

杭州师范大学

硕士学位论文

和声张力探究——以普罗科菲耶夫九首《钢琴奏鸣曲》第一乐章呈示部为例

姓名：阮奕

申请学位级别：硕士

专业：音乐学

指导教师：田刚

20070501

摘要：本文运用高为杰的和声力学理论，对普罗科菲耶夫九首钢琴奏鸣曲第一乐章呈示部的和声进行了分析，试图从作品的和声布局上，探寻其和声最大张力值相对应的结构点与“黄金分割律”和“镜像对称”的关系；把握乐曲整体结构中和声张力效应的上升或是下降过程，更理性的认识音乐在展开过程中和声运动的一般规律；揭示作曲家在音乐思维中潜在的数理逻辑与审美心理的内在联系，以期对和声研究和音乐创作有一定的启示和借鉴意义。

关键词：音序；和声力学；张力效应值；集合；黄金分割律；
对称；

【Abstract】 This paper analyzes the exposition of the first movement of Prokofiev's Piano Sonatas. 1-9 according to the harmonics theory of Mr. Gao Weijie. It tries to research its maximum tension from static and dynamic state and its relationship between golden section point and enantiomorphism by analyzing the harmonic composition of Prokofiev's Works. And it focuses on how to grasp the processes of raise and descent of harmonics tension in the whole structure of the music in order to reveal the general rules of harmonics movement. This paper is expected to be the enlightenment of harmonic research and musical composition by opening out the internal relationships between the potential symbolic logic thought of composer and his aesthetic faculties and taste.

【Key Words】 tone series; harmonics; tension domino-effect cost ; set ; golden section point ; enantiomorphism

导言

一、背景和意义

(一) 背景

笔者在研究生学习期间，拜读了高为杰先生的论文《和声力学研究——论音高集合纵列的分类及和声张力效应量化分析》，受益颇丰。之后，有幸当面向高为杰先生请教了一些力学理论中的困惑，经高先生的指点，对该理论有了更进一步的认识。针对目前运用该理论分析音乐作品中中和声布局的研究成果甚少，以及该理论视角的独特性与可操作性，于是萌发了运用该理论分析音乐作品的想法。后经与导师商讨，决定毕业论文采用该理论来研究普罗科菲耶夫的《钢琴奏鸣曲》中和声张力的布局。

将普罗科菲耶夫的《钢琴奏鸣曲》作为研究对象，是基于以下四点来考虑的：

1、后人对普罗科菲耶夫的评价

谢尔盖·谢尔盖维奇·普罗科菲耶夫（1891——1953）是前苏联的作曲家、钢琴家与指挥家，俄罗斯苏维埃联邦社会主义共和国的人民艺术家，也是20世纪上半叶世界最杰出的作曲家之一。普罗科菲耶夫对各种艺术主题和新的手法都很有兴趣，并进行有益的探索，一生创作了许多重要的、具有典型意义的电影配乐、舞剧、交响乐、室内乐和钢琴作品。

2、钢琴奏鸣曲的代表性

普罗科菲耶夫的钢琴奏鸣曲共有九首作品，囊括了他一生的三个时期（学生时期、出国时期、回到苏联时期）不同的风格和特点，非常具有代表性。钢琴作品在其创作遗产中占有重要的地位，主要是因为普罗科菲耶夫在钢琴创作上反映出来的特征别树一帜，无论是音色、和声还是曲式、织体都有独特的风格。同时，他的钢琴奏鸣曲也对世界乐坛产生了较为深远的影响。

3、普罗科菲耶夫的创作特点

普罗科菲耶夫一生的创作一方面寻觅新潮流，但是又回避过于新奇而脱离普通听众的“先锋派”；另一方面他抵制当时苏联乐坛在创作上循规蹈矩、缺少创新活力的写作模式，致力于独立自主，坚持走一条具有个性特点的创作道路。普罗科菲耶夫的音乐作品热情、深刻，同时又含蓄、透明纯洁、个性鲜明。

4、承前启后的桥梁作曲家

普罗科菲耶夫是一位广泛继承古典传统的作曲家，在和声语言上全面继承了十九世纪传统和声的功能、线条、调式、色彩的多方面因素。他那种独特的音乐思维，新颖而别具一格的旋律、和声、节奏和配器，在音乐创作方面又开辟了一条新路，不仅对许多苏联作曲家、而且也对国外的作曲家产生了巨大的影响。

(二) 意义

运用高为杰和声张力理论去研究音乐作品中的和声的布局，不仅能解释传统分析方法中的和声紧张度问题，还能解决传统分析中难以解释的一些特殊和弦的紧张度问题。运用该方法，通过静态和动态的力学研究，不仅可以对和声材料作静态的力学研究，而且还能对和声运动作动态的力学研究。可测定和弦之间（音高集合）连接运动时所产生的张力效应值，把握整体结构中声张力效应的上升或是下降过程，达到认识乐曲活动状况的规律，以及与结构布局的关系。

二、研究状况

从国内外研究现状来看，对古典、浪漫派的音乐作品以及它的代表作曲家进行各种分析及研究的文献浩如沧海。虽然对其他古典与现代风格兼容并包的作曲家及其作品进行研究的文献不少，但运用和声力学理论对普罗科菲耶夫作品进行研究的成果并不多见。

三、思路和方法

运用高为杰的和声力学理论分析和声的张力布局，为我们研究和分析他人的作品提供了一种很好的技术手段。这种分析方法不仅能使我们传统和声现象作出更客观的观察，而且可以把它运用到用传统分析方法很难或不能分析的其它作品中去。笔者运用高为杰的和声力学理论，对普罗科菲耶夫九首《钢琴奏鸣曲》第一乐章呈示部的和声张力分析，以期客观的、理性的认识大师在和声与音乐整体布局之间的逻辑关系，为作曲家和音乐理论研究者提供可借鉴的方法。

第一章 两种和声理论

高为杰和声力学理论是受到在兴德米特音乐结构张力理论基础的启发而创立的,为了了解两者之间的不同特点,有必要对两种理论的不同特点做一些简要的介绍。

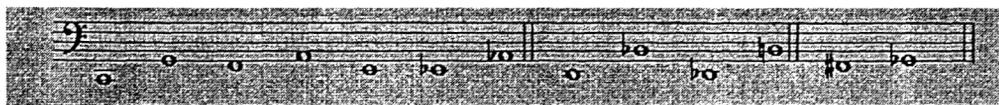
第一节 兴德米特的和声理论

一、兴氏及他的理论

兴德米特(Paul Hindemith, 1895-1963),是西方近代有代表性的作曲家、理论家,20世纪西方现代音乐中新古典主义流派的代表人物之一。他的理论对20世纪的音乐创作和音乐研究产生了十分广泛的影响;他的著作《作曲技法》第一卷详细介绍了他的理论中关于和声力与旋律力为基础的音乐结构张力理论。兴氏理论是根据音的自然特性,以泛音列为基础,计算出半音阶各音的振动数,根据音的远近排列出音序I。然后根据负担、转位等原理,又生成音序II。最后,兴氏根据和弦和音程的稳定性,划分出和弦分类表。“兴氏理论,最简单地讲,是将半音阶作为音乐的媒介,将和声、旋律置于半音阶上去研讨、去写作,突破了大小七声音阶的局限”。^①

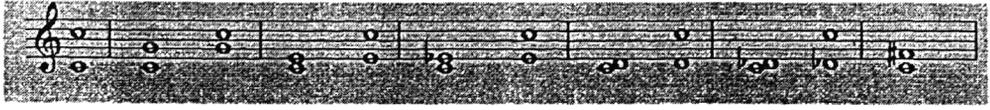
二、关于音序I和音序II

兴氏理论的半音阶,就是由C音先得到新音C-G-F-A-E-^bE-^bA,像是C音的儿子(第一代),然后根据这些音得到孙子辈新音D-^bB-^bD-B,再根据得出的音推出^bG([#]F),像是C音的曾孙辈。根据它们的远近关系,我们得出音序I:



这个音序表明各个音与始祖音(上例的C)的远近关系,即关系最近的是八度,接着是五度,纯四度、大六度、大三度、小三度、小六度;然后是大二度、小七度、小二度、大七度,而最远的就是增四度或减五度了。音序I可看作是音之间的联系,和弦的远近关系、和声进行的次序。也可看做一个作品部分或整体的调性安排:开始与主调C较近的(G),继而发展到(^bE、D、^bB),最后收拢在(F、G、C)。调性安排中的远、近关系,主要根据音序I来处理、来分析。

音序I由音构成,音序II由音程构成。音序II:



“音序Ⅱ表明音程价值高低的次序：价值高即协和程度高，紧张度小；价值低即协和程度低，紧张度大。”^②兴氏通过结合音、负担、转位等的研究，详细论证了音序Ⅱ建立的根据。

三、和弦分类表

兴氏理论将和弦分为两大类：A 不含三全音的和弦，B 含有三全音的和弦。每类又分为三组，A包括Ⅰ、Ⅲ、Ⅴ组，B包括Ⅱ、Ⅳ、Ⅵ组。“所有和弦（暂不论Ⅴ、Ⅵ组和弦），紧张度关系是： $I_1 < I_2 < II_a < II_{b1} < II_{b2} < II_{b3} < III_1 < III_2 < IV_1 < IV_2$ ，即由Ⅰ开始递增到Ⅳ。”^③

和弦分类表中包括了所有可能有的和弦，在传统和声中几乎无迹可循的和弦都在其中。兴氏提出一系列有关的理论和写作原则（如音序Ⅰ等），将这些和弦连接起来充分发挥作用，开拓了最广阔的和声音响天地。

第二节 高为杰的和声力学理论

一、关于集合的概念

高为杰的和声力学理论，不仅受到兴氏理论的启发，还与集合概念有着密切的关系。但是，高为杰的集合概念与阿伦·福特的集合有着较大区别。

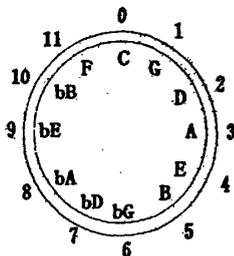
首先，高为杰的集合是以五度形式来表示0与1之间的关系，而阿伦·福特则是以半音关系来表示0与1的关系。另外，高为杰的集合一般在数字前面加上音名，以准确表示该集合的各音，如：C (0, 1, 2) 就表示CDG，而D (0, 1, 2) 则表示DGA，而阿伦·福特的集合0, 1, 2表示C#CD等存在两个半音关系一个全音关系的音程，即音程函量为210000的集合。其中2就表示两个小二度，1表示一个大二度，第一个零表示没有小三度，第二个零表示没有大三度，第三个零表示没有纯四度，第四个零表示没有增四度（减五度）。凡大于增四度的音程都折换成小于增四度的音程，如：纯五度折换成纯四度，小六度折换成大三度，大六度折换成小三度，小七度折换成大二度，大七度折换成小二度。所以这里的2也有大七度的可能，1也有小七度的可能。

本文中所涉及的集合概念均按照高为杰对于集合的解释来理解。

二、和声静态张力值计算方法

“所谓和声静态力学研究，就是对一切可能用作和声材料的音高集合纵列（即和弦）进行力学分析，依据它们动、静属性的差别，提出一种科学的分类原则及张力值的测量方法，从而达到对任何一个音高集合纵列均可作出和声力学特性的准确评价的目的。”^⑩

以十二平均律的十二个音，按同向纯五度循环，形成一个周而复始的循环圈。以五度的距离为一格，那么在循环圈里就可以列出0至11，一共有12个格位。见下图：



这个“五度格环”，以任何音作为0格音，都可与另外的十一个音形成五度循环关系。高为杰就是利用这个格环，很直观地测定一个音高集合的音元素在五度圈上分布的位置，以及这一集合所占据的总的格位幅度。

音高集合格序及格类的确定，要经过试位，定位，与确定格序。首先将音高集合中的各音按照图表中的五度关系进行排列，我们可以得到一些不同的格序排列结果。具体步骤如下：

(一) 比较各次试位集合的最高格值，如果其中只有一种最小，则选择这个排列定位。我们以 C, E, G 三音构成的集合为例，以 C, E, G 三个音各为 0 进行试位，得到三种不同排列：

C G D A E B $\sharp F(\flat G)$ $\sharp C(\flat D)$ $\sharp G(\flat A)$ $\sharp D(\flat E)$ $\sharp A(\flat B)$ F

排列一：C (0, 1, 4)

排列二：G (0, 3, 11)

排列三：E (0, 8, 9)

经过试位，我们得出三个最高格值，分别为4, 11和9。显然，4 是最小的最高格值，所以选择第一种排列。因此，C, E, G三音集合的格序应为0, 1, 4。可记为C (0, 1, 4)。

(二) 集合经过试位后，如果发现有两种以上最高格值同为最小的不同排列，在淘汰较大的最高格值之后，我们就需要再比较同为最小的不同排列之格总值（格总值就是所有音的各位值之和，即 $\sum li=1_1+1_2+1_3+\dots+1_n$ ），选择格总值较小的一种排列。

比如我们以G, $\sharp F$, $\sharp C$, $\sharp G$ 四音构成的集合为例，以G, $\sharp F$, $\sharp C$, $\sharp G$ 各为0进行试位，得到四种不同排列：

C G D A E B $\sharp F(\flat G)$ $\sharp C(\flat D)$ $\sharp G(\flat A)$ $\sharp D(\flat E)$ $\sharp A(\flat B)$ F

排列一：G (0, 5, 6, 7)

排列二： $\sharp F$ (0, 1, 2, 7)

排列三： $\sharp C$ (0, 1, 6, 11)

排列四： $\sharp G$ (0, 5, 10, 11)

最高格值同为最小的不同排列是排列一和二。首先淘汰最高格值较大的排列三和四。然后对最高格值同为最小的不同排列进行格总值的比较。排列一的格总

值为 $\sum li=0+5+6+7=18$ ，排列二的格总值为 $\sum li=0+1+2+7=10$ 。由于排列二的格总值较小，所以选择第二种排列。因此，G, $\sharp F$, $\sharp C$, $\sharp G$ 四音集合的格序应为0, 1, 2, 7。可记为 $\sharp F(0, 1, 2, 7)$ 。

(三) 有少数集合，可能经过比较后，最高格值一样，格总值也相等。这时，应该再比较这些试位排列次两端的格值之和（即 $l_2+l_{(n-1)}$ 的值），取其中较小的一种定位。如果次两端音的格值之和也相等，则再比较再次两端的格值之和（即 $l_3+l_{(n-2)}$ 的值），仍取较小的一种定位。

比如我们以G, D, B, $\sharp F$, $\sharp C$, $\sharp A$ 六音集合为例，以G, D, B, $\sharp F$, $\sharp C$, $\sharp A$ 各为0进行试位，得到六种不同排列：

C G D A E B $\sharp F$ ($\sharp G$) $\sharp C$ ($\sharp D$) $\sharp G$ ($\sharp A$) $\sharp D$ ($\sharp E$) $\sharp A$ ($\sharp B$) F

排列一：G (0, 1, 4, 5, 6, 9)

排列二：D (0, 3, 4, 5, 8, 11)

排列三：B (0, 1, 2, 5, 8, 9)

排列四： $\sharp F$ (0, 1, 4, 7, 8, 11)

排列五： $\sharp C$ (0, 3, 6, 7, 10, 11)

排列六： $\sharp A$ (0, 3, 4, 7, 8, 9)

最高格值同为最小的不同排列是排列一，三和六，首先淘汰排列二，四和五。然后对最高格值同为最小的不同排列进行格总值的比较。排列一的格总值为 $\sum li=0+1+4+5+6+9=25$ ，排列三的格总值为 $\sum li=0+1+2+5+8+9=25$ ，排列六的格总值为 $\sum li=0+3+4+7+8+9=31$ 。排列一，三的格总值一样为25，淘汰排列六。然后比较次两端的和，排列一为 $1+6=7$ ；排列三为 $1+8=9$ 。所以选择次两端较小的排列一。因此，G, D, B, $\sharp F$, $\sharp C$, $\sharp A$ 六音集合的格序应为0, 1, 4, 5, 6, 9。可记为G (0, 1, 4, 5, 6, 9)。

(四) 有少部分集合，其各种试位的排列都相等。在这种情况下，任何一种试位都可作为定位。这种集合，称为完全对称集合。

比如，C, A, $\sharp F$, $\sharp D$ 四音构成的音高集合就是一个完全对称集合。以C, A, $\sharp F$, $\sharp D$ 各为0进行试位：

C G D A E B $\sharp F$ ($\sharp G$) $\sharp C$ ($\sharp D$) $\sharp G$ ($\sharp A$) $\sharp D$ ($\sharp E$) $\sharp A$ ($\sharp B$) F

得到四种完全一样的格序0, 3, 6, 9。所以，它的记法有四种，代表一样的集合，

C (0, 3, 6, 9), A (0, 3, 6, 9), $^{\sharp}F$ (0, 3, 6, 9), $^{\sharp}D$ (0, 3, 6, 9)。

(五) 另外还有一部分集合, 经过试位, 可能有两种以上 (但不是全部) 试位的格总值同为最小, 且排列相同。在这种情况下, 这几种试位均可作为定位, 即都是相等定位。这种集合称为不完全对称集合。

比如, G, D, B, $^{\sharp}F$, $^{\sharp}D$, $^{\sharp}A$ 六音音构成的音高集合就是一个不完全对称集合。以 G, D, B, $^{\sharp}F$, $^{\sharp}D$, $^{\sharp}A$ 各为 0 进行试位:

C G D A E B $^{\sharp}F(^{\sharp}G)$ C($^{\flat}D$) $^{\sharp}G(^{\flat}A)$ $^{\sharp}D(^{\flat}E)$ $^{\sharp}A(^{\flat}B)$ F

得到六种排列。其中有三种排列是相等的, 格序为 0, 1, 4, 5, 8, 9。三种记法 G (0, 1, 4, 5, 8, 9), B (0, 1, 4, 5, 8, 9), $^{\sharp}D$ (0, 1, 4, 5, 8, 9) 均表示该集合。

我们求出格序以后, 就可以计算出和声的静态张力值了。音高集合张力值的具体公式为:

$$T = \ln + \sum li/n$$

在这个公式里, T 代表音高集合的和声张力值, ln 代表音高集合的最高格位值, $\sum li$ 代表音高集合的格总值, n 代表音高集合中音元素的数量。仍以 C, E, G 三音为例, 它的格序是 C (0, 1, 4), 因此, $T = 4 + (0 + 1 + 4) / 3 = 4 + 5 / 3 \approx 4 + 1.667 = 5.667$ 。

但是, 当音高集合的排列不一样时, 有时紧张度也会有微弱的差别。比如: 当排列在根音上构成五度时, 紧张度就会偏小。所以, 高为杰为了计算的精确, 加了一个补充公式, 以减少这个差别:

$$ST = T - R \quad (R=1 \text{ 当排列有根五度音程时}; R=0 \text{ 当排列无根五度时})$$

所以, C, E, G 三音的排列如果有根五度时, $ST = T - R = T - 1 = 5.667 - 1 = 4.667$; 如果 C, E, G 三音的排列如果没有根五度时, $ST = T - R = T - 0 = 5.667 - 0 = 5.667$ 。

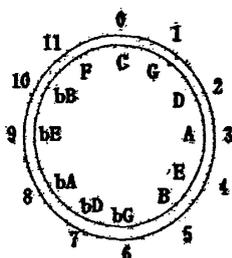
另外, 由于单音的特殊性, 在高为杰的和声紧张度计算中, 把单音的张力值统一记为 0.25, 以区别于无声。

三、和声动态张力值的计算方法

和声的动态紧张度是指“两个音高集合相遇, 两群音之间也同样会产生相合或相斥的力作用, 这种力作用的大小, 则是由两群音之间相互音程距离的一定关系所决定。”^⑥

动态紧张度的测定也需要经过试位, 定位和计算。具体方法是:

(一) 假定两个相连的集合，前一个我们称为A集，后一个我们称为B集。然后，将这两个集合的全部音元素合并成一个并集 (A∪B)，将这个并集放在：



上图中进行试位和定位。确定了定位之后，我们就找到了这个并集的0格音。这个0格音，就是两个集合在音程距离关系上的共同零位点。

(二) 并集的定位确定后，就可以分别求出原属A集的音与原属B集的音与公共0格音之间的平均格距(这个平均格距点，也就是两个集合各自的力作用点。)公式为：

$$L_A = \sum lai / C(A)$$

$$L_B = \sum lbi / C(B)$$

其中 L_A 表示子集A在并集中的平均格距(简称A集格距)； L_B 表示子集B在并集中的平均格距(简称B集格距)； $\sum lai$ 与 $\sum lbi$ 分别表示并集中A集及B集各自所占格值之和； $C(A)$ 为A集音的音数， $C(B)$ 为B集音的音数。

关于并集的定位有一些事项要注意：当并集A∪B为完全对称集合，或不完全对称集合时，他们的定位将出现几种可能。在这个时候，我们必须从这几种可能的定位0格音中，选出一个与全曲(或一个相对完整的段落)第一个纵列集合0格音顺时针方向格距(按照五度关系)最近的音，作为该并集定位的0格音(在调性音乐中可以选择与调的主音顺时针方向格距最近的音作为该并集定位的0格音)。如果全曲第一个和弦的并集为完全对称或不完全对称集合时，则应该以第一个和弦的低音(或在调性音乐中与主音顺时针方向格距最近的音)作为该并集定位的零格音。

四、和声运动中的张力效应

和声运动中的张力效应是由内部的和声音程张力——静态张力与两个和弦之间的旋律音程张力——动态张力这两种力共同作用的结果。所以，两个和弦之间和声张力值的差，与旋律张力值的差加在一起，就是这两个和弦连接时两种合力的总差值。也就是两个和弦连接时形成的张力效应值。用公式来表示，即为：

$${}^A E_B = (ST_B - ST_A) + (L_B - L_A)$$

所求结果会出现以下三种情况：

1. 当张力效应值为正的时候，表示该和声进行为升效应，和声的紧张度上升；
2. 当张力效应值为负的时候，表示该和声进行为降效应，和声的紧张度下降；
3. 当张力效应值为0的时候，表示该和声进行为平效应，和声的紧张度维持不变，和声运动保持平衡状态，没有起伏。

所以，根据这些结果，我们就可以看出和声进行时的紧张度起伏关系。我们都知道，和声张力效应的测定，是在两对和弦之间进行的。所以，当两对、两对的计算紧张度直到最后一个和弦时，就完成了对整首乐曲的分析测定。所以，当我们掌握了和声张力效应值的测定方法时，就可以计算出完整的作品或相对完整的音乐段落中的和声紧张度。如果做成数据图，乐曲中和声动力结构的紧张度就完整而清晰的呈现在我们的面前了。

在整首作品的测定中，有些传统音乐，结构的动态平衡大多是从主和弦开始，结束在主和弦上。这样，整个状态基本上平衡的。但是，如果内部的张力不合乎调性音乐的规范，即使首尾和弦相同，整个结构也可能是非平衡的。另外，乐曲如果不从主和弦开始，那么整个结构也将是非平衡的。

当具体的作品分析中，我们对于音高集合的取样要非常的严格。因为取样的集合直接关系和声动力的进行状况。所以，我们按照这样的原则进行：凡在音乐横向运动过程中，纵向结合发生音变化的，就作为独立的和弦来取样；只有在明显表示为分解和弦，或在钢琴作品中特意标明使用延音踏板的地方，我们可以对非严格同时发响的音加以归纳。当然有些时候，也可能需要根据音乐的“上下文”的关系，来确定某些音的划分归属。当然，在分析传统音乐作品时，完全可以将分解和弦归纳为纵向结合，并排除和弦外音（时值较长的和弦外音及无准备的留音，最好能独立取样）。

为了使张力值之间的结果可以比较，我们需要确立必要的分析统计项目：张力变化幅度，平均张力值，张力效应总幅度，邻和弦最大张力差等等。在本文的第二章中，我们就列了这样的表格，以详细说明所要分析的乐曲。

第三节 两种和声理论的不同特点

一、原理建立的根据不同

兴氏突破了传统的大小七声音阶的局限，将半音阶作为音乐的媒介，将和声、旋律置于半音阶上去研讨、去写作。它是根据音的自然特性，将泛音列为基础，计算出半音阶各音的振动数。划分出由音构成的音序Ⅰ，和由音程构成的音序Ⅱ。根据价值高低来判断紧张度大小。

高为杰认为，不同音高的音的结合所构成的和声关系，以“五度和”为基本出发点，是天然合理的。而以五度和传递关系的远近，来衡量音关系的相与不相和程度，看来也应该是合理的。因此，以五度格作为尺度来测量音与音之间的远近关系，也就同时可以判定它们和声意义上的动力性或静止性的差异程度。

二、高为杰和声力学理论的优点

由于兴氏采用比较紧张度的方法是分类的方法，所以只能比较各类和弦之间的紧张度：如Ⅰ组与Ⅱ组，Ⅰ组与Ⅲ组等等。兴氏无法细致的比较每一小类之间的紧张度大小，如：同属Ⅰ₁的各种和弦。而高为杰是根据计算的方法得出紧张度的大小，所以得出的是比较准确的数据。这样就可以比较任意两个和弦之间连接时的和声起伏。

另外，兴氏本人并没有对Ⅴ、Ⅵ组进行讨论，而且分类本身也存在着一些问题。例如：和弦分类表中的Ⅲ组和弦中，不含小二度大七度的和弦紧张度应该小于Ⅱ组和弦而接近紧张度最小的Ⅰ组和弦。所以，正因为兴氏理论存在的一些不足，所以高为杰在前人的基础上继承和发展，提出了自己的一套更完整而科学的理论。

第二章 普罗科菲耶夫九首《钢琴奏鸣曲》第一乐章 呈示部和声力学探究

第一节 普罗科菲耶夫及他的钢琴奏鸣曲

一、普罗科菲耶夫生平

1891年4月15日，普罗科菲耶夫出生于乌克兰顿巴斯地区的松卓夫卡村。小时候，父母聘请格里艾尔[®]教授他一些与作曲有关的专业知识。1904年9月9日，普罗科菲耶夫带着四部歌剧、两首奏鸣曲、一首交响曲和许多钢琴作品顺利考入彼得堡音乐学院。在四年的时间里，循序渐进地学习了和声、对位、赋格、曲式等作曲技术。1914年，普罗科菲耶夫凭借自己作曲的《第一钢琴协奏曲》获得了鲁宾斯坦大奖。

之后，普罗科菲耶夫在出国的十几年时间里创作了：《第一小提琴协奏曲》、《第三钢琴协奏曲》，歌剧《对三个橙子的爱情》、《赌徒》等，以及舞剧《钢之跳跃》、《浪子》等，还有一些交响曲、交响组曲和多首钢琴曲。

普罗科菲耶夫作为一流的作曲家、世界乐坛上最突出的音乐巨匠之一，其牢固地位，在20世纪中期已得到承认。也正是在这个时候，他想回国的愿望越来越强，回国的条件也逐渐成熟。回国后的20年，普罗科菲耶夫在创作上获得了更大的丰收，写出的作品涉及音乐的各种形式，而且这些作品民族色彩鲜明，其音乐表现也格外扣人心弦。如：舞剧《罗密欧与朱丽叶》、《第二小提琴协奏曲》、交响童话《彼得与狼》，歌剧《战争与和平》等等。

二、钢琴奏鸣曲

普罗科菲耶夫的钢琴奏鸣曲共有九首，囊括了他一生的三个时期（学生时期、出国时期、回到苏联时期）不同的作曲风格和特点。其写作技法在这九首钢琴作品中发挥到了极致，非常具有代表性。

第一首钢琴奏鸣曲（作品第1号），创作于1907至1909年，题献给他的同乡兼棋友瓦西里·莫洛列夫（Vasily Morolev），此曲是作曲家根据学生时代创作的奏鸣曲加工而成，显示了作曲家年轻时代积极向上的精神。

第二首钢琴奏鸣曲（作品14号），创作于1912年，这一首是第一次独立创作四乐章的钢琴奏鸣曲。由于第三、第四奏鸣曲都是由学生时代的作品改写而成，

带有一些学生习作的痕迹，所以这首作品无论从风格的独特性和完整性来看，都超过了第三、第四奏鸣曲。

第三首钢琴奏鸣曲（作品28号），创作于1907年，1917年改写。基本上延续了大小调和声思维的特点，表现了作曲家继承并发展后期浪漫派半音化和声思维的痕迹。

第四首钢琴奏鸣曲（作品29号），创作于1908年，修改完成于1918年。这首奏鸣曲和第三奏鸣曲一样也是作曲家学生时代的习作改写而成的。作曲家是为了追悼英年早逝的斯密特霍夫而作。因此，全曲充满了冥想、伤感的气氛和抒情的音调。

第五首钢琴奏鸣曲有两个版本。因为作曲家在1953年改写了这首奏鸣曲。一是1923年创作的版本（作品38号），二是1953年改写的版本（作品第135号）。两个版本基本风格相同，但是在展开部和结尾有很大的不同。目前流行较广的是后一个版本。

第六首钢琴奏鸣曲（作品第82号），创作于1939至1940年冬，它再次向人们宣告作曲家对钢琴技艺的倾向：复杂的、强烈突出重音的跳进，细碎的手指技巧，饱满的和弦音响以及浓密的音型层。这首奏鸣曲以非常复杂的内容与极其尖锐的对比著称。

第七首钢琴奏鸣曲（作品第83号），这首作品在1939年就开始构思，直到1942年才完成。由于尖锐不协和的调式和声范围，作者自己给它下了个定义叫做“无调性的”。这首奏鸣曲在1943年获得了斯大林奖金二等奖。

第八首钢琴奏鸣曲（作品第84号），完成于1944年，第八奏鸣曲要求演奏者具备高度的技巧——这是普罗科菲耶夫钢琴技巧成就的高峰之一。是战争奏鸣曲的最后一首。

第九首钢琴奏鸣曲（作品第103号），完成于1947年秋天。这首作品在1945年就开始谱写，题献给李希特。与前面充满个性的音乐不同，这首奏鸣曲色调舒缓、宁静。可能与作曲家晚年性格改变有关，使他对待生命、对待音乐更为沉稳、安宁。

第二节 九首钢琴奏鸣曲的第一乐章呈示部折线图及和声

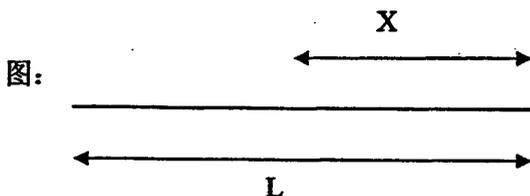
张力布局图

一、黄金分割律与镜像对称原则

音乐作品的结构比例可以分为非对称性和对称性两大类结构比例。非对称性结构最典型的结构就是根据“黄金分割律”来分割作品（前长后短属于正相黄金分割，前短后长属于逆相黄金分割）。

那么什么是“黄金分割律”呢？“黄金分割律”就是“把长为L的直线段分成两部份（如图），使其中一部份对于全部的比等于其余一部份对于这部份的比，即： $X:L=(L-X):X$ 。公式为：

$$X = \frac{\sqrt{5}-1}{2}L = 0.618 \dots \textcircled{1}$$



对称性或称“镜像对称”，指作品的前后两个部分呈严格的或相似长度的比例，犹如镜子般的折射。其中，对称组织的核心，存在着一个折射轴心，以结构的中心为出发点，向两端衍展，既是一种结构思维，也是音乐展开的手段。

从传统的视觉经验及相关的审美心理角度来说，艺术作品成败优劣的评析依据在相当程度上取决于艺术表现中诸视觉元素的结构方式及比例关系是否得当，是否达到某种数理和心理上的和谐与平衡。本文试图以“黄金分割律”和“镜像对称”为依据，通过数理的方法对普罗科菲耶夫的九首钢琴奏鸣曲奏鸣曲式第一乐章呈示部进行分析、统计，以说明音乐作品的结构布局是有一定规律，还与音乐发展息息相关。

二、黄金分割律、镜像对称原则与最大张力值的对应关系

在九首奏鸣曲中，只选择呈示部作为研究对象是因为其在奏鸣曲中的特殊地位决定的。一般来讲，奏鸣曲式分为三个部分：呈示部、展开部、再现部。在呈示部中，一般都由主部、连接部、副部、结束部组成。其中的主部和副部，他们

分别承担基本呈示全曲基本材料及揭示基本矛盾的作用。奏鸣曲式是建立于主部与副部这两个主要主题材料的并置及分别展开之上的音乐发展过程，而奏鸣曲式的呈示部正是这一过程的缩影。呈示部之所以适合作为完整的独立分析对象，是因为它在奏鸣曲式中的独立性大大高于其它曲式中的次级结构。

研究呈示部中的和声最大张力值（含最大和声音程张力——静态张力值、旋律音程张力——动态张力值、张力效应值——动静结合的张力值），也就是研究呈示部中音乐发展的和声紧张度的走向，以及这些最大张力值与“黄金分割律”或“镜像对称”的关系。

对最大张力值的判断我们无法预先假设，只有经过计算呈示部中的和声张力之后，我们才能发现它是否在结构上与“黄金分割律”或“镜像对称”原则有所关联。如果确实通过分析发现普罗科菲耶夫的奏鸣曲第一乐章呈示部中出现“黄金分割律”或“镜像对称”，则可以说明呈示部中音乐发展确实存在某种规律。由于音乐艺术本身的复杂性和人的诸多心理因素影响，在将最大张力值与“黄金分割律”或“镜像对称”比例相比较时，可以允许有一定的误差，通常许可的误差在5%左右。

在音乐的发展过程中，由于静态和动态的区别，最大张力值的出现位置或许不一致，我们只有选择强度最大的张力值才能说明其在整个呈示部中推动音乐发展的重大意义。我们这里所说的最大张力值就是我们在运用高为杰的数学计算方法计算和声的张力值的过程中，出现的一些紧张度最大的地方，包括静态张力最大值、邻和弦最大差值、大效应发生情况和效应高点情况。

在下面的和声分析表中，我们列出了很多分析项目，其中和弦情况表中（即静态张力表），有一项是邻和弦最大差值。它是指两个相邻和弦之间静态张力值的最大差值（有正相和负相之分，正相表示后面的和弦减前面的和弦的差是正的，负相则表示后面的和弦减前面的和弦的差是负的）。有时候最大静态张力值和邻和弦最大差值发生在同一位置，以加强转折力度。

在张力效应情况表中有一项大效应发生情况，即两个和弦动态（旋律音程张力）连接时产生的最大差值（也有正相和负相之分，正相表示后面的和弦减前面的和弦的差是正的，负相则表示后面的和弦减前面的和弦的差是负的）。表中的效应高点就是该呈示部正的和负的张力效应最大值。有时候张力效应最大值和大

效应发生情况也出现在同一位置上。

用上述方法，我们对普罗科菲耶夫的九首钢琴奏鸣曲第一乐章呈示部进行了分析并以折线图，表格以及文字的形式阐述如下。

三、和声张力效应折线图与和声分析表

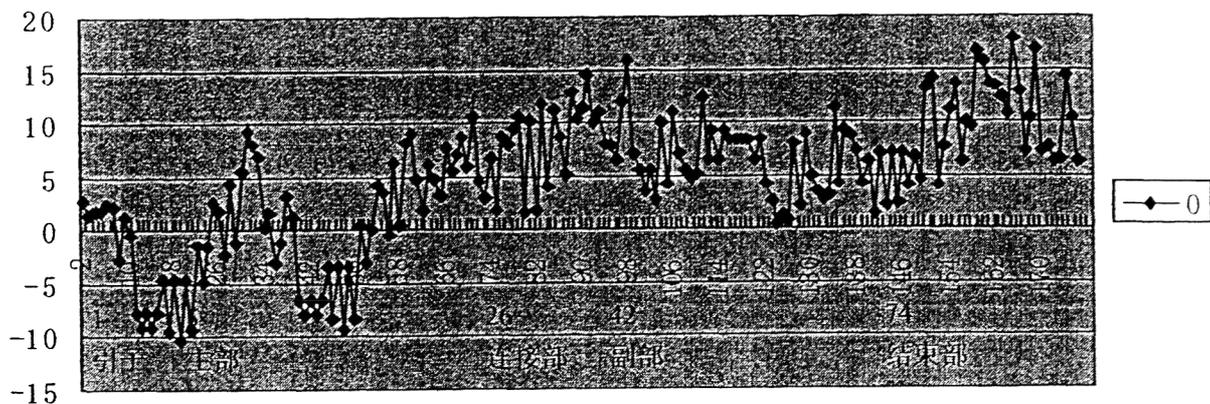
折线图的纵坐标代表和声的张力效应值，即两个和弦之间和声张力值与旋律张力值的总差值之和。横坐标代表和声取样的数值，黑色的点代表各个和声的效应值，用蓝色的线把这些点连接起来，就成了代表紧张度的折线图；第二行的数字代表呈示部中主部主题，连接部，副部，结束部开始的小节数，第三行是与这些小节数相对应的用文字表示的曲式结构。

和声分析图表中所列的各项的简单说明：

（一）在和弦情况表中（也就是静态和声表中），张力值变化幅度：是最大静态张力值与最小静态张力值之间的差，可以看出乐曲中和弦运用变化的幅度。达到极限幅度（15）的：这里的15是静态和弦间的最大的张力值，由双音和十二音集合（C到^bB）连接时而实现。达到极限幅度的百分数是把张力变化幅度除以极限幅度15而得出，可以看出和弦运用的强度。平均张力值由静态张力值的总和除以和弦总数，从平均张力值数据中，可以看出乐曲中和声材料张力背景的设计情况。位置：用来记载该项目情况在乐曲总长度中发生位置的比例值（我们把乐曲的总长度设为1）。这一项目对研究乐曲中的高潮或转折的布局具有重要意义。邻和弦最大张力值：是指两个相邻和弦之间最大的差值，可以看出静态张力值变化最大的地方——在静态张力值较小的和弦与静态张力值较大的和弦之间发生。

（二）在张力效应情况表中，张力效应总幅度：是最低张力效应值的绝对值与最高张力效应值之和。张力效应总幅度表示在乐曲中和弦连接时，张力值的变化幅度情况。效应样式总数：由取样的和弦总数减一，表示选取样式的总和。样式种数：表示样式的种类。平均效应绝对值：由效应绝对值总和除以效应样式总数。效应高点发生情况：记录最大正值与负值的张力效应值（和声音程张力和旋律张力的总差值之和）。它不仅记录最大效应发生情况，还可以记录具有一定结构意义的较大的效应值。备注：可说明一些特殊意义的补充情况。

第一钢琴奏鸣曲第一乐章呈示部张力效应值折线图



(一) 曲式结构与张力效应值的关系

在第一钢琴奏鸣曲第一乐章呈示部中，虽然引子一进来就是比较强的力度： ff ，但是从上面的张力效应折线图来看，显然是有落差的。图中显示张力效应值离零位音比较接近，这里的张力效应值与乐谱中的主观性的标记并不一致，表明乐曲中的张力效应值并不一定同标记力度相统一，力度有的时候只表明响度，而与紧张度无关。但是，紧张度与力度标记也会出现统一的时候，在后面的奏鸣曲中将举例说明。

进入主部(19)——也就是第五小节之后，张力效应值下降，数值为-10.501，从折线图中看，应该是整个呈示部的最小张力效应值。从折线图中可以看出，随着音乐发展也就是主部的发展，数据从负值提升至正值9.233(31)这是主部的最大张力效应值，之后，张力效应值到了-9.434(48)。接着，主部主题平行再起，并重新回到正值。在主部的最后，张力效应值回落到1.8(75)上，而这个位置接近零点这个相对稳定的状态。

连接部从26小节开始，在连接部之后，张力效应值都为正值，在连接部结束时，甚至达到了15.768(95)。随即进入副部，从42小节开始，张力效应值经过多次升降后，结束在3.938(144)，这就表示在副部结束的时候，紧张度又趋于缓和。

结束部从74小节开始，张力效应值又开始提升至6.604(145)，结束部最后结束在6.188(173)上，就结束部来说，开始和结束的张力效应值相似。计算结果不同于一般的认为：结束部就是结束了，音乐的紧张度就为零了。这里没有用

明显的终止线把呈示部与展开部完全隔开,说明作曲家并没有让音乐的发展因为呈示部的结束而中断,所以主部主题结束时的张力效应值也不是零或靠近零。不过,主部主题结束时的不稳定状态正好给了展开部连续发展下去的动力。

第一钢琴奏鸣曲第一乐章呈示部和声分析图表

| I 和弦情况 | | | | |
|--|--------|---------|--------|-------------------------|
| 张力值变化幅度: 10.167 (3.333—13.5) 达到极限幅度(15.5)的: 67.78% 平均张力值: 7.865 | | | 集合种类情况 | 和弦总数: 176 |
| | | | | 集合总数: 33 |
| | | | 集合格序 | 次数 频率% |
| 邻和弦最大张力值 | 差值 | 和弦序号 | 位置 | |
| 正相 | +8.333 | 80—81 | 0.455 | |
| 负相 | -8.333 | 151—152 | 0.864 | |
| 静态最大张力值 | | 和弦序号 | 位置 | |
| 13.5 | | 60 | 0.341 | |
| 13.5 | | 159 | 0.903 | |
| 13.5 | | 160 | 0.909 | |
| 13.5 | | 165 | 0.938 | |
| 备注: 静态最大张力值出现在多处,其中有一处正好为负相黄金分割点。(这里的正相表示从呈示部的开始到结束过程中,而负相则表示从乐曲结束处返回开始时。) | | | | |
| | | | | 0, 2, 3, 6 30 17.05 |
| | | | | 0, 1, 4 27 15.34 |
| | | | | 0, 3, 4 21 11.93 |
| | | | | 0, 1, 3, 4 14 7.95 |
| | | | | 0, 1, 4, 5 11 6.25 |
| | | | | 0, 3, 4, 6 8 4.55 |
| | | | | 0, 3, 4, 8 8 4.55 |
| | | | | 0, 2, 3, 6, 9 5 2.84 |
| | | | | 0, 1, 4, 7 4 2.27 |
| | | | | 0, 3, 6, 9 4 2.27 |
| | | | | 0, 1, 2, 4, 5 4 2.27 |
| | | | | 0, 1, 3 3 1.70 |
| | | | | 0, 2, 6 3 1.70 |
| | | | | 0, 4, 8 3 1.70 |
| | | | | 0, 1, 4, 8 3 1.70 |
| | | | | 0, 2, 3, 5, 6 3 1.70 |
| | | | | 0, 2, 4, 5, 8 3 1.70 |
| | | | | 0, 3, 4, 5, 8 3 1.70 |
| | | | | 0, 4, 6 2 1.14 |
| | | | | 0, 3, 4, 5 2 1.14 |
| | | | | 0, 2, 3, 4, 6 2 1.14 |
| | | | | 0, 3, 4, 6, 9 2 1.14 |
| | | | | 0, 1, 4, 6 1 0.57 |
| | | | | 0, 2, 6, 8 1 0.57 |
| | | | | 0, 1, 4, 7, 9 1 0.57 |
| | | | | 0, 2, 3, 6, 8 1 0.57 |
| | | | | 0, 2, 5, 6, 8 1 0.57 |
| | | | | 0, 3, 4, 7, 8 1 0.57 |
| | | | | 0, 1, 3, 4, 5, 6 1 0.57 |
| | | | | 0, 3, 4, 6, 7, 8 1 0.57 |

II 张 力 效 应 情 况

| | | | | | | | |
|--|---------|---------|-------|--------|-------|------------------------|--|
| 效应总幅度: 28.355 (-10.501—+17.854) 效应总值: 6.188 平均效应绝对值: 3.682 | | | | 效应样式情况 | | 样式总数: 175 样式种数: 108 | |
| | | | | 效应值 | 次数 | 频率 % | |
| 大效应发 生情况 | 效应值 | 和弦序号 | 位置 | | | | |
| 正相 | +10 | 82—83 | 0.466 | -5.384 | 5 | 2.86 | |
| 负相 | -10.266 | 151—152 | 0.864 | -4.834 | 5 | 2.86 | |
| 效应高 点情 况 | 幅度值 | 和弦序号 | 位置 | -2 | 5 | 2.86 | |
| | 17.854 | 165 | 0.938 | -1.334 | 5 | 2.86 | |
| | -10.501 | 19 | 0.176 | +0 | 5 | 2.86 | |
| | | | | -1.5 | 4 | 2.29 | |
| | | | | +1.334 | 4 | 2.29 | |
| | | | | -5 | 3 | 1.17 | |
| | | | | -4 | 3 | 1.17 | |
| | | | | -1.666 | 3 | 1.17 | |
| | | | | -1 | 3 | 1.17 | |
| | | | | +1 | 3 | 1.17 | |
| | | | | +3.166 | 3 | 1.17 | |
| | | | | +4.834 | 3 | 1.17 | |
| | | | | +6.834 | 3 | 1.17 | |
| | | | | -2.834 | 3 | 1.17 | |
| | | | | 7.166 | 3 | 1.17 | |
| | | | | -5.734 | 2 | 1.14 | |
| | | | | -4.75 | 2 | 1.14 | |
| | | | | -4.166 | 2 | 1.14 | |
| | | | | -4.1 | 2 | 1.14 | |
| | | | | -3.5 | 2 | 1.14 | |
| | | | | -3.166 | 2 | 1.14 | |
| | | | | -3 | 2 | 1.14 | |
| | | | | -2.834 | 2 | 1.14 | |
| | | | | -1.834 | 2 | 1.14 | |
| | | | | -0.7 | 2 | 1.14 | |
| | | | | -0.666 | 2 | 1.14 | |
| | | | | -0.5 | 2 | 1.14 | |
| | | | | +0.332 | 2 | 1.14 | |
| | | | | +0.333 | 2 | 1.14 | |
| | | | | +2.834 | 2 | 1.14 | |
| | | | | +3.25 | 2 | 1.14 | |
| | | | | +3.8 | 2 | 1.14 | |
| | | | | +3.834 | 2 | 1.14 | |
| | | | | | | | |

（二）和声的张力分析

根据第一奏鸣曲第一乐章呈示部和声分析表 I，我们在该呈示部中选择了 176 处和声取样，相同的集合数有 33 个。也就是说，在该呈示部中有大量和弦的音程构成是一致的，但是实际音高可能略有不同。

比如 (0, 2, 3, 6) 在该奏鸣曲中出现了 30 次之多，频率超过全曲的 17%。虽然 (0, 2, 3, 6) 出现如此频繁，但是它不是一个固定的和弦，在和声取样 7（第二小节第一拍）和 33（第十小节第七拍）两处集合格序都为 (0, 2, 3, 6)，静态张力值都为：8.75。在和声取样 7 处，四个音的构成是 B, \flat D, F, \flat A；而在和声取样 33 处，四个音的构成是 C, E, G, \flat B。虽然音高完全不同，但是它们的结构却是一样的。当把和声取样 7 的和弦调整为 \flat D, F, \flat A, B 我们发现，它的和弦构成是大三，小三，增二度；而和声取样 33 的和弦构成为大三，小三，小三，而我们知道增二度音程的间距就等于小三度，中间都是隔了三个半音。所以，虽然该呈示部集合运用不多，但是变化却很丰富。

该曲的张力变化幅度从 3.333 到 13.5，达到极限幅度的 67.78%，在九首奏鸣曲中幅度变化最小，可能也是因为没有运用张力效应值较小的单音和双音的缘故。该呈示部的平均张力值为 7.865，处在中间位置，不大也不小。邻和弦最大张力值正相差值为 8.333，基本上处在呈示部的中心位置。

邻和弦正值的最大差值达到 8.333，发生在和声取样第 80 与 81 之间，位置处于 0.455。而负值的最大差值也达到 -10.266，发生在和声取样第 151 与 152 之间，位置处于 0.864，比较偏后。

在最大张力值一栏中，有四个处和声取样的地方达到最大张力值，第 60, 159, 160 和 165。虽然它们和弦音不同，但和弦的构成是相同的，同为减减七和弦，所以张力效应值同为：13.5，集合为 (0, 3, 6, 9)。而其中的 60（第二十一小节第一拍）刚好位于负相黄金分割。它在呈示部中的位置为 0.341，在 5% 的误差内。

从第一奏鸣曲第一乐章呈示部和声分析表 II 中，我们可以看出效应总幅度超过 28，张力效应值变化幅度比较大，最后结束在 6.188 上，使展开部与呈示部的联系得到进一步的加强。

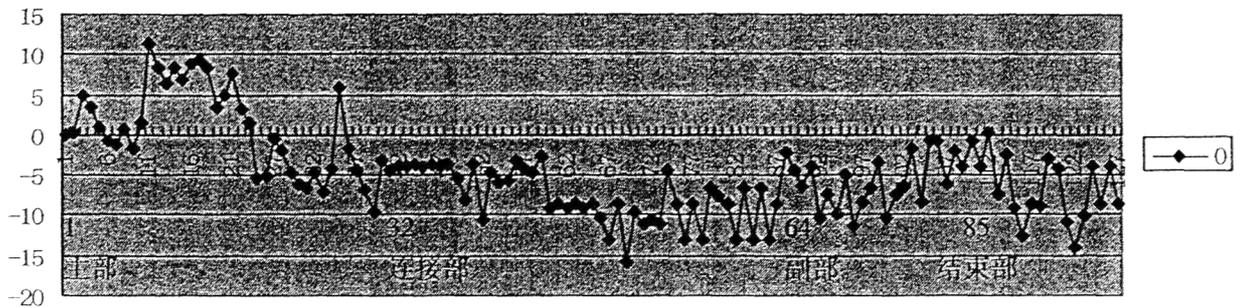
大效应发生情况的最大正值为 10，发生在和声取样第 82 与 83 之间，位置

处于 0.466。而大效应发生情况的负值也达到-8.333，发生在和声取样第 151 与 152 之间，位置处于 0.864，与邻和弦负值的最大差值同时发生。

呈示部的效应高点和静态张力值相关，一般情况下，当效应值达到正值的最高点时，和弦静态张力值也较大。这里和声取样 165（第八十八小节第四拍）的效应高点为 17.854，其静态张力值：13.5，属于减减七和弦，集合为（0，3，6，9）。

从表 I 中我们发现该曲在集合格序种类上运用不多，但是通过表 II，我们发现该曲的样式总数达到 108 之多，以百分比计算为 61.71%。用高为杰的话说，就是用丰富的“语汇”补偿了并不丰富的和声“词汇”。所以，总的说来，这首乐曲在和声语言的运用上是丰富而多样的。

第二钢琴奏鸣曲第一乐章呈示部张力效应值折线图



（一）曲式结构与张力效应值的关系

第二钢琴奏鸣曲第一乐章呈示部的主部开始处，和声张力处于一个相对稳定的状态，但在 11 的位置突然达到 11.334 这个主部中正值的最大值。在第一首奏鸣曲中我们讲到，有时候张力效应值与乐曲中的主观性标记会不一致。但是这里两个例子都是张力效应值与乐曲中的主观性的标记是一致的。

当张力效应值达到 11.334 时，乐曲中的标记为 f，所以有的时候紧张度与乐谱中的标记也是一致的。从折线图可以看出，在数据 11 后，张力效应值逐渐下降，虽然略有起伏，但是到达 23 这里时，已经接近零位音，而这里也是主观标记 pp 的地方，在这里张力效应值与主观标记又是统一的。

之后，乐思平行再起，重复乐曲开头部分，张力效应值下降到负值，经过一

些上升下降后，主部主题结束在-4.05（42）上。在这一位置上的张力效应值与主部主题中的乐思平行再起时的张力效应值很接近，从折线图中可以看出，在-5这个位置，有很长一段时间的张力效应值都徘徊在那里，使乐曲达到另一个相对稳定的状态。

连接部的开始也与主部主题一样，处在一个相对稳定的状态，从和声取样73开始，张力效应值变化的幅度就开始大起来了，连接部结束在-6.516（89）。

副部开始于-3.866（90），张力效应值相对较小，但是变化幅度仍然较大，而且不像主部主题与连接部，有一段时间紧张度相当接近。之后，张力效应值在上升下降中提升，副部结束在 0.134（111），非常接近零位音，也就是说，在副部结束时紧张度相对稳定。

结束部的张力效应值变化也比较大，结束部结束在-8.566（125），这个数据给发展部以更大的发展空间。

第二钢琴奏鸣曲第一乐章呈示部和声分析图表

| I 和弦情况 | | | | | | |
|--|-------|-------|-------|---------------------|-------|-----------|
| 张力值变化幅度: 13 (0.25—13.25) 达到极限幅度(15.5)的: 86.67% 平均张力值: 7.37 | | | | 集合种类情况 | | 和弦总数: 127 |
| | | | | | | 集合总数: 47 |
| | | | | 集合格序 | 次数 | 频率 % |
| 邻和弦最大张力值 | 差值 | 和弦序号 | 位置 | | | |
| 正相 | +7.75 | 39—40 | 0.307 | 0, 3, 4 | 16 | 12.60 |
| | | | | 0, 1, 3, 4 | 12 | 9.45 |
| 负相 | -8.5 | 23—24 | 0.189 | 0, 1, 4 | 10 | 7.87 |
| | | | | 0, 1, 4, 5 | 9 | 7.09 |
| | | | | 0, 1, 5 | 6 | 4.72 |
| 静态最大张力值 | | 和弦序号 | 位置 | 0, 1, 2, 4 | 5 | 3.94 |
| 13.25 | | 110 | 0.866 | 0, 3, 4, 8 | 5 | 3.94 |
| | | | | 0, 3, 4, 6 | 4 | 3.15 |
| | | | | 0, 1, 2, 5 | 3 | 2.36 |
| | | | | 0, 1, 5, 8 | 3 | 2.36 |
| | | | | 0, 2, 4, 7 | 3 | 2.36 |
| | | | | 0, 3, 4, 5, 6 | 3 | 2.36 |
| | | | | 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6 | 3 | 2.36 |
| | | | | 0, 3 | 2 | 1.57 |
| | | | | 0, 2, 4 | 2 | 1.57 |
| | | | | 0, 3, 6 | 2 | 1.57 |
| | | | | 0, 1, 3, 5 | 2 | 1.57 |
| | | | | 0, 1, 3, 6 | 2 | 1.57 |
| | | | | 0, 2, 3, 4 | 2 | 1.57 |
| | | | | 0, 1, 2, 4, 5 | 2 | 1.57 |
| | | | | 0, 1, 4, 7, 8 | 2 | 1.57 |
| | | | | 0, 2, 4, 6, 9 | 2 | 1.57 |
| | | | | 0, 3, 4, 7, 8 | 2 | 1.57 |
| | | | | 0, 1, 3, 4, 5 | 2 | 1.57 |
| | | | | 0, 1 | 1 | 0.79 |
| | | | | 0, 2, 6 | 1 | 0.79 |
| | | | | | | |

（二）和声的张力分析

根据第二奏鸣曲第一乐章呈示部和声分析表 I，我们在该呈示部中选择了 127 处和声取样，相同的集合数有 47 个。就集合来说，在运用和声“词汇”方面还是比较丰富的。

该曲的张力变化幅度从 0.25 到 13.25，达到极限幅度的 86.67%，在九首奏鸣曲中幅度变化比较大，它达到极限幅度的百分比和第四钢琴奏鸣曲一样。该呈示部的平均张力值为 7.37，基本上处在中间位置，不大也不小。

邻和弦正值的最大差值达到 7.75，发生在和声取样第 39 与 40 之间，位置处于 0.307。而负值的最大差值也达到 -8.5，发生在和声取样第 23 与 24 之间，位置处于 0.189，比较靠前。

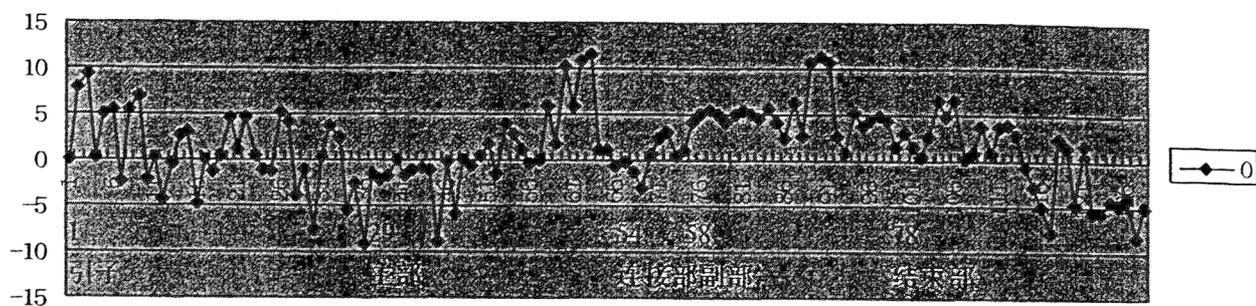
从第一奏鸣曲第一乐章呈示部和声分析表 II 中，我们可以看出效应总幅度超过 27，单看张力效应值变化幅度还是比较大的。但是这个值在九首奏鸣曲中，却排在倒数第二的位置。最后结束在 -8.566 上，加强与展开部的联系。

大效应发生情况的最大正值为 10，发生在和声取样第 34 与 35 之间，位置处于 0.270。而大效应发生情况的负值也达到 -10.25，发生在和声取样第 23 与 24 之间，位置处于 0.190。

效应高点和静态张力值相关，一般情况下，正值的效应高点和弦静态张力值也较大。这里 11（第八小节第一拍）的效应高点为 11.334，静态张力值为 13.2。该和声取样的音为 B， $\sharp D$ ，A， $\sharp C$ ，C，集合为 A (0, 2, 4, 6, 9)。其实它是一个省略五音的属九和弦，C 是经过音。

比较第一与第二奏鸣曲的表 I，我们发现第二奏鸣曲在集合格序种类上运用要比第一奏鸣曲多。但是比较表 II 后，我们发现第二奏鸣曲的样式的百分比 53.17% 要小于 61.71%。所以，普罗科菲耶夫在作曲中善于取长补短，使自己的作品尽可能达到“完美”。

第三钢琴奏鸣曲第一乐章呈示部张力效应值折线图



(一) 曲式结构与和声张力效应值的关系

第三钢琴奏鸣曲第一乐章呈示部的特殊之处就在于它有一个较大的引子。乐曲一开始紧张度变化幅度较大，但是有意思的是张力效应值几次均回到零位音。这也说明虽然紧张度波动较大，但仍向稳定靠拢。

主部开始于-0.006 (40)，可以说几乎从零开始，也就是说主部和引子一样，从一个相对稳定的状态开始。主部开始后，张力效应值较长时间停留在零位音附近。之后，张力效应值从负值逐渐上升为正值，最后主部在-0.642 (66) 上结束。

连接部开始于-0.31 (67)，这个连接部非常短，可能由于引子占去太多的篇幅，所以连接部只有四小节。连接部最后结束在 1.024 (74)，紧张度相对稳定。

副部开始后，张力效应值一开始就上升到 4.224 (75)，并且在较长时间在紧张度 5 左右徘徊，最后结束于 4.424 (98)。在这里副部的开始和结束的张力效应值相差只有 0.2，基本上处于一个相同的紧张度状态。

结束部开始于 1.424 (99)，张力效应值一开始仍然在正值浮动，但在 113 之后，张力效应值下降到负值，虽然张力效应值仍有回升到正值，但是 121 之后，就都在负值上了。结束部的张力效应值结束在-5.025 上，加强了与展开部的联系。

第三钢琴奏鸣曲第一乐章呈示部和声分析图表

| I 和弦情况 | | | |
|---|--------|----------------|---------------------------------|
| 张力值变化幅度: 12.7 (0.5—13.2) 达到极限幅度(15.5)的: 84.67% 平均张力值: 8.203 | | | 集合种类情况 和弦总数: 128 集合总数: 44 |
| 邻和弦 最大张 | 差值 | 和弦序号 | 位置 |
| 正相 | +8.333 | 30—31 36—37 | 0.234 0.289 |
| 负相 | -8.25 | 29—30 35—36 | 0.227 0.281 |
| 静态最大张力值 | | 和弦序号 | 位置 |
| 13.2 | | 3 | 0.023 |
| 13.2 | | 9 | 0.070 |
| 备注: 最大张力值出现较早。 | | | |
| 集合格序 | | 次数 | 频率 % |
| 0, 1, 4 | | 12 | 9.38 |
| 0, 1, 3, 4, 5 | | 9 | 7.03 |
| 0, 3, 4, 6, 8 | | 7 | 5.47 |
| 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6 | | 7 | 5.47 |
| 0, 1, 3, 4 | | 5 | 3.91 |
| 0, 2, 3, 6, 8 | | 5 | 3.91 |
| 0, 1, 4, 5 | | 4 | 3.13 |
| 0, 3, 4, 5, 8 | | 4 | 3.13 |
| 0, 2, 3, 4, 5, 6 | | 4 | 3.13 |
| 0, 2, 3 | | 3 | 2.34 |
| 0, 3, 4 | | 3 | 2.34 |
| 0, 4, 6 | | 3 | 2.34 |
| 0, 1, 2, 4 | | 3 | 2.34 |
| 0, 1, 2, 3, 4 | | 3 | 2.34 |
| 0, 2, 5, 6, 8 | | 3 | 2.34 |
| 0, 1, 3, 4, 5, 6 | | 3 | 2.34 |
| 0, 1 | | 2 | 1.56 |
| 0, 2 | | 2 | 1.56 |
| 0, 2, 5 | | 2 | 1.56 |
| 0, 1, 4, 6 | | 2 | 1.56 |
| 0, 1, 4, 8 | | 2 | 1.56 |
| 0, 2, 3, 6 | | 2 | 1.56 |
| 0, 2, 4, 8 | | 2 | 1.56 |
| 0, 2, 5, 6 | | 2 | 1.56 |
| 0, 3, 4, 6 | | 2 | 1.56 |
| 0, 1, 4, 5, 7 | | 2 | 1.56 |
| 0, 1, 4, 5, 8 | | 2 | 1.56 |
| 0, 1, 4, 7, 9 | | 2 | 1.56 |
| 0, 2, 3, 6, 7 | | 2 | 1.56 |
| 0, 1, 2, 3, 5, 6 | | 2 | 1.56 |
| 0, 1, 2, 3, 5, 6, 9 | | 2 | 1.56 |
| 0, 3 | | 1 | 0.78 |
| | | | |

| II 张力效应情况 | | | | | | | |
|--|---------|---------|---------|--------|--------|-----------|------|
| 效应总幅度: 20.558 (-9.134—+11.424) 效应总值: -5.025 平均效应绝对值: 3.068 | | | | 效应样式情况 | | 样式总数: 127 | |
| | | | | | | 样式种数: 88 | |
| 大效应发生情况 | | 效应值 | 和弦序号 | 位置 | 效应值 | 次数 | 频率% |
| 正相 | | +10.166 | 117—118 | 0.929 | -1 | 4 | 3.15 |
| 负相 | | -10.4 | 63—64 | 0.5 | +0.334 | 4 | 3.15 |
| 效应高点情况 | 幅度值 | 和弦序号 | 位置 | -2.666 | 3 | 2.36 | |
| | +11.424 | 63 | 0.492 | -1.7 | 3 | 2.36 | |
| | -9.134 | 36 | 0.283 | -1.666 | 3 | 2.36 | |
| | | | | -1.2 | 3 | 2.36 | |
| 备注: 正值效应最高点出现在中心对称处。 | | | | -0.334 | 3 | 2.36 | |
| | | | | +0 | 3 | 2.36 | |
| | | | | +0.666 | 3 | 2.36 | |
| | | | | +0.8 | 3 | 2.36 | |
| | | | | +1.4 | 3 | 2.36 | |
| | | | | -9 | 2 | 1.57 | |
| | | | | -7.934 | 2 | 1.57 | |
| | | | | -7.866 | 2 | 1.57 | |
| | | | | -6.5 | 2 | 1.57 | |
| | | | | -4.334 | 2 | 1.57 | |
| | | | | -1.6 | 2 | 1.57 | |
| | | | | -0.6 | 2 | 1.57 | |
| | | | | -0.2 | 2 | 1.57 | |
| | | | | +0.4 | 2 | 1.57 | |
| | | | | +1.666 | 2 | 1.57 | |
| | | | | +2.666 | 2 | 1.57 | |
| | | | | +2.834 | 2 | 1.57 | |
| | | | | +7.666 | 2 | 1.57 | |
| | | | | +7.866 | 2 | 1.57 | |
| | | | | -10.4 | 1 | 0.79 | |
| | | | | | | | |

（二）和声的张力分析

根据第三奏鸣曲第一乐章呈示部的和声分析表 I，我们在该呈示部中选择了 128 处和声取样，相同的集合数有 44 个，运用集合种数并不多。该曲的张力变化幅度从 0.5 到 13.2，达到极限幅度的 84.67%，在九首奏鸣曲中幅度变化还是比较大的。该呈示部的平均张力值为 8.203，在九首奏鸣曲中也是属于比较大的。

邻和弦正值的最大差值达到 8.333，发生在和声取样第 30 与 31 之间和 36 与 37 之间，位置分别处于 0.234 和 0.289。而负值的最大差值-8.25 也出现在两处，发生在和声取样第 29 与 30 之间和 35 与 36 之间，位置处于 0.227 和 0.281，这些值均出现较早。

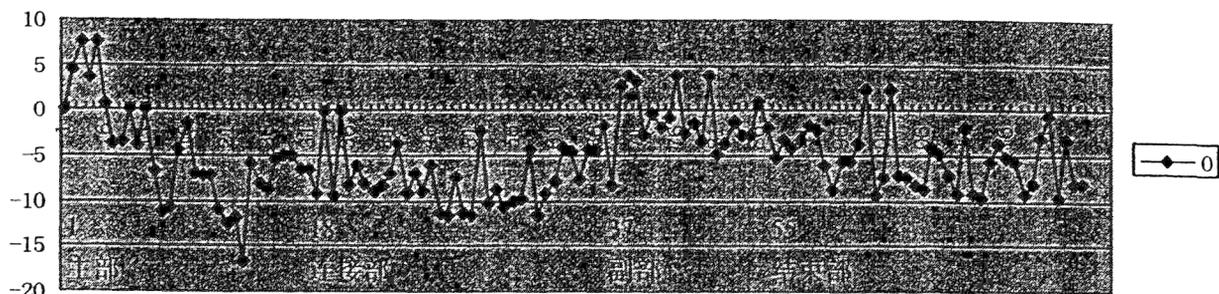
从第三奏鸣曲第一乐章呈示部和声分析表 II 中，我们可以看出效应总幅度超过 20.558，就数据上来看，张力效应值变化幅度较小。而且在九首奏鸣曲中，效应总幅度最小。效应值在-5.025 上结束，加强了与展开部的贯通。

大效应发生的最大正值为 10.166，发生在和声取样第 117 与 118 之间，位置处于 0.929。而大效应发生情况的负值也达到-10.4，发生在和声取样第 63 与 64 之间，位置处于 0.5。

效应高点和静态张力值相关，一般情况下，正值的最高效应点和弦静态张力值也较大。这里和声取样 63（五十小节第一拍）的效应高点为 11.424，静态张力值为 12.2。该和声取样的音是 E, #G, #B, #F, A，十一和弦，集合为 C (0, 3, 4, 6, 8)，以分解和弦形式出现。

从表 I 中我们发现该曲在和声材料的选择上运用的不多，但是通过表 II，我们发现该曲的样式百分比高达 69.29%。所以该曲听起来并不会因为集合运用的较少而单调，主要是因为其样式的多变。

第四钢琴奏鸣曲第一乐章呈示部张力效应值折线图



(一) 曲式结构与张力效应值的关系

第四钢琴奏鸣曲第一乐章呈示部的主部一开始紧张度就得到提升,但在和声取样7之后,张力效应值从正值变为负值。直到达到-16.616(23)这个呈示部和声张力效应值绝对值最大值之后,又向稳定状态靠拢,最后结束在-9.284(32)。

连接部开始于-0.05(33),这个位置相当接近零位音,但是在这之后,张力效应值仍然在负值波动,结束于-8.416(68)。

副部开始于2.75(69),其张力效应值回到了正值,但是结束于-3.217(89)。虽然副部开始于正值结束于负值,但是两个值都接近零位音,处于相对稳定的状态。

结束部也开始于-3.217(89),在这里副部的结束与结束部的开始在同一位置,属于浸入关系(在普罗科菲耶夫的奏鸣曲中,有多处用到这一手法)。结束部结束在-8.067(125)。

第四钢琴奏鸣曲第一乐章呈示部和声分析图表

| I 和弦情况 | | | | | | | |
|---|--------|--------|-------|------------------|-------|-----------|--|
| 张力值变化幅度: 13 (0.5-13.5) 达到极限幅度(15.5)的: 86.67% 平均张力值: 8.116 | | | | 集合种类情况 | | 和弦总数: 125 | |
| | | | | | | 集合总数: 51 | |
| | | | | 集合格序 | 次数 | 频率 % | |
| 邻和弦 | 差值 | 和弦序号 | 位置 | | | | |
| 最大张力值 | | | | | | | |
| 正相 | +8.167 | 51-52 | 0.408 | | | | |
| 负相 | -9.053 | 99-100 | 0.8 | | | | |
| 静态最大张力值 | | 和弦序号 | 位置 | | | | |
| 13.5 | | 33 | 0.264 | | | | |
| 13.5 | | 35 | 0.28 | | | | |
| 13.5 | | 52 | 0.416 | | | | |
| 13.5 | | 99 | 0.792 | | | | |
| 备注: 静态最大张力值为 13.5 的地方有四处, 而和声取样 52 刚好在负相黄金分割处。 | | | | | | | |
| | | | | 0, 1, 4 | 12 | 9.6 | |
| | | | | 0, 3, 4 | 8 | 6.4 | |
| | | | | 0, 1, 3, 4 | 7 | 5.6 | |
| | | | | 0, 1, 4, 5 | 7 | 5.6 | |
| | | | | 0, 2, 3, 4 | 6 | 4.8 | |
| | | | | 0, 3, 4, 6 | 5 | 4 | |
| | | | | 0, 1, 2, 4 | 4 | 3.2 | |
| | | | | 0, 3, 6, 9 | 4 | 3.2 | |
| | | | | 0, 3, 6 | 3 | 2.4 | |
| | | | | 0, 1, 4, 8 | 3 | 2.4 | |
| | | | | 0, 3, 4, 8 | 3 | 2.4 | |
| | | | | 0, 2, 3, 4, 6 | 3 | 2.4 | |
| | | | | 0, 3, 4, 6, 8 | 3 | 2.4 | |
| | | | | 0, 1, 2, 3 | 2 | 1.6 | |
| | | | | 0, 1, 4, 6 | 2 | 1.6 | |
| | | | | 0, 3, 4, 5 | 2 | 1.6 | |
| | | | | 0, 3, 5, 6 | 2 | 1.6 | |
| | | | | 0, 3, 6, 7 | 2 | 1.6 | |
| | | | | 0, 3, 6, 8 | 2 | 1.6 | |
| | | | | 0, 1, 3, 4, 5 | 2 | 1.6 | |
| | | | | 0, 1, 3, 5, 6 | 2 | 1.6 | |
| | | | | 0, 1, 4, 5, 6 | 2 | 1.6 | |
| | | | | 0, 1, 4, 5, 8 | 2 | 1.6 | |
| | | | | 0, 1, 4, 6, 7 | 2 | 1.6 | |
| | | | | 0, 2, 3, 4, 8 | 2 | 1.6 | |
| | | | | 0, 2, 3, 5, 6 | 2 | 1.6 | |
| | | | | 0, 2, 4, 6, 8 | 2 | 1.6 | |
| | | | | 0, 3, 4, 5, 6 | 2 | 1.6 | |
| | | | | 0, 3, 4, 7, 8 | 2 | 1.6 | |
| | | | | 0, 1, 2, 3, 6, 9 | 2 | 1.6 | |
| | | | | 0, 1, 3, 4, 5, 6 | 2 | 1.6 | |
| | | | | 0, 5 | 1 | 0.8 | |
| | | | | 0, 3, 5 | 1 | 0.8 | |
| | | | | | | | |

| II 张力效应情况 | | | | | | | |
|---|---------|--------|-------|---------|-------|-----------|-----|
| 效应总幅度: 24.116(-16.616—+7.5) 效应总值: -8.067 平均效应绝对值: 3.403 | | | | 效应样式情况 | | 样式总数: 124 | |
| | | | | | | 样式种数: 88 | |
| 大效应发生情 | | | | 效应值 | | 次数 | 频率% |
| | 效应值 | 和弦序号 | 位置 | | | | |
| 正相 | +11.166 | 68—69 | 0.556 | 0 | 7 | 5.65 | |
| 负相 | -11.666 | 99—100 | 0.806 | -2 | 5 | 4.03 | |
| | | | | -0.5 | 5 | 4.03 | |
| | | | | 2 | 4 | 3.23 | |
| | | | | -4 | 3 | 2.42 | |
| | | | | 1 | 3 | 2.42 | |
| | | | | 4 | 3 | 2.42 | |
| | | | | 4.5 | 3 | 2.42 | |
| | | | | 9.334 | 3 | 2.42 | |
| | | | | -6.866 | 2 | 1.61 | |
| | | | | -3.334 | 2 | 1.61 | |
| | | | | -1 | 2 | 1.61 | |
| | | | | -0.334 | 2 | 1.61 | |
| | | | | -0.166 | 2 | 1.61 | |
| | | | | 0.5 | 2 | 1.61 | |
| | | | | 0.666 | 2 | 1.61 | |
| | | | | 2.4 | 2 | 1.61 | |
| | | | | 3 | 2 | 1.61 | |
| | | | | 3.5 | 2 | 1.61 | |
| | | | | -11.666 | 1 | 0.81 | |
| | | | | | | | |
| 备注: | | | | | | | |

(二) 和声的张力分析

根据第四奏鸣曲第一乐章呈示部和声分析表 I，我们在该呈示部中选择了 125 处和声取样，相同的集合数有 51 个。在九首奏鸣曲中运用和声材料最为丰富。该曲的张力变化幅度从 0.5 到 13.5，达到极限幅度的 86.67%。该呈示部的平均张力值为 8.116，紧张度值比较高。

邻和弦正值的最大差值达到 8.167，发生在和声取样第 51 与 52 之间，位置处于 0.408，符合负相黄金分割律。而负值最大差值也达到 -9.053，发生在和声取样第 99 与 100 之间，位置处于 0.8。

最大静态张力值有一处位于负相黄金分割点上：和声取样 52 由音 B, D, F, \flat A 组成，减减七和弦，静态张力值为：13.5，集合为 D (0, 3, 6, 9)。

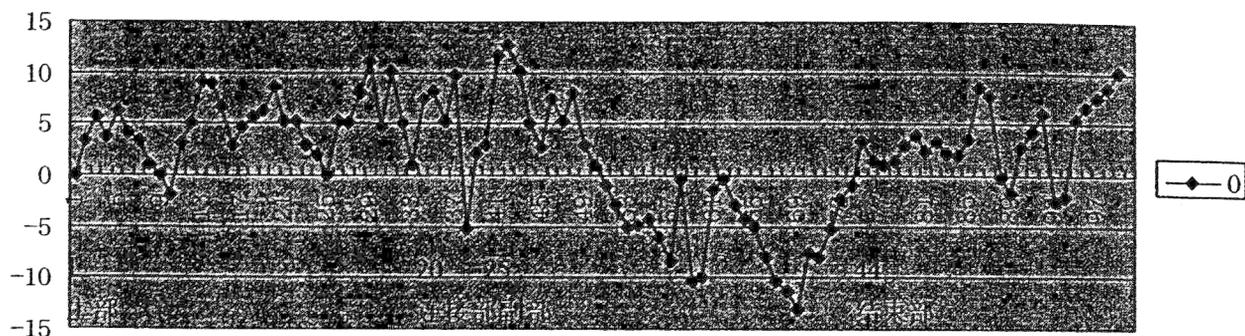
从第四奏鸣曲第一乐章呈示部和声分析表 II 中，我们可以看出效应总幅度为 24.116，紧张度效应值变化幅度不大，最后结束在 -8.067 上。

大效应发生的最大正值为 11.166，发生在和声取样第 68 与 69 之间，位置处于 0.556。而大效应发生情况的负值也达到 11.166，发生在和声取样第 99 与 100 之间，位置处于 0.806。

效应高点和静态张力值相关，一般情况下，正值的效应高点和弦静态张力值也较大。由于该曲效应高点基本上在负值活动，所以正值的效应高点较少，也较小。正值的效应高点有两处，效应高点的值均为：7.5。一处是在 3（第一小节第一拍），静态张力值为 10，取样的集合音为 C, \flat E, \sharp F, G, \sharp F 可以看成是附加小二度音，在乐曲中是 c 小调 I；一处是在 5（第二小节第三拍），静态张力值为 9.6，它们的该取样的集合音为 D, \sharp F, A, \flat E, \sharp G, D (0, 1, 4, 6, 7)。这里其实是由 D, \sharp F, A 构成的大三和弦， \flat E 和 \sharp G 都可以看成经过音。

从表 I 中我们发现该曲在和声材料的运用上非常丰富，但是通过表 II，我们发现该曲的样式种数也非常多，百分比达到 70.97%，在九首奏鸣曲中，也是最高的。所以在这首乐曲中，和声“词汇”和“语汇”都非常丰富而多样。

第五钢琴奏鸣曲第一乐章呈示部张力效应值折线图



(一) 曲式结构与张力效应值的关系

第五钢琴奏鸣曲第一乐章呈示部主部的张力效应值一开始就逐渐提升,它只有一个张力效应值处在负值,另外的张力效应值都是正值。而且在主部中,在8和24两处和声取样中,张力效应值刚好回落到零位音。主部结束在8.166(35)上,在这里主部与连接部构成了浸入关系——主部的结束也是连接部的开始。

连接部比较小,只有5小节,连接部结束在3(40)。进入副部后,张力效应值马上提升到11.666(41),但在42之后,张力效应值又逐渐下降。在达到和声张力效应值的绝对值最大值13之后,又向零位音靠近。随后张力效应值又有所回升,副部结束在1.332(75)上,紧张度趋于缓和。

结束部开始时张力效应值较副部又略有上升,开始于3(76),但是最后达到10.049(96)。从分析的折线图中我们可以发现,与旋律的持续上扬一样,紧张度也随之上扬,进入展开部。

第五钢琴奏鸣曲第一乐章呈示部和声分析图表

| I 和 弦 情 况 | | | | 集合种类情况 | | 和弦总数: 100 | |
|--|-------|-------|------|---------------|----|-----------|--|
| 张力值变化幅度: 12 (0.5—12.5) 达到极限幅度(15.5)的: 80% 平均张力值: 6.468 | | | | 集合种类情况 | | 集合总数: 27 | |
| | | | | | | 集合格序 | |
| 邻和弦 | 差 值 | 和弦序号 | 位置 | | | | |
| 最大张 力值 | | | | | | | |
| 正相 | +10.5 | 58—59 | 0.58 | 0, 1, 4 | 29 | 29 | |
| 负相 | -12 | 59—60 | 0.6 | 0, 3, 4 | 14 | 14 | |
| | | | | 0, 2, 3, 6 | 9 | 9 | |
| | | | | 0, 3, 6 | 6 | 6 | |
| | | | | 0, 1, 4, 5 | 6 | 6 | |
| 静态最大张力值 | | 和弦序号 | 位置 | 0, 1, 3, 4 | 4 | 4 | |
| 12.5 | | 59 | 0.59 | 0, 1 | 3 | 3 | |
| 备注: 静态最大张力值出现在黄金分割点上。 | | | | 0, 2, 3 | 3 | 3 | |
| | | | | 0, 1, 2 | 2 | 2 | |
| | | | | 0, 2, 7 | 2 | 2 | |
| | | | | 0, 1, 4, 8 | 2 | 2 | |
| | | | | 0, 2, 5, 7 | 2 | 2 | |
| | | | | 0, 3, 4, 6 | 2 | 2 | |
| | | | | 0, 4, 5, 6 | 2 | 2 | |
| | | | | 0, 2, 3, 4, 6 | 2 | 2 | |
| | | | | 0, 4 | 1 | 1 | |
| | | | | 0, 3, 4 | 1 | 1 | |
| | | | | 0, 4, 6 | 1 | 1 | |
| | | | | 0, 4, 8 | 1 | 1 | |
| | | | | 0, 1, 2, 6 | 1 | 1 | |
| | | | | 0, 2, 3, 4 | 1 | 1 | |
| | | | | 0, 3, 4, 8 | 1 | 1 | |
| | | | | 0, 3, 7, 8 | 1 | 1 | |
| | | | | 0, 1, 2, 4, 5 | 1 | 1 | |
| | | | | 0, 1, 3, 4, 5 | 1 | 1 | |
| | | | | 0, 1, 3, 4, 6 | 1 | 1 | |
| | | | | 0, 2, 4, 5, 8 | 1 | 1 | |

II 张 力 效 应 情 况

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---------|-------|-------|---------|----------------------|-------|----|----|---------|-------|-------|----|-----|-------|-------|-----|----|---------|
| 效应总幅度: 25.666 (-13—+12.666) 效应总值: 10.049 平均效应绝对值: 2.691 | | | | 效应样式情况 | 样式总数: 99 样式种数: 63 | | | | | | | | | | | | | |
| <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 15%; padding: 5px;">大效应发生情况</td> <td style="width: 15%; padding: 5px;">效应值</td> <td style="width: 15%; padding: 5px;">和弦序号</td> <td style="width: 15%; padding: 5px;">位置</td> </tr> <tr> <td style="padding: 5px;">正相</td> <td style="padding: 5px;">+8.666</td> <td style="padding: 5px;">61—62</td> <td style="padding: 5px;">0.626</td> </tr> <tr> <td style="padding: 5px;">负相</td> <td style="padding: 5px;">-10</td> <td style="padding: 5px;">59—60</td> <td style="padding: 5px;">0.596</td> </tr> </table> | | | | 大效应发生情况 | 效应值 | 和弦序号 | 位置 | 正相 | +8.666 | 61—62 | 0.626 | 负相 | -10 | 59—60 | 0.596 | 效应值 | 次数 | 频率 % |
| 大效应发生情况 | 效应值 | 和弦序号 | 位置 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 正相 | +8.666 | 61—62 | 0.626 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 负相 | -10 | 59—60 | 0.596 | | | | | | | | | | | | | | | |
| <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 5%; padding: 5px;">效应高点情况</td> <td style="width: 15%; padding: 5px;">幅度值</td> <td style="width: 15%; padding: 5px;">和弦序号</td> <td style="width: 15%; padding: 5px;">位置</td> </tr> <tr> <td style="padding: 5px;"></td> <td style="padding: 5px;">+12.666</td> <td style="padding: 5px;">43</td> <td style="padding: 5px;">0.434</td> </tr> <tr> <td style="padding: 5px;"></td> <td style="padding: 5px;">-13</td> <td style="padding: 5px;">70</td> <td style="padding: 5px;">0.707</td> </tr> </table> | | | | 效应高点情况 | 幅度值 | 和弦序号 | 位置 | | +12.666 | 43 | 0.434 | | -13 | 70 | 0.707 | -2 | 10 | 10.10 |
| 效应高点情况 | 幅度值 | 和弦序号 | 位置 | | | | | | | | | | | | | | | |
| | +12.666 | 43 | 0.434 | | | | | | | | | | | | | | | |
| | -13 | 70 | 0.707 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 备注: | | | | +1 | 7 | 7.07 | | | | | | | | | | | | |
| | | | | -2.334 | 4 | 4.04 | | | | | | | | | | | | |
| | | | | -1.666 | 3 | 3.03 | | | | | | | | | | | | |
| | | | | -1 | 3 | 3.03 | | | | | | | | | | | | |
| | | | | +0.334 | 3 | 3.03 | | | | | | | | | | | | |
| | | | | +5.166 | 3 | 3.03 | | | | | | | | | | | | |
| | | | | -5.166 | 2 | 2.02 | | | | | | | | | | | | |
| | | | | -2.5 | 2 | 2.02 | | | | | | | | | | | | |
| | | | | -2.332 | 2 | 2.02 | | | | | | | | | | | | |
| | | | | -0.166 | 2 | 2.02 | | | | | | | | | | | | |
| | | | | +0 | 2 | 2.02 | | | | | | | | | | | | |
| | | | | +0.332 | 2 | 2.02 | | | | | | | | | | | | |
| | | | | +0.5 | 2 | 2.02 | | | | | | | | | | | | |
| | | | | +1.5 | 2 | 2.02 | | | | | | | | | | | | |
| | | | | +2.5 | 2 | 2.02 | | | | | | | | | | | | |
| | | | | +3 | 2 | 2.02 | | | | | | | | | | | | |
| | | | | +8.666 | 2 | 2.02 | | | | | | | | | | | | |
| | | | | -10 | 1 | 1.01 | | | | | | | | | | | | |
| | | | | -8.5 | 1 | 1.01 | | | | | | | | | | | | |
| | | | | -7.934 | 1 | 1.01 | | | | | | | | | | | | |
| | | | | -6.5 | 1 | 1.01 | | | | | | | | | | | | |
| | | | | -4.916 | 1 | 1.01 | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

（二）和声的张力分析

根据第五奏鸣曲第一乐章呈示部和声分析表 I，我们在该呈示部中选择了 100 处和声进行取样，相同的集合数有 27 个，和声材料并不多，但是有多种变化。该曲的张力变化幅度为 12，达到极限幅度的 80%，在九首奏鸣曲中幅度变化基本上处于中间值。但该呈示部的平均张力值为 6.468，在九首奏鸣曲中平均值最小。

邻和弦正值的最大差值达到 10.5，发生在和声取样第 58 与 59 之间，位置处于 0.58，与静态和声张力最大值在同一位置，符合正相黄金分割律。而负值最大差值也达到-12，发生在和声取样第 59 与 60 之间，位置处于 0.6。

最大静态张力值位于正相黄金分割点上：和声取样 59 是由两组半音而构成的和弦， $\sharp D, B, C, E$ 。由于小二度本身音响的刺耳，所以静态张力值较高：12.5，集合为 $\sharp D(0,3,7,8)$ 。它在呈示部中的位置为 0.59，在 5%左右的误差内。

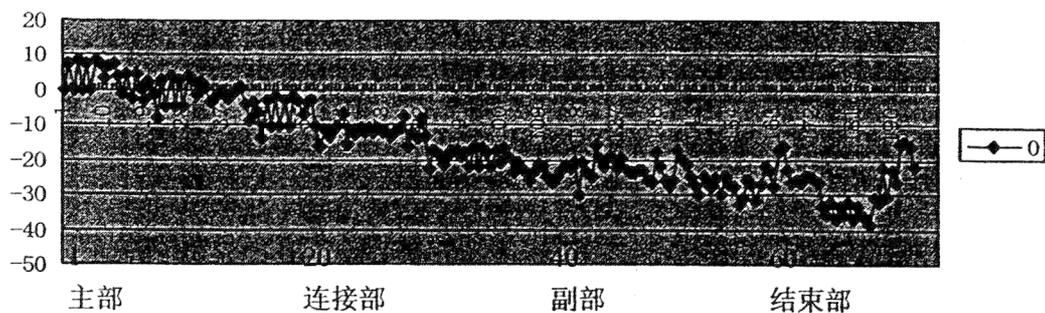
从第五奏鸣曲第一乐章呈示部和声分析表 II 中，我们可以看出效应总幅度超过 25，张力效应值变化幅度较小，最后结束在 10.049 上。

大效应发生的最大正值在 8.666，发生在和声取样第 61 与 62 之间，位置处于 0.626。而大效应发生情况的负值也达到-10，发生在和声取样第 59 与 60 之间，位置处于 0.596。

效应高点和静态张力值相关，一般情况下，正值的效应高点处，静态张力值也较大。这里 43（二十六小节第一拍）的效应高点为 12.666，为该呈示部的正值最大值。由和弦序号第 43 构成的两组半音和弦—— $\sharp D, E, F, \flat G$ ，静态张力值为：10.5，集合为 $E(0, 2, 5, 7)$ ，刚好在呈示部的负相黄金分割点上。

从表 I 中我们发现该曲在集合格序种类上运用不多，但是通过表 II，我们发现该曲的和弦样式总数的百分比为 63.64%。仍然选择了变化较多，和声材料较少的手法。

第六钢琴奏鸣曲第一乐章呈示部张力效应值折线图



(一) 曲式结构与张力效应值的关系

第六钢琴奏鸣曲第一乐章呈示部从折线图来看,张力效应值整体呈持续下降的趋势,之所以出现这种情况的原因是因为它调性变化频繁,离开开始的稳定状态就越来越远,但是在结束部仍有少许回归。

从该呈示部的整个折线图来看,乐曲经常在很长一段时间处于一个相对稳定的状态(如66到77,84到93等地方)。但是在某一个局部张力效应值的变化幅度也较大,经常从零位音一下到达较高的张力值。另外,该呈示部虽然张力效应值大多位于负值,但是它的绝对值较大,说明该呈示部的紧张度仍然很高,我们从主部结束在-15.878(59)就可以发现,其紧张度离开开始的稳定状态而言已经比较远了。

在连接部中,紧张度进一步得到加强——张力值为-21.612(110)。副部开始后紧张度一度相对平稳,在接近副部结束的地方,张力效应值又略有上升,副部结束在-17.312(164),这里的张力效应值相对整个副部来讲比较小。

结束部开始的时候,张力效应值向零位音靠近,但在结束的时候又有所远离,停留在-22.096上,加强呈示部与展开部之间的联系。

第六钢琴奏鸣曲第一乐章呈示部和声分析图表

| I 和弦情况 | | | | | | |
|--|--------|-------|----------|---------------------|-------|-------|
| 张力值变化幅度: 14.375 (0.25—14.625) 达到极限幅度(15.5)的: 95.83% 平均张力值: 8.494 | | | 集合种类情况 | 和弦总数: 195 | | |
| | | | 集合总数: 64 | | | |
| | | | 集合格序 | 次数 | 频率 % | |
| 邻和弦最大张力值 | 差值 | 和弦序号 | 位置 | | | |
| 正相 | +12.35 | 22—23 | 0.113 | 0, 4 | 18 | 9.23 |
| | +12.35 | 46—47 | 0.236 | 0, 1, 4 | 17 | 8.72 |
| 负相 | -9.19 | 4—5 | 0.021 | 0, 2, 3, 5, 7, 8, 9 | 9 | 4.62 |
| | -9.19 | 25—26 | 0.128 | 0, 1, 3, 4 | 6 | 3.08 |
| | -9.19 | 49—50 | 0.251 | 0, 3, 4, 5, 7 | 6 | 3.08 |
| 静态最大张力值 | | 和弦序号 | 位置 | 0, 3, 5, 7, 8 | 6 | 3.08 |
| 14.625 | | 40 | 0.205 | 0, 1, 4, 7 | 5 | 2.56 |
| 14.625 | | 37 | 0.190 | 0, 3, 4, 7 | 5 | 2.56 |
| 备注: 静态最大张立值出现较早。 | | | | 0, 1, 2, 3, 4 | 5 | 2.56 |
| | | | | 0, 2 | 4 | 2.05 |
| | | | | 0, 3, 4 | 3 | 1.54 |
| | | | | 0, 3, 7 | 3 | 1.54 |
| | | | | 0, 4, 6 | 3 | 1.54 |
| | | | | 0, 1, 4, 5 | 3 | 1.54 |
| | | | | 0, 1, 4, 6 | 3 | 1.54 |
| | | | | 0, 2, 3, 6 | 3 | 1.54 |
| | | | | 0, 1, 2, 4, 7 | 3 | 1.54 |
| | | | | 0, 1, 4, 7, 8 | 3 | 1.54 |
| | | | | 0, 1, 3 | 2 | 1.03 |
| | | | | 0, 2, 4 | 2 | 1.03 |
| | | | | 0, 3, 4, 5 | 2 | 1.03 |
| | | | | 0, 3, 6, 7 | 2 | 1.03 |
| | | | | 0, 1, 2, 5, 7 | 2 | 1.03 |
| | | | | 0, 2, 4, 5, 6, 9 | 2 | 1.03 |
| | | | | 0, 2, 4, 5, 6, 8, 9 | 2 | 1.03 |
| | | | | 0, 1, 2 | 2 | 1.03 |
| | | | | 0, 2, 6 | 2 | 1.03 |
| | | | | 0, 3, 6 | 2 | 1.03 |
| 0, 1, 2, 5 | 2 | 1.03 | | | | |
| 0, 1, 3, 7 | 2 | 1.03 | | | | |
| 0, 1, 4, 8 | 2 | 1.03 | | | | |
| 0, 2, 4, 6 | 2 | 1.03 | | | | |
| 0, 2, 6, 8 | 2 | 1.03 | | | | |
| | | | | | | |

II 张 力 效 应 情 况

| 效应总幅度: 46.992 (-38.612—8.38) 效应总值: -22.096 平均效应绝对值: 3.778 | | | | 效应样式情况 | | 样式总数: 194 样式种数: 99 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---------|-------|-------|---------|-----|-----------------------|----|------|--------|-------|-------|---|--------|-------|---------|-----|--------|---|-------|---|----|------|----|------|------|--------|---|------|-------|---|------|----|---|------|----|---|------|------|---|------|----|---|------|----|---|------|-------|---|------|-------|---|------|----|---|------|--------|---|------|--------|---|------|----|---|------|------|---|------|--------|---|------|--------|---|------|--------|---|------|------|---|------|----|---|------|--------|---|------|----|---|------|------|---|------|-------|---|------|----|---|------|------|---|------|--------|---|------|------|---|------|------|---|------|------|---|------|--------|---|------|--------|---|------|----|---|------|-------|-------|-------|
| <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th style="width: 15%;">大效应发生情况</th> <th style="width: 15%;">效应值</th> <th style="width: 15%;">和弦序号</th> <th style="width: 15%;">位置</th> </tr> <tr> <td>正相</td> <td>+10.95</td> <td>22—23</td> <td>0.113</td> </tr> <tr> <td></td> <td>+10.95</td> <td>46—47</td> <td>0.237</td> </tr> <tr> <td>负相</td> <td>-9.332</td> <td>83—84</td> <td>0.428</td> </tr> </table> | | | | 大效应发生情况 | 效应值 | 和弦序号 | 位置 | 正相 | +10.95 | 22—23 | 0.113 | | +10.95 | 46—47 | 0.237 | 负相 | -9.332 | 83—84 | 0.428 | <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th style="width: 60%;">效应值</th> <th style="width: 10%;">次数</th> <th style="width: 30%;">频率 %</th> </tr> </table> | | 效应值 | 次数 | 频率 % | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 大效应发生情况 | 效应值 | 和弦序号 | 位置 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 正相 | +10.95 | 22—23 | 0.113 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | +10.95 | 46—47 | 0.237 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 负相 | -9.332 | 83—84 | 0.428 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 效应值 | 次数 | 频率 % | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th rowspan="3" style="width: 5%;">效应高点情况</th> <th style="width: 15%;">幅度值</th> <th style="width: 15%;">和弦序号</th> <th style="width: 15%;">位置</th> </tr> <tr> <td>8.38</td> <td>4</td> <td>0.021</td> </tr> <tr> <td>8.38</td> <td>8</td> <td>0.041</td> </tr> <tr> <td></td> <td>-38.612</td> <td>185</td> <td>0.954</td> </tr> </table> | | | | 效应高点情况 | 幅度值 | 和弦序号 | 位置 | 8.38 | 4 | 0.021 | 8.38 | 8 | 0.041 | | -38.612 | 185 | 0.954 | <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 60%;">-1</td> <td style="width: 10%;">12</td> <td style="width: 30%;">6.19</td> </tr> <tr> <td>-2</td> <td>11</td> <td>5.67</td> </tr> <tr> <td>-7.266</td> <td>6</td> <td>3.09</td> </tr> <tr> <td>+8.38</td> <td>6</td> <td>3.09</td> </tr> <tr> <td>+0</td> <td>5</td> <td>2.58</td> </tr> <tr> <td>+1</td> <td>5</td> <td>2.58</td> </tr> <tr> <td>-3.5</td> <td>4</td> <td>2.06</td> </tr> <tr> <td>-3</td> <td>4</td> <td>2.06</td> </tr> <tr> <td>+5</td> <td>4</td> <td>2.06</td> </tr> <tr> <td>7.266</td> <td>4</td> <td>2.06</td> </tr> <tr> <td>-8.38</td> <td>3</td> <td>1.55</td> </tr> <tr> <td>-5</td> <td>3</td> <td>1.55</td> </tr> <tr> <td>-4.666</td> <td>3</td> <td>1.55</td> </tr> <tr> <td>-4.166</td> <td>3</td> <td>1.55</td> </tr> <tr> <td>-4</td> <td>3</td> <td>1.55</td> </tr> <tr> <td>-2.9</td> <td>3</td> <td>1.55</td> </tr> <tr> <td>-1.048</td> <td>3</td> <td>1.55</td> </tr> <tr> <td>-0.666</td> <td>3</td> <td>1.55</td> </tr> <tr> <td>+1.286</td> <td>3</td> <td>1.55</td> </tr> <tr> <td>+1.4</td> <td>3</td> <td>1.55</td> </tr> <tr> <td>+2</td> <td>3</td> <td>1.55</td> </tr> <tr> <td>+3.643</td> <td>3</td> <td>1.55</td> </tr> <tr> <td>+4</td> <td>3</td> <td>1.55</td> </tr> <tr> <td>-8.6</td> <td>2</td> <td>1.03</td> </tr> <tr> <td>-7.25</td> <td>2</td> <td>1.03</td> </tr> <tr> <td>-7</td> <td>2</td> <td>1.03</td> </tr> <tr> <td>-5.5</td> <td>2</td> <td>1.03</td> </tr> <tr> <td>-4.334</td> <td>2</td> <td>1.03</td> </tr> <tr> <td>-2.5</td> <td>2</td> <td>1.03</td> </tr> <tr> <td>-1.4</td> <td>2</td> <td>1.03</td> </tr> <tr> <td>-0.4</td> <td>2</td> <td>1.03</td> </tr> <tr> <td>+0.343</td> <td>2</td> <td>1.03</td> </tr> <tr> <td>+1.036</td> <td>2</td> <td>1.03</td> </tr> <tr> <td>+3</td> <td>2</td> <td>1.03</td> </tr> <tr> <td>.....</td> <td>.....</td> <td>.....</td> </tr> </table> | | -1 | 12 | 6.19 | -2 | 11 | 5.67 | -7.266 | 6 | 3.09 | +8.38 | 6 | 3.09 | +0 | 5 | 2.58 | +1 | 5 | 2.58 | -3.5 | 4 | 2.06 | -3 | 4 | 2.06 | +5 | 4 | 2.06 | 7.266 | 4 | 2.06 | -8.38 | 3 | 1.55 | -5 | 3 | 1.55 | -4.666 | 3 | 1.55 | -4.166 | 3 | 1.55 | -4 | 3 | 1.55 | -2.9 | 3 | 1.55 | -1.048 | 3 | 1.55 | -0.666 | 3 | 1.55 | +1.286 | 3 | 1.55 | +1.4 | 3 | 1.55 | +2 | 3 | 1.55 | +3.643 | 3 | 1.55 | +4 | 3 | 1.55 | -8.6 | 2 | 1.03 | -7.25 | 2 | 1.03 | -7 | 2 | 1.03 | -5.5 | 2 | 1.03 | -4.334 | 2 | 1.03 | -2.5 | 2 | 1.03 | -1.4 | 2 | 1.03 | -0.4 | 2 | 1.03 | +0.343 | 2 | 1.03 | +1.036 | 2 | 1.03 | +3 | 2 | 1.03 | | | |
| 效应高点情况 | 幅度值 | 和弦序号 | 位置 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 8.38 | 4 | 0.021 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 8.38 | 8 | 0.041 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | -38.612 | 185 | 0.954 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| -1 | 12 | 6.19 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| -2 | 11 | 5.67 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| -7.266 | 6 | 3.09 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| +8.38 | 6 | 3.09 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| +0 | 5 | 2.58 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| +1 | 5 | 2.58 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| -3.5 | 4 | 2.06 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| -3 | 4 | 2.06 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| +5 | 4 | 2.06 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 7.266 | 4 | 2.06 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| -8.38 | 3 | 1.55 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| -5 | 3 | 1.55 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| -4.666 | 3 | 1.55 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| -4.166 | 3 | 1.55 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| -4 | 3 | 1.55 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| -2.9 | 3 | 1.55 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| -1.048 | 3 | 1.55 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| -0.666 | 3 | 1.55 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| +1.286 | 3 | 1.55 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| +1.4 | 3 | 1.55 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| +2 | 3 | 1.55 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| +3.643 | 3 | 1.55 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| +4 | 3 | 1.55 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| -8.6 | 2 | 1.03 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| -7.25 | 2 | 1.03 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| -7 | 2 | 1.03 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| -5.5 | 2 | 1.03 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| -4.334 | 2 | 1.03 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| -2.5 | 2 | 1.03 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| -1.4 | 2 | 1.03 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| -0.4 | 2 | 1.03 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| +0.343 | 2 | 1.03 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| +1.036 | 2 | 1.03 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| +3 | 2 | 1.03 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 备注: 负值的大效应发生情况在负相黄金分割处。 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

（二）和声的张力分析

根据第六奏鸣曲第一乐章呈示部和声分析表 I，我们在该呈示部中选择了 195 处和声取样，相同的集合数有 64 个。该曲的张力变化幅度 14.375，达到极限幅度的 95.84%，是九首奏鸣曲中幅度变化最大的。而且该呈示部的平均张力值为 8.494，也是九首奏鸣曲中最大的平均值。

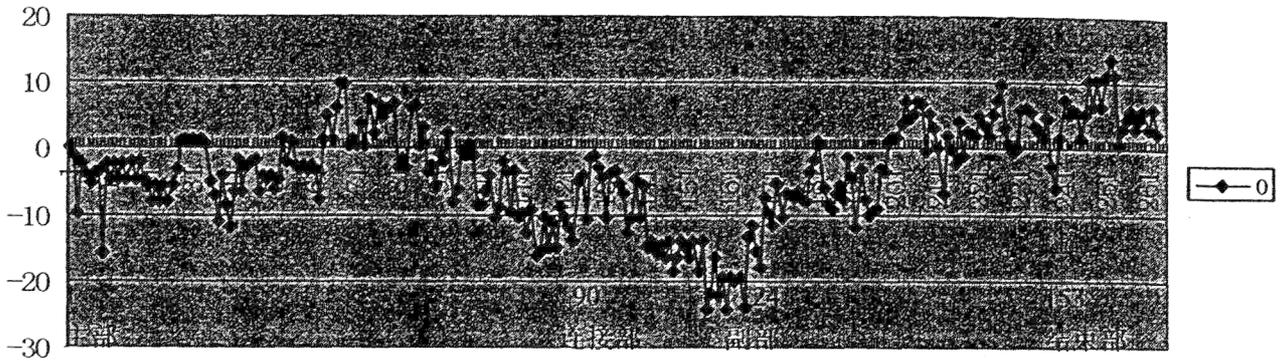
邻和弦正值的最大差值达到 12.35，发生在和声取样第 22 与 23 之间和 46 与 47 之间，位置分别处于 0.113 和 0.236。而负值的最大差值-9.19 出现在三处，发生在和声取样第 4 与 5 之间、25 与 26 之间和 49 与 50 之间，位置处于 0.021、0.128 和 0.251，这些值均出现比较早。

从第六奏鸣曲第一乐章呈示部和声分析表 II 中，我们可以发现呈示部结束在 -22.096 上，这个值是九首奏鸣曲中离零位音最远的结束值，效应总幅度超过 46，紧张度效应值变化幅度在九首奏鸣曲中也是最大的。

大效应发生的最大正值有两处都达到 10.95，和声取样第 22 与 23 之间和 46 与 47 之间，位置处于 0.113 和 0.237。而大效应发生情况的负值也达到-9.332，发生在和声取样第 83 与 84 之间，位置处于 0.428。

效应高点和静态张力值相关，一般情况下，正值的效应最高点处，和弦静态张力值也较大。这里 4（第一小节第 4 拍）和 8（第二小节第四拍）的效应高点一致为 8.38，静态张力值均为 13.857。两处和声取样的音也一样：A, C, $\sharp C$, E, $\sharp D$, D, $\flat B$ ，集合 $\sharp C$ (0, 2, 3, 5, 7, 8, 9)。其实这里是一个大三和弦由 A, $\sharp C$, E 构成，由于附加了 $\sharp D$ 音，增加了和弦的紧张度。

第七钢琴奏鸣曲第一乐章呈示部张力效应值折线图



(一) 曲式结构与张力效应值的关系

第七钢琴奏鸣曲第一乐章呈示部主部主题的第一个和弦张力效应值就较高，静态张力值达到 13.333，由于起点较高，因而导致这首乐曲的张力效应值大部分都停留在负值上，主部结束在单音 A 上，张力效应值为-10.784 (127)。

连接部开始时张力效应值为-1.368 (128)，紧张度上升，但之后张力效应值的绝对值增大，连接部结束在-15.518 (168)。

副部开始于-17.934，之后张力效应值向零位音靠近，直到回到正值。但在副部结束的时候又略有下降，张力效应值为-2.574 (239)，处于相对稳定状态。

结束部开始于-5.908 (240)，在这个张力效应值之后，数据都为正值，结束部最后结束在 2.626 (264)，仍然处于相对稳定状态。

第七钢琴奏鸣曲第一乐章呈示部和声分析图表

| I 和弦情况 | | | | | | |
|--|---------|---------|-------|------------------|-----------|----------|
| 张力值变化幅度: 13.083 (0.25—13.333) 达到极限幅度(15.5)的: 87.22% 平均张力值: 8.106 | | | | 集合种类情况 | 和弦总数: 263 | |
| | | | | | | 集合总数: 93 |
| | | | | 集合格序 | 次数 | 频率 % |
| 邻和弦 | 差值 | 和弦序号 | 位置 | | | |
| 最大张力值 | | | | 0, 3, 4 | 12 | 4.56 |
| 正相 | +12.15 | 9—10 | 0.034 | 0, 1, 3 | 10 | 3.80 |
| 负相 | -10.417 | 253—254 | 0.966 | 0, 1, 3, 4 | 10 | 3.80 |
| 静态最大张力值 | | 和弦序号 | 位置 | 0, 1, 4 | 9 | 3.42 |
| 13.333 | | 1 | 开始和弦 | 0, 1 | 8 | 3.04 |
| | | | | 0, 1, 6 | 7 | 2.66 |
| | | | | 0, 2, 6 | 7 | 2.66 |
| | | | | 0, 4, 6 | 7 | 2.66 |
| | | | | 0, 2, 3, 6 | 7 | 2.66 |
| | | | | 0, 2, 3, 6, 7 | 7 | 2.66 |
| | | | | 0, 3, 4, 7, 8 | 7 | 2.66 |
| | | | | 0, 4 | 6 | 2.28 |
| | | | | 0, 2, 3, 4 | 6 | 2.28 |
| | | | | 0, 1, 5 | 5 | 1.90 |
| | | | | 0, 1, 2 | 4 | 1.52 |
| | | | | 0, 2, 5 | 4 | 1.52 |
| | | | | 0, 4, 5 | 4 | 1.52 |
| | | | | 0, 4, 7 | 4 | 1.52 |
| | | | | 0, 1, 4, 6 | 4 | 1.52 |
| | | | | 0, 1, 4, 7 | 4 | 1.52 |
| | | | | 0, 3, 4, 8 | 4 | 1.52 |
| | | | | 0, 1, 2, 5, 7, 9 | 4 | 1.52 |
| | | | | 0, 3 | 3 | 1.14 |
| | | | | 0, 3, 6 | 3 | 1.14 |
| | | | | 0, 4, 8 | 3 | 1.14 |
| | | | | 0, 1, 2, 6 | 3 | 1.14 |
| | | | | 0, 2, 4, 8 | 3 | 1.14 |
| | | | | 0, 2, 5, 6 | 3 | 1.14 |
| | | | | 0, 3, 4, 6 | 3 | 1.14 |
| | | | | 0, 3, 5, 7 | 3 | 1.14 |
| | | | | 0, 4, 5, 7 | 3 | 1.14 |
| | | | | 0, 1, 4, 6, 7 | 3 | 1.14 |
| | | | | | | |

| II 张力效应情况 | | | | | | |
|--------------------------------|---------|-------|-------|--------|-----------|------|
| 效应总幅度: 37.877 (-24.334—13.543) | | | | 效应样式情况 | 样式总数: 262 | |
| 效应总值: 2.626 | | | | | 样式种数: 143 | |
| 平均效应绝对值: 3.353 | | | | 效应值 | 次数 | 频率 % |
| 大效应发生情 | 效应值 | 和弦序号 | 位置 | | | |
| 正相 | +13.55 | 9—10 | 0.038 | -2 | 11 | 4.20 |
| 负相 | -12.35 | 8—9 | 0.031 | +0.334 | 7 | 2.67 |
| 效应高点情况 | 幅度值 | 和弦序号 | 位置 | +1.334 | 6 | 2.29 |
| | +13.543 | 252 | 0.962 | -2.5 | 5 | 1.91 |
| | -24.334 | 155 | 0.592 | +2 | 5 | 1.91 |
| 备注: 在正相黄金分割位置出现负值的效应高点。 | | | | +2.6 | 5 | 1.91 |
| | | | | -6 | 4 | 1.53 |
| | | | | -4.666 | 4 | 1.53 |
| | | | | -2.6 | 4 | 1.53 |
| | | | | -1 | 4 | 1.53 |
| | | | | -0.5 | 4 | 1.53 |
| | | | | +0.666 | 4 | 1.53 |
| | | | | +12.5 | 4 | 1.53 |
| | | | | +4 | 4 | 1.53 |
| | | | | -4 | 3 | 1.15 |
| | | | | -3.75 | 3 | 1.15 |
| | | | | -1.5 | 3 | 1.15 |
| | | | | -1.166 | 3 | 1.15 |
| | | | | -0.7 | 3 | 1.15 |
| | | | | -0.666 | 3 | 1.15 |
| | | | | -0.534 | 3 | 1.15 |
| | | | | +2.416 | 3 | 1.15 |
| | | | | +2.666 | 3 | 1.15 |
| | | | | +3 | 3 | 1.15 |
| | | | | +6.5 | 3 | 1.15 |
| +7 | 3 | 1.15 | | | | |
| +9 | 3 | 1.15 | | | | |
| -9.5 | 2 | 0.76 | | | | |
| -6.916 | 2 | 0.76 | | | | |
| -6.8 | 2 | 0.76 | | | | |
| -5.334 | 2 | 0.76 | | | | |
| -4.668 | 2 | 0.76 | | | | |
| -4.5 | 2 | 0.76 | | | | |
| -3.5 | 2 | 0.76 | | | | |
| | | | | | | |

（二）和声的张力分析

根据第七奏鸣曲第一乐章呈示部和声分析表 I，我们在该呈示部中选择了 263 处和声取样，相同的集合数有 93 个。张力变化幅度从 0.25 到 13.333，达到极限幅度的 87.22%，在九首奏鸣曲的呈示部中幅度变化较大。但该呈示部的平均张力值为 8.106，基本上处在中间位置。

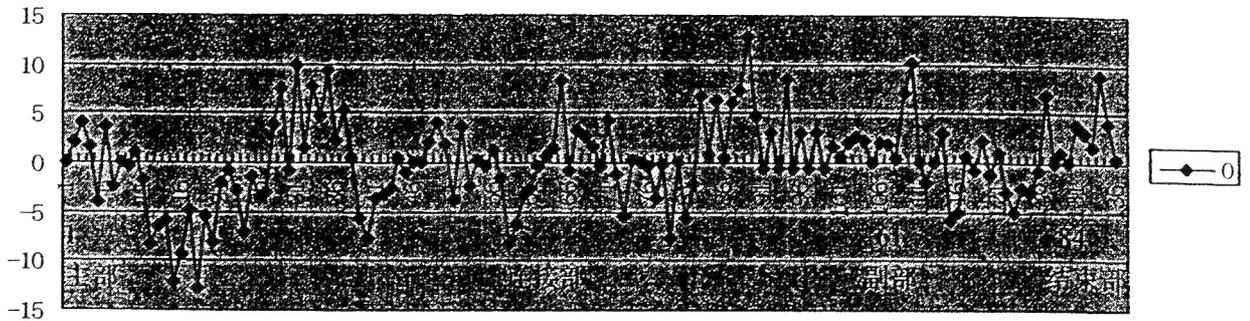
邻和弦正值的最大差值达到 12.15，发生在和声取样第 9 与 10 之间，位置处于 0.034。而负值最大差值也达到 -10.417，发生在和声取样第 253 与 254 之间，位置处于 0.966，接近呈示部结尾。

从第七奏鸣曲第一乐章呈示部和声分析表 II 中，我们可以看出，虽然呈示部最后结束在 2.626 上，但其效应总幅度超过 37，张力效应值的变化幅度也较大。

大效应发生的最大正值为 13.55，发生在和声取样第 9 与 10 之间，位置处于 0.038。而大效应发生情况的负值也达到 -12.35，发生在和声取样第 8 与 9 之间，位置处于 0.031。

在该呈示部中，张力效应值 252（163 小节第一拍）的效应高点为 13.543，静态张力值为 12。该和声取样是一个完全对称和弦，集合为 A (0, 4, 8)，音为 F, A, \sharp C，可以看成是升五音的大三和弦。

第八钢琴奏鸣曲第一乐章呈示部张力效应值折线图



(一) 曲式结构与张力效应值的关系

第八钢琴奏鸣曲第一乐章呈示部从折线图中看，整个呈示部正值负值基本上均匀分布。主部主题一开始紧张度就上升，张力效应值经过了几次上升下降之后，结束在-6.34（59）。

连接部开始于-3.34（60），这个连接部较大，有26小节，结束于0.377（108），紧张度较稳定。

副部主题开始于7.043（109），很明显紧张度提升，副部规模不大，张力效应值的变化幅度也不大，副部结束在2.943（130），仍在零位音附近。这里，结束部开始又是副部的结束。

结束部最后结束在0.477（134）上，带有很强烈的终止感，在他的三首战争奏鸣曲（六、七、八）中，只有这首奏鸣曲呈示部用终止线结束，而且张力效应值又如此之小，非常特殊。

第八钢琴奏鸣曲第一乐章呈示部和声分析图表

| I 和弦情况 | | | |
|---|--------|---------|---------------------------------|
| 张力值变化幅度: 13.25 (0.25—13.5) 达到极限幅度(15.5)的: 88.33% 平均张力值: 7.605 | | | 集合种类情况 和弦总数: 137 集合总数: 36 |
| 邻和弦最大张力值 | 差值 | 和弦序号 | 位置 |
| 正相 | +7.333 | 66—67 | 0.482 |
| 负相 | -8.5 | 109—110 | 0.803 |
| 静态最大张力值 | 和弦序号 | 位置 | |
| 13.5 | 120 | 0.876 | |
| 13.5 | 110 | 0.803 | |
| 13.5 | 71 | 0.518 | |
| 集合格序 | | | |
| | | | 次数 |
| | | | 频率 % |
| | | | 0, 1, 4 |
| | | | 21 |
| | | | 15.33 |
| | | | 0, 1, 4, 5 |
| | | | 18 |
| | | | 13.14 |
| | | | 0, 1, 3, 4 |
| | | | 12 |
| | | | 8.76 |
| | | | 0, 3, 4 |
| | | | 11 |
| | | | 8.03 |
| | | | 0, 2, 3, 6 |
| | | | 10 |
| | | | 7.30 |
| | | | 0, 3, 6 |
| | | | 9 |
| | | | 6.57 |
| | | | 0, 1, 4, 8 |
| | | | 5 |
| | | | 3.65 |
| | | | 0, 1, 2, 4, 5 |
| | | | 4 |
| | | | 2.93 |
| | | | 0, 4 |
| | | | 3 |
| | | | 2.19 |
| | | | 0, 1, 2, 5 |
| | | | 3 |
| | | | 2.19 |
| | | | 0, 2, 4, 8 |
| | | | 3 |
| | | | 2.19 |
| | | | 0, 3, 4, 6 |
| | | | 3 |
| | | | 2.19 |
| | | | 0, 3, 6, 9 |
| | | | 3 |
| | | | 2.19 |
| | | | 0, 4, 5, 8 |
| | | | 3 |
| | | | 2.19 |
| | | | 0, 2, 3, 6, 9 |
| | | | 3 |
| | | | 2.19 |
| | | | 0, 4, 5 |
| | | | 2 |
| | | | 1.46 |
| | | | 0, 1, 3, 5 |
| | | | 2 |
| | | | 1.46 |
| | | | 0, 2, 4, 5 |
| | | | 2 |
| | | | 1.46 |
| | | | 0, 3, 4, 8 |
| | | | 2 |
| | | | 1.46 |
| | | | 0, 3, 6, 7 |
| | | | 2 |
| | | | 1.46 |
| | | | 0, 1, 3 |
| | | | 1 |
| | | | 0.73 |
| | | | 0, 2, 6 |
| | | | 1 |
| | | | 0.73 |
| | | | 0, 3, 6 |
| | | | 1 |
| | | | 0.73 |
| | | | 0, 2, 3, 5 |
| | | | 1 |
| | | | 0.73 |
| | | | 0, 3, 4, 7 |
| | | | 1 |
| | | | 0.73 |
| | | | 0, 3, 5, 6 |
| | | | 1 |
| | | | 0.73 |
| | | | 0, 1, 3, 4, 6 |
| | | | 1 |
| | | | 0.73 |
| | | | 0, 2, 3, 4, 6 |
| | | | 1 |
| | | | 0.73 |
| | | | 0, 2, 3, 5, 6 |
| | | | 1 |
| | | | 0.73 |
| | | | 0, 3, 4, 5, 6 |
| | | | 1 |
| | | | 0.73 |
| | | | 0, 3, 4, 6, 8 |
| | | | 1 |
| | | | 0.73 |
| | | | 0, 3, 4, 7, 8 |
| | | | 1 |
| | | | 0.73 |
| | | | |
| | | | |
| | | | |

II 张力效应情况

| | | | | | | | |
|--|---------|---------|-------|--------|----|-----------|--|
| 效应总幅度: 25.444 (-12.734—12.71) 效应总值: 0.477 平均效应绝对值: 3.733 | | | | 效应样式情况 | | 样式总数: 136 | |
| | | | | | | 样式种数: 82 | |
| 大效应发生情况 | | | | 效应值 | 次数 | 频率% | |
| 正相 | +9.166 | 93—94 | 0.691 | +2 | 8 | 5.88 | |
| 负相 | -10 | 110—111 | 0.809 | -2 | 6 | 4.41 | |
| 效应高点情况 | 幅度值 | 和弦序号 | 位置 | +3 | 6 | 4.41 | |
| | +12.71 | 89 | 0.654 | -6 | 4 | 2.94 | |
| | -12.734 | 18 | 0.132 | -3.666 | 4 | 2.94 | |
| 备注: 正值的效应高点符合正相黄金分割。 | | | | -2.334 | 3 | 2.21 | |
| | | | | -1 | 3 | 2.21 | |
| | | | | -0.5 | 3 | 2.21 | |
| | | | | +0 | 3 | 2.21 | |
| | | | | +2.5 | 3 | 2.21 | |
| | | | | +3.5 | 3 | 2.21 | |
| | | | | +3.666 | 3 | 2.21 | |
| | | | | -9.166 | 2 | 2.21 | |
| | | | | -7 | 2 | 1.47 | |
| | | | | -6.666 | 2 | 1.47 | |
| | | | | -5.666 | 2 | 1.47 | |
| | | | | -4.166 | 2 | 1.47 | |
| | | | | -2.834 | 2 | 1.47 | |
| | | | | +0.5 | 2 | 1.47 | |
| | | | | +1 | 2 | 1.47 | |
| | | | | +1.5 | 2 | 1.47 | |
| | | | | +2.2 | 2 | 1.47 | |
| | | | | +4 | 2 | 1.47 | |
| | | | | +4.5 | 2 | 1.47 | |
| | | | | +5.5 | 2 | 1.47 | |
| +5.666 | 2 | 1.47 | | | | | |
| +7 | 2 | 1.47 | | | | | |
| +7.334 | 2 | 1.47 | | | | | |
| +7.6 | 2 | 1.47 | | | | | |
| +9.166 | 2 | 1.47 | | | | | |
| -10 | 2 | 1.47 | | | | | |
| | 1 | 0.74 | | | | | |
| | | | | | | | |

（二）和声的张力分析

根据第八奏鸣曲第一乐章呈示部和声分析表 I，我们在该呈示部中选择了 137 处和声取样，相同的集合数有 36 个，说明该呈示部和声材料运用并不多。

该曲的张力变化幅度从 0.25 到 13.5，达到极限幅度的 88.33%，但该呈示部的平均张力值为 7.605，紧张度并不高。

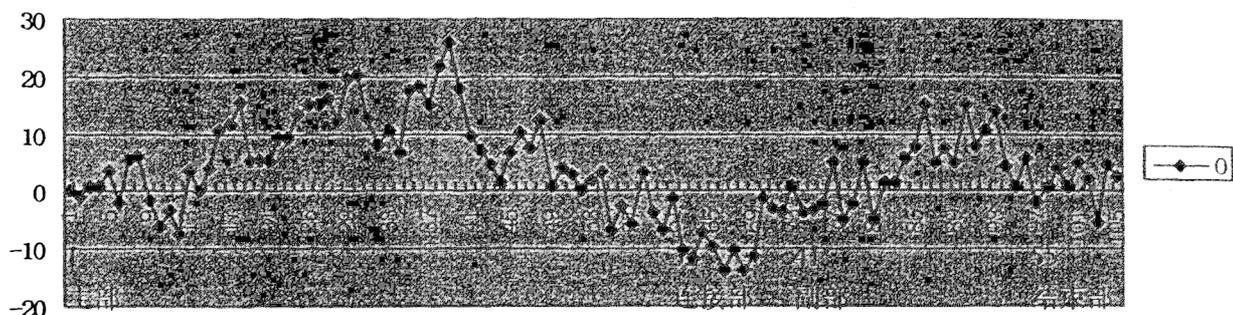
邻和弦正值的最大差值达到 7.333，发生在和声取样第 66 与 67 之间，位置处于 0.482。而负值最大差值为 -8.5，发生在和声取样第 109 与 110 之间，位置处于 0.803。

从第八奏鸣曲第一乐章呈示部和声分析表 II 中，我们可以看出效应总幅度超过 25，张力效应值的变化幅度不大，最后结束在紧张度非常小的 0.477 上。

大效应发生的最大正值在 9.166，发生在和声取样第 93 与 94 之间，位置处于 0.691。而大效应发生情况的负值也达到 -10，发生在和声取样第 110 与 111 之间，位置处于 0.809。

从表 I 中我们发现该曲在集合格序种类上运用不多，但是通过表 II，我们发现该曲的样式种数的百分比为 60.29%。“语汇”比“词汇”更丰富一些。这里和声取样 89（五十一小节第三拍）处的效应高点为 12.71，静态张力值为 12.5。与静态张力值的正相黄金分割刚好一致。

第九钢琴奏鸣曲第一乐章呈示部张力效应值折线图



(一) 曲式结构与张力效应值的关系

第九钢琴奏鸣曲第一乐章呈示部主部一开始的张力效应值变化幅度较小,从折线图中看,基本上在零位音附近。在和声取样 6 之后,张力效应值经过正值与负值的两次波动,曲折上升,达到负相的黄金分割点 15.666(39),接着张力效应值开始下降,在下降到零位音之后,张力值的绝对值开始上升,最后结束在-10.168(62)。

连接部的张力效应值开始于-11.668(63),之后略有上升,结束在-3.332(75)。副部开始于-2.332(76),总的看来,张力效应值先上升后下降,结束在-1.998。结束部开始于 0.668(98),结束在 2.668(105),基本上处于稳定状态。

第九钢琴奏鸣曲第一乐章呈示部和声分析图表

| I 和弦情况 | | | | | | |
|---|---------|---------|--------|------------------|-----------|-------|
| 张力值变化幅度: 13.25 (0.25—13.5) 达到极限幅度(15.5)的: 88.33% 平均张力值: 6.746 | | | 集合种类情况 | | 和弦总数: 105 | |
| | | | | | 集合总数: 38 | |
| | | | 集合格序 | 次数 | 频率 % | |
| 邻和弦最大张 | 差值 | 和弦序号 | 位置 | | | |
| 正相 | +7.95 | 69—70 | 0.657 | 0, 1, 4, 5 | 14 | 13.33 |
| 负相 | -8.75 | 102—103 | 0.981 | 0, 1, 3, 4 | 7 | 6.67 |
| | | | | 0, 3 | 6 | 5.71 |
| 静态最大张力值 | | 和弦序号 | 位置 | 0, 1 | 5 | 4.76 |
| | | | | 0, 1, 4 | 5 | 4.76 |
| 13.5 | | 18 | 0.171 | 0, 3, 6 | 5 | 4.76 |
| 备注: 静态最大张立值出现较早。 | | | | 0, 1, 4, 8 | 5 | 4.76 |
| | | | | 0, 1, 2 | 4 | 3.81 |
| | | | | 0, 1, 4 | 4 | 3.81 |
| | | | | 0, 1, 4, 5, 6, 9 | 4 | 3.81 |
| | | | | 0, 2 | 3 | 2.86 |
| | | | | 0, 1, 5 | 3 | 2.86 |
| | | | | 0, 3, 4 | 3 | 2.86 |
| | | | | 0, 2, 3, 6 | 3 | 2.86 |
| | | | | 0, 3, 4, 6 | 3 | 2.86 |
| | | | | 0, 3, 5, 6 | 3 | 2.86 |
| | | | | 0, 1, 4 | 2 | 1.90 |
| | | | | 0, 2, 3 | 2 | 1.90 |
| | | | | 0, 3, 4 | 2 | 1.90 |
| | | | | 0, 4, 5 | 2 | 1.90 |
| | | | | 0, 4, 8 | 2 | 1.90 |
| | | | | 0, 1, 2, 4 | 2 | 1.90 |
| | | | | 0, 2, 4, 6, 8 | 2 | 1.90 |
| | | | | 0, 6 | 1 | 0.95 |
| | | | | 0, 1, 3 | 1 | 0.95 |
| | | | | 0, 1, 4 | 1 | 0.95 |
| | 0, 2, 4 | 1 | 0.95 | | | |
| | | | | | | |

II 张 力 效 应 情 况

| 效应总幅度: 39.334 (-13.668—25.666) 效应总值: 2.668 平均效应绝对值: 4.254 | | | | 效应样式情况 | 样式总数: 104 样式种数: 60 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---------|-------|-------|---------|-----------------------|------|----|----|---------|-------|-------|----|---------|-------|-------|-----|---------|------|-------|--|---|---|
| <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th style="width: 15%;">大效应发生情况</th> <th style="width: 15%;">效应值</th> <th style="width: 15%;">和弦序号</th> <th style="width: 15%;">位置</th> </tr> <tr> <td>正相</td> <td>+11</td> <td>34—35</td> <td>0.337</td> </tr> <tr> <td>负相</td> <td>-11.666</td> <td>48—49</td> <td>0.462</td> </tr> </table> | | | | 大效应发生情况 | 效应值 | 和弦序号 | 位置 | 正相 | +11 | 34—35 | 0.337 | 负相 | -11.666 | 48—49 | 0.462 | 效应值 | 次数 | 频率 % | | | | |
| 大效应发生情况 | 效应值 | 和弦序号 | 位置 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 正相 | +11 | 34—35 | 0.337 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 负相 | -11.666 | 48—49 | 0.462 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th style="width: 5%;">效应高点情况</th> <th style="width: 15%;">幅度值</th> <th style="width: 15%;">和弦序号</th> <th style="width: 15%;">位置</th> </tr> <tr> <td></td> <td>+25.666</td> <td>39</td> <td>0.375</td> </tr> <tr> <td></td> <td>-13.668</td> <td>68</td> <td>0.654</td> </tr> <tr> <td></td> <td>-13.668</td> <td>66</td> <td>0.635</td> </tr> </table> | | | | 效应高点情况 | 幅度值 | 和弦序号 | 位置 | | +25.666 | 39 | 0.375 | | -13.668 | 68 | 0.654 | | -13.668 | 66 | 0.635 | -10 +0 +4 -4 +0.5 +2.666 -7.5 -3 -2.834 +1 +2 +5 +7.334 -7.666 -4.666 -1 +3 +3.5 +4.5 +6.666 +7.5 +10 -11.666 | 6 5 5 4 4 4 3 3 3 3 3 3 3 3 3 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 | 5.77 4.81 4.81 3.85 3.85 3.85 2.88 2.88 2.88 2.88 2.88 2.88 2.88 2.88 1.92 1.92 1.92 1.92 1.92 1.92 1.92 1.92 1.92 0.96 |
| 效应高点情况 | 幅度值 | 和弦序号 | 位置 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | +25.666 | 39 | 0.375 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | -13.668 | 68 | 0.654 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | -13.668 | 66 | 0.635 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 备注: 正值的效应最高点符合负相黄金分割, 负值的效应最高点符合正相黄金分割。 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

（二）和声的张力分析

根据第九奏鸣曲第一乐章呈示部和声分析表 I，我们在该呈示部中选择了 105 处和声取样，相同的集合数有 38 个。张力变化幅度从 0.25 到 13.5，达到极限幅度的 88.33%，与第八奏鸣曲一致。在九首奏鸣曲中幅度变化较大。该呈示部的平均张力值为 6.746，静态张力值较小。

邻和弦正值的最大差值达到 7.95，发生在和声取样第 69 与 70 之间，位置处于 0.657，符合正相黄金分割律。而负值最大差值也达到 -8.75，发生在和声取样第 102 与 103 之间，位置处于 0.981。

从第九奏鸣曲第一乐章呈示部和声分析表 II 中，我们可以看出效应总幅度超过 39，张力效应值变化幅度除了第六奏鸣曲，它就是最大的了。最后结束在 2.668 上。

大效应发生的最大正值为 11，发生在和声取样第 34 与 35 之间，位置处于 0.337。而大效应发生情况的负值也达到 -11.666，发生在和声取样第 48 与 49 之间，位置处于 0.462。

正值的效应高点 25.666 在和声取样 39（第十九小节第三拍的后半拍）处，它的静态张力值为 11。刚好与静态张力值的负相黄金分割处是一致的。“语汇”和“词汇”基本上平分秋色。

第三节 小结

通过客观的分析,在普罗科菲耶夫九首奏鸣曲中,有八首奏鸣曲呈示部符合“黄金分割律”。其中静态张力值符合黄金分割律的是:第一奏鸣曲、第四奏鸣曲;动态张力值符合黄金分割律的是:第六奏鸣曲;而张力效应值符合黄金分割律的是:第七奏鸣曲、第八奏鸣曲、第九奏鸣曲。第五奏鸣曲的静态张力值和张力效应值分别符合正相和负相的黄金分割律。第二奏鸣曲虽然在和声取样的计算中,最大张力值没有出现在黄金分割点上,但是我们通过小节计算发现它的负值最大效应高点出现在负相黄金分割律上。计算如下:呈示部共102小节, $102 \times 0.432 (0.382+0.05) = 44.064$, 而该呈示部44小节正好出现负值最大效应高点,在黄金分割律5%的误差内。

而唯一的例外只有第三奏鸣曲,它虽然不符合“黄金分割律”,但是它的正值效应最高点出现在呈示部中心,符合“镜像对称”。

九首奏鸣曲第一乐章呈示部的最大张力值出现情况如下:

第一奏鸣曲:静态最大张力值有一处与负相黄金分割律一致。

第二奏鸣曲:运用小节计算得出负值的效应最高点符合负相黄金分割律。

第三奏鸣曲:正值效应最大张力值出现在中心位置,符合“镜像对称”。

第四奏鸣曲:静态最大张力值有一处正好符合负相黄金分割,而这里正好也是邻和弦正相最大差值出现的地方。

第五奏鸣曲:最大静态张力值与邻和弦最大正相差值发生在同一位置,符合正相黄金分割律;正值的效应最高点符合负相黄金分割律。

第六奏鸣曲:负值的大效应发生情况符合负相黄金分割律。

第七奏鸣曲:负值的效应最高点符合正相的黄金分割律。

第八奏鸣曲:正值的效应最高点出现正相的黄金分割律。

第九奏鸣曲:正值的效应最高点符合负相黄金分割律,负值的效应最高点符合正相黄金分割律。

通过上述统计分析,说明以上作品中呈示部的最大张力值都符合“黄金分割律”和“镜像对称”。我们知道作曲家当时并没有运用数理计算的方法来设计和声的走向,更不可能运用“镜像对称”和“黄金分割律”特意计算出乐曲在什么地方应该出现最大张力值。可是在计算中我们发现大量的实例证明在乐曲中的

确暗含了“黄金分割律”和“镜像对称”与最大张力值相一致。这种“巧合”说明，作曲家在音乐思维中潜在的数理逻辑与审美心理有着某种内在的联系。

作曲家在音乐创作中，需要面对各种音乐要素之间的不同组合。其中重要的步骤就是以高度组织化的方式对这些要素进行合理的安排，使音乐在各级结构层次上表现出完整性、统一性。在统一结构层次中，体现这种目标的表现形式就是和声最大张力值与对应结构的关系。从这一意义上来说，把握和声张力值的合理布局，一直以来都是经典名作对我们的重要启示。

另外，通过分析我们发现张力效应值除了与“黄金分割律”和“镜像对称”有着密切的关系以外，还与某些次级结构的关系有着有趣的联系。下表是九首奏鸣曲呈示部各个结构点上的张力效应值（图表中加粗的值表示前后两者是浸入关系，即前面部分的结束也是后面部分的开始）。

| | 引子 结束 | 主部 开始 | 主部 结束 | 连接部 开始 | 连接部 结束 | 副部 开始 | 副部 结束 | 结束部 开始 | 结束部 结束 |
|----|----------|----------|----------------|----------------|---------------|---------------|--------------|--------------|-----------|
| 第一 | -4.667 | -10.501 | 1.8 | 1.8 | 15.768 | 7.102 | 3.938 | 3.938 | 6.188 |
| 第二 | 无 | 0 | -4.05 | -4.05 | -6.516 | -3.866 | 0.134 | 0.134 | -8.566 |
| 第三 | -1.634 | -0.006 | -0.642 | -0.31 | 1.024 | 4.224 | 4.424 | 1.424 | -5.025 |
| 第四 | 无 | 0 | -9.284 | -0.05 | -8.416 | 2.75 | -3.217 | -3.217 | -8.067 |
| 第五 | 无 | 0 | 8.166 | 8.166 | 3 | 11.666 | 1.332 | 1.332 | 10.049 |
| 第六 | 无 | 0 | -13.848 | -2.898 | -22.812 | -21.812 | -21.812 | -25.812 | -22.096 |
| 第七 | 无 | 0 | -10.784 | -1.368 | -15.518 | -17.934 | -2.574 | -5.908 | 2.626 |
| 第八 | 无 | 0 | -6.34 | -3.34 | 0.377 | 7.043 | 3.943 | 2.943 | 0.477 |
| 第九 | 无 | 0 | -11.668 | -11.668 | -2.332 | -2.332 | -1.998 | 0.668 | 2.668 |

通过图表我们可以发现除了他早期的三首奏鸣曲之外，其他几首的主部主题结束处紧张度都呈上升状态，张力效应值都比较大，符合动力性主部的特点。副部结束时张力效应值普遍较低，这也符合抒情性副部这一特点。比较特殊的是在九首奏鸣曲结束部的结束处，它们的张力效应值都比副部大（除了第八奏鸣曲）。之所以出现这种情况，与曲式发展密切相关。众所周知，在古典时期的作品中，奏鸣曲式的呈示部往往需要反复，在结束部结束时，和声张力效应值都不大。而到了浪漫派中后期，由于音乐内容的需要，曲式结构也得到进一步发展，在许多

以奏鸣曲式写作的作品中，取消了呈示部的反复而直接进入展开部，使得结束部与展开部之间的贯通性得以加强，因而结束部结束时的和声张力效应值得以提升。

第三章 结语

“黄金分割律”和“镜像对称”原则蕴藏着丰富的美学价值。以“黄金分割律”、“镜像对称”作为音乐作品和声张力布局的手段，实质上是对音乐作品平衡和期待平衡的位置作不同的分割。“镜像对称”的平衡是由各种“力”（“力”存在于心理领域和物理领域）的相互支持和相互抵消而在对称点上构成的；而黄金分割点由于其位置远离中心点，因而其张力增大，运动趋于复杂，对平衡的期待心理就较对称性结构强烈。只有当平衡的能量增长，并得到能量消退的互补，艺术作品方能实现完善的审美形式。正如康定斯基所指出的那样“每个艺术都有其独特的语言，也就是说，它的一些方法只适用于其本身”。但他又马上补充说：“每种艺术所表达的方法、声音、色彩、语言尽管在形式上不一样，归根到底还是相通的。艺术的最终目的是超越各种不同的表现形式，也就是使艺术本身的同一性完全表现出来。”^⑥

本文运用高为杰的和声力学分析方法，对普罗科菲耶夫的九首奏鸣曲第一章呈示部所进行的和声力学分析，试图从作品的和声布局上，探寻其和声的最大张力值相对应的结构点与“黄金分割律”和“镜像对称”的关系；把握乐曲整体结构中和声张力效应的上升或是下降过程，更理性的认识音乐在展开过程中和声运动的一般规律；揭示作曲家在音乐思维中潜在的数理逻辑与审美心理的内在联系——张力最高点与“黄金分割律”或“镜像对称”的符合，以期对和声研究和音乐创作有一定的启发和借鉴意义。

事实上，进入20世纪以来，在众多作曲家的创作思维中，已将数的法则同音乐的方方面面联系在了一起。艺术精神和科学思维更完美的结合，将是二十一世纪音乐（包括其它艺术形式）发展的方向，这是数学或者说自然科学的发展影响艺术思维和表现技法以至于表现材料（包括物质材料）的必然结果。

需要指出的是，我们的分析、取样是在一位作曲家不同时期的钢琴作品中进行的，尽管在所分析的作品中都体现出了和声最大张力值与“黄金分割律”和“镜像对称”基本一致这一特质，但是，我们并不能完全要求所有的音乐作品都符合这些要求。虽然“黄金分割律”和“镜像对称”的音乐作品会取得较好的艺术效果，但是对于一些对音乐结构有着独特构想的作曲家也可能会打破“黄金分割律”和“镜像对称”的框架，创造出令人耳目一新的音乐作品。音乐创

作的多样化才能使音乐作品呈现百花齐放，绚丽多姿的繁荣景象。

高为杰提出的和声力学理论不仅适用于传统音乐中的和声张力布局，同样也适用于对现代音乐作品的分析。本文运用高为杰的和声力学理论，对普罗科菲耶夫的九首奏鸣曲第一乐章呈示部所进行的和声分析，只是运用数理思维对和声张力布局所做的一次尝试。由于能力所限，可能还存在着不尽全面之处，希望得到专家学者的不吝指正，以利于在今后的工作中不断提高本人的研究水平。

注释:

- ①秦西炫著《兴德米特和声理论的实际运用》，人民音乐出版社，2002年6月北京第一版，自序。
- ②秦西炫著《兴德米特和声理论的实际运用》，人民音乐出版社，2002年6月北京第一版，15页。
- ③秦西炫著《兴德米特和声理论的实际运用》，人民音乐出版社，2002年6月北京第一版，自序。
- ④人民音乐出版社编辑部编 和声的民族风格与现代技法[M]人民音乐出版社 1996年9月北京第1版，第91页
- ⑤人民音乐出版社编辑部编 和声的民族风格与现代技法[M]人民音乐出版社 1996年9月北京第1版，第110页
- ⑥格里艾尔：普罗科菲耶夫的启蒙音乐老师，俄国作曲家。
- ⑦《辞海》下册，上海辞书出版社（1979年版），第4712页
- ⑧徐月初译 普罗科菲耶夫[M]中国音乐家协会广西分会，第103页
- ⑨[法]玛丽-克莱尔·缪萨著《二十世纪音乐》，马凌、王洪一译，文化艺术出版社，2005年6月第一版，2005年6月第一次印刷，第81页。

参考文献:

一. 著作

1. 秦西炫/著: 兴得米特和声的实践运用 [M] 人民音乐出版社
2. 兴得米特/著 罗忠熔/译: 作曲技法[M] 人民音乐出版社
- 3 高为杰、陈丹布编著 曲式分析基础教程[M]高等教育出版社 1991年6月第一版 2000年1月第十二次印刷
4. 莫·卡纳 当代和声[M] 人民音乐出版社 1983年6月北京第1版
5. 库斯特卡 20世纪音乐的素材和技法[M] 人民音乐出版社 2002年5月第1版
6. 郑英烈 二十世纪和声 [M] 人民音乐出版社 1991年10月北京第二次印刷
7. 人民音乐出版社编辑部编 和声的民族风格与现代技法[M]人民音乐出版社 1996年9月北京第1版
8. 翟学文译 普罗科菲耶夫的和声现代特点[M] 西安音乐学院 1982年7月
9. 罗传开 普罗科菲耶夫[M] 人民音乐出版社 1998年10月北京第一版
10. 大卫·古特曼/著 白裕承等/译 普罗科菲耶夫江苏[M]人民出版社 1999年9月第一版
11. 拉里萨·丹柯/著 李浩 吴川/译 普罗科菲耶夫[M]人民音乐出版社 1998年5月北京第一版
12. 徐月初译 普罗科菲耶夫[M]中国音乐家协会广西分会
13. 徐新主编 西方文化史续编[M]北京大学出版社 2003年2月第一版 2004年7月第二次印刷
14. 玛丽—克莱尔·缪萨著 马凌、王洪一译 二十世纪音乐[M]文化艺术出版社 2005年6月第一版 2005年6月第一次印刷
15. 姚恒璐著 现代音乐分析方法教程[M] 湖南文艺出版社 2003年8月第一版第一次印刷
16. 高觉敷主编 西方近代心理学史[M]人民教育出版社 1982年3月第一版 1982年8月第一次印刷

二. 论文资料:

1. 高为杰: 和声力学研究 [J]中央音乐学院学报
2. 姚恒璐: 兴德米特的《调性游戏》及其理论基础(上) 星海音乐学院学报 1998年第1期
3. 秦西炫: 兴德米特和声理论 交响——西安音乐学院学报(季刊) 2005年6月第24卷第2期

4. 郑中:《格罗夫音乐与音乐家词典》奏鸣曲式条目 云南艺术学院学报 2002年4月
5. 姚恒璐:镜像与透视——音乐作品中结构比例的共性 交响——西安音乐学院学报(季刊)
2001年9月第20卷第3期