

# 沥青搅拌设备振动筛筛箱的动态特性分析

孟彩茹,李磊,赵真,李冬伟

(长安大学 道路施工技术与装备教育部重点实验室,陕西 西安 710064)

**摘 要:**了解沥青搅拌设备振动筛的动态特性,不仅可以提高骨料搅拌质量,还可以提高整个搅拌站生产率。运用 ANSYS 有限元分析软件,建立了沥青搅拌设备振动筛筛箱有限元模型,分析了其模态特性、谐响应特性和动应力的分布规律,研究了振动筛的强度和刚度。进行了振动筛强度试验,得到振动筛的动应力变化情况以对 ANSYS 分析结果进行验证。试验结果表明:所建立的有限元模型能较好地反映筛箱的实际结构特点;筛箱固有频率和工作频率不重合,因此振动筛在正常工作中不会产生共振;振动筛的刚度及强度都满足设计要求。

**关键词:**机械工程;振动筛筛箱;动态特性;有限元模型;模态分析

**中图分类号:**U415.517

**文献标志码:**A

## Dynamic performance analysis of vibrating screen box in asphalt mixer

MENG Cai-ru, LI Lei, ZHAO Zhen, LI Dong-wei

(Key Laboratory for Highway Construction Technology and Equipment of the Ministry of Education, Chang'an University, Xi'an 710064, Shaanxi, China)

**Abstract:** It not only can increase the mixing quality of aggregate, but also can promote the productivity of mixing plant to study the dynamic performance of vibrating screen in asphalt mixer. With the finite element software of ANSYS, this paper built the finite element model of vibrating screen box in asphalt mixer, analyzed its modal characteristics, harmonic responses and the distributed regularities of dynamic stress, and studied the intensity and stiffness of vibrating screen. With the intensity test of the vibrating screen, the dynamic stress of vibrating screen was gotten to verify the ANSYS analysis results. The testing results show that this model can accurately reflect the actual structure features of vibrating screen box; its natural frequency is not coincided to working frequency, so there is not resonance during the normal operation of the vibrating screen; the dynamic rigidity and strength of vibrating screen can meet the design requirement. 2 tabs, 8 figs, 10 refs.

**Key words:** mechanical engineering; vibrating screen box; dynamic performance; finite element model; modal analysis

## 0 引言

目前,国内外沥青搅拌设备振动筛向大型化、重

型化和标准化方向发展。由于大型化和标准化可以减少设备的品种和数量,从而使购置费用和使用费用降低。但振动筛结构的增大,箱体的动负荷也随

之增大,对其强度的要求也相应增加,从而导致筛体结构刚度和强度不足,产生筛体变形过大、侧板开裂、横梁断裂和焊缝开裂等严重影响筛分的现象;特别是在结构处于共振时,筛体的动负荷及相应的动应力将显著地增加,因此,必须对振动筛进行模态特性及动应力分析<sup>[1]</sup>。但是,目前对振动筛的动态分析多是单层或双层筛子,而针对沥青搅拌设备中多层、大型、重型振动筛的研究基本空白<sup>[2-4]</sup>。为此,本文对某厂 3000 型沥青搅拌设备振动筛筛箱进行动态特性研究,运用 ANSYS 软件进行参数化建模,并进行模态分析,计算筛箱的固有频率和固有振型,分析振动筛筛箱结构是否会产生共振。同时,对振动筛筛箱进行谐响应分析,确定了筛箱关键节点处位移、动应力分布规律。根据仿真结果,在试验现场进行了振动筛筛箱的动刚度及动强度的验证。

1 振动筛有限元模型的建立

由于 3000 型沥青搅拌设备振动筛筛箱结构的复杂性,要建立精确的力学模型是相当困难的。因此,在建立筛箱结构的力学模型时,应对筛箱结构作适当的简化和处理。首先,针对振动筛各部分的特点,从 ANSYS 的单元数据库中选择了板壳单元 Shell63、弹簧单元 Spring14、梁单元 Beam;其次,略去筛箱侧板上的铆钉和固定筛板的螺栓,将筛箱一些构件或连接部位很小的圆弧过渡简化为直角过渡,以便提高模型的计算速度。由于本文涉及到模态分析、谐响应分析,为了防止使用对称模型导致模态的丢失和计算结果不准确,在计算中均采用整体模型进行分析。将激振力加入模型后,由于弹簧的根部与减振架之间不存在相对运动,因此,在其根部采用全约束<sup>[5]</sup>。振动筛筛箱有限元模型划分网格后如图 1 所示。

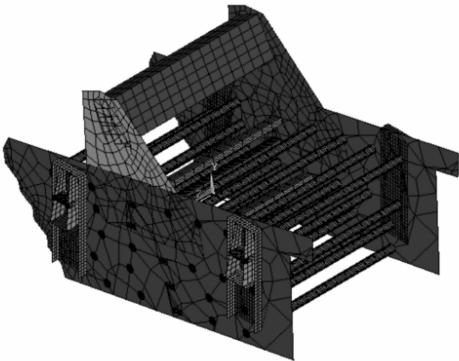


图 1 振动筛筛箱有限元模型

2 振动筛筛箱模态分析

模态分析是指通过对振动筛的实体模型进行模拟仿真,求出筛体结构的固有频率和振型,其结果可作为结构动力学分析、谐响应分析的基础。通过对振动筛的模态分析,可以求出振动筛结构的模态参数,为系统的振动特性分析、振动故障的诊断以及结构优化设计提供依据,可以避免振动筛筛箱结构系统发生共振<sup>[6-7]</sup>。

振动筛筛箱的模态分析采用 Blocked Lanczos 方法。振动筛筛箱的前 20 阶模态固有频率和固有振型特征见下页表 1;第 9 阶和第 10 阶振动筛筛箱固有频率(Hz)和振型特征如图 2、图 3 所示。

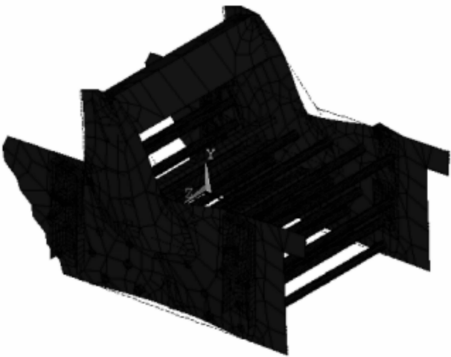


图 2 振动筛的第 9 阶振型

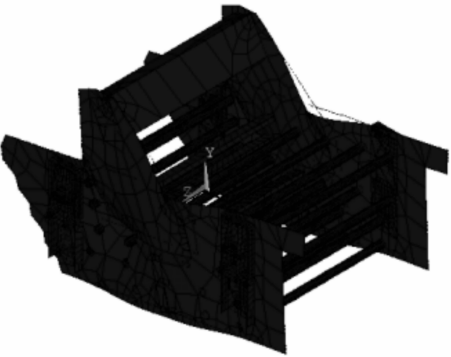


图 3 振动筛的第 10 阶振型

由图 2 和图 3 可以看出,前 9 阶固有频率对应的振动为刚体的振动,后 11 阶固有频率对应的振动为弹性体的振动。振动筛筛箱第 9 阶固有频率值为 13.632 Hz,第 10 阶固有频率值为 22.370 Hz,而振动筛的激振频率为 19.5 Hz,正好位于第 9 阶固有频率值和第 10 阶固有频率值之间,而且工作频率与第 9 阶固有频率的频率裕度为 43%,与第 10 阶固有频率的频率裕度为 12.8%,由此可以判断,筛箱在工作过程中不会产生共振现象。

由表 1 可以看出:前 9 阶中系统的固有频率低,

表 1 振动筛筛箱的前 20 阶模态固有频率和振型特征

模态阶数	固有频率/Hz	振型特征	模态阶数	固有频率/Hz	振型特征
1	5.000	XY 平面内刚体移动	11	25.546	侧板扭转弯曲振动
2	5.568	XZ 平面内刚体移动	12	25.674	出料口侧板弯曲振动
3	6.148	Z 向刚体平动	13	30.533	侧板弯曲振动
4	7.359	Z 向刚体扭转	14	30.540	立板弯曲振动
5	7.560	Z 向刚体扭转	15	32.166	侧板扭转弯曲振动
6	8.014	Y 向刚体扭转	16	33.159	进料口侧板弯曲振动
7	10.026	X 向刚体扭转	17	39.656	侧板弯曲振动
8	12.073	X 向刚体扭转	18	40.300	侧板弯曲振动
9	13.632	X 向刚体扭转	19	45.233	进料口侧板弯曲振动
10	22.370	立板和侧板扭转弯曲振动	20	45.284	立板弯曲振动

且低阶固有频率值较密集;其振型为刚体运动,只有支撑弹簧发生变形,其固有频率取决于筛体质量和弹簧刚度。因此,要抑制弹簧过分的弯曲变形,可适当提高弹簧的横向刚度,以防止弹簧产生较大的弯曲变形<sup>[8-9]</sup>。

3 振动筛筛箱谐响应分析

谐响应分析是用于确定线性结构在承受随时间按正弦规律变化的载荷时的稳态响应的一种技术。通过对振动筛进行谐响应分析,可以计算出筛体在不同频率下的响应,并得到一些响应值(通常是位移)对频率的曲线。从这些曲线上可以找到“峰值”响应,从而可以预测振动筛的振动特性,避免发生共振,并保证其在精度范围内正常工作。因此,对大型直线振动筛的谐响应分析是非常必要的。谐响应分析只计算结构的稳态受迫振动,不考虑发生在激励开始时的瞬态振动。

谐响应分析也是模态分析的进一步扩展,所以仍然采用模态分析中的振动筛有限元模型。采用谐响应的完全求解法,分析的频率设定为 0~100Hz 之间,分析筛体在该频率区间内的简谐力作用下的响应情况。按照谐响应分析步骤求解后,在时间历程后处理器(POST26)计算求解筛箱上节点编号为 55 和 110 的振动幅值和激振频率的关系;在后处理器(POST1)计算求解筛箱的平均应力分布云图。图 4 和图 5 给出了筛箱在谐响应分析时节点 55 和 110 在 Y 方向的振动幅值与激振频率的关系以及各结点处的等效动应力云图。

由图 4 可以看出,立板上应力值和位移值最大处的节点 55 和 110 在 Y 方向的位移幅值随频率的变化。两节点位于立板与横梁相交的中心位置,在频率约为 19.5 Hz 处 Y 方向位移的幅值很小,其他

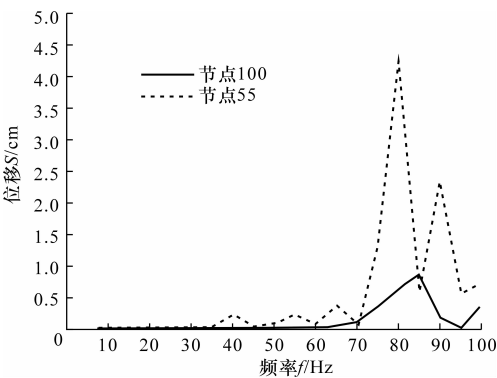


图 4 节点 55 和 110 的 Y 方向位移的谐响应曲线

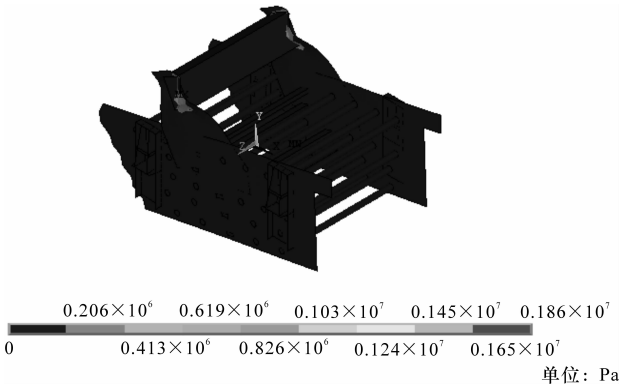
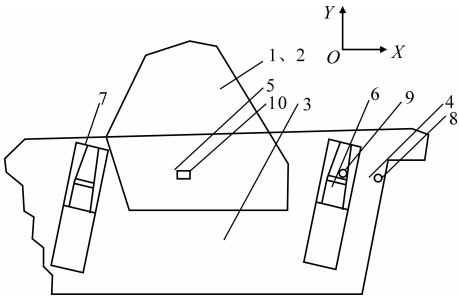


图 5 筛箱的平均应力分布云图

共振频率则都在 35 Hz 以上,远离工作频率。这说明,振动筛的立板在工作过程中振动极其微小,不会发生共振现象。从图 5 可以看出,最高应力主要分布在立板与横梁相交的中心位置,最大平均应力值为 18.6 MPa,远小于振动筛的许用应力,说明振动筛的强度满足要求。

按照 ANSYS 有限元软件谐响应的计算结果选择测试位置,在现场按下页图 6 所示的应变片布置进行贴片及测试。应变片采用双臂电桥补偿,在同一位置分别测量 2 个相互垂直的位置,在其他不参与工作的机器上也分别做 2 个相互垂直的应变片做

补偿。试验得到振动筛应力的仿真数据与测试数据的比较结果见表 2<sup>[10]</sup>。



1、2-对称布置在立板的左右两侧;3、4、5-筛箱侧板;6-进料口处减振弹簧后侧面板;7-出料口处减振弹簧左侧面板;8-进料口梁;9-进料口第一根圆梁;10-中间最顶部方梁

图 6 应变片布置

表 2 应力的仿真计算数据与测试数据的比较

位置	应力计算值/MPa	应力测试值/MPa	误差/%
1	18.60	19.50	4.60
2	17.80	18.40	3.30
3	4.11	5.22	21.26
4	2.77	2.75	0.73
5	4.03	3.97	1.51
6	0.33	0.34	2.94
7	0.35	0.34	2.94
8	1.81	2.49	27.31
9	1.26	1.36	7.35
10	1.38	1.58	12.66

由表 2 可知,应力计算值与应力测试值的误差基本在 20%以内,验证了 ANSYS 有限元软件中的谐响应分析的可行性,为振动筛箱体的动强度分析提供了理论基础。

振动筛筛箱动刚度是指其在激振力作用下的变形位移量,其结果可在筛箱的谐响应分析中的时间历程后处理器(POST26)查看。参照《直线振动筛设计规范》,对振动筛筛箱的性能要求进行校核,具体性能要求为:振动筛筛箱两侧板的横向摆动不大于 1 mm。在试验现场测得的某厂 3000 型沥青搅拌设备振动筛横向摆动左侧板和右侧板的加速度频谱如图 7 和图 8 所示。由谐响应的后处理可得:筛箱侧板两侧弹簧处在激振力下的最大横向位移分别为 0.212 mm 和 0.228 mm。而在现场试验中,两侧板弹簧处在激振力下的最大横向位移分别为 0.254 mm 和 0.245 mm。这说明,谐响应分析的结果与现场试验中的结果基本相近,振动筛刚度满足要求。

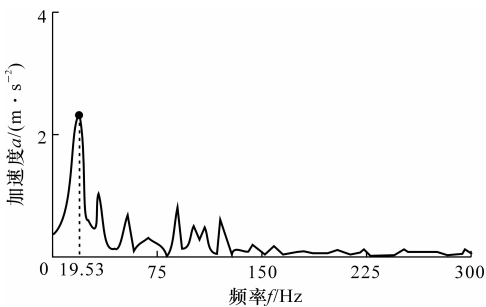


图 7 振动筛横向摆动左侧板测点加速度频谱

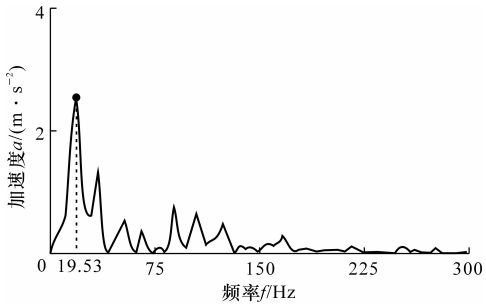


图 8 振动筛横向摆动右侧板测点加速度频谱

4 结 语

(1)建立了沥青搅拌设备振动筛筛箱的有限元参数化模型,并通过强度试验,得出应力计算值与应力测试值的误差基本在 20%以内;通过横向振幅试验,得出侧板横向摆动测量值最大为 0.228 mm,仿真值最大为 0.254 mm,结果相近,验证了振动筛参数模型的正确性。

(2)模态分析结果表明,筛箱固有频率和工作频率不重合,振动筛工作在稳定状态下,在工作中不会产生共振现象。

(3)谐响应分析结果表明:振动筛筛箱结构动强度仿真值最大为 18.6 MPa,测试值最大为 19.5 MPa,均远远小于许用应力值 245 MPa;振动筛筛箱结构动刚度无论是仿真值 0.254 mm,还是测试值 0.228 mm也都远小于 1 mm;说明振动筛强度和刚度都满足设计要求,同时筛箱应力分布较均匀。

参考文献:

References:

[1] 闻邦椿,刘树英,何 勃. 振动机械的理论与动态设计方法[M]. 北京:机械工业出版社,2002.

[2] 张路霞,李云峰. 振动筛筛分效率的影响因素分析[J]. 煤矿机械,2008,29(11):74-76.

ZHANG Lu-xia, LI Yun-feng. Analysis of influence factor in shaker screening efficiency[J]. Coal Mine Machinery, 2008, 29(11): 74-76.

[ 3 ] 王正浩,范改燕. 振动筛结构强度研究的现状[J]. 沈阳建筑工程学院学报,1999,15(3):278-281.  
WANG Zheng-hao,FAN Gai-yan. Study status of vibration screen structure strength[J]. Journal of Shenyang Architectural and Civil Engineering University, 1999,15(3):278-281.

[ 4 ] 王正浩,王国业,刘维伟. 振动筛的研究现状与发展趋势[J]. 沈阳建筑工程学院学报,1999,15(1):77-81.  
WANG Zheng-hao,WANG Guo-ye,LIU Wei-wei. Present status and developing tendency of vibration screen[J]. Journal of Shenyang Architectural and Civil Engineering University,1999,15(1):77-81.

[ 5 ] 薛风先,胡仁喜,康士廷. ANSYS12.0 机械与结构有限元分析从入门到精通[M]. 北京:机械工业出版社,2010.

[ 6 ] 马学东,王律躬,崔文好,等. 2ZKX2148 型直线振动筛侧板的有限元动力学分析[J]. 鞍山钢铁学院学报,1999,22(1):32-35.  
MA Xue-dong,WANG Lu-gong,CUI Wen-hao,et al. Finite element dynamic analysis of the 2ZKX2148 type straight line oscillating sieve lateral plate[J]. Journal of Anshan Institute of Iron and Steel Technology,1999,22(1):32-35.

[ 7 ] 方治华,赵 爽. 基于 ANSYS 的振动筛筛箱强度的有限元分析及改进设计[J]. 煤矿机械,2008,29(12):143-144.  
FANG Zhi-hua,ZHAO Shuang. Based on ANSYS shaker screen strength of finite element analysis and improved design[J]. Coal Mine Machinery,2008,29(12):143-144.

[ 8 ] 贺 鑫. 大型直线振动筛动态仿真的研究[D]. 青岛:青岛科技大学,2008.

[ 9 ] 程 群. 高效振动筛的有限元分析及优化设计[J]. 水泥,2007(8):41-44.  
CHENG Qun. The finite element analysis and optimization design of efficient vibrating screen[J]. Cement,2007(8):41-44.

[10] 曹树谦,张琪昌,陈予恕,等. 26 m<sup>2</sup> 大型直线振动筛动应力计算分析[J]. 天津大学学报,1995,28(5):677-681.  
CAO Shu-qian,ZHANG Qi-chang,CHEN Yu-shu,et al. Numerical study on dynamic stresses of the 26 m<sup>2</sup> line vibrating screen[J]. Journal of Tianjin University,1995,28(5):677-681.

(上接第 100 页)

## 4 结 语

(1)在公路交叉口交通事故调研的基础上,建立了驾驶人事故前操作行为影响因素评价指标体系,运用 AHP 法分析计算各影响因素权重,研究表明,影响驾驶人事故前操作行为的主要因素为驾驶人车速感知、车距感知、交通信息感知。

(2)运用模糊控制理论,建立了驾驶人事故前操作行为模糊评价模型,实现驾驶人错误感知因素与驾驶行为模式的转换,并建立驾驶人事故前操作行为模式模糊控制规则。

(3)该研究成果可以应用于建立车辆驾驶人应急操作行为理论体系,通过对车辆驾驶人的安全培训,提高道路交通安全性,也可用于辅助实现交通事故再现技术,提高交通事故的鉴定水平。

### 参考文献:

### References:

[ 1 ] Staubach M. Factors correlated with traffic accidents as a basis for evaluating advanced driver assistance systems[J]. Accident Analysis and Prevention,2009,41(5):1025-1033.

[ 2 ] 郭孜政. 驾驶行为险态辨识理论与方法[D]. 成都:西南交通大学,2009.

[ 3 ] Saaty T L. How to make a decision;the analytic hierarchy process[J]. European Journal of Operational Research,1990,48(1):9-26.

[ 4 ] 魏 朗,高丽敏,余 强,等. 驾驶员道路安全感受模糊评判模型[J]. 交通运输工程学报,2004,4(1):102-105.  
WEI Lang,GAO Li-min,YU Qiang,et al. A fuzzy evaluation model for driver's feelings of road safety[J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering,2004,4(1):102-105.

[ 5 ] 王武宏,孙逢春. 道路交通系统中驾驶行为理论与方法[M]. 北京:科学出版社,2000.

[ 6 ] Tronsmoen T. Associations between driver training, determinants of risky driving behaviour and crash involvement[J]. Safety Science,2010,48(1):35-45.

[ 7 ] Wong J T. Analyzing heterogeneous accident data from the perspective of accident occurrence[J]. Accident Analysis and Prevention,2008,40(1):357-367.

[ 8 ] Summala H. Fatal accidents among car and truck drivers; effects of fatigue, age, and alcohol consumption[J]. The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society,1994,36(2):315-326.