

电子电路系统中壳体结构功能研究

王洋^{1,2}, 于君¹, 桑胜波^{1,2}, 李朋伟^{1,2}, 胡杰^{1,2}

(1. 太原理工大学信息工程学院, 太原 030024; 2. 太原理工大学微纳系统研究中心, 太原 030024)

摘要: 结合电子电路系统对于壳体功能的不同需求, 分别讨论了壳体在电波传播、电磁屏蔽、电路失效、电子设备物流包装这4方面的应用; 分析概括了壳体孔径、电路板孔径对于电路系统性能的作用和影响, 论述了传感壳体集成技术的应用实践; 最后总结了壳体结构设计对于电子电路系统的价值和进一步的研究方向。

关键词: 电子电路系统; 壳体结构; 板件孔径

中图分类号: TB485.3; TB487 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2012)07-0132-05

Structural-functional Research of Shell in Electrical Circuit System

WANG Yang^{1,2}, YU Jun¹, SANG Sheng-bo^{1,2}, LI Peng-wei^{1,2}, HU Jie^{1,2}

(1. College of Information Engineering, Taiyuan University of Technology, Taiyuan 030024, China; 2. Micro-Nano System Research Centre, Taiyuan University of Technology, Taiyuan 030024, China)

Abstract: The applications of shell in radio wave propagation, electromagnetic shielding, circuit malfunction, and logistic packaging of electronic equipment were discussed based on functional requirements of electronic system. The function and influence of shell aperture and printed circuit board hole for the performance of circuit system was analyzed and generalized. Integration technology of sensing shell was discussed. The function of shell structure and the future research direction was put forward.

Key words: electronic circuit; shell structure; panel aperture

电子电路系统通常由电子元器件(含可编程器件)、电路板构成, 机械应力、温度湿度、电磁辐射、化学腐蚀都可能导致电子器件老化, 局部功能模块损伤, 信号参数漂移, 甚至系统功能失效。电子电路系统的壳体包装不仅具有电路板结构承载、封装集成化的“内包装”功能, 而且具有适应装置所处环境要求的“外包装”功能, 同时电子电路系统壳体包装与电子装置的相互作用也逐步成为了壳体设计的重要研究课题。

壳体设计是一项系统工程, 需综合考虑各种因素对于壳体的性能指标要求。不同性能材料的刚度、韧度差异以及组装结构方式都直接影响着加工的难易程度和资源消耗成本。根据壳体所处环境指标要求, 对于壳体的整体性能有着不同的要求, 例如: 振动环境中壳体要能够抵御冲击振动和加速度对装置稳定

性的影响; 特种温度环境中壳体要满足高/低导热性、通风性、防尘性规范; 电磁环境中壳体要满足电磁屏蔽、电磁穿透等不同需求的透波特性(透波区域、波束畸变、副瓣电平等); 静电环境中壳体材料应具备低电阻、底静电电容、短静电衰减时间等特性, 也可通过化学防静电法(材料内部掺杂、表面涂敷等方法)和物理防静电法(导电性填充技术、射束辐照抗静电改性、层压复合防静电电阻隔材料等方法)^[1]; 特殊流场中壳体在各种姿态下的流动载荷的强度、刚度分析优化, 同时要考虑在多耦合场作用下的接口密封性设计^[2]等等。另外, 考虑在壳体外进行涂层(清漆涂层、抗雨腐蚀涂层、抗静电涂层等)环节、组装固定后对内部电子电路的影响。最后, 需在组装、密封后对整体壳体结构进行相应的性能测试(高低温测试、冲击振动实验、静电测试验证、电磁性能检测等)。

收稿日期: 2011-02-02

基金项目: 2011年太原市重大科技专项; 2011年山西省太原市大学生创新创业专项基金资助项目(110148010); 2011山西省研究生教育创新项目(20113029)

作者简介: 王洋(1983—), 男, 河北邢台人, 太原理工大学在读博士研究生, 主要研究方向为微系统集成技术、物联网技术等。

1 电路系统中壳体的结构功能

1.1 天线壳体

根据天线功能(接收、发射)的不同,可以根据接收角、发射角的电波强度具体分布来调整壳体的厚度和内外结构以降低主频信号衰减、干扰跳变和相位偏移。由于玻璃钢具有耐腐蚀、抗老化、高寿命、良好的电绝缘性和透波性等优点,因此被广泛应用于天线罩壳体。玻璃钢天线罩所用透波复合材料由增强材料玻璃纤维(E玻纤、S玻纤、M玻纤、D玻纤、石英玻纤、高硅氧玻纤等)和树脂(环氧树脂、不饱和聚脂、环氧改性乙烯基树脂、氰酸脂树脂)基体及蜂窝夹层组成,不同的成型工艺、复合材料树脂含量、夹层结构都会对天线壳体电波性能产生明显影响^[3]。

A型夹层结构的中心层为低密度、低损耗、低介电常数的材料(蜂窝状结构材料等)与致密较薄的表面材料(玻璃纤维增强树脂材料等)构成;B型夹层结构与A型夹层结构相反,即:致密芯层材料与低密度、低损耗、低介电常数的表面层材料构成;C型夹层结构由复合A型夹层结构构成^[4],见图1。为了简化

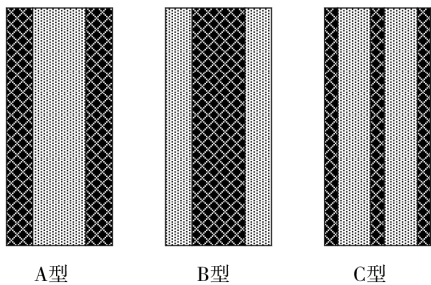


图1 夹层结构
Fig. 1 Sandwich structure

复杂材料结构对电波传播影响的随机性,采用“天线一天线罩壳体一体化”设计方法,即:通过电镀、镶嵌等表面处理技术在天线罩壳体外壁制作天线及其馈线,该结构通常由平行板辐射器配置楔形辐射^[5];另一种设计方法是“内嵌金属网格”设计方法,即:根据频段范围计算天线罩壳体匹配的厚度,利用调整内嵌金属网格的间距、宽度来产生谐振效应以提高目标频段透波率。

1.2 电磁干扰屏蔽壳体

由于供电系统设备故障和启停或者自然环境的雷电等原因会对矿用电子电路装置在几百万分之一

秒时间内的一种剧烈脉冲,即:浪涌效应。浪涌效应不仅会影响人体健康,而且会干扰电子监控系统、无线通信系统、智能控制系统等设备的正常工作,特别在矿井等特殊环境中会产生巨大的安全隐患。相关研究将钢板/铸铁材料焊接为长方体(由4块壁板、1块底板和带法兰的门盖组成)和圆柱形(具有凸出的底、盖圆柱形,壳盖与壳身采用转盖止口结构)屏蔽外壳,缝隙处采用铸钢(导电率 $\sigma=1.16\times10^6\text{ S/m}$,磁导率 $\mu=500\times4\pi\times10^{-7}\text{ H/m}$)材料焊接加工制成,通过测试后得出:等厚度的钢、铸铁、铝屏蔽能力依次为钢、铸铁、铝;壳体形状、体积对屏蔽衰减的影响较小;磁导率及电导率与屏蔽衰减成正比关系^[6-7]。

1.3 电路板防震壳体

印制电路板(PCB)作为电子设备的承载功能结构,在弯折、跌落、温度、湿度载荷下的可靠性均会受到影响,即使是韧性较好的柔性电路板(FPC)也会由于疲劳、磨损、电接触、热损伤等原因产生功能失效。电子电路设备在生产、运输、使用等环节中不可避免将会产生振动,以机载电子电路设备为例,由于振动环境导致的设备失效高达27%。

振动冲击导致的电路板功能失效原因:当电路板固有频率接近激振频率将会产生谐振效应,导致电路板上器件引脚和焊点的变形、开裂、脱落。针对上述情况,可以在优化电子器件排布以使得引脚分布在应力与位移同量级区域(器件排布远离高应力区域)^[8],选取具有较高弹性模量的复合电路板材料以提升电路板固有频率,利用灌封胶提高焊点的可靠性。在壳体涉及安装环节,加装垫圈填充锁销空隙;壳体结构中加装电路板与壳体之间加强筋以提高电路板刚度^[9];设置合适的安装方式将有效提高电路板的第一阶固有频率。相关实验表明采用四角固定、两短边固定、两长边固定、三长边固定这4种方式电路板的第一阶固有频率将依次增大^[10]。

1.4 电子装置物流保护壳体

电子消费产品、电路系统装置、精密设备仪器等依托便捷物流可快捷送达全国各地,与此同时,整个物流配送行业发生货物损坏的比例大概在3%左右,因此,提高壳体包装的可靠性可有效降低由于运输振动冲击造成的损失。运输中振动冲击通常有2类模式:第1类是具有概率独立特性的冲击破坏,其主要作用于电子装置脆值(易损度);第2类是具有线性累积特性的疲劳破坏^[11]。例如:文献[12]利用ANSYS

软件对长虹 SF 系列某型号电视机壳体结构进行 10 阶模态振动破坏分析后得出其振动密集频段集中在 50~80 Hz(汽车、火车运输振动频段集中在 0~200 Hz),易损区域为壳体后部和阴极射线管尾部,通过在壳体后部大跨度壳板加装加强筋和壳体内侧加肋结构等方法降低敏感频段的振动损坏;文献[13]将信号采集设备置于纸浆瓦楞模塑缓冲衬垫壳体包装中,将包装结构分别正向、侧向进行振动(定频振动、正弦振动、扫频振动)、跌落(面跌落、棱跌落、角跌落)试验测试评价了其缓冲性能,以判断壳体包装属于“欠包装”、“适度包装”或“过度包装”。

物流环节中的冲击振动量化分析可通过跌落试验设备测试样品包装承受能力来实现。文献[14]通过测试设备获取包装跌落各轴向的数据,经 Lab VIEW 包装试验虚拟仪器分析了跌落过程得出冲击加速度矢量图、跌落角度、损坏边界分析;文献[15]给出基于改进递归数字滤波算法冲击振动信号的响应谱分析 C 语言代码,从而使得冲击振动定量分析具有了更高的准确性和更好的可移植性。

2 壳体结构对电路系统影响及传感壳体集成技术

2.1 壳体孔径对电子装置影响

天线罩壳体由于通风散热等因素通常需进行开孔工序,开孔的物理参数会对壳体的屏蔽能效产生明显作用。对于小尺寸屏蔽壳体($<2\text{ m}$)研究表明:开孔长度和宽度的增大将降低壳体的屏蔽效能;在相同尺寸条件下,壳体屏蔽能效依次为正方形、长方形、圆形;在开孔总面积相同的条件下,开孔数量与壳体屏蔽能效成正比^[16];印制电路板尺寸与屏蔽效果成正比,在壳体谐振点处屏蔽效果仍较差;壳体内电磁场不均,电磁场强度以孔缝处最强,由近及远递减(即低于谐振频率时屏蔽效果与孔缝距离成正比);印制电路板微带线长度和缝隙距离与电磁场感应电流数值成正比,峰值出现在壳体谐振频率处^[17]。矩形孔缝长宽比例越小,其频率选择特性越好,长宽比例越大则对共振频带外的微波具有较好的滤波特性;同轴电缆高频波段响应曲线的峰值随入射频率的增加逐渐降低,增至毫米波段时,电子线路单线的耦合效应逐渐显著;减小孔缝阵列间距,增大孔缝宽度可减弱孔缝耦合电场强度,提高腔体屏蔽性能^[18]。

2.2 电路板孔径对电路系统的影响

由于电路系统装置需在壳体内部固定安装以及电路板设计制作工艺要求等因素,在电路板中将会不可避免地出现过孔(图 2),根据工艺及功能可分为:盲孔、埋孔、通孔。

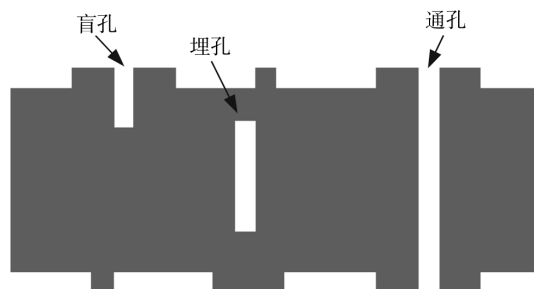


图 2 孔径类型

Fig. 2 The category of aperture

相关研究表明:过孔位于电路板中部时,谐振点较少;过孔靠近电路板边缘侧位置时,谐振点增多;过孔位于电路板拐角位置时,谐振点数量最多;通孔半径、焊盘半径、电路板基板介电介电常数均与通孔传输特性成反比;微带线宽度与通孔传输特性成正比等等^[19]。

2.3 传感壳体集成技术

随着工业技术生产精细化需求的提升,火炮弹体发射、千米深度油井、运转燃机腔体等精密机械环境的测试计量成为了新型动态测量技术的发展趋势。以腔体压力测试为例,相关研究将测量设备壳体附着检测贴片作为传感器压力敏感源,通过壳体的动态应变变量转换为可测电信号以获得被测环境的实时动态测量数据。在选取传感壳体贴片时应考虑材料应变参数、分布形状、厚度等,使其与壳体结合后的部分具有较好的强度和刚度水平^[20]。在贴片与壳体连接时需注意结合方式以降低在各种特殊环境下不必要的传感数据干扰因素,较好的胶黏剂具有固化后低形变、无温湿及应变变化、高弹性模量、抗疲劳、高绝缘、耐腐蚀、无吸潮等。粘贴工艺中的胶层残余应力、后固化收缩/强度、胶层厚度等均直接影响到应力贴片的测量参数^[21]。由于壳体内部具有测量、调理、存储电路系统,因此要防止端盖缝隙出现高压冲击等情况干扰正常系统工作,也可通过柔性电路板将动态测试电路直接形成封装结构再组装至壳体,并对整体传感壳体测试装置进行静态测试校准、动态测试校准以提高电路可靠性。

3 结语

壳体不仅为电路系统的组装集成载体包装,同时也直接影响着电路系统的性能指标,因此,在电路系统综合布线设计和安装结构规划时须综合考虑壳体结构的影响。例如:包装壳体材料、结构对于输入输出信号的作用;电路板与壳体安装结构对于电路系统的应力、热传播等方面的影响;壳体孔径和电路板孔径尺寸、位置对于壳体和电路板的相互作用;电子装置通常具有系列化生产的特点,因此,初次包装结构的精细化、通用化设计将有助于后续产品包装结构优化和衍生。

传感壳体集成技术有效缩减了传感检测系统的体积,避免了系统运行时由于内部线路之间的相互作用所带来的随机干扰,但不同类型传感器与壳体之间的相互作用有待进一步研究;将壳体结构和电路系统相互影响因素进行综合分析算法评价^[22],从设备整体角度评估样机性能也需深入研究。

参考文献:

- [1] 李宇明,孙永卫. 包装材料的防静电设计[J]. 包装工程, 2011,32(19):73—74.
LI Yu-ming, SUN Yong-wei. Anti-electrostatic Design of Packaging Materials[J]. Packaging Engineering, 2011, 32(19):73—74.
- [2] 梁斌,陈志刚. 某机载雷达天线罩结构设计[J]. 电讯技术, 2011,51(1):104—108.
LIANG Bin, CHEN Zhi-gang. Structure Design of an Airborne Radome[J]. Telecommunication Engineering, 2011,51(1):104—108.
- [3] 李义全,王继艳,王海龙,等. 高频透波玻璃钢天线罩性能的研究[J]. 玻璃钢/复合材料, 2011(5):42—44.
LI Yi-quan, WANG Ji-yan, WANG Hai-long, et al. Study on Wave-transmissivity Properties of High-frequency Gfrp Antenna Cover[J]. Fiber Reinforced Plastics/Composites, 2011(5):42—44.
- [4] 曹峰,杨备,张长瑞,等. 宽频透波天线罩研究进展[J]. 兵器材料科学与工程, 2011,34(4):85—89.
CAO Feng, YANG Bei, ZHANG Chang-rui, et al. Progress of Broadband Wave-transparent Radome[J]. Ordnance Material Science and Engineering, 2011,34(4):85—89.
- [5] 邹艳林. 电大尺寸旋转体天线罩的快速精确分析[D]. 西安:西安电子科技大学, 2007.
- ZOU Yan-lin. Fast and Accurate Analysis of Electrically Large Body-of-Revolution Radome[D]. Xi'an: Xi'an University, 2007.
- [6] 孙继平,郑召文,冯德旺,等. 长方体隔爆壳体对浪涌电磁辐射屏蔽效能研究[J]. 太原理工大学学报, 2010,41(3):287—289.
SUN Ji-ping, ZHENG Zhao-wen, FENG De-wang, et al. Analysis of Shielding Effectiveness of Cuboid Flameproof Enclosure on Surge Electromagnetics Radiation[J]. Journal of Taiyuan University of Technology, 2010, 41(3):287—289.
- [7] 郑召文,杨利霞. 圆柱形隔爆壳体对浪涌电磁辐射屏蔽效能[J]. 煤矿安全, 2011,42(4):160—162.
ZHENG Zhao-wen, YANG Li-xia. Analysis of Shielding Effectiveness of Cylinder Flameproof Enclosure on Surge Electromagnetics Radiation[J]. Mine Safety, 2011, 42(4):160—162.
- [8] 金有刚,姚军. 随机振动环境下电路板的疲劳寿命与可靠性研究[J]. 强度与环境, 2007,34(3):58—62.
JIN You-gang, YAO Jun. The Method Research on Fatigue Life Analysis and Reliability of the Typical Circuit Board in Random-vibration Environment[J]. Structure & Environment Engineering, 2007,34(3):58—62.
- [9] 薄玉奎. 某直升机机载设备印制板振动试验失效分析[J]. 电子机械工程, 2011,27(4):13—20.
BO Yu-kui. PCB Vibration Test Failure Analysis for Helicopter-borne Equipment[J]. Electro-Mechanical Engineering, 2011,27(4):13—20.
- [10] 李春洋,陈循,陶俊勇,等. 基于模态分析的印制电路板振动可靠性研究[J]. 中北大学学报(自然科学版), 2007,28(2):156—160.
LI Chun-yang, CHEN Xun, TAO Jun-yong, et al. Study on Printed Circuit Board Reliability under Vibration Stress Based on Modal Analysis[J]. Journal of North University of China (Natural Science Edition), 2007, 28(2):156—160.
- [11] 严乔乔,朱霞,周晓敏,等. 运输包装动力可靠性探讨[J]. 包装工程, 2009,30(12):50—52.
YAN Qiao-qiao, ZHU Xia, ZHOU Xiao-min, et al. Discussion on Dynamic Reliability of Transportation Packaging[J]. Packaging Engineering, 2009,30(12):50—52.
- [12] 刘丽贤,马国鹭,赵登峰. 某型电视机壳体结构动力学分析及改进[J]. 噪声与振动控制, 2009(3):140—143.
LIU Li-xian, MA Gu-lu, ZHAO Deng-feng. Dynamic Analysis and Structure Improvement for Chang Hong TV

- Structural Shell by Means of Finite Element Analysis [J]. Noise and Vibration Control, 2009(3):140-143.
- [13] 邵文全, 计宏伟, 李砚明, 等. 信号采集仪运输包装件缓冲性能研究[J]. 包装工程, 2008, 29(3):11-14.
- SHAO Wen-quan, JI Hong-wei, LI Yan-ming, et al. Research on Cushioning Properties of the Signal Acquisition Instrument Package[J]. Packaging Engineering, 2008, 29(3):11-14.
- [14] 刘乘, 沈训乐, 李勤. 跌落试验数据采集及分析系统研究[J]. 包装工程, 2010, 31(17):1-3.
- LIU Cheng, SHEN Xun-le, LI Qin. Research on Drop Test Data Acquisition and Analysis System[J]. Packaging Engineering, 2010, 31(17):1-3.
- [15] 于君, 王洋, 焦新泉, 等. 基于冲击振动信号的响应谱分析研究[J]. 包装工程, 2008, 29(9):1-3.
- YU Jun, WANG Yang, JIAO Xin-quan, et al. Research of Shock Response Spectrum Based on Shock and Vibration Signal[J]. Packaging Engineering, 2008, 29(9):1-3.
- [16] 肖集雄. 混响室条件下小尺寸屏蔽壳体电磁耦合作用规律的研究[D]. 武汉: 武汉理工大学, 2009.
- XIAO Ji-xiong. Research on the Electromagnetic Coupling Law of Small Shielding Enclosure under Reverberation Chamber Condition[D]. Wuhan: Wuhan University of Technology, 2009.
- [17] 安静, 武俊峰, 吴一辉. 孔缝对内置电路板壳体屏蔽效能的影响[J]. 微波学报, 2011, 27(2):34-37.
- AN Jing, WU Jun-feng, WU Yi-hui. Influence of Apertures on Shielding Effectiveness for Shell of Loaded PCB [J]. Journal of Microwaves, 2011, 27(2):34-37.
- [18] 朱占平. 带缝金属腔体、电子线路的微波耦合特性分析与基本电路的微波注入效应实验研究[D]. 长沙: 国防科学技术大学, 2011.
- ZHU Zhan-ping. Theoretical Analysis on the Characteristics of Microwave Coupling into the Cavity with Slots and into the Circuit and Experimental Study of Microwave Injection into the Basic Circuit[D]. Changsha: National University of Defense Technology, 2011.
- [19] 李海良. 多层微波电路通孔结构的建模与电磁特性研究[D]. 成都: 电子科技大学, 2010.
- LI Hai-liang. Research on Electromagnetic Characteristics and Modeling of Typical Through-hole Via in Multi-layered Microwave Circuit [D]. Chengdu: University of Electronic Science and Technology of China, 2010.
- [20] 李水利. 壳体传感一体化电子测压器研究[D]. 太原: 中北大学, 2009.
- LI Shui-li. The Integrated Pressure Testing Device of Sensor and Shell Designing [D]. Taiyuan: North University of China, 2009.
- [21] 翁志能. 传感与壳体一体化微型电子测压器的设计及校准技术研究[D]. 太原: 中北大学, 2011.
- WENG Zhi-neng. The Design of Sensing and Shell Integration Miniature Electronic Pressure Test Device and the Calibration Technology Research [D]. Taiyuan: North University of China, 2011.
- [22] 兰爽. 基于改进的 FUZZY 法的包装产品评价模式探讨[J]. 包装工程, 2011, 32(7):37-39.
- LAN Shuang. Primary Investigation on Packaging Product Evaluation Mode Based on Improved FUZZY Method [J]. Packaging Engineering, 2011, 32(7):37-39.

(上接第 111 页)

- LI Hong-lei. The Exegesis of the Quality Assessment PSNR of Images[J]. Journal of Guangdong University of Technology, 2004, 21(3):74-78.
- [7] 赵小娥. 网目调图像质量评价研究[J]. 西安工程科技大学学报, 2006, 20(3):347-350.
- ZHAO Xiao-e. Study on the Quality Evaluation of Half-tone Image [J]. Journal of Xi'an University of Engineering Science and Technology, 2006, 20(3):347-350.
- [8] KANG H R. Digital Color Halftoning. SPIE/IEEE Series on Imaging Science & Engineering[M]. New York: IEEE Press, 1999.
- [9] 佟雨兵. 基于 PSNR 与 SSIM 联合的图像质量评价模型[J]. 中国图像图形学报, 2006, 11(2):1758-1763.
- Tong Yu-bing. Image Quality Assessing by Combining PSNR with SSIM [J]. Journal of Image and Graphics, 2006, 11(2):1758-1763.