

基于 ANSYS Workbench 的激振力作用下香蕉筛疲劳分析

徐世群, 孙伟

(山金重工有限公司)

摘要:香蕉筛被广泛应用于选矿作业流程,其关键部件的设计影响整机的使用寿命。基于 ANSYS Workbench 进行静力学分析,并利用 Fatigue Tool 进行疲劳寿命模拟计算,得到香蕉筛结构件的寿命云图,从而确定香蕉筛结构件的薄弱环节,为优化设计提供了理论依据。

关键词:香蕉筛;静力学分析;疲劳分析;优化设计;ANSYS Workbench

中图分类号:TD452

文献标志码:A

文章编号:1001-1277(2024)02-0029-04

doi:10.11792/hj20240206

引言

香蕉筛是一种重型等厚振动筛^[1],广泛应用于分级、脱泥、脱介及脱水等工艺环节。在香蕉筛的使用过程中,主梁在疲劳和重复加载的情况下容易发生断裂,疲劳裂纹通常出现在结构危险位置的周围区域内,因此,对结构恶化的过程进行侦测是相当困难的。此外,结构件的累积损伤并不会自行恢复,因此香蕉筛灾难性事故发生之前通常没有任何预兆。

随着虚拟仿真技术的推广应用,疲劳寿命分析技术也日渐成熟,本文提出基于 ANSYS Workbench 的疲劳寿命模拟^[2],分析了香蕉筛寿命薄弱点,为优化设计提供了理论依据。

1 香蕉筛激振力计算

香蕉筛工作时由电动机带动带轮和三角带传递动力,再通过万向联轴器将动力传递给激振器,激振器带动 2 个偏心块运转,相同质量的 2 个偏心块作同步反向旋转运动,产生的离心力在轴向上相互抵消,从而使得物料作直线运动。激振力的大小和作用方式对香蕉筛的工作性能和筛分效果有着至关重要的影响,在实际应用中,常常需要根据筛分物料的特性和生产需求,选择合适的激振力类型和大小,以达到筛分要求;同时,香蕉筛的激振力大小也影响着自身的结构强度和使用寿命。本文通过对焦家金矿 3661 型香蕉筛的研究,并结合实际应用情况,验证理论计算和有限元分析方法的准确性,为香蕉筛的设计和优化提供一定参考依据。

激振力分析是香蕉筛有限元分析的基础,因此,对激振力的分析应力求可靠。香蕉筛简化模型受力分析如图 1 所示。

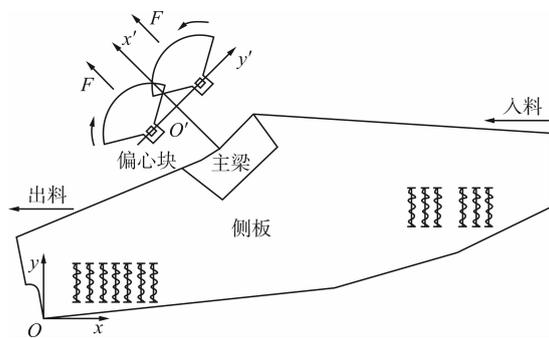


图 1 激振力示意图

Fig. 1 Schematic diagram of excitation force

香蕉筛激振力在偏心块作用下产生离心力,离心力的合力在局部坐标系 $x'O'y'$ 中沿 y' 方向为最大值,随着偏心块旋转逐渐减小,至 x' 方向变为 0,变化规律为正弦函数,由此带动香蕉筛沿 y' 方向作直线往复运动,激振力 F 计算公式^[3]为:

$$F = me\omega^2 \sin(\omega t) = P \sin(\omega t)$$

式中: m 为偏心块总质量 (kg); e 为偏心距 (mm); ω 为偏心块旋转角速度 (rad/s); P 为激振力最大值 (MPa); t 为工作时间 (s)。

根据产品说明书,8 个偏心块的总质量为 1 096 kg,已知其工作频率为 13.67 Hz,求得 $\omega = 85.89$ rad/s,偏心距 $e = 198$ mm,代入激振力计算公式:

$$F = 1\,443\,000 \cdot \sin(85.89t)$$

2 香蕉筛静力学分析

香蕉筛静力学分析是有限元分析的一种,激振力对香蕉筛结构的稳定性和变形会产生一定的影响。在进行香蕉筛疲劳分析时,需要先进行静力学分析,以确定香蕉筛在静态负载下的应力分布和变形情况,为疲劳分析提供基础数据。通过静力学分析,可以优

化香蕉筛的设计,提高其承载能力和稳定性,减少在使用过程中可能出现的故障和损坏。

为提高建模效率,在 Solidworks 中建立香蕉筛简化模型,并导入 ANSYS Workbench 中,设置接触方式、网格划分、添加集中质量等参数^[4]。对模型添加重力,设置重力加速度为 9.8 m/s^2 ,在激振器支承横梁上添加激振力 F 。由于香蕉筛与地面之间通过弹簧连接,在力的作用下会产生位移,所以在分析设置中需要打开惯性释放 (Inertia Relief),从而允许对完全无约束的结构进行静力分析。软件会自动给模型添加一个与作用力等大、反向的惯性力,以此来使模

型保持平衡状态。模型受力状态见图 2。

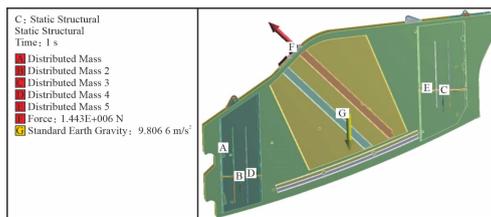


图 2 模型受力示意图

Fig. 2 Schematic diagram of the model under force

设置完成后,对香蕉筛进行静力学分析,香蕉筛应力分布云图和应变分布云图见图 3。

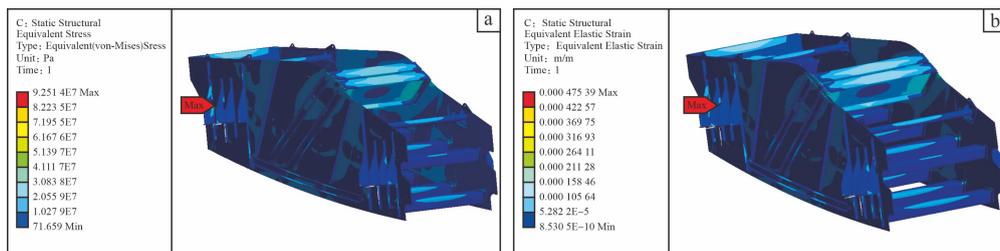


图 3 应力分布云图 (a) 和应变分布云图 (b)

Fig. 3 Cloud charts of stress distribution (a) and strain distribution (b)

从图 2、图 3 可以看出:最大应力出现在左后方弹簧支座上,最大应变位置与最大应力位置相同,最大应力约为 92.5 MPa ,最大应变约为 $5 \times 10^{-4} \text{ m/m}$ 。与实际应用情况相符,最大应力位置放大图见图 4。从图 4 可以看出:应力集中点位于弹簧支座纵向加强筋的弯折处。该处为 2 个应力集中相互叠加:一方面,筋板折弯,由于设置的折弯半径较小而引起的应力集中;另一方面,在激振力作用下,弹簧压缩弹性势能引起的筋板变形,共同作用引起的应力集中,为重复应力集中。此外,激振器的支承横梁为应力较大处,应力为 30.5 MPa ,应变为 $1.4 \times 10^{-4} \text{ m/m}$ 。

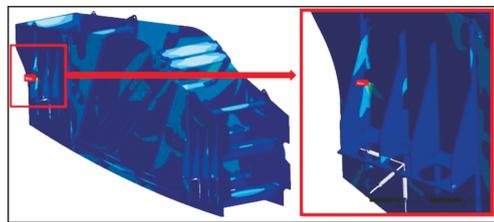


图 4 最大应力位置放大图

Fig. 4 Magnified view of the location of maximum stress

3 香蕉筛疲劳分析

疲劳分析是研究香蕉筛在重复动态负载下的响应情况。疲劳分析可以确定香蕉筛在重复动态负载下可能出现的疲劳损伤和寿命,以便及时进行维护和更换,避免因疲劳损伤导致的安全问题和设备故障。通过疲劳分析,可以优化香蕉筛的设计,提高其抗疲

劳性能和工作寿命。

在疲劳分析中,对于应力-寿命分析方法,需要将结构的应力结果与材料的 S-N 曲线对比,计算出结构各位置的疲劳损伤、疲劳寿命等结果。本文利用 ANSYS Workbench 中 Mechanical 模块自带的 Fatigue Tool 功能,依次导入模型、定义材料、设置接触方式、划分网格、添加载荷及支撑,输入材料的 S-N 曲线,之后在分析结果 Solution 中添加寿命计算模块,选择需要输出的结果后进行疲劳分析。Fatigue Tool 疲劳分析步骤见图 5。

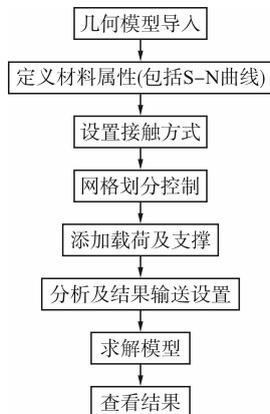


图 5 Fatigue Tool 疲劳分析步骤

Fig. 5 Fatigue Tool fatigue analysis procedure

1) 设置疲劳强度因子 K_f 。疲劳强度因子 K_f 是指结构件在疲劳循环载荷下的耐久性能,其影响因素包括材料的性能、零件的几何形状、载荷类型和大小等。不同结构件表面光滑程度不同,表面粗糙的结构

件更有可能存在初始裂纹,因此疲劳强度会减弱^[5]。疲劳强度因子 K_f 是用来描述结构表面不光滑度对结构强度及寿命的影响,一般小于1。由于香蕉筛的工况比较恶劣,在筛分过程中物料颗粒与筛体发生碰撞摩擦,会导致疲劳强度进一步降低,结合经验,疲劳强度因子 $K_f = 0.7$ 。

2) 设置载荷类型。载荷类型可以设置为单向循环载荷、对称循环交变载荷、不对称循环交变载荷3种^[6]。由激振力计算公式可得,在激振力作用下,在该疲劳分析中设置载荷类型为对称循环交变载荷(见图6)。

3) 设置疲劳分析类型。机械疲劳分析通常有应变疲劳、多轴疲劳、焊缝疲劳、随机振动疲劳、热机疲劳、蠕变等类型。振动筛载荷为循环交变载荷,疲劳类型属于应变疲劳。

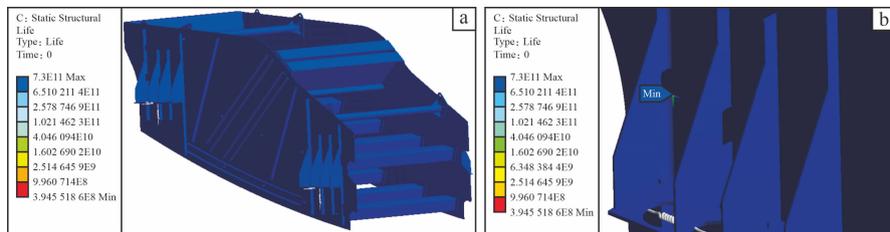


图7 疲劳寿命云图(a)和最小疲劳寿命位置放大图(b)

Fig. 7 Fatigue life cloud chart (a) and magnified view of the location of minimum fatigue life (b)

从图7可以看出:香蕉筛最低寿命为 3.9×10^8 s, 满足设计要求。危险位置位于左后方弹簧支座。该位置既是受力较大部位,又是构件之间的连接位置,所以疲劳寿命偏低。

安全系数云图见图8。从图8可以看出:数值表示设计寿命中的交变应力与给定点的等效交变应力之比,数值越大表示该位置越安全,最低安全系数为1.1,其中激振器支承横梁、侧板、弹簧支座位置安全系数相对较小。

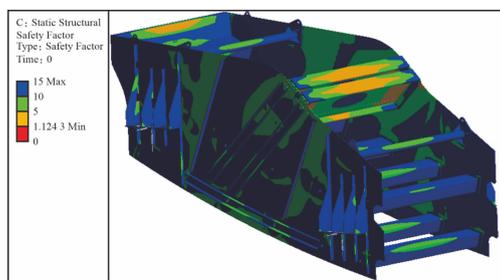


图8 香蕉筛安全系数云图

Fig. 8 Cloud chart of safety factors for banana vibration screen

双轴应力状态是一种物质受到2个相互作用应力的状态,即同时存在正应力和剪切应力的状态^[7]。在材料中,双轴应力通常由2个垂直方向的力引起,可以用正应力-剪切应力图来表示(见图9),即某一点剪切应力为0时,数值较小与数值较大的法

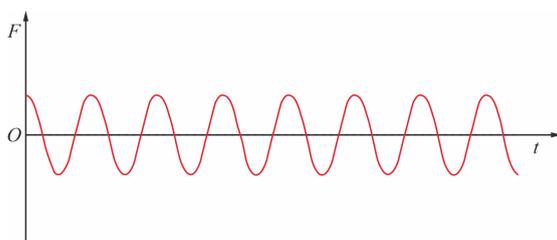


图6 载荷循环方式示意图

Fig. 6 Chart of load cycle modes

4) 设置使用寿命。考虑香蕉筛的使用工况,按一天工作8 h、使用寿命10 a计算,约为 1.08×10^8 s。

5) 运行求解。可以通过图标选项,将云图的应变、应力等修改为浮点计数法;通过右击结果,选择添加安全系数图解,在设置完成各项参数后,疲劳分析将在应力分析之后自动进行。分析结果见图7。

向应力的比值。数值为0代表该位置为单轴应力状态,数值为-1代表该位置为纯剪切应力状态,数值为1代表该位置为双轴应力状态;对应应力双轴指示图,颜色越接近红色表示双轴应力占主导,颜色越接近蓝色代表剪切应力占主导,绿色代表单轴应力占主导。从图9可以看出,筛板整体以单轴应力为主,局部存在明显剪切应力,激振器支承横梁与侧板连接位置双轴应力明显。

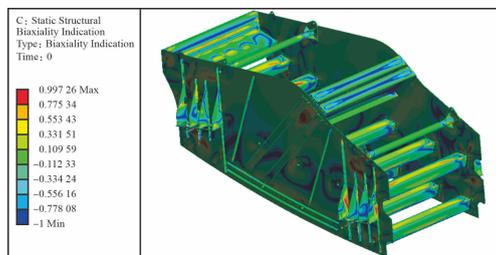


图9 双轴应力指示图

Fig. 9 Biaxial stress indicator diagram

通过分析得到了疲劳寿命敏感性曲线(见图10)。实际应用中,大型工程设备在工作时受到的作用力往往不是一成不变的,会因外部环境变化、能量变化、传动系统损耗而在一定范围波动,疲劳敏感性曲线可以反映出这种载荷变化对疲劳寿命的影响,定义载荷变化为50%~200%。从图10可以看出:疲劳寿命随

载荷的改变有比较明显的变化,当载荷增大到基本载荷的 1.5 倍时,疲劳寿命仅剩约 3.86×10^6 s。

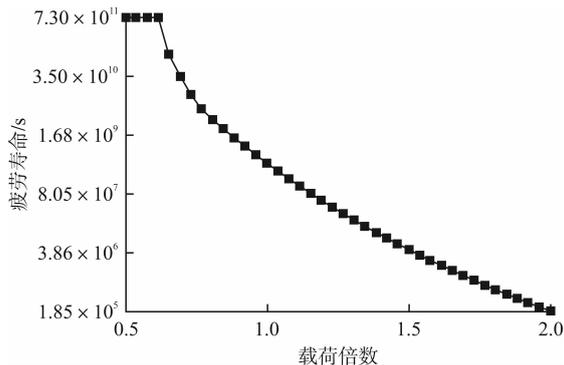


图 10 疲劳寿命敏感性曲线

Fig. 10 Fatigue life sensitivity curve

4 结论

1) 通过对香蕉筛进行静力学分析,可以得到构件应力集中部位,与实际应用情况相符,证明该有限元分析方法具有参考意义。

2) 通过对香蕉筛进行疲劳分析,得到了香蕉筛疲劳寿命分布云图及最低寿命,并通过观察疲劳寿命云图发现危险位置位于左后方弹簧支座上,具体位于纵向加强筋的弯折处,为应力集中造成的。后续改进中可以改变结构形状,使形状变化更加平滑,或者通过

加强结构件来加强该位置的刚度,从而提高疲劳寿命。

3) 通过对香蕉筛结构件安全系数进行分析,发现香蕉筛的激振器支承横梁、侧板、弹簧支座安全系数相对较低,在日常的检查维护中应作为重点对象,及时发现裂纹等疲劳破坏前兆,避免造成更大损失。在实际使用中,出现过侧板有裂缝的情况,由于侧板受循环交变载荷,焊接会改变局部材料组织性能,因此在实际处理时应采取在裂缝末端钻止裂孔的方式,防止裂纹的延伸。

4) 香蕉筛疲劳寿命对载荷变化比较敏感,表现为当载荷增大时疲劳寿命出现大幅下降。在日常使用中,瞬时载荷波动不会产生太大影响,但还应尽量避免载荷长时间波动,以延长香蕉筛使用寿命。

【参考文献】

- [1] 赵怀帅,侯磊. 国内外香蕉筛的研究现状及今后我国重点研究方向[J]. 矿山机械,2010,38(5):85-90.
- [2] 吕凯波,刘混举. 基于有限元法的机械疲劳寿命预测方法的研究[J]. 机械工程与自动化,2008,37(6):113-114,117.
- [3] 孙旂,王兆申. 大型香蕉筛的研究与设计[J]. 选煤技术,2005(6):4-7.
- [4] 张功学,申晓凯. 大型香蕉型振动筛静力学及模态分析[J]. 矿山机械,2012,40(11):60-64.
- [5] 彭飞. 基于 ANSYS Workbench 的大型香蕉筛动力学分析[J]. 机械研究与应用,2020,33(3):39-41,44.
- [6] 李富强,韩越. 矿用振动筛结构损伤监测系统设计[J]. 煤矿机械,2021,42(11):15-18.
- [7] 安晓卫,王富刚,徐文彬,等. 香蕉形直线振动筛的动力学仿真分析[J]. 机械设计,2012,29(9):41-46.

Fatigue analysis of banana vibration screen under excitation force based on ANSYS Workbench

Xu Shiqun, Sun Wei

(Shanjin Heavy Industry Co., Ltd.)

Abstract: The banana vibration screen is widely used in the mineral processing operation process. The design of its key components affects the service life of the whole machine. Based on static analysis using ANSYS Workbench and fatigue life simulation calculation using Fatigue Tool, and the life cloud diagram of the banana screen structure components is obtained. This determines the weak link of the banana screen structure components, providing a theoretical basis for optimizing the design.

Keywords: banana vibration screen; static mechanical analysis; fatigue analysis; optimization design; ANSYS Workbench

(上接第 23 页)

Study on explosibility of rock mass based on XGBoost model

Wu Lingfeng¹, Zhou Zonghong², Sun Wei¹

(1. Jinping Chang'an Mining Co., Ltd.;

2. School of Land and Resources Engineering, Kunming University of Science and Technology)

Abstract: Rock mass explosibility is an important index to measure the difficulty of rock mass blasting, and an accurate evaluation of rock mass explosibility can provide a basis for reasonable blasting design. In this paper, rock density, uniaxial compressive strength, rock tensile strength, rock brittleness index, dynamic load strength, and integrity coefficient are selected as the indicators of rock mass explosibility data set. The data set of rock mass explosibility is standardized by Z-Score, and the influence of dimension on model prediction is eliminated. Naive Bayes, support vector machine, and XGBoost models are used to classify rock mass explosibility. The results show that XGBoost model can accurately evaluate rock mass explosibility and provide a new method for rock mass explosibility evaluation.

Keywords: blasting; rock mass explosibility; explosibility classification; XGBoost; machine learning algorithm