

北京电影学院录音专业教材

M
SOUND

影 视

林达恂 / 编著

LINDAKUN BIANZHU

当代影视声音系列丛书

录音声学基础

中国广播电视出版社

《当代影视声音系列丛书》

录音专业教材书系

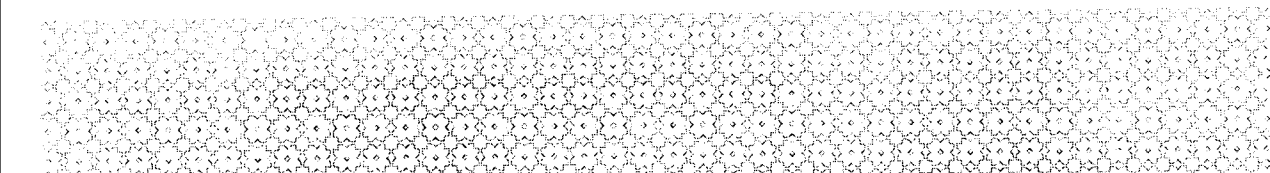
北京电影学院
《当代影视声音系列丛书》编委会编

影 视

录 音 声 学 基 础

林达恂 / 编著

中国广播电视出版社



图书在版编目 (CIP) 数据

影视录音声学基础 / 林达悃编著. —北京: 中国广播电视出版社, 2004.10

(当代影视声音系列丛书)

ISBN 7-5043-4345-5

I. 影... II. 林... III. ①电影录音-声学-基础理论 ②电视(艺术)-录音-声学-基础理论

IV. J933

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 101199 号

影视录音声学基础

编 著:	林达悃
责任编辑:	林 曦
封面设计:	李燕平
责任校对:	张莲芳
监 印:	陈晓华
出版发行:	中国广播电视出版社
电 话:	86093580 86093583
社 址:	北京市西城区真武庙二条 9 号 (邮政编码 100045)
经 销:	全国各地新华书店
印 刷:	北京海淀安华印刷厂
装 订:	涿州市西何各庄新华装订厂
开 本:	787 毫米×1092 毫米 1/16
字 数:	190 (千) 字
印 张:	12.5
版 次:	2005 年 1 月第 1 版 2005 年 1 月第 1 次印刷
印 数:	3000 册
书 号:	ISBN 7-5043-4345-5/TN·308
定 价:	23.00 元

(版权所有 翻印必究·印装有误 负责调换)

内 容 简 介

本书是专门为高等学校影视录音专业编写的首部录音专业教科书。

本书以介绍影视录音及相关专业所必需的声学基础理论知识为基本目的。全书共分七章。系统阐述了质点振动学、声波的基本性质、基本声学量、电—力—声类比及听觉的基本特性，并对弹性体振动学作了简要介绍。

本书是高等院校影视录音专业的专业基础课教材，也可作为与声频专业有关的其他相关专业的教材。

总 序

当我落笔写下以下文字时，不由想起了一年前当代影视声音系列丛书主编林达悃教授发给我的电子邮件。林先生是国内知名的影视声音专家，在北京电影学院任教多年，在录音的教学、科研和实践方面多有建树。他是国内录音声学的先驱者，写出了国内第一本《录音声学》专著。林先生向我详细地介绍了由他和他的学生与同事姚国强、孙欣教授共同策划出版的这套丛书的宏大想法。他们认为：“影视节目中的声音，涉及范围广泛。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，甚至还包括声音与画面之间的相互诱导、相互作用以及声音美学等一系列问题。因此，影视声音是一门涉及到科学技术和文化艺术的边缘学科，是一个既涉及物理学、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学科。”我以为，对影视声音的这一定义很有独到之处，把属于自然科学的物理声学 and 作为人文科学的影视艺术结合起来，把主观的感觉和客观的反映结合起来，去研究声音，一定更容易接近声音的本质，也更有利于声音的利用。

“《当代影视声音系列丛书》将根据主编者对影视声音的这一理解，组织撰写、编辑、出版一套既有系统理论，又有影视声音艺术创作实践和声音评价与欣赏的系列专业书籍，以满足我国在影视声音专业教育、艺术创作、爱好欣赏及技术发展方面的各种需求。”为此，林先生还将该丛书的编辑出版计划作为附件发给了我，里面列出了该丛书教学、辞书和科普三个书系的详细书目，其数目达六十余册之多。

毫无疑问，这是一个非常有意义的工作，一个非常有创新性的大胆设想。它不但对于推动我院影视声音教学和学科理论建设是十分必要的，而且在指导我国影视声音艺术创作和普及影视声音知识方面也都具有非常重要的意义。老实说，对于这样一个庞大的计划是否能够实现，哪怕是部分

的实现，当时我真的为他们捏把汗。现在，当代影视声音系列丛书教学书系中即将付梓的书目摆在了我的案前，共有10册之多，200余万字。看着这些书目及其内容介绍，不由地发自内心对他们的出色工作表示由衷的敬佩，而且彻底地消除了当时的担忧。

北京电影学院录音系的前身是成立于1960年的电影工程系电声专业，至今已近半个世纪。如果从1978年电影学院恢复招生，并正式成立录音专业算起，也有二十多年的历史了。应当说，在创办影视录音专业方面，可供借鉴的经验不多，世界各国对这一专业的学科特性的理解也不尽相同，在教学模式上也各有侧重。作为在我国最早创立、国际上为数不多的录音专业，虽然我们也经历过影视录音“是技术还是艺术”的争论，也出现过偏重于艺术或偏重于技术的理论倾向，但是，我们始终将“录音”看成是影视声音艺术创作的重要手段，始终坚持声音艺术与制作技术的结合。在坚持艺术实践的同时，始终强调理论的指导意义，并将其贯穿于录音艺术专业的教学工作和艺术实践的全过程中。显然，总结上述在教学和创作过程中所获得的经验教训，是一件非常有意义的事情。

这种总结的最好方式就是著述，将我院录音专业在教学、科研和艺术创作方面所获得的实践经验上升到学术理论层面的高度，并翔实地记载下来，供学生学习、同行评述。这样做不但必将推动我院录音学科在教学、科研和艺术创作方面的可持续发展，并继续保持在全国的学术领先地位；同时，这种学术总结还可能对中国乃至世界影视声音艺术专业的开拓做出我们应有的贡献。

作为大众传播媒介的影视艺术属于艺术范畴。由于声音的瞬变性，给受众对声音艺术的感知和理解带来了一定困难。由于我国有关声音艺术方面的美学研究文献相对贫乏，因此，如何提高受众的影视声音艺术的审美能力，即培养受众的声音艺术审美心理能力和相互协调能力，不仅是受众的迫切需求，同时也是创作者的需要。从这个意义上讲，该丛书的出版将会在一定程度上解决这个问题。

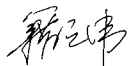
最后必须强调的是，对于这样一个庞大的学术出版工作，仅靠几个人的力量是难度极大的，它的完成需要得到各方面的支持与帮助。尽管北京电影学院和中国广播电视出版社的各级领导在出版方面已给予了极大的支持，而且张会军院长同意出任编委会名誉主编，但是，丛书的编辑和出版，还需要各兄弟单位和国内外有关专家学者的大力支持和积极参与。为了我国影视声音艺术事业的繁荣昌盛，为了声音艺术教学与学科的大力发

总 序

展，我在真诚感谢林先生和各位专家的工作的同时，希望能有更多的院内外专家和学者参与到此项学术研究工作中来，不吝指教，将《当代影视声音系列丛书》的编辑出版工作逐项完成。

我殷切地期待着。

是为序。



(北京电影学院党委书记、教授)

2004年10月



前 言

本书于1993年根据北京电影学院录音系1992年编制的教学计划要求编写的。其间曾作过多次修改。在此次出版之前又进行了全面修订，除物理声学基本内容仍完全保持原貌外，增加了生理—心理声学基础方面的内容。全部内容都是以影视录音专业的实际需要为基本依据，在选材方面则以音频声的基本物理性质及其基本生理—心理反应为主。事实上，声音的基本性质除物理特性和生理—心理反应外，还应包括美学属性。对于影视录音工作者来说，全面了解声音的这些客观性质与主观属性就显得格外重要。本书中没有过多涉及这些内容，不是因为声音的基本性质仅仅是客观物理和主观生理—心理方面的，而是由于声音的美学属性比这些主客观性质要复杂得多，对其了解也不十分透彻，相关理论也还不成熟，有的甚至很不成熟。这样，阐述起来自然更复杂一些。由于这些原因，我们将在本系列丛书的另外一些专著中加以叙述^①。因此，可以认为，录音声学基础的基本内容，从严格上讲，应当包括声音的物理、生理、心理和审美几方面的基本特性，对于影视声音的相关学科而言，更应如此。但是，无论如何，对于声音物理性质的了解，却是万万不可忽视的。

在作了以上说明后，我们就不难理解，在本书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、人的听觉系统以及基本心理—物理量等。因为这些内容不仅在理论上十分重要，而且在实际录音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

^① 有关内容可参阅林达悃的《录音声学》、《录音电声学》、《录音环境声学》和《录音心理学》等书籍。



导。从上面的说明可知，对于一般读者而言，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）。换句话说，重要的是理解这些结论的物理意义和适用条件，以便在实际录音中正确应用。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。

尽管笔者在编写中力求注重基本概念、基本理论的阐述，并在叙述中力求深入浅出，繁简适宜，但终因水平所限，错误在所难免，敬请不吝指正。

林达悃

2004年10月于北京电影学院



目 录

第一章 绪论	(1)
第一节 引言	(1)
第二节 声学的发展简史	(1)
第三节 声学的研究范围	(3)
第四节 录音声学基础与影视声音	(4)
第二章 质点振动学	(6)
第一节 质点的自由振动 谐振动	(6)
第二节 谐振动的能量 有效值	(13)
第三节 阻尼振动 品质因素	(15)
第四节 受迫振动 共振	(19)
第五节 阻尼振动与受迫振动的能量	(26)
习 题	(30)
第三章 弹性体振动学简介	(33)
第一节 张紧的弦	(34)
第二节 横振动的棒	(36)
第三节 张紧的圆膜	(38)
第四节 周界钳定的圆形板	(39)
第四章 声波的基本性质	(40)
第一节 声波的物理图像	(40)
第二节 声压的基本概念	(41)
第三节 声波方程	(43)
第四节 声传播时声压与密度的变化规律 以声压表示的声波方程	(46)



第五节	声波的能量 声强	(54)
第六节	声压级与声强级 分贝	(56)
第七节	声波的逸散与吸收	(61)
第八节	声波的反射与折射	(68)
第九节	声波在分界面处的能量关系	(73)
第十节	声波的衍射	(76)
第十一节	在自由声场中, 气压—温度及风向对声传播的影响	(79)
第十二节	声波的干涉 叠加原理	(80)
第十三节	拍	(82)
第十四节	驻波	(83)
第十五节	都普勒效应	(84)
	习 题	(86)
第五章	电—力—声类比	(87)
第一节	类比的意義	(87)
第二节	电路元件	(89)
第三节	力学元件	(92)
第四节	声学元件	(99)
第五节	振动系统的类比——电—力—声类比线路	(105)
第六节	力—声变量器	(114)
第七节	导纳型类比与阻抗型类比之间的转换	(117)
	习 题	(118)
第六章	听觉	(121)
第一节	语言与听觉	(121)
第二节	人的听觉系统的结构与功能	(128)
第三节	听觉的方位感受——“双耳效应”	(136)
第四节	听觉的感受性	(138)
第五节	听觉掩蔽	(146)
第六节	声强的主观感受——响度	(151)
第七节	频率的主观感受——音高 (音调)	(154)
第七章	基本声学量	(159)
第一节	频率与频段	(159)
第二节	声阻抗率和特性阻抗	(163)

目 录

第三节 声强与声压·····	(164)
第四节 频谱与谐级·····	(166)
第五节 VU 音量单位·····	(167)
附录 1 常用数学知识 (摘要) ·····	(173)
附录 2 声学量及相关物理量的单位 ·····	(181)
主要参考书目·····	(186)



第一章 绪 论

第一节 引 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，它甚至是严重地影响身心健康的有害声音，必须加以抑制或防护；而音乐则给人以享受，为人们所喜闻，许多音乐还可以促进人们的身心健康，可以加以利用，为人类服务。许多艺术领域中的声音，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，除了上述声音外，甚至还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。

第二节 声学的发展简史

简单地说，声学是一门研究声音的科学。可以说，这门科学既古老又年轻。由于人类社会的形成与发展和声音有着极其密切的关系，因此，人们对声音的认识可以追溯到很久很久以前的古代时期。就声音的系统研究而言，也可追溯到纪元以前。早在公元前五六百年，希腊的毕达哥拉斯（Pythagoras）就详细地分析了弦长与所产生的音调之间的关系，并将希腊的音乐从原来的三音发展成为七音；后来，阿里士多德（Aristotle）提出了声音的特性应以音强、音调和音色三者加以表征，并注意到这些特性与



空气质点的振速、被激发的空气量及发声体的结构有密切关系。

我国是世界文明古国，对声学的建立和发展作出了突出的贡献。早在公元一世纪，东汉的王充就对声音的波动性质提出了明确的概念，而宋朝的张载更进一步提出了“声者形气相轧而成”的论述，说明他们当时就己对物体振动及气体冲击固体而发声的原理有了相当深刻的了解。《诗经》上就己写道，声成文谓音，音和乃成乐，声、音、乐三者不同，但有时又相通，一般谓其声音。响是声，但与声、音又不同，“响之附声如影之著形”，是声音的作用，特别是使人产生感觉。噪则是“群呼烦扰”，是“扰”。可见当时对声现象的观察与理解是相当深刻的。而在音乐声学方面的研究，我国不仅是世界上最早的国家之一，而且具有系统性。相传在黄帝时（公元前 26 世纪）就有了宫、商、角、征、羽五声音阶；对管乐器发声规律的研究，则比希腊的毕达哥拉斯大约早一个世纪。大约在公元前 6 世纪，《管子》中就明确地记载了“三分损益法”，并得出了十二律。到了宋代，我国伟大科学家沈括在其所著的《竹溪梦谈》中提出了弦乐器的共振现象，并对板乐器中的振动面、振幅与响度之间的关系等问题作了阐述。1978 年在我国湖北随县出土的编钟，距今已有两千四百余年，其精制程度进一步说明了我国古代音乐的高度水平。

由此可见，声学是一门十分古老的学科，而且它是作为艺术的一部分——音乐最先引起人们的兴趣。在声学的发展过程中，它与艺术领域有着十分密切的关系。

在中世纪，声学与其他学科一样，也处于停滞不前的状态，几乎完全停留在原有的水平上。直至 16 世纪情况才有所改变。在此期间，伽利略（Galileo 1564—1642）深入研究了物体振动的规律，建立了摆长、频率、共振与八度音感等之间的关系。梅尔新（Marin Mersenne）于 1630 年发表了精确计算弦振动的计算方法，并测量了声传播的速度。加桑地（Agssendi 1592—1655）则通过炮弹的射程，对声传播的速度进行了测量。1687 年，牛顿（Newton）从理论上对声传播的速度进行了研究，导出了计算声速的公式。但由于他将媒质中通过声波时的膨胀与压缩过程误认为是等温过程，因此所得的结果与实验不符。这一误差一直保持了一百余年，直至 19 世纪初，才由拉普拉斯（P.S.Laplace）得到纠正。

声学发展过程中必须提到的是，1660 年虎克（Hooke）发表的膨胀定律。这一定律奠定了计算声音在固体与气体中传播速度的理论基础。此后，尤勒（Euler）、伯努利（Bernoulli）及克希霍夫（Kirchhoff）等人对

棒和板的振动进行了研究，分别得出了理论计算结果。到了 19 世纪末 20 世纪初，古典声学达到了高峰，伟大的声学家瑞利（Lord Rayleigh）系统地总结了到当时为止的全部声学科学成果，写出了至今仍有重要参考价值的经典著作《声学理论》（1677 年）。该书获得了 1904 年诺贝尔物理学奖。

在这一时期，实验声学也有了较大发展。19 世纪初，克拉德尼（E.E.F.Chladni）用实验方法详细研究了各种弹性体（弦、棒、板等）的振动，为实验声学开辟了一条新的道路。19 世纪中叶，声音与生理的关系也得到了重视。在这一时期，对人的听觉系统的研究得出了一些重要的结果。在 1843 年—1844 年间，欧姆（Ohm）提出了人的听感只与组成声音的谐波振幅有关，而与它们之间的相位关系无关的理论，从而创造了运用频谱分析研究声音特性的方法。赫姆霍兹（Helmholtz）发展了“声音分析法”，写出了一本阐述基底膜等理论的重要著作《听觉理论》。而赛宾（W.C.Sabine）的有关空间声学的基础研究，特别是在 1900 年发表的混响时间的计算公式，至今仍然是建筑声学中最常用的公式。

尽管 16 世纪以后，无论在声学理论还是在声学实验方面都有了巨大的发展，但由于处理声学问题的方法与研究声学问题的实验手段的局限，基本的研究内容仅限于机械运动与力学的范围内；在实用方面也受到很大限制。声学的发展又面临着严重的困境。

从上世纪 20 年代开始，随着电子管的出现，声学的发展进入了一个崭新的阶段。在电子管发明之后不久，所有声学实验的方法全都改观了，尤其是当代数字处理技术、激光技术以及大规模集成电路的广泛应用，使声学的发展获得了新的生命，古老的声学一跃而进入近代声学的全盛时期，成为近代最年轻的科学之一。这种技术的飞跃，不但使声学的研究大大超出了古典声学研究的音频范围，而且使近代声学渗透到工程技术、地球科学、生命科学和文化艺术各个方面，从而产生了许多许多新的声学分支学科，其应用范围也在不断扩大。

第三节 声学的研究范围

毫无疑问，声学是以声音为其基本研究对象。一般地说，“声学是研究声音的产生、传播、接收和效应的科学”。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、生理声学与心理声学等,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。图 1.3.1 是声学各分支学科与各科学门类之间关系的一例。从下图中可以看出,声学的近代发展已经到了“无孔不入”的程度。难怪有的科学家认为,要想对声学下一个严格的定义是困难的,也许只能说“声学是声学家研究的科学”了。这尽管并不是科学的定义,但它却生动地反映了近代声学飞跃发展的客观事实。

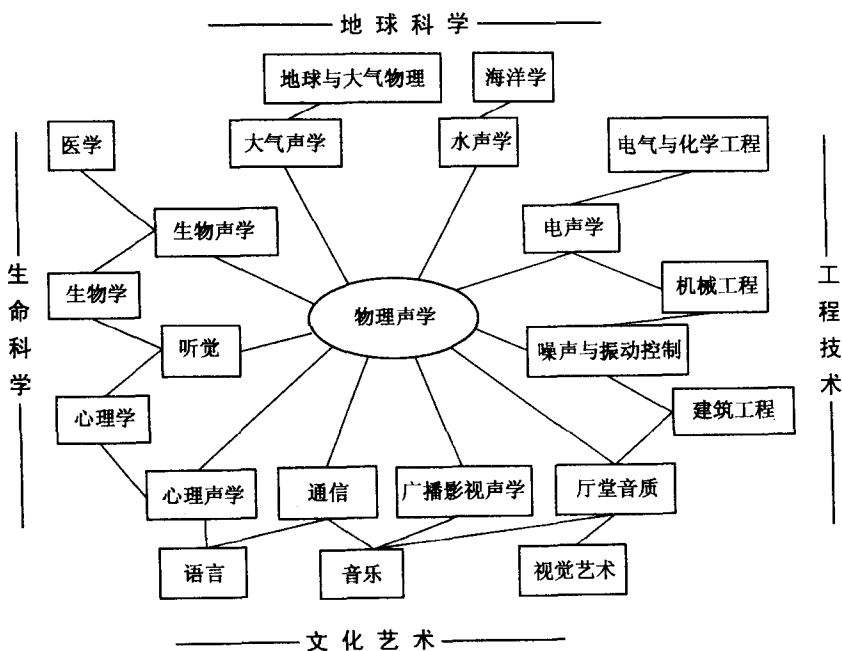


图 1.3.1 声学各分支学科与艺术和科学关系之一例

第四节 录音声学基础与影视声音

从图 1.3.1 中可以看出,声学基础(亦称“物理声学”)是声学各分支学科的理论基础;各声学学科是从它与其他学科的结合中派生出来的。显然,录音声学基础是学习录音声学所必须具备的声学基础知识。

不言而喻,影视声音包括电影电视声音的创作与欣赏两大部分。影视

录音则是影视声音创作的基本手段。录音中的声学问题包括声音的产生、传播、接收和效应几个基本内容。在电影电视中，“录音”已不再是“将声能转换成其他形式并加以保存的技术”，它是电影电视声音创作的手段。但是，无论如何，录音中处理的唯一对象是声音：在声音艺术构思中，不但必须了解声音可能产生的生理—心理反应，而且还必须了解声音的审美经验过程；在进入录音制作阶段，则必须自觉地对声信号的特性进行有效地控制，以保证声音艺术构思的实现。可以认为，录音创作的能力就是“驾驭”电影电视声音的能力。为了“驾驭”电影电视中的声音，重要的是要对声音的主观属性和客观特性的了解与控制，正如著名的电影理论家贝拉·巴拉兹所说，“对电影说来，声音还不是一个收获，而是一个任务，这个任务一旦完成，便将受益匪浅。但这要等到电影里的声音能像电影里的画面那样成为一种驾驭自如的手段，等到声带有一天能像画面那样从一种复制的技术转变成创造的艺术。”

由于声学基础是为声学的各个分支学科提供理论基础，因此涉及面广，内容丰富，包含较高深的数理知识。而录音声学则研究录音中声信号的产生、传播、接收和效应的科学。特别是客观的声音与主观听感之间的关系，因此，它是录音的艺术构思和实现对声信号最大限度的控制的基础科学。诚然，录音声学基础则同样是为其提供必要的理论基础，只不过其针对性更强、涉及的数理基础更为有限罢了。

