

# 机械振动

## 与噪声分析基础

王孚懋 任勇生 韩宝坤 编著



国防工业出版社  
National Defense Industry Press

# 机械振动与噪声分析基础

王孚懋 任勇生 韩宝坤 编著

国防工业出版社

·北京·

## 内 容 简 介

本书共分 10 章,包括单自由度系统振动分析、多自由度系统振动分析、线性振动分析近似方法、连续系统振动分析、机械噪声分析基础、机械噪声控制、转子系统振动分析与动平衡、振动与噪声实验分析、随机振动分析等。各章末提供了精选习题并列出了参考答案。全书约需 48 学时,可根据专业需求进行选讲。

本书适合机械工程、能源动力工程、交通运输工程等本科专业大学生和研究生学习,也可供从事机械振动与噪声研究的教师和专业技术人员参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

机械振动与噪声分析基础/王孚懋,任男生,韩宝坤编著. —北京:国防工业出版社,2006.11

ISBN 7-118-04837-2

I. 机... II. ①王...②任...③韩... III. ①机械振动-振动分析②机器噪声-分析 IV. ①TH113.1②TB533

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 126473 号

※

国防工业出版社 出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号 邮政编码 100044)

北京奥鑫印刷厂印刷

新华书店经售

\*

开本 710×960 1/16 印张 17¼ 字数 302 千字

2006 年 11 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—4000 册 定价 28.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店:(010)68428422

发行邮购:(010)68414474

发行传真:(010)68411535

发行业务:(010)68472764

# 前 言

自然界和人类社会中的某种量随时间或大或小地不断变化即为振动。振动是物质世界运动的一种基本形式,人类自身每时每刻都处在振动之中,离开振动人类就无法生存,但是地震是人类最大的自然灾害之一。声音是由物体振动而产生的声波,听力是人类语言交流的基本功能,人类的生存同样离不开声音,但是噪声危害了人类的身体健康。

随着现代工业和交通的不断发展,机械工程中的振动与噪声问题愈来愈多。一方面机器的功率不断增大,转速逐步提高;另一方面,新材料的应用使机器重量减轻、外壳变薄,振动与噪声问题更加突出。过大的振动不仅影响机器正常运转,还会因强度问题引起破坏;而过高的噪声不仅造成工人听力损伤,还会引起环境污染,影响社会稳定。在日益激烈的市场竞争中,机械振动与噪声对工程质量、产品精度及其可靠性等性能指标的影响愈来愈大。毫无疑问,降低动力机械产品的振动与噪声在经济上具有重要意义,有关振动与噪声理论已经成为工程技术人员正确进行产品设计、结构优化、机械加工与制造、机器运行状态诊断等必备的基础知识。因此,机械振动与噪声分析理论已经成为高等工科院校机械工程类专业学生必修的基础课之一。

本书编写的基本原则是:

(1) 从工程应用出发,将机械振动与噪声概念融合于一书,强调声波与固体振动之间的内在联系,倡导从动力机械源头上采取措施控制振动与噪声的危害。

(2) 以单自由度振动系统为主线,以多自由度振动系统为主体,力求物理概念和数学原理阐述明确,内容安排由浅入深、循序渐进、重点突出,注重应用振动与噪声理论分析解决工程实际问题。

(3) 在满足机械类专业本科生教学需要基础上,考虑不同专业对内容要求的差异,各章保持相对的独立性,适当增加选讲或学生自学内容。

(4) 考虑到计算机在工程分析与计算中的作用,加强矩阵运算、数值计算和计算机应用的训练,介绍大型动力学计算软件应用,增强学生动手编程与计算机操作能力,为后续专业课的学习奠定理论基础。

全书共分 10 章,包括单自由度系统振动分析、多自由度系统振动分析、线性振动分析近似方法、连续系统振动分析、机械噪声分析基础、机械噪声控制、转子系统振动分析与动平衡、振动与噪声实验分析、随机振动分析等。各章末提供了精选习题并列出了参考答案。全书约需 48 学时,可根据专业需求进行选讲。

本书适合机械工程、能源动力工程、交通运输工程等本科专业大学生和研究生学习,也可供从事机械振动与噪声研究的教师和专业技术人员参考。

本书融入了作者二十多年的教学与科研工作经验。其中,前言、第 1 章、第 3 章和第 8 章由王孚懋教授编写,第 2 章、第 4 章、第 5 章和第 10 章由任勇生教授编写,第 6 章、第 7 章和第 9 章由韩宝坤副教授编写,全书由王孚懋教授统稿。研究生曾齐福、杨龙、李磊、尹文明、张伟珂等绘制了全部插图,杨龙整理了部分习题与参考答案。

## 主要符号表

<p><math>A</math>——吸声量；</p> <p><math>A_{11}</math>、<math>A_{12}</math>、<math>A_{21}</math>、<math>A_{22}</math>——弹簧的柔度影响系数；</p> <p><math>A</math>、<math>[A]</math>——柔度矩阵；</p> <p><math>B_s</math>——静力 <math>F_0</math> 作用下产生的静位移；</p> <p><math>c</math>——阻尼系数；</p> <p><math>c</math>、<math>c_0</math>——声速；</p> <p><math>c_c</math>——临界阻尼系数；</p> <p><math>C</math>、<math>[C]</math>——阻尼矩阵；</p> <p><math>\bar{C}</math>——正则阻尼矩阵；</p> <p><math>D</math>——能量损耗函数；</p> <p><math>[D]</math>——动力矩阵；</p> <p><math>e(x)</math>——原始不平衡量；</p> <p><math>S(x)</math>——转子的动挠度；</p> <p><math>f</math>、<math>f_n</math>——频率，固有频率；</p> <p><math>f(t)</math>——激励力或广义力；</p> <p><math>f_M(t)</math>——激振力矩；</p> <p><math>f_r</math>——薄板共振结构的共振频率，穿孔板吸声结构的共振频率，共振腔消声器的共振频率；</p> <p><math>f_{失}</math>——阻性消声器高频失效频率；</p> <p><math>f_{上}</math>、<math>f_{下}</math>——扩张室消声器上、下限截止频率；</p> <p><math>f(t)</math>、<math>\{f(t)\}</math>——激励力向量或列阵；</p> <p><math>\bar{f}(t)</math>——正则激振力列阵；</p> <p><math>EA</math>——杆的轴向刚度；</p> <p><math>EJ</math>——截面抗弯刚度；</p>	<p><math>F</math>、<math>F</math>、<math>\{F\}</math>——激励力幅值或幅值列阵；</p> <p><math>\bar{F}</math>——正则激振力幅值列阵；</p> <p><math>[F_i]</math>——场传递矩阵；</p> <p><math>h(t)</math>——单位脉冲响应函数；</p> <p><math>I</math>——声强；</p> <p><math>IL</math>——隔声罩插入损失，消声器插入损失；</p> <p><math>J(x)</math>——惯性矩；</p> <p><math>k</math>、<math>k_e</math>——弹簧刚度，等效刚度；</p> <p><math>i</math>——波数；</p> <p><math>l</math>——轴长度，消声器长度；</p> <p><math>L_p</math>、<math>L_1</math>、<math>L_w</math>——声压级，声强级，声功率级；</p> <p><math>L_{eq}</math>——等效连续 A 声级；</p> <p><math>K</math>、<math>[K]</math>——刚度矩阵；</p> <p><math>\bar{K}</math>——主刚度矩阵；</p> <p><math>m</math>、<math>m_e</math>——质量，等效质量；</p> <p><math>m</math>——扩张室消声器的扩张比；</p> <p><math>Ma</math>——马赫数；</p> <p><math>M</math>、<math>[M]</math>——质量矩阵；</p> <p><math>\bar{M}</math>——主质量矩阵；</p> <p><math>M_x</math>、<math>M_y</math>、<math>M_{xy}</math>——薄板的内弯矩合力；</p> <p><math>m(x)</math>——转子沿轴长方向上的质量线密度；</p> <p><math>n_c</math>——转轴的临界转速；</p> <p><math>p_j(t)</math>——系统广义激振力；</p>
---	---

$p, p_e, p_m$ ——声压,有效声压,声压幅值;

$P$ ——穿孔率,多孔材料的孔隙率;

$[P_i]$ ——点传递矩阵;

$P_0$ ——平衡状态空气压力;

$p_i, p_r, p_t$ ——声波入射声压,反射声压,透射声压;

$Q_x, Q_y$ ——薄板的内剪力合力;

$q$ ——广义坐标;

$r$ ——频率比;

$R$ ——单自由度无阻尼系统自由振动响应幅值;

$R$ ——房间常数;

$R$ ——声阻,流阻;

$r_A$ ——相对声阻(声阻与空气的特性阻抗之比);

$r$ ——比流阻;

$r$ ——声压反射系数;

$R(X)$ ——瑞利商;

$t, \tau$ ——时间;

$t$ ——声压透射系数;

$T$ ——系统动能;

$TL$ ——隔板声透射损失或隔声量,消声器传声损失或消声量;

$u$ ——质点速度;

$u, v, w$ ——薄板  $x, y, z$  方向位移;

$u(x, t)$ ——弹性杆的轴向位移;

$u(x)$ ——转子不平衡量  $k(x) = m(x)e(x)$ ;

$u, \{u\}$ ——振型向量或列阵;

$\bar{u}_j$ ——正则振型向量或列阵;

$U$ ——系统势能;

$U, [u]$ ——特征矩阵,振型矩阵;

$\bar{U}, [\bar{u}]$ ——正则振型矩阵;

$u_i, u_r, u_t$ ——入射波、反射波和透射波质点速度;

$V$ ——转子不平衡校正量;

$V$ ——消声器容积,房间体积;

$w(x, t), W(x)$ ——梁的动挠度、振型函数;

$W$ ——声功率;

$x, \mathbf{x}, \{x\}$ ——位置坐标,位移,位移向量或列阵;

$X, \mathbf{X}, \{X\}$ ——位移响应幅值,位移幅值向量或列阵;

$\dot{x}, \dot{\mathbf{x}}, \{\dot{x}\}$ ——速度,速度向量或列阵;

$\ddot{x}, \ddot{\mathbf{x}}, \{\ddot{x}\}$ ——加速度,加速度向量或列阵;

$y, Y$ ——支承运动位移,位移幅值;

$y, \{y\}$ ——主坐标向量或列阵;

$\bar{y}, \{\bar{y}\}$ ——正则坐标或正则主坐标列阵;

$\lambda$ ——特征值(根);

$\omega$ ——简谐激振力频率,角速度;

$\omega_n$ ——固有角频率;

$\omega_d$ ——有阻尼固有角频率;

$\tau_n$ ——固有周期;

$\tau_d$ ——有阻尼固有振动周期;

$\varphi$ ——初相位,相位角;

$\zeta$ ——阻尼比或阻尼因子;

$\delta$ ——对数衰减率;

$\Psi$ ——位移响应与激振力间相位差;

$\beta$ ——位移振幅放大因子;

$\eta$ ——隔振系数;

$\mu$ ——泊松比;

$\rho h$ ——薄板单位面积的质量;

$\theta, \dot{\theta}$ ——圆盘转角,角加速度;

$\theta_s$ ——圆盘静转角;

$\delta$ ——弹簧柔度;

$\rho_0$ ——平衡状态空气密度;

$\sigma_r$ ——声辐射效率;

$\nabla$ ——汉密尔顿算子;

$\alpha, \bar{\alpha}$ ——吸声系数,平均吸声系数;

$\lambda$ ——波长;

$\theta_i, \theta_r, \theta_t$ ——声波入射角,反射角,折射角;

$\tau$ ——声透射系数。



# 目 录

<b>第 1 章 绪论</b> .....	1
1.1 机械振动与噪声研究的意义 .....	1
1.2 机械振动与噪声分类 .....	2
1.2.1 机械振动分类 .....	2
1.2.2 机械噪声分类 .....	3
1.3 机械振动与噪声分析方法 .....	4
1.4 机械振动与噪声控制方法 .....	6
1.5 本课程学习目的与方法 .....	7
习题.....	7
<b>第 2 章 单自由度系统振动分析</b> .....	9
2.1 振动分析的力学模型 .....	9
2.2 振动微分方程的建立.....	11
2.3 无阻尼单自由度系统的自由振动.....	13
2.4 等效单自由度振动系统.....	14
2.4.1 等效质量 .....	14
2.4.2 等效刚度 .....	16
2.5 具有粘性阻尼系统的自由振动.....	17
2.6 有阻尼单自由度系统的受迫振动.....	22
2.7 机械振动的隔离与减振.....	28
2.8 非简谐周期激励下的响应.....	31
2.9 任意激励下的响应.....	32
习题 .....	35
<b>第 3 章 多自由度系统振动分析</b> .....	40
3.1 二自由度系统振动微分方程建立.....	40
3.1.1 两质体二自由度系统振动方程 .....	40
3.1.2 单质体二自由度系统振动方程 .....	44
3.2 二自由度系统振动方程的一般形式及其矩阵表达式.....	47

3.2.1	二自由度振动系统作用力方程 .....	47
3.2.2	二自由度振动系统位移方程 .....	47
3.3	二自由度系统的自由振动 .....	48
3.3.1	固有频率和主振型 .....	48
3.3.2	初始条件的响应 .....	52
3.3.3	解耦与主坐标 .....	53
3.4	多自由度系统的自由振动 .....	56
3.4.1	多自由度系统特征值和特征向量 .....	56
3.4.2	多自由度系统的主振型正交性 .....	59
3.4.3	多自由度系统正则坐标 .....	63
3.5	无阻尼多自由度系统的受迫振动 .....	64
3.6	有阻尼多自由度系统的受迫振动 .....	67
3.6.1	多自由度系统阻尼 .....	67
3.6.2	有阻尼多自由度系统激振响应 .....	70
3.7	多自由度系统振动分析的工程应用 .....	77
3.7.1	无阻尼动力吸振器 .....	77
3.7.2	阻尼动力吸振器原理 .....	81
3.8	MATLAB 在振动分析中的应用 .....	83
3.8.1	MATLAB 的数据输入格式和规定 .....	83
3.8.2	矩阵运算 .....	84
3.8.3	MATLAB 求特征值和特征向量 .....	85
	习题 .....	86
<b>第 4 章</b>	<b>线性振动的近似分析方法 .....</b>	<b>90</b>
4.1	瑞利法 .....	90
4.1.1	单自由度系统 .....	90
4.1.2	多自由度系统 .....	91
4.2	瑞利 - 里兹法 .....	96
4.3	子空间迭代法 .....	99
4.4	有限元法 .....	102
4.4.1	单元刚度矩阵与质量矩阵 .....	103
4.4.2	有限元总体刚度矩阵和总体质量矩阵 .....	103
4.5	传递矩阵法 .....	106
	习题 .....	109

<b>第 5 章 线性连续系统振动分析——固体中的弹性波</b> .....	112
5.1 杆的纵向振动 .....	112
5.2 梁的横向振动 .....	115
5.3 薄板的横向振动 .....	122
习题.....	124
<b>第 6 章 机械噪声分析基础</b> .....	126
6.1 声波波动方程 .....	126
6.1.1 声波概念 .....	126
6.1.2 声场基本方程 .....	127
6.1.3 声波波动方程 .....	130
6.1.4 声速与温度的关系.....	131
6.2 声场类型 .....	132
6.2.1 平面声场 .....	132
6.2.2 球面声场 .....	134
6.2.3 柱面声场 .....	134
6.3 声场描述 .....	135
6.3.1 声压、声强、声能密度、声功率 .....	135
6.3.2 声压级、声强级、声功率级 .....	137
6.3.3 噪声叠加 .....	139
6.3.4 噪声频谱 .....	140
6.4 声波的传播 .....	144
6.4.1 声源的类型 .....	144
6.4.2 声波的反射和透射、声波的扩散 .....	149
6.5 室内声场 .....	150
6.5.1 吸声系数及房间吸声量.....	150
6.5.2 扩散声场的声强.....	152
6.5.3 混响时间 .....	153
6.5.4 空气吸收对混响时间的影响 .....	155
6.5.5 封闭空间的稳定声场.....	155
6.6 噪声的评价 .....	159
6.6.1 噪声对人的影响.....	159
6.6.2 人耳等响曲线 .....	159
6.6.3 频率计权 .....	161

6.6.4	声基本评价量 .....	162
6.6.5	噪声标准 .....	164
习题	.....	165
<b>第7章</b>	<b>机械噪声控制技术</b> .....	<b>166</b>
7.1	噪声源识别与控制 .....	166
7.1.1	噪声源识别 .....	166
7.1.2	机械噪声源控制概述 .....	168
7.2	吸声降噪 .....	171
7.2.1	多孔吸声材料 .....	171
7.2.2	薄板共振吸声结构.....	173
7.2.3	穿孔板吸声结构.....	173
7.2.4	微穿孔板吸声结构.....	174
7.2.5	吸声降噪量计算.....	174
7.3	隔声技术 .....	177
7.3.1	单层均质薄板的质量定理 .....	178
7.3.2	吻合效应 .....	180
7.3.3	单层板隔声特性曲线 .....	180
7.3.4	双层板及组合结构.....	181
7.3.5	隔声罩 .....	182
7.3.6	声屏障 .....	186
7.4	消声器 .....	188
7.4.1	阻性消声器 .....	188
7.4.2	抗性消声器 .....	192
7.4.3	微穿孔板消声器.....	195
7.5	阻尼减振降噪 .....	195
7.5.1	粘弹性阻尼 .....	195
7.5.2	复合阻尼钢板及阻尼合金 .....	198
7.5.3	阻尼应用实例 .....	198
习题	.....	199
<b>第8章</b>	<b>转子系统振动分析与动平衡</b> .....	<b>200</b>
8.1	旋转机械转子不平衡与临界转速 .....	200
8.1.1	转子系统动不平衡问题.....	200
8.1.2	转子临界转速 .....	201

8.2	刚性转子动平衡原理 .....	204
8.2.1	刚性转子双面动平衡 .....	204
8.2.2	刚性转子动平衡实验 .....	207
8.3	柔性转子动平衡原理 .....	208
8.4	柔性转子的平衡条件 .....	211
8.5	振型平衡法 .....	214
8.6	应用 MATLAB 计算转子的临界转速 .....	218
8.6.1	求临界转速的 Riccati 传递矩阵法 .....	218
8.6.2	应用 MATLAB 计算临界转速 .....	220
	习题 .....	223
<b>第 9 章</b>	<b>机械振动与噪声实验分析技术</b> .....	<b>226</b>
9.1	噪声测量仪器与环境 .....	226
9.1.1	声学传感器 .....	226
9.1.2	声级计 .....	227
9.1.3	消声室和混响室 .....	227
9.2	噪声测量方法 .....	228
9.2.1	生产环境噪声测量 .....	228
9.2.2	机器噪声的现场测量 .....	229
9.2.3	厂界噪声测量 .....	230
9.3	声强测量 .....	230
9.3.1	声强测量的基本理论 .....	230
9.3.2	声强测量的应用 .....	232
9.4	振动信号采集与分析 .....	232
9.4.1	信号采集 .....	232
9.4.2	采样定理 .....	235
9.4.3	快速傅里叶变换 .....	236
9.4.4	频谱泄漏 .....	237
9.5	振动测试系统 .....	238
9.5.1	正弦激振测试系统 .....	239
9.5.2	瞬态激振测试系统 .....	240
9.5.3	随机激振测试系统 .....	242
	习题 .....	244
<b>第 10 章</b>	<b>随机振动分析简介</b> .....	<b>245</b>

10.1 功率谱密度.....	245
10.2 单自由度系统对随机激励响应.....	246
10.3 多自由度系统对随机激励响应.....	248
习题.....	250
<b>附录 部分习题参考答案</b> .....	<b>252</b>
<b>参考文献</b> .....	<b>261</b>

# 第 1 章 绪 论

## 1.1 机械振动与噪声研究的意义

世界统一于物质,波动是物质运动的最基本形态。例如,月亮的圆缺、潮汐的涨落、水面的震荡、地壳的震动等是自然界的波动实例;心脏与脉搏的跳动、肺脏的收缩与扩张、血液的循环流动、耳膜与声带的振动等是人体的波动现象;人口的增长与降低、股市的攀升与跌落、经济的繁荣与衰退等是社会科学的波动问题。这些波动的特征是各种物理量呈现着周期性变化。如果将物质的直线运动视为零赫兹频率的振荡运动,则自然界中的物质处于波动状态。因此,在物理学的光、声、力、电及原子理论中,我们会处处碰到波动过程。

振荡(Oscillation)是自然界中某种物理状态随时间发生的反复变化,或是物体随时间而作的反复运动。物质的宏观运动形式是机械运动,振动(Vibration)是一种特殊形式的机械运动,指机器或结构物在其静平衡位置附近随时间作往复振荡运动。意大利物理学和天文学家伽利略是世界上最早研究机械振动的科学家,约在 1582 年,他注意到教堂里的吊灯摆动后,虽然幅度越来越小,但每摆动一次所需的时间几乎相等。

波动(Wave)是一系列质点在各自平衡位置附近振动。人类在远古时代就认识了波动,将彼此相随运动的峰和谷的交替现象称为“波”。如投石入池,平静的水面上就产生了波。后来,“波”被应用于声学、光学等学科。在物理学中,任何物理量(如物质密度、电场强度、温度)的最大、最小值在空间随时间作交替振荡变化都称为“波”。

机械波是机械振动在媒质中的传递过程。机械振动在结构物中传播形成固体波,又称结构声。地震(Earthquake)是机械振动在地壳中的传播,产生地震波,又称弹性应力波。机械振动在空气中的传播形成声波,又称空气声,即为人们所说的声音(Voice),是人类交流信息的重要途径。敲击音叉,钢板就会发生谐和振动,产生特定频率的有调声音。而人们将不需要的声音称为噪声(Noise)。

机械运动使我们感受到力,温度升降使我们感受到热,昼夜轮回使我们感受

到光,雷雨交加使我们感受到声与磁,大地震动使我们感受到波。随着科学技术的不断发展,人类对实质上不相同的物理现象之间的联系与一般规律性的认识日益深刻,振动与波动学应运而生。波具有形态美,它周而复始、永无止境地运动,体现着大自然的和谐与美妙。波具有德行美,它含而不露、锲而不舍的境界,揭示着大自然的广博与深邃。

波动蕴藏着巨大的能量。在人类历史上,海啸掀起的巨大海浪曾经把居住有数十万人口的城市夷为平地,它能把万吨巨轮斩为两截。屹立在海边的狰狞巨石,也会被海浪琢成表面光滑的艺术品。地震使房屋倒塌、桥梁毁坏、公路瘫痪。

总的说来,许多波动现象是造福人类的。如光和电磁波的激发,乐器的发声以及振动机器的利用等。但是,对于多数机器和结构来说,机械振动却带来某些不良的影响。机械振动降低了机器的动态精度和性能,如机床振动降低工件的加工精度,军械振动影响瞄准,起重机振动使装卸困难,汽轮发电机组振动造成断轴停机,等等。机械振动会使运行的机器产生巨大的交变载荷,这将导致机器使用寿命的降低甚至酿成灾难性的破坏事故,如大桥因共振而毁坏,烟囱因风振而倒塌,飞机因颤振而坠落等等,虽属罕见,但文献也时有记载。若对造成事故的原因不能作出正确的分析,设计人员往往为了安全而加大结构的断面尺寸,增加了机器重量并浪费了材料。为了解决这些振动问题,要么需提高机器本身的制造精度,要么需设置专门的装置或引入复杂的控制系统,增加了产品成本。此外,由于机械振动而产生的噪声日益形成令人厌恶的公害,不仅危及机器操作人员的身心健康,还影响环境安全和社会稳定。根据生物工程的研究,人体各器官对于 1Hz~20Hz 的低频振动(次声)特别感到不适,而高频振动同样会使人感到烦躁、厌倦和疲劳。由此可见,研究机械振动与噪声问题对机器的使用和设计都具有极其重要的实际意义。随着现代机器的高速、轻质、柔性化及复杂程度的不断增加,这种研究的迫切性也大大增加了。

## 1.2 机械振动与噪声分类

### 1.2.1 机械振动分类

根据机械系统特性不同,对振动进行分类如下。

#### 1. 按振动系统的自由度数分类

自由度是确定振动系统在某一瞬时几何位置所需要的独立坐标数。机械振动按自由度数分类有:



单自由度系统振动——确定振动系统在某一瞬时的几何位置只需要一个独立坐标。

多自由度系统振动——确定振动系统在某一瞬时的几何位置需要多个独立坐标。

连续系统振动——确定振动系统在某一瞬时的几何位置需要无穷多个独立坐标。

## 2. 按振动系统所受的激励类型分类

自由振动——系统受初始干扰或原有的外激励取消后产生的振动。

受迫振动——系统在外激励力作用下产生的振动。

自激振动——系统在输入和输出之间具有反馈特性并有能源补充而产生的振动。

## 3. 按系统响应的振动规律分类

简谐振动——可用时间的正弦或余弦函数表示系统响应,又称谐和振动。

周期振动——可用时间的周期函数表示系统响应,又称一般振动。

瞬态振动——只能用时间的非周期衰减函数表示系统响应。

随机振动——不能用简单函数或函数组合表达运动规律,但可用统计学方法表示系统响应。

## 4. 按描述系统的微分方程分类

线性振动——能用常系数线性微分方程描述的振动。

非线性振动——只能用非线性微分方程描述的振动。

本书只涉及线性系统振动问题,不论述非线性振动。

### 1.2.2 机械噪声分类

噪声是人们不想要的声音,它与接受者的主观要求密切相关,同一种声音在不同的时间或地点,对于不同的人,会有不同的效应。比如,悦耳的音乐声对于夜晚想要入睡的人就是一种噪声。因此,噪声与声波本身的特性没有必然的关系。从物理学的观点,噪声是由一系列不同频率与强度的声波无规律地组合而成,它的时域信号杂乱无章,频域信号包含一定的连续宽带频谱。这类声波容易给人以烦躁的感觉,同时,其强度往往超过接受者所能承受的限度。

以控制噪声影响为目的,机械噪声可由噪声源及其传播路径进行分类如下。

(1) 按声源所属机械设备种类划分,有机床噪声、汽轮机噪声、空压机噪声、通风机噪声、水泵噪声、齿轮噪声等。

(2) 按声源形成机理划分,机械噪声主要分为两大类:一类是固体振动噪声,是机械运行过程中零部件相互撞击、摩擦以及能量传递,使机械构件(尤其是