

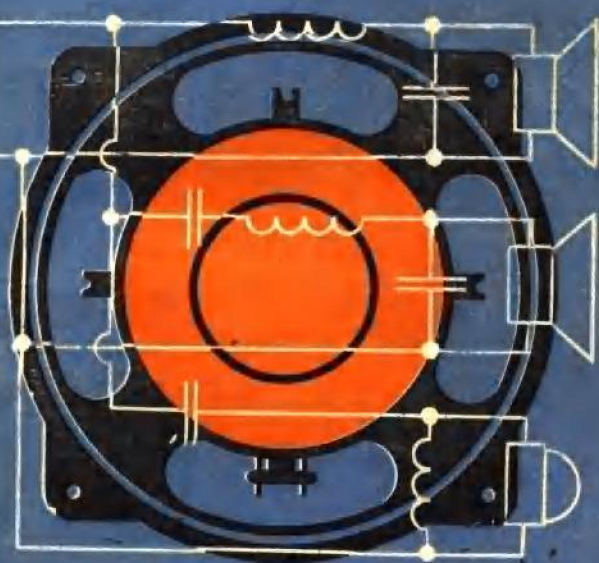
# 高保真扬声器和扬声器箱

RPB105, RPB311, RPB161

〔德〕 克林格尔 著

沈执良 钟厚琼 译

粟 滋 校



科学普及出版社

TN643

6

3

# 高保真扬声器和扬声器箱

[德] 克林格尔 著

沈执良 钟厚琼 译

粟 滋 校

科学普及出版社



D 164849

# 高保真扬声器和扬声器箱

RPB 105

(第一部分)

## 前 言

RPB 105 新版本是第十一次修订本。在修订过程中，由于一方面要考虑旧版本出版以来在扬声器技术方面的改进，另一方面又得照顾广大读者希望有详细说明的要求，因此除 RPB105 以外，还编写了两本小册子：RPB 311《扬声器箱结构手册》和刚列入 RPB 计划的《扬声器组合》。在这两本书中进一步论述了受 RPB 105 篇幅所限而未能讨论的高保真扬声器的专业技术问题。

RPB 105 一如既往地综述了高保真扬声器技术，其中对自制高质量扬声器箱也照常给出了经过实践检验的制作指南。在 RPB 105 第十一次版本中，关于静电扬声器一章吸收了新的内容，各章反映了现代扬声器技术的发展水平。

谨向对这次修订工作给予支持和鼓励的广大读者表示感谢。

H. H. 克林格尔教授

## 译 者 的 话

RPB 105 “高保真扬声器和扬声器箱”和 RPB 311 “扬声器箱结构手册”以及 RPB 161 “扬声器组合”均为西德夫郎西斯 (Franzis') 出版社 1981 年出版的新书, 而 RPB 311 和 RPB 161 是 RPB 105 的补充。

克林格尔 (Klinger) 教授是西德从事高保真技术研究的专家, 并有实际经验。从 50 年代以来撰写了不少有关高保真技术的论文和书籍。这次翻译出版的 RPB 105, 是作者根据读者的建议和要求, 再经充实整理于 1981 年出版的第 11 次修订本。这本书在西德及国际上深受读者欢迎。

随着祖国四化建设事业的发展, 人民的生活水平已在不断提高, 并对音响方面的要求也越来越高。很多人都希望制作高质量扬声器组合的扬声器箱, 得到高保真音响效果。而且这方面的爱好者日益增加, 并对最佳音质的要求, 已从低音发展到中音和高音。本书的出版将基本上满足他们的需要。

本书对高保真扬声器和扬声器箱的组合制作原理和原则作了比较实际的说明, 并列举了大量实例。这对专业扬声器箱的设计及制造者, 在选择扬声器单元、扬声器箱体、箱体中的隔声及吸声材料、分频网络及适用的音乐领域方面, 也都有其参考价值的。

本书曾蒙粟滋先生审校, 在此表示感谢。

由于我们的翻译水平所限, 译文如有疏忽、不妥之处, 尚请读者提出宝贵意见。

译者

1982年6月于北京

## 前 言

RPB 105 新版本是第十一次修订本。在修订过程中，由于一方面要考虑旧版本出版以来在扬声器技术方面的改进，另一方面又得照顾广大读者希望有详细说明的要求，因此除 RPB105 以外，还编写了两本小册子：RPB 311《扬声器箱结构手册》和刚列入 RPB 计划的《扬声器组合》。在这两本书中进一步论述了受 RPB 105 篇幅所限而未能讨论的高保真扬声器的专业技术问题。

RPB 105 一如既往地综述了高保真扬声器技术，其中对自制高质量扬声器箱也照常给出了经过实践检验的制作指南。在 RPB 105 第十一次版本中，关于静电扬声器一章吸收了新的内容，各章反映了现代扬声器技术的发展水平。

谨向对这次修订工作给予支持和鼓励的广大读者表示感谢。

H. H. 克林格尔教授

# 目 录

## 高保真扬声器和扬声器箱

RPB 105

(第一部分)

### 前言

<b>一 扬声器重放的基本原理</b> .....	1
1. 有效频率范围 .....	1
2. 指向特性 .....	2
3. 非线性失真, 互调失真 .....	3
4. 相位失真和声失真 .....	4
5. 衍射和干涉 .....	7
6. 声压和声压级 .....	13
7. 辐射阻抗 .....	14
8. 额定功率 .....	15
<b>二 电动扬声器</b> .....	15
1. 原理 .....	15
2. 罐形磁路 .....	19
3. Q 值 .....	20
4. 音圈阻抗 .....	21
5. 分割振动 .....	22
6. 电动扬声器的结构和性能 .....	25
a) 低音扬声器 .....	25
b) 中音和高音扬声器 .....	26

c) 双锥扬声器 .....	30
d) 同轴扬声器 .....	30
e) 振膜材料 .....	33
<b>三 喇叭式扬声器或号筒式扬声器 .....</b>	<b>33</b>
1. 驱动器 .....	34
2. 号筒扬声器 .....	35
3. 号筒扬声器的计算 .....	39
4. 号筒扬声器的结构 .....	41
5. 声透镜 .....	53
<b>四 特殊的高音扬声器 .....</b>	<b>55</b>
1. 带式扬声器 .....	55
2. Walsh 传输线式扬声器 .....	57
3. 压电高音扬声器 .....	58
4. 气动换能器 .....	59
<b>五 静电扬声器 .....</b>	<b>61</b>
1. 原理 .....	61
2. 静电推挽式扬声器 .....	63
<b>六 扬声器箱和声导向装置 .....</b>	<b>67</b>
1. 声短路 .....	67
2. 敞开式障板 (偶极子特性障板) .....	68
3. 背面敞开式扬声器箱 .....	71
4. 封闭式扬声器箱 .....	72
a) 概述 .....	72
b) 截止频率、效率和箱子容积 .....	74
c) 隔声 .....	75
d) 吸声 (声阻尼) .....	77
5. 低频反射式扬声器箱或倒相式扬声器箱 .....	81



6. 指数式扬声器箱或折叠低音号筒式扬声器箱	89
7. 传输线式扬声器箱	95
<b>七、分频器</b>	98
1. 分频器的类型	98
2. 具有 6 分贝电压降/倍频程的第一级分频器	99
3. 具有 12 分贝电压降/倍频程的第二级分频器	101
4. 具有 18 分贝电压降/倍频程的第三级分频器	102
5. 具有 24 分贝电压降/倍频程的第四级分频器	104
6. 相位失真	105
7. 声巴特沃斯分频器	107
8. 装有“辅助驱动器”的分频器	110
9. 补偿	110
10. 电容和电感	112
<b>八、高保真扬声器组合</b>	115
1. 两路扬声器组合	115
a) KEF DN 16 型	116
b) KEF DN 17 型	117
c) KEF DN 22 型	118
d) B 200/HF 1300 型组合扬声器	120
e) Audax BEX 40 型	124
f) Tabor 型	126
g) 微型传输线式扬声器箱	127
h) “圆声扬声器箱”	128
i) 号筒辐射器组合	129
2. 三路扬声器组合	130
a) JBL 监听 4333 A 型	130
b) KEF DN 19/20 型	132
c) Peerless 三路扬声器组合	133

d) 微型 KEF—Concord III型 .....	134
3. 静电扬声器组合 .....	135
4. 其它的扬声器组合 .....	137

## 扬声器箱结构手册

RPB 311

(第二部分)

### 前言

扬声器箱制作原则 .....	141
a) 隔声 .....	141
b) 声阻尼 (吸声) .....	142
c) 混凝土扬声器箱的制作指南 .....	143

## 扬声器组合

RPB 161

(第三部分)

### 前言

引言 .....	269
电路举例 .....	270

# 一、扬声器重放的基本原理

## 1. 有效频率范围

扬声器的有效频率范围是重放声音可以利用的频率范围，通常用上限和下限频率来表示它。上限和下限频率是在这个频率范围内，参考轴（即通过扬声器口径中心的垂直线）上的灵敏度级<sup>①</sup>比该范围内的最大灵敏度级降低8分贝时的两个频率。高保真重放的有效频率范围至少应为50~12500赫，在这一频率范围内测得的频响特性曲线应是线性的，即没有明显的峰和谷。

如果在扬声器的参考轴上测得的灵敏度级或声压级随频率的上升而增大，听者对声的重放就有“明亮”、“单薄”或“硬”的感觉。反之，若声级随频率的上升而下降，则声的重放就有“发闷”或“沉重”的感觉，给人的印象是，扬声器辐射的高音太少。

约在2000~6000赫的频率范围内，人的听觉特别敏感，在该频率范围内只要把声压级增加几个分贝，重放就有“现场感”，也就是说，听者就会得到一种好象扬声器就在他的跟前的印象。反之，如果把声压级做相应的衰减则会使听者感到扬声器似乎离他有较大的距离。声压级突变会引起特别令人不快的听感，如同在扬声器组合中各个扬声器间的分频频率选择不当，或在使用几个效率不同的扬声器情况下所产生的

---

① 扬声器的灵敏度级与扬声器在1米距离内相对于参考轴上产生的声压成正比。关于灵敏度级的精确定义见DIN45570, Blatt 1。

那种不快听感相似。如果在大约 400~4000 赫的中频范围内，声压随频率的上升而下降，而在较高的频率时它又突然上升，那么高音会给人以很不自然的感觉。

## 2. 指向特性

评价扬声器的质量单看它的频响特性曲线是不够的。由人的听觉感受到的扬声器的重放性能还与它的指向特性曲线有关，亦即与在不同频率下和参考轴的夹角成函数关系的声压级曲线有关。扬声器的指向特性曲线通常用极坐标图表示。

高保真扬声器的声辐射应当尽可能是无指向性的，不仅在低频时，而且在高频时都应无指向性。但是，这在使用单个扬声器系统时是不可能办到或者是很有局限性的。如果扬声器振膜声辐射的波长同其表面伸缩量大致相等的话，那么，由于衍射和干涉的缘故就会增强某一方向上的声波，而在其它方向上的声波则会部分地消失或完全消失。最后，如果辐射声波波长小于扬声器振膜的表面伸缩量，则会在垂直于辐射声波的振膜表面（参考轴）的方向上出现声能聚束现象。例如，要辐射频率为 2000 赫的声音，就必须采用直径小于 17 厘米的振膜，如果要辐射 8000 赫的声音，振膜直径必须小于 4.2 厘米，才能不产生声能聚束。由此可见，使用振膜面积较大的单个扬声器时（这是低音重放所需要的），就不可能在所有频率中得到均匀的指向特性曲线。

实际上，这类现象还要复杂一些。不仅扬声器，而且扬声器箱都起衍射体的作用。在大约 300 赫以下的低频中，扬声器箱子的尺寸小于波长，声波就会绕扬声器箱衍射，产生近

似于圆形的指向性图案,即所谓扩散辐射。在大约3000~4000赫以上的高频中,声音总是随频率的上升而更加在垂直于扬声器障板及扬声器振膜的方向上聚束。因此,大约在300~4000赫之间的频率范围内,扬声器箱的尺寸和声振动的波长大致相同。其结果,由于衍射和干涉,在扬声器参考轴的侧面就会产生明显的声压级波动。这时,指向特性图案会分裂成多瓣状,旁瓣的位置和数量取决于频率。同时,在上述频率范围内,当辐射功率恒定时,轴向声压随频率的上升增加6分贝/倍频程。

### 3. 非线性失真,互调失真

非线性失真时,传输网络中的非线性元件就会产生原始声中所没有的谐音,称为“互调失真”,或简称“互调”。

对于互调失真的发生,不单是谐音,而且多个基音的共同作用所产生的组合音(和声与差频声)都在起作用。

$f = m \cdot f_1 \pm \textcircled{n} \cdot f_2$ ;  $m, n = 0, 1, 2, 3 \dots$ 等等,其中, $f_1$ 和 $f_2$ 是两个基音的频率。这两个基音不仅彼此提供差拍,并因非线性而产生差频 $f_1 \dots f_2$ ,而且各个基音的每个谐音同其它任何一个基音和基音的谐音也会形成差拍。最简单的情况是,如果只有频率为 $f_1$ 和 $f_2$ 的两个基音在起作用,则由互调失真产生的新的频率(边带)将是

$$f_2 \pm f_1; f_2 \pm 2f_1; f_2 \pm 3f_1; \dots \text{等等}$$

举例来说,如果 $f_1 = 100$ 赫、 $f_2 = 4000$ 赫,互调失真产生的新的频率应为4100赫、3900赫、4200赫、3800赫、4300赫和3700赫。一般而言,组合音在整个音响中很不和谐,因

● 原文为2,有误,应为 $n$ (译者注)。

而在扬声器重放时使人听起来感到心烦。

#### 4. 相位失真和声失真

如果馈送的电信号和扬声器辐射的声信号之间的相位与信号频率有关，就会存在相位失真。频响特性曲线中的相位曲线和振幅曲线间存在着一种直接的关系：振幅特性曲线的最大值或最小值在相位特性曲线上会以相应的弯曲表现出来，反之亦然。例如振幅变化6分贝/倍频程时，相移 $90^\circ$ ；振幅下降12分贝/倍频程时，相移 $180^\circ$ ；振幅下降18分贝/倍频程时，相移 $270^\circ$ ；振幅下降24分贝/倍频程时，相移 $360^\circ$ ①。

扬声器重放时可能有多种原因引起相位失真。例如用低音、中音和高音扬声器组成的组合扬声器重放时，三个扬声器的声中心不能同在一个声学平面上(图1 a)。这三个扬声器此时的声中心位置相当于以普通方式直接把扬声器并列安装在箱子障板上，这种安装方式常常引起组合扬声器出现相位失真，因为来自各个扬声器的信号到达听者的位置所经过的路程各不相同，亦即传播时间有差别，必然会在相位上反映出来，于是相位特性曲线就不能再是线性的了。如果三个扬声器垂直叠装在音箱面板上，使它们的声中心位于同一声学平面上(图16)，那么这种扬声器的组合可称为是线性相位的。当然，其先决条件还是扬声器本身和分频器都没有相位失真。

满足上述条件，相位特性曲线才能是线性的。很遗憾，这种理想在实践中几乎不可能实现，因为不仅扬声器系统本

---

① H.Møller, 扬声器相位测量、瞬态特性和音响质量, 见 Bruel & Kjaer公司的应用说明。

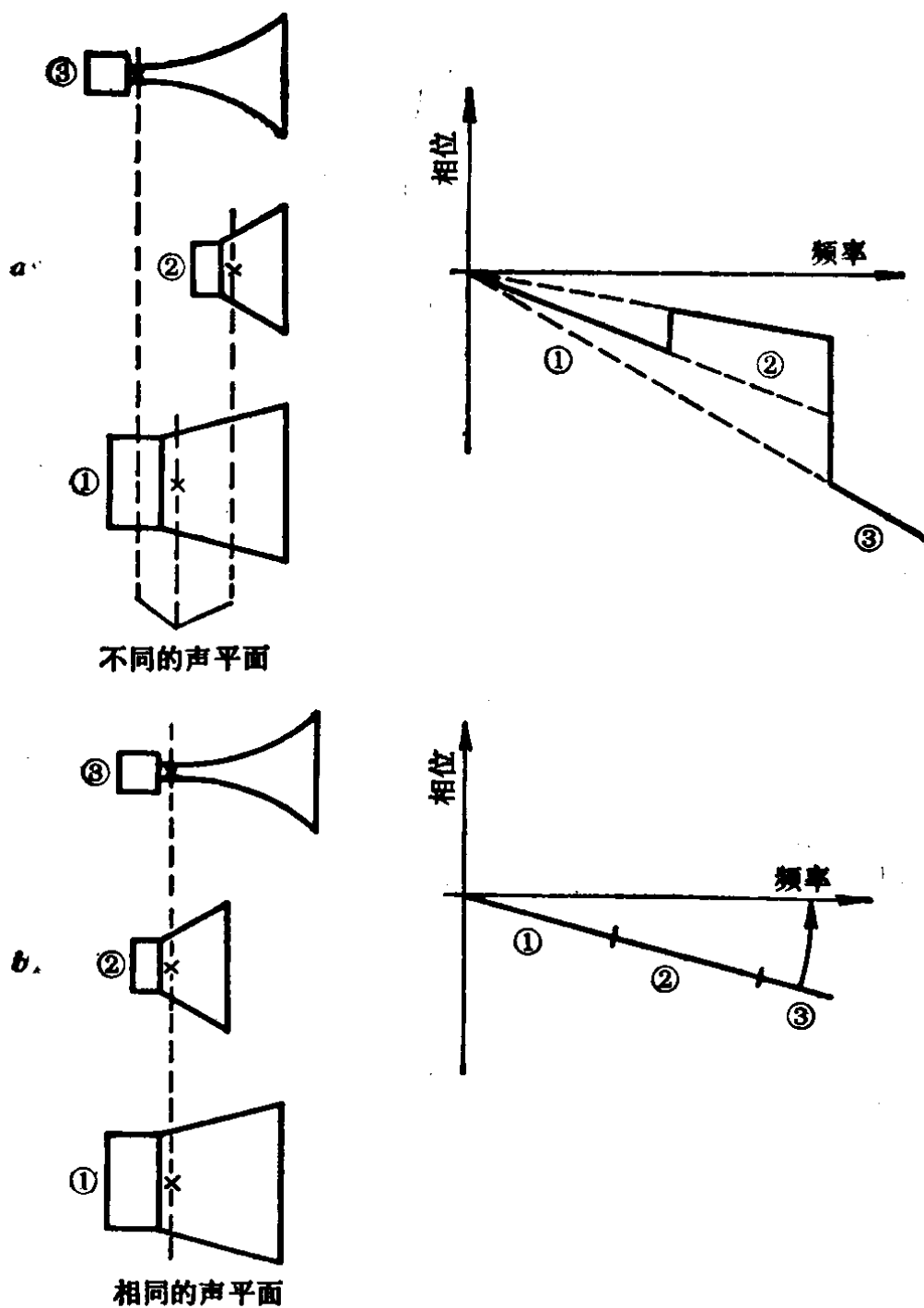


图 1 a 扬声器在面板上的通常布置方式，其相位——频率曲线颇为不利； b 把扬声器位置做合理调整，改善了相位特性

身有相位失真,而且分频器也有相位失真。商业广告上所称的“线性相位扬声器”只是一种幻想而已。

关于相位失真可能是引起人耳感觉得到的声失真的原因,可以用一个简单的例子来说明。例如,在扬声器重放时,如果铜鼓的低音比中音出现得早,就会给人以“砰砰”着响的印象;反之,如果中音先到达收听者的位置,则给人以“尖锐”声象<sup>①</sup>的印象,这就会出现所谓的“声染色”现象。

我们可以把分频器设计得使它的相位失真恰好补偿扬声器和扬声器箱的相位失真。凡具有这种性能的分频器就叫做“声分频器”或叫“声巴特沃斯 (Butterworth) 滤波器”(见第7章中的第7节)。

通过累积衰减频谱<sup>②</sup>我们对扬声器的频响特性便一目了然。这种累积衰减频谱在脉冲激励下,可把频率和时间的关系特性以三维图形表示出来。同时,包含全部频率的瞬时矩形脉冲会由被测扬声器辐射出来并由测试传声器拾取。各个脉冲以相同的时间间隔重复和存储着,然后由计算机处理。从这样形成的累积衰减频谱中可以快速而又准确地读出以振幅、时间和频率三维关系表达的扬声器振动特性。这个方法既适合于分析单个扬声器,也适合于分析扬声器箱。图2示出一个性能良好的中音扬声器的累积衰减频谱作为一个例子。累积衰减频谱不仅能对单个扬声器和扬声器箱做定性分析,而且也能用它来分析扬声器箱子内部的反射情况。

---

① 希望读者不要为这个在物理概念上不太确切的描述所困扰。

② J. M. Berman和L. R. Fincham, 数字技术在扬声器测量上的应用, J. Audio Emgr. Soc. Vol. 25, 1977, S. 370—384。



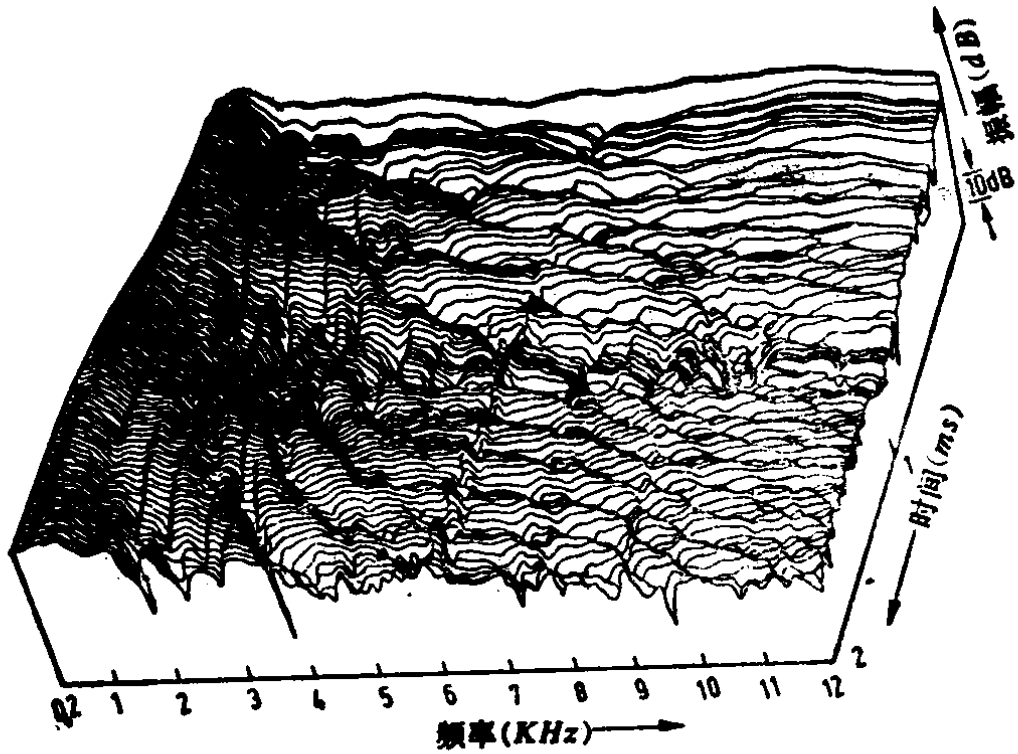


图2 球顶形中音扬声器的累积衰减频谱 (ITT 洛伦兹标准电气有限公司制作的LPKM130/50/120 T型扬声器)

## 5. 衍射和干涉

衍射和干涉的过程对扬声器重放有很大的影响。从原理上来讲，频率相同的声波可能经过不同长度的途径到达听者位置，这样出现的波群因相位各有不同在听者位置上不是互相增强就是互相减弱。例如在扬声器箱的棱角上，由扬声器产生的原始波所激励的二次波会彼此迭加，并按相位在听者位置上增强或减弱（图3）。在听者位置上，由于相位差就会使扬声器频响特性曲线在某些给定的频率上出现峰和谷。同时，由于这种机理使扬声器的起振状态和停振状态（瞬态响应）变得很差。这就是说，由扬声器产生的原始波会比在时间上较晚激励的二次谐波早出现，因而模糊了脉冲音的重放（重