

新型射流式元件结构设计与试验研究

纪天坤, 孙 强, 杨冬冬, 彭视明

(吉林大学建设工程学院, 吉林 长春 130026)

摘要:射流式液动锤由于其具有钻进效率高、钻进深度不受限制等优点被成功应用于油气钻井领域。然而由于射流元件在复杂受力条件下极易破损,严重制约了射流式液动锤的使用寿命。为解决此问题,对射流式液动锤射流元件受力情况进行了数值模拟分析,通过分析射流元件内部应力场分布情况,得出了射流元件破损机理,并设计了新型两体式射流元件。模拟分析研究表明,采用新型两体式射流元件可将元件内最大应力值降低一个数量级,使射流元件受力情况明显改善,可有效地提高其使用寿命。

关键词:射流式液动锤;射流元件;结构优化

中图分类号:P634.4;TH137.53⁺1 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-7428(2016)06-0052-04

Structure Design of New Bi-stable Fluidic Amplifier for Liquid-jet Hammer/JI Tian-kun, SUN Qiang, YANG Dong-dong, PENG Jian-ming (College of Construction Engineering, Jilin University, Changchun Jilin 130026, China)

Abstract: Liquid-jet hammer have been successfully used in oil and gas drilling production for its high penetration rate and unlimited drilling depth. However, the damage of the bi-stable fluidic amplifier caused by complex stress has limited the working life of the liquid-jet hammer. In order to improving the performance of the liquid-jet hammer, the distribution of stresses in the bi-stable fluidic amplifier was studied by computation and the optimized structures of the bi-stable fluidic amplifier were proposed. Computational study results show that the optimized bi-stable fluidic amplifier can reduce the maximum stress one order of magnitude to improve stress situation obviously with longer service life.

Key words: liquid-jet hammer; bi-stable fluidic amplifier; structure optimization

0 引言

射流式液动锤以钻井泥浆为动力介质,在双稳射流元件控制下,驱动活塞往复运动,并带动冲锤高速往复冲击钻头实现碎岩。该液动锤具有结构简单、易损件少、深孔高围压条件下适应性好等优点^[1-3],并成功应用于石油钻井、地热钻井以及大陆科学钻探等领域。

双稳射流元件作为射流式液动锤的控制机构,其工作状态直接影响到液动锤的工作性能。传统的分体式射流元件由底板、侧板、劈尖和盖板等部分组成,工程实践中发现,由于射流元件工作寿命短,经常导致潜孔锤不能工作。例如在中国大陆科学钻探“科钻一井”中,使用射流式液动锤钻进,平均每个射流元件的使用寿命为15.1 h;在石油钻井中,射流元件的工作寿命也由设计的100 h降低至实际的10 h甚至更低^[4-5]。在高压高能液动锤中,由于工作

所需的泵量泵压增加,射流元件所受应力将进一步增加,更容易加速其破坏。为改善射流元件的受力情况,延长其使用寿命,适合更高能量的输出,应对传统射流元件进行结构优化,提出将侧板、劈尖与底板设计为整体,与盖板配合,形成两体式新型射流元件(如图1所示),图1(a)为传统分体式射流元件,图1(b)为两体式新型射流元件。

本文利用CFD计算流体动力学软件,对射流元件进行了流场分析,得出侧板处流体压力数值;并结合SolidWorks软件中的Simulation有限元分析模块对其侧板受力情况进行了静力学模拟分析,比较两种不同结构的射流元件的受力情况。

1 射流式液动锤工作原理

射流式液动锤的工作原理如图2所示。

高压流体进入射流元件后,经喷嘴喷出,形成

收稿日期:2015-12-26;修回日期:2016-04-07

基金项目:国土资源部公益性行业科研专项“干热岩快速钻井用高压高能射流式液动锤研究”(编号:201311112)

作者简介:纪天坤,男,汉族,1992年生,地质工程专业,在读硕士研究生,主攻方向为多工艺冲击回转钻进技术,吉林省长春市西民主大街938号,jitiankun@foxmail.com。

通讯作者:彭视明,男,汉族,1975年生,教授,博士生导师,从事多工艺冲击回转钻进技术和天然气水合物勘探等研究工作,吉林省长春市西民主大街938号,pengjm@jlu.edu.cn。

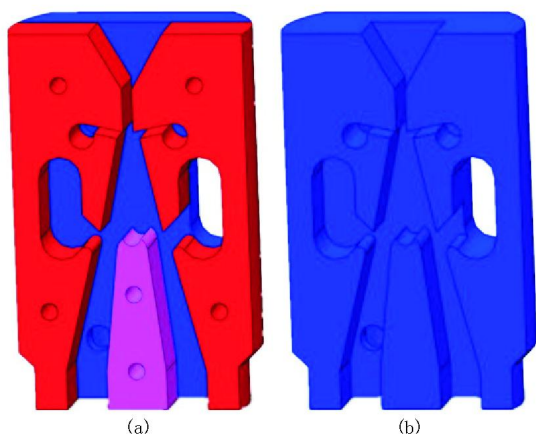


图 1 射流元件模型图

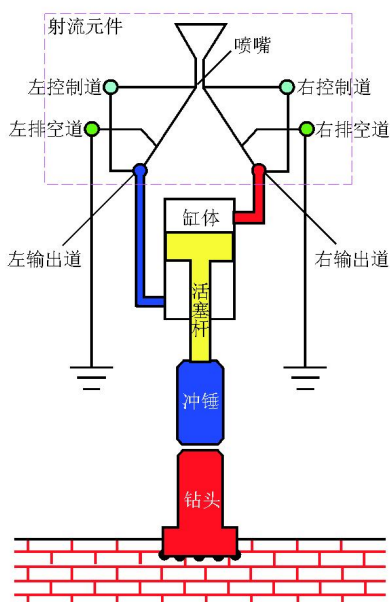


图 2 射流式液动锤工作原理图

高速射流。由于附壁效应的存在,高速射流附壁于侧板一侧,假设先附壁于左侧,射流经左输出道进入缸体下腔,推动活塞杆与冲锤上行,当活塞杆到达上死点时,缸体下腔产生水击压力信号并将其传至左控制道处,使高速射流迅速切换,附壁于右侧。射流经右输出道进入缸体上腔,推动活塞杆与冲锤下行,并撞击钻头,冲击碎岩。当活塞杆到达下死点后,缸体上腔产生水击压力信号并传至右控制道处,使高速射流切换并附壁于左侧,从而推动活塞杆往复运动。在此过程中,缸体上腔和下腔排出的流体均经排空道排至孔底,并携带岩渣、岩屑上返。

2 新型射流元件结构优化

液动锤正常工作时,流体在射流元件内部高频

切换,对射流元件侧板内壁产生高频交变载荷,在控制通道与排空通道之间产生应力集中^[6],影响其使用寿命。图 3 为实验后的射流元件,该射流元件的实际工作寿命不足 10 h,实验后发现其左右两侧板控制道与排空道之间均发生断裂,导致液动锤不能工作,即 A、B 两处所示。

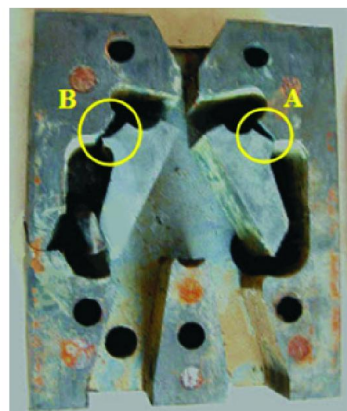


图 3 破坏后的射流元件

两体式射流元件是以传统双稳射流元件为基础,进行结构优化后的新型射流元件。在传统射流元件的基础上,将底板、侧板与劈尖设计为一个整体,再与盖板组合,形成两体式射流元件。与传统分体式射流元件相比,两体式射流元件采用整体加工的结构,不但减少了接触面,使装配误差减小,射流元件密封更为可靠,同时提高了射流元件的对称性,保证射流元件切换的稳定性;还可以改善射流元件的受力状况,提高射流元件整体刚度,显著降低射流元件的应力集中,其使用寿命随之大幅提高。

3 射流元件模拟分析

3.1 CFD 流体动力学模拟

随着计算机技术的发展以及数值计算方法的改进,CFD (Computational Fluid Dynamics) 技术得到广泛的应用。其中,Fluent 是目前应用最为广泛的 CFD 流体分析软件。利用 Fluent 软件对 SC-71 型射流式液动锤进行流体动力学分析,由于传统射流元件与双体式射流元件,其内部流体通道一致,因此,二者模型完全相同,网格模型如图 4 所示。

为了保证计算精度与计算速度,提高计算收敛性,网格总体采用结构化六面体网格单元,该网格模型中共有 25869 个单元。

实验中以清水作为动力介质,因此流体介质

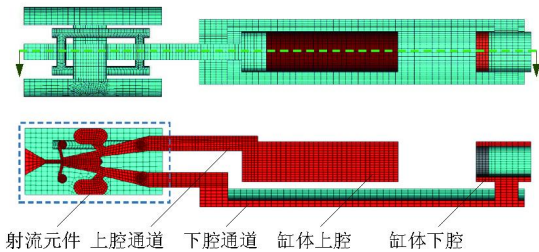


图4 射流式液动锤网格模型图

设置为清水,其动力粘度为 $0.001 \text{ Pa} \cdot \text{s}$,流体密度为 998.2 kg/m^3 。喷嘴处设置为速度入口,按输入流量 200 L/min 计算;排空道右端设置为压力出口,压力值设置为一个大气压。模型选用 $k-\varepsilon$ 湍流模型,速度压力耦合算法,采用 SIMPLE 算法;控制方程中的扩散项采用一阶迎风差分格式^[7]。

计算结果表明,液动锤内射流元件中的主射流可以正常附壁和切换,液动锤能正常工作。射流元件内流体的速度分布如图5所示。

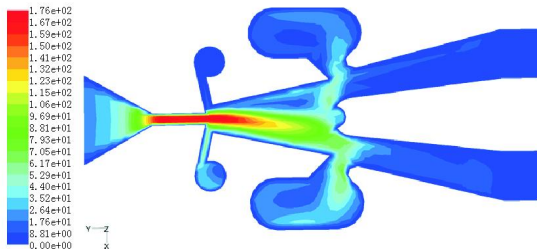


图5 射流元件内部流速分布图

由于流体在射流元件内部高频往复切换,对射流元件侧板内壁产生高频脉冲作用。利用 Fluent 软件,可以得出射流元件侧板控制通道与排空道之间的内壁上所受流体压力的平均值最大为 4.0 MPa 。

3.2 Simulation 有限元静力分析

利用 SolidWorks 对射流元件建立模型后,再利用其中的 Simulation 有限元分析模块对射流元件受力分析,如图6所示。

结合实际情况,在射流元件顶面及外侧面设置为约束;根据流体分析结果对其进行加载,其加载条件如下:侧板内壁面1施加载荷设置为 4.0 MPa ,信号道面2施加载荷设置为 1.0 MPa ,信号道面3施加载荷设置为 3.0 MPa ;材料选用普通合金钢。设置完成后对模型求解计算,分体式射流元件的分析参数与之完全相同。

3.3 结果与讨论

分体式射流元件侧板的静力学分析结果如图7所示。由应力分布云图中可以看出,侧板控制道与

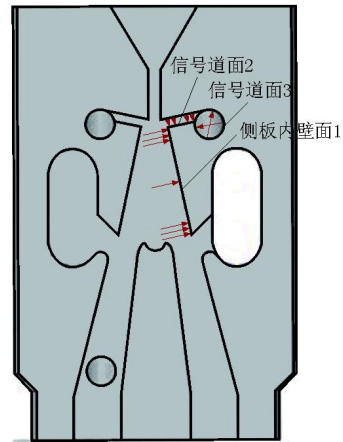


图6 射流元件加载示意图

排空道之间出现应力集中,最大应力为 313 MPa ,尽管这一结果远小于材料的屈服强度 620 MPa ,从静力学分析来看,射流元件并不会发生破坏。但在钻进过程中,射流元件受力情况复杂,除了流体的高频脉冲作用外,还受到泥浆中磨料的冲蚀作用、活塞冲锤在回程阶段对缸体和射流元件的冲击作用,以及空蚀现象的存在等,加速了射流元件的破坏^[8-9]。

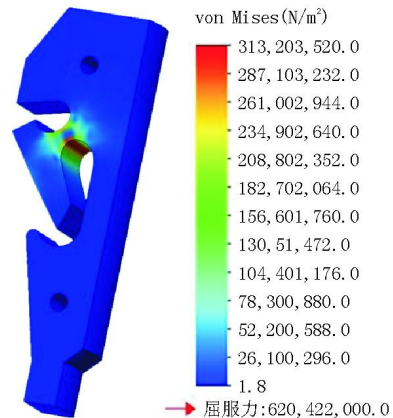


图7 分体式射流元件侧板受力云图

两体式射流元件侧壁受力情况如图8所示,相同条件下,其最大应力为 36.5 MPa ,与分体式射流元件相比,降低了 88% 以上,受力条件明显改善,应力集中显著降低,射流元件整体强度相应提高,其使用寿命必然随之大幅提高。

4 两体式射流元件试验情况

两体式射流元件的研究应用目前尚在试验阶段。在高压高能液动锤室外试验中,采用两体式射流元件钻进花岗岩试块,具体试验情况如下。

试验采用 SC-86H 型高压高能射流式液动锤,

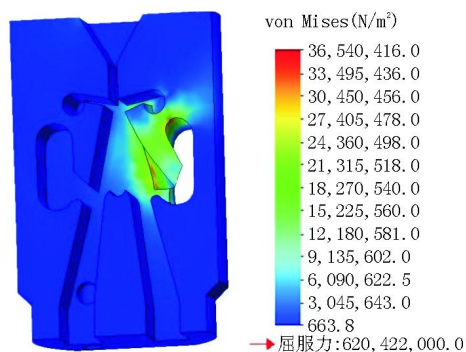


图 8 两体式射流元件侧壁受力云图

射流元件为结构优化后的两体式射流元件,钻头采用直径 95 mm 的硬质合金球齿全面碎岩钻头;试验过程中,钻机钻压 7 ~ 8 kN,转速 25 ~ 30 r/min;使用清水作为动力介质,输入流量 180 ~ 220 L/min,相应的流体压力为 10.0 ~ 15.0 MPa。液动锤的冲击频率为 12 ~ 17 Hz,冲击功为 144 ~ 249 J。

试验阶段,两体式射流元件工作 30 h 后,射流元件依然工作稳定,内壁表面无明显冲蚀或断裂。试验结果表明,与分体式射流元件相比,两体式射流元件工作寿命明显提高。

5 结论

本文针对两体式新型射流元件,通过理论分析并结合室外钻进试验,利用 Fluent 流体动力学分析软件及 SolidWorks 软件中的 Simulation 有限元分析模块,对两体式射流元件进行仿真模拟分析。理论

分析结果表明,与分体式射流元件相比,两体式射流元件所受最大应力降低了 88% 以上,射流元件整体强度提高,有利于延长其工作寿命。室外钻进实验表明,与分体式射流元件相比,两体式射流元件接触面减少,从而提高了射流元件的密封性能,保证了射流元件切换的稳定性;试验阶段,两体式射流元件工作 30 h 后依然稳定,内壁表面无明显冲蚀及断裂趋势,与理论分析相符合,这对延长射流式液动冲击器的工作寿命、扩大应用领域具有重要意义。

参考文献:

- [1] 王人杰,蒋荣庆.液动冲击回转钻进技术[M].北京:地质出版社,1988:97-104.
- [2] 彭视明,殷其雷,赵志强,等.低速射流元件控制的高能液动锤研究[J].石油机械,2010,38(3):1-4.
- [3] 朴成哲,殷琨,蒋荣庆,等.KSC-127 型射流式冲击器应用于大陆科学深钻的试验研究[J].世界地质,2000,19(3):295-298.
- [4] 李传武,李发东,任海军.液动锤在科钻一井先导孔钻井中的应用[J].石油勘探,2002,30(5):12-14.
- [5] 丁代坡.石油钻井冲击器关键零部件工作寿命的研究[D].吉林长春:吉林大学,2008.
- [6] H. Liu, K. Yin, J. M. Peng. Fracture failure analysis of baseplates in a fluidic amplifier made of WC-11Co cemented carbide[J]. Frattura e Integrità Strutturale, 2014, 27:53-65.
- [7] 彭视明,柳鹤,赵志强,等.YSC178A 型液动锤射流元件底盖板外壁冲蚀机理[J].吉林大学学报(地球科学版),2010,40(5):1140-1144.
- [8] 熊青山,王越之,夏宏南.液动射流冲击器射流元件深井失效研究及对策[J].凿岩机械气动工具,2006,(3):59-64.
- [9] 熊青山,殷琨,楼一珊.射流元件空蚀模拟试验研究及理论浅析[J].矿山机械,2006,34(11):22-23.

(上接第 51 页)

5 结论

TGQ 背包式取样钻机质量轻、体积小,结构设计合理,单人即可背负,钻机操作简单,钻具及附属部件均选用高强度的材料,钻进口径 40 mm,取心直径 33 mm,取样深度可以达到 5 m,适合野外地质人员随时随地取样。在地质、冶金、矿业、工程勘查等相关单位得以推广应用,以其质量轻、便于野外携带、钻进效率高,得到了用户的好评。钻机的研制为地质矿产勘查增添了一种新产品,钻机的研制打破了国外背包式轻便钻机对我国市场的垄断,有广阔的应用前景,提高了我国覆盖区复杂地层取样技术和取样器具的自主研发能力,提高了地质矿产勘查工作的服务水平和技术支撑能力,将在以后的浅层

取样中发挥重要的作用。

参考文献:

- [1] 何金生,郭晓东,郭金富.影响轻便钻机钻进速度问题分析及改进[J].勘察科学技术,2008,(3):20-22.
- [2] 冯德强.钻机设计[M].湖北武汉:中国地质大学出版社,1993.
- [3] 刘广志.金刚石钻探手册[M].北京:地质出版社,1998.
- [4] 戴胜生,吴朝峰,卢继强.背包式钻机在山区输电线路勘测中的应用[J].西部探矿工程,2014,(9):37-38.
- [5] 叶桂明,徐毅青.轻型钻机在西部山区深厚覆盖层水电勘探中的应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2011,38(3):68-70.
- [6] 刘三意,孟庆鸿.我国钻掘设备的发展趋势及几种最新机型[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2007,34(6):6-9.
- [7] 王峪.轻便钻机在地质勘察工程中的应用[J].西部探矿工程,2013,(5):80-82.
- [8] 吴辉杰.背包式钻机在输电线路勘察中的应用[J].江西建材,2015,(20):222.
- [9] 赵大军,孙友宏,计胜利,等.山地丘陵地区地震勘探轻便铝合金钻机及配套机具的研究与开发[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2013,40(S1):161-166.