

## 基于 RecurDyn 的斗轮取料机铲斗工作过程仿真

焦志勇, 段玉如, 杨春宏, 殷国松  
(天津科技大学机械工程学院, 天津 300222)

**摘要:** 根据离散单元法将物料简化成为三维圆形颗粒模型, 运用多体动力学软件 RecurDyn 对斗轮取料机铲斗在三维圆形物料模型下的工作过程进行模拟仿真, 分析在工作过程中铲斗的动态应力应变, 确定铲斗的危险点及此时的相关数据, 获得平均单位切割阻力数据. 结果表明, 仿真与经验数据相符, 可为今后斗轮取料机铲斗的设计提供参考.

**关键词:** 斗轮; 仿真; 危险点; 切割阻力

**中图分类号:** TH243      **文献标志码:** A      **文章编号:** 1672-6510(2011)05-0044-03

## Simulation of Bucket Working Process of the Bucket-Wheel Reclaimer Based on RecurDyn

JIAO Zhi-yong, DUAN Yu-ru, YANG Chun-hong, YIN Guo-song

(College of Mechanical Engineering, Tianjin University of Science & Technology, Tianjin 300222, China)

**Abstract:** According to the distinct element method, the working material was turned into three-dimensional sphere model. By using the multi-body dynamics software RecurDyn to simulate the bucket working process of the bucket wheel reclaimer under the three-dimensional sphere working material model, the dynamic stress and strain of the bucket were analyzed. The dangerous points were found out and its relevant data was gained, the average unit cutting resistant force was also got. Results show that simulation data accord with experience, this simulation method can be used for the further design of the bucket.

**Keywords:** bucket wheel; simulation; dangerous point; cutting resistant force

斗轮取料机归类于斗轮堆取料机, 是一种新型高效率的装卸设备, 主要用于大型货场的散料装卸, 如对堆放的砂石、矿石、焦炭、食盐等物料进行挖取, 其参数设计和结构设计借鉴了斗轮挖掘机<sup>[1]</sup>.

铲斗是斗轮取料机关键的工作机构部件, 铲斗的结构和材料性能关系到整个斗轮取料机能否正常工作<sup>[2]</sup>. 由于斗轮取料机铲斗在工作过程中的受力比较复杂, 既有切割物料的阻力, 又有物料塌落的冲击阻力等, 准确地计算铲斗在工作过程中的受力成为难题, 一直没有一套严格的理论计算方法用于斗轮的设计. 以往为了获得斗轮挖掘力的相关信息, 一般是用斗轮挖掘机的模型或变形斗轮结构进行实验. 随着传感技术与信号采集技术的不断发展, 目前多数情况下是采用等比例缩小的实验室模型或现场测试的方

法来获取可靠数据, 以作为斗轮初步设计的依据<sup>[3-5]</sup>, 这样不仅成本高, 而且设计周期长.

RecurDyn 是韩国的 FunctionBay 公司基于相对坐标系建模和递归求解并充分利用最新的多体动力学理论开发的一款多体动力学软件, 非常适合大规模的多体动力学问题<sup>[6]</sup>, 不但可以解决传统的运动学与动力学问题, 同时也可以解决工程中机构接触碰撞的问题. 本文利用其刚柔混合系统仿真功能, 对铲斗工作过程进行仿真, 获得铲斗工作过程中的最大危险点的受力曲线以及铲斗的动态应力应变等重要数据信息, 为铲斗的设计提供相关依据, 以缩短设计周期和降低成本.

当悬臂架处于水平位置时, 斗轮的切割阻力对整机的影响最大, 因此本文以模拟斗轮取料机悬臂架

处于水平位置时的斗轮取料工况为例,对其进行计算机建模仿真.图1为仿真流程图.

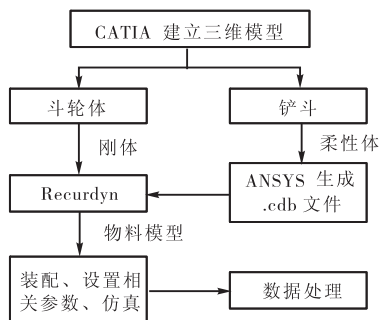


图1 仿真流程图

Fig.1 Flowchart of the simulation

## 1 物料模型简化

离散单元法是由Cundall于1971年提出来的,其基本理论是应用牛顿运动定律和本构方程求解块体之间的作用力,接触应力可直接由接触力和接触面积计算,该法适用于研究在准静力或动力条件下块体集合、颗粒介质的力学问题<sup>[7]</sup>.

斗轮取料机的工作介质主要为散粒物料,而散粒物料中的颗粒是互相独立的,它们之间通过接触点相互作用,是众多颗粒的集合,可以被看作是一个块体集合.因此,可根据离散单元法中物料简化的方法,对斗轮取料机挖取匀质干燥碎石时的碎石物料进行简化.取其堆积密度为 $1.5\text{ t/m}^3$ ,堆积角为 $45^\circ$ ,对铲斗的摩擦因数为0.7,将其简化成三维圆形颗粒的集合,如图2所示.

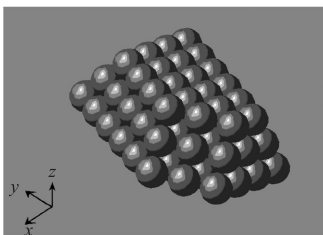


图2 物料模型

Fig.2 Model of working material

## 2 工作机构模型的建立

在斗轮工作过程中斗轮体的变形很小,而铲斗的受力及变形明显,因此,将斗轮体当作刚体,铲斗视

为柔性体处理.本文以某型斗轮取料机的斗轮工作装置为建模基础,在CATIA中分别建立斗轮体和铲斗的三维模型,斗轮体的模型可直接导入RecurDyn中,而铲斗的模型需进行网格划分后生成柔性体文件后再导入RecurDyn中,图3为铲斗在RecurDyn中的柔性体模型.

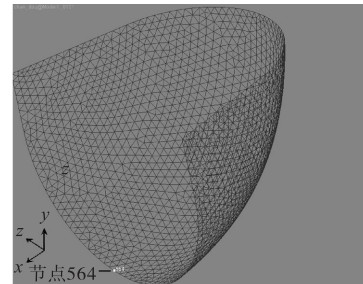


图3 柔性铲斗模型

Fig.3 Flexible model of the bucket

为了与刚体斗轮体连接,需在柔性体铲斗中建立FDR单元,并对各个部件进行装配.考虑到在实际挖取物料时未被挖取的物料对被挖取物料的阻力,在物料模型3个方向施加挡板约束以模仿其阻力,圆形物料与圆形物料、圆形物料与铲斗、圆形物料与挡板之间分别施加相应的接触.对于接触参数的设置,首先设定一个初始值,然后根据实验结果不断对其进行修正,直至仿真结果符合设计要求.图4为仿真装配模型.

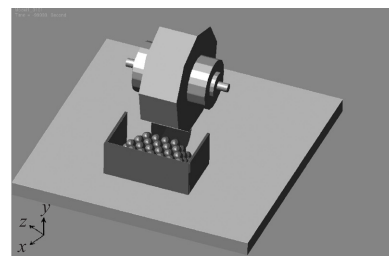


图4 仿真装配模型

Fig.4 Assemble model of simulation

斗轮既有绕整车回转中心的旋转 $n_1$ ,又有绕驱动滚筒中心的自转 $n_2$ ,因此需创建两个旋转副,并施加速度驱动,如图5所示,根据斗轮取料机的工作要求有

$$n_1 = n_0 / \cos \theta \quad (1)$$

式中, $n_0$ 为回摆角度 $\theta = 0^\circ$ 时的回摆速度.根据该型取料机的实际工作情况,取 $n_0 = 0.2\text{ r/min}$ , $n_2 = 2.88\text{ r/min}$ .

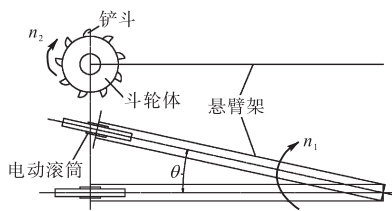


图5 工作机构简图

Fig.5 Schematic of working mechanism

### 3 仿真分析

根据斗轮转速以及物料模型尺寸,取仿真时间为 0.1 s,进行仿真. 仿真结束后,可观察斗轮铲斗在整个工作过程中的动态应力应变. 从仿真结果可以看出,斗轮的最大应力点发生 564 节点处,其位置如图 3 所示,且最大应力  $\sigma_{max}$  为 70 MPa,小于材料(Q235A)的屈服强度 235 MPa,符合斗轮的强度要求. 图 6、图 7 分别为铲斗的动态应力、应变云图.

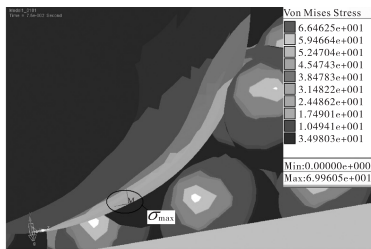


图6 铲斗动态应力云图

Fig.6 Dynamic stress contour of the bucket

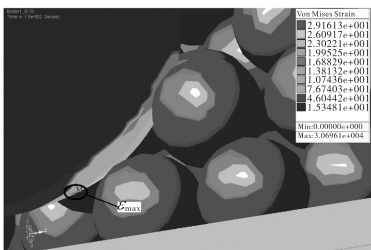


图7 铲斗动态应变云图

Fig.7 Dynamic strain contour of the bucket

利用 RecurDyn,还可以观察铲斗的动态应变变形以及斗轮各接触点在整个工作过程中的受力情况,可以对一些关键接触点的受力曲线进行数学计算和后处理,以得到在斗轮设计优化时所需的数据.

图 8 为节点 564 在最大应力出现时候的受力曲线图. 最大应力点的最大受力  $F = 1380\text{ N}$ ,由于此次圆形颗粒物料的直径为 80 mm,则取铲斗相邻两受力点的距离  $L = 80\text{ mm}$ ,则单位切割阻力为

$$f_L = \frac{F}{L} = \frac{1380}{8} = 172.5\text{ N/cm} \quad (2)$$

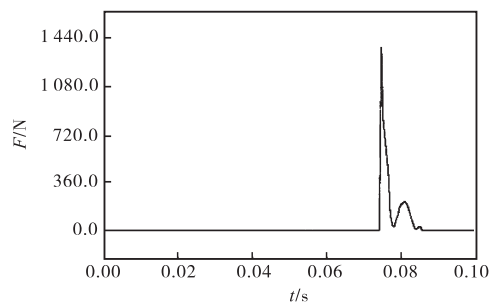


图8 最大应力点受力曲线

Fig.8 Force curve of the biggest stress point

通过对仿真过程的观察,在应力最大点出现的时刻,铲斗刀刃上还有 5 个点也参与了物料的切割,其位置简图如图 9 所示.

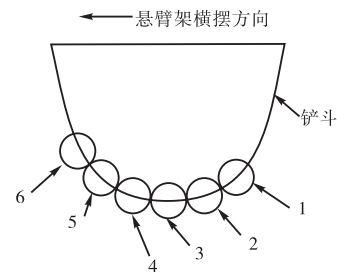


图9 切割位置简图

Fig.9 Schematic of cutting position

上述各点也相应地受到切割阻力,同理可求出各点的单位切割阻力,如图 10 所示. 铲斗刀刃不同位置的单位切割阻力是不同的,图中位置 5 的单位切割阻力最大,其两侧的单位切割阻力不同程度的减小.

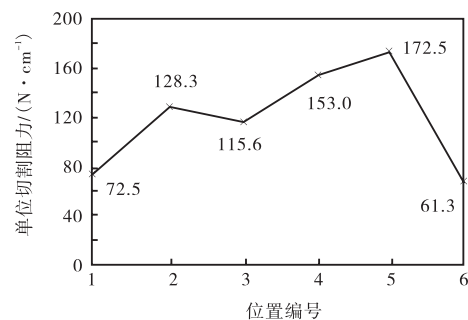


图10 不同位置单位切割阻力曲线

Fig.10 Unit cutting resistant force in different points

根据仿真所得的铲斗动态应力、应变云图,并结合实际的挖掘情况可知,位置 1 和位置 6 处的物料大多来自由其他位置切割后的移动物料,并没有直接参与物料的切割,其切割阻力偏小,则分别取位置 1—位置 6 的权重系数为 0.1、0.2、0.2、0.2、0.2、0.1,按式(3)对上述各点的单位切割阻力求加权平均值.

(下转第 60 页)