

基于引射器原理的投砾装置喷嘴 CFD 优化仿真分析

宗绪永¹, 李柏军¹, 田敏²

(1. 核工业二四〇研究所, 辽宁 沈阳 110032; 2. 武警工程大学, 陕西 西安 710000)

摘要:地浸钻孔成井工艺中,目前常用的投砾设备主要有渣浆泵与各类自制投砾装置。基于引射器原理的投砾装置是一种现场应用较广的投砾装置,为了提高该投砾装置的工作效率和投砾质量,本文基于计算流体力学的数值模拟软件 Fluent 对引射器原理的投砾装置的引射器结构进行了数值模拟的优化分析。分析结果表明,引射器喷嘴直径对引射效果具有较大影响,引射器的引射系数随喷嘴直径的增大而逐渐减小,但较小的喷嘴直径会导致对泥浆泵的泵压负荷增大,对于现场使用的 BW250 型泥浆泵,要求最高压力 >6 MPa,因此引射器喷嘴的直径为 5 mm 时为最优值;混合室直径增大会降低引射器性能,根据砾料通过能力等确定最优参数为 18 mm;混合室长度有利于提高引射器性能,本文优化值为 120 mm 长度时为较佳混合室管长。优化后的投砾装置较原有基于大喷嘴直径引射器的投砾装置,投砾效率和质量均有大幅提高。

关键词:引射器;CFD 分析;地浸钻孔;投砾装置

中图分类号:P634.3⁺² **文献标识码:**A **文章编号:**1672-7428(2016)09-0030-04

Optimization CFD Simulation Analysis on the Nozzle of Gravel Delivery Device Based on Ejector Principle/ZONG Xu-yong¹, LI Bai-jun¹, TIAN Min² (1. Research Institute No. 240, CNNC, Shenyang Liaoning 110032, China; 2. Engineering University of CAFPE, Xi'an Shaanxi 710000, China)

Abstract: In the completion process of in-situ leaching borehole, the common gravel delivery equipments used at present are mainly slurry pump and non-subject gravel delivery devices. The gravel delivery device based on the ejector principle has wide range of field application, in order to improve its working efficiency and delivering quality, the optimization analysis is made on the numerical simulation of ejector structure of gravel delivery device based on the ejector principle by employing numerical simulation software Fluent based on computational fluid dynamics in this paper. The analysis results show that the diameter of the nozzle has great influence on the performance of the ejector and the injection coefficients of ejector decrease with the increase of ejector nozzle diameter, but the smaller nozzle diameter will lead to the increase of pump pressure load of mud pump. For BW250 mud pump used in the field site, the required maximum pressure is not greater than 6MPa, so the optimal nozzle diameter in the study is 5mm in this case. For the increase of the mixing chamber diameter will reduce the performance of the ejector, the optimal parameter is determined as 18mm based on gravel passing capacity and some factors; the appropriate increase of the length of mixing chamber is beneficial to improve the ejector performance, ideal length of 120mm is decided after optimization. The delivery efficiency and quality of optimized delivery device are greatly improved than those of original delivery device based on ejector with large diameter nozzle.

Key words: ejector; CFD analysis; borehole of in-situ leaching; gravel delivery device

0 引言

地浸采铀钻孔成井工艺是地浸采铀的关键技术之一,投砾环节是影响成井质量的重要因素,利用投砾设备将粒料与水的混合物通过投砾管(直径 42 mm 镀锌管)泵送至孔底采铀套管与孔壁之间,粒料逐步从底部灌注至过滤器上部,之后上部灌注水泥浆固井,钻孔成井工艺完成。投砾质量直接影响含水层与地表间的流场结构,直接影响钻孔涌水量大小。目前我国常用的投砾设备有渣浆泵与各类自

制投砾装置(简称“投砾罐”),采用具有射流引射结构的自制投砾罐与采用渣浆泵相比,设备维护费用低,能耗低,在新疆 511 矿床等地得到了广泛的应用,本文旨在根据实际应用的效果及所发现的问题,改进结构参数,在此基础上基于流体计算力学软件 Fluent 进行数值模拟优化分析,考察引射器不同结构参数对引射器性能的影响,实现优化设计自制投砾装置的目的。

收稿日期:2016-01-25; 修回日期:2016-06-04

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,长期从事地质钻探生产工艺研究与管理工,辽宁省沈阳市皇姑区岐山东路4号,303390464@qq.com。

1 自制投砾装置工作原理及存在的问题

自制投砾装置工作原理如图1所示,关闭球阀1和3,从注料口向罐内加入所需体积的粒料,封闭注料口后打开球阀2,待泥浆泵泵送的清水从孔口返浆后,打开球阀1,压力表与泥浆泵的压力表相近后打开球阀3,粒料便被清水泵入孔底。可通过泵压表的指示值与泵送料料的流动声音判断投砾是否正常。

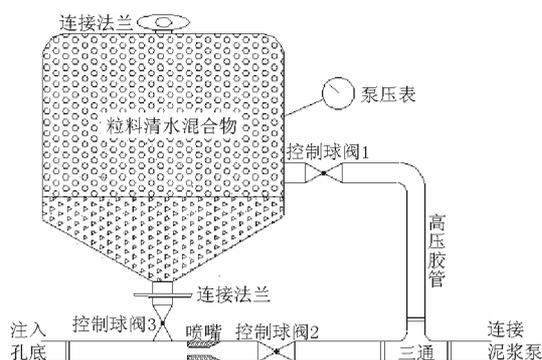


图1 自制投砾装置工作原理示意图

自制投砾装置在使用中存在如下几点问题:(1)由于未优化的喷嘴抽吸效果不好,粒料向孔底注入的流速较低(粒料流速是控制钻孔成井质量的关键,投砾工序开始前用清水“冲孔”使孔底冲洗液粘度降低,携粉能力差);(2)投砾过程中易出现粒料卡堵。

2 自制投砾装置喷嘴结构设计

引射器一般由喷嘴、引射入口、吸入室、混合室与扩散室组成(见图2),引射流体的质量流量与工作口的质量流量比值称为引射器的引射系数 u ,影响引射系数的结构参数主要有喷嘴出口直径 d_1 、混合室直径 d_3 以及喷嘴与混合室的距离 L_c ,工作流体流量、混合室长度和扩散室长度对引射系数影响较小^[1]。

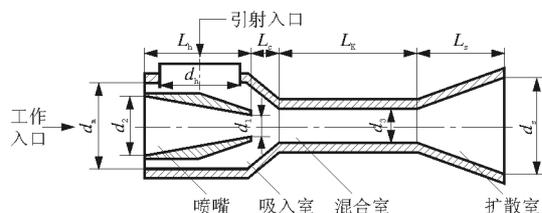


图2 引射器结构

根据目前应用喷嘴结构参数的基础上, d_m (工作入口直径) $=d_s$ (扩散室出口直径) $=32\text{ mm}$, d_2 (喷嘴入口直径) $=22\text{ mm}$, d_h (引射入口直径) $=27\text{ mm}$, L_H (喷嘴长度) $=31\text{ mm}$, L_S (扩散室长度) $=26$

mm , L_c (喷嘴与混合室距离) $=15.5\text{ mm}$, d_1 、 d_3 、 L_k 根据CFD分析结果,确定最优引射器结构参数。

3 CFD数值模拟及边界条件设置

本文采用三维实体建模软件SolidWorks对引射器流体域进行建模并采用专业网格划分软件Hypermesh对其进行了网格划分,引射器流体域的网格示意图如图3所示,为了提高模拟计算的精度,将引射器流体域分割为三个网格组成部分:分别是采用六面体网格划分的混合室与出口流体域、采用四面体网格划分的砾料进口流域、以及采用六面体网格划分的引射器喷嘴流域,六面体网格与四面体网格采用金字塔型网格实现过渡。网格总体数量为40~60万,根据模型参数变化有所不同。喷嘴入口处设置质量流量入口(Mass_flow inlet)为 1.5 kg/s ,粒料入口和引射器出口均设置为压力出口(Pressure_outlet)。

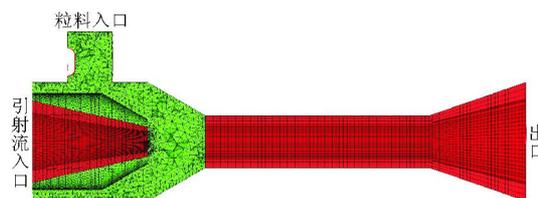


图3 网格划分及边界条件给定

4 结果与讨论

论文采用数值模拟方法分别对引射器喷嘴直径对引射效果的影响、混合室直径对引射效果的影响、以及混合室长度对引射效果的影响进行了研究,并最终确定了各参数的最优参数值,该研究成果可直接应用于现场基于引射器原理的投砾装置的优化改造工作。

图4是典型的引射器速度分布云图,引射流从喷嘴以较高流速喷入混合室的过程中,引射流会对周围流体产生较高的卷吸作用,从而将引射流附近的流体携带进入混合室。引射流在卷吸周围流体的过程中,不断的与周围流体发生质量、动量的交换,引射流流速降低,在进入混合室以后,引射流与周围流体不断发生混合,直至出混合室时基本达到混合均匀,共同流出引射器,且在混合过程中会发生偏向一侧管壁的偏转。

4.1 喷嘴直径对引射器性能的影响

采用引射器结构参数为 $d_m = d_s = 32\text{ mm}$, $d_2 = 22\text{ mm}$, $d_h = 27\text{ mm}$, $d_3 = 14\text{ mm}$, $L_c = 15.5\text{ mm}$, $L_k =$

60 mm,为定值,对喷嘴直径进行优选的数值模拟研究,分别采用了 d_1 为2、4、5、6、7、8 mm喷嘴直径进行建模和仿真计算,CFD计算结果如图5。

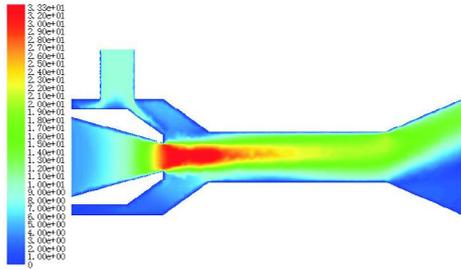


图4 典型的引射器速度分布云图

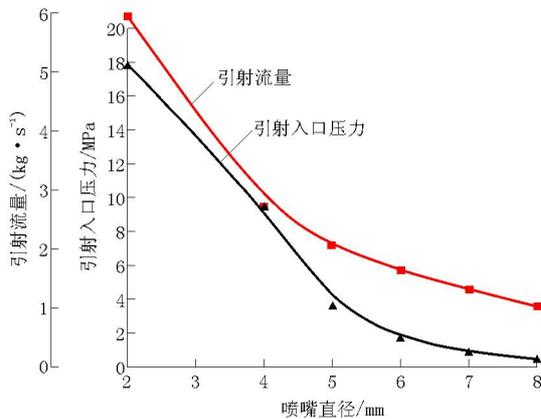


图5 喷嘴直径对引射入口压力及引射流量的影响

图5为不同直径喷嘴条件下引射入口压力及引射流量变化的情况,由图可知,随着引射器喷嘴直径的增大,喷嘴入口处憋压情况能够得到明显的改善。在喷嘴流量一定情况下,喷嘴直径的大小直接决定了喷嘴的过流断面积,从而决定了从喷嘴喷射的引射流体束的喷射速度,喷嘴直径越小,即其过流断面越小,从喷嘴喷射的引射流喷射速度越高,引射流体的喷射速度大小是决定其引射能力的关键参数,较高的喷射流速能够获得较大引射能力,但越小的喷嘴直径导致引射入口压力增大较为明显。采用清水作为引射流体介质时,为了能够保持引射流具有一定的喷射流速,应保证喷嘴入口处能够提供一定的喷射压力,现场一般采用BW-250型泥浆泵作为流体驱动动力源,其额定压力6.0 MPa左右,因此,设计的引射器喷嘴直径导致的憋压不能够超过其额定压力值,同时考虑到流道内其他因素带来的压力损失,引射器喷嘴直径宜选用5 mm直径。

4.2 混合室直径对引射器性能影响

建立三维模型 $d_m = d_s = 32$ mm, $d_2 = 22$ mm, d_h

$= 27$ mm, $d_1 = 5$ mm, $L_c = 15.5$ mm, $L_k = 60$ mm,混合室直径分别选用了14、18、22、26 mm作为模拟计算值,CFD计算结果如图6。

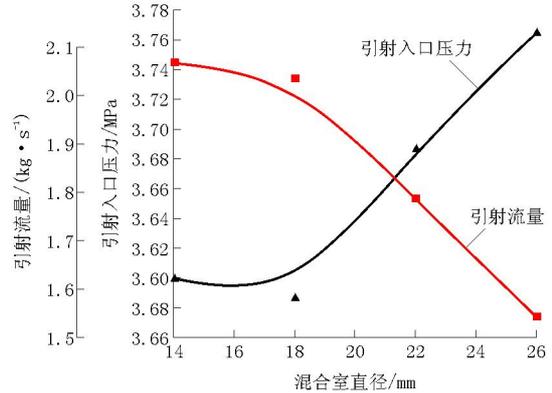


图6 混合室直径对引射入口压力及引射流量的影响

图5是不同混合室直径条件下,引射入口压力及引射流量的变化情况曲线。随着混合室直径的增大,引射入口压力在小幅增大,但引射流量随混合室直径的增大发生明显减小的趋势,从图4的引射器速度分布云图可知,引射流在混合室内与周围流体发生混合的同时,流体亦发生偏向管壁一侧的偏转,当混合室直径增大时,混合流体发生偏转程度会增加,甚至直接与管壁发生垂直碰撞,导致引射流的动能损失较大且对流体向引射器出口方向流动产生阻力,随后引发引射入口压力增大,引射流量减小的效应。较小的混合室直径有利于导正引射流的流动方向与出口方向保持一致,而混合室同时也是砾料通过的管道,因此混合室直径不宜过小,对砾料通过产生阻碍,本文分析表明采用直径为18 mm的混合室管道在保证引射效果及砾料通过性等方面相对其他直径管道具有较为明显的优势。

4.3 混合室长度对引射器性能的影响

建立三维模型 $d_m = d_s = 32$ mm, $d_2 = 22$ mm, $d_h = 27$ mm, $d_1 = 5$ mm, $d_3 = 26$ mm, $L_c = 15.5$ mm,混合室长度取 60 mm $\leq L_c \leq 130$ mm,CFD计算结果如图7所示。

由图7可知,随着混合室长度的增长,引射入口压力有小幅降低,引射流量有小幅增加,这是因为当增长混合室长度时,能够增加引射流的高速喷射距离,混合室较短会导致引射流迅速扩散,减弱其引射能力。较长的混合室有利于保持引射流喷射方向性和降低扩散速度,因此适当加长混合室长度有利于提高引射器的引射性能,但影响并不明显。在实

际应用中,由于混合室管径相对于其他管段管径要小,较长的管段会带来较大的流程损失,因此混合室长度不宜过长,本文认为采用 120 mm 的混合室长度较为理想。

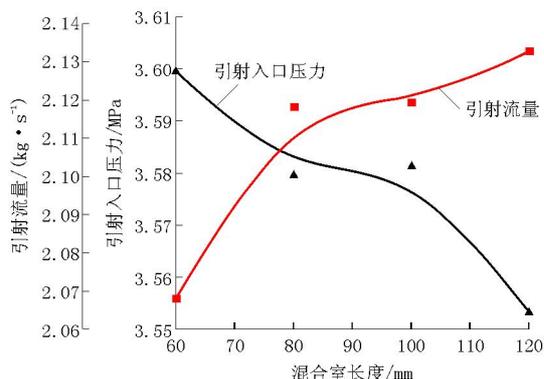


图 7 混合室长度对引射入口压力及引射流量的影响

5 现场应用效果

根据数值模拟优化结果,将优化后的投砾装置(见图 8)在新疆察布查尔县 511 铀矿床进行生产试验,在采用相同泵量的情况下,有效利用泵压,引射流的喷射速度显著增大,引射器的引射能力得到改善,粒料流动填充速度有了很大的提升,优化后的自制投砾装置在新疆 511 铀矿床施工区 15 个机台应用后得到了良好的应用反馈,在实验应用过程中未发生粒料卡堵等问题,投砾工序时间平均 0.5 h 完成,较原有投砾装置节省 1 h 以上。



图 8 现场应用的优化后的自制投砾罐

6 结语

本文采用数值模拟方法对基于引射器原理的投砾装置进行了参数优化分析研究。研究表明,引射器的引射性能主要受引射器喷嘴直径控制,由于较小的喷嘴直径能够提高引射流体的喷射速度,增强其对周围流体的卷吸能力,因此较小的喷嘴直径有利于提升引射器性能,但较小直径喷嘴会导致引射流入口压力大幅增加,为与现场用 BW250 型泥浆泵压力匹配,本文获得的最优喷嘴直径为 5 mm。同时混合室的直径和长度对引射器性能均有影响,通过模拟计算获取的最优值分别为 18 和 120 mm。现场生产试验表明,采用优化后的投砾装置较原有基于大喷嘴直径引射器的投砾装置,投砾效率和质量均有大幅提高。

参考文献:

- [1] 李应林,谭来仔,陈传宝,等.液液引射器性能的数值模拟与实验[J].东南大学学报(自然科学版),2014,44(2):289-294.
- [2] 宗绪永,李柏军.基于 Fluent 的空气射流切削式反循环钻头参数优化[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2015,42(11):58-61,65.
- [3] 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.
- [4] 宗绪永,李柏军.提高低渗透铀矿床地浸采铀钻孔涌水量的成井工艺研究[J].地质装备,2014,(3):35-37.
- [5] 陈晶晶,陈家旺,殷琨.冲击器射流元件内部流场 CFD 模拟仿真分析[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2008,35(12):26-27,34.
- [6] 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,2001,(3):12-15.
- [7] 程宗芳.地浸工艺钻孔中的施工技术[J].铀矿冶,2003,(2):61-64.
- [8] 张悦刊,刘培坤,杨兴华,等.基于 CFD 的泥浆净化旋流器湍流流场数值模拟[J].流体机械,2014,42(6):26-32.
- [9] 苏学斌,杜志明.我国地浸采铀工艺技术发展现状与展望[J].中国矿业,2012,21(9):79-83.
- [10] 贾中芳,王强,等.511 矿床地浸采铀钻孔的施工现状及发展[C]//第十七届全国探矿工程(岩土钻掘工程)学术交流会论文集.北京:地质出版社,2013.
- [11] 史维浚.铀水文地球化学原理[M].北京:原子能出版社,1988.
- [12] 杨仕教.现代铀矿床开采科学技术[M].黑龙江哈尔滨:哈尔滨工程大学出版社,2010.
- [13] 廖文胜,王立民,江国平,等.低渗透砂岩铀矿床矿层保护技术研究[R].中国核科学技术进展报告,2011.
- [14] 胡柏石,谭亚辉,姜岩.低承压水头条件下地浸钻孔施工与成孔工艺特征探讨[J].铀矿冶,2005,24(3):118-123.
- [15] 李晓剑,姜岩,姚益轩,等.提高地浸采铀钻孔涌水量的技术措施及其应用[J].铀矿冶,2010,29(2):57-60,69.