

DOI:10.13296/j.1001-1609.hva.2019.11.040

金属/橡胶阻尼层复合结构的隔声性能

张嵩阳¹, 王广克², 侯东², 聂京凯², 王磊磊¹, 李媛媛¹, 陈新²

(1. 国网河南省电力公司电力科学研究院, 郑州 450018; 2. 全球能源互联网研究院有限公司, 北京 102211)

摘要: 采用开姆洛克胶粘剂将镀锌钢板与阻尼橡胶粘合, 通过平板硫化机高温模压制备约束阻尼及自由阻尼隔声结构。结果表明, 约束阻尼结构与自由阻尼结构均能提高单层板的隔声性能, 抑制共振区及吻合效应区, 约束阻尼结构效果优于自由阻尼结构; 约束阻尼结构随着隔声板层数增加, 隔声性能略有提高; 1 mm厚度的橡胶阻尼层即能够有效抑制共振及吻合效应。对约束阻尼结构的阻尼层进行振动仿真, 研究发现, 噪声导致阻尼层发生振动形变, 阻尼材料的形变使振动能量转化为热能, 从而达到抑制共振, 提高隔声量的目的。

关键词: 橡胶; 多层结构; 约束阻尼; 隔声性能

Sound Insulation Performance of Metal/Rubber Damping Layer Composite Structure

ZHANG Songyang¹, WANG Guangke², HOU Dong², NIE Jingkai², WANG Leilei¹,
LI Yuanyuan¹, CHEN Xin²

(1. Electric Power Research Institute, State Grid Henan Electric Power Corporation, Zhengzhou 450018, China; 2. Global Energy Interconnection Research Institute Co., Ltd., Beijing 102211, China)

Abstract: Constrained damping and free damping sound insulation structures were prepared by bonding galvanized steel sheet and damping rubber with Kemlock adhesive and pressing through high temperature mold of flat vulcanizing machine. It is shown that both the constrained damping structure and the free damping structure can improve the sound insulation performance of the single-layer plate and restrain the resonance region and the coincidence effect region, and the constrained damping structure is better than the free damping structure. The sound insulation performance of the restrained damping structure is improved slightly with the increase of layer number of the sound insulation plate, and the rubber damping layer with 1 mm in thickness can effectively restrain the resonance and coincidence effect. Vibration simulation of damping layer of the constrained damping structure shows that noise causes vibration deformation of the damping layer, and deformation of the damping material transforms vibration energy into heat energy so as to suppress resonance and improve its sound insulation performance.

Key words: rubber; multilayer structure; constrained damping; sound insulation performance

0 引言

噪声污染是世界四大污染之一, 随着中国城市化进程的不断推进和输变电事业的发展, 大量变电站逐渐被人口密集的居民楼或办公区包围, 变电站的噪声问题也更加受到重视^[1-3]。控制变电站噪声的手段主要包括两类, 其一是通过变电设备本体降

噪手段, 降低变压器等设备的本体噪声达到降噪目的, 但本体降噪的技术目前还不够成熟, 而且随着变压器使用年限的增加, 设备本体噪声还会出现增大的趋势, 因此本体降噪措施应用并不广泛^[4-5]; 其二是通过辅助降噪手段, 隔离噪声源, 将噪声控制在变电站厂界范围之内。辅助降噪手段包括吸声、隔声、隔振、消声等方法, 隔声是其中的重要组成部

收稿日期: 2019-03-24; 修回日期: 2019-05-27

基金项目: 国网河南省电力公司项目(城市变电站干式电抗器隔离降噪技术研究及应用)。

Project Supported by State Grid Henan Electric Power Company of Program(Research and Application of Isolated Noise Reduction Technology for Dry Reactor in Urban Substation).

分^[6-7]。隔声性能符合“质量定律”,即介质面密度增加一倍,隔声量增加6 dB,因此常用的隔声材料大都是密度较大的物质^[8-10],目前变电站最常用的隔声材料为镀锌钢板。层合降噪材料是一种由多层结构复合构成的降噪材料,各层材料阻抗不同,使声波在各层界面上产生折射、反射,达到消耗声能的目的,另外,层间材料的阻尼和吸声作用能使声能降低,改善吻合效应^[11-15]。因此,对层合降噪材料的研究意义重大,受到国内外专家关注^[16-20]。文中通过将刚性金属板与高阻尼复合材料进行复合,制备多层约束阻尼隔声层合结构,研究了不同结构对隔声量的影响。

1 试验部分

1.1 原材料

镀锌钢板:密度7.8 g/cm³,厚度1~3 mm,市场采购;阻尼橡胶:炭黑补强丁腈橡胶,密度1.27 g/cm³,北化新橡科技有限公司;开姆洛克胶黏剂252X,美国LORD 洛德公司。

1.2 仪器及设备

XLB型平板硫化机;MC3122双通道声学分析仪;DF1681信号发生器;SWA-100功率放大器;CA111声校准器;BSWA 801手持式声级计;4206T阻抗管测试系统。

1.3 试样制备

1)镀锌钢板前处理。用打磨砂轮在镀锌钢板上进行打磨处理,将镀锌钢板平滑的表面打磨出凹凸不平的水波纹,以增强金属与橡胶之间的粘合强度。打磨过后的镀锌钢板表面用干布进行擦拭,保证表面清洁干燥。

2)镀锌钢板与混炼胶片的粘合。在打磨好的镀锌钢板表面均匀的涂布一层热硫化型胶黏剂开姆洛克(Chemlok)胶黏剂,将镀锌钢板与阻尼层橡胶粘合为一体。

3)硫化成型。将粘结好的约束阻尼隔声板样片置于模具中,在平板硫化机上硫化成型。

通过以上工艺制备自由阻尼隔声结构与约束阻尼隔声结构,自由阻尼隔声结构是将粘弹性的橡胶粘附于镀锌钢板基层上,见图1(a),约束阻尼隔声结构是在两层金属层中间复合弹性体橡胶层,见图1(b)。

1.4 测试表征

大试样采用混响室法,按照GB/T 19889.3—2005《声学 建筑和建筑构件隔声测量 第3部分:建筑构件空气声隔声的实验室测量》对样品进行隔声

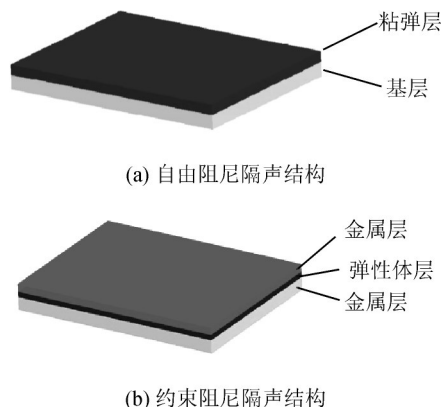


图1 复合试样结构

Fig. 1 Composite sample structure

性能测试,大试样尺寸为1 m×1 m的正方形。测试范围100~5 000 Hz。

小试样采用阻抗管进行测试,样品为圆形试样,直径10 cm,测试范围为50~1 600 Hz。

2 结果和讨论

2.1 单层结构隔声性能分析

在传统隔声结构中,单层板应用广泛,变电站最常用的隔声结构即为单层镀锌钢板。使用阻抗管对不同厚度单层镀锌板进行隔声性能测试,测试结果见图2。

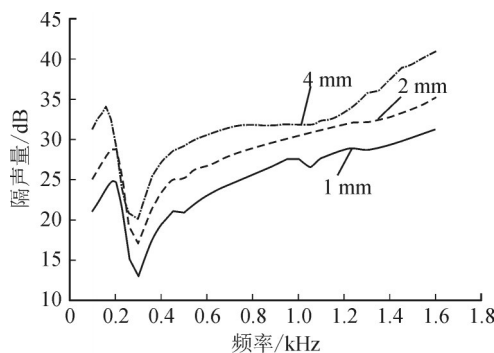


图2 不同厚度镀锌钢板隔声量曲线

Fig. 2 Sound insulation curve of galvanized steel sheet with different thickness

从图2可以看出,随着厚度的增加,材料的面密度相应提高,材料的隔声性能得到了提升,1 mm镀锌钢板的平均隔声量为24.5 dB,2 mm镀锌钢板平均隔声量为28.3 dB,4 mm镀锌钢板的隔声量为31.8 dB。单层镀锌钢板的隔声性能符合质量定律,随着面密度提高1倍,隔声量分别提升了3.8 dB和3.5 dB。材料在250 Hz附近出现隔声量低谷,这是由于声波引发薄板振动而产生共振,导致隔声量下降。在400 Hz之后,隔声板进入质量控制区,隔声量随频率升高而不断增大。从单纯金属板隔声性能可以看出,通过增加隔声材料面密度的方法增加

隔声量的效果并不完全复合质量定律,厚度增加一倍,隔声量增加量都小于6 dB,因此通过增加厚度的方法并不显著。

2.2 结构形式对隔声性能的影响

为了改善单层板的共振区及吻合效应区隔声性能,对单层板进行结构调整,制备约束阻尼结构隔声板和自由阻尼隔声板结构,结构见图1。自由阻尼结构为2 mm镀锌钢板+2 mm阻尼橡胶构成,约束阻尼结构为1 mm镀锌钢板+2 mm阻尼橡胶+1 mm镀锌钢板组成。对不同结构采用阻抗管进行测试,结果见图3。

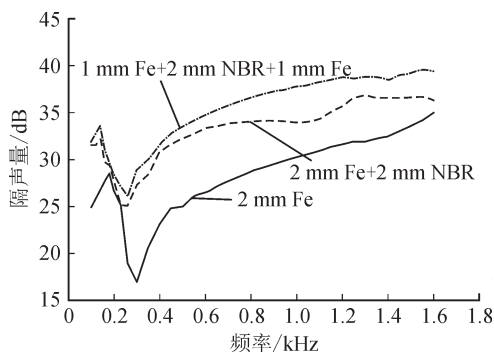


图3 不同结构的隔声量曲线

Fig. 3 Sound insulation curves of different structures

从图3可以看出,自由阻尼隔声结构及约束阻尼隔声结构均能有效提高材料的隔声性能,极大抑制了单层板的共振,提高了共振区隔声量。约束阻尼隔声结构对材料隔声性能的提升更加明显,这是橡胶阻尼效应与多层隔声效应共同作用的结果。

2.3 层数对隔声性能的影响

采用约束阻尼隔声结构,制备了3层和5层两种不同层数试样,3层试样的结构为:1 mm镀锌钢板+2 mm橡胶+1 mm镀锌钢板;5层试样结构为:0.5 mm镀锌钢板+1 mm橡胶+1 mm镀锌钢板+1 mm橡胶+0.5 mm镀锌钢板。两种试样的厚度均为4 mm,构成试样的材质也相同,采用混响室法对试样进行隔声性能测试,测试结构见图4。

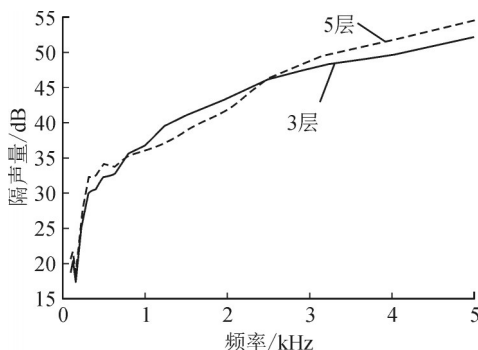


图4 层数对隔声性能的影响

Fig. 4 Influence of layers on sound insulation performance
由测试结构可以看出,5层结构的隔声量稍高

于3层结构的隔声量,3层结构的计权隔声量为36 dB,5层结构计权隔声量为37 dB,这是由于声波在多层介质之间多次反射而使声强逐级衰减,层数越多,阻抗失配的界面越多,衰减也越多。

2.4 阻尼层厚度对隔声性能的影响

阻尼层能够起到抑制共振及吻合效应的作用。分别用1、3、5 mm橡胶同两层1 mm镀锌钢板制备约束阻尼隔声试样,采用混响室法对其隔声性能进行测试,测试结果见图5。

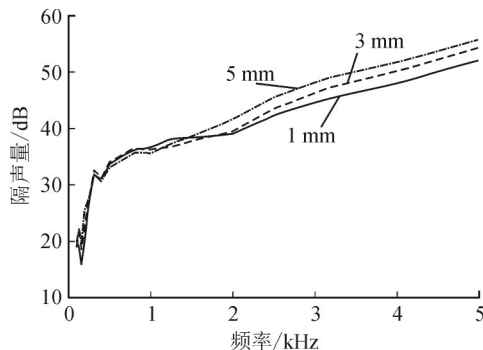


图5 阻尼层厚度对隔声性能的影响

Fig. 5 Influence of damping layer thickness on sound insulation performance

从图5可以看出,1 mm厚度的阻尼橡胶已经可以抑制单层板的共振区及吻合效应区,随着橡胶层厚度的增加,隔声量略有提升,这是因为厚度增加,材料面密度增加,因此隔声量加大。

2.5 仿真分析

利用COMSOL软件对约束阻尼结构的阻尼层振动特性进行仿真分析,见图6。

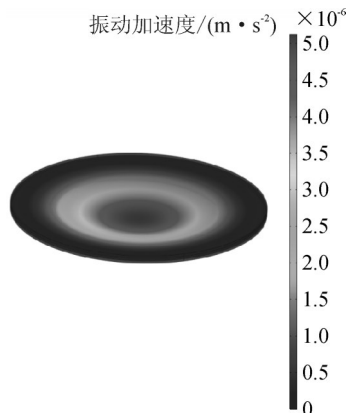


图6 阻尼层振动特性仿真图

Fig. 6 Simulation diagram of damping layer vibration characteristics

从图6可以看出,橡胶在受激变形过程中吸收了激励力的能量,隔声试样中间部分的形变要高于四周部分,通过形变,阻尼材料可以将振动能量转化为热能而耗散,从而达到抑制共振,抑制吻合作用,增加了结构的隔声性能的目的。

3 结论

1)采用开姆洛克(Chemlok)胶粘剂将镀锌钢板与阻尼橡胶粘合,通过平板硫化机高温模压制备约束阻尼及自由阻尼隔声结构。隔声测试表明,约束阻尼结构与自由阻尼结构均能提高单层板的隔声性能,抑制共振区及吻合效应区,约束阻尼结构效果优于自由阻尼结构。

2)研究了层数对约束阻尼结构隔声性能的影响,研究表明,层数增加,复合隔声板隔声性能略有提高。

3)研究了阻尼层厚度对约束阻尼隔声结构的影响,研究表明,1 mm厚度的橡胶阻尼层即能够有效抑制共振及吻合效应,增加阻尼层的厚度隔声性能提升主要是因为质量增大导致隔声量增大。

4)对约束阻尼结构的阻尼层进行振动仿真,研究发现,噪声导致阻尼层发生振动形变,阻尼层中间部位的形变大于四周位置,阻尼材料的形变使振动能量转化为热能,从而达到抑制共振,提高隔声量的目的。

参考文献:

- [1] 刘美玲. 环境噪声污染的危害与防护[J]. 科技资讯, 2011(15):158.
LIU Meiling. Harm and protection of environmental noise pollution[J]. Scientific and Technological Information, 2011(15):158.
- [2] 王成芳, 杜天苍. 城市变电站选址面临的尴尬及其对策思考[J]. 规划师, 2008, 24(2):42-44.
WANG Chengfang, DU Tiancang. The dilemma and countermeasures of urban substation site selection[J]. Planners, 2008, 24(2):42-44.
- [3] 官俊军. 高压并联电抗器损耗降低与噪声控制的措施[J]. 电力设备, 2006, 23(12):15-17.
GUAN Junjun. Loss reduction and noise control of high voltage shunt reactor[J]. Power Equipment, 2006, 23(12):15-17.
- [4] 陆刚, 余红伟, 魏微, 等. 阻尼-隔声复合应用于噪声控制方面的研究进展[J]. 广东化工, 2016, 43(7):91-92.
LU Gang, YU Hongwei, WEI Zhi, et al. Research progress in application of damping sound insulation composite to noise control[J]. Guangdong Chemical Industry, 2016, 43(7):91-92.
- [5] FAHY F J, RAMBLE D G, WALKER J G. Development of a novel modular form of sound absorbent facing for traffic noise barriers[J]. Applied Acoustics, 1995, 44(1):39-51.
- [6] 王勇, 周祖福, 梅启林, 等. 新型高分子阻尼材料的研究[J]. 武汉工业大学学报, 2000, 22(4):22-24.
WANG Yong, ZHOU Zufu, MEI Qilin, et al. Study of the new type materials of high polymer damping[J]. Journal of Wuhan University of Technology, 2000, 22(4):22-24.
- [7] MARTIN S J, HOTHERSALL D C. Numerical modelling of median road traffic noise barriers[J]. Journal of Sound and Vibration, 2002, 251(4):671-681.
- [8] LEE F C, CHEN W H. On the acoustic absorption of multi-layer absorbers with different inner structures[J]. Journal of Sound and Vibration, 2003(259):761-777.
- [9] 马大猷. 噪声与振动控制工程手册[M]. 北京:机械工业出版社, 2002.
MA Dayou. Engineering manual for noise and vibration control[M]. Beijing:China Machine Press, 2002.
- [10] 钟祥璋. 建筑吸声材料与隔声材料[M]. 北京:化学工业出版社, 2012:76.
ZHONG Xiangzhang. Building sound absorbing materials and sound insulation materials[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2012:76.
- [11] HAN Teng, WANG Xing, XIONG Ying, et al. Light-weight poly(vinyl chloride)-based soundproofing composites with foam/film alternating multilayered structure[J]. Composites Part A-Applied Science and Manufacturing, 2015(78):27-34.
- [12] YOON K H, YOON S T, PARK O O. Damping properties and transmission loss of polyurethane. I. Effect of soft and hard segment compositions[J]. Journal of Applied Polymer Science, 2000, 75(5):604-611.
- [13] CHEN Mingji, PEI Yongmao, FANG Daining. Computational method for radar absorbing composite lattice grids[J]. Computational Materials Science, 2009, 46(3):591-594.
- [14] TSAI Y T, PAWAR S J, HUANG J H. Optimizing material properties of composite plates for sound transmission problem[J]. Journal of Sound and Vibration, 2015(335):174-186.
- [15] WAREING R R, DAVY J L, PEARSE J R. Variations in measured sound transmission loss due to sample size and construction parameters[J]. Applied Acoustics, 2015(89):166-177.
- [16] SARGIANIS J J, KIM H I, ANDRES E, et al. Sound and vibration damping characteristics in natural material based sandwich composites[J]. Composite Structures, 2013(96):538-544.
- [17] GHOFrani M, ASHORI A, REZVANI M H, et al. Acoustical properties of plywood/waste tire rubber composite panels[J]. Measurement, 2016(94):382-387.
- [18] LIU Yu. Sound transmission through triple-panel structures lined with poroelastic materials[J]. Journal of Sound and Vibration, 2015(339):376-395.
- [19] NG C F, HUI C K. Low frequency sound insulation using stiffness control with honeycomb panels[J]. Applied Acoustics, 2008, 69(4):293-301.
- [20] LI Cong, XU Shi'ai, XIAO Fangyi, et al. Dynamic mechanical properties of chlorinated butyl rubber blends[J]. European Polymer Journal, 2006, 42(10):2507-2514.

张嵩阳(1976—),男,教授级高级工程师,主要从事电磁环境监测评价与仿真计算、输变电工程环境影响等工作。

王广克(1990—),男,硕士研究生,工程师,主要从事电网噪声控制研究。