

建筑科学研究报告

REPORT OF BUILDING RESEARCH

1981

No. 19

片式消声器衰减特性的研究

Researches on Attenuation Characteristics
of a Parallel-Baffle Muffler

中国建筑科学研究院
CHINESE ACADEMY OF BUILDING RESEARCH

建筑科学研究报告

编辑：中国建筑科学研究院科技管理处
印刷：北京印刷三厂
出版发行：中国建筑科学研究院建筑情报研究所
(北京市西直门外车公庄大街19号)

资料编号 8219

工本费：0.10元

提 要

本文介绍如何改善片式消声器的低频衰减量，调整其衰减频率特性，从而提高消声效能。

试验结果表明，片式消声器的低频衰减量随片厚的增加而提高。如果片的厚度与片间的距离之比值一定，其衰减峰值随片的厚度变化而移动，增加片厚，峰值就向低频转移。因此，通过调整消声器的片厚，便可获得片式消声器的最佳衰减频率特性。

Researches on Attenuation Characteristics of a Parallel-Baffle Muffler

Pan Wei · Han Lin

Abstract

This paper relates how to improve the efficiency of a parallel-baffle muffler by improving its attenuation of low-frequency sound wave and adjusting its frequency attenuation characteristics.

The results of the test show that quantity of attenuation for a parallel-baffle muffler rises as the thickness of the baffles increase. The peak attenuation frequency moves with the change of thickness of the baffles, if the ratio between the thickness of the baffle and distance between the two baffles is kept constant. The peak of attenuation moves in the direction of low-frequency, when the thickness is increased.

Therefore, by adjusting the thickness of the baffles, an optimum attenuation characteristics may be obtained.

目 录

| | |
|----------------------------|-----|
| 一、前言 | (1) |
| 二、影响片式消声器衰减量的因素 | (1) |
| 三、试验方法和结果的分析 | (3) |
| (一)不同片厚对消声器衰减量的影响 | (3) |
| (二)不同长度消声器的衰减量 | (4) |
| (三)消声器分段留空对消声器衰减量的影响 | (5) |
| 四、结束语 | (7) |

片式消声器衰减特性的研究

建筑物理研究所 潘伟 韩璘

一、前言

轻结构片式消声器的试验研究工作，与直角弯头消声一起，都是为解决好中央电视大楼工程的通风消声器设计进行的，是电视大楼声学设计研究的一部分。

电视大楼主要用房，包括演播室、音乐录音室、语言录音室、插播室、译配室等，在声学设计方面要求较高，声学设计的优劣，直接影响播音质量。因此，对防止环境噪声传入演播室、录音室等，都有严格的要求。关于这些房间允许噪声标准，许多国家都有明确的规定。我国至今虽未制定这方面的标准，但在建筑声学设计时，也都有具体的要求和指标。

电视大楼声学设计研究工作开始后，于一九七七年初，曾对国内电台、电视台和电影制片部门的演播室和录音室的声学设计状况，进行了调查研究。对通风系统所用的消声器的种类、结构形式、实际效果以及播音室的允许噪声级等，做了较详细的调查测定。从调查情况看，在工程中，片式的和类似片式的声流式消声器用得较多，小室式、蜂窝式消声器用得极少，大多数片式消声器采用片厚为10~15厘米，低频衰减量不好；消声器的长度和断面，不管是采用那种类型的，总长度一般都超过12米，少数的长达15米。消声器断面与气流管道断面比为1:2至1:3。整个消声器的体积，占据了相当大的建筑空间；在消声效果方面，存在的比较普遍的问题是低频不足，高频有余。在低频尤其是125赫兹衰减量不足，虽然经过消声器消声，但传至播音室的噪声仍超过允许的标准（演播室 NC-25，音乐录音室 NC-20，语言录音室 NC-15），因而不能满足使用要求；在高频段，消声量都普遍超过实际需要。这种情况无疑是一种浪费。一个通风系统的消声器，产生这种矛盾，原因虽然是多方面的，但最主要的一点，在于没有根据实际需要的消声量，调整好消声器本身的衰减频率特性。

如何提高消声器的低频衰减量，调整衰减特性使之与实际需要的衰减量相吻合，同时尽可能缩小消声器的长度和体积，这些是本课题所要研究解决的主要问题。

关于消声器的评价，从消声效果、气流阻力、经济价格等全面比较，片式消声器的风阻力小，流速均匀，占据建筑空间较小，优越性较大。

二、影响片式消声器衰减量的因素

早在1935年，波斯蔡 (J. P. Bosquet) 对有内衬吸声材料的管道内的声传播进行了研究。1937年，派金生 (J. S. Parkinson) 便提出了内衬多孔吸声材料的管式消声器单位长度的衰减量是 $\log(1 - \alpha_R) \left(\frac{P}{S}\right)^{1/2}$ 的函数。1939年，别洛夫 (A. N. Белов) 从理论上推导出阻性片式消声器的衰减量的计算公式：

$$NR = 1.1\phi(\alpha) \cdot \frac{P}{S} \cdot L$$

α 与 φ(α) 的关系

| | | | | | | | | | | |
|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| α | 0.1 | 0.2 | 0.3 | 0.4 | 0.5 | 0.6 | 0.7 | 0.8 | 0.9 | 1.0 |
| φ(α) | 0.10 | 0.20 | 0.35 | 0.50 | 0.65 | 0.90 | 1.20 | 1.60 | 2.00 | 4.00 |

1940年赛宾(H. J. Sabine)得出了经验公式:

$$NR = 1.05 \alpha^{1/4} \cdot \frac{P}{S} \cdot L$$

此后, 罗杰斯(R. Rogers)、席勒(Zellen)、艾克(B. Eck)等均提出过类似的公式。

然而, 别洛夫、赛宾等提出的所有公式, 形异实同, 一致表明, 片式消声器单位长度的衰减量是吸声系数 α 和 $\frac{P}{S}$ 的函数。P 为消声器通道的周长, S 为通道的截面积。以 1 米 × 1 米的正方形通道与 1 米 × 0.1 米的狭长方形通道相比, 前者 $\frac{P}{S}$ 为 4, 后者 $\frac{P}{S}$ 是 22。如果片的吸声系数很低, $\frac{P}{S}$ 值的变化对衰减量的影响很小。这在低频尤为突出, 例如超细棉制 10 厘米厚的片, 125 赫的吸声系数只有 0.15 左右, 代入别洛夫公式得衰减量为 3.6 分贝。

由此可见, 提高片式消声器低频衰减量, 关键在于提高片的吸声系数。多孔性吸声材料的低频吸声系数同材料的厚度有着极为密切的关系, 超细玻璃棉吸声系数与厚度和容重的相互关系见图 1 和图 2。图 1 曲线是容重一定 (25 公斤/米³) 吸声系数随厚度的变化。图 2 曲

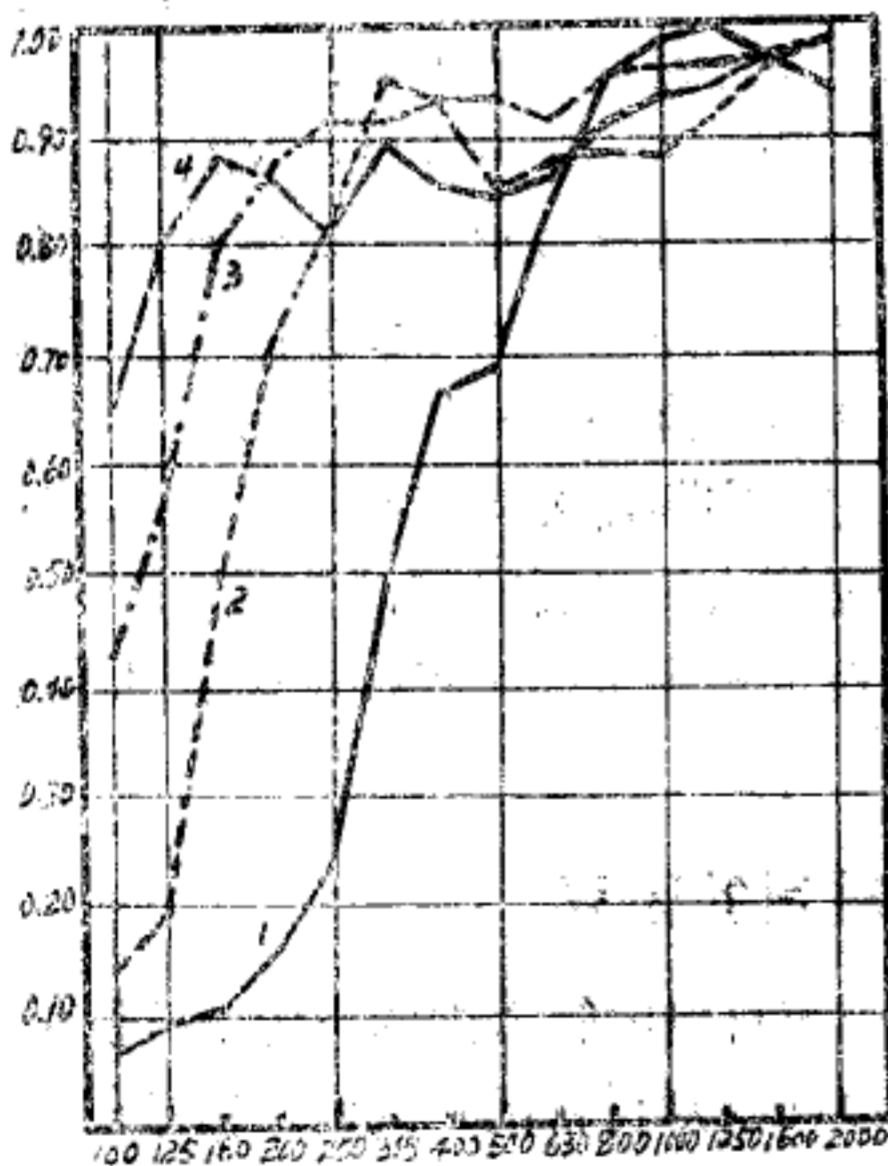


图1 材料厚度与吸声系数的关系

容重25公斤/米³的玻璃棉

- 1—厚度 5 厘米;
- 2—厚度 10 厘米;
- 3—厚度 15 厘米;
- 4—厚度 20 厘米;

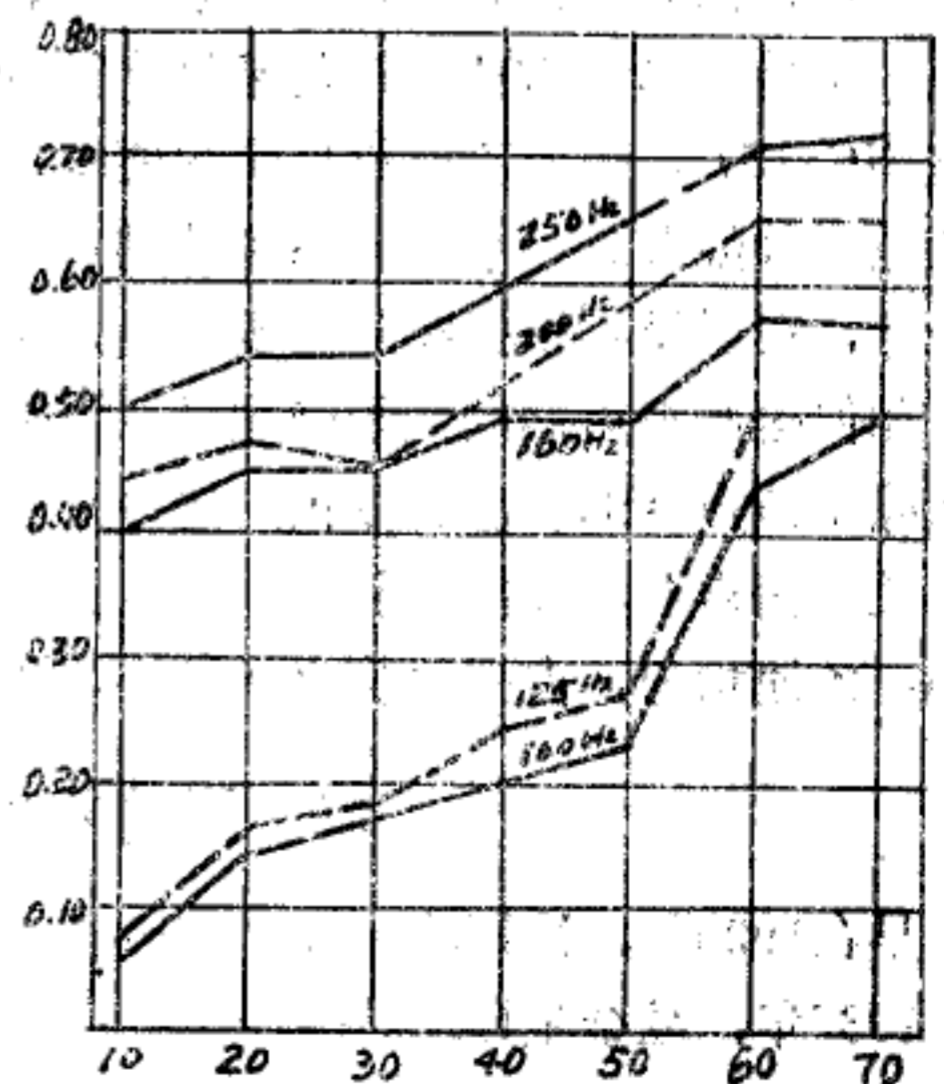


图2 材料容重与吸声系数的关系

(公斤/米³)

线是厚度一定（5厘米）吸声系数与容重的关系。把图1和图2的曲线相比较，可以清楚的看出，随着材料厚度加大，低频吸声系数大幅度上升，而容重增加，吸声系数变化比较缓慢，变化范围亦不大。由此，不难得出这样的结论：改变消声器片的厚度是提高片的吸声系数，改善片式消声器低频衰减量的主要途径。

三、试验方法和结果的分析

试验是在临时安装的通风管道消声试验室内进行的，试验室的平面图见图3。声源采用白噪声和风机噪声两种，接收系统用2209精密声级计和2304记录仪，为避免气流直接影响，传声器紧贴管壁，头部朝向管道中心。测试分静态和动态两方面进行，动态测量时风速有6米/秒、8米/秒、10米/秒和12米/秒四种风速。

总共测试了二十多个方案。其中最基本的有九个。根据实际调查测定的结果，消声器断面与管道断面之比保持在最少，即2:1。即片厚与片距之比保持1:1，是目前国内现有消声器的最好比例。

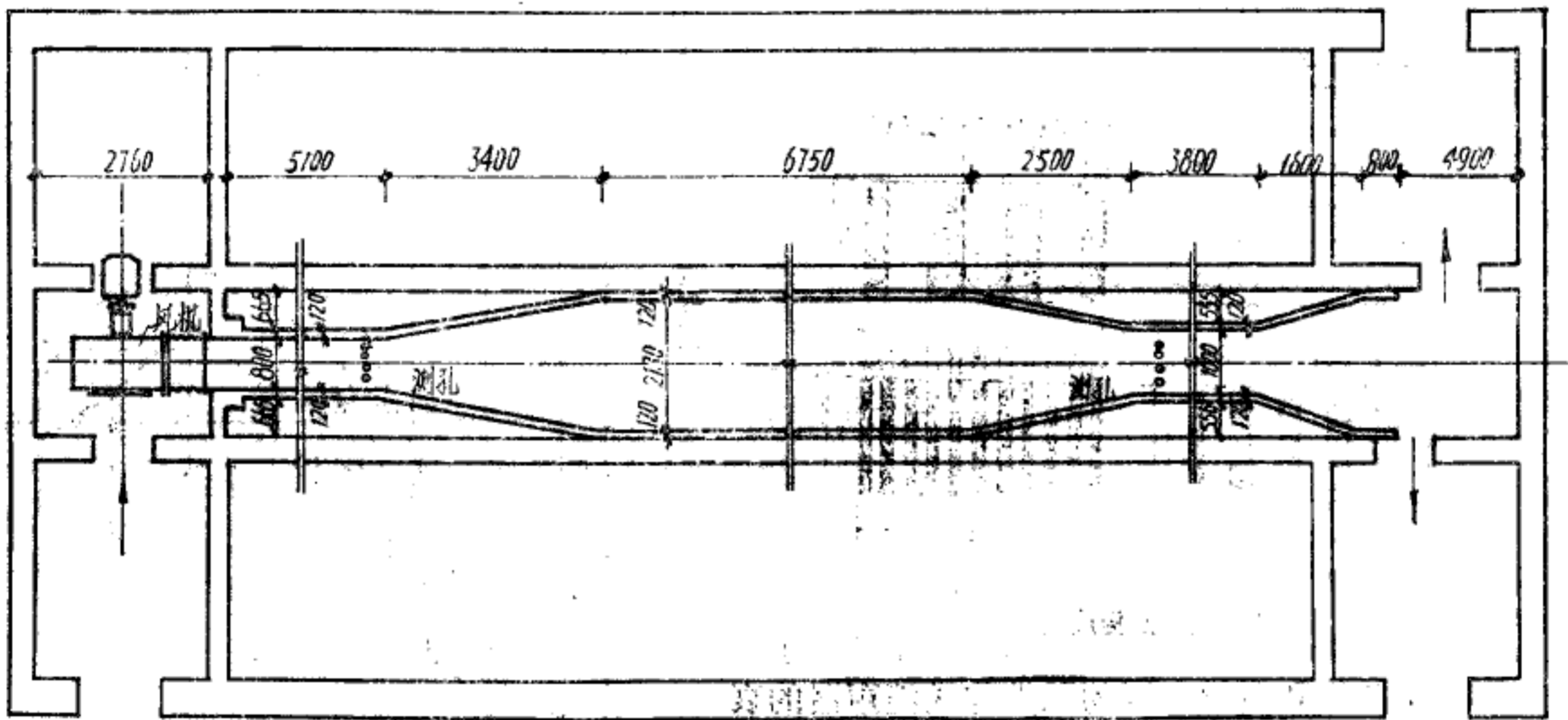


图3 通风管道消声实验室平面图

现将试验结果介绍如下：

(一)不同片厚对消声器衰减量的影响

所试验的都是片式消声器，片的厚度有三种，即片厚10厘米，片距11.5厘米；片厚20厘米，片距21厘米；片厚30厘米，片距34.5厘米。具体构造见图4。试验结果见表1。

表1数字表明，片厚每增加10厘米，250赫以下的衰减量比较明显地增加。拿125赫2米长为例，片厚每增加10厘米，衰减量增加4分贝，30厘米片厚时衰减量是10厘米片厚的2倍多。而且前者的衰减特性，几乎是平直的，很接近实际需要和符合最佳特性原则。125赫往往是风机噪声特性的峰值，因而实际需要的衰减量大，在消声器设计中往往是决定消声器总长度的关键频率。500赫以上的高频部分，情况却正好相反，衰减量反而下降。其主要原因是由于保持消声器断面与气流通道断面比不变，因此增加片厚的同时按比例增加片距。片距加大，高频声波的“射线效应”作用就会变大。但是，高频衰减量下降，并不影响消声器的

不同片厚时消声器的衰减量

表1

| 中心频率 衰减量 长度与厚度 | | 63 | 125 | 250 | 500 | 1000 | 2000 | 4000 | 8000 | 计权声级(dB) | |
|----------------------|------|----|-----|-----|-----|------|------|------|------|----------|-----|
| | | | | | | | | | | A | Lin |
| 长度为1米 | 10cm | 4 | 5 | 11 | 27 | 27 | 32 | 27 | 24 | 15 | 9 |
| | 20cm | 5 | 8 | 16 | 18 | 22 | 23 | 21 | 21 | 17 | 12 |
| | 30cm | 6 | 9 | 12 | 15 | 18 | 19 | 15 | 16 | 14 | 11 |
| 长度为2米 | 10cm | 5 | 8 | 17 | 29 | 36 | 35 | 34 | 28 | 20 | 13 |
| | 20cm | 6 | 12 | 27 | 27 | 32 | 36 | 29 | 26 | 25 | 16 |
| | 30cm | 7 | 18 | 18 | 21 | 26 | 27 | 20 | 19 | 20 | 17 |
| 长度为3米 | 10cm | 8 | 10 | 23 | 36 | 35 | 35 | 34 | 30 | 23 | 16 |
| | 20cm | 8 | 15 | 34 | 38 | 38 | 45 | 36 | 29 | 29 | 19 |
| | 30cm | 11 | 25 | 26 | 28 | 35 | 36 | 22 | 21 | 28 | 23 |

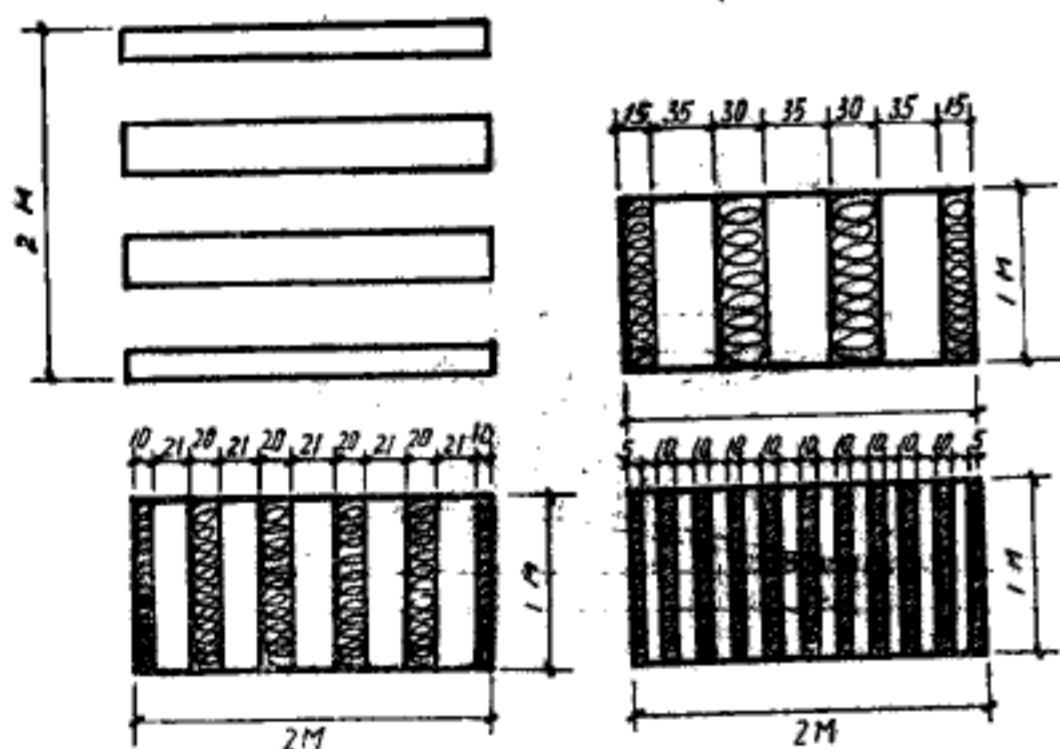


图4 消声器构造图

实际使用效果和质量。因为阻性片式消声器的衰减量高频总是比低频大，高频部分一般都是超过实际需要的衰减量。

在增加片厚的同时，按比例地增加片距的办法，其优点是：第一，增加低频衰减量；第二，调整消声器总衰减量的特性，使之与实际需要相吻合，这种特性曲线，可以称之为最佳特性曲线；第三，保持消声器原有体积，不占据更大的建筑空间。显然，这种办法，能从各方面改进消声器的质量，符合有效而经济的原则。

(二)不同长度消声器的衰减量

每种片厚的消声器的试验总长度为3米。分三段进行试验，试验段每段长为1米，2米和3米。共九个单元，试验结果见图5。125赫每米的衰减量和平均增量，片厚30厘米最高，平均每米8分贝，其次是20厘米，平均每米5分贝，最次为10厘米，平均每米只有3分贝。30厘米片厚的衰减量几乎等于10厘米的三倍，而且第一米的衰减量都高于其后第二米、第三

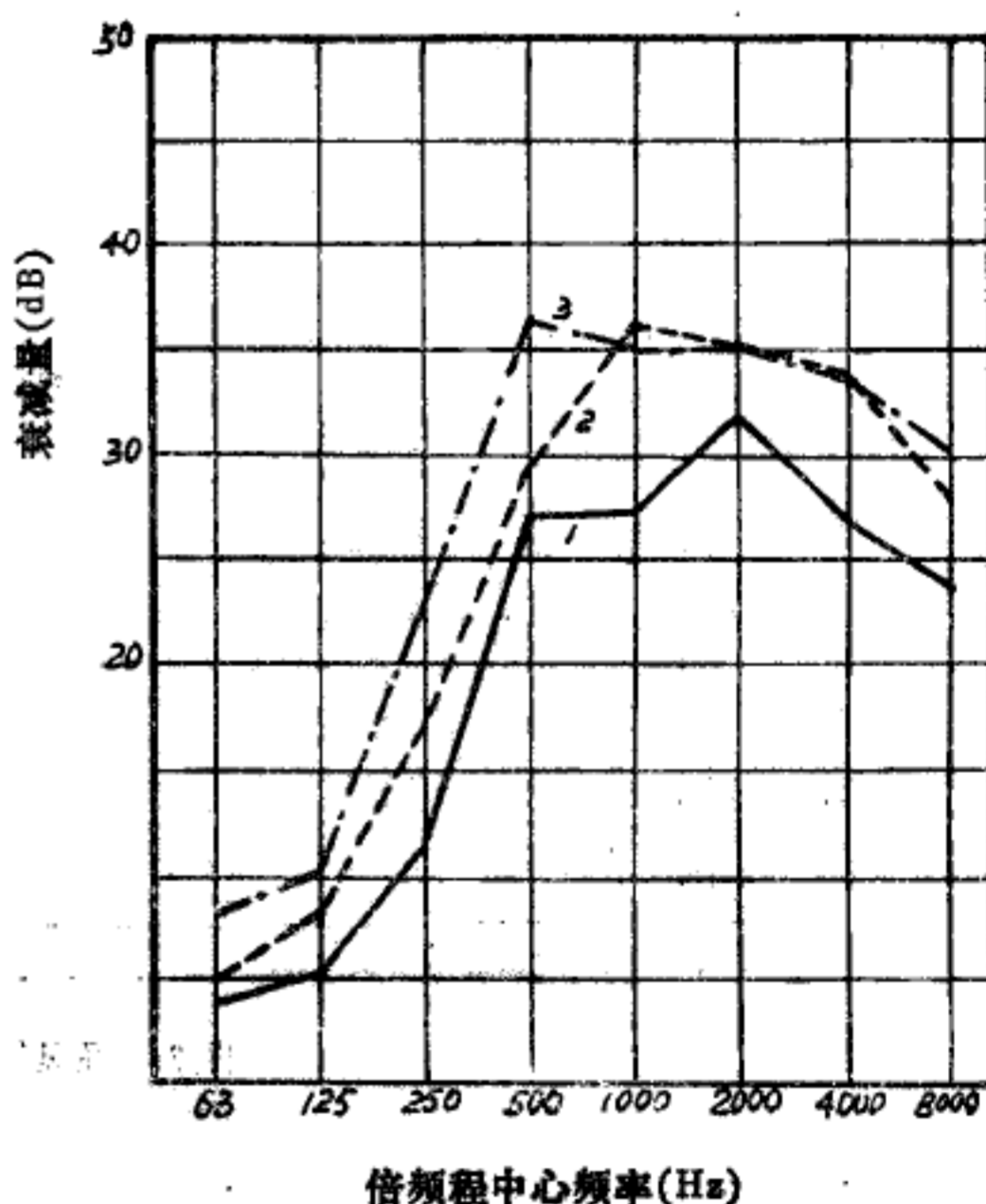


图5 10厘米厚度不同长度消声器衰减特性
厚度10厘米； 1—长度1米；
2—长度2米； 3—长度3米；

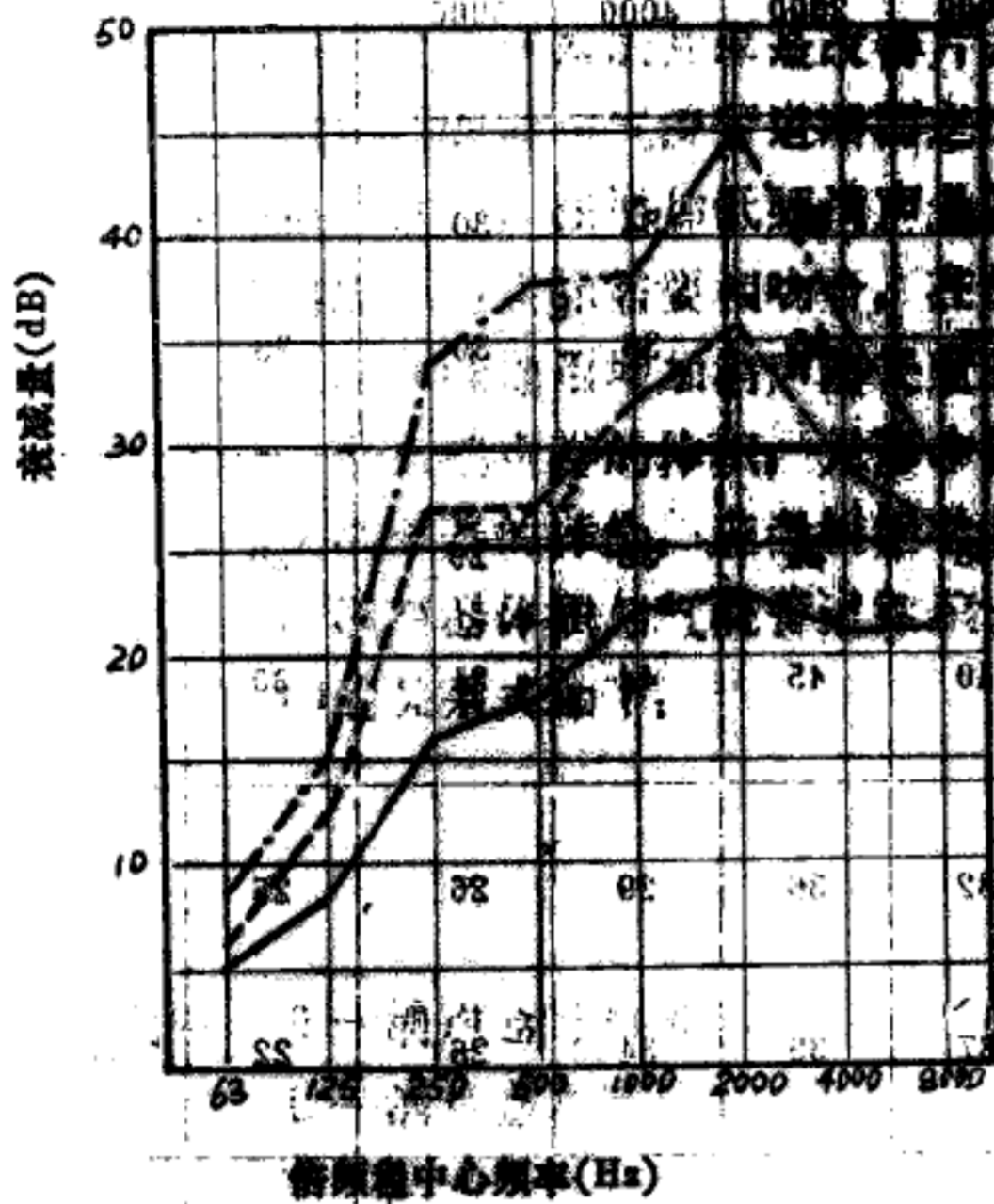


图6 20厘米片厚不同长度消声器衰减特性
厚度20厘米 1—长度1米; 2—
长度2米; 3—长度3米

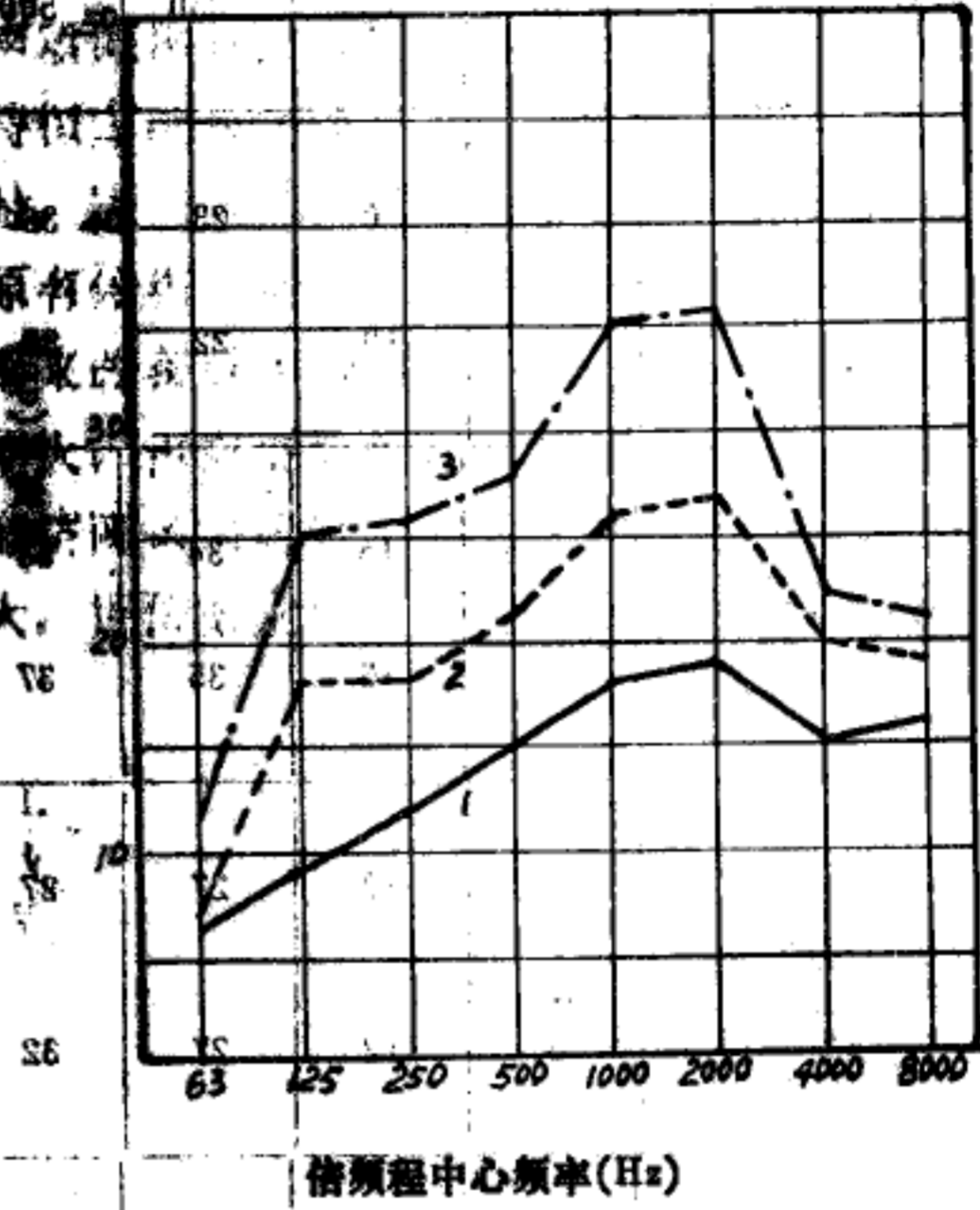


图7 30厘米片厚不同长度消声器衰减特性
厚度30厘米 1—长度1米; 2—
长度2米; 3—长度3米

米的增量。因为未装消声器时空管道具有一定的衰减量。

(三) 消声器分段留空对消声器衰减量的影响

常常看见这样的情况，把片式消声器分成段，每段1米、2米、3米不等，段间留50厘米或1米的空间，这种处理是施工安装上的需要，还是声学上的需要，究竟对消声器的衰减量影响如何？说法不一，为了弄清这个疑问，进行了几个方案的试验研究，试验结果列于表2。

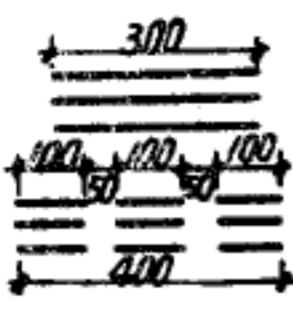




从表2所列五组数据的分析比较，可见这种办法对改善消声器的低频衰减量是无效果的，只是对高频有所改善。然而前面已经提到，通风机噪声特性高频成分较弱，管道系统内的自然衰减，高频比低频大得多，尤其是多孔材料制作的片式消声器，高频本身衰减量大，已超过实际需要。在这种情况下，从声学观点看，耗费建筑空间换取微小而实际上不需要的改善，实属得不偿失。

以上所用数据，均是用白噪声作声源测定的。实际上消声器多半是应用在通风管道系统，管内的气流处于不断的流动状态，气流环境是否对消声器衰减量有影响，需要通过试验回答。因此，在用白噪声作声源进行各种方案测试的同时，也用风机噪声作声源进行相同内容的试验，测定风速分四级，即6米、8米、10米和12米。测定所得差异列于表3。

表中数值是以白噪声源测定的数据为标准。正数表示低于标准值，负数表示高于标准值。结果有正有负，1000赫以下的差别一般在±1分贝以下，最大为±2分贝。尤其是低频几乎无差别。2000赫以上的高频差别较大，但多数是负值，表示用风机噪声作声源所测得的衰减量高，这可能是由于气流运动破坏了高频“射线效应”的作用所致。

分段留空的效果

表2

| 构造 | 倍频程中心 频率 | 63 | 125 | 250 | 500 | 1000 | 2000 | 4000 | 8000 | 计权声级(dB) | |
|---|-------------|----|-----|-----|-----|------|------|------|------|----------|-----|
| | | | | | | | | | | A | Lin |
|  | 8 | 10 | 23 | 36 | 35 | 35 | 34 | 30 | 23 | 16 | |
| | 7 | 10 | 22 | 38 | 35 | 35 | 36 | 30 | 28 | 15 | |
|  | 8 | 15 | 34 | 38 | 38 | 45 | 36 | 29 | 29 | 19 | |
| | 8 | 13 | 35 | 37 | 40 | 45 | 44 | 31 | 30 | 19 | |
|  | 6 | 12 | 27 | 27 | 32 | 36 | 29 | 26 | 25 | 16 | |
| | 6 | 12 | 27 | 32 | 37 | 39 | 34 | 26 | 22 | 16 | |
|  | 11 | 25 | 26 | 28 | 35 | 36 | 22 | 21 | 28 | 23 | |
| | 9 | 22 | 32 | 36 | 37 | 37 | 25 | 22 | 31 | 22 | |
|  | 7 | 18 | 18 | 21 | 26 | 27 | 20 | 19 | 20 | 17 | |
| | 10 | 15 | 21 | 24 | 29 | 31 | 21 | 21 | 22 | 19 | |

静态测定值与动态测定值差

表3

| 消声器长度 | 中心倍频程 | 差值 | 315 | 63 | 125 | 250 | 500 | 1000 | 2000 | 4000 | 8000 | 计权声级(dB) | |
|-------|-----------|----|-----|----|-----|-----|-----|------|------|------|------|----------|-----|
| | | | | | | | | | | | | A | Lin |
| 1米 | 白噪声~6米/秒 | 0 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | -2 | -3 | -2 | 2 | 4 | |
| | 白噪声~8米/秒 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | -2 | -3 | -1 | 0 | 4 | |
| | 白噪声~10米/秒 | 0 | 0 | 1 | 0 | 2 | 1 | -1 | -4 | -3 | 1 | 3 | |
| | 白噪声~12米/秒 | -1 | 0 | 0 | 0 | 2 | 1 | -2 | -5 | -3 | 1 | 3 | |
| 2米 | 白噪声~6米/秒 | -1 | 1 | 2 | 0 | 1 | 0 | 1 | 6 | 0 | 2 | 4 | |
| | 白噪声~8米/秒 | -1 | 1 | 2 | -2 | 0 | 0 | 1 | 6 | -1 | 1 | 5 | |
| | 白噪声~10米/秒 | -1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 6 | -2 | 1 | 5 | |
| | 白噪声~12米/秒 | 0 | 0 | 1 | -1 | 1 | 0 | 1 | 7 | -2 | 2 | 6 | |
| 3米 | 白噪声~6米/秒 | 0 | 2 | 1 | -1 | 2 | -2 | 2 | 2 | -2 | 1 | 7 | |
| | 白噪声~8米/秒 | 2 | 2 | 2 | 0 | 1 | 0 | 4 | -4 | -3 | 2 | 7 | |
| | 白噪声~10米/秒 | 0 | 1 | 1 | 2 | 2 | 0 | 3 | -4 | -4 | 2 | 8 | |
| | 白噪声~12米/秒 | 0 | 0 | 1 | 2 | 3 | 0 | 4 | -5 | -4 | 3 | 9 | |

四、结 束 语

根据对测试结果的分析，可以归纳出以下几点意见：

1. 增加片式消声器的片厚是改善片式消声器低频衰减量的有效途径。
2. 使消声器断面与气流管道断面之比保持恒定的最小值 1:2，增加片厚的同时，按比例的增加片距。这样，在增加低频消声量的同时，适当减低高频部分多余的衰减量，使消声器衰减特性曲线，与实际需要相吻合，在保持原有体积的情况下，获得消声器的最佳衰减特性曲线。相反，单纯地用增加消声器长度或片厚来改善低频衰减量，使已经足够的高频衰减量继续增长，那么消声器的体积，无形中便会增大，占据更大的建筑空间而造成浪费。
3. 对于消声器的评价，应当根据效能和经济两条来确定，称为“评价数”。消声量大评价数就高，消声器体积与气流管道体积比愈大，评价数愈低，评价数高表示消声器好，反之则劣，它们的关系式如下：

$$\eta = \frac{L}{\frac{V}{V_0}}$$

式中： η —消声器评价数；
L—消声器消声量；
V—消声器体积；
V₀—原气流管道的体积。

这项属于实际应用方面的试验工作，主要目的在于改善消声器的消声量，满足使用的要求，同时使消声器的体积保持在最小限度，获得经济上的效果。

整个试验是初步的，还有一些问题，如改变玻璃棉容重，对改善消声器消声量的实际效果等等，有待于进一步研究。