

一种新型节能气动潜孔锤的初步研究

杨红东¹, 赵宪富², 迟玉亮³, 计胜利¹

(1. 吉林大学建设工程学院, 吉林 长春 130026; 2. 吉林省地矿建设集团有限公司, 吉林 长春 130012; 3. 吉林省地质勘探技术研究所, 吉林 长春 130011)

摘要:气动潜孔锤是一种高效的凿岩工具,应用广泛,但气动潜孔锤存在着能量利用率低、耗气量大等缺陷。提出的差动容积式气动潜孔锤,完全改变了传统气动潜孔锤的双面配气结构,从机理性的层面保证了新型气动潜孔锤的节气、节能和高效的特点;预计其能量利用率比已有的潜孔锤提高20%,工效提高20%。

关键词:气动潜孔锤;节气;差动容积式;能量利用率

中图分类号:P634.4 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-7428(2009)06-0024-04

Preliminary Study on a New Energy-saving Pneumatic DTH Hammer/YANG Hong-dong¹, ZHAO Xian-fu², CHI Yu-liang³, JI Sheng-li¹ (1. Construction College of Jilin University, Changchun Jilin 130026, China; 2. Jilin Geological & Mineral Resources Construction Group Co., Ltd., Changchun Jilin 130012, China; 3. Jilin Provincial Institute of Geo-exploration Techniques, Changchun Jilin 130011, China)

Abstract: Pneumatic DTH hammer has disadvantage of low energy efficiency and high air consumption. Differential-volume DTH was presented in the paper, which was totally different to traditional pneumatic DTH hammer with two-side inlet-exhausted structure, the energy efficiency and work efficiency are anticipated 20% higher than DTH hammer.

Key words: pneumatic DTH hammer; high efficiency with less air consumption; differential-volume type; energy efficiency

1 问题的提出

气动潜孔锤作为凿岩工具广泛应用于冶金矿山、地质勘探和石油等领域,早期的气动潜孔锤的工作压力一般在0.5 MPa左右,存在着单次冲击功低、耗气量大的缺陷,近年来在市场应用越来越多的是高压潜孔锤,因其工作压力高,使得活塞的单次冲击功有了很大的提升。

在使用普通潜孔锤时,为了提升单次冲击功,唯一的办法就是提高潜孔锤的供气量,这就意味着需要配套大容量的空压机,导致成本提高,耗能增加。

使用高压潜孔锤能显著地提高潜孔锤的工效,扩大它的应用领域和范围。但是由于需要配备高压空压机,施工成本也大幅度增加,这就局限了这种高压潜孔锤的广泛使用。

我国目前各生产施工企业大量拥有的仍多为低压型空压机,国内空压机制造厂也仍以低压型产品为主要产品,因此,研制一种低风压大冲击能量的新型潜孔锤,非常适合我国的实际情况,这样可充分利用施工单位的现有设备,降低投资,减少能量消耗,提高生产效率,为施工企业提高经济效益提供了条件^[1]。

目前,工程施工中的气动潜孔锤不论是低压潜

孔锤、高压潜孔锤还是低压高能潜孔锤,其工作原理大致相同,其中高压潜孔锤的高压,主要是通过提高活塞的质量、作用面积、冲击行程及其配气方式来实施的,与普通的潜孔锤的工作原理没有根本性的改变,潜孔锤的能量利用率和效率基本上没有显著的提升。类似于WC-100型的低压高能潜孔锤也是在无阀气动潜孔锤的基础上,利用计算机建立的运动分析模型,通过优化结构参数的方式来实现低压高能的目标。由于潜孔锤的结构原理没有改变,这种优化带来的性能提升也是十分有限的。一般情况下,这些气动潜孔锤的能量利用率仅有10%~25%,设计不好时还不到10%。值得注意的是,只注重冲击能的大小而不注重效率问题的设计原则是不可取的。在设计高压潜孔锤时,效率问题更加突出,因为压力越高,能量损失就越大^[2]。

有关统计资料显示,全国每年气动潜孔锤的市场销售量大约是30万套,高压潜孔锤占有近1/3的比例,在工程施工中,大量使用较低效率和较低能量利用率的潜孔锤就意味着同时浪费了巨大的能源,不利于我国经济的持续发展。所以设计和生产一种能较大幅度提高气动潜孔锤的效率和能量利用率的新型潜孔锤显得十分迫切和必要。

收稿日期:2009-03-19

作者简介:杨红东(1964-),男(汉族),吉林白山人,吉林大学建设工程学院讲师,勘探机械专业,硕士,从事测试技术、工程机械、汽车零部件设计等技术研究及钻探设备等的教学工作,吉林省长春市西民主大街6号,mllyhd@163.com。

2 原有潜孔锤原理性缺陷分析

目前国内外的潜孔锤种类繁多,但不论哪种类型潜孔锤的配气基本上都是双面配气的方式,活塞往复一个周期,前气室和后气室都分别完成一次压缩膨胀排气的做功过程,并在冲程阶段存在着气垫;活塞的行程除前后气室的进气膨胀做功的工作行程外还必须包括其排气行程,使得活塞的行程往往都超过100 mm。这些潜孔锤的共同特征,决定了传统气动潜孔锤的性能必然存在一些缺陷。

(1) 活塞的大行程导致了较大的耗气量和相对较低的冲击频率,以及相对较多的机械摩擦损失;

(2) 冲程阶段存在着气垫,严重的影响了活塞冲击末速度的提高,直接影响到单次冲击功的大小;

(3) 活塞的一个周期内(实施了一次做功输出)完成的两次膨胀压缩和排气,这里的每个过程实质上都伴随着压力和容积损失。

这些缺陷的外在表现就是能量利用率低,功效低;所以在这种结构上无论怎样改进的潜孔锤,它的性能提升空间十分有限。为了实现真正的低压高能潜孔锤,达到节气节能,减少能量消耗,提高生产效率,就必须抛开原有的原理和结构,赋予潜孔锤新设计理念和新的结构。但实施一种全新结构,摒弃以往潜孔锤工作的缺陷,也是十分困难的。

3 新型潜孔锤的设计构思

通过分析目前潜孔锤应用中存在的问题及对其进行原理性的剖析,笔者认为新型潜孔锤工作时能形成差动容积式的前后气室,是解决低效、能量利用率低、耗气量大的一个有效措施,因为差动回路可以将潜孔锤的前气室的气体直接送到后气室,在同样的耗气量的前提下,活塞能获得更大的速度,虽然一般意义的差动结构会减少活塞的有效作用面积,但针对气动潜孔锤而言,以往潜孔锤的有效作用面积由于配气导杆的缘故,原本就不是很大,所以形成差动结构形式的活塞有效的作用面积并没有减少。即便活塞工作时的有效面积有所减少,也可以通过提高压缩气体的供气压力来弥补作用在活塞上的作用力;此外,形成差动结构的形式还可以有效的减少活塞冲击速度过快而产生的背压。

减少活塞的运动的总行程,能在耗气量同等条件下,使潜孔锤获得更高的频率,也就意味着潜孔锤具有节气的特性。以往的潜孔锤活塞的总行程必须包括活塞的排气行程(而排气行程对活塞的速度提升是不起任何作用的),所以活塞的行程都很大;采

用了差动结构后的潜孔锤的排气过程,是在活塞回程的过程中同时进行的,活塞的总行程基本上就是活塞的工作行程,这样就可以实现活塞的短行程和高速度。

实施新的活塞配气换向的方式,在控制活塞冲击砧子端面前的瞬间或同时,切换气路,避免气垫,活塞拾锤上升启动后,后气室排气,在拾锤上升的末端,控制阀快速切换,利用活塞的惯性作用,使后气室压缩进气,转换并储存活塞上升的动能,使压缩气体同时作用在活塞上的上下两个端面上,实现活塞的快速向下冲击。

为实施以上的设计思想,笔者参考了液压凿岩机的结构,因为液压凿岩机就是针对气动凿岩机的能量利用率低及其噪声等问题发展起来的一种高效率凿岩工具,考虑到液压系统的小流量和高压力的特点,它实施了差动容积式的结构,将能量利用率提高到50%~70%;但直接单纯套用液压凿岩机的结构,几乎是不可能的,液压凿岩机的结构过于复杂,零件加工和装配的精度都很高,油道的设计和阀的切换方式都不适合可压缩的、压力和流量参数存在巨大差异的气体。显然,能设计出差动结构,并且结构简单、紧凑的潜孔锤,又有很好的加工性和经济性,是新型潜孔锤设计的难点和关键点。

笔者针对目前潜孔锤结构和性能以及应用上存在的一些问题,大胆的构思了一种新机理新结构的潜孔锤。并试制了一个样机(见图1),通过室内试验,基本上能体现出这种新型潜孔锤优越的性能及其特有的功能,达到了设计的预期和目标。



图1 新型潜孔锤样机

其结构和性能参数为:外径73 mm,耗气量 $2\text{ m}^3/\text{min}$,总长800 mm,单次冲击功80~110 J,钻孔直径75~91 mm,频率1200次/min,风压0.3 MPa,活塞行程50 mm。

因实验条件所限,上述性能参数数据仅仅是在 2 m^3 的空压机驱动下,并不是在潜孔锤理想供气条件下获取的。而样机的结构设计也是初步的,还没有进行较为完善的优化设计,但这足以证明这种潜孔锤的新机理是可行的,其性能是值得期待的。

4 新型潜孔锤基本原理和工作过程

冲锤活塞的冲击往复运动是在控制阀的控制下,切换气路实现的。其基本原理参见图2。

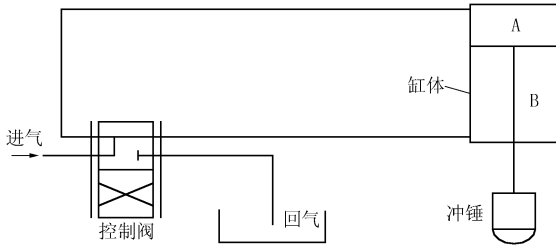


图2 新型潜孔锤基本原理示意图

回程过程:控制阀阀芯在下位,进气通前气室B,回气通后气室A,冲锤活塞在前气室B内压缩气体的作用下,向上抬锤;

冲程过程:控制阀阀芯在上位,压缩气体同时进后气室A和前气室B,构成差动回路,使冲锤活塞快速的冲击。

这里的控制阀相当于一个二位四通滑阀,控制阀的换向控制是通过气路的切换实施的,控制阀布置在冲击锤体的中间部位,可随锤体运动,在运动中完成阀位的切换,并通过阀两端的压差来锁定阀位。

5 新型气动潜孔锤的特点

5.1 是一种节气、节能、高效、低压、高能的潜孔锤

和普通低压潜孔锤相比,具有较高的单次冲击功,不需要配备大容量的高压空压机设备,使用常规的空气压缩机就能满足其正常使用。

5.2 结构简单,滑动摩擦副少

取消了传统配气导杆的结构,零件的加工工艺性好,没有过多、过高的尺寸精度和位置精度要求,虽然结构中汽缸采用了差动结构,但并没有因此增加过多的摩擦副,样机结构中的滑动摩擦副仅仅为4对,能有效地降低制造成本,提高工作的可靠性和工作寿命。

5.3 汽缸工作状态呈现出差动容积式的结构特征

该结构具有的节气和节能特点是由于在汽缸的结构上实现了差动驱动的原因,工作的前后腔2个工作室,在活塞冲程时联通,前腔工作室的气体直接返回到后腔工作室,这个过程没有排气,在活塞的回程中,前腔工作室高压(常压),后腔低压排气;一个工作周期完成,只是一次排气,比常规潜孔锤减少了一次。这一点会促使潜孔锤节约压气和提高潜孔锤的频率。而在结构上,也没有因为增加差动的结构而影响到汽缸后气室的活塞有效工作面积。

5.4 阀锤一体的结构,独特的随动驱动

这个方案的使用,会使结构更加紧凑,有利于空间狭窄条件下的结构设计,也便于维护和使用。

5.5 工作参数调节方便

以往潜孔锤工作性能参数的调整都是靠更换缸套等零件来实现的,复杂、费时、费力,并需要技术上的指导和支持;新结构的潜孔锤只要在钻头上沿添加或减少垫片而不需要拆卸潜孔锤就可以调整单次冲击功和冲击频率,方便了使用,且调节范围大。表1为耗气量为 2 m^3 时的冲击频率调整数据。

表1 不同垫片数量下的冲击频率

| 垫片数目 /个 | 冲击频率 /(次·min ⁻¹) | 垫片数目 /个 | 冲击频率 /(次·min ⁻¹) |
|------------|---------------------------------|------------|---------------------------------|
| 4 | 900 ~ 1200 | 2 | 1400 ~ 1600 |
| 3 | 1200 ~ 1400 | 1 | 1800 ~ 2000 |

注:每个垫片厚度为5 mm。

5.6 可以使用多介质驱动

在试制的样机中,我们分别使用了空气、清水、泥浆、泡沫、汽水混合液多种驱动介质在室内进行了实验,潜孔锤都能正常工作,表现出良好的适应多介质特性。使用清水时,潜孔锤可以在小流量(52 L/min)的条件下稳定的工作,这说明这种潜孔锤适用于小口径金刚石钻探。

5.7 潜孔锤工作性能稳定

在样机的室内试验中,潜孔锤工作十分稳定,频率基本恒定,没有间歇和空打虚打的现象;使用液体驱动时也同样表现出了工作稳定的特征。

5.8 活塞冲击的整个过程中,没有气垫,活塞的行程短,频率高

通常的潜孔锤的双面配气结构,无法避免在活塞冲击的末端会有5~10 mm的气垫,影响了活塞末速度的提高,比如无阀式的气动潜孔锤为了实现另外一个工作室的压缩和进气,必须有个相应膨胀压缩的自由行程,再加上排气的行程,使活塞的整个行程大大的增加,实际上自由行程和排气行程并不能提高活塞的运动的速度,即便活塞在下行自由行程和后气室排气阶段,存在着重力加速度 g ,但它对活塞的运动速度的贡献率也是微乎其微,大约仅为5%;所以能去掉或减少自由行程和排气行程,对冲击功的影响并不大,却反而提高了潜孔锤的冲击频率。双面配气的和新型气动潜孔锤的活塞运动速度和位移关系曲线分别见图3、4。

5.9 活塞的形状、粗细设计受结构的约束小,能满足潜孔锤的高凿入效率的要求

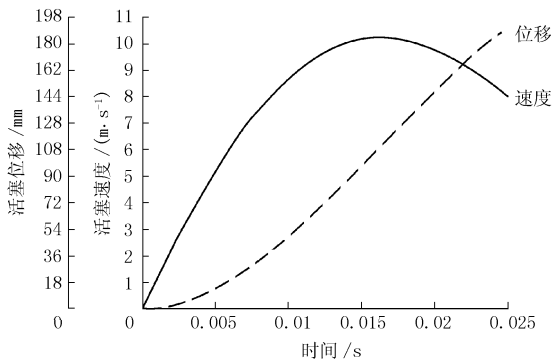


图3 双面配气潜孔锤活塞位移速度变化曲线

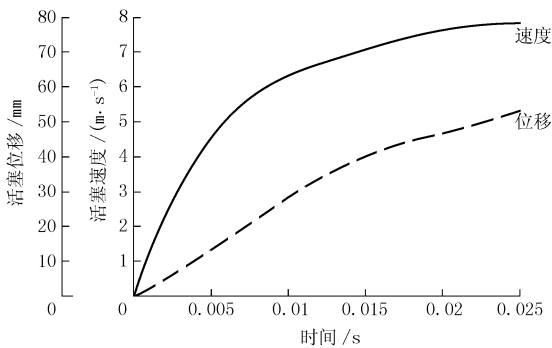


图4 新型气动潜孔锤活塞位移速度变化曲线

在传统潜孔锤设计中,由于潜孔锤是双面的结构配气方式,活塞两端的作用面积和活塞的质量,前后气室的工作行程自由行程等都相互关联,很难以潜孔锤的凿入效率为设计的目标,不利于冲击功的有效传递。新型潜孔锤活塞的形状、粗细设计受结构的约束小,能满足潜孔锤的高凿入效率的要求。

6 可能存在的问题和需要改进的地方

(1)控制阀过早的断裂。控制阀是一个二位四通滑阀,工作时能受到接触推力、弹簧力、差压力、吸附力以及惯性力的作用,所以阀的结构尺寸设计非常关键,经过初步计算,阀在切换时的最大拉压力在50 N左右,受力不大,但实验中却屡次出现断裂现象,这说明阀的断裂属于疲劳破坏。所以,为了提高控制阀的寿命,必须合理的选择控制滑阀的材料,提高零件表面的加工精度,安排合理的热处理工艺和去应力措施。

(2)防空打机构出现卡滞情况。样机的防空打机构的原理,基于前腔的常压腔的泄压,只要是提动钻具,钻头脱离潜孔锤身60 mm,前腔就联通了低压通道,潜孔锤停止工作;但由于零件结构设计的缺陷,试验时,多次出现了钻头无法缩回或者钻头缩回将活塞顶起,使得潜孔锤无法工作,甚至出现憋气、

憋泵的现象。

(3)活塞的本身结构稍显复杂,有较多通气的气孔。活塞过多的气孔会影响活塞的应力状态,降低活塞的寿命,不利于提高活塞的单次冲击功,但由于控制滑阀装配在活塞上,这种结构上需要的气孔又是无法避免的。

(4)控制滑阀的控制使用了弹簧,增加了潜孔锤的易损件。

(5)控制滑阀的换向过程瞬间会有短路现象。

(6)用水驱动时,水泵流量 $< 52 \text{ L/min}$,潜孔锤工作正常稳定,但水泵流量 $> 52 \text{ L/min}$ 时,有间歇现象发生。

上述问题有的已经解决,有的正在改进完善中。

7 国内潜孔锤的研究现状及其展望

目前的高压、低压潜孔锤,绝大部分都是消化后仿制而成的。早在20世纪60~80年代,我国的相关技术人员做了大量的工作,在消化国外产品的基础上开发了J和W系列潜孔锤;近些年,随着改革开放,国外的高压潜孔锤在我国开始占有了一席之地,市场占用率逐年上升。随着国外先进技术装备的不断渗透,面对着不同层次的产品,对国内的同行企业产生了很大的冲击,企业生产只能走上合资的道路;这期间行业内的研究部门和大专院校,在吸收和引进技术方面虽然做了很多有益的工作,但也仅局限于潜孔锤的使用工艺、应用体会和局部的结构改进及其优化设计。独立自主的创新研究基本呈现停滞状态,到目前为止,一直没有完全自主知识产权的全新产品,我国的气动潜孔锤的自主创新的能力和水平亟待提高。

新型的气动潜孔锤节能的机理与传统的气动潜孔锤有着本质上的差别,这种新型潜孔锤的新原理决定着它的固有的特性,表现出我们预期的一系列的特点,预计其能量利用率比已有的潜孔锤提高20%左右,工效提高20%左右,将能成为真正意义上的低压高能的潜孔锤。截止目前,国内研究部门及生产厂家尚无该类潜孔锤的设计和产品的,国外相关文献亦未见报道。

参考文献:

- [1] 王茂森,殷琨,蒋荣庆. 低压高能潜孔锤的研制[J]. 世界地质, 2000, 19(4).
- [2] 戚靖洋,张国忠,赵雨. 关于无阀型气动冲击器效率和容积利用率问题[J]. 矿山机械, 1993, (4).
- [3] 张国忠. 气动冲击设备及其设计[M]. 北京:机械工业出版社, 1991.