项目资助：2015 年长江大学社科基金项目（编号 2015csy011）科研成果

20世纪音乐分析法的数理思维研究

——以勋伯格序列音乐为例

傅小草◎著

中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

20世纪音乐分析法的数理思维研究

——以勋伯格序列音乐为例

傅小草 著

中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn
·北京·

内容提要

本书针对以下运算目标展开研究：求解基本型；求解移位中的不变音数量；求解倒影中的不变音数量；求解抽象子集；求解移位对称集合的移位算子；求解倒影对称集合的指数及对称中心；求解音列形式；求解音列不变性、对称性与配套性。最后，以勋伯格最重要的四首钢琴曲为例，对前两首乐曲中的重要音级集合取样求解，对后两首乐曲中的原型序列展开演算。在分析的过程中，当计算机实现了这些复杂而繁琐的运算，分析者便可以直接进入到对后调性音乐的研究中，直接进入“截断”领域，通过运用传统音乐知识，确定包括音乐上、织体上和结构上的单元，标记出动机、乐句、乐段、材料重复、模仿、和弦、琶音、旋律、旋律截断、旋律变奏等，还可以辨析出节奏模式、节奏动机及组合、音色或音区的单元，越过复杂的音级集合运算，直接触碰到音乐本体，以“截断”的方式透析音乐内部的各种关系，使得分析20世纪后调性音乐如同分析共同写作时期音乐那样游刃有余、直指内核。

本书适合作曲技术理论研究者和音乐分析者阅读，也可以供相关专业的高校教师参考。

图书在版编目（CIP）数据

20世纪音乐分析法的数理思维研究 ：以勋伯格序列音乐为例 / 傅小草著. -- 北京 ：中国水利水电出版社，2017.2

ISBN 978-7-5170-4979-1

Ⅰ. ①2… Ⅱ. ①傅… Ⅲ. ①音乐—作品—分析 Ⅳ. ①J605

中国版本图书馆CIP数据核字(2016)第310736号

书　　名	20世纪音乐分析法的数理思维研究——以勋伯格序列音乐为例 20 SHIJI YINYUE FENXIFA DE SHULISIWEI YANJIU——YI XUNBOGE XULIE YINYUE WEI LI
作　　者	傅小草　著
出版发行	中国水利水电出版社 （北京市海淀区玉渊潭南路1号D座　100038） 网址：www.waterpub.com.cn E-mail：sales@waterpub.com.cn 电话：（010）68367658（营销中心）
经　　售	北京科水图书销售中心（零售） 电话：（010）88383994、63202643、68545874 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排　　版	北京智博尚书文化传媒有限公司
印　　刷	三河市佳星印装有限公司
规　　格	170mm×240mm　16开本　14.5印张　310千字
版　　次	2017年4月第1版　2017年4月第1次印刷
印　　数	0001—2000册
定　　价	42.00元

凡购买我社图书，如有缺页、倒页、脱页的，本社营销中心负责调换

版权所有·侵权必究

前　言

本专著为2015年长江大学社科基金项目的科研成果，项目编号2015csy011。

20世纪是音乐史上最复杂、最丰富且最具多样性的时期之一，理论界习惯称20世纪之前的音乐历史为“共同写作时期”，因为它们实现着相同或相似的、成体系的、相对稳定的作曲技法，而20世纪却是“多样性写作时期”，这一时期将多种风格包容于一体，其中每种风格的独立性都很强，但同时又在多个方面相互关联，我们可以将20世纪前几十年的音乐风格归纳为调性音乐、后调性有中心音音乐、无调性音乐、序列主义音乐和新古典主义音乐，20世纪后半叶除了前半叶的一些风格依然存在，还包括偶然音乐、音响集群、拼贴与引用、简约主义音乐、电子音乐与计算机音乐。排除这些音乐（尤其是20世纪后半叶）的非音高因素，只观察它们的音高结构，已经完全无法用共同写作时期的音乐理论来分析了，一些具有普遍适用性的分析方法应运而生，其中影响力最大的是美国当代著名音乐理论家阿伦福特于1973年在他的著作《无调性音乐的结构》中提出的音级集合理论，这标志着理论界对音乐结构的把握有了崭新的认识，借用数学中的相关原理，通过对音高组合进行定量分析，从而为分析后调性音乐音高结构中的复杂现象提供了一种实用且具有一定普遍意义的方法。从它诞生的年份可以看出，不论是在国外还是在国内，这都是一门非常年轻的学问。

从音级集合理论的诞生，到它的成熟、发展以至再发展，从仅仅停留在音乐分析层面的研究，到将其融入音乐创作实践，音级集合理论在传统的研究方式层面已经相当成熟，然而尚无一部体现其与计算机科学之间“交叉研究法”的论著，尚无一系列能够将其中的相关技术用人工智能替代人脑运算的软件，对于这两点的弥补正是本课题的选题依据以及意义所在。

在错综复杂的各种音高关系中，在标记小的音级组合以及在这些组合范围内进行比较和寻找联系时，这个技术特别有用，这其中包括一系列和音乐本身“毫无关系”的算法，只有完成了这些算法，才能将音乐素材转化为特定“符号”，从而通过这些“符号”之间的规律来深入研究音乐的组织原则，发现其内在的结构力。音级集合理论中的概念包括音高级、八度等同、等音等同、整数标记、模12计算法、音级空间、音高空间、有序音级音程、无序音级音程、音程级、音级集合、基数、标准序、轮转、移位等同、移位算子、相邻音程序列、倒影等同、指数、集合类型、基本型、音程级涵量、福特名、Z关联集合、不变音、移位中的不变音、倒影中的不变音、指数涵量、补集、全集、具象补集、抽象补集、六音

集合互补、子集、母集、具象子集、抽象子集、移位对称集合、倒影对称集合、移位对称次数、倒影对称次数等。多样性写作时期的几乎任何音乐素材都可以用这些概念来解释，在这些概念中，音乐素材被转化为相应的“符号”，通过对这些“符号”的研究，进而深入到音乐本体，以客观理性的视角分析音乐的组织原则。

然而，就在通过这些概念将音乐素材转化为相应“符号”的过程中，分析者将要花费大量的时间用在诸如“求解基本型”这样的运算中，翻阅国内外文献，仅对“寻找一种最便捷的方式求解基本型”的探究就数不胜数，这些对传统求解方式的探究多半借助算术或借助几何图形来完成。本课题将从阿伦福特最初的论述出发，发现其中最核心的原理，以核心原理为依据，结合各种方式的长短利弊，借助计算机技术找到一种最科学合理的运算途径，并用软件实现该运算，完全省去分析者的运算时间。

本课题将针对以下运算目标展开研究：求解基本型；求解移位中的不变音数量；求解倒影中的不变音数量；求解抽象子集；求解移位对称集合的移位算子；求解倒影对称集合的指数及对称中心；求解音列形式；求解音列不变性、对称性与配套性。这些也将构成本书的框架结构。另外，本书在最后一章以勋伯格最重要的四首钢琴曲为例，对前两首乐曲中的重要音级集合取样求解，对后两首乐曲中的原型序列展开演算。

当计算机实现了这些复杂而繁琐的运算，分析者便可以直接进入到对后调性音乐的研究中，直接进入“截断”领域，通过运用传统音乐知识，确定包括音乐上、织体上和结构上的单元，标记出动机、乐句、乐段、材料重复、模仿、和弦、琶音、旋律、旋律截断、旋律变奏等，还可以辨析出节奏模式、节奏动机及组合、音色或音区的单元，越过复杂的音级集合运算，直接触碰到音乐本体，以“截断”的方式透析音乐内部的各种关系，使得分析 20 世纪后调性音乐如同分析共同写作时期音乐那样游刃有余、直指内核。

音乐创编与计算机技术的结合非常普遍，主要包括绘谱技术、编曲技术、录音制作技术、音乐生成技术等四个方面。然而音乐分析理论研究与计算机技术的结合在业界尚且处于探索阶段，本课题的成果将为音乐分析者和作曲技术理论研究者作出一定的贡献。

作者：傅小草
2016 年 11 月

此为试读，需要完整PDF请访问：www.ertongbook.com

目　　录

第一章　求解基本型

音高级（pitch class，简称 pc）是一组在任何八度上具有相同名称的音高。例如，C1、C、c、c1、c2、c3……，它们具有八度等同的特性，在集合理论中，不同八度中具有相同名称的音高是没有区别的，它们同属一个音高级。不仅具有相同音名的音高没有区别，而且不具有相同音名而具有相同音位的音高也没有区别，这叫做等音等同。例如，C#与 D♭，c#1 与 D♭……，这些不同名称的等音同属一个音高级。

整数标记（integer notation）是音高级的表现方式，使用整数表示音高级，包括两种系统。一种是固定 do 系统，用 0 表示音高级 C（B#或 D♭♭），用 1 表示音高级 C#，用 2 表示音高级 D……用 10 表示音高级 B♭，用 11 表示音高级 B，为了方便操作，其中的 10 与 11 惯以 T 和 E 替代，即 ten 和 eleven 的头字母。另一种是可动 do 系统，在这其中，整数 0 特指该集合中的第一个音高级，其余音高级按半音上行形成音级集合各音的整数数字，见图 1.1。

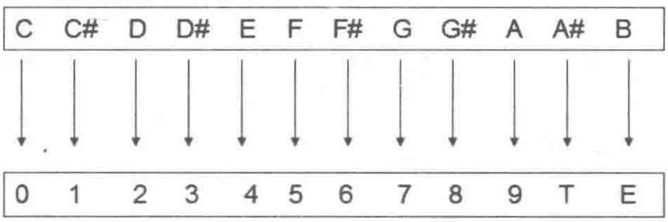

图 1.1

模 12 计算法（mod 12 arithmetic）基于八度等同，所以，不管位于哪个八度，都只能存在 12 个音高级，只使用 0～11 这 12 个整数来表示所有的音高级，任何大于 11 或小于 0 的整数都被归结到这 12 个整数之内。可以简单地通过一个手表或时钟来记忆这些整数与音高级的关系，把钟面的 12 看做 0，也就是任何八度的 C 音，1 为任何八度的 C#音，2 为任何八度的 D 音，以此类推。

音程级（interval class，简称 ic），将所有音程归结到一个八度之内，用一个整数代表一个音程所包含的半音数，同度（U）包含 0 个半音，其音程的整数表示为 0，小二度（m2）包含 1 个半音，其音程的整数表示为 1，大二度（M2）包含 2 个半音，其音程的整数表示为 2，小三度（m3）包含 3 个半音，其音程的整数表示为 3，大三度（M3）包含 4 个半音，其音程的整数表示为 4，纯四度（P4）

包含 5 个半音，其音程的整数表示为 5，增四度（+4）包含 6 个半音，其音程的整数表示为 6，纯五度（P5）包含 7 个半音，其音程的整数表示为 7，小六度（m6）包含 8 个半音，其音程的整数表示为 8，大六度（M6）包含 9 个半音，其音程的整数表示为 9，小七度（m7）包含 10 个半音，其音程的整数表示为 10（或 T），大七度（M6）包含 11 个半音，其音程的整数表示为 11（或 E）。如果使所有音程都移位至从 C 音开始上行，那么便可以非常容易地从钟面看出其音程的整数表示，见图 1.2。

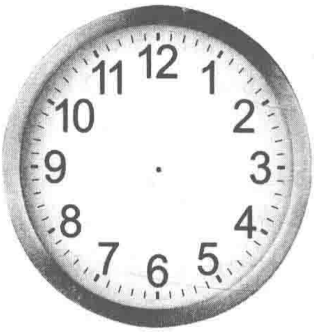

图 1.2

如果在一个特定的序列中考虑两个音高级之间的距离，音程是有序的，如果只考虑两个音高级之间的最短距离，音程则是无序的。例如，A 与 D 两个音高级，如果是有序的，A 上行至 D，其音程整数表示为后一个音高级的整数减去前一个音高级的整数，$2+12-9=5$，A 下行至 D，也就是 D 上行至 A，其音程整数表示则是$9-2=7$，如果是无序的，则取 A 与 D 之间的最短音程距离 7，见图 1.3。

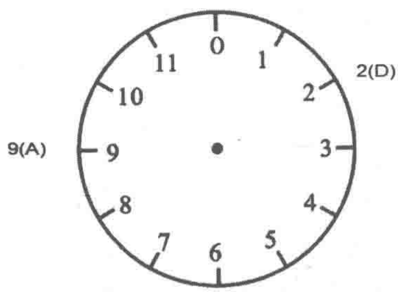

图 1.3

这就引出了两个概念，有序音级音程与无序音级音程。有序音级音程指在特定序列中两个音高之间的距离，一般按上行方向计算，确定两个音高级之间的有序音程距离，用后一个音的音级整数减去前一个音的音级整数。然而与音级集合理论更为密切的概念是无序音级音程，此时只计算两个音高级之间的最短距离，

在它的原位和转位的音程整数之间选择一个最小整数值，不考虑音程走向。

在无序音级空间中，互为转位的音程是等同的，将互为转位的两个音程归结为一个类别，这便是音程级。一共有七个音程级，同度和八度的 ic 值为 0，小二度和大七度的 ic 值为 1，大二度和小七度的 ic 值为 2，小三度和大六度的 ic 值为 3，大三度和小六度的 ic 值为 4，纯四度和纯五度的 ic 值为 5，增四度和减五度的 ic 值为 6。

标准序（normal order，简写为 N.O.）是使音高级之间能够获得最短间距的一种用一列上行数字表示的音高级排序。

获得标准序的方法如下：

（1）按升序排列集合中的音高级，并在最后重复第一个音的八度音。用后一个音高级减去前一个音高级，得出相邻音高级整数之差。找出得出最大差数的音程，以该音程的上方音为起始音重新排列集合，见图 1.4。

C# G A B

1　7　9　11　13

$\underline{6}$　2　2　2

7　9　11　1

G A B C#

图 1.4

（2）如果在第一步中得出了多个相邻音高级的最大差数，则需要选择一个从左边起最密集的排列，用倒数第二个音高级整数减去第一个音高级整数，选择差数最小的那个排列，如果出现多个最小差数，则用倒数第三个音高级整数减去第一个音高级整数，以此方式，直到得出结论。

（3）如果在第二步中依然得不到结论，选择从最小音级数开始的排列。

移位等同（transpositional equivalence，表示为 Tn），将集合排列为标准序，拥有相同数量音高级的两个音级集合通过为其中一个集合的每一个音加上相同的数字，即移位算子，可以使得二者互为映射，能够相互转换，这便是移位等同。换言之，如果有一个数字，加在第一个集合的各音高级整数上，可以得到第二个集合的各音高级整数，则两个集合互为映射，第二个集合是第一个集合的 Tn 移位，二者移位等同，通过 Tn 相关联。移位算子 n 只使用正数，不使用负数，见图 1.5 至图 1.7。

C# F F# G B

1 5 6 7 11 13

<u>4</u> 1 1 **<u>4</u>** 2

5 6 7 11 1 11-5=**<u>6</u>**

11 1 5 6 7 18-11=7

F F# G B C#

图 1.5

C# F G B

1 5 7 11 13

<u>4</u> 2 **<u>4</u>** 2

5 7 11 1 11-5=6 7-5=2

11 1 5 7 17-11=6 13-11=2

F G B C#

图 1.6

0	1	2	6	8	
5	6	7	11	1	
5	5	5	5	5	T_5

5	6	7	11	1	
0	1	2	6	8	
7	7	7	7	7	T_7

图 1.7

验证两个集合是否移位等同，也可以通过计算相邻音程序列（adjacency interval series，简称 AIS）的方法得到，*即在标准序中，相邻音级之间有序音级

音程的序列，也就是各相邻音程的后一个音高级整数减去前一个音高级整数之差的序列，如果相邻音程序列等同，这两个集合则移位等同，见图 1.8。

0	1	2	6	8		5	6	7	11	1	
	1	1	4	2	=	1	1	4	2		

5-0=5 T_5

图 1.8

倒影等同（inversional equivalence，表示为 TnI），如果标准序（有时不是标准序）的相邻音程序列（AIS）是互逆的，则这两个集合互为倒影等同。也就是说，互为倒影等同的两个集合的某种集合排列的 AIS 是逆行的。

（1）标准序的 AIS 互逆（大多数倒影等同是这样），见图 1.9。

8	9	0	0	3	4
1	3		3	1	

N.O.的AIS互逆，倒影等同

图 1.9

（2）具有两个以上最大音程的集合互为倒影等同，其标准序的 AIS 并不互逆，需要以不同的次数轮转二者的标准序，直到 AIS 互逆，见图 1.10。

5	6	7	11	1（5）	8	9	10	2	4
1	1	4	2（4）		1	1	4	2	

N.O.的AIS不互逆

5	6	7	11	1（5）	2	4	8	9	10
1	1	4	2（4）		2	4	1	1	

将集合二的N.O.轮转三次

二者AIS互逆，倒影等同

图 1.10

倒影等同一定会涉及移位，倒影中的移位算子为指数，即 TnI 中的 n，如果两个集合在标准序中倒影等同，那么，第一个集合的第一个音高级与第二个集合

此为试读，需要完整PDF请访问：www.ertongbook.com

的倒数第一个音高级对应，第一个集合的第二个音高级与第二个集合的倒数第二个音高级对应，并且对应的两个音高级整数之和为倒影指数，指数可以是 0，即 12，也可以是 0 至 11 之间的任何数字。为了得到某集合的 TnI，需要用 n 减去集合中的各音高级整数，再将结果逆行，见图 1.11 至图 1.12。

1 2 4 8　　　　4 8 10 11

1 2 4　　　　4 2 1

N.O.的AIS互逆，倒影等同

1+11=0

2+8=0

4+10=0

8+4=0

n=0，二集合通过T_0I相关联

图 1.11

1 2 4 8　　　　9 1 3 4

1 2 4　　　　4 2 1

N.O.的AIS互逆，倒影等同

1+4=5

2+3=5

4+1=5

8+9=5

n=5，二集合通过T_5I相关联

图 1.12

基本型（prime form），通过排列出集合的标准序，可以看出集合之间有没有等同关系，这种等同关系包括移位等同和倒影等同。每一个集合可以移位 12 次、倒影移位 12 次，这就需要一种标记将所有这些等同的集合包含在同一个类别中，这些同一个集合的等同形式的组合叫做集合类型（set class），用数字来代表它，则谓之基本型。

在实际音乐中，以块状和弦织体为例，传统音乐中的大三和弦和小三和弦正是互为倒影等同的两个集合，可以被归结为一种基本型，常见的和弦织体集合不

过数十种，而在大多数现代音乐中，我们面对的却是非三度结构音响、非三和弦组合，用来表示这些集合类型的标记便远远不止数十种，这就需要一个完备的体系，这便是音级集合（pc set）理论要做的事。

音级集合理论最初形成于 20 世纪 60 至 70 年代，由弥尔顿·巴比特（Milton Babbitt《作为作曲决定因素的集合结构》）与阿伦·福特（Allen Forte《音乐中的集合-复合理论》）发明，主要应用于无调性音乐研究的理论与分析，近年来发展为一种作曲技法。在阿伦·福特发表于 1973 年的《无调性音乐的结构》一书中，他为每一个集合类型指定了两个数字，谓之“福特名”，福特名的第一个数字为基数（cardinal number），即该集合所包含的音高级的数量，常见三音集合至九音集合，单集、双集以及基数为 10、11、12 的集合由于缺乏音乐上的意义，暂时不做研究，第二个数字为序数，即该集合在例表中的位置与次序，这个表格被称为集合分类表或基本型表（list of set classes）。在《无调性音乐的结构》中，阿伦·福特以八度等同、等音等同为理论前提，以移位等同、移位倒影等同为标准，将所有可能衍生自半音阶十二个音级的音高组合（三音到九音）归结为 208 个音级集合，并提出以集合复合型这一理论模型揭示具体音乐作品整体结构的深层关系。而约瑟夫·施特劳斯（Joseph Straus《后调性音乐理论导引》）对福特列表进行了一番调整，形成了自己的集合列表，施特劳斯列表保留了福特列表的诸多特点，他也是按照“从小到大”“互补并列”这两个原则对不同基数的集合进行排序，保留了福特对集合的命名。然而，施特劳斯列表中的许多集合出现在福特列表的不同位置，而且以自己新创的基本型替换了福特的基本型，列表中出现了一些福特列表中不存在的基本型，见图 1.13 至图 1.16。

Trichord & Nonachord

3-1	012	210000	11	876663	012345678	9-1
3-2	013	111000	10	777663	012345679	9-2
3-3	014	101100	10	767763	012345689	9-3
3-4	015	100110	10	766773	012345789	9-4
3-5	016	100011	10	766674	012346789	9-5
3-6	024	020100	11	686763	01234568T	9-6
3-7	025	011010	10	677673	01234578T	9-7
3-8	026	010101	10	676764	01234678T	9-8
3-9	027	010020	11	676683	01235678T	9-9
3-10	036	002001	11	668664	01234679T	9-10
3-11	037	001110	10	667773	01235679T	9-11
3-12	048	000300	33	666963	01245689T	9-12

图 1.13

Tetrachord & Octachord

4-1	0123	321000	11	765442	01234567	8-1
4-2	0124	221100	10	665542	01234568	8-2
4-4	0125	211110	10	655552	01234578	8-4
4-5	0126	210111	10	654553	01234678	8-5
4-6	0127	210021	11	654463	01235678	8-6
4-3	0134	212100	11	656542	01234569	8-3
4-11	0135	121110	10	565552	01234579	8-11
4-13	0136	112011	10	556453	01234679	8-13
4-Z29	0137	111111	10	555553	01235679	8-Z29
4-7	0145	201210	11	645652	01234589	8-7
4-Z15	0146	111111	10	555553	01234689	8-Z15
4-18	0147	102111	10	546553	01235689	8-18
4-19	0148	101310	10	545752	01245689	8-19
4-8	0156	200121	11	644563	01234789	8-8
4-16	0157	110121	10	554563	01235789	8-16
4-20	0158	101220	11	545662	01245789	8-20
4-9	0167	200022	22	644464	01236789	8-9
4-10	0235	122010	11	566452	02345679	8-10
4-12	0236	112101	10	556543	01345679	8-12
4-14	0237	111120	10	555562	01245679	8-14
4-21	0246	030201	11	474643	0123468T	8-21
4-22	0247	021120	10	465562	0123568T	8-22
4-24	0248	020301	11	464743	0124568T	8-24
4-23	0257	021030	11	465472	0123578T	8-23
4-27	0258	012111	10	456553	0124578T	8-27
4-25	0268	020202	22	464644	0124678T	8-25
4-17	0347	102210	11	546652	01345689	8-17
4-26	0358	012120	11	456562	0134578T	8-26
4-28	0369	004002	44	448444	0134679T	8-28

图 1.14

Pentachord & Septachord

5-1	01234	432100	11	654321	0123456	7-1
5-2	01235	332100	10	554331	0123457	7-2
5-4	01236	322111	10	544332	0123467	7-4
5-5	01237	321121	10	543342	0123567	7-5
5-3	01245	322210	10	544431	0123458	7-3
5-9	01246	231211	10	453432	0123468	7-9
5-Z36	01247	222121	10	444342	0123568	7-Z36
5-13	01248	221311	10	443532	0124568	7-13
5-6	01256	311221	10	533442	0123478	7-6
5-14	01257	221131	10	443352	0123578	7-14
5-Z38	01258	212221	10	434442	0124578	7-Z38
5-7	01267	310132	10	532353	0123678	7-7
5-15	01268	220222	11	442443	0124678	7-15
5-10	01346	223111	10	445332	0123469	7-10
5-16	01347	213211	10	435432	0123569	7-16
5-Z17	01348	212320	11	434541	0124569	7-Z17
5-Z12	01356	222121	11	444342	0123479	7-Z12
5-24	01357	131221	10	353442	0123579	7-24
5-27	01358	122230	10	344451	0124579	7-27
5-19	01367	212122	10	434343	0123679	7-19
5-29	01368	122131	10	344352	0124679	7-29
5-31	01369	114112	10	336333	0134679	7-31
5-Z18	01457	212221	10	434442	0145679	7-Z18
5-21	01458	202420	10	424641	0124589	7-21
5-30	01468	121321	10	343542	0124689	7-30
5-32	01469	113221	10	335442	0134689	7-32
5-22	01478	202321	11	424542	0125689	7-22
5-20	01568	211230	10	433452	0125679	7-20
5-8	02346	232201	11	454422	0234568	7-8
5-11	02347	222220	10	444442	0134568	7-11
5-23	02357	132130	10	354351	0234579	7-23
5-25	02358	123121	10	345342	0234679	7-25
5-28	02368	122212	10	344433	0135679	7-28
5-26	02458	122311	10	344532	0134579	7-26
5-33	02468	040402	11	262623	012468T	7-33
5-34	02469	032221	11	254442	013468T	7-34
5-35	02479	032140	11	254361	013568T	7-35
5-Z37	03458	212320	11	434541	0134578	7-Z37

图 1.15

Hexachord

6-1	012345	543210	11			
6-2	012346	443211	10			
6-Z36	012347	433221	10		012356	6-Z3
6-Z37	012348	432321	11		012456	6-Z4
6-9	012357	342231	10			
6-Z40	012358	333231	10		012457	6-Z11
6-5	012367	422232	10			
6-Z41	012368	332232	10		012467	6-Z12
6-Z42	012369	324222	11		013467	6-Z13
6-Z38	012378	421242	11		012567	6-Z6
6-15	012458	323421	10			
6-22	012468	241422	10			
6-Z46	012469	233331	10		013468	6-Z24
6-Z17	012478	322332	10		012568	6-Z43
6-Z47	012479	233241	10		013568	6-Z25
6-Z44	012569	313431	10		013478	6-Z19
6-18	012578	322242	10			
6-Z48	012579	232341	11		013578	6-Z26
6-7	012678	420243	22			
6-Z10	013457	333321	10		023458	6-Z39
6-14	013458	323430	10			
6-27	013469	225222	10			
6-Z49	013479	224322	11		013569	6-Z28
6-34	013579	142422	10			
6-30	013679	224223	20			
6-Z29	023679	224232	11		014679	6-Z50
6-16	014568	322431	10			
6-31	014579	223431	10			
6-20	014589	303630	33			
6-8	023457	343230	11			
6-21	023468	242412	10			
6-Z45	023469	234222	11		023568	6-Z23
6-33	023579	143241	10			
6-32	024579	143250	11			
6-35	02468T	060603	66			

图 1.16

求解基本型（已知标准序）需要按照如下步骤操作。

（1）将标准序中的每个音高级整数减去标准序的第一个音高级整数，即将其移位，得出从 0 开始的序列。

（2）将已知标准序倒影，即用 12 减去已知标准序中的每个音高级整数，将结果逆行，得出倒影的标准序，再用每个整数减去第一个整数，使其从 0 开始。

（3）从前两个步骤得出的两个结果中选择一个从左边起排列最密切的序列，即选择第一个音高级与倒数第二个音高级间距最小的序列，如果间距相同，则选择第一个音高级与倒数第三个音高级间距最小的序列，以此类推直到得出结果，见图 1.17。（根据移位等同、倒影等同原理，初始集合与其自身的移位、倒影被归结为一个集合类型，同属一个基本型，所以从 0 开始的倒影的标准序也可能就是基本型。）

图 1.17

除了上述计算方法，求解基本型也可以使用一种简单的“钟面观察法”快速得到。这种原始音集的计算方法利用全等多边形的全等性，即不论音级集合怎样变幻复杂，相同集合对应的多边形是不会变的，而只要找到它的符合基本型特征的有且只有一个的全等多边形即可得出基本型。既然钟面上的 12 个数值可以表示 0～11 这 12 个音高级，那么我们只需要在这个圆面上找到这样一个弧，使其两端之间的跨度不大于任何其他形式的弧，音级由密集端开始排列。

具体操作包括以下步骤：

（1）在十二等分的圆中画出连接各相邻音高级的弦，得出将要分析的音级集合对应的多边形。

（2）找出其中最长的弦；若有两条或两条以上相等的最长弦，则任取一条。

（3）从这条弦的端点观察顺时针与逆时针两个方向，哪边的点更密集。以密集的一端为 0 点开始排列，得出基本型；若两边点对称，则可以任意挑选该弦的

此为试读，需要完整PDF请访问：www.ertongbook.com