

# 铁路除沙车集沙铲集沙过程有限元模拟研究

吴文江<sup>1</sup>, 李晨阳<sup>2</sup>, 赵晓孟<sup>2</sup>

(1. 石家庄铁道大学 工程训练中心, 河北 石家庄 050043;

2. 石家庄铁道大学 机械工程学院, 河北 石家庄 050043)

**摘要:**铁路除沙车是课题组研发的用于沙漠地区铁道线路除沙的专用设备, 集沙装置是铁路除沙车的重要组成部分, 在进行集沙工作时, 集沙装置的集沙铲承受了较大的阻力。为了研究集沙铲工作时的受力情况和功耗情况, 根据集沙铲和积沙的各自特点, 建立了沙土模型、积沙结构模型和集沙铲模型, 对集沙铲切割积沙的过程进行了有限元动力学分析。由仿真结果可知, 集沙铲在旋转速度 300 r/min, 进给速度 3 km/h 的额定工况下, 其最大应力为 71.45 MPa, 最大切割阻力为 6 500 N, 最大切割功耗在 14~18.5 kW 之间, 集沙铲叶片下边缘和外侧边角处存在应力集中。研究结果为铁路除沙车集沙铲结构的优化和驱动马达的选型提供了理论依据。

**关键词:**集沙铲; 积沙; 切割; 有限元法; 动力学分析

**中图分类号:**TH238 **文献标志码:**A **文章编号:**2095-0373(2017)02-0068-05

## 0 引言

铁路除沙车是沙漠地区用于清除铁道线路积沙的专用养护设备, 课题组研制的铁路除沙车整车结构如图 1 所示。除沙系统是铁路除沙车的重要组成部分, 集沙铲是其主要部件, 集沙铲的结构如图 2 所示, 由主轴和集沙叶片组成。主轴带动集沙叶片旋转, 集沙叶片收集沙子, 并将沙子输送到后部的排沙机构, 由排沙机构将沙子输送到轨道两侧。在集沙过程中, 集沙铲连续切割积沙并向排沙机构推送沙子, 因而受到持续和交变的阻力作用, 此外集沙铲的结构也是影响其受力的重要因素, 因此对其受力和功耗情况进行分析, 对于进一步优化集沙铲的结构, 更好的匹配驱动马达, 具有重要的研究意义<sup>[1]</sup>。

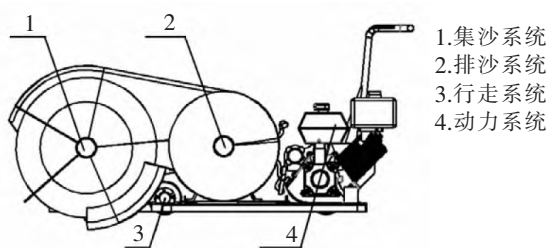


图1 铁路除沙车结构示意图

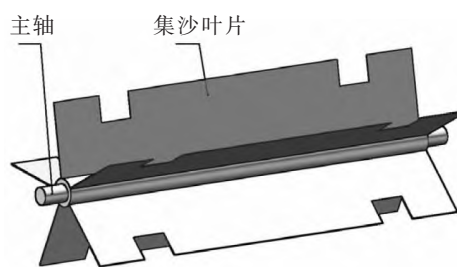


图2 集沙铲结构示意图

## 1 模型的建立

### 1.1 积沙模型与结构模型

积沙模型采用 LS-DYNA971 中的 MAT193 本构模型, 这种材料模型能够有效的描述积沙的材质特性, 定义该模型的变量与土木工程中定义材料参数的类型相似。将改良的 D-P 模型屈服面计算方法应用

收稿日期: 2016-04-19 责任编辑: 刘宪福 DOI: 10.13319/j.cnki.sjztdxxb.2017.02.12

基金项目: 河北省研究生创新项目 (yc2016003)

作者简介: 吴文江(1965-), 男, 博士, 教授, 研究方向为机电一体化系统设计方法。E-mail: bfwj@163.com

吴文江, 李晨阳, 赵晓孟. 铁路除沙车集沙铲集沙过程有限元模拟研究[J]. 石家庄铁道大学学报: 自然科学版, 2017, 30(2): 68-71.

到 MAT193 材料模型中,增强了表面的抗扭曲能力,使其更加适用积沙材质<sup>[2]</sup>。根据除沙车应用区域铁道线路积沙的特性,确定 MAT193 的主要参数(使用  $\text{gm-cm-}\mu\text{s}$  单位制),其中积沙密度  $1.4 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ ,弹性剪切模量  $0.03 \text{ Mbar}$ ,泊松比  $0.36$ ,破坏面形状参数  $2.8$ ,摩擦角  $0.52 \text{ rad}$ ,凝聚力  $5 \times 10^5 \text{ N}$ ,膨胀角  $1.6 \text{ rad}$ ,最小剪切应力  $0.05 \text{ Mbar}$ 。

依据对除沙车应用区域铁道线路积沙情况的实际考察,结合机车车辆通行情况,设定被切割积沙断面的结构模型如图3所示,积沙模型的宽度为  $2400 \text{ mm}$ ,高度为  $400 \text{ mm}$ ,积沙表面为自然曲面,应用二次曲线模拟积沙断面的曲线。

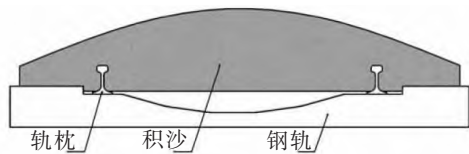


图3 积沙结构模型示意图

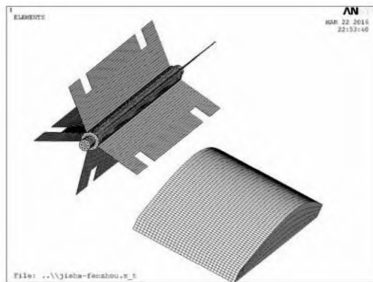
## 1.2 集割过程的简化和集沙过程的设定

(1)假设主轴和集沙铲叶片材料分别各向同性,集沙铲主轴设置成刚体,集沙铲叶片设置成柔性体,主轴与叶片之间共节点连接<sup>[3]</sup>。

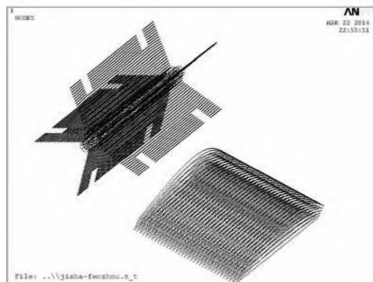
(2)假设积沙各向同性,各部分的含水率、坚实度和密度均匀<sup>[4]</sup>。

(3)假设在整个切割过程中,集沙铲的旋转速度和前进速度恒定,集沙铲所处高度不变。

(4)集沙铲有限元模型如图4所示,由于主轴和集沙叶片之间为刚体和柔性体硬连接,所以在运动时会使柔性体发生较大形变,为此在 K 文件中加入阻尼指令来减小刚体和柔性体连接处的应力<sup>[6]</sup>。



(a) 除沙铲的网格划分



(b) 除沙铲的节点划分

图4 集沙铲的网格与节点划分

集沙铲工作过程中,需根据实际工作情况和程序要求进行必要的设定,在 LS-DYNA 中如图5所示,集沙主轴轴向处在  $X$  轴上,沙堆处在集沙铲的  $+Z$  方向:

(1)设定轴、集沙铲、积沙等均使用 soild164 单元,单点积分法计算<sup>[7]</sup>。

(2)在全球内对轴添加集中质量约束,限制其在  $X$ 、 $Y$  方向的位移自由度和  $Y$ 、 $Z$  方向的转动自由度。

(3)设定在初始时刻集沙铲与积沙处在未接触状态,作业过程中集沙铲切割积沙,将5个集沙铲叶片定义为 part 集合,part 集合与积沙面面侵蚀接触<sup>[8]</sup>。

(4)根据额定工况定义集沙铲的进给速度为  $3 \text{ km/h}$ ,旋转速度为  $300 \text{ r/min}$ ,前进方向为沿  $Z$  轴正向移动,旋转方向为绕  $X$  轴顺时针转动。

(5)为使积沙固定,对积沙下部点集合添加边界约束。

(6)为积沙添加无反射边界条件,定义无边界 solid 实体,以消除边界条件对切割过程的影响<sup>[9]</sup>。

(7)对积沙添加侵蚀后删除指令,使积沙在指定单元侵蚀失效后由程序自动删去,避免产生负体积,以消除失效积沙对集沙铲的影响。



图5 集沙铲与坐标系的位置关系

## 2 集沙铲工作过程分析

模拟集沙铲切割积沙的工作过程,重点研究分析集沙铲的应力和功耗。

### 2.1 集沙铲初始工况应力分析与满负荷工况应力分析

模拟的初始集沙过程仿真结果如图 6 所示,集沙铲启动后,一开始并未与积沙接触,在  $4\,000\ \mu\text{s}$  时,集沙铲所受阻尼力趋于稳定,集沙叶片根部应力达到  $1.705\ \text{MPa}$ 。在  $6\,000\ \mu\text{s}$  时,集沙铲开始接触到积沙,集沙铲应力逐渐变大,集沙叶片最大应力出现在与沙接触区域,其值为  $4.768\ \text{MPa}$ 。此后,集沙叶片应力继续变大,一直达到  $18.96\ \text{MPa}$ 。在  $14\,000\ \mu\text{s}$  时,集沙铲应力值开始变小。从仿真结果分析可以得到以下结论:

(1) 集沙叶片附加阻尼力所引起的最大应力值是集沙铲切割沙堆所产生最大应力值的  $1/10$ ,并且非工作叶片上的相对应力值为零,因此阻尼力的添加并不影响计算结果。

(2) 集沙过程中,随着切割积沙量的增加,集沙铲最大应力值越来越大,最大值出现在集沙铲的根部

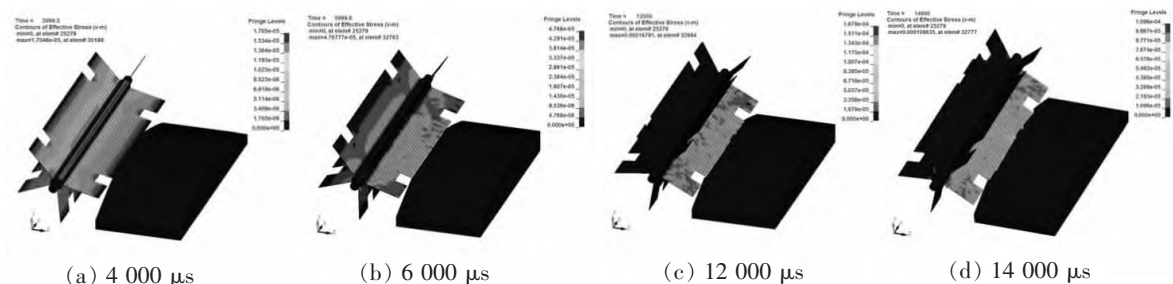


图 6 初始集沙工况集沙铲应力云图

随着集沙铲的前移,其集沙铲叶片单次集沙量逐步增加,当单次集沙量达到最大时,集沙铲进入满负荷工作状态。模拟的满负荷集沙铲工作过程仿真结果如图 7 所示,在  $1.3 \times 10^5\ \mu\text{s}$  时,集沙铲叶片刚接触到积沙,此时集沙铲叶片根部受力较大,最大应力值为  $19.72\ \text{MPa}$ ;  $1.4 \times 10^5\ \mu\text{s}$  时,集沙铲叶片与积沙作用面积增大,此时集沙铲的最大应力为  $48.55\ \text{MPa}$ ,出现在集沙铲与轨道贴合处附近,集沙铲整体应力并不大,但应力较为集中;在  $1.48 \times 10^5\ \mu\text{s}$  时,集沙铲应力继续增大,应力集中出现在与沙子接触区域,最大值为  $71.45\ \text{MPa}$ ;在  $1.54 \times 10^5\ \mu\text{s}$  时,集沙铲最大应力开始变小。从仿真结果可以得到以下结论:

(1) 集沙铲的最大应力值随着集沙铲与积沙作用面积的增大而增大,最大应力值为  $71.45\ \text{MPa}$ 。

(2) 集沙铲的最大应力值常出现在其与积沙接触的下边缘处或外侧边缘的尖角处。

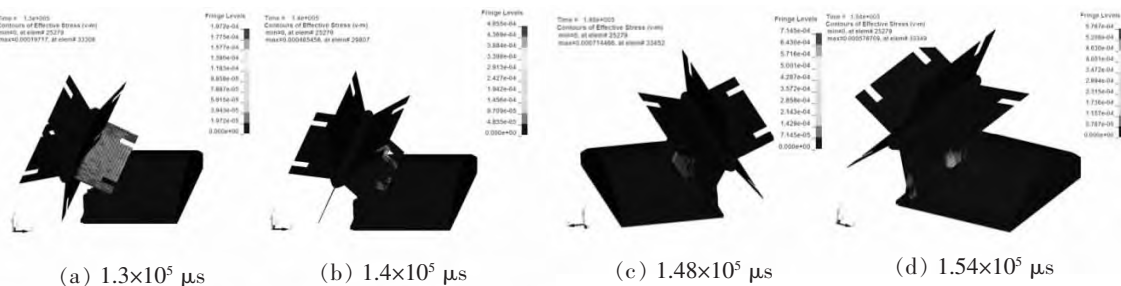


图 7 满负荷工况集沙铲应力云图

### 2.2 集沙铲切割阻力和功耗分析

集沙铲各叶片依次切割积沙的阻力如图 8 所示,该力是  $X$ 、 $Y$ 、 $Z$  方向阻力的合力。在初始切割积沙时,切割阻力较小,随着集沙铲逐步达到满负荷工况,切割阻力增加到  $5\,500\ \text{N}$  以上。

切割功耗是集沙铲的主要功耗,其数值是选择集沙铲驱动马达的主要依据<sup>[10]</sup>。在分析切割积沙阻力的基础上,将切割阻力对位移积分,再对时间微分得到切割功耗曲线,切割功耗曲线如图 9 所示,集沙铲进入满负荷工况后,最大切割功耗在  $14 \sim 18.5\ \text{kW}$  之间。

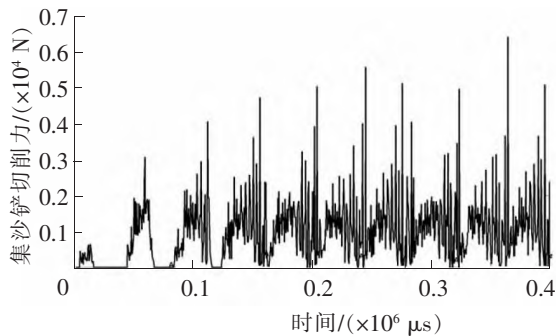


图 8 切削阻力变化曲线

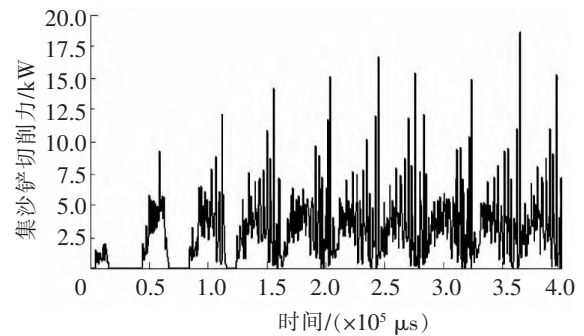


图 9 切削功耗变化曲线

### 3 结论

通过对集沙铲集沙过程的模拟仿真,得到以下结论:

(1)集沙铲大部分区域应力在 10~25 MPa 之间,满足强度要求。在集沙铲下边缘处和外侧尖角处,最大应力能达到 71.45 MPa 有应力集中现象,需对其结构进行优化。

(2)集沙铲切割积沙过程中,切割阻力为周期性力,最大值为 6 500 N 左右,变化范围较大,因而除沙铲叶片存在潜在的疲劳损伤。

(3)集沙铲最大切割功耗在 14~18.5 kW 之间有一定浮动,为维持稳定的工作状态,其驱动马达的额定功率应大于 18 kW。后期改进中,考虑改变刀具形状和添加配重,增加刀具转动惯量,以达到充分利用功率、降低额定功率、减小功率浮动范围的目的。

### 参 考 文 献

- [1]夏俊芳,贺小伟,余水生,等. 基于 ANSYS/LS-DYNA 的螺旋到辊土壤切削有限元模拟[J]. 农业工程学报,2013,29(10):34-36.
- [2]Ls Technology Corporation. LIVERMORE SOFTWARE. LS-DYNA KETWORD USERS MANUAL[EB/OL]. [2003-04-01]. <http://www.lstc.com>.
- [3]刘修成,何炎平,赵永生. 基于有限元法的耙齿土壤切削仿真[J]. 水运工程,2015(1):32-41.
- [4]王丽,高晓峰,焦丽,等. 螺旋滚筒截割煤岩的 LS-DYNA 模拟[J]. 煤矿机械,2013,34(12):41-43.
- [5]陈红霞,王超,郭阳阳,等. 基于 ANSYS/LS-DYNA 的小型螺旋式除雪机抛雪叶片结构优化[J]. 制造业自动化,2015,37(2):98-101.
- [6]邓小龙,冯国胜,李鹏飞,等. 基于 ANSYS Workbench 的某轿车车身刚度研究[J]. 石家庄铁道大学学报:自然科学版,2016,29(1):64-68.
- [7]张宪,孔涛,蒋建东,等. 基于 LS-DYNA 的震动旋耕三维数值模拟[J]. 机电工程,2011,28(2):144-148.
- [8]王小凯,华林. 立式轧环机传动机构力学分析和优化设计[J]. 中国机械工程,2010,21(13):1594-1604.
- [9]基于 LS-DYNA 的移动式压力容器侧翻碰撞分析[J]. 石家庄铁道大学学报:自然科学版,2014,27(3):50-58.

(下转第 76 页)



# 基于无线网络的消防水泵监测系统研究

李艳龙, 李申山

(石家庄铁道大学 机械工程学院, 河北 石家庄 050043)

**摘要:**针对我国当前消防自动巡检系统迅速推广应用,提出了将无线网络技术应用到消防巡检系统中的设想,并设计出相应的硬件和软件系统。该系统分别采用光电传感器和压力传感器采集消防水泵的转速和管道水压,再经过一系列信号处理,通过基于 nRF2401 芯片的无线收发模块将数据传给上位机。上位机用 Labview 对设备进行状态显示、报警以及数据存储等。经实验调试,该系统完全满足实际应用的要求。该设计结构简单、经济可靠,具有一定的实用价值和市场推广意义,并且具有系统兼容性和可扩展性,为后续系统升级和智能扩展提供技术平台。

**关键词:**无线网络;消防水泵;监测

**中图分类号:**TP29 **文献标志码:**A **文章编号:**2095-0373(2017)02-0072-05

## 0 引言

近些年由于消防给水系统不能正常运行,从而在火灾事故发生时造成的重大损失的报道屡见不鲜。其中主要原因是由于消防设备长时间不用造成设备锈蚀、损坏,影响消防水泵正常开启,从而当火灾发生时消防系统不能正常工作。为此,国家相关部门出台了许多规范和法规,要求消防系统要安装定期巡检装置。自动巡检系统便得到大力发展和应用。目前国内外相关研究大都集中在无线网络技术在火灾检测方面的应用上,而在消防巡检的给水系统检测方面的研究相对较少。

当前国内的消防检测系统主要有两种类型:一是传统检测系统,存在硬件集成复杂,人机交互性能差,操作不方便,可靠性低等特点;二是采用 RS485 或 CAN 等总线技术的检测系统,其结构简单,可靠性高,但成本较高,安装和维护麻烦,自动化、智能化程度低。因此随着物联网技术的发展,新型的智能检测技术在该领域的应用就变得急切和很有必要。针对现有消防巡检系统存在的问题,提出了基于无线网络的智能巡检技术解决方案,实现了消防巡检系统的高效化、自动化和智能化。

## 1 系统总体方案设计

采集的信号,分别是最能反映消防给水系统性能的水泵转速和管道水压。这两个信号分别通过放大、整理等一系列操作送入单片机,由单片机识别、整理、发出信号,再经过无线收发模块进行无线传输,最后经过 U 转串模块将采集到的信息传送到上位机,在上位机上进行显示、报警、存储等操作。总体方案如图 1 所示。

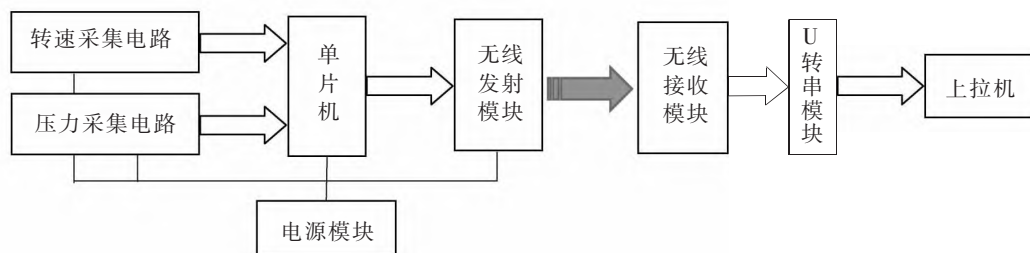


图 1 系统总体方案

收稿日期:2016-05-05 责任编辑:车轩玉 DOI:10.13319/j.cnki.sjztdxxb.2017.02.13

作者简介:李艳龙(1988-),男,硕士研究生,主要从事电机检测与控制的研究。E-mail:749850061@qq.com

李艳龙,李申山.基于无线网络的消防水泵监测系统[J].石家庄铁道大学学报:自然科学版,2017,30(2):72-76.

- [3]季昌瑞. 基于 nRF401 芯片的多路消防栓无水监测系统设计[J]. 现代电子技术, 2009(23):124-126.
- [4]夏浩, 潘存治. 一种基于 LabView 的光纤传感检测系统[J]. 石家庄铁道大学学报: 自然科学版, 2015, 28(3):76-80.
- [5]王伟清, 程国刚. 单片机 Keil Cx51 应用开发技术[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2007.

## Research of Fire Pump Monitoring System Based on Wireless Network

Li Yanlong, Li Shenshan

(School of Mechanical Engineering, Shijiazhuang Tiedao University, Shijiazhuang 050043, China)

**Abstract:** Currently fire automatic inspection system is popularized rapidly in our country. An idea with wireless network technology applied to fire inspection system is proposed and the corresponding hardware and software system are designed. There are two kinds of signals collected in this system. One is the fire pump rotation speed collected by the photoelectric sensor and the other is pipe pressure collected by pressure sensor. After a series of signal processing, these signals are transmitted to PC by the wireless transceiver module based on nRF2401 chip. These signals are displayed, alarmed and stored in PC with Labview. The experimental results show that the system can completely satisfy the requirements of practical application. The design is simple, economic, reliable and has market value. What's more, it provides a technology platform for the follow-up system upgrade and intelligent extension.

**Key words:** wireless network; fire pump; monitoring

(上接第 71 页)

## The Study on Sand-collecting Process of Rail Sand-clearing Vehicle with Finite Element Simulation

Wu Wenjiang<sup>1</sup>, Li Chenyang<sup>2</sup>, Zhao Xiaomeng<sup>1</sup>

(1. Engineering Training Center, Shijiazhuang Tiedao University, Shijiazhuang 050043, China;

2. School of Mechanical Engineering, Shijiazhuang Tiedao University, Shijiazhuang 050043, China.)

**Abstract:** The rail sand-clearing vehicle is a device designed by the research group to remove sand for rail tracks in desert area. The sand-collecting shovel is an important part in the vehicle. When the equipment works, the sand-collecting shovel bears large hindrance. To explore the sand shovel's cutting force and power consumption conditions in rotary movement, this paper uses LS-DYNA finite element dynamic analysis to simulate the shovel cutting process which is according to the characteristics of the sand shovel and the sand. This paper gets the concentrated stress, cutting force and power consumption of the sand shovel in real-time. The simulation experiments show that the maximum stress of the shovel is 71.45 MPa, and the maximum cutting force is 6 500 N and the average power consumption is between 14 to 18.5 kW on the sand shovel when it is in the speed of 300 r/min and 3 km/h. The research results provide a theoretical basis for the vehicle's further improvement and optimization.

**Key words:** sand-collecting shovel; sand pile; cutting; FEM; dynamic analysis