

# 乌克兰的几种新型解卡震击器

李 谦, 鄢泰宁, 卢春华

(中国地质大学(武汉)工程学院, 湖北 武汉 430074)

**摘 要:** 国家经济的高速增长推动了对矿产能源的需求, 使钻探工作量逐年增加。面对深孔复杂地层, 钻探过程中卡钻事故时常发生。震击器是解决卡钻事故的有效措施, 但油气钻井中常用的震击器在小口径的地质钻探中使用效果并不理想, 因此设计适用于地质岩心钻探的新型震击器十分必要。介绍了乌克兰针对比较严重的卡钻事故而设计的带弹簧加压机门的液动震击器, 在保证其工作可靠性的同时, 利用其高频的冲击功可以大大提高解卡工作的效率; 针对比较容易发生卡钻地区而设计的随钻式机械震击器, 可以在卡钻发生后第一时间进行解卡工作, 避免了卡钻事故的进一步恶化, 有效的节省了处理卡钻事故的时间。这种解决地质钻探中卡钻事故的有效技术工具, 引进、推广应用前景广泛。

**关键词:** 钻探; 卡钻; 震击器; 液动式; 机械式; 随钻式; 乌克兰

**中图分类号:** P634.8    **文献标识码:** A    **文章编号:** 1672-7428(2011)04-0073-05

**New Kinds of Jar Designed for Pipe Sticking in Ukraine/LI Qian, YAN Tai-ning, LU Chun-hua** (Faculty of Engineering, China University of Geosciences, Wuhan Hubei 430074, China)

**Abstract:** The rapid growth of the economic promotes the demand for mineral and energy resources in China, which is the reason that the drilling projects increase every year. Pipe sticking occurs frequently in the complex formations. Jar is often used to solve the pipe sticking accident in oil and gas drilling; however, in the small-caliber geological drilling, the jar could not work as usual, new kinds of jar are necessary to be designed. This paper introduces a hydraulic jar with spring-loaded valve, which was designed for serious pipe sticking in Ukraine, and this structure could not only ensure the work reliability, but also improve the efficiency of solving the pipe sticking by its high-frequency impact power. The mechanical while-drilling jar designed for the areas where pipe sticking often happens can make sticking unfreezing in first time to avoid the further accident and effectively save the time of failure treatment.

**Key words:** drilling; pipe sticking; jar; hydrodynamic pattern; mechanical pattern; while-drilling; Ukraine

## 1 概述

国家经济的高速增长, 极大地带动了对能源矿产的需求量。近年来钻探的范围逐年增加, 而在钻探中遇到的复杂地层也越来越多。因此钻探过程中事故的发生频率明显增加。在所有的事故中, 卡钻是比较常见的事故之一。有资料显示, 在所有的钻探事故中, 卡钻约占事故总数的 50%<sup>[1]</sup>。而每次处理卡钻事故都将投入更多的人力物力, 对钻探工程造成时间和经济上的损失。根据卡钻的类型不同有多种处理方案<sup>[2]</sup>, 在所有处理方案中, 用震击器解卡是比较常见的一种。

在油气钻井领域中, 震击器能针对卡钻事故取得良好效果, 是由于震击器对被卡钻具施力大于岩石的卡紧力, 从而使用绞车或千斤顶能够起拔钻具。但是在小口径地质钻探中却应用不多。大量的工程实践表明, 大多数情况下震击器下至事故孔段后并

不能正常工作, 其能力只发挥了 30% ~ 40%。其中 80% 的案例是由于泥浆中悬浮的细小岩屑无法顺利流过震击器, 导致震击器的液动机构被岩屑堵塞而失效。除此之外, 由于震击器的活塞有多个螺纹连接的零件, 配合尺寸的缺陷也是造成震击器的失效的原因之一, 这一类故障占其总量的 10% ~ 12%。因此, 引进或设计生产能够应用于地质钻探的震击器很有必要。本文介绍了源自于乌克兰钻探工作者针对比较严重的卡钻事故和比较容易发生卡钻事故的地区两种情况相对应的新型震击器设计。

## 2 非随钻式液动震击器设计

### 2.1 设计目的

非随钻式液动震击器的设计目的在于处理比较严重的卡钻事故。

传统液动震击器工作时以单次震击为主, 进行

收稿日期: 2010-10-05; 修回日期: 2011-02-01

作者简介: 李谦(1987-), 男(汉族), 四川德阳人, 中国地质大学(武汉)硕士研究生在读, 地质工程专业, 研究方向为检测技术在钻探过程中的应用, 湖北省武汉市鲁磨路 388 号中国地质大学(武汉) 1200911 班, ql\_eye@163.com。

一次震击后需要将震击器复位才能进行下一次震击。在某些比较严重的卡钻情况下需要的是持续的高频震击,传统震击器间隔时间较长的震击效果并不明显。

在现有的钻探工具中,液动冲击器能提供持续的高频震击。研究表明,现有的液动冲击器在结构原理上并没有明显的缺陷。由于其在液动冲击器排水口安装了止逆阀,使冲击器工作时泥浆与岩屑的混合物可以从中穿过而与缸体工作腔隔离。这样的设计提高了液动冲击器的可靠性,已经使其成功的应用于无岩心钻探领域。

因此,对于处理卡钻事故的液动震击器,也可以模仿液动冲击器通过在活塞-冲锤中增加弹簧加压式阀门、采用无螺纹单活塞等手段来提高震击器在孔内工作的可靠性<sup>[3]</sup>。

2.2 参数设计

乌克兰顿涅茨克大学曾经为液动震击器选择合适的频率-能量参数进行过相关研究<sup>[4]</sup>,为了能使液动震击器在钻孔内极端条件下正常工作,其最大的冲击频率至少应该达到1900~2500次/min,相应的冲击能量必须使被卡钻具克服位移阻力(表1)。

表1 液动震击器必须的原始力学参数

进入卡钻区段的岩石或岩屑类别	颗粒平均尺寸 /mm	所需冲击功 /J
亚砂土、砂质粘土、粘土、泥质页岩、碳酸盐岩屑	0.03~0.50	15~65
粗颗粒石英砂和岩屑	1.10~1.15	60~67
中颗粒砂	0.5~0.9	28~35
粉状和细颗粒砂	0.05~0.50	17~28
砂质-粘土质页岩	0.05~0.10	45~50

除了原始力学参数外,为了使液动震击器达到

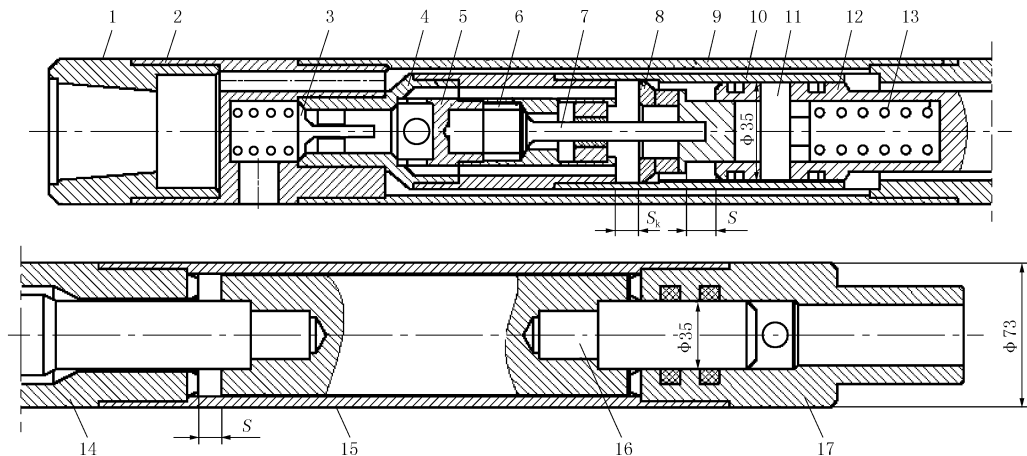


图1 液动震击器设计图

1—上接头;2—分流器;3—止逆阀;4—连接器;5—栓塞;6—阀体;7—吸水阀;8—排水阀;9—外管;10—缸体;11—销钉;12—活塞-冲锤;13—弹簧;14—上铁砧;15—外管;16—活塞杆;17—下铁砧; $S_1$ 、 $S$ —活塞-冲锤的总行程和工作行程; $S_k$ —阀的行程

最大的冲击功,还需要考虑能够明显影响其性能的技术参数。首先是频率  $n$  和冲击功  $E$ 。在泥浆泵性能一定的情况下,可达到的最大冲击功将取决于工作面积  $S$  与活塞-冲锤总行程  $S_1$  的组合,以及在额定泵量和额定冲锤质量前提下使冲锤以最大速度撞击铁砧时需要的阀门位移  $S_k$ 。同时,为了防止液压系统的压力过高,一般选择活塞上  $P_E$  的压力为  $0.275 \sim 0.35 \text{ MPa}$ <sup>[4]</sup>。综合考虑上述参数,乌方设计者在设计适用于地质钻探的小口径液动震击器时,采用如表2的数据可使液动冲击器向被卡钻具有效地传递冲击功。

表2 液动震击器的工作特性参数

泵量/(L·min <sup>-1</sup> )	频率 $n/s^{-1}$	冲击功 $E/J$	泵压 $P$ /MPa	执行功率 $N_3/kW$	驱动功率 $N_{ap}/kW$	运行效率 $\eta/\%$
70	22	23	1.2	0.5	1.3	38
80	28	32	1.5	0.9	2.2	41
90	31	40	1.9	1.2	2.8	43
100	35	54	2.3	1.7	3.8	45
110	38	63	2.9	2.4	5.4	44

注:原始参数为  $S = 12 \text{ mm}$ ,  $S_1 = 15 \text{ mm}$ ,  $S_2 = S_k/2 = 3 \text{ mm}$ , 质量  $m = 35 \text{ kg}$ , 面积  $f = 10 \text{ cm}^2$ 。

2.3 结构功能设计

如图1所示,初始状态下,活塞-冲锤12在自重作用下处于最下端。吸水阀7关闭,而排水阀8打开。来自泥浆泵的钻井液沿钻杆进入上接头1,经过分流器2的通道进入缸体10的下腔,使下腔产生稳定的工作压力  $P$ 。在此工作压力  $P$  的作用下,会对活塞产生提升力  $R$ :

$$R = Pf$$

式中: $f$ ——活塞的工作面积,  $f = f_n - f_w$ ;  $f_n$ ——活塞截面积;  $f_w$ ——活塞杆16的截面积。

在提升力  $R$  的作用下,由活塞-冲锤 12、销钉 11 和活塞杆 16 组成的系统以很高的速度向上移动。冲锤对上铁砧 14 施加一次向上的冲击功。

活塞上方的液体经过阀体 6 侧面的通道和止逆阀 3 进入钻孔排出震击器。同时,由于在吸水阀 7 上仍有液体压力,阀组将停留在初始位置,上升的活塞冲锤系统压缩弹簧 13。活塞-冲锤移动距离  $S$  后冲击排水阀 8。在冲击功和弹簧弹力的作用下,排水阀 8 带动吸水阀 7 向上位移。在位移过程中排水阀 8 移动距离  $S_k$  后接触阀体 6 停止位移,关闭阀体侧面的通道。吸水阀 7 在惯性作用下继续向上位移打开液体通路使其进入缸体 10 的上腔,积蓄压力。

由于缸体上腔的活塞面积大于缸体下腔活塞面积,在下压力的作用下活塞-冲锤 12 急速下行,冲锤对下铁砧 17 施加一次向下的冲击功。此时排水阀 8 上也有水压而逐渐下移。当销钉 11 抓住排水阀 8 的尾杆时,阀体回到初始状态,完成一次向上和向下的冲击过程并积蓄压力准备下一次的冲击。

### 3 随钻式机械震击器的设计

#### 3.1 设计目的

随钻式机械震击器设计使用于容易发生卡钻事故的地区。

在某些地区中由于地层破碎孔壁坍塌、地应力异常造成的裸眼地层塑性流动挤压、泥浆在地层矿物质的影响下发生性质改变,诸如此类的原因使得该地区极易发生卡钻事故,终止钻探施工的正常进行。如果处理不及时,可能导致严重的钻探事故<sup>[5]</sup>。

在卡钻事故发生后能否及时采取措施进行解卡工作以及解卡工作持续的时间都在很大程度上决定了能否成功的排除卡钻事故。使用前文所述的液动式震击器时,为了能把解卡器放到事故孔段,往往在提升和下放非事故钻具时要消耗不少时间,这样不可避免的增加了排除事故的难度。因此可以设计一种随钻机械式震击器。其优点在于可以和普通钻具一起下入孔底进行钻探工作。一旦出现卡钻事故,立即开始解卡工作,大大提高了了解卡成功的概率。另外,相对于液动式,机械式震击器不需要复杂的密封结构和材料,对泥浆的要求也不高。因此震击器的寿命、适应性和可靠性均得到了极大的提高。

#### 3.2 设计原理

机械式震击器的工作原理是一个动态循环的过

程(图 2),包括储能、释放能量、撞击解卡和复位 4 个阶段。

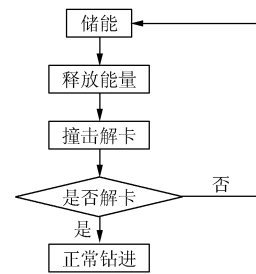


图 2 机械式震击器的工作原理

(1) 储能阶段:操作手通过上提钻杆,使被卡固定的钻杆柱发生形变而储存变形能;

(2) 释放能量阶段:当震击器被触发开始工作后由于钻杆柱变形能的释放而猛烈地向上冲击;

(3) 撞击解卡阶段:当冲锤以很高的速度碰到铁砧产生极大的冲击功,与外壳固定的铁砧将冲击功通过外壳传递到钻具被卡处,使其受到一次向上的冲击而解卡;

(4) 复位阶段:如果解卡成功,则将冲锤复位继续正常的钻进,如果没有解卡成功,则冲锤复位时会对钻具产生一个向下的冲击功,循环继续开始震击器解卡整个阶段。

为了使震击器能够有效工作,最基本的要求是在被卡钻杆上积累最大的变形能。经乌方设计者理论计算,通过选择冲锤合理的行程  $S_0$  和一定轴向载荷下钻杆柱可能的变形  $\Delta L$  即可使钻杆积累最大的变形能,一般情况下  $S_0 = (0.6 \sim 0.7) \Delta L$ 。当然,对钻杆柱施加的轴向载荷也不能超过其极限值,钻杆柱的变形量与钻杆柱的长度关系如图 3 所示。

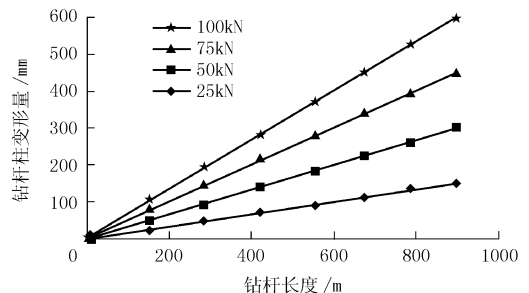


图 3 钻杆柱变形量与轴向载荷间的关系

#### 3.3 钢球式机械震击器

钢球式机械震击器适用于制造外径 73 mm 的样机。在使用时该机构固定在容易被卡钻具的上方或接在取心钻具上方作为粗径钻柱的一部分。如图 4 所示,钻具外壳由短外管 4 和短外管 8 两部分组

成,通过接头 10 与被卡钻具相连,而连杆(包括相互连接的杆 2 和冲锤 5)经过接头 1 与钻杆柱相连。杆 2 和铁砧 3 通过开槽来相互连接用以传递扭矩。正常工作时弹簧 9 将活塞 7 顶在高位,活塞 7 将若干钢球 6 卡在连杆下端冲锤 5 的凹槽中。通过这种连接方式将连杆固定用以承受加在钻柱上的拉力,当钻柱被拉长时,管材的弹性变形将为解卡器工作需要的冲击脉冲提供能量。

当卡钻事故发生需要解卡器工作时,向钻杆中投入钢球 11 堵住活塞 7 上的通孔。在高压泥浆作

用下,活塞 7 压缩弹簧 9 向下位移,各钢球 6 从冲锤 5 的环形槽中脱出,解除了冲锤 5 与短外管 8 的啮合状态。由于积累了变形能,被拉长的钻杆带动连杆和冲锤以很大的速度向上移动冲击铁砧 3。这种向上的冲击功与钻柱的变形能、冲锤的质量及其位移和速度成比例。向上冲击后如果仍未排除事故,可再次向孔中快速下入钻杆柱,使冲锤 5 的下表面和短外管 8 的台肩产生向下的冲击功。这样双向的冲击功能以足够的频率和力量经过外壳传到被卡钻具上。

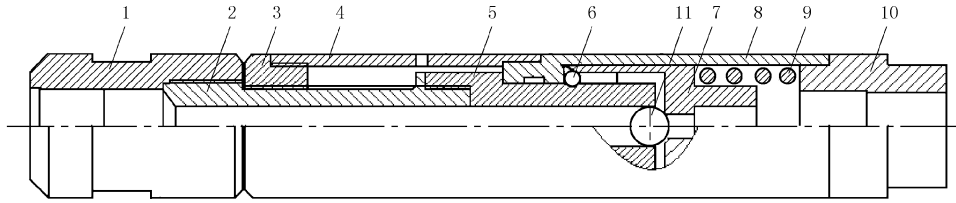


图 4 钢球式机械震击器示意图

1—接头;2—杆;3—铁砧;4—短外管;5—冲锤;6—钢球;7—活塞;8—短外管;9—弹簧;10—接头;11—钢球

如果需要重复产生冲击作用,可以关闭水泵,将钻杆柱和连杆一起下入孔内,这时冲锤 5 的环形槽将与钢球 6 啮合,从而借助弹簧 9 的弹力推动活塞 7 卡住钢球 6 使冲锤与短外管 8 恢复初始的刚性连接状态,继续向被卡钻具施加向上和向下的冲击功。

在整套钢球式解卡钻具体系中可靠性最差的元件是钢球锁紧装置。经乌克兰设计者测试,在孔内使用外径 89 mm 的样机时,使用 15 ~ 18 次之后钢球就会变形失效,如果需要继续使用该钻具则需进行维修或更换冲锤 5。

另外一种机械震击器结构如图 5 所示,它没有钢球锁紧装置,因此工作时具有更高的可靠性。该机构由外壳和活塞杆组成。外壳包括接头 1、上短外管 3、中短外管 7、下短外管 10、冲锤 4 和螺纹接头 9。活塞杆做成两截空心的形式,其下杆 8 与上杆 5 相连。活塞-铁砧 2 安装在上杆上部,而上杆 5 的下端加工出台阶,与中短外管 7 台阶 6 之间通过紧密配合传递扭矩。机构下部与下杆 8 相连的开槽主轴 12、下短外管 10 和开槽短节 11 之间为相互交叉接。

3.4 无钢球式机械震击器

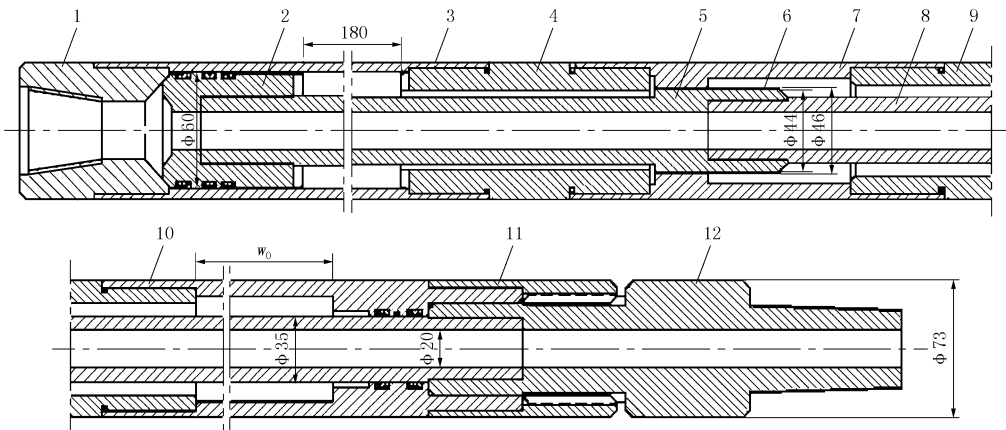


图 5 无钢球式机械震击器示意图

1—接头;2—活塞-铁砧;3—上短外管;4—冲锤;5—上杆;6—台阶;7—中短外管;8—下杆;9—螺纹接头;10—下短外管;11—开槽短节;12—开槽主轴

正常工作时钻井液通过钻杆内部向孔底流动时,在活塞-铁砧 2 的上部由于过流通道直径变小而形成水压,给钻头增加附加荷载。

当下部钻具被卡时,操作者上提钻杆拉紧整个钻杆柱。此时,上杆 5、下杆 8 和开槽主轴 12 被卡住的钻具固定,而未卡住的外壳部分随上部钻杆拉长可能出现拉伸变形。当外壳的变形量使台阶 6 与上杆 5 的凸台配合中脱离时,由于钻杆柱的弹性作用,将使台阶 6 带动冲锤 4 给活塞-铁砧 2 施加一次冲击作用。由于活塞-铁砧 2 通过活塞杆和主轴 12 与被卡钻具刚性的连接在一起,因此冲击功即可传递给被卡钻具。当机构完成冲击动作后,可下放外壳并重复上述过程,达到重复冲击的目的。

#### 4 结论

通过对比分析乌克兰地质工作者针对两种不同情况分别进行的新型震击器的设计之后可以得出以下结论。

(1) 针对比较严重的卡钻事故而设计的新型液动震击器,能通过高频的震击力提高解卡工作的效率;加装的弹簧加压式阀门也能增加震击器工作的可靠性。

(2) 针对易卡钻地区设计的随钻式震击器,能

够在卡钻发生的第一时间内进行解卡工作,能够有效避免卡钻事故的进一步恶化,节省处理事故的时间。

(3) 机械式震击器利用钻杆柱的弹性势能产生单次冲击进行解卡,相对于液动震击器结构简单,加工精度低,强度大,更加适合于被设计为随钻式震击器。

#### 参考文献:

- [1] 雷万能,朱忠喜.粘吸卡钻的成因及处理[J].内蒙古石油化工,2007,(11):84-86.
- [2] 张林强.井下卡钻分析及处理[J].海洋石油,2007,(9):112-115.
- [3] Калиниченко О. И., Зыбинский П. В., Каракозов А. А. Погружные буровые снаряды и установки для бурения скважин на шельфе (大陆架钻探用的潜水钻具及设备)[C]. Донецк: Изд. «Вебер», Донецкое отделение, 2007.
- [4] Калиниченко О. И. Особенности конструкций и элементы проектирования характеристик гидроударных буровых снарядов для однорейсового бурения подводных скважин (用于单回次水下钻进的液动冲击器结构特征及其元件设计)[J]. Збірник наукових праць ДонДТУ. Серія гірничо-геологічна, 2000, (11).
- [5] 贺志刚,陈平.随钻震击器安放位置优化设计[J].石油机械, 2001, (30):25-28.

(上接第 68 页)



图 6 应急排危后上视图

#### 4 结语

(1) 控爆技术、无声破碎和被动防护网的组合措施,是适于危岩体的应急排险工程中的。只要组织得当,计划周密,科学施工,是可以确保爆破后的母岩面光滑、平整和稳定的。

(2) 对于小型危岩体的应急排险,应首推无声破碎和浅眼循环爆破以及被动防护网防护等。

(3) 对于大型危岩体,采用洞室爆破和深孔爆

破技术结合监测预警,可以快速、安全地完成危岩体的应急排险。

#### 参考文献:

- [1] 陈洪凯,等.三峡库区危岩综合治理技术及应用[J].地下空间, 2002, (2).
- [2] 冯叔瑜,等.中国工程爆破技术发展及历程[A].工程爆破文集(第六辑)[C].广东深圳:海天出版社,1997.
- [3] 汪旭光,等.我国爆破事业的发展和新世纪的展望[A].工程爆破文集(第七辑)[C].新疆乌鲁木齐:新疆青少年出版社,2001.
- [4] 杨小林,等.爆破对围岩力学性质和稳定性的影响[A].工程爆破文集(第七辑)[C].新疆乌鲁木齐:新疆青少年出版社, 2001.
- [5] 陈作彬.田湾核电站扩建山体爆破工程质量安全控制[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2009,36(3).
- [6] 姚尧,等.深孔孔底垫层的减震作用[A].工程爆破文集(第七辑)[C].新疆乌鲁木齐:新疆青少年出版社,2001.
- [7] 黄德全,周勇,陈剑锋,等.条形药包洞室爆破技术在山体危岩排险施工中的应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2010,37(1).