

声学译丛

建筑声学

(消声室专辑)

4

上海市物理学会声学工作委员会主編
上海市科学技术編译館出版

声 学 译 丛

(总第 17 号)

建 筑 声 学

(4)

(消声室专辑)

上海市物理学会声学工作委员会主编

*

上海市科学技术编译馆出版

(上海南昌路 59 号)

新华书店上海发行所发行 各地新华书店经售

商务印书馆上海厂印刷

*

开本 787×1092 1/16 印张 8 12/16 字数 270,000

1965 年 3 月第 1 版 1965 年 3 月第 1 次印刷

印数 1-2,400

编 号 : 15 · 255

定 价 : 1.10 元

前 言

早期的消声室是以悬挂的多层布幕作为吸声处理结构的,布幕和墙面平行,并和墙面保持一定的间距。也有采用将这种多层吸声结构垂直于墙面的悬挂方式(见本辑第29篇)。这些结构在吸声效果及其所占的空间方面是不很理想的。

1938~1939年, Meyer等人在柏林设计并建造了一个用多孔性材料做成的锥体作为墙面吸声结构的大型消声室(本辑第28篇是介绍该消声室的摘要),获得了很好的效果。在这以后,对于消声室所采用的结构的研究,都集中在用多孔性材料(玻璃棉、矿渣棉和泡沫材料等)做成的尖劈形、棱锥形或圆锥形等吸声体上。

1947年,美国哈佛大学建造了一个壁面覆盖玻璃纤维尖劈的大型消声室(见本辑第1篇),尖劈总长1.54米,低限截止频率是70赫。

1952年, Kurtze对尖劈吸声体的结构作了改进,他在尖劈后面加一块穿缝板,狭缝和尖劈后面留出的空腔组成共振吸声结构,以提高低频段的吸收(见本辑第18篇)。这种结构在总长度为95厘米时,它的低限截止频率就可以达到70赫。对于流阻大的尖劈材料,可以不必另外再加穿缝板,而只需在相邻的尖劈之间留出狭缝就可以了。1953年, Meyer等人在哥廷根大学设计并建造的消声室(见本辑第5篇)就是采用这种尖劈-共振器吸声结构,也是目前使用比较普遍的一种消声室吸声结构。

在荒井 昌昭的工作中(见本辑第17篇),认为吸声尖劈的尖端部分对吸声的作用不大,因此在他们所设计和建造的消声室中,采用了“平头”的劈状吸声体。而在 Watters 的文章中(见本辑第15篇),对于特殊用途的消声室,则采用了“阶梯式”的吸声体。

在吸声尖劈内适当地掺入吸收电磁波的材料,就可以使消声室同时成为用于一定频段的电磁波自由场的房间(见本辑第5和第11篇)。这种电磁波自由场不仅可以用于电磁波本身的测量目的,同时也可用来进行声波的模拟试验。

宽频带和高效率的吸声体是消声室的最重要的构成部分,但要建造一个高质量的消声室,还必须同时注意到其它方面的重要因素,例如消声室的隔声和隔振问题(在本辑第14篇中还讨论了墙壁本身的振动问题)以及通风管道和门的安装问题等,此外还有测量用的支架、电源线 and 信号线等器材的安排等问题。除了上述许多建筑构造等方面的问题外,还必须考虑到消声室的造价和体积问题,这些内容在本专辑的各篇文章里都分别作了介绍和讨论。

本辑前八篇介绍了六个大型消声室,其后六篇介绍了五个小型消声室。这11个消声室的简要情况列于后面的附表中,以便比较。第15篇到第24篇是关于尖劈的研究、消声室内声场的研究和测试,以及对渐变吸声体的理论研究。最后五篇是关于一些尖劈研究和早期的消声室的摘要介绍。

本辑由倪乃琛、沙家正和孙广荣同志负责审校。由于编者水平有限,经验不足,不当之处,敬希读者指正。

上海市物理学会声学工作委员会

1965年2月

目 录

1. 消声室的设计和建造·····[美国]	L. L. Beranek 等 ···(1)
2. 消声室·····[日本]	三宅 千葉 衡盐 ···(9)
3. 消声室·····[苏联]	A. H. Ривин ·····(19)
4. 消声测量室的吸声尖劈·····[苏联]	A. H. Ривин 等·····(25)
5. 用于短电磁波和声波的大型消声室·····[西德]	E. Meyer 等·····(29)
6. 大型消声室·····[民主德国]	W. Kraak 等 ·····(39)
7. 莫斯科大学物理系消声室吸声结构的研究·····[苏联]	K. A. Велижанина 等(44)
8. 高效能吸声结构的研究·····[苏联]	K. A. Welischanina··(47)
9. 派姆莱声学实验室和消声室的设计与建造·····[美国]	P. J. Mills·····(50)
10. 派姆莱声学实验室中消声室的性能·····[美国]	H. C. Hardy 等 ·····(53)
11. 用于声波和分米电磁波的消声室构造·····[瑞士]	G. W. Epprecht 等··(55)
12. 消声室声学特性的测量·····[土耳其]	Bedri Karafakioglu··(63)
13. 宾夕法尼亚州消声室·····[美国]	R. L. Berger 等 ·····(67)
14. 消声室的声学性能·····[加拿大]	N. Olson ·····(72)
15. 消声室尖劈的设计·····[美国]	B. C. Watters ·····(75)
16. 关于多孔性声吸收材料的模拟·····[日本]	荒井 昌昭 ·····(79)
17. 吸声尖劈的电模拟研究·····[日本]	荒井 昌昭 ·····(86)
18. 消声室吸声结构特性的改进·····[西德]	G. Kurtze·····(92)
19. 消声室声场研究的评述·····[法国]	R. Lehmann 等 ·····(94)
20. 论消声室中声波的传播·····[西德]	H. G. Diestel ·····(97)
21. 消声室·····[西德]	W. Bausch 等 ·····(101)
22. 基于逐渐过渡原理的消声室吸声结构的理论·····[西德]	A. Schoch·····(108)
23. 电磁波和声波的逐渐过渡式吸收体的反射系数··[美国]	K. Walther ·····(112)
24. 逐渐过渡式吸声体的反射·····[美国]	N. B. Miller·····(124)
25. 以切短玻璃纤维制成尖劈的消声室·····[苏联]	P. B. Домбровский 等(130)
26. 泡沫聚氨基甲酸酯吸声尖劈·····[苏联]	Б. М. Климов 等 ·····(132)
27. 消声室的经济的设计和结构·····[美国]	J. Duda 等·····(133)
28. 高效能吸声装置和消声室的结构·····[美国]	R. W. Young 等·····(134)
29. ROA 实验室中的声学实验室 ·····[美国]	H. F. Olson ·····(136)
附表 六个大型消声室和五个小型消声室的简要情况 ·····	(138)

原
书
缺
页

的甘蔗板遮住,以免裝在錐內的疏松羊毛散逸出来。錐高1米,方形底部的边长是15厘米,三棱柱形的底脚高15厘米,相邻的錐体彼此紧靠着排列。

1943年,当哈佛的消声室建成后,奥尔逊^[4]提出了一个消声室設計的詳細資料。在他的消声室里,牆面上垂直地排列着用毛毡制成的結構。虽然这消声室的造价比較便宜,但从发表的数据来看,它的性能并不比梅耶的消声室差。

由于需要利用彼此相距一定距离的声源和傳声器进行測量,因此希望我們的消声室要比以往的更好些。但是又希望室内吸声体的制造和裝置的費用能控制在适当的範圍內,而且为了获得較大的工作空間,牆上的吸声体厚度又應該最小。为了达到这些目的并且能总結出一套能够应用于任何大小的消声室設計的圖紙,在設計过程中我們差不多对一千多种不同的結構进行了測試。

三、仪器裝置

为了測量不断发展着的吸声結構的吸收性能,我們采用了阻抗管法,其原理在文献[5]中已有叙述。被测的結構置于长15呎、8吋見方的鉄管的一端,揚声器裝在鉄管的另一端,它产生的声波沿管子傳播,并且从被测結構反射回来。管中駐波的图形可以通过移动傳声器进行測量,这样可定出声压的极大值和极小值,以便計算声压反射系数。在管中測量的頻率是从50赫到1500赫,在1500赫到4000赫的频段內的数据是由混响室測得的,对高于4000赫的頻率,可以考虑材料表面的声阻抗和假定材料为无限时的阻抗一样而接近于 ρc ,这样在高频时所求得的吸收程度就可以通过材料的比流阻和材料密度的計算来决定。

在表示被测吸声結構的性能时,决定不采用惯用的量——声能吸收百分率 A ,而采用声压反射百分率 R 作为吸收效率的指标。 A 的定义是被測結構吸收的声能与入射到結構上的声能的百分比。这样选择纵坐标是令人滿意的。因为在99%到100%範圍內的能量的吸收系数是与10%到0%範圍內声压反射系数相对应的。因此选用了后一标度,使人們对高吸收結構吸声性能的差异可以获得比較明显的指示。

材料的其它物理性能由空气流阻、密度和結構的均一性来决定。为了測量吸声材料的流阻 $R_f = p/v$ (p 是压强,单位是达因/厘米²; v 是速度,单位是厘米/秒),使用了精確設計的仪器。从吸声材料上割

出的直徑为 $2\frac{1}{8}$ 吋的样品被安裝在样品架上,使稳定的空气流通过样品。通过样品的空气流的体积率和样品两面的压强差可以用轉速計和斜管压强計分別进行測量。从材料上割出的样品应当比样品架直徑稍微大一些,这样,当置入样品时在边缘处就不会产生漏气的現象。

四、不同結構的有关性能

在研究过程中得到了下面所表示的五种类型結構的数据:

1. 薄层結構;
2. 毛毡层結構;
3. 塞紧的錐形結構和半剛性錐形結構;
4. 尖劈結構;
5. 指数形錐形結構和指数形尖劈。

图2和图3表示了部分經常使用的吸声結構声压反射系数和能量反射系数曲綫,在这六种被研究的結構中,每一种都是各該結構中最好的設計形式。图的右边是結構的剖面草图,图中并列出了結構所用的材料以及它們的特性。

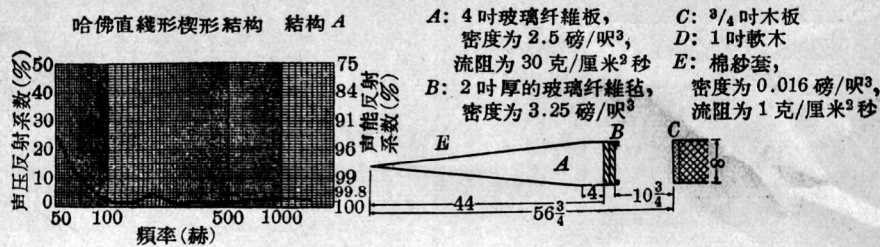
結構 A

这种尖劈是近年来所采用的长尖劈中性能最好的一种,通常用在大型消声室里。不計固定到硬牆上的一吋厚的隔震軟木,結構的总长度是 $56\frac{3}{4}$ 吋。尖劈的主体是饱和石炭酸甲醛玻璃絲制成的,它的密度通常是2.5磅/呎³,把这种材料先制成密度不同、寬2呎、长4呎和厚度在4吋以下的半剛性板,用鋸子从4吋厚的玻璃纖維板中割截出尖劈的构件,再把这些构件合并在一起,构成底部为8吋見方的尖劈单元,在8吋見方的尖劈底部中,有 6×6 吋的面积形成柱形截面,使与底部的木框相吻合。

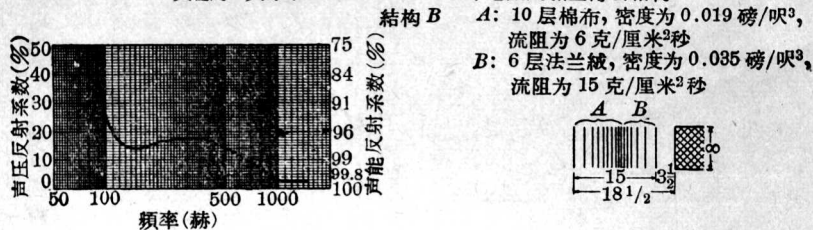
在尖劈底部有两层厚1吋、密度为3.25磅/呎³的PF玻璃纖維毡和一只 $7\frac{3}{4}$ 吋見方的木框(見图4),根据我們對所建成的消声室的多次測量証明:如果选用一定尺寸的尖劈,这两层玻璃纖維毡是可以省去不用的。在整个尖劈外护以薄的棉紗套,套的四周張紧,并且固定在木质底架上,棉紗的規格是每吋 40×44 支。

結構 B

根据对多种不同于图2所示的薄层結構的測試,可以看出,对貝德爾的原始設計是可以改进的。但在每种情況下,当頻率低于500赫时,声压反射系数都接近或者超过20%。并且可以确认这种結構的反射系数与声波的入射角間存在着密切的关系,由



貝德爾-貝爾(E. H. Bedell-Bell)電話實驗室薄層結構



梅耶、布赫曼和肖赫-柏林錐形結構

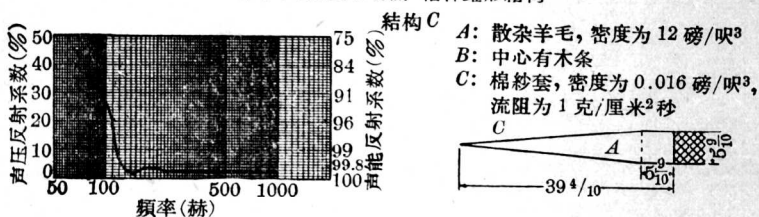


圖 2 哈佛以及更早期的二個消聲室的聲壓反射係數曲綫

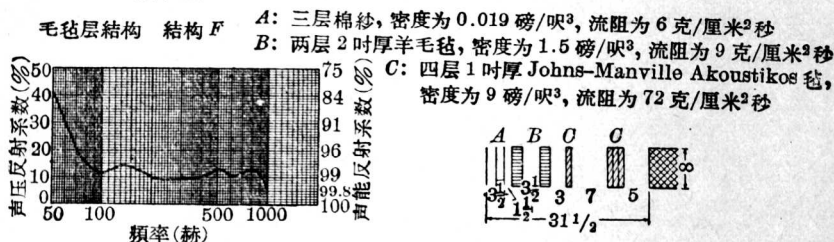
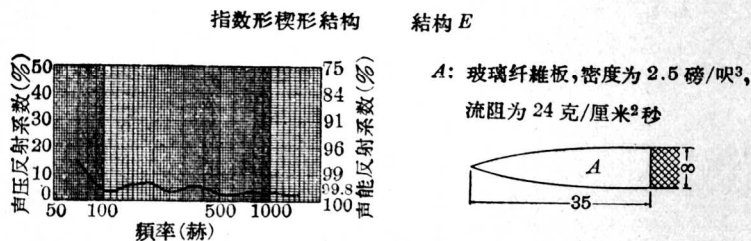
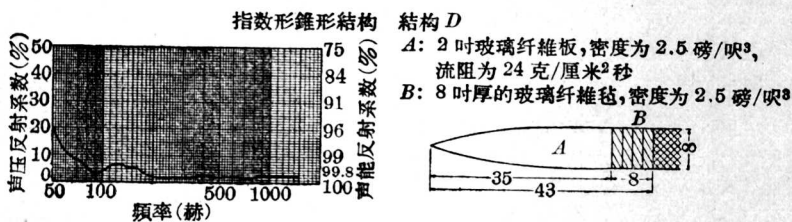


圖 3 三種結構的聲壓反射係數曲綫

① 原圖中符號與圖注中不一致, 已作了更改——譯者注

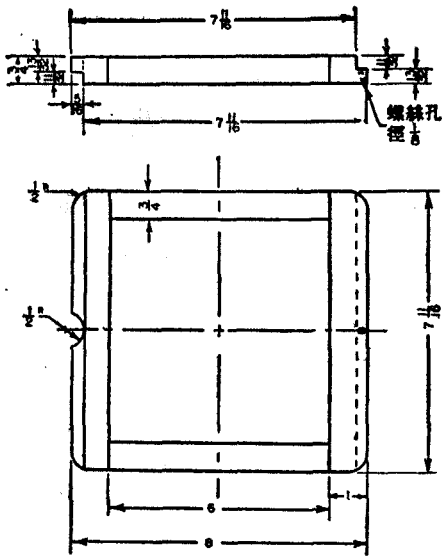


图4 装置楔形用的木架

于平行于墙面的结构对于空气质点运动的阻力小,当声波接近于掠入射时,反射系数就趋向于较大的数值,由于这些原因以及装置上的复杂性,这种类型的结构已被淘汰。

结构 C

锥形结构在低频吸收方面不如尖劈有效,为了在整个频段内使声压反射系数保持均匀的低值,就需要增加锥长,这是很困难的。同时在锥形结构的制造上亦较困难,它所需的费用也较大。根据梅耶等人的情况,他们的锥形结构消声室面积只有哈佛消声室的82%,但在锥形结构的制造和安装方面,他们用了9500工时,而哈佛只用了8000工时,二者直接相比,装置锥形结构要多化45%或更多一些的时间。

结构 D

对于指数形锥形结构,除了在125赫处反射系数增加到7%以外,它的性能和直线形尖劈是相近的。如果在采用适当流阻特性和适当指数率方面再作进一步的研究,则在给定的长度下,有可能得到比尖劈性能更佳的结构。不过,由于制造上费用过大以及生产时材料的耗资较多,使得这方面的进一步研究中断了。

结构 E

对指数形尖劈的测量结果表明,它比所采用的直线形尖劈要差一些。

结构 F

对毛毡层结构的研究证明,如果使用的结构足

够厚,并且使各吸声毡层的数目和彼此的间隔具有适当的数值,则在80赫以上的声压反射系数趋势很均匀,声压反射系数的平均绝对值是11%。在大房中装置这种结构是极其困难的。

五、通用的设计数据

对十多种不同材料制成的各种楔形结构进行研究后,下面再确定最合适的吸声结构的类型,并且要确定能够根据所要求的任何频段或结构总深度提供吸声性能最佳的结构的制造途径。根据吸声结构的性能以及制造上的方便,对玻璃纤维板所制成的尖劈进行了详细的研究,而剩下的只是下列几个可变的参量:

1. 尖劈的底面面积;
2. 材料的流阻 R_f ;
3. 尖劈的劈长 L_1 ;
4. 尖劈的底部长 L_2 ;
5. 在底部的空气间隙深 L_3 。

对于第一个参数,我们只准备研究每边长8吋的方底尖劈,其所以采用这个特殊的尺寸,一方面是由于受到测量仪器大小的限制,另一方面也是由于两块4吋厚的玻璃棉板构成8吋尖劈时不致造成浪费。

因此,只剩下四个参数需要进行详细的研究,即流阻、尖劈的斜劈长度、底部长度以及空气间隙的深度。从生产单位可以获得各种密度的纤维板,因而也可以在较大范围内选择流阻。我们用玻璃纤维板做成约500个楔形体,并且每个楔形体都利用阻抗管进行了测量,得到在垂直入射情况下材料的反射系数 R 与频率的函数关系。

测量的一组典型数据如图5的几根曲线所示, R_1 是沿着穿过 PF 玻璃纤维板的纹理截制成厚度为1吋的材料的流阻值。三条曲线中以曲线 B 最为理想。

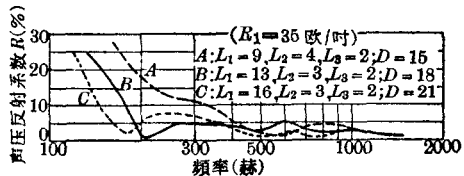


图5 当 L_1 在9~16吋范围内变化时,尖劈的声压反射系数

图6表示结构的最佳尺寸和低限截止频率的函数关系,低限截止频率的定义是垂直入射声波的声

压反射系数上升到 10% 的频率,这也是和声能吸收系数下降到 99% 或者反射声压比入射声压减小 20 分贝时的那个频率相应的。将劈部长度、底部长度和空气间隙的深度作为独立的变量,则结构的尖劈的总长度和底部的深度就不再是独立的变量。详细说明底部深度 d 的原因是:因为实验表明它具有最佳的数值。而底部长度和空气隙长度之比的变动倒是不十分重要的。在结构底部并未象结构 A 那样加玻璃毡层,事实上,后者也不是必需的。我们所研究的低限截止频率由 50 赫到 400 赫。

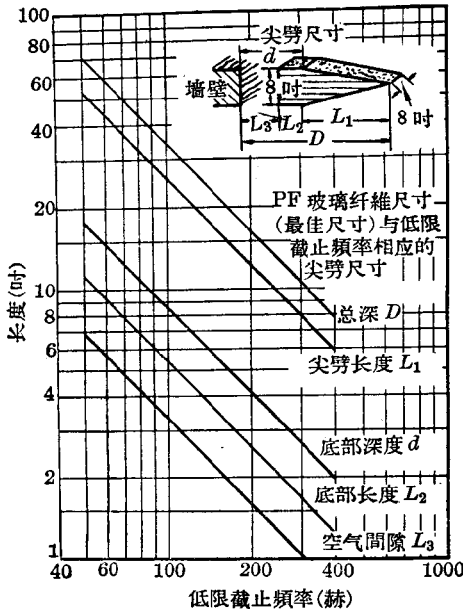


图 6 PF 玻璃纤维尖劈的详细尺寸与低限截止频率的关系曲线

必须强调指出,这些设计特性只适用于 2 吋到 4 吋厚的沿对角线割出的玻璃纤维板组成的尖劈体。并且还要求这些尖劈对邻近尖劈的底部大约有 2% 的压缩,以防止相邻近尖劈分界面处的漏声。至于采用其他方法组成的尖劈,将会导致不同的结果。

尖劈的性能除了与上述尺寸有关外,还与流阻特性有关。图 7 表示流阻的最佳值与低限截止频率的关系,以及流阻的可能变化范围,在这范围内尖劈的性能不会发生显著的改变(即反射的声压仍低于 5%)。这个范围的大小相当于推荐的流阻值的 $\pm 20\%$ 左右。图 8 给出在不同密度的样品中所测得的流阻范围与密度的关系曲线。

六、消声室的构造

大型的消声室是用钢筋混凝土建造的,在未加

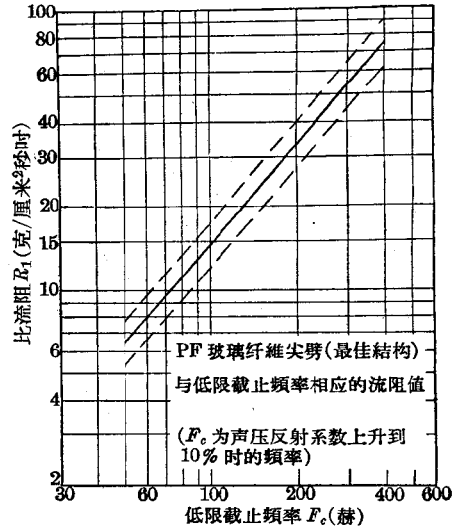


图 7 流阻值与尖劈(由 PF 玻璃纤维绝缘板制成)的低限截止频率的关系

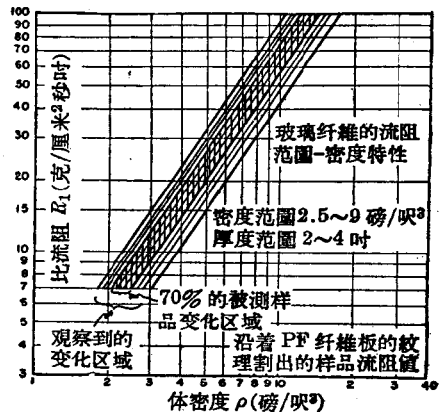


图 8 PF 玻璃纤维板的流阻测定值与体积密度的函数关系

尖劈时的内部尺寸是 $38 \times 50 \times 38$ 呎。地面上部的水泥墙厚 1 呎,在地下部分的墙厚 2 呎。在内表面铺上一吋厚的软木,以防止墙的潮气。消声室的入口有 4 呎宽的铁轨(见图 1 和 9),轨道离地面约 12 呎,利用绳索将它吊起。利用通过轨道上的小车将仪器运入室内,为了避免小车的反射,应在实验时将小车移出室外。在试验过程中可将仪器悬吊在天花板的单轨条上。

消声室的入口用两扇重库门式的门和两扇内部装有尖劈的深箱式的门封闭,以便保证室内具有连续的吸收面(见图 10)。二扇箱式门的相邻表面是圆柱形的。设计适当的圆柱形半径,可以使这两扇门在开启时能迅速分开,而不发生滑动和摩擦。

尖劈的装置方法如图 11 所示,每个尖劈底部的

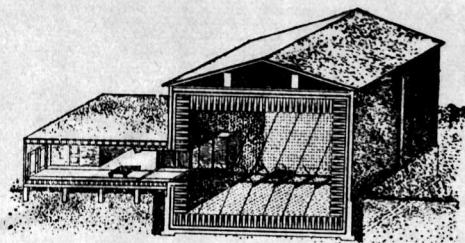


图9 大型消声室的截面图
在消声室地基四周填以4呎宽18呎深的煤渣

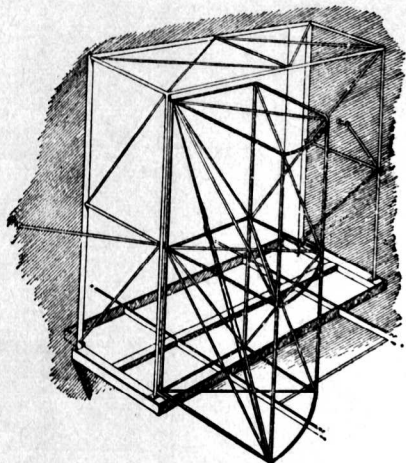


图10 装有尖劈的摇门的金属框架

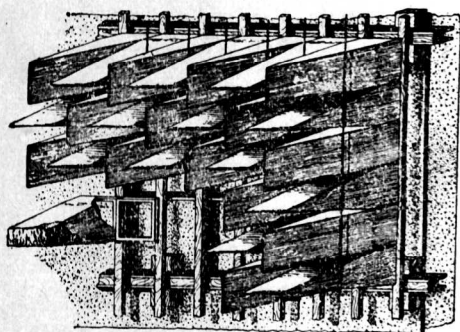


图11 装置尖劈的方法

木架压在相邻尖劈的木架上，并用螺栓固定好。为了防止在长时期后尖劈的沉塌，加用了第二个支撑点——用一种小链子和9号粗的短金属丝做成的鏈梯吊住尖劈。

尖劈背后的空气間隙釘滿了1/2吋 Celotex^①板制成的16吋見方的格子箱，其目的是为了防止在低频时声波沿着平行于尖劈后面的牆面进行傳播，以保証吸收系数随入射角的变化为最小。尖劈的两端是連續交迭的^②，以免产生衍射柵的效应。鋪滿整个內表面大約需要一万九千只尖劈，安装尖劈后

剩余的体积是 $29 \times 41 \times 29$ 呎³

二个較小的消声室，一个建造在 Craft 实验室内，另一个建在心理声学实验室内，它们的装置情况同較大的消声室是类似的，所不同的是后者所采用的尖劈較短，两个室内的尖劈的总长度分别为25吋和15吋。由于尖劈短，所以就没有必要采用第二个支撑点，同样，在尖劈端部正上方的地板上張拉了鉄絲格子网。

七、消声室的校准

1. 方法与仪器

校准消声室的方法至少有三种，以便考察它同无限自由空間的接近程度。第一种方法是当接收器从小声源离向远处时，测量接收器上声压的衰降值。如果没有反射声，则在消声室綫度允許的範圍內，声强应反比于距离的平方而衰减，亦即声压反比于距离而衰减。第二种方法是应用强指向性傳声器，测量从声源直接傳来的声音和从其它方向傳到傳声器的声音的比值。因为如果牆面有任何反射，則傳到傳声器上的不仅是从声源方向傳来的声音，而且也会有其它方向傳来的声音，因此就可把它測量出来。第三种方法是先产生很短促的声脉冲，然后在延迟的时刻去測量由于牆的反射所引起的回声。通常傳声器同声源間可以相隔一定的距离，但是必須保証直接到达的脉冲声与反射的脉冲声之間仍保持一段延迟時間。在这三种方法中，哈佛大学的消声室里采用了第一种最簡單的方法。

校准时，在50赫到3000赫的頻率範圍內应用 WE 630-A 型电动傳声器，測量高于3000赫的声压时，应用 WE 640-4A 型电容傳声器。在整个頻段內使用了四只揚声器，在很低的頻率时，使用大型的曲折喇叭。当被輻射的声波波长接近喇叭的橫向尺寸的数量級时，就要采用尺寸較小的喇叭。因为这样可避免使用具有方向性的揚声器，否則，除了正对喇叭的那面牆以外，在其它边牆上将不能获得反射声。实际上，使用的声源愈小，得到的数据也愈好，因为对于很小的声源，它本身很少有可能产生反射声和折射声。

在作校准实验时，声源被悬挂在頂部的一条单軌条上，傳声器吊在架空的可动弯管上，在这弯管上标有記号，每二个記号之間的距离是1呎，当傳声器位于各个不同位置时，在衰减器上可讀出一組以頻

① 一种吸声材料的商品名——譯者注

② 指相邻的尖劈的刃面互相垂直——譯者注

率为函数的讀数，我們把这些讀数画在以距离为横坐标、声級衰减的分貝数为纵坐标的半对数紙上。电子仪器的精密度可认为在 ± 0.1 分貝內。可以沿着房間的不同軸綫測量反比定律，其中的一种情况是声源装在房間的角上，傳声器沿着房間的斜向对角綫移动，每隔一呎測量一个数据；另一种情况是傳声器沿着房間的軸綫而垂直于墙面移动。最后，將傳声器沿着水平綫与墙面間隔 $2\frac{1}{2}$ 呎平行地移动，也可得出一組数据。当然也可以利用在房間中运动的小車来測定数据。

消声室的温度是受控制的，并且湿度不允許超过 60%。在整个測量过程中記錄温度，在高于 3000 赫的范围，用干湿球湿度計控制湿度。頻率較高时，由于空气的吸收，必須对数据进行校准。

2. 一个大型消声室的測量数据

图 12 表示在 70 赫到 10000 赫的频段內，当小車移出消声室，用可动傳声器在高于軌道 10 呎的水平面上，沿着对角綫移动的情况下所測得的数据。图 13 分别表示在声源与傳声器距离在 0~10 呎、10~20 呎、20~30 呎、30~40 呎时所观察到的同平方反比定律的最大偏差值与頻率的函数关系。

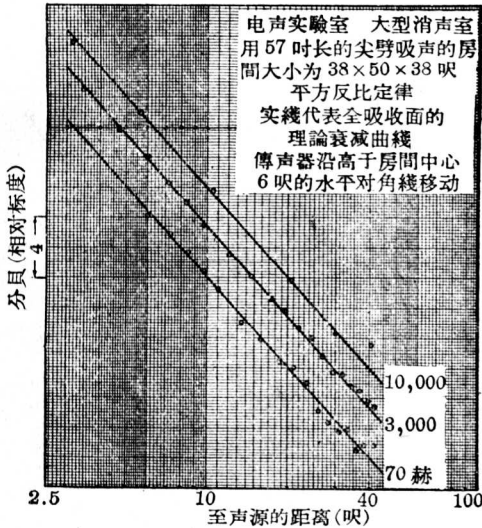


图 12 在大型消声室中，声級衰减分貝数与傳声器同声源間距离的关系曲线

图 14 是在整个被研究的频段內，測定数据的分布曲线形式，图中并注明数值点的标准偏差。画在每張图上的两条直线表示了与平方反比定律的最大預期误差。图上 371 个点中約有十九个点落在曲线外，但可以不考虑这十九个点，因为測量设备的誤差不小于 0.1 分貝，而准确地測量傳声器与揚

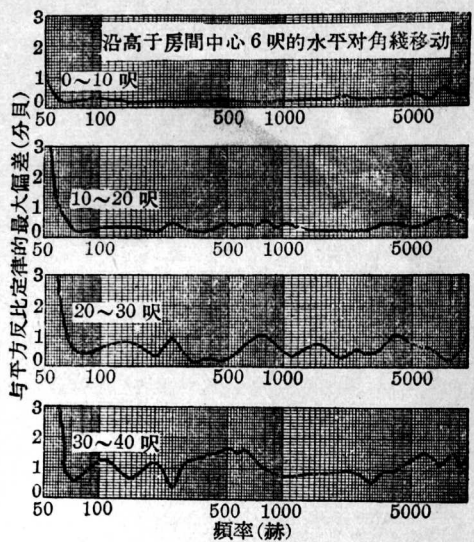


图 13 在采用 57 吋长的 PF 玻璃纤维尖劈吸声体的哈佛大学消声室中，測量值与理論的平方反比定律的偏差同頻率的关系图。以声源与傳声器之間的距离为参数

声器之間的距离是很困难的，这样又可能导入附加的 0.1 分貝左右的誤差。总之，从这些数据可以看出，在 70 赫到 10000 赫的頻率范围内，在 4 到 10 呎距离內与反比定律的偏差大約 ± 0.3 分貝；在 10 到 20 呎距离內的偏差为 ± 1.0 分貝；在 30 到 40 呎距离內的偏差为 ± 1.5 分貝。从測量数据中可以看出，在高于 5000 赫时，这些点子的降落显然比按平方反比定律的略为緩慢些。在 1000 赫时，与平方反比定律有規則地逐漸变大的偏差趋向于极大值 $= 0.3$ 分貝，然后随着頻率的增加而变小，在 2000 赫时减低到零。当距离超过 20 呎后，这些点子的降落也比平方反比定律要緩慢(参看图 14)。

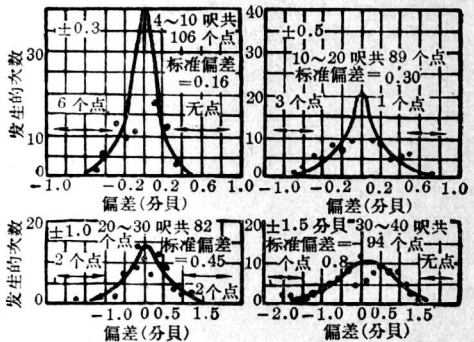


图 14 測量点与平方反比定律的偏差分布曲线。以声源与傳声器間距离为参数，頻率从 70 赫到 10000 赫

在高于軌道 4 呎的水平面上，沿着房間長軸在

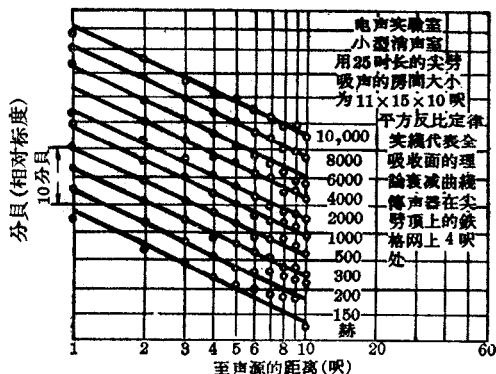


图 15 在較小的消声室中, 声压衰减分貝数
与声源和傳声器間距离的关系曲线

有和沒有小車的两种情况下測得的数据表示在表 1 上。可以看到, 即使小車不在房間里, 当靠近軌道进行測量时, 与平方反比定律的偏差就比在对角綫上測量的偏差要大, 当小車在室內时, 与平方反比定律的偏差就更为显著。

可以看到, 在低于 200 赫时, 当傳声器离开牆面 $2\frac{1}{2}$ 呎且平行于牆面离开声源时, 測得的声压衰减不規則地增加。但这些数据比梅耶在柏林的消声室內整个頻段內所測得的数值要小。

3. 二号消声室的測量数据

这里发表了两个較小消声室之一的平方反比定律数据。这个消声室是矩形的, 在未裝置 25 吋长的尖劈时, 室內尺寸是 $11 \times 15 \times 10$ 呎, 装入吸声体后, 剩下的工作空間約为 $7 \times 11 \times 6$ 呎。沿着房間长軸測得的数据示于图 15 上, 概括說来, 这些曲线說明在 300 赫到 5000 赫的頻段內, 在 5 呎以外与平方反比定律的偏差是 ± 0.5 分貝, 在 10 呎以外与平方反比定律的偏差是 ± 1.0 分貝, 在 5000 赫到 10000 赫的頻段內, 在上面两个距离时的偏差分别为 ± 1.0 分貝和 ± 2.0 分貝。在高频时, 較大的偏差是由鉄絲格子网和悬挂着的鋼結構所引起的, 后者差不多占

了整个地板面积的一半。

表 1 沿着平行于軌道且高于軌道四呎的
长軸移动傳声器时, 測得的数据与平方反
比定律的偏差分貝数

頻 率	小 車	小于 10 呎	10 ~ 20 呎	20 ~ 30 呎
1000	出 入	± 0.5 ± 1.0	± 1.0 ± 1.0	± 1.5 ± 5.0
4000	出 入	± 0.1 ± 0.2	± 0.3 ± 1.0	± 1.0 ± 1.3
5000	出 入	± 0.2 ± 0.5	± 0.7 ± 1.5	± 1.5 ± 2.5
10000	出 入	± 0.7 ± 1.0	± 0.8 ± 2.0	± 2.0 ± 1.5

把这数据同 1936 年貝德尔关于貝尔电话实验室的报告作一比較是頗有意义的, 他所发表的关于他們的較小消声室在 300 赫到 500 赫的頻段內与平方反比定律的偏差, 在 5 呎以外是 ± 3 分貝, 在 10 呎以外是 ± 5 分貝。

参 考 文 献

- [1] H. F. Olson, Elements of Acoustical Engineering (D. Van Nostrand Company, New York, 1940), p. 305. (見“声学工程”1957 年版中譯本 458~459 頁, 科学出版社 1964 年出版。)
 - [2] E. H. Bedell, J. Acoust. Soc. Am., 8 (1936), 118.
 - [3] Meyer, Buchmann and Schoch, Akustische Zeits., 5 (1940), 352. (本輯第 28 篇作了摘譯。)
 - [4] H. F. Olson, J. Acoust. Soc. Am., 15 (1943), 96. (本輯第 29 篇作了摘譯。)
 - [5] H. J. Sabine, J. Acoust. Soc. Am., 14 (1942), 143.
- (胡春年 譯自《J. Acoust. Soc. Am.》, 1946 年第 18 卷第 1 期第 140~150 頁, 沙家正校)

消 声 室

[日本] 三宅 千葉 衡 著

一、消 声 室

在设计制造声学器件时，首要的前提就在于精确的声学测量，为了实现这一点，必须有一个“无反射声的房间”。这个特殊的声学测量室通常被称为消声室。

那么，为什么说声学测量需要有这样的一个房间？对此，下面拟从声学测量技术中关于精度要求比较高的电话机来加以说明。为了研究并改进声学工程上的各种器件、电话机、无线电、录声机等等，首先需要精确地测定声音的强弱，这样就促使建立消声室。所谓电话机的品质，就是要在不破坏室内清晰度的情况下，把说话的声音通过电话线一直传输到很远的地方，亦即由可能传递的距离来表征电话机的品质。众所周知，相应于声音所产生的电流在每一公里上约衰减掉十分之一；但是，如果在从受话器上测定声音强弱的时候搞错了十分之一，这就无异在电话线的长度上要修正1公里的估算错误。对于这个问题的，电话技术工作者通常把电学测定的1~2%的精度作为测定声音的精度所允许的最大限度。

按照上述的这种测定声音的精确程度，在目前的电话线路长度上仍然存在着100~200米左右的不精确程度。然而，即使如此也还得归功于最近以所谓“互易校准法”原理为基础的测定技术的发展。

在测定传声器和扬声器等元件的性能时，周围环境的情况是不能忽视的。我们在听闻到普通扬声器所发生的声音时，除了来自扬声器的直达声以外，同时也可测得在墙面上经过某种程度反射而进入人耳的所谓反射声。为此，在讨论单独一个扬声器的性能时，如果不消除掉这些反射声并依赖仅有的稳定直达声，那是没有什么实际意义的。在消声室里，除了声学器件外，一般不存在任何反射物体。在利用这种上下四方无限地扩展的空间时，可以把标准扬声器假想为具有理想的特性，以便进行设计制造，尤其是可以方便地利用这种房间调整扬声器的性能。对于传声器的测定情况也是一样的。借助于这

种无反射声的空间，是使得声学器件进入实际应用的一个原因。在这些声学器件的研究中，消声室起了近似地重现一个无限扩展空间的研究室的重要作用。

类似这样的例子，不仅仅有上述单纯的扬声器和传声器，凡是涉及到一切声的测量方面，这种特殊的测量室无疑是必要的。但是，它的使用方法也有好几种，并且应该根据它们的各种测定要求而分别考虑它们的精度。

不过，这种消声室的基本条件却都是一样的，它们应分别满足下述两个条件：第一，没有反射声，亦即入射于墙面上的声波应该尽可能地完全被吸收掉；第二，应该同时尽可能减小来自外界干扰。

根据不同的研究对象和所要求的程度，实现上述这些条件将有某些差别。为了实现第一个吸声条件，根据下述声学原理的方法，可以在墙面铺以吸声材料。在硬度不同的两种媒质的界面上必然出现声波的反射现象，如果硬度的差值越大，则反射声波也越显著。按照这个原理，在能够完全反射的混凝土那样材料上铺覆玻璃纤维吸声材料，在其密度接近于空气的表面上，反射是非常少的，随着接近混凝土的墙面，反射自然增大。

对于第二个条件，亦即来自外界干扰，估计有机械振动、声振动和电感应三个因素。这就必须建造内室，并将内室做成悬室。为了减弱它的振动，使用了弹簧和防震材料，并利用混凝土等重厚墙壁以隔绝外界噪声。门扇缝隙的漏声，可以分别通过门的精密加工和加大重量的办法来解决。至于电感应则可对房间采取屏蔽的措施。由于主要是进行电的研究，所以特别需要采取完全的接地和防止电感应的措施。

二、消声室的实例

迄今为止，在世界各国已建成了许多消声室，但是，不论是哪一种消声室，虽然它们的规模大小和精度的差别视用途等而有某些程度不同，但它们的基本条件如上节所述则大体上都是相同的。

目前所使用的多是尖劈等形状的吸声层。在此以前,也有使用垂挂帘幕等的方法,即使在目前也还有采用吸声毡絨等方法。E. Meyer (梅耶) 和 G. Buchmann (布赫曼) 等首先提出了它們所研究的四棱錐体的錐形吸声层 (图 1), 而現在所使用的劈形吸声层則大約是由哈佛大学所发明的 (图 2)。在伊里諾埃工科大学的消声室里有一个双重套室的結構 (图 3)。近年来, 在一些大型消声室中的吸声錐体也有使用压制的固态玻璃纖維的趋势。

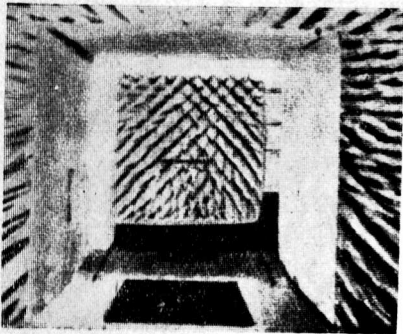


图 1 柏林工科大学, 1940 年建成 (E. Meyer, G. Buchman, A. Schöch)。外室的内部尺寸为 $16 \times 11 \times 9$ 米, 内室有效尺寸为 $14 \times 9 \times 7$ 米, 棱錐形吸声层长 1 米, 15×15 厘米, 外覆鉄紗, 填充岩石棉, 总数約 32000 个

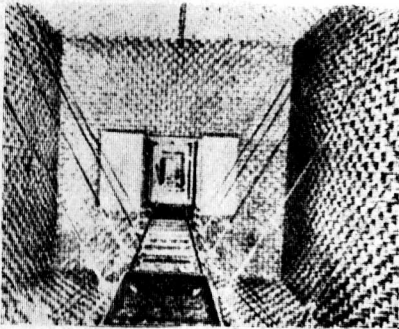


图 2 哈佛大学 (美国) 1946 年建成的 (L. L. Beranek)。外室内部尺寸为 $38 \times 50 \times 38$ 呎, 内室有效尺寸为 $29 \times 41 \times 29$ 呎, 劈状吸声层长 44 吋, 8×8 厘米, 外覆薄毛毡, 填充 PF 玻璃纖維, 总数为 19000 个

我們介紹其中如下的几个消声室: 在大学的研究室中, 有东京大学的理学院和早稻田大学工学院等; 在应用研究方面, 有在邮电部时期的通訊研究所 (五反田) 消声室, 而在这以后, 运输技术研究所 (三鷹)、日本广播协会技术研究所、电气試驗所等

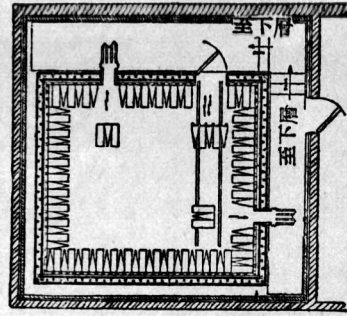


图 3 伊里諾埃工科大学派姆萊听觉研究基金委员会的消声室

都建成了消声室。作为工业上使用而相继进行建造的有日立、松下等电机制造厂。

随着这种声学测量方法水平的提高, 预料今后将会兴建更多的消声室。

三、电气通訊研究所的消声室①

第一节所述的基本条件中, 第一条就是“无反射声的牆面”, 为了建造这样的牆面, 我們也利用了玻璃纖維的吸声层。

但是, 为了使从空气表面开始的玻璃纖維具有理想地緩慢变化的密度分布, 則一直到混凝土表面为止, 它的厚度就必須非常大, 因此, 在設計时, 我們把这个厚度限定为 $1 \sim 2$ 米左右。由于經濟因素对吸声层的厚度也有很大的影响, 所以在长的声管内进行了模型分布試驗后, 采取了如图 4 所示的那样一种方案。在 100 赫以下时, 它存在着一些不够理想的地方, 而在 200 赫以上时, 則大体上能够有获得完全无反射面的希望。这正是在实用上重要的声頻范围。

图 6 是消声室完成后进行实测的結果。

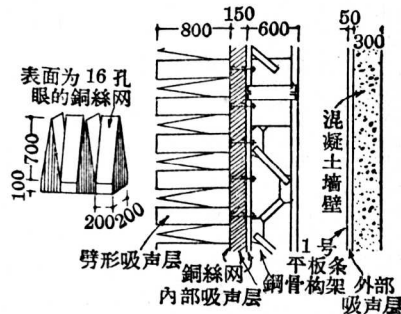


图 4 消声室的牆壁断面結構

① 这个消声室于 1959 年 2 月建成——譯者注

所谓消声室的完善程度，就在于它的反射现象能够被忽略的程度。当在这个无限扩展的无反射物体的空间中放入一个扬声器时，如果运用所谓声压随距离成反比地衰减的原理，则通过对这些实测值来检验它们和距离成反比的关系，就可以确定消声室的完善程度。测定的结果是实测点差不多都落在图示的直线上，亦即它们确实是遵循着上述这个关系的。如图所示，在这次试验中，当频率低于100赫时，点子的一些离散程度是明显的，在实用上重要的频带内，发现的误差在1分贝以下。

第二个条件是“防止来自外界的干扰”。为此，用30厘米厚的混凝土圈筑成外墙，在墙的内部用钢骨构架把内室分成两层（图5）。为了防止振动，利用弹簧将这个内室悬空地钩住，弹簧的固有频率在5赫附近，这被认为是符合要求的。不过，要把总重量达80吨的建筑物用弹簧来悬挂起来，这简直是少

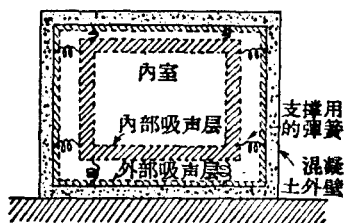


图5 用弹簧钩住的内室

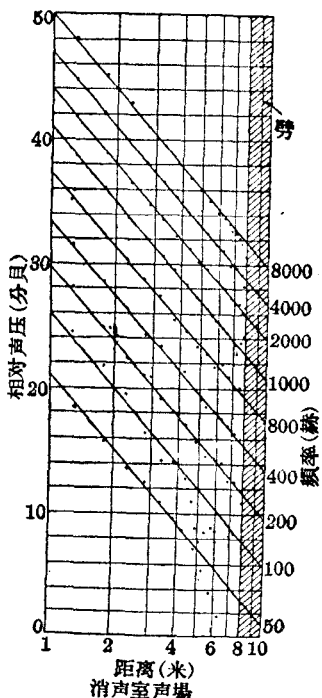


图6 消声室建成时的测定结果

有的情况，所以要求在设计和施工时非常谨慎，但是出乎意外的是它竟被容易地实现了。更难以处理的是关于门缝隙的漏声问题，我们用和30厘米厚的混凝土相同的隔声效果作为要求，通过精密的机械加工，使门的边缘能够严密闭合。

此外，如果在前室再利用双层吸声门（约1.5吨）作为辅助，而不考虑主铁门的加工达到怎样的密闭程度，我们认为这也是一种减小声漏的办法。

曾经对这个隔声特性进行了实测，正如下文所述的那样，我们测得了在实用上相当良好的隔声效果。

除此以外，空气调节管道往往会将外界的噪声从管道周围传入室内。由于存在着不少这种情况，所以选用了厚度为1.9厘米的镀锌管，并且还使用了吸声盒，这样，房间的隔声衰减值超出可以测定范围的程度。

关于电感应，由于过去劈形吸声层的表面覆盖物采用的是毛织物（如五反田通讯研究所的消声室），因此要保持消声室的特性就显得非常困难。为了这个缘故，考虑了进一步改善的方法，并采用了铜丝网，然后把它完全接地；同时还考虑到将电源线的套管做成二层屏蔽，并使它们之间实际上没有相互的干扰。

综合这些资料并加以检验后，正如研究者在使用后所报告的那样，它的性能是比较好的。

在声学上的结构建筑方面，经常发生各种不易想到的阻碍，因此，在规划上或是在施工时，就必须要有细心的工作人员，特别是和消声室使用者联系，以便彻底地掌握他们所要求的实用程度，这是极端重要的。

现在把一些具有代表性的问题，并参照在修建过程中所发现的事例，叙述如下：

(1) 由于人们的进出走动，使消声室入口门框四周的吸声层中材料会发生沉陷，因此，需要装上具有保护作用的护板。为了使内室的吸声性能均匀，上述问题必须予以解决。

(2) 与此相反，为了保护内壁而在地板网的外围设置了栏杆，并将它用吸声带包扎起来。这个问题在实用上并没有什么妨碍，但是对使用者来说，必须特别注意。

(3) 再有，关于混凝土外墙的内表面上露出的梁、柱等，如果可能的话，则通过布置吸声材料，使它具有平整的内表面，但这是否合适，值得考虑。

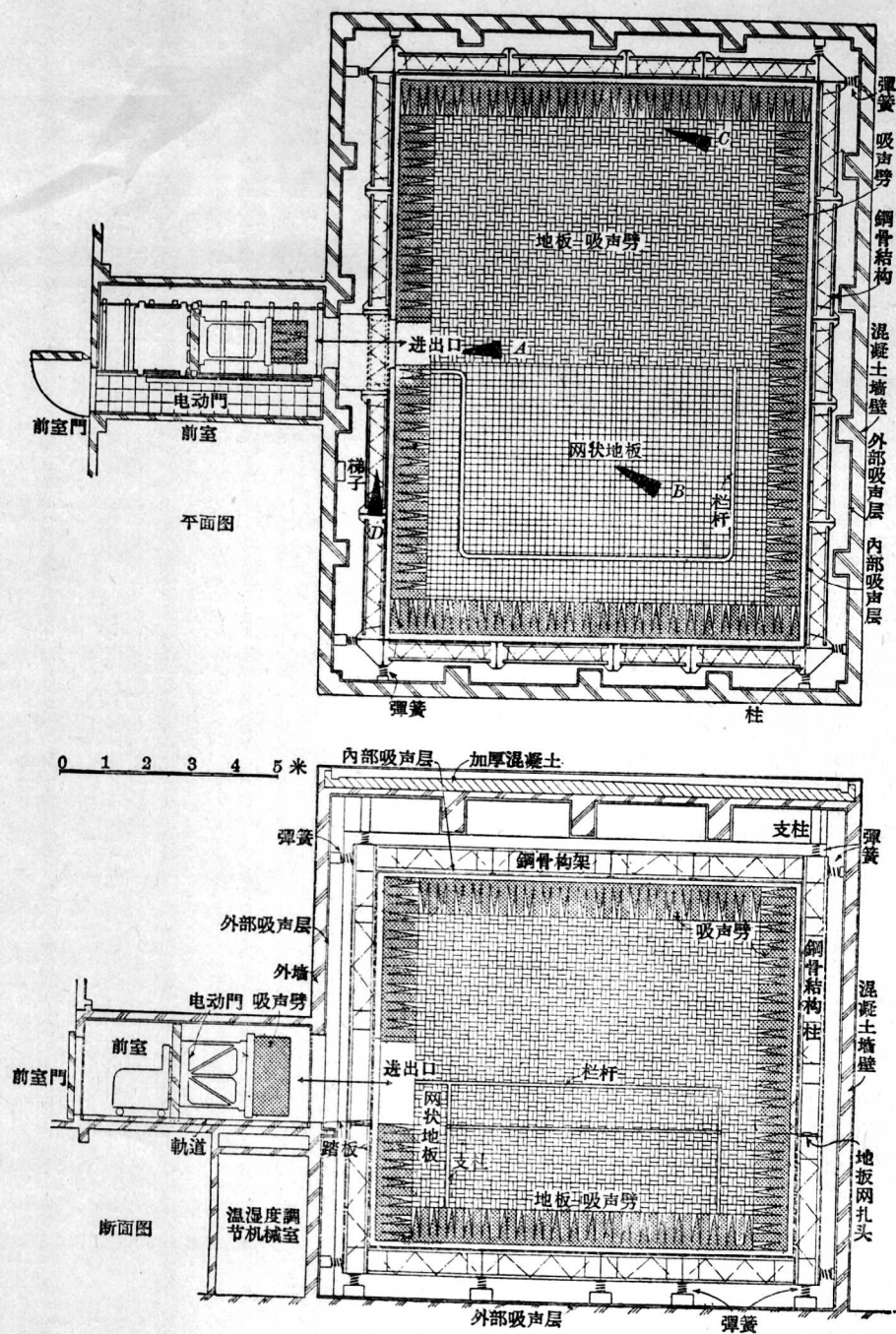


图7 消声室平面图和断面图

- (1) 外室尺寸 15 (东西) $\times$ 12 (南北) $\times$ 10.6 米 (高度), 混凝土墙厚 30 厘米
 内室有效尺寸 11 (东西) $\times$ 7.8 (南北) $\times$ 6.6 米 (高度), 地板面积为 86 米^2 ($\frac{26}{30}$ 亩), 体积为 566 米^3
 内室总重量 82 吨
- (2) 钢骨构架 总重量 42 吨
- (3) 外部吸声层 9 微米的玻璃纤维, 密度为 90 公斤/米³, 厚度为 5 厘米, 玻璃纤维总重量约 5.17 吨
- (4) 内部吸声层 9 微米的玻璃纤维, 密度为 60 公斤/米³, 厚度为 15 厘米, 外覆 34 号 16 孔眼的铜丝网, 玻璃纤维总重量为 5.42 吨

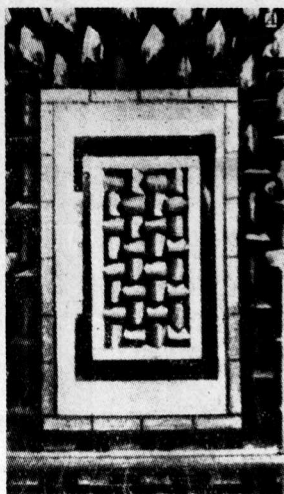


图8 内部进出口的正面图



图11 走廊

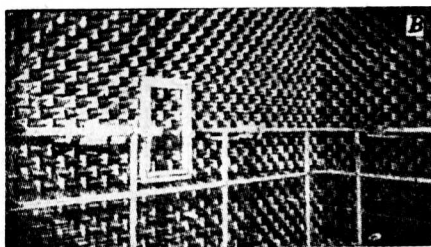


图9 同一个进出口的透視

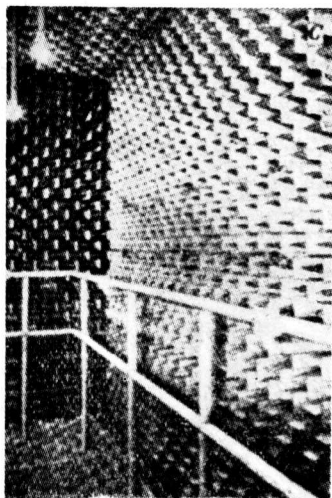


图10 内部詳图

四、消声室各部分的詳細情况

1. 外墙

为了防止来自消声室外部的噪声影响,首先要 在最外面建造能够有效地隔声的墙壁,亦即,在 30 厘米厚的钢筋混凝土墙壁的里外表面上涂以水泥 浆;在 12 厘米厚的钢筋混凝土屋顶上,从最低处 开始浇上 18 厘米厚的无钢筋的混凝土,在里、外表面 上均涂以水泥浆。除进出口的一间房子外,消声室 全部用两面涂水泥浆的、厚度为 30 厘米以上的混 凝土围护起来。尤其要避免做成两层薄的墙壁,这是 因为在混凝土上可能会产生内部的裂缝。

其次,在刚建成混凝土的外墙时曾經測定过混 响时间,这时的混响时间如图 15 所示,由图可見它 是非常长的。可以说,最初造成的消声室变成了全 然相反的混响室,这是一件頗饒趣味的事情。

2. 外部吸声层

在与外墙相邻接的内侧鋪上了密度最高的玻璃 纤维层。玻璃纤维衬垫的密度为 90 公斤/米³,厚度 为 5 厘米,两面用板条夹住,这种材料的阻抗如图 16 所示。

其次,除了地板以外,在外部吸声层全部安装

- (5) 劈形吸声层 长度为 80 厘米(倾斜部分长度为 70 厘米),基部为 20×20 厘米,框架撑挡为 4 毫米铜丝, 总数为 12546 个,9 微米玻璃纤维,密度为 30 公斤/米³,外覆 34 号 16 孔眼的铜丝网,玻璃纤 维总重量为 7.18 吨
- (6) 地板网 网丝为不锈钢硬铜丝,2.9 毫米,网孔为 15 厘米,拉力为 200 公斤
- (7) 前室(門戶室) 地板 灰泥墙 天花板 玻璃纤维衬垫(外部吸声层)以及穿孔柔韧板
- (8) 門 吸声門 1 (寬)×1.80 米(高),装置劈形吸声层固定于主門上
主 門 1.46 米(寬)×2.26 米(高),行車軌道中心間距为 1.56 米,行車行距为 3.5 米,启閉門戶時間 約 90 秒,电动及手动,重量約 2.5 吨
補助防声門 1.2 (寬)×2 米(高),使用橡胶填料,重量約 1.4 吨