

不少于9次测量,灵敏度变化小于0.034dB;
9.长期稳定性 高温外推法,120℃ 1h,灵敏度变化小于0.2dB.

参 考 文 献

[1] Raymaned, R. W., and S. V. Djuric, *Sound and Vibration*, 8—5 (1974), 4.

[2] Madsen, H. S., *J. Acous. Soc. Am.*, 53-6 (1973) 1616.
[3] 宋燕君,陶中达,电声技术, 2(1980), 36.
[4] 陶中达,宋燕君,电声技术, 4(1979), 20.
[5] 陶中达,宋燕君,陈荣普,李秀珍,第二届全国声学学术会议论文摘要, G. 9, 1979年5月;北京.
[6] Taer, K., *Acustica*, 15 (1965), 256—263.
[7] Warren, J. E., J. F. Hamilton and A. M. Brzeinski *J. Acous. Soc. Am.*, 52 (1972), 711—722.

杭州电声厂消声室的声学设计

项端祈 赵一兴

(北京市建筑设计院 研究所)

1986年6月30日收到

杭州电声厂消声室主要用于鉴别电声设备的声学指标。消声室挂设尖劈后的尺寸为11.46m × 7.38m × 6.49m,有效容积549m³,总表面积414m²。

消声室建成后声学测定的结果表明,达到了预期的设计要求:

- 1.在强噪声和冲击振动的作用下,消声室内的噪声级小于17.5dBA和PNC-15噪声评价曲线;
 - 2.消声室的截止频率 $f \geq 50\text{Hz}$;
 - 3.消声室自由声场测试半径 $r = 2.5\text{m}$,在此范围内 $P-r$ 曲线滑顺,与标准自由场的偏差 $\Delta < \pm 1.0\text{dB}$;
 - 4.用于调节消声室及夹层内空气的通风系统,在运行时,不影响消声室内的测试工作。
- 经一年来的试用表明,效果良好。

本文概要地叙述电声厂消声室的声学设计,但侧重于介绍比同类消声室在声学和建筑处理方面有所改进的部份。

一、概 述

杭州电声厂消声室主要用于鉴别扬声器、音箱以及其它电声设备(如电视机、收录机等)的音质指标,因此,除音质设计外,还要求设置屏蔽结构。

考虑到消声室的测试对象,以及该消声室客观上将作为浙江省仅有的电声设备测试基地,由此而要求较高的音质指标:

- 1.本底噪声级 $< 20\text{dBA}$ 和PNC-15噪声评价曲线^[1];
- 2.截止频率 $f \geq 63\text{Hz}$;
- 3.自由声场测试半径 $r \geq 2.0\text{m}$,与标准自

由声场的偏差 $\Delta \leq \pm 1.0\text{dB}$ 。

消声室的建筑净尺寸为14.0m × 10.0m × 9.0m,挂设尖劈后的有效空间尺寸为11.46m × 7.38m × 6.49m,有效空间体积为549m³,表面积414m²。

消声室采用“屋中屋”的结构形式,以此确保围护结构具有足够的空气声隔声量,控制周围环境冲击振动所引起的固体传声;消声室内层结构配置在双层弹簧和橡胶组合的减振器上;为了增大自由声场的空间和尽可能降低截止频率,消声室内选用1150mm长的尖劈,后设150mm空腔,并使净空间有足够大的尺寸。

消声室的门通常由吸声(尖劈)和隔声两部分组合成一体,重量过大,使用不便,同时常由

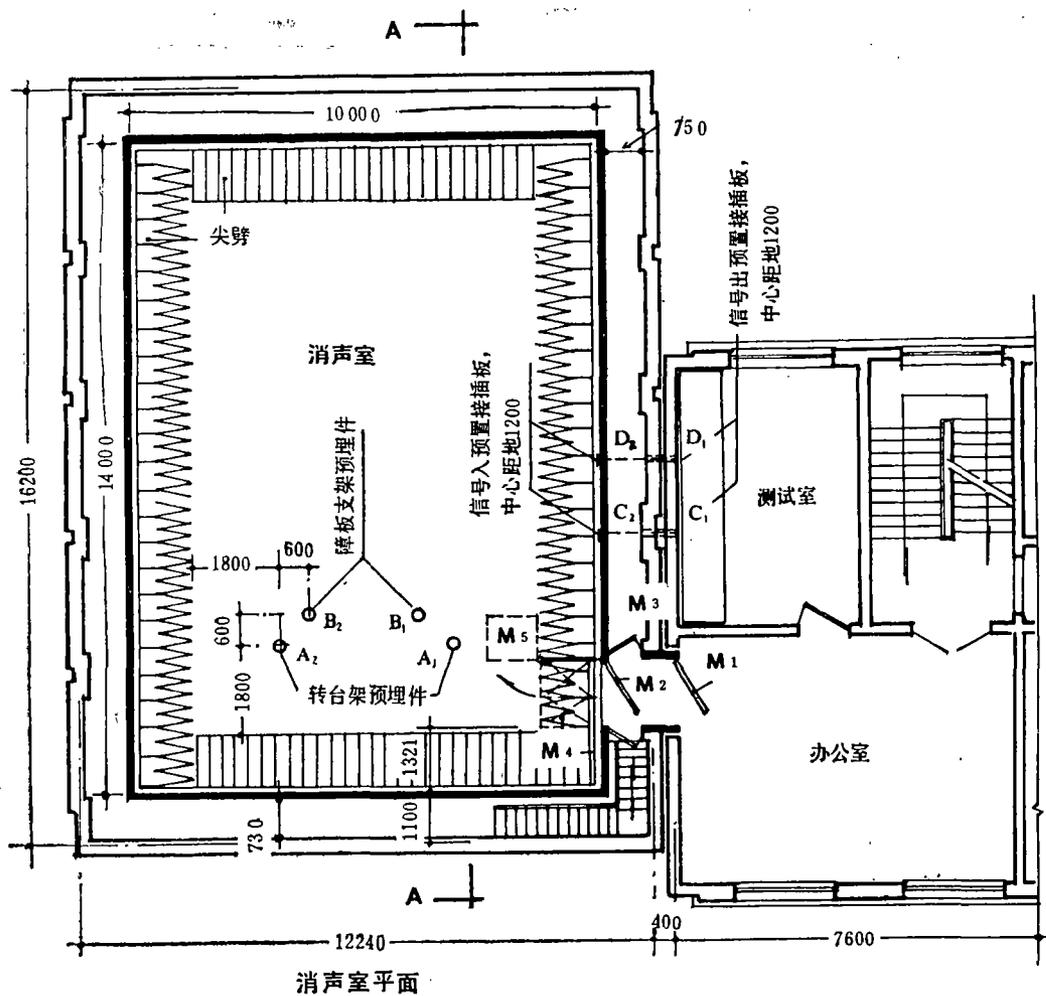


图1 杭州电声厂消声室平面

于缝隙不严而影响隔声性能。对此,作了改进,把门的吸声和隔声部份分开,即分为吸声尖劈门和隔声门。

消声室及夹层内的空气调节不仅对降低室内的相对湿度、保持尖劈固有的吸声性能是十分必需的,同时对防止钢弹簧锈蚀、延长使用年限也是有利的,对此,设置了空调系统。

消声室的平、剖面见图1、2所示。

消声室竣工后经声学测定和使用结果表明:达到了预期的设计要求。

二、声学设计

消声室的声学设计包括围护结构的隔声、

应用声学

基础隔振和室内吸声尖劈的设计和确定等内容,现分述如下:

1. 隔声设计

消声室建于工厂区内,且离军用机场很近,战斗机起、降临空时的噪声级达85dBA左右。为了控制噪声,消声室围护结构采用完全分离的双层构造:外层墙用360mm厚砖墙抹灰,内墙为200mm厚钢筋混凝土;内、外层屋顶均为钢筋混凝土板,并相当于墙体重量。内、外层间设730—750mm宽通道,见平面图1。

门的构造改变了传统的做法。把门应具有吸声和隔声两种功能,分别有吸声尖劈门和隔声门两个门分担。隔声门为双层单开门,门的构造选用复合结构,并侧重于加强门的严密

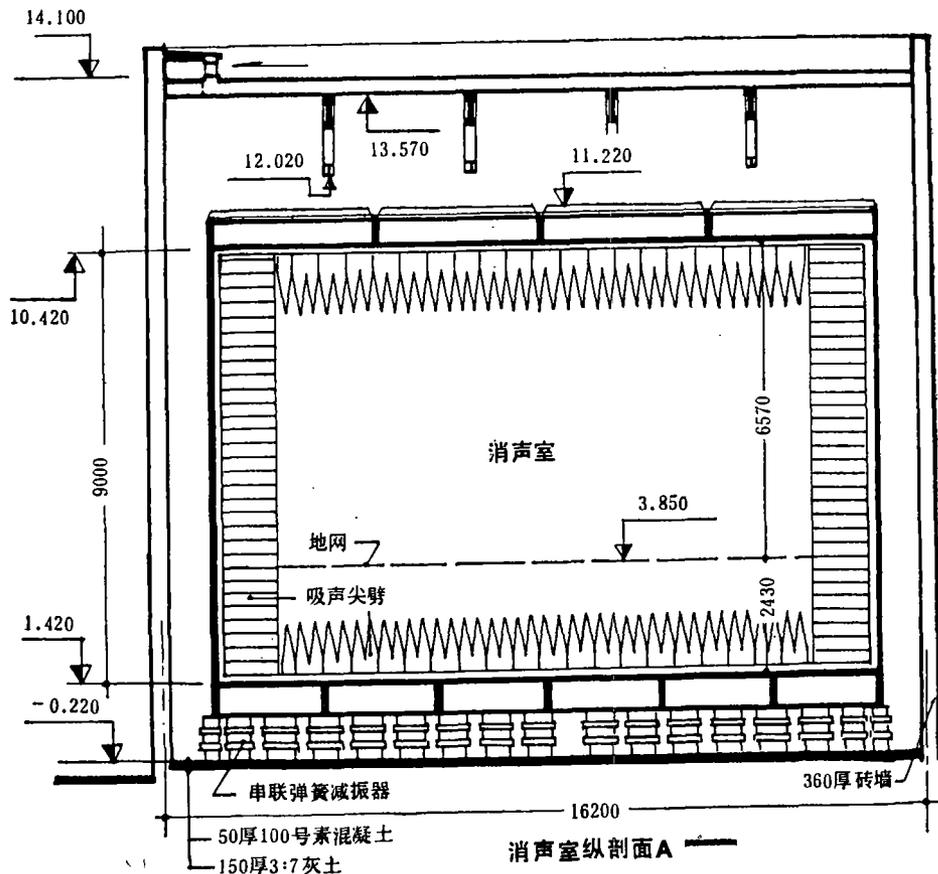


图2 杭州电声厂消声室剖面

程度。为了防止夹层内的噪声通过第二道隔声门进入消声室，因此在夹道出入口也设了隔声门。几道门的配置和尖劈门的构造见图3所示。

尖劈门分推拉门和旋转门两部份，前者作为经常出入用，后者则供大试件进出时使用。

隔声门（第一道门 M_1 和夹道门 M_2 ）的构造为双层木板，中间填矿棉毡，外包人造革面；第二道隔声门（ M_3 ）由3毫米厚钢板和双层羊毛毡构成，中间填矿棉毡。

为了调节夹层及消声室内的空气，设置了排风降湿系统。进风口设在外层屋顶的夹层内，在进风口处设有隔声门（由机房控制开、关），并在进入夹层的通道内设消声器，以防止户外噪声进入夹层。通风机还作了隔振处理，以便在风机运转时，照常进行工作。

2. 隔振设计

为防止离消声室仅9m的金工车间内冲床的振动和附近工厂区内各种振动源的干扰，消声室“浮筑”于50组由弹簧和橡胶组合的隔振装置上。考虑到一些已建的消声室虽做了隔振处理（弹簧或橡胶），但实际上并没有真正起到防止冲击振动的作用，对隔振装置作了改进，并确定了如下的设计准则：

(1) 降低隔振装置的自振频率 f_0 ，使它低于2.5Hz；

(2) 增加隔振装置的阻尼，防止通过自振频率可能引起的共振；

(3) 选用高强弹簧钢60 Si₂Mn钢，弹簧丝直径 $d < 30\text{mm}$ ，以提高加工精度和热处理质量；

(4) 价廉、构造简单、便于施工和更换弹簧。

根据上述准则，设计了双层串联弹簧和橡

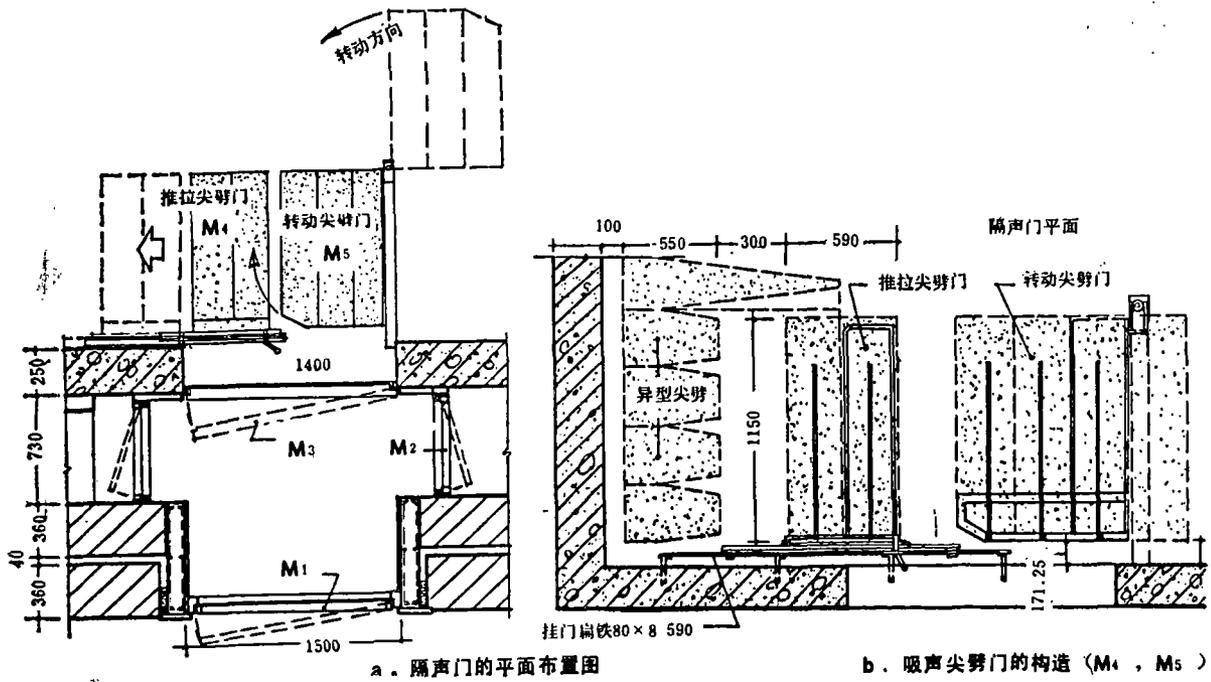


图3 消声室几道门的配置和尖劈门构造

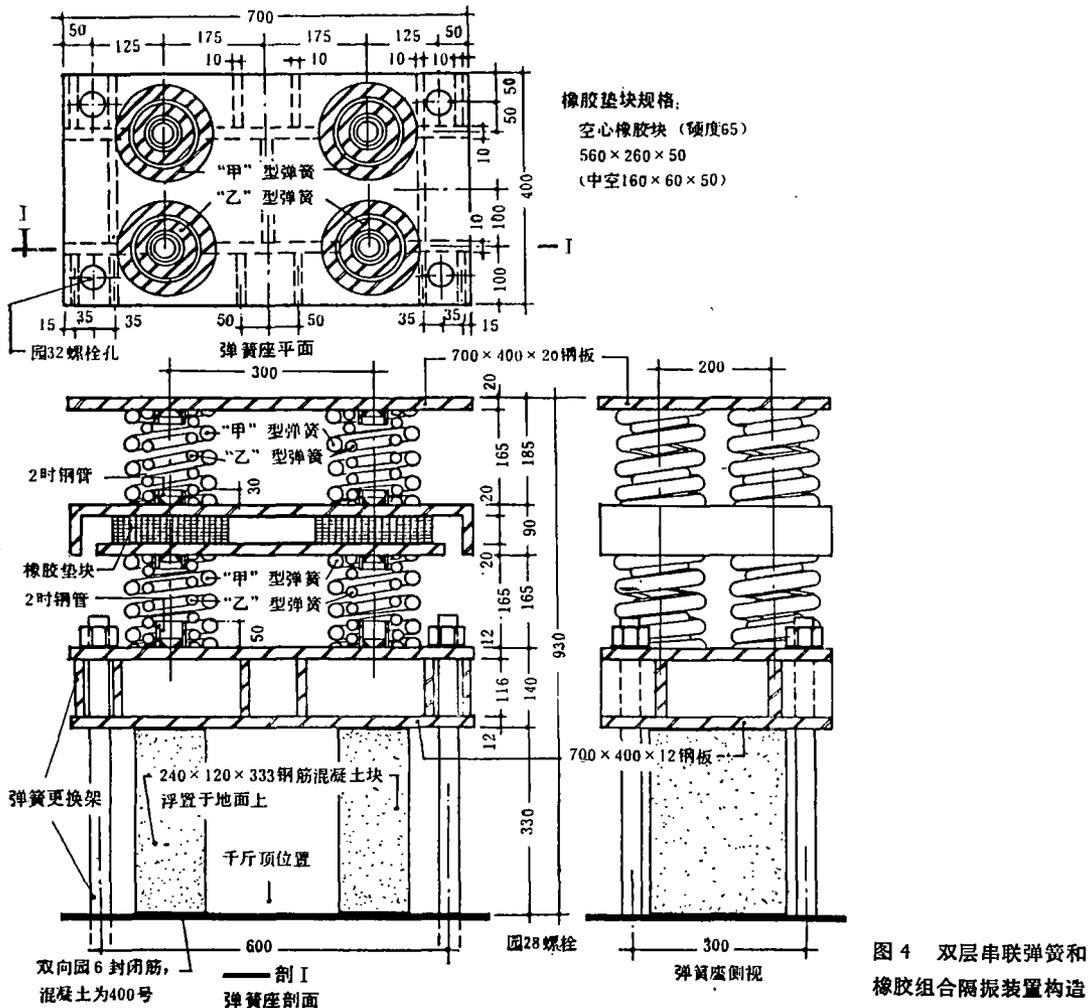


图4 双层串联弹簧和橡胶组合隔振装置构造

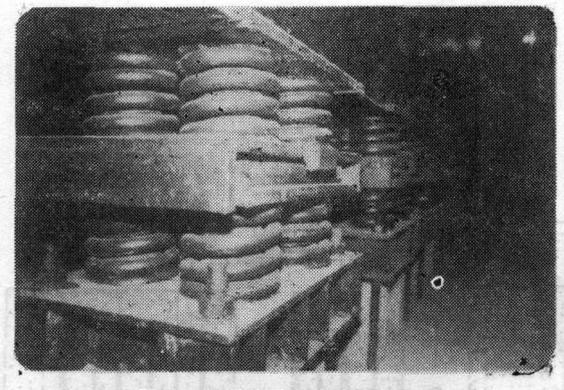


图5 隔振装置安装后的内景

胶组合的隔振装置。为了便于更换不合标准或
 年久损坏的弹簧，在串联弹簧下设置了“更换
 架”，它由两块浮搁在地面的混凝土块和固定于
 地面的四根螺栓所组成，更换时，取下螺母，用
 千斤顶顶起下层弹簧，取下混凝土垫块，即可更
 换，不必将整个消声室顶起进行更换，图4和图

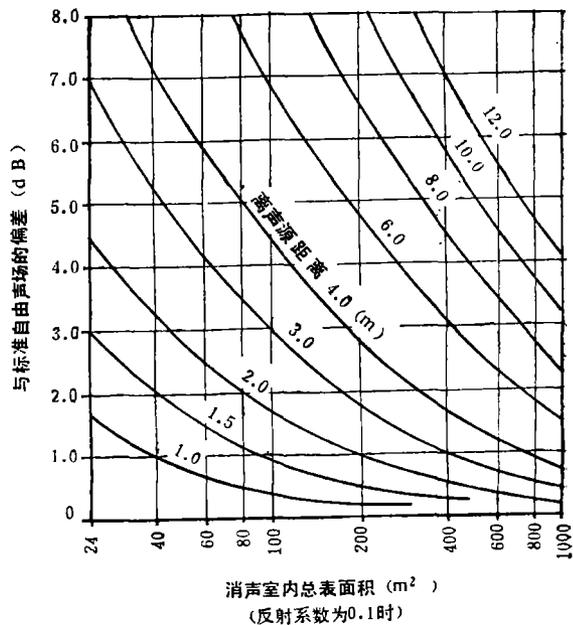
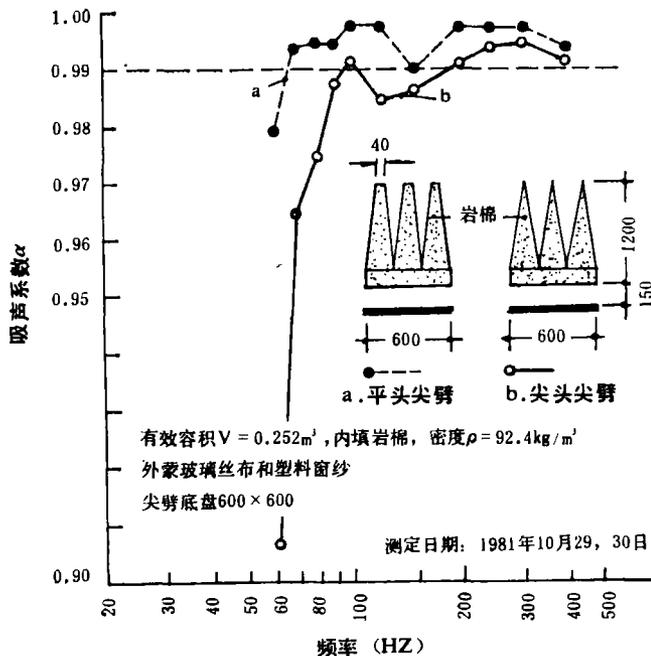


图6 消声室内与标准自由声场的最大偏差



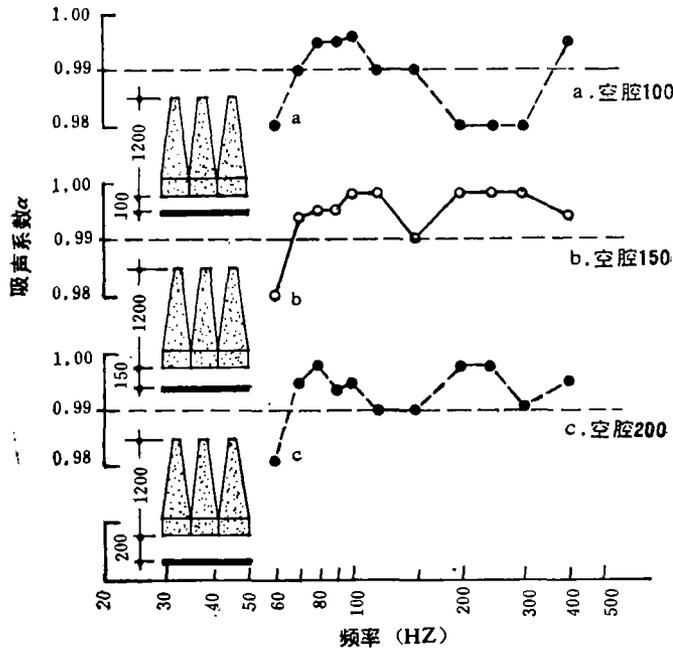
A. 尖头与平头尖劈吸声性能的对比测定

图7 平头尖劈与尖头尖劈吸声性能对比测定

5 分别为隔振装置的构造和建成后的内景。

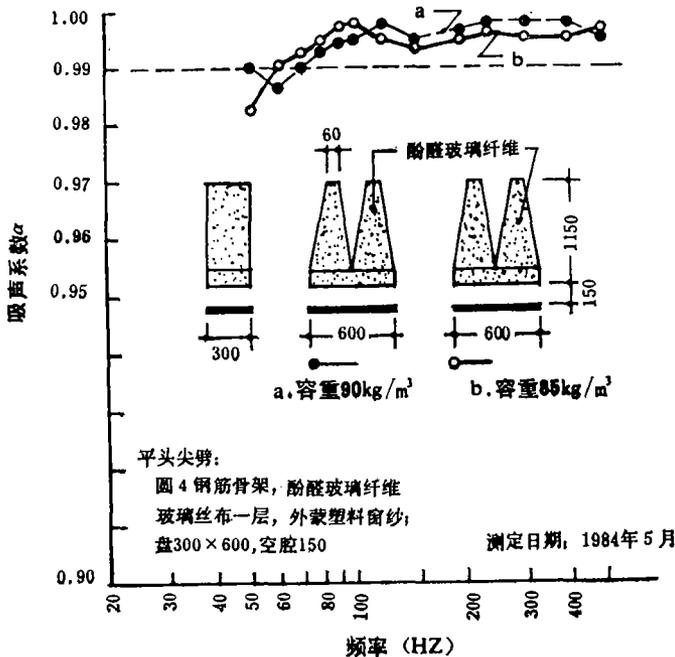
3. 吸声设计(尖劈的设计和测试)^{[1][2]}

为了要在室内建立自由声场，就要求入射
 于各界面的声波完全被吸收，通常要求吸声体



B.不同空腔对吸声性能的影响 (三种空腔: 100 150 200)

图8 三种空腔厚度 (100mm, 150mm, 200mm) 的对比测定



C.不同容重的对比测定 (二种容重: 85kg/m³, 90kg/m³)

图9 平头尖劈不同容重 (85kg/m³, 90kg/m³) 的对比测定

(尖劈) 的吸声系数 $\alpha > 0.99$, 即反射系数 < 0.1 .

根据室内声学原理, 消声室内任意点的反射声能密度与直达声能密度之比为:

$$\frac{E_R}{E_D} = \frac{16\pi r^2}{S \ln(1-\alpha)} \quad (1)$$

式中： r 为测点离声源距离(m)；

S 为消声室内总表面积(m^2)；

α 为吸声结构(尖劈)的吸声系数。

按自由声场的要求，应使 E_R/E_D 获得最小值，由式(1)可见，就要求增大消声室内的总表面积 S ，也即增大容积，并使吸声系数 α 接近于 1.0，否则将缩小自由声场的测试半径。

如果根据需要，消声室所允许的与自由声场相比的测量偏差为 Δ ，则：

$$\begin{aligned} \Delta &= 10 \log \frac{E_D + E_R}{E_D} \\ &= 10 \log \left[1 + \frac{16\pi r^2}{-S \ln(1-\alpha)} \right] \end{aligned} \quad (2)$$

由式(2)可见，当消声室的吸声性能确定后，其测量偏差仅与消声室的有效容积和离声源距离有关。按杭州电声厂消声室要求的测量偏差 $\Delta \leq \pm 1.0\text{dB}$ ， $S = 414\text{m}^2$ 时，则由图 6^[3] 可求得满足允许偏差要求的自由半径 $r = 1.5\text{m}$ (即离声源 3.0m)。

为使消声室各界面的尖劈具有 $\alpha > 0.99$ 的吸声性能，造价低和构造合理，曾对尖劈的形式、空腔厚度和容重进行了对比试验，分别见图 7，图 8，图 9 所示。通过试验确定采用平头尖劈，长 1150mm，底部尺寸为 590mm × 295mm，空腔厚度 150mm，酚醛玻璃纤维容重为 85kg/ m^3 。

为了确保尖劈的吸声性能达到预期的要求，即 $\alpha > 0.99(63\text{Hz})$ ，在施工安装前作了抽样试验。

三、消声室声学性能的鉴定

消声室于 1985 年 10 月竣工，当即进行了各项声学指标的测定工作，现分述如下：

1. 消声室内本底噪声的测定

噪声测定分四个时间进行：即上午 9—10 点；下午 15—16 点，晚上 19—21 点和夜间 22 点。在测定室内本底噪声的同时，相应地测定了室外的环境噪声级，测定结果见表 1。

由测定结果可见，消声室内噪声级达到了

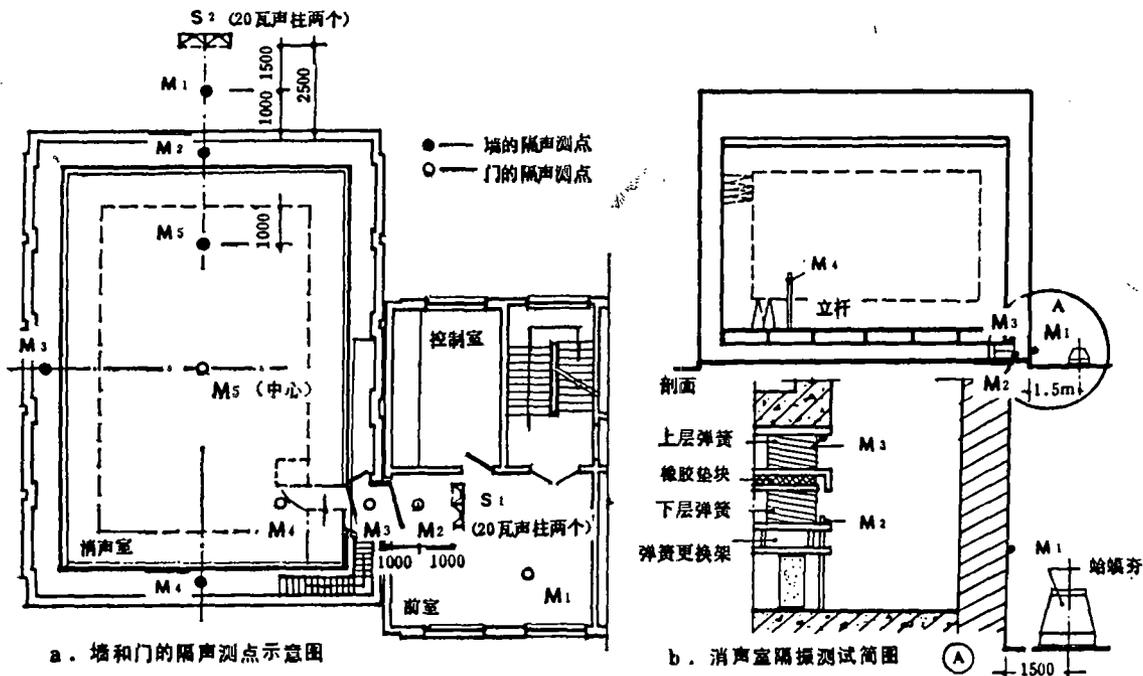


图 10 围护结构隔声和隔振测点配置图

表1 消声室内实测噪声级和环境噪声级 (最小值/最大值)

测 定 部 位	测 定 时 间	倍频程中心频率(Hz)声压级(dB)									计 权 值		L_{Aeq}
		31.5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	A	C	
室 内	9—22 点	20.8 26.5	16.2 18.4	11.0 11.5	10.0 11.0	<10	<10	<10	<10	<10	17.0 17.3	23.3 37.4	17.2 17.9
环 境	同 上	46.7 65.0	48.3 62.6	38.5 58.8	36.5 61.4	33.6 58.5	27.1 55.7	23.5 51.7	23.8 58.1	25.6 54.9	33.9 63.0	51.3 67.0	46.2 61.0
PNC-15		57	43	35	28	21	15	10	8	8	<20	48	—

设计要求。即小于噪声评价曲线 PNC-15 和 20dBA。

2. 围护结构空气声隔声测定

隔声测定包括双层墙,多层门,以及消声室与前室间的声级差。声源采用 2 个 20W 声柱,发射倍频带白噪声,测点位置见图 10,结果见表 2。

墙的隔声测定除稳态声(白噪声)作声源外,还用脉冲声——爆竹声(最大号爆竹)作声源进行测定,声源离外墙 1.5m,声级为 128dBA,消声室内背景噪声仍为 17.2dBA,这说明围护结构具有良好的空气声隔声性能。

3. 隔振测定

为了解隔振装置的实际效果,首先测定了 50 组隔振装置的静态压缩量,结果表明压缩均匀,其偏差仅为 1.0mm。双层串联弹簧和橡

胶组合装置的压缩量 $X_{CM} = 4.63\text{cm}$ 。按式(3)可求得其自然频率 $f_{01} = 2.32\text{Hz}$ 。

$$f_{01} = \frac{5}{\sqrt{X_{CM}}} \quad (3)$$

式中: f_{01} 为双层串联弹簧的自然频率 (Hz);
 X_{CM} 为以厘米为单位的静态压缩量 (CM);

隔振装置中的橡胶压缩量为 0.45CM,故其自然频率 f_{02} 按式(4)求得为 8.3Hz。

$$f_{02} = \frac{5}{\sqrt{X_{CM}}} \cdot \sqrt{\frac{E_d}{E_s}} \quad (4)$$

式中: f_{02} 为橡胶的自然频率 (Hz);
 E_d, E_s 分别为橡胶的动态和静态弹性模量。

隔振效果的测定,振源用扰动频率低(2.5Hz)、冲击力大的“蛤蟆夯”(建筑上用于夯

表 2 围护结构隔声量的测定结果

构 件 项 目	项 目	倍频程中心频率 (Hz) 声压级 (dB)							
		63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
门	一道门的声级差 $M_2 - M_3$	19.2	20.0	25.1	34.1	39.7	40.5	34.1	34.0
	三道门的声级差 $M_2 - M_4$	66.5	67.0	90.4	(92.4)③	(92.6)	(91.0)	(92.6)	(93.8)
	消声室与前室声级差 $M_1 - M_5$	70.6	79.9	97.1	(92.1)	(93.8)	(93.0)	(95.6)	(92.2)
	①门的隔声量(透射损失)	64.6	73.9	91.1	(86.1)	(87.8)	(87.0)	(89.6)	(81.2)
墙	外墙声级差								
	$\left[\frac{M_1 - (M_2 + M_3 + M_4)}{3} \right]$	—	32.1	50.1	60.4	61.8	63.5	65.7	—
	室内外声级差 $M_1 - M_5$	—	82.4	(94)	(93)	(94)	(91)	(95)	—
	②墙隔声量(透射损失)	—	79.4	(91)	(90)	(91)	(88)	(92)	--

- ① 发声室按混响场计算,受声室为自由场,故透射损失为声级差值减去 6dB 计算,
- ② 发声室按自由场计算,受声室为自由场,故透射损失为声级差值减去 3dB 计算。
- ③ 括号内数值为参考值,因为消声室内声级低于 10dB,该值为参考值,因此,声级差也为参考值。

表 3 消声室受振后,室内振动加速度级相应的噪声级

内 容	测点位置(见图 18)	倍频程中心频率 (Hz)				计权值(dB)	
		31.5	63	125	250	A	C
振动加 速度级 (dB)	M_1 外墙上, 离地 500mm.	46.0	32.0	20.0	10.0	36.0	38.0
	M_2 , 弹簧底板上(未经隔振)	33.0	31.0	18.0	9.0	22.0	35.0
	M_3 , 弹簧盖板上(经隔振后)	12.0	13.0	(5.0)	(5.0)	13.0	17.0
	M_4 , 消声室内立杆上	14.0	12.0	14.0	(4.0)	13.0	15.0
噪声级 (dB)	消声室内	41.0	30.6	13.7	<10	17.6~ 18.4	48.0~ 50.0

实地基用)。把它配置在离消声室外墙仅 1.5m 处,用以鉴别消声室在最不利的受振条件下,室内的噪声状况是否能满足正常测试要求,测点位置见图 10,测定结果见表 3 所示。

从测定结果可见,消声室在最不利的受振条件下,仍能达到预计的允许噪声标准。

4. 声场特性的测定

消声室内自由声场测试半径和允许偏差要求,显然是声学设计中最重要指标。

声场特性的测定采用声压随距离衰减的方法,作为自由声场,其声压应与距离成反比或声

强与距离平方成反比,即声衰减的 $\frac{1}{r}$ 或 $\frac{1}{r^2}$ 定律,常称反平方定律。用这种方法可有效地确定消声室的截止频率和在允许标准偏差范围内自由空间的半径 r 。

在杭州电声厂消声室声场测定中,分别测量了在对角线方向 $O-A$ 和纵轴方向 $O-B$ 两条线上的声压衰减特性,即 $P-r$ 曲线。传声器高度接近消声室中心高度。

由测定结果(从略)可见:①无论是对角线方向或纵轴线方向, $P-r$ 曲线平滑稳定,与理

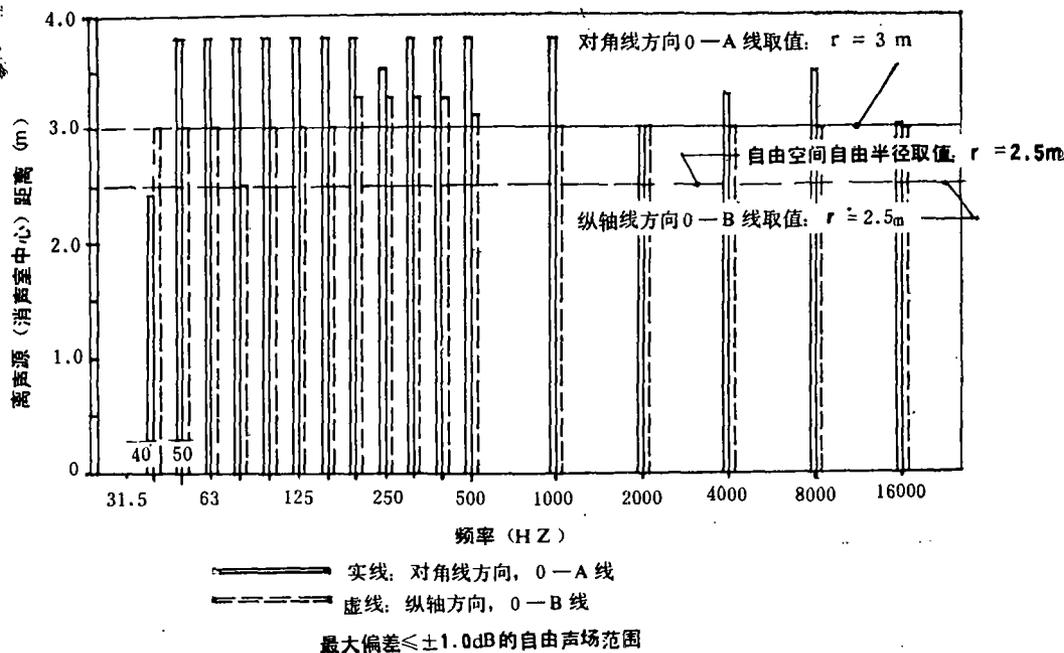


图 11 最大偏差 $\leq \pm 1.0\text{dB}$ 的自由声场范围

论衰减曲线吻合得很好。截止频率为 50Hz, 在 50—16000Hz 范围内, 自由场半径 $r = 2.5\text{m}$ 时, 与标准自由场的最大偏差 $\Delta \leq 1.0\text{dB}$; ②在 $O-A$, $O-B$ 方向线上, 最大偏差 $\leq \pm 1.0\text{dB}$ 的自由场范围(见图 11), 由图可见, 在对角线方向, 即 $O-A$ 线上, 最大偏差 $< \pm 1.0\text{dB}$ 时自由场范围为 6—7m; 在 $O-B$ 线上为 5—6m。

四、结语和评价

声学测定的结果表明: 完全达到了各项声学设计指标, 有些指标, 如截止频率等, 比预计的要好。一年来使用的结果表明效果良好。通过电声厂消声室的建筑实践可以总结如下几点经验

1. 为调节消声室夹层内的空气, 设置空调系统不仅需要, 同时也是可能的;

2. 由串联弹簧和橡胶组合的隔振装置, 自振频率低, 隔振效果显著, 由于设置了弹簧更换架, 从而有可能方便地更换任一弹簧, 而不需将消声室顶起;

3. 把消声室门的隔声和吸声两种功能分别由隔声门和吸声尖劈门承担, 效果好和使用方便;

4. 吸声尖劈的重要指标是它的低频吸声系数, 它以 $\alpha > 0.99$ 的低限截止频率来表征, 该频率同时作为消声室的截止频率。但国内消声室的实践表明: 消声室内的截止频率通常低于该消声室所用尖劈的截止频率。杭州电声厂消声室也不例外, 即尖劈的截止频率为 63Hz, 而消声室内为 50Hz。因此, 今后的消声室设计中, 当设计尖劈时, 可将上述因素考虑在内, 可节省大量投资。

致谢 同济大学王季卿教授、钟祥瑞副教授在尖劈设计中给予很大的帮助; 杭州电声厂倪诚策、卮福志工程师等承担了尖劈的抽样试验; 本院王峰、葛砚刚、陈金京等同志参加了监测工作, 笔者谨此致谢。

参 考 文 献

- [1] 孙广荣、胡春年、吴启学编, 消声室和混响室的声学设计原理 科学出版社, 1981, 15—25.
- [2] 马大猷, 科学通报, 4(1964), 205.
- [3] 上海科技编译馆编, 声学译丛, 消声室专辑, 1965.

SCY-140 型医用超声扇形图像仪

孙 积 民

(上海医用仪表厂)

1986年2月18日收到

本仪器系高速机械摆动扇形超声扫描仪。同步光电伺服系统驱动步进电机带动传动机构, 使探头作来回摆动形成扇形扫查。采用同步伺服原理, 实现声、电同步扫描, 同步模拟函数计算器产生与探头摆动位置相对应正余弦调制信号, 调制扫描放大形成扇形光栅。在国内首次实现用电子电路替代角度函数分解器以产生正余弦调制信号。仪器还具有心电 R 波瞬时或 R 波延时触发实时图象冻结功能和 B-ECG、M-ECG 复合切换显示功能。

一、概 述

随着超声医学的迅速发展, 广大医院对超声诊断仪器需求量日俱增多。为能尽快地多用

我国自行研制生产的超声诊断仪器, 我们研制生产了 SCY-140 型医用超声扇形图像仪。本机系高速机械摆动扇形超声扫描仪, 单个超声换能器浸没于透声液体中, 其密封外壳吸声甚小, 由同步光电伺服系统驱动步进电机等传动