

外国现代音乐理论译丛

(8)

《音响不协和测定值在PC集合中的运用》

(美) G. 丹纳 著

杨衡展 编译

武汉音乐学院图书馆编译室

一九八九年三月

音响不协和测定值在 pc 集合中的运用*

G·丹纳 著
杨衡展 编译

近年来声学方面的学术成就，为判定两个或多个同时发音的复合音实体中音的相互作用而产生的音响的不协和近似值，提供了数学模型。尽管这些判定值在其表述形式（如，频谱、强弱动态）方面，必然要涉猎某些人为的考虑，但它们的运用，必将引起致力于音乐风格、结构研究的学者们的浓厚兴趣。这篇论文是对声学理论在 pc 集合、音乐名作分析中的运用的一般观察。

1

声学家、音乐理论家及心理学家对基于音响协和理论的领域，已经作出了大量卓越的贡献。在已问世的有关定量分析方法的文献中，最引人瞩目的或许是哈金生（Hutchinson）和克罗波夫

*原文载 Music Perception (1985年秋, 第三卷)。

(Knopoff) 所提出的音程、和弦音响不协和测定法。该理论中的计算方法是建立在 Helmholtz 的“拍论”(beat theory)、帕罗姆(Polomp)及策威尔特(Levelt)关于音响不协和的带宽(bandwith)*理论之上的。复合音的不协和水平,是以听觉心理感觉的某些规则为依据来进行测定的。首先,我们假定两个复合的音发音强度均等;其次,我们假定两个复合的音具有相同的泛音频谱。

按和弦音响不协和测定法进行操作所得出的测度近似值,是音响实体中所有音程对的比率。按其特性,一个三音和弦中有3个音程对一个四音和弦中包含6个音程对;而五音和弦及六音和弦,则分别含有10个和15个音程对。为节省篇幅,我们姑且忽略音响不协和测定值的具体算法,而只把讨论的重点置于其在PC集合中的运用方面。

在三元素集合的12个基本型**中,7个反演

* 带宽(bandwith)有两层含义,其一,指一频带的上下界频率之差;其二,指单位时间间隔内可执行任务的数量,计算时间则是执行单个任务所需的时间。系统的性能通常用它的带宽和计算时间来描述——薛伟东

** R.A. Forte: The structure of atonal music. (New Haven, Yale University press, 1973.) 中译本:杨衡展译,郑英烈校(武汉音乐学院,1988年,打印本)。

后成为不重复其基本型的构造——亦即并非移位相等于其基本型；于这19个集合中，18个具有三种可能的排列顺序，而剩下的1个（3-12）则仅有一种排列顺序。每一种排列在两个八度范围内，都有四种不同的音响形式。这样，在任何一给定的音高水平上，便都可构成220个三音和弦（如例3所示）。

着眼于四音和弦、五音和弦及六音和弦，它们可能产生的和弦数量大幅度地增加了。在四音和弦的29个基本型中，14个反演后成为一种不能通过移位等同于其基本型的构造，而其它15个反演后则重复其基本型；除了3个集合——它们的排列都以一种或数种形式重复其基本型——之外，多个基本型及其与之不重复的反演，都有四种排列。其中4-9和4-25各具有两种不同的排列，而4-28（减七和弦）则只有一种排列。使所有四音和弦在两个八度范围内进行编排可发现，每一种排列可以编排出八种音响形式，把四音和弦排列总数（165）乘以8后将表明，在任何一给定的音高水平上，两个八度内共计有1320种四音和弦的音响形式。

五音和弦的基本型数量为38个，其中，28个具有反演后不重复其基本型的特征。每个基本型及构造上不重复其基本型的反演，都有五种排列。（五音和弦中不存在排列上的重复。）在两个八度内，每一种排列都可编排成十六种音响形式，于是每个基本型及其在外形上与之不同的反演，便

可构成八十种音响形式。若对上述数字进行统计——即 $(38 + 28) \times 5 \times 16$ ——我们便会发现，在任何一个给定的音高水平上，都可以产生5280种五音和弦的音响形式。

六音和弦的基本型数量为50个，其中，29个具有反演后不重复其基本型的特征。除三个集合的排列以一种或多种形式重复其基本型外，每个基本型及其与之不相重复的反演，都有六种排列。6-7有三种排列；而6-20和6-35（全音阶）则分别只有两种和一种排列。在两个八度内，每一种排列有三十二种顺序，结果，在任何一个给定音高水平上，都有15,246种六音和弦的音响形式。

鉴于基数较大的集合结构可能产生的音响形式数量非常之大，本文拟通过在一个给定音高水平上，按序列出音响的不协和等级，并对这些音级集合的各种音响形式在量上的差别进行考察，来鸟瞰三音和弦的音响风格。

2

运用1978年哈金生与克罗波夫所指出的音程对计原理，根据必须的标法编制的计算机程序，可测定出所有三音和弦在二至五个八度内（C₁—B₅）的音响不协和等级。作为程序运行结果的列表，为在此音域内的全部19,175种三音和弦形式提供了音响的不协和等级。

然而，在本文范围内，只可能对这些等级的

不同顺序、编排形式的多种可能性中的少许数量进行考察。包含同度、八度或双八度等三种音程的三音和弦，均被从列表中略去了，因为它们在分析中几乎没有什么意义。略去同度、八度和双八度后，在一个给定音上的三音和弦的完整排列于两个八度内共有 220 种可能性。在附录的列表中，可以对置于给定的低音、中音和高音水平上的三音和弦音响的不协和等级、顺序进行查阅。这些列表展示了 660 种三音和弦形式，它们的最低音、中音和最高音都是 C_4 ；虽然每一对顺序相邻和弦中都呈现出，后者的不协和值略高于前者，但在实际可观察到的等级范围内却展示不出，所有和弦的不协和值都大大低于序数为 220 的和弦。

若对这三个列表中的和弦的排列顺序加以考察，便可得出某些确切的结论。首先，显而易见，根据每一排列的不协和值等级来看，那些被视为调性音乐中的结构成份的三音和弦——大三、小三和减三和弦——都表现出，它们具有相当低的价值。这些（以及其它）三音和弦的音响不协和值，随它们间隔或分布的不同而极为参差不齐。例如，附录列表 1 中，序号为 2 的大三和弦 $C_4-E_4-G_5$ ，其音响不协和值为 .0307；而与之对应的三音和弦 $C_4-D^{\sharp}_4-G^{\sharp}_5$ （序号 116），却具有相当高的不协和值 .1909。再如，该列表中，不协和等级最高的半音和弦 $C_4-C^{\sharp}_4-D_5$ （序号为 220），其不协和值为 .8293；而与之对应的和弦 $C_4-C^{\sharp}_5-B_5$ （序号为 144）的不协和值为 .2420。相比之下，后

者的值比前者要低得多。

除此之外，还可观察到某些令人惊奇的现象。在列表1和列表2中，最协和的三音和弦中，包括了那些含小七度分别与纯五度、大三度以及六度等等音程组合而成的和弦。在列表3中，头五个和弦，是不含小七度音程的大三和弦或小三和弦。造成如此差异的原因是：由于小七度置于低声部而引起了不协和音响的增强，并且由此而产生了不协和音响效果的连锁反应。同样，含大二度、小七度、三全音以及这几类音程相复合的三音和弦，也是很有趣的。例如，列表2中，大三和弦中音响上最不协和的和弦是 $A_3 - C_4 - F_5$ （序号为88），而与之相邻或相近的和弦，却分别包含大二度、三全音和大七度音程（见列表2中序号为85-90的和弦）。造成不协和值如此之高的主要原因是：小三度置于低声部而增强了不协和音响，并由此接踵而至地产生了不协和音响效果的连锁反应。

这里，我们把建立在 C_4 上的三音和弦的音响不协和值，按使之与 pc 集合的排列顺序，音响形式呈对应相关的关系进行编排，以便对各种可能的顺序展开最后的讨论。下面的列表中，如前所述，性质截然不同的三元素集合共有12个——在八度相等、同音异名相等、移位相等和反演相等的假定条件下——其中，7个集合反演后成为不重复或移位相等于基本型的结构。下面的列表中（见例1），根据 pc 集合的类型，按序列出了以 C_4

为最低音的三音和弦的 220 种变体形式，音响不协和值。

例 1

Example 1 displays 11 staves of musical notation, each representing a different triad. The notes are represented by dots on the staves. Below each staff is a sequence of numerical values, likely representing the dissonance values for the triads. The values are as follows:

- Staff 1: .1047 .1055 .1721 .1077 .1717 .1557 .1715 .1707 .1546 .1056 .1070 ...
- Staff 2: .1011 .1003 .1777 .1719 .1075 .1717 .1715 .1705 .1705 .1751 .1777 .1707
- Staff 3: .1759 .1534 .1759 .1751 .1076 .1719 .1715 .1710 .1710 .1751 .1707 .1707
- Staff 4: .1111 .1641 .1759 .1045 .1707 .1715 .1719 .1717 .1707 .1715 .1759 .1717
- Staff 5: .1715 .1717 .1719 .1717 .1717 .1717 .1717 .1717 .1717 .1717 .1717 .1717
- Staff 6: .1717 .1717 .1717 .1717 .1717 .1717 .1717 .1717 .1717 .1717 .1717 .1717
- Staff 7: .1457 .1710 .1717 .1717 .1717 .1717 .1717 .1717 .1717 .1717 .1717 .1717
- Staff 8: .1717 .1717 .1717 .1717 .1717 .1717 .1717 .1717 .1717 .1717 .1717 .1717
- Staff 9: .1717 .1717 .1717 .1717 .1717 .1717 .1717 .1717 .1717 .1717 .1717 .1717
- Staff 10: .1717 .1717 .1717 .1717 .1717 .1717 .1717 .1717 .1717 .1717 .1717 .1717
- Staff 11: .1717 .1717 .1717 .1717 .1717 .1717 .1717 .1717 .1717 .1717 .1717 .1717

按pc集合论的特性，一个三元素集合有三种顺序不同的排列，而每一排列在两个八度内，共有四种不同的音响形式。这样，头18个集合各自都包含其每一集合的十二种不同音响形式；而最末一个集合（3-12）——增三和弦——则具有其独特的性质，即这个集合只有四种形式，因为它的其他排列形式都与基本型相重复。

以上列表中展示出的信息表明，即便基于同一音程级集合，但由于排列形式不同，而使得其各种变体在音响的不协和方面，有其各自不同的

意义。若把头18个集合中的每一个的十二种不同的值加以比较，结果将清晰地表明，尽管某些集合结构本来在音响上是较为不协和的，但这种音响的不协和性，在很大程度上是可以改变的。一般地说来，音之间在空间上相距越远，越能够使其音响的不协和值有效地降低；在大多数情况下，每一等级的三音和弦中，诸音之间的空间位置越密集，其音响的不协和值越高。除3-4I、3-11和3-11I外，所有按标准序排列的三音和弦的基本型，其音响效果同与之相应的另外两种排列相比较，显得更为不协和。

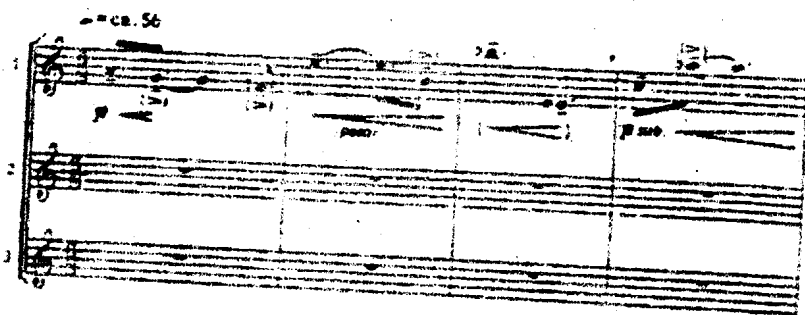
3

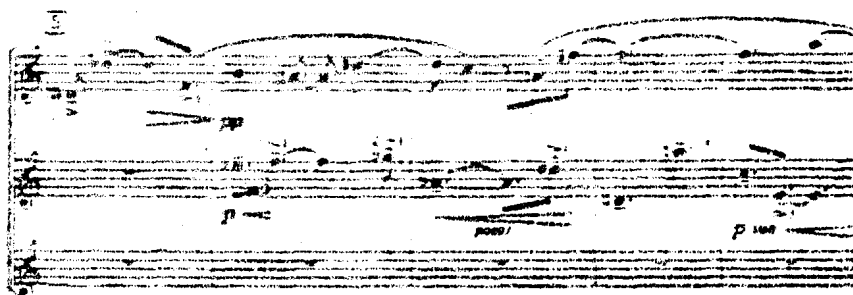
鉴于本文所涉及的仅仅是三音和弦的音响不协和值，因而，我们选择了E·卡特的《三部卡农》（作于1971年），来作为实例分析的对象。以传统方式对该乐曲的音高组织结构进行分析，可显示出其极为错综复杂的形式构思。其中，模仿是严格的；第二声部于第6小节，同开始主题材料在增四度音程上以倒影形式进入；第三声部于第11小节进入，这个声部同开始的第二声部完全一样。整首作品中，模仿不间断地贯穿始终；主题材料（前5小节）及每一模仿声部，是同一十二音序列及其变体形式。这首卡农所采用的最有趣的手法，或许是开始材料以第17小节至结束的“分层”陈述。在各个声部连续不断地进行卡农式

模仿的同时，主要十二音乐思也得到了反复的陈述。

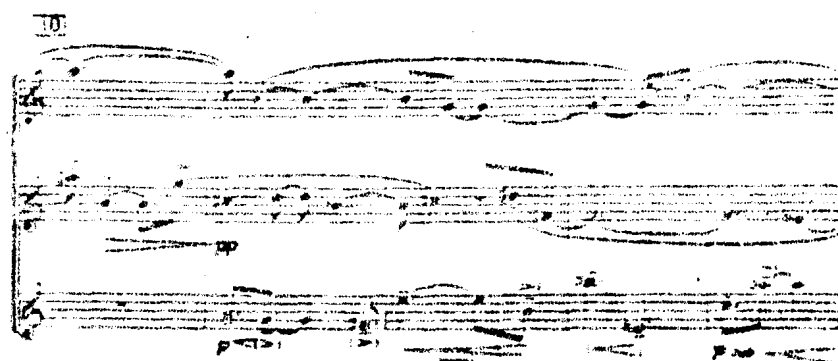
在运用音响不协和测定值进行分析时，必须注意到，所给定的计算结果，是基于特定泛音频谱、以发出音响的所有音具有同等强度的假设为根据得出的近似值。因而，可将其视为表现为一种模式的抽象的代表值，在此基础上加入其它音乐要素，可以改变音响在人们感觉中的实际意义。诸如，在创作过程中，配器、力度及发音等要素，都无不存在于作曲家的实际音响经验之中，它们同音高组织结构密不可分，并可在一定程度上改变音响性质、意义。例2中展示了卡特的《三声卡夜》，在乐谱的下方标示出了和声起伏图，音响不协和值（保留一位小数）。必须指出，尽管和声起伏的分析结果被描绘为一系列相连接的点，但这些连续在心理上的效应，并非完全等同于图下中所标示的高低起伏曲线。

例2 E·卡特《三部卡夜》（1971）
（为纪念斯特拉文斯基而作）

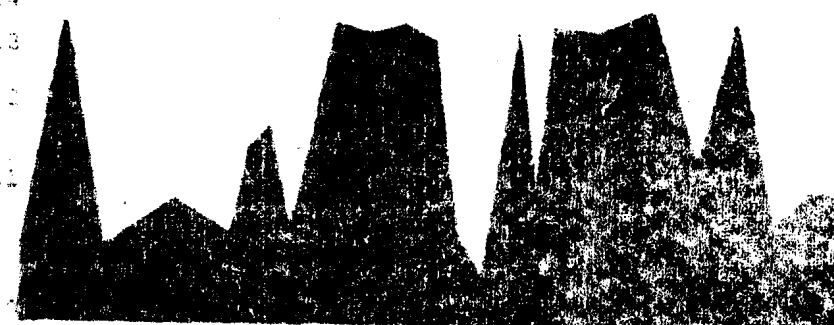


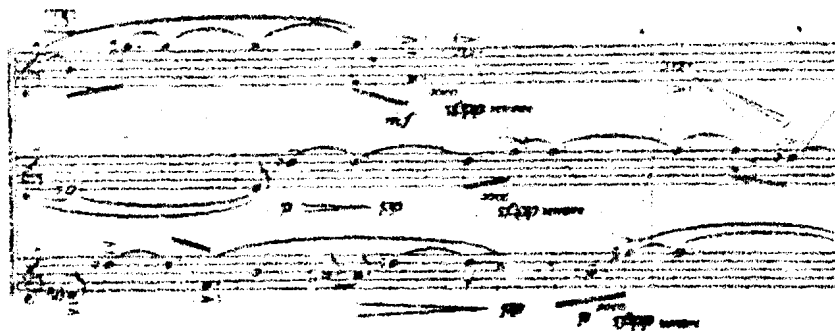


音响不协和值

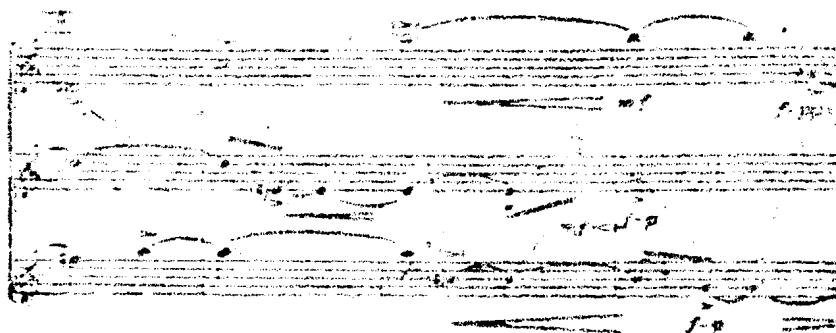
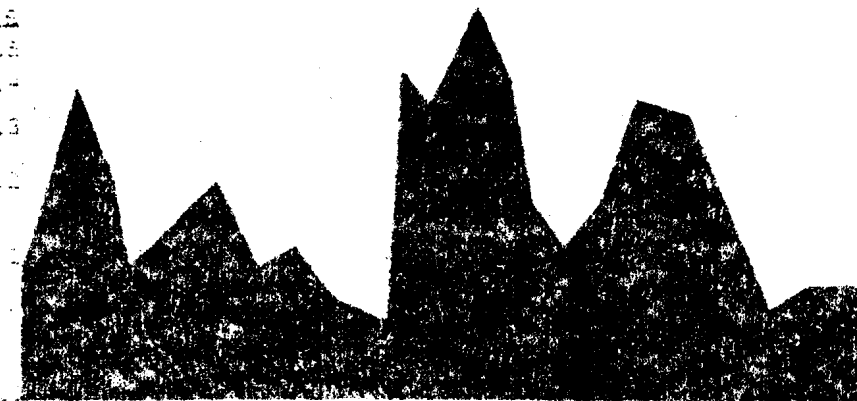


音响不协和值

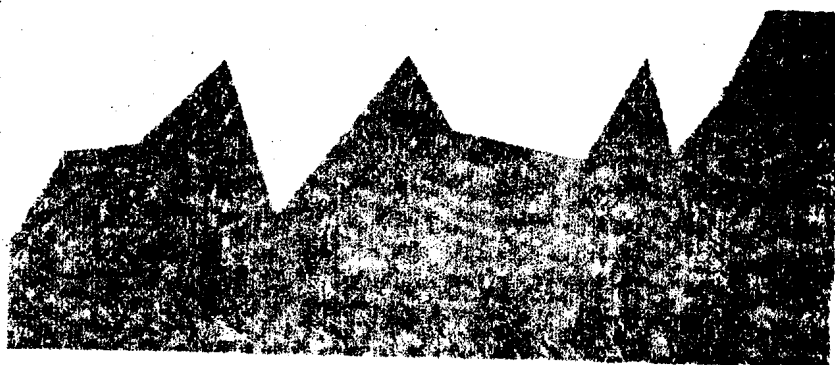


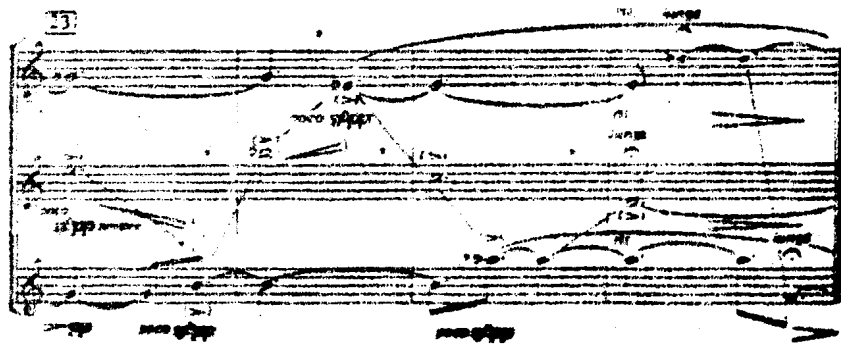


音响不协和值

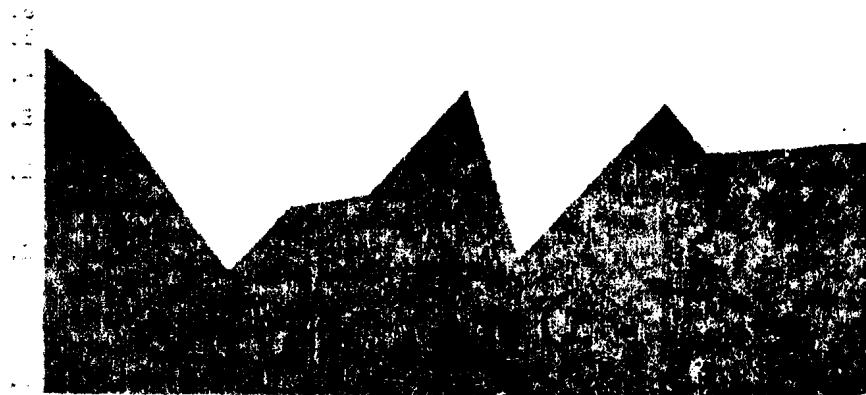


音响不协和值





音响不协和值



例3的列表中，按小节顺序展示了卡特《三部曲》中所含的和声单位及其音响不协和值。

例3 E·卡特《三部曲》的音响不协和值列表

小节数	和声单位	不协和值
6	B4-E5	.0288
	B4-F5	.0690
	A4-F5	.0109
	D5-F5	.0296
	D5-G5	.0256
7	A4-D5	.0755
	A4-C5	.0525
	A4-A4	.4636
	A4-D5	.0311
	D4-F5	.0207
8	D4-F5	.0196
	F4-A5	.0172

小节数	和声单位	不协和值
9	C5-F5	.0670
	E4-F5	.0671
	E4-A5	.0516
10	A5-A5	.3825
	B4-A5	.0514
	G5-A5	.0945
11	A4-C5-A5	.0595
	A4-B4-C5	.2451
	G4-B4-C5	.1799
	G4-B4-D5	.0599
	G4-B4-B4	.3677
12	F4-B4-B4	.3487
	B4-B4-E5	.3663
	B4-C5-E5	.3341

小节数	和声单位	不协和值	小节数	和声单位	不协和值
	G4-C5-E5	.0599			
	G4-E5	.0255	18	A5-F5-F#5	.3329
	G4-D#5-E5	.5477		A5-F#5	.0630
	G4-B4-D#5	.0885		A5-F4-D#5-F#5	.0750
	F#4-G4-B4	.5587	19	D4-D#5-F#5	.1769
13	F#4-G4-B4-5	.3445		D4-D#5-A5	.1891
	E5-F#4-G4	.4025	20	C5-D#5-A5	.3450
	E5-F#4-B4	.1529		E4-C5-A5	.0952
14	F#4-B4-C5	.5747	21	E4-A5-B4-5	.3743
	F#4-B4-A5	.0718		E4-B4-B4-5	.2231
	E4-B4-A5-5	.0947		B4-B4-5	.1903
15	D4-E5-F4-B4	.4017		B4-G5-B4-5	.1781
	E5-B4-D#5	.2134	22	A4-B4-B4-5	.5729
	E5-F4-D#5-G#5	.0985		A4-B4-5	.1905
	E5-F4-G#5	.2180		G4-A4-B4-5	.1795
16	E5-B4-G#5	.1007		G5-F4-G4-A4	.4927
	B4-D#5-G#5	.1223	23	G5-F4-G4-E5	.2787
	A5-F4-D#5-G#5	.0734		G5-F4-B4-E5	.0850
	A5-F4-D#5	.0467	24	G5-F4-B4-B4-5	.1538
	D4-F5-D5	.4356		E5-F4-B4-B4-5	.1793
	F4-D#5-F5	.0824	25	E5-F4-B4-C5	.5766
17	D4-F5-D5-E5-5	.6746		E5-F4-C5-A5-5	.1912
	C5-D#5-E5-5	.4151	26	D4-E5-F4-A5-5	.3481
	C5-E5-F#5	.2843		D4-D#5-A5-5	.1447
	E5-F#5	.1243		D4-F4-D4-5	.2652
	A4-E5-F#5	.1757			
	E5-F#5-F#5	.3760			

对这首作品中的和声起伏进行分析，可观察到一些有趣的情况。首先，显而易见，尽管三音和弦不协和值在其区间（下限为.0599，即第11小节中的大三和弦；上限为.6746，即第17小节中的半音和弦）内，表现出了多种多样的变化、起伏，但卡农却被刻划为一种颇为连续的不协和进行水平。事实上，该作品所包括的52个三音和弦的平均测度值之间的相互关系，是特别有趣的。在图示中不难看出，除第7、第10小节中的大三度之外，第6-10小节中，二部对位都保持了相当低的不协和水平（即低于.1），第11小节第三声部进入后，大大增加了不协和水平，从而形成了一种不协和值极端起伏为特征的织体。如，接近于

4的音响不协和值的持续进行多次被低于1的平衡值短暂地打断。和声不协和的最高点(6746)出现在第17小节中的主要结构点上；十二音主题的首次“分层”陈述便于此处。从这里直至结束音响不协和值的起伏趋于下降，但仍保持着较高的音响不协和水平。

最后，我们来考察一下力度、发音法同不协和水平之间的关系。第17小节之前，音乐的力度都处于pp-p的范围，所有三个声部的力度记号大体一致。当一个声部的序列陈述或模仿完毕，立即接以单纯的力度记号pp，此外无任何其它发音法的指示记号。在这个部分中，力度对音响不协和水平的影响是微不足道的。第17-26小节中，重音符号强调了穿梭于各声部之中的旋律乐思。可以看出，在这个部分中，发音法对于实际音响的不协和水平，有着不可忽略的重要意义。因为音响不协和测定值，是基于所有和弦均以同等强度发音的假设之上的，所以，任何包含所有声部力度记号各异的音乐，都在某种程度上偏离给定的不协和测定值。按其特性，当被强调的重音同一个或两个另外的声部构成不协和音程时，这种发音法便会进一步增强不协和效果；而如果重音同其他的音（尤其是同其它两个音）形成协和音程，那么该重音符号则将使得不协和水平相应减退或降低。

结束语

按定量方法有效地进行音响的不协和测定所得出的结果，无论对于音乐理论家、作曲家，还是其他有关学科的研究者，都具有十分重要的意义。对音乐创作中音响不协和起伏与其他要素的关系进行考察，作曲家或理论家将发现和声单位中更为抽象的关系。假如，若给定测定成对音程的音响不协和公式，便可将泛音频谱改变为近似于各种不同乐器的音色。虽然做这项工作的程序无疑很复杂——其程度取决于所选择的频谱——但其潜力对于“管弦乐法”中音色的音响不协和分析，提供了迷人的前景。

此外，音乐学中运用音响不协和测定值来确定音乐风格的要素，也是非常有效的。对于李斯特和声紧张度的风格分析，音响不协和测定值对确定风格的一般性，以便进行音区对比的研究，是极为有用的。在调性音乐中，确定所有和声的及对位的纵向结构，是不可缺少的分析环节。事实上，在界定和声风格的差异方面，显得至关重要的恰恰是“非和声功能”。音响不协和测定值的某些特殊应用，将可以比较音乐作品中的平均音响不协和水平，并可观察出其在某一特定历史时期或某个作曲家的代表作品中的起伏变化程度。例如，格桑多（Gesualdo）的牧歌所具有的“矫揉造作的”音响特性，和与之同时代的同类作品——如玛琳佐（Marenzio）、帕里斯特里那等人的作品——相比较，是否展示出了更高的音响不协和水平？在一个特定历史时期的音乐风格中，什么样