

钢-泡沫铝-钢层合结构矿用溜槽减振降噪优化及其性能分析

沈佳兴^{1,2}, 徐平², 亓振³, 于英华²

(1. 辽宁工程技术大学矿产资源开发利用技术及装备研究院, 辽宁 阜新 123000; 2. 辽宁工程技术大学机械工程学院, 辽宁 阜新 123000; 3. 合肥工业大学宣城校区土木与水利工程学院, 安徽 宣城 242000)

摘要: 针对矿用溜槽的振动及噪声剧烈、使用寿命低等问题, 设计一种钢-泡沫铝-钢层合结构矿用溜槽。采用参数优化理论, 结合 ANSYS Workbench 软件对其结构参数进行优化设计。分析了优化后的钢-泡沫铝-钢层合结构矿用溜槽的抗冲击性能、谐响应性能及声学性能。结果表明: 钢-泡沫铝-钢层合结构矿用溜槽不仅质量降低 11.4%, 而且最大冲击应力降低 15%、最大谐响应振幅降低 90% 以上, 同时溜槽的降噪性能也得到显著提升。证明了钢-泡沫铝-钢层合结构矿用溜槽不仅能够减轻溜槽的质量而且具有优越的抗冲击和减振降噪性能。

关键词: 减振; 降噪; 优化设计; 泡沫铝; 溜槽

中图分类号: O328; TB535⁺.1 **文献标志码:** A **文章编号:** 1004-4523(2021)02-0372-07

DOI: 10.16385/j.cnki.issn.1004-4523.2021.02.018

引言

矿用溜槽是最早应用的选矿设备, 是煤炭运输及筛选分级过程中的重要设备, 能实现煤炭的过渡运输、集中分配、等分、调节工艺流程等重要作用, 从而实现煤炭沿着一定路线输送^[1-4]。因为矿用溜槽工作时不断受到输送煤块和矸石的冲击进而产生持续的、剧烈的振动和冲击力, 这不仅妨碍机器的有效运行, 还会显著缩短工作寿命^[5-6], 而且输送物料的冲击和摩擦也会产生 100-115 dB 的噪声, 严重危害工作人员及周边居民的身心健康^[5-7], 因此降低矿用溜槽的振动和噪声是提高溜槽性能所亟需解决的问题。目前, 降低溜槽的振动和噪声常采用的方法主要有两类: 其一为优化溜槽的结构和参数^[6,8]; 其二为使用具有减振降噪性能的新材料制造溜槽^[7,9]。方法一是通过优化溜槽的结构和参数减小溜槽工作时受到的冲击及改善溜槽的动力学性能进而降低溜槽的振动; 方法二首先利用减振降噪材料主动减轻溜槽的振动, 然后再利用材料的吸声隔声功能进一步降低噪声向周围环境的传播, 进而达到减振降噪的目的。

泡沫铝是一种新型的结构功能一体化材料, 具有低密度、减振、冲击吸能、高阻尼、吸声隔声等优异特性^[10-12], 为此, 本文以一种梯台形溜槽为研究对

象, 利用泡沫铝的优点设计一种钢-泡沫铝-钢层合结构矿用溜槽(简称: 泡沫铝溜槽), 然后对其结构参数进行多目标优化设计并分析其抗冲击性能, 谐响应性能及其声学性能, 最后通过实验检验泡沫铝溜槽的降噪性能。本文采用的钢-泡沫铝-钢层合结构适用于其他有减振、降噪、抗冲击等需求的机械设备, 并且采用的优化设计方法普遍适用于其他机械结构的优化设计, 因此本文具有一定的应用价值和指导意义。

1 原型溜槽性能分析

1.1 原型溜槽抗冲击性能分析

溜槽工作时煤块物料的冲击是产生溜槽振动和噪声的主要原因, 而且持续的冲击也会破坏溜槽, 降低使用寿命。因此首先研究原型溜槽的抗冲击性能。

原型溜槽的结构为梯台形, 其截面为正方形, 溜槽的进料口边长为 600 mm, 出料口边长为 420 mm, 高为 468 mm, 制造溜槽的钢板厚 5 mm。制造原型溜槽的钢板为 Q235, 材料参数: 密度为 7800 kg/m³、弹性模量为 200 GPa、泊松比为 0.28、屈服强度为 235 MPa、声音的传播速度为 5130 m/s、阻尼比为 0.005。煤块物料的材料参数: 密度为 1500 kg/m³、

弹性模量为 1.7 GPa、泊松比为 0.2、屈服强度为 113.6 MPa。考虑到 Q235 是应变率敏感材料,因此建立其 Cowper-Symonds 模型如下式

$$\sigma = \sigma_0 \left[1 + \left(\frac{\dot{\epsilon}}{D} \right)^{\frac{1}{P}} \right] \quad (1)$$

式中 σ, σ_0 分别为材料的动态和静态屈服应力; $\dot{\epsilon}$ 为应变率; D, P 为应变率参数,取 $D=40 \text{ s}^{-1}, P=5$ 。

分析时假设煤块为平均直径 80 mm 的球形,煤块从上级输送机在经过溜槽高度差作用下产生大小约为 3 m/s 竖直向下的速度冲击到溜槽上。采用 Workbench-Explicit Dynamics 模块分析原型溜槽的冲击性能,溜槽和煤块的三维模型在 Explicit Dynamics 软件中建立并设置 Q235 和煤块的材料参数。对溜槽和煤块采用六面体-四面体混合网格进行划分,网格大小为 20 mm,模型中共有 36956 个节点,5530 个单元,网格模型如图 1 所示。溜槽工作时溜槽进料口固定到其他设备上,因此在溜槽入料口的表面施加固定约束,设置物料有竖直向下的 3 m/s 初速度,在整个模型中施加重力加速度,设置物料与溜槽的接触类型为摩擦接触,静摩擦系数系数为 0.3,动摩擦系数为 0.25,如图 2 所示。分析 0.01 s 内煤块与溜槽的碰撞情况,结果如图 3 和 4 所示。

由图 3 可知溜槽的冲击应力曲线为抛物线,这是因为煤块与溜槽接触后溜槽迅速发生弹性变形并产生冲击应力,这时溜槽的冲击应力逐渐增加。当

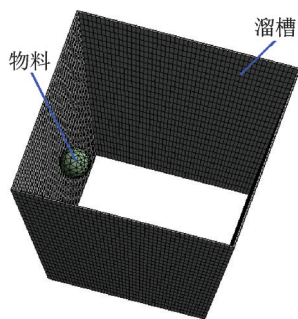


图 1 溜槽的网格模型
Fig. 1 Grid model of chute

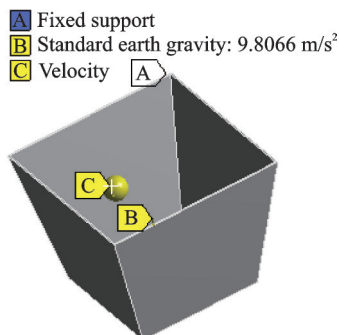


图 2 溜槽的边界条件
Fig. 2 Boundary conditions of chute

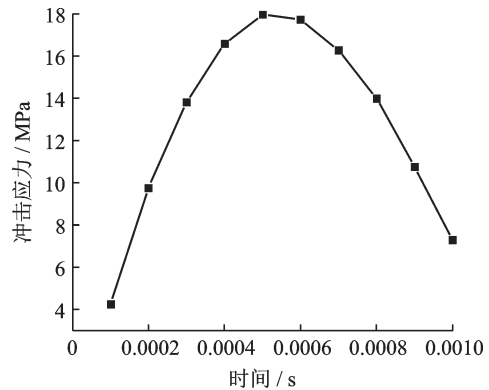


图 3 溜槽的冲击应力曲线
Fig. 3 Impact stress curve of chute

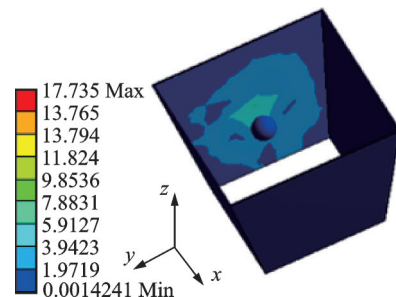


图 4 溜槽的最大冲击应力
Fig. 4 Maximum impact stress of chute

时间为 0.005 s 时,在煤块与溜槽的接触位置有最大冲击应力 17.735 MPa,如图 4 所示,但溜槽仍处于弹性变形阶段。之后煤块被弹开溜槽变形开始恢复,冲击应力也逐渐减小。

1.2 原型溜槽谐响应分析

根据溜槽的有效体积计算其满载时每个衬板上的激振力如下式所示

$$F = mg = \rho g \frac{V - V'}{4} \quad (2)$$

式中 V 为溜槽整体体积, V' 为溜槽开口体积, m 为煤质量, ρ 为煤密度, g 重力加速度。

根据式(2)计算每个衬板上激振力大小为 151.632 N,设激振力的相位角为零。激振力的频率与煤块输送量及煤块的粒度等因素有关,煤块冲击产生的激振力频率不会过高。谐响应分析时研究的频率范围为 0-1000 Hz。在冲击分析基础上进行谐响应分析,分析时删除三维模型中煤块并重新划分网格。然后在溜槽的四个衬板面分别施加激振力,模型中约束条件和材料参数不需修改。因为溜槽进料口被约束且出料口自由,最大振动幅值应出现在出料口处,所以考察出料口处的频响特性。溜槽截面为正方形,溜槽在 x 轴和 y 轴方向的振幅相同,所以分析如图 4 坐标系下溜槽沿 x 和 z 两个方向的频响特性,结果如图 5

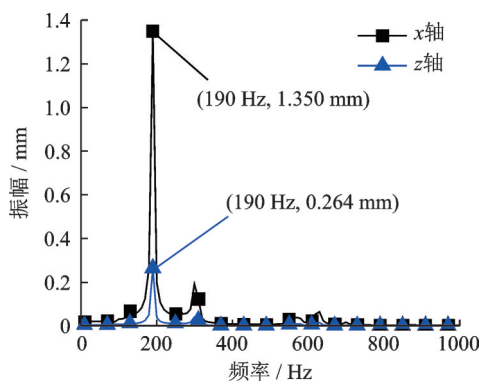


图5 溜槽的频响曲线

Fig. 5 Frequency response curve of chute

所示。

由图5可知原型溜槽在190 Hz时,在 x 轴和 z 轴方向均有最大振幅,分别为1.350 mm和0.264 mm。溜槽振幅过大会大幅降低其使用寿命且产生的噪声也会增大,因此应尽量降低溜槽的振幅。

1.3 原型溜槽声学性能分析

采用 Workbench-Harmonic Acoustics 模块分析溜槽的声学性能。在溜槽中心建立边长为2 m的正方体声场分析域,如图6所示。溜槽的材料参数上文已经定义不需修改,声场传播域为空气介质,常温下其密度为 1.225 kg/m^3 ,声音的传播速度为 346.25 m/s ,黏度为 $1.7894 \times 10^{-5} \text{ kg/(m}\cdot\text{s)}$ 。溜槽的网格不需修改,声场分析域的网格大小设为25 mm,模型中共有89686个节点,54473个单元。将溜槽和空气介质设为“Acoustic Region”,其作用是将结构单元转化为声学单元。在溜槽的四个衬板内表面分别施加大小为 $0.01 \text{ kg/(m}^2\cdot\text{s)}$ 振动质量源用于模拟冲击振动产生的声源。工程中常用中心频率为125, 250, 500, 1000, 2000, 4000 Hz的六个倍频程分析声学性能^[7],分析结果如图7所示。分析域的最高声压随着中心频率的增加先缓慢变大后迅速上升,在低频时溜槽的声压为110 dB左右,在高频时溜槽的声压约为135 dB。

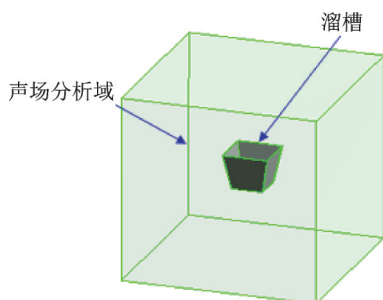


图6 声场分析模型

Fig. 6 Sound field analysis model

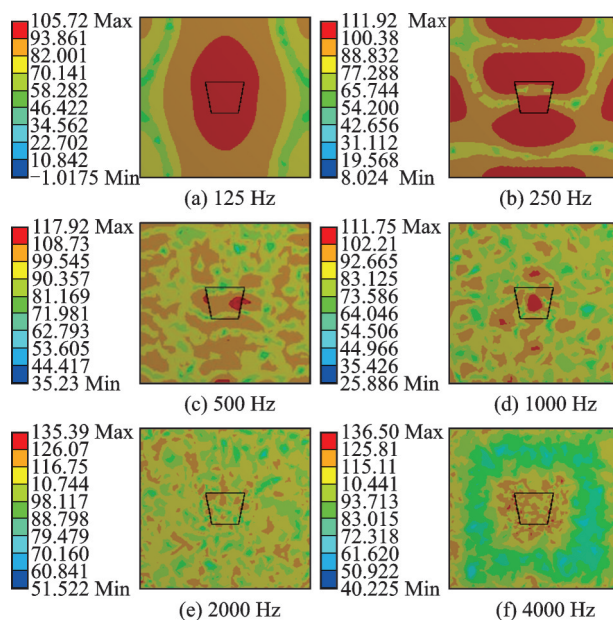


图7 原型溜槽声压

Fig. 7 Sound pressure of prototype chute

2 泡沫铝溜槽结构优化设计

根据原型溜槽的结构尺寸及与溜槽配套的筛选设备装配关系,在不改变溜槽外形尺寸保证其能与相关筛选设备正常装配使用的情况下,设计的泡沫铝溜槽结构如图8所示,由Q235材质的内板、外板、横向和竖向加强筋及泡沫铝芯板组成。泡沫铝为闭孔泡沫铝,密度为 500 kg/m^3 ,弹性模量为8 GPa,泊松比为0.33,屈服强度为14 MPa,阻尼比为0.02,声音的传播速度为 5000 m/s 。采用 Cowper-Symonds 模型模拟泡沫铝的应变率效应^[13-14],如式(1),取 $D=6500 \text{ s}^{-1}$, $P=4$ ^[15]。

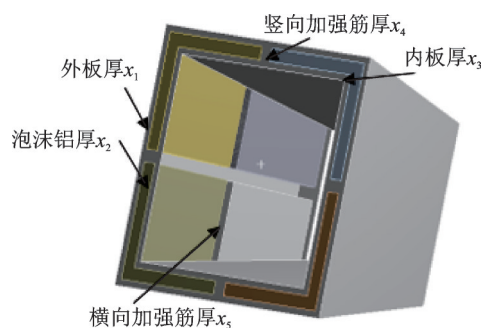


图8 泡沫铝溜槽结构

Fig. 8 Aluminum foam chute structure

为使泡沫铝溜槽具有最佳的减振降噪性能同时具有轻质性,本文对泡沫铝溜槽进行多目标参数优化设计。优化时将泡沫铝溜槽的外板厚 x_1 、泡沫铝厚 x_2 、内板厚 x_3 、竖向加强筋厚 x_4 、横向加强筋厚 x_5 作为优化变量。因为原型溜槽的钢板厚为5 mm,所

以设定 $1\text{ mm} \leq x_1 = x_3 = x_4 = x_5 \leq 5\text{ mm}$; 泡沫铝不宜过厚,防止泡沫铝溜槽尺寸变化过大,因此设定 $1\text{ mm} \leq x_2 \leq 20\text{ mm}$ 。将泡沫铝溜槽的冲击应力、各轴向最大谐响应振幅、各中心频率条件下噪声声压及泡沫铝溜槽质量指标最小作为优化目标函数。优化的约束条件应满足:溜槽中泡沫铝的最大应力应小于其屈服应力,同时以各优化目标函数性能不大于原型溜槽的对应性能。因为该优化具有多个优化目标函数,且各个优化目标函数的重要程度相当,所以采用等权重折衷规划法将多目标优化问题转化为单目标优化问题,其数学模型如下

$$\min F(\mathbf{X}) = \sum_{i=1}^{n=10} \frac{1}{n} \frac{f_i(\mathbf{X}) - f_{i,\min}}{f_{i,\max} - f_{i,\min}}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \sigma_{\text{foam}}(\mathbf{X}) \leq [\sigma_{\text{foam}}] = 14\text{ MPa} \\ \sigma_{\text{im}}(\mathbf{X}) \leq \sigma_{\text{im}} = 17.735\text{ MPa} \\ A_x(\mathbf{X}) \leq A_x = 1.350\text{ mm} \\ A_z(\mathbf{X}) \leq A_z = 0.264\text{ mm} \\ \text{s.t. } SPL_s(\mathbf{X}) \leq SPL_s, s = 1, 2, \dots, 6 \\ m(\mathbf{X}) \leq m = 37.538\text{ kg} \\ \mathbf{X} = (x_1, x_2, x_3, x_4, x_5)^T \\ 1 \leq x_j \leq 5, j = 1, 3, 4, 5 \\ 1\text{ mm} \leq x_2 \leq 20\text{ mm} \end{array} \right. \quad (3)$$

式中 $f_i(\mathbf{X}), i=1, 2, \dots, 10$ 分别为泡沫铝溜槽的冲击应力目标函数、泡沫铝溜槽在 x 轴和 z 轴方向的最大谐响应振幅目标函数、泡沫铝溜槽在六个中心频率时的声压目标函数和泡沫铝溜槽质量目标函数; $\sigma_{\text{foam}}, \sigma_{\text{im}}$ 分别为溜槽中泡沫铝材料的最大冲击应力和溜槽整体的最大冲击应力; A_x, A_z 分别为原型溜槽在 x 轴和 z 轴方向的最大谐响应振幅; m 为原型溜槽的质量; SPL_s 分别为原型溜槽中心频率 125, 250, 500, 1000, 2000 和 4000 Hz 时的声压。

采用 Workbench-Direct Optimization 模块对泡沫铝溜槽进行多目标优化设计。按照公式 (3) 在软件中建立有限元参数优化模型,并采用多目标遗传算法(MOGA)算法进行求解,求解迭代曲线如图 9 所示。由图可知优化目标函数初始阶段迅

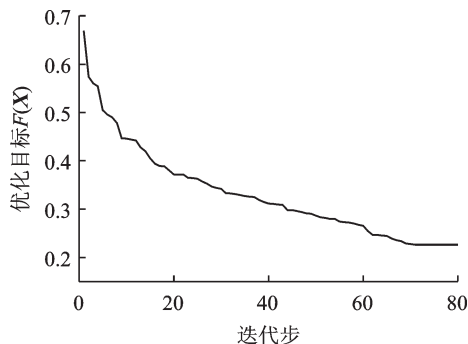


图 9 优化目标函数迭代曲线

Fig. 9 Iteration curve of optimization objective function

速降低后逐步减缓,直至第 71 次迭代计算该优化收敛。通过优化计算并根据常用钢板厚度标准,最终确定泡沫铝溜槽各结构的最优尺寸如表 1 所示。

表 1 优化结果

Tab. 1 Optimization results

x_1/mm	x_2/mm	x_3/mm	x_4/mm	x_5/mm
2.2	10.0	1.5	2.0	4.0

3 优化后泡沫铝溜槽性能分析

根据优化结果重新建立泡沫铝溜槽的三维模型,利用 Workbench 软件计算泡沫铝溜槽的质量为 33.26 kg,比原型溜槽的 37.538 kg 减小了 11.4%。

3.1 泡沫铝溜槽抗冲击性能分析

利用 Workbench-Explicit Dynamics 对泡沫铝溜槽的抗冲击性能进行分析,分析时泡沫铝溜槽的网格划分方式及大小、约束条件及煤块的速度载荷与原型溜槽冲击性能分析时相同,结果如图 10 和 11 所示。由两图可知泡沫铝溜槽在 $8.375 \times 10^{-4}\text{ s}$ 时有最大的冲击应力 15.08 MPa,位于煤块与溜槽内板接触的钢板上,而其余部位及泡沫铝芯体的应力均较

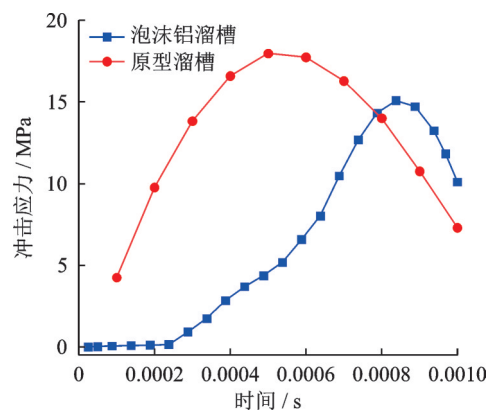


图 10 泡沫铝溜槽冲击应力曲线

Fig. 10 Impact stress curve of aluminum foam chute

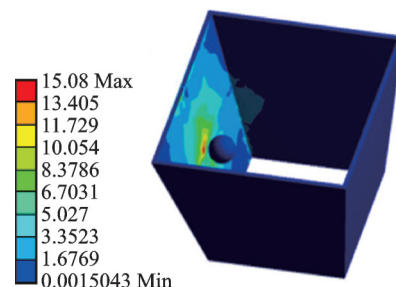


图 11 泡沫铝溜槽最大冲击应力

Fig. 11 Maximum impact stress of aluminum foam chute

小。通过比较可知泡沫铝溜槽的最大冲击应力比原型溜槽最大冲击应力减小 15%，因此泡沫铝溜槽的抗冲击性能得到显著提高。

3.2 泡沫铝溜槽谐响应分析

在泡沫铝溜槽抗冲击性能分析的基础上，删除不需要的煤块模型后进行泡沫铝溜槽谐响应分析。对泡沫铝溜槽施加与原型溜槽谐响应分析时相同的约束条件及激振载荷，并分析泡沫铝溜槽沿 x 轴和 z 轴两个方向在 0-1000 Hz 范围内的响应幅值，结果如图 12 所示。由图可知泡沫铝溜槽 x 轴最大振幅要明显高于 z 轴，且两个方向的最大振幅均出现在 762.5 Hz 时，该频率要远高于原型溜槽 190 Hz，有助于避免发生共振；同时泡沫铝溜槽 x 轴最大振幅和 z 轴最大振幅分别为 6.647×10^{-2} mm 和 1.573×10^{-2} mm，均比原型溜槽各向最大振幅减小 90% 以上，证明泡沫铝溜槽具有更佳的减振性能。

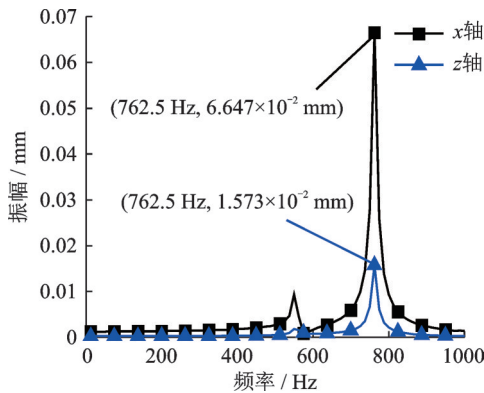


图 12 泡沫铝溜槽的频响曲线

Fig. 12 Frequency response curve of aluminum foam chute

3.3 泡沫铝溜槽声学性能分析

同样在泡沫铝溜槽中心建立边长为 2 m 的正方体声场分析域。分别定义泡沫铝、Q235 和空气介质的材料参数。模型的网格划分方法和尺寸与原型相同。在泡沫铝溜槽四个内板外表面施加大小为 $0.01 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 振动质量源。求解泡沫铝溜槽在 125, 250, 500, 1000, 2000 和 4000 Hz 的六个倍频程的声压，如图 13 所示。由图可知泡沫铝溜槽的声压范围为 99.35-127.92 dB，泡沫铝溜槽的声压分布与原型溜槽基本一致。泡沫铝溜槽各频率的声压变化情况如表 2 所示。由表 2 可知泡沫铝溜槽比原型溜槽的声压降低 6.03-13.7 dB，证明泡沫铝溜槽的降噪性能明显优于原型溜槽。

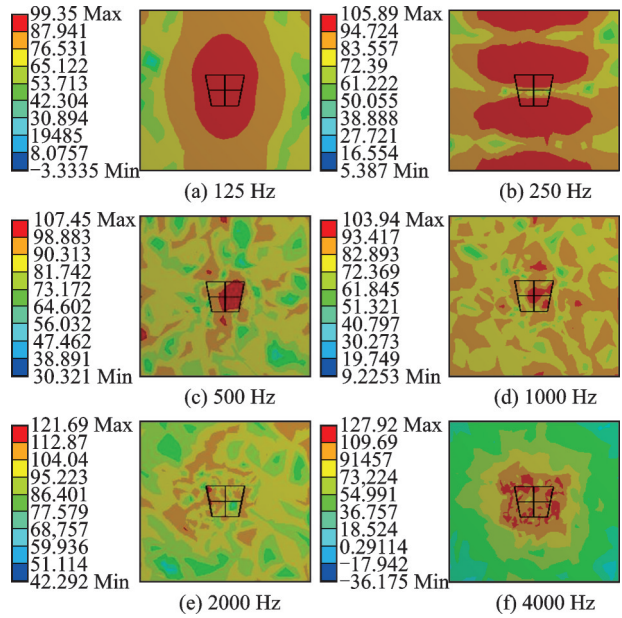


图 13 泡沫铝溜槽声压

Fig. 13 Sound pressure of aluminum foam chute

表 2 泡沫铝溜槽声压结果

Tab. 2 Sound pressure results of aluminum foam chute

倍频/Hz	原型溜槽/ dB	泡沫铝溜槽/ 槽 / dB	声压减小值/ dB
125	105.72	99.35	6.37
250	111.92	105.89	6.03
500	117.92	107.45	10.47
1000	111.75	103.94	7.81
2000	135.39	121.69	13.70
4000	136.50	127.92	8.58

4 泡沫铝溜槽降噪实验

采用 AWA5680 型多功能声级计分别测量原型溜槽和泡沫铝溜槽在相同噪声源的不同频率情况下距离声源 1 m 时的声压，并比较两种情况下的声压以证明泡沫铝溜槽具有良好的降噪性能，实验原理如图 14 所示。具体实验仪器如图 15 所示，包括：AWA5680 型多功能声级计、两种溜槽、声源及声谱发生软件 SineGen。



图 14 测量原理

Fig. 14 Measurement principle

实验结果如表 3 所示。因为实验声源的功率有限，所以产生的声压略小于实际情况。通过比较可

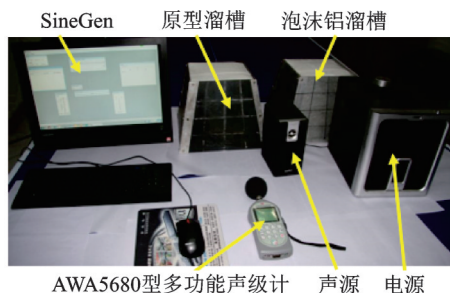


图15 实验仪器设备

Fig. 15 Experimental equipments

表3 实验结果

Tab. 3 Experimental results

倍频/Hz	原型溜槽/ dB	泡沫铝/dB	减小值/dB
125	73.2	68.5	4.7
250	78.5	73.8	4.7
500	83.4	76.7	6.7
1000	81.7	75.6	6.1
2000	95.3	86.5	8.8
4000	96.8	90.3	6.5

知泡沫铝溜槽的声压要比原型减小4.7-8.8 dB,该值小于仿真结果是因为环境的背景噪声等因素的影响。通过实验证明泡沫铝溜槽具有较好的降噪性能。

5 结论

设计一种泡沫铝溜槽,并对其结构进行多目标参数优化,分析其抗冲击、谐响应及声学性能。泡沫铝溜槽与原型溜槽相比,不仅质量降低了11.4%,并且冲击应力减小15%, x 轴和 z 轴的最大谐响应振幅均减小90%以上,同时泡沫铝溜槽的降噪性能得到显著提升,实现了溜槽的减振降噪及提高抗冲击性能间接提高使用寿命的目标。论文采用的多目标优化设计及求解方法可以应用于其他机械结构的优化。

参考文献:

[1] 陈 然. 选煤厂常用溜槽设计综述[J]. 煤炭工程, 2016, 48(3): 33-35.
Chen Ran. An overview on common chute design in coal preparation plant[J]. Coal Engineering, 2016, 48(3): 33-35.

[2] Kou M Y, Xu J, Wu S L, et al. Effect of cross-section shape of rotating chute on particle movement and distribution at the throat of a bell-less top blast furnace[J]. Particuology, 2019, 44: 194-206.

[3] 杨勇勤, 陈启超. 消失模铸造高炉溜槽衬板[J]. 特种铸造及有色合金, 2007, 27(12): 952-953.
Yang Yongqin, Chen Qichao. Guttering back board for blast furnace in lost foam casting[J]. Special Casting & Nonferrous Alloys, 2007, 27(12): 952-953.

[4] 郝丽娅. 煤矿选煤厂主厂房溜槽设计[J]. 煤矿机械, 2018, 39(2): 4-6.
Hao Liya. Chute design of main workshop of coal preparation plant[J]. Coal Mine Machinery, 2018, 39(2): 4-6.

[5] 任学平, 何珍光. 基于离散元法的矿石对溜槽冲击力的模拟研究[J]. 重型机械, 2019, (3): 34-37.
Ren Xueping, He Zhenguang. Simulation research on impact force of ore on chute based on discrete element method[J]. Heavy Machinery, 2019, (3): 34-37.

[6] 马财生, 任廷志. 高炉布料溜槽抗磨损结构设计及优化[J]. 中国机械工程, 2017, 28(3): 253-257.
Ma Caisheng, Ren Tingzhi. Structure design and optimization of distributing chutes in blast furnace for wear resistance[J]. China Mechanical Engineering, 2017, 28(3): 253-257.

[7] 杨 昆, 张比鹏. 新型泡沫铝层合结构溜槽的结构设计及降噪性能研究[J]. 世界科技研究与发展, 2016, 38(4): 788-792.
Yang Kun, Zhang Bipeng. Structure design and noise reduction performance analysis of new type chute in foamed aluminum laminated structure[J]. WORLD SCI TECH R&D, 2016, 38(4): 788-792.

[8] 黄 祯. 煤矿选煤厂溜槽的优化改进与应用[J]. 机械管理开发, 2019, 34(6): 124-125.
Huang Zhen. Improvement and optimization of chute in coal preparation plant[J]. Mechanical Management and Development, 2019, 34(6): 124-125.

[9] 于英华, 吴荣发, 阮文松. 泡沫铝层合结构溜槽设计及其性能分析[J]. 机械设计, 2017, 34(4): 65-69.
Yu Yinghua, Wu Rongfa, Ruan Wensong. Design and performance analysis of chute with aluminum foam laminated structure[J]. Journal of Machine Design, 2017, 34(4): 65-69.

[10] 宁景锋, 赵桂平, 穆 林, 等. 含有空气背衬层的分层多孔材料的吸声性能研究[J]. 振动工程学报, 2014, 27(5): 734-740.
Ning Jingfeng, Zhao Guiping, Mu Lin, et al. Study on sound absorption properties of multilayer porous material structure backed with an air gap[J]. Journal of Vibration Engineering, 2014, 27(5): 734-740.

[11] Cheng Y, Li Y X, Chen X, et al. Compressive properties and energy absorption of aluminum foams with a wide range of relative densities[J]. Journal of Materials Engineering and Performance, 2018, 27(8): 4016-4024.

[12] Abdullahi H S, Liang Y C, Gao S M. Predicting the

- elastic properties of closed-cell aluminum foams: A mesoscopic geometric modeling approach[J]. *SN Applied Sciences*, 2019, 1(1):380.
- [13] 沈佳兴, 徐平, 于英华. 泡沫铝填充结构救生舱热-压力耦合冲击性能研究[J]. *振动与冲击*, 2018, 37(16): 45-50.
Shen Jiaying, Xu Ping, Yu Yinghua. A study on the impact property of rescue cabin with aluminum foam filled under the thermal-pressure coupling[J]. *Journal of Vibration and Shock*, 2018, 37(16):45-50.
- [14] 方志威, 侯海量, 李茂, 等. 泡沫铝夹芯结构抗平头弹侵彻理论分析模型[J]. *振动与冲击*, 2018, 37(18): 95-99.
Fang Zhiwei, Hou Hailiang, LI Mao, et al. Theoretical analysis model for the anti flat-nosed projectile impact on aluminum foam sandwich structures[J]. *Journal of Vibration and Shock*, 2018, 37(18):95-99.
- [15] 张健, 赵桂平, 卢天健. 闭孔泡沫铝应变率效应的试验和有限元分析[J]. *西安交通大学学报*, 2010, 44(5): 97-101.
Zhang Jian, Zhao Guiping, Lu Tianjian. Experimental and numerical study on strain rate effects of close-celled aluminum foams[J]. *Journal of Xi'an Jiaotong University*, 2010, 44(5): 97-101.

Vibration and noise reduction optimization and performance analysis of mine chutes with steel-aluminum foam-steel laminated structure

SHEN Jia-xing^{1,2}, XU Ping², QI Zhen³, YU Ying-hua²

(1. Research Institute of Technology and Equipment for the Exploitation and Utilization of Mineral Resources, Liaoning Technical University, Fuxin 123000, China;

2. School of Mechanical Engineering, Liaoning Technical University, Fuxin 123000, China;

3. College of Civil Engineering, Xuancheng Campus, Hefei University of Technology, Xuancheng 242000, China)

Abstract: A kind of mine chute with steel-aluminum foam-steel laminated structure is designed to solve the problems of severe vibration and noise and low service life. The structural parameters of the aluminum foam mine chute are optimized using parameter optimization theory and ANSYS Workbench software. The impact properties, harmonic response performance and acoustic performance of the optimized aluminum foam mine chute are analyzed. The results show that the aluminum foam mine chute not only reduces the mass by 11.4%, but also reduces the maximum impact stress by 15% and the maximum harmonic response amplitude by more than 90%, and the noise reduction performance of the mine chute is also significantly improved.

Key words: vibration reduction; noise reduction; optimization design; aluminum foam; chute

作者简介: 沈佳兴(1990-),男,讲师。电话:13841824339; E-mail:329833309@qq.com