

DOI:10.3969/j.issn.1001-4551.2020.07.020

基于有限元法的摊铺机车架结构分析*

孙 健, 刘 畅, 杨鹏程

(徐州工程学院 机电工程学院, 江苏 徐州 221018)

摘要:针对大型复杂摊铺机车架在设计过程中结构强度和刚度较难保证,而使车架在施工过程中易出现变形及开裂等问题,为了提高摊铺机整机的施工效果和可靠性,开展了基于有限元法的摊铺机车架的结构分析工作。采用有限元分析法,根据摊铺机的多种工况,对摊铺机车架进行了静力分析及模态分析,获得了车架的应力应变云图、固有频率及振型,为结构优化提供了基础;同时针对车架结构的薄弱环节,提出了在前后板增加筋板及增大左右侧梁横截面尺寸,以提高车架整体结构刚度的改进方法。研究表明:在设计初期预先进行结构的强度分析和校核,可从源头上避免部分设计缺陷和不足,为样机的设计和研究提供理论依据,对提升摊铺机的工作效能和稳定性具有实际意义。

关键词:摊铺机车架;有限元分析;静力分析;模态分析

中图分类号:TH122;U415.52

文献标识码:A

文章编号:1001-4551(2020)07-0841-04

Structure analysis of paver frame based on finite element method

SUN Jian, LIU Chang, YANG Peng-cheng

(Mechanical and Electronic Department, Xuzhou Institute of Technology, Xuzhou 221018, China)

Abstract: Aiming at the structural strength and rigidity of the large complex paver frame are difficult to guarantee in the design process, which caused the paver frame to deform and crack in the construction process, in order to improve the construction effect and reliability of the paver, the structure analysis of the paver frame based on the finite element method was carried out. According to the various conditions of the paver, the static and modal of the paver frame was analyzed with finite element analysis method, then the frame stress and strain contours, natural frequencies and mode shapes was obtained, which provided the basis for structure optimization. At the same time, the improvement method of the frame structure stiffness was proposed, which was aimed at the weak link of the frame structure to increase ribs at front and rear plates and the beam cross-sectional dimensions of left and right side. The results indicate that the strength analysis and check of the structure in advance in the early stage of design can avoid some design defects and deficiencies from the source, provide theoretical basis for the design and research of the prototype, and have practical significance for improving the working efficiency and stability of the paver.

Key words: paver frame; finite element analysis; statical analysis; modal analysis

0 引 言

摊铺机广泛应用于公路基层和面层上各种摊铺材料的施工作业^[1]。车架是摊铺机的承重构件,由高强度板材和各种型钢焊接而成,形成一个刚性结构件,其形状复杂,体积较大。车架的空间结构设计以及加工

制造水平不仅影响整机的尺寸和质量,且在一定程度上影响摊铺施工效果及整机可靠性,因此对摊铺机车架的强度和刚度研究是整机设计和制造必不可少的环节^[2]。现有大型复杂摊铺机车架一般采用模仿法和类比法进行设计,通过样机试制、结构改进使车架结构和性能趋于合理,设计周期长且设计精度低。现有的

收稿日期:2019-11-07

基金项目:江苏省高校自然科学研究重大项目(18KJA460008);江苏省“六大人才高峰”高层次人才项目(GDZB-128);江苏省高校自然科学研究面上项目(18KJB460028);徐州市应用基础研究计划项目(KH17012)

作者简介:孙健(1975-),男,江苏徐州人,工学博士,高级工程师,主要从事机械设计及理论方面的研究。E-mail:sunjian751@163.com

经验公式也很难对大型复杂车架进行强度分析计算,在有限元分析方面也大多是对车架前、后板或左、右侧板等零部件进行强度分析。

本文依据大型摊铺机车架的实际结构,建立车架整体的有限元模型,模拟实际载荷条件,根据摊铺机的多种工况,对摊铺机车架进行设计和强度校核,从源头上避免部分设计缺陷和不足,为样机的设计和研究提供理论依据。

1 摊铺机车架结构

某摊铺机车架材料主要采用贯通式钢板和型材,由前挡板、底框架、左右侧板、机身前板、机身后板、左侧梁、右侧梁、机身底板、前吊耳、以及后吊耳等组成,车架的长度为 5 262 mm,高度为 1 800 mm,宽度为 2 650 mm。

摊铺机车架结构如图 1 所示。

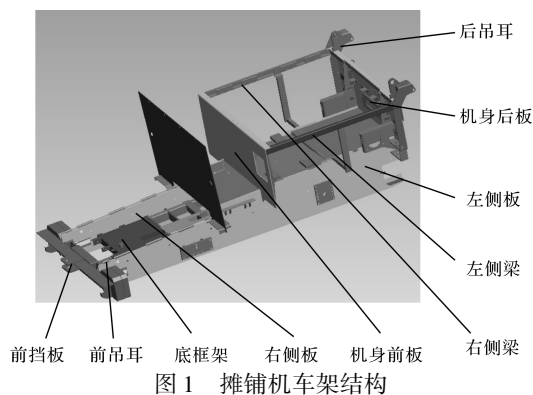


图 1 摊铺机车架结构

图 1 中,前挡板设置在车架前部,其上安装推轮,用于在施工时顶推自卸卡车;车架的左右侧板和前后板组成车架的主体结构,左右侧板间焊接底框架,增强左右侧板的联结强度,同时起配重作用;机身前、后板间焊接左右侧梁及底板,形成一个刚性的框架结构;机身底板上焊接 4 个柴油机安装座,用于安装柴油机;前吊耳焊接在前挡板上,后吊耳焊接在后板和侧梁的连接处,用于加工制造时起吊车架及施工时起吊整机^[3]。

整个车架结构应具有足够的强度和刚度,又应具有足够的内部空间尺寸,用于安装其他工作装置。

2 车架有限元模型建立

对大型复杂结构的有限元分析,仿真模型的建立是十分重要的。由于摊铺机车架结构比较复杂,笔者先在 PRO/E 中建立车架的实体模型,再导入 ANSYS 软件中进行分析计算^[4]。定义材料属性如表 1 所示。

表 1 材料属性参数

参数	值
材料密度	7.85e-006 kg/mm ³
杨氏模量	2.0e+005 N/mm ²
泊松比	0.3

构建有限元模型时,为保持计算精度,并控制计算规模,需要对摊铺机车架的结构作如下适当的简化和变换处理:

(1) 车架和其他部件的连接部分即承载部分要尽量保持原有结构和位置,方便载荷添加和结构分析;

(2) 车架的非承载部分,因为其对整个车架的应力和变形影响较小可忽略不计,例如忽略对结果影响不大的小圆孔以及倒角等;

(3) 建模时将某些节点位置与实际载荷的作用点位置对应,提高载荷模拟的准确性。对于两者位置接近的作用点可采用合并方式进行处理。

ANSYS 有限元分析是一种模拟实际载荷条件,并且研究在确定载荷条件下结构的响应特性,是对实际情况的数值模拟^[5]。因此,在有限元分析中施加约束及载荷是有限元结构分析的一个关键环节,约束及载荷确定的正确与否也是有限元分析成败的关键^[6],具体有:

(1) 车架的质量通过在模型竖直方向施加重力加速度 $g = -9.8 \text{ m/s}^2$ 来实现;

(2) 在实际工作情况下,车架通过前后 4 个支座与履带连接,其上连接柴油机、油箱、料斗、驾驶棚、外罩等部件。故分析中,在机架与履带的连接处施加位移约束,进行全约束;

(3) 模拟满载工况时,摊铺机料斗以及混合料的满载质量为 (1 061 + 4 500) kg,通过均布载荷垂直作用于料斗与车架的装配位置;

(4) 柴油机及其上连接的散热水箱,分动箱及液压泵等件总重 1 550 kg 通过面载荷施加在 4 个柴油机安装座上。驾驶棚、外罩及驾驶员总成 1 200 kg 通过面载荷施加在机架上表面的连接部位。分料系统 900 kg 作为集中载荷施加在机架后板的相应节点处。

液压、电气系统、输料装置以及调平系统等部分也通过面载荷施加在相应连接处,模拟各部件重力。建立的有限元模型如图 2 所示。

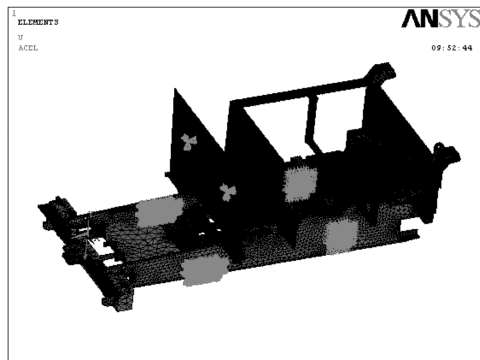


图 2 摊铺机车架有限元模型

3 车架静态特性分析

根据摊铺机的不同工况,对摊铺机车架进行静力

分析:

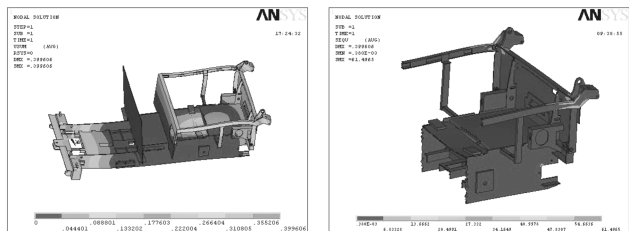
工况 1:摊铺机停止工况,大臂提起熨平板。此时机架所承载荷为其上安装各部件的重力和后吊耳提升熨平板所受的力;

工况 2:摊铺机摊铺工况,摊铺机顶推料车。此时机架所承载荷为各部件重力和摊铺机顶推料车的作用力 1×10^4 kg;

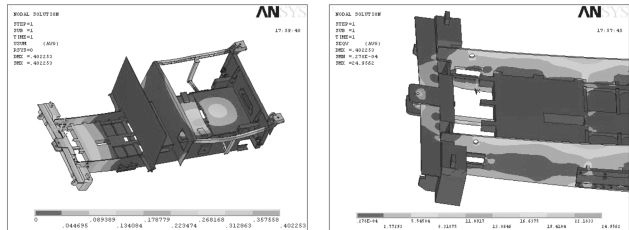
工况 3:摊铺机厂内吊装工况。此时机架所承载荷为各部件重力和起吊摊铺机的作用力 1.75×10^4 kg;

工况 4:考虑摊铺机整机工地现场吊装工况。此时机架所承载荷为各部件重力和起吊摊铺机的作用力 2.75×10^4 kg。

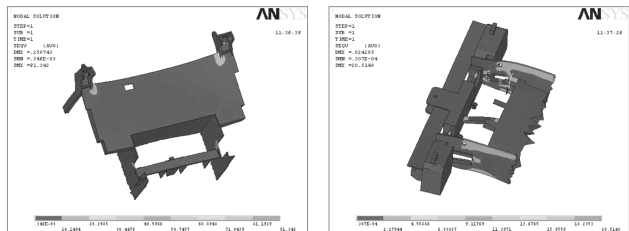
对摊铺机车架按各种工况进行静力分析^[7],得到车架的变形云图及应力情况如图(3~6)所示。



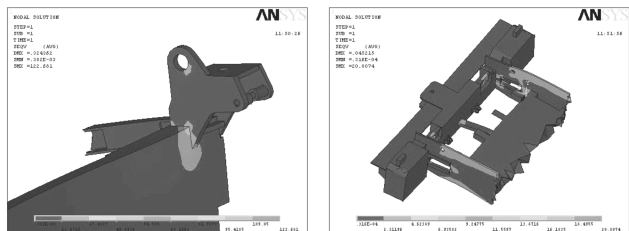
(a) 车架变形云图 (b) 后板应力云图
图3 停止工况分析结果



车架变形云图 (b) 前吊耳应力云图
图4 摊铺工况分析结果



(a) 后板应力云图 (b) 前吊耳应力云图
图5 厂内吊装工况分析结果



(a) 后板应力云图 (b) 前吊耳应力云图
图6 工地吊装工况分析结果

图3为停止工况时,车架的变形云图及后板的应力云图,从图可得最大变形在车架上平面处,为0.399 mm,最大应力在起吊装置与后板的连接处,为61.47 MP。

图4为摊铺工况时,车架的变形云图及后板的应力云图,此时摊铺机顶推料车,前挡板与侧板前部变形较大,为0.402 mm。

在厂内起吊工况下(见图5),此时主要考虑前后吊耳处的应力情况,由图可得最大应力在后吊耳与后板的连接处,为91.342 MP,前吊耳处应力仅为20.51 MP。

图6表明,在工地起吊工况下,前后吊耳上施加了 2.75×10^4 kg 的力,此时,前吊耳处应力稍有增大,变为20.81 MP,而后吊耳与后板的连接处应力达到了122.68 MP。可见前吊耳处结构能够满足要求,而起吊装置与后板的连接处刚性较差,需要进行进一步的性能结构优化,以满足使用要求。

4 车架模态分析

机械结构的固有特性由结构的固有频率和振型等一系列模态参数构成,它与外载荷无关,而在于结构本身,但决定了机械结构相对外部载荷的响应^[8]。结构的固有特性分析就是对其模态参数分析计算,其目的主要是避免结构共振以及出现有害的模态振型,并且能够为结构响应分析提供依据。

下面建立摊铺机车架的多自由度振动微分方程,即:

$$M\delta + C\dot{\delta} + K\delta = F \quad (1)$$

式中: M —质量矩阵; C —阻尼矩阵; K —刚度矩阵; δ —节点的加速度; $\dot{\delta}$ —节点的速度; δ —节点的位移; F —车架整体节点载荷。

由于模态分析目的是求解系统的固有频率和相应振型,分析时令阻尼项和外力为零,可得车架的无阻尼自由振动微分方程,即:

$$M\delta + K\delta = 0 \quad (2)$$

对上式进行求解,可得到:

$$(K - \omega^2 M)\delta = 0 \quad (3)$$

式中: ω —固有频率。

式(3)可用广义特征值 $\det(K - \omega^2 M) = 0$ 求得,通过对 K 或 M 进行三角化过程,可分别解得:

$$\omega_1^2 = \frac{1}{\lambda_N}; \omega_2^2 = \frac{1}{\lambda_{N-1}}; \dots; \omega_N^2 = \frac{1}{\lambda_1}$$

$$\omega_1^2 = \lambda_1; \omega_2^2 = \lambda_2; \dots; \omega_N^2 = \lambda_N$$

由此可见,由广义的特征值问题可以得到 n 个特征值,它们顺序排列成如下:

$$\omega_N^2 \geq \omega_{N-1}^2 \geq \dots \geq \omega_2^2 \geq \omega_1^2 \geq 0 \quad (4)$$

式中: $\lambda_i (i = 1, 2, \dots, N)$ $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_N$ — n 个实特征值; $\omega_i (i = 1, 2, \dots, N)$ $\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_N$ —第1、第2、 \dots 、第 n 阶固有频率,而各阶固有频率对应的对应的特征向量称为第1、第2、 \dots 、第 n 阶固有振型。

该车架模型采用 Block lanczos 作为提取方法进行模态分析,因为低阶模态对系统的振动影响比较大,只需求出前面几阶的固有频率与相应振型即可^[9-10]。

本文通过 ANSYS 求解出车架各阶振型图,前 10 阶模态频率如表 2 所示。

表 2 摊铺机车架的 1~10 阶固有频率

阶数	固有频率/Hz	阶数	固有频率/Hz
1	31.484	6	37.674
2	31.592	7	40.447
3	33.579	8	47.977
4	35.714	9	50.590
5	37.339	10	51.261

前 6 阶模态振型如图 7 所示。

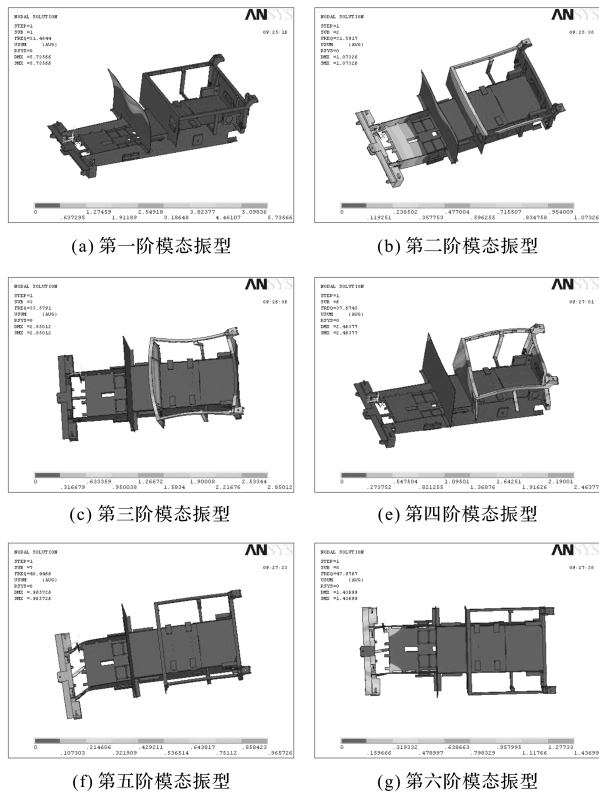


图 7 摊铺机车架振型图

模态分析的结果表明:车架结构的整体固有频率值不是很高,尤其是低阶频率,说明该结构动刚度较小。

图 7(c~f)所示的第三和五阶模态振型表明车架的上平面前后板与左右侧梁连接处扭曲变形较大,设计时考虑可在前板与后板上增加筋板,增强前板与后板的强度,同时增加左右侧梁横截面尺寸,提高左右侧梁与侧梁的连接刚度。

图 7(g)所示的第六阶模态振型显示前挡板与侧板连接处出现扭转情况,故需通过增加连接筋板提高

前挡板与左右侧板前部的连接刚度。

5 结束语

在摊铺机车架设计中,预先进行结构的理论分析,研究车架的强度、刚度以及动态特性等参数,可以很好地缩短产品开发周期和提高设计质量。本文采用有限元法建立了大型复杂摊铺机车架整体的有限元模型,根据摊铺机的多种工况,对摊铺机车架进行了静态特性分析和模态分析。

通过对车架的静态分析可知,前吊耳处结构能够满足力学性能要求,而起吊装置与后板的连接处刚性较差,需要进行进一步的性能结构优化;通过对车架的模态分析,则显示出了结构的动态薄弱环节;设计时可通过对车架的薄弱环节增加筋板或增大截面尺寸等,来提高摊铺机车架的整体刚度,进而减小变形确保摊铺机车架的使用要求。

参考文献 (References):

- [1] 焦生杰. 沥青混凝土摊铺机与施工技术[M]. 北京:人民交通出版社,2007.
- [2] 张伟. 基于 ANSYS 的沥青混凝土摊铺机熨平板有限元分析[D]. 西安:长安大学工程机械学院,2013.
- [3] TENGFEI Y, FEI T, JIANRUN Z, et al. Analysis of mechanical characteristics and structural optimization design of large paver frame [J]. *Journal of Southeast University (Natural Science Edition)*, 2016,46(3):483-488.
- [4] VALLALA, V. P., REDDY, J. N. Higher-order spectral/hp finite element technology for shells and flows of viscous incompressible fluids [J]. *Mathematical and Computational Applications*, 2013,18(3):152-175.
- [5] JUN F, MINGHUI X, ZENGFENG Z, et al. Muffler structure improvement based on acoustic finite element analysis [J]. *Journal of Low Frequency Noise Vibration and Active Control*, 2019,38(2):415-426.
- [6] 尚晓江,邱峰,赵海峰. ANSYS 结构有限元高级分析方法与范例应用[M]. 北京:中国水利水电出版社,2008.
- [7] 曾祥录,韩俊峰,朱留宽,等. 菌形叶根型线铣刀的三维建模及有限元分析研究[J]. *机电工程*,2019,36(3):284-288.
- [8] 吴伟斌,廖劲威,洪添胜,等. 山地果园轮式运输车车架结构分析与优化[J]. *农业工程学报*,2016,32(11):39-47.
- [9] 徐立伟,宗姝,周宏. 对辊式全自动面条机的结构设计[J]. *包装与食品机械*,2018(4):75-77.
- [10] 周军,张立斐,谭林峰,等. 基于 3D 打印技术的食品成型设备结构设计及有限元分析[J]. *机械强度*,2019,41(2):400-406.

[编辑:方越婷]

本文引用格式:

孙健,刘畅,杨鹏程. 基于有限元法的摊铺机车架结构分析[J]. *机电工程*,2020,37(7):841-844.

SUN Jian, LIU Chang, YANG Peng-cheng. Structure analysis of paver frame based on finite element method[J]. *Journal of Mechanical & Electrical Engineering*, 2020,37(7):841-844.

《机电工程》杂志: <http://www.meem.com.cn>