

GB/T 36763—2018《电磁屏蔽用硫化橡胶通用技术要求》解析

洪宁宁， 张李晶， 桂观群

(上海电缆研究所有限公司 特种电缆技术国家重点实验室,上海 200093)

摘要:为弥补我国在民用电磁屏蔽橡胶性能研究及标准化上的短板,在调研国内外电磁屏蔽橡胶厂家及产品的情况下,以国内市场电磁屏蔽橡胶成品为基础,参照电磁屏蔽材料和屏蔽效能测量标准,开展电磁屏蔽效能、老化前后体积电阻率等关键性能验证,得出了电磁屏蔽橡胶技术指标,进一步形成通用标准。本标准为市场上电磁屏蔽橡胶的分类和产品的质量控制在提供依据,对于提升国内电磁屏蔽橡胶的研究、开发和商品化水准具有十分重要的意义。

关键词:电磁屏蔽橡胶; 标准; 屏蔽效能; 体积电阻率

中图分类号:TM215.2

文献标识码:A

文章编号:1672-6901(2020)06-0001-05

Analysis of GB/T 36763—2018 General Requirements for Electromagnetic Shielding Elastomer

HONG Ningning, ZHANG Lijing, GUI Guanqun

(State Key Laboratory of Special Cables, Shanghai Electric Cable Research

Institute Co., Ltd., Shanghai 200093, China)

Abstract: In order to make up for the deficiency of research and standardization of electromagnetic shielding elastomer in China, based on the investigation of domestic and foreign manufacturers and products, and referring to the standards of electromagnetic shielding materials and shielding effectiveness measurement, the key performance verification of electromagnetic shielding effectiveness and volume resistivity before and after aging are carried out. The technical indicators of electromagnetic shielding elastomer are obtained, and therefore a general standard is formed. This standard provides a basis for the classification of electromagnetic shielding elastomer and quality control of product and has great significance for improving the research, development and commercialization level of electromagnetic shielding elastomer in China.

Key words: electromagnetic shielding elastomer; standard; shielding effectiveness; volume resistivity

0 引 言

随着电子工业和信息技术的飞速发展,各种电子电器设备和通讯设备带来的电磁干扰、电磁泄露等问题日益严重,电子器件的机壳接缝部位及孔隙处极易泄露电磁波,不仅影响信息系统和灵敏设备的正常工作,还会威胁到电子信息安全,并危及人类健康。因此应采取各种防护措施,较有效的措施是采用柔韧的屏蔽橡胶材料对泄露处进行全面封闭。

目前国外在电磁屏蔽橡胶的产品应用方面已经十分成熟。美国 Chomerics 公司、Laird 公司、Technit 公司、Parker 公司,英国 Magnetic Shield、Dunlop 等公

司早已有商品化的电磁屏蔽橡胶产品,主要执行美国军标 MIL-DTL-83528—2015^[1]。国内早期主要针对电磁屏蔽材料的机理和性能研究,只有少数代销国外产品的经销商,自主商品化的产品较少。近年来,陆续有多家科研院所和企业开始研发并生产电磁屏蔽橡胶,但检验标准仍只能执行美军标。符合实际应用情况的民用标准的缺乏,严重制约了产品的应用及更新。

项目组以目前国内电磁屏蔽橡胶的实际生产、应用情况为基础,收集国内外典型电磁屏蔽橡胶产品,开展关键技术性能验证,并制定出国内首个电磁屏蔽橡胶国家标准 GB/T 36763—2018《电磁屏蔽用硫化橡胶通用技术要求》^[2]。本标准为市场上电磁屏蔽用硫化橡胶提供了分类依据,为产品的质量控制在提供指导,对于提升国内电磁屏蔽橡胶领域的研究、开发和商品化水准具有十分重要的意义。

收稿日期:2019-12-31

基金项目:上海市专项资金项目

作者简介:洪宁宁(1987—),男,博士。

作者地址:上海市军工路 1000 号[200093]。

1 标准主要依据

本标准制定过程研究了军用、民用多种电磁屏蔽材料技术规范,包括军用电磁干扰/射频干扰用电子弹性体导电屏蔽衬垫材料、电磁屏蔽橡胶衬垫材料、电磁屏蔽涂料、电磁屏蔽箔片、电磁屏蔽通风窗通用规范;民用电磁屏蔽织物、电磁屏蔽塑料、电磁屏蔽吸波片通用规范等。标准内容主要吸收了 MIL-DTL-83528—2015、电子行业军标 SJ 20673—1998 和一些产品手册中的技术要求。除常规性能外,标准还研究了材料屏蔽效能测试条件,参考 GB/T 12190—2006《电磁屏蔽室屏蔽效能的测量方法》^[3]进行了方法优化。

2 主要内容解析

2.1 范围

电磁屏蔽橡胶是将导电或导磁性材料添加到绝缘的橡胶基材中,并加入适量其他组分,通过涂覆、填充、模压或挤出、硫化等工艺获得屏蔽性能良好、兼具聚合物柔韧特性的复合材料。

由于各类材料用途及适用场合差异较大,流体

状涂覆用和膏状填充用导电胶暂未在本标准考虑范围之内。本标准适用于以硅橡胶、氟硅橡胶为基体材料,添加各种导电材料混合而成的电磁屏蔽用硫化橡胶。

2.2 分类和命名依据

电磁屏蔽橡胶材料主要由橡胶基材和导电材料构成,主要橡胶基材可分为硅橡胶(Q)和氟硅橡胶(FQ)两大类,其它种类的橡胶基材较少,暂不考虑;再按照主要添加的导电材料分型:纯银(Ag)、镀银铜(Ag/Cu)、镀银铝(Ag/Al)、镀银玻璃微珠(Ag/G)、镀镍铝(Ni/Al)、镀镍石墨(Ni/C),其它种类导电材料应用较少,暂未列出^[4]。同时列出各类型电磁屏蔽橡胶材料的最低和最高使用温度,便于测试及应用。

命名方式采用电磁屏蔽符号+导电材料符号+橡胶材料符号,由于电磁屏蔽兼容符号为 EMC,电磁干扰符号为 EMI,电磁敏感度符号为 EMS,参照 SJ 20673—1998 规定电磁屏蔽符号采用 EM。

本标准制定时收集产品尽量涵盖不同种类导电材料和主要橡胶基材,按照分类和命名要求,信息列于表 1。

表 1 收集的电磁屏蔽橡胶产品信息

类别	硅橡胶						氟硅橡胶	
型别	纯银	镀银铜	镀银铝	镀银玻璃微珠	镀镍铝	镀镍石墨	镀银铜	镀银铝
命名	EM-Ag-Q	EM-Ag/Cu-Q	EM-Ag/Al-Q	EM-Ag/G-Q	EM-Ni/Al-Q	EM-Ni/C-Q	EM-Ag/Cu-FQ	EM-Ag/Al-FQ
最低使用温度/℃	-55	-55	-55	-55	-55	-40	-55	-55
最高使用温度/℃	160	125	160	160	125	150	125	160

2.3 屏蔽效能指标验证

主要参照 GB/T 12190—2006《电磁屏蔽室屏蔽效能的测量方法》进行屏蔽效能试验。

(1) 试验设备

屏蔽效能试验在标准屏蔽室进行,测试频段为 9 kHz~40 GHz。将试样放置在屏蔽室测试窗(边长不小于 0.6 m 的正方形)上,测试窗的法兰面上应安装导电衬垫(见图 1)。发射天线放置在屏蔽室外部,接收天线放置在屏蔽室内部,根据测量频段不同分别采用不同类型的天线(见表 2)。分别调节发射设备的输出幅度,利用接收设备接收信号。

(2) 屏蔽效能结果及分析

按照屏蔽效能范围可大致将屏蔽材料按效果分级(见表 3)。

由于不同材料在不同频段的电磁屏蔽效能不同,分别在多个频段测试,记录无屏蔽时电磁场强度

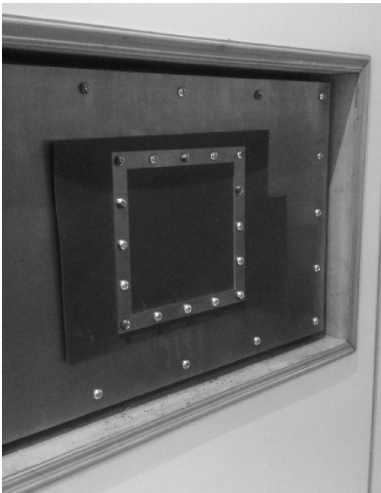


图 1 屏蔽室测试窗

(E_1)和有屏蔽时电磁场强度(E_2),通过式(1)计算得到屏蔽效能 SE,具体测试结果见表 4。

$$SE = 20 \log \frac{E_1}{E_2}$$

(1)

表 2 各频率段使用天线

场型	频率范围	天线类型
磁场	9 kHz~30 MHz	环天线
电场	30 MHz~200 MHz	双锥天线
电场	200 MHz~1 000 MHz	对数周期天线
电场	1 GHz~18 GHz	喇叭天线

表 3 电磁屏蔽效果分级表

屏蔽效能(<i>SE</i>)/dB	0	<10	10~30	30~60	60~90	>90
屏蔽效果	无	差	较差	中等	良好	优

从表 4 可知,在低频段范围(9~150 kHz),收集到的几款电磁屏蔽橡胶产品几乎没有屏蔽作用,但随着频率范围的提高,均有不同程度的提升。总体

表 4 电磁屏蔽橡胶产品的屏蔽效能测试结果 (单位: dB)

屏蔽效能(9 kHz~18 GHz)	EM-Ag-Q	EM-Ag/Cu-Q	EM-Ag/Al-Q	EM-Ag/G-Q	EM-Ni/Al-Q	EM-Ni/C-Q	EM-Ag/Cu-FQ	EM-Ag/Al-FQ
9 kHz~150 kHz	17	11	3	5	1	1	4	2
150 kHz~30 MHz	58	63	53	80	35	26	54	39
30 MHz~300 MHz	54	71	59	61	50	41	51	48
300 MHz~1 000 MHz	89	70	78	91	69	78	70	75
1 GHz~18 GHz	70	72	67	68	81	67	72	71

而言,电磁屏蔽橡胶产品在某些高频段范围表现出较优的屏蔽效能,且不同产品的较优屏蔽效能值对应特定频段。结合 SJ 20673—1998 中对材料屏蔽效能的分档,本标准按照屏蔽效能将材料分为>100 dB、>80 dB、>60 dB 三档。但屏蔽效能必须与测试频段一起描述才有意义,因此,标准中规定“屏蔽效能”的试验频段由供需双方根据实际应用场合协商。

2.4 体积电阻率指标验证

研究者采用式(2)来表达导电薄片样品(厚度≪趋肤深度)的远场屏蔽值^[5]:

$$SE = 20 \log(1 + \frac{Z_0 \sigma d}{2})$$

(2)

式中: Z_0 为 377 Ω; σ 为电导率(Ω/m); d 为屏蔽材料的厚度(m)。

可以看出,电磁屏蔽材料的屏蔽效能与其体积电阻率(电导率的倒数)呈反相关关系。产品屏蔽效能结果直观、明确,但是制样麻烦、试验繁琐且价格较高,一般仅作为型式试验,出厂检验仅测试体积电阻率。新产品研发过程中,实验室也可采用体积电阻率作为参考指标。

(1) 试验方法的选择

MIL-DTL-83528F—2015 和 SJ 20673—1998 中分别规定了采用压缩探针法和表面探针法测定电磁屏蔽橡胶的体积电阻率。试验设备包括一个电极装置、电阻测量设备和提供适当电极接触压力的负载块。

压缩探针法采用直径约 1.43 cm 的电极,在两电极和样品间施加 112 N 的压力,试验样品是厚度在 0.14~0.3 cm 的圆柱体,其电极连接见图 2。

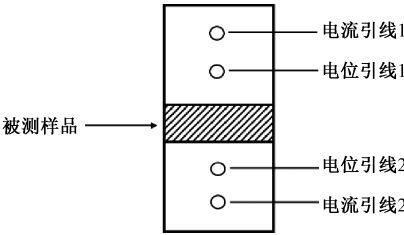


图 2 压缩探针法测体积电阻率的电极连接示意图

表面探针法的电极连接示意图见图 3,试验样品尺寸为 76.2 mm×17.2 mm×(1.40~3.05) mm。

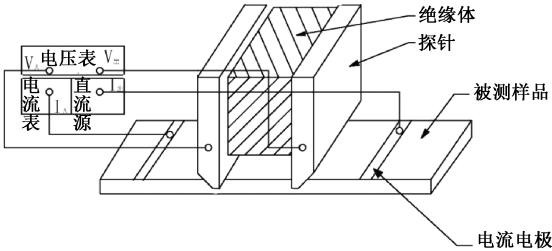


图 3 表面探针法测体积电阻率的电极连接示意图

考虑到经济性和时效性,本标准推荐采用表面探针法测体积电阻率。

(2) 试验电流的选择

参考 ASTM D991—2014,试验方法中规定试验应采用一个稳定的直流电压,并且能够随时调节,以使电压电极间的试样能量损耗约为 0.1 W。通过电压电极的电流值不能大于通过电流电极的电流值的 1%^[6]。通常,通入样品的电流大小会对其电阻值有明显的影响,而标准并未明确规定实际试验中采用电流源的输出电流大小。为了确定电流大小对测试结果的影响,分别测定小电流(10 mA、50 mA、100 mA)和大电流 10 A 下样品的体积电阻率的值,具体结果见表 5。

表 5 电磁屏蔽橡胶产品的体积电阻率测试结果

(单位:Ω·cm)

体积电阻率	EM-Ag-Q	EM-Ag/Cu-Q	EM-Ag/Al-Q	EM-Ag/G-Q	EM-Ni/Al-Q	EM-Ni/C-Q	EM-Ag/Cu-FQ	EM-Ag/Al-FQ
10 mA	0.001	0.008	0.066	0.012	0.069	0.083	0.099	0.027
50 mA	0.001	0.008	0.062	0.012	0.069	0.082	0.091	0.027
100 mA	0.001	0.008	0.062	0.011	0.068	0.082	0.088	0.027
10 A	0.006	0.034	0.154	0.053	0.144	0.135	0.227	0.072

由表 5 可知,在 10~100 mA 范围内,测得的电磁屏蔽橡胶材料的体积电阻率几乎完全相同,但随着电流逐渐升高,特别在大电流 10 A 以上,试验时有些试样明显发热,测得的电阻率结果明显增大,因此不采用大电流进行试验,而采用与标准 ASTM D991—2014 一致的推荐电流值范围。

(3) 体积电阻率结果及分析

保证电极和样品接触良好,由于电流和电压值可能随着加载时间的延长而变化,规定通电 30 s 后开始读数,记录电流和电压值,计算出电阻值。并根据下式计算出体积电阻率。

$$\rho = R \frac{A}{L}$$

(3)

式中:ρ 为体积电阻率(Ω·cm);R 为体积电阻(Ω);A 为样品面积(cm²);L 为电极间距(cm)。

为了保证样品的均匀性和代表性,取三个样品

表 6 电磁屏蔽橡胶产品的老化后体积电阻率测试结果

(单位:Ω·cm)

热老化后体积电阻率	EM-Ag-Q	EM-Ag/Cu-Q	EM-Ag/Al-Q	EM-Ag/G-Q	EM-Ni/Al-Q	EM-Ni/C-Q	EM-Ag/Cu-FQ	EM-Ag/Al-FQ
	0.001	0.015	0.004	0.080	0.086	0.038	0.015	0.962

从表 6 中看出,老化试验对部分产品的体积电阻率影响很大,其老化后的体积电阻率明显提高,说明金属导电材料氧化严重,也有部分产品体积电阻率不升反而略有下降。

热老化后产品的体积电阻率在 0.001~0.962 Ω·cm 范围,因此,与 SJ 20673—1998 中对老化后材料体积电阻率分级指标保持一致,本标准按照体积电阻率将相应老化后的材料分为<0.010 Ω·cm、<0.015 Ω·cm、<0.150 Ω·cm 三类。

最后,综合考虑所测试产品的电磁屏蔽效能、体积电阻率和热老化后体积电阻率结果,本标准按照屏蔽效能将电磁屏蔽用硫化橡胶性能分为 100 级、80 级和 60 级三个级别,同一级别下应同时满足相应的体积电阻率和热老化后体积电阻率等技术指标要求,有任一指标不满足该级别要求,则自动落入下一级别中(见表 7)。

测试值的中值作为试验结果。根据表 5 试验结果,产品的体积电阻率在 0.001~0.099 Ω·cm 范围。因此,与 SJ 20673—1998 中对材料体积电阻率分级指标保持一致,本标准按照体积电阻率将材料分为<0.005 Ω·cm、<0.010 Ω·cm、<0.120 Ω·cm 三类。

2.5 热老化后体积电阻率指标验证

由于电磁屏蔽材料在长期的服役过程中存在金属系材料易氧化、易迁移等问题,容易造成材料的电阻率变化,影响其电磁屏蔽效能,因此需要进行老化试验。在实际的使用工况中,主要以自然老化为主,为了考核材料的长期耐久性,需要采用高温下加速老化试验。以产品的 1.25 倍最高使用温度(见表 1)作为老化温度,时间为 48 h。老化试样采用老化前测试过体积电阻率的样品,老化时悬挂在烘箱中。表 6 为几种电磁屏蔽橡胶产品老化后的体积电阻率测试结果。

表 7 电磁屏蔽硫化橡胶性能分级(部分)

检验性能	100 级	80 级	60 级
屏蔽效能/dB	>100	>80	>60
体积电阻率/(Ω·cm)	<0.005	<0.010	<0.120
热老化后体积电阻率/(Ω·cm)	<0.010	<0.015	<0.150

3 结束语

面对国内外对电磁屏蔽性能日益提升的要求,为了缩小与国外电磁屏蔽橡胶产品的差距,亟需制定规范行业发展的材料标准。以国内外市场上电磁屏蔽橡胶产品为研究对象,先后开展屏蔽效能、体积电阻率和热老化后体积电阻率等试验,获得电磁屏蔽橡胶产品的屏蔽效能和体积电阻率等关键技术指标,确立民用电磁屏蔽用硫化橡胶合理、通用的技术要求,为规范产品质量和引领行业技术发展提供依据和指导。

(下转第 7 页)

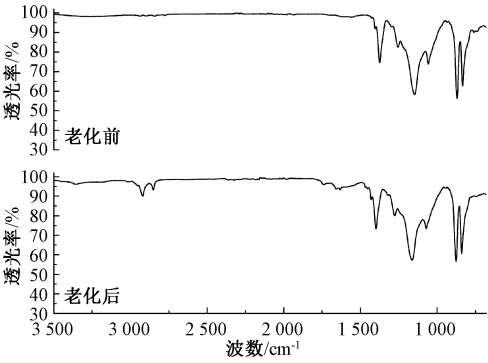


图4 老化前后 CA 线缆外绝缘的 FTIR 谱图

图5为老化前后 CB 线缆样品绝缘的 FTIR 谱图。由图5可知,CB 线缆样品的绝缘在经历 10 个周期的老化后,FTIR 谱图的特征吸收峰没有明显改变,表明其耐老化性能较好,线缆具有良好的延寿潜力。

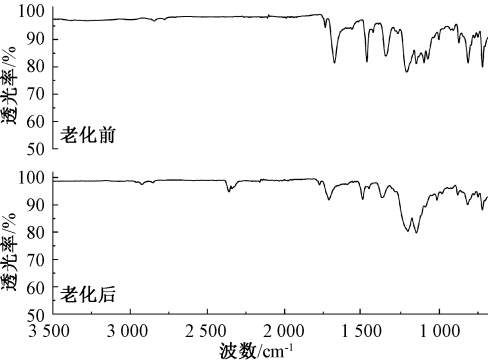


图5 老化前后 CB 线缆绝缘的 FTIR 谱图

5 结束语

为了给现役飞机的维修和延寿提供数据支撑,我们对飞机上固定敷设的线缆进行了状态检测和模拟寿命评估,得出以下结论:

(1)按照航空线缆标准对现役线缆的性能进行检测,CA 线缆未通过高温卷绕试验。而 CB 线缆未通过热冲击试验,这说明现役线缆存在老化现象,需要通过定期的维修保养来保证飞机的安全飞行。

(2)现役线缆通过耐高温、耐低温、耐潮湿和耐盐雾四项试验叠加循环的模拟寿命评估试验,说明其具有延寿潜力。

(3)模拟寿命评估前后现役线缆绝缘的 FTIR 谱图分析表明,CA 线缆的内绝缘存在老化现象,而 CB 线缆的绝缘未见明显老化。

参考文献:

[1] H.E 茹柯夫斯基.航空技术装备外场修理[M]. 汪文举译. 北京:国防工业出版社,2002.

[2] 张李晶,刘旌平,韩永进,等. 航空 EWIS 用线缆安全性及寿命评估重点[J]. 飞机设计,2018,38(6):71-73.

[3] 全国电线电缆标准化技术委员会. 航空电线电缆试验方法: GB/T 33343—2016[S]. 北京:中国标准出版社,2017.

[4] 中国航空综合技术研究所. 民用飞机机载设备环境条件和试验方法: HB 6167—2014[S].

[5] 全国化学标准化技术委员会. 红外光谱分析方法通则: GB/T 6040—2002[S]. 北京:中国标准出版社,2002.

(上接第4页)

参考文献:

[1] United States Military Standards.Gasketing material, conductive, shielding gasket, electronic, elastomer, eMI/RFI general specification for;MIL-DTL-83528F—2015[S].

[2] 中国石油和化学工业联合会.电磁屏蔽用硫化橡胶通用技术要求;GB/T 36763—2018[S].北京:中国标准出版社,2018.

[3] 信息产业部电子工业标准化研究所.电磁屏蔽室屏蔽效能的测量方法;GB/T 12190—2006[S].北京:中国标准出版社,2006.

[4] 孙天,赵晓明. 电磁屏蔽材料的研究进展[J]. 纺织科学与工程学报, 2018,35(2):118-122.

[5] A. D. S. Gomes. New polymers for special applications[M]. Sofia;InTech, 2012.

[6] American Society of Testing Materials.Standard test method for rubber property-volume resistivity of electrically conductive and antistatic products;ASTM D991—2014[S].

欢迎广大读者为本刊撰写稿件!
欢迎广大读者给本刊提出建议!