

外国现代音乐理论译丛

(5)

三全音的游移性:

——其表现及其在一般人听觉中的分布形式

D. Deutsch

W. L. Kuyper 著

Y. Fisher

倪 军 译

武汉音乐学院图书馆编译室

一九八九年七月

三全音的游移性——其表现及其 在一般人听觉中的分布形式

D. Deutsch

W. L. Kuyper 著

T. Fisher

仇 惠 译

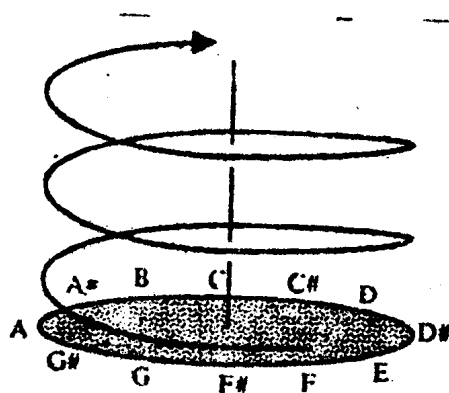
当一个有序音对以每一音构成一系列八度关系的分量,并且这些音的音级被三全音分隔时,三全音的游移性便产生了。这种音程在一个调被视为上行,而在不同的调中又被视为下行;此外,该音程在任何一个给定的调中,某些人听成上行,而另一些人听成下行。笔者发现,这一现象于一般人的听觉中是普遍存在的,并且它在听者中的分布呈一种有秩序的样式。这些发现亦表现了一般人运用绝对音高的惊人能力。

一个音的音高,可分解为两种分量,其一,高度的单一分量,它限定了音高在连续统一体中从高至低的位置;其二,音级的循环分量,它限定了音高在该八度内的位置。

音级与音的高度之间的差别,长期以来被音

学家认为是不言而喻的。例如，在西方记谱法的惯例中就反映出，一个确定音级所代表的音，无论其在八度内的位置为何，都一律用同样的字母来标记。音高的二元性质，表明了某种感性的与理性的推断的结果。对八度关系的条件反应的概括能力，存在于人类与动物受试者之中。在对音高瞬时记忆时，受试者对八度的概括能力便被显示出来了。有绝对音高感的人，在识别音名时，有时会引起八度的失误。在音乐的前后关系中，以八度关系陈述的音对，都被认为是完全相等的。在某种意义上，音级维和高度维，可以通过把音高描述为按一种螺旋形完成每个八度图的整个循环，来加以认识。这样，一个八度框架内的音，便以最紧密的空间关系被表现出来了（见图1）。

图1 几何式的常规螺旋图形的音高模型（选自奥成德1965年）



代表音高模式的几何式常以螺旋形呈现出，高度维和音级维是互相垂直的。从理论上讲，这种模式提供了通过缩减高度分量的可能性和强调的所有音级分量的可能性，并使得通过八度相关联的所有音，都可以映上同一个音，其中，音级是被明确限定的（而高度是不确定的）。鉴于螺旋形将因此而被选为一个圆圈，对这些音相对高度的判断，必须被设想为一个完整的循环圈。

夏泼德（Shepard）1964年进行了一个实验来检验这一论断。他采用一系列音，每组音均由10个八度关系的正弦曲线分量构成，其每一振幅由固定的、钟型的光谱包络线决定。这些音是在音级完全限定、高度不限定的条件下被聆听的。这些音的音级是运用对数频率，把正弦曲线转换为上升与下降的分量来实现的，它们保持了其位置和包络线连续的形态。

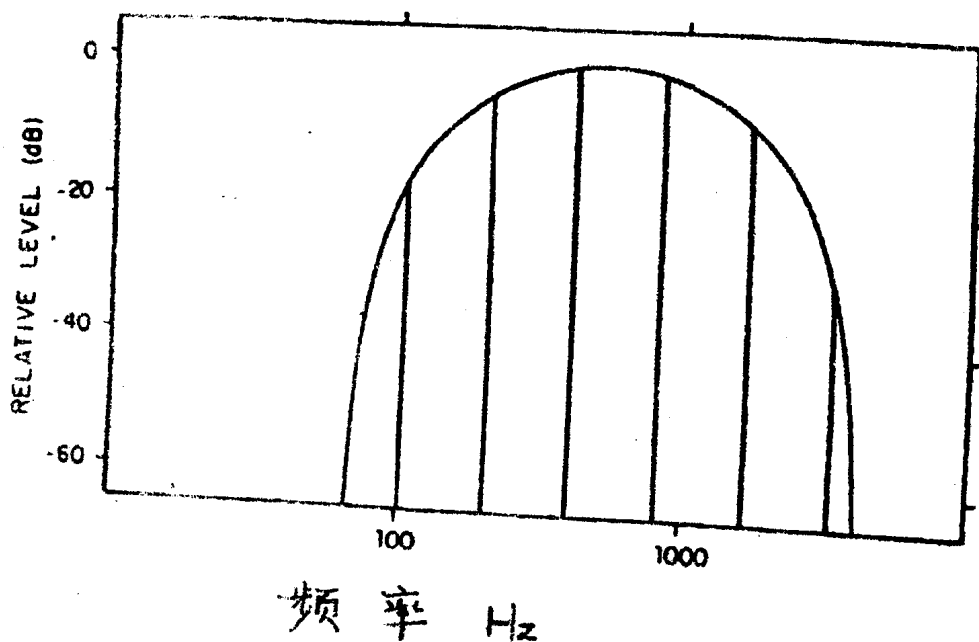
呈现在受实验者们面前的是这些音的有序对，他们被要求判断每一有序对是构成上行系列，还是构成下行系列。当一对音之中的音，在音级圆圈内按一个或二个半音相分隔时，整个判断几乎完全取决于近似关系（例如， $D^{\#}-E$ 系列总是被听成上行， $G-F^{\#}$ 则总是被听成下行）。当这些音按一种更远的距离被分隔在音级圆圈内时，音之间近似关系便减弱或变得模糊了。而当这些音刚按半个八度分隔时，听者通常很容易对上行或下行作出错误的判断。

这一实验表明，听者在判断这些音的相对高

度时，常求助于音的近似关系（自七十年代以来这一现象已被很多理论家所公认）。然而，关于音的远近关系，仍有许多问题尚未得到充分的研究。人们或许会提出，对相对高度的判断力是否随音级关系的疏远，而可能被降低？高度维和音级维也许是感性地相联系？应该指出，在音高材料的组织中，业经发现的远近关系，可能会出现使其他细节被忽略的倾向。因此在夏泼德的研究中，可感高度所产生的差异的因素似乎有可能被掩饰了。此外，在他的实验中音级测度数据都取平均值，于是，音级可感高度的任何影响，都在取平均值的过程中消失了。因而音级与高度正弦曲线的问题，仍有待于世进一步解决。

在考察这一问题的一次实验中，Deutsch (1986) 采用了构成六个八度关系的正弦曲线的音组。图2中展示了其中一个音的光谱结构：

图2 研究中所用的音之一的光谱结构图



受实验者要求在所提供的有序音对中，判断每一音对是否构成上行或下行的系列。Deutsch按音对第一个音的音级起作用，分别对每个受实验者的结果进行了分析。由于音对中的音的音级刚好通过半个八度而相关联，因此它们恰好处于音级圆圈内两极的位置（如，C对应于F[#]，A对应于D[#]，等等）。可见，近似关系并不能作为判断相对高度的依据来运用。

在这一研究中，出现了两个似是而非的结果。其一，大部分受实验者的判断，取决于音在音级圆圈位置中的一种有序样式，故在聆听时，圆圈中某一区域内的音便偏高，而与之相反方向的另一些音则偏低，对同一受实验者而言，音对D-G[#]可听成上行，而G-D[#]则为下行。其二，受音级的方向的影响，一个受实验者与另一个受实验者所作出的判断实际上是有偏差的（例如，某些受试者把E-A[#]聆听为上行，而另一些人则将其听成下行。

1987年，Deutsch通过对光谱包络线位置可能变化的效果的实验，而对这一现象作了进一步的考察。大体上，这种变化通过两种方式影响着判断：首先，通过这些音的总的高度的差异影响判断；其次，通过正弦曲线分量的相关振幅的差异影响判断。在测验中，尽管某些受试者表现了受总的高度的影响，另一些受试者展示了受相关振幅的影响，但这两种影响并非必然的，故这一基本现象不能归为上文所述的两种因素之中的任何

一种。

Deutsch 1986 与 1987 年的实验, 研究了由一些受过音乐训练的受试者所做的判断。问题或许可以这样提出: 即是否三全音的游移性仅限于音乐专业的听者范围内? 或这种游移性是否也可能发生在一般人中? 本文所作的实验便是对上述问题的考察。实验中聘请了许多受试者, 正如将要展示出的那样, 音级可感高度的音级影响, 在一般人中是相当普遍的。实验结果表明, 音级与可感高度之间的方位关系, 在各式各样的受试者中以惊人的有序样式反映出来了。

方法

刺激模型 (Stimulus Patterns)

实验中所采用的所有音构成六个八度关系的正弦曲线, 其振幅由固定的、钟型光滑包络线来决定 (见图 2)。描述包络线的总体结构的方程式为:

$$A(f) = 0.5 - 0.5 \cos \left[\frac{2\pi}{\gamma} \log \beta \left(\frac{f}{f_{\min}} \right) \right]$$

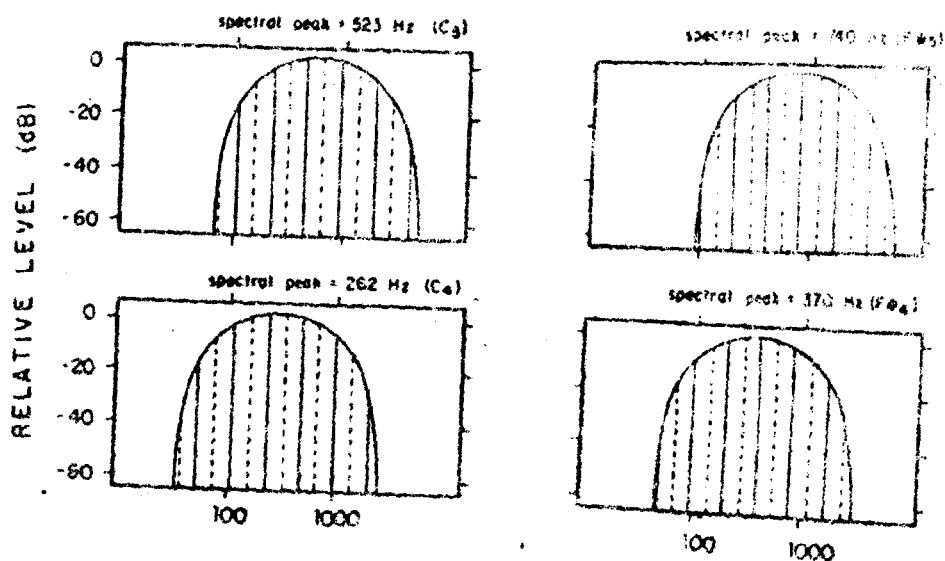
$$f_{\min} \leq f \leq \beta^7 f_{\min},$$

这里, $A(f)$ 是在频率 f 高度的正弦曲线的相关振幅, β 为相邻正弦曲线之间的频率比例 (例如,

对于一个八度间隔, $\beta = 2$, γ 为 β 循环的刻度数字, $f_{\min}$ 是极小非零振幅频率, 非零振幅的极大频率为 $\gamma\beta$ 循环。整个实验的取值为, $\beta = 2$, $\gamma = 6$, 其目的是使得光谱包络线从 $f_{\min}$ 至 $64f_{\min}$ 始终精确地横跨六个八度。

为了便于控制基于正弦曲线分量的相关振幅可能的效果, 音对以定位于光谱中四种不同位置上的包络线来形成, 它们都以半个八度的音程相间隔。图3展示了四种位置上的包络线, 从中可看出它们的光谱高点: C_4 (262 Hz, $f_{\min} = 32.7$ Hz), F_4^* (370 Hz, $f_{\min} = 42.6$ Hz), C_5 (523 Hz, $f_{\min} = 65.4$ Hz) 及 F_5^* (740 Hz, $f_{\min} = 92.4$ Hz)。

图3 构成D-G#音程模式的音的光谱包络线结构图。虚线表示音级D的音, 实线表示音级G#的音。它显示了两个光谱集合, 但音的出现是连续的。



应该指出，对于任何给定音级上音的正弦曲线分量的相关振幅来说，当其以 C_4 和 C_5 为中心包络线的条件产生时，便恒等于以 $F_4^\sharp$ 和 $F_5^\sharp$ 为中心包络线为条件所产生的。其音级以半个八度移动后的音的正弦曲线分量来说，其以 C_4 和 C_5 为中心包络线的条件产生时，便恒等于以 $F_4^\sharp$ 和 $F_5^\sharp$ 为中心包络线为条件所产生的。D-G $^\sharp$ 的音的正弦曲线分量的相关振幅。这样，在这些不同包络线条件下所产生的平均结果，便可以排除任何基于音的正弦曲线分量相关振幅的可能影响。

音的十二个有序对，都产生于四种光谱包络线之一。与之对应的音级对为：C-F $^\sharp$ ，C $^\sharp$ -G，D-G $^\sharp$ ，D $^\sharp$ -A，E-A $^\sharp$ ，F-B，F $^\sharp$ -C，G-C $^\sharp$ ，G $^\sharp$ -D，A-D $^\sharp$ ，A $^\sharp$ -E及B-F。于是，便构成了四十八个有序音对。这些音对表现为十二个组，每一组的音由产生于四种包络线之一的音构成，并包含每一十二音级对中的一个样本。每组之内，十二个音对都可以四种次序中的任何一种出现；这些次序是在同样的音级不以任何两个连续的音对出现这一限制下的随机。按每次使用光谱包络线的一种位置的四个组内的次序，便可产生全部十六个组。

程序

受试者是在隔音间进行测试的。在每一次测试中，都给出一个音对，他们要求判断该音对是构成上行系列，还是下行系列。所有音的时值为

500 毫秒 (msec), 且在每一音对之间没有间隔。音组内的音对间隔 5 秒, 除第 8 组与第 9 组间以 5 分钟分隔开外, 诸音组间均相隔 1 分钟。

设 备

这些音是以 DSC-200 型音频数据转换系统为接口, 采用 cmusic 音响合成软件, 在一台 VAX 11/700 型电子计算机上产生的。它们的录音与播放使用 Song PCM-FI 数码音频处理机, 其输出经过一台 Crown 放大器的线路以大约 72dB SPL 的水平通过耳机发送给受试者。

受 试 者

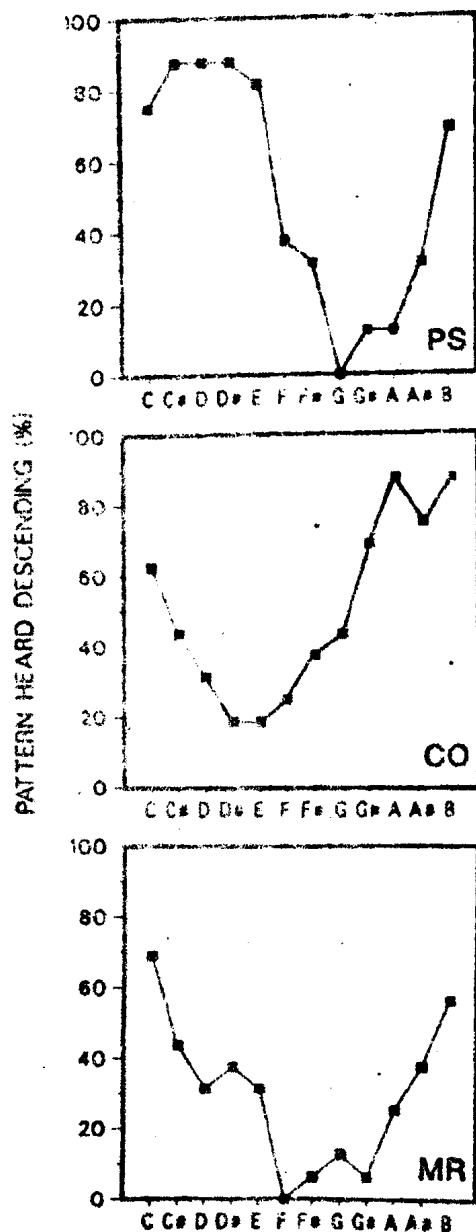
测试中邀请了 29 个加利福尼亚大学的学生作为受试者。所有的人都具有正常的听觉。无论受过音乐训练与否, 在测试前, 他们须根据测试中给定的条件进行正确的演习, 其中他们被要求判断半个八度相关的正弦曲线音对, 是构成上行系列, 还是构成下行系列。所有受试者都否认有绝对音高感, 但却能够标出其所听见的单个音的音名。

结 果

每一受试者对构成上行音对系列进行判断的百分比, 一律是按音对第一个音的音级作用来测

定的。如图4中的三个图示所表明的那样，这种单个的判断明显地受到了音在音级循环圈中的位置影响，另一方面，图4也展示出，不同受试者受这种影响的程度，是因人而异的，并且差别很大。

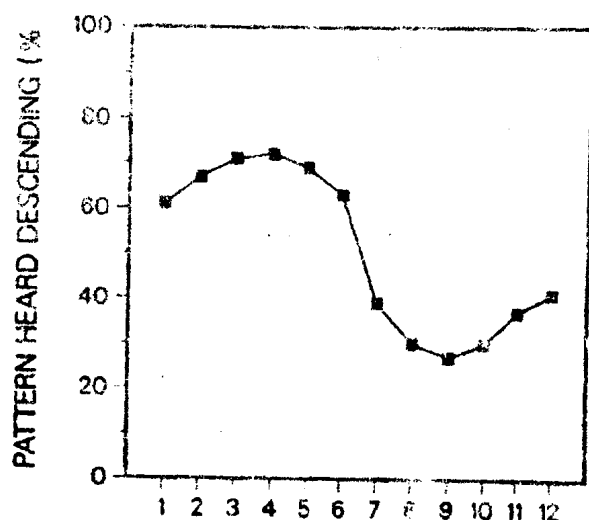
图4 音对构成下行系列的判断的百分比图示



对测试成绩的统计和评价是根据所有受试者的普遍结果来进行的。首先，由每个受试者的测试成绩来决定，亦即他或她是否能把音级圆圈一分为二，并判断出圆圈上半部分的音不会比下半部分的音低。29个受试者中，有22个人的数据达到了这种判断标准。其次，为获得产生于偶然结果的概率基线统计值，采用了电子计算机模拟来决定成绩的随机排列的比率。把所有受试者成绩平均后，每人的分值为0.27。这样，偶然获得的这种综合结果的概率，自然就变小了。于是我们或许可以断定，该现象非常普遍地存在于一般人的听觉之中。

下一步，我们调查了所有受试者，对音级与可感高度间的形式关系的反应。出于这一目的，在所有受试者中都采用了随即要介绍的程序来使用音级循环的方向标准化。对于每一受试者，音级圆圈被一分为二，以便使两个半圆内平均分值得间的差异增加到最大限度。这样，该圆圈便被确定了方向，从而成为了横向平分线，并且通过取第一个圆圈上半部左边的音级，可重新列出数据，按顺时针相邻的次序取第二个圆圈，等等如此。于是，标准数据便被平均化了。图5展示出了测试结果，它清楚地表明了音级与可感高度之间的关系。

图5 音级构成下行和的判断百分比图



此后我们又进一步考察了这一现象是否存在于受过音乐训练的受试者之中。如果受试者受过两年以上的音乐训练，就被选为“经过训练组”的受试者，否则，便归为“未经训练组”。下面是所进行的两种实验结果的分析。第一种实验中，分析数据是用标准圆圈的上半部分的平均分数，减去下半部分的平均分数而获得的，它代表了每个受试者在给定条件下的受试结果。分析表明，15个受试者（其中7个人未经音乐训练）在这种测试中表现出了极大的差异。另外14个受试者（其中7个人也是未经音乐训练的）表现出的差异相对说来，却要小些。事实上在这一测试中表现出最大差异的受试者，竟未经过任何音乐训练。第二种实验中，主要对经过音乐训练的受试者与未经训练的受试者的测试分数比例进行统计，结果表明，这两组受试者间并未出现重大差异。上述分析清楚地说明，受试者对音级与可感高度间

的联系的把握不能简单地归于音乐训练。

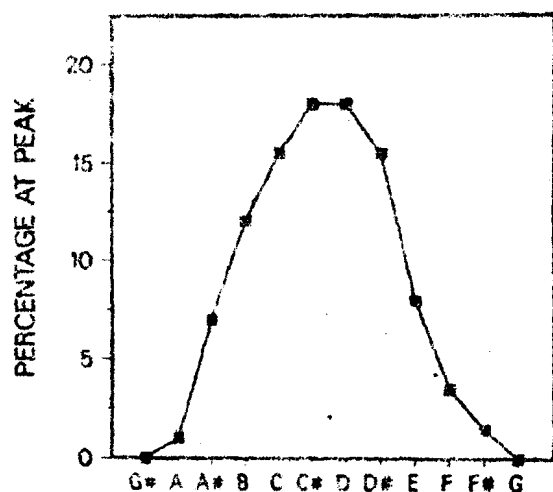
最后，我们对所有受试者对音级圆圈方向的偶然变化的反应，进行了测试（或音级圆圈方面的变化是否在受试者听觉中呈某种有序样式）。出于这种目的，我们以列表形式给出了位于标准圆圈高点分布。正如图6所示的那样，这种分布是极为有序的。这里，总的说来，B与C[#]间的音级听起来均稍偏高，而F与A之间的音级听起来则稍偏低。

讨 论

上述调查结果表明，一个音的可感高度有规律地受其在音级圆圈的位置影响。这一点证实了Deutsch早先有关三全音游移性的调查结果。此外，本文的调查结果还展示出，这一现象不仅存在于经过音乐训练的人的听觉中，而且还广泛存在于一般人的听觉之中。

迄今为止，三全音游移性的机制尚不为人知晓。不过应该强调，这里所用的相隔半个八度音程的四种光谱包络线，验证了任何基于音的相关振幅或正弦曲线分量音量的解释。进一步的研究表明，当包络线产生的音稍作伸展，使得正弦曲线分量比率为2.01:1并产生这些分量之间的相位关系处于不断改变状态的结果时，这种现象才是不受影响的。

图6 受试者中的音级高点分布图式

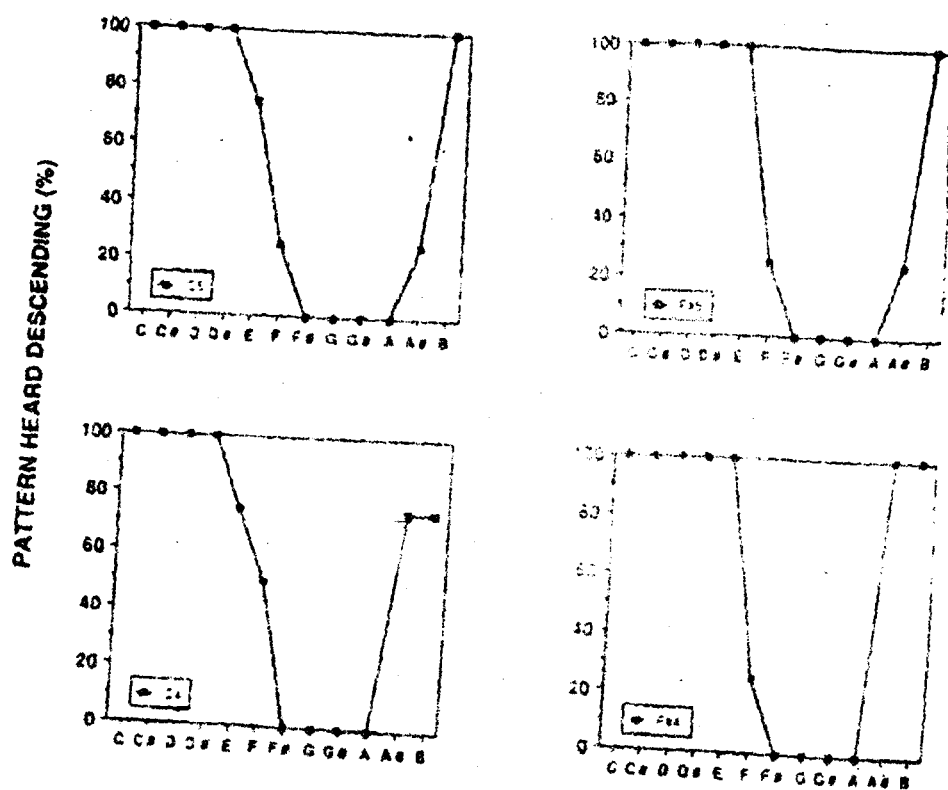


音级与可感高度的相互的影响，最近已经在 Deutsch, 莫尔 (Moore) 与 朵尔逊 (Dolson) 等人的研究得到了证实。他们也采用了八度关系复合体构成的两个部分的模型。研究表明，受试者依这些音对在不同的调中而异，在测试中表现出了相当大的差别，以致使移位的音对在受试者的听觉中，产生了可感声部互换。此外，就三全音的游移性来说，在受试者之间出现了音级方位影响可感高度的显著差异。

这些研究不但展示了音的可感高度受其在音级图圈中的位置的影响，而且还证明了音的高度维与音级维并非毫不相关。1986年 Deutsch 在其对三全音游移性的研究中也证实了这一观点，在他的实验中，每个受试者都按要求作了大量的判断。根据螺旋模型，如果这些音没有表明其所在高度

的信息，那么受试者对音级相对高度的判断将会偏低。然而，如果这些音明确给出了其所在高度的信息，音级与可感高度间的关系将被认为是来回倒转的，就像往返移动的光谱一样。图7非常清晰地展示出了一个受试者对上述四种光谱包络线产生的音所作出的判断。这里可以看到，音级与可感高度间存在着一种明确的、始终如一的关系：即对于光谱包络线的所有位置来说，音级C、C[#]、D与D[#]的音听起来总是偏高，而音级F[#]、G、G[#]与A的音听起来则偏低。这些结果与作为几何式的常规螺旋图形的音级模型不相吻合。

图7 音对构成下行系列的判断百分比图



同时，必须指出，音级方位对可感高度的影响，以一种有序的样式普遍分布于受试者的听觉之中。正如上面所说的那样，音级B与D[#]间的音听起来普遍偏高，而音级F与A[#]间的音听起来则普遍偏低。目前，尚未知道的是，这种特定的分布在何种程度上存在于本文测试对象之外的一般人的听觉之中。同样，我们目前也无根据来确定听众在音级方位与可感高度关系方面的差异，是否为与生俱来的还是后天培养的。

上述调查结果同时也暗示，绝对音高感仅存于极个别人之中。由于上述判断明显地受音级的影响，受试者不直接采用绝对音高来进行试验；尽管受试者并无绝对音高感，但在试验中却不知不觉地应用绝对音高。关于这些调查结果，必须引证一系列关键性的鉴定。泰哈登特(Terhardt)与瓦德(Ward)、泰哈登特与西卫纳(Seewann)分别在1982年和1983年发现，音乐家可以判断出一个片断是否在正确的调上演奏，即便绝大部分受试者否认他们具有绝对音高感。

目前还不能确定，在什么程度上基于三全音游移性的调查结果，可概括出音的不同光谱结构的一般结论。我们的日常工作展示出，当每一个音的复合体中的正弦曲线分量都为锯齿波或方波时，这一现象是存在的。可以观察到，这些精确无误的音的复合体的光谱，与常规乐器按八度关系为基本频率同时奏出音级的光谱相类似。根据这种调查结果，我们似乎可以这样推测，在特定