

林昶 著

从频谱到谱相的作曲技法拓展

——特里斯坦·米哈伊的音乐创作研究

中央音乐学院出版社

林昶 著

从频谱到谱相的作曲技法拓展

——特里斯坦·米哈伊的音乐创作研究



中央音乐学院出版社
· 北京 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

从频谱到谱相的作曲技法拓展 : 特里斯坦·米哈伊的音乐创作研究 / 林昶著. —北京 : 中央音乐学院出版社, 2018.9

ISBN 978 - 7 - 81096 - 939 - 0

I. ①从… II. ①林… III. ①特里斯坦·米哈伊—音乐创作—创作研究 IV. ①J604

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2018) 第 193603 号

Cóng Pīnpǔ Dào Pǔxiàng De Zuòqǔ Jìfǎ Tuòzhǎn

从频谱到谱相的作曲技法拓展

——特里斯坦·米哈伊的音乐创作研究

林 昶 著

出版发行：中央音乐学院出版社

经 销：新华书店

开 本：787mm × 1092mm 16 开

印 张：10.75 字数：252 千字

印 刷：北京京都六环印刷厂

版 次：2018 年 9 月第 1 版 2018 年 9 月第 1 次印刷

印 数：1—1,200 册

书 号：ISBN 978 - 7 - 81096 - 939 - 0

定 价：55.00 元

中央音乐学院出版社 北京市西城区鲍家街 43 号 邮编：100031

发行部：(010) 66418248 66415711 (传真)

目 录

绪论 _1

选题依据 _1

- 一、论题及研究对象所属领域、范围和性质 _1
- 二、论题的理论意义、现实意义和应用价值 _1
- 三、国内外对该论题的研究情况、水平及发展趋势综述 _2
- 四、研究的方向与实践的手段 _6

第一章 频谱音乐的“前传”及米哈伊的频谱音乐 _7

第一节 德彪西、梅西安和切尔西对频谱音乐的表层和深层影响 _8

- 一、德彪西频谱意识 _8
- 二、梅西安的频谱意识 _11
- 三、切尔西的单音思维 _14

第二节 频谱音乐在法国的建立以及两位创始人的介绍 _17

- 一、频谱音乐在法国的建立 _17
- 二、频谱学派的两位重要的创始人 _18

第三节 米哈伊的频谱音乐作品（1967—2012） _21

第四节 米哈伊观念中的频谱——谱相的拓展 _25

第二章 对米哈伊频谱音乐中常用技法的探究 _30

第一节 谐音频谱与非谐音频谱 _30

第二节 电子音乐音响处理手法在频谱音乐上的“移植” _33

一、滤波技术 _33

二、回声、混响效果 _36

第三节 环形调制与频率调制 _40

一、环形调制 _40

二、频率调制 _40

三、频谱音乐中环形调制与频率调制的比较 _44

第四节 虚拟低音 _47

一、虚拟低音的产生 _47

二、虚拟低音的计算方式 _48

第五节 插值算法 _53

一、音高插值算法 _53

二、响度插值算法 _55

三、节奏插值算法 _56

第六节 音乐目标 _57

第七节 电子音乐在米哈伊作品中的应用 _62

一、米哈伊使用的电子音乐手段分类 _62

二、电子音乐部分在米哈伊作品中的作用 _66

本章小结 _67

第三章 谱相思维在米哈伊频谱音乐中的成形 _68

第一节 光谱谱相在频谱音乐中的转化——《夕阳十三色》 _68

一、太阳光谱的原理与《夕阳十三色》原始构思的关联 _68

二、作品中的13个音程	_71
三、渐变中的三种突变因素：音型加速、复合音、弓压增强	_73
四、13色的渐变过渡	_81
小 结	_85

第二节 回输的谱相——《忆/蚀》 _91

一、“回输”	_91
二、“回输”的频谱在配器上的实现	_92
三、“回输”信号的循环与失真——音序模仿、失真模仿	_96
四、三类模仿在作品中的并置与相互转化	_97
五、音高在回输过程中的“腐蚀”	_100
六、“腐蚀”在音色布局过程中的视觉效果	_103
小 结	_106

第三节 分形几何谱相的逐层渗透——《沙芮迪》 _109

一、分形几何与音响美学	_109
二、分形几何谱相在音乐结构上的逐层划分	_115
三、分形在音高上的隐性作用	_130
四、分形在响度上的直观感受	_137
小 结	_138

第四章 拓展性的谱相思维与“拼图”音乐的设想 _139

第一节 拓展性的谱相思维 _139

第二节 声音雕刻 _142

第三节 关于“拼图”音乐的设想 _145

第四节 全文结语 _149

一、谱相思维对于创作的开拓性启发作用	_149
二、谱相思维对于作曲教学延展性的“软件”支持	_151

参考文献 _154

一、中文参考文献 _154

二、外文参考文献 _154

附录 Spear软件的使用简介 _157

一、软件的功能及操作界面 _157

二、高级的选择工具与修改工具 _158

三、文件的输出 _161

后记 _163



绪 论



选题依据

一、论题及研究对象所属领域、范围和性质

本文的论题是：从频谱到谱相的作曲技法拓展——特里斯坦·米哈伊的音乐创作研究。研究对象所属的领域是艺术类——音乐与舞蹈学——作曲与作曲技术理论。范围属于作曲与作曲技术理论中的作曲技法研究。性质为对某种作曲技法应用型的研究。

二、论题的理论意义、现实意义和应用价值

（一）理论意义

本文研究论题中的这位作曲家特里斯坦·米哈伊（Tristan Murail 以下简称米哈伊）1947年出生于法国的勒阿佛尔市，是20世纪下半叶至今在国际上极具影响力的法国频谱作曲学派两位创始人之一（另一位是热拉尔·格里赛 Gerard Grisey）。米哈伊曾师从梅西安学习作曲，从1971至1973年连续获得作曲界最高殊荣——罗马大奖。

米哈伊在音乐史上最大的贡献在于与格里赛共同确立频谱学派。在经过高度数列控制序列主义、追求新音色的电子音乐和带有后现代主义的拼贴手法后，频谱学派又重新建立起了一种“有序化”的作曲模式。但这种有序化并不同于序列主义，它并不是反人性、违背心理听觉期待的，相反，频谱学派的音乐建立了一种新的音响审美高度。米哈伊从1969年写的第一个作品《Couleur de mer》统计至今，共写了14部乐队作品、10部大型室内乐作品、13部小型室内乐作品、11首独奏无伴奏

作品、一首人声作品。超过一半的作品都包含电声乐器。从作品整体数量来看他并不能算得上是一位多产的作曲家，但从作曲手法的推陈出新这个角度来衡量，他称得上是“多产”。从20世纪70年代到现在，米哈伊平均每5年甚至更短的时间，就会建立一种新的作曲观念。他先后运用了最初级的分音频率计算、环形调制和FM调频技术、非线性频谱和图形控制技术、管弦乐仿真技术等等。

频谱音乐始创于法国，后来慢慢影响到了为数不多的欧洲其他作曲家，比如法国芬兰裔的女作曲家卡佳·萨里雅霍（Kaija Saariaho）。至今为止频谱乐派也没有真正走出欧洲，甚至可以说只局限在以法国为首的几个西欧国家中。这其中最主要的原因很有可能是因为这个学派会让人觉得，要创作作品必须成为作曲家与程序员的合体。从米哈伊的创作观念中，我们可以发现，频谱音乐并不都是像想象中那样都包含着大量复杂的运算。夸张点说，一个只具备初中数学水平的作曲家也能进行频谱音乐的设计与创作。在将要研究的几部作品中，我们会发现米哈伊把事物内在的系统关联从早期频谱音乐中的分音结构扩展出去。由此也促使我萌发了这个论题的构想：从单一的频率之谱扩展到任何客观存在的事件和现象之内系统——谱相。谱相一词最早是导师吴粤北教授在我的专业主课上提出的，他认为，任意的系统关联可以称为谱相。这是对频率之谱的“频谱”所作的一种拓展延伸。

（二）现实意义与应用价值。

20世纪的50年代之后，频谱学派当之无愧地成为少数几个严肃音乐流派之一，其中的原因在于它拥有严谨、完善的作曲技法系统。而这类系统可以被运用到作曲教学中，尤其是高级阶段的作曲技法研究。在实际的创作中，通过本文的论题研究——从频谱到谱相的作曲技法拓展，作曲家们也许会在这个领域内根据自己的实际情况、审美取向、作品规模等方面提取并运用不同的谱相系统进行创作。

三、国内外对该论题的研究情况、水平及发展趋势综述

（一）目前国内对频谱音乐的研究情况

1. 以学位论文方式进行论题研究的有4篇：（1）吴粤北的《先锋派实验音乐之涅槃》。这是一篇有关基于算法的频谱作曲技法研究的文学博士学位论文。它从作曲算法与算法作曲的简明阐述入手，以计算机辅助作曲技术中最具代表意义的风格

流派——频谱学派的音响生态学探究为基本出发点,对频谱作曲技术进行了深入地研究和解析;对基于 OpenMusic 拼图算法平台进行了实证推演;对于两位最具影响力的频谱作曲学派创始人热拉尔·格里赛 (Gerard Grisey, 1946—1998)、特里斯坦·米哈伊 (Tristan Murail, 1947—) 的四部代表作品从材料、结构、音乐、音响四个方面进行了深入探索、推理和验证性分析。(2) 肖武雄的《频谱音乐的基本原理》。该论文以第一代频谱音乐作曲家杰勒德·格雷瑟、提斯坦·缪哈耶^①的作品为研究重点,辅助于第二代“后频谱”作曲家的作品为佐证,深入探讨他们作品中反映出来的声学原理;借助电子仪器、电脑频谱分析来揭示构成这些作品的声音本质;探求他们把声学、电子理论运用于常规管弦乐器的经验成果,最终总结出频谱音乐作品的组织结构特性。(3) 胡书翰的《基于 OpenMusic 的频谱作曲技法研究》。该论文首先从两个方面来介绍频谱作曲基本概念和技术手段:一方面阐释出频谱作曲的基本观念、产生的技术背景及主要关键技术;另一方面,将频谱音乐在音高特别是以微分音为主的音高、和弦以及和声、节奏节拍以及时值、曲式与材料发展手法、复调、配器等各个结构特征进行总结。其次,本文介绍了专为频谱作曲而研发的软件 OpenMusic 的生成原理和操作方式。(4) 蔡建纯的《频谱音乐中的音色、时值与结构》。该论文是以 20 世纪频谱音乐代表人物杰勒德·格雷西 (Gerard Grisey) 的最后一部作品《穿越临界的四首歌曲》为研究对象进行分析和研究,试图从音色、时值与结构等方面论述频谱音乐的语言以及所形成的音乐风格。

2. 其他涉及到频谱音乐的文章有 3 篇:(1) 郭元的《频谱音乐》(发表于《音乐探索》2006 年 9 月 25 日);(2) 陈洁、何荣的《微分音小提琴、中提琴频谱音乐研究》(发表于《中央音乐学院学报》2013 年 2 月 15 日);(3) 戴维一的《论基于电子音乐音响合成的创作思维》(上海音乐学院硕士论文,2010 年 5 月 10 日)。

着重以米哈伊创作手法的分析以及不同时期作品的横向对比,对此,目前国内还没有人进行专门的研究。

3. 国外有关米哈伊创作手法的研究分析方面的论文我分为三个类型:(1) 米哈伊自己写的文章;(2) 别人对米哈伊作品的作曲技术理论分析文章;(3) 对频谱学

① 这两位作曲家的名字在本人的论文中被翻译成热拉尔·格里赛和特里斯坦·米哈伊。

派技法的分析,其中牵涉并谈到米哈伊的文章。

(1) 米哈伊自己写的文章

一共有6篇文章,都发表在2005年4月—6月间的《当代音乐评论》期刊里。

①《切尔西——分解者》(*Scelsi, De-composer*),该文由罗伯特·长谷川(Robert Hasegawa)翻译。这篇文章通过对比分析意大利作曲家切尔西的作品和米哈伊自己的作品来阐述,切尔西在创作上对声音分解的这种观念使自己萌发了“频谱”的最初思维。②《频谱与精灵》(*Spectra and Sprite*),“Sprite”是当时的一种小型电脑。该文由托德·麦克弗(Tod Machover)翻译。文中通过对一些电子声学现象的量化分析,从而解释了早期频谱音乐的一些创作理念。③《复杂声音的革命》(*The Revolution of Complex Sounds*),该文由约舒亚·科迪(Joshua Cody)翻译。这篇文章通过对自己的作品《忆/蚀》(*Memoire/Erosion*)、《暗夜》(*Sable*)、《失去的领地》(*Territoires de l'oubli*)、《以太》(*Ethers*)以及格里塞《调制》(*Modulation*)的分析提出一种由声学现象转换过来的音色思维——复杂声音(*Complex Sounds*)。④《反思》(*After Thoughts*),文中阐述了米哈伊自己在对先锋派音乐衰亡之后的想法,由结合频率与和声、音色的关系产生频谱音乐的最早的创作理念。⑤《目标练习》(*Target Praticce*)。该文由约舒亚·科迪(Joshua Cody)翻译。文中通过东西方文化的比较、对音响观念的重新塑造,阐述了在频谱音乐中看待音响与时间、结构的一些观念,并简单介绍了一些用电脑参与计算获得音高、节奏系统的手法。⑥《Villeneuve-les-Avignon 的马塞中心会议上的发言 1992 年 7 月 9—11 日和 13 日》(*Villeneuve-les-Avignon Conference, Centre Acanthes, 9-11 and 13 July 1992*)。这个文稿里非常详细地讲述了在频谱音乐之前,浪漫派晚期音乐、印象主义音乐中一些音乐语言对频谱音乐建立所产生的一些影响。分析了声学中的一些现象及原理,以及某些乐器频率成分构造对频谱技术的影响。然后,文稿里花了比较大的篇幅详细分析了米哈伊自己的几部作品《冈瓦纳》(*Gondwana*)、《失去的领地》(*Territoires de l'oubli*)、《裂变》(*Desintegration*)、《快板》(*Allégorie*)。

(2) 别人对米哈伊作品的作曲技术理论分析文章

这类文章共有6篇。①《频谱音乐的基本原理和特里斯坦·米哈伊的〈冈瓦纳〉》(*The principles of Spectralism and Tristan Murail's Gondwana*),作者是布鲁斯·班尼

特 (Bruce Bennett); ②《对关注特里斯坦·米哈伊音乐的虚构命题》(*An Imaginary Proposition Concerning the Music of Tristan Murail*), 作者是克劳德·勒杜西 (Claude Ledoux), 文章发表于《当代音乐评论》第 19 册的第三部分, 页码数是 41—65 页; ③《对特里斯坦·米哈伊的采访》(*An Interview with Tristan Murail*), 作者是罗纳德·布鲁斯·史密斯 (Ronald Bruce Smith); ④《在特里斯坦·米哈伊的〈湖〉上》(*On Tristan Murail's Le lac*), 作者是罗查理·赫尔斯 (Rozalie Hirs), 这篇是他在哥伦比亚大学的音乐学博士学位论文; ⑤《特里斯坦·米哈伊中基于频率的作曲技术》(*Frequency-based compositional techniques in the music of Tristan Murail*), 该文的作者是罗查理·赫尔斯 (Rozalie Hirs), 这篇文章属于修订稿, 初次修订的日期是 2009 年 3 月 30 日。⑥《特里斯坦·米哈伊的作品〈裂变〉、〈仪式〉中的音色组织》(*Timbral Organization in Tristan Murail's Desintergration and Rituals*), 作者是安东尼·科尔切洛 (Anthony Cornicello), 这是他在布兰迪斯大学哲学博士的学位论文。

(3) 对频谱学派技法的分析, 其中牵涉并谈到米哈伊的文章

此类文章共 2 篇。①《在克劳德·维特的〈孤独小孩〉》(*On Claude Vivier's 'LONELY CHILD'*), 作者是鲍勃·吉尔摩 (Bob Gilmore), 该书于 2007 年由剑桥大学出版社出版。②《有关频谱音乐语汇的调查及其与视觉艺术, 尤其是电影视频的关系》(*An investigation into the spectral music idiom and its association with visual imagery, particularly that of film and video*), 作者是布雷特·马布里 (Brett Mabury), 这是他在西澳大利亚演艺学院的科学与音乐双硕士的学位论文。

以上三类有关米哈伊的外国文献加起来一共 14 篇。加上之前国内涉及频谱音乐方面研究的论文 7 篇共 21 篇。

以上 21 篇文章大致可以归类为四个方面:

1. 有关米哈伊对频谱音乐中各种观念与手法的定义及美学意义。这类的文章有《塞尔西——分解者》、《反思》、《目标练习》、《有关频谱音乐语汇的调查及其与视觉艺术, 尤其是电影视频的关系》、《在克劳德·维特的〈孤独小孩〉》、《对关注特里斯坦·米哈伊音乐的虚构命题》和《对特里斯坦·米哈伊的采访》。

2. 有关米哈伊作品中, 着重频谱技术运用的算法分析。这类文章有《频谱与精灵》、《基于 OpenMusic 的频谱作曲技法研究》和《特里斯坦·米哈伊中基于频率

的作曲技术》。

3. 对米哈伊的若干作品逐个进行整体全局性分析。这类文章有《复杂声音的革命》、《频谱音乐的基本原理和特里斯坦·米哈伊的〈冈瓦纳〉》和《在特里斯坦·米哈伊的〈湖〉上》。

4. 对频谱音乐或米哈伊的整体创作观念、频谱算法技术及具体作品分析的综合类文献有：《Villeneuve-les-Avignon 的马塞中心会议上的发言 1992 年 7 月 9—11 日和 13 日》、《先锋派实验音乐之涅槃》和《频谱音乐的基本原理》。

从以上的分类来看，对米哈伊创作理念的剖析以及他对频谱音乐中某些定义的阐述这类的文章占了绝大多数。从作品整体分析的角度来看，这些文章主要集中分析了《裂变》《冈瓦纳》《以太》和《失去的领地》，并且已经分析得比较透彻。从作品中频谱算法角度来看，分析得比较详尽的主要是《特里斯坦·米哈伊中基于频率的作曲技术》，这也得益于作者通过与米哈伊的交流得到其创作过程中编写的程序模块。

四、研究的方向与实践的手段

文章的研究方向主要分为以下四个主体部分：1. 对频谱音乐的产生进行“寻根”探究，找出其形成的先决因素；2. 通过对米哈伊某些作品的浅层分析，归纳总结他一些常用的作曲技法；3. 通过对米哈伊三部作品的详细分析，阐述他在频谱音乐创作中的谱相思维；4. 对文章主体研究部分进行总结，并推出“拼图”音乐的设想。

在乐谱与音响分析方面，文章的侧重点主要集中在对米哈伊的《夕阳十三色》《忆/蚀》《沙芮迪》这三个作品的深入分析及探究。这些作品具有一个特点就是，它们在作品的音高以至整体布局方面，都不仅仅以获取泛音列分音结构作为核心的算法数据，换句话说，这些作品获取了别的“系统”作为数据，这也是本文核心讨论的从频谱拓展出来的谱相。

本文的突破点主要是提出以不同的谱相作为系统的延展可能性。通过横向对比分析，在米哈伊的频谱音乐中有不同的谱相系统，这些系统的繁简程度各有不同，这可以带给创作者极大的空间，作曲家们可以根据自己的实际情况、审美取向、作品规模等方面提取并运用不同的谱相系统。同时，由谱相系统引申的“拼图”音乐也给了听众建立另一种审美角度的可能性。



第一章

频谱音乐的“前传”及米哈伊的频谱音乐



法国的频谱音乐从 20 世纪 70 年代开始逐渐崛起，这一学派的兴起有很大一部分原因受托于 50 年代蓬勃发展的电子音乐。电子音乐在音色上的革新使听众的耳朵在短时间内“进化”了。同时，音色的革新必然也会带来其他一些因素的变化，比如，电子音乐的演奏形式、记谱法等。电子音乐对于声音的改造与创新是以往任何一种音乐形式或音乐风格所无法比拟的。听众会沉浸在声音变化的旅程中，对声音形态的改变充满期待感。这种对声音形象及变型的新鲜感大约持续了 15 到 20 年左右。之后，作曲家对高科技电子电声设备所营造的神秘、绚丽的电子声音不再是趋之若鹜的心态了。同样，听众在电子音乐会的现场对飘过的新奇声音也许只会说一句“哦，只不过是电子音乐罢了”。这就如同是魔术这门技艺，当魔术师一次又一次地从手中蹦出扑克牌的时候，观众会不以为然地说“藏在袖子里呗”。所以，在新生代的魔术师表演类似的扑克牌把戏的时候，无一例外都要首先把袖子挽起来，这对魔术师手上技术的要求就要达到一个新高度了。对新的声音的追求从古希腊音乐到 21 世纪的今天都是一个永恒的话题。新的声音包括新的声音材料和新的声音秩序。如果说，在 20 世纪四、五十年代，作曲家们在创作时候对声音的好奇感是“能发出什么样的声音”，那么从 60 年代潘德列斯基、里盖蒂、布列兹等人对新音色的追求就侧重到“现场如何发出新的声音”这一层面上。

如果说，我们面前摆着一个密封的箱子，这个箱子能发出很奇妙的声音。接下来，好奇心的膨胀会促使我们想，它到底还能发出什么样的声音。随着新奇的聲音层出不穷，我们的好奇心就会转向，从对新奇声音的追逐上转到了箱子内部，到底是什么结构以致能发出奇妙的声音。从音响的现象来看，频谱音乐作品的声音新颖性并不能超过电子音乐，频谱音乐对于电子音乐来说，其革命性更多体现在现场

的演奏中。如何用常规的声学乐器获得类似电子音乐的声音，而这也造就了第一代频谱学派的创始人热拉尔·格里赛（Gerard Greisey）和特里斯坦·米哈伊（Tristan Murail）早期频谱音乐作品的普遍的音响形态——对电子音乐声音的模仿。

频谱音乐的产生与当时比较盛行的“序列主义”形成了抗衡。频谱学派差不多都是从先锋派那里逃离出来的年轻作曲家，基本上是在序列主义的土壤上成长起来的一代，所以他们的理念不可能与先锋派作完全的切割。^①

当我们以研究者的姿态拿着放大镜匍匐在自己所钟爱的学术领域里左闻右嗅的时候，或多或少会对其他领域的发现有种漠视的态度。这种研究者的心态是非常正常的，这也是社会大分工以至艺术“大分工”的现象。唯有“大分工”的出现，才会使学术领域渗透到每一种意识形态的细胞里，在音乐的学术领域也如此。

但是，没有任何一种音乐风格或音乐派别具有真正意义的“独树一帜”。当我们浸泡在某种风格的音乐中聆听、演奏、分析的时候，总能在横向（不同时期的风格）或纵向（同一时期的不同风格）中找到相似的“碎片”。“风格”或“主义”的标签往往是由后人贴上去的，就如同德彪西自始至终没有承认自己是印象主义的作曲家一样。频谱学派的成立同样也不是先立门派而后招门徒。频谱的意识实际上在每位作曲家的脑海里或多或少地闪现过。如果要对频谱学派“寻根”的话，可以“追溯”到德彪西的印象主义音乐，在德彪西的创作意识中，频谱学派的理念初现胚胎。

第一节 德彪西、梅西安和切尔西对频谱音乐的表层和深层影响

一、德彪西频谱意识

（一）升十一音的属和弦与自然泛音列的关系

不少人认为，真正的印象主义音乐是从德彪西开始到德彪西结束。在德彪西的作品中，我们经常能够听到高叠和弦的使用。九和弦、十一和弦、十三和弦被德彪西大量地运用到作品中，并常常以平行移动的方式进行。当九和弦解决到主和弦的时候，这是音响张力的变化，但如果连续的九和弦或十一、十三和弦平行移动，就会大大降低音响张力的变化。很明显，大部分的高叠和弦在德彪西的音响理念中并

^① 引自吴粤北的《先锋派实验音乐之涅槃》，上海音乐学院出版社，2011年，第15页。

不属于功能性和声的解决，而是突出和弦本身的一种色彩和“质感”。

德彪西在十一和弦的使用上，比较喜欢把和弦的十一音升高，这个升十一音与和弦的根音形成三全音的关系，在听觉上却有一种饱满的谐和感。从调式上，有人归结于这是“超级利底亚”调式，也就是旋律小调的第四模式。如果从泛音列的角度来观察的话，也许能够更好地解释这种现象（谱例 1-1）。

谱例 1-1

德彪西和弦结构中的 $\sharp 11$ 音
《大海》第一乐章开头

《为钢琴而作》作品95

《意象集》第一册《水中倒影》

谱例 1-2 是以钢琴 C1 为基音测出的各分音的振幅大小。在前 15 个分音中，我们从表中能看到 2、3、4、5、6、7、9、10、11、12、13 分音的能量较大，而且以 7、11、13 分音尤为突出。这个 11 号分音所对应的实际音高应该是升高 $\frac{1}{4}$ 的。在

谱例1-2

钢琴C1音泛音列的各分音振幅强度参数

2	1.0	31	0.0524	62	0.0031
3	0.2632	32	0.007	63	0.0071
4	0.5014	33	0.0562	64	0.0214
5	0.5449	34	0.0819	65	0.0183
6	0.5437	35	0.168	66	0.0059
7	0.9649	36	0.1121	67	0.0022
8	0.0044	37	0.1963	68	0.0148
9	0.2341	38	0.1002	69	0.006
10	0.4108	39	0.0435	71	0.0191
11	0.8698	40	0.0132	72	0.0161
12	0.7026	41	0.0319	73	0.0147
13	0.7035	42	0.1195	75	0.0086
14	0.0308	43	0.1208	76	0.0053
15	0.2754	44	0.0266	77	0.001
16	0.0095	45	0.0502	78	0.0044
17	0.2392	46	0.0198	81	0.0035
18	0.1949	47	0.0298	82	0.0013
19	0.3947	48	0.0066	83	0.0018
20	0.2605	49	0.0108	84	0.0037
21	0.6908	50	0.0245	85	0.0049
22	0.1876	51	0.0755	87	0.002
23	0.3141	52	0.13	88	0.001
24	0.0164	53	0.0359	78	0.0014
25	0.0484	54	0.035	91	0.0019
26	0.0538	55	0.0101	94	0.001
27	0.3454	56	0.004	95	0.002
28	0.34	57	0.0151	96	0.0021
29	0.4836	58	0.0034	98	0.0098
30	0.2855	59	0.012	101	0.0011
		60	0.0179	114	0.001
		61	0.0062	116	0.0018



德彪西写作的年代，频率测量和分析的技术还非常不完善，因此这个升高的 1/4 音还没有被准确记录出来，但德彪西以及同时代的一些作曲家通过敏锐的听觉，从泛音列中捕捉到了这个音，并用十二平均律的系统找到了最接近的“F 音（以 C 为基音）来替代。因此，泛音列的前 11 个分音正好构成了一个属十一和弦升 11 音的结构。