

闭孔泡沫铝吸声性能的影响因素

尉海军¹, 姚广春², 成 艳¹, 朱 磊¹, 简旭宇¹, 王 忠¹, 褚 颖¹, 蒋利军¹

(1. 北京有色金属研究总院 能源材料与技术中心, 北京 100088;

2. 东北大学 材料与冶金学院, 沈阳 110004)

摘 要: 利用熔体转移发泡法制备闭孔泡沫铝, 从孔径大小、打孔率、背后空腔以及背后贴膜方面对其吸声性能进行研究。结果表明: 孔径大的闭孔泡沫铝吸声系数要远好于孔径小的闭孔泡沫铝的吸声系数; 打孔后闭孔泡沫铝吸声系数有了明显的提高, 当分别打孔 0.5%、1% 和 2% 后, 闭孔泡沫铝最高吸声系数从 0.42 分别增加到了 0.53、0.75 和 0.96; 打孔闭孔泡沫铝背后加空腔吸声曲线都表现出明显的亥姆霍兹共振器吸声特性, 且随空腔厚度的不断增加, 低频吸声系数逐渐增加, 高频吸声系数逐渐降低, 最高吸声系数向低频迁移; 背后贴膜闭孔泡沫铝吸声特性曲线出现峰值吸声特征消失的现象, 表现出吸声系数随频率增加而增加的特性。

关键词: 泡沫铝; 闭孔; 吸声性能; 影响因素

中图分类号: TG 146.21

文献标识码: A

Influence factors of sound absorption properties of closed-cell aluminum foam

YU Hai-jun¹, YAO Guang-chun², CHENG Yan¹, ZHU Lei¹, JIAN Xu-yu¹, WANG Zhong¹, CHU Ying¹, JIANG Li-jun¹

(1. Centre of Energy Material and Technology, Beijing General Research Institute for Nonferrous Metals,
Beijing 100088, China;

2. School of Materials and Metallurgy, Northeastern University, Shenyang 110004, China)

Abstracts: Closed-cell aluminum foam was prepared by the method of molten body transitional foaming process, and the sound absorption properties were studied from the aspects of cell diameter, perforation rate, cavity thickness and aluminum foil attached behind. The results show that at the same porosity, the sound absorption coefficient of closed-cell aluminum foam with larger cell diameter is larger than that with smaller cell diameter; the sound absorption coefficient of closed-cell aluminum foam increases obviously after being perforated, when the perforation ratios are 0.5%, 1% and 2%, the highest sound absorption coefficient can reach 0.53, 0.75 and 0.96 from 0.46, respectively; the sound absorption curves of closed-cell aluminum foams after being perforated show obvious sound absorption characteristic of Helmholtz resonator; with increasing the cavity thickness, the sound absorption coefficient increases under low-frequency region, and decreases under high-frequency region; the highest sound absorption coefficient increases slightly, but shows the trend of traveling to low-frequency region; the peak sound absorption characteristics disappear when the closed-cell aluminum foams are attached with aluminum foils, and the sound absorption coefficient shows increasing characteristic with increasing frequency.

Key words: aluminum foam; closed-cell; sound absorption property; influencing factors

噪声污染与水污染、空气污染一起被称为当代三大污染^[1],随着人类社会的不断进步,工农业、交通运输业、建筑业的飞速发展,噪声污染问题也越来越严重^[2]。它不但会影响人们的正常生活和工作,也会给工农业生产带来极大危害。因此,噪声污染已成为当代世界性的问题,引起世界各国的广泛重视^[3]。

泡沫铝是一种多孔隙的新型多功能材料。它具有质轻、吸声、隔声、电磁屏蔽、吸能缓冲、隔热、耐火等优良特性,且环保无污染,因此应用领域十分广泛。目前,国外关于泡沫铝的研究主要涉及其制备工艺,性能,理论推演和数值模拟计算等,在世界一些发达国家已达到实用化阶段^[4-9];国内关于泡沫铝的研究主要集中在生产工艺及各种性能方面^[10-13],有关泡沫铝声学性能的研究也已有一些报道,但多集中于渗流法制备的通孔泡沫铝的吸声性能研究^[14-16],而对发泡法制备的闭孔结构的泡沫铝的吸声性能的研究较少,且缺乏系统性。因此,本文作者在以往对闭孔泡沫铝吸声和隔声性能研究的基础上^[17-19],从闭孔泡沫铝孔径的大小、打孔率、打孔后背后空腔深度以及打孔后背后贴膜等影响因素方面对闭孔泡沫铝的吸声性能进行深入的研究,对影响闭孔泡沫铝吸声性能的因素进行探讨。

1 实验

1.1 闭孔泡沫铝制备

运用熔体转移发泡法制备闭孔泡沫铝共有5个步骤:1)在电炉里熔化铝合金以及金属钙的混合物;2)向熔体里加入 TiH_2 ;3)将熔体转移到发泡箱;4)把发泡箱放入保温炉中并在里面发泡;5)泡沫铝后加工过程。

1.2 驻波管法测吸声系数

在中国科学院声学研究所利用驻波管法测试闭孔泡沫铝的吸声性能,其装置示意图如图1所示^[20],主要测试的是垂直入射吸声系数。当声波垂直入射到

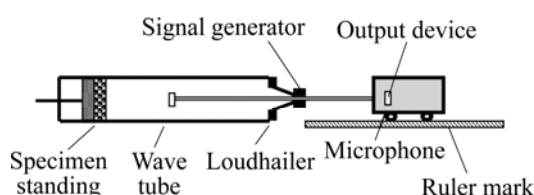


图1 驻波管法测试闭孔泡沫铝吸声系数示意图

Fig.1 Schematic diagram map of measuring sound absorption coefficient of closed-cell aluminum foam through standing wave tube

泡沫铝表面,入射波与反射波传播方向相反,相互叠加后形成驻波,测量驻波的声压极大值和极小值就可以算出垂直入射吸声系数。实验测试温度为24℃,湿度66%,声频范围160~2000 Hz。

2 结果与讨论

2.1 孔径大小对吸声性能的影响

图2(a)和(b)所示分别为两个孔隙率相近、孔径不同的闭孔泡沫铝实物照片。从图中可以看到,虽然其孔隙率基本一致,但由于孔壁不一样厚,孔径大小相差很大。

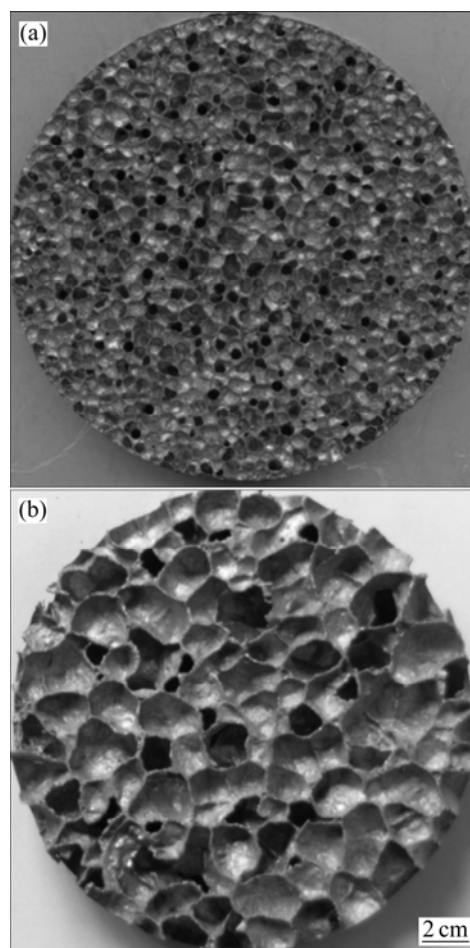


图2 不同孔径闭孔泡沫铝宏观照片

Fig.2 Macrographs of closed-cell aluminum foams with different cell diameters: (a) Porosity = 88.4%, cell diameter = 3 mm; (b) Porosity = 88.1%, cell diameter = 11 mm

图3所示为不同孔径的闭孔泡沫铝吸声系数。由图可见,孔径大的闭孔泡沫铝吸声系数要比孔径小的闭孔泡沫铝吸声系数高的多。这主要是由于孔径大的

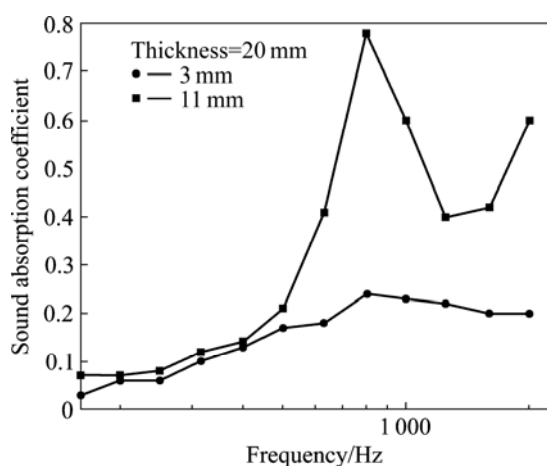


图 3 不同孔径闭孔泡沫铝吸声性能

Fig.3 Sound absorption properties of closed-cell aluminum foams with different cell diameters

闭孔泡沫铝在制备过程中更容易形成缺陷,如微孔和裂缝^[19]。这些缺陷的存在,不但使材料内部筋络总表面积增大,有利于声能吸收,而且使闭孔泡沫铝孔与孔之间可以互相贯通,具有了适当的透气性,当声波入射到多孔材料表面时激发起微孔内的空气振动,空气与固体筋络间产生相对运动,由于空气的粘滞性,在微孔内产生相应的粘滞阻力,使振动空气的动能不断转化为热能,从而使声能衰减。

2.2 打孔率对吸声性能的影响

闭孔泡沫铝的最高吸声系数与其孔隙率和孔径有很大相关性,孔隙率越高且孔径越大,则最高吸声系数越大,但高孔隙率和大孔径闭孔泡沫铝的制备不易控制,而且产品重现率较低。因此,根据马大猷先生对开孔板吸声材料的研究,对闭孔泡沫铝开孔应当可以提高其吸声系数^[20]。根据马大猷先生对开孔薄板的研究情况,开孔孔径越大,管内流体阻力越小,相反管径越小,流阻越大;如果管径小到一定程度,力阻就很大,就可以成为很好的吸声材料^[20]。因此,应尽可能地减小孔径,结合实际可操作性,本实验选用的孔径为 2 mm。图 4 所示为密度 0.2 g/cm³ 闭孔泡沫铝在不同打孔率条件下紧贴刚性壁面的吸声特性曲线。

由图 4 可以发现,闭孔泡沫铝经打孔后吸声系数有了明显的提高。未打孔前闭孔泡沫铝最高吸声系数为 0.42,分别打孔 0.5%、1% 和 2% 后,最高吸声系数一直呈增加趋势,最高时分别为 0.53、0.75 和 0.96,但打孔率为 4% 的闭孔泡沫铝的最高吸声系数却仅为 0.85,反而有所下降。这主要是由于此打孔率闭孔泡

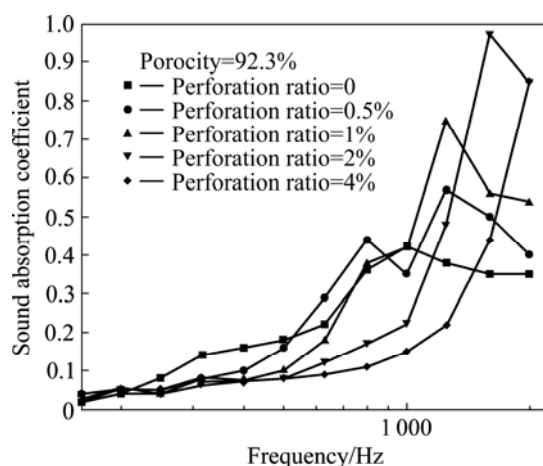


图 4 不同打孔率闭孔泡沫铝吸声特性曲线

Fig.4 Sound absorption properties of closed-cell aluminum foams with different perforation ratios

沫铝的最高吸声系数应该出现在下一个倍频,超出实验测试频率范围的缘故。此外,由图 4 还可以看到,随着打孔率的增加,闭孔泡沫铝低频吸声系数逐渐降低,最高吸声系数向高频迁移。因此,过多的打孔对低频吸声是不利的,在下面的实验中,打孔率都取 2%。

2.3 背后空腔对吸声性能的影响

由于在实际工程中,打孔后闭孔泡沫铝一般不会紧贴刚性墙壁安装,因此,下面的实验考察了打孔后闭孔泡沫铝背后空腔对吸声性能的影响。在闭孔泡沫铝后设置空气层,不但闭孔泡沫铝本身的亥姆霍兹共振器以及微孔和裂缝可以消耗声能,而且组成了穿孔板吸声结构,由于每个开口背后均有对应空腔,这一穿孔板后也可以看为许多并联的亥姆霍兹共振器。图 5 所示为穿孔后闭孔泡沫铝吸声性能测试图。本实验

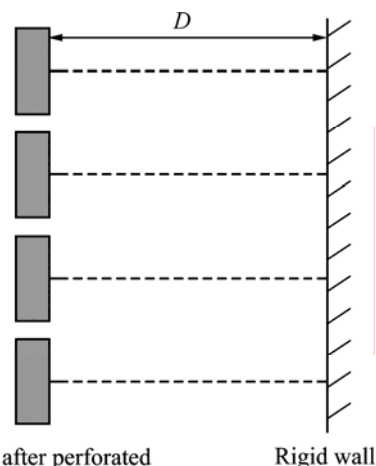


图 5 打孔后闭孔泡沫铝背后加空腔测试图

Fig.5 Testing figure of closed-cell aluminum foam with cave behind after perforated

选用了 4 种不同空腔厚度(D)的值, 分别为 0、30、60 和 90 mm。

图 6 所示为密度 0.3 g/cm^3 闭孔泡沫铝打孔后在不同空腔厚度情况下的吸声性能。由图可以明显地发现, 吸声曲线都表现出明显的亥姆霍兹共振器吸声特性; 随着打孔后闭孔泡沫铝空腔厚度的不断增加, 低频吸声系数逐渐增加, 高频吸声系数逐渐降低, 最高吸声系数略有上升, 但表现出向低频迁移的趋势。根据何琳等^[21]对增加吸声材料背后空腔的推导可知, 增加打孔后闭孔泡沫铝背后空腔厚度 D , 相当于闭孔泡沫铝表观厚度的增加。由文献[19]中对闭孔泡沫铝厚度影响吸声性能的分析可知, 打孔后闭孔泡沫铝表观厚度的增加势必会造成最高吸声系数向低频迁移, 这比增加闭孔泡沫铝实际厚度所付出的材料成本代价要小得多, 因此出于工程经济上的考虑, 可以在打孔后闭孔泡沫铝背后增加空腔来达到增加其低频吸收声能的目的。

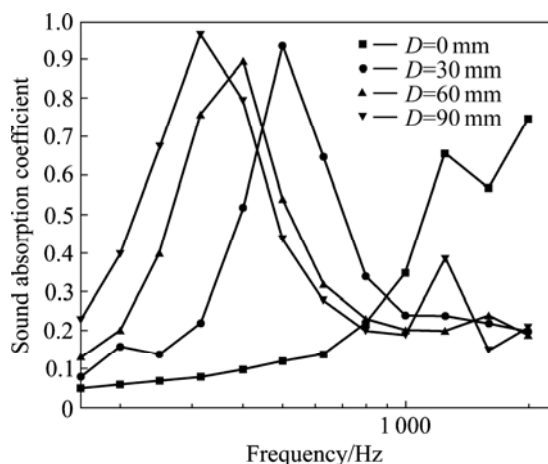


图 6 不同空腔厚度穿孔闭孔泡沫铝吸声性能

Fig.6 Sound absorption properties of closed-cell aluminum foam with different thickness of cave behind after perforated (Porosity=88.4%; Perforation ratio=2%)

2.4 背后贴膜对吸声性能的影响

图 7 所示为密度 0.3 g/cm^3 闭孔泡沫铝打孔后背部贴 1 mm 铝箔的宏观照片, 图 8 所示为此泡沫铝在不同空腔厚度情况下的吸声特性曲线。与图 5 对比可发现, 背后贴膜闭孔泡沫铝吸声特性曲线出现峰值吸声特征消失的现象, 表现出吸声系数随频率增加而增加的特性。这主要是因为金属铝箔本身没有透气性, 因此铝箔的存在消除了背后大量亥姆霍兹共振腔的吸声, 此时起到吸声作用的主要是闭孔泡沫铝的微孔、裂缝、铝箔振动以及少量的亥姆霍兹共振器, 因此其吸声性能特性曲线主要表现为多孔材料的吸声特征^[19]。

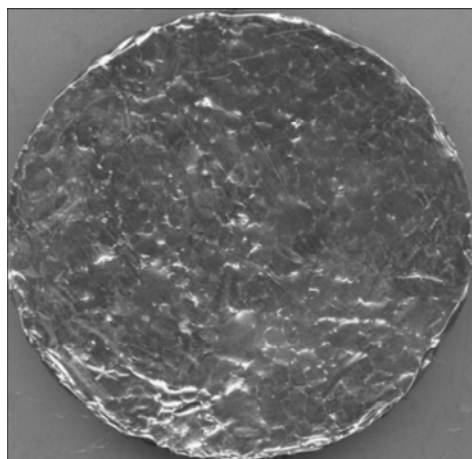


图 7 背后贴 1 mm 铝箔的闭孔泡沫铝

Fig.7 Closed-cell aluminum foam after perforated with attaching 1 mm aluminum foil behind

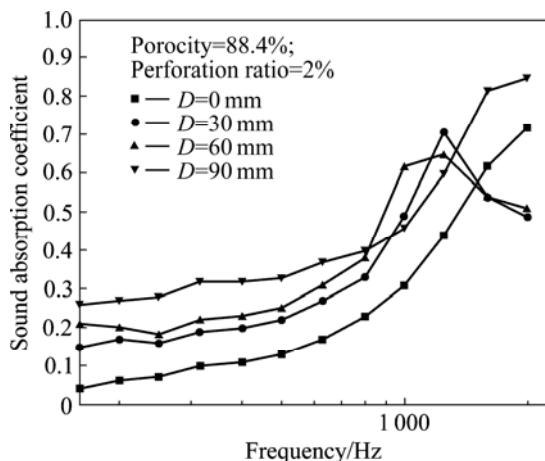


图 8 穿孔后闭孔泡沫铝背后贴铝箔吸声性能

Fig.8 Sound absorption properties of closed-cell aluminum foam after perforated with attaching aluminum foil behind

3 结论

1) 孔径大的闭孔泡沫铝吸声系数要远好于孔径小的闭孔泡沫铝的吸声系数。

2) 闭孔泡沫铝经打孔后吸声系数有了明显的提高, 未打孔前闭孔泡沫铝最高吸声系数为 0.42, 分别打孔 0.5%、1% 和 2% 后, 最高吸声系数一直增加, 分别为 0.53、0.75 和 0.96。

3) 闭孔泡沫铝打孔后在不同空腔厚度情况下的吸声曲线都表现出明显的亥姆霍兹共振器吸声特性, 随着打孔后闭孔泡沫铝空腔厚度的不断增加, 低频吸声系数逐渐增加, 高频吸声系数逐渐降低, 最高吸声系数略有上升, 但表现出向低频迁移的趋势。

4) 背后贴膜闭孔泡沫铝吸声特性曲线出现峰值吸声特征消失的现象,表现出吸声系数随频率增加而增加的特性。

REFERENCES

- [1] 钱军民, 李旭祥. EPR 改性 PVC 泡沫材料吸声性能的研究[J]. 橡胶工业, 2001, 48(8): 463-465.
QIAN Jun-ming, LI Xu-xiang. Study on acoustic absorbability of PVC foam modified with EPR[J]. China Rubber Industry, 2001, 48(8): 463-465.
- [2] 钱军民, 李旭祥. 聚氯乙烯基泡沫吸声材料的制备[J]. 塑料科技, 2000(4): 5-6.
QIAN Jun-ming, LI Xu-xiang. Preparation of newly sound-absorbing PVC matrix foam[J]. China Rubber Industry, 2000(4): 5-6.
- [3] 曾晓冬, 李旭祥, 席 莺, 茅素芬. 聚氯乙烯-岩棉复合发泡吸声材料的研制[J]. 化工新型材料, 1998(5): 37-38.
ZHENG Xiao-dong, LI Xu-xiang, XI Ying, MAO Su-fen. Research on sound absorbing compound of PVC rockwool[J]. New Chemical Materials, 1998(5): 37-38.
- [4] BANHART J, BAUMEISTER J, WEBER M. Metal foams near commercialization[J]. Met Powder Rep (MPR), 1997, 4: 38-41.
- [5] DAVIS G J, SHU Z. Metallic foams: their production, properties and application[J]. J Mater Sci, 1983, 18: 1899-1911.
- [6] SOSNIK A. Process for making foamlike mass of metal. US 2434775[P]. 1948.
- [7] ANDREWS E W, HUANG J S, GIBSON L J. Creep behavior of a closed-cell aluminum foam[J]. Acta Mater, 1999, 47(10): 2927-2935.
- [8] MIYOSHI T, ITOH M, MUKAI T, KANAHASHI H, KOHZU H, TANABE S, HIGASHI K. Enhancement of energy absorption in a closed-cell aluminum by the modification of cellular structures[J]. Scripta Materialia, 1999, 41(10): 1055-1060.
- [9] BEALS J T, THOMPSON M S. Density gradient effects on aluminum foam compression behavior[J]. Journal of Materials Science, 1997(32): 3595-3600.
- [10] 姚广春, 张晓明, 孙 挺. 熔体直接发泡法制造闭孔型泡沫铝的方法. CN 1320710[P]. 2001-11-07.
YAO Guang-chun, ZHANG Xiao-ming, SUN Ting. The method of fabricating closed-cell foam aluminum by direct foaming in melt. CN 1320710[P]. 2001-11-07.
- [11] YU Hai-jun, GUO Zhi-qiang, LI Bing, YAO Guang-chun, LUO Hong-jie, LIU Yi-han. Research into the effects of main cell diameter of aluminum foam on its compressive stability[J]. Mater Sci Eng A, 2007, 454/455(25): 542-546.
- [12] YU Hai-jun, YAO Guang-chun, LIU Yi-han. Tensile property of Al-Si closed-cell aluminum foam[J]. Trans Nonferrous Met Soc China, 2006, 16(6): 1335-1340.
- [13] 尉海军, 李 兵, 郭志强, 姚广春. Al 基和 Al-6Si 基闭孔泡沫铝(CCAF)动态压缩性能[J]. 中国有色金属学报, 2007, 17(5): 704-709.
YU Hai-jun, LI Bing, GUO Zhi-qiang, YAO Guang-chun. Dynamic compressive property of closed cell aluminum foam(CCAF) with Al and Al-6Si matrix[J]. Trans Nonferrous Met Soc China, 2007, 17(5): 704-709.
- [14] 赵庭良, 徐连棠, 李道温, 战松江, 吴林美, 周 为. 泡沫铝的吸声特性[J]. 内燃机工程, 1995, 16(2): 55-59.
ZHAO Ting-liang, XU Lian-tang, LI Dao-wen, ZHAN Song-jiang, WU Ling-mei, ZHOU Wei. Sound absorption characteristic of aluminum foam[J]. Chinese Internal Combustion Engine Engineering, 1995, 16(2): 55-59.
- [15] 赵增典, 张 勇, 苗汇静. 泡沫铝的吸声性能初探[J]. 兵器材料科学与工程, 1998, 21(1): 48-52.
ZHAO Zeng-dian, ZHANG Yong, MIAO Hui-jing. Study on sound absorbent properties of foam aluminum[J]. Ordnance Material Science and Engineering, 1998, 21(1): 48-52.
- [16] 王 月. 压缩率和密度对泡沫铝吸声性能的影响[J]. 机械工程材料, 2002, 26(3): 29-31.
WANG Yue. Influence of compressive ratio and density on sound absorbing property of foamed aluminum[J]. Materials for Mechanical Engineering, 2002, 26(3): 29-31.
- [17] YU Hai-jun, YAO Guang-chun, WANG Xiao-lin, LIU Yi-han, LI Hong-bin. Sound insulation property of Al-Si closed-cell aluminum foam sandwich panels[J]. Applied Acoustics, 2007, 68: 1502-1510.
- [18] YU Hai-jun, YAO Guang-chun, WANG Xiao-lin, LI Bing, YIN Yao, LIU Ke. Research on sound insulation property of Al-Si closed-cell aluminum foam bare board material[J]. Trans Nonferrous Met Soc China, 2007, 17(1): 93-98.
- [19] 尉海军, 姚广春, 王晓林, 李 兵, 尹 钊. 铝硅闭孔泡沫铝吸声性能研究[J]. 功能材料, 2006, 37(12): 2014-2018.
YU Hai-jun, YAO Guang-chun, WANG Xiao-lin, LI Bing, YIN Yao. Research on sound absorption property of Al-Si closed-cell aluminum foam[J]. Journal of Functional Materials, 2006, 37(12): 2014-2018.
- [20] 马大猷. 现代声学理论基础[M]. 北京: 科学出版社, 2003: 237-241.
MA Da-you. Foundation of modern acoustics theory[M]. Beijing: Science Press, 2003: 237-241.
- [21] 何 琳, 朱海潮, 邱小军, 杜功焕. 声学理论与工程应用[M]. 北京: 科学出版社, 2006: 120-125.
HE Ling, ZHU Hai-cai, QIU Xiao-jun, DU Gong-huan. Acoustic theory and engineering application[M]. Beijing: Science Press, 2006: 120-125.

(编辑 何学锋)