

建筑科学研究报告

REPORT OF BUILDING RESEARCH

1981

No. 21

多孔吸声板材的面层处理

A Study on the Surface Treatment of
Porous Acoustic Boards

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 8221

工本费：0.10元

提

要

吸声板材的面层处理常常会使板材的吸声性能变劣。本文论述了面层处理对板材吸声频率特性的影响,提出了用控制流阻的办法控制板材本身和面层的流阻以及两者合理的组合,从而使面层处理成为改善吸声性能的有效办法。

本文对吸声板材研制和建筑声学设计有一定参考价值。

目 录

一、前言	(2)
二、用流阻控制板材的多孔性	(2)
三、材料的流阻率与相应的吸声频谱	(3)
四、面层处理对板材吸声频率特性的影响	(3)
五、喷涂(粉刷)面层的适宜流阻值	(5)
六、有利的面层处理	(6)
七、板材与面层的合理组合	(8)
八、涂刷压纹的吸声效果	(8)
九、结束语	(10)
参考资料	(10)

A Study on the Surface Treatment of Poreous Acoustic Boards

Abstract

The sound absorption properties of acoustic boards are often impaired by surface treatment. This paper discusses the effect of surface treatment on the sound absorption frequency characteristics of such boards, and suggests using the flow resistance control method to control the flow resistance values of the board proper and of its surface. Suitable combinations of the two values are given. The results show that with the given combinations of flow resistance values, surface treatment can effectively improve the sound absorption properties of acoustic boards.

This study is useful for research experiments on acoustic boards and for the acoustic design of buildings.

多孔吸声板材的面层处理

中国建筑科学研究院建筑物理研究所 胡俊民 蔡应曦

一、前言

多孔吸声板材的面层处理是建筑装饰上的重要环节,未经饰面的吸声板不可能在建筑工程中得到广泛的实际应用。

但是,喷涂粉刷一类的面层处理使材料的微孔堵塞,吸声性能降低,甚至从根本上破坏多孔板材的吸声性能^[1]。因而,在吸声板材的生产工艺中,如何对面层进行合理的控制,减少或改善面层对吸声性能的影响,这是吸声板生产和使用中一个需要解决好的现实问题。

目前,国内生产的一些吸声板材,多孔性比较差,加上未加控制的表面涂刷,板材的吸声系数很低,为了提高吸声性能,往往在板材表面滚压各种花纹或半穿孔等处理。但是,这类处理不可能较大地提高板材的吸声系数。关键的问题是控制素板材和表面喷涂层的流阻,使面层和素板材的流阻值有合理的组合,这是提高板材吸声性能的重要途径。

二、用流阻控制板材的多孔性

板材的吸声性能依赖于板材本身的多孔性。这种多孔性表现为材料中间具有大量的微孔,这些微孔应该是互相贯通的而不应是密闭的;也可以说,一种吸声性能良好的板材,应该具有一定的透气性或通气性。这种透气性不仅决定板材吸声系数的大小,而且也明显地影响它的吸声频谱。因而,如何控制板材的透气性,是研制多孔吸声板材的一项重要任务。

板材的透气性可以用“流阻”这一物理参数来定量。流阻是空气质点通过材料孔隙中的阻力。在稳定的气流状态中,材料两面的压力差(Δp)与通过材料的气流线速度(v)的比值,定义为材料的流阻 R (Flow Resistance),

$$R = \frac{\Delta p}{v}$$

其单位为瑞利,或达因·秒/厘米³;牛顿·秒/米³。

为了便于比较不同材料的流阻,排除厚度因素的影响,在实用上常常采用单位厚度(d)的流阻即流阻率(Flow Resistivity) R_s ,

$$R_s = \frac{1}{d} \frac{\Delta p}{v}$$

其单位为 MKS 瑞利/米, CGS 瑞利/厘米;或达因·秒/厘米⁴, 牛顿·秒/米⁴。

不同材料的流阻或流阻率由于采用不同单位制,其数量级往往相差很大,不便进行比较,难于形成数量概念。为了使流阻值数字趋于简单,在本文中,我们采用达因·秒/厘米³和达因·秒/厘米⁴作为流阻 R 和流阻率 R_s 的表达单位。

流阻的测量采用水箱型流阻仪,其测量原理和方法在许多文献和资料中^{[2][3][6]}已有介绍,在此不加重复。

三、材料的流阻率与相应的吸声频谱

面层处理的结果，一般都增加了板材的流阻，从而影响了板材的吸声系数和吸声频谱。因此，了解和掌握材料的流阻与吸声频谱的相应关系^[4]，是进行面层处理的主要依据。

图1表示了国内一般吸声板材在现有生产工艺条件下低、中、高三种流阻率板材（其厚度大致相同，约1.9cm~2.0cm）的吸声频率特性曲线。

比较A、B、C三根曲线，可以得出如下几点：

1. 低流阻板材，低频段吸声系数很低，到某一中、高频段后，吸声频率特性曲线以比较大的斜率陡然上升，高频部分吸声性能比较好。

2. 逐步加大材料的流阻率，高频段吸声系数明显下降，但低、中频段吸声系数有所提高。

3. 继续增大材料的流阻率，从高频段扩展至中频段的吸声系数明显地大幅度地下降，此时板材的吸声性能显著变劣。

4. 上述情况表明，对于一定厚度的多孔板材，有一个相应的合理流阻值，过低和过高的流阻都无法使板材具有良好的吸声性能。

显然，要控制板材的流阻，就需要控制作为板材本身的二个组成部分即素板材和面层的流阻，并使两者的组合有一个合适的流阻值。

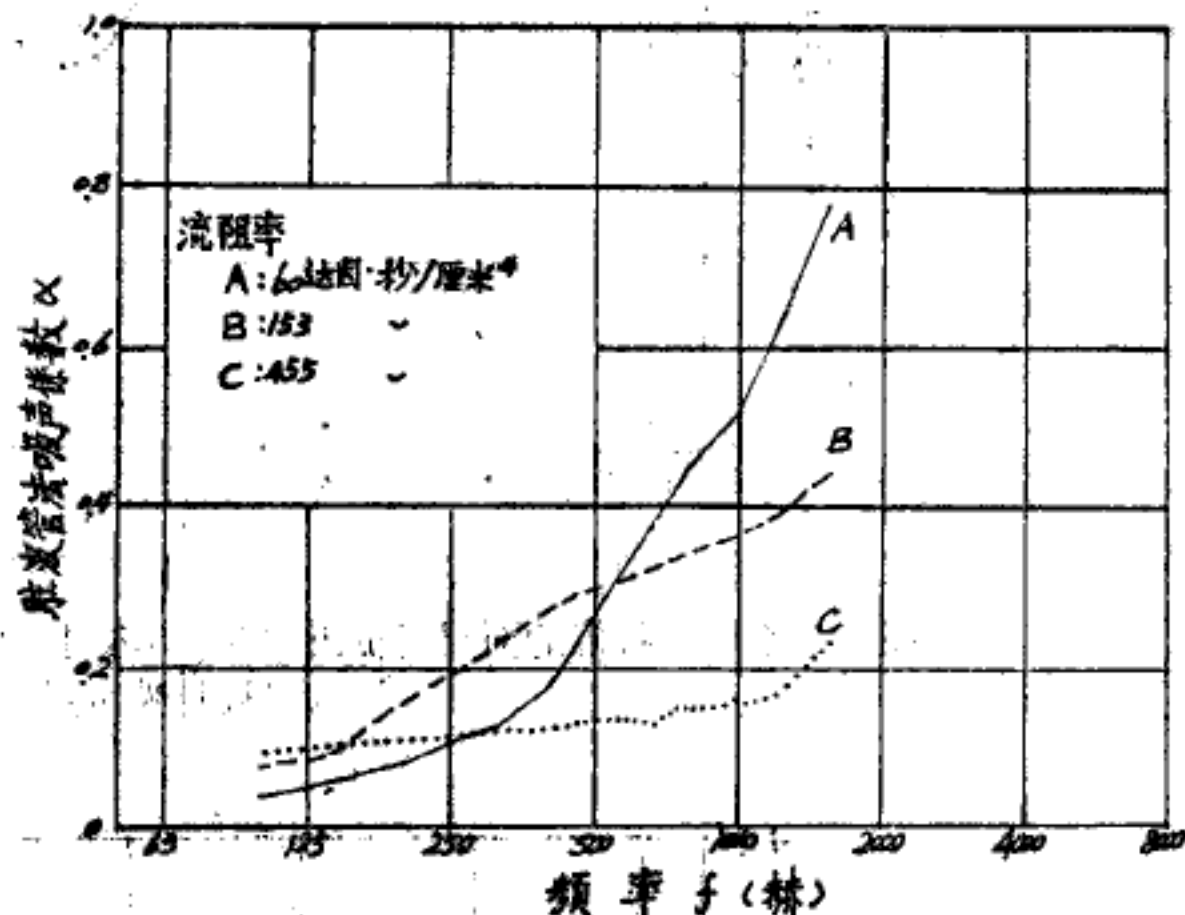


图1 三种流阻率板材的吸声频率特性曲线

四、面层处理对板材吸声频率特性的影响

为了探求面层对板材吸声频率特性的影响，我们在织物上进行不同程度的喷涂以获得各种流阻值的面层。

图2、3表示不同流阻值的面层（流阻为28、52、60、75、263~813达因·秒/厘米²）对流阻率为113、307达因·秒/厘米²二种素板材吸声性能的影响（以未作面层处理的素板材吸声系数为0，曲线表示不同流阻值面层处理后的吸声系数对于素板材吸声系数的增减量）。从图可以得出：

1. 板材在面层作用下，高、中频吸声系数降低，高频比中频的降低更为突出。

2. 高、中频段吸声系数下降的幅度，流阻率低的板材比流阻率高的板材明显。以1600赫为例，比较图2、3，在流阻为263~813达因·秒/厘米²面层作用下，流阻率为307达因·秒/厘米²的板材，吸声系数约降低0.11，而流阻率为113达因·秒/厘米²的板材，吸声系数约降低0.25。

3. 在面层的影响下，低频段吸声系数稍有增加。

4. 低频段吸声系数的增加幅度，流阻率低的板材比流阻率高的板材明显。从图3可看出，流阻率307达因·秒/厘米²的板材在低频段的增量很小。

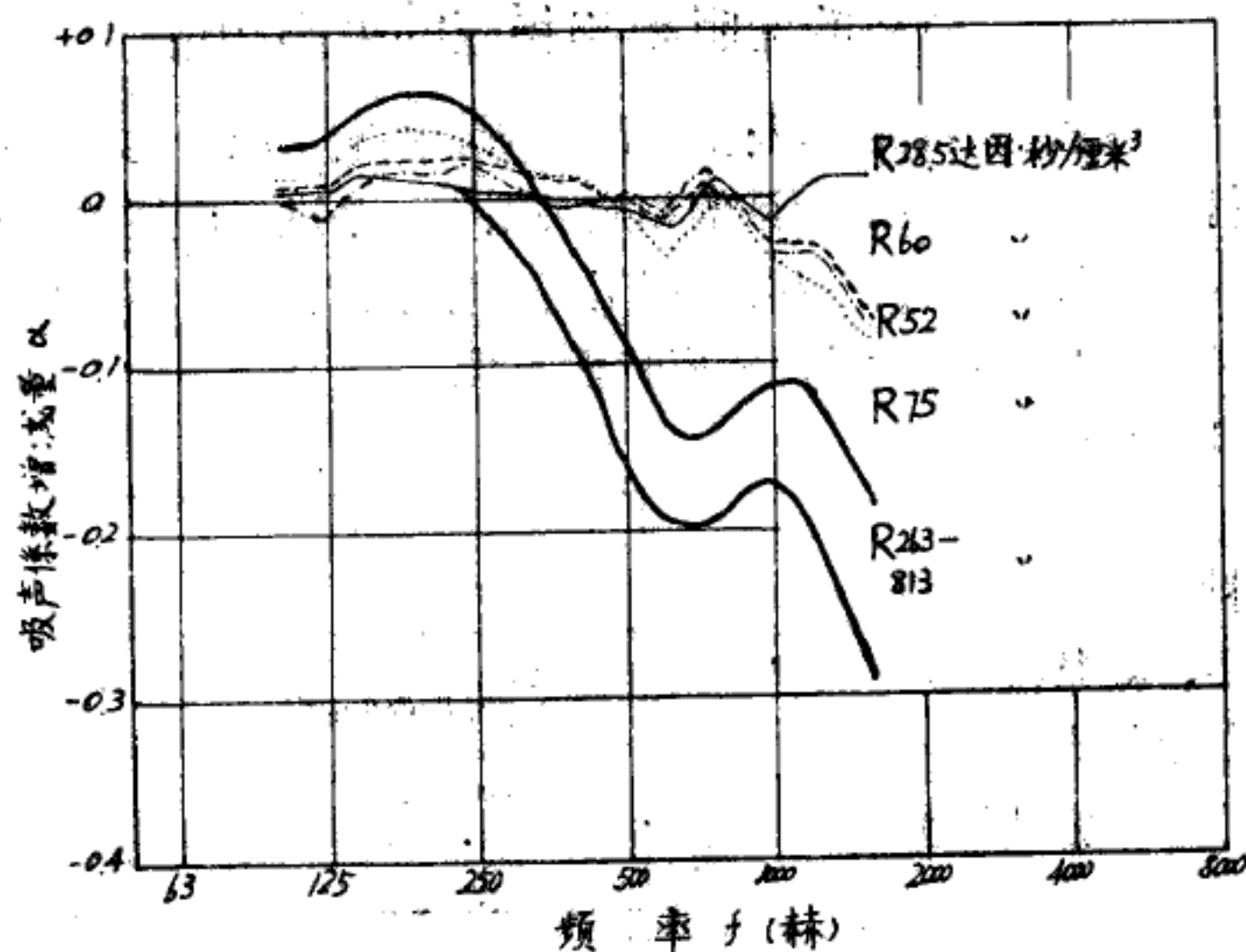


图2 不同流阻值的面层对流阻率为118达因·秒/厘米²的素板材吸声性能的影响
(以素板材吸声系数为0)

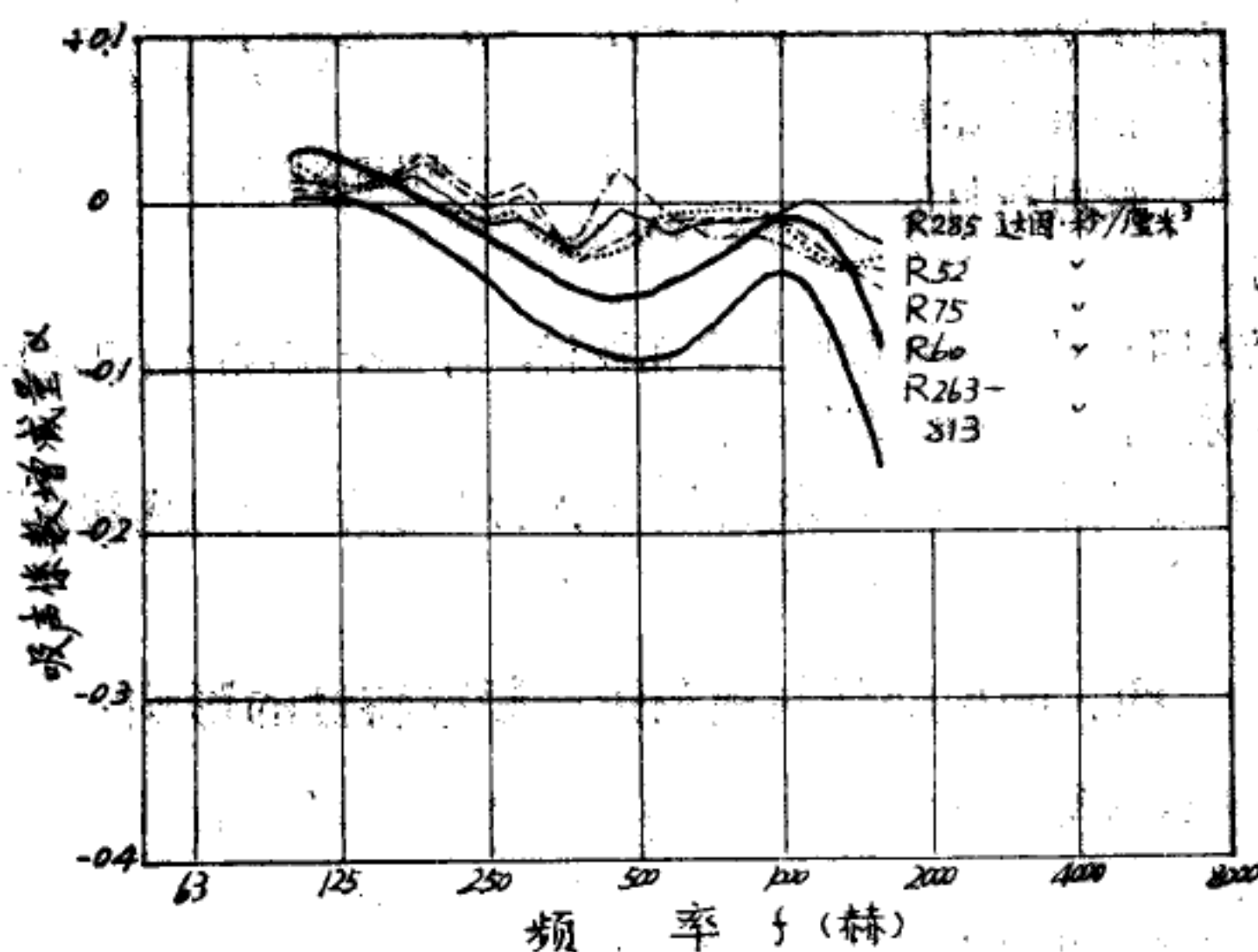


图3 不同流阻值的面层对流阻率为307达因·秒/厘米²的素板材吸声性能的影响
(以素板材吸声系数为0)

5. 随着面层流阻的增加, 高频吸声系数更趋下降。图2、3表明, 流阻在约100达因·秒/厘米²以下的面层, 对中、高频吸声系数的影响很小, 面层流阻增至263~813达因·秒/厘米², 则高、中频吸声系数下降幅度增大。

6. 随着面层流阻的增加, 低频吸声系数稍有提高。从图2、5、6可看出, 流阻为75达因·秒/厘米²的面层较流阻为28达因·秒/厘米²的面层对低频段的吸收更为有利。

上述1、2表明, 高频段的吸收决定于板材表面的多孔性, 低流阻板材经面层处理后高频吸收较之高流阻板材更为明显下降。这一点恰恰表明, 正是具有较佳多孔表面的低流阻板材, 其表面微孔被堵塞的结果, 也说明了板材表面的多孔性是高频吸收的决定因素。

3、4表明, 低频吸收和流阻值大小有关, 较高流阻值板材对低频吸收有利。因而, 低

频吸收也和板材的容重、厚度等因素有关。

当逐步减少板材的流阻率（如图2、3板材流阻率从307降至113达因·秒/厘米²），在面层作用下，低频吸声系数的增加有逐步向中频段扩展的趋势，说明中频段的吸收和板材在整个厚度范围内的适宜流阻率有关。

五、喷涂（粉刷）面层的适宜流阻值

目前，国内生产的一些吸声板材，其素板材的流阻率在300~400达因·秒/厘米²上下，有的高达1~2×10³达因·秒/厘米²左右。同时，在喷涂（粉刷）的整个饰面工作中，仅仅从美观的角度考虑问题，厚实的涂料使仅有的一点吸声性能也受到破坏，这是在许多建筑工程中常常出现的现象。

在板材流阻率比较高的情况下，面层的涂饰至少应保证维持原有的吸声水平，这就要求面层的流阻应控制在一定的范围内。

图4表示面层对不同流阻率板材平均吸声系数的影响，板材的流阻率分别为113、130、204、307达因·秒/厘米²（厚度大致相同，1.8~2.0厘米），面层的流阻分别为0（素板材）、28、52、75、135、263、296、425、517、632、813达因·秒/厘米²， $\bar{\alpha}_n$ 表示100~1600赫十三个频率（1/3倍频程）的驻波管法测定的平均吸声系数。

图4表明了如下几点：

- 1. 对于这一试验中几种中等程度流阻值的板材，其平均吸声系数随着面层流阻的增大

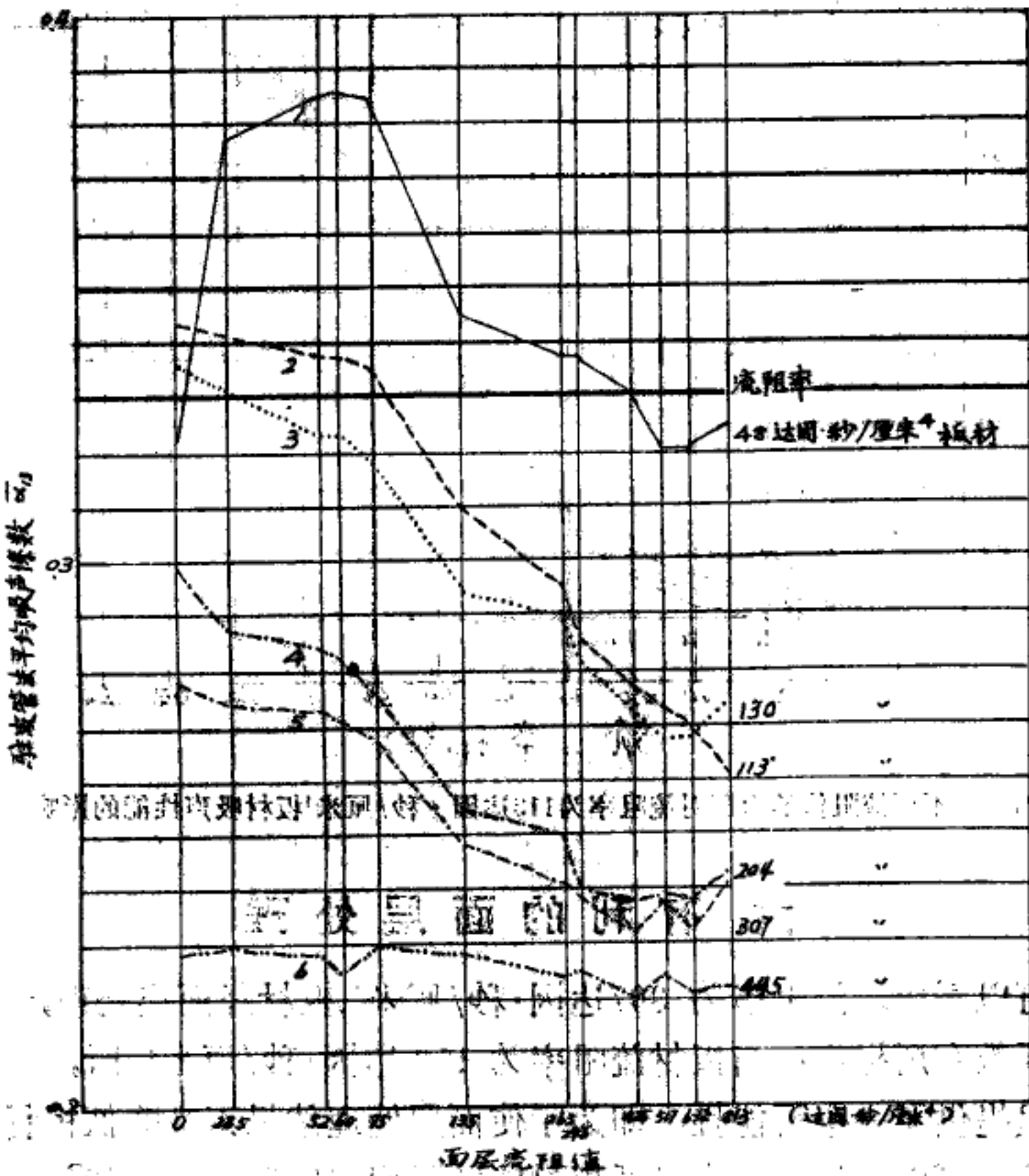


图4 不同流阻的面层对几种板材平均吸声系数的影响

而逐步下降。

2. 面层流阻的逐步增大, 流阻率低的板材平均吸声系数的降低较流阻率高的板材明显。

3. 当面层的流阻不超过 100 达因·秒/厘米² 左右时, 板材平均吸声系数下降较少, 超过 100 达因·秒/厘米² 左右时, 平均吸声系数则显著下降。

4. 对于高流阻低吸收板材 (如图 4 中流阻率 445 达因·秒/厘米² 板材), 当这种织物罩面层流阻逐步增大时, 其平均吸声系数下降较少。

已如上述, 本试验工作以不同流阻的薄织物作为面层, 其对板材吸声性能的影响和直接在板材表面上进行涂刷的影响大致是相同的。但是, 对于高流阻板材则有明显的差异, 涂刷层较之织物罩面层使板材吸声值的降低更为明显。

根据上述试验结果, 我们认为对于目前一般吸声板材, 其饰面层流阻应控制在 100 达因·秒/厘米² 以下, 这样可以实现饰面处理基本不影响板材吸声性能这一目标。图 5 以流阻率为 113 达因·秒/厘米² 板材为例, 同样清楚地显示了这一点。

一般涂刷面层的流阻不易控制, 建议吸声板材的面层处理采用喷涂工艺, 控制好喷射压力和喷射时间, 是完全可以获得面层的适当流阻值的。

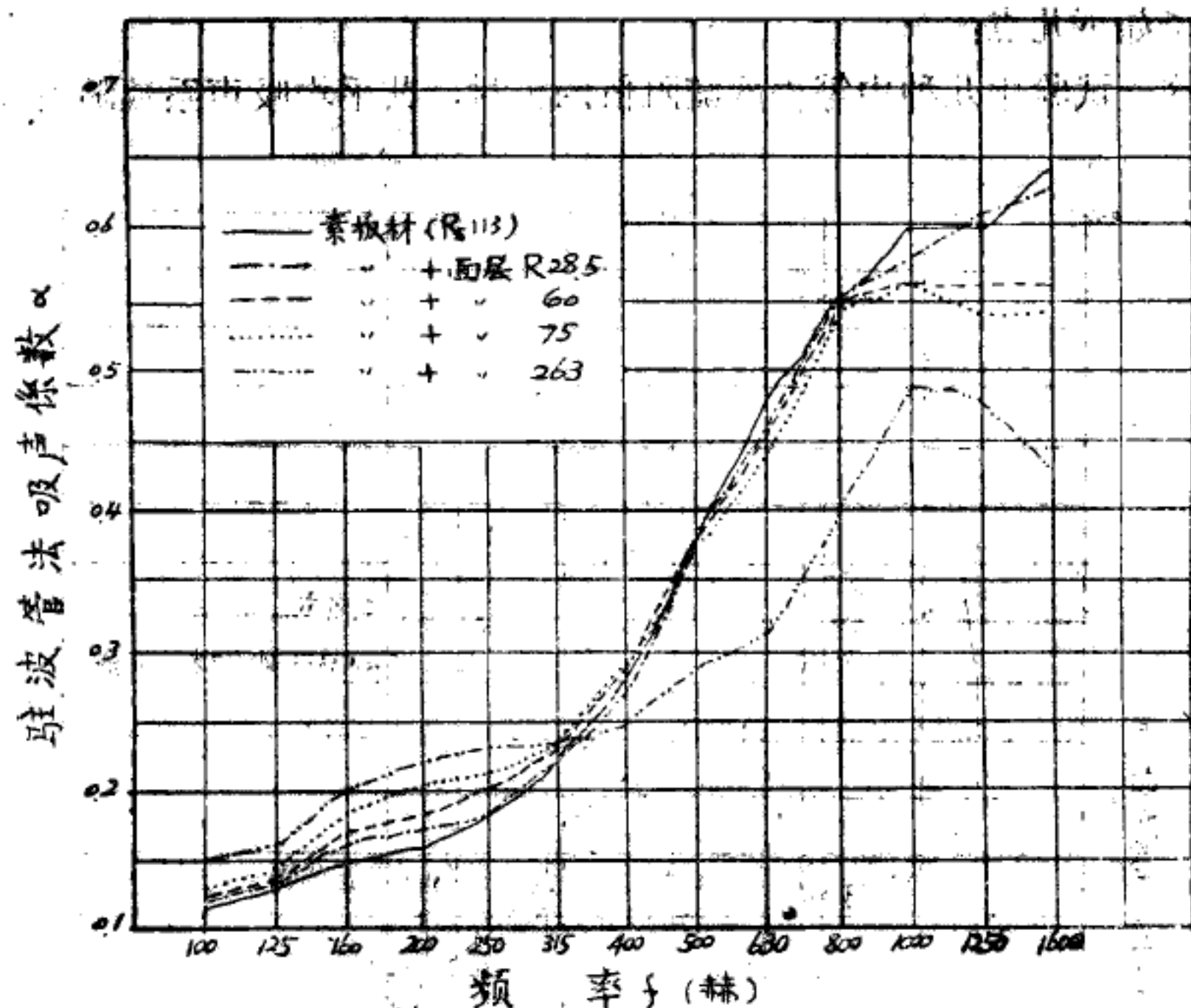


图 5 不同流阻值的面层对流阻率为 113 达因·秒/厘米² 板材吸声性能的影响

六、有利的面层处理

从图 2、3 可以看出, 流阻率为 307 达因·秒/厘米² 板材经面层处理, 低频在 100~200 赫范围内, 吸声系数有所提高; 当板材流阻率为 113 达因·秒/厘米² 时, 其提高范围扩展至 315 赫左右。这里提供了一个可能性, 即为了使面层处理结果不是降低板材的吸收而是进一步提高板材的吸收, 可以通过进一步降低板材的流阻率来实现这一可能性。

图 6、7 为流阻率 48 达因·秒/厘米² 板材经面层处理后吸声频率特性的变化。从图中可

看出, 100~1000赫的极其宽阔的范围内, 吸声系数提高了, 仅在1000赫以上频段, 吸收才转而明显下降, 但如面层流阻不过高, 在 75 或 100 达因·秒/厘米³ 以下, 其下降幅度也不大。

这样, 这种面层处理不仅没有降低吸声性能, 从整体看, 板材平均吸声系数反而明显提高了, 这从图 4 曲线 1 可以看出, 这一提高恰恰是在重要的低、中频段内。

上述试验结果说明, 为了得到较高的吸收, 控制板材本身的流阻率是重要的。流阻率合适的板材不仅会有好的吸收, 而且会使面层的不利影响转化为有利因素, 从而使面层成为一个提高板材吸声性能可以利用的手段。

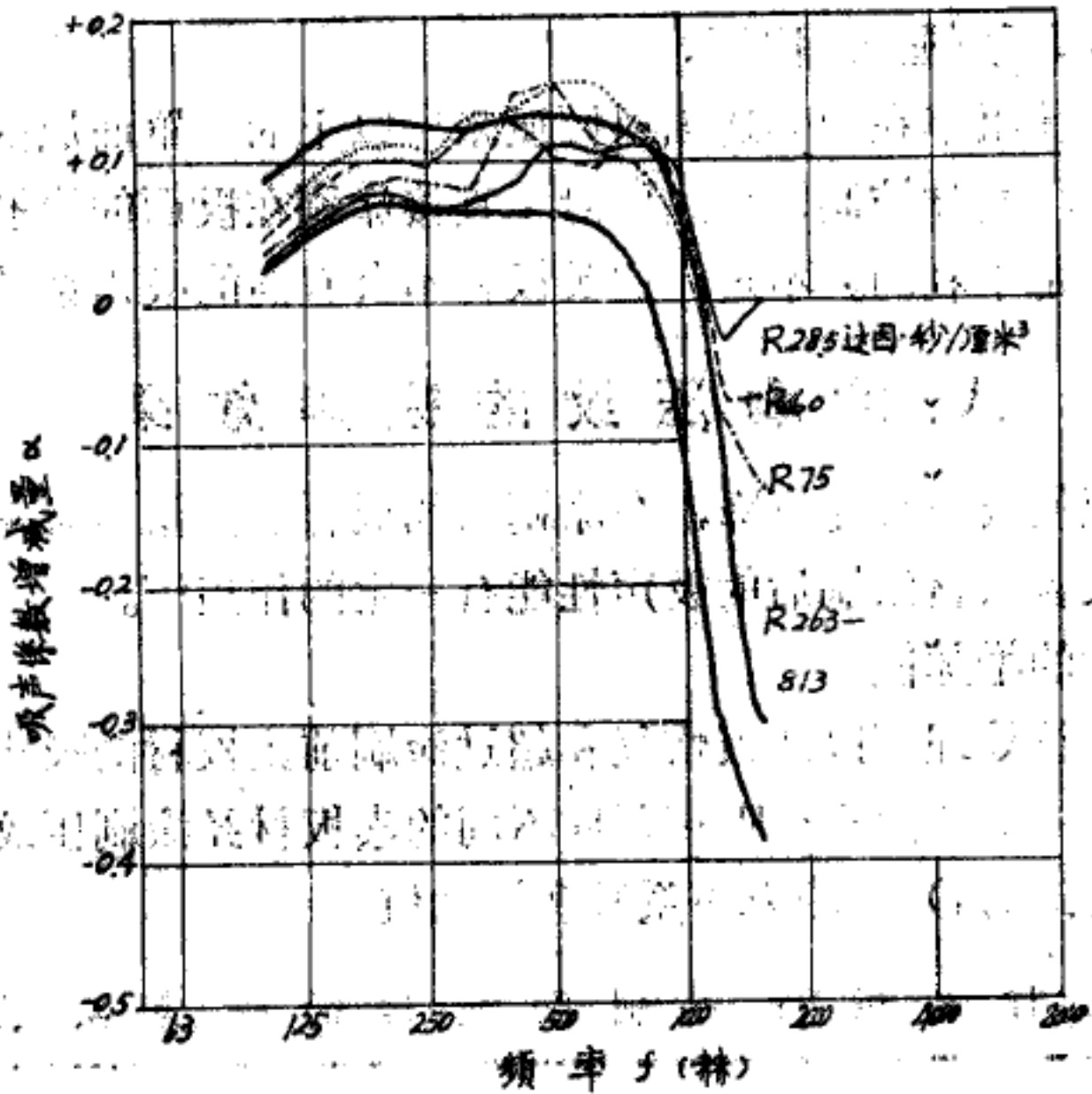


图 6 流阻率48达因·秒/厘米³的素板材从不同流阻值面层处理的吸声系数对于素板材吸声系数的增减量 (以素板材吸声系数为 0)

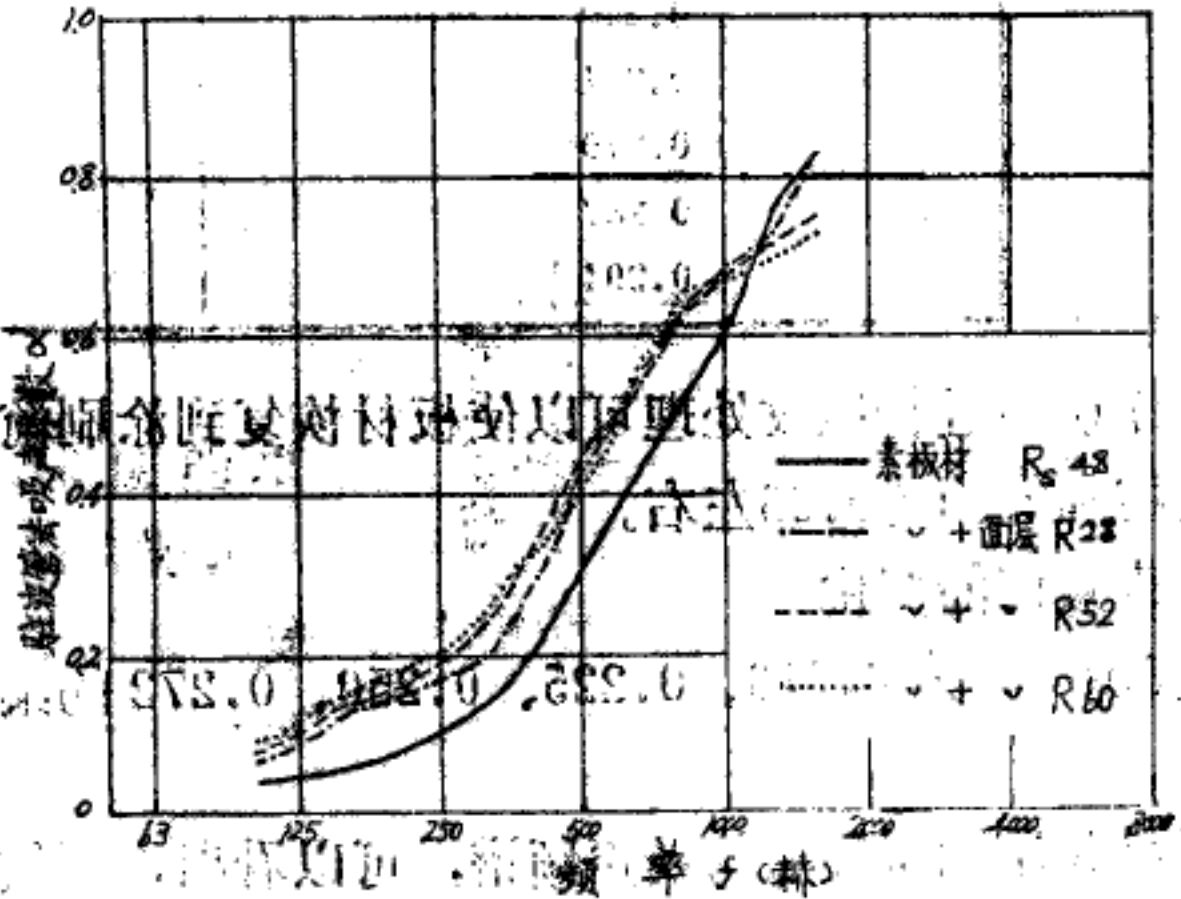


图 7 不同流阻值面层对流阻率为48达因·秒/厘米³板材吸声性能的影响

七、板材与面层的合理组合

适当的面层处理和素板材的流阻值密切相关，要控制面层的流阻，也需要控制好素板材的流阻率，使两者有合理的组合。

目前生产的、厚度约为1.5~2.0厘米的素板材流阻率降低到50~100达因·秒/厘米²，这在工艺上是可能的。低流阻板材的中、低频吸声值不高，但经面层处理后，正好在中、低频段内吸声值明显提高了。为了使高频吸收不致明显下降，面层流阻也应控制在100达因·秒/厘米²以下，这样低、中、高三个频段均有所照顾。从图4曲线1可看出，在同样厚度的板材中它达到了较高的平均吸声系数。

对于中等程度流阻率的板材（约100~400达因·秒/厘米²）面层对吸声也有不利影响，其流阻应控制在100达因·秒/厘米²以下。

对于高流阻板材，流阻率在400达因·秒/厘米²以上的，罩面层的影响比较小，在素板材与面层的流阻组合上，稍加控制即可。但对于直接涂刷在板面的涂刷层，其流阻值仍应加以控制，过高的流阻值是不利的。不过，这类板材不会有高的吸声系数。

八、涂刷压纹的吸声效果

板材表面涂刷处理使吸声性能下降，在涂刷后的板材表面滚压各种花纹或作半穿孔处理，试验表明，它对改善板材涂刷后的吸声性能有一定的作用^[4]。

1. 平均吸声系数的增加值

表面涂刷后进行压纹处理可以使板恢复和超过涂刷前素板材的吸声性能。下表列出平均吸声系数 $\bar{\alpha}_{13}$ 为0.15~0.27的八种吸声程度不同的素板材经涂刷压纹（压进3~4毫米深的裂纹形，开口面积约8.5%）后的吸声系数和增加值。

几种素板材涂刷压纹后的吸声系数

素 板 材 $\bar{\alpha}_{13}$	涂 刷 压 纹 后 $\bar{\alpha}_{13}$	增 加 值
0.154	0.167	0.013
0.169	0.208	0.039
0.178	0.224	0.046
0.213	0.240	0.027
0.225	0.251	0.026
0.243	0.270	0.027
0.256	0.287	0.031
0.270	0.294	0.024

从表中可以看出，涂刷后进行压纹处理可以使板材恢复到涂刷前素板材的吸声系数，而且一般还有所提高，其增加值约为0.03左右。

2. 涂刷压纹后吸声频谱的变化

图8、9、10、11表示 $\bar{\alpha}_{13}$ 为0.213、0.225、0.250、0.272的素板材经涂刷压纹后的吸声频谱。

比较四个图中素板材和涂刷压纹后的吸声频谱，可以看出，压纹处理后比素板材在高、中频段吸声系数有所提高。但是，在低频部分，吸声系数却稍有下降。这一情况和材料的流阻值由高变低吸声频谱的一般变化规律是完全一致的。

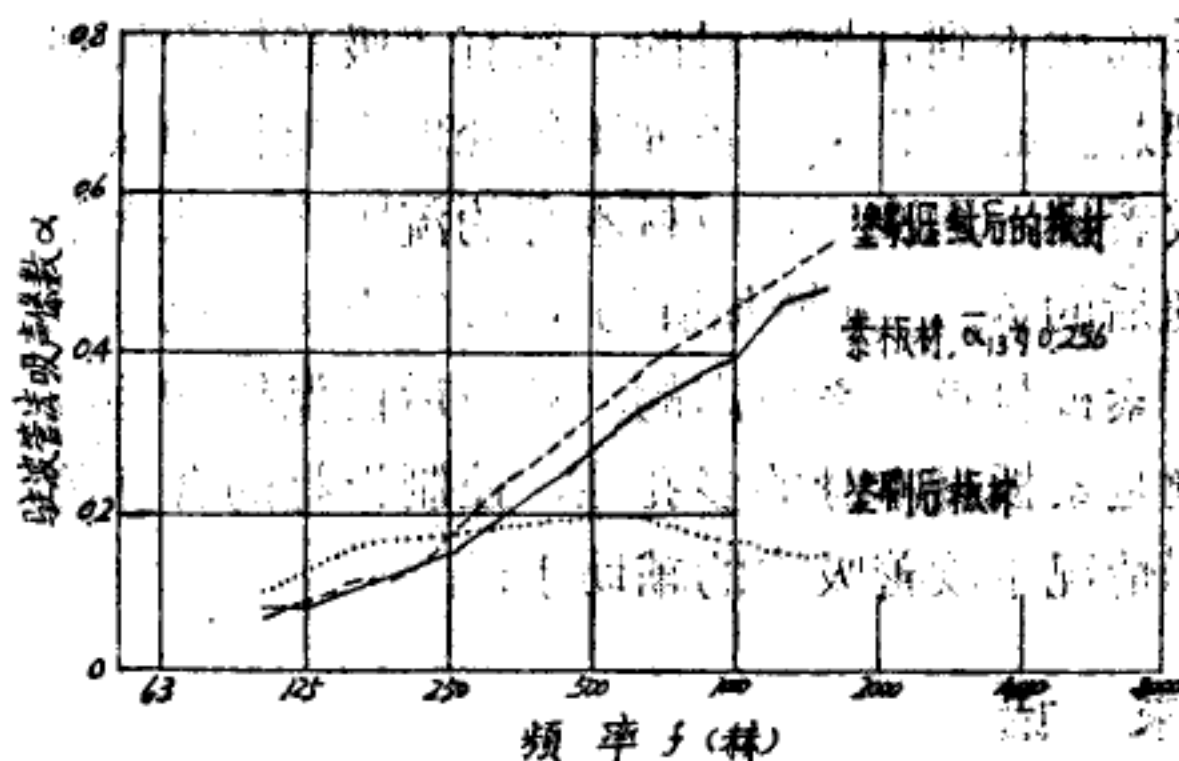


图8 $\bar{\alpha}_{13}$ 为0.213的素板材涂刷压纹的吸声频谱

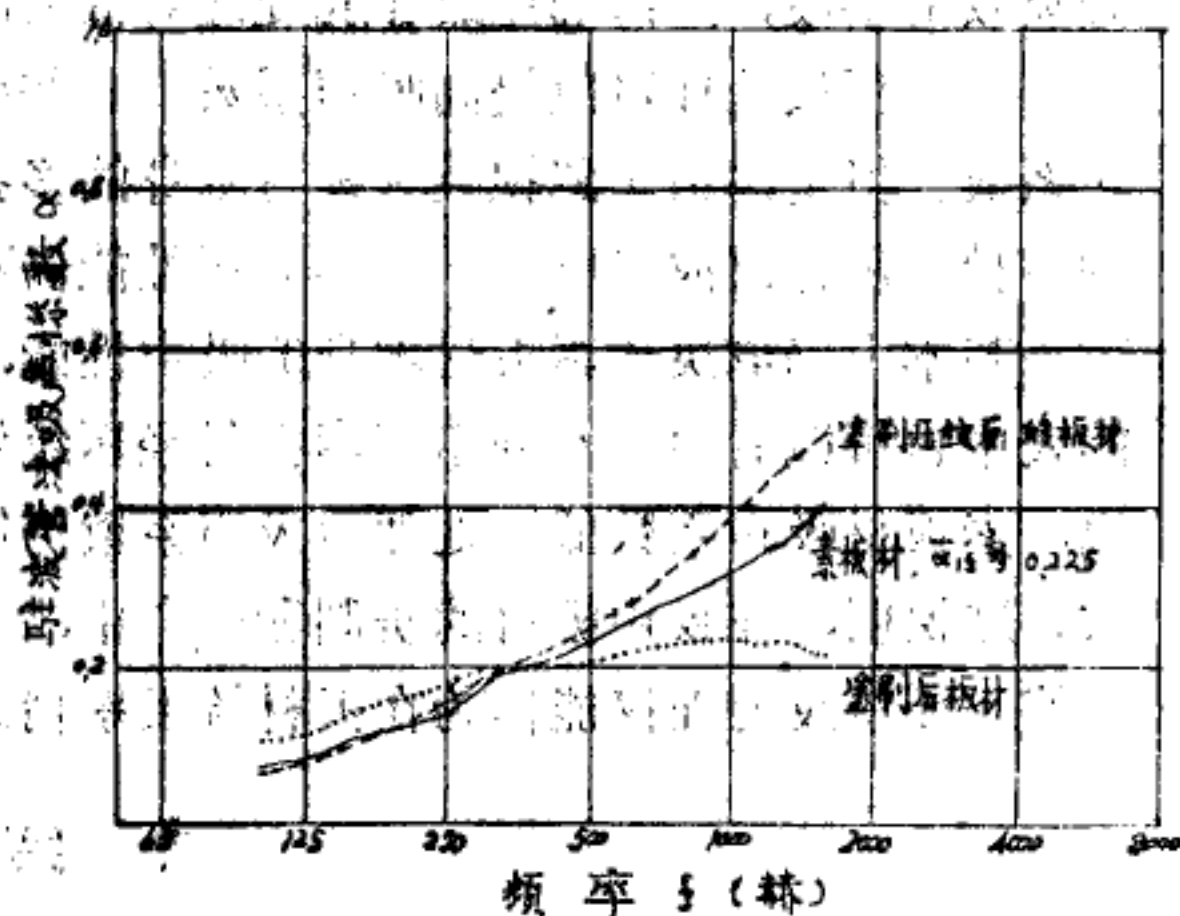


图9 $\bar{\alpha}_{13}$ 为0.225的素板材涂刷压纹后的吸声频谱

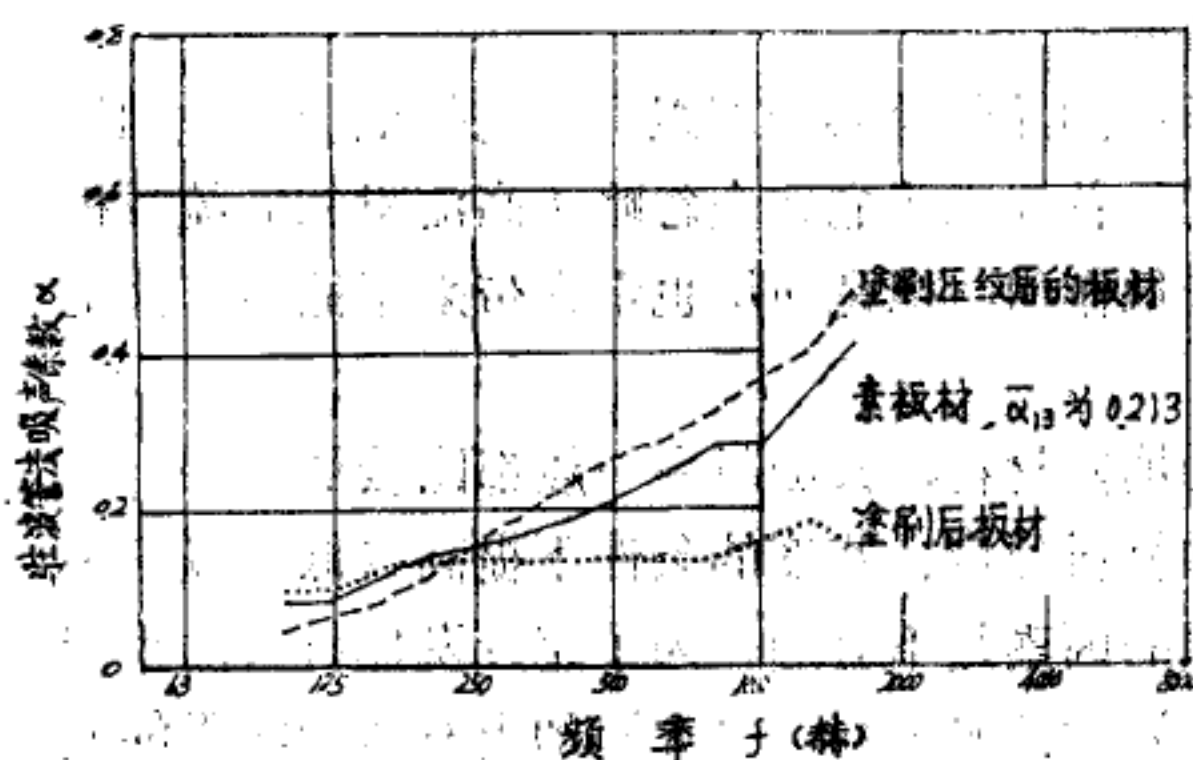


图10 $\bar{\alpha}_{13}$ 为0.256的素板材涂刷压纹后的吸声频谱

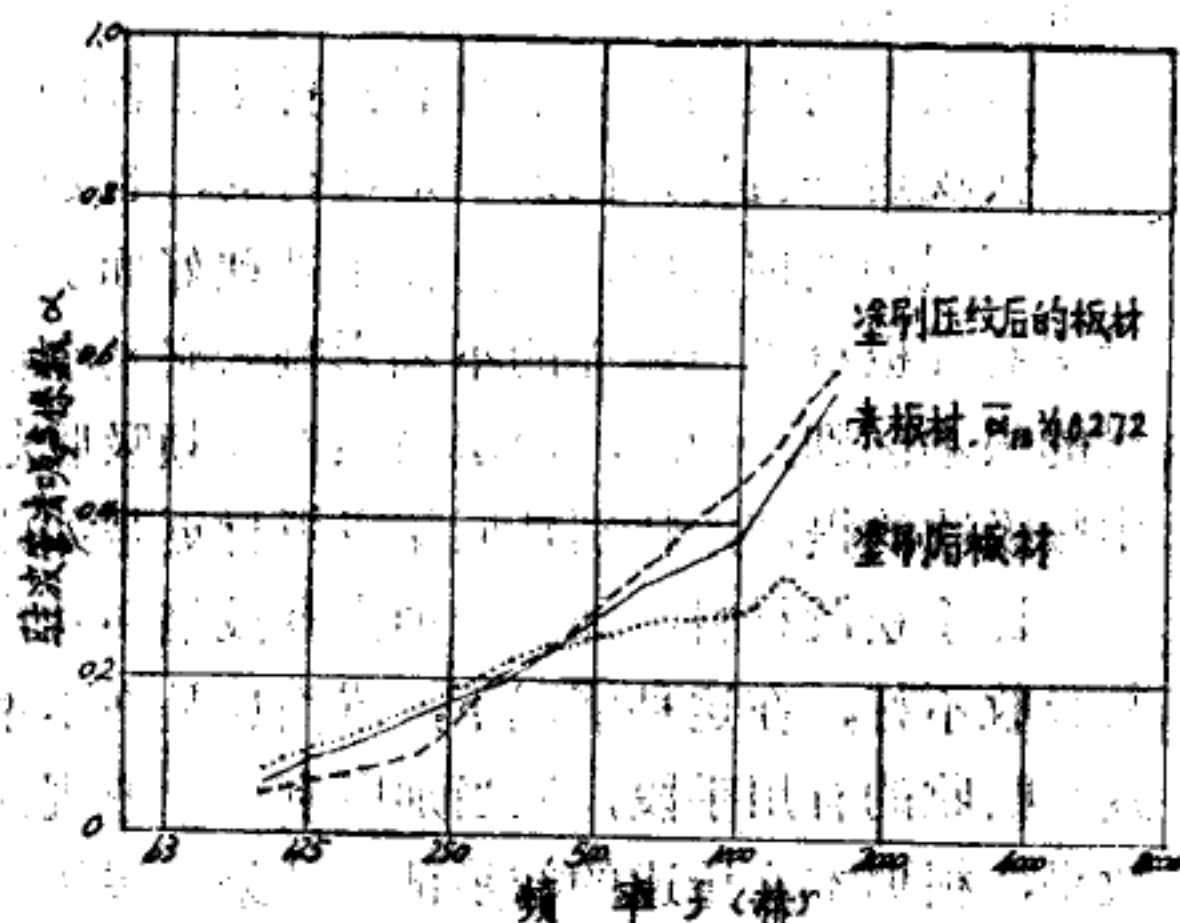


图11 $\bar{\alpha}_{13}$ 为0.272的素板材涂刷压纹后的吸声频谱

3. 半穿孔深度对吸声频谱的影响

响

图12为涂刷后的板材进行半穿孔处理, 孔径为 3.4 毫米, 穿孔率为 5%, 穿孔深度分别为 4、8、12毫米的吸声频谱。

图12表明, 随着穿孔深度的增加, 高频吸声性能有较明显的提高, 但低频吸声系数则有所降低。这一变化, 也和材料流阻率由高变低时吸声频谱的一般变化规律是完全一致的。

4. 对涂刷压纹处理的评价

涂刷后的压纹处理可以使板材吸

声系数恢复和超过素板材的吸声系数。但是, 已如上述试验表明, 这种处理只能作为改善高

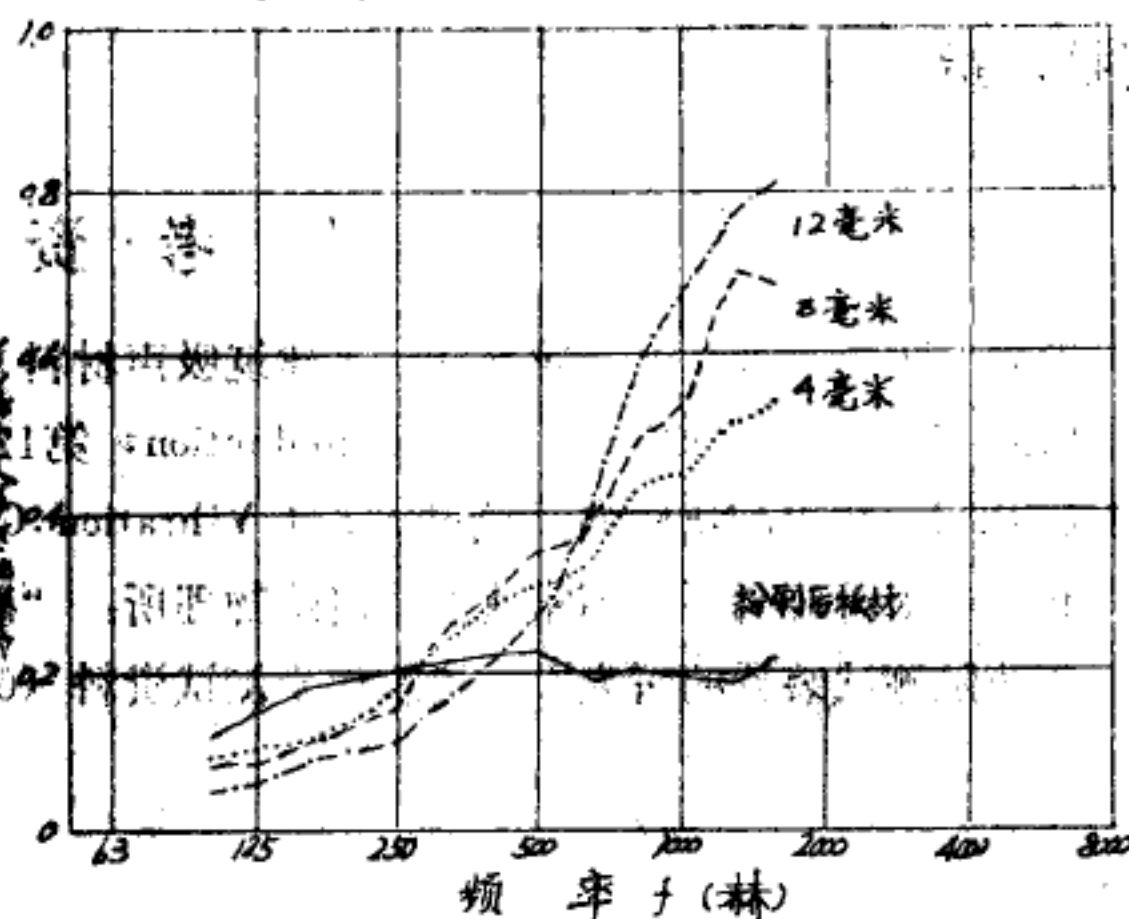


图12 几种半穿孔深度对板材吸声频谱的影响

频吸收的手段，过份的压纹穿孔处理对低频的吸收是不利的。

由于压纹处理可以提高吸声系数，一些生产厂家往往企图通过这种处理来获得较高的吸声系数。但是，由于忽视改善板材本身的多孔性而达不到预期的目的，虽有“吸音板”外观的各种滚压花纹或半穿孔，但其吸声性能仍不理想。必须指出，各种压纹处理后板材的吸声效果基本上仍取决于素板材本身的吸声性能，或者说，取决于素板材本身的流阻率。从本节的表中也可以看出，八种不同素板材经压纹处理后的 α_{11} ，其增加值均在 0.03 上下。也可以说，素板材吸声系数低，处理后吸声系数仍低；素板材吸声系数高的，处理后仍保持高的吸收。这说明，在吸声板材的研制和生产中，关键是素板材本身的多孔性，控制板材的合理流阻值。而压纹处理仅能作为在板材流阻率稍高的情况下改善吸声的辅助手段。

九、结 束 语

多孔性板材的面层处理，在一般情况下常常是板材吸声性能的一个破坏因素，如何减少面层的不利影响并转化为对吸声的有利因素，这对于吸声板材的研制、生产和应用有着重要的现实意义。

这里，需要确定一个控制板材多孔性的参数，并确定其合理的控制范围，用流阻这一参数来实现这一目标，已证明是可行的，也是恰当的。

面层的处理问题，关键在于处理好面层与板材的流阻及其合理组合。笼统地谈论涂刷层对多孔性板材吸声性能的不利影响未必是全面的。首先在于它完全忽略了高流阻和低流阻板材的根本区别，同时，面层虽然对高频吸收起降低作用，但是面层也常常带来了低频、甚至中频吸收的提高，特别是低流阻板材更是如此。

许多松散材料，如各种消声器或消声片中的填塞材料，其流阻率一般都比较低，低、中频吸收不好，在这种情况下，罩面层是在不增加材料厚度、密度的条件下提高（低频以至中频）吸收的有用手段，应当加以利用。忽视面层的因素是不对的。为了充分发挥材料的吸声效果，根据本文论述的初步试验结果，采用（1）低流阻材料；（2）加上有适当流阻的面层；（3）适当加大材料厚度的办法，构成一种低流阻材料加面层的吸声组合，以集中提高中、低频，同时照顾高频以获得较好的吸收，是一个值得进一步探讨的问题。

本文虽然建立在较系统试验基础上，但对有些问题的摸索仍不深透，不当和错误之处请读者批评指正。

参 考 资 料

- [1] 子安·勝著（日），高履泰译：《建筑吸声材料》，中国建筑工业出版社，1975年。
- [2] LEO. L. BERANEK 编：《Noise Reduction》第12章，1960年。
- [3] LEO. L. BERANEK 编：《Noise and Vibration Control》，1971年。
- [4] 北京市水泥砖瓦厂、国家建委建研院物理所：“矿棉吸声板试验研究报告”1975年。
- [5] “流阻测试装置的研究”，建筑声学测试资料（6502），建研院内部资料，1965年11月。