

中央音乐学院图书馆藏书

书号

G5

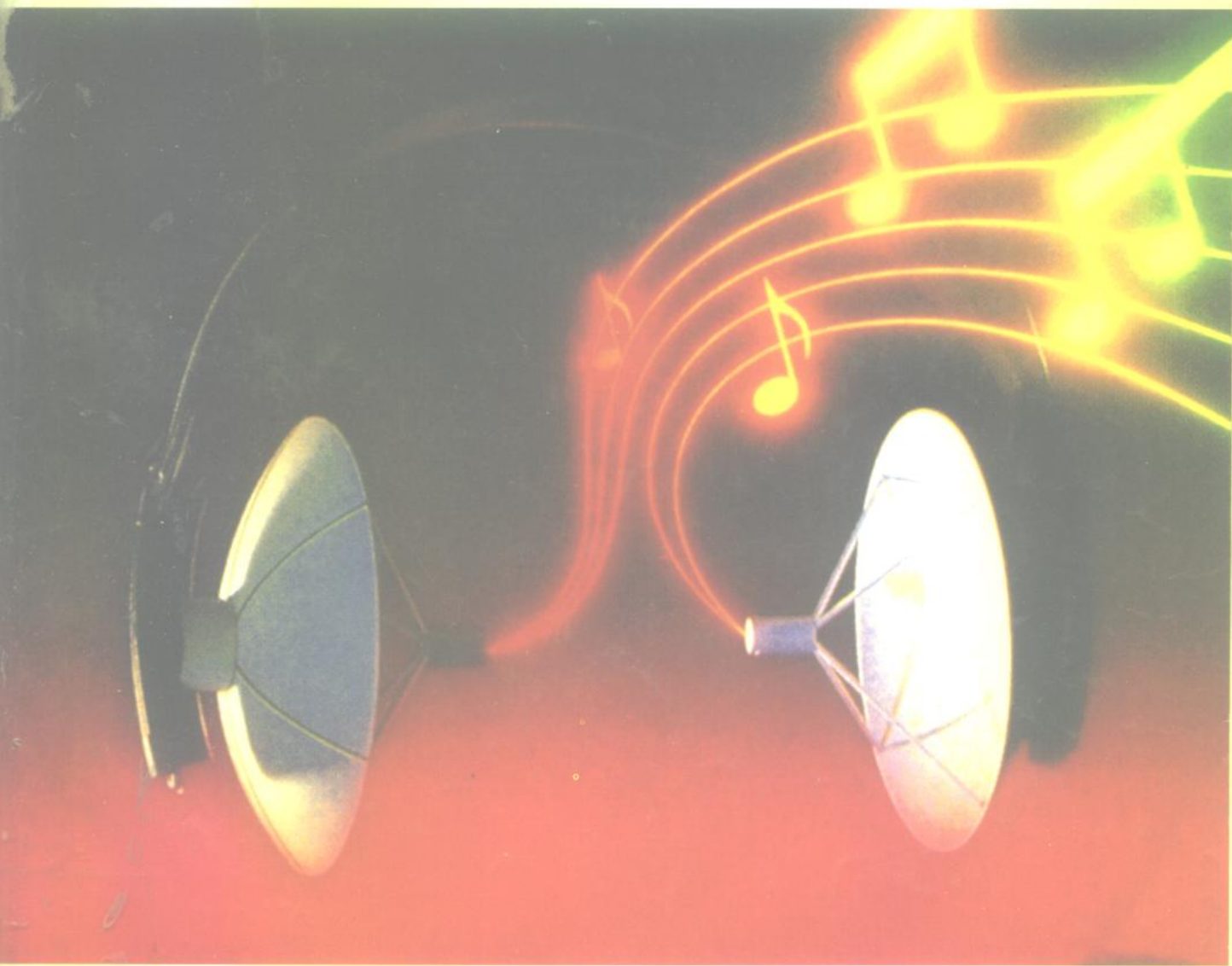
总记
登号

BK157449

乐声学

一首啊·乐器·计算机音乐·MIDI·音乐厅声学原理及应用

龚镇雄 编著



电子工业出版社

音乐声学

— 音响 · 乐器 · 计算机音乐 · MIDI · 音乐厅声学原理及应用

龚镇雄 著

电子工业出版社

(京)新登字 055 号

内 容 简 介

现代音乐声学涉及物理、数学、电子学、计算机、美学等诸多学科。它几乎与每个人的生活息息相关。因此它是一门内容新鲜充满生机的新学科。

本书取材广泛立论新颖,适应当前科学与音乐发展,生动地介绍了音乐声学的物理、心理、音乐基础知识及音律、声谱、乐器、歌唱、室内音乐声等知识。同时介绍了音乐声学 with 音响、计算机的关系,对当前我国的“发烧友”具有指导意义。

本书适宜音乐专业、普通大学师生和专业人员、爱好音乐、音响的广大发烧友及中、小学音乐老师。

0533/03

音乐声学

—— 音响·乐器·计算机音乐·MIDI·音乐厅声学原理及应用

娄镇雄 著

责任编辑: 乐 生

*

电子工业出版社出版(北京市万寿路)

电子工业出版社发行 各地新华书店经销

一二〇一工厂印刷 北京云峰印刷厂装订

*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 18.5 字数: 470 千字

1995 年 5 月第一版 1995 年 5 月第一次印刷

印数: 1—5000 册 定价: 26.00 元

统一书号: ISBN 7-5053-2700-3/TN. 796

李政道博士为本书题辞

物理与音乐共鸣
声波为科学交响

李政道

辛未年元月

前 言

从1987年开始,在一些朋友的鼓励下,我在北京大学开设了一门全校学生可以自由选修的课程——音乐声学概论。后来,又曾在中央乐团社会音乐学院及中央音乐学院讲授,一共已经有八遍了。本书就是在各次讲授的基础上整理写成的。

音乐声学原来是一门古老的学科,它的传统内容主要是研究音乐的物理基础,特别是传统乐器的材料、结构与发声的关系;即以乐器声学为主要内容,我们可以称之为古典的音乐声学。在当今时代里,我认为,应该赋予音乐声学新的成份。因为音乐声学涉及音乐、物理学、数学、电子学、计算机科学、生理学、心理学、美学等诸多学科,它是一门自然科学、社会科学和艺术等多种门类科学相互渗透和结合的科学,也是一门客观世界与主观世界密切结合的科学。特别是,它几乎与每个人、每天的生活息息相关。因此,它已经是一门有新鲜内容的、充满生机的新学科——现代音乐声学。

对于科学发展的前沿,我认为有两种含义。一种是单门基础学科或应用学科的前沿。例如物理学、生命科学、建筑学、发明创造学、马克思主义哲学等学科的前沿;另一种是边缘、交叉科学的前沿。如遥感科学、音乐声学、工业设计学等等,以及包括对于交叉、边缘科学的理论、观点的新发展的科学。把有关音乐声学这门新的交叉学科的内容和科学与艺术的关系、各种门类学科的联系、关系等观点介绍给读者,这是我写本书的目的之一。

当前,特别提倡社会主义的物质文明和精神文明两个文明的建设,加强德育和美育教育,培养新一代的具有开拓、创造精神的人才。我想,本书对于提高人们的文化素质、思维素质,促进青年的全面发展,是会起一定的熏陶、启发和影响的积极作用的,这是我撰写本书的第二个目的。

当你倾听一首歌曲或欣赏一场管弦乐或爵士音乐或地方戏曲的演出时,你可以把它当作陪伴你,使你不致于感到孤寂的一种声响;你也可以把它视为一段悦耳的曲调或旋律,使你在紧张的生活和工作之后得到放松和休息;你也可以把它作为获得和谐、愉快的心理满足的方式;可以沉浸在甜蜜、舒坦或深情的音乐的意境中,获得精神的调节、转移,启迪对美好生活的憧憬或对旧日的思念;可以被它激励、振奋、鼓舞,增加对生活的热爱,或成为美好理想而奋斗的动力;可以使人们的道德情操得到升华或净化。

当你欣赏音乐时,你还可以从音乐构成的角度去分析一下:这是一个什么类型的乐队?有多少种乐器?现在是什么乐器在演奏或者是哪几种乐器在合奏或齐奏?乐曲是什么样的节奏型及用的是什和弦?和弦如何联结?出现什么特别的和弦或旋律进行?这个国家地区或剧种的音乐是什么调式的?这段乐曲的曲式如何?属于什么体裁?从频响上看,哪一频段突出了?哪一频段“空”了?有没有用人工延时或人工混响?噪声水平如何?以及它们的其它物理内容,或演奏、歌唱技巧的特点等。这是撰写本书的第三个目的,即是为读者从更多的方面、更高的层次上去理解、欣赏音乐提供一个参考。

为了适应非理工科出身的读者阅读,本书尽量不用或少用数学公式,着重从音乐与物理的联系上去阐明问题,多同日常所见结合。一方面,针对音乐现象去说明道理;一方面,立足于科学特别是物理学,从这个角度去看音乐。这也就是力图在本书中贯串的从理论到实际和从实际到理论的辩证关系。本书也特别注意结合我国音乐发展的现状和民族音乐的特点来

讲述。

本书的第一部分包括第一章至第七章，是概论和基础。第一章绪论，介绍现代音乐声学这门学科的性质、历史和现状，研究对象及研究方法，其基础学科和相邻学科等。第二章是物理基础，只讲以后用得着的有关声学的必要的基本知识。第三章是生理、心理基础，讲人耳的听觉特点。第四章是音乐基础，从音乐的基本要素及构成的角度去讲述一些音乐的基本知识。第五章是音律学，它是音乐声的音高系列的产生和组合的理论基础。第六章声谱，是研究音乐声性质的基本物理方法之一。本书的第二部分包括第七章到第十二章，是音乐声学各方面的主要内容。它涉及音乐声的发生、传播、控制和接收。第七章乐器声学，从乐器的材料、结构、工艺和演奏等方面去讨论它与音乐效果的关系。第八章歌唱声学也是讲人的发声机制与声音效果的关系。第九章音乐电声、第十章计算机音乐，除了发声机制外，还包括音乐声的控制、加工、转换和接收。第十一章室内音乐声讲的是音乐声的传播条件与听音效果的关系。第十二章音乐声的主观评介，是一个主观接收的问题，也涉及音乐美学。各章可以独立阅读。每章均附有一些问题。主要名词附有外文译名。

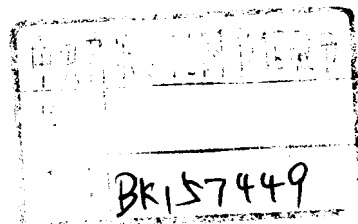
作为一门新的学科，不仅是几个母学科的堆砌，而应有其自身的新的内容和结构。实际上，也出现了一系列关于音乐声学的新的理论和实践问题。例如，音乐声的概念如何明确？人的主观听感的客观基础是什么？用几个什么“要素”及其构成可以表述音乐声学？乐器怎样更科学地加以分类？如何形成音乐声学这门学科的框架和构成，以及研究路线和研究方法等等。回答这些问题，自然是尝试性的，不成熟的，甚至是不甚准确的，书中所讲仅仅是一些个人的观点，还有待在发展中予以修改、充实和完善，因此，恳请诸位读者不吝指教，提出意见或建议，特别是不同的观点及批评。

在我从事音乐声学的事业中，得到了许多老师、朋友和同学们的帮助、鼓励，特别是著名物理学家，诺贝尔物理奖获得者李政道博士为本书题了辞，王湘老师、黄翔鹏老师、包紫薇老师、虞福春先生、陈通老师、马大猷先生等给了我支持、鼓励和指导；钱锋、温公慧、霍宏、张霖、王新华、毕宁、齐士铨、曹孝振、思泓等同志给了我许多具体的帮助；机电部第三研究所的张桂昌、蔡振江、徐文学等同志，北京现代物理研究中心的甘子钊、冯孙齐同志，中央乐团的宋效曾、王世全同志、人民音乐出版社的陈平同志，社会音乐学院的李井同志以及我的许多学生，都给了我支持和帮助，特别是王迪同志协助我整理了全部书稿和插图，董馨、刘颖、软文杰、李俊、纪玉平、周晓成、徐礼松、徐永永同志也参与了书稿的整理，北京大学物理系的武兰青同志为本书用计算机打出了谱表，谨向他们致以诚挚的谢意。

龚镇雄于北京大学物理系

1995.1

目 录



第一章 绪论	(1)
§ 1.1 声学 (Acoustics) 的发展	(1)
1.1.1 自然界中的声音——声学的起源	(1)
1.1.2 国外声学发展的历史	(1)
1.1.3 我国声学发展的历史	(3)
1.1.4 声学的发展离不开音乐	(5)
§ 1.2 现代音乐声学 (Modern Musical Acoustics) 的性质和特点	(6)
1.2.1 科学与艺术的结合	(6)
1.2.2 当前科学、文化发展的前沿	(6)
1.2.3 广泛的生活基础和群众基础	(7)
1.2.4 发展中的新学科所面临的新课题	(7)
1.2.5 简短的结语	(8)
§ 1.3 现代音乐声学的研究对象, 研究内容和相邻学科	(8)
1.3.1 现代音乐声学的研究对象——音乐声 (Sound of Music)	(8)
1.3.2 现代音乐声学的内容	(9)
1.3.3 现代音乐声学的基础学科	(9)
1.3.4 现代音乐声学的相邻学科	(10)
§ 1.4 现代音乐声学的研究方法和现状	(10)
1.4.1 沿用母学科的研究方法	(10)
1.4.2 当今各种门类科学、艺术的共同规律	(12)
1.4.3 开辟研究现代音乐声学的新方法	(12)
1.4.4 音乐声学的国内外现状	(13)
思考题	(13)
第二章 音乐声学的物理基础——振动和声波	(15)
§ 2.1 振动	(15)
2.1.1 振动, 周期振动, 简谐振动, 简谐振动的三要素	(15)
2.1.2 简谐振动的频率	(16)
2.1.3 亥姆霍兹振子 (Helmholtz Resonator)	(18)
2.1.4 简谐振动的振幅和能量 (Energy)	(18)
2.1.5 同方向振动的简谐振动的合成, 拍 (Beat)	(20)
2.1.6 阻尼振动	(20)
2.1.7 受迫振动, 共振, 共鸣	(21)
§ 2.2 波 (Wave)	(23)
2.2.1 波的定义, 波的四要素	(23)
2.2.2 横波, 纵波	(24)
2.2.3 波前, 平面波, 球面波	(24)
2.2.4 波长 (Wave Length)	(26)
2.2.5 驻波 (Standing Wave)	(27)
2.2.6 多普勒效应	(28)

§ 2.3 声波 (Sound Wave)	(29)
2.3.1 声波的性质	(29)
2.3.2 声压, 声功率, 声强, 声压级, 功率级, 声强级	(31)
2.3.3 声波的传播, 声的绕射, 反射和折射, 声波的独立传播定律	(33)
2.3.4 声学测量	(39)
思考题	(41)
第三章 音乐声学的生理, 心理基础——听觉	(45)
§ 3.1 听觉与声学	(43)
3.1.1 没有听觉就没有声学	(43)
3.1.2 声学表现为主观和客观的矛盾和统一	(43)
3.1.3 声音的主观量	(43)
§ 3.2 听觉的生理	(44)
3.2.1 耳的结构和工作途径	(44)
3.2.2 耳的功能	(44)
3.2.3 耳的听觉范围	(45)
§ 3.3 人耳对声音强弱的感觉	(45)
3.3.1 可感声强范围	(45)
3.3.2 可感声强变化	(45)
3.3.3 声强听感的频率响应	(46)
3.3.4 响度、响度级、等响曲线	(46)
§ 3.4 人耳对声音高低的感覺	(47)
3.4.1 音高 Pitch 与频率	(47)
3.4.2 音高与响度	(47)
3.4.3 音高差分辨	(47)
3.4.4 音高建立时间	(49)
§ 3.5 人耳对音色的感觉	(49)
§ 3.6 听觉的掩蔽效应	(50)
3.6.1 声的掩蔽	(50)
3.6.2 声掩蔽效应的应用	(50)
§ 3.7 听觉的时间效应、哈斯效应和听觉住留	(50)
§ 3.8 双耳效应 (Binaural Effect)	(51)
3.8.1 双耳定位 (Binaural Localization)	(51)
3.8.2 声像 (Sound Image)	(51)
§ 3.9 音乐声的听觉实验方法	(52)
3.9.1 传统的心理物理实验方法	(52)
3.9.2 心理物理学实验方法的新探索 *	(52)
思考题	(53)
第四章 音乐声学的音乐基础——音乐的构成	(54)
§ 4.1 音乐声的要素和音乐的构成	(54)
4.1.1 乐音的要素, 音乐声	(54)
4.1.2 音乐声的组合和运动	(54)

4.1.3	音乐的构成	(55)
4.1.4	音乐的构成图解	(55)
§ 4.2	音乐声的音高表示——音名、唱名和记谱	(55)
4.2.1	现代音名及记法	(55)
4.2.2	五线谱 (Staff Stave)	(57)
4.2.3	唱名	(59)
4.2.4	简谱 (Cheve System)	(60)
4.2.5	其它记谱法	(61)
§ 4.3	音高的距离——音程 (Interval)	(61)
§ 4.4	音高的排列——音阶和调式	(62)
4.4.1	音阶 (Scale)	(62)
4.4.2	调式概述	(62)
4.4.3	七声音阶调式	(63)
4.4.4	中国汉族五声音阶调式	(65)
4.4.5	其它五声音阶调式	(68)
4.4.6	古希腊七声音阶调式	(69)
4.4.7	欧洲教学音乐调式 (Church Modes)	(72)
§ 4.5	音高的时间构成——旋律和曲式	(72)
4.5.1	旋律 (Melody)	(72)
4.5.2	曲式 (Musical Form)	(73)
§ 4.6	音高的叠置——和弦	(73)
4.6.1	和声、和弦	(73)
4.6.2	三和弦	(73)
4.6.3	七和弦	(75)
4.6.4	调式和弦	(78)
§ 4.7	乐音的时间和空间构成——和弦的连接	(80)
4.7.1	和弦音、和弦外音 (Inharmonic Tone)	(80)
4.7.2	和弦的功能性连接	(83)
§ 4.8	音乐的综合构成——风格和体裁	(83)
4.8.1	音乐作品的风格 (Style), 构成音乐作品风格的要素	(83)
4.8.2	音乐作品的体裁	(87)
	思考题	(88)
第五章	音律概述	(90)
§ 5.1	引言	(90)
5.1.1	音律问题的内容	(90)
5.1.2	我国古代关于音律起源的记载	(90)
§ 5.2	音与律, 音高标准	(91)
5.2.1	音与律, 律制	(91)
5.2.2	标准音高 (Standard Pitch)	(91)
5.2.3	中国古代律名	(92)
§ 5.3	频率比, 音分 (Cent)	(93)
5.3.1	频率比与音程	(93)

5.3.2	音分	(93)
§ 5.4	十二平均律 (Twelve Tone Equal Temperament)	(95)
5.4.1	十二平均律	(95)
5.4.2	十二平均律的生律方法	(95)
5.4.3	小结	(96)
§ 5.5	五度相生律	(97)
5.5.1	五度相生律	(97)
5.5.2	五度相生律的生律方法, 三倍频	(97)
5.5.3	左拳定调方法	(98)
5.5.4	我国古代记载的三分损益法计算	(99)
5.5.5	五度相生律自然大音阶	(99)
5.5.6	五度相生律大音阶各音之间的音程, 最大音差, 大全音 (Comma Maxima)	(100)
5.5.7	五度相生律自然小音阶及各音之间的音程	(101)
5.5.8	五度相生律和声小音阶及其特殊音程, 大半音	(102)
5.5.9	小结	(102)
§ 5.6	纯律	(104)
5.6.1	纯律	(104)
5.6.2	纯律的生律方法: 三倍频和五倍频	(105)
5.6.3	纯律自然大音阶, 普通音差	(105)
5.6.4	纯律自然小音阶及和声小音阶	(106)
5.6.5	小结	(107)
§ 5.7	三种律制的比较	(108)
5.7.1	自然大音阶	(108)
5.7.2	自然小音阶	(108)
5.7.3	和声小音阶	(109)
5.7.4	音程, 和弦	(109)
§ 5.8	有关音律问题的历史、现状和展望	(110)
5.8.1	我国历史上音律学的发展	(110)
5.8.2	欧洲古代音律学发展简述	(110)
5.8.3	当前几种乐制在世界上的区域划分	(111)
5.8.4	音律学的应用和发展	(111)
	思考题 (附参考答案)	(112)
第六章	声谱	(115)
§ 6.1	引言	(115)
6.1.1	谱 (Spectrum)	(115)
6.1.2	描述声音的参量—声谱 (Spectrum of Sound)	(115)
6.1.3	研究声谱的意义	(115)
§ 6.2	时间谱—声音的时程特性	(116)
6.2.1	声强随时间的变化谱	(116)
6.2.2	音高随时间的变化谱	(118)
6.2.3	音色随时间的变化谱	(119)
6.2.4	声音的瞬态	(119)

§ 6.3 声音的频谱 (Spectrum of Frequency)	(121)
6.3.1 基音 (基频)、泛音 (谐波)、分音	(121)
6.3.2 傅氏分析 (Fourier Analysis) 和音乐声的信号处理 (Signal Processing)	(121)
6.3.3 线状谱 (Line Spectrum) 与连续谱 (Continuous Spectrum)、 乐音 (Musical Tone) 与噪声 (Noise)	(122)
6.3.4 线性 (Linear) 谱和对数 (Logarithm) 谱	(122)
6.3.5 频带宽度 (Band Width)、中心频率 (Centre Frequency)	(124)
6.3.6 一些波形的频谱	(124)
6.3.7 频谱的叠加定理	(124)
6.3.8 共振峰 (Formant)	(125)
§ 6.4 三维声图 (Three-dimensional Sound Pattern) 语图 (Sonogram Sound Spectrogram)	(127)
6.4.1 声波的立体描述	(127)
6.4.2 语图	(127)
6.4.3 模式化声图 (Mode of Sound Pattern)	(129)
6.4.4 噪声的声图	(129)
§ 6.5 声音的协和性与声谱	(130)
6.5.1 谐波的频率和音分	(130)
6.5.2 音程的协和性及不协和性	(131)
§ 6.6 音色与频谱	(132)
6.6.1 决定音色的因素	(132)
6.6.2 一些谐和谱的音色	(132)
思考题	(133)
第七章 乐器声学	(134)
§ 7.1 引言	(134)
7.1.1 乐器与音乐	(134)
7.1.2 对乐器的一般要求和乐器的一般性质	(135)
7.1.3 乐器与音乐家	(135)
7.1.4 乐器的基本结构	(136)
7.1.5 乐器与物理	(136)
7.1.6 乐器的声学参数	(136)
7.1.7 乐器的四要素, 乐器声学的内容	(137)
§ 7.2 乐器的分类	(138)
7.2.1 乐器分类的原则	(138)
7.2.2 按材料分类	(138)
7.2.3 按演奏方法和演奏机制分类	(139)
7.2.4 按发声体分类	(139)
7.2.5 按用途分类	(140)
7.2.6 按发声的物理机制分类	(140)
§ 7.3 弦乐器	(143)
7.3.1 弦的振动方式	(143)
7.3.2 琴箱与弦的耦合	(145)

7.3.3	弦乐器的材料与音质	(146)
7.3.4	弦乐器的结构与音质	(147)
7.3.5	弦乐器的制造工艺与音质	(148)
7.3.6	弦乐器的演奏与音质	(149)
7.3.7	提琴	(151)
7.3.8	吉他	(153)
7.3.9	钢琴	(155)
7.3.10	胡琴	(160)
§ 7.4	管乐器	(161)
7.4.1	管乐器发声的激励机制	(161)
7.4.2	管的定律	(162)
7.4.3	管长校正 (Lenth Correction)	(163)
7.4.4	激励器与管的耦合	(164)
7.4.5	管乐器的材料与音质	(164)
7.4.6	管乐器的结构与音质	(164)
7.4.7	管乐器的制造工艺与音质	(165)
7.4.8	管乐器的演奏与音质	(165)
7.4.9	木管乐器 (Wooct-Wind)	(166)
7.4.10	铜管乐器 (Brass Wind)	(168)
7.4.11	中国笛 (Di)	(168)
§ 7.5	簧振乐器 (Reed Instrument)	(170)
7.5.1	簧振乐器的发声	(170)
7.5.2	手风琴	(171)
7.5.3	八音琴 (Musical Box)	(173)
7.5.4	笙 (Sheng)	(173)
7.5.5	管风琴 (Organ, Pipe Qrgan)	(174)
§ 7.6	膜板乐器	(176)
7.6.1	膜板乐器的振动模式	(176)
7.6.2	几种膜板乐器的频谱	(177)
§ 7.7	温度、湿度对乐器的影响	(178)
7.7.1	温度的影响	(178)
7.7.2	湿度的影响	(179)
§ 7.8	中国民族乐器的改革	(179)
7.8.1	中国民族乐器的特点	(179)
7.8.2	中国民族乐器的改革	(180)
	思考题	(181)
第八章 歌唱声学		(183)
§ 8.1	引言	(183)
8.1.1	歌唱的音乐	(183)
8.1.2	对歌唱发声的要求	(183)
§ 8.2	人体乐器	(184)
8.2.1	人体中与发声有关的器官	(184)

8.2.2	“人体乐器”的构成	(184)
8.2.3	“人体乐器”的特点	(185)
§ 8.3	歌唱的发声原理	(185)
8.3.1	声带发声	(186)
8.3.2	“音管”发声或“音管”与声带同时发声	(187)
§ 8.4	唱法	(187)
8.4.1	西方美声唱法	(188)
8.4.2	共振峰	(188)
8.4.3	颤音 (Vibrato)	(189)
8.4.4	中国美声唱法	(189)
8.4.5	中国戏曲和民间唱法	(189)
8.4.6	中国通俗唱法	(190)
§ 8.5	歌词	(190)
8.5.1	歌词与音乐	(190)
8.5.2	一首好歌词应具备的条件	(191)
8.5.3	歌词与音乐的结合	(191)
§ 8.6	歌唱的环境和气氛	(192)
8.6.1	伴奏——歌唱的声乐环境	(192)
8.6.2	动作、表演、舞台——歌唱的空间环境和心理环境	(192)
§ 8.7	歌唱声学的研究	(193)
8.7.1	歌唱声学的研究方法	(193)
8.7.2	对一些需要研究解决的课题的建议	(193)
	思考题	(194)
第九章	音乐电声	(195)
§ 9.1	引言	(195)
9.1.1	电声学 (Electroacoustics) 的基本问题	(195)
9.1.2	音乐电声 (Musical Electroacoustics) 的内容	(195)
§ 9.2	传声器 (Microphone)	(196)
9.2.1	传声器的作用	(196)
9.2.2	各种传声器的工作原理和优缺点	(197)
9.2.3	传声器的指向特点	(198)
9.2.4	传声器的主要技术指标	(199)
9.2.5	如何使用传声器	(199)
§ 9.3	磁带录音机 (Magnetic Tape Recorder)	(200)
9.3.1	磁带录音机的种类	(200)
9.3.2	磁带录音机的工作原理, 磁头	(201)
9.3.3	磁带 (Magnetic Tape)	(202)
9.3.4	磁带录音机的传动机构	(203)
9.3.5	降噪 (Noise Reduction)	(203)
9.3.6	磁带录音机的主要技术指标	(204)
§ 9.4	电唱机 (Turntable, Electric Gramophone)	(204)
9.4.1	电唱机的构成	(205)

9.4.2	唱片 (Records) 的录音特性	(205)
9.4.3	唱头 (Head)	(205)
9.4.4	拾音臂	(206)
9.4.5	电唱机的驱动装置	(206)
9.4.6	电唱机和唱头的主要技术指标	(207)
§ 9.5	激光唱盘 (Compact Disc Player, CD Player)	(208)
9.5.1	激光唱盘的特点	(208)
9.5.2	激光唱片的结构和工作原理	(208)
9.5.3	激光唱盘的主要技术指标	(209)
§ 9.6	调谐器 (Tuner)	(209)
9.6.1	调谐器的功能	(209)
9.6.2	调谐器的主要技术指标	(210)
§ 9.7	控制放大器	(210)
9.7.1	电声调制 (Audio Modulation)	(210)
9.7.2	电声中的分贝	(210)
9.7.3	控制放大器	(212)
9.7.4	控制放大器的主要技术指标	(212)
§ 9.8	图示均衡器和人工混响、人工延时	(213)
9.8.1	图示均衡器	(213)
9.8.2	图示均衡器的主要技术指标	(213)
9.8.3	人工延时 (Artificial Delay) 和人工混响 (Artificial Reverberation)	(213)
§ 9.9	功率放大器	(214)
9.9.1	功率放大器 (Power Amplifier) 的作用及种类	(214)
9.9.2	功率放大器的主要技术指标	(215)
§ 9.10	扬声器系统	(216)
9.10.1	扬声器系统的构成和作用	(216)
9.10.2	电—声换能器	(216)
9.10.3	音箱 (Loudspeaker Cabinet Loudspeaker Housing)	(216)
9.10.4	音箱放置位置与室内声效果	(217)
9.10.5	扬声器系统的主要技术指标	(219)
§ 9.11	耳机 (Earphone)	(220)
9.11.1	耳机的性能和种类	(220)
9.11.2	耳机的主要技术指标	(220)
§ 9.12	立体声	(220)
9.12.1	立体声正弦定律	(220)
9.12.2	双道立体声拾音方式	(221)
9.12.3	立体声放音	(221)
9.12.4	假立体声 (Quasi-Stereo)	(222)
§ 9.13	高保真	(222)
9.13.1	导致电声系统放声效果失真的缘由	(222)
9.13.2	高保真的含义	(222)
§ 9.14	电子乐器 (Electronic Musical Instrument)	(223)

9.14.1	电子乐器与电声乐器	(223)
9.14.2	电子乐器的性能和特点	(223)
9.14.3	电子琴 (Electronic Keyboard) 的基本结构	(224)
§ 9.15	家庭组合音响系统	(225)
9.15.1	家庭组合音响系统的构成和音乐功能	(225)
9.15.2	家用组合音响系统的综合功能	(225)
	思考题	(228)
第十章	计算机音乐	(229)
§ 10.1	计算机音乐 (Computer Music) 的发展	(229)
§ 10.2	计算机音乐的内容	(230)
10.2.1	声音的数字合成	(230)
10.2.2	音乐的数字录音	(231)
10.2.3	声音的数字控制	(231)
10.2.4	乐器的数字接口 (MIDI)	(232)
10.2.5	计算机作曲	(232)
10.2.6	计算机辅助作曲	(233)
10.2.7	计算机音乐作品	(234)
10.2.8	计算机记谱、读谱、机械手演奏	(234)
10.2.9	计算机音乐作品分析	(235)
10.2.10	用计算机作音乐的理论研究和探索	(235)
10.2.11	用计算机作音乐的实验研究和探索	(236)
10.2.12	计算声学	(236)
10.2.13	计算机与音乐教学	(236)
§ 10.3	电脑音乐系统 (MIDI 系统)	(237)
10.3.1	电脑音乐系统 (MIDI) 的构成	(237)
10.3.2	音序器	(238)
10.3.3	合成器	(239)
10.3.4	MIDI 系统的连接	(241)
§ 10.4	计算机给音乐带来的变革	(244)
10.4.1	赋音乐以更广阔的天地	(244)
10.4.2	赋音乐以新的概念	(244)
10.4.3	产生新的心理感受和审美标准	(245)
10.4.4	促进音乐研究的深化	(245)
10.4.5	促进音乐和音乐教育的普及与群众对音乐的参与	(245)
10.4.6	促进音乐与科学技术及其它门类艺术的结合和计算机科学的发展	(246)
	思考题	(246)
第十一章	室内音乐声	(248)
§ 11.1	引言	(248)
11.1.1	同一声源的不同听感	(248)
11.1.2	室内的音乐声源	(248)
11.1.3	声在室内的传播	(249)
11.1.4	室内声的听感	(249)

11.1.5	室内音乐声图解	(249)
§ 11.2	室内声场	(249)
11.2.1	室内声组成	(249)
11.2.2	室内声场的建立和衰减过程	(251)
11.2.3	闭室的尺度与简正频率	(251)
11.2.4	闭室的混响时间 (Reverberation Time)	(253)
11.2.5	最佳混响时间	(253)
11.2.6	其他描述室内声性质的参量	(254)
11.2.7	室内声场的频率响应 (Frequency Response)	(255)
§ 11.3	闭室声场中的能量	(256)
11.3.1	扩散声场	(256)
11.3.2	艾润公式和赛宾公式的推导	(256)
11.3.3	室内声能比, 房间常数, 混响半径	(257)
§ 11.4	研究声场的方法	(257)
§ 11.5	吸声 (Sound Absorption)	(258)
11.5.1	材料的吸声特性	(258)
11.5.2	常见的吸声材料 (Sound Absorption Material)	(258)
§ 11.6	室内噪声, 隔声	(260)
11.6.1	室内噪声 (Room Noise) 的来源	(260)
11.6.2	室内噪声标准	(260)
11.6.3	常用的隔声和隔振措施	(260)
§ 11.7	室内声场的音质设计	(261)
11.7.1	室内声场音质设计的目的	(261)
11.7.2	室内声场音质设计的一般要求	(261)
11.7.3	室内声场音质设计的原则	(261)
11.7.4	室内声场音质设计的一般步骤	(262)
11.7.5	用电声技术进行室内声场控制 (Acoustic Field Control)	(262)
§ 11.8	各种音乐场所的室内音质设计	(263)
11.8.1	音乐厅的音质设计	(263)
11.8.2	歌剧院的音质设计	(264)
11.8.3	电影院的音质设计	(265)
11.8.4	演播室、录音室的音质设计	(265)
11.8.5	试听室的音质设计	(265)
11.8.6	家庭小房间的音质设计	(265)
思考题	(267)
第十二章	音乐声的主观评价	(268)
§ 12.1	引言	(268)
12.1.1	音乐声的客观检测和主观评价 (Acoustic Field Control)	(268)
12.1.2	音质 (Quality of sounds)	(268)
12.1.3	音乐声主观评价的特点	(268)
§ 12.2	音乐声的客观检测	(269)
12.2.1	与音高有关的客观量	(269)

12.2.2	与声强有关的客观量	(269)
12.2.3	与时值有关的客观量	(270)
12.2.4	反映音色的客观量	(270)
§ 12.3	音乐美	(270)
12.3.1	有关音乐美的基本观点	(270)
12.3.2	音乐美的内容	(271)
§ 12.4	音质的主观评价	(272)
12.4.1	音高的主观评价	(272)
12.4.2	声强的主观评价	(273)
12.4.3	与时值有关的主观评价	(274)
12.4.4	音色的主观评价	(274)
12.4.5	音质的总体评价	(275)
§ 12.5	电声产品质量的主观评价	(275)
12.5.1	电声产品的声音质量	(275)
12.5.2	电声产品音质的主观评价方法	(276)
12.5.3	电声产品音质评价节目源	(277)
	思考题	(277)