

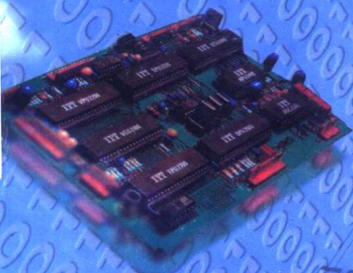
北京市高等教育精品教材建设立项项目

数字广播电视技术书系

北京广播学院《数字广播电视技术书系》编辑委员会

# 广播 影视声学

林达悃 编著  
王明臣 主审



中国广播电视出版社

数字广播电视技术书系

主 编 王明臣

副主编 李鉴增 张 琦 毛志伋

高福安 刘剑波

---

# 广播影视声学

林达恂 编著

王明臣 主审

中国广播电视出版社

### 图书在版编目 (CIP) 数据

广播影视声学/林达恂编著. —北京:中国广播电视出版社, 2003.1

(数字广播电视技术书系/王明臣主编)

ISBN 7 - 5043 - 4012 - X

I. 广… II. 林… III. ①广播电视—电声学②电影—电声学 IV. TN912.1

中国版本图书馆CIP数据核字(2002)第092223号

### 广播影视声学

编 著:	林达恂
责任编辑:	李亚明
封面设计:	张一山
责任校对:	张莲芳
监 印:	戴存善
出版发行:	中国广播电视出版社
电 话:	86093580 86093583
社 址:	北京复外大街2号(邮政编码 100866)
经 销:	全国各地新华书店
印 刷:	河北省高碑店市鑫昊印刷有限责任公司
装 订:	涿州市西何各庄新华装订厂
开 本:	787×1092毫米 1/16
字 数:	390(千)字
印 张:	18.5
版 次:	2003年1月第1版 2003年1月第1次印刷
印 数:	5000册
书 号:	ISBN 7 - 5043 - 4012 - X/TN · 280
定 价:	36.00元

(版权所有 翻印必究·印装有误 负责调换)

**谨以此书献给：**

**中国广播电视事业  
的开拓者和继承者**

北京广播学院《数字广播电视技术书系》

---

编辑委员会

主任：周铜山

副主任：高福安 李鉴增 王明臣

委员：（以姓氏笔划为序）

王本玉 毛志伋 车 晴 李 栋

刘剑波 宋培义 肖 歌 林正豹

林达恂 张永辉 张 琦 杨盈昀

# 书系总序

时间似流星，把一批批酷爱读书的学子带出学校大门，撒向广阔的社会舞台施展才华……

时间如巨浪，推动广播电视事业千帆竞发，百舸争流，新技术、新模式层出不穷……

时间若彩笔，不断地把人们满头乌发抹灰、添白，向张张稚嫩的脸庞描绘鱼尾纹……

时间造化万物，推陈出新！

1997年3月《现代广播电视技术全书》第一版面世，至今已5年多了。这5年时间，世界信息技术飞速发展；这5年时间，我国广播电视由局部采用数字技术，推向整个系统实现数字化。时间不断流淌出新理论、新器件、新技术、新模式。在数字化的推动下，广播电视节目制播系统、传输覆盖以及管理手段日趋网络化、智能化；虚拟环境的营造和利用，部分地取代硬件系统，取得了更优、更美的艺术效果。在前几年还供不应求的《现代广播电视技术全书》，其内容已不能满足当前和今后的发展要求。无论是广播电视技术高等教育，还是第一线工程技术实践工作，都渴望能有更合适技术发展要求的新书，以解急需。

与我国广播电视第一线联系密切、长期从事工程技术教育和科学研究的北京广播学院的教授们，在历史责任感的推动下，应“中国广播电视出版社”之约，参照北京市“高等教育精品教材建设规划”要求，在《现代广播电视技术全书》的基础上，重新制定编写大纲，力争涵盖当今广播电视从节目制作、播出、传输覆盖到接收重现等技术领域的最新成果。经过多次研讨审议、通力合作、历时年余，终成这部四百余万字的新编巨著《数字广播电视技术书系》，共分10册：

1. 广播影视声学
2. 数字音频技术及应用
3. 数字电视与高清晰度电视
4. 数字电视制播技术
5. 多媒体与电脑动画
6. 有线电视网络
7. 数字卫星广播与微波技术

8. 宽带网络技术
9. 计算机网络技术及应用
10. 广播电视技术管理与教育

10册书彼此协调分工,构成相对全面、完整、配套齐全的书系;而又各自独立成书,可分册单独使用。这部书系的特色是力求突出其先进性、科学性、系统性和实用性。重点介绍当前国内外先进的数字技术、智能化制播技术、宽带网络技术、多媒体应用、光纤传输、卫星广播与数字微波等。该书系在兼顾技术理论、工程设计和实践应用的同时,并对设备的管理和高质量的节目制作方法以及相关理论进行了较具体的论述,力争作到理工结合、工艺兼容。

北京广播学院是全国著名的培养广播电视各类高级专门人才的高等学府,拥有一大批在我国广播电视工程技术领域颇具声望的专家、教授和年轻的后起之秀。他们在数字电视、高清晰度电视、数字声音广播、数字记录、数字微波、卫星通信、宽带网络、多媒体制播技术以及现代化媒体管理等方面的研究成果,为国内同行所关注。数十年来为我国广播电视事业培养了工程技术类大学本科生、研究生近万名,为我国广播电视事业的发展作出了突出的贡献。学院汇集30多名学有所成,业有所就的老、中、青优秀专家教授和科研骨干力量,为了我国广播电视事业的发展,为了满足广播电视技术领域第一线同行们的急需,也为了学院教学和科研的需要,将他们多年来从事教学和科研工作的积累,以及技术实践经验,认真地总结提炼,编著成书,献给新世纪我国广播电视事业的开拓者与继承者。本书系已纳入北京市“精品教材建设规划”,可作为高等院校本科相关专业的教材;又兼顾那些在广播电视技术领域第一线工作的工程设计、科研开发、设备维护人员的工作实践需求,作为可靠、好用的“技术参谋”。

随着信息技术和数字技术、广播电视新技术的突飞猛进,将会不断推出新的理论、新的技术、新的产品和新的制播手段。在当前和未来,这种发展常常会超出人们的预料。我们衷心地希望广大读者和专家能对我们的工作提出改进意见和要求。我们也将按广大读者和专家们的意见和要求,进一步补充和完善本书的内容,使书系能与时俱进,挺立潮头!

本书系的出版得到了北京广播学院领导和有关部门的大力支持,尤其得到中国广播电视出版社有关领导,及各位编辑的合作与支持。在此,我谨代表北京广播学院《数字广播电视技术书系》编辑委员会,向参加该书系编写的全体作者和有关领导以及一切为该书系出版作出贡献的同仁一并深表谢意。

北京广播学院

2002年5月

## 前 言

声音是人们最熟悉的自然现象。在日常生活中，人们无时无刻不处在声音的包围之中。从大自然的风声飒飒到小溪的流水潺潺，乃至雷电交加，山崩地裂，人们都无法摆脱各种各样的声响；而交流思想的语言，美妙动听的音乐，愉快欢乐的笑声以及伤心悲痛的哭泣，则是形成人类社会所不可缺少的必要因素。即使在夜深人静，人们处于酣睡的时候，也不能摆脱环境噪声的干扰。

随着科学技术的发展，除了自然声外，人类还“制造”了两类声音：噪声和乐音。毫无疑问，噪声使人烦恼，它甚至可能严重地影响人们的身心健康，因此，必须加以抑制或防护；而乐音则给人以享受，为人们所喜闻，许多乐音还可以促进人们的身心健康，可以加以利用，为人类服务。艺术领域中的声音，特别是随着科学技术发展而产生和发展的视听艺术和听觉艺术中的声音，甚至包括物理上的某些噪声，都可以在极其广泛的范围内满足人们精神生活的需要，在促进物质文明和精神文明的建设中起着愈来愈重要的作用。

声学是以声音为其基本研究对象的一门学科。一般地说，“声学是研究声音的产生、传播、接收和效应的科学”。但这对于近代声学来说，也许还不十分准确。事实上，近代声学的研究范围已经大大超出原有的研究领域，尤其是在应用声学方面，已经出现了许多边缘学科，建立了许多声学分支，例如物理声学、电声学、建筑声学、噪声与振动控制、环境声学、水声学、分子声学、大气声学、地声学、超声学、语言声学、音乐声学、生物声学、生理声学、生理声学、生理声学、生理声学、生理声学等等，几乎涉及工业、农业、国防、文教、卫生以及日常生活的各个领域。同样，广播影视声学也是声学的的一个分支，它是应广播影视创作的需要而发展起来的一门新兴学科。

众所周知，在广播电影电视中，“录音”已不止是一种“将声音转换成其他形式并加以保存的技术”，它已扩展成为广播影视声音的基本创作手段。这一创作通常包括声音的艺术构思（声音设计）和声音的技术制作两个方面，因此不能不涉及从技术到艺术的广泛领域：既涉及声音的客观物理特性，又涉及声音的主观感受；既包括声音的艺术构思，又包括声音的技术制作（录音）及声音的审美经验过程，甚至还包括提高受众的广播影视声音艺术欣赏水平等一系列问题。——对于电影或电视而言，还包括声音与画面之间的相互诱导、相互作用等视听之间的关系问题。可见，广播影视声学是一门涉及科学技术和文化艺术的边缘学科，是一门既涉及物理学、生理学、心



理学和美学等广泛领域，又具有本身学科特点的独立科学。

与声学的其他分支学科相似，广播影视声学是以广播电影电视中的声现象为其基本研究对象，除了研究广播、电影或电视中声音的产生、传播和接收以外，根据大众传播媒介的基本特点，为了进行声音的艺术构思，并最终实现这一构思，还有必要了解在声信号刺激下主体的生理反应、心理效应乃至审美经验。因此，可以认为，广播影视声学是一门研究广播影视声音的产生、传播、接收、处理和效应的基本规律的学科。

数字广播影视声音技术为声音信息的处理与传输提供了前所未有的广阔天地，大大扩展了声音控制的自由度。技术的先进，必然要求运用这种技术的人员具有优良的素质。由于声频数字技术在创造声音的品质和便捷性方面，特别是在创造声音效果的自由度上要比模拟技术优越得多。也正是这种自由度，要求创作者对声音客观特性和主观属性的认识更加深刻。而无论是声音的艺术构思，还是声音的技术制作都是建立在对声音的客观性质和主观属性以及它们之间联系的基础之上的。没有这种基本知识，既不可能进行声音设计，也不可能完成技术制作，更不可能借助数字技术进行自由的创作；对这种基本知识的认识愈深刻，创作的自由度就愈大，创作能力也就愈强。否则，数字技术不但没有为声音的艺术创作带来自由，相反，它的高性能反而可能导致创作的失败——高技术要求高素质！广播影视声学就是一门试图以提高这种素质为目的、阐述广播影视声音基本的客观性质与主观属性的学科。

本书是以笔者从事声学及录音声学研究与教学经验为基础写成的。集四十年的体验，笔者深切地感到，在一切与主观听感有关的声学领域，讨论声音的客观物理特性的同时，一刻也不能忘记其主观属性，并应尽可能建立起它们之间的相互联系。在广播影视领域，这种联系显得尤为重要。作者在这方面进行了一些努力，特别是结合广播影视声音创作的需要，进行了有关研究。本书将结合有关内容进行必要阐述。

全书是以高等院校相关专业的教学要求为基础、以广播影视声音相关专业的实际需要为基本依据进行撰写的。在选材方面则以基本物理性质为主，内容包括声学原理、广播影视中各类声音的基本性质（客观的与主观的）、电声学以及录音环境声学等几个方面。

在做了以上说明后就不难理解，我们在声学原理的叙述中并不强调物理声学的学科系统性，也不拘泥于复杂的数学推导，甚至也不注重数学的严格性，但对基本概念的阐述则十分注意。例如，声音的波动特性，声学量的物理意义等等。因为这些内容不仅在理论上十分重要，而且在实际创作中具有极其重要的指导意义。尽管如此，作为声学的基本理论，我们还是不能不涉及必要的数学推导。这些数学推导的目的，在于使读者了解所得结论——大多数以物理公式的形式出现——的过程。对于一般读者而言，重要的是理解这些结论的物理意义和适用条件，以便在实际工作中正确应用。当然，对于那些具有一定数学基础的读者和录音专业（本科）的学生来说，这些内容则是必需的。

在电声学中，主要包括传声器与扬声器的基本原理及使用两大部分。考虑到录音专业的实际需要，在选材方面更侧重于传声器。这不仅因为在实际录音中传声器比扬

声器更加复杂多变，而且还在于扬声器一旦布置好了之后很少再加以变动，而传声器在实际使用中几乎没有固定不变的时候。换句话说，从使用角度上讲，在录音系统中的扬声器主要用于监听和审听，通过这种监听或审听来控制或鉴定节目的声音及其效果。在一般情况下，用于监听或审听的扬声器不需要也不允许进行变动，更不必要重新布置。这时了解扬声器（或扬声器系统）及其相应的放声系统的声学特性，目的在于通过聆听对记录在载体上的声信号特点作出判断；传声器则不然，它不仅在每次录音之前都必须在众多传声器中进行选择，而且几乎没有一成不变的放置方式。事实上，录音中的传声器不仅仅是一种将声能转换为电能，以便加以放大、分配、混合、传输及增优处理的电声换能器，而且其本身就是一种“音质加工处理设备”。从这个意义上讲，它在录音中比扬声器具有更加重要的地位。这也是我们将它作为重点讨论的主要原因。无论如何，对于录音工作者来说，分析讨论传声器或扬声器的原理和技术，目的在于实际应用而非设计制造。在阐述中力求实现这一目标。

第4章开始，主要围绕录音空间环境声学条件的控制和声音空间效果的创作这一内容展开。目的在于深入了解空间环境的声学条件对声传播的影响，从而对声音的空间环境特性有深刻的认识。本书花费较多篇幅叙述录音环境声学的有关内容，不仅因为它在广播影视声音创作中的重要性，而且还在于这种重要性长期没有引起人们的足够重视。虽然在一些文献中对录音室的声学性能作过某些讨论，但是，它们大多局限在录音室本身，局限在为适应录音技术的发展而采取的措施；在声音空间环境理论方面，往往沿用建筑声学的陈旧观念。殊不知，广播影视中的声音空间环境理论与之存在着根本的差异。即使如此，在许多文献资料中，也没有将录音室同录音设备一样作专门讨论。事实上，录音环境的声学条件是进行录音控制的重要环节。

众所周知，声音是能量在空间的传递过程，它不可能脱离空间而存在，同时随着时间的变化而变化，因此，声音的空间特性和时间特性是声音的基本属性。不同空间中的声音，其传播规律不同，而随着时间的推移，空间位置也将发生变化。这是一个动态过程。这种动态过程对人的审美经验的形成产生巨大的动力。声音的美感不仅来自声源本身——声音的响度（声强）、音调（频率）、音色（频谱结构及相位）、音长（延续时间）及其变化，而且还因声音传播空间的性质，声音在该空间中的位置以及它们的变化而获得的声音效果——声音的环境效果和声音的空间（透视）效果，而给人以审美愉悦。在声音艺术中，由声音的空间环境特性而形成的声音空间环境效果已成为不可缺少的基本因素。声音的空间环境效果不仅可以再现现实生活中的实际空间环境，给人以自然，真实，亲切的感受，从而构成再现艺术中不可忽缺的因素，而且还可以通过声音形象所展示的叙事（生活）环境与其表现的思想情绪的结合创造不同的声音意境，使情感得到充分表现，从而成为表现艺术的一个重要组成部分。

毫无疑问，通过人的感知而形成的审美经验是客观存在在主观上的反映。因此，寻求空间中的声信号特性及其对人的作用（包括生理反应，心理效应及审美作用）就成为十分重要的课题了。对于它们的研究，不但可以对实际空间中的信号进行控制，或者反过来为了获得某种空间信号而对空间环境的声学条件加以控制（调整乃至重新设计），而且还可以通过其他手段（例如音质加工处理技术）模仿或重新创造特定的

空间信号。这样就为声音进入广播影视后的一项重要任务，即将声音变为“创造的艺术”提供了必要条件。

由于本书的内容较多，在撰写中突出重点，兼顾一般。对基本理论和声音创作中的相关问题分析尽可能详细些，其他问题则尽量简要一些。显然，这并不是因为它们不重要，而是为了减少篇幅。笔者虽然努力做到繁简恰当，简而不漏，并力求满足录音创作的要求，但因水平有限，加上篇幅限制、时间仓促，错误在所难免，敬请不吝指正。

林达悃

## 内 容 提 要

广播影视声学是应广播影视声音艺术创作的需要而发展起来的一门声学新兴学科。它以广播电影电视中的声现象为研究对象。本书阐述广播影视中声音的产生、传播、接受和效应的基本规律，为数字广播影视声音技术提供必要的理论基础。全书以高等院校相关专业的教学要求为基础，以广播影视声音有关专业的实际需要为依据。选材以可听声的基本物理性质为主，并尽可能建立起与其相对应的生理反应、心理效应和审美经验。本书主要包括声学基础、广播影视中的声音及其控制、电声学、录音环境声学以及录音中的音质主观评价等几部分内容，特别是对录音空间环境的控制和声音空间环境效果的建立有较深入的讨论。

本书可作为高等院校相关专业的教学用书，也可供广播、电影、电视以及舞台调音、电化教学等业务工作者参考使用。

## 目 录

<b>第 1 章 声学基础</b> .....	1
1.1 振动学简介 .....	1
1.2 声波的基本性质 .....	15
1.3 基本声学量 .....	19
1.4 声波的传播 .....	32
1.5 声波的迭加 .....	41
<b>第 2 章 广播影视中的声音及其控制</b> .....	46
2.1 广播电影电视中的声音 .....	46
2.2 语言及其控制 .....	57
2.3 音乐及其控制 .....	68
2.4 音响及音响音乐化 .....	86
<b>第 3 章 电声学</b> .....	89
3.1 电—声换能器 .....	89
3.2 传声器原理 .....	91
3.3 传声器的使用 .....	117
3.4 扬声器及箱式扬声器系统 .....	140
<b>第 4 章 录音空间环境声学理论</b> .....	167
4.1 录音环境及声音的空间环境效果 .....	167
4.2 自由声场中的声传播理论 .....	171
4.3 封闭空间声场的几何图解研究 (几何声学) .....	173
4.4 封闭空间声场的波动理论 (波动声学) .....	175
4.5 封闭空间声场的统计理论 (统计声学) .....	179
4.6 室内稳态声场的分析 .....	187
4.7 多个声源产生的声场 .....	192
4.8 不同声源对室内声场的影响 .....	193
4.9 表征录音环境声学条件的参量 .....	196
4.10 室内声场的控制 .....	200

<b>第5章 噪声与振动控制概要</b> .....	205
5.1 噪声控制原理 .....	205
5.2 空气声的隔绝(隔声)简述 .....	211
5.3 吸声材料与吸声结构 .....	217
<b>第6章 专用录音场所——录音室</b> .....	233
6.1 录音室的类型及基本特点 .....	233
6.2 语言录音室 .....	237
6.3 音乐录音室 .....	241
6.4 混合录音室及摄影棚 .....	253
<b>第7章 空间环境效果及其控制</b> .....	257
7.1 空间环境声的基本特征 .....	257
7.2 空间环境效果的建立及其作用 .....	264
<b>第8章 录音中的音质主观评价</b> .....	271
8.1 监听与审听 .....	271
8.2 录音控制室与审听室 .....	275
<b>参考文献</b> .....	280

# 第1章 声学基础

## 1.1 振动学简介

### 1.1.1 质点振动学

#### 1. 质点的自由振动 谐振动

本章主要讨论与声学问题有着紧密联系的振动方式，即质点及若干典型弹性体的振动规律，以求对振动的基本规律有一概念性的理解。对于所涉及的数学工具，一般读者可不必追究。当然，它们不仅在理论上，而且在实用中还是十分重要的。

为了简单起见，首先从简化的模型出发，研究物体的一些最基本的振动规律。这一简单模型就是从实际问题中抽象出来的“质量—弹簧系统”，如图 1-1 所示。它是由一个质量为  $M_M$  的不发生形变的物体与一个忽略了质量、劲度为  $K_M$  的弹簧组成的。同时假定：振动系统质量块的质量  $M_M$  集中于一点，而整个弹簧的弹性是均匀的，即弹簧的弹性也是集中于一点上的。这种系统又称质点振动系统。在这种理想化的情况下，可以把这一系统的质量与弹簧的运动状态看作是均匀的。通常把这类参数不随空间位置变化的系统叫做集中参数系统，也称集总参数系统。

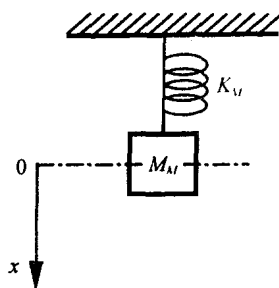


图 1-1 质量—弹簧系统

所谓质点的自由振动，就是假定上述系统仅在初始时刻受到一外力作用，然后在无摩擦阻力的理想条件下进行振动。在这种情况下，根据虎克定律和牛顿第二定律不难得出，

$$a = -\frac{K_M}{M_M} x \quad (1-1)$$

(1-1)式描述了质量—弹簧系统——也称“弹簧振子”——的运动规律。其物理意义是：弹簧振子的质点振动加速度与位移成正比，但方向相反。这种振动称为谐振动。换句话说，凡是满足(1-1)式的振动称为谐振动。

显然，我们可以将(1-1)式改写成以下形式：

$$\frac{d^2 x}{dt^2} + \frac{K_M}{M_M} x = 0 \quad (1-2a)$$

若引入振动的固有圆频率

$$\omega_0^2 = K_M / M_M \quad (1-3)$$

则(1-2a)式可以写成以下形式:

$$\frac{d^2 x}{dt^2} + \omega_0^2 x = 0 \quad (1-2b)$$

这就是质点自由振动方程的微分形式,也称为质点自由振动方程。显然,(1-2b)式的一般解取以下形式:

$$x = A \cos(\omega_0 t + \varphi) \quad (1-4)$$

如果取初始条件为  $t = 0$  时,  $x = A_0$ ,  $v = 0$ , 则可得出本节开头所给定的特定情况下的一个特解

$$x = A_0 \cos \omega_0 t \quad (1-5)$$

式中  $A_0$  为运动的最大距离,称为振动的振幅(取绝对值)。如果将完成一次振动所需要的时间叫做周期,并记为  $T$ ,显然,圆频率(亦称角频率) $\omega_0$ 与周期  $T$ 有以下关系:

$$\omega_0 = \frac{2\pi}{T} \quad (1-6)$$

圆频率  $\omega_0$  表示  $2\pi$  秒内的振动次数。在实际工作中,通常采用每秒钟的振动次数来表示物体振动的快慢,称为频率,以  $f$  表示,这样

$$f = \frac{1}{T} \quad (1-7)$$

从(1-5)式不难看出,在不同时刻,物体处于不同的运动状态。决定物体运动状态的,是余弦函数内的角度  $\omega_0 t$ 。我们将这一决定物体瞬时运动状态的参量称为相位。如果物体从起始的最大位移经平衡位置又达到最大,但与起始时刻的方向相反。这时两者之间的相位差为  $\pi$ ,即相差  $180^\circ$ ,称为相位相反,简称为“反相”;当  $t = T$  时,物体完成一次运动后才真正恢复到原来的状态。这时两者之间的相位差为  $2\pi$ ,即相位相差  $360^\circ$ 。它们的相位相同,称为“同相”。相位的概念在振动与声中是十分重要的。

位移对于时间的导数是速度,即物体的振动速度

$$v = \frac{dx}{dt} = -A_0 \omega_0 \sin \omega_0 t = -v_{\max} \sin \omega_0 t \quad (1-8)$$

当  $\sin \omega_0 t = 1$  时,物体的振动速度  $v$  达到最大值(负号表示与位移的方向相反),记作  $v_{\max} = A_0 \omega_0$ ,称为振速振幅(或振速幅值)。它表示,当位移振幅  $A_0$  一定时,振速振幅与频率成正比。

比较(1-5)式与(1-8)式可知,当位移  $x$  随时间  $t$  以余弦函数的规律变化时,振速  $v$  则随时间  $t$  以正弦函数的规律变化,反之亦然。由于  $\sin \omega_0 t$  在  $-1$  至  $+1$  之间变化,所以  $v$  在  $v_{\max}$  至  $-v_{\max}$  范围内变化。 $v$  为正时,表示沿  $x$  正向运动, $v$  为负时,表示沿



$x$  反向(负向)运动。

速度对时间  $t$  的导数是加速度。因此, 物体的加速度

$$\alpha = \frac{dv}{dt} = -A_0 \omega^2 \cos \omega t = -\alpha_{\max} \cos \omega_0 t \quad (1-9)$$

同样, 我们将加速度的最大值记为  $\alpha_{\max} = A_0 \omega_0^2 = v_{\max} \omega_0$ 。当位移振幅  $A_0$  一定时, 它与频率的平方成正比。与位移一样, 加速度  $\alpha$  也是随时间以余弦函数的规律变化, 但方向相反。如果将(1-5)式代入(1-9)式, 则

$$\alpha = -\omega_0^2 x \quad (1-10)$$

也就是说, 加速度  $\alpha$  与位移  $x$  成正比, 但方向相反。回顾前面对谐振动的定义, 证实了(1-4)式表示的振动的确是谐振动。因此, 谐振动也可以这样定义: 谐振动就是位移随时间以正弦或余弦规律变化的运动。

比较(1-1)式与(1-10)式可知, 弹簧振子的圆频率  $\omega_0$  由下式决定:

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{K_M}{M_M}} \quad (1-11a)$$

相应地, 频率  $f_0$  可用下式表示:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{K_M}{M_M}} \quad (1-11)$$

由此可见, 弹簧振子做谐振动时, 系统的振动频率是由其本身的质量  $M_M$  和弹性  $K_M$  决定的, 而与振动的振幅无关。这种完全由振动系统本身性质所决定的振动频率, 称为振动系统的固有频率。振动系统固有频率的这种特性, 在实际应用中是十分重要的。例如, 演奏钢琴时, 小锤敲击琴弦而使琴弦自由振动。因为每根琴弦都有其固有频率, 所以才能发出一定音高的声音, 而与敲击的轻重无关; 敲击的轻重只决定振动的振幅, 即影响声音的强弱, 而不会改变声音的音高。

谐振动是最基本的振动形式。实际的振动则要复杂得多。然而, 任何实际的复杂振动, 都可以看成是由许许多多不同振幅、不同频率的谐振动迭加而成的。换句话说, 任何复杂的振动都可以分解为具有不同振幅、不同频率的谐振动的迭加。这就是振动的频谱。它与通常所说的声音频谱有着密切的联系。

## 2. 谐振动的能量 有效值

我们知道, 任一时刻振动系统的能量  $W$ , 是由这一瞬间的动能与位能两部分组成的, 即

$$W = \frac{1}{2} M_M v^2 + \int_0^x K_M dx \quad (1-12)$$

代入(1-8)式与(1-5)式, 并利用(1-11)式的关系, 最后可得

$$W = \frac{1}{2} K_M A_0^2 = \frac{1}{2} M_M \omega_0^2 A_0^2 = \frac{1}{2} M_M v_{\max}^2 \quad (1-13)$$

为了方便起见, 在上述计算中假定初相位  $\varphi = 0$ 。

以上讨论表明, 在任何时刻, 系统的总能量等于物体位移最大时的位能  $\left(\frac{1}{2} K_M A_0^2\right)$  或物体振动速度最大时的动能  $\left(\frac{1}{2} M_M v_{\max}^2\right)$ 。如果以频率  $f$  表示, 则