

基于粘弹性材料H-N模型的声学参数优化研究

李煜, 王鹏, 王兵, 程伟, 李宏伟

(中国船舶重工集团公司第七二五研究所, 河南 洛阳 471023)

摘要: 利用有限元软件建立粘弹性材料的声学模型(H-N模型), 研究宽频段(300~20 000 Hz)下H-N模型的声学参数对粘弹性材料吸声性能和隔声性能的影响规律。结果表明: 随着与损耗峰宽度相关的参数(α)的增大, 材料的吸声性能和隔声性能先提高后降低, α 为0.35和0.2时, 材料的吸声性能和隔声性能分别最优; 随着与损耗峰对称性相关的参数(β)和高端玻璃态平台区模量(E_∞)的增大, 材料的隔声性能均降低, 吸声性能均先提高后降低, β 为0.2和 E_∞ 为100 MPa时, 材料的吸声性能均最优; 随着低频端橡胶态平台区模量(E_0)和与温度相关的松弛时间(t)的增大, 材料的吸声性能和隔声性能均降低。粘弹性材料各声学参数对其吸声性能和隔声性能的影响规律可以为宽频段粘弹性材料的配方设计提供声学理论依据。

关键词: 粘弹性材料; H-N模型; 声学参数; 吸声性能; 隔声性能; 有限元分析

中图分类号: TQ330.1; O241.82

文献标志码: A

文章编号: 1000-890X(2020)06-0423-04

DOI: 10.12136/j.issn.1000-890X.2020.06.0423

粘弹性材料在船舶行业作为水声材料广泛应用于减振、吸声和隔声领域, 建立准确的粘弹性材料声学计算模型并对其进行优化, 一直是粘弹性材料性能提升、实现产品快速更新换代及降低研发成本的难点^[1-4]。白国锋^[5]将粘弹性材料视为线性材料, 建立了宽频段粘弹性声学计算模型, 并计算带声腔结构的粘弹性材料声学特性; 张银喜等^[6]研究发现准确获取粘弹性材料的动态力学参数有利于提高仿真计算的准确性; 鹿婧^[7]利用Burgers模型作为本构模型来表征粘弹性材料的应力松弛特性, 建立了与温度相关的粘弹性参数模型, 获得了准确的粘弹性动态力学参数。方建敏^[8]根据Riemann-Liouville分数导数基本理论推导了粘弹性材料四参数分数导数模型的相关表达式, 建立了粘弹性材料动态力学参数的理论模型。基于准确的动态力学参数建立粘弹性材料的声学模型(H-N模型), 对研究粘弹性材料声学设计具有重要的意义。

本研究采用动态力学分析(DMA)仪获取多

作者简介: 李煜(1989—), 男, 河南洛阳人, 中国船舶重工集团公司第七二五研究所工程师, 硕士, 主要从事橡胶纳米复合材料性能的研究。

E-mail: ayijiangchunshui@126.com

温度条件下粘弹性材料低频范围内的动态力学参数, 基于粘弹性材料温频等效原理^[9], 拟合出粘弹性材料的宽频段声学参数, 再通过粘弹性材料的H-N模型, 研究其声学参数对粘弹性材料吸声性能和隔声性能的影响规律。

1 H-N模型

利用有限元仿真软件, 按照粘弹性材料声学性能测试条件, 建立H-N模型, 如图1所示。



图1 H-N模型示意

粘弹性材料作为一种有损耗声学材料, 声学性能计算中材料参数的准确提取和输入是保证计算准确的关键和前提。对于大多数高分子材料, 温度与频率之间存在一定的等效关系, 粘弹性材料动态力学性能与温度、频率之间的关系可通过H-N模型描述如下:

$$E^*(\omega) = \frac{E_0 - E_\infty}{[1 + (i\omega t)^\alpha]^\beta} + E_\infty \quad (1)$$

式中, $E^*(\omega)$ 为复模量, E_0 为低频端橡胶态平台区模量, E_∞ 为高频端玻璃态平台区模量, i 为虚数单

位, ω 为角频率, t 为与温度相关的松弛时间, α 为与损耗峰宽度相关的参数, β 为与损耗峰对称性相关的参数。

$E^*(\omega)$ 与储能模量 (E') 和损耗模量 (E'') 的关系为

$$E^*(\omega) = E' + iE'' \quad (2)$$

E' 和 E'' 的计算见式 (3) 和 (4)。

$$E' = E_\infty + \frac{(E_0 - E_\infty) \cos(\beta\theta)}{[1 + 2(\omega t)^\alpha \cos(\alpha\pi/2) + (\omega t)^{2\alpha}]^{\beta/2}} \quad (3)$$

$$E'' = \frac{(E_0 - E_\infty) \sin(\beta\theta)}{[1 + 2(\omega t)^\alpha \cos(\alpha\pi/2) + (\omega t)^{2\alpha}]^{\beta/2}} \quad (4)$$

其中

$$\theta = \tan^{-1} \left[\frac{(\omega t)^\alpha \sin(\alpha\pi/2)}{1 + (\omega t)^\alpha \cos(\alpha\pi/2)} \right] \quad (5)$$

2 H-N模型声学参数优化分析

基于H-N模型, 研究粘弹性材料的声学参数 ($\alpha, \beta, E_0, E_\infty$ 和 t) 对材料吸声性能 (吸声因数 = $1 - R^2 - T^2$) 和隔声性能 [隔声量 = $20 \lg(1/T)$] 的影响 (式中, R 为反射系数, T 为透射系数)。在研究其中一个参数的影响时, 保证其他参数不变。

选取SA-3型粘弹性材料进行分析, 其厚度为 30 mm, 直径为 120 mm, 压力为常压条件, 频率范围为 300~20 000 Hz。

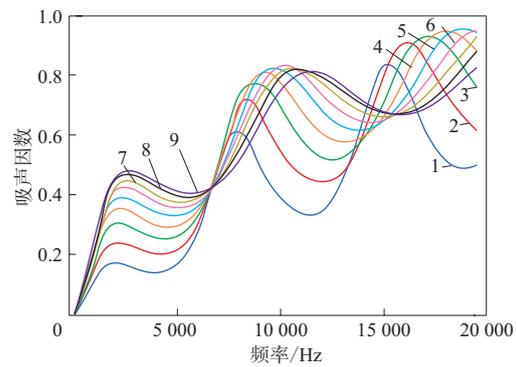
对粘弹性材料H-N模型的 α 进行频率扫描, 获得不同 α (0.1~0.5) 时材料的吸声因数和隔声量, 如图2所示。

由图2可以看出: 随着 α 的增大, 材料的吸声因数和隔声量曲线逐渐向上移动, 吸声性能和隔声性能增大; 曲线波动性逐渐减小。

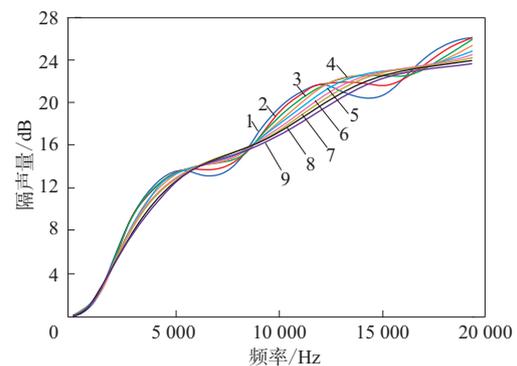
进一步处理数据, 得到频率在 300~20 000 Hz 范围内 α 对粘弹性材料吸声性能和隔声性能的影响, 如图3所示。

由图3可以看出: 随着 α 的增大, 材料的平均吸声因数先增大后略有减小, 平均隔声量先增大后迅速减小; 在 α 为 0.35 时平均吸声因数达到最大值, 在 α 为 0.2 时平均隔声量达到最大值。

β 对粘弹性材料吸声性能和隔声性能的影响如图4所示。



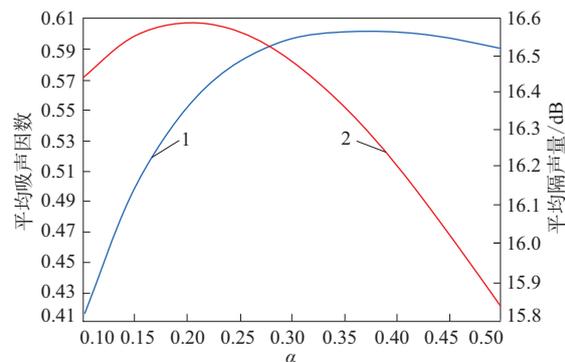
(a) 吸声因数



(b) 隔声量

α 值: 1—0.1; 2—0.15; 3—0.2; 4—0.25; 5—0.3; 6—0.35; 7—0.4; 8—0.45; 9—0.5。

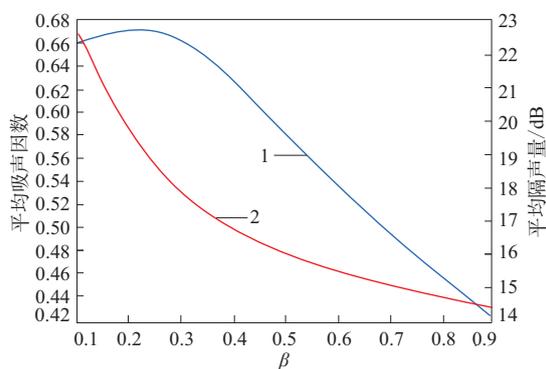
图2 不同 α 时粘弹性材料的吸声因数和隔声量



1—平均吸声因数; 2—平均隔声量。

图3 α 对粘弹性材料吸声性能和隔声性能的影响

由图4可以看出: 随着 β 的增大, 材料的平均吸声因数先增大后减小, 平均隔声量减小; 在 β 为 0.2 时材料的平均吸声因数达到最大值。

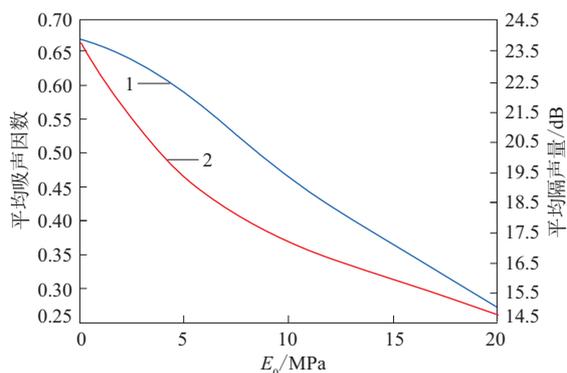


注同图3。

图4 β 对粘弹性材料吸声性能和隔声性能的影响

E_0 对粘弹性材料吸声性能和隔声性能的影响

如图5所示。



注同图3。

图5 E_0 对粘弹性材料吸声性能和隔声性能的影响

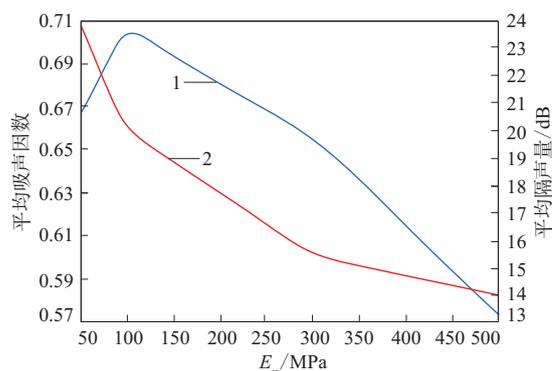
由图5可以看出,随着 E_0 的增大,材料的平均吸声系数和平均隔声量均减小,说明 E_0 越小越有利于材料声学性能的提高。

E_∞ 对粘弹性材料吸声性能和隔声性能的影响如图6所示。

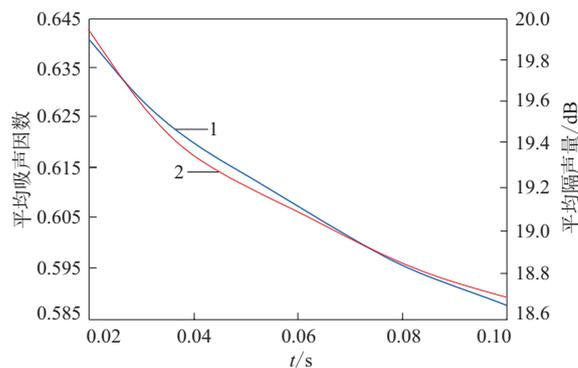
由图6可以看出:随着 E_∞ 的增大,材料的平均吸声系数先增大后减小,平均隔声量减小;在 E_∞ 为100 MPa时平均吸声系数达到最大值。

t 对粘弹性材料吸声性能和隔声性能的影响如图7所示。

由图7可以看出,随着 t 的增大,材料的平均吸声系数和平均隔声量均减小,说明 t 越小越有利于材料声学性能的提高。



注同图3。

图6 E_∞ 对粘弹性材料吸声性能和隔声性能的影响

注同图3。

图7 t 对粘弹性材料吸声性能和隔声性能的影响

3 结论

(1) 当 α 在0.1~0.5范围内,粘弹性材料的吸声性能和隔声性能随着 α 的增大均先提高后降低; α 为0.35和0.2时粘弹性材料的吸声性能和隔声性能分别最优。

(2) 当 β 在0.1~0.9和 E_∞ 在50~500 MPa范围内,粘弹性材料的吸声性能随着 β 和 E_∞ 的增大而均先提高后降低,隔声性能均降低; β 为0.2和 E_∞ 为100 MPa时粘弹性材料的吸声性能均最优。

(3) 当 E_0 在0~20 MPa和 t 在0.02~0.1 s范围内,随着 E_0 和 t 的增大,粘弹性材料的吸声性能和隔声性能均降低。

参考文献:

[1] 张栋洋,李登峰,王兵. 粘弹性材料动态体积量测试方法研究进

- 展[J]. 材料开发与应用, 2019, 34(1): 106-112.
- [2] 王东生. 橡胶在水声系统中的应用[J]. 橡胶工业, 1996, 43(8): 494-497.
- [3] 陈鲲鹏. 多层内饰材料在水下壳体中的降噪效果分析[C]. 第十七届船舶水下噪声学术讨论会论文集. 北京: 中国造船工程学会, 2019: 630-634.
- [4] 吕丽, 白书欣, 张虹, 等. 粘弹性材料动态性能测试研究[J]. 橡胶工业, 2006, 53(10): 622-624.
- [5] 白国锋. 粘弹性材料声学性能仿真研究[C]. 中国声学学会2005年青年学术会议论文集. 北京: 中国声学学会, 2005: 49-50.
- [6] 张银喜, 陈彦北, 曹政, 等. Abaqus中橡胶粘弹性参数识别[J]. 特种橡胶制品, 2017, 38(6): 39-42.
- [7] 鹿婧. 沥青混合料粘弹性参数模型与低温评价指标[D]. 合肥: 合肥工业大学, 2015.
- [8] 方建敏. 橡胶材料的分数导数型本构模型研究及动力学应用[D]. 南京: 南京航空航天大学, 2013.
- [9] 尹铤. 粘弹性材料动态力学参数反演及温频等效测试[C]. 第十四届船舶水下噪声学术讨论会论文集. 无锡: 中国船舶科学研究中心《船舶力学》编辑部, 2013: 578-583.

收稿日期: 2020-01-17

Study on Optimization of Acoustic Parameters Based on H-N Model of Viscoelastic Material

LI Yu, WANG Peng, WANG Bing, CHENG Wei, LI Hongwei

(Luoyang Ship Materials Research Institute, Luoyang 471023, China)

Abstract: The acoustic model (H-N model) of viscoelastic materials was established by using finite element software. The influence of the acoustic parameters in H-N model on the sound absorption and sound insulation performance of viscoelastic materials in a wide frequency range (300~20 000 Hz) was studied. The results showed that with the increase of the parameter (α) related to the loss peak width, the sound absorption performance and sound insulation performance of the material increased first and then decreased. When α was 0.35 and 0.2, the sound absorption performance and sound insulation performance of the material were the best, respectively. With the increase of the parameter (β) related to the loss peak symmetry and the modulus of the glassy platform area (E_{∞}) at the high frequency end, the sound insulation performance of the material decreased, and the sound absorption performance increased first and then decreased. When β was 0.2 and E_{∞} was 100 MPa, the sound absorption performance of the material was the best. With the increase of the modulus of rubbery platform (E_0) at low frequency end and the relaxation time (t) related to temperature, the sound absorption performance and sound insulation performance of the material decreased. The results could provide an acoustic theoretical basis for the formulation design of viscoelastic materials in wide frequency bands.

Key words: viscoelastic material; H-N model; acoustic parameter; sound absorption performance; sound insulation performance; finite element analysis

10万t级丁腈胶乳项目宁波奠基 日前, 宁波LG甬兴化工有限公司年产10万t丁腈胶乳(NBL)高分子材料项目举行开工奠基仪式。

该新项目总投资3.3亿元, 总占地面积2万 m^2 , 采用LG化学最新技术, 设计、施工周期约1年, 预计2021年4月投产。NBL是一种主要用于生产医用手套的材料, 因具有较好的弹性、防渗透、抗过敏、环保等特点, 可替代传统的天然胶乳、聚氯乙烯等

材料, 具有较广阔的发展前景。

据了解, LG化学本社于2019年7月确定在宁波投资NBL项目, 在该项目前期工作的开展期间, 一度由于疫情原因导致审批工作陷入了短暂停滞, 后来在宁波市、镇海区政府的全面支持下, 项目组经过9个月的努力, 终于完成了全部审批程序。

(摘自《中国化工报》, 2020-04-15)