

冲击凿岩钎杆的瞬态动力学分析

周 晔, 张国樑

(中国地质大学(武汉)机电学院, 湖北 武汉 430074)

摘要:以 ANSYS 为平台,按照真实工作状态对凿岩钎杆进行了瞬态动力学分析,并对不同活塞形状下分析结果数据进行了比较,为冲击凿岩系统设计提供了理论依据。

关键词:凿岩钎杆;瞬态动力学;活塞;应力波

中图分类号:P634.4⁺2 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-7428(2006)09-0046-03

The Transient Dynamics Analysis of Impact Rock Drilling Rod/ZHOU Ye, ZHANG Guo-ju (China University of Geosciences, Wuhan Hubei 430074, China)

Abstract: According to the actual working situation, this article made a transient dynamics analysis to rock drilling rod on ANSYS platform, and made comparison with the result data on different piston shapes. So in this case, theory basis for the design of percussive rock drilling system is provided.

Key words: rock drilling rod; transient dynamics; piston; stress wave

机械冲击式凿岩时,活塞以一定的冲击末速度撞击钎尾,并将若干能量以应力波形式和一定的波速,由钎柄沿着钎杆向钎头方向传播。应力波的形状和大小,取决于活塞的结构和冲击末速度。起初,波是以压应力波的形式向前传播的;当压应力波到达钎头与炮眼底部接触面时,将随着接触面状况出现自由端反射和固定端反射两种状况。一般在进行钻凿极坚硬岩石数值模拟研究时,都假设为固定端反射情况。但实际凿岩时钎杆工作是介于自由端和固定端之间的。依此,凿岩机破碎岩石的能量传递可能有以下 3 种方式:

方式一:机体的轴推力,由钎套通过钎肩传给钎杆,钎子以固定轴推力 Q 被压在眼底,这时活塞以冲击末速度 V 冲击钎尾端面。

方式二:钎子离开眼底某一距离,活塞与钎子相互冲击。活塞冲击钎尾后,钎子自由运动直到与眼底接触破碎岩石。

方式三:由于机体从钎肩反冲,钎套未压在钎肩上,但在活塞冲击钎尾时,钎子位于眼底附近或触及眼底。

方式一是理想的工作方式,但在实际工作中由于凿岩机体的振动和钎子的弹跳,很难实现。凿岩机破碎的能量传递只能以方式二和方式三进行。当轴推力适宜时,活塞冲击次数的 70% 按照方式二进行,钎子此时距离眼底可达 13~15 mm,这时活塞冲

击钎子,钎子再冲击岩石,故能量传递效率低;活塞冲击次数的 30% 按照方式三进行,钎子此时距离眼底低于 2~3 mm,能量传递为一个阶段,即活塞→钎子→岩石,能量传递效率比方式二提高 40%~60%。实际凿岩中,方式二和方式三是相互转化、交替进行的。

根据以上的分析,结合 ANSYS 有限元软件进行冲击凿岩钎杆一次破岩瞬态动力学数值模拟,通过计算,得到较为真实的钎杆任一点受力和位移历程。

1 瞬态动力学分析

1.1 载荷步分解

在 ANSYS 瞬态分析过程中,首先要对钎杆瞬态工作载荷步进行分解,按照前面的分析,分解如下:

(1) 钎杆处于自由状态,此时凿岩机活塞还未冲击钎尾;

(2) 活塞冲击钎尾,此时将活塞凿入力波施加到钎尾上;

(3) 钎子离开凿岩机体,自由运动到炮孔眼底;

(4) 钎头接触到眼底,破碎岩石。

以上载荷步是按方式二来进行分解的,应当说明,若按方式三,则省略第三步。

1.2 基本参数和工作参数

按照钎杆材料,其力学特性参数为:弹性模量 $E = 2.07 \times 10^5$ MPa,泊松比 $\mu = 0.3$,密度 $\rho = 7.8 \times$

收稿日期:2006-02-12

作者简介:周晔(1972-),男(汉族),湖北武汉人,中国地质大学(武汉)教师,地质工程专业,博士,湖北省田野企业博士后科研工作站在职博士后,研究方向为凿岩机械 CAD/CAE,湖北省武汉市关山学府佳园 1-2-3-101(430072),yezhou72@sohu.com。

10^{-9} t/mm^3 , 钎杆横截面为圆形, 外直径为 38 mm, 水孔直径为 12 mm, 钎杆长度为 2000 mm。

在杆内, 音速为 $a = \sqrt{E/\rho} = 5.1417 \times 10^6 \text{ mm/s}$, 因此, 应力波在杆内的传播时间为 $t = 2000/5141700 = 0.00038 \text{ s}$ 。所以, 计算中的时间步长必须小于该时间, 为了获得物体内部运动的加速度, 时间步长应当小于该时间的 1/20, 取 0.00001 s。

在加载前需要了解凿岩机的凿入力波形, 凿入力波形同凿岩机活塞形状有关, 图 1 是双圆柱空心头部活塞和单圆柱活塞凿入力波形(为便于对比, 设两种波形一次凿入所传递的能量相同)。

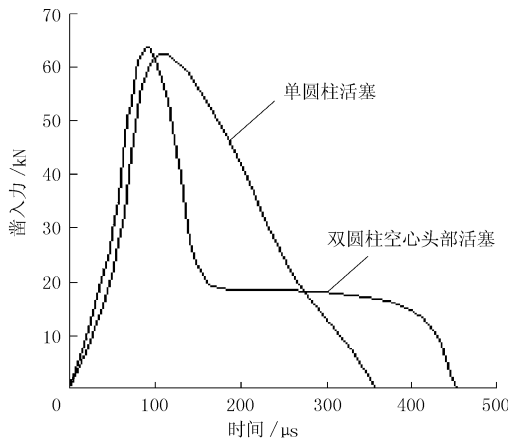


图 1 双圆柱空心头部活塞和单圆柱活塞凿入力波形图

根据基本参数和工作参数, 载荷步时间分配为: 第一步 0 ~ 0.00005 s, 第二步 0.00005 ~ 0.00045 s (此步依据凿入力波形得到, 并在此步中再分解为三步加载), 第三步 0.00045 ~ 0.0005 s, 第四步 0.0005 ~ 0.0009 s。

2 分析结果

在 ANSYS 中对该钎杆进行瞬态动力分析后, 分别取钎杆尾部、中部和头部进行波形对比(时间在 0 ~ 0.001 s 之间), 结果见图 2 ~ 11。

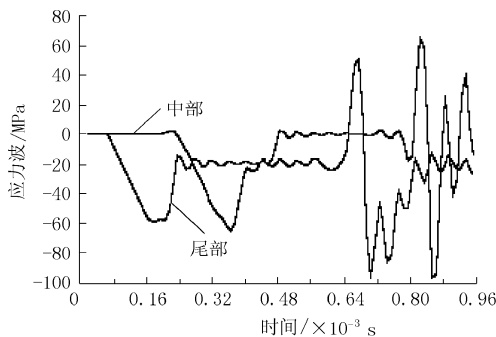


图 2 双圆柱空心头部活塞冲击后钎杆尾部和中部轴向(Z向)应力波时间历程

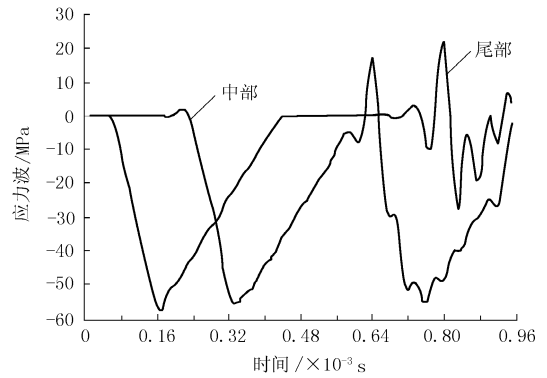


图 3 单圆柱活塞冲击后钎杆尾部和中部轴向(Z向)应力波时间历程

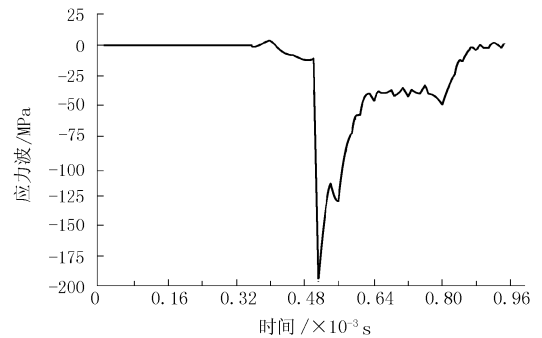


图 4 双圆柱空心头部活塞冲击后钎杆头部(Z向)应力波时间历程

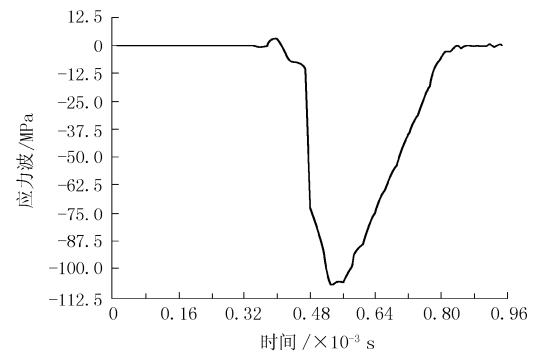


图 5 单圆柱活塞冲击后钎杆头部(Z向)应力波时间历程

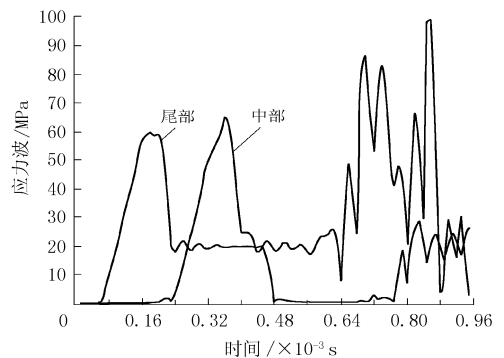


图 6 双圆柱空心头部活塞冲击后钎杆尾部和中部 Von miles 应力波时间历程

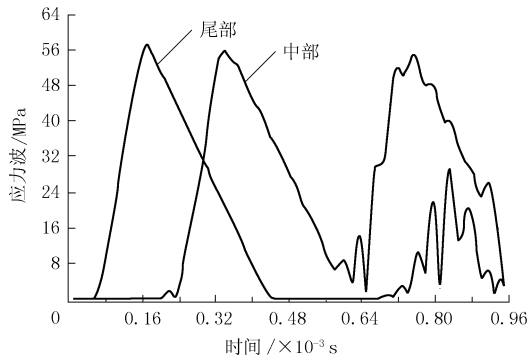


图7 单圆柱活塞冲击后钎杆尾部和中部 Von miles 应力波时间历程

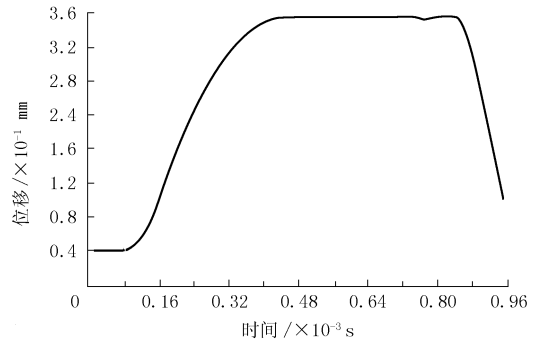


图11 单圆柱活塞冲击后钎杆尾部 Z 向位移时间历程

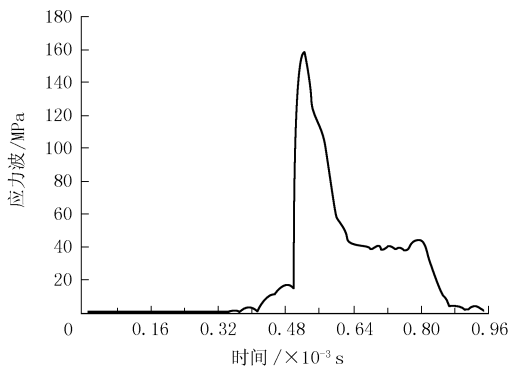


图8 双圆柱空心头部活塞冲击后钎杆头部 Von miles 应力波时间历程

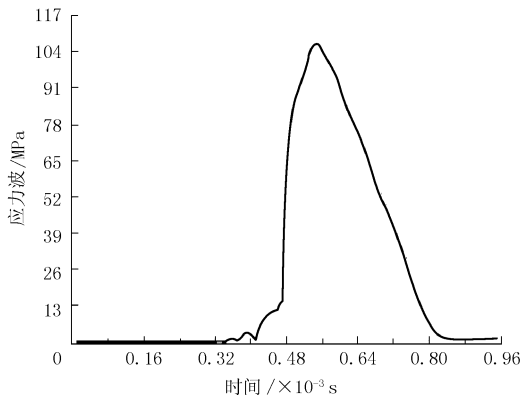


图9 单圆柱活塞冲击后钎杆头部 Von miles 应力波时间历程

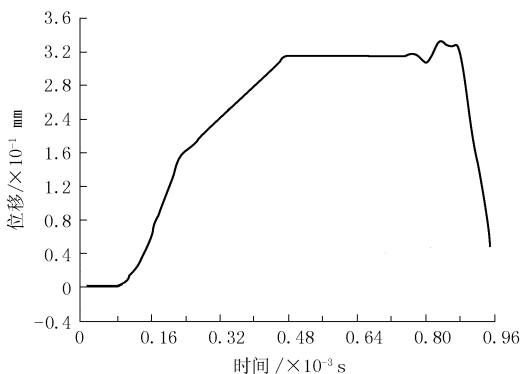


图10 双圆柱空心头部活塞冲击后钎杆尾部 Z 向位移时间历程

3 结论和意义

(1) 钎杆工作时在轴向上承受的是单向不对称压缩应力,同时,由于岩石软硬和应力波反射条件的变化,钎杆也将承受轴向拉伸应力,但数值小于压缩应力数值;

(2) 双圆柱空心头部活塞和单圆柱活塞冲击钎杆,尽管二者一次冲击能量相同,但由于单圆柱活塞较双圆柱空心头部活塞凿入力波形缓和,同一部位 Z 向应力和 Von miles 应力都要更小一些,可见,凿岩机活塞形状对钎杆的受力状态有很大影响,通过改进活塞形状减小凿入力峰值并延缓凿入力波形可大大改善钎杆服役条件;

(3) 应力波在 2 m 长的钎杆中来回传播一次需要时间为 0.0008 s 左右,如果凿岩机冲击频率为 50 Hz,那么,在一次冲击周期内应力波将在钎杆中传递约 25 次,并不断衰减(图中未画出 0.001 s 后钎杆波形),直到下一次冲击开始。

本文与文献[1]中湘潭工学院刘德顺等用模拟程序 MSIS (Microcomputer Simulation of Impact System). EXE 得到的结果数据吻合得较好,利用 ANSYS 进行瞬态分析是了解冲击凿岩钎杆受力状态的重要途径,其分析结果为冲击凿岩系统设计及有效地预测钎杆寿命提供了理论依据。

参考文献:

- [1] 刘德顺,李夕兵. 冲击机械系统动力学[M]. 北京:科学出版社,1999.
- [2] 张国樾,等. 凿岩钎具的设计、制造和选用[M]. 长沙:湖南科学技术出版社,1986.
- [3] 刘宗平. 冲击凿岩工具及其理论基础[M]. 北京:地质出版社,1987.