喷射流速和外环空抽吸质量流量的影响

底喷孔扩大段直径为 8 mm 时虽有所减小,但幅值不大,外环空抽吸质量流量差值为 0.001 kg/s。说明扩大段直径改变对底喷孔喷射流速影响较大,因此当底喷孔扩大段直径为 8 mm 时,能兼顾钻头的喷射能力和反循环能力。

3.5 内喷孔个数对钻头钻进能力和反循环能力的影响

图 7 为内喷孔个数为 3、4、5、6 时孔底喷射流速和外环空抽吸质量流量。从图中可以看出,当内喷孔个数为 5 时,底喷孔喷射流速为最大。内喷孔个数为 6 时钻头的喷射流速与内喷孔个数为 5 时接近。当内喷孔个数为 3 时,底喷孔喷射流速很小。随着内喷孔个数的增加,钻头的反循环能力逐渐增强,当内喷孔个数 > 4.5 时,钻头反循环能力达到最佳并且外环空抽吸质量流量变化很小。因此内喷孔个数为 5 时,钻头的喷射能力和反循环能力为最好。

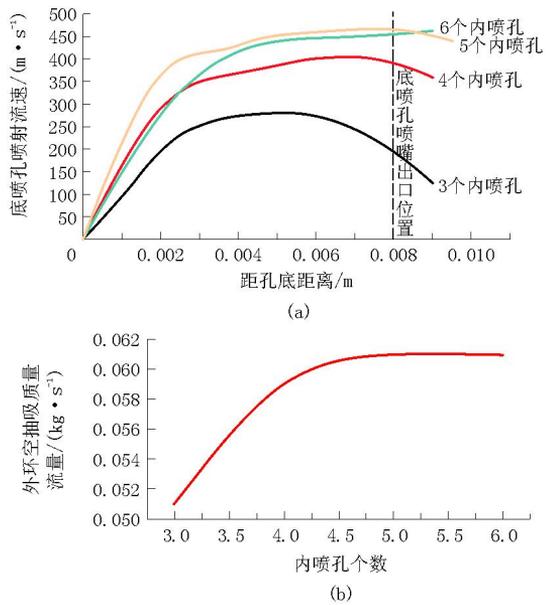


图 7 内喷孔个数对底喷孔喷射流速和外环空抽吸质量流量的影响

4 结论

针对反循环喷射钻头结构,利用 CFD 软件对不同底喷孔直径、底喷孔数量、底喷孔扩大段直径、底喷孔扩大段数量、喷射孔数量 5 个参数进行模拟分析。分析结果表明,在进风质量流量一定的情况下,底喷孔直径为 3 mm,底喷孔个数为 2,底喷孔扩大段直径为 8 mm,底喷孔扩大段长度为 10 mm,内喷孔数量为 5 时,反循环喷射钻头喷射能力和反循环

(下转第 65 页)

当孔扩大段直径为 4 mm 时,底喷孔喷射流速最大。当钻头距孔底距离 < 0.0026 m 时,扩大段直径为 6 mm 时底喷孔喷射流速大于扩大段为 8 mm 时底喷孔喷射流速,但流速相差不大。当钻头距孔底距离 > 0.0026 m,扩大段直径为 6 mm 时底喷孔喷射流速小于扩大段为 8 mm 时底喷孔喷射流速,并且流速差距逐渐拉大。当钻头距孔底距离 > 0.006 m 时,扩大段直径为 4 mm 时底喷孔喷射流速与扩大段直径为 6 mm 底喷孔喷射流速差迅速减小。在底喷孔扩压段直径为 6 mm 时钻头反循环能力最强,

该工程主要建筑物为 6 幢 22 ~ 32 层的酒店式公寓、办公楼,建筑面积 135698 m²,采用灌注桩基础,要求桩端进入中风化凝灰质粉砂岩 ≤ 1 m。该中风化岩层属较软岩,少部分区域为较硬岩。设计桩长 31 ~ 48 m,桩径 700 mm,混凝土强度 C40,单桩抗压承载力特征值 4000 kN,桩数 663 根。

该工程投入 3 台改进型长螺旋压灌桩机,平均每台桩机成桩 6 根/天,施工过程顺利。静载荷试验 13 根桩,经检测,承载力均达到设计值,小应变桩身质量检测均合格。

6 结语

(1) 普通长螺旋钻孔压灌桩适用于砂层、砾石层、硬土层及软岩层,桩径 300 ~ 800 mm,桩长 ≥ 25 m,不适用于硬度较高的岩石层。经加装加压系统、冷却系统后,长螺旋钻孔压灌桩可用于块石填土层、卵石层及较软—较硬基岩的钻进。

(2) 经改进长螺旋钻孔桩机桩架、动力系统后,桩径可达 1000 mm,桩长可增至 55 m。

(3) 长螺旋钻孔压灌桩嵌岩技术具有无泥浆污

染、噪声小、无振动、无挤土、穿透力强、施工速度快、成本相对较低等特点,具有良好的社会效益和经济效益,具有重要的推广应用价值。

参考文献:

- [1] JGJ 94—2008, 建筑桩基技术规范[S].
- [2] 徐波,王有为,吴慧娟,等. 建筑业 10 项新技术(2005)应用指南[M]. 北京:中国建筑工业出版社,2005:4-9.
- [3] 张公正. 牙轮钻头钻井参数探讨[J]. 探矿工程,1999,(5):45-46.
- [4] 许祿,曹国卿. 长螺旋钻孔在 CFG 桩施工中存在的问题浅析[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2004,31(4):22-23.
- [5] 陈飞,刘宏标. 长螺旋超流态混凝土灌注桩施工技术[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2009,36(3):41-44.
- [6] 杨展,汤凤林. 钢结硬质合金型胎体性能及其热压金刚石钻头研究[J]. 金刚石与磨料磨具工程,2008,(6):37-40.
- [7] 金成文,闫君,刘吉东. 超流态长螺旋钻孔灌注桩在西藏日喀则市行政中心工程中的应用[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2008,35(3):42-44.
- [8] 苏明星. 长螺旋钻孔灌注桩施工工艺浅析[J]. 科技创新导报,2010,(8):58-60.
- [9] 胡小兵,华昆. 加压式嵌岩型长螺旋钻孔灌注桩应用技术[J]. 施工技术,2015,44(9):105-108.

(上接第 61 页)

能力最好。图 8 为最优化组合钻头结构参数情况下钻头孔底流场速度云图,在该参数组合下,钻头对外环空的卷吸流量可达 0.057 kg/s,钻头底喷孔流体喷射流速在距出口 4 mm 处仍能保持 446 m/s 的

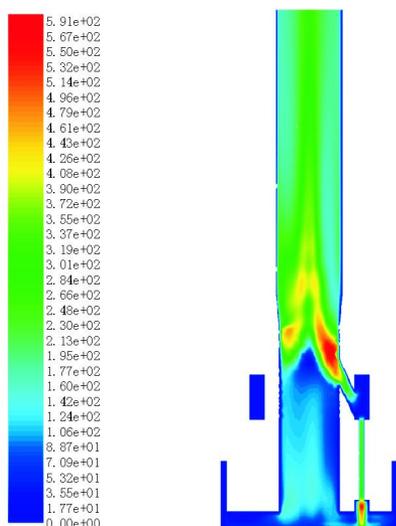


图 8 最优参数钻头结构孔底流场速度云图

高速喷射,而一般钻头底部出刃为 2.5 ~ 3 mm,因此该结构参数下钻头能够保持良好的切削性能。

参考文献:

- [1] 王如生. 反循环强有力气体喷射钻进技术理论及试验研究[D]. 吉林长春:吉林大学,2007:6-10.
- [2] 夏汉庸,方磊,王冲,等. 粗粒土层钻探过程中常见问题分析[J]. 施工技术,2008,(S1):137-140.
- [3] 赵志强. 贯通式潜孔锤反循环取心关键技术与试验研究[D]. 吉林长春:吉林大学,2013:7-8.
- [4] 王栋. 拉瓦尔喷管推偏特性的理论与试验研究[D]. 江苏南京:南京理工大学,2012:4-5.
- [5] 李莉佳,翟立新,殷琨,等. 旋流式反循环钻头孔底流场模拟分析[J]. 机械设计与制造,2014,(10):8-11.
- [6] 李鹏飞,徐敏义,王飞飞,等. 精通 CFD 工程仿真与案例实战[M]. 北京:人民邮电出版社,2011:197-199.
- [7] 于航,殷琨,罗永江,等. 内喷孔式反循环钻头结构优化设计及 CFD 模拟分析[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2013,40(1):49-52.
- [8] 吴金生,陈礼仪,张伟. 破碎松软地层取心钻头孔底流场数值模拟及应用[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2013,40(7):107-110.