

三维立体吸波机织物的研发

魏赛男, 陈妞妞, 石 宝, 李向红, 阎若思

(河北科技大学 纺织服装学院, 河北 石家庄 050018)

摘要: 采用镍铁纤维/阻燃涤纶混纺纱、不锈钢纤维/涤纶混纺纱及涤纶纱, 织造三维立体机织物, 设计了角联接结三层空心织物与接结三层空心织物, 并测试了织物反射率。试验结果表明: 三维立体机织吸波材料作为一种柔性吸波材料可以达到很好的吸波效果。

关键词: 三维织物; 反射率; 织物组织; 吸波材料

中图分类号: TS101.923; TS105.3

文献标识码: B

文章编号: 1001-2044(2018)05-0034-03

DOI:10.16549/j.cnki.issn.1001-2044.2018.05.010

Development of 3D stereo absorbing woven fabrics

WEI Sainan, CHEN Niuniu, SHI Bao, LI Xianghong, YAN Ruosi

(College of Textile and Garments, Hebei University of Science and Technology, Shijiazhuang 050018, China)

Abstract: Nickel-iron fiber/flame-retardant polyester blended yarn, stainless steel fiber/polyester blended yarn and polyester yarn are used to produce three-dimensional woven fabric. The three-layer solid fabric with three-layer solid fabric and three-layer hollow fabric with three-dimensional fabric are designed and the reflectivity of the fabrics are tested. The results show that the three-dimensional weft absorbing material can be used as a flexible absorbing material.

Key words: three dimensional fabric; reflectance; fabric texture; absorbing material

吸波材料主要利用吸收剂与雷达波的相互作用损耗电磁能,使反射波能量最大限度地降低,从而达到雷达探测隐身的目的^[1-2]。然而,目前吸波材料的相关研究大多集中于微粉(或纤维)等吸波剂涂覆或填充的硬质结构材料^[3-4],限制了柔性吸波材料的应用。因此,“频带宽、质量轻、厚度薄、吸收率高”的吸波材料的结构、性能及作用机理研究,已成为电磁屏蔽及隐身技术的研究热点^[5-7]。

随着产业用纺织品的发展,对三维机织物的开发和应用已达到了较高的水平,并且已广泛应用于各个领域。三维机织物因其结构中经、纬纱束的不同角度交织排列使其面内性能得到大幅提高。在织物的厚度方向上因接结纱或连接织物的材料使得织物的稳定性得到了保障^[8]。三维机织物具有设计性良好、机械性能突出、结构紧密等特性,减少了复合材料成型后的分层现象,整体性好,因而具有较大的冲击韧性以及抗疲劳性能^[9-11],已成为航空航天和国防尖端技术不可或缺的高性能技术材料。用三维机织物作为吸波材料有着极大的优越性,将镍铁纤维和多层实心、空心织物进行结合设计,无论是用于开发具备“薄、轻、宽、强”特点的柔性吸波材料或是制备军用装备隐蔽遮盖面料,都具有实用意义和良好的发展前景。

本文采用镍铁纤维/阻燃涤纶混纺纱、不锈钢纤维/涤纶混纺纱以及涤纶纱设计织造了11种立体织物,分别测试了各种织物的反射率,分析并比较了织物的吸波性能。

1 试验

1.1 材料和仪器

1.1.1 材料

采用镍铁纤维/阻燃涤纶混纺纱(镍铁纤维含量为13.89%)、不锈钢纤维/涤纶混纺纱(不锈钢纤维含量为8.34%)及涤纶纱织造了11种织物,织物试样尺寸均为20 cm×20 cm。1[#]~11[#]织物的试样规格见表1。

表1 织物规格

织物编号	面密度/(g·m ⁻²)	厚度/mm
1 [#]	564.43	0.48
2 [#]	573.45	0.58
3 [#]	586.32	0.60
4 [#]	657.16	1.40
5 [#]	685.05	1.35
6 [#]	678.62	1.36
7 [#]	487.25	1.26
8 [#]	476.70	1.29
9 [#]	480.45	2.15
10 [#]	430.83	2.19
11 [#]	433.56	2.18

1.1.2 仪器

主要仪器有 Y200S 型电子小样织布机、AV3629

收稿日期: 2018-01-09

基金项目: 河北省科技厅支持项目(16211009D)

作者简介: 魏赛男(1981—),女,河北保定人,博士,副教授,主要从事功能纺织品及其清洁加工技术研究。

型矢量网络分析仪。其他设备包括烧杯、玻璃棒、尺子、剪刀、天平等。

1.2 织物设计

三维立体机织物先通过抽象图形设计纱线交织图,然后根据交织图画组织图和纹板图来织造织物。本文设计了11种立体机织物,包括:3种三层经纱角链接结实心织物(1[#]~3[#]);3种接结三层底层为不锈钢纤维混纺纱空心平纹织物(4[#]~6[#]);3种接结三层表层为不同组织空心织物(7[#]~9[#]);2种接结三层涤纶/镍铁纤维空心平纹织物(10[#]~11[#])。

1[#]~3[#]织物的结构组成见表2。

表2 1[#]~3[#]织物组成

织物编号	纱线排列方向	经纱排列比	纬纱排列比
1 [#]	单向	3:1	3:1
2 [#]	双向	5:1	5:1
3 [#]	双向	3:1	3:1

其中,3种织物所用纱线均为镍铁纤维/阻燃涤纶混纺纱以及涤纶纱,经纬纱排列比均指涤纶和混纺纱的排列比例。

4[#]~6[#]织物的结构组成见表3。

表3 4[#]~6[#]织物组成

织物编号	表层排列方向	中层经纱排列比	中层纬纱排列比
4 [#]	单向	3:1	3:1
5 [#]	单向	5:1	5:1
6 [#]	双向	3:1	3:1

其中,3种织物表层所用纱线为涤纶纱和镍铁纤维/阻燃涤纶混纺纱,且经纬纱排列比均为3:1;中层纱线为涤纶纱和镍铁纤维/阻燃涤纶混纺纱,且排列方向均为双向排列;底层所用纱线为不锈钢纤维。

7[#]~9[#]织物的表层组织分别为8/5纬面缎纹、1/3斜纹和平纹。其中,3种织物所用纱线为涤纶纱和镍铁纤维/阻燃涤纶混纺纱,且3种织物三层镍铁纤维均为双向排列,每层涤纶、镍铁纤维/阻燃涤纶混纺纱经纬纱排列比均为3:1。10[#]、11[#]织物的经纬纱排列比分别为5:1和3:1。

其中,两种织物所用纱线为涤纶纱和镍铁纤维/阻燃涤纶混纺纱,且两种织物表层、中层、里层镍铁纤维混纺纱均双向排列,表层、中层、底层均选用平纹组织。

1.3 织物吸波性能测试

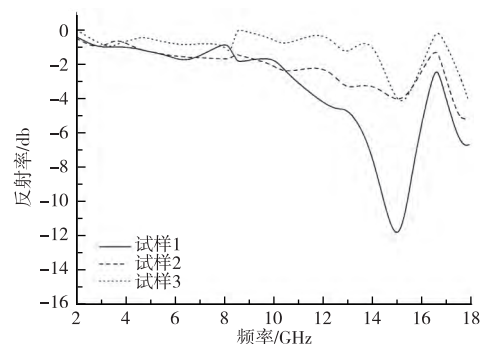
未上浆的纱线在织造过程中存在毛羽较多、耐磨性较差等缺点,故为了使织造顺利进行,应对纱线进行上浆处理。为了防止浆纱对织物吸波性能产生影响,

对织造完成后的混纺纱织物要进行退浆处理。退浆处理方法为水煮法,即将剪裁好的织物放入烧杯中,加入蒸馏水加热煮沸,用玻璃棒搅拌,直至烧杯内水溶液不再变得浑浊为止。待织物完全干燥后,进行吸波性能测试。

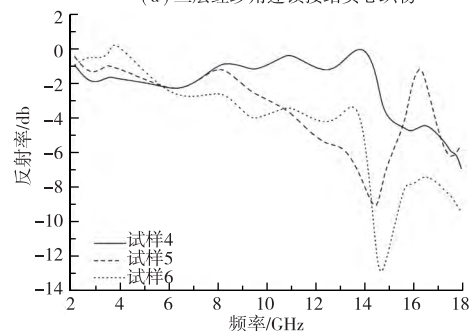
采用反射-传输网络参数法,根据GJB 2038—1994《吸收波材料反射率测试方法》中的“RAM反射率用弓行测试法”测得织物反射率,微波扫描信号源为HP83751B,测量结果通过AV3629型矢量网络分析仪测得,测试频段为2~18GHz。测试吸波性能时,电磁波在统一波长和极化条件下从同一角度以同一功率密度入射吸波材料平面和良导体平面。分别测量良导体平面和吸波材料的反射功率与同一参考信号之比,吸波材料反射率为吸波材料平面与同尺寸良导体平面的镜面方向反射功率之比,而不是直接测量绝对反射功率。

2 结果与讨论

三维机织物的吸波性能分析见图1。



(a) 三层经纱角链接结实心织物



(b) 接结三层底层为不锈钢纤维混纺纱空心平纹织物

图1 三维立体吸波机织物的吸波性能

由图1(a)可知,织物1[#]在频率为14.96GHz时,反射率最小,为-13dB;织物2[#]在频率为17.84GHz时,反射率最小,为-5.55dB;织物3[#]在频率为14.96GHz时,反射率最小,为-4.92dB。织物1[#]~3[#]的反射率在2~10GHz频段范围内都很小,彼此相差也

不大,吸波效果不明显;在10~18 GHz的频率范围内,织物1[#]~3[#]的吸波性能较好,且织物1[#]>织物2[#]>织物3[#]。故由织物1[#]、3[#]比较可知,三层实心镍铁纤维机织物中镍铁纤维单向排列的吸波性能优于双向排列,其中由织物2[#]和织物3[#]比较可知,机织物中镍铁纤维经纬交织点形成的网格大的吸波性能优于网格小的吸波性能。

由图1(b)可知,织物5[#]和织物6[#]的反射率曲线变化趋势相近,均出现了较小的吸收峰。织物4[#]在频率17.84 GHz时,最小反射率为-6.84 dB;织物5[#]在频率14.48 GHz时,最小反射率为-9.96 dB;织物6[#]在频率14.72 GHz时,最小反射率为-13.35 dB,吸波性能最好。在整个2~18 GHz的频率范围内,吸波最好的频段是14.24~15.2 GHz,即织物高频段的吸波性能优于低频段;在2~9 GHz频段范围内,织物4[#]~6[#]的反射率都很小,彼此相差也不大,吸波效果不明显;在11~16 GHz范围内,织物4[#]~6[#]的吸波性能较好,且织物6[#]>织物5[#]>织物4[#]。故由4[#]、6[#]比较可得,三层空心镍铁纤维机织物中镍铁纤维双向排列的吸波性能优于单向排列,其中由织物4[#]、5[#]比较可知,机织物中镍铁纤维经纬交织点形成的网格大的吸波性能优于网格小的吸波性能。

由图1(c)可知,织物7[#]在频率为14.24 GHz时,反射率最小,为-8.79 dB;织物8[#]在频率为14.72 GHz时,反射率最小,为-6.72 dB;织物9[#]在频率为14.72 GHz时,反射率最小,为-4.47 dB。织物7[#]~9[#]的反射率在2~8 GHz及15~18 GHz频段范围内相差不大,吸波效果不太明显。织物8[#]、9[#]的反射率曲线变化趋势很相近,都小于织物7[#],即织物7[#]的吸波效果要高于织物8[#]、9[#]。最明显的吸波频段是8~15 GHz,在这个频段内反射率较好,且7[#]>8[#]>9[#],故三层空心镍铁纤维机织物中表层为缎纹的吸波性能优于表层为斜纹以及平纹的吸收性能。

由图1(d)可知,织物10[#]在频率为14.96 GHz时,反射率最小,为-14.52 dB。在整个频段2~18 GHz范围内,吸波最好的频段是14.24~15.44 GHz。织物11[#]在频率为14.96 GHz时,反射率最小,为-3.63 dB。织物10[#]、11[#]的反射率在2~9 GHz频段范围内都很小,彼此相差也不大,吸波效果不明显。在9~18 GHz的频率范围内,两种织物的吸波性能较好,且织物10[#]的吸波性能优于织物11[#],故三层空心镍铁纤维机织物

中镍铁纤维经纬交织点形成的网格大的吸波性能优于网格小的吸波性能。

3 结 语

(1)三层实心镍铁纤维角联锁机织物中镍铁纤维单向排列的吸波性能优于双向排列,且机织物中镍铁纤维经纬交织点形成的网格大的吸波性能优于网格小的吸波性能。

(2)三层空心镍铁纤维机织物中镍铁纤维双向排列的吸波性能优于单向排列,且机织物中镍铁纤维经纬交织点形成的网格大的吸波性能优于网格小的吸波性能。

(3)三层空心镍铁纤维机织物中表层为8/5纬面缎纹优于表层为1/3斜纹的吸波性能,而1/3斜纹优于平纹的吸波性能。

(4)接结三层涤纶/镍铁纤维空心平纹织物中镍铁纤维经纬交织点形成的网格大的吸波性能优于网格小的吸波性能。



参考文献:

- [1] WANG J,ZHANG H,BAI S X,et al.Electromagnetic shielding behavior of conducting polyaniline composites[J].J Magn Mater,2007,312(2):310-313.
- [2] PULLAR R C,BHATTACHARYA A K.The magnetic properties of aligned M hexa-ferite fibres[J].J Magn Mater,2006,300(3):490-499.
- [3] SONG J M,YOON H J,KIM D I,et al.Preparation and electromagnetic characteristics of a novel iron-coated carbon fiber[J].J Korean Phys Soc,2003,42(5):671-673.
- [4] SHYONG T S,FAYEN C.EMI shielding effectiveness of metal coated carbon fiber reinforced ABS composites[J].Mater Sci Eng,2001,302(1):258-264.
- [5] 刘晓春.雷达吸波材料和吸波结构与飞机隐身技术[J].航空科学技术,1997,27(3):25-28.
- [6] LI W P,ZHU L Q,GU J,et al.Microwave absorption properties of fabric coated absorbing material using modified carbonyl iron powder[J].Composites:Part B,2011,42(3):626-630.
- [7] 周影影,周万城,罗发,等.羰基铁粉吸波涂层的吸波原理及应用[J].材料导报,2013(13):122-126.
- [8] 孙志岗,乔小晶,任庆国,等.新型吸波材料研究进展[J].宇航材料工艺,2013(2):8-12.
- [9] 崔志萍.吸波材料的研究进展[J].中国化工贸易,2013(7):35-40.
- [10] 易洪雷.三维机织复合材料力学性能研究进展[J].力学进展,2001,31(2):161-162.
- [11] 汪蔚.3D机织增强复合材料板的力学性能[J].纺织学报,2003,24(5):49-50.