



刘健 钱仁平 冯坚 主编

电子音乐创作与研究文集

武汉音乐学院

建设丛书

武汉音乐学院出版社
HAI CONSERVATORY OF MUSIC PRESS

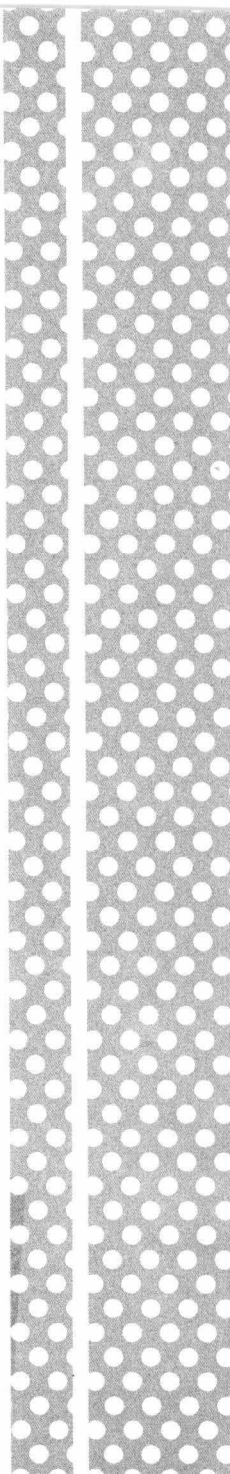
 上海音乐学院出版社
SHANGHAI CONSERVATORY OF MUSIC PRESS

THE COLLECTION OF
ELECTRO-ACOUSTIC MUSIC
COMPOSITION AND STUDY

武汉音乐学院品牌专业建设丛书

电子音乐创作与研究文集

刘健 钱仁平 冯坚 主编



图书在版编目 (CIP) 数据

电子音乐创作与研究文集 / 刘健, 钱仁平, 冯坚主编.
上海: 上海音乐学院出版社, 2007. 9

ISBN 978-7-80692-318-4

I. 电… II. ①刘…②钱…③冯… III. 电子音乐—艺术
评论—文集 IV. J628.07-53

中国版本图书馆CIP数据核字 (2007) 第 141143 号

书 名	电子音乐创作与研究文集
主 编	刘 健 钱仁平 冯 坚
责任编辑	陈 欣
特约编辑	胡杭干
封面设计	帝王设计机构
责任校对	奚慈光
电脑制作	李吉颖
出版发行	上海音乐学院出版社
社 址	上海市汾阳路20号
邮 编	200031
电 话	021-64315769 64319166
传 真	021-64710490
印 刷	江苏省通州市印刷总厂有限公司
版 次	2007年9月第1版 第1次印刷
开 本	850×1168mm 1/32
印 数	2100册
印 张	13.75
书 号	ISBN 978-7-80692-318-4/J. 306
定 价	39.00元(附CD)

目 录

- 1 武汉音乐学院的电子音乐创作、研究与教育
- 24 混合与预制
- 41 电子音乐三题
- 53 算法作曲及分层结构控制
- 72 音响的组织及其编令的曲式意味
- 92 电子乐器的音响特征与电子音乐中音色的结构意义
- 106 声音、音响：音景的世界
- 123 THE SONIC CHARACTERISTIC ABOUT ELECTRONIC INSTRUMENTS
- 136 EG 工作原理及其音乐表现意义
- 150 电子音乐中中国乐器的音色仿真问题
- 159 电子乐器音色的音响特征的完备性
- 167 From Timbre Modulation Method to Research the Relation Between Electronic Music and Chinese Musical tradition
- 176 “重叠渐变”

- 188 | 电子音乐中的空间思维
- 199 | 范吉利斯电子音乐作品的织体与音色研究
- 218 | 佉族音画
- 229 | The Computer Music Education in the Music Composition & Engineering Department of Wuhan Conservatory of Music
- 237 | 传统配器观念在电子音乐创作中的地位
- 266 | 电子音乐作品 OLTRE 中的动机构成及其发展手法与音乐表现意义
- 279 | 徐仪《虚空》的动态音响空间兼论现代音乐创作中的空间意识
- 342 | 具体音乐中音响材料的“主题性”及其相关的组织手段
- 379 | 论复调思维在音响型电子音乐中的体现
- 417 | 附录 1：武汉音乐学院电子音乐发展历史大事记
- 424 | 附录 2：武汉音乐学院部分电子音乐作品目录
- 428 | 附录 3：武汉音乐学院电子音乐研究目录
- 432 | 附录 4：武汉音乐学院“计算机音乐”专业历年硕士研究生学位论文目录
- 433 | 《武汉音乐学院电子音乐作品选》曲目介绍

武汉音乐学院的电子音乐创作、研究与教育

冯 坚

自20世纪80年代起，武汉音乐学院的电子音乐创作、研究与教育，经过近20年的发展，经历了从无到有、从浅尝到深究、从单一到多元、从追踪新信息新科技到将其融汇于音乐创作实践与专业音乐教育的过程，收获了一批又一批的创作和研究成果，为国家培养了许多新型复合型人才，对中国的电子音乐的发展做出了重大贡献。

从一定意义上看，作为国内最早涉足于电子音乐领域的专业音乐院校，武汉音乐学院的电子音乐发展历程，可以说是中国电子音乐发展的一个缩影，是该领域近20年整体态势的一种映射。在电子音乐相关技术大规模更新、应用范围大幅度扩展、相关概念已有质的飞跃且逐渐成为当代音乐的一个相当重要组成部分的今天，对近20年来武汉音乐学院电子音乐的创作、研究与教育的发展状况，做一整体性回溯、总结与反思，对该学科在新世纪的发展，自有相当重要的历史意义与现实意义。

一、音乐创作，立足民族根源，力求推陈出新

音乐创作是依赖于发声媒介而存在的，而作曲家对于发声媒介的探索与革新、对于新音色新音响的追寻与渴求也是永无止境的。上个世纪80年代初，正值中国音乐界告别与世隔绝，冲破禁锢束缚，在创作思想上发生巨大变革的新旧交替之期，在各种新观念、新技法猛烈地冲击人们思想深处的同时，各种各样的电子乐器、电子音乐设备也随之进入国门，这无疑为国内的音乐创作活动开启了一个崭新的世界，也使国内部分作曲家萌生了驰马试剑的冲动。

武汉音乐学院的早期电子音乐创作，正是发生于这样一个时期。追根溯源，刘健于1985年创作的《纹饰》(Veins)，可算是武汉音乐学院最早的具有电子音乐萌芽意识的作品，这部作品在美国“国际新音乐作曲家大赛”(The International New Music Composers Competition) 89/90年度赛季中，获得“才华成就奖”(Meritous Achievement Award)。它是一部为电子合成器、弦乐四重奏和大型弦乐队而作的混合媒介作品，是一部使用“点、线、面”的音响描写“古老的、沧桑的、黄土的”内容的“准”电子音乐作品。这部作品无论是在内容、形式上，还是在音响选择、音乐结构上，都反映出作曲家对古老的民族文化内涵的思考和寻根，以及对于音乐语言的更新、音乐规则的突破的探索和尝试。

随着这部作品的问世，武汉音乐学院迎来了其电子音乐发展的第一阶段：20世纪80年代至90年代的“MIDI”技术阶段。

这一阶段的创作主要包括一些尝试各种MIDI技术的试验型作品。其中，在1990年全国首次“MIDI与数码乐器新作品演奏会”上演示的刘健为MIDI与钢琴而作的《第一钢琴协奏曲》和吴粤北为MIDI与人声而作的《魂归山》、在1996上海“计算机音乐与音

乐科学国际学术讨论会”上演示的刘健为MIDI系统与人声而作的《黑与白》和吴粤北的《紫色的山谷》，应该算是这一阶段的代表作。当然，这一阶段也不乏相当一批探索大众化、通俗化音乐风格和形式的作品。

20世纪90年代中后期，随着计算机在音乐创作与制作中的广泛应用以及电子音乐创作观念的逐渐成熟，武汉音乐学院的电子音乐发展进入第二阶段：“音频技术”阶段。

这也是一个丰收的季节。学院在音乐音响导演专业学科建设方面的顺利发展以及人才培养规格的逐步提高（1994年开始招收国内第一届该专业硕士研究生），无疑为其电子音乐创作队伍提供了新鲜血液。

这一阶段的重要创作成果包括，刘健根据瑶族民间音乐素材创作制作的音乐专辑《盘王之女》（1998，武汉音像出版社发行），根据佤族民间音乐素材创作制作的音乐专辑《黑珍珠》（2000，台湾风潮唱片公司发行）；冷岑松为磁带暨计算机波形处理而作的《五行》（1998年）；冯坚为计算机人声采样而作的《黑眼睛》（1996年），为箫、人声与磁带而作的《凡心》（1997年），以及为独奏小提琴、波形与四声道而作的《阿美措歌谣》（1998年）等等。

刘健的《盘王之女》被誉为“新民族根源音乐”，是一部取材于瑶族文化的音乐史诗。它由盘王之女、过山瑶、赶歌堂、生在云端、蝴蝶歌、祖先的故事、枯滴、礼曲和心愿9个音乐段落组成。作曲家在创作过程中，刻意追求民间音乐特色的原始再现，极力“隐蔽”专业音乐创作的雕琢痕迹，用一种有时间距离感的语调，叙述瑶族群落的历史与迁徙、拓荒与神秘，“体现出很强的文化寻根意识，也展现了民族音乐风格原始状貌本身具有的艺术魅力”^[1]，“成为从新的角度表达音乐作品民族风格的代表作”^[2]。2000年，以《盘王之女》为蓝本制作的音乐特写《刘

健和他的瑶歌》获第35届亚太广播电视联盟娱乐节目评奖大奖(中国音乐节目报获级别最高的国际大奖)。亚广联评委的集体评语是：“一个中国音乐家以他创作的声乐组曲《盘王之女》给一个正在消失的少数民族音乐带来了新的生命。这个精心创作的节目展示了古老音乐充沛的生命力和保存传统音乐遗产——这一全世界人民共同目标——的成功努力！”2001年，《盘王之女》获第二届“全国优秀文艺音像出版物”一等奖，并于2003年获第二届“国家音像奖”。

《黑珍珠》是刘健继《盘王之女》后创作的另一部以云南群山之中的古老民族——佤族为主角的电子音乐专辑。它也由9个音乐段落组成：黑珍珠、星月梭、叶娜、司岗里之一、司岗里之二、木鼓房、祭杀、阿瓦理和燕子。专辑中除使用佤族人演唱的传统歌谣外，还大量使用了口弦、木鼓、得、独弦琴等佤族民间乐器，突出强调了音响的个性化特征和音响在空间、质感、密度等方面的层次感，反映出作曲家在音响上独特的追求和认识，逼真地展示了佤族人奔放、粗犷、淳朴的原始风貌和民族风情，正如作曲家所述：“专辑《盘王之女》更多的是从瑶族文化的角度体现一种厚重的历史感和宗教感，而专辑《黑珍珠》则恰好相反，更多的是从佤族人日常生活的角度出发来体现一种民俗性和场景感”。

同样是在这一阶段，由武汉音乐学院该学科培养并留校的青年教师冷岑松、冯坚以及在读硕士研究生薛花明等人的几首电子音乐作品，在1998年“全国第二次中青年作曲家新作品暨教学经验交流会”的“计算机音乐作品专场音乐会”上首次面世，并引起了与会代表（包括来自海外的计算机音乐专家）的强烈反响。其中，冷岑松的《五行》是一首纯粹的计算机音乐作品。作者通过计算机波形处理手段创造产生了用以代表金、木、水、火、土五种元素的声音，并根据音乐的需要对其进行

分解、叠加、滤波、合并等各种变形处理，演绎出“五行”的相互衍生、排斥等错综复杂的辩证关系；冯坚的《黑眼睛》、《凡心》、《阿美措歌谣》等作品，则以不同的风格样式和动听音响引人注目：《黑眼睛》是一首将人声作为乐器使用的尝试性作品，通过对采样录入的作曲家自己唱诵的“黑”、“眼”、“睛”三个单音节进行诸如音高移位、音节分解重组、波形反转变形等处理和音乐性组合，来表现某种迷茫、求索的精神世界，形成具有形式意味和表现意义的音乐音响；《凡心》主要运用了计算机波形处理技术，通过预制波形与现场演奏、演唱的箫和人声相结合，形成肃穆、超脱与喧嚷、躁动矛盾共存的复杂音响；而《阿美措歌谣》则采用优美的藏族民歌音调，通过波形处理、四声道技术与现场小提琴演奏的结合，通过传统作曲技术对比并置、变奏衍生、模仿回应等手法的运用以及对音乐进行有意味的组织，营造出一种纯净、高远的氛围，带给听众一种身临其境的空间感受；薛花明^[3]为编钟采样而作的音响型电子音乐作品《钟之灵》，将采录的以不同工具（如锤子、刷子、筷子、金属片、手和嘴等）演奏的编钟音色，加以编辑处理和音序组织，塑造出一幅“在一个无人的空旷大厅里，编钟在独自震颤、呼吸、歌唱、相互碰撞并舞蹈”的影像，以全新的方式诠释了编钟这一古老的中国乐器。

上述作品在运用计算机处理演奏信息、使用新方法处理音频信息并由此获得新的音响材料、音响效果和音响组织形式方面，都大大超越了使用MIDI录音那个时期的技术水准，被与会同行认为在创作观念、制作手法上“达到了世界水平”。

21世纪开始至今，武汉音乐学院的电子音乐发展进入第三阶段：“算法作曲”阶段。

“算法作曲”是一种用逻辑过程来控制音乐生成的电子音乐创作方式，也是目前世界范围内实验性电子音乐创作的主流方

式。这种方式注重人机交互的理念：“人在算法作曲中扮演着‘立法者’的角色，完成逻辑过程的设计后，尽可能少地干预音乐的成长，让计算机来完成音乐作品”^[4]。

刘健为藏铃与 Max/MSP 而作的《Touch》《触动》（2006 上海国际电子音乐节委约作品），就是一首运用“算法作曲”技术创作设计的作品。作曲家以一对藏铃为演奏工具，通过敲击、碰撞、摩擦等演奏法形成各种音色，进而通过其节奏模式、演奏力度、持续时间等要素的变化，实时地控制事先设计好的作品程序，同时利用相关的效果器概念，完成计算机对现场演奏的藏铃音响的实时处理，实现整个人机交互过程。作品的整体音响由稀疏而渐繁密，由灵动而渐凝重，由清澈而渐浓厚。这些种种不同的音响形态，似乎在向听众诉说历史的沧桑与人生的感悟，尽管没有“乐音”，却余音绕耳，直触心灵。

这类运用“算法作曲”技术创作设计的作品还包括冷岑松为单簧管与 MAX 交互而作的《筒》（2003 中国成都国际现代音乐节暨全国中青年作曲家新作品交流会首演）、王刚^[5]针对循环运动音乐形态而创作的《循环》（*Triller & Triller & Triller*）（为大提琴与 Max/MSP 而作）、王刚和张兢兢^[6]合作的《无序之槌——为打击乐与 Max 程序而作》（2005 年“全国高校音乐类计算机课程建设研讨会”“计算机音乐作品专场音乐会”首演）等作品。

进入 21 世纪以来，武汉音乐学院的电子音乐创作在 MIDI 技术、音频技术、多声道技术以及其它相关技术的综合应用方面开始向纵深层次发展，涌现出一批具有鲜明个性化特点并为国内外同行赞许称道的作品。这其中包括：

刘健的《半坡月圆之夜》（新笛、小堂鼓与八个音箱的十重奏）（2004 北京国际电子音乐节首演）。作曲家一方面通过寻找竹笛和小堂鼓之间在音乐形态上的相似性（例如，竹笛的气声与堂鼓的摩擦声、竹笛的吐音与堂鼓的点击、竹笛的颤音

与堂鼓的轮奏等),来揭示看起来完全不同的事物之间的内在联系;另一方面,又将传统作曲技术中的复调思维运用到八个音箱声部的设计和布局中,利用现场演奏的新笛和小堂鼓,这两种在音色上皆具鲜明个性、在音质上又有强烈反差的乐器,与八个音箱形成时而线性旋转环绕、时而点状飞越跳动的空间音响,营造出一种具有强烈东方色彩的古老而神秘的音响氛围。

刘健新近面世的根据湘西苗族、土家族民间音乐素材和风俗人情创作的音乐专辑《天门》(2006,湖南金峰音像出版社发行)。与作曲家的前两张专辑《盘王之女》、《黑珍珠》一样,它仍由9个音乐段落组成:天门、绿山谷、梯玛神歌、咚咚喹、山的节奏、天边的情歌、云、苗山和五彩河。与前两张专辑不同的是,作曲家在保持本人一贯的“新民族根源音乐”风格的同时,从“天然去雕饰”的客观视角出发,运用其娴熟的作曲技术,将传统文化与现代思维、管弦乐队与电子音响、西方作曲技法与东方民族色彩等诸多领域的对置元素有机地糅合在一起,“体现出‘后现代主义’观念中信仰的多元、打破界限以及融合一切的特征”^[7]。刘健在这张专辑中,一方面大手笔地综合使用无调性、泛调性、偶然对位、微复调等各种现代音乐和经典音乐作曲技法,不再像前两张专辑那样小心翼翼处理原始素材,另一方面,他凭借其独特的思维和一个作曲家的敏感,根据创作的需要和艺术表现的目的,将电子音乐软硬件技术创造性地转化成诸如“微时差弹性节奏”之类的作曲技术,利用各种科技手段来完成音乐的艺术处理。整张专辑反映出作曲家在电子音乐技术观念上的更新突破和音乐创作思想的更加成熟,显示出他的音乐“已经完全从实验走向真正的创造”^[8]。《天门》的整体音响大气、流畅,与《盘王之女》和《黑珍珠》相比少了些许凝重和粗犷,多了一份清新和自然。

冯坚的为女高音、实时效果器、波形与四声道而作的《灵

魂像风》(*Soul. Wind*) (2007 香港国际—亚太现代音乐节入选作品)。作品取材于藏族民间音乐,在女高音声部的处理上使用音节分解式吟诵、气声吟唱、颤滑式歌唱等方式以展现藏族语言的魅力和独有的美感,并利用实时效果器对女高音声部进行延时、调制等处理,以形成更为丰富的音乐形态;同时使用音频技术和多声道技术,对预录材料进行变形、移位、分解、重组、穿插、旋转、对置等处理,以形成与女高音声部截然不同又丝丝相关的各个音乐层次。作品的整体音响缥缈、通透,以电子音乐的方式诠释了藏族文化的精髓——精神上的自由与灵魂上的纯净。

这一阶段武汉音乐学院的电子音乐创作中也不乏获奖作品。例如,李鹏云的《送哥哥》(第二届 Musicacoustica 电子音乐作曲比赛 C 组二等奖);2006 届硕士研究生柴庆伟的《原子界》(为白噪声而作)(第二届 Musicacoustica 电子音乐作曲比赛 A 组优秀奖);2004 届本科生陈思的《醚舞》(为民族乐器采样及电子合成音色而作)(《音乐创作》第二届艺术歌曲暨中小型器乐作品比赛三等奖);2004 届本科生张兢兢的《藏谣》(为计算机波形采样而作)(《音乐创作》第二届艺术歌曲暨中小型器乐作品比赛创作奖、第一届中国电子音乐学会“学会奖”电子音乐作品比赛 A 组三等奖);2006 届本科生彭丹为大提琴与计算机而作的《魅影》(2005“第一届中国现代音乐创作研究年会”首演、2006“上海国际电子音乐节”之“新生代音乐会”公演);2007 届本科生申涛为大提琴与计算机效果而作的《长调》(2006“上海国际电子音乐节”作品征集获选作品,“新生代音乐会”公演);2007 届本科生刘钰的《斑斓》(为 BASS 的几个模式而作)(第二届 Musicacoustica 电子音乐作曲比赛 C 组三等奖),等等。

总体而言,近 20 年来武汉音乐学院电子音乐创作的历史,既是一段不断吸纳、尝试高新技术手段的历史,又是一段持续

追寻、探求民族风格真谛的历史；既是一段保持、熔炼传统作曲技术的历史，又是一段拓展、更新音乐创作理念的历史。这段历史有鲜明的时代特征，有强烈的个性化色彩，有浓厚的文化底蕴，从而使武汉音乐学院近20年来的电子音乐创作在整体上显示出其独特的艺术风貌。

二、理论研究，同步国际潮流，不断开拓进取

近20年来，武汉音乐学院在电子音乐理论研究方面，凭借其对新事物的敏锐触角、对技术手段的认真思考、对具体问题的深入探求以及在学术研究上的严谨作风，推出了大量成果，研究重点从MIDI系统中演奏信息的传输与控制，逐步扩展到许多在国内尚属空白的研究领域，如声音的仿真合成、电子音乐的语言特征、数字音响软合成技术、音乐分析的计算机程序、算法作曲与交互作曲理论等等，累计发表专业学术论文、乐评及各类文章数十篇。这在很大程度上应该归功于具有前瞻性眼光的学科带头人刘健教授和一贯大力扶持该专业的彭志敏教授等众多前辈的不懈努力。这些研究成果大致分为以下几类：

1. 基于算法作曲理论的研究

算法作曲，是进入21世纪以来逐渐为国内电子音乐界所知的一种基于逻辑化控制理念的电子音乐作曲技术。武汉音乐学院的刘健教授在1999年赴美国进行学术交流期间首次接触到这种技术时，就对其产生了浓厚的兴趣，以其前瞻性的眼光，敏锐地意识到这将是一种使电子音乐创作观念产生重大变革的突破性技术，它将成为未来相当长一段时间内电子音乐创作的主流。经过几年潜心研究和深入实验，刘健在对基于Max/MSP平台的算法作曲技术有了更进一步的认识之后，于2003年发表了他有关于这一技术

的第一篇学术论文《算法作曲与分层结构控制》^[9]。文章从关于算法作曲的基本概念及其可能的历史母体的论述开始，引出算法作曲中最重要的“分层结构控制”概念，并通过相应的实例分析，归纳出分层结构控制的基本特性。2004年，该论文获第四届中国文联文艺论文奖三等奖。2005年，刘健教授的专著《计算机算法作曲原理与技术》获上海市教委第四期重点科研项目正式立项。

作为算法作曲技术的先行者，刘健还带领他的部分研究生在该领域及其延展领域进行积累性基础研究，获得了一系列初步成果，如《古典风格旋律调性的计算机判定》（高坚昌）、《音高权重在民歌旋律风格特征形成中的体现》（周敏）、《循环（Triller）音乐形态的计算机模拟》（王刚）、《基于音级集合理论的音高控制程序及其在音乐创作中的应用》（郑思）^[10]等等。

2. 关于电子音乐语言特征的研究

电子音乐自诞生之日起，就以其千奇百怪的音色种类、千变万化的音响形态和迥然各异的音乐风格而著称。它的创作思维与传统作曲观念有何异同？它的音响组织应遵循什么规律？它的音响特性该如何把握？它的音乐结构需如何构建？它的构成方式又有哪些特点？等等这些都是在今日电子音乐领域中仍未形成系统化、体系化认识，却对电子音乐创作至关重要的问题。

武汉音乐学院的电子音乐理论研究有相当一批是针对这些问题进行的。

中文核心期刊《中国音乐学》上首次刊登的电子音乐理论研究类文章，就是武汉音乐学院冯坚的学术论文《音响的组织及其隐含的曲式意味——音响型电子音乐实例解析》。文章重点讨论了关于电子音乐曲式结构方面的问题，并在逐一分析音响型电子音乐作品实例的音响材料和组织手法的基础上，揭示出分析

对象的隐含曲式性质，提出了音响型电子音乐作品在材料组织手法和曲式构建方式上和传统创作思维方式“并不矛盾”，甚至是“对传统创作思维方式的继承或沿革”^[11]的这样一种观点。

李鹏云的学术论文《电子音乐中的空间思维》，则从“空间”的角度探讨了电子音乐的思维方式。文章认为，“空间”作为声音的一个构成要素，在电子音乐中被加以“强化”，进而形成静态多维空间思维和动态运动空间思维两种类型，而且无论是哪种空间思维，都会对电子音乐的创作和演出产生影响，因此，“它已成为电子音乐中除音色思维之外的一个重要思维”，“逐渐地成为音乐中的一个表现要素”^[12]。

另外，2004届硕士研究生李嘉的学位论文《徐仪〈虚空〉的动态音响空间——兼论现代音乐创作中的空间意识》也是一篇对“空间”意识有相当深入的研究的文章。作者通过对《虚空》各段落音响空间运动的发生、发展方式进行具体解析，归纳出诸如“线运动”、“带运动”、“块运动”、“点缀型”、“互补型”、“渗透型”、“交错型”、“凸现型”、“包围型”、“重叠型”、“对立型”等一系列关于音响空间运动的概念，揭示出动态音响空间作为《虚空》的首要表现要素，所具有的整体有机变化的内在逻辑，以及作品在微观与宏观层面所体现出的音乐创作中的空间意识。

此类针对电子音乐语言特征的研究成果还有：冯坚的《电子乐器的音响特征与电子音乐中音色的结构意义》^[13]；李鹏云的《“重叠渐变”——Rompido音乐结构力剖析》^[14]和《范吉利斯电子音乐作品的织体与音色研究》^[15]等。也有一些硕士学位论文涉及该研究侧面，如冯坚的《音响型电子音乐作品中的“节奏——时间”关系及运动》、刘芳的《点状音合成及其音色变化的途径》、赵媛的《传统配器观念在电子音乐创作中的地位》、薛花明的《音响距离感在电子音乐作品中的体现及其音乐表现意义》、殷苗苗的《音响组织的句法特征及其宏观结构力》、赵飞的《具体音

乐作品中音响材料的主题性及其相关的组织手段》、柴庆伟的《论复调思维在音响型电子音乐中的体现》、张兢兢的《电子音乐中主题的双态结构及其在作品中的渗透》等等。

3. 针对特定电子音乐技术的研究

这类研究的主要目的，是就某种特定的电子音乐技术环节，进行深入细致的剖析，进而总结和归纳出它们在音乐创作中的可用形式和在音乐表现中的实际作用。这类研究是深入了解电子音乐作品的自身特点和电子音乐创作的固有规律的必不可少的途径。冷岑松在这类研究中取得了一定的成果。例如，他的学术论文《EG的工作原理及其音乐表现意义》^[16]，就从对EG（包络发生器）的工作原理进行剖析入手，结合实例分析，说明EG对声音的音高、音色、音量的控制，进而揭示EG控制在模拟各种真实的常规乐器的音色、演奏法及创造新的声音等方面的实际意义；而其另一篇论文《电子音乐中中国乐器的音色仿真问题》^[17]，则就中国乐器的音色仿真技术展开探讨。文章首先分析了中国民族乐器在发音上的随机性和在演奏法上的多样性特点，然后以制作一段琵琶乐曲和二胡乐曲的全过程为例，完整具体地说明了音色仿真的制作过程和单声部的多通道处理法，同时还指出了仿真音色在实时演奏中的局限性。

此类研究还包括冷岑松的论文《电子乐器音色的音响特征的完备性》^[18]、孙展的《关于电子乐器音色民族化的探讨——二胡音色采样与应用的实验报告》^[19]、李鹏云的论文《解析 GRM TOOLS 对声音的变形处理——兼论电子音乐的两种发展手法》^[20]等。

4. 关于电子音乐记谱法的研究

电子音乐的记谱难题，是由于这种音乐本身在音色上极其