

电子设备 振动与冲击手册

汪凤泉 主编

科学出版社

电子设备振动与冲击手册

汪凤泉 主编

科学出版社

1998

内 容 简 介

本手册主要介绍:电子设备的振动与冲击基础理论、电子设备结构的振动计算方法、电子设备的振动与冲击测量仪器和测试分析技术、电子设备振动、冲击环境试验方法与有关规范、电子设备的振动、冲击和噪声控制设计等内容。

本手册主要适用于从事电子设备结构设计、环境试验与可靠性分析以及运行维护和动态分析的有关技术人员使用。

图书在版编目(CIP)数据

电子设备振动与冲击手册/汪凤泉主编. -北京:科学出版社,1997
ISBN 7-03-005888-7

I. 电… II. 汪… III. ①电子设备-振动-手册②电子设备-冲击(力学)-手册 IV. TN05-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字(97)第 02599 号

科学出版社出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

北京科地亚印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

1998年3月第一版 开本:787×1092 1/16

1998年3月第一次印刷 印张:49 1/4

印数:1—1 000 字数:1 150 000

定价:106.00元

《电子设备振动与冲击手册》编委会

主 编 汪凤泉

副主编 季 馨 吴慧新 韩晓林 林循泓

编 委 汪凤泉 林循泓 郭应征 吴慧新 韩晓林

季 馨 汪 军 潘得引 朱美玲

前 言

本书是一本专业手册,主要是为从事电子设备振动与冲击的分析计算、环境试验、测试分析和控制设计等方面工作的专业人员而编著。当然,许多相关专业也能从这本手册中找到感兴趣的内容。与一般通用手册不同,在本手册的编写中,除了注意反映振动与冲击领域内的最新成果和系统知识外,还力求突出电子设备专业的实际需要,在新颖性、实用性和专业性等方面形成自己的特色。

全书内容共分为五个部分,第一部分(第1章~第6章)介绍了电子设备振动与冲击的基础理论;第二部分(第7章~第10章)以典型电子设备结构(诸如电子机箱、组件、印刷板、模型结构和天线曲壳等)为对象,介绍了电子设备弹性体振动理论、计算方法和有关图表;第三部分(第11章~第15章)系统介绍了振动冲击测量仪器与测试分析技术,还介绍了结构试验模态分析和参数识别的近代方法;第四部分(第16章~第20章)介绍了本手册的一个重要专业内容——电子设备振动与冲击环境规范与试验方法,本部分前两章介绍了有关的专业知识和试验机,后三章内容以MIR标准为参考、以军用电子设备环境试验方法[军标150]为背景,系统介绍了电子设备振动试验、冲击试验和噪声试验规范;第五部分(第21章~第24章)介绍了另一个近代专业内容——电子设备振动、冲击和噪声控制设计,以及振动包装设计。

根据我国本专业的实际情况,在手册的编著中,作者既重视基础理论,更注重实际应用,为此尽量省略繁琐的推导和引证,力求采用公式、图表、实例等更为简洁和直观的表达形式。

本书承南京航空航天大学副校长张阿舟教授进行认真仔细的审阅,谨此表示衷心的感谢。同时在本书编著过程中,得到了许多同行和读者的帮助,在此一并致谢。

由于我们水平的限制,加之时间紧迫,错误之处在所难免,敬请读者批评指正。

编者

1997年12月

目 录

1	绪论	(1)
1.1	振动与冲击的基本概念	(1)
1.2	振动与冲击的研究方法	(3)
1.3	振动控制与环境试验	(4)
1.4	名词术语	(6)
2	单位、符号	(19)
2.1	国际单位制 SI	(19)
2.2	振动单位	(24)
2.3	单位转换	(24)
2.4	级和分贝	(25)
2.5	常用符号表	(27)
3	线性振动理论	(31)
3.1	力学模型及基本元件	(31)
3.2	单自由度系统	(42)
3.3	多自由度系统	(63)
3.4	杆的纵向振动	(84)
3.5	轴的扭转振动	(89)
3.6	梁的横向振动	(90)
4	非线性振动理论	(102)
4.1	工程中的非线性振动	(102)
4.2	非线性振动系统的分类	(105)
4.3	非线性振动的物理特性	(106)
4.4	求解非线性振动问题的常用方法	(109)
4.5	非线性系统的受迫振动	(130)
4.6	非线性振动的稳定性	(132)
4.7	多自由度系统的非线性振动	(133)
5	随机振动	(136)
5.1	随机过程的统计特性	(136)
5.2	随机激励下的系统响应	(146)
5.3	车辆随机振动	(151)
6	冲击	(156)
6.1	单自由度系统运动微分方程	(156)

6.2	卷积积分法	(159)
6.3	拉普拉斯变换法	(168)
6.4	冲击响应谱	(171)
6.5	无阻尼单自由度系统的瞬态响应	(176)
6.6	有阻尼单自由度系统的瞬态响应	(189)
6.7	非线性单自由度系统的瞬态响应	(193)
6.8	多自由度系统的瞬态响应	(194)
6.9	各种典型脉冲的冲击响应谱	(196)
7	刚架和拱的振动	(206)
7.1	刚架的振动	(206)
7.2	拱的振动	(213)
7.3	电子组件的振动计算	(216)
7.4	导向弹簧的振动计算	(218)
7.5	陀螺柔性导线的刚度	(219)
7.6	疲劳曲线	(220)
8	板的振动	(230)
8.1	薄板振动的分析方法	(230)
8.2	矩形板的振动	(234)
8.3	圆板的振动	(254)
8.4	圆环板的振动	(258)
8.5	三角形板的振动	(260)
8.6	印刷电路板的振动传递率	(262)
8.7	电路板的振动计算	(262)
8.8	电路板的最大容许动挠度	(265)
9	壳的振动	(267)
9.1	圆柱壳的振动	(267)
9.2	圆锥壳的振动	(286)
9.3	球壳的轴对称振动	(289)
9.4	扁壳的振动	(291)
10	箱体的振动	(295)
10.1	弹性支承刚性箱体的振动	(295)
10.2	弹性基础上箱体的弯曲振动	(319)
10.3	地面与支承运动引起的箱体弯曲振动	(322)
10.4	薄壁电子机箱振动计算	(325)
11	振动与冲击测试仪器	(333)
11.1	振动与冲击传感器	(333)
11.2	振动与冲击测量仪器	(346)
11.3	振动与冲击分析仪器	(350)

12	振动与冲击校准	(358)
12.1	振动灵敏度校准	(359)
12.2	频率响应与谐振频率的校准	(374)
12.3	横向灵敏度的校准	(379)
12.4	幅值线性度校准	(383)
12.5	冲击校准装置	(385)
12.6	冲击校准方法	(388)
12.7	力传感器的校准	(396)
12.8	阻抗头的校准	(401)
12.9	系统校准	(403)
13	振动信号的数字分析	(404)
13.1	振动信号特征	(404)
13.2	傅里叶级数与离散频谱	(407)
13.3	傅里叶变换与连续频谱	(408)
13.4	数字频率分析技术	(411)
14	振动与冲击测量	(426)
14.1	振动量测量	(426)
14.2	冲击与瞬态振动的测量	(432)
15	试验模态分析	(442)
15.1	试验模态分析理论	(442)
15.2	模态试验	(445)
15.3	模态参数识别的纯模态方法	(457)
15.4	模态参数识别的频域法	(464)
15.5	模态参数识别的时域法	(473)
16	环境规范与试验概论	(480)
16.1	环境规范	(480)
16.2	环境试验	(485)
16.3	振动、冲击试验夹具与安装	(490)
16.4	等效条件与加速试验	(492)
17	振动与冲击试验机	(495)
17.1	振动试验机的类型特点与要求	(495)
17.2	机械式振动台	(496)
17.3	电动式振动台	(506)
17.4	电液式振动台	(517)
17.5	冲击碰撞台的类型与特点	(521)
17.6	冲击试验对设备的要求	(522)
17.7	波形模拟冲击台	(523)
17.8	冲击机模拟	(527)

17.9	冲击响应谱模拟	(527)
17.10	在振动台上实现冲击激励运动	(528)
18	正弦振动环境试验	(529)
18.1	基本运动及其严酷等级参数	(529)
18.2	正弦振动试验	(530)
18.3	试件的安装及响应控制	(536)
18.4	试验参数选择及响应检查	(540)
18.5	多点控制与跟踪滤波	(546)
19	随机振动试验	(549)
19.1	随机试验条件的确定	(549)
19.2	随机振动试验的控制	(569)
19.3	宽带随机振动试验	(572)
19.4	正弦-宽带随机振动组合试验	(574)
19.5	窄带随机扫频振动试验	(575)
19.6	磁带随机振动试验	(578)
20	冲击与碰撞环境试验	(580)
20.1	冲击描述及试验脉冲	(580)
20.2	冲击试验	(591)
20.3	试验严酷等级	(616)
20.4	冲击试验脉冲持续时间的等效变换	(617)
20.5	碰撞与其它试验	(619)
21	隔振理论	(626)
21.1	单自由度隔振系统	(626)
21.2	多自由度隔振系统设计	(634)
21.3	弹性支承任意布置的隔振系统	(642)
21.4	非线性隔振系统	(652)
21.5	随机振动的隔振设计	(656)
21.6	非刚性系统的隔振	(659)
21.7	隔振器中的波效应	(667)
22	冲击隔离理论	(672)
22.1	冲击隔离效果的评价指标	(672)
22.2	隔振缓冲系统的期望动态特性	(674)
22.3	线性冲击隔离系统设计	(676)
22.4	非线性冲击隔离系统	(684)
22.5	二自由度系统的冲击隔离	(689)
22.6	隔振器的行程限制器	(697)
23	隔振器	(701)
23.1	隔振器设计与选用原则	(701)

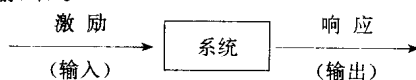
23.2	隔振器的质量保证规范	(701)
23.3	特殊隔振器设计原则	(701)
23.4	电子设备常用隔振器产品规范	(702)
23.5	隔振器的弹性特性设计	(703)
23.6	金属隔振器	(708)
23.7	橡胶隔振器	(718)
23.8	金属橡胶型隔振器	(738)
24	振动与冲击的包装设计	(745)
24.1	电子设备的振动、冲击脆值	(745)
24.2	贮运环境及其跌落试验	(748)
24.3	包装衬垫材料的特性	(752)
24.4	包装的冲击隔离理论	(763)
24.5	振动与冲击的包装设计	(770)

1 绪 论

1.1 振动与冲击的基本概念

振动是机械系统中运动量(位移、速度或加速度)的振荡现象,具体地说,振动是机械系统在其平衡位置附近的往复运动。它是电子设备最普遍的运动形式。

最简单的振动系统是一端固定,而另一端连着一个质量的弹簧。在初始扰动下,质量将在其平衡位置附近作往复运动,该运动是时间的正弦或余弦函数,称为简谐振动。质量离开其平衡位置的最大位移称为振幅。振动每往复一次的时间间隔称周期。周期的倒数,即每秒钟振动的次数称为频率。振动系统的频率取决于系统的质量(惯性)和弹簧的弹性等系统固有特性,故也称为固有频率。对于实际振动系统,在运动过程中总有能量耗散,这种作用称为阻尼。惯性、弹性和阻尼都是系统的固有特性,又称为系统的物理参数。一般地,振动系统可以是一个元器件,也可以是一个完整的电子设备结构。外界激振力亦即激励(输入),作用在系统中使之产生振动响应(输出)。



人们就是从系统特性、激励和响应这三者的关系来研究振动规律的。

为了研究的方便,常将振动进行分类,按机械振动的特点,可有不同的分类方法。

按振动系统参数分布的特点,可将振动分为单自由度系统振动、多自由度系统振动和连续弹性体振动。前二类振动可用一个或多个广义坐标完全确定其任意瞬时的位置,一般可用一个或多个常微分方程描述,例如电子机箱隔振系统就可简化为单自由度或多自由度系统。而弹性体系统的物理参数是连续分布的,例如弹性梁、印刷电路板和电子机箱等,在任意瞬时,需要无限多个广义坐标才能完全确定其位置,该系统的振动一般用偏微分方程描述。由于偏微分方程求解上的困难,在实际分析中,常把分布参数用有限个凝聚的集中参数来近似代替,这种处理称为取离散化模型。有限差分模型和有限元模型是两类常用的离散化模型。离散系统振动是电子设备振动理论研究的重要内容。

按振动系统结构参数的特性,机械振动又可分为线性振动和非线性振动。前者可用线性微分方程描述,能运用线性叠加原理。而后者系统中具有非线性参数(如非线性刚度、阻尼等),只能用非线性微分方程才能描述,不能运用叠加原理。由于线性系统可应用叠加原理,而且线性微分方程理论也已发展得很成熟,因此,线性振动理论得到了广泛的应用。对于非线性振动,不仅分析上十分困难,而且还有许多自己的独特现象,尚待继续深入研究。电子设备振动研究以线性振动理论为主,但在大振幅、高阻尼和大位移隔振器的设计中,非线性振动也会遇到。本手册第4章专门介绍了电子设备非线性振动的有关理论。

按振动的物理机制,振动现象又可分为自由振动、受迫振动、参数振动和自激振动。

自由振动是系统在受到初始扰动之后所进行的运动,又称为自由响应,它包含了系统固有模态的全部信息。对于无阻尼系统,初始干扰给予系统的能量在自由振动过程中,仅以系统的动能和势能形式互相转换。

而对于有阻尼系统,初始能量因阻尼而耗散,振动会逐渐衰减。阻尼系统的自由响应一般包含了阻尼系统固有模态的全部信息。在电子设备的振动分析中,对自由振动的研究,主要目的在于获取关于固有模态的知识。它是电子设备振动分析的基础内容。

受迫振动是系统在外部激励持续作用下所进行的运动,这种运动称为响应。激励可以是确定性的(包括周期性的和非周期性的),也可以是随机性的。

周期性激振力可以用傅里叶级数分解为一系列简谐力的叠加。对于线性系统,它的响应是稳态响应与暂态响应的叠加,其中稳态响应是这些简谐力的简谐振动的组合。由于真实系统总有阻尼,暂态响应很快被衰减掉,而仅剩下稳态强迫振动。当周期激振力的某一谐波分量的频率等于或接近于系统的某一固有频率时,稳态响应中的这一相应分量的振幅将急剧增大,出现所谓共振现象,它是电子设备振动研究中的重要概念。

对于非周期性激振力,则可以通过谱分析或直接积分的方法分别采用频域或时域方法进行研究。在电子设备的近代振动研究中,经常用到这两种方法。本手册第1章介绍了这些内容。

随机振动是不能预先确定的振动,它常是电子设备在随机激励下的振动形式。随机振动的瞬时值只能用统计的方法来描述,一般需要用随机过程理论来研究这类振动。严格说来,电子设备的大部分振动都属于这种形式,随着测试分析技术的发展,随机振动越来越成为本专业研究的主要内容。本手册第5,12,13章详细介绍了电子设备随机振动的统计特性、测量与分析技术。

参数振动是外来作用按一定规律引起系统物理参数随时间变化而产生的振动。自激振动是在非线性系统内,由非振荡性能量转变为振荡激励所产生的振动。系统本身具有非振荡性能源和反馈特性,所产生的振动是周期性的,维持振动的频率接近于系统的固有频率。

以上介绍了电子设备振动分析中常用的分类方法。此外,还可按振动的位移特征,将振动分成直线振动和角振动两种。直线振动还可分为纵向振动、横向振动和直线振动;而角振动又可分为扭转振动、摆动和角振动等。还有按照系统的物理性质或振动对象分类的,这里不再详述。

冲击是系统受到瞬态激励,其力、位移或速度、加速度发生突然变化的现象。例如设备在碰撞、跌落、起吊、飞机起飞与着陆、机车启动与刹车、火箭发射和炮弹爆炸等环境下所发生的力与运动的突变现象。冲击的持续时间与系统的固有周期相比很短。设备在冲击下的振动是非稳态的、非随机的短暂存在的运动,称为瞬态振动。

冲击激励函数不是周期的,而是时间的任意函数,可以是力、位移、速度或加速度等随时间变化的量。一般分为阶跃型和脉冲型两类,通常用其峰值、持续时间和波形来描述。系统在冲击激励下的瞬态振动又称为系统对任意激励的瞬态响应。

冲击激励和瞬态振动在系统中持续的时间很短,但是,由它引起的最大位移却可能造成设备的失灵甚至损坏,它是电子设备可靠性分析、环境试验与振动控制的主要内容。在本手册的第6,14,20,22等章中,分别介绍了电子设备的冲击及其控制理论、测试分析技术、环境试验方法与隔离设计技术。另外,手册着重介绍的冲击响应谱的概念和分析方法将为估计电

子设备结构中可能出现的最大动应力提供了有效手段。

1.2 振动与冲击的研究方法

电子设备振动、冲击的主要研究内容是振动分析、振动环境预测和振动设计(振动特性测定或系统识别),以及它们在电子设备的环境试验、可靠性分析、振动与冲击控制、振动监测与故障诊断中的应用。无论是确定性的还是随机的电子设备系统的振动问题,一般说来,都不外是在激励、响应和系统特性三者之中已知二者求第三者。

在激励与系统特性已知的前提下求系统的响应,就是所谓的振动分析。

在系统特性与系统响应已知的前提下,反推出系统的输入激励,就是所谓的振动环境预测。

在激励与响应已知的前提下,确定系统的特性,就是所谓的振动特性测试或系统识别。对于电子设备结构的动态设计来说,该问题还有一种更实际的提法,即在一定的环境激励条件下,如何设计系统的特性,使系统的响应满足给定的要求,这就是所谓的振动综合或振动设计。当然,电子设备的实际振动问题往往是复杂的,它可能是分析、预测和设计等几个方面问题的综合。

解决电子设备振动问题的方法主要有理论分析和实验分析,二者是相辅相成的。

在振动理论分析的研究中,解析法和数值法常被采用。解析法可给出问题的封闭解,便于分析参数影响,揭示问题的本质。但解析法能够解决的问题十分有限,因而数值解法得到了广泛的应用。在电子设备结构振动分析中,近似解法与精确解法都被采用。手册第3章~第10章给出了电子设备常用的解析解和数值解以及典型电子设备结构(诸如梁、板、曲壳和电子机箱等)的精确解与近似解。此外,在振动分析中,频域内的方法和时域内的方法都得到了应用和发展,其中最为突出的是模态分析方法。该方法在第15章作了详细介绍,其中复模态理论是针对电子设备振动控制中人工阻尼材料的采用。

在电子设备振动与冲击研究中,实验分析是一个更为重要的研究方法,实验分析不仅是检验理论分析结果的权威手段,而且还可作为一种独立有效的方法进行振动分析、环境预测、动态特性测定或系统参数识别。实验分析是在振动与冲击理论的基础上,结合近代的电子技术,传感器技术、测量分析技术以及系统论、信息论和控制论等学科发展起来的。以上各学科的迅速发展,使得近代振动实验分析技术日趋完善。手册第11章~第15章的部分内容介绍了电子设备振动实验分析的主要内容,包括:传感器及其校准技术、振动与冲击测量方法和信号分析技术、激振设备与试验技术、试验模态分析与系统参数识别技术等。

自从1965年库利(Coole)和图基(Tukey)的快速傅里叶分析技术(FFT)问世以来,数字频率分析技术、宽频激励技术(如快速正弦扫描激振、随机激振、锤击脉冲激振等技术)和试验模态分析与参数识别技术取得了迅速的发展。从而使频域试验分析方法成为振动分析中技术较先进、精度较高、速度较快的一种手段。但是该方法至今仍有不足之处,诸如,对于大阻尼系统识别效果较差、在短记录情况下识别精度不高和对物理参数是间接识别等缺点。因此,近年来时域内的振动参数识别技术引起了人们的注意,如ITD法、ERA法、LSCE法、复指数衰减法等,都得到了迅速的发展。这些方法的优点是试验设备简单、试验周期短、可进行现场实时分析和可直接估计系统的物理参数。其缺点是噪声干扰大、精度不高、不易辨识

虚假模态等,这类方法的发展还不够成熟。本手册第 13 章详细介绍了这些方法的原理及其在电子结构振动分析中的应用。

1.3 振动控制与环境试验

振动与冲击控制和环境试验是电子设备振动、冲击研究的重要内容。

1.3.1 电子设备振动与冲击环境试验

众所周知,振动与冲击都可能造成电子设备结构的破坏。强烈持续的振动所形成的交变应力能使结构产生累积疲劳损伤。而猛烈短暂的冲击所形成的突变应力会超过构件所能承受的弹性和塑性极限应力,从而造成结构破坏。这些效应常表现为电子设备结构的弯曲、变形、断裂和部件间的相互撞击等现象。

振动与冲击对电子产品的另一个重要影响是造成设备工作性能失灵或性能稳定性丧失,这包括功能失效和性能超差等。

振动与冲击还能造成设备产品工艺性能下降,常见的这类故障有螺钉或连接件松动和脱焊等。

电子设备振动与冲击环境试验的目的,正是为了考核其整机或部件承受这些振动与冲击的能力。具体地说,环境试验就是将电子设备暴露到自然或人工模拟的环境中,对其在实际可能遇到的运输和使用条件下的性能作出评价。

电子设备的振动环境试验主要有正弦试验和随机试验。电子设备的冲击环境试验主要包括:冲击、碰撞、自由跌落、倾跌和翻倒等试验。

近年来,随着产品质量、精度和可靠性要求的不断提高,振动环境工程受到了很大的重视。作为军用电子设备环境试验,重要构成部分的振动试验和冲击试验都已具备了系统的标准和规范,诸如国家军用标准 GJB 150 和 GJB 4,国家标准 GB 2423 以及各有关部门的行业标准等。这些标准和规范大多在等效的意义下提供了统一的、具有再现性的环境试验方法,用以评价设备适应自然和诱导环境的能力。

本手册第 16 章 ~ 第 20 章就是以这些标准和规范为主体,对电子设备各类振动与冲击环境试验方法的原理、设备以及测量与试验技术进行了介绍。另外,手册中其它许多篇章中所介绍的有关内容,诸如振动与冲击的基本理论、传感器、测试与分析技术等也都是研究振动与冲击环境试验的必要知识。

1.3.2 电子设备振动与冲击控制

由于振动与冲击能给机器与设备带来许多危害,因此,电子设备振动与冲击控制的研究越来越受到人们的关注。它已成为机械电子设备动态设计、制造、运输和使用中的重要课题。一般从以下几个方面进行研究。

1.3.2.1 控制振源

旋转机械的平衡 失衡所引起的离心惯性力是旋转机构产生振动的主要原因。一般可通过平衡来减少甚至消除这种振动。对于有一定要求的电机、风机、陀螺等均应进行静、动态

平衡,以避免由于这些机械所产生的不平衡振动力对电子设备的影响。

误差与间隙的控制 机械装配中的误差或设计制造与使用所产生的过大间隙,会使机械在运动中产生碰撞,从而造成频带很宽的振动与冲击振源。常见的有齿轮、轴承和继电器的振动。这类振源可通过控制间隙或误差来降低和消除。

1.3.2.2 振动与冲击隔离

振源的隔离 对于本身是振源的机械,为了减少它对其它设备和人员的影响,可将它安装在隔振器上使其与地基隔离开来。

精密设备的隔离 对于必须在不受强烈振动与冲击环境下使用的电子设备和精密机械,可把它们安装在振动或冲击隔离器上,使其免受环境的影响。例如舰载或车载的电子设备,当作战和运输环境中出现强烈冲击和振动时,可通过隔振器以保证设备可靠的工作和不受损坏。

隔振器的隔离作用主要是依靠隔振系统隔振系数的设计。而冲击隔离的实质,则是通过冲击隔离器的变形,把急剧输入的能量贮存起来,然后在冲击过后,通过系统的自由振动再把能量平缓地释放出来。从而使猛烈短暂的冲击作用通过冲击隔离器以缓和形式作用在被隔离的设备上,达到冲击隔离的目的。电子设备振动与冲击隔离技术是本手册中关于振动与冲击控制的主要内容。第21,22章介绍了振动与冲击隔离的理论,第23章详细介绍了振动与冲击隔离的设计和应用。

1.3.2.3 控制响应

改变固有频率 当设备的固有频率与振源的振动频率接近时,则会产生共振,出现很大的振动响应。这种情况常可通过改变设备的固有频率,避免谐振以减少振动。

一般情况下,可通过增加设备结构的动刚度来提高它的抗振能力。本手册第8章中板的各种加筋、开孔和附重等计算模型就是为了在诸如风机叶片加筋、印刷电路板或箱板加固以及局部质量有很大变化等实际情况考虑的。

增加能耗 当激振力的频率不保持恒定,或具有一定带宽时,避开共振的做法就不能奏效。这时可采用阻尼技术来增加系统的能耗以达到减振的目的。增加阻尼有多种方法,例如可在设备中附加阻尼、采用高内阻材料制造零件、选用阻尼好的结构形式、增加运动件的相对摩擦以及在设备中安装阻振器等。

附加动力减振器 在被减振的主振系统上附加适当的质量、弹簧和阻尼,构成所谓动力减振器。当主系统振动时,附加减振器也随之振动,通过设计使它作用在主系统上的力与激振力的方向相反,大小相近,以抵消作用在主系统上的激振力的作用,达到抑制主系统振动的目的。

伺服控制 根据自适应控制的原理,近代已研制成功了各种用于减振和隔振的有源伺服控制系统。它可把振动响应自动反馈到控制系统中去,通过作动环节改变减振、隔振装置的参数,以实现减振、隔振的目的。

1.4 名词术语

本节根据中华人民共和国国家标准GB2298-80机械振动、冲击名词术语编写。内容包括机械振动、机械冲击和测试技术三大类基本词汇。在机械振动类中,按基本词汇、振动的分类、振动系统、特性参数、波、模态分析、激励、响应、共振、稳定性、隔振、消振的顺序排列;在机械冲击类中,按基本术语、脉冲类型、响应、器件的顺序排列;在测试技术类中,按基本原理、试验方法、测量手段的顺序排列。

1.4.1 机械振动

振荡 相对给定的参考系,一个随时间变化的量值与其平均值相比,时大时小交替变化的现象。

机械振动、振动 机械系统中运动量的振荡现象。

时域 描述运动规律的时间坐标。

时域表示 以时间为自变量来描述振动的运动规律,称为振动的时域表示。

谱、频谱 将一个量作为频率或波长的函数的一种描述。

频域 描述振动频谱的频率坐标。

频域表示 用振动的频谱来描述振动的规律称为振动的频域表示。

简谐振动 随时间按正弦函数变化的振动。

周期振动 每经相同的时间间隔,其运动量值重复出现的振动。

准周期振动 稍微偏离周期振动的振动。

非周期振动 不是周期性的振动。

稳态振动 持续的周期振动。

瞬态振动 非稳态、非随机的短暂存在的振动。

自由振动 去掉激励或约束之后所出现的振动。

受迫振动、强迫振动 外部周期性激励所激起的稳态振动。(注:①对于线性系统,振动的频率与激励频率相同;②不包括激励所引起的瞬态振动。)

自激振动 在非线性机械系统内,由非振荡性能量转变为振荡激励所产生的振动。

颤振 流场中的翼类弹性体,由于流体的激励所引起的自激振动。

张弛振动 在一个周期内,运动量有快速变化段和慢速变化段的振动。

直线振动 振动点的轨迹为直线的振动。

扭转振动 使系统产生扭转变形的振动。

纵向振动 长弹性体沿其轴向的振动。

弯曲振动、横向振动 使弹性系统产生弯曲变形的振动。

非线性振动 系统中的某个或某几个参数具有非线性性质,只能用非线性微分方程描述的振动(注:非线性振动具有许多与线性振动不同的特性,如自由振动的频率不仅和系统参数有关,而且还和振幅有关等)。

相平面及相轨迹 设单自由度自治系统的运动微分方程式为

$$\dot{X} = P(x, y)$$

$$\dot{Y} = Q(x, y)$$

取 x 和 y 作为直角坐标的平面, 则称其为相平面。系统的每一状态相应于该平面上的一点, 称其为相点。当时间 t 变化时, 这一相点在相平面上描绘的曲线, 称为相轨迹。(注: 函数 P 与 Q 不显含时间 t 的系统称为自治系统。)

极限环 在相平面上所出现的孤立封闭相轨迹称为极限环。(注: 极限环附近的相轨迹都向它趋近的极限环称为稳定的, 而附近的相轨迹都偏离它的极限环称为不稳定的。自激振动就是一个稳定极限环。)

奇点 设单自由度自治系统的运动微分方程式为

$$\dot{X} = P(x, y)$$

$$\dot{Y} = Q(x, y)$$

在相平面上凡满足上方程中 $P(x, y) = 0$ 及 $Q(x, y) = 0$ 的点称为奇点。(注: 奇点主要类型有: 稳定结点、不稳定结点、稳定焦点、不稳定焦点、中心和鞍点。)

随机振动 对未来任何一给定时刻, 其瞬时值不能预先确定的振动。(注: 在某一范围内, 随机振动大小的概率, 可用概率密度函数来确定。)

白随机振动 在所研究的频谱内, 具有相等均方加速度谱密度的振动。

宽带随机振动 频率成分分布在某一宽频带上的随机振动。(注: 宽频带的宽度和所研究的问题有关, 它通常等于或大于一个倍频程。)

窄带随机振动 频率成分分布在某一窄频带内的随机振动。(注: ① 窄频带的带宽和所研究的问题有关, 它通常等于和小于 $1/3$ 倍频程; ② 窄带随机振动的波形类似正弦波, 但其振幅和相位是随机变化的。)

集合 多个信号的汇总。

随机过程 可以用统计特性表示的时间函数的集合。

平稳过程 统计特性不随时间变化的随机过程。

强自稳 在一个有限的时间间隔内, 对取样值进行平均所确定的所有统计特性与取样时间无关的随机信号是强自稳的。

弱自稳 在一个有限的时间间隔内, 对取样值进行平均所确定的平均值和自相关函数与取样时间无关的随机信号是弱自稳的。

时间历程 一个量的大小用时间函数表示。

各态历经过程 每一时间历程的平均值都相同的稳态过程。

平稳状态 在一有限并且足够长的时间间隔上对取样进行平均, 其值与取样的时间无关的随机信号处于平稳状态。

参数振动 外来的作用按一定规律引起系统参数(如摆长、弦或皮带张力、轴的截面惯性矩或刚度等)的变化而产生的振动。

环境振动 给定环境条件引起的所有振动, 通常是由远近许多振源产生的振动组合。

耦合振动 由于振动系统各部分间的能量传递产生不独立而相互影响的振动。

拍 两个频率相近的振动合成时产生的振幅周期性变化的现象。(注: 振幅变化的频率称为拍频, 其大小等于二频率之差的绝对值。)