

DOI:10.3969/j.issn.1001-4551.2013.11.005

# 基于 ADAMS 的单、双轴颚式破碎机性能研究

张 宪, 李文昊, 赵章风, 钟 江

(浙江工业大学 特种装备制造与先进加工技术教育部重点实验室, 浙江 杭州 310014)

**摘要:**针对传统复摆颚式破碎机存在的破碎效率低、破碎物料不均匀等缺点,介绍了一种新型双轴复摆颚式破碎机。在运动学仿真软件 ADAMS 环境下,分别对传统单轴复摆颚式破碎机和新型双轴复摆颚式破碎机的几何模型进行了适当的简化,建立了曲柄摇杆机构和六杆机构的两种复摆颚式破碎机的虚拟样机模型。从行程特征值、最小传动角以及进料口、出料口在水平方向的速度、加速度这3个方面进行了主要的仿真研究。在此基础上,结合实物设计实验,试验结果验证了仿真分析的准确性。仿真结果表明,在这3个方面新设计的双轴复摆颚式破碎机的运动性能更优于普通的单轴复摆颚式破碎机。研究结果对高效、低耗颚式破碎机的设计研发具有一定的参考价值,有较强的实用性。

**关键词:**双轴颚式破碎机;ADAMS;运动学仿真;行程特征值;最小传动角

中图分类号:TH122;TD451

文献标志码:A

文章编号:1001-4551(2013)11-1317-06

## Performance study of single and double shafts jaw crushers based on ADAMS

ZHANG Xian, LI Wen-hao, ZHAO Zhang-feng, ZHONG Jiang

(Key Laboratory of Special Purpose Equipment and Advanced Processing Technology, Ministry of Education, Zhejiang University of Technology, Hangzhou 310014, China)

**Abstract:** Aiming at the low efficiency, uneven crushing materials and other shortcomings in the traditional compound pendulum jaw crusher, a new double shafts compound pendulum jaw crusher was introduced. Geometric models of traditional and new double shafts compound pendulum jaw crusher were simplified properly based on dynamical analysis software of ADAMS, and crank-rocker mechanism and six institutions mechanism of virtual prototype model were established. Stroke characteristic value, minimum transmission angle and the variation features of velocity and acceleration in horizontal of the inlet and outlet of the crushing cavity were mainly studied. Then, experiments were done and the accuracy of the simulation analysis was verified. The results indicate that the double shafts jaw crusher is better than the single shaft jaw crusher in the stroke characteristic value, minimum transmission angle and the variation features of velocity and acceleration in horizontal of the inlet and outlet of the crushing cavity. As a result, the conclusions have some practical and reference value to design efficient and low consumption jaw crushers.

**Key words:** double shafts jaw crusher; ADAMS; kinematics analysis; stroke characteristic value; minimum transmission angle

## 0 引 言

近年来,由于全球矿产贫化、能源问题日趋严重,对作为初碎设备的颚式破碎机提出了更高的要求。开

发出效率高、物料粒度更小更均匀、运动性能更合理的破碎机很有必要<sup>[1]</sup>。目前,国内外针对新型颚式破碎机的研究很少,北京矿冶研究院总院饶绮麟<sup>[2]</sup>研制的 PEWA90120 新型外动颚低矮破碎机与传统颚式破碎

收稿日期:2013-06-06

作者简介:张 宪(1954-),男,山东临邑人,教授级高级工程师,硕士生导师,主要从事先进制造技术与装备研究方面的研究. E-mail:xianzh168@126.com

机相比,它的动颚与定颚位置正好相反,生产能力比传统颚式破碎机提高 20% 以上,喂料高度比传统机型低 25% ~ 30%,从而节省安装空间;伊朗的 A. Refahi 等人<sup>[3]</sup>利用离散元的方法,用 PFC 3D 软件模拟了单颗粒(球形和立方体)岩石在实验室颚式破碎机中破碎的过程。他们以颗粒的集合体作为研究所用的岩石模型,研究了它的破碎机理。Sajjan K S 等人<sup>[4]</sup>利用矩阵法对双辊式破碎机破碎过程进行分析,建立描述破碎机破碎过程的模型,对整个破碎过程进行了优化。

本研究针对新型双轴颚式破碎机,首先利用 Pro/E 软件分别建立单、双轴颚式破碎机的三维模型,然后导入到 ADAMS 软件中,分别对单、双轴颚式破碎机进行运动学仿真分析。通过对行程特征值<sup>[5]</sup>、最小传动角<sup>[6]</sup>以及进料口、出料口在水平方向的速度、加速度<sup>[7]</sup>这几个方面进行仿真分析,证实双轴颚式破碎机的运动性能更优于普通的单轴颚式破碎机,最后通过实际的试验验证仿真的准确性。

## 1 颚式破碎机的工作原理

### 1.1 传统复摆颚式破碎机的工作原理

传统复摆颚式破碎机的组成及机构运动简图如图 1 所示。工作时,电动机驱动偏心轴 11(杆 AB)做平面圆周运动,带动动颚 5(杆 BC)、动颚板 6(杆 EF)以及推力板 4(杆 CD)做平面运动。

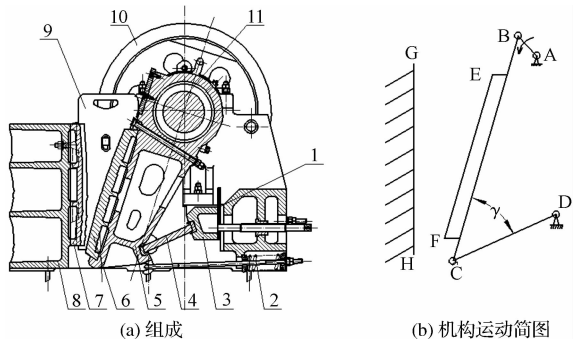


图 1 传统复摆颚式破碎机的组成及机构运动简图

1—铁楔;2—弹簧拉杆;3—调整座;4—推力板;5—动颚;  
6—动颚板;7—固定颚板;8—机架;9—边护板;10—飞轮;  
11—偏心轴

当杆 EF 上升时,杆 CD 与杆 BC 之间夹角( $\gamma$ )变大,推动杆 EF 与杆 GH(固定颚板 7)接近,即两颚板对物料挤压、破碎;当杆 EF 下行时,杆 CD 与杆 BC 夹角变小,即动颚板(杆 EF)与固定颚板(杆 GH)间的开口增大,破碎后的料块由底部排出<sup>[8]</sup>。

但由于推力板(CD)在整个过程中转动的角度很小,从而使得动颚板(EF)在水平方向上的位移很小,

这样得到的物料粒度就会比较大,而且不均匀。同时推力板与动颚夹角始终为正倾角,这样动颚板的磨损会比较厉害,现在国外都是通过将这个夹角改为负倾角<sup>[9]</sup>来减小磨损。

### 1.2 新型双轴复摆颚式破碎机的工作原理

新型双轴复摆颚式破碎机的组成及机构运动简图如图 2 所示。跟传统的复摆颚式破碎机相比,新型双轴复摆颚式破碎机主要是多了一根后动颚偏心轴 8、一个后动颚 7、一条长肘板 10 和一对齿轮。工作时,电机带动前动颚偏心轴 5(杆 AB)做平面圆周运动,控制前动颚 4(杆 BC)、动颚板 3(杆 EF)以及长肘板 10(杆 CD)做平面运动,前动颚偏心轴通过齿轮带动后动颚偏心轴 9(杆 OM)反向转动控制后动颚 7(焊接件 MDN)和短肘板 11(杆 NP)做平面运动。所以,新型双轴颚式破碎机破碎物料的动颚板(杆 EF)的运动轨迹为四杆机构 ABCD 和四杆机构 OMNP 的叠加运动的结果。

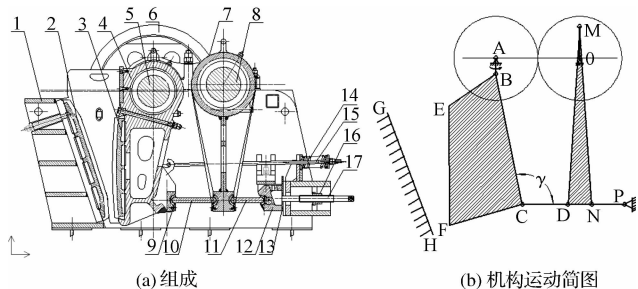


图 2 新型双轴复摆颚式破碎机的组成及机构运动简图

1—机架;2—定颚板;3—动颚板;4—前动颚;5—前动颚偏心轴;6—飞轮;7—后动颚;8—后动颚偏心轴;9—肘板垫;10—长肘板;11—短肘板;12—调整座;13—调整垫块;14—弹簧;15—拉杆;16—顶杆螺母;17—顶杆

当杆 EF 向下运动时,杆 AB 向下运动,此时杆 OM 带动焊接件 MDN 向上运动,杆 CD 与杆 BC 夹角( $\gamma$ )变小,推动杆 EF 与杆 GH(固定颚板 2)接近,两颚板对物料挤压、破碎物料;当杆 EF 向上运动时,杆 AB 向上运动,此时杆 OM 带动焊接件 MDN 向下运动,杆 CD 与杆 BC 之间的夹角增大,杆 EF 与杆 GH 间的开口增大,此时破碎机排料,破碎后的料块由底部排出。

## 2 颚式破碎机仿真模型的建立

### 2.1 几何模型的建立

颚式破碎机主要由机架、偏心轴、飞轮、动颚、肘板、肘板垫、肘板后座、调隙螺杆、复位弹簧、固定颚板和活动颚板等组成。本研究采用的是 PEX-250 × 1 200 型单轴复摆颚式破碎机和 SPEX\_2512 型双轴复

摆颚式破碎机,在 Pro/E 软件中建立三维模型,保存为 Parasolid 格式的文件,然后导入到 ADAMS 软件中。

在进行运动学分析时,只考虑与运动有关的因素,而与构件的具体形状无关<sup>[10]</sup>。因此,本研究在仿真分析中,对仿真对象做了简化。

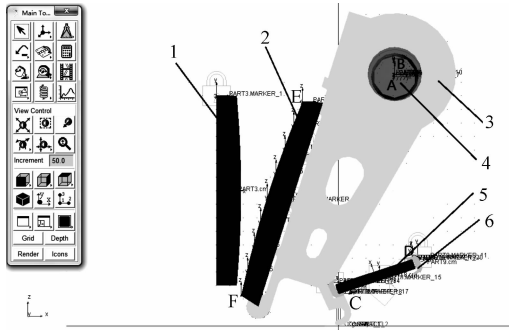


图 3 单轴复摆颚式破碎机仿真模型

构件 1—固定颚板;构件 2—颚板;构件 3—动颚;构件 4—偏心轴;构件 5—肘板;构件 6—肘板垫(2 个)

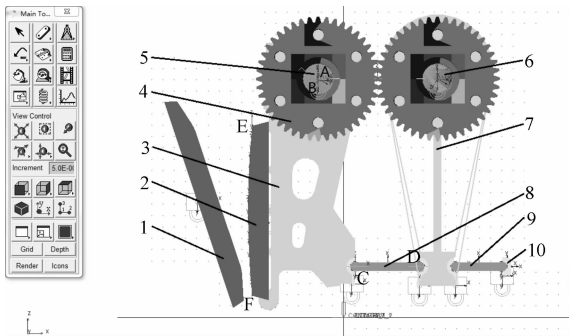


图 4 双轴复摆颚式破碎机仿真模型

构件 1—固定颚板;构件 2—动颚板;构件 3—前动颚;构件 4—一对齿轮;构件 5—前偏心轴;构件 6—后偏心轴;构件 7—后动颚;构件 8—长肘板;构件 9—短肘板;构件 10—肘板垫(4 个)

单轴复摆颚式破碎机仿真模型如图 3 所示。双轴复摆颚式破碎机仿真模型如图 4 所示。

### 2.2 施加运动副间的约束和驱动

在分析计算单、双轴颚式破碎机的运动学之前必须对模型施加约束和驱动,本研究在单轴模型中使用了 4 个转动副,分别为偏心轴和机架、偏心轴和动颚、动颚和肘板、肘板和机架,其中定颚、肘板基部以及偏心轴中心与大地固连,在偏心轴上施加驱动电机<sup>[11-12]</sup>。在双轴模型中使用了 8 个转动副,分别为前偏心轴和机架、前偏心轴和前动颚、后偏心轴和机架、后偏心轴和后动颚、前动颚和长肘板、长肘板和后动颚、后动颚和短肘板、短肘板和机架,其中定颚、短肘板基部以及前、后偏心轴中心与大地固连,前、后偏心轴

通过齿轮副连在一起,在前偏心轴上施加驱动电机。

## 3 运动学仿真分析

### 3.1 行程特征值分析

颚式破碎机的行程特征值为垂直行程和水平行程的比值。如果从进料口到排料口破碎机的行程特征值  $m$  依次减小,那么破碎机的破碎效果就好、排料通畅,无过粉碎现象。

由:

$$m = H/S$$

式中: $S$ —水平行程, $H$ —垂直行程。

进行仿真分析,单、双轴颚式破碎机行程特征值  $m$  的变化趋势图如图 5 所示。

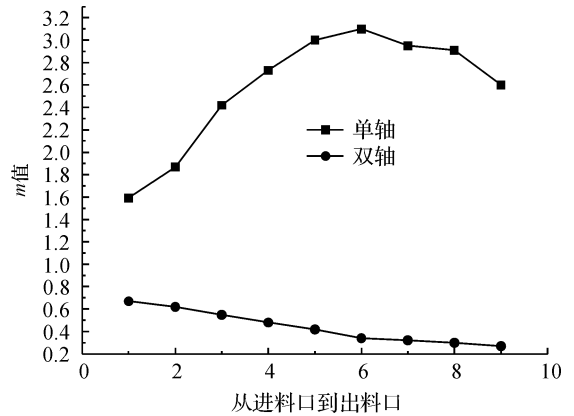


图 5 单、双轴破碎机  $m$  值变化趋势

从图 5 上可以看出,单轴破碎机的行程特征值  $m$  先增大后减小,且最小值大于 1,根据前面的理论知识知道这样是不利于破碎和排料的,所以单轴颚式破碎机的破碎效果比较差;对于双轴颚式破碎机,其行程特征值  $m$  逐渐减小,而且整体都小于 1,这说明破碎机动颚板的水平位移相对于其垂直位移要大得多,这有利于破碎过程,也有利于排料过程,破碎物料无过粉碎现象,破碎效果好,比较合理。

### 3.2 最小传动角分析

一般情况下,为保证机构传动良好,设计时通常应使压力角  $\alpha_{\max} \leq 50^\circ$ ,且传动功率越大,压力角值应越小。由于在曲柄摇杆机构中压力角不易测量,一般以测量其余角传动角  $\gamma$  来代替测量压力角,压力角最大即传动角最小(即  $\gamma_{\min} \geq 40^\circ$ ),本研究需测量最小传动角,来校核机构的动力特性。

通过仿真分析,单、双轴破碎机传动角如图 6 所示,由图 6 可知单轴颚式破碎机的最小传动角(见图 1  $\angle BCD$ )为  $46^\circ$ ,满足传动要求;双轴颚式破碎机的最小传动角(见图 2  $\angle BCD$ )为  $126^\circ$ (负倾角),这样相当

于最小传动角为 54°, 满足传动要求。

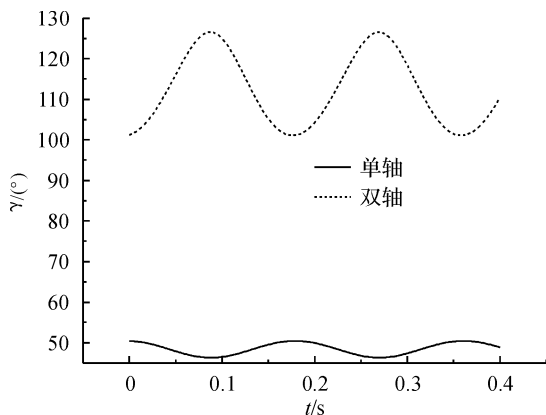


图 6 单、双轴破碎机传动角

### 3.3 进料、出料口在水平方向速度、加速度分析

根据破碎理论和经验,在破碎腔的上部一般为单颗粒破碎,在破碎腔的下部一般为多颗粒破碎,所以破碎腔上部破碎物料时,动颞板的速度和加速度理想方向应该相反,即采用挤压的方式破碎物料;破碎腔下部破碎物料时,动颞板的速度和加速度的方向以相同为宜,即采用碰撞的方式破碎物料。通过仿真,单、双轴颞式破碎机进料口(E点见图3和图4)、出料口(F点见图3和图4)在水平方向速度、加速度以及位移的曲线图分别如图7~10所示。

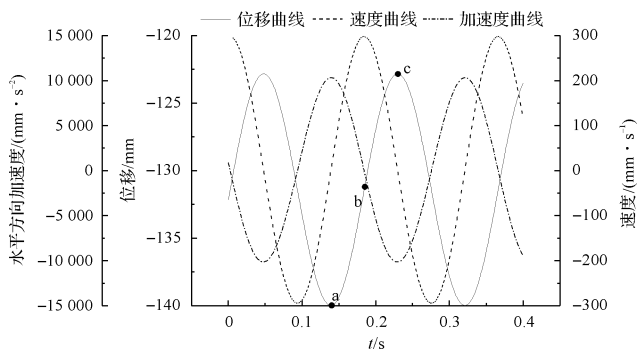


图 7 单轴 E 点水平方向位移、速度、加速度

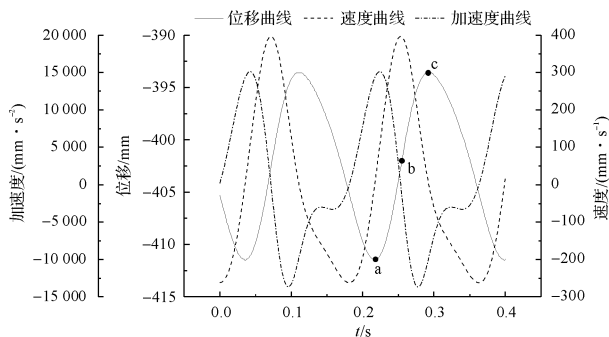


图 8 单轴 F 点水平方向位移、速度、加速度

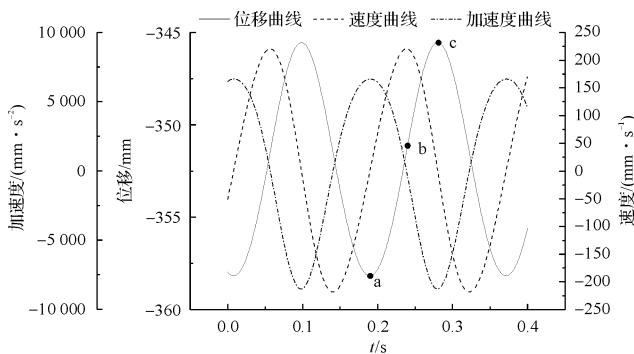


图 9 双轴 E 点水平方向位移、速度、加速度

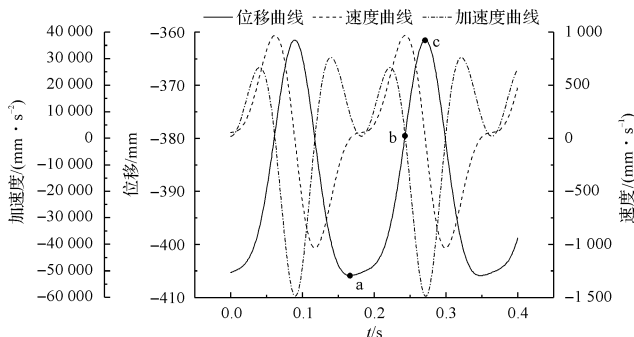


图 10 双轴 F 点水平方向位移、速度、加速度

图7~图10中,从a点到c点分别为两种破碎机进料口和出料口在其整个破碎周期的有效破碎阶段,可以看到不论对于那种破碎机从a点到b点,速度和加速度的方向都为正;而从b点到c点,速度方向都为正,加速度方向都为负,速度和加速度方向相反。但是根据上面的破碎经验和理论知道,在进料口处速度与加速度方向相反是有益的,而在出料口处速度与加速度方向相同是有益的。对于单轴破碎机,其进料口处的有益时间为46 ms,出料口的有益时间为48 ms;而对于双轴破碎机,其进料口处的有益时间为40 ms,出料口处的有益时间为77 ms。

### 3.4 仿真结果对比与分析

将所有仿真结果和数据汇总如表1所示。由表1中可以看出,单轴颞式破碎机的行程特征值从进料口到出料口是先增大后减小的,而且总体上都大于1,这对破碎机的排料是很不利的,同时,它的垂直位移都比较大(约30 mm左右),这样颞板的磨损就比较厉害,而水平位移又都比较小,这对岩石的破碎是不利的,直接影响破碎机的破碎效果;而双轴颞式破碎机的行程特征值从进料口到排料口逐渐减小,有利于排料,垂直位移保持在12 mm左右,这样磨损就会相对较小,水平位移都比较大,特别是出料口的位置,这样更容易得到满足工程要求的小石子(直径≤5 mm)。

表 1 仿真结果综合、对比

		单轴	双轴		
行程特征值 $m$ 的变化趋势		先增大后减小	一直减小		
最小传动角/(°)		46	54		
进料口水平方向上速度、加速度方向	a - b	相同	45 ms	相同	36 ms
	b - c	相反(有益)	46 ms	相反(有益)	40 ms
出料口水平方向上速度、加速度方向	a - b	相同(有益)	48 ms	相同(有益)	77 ms
	b - c	相反	42 ms	相反	27 ms

其次,单轴破碎机的最小传动角为  $46^\circ$ ,双轴的是  $54^\circ$ ,所以传力性能双轴优于单轴。

最后,在进、出料口水平方向速度、加速度的方向这一方面,根据基本的运动学知识知道,在破碎机破碎石块的过程中,随着动颚板位移的不断增大,其速度必然是先从零增大到最大然后再减小到零,在该过程中,加速度的方向与速度的方向必然是先相同后相反的,所以笔者选择从这两个方向相同和相反的时间(有益的时间)来比较两者,发现在进料口处单轴破碎机的有益时间多于双轴 6 ms,但是在出料口处,双轴破碎机的有益时间多于单轴 29 ms。对于任何破碎机来说,破碎腔上半部分的破碎效果对整机破碎效果的影响并不是那么明显,反而是破碎腔下半部分的破碎效果对于最终得到的物料的大小有决定性的作用,所以在这个方面,双轴颚式破碎机也要优于单轴颚式破碎机。

## 4 试验与结果

### 4.1 试验条件与方案

试验分别在 PEX-250 × 1 200 单轴复摆颚式破碎机和 SPEX\_2512 双轴复摆颚式破碎机上进行。这两种破碎机的外形如图 11、图 12 所示,试验基本参数如表 2 所示。



图 12 SPEX-2512 型双轴复摆颚式破碎机

表 2 试验基本参数

	单轴	双轴
偏心轴转速/( $r \cdot \min^{-1}$ )	330	330
排料口尺寸/mm	最小(5 ~ 50)	最小(5 ~ 50)
待破碎物料规格/mm	100 ~ 210	100 ~ 210
待破碎物料种类	青石	青石
待破碎物料总重/kg	500	500

### 4.2 试验数据与分析

试验时,两种破碎机均采用固定机座和常规齿板,原石喂料方式采用叉车装料送至料口人工喂料,成品送料方式采用人工送料。试验结果如表 3 所示。

表 3 试验结果

	单轴	双轴
破碎用时/s	269	52
$\geq 10$ mm 重量/占总重/(%)	226 45.2%	53 10.59%
5 mm ~ 10 mm 重量/占总重/(%)	122 24.4%	193 38.66%
$\leq 5$ mm 重量/占总重/(%)	152 30.4%	254 50.75%
每小时生产能力/t	6.69	34.55

从表 3 中的数据可以看出,双轴破碎机不论是在小石子占总成品的比例方面,还是在每小时的生产能力方面都要优于单轴破碎机,验证了理论分析和仿真分析的准确性。

## 5 结束语

从仿真结果和试验结果可以看出,在运动性能方

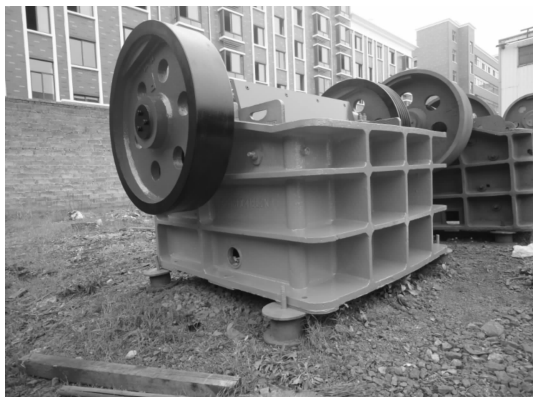


图 11 PEX-250 × 1 200 型单轴复摆颚式破碎机

面新型双轴颚式破碎机要明显地优于单轴颚式破碎机:①行程特征值从上到下依次减小,保证了破碎机破碎时排料通畅,物料无堵塞,无过粉碎,颚板磨损较小;②最小传动角大,传力性能好,破碎效果好,效率高;③出料口水平方向速度、加速度方向有益时间较长,较大程度地发挥出破碎机的破碎能力。因此,在基于虚拟样机技术的运动仿真的基础上,后续研究将重点对双轴颚式破碎机的结构参数进行进一步地优化,为设计出高性能的破碎机提供理论依据。

**参考文献 (References) :**

[1] 罗红萍. 双腔颚式破碎机运动学特性研究[J]. 矿山机械, 2006,34(1) :30-31.  
 [2] 张维斌. 复摆颚式破碎机的运动学和动力学分析及结构优化[D]. 沈阳:东北大学机械工程及自动化学院,2010.  
 [3] REFAHI A, MOHANDESI J A, REZAI B. Discrete element modeling for predicting breakage behavior and fracture energy of a single particle in a jaw crusher[J]. **International Journal of Mineral Processing**,2010,94(1-2) :83-91.  
 [4] SAJIAN K S, SATISH C S, GAUTAM K. Modeling of Parti-

cle breakage in a smooth double roll crusher[J]. **Int. J. Miner Process**,2009,90(1-4) :97-100.

[5] 王 玉. 基于虚拟样机技术的颚式破碎机工作装置的运动分析[J]. 矿山机械,2010,38(11) :78-80.  
 [6] 占鹏飞,蔡改贫,姜志宏. 基于 ADAMS 的倒悬挂细碎颚式破碎机的运动仿真分析[J]. 矿山机械,2012,40(11) :45-47.  
 [7] 李亚伟,亲志钰,荣幸福,等. 基于 ADAMS 的复摆颚式破碎机动颚速度和加速度的分析[J]. 机械管理开发,2011(4) :141-142.  
 [8] 王 玉,富国亮,边志坚. 基于 ADAMS 的颚式破碎机工作装置的运动分析[J]. 煤矿机械,2010,31(6) :89-90.  
 [9] FANG N. Tool-chip friction in machining with a large negative rake angle tool[J]. **Wear**,2005,258(5-6) :890-897.  
 [10] 李增刚. ADAMS 入门详解与实例[M]. 北京:国防工业出版社,2007.  
 [11] 王兴宇,乔 欣. 基于 ADAMS 的冲床主机机构参数化分析研究[J]. 轻工机械,2012,30(6) :32-35.  
 [12] 王国强. 虚拟样机技术及其在 ADAMS 上的实践[M]. 西安:西北工业大学出版社,2002.

[编辑:张 翔]

(上接第 1300 页)

**参考文献 (References) :**

[1] 丁 康,李巍华,朱小勇. 齿轮及齿轮箱故障诊断实用技术[M]. 北京:机械工业出版社,2005.  
 [2] 王延春,谢 明,丁 康. 包络分析方法及其在齿轮故障诊断中的应用[J]. 重庆大学学报,1995,18(1) :87-91.  
 [3] LU Yi, HU Xiao-feng, ZHENG Yong-jun. Instrument for Bearing Fault Diagnosis Based on Demodulated Resonance Technology[C]// Sixth International Symposium on Precision Engineering Measurements and Instrumentation, Hangzhou; [s. n. ], 2010:75445E1-75445E6.  
 [4] 王 聪. 基于 Hilbert 解调及倒谱的齿轮箱点蚀故障诊断研究[J]. 电力科学与工程,2011,27(3) :36-40.  
 [5] 吴亚辉,陈东海,冷军发. 基于小波包与 Hilbert 解调的矿用齿轮箱故障诊断[J]. 机械传动,2009,33(2) :61-64.  
 [6] 叶红仙,项文娟,刘仲宇,等. 基于小波包 ICA 的齿轮箱信号分离系统[J]. 机电工程,2008,25(4) :4-7.

[7] 贺文杰,陈汉新,鲁艳军,等. 基于 EMD 和 FFT 的齿轮箱故障诊断[J]. 武汉工程大学学报,2011,32(1) :65-70.  
 [8] FAN Xiao-feng, ZUO Ming. Gearbox fault detection using Hilbert and wavelet packet transform[J]. **Mechanical Systems & Signal Processing**,2006,20(4) :966-982.  
 [9] 程军圣,于德介,杨 宇,等. 基于 EMD 的齿轮故障识别研究[J]. 电子与信息学报,2004,2(5) :825-829.  
 [10] 尤丽萍,房 颖. 基于小波变换的多聚焦图像算法研究[J]. 机电技术,2011(3) :36-39.  
 [11] 徐英帅,王细洋,孙 伟. 基于小波变换的齿轮箱故障诊断[J]. 组合机床与自动化加工技术,2012(2) :66-67.  
 [12] BOUDRAA A O, CEXUS J C. EMD-based signal filtering [J]. **IEEE Transaction Instrumentation and Measurement**,2007,56(6) :2196-2202.  
 [13] 林 丽,余 轮. 基于相关系数的 EMD 改进算法[J]. 计算机数字工程,2008,12(36) :28-30.

[编辑:罗向阳]

**本文引用格式:**

张 宪,李文昊,赵章凤,等. 基于 ADAMS 的单、双轴颚式破碎机性能研究[J]. 机电工程,2013,30(11) :1317 - 1322.

ZHANG Xian, LI Wen-hao, ZHAO Zhang-feng, et al. Performance study of single and double shafts jaw crushers based on ADAMS[J]. Journal of Mechanical & Electrical Engineering, 2013,30(11) :1317 - 1322.  
 《机电工程》杂志: <http://www.meem.com.cn>