

中等专业学校教材

电声器件

邓忠华



辽宁科学技术出版社



中等专业学校教材
电 声 器 件
Diansheng Qijian
邓忠华

辽宁科学技术出版社出版 (沈阳市南京街6段1里2号)
辽宁省新华书店发行 朝阳新华印刷厂印刷

开本: 787×1092¹/₁₆ 印张: 15¹/₂ 字数: 348,000
1989年5月第1版 1989年5月第1次印刷

责任编辑: 刘绍山 插图: 殷文杰
封面设计: 邹君文 责任校对: 东 戈

印数: 1—609

ISBN 7-5381-0660-X/TN·17 定价: 3.40元

出版说明

根据国务院关于高等学校教材工作分工的规定，我部承担了全国高等学校、中等专业学校工科电子类专业教材的编审、出版的组织工作。由于各有关院校及参与编审工作的广大教师共同努力，有关出版社的紧密配合，从1978年至1985年，已编审、出版了两轮教材，正在陆续供给高等学校和中等专业学校教学使用。

为了使工科电子类专业教材能更好地适应“三个面向”的需要，贯彻“努力提高教材质量，逐步实现教材多样化，增加不同品种、不同层次、不同学术观点、不同风格、不同改革试验的教材”的精神，我部所属的七个高等学校教材编审委员会和两个中等专业学校教材编审委员会，在总结前两轮教材工作的基础上，结合教育形势的发展和教学改革的需要，制订了1986—1990年的“七五”（第三轮）教材编审出版规划。列入规划的教材、实验教材、教学参考书等近400种选题。这批教材的评选推荐和编写工作由各编委会直接组织进行。

这批教材的书稿，是从通过教学实践、师生反映较好的讲义中经院校推荐，由编审委员会（小组）评选择优产生出来的。广大编审者、各编委会和有关出版社为保证教材的出版和提高教材的质量，作出了不懈的努力。

限于水平和经验，这批教材的编审、出版工作还会有缺点和不足之处，希望使用教材的单位，广大教师和学生积极提出批评建议，共同为不断提高工科电子类专业教材的质量而努力。

电子工业部教材办公室

前 言

本教材系按电子工业部的工科电子类专业教材1986—1990年编审出版规划,由中等专业学校电子类专业教材编审委员会元器件编审小组征稿,推荐出版,责任编辑孟箴。

本教材由南昌无线电工业学校邓忠华主编,镇江市电子工业学校徐礼祥主审。编审者均是依据元器件编审小组审定的教学大纲进行编写和审阅的。

本课程的参考教学时数为106学时。全书分十一章。第一章介绍质点振动的基本理论,并简要介绍了膜、板振动特性;第二章介绍电声工程中广泛应用的电-力-声类比方法;第三章讨论声波及某些简单声现象;第四章讨论声辐射和声接收基本原理;第五章介绍常见声信号特点和人耳主要听觉特性;第六章介绍电声换能器基本理论。第七、八、九、十章分别讨论扬声器及其系统、传声器、耳机、送、受话器及拾音器的典型结构、工作原理、电声特性及其控制方法,介绍某些典型零部件的初步设计计算。第十一章介绍了电声器件测量的基础知识。

本教材是中等专业学校机电元件与电声器件专业电声器件课程教材,电声器件设计和制造工作所涉及和需要的机械、电路、材料、工艺、电子测量等方面的基础理论知识,根据专业教学分工由有关基础课程讲授,使用本教材时要注意到这种分工和联系。教学时还可结合实际选择某个具体电声器件产品系统介绍该产品设计、制造、测试的诸方面及全过程,使学生对电声器件专业技术有更具体的了解。

在教学以及本教材的编写过程中,南京大学、电子部三所、江西四三八零厂等单位的许多同志给予了各种支持和帮助,这里表示诚挚的感谢。由于水平有限,书中缺点和错误在所难免,殷切希望广大读者批评指正。

编 者

1988.7

本书主要符号

- A : 常数、系数、加速度有效值(m/s^2)、归一化位移振幅
 $\bar{A}$: 复常数
 A_n : 傅里叶系数
 A_r : 归一化位移共振峰值
 a : 加速度(m/s^2), 半径(m), 长度量(m)
 a_A : 加速度振幅(m/s^2)
 B : 归一化速度振幅、磁通密度(T)、传声器复合系数、电纳(S)、常数
 B_d : 工作点磁通密度(T)
 B_g : 气隙磁通密度(T)
 B_{MOT} : 动生电纳(S)
 B_n : 傅里叶系数
 B_r : 归一化速度共振峰值、剩磁(T)
 C : 电容(F), 归一化加速度振幅、声速(m/s)
 C_a : 声顺(m^5/N)
 C_e : 等效电容(F)
 C_m : 力顺(m/N)
 C_O : 声速(m/s), 静态电容(F)
 C_P : 定压比热($\text{J/kg}\cdot\text{K}$)
 C_r : 归一化加速度共振峰值
 C_V : 定容比热($\text{J/kg}\cdot\text{K}$)
 C_{ti}^x : 短路弹性柔顺系数(m^2/N)
 C_{ti}^0 : 开路弹性柔顺系数(m^2/N)
 D : 声能密度(J/m^3)、电位移(C/m^2)、直径(m)
 $\vec{D}$: 电位移矢量(C/m^2)
 $\bar{D}$: 有效声能密度(J/m^3)
 D_e : 电场能量密度(J/m^3)
 $D \cdot E$: 指向性效率
 $D \cdot I$: 指向性指数
 D_m : 磁能密度(J/m^3)、磁钢直径(m)
 $D(\theta)$: 指向性函数
 d : 长度量(m)、直径(m)
 d_{xi}, d_{xi} : 压电应变系数(C/N)

E : 能量 (J)、电场强度 (V/m)、杨氏模量 (N/m²)、电势有效值 (V)
 $\vec{E}$: 复电势 (V)
 $\vec{E}$: 电场强度矢量 (V/m)
 E_A : 电势振幅 (V)
 E_K : 动能 (J)
 E_P : 位能〔势能〕 (J)
 $\dot{e}$: 电动势 (V)、电压 (V)
 $\dot{e}$: 复电势 (V)
 e_{n1}, e_{n2} : 压电应力系数 (C/m²)
 F : 漏磁系数、力 (N)
 F : 复力 (N)
 F_A : 力振幅 (N)
 F_{Ab1} : 近场力振幅 (N)
 F_{Af1} : 远场力振幅 (N)
 F_{eff} : 等效力 (N)
 F_m : 磁钢磁动势 (安匝, A)
 F_n : 第 n 次简谐力振幅 (N)
 f : 频率 (Hz)
 f_{am} : 膜共振频率 (Hz)
 f_{ar} : 加速度共振频率 (Hz)
 f_c : 号筒截止频率 (Hz)
 f_d : 阻尼振子固有频率 (Hz)
 f_h : 高频截止频率 (Hz)
 f_L : 低频截止频率 (Hz)
 f_m : 磁动势 (A)
 f_n : 第 n 次简正频率 (Hz)
 f_0 : 固有频率、共振频率 (Hz)
 f_r : 极大值频率 (Hz)
 f_{am} : 膜共振频率 (Hz)
 f_{ar} : 音臂共振频率 (Hz)
 f_{vr} : 质点速度共振频率 (Hz)
 f_{sr} : 质点位移共振频率 (Hz)
 G : 电导 (S)
 $\dot{G}$: 复系数
 G_m : 力导 (Ω⁻¹)
 G_{MOT} : 动生电导 (S)
 g_{n1}, g_{n2} : 压电电压系数 (m²/C)
 H : 磁场强度 (A/m)、系数

H_C : 矫顽力 (A/m)
 H_d : 工作点磁场强度 (A/m)
 H_t : 气隙磁场强度 (A/m)
 h_{ui}, h_{ai} : 压电刚度系数 (N/C)
 I : 电流有效值 (A)、声强 (W/m²)
 I : 复电流 (A)
 I_A : 电流振幅值
 I_{ref} : 参考声强 (10⁻¹²W/m²)
 i : 电流 (A)
 j : 虚数单位 ($j=\sqrt{-1}$)、整数
 $J(x)$ 、 $J_0(x)$ 、 $J_1(x)$ 、 $J_2(x)$: 贝塞尔函数
 k : 波数, 整数, 系数
 K : 系数, 轴向鉴别率
 K_s : 弯曲耦合系数
 K_{ij}^F : 短路弹性刚度系数 (N/m²)
 K_{ij}^D : 开路弹性刚度系数 (N/m²)
 $K(x)$: 斯特夫函数
 L_s : 等效电感 (H)
 L_t : 气隙长度 (m)
 L_m : 磁钢长度 (m)
 L_0 : 音圈电感 (H)
 LL : 响度级 (phon)
 L : 音圈导线有效长度、振带长度、长度量 (m)、电感 (H)
 L_F 、 L_s 、 L_m 、 L_0 : 长度量 (m)
 M : 质量 (kg)
 M_s : 声质量 (kg/m⁴)
 M_{en} : 第 n 次振动等效质量 (kg)
 M_r : 辐射质量 (kg)
 m : 质量 (kg), 号筒扩展系数 (m⁻⁴), 声强吸收系数 (m⁻⁴)
 m_s : 折环质量 (kg)
 N : 信噪比
 n : 匝数比, 整数, 匝数
 p : 声压、压强 (Pa)
 $\hat{p}$: 复声压 (Pa)
 P : 声压有效值
 P_A : 声压振幅 (Pa)
 P_{Af} : 远场声压振幅 (Pa)
 P_{An} : 近场声压振幅 (Pa)

P_{AL} : 左声道声压振幅 (P_s)
 P_{AR} : 右声道声压振幅 (P_s)
 p_0 : 静态压强 ($p_0 = 101325 P_a$)
 p_{ref} : 参考声压 (2×10^{-5} 帕)
 $\bar{p}$: 平均声压
 P_s : 气隙磁导 (H)
 P_m : 磁导 (H)
 P_T : 总磁导 (H)
 Q : 品质因素, 指向性因数, 电量 (C)
 Q_m : 力学品质因素
 R : 电阻 (Ω), 普适气体常数 ($J/K \cdot mol$)
 R_s : 声阻 (Ω_s)
 R_e : 等效电阻 (Ω)
 R_L : 负载电阻 (Ω)
 R_n : 力阻 (Ω_n), 磁阻 (H^{-1})
 R_{MOT} : 动生电阻 (Ω)
 R_s : 标称电阻 (Ω)
 R_0 : 音圈电阻、漏电阻 (Ω)
 R_r : 辐射阻 (Ω_n)
 R_s : 声阻率 ($P_s \cdot s/m$)
 RNL : 相对噪声级 (dB)
 r : 距离 (m), 磁阻系数
 r_0 : 半径 (m)
 r_s : 临界距离 (m)
 r_f : 远场距离 (m)
 r_n : 近场距离 (m)
 S : 面积 (m^2), 应变、灵敏度 (P_s/V 或 V/P_s), 力声变换系数
 S_s : 声劲 (N/m^2)
 S_{sn} : 第 n 次振动力劲 (N/m)
 S_f : 远场灵敏度, 有载声场灵敏度 (V/P_s)
 S_{fo} : 开路声场灵敏度 (V/P_s)
 S_s : 气隙截面积 (m^2)
 SIL : 声强级 (dB)
 SL : 灵敏度级 (dB)
 S_L : 有载声压灵敏度 (V/P_s)
 S_n : 力劲 (N/m)
 S_n : 近场灵敏度 (V/P_s)
 S_0 : 面积 (m^2), 开路声压灵敏度 (V/P_s)

SPL : 声压级 (dB)
 SWL : 声功率级 (dB)
 T : 周期 (s), 张力 (N/m), 热力学温度 (K), 应力 (N/m²)
 T : 换能器力因数
 T_{10} : 混响时间 (s)
 t : 时间 (s), 摄氏温度 (°C)
 U : 电压有效值 (V)、体积流速度 (m³/s), 空载开路电压 (V)
 U : 复电压 (V), 复体积流速度 (m³/s)
 U_A : 体积流速度振幅 (m³/s)
 U_f : 远场输出电压 (V)
 U_L : 有载输出电压 (V)
 U_n : 近场输出电压、噪声电压 (V)
 u : 交变电压 (V)
 U_0 : 极化电压、开路输出电压 (V)
 $U_{s,1}$: 驻极体固有表面电位 (V)
 V : 振动速度有效值 (m/s), 体积, 容积 (m³)
 V : 复振速 (m/s)
 V_A : 振动速度振幅 (m/s)
 V_0 : 容积 (m³)
 v : 振动速度 (m/s)
 V_{eff} : 等效振速 (m/s)
 $V_{f,1}$: 气隙体积 (m³)
 V_m : 磁钢体积 (m³)
 $\overline{W}_a$: 有效声功率 (W)
 W_e : 电功率 (W或VA)
 W_m : 机械功率 (W), 磁能 (J)
 $\overline{W}$: 有效辐射功率 (W)
 $\overline{W}_{ref}$: 参考声功率 (10⁻¹²W)
 $\overline{W}_s$: 平均损耗功率 (W)
 X : 位移有效值 (m), 电抗 (Ω)
 x : 复位移 (m)
 X_a : 声抗 (Ω_s)
 X_d : 位移振幅 (m)
 X_e : 等效电抗 (Ω)
 X_m : 力抗 (Ω_m)
 x_n : 第 n 次简谐位移
 x_0 : 初位移、板间静态距离 (m)
 x : 位移 (m)

Y : 电导纳 (S)
 Y_a : 声导纳 (Ω^{-1})
 Y_n : 力导纳 (Ω_n^{-1})
 Y_{cs} : 阻挡电导纳 (S)
 Y_{in} : 输入电导纳 (S)
 X_{oo} : 开路力导纳 (Ω_n^{-1})
 Y_{NOT} : 动生电导纳 (S)
 Z : 电阻抗 (Ω)
 Z_a : 声阻抗 (Ω_a)
 Z_{cs} : 阻挡电阻抗 (Ω)
 Z_{fs} : 自由电阻抗 (Ω)
 Z_{in} : 输入电阻抗 (Ω)
 Z_n : 力阻抗 (Ω_n)
 Z_{oo} : 开路力阻抗 (Ω_n)
 Z_{NOT} : 动生电阻抗 (Ω)
 Z_{ns} : 短路力阻抗 (Ω_n)
 Z_n : 第 n 次振动力阻抗 (Ω_n)
 Z_0 : 媒质特性阻抗 ($P_s \cdot s/m$)
 Z_r : 辐射阻抗 (Ω_n)
 Z_s : 声阻抗率 ($P_s \cdot s/m$)
 z : 频率比
 α : 吸声系数, 声压吸收系数 (m^{-1}), 质量比, 电极化率 (F/m)
 $\bar{\alpha}$: 平均吸声系数
 δ : 阻尼系数 (S^{-1})
 Δ : 半声程差 (m)
 ΔL : 特征长度 (m)
 ΔSPL_i : 声压级差 (dB)
 $\Delta\phi, \Delta\phi_i$: 相位差 (rad)
 β : 不均匀度 (dB)
 β_{ns} : 介电系数的倒数 (m/F)
 γ : 比热比
 ϵ : 介电系数 (F/m)
 ϵ_{fs} : 自由介电系数 (F/m)
 ϵ_{ns}^s : 钳制介电系数 (F/m)
 ϵ_r : 相对介电系数
 ϵ_0 : 真空介电系数 ($\epsilon_0 = 8.9 \times 10^{-12} F/m$)
 η : 效率, 粘滞系数 ($N \cdot s/m^2$)、膜位移 (m)
 η_A : 膜位移振幅 (m)

$\hat{\eta}_x$: 膜平均 (对位置平均) 位移振幅 (m)
 θ : 角度, 相位角 [差]
 $\bar{\theta}$: 主声束角宽度
 θ_x : 声象角
 λ : 波长 (m)
 μ : 摩尔质量 (kg/mol), 磁导率 (H/m)
 μ_0 : 真空磁导率 ($\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$ H/m)
 μ_r : 相对磁导率
 ρ : 密度 (kg/m³)
 ρ_0 : 空气静态密度 ($\rho_0 = 1.21$ kg/m³)
 ρ_r : 电阻率 ($\Omega \cdot m$)
 σ : 面密度 (kg/m²), 面电荷密度 (C/m²), 泊松比
 τ : 衰减模量 (s)
 ϕ : 磁通量 (Wb), 初相位角 (rad), 换能器力电变换系数
 $\dot{\phi}$: 换能器力电变换系数, 交变磁通量
 ϕ_e : 电场换能器力电变换系数
 ϕ_m : 磁场换能器力电变换系数
 ϕ_p : 压电换能器力电变换系数
 $\phi(\omega)$: 频谱函数
 φ : 相位差 (rad)
 ψ : 角度
 Ω : 立体角
 ω : 角频率 (rad/s)
 ω_d : 阻尼振子固有角频率 (rad/s)
 ω_0 : 固有角频率、共振角频率 (rad/s)

目 录

结 言	1
第一章 力学振动基础	3
第一节 质点的自由振动	3
第二节 质点的衰减振动	7
第三节 质点的强迫振动	9
第四节 振动控制	16
第五节 周期力的强迫振动	18
第六节 膜与板的振动特性	22
习题一	26
第二章 电-力-声类比	28
第一节 力电类比	28
第二节 力电类比线路图的作法	30
第三节 两种类比线路图的变换	33
第四节 声电类比及其类比线路图的作法	34
第五节 变量器	40
习题二	45
第三章 声波	47
第一节 基本概念	47
第二节 小振幅声波一维波动方程	50
第三节 简单声波	53
第四节 实际条件下声传播现象	58
习题三	65
第四章 声辐射和声接收	66
第一节 声源辐射的基本性质	66
第二节 活塞辐射特性	72
第三节 声接收的基本原理	78
习题四	83
第五章 人耳听觉特性	84
第一节 常见声音的基本特点	84

第二节 人耳主要听觉特性	89
习题五	96
第六章 换能器基本原理	97
第一节 电声换能器基本方程	97
第二节 电动式换能器	101
第三节 电磁式换能器	105
第四节 电容式换能器	108
第五节 压电式换能器	112
习题六	116
第七章 扬声器及扬声器系统	117
第一节 概述	117
第二节 扬声器基本性能	120
第三节 扬声器主要零部件的分析及磁路计算	129
第四节 其它直接辐射动圈式扬声器	137
第五节 号筒扬声器	142
第六节 闭箱式扬声器	148
第七节 倒相式扬声器	154
习题七	158
第八章 传声器	160
第一节 传声器主要性能指标	160
第二节 动圈式传声器	161
第三节 带振式传声器	167
第四节 电容式传声器	169
第五节 驻极体电容传声器	174
习题八	180
第九章 通信用电声器件及耳机	181
第一节 耳机	181
第二节 电磁受话器	185
第三节 压差式电磁送话器	189
第四节 碳粒送话器	194
第五节 接触式送话器	196
习题九	199
第十章 拾音器	200
第一节 概述	200
第二节 电磁拾音器	202
第三节 压电拾音器	203

习题十	208
第十一章 电声器件测量	209
第一节 电声测量基础知识	209
第二节 扬声器电声参数测量	212
第三节 传声器电声参数测量	216
第四节 送、受话器电声参数测量	219
习题十一	224
附录	225
一、柱贝塞尔函数表	225
二、媒质声学常数表	226
三、国产电声器件型号命名法	227

绪 言

电声器件泛指能够实现电声能量相互转换的音频电声换能器，主要包括扬声器及其系统、耳机、传声器、送话器、受话器、送受话器组及拾音器等。

电声器件品种繁多，按照换能原理，它可分为电动式、电磁式、电容式、压电式、碳粒式、接触式等各种基本类型。按照基本功能、结构特点、应用场合等，它还有其它各种分类方法。我国在60年代即已颁发有关电声器件命名方法的 部 级 标 准（详见附录三）。

电声器件是军事和民用语言通信、广播、电视、电影、录音、扩音等电声及音响系统不可缺少的基础元件，并且愈来愈广泛地应用于教育、医疗、交通等各个领域。

在各种电声音响系统中，电声器件一般都作系统的始端或终端器件运用，是人和传输系统的分界面。电声器件质量的好坏不仅直接影响到整个系统性能的优劣，而且直接反映于人的主观感受。无需夸张，电声器件在各种电声设备和系统中是最关键的电子元件之一。

电声的诞生以A.G.贝尔（Bell）和T.华生（Watson）在1876年发明电话为标志。因而，电声器件已有一百多年的发展史。至于电声器件工作所涉及到的某些声学 and 电磁学知识，其产生的年代更为久远。

电磁式换能器由贝尔首先用于其电话系统。碳粒送话器于1885年用于有线电话。1878年，L.瑞利（Rayl）在其声学名著“声学理论”中讨论了刚性活塞振动特性和声辐射特性，为扬声器分析提供了理论基础。

进入20世纪后，伴随着通信、录音、广播、有声电影等电声系统的发展，电声器件的理论研究和器件开发出现了繁荣景象。

1912年，A.E.肯内利（Kennelly）和G.W.皮尔斯（Pierce）发现电话受话器的电阻抗同所耦合的力学系统有关，并引入“动生阻抗”的概念，使阻抗分析成为扬声器的主要分析手段之一，等效电路也被用于电声器件的分析。肯内利在1899年曾为变压器建立了等效电路。1917年，A.M.尼科尔森（Nicolson）采用压电晶体酒石酸钾钠制出了拾音器、传声器和扬声器。同年，E.C.温特（Wente）推出了电容传声器。1919年，A.G.韦伯斯特（Webster）系统地研究了号筒，建立了号筒基本理论。1924年，C.W.赖斯（Rice）和E.W.凯洛格（Kelllogg）发明了目前广泛应用的电动式扬声器。1930年，A.L.瑟拉（Thuras）提出倒相箱原理。1931年，H.F.奥尔森发明带振式传声器。同年，C.B.索耶（Sawyer）发明了双形压电元件。1935年，W.P.迈森（Mason）建立了可表示与外部耦合的压电换能器的等效网络。驻极体电容传声器于1928年诞生于日本，其实际应用第二次世界大战末期。压电高分子薄膜材料制作的电声器件于1969年在日本进入商业市场。

综上所述,目前各种换能原理的电声换能器基本上出现在本世纪30年代以前,其基本理论也同期初步形成。此后的50年来,电声器件的发展主要表现在改善分析和设计方法,发展材料、采用新结构、提高器件电声性能和生产效率等方面。

电声器件既然是各种电声设备和系统的基础元件,那么它的发展必然受电声设备和系统发展的推动,并与之相适应。

目前,通信电声器件的发展方向是:高可靠、长寿命、高清晰度、高抗噪、耐恶劣环境以及轻量、佩戴舒适、使用方便等。广播电声器件的发展方向是:高可靠、高音质、宽频带、立体声、高保真以及小型化、薄形化、多样化。计算机辅助分析、设计、生产控制及检测,电声换能器数字化,电声器件测试和质量评价的完善、尤其是主观评价与客观测量的统一等,将促进电声器件进一步发展。

同其它电子元件一样,电声器件的发展亦受到所用电子材料、工艺技术装备、设计分析及检测手段等因素的制约。要提高电声器件的水平,必须大力开发和应用新材料、新工艺、新技术。

从学科上看,电声器件是电声学的基本组成部分,是一门多学科交叉的应用技术。电声器件分析理论主要建立在声学 and 电路理论的基础上。

本课程是电子类中等专业学校“机电元件与电声器件”专业的一门主要专业课程,主要介绍电声器件的基础知识和电声器件的基本分析理论。前五章分别介绍振动、声波、声辐射和声接收、常见声信号与人耳听觉特性等有关声学基础知识和电声技术中广泛采用的电-力-声类比方法。第六章介绍线性可逆换能器的一般理论。后六章分别讨论各类基本电声器件的典型结构、电声性能及其控制方法、主要参数测试方法等。电声器件分析所需的电路基础知识,电声器件所用材料、工艺及一般电子测量知识则由其它有关课程提供。

电声器件结构并不很复杂,但由于是一个电-力-声系统,分析采用电-力-声类比理论,其性能又与材料、工艺等密切相关,所以要掌握课程内容,必须勤于思考并适当做些练习,以掌握概念、熟悉方法、熟练计算,培养综合应用多学科知识的能力。

电声器件品种很多,教学只能通过某些简单化模型、典型例子介绍基本理论和分析方法。学习中重要的是掌握基本概念和分析方法,举一反三,而不是仅记住某些具体结论。

电声器件频率范围很宽,电-力-声类比线路仅适用于讨论集中参数系统,加之影响电声器件性能的实际因素很多而表示其物理特性的模型又过于简化,所以电声器件理论并不完善,不能指望仅凭理论学习就可掌握电声器件技术、设计和制造出好的电声器件。教学是入门,功夫在各人。只有在努力学习基本理论和方法的基础上勤于试验、勤于观察、善于分析总结,才能真正理解电声器件、掌握电声器件知识,为发展我国的电声器件事业贡献力量。

第一章 力学振动基础

振动是电声器件的基本工作方式。振动系统是电声器件的主要组成部分。本章研究力学振动系统（亦称机械振动系统）的振动特性和振动规律，主要介绍质点振动的基本理论和分析方法，对在电声器件中广泛应用的膜、板等弹性体的主要振动特性也作了简要的介绍。

第一节 质点的自由振动

设有一质量为 M 的坚硬物体系于一弹性系数（亦称力劲）为 $S_{\bullet}$ 的轻质弹簧上。若该质量可作为质点看待，弹簧的质量又可忽略不计，则这种质量弹簧系统便组成最简单的质点振动系统，称为单振子，如图1—1所示。

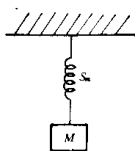


图1—1

一、质点自由振动的一般规律

设单振子系统的质量块突然在顺着弹簧的方向上受到外界的推（或拉）的作用，使得弹簧产生了压缩（或伸长），随之外界作用去掉。此后质量 M 必然要在弹簧的弹性恢复力作用下运动，这种运动通常称为无阻尼自由振动，简称自由振动。

当弹簧的位移不超出其弹性限度时，由虎克定律可知，弹簧的弹性恢复力（亦即作用在质量 M 上的力）为

$$F_s = -S_{\bullet}x$$

式中， x 为质点离开平衡位置的位移，单位为米； $S_{\bullet}$ 为弹簧的力劲，单位为牛·吨/米； F_s 为弹簧的弹性恢复力，单位为牛·吨；式中负号表示此弹性恢复力恒与位移方向相反。弹簧的力学性质也常用顺性系数（简称力顺） $C_{\bullet}$ 表示。力顺与力劲互为倒数，即

$$C_{\bullet} = \frac{1}{S_{\bullet}}$$

单位为米/牛·吨。

研究单振子自由振动规律，须考察质量 M 受力情况。如上所述，当质点作自由振动时，仅受弹簧弹性恢复力作用。因此，由牛·吨运动定律有

$$M \frac{d^2x}{dt^2} = -S_{\bullet}x$$

表为一般形式