

伪随机扩散体的吸声性能及其应用

盛胜我

(同济大学声学研究所 上海 200092)

1996年6月3日收到

摘要 本文介绍伪随机扩散体吸声性能的应用, 提出减少扩散体结构厚度的实用设计, 并应用于剧场观众厅以减少混响时间.

关键词 吸声, 伪随机扩散体, 应用

Application of pseudostochastic diffusers in sound absorption

Sheng Shengwo

(Institute of Acoustics, Tongji University, Shanghai 200091)

Abstract A compact design which reduces the thickness of a pseudostochastic diffuser for practical purpose is proposed. An example of the use of this structure as a wideband sound absorber for avoiding excessive reverberation in an auditorium is described.

Key words Sound absorption, Pseudostochastic diffuser, Application.

1 引言

伪随机扩散体, 有叫数论扩散体是一种表面为平面的声学结构, 由一维的槽或二维的管道结构组成. 各个槽或管道的深度呈周期变化, 如果其深度按伪随机序列(二次剩余序列, 原根序列等)来选择, 结构的散射特性将被改善. 当声波入射到扩散体表面时, 散射能量将均匀地分散在所有可能的方向上, 从而获得最佳的散射特性. 由于这种散射体由德国施罗特教授首次提出, 因此通常被叫做施罗特扩散体或二次剩余扩散体(QRD). 近年来这种扩散体在低频范围内的高吸声现象引起了广泛的注意^[1-3]. 作者曾对QRD结构的吸声特性进行了研究, 并对其吸声机理作了理论分析与数值计算^[4,5]. 本文介绍伪随机扩散体吸声性能

的实际应用, 针对改善厅堂音质的需要, 提出了QRD结构的实用设计, 并具体用来缩短厅堂的低频混响时间, 取得了满意的效果.

2 实用设计的QRD结构

典型的伪随机扩散体是QRD结构(见图1a), 它内部深度的比例是按照二次剩余序列排列的. 由于序列的数值变化较大, 例如当所取素数为7时, 槽的深度比例为0:1:4:2:2:4:1; 当素数为11时, 深度比例为0:1:4:9:5:3:3:5:9:4:1. 因此, 如果按照这样的长度设计, 整个结构的厚度将显得相当大. 在实用设计中, 为了尽量缩短结构的厚度尺寸, 文献[3]曾提出利用槽后空间的想法, 但该设计尚不理想. 针对一维 $N=7$ 的QRD结构, 我们提出如下的一种设计(见图1b). 这种结构使原来的厚度缩短了一半, 并且

结构相当简洁, 槽后的所有空间都被利用. 我们采用全为木质结构, 其中槽的宽度为 7cm, 每个单元的截面积为 50cm×50cm, 厚度为 30cm. 四周围护及底部采用 6mm 木板, 其中的隔断采用三合板. 槽的深度按一维的二次剩余序列排列, 对应于最大深度的槽穴 ($n = 3.6$) 经相邻两段槽后空间, 正好满足其深度的要求.

这种结构的混响室吸声系数如图 2 所示. 混响室的体积为 270m³, 试件的总面积为 7.5m², 由 30 个单元组成. 在结构表面覆盖一层 1cm 厚的泡沫塑料层, 将明显地增加中高频的吸声系数 (见图 2 中的虚线所示). 从图中可以看出, 这种结构实际上已成为一种宽频带的吸声体.

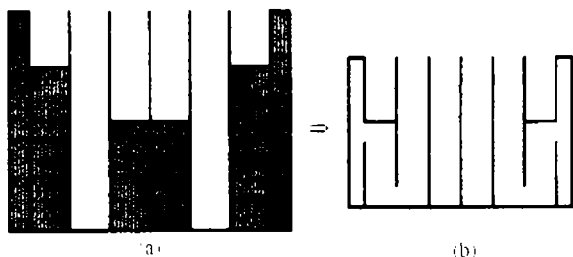


图 1 充分利用槽后空间的 QRD 实用结构
(a) 原来的结构 (b) 改进后的设计

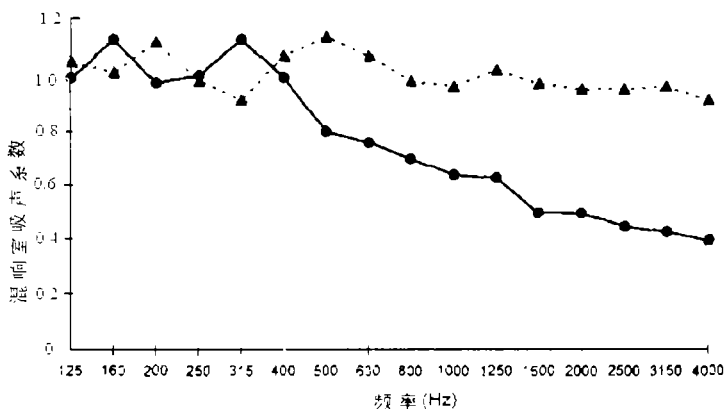


图 2 实用 QRD 结构的混响室吸声系数
--- QRD 结构, - - - 表面覆盖 1cm 厚泡沫塑料层

3 利用 QRD 的吸声性能减少混响时间

在厅堂中采用 QRD 结构, 原来是为了增加扩散的考虑. 但是, 在某些多功能剧场中有时需要较短的低频混响时间, 这时可以利用 QRD 结构的吸声性能来同时达到上述的目的. 下面介绍一个应用的实例. 某剧场总体积约 5400m³ 860 座. 原来的设计中观众厅内未作吸声处理.

考虑到剧场的功用主要是会场和放映电影, 需要增加一定的吸声量. 在我们的设计中, 除了在顶板上增加部分吸声处理外, 在侧墙上安装一定面积的 QRD 结构, 图 3 是这种结构的安装示意图, QRD 结构表面与强面平行, 露出墙面 15cm. 结构单元可以拼装成不同的图案, 外层采用的泡沫塑料可选用不同的颜色, 使之与原来墙面协调. 未装 QRD 结构时, 原来侧墙在美观上也颇感单调, 安装 QRD 结构后提供了

某种造型, 纠正了这个缺点. 部分扬声器也可镶嵌在总的结构造型中, 混合一体. 表 1 列出了安装 QRD 结构后, 剧场的空场混响时间.

由表可见, 总的效果是比较满意的, 达到了预期的要求.

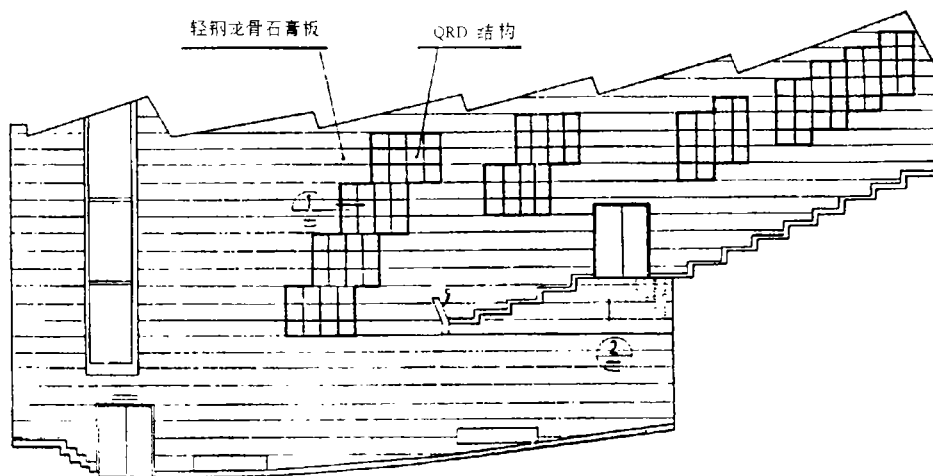


图 3 剧场内侧墙上部分安装 QRD 结构

表 1 安装 QRD 后剧场的空场混响时间

f(Hz)	125	250	500	1000	2000	4000
$T_{60}(s)$	1.44	1.0	0.91	0.99	1.01	0.85

4 结论

我们利用伪随机扩散体的吸声特性来改善厅堂的音质, 提出了一个实用的结构设计. 由于这种设计充分利用 QRD 结构的有限空间, 使结构变得更加紧凑有效. 既尽量减少了结构厚度, 又降低了成本. 在一个剧场的侧墙上安装了 QRD 后, 有效地缩短了观众厅的低频混响时间. 以伪随机序列为基础的声学结构具有良好的扩散性能, 如壁面布置这种结构能在室内使声波达到充分散射. 当某些房间中又需要一定量的吸收 (特别在低频) 时, 伪随机扩散体

又显示出兼有扩散与吸声两重特性的效果, 因此这种声学结构在调节和控制室内声场方面有着特殊功能. 另外, 由于这种结构的吸声性能仅与结构的形状有关, 内部没有其他任何的吸声材料, 在某些噪声控制工程中是一种合适的低频吸声元件, 例如在一些不宜安装纤维性材料的通风管道中.

参 考 文 献

- [1] Fujiwara K, Miyajima T. *Applied Acoustics*, 1992 **35**, 149.
- [2] Kuttruff H. *Applied Acoustics*. 1994 **42**, 215.
- [3] Fujiwara K. *Inter-noise* 91, 591
- [4] 盛胜我, 王毅刚, 赵松龄, *应用声学*, 1995 **14**(3):6.
- [5] 盛胜我, 赵松龄, "伪随机扩散体吸声性能的数值分析与实验研究", *声学学报*, 1996 **21**(4).