

普通高等教育
兵工类规划教材

武器与机械噪声及其控制

谭兴良 编著

北京理工大学出版社

武器与机械噪声及其控制

谭兴良 编著

北京理工大学出版社

(京) 新登字149号

内 容 简 介

本书作为自动武器专业教学用的教材,也可作为从事噪声研究的科技人员的参考资料。全书包含了三个方面的内容,共分九章。第一大部分(第一章)介绍了与研究噪声有关的声学基础知识;第二大部分(第二~五章)讨论一般机械噪声及其控制技术,包括机械噪声源及其控制,机械噪声的传播及其控制,消声器等;第三大部分(第六~九章)研究武器噪声及其控制技术,其中包括武器噪声源的分析,武器膛口气流噪声的控制技术,膛口消声装置及武器噪声防护等内容。

武器与机械噪声及其控制

谭兴良 编著

*

北京理工大学出版社出版发行

各地新华书店经售

北京密云华都印刷厂印刷

*

787×1092毫米 32开本 9.625印张 208千字

1993年5月第一版 1993年5月第一次印刷

ISBN 7-81013-704-2/TJ·11

印数: 1—1500册 定价: 4.60元

出版说明

遵照国务院国发[1978]23号文件精神，中国兵器工业总公司承担全国高等学校兵工类专业教材的规划、编审、出版的组织工作。自1983年兵工教材编审室成立以来，在广大教师的积极支持和努力下；在国防工业出版社、兵器工业出版社和北京理工大学出版社的积极配合下，已完成两轮兵工类专业教材的规划、编审、出版任务。共出版教材211种。这批教材出版对解决兵工专业教材有无问题、稳定教学秩序、促进教学改革、提高教学质量都起到了积极作用。

为了使兵工类专业教材更好地适应社会主义现代化建设需要，特别是国防现代化培养人才的需要，反映国防科技的先进水平，达到打好基础、精选内容、逐步更新、利于提高教学质量的要求，我们以提高教材质量为主线，完善编审制度、建立质量标准、明确岗位责任，建立了由主审审查、责任编委复审和教编室审定等5个文件。并根据兵工类专业的特点，成立了九个专业教学指导委员会和两个教材编审小组。以加强对兵工类专业教材建设的规划、评审和研究工作。

为贯彻国家教委提出的“抓好重点教材，全面提高质量，适当发展品种，力争系统配套，完善管理制度，加强组织领导”的“八五”教材建设方针。兵工教材编审室在总结前两轮教材编审出版工作的基础上，于1991年制订了1991~1995年兵工类专业教材编写出版规划。共列入教材220种。这些教材都是从学校使用两遍以上、实践证明是比较好的讲义中遴

选的。专业教学指导委员会从兵工专业教材建设的整体考虑对编写大纲进行了审查，认为符合兵工专业培养人才要求，符合国家出版方针。这批教材的出版必将为兵工专业教材的系列配套，为教学质量的提高、培养国防现代化人才，为促进兵工类专业科学技术的发展，都将起到积极的作用。

本教材由刘金环主审，经中国兵器工业总公司枪炮专业教学指导委员会复查，兵工教材编审室审定。

限于水平和经验，这批教材的编审出版难免有缺点和不足之处，希望使用本教材的单位和广大读者批评指正。

中国兵器工业总公司教材编审室

1992年6月

前 言

本书主要是根据自动武器专业教学和科研的需要而编写的。由于近些年来在制定教育计划时，要考虑军民结合和扩大知识面的要求；特将原《自动武器气体动力学》一书中的消声装置部分单独抽出来，进行扩展并充实作为本科生和研究生选修课用的教材及科研参考用资料。作者曾编写了《武器与机械噪声及其控制技术》一书进行教学与科研实践，经过数年试用后，现对原书进一步作了一些修改和补充，特别是将近年来作者的一些科研成果充实到本书中来了。

全书共分九章。第一章简略地介绍有关声学基础知识。噪声学本是声学的一个分支学科，介绍一些声学基础知识，一方面是作为研究武器和机械噪声的理论基础，另一方面也为学生今后涉及其他声学分支学科时打点基础。第二、三、四、五章讨论一般机械噪声及其控制。机械噪声涉及的内容较广，它可分机械性噪声、空气动力性噪声和电噪声等。由于篇幅所限，本书重点讨论空气动力性噪声及其控制问题，因为工业噪声中这类噪声最为普遍，而且给环境造成的噪声污染和给人们带来的危害也最大。此外，武器噪声中既有机械性噪声成分，也有膛口气流噪声成分（属空气动力性噪声），但后者又是主要的。因此，将空气动力性噪声作为重点介绍内容对本书是适宜的。一般机械噪声与武器噪声两者的特性及控制方法，虽有较大的差异，但也有许多共同之处。因此，本书介绍的机械噪声内容，不仅扩大了读者的知识面，而且

也可作为研究武器噪声时的技术基础。第六、七、八、九章专门研究武器噪声及其控制技术，这是本书要讨论的主要内容。武器射击时引起噪声的因素有多方面的，但总的说来，膛口气流引起的噪声是最主要的因素，人们一般说的武器噪声，实际指的是膛口噪声。因此，武器噪声及控制技术，主要是指膛口噪声及控制的问题。故本书在这方面的论述所占的篇幅就大些。上述各方面内容除了来自国内、外所见到的文献资料外，其中武器噪声及控制技术，大部分是我们自己多年来的研究内容和科研成果，其中有些内容实践检验尚欠不足，可能有不尽完善的地方，供读者参考。

在本书编写过程中，曾得到华东工学院徐万和同志和孔德仁同志的支持和帮助，他们协助审校初稿及完成部分图稿工作；也曾得到北京217研究所王秉义高级工程师的支持和帮助，为作者提供了有关资料。本书主审人北京理工大学机械工程系刘金环副教授，对全书进行了认真细致的审核，提出了很多宝贵意见。这些都对提高本教材质量起了很大作用，在此一并表示衷心感谢。

由于本人水平所限，书中难免会有错误和不妥之处，诚恳地希望读者提出批评和指正。

编 者

1992年4月

目 录

第一章 声学基础知识	(1)
第一节 振动与波	(1)
第二节 平面声波	(16)
第三节 球面声波	(34)
第四节 声波的传输	(47)
第二章 机械噪声概论	(66)
第一节 噪声	(66)
第二节 噪声的危害和噪声标准	(69)
第三节 噪声的主观评价	(74)
第四节 噪声的测量	(82)
第三章 机械噪声源及其控制	(92)
第一节 机械噪声的发生	(92)
第二节 机械噪声源的基本类型	(93)
第三节 机械噪声源控制的一般原则	(109)
第四节 空气动力性噪声的控制	(113)
第四章 机械噪声的传播及其控制	(118)
第一节 机械噪声可能的传播途径及其一般的 控制方法	(118)
第二节 噪声的吸收	(120)
第三节 空气声的隔声	(126)
第四节 振动的隔离	(128)
第五章 消声器	(131)
第一节 消声器的评价指标和类型	(131)
第二节 扩张型消声器及其计算	(137)

第三节	共振型消声器	(150)
第四节	阻性消声器	(153)
第五节	阻抗复合式消声器	(156)
第六节	消声器设计中的几个问题	(158)
第六章	武器噪声概述	(162)
第一节	武器噪声的特点及其危害	(162)
第二节	研究武器噪声的目的与要求	(174)
第三节	武器噪声的测试及其规程	(177)
第四节	武器噪声的安全标准	(189)
第七章	武器噪声源的分析	(192)
第一节	火药气体自膛口向外喷射冲击外界大气 发出噪声	(193)
第二节	自动机运动时各零、部件相互撞击的 机械噪声.....	(211)
第三节	弹丸在空中飞行时产生的噪声	(213)
第八章	武器膛口气流噪声控制技术	(219)
第一节	减小膛口气流噪声源的声功率	(220)
第二节	利用机械装置消耗自膛口喷出的气流的能量 ...	(224)
第三节	利用隔声装置防止膛口噪声外传	(245)
第四节	利用其它声学原理控制膛口气流噪声	(249)
第九章	膛口消声装置及噪声防护	(252)
第一节	膛口消声装置	(252)
第二节	膛口减声装置	(268)
第三节	膛口消声和减声装置的设计计算	(281)
第四节	武器噪声的防护	(293)
参考文献	(298)

第一章 声学基础知识

噪声学是声学的一个分支。因此研究武器噪声和机械噪声及其控制技术时，必然要涉及到一些声学原理和声学基本概念方面的知识。为此，本章首先简略地介绍有关的声学原理和基本概念知识，为研究噪声打基础。

第一节 振动与波

一、波和简谐运动

1. 波

波是弹性介质中某一点上受到的扰动所引起的，并按预定的方式传输或传播到其它点上。传播方式决定于弹性媒质的物理特性。

众所周知，物体振动往往伴随着产生声音，例如，提琴的弦振动会产生悦耳的音乐，绷紧的鼓皮的振动会发

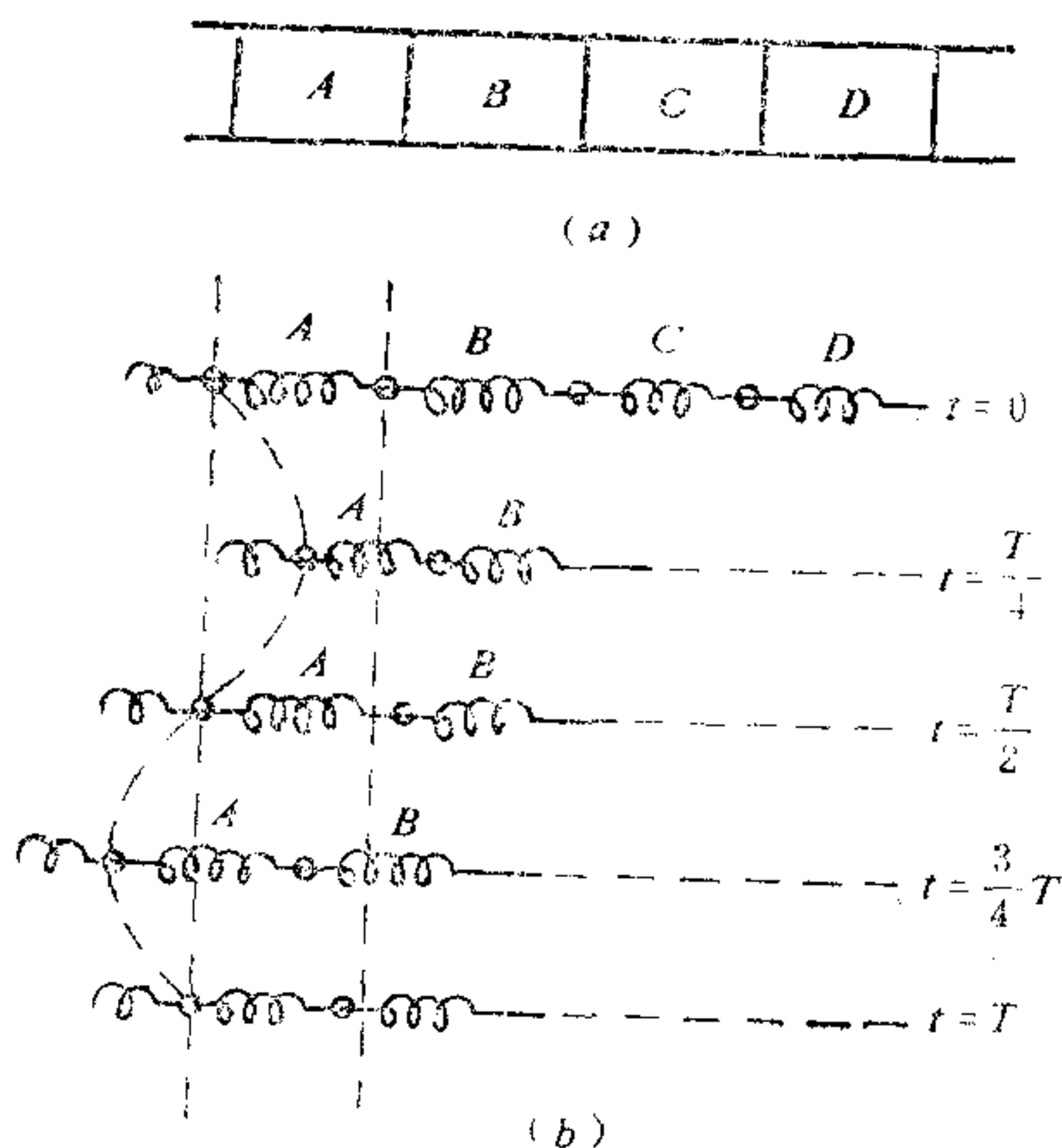


图1-1 波的产生

出“咚咚咚”的声音等。物体的振动是如何传到人们的耳朵，从而使人耳的鼓膜发生振动感觉到声音呢？即物体的振动是如何在媒质中传播的呢？

设想由于某种原因(例如物体振动)在弹性媒质的某局部地区激发起一种扰动，使这局部地区的媒质质点 A 离开平衡位置开始运动。这个质点 A 的运动必然推动相邻媒质质点 B ，压缩了这部分相邻媒质如图1-1所示。由于媒质的弹性作用，相邻媒质被压缩时会产生一个反抗压缩的力，这个力作用于质点 A 并使它恢复到原来的平衡位置。另一方面，因为质点 A 具有质量也就是具有惯性；所以质点 A 在经过平衡位置时会出现“过冲”，以至又压缩了另一侧面的相邻媒质，该相邻媒质中也会产生一个反抗压缩的力，使质点 A 又回过来趋向平衡位置。可见由于媒质的弹性和惯性作用，这个最初得到扰动的质点 A 就在平衡位置附近来回振动起来。由于同样的原因，被 A 推动了的质点 B 以至更远的质点 C 、 D …等也都在平衡位置附近振动起来，只是依次滞后一些时间而已。这种媒质质点的机械振动由近及远的传播就称为声振动的传播或称为声波，可见声波是一种机械波。适当频率和强弱的声波传到人的耳朵，人们就感受到了声音。

声波是纵波，即质点沿波动方向运动。声波传播涉及能量经过空间的传递，声波携带的能量一部分是动能，一部分是势能。动能起因于媒质质点的运动，势能起因于同一质点的弹性位移。从声源发出的声波向各个方向扩散时，声波可能被反射、折射、衍射、干涉和吸收。声波传播需要一种媒质，声速取决于该媒质的密度和温度。

2. 简谐运动

一个作线运动的质点，如果它的加速度总是与运动路径上离固定点的距离 ξ 成正比，而其方向指向固定点，则就说该质点在作简谐运动，它是周期运动的最简单形式。我们假定质点离开平衡位置的位移 ξ 很小(即限于讨论微小振动)，用微分方程形式，简谐运动可表示为

$$a = -\omega^2 \xi \quad \frac{d^2 \xi}{dt^2} + \omega^2 \xi = 0 \quad (1-1)$$

其解为 $\xi(t) = A \sin \omega t + B \cos \omega t$

或 $\xi(t) = \sqrt{A^2 + B^2} \sin(\omega t + \theta)$

$\xi(t) = \sqrt{A^2 + B^2} \cos(\omega t - \varphi)$

式中 A, B ——任意常数；

ω ——圆频率(rad/s)；

θ, φ ——相位角(rad)。

简谐运动可为时间的正弦或余弦函数，还能用图1-2所示的旋转矢量简便地加以表示。等幅矢量 r 以等角速度 ω 逆时针旋转，它在 x 和 y 轴上的投影分别是时间的正弦和余弦函数。

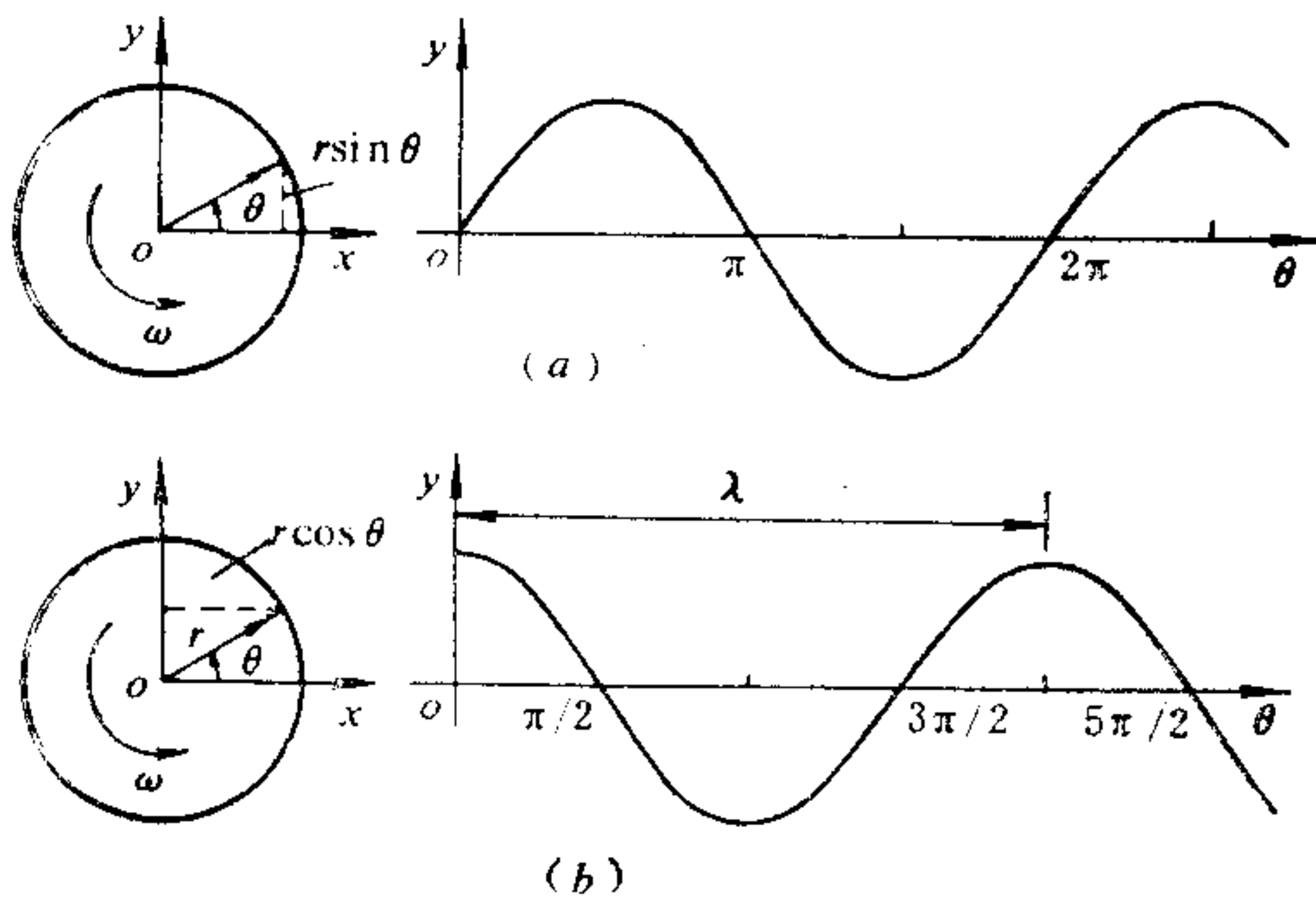


图1-2

(a) 正弦函数；(b) 余弦函数

谐和波是其质点位移图形和轮廓或形状为正弦(即正弦和余弦曲线)的一种波。以速度 c 在 x 轴正方向运动的谐和波为

$$\xi(x, t) = \begin{cases} A_0 \sin m(x - ct) \\ A_0 \cos m(x - ct) \end{cases} \quad (1-2)$$

而以速度 c 在 x 轴负方向运动的谐和波为

$$\xi(x, t) = \begin{cases} A_0 \sin m(x + ct) \\ A_0 \cos m(x + ct) \end{cases} \quad (1-3)$$

式中 A_0 ——波的振幅。

这些波均称为谐和行波。

以速度 c 从坐标原点向外发散的球面波可表示为

$$\xi(r, t) = \frac{A_0}{r} f(ct - r) \quad (1-4)$$

同样, 一个球面谐和行波可表示为

$$\xi(r, t) = \frac{A_0}{r} e^{i(\omega t - mr)} = \frac{A_0}{r} e^{i(\omega t - 2\pi kr)} \quad (1-5)$$

式中 $i = \sqrt{-1}$; $k = 1/\lambda$ 是波数, 即每单位长度上的波周期数; 在一个 $\lambda = 2\pi/m$ 的间隔之后波形重现, λ 称为波长。

二、振动和振动能量

1. 振动

振动学是研究“声学”的基础, 因为声学现象实质上就是传声媒质质点所产生的一系列力学振动过程的表现, 而且声波的发生基本上也来源于物体的振动。因而研究物体的振动规律自然也可以预知声的一些规律。这里所介绍的主要为与声学问题联系密切的一些力学振动的基础知识。

一般具有质量和弹性的系统都能作相对运动。如果在一

个给定的时间间隔之后，该系统的运动重复出现，这样的周期运动就称为振动。要分析振动，首先要利用分别代表系统内物体、弹性和摩擦的质量 m ，弹簧 k 和阻尼器 δ 来将系统理想化和简单化，如图1-3所示。然后以运动方程把系统位移表示成时间的函数。周期 T 是周期运动自身重现需要的间时(s)，频率 f 是单位时间内的周期数。

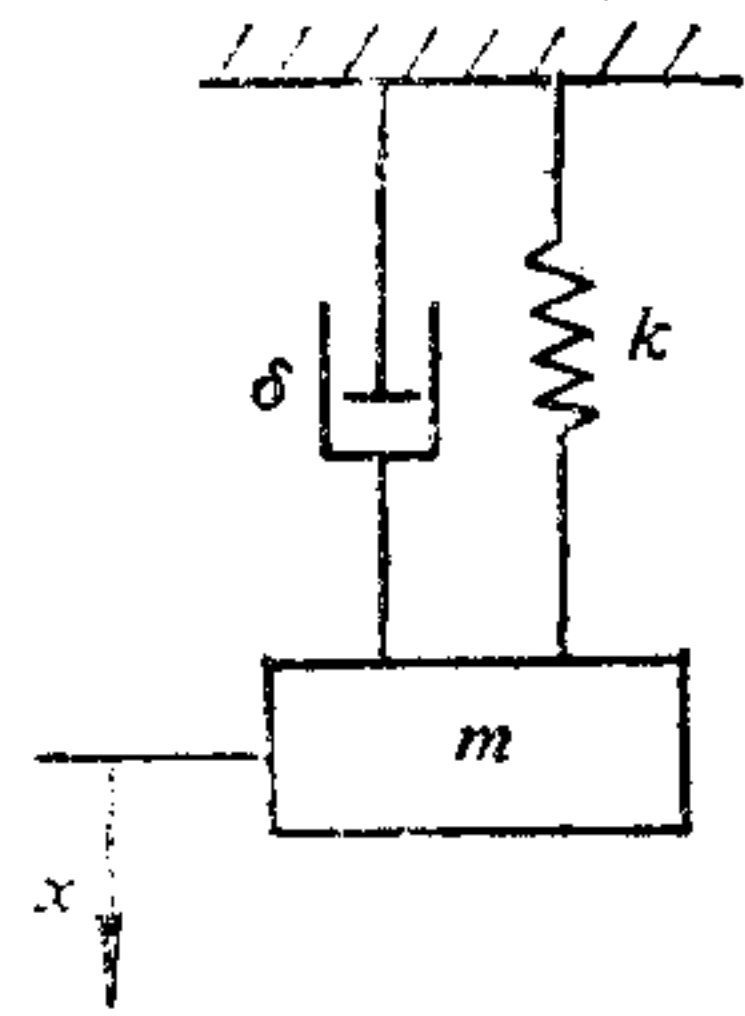


图1-3

2. 自由振动

亦称瞬态振动，是系统移离静态平衡位置时观察到的周期运动。作用力是弹簧力、摩擦力和质量块的重力。摩擦将使振动随时间而减小，并由下式给出：

$$X_c(t) = e^{-\zeta\omega_n t} (A\sin\omega_d t + B\cos\omega_d t) \quad (1-6)$$

式中 ζ ——阻尼因素；

ω_n ——固有圆频率(rad/s)；

ω_d ——阻尼固有圆频率(rad/s)；

A, B ——任意常数；

X_c ——有阻尼时的振动位移；

δ ——阻尼系数。

当阻尼因素 $\zeta = \delta/2m\omega_n$ (m 是振动物体质量) 大小不同，阻尼振动可有三种情况：

第一种情况：如果 ζ 远大于1， X_c 的振幅将下降，并且从不改变符号。因此不管初始条件如何，系统不可能产生振荡运动。这是过阻尼。

第二种情况：如果 $\zeta = 1$ ，系统的运动仍不是振荡的，它的振幅最终将减小到零。这是临界阻尼。

第三种情况：如 ζ 小于1，由于称为衰减因子的 $e^{-\zeta\omega_n t}$ 项

的存在，运动的振幅将随时间按指数下降。这是弱阻尼振动，上述三种情况可参见图1-4所示。

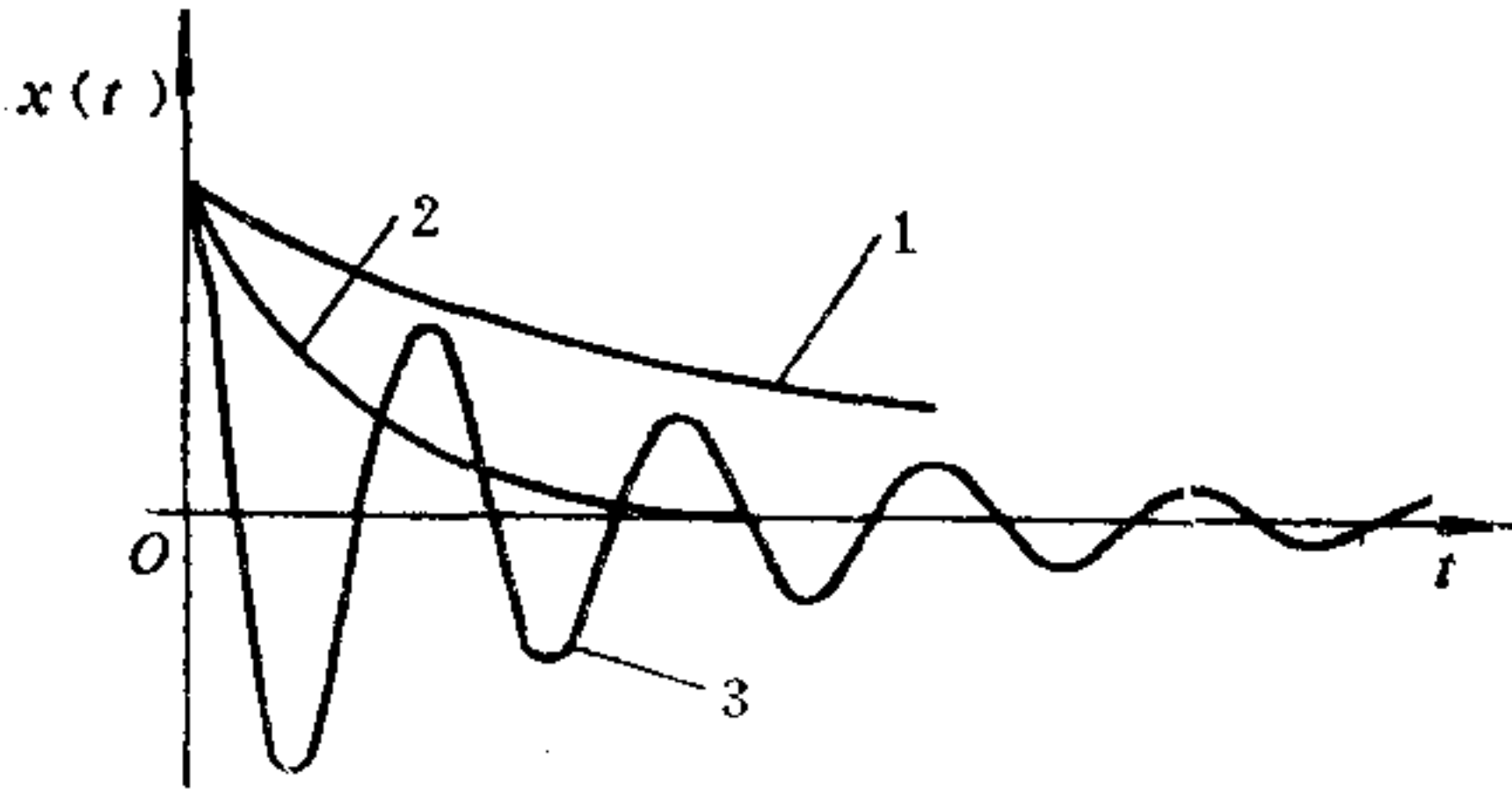


图1-4 具有阻尼的自由振动

1—过阻尼；2—临界阻尼；3—弱阻尼

如果系统是无阻尼的（例如无摩擦的简单自由度弹簧质量系统），则振动位移 x 随时间 t 的

变化规律呈余弦形。随时间 t 作正弦或余弦规律的运动，一般称为简谐振动。

3. 强迫振动

当以通解形式为 $F(t) = F_0 \sin \omega t$ 或 $F_0 \cos \omega t$ 的外力作用到正在运动的系统时，合成运动称为强迫振动。强迫振动时系统将趋于既按其固有频率振动，又按激励力的频率振动。由于阻尼的存在，将使没有正弦激励力加以维持的固有振动逐渐消失。结果，系统将以激励力频率作振动，而与系统初始状态或固有频率无关。合成运动称为系统的稳态振动或响应，并表示为

$$X_p(t) = \frac{F_0}{\sqrt{(k - m\omega^2)^2 + (\delta\omega)^2}} \cos(\omega t - \theta) \quad (1-7)$$

式中 X_p ——作强迫振动时的振动位移；

F_0 ——激励力幅值；

ω ——激励力圆频率(rad/s);

$\theta = \arctan \delta \omega / (k - m \omega^2)$ 为相角;

k ——弹簧常数;

m ——系统质量。

当激励力频率等于系统固有频率时, 出现共振。共振发生时, 振幅将无约束地增加, 仅取决于系统中存在的阻尼量。强迫振动的几种情况如图1-5所示。

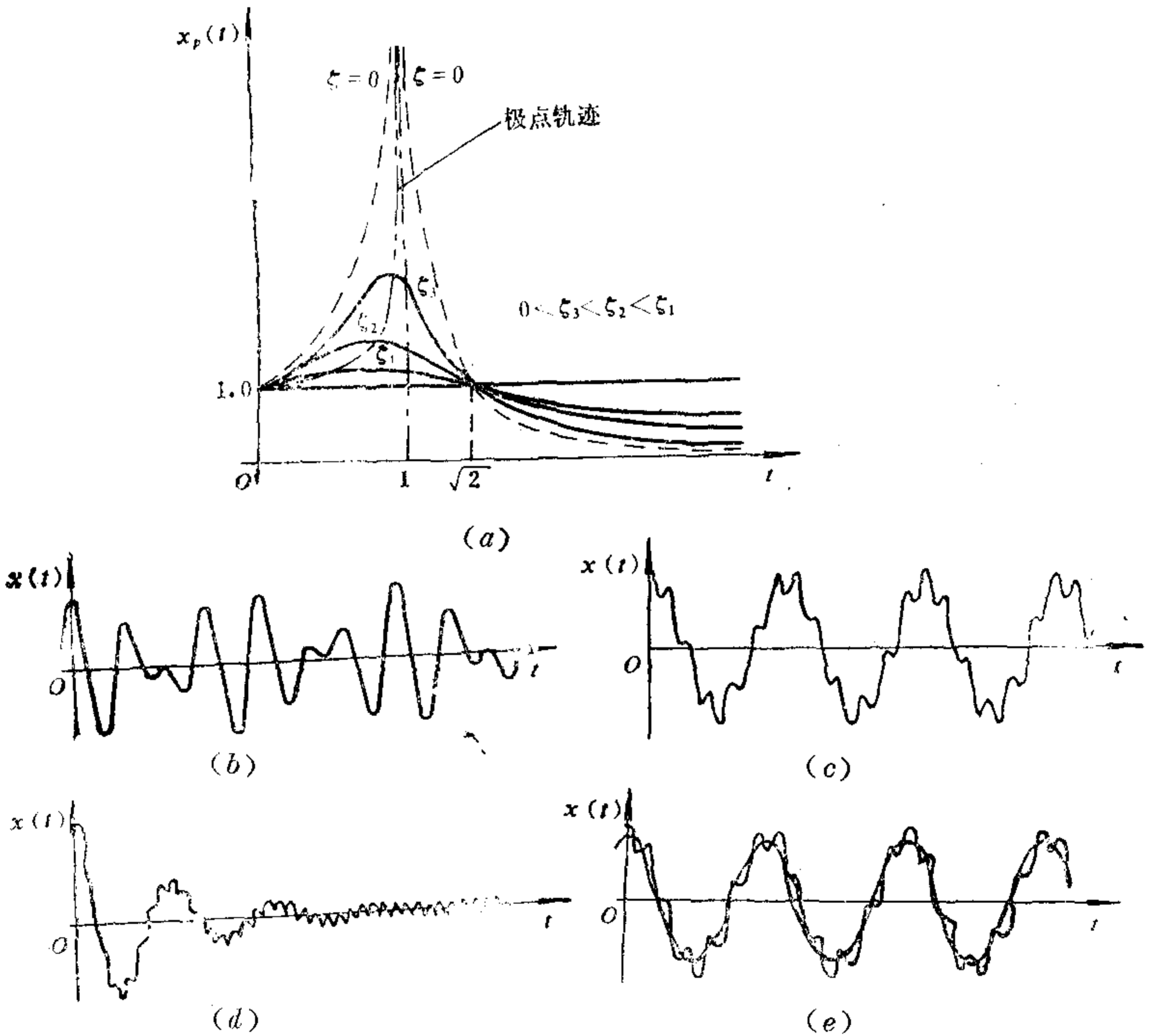


图1-5 强迫振动

(a) 不同阻尼的强迫振动; (b) 无阻尼的强迫振动($2f_n = 3f$);
 (c) 无阻尼的强迫振动($f_n = 6.28f$); (d) 有阻尼的强迫振动($f_n = 6.28f$); (e) 自由振动和强迫振动($f_n = 6.28f$);

4. 振动能量

无阻尼自由振动的总能量是恒量，等于系统在任一时刻的位能与动能的总和或等于其最大动能或最大势能。系统作连续振动，其表达式为

$$E = E_p + E_k = \frac{1}{2} K_m \xi^2 + \frac{1}{2} M_m v^2$$

$$\text{或} \quad E = \frac{1}{2} K_m \xi_A^2 = \frac{1}{2} M_m v_A^2 \quad (1-8)$$

式中 K_m ——系统的弹性系数；

M_m ——系统的固有质量；

ξ_A ——质点位移振幅；

v_A ——质量速度振幅。

当作有阻尼自由振动时，系统的振动能量将不断地被阻尼器吸收，而作为热能耗散。因此，系统损失能量，结果使振动的振幅减小。我们从中取一个周期的平均值，并考虑到 $\alpha \ll \omega_n$ 。振幅 $A(t)$ 随时间变化缓慢，就可近似得到振动系统的平均能量随时间作指数规律衰减，其表达式为

$$\bar{E} = \frac{1}{T} \int_0^T E dt = \frac{1}{2} K_m \xi_0^2 e^{-2\alpha t} \quad (1-9)$$

式中 T ——振动周期；

ξ_0 ——质点初始位移振幅；

α ——衰减系数，其值可写成

$$\alpha = \frac{R_M}{2M_m}$$

式中 R_M ——阻力系数，也称力阻，是一正的常数。