

# 双向气动冲击机构配气行程设计研究

郭云<sup>1,2</sup>, 隆威<sup>1,2</sup>

(1. 中南大学地学院有色金属成矿预测教育部重点实验室, 湖南长沙 410083; 2. 中南大学地球科学与信息物理学院, 湖南长沙 410083)

**摘要:**冲击回转挤密法钻进是一种先进的土层锚杆成孔工艺方法<sup>[1]</sup>。双向气动冲击机构是其成孔设备双向气动潜孔锤的核心机构,配气行程长度的设计是否合理关系到潜孔锤正向冲击时的工作性能及能否实现有效的反向冲击。在分析配气原理的基础上,采用分段计算法,结合有限差分原理对双向气动冲击机构的配气行程长度设计进行了研究,并提出了双向气动冲击机构配气行程长度比的设计参考值。

**关键词:**锚固工程;双向气动冲击机构;配气行程设计;有限差分

**中图分类号:**P634.4 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-7428(2013)09-0037-04

**Study on the Design of Gas Distribution Stroke for Two-way Pneumatic Impact Mechanism/GUO Yun<sup>1,2</sup>, LONG Wei<sup>1,2</sup>** (1. Key Laboratory of Non-ferrous Ore Mineralization Prediction, School of Geoscience and Environmental Engineering, Central South University, Changsha Hunan 410083, China; 2. School of Geosciences and Info-physics, Central South University, Changsha Hunan 410083, China)

**Abstract:** Impact rotary compacting drilling is a kind of advanced soil anchor hole forming method, two-way pneumatic DTH hammer is the main equipment used for it. Its critical device is two-way pneumatic impact mechanism; the gas distribution stroke design is related to the DTH hammer conventional working performance and realization of effective reverse impact. Based on the analysis on DTH hammer gas distribution theory, using section calculation method and finite difference principle, the study was made on the design of gas distribution stroke length of two-way pneumatic impact mechanism and put forward the design reference value of gas distribution stroke length ratio.

**Key words:** anchorage engineering; two-way pneumatic impact mechanism; gas distribution stroke design; finite difference principle

## 0 引言

边坡锚固工程中,锚固孔一般采用普通回转钻进或长螺旋干钻法施工,需要锚固地层一般都比较松散破碎,上述成孔方式很容易出现卡钻、埋钻,钻具无法拔出而导致钻孔报废的情况。为解决上述问题,国内出现了锚固孔冲击挤密钻进的成孔方法,并研制了专门的双向气动潜孔锤。运用双向气动潜孔锤进行锚固孔施工,效率高、施工质量好、成本低、适用性强,是一项具有先进水平的锚固新技术。双向气动潜孔锤依靠冲击力挤密土层成孔,孔内出现掉块、缩径造成卡埋钻事故时,利用双向潜孔锤的反向冲击作用也可以顺利退出孔内钻具,防止孔内事故,并进一步挤密孔壁及地层,保证锚固质量。双向气动潜孔锤的双向气动冲击机构是保证正向冲击时能够有足够的冲击功,并且在回退时能够实现反向冲击的核心机构,必须具有合理的配气结构和精确计

算的配气行程。研究表明,对于一个行程参数组合合理的常规无阀式气动潜孔锤,若其它配气参数不变,大幅度增加后气室排气行程,可以使活塞以较大的末速度撞击配气座而不再撞击钻头<sup>[2]</sup>。国内现有的双向气动潜孔锤包括中南大学研制的 CJ-130 型和吉林大学研制的 RPH-110 型,均能实现正向冲击挤密成孔,反向冲击回退的功能,二者在实现反向冲击方面具有相似的结构原理,都是通过向后拖动可以轴向浮动的心管来改变气动潜孔锤的配气结构,大幅度增加后气室排气行程来实现的,二者的不同之处主要在于尾部配气结构的设计以及潜孔锤的外径。

为了优化双向气动潜孔锤的工作性能,并实现双向气动潜孔锤的系列化,本文以 CJ-130 型双向气动潜孔锤为例,研究了双向气动冲击机构配气行程的设计方法。

收稿日期:2013-04-10; 修回日期:2013-06-30

**作者简介:**郭云(1988-),男(汉族),山西晋中人,中南大学硕士,地质工程专业,从事钻探设备机具及岩土工程施工方面的研究工作,湖南省长沙市岳麓区中南大学校本部地学楼 137, guoyun1988@gmail.com; 隆威(1962-),男(汉族),重庆丰都人,中南大学地球科学与信息物理学院副院长、教授,探矿工程专业,从事地质工程、岩土工程专业教学、科研、设计及施工管理工作。

## 1 配气行程初步设计

CJ-130型双向气动潜孔锤属于无阀型气动潜孔锤,无阀配气装置的配气作用,是在活塞运行中,依靠配气杆或者气缸上的气窗与异形活塞的相互位置的交错变化实现的。因此配气设计的主要任务,是在活塞运行方向确定活塞和气缸的各段配气长度。各配气长度与冲击设备活塞结构行程的比值限定在一定范围。配气长度比依下式而定<sup>[3]</sup>:

$$k_i = a_i/S \quad (1)$$

式中: $k_i$ ——配气长度比; $a_i$ ——相应的配气长度,mm; $S$ ——活塞的结构行程长度,mm。

苏联学者A·Γ·嘉久拉<sup>[4]</sup>在对多种无阀配气机构的实验分析的基础上,编制了配气长度 $a_i$ 与活塞结构行程长度 $S$ 的最优配气表(见表1)。

表1  $a_i$ 与 $S$ 参数比的最优值 $k_i$

长度比	$k_1$	$k_2$	$k_3$	$k_4$	$k_5$	$k_6$	$k_7$	$k$
表达式	$a_1/S$	$a_2/S$	$a_3/S$	$a_4/S$	$a_5/S$	$a_6/S$	$a_7/S$	$S_5/S$
数值	0.364	0.455	0.91	0.728	0.091	0.181	0.135	0.865

注: $a_1$ ——前气室排气长度,mm; $a_2$ ——前气室膨胀长度,mm; $a_3$ ——前气室进气长度,mm; $a_4$ ——后气室进气长度,mm; $a_5$ ——后气室膨胀长度,mm; $a_6$ ——后气室排气长度,mm; $a_7$ ——后气室垫长度,mm; $S_5$ ——活塞的实际行程,mm。

A·Γ·嘉久拉的计算方法是一种结构分析设计方法,没有连续的考虑气室内热力学状态参数的变化。张国忠<sup>[5]</sup>通过电子计算机模拟设计,对表中的数据做了修正,结果见表2。

表2  $a_i$ 与 $S$ 参数比的修正值 $k_i$

长度比	$k_1$	$k_2$	$k_3$	$k_4$	$k_5$	$k_6$	$k_7$	$k$
表达式	$a_1/S$	$a_2/S$	$a_3/S$	$a_4/S$	$a_5/S$	$a_6/S$	$a_7/S$	$S_5/S$
数值	0.4	0.266	0.866	0.6	0.166	0.233	0.13	0.9

双向气动冲击机构的配气行程与普通无阀气动潜孔锤的配气行程的不同之处在于,普通气动潜孔锤的配气行程是固定的,只要保证活塞能够稳定连续的冲击钻头,工作参数符合设计要求即可。而双向气动冲击机构为了能够实现双向冲击,配气行程是可变的,具有正向冲击和反向冲击两套配气行程。CJ-130型双向气动潜孔锤的两套配气行程切换是通过改变中心配气心管的位置,调整后气室的进气和排气长度来实现的。为了保证正向冲击时能够有合适的冲击功和冲击频率,同时能够实现反向冲击,前气室及后气室的进气长度和排气长度与结构行程的比例必须精心设计。

根据预定的工作参数(冲击频率、冲击功)和结构参数(活塞质量、配气面积),计算出CJ-130型

气动潜孔锤的机构行程为220mm,参考表2,可初步确定其配气长度,具体参数见表3。

表3 CJ-130型双向气动潜孔锤配气参数

配气参数	冲击配气长度/mm		配气参数	冲击配气长度/mm	
	正向	反向		正向	反向
$a_1$	45	45	$a_5$	40	0
$a_2$	80	80	$a_6$	68	130
$a_3$	95	95	$a_7$	20	0
$a_4$	112	70	$S_5$	205	220

因为要进行反向冲击,活塞向后运动时要接触配气座,所以表3中反向冲击配气行程后气室气垫长度 $a_7$ 和后气室膨胀长度 $a_5$ 设置为零。后气室排气行程初步设计为130mm,即通过改变中心配气芯管位置的方式,实现反向冲击时后气室排气行程长度的增加。然后建立数学模型,在设计计算的基础上加以修正,后气室排气行程设计的合理与否,决定着潜孔锤能否进行双向冲击。

## 2 配气行程长度设计计算

### 2.1 模型建立

无阀式气动潜孔锤的活塞在缸体内的运动过程及力学状态非常复杂,前后气室的进、排气状态由活塞在缸体内所处的位置决定,同时活塞的运动又是靠前后气室不断切换配气状态来驱动的,很难完整分析其相护作用的动力过程。为了建立有效的数学模型,需要假设体系内部与外界没有热交换,体系内的气体热力学过程为准静态过程,忽略前后气室排气所需的时间及活塞运动过程中的摩擦阻力。

根据上述假设,建立双向气动冲击机构的数学模型。数学模式见图1。

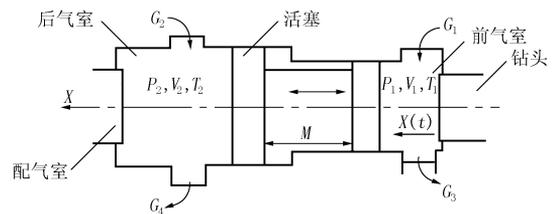


图1 数学模式图

图1中,活塞质量为 $M$ ,前后气室内的压力、体积、温度分别用 $P_1$ 、 $V_1$ 、 $T_1$ 、 $P_2$ 、 $V_2$ 、 $T_2$ 。前后气室各有一进气口和排气口, $G_1$ 、 $G_3$ 代表前气室进、排气状态, $G_2$ 、 $G_4$ 代表后气室进、排气状态,这4个参数等于0表示处于膨胀或压缩状态,大于0时则表示处于进气或排气状态。以活塞冲击钻头端面作为坐标原点0,缸体轴线为 $X$ 轴, $X(t)$ 表示活塞随时间的位移,

配气状态见图 2。

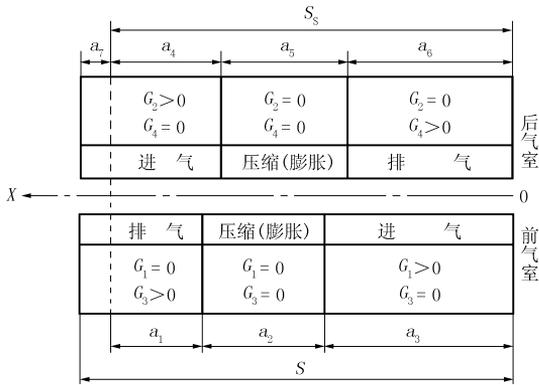


图 2 双向气动冲击机构配气状态图

前后气室内气体状态的变化,可以用一维气体稳定的流动方程、气体状态方程、活塞运动方程和能量平衡方程来描述。

(1) 气体状态方程

$$P_i V_i = M_i R T_i \quad (2)$$

式中:  $P_i$ ——前后气室内气体绝对压力;  $V_i$ ——前后气室容积;  $M_i$ ——前后气室内气体质量;  $R$ ——气体常数;  $T_i$ ——前后气室内气体绝对温度。

(2) 活塞运动微分方程

① 活塞加速度微分方程

$$d^2 x / dt^2 = (1/M) (P_1 a_1 - P_2 a_2) \quad (3)$$

② 活塞速度微分方程

$$dx / dt = V_0 + (1/M) (P_1 a_1 - P_2 a_2) \Delta t \quad (4)$$

③ 活塞位移微分方程

$$X = S_0 + V_0 \Delta t + (1/2) (1/M) (P_1 a_1 - P_2 a_2) \Delta t^2 \quad (5)$$

式中:  $X$ ——活塞位移, m;  $M$ ——活塞质量, kg;  $P_1$ 、 $P_2$ ——前后气室气体压力, Pa;  $a_1$ ——前气室排气长度, mm;  $a_2$ ——前气室膨胀长度, mm;  $V_0$ ——任意时间段内活塞的初速度, m/s;  $\Delta t$ ——运算选择的时间步长(时间间隔), s;  $S_0$ ——任意时间段内活塞的初始位移, m。

2.2 设计计算

按活塞与缸体发生气力联系的变化情况,分析活塞的运动规律,将活塞一个运动周期分成若干个阶段。根据每个阶段作用于活塞的力变化情况、活塞运动微分方程式,分段计算<sup>[5]</sup>每个阶段活塞运动的速度、时间。利用有限差分原理<sup>[6]</sup>,将每个计算分段进行有限差分,用 Mat lab 数学软件<sup>[7-9]</sup>,将活塞的运动微分方程编程,以  $10^{-4}$  秒为时间步长,对活塞的运行状态进行反复地试运算,并根据每次运算结果调整初始数据,然后重新运算,以得到比较合

理的参数。

计算时,根据模型及实际情况,做如下假设:

(1) 气动潜孔锤气室的初始压力视为气源压力,此时对应的另一气室的压力为排气压力(大气压力);

(2) 在冲程及回程的起始点处,活塞的初始速度均为零;

(3) 不计各种机械因素的影响;

(4) 活塞运行的膨胀和压缩阶段,由于是在极短的时间内进行的,可认为是绝热过程;

(5) 前后气室分别进、排气而达到工作气压或大气压力是在瞬间完成的。

正向冲击和反向冲击分别分 10 段和 8 段进行计算,初始数据为气源压力  $11 \times 101325$  Pa,活塞质量 14.2 kg,前气室活塞有效受力面积  $0.0034 \text{ m}^2$ ,后气室活塞有效受力面积  $0.0059 \text{ m}^2$ ,活塞小径端有效受力面积  $0.0025 \text{ m}^2$ 。经过多次重复计算,结合正向冲击和反向冲击的计算结果,在保留其他数据不变的情况下,对各段配气长度进行了调整,其中反向冲击时后气室的排气长度改为 150 mm。修正后的各气室配气长度比例见表 4。

表 4 修正后的配气长度比例

长度比	$k_1$	$k_2$	$k_3$	$k_4$	$k_5$	$k_6$	$k_7$	$k$
表达式	$a_1/S$	$a_2/S$	$a_3/S$	$a_4/S$	$a_5/S$	$a_6/S$	$a_7/S$	$S_s/S$
正向冲击	0.182	0.363	0.409	0.409	0.254	0.291	0.045	0.954
反向冲击	0.182	0.363	0.454	0.318	0	0.681	0	0.999

2.3 对比分析

双向气动冲击机构各段配气行程长度比例与普通无阀式气动潜孔锤配气行程长度比例的对比结果如图 3 所示,从图 3 中可以发现:

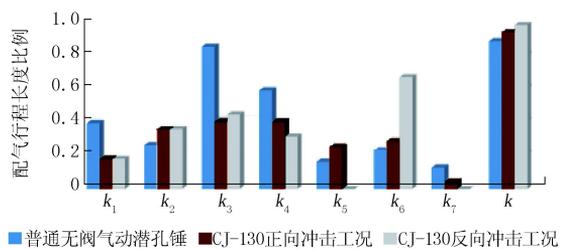


图 3 配气行程长度比例对比图

(1) 双向气动冲击机构在正向和反向冲击工作状态时,前气室进气行程、前气室排气行程及后气室进气行程的比例都较普通无阀气动潜孔锤相应配气行程长度比例小;

(2) 双向气动冲击机构正向冲击工况前气室及后气室的压缩(膨胀)行程长度比例都较普通无阀

气动潜孔锤相应配气行程长度比例大;

(3) 双向气动冲击机构反向冲击工况相比正向冲击工况前气室进气行程长度比例略大,后气室排气行程长度比例大幅增大;

(4) 双向气动冲击机构反向冲击工况后气室进气行程长度比例较正向冲击工况小。

上述(1)、(2)的情况主要是由于双向气动潜孔锤为了成功实现反向冲击,需要适当减小前、后气室的进气及排气行程,同时相应增大压缩(膨胀)行程,从而使得配气比例能够通过结构改变实现较大的调节范围。另外,双向气动潜孔锤反向冲击时,后气室的压缩(膨胀)行程及气垫长度均为零,其中一部分活塞行程转变为后气室的排气行程,同时也使活塞前行时,后气室的进气行程缩短,这也就是出现(3)、(4)所述情况的原因。双向气动冲击机构各段配气行程长度的设计比例可以参考表4的计算结果。

### 3 结语

双向气动冲击机构的配气行程与普通无阀型气动潜孔锤的配气行程存在较大差异,主要表现在反向冲击时后气室的排气行程大幅增长,减去了压缩

行程,同时前气室的排气行程相应增长。本文以CJ-130型双向气动潜孔锤的配气结构形式为例,研究了其双向冲击机构配气行程的设计方法,计算了各段配气行程长度与结构行程的比例关系,为该结构形式的双向气动潜孔锤的系列化提供了依据。同时为其他结构形式的双向气动潜孔锤设计提供了启示和参考。

### 参考文献:

- [1] 程良奎,范景伦,韩军. 岩土锚固[M]. 北京:中国建筑工业出版社,2003.
- [2] 彭视明,等. KCM130型可控气动冲击矛及附件的研制[J]. 建筑机械,2002,(7):40-42.
- [3] 苏冬九. CJ-130型双向气动潜孔锤的研制[D]. 湖南长沙:中南大学,2008.
- [4] 陈玉凡,朱祥. 钻孔机械设计[M]. 北京:机械工业出版社,1986.
- [5] 张国忠. 气动冲击设备及其设计[M]. 北京:机械工业出版社,1991.
- [6] Bender, Orszag. 高等应用数学方法[M]. 北京:科学出版社,1992.
- [7] 石博强,赵金. MATLAB数学计算与工程分析范例教程[M]. 北京:中国铁道出版社,2005.
- [8] 楼顺天,等. MATLAB程序设计语言[M]. 陕西西安:西安电子科技大学出版社,1997.
- [9] 熊青山,彭振斌,殷琨. 潜孔锤结构参数优化——遍历法[J]. 凿岩机械气动工具,2004,(2):42-45.

(上接第28页)



(a) 打捞上的钻头脱落合金



(b) 打捞上的孔底其它金属落物

图3 新型磁力打捞器打捞出的孔底落物实物

2011年4月,在山东蒙阴县进行供水井施工时,在下表层套管的过程中,不慎将下管卡瓦上的固

定销掉入井孔,及时运用新型磁力打捞器,配合泥浆清孔,一次下钻打捞成功。

### 5 结语

新型磁力打捞器集清孔与打捞功能于一体,具有加工工艺简单,操作方便,打捞效率高、成本低的特点,具有广阔的应用前景。

### 参考文献:

- [1] 邓昌松,练章华,郑建翔,等. 九龙山某井气体钻井技术及事故处理实践[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2011,38(10):23-25.
- [2] 陈鑫发,牛建设. 空气潜孔锤钻进技术在豫西抗旱找水打井施工中的应用[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2011,38(10):37-39.
- [3] 李粤南. 深部孔段卡、埋钻事故防治对策的探讨[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2011,38(9):2-5.
- [4] 王建明. 一种提前预测孔内事故的新技术[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2010,37(8):10-12.
- [5] 庞志刚. 钻探凿井中常见问题的预防及处理[J]. 山西建筑,2012,38(13):99-101.
- [6] 刘家荣,王建华,王文斌,等. 气动潜孔锤钻进技术若干问题[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2010,37(5):40-44.