

文章编号:1001-893X(2011)09-0143-06

材料电磁脉冲屏蔽效能研究进展^{*}

张 龙¹, 魏光辉¹, 胡小锋¹, 李新峰¹, 张勇强²

(1. 军械工程学院 强电磁场环境模拟与防护技术国防科技重点实验室, 石家庄 050003;

2. 空军第四飞行学院 模拟训练中心, 石家庄 050081)

摘 要:首先总结了国外电磁脉冲的研究现状及屏蔽效能的测试方法,并分析了国内电磁脉冲屏蔽效能的测试方法及根据频域测量结果估计时域响应研究进展,然后介绍了屏蔽效能频域和时域表征方法,特别是近几年来电磁脉冲屏蔽效能的表征方法,最后指出了当前电磁脉冲屏蔽效能研究中需解决的问题及今后研究方向,对电磁脉冲作用下材料屏蔽效能的研究具有指导意义。

关键词:电磁脉冲; 时域; 频域; 屏蔽效能; 研究进展

中图分类号:TN011; TM930.1 **文献标识码:**A doi:10.3969/j.issn.1001-893x.2011.09.029

Research Progress of Materials Shielding Effectiveness on Electromagnetic Pulse

ZHANG Long¹, WEI Guang-hui¹, HU Xiao-feng¹, LI Xin-feng¹, ZHANG Yong-qiang²

(1. National Key Laboratory of High Electromagnetic Field Environment Simulation & Protection Technology, Ordnance Engineering College, Shijiazhuang 050003, China;

2. Simulator Training Center of No.4 Flying College of Air Force, Shijiazhuang 050081, China)

Abstract:First, the recent advances of electromagnetic pulse(EMP) and the measurement methods of shielding effectiveness(SE) abroad are summarized, and the domestic measurement methods and the research on evaluating the time domain response according to the frequency domain result are analysed. Then, the expression methods of SE in frequency domain and time domain are described with emphasis on the recent methods of SE on EMP. Finally, some questions to be solved and the research direction in future are pointed out, which is instructive for the research on SE.

Key words:electromagnetic pulse(EMP); time domain; frequency domain; shielding effectiveness(SE); research progress

1 引 言

电磁脉冲是一种瞬变电磁现象,具有瞬时性、宽频带、高场强、作用范围大等特点,能够通过天线、孔缝、电缆等多种耦合途径对电子设备与系统产生严重威胁。电磁脉冲是电磁环境的重要组成部分,它

是以时域加以描述的。电磁脉冲包括雷电电磁脉冲、核电电磁脉冲、高功率微波、有意电磁干扰、超宽带等。随着微电子器件的广泛应用,电子设备或系统对电磁脉冲的敏感性和易损性日趋增加,严重制约着电子设备或系统的电磁生存能力,采用屏蔽技术可以有效地提高易损器件在恶劣电磁环境的防护能力。

^{*} 收稿日期:2011-04-15;修回日期:2011-06-07

基金项目:国家自然科学基金青年基金资助项目(61001050)

Foundation Item: The Young Scientists Fund of the National Natural Science Foundation of China (No.61001050)

电磁屏蔽通过利用屏蔽体来阻挡或减小电磁能量的传输而对电磁干扰具有良好的抑制效果。通过屏蔽,既可以防止干扰电磁波向外扩散,也可以防止电子电气产品受到外界电磁波的影响^[1]。屏蔽体的屏蔽效果由该屏蔽体对电磁场强度削弱的程度决定,通常用屏蔽效能(SE)来衡量。根据国军标 GJB6190-2008《电磁屏蔽材料屏蔽效能测量方法》,屏蔽效能是指在同一激励电平下,无屏蔽材料时接收到的功率或场强与有屏蔽材料时接收到的功率或场强之比,并以对数表示。现行的屏蔽效能测量标准在频域通过连续波测量来描述和检验,通过逐一测量某个系统在各个频率点上的响应幅度,得到以幅频特性曲线表征的屏蔽效能。

随着电磁环境的日趋复杂,对高功率电磁脉冲干扰的研究发现,仅通过屏蔽体的频域屏蔽效能还不能完全表征其对时域脉冲场的屏蔽效果^[2-3]。由于电磁脉冲场具有纳秒或亚纳秒级的上升沿和极高的峰值,频谱覆盖直流到吉赫甚至更宽,峰值场强可达每米千伏量级,使部分屏蔽材料的屏蔽效能呈现非线性。并且脉冲的时域峰值屏蔽效能也不能完全满足对电磁脉冲防护设计的需要,除了屏蔽后脉冲的时域峰值非常重要外,脉冲的上升时间、脉冲宽度等信息同样重要。因此,屏蔽材料对于电磁脉冲作用下的屏蔽能力愈来愈引起重视,屏蔽材料在电磁脉冲作用下屏蔽效能越来越显得极为重要。

2 屏蔽效能测试方法分析

屏蔽效能测量的特点是测试结果与测试方法密切相关,不同的方法测得的结果会有较大的差异^[4]。因此,需研究屏蔽效能的测试方法,分析测试方法的适用范围,根据所测材料选择测试方法,以减小测量误差,提高测量精度。国内外关于屏蔽效能测试的研究较多,下面分别进行介绍。

2.1 国外相关研究

国际上将电磁脉冲定义为瞬态高功率电磁现象,国际电工委员会于 1996 年成立了专门研究瞬态高功率电磁现象的技术委员会 IEC/SC 77C,其任务是研究、制定有关瞬态高功率电磁现象的国际标准,目前已有 20 个 P 成员和 14 个 O 成员,中国为 O 成员,迄今制定发布了 17 个 IEC 标准。2008 年在瑞士洛桑召开的欧洲电磁会议上,将雷达辐射场(Radar Field, HIRF)也纳入瞬态高功率电磁脉冲范畴。国

际标准中电磁脉冲逐渐向快上升沿、窄脉宽方向发展,如 MIL-STD-461E 版就将原上升时间小于 10 ns 改为 1.8~2.8 ns,法国最新推出的核电磁脉冲模拟装置前沿只有几百皮秒。国外在瞬态电(磁)场的测试设备研制方面投入较大,也取得了显著成果。美国的 LANL 和 Kirtland 电场传感器低频可到 5 Hz,高频可达 18 GHz。并且,电磁屏蔽材料所要防护的电磁脉冲场既包括双指数波形的单次脉冲、脉冲串,也包括雷达等经过斩波的微波辐射场。

对于电磁屏蔽材料屏蔽效能测试方法的研究,国外尤其是欧美等发达国家开始较早。对平板型复合屏蔽材料屏蔽效能的测量,美国国家标准局(NBS)和美国材料试验协会(ASTM)等机构早有研究,它们通过理论分析和大量试验验证,推出了较成熟的测量方法,概括起来可分为“近场法”和“远场法”两大类。“近场法”主要用来测量材料对电磁波近场的屏蔽效能。近场法主要有 ASTM 于 1983 年推荐的“ASTM-ES-7 双盒测试装置”,以及改进的 MIL-STD-285 法。“远场法”主要用来测量材料对电磁波远场平面波的屏蔽效能。远场法主要有 ASTM 于 1983 年推荐的 ASTM E57-83 同轴传输线法和美国 NBS 推荐的法兰同轴法。

美国德克萨斯大学的 Horacio Vasque 针对标准 ASTM D4935-99 的测试频率上限只有 1.5 GHz 的缺陷,基于同轴法设计了屏蔽效能测试装置,通过改变同轴腔体的外导体内径和内导体半径把测试频率扩展到 18.2 GHz^[5]。德国汉诺威大学的 H. Herlemann 基于 TEM 波导研究了超宽带电磁脉冲源(上升沿时间为 150 ps)辐照下屏蔽材料制品屏蔽包屏蔽效能^[6]。

总之,目前国外屏蔽效能测试方法多采用传统的测试方法,只是在测试方法中增加了更多的参考因素,考虑问题更加全面,如对于腔体的屏蔽效能测试,分析屏蔽效能时包括入射平面波斜入射、孔缝形状和位置等不同及腔体谐振等多种情况下的屏蔽效能^[7-8]。对于材料的屏蔽效能测试方面,研究主要集中在新型材料如泡沫金属、多层或复合材料的屏蔽效能的研究^[9-10],而测试方法原理多是传统的同轴法,并没有较大的创新。

2.2 国内相关研究

目前,国内平面材料电磁屏蔽效能测试普遍采用国军标 GJB6190-2008 所规定的方法,该标准适用于金属网、导电玻璃、电磁屏蔽涂料、抗电磁辐射织物、导电薄膜、导电橡胶板等平面电磁屏蔽材料的

连续波电磁屏蔽效能测试,使用窗口法(10 kHz ~ 40 GHz)和法兰同轴法(30 MHz ~ 1.5 GHz)在频域测试。仅通过屏蔽体的频域屏蔽效能测试还不能完全表征其对电磁脉冲的屏蔽效果,需要研究材料在电磁脉冲作用下的屏蔽效能测试理论、方法,制定测试标准,以解决制约电磁脉冲屏蔽材料研发和使用的瓶颈问题。目前,国内在电磁脉冲屏蔽效能时域响应的研究主要集中在以下两个方面。

2.2.1 直接测试法

屏蔽效能直接测试法指在相同的激励信号下,通过直接测试有无屏蔽材料时电磁脉冲的峰值场强进而得到材料的屏蔽效能。解放军理工大学在时域测试研究方面,尤其是电磁脉冲作用下的屏蔽材料或者屏蔽体的屏蔽效能研究方面取得了一定的进展。李炎新、陆峰等研制了一套小型脉冲电场屏蔽效能测试系统,该系统主要由脉冲电场发射设备和脉冲电场测试设备组成。脉冲电场发射设备可产生峰值为7.5 kV的脉冲,动态测试范围达75 dB,并用该系统测量了金属桥架、控制柜、屏蔽帐篷、导电水泥混凝土土房等屏蔽体的脉冲电场屏蔽效能,其屏蔽效能评价采用脉冲电场峰值衰减量来评估屏蔽体的脉冲电场屏蔽效能^[11-12]。

西北核技术研究所关于电磁脉冲屏蔽效能的研究主要以刘顺坤为代表,提出了“试件法”测试电磁脉冲屏蔽效能,其原理是构造一种试件,使得其孔缝耦合、电缆耦合效应最小,试件内部的场都是由于趋肤效应进来的^[13]。通过试件内、外场的测量得到该试件构造材料的电磁脉冲屏蔽效能。该方法克服了“窗口法”低频响应不好、测量误差大等不足,解决了工程材料电磁脉冲屏蔽效能测量的难题。其屏蔽效能的计算评价方式同样采用脉冲的峰值衰减来表示。

2.2.2 波形重建法

波形重建是指根据频域幅度谱数据重建脉冲波形,从而估算电磁脉冲作用下材料的屏蔽效能。清华大学谢彦召、王赞基等人提出了由频域幅度谱数据重建时域脉冲波形,根据最小相位原理,利用倒谱技术,编程实现了从频域幅度谱数据构造相位信息,进而反演时域脉冲响应波形^[14]。算例验证结果表明,对于核电电磁脉冲波形、余(正)弦阻尼振荡波形等信号重建波形与原始波形符合很好。对于非最小相位信号,重建波形的前(后)沿、峰值等参数有一定差别。郭剑、邹军等为评估金属薄壳电磁脉冲瞬态屏蔽效能,提出了一种任意波形激励情况下金属薄壳

电磁脉冲时域响应的快速计算方法,该方法将金属薄壳频域屏蔽效能转移函数拟合为有理函数,根据拉氏逆变换性质,得到金属薄壳脉冲时域响应指数叠加的形式,从而采用递归卷积计算任意波形激励时金属薄壳的暂态屏蔽效能^[15]。解放军理工大学石立华、周璧华等基于最小相位系统,采用 Hilbert 变换根据系统响应的频率测量结果评价一个系统的脉冲响应特性,该方法为利用系统传递函数的幅-频特性评价系统的时域响应特性提供了途径,尤其适于解决电磁脉冲测量中的一些实际问题^[16]。

综合分析国外国内的屏蔽效能测试方法,分为频域测试和时域测试。频域测试时提高了测量范围,增加了影响因素分析;时域测试主要是针对有无屏蔽体时电磁脉冲的测试。在电磁脉冲测试方面,由于对屏蔽体在电磁脉冲作用下的时域响应直接进行测量难度较大,受测量设备发展的制约,因此国内开始研究根据频域测量结果估计屏蔽体的时域响应,但是其计算方法尚不完善,需对此进行更深入的研究。

3 屏蔽效能表征方法分析

屏蔽效能是反映电磁屏蔽材料性能的重要参数,其测试方法关系到能否对电磁屏蔽材料的屏蔽效果进行客观准确的评价。对电磁脉冲的屏蔽问题,与对单一频率正弦电磁场的屏蔽相比,虽然屏蔽原理是一样的,但不能随便套用计算单一频率正弦电磁场屏蔽效能的公式。究竟如何定义更为恰当,尚值得研究^[17]。下面详细介绍当前国内外屏蔽效能的主要计算方法。

3.1 频域表征方法

根据国军标 GJB6190-2008,屏蔽效能定义为

$$S = 20 \lg \frac{E_0}{E_1} = 20 \lg \frac{H_0}{H_1} \tag{1}$$

式中, S 为屏蔽效能, E_0 、 H_0 为无屏蔽材料时空间某点的电场强度和磁场强度, E_1 、 H_1 为加屏蔽材料后该点的电场强度和磁场强度。通过实验测得 E_0 、 H_0 、 E_1 、 H_1 ,再经公式(1)计算得到屏蔽材料在某一频率的屏蔽效能。

根据 Schelkunoff 的屏蔽理论,当屏蔽板为非常薄且面积无限大的平面、入射波为垂直入射的平面波时,材料屏蔽效能也表示为

$$S = A + R + B \tag{2}$$

式中, S 为总的屏蔽效能, A 为屏蔽体的吸收损耗, R 为屏蔽体的反射损耗, B 为屏蔽体的多次反射损耗, 单位为 dB。其中吸收损耗 A 为

$$A = 20 \lg(e^{t/\delta}) \approx 131 t \sqrt{u_r \sigma_r f} \tag{3}$$

式中, t 为屏蔽材料厚度, δ 为趋肤深度, μ_r 为屏蔽体相对磁导率, σ_r 为屏蔽体相对电导率, f 为某一频点频率。

反射损耗 R 为

$$R = 20 \lg \left| \frac{Z_W}{4Z_M} \right| \tag{4}$$

式中, Z_W 为空气的波阻抗, 在远区平面波情况下, $Z_W \approx 377 \Omega$, Z_M 为金属的波阻抗。

多次反射损耗 B 为

$$B \approx 20 \lg |1 - e^{-2(1+j)\frac{t}{\delta}}| \tag{5}$$

从公式(5)可以看出, B 主要决定于屏蔽层的厚度 t 和趋肤深度 δ , 当 $t \gg \delta$ 时, $B \approx 0$, 即当屏蔽体足够厚时, 多次反射几乎可以忽略。

从上述公式中可以看出, 决定屏蔽效果的主要因素是屏蔽材料的性能(电导率、磁导率)、厚度及入射波的频率。当已知这些因素时, 材料的屏蔽效能可通过公式(2)计算得到; 当未知这些因素时, 可通过实验测试有无屏蔽材料时的电场强度或磁场强度通过公式(1)计算得到。但是这些屏蔽效能的计算都是基于单一频率的基础上, 并不适于具有多种频谱的电磁脉冲信号。

3.2 时域表征方法

关于电磁脉冲作用下材料的屏蔽效能计算方法目前主要采用下述方法, 在相同电磁脉冲激励下, 无屏蔽材料时接收到的脉冲峰值场强与有屏蔽材料时接收到的脉冲峰值场强之比, 并以对数表示, 如下式所示:

$$S = 20 \lg \frac{E_0}{E_s} \tag{6}$$

式中, E_0 、 E_s 分别表示屏蔽前后的电磁脉冲峰值的电场强度。

公式(6)中只用脉冲峰值场强的比再取对数表示材料的屏蔽效能还存在一定的缺陷, 因为电磁脉冲场具有纳秒或亚纳秒级的上升沿和极高的峰值, 频谱覆盖直流到吉赫甚至更宽, 只用峰值比表示则忽略了脉冲上升沿对屏蔽效能的影响。

在文献[18]中, 周璧华等通过大量实验, 分析了电磁脉冲屏蔽效能与电磁脉冲上升沿、脉宽及峰值

的关系, 提出了电磁脉冲的屏蔽效能计算公式:

$$S = 20 \lg \frac{E_{po}/t_{po}}{E_{ps}/t_{rs}} - A \tag{7}$$

式中, E_{po} 、 E_{ps} 分别表示屏蔽前和屏蔽后的电场强度; t_{po} 、 t_{ps} 分别表示屏蔽前和屏蔽后的电磁脉冲上升沿时间; A 表示根据试验得到的修正系数, 大小为 7.6 dB。公式(7)基于实验的方式, 推导出电磁脉冲屏蔽效能与电磁脉冲峰值及上升沿的关系, 并且与脉宽没有关系。该公式基于实验方式得到, 物理意义不明确, 应用该公式评价电磁脉冲作用下材料屏蔽效能时的准确性尚值得商榷。

在文献[19]中, 德国基尔大学的 L. Klinkenbusch 研究了高频和瞬态电磁场屏蔽效能。将具有谱密度分布 $S^{inc}(\omega)$ 的瞬时平面波看做入射场, 通过计算在同一位置、有无屏蔽材料时电磁波的能量比, 得到电磁脉冲屏蔽效能公式为

$$S |_{\omega} = 10 \lg \frac{2 \int_0^{\infty} |S^{inc}(\omega)|^2 \omega d\omega}{\int_0^{\infty} |S^{inc}(\omega)|^2 \left[\frac{|E^{sh}|^2}{|E^{unsh}|^2} + \frac{|H^{sh}|^2}{|H^{unsh}|^2} \right] \omega d\omega} \tag{8}$$

式中, S^{inc} 为入射波能流密度, $S^{inc}(t) = E(t) \chi \cdot H(t)$, $S^{inc}(\omega)$ 是把 $S^{inc}(t)$ 傅里叶变换后的频域函数; E^{unsh} 、 E^{sh} 表示屏蔽前后的电场强度经傅里叶变换后的频域函数; H^{unsh} 、 H^{sh} 表示屏蔽前后的磁场强度经傅里叶变换后的频域函数。

该公式基于经过屏蔽材料后电磁脉冲能量的衰减得到该材料的屏蔽效能, 具有一定的理论与实际意义。

综合分析屏蔽效能的频域和时域表征方法, 频域表征方法已有明确的标准评价屏蔽体的屏蔽效能, 而对于更加接近实际复杂电磁环境的时域评价, 目前国内外尚无统一的标准, 并且电磁脉冲的相关参数对于屏蔽效能的影响有待进一步研究。

4 需解决问题及今后研究方向

4.1 屏蔽效能测试影响因素

屏蔽效能计算采用屏蔽前后脉冲的峰值比表示, 忽略了上升沿及脉宽对屏蔽效能的影响。在电磁脉冲屏蔽效能测试中, 测试结果与电磁脉冲辐射源参数(上升沿、脉宽、峰值场强等)、测试装置尺寸、材料试样形状和大小、窗口大小、探头放置位置等之间的定量关系尚不确定。依据现有屏蔽效能测试标

准,分别采用窗口法和法兰同轴法,采用仿真和实验的方式研究电磁脉冲屏蔽效能,分析这些屏蔽效能的影响因素。

4.2 基于波形重建的屏蔽效能系统建模

建立频域电磁屏蔽效能测试结果与电磁脉冲时域屏蔽效能之间的函数关系。目前常用的波形重建方法主要有卷积法、最小相位法等,其中基于最小相位原理的时域响应预测方法是根据最小相位原理,利用频域幅度谱数据重构相位信息,进而反演时域脉冲响应。其缺点是对于非最小相位信号,重建波形的前(后)沿、峰值等参数有一定差别。因此,需要在这方面进行深入研究,寻求更好的解决方案,或借鉴其它建模方法,比如神经网络、系统辨识等,从中寻求更适合反映屏蔽体实际特性的系统建模方法。

4.3 选择合适屏蔽效能测试方法

电磁防护的主要目的是有效降低强电磁场对武器装备内部电磁敏感单元的破坏作用,有些敏感器件对峰值电压比较敏感,而对能量不够敏感;有些敏感器件对能量比较敏感,而对峰值电压不够敏感。因此,实际应用中,采用峰值屏蔽效能还是能量屏蔽效能应根据所屏蔽器件的敏感性进行评价,对于材料的屏蔽效能测试方法中应根据需要选择合适的屏蔽效能测试方法。

5 结束语

在日趋恶劣的电磁环境下,屏蔽材料在电磁脉冲作用下的屏蔽效能研究将成为今后的研究热点,对于提高敏感器件的防辐射能力具有重大意义。本文分析了当前国内外屏蔽效能的测试方法及表征方法,进而提出了屏蔽效能测试方法需解决的问题及今后研究方向,对于电磁脉冲作用下材料屏蔽效能的研究具有指导意义。

参考文献:

- [1] 管登高,孙传敏,孙遥,等.一种新研制的电磁屏蔽材料及其在EMC中的应用[J].电讯技术,2009,49(12):43-46.
GUAN Deng-gao, SUN Chuan-min, SUN Yao, et al. A Newly-developed Electromagnetic Shielding Composite Coating and its Application in EMC[J]. Telecommunication Engineering, 2009,49(12):43-46. (in Chinese)
- [2] Radasky W A, Baum C E, Wik M W. Introduction to the special issue on high-power electromagnetic (HP EM) and intentional electromagnetic interference (IEMI)[J]. IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility, 2004,46(3):314-321.
- [3] Andrew C Marvin, John F Dawson, Simon Ward, et al. A Proposed New Definition and Measurement of the Shielding Effect of Equipment Enclosures[J]. IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility, 2004,46(3):459-468.
- [4] 陈淑凤,马蔚宇,马晓庆.电磁兼容试验技术[M].北京:北京邮电大学出版社,2001.
CHEN Shu-feng, MA Wei-yu, MA Xiao-qing. Electromagnetic Compatibility Experiment Technology[M]. Beijing: Beijing University of Posts and Telecommunications Press, 2001. (in Chinese)
- [5] Horacio Vasquez, Laura Espinoza, Karen Lozano, et al. Simple device for electromagnetic interference shielding effectiveness measurement[C]//Proceedings of 2009 International Symposium on Electromagnetic Compatibility. Kyoto, Japan: IEEE, 2009:62-68.
- [6] Herlemann H, Koch M. Measurement of the transient effectiveness of enclosures using UWB pulses inside an open TEM waveguide[J]. Advances in Radio Science, 2007(5):75-79.
- [7] Araneo R, Lovat G, Celozzi S. Shielding Effectiveness Evaluation and Optimization of Resonance Damping in Metallic Enclosures[C]//Proceedings of 2010 Asia-Pacific International Symposium on Electromagnetic Compatibility. Beijing: IEEE, 2010:528-531.
- [8] Jongjoo Shim, Dong Gun Kam, Jong Hwa Kwon, et al. Circuit modeling and measurement of shielding effectiveness against oblique incident plane wave on aperture in multiple sides of rectangular enclosure[J]. IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility, 2010, 52(3):566-577.
- [9] Onofrio Losito. A Wide-Frequency Model of Metal Foam for Shielding Applications[J]. IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility, 2010,52(1):75-81.
- [10] Steffan P, Vrba R, Drinovsky J. A New Measuring Method Suitable for Measuring Shielding Efficiency of Composite Materials with Carbon Fibers[C]//Proceedings of 2010 Fifth International Conference on Systems and Network Communications. Nice, France: IEEE, 2010:186-189.
- [11] 李炎新,陈彬,石立华,等.脉冲电场屏蔽效能测试系统及测试方法[J].强激光与粒子束,2006,18(6):972-976.
LI Yan-xin, CHEN Bin, SHI Li-hua, et al. Pulse electric field shielding effectiveness measurement system[J]. High Power Laser & Particle Beams, 2006, 18(6):972-976. (in Chinese)
- [12] 陆峰,陈彬,万海军,等.小型脉冲电场屏蔽效能测试设备[J].高电压技术,2006,32(8):49-51.
LU Feng, CHEN Bin, WAN Hai-jun, et al. Portable Electric Field Shielding Effectiveness Measurement Device[J]. High Voltage Engineering, 2006, 32(8):49-51. (in Chinese)
- [13] 刘顺坤,韩军,陈向跃.材料电磁脉冲屏蔽效能的时域测量方法[J].核电子学与探测技术,2009,29(6):1456-1460.
LIU Shun-kun, HAN Jun, CHEN Xiang-yue. Method of Measurement on Materials Shielding Effectiveness Test in Time Domain[J]. Nuclear Electronics & Detection Technology, 2009, 29(6):1456-1460. (in Chinese)
- [14] 谢彦召,王赞基,王群书,等.基于频域幅度谱数据重建电磁脉冲时域波形[J].强激光与粒子束,2004,16(3):320-324.
XIE Yan-zhao, WANG Zan-ji, WANG Qun-shu, et

- al. Reconstruction of Electromagnetic Pulse Waveform Based on the Amplitude Spectrum Data[J]. High Power Laser & Particle Beams, 2004, 16(3): 320 - 324. (in Chinese)
- [15] 郭剑, 邹军, 何金良, 等. 基于 Vector Fitting 的金属薄壳电磁脉冲屏蔽效能的计算[J]. 清华大学学报(自然科学版), 2004, 44(10): 1302 - 1305.
- GUO Jian, ZOU Jun, HE Jin - liang, et al. Evaluation of EMP shielding effectiveness for metallic shells based on the vector fitting method [J]. Journal of Tsinghua University (Science and Technology), 2004, 44(10): 1302 - 1305. (in Chinese)
- [16] 石立华, 周璧华, 陈彬, 等. 基于幅 - 频曲线的系统时域响应特性评价方法[J]. 电波科学学报, 2000, 15(4): 467 - 471.
- SHI Li - hua, ZHOU Bi - hua, CHEN Bin, et al. Time domain characterization of a system based on the magnitude of its frequency response[J]. Chinese Journal of Radio Science, 2000, 15(4): 467 - 471. (in Chinese)
- [17] 周璧华, 陈彬, 石立华. 电磁脉冲及其工程防护[M]. 北京: 国防工业出版社, 2003: 288 - 289.
- ZHOU Bi - hua, CHEN Bin, SHI Li - hua. Electromagnetic Pulse and Engineering Protection [M]. Beijing: National Defense Industry Press, 2003: 288 - 289. (in Chinese)
- [18] ZHOU Bi - hua, GAO Cheng, REN He - ming. The Definition of EMP Shielding Effectiveness [C]//Proceedings of

2003 Asia - Pacific Conference on Environmental Electromagnetics. Hangzhou: IEEE, 2003: 562 - 565.

- [19] Ludger Klinkenbusch. On the Shielding Effectiveness of Enclosures[J]. IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility, 2005, 47(3): 589 - 601.

作者简介:

张 龙(1976—), 男, 河北深州人, 2007 年获硕士学位, 现为工程师、博士研究生, 主要从事电磁防护理论与技术研究;

ZHANG Long was born in Shenzhou, Hebei Province, in 1976. He received the M.S. degree in 2007. He is now an engineer and currently working toward the Ph.D. degree. His research concerns theory and techniques of electromagnetic protection.

Email: zhang80415@tom.com

魏光辉(1964—), 男, 河北人, 教授、博士生导师, 主要研究领域为电磁防护理论与技术;

WEI Guang - hui was born in Hebei Province, in 1964. He is now a professor and also the Ph.D. supervisor. His research concerns theory and techniques of electromagnetic protection.

胡小锋(1977—), 男, 安徽人, 博士, 讲师, 主要研究领域为电磁兼容与防护。

HU Xiao - feng was born in Anhui Province, in 1977. He is now a lecturer with the Ph.D. degree. His research concerns electromagnetic compatibility and electromagnetic protection.

第三届中国卫星导航学术年会(CSNC 2012)征文通知

(第 1 号通知)

第三届中国卫星导航学术年会 China Satellite Navigation Conference, CSNC) 将于 2012 年 5 月在广州召开, 涵盖学术交流、高端论坛、展览展示和科学普及等内容, 欢迎国内外广大科技工作者及各界人士积极参加并向会议投稿。

一、大会议题

- | | | |
|--------------------|---------------------|--------------------|
| S01 北斗/GNSS 导航应用 | S02 卫星导航信号体制及兼容与互操作 | S03 精密定轨与精密定位 |
| S04 原子钟技术与时频系统 | S05 卫星导航增强与完好性监测 | S06 北斗/GNSS 测试评估技术 |
| S07 北斗/GNSS 用户终端技术 | S08 卫星导航科学应用 | S09 组合导航与导航新方法 |

二、征文要求

1. 年会只收录未曾公开发表过的论文, 中英文投稿均可。希望进入 SCI、EI 检索的论文请尽量使用英文撰写, 中文稿件必须包含英文题目、英文摘要、英文关键字和英文参考文献。
2. 论文摘要及全文请勿涉及保密内容(提交时须出具单位非涉密证明)。请作者确保论文的真实性和客观性, 文责自负。
3. 凡投稿论文被录用且未作特殊声明者, 视为已同意授权出版。
4. 论文模板请从会议网站(<http://www.beidou.org>)下载。论文摘要及全文提交请登录会议网站“论文提交”系统进行提交, 不接受邮件方式投稿。
5. 论文摘要提交截止时间: 2011 年 10 月 30 日; 全文提交截止时间: 2011 年 12 月 26 日。

三、论文评优与出版

1. 本届年会收录的论文将制作光盘(或 U 盘); 优秀论文将结集出版并被 EI 或 ISTP 检索; 部分优秀论文将推荐至《中国科学》英文版(SCI 检索)、中文版(核心)期刊发表。
2. 投稿且注明“参加青年优秀论文评选”的论文(要求第一作者年龄在 35 岁以下), 将进入“青年优秀论文”评选活动, 评选出的获奖者将获得课题经费资助, 用于创新研究。

四、联系方式

联系人: 罗晓燕(会议咨询)010 - 82178657 李 雯(投稿咨询)010 - 82178658

会议网址: <http://www.beidou.org> (请留意本网站最新消息) 电子邮箱: csnc@aoe.ac.cn

中国卫星导航学术年会组委会

二〇一一年八月