

正作用型液动冲击器寿命的研究

刘志刚

(核工业华东地质勘探局·南昌市)

从分析液动冲击器易损件失效原因入手,运用摩擦学、泥浆冲刷等理论,寻求解决问题的途径。通过 140h 的初步试验,钻进效率提高 27%,岩矿心采取率提高 25%,各易损件无一损坏,均可继续使用,且弹簧和橡胶密封圈的寿命已达到国内先进水平。

关键词 液动冲击器 易损件 寿命



液动冲击器

我国使用的正作用型液动冲击器的典型代表有 TK、ZF、ZE 等系列产品。正作用型液动冲击器具有结构简单、工作性能稳定、对环境(岩层、孔深、冲洗介质、设备等)适应能力强、操作调试方便等优点。因此应用面广,深受施工现场的欢迎。然而,正作用型液动冲击器与其他类型液动冲击器一样,仍然存在一些问题有待进一步研究、完善。其中较为突出且亟待解决的问题之一是易损件寿命短。根据有关统计资料介绍,某省地矿局自 1980~1989 年共投入 73 套正作用型液动冲击器,平均使用寿命 103h;核工业华东地勘局下属某大队一年中投入 6 套正作用型液动冲击器,平均使用寿命为 74h(其中最短寿命仅 26h,最长为 108h),但这些液动冲击器的理论设计寿命均在 400h 以上。由于正作用型液动冲击器使用寿命较短,因而综合经济效益未能发挥出来,这样在很大程度上阻碍了这项新技术的发展。为加快我局推广应用液动冲击回转钻进技术的步伐,提高其综合经济效益,针对正作用型液动冲击器使用寿命短的问题(主要为易损件的运动结构设

计、材质选择及处理等方面),进行了专题研究,并于 1991 年下半年将第一台样机投入生产试验,共进尺 342m,取心长度 339.62m,岩心采取率 99.3%,纯钻时间 140h,钻进效率为 2.57m/h,与普通回转钻进相比(同孔位、同地层、交叉钻进对比)岩心采取率提高了 25%,钻进效率提高了 27%。这台样机的易损件无一损坏,均可继续使用。尤其值得一提的是高压橡胶密封圈和工作弹簧的使用寿命均达到国内先进水平。

易损件工作状况及失效 原因分析

正作用型液动冲击器的主要易损件有:阀、阀限位座、活塞杆、中接头、冲头和砧、阀簧、锤簧、高压橡胶密封圈等。按其材料性质可分为刚性、弹性(刚弹性、塑弹性)两大类,影响寿命的主要原因有冲击磨损、疲劳磨损、粘着磨损及流体侵蚀等。

1. 阀(结构见图 1)

工作时处于高速往复运动状态(运动频率约 40~50Hz),在下限位台阶 3 和下端面 5 二处发生冲击和疲劳磨损;阀颈 4 的外圆周面与阀限位座内孔呈滑移接触,起通水和

导正作用，易产生磨粒磨损和疲劳磨损。

2. 阀限位座 (结构见图 2)

它与高速运动的阀配合起导正和限位作用，限位台阶 1 处主要发生冲击和疲劳磨损，内孔圆周边 2 处主要发生磨粒磨损和疲劳磨损。

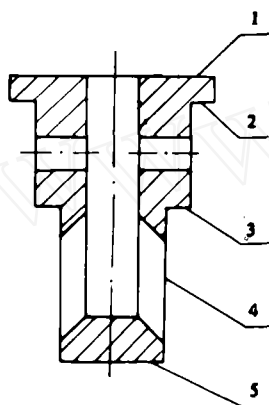


图 1 阀

1—上端面；2—弹簧支承面；3—下限位台阶；4—阀
颈；5—下端面

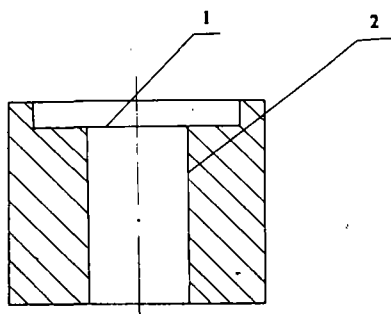


图 2 阀限位座

1—限位台阶；2—内孔

3. 活塞杆、中接头、橡胶密封圈 (三者的装配结构见图 3)

活塞杆处于高速往复运动状态 (运动频率 40~50Hz)，并在与阀关闭时产生碰撞，具有水路开关和导正作用。其外圆周边以磨粒磨损和疲劳磨损为主，上端面则以冲击和疲劳磨损、泥浆冲蚀为主。中接头则以内孔与活塞杆呈滑移接触，以磨粒和疲劳磨损为

主。橡胶密封圈属塑弹性件，常采用 Y 型结构，与活塞杆呈过盈配合，工作时因活塞杆的高速运动产生粘连运动，易发生粘着磨损，严重时还会产生挤压 (失稳) 疲劳断裂。

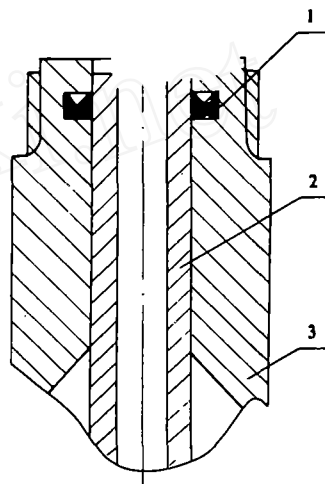


图 3 中接头装配图

1—橡胶密封圈；2—活塞杆；3—中接头；

4. 冲头及砧

冲头以高速往复运动 (频率 40~50Hz)，并与砧子发生碰撞，因而冲头与砧子的碰撞端面主要发生冲击和疲劳磨损。

5. 阀簧和锤簧

二者均属刚弹性件，主要以疲劳和失稳影响其寿命。

延长易损件使用寿命的研究

综合上述易损件失效原因分析，刚性件的失效主要由失稳磨擦、冲击、冲蚀和高速运动引起的疲劳作用所致；弹性件的失效则主要来自疲劳和失稳作用。在刚性件中，冲击及高速运动引起的疲劳磨损是不可避免的，即属于正常磨损。对于如何提高刚性件的抗冲击和耐疲劳能力是以往研究的重点，但对如何防止失稳，减少摩擦和液流的冲蚀作用的研究甚少。因此，以提高刚性件的寿命为研究重点，我们放在消除失稳、减少摩

擦和减轻泥浆冲蚀上。在弹性件中, 疲劳引起失效的原因是结构设计中的主要参数, 而由于失稳引起的失效虽在以往的设计中常提及, 但在具体设计中却考虑甚少。

1. 对刚性件寿命的研究

根据摩擦学和泥浆冲蚀等原理知道: ①当两物体接触并在接触表面发生相对滑移时, 必然会发生磨损; ②当滑移面出现交角时, 磨损加剧; ③硬材料磨损比软材料慢; ④材料硬度应比表面接触压力大; ⑤互溶性高的材料具有不良的摩擦学性能, 即摩擦副材料应避免相同; ⑥材料的磨损量与行程、载荷成正比, 与材料的屈服力和硬度成反比; ⑦泥浆冲蚀量在其他参数不变时, 随攻击角的变化而不同。脆性材料应避免正冲击 (90°), 塑性材料应避免 $20^\circ \sim 30^\circ$ 角冲击。另外, 通过对液动冲击器的性能测试 (采用 WH—冲击器性能微机检测系统) 发现, 导正性能差的阀, 冲锤系统工作稳定性差, 磨损严重。据此, 我们在设计阀、冲锤系统等高速运动件时, 除考虑综合强度条件外, 还确定了 3 条原则: ①运动件必须具有良好的导正性能, 以保证运动件处于设计要求的条件下工作; ②摩擦副材料应避免相同, 硬材料表面硬度尽可能取大值, 相对滑移表面尽量光滑; ③合理选择泥浆冲蚀攻击角, 尽可能减少冲蚀磨损。具体设计如下:

(1) 阀 材料 20CrMnTi, 表面渗碳处理, 硬度 HRC58~62, 阀颈粗糙度 Ra0.4, 阀上端加导正套 (材料聚四氟乙烯, 此材料具有好的综合强度和自润滑性能, 摩擦系数极低), 见图 4。

(2) 阀限位座 内加限位垫 (材料 20CrMnTi, 渗碳处理, 硬度 HRC52~58, 失效时只需换此垫而不必更换整个限位座), 内孔加导正衬套 (材料为聚四氟乙烯), 见图 5。

(3) 活塞杆、导流套、中接头、活塞杆 选用 20CrMnTi 材料, 渗碳处理, 硬度

HRC58~62, 表面粗糙度 Ra0.4; 活塞杆上腔增设导流套, 以消除泥浆冲蚀作用 (经试验发现自加导流套后, 活塞杆上端面的“麻坑”消失, 泥浆冲蚀磨损明显减弱, 增强了液动冲击器对泥浆性能的适应性); 中接头内孔加导正套 (材料为聚四氟乙烯), 另将锤体下端导正、加长、加宽, 提高冲锤系统的导正性能。

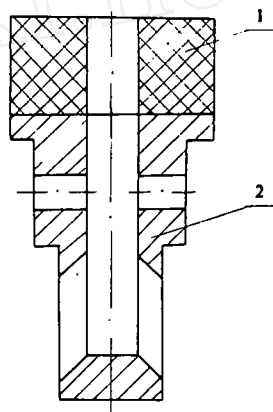


图 4 阀

1—导正套; 2—阀

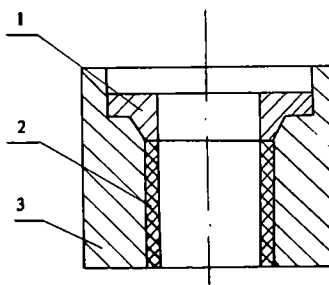


图 5 阀限位座

1—限位垫; 2—导正套; 3—阀座

(4) 冲头及砧 材料为 20CrMnTi, 渗碳处理, 硬度 HRC58~62。

2. 对弹性件的研究

弹性件的设计主要考虑其疲劳强度和稳定条件。疲劳强度主要取决于材料性质, 制造精度、工作参数和环境影响 (如强度、冲洗介质等); 稳定条件则主要取决于自身结

构和环境结构（如导正、固定等）。

在弹簧设计中，通常对细长比、疲劳强度等条件均作了充分的考虑，但对共振失稳条件考虑甚少。共振失稳因素可忽略不计吗？我们的验算结果如下：

(1) 对阀簧的验算

已知： $d=4\text{mm}$ （钢丝直径）， $D_2=38\text{mm}$ （阀簧中径）， $H_0=79\text{mm}$ （阀簧自由高度）， $P_1=11\text{kgf}$ ， $P_2=17\text{kgf}$ （ P_1 、 P_2 为阀簧的工作压力）。

细长比：

$$b = \frac{H_0}{D_2} = 79 / 38 \approx 2 \quad (\text{满足 } b < 2.6 \text{ 的条件}) ;$$

强度验算：

$$\tau_0 = 0.33\sigma_b = 0.33 \times 150 = 49.5\text{kgf/mm}^2$$

$$\tau_{\min} = \frac{8P_1 D_2 K}{\pi d^3} = \frac{8 \times 11 \times 38 \times 1.153}{3.14 \times 4^3} = 19.18\text{kgf/mm}^2$$

$$\tau_{\max} = \frac{8P_2 D_2 K}{\pi d^3} = \frac{8 \times 17 \times 38 \times 1.153}{3.14 \times 4^3} = 29.64\text{kgf/mm}^2$$

疲劳安全系数：

$$n = \frac{\tau_0 + 0.75\tau_{\min}}{\tau_{\max}} = \frac{49.5 + 0.75 \times 19.18}{29.64} = 2.16 < [n] = 2.2$$

共振验算：

$$f = 3.56 \times 10^5 \times \frac{d}{nD_2^2} = 3.56 \times 10^5 \times \frac{4}{5 \times 38^2} \approx 197\text{Hz}$$

$$f_r = 40 \sim 50\text{Hz}$$

$$\frac{f}{f_r} = \frac{197}{40 \sim 50} \approx 4.925 \sim 3.94 < 10 \quad (\text{不满足条件，发生共振})。$$

(2) 对锤簧的验算

已知： $d=6\text{mm}$ ， $D_2=38\text{mm}$ ，

$H_0=230\text{mm}$ ， $P_1=30\text{kgf}$ ， $P_2=53\text{kgf}$ 。

细长比

$$b = \frac{H_0}{D_2} = \frac{230}{38} \approx 6.05 > 2.6 \quad (\text{不满足条件，发生失稳，采取内外导正措施消除})$$

强度验算：

$$\tau_0 = 49.5\text{kgf/mm}^2$$

$$\tau_{\min} = \frac{8 \times 30 \times 38 \times 1.237}{3.14 \times 6^3} = 16.62\text{kgf/mm}^2$$

$$\tau_{\max} = \frac{8 \times 53 \times 38 \times 1.237}{3.14 \times 6^3} = 29.37\text{kgf/mm}^2$$

疲劳安全系数：

$$n = \frac{\tau_0 + 0.75\tau_{\min}}{\tau_{\max}} = \frac{49.5 + 0.75 \times 16.62}{29.37} \approx 2.11 < [n] \quad (\text{满足条件})$$

共振验算

$$f = 3.56 \times 10^5 \frac{d}{nD_2^2} = 3.56 \times 10^5 \times \frac{6}{22 \times 38^2} = 67.24\text{Hz}$$

$$f_r = 40 \sim 50\text{Hz}$$

$$\frac{f}{f_r} = \frac{67.24}{40 \sim 50} \approx 1.681 \sim 1.345 < 10$$

（不满足条件，发生共振）。

以上验算结果可见，弹簧的强度条件基本满足，细长比条件也基本满足（锤簧呈不满足，但均采用了内、外导正来弥补），但共振条件均不满足，且在设计中均未采取相应的解决措施，故发生共振是不可避免的。由于结构条件的限制我们对弹簧设计采用了变节距结构，经试用，寿命由原来的 30~80h，提高到 140h（仍可继续使用）。

高压橡胶密封件使用寿命短，一直是液动冲击器研究中的“拦路虎”，在以往的研究中，从选材到结构设计都做了不少工作，但总不能从根本上取得突破性进展。经对失效

密封件的仔细观察发现材料的磨损并不严

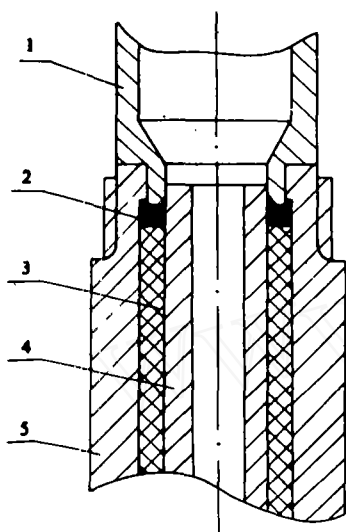


图6 中接头装配图

1—导流套;2—密封圈;3—导正套;4—活塞杆;5—中接头

重,而主要是挤压变形和疲劳断裂。根据这一情况,将研究重点放在密封件的环境结构上,认为密封槽式固定结构不适合于静态密封状态(可以阻止密封件径向位移),而对处于运动状态下,密封件会产生轴向牵粘运

动,缺乏轴向止动机构,因而使用中常发生因牵粘运动而造成的挤压变形和疲劳断裂,使得密封件磨损加剧。为克服此现象我们设计了一个止动环(此止动环与导流套设计成一体,见图6),对密封件施行轴向固定。使用效果非常显著,经140h的试验,密封件完好无损(采用原密封件材料,结构型式),仍可继续使用。

存在问题

1.试验工作量少,未能得出最终寿命结果,需进一步扩大试验工作量。

2.此项研究具有较广的适应性,应尽快将其运用到其他类型的液动冲击器、气动潜孔锤和机械行业具有类似运动状态的机构中去。

结束语

此项研究提高了液动冲击器的使用寿命,增强了对泥浆性能的适应能力,拓宽了液动冲击器的适应范围,值得进一步深入研究和完善。

The Lifetime of Positive Action Type Hydraulic Percussive Device

Liu Zhigang

The causes for a hydraulic percussive device ceasing to be effective are analysed and the methods for overcoming this difficulty were found. A preliminary test for 140 hours was conducted and good results were yielded with drilling efficiency raising to 27%, core recovery to 25%, and no damage for easy wearing parts. The lifetime of the spring and rubber sealed gaskets are relatively prolonged.

