

方舱技术在指挥自动化系统中的应用

李培林, 汤伟华, 马军林, 兰文祥, 郭智勇

(空军工程大学 导弹学院, 陕西 三原 713800)

摘要:方舱作为许多军事装备的优选载体在军队指挥自动化系统中得到广泛应用。为了提高指挥自动化系统的性能价格比和技术先进性,缩短研制周期,选用性能优良的民用设备进行后天加固为军事装备的选型开辟了新途径。针对通用电子设备的结构特点,分析其薄弱环节,提出了抗恶劣机械物理环境的措施,满足了可运输性条件。

关键词:方舱;电子设备;振动;冲击

中图分类号:TN05 **文献标识码:**A **文章编号:**1009-3516(2001)01-0037-04

方舱以其灵活的转移性、可靠的电磁兼容性、良好的气密性和保温性等特点在国民经济各个领域得到广泛应用。随着方舱性能和制造技术的不断完善和提高,使其成为许多军事装备的优选载体成为可能。近年来,世界各地的局部冲突或战争充分体现了方舱装车体制的优越性。为了适应高技术战争的需要,基于方舱装车体制的武器装备得到迅速发展。

1 指挥自动化系统的物理设备

指挥自动化系统的物理设备主要由以下几部分组成:

1)计算机及其外部设备 计算机是指挥自动化系统的核心设备,对输入其中的各种格式化信息自动进行综合、分类、存储、更新、检索、复制和运算;能进行军事运筹,协助指挥员决策,拟定作战方案,并对各种方案进行模拟、比较和优选。计算机外部设备是与计算机主机相联而工作的辅助设备,如输入、输出设备(数字化仪、录音录时设备、数模转换器、绘图仪、打印机)等。

2)通信设备 通信设备主要有交换设备、传输设备和通信终端设备等。通信设备互联构成网络,联结指挥中心及各种探测器、终端显示设备,决定了指挥自动化系统的作用空间和影响范围,是实现自动化指挥的基础。

3)探测器 用于搜集情报信息,提供实时情报和威胁迹象。

4)显示设备 用以显示字符、表格、图形、图象、目标等。

2 舱内通用设备抗恶劣机械物理环境加固

2.1 舱内设备的机械物理环境

舱内设备的机械物理环境主要包括振动、冲击、跌落、摇摆、颠振、应力和噪声等有害因素。一般对振动与冲击的防护最为重要。

公路运输时,由于道路不平、风载荷、启动、刹车及碰撞等引起振动与冲击。铁路运输时,由于换轴、驼峰调车场、制动及车钩系统间隙等产生的碰撞引起振动与冲击。空运时,由于跑道粗糙不平、着陆冲击、制动刹车、阵风、颤振载荷、喷气助推器或弹射起飞引起振动与冲击。水运时,由于制动、海面颠簸及进港靠岸等引起

收稿日期:2000-03-01

基金项目:空司科研部科研基金资助项目(KJ91202)

作者简介:李培林(1963-),男,陕西富平人,讲师,主要从事机械与电子设备结构研究。

振动与冲击。同时,方舱在装卸过程中会受到较大的冲击。方舱内部振源设备对周边设备也会产生一定的影响。这些恶劣的机械物理环境,对舱内设备危害极大,后果严重,可能引起结构完整性破坏,如结构件的疲劳、断裂及磨损等;功能破坏,如工作失灵、性能降低及超出容差范围等;工艺故障,如连接件松动、分离,元部件相互碰撞、摩擦及短路、开路等。为了提高系统的可靠性,必须采取相应地保证措施。

2.2 通用设备抗恶劣机械物理环境加固

2.2.1 加固的类型

1)先天加固:军用设备从产品设计开始就以抗恶劣环境为目标,对影响设备性能的各种因素如系统结构、电气特性、机械物理结构等采取相应的保证措施,并进行必要的动态分析和动态设计,使设备在不采取任何隔振缓冲措施的情况下,就能在各种恶劣机械物理环境下安全、可靠地工作。

2)后天加固:优选性能优良的通用设备,进行环境性能的边界条件试验,找出薄弱环节,对其系统结构、电气特性、机械物理结构等采取相应的保证措施或进行板级和关键部件改进设计,合理运用机械振动与冲击控制技术,提高设备抗恶劣机械物理环境的能力。

一般来讲,选用先天加固的军用设备一般都能满足装舱设计要求。但其昂贵的成本、滞后的技术先进性、过长的研制周期往往会严重影响军事计划的实施。实践证明,优选性能优良的通用设备,对其薄弱环节进行改进设计,对整机采用隔振缓冲系统加以防护是经济可靠的加固方法。

2.2.2 结构加固

在理论分析与实验分析的基础上,对抗振动与冲击能力特别差的结构件、元器件或精密仪器的薄弱环节采取相应措施,提高其抗振动与冲击能力。坚固的结构是抗恶劣机械物理环境的基础。

2.2.3 振动与冲击控制

振动与冲击控制可以从控制振源、控制响应及振动与冲击隔离等方面采取相应措施,是抗恶劣机械物理环境的重要手段。针对机动指挥自动化系统的运载条件和设备特点,主要用振动与冲击隔离技术控制。

1)振动隔离:振动隔离的主要作用是采用弹性、阻尼器件将设备与基础隔离,避免或抑制系统的共振和避免或减少耦合振动。

方舱运输时,车辆的振动可视为基础对设备的激励,此时系统可简化为图1所示的模型^[1]。

设基础受到位移激励 $x_s(t)$,设备的绝对位移为 $x(t)$,则系统的运动方程为

$$m\ddot{x} + c(\dot{x} - \dot{x}_s) + k(x - x_s) = 0$$

设 $x_s = a \sin \omega t$,代入上式有

$$m\ddot{x} + c\dot{x} + kx = k a \sin \omega t + c a \omega \cos \omega t$$

解得

$$x(t) = a \sqrt{\frac{1 + (2\zeta\lambda)^2}{(1 - \lambda^2)^2 + (2\zeta\lambda)^2}} \sin(\omega t - \Psi_1 + \Psi_2) = B \sin(\omega t - \Psi)$$

式中 阻尼比 $\zeta = c/c_c$ 为阻尼系数与临界阻尼系数 ($c_c = 2\sqrt{mk}$) 之比

频率比 $\lambda = \omega/\omega_n$ 为激振频率与无阻尼固有频率 ($\omega_n = \sqrt{k/m}$) 之比

$\Psi = \Psi_1 - \Psi_2 = \arctan \frac{2\zeta\lambda}{1 - \lambda^2} - \arctan(2\zeta\lambda) = \arctan \frac{2\zeta\lambda^3}{(1 - \lambda^2)^2 + (2\zeta\lambda)^2}$ 为相位角

$$B = a \sqrt{\frac{1 + (2\zeta\lambda)^2}{(1 - \lambda^2)^2 + (2\zeta\lambda)^2}}$$

记响应与激励幅值之比为振动传递率 η , 则 $\eta = \frac{B}{a} = \sqrt{\frac{1 + (2\zeta\lambda)^2}{(1 - \lambda^2)^2 + (2\zeta\lambda)^2}}$, 取不同的 ζ 值, 绘出 $\eta - \lambda$ 关系曲线如图2所示。

可见,当 $\lambda < \sqrt{2}$ 时,若使 $\zeta = \infty$, 则 $\eta = 1$, 此时设备与基础处于刚性联结状态;当 $\lambda = \sqrt{2}$ 时,无论 ζ 为多少, $\eta = 1$; 只有 $\lambda > \sqrt{2}$ 时有隔振效果, 此时小阻尼比大阻尼效果明显; 当 $\lambda > 5$ 时, 曲线下降缓慢。通常 λ 应选在 2.5~5 范围内。

隔振系统的理想特性应具有较低的固有频率和较小的阻尼, 但阻尼不能太小, 否则在经过共振区时会产

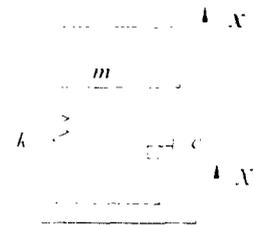


图1 车载设备的振动模型

生较大的振动。

2)冲击隔离:系统在冲击作用下,其力、位移、速度或加速度将发生突变,虽然冲击持续作用的时间极短,引起的振动也很快消失,但引起的最大应力或位移却可能导致仪器设备失灵,甚至损坏。冲击隔离的主要作用就是利用弹性、阻尼元件储存或耗散冲击能量,减小或避免冲击对设备的有害影响。冲击隔离系统应能吸收或耗散最多能量,输出最小的冲击动载荷,变形量小并能使系统回到静平衡位置。

车载系统的冲击环境比较复杂。研究表明^[2],环境试验中的各种标准脉冲对系统作用时,其响应差别不大。设图 1 所示系统在 $T \geq 0$ 时受到阶跃速度 \dot{x}_s 激励,求出系统的响应为

$$x(t) = \frac{-\dot{x}_s}{\omega_d} e^{-\zeta \omega_n t} \sin \omega_d t + \dot{x}_s t$$

对上式求二阶导数,得设备的响应加速度

$$\begin{cases} \ddot{x}(t) = \frac{\dot{x}_s \omega_n e^{-\zeta \omega_n t}}{\sqrt{1-\zeta^2}} \sin(\omega_d t + \varphi) \\ \varphi = \arctan \frac{2\zeta \sqrt{1-\zeta^2}}{1-2\zeta^2} \end{cases} \quad \text{令 } \frac{\partial \ddot{x}}{\partial t} = 0 \text{ 求出出现最大加速度幅值的时刻}$$

$$t_{\max} = \frac{1}{\omega_n \sqrt{1-\zeta^2}} \arctan \frac{(1-4\zeta^2) \sqrt{1-\zeta^2}}{3\zeta + 4\zeta^2} \text{ 将其代入 } \ddot{x}(t) \text{ 有}$$

$$\ddot{x}_{\max} \frac{\omega_n \dot{x}_s}{\sqrt{1-\zeta^2}} e^{-\zeta \omega_n t_{\max}} \sin(\omega_n \sqrt{1-\zeta^2} t_{\max} + \varphi) \leq [\ddot{x}_{\max}]$$

$$\text{即} \quad \frac{\ddot{x}_{\max}}{\omega_n \dot{x}_s} = \frac{1}{\sqrt{1-\zeta^2}} e^{-\zeta \omega_n t_{\max}} \sin(\omega_n \sqrt{1-\zeta^2} t_{\max} + \varphi) \tag{1}$$

上式表明设备与无阻尼弹簧最大加速度之比是 ζ 的函数,取不同的 ζ 值,绘出其关系曲线如图 3 所示。由曲线可知,当 $0 < \zeta < 0.5$ 时, $\frac{\ddot{x}_{\max}}{\omega_n \dot{x}_s}$ 有一定的缓冲效果, $\zeta = 0.2 \sim 0.4$ 时缓冲效果较好; $\zeta = 0.5$ 和 $\zeta = 0$ 时,比值为 1,无缓冲效果; $\zeta > 0.5$ 时,比值直线上升,冲击反而增大。可见,只有存在适当阻尼时才有缓冲效果。

当 $t = t_{\max}$ 时,可求出设备与基础的最大相对位移

$$\delta_{\max} = \frac{-\dot{x}_s}{\omega_n \sqrt{1-\zeta^2}} e^{\zeta \omega_n t_{\max}} \sin(\omega_n \sqrt{1-\zeta^2} t_{\max} + \varphi) \leq [\delta_{\max}] \tag{2}$$

将式(1)乘以式(2)可得

$$\frac{\delta_{\max} \ddot{x}_{\max}}{\dot{x}_s^2} = \frac{-e^{-2\zeta \omega_n t_{\max}}}{1-\zeta^2} \sin(\omega_n \sqrt{1-\zeta^2} t_{\max} + \varphi)$$

上式表明了隔振器能量效率与阻尼比的关系,其比值越小,存储的能量越大,缓冲效果越好。取不同的 ζ 值,绘出图 4 所示曲线,作为缓冲系统的设计依据。

2.2.4 实例与讨论

一般来讲,车载设备的振动与冲击隔离系统,必须兼有隔振与缓冲双重功能。理论分析表明,对于线性低频隔振器,其刚度较小,固有频率较低,易满足隔振要求,但在规定的变形空间内吸收能量的能力较差,易引起刚性碰撞,使冲击响应增大,不易满足缓冲要求;对于线性高频隔振器,其刚度较大,固有频率较高,不易满足隔振要求,但在规定的变形空间内吸收能量的能力较强,易满足缓冲要求。为此,必须设计或选用合适的隔振缓冲器,才能取得预期效果。GWF 型无谐振峰隔振缓冲器运用刚度和阻尼特性的拟合技术实现了真实动态特性向理想动态特性的逼近,具有变刚度、变阻尼特性,综合性能好,是比较理想的隔振缓冲器。

某系统采用方舱装车体制,以公路运输为主,兼顾铁路运输、水运和空运。由于公路运输环境比其它环境

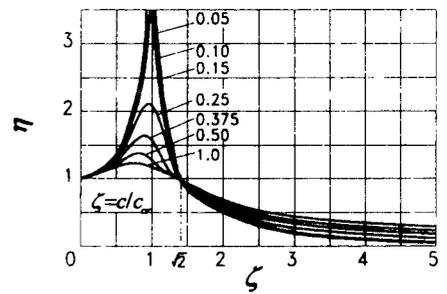


图 2 振动传递率与频率比的关系

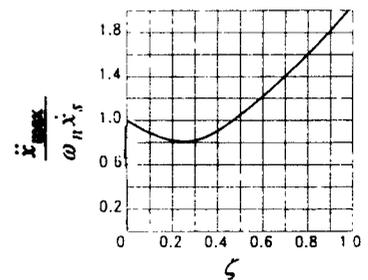


图 3 最大加速度与阻尼比的关系

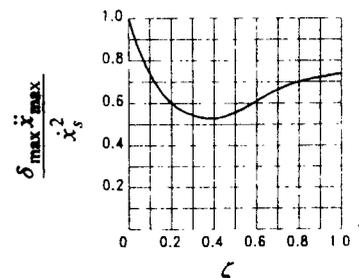


图 4 隔振器能量效率与阻尼比的关系

严酷,故以公路运输为防护样本。该系统选用的计算机及其外围设备允许振动环境的最大加速度为 1.5 g,而预期环境条件最大振动加速度为 4 g,最大冲击加速度为 8 g,远远超过了设备的承受能力,应采取相应的加固措施。

1)结构加固:提高机箱的整体强度和设备的固有频率;对板卡模块、电源模块及其它辅助部件用导热绝缘胶浇灌,并处理好它们与机箱的联结、紧固;对硬盘、光驱、软驱等部件采取二级被动隔振;对终端显示器重新进行热设计和结构安装设计。经测试,结构加固后计算机在幅值为 2 g 的正弦激励和幅值为 4 g 的半正弦脉冲激励下未见异常,其抗振动、冲击能力有所改善。

2)机柜整体隔振缓冲:该系统中的计算机及其外围设备安装于机柜内。根据设备的特点和预期环境条件,采用背架式安装隔振系统。选用 GWF 型无谐振峰隔振缓冲器与 GBJ 型钢丝绳背架隔振器配合使用,系统的垂向阻尼由 GWF 型隔振器提供,水平阻尼由 GBJ 型隔振器自身摩擦力提供,使系统三向无共振放大,并尽可能减少耦合振动,取得了比较满意的隔振缓冲效果。经越野汽车运输试验,各项性能指标达到设计要求。

3 结论

实际上,方舱在公路运输时由于车体的支承、结构及路面不平度的综合作用,真实系统比简化模型复杂得多,受到的激励也是随机的,有时甚至无法用确定的函数来描述,要避开主振频率,实现完全解耦,往往是很困难的。要达到理想的程度,还需在试验分析的基础上,研制更有效的隔振缓冲系统。同时,预期环境条件未涉及严酷非正常振动与冲击,能否承受有待进一步验证。

参考文献:

- [1] 倪振华 振动力学[M]. 西安:西安交通大学出版社,1989.
- [2] 汪凤泉. 电子设备振动与冲击手册[M]. 北京:科学出版社,1998.

The application of shelter technology in command automation system

LI Pei-lin, TANG Wei-hua, MA Jun-lin, LAN Wen-xiang, GUO Zhi-yong
(The Missile Institute, AFEU., Sanyuang 713800, China)

Abstract: The shelter as a kind of optimum seeking carrier of a lot of military equipments is widely used in the military command automation system. In order to improve the performance and the technical advance of command automation system, it is very necessary to select the civil electronic equipments which performance is optimal. In accordance with the structural characteristics of civil electronic equipments, the shortcomings are analyzed and the appropriate measures are put forward so as to meet the needs of the transportability of the military equipments.

Key words: shelter; electronic equipment; vibration; shock