

## 织物介电常数影响因素的研究

杨海燕, 赵晓明

(天津工业大学 纺织学部, 天津 300387)

**摘要:** 对织物介电常数影响因素进行研究, 包括织物介电常数的测试, 织物组织结构、经密和纬密、纱线细度对织物介电常数的影响. 结果表明: 当频率较低时, 织物的组织结构、经密和纬密、纱线细度对织物的介电常数有较大的影响, 介电常数值差别较大; 当频率较高时, 织物的介电常数值减小, 其极化能力和损耗能力减弱.

**关键词:** 织物介电常数; 组织结构; 经密; 纬密; 纱线细度

**中图分类号:** TS101.921.53

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1671-024X(2014)01-0028-04

### Research of influencing factors of dielectric constant of fabric

YANG Hai-yan, ZHAO Xiao-ming

(Division of Textiles, Tianjin Polytechnic University, Tianjin 300387, China)

**Abstract:** The factors that affect the permittivity of the fabric are studied, including the test of permittivity, the influence of fabric structure, warp and weft density, and yarn fineness on the fabric permittivity. The results indicate that when the frequency is low, the structure, warp density and weft density, yarn fineness have a greater impact on dielectric constant. With the increasing of frequency, the dielectric constant of the fabrics reduces, and its polarization capability and loss capability decreases.

**Key words:** dielectric constant of fabric; fabric structure; warp density; weft density; yarn fineness

近年来, 纺织材料在电磁防护领域得到了广泛的应用. 纺织材料可以作为隐身材料和电磁伪装材料应用在军事领域. 如作战用迷彩服、各种装备(军车、坦克、飞机等)的罩衣和野营帐篷等应用已为人熟识, 华中科技大学的于名讯等<sup>[1]</sup>采用仿抄纸装置和湿法纺织工艺制备出厘米波/毫米波兼容隐身织物, 在 8~12 GHz 和 30~40 GHz 频段有显著的吸波性能. 纺织材料可以作为电磁屏蔽材料和吸波材料应用在很多电磁辐射复杂的场合起到有效屏蔽和吸收电磁波辐射的作用, 目前国内已经开发了多种面料的电磁防护服, 如防护衬衫、防护大褂、孕妇服等. 西北有色金属研究院对电磁屏蔽材料做了大量的研究工作, 制备出金属纤维混纺织物、纯金属纤维织物和金属纤维/聚合物复合材料等, 电磁屏蔽效能最高可达 84.3 dB, 在电磁防护领域具有广阔的应用前景<sup>[2]</sup>. 将纳米技术应用于纤维或服装生产, 具有吸波性能且不产生二次反射的纺织服装已经投入研究, 成为吸波材料的一个热点. 王进美等<sup>[3]</sup>通过在织物表面涂敷纳米复合金属而制得

的涂层纺织品具有优越的电磁屏蔽性能、耐洗涤性和柔软性, 并且获得了国家专利. 纺织材料还可以作为纺织天线用作无线通信<sup>[4-5]</sup>, 对纺织材料的电磁特性研究在民用和军事上有非常重要的意义. 介电常数是电磁波吸收材料非常重要的电磁参数, 是同一电容器中用某一物质为介电体时的电容值与以真空为介电体的电容值的比值, 用  $\epsilon$  表示. 介电常数是表征介质材料容纳感生极化电荷的能力, 或者说是表征极化性质的宏观物理量<sup>[6]</sup>. 它的大小主要取决于在电场激励中极化过程的难易程度, 在外电场中材料极化感生的电荷越多其介电常数越大, 反之越小. 通常将介电常数表示为  $\epsilon = \epsilon' - j\epsilon''$ ,  $\epsilon'$  为介电常数的实部,  $\epsilon''$  为介电常数虚部, 是极化电荷和介电损耗的宏观参数<sup>[7]</sup>. 介电常数的实部代表在交流电介质中材料能量的存储, 虚部表示在电场中的能量损失, 该能量损失可以理解为材料内部感应电偶极矩产生相对位移所引起的损耗. 本文主要探讨织物的组织结构、经密和纬密、纱线的细度等因素对织物介电常数的影响.

收稿日期: 2013-05-28 基金项目: 天津市自然科学基金资助项目(11JCYBJC26400)

第一作者: 杨海燕(1987—), 女, 硕士研究生.

通信作者: 赵晓明(1963—), 女, 教授, 博士生导师. E-mail: zhaoxiaoming@tjpu.edu.cn

## 1 实验部分

### 1.1 织物制备

作为电磁波防护材料,不仅要保证材料各方面的力学性能强度高,还必须具有不易老化、耐气候性好、不易吸湿等特点,而且最好本身也具有吸波性能,因此考虑了涤纶和丙纶两种材料.从前人所做研究<sup>[8]</sup>中发现,丙纶材料基本没有吸波性能,涤纶材料表现出微弱的吸波性能,因此实验采用的主要材料是涤纶—聚酯短切纤维,购自海安县利来雅纺织有限公司.纱线规格分别为 59 tex、45 tex、32 tex 纯涤纱.根据不同的组织结构、经向密度和纬向密度排布制备了 14 种型号的织物,其织物规格如表 1 所示.

表 1 织物规格

Tab.1 Standards of fabrics

| 编号  | 线密度/tex |    | 密度/(根·(10 cm) <sup>-1</sup> ) |     | 织物组织   | 单位面积质量/(g·m <sup>-2</sup> ) | 厚度/mm |
|-----|---------|----|-------------------------------|-----|--------|-----------------------------|-------|
|     | 经纱      | 纬纱 | 经密                            | 纬密  |        |                             |       |
| 1#  | 59      | 59 | 200                           | 180 | 平纹     | 255                         | 0.721 |
| 2#  | 59      | 59 | 200                           | 180 | 2/1 斜纹 | 284                         | 0.778 |
| 3#  | 59      | 59 | 200                           | 180 | 3/1 斜纹 | 271                         | 0.762 |
| 4#  | 59      | 59 | 200                           | 180 | 2/2 斜纹 | 288                         | 0.713 |
| 5#  | 59      | 59 | 200                           | 90  | 2/2 斜纹 | 244                         | 1.088 |
| 6#  | 59      | 59 | 200                           | 120 | 2/2 斜纹 | 242                         | 0.909 |
| 7#  | 59      | 59 | 200                           | 150 | 2/2 斜纹 | 256                         | 0.802 |
| 8#  | 59      | 59 | 200                           | 200 | 2/2 斜纹 | 290                         | 0.777 |
| 9#  | 59      | 59 | 150                           | 150 | 2/2 斜纹 | 250                         | 0.757 |
| 10# | 59      | 59 | 170                           | 150 | 2/2 斜纹 | 266                         | 0.769 |
| 11# | 59      | 59 | 190                           | 150 | 2/2 斜纹 | 287                         | 0.824 |
| 12# | 59      | 59 | 220                           | 150 | 2/2 斜纹 | 304                         | 0.884 |
| 13# | 45      | 45 | 190                           | 150 | 2/2 斜纹 | 186                         | 0.707 |
| 14# | 32      | 32 | 190                           | 150 | 2/2 斜纹 | 134                         | 0.641 |

### 1.2 测试条件与测试仪器

纺织品的介电常数很容易受到空气湿度及温度的影响,本次实验在恒温恒湿(20~22℃、64%~66%RH)条件下进行测试<sup>[9-10]</sup>.采用德国 Novocontrol GmbH 公司生产的 Novocontrol Technologies Alpha-A High Performance Frequency Analyzer 即介电谱仪<sup>[11-12]</sup>测试织物的介电常数.根据介电谱仪的电极板尺寸,将织物剪成直径为 3 cm 的圆形试样,为了保证试样厚度,每个测试试样由多块圆形试样叠在一起放入仪器的 2 个极板之间进行测试,并对试样的厚度、重量、直径等指标进行测量,以便后续的数据分析与计算<sup>[13-14]</sup>.

## 2 结果与讨论

### 2.1 织物组织结构对介电常数的影响

织物的孔隙结构和交织点能够改变电磁波在材料内部的传播路线,使入射电磁波在材料内部通过一

系列的散射和反射吸收过程得到最大的损耗.纺织材料的介电常数是电场频率的函数,通过测试所得数据,对 1#—4# 这 4 种织物随频率变化的介电常数进行分析比较,如图 1 所示.

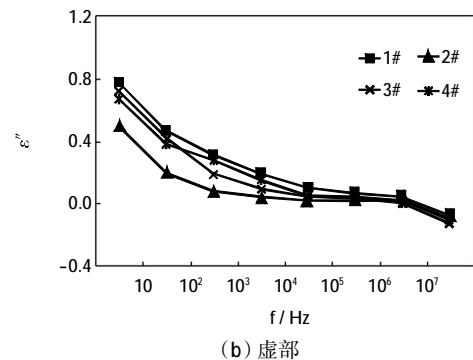
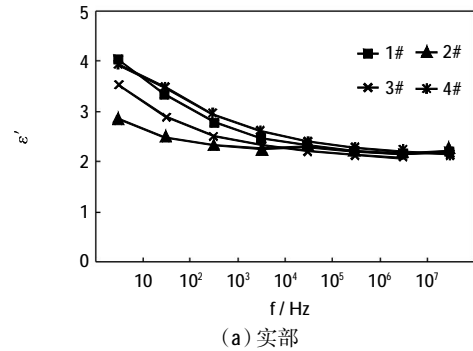


图 1 织物组织结构对介电常数的影响

Fig.1 Effect of fabric structure on fabric permittivity

由图 1 可见,在频率较低时( $f < 10^5$  Hz),织物的组织结构对介电常数有一定的影响,在 4 种织物中,2/2 斜纹织物的介电常数实部略大,其极化能力最强,平纹织物实部与其近似,虚部较大,其损耗能力较强,2/1 斜纹织物的介电常数最小,其极化和损耗能力都较差.在频率大于  $10^5$  Hz 时,随着外电场频率的升高,纺织材料的介质极化现象减弱, $\epsilon'$  值减小,能力损耗也减小.4 种织物的实部与虚部曲线近似重合,所以高频阶段织物组织结构对介电常数的影响可忽略不计.

### 2.2 织物密度对介电常数的影响

对 5#—8# 这 4 块织物进行比较,其介电常数的实部和虚部曲线如图 2 所示.

由图 2 可见,在低频段( $f < 10^4$  Hz)织物的纬密变化可影响织物的介电常数.介电常数实部和虚部随纬密的增加都呈现了先增加后减小的趋势,纬密为 120 根/10 cm 的织物介电常数最大.当织物组织结构相同,随着纬密的增加,纬纱之间的空隙越来越小,空气越来越少,织物的介电常数随之增加,而当纬密增加到一定程度时,纬纱几乎连成一体,组成通路,使织物的介电常数减小.在频率大于  $10^4$  Hz 时,4 种织物的介电

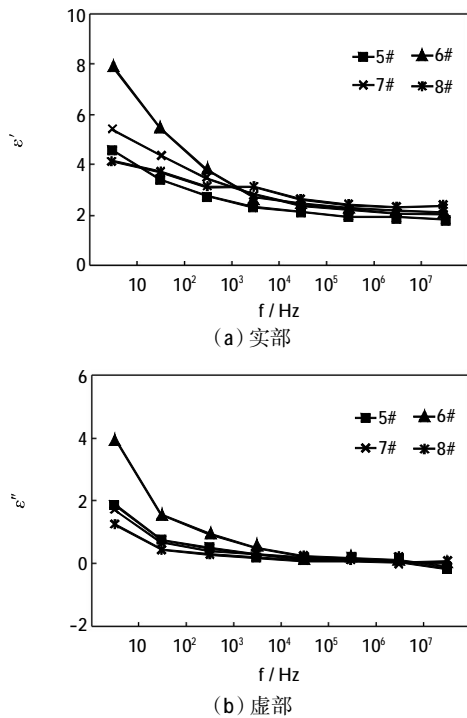


图 2 织物纬密对介电常数的影响

Fig.2 Effect of weft density on fabric permittivity

常数实部和虚部的曲线越来越聚拢, 纬密对织物介电常数的影响越来越小.

图 3 所示 9#—12# 这 4 块织物的介电常数实部和虚部比较图.

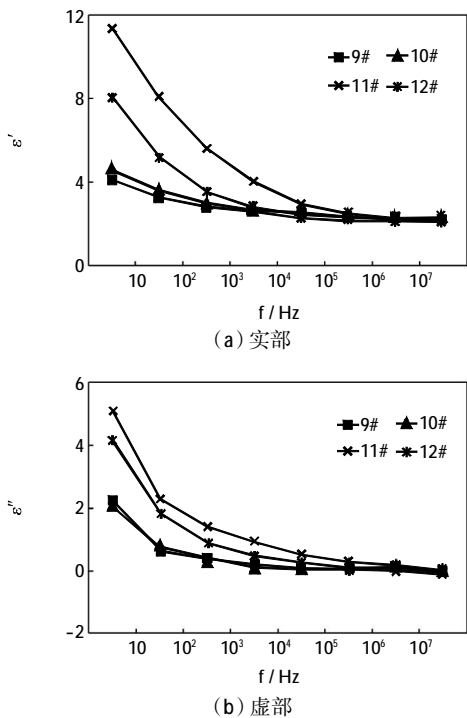


图 3 织物经密对介电常数的影响

Fig.3 Effect of warp density on fabric permittivity

由图 3 可见, 在低频段( $f < 10^5$  Hz)织物的介电常

数实部和虚部随着织物经密的增加呈现先增大后减小的趋势, 其中经密为 190 根/10 cm 的织物介电常数最大. 当织物组织结构相同, 随着经密的增加, 经纱之间的空隙越来越小, 空气越来越少, 织物的介电常数随之增加, 而当经密增加到一定程度时, 经纱几乎连成一体, 组成通路, 使织物的介电常数减小. 在高频段( $f > 10^5$  Hz)织物的介电常数大小相近. 对介电常数的数据分析, 织物的经密对介电常数的影响比纬密对介电常数的影响大.

### 2.3 纱线细度对介电常数的影响

图 4 所示为纱线细度对织物介电常数的影响.

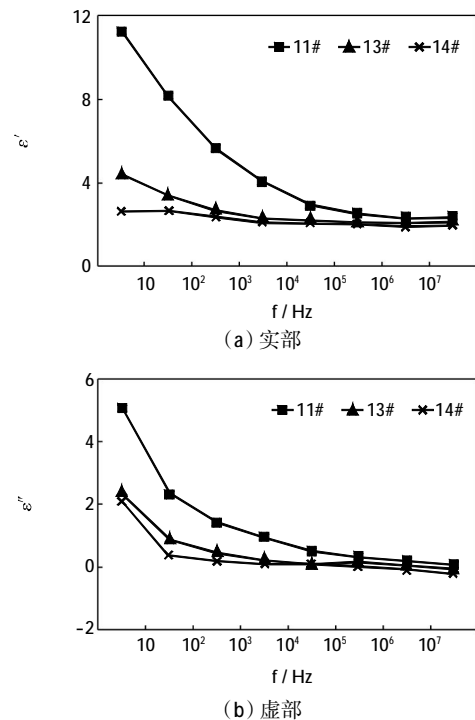


图 4 纱线细度对介电常数的影响

Fig.4 Effect of yarn fineness on fabric permittivity

由图 4 可见, 59 tex 纱线织造的织物介电常数实部和虚部都比较大, 其极化能力和损耗能力都较强, 随着纱线细度的增加, 介电常数的实部和虚部都依次增大. 在一定范围内提高纱线的细度可以提高织物储存和损耗电磁能量的能力.

### 3 结 论

纺织材料的介电常数是随着入射电场频率变化的曲线函数. 在本研究的实验条件下, 当入射电磁波的频率小于  $10^5$  Hz 时, 织物的组织结构、经密和纬密、纱线细度对织物的介电常数有较大的影响, 因此  $\epsilon$  值差别较大. 在 4 种组织中, 2/2 斜纹织物的介电常数较

大,其储存和损耗能力较强.织物的介电常数随着织物密度的增大呈现先增大后减小的趋势,从而在一定范围内增大织物密度可以提高织物的介电极化和损耗的能力.在所用3种规格纱线中,59 tex 纱线织造的织物介电常数最大.随着外电场频率的升高,纺织材料的介质极化现象减弱,介电常数值减小,各种织物的介电常数差值减小,能量损耗亦减小.因此,可以通过改进材料的性能,控制其组织结构和密度等来适当提高其介电常数,从而改善纺织材料的吸波效果.

#### 参考文献:

- [1] 于名讯,赵均英,朱洪立,等.厘米波/毫米波兼容隐身湿纺织物研究[J].功能材料,2006,37(6):874-876.
- [2] 王建忠,朱纪磊,支浩,等.电磁辐射及其防护材料[J].材料导报,2013,27(4):51-54,62.
- [3] 王进美,朱长纯,李燕华.纳米复合金属涂层纺织品及制备工艺:中国,200510042890[P].2005-12-21.
- [4] 周祥.织物电磁特性及纺织天线的研究[D].苏州:苏州大学,2010.
- [5] 蒋洪晖,顾赵梅,于富强,等.功能纤维织物的制备及其吸波性能[J].表面技术,2010,39(5):72-76.
- [6] 张晓宁,王庆.安捷伦 4396B 阻抗分析仪在测试吸波材料复相对介电常数上的应用[J].安全与电磁兼容,2006(5):71-72.
- [7] 武岳山,于利亚.介电常数的概念研究[J].现代电子技术,2007(2):177-179.
- [8] 赵思.非织造布吸波材料的开发[D].天津:天津工业大学,2008.
- [9] 沈瑞庆,赵坚.纱线在微波频段的介电常数[J].华东纺织工学院学报,1984,10(4):125-131.
- [10] HEARLE J W S. The dielectric properties of fiber assemblies[J]. Textile Research Journal, 1956, 26(2):108-111.
- [11] 黄铭,彭金辉,张世敏,等.材料介电常数的测量方法及应用[C]//第十二届全国微波能应用学术会议.成都:四川省电子学会,2005:82-86.
- [12] HEARLE J W S. Capacity, dielectric constant, and power factor of fiber assemblies [J]. Textile Research Journal, 1954, 24(4):307-321.
- [13] 钱文虎.宽频介电谱仪测量误差分析[J].实验室研究与探索,2013,32(2):8-13.
- [14] 龚俊.《纺织品介电常数测定》实验中样品的选择[J].大学物理实验,2002,15(3):15-16.

(上接第28页)

之间的关系可用二次曲线来拟合,拟合曲线模型为  $Y = R_1X^2 - R_2X + R_3$ ,拟合相关度很好.

(4) 亚麻纤维的断裂属于韧性断裂,断裂强度随着纤维分形维数的增大而减小,分形维数越大,表明纤维的孔隙结构越复杂,其断裂强度越低.

#### 参考文献:

- [1] 朱华,姬翠翠.分形理论及其应用[M].北京:科学出版社,2011.
- [2] 张济忠.分形[M].北京:清华大学出版社,2011.
- [3] 成志芳,吕广庶,王富耻,等. Al/Ni-YPSZ 复合涂层力学性能与分形维数的关系[J].新技术新工艺·热加工技术,2002(5):29-30.
- [4] 章冠人.韧性和脆性断裂的分形维数[J].爆炸与冲击,1996,16(2):117-121.
- [5] DANIEL T. Changes of cellulose fiberwall structure during drying investigated using NMR self-diffusion and relaxation experiments[J]. Cellulose, 2002(9):139-147.
- [6] MALONEY T C. The formation of pores in the cellwall [J]. Journal of Pulp and Paper Science, 1999, 25(12):430-436.
- [7] 曹海建,钱坤,李鸿顺.纱线截面孔隙结构的定量表述[J].天津工业大学学报,2009,28(3):38-40.
- [8] 朱育平.小角 X 射线散射-理论、测试、计算及应用[M].北京:化学工业出版社,2008.
- [9] University of British Columbia Library. ASTM D3822 -07 Standard Test Method for Tensile Properties of Single Textile Fibers[S]. Vancouver: University of British Columbia Library, 2007.
- [10] 苏燕.断裂韧性与断裂表面分形维数的相关研究[J].钢铁研究学报,1997,9(2):53-56.
- [11] 杨常青.分形与材料断裂[J].山西科技,2007(2):117-119.
- [12] 卢春生,白以龙.材料损伤断裂中的分形行为[J].力学进展,1990,20(4):468-476.
- [13] 徐志斌,谢和平.断裂构造的分形分布与其损伤演化的关系[J].武汉理工大学学报,2004,26(10):28-33.
- [14] 黄丹,廖太平,邓吉州,等.分形理论在断裂构造研究中的应用前景[J].重庆科技学院学报,2010,12(6):83-85.
- [15] 李静,尹衍升,马来鹏,等.分形理论在陶瓷材料断裂行为中的应用[J].稀有金属材料与工程,2007,36(1):707-709.
- [16] 叶瑞英,李亚琴,李静媛.分形维数与含 MnS 超高强度钢断裂韧性的关系研究[J].兵器材料科学与工程,2002,25(4):14-17.
- [17] 张萌.关于分形与材料断裂研究中的一些思考[J].南昌大学学报,2002,26(1):53-56.
- [18] 刘小渝,丁小明.分形理论与材料的断裂性能[J].黑龙江科技信息,2011(3):25-26.