

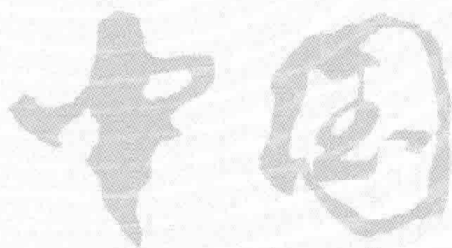
中国

音乐科技史纲

Zhongguo Yinyue Keji Shigang

高兴等 编著

中国社会科学出版社



音乐科技史纲

Zhongguo Yinyue Keji Shigang

高兴等 编著



中国社会科学出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

中国音乐科技史纲/高兴等编著. —北京: 中国社会科学出版社, 2017. 12

ISBN 978 - 7 - 5161 - 4777 - 1

I. ①中… II. ①高… III. ①音乐—科学技术—技术史—中国 IV. ①J61 - 092

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 206539 号

出 版 人 赵剑英
责任编辑 卢小生
特约编辑 郭 威
责任校对 王 斐
责任印制 王 超

出 版 中国社会科学出版社
社 址 北京鼓楼西大街甲 158 号
邮 编 100720
网 址 <http://www.csspw.cn>
发 行 部 010 - 84083685
门 市 部 010 - 84029450
经 销 新华书店及其他书店

印 刷 北京明恒达印务有限公司
装 订 廊坊市广阳区广增装订厂
版 次 2017 年 12 月第 1 版
印 次 2017 年 12 月第 1 次印刷

开 本 710 × 1000 1/16
印 张 38
插 页 2
字 数 638 千字
定 价 160.00 元

凡购买中国社会科学出版社图书, 如有质量问题请与本社营销中心联系调换
电话: 010 - 84083683

版权所有 侵权必究

教育部人文社会科学研究（08JA760015）项目资助

课题组负责人 高兴

课题组成员 刘红兵 宋伟 朱鲁军 张娟

(以下以姓氏笔画为序)

马晓婕	王研	邓懿	田宏燕
刘宇统	孙茂利	朱莹	李小林
李平	李平平	辛建芳	何珊
陈晓琴	和江燕	赵文静	杨洁
段晋芳	郝婧	胡敏	郭威
贾靖国	曹琳	颀玉娟	彭珊珊

目 录

绪论 音乐科技史及其研究领域·····	1
---------------------	---

一 音乐史中的音乐科技研究·····	1
二 音乐科技史的研究领域与主要研究课题·····	3

第一编 先秦时期的音乐科技

(远古至公元前 220 年)

第一章 音乐科技发展的社会环境·····	13
----------------------	----

第一节 石器、陶器制造技术·····	13
第二节 农业生产技术·····	14
第三节 金属冶铸技术·····	15
第四节 天文学·····	16
第五节 数学·····	18
第六节 物理学·····	19
第七节 科学思想与自然观·····	20

第二章 史前乐器起源的科技考证·····	22
----------------------	----

第一节 史前乐器起源科技考证的依据·····	22
第二节 史前乐器起源推测·····	23
第三节 有关乐器起源的考古验证·····	27
第四节 对文献中乐器起源传说的辩证分析·····	30

第三章 自然音乐观	32
第一节 自然音乐观产生的思想基础	32
第二节 自然音乐观的学说	33
第四章 定律技术	39
第一节 先秦时期的定律实践	39
第二节 定律涉及的科学技术	47
第三节 定律方法	50
第五章 音律探索的成就	53
第一节 贾湖骨笛的音律	53
第二节 三分损益生律法	60
第三节 曾侯乙编钟的音律	66
第六章 乐器工艺	72
第一节 鼓类乐器	72
第二节 磬类乐器	78
第三节 钟类乐器	104
第七章 典籍中的音乐科技史料	111

第二编 秦汉魏晋南北朝时期的音乐科技

(公元前221年至公元580年)

第八章 音乐科技发展的社会环境	127
第一节 秦汉时期的社会环境与科学技术	127
第二节 魏晋南北朝时期的社会环境与科学技术	132
第九章 自然音乐观	137
第一节 汉魏时期自然音乐观的思想基础	137
第二节 汉魏时期自然音乐观的学说	139

第十章 “同律度量衡”学说	147
第一节 “同律度量衡”的含义	148
第二节 “同律度量衡”的科学意义	150
第十一章 音乐数学	154
第一节 《淮南子·天文训》与《史记·律书》	154
第二节 京房、钱乐之、何承天的律学研究	162
第三节 荀勖笛律	168
第十二章 乐器声学	170
第一节 弦乐器	170
第二节 管乐器	171
第三节 乐器共振	172
第十三章 乐器工艺	174
第一节 排箫	174
第二节 笛	175
第三节 羌笛	178
第四节 胡笳	179
第五节 角	180
第六节 琴	181
第七节 瑟	185
第八节 打击乐器	187
第十四章 典籍中的音乐科技史料	190

第三编 隋唐宋元时期的音乐科技

(581—1367 年)

第十五章 音乐科技发展的社会环境	217
第一节 隋唐时期的社会环境与科学技术	217

第二节 宋元时期的社会环境与科学技术·····	221
第十六章 自然音乐观·····	227
第一节 自然音乐观的特点及其理论基础·····	227
第二节 宋代的两类自然音乐观·····	229
第十七章 音乐数学·····	235
第一节 刘焯律·····	235
第二节 万宝常、祖孝孙的乐律探索·····	237
第三节 王朴的音律研究·····	238
第四节 蔡元定十八律·····	240
第十八章 音乐声学·····	242
第一节 乐器的发音原理·····	242
第二节 共振与共鸣的音乐实践·····	246
第三节 歌唱中的声学理论·····	249
第十九章 乐器工艺·····	252
第一节 琴·····	252
第二节 琵琶·····	257
第三节 箜篌·····	260
第四节 羯鼓·····	263
第五节 腰鼓·····	264
第六节 铜鼓·····	267
第七节 铜钹·····	271
第八节 塤·····	272
第九节 笛·····	274
第二十章 沈括的音乐科技研究·····	276
第一节 沈括生平·····	276
第二节 《梦溪笔谈》中的音乐科技史料·····	278
第三节 沈括的音乐科技研究成果·····	281

第二十一章	典籍中的音乐科技史料·····	290
第一节	隋唐时期的音乐科技史料·····	290
第二节	宋元时期的音乐科技史料·····	301

第四编 明清时期的音乐科技

(1368—1911 年)

第二十二章	音乐科技发展的社会环境·····	331
第一节	天文学·····	332
第二节	数学·····	332
第三节	农业、工业生产技术·····	334
第四节	自然观和科学思想·····	335
第二十三章	音乐自然科学思维·····	337
第一节	律历融通说·····	337
第二节	音乐元气说·····	338
第三节	同律度量衡说·····	340
第二十四章	音乐数学·····	342
第一节	朱载堉的新法密率与异径管律·····	342
第二节	江永的律学研究·····	349
第二十五章	乐器声学与歌唱声学·····	353
第一节	乐器声学·····	353
第二节	歌唱声学·····	356
第二十六章	古戏台的声学技术·····	360
第一节	古戏台的选址与声传播·····	360
第二节	古戏台的隔板与声反射·····	362
第三节	古戏台的屋顶与共鸣·····	364

第四节	古戏台的墙面与声衍射·····	366
第五节	古戏台设缸与声共振·····	369
第六节	古戏台对面的台基圆孔与噪声消除·····	370
第二十七章	乐器工艺·····	373
第一节	琵琶·····	373
第二节	秦琴·····	374
第三节	月琴·····	375
第四节	扬琴·····	376
第五节	三弦·····	378
第六节	箏·····	379
第七节	胡琴·····	381
第八节	笛子·····	385
第九节	唢呐·····	386
第二十八章	朱载堉的音乐科技研究·····	389
第一节	朱载堉生平及其学术著作·····	389
第二节	朱载堉的音乐科技研究成果·····	390
第二十九章	典籍中的音乐科技史料·····	397

第五编 20 世纪的音乐科技

(1912—1999 年)

第三十章	音乐科技发展的社会环境·····	441
第一节	物理声学·····	442
第二节	数学·····	443
第三节	电子学·····	444
第四节	材料工艺学·····	444
第五节	生理学·····	445
第六节	心理学·····	447

第三十一章 音乐声学·····	448
第一节 乐器声学·····	448
第二节 歌唱声学·····	450
第三节 音乐心理声学·····	452
第四节 音乐建筑声学·····	456
第三十二章 音乐数学·····	459
第一节 运用数学理论分析音乐·····	459
第二节 运用科学实验手段探寻音乐中的数理逻辑·····	464
第三十三章 中国民族乐器改良·····	468
第一节 20 世纪早期的乐器改良·····	468
第二节 20 世纪中期的乐器改良·····	473
第三节 20 世纪晚期的乐器改良·····	481
第三十四章 音乐传媒技术·····	487
第一节 音乐传媒技术发展的科技背景·····	487
第二节 20 世纪早期的音乐传媒技术·····	488
第三节 20 世纪中期的音乐传媒技术·····	501
第四节 20 世纪晚期的音乐传媒技术·····	508
第五节 传媒技术对音乐艺术发展的推进作用·····	520
第三十五章 音乐科技研究著述·····	526
主要参考文献·····	590
后 记·····	593

绪论 音乐科技史及其研究领域

音乐是一种特殊的艺术形式，它兼有人文学科和自然学科的双重属性。科学技术对它的影响不可忽视。关于这一问题，当今主要的音乐史著作、科技史著作中均有提及。为了深入研究音乐与科学技术之间的密切关系，发展音乐科技史研究，本书开篇试对音乐科技史及其研究领域进行探讨。

一 音乐史中的音乐科技研究

音乐科技史是一门特殊的艺术史学科，是音乐史与科学技术史相联系的交叉性研究领域。在国内，“音乐科技史”这一学科概念由高兴在中国音乐史学会第九次年会（青岛，2007）正式提出。近年来，该研究课题取得了不少的研究成果，其学科研究的基本框架正在逐步形成。虽然音乐科技史学科建设起步较晚，但历代有关音乐科技研究的成果众多。

翻阅历代文史典籍，我们可以看到中国古代音乐科技文献十分丰富，如《尚书》《周礼》《礼记》《国语》《左传》《管子》《吕氏春秋》《梦溪笔谈》《乐律全书》以及“二十四史”等，其中涉及自然音乐观、律学、乐器制造工艺等众多问题。

早在先秦时期，我国就出现了一种将音乐思维与宇宙运行法则相联系的音乐观念，本书称之为“自然音乐观”。关于自然音乐观，曾有过各种学说，“阴阳音律观”便是其中之一。《国语·郑语》记载了周幽王时史伯与郑桓公的一段对话。当时人们认为四时各有来自不同方向的四方之风，这些风在温度、湿度、强度等方面各有差异，表现为音高不同的风声，于是人们用不同音高的乐音或音律来表示四时之风，以决定季节，为

农业生产服务。^①西周的这种“阴阳音律观”对后世产生了重大影响，随后又产生了“五行音乐观”“六气五行礼乐观”“天道音律观”等。

律学是用数学方法研究音组织中各级音高产生规律的一门学问。我国古代律学研究成果卓著。春秋时期的典籍《管子·地员》中记录了五度相生律（三分损益）的计算方法。其后两千年中出现了京房“六十律”、何承天“新律”、蔡元定“十八律”、朱载堉“新法密率”等一系列的研究成果。这些成果的产生均与数学的发展有着密切的关系，展现出中国古代律学的精微性与科学性。

中国古代的乐器声学 research 同样有显著的研究成果。魏晋时期，荀勖在笛的制造中发现了管振动的原理，即开口管管内空气柱振动时，空气柱的长度要长于管长本身，需进行管口校正，并由此计算出“管口校正”值。其不仅改进了管乐器制造中的音准问题，更重要的是，这项研究成果成为物理声学 research 的重要发现。^②继之，明代音乐家朱载堉在此研究基础上又提出了“异径管律”理论，找到了异径管律的规律。

中国古代的乐器制造体现出高度的科学技术水平。早在春秋战国时期，至少已经出现了七八十种构造成熟的乐器。当时人们即已将之按制造材料分为金、石、土、革、丝、木、匏、竹八类。从当今可见的古代乐器看，如河南舞阳出土的贾湖骨笛、山西陶寺出土的夏埙、湖北省随县出土的曾侯乙编钟、湖南长沙马王堆汉墓出土的琴与瑟、北京故宫博物院藏唐琴“九霄环佩”，等等，仅就乐器制作工艺而言，可以说件件都负载着丰富而重要的历史信息。以曾侯乙编钟为例：曾侯乙编钟全套编钟共 65 枚，分三层八组悬挂在曲尺形铜、木结构的钟架上。编钟音域达 5 个半八度，十二律齐全。一钟可奏双音，全套编钟可以奏旋律，可以做旋宫转调，可以奏和音。曾侯乙编钟体现出的科技水平，首先反映在青铜铸造方面。编钟的每个钟体的制造采用分范合铸技术。仅该钟中层第三组的第一个甬钟的铸造就需要用范、芯多达 126 块，制造工艺的复杂程度可想而知。其次，编钟的声学设计工艺十分先进。钟体结构的合理设计和高超的热处理技术，使每个钟形成合瓦形，构成“共振腔”和“双音腔”。再者，制钟所用青铜的合金成分科学、合理，含锡 12%—14.5%，含铅 1%—3%，

① 李纯一：《先秦音乐史》，人民音乐出版社 1994 年版，第 85 页。

② 金文达：《中国古代音乐史》，人民音乐出版社 1994 年版，第 155 页。

其余为铜及少量杂质。研究铸造的学者认为，这一合金成分是编钟音响达到丰满、悦耳的最佳比例。^①

20世纪以来，中国音乐研究出现了不少有关音乐科技的成果，如大同乐会的乐器改良、刘天华的乐器改进、杨荫浏的律学研究、贾湖骨笛的测音研究、曾侯乙编钟的复制技术、中国民族音乐的测音研究、黄翔鹏的音乐数理逻辑关系研究等。此外，诸如《音乐物理学导论》《音乐与数学》《音的历程——现代音乐声学导论》等一批学术著作从专门角度讨论了音乐科技问题。众多成果促使研究不断走向深入。

国外的西方音乐史学研究现状是大多著作以音乐创作、音乐表演研究为中心，较少涉及音乐科技问题。提及这方面成果的，主要有毕达哥拉斯的音乐数理研究、什里克的中庸全音律研究、康托的“普通集合论”在音乐中的应用、查德的“模糊集合论”在音乐中的应用、约瑟夫·希林格的“全结构主义的作曲体系”、泽纳基斯的“公式化音乐”等。

比较而言，中国古代音乐科技取得了辉煌的成果，并在音乐学领域中形成了独具特色的研究传统；西方音乐科技研究则在近现代取得了全新的发展。

二 音乐科技史的研究领域与主要研究课题

如上所述，音乐史中有关音乐科技研究的丰硕成果为当今的音乐科技史学科建设与发展打下了坚实的基础。开展音乐科技史研究的学术意义重大，科学技术史学家高策教授曾对开展包括音乐在内的艺术科技研究的学术价值予以论证，认为，“古代科技往往以艺术的形式被保存下来。古代艺术是挖掘提炼科学技术的一个宝藏”；“艺术科技史是打开理解历史、文化、哲学、宗教、艺术、政治、经济、社会与科学技术关系的一把钥匙”；“艺术科技有可能成为科学哲学走向大众化、应用化的途径之一”。^②

^① 刘玉堂、张硕：《曾侯乙编钟与中国古代艺术和科技成就》，《武汉大学学报》（人文社科版）2006年第5期。

^② 山西大学高策教授关于艺术科技史研究的讨论。另参见李树雪、杨小明、高策《山西古代壁画中的科学技术——艺术中的科学技术专题研究之一》，《科学技术与辩证法》2012年第6期。

音乐史与科学技术史交叉形成的音乐科技史，是一门特殊的艺术史学科，它的研究内容主要为音乐史各个历史时期音乐事物（如乐律、乐器等）内含的科学技术因素及科学技术在音乐艺术中的运用。研究目的在于探讨科学技术对音乐艺术发展的推进作用、社会因素对音乐科技发展的影响、音乐科技对社会发展的作用、音乐科技发展的内在规律和音乐科技未来的发展方向。

依据音乐史中音乐科技研究实践及当今科学技术的发展，音乐科技史的研究领域大致包括音乐自然科学思维、音乐声学、音乐数学、音乐力学、乐器工艺学、音乐传媒技术。

（一）音乐自然科学思维

在人类历史发展的过程中，由于人们对自然科学现象的不同认识和理解会产生各种各样的自然观，这些自然观又影响到人类生产、生活的各个方面，同样也会影响到对音乐艺术的认识，这种用自然科学思维方式及理论来认识音乐事物的思考方法，即音乐自然科学思维。它主要表现在自然科学思维对音乐思维的影响、对音乐事物中相关问题的解释以及音乐艺术成果中蕴含的自然科学思维因素等方面。

自然音乐观为音乐自然科学思维的具体体现之一。自然音乐观在先秦时期发展最为丰富，学说众多。据当代一些学者的研究，认为人类探索音乐与宇宙运行的关系几乎始自音乐起源之初。^①《吕氏春秋·大乐》云：“音乐之所由来者远矣。生于度量，本于太一。”其中，“度量”指时空之坐标，而“太一”可理解为宇宙之源。在此基础上，华夏先哲们探索出一条集律、历、度、量、衡为一体的独特研究思路。为了探寻大自然中的音律之本，古人发现了“候气之法”。^②“候气之法”以实验的方法说明音律的产生与历法中节气的关系。有学者认为，它是地球在宇宙空间运行中受太阳引力影响产生的振动波与律管发生的共振现象。^③继“候气之法”之后出现的“河洛之学”“律历一体”说等^④与之有着一脉相承的关

① 参见唐继凯《律吕之学的认识论基础》，载《音乐的多维视角》，文化艺术出版社2008年版，第406—417页。

② 参见《后汉书·律历志》，中华书局1965年版，第3016页。

③ 参见刘道远《一九八九年夏至气候实验报告》，全国高校物理学史学术讨论会，1989年。

④ 参见《史记·律书》，中华书局1959年版。

系。这些学术理论说明古人将音乐中的律吕与天体运行相联系，其认识论建立在自然观之上，律吕之和諧表示宇宙之和諧。在有关先秦音乐自然观的当代研究成果中，《律吕之学的认识论基础》（唐继凯）《从古代阴阳五行宇宙观看先秦至汉初五音与十二律生律法的思想根源》（谷杰）^①《〈吕氏春秋〉的“十二律”与“十二纪”》（陈克秀）^②等较具典型性。

音乐的自然科学思维在现代音乐创作中同样有突出的体现，频谱音乐即为一例。频谱音乐产生于20世纪70年代的法国，作曲家受现代科学的影响将音乐创作基于音响的微观结构观念之下。胡书翰曾对频谱音乐代表性作曲家格里赛（Gerard Grisey, 1946 - 1998）、缪拉耶（Tristan Murail, 1947—）等的音乐作品进行过系统的分析。^③作曲家们以频谱表示音乐的纵向音响，以包络表示音乐的横向音响，通过电子声学中的加法合成、减法合成技术形成具体的声音，然后仿照印象主义绘画中的点彩法用微观的音点构成宏观的音色音响来表现音乐形象，比如：格里赛的音乐作品《时间的旋涡》中将波形展现于谱面；缪拉耶的作品《沙漠》中用不同的织体模仿包络与波形，于是在乐谱上绘出了沙丘的形态。运用自然科学思维来创新作曲技法已成为现代音乐的一个特征，这一特征在20世纪以来产生的各种新潮音乐中多有反映。

（二）音乐声学

音乐声学，亦称“音乐音响学”，是在物理声学理论和研究方法的基础上探索音乐产生及传播规律的一门学问，是一般声学在音乐领域中的专门性研究。它主要包括乐器声学、歌唱声学、空间音乐声学、音乐听觉心理研究等方面。

20世纪以来，我国的音乐声学取得了长足的进展。赵元任在1920年前后开创了汉语声调波形研究，并将研究成果运用于音乐创作中。刘复则在北京大学建立了“语言乐律研究室”，他对天坛藏中国古代编钟、编磬等乐器进行测音研究，取得了最早的实验数据。杨荫浏在三四十年代运用实验手段对古代乐律学中诸如荀勖笛律、何承天新律等问题进行研究，得出了科学的结论。20世纪下半叶，音乐声学呈现一片繁荣景象，集中于乐器测音研究、音乐听觉心理研究、动态音乐测量技术、建

① 载《黄钟》2010年第4期。

② 载《中国音乐学》2013年第2期。

③ 胡书翰：《解密频谱——频谱作曲中的音响观念》，《音乐艺术》2010年第3期。