

# 新型涡轮扭力冲击器的试验研究

李小洋, 李 宽, 张永勤, 梁 健, 吴纪修, 王志刚

(中国地质科学院勘探技术研究所, 河北 廊坊 065000)

**摘要:** PDC 钻头广泛应用于深部硬岩钻井中, 在其钻进过程中经常出现粘滑振动现象, 导致钻进效率低、钻头寿命较短, 针对这一难题, 研制了一种新型涡轮扭力冲击器, 不仅能够通过扭转冲击技术来减轻 PDC 钻头的粘滑振动现象, 还能够适应深孔的高温钻井环境。为了充分利用泥浆的能量, 考虑使用涡轮组作为动力源, 然后通过万向节和减速器进行扭矩传递, 最终通过冲击组件旋转实现扭转冲击。根据这一设计思路, 进行了扭力冲击器的结构设计、样机试制、测试平台搭建及性能测试等工作。测试表明, 新型涡轮扭力冲击器的设计方案是可行的, 其冲击频率为 4~5 Hz, 经过计算可得单次冲击扭力为 651.45~814.28 N·m, 实现了初期的设计目标。

**关键词:** 深部钻井; 扭转冲击; PDC 钻头; 粘滑振动; 涡轮

**中图分类号:** P634 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-7428(2019)12-0040-04

## Experiment on a new turbine torsional impactor

LI Xiaoyang, LI Kuan, ZHANG Yongqin, LIANG Jian, WU Jixiu, WANG Zhigang

(The Institute of Exploration Techniques, CAGS, Langfang Hebei 065000, China)

**Abstract:** At present PDC drill bits are widely used for deep hole drilling in hard rock, where the phenomenon of stick-slip vibration often happens in the drilling process, causing low drilling efficiency and short bit life-span. In order to solve this problem, a new torsional impactor has been developed, which can not only mitigate stick-slip vibration of the PDC bit by torsional impact, but also cater to high temperature deep hole drilling environment. The turbine set is designed as the power supply for making full use of mud energy with the universal joint and the reducer used for torque transmission; then torsional impact is achieved by rotating of the impact components. According to this design concept, structural design, prototype trial-manufacture, test platform construction and performance test of the torsional impactor have been carried out. The test results show that the design of the torsion impactor is feasible. It provides impact frequency of 4 to 5Hz with the calculated torque per impact at 651.45 to 814.28N·m, achieving the initial design goals.

**Key words:** deep drilling; torsional impact; PDC bit; stick-slip vibration; turbine

## 0 引言

扭力冲击器属于液动冲击器的一种, 主要依靠扭力冲击来实现高频率的冲击钻进<sup>[1-2]</sup>。将钻井液的能量转换为扭向的、高频的、均匀稳定的机械冲击能量传递给钻头, 大幅度提高剪切效率, 改变 PDC 钻头的碎岩方式, 同时扭力冲击器提供的冲击扭力, 还能有效降低钻具的粘滑振动, 大幅提高了钻进速度, 延长了钻头寿命<sup>[3-6]</sup>。

目前国外阿特拉公司生产的扭力冲击器已经在石油钻井中广泛应用, 形成了 5、6.5、8 和 10 $\frac{3}{8}$  in (1 in=25.4 mm) 等口径系列, 且需配备专门的 PDC 钻头<sup>[7]</sup>。近几年国内的胜利油田钻井研究院、西南石油大学及中国石油大学(华东)等机构都对扭力冲击钻具进行了相关研究, 并在多个钻井中进行了野外钻进试验, 取得了一定的研究成果<sup>[8]</sup>。胜利油田钻井研究院研制出了 SLTIT 和 SLBF-TIT 扭转

收稿日期: 2019-07-05 DOI: 10.12143/j.tkgc.2019.12.008

基金项目: 中国地质调查局地质调查项目“共和盆地恰卜恰干热岩试验性开发与评价”(编号: DD20190316); 中国地质科学院勘探技术研究所科技项目“科学超深钻取心式扭力冲击器研制”

作者简介: 李小洋, 男, 汉族, 1988 年生, 地质工程专业, 硕士, 主要从事复杂地层取样钻具及工艺研究工作, 河北省廊坊市金光道 77 号, 770613273@qq.com。

引用格式: 李小洋, 李宽, 张永勤, 等. 新型涡轮扭力冲击器的试验研究[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2019, 46(12): 40-43, 49.

LI Xiaoyang, LI Kuan, ZHANG Yongqin, et al. Experiment on a new turbine torsional impactor[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2019, 46(12): 40-43, 49.

冲击钻井提速工具,先后在胜利油田高 890-24 井、滨 660-6 井、桩 23-17 井等进行了试验,下井最长时间为 122 h,平均机械钻速提高 50%~70%<sup>[9]</sup>。西南石油大学设计发明了一种扭转冲击钻井工具,通过扭冲工具内部的传动轴将涡轮的转动传递给棘轮机构,棘轮机构的撞击砧块不断地撞击承撞砧块,从而形成了脉冲扭矩<sup>[10]</sup>。中国石油大学(华东)发明了一种涡轮扭转冲击发生器,通过涡轮带动定轴旋转,定轴通过花键带动传动套旋转,传动套拨动冲击爪,冲击爪带动冲击架高速旋转,在旋转过程中冲击爪和传动套作用并周期性地冲击传动轴,形成高频扭转冲击,传动轴将获得的高频冲击能量传递到钻头套筒上,钻头套筒带动钻头脉动的冲击地层岩石,从而实现高频扭转冲击<sup>[11]</sup>。温州加达机械制造有限公司设计了石油钻井三维震动破岩装置,利用钻井液为动力,驱动旋冲锤、重锤,产生一定频率的横向、纵向冲击力,为 PDC 钻头提供一种三维动作冲击的功效,辅助钻头破岩,提高钻头破岩能力<sup>[12]</sup>。

扭力冲击器作为一种高效的井底提速钻具已经在石油行业得到了广泛的推广应用,但是成熟的技术都掌握在国外公司手中,技术服务价格高昂<sup>[13-14]</sup>。目前国内研制的扭力冲击器在使用寿命、工程化应用方面与国外相比还有欠缺,需要开展进一步的深入研究。在塔里木、玉门、酒泉等石油钻井中曾租用了阿特拉公司的扭力冲击器,和螺杆钻具相比,在相同层段的纯钻进效率提速明显,提高了约 70%~150%,且 PDC 钻头的磨损要小得多<sup>[15]</sup>。此外扭力冲击器为全金属结构,耐高温性能突出,对深孔、超深孔的高温环境有很好的适应性<sup>[16]</sup>,并且扭转冲击在消除粘滑振动的同时,增强了 PDC 钻头的剪切碎岩效果。因此,针对深孔、特深孔钻探面临的高温和钻进效率低等难题,扭力冲击器作为一种高

效的井底提速增效钻具,对其开展深入研究还是很有必要的。

## 1 新型扭力冲击器的设计

### 1.1 设计参数及要求

为了进一步提高扭力冲击器的实用性,其设计参数应满足以下要求:

(1)抗高温能力不低于 230 ℃,在钻具设计中不使用橡胶等耐高温能力差的材料;

(2)使用寿命达到 170~180 h,减少提下钻维修次数;

(3)冲击次数达到 200~500 次/min,在钻具设计中避免使用电子元器件等抗震性较差的零部件;

(4)单次冲击扭向力 450~950 N·m,采用抗冲击韧性较好的复合片钻头,增强碎岩效果的同时,减少 PDC 崩齿的发生。

### 1.2 扭力冲击器工作原理

设计的钻具总长为 1800 mm,PDC 钻头外径为 152 mm,研制的扭力冲击器(见图 1)通过涡轮组带动冲击组件实现旋转冲击,所需钻井液流量为 15 L/s,钻井液压力降为 0.7 MPa。扭力冲击器主要包括内管总成和外管总成。外管总成上端与钻杆连接,在外管总成的下端连接钻头;内管总成套装在外管总成内部,从上至下依次设置涡轮组件、万向节、减速器、柔性连接部分和扭转冲击发生器;涡轮组件通过钻井液带动产生旋转,最终带动扭转冲击组件产生周向冲击,通过外管将冲击力传递到钻头上,实现钻头的冲击一剪切碎岩。其中扭转冲击组件包括冲击轴、冲击块和承冲管。安装在冲击轴上的冲击块,在偏心冲击轴的作用下周期性地撞击承冲管内部的凸台,并通过弹簧快速复位,从而实现了高频冲击的目的。

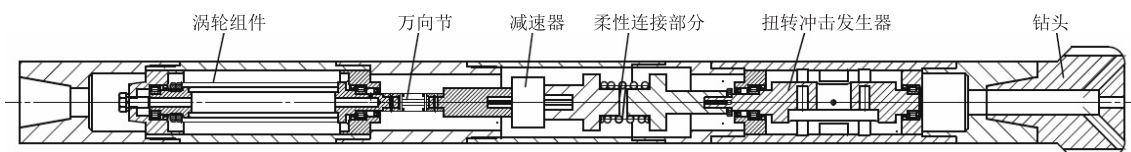


图 1 扭力冲击器结构示意图

Fig.1 Structure of the torsional impactor

### 1.3 扭力冲击器冲击扭矩计算

在扭转冲击组作碰撞运动时,涡轮组件带动冲击块撞击冲击管上的砧子,冲击频率为 4~5 Hz,转换成角速度为 25.133~31.415 rad/s,碰撞时间约

为  $0.5 \times 10^{-3}$  s。冲击块的转动惯量为  $12.96 \times 10^{-3}$  kg·m<sup>2</sup>,则冲击时瞬间扭矩可通过下式计算。

$$T = \frac{J \cdot \Delta\omega}{\Delta t}$$

式中: $T$ ——冲击扭力,  $N \cdot m$ ;  $J$ ——转动惯量,  $kg \cdot m^2$ ;  $\Delta\omega$ ——角速度变化量,  $rad/s$ ;  $\Delta t$ ——碰撞时间,  $s$ 。

根据上式计算得出, 单次冲击扭矩为  $651.45 \sim 814.28 N \cdot m$ , 达到了设计要求。

## 2 扭力冲击器冲击性能测试

### 2.1 试验台搭建

为了满足扭力冲击器性能测试, 搭建了涡轮扭力冲击器水力性能测试平台, 主要由离心泵、蓄水池、吸水管、高压胶管、扭力冲击器及夹具和排水管组成。由于试验条件有限, 选配了大功率的离心泵代替泥浆泵, 模拟泥浆泵的工况, 为扭力冲击器提供所需的流量和压力。根据  $\varnothing 127\text{ mm}$  规格涡轮组所需的流量和压力参数, 离心泵的技术指标应满足: 流量  $\leq 15\text{ L/s}$ , 扬程  $\leq 70\text{ m}$ 。配备的 ISW80-50-315 型离心泵技术指标为: 流量  $16.7\text{ L/s}$ , 扬程  $123\text{ m}$ , 转速  $2900\text{ r/min}$ , 功率  $35\text{ kW}$ , 效率  $80\%$ 。

### 2.2 试验结果分析

用高压软管将离心泵和扭力冲击器连接起来, 通过离心泵的吸水管将清水输送到冲击器中, 带动

涡轮转动, 进一步带动冲击器进行旋转冲击, 现场测试见图 2。通过多次调试, 实现了冲击功能。由于现场噪声太大, 为了测量实际的冲击频率, 在笔记本电脑上安装了声频分析软件对试验产生的冲击声音进行录音, 然后通过声波的波峰来计算冲击次数(见图 3)。经过计算, 冲击频率为  $4 \sim 5\text{ Hz}$ , 即为  $240 \sim 300\text{ 次/min}$ 。



图 2 冲击性能测试  
Fig.2 Impact performance test

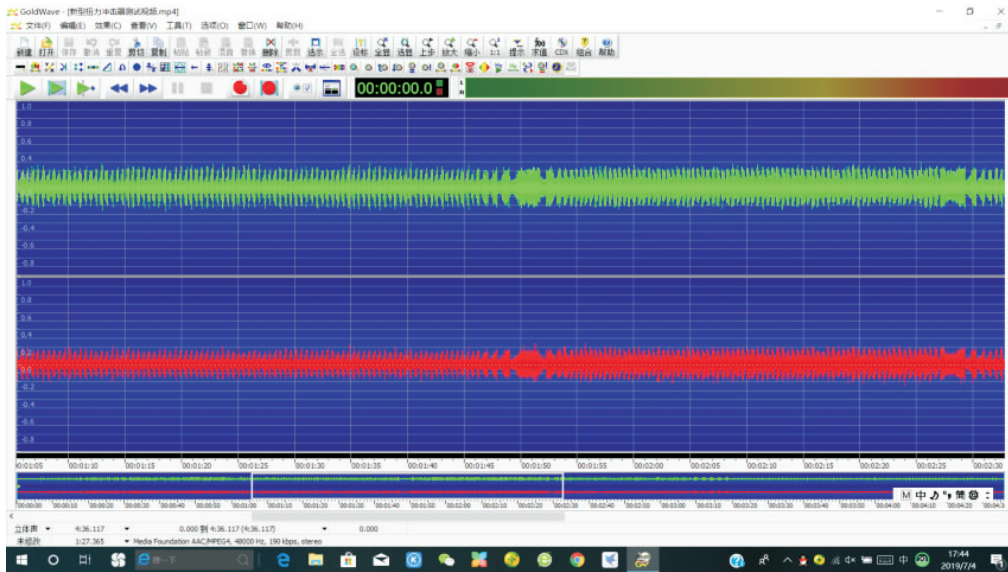


图 3 冲击波音频分析  
Fig.3 Shock wave audio analysis

由于离心泵的流量较大, 导致涡轮组的转速较高, 在  $1200 \sim 1300\text{ r/min}$ , 因此在涡轮组件和冲击器之间增加了一个减速器, 减速比为  $1 : 4$ , 为了减少冲击振动对减速器的影响, 在减速器和冲击器之间通过扭簧进行柔性连接。经过多次试验调整后,

涡轮扭力冲击器实现了正常冲击, 但冲击了较短的一段时间后, 卡死。拆开扭力冲击器之后发现, 扭簧损坏严重且冲击器的上连接轴也被扭断(见图 4)。连接轴的直径为  $18\text{ mm}$ , 通过平键与传扭接头连接。通过分析得出以下结论:



图 4 损坏的传扭轴和扭簧

Fig.4 Damaged transmission shaft and torsional spring

(1)冲击器产生的扭矩较大,能够满足钻进碎岩要求。但在冲击器的材料选择和热处理方面需要进行更深一步的研究,同时需要选配更合适的柔性连接部件。

(2)由于离心泵的流量和压力不稳定,造成涡轮组转速有较大幅度的变化,最终导致冲击器的冲击次数和冲击扭矩也跟着变化。

### 3 结论及展望

(1)完成了 1 套扭力冲击器的样机加工试制,并搭建了试验平台,通过测试表明扭力冲击器的设计原理是可行的,冲击频率为 4~5 Hz,单次冲击扭力为 651.45~814.28 N·m。

(2)在试验中发现,离心泵的流量和扬程会出现较大的波动,导致扭力冲击器的冲击频率和冲击力也跟着变化。下一步计划采用大流量的泥浆泵进行测试,可以给涡轮组提供稳定的流量和压力,稳定流量不低于 900 L/min。

(3)在试验中,出现了冲击轴上端与减速器连接的地方断裂以及扭簧损坏的情况,下一步需要在冲击器关键部件的材料选择和热处理方面进行优化,同时优化冲击组件的撞击方式,将冲击频率提高到 7~10 Hz,为下井试验做好准备。

(4)研制的涡轮扭力冲击器耐高温性能突出,同时其扭向冲击提高了钻头碎岩效率,能够为特深孔、干热岩钻井提供一种很好的提速增效方法。

### 参考文献 (References):

[1] 李欢欢,王玉玺,李秋杰.扭力冲击器在大庆油田肇深 17 井的试验应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2013,40(4):44-47.  
LI Huanhuan, WANG Yuxi, LI Qiujie. Experimental application of torque compactor in Well Zhaoshen 17 in Daqing Oilfield[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and

Tunneling), 2013,40(4):44-47.  
[2] 兰凯,张金成,母亚军,等.高研磨性硬地层钻井提速技术[J].石油钻采工艺,2015,37(6):18-22.  
LAN Kai, ZHANG Jincheng, MU Yajun, et al. Technology for increasing drilling speed in high abrasive hard formation [J]. Oil Drilling & Production Technology, 2015,37(6):18-22.  
[3] 代锋,曾桂元,李林,等.元坝高研磨性地层提速提效集成钻井技术[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2018,45(4):27-30.  
DAI Feng, ZENG Guiyuan, LI Lin, et al. Efficient drilling technology for high abrasive formation in Yuanba Region[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2018,45(4):27-30.  
[4] 吕晓平,李国兴,王震宇,等.扭力冲击器在鸭深 1 井志留系地层的试验应用[J].石油钻采工艺,2012,34(2):99-101.  
LÜ Xiaoping, LI Guoxing, WANG Zhenyu, et al. Experiment of torkbuster on Well YSI in Silurian Formation[J]. Oil Drilling & Production Technology, 2012,34(2):99-101.  
[5] 王涛,和鹏飞,王喜杰,等.液力冲击提速工具在东海油气田的应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2018,45(2):30-32,45.  
WANG Tao, HE Pengfei, WANG Xijie, et al. Application of effective hydraulic impact drilling tool for deep drilling in East China Sea Oil and Gas Field [J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2018,45(2):30-32,45.  
[6] 韩福彬,杜敬安,王忠福,等.庆深气田深层钻完井配套技术[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2015,42(12):18-22.  
HAN Fubin, DU Jingan, WANG Zhongfu, et al. Matching technology for deep drilling and completion in Qingshen Gas Field[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2015,42(12):18-22.  
[7] 赵建军,崔晓杰,赵晨熙,等.高频液力扭力冲击器设计与试验研究[J].石油化工应用,2018,37(2):5-10.  
ZHAO Jianjun, CUI Xiaojie, ZHAO Chenxi, et al. Design and experimental research on high frequency hydraulic torsional impactor [J]. Petrochemical Industry Application, 2018, 37 (2):5-10.  
[8] 王四一,赵江鹏,赵建国.扭力冲击器在煤矿井下硬岩钻进中的应用研究[J].煤矿机械,2018,39(10):139-141.  
WANG Siyi, ZHAO Jiangpeng, ZHAO Jianguo. Application research on torque impactor applications on hard rock drilling underground coal mine [J]. Coal Mine Machinery, 2018, 39 (10):139-141.  
[9] 周燕,安庆宝,蔡文军,等.SLTIT 型扭转冲击钻井提速工具[J].石油机械,2012,40(2):15-17,98-99.  
ZHOU Yan, AN Qingbao, CAI Wenjun, et al. Model SLTIT torsional impact drilling speedup tool [J]. China Petroleum Machinery, 2012,40(2):15-17,98-99.  
[10] 田家林,杜凡,朱永豪,等.扭力冲击器的动力特性研究[J].系统仿真学报,2018,30(2):579-586.  
TIAN Jialin, DU Fan, ZHU Yonghao, et al. Dynamic characteristics research of torsional vibration generator [J]. Journal of System Simulation, 2018,30(2):579-586.

(下转第 49 页)

- application of effective steering PDM[J]. *Drilling & Production Technology*, 2011, 34(3): 67-70.
- [8] 冯强, 陈世春, 王建龙, 等. 振动减摩阻工具振动参数及安放位置研究[J]. *石油钻探技术*, 2018, 46(4): 78-83.  
FENG Qiang, CHEN Shichun, WANG Jianlong, et al. Research on vibration parameters and determining the position of a vibration friction reducing tool[J]. *Petroleum Drilling Techniques*, 2018, 46(4): 78-83.
- [9] 王建龙, 刘学松, 于志强, 等. 机械方式缓解定向托压技术原理与应用[J]. *石油化工应用*, 2017, 36(10): 1-4.  
WANG Jianlong, LIU Xuesong, YU Zhiqiang, et al. Principle and application of mechanical modification of backing pressure[J]. *Petrochemical Industry Application*, 2017, 36(10): 1-4.
- [10] 王先洲, 蒋明, 邓增库, 等. 苏 76-1-20H 井钻井技术[J]. *石油钻采工艺*, 2013, 35(2): 26-30.  
WANG Xianzhou, JIANG Ming, DENG Zengku, et al. Drilling technology for Well Su76-1-20H[J]. *Oil Drilling & Production Technology*, 2013, 35(2): 26-30.
- [11] 杨决算, 陈绍云, 韩福彬, 等. 定向井钻井中水力振荡器安放位置优化设计方法[J]. *长江大学学报(自科版)*, 2018, 15(19): 48-52.  
YANG Juesuan, CHEN Shaoyun, HAN Fubin, et al. The optimized design of a hydro-oscillator placement in directional wells[J]. *Journal of Yangtze University (Natural Science Edition)*, 2018, 15(19): 48-52.
- [12] 孙庆春, 郭宝林, 赵利锋. 水力振荡器降低摩擦阻力影响的分析[J]. *探矿工程(岩土钻掘工程)*, 2015, 42(12): 69-71, 75.  
SUN Qingchun, GUO Baolin, ZHAO Lifeng. Analysis on the influence of frictional resistance reduction by hydraulic oscillator[J]. *Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling)*, 2015, 42(12): 69-71, 75.
- [13] 马广军, 王甲昌, 张海平. 螺杆驱动旋冲钻井工具设计及试验研究[J]. *石油钻探技术*, 2016, 44(3): 50-55.  
MA Guangjun, WANG Jiachang, ZHANG Haiping. The design and experimental study of pdm driven rotary percussion drilling tool[J]. *Petroleum Drilling Techniques*, 2016, 44(3): 50-55.
- [14] 苏义脑. 螺杆钻具的工作特性[J]. *石油钻采工艺*, 1998, 20(6): 11-15.  
SU Yinao. Performance of screw drill tools[J]. *Oil Drilling & Production Technology*, 1998, 20(6): 11-15.
- [15] 于连江, 陈国良. 螺杆钻具特性分析[J]. *石油机械*, 1995, 23(8): 86-90.  
YU Lianjiang, CHEN Guoliang. Characteristic analysis of screwdrills[J]. *China Petroleum Machinery*, 1995, 23(8): 86-90.
- [16] 苏义脑. 导向钻具选型与总体设计的原则和方法[J]. *石油钻采工艺*, 1999, 21(3): 86-90.  
SU Yinao. The principle and method for selection and master design of guide drill tool[J]. *Oil Drilling & Production Technology*, 1999, 21(3): 86-90.

(编辑 韩丽丽)

**(上接第 43 页)**

- [11] 宋询成, 李同同, 管志川, 等. 一种涡轮扭转冲击发生器: 201320838873.0[P]. 2014-05-28.  
SONG Xuncheng, LI Tongtong, GUAN Zhichuan, et al. One kind of turbine torsional impact generator: 201320838873.0[P]. 2014-05-28.
- [12] 刘升旗, 周加银, 高光亮, 等. 一种钻井水压扭转冲击装置: 201310108104.X[P]. 2013-09-11.  
LIU Shengqi, ZHOU Jiayin, GAO Guangliang, et al. The drilling water pressure torsion impact device: 201310108104.X[P]. 2013-09-11.
- [13] 耿云鹏, 李丹丹, 樊艳芳. TorkBuster 扭力冲击器+PDC 钻头泥包问题分析及对策[J]. *石油天然气学报*, 2014, 36(8): 154-158, 9.  
GENG Yunpeng, LI Dandan, FAN Yanfang. Cause analysis and balling prevention of TorkBuster drilling tools[J]. *Journal of Oil and Gas Technology*, 2014, 36(8): 154-158, 9.
- [14] 许京国, 尤军, 陶瑞东. 扭力冲击器在玉门油田鸭西 102 井的应用[J]. *钻采工艺*, 2013, 36(5): 81-83, 121, 15-16.  
XU Jingguo, YOU Jun, TAO Ruidong. Application of torkbuster in Well Yaxi102 of Yumen Oilfield[J]. *Drilling & Production Technology*, 2013, 36(5): 81-83, 121, 15-16.
- [15] 齐列锋, 冯进, 董斌, 等. 回转式扭力冲击器结构设计及碰撞分析[J]. *机械工程师*, 2016(4): 75-77.  
QI Liefeng, FENG Jin, DONG Bin, et al. Structural design and impact analysis of the rotary torsional impactor[J]. *Mechanical Engineer*, 2016(4): 75-77.
- [16] 杨镇榜, 朱忠喜, 林瀚. 扭力冲击器在新疆地区的应用研究[J]. *长江大学学报(自科版)*, 2017, 14(15): 43-45, 93.  
YANG Zhenbang, ZHU Zhongxi, LIN Han. Application of torque impactor in Xinjiang Area[J]. *Journal of Yangtze University (Natural Science Edition)*, 2017, 14(15): 43-45, 93.

(编辑 韩丽丽)