

减振器

JIAN ZHEN QI

彭拾义 编著

8

国防工业出版社出版

78.28
656

减 振 器

彭 拾 义 编 著

国防工业出版社

716.4.67
内 容 简 介

本书介绍机座减振和旋转体的减振。机座减振包括橡胶减振器、弹簧减振器和流体减振器；旋转体减振包括转子减振器和轴承减振器。此外，本书还介绍了导管和螺栓的减振和抗振问题。

本书可供从事机械设计和制造的技术人员和工人参考。

减 振 器

彭拾义 编著

*

国防工业出版社 出版

北京市书刊出版业营业许可证出字第074号

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

国防工业出版社印刷厂印装

*

787×1092¹/₃₂ 印张47/8 101千字

1979年10月第一版 1979年10月第一次印刷 印数：00,001—10,000册

统一书号：15034·1869 定价：0.52元

(限国内发行)

前 言

在大多数情况下，振动是有害的，因为振动会危害机器设备并有益于人体健康。为了减振，最简单实用的办法是设置减振器。减振器的种类很多，本书主要介绍橡胶减振器、弹簧减振器、流体减振器、转子减振器和轴承减振器。同一种类型的减振器其结构又千差万别，例如对橡胶减振器，有的橡胶减振器结构非常简单，而有的则相当复杂。本书中所介绍的一百五十多种减振器的结构型式，可为我们选择减振器提供一个线索，在具体选用时得根据实际情况进行全面考虑。

导管和螺栓在振动条件下工作时，可能产生断裂。在本书最后一章中介绍了导管和螺栓的减振和抗振问题。书末附录有常用梁、板自振频率的计算公式，可供参考。

在本书编写过程中，承任国忠、肖岱邦、何远七同志大力协助并审阅全稿，编者在此谨致深切谢意。

由于编者水平所限，书中可能会有不少缺点和错误，欢迎读者批评指正。

目 录

第一章 绪论	1
第一节 减振概论	1
第二节 减振试验	3
第二章 橡胶减振器	8
第一节 橡胶减振器特性	8
第二节 简便橡胶减振器	21
第三节 组合式橡胶减振器	29
第三章 弹簧减振器	39
第一节 螺旋弹簧减振器	39
第二节 异形弹簧减振器	56
第四章 流体减振器	62
第一节 油液减振器	62
第二节 空气减振器	71
第五章 转子减振器	77
第一节 平衡减振器	77
第二节 阻尼减振器	86
第六章 轴承减振器	101
第一节 弹性轴承减振器	101
第二节 油膜轴承减振器	111
第七章 导管和螺栓的减振和抗振	116
第一节 导管的减振	116
第二节 螺栓的抗振	127
附录 常用梁、板自振频率的计算公式	135

第一章 绪 论

第一节 减 振 概 论

振动并不是在所有情况下都有害，有时还专门利用振动来达到某些目的。比如：利用振动消除铸件的内应力以稳定尺寸，只需几十分钟即成，它避免了用热处理消除内应力所产生的明显变形，也更不像利用自然时效消除内应力那样需一年以上的时间；此外如振动抛光、振动筛砂等技术的应用，都是很常见的。

但是，在大多数情况下，振动是有害的，它会加速机件的磨损，缩短其工作寿命，甚至使机件疲劳而断裂，造成严重事故。此外，振动使工作人员疲劳、难受；振动使仪表指示不正常，甚至不能工作，等等。因此，必须采取减振措施。

为了减振，最积极的办法是针对振动的原因对症下药。引起振动的原因很多，例如：突然的冲击载荷、转子不平衡、转子通过临界转速等机械原因引起振动，流体流动引起振动（如压气机的喘振、水击现象等），电磁和声波引起振动，燃烧引起振动（如活塞发动机爆震、喷气发动机的振荡燃烧）等。对不同的振动原因，应采取不同的减振办法，比如为了解决振荡燃烧，必须改进燃烧室的结构，但这是有关专业研究的课题，它已超出本书讨论的范围。这里介绍的只是一些通用的减振方法，而不管这种振动是由于什么原因引起的。

采用减振器减振的目的，根据不同情况而异。比如，有时

是为了减少振动应力以延长设备的工作寿命；有时是为了减小振幅以免因振动而影响到其他设备；有时是为了延长振动周期，使人员舒适（如汽车）。从图 1.1(a)可以看出，对于突然冲击引起的振动，在采用减振器后振幅的衰减比没有减振器时要迅速得多。而图 1.1(b)所示曲线表明，对连续振源采用减振器后则振幅普遍降低。

减振器的类型是多种多样的，依减振器所在部位是否作旋转运动来分，可分为固定式的（如机座减振器）和旋转式的（如转子减振器、轴承减振器）；依减振器的减振原理来分，可分为弹性减振器、摩擦减振器、冲击减振器、电磁减

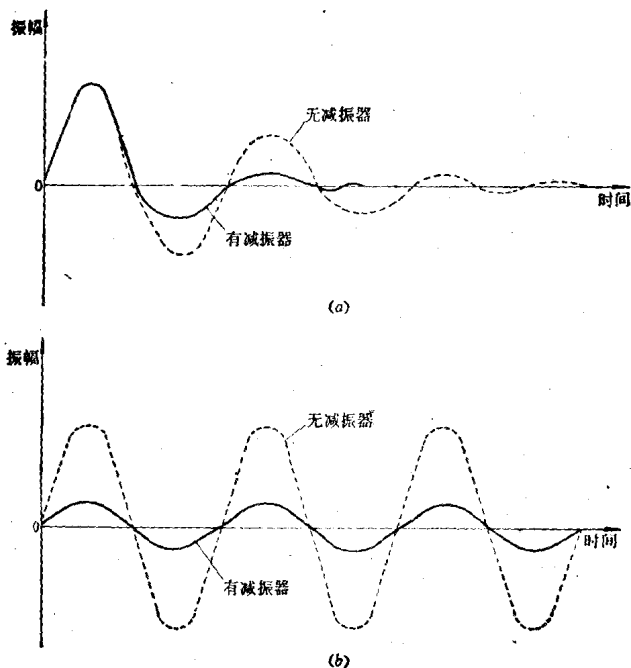


图 1.1 减振曲线

振器、水力减振器、平衡减振器等；依减振器所采用的减振材料来分，可分为橡胶减振器、弹簧减振器、空气减振器、油液减振器等。对减振器的基本要求，是能够把尽可能多的振动动能转换为热能而迅速散失于大气中。

除了使用减振器外，振源的激振频率和机件或减振器的自振频率之间的关系是值得注意的，如果激振频率与自振频率相等或相近，或成整数倍，则产生共振。共振时振幅剧增，可能引起事故。为了避免共振，可改变机件或减振器的自振频率，也可改变激振频率，可参考本书末附录“常用梁、板自振频率计算公式”。

第二节 减振试验

减振器减振性能的好坏，要通过减振试验来鉴定。减振试验通常只在新设计试制减振器时才进行，而成批生产后就不必对减振器逐个地进行试验；但对于特别重要的减振器，或必须在减振试验中进行调节才能达到技术要求的减振器，则要逐个作试验。

减振试验最好在整机上进行，这样试验条件就是实际工作条件；减振试验也可以在专门的减振试验台上进行，即模拟实际工作条件，人为地制造振源，比较没有减振器时和装上减振器以后的差别，以评定减振器的优劣。

根据不同情况，可以用各种激振方法人为地制造振源，例如利用偏心轮旋转带动滑块产生往复位移激振，利用不平衡转子产生的离心力激振，利用压缩空气吹机件激振，利用扬声器激振，利用电磁感应激振，或使用专门的振动台激振，等等。振动试验时要测量的参数包括频率、振幅、速度、加

速度等，有时还测量机件某些部位的应力或应变。

如果振动规律按正弦函数变化（例如由于转子不平衡引起的振动），那么只要测出振幅和频率，就可以计算出速度和加速度。设振动的位移为 x ，速度为 v ，加速度为 a ，则

$$x = A \sin \omega t = A \sin(2\pi f t) \quad (1.1)$$

$$v = \frac{dx}{dt} = 2\pi f A \cos(2\pi f t) = v_m \cos(2\pi f t) \quad (1.2)$$

$$\begin{aligned} a &= \frac{d^2x}{dt^2} = -(2\pi f)^2 A \sin(2\pi f t) \\ &= -a_m \sin(2\pi f t) \end{aligned} \quad (1.3)$$

式中 A —— 振幅；

ω —— 角频率， $\omega = 2\pi f$ ；

f —— 频率；

t —— 时间；

v_m —— 最大速度， $v_m = 2\pi f A$ ；

a_m —— 最大加速度， $a_m = (2\pi f)^2 A$ 。

不同的工业部门和不同的机器产品，对振动有不同的要求，有的要求通过减振器减振后，机件上某些部位的应力或应变不得超过某一数值，有的则要求振幅 A 、最大速度 v_m 、或最大加速度 a_m 不得超过某一数值。值得注意的是，不一定是振幅越大就破坏性越大，实际上，如果振幅较大但振动频率很低，其破坏性是不大的；如果振动频率较高而振幅很小，其破坏作用也不大；只有当频率和振幅都具有相当数值时，才产生严重的后果。因此，有许多机器用最大加速度 a_m 作为衡量减振效果的主要标志，通常以此加速度的数值等于地球重力加速度（ g ）的几倍来表示，例如振幅 $A = 0.02$ 厘米，

频率 $f = 100$ 赫, 则

$$a_m = \frac{(2\pi f)^2 A}{980} (g) = \frac{(2\pi \times 100)^2 \times 0.02}{980} (g) \\ = 7.9 (g)$$

也就是说, 最大加速度是重力加速度的 7.9 倍。

图 1.2 所示简易测振器用于测量振幅, 测振座 1 固定在振动体 7 上, 此二者一起振动, 因为上下两个弹簧 4 都很弱, 而重块 3 的质量较大, 于是在振动频率较高的情况下弹簧 4 不能带动重块 3 一起振动, 因此, 重块 3 相对静止, 而壳体 2 相对于静止的重块 3 振动, 其振幅可通过指针 6 和刻度 5 表示出来。但当振幅很小时, 刻度 5 不容易读出来。图 1.2(a) 只是原理图, 而实际结构如图 1.2(b) 所示, 用海绵 8 代替弱弹簧 4, 用重盘 11 代替重块 3, 用千分表 9 代替指针 6 和刻度 5。

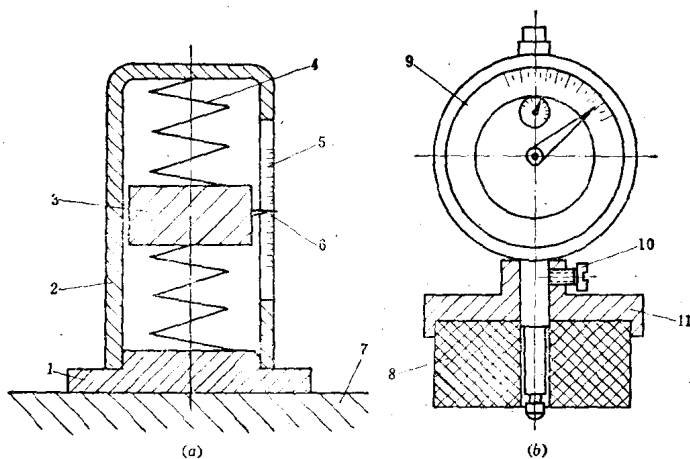


图 1.2 简易测振器

1—测振座; 2—壳体; 3—重块; 4—弹簧; 5—刻度; 6—指针; 7—振动体; 8—海绵; 9—千分表; 10—固定螺钉; 11—重盘。

这种简易测振器是比较粗糙的，其精度低，测量范围也窄。目前常用的测振传感器有磁电式和压电式两种。

在图 1.3 所示磁电式测振传感器中，永久磁铁 5 相当于图 1.2 中的重块 3，当壳体 4 随振动体 7 一起振动时，永久磁铁 5 相对静止，而线圈 1 却相对于永久磁铁 5 作上下运动，由于线圈切割磁力线（图中虚线表示磁力线方向）而产生电动势，该电动势与振动速度成正比。将此电压信号接入微分电路，则微分电路的输出端的电压即与振动的加速度成正比，将此输出端接交流毫伏计以测量其输出电压，则该电压直接反映了与振动加速度的关系，而此关系可以通过在标准振动台上标定时确定。在标准振动台上用数字频率计精确测量振动频率 f ，用读数显微镜或激光干涉仪精确测量振幅

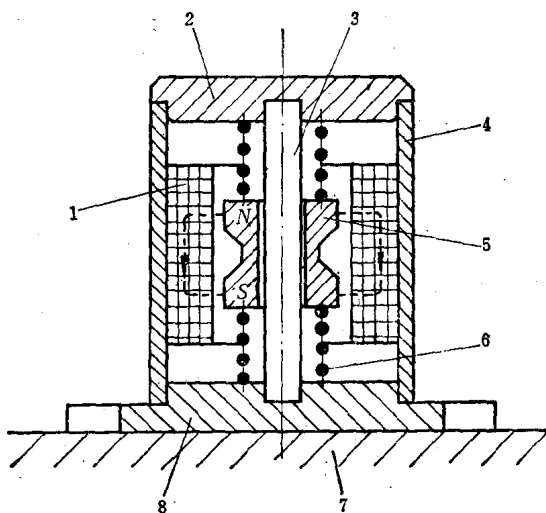


图 1.3 磁电式测振传感器

1—线圈，2—盖子，3—心轴，4—壳体，5—永久磁铁，6—弹簧，
7—振动体，8—测振座。

A, 由于标准振动台严格按正弦函数的规律振动, 故可按公式 (1.2) 和 (1.3) 计算速度 v_m 和加速度 a_m 。

压电式测振传感器比磁电式传感器体积小, 重量轻, 灵敏度高, 使用频率范围大, 而且能耐较高温度, 使用寿命长。压电式测振传感器的工作原理是基于“压电效应”, 所谓压电效应, 是指某些材料 (例如锆钛酸铅的陶瓷) 在受压力作用时产生电荷, 而电荷量的大小与作用力成正比。在图 1.4(a) 所示结构中, 压电片 2 夹在重块 4 与测振座 1 之间, 因为施加在压电片 2 上的压力与振动的加速度成正比, 故压电片的输出电压也与加速度成正比。图 1.4(a) 所示为压力式传感器, 而图 1.4(b) 所示为切剪式传感器, 其敏感元件都是压电片 2。

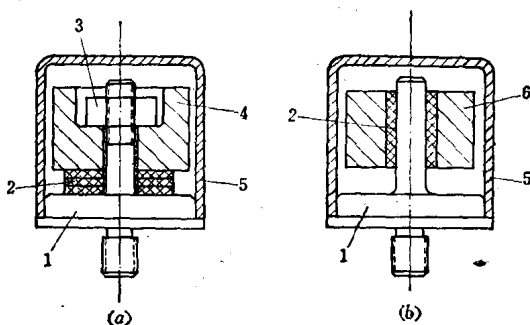


图 1.4 压电式测振传感器

1—测振座; 2—压电片; 3—螺母; 4—重块; 5—壳体; 6—重环。

第二章 橡胶减振器

第一节 橡胶减振器特性

依减振器所在部位是否作旋转运动来分，减振器可分为固定式减振和旋转式减振两种。固定式减振是指对固定机件采取减振措施，例如机座减振器；旋转式减振是指对旋转体采取减振措施，例如转子减振器、轴承减振器等。

固定式减振主要是机座减振，机座减振应用很广泛。机座减振可以采用橡胶减振器、弹簧减振器、流体减振器等，根据不同情况采用不同减振器，一般以橡胶减振器应用较多。

橡胶是较理想的减振材料，对振动有阻尼作用。橡胶有很大的线性柔韧性，几乎可被拉伸到破裂而不失去其弹性，并且能承受交变应力而不易出现疲劳。橡胶和水一样，几乎不可压缩，受压后仅产生弹性变形，但其体积不变。

当温度低于 -30°C 时，橡胶的弹性显著降低，故橡胶减振器不宜在严寒条件下工作；同时橡胶也不耐高温，其工作温度最好不超过 $75\sim 80^{\circ}\text{C}$ 。

橡胶的受压强度比受拉强度大很多。橡胶的拉伸长度一般比压缩距离约大6倍。橡胶受拉伸或压缩时，其自然振动频率并不相同。

橡胶有“弹性后效”现象，如图2.1所示，橡胶在受压缩后约20分钟内变形增加很快（约25%，即变形比1.25）；

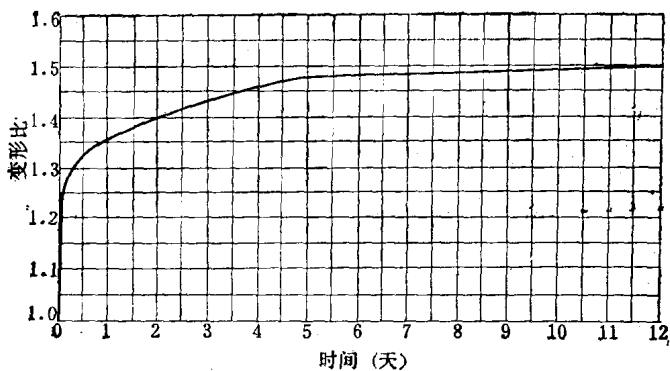


图2.1 橡胶的弹性后效曲线

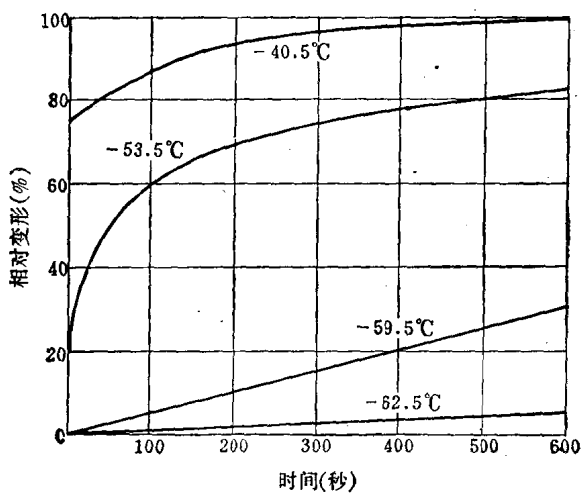


图2.2 低温对橡胶变形时间的影响

1107749

此后, 变形很慢, 约到 12 天后, 变形才增大到约 50% (变形比 1.5)。可见, 在安装橡胶减振器的时候, 橡胶的尺寸形状还没有最终确定, 以后还会继续变形。不同牌号的橡胶, 弹性后效曲线也有差异。

低温对橡胶的变形时间影响很大, 图 2.2 中的曲线表示当载荷一定时, 在不同的低温下, 橡胶拉伸一倍 (相对变形 100%) 的变形时间。由图中曲线可见, 当温度为 -40.5°C 时, 变形时间为 500~600 秒; 当温度更低 (例如图中的 -62.5°C) 时, 变形时间就更长了。

频率对橡胶变形的影响见图 2.3, 在一定温度下, 橡胶的变形频率越高, 则相对变形越小, 也就是说, 高频容易促使橡胶失去弹性。因此, 高频和低温对橡胶变形的影响是相类似的。

在采用橡胶减振的时候, 要考虑橡胶的弹性后效, 如图 2.4 所示, 振源设备 3 借橡胶垫 4 减振, 振源设备的动力输

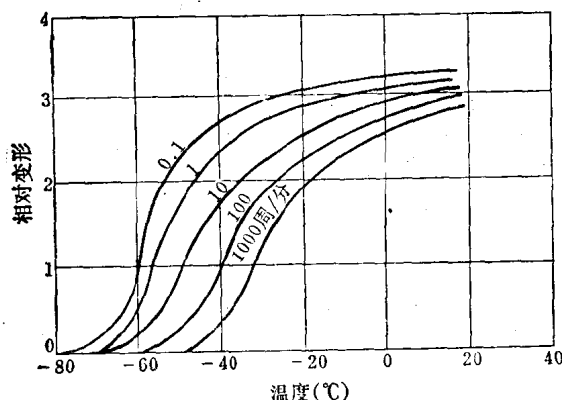


图 2.3 频率对橡胶变形的影响

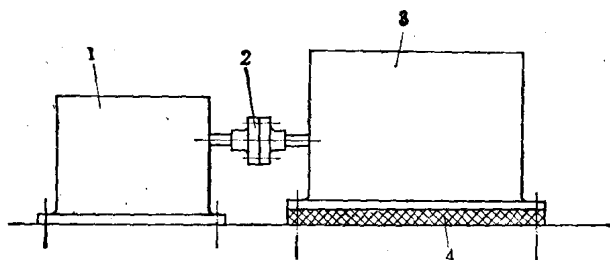


图2.4 橡胶垫减振

1—传动装置；2—联轴器；3—振源设备；4—橡胶垫。

出轴借助于联轴器2与传动装置1相连；在安装设备的时候，虽然两联接轴的同心度已经调好，但过了几天后，由于橡胶继续变形，振源设备3下沉，使得两联接轴的同心度遭破坏。即使同时给传动装置1也放置橡胶垫，一般也很难保证两橡胶垫的弹性后效完全一样。在这种情况下，可先将设备假装配定位，过若干天后，待橡胶的弹性后效基本消除才调同心，最后装上联轴器2。对于像图2.4所示的两个独立的部件，如果要求其同心度很高，那么最好不在一个单独的部件上装橡胶减振器，而将两个部件共同装在一个底座上，再在底座下面安装橡胶减振器。

同理，如果设备要求在空间几个平面上同时装减振器，则应先装支承设备重量的减振器，过几天待减振器的尺寸稳定后，才装其他减振器，以免引起较大的附加应力。

一般橡胶减振器并不采用如图2.4所示的结构，⁴⁶即不是用很大一块橡胶板垫于设备的底下，而是采用若干个局部的橡胶减振支承(图2.5)，这样既节省了橡胶材料，又改善了减振性能。图中减振橡胶5主要受压缩，是属于压缩型橡胶减振器。两个螺套1和橡胶5硫化在一起，借螺钉将减振器

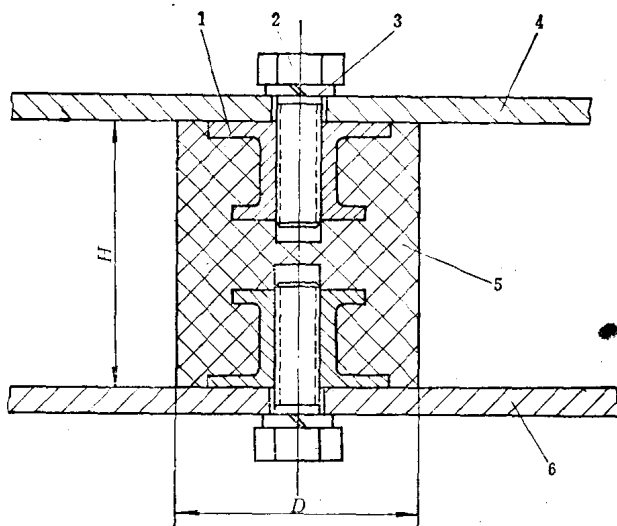


图2.5 压缩型橡胶减振器

1—螺套；2—螺钉；3—弹簧垫圈；4—机座平板；
5—减振橡胶；6—工作台面。

固定在机座平板4和工作台面6上。图2.5所示减振器也可用于沿水平方向弯曲振动的减振。

各种橡胶减振器的自振频率都较低。当激振频率很低时，减振器处于非减振区，这时减振效果很差；如果激振频率等于或接近于减振器的自振频率，则振幅大增（见后面图2.20），这时情况还不如不用减振器时好；只有当激振频率大于自振频率一定值后，减振器才处于减振区内而得到较为显著的减振效果。图2.6所示为图2.5所示减振器的减振区，其中 D 和 H 是指自由状态下的尺寸。

上述减振器的减振效率-载荷曲线见图2.7。由图中曲