

多参数液动潜孔锤测试平台的研究

王跃伟¹, 陆洪智², 齐力强¹, 杨泽英¹, 张涛², 苏长寿¹, 梁楠¹

(1.中国地质科学院勘探技术研究所, 河北廊坊 065000; 2.中国地质大学(武汉), 湖北武汉 430074)

摘要:液动冲击回转钻进技术现已广泛应用于地质勘探领域,但在石油、地热、煤层气等其他钻井领域应用还较少。原因之一是现有的液动潜孔锤正常工作所需泵量和泵压与输出冲击功和冲击频率难以适应上述钻井领域的要求。针对这一问题,分析了冲击功与冲击力的关系,利用压电石英传感器测定液动潜孔锤的冲击功,并研制了多参数液动潜孔锤测试平台,探索液动潜孔锤结构参数对其输入、输出性能参数的影响,以适应不同领域钻井技术的要求。新研制的液动潜孔锤测试平台由数据采集和处理模块、循环动力模块和机械固定模块3个主要模块组成,实现了在尽可能不破坏液动锤结构的前提下对其输出冲击功、冲击频率及泵量、上下腔压力、背压等多个参数进行实时动态监测,进而开展液动潜孔锤理论研究,进一步提高其研究水平和适用领域。

关键词:地质勘探;液动冲击回转钻进;液动潜孔锤;液动锤测试技术;实验台

中图分类号:P634.7 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-7428(2019)11-0054-06

Development of the multiparameter hydraulic down-hole hammer test bench

WANG Yuewei¹, LU Hongzhi², QI Liqiang¹, YANG Zeying¹,

ZHANG Tao², SU Changshou¹, LIANG Nan¹

(1.The Institute of Exploration Techniques, CAGS, Langfang Hebei 065000, China;

2.China University of Geosciences, Wuhan Hubei 430074, China)

Abstract: Hydraulic percussive-rotary drilling technology has been widely used in the field of geological exploration; however, this technology finds less application in other drilling fields, such as petroleum, geothermal energy, coal bed gas, etc., because the pump volume, pump pressure, output impact work and impact frequency required for normal operation of existing hydraulic down-hole hammers cannot meet the requirements of the above drilling industries. In order to solve this problem, the relationship between impact energy and impact force was analyzed. The piezoelectric quartz sensor was used to measure the impact energy of hydraulic down-hole hammer with the performance test bench of hydraulic down-hole hammer developed to investigate the influence of hammer structural parameters on its input and output performance parameters so as to meet the requirements of drilling technology in different fields. The newly developed performance test bench is composed of three main modules: data acquisition and processing module, circulation power supply module and mechanical fixing module. The test bench can monitor the output impact work, impact frequency, pump volume, upper and lower chamber pressure, back pressure and other parameters without damaging the hydraulic hammer structure; thus, it can carry out further theoretical research of hydraulic down-hole hammers, improving its research level and applicable field.

Key words: geological exploration; hydraulic impact rotary drilling; hydraulic down-hole hammer; hydraulic hammer testing technique; test bench

0 引言

多年生产实践证实,液动冲击回转钻进技术可大幅度提高钻进速度、回次进尺和钻头寿命,是一种

高效、优质、低耗的技术^[1-4]。液动冲击器(又称液动潜孔锤,简称液动锤)是液动冲击回转钻进技术的核心,在孔内循环介质驱动下对钻头产生高频连续

收稿日期:2019-10-28 DOI:10.12143/j.tkgc.2019.11.010

基金项目:国家重点研发计划“天然气水合物海底钻探及船载检测技术研究与应用”(编号:2017YFC 0307500)、“5000米智能地质钻探技术装备研发及应用示范”(编号:2018YFC0603400)联合资助

作者简介:王跃伟,男,汉族,1985年生,工程师,地质工程专业,硕士,长期从事液动冲击回转钻探技术等地质钻探技术研究工作,河北省廊坊市金光道77号,yourvie@126.com。

引用格式:王跃伟,陆洪智,齐力强,等.多参数液动潜孔锤测试平台的研究[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2019,46(11):54-59.

WANG Yuewei, LU Hongzhi, QI Liqiang, et al. Development of the multiparameter hydraulic down-hole hammer test bench[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2019,46(11):54-59.

的冲击载荷,从而实现冲击回转钻进。

该技术目前在地质勘探,尤其是小口径岩心钻探领域应用十分广泛,且效果明显^[5-10],但在石油、地热、煤层气等其他钻井领域应用较少。首先,几十年以来,各行业有自己的队伍、院校、科研院所,交叉较少,缺乏交流。其次,液动锤随口径增大冲击功也大大提高,相同材质及热处理工艺条件下液动锤寿命有所降低,限制其在石油、地热等行业应用。第三,液动潜孔锤理论研究较少,难以针对不同工况进行相对精准的性能调节,无法适应上述所述行业的要求。

目前国内进行液动潜孔锤研究单位较多^[11-21],但理论研究较少,吉林大学从仿真计算、数值模拟等

角度对射流式液动潜孔锤进行过一些理论研究^[22-25],勘探技术研究所对双喷嘴复合液动锤建立水力学模型探讨喷嘴结构及运动参数对性能影响^[19],此外鲜有此方面的研究。建立液动锤结构参数及泵量、泵压等输入性能参数与冲击功和冲击频率之间的关系,进而开展液动潜孔锤基础理论研究,提高其研究水平和适用范围,迫切需求建立一个可以进行液动锤性能测试的实验平台。

1 实验台方案设计

多参数液动潜孔锤测试平台主要由数据采集和处理模块、循环动力模块和机械固定模块 3 个主要模块组成,如图 1 所示。

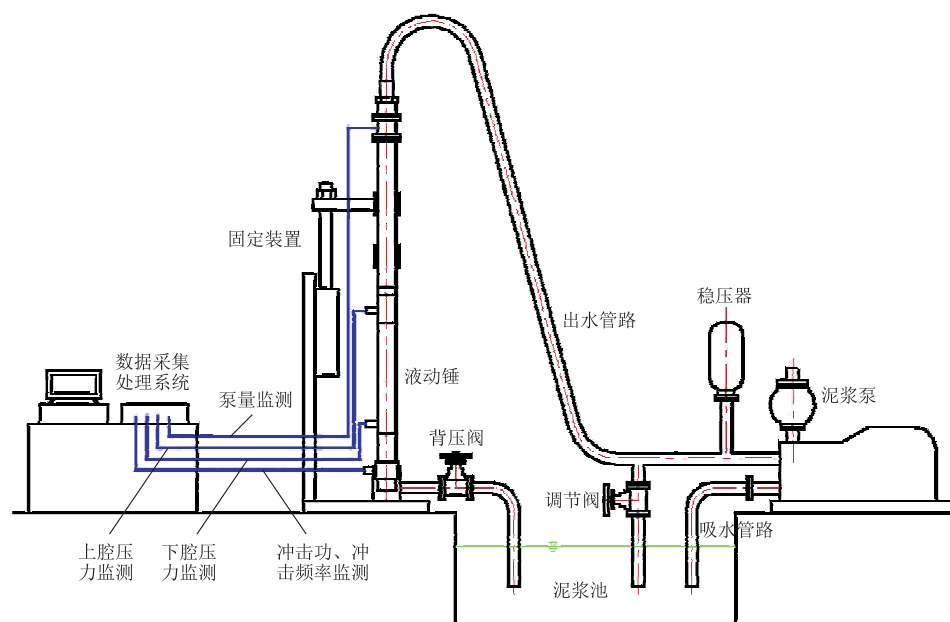


图 1 液动潜孔锤性能测试实验台示意

Fig.1 Performance test bench of hydraulic down-hole hammers

1.1 数据采集和处理模块

数据采集和处理模块是液动潜孔锤性能测试实验台的核心,由数据采集处理软件系统、数据采集卡、可进行计算和显示的 PC 机、不同功能的传感器及其他元件组成。

冲击功的测量采用压电石英力传感器,其原理为压电效应。当压电传感器受到力作用后,其内部的压电元件上也受到同样的力,根据压电效应原理,压电元件的两面就会产生与这个力成正比的电压,通过测此电压即可测得作用力,再根据力与功之间的标定来计算冲击功。根据冲击功曲线相邻两个波峰的时间差计算冲击频率。

液体压力采用传感器测量,工作原理是靠其内部弹性膜片上粘贴的电阻应变计敏感元件组成电桥,在压力作用下弹性膜片产生应变,应变计感受此应变并使应变计桥臂电阻发生变化。给应变计电桥加额定激励电压,即可得到与压力呈线性关系的电压变化,通过测量电压即可测出压力值。

泵量采用流量传感器测量。流量传感器中有液体通过时使其内部电路的磁阻发生变化,产生与流量成正比的电压脉冲信号,通过测脉冲信号的电压值即可测出流量值。流量传感器测量原理为通过磁场中的流体在切割磁感线时会产生与流量成正比的感应电动势,通过测量这个感应电动势计算出液

体流量。

1.2 循环动力模块

循环动力模块由泥浆泵、进水管路、出水管路、稳压罐、调节阀、背压阀、泵压表等组成。三台不同排量泥浆泵并联,输出泵量范围为 $0 \sim 1800 \text{ L/min}$,最大输出泵压为 10 MPa 。稳压罐可大大减小进入液动锤工作介质的压力波动。调节阀可对进水管路进行分流,在理论上实现无级调节泵量。背压阀放置于液动锤出口,模拟孔底背压条件,开展液动锤背压适应性研究。

1.3 机械固定模块

机械固定模块主要为液动锤固定台架,台架由液压控制,含两个同步油缸和链条倍速机构,结构如图2所示,技术参数见表1。

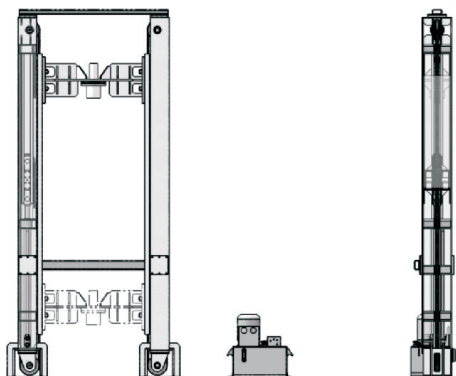


图2 液动锤固定台架结构示意图

Fig.2 Structure of the hydraulic hammer fixing stand

表1 液动锤固定台架技术参数

Table 1 Technical parameters of the hydraulic hammer fixing stand

参 数 指 标	参数值
系统压力/MPa	20
油箱容积/L	68
电动机功率/kW	4
最大加压力/kN	63
最大下降速度/($\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$)	2.7
最大提升力/kN	30
最大上升速度/($\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$)	5.6
质量/kg	1700

2 冲击功标定

2.1 冲击模型

如图3所示,设冲锤组件以速度 v 冲击铁砧,冲击力以冲击波的形式传递至传感器,传感器受压产生电荷,再由电荷放大器处理,产生电压信号。冲锤冲击铁砧后发生反弹,冲击过程为非完全弹性碰撞,

传感器上部铁砧和下层底座都会受压并产生变形。

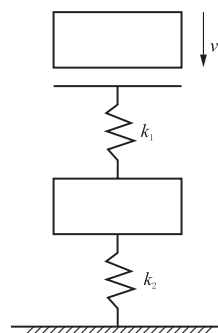


图3 冲击模型

Fig.3 Impact model

建模时可以将传感器上部铁砧和下部底座看作一个刚度很大的弹簧,劲度系数分别为 k_1 、 k_2 ,中间的传感器看作一个不变形的刚体。冲击过程中,上弹簧的形变为 x_1 ,下弹簧的形变为 x_2 。在该数学模型中,冲锤下一次的下落过程中,把接触时刻的动能转换为两个刚度很大的弹簧的弹性势能,达到最大形变 $x_{\max}$ 时,传感器所受的力为 $F_{\max}$ 。随后弹簧恢复形变,将冲锤反弹,但在弹簧恢复的过程中,传感器和底座有限位,阻滞很大,弹簧只把部分弹性势能转换为冲锤的反弹动能。

接触时刻的动能 $E = mv^2/2$ (其中: m 为冲锤组件质量, v 为发生冲击时冲锤组件末速度)。达到最大形变时,弹簧存储的总弹性势能:

$$P = \frac{1}{2} k_1 x_{1\max}^2 + \frac{1}{2} k_2 x_{2\max}^2 \quad (1)$$

以冲击时刻的动能作为冲击功 W ,则冲击功 W 与弹簧总弹性势能 P 相等:

$$W = \frac{1}{2} k_1 x_{1\max}^2 + \frac{1}{2} k_2 x_{2\max}^2 \quad (2)$$

由胡克定理可知:

$$\begin{cases} F_{1\max} = k_1 x_{1\max} \\ F_{2\max} = k_2 x_{2\max} \end{cases} \quad (3)$$

把公式(2)和公式(3)变形可得:

$$W = \frac{1}{2k_1} F_{1\max}^2 + \frac{1}{2k_2} F_{2\max}^2 \quad (4)$$

弹簧达到最大形变时,传感器近似看作受力平衡,则:

$$F_{\max} = F_{1\max} = F_{2\max} \quad (5)$$

把公式(5)带入到公式(4)中:

$$W = \frac{1}{2} \left(\frac{1}{k_1} + \frac{1}{k_2} \right) F_{\max}^2 \quad (6)$$

令 $1/k = 1/k_1 + 1/k_2$, 即 k 为上下两个弹簧的串联刚度, 则:

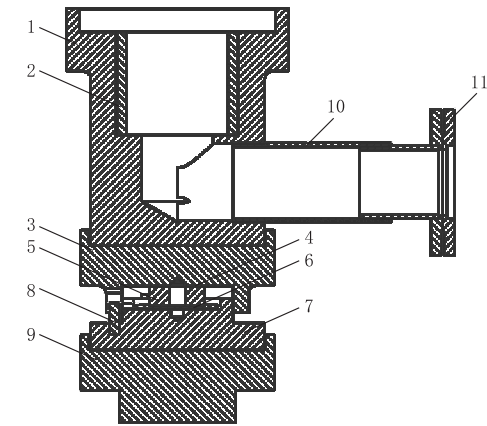
$$W = \frac{1}{2k} F_{\max}^2 \quad (7)$$

串联刚度 k 是与传感器、试验工装相关的系数, 而冲击功与最大冲击力的平方成正比。

2.2 测定串联刚度 k

采用冲击力法测冲击功受冲击部件形状、尺寸、质量、材料等因素影响较大, 故在冲击标定过程中应采用待测液动锤的冲锤组件, 最大程度模拟液动锤测试的环境和条件进行标定。此处以 YZX108 型液动锤为例。

传感器安装与液动锤测试保持一致, 以 YZX108 型液动锤下接头作为冲击铁砧, 直接坐于图 4 所示的底座上。冲锤在不同高度多次(试验中取 5 次)反复做自由落体运动, 压电石英传感器测出每一组冲击力数值, 再由冲锤组件的质量和自由落体的高度计算出冲锤组件冲击铁砧时的冲击功。由于阻力、碰撞接触条件不同, 且试验过程受人的操作行为影响较大, 故应剔除明显的异常数据, 最终的有效数据取平均值。



1—铁砧; 2—适应套; 3—上盖板; 4—上垫片; 5—传感器; 6—下垫片; 7—下盖板; 8—定位销; 9—基座; 10—出水管; 11—背压阀

图 4 压电石英传感器安装示意

Fig.4 Installation schematic diagram of the piezoelectric quartz sensor

试验完成后用计算机对采集到的数据进行回归分析, 如图 5 所示, x 轴为测量的冲击力, y 轴为根据冲锤组件质量及下落高度计算的冲击功。最终回归方程式为 $y = 0.0014x^2 - 0.0001x$, 相关性 $R^2 = 0.9998$ 。0.0001 x 与 0.0014 x^2 相差 3 个数量级以上, 根据式(7), 应该是由试验过程中操作差异、外界

干扰、测量误差等原因导致, 故应略去, 因此可以确定串联刚度 k 值, 即 $1/(2k) = 0.0014$ 。

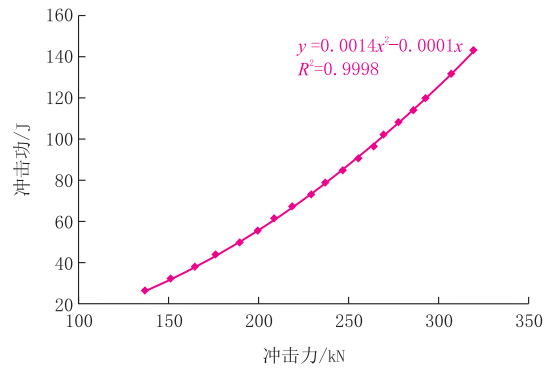


图 5 串联刚度 k 反演数据

Fig.5 Inversion data of serial stiffness k

3 实验台调试

液动潜孔锤性能测试实验台组装完成后于勘探技术研究所冲击回转试验室进行了室内调试, 调试采用 YZX108 型液动潜孔锤^[26], 该液动锤冲锤组件质量 23.8 kg。测试中液动锤自由行程为 15 mm。

流量传感器、压力传感器直接通过螺纹连接到管路上, 压电石英传感器设计的安装方式如图 5 所示。压电石英传感器上下各有一压片, 通过螺杆紧固。再通过上下两个盖板将压电石英传感器置于一个相对密封的腔内, 阻止水从外部流入, 上下盖板间通过直键和键槽定位, 避免发生相对转动。连接好管路, 传感器数据线与采集板连好, 安装好的实验台如图 6 所示。



图 6 液动潜孔锤性能测试实验台调试

Fig.6 Commissioning of the hydraulic down-hole hammer performance test bench

调试过程中采集到的波形图如图 7 所示。

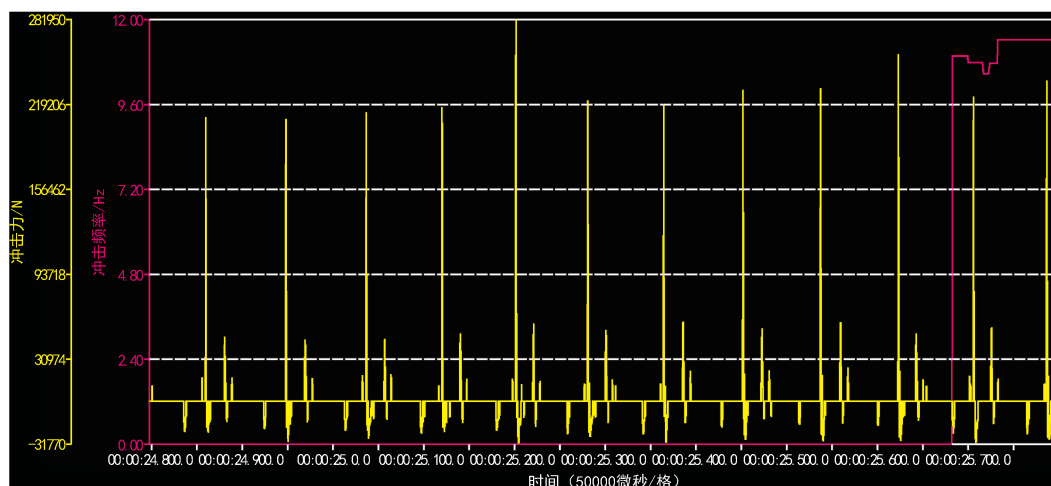


图7 液动潜孔锤性能测试软件系统界面

Fig.7 Software system interface for hydraulic down-hole hammer performance tests

根据测试结果,泵量 600 L/min 时,YZX108 型液动锤冲击频率为 10.37 Hz,冲击功为 86.60 J;泵量 670 L/min 时,冲击频率为 13 Hz,冲击功为 106.89 J。

4 结论

研制的多参数液动潜孔锤测试平台通过冲击力与冲击功标定的方法对液动锤输出性能参数进行无损测试,为提高液动锤的研究设计水平和速度起到了一定的作用。该测试平台硬件配套齐全,0~30 L/s 的泵量范围基本可满足现有规格液动锤的测试需求,全液压台架大大提高了测试安全性,降低了劳动强度。根据调试结果,泵量 600 L/min 时,YZX108 型液动锤冲击频率为 10.37 Hz,冲击功为 86.60 J;泵量 670 L/min 时,冲击频率为 13 Hz,冲击功为 106.89 J。

参考文献(References):

- [1] 王人杰,蒋荣庆,韩军智.液动冲击回转钻进技术[M].北京:地质出版社,1988.
WANG Renjie, JIANG Rongqing, HAN Junzhi. Hydraulic percussive-rotary drilling technology[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1988.
- [2] 殷琨,蒋荣庆.发展中的冲击回转钻进技术[J].探矿工程,1997(5):53—55.
YIN Kun, JIANG Rongqing. On-going percussive-rotary drilling technology[J]. Exploration Engineering, 1997(5):53—55.
- [3] 杨甘生.冲击回转碎岩机理探讨[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2013,40(2):19—21.
YANG Gansheng. Discussion on rock broken mechanism of percussive-rotary drilling[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2013,40(2):19—21.
- [4] 常玉军,殷琨.冲击回转碎岩机理试验研究[J].探矿工程,2001(4):62—64.
CHANG Yujun, YIN Kun. Research on the percussive rotary rock fragmentation mechanism[J]. Exploration Engineering, 2001(4):62—64.
- [5] 刘景华,何立新.SYZX75 绳索取心液动锤加长岩心管的应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2009,36(2):5—11.
LIU Jinghua, HE Lixin. Application of lengthening coring barrel of SYZX75 wire-line coring hydro hammer[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2009,36(2):5—11.
- [6] 曹学斌,王发民,何玉云,等.SYZX96 型绳索取心液动锤在甘肃李坝金矿[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2016,43(6):30—33.
CAO Xuebin, WANG Famin, HE Yuyun, et al. Application of SYZX96 wire-line coring hydro-hammer in complex strata of Gansu Liba Gold Mine and the effects[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2016,43(6):30—33.
- [7] 蒋光旭,唐振华,李德波,等.SYZX96/75 绳索取心液动锤钻具的应用效果[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2010,37(6):13—15,19.
JIANG Guangxu, TANG Zhenhua, LI Debo, et al. Application effect of SYZX96/75 wire-line coring hydro-hammer[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2010,37(6):13—15,19.
- [8] 石生明,朱永宁.SYZX75 型绳索取心液动锤在坚硬致密“打滑”地层的应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2009,36(9):15—16,20.
SHI Shengming, ZHU Yongning. Application of SYZX75 wire-line coring hydro-hammer in hard compact “skid” formation[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2009,36(9):15—16,20.
- [9] 罗冠平.SYZX75 型绳索取心液动锤在肃北德勒诺尔铁矿区的应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2012,39(1):47—49,56.
LUO Guanping. Application of SYZX75 wire-line coring

- hydro-hammer in Delenuoer Iron Deposit of Subei[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2012, 39(1):47-49,56.
- [10] 傅丛群,彭金灶.SYZX75 型绳索取心液动锤在福建武平银多金属矿的应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2008,35(6):33-34.
- FU Congqun, PENG Jinzao. Application of wire-line coring hydro-hammer in Wuping Silver Poly-metallic Deposit of Fujian[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2008,35(6):33-34.
- [11] 刘国经.SX54-Ⅲ型冲击器[J].探矿工程,1986(4):6-9.
- LIU Guojing. SX54-Ⅲ hydraulic DTH hammer[J]. Exploration Engineering, 1986(4):6-9.
- [12] 刘国经.蓄能式液动潜孔锤的研究[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2015,42(7):45-49.
- LIU Guojing. Study on accumulative type hydrp-hammer[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2015,42(7):45-49.
- [13] 卢春华,蒋国盛,鄢泰宁,等.新型电磁式孔底冲击器工作机理研究[J].地质与勘探,2010,46(1):137-141.
- LU Chunhua, JIANG Guosheng, YAN Taining, et al. Study on the working mechanism of new type electromagnetic down-hole impactor[J]. Geology and Exploration, 2010, 46(1):137-141.
- [14] 鄢泰宁,卢春华.球体冲击器用于回转冲击钻进的工艺研究[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2008,35(2):5-7.
- YAN Taining, LU Chunhua. Technology research on application of steel ball percussion tools in rotary percussion drilling[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2008,35(2):5-7.
- [15] 苏长寿,谢文卫,杨泽英,等.系列高效液动锤的研究与应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2010,37(3):27-31.
- SU Changshou, XIE Wenwei, YANG Zeying, et al. Study and application of high efficiency hydro-hammer[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2010,37(3):27-31.
- [16] 苏长寿.液动潜孔锤技术现状及发展设想[J].探矿工程,2003(1):28-30.
- SU Changshou. Status quo of the hydro-hammer technique and its development prospect[J]. Exploration Engineering, 2003(1):28-30.
- [17] 谢文卫,苏长寿,孟义泉.YZX127 型液动潜孔锤的研究及应用[J].探矿工程,2003(S1):276-281.
- XIE Wenwei, SU Changshou, MENG Yiquan. Application of and research on YZX127 hydro-hammer[J]. Exploring Engineering, 2003(S1):276-281.
- [18] 谢文卫,苏长寿,宋爱志.新型高冲击液动潜孔锤的研究[J].探矿工程,1998(6):31-32.
- XIE Wenwei, SU Changshou, SONG Aizhi. Research on new hydro hammer with high impact energy[J]. Exploration Engineering, 1998(6):31-32.
- [19] 谢文卫.大陆科学钻液动锤深孔应用研究与实践[D].武汉:中国地质大学(武汉),2010.
- XIE Wenwei. Research and application of hydraulic DTH hammers in CCSD[D]. Wuhan: China University of Geoscience, 2010.
- [20] 王跃伟,杨泽英,谢文卫,等.YZX130 型液动锤研究及其在 WFSD-4 孔中的应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2014,41(9):143-145.
- WANG Yuewei, YANG Zeying, XIE Wenwei, et al. Research on YZX130 hydraulic hammer and its application in WFSD-4 well[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2014,41(9):143-145.
- [21] 蒋荣庆,沈崇峰,殷琨,等.液动贯通式冲击器用于水力反循环连续取心钻进[J].探矿工程,1998(3):27-28.
- JIANG Rongqing, SHEN Chongfeng, YIN Kun, et al. Hydraulic reverse circulation con coring using the fluid powered central hollow DTH hammer[J]. Exploration Engineering, 1998(3):27-28.
- [22] 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.
- CHEN Jingjing, CHEN Jiawang, YIN Kun. Numerical simulation and analysis on the flow fields in jet element by CFD[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2008,35(12):26-27,34.
- [23] 杨冬冬,李国琳,纪天坤,等.基于 LS-DYNA 的射流式液动锤活塞回程缓冲结构的研究[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2016,43(5):37-40.
- YANG Dongdong, LI Guolin, JI Tiankun, et al. Research on disc spring buffering the backward impact of piston of liquid-jet hydraulic hammer based on LS-DYNA[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2016,43(5):37-40.
- [24] 孙铭泽,彭视明,张鑫鑫.高能射流式液动锤低阻高效冲锤结构研究[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2016,43(9):34-37.
- SUN Mingze, PENG Jianming, ZHANG Xinxin. Study on low-resistance and high-efficiency impact hammer structure of high blow energy liquid-jet hydraulic hammer[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2016,43(9):34-37.
- [25] 孙强,杨冬冬,彭视明,等.高能射流式液动锤在花岗岩中的钻进研究[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2016,43(8):39-43.
- SUN Qiang, YANG Dongdong, PENG Jianming, et al. Experimental research on high energy liquid-jet hammer in granite drilling[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2016,43(8):39-43.
- [26] 王跃伟,刘秀美,李得新,等.YZX108 型液动潜孔锤的研制与试验[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2017,44(8):85-88.
- WANG Yuewei, LIU Xiumei, LI Dexin, et al. Development and test of YZX108 hydraulic DTH hammer[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2017,44(8):85-88.

(编辑 王建华)