

声学译丛

总第10号

建筑声学

(室内声学和响度计量专辑)

2

上海市物理学会声学工作委员会主编
上海市科学技术翻译馆出版

出版說明

《声学譯丛》在1962年出版了五册，即声学譯丛之一——超声物理、声学譯丛之二——超声检测、声学譯丛之三——超声加工及处理、声学譯丛之四——建筑声学和声学譯丛之五——超声诊断。为了使本譯丛的出版更有系統以便利讀者了解譯丛的全貌起見，我們决定对譯丛的体系作如下的調整：

一、《声学譯丛》每期都編有总号，說明譯丛的总册数。

二、《声学譯丛》暫分为：“超声物理”、“超声在工业上的应用”（包括超声检测、超声加工及处理）、“超声医学”（包括超声诊断和治疗）、“建筑声学”和“电声学”等五种。每一种另編分号，說明每种的数量。

三、1962年已出版的五册，編为本譯丛总第1—5号，从1963年开始，譯丛編号順序，即按調整后的体系从总第6号起依次排列。現將已出版的和即将出版的情况按譯丛的新体系列表于后：

附表：声学譯丛体系及出版情况

总 編 号	譯 丛 名 称 及 分 号	出 版 情 况
声学譯丛总第1号	超声物理(1)(原称:声学譯丛之一——超声物理)	已 出 版
声学譯丛总第2号	超声在工业上的应用(1)(原称:声学譯丛之二——超声检测)	已 出 版
声学譯丛总第3号	超声在工业上的应用(2)(原称:声学譯丛之三——超声加工及处理)	已 出 版
声学譯丛总第4号	建筑声学(1)(原称:声学譯丛之四——建筑声学)	已 出 版
声学譯丛总第5号	超声医学(1)(原称:声学譯丛之五——超声诊断,分五个分册出版)	已 出 版
声学譯丛总第6号	超声物理(2)	已 出 版
声学譯丛总第7号	超声物理(3)(换能器專輯)	已 出 版
声学譯丛总第8号	超声在工业上的应用(3)(超声检测專輯)	已 出 版
声学譯丛总第9号	超声在工业上的应用(4)(超声加工及处理專輯)	已 出 版
声学譯丛总第10号	建筑声学(2)(室內声学和响度計量專輯)	即 本 輯
声学譯丛总第11号	建筑声学(3)(噪声隔絕与降低專輯)	待 出 版
声学譯丛总第12号	超声物理(4)	待 出 版
声学譯丛总第13号	超声物理(5)	待 出 版
声学譯丛总第14号	电声学(1)	待 出 版

編 者 的

室內声学是建筑声学中大家很感兴趣的一个方面，也是声学中研究較早的一个工程性問題，近年来有了一些新的发展。例如本輯中所介紹的关于从信息量来表征室內音质的特性，和利用一些新的統計方法来考虑室內声場的关系等都是值得注意的問題。当然室內音质的最后評定，必将涉及听者的主观評价。对于語言來說，清晰度是主要的；国内声学界对 E. E. Голиков 的清晰度理論感到兴趣，也曾展开了热烈的討論。为了便于大家对原著的了解，本輯中把他前后发表的三篇文章全部譯出。“混响声对語言的掩蔽”一文虽发表較早，考虑到它有一定的价值，还是把它刊載出来了。至于音乐的評价标准問題似乎更复杂一些，有不少主观因素还不太了解，可靠的評价方法也尚在摸索之中，因此长期来只停留在經驗資料的定性分析上。而 L. L. Beranek 最近提出的 18 个音乐音质的評价名詞，是比較明确而很有实用意义的，这是走向定量化研究工作的一个重要步骤。

吸声材料是室內声学处理的一个重要手段。利用混响室来測量材料的吸声性能已有长期的历史，但在測量技术上尚有一些亟待解决的問題，例如混响室的扩散度和測量的精确性等。目前国内不少单位也在致力于这方面的研究工作。此外，共振吸声器和化学泡沫材料的吸声性能在实用中是很受注意的，因此本輯中选譯了若干这方面的文章。

响度計量的研究虽不完全属于建筑声学的范畴，但它是建筑声学工作中一个很重要的主观量；在評价音质时要用到它，在噪声控制工程中更常接触到它。这个問題长期来受到不少声学工作者的注意，近年来国外在这方面发表的文章也相当多，而国内的研究似乎非常薄弱，几乎还处在空白状态。此外，在工程技术界常把响度級（以分貝計）和声級（以分貝計）混淆起来，这里显然存在着一定的誤解。本輯中比較系統地选譯了有关响度計量的若干文章，旨在使讀者能全面地了解这一問題的发展概况和內容的复杂性，同时也可以看到在基本理論和測試方法等方面还存在着很多的爭論。

上海市物理学会声学工作委員会

上海市科学技术編譯館

1963年8月

目 录

1. 表征一个房间的声学特性所需要的信息量···[西德] L. Cremer(1)
2. 經驗性的音质评价标准·····[英国] T. Somerville 等·····(11)
3. 演奏古典音乐的音乐厅的最佳音质标准·····[美国] F. W. Winkel(17)
4. 音乐的音质评价名詞·····[美国] L. L. Beranek·····(22)
5. 关于房间音质评价的新系数問題·····[苏联] E. E. Голиков(26)
6. 室内音质的普遍标准和特殊标准及两者
 的符合性·····[苏联] E. E. Голиков(33)
7. 关于有噪声房间的清晰度計算·····[苏联] E. E. Голиков(36)
8. 混响对語言的掩蔽理論·····[美国] R. H. Bolt 等(37)
9. 物理的和主观的混响時間·····[匈牙利] Th. Járffás 等(40)
10. 直讀式混响時間測定裝置·····[巴西] L. X. Nepomuceno 等(42)
11. 室内頻率响应曲綫. 峰值間平均頻率間隔
 的實驗、理論及 Monte Carlo 結果的比較···[美国] M. R. Schroeder 等·····(44)
12. 研究房間中声扩散的方法·····[苏联] G. A. Goldberg(49)
13. 用測量扩散的一种簡單方法測試小型演讲
 播音室·····[芬兰] J. Borenus(51)
14. 在混响室內測量吸声量时的扩散性研究·····[西德] G. Venzke 等(53)
15. 混响室測量吸声系数的精确性·····[美国] R. V. Waterhouse(55)
16. 关于混响室中測定吸声系数方法的問題·····[苏联] И. В. Лебедева(57)
17. 亥姆霍茲共振器对小房間的本征振动的阻
 尼作用·····[英国] F. J. Van Leeuwen(60)
18. 面层对氨基甲酸乙酯泡沫材料的阻抗和吸
 收的影响·····[美国] M. Schwartz 等·····(66)
19. 厅堂中活动声反射面的声学效应·····[日本] Funakoshi(77)
20. 声学模型中的脉冲測試·····[南非联邦] J. P. L. Lochner 等·····(79)
21. 論声学測量用的嚮音和无規噪声·····[丹麦] J. T. Broch(81)
22. 响度評定方法的比較
 (根据 1930~1957 年发表的資料) ·····[苏联] Я. Гжескик 等(84)
23. 响度的計量——近代方法評論·····[丹麦] J. T. Broch(94)
24. 純音的响度关系式·····[南非联邦] J. P. A. Lochner 等·····(111)
25. 复音的响度、掩蔽和 λ 响度函数 ·····[美国] W. R. Garner(117)
26. 响度級与响度·····[西德] E. Zwicker(123)
27. 計算响度的程序:标准 VI·····[美国] S. S. Sterens(132)
28. 感觉噪声級的意义和測量·····[美国] K. D. Kryter(141)

1. 表征一个房間的声学特性所需要的信息量

[西德] L. Cremer

Proceedings of The Third ICA Congress 1959, Stuttgart, Vol. 2, p. 831~846 (1961) [德文]

頻率特性或時間过程

声学工作者如欲对一个房間进行客观的研究, 必須取一規定的声源, 最好是取一揚声器, 輸給該揚声器以已知時間过程的电压 $u_1(t)$, 并观察一个傳声器电压 $u_2(t)$ 的 時間过程。因此房間成为傳輸电路的一部分, 也可以說成为由发送輸入端和接收輸

出端构成的四端網路的一部分。

要是把傳輸度 $\left(\log \frac{u_2}{u_1}\right)$ 的頻率曲綫画下来, 可以看出这涉及一个很复杂的四端網路。所得的不是一个理想傳輸器所要求的水平綫而是一丛紊乱的峰谷。

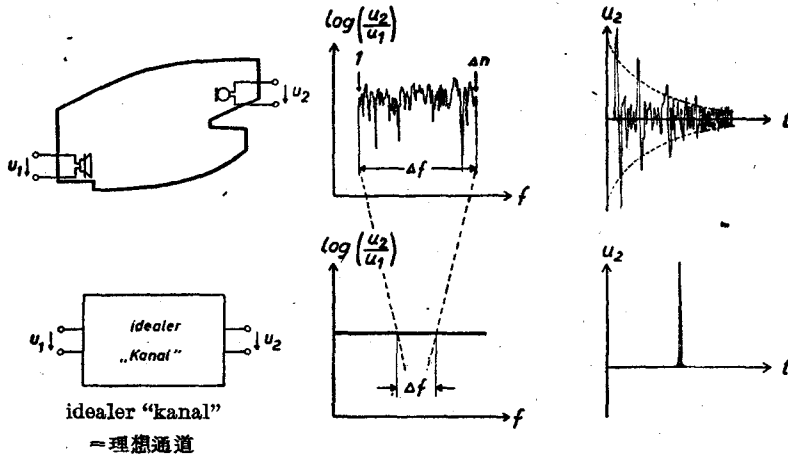


图1 房間和理想通道的頻率响应与脉冲畸变

但还有第二种通訊技术中常用的方法, 即观察一个加在輸入端的理想脉冲的畸变, 它呈现一个复杂的图形。首先, 一个单向脉冲形成一个交变脉冲, 这与辐射机构有关, 它在远場中不再发生单向变化, 随着第一次“直接”脉冲的是无数“反射”脉冲, 它們一般都是紧密相接的, 形成一丛峰谷, 它的平均高度則单調地下降。

这是 W. C. Sabine^[1] (賽宾) 的一个天才的办法, 他将这种衰减变成室內音质评价的定义; 同时, 他从实验和理論上指出, 要是把一个代替爆炸声的純音(或如現在一般喜用的狹頻帶信号) 发送并记录下来, 則得到一个可用单独数字表征的指数式衰减。简单讲, 他通过一些固定頻率 f 的混响時間 T 来表征房間的特性。

显然, 傳輸度的頻率特性和脉冲畸变由富里叶

变换相联系。因此預期在“稳态”激发时的 $T(f)$ 曲綫也是引人注意的。Sabine 已經看出, 由固定能量密度可以推論混响時間, 当然只是在已知发送功率时, 从实验上看这是加重了困难。

但是也可以(象在共振曲綫的半寬度) 将声級-頻率的相对曲綫变化画出, 并且如 Schroeder^[2] (施瑞德) 基于波的统计考虑或如 Kuttruff (庫特勒夫) 和 Thiele^[3] (梯雷) 独立进行的实验所指出的那样, 混响時間用落在頻率范围 Δf 內的峰值数 Δn 表示。在这次會議上我們从 Schroeder^[4] 处得知, 更简单的是数出发送和接收器之間的相位符合数, 并且要是注意了相位的增减, 就可获得一个补充的评价論*。因此作者对从衰变过程中决定混响時間比在頻率特性的精密結構中去找它們更简单一点的看法, 目前尚感到不够肯定。

* 在作者的协作者 Schwantke 的一篇未公开发表的論文中认为, 室內的声級与相位特性是相互无关的。

就某种关系讲,在房間內对脉冲畸变的观察,胜过对频率特性的每一研究,它是根据听觉的。混响情况是我们每天可观察到的,下面我们将只限于讨论房間衰变过程的计算。

$T(f)$ 一曲綫的信息量

如果我们能通过叙述来表征房間的声学特性,即說出所记录的混响过程是否明显,简单地說,即房間是否有混响(或是如音乐家們說的,房間有无“音质”),这表示最小可能的信息量,这样一次是或非的决定,可用一开关传递,并且从信息理論上來說表示为一个必特(bit)(二进制制信息单位)。

但是我们对于不同混响时间的感觉并不是很粗略的,图2的上面一图中指出关于混响时间方面, Seraphim^[6](薩拉費姆)就熟练观察者在衰减的頻带滤波噪声所确定的以百分率計的相对辨別閾,它們在200~6400赫之間,是与频率无关的。

所以在0.5~3秒之間,(主要有关的混响范围)可以达到約50个不同的級,(見图2下面一圖),因为往往只需其中一个級来表示混响的特征,所以有 $2 \log 50 = 5.7$ 必特就足够描述混响时间了。

由于测量精密度限制产生稍大的級距,似乎可将这一数字取成整数(5必特),我們可将这一数值用于另外一些直接测量或推导出数值的有关范围,例如用在32分貝范围内的,以分貝为单位的精确声級记录。

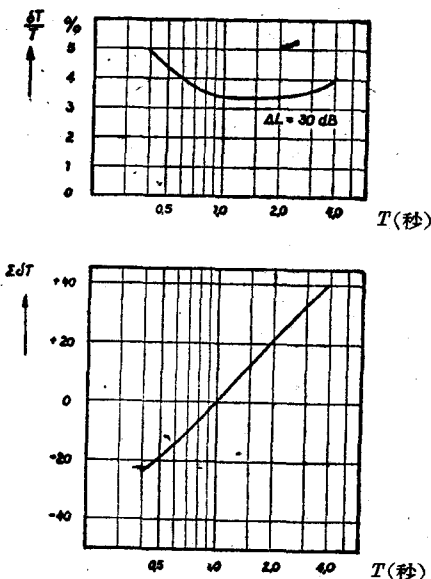


图2 根据 Seraphim 的对于混响时间的辨別閾

此外,混响时间是与频率有关的, Sabine 满足于 $C_1 \dots$ 至 C_5 6个音,当然,現在比較精細地按 $\frac{1}{3}$ 倍頻程級并向下扩展一个倍頻程和向上扩展 $\frac{1}{3}$ 倍頻程,即 64, 80.....5000 赫的 20 个频率的测量,是适当的。超过 5000 赫没有多大价值,因为这时混响与大气状态比与房間吸收面更有关系,比如 64 赫更低的频率,在实验上有困难。再者,实际有关的声源的波譜也处在这两个边界区域以内。

根据听觉,由 Feldtkeller (費尔特·凱萊尔) 和 Zwicker (茲維克)^[6]把相同的频率范围分成临界頻带,它与平均分布于耳底膜和神經纖維的情况相应,这对于所选取的范围也約为 20 級。

因为同时需要这 20 个值,故一个 $T(f)$ 图形的容量約为 $5 \times 20 = 100$ 个必特。实际有的信息量大概只有一半大小,因为不会出现这样的情况: T 在 $\frac{1}{3}$ 倍頻程或临界頻带內由 3 到 0.5 秒范围下降或上升。因此我們只需要較少容量的傳輸通道,通过它将随时的結果傳出去。作者不想在这里在不考虑旁的关系的情况下作出估計,而只是探索較簡單的問題,如需描述所有重要情况而没有变换代碼情况下的容量以通常的图表法记录之。

因为在 $T(f)$ 图中較大的起伏,总是不希望的,表示在这一最簡單的情况下的一般性课题:要是需要非常多的信息来表征一个房間的声学特性这將是一个困难的标志。但作者并不想反过来讲,一个房間以越少的信息描述,它就可能越好,一个房間有完全平均的混响时间,又沒有任何回聲的痕迹,当然是沒有缺点,但同时也沒有自己的音色。

还必須討論这样一个問題,频率軸分成 20 級是否足够仔細,或者是否为了音乐的需要而应选择更精細的音調感觉辨別閾。如果一个单独的音(約如挂于教堂內的钟的一个固有频率)在 $\frac{1}{3}$ 倍頻程內混响特別长,显然它对于听觉是一个完全特殊的印象。

这里我們純粹由于物理上的原因必須放弃把一切听觉本領合并起来討論,無論从理論上或实验上,混响的統計概念需要相当大数量的固有频率,这在頻带宽与音調辨別閾相应的滤波器上完全不能得到。

混响的弯曲性和位置的变化性

此外,钟的混响在 $\frac{1}{3}$ 倍頻程的一般对数混响记录上显得很明显,只是沒有精确的音調,而有一弯

折混响曲线。

一般必须估计到, 包含在滤波器带宽 $4f$ 内的房间固有频率有不同的衰减常数 δ , 因此通常记录下的混响应按分音的能量相加^{[7][8]}:

$$E = \sum E_i e^{-2\delta_i t} \quad (1)$$

这表示一个随着平均衰减常数开始和随着总数中出现的最小的衰减常数而终止的过程, 对一个混响过程这种合成很少受到注意。Kuttruff 曾根据拉普

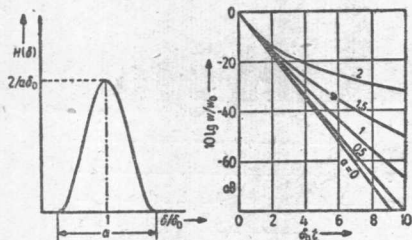


图3 根据 Kuttruff 的混响线的 δ 分布和弯曲

拉斯变换法则将(1)式中的和加以计算, 并明显地表示出来, 图3的左边是均匀的连续不断的衰减分布, 右边是在分布的各种不同宽度时得出的对数混响特性, 可以看出(由于测量技术的原因), 一条在 -5 和 -35 分贝之间近似的直线与这一宽度是多么有关!

于是提出了这样一个问题, 严格的说, 是否不一定每一混响都要求如此的衰减分析, 这样无疑将大大提高信息量, 我们不仅给出许多混响时间 T_i , 而且也给出它们特殊的初始值 E_i , 后者的值在室内是各处不同的, 但无论如何, 在耦合的房间内必须考虑这种现象。在此我们已经在房间的统计处理范围内增加了信息量, 这是由于对不同空间点的各种不同观察而得出的。

脉冲试验

如果我们注意到回声的存在, 则位置关系在未

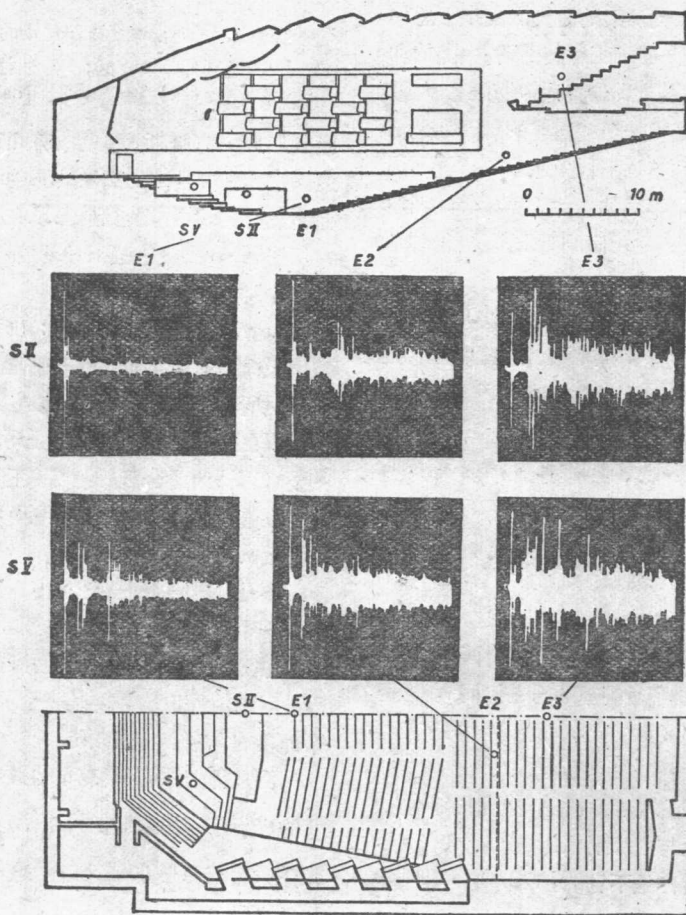


图4 根据 Schodder 的皇家节日音乐厅内的脉冲示波图

分隔的房間內起着更大的作用。在30多年前，Zenneks (采耐克斯)、Scharstein (夏尔斯太恩)、Schindelin (辛特林)及其他人在許多例子中証实上面图1右上边所指出的脉冲畸变适合于客观的回声判断。

在此可特别回忆起他們的，常常在教科书或参考手册中詳述的 Freiberg (夫賴堡)大厅內的研究，即对一个在平面图和纵剖面富有凹面的房間的研究，簡單的說，即对于回声探索者說是一篇丰富的研究資料。Scharstein 和 Schindelin 可以把脉冲示波图的每一精確的波峰与一定的反射途徑相对应并且还指出，以前他們使用的建筑設計图是錯誤的，他們所以能象現在这样做，是因为，如要重现呈 $P(t)$ 一特性的整个信息，則他們的接收系統还不够完善。

我們試观察图4中用火花产生的并用高級傳声器和阴极射綫示波器记录的脉冲示波图，例如 Schodder (肖特)在皇家节日音乐厅所拍摄的一样，我們首先对到达我們耳朵的激发的复杂性感到惊奇，左右并列的示波图属于正厅前面的，中間的和楼厅的座位(各图是被調节到与直达声的振幅大致相同)，很明显，这些图在一个或同样的房間內是絕然不同的，同样，在相同座位上視发送器的位置不同脉冲示波图看起来也是不同的，如上下相邻的图中所作的比較一样，虽然是在相同的听众座位，但却是不同的发送点。

要是在混响時間评价时对 $T(f)$ 曲綫几乎相同而判断非常不同的房間感到惊奇，則根据这些图，更易使我們奇怪的是常常說到房間的声学质量而至少不常說，是在哪一位置进行观察的。

此外必須承认，就是熟练的观察者，也不能把所有这些(在測量技术上能很好地重放的)細节听出来，簡單地說，用高級仪器所拍摄的“回声图”显示太多的信息，这必須加以減削。

最彻底的一步是取出一单个数字，这里的一部分反射被看作是有利的，一部分被看作不利的，Thiele^[12] (梯雷)試驗了最簡單的分割，同时他把 $P^2(t)$ 图形中在50毫秒时出現的面积看作是有利的，并将它們除以总面积(图5上)。

Niese (尼瑟)^[13]的观点本质上与此相反，他认为这有利部分只能由与迟反射相比得出，只有高于統計混响的一部分看作是不利的，因为它能“造成回声”(图5中)。

更早以前，Bolt (鮑尔脫)和 Doak (道克)^[14]

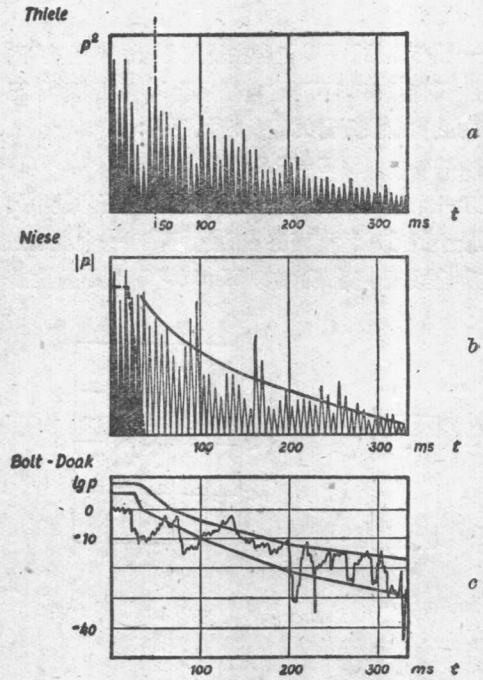


图5 从脉冲示波图得出的单值评价
a—根据 Thiele 的； b—根据 Niese 的；
c—根据 Bolt 及 Doak 的

直接与 Hass (哈斯) 建議的首回声干扰定量試驗相連系，把用对数畸变记录的脉冲示波图与一組极限曲綫进行比較，并把它們(象現在在判断噪声声譜时常用的那种)依照这些正好超过限度的曲綫分級(图5下)。

单值评价有这样的优点：即可以把在各不同的座位上得到的数字记录在一張座位分布图上，这样可以对所有的座位一目了然。因此 Meyer (梅耶尔)^[16]在上届国际声学會議上对于可用的评价提出的要求可认为是合理的，即(符合于主觀的經驗)评价在直接相邻的座位上不能改变，而只可以在相隔很远的座位間才能改变。

要是我們对每一百个座位一組感到滿意，就表示在一个有2000个座位的房間內，总共有20个数据，如把这些数据与5个发送点相組合，則为100，因此对单值评价的需要是完全可理解的，其中每一个仍用約5个比特来法定。

但是另一方面，所有单值评价对出現，和逐次感覺的反射序列的差別性并未注意，象 $\int_0^{50} P^2(t) dt$ 面积分布在第一个50毫秒上，这不是无关紧要的，例如：根据 Kuhl^[17] (庫尔)的詳細观察，在直接声和第一次强烈反射之間几乎經常出現的間隙，对于傳

声器接收的声学特性起着决定性作用,同样,超过混响曲线的回声峰值是否平均分布或是汇集在一强烈的回声内这也不是无意义的。

我们的任务是今后要尽力使复杂的 $P(t)$ 特性减到较少的信息,但却要有足够数字的数据。

与此有关的 Thiele 积分法的扩展在于逐步提高上述的时间限度 t_1 , 然后可以在 $\int_0^{t_1} P^2 dt$ 图上在 t_1 之上得到一种瞬变现象曲线,用这一方法在 Liederhall 大厅内, Junius^[18] (尤尼斯)就回声图中求值。但也可画出选择的时间间隔 Δt 内附加的能量分布*。

我们首先感兴趣的问题是,可以或必须选择多少大的 Δt 。Junius 开始选 5 毫秒,然后 10 毫秒,最后选 20 毫秒,现在可以认为(尤其针对所提及的 Kuhl 试验)选择较 50 毫秒的模糊间隔为狭的时间间隔是必要的,但是大概可以限制到 10 毫秒的间距,这常常适合于 3.4 米的路程差别。

其次的问题是,关于,对这样简化的回声图所提出的总时间 t_g , 如果在矩形房间内的反射次数根据公式^[19]

$$N = \frac{4\pi C^2 t^3}{v} \quad (2)$$

随 t^3 而增加,即有一个一定的反射次数值 $4N$ (例如

20) 在 $\Delta t = 0.01$ 秒内时,则可以认为统计情况是能够达到的,这导致:

$$t_g = 2 \cdot \sqrt{v} \text{ 毫秒 } (v \text{ 以米}^3 \text{ 为单位}) \quad (3)$$

160 米³ 的会议室不能统计处理的时间间隔 t_g 只有 25 毫秒,而 16,000 米³ Liederhalle 大小的音乐厅的时间间隔为 250 毫秒,这似乎不是不合理的。

$$t_g / \Delta t = 0.2 \sqrt{v} \quad (v \text{ 以米}^3 \text{ 为单位}) \quad (4)$$

的关系标志着必需的时间间隔数,对于这一间隔需要 5 比特标志独立的声压,因此一个这样简化的回声图包含 $5 \times 0.2 \sqrt{v} = \sqrt{v}$ 比特,也就是说,在 10,000 米³ 大小的房间内的信息不会比混响时间的频率特性为多。

另一从脉冲示波图选择信息的途径是由 Schodder 创导的,他只计算反射波峰在直达声级以上 -3, -6, -10 分贝级,这个方法与前一个方法一样,都是在数学上很精确而简单的。

但这两个选择的原理不是根据听觉的,而是很简单地借助于图 6 的基本情况显示出来的,该情况是我们柏林以模型大小的小消声室内造成的,并用变化的磁带速度听取到的。一个凹面墙的强烈的反射由于墙的分割而分裂成三个较弱的反射。可能这一“变粗”是适合的,在(画在下面的)示波图上也出现无害的分开反射,在 Schodder 的选择法中

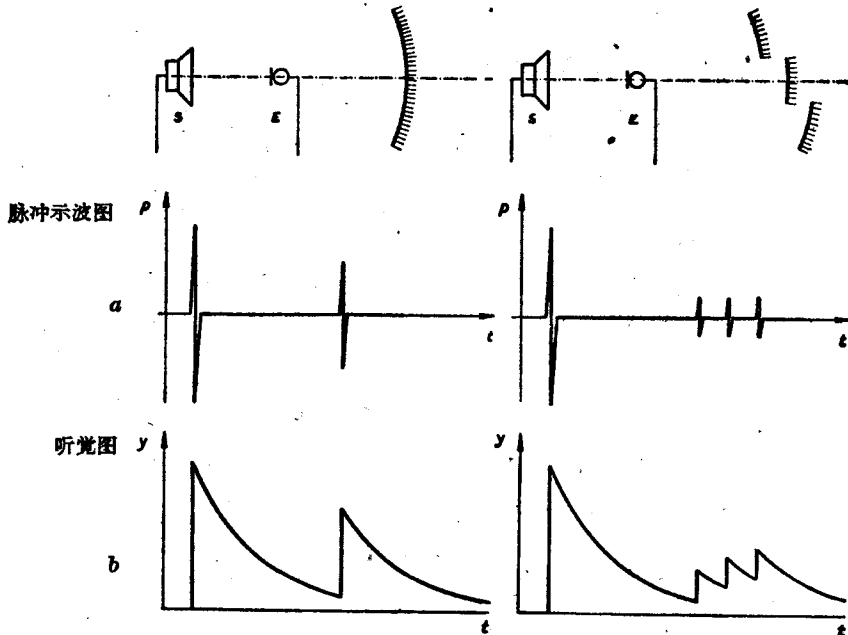


图 6 一个反射分成三个反射

a—在脉冲示波图上; b—在听觉图上

* Lochner (Pretoria) 告诉作者,他发明了一种用电子计数器工作的仪器。

它們甚至可降到 -10 分貝水平以下，但是在 10 毫秒范围的总体內，右边的图也可看作是无害的，因为三个反射延伸到 30 毫秒，而且由这一組造成的回声，象单独回声一般的响。

下面用积分指示系統 (RC 綫路) 画出的图，显然是較好地与这一事实相符的，V. Békégy^[20] 和 Steudel^[21] (斯托特) 的关于响度感觉的逐渐增加和衰減的經典試驗給予这种信息限制一种心理学上的根据。

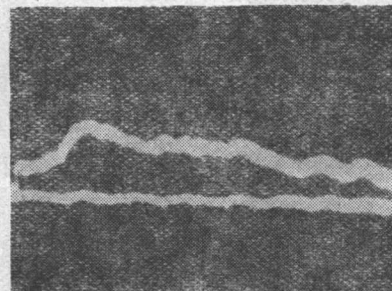
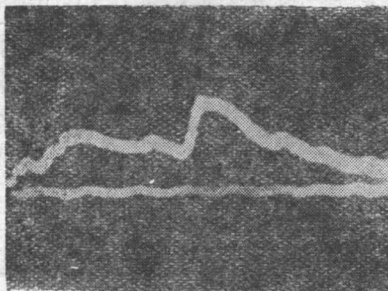
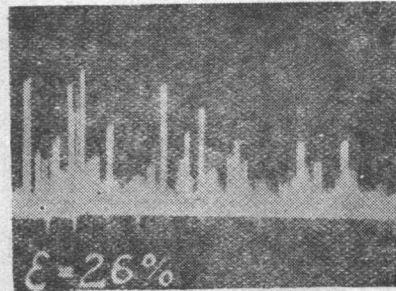
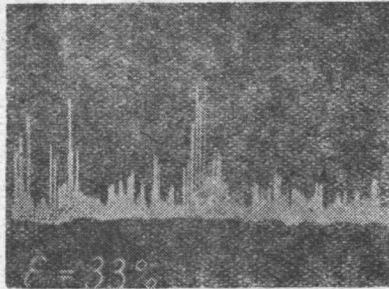


图7 根据 Niese 的脉冲示波图(上)和听觉记录(下)

基于在此所进行的短促純音試驗，Niese^[13] 介紹通过 RC-綫路以 23 毫秒的时间常数来考虑听觉的慣性，其时有有效的电压与声压平方相对应，对于我們的观察來說有趣的是，这一时间常数与纵坐标上分度約为 5 毫秒(也就是上面所說的横坐标分度的一半)的 1 分貝声級降相当，用这一时间常数繪出的回声图，在維持取得 1 分貝級的声級时，要求双倍的图表容量。因为往往只可能有在衰減曲线之上的值，所以如此一图形的信息量仍是相当少的。

还要弄清楚的是慣性系統是否适用一个一級系統，一个二級系統或是更高级的系統完成的，或系統是否响应于 P 或 P^2 或 $P^{\frac{1}{2}}$ 或混响图上相应的对数，这对信息量則是沒有多大影响的。

从使用脉冲的选择中产生根本上的区别，象我們初始研究所用的实际脉冲試驗假定是任意短的单

同时，通过慣性系統使之順滑的图也是最老的方法，早在 1928 年 E. Meyer 和 Just^[22] (尤斯特) 就使用到混响记录方面去，Kuntze^[23] 也利用它根据听觉记录讲堂內各点上声脉冲的畸变。

根据听觉慣性的记录原理最近用目前使用的工具在很多地方采用，不但在 Aachen^[24] (亚琛)，Dresden^[25] (德累斯顿) 并且也在柏林^[26]。图 7 中 1957 年由 Niese^[26] 发表的图为一示例，图上两个装于木制人头內左右的傳声器的记录分别表示出来。

向压力脉冲，我們已經指出过，这在室內是根本不会产生的，所能产生的只是交变脉冲，其頻譜常在低頻下降，实际上頻譜在高頻也下降，因为不能任意使交变脉冲变短，尤其是象在第一次脉冲試驗时用的手枪声，其頻譜的最大值約为 1000 赫^[27-28]，由于在这一範圍內，語言的頻譜也有其最大值，所以对不能实现理想脉冲大致可用較低声調的爆炸声代替。这种看法是以 Reichardt^[29] (雷夏尔脱) 为代表的。

同样，Dresden 学派致力于研究語言的方向特性的問題，并且尽力使发送器与这一特性相适应。在这一額外的問題上，我們不欲作深入研究，而是对这样一个根本性确定感到滿意；即除了发送点的变化外，还应将它的对于脉冲示波图的方向特性的变化考虑为另一变量，这样大概可以限于球面辐射和

一个强烈地向前的辐射的极限情况。

频率和时间方面的混响分析

针对频谱提出了这样一个问题：除了时间关系以外，频率关系难道不也是很有意义的吗？就象声音信号根据听觉计评价的情况一样，只有用如此的二维图示脉冲畸变才能在它的其余部分中现出混响的频率特性，声学家在拍音试验时也注意到这两种的相关性，因此就有这样的课题：把从拍音试验中

所能够听出的东西保留在图形内，将它作为一种稳定状态（也就是说没有观察时间的限制）来讨论，这样就可能定量地来评价。

这样一种频率和时间方面的混响分析的图象表示法已由 Somerville (索曼费尔) 和 Gilford^[30] (格尔福特) 通过这样的形式来实现：他们把滑动频率的间断发送的纯音得出的密集混响曲线拍摄照片。图 8 中所举的例子表示，对于这样多的曲线完全可当作图案来解释和评价。

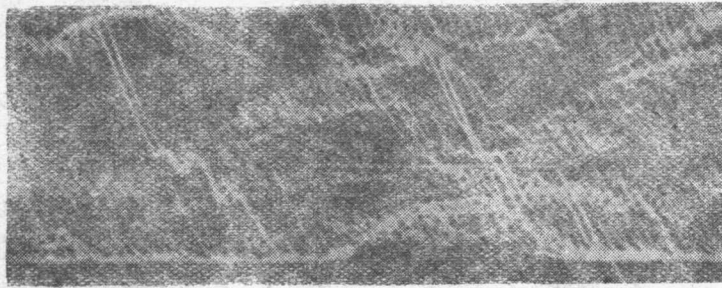


图 8 根据 Somerville 和 Gilford 的滑动频率的混响图案

最好是希望不必将参数 f 和横坐标 t 分开，而是象在可见语言那样，声级以浓度形式在 $f-t$ 平面上再现。

Somerville 和 Gilford 也已试验过这一方法，同样，在此也可提到 Sacerdote^[31] 公开发表的相似的图形表示法的试验。

目前我们在柏林正致力于一种“可见房间响应”的研究，并且从这一情况看出，这样的图象对听觉上多方面的课题比能够评价接近于最佳值的定量数据更好一点。

此外，我们可以认为：如果将频谱分析得稍粗一些，即满足于已提及的 20 个频率级，象 Brüel^[32] (布鲁埃尔) 做过的那样，则不幸在此出现的无重要意义的对位置和频率的强烈关系能加以避免。频率可用普通的方法来划分，可用 $\frac{1}{3}$ 倍频程或临界频带滤波器来分析噪声图，然后可以用滤波器后得到的电压来控制一个垂直地略微振荡的电子束的亮度，并将这些“分级记录”逐行上下相当地拍摄下来，如此就得到如图 9^[33] 左面所示的照片。

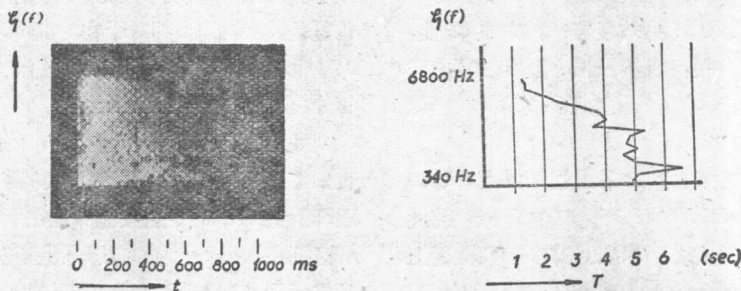


图 9 带有颤动回声的大厅的“可见房间响应”

另一方面在所选择的 1 秒长的时间可以看出右边所画的、用一般的方法所得到的混响频率特性，同时又可以知道最活跃的频率范围随着颤动回声而终止。

如果已经在发送信号时进行频率分离，那当然

是更好了，联系到 Gabor^[34] (加鲍尔) 有关经典不准确关系的著名研究，我们发送了脉冲，它表示一个用高斯钟形线调制的正弦音，并且这些正弦音平均持续时间与载频的带宽 $4f$ 相适合，“高斯音”的优点是：即使是普通的扬声器，它也只引起微不足道的畸

变,因此它也解决了室内声学模型中变换方向的困难。

把 20 个频率级与所讨论的根据听觉的图形连合起来,则对于 $f-t$ 平面上的每一个回声图可以得到 $20 \sqrt{2}$ 必特,也就是说,一个象 Liederhalle 大小的房间可以得到 2500 必特。

将这一数字与 K pfm ller^[35] (科浦夫缪勒) 的在打字机上打字或在钢琴演奏时能够进行工作的每秒 50 必特的数字进行比较,则显出它是相当高的,但我们的数字关系到与信息量相对的较大的图形容量,此外它并不涉及了解到的语义上的印象。如果是一个好的电视图象,它有较精细的扫描条纹,只要凭猜测就可知道它表示的东西。总之,我们有这样的能力将我们的注意力集中在不同事件上,我们的曲线图必须估计到所有这些可能性,就象一个学生必须准备好每逢考试时可能遇到的许多试题。

2500 必特的表示图表还应取与以前的在 5 个不同发送位置 20 个测点和两个极端发送方向特性的建议相应,因此总的信息量为 $250 \times 5 \times 20 \times 2 = 500,000$ 必特。这是相当高的,但是很容易置入一张 20×18 厘米² 的照片上。

方向特性

但这还没有包括一切。我们不仅有时间过程和音色变化的感觉,而且还有方向感觉。这并非指我们听到某一种乐器在乐队的哪一位置上。通过第一个波前^[15, 38] 决定的方向性感觉可精确到角度 3° , 这是很明确的,并且只要不用电声系统(这时从发声器来的直接声不再首先到达观众席),那么它在每一个房间内都是同样好的。另外还有一种方向特性,它与以后到达的波有关,我们一再希望“波道”能对此有些作用,声音并不单是从发声器而来的,我们也应该了解房间的方向性。

声音在各房间内的方向分布已在 Göttingen (格丁根)大学由 Thiele^[12] 的研究工作开始,系通过使用方向性接收器在各个房间的许多不同位置上进行试验。这一新的量度首先不涉及时间(即在稳态下),并在选择适当的频率范围下着手进行,这肯定是恰当的。为了有好的方向选择,适宜用较高的频率,至少 2 ± 1 千赫。另一方面使方向分解力太强是无意义的,而应符合耳朵的分辨能力。

Meyer 和 Thiele^[38] 在后来的研究工作中讨论了一个论点,是关于单位球体以每 10° 的球面等距

离的方向间距分布。因为这些间距与接收器的方向选择相当,因此信息不会减少。这些离散的能量部分可以用适当长度的径向棒来表现,这些棒插在相应地钻孔的球体的孔内,这些“刺蛾”估计约有 200 根针刺,可以从上面或侧面将它拍摄照片。

图 10 表示 Liederhall 厅内 3 个特性位置的相应照片,是从 Junius^[18] 的研究工作中取来的,在纵断面图中是从侧面拍摄的“刺蛾”,平面图中则是从上面拍摄的,这样到一定反射面上的方向的对应关系就变得容易了,所以例如在中间位置上倾斜向上的射线肯定是属于乐队演奏台上的反射体的。

在这张图上也显示了最初由 Meyer 和 Burgtorf^[39] (布尔格托夫) 进行的方向性刺蛾的时间关系。这时不再发送稳态声音而发送爆炸声脉冲,并且在接收位置上将较大的时间间隔内到达的能量积分,因此上面的刺蛾与 $0 \dots 100$ 毫秒的时间间隔相应而下面的刺蛾与 $100 \dots \infty$ 毫秒的时间间隔相应,下面的刺蛾的针刺比上面的刺蛾分布得更为多方面那是想象得到的。即在混响时,“刺蛾”蜷缩在一起。

由于认识到不能再忽略在延长时间内通过“刺蛾”所得的信息的丰富性,Junius 按标出的“前、后、左、右、上”字样的五个主要方向对 200 根针刺进行试验,因此而得到主观方向印象的要点。这一内容在图 10 下面仍以已提及的时间间隔表示出,这时我们把 Junius 所给出的数值用线条数代表,即利用了明暗度的视觉原理。

假如我们不仅要探求物理特性而且也还要找听觉的表示,那么我们就面临这样一个问题:是否除了频率和时间以外,方向也应看作是同样重要的量度,也就是说,是否我们对于在时间 Δt 内到达的频带 Δf ,也能够说出它从前面来是百分之几,从右面是百分之几等等。

关于方向感觉与时间和频率的组合,我们现在也知道得很少,所有对于这些方面的解释都是属于双耳听觉的,虽然这些解释是在于前面和后面之间的区别,或者垂直的方向感觉但不够满意,而有赖于补充假设,目前我们也没有更好的解释了,不过可以肯定,如果我们用单耳听,就失去了方向感觉。

两个有相同能力的接收系统的信息容量是单个的一倍,这一数学上无可置辩的事实却在另一方面从感觉上引起了矛盾,因为假若我们把手指从一只掩盖的耳朵上拿开,就都有这样的感觉:发现得到全新的东西,但不能因此而认为我们大概是加倍仔

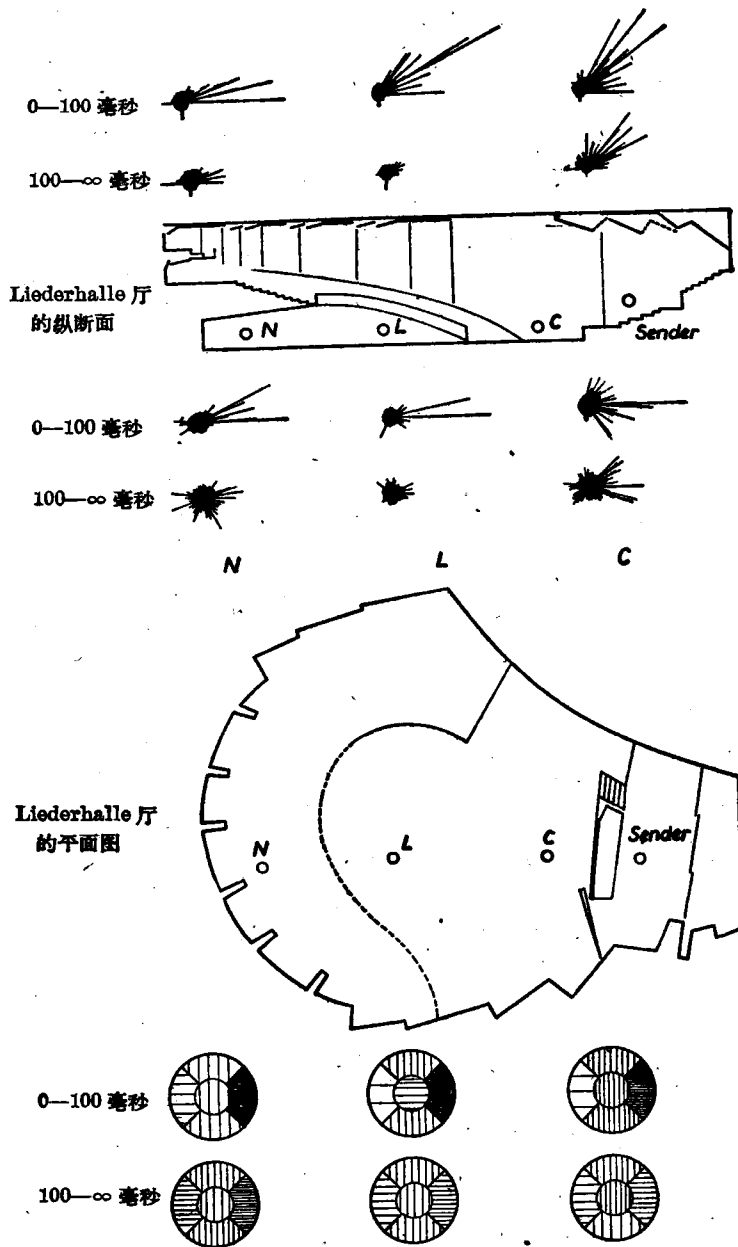


图 10 Liederhalle 厅内的方向性“刺猬”及根据 Junius 的信息量限制
Sender = 发声器

細地分割了時間和頻率标度。

所提及的数学定理并不表示(反过来讲)除去了一个接收系统就把有用的信息容量折半, 因为很明显, 接收器的某一特性只有在与第二个进行比较时, 才变得有意义并且有用。

在我们的耳朵内出现这样的情况: 只要我们按单道观察, 对于 10 毫秒间隔的时间分解感觉到很满意, 于是从这两个图形的比较中确定方向性时就只

剩下强度的比较了, 但是我们知道, 两只耳朵内传播时间的区别对方向感觉起着决定性的作用, 所以这里就涉及时间间隔, 它较上面所提及的要精细到约 2 个 10 的幂次。但并不是说需要如此小的时间差别, 也不是说只有用相似大小的时间间隔, 方向感觉才能按时间有所变化, 很明显, 一个新的方向特性不会比一个新的强度和音色更早地对我们发生作用。

我们必须把方向当作时间函数, 或者甚至当作

時間-頻率函數顯示出來，因此附屬的頻率分析可以與這樣的事實相連系，即：假如聲信號都是獨立的，也就是說都是有足夠差別的，就象在消聲室內的試驗所得到的那樣，則我們可以同時覺察到許多方向。

方向並不造成一個新的量度，就象這一感覺的 $4t$ 和 $4f$ 間距那樣，而是對於一定的 $4f-4t$ 場除了強度以外它形成了第二個數據。我們可以將它在同

一圖表內，通過詳細的陰影綫(或是這類綫的減少)來表示。

對於這一補充的數據需要多少不同的間距級，多少必特？這些對頻率和時間軸上的分割可以和必須精細到何種程度？這一切都是尚未解決的問題。

(武佩瑩譯 章啟馥校)

參 考 文 獻

- [1] W. C. Sabine, *The American Architect*, 1900.
- [2] M. Schröder, *Acustica*, 4 (1954) 594.
- [3] H. Kuttruff und R. Thiele, *Acustica*, 4 (1954) 614.
- [4] M. Schröder, *Siehe S.* 771.
- [5] H. P. Seraphim, *Acustica*, 8 (1958) 280.
- [6] R. Feldtkeller und E. Zwicker, *Acustica*, 5 (1955) 303.
- [7] H. und L. Cremer, *Akust. Z.*, 2 (1937) 225.
- [8] F. V. Hunt, L. L. Beranek und D. Y. Maa, *J. Acoust. Soc. Am.*, 11 (1939) 80.
- [9] H. Kuttruff, *Acustica*, 8 (1958) 273.
- [10] E. Scharstein und W. Schindelin, *Ann. Phys.*, V, 2 (1929) 194. 又見 L. Cremer, *Geometrische Raumakustik*, Stuttgart 1948.
- [11] G. R. Schodder, *Acustica*, 6 (1956) 445.
- [12] R. Thiele, *Acustica*, 3 (1953) 291.
- [13] H. Niese, *Hochfreq. u. Elektroak.*, 65 (1956) 4.
- [14] R. H. Bolt und P. E. Doak, *J. Acoust. Soc. Am.*, 22 (1950) 507.
- [15] H. Haas, *Acustica*, 1 (1951) 49.
- [16] E. Meyer, *Second ICA Congress*, (1957) 59.
- [17] W. Kuhl, *Second ICA Congress* (1957) 53.
- [18] W. Junius, *Acustica*, 9 (1959) 289.
- [19] L. Cremer, *Geometrische Raumakustik*, Hirzel, Stuttgart, 1948, § 17.
- [20] G. V. Békésy, *Physik. Z.*, 30 (1929) 118.
- [21] U. Steudel, *Hochfreq. u. Elektroak.*, 41 (1933) 116.
- [22] E. Meyer und P. Just, *Elek. Nachr. Tech.*, 5 (1928) 293.
- [23] W. Kuntze, *Ann. d. Phys.*, V, 4 (1930) 1086.
- [24] G. Boré, *Diss.*, Aachen, 1956.
- [25] H. Niese, *Hochfreq. u. Elektroak.*, 66 (1957) 70.
- [26] H. J. Zemke, *Nachr. Techn. Fachberichte*, 15, (1959).
- [27] W. Weber, *Akust. Z.*, 4 (1939) 373.
- [28] L. Cremer, *Akust. Z.*, 5 (1940) 46.
- [29] W. Reichardt, *Schalltechnik*, 17 (1957) No. 22.
- [30] T. Somerville und C. L. S. Gilford, *B. B. C. Quart.*, 7 (1952) 41.
- [31] G. Sacerdote, *Elettronica e Televisione Italiana*, N. 6, Nov.-Dez. (1953).
- [32] P. Brühl, *B & K. Technical Rev.*, No. 3 (1956).
- [33] W. Neeb, *Unveröffentlichte Diplomarbeit*, Inst. f. Tech. Akustik, TU, Berlin.
- [34] D. Gabor, *Journ. Inst. Elec. Engrs. (London)* 93 (1946) 429.
- [35] K. Küpfmüller, *Nachr. Techn. Z.*, 12 (1959) 68.
- [36] L. Cremer, *Geometrische Raumakustik*, § 46.
- [37] E. Meyer und R. Thiele, *Acustica*, 6 (1956) 425.
- [38] E. Meyer und W. Burgdorf, *Acustica*, 7 (1957) 325.

2. 經驗性的音質評價標準

[英國] T. Somerville 等

Acustica Vol. 3, No. 6, p. 365~369 (1953) [英文]
Vol. 7, No. 2, p. 96~100 (1957)

引言

在聲學領域中，客觀標準與主觀特性間還沒有任何完全可靠的相互關係。所以聲學工作者時常發現自己處於意見紛紜的困難境地而這些意見通常與所研究的音質特性又很少連系。很多人曾致力於創立可靠的評價標準，最成功者當為賽宴的混響時間方法。他的工作使客觀標準較能實現，並使在建築聲學的處理上有很大的進步。然而，按照近代知識，混響時間方法已被認為不夠可靠，因為有很多個體積與混響時間均相似的房間事例中，它們在音質上却有很大不同。

雖然賽宴對混響時間的研究工作是在1922年^{[1]*}發表的，但直至1935年Wente^[2]（惠恩脫）才開始介紹了一個室內聲音傳輸特性的分析方法。他研究了當揚聲器發出的聲音在頻率上作很慢的變化時，在高速聲級記錄器上所取得的特性，他證明了混響大的房間其漲落更為劇烈。他能夠說明在他所謂的“傳輸不規則性”與房間吸收之間存在一定的關係。1939年F. V. Hunt^[3]報導了他對這個方法所作的進一步的工作。許多用過這一方法的人的經驗卻認為這個傳輸不規則性對主觀音質間的相关性是很差的。

同年，R. H. Bolt^[4]（博爾脫）與馬大猷^[5]發表了他們對於在長方形房間中簡正振動頻率分布的工作，後來Bolt^{[6][7]}又作了室內簡正振動頻率間隔的統計研究，並建議了一個評價標準。這個標準，本質上是統計性的，對於某些在同一頻率上有許多簡正振動方式的特殊重合這一點考慮得不够。眾所周知這種重合能產生主觀上不愉快的後果。R. B. Watson^[8]（華特生）發表過一篇關於室內聲音衰變的“調制”的文章，並發展了一個使調制與音質相關的這樣一個評價標準，而具有某些成功之處，但他的研究未見下文。Bolt等在頻率響應漲落與脈沖統計上做了進一步的工作，發表於1950年^{[9][10]}。就目前所

知他們並未對主觀評價建立任何聯繫。近來，Bolt與Doak^[11]已經從Haas^[12]（由Parkin與Scholes所介紹的）工作的基礎上導出了一個理論性評價標準，它在評價不連續回聲的重要性上有某些價值。但由於不連續回聲不至於在近代建築中發生，因此這個標準的用途也就有限。

所有這些標準，除混響時間以外，用途均很有限。這是不足為奇的，因為沒有一個標準一直是可靠的，除非它能照顧到人耳所能辨別的主要特性。也許因為人耳能感覺得出聲音的衰變時間，因而也只有混響時間才是合理的評價標準。除去混響時間長度外，人耳也能感覺得出混響時間隨頻率的變化，換言之，它在混響時間對頻率特性的不均勻性中是靈敏的。正因為這樣，即使很不熟練的聽眾也能感覺到“隆隆聲”（boominess）或“尖刺聲”（toppiness）。而如“傳輸不規則性”、“頻率不均勻性”及簡正振動方式間隔等這些特性，都不能很明確地被聽眾所感覺到，雖然他們能感覺到一些它們的效應。而衰變中的不規則性却無論如何是可以聽出來的，這就可能去解釋為何R. B. Watson在聲音的“調制”與主觀效果間找到了一些相互關係，雖然這個關係並不好。因此要找出一個新的評價標準，它包括混響時間對頻率的曲線及衰變曲線兩者所決定的全部參數。

作者在1953年曾提出一個暫行的經驗性音質評價標準，它在25個廳堂內對各個音質主觀評價與由客觀測定數據所決定的參數之間有很好聯繫。那時只有這25個廳堂能得到合適的結果；暫行的評價標準能否成立或失效，只有在廣泛應用以後才能了解。對這個暫行的評價標準所要求的一切就是要指出一種用客觀參數去估計主觀音質的方法，它是假定25個廳堂的主觀與客觀數據能被認為是可靠的，而且作為表示廳堂的基本情況。

為了收集所需要的主觀數據，因此又做了很多測定工作並在英國廣播公司內部廣泛征詢意見，同

* 他的工作實際上是陸續發表在1900~1915年間的建築雜念等文獻上，而他的文集是在1922年出版的——編者注。

时进行了客观测试工作。

主觀的調查

可靠的主觀数据的收集在声学研究上常常是最困难的。如果欲获得有意义的意見，就需要仔細地推敲征詢意見表的措辞和內容。从这点看来，要求评价者对他们所熟悉的全部厅堂的各种音质特性給出以数量級的估計是必要的。所要求的最重要的意見是在厅堂的总音质方面。从这些意見中收集的总音质主觀估計的某些部分必需与客观测定相比較。此外，对某些指定的音质又要求有詳細的意見，因为如无此項資料則很难說明总音质的意見。作者也希望这些詳細的意見能与客观测定的参数相联系。

对一些录音室的主觀分类与較早时期(1953)的工作一样并不决定于很多人的主觀測驗，而决定于使用这些房間的节目負責人与艺术家们对它們的声誉。对一个有經驗的使用者來說，任何录音室的音质可以从广播中或录音中很快地就知道其声誉是好还是坏。

征詢意見表流傳在整个英国广播公司內，不但在倫敦地区并在所有其他英国广播公司中心。虽然

其形式被設計成使大量意見能用“穿孔卡”方法来分析，可是反应意見却少得出乎意料；寄回征詢意見表的仅有117人。大多数人給出了总音质的意見，而其中許多人只对指定的音质提出很少的意見，因此未能获得有关規定音质意見的有效結果。

在上述这种性质的所有調查中(国内外都一样)，最大的困难则为获得一国之內不同地区間的一些相互关系，因为要对許多厅堂非常熟悉的人实在太少。在这次調查中也是如此，仅有很少人能了解他們自己地区以外的一切厅堂情况。幸而在英国广播公司有一个五人声学专家小組，他們对英倫三島內主要的录音室及音乐厅都很熟悉。他們都是科学家和音乐家，并且对各类录音室的运用有丰富經驗。所以最后的措施乃决定分析117件意見表中所得的总音质数据，并与专家們的意見作比較以觀其符合性是不是良好。专家們所給出的平均总音质数值与普通评价者所給出的平均总音质数值間的相关系数为0.66。这就足以表示多数群众与专家們間大部分是很符合的，他們在这些場合下提供了相当合理的各區間交叉相互关系，因此可将从全部地区得来的結果合并起来。

表1 各种录音室特性的评价

特 性	录音室类别	評 价		
总音质		很好(10)	一般(5)	很坏(0)
活跃度		极其活跃(10)	正确(5)	极其死寂(0)
低音混响		非常多(10)	正确(5)	非常少(0)
高音混响		非常多(10)	正确(5)	非常少(0)
在地面上音质的变化	戏剧	非常多(10)	正确(5)	非常少(0)
自然度	讲话与戏剧	很好(10)	一般(5)	很坏(0)
透明度	戏剧与音乐	很好(10)	一般(5)	很坏(0)
明晰度	音乐	很好(10)	一般(5)	很坏(0)
音质	音乐	很丰满(10)	一般(5)	很干涩(0)
演出舒暢		很舒暢(10)	一般(5)	很难(0)
演員間相互听觉容易	音乐	很容易(10)	一般(5)	很难(0)
不需要的賦色現象		不严重(10)	—	很严重(0)
傳声器位置		不苛求(10)	—	很苛求(0)
立体音质		很好(10)	中等(5)	很坏(0)

客观参数的推导

如上所述，为了找出一个新的评价标准，它包括早在1953年作者从一个等于平均混响時間 T_m 的

数值推导出一个参数以表示混响時間对頻率特性的离散度。这个参数我們称为 R 。其推导过程如下。以图1为例，它是一个典型混响時間的頻率曲綫。如果 A_0 为曲綫下 $AOPB$ 面积， L 是基綫 OP

* “穿孔卡”制度是利用一种經過加工的穿孔卡(它等于多栏式的表格)。按各种征象将材料进行文件处理，并且根据不同的这些征象組合达到資料的机械探索。它是近代化文件处理和資料分析的有力工具。例如，可參看 R. S. Casey 等編的 Punched Cards, Their applications to Science and Industry (1958) 一书——編者注。

录音室的一般衰变不规则性的标准。

主观和客观参数间的关系

早在 1953 年研究 25 个各种大小厅堂的时候就已知其衰变不规则性 D ，混响不规则性 R 及平均混响时间 T_m 的数值；这样评判时，主观总音质变化很大。如果将 $D+R$ 对 T_m 画成图表，简略地说，可有一个包括一些好的录音室的“狭带”存在，而音质不好的厅堂则落在“狭带”之外（见图 3）。此后，又对 6 个音质好的厅堂求得一个 $(D+aR)$ 对 T_m 的线性回归公式，此时 a 值不作规定。如果 $D+aR$ 和 T_m 之间的相关性十分完满（相关系数等于 +1），则可有下列形式之关系

$$D+aR=A(a)+T_m B(a) \quad (1)$$

式中 $A(a)$ 和 $B(a)$ 都只是 a 的函数。如果相关性并不十分充足，则只能用最小二乘方之类的方法来求音质良好的厅堂的 $A(a)$ 和 $B(a)$ 的最佳值。

这个量

$$X(a)=\frac{D+aR}{A(a)+T_m B(a)} \quad (2)$$

对于 6 个音质好的厅堂来说， (a) 大致分布在 1 附近，对其它的厅堂则可有任意数值。我们发现当 $a=0.7$ 时，不但这 6 个厅堂的 $X(0.7)$ 数值很接近于 1，而且其它如果是音质好的厅，其 $X(0.7)$ 值大多数也在这个限度之间，否则就在这个限度之外。

$X(0.7)$ 对 T_m 的关系标绘在图 4 之中。相应于音质好的厅堂的各点都落在直线 l_1 和 l_2 （分别相应于 $X(0.7)=0.8$ 和 $X(0.7)=1.2$ ）围起的狭带之内。 $A(a)$ 求得为 3.39， $B(a)$ 为 1.43。

在新数据的分析中，根据适当地综合征询意见表中的意见和专家们的意见得到了一个总音质的修正主观评价参数 Z 。这样就得出一个以 Z 对 D 、 R 、 T_m 和 $V^{\frac{1}{3}}$ 的回归公式。 V 为体积，是早期研究所未考虑的。对于 43 个录音室其 Z 、 D 、 R 、 T_m 和 V 的数据值都全具备时的结果是：

$$Z=-0.439D-0.003321R+2.291T_m-0.007735V^{\frac{1}{3}}-0.692 \quad (3)$$

43 个录音室的 Z 、 D 、 R 、 T_m 和 $V^{\frac{1}{3}}$ 的数值见表 2。因为 $V^{\frac{1}{3}}$ 的范围很大，则 $V^{\frac{1}{3}}$ 系数小的程度比之真实情况更显著，而且 R 的系数又非常小，这就与已经知道的不规则混响时间对频率特性的显著效应相违背，即“隆隆声”或“尖刺声”，两者似乎都与低的 R 数值有关。

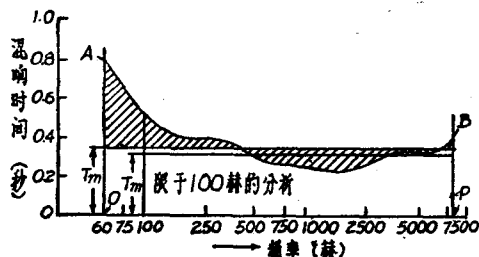


图 1 Belfast 2 号录音室的混响时间对频率特性曲线， T_m = 平均混响时间

的长度，根据定义 A_0/L 给出 T_m ，以垂直标度的单位衡量之。如果在高度 T_m 处画一水平直线，斜线面积之半与 $AOPB$ 面积之比值 r 得出对 T_m 的“平均散度”。 R 按定义用对数单位，则为：

$$R=-20\log_{10} 10r$$

对于大型录音室和音乐厅的鉴定其 R 的推导使平坦至基数上，因高频受空气衰变常常使混响时间低于 T_m ，其结果到目前为止看来是符合于现在的简单步骤。

近来一种新式音质“脉冲滑动”测试的详细信息已经发表^{[18][14]}。在介绍这个试验的文章中指出测量结果的统计分析在发展之中。其中介绍了一种评价图案随机性的可见方法；这当然还可以有很多其他的方法。这种分析方法是各个衰变曲线用照相放大与描述，它包括下列各个频率：50，100，200，300 赫…1，1.2，1.4，1.6，2 千赫。

对衰变曲线可画一直线，如图 2 所示，使直线两边面积大致相等。该步骤很相似于在一般混响时间测量中求平均斜度的步骤。在直线两边的全部斜线面积 S 用求积仪测定。如果将 S/OB 的数量定出，并以衰变曲线的垂直标度来测量，则此数量就定义为声级差 D_1 分贝，对于一个绝对直线的衰变曲线它将为零。上述频率 D_1 的算术平均值 D 即为所考虑

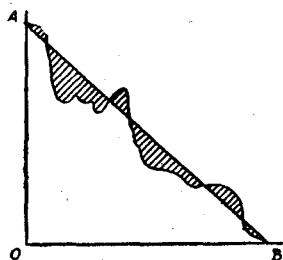


图 2 典型的稳态声衰变， $D_1=S/OB$ ，其中 S = 斜线面积