

華南理工大學建築學術叢書

建築學系教師論文集(上)	01
建築學系教師論文集(中)	02
建築學系教師論文集(下)	03
建築學系教師設計作品集	04
校友設計作品集	05
建築設計研究院建築設計作品集	06
建築設計研究院校園規劃設計作品集	07
快速建築設計思維與表達	08

音樂與建築 09

嶺南古代殿堂建築構架研究	10
--------------	----

76-5
100237

华南理工大学建筑学术丛书

Architectural Academic Series of South China University of Technology

音乐与建筑

Music and Architecture

吴硕贤 著

1357/01



中国建筑工业出版社



20019965

图书在版编目 (CIP) 数据

音乐与建筑/吴硕贤 著. —北京:

中国建筑工业出版社, 2002

(华南理工大学建筑学术丛书)

ISBN 7-112-05488-5

I. 音… II. 吴… III. 音乐厅—建筑设计—作品

集—中国—现代 IV. TU242.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2002) 第 083069 号

责任编辑 常 燕

华南理工大学建筑学术丛书

音乐与建筑

吴硕贤 著

中国建筑工业出版社 出版、发行 (北京西郊百万庄)

新华书店经销

深圳圳士雅高印刷有限公司印刷

开本: 787×1092 毫米 1/32 印张: 14^{1/2} 字数: 370 千字

2002 年 11 月第 1 版 2002 年 11 月第 1 次印刷

印数: 1—1,500 册 定价: 60.00 元

ISBN 7-112-05488-5

TU·4818 (11102)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题, 可寄本社退换

(邮政编码 100037)

本社网址: <http://WWW.china-abp.com.cn>

网上书店: <http://WWW.china-lanling.com.cn>

华南理工大学建筑学术丛书

主 编：何镜堂

副 主 编：肖大威

编辑委员会（以姓氏笔划为序）：

孔志诚 邓其生 孙一民 叶荣贵 刘管平 江璧淮

何镜堂 吴庆洲 吴硕贤 肖大威 孟庆林 陆元鼎

赵红红 陶 郅 程建军

执 行 主 编：

肖大威

执 行 副 主 编：

孟庆林 陶 郅

建筑学系教师论文集执行主任编辑：

鲍戈平

设计作品集执行主任编辑：

陶 郅 许吉航 王国光

建 筑 学 系 教 师 论 文 集（上）

执行编辑：冯 江

建 筑 学 系 教 师 论 文 集（中）

执行编辑：张小星

建 筑 学 系 教 师 论 文 集（下）

执行编辑：王 璐

建 筑 学 系 教 师 设 计 作 品 集

执行编辑：庄少庞

建 筑 学 系 校 友 设 计 作 品 集

执行编辑：许吉航 李小驰

建筑设计研究院建筑设计作品集

执行编辑：隋 郁

建筑设计研究院校园规划设计作品集

执行编辑：隋 郁

快速建筑设计思维与表达

叶荣贵 庄少庞 著

音 乐 与 建 筑

吴硕贤 著

岭南古代大式殿堂建筑构架研究

程建军 著

封 面 设 计：曹声东

译 文：曹国建

参加编辑人员：赵越品 许自力 郭 祥 周玄星 刘宇波 郭卫红 方小山 刘 红

序

华南理工大学建筑学院（其前身为广东襄勤大学建工系），自1932年成立至今已走过了七十年的风雨历程。在这七十年中，从早期留法归来的广东襄勤大学建工系创始人林克明先生到夏昌世、陈伯齐、谭天宋、胡罗飞、龙庆忠等一批留德、留日的学者，共同奠定了岭南建筑学派的教育风格，形成了我院严谨的设计观念与广东开放、内外兼容相结合的务实能干、紧密联系社会实际的优良传统。其后经过几代岭南人的努力，在探索发扬岭南建筑传统风格的基础上，不断创新，直到今天，乘着改革开放的东风，在卓有成效地开展岭南建筑的系统研究的基础上，我院以更多的优秀作品浇灌了岭南建筑创新的平台，开创出岭南建筑走向世界的方兴未艾新局面。

这几十年来，经过几代师生的共同努力，我们的建筑学院为祖国建设培养出了一大批栋梁之材，他们在祖国各条战线上默默耕耘无私奉献，作出了出色的成绩。其中既有活跃于各行各业的专家、建筑师，也有各地区、部门的领导，以及学科的带头人以至国家设计大师和中国工程院院士，尤其在华南地区，更是做出了突出的贡献，正是他们的努力，使我们学院成为在全国建筑行业极具影响力的重点院校之一。

这套专集，收集了我院师生在各自的领域内的研究和设计成果，其中包括了3本建筑系教师论文汇编，4本作品专集和3本专著。作者中既有老一辈的专家、教授，也有教育、生产一线的中青年教师、设计师和在读的硕士、博士研究生，作品涉及面广，从建筑设计理论到城市规划，以及历史、文化和建筑技术方方面面的研究，汇集出版这套专集，也作为建筑学院成立七十周年的一份厚礼。

随着祖国的发展，特别是近十几年来，在改革开放的大好形势下，我院广大师生先后有一大批建设项目和设计获得部级和国家级大奖，取得了辉煌的成绩。我院创建于岭南地区，形成了我院以岭南建筑系统研究为基础的地域特点，以创新为特征的敢为天下先的学术传统，以实践动手能力培养为重点的理论联系实际的学风，以作品获奖多、学生受社会欢迎为特色，设计院与建筑系产、学、研相结合的教育模式。如今正值我国建设与教育的跨越式大发展时期，长江后浪推前浪，江山辈有人才出，一大批中青年教师及设计人员在老一辈学者专家的培养、带领下已成长为我院科研、教学、创作的骨干。展望未来，相信我院广大师生一定能够在这个大好形势下，发扬优良传统，为祖国建设做出更大贡献，创造更加光辉灿烂的明天。



何健棠：华南理工大学建筑学院院长、教授，博士生导师
中国工程院院士，中国工程设计大师

前言

在华南理工大学建筑学系建系 70 周年系庆前夕,建筑学院准备出版一套书,作为系庆的献礼,其中包括我的一本文集。按此任务我不禁感到惶恐不安,因为无论从哪一方面讲,我都自认为尚不够资格出文集,但经不起学院领导的一再催促,只得恭敬不如从命,勉为允承。

好在这些年来,我陆陆续续在各报刊杂志上发表了許多文章,其中既有随笔、散文、游记,又有科普文章和学术演讲,内容涵盖从建筑学、音乐声学、厅堂声学到有关建筑教育以及城市环境保护等诸多主题,颇为芜杂。

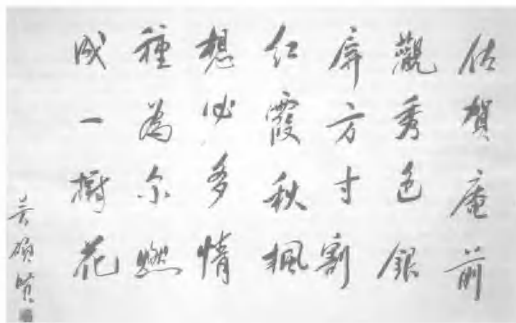
我想利用这个机会将之荟萃出版,作为前一阶段自己在建筑学、声学和建筑教育等方面所做的一些工作与思考的回顾与总结,同时以丑媳妇不怕见公婆的想法,将之呈献于同行和公众面前,以广泛听取各界人士的教正。文集中除个别文章是初次问世外,其余文章均曾在报刊杂志上发表过,此次入编时除个别字句稍作订正及补充修改外,基本原文不动。

作为一名主要从事建筑环境声学研究的学者,这些年来我还陆续发表了一些专业研究方面的论文。由于这些论文涉及较多数学推导,夹杂不少专业术语,与现在收入此文集中的文章体例颇不统一,故在此文集中均未予列入,打算将来有机会时,再另行结集出版。

作为中华诗词学会会员和岭南诗社与之江诗社成员,我曾于 1995 年出版过诗合集《偶吟集》(由浙江古籍出版社出版),嗣后又陆续在一些报刊和各地出版的诗词集上发表了一些新作。此次我编选了部分有关建筑与环境的诗词,作为本书之附录。这些诗词部分选自《偶吟集》,但相当部分是尚未结集出版的新作,一并呈请广大读者,不吝赐教。

感谢我的夫人朱琴晖、女儿吴晔和我的学生赵越楠博士后,邱坚建建筑师等人在本文集出版过程中所给予的协助。

吴颖贤
2002 年 5 月



吴頌賢手迹

Preface

College of Architecture and Civil Engineering of South China University of Technology (former Department of Civil Engineering of Guangdong Xiangqin University) was founded in 1932. She has experienced 70 years of trials and hardships since then. In the past 70 years, the founder of the former Department of Civil Engineering of Guangdong Xiangqin University, Mr. Lin Kenning, returned from France, and a number of other returned scholars from Germany and Japan, such as Xia Changshi, Chen Boqi, Tan Tiansong, Hu Luofei and Long Qingzhong, etc., they have jointly established the style of education of the Lingnan Architectural school and formed our college's strict and precise design concept and our good tradition, which harmonizes with Guangdong's opening to both the inland and the world, of being true to facts, keeping improving skills and integrating our work closely with the social reality. The following generations of them have been making great efforts to constantly bring forth new ideas on the basis of exploring and carrying forward the traditional styles of the Lingnan architectures since then. With the advantage of the open policy and on the basis of the highly effective systematic research on the Lingnan architectures, our college has constructed a foundation for innovation of the Lingnan architectures with even more excellent works and just unfolded her way to the world for the Lingnan architectures.

In the past years, through the joint efforts of generations of teachers and students, College of Architecture and Civil Engineering has cultivated a large number of pillars of the state for the construction of our country, who work hard and sacrifice themselves selflessly on all fronts and have made great successes and among them, there are experts of all fields, architects, leaders of various districts and departments or units and guides of branches of learning and even great national design masters and academicians of the Engineering Academy of China. They have made, especially in South China, outstanding contributions. It is just because of their efforts that our college has become one of the very influential key colleges in the field of architecture of our country.

This set of special publications collects all the research and design achievements of the teachers and students of our college in their own fields, including three thesis collections of the teachers of College of Architecture and Civil Engineering, four special florilegia and three monographs, of whose authors, there are the earliest and earlier generations of experts, professors and middle-aged and young teachers and constructors and postgraduates studying for their degrees. Their articles, works and books cover everything, including the theory of architectural design, city planning or research on all the fields of history, culture and architectural technology. This set of special publications is also a generous gift to the 70th anniversary of the founding of College of Architecture and Civil Engineering.

With the development of our country, especially in the recent decades and under the good situation brought about by the open policy, a large number of construction projects and designs by the teachers and students of our college have obtained such brilliant achievements that they won awards and prizes awarded by the Ministry and the Government of our country. Our college is in the Lingnan region, therefore she has a regional characteristic in her research, which is based on the Lingnan architectural system, while having an academic tradition of daring to scale the heights characteristic of innovation, a style of study that integrates theory with practice, which focus on the training of practical abilities, a character that she has won many awards and prizes and her students are socially welcome and an education pattern that combines the production, study and research of the Design Institute and the College of Architecture and Civil Engineering. Today, we are just in the period of our country's construction and the fast development of education. The waves behind drive on those before and younger generations are kept being turned out. Under the cultivation and guidance of the older generations of experts, a large number of young and middle-aged teachers and designers have become the life and soul of our college's scientific research, teaching and creative work. Looking beyond, we are full of confidence that with the advantage of the good situation, the teachers and students of our college will surely carry forward our good traditions to make greater contributions and create a more brilliant future.

He Jingtang

*He Jingtang: Dean of College of Architecture and Civil Engineering of South China University of Technology
& Academician of the Engineering Academy of China*

目 录

序

前言

第一辑 音乐与声学

音乐与声学	3
钟考	5
石磬与音乐杆	6
乐器和嗓音的发音机理	7
录音放音技术的发展	9
MIDI——乐谱数字接口	11
家庭影院和听音室的声学环境	13
厅堂音质与声学	16
中国古代声学的发展	18
中国古代剧场演变及音质设计成就	21
剧院与音乐厅的形成与演变	24
混响建筑音质评价	29
厅堂音质设计新趋势	31
音乐厅的声学效果与设计	34
香港演艺学院	37
维也纳音乐厅及其建筑师汉森	38
威尼斯岛土风帆正举——记悉尼歌剧院	39
访美国加州佛县演艺中心剧场	41
声音与听觉在人类文化传承中的作用	42

第二辑 建筑与教育

美国著名建筑师迈克尔·格雷夫斯	47
提倡建筑师进行使用后调查	50
使用后评价对建筑设计的影响及其对我国的意义	51
中国古代的图书馆建筑	55
技术光学与建筑设计	60
信息技术革命对未来建筑领域的影响	61
建筑学与医学之比较	64
澳大利亚的建筑教育	66
奥地利的建筑教育	68
美国密歇根大学的建筑学博士学位教育	70

应当高度重视建筑技术科学的发展	73
应对建筑系研究生进行科学研究方法的教育	77
论新世纪建筑学学生基本素质的培养	80
理科文经组织领域——谈科技与文艺	82
谈谈模拟科学研究法	85
关于改进国家自然科学基金申请及评议工作的建议	86

第三辑 城市与环境

城市公共观演空间	89
城市绿化漫谈	93
香港摄影	94
访联邦德国	95
起来就坐坐，掩耳听喧哗——噪声对人类健康的影响	97
长期作用的中高强度噪声对人体健康的影响	98
森林的作用	100
脱脂及其对植物的危害	101
臭氧带——人类的保护盾	102
环境、气候与建筑节能	103

附录 建筑与环境诗选

鱼趣	109
寂庄花园	109
桂林「水调歌头」	109
西湖	110
锦簇即景	110
登华山「木兰花慢」	110
秦川吟	111
临潼	111
秋林	112
云石石窟	112
游鼓山	112
大同九龙壁	112
大同上华严寺	113
应县木塔	113

下华严寺辽塔	113
阿县县乐寺观音阁	113
永木清华	114
慈山映山阁	114
太名湖	114
南幢园	114
冬日游温池石林	115
春郊即景	115
游兰亭	116
香港夜咏〔念奴娇〕	116
重游西湖	117
浙江大学	117
纪念梁思成先生诞辰八十五周年	117
环地工程	117
柏林	118
堪培拉	118
科伦	118
咏梅	118
环境保护	119
神女峰	119
登鹅岭观重庆夜景	119
塞门感怀	119
维也纳	120
维也纳音乐厅	120
惜别	120
择地	120
威尼斯	121
萨尔茨堡	121
深圳〔洞庭旁〕	121
鸟趣〔蝶恋花〕	121
志黎世	122
佛罗伦萨美术馆	122
瓦杜兹	122
罗马古斗兽场	122
珠海	123
千岛湖	123

洛杉矶水晶教堂	124
迪斯尼乐园	124
登泰山	125
谒黄帝陵 步张三丰韵	125
新加坡	126
张家界	126
游普陀	127
咏茶	127
咏鹤	128
菊展〔西江月〕	128
赞车阳西门村	128
赤阳白云文化城	129
贺建筑学专业指导委员会会议在湖南大学召开	129
游曲阜有感	129
新春喜赏	130
在昆明与建筑学院同行欢度中秋节感赋	130
昆明世界园艺博览会	130
访丽江古城	131
游大理蝴蝶泉登望海亭	131
大三巴牌坊	132
妈祖阁	132
奎口	132
访延安	133
夏日游新镇	133
天山天池	134
咏荷	134
因斯布鲁克	135
米拉玛尔城堡	136
罗马特列维喷泉	137
寄怀恩师马大猷教授	138
寄怀恩师吴良镛教授	139
夏威夷珍珠港纪念馆	140
题红叶图	141
东南大学校园漫步	142
日月潭游碧楼〔长相思〕	143
越南下龙湾（三首）	144

Contents

I. Music & Acoustics

Music and Acoustics	3
Exploration on “钟” (bell)	5
Chinese Stone and Music Column	6
The Sound Emission Mechanism of Musical Instruments and Voices	7
The Development of Sound Recording and Reproduction Technology	9
MIDI: the Digital Interface of Musical Instruments	11
The Acoustical Environment of Home Cinema & Listening Studio	13
The Acoustical Quality of Halls and Acoustics	16
The Development of Acoustics in Ancient China	18
The Evolution of Ancient Theatres and the Historical Achievement of Acoustical Design in China	21
The Formation and Evolution of Theatre and Concert Hall	24
The Acoustics Evolution of Performing Art Architecture	29
The New Tendency in Acoustical Design of Concert Halls	31
The Acoustical Effect and Design of Music Shell	34
Hong Kong Acoustics for Performing Arts	37
Vienna Grosser Musikvereinsaal & Architect Theophil Ritter von Hansen	38
Sydney Opera House	39
A Visit to Performing Arts Center Theatre of Orange County	41
Sound as a Main Medium for Information Transmission in the Long-term Cultural Continuity of Mankind	42

II. Architecture & Education

Michael Graves, a Famous American Architect	47
On the Importance of POE (Post-Occupancy Evaluation)	50
The Influence of POE on Acoustical Design and Its Meaning for the Development of Architecture in China	51
The Library Holdings in Ancient China	55
Technical Optics and Architectural Design	60
Information Technology and Its Effect on Architecture in the Future	61

A Comparison Between Architecture and Medicine	64
Architectural Education in Australia	66
Architectural Education in Austria	68
Architectural Doctorate Education in Michigan University	70
The Necessity of Paying High Attention to the Development of Architectural Science & Technology	73
The Importance of Introducing Scientific Research Method in Architectural Graduate Education	77
On the Cultivation of Some Basic Qualities in the Students of Architecture Specialty	80
On Science and Culture	82
On a Special Scientific Research Methodology	85
Suggestions on the Improvement of Application and Assessment Process for National Natural Science Foundation	86

III. City & Environment

Urban Spaces for Performance and Recreation	89
Urban Virescence	93
An Impression of Hongkong	94
A Tour to Germany	95
The Impact of Noise on Human Health	97
The Effect of Long-term Noise with Medium Intensity on Human Health	98
The Importance of Forest	100
The Harmful Effect of Sour Rain on Plants	101
Ozoneosphere: the Perfect Protection Shield of Earthly	102
Environment, Climate and Energy-saving in Buildings	103

Appendix Poetry & Ci Collections on Architecture and Environment

The Beauty of Fish in a Pond	109
The Impression of Shushang Garden	109
The Impression of Guilin	109
The Impression of West Lake	109
The Scenery of Jiangzhang	110
Climbing the Hua Mountain	110
Song to Qinduan	111
The Impression of Lintang	112
Autumn Wood	112

Stone Cave in Yungang	112	The City of Zhushan	123
A Tour to Gu Mountain	112	The Lake with Thousand Islands	123
The Wall with Nine Dragons	112	The Garden Cathedral in Los Angeles	124
The Buddhist Temple of Huayun in Duling	113	The Disney Land	124
The West Pagoda in Ying County	113	Climbing Mount Tai	125
The Sculpture in Liao Dynasty in Huayun Temple	113	Paying Homage at Engineer Huang's Museum	125
The Guanyin Tower of Dale Temple in Qi County	113	Singapore	126
The Campus of Qinghua University	114	Zhang Jie Jie	126
Yinshan Lake in Huashan Mountain	114	Visiting Putuo Temple	127
The Impression of Lake Anconcyous	114	Ode to Ten	127
A Poem to Garden Jichang	114	Ode to Clouds	128
A Winter's Visit to Stone Forest in Yunnan	115	The Chrysanthemum Show	128
A Glimpse of Spring in a Countryside	115	Ode to Ximen Village in Dongxiong	128
The Impression of Lanting Pavilion	116	The Baiyun Culture Town in Dongxiong	129
Ode to the Night Scenery of Hongkong	116	Poem for Congratulation to the Opening Ceremony of Higher Architectural Education Directive Committee in Huanan University	129
My Second Visit to West Lake	117	Thoughts on Visiting Qufu	129
Zhejiang University	117	Ode to the Snow in Spring Festival	130
In Memory of Mr. Liang Sicheng on His 85th Birthday	117	Poem for the Mid-autumn Party with Colleagues in Architecture in Kunming	130
Environment Protection Engineering	117	International Gardening Exhibition in Kunming	130
Berlin City	118	Ancient City in Lijiang	131
The City of Canberra	118	Fountain Butterfly in Dule	131
The City of Köln	118	Memorial Archway in Di San Ba	132
Ode to the Plum Blossom	118	The Tower for Goddess of the Sea	132
On Environment Protection	119	The Waterfall in Hailuo	132
Mountain of the Goddess in the Three Gorges	119	A Visit to Yunnan	133
Taking a Bird's-eye View over the Night Scenery of Cheongging	119	Touring about Xinjiang in Summer	133
Thoughts on Kaimen Gate	119	Tian Chi Lake in Mount Tians	134
The City of Vienna	120	Ode to Lotus	134
Vienna Concert Hall	120	The City of Innsbruck	135
Cherish Farmland	120	Miramar Castle in Italy	136
The Choice of Land	120	Treen Fountain in Rome	137
The City of Venice	121	In Memory of Professor Daiyuan Ma	138
The City of Salzburg	121	In Memory of Professor Liangxing Wu	139
The City of Shenzhen	121	The Pearl Harbor Memorial in Hawaii	140
The Beauty in Watching Birds	121	Inscription on the Photo of Red Leaves	141
The City of Zurich	122	Walk on the Campus of Donghai University	142
Flourace Art Gallery	122	Huaili Hotel by Lake Bi Yue Tan	143
The City of Vaduz	122	Xia Long Bay in Vietnam	144
Romantic Coliseum	122		

第一辑
音乐与声学

音乐与声学

当你坐在音乐厅池座里，陶醉于交响乐迷人的旋律；当你拧开音响设备的旋钮，欣赏歌唱家动人的歌声，你是否想过，探究一下，支配这些美妙音响的物理机制是什么呢？本文介绍有关音乐声学知识，并探讨与音乐有关的物理现象。

音程与频率

单音对于音乐是没什么意义的，仅当一些同时或相继出现的音构成悦耳的关系，产生音高的变化与对比时，方始有音乐。两音之间音高或频率的距离称为音程，单音之连续进行谓之旋律，这些音同时演奏时则称之为和声。

决定音高和音程的物理量是频率。早在公元前6世纪，古希腊学者毕达哥拉斯就发现音程与振动弦的节长有关。他认为：“音乐上的音程宁可透过数理上调整而不是通过耳朵从感觉上来调整”，又说：“振动弦所分的两部分之比越简单，则两个声音越和谐”。的确，那些频率比为小整数比的音的结合是最动听。例如，自然音阶的倍音程具有2:1的频率比，五度音程具有3:2的频率比，三度音程具有5:4的频率比等等。至于为什么构成这样一些频率比的音的结合会令人觉得和谐动听，则尚无完满的解释。

乐律与音阶

乐律是指如何划分一个倍频程音级的规则，所划分的每一音也称为一律。乐律分为不平均律与平均律两大类。按不平均律划分，则每部分间音的频率比不全相等。毕达哥拉斯曾提出五度循环定律法，即每隔五度音产生一律，循此定出十二律构成一个音阶。但这样所产生的最后一律之音高，要比初始音的高八度音略高，不正好是纯八度的关系。我国古代乐律家也把一个音级分成十二律，依“三分损益法”，“下生上生法”定律。《吕氏春秋·古乐篇》记载，“昔黄帝令作为律，伶伦自大夏之西，乃之阮β俞

之阴，取竹于嶰谿之谷，以生空窍厚薄均者，断两节间，其长三寸九分，而吹之，以为黄钟之宫，一次制十二简，以之阮β俞之下，听凤凰之鸣，以别十二律”。这实质上与毕氏的五度相生律无异，唯年代则更早。不平均律中还有一种纯律生律法，其特征是组成律的音程，除五度音程外，还加入三度音程。这种乐律中许多律都是主音的谐音，适宜于和声。

平均律是指倍音程中所分的各律之间的频率比都是相等的定律法。公元前四世纪，古希腊学者亚里士多德就曾主张将一个音级分为十二个相等的部分，但未被重视。西方直到1691年才由德国音乐家魏克麦斯特正式提出十二平均律（一说由梅尔森于1636年最早提出），逐渐次成为西洋乐制之中心。德国音乐家巴哈（1686—1750年）曾专门编写了著名的平均律钢琴曲集来证明平均律之合理与实用。现代钢琴便是根据十二平均律制成的。我国明代著名数学家、大吕吕学家朱载堉（1536—1614年）则早在1584年就提出把十二律之间的音程平均分配，使每律相隔均为绝对的半音，无论何律皆可作为宫。朱氏的十二平均律与现代通行的十二平均律完全相同。朱载堉是根据数学计算来科学划分十二平均律的世界第一人。

根据某种乐律形成一组高低不同的乐音，依某种法则呈阶梯形排列，是谓音阶。中国古代很早就出现5声音阶，即宫、商、角、徵、羽（相当于F、G、A、C1、D1）。关于5声音阶的记载，最早见于《管子·地员篇》。后来加上变徵、变宫（相当于B、E1）两个半音，定出七声音阶；再后来，为了变调的需要，又加上一些半音，组成五度相生十二律。关于十二律的记载，最早见于《吕氏春秋·音律篇》（公元前3世纪）。至于律律的发明年代，尚未发现有可靠的史料记载。但根据湖北随县曾侯乙墓出土的葬于公元前433年的一套64件编钟乐器的鉴定结果，证明它是目前世界上已知最早的具有十二半音阶关系的特大型定调乐器。其音阶结构与C大调七声音阶极为相近。这说明我国早在先秦时期就已运用七声音阶。并且除了使用五度相生律外，还兼用纯律生律法。

从音乐史看，各国使用的音阶结构不尽相同。如美属印地安、苏格兰及非洲等地实行的是5声音阶；古阿拉伯使用的是17声不等音阶；印度人将倍音程划分为22阶，但仅使用其中的七阶；而波斯人则采用多达24个音律的音阶。其实，频率差别很小，人耳未必能分辨得清，过多的音律来排成音阶的做法并不可取，实际上只要选少数易于辨清其音高差别的音律来构成音阶就可以了。

现行的十二平均律等程音阶,有别于按音程为严格的整数比的自然音阶。它是这样确定的,设 n 是音阶中相邻两音的频率比,则由 $n=2$, 得出 $n=\sqrt[12]{2}=1.05946$ 。先定出 A 等于 440Hz, 再依相邻两音的频率比为 1.05946, 选最接近的整数定出其它各音的频率。实行这种等程音阶的最大好处是便于音调固定的乐器(如钢琴、喇叭等)进行变调。其缺点则是某些音不够精确、纯正,频率比不构成严格的整数比。不过,对于绝大多数听众来说,已是完全可接受的了。

音高标准

任何音阶均要求一个固定的频率作为音高标准。我国古代曾利用“长九寸、围九分”的黄钟律管来定出音高标准。《晋书·律历志》载:“按周礼调乐,金石有一定之声,是故调钟磬之均,即为悉应律也。”讲的是以钟作为调律的中间标准。历史上各国的音高标准曾经是极不统一的。17 世纪中叶,法国数学家墨森尼首先提出需要统一音高标准,如教堂音乐的音高标准是 $A=373.7\text{Hz}$, 而室内乐的音高标准是 $A=402.9\text{Hz}$ 。1751 年,德国音乐家亨德尔提议定音高标准为 $A=422.5\text{Hz}$ 。1834 年,德国斯图加特会议建议 A 音定为 440Hz, 此音高标准称为演奏会音高,亦通行于美国。1859 年法国会议决定 A 音定为 435Hz, 称为法国音高或国际音高,通行于欧洲。本世纪初,为统一音高标准,物理学家和音乐家曾经进行过旷日持久的争论。物理学家根据倍频程是两个相继幂次关系,设想定中间 C , 即 $C4=28=256\text{Hz}$, 从而推算 $C5=29=512\text{Hz}$, 由此定出中间 C 上的 A 应为 426.61Hz。音乐家则希望提高频率来增加音乐的明亮度。1939 年伦敦音高标准国际协议会,接受音乐家的意见,建议定 A 为 440Hz 作为交响乐音高标准。最后,国际标准化组织 (ISO) 于 1953 年建议采用 $A=440\text{Hz}$ 作为国际标准,音高标准终获统一。

泛音与瞬态过程

不同乐器即使演奏相同音高和响度的声音,仍然不难加以区

别,是什么原因造成音品的差别呢?

通常乐音除了基音频率外,还包含有高于基音的其它泛音成分。其中频率为基音频率整数倍的泛音称为谐波。泛音结构不同是区别音品的主要原因。一般低次泛音足够多的复音音品较美,但如果复音中包含有很高又较强的谐波成分,则声音会显得刺耳。

瞬态过程不同也是造成音品差别的原因。任何发声系统都需要一个短暂的时间来产生稳态声。在这段瞬态过程中,由于发声系统的发音机制不同,声压级随时间变化的过程也不同,从而也造成音品的差异。声学家曾经在录制的声音中剪去瞬态过程,再让乐师去鉴别,结果发现能正确判断声音是由何种乐器发出的百分率从 47% 降至 32%。这说明瞬态过程对音品有重要的影响。

乐器和噪音的音域

各种乐器的频率范围变化很宽。教堂中的管风琴可发出低于听觉阈限 (16Hz) 的基音和高达 10000Hz 的高音。一般乐队是由低音提琴发出最低音 (41Hz), 由短笛发出最高音 (37291Hz)。小提琴的音域为 196~20931Hz; 中提琴为 130~10461Hz; 大提琴为 65~6591Hz; 而低音提琴则为 41~2461Hz。人的音域为: 女高音: 261~1046Hz (C_4-C_6); 女低音: 196~692Hz (G_3-F_4); 男高音: 141~466Hz ($D_3-A_4^+$); 男中音: 110~392Hz (A_2-G_4); 男低音: 81~3291Hz (E_2-E_4)。

以上所列仅是基音频率范围,而泛音将大大超过基频范围,甚至超出人的听觉上限 (20000 赫)。有些乐器还能产生低于基音的噪声和次谐波。

(原载《艺术科技》1990 年 4 期)

钟 考

1978年在湖北随县曾侯乙墓出土的一套六十四件编钟(另有一件特钟),是世界上已知的具有十二半音阶结构的最早的特大型定调乐器,其总音域跨五个八度,音阶结构和C大调七声音阶极为相近。这证明我国早在二千四百多年前就已运用七声音阶并能旋宫转调。这套总重达二千五百余公斤的编钟,也是我国古代辉煌的制钟技术和声学技术的例证。

在我国,钟已有数千年历史。相传黄帝时代即有了钟。(杜佑通典)云:“钟,……黄帝工人垂所造。”据较可靠的文献记载和出土文物发现,至晚在西周,钟的发展已达盛期。钟作为乐器,也作为调音的依准。晋书《律历志》载:“按周礼调乐,金石有一定之声,是故调钟磬者,先依律调之,然后施于粗悬。作乐之时,诸音皆受钟磬之均,即为应律也。”中国古代乐器有八音之分,八音以金居首,而金乐又以钟为主,足见钟在古乐器中的主导地位。古钟的另一作用,是借以铭刻文献,或歌功颂德,以垂永年。蔡邕《铭论》云:“钟鼎礼乐之器,昭德纪功,以示子孙。”这就形成了钟鼎文。古代富贵人家还有列鼎而食,食时击钟的习惯,此即“钟鸣鼎食”之谓也。西周时钟分为特钟、编钟两类。特钟是在木框中单悬一钟者,其中缘平而有悬钮者,或另命名为鐃;编钟是在木框中分上下二段,悬一套大小不同之钟。古钟之形状,上径小,下径大,纵径小,横径大,呈椭圆形截面结构,异于今日习见之钟形。古钟之成分,据周礼《考工记》记载,是“六分其金而锡居其一”,即用83%的铜与17%的锡合金制成,与今日国外制钟所用四分铜一分锡比例接近,故其音色美,且终久不易锈蚀。我国出土的古编钟,钟面上大都无锈蚀迹象,敲之音响如故,充分显示了古代卓越的铸造技术。

经声学家测定,古编钟可发两个基音:在钟的正面中线上敲击时发出“隧音”,在钟的侧面敲击时发“鼓旁音”,两音往往成大三度音程或小三度音程的关系。这样,同时敲击时,两音也是协和的。古代匠师是通过磨编钟节线位置内表面下缘来给钟调音的。节线,是指钟振动时钟面上静止不动的点的连线。因为一种振动方式所形成的线恰是另一种振动方式振动最大处,所以在—

基音振动节线处磨边对该音影响最小而对另一基音影响最大。可见,两千多年前的古代匠师就已深谙声学奥秘。

从声学理论上分析,钟属于振动板,其频谱谱不同于其它乐器。经测定,声音悦耳的钟的频率具有以下比率:1.00, 1.51, 2.02, 2.97, 3.43, 4.33, 4.60, 4.63, 其中两个比值(2.02, 2.97),接近于基频的整数倍。由于钟声频谱中包含有接近小三度的音程,故钟声具有幽悠,深沉的音质。钟的基频由钟的直径,壁厚,金属的密度和弹性模量等参数决定。形状和材料相同的钟,其基音与直径成反比,也与重量的立方根成反比。即钟越大越重,其音越低,传播越远。古人也懂得这个道理。《考工记》云:“凫氏为钟……厚薄之所震荡,清浊之所由生”,就是讲钟壁的厚薄决定了钟声的高低。为了扩大钟声传播范围,历史上寺庙和教堂的钟有竞相铸大的倾向。现存北京西郊大钟寺的五百年前铸造的永乐大钟,据古书《长安客话》记载,“声闻数十里,其声宏宏,时远时近,有异他钟”。据测定,其重达46t,高6.75m,钟声可达50km以外。据载,欧洲最大的钟是克里姆林大钟,重约180t,高5.79m。此钟铸于1734年,毁于1737年。现在欧洲最大的可敲响的钟是英国圣保罗大教堂中的一口重16.75t的大钟。



古代编钟

与中国的编钟类似,西欧在十五世纪也发展了相当完美的钟乐。“姑苏城外寒山寺,夜半钟声到客船。”当你了解了钟的声学奥秘后,对古人为什么选择钟作为调律、奏乐、报时和传达信息的器具,大概有了较清楚的认识了吧。

(原载《湖南日报》1986年11月6日)

石磬与音乐柱

声音是由于物体的振动而引起的。古人在实践中发现梁、柱状物体受敲击后会发出不同音高的声音,尤其当它们是由质地均匀、坚硬且不易受温度和湿度变化而改变的材料制成时,音质更佳。自然界中具备上述特性的最常见的材料之一就是石料。因此,石头成为古代乐器制作的首选材料之一,也就不奇怪了。

磬是中国古代的石制打击乐器,用以敲击节奏,为歌舞伴奏。据说早在舜时,中国就已发明了磬这种乐器。禹时,工匠选用出自泗水(今安徽灵璧县)南岸一座后来称为磬石山的石料来加工制作磬。《尚书·禹贡》云:“泗滨浮磬”,就是记载这件事。据说磬石山所出的石料质地好,击之,其声清亮。再往后,工匠多用南阳石来制磬。南阳石属玛瑙类玉石,质地更佳,其密度不易因温度、湿度的改变而改变,因而容易保持音律的恒定。

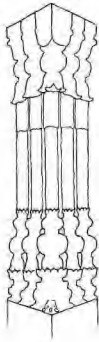
周代时,磬与钟已成为祭祀,朝贺,宴享等庆典时所演奏之“雅乐”中的主要打击乐器,此即“钟磬合鸣”之谓也。磬分为特磬与编磬两种,皆以簋度(木框)悬之;特磬为单悬一磬者,编磬则为一组磬,通常16个一组,分上下两排各8个,由乐师用小槌演奏。

磬的形状有人字形(曲折形),蝙蝠形、双鸟形及半圆形等多种。从声学上分析,磬属于曲板,其发声原理与钟、铃等相关似。磬的固有频率,也即敲击时所产生的音调,与其形状、尺寸、原料(包括密度、弹性模量、泊松比)等因素有关,大致是与其弹性模量的平方根成正比,而与其密度的平方根成反比。由此可以明白为什么古人要讲究制磬所用石料的道理。盖因古代工匠从实践中已掌握了磬发声之规律。古人对磬的形状尺寸也有严格的规定,以便发出纯正的一定音高的音律。在周代,规定磬“倨句一矩有半,其博为一,其股为二,其鼓为三,三分其股博去一以为鼓博,三分其鼓博,以其一为之一厚。”这时的股、鼓分别指磬的短边与长边之边长。宋代明道时制新乐,曾制作特磬12个,其中规定黄钟之磬为“股长二尺,股广一尺,鼓三尺,其广六寸九分之六……”。这说明古代匠师经过长期摸索,已经掌握了磬的形状、尺寸与其所产生的音高的关系。

古人利用石头制作乐器的杰出例子,还可举出古代印度南部庙宇中由石雕刻艺术家所创造的各种音乐柱。这种制作工艺到14~16世纪在维杰亚纳加王朝时达到登峰造极的地步。至今人们可以从靠近卡纳塔克邦哈姆比的维塔尔庙、泰米尔纳德邦马杜赖的米纳克希庙及蒂鲁内尔维利庙和阿尔瓦蒂鲁那加里庙等处看到不同规模和类型的音乐柱。其中,维塔尔庙的音乐厅有50组不同结构的音乐柱。建于16世纪的米纳克希庙干柱大厅入口处有两组音乐柱,在外面走廊上也有类似的柱子。蒂鲁内尔维利和阿尔瓦蒂鲁那加里的庙宇各有两组50根音乐柱。其它音乐柱散见于印度南部许多庙宇建筑中。这些音乐柱是簇拥在一根支撑庙宇屋顶的巨大中心柱周围的一组石柱。它们具有各种截面形状,如圆形、正方形、八边形等等。这些音乐柱连同柱基和柱头,均由整块花岗岩雕刻而成。各庙宇音乐柱的柱高,从1~2m不等。但同组音乐柱的高度则相等。人们用木槌敲击音乐柱,可发出不同音高的声音,其音色与木琴相近似。

从声学上分析,音乐柱可归属于两端夹紧的棒,其固有频率与石柱的高度的平方以及材料密度的平方根成反比,而与材料的弹性模量的平方根以及截面的回转半径成正比。因此,同种石料制成的一组高度相同的石柱,只需改变其截面的形状与尺寸,即可产生不同音高的声音。印度声学家曾对这些音乐柱的基音和泛音结构作过测量分析,发现其所产生的泛音多是和谐的。这使得它们受敲击时,能产生悦耳的音调。研究表明这些柱子可用于音乐伴奏,可演奏由3~5个音符组成的宗教颂歌。研究还发现同组音乐柱中,往往有若干根柱的固有频率相同,因此,当其中一根柱受到敲击时,同频率的其它柱子会因为谐振而共鸣。

《尚书·益稷》云:“于击石拊石,百兽率舞。”沉默的石头,当被赋予某些特殊形状时,则可演奏出各种动听的节奏与音律,可与丝竹合鸣,与鼓钹共响,使得百兽闻之而起舞,这是多么美妙的事情啊!



(原载《艺术科技》1997年1期)

音乐柱