

DOI:10.3969/j.issn.1673-3851.2017.05.002

缝制工艺参数对镀银纤维织物电磁屏蔽效能的影响

许 蕾^a,王利君^{a,b}

(浙江理工大学,a.服装学院;b.浙江省服装工程技术研究中心,杭州 310018)

摘 要:在电磁屏蔽织物到防辐射服装的缝纫过程中,会产生不同大小的孔隙,影响服装屏蔽效能。以镀银纤维电磁屏蔽织物为研究对象,通过正交实验设计,采用 $L_9(3^4)$ 重复试验正交表,测量在不同缝纫参数条件下镀银纤维织物的电磁屏蔽效能,研究各缝纫参数对电磁屏蔽效能的影响。结果表明:按缝纫工艺参数对银纤维织物电磁屏蔽效能的影响程度大小排列,依次为缝型、线迹密度、机针号数和缝纫线种类;采用外包缝、较大线迹密度、适中机针号数,同时选用电导率较大的镀银线有利于提高电磁屏蔽织物的屏蔽效能。

关键词:镀银纤维织物;缝纫工艺参数;电磁屏蔽效能;正交设计

中图分类号: TS941.63

文献标志码: A

文章编号: 1673-3851 (2017) 03-0317-05

0 引 言

继空气、水和噪声污染后,电磁辐射已被视为第 4 种污染源^[1]。为减少或避免其对环境对人体造成各类危害,各国对防辐射织物和服装的研究不断深入。目前电磁屏蔽织物主要有两种:一种是将一层导电层覆在织物表面,例如贴金属箔、导电涂层、化学镀金属层、真空喷镀金属层等;另一种是纱线或织物中掺入导电纤维,例如混纺、交织等^[2]。银纤维表面被一层细密、导电性能良好的银覆盖,使之导电性能良好,是制作电磁屏蔽服装的常用材料。现阶段对防辐射服的研究集中在屏蔽服的款式结构和屏蔽效能测试方法两方面^[3-6]。但由织物到服装必须经过缝纫加工,由此产生的缝隙及孔洞会影响防电磁辐射织物的电磁屏蔽效

能^[7]。所以有必要研究缝纫工艺参数对电磁屏蔽织物的影响。

本文以常见电磁屏蔽面料镀银纤维织物为研究对象,选取 4 项缝纫工艺参数,设计正交试验,研究各参数对电磁屏蔽织物电磁屏蔽效能的影响,希望为电磁屏蔽服的生产提供参考。

1 实 验

1.1 织物选择

因市面上使用最多的是全银、半银和近半银类型镀银纤维织物,实验选取 3 种镀银纤维含量不同的织物,织物规格如表 1 所示。用 FY800 织物防电磁辐射性能测试仪(温州方圆仪器有限公司生产)测试在不同电磁波频率下 3 种镀银纤维织物屏蔽效能的变化。

表 1 镀银纤维织物规格

面料	镀银纤维含 银量/%	纱线细度 /tex	经密/ (根·(10 cm) ⁻¹)	纬密/ (根·(10 cm) ⁻¹)	厚度/mm	方块电阻/ Ω	电导率 /(S·m ⁻¹)
1 [#]	50	10	200	190	0.174	0.65	8841.73
2 [#]	60	10	210	196	0.160	0.46	13586.96
3 [#]	100	10	204	187	0.165	0.30	20080.32

收稿日期:2016-10-17 网络出版日期:2017-01-19

基金项目:浙江省服装工程技术研究中心开放基金项目(2013KF13)

作者简介:许 蕾(1991-),女,山西长治人,硕士研究生,主要从事服装舒适性方面的研究。

通信作者:王利君,E-mail:wanglijunhz@zstu.edu.cn

1.2 屏蔽效能测试频率确定

生活中移动设备的主要频率段为 890~960 MHz, WIFI、WLAN 等无线网络信号多为 2400~2500 MHz。为保证试验准确性, 试验在两个频率区间以 50 MHz 为差值, 选出 12 个织物屏蔽效能的测试频率点: 800、850、900、915、950、1000、2350、2400、2450、2500、2550、2600 MHz。

1.3 缝制工艺条件确定

相关研究^[4,8]表明, 对电磁屏蔽织物类产品的屏蔽效果影响较显著的因素包括辐射源频率、导电纤维种类和含量、缝隙尺寸、孔洞面积、层次等。以上因素中, 缝隙尺寸、孔洞面积与缝纫线的种类与细度、缝型、线迹密度、机针号数等缝纫工艺参数密切相关。通过预实验, 选取对织物电磁屏蔽效能影响较大的针距、缝线、缝型及机针号数 4 项缝纫工艺参数, 其余缝纫参数控制变量。采用正交实验设计, 每因素各取 3 水平, 选用 $L_9(3^4)^{[9]}$ 正交表。缝纫试验条件见表 2。

1.4 测试方法

将测试样品裁成经向×纬向为 10 cm×6 cm 的面料, 两块面料正面相对沿经向距布边 1 cm 缝制样

品, 每组参数缝制 3 份试样。根据 GJB 6190—2008《电磁屏蔽材料屏蔽效能测量方法》, 实验前将样品静置在温度 $(20 \pm 5)^\circ\text{C}$ 、相对湿度 $(50 \pm 5)\%$ 的环境下调湿处理 48 h, 之后立即用 FY800 织物防电磁辐射性能测试仪测量试样的电磁屏蔽效能, 每个试验号重复试验两次, 单一频点连续测量 6 次后取平均值。

表 2 缝纫实验条件

水平	A	B	C	D
	线迹密度 /(针·(3cm) ⁻¹)	缝纫线种类	缝型	机针号数
1	8	涤纶短纤维线	外包缝	9
2	13	涤纶碳纤维 混纺线	来去缝	12
3	18	镀银线	平缝	14

2 结果与讨论

2.1 测试结果

根据 $L_9(3^4)$ 重复试验正交表得出织物组合试样, 测试其电磁屏蔽效能结果见表 3, 数值越大, 表明电磁屏蔽效果越好。

表 3 实验试样电磁屏蔽效能测试结果

dB

面料	组合	测试频率点/MHz											
	试样号	800	850	900	915	950	1000	2350	2400	2450	2500	2550	2600
1#	1	25.949	31.282	32.037	33.374	34.755	36.836	38.269	40.398	43.578	45.983	47.082	50.891
	2	26.605	27.475	28.875	31.777	34.455	37.594	41.798	44.632	45.922	47.650	47.706	51.451
	3	30.224	30.448	31.206	31.931	32.965	33.587	36.394	39.757	40.870	44.089	45.598	49.298
	4	27.631	27.937	29.080	31.378	34.783	36.687	39.024	41.574	44.240	47.098	47.806	51.045
	5	30.967	31.316	31.688	32.048	33.365	35.810	38.795	42.432	44.366	46.977	46.932	50.550
	6	40.077	40.933	41.548	42.318	43.460	45.123	46.392	47.154	48.513	49.595	49.036	51.908
	7	35.505	36.902	37.432	37.996	38.641	39.603	41.391	43.583	43.740	45.043	46.559	50.998
	8	30.487	31.633	32.881	34.745	37.781	39.921	42.521	44.765	45.961	47.920	48.383	51.367
	9	30.448	31.810	33.673	35.703	37.599	39.231	40.753	42.903	44.961	47.084	47.781	51.219
	10	26.481	31.611	32.573	33.825	34.857	37.026	38.293	40.384	44.486	47.064	49.700	54.459
	11	27.151	27.764	29.358	32.206	34.556	37.788	41.824	44.617	46.880	48.770	50.360	55.059
	12	30.844	30.768	31.728	32.362	33.062	33.760	36.416	39.744	41.722	45.125	48.134	52.754
2#	13	28.198	28.230	29.567	31.801	34.885	36.876	39.048	41.560	45.162	48.205	50.465	54.624
	14	31.602	31.644	32.218	32.480	33.463	35.995	38.819	42.418	45.291	48.081	49.543	54.095
	15	40.900	41.362	42.243	42.889	43.588	45.356	46.420	47.138	49.524	50.761	51.763	55.547
	16	36.234	37.289	38.058	38.508	38.755	39.807	41.417	43.568	44.652	46.102	49.149	54.574
	17	31.113	31.965	33.431	35.214	37.892	40.127	42.547	44.750	46.920	49.046	51.074	54.969
	18	31.073	32.144	34.236	36.185	37.709	39.433	40.778	42.888	45.898	48.191	50.438	54.810
	19	36.753	37.743	38.577	39.840	41.350	43.577	45.153	47.513	51.980	54.450	56.787	58.367
	20	31.987	33.150	34.770	37.933	40.993	44.473	49.317	52.493	54.777	56.423	57.540	59.010
	21	36.337	36.737	37.577	38.117	39.220	39.733	42.940	46.760	48.750	52.207	54.997	56.540
	22	33.220	33.707	35.017	37.457	41.383	43.400	46.043	48.897	52.770	55.770	57.660	58.543
3#	23	37.230	37.783	38.157	38.257	39.697	42.363	45.773	49.907	52.920	55.627	56.607	57.977
	24	48.183	49.387	50.030	50.517	51.707	53.380	54.737	55.460	57.867	58.727	59.143	59.533
	25	42.687	44.523	45.073	45.357	45.973	46.850	48.837	51.260	52.173	53.337	56.157	58.490
	26	36.653	38.167	39.593	41.477	44.950	47.227	50.170	52.650	54.823	56.743	58.357	58.913
	27	36.607	38.380	40.547	42.620	44.733	46.410	48.083	50.460	53.630	55.753	57.630	58.743

2.2 方差分析

以面料 1[#] 为例,对其组合试样电磁屏蔽效能进行方差分析,得到表 4 所示的结果。并通过在纺织

服装轻工业中常用的 $F_{0.05}$ 和 $F_{0.01}$ 进行显著性水平检验^[10]。同理可得 3 种面料组合试样电磁屏蔽效能的 F 值及显著性水平,得到如表 5 结果。

表 4 50%镀银纤维织物组合试样电磁屏蔽效能方差

误差来源	离差平方和	自由度	方差	F 值	$F_{0.05}$	$F_{0.01}$	显著性
线迹密度	29.55	2	14.77	10.54	3.40	5.61	**
缝纫线种类	5.95	2	2.98	2.33	3.40	5.61	
缝型	25.56	2	12.78	9.98	3.40	5.61	**
机针号数	26.39	2	13.19	10.31	3.40	5.61	**
误差 e	11.52	9	1.28				
总和	38844.29	18					

注:**表明在显著性水平 $\alpha=0.01$ 下,因素对组合试样的电磁屏蔽效能影响特别显著;*表明在显著性水平 $\alpha=0.05$ 下,因素对组合试样的电磁屏蔽效能影响显著;其余表明因素对组合试样的电磁屏蔽效能影响不显著。

表 5 织物电磁屏蔽效能实验方差比(F 值)

面料式样	线迹密度	缝纫线种类	缝型	机针号数
1 [#]	10.54 **	2.33	10.98 **	10.31 **
2 [#]	10.77 **	2.36	9.46 **	9.84 **
3 [#]	11.28 **	2.74	12.11 **	10.84 **

注:**表明在显著性水平 $\alpha=0.01$ 下,因素对组合试样的电磁屏蔽效能影响特别显著;*表明在显著性水平 $\alpha=0.05$ 下,因素对组合试样的电磁屏蔽效能影响显著;其余表明因素对组合试样的电磁屏蔽效能影响不显著。

从表 5 看出,除面料 2[#] 外,其余织物组合试样的方差比中最大的是缝型方差比。对比表 4 中显著性水平可知,缝型对电磁屏蔽效能影响特别显著;线迹密度对电磁屏蔽效能影响较大;机针号数对织物电磁屏蔽效能有一定影响;缝纫线种类对电磁屏蔽效能影响较小。故选择缝纫工艺参数时,采用外包缝、较大线迹密度、适中机针号数,同时选用电导率较大的镀银线有利于提高电磁屏蔽织物缝纫部位的屏蔽效能。

2.3 缝纫对镀银纤维织物电磁屏蔽效能的影响

缝纫会对镀银纤维织物电磁屏蔽效能产生影响。表 1 中三种镀银纤维含量不同的织物在不同电磁波频率下屏蔽效能的变化如图 1 所示。以面料 1[#] 为例,对比图 1 与表 3 中面料 1[#] 数据可知,织物缝纫后的电磁屏蔽效能较缝纫前明显降低。对比面料 2[#]、3[#] 缝纫前后的织物屏蔽效能,后者也呈降低的趋势。以上数据说明,缝纫这一过程会降低织物的电磁屏蔽效能。

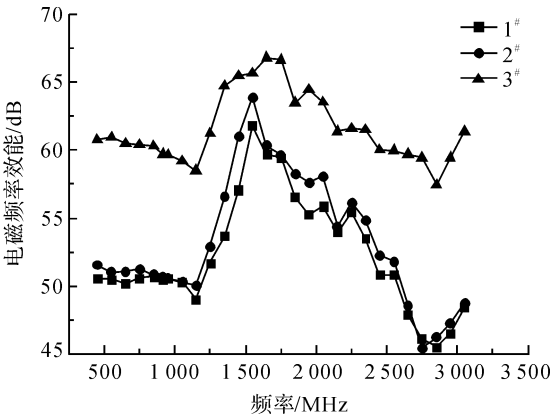


图 1 电磁波频率与电磁屏蔽效能关系曲线

2.4 缝型对织物组合试样电磁屏蔽效能的影响分析

以缝型水平为横坐标,各电磁屏蔽效能之和(平均值)为纵坐标,得到水平趋势图如图 2 所示。由图 2 可知,从外包缝、来去缝、到平缝,屏蔽效能呈下降趋势。因织物屏蔽效能与其导电性能有关,且织物结构会影响其导电性^[11-12]。外包缝缝口处有 4 层面料,在底面料的作用下构成并联,电阻减小,电导率增大,屏

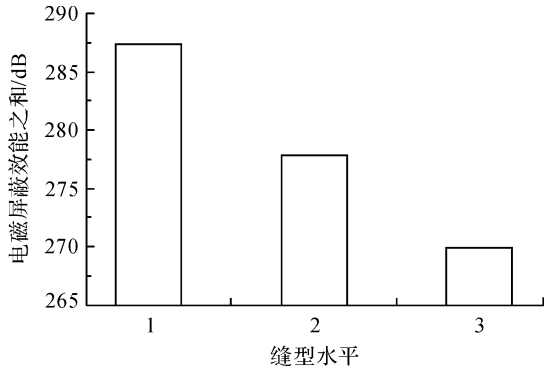


图 2 缝型与电磁屏蔽效能的关系

蔽效能增强;同理来去缝的缝份经过车缝处理,但并联结构不及外包缝稳固,电阻有所增加,电导率变小,屏蔽效能减小;平缝的缝份经烫后织物在缝口处纤维交织点减少,电阻最大,电导率最小,屏蔽效能最差。

2.5 线迹密度对织物组合试样电磁屏蔽效能的影响分析

以线迹密度水平为横坐标,各电磁屏蔽效能之和(平均值)为纵坐标,得到水平趋势图如图3所示。由图3可知,随着线迹密度由8针/3cm增至13针/3cm时,屏蔽效能急剧上升。当线迹密度变大,底面线的交织作用变强,缝口处缝隙变致密,缝口处面料导通率变好,电导率增大,对电磁波的屏蔽能力增强。当线迹密度再增至18针/3cm时,屏蔽效能上升,但同时由缝纫带来的孔眼增多,电磁泄露增多,使总体屏蔽效能增幅减小,趋于稳定。

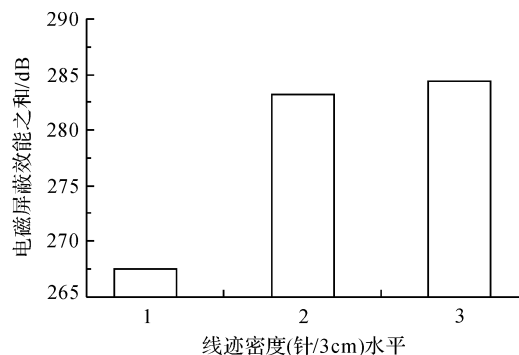


图3 线迹密度与电磁屏蔽效能的关系

2.6 机针号数对织物组合试样电磁屏蔽效能的影响分析

以机针号数水平为横坐标,各电磁屏蔽效能之和(平均值)为纵坐标,得到水平趋势图如图4所示。由图4可知,电磁屏蔽效能随机针号数水平先增大后减小。当机针号数由12号减至9号,由缝纫产生的孔眼尺寸愈接近电磁波波长,电磁波衍射增强,电磁泄露增多,织物组合试样的电磁屏蔽效能下降。当机针号数由12号增至14号时,电磁屏蔽效能下降明显。因机针变粗,由缝纫产生的孔眼变大,电磁泄露增多,织物组合试样的电磁屏蔽效能下降。

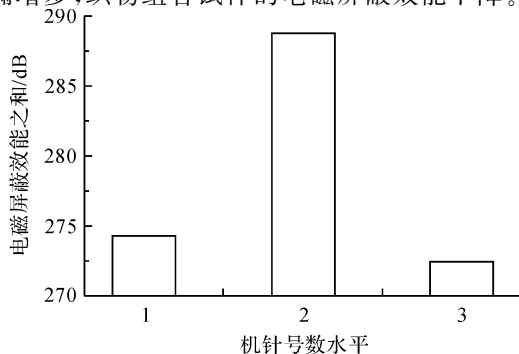


图4 机针号数与电磁屏蔽效能的关系

3 结论

a) 镀银纤维织物经缝纫后电磁屏蔽效能明显下降。

b) 影响电磁屏蔽织物组合试样屏蔽效能的因素,缝型最显著,其次是线迹密度,再次为机针号数,最后是缝纫线种类。

c) 采用外包缝、较大线迹密度、适中机针号数,同时选用电导率较大的镀银线有利于提高电磁屏蔽织物缝纫部位的屏蔽效能。

d) 对于电磁屏蔽织物,部分缝纫工艺参数对织物组合试样电磁屏蔽效能的影响呈非线性关系,其中:线迹密度由8针/3cm增至13针/3cm时,电磁屏蔽效能急剧上升,而再增至18针/3cm,电磁屏蔽效能趋于稳定;机针号数为12号时,电磁屏蔽效能最大,当机针号数由12号增大或减小时,织物缝纫部位的电磁屏蔽效能均下降。

参考文献:

- [1] 倪士峰,倪士银,路锋,等. 电磁波对人类生理效应研究概况[J]. 中华中医药学刊,2009,27(9):1883-1884.
- [2] 毛鹏丽,王利君,范琳超. 缝纫工艺参数对银纤维缝纫线可缝性的影响[J]. 毛纺科技,2015,43(6):65-68.
- [3] 张晓霞. 防辐射孕妇装的屏蔽性能与结构设计研究[D]. 上海:东华大学,2009:29-97.
- [4] 伏广伟,湛权,王端,等. 防电磁辐射服装暴露面积对其屏蔽效能的影响[J]. 纺织学报,2009,30(12):103-107.
- [5] 张丽丽,陈雁. 防辐射孕妇服电磁防护性能的测试与仿真[J]. 纺织学报,2011,32(10):108-112.
- [6] 汪秀琛,姚丽. 电磁屏蔽服测试方法研究[J]. 针织工业,2013(4):68-70.
- [7] 汪秀琛,刘哲. 防电磁辐射服装的屏蔽效能数学模型[J]. 纺织学报,2008,29(2):73-75.
- [8] 汪秀琛,张欣,王素玲. 影响防电磁辐射服屏蔽效能的显著因素分析[J]. 西安工程大学学报,2006,20(4):397-401.
- [9] 吴有炜. 试验设计与数据处理[M]. 苏州:苏州大学出版社,2002:135-142.
- [10] 倪红. 毛精纺面料的缝纫平整度与缝纫条件的关系[J]. 纺织学报,2008,29(3):80-82.
- [11] NEELAKANDAN R, MADHUSOOTANAN M. Electrical resistivity studies on polyaniline coated polyester fabrics[J]. Journal of Engineered Fibers and Fabrics,2010,5(3):25-29.
- [12] 谢勇,杜磊,邹奉元. 纬向嵌织镀银长丝机织物的电磁屏蔽效能分析[J]. 丝绸,2013,50(1):37-40.

Influence of Sewing Parameters on the Electromagnetic Shielding Effectiveness of Silver-Plated Fabric

XU Lei^a, WANG Lijun^{a,b}

(a. School of Fashion Design and Engineering; b. Zhejiang Provincial Research Center of Clothing Engineering Technology, Zhejiang Sci-Tech University, Hangzhou 310018, China)

Abstract: The electromagnetic shielding clothing's shielding effectiveness was affected by the apertures on the clothing in the sewing process of radiation protection fabric. Thus, orthogonal experiments with $L_9(3^4)$ repeated test orthogonal array was designed and applied to confirm the compatibility of silver-plated fabric's sewing parameters. The electromagnetic shielding effectiveness of silver-plated fabric by different sewing conditions were well studied. The results indicated the shielding effectiveness of silver-plated fabric was affected by the sewing conditions, and the capacity of influence was followed: seam type, stitch density needle type, sewing thread type. The outsourcing seam, bigger stitch density, mezzo needle type and high conductivity of silver-coated fabric could improve the electromagnetic shielding effectiveness of clothing.

Key words: silver-plated fabric; sewing parameters; electromagnetic shielding effectiveness; orthogonal test

(责任编辑:唐志荣)