

· 隔振阻尼 ·

减振缓冲的钢丝绳隔振器

张强星 许滨

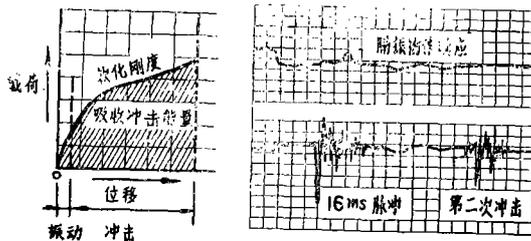
(中国科学院力学研究所)

一、钢丝绳隔振器

隔振器和冲击隔振器的种类很多^{[1][2]}, 本文介绍一种新型的非线性隔振器^[3], 它既能吸收冲击的能量, 又能隔离高低频振动, 也能衰减掉隔振器本身的驻波效应。

隔振器的形状如图1所示,*弹簧材料为一种多股不锈钢丝绳, 隔振器的刚度和阻尼取决于钢丝绳直径、钢丝绳的股数, 长度、圈数和缠绕式式。阻尼特性与隔振器的变形有关, 因为当隔振器振幅足够大时, 钢丝绳各股之间发生摩擦, 消耗振动能量干摩擦阻尼大, 但在小振幅时, 各股靠摩擦力拧在一起, 不发生滑移, 所以不产生干摩擦阻尼, 因此隔振效果很好, 为一12分贝倍频程至于弹簧本身的驻波效应, 也是靠干摩擦予以衰减。

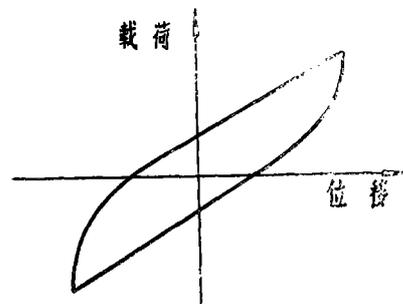
在设计载荷范围内, 钢丝绳隔振器的载荷挠度曲线如图2所示。随着振幅的加大, 刚度是越来越软, 一个软化刚度的隔振器是

图2 隔振器抗震性能^[3]

* 图1与图10因原稿照片模糊, 无法制版故略—编者注

能够大量吸收冲击能量, 缓和冲击力的。

钢丝绳的滞迟回线如图3所示^[4], 它的面积表示一周振动中干摩擦所消耗的能量, 这是一种非线性阻尼。在给定频率和振幅下, 等效粘性阻尼比可高达0.15~0.17^[3]。由于刚度软化, 共振频率将随着输入振动水平的增大而降低(图4)。这些就使设备的固有频率偏离激振频率更远从而进一步改善隔振效果。

图3 钢丝绳的滞迟回线^[4]

这种金属隔载器沿X和Y方向的刚度约为Z方向的 $\frac{1}{2} \sim \frac{1}{3}$ 。所以是一种三向隔振器。隔振器占空间较少, 容易安装。它们可用于压缩、拉伸、剪切、滚动方面的隔振系统。国外已有系列化产品, 最小的型号每个能承载一、二百克重量, 最大的每个能承载2.3吨。

由于弹簧是由不锈钢丝制成, 使用温度范围极宽, 一般使用温度范围-73℃~260℃, 就是在液氮-210.5℃这样低的温度下

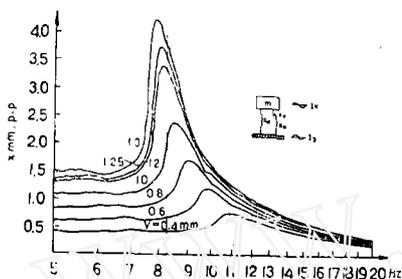


图4 干摩擦隔振系统的响应(实验值)^[5]

的刚度仍与室温刚度一样。钢丝绳隔振器不怕酸、海水、油、沙的侵蚀，也不会真空中挥发任何气体，不会燃烧，不会自然老化。这种隔振器不需要任何维修。所以钢丝绳隔振器能用于太空，南北极和恶劣环境的地方。

二、隔振系统的响应近似计算

要将非线性隔振器应用到工程上去，就必须建立正确的数学模型和有一套计算隔振系统响应的程序。

钢丝绳隔振器是一种非线性三元隔振器^[1,5](图5)。线性三元隔振器比一般的粘性阻尼器优越^[1,2]，它在高频段的传递比为一12分贝/倍频程^[1]，钢丝绳隔振器的高频段传递比也是一12分贝/倍频程。(图6，图7)。但它的非线性特性使隔振系统的‘固有’频率随激振水平的加大而变得更低。

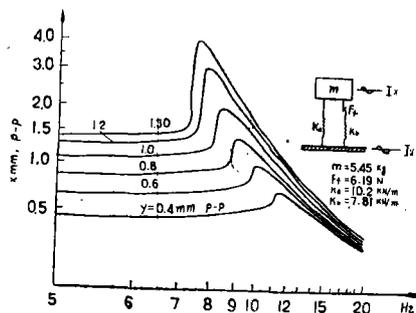


图5 干摩擦隔振系统的响应值(计算值)

鉴于在钢丝绳三元隔振器模型中，干摩擦器串连了一个刚度为 K_b 的弹簧。必须用双线性滞迟回线模型来描述^[1,5]。精确解只限于单自由度系统^[6]。由于精确解的计算比较麻烦，因此，发展了近似解。

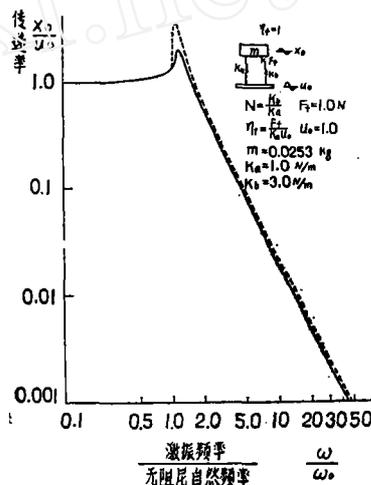


图6

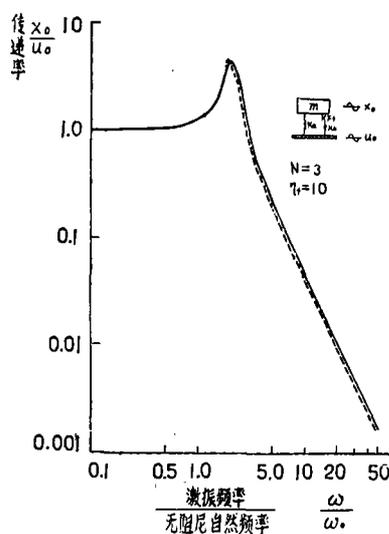


图7

根据耗能等价原则，振动冲击手册给出了双线性滞迟回线模型的隔振系统的近似解^[1]。文献[6]中也推导了近似解，所得传递比公式与文献[1]完全一致。但他们假定

了干摩擦器里的传力具有方波波形,实际上并不是这样的^[6],因此他们过高地估计了阻尼力和忽略了刚度软化的影响。给出了偏小的共振峰^[6]。

目前我们有一套近似解程序可以计算采用非线性隔振器的多自由度系统响应^[6],例如对非线性单自由度隔振系统,计算的响应曲线(图4)与实验曲线基本相等(图5)。

在这个分析方法中,用一对相等相反的阻力 $F(\omega t)$ ^[6]取代干摩擦器,阻力 $F(\omega t)$ 是由等效弹簧力和等效粘性阻尼力两项组成。这样干摩擦隔振系统就可在给定频率下按线性系统处理。振幅用叠代法求得,我们计算了刚度比分别为 $N=3, 15$ 。摩擦阻尼系数($n_f = \frac{F_f}{K_s u_0}$)分别为1, 2, 5, 10的四种结果。图6、7为 $N=3, n_f=1, 10$ 的结果。并分别与振动冲击手册上的结果比较。

当 $N=3$ 和 $n_f=1$,从图上可看出我们计算的共振响应比振动冲击手册高。这是由于振动冲击手册假设了等效粘性力为 $\frac{4}{\pi} F_f$,这样过高估计了摩擦力所消耗的能量和忽略了刚度软化的影响。实际上,随着振幅的加大,系统刚度将会软化和等效粘性阻尼力才从零上升到 $\frac{4}{\pi} F_f$ 。

对于多自由度隔振系统,也有用理想的干摩擦力(即具有方波波形的摩擦力)求得系统的响应^[7]。也有用双线性滞迟迴线模型近似解求出系统的传递比的^[6]。

三、钢丝绳隔振器的应用

振动和冲击直接影响机器或电子仪器的寿命,重复的过大的载荷使这些机器提早损坏,钢丝绳隔振器能够隔振和缓和冲击,明显地降低应力水平从而提高疲劳寿命。

钢丝绳隔振器的阻尼是通过钢丝绳各股之间的干摩擦产生的。钢丝绳本身提供了承载的刚度,所以钢丝绳可以视为干摩擦阻尼弹簧。等效粘性阻尼约为临界阻尼的15%~17%,实验已证实钢丝绳隔振器具有很大的疲劳寿命,还有高频隔振效果。例如用0.25克正弦扫描到10千赫隔振效率达95%,能够大大降低结构噪音。

在美国,已有廿多个军用单位采用这样非线性隔振器,主要用于潜艇、舰艇、航天飞机导弹运输工具、导弹发射架、越野车辆、海上气象站、仪器车等等。又例如美国Hughes飞机公司已用了五千个钢丝绳隔振器到他们的产品上,AEROFLEX公司正努力将这种隔振器推销到汽车上。

下面是一些隔振器具体的应用^[8]

(1) 潜艇上降噪减振的应用

随着反潜艇监听装置越来越灵敏,潜艇里各种仪器的噪声问题就变得越来越突出了。为了降低噪声,所有产生噪声和振动的仪器设备都有隔振器与潜艇结构隔开。钢丝绳本身的高阻尼能够衰减结构噪声的传播(图8)。

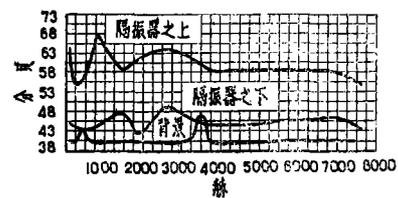


图 8

例如某些潜艇里的发报机、电动打印机、磁带机、通风机和大量其它导航设备都装有钢丝绳隔振器。

潜艇里有很多精密电子仪器设备的隔振设计。不但要减少结构噪声的向外传递(图8),还要降低外界冲击和振动对艇内设备的影响(图9)。

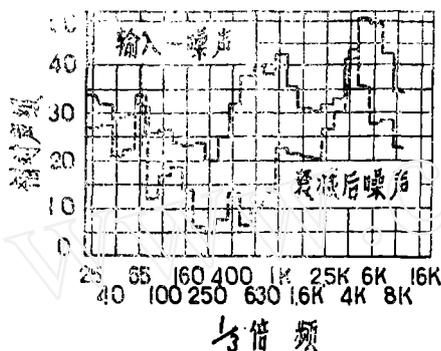


图 9

(2) 导弹运输工具上的应用及导弹上的应用

在运送导弹的箱里面安装上钢丝绳隔振器,能够缓和外界冲击和振动,确保安全运输导弹(图10)。

将钢丝绳隔振器使用于导弹的某些构件上,确保这些构件正常工作,可根据构件的需要绕制不同的隔振器。导弹常用钢丝绳隔振器的地方有完整导弹、弹头、发动机、导航系统、宇宙飞船的发射架等。

(3) 精密仪器的运输

钢丝绳隔振器能够成功地使用于合成橡胶不能使用的地方。例如运送一个高灵敏标定实验装置;在开始使用了合成橡胶隔振器,但失败了。因为运输环境恶劣。后来将钢丝绳减振器取代橡胶隔振器安装在箱的四个角,结果表明隔振缓冲效果很好。

目前有些灵敏的科学仪器是在非常恶劣的环境中使用,钢丝绳隔振器可保证仪器的正常工作。象电子仪器、录象仪器和医疗器械、光电译码仪、计算机、标定实验仪器、电动发动装置、仪表记录遥测装置仪器等。

在某些运载工具上常常需要隔振和防震。如火车、飞机、汽车、拖车、船、信号仪、通信设备、机架。

集装箱是一种最常见的运载箱,钢丝绳隔振器能起隔振和缓冲作用。

(4) 飞机上的应用

美国 Hughes 飞机公司制造商标为 ISO POD 运输箱,专用于运输精密仪器。这些“ISOPOD”都装四个以上的钢丝绳隔振器。

在A7E喷气歼击机的电子仪器和军用直升飞机上各种电子设备也安装了钢丝绳减振器,在飞机上列一些设备都采用钢丝绳隔振器,例如航空电子设备动力装置、发动机、排气尾管、警戒灯、直升飞机传动装置、直升飞机燃料箱、安全座、摄影机—遥感器、导航仪、通讯仪、仪表和机架等等。

当航天飞机发射时,火箭发动机高压空气管道和调节阀装置都处于高温和强烈振动的环境,也只有钢丝绳隔振器才能解决问题。

(5) 各种舰艇上的应用

在MMS—I扫雷舰上的5500磅功率配电盘和90~250磅控制板采用了钢丝绳隔振器,还应用钢丝绳隔振器在下列装置上,例如 ECS公司在MMS-1扫雷舰的船员座椅;驱逐舰的AN/SQS-35声纳鱼雷的装载架;舰艇导弹发射装置,声波定位器支架,导航装置,发射控制仪器等等。

MIL-S-901c海军水下爆炸试验证明只要安装了钢丝绳隔振器,设备都能正常工作。按MIL-S-901c军用标准在最大冲击试验下,通过隔振器后,冲击加速度可衰减到20克。

(6) 高温环境下的应用

F-15飞机主发动机的启动器,环境振动剧烈,温度高达540℃,又如在F-15飞机的空气管道需要隔振,其温度高达370℃,均采用了四个钢丝绳隔振器,这是任何其它类型隔振器都不可能取代的。

总之,钢丝绳隔振器的应用范围很广,而其安装形式又可以是多种方式。最基本的安装图11所示。

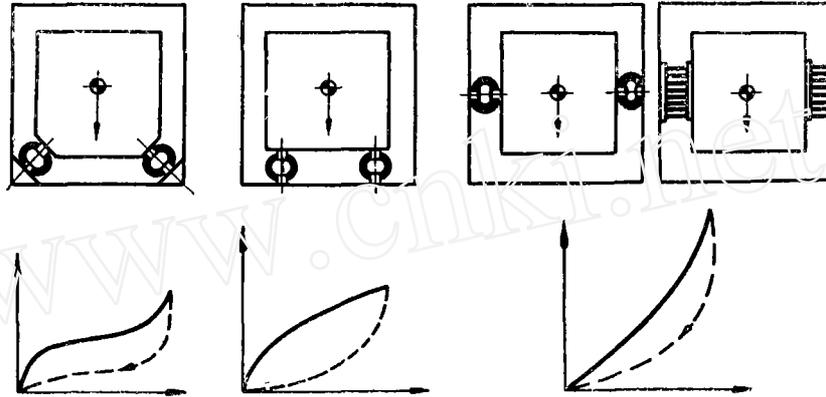


图 11 隔振器几种基本安装

四、结 论

钢丝绳隔振器既能隔振(-12分贝/隔倍频程)又可缓和冲击,也能衰减高频驻波,由于隔振器占空间小,可以采用二级隔振来达到-24分贝/倍频程。

这种全金属三向隔振器适用于温差大,腐蚀性强,真空度高等恶劣环境。

国内已有单位开始研制钢丝绳隔振器,研究它的非线性特征和编写计算多自由度隔振系统的响应的软件。

参 考 文 献

- [1] Harris C.M.and Crede C.E.:
Shock and Vibration Handbook,McGraw-Hill(1976)
- [2] 严济宽:近代振动隔离技术发展述评 噪声与振动控制1983第1期P.6.

- [3] Gilbert C.and Lekuch H.:
Isolating Shock and Vibraton-Mecanical Engineering and Aeroflex Catalogues (October,1982) P.58
- [4] 张强星,田千里;
An Experimental Study of the Non-Linear Beha Viour of a Standed Cable and Dry Friction Damper-Shock and Vibration Bulletin NO.52(1982) Part 4,P.195
- [5] 张强星and Sainsbury M.C.:
干摩擦振动系统的简化一在1984年底西安交通大学振动学术会议上交流
- [6] Schlesinger A.:
Vibration Isolation in the Presence of Coulomd Friction-J.Sound and Vibration (1979)V.63,P.213
- [7] 田千里,李盛章:用SAP V程序计算具体干摩擦之隔振问题-“振动与冲击”1982年第4期P.28