

微穿孔板消声器的检测与实验

解放军 96531 部队 林来豫[☆] 孙 凯 肖秋生

摘要 指出了当前通风空调工程中使用的微穿孔板消声器由于缺乏质量监管而存在消声效果差的问题,介绍了消声器的检测方法。通过实测证实了单层微穿孔板消声器的消声量太小,必须停止使用。双层微穿孔板消声器的实测消声量也小于手册中给出的数值,工程设计中应适当增加其有效长度才能满足消声量要求。

关键词 微穿孔板 消声器 消声量 检测

Test and experiment of a micropunched plate muffler

By Lin Laiyu[★], Sun Kai and Xiao Qiusheng

Abstract Points out the problems of undesirable effects in operation of micropunched plate mufflers in ventilating and air conditioning projects due to lack of adequate quality supervision, and explains an effective testing method for mufflers. Based on actual measurements, proves the sound attenuating capacity of the single-layer micropunched plate muffler is very limited, and therefore its usage should be terminated. Tests the double-layer micropunched plate muffler, the sound attenuating capacity is still lower than that stipulated in the design handbook, so its effective length shall be adequately extended to meet the demand of sound attenuating capacity.

Keywords micropunched plate, muffler, sound attenuating capacity, test

[★] Branch 96531 of the PLA, Luoyang, Henan Province, China

①

0 引言

由于许多工程的通风空调系统有洁净要求,消声器内的吸声体必须采用防沾染、不产尘、不吸湿的材料。用纤维性材料作吸声体的阻性或阻抗复合消声器不能达到这些要求,而只有微穿孔板消声器可以达到这些要求,所以近年来,微穿孔板消声器大量用于洁净工程的通风空调系统中。

但是从使用单位反馈的情况看,微穿孔板消声器的消声效果并不好。随着工程建设规模的不断扩大,通风噪声问题日渐严重。使用单位抱怨不断,一再敦促解决。设计和安装单位都感到压力很大,虽然多次返工,并尝试各种改进,但收效不大,无法从根本上扭转局面。

经过对大量工程实例的分析,笔者认为通风噪声大的原因既不是设计问题,也不是安装问题,工程中采用的微穿孔板消声器存在严重的质量问题才是主要原因。为了彻底解决这一棘手问题,笔者专门建立了消声器检测实验室,对通风空调工程用消声器进行了大量的检测和实验研究。

1 消声器检测实验室的建设

在实验室中参照文献[1]提出的检测原理,设计并建造了消声器检测台架系统(见图1)。

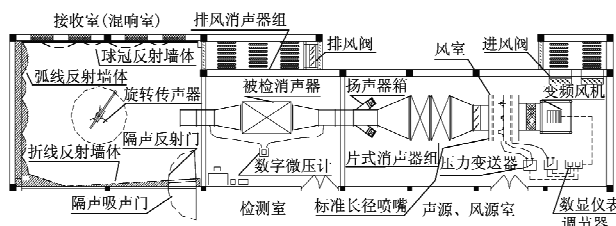


图1 消声器检测台架系统组成示意图

1.1 消声器的声学性能测量

文献[1]规定噪声接收室的形式有半消声室法和混响室法两种形式,该实验室采用了专一性较好的混响室法。建成后的混响室声场扩散均匀,各频段混响时间符合标准,动态背景 A 声级噪声 ≤ 32 dB,各项声学指标完全满足测试要求。

①[☆] 林来豫,男,1951年7月生,大学,高级工程师
471031 河南省洛阳市 96531 部队 12 分队
(0379) 64173133
E-mail: lly96531@vip.sina.com
收稿日期:2008-07-24

消声量的测量采用插入损失测定法。测试时保持标准噪声源声压级不变,先测量通过空管的噪声声压级,再将空管换成被测样品后测量通过被测样品的噪声声压级,取两次测试值之差为被测样品的消声量。

声学检测仪器采用丹麦某公司产的 2250 型精密声级计,可进行各计权网络(包括 A, C 声级)倍频程和 1/3 倍频程测量。该仪器配有计算机,并带有 3923 传声器自动旋转支架,能在一个测试周期(1 min 旋转取样)内完成预设的所有声学指标测试,并能分析结果和存储、输出数据。测量上限为 140 dB,测量准确度可达到 1 级。

标准噪声源由白噪声发生器、功率放大器和带背压均衡管的扬声器箱组成。测试时噪声源发出的 A 声级噪声声压级 ≥ 90 dB,被测消声器后端有足够高的声压级,可使气流噪声和背景噪声的影响忽略不计。

1.2 消声器的各挡测试风速和阻力测量

风源由用变频器控制的离心风机和数字风室式风量检测装置组成,能根据测试指定的各挡风速自动调节风量。可提供的风量范围为 1 400 ~ 35 000 m³/h。

通过风室的风量采用文献[2]中规定的方法计算,并换算为标准状态下的风量。

单个喷嘴过风量为

$$Q_n = 3\ 600 C_d A_d \sqrt{\frac{2\Delta p}{\rho}} \quad (1)$$

式中 Q_n 为单个喷嘴过风量, m³/h; C_d 为喷嘴流量系数; A_d 为喷嘴喉部截面积, m²; ρ 为空气的密度, kg/m³; Δp 为喷嘴前后压差, Pa。

系统的总风量 Q_{Σ} 为各喷嘴过风量之和

$$Q_{\Sigma} = \sum Q_n \quad (2)$$

测试前,先根据被测消声器的截面积算出其在待测的某挡风速下的风量,再用式(1), (2)算出该风量所对应的风室喷嘴前后压差值 Δp , 将 Δp 作为设定值输入调节器。测试时,调节器得到精密压

差变送器测出的风室喷嘴前后压差值后,与设定值比较,发出指令,以 PID 方式调节变频器控制风机转速,使风室喷嘴前后压差稳定在设定值,从而得到测试指定的某挡风速。

阻力损失的测量采用静压差法。在被测消声器的台架管路两端设静压均压环对管内静压取样,用数字式微压计读取各挡风速下的静压差值,此值即为被测消声器在各挡风速下的阻力损失(过渡管扩张角 $\leq 7^\circ$, 空管阻力损失测试值很小时,过渡管的阻力损失可忽略不计)。

台架系统全长 40 m, L 形布置。测试段管路的规格为 D800, 管壁厚 2.5 mm, 外裹 50 mm 厚的隔声层。与测试读值相关的风室喷嘴、压差测量和接收室等部位设有视频监控,保证在同一采样时刻内的所有测试值均真实有效。

1.3 计量认证和实验室认可

经中国建筑科学研究院委派专家检查鉴定后,认为本消声器检测实验室的精密声级计和用于标定风速、风压的仪器有中国计量科学研究院出具的检定、校准证书,溯源可靠,测值准确;实验装置整体技术水平国内领先;实验室组织机构和质量保证体系健全。可以开始开展中国合格评定国家认可委员会(CNAS)实验室认可前期的检测工作。

2 常用单层微穿孔板消声器的检测结果与分析

2.1 外购的单层微穿孔板消声器检测

2.1.1 检测结果

从工程中常用的由某空调设备厂生产的 D630 圆形单层微穿孔板消声器中抽出 1 台进行了检测,该消声器的有效长度为 1.9 m, 结构如图 2 所示,检测结果见表 1。

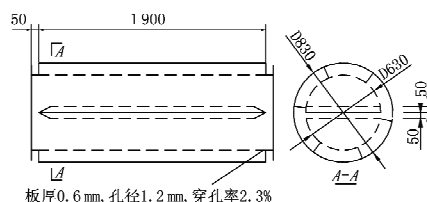


图 2 外购单层微穿孔板消声器结构图

表 1 外购 D630 单层微穿孔板消声器声压级插入损失

风速/(m/s)	阻力损失/Pa	A 声级	倍频程中心频率/Hz								dB
			63	125	250	500	1 000	2 000	4 000	8 000	
0	0	5.2	1.2	0.4	0.7	4.7	6.4	5.8	5.0	5.1	
4	18	5.5	1.6	0.8	1.2	5.1	6.9	5.8	5.2	5.1	
8	68	5.4	1.8	0.8	0.9	5.3	7.0	6.8	5.0	5.2	

2.1.2 检测数据分析

检测数据表明该消声器的 A 声级噪声的消声量只有 5.5 dB, 与产品标示的消声量 20 dB 相差甚远。由此可以认定, 这种微穿孔板消声器的质量太差是工程内通风噪声大的主要原因。

笔者认为微穿孔板消声器质量差的原因有以下几点:

1) 生产厂家片面追求利润, 为了节约成本一味采用简易的单层单腔结构, 并擅自简化工艺, 使用的微穿孔板的孔径过大, 达 1.2 mm (标准孔径应为 0.8 mm)。这样的消声器与马大猷先生提出的微穿孔板消声理论^[4]是严重不符的, 充其量只能算是一个简陋的穿孔板共振腔消声器。

2) 生产厂家没有消声器检测台, 不具备检测能力, 根本无法证实所提供消声器的消声量能否达到标准。厂家给的所谓合格证可能只是一纸空文。消声器的消声量能达到多少谁也不知道, 包括厂家自己也不知道。用户在工程现场用普通声级计做的简易测试由于受到条件限制其测试值可信度很差, 不能作为仲裁依据。厂家不必担心因为消声量不够而遭到退货。产品质量缺乏监管手段必然导致粗制滥造。

3) 国内只有少数声学研究单位拥有供科学实验用的小型消声器检测台架, 消声器厂家即便真的送检消声器, 也只能是小型样品。检测单位通常都会声明检测数据仅适用于生产厂家送检的小型样品。而厂家真正生产的消声器的结构形式虽然跟小型样品有千差万别, 但提供给用户的检测资料却都是跟小型样品一样的。工程常用的大型消声器的消声量其实根本没有人检测过, 质量无法保证。

4) 我国目前消声器标准图集匮乏, 消声器实测消声量和性能数据更是严重不足, 仅有的几本施工

图集上关于消声器的消声量和性能的数据都是由理论推算而来, 尽管错漏难免, 但仍被互相引用, 以致以讹传讹谬种流传, 而且往往是一个种类的消声器只有一种规格的数据, 根本不能作为生产依据。

文献[3]中的经验公式指出消声器的上限失效频率为

$$f_{\text{上}} = 1.85 \frac{c}{D} \quad (3)$$

式中 $f_{\text{上}}$ 为上限失效频率, Hz; c 为声速, m/s; D 为通道截面积的当量直径, m。

式(3)指出当消声器通道截面当量直径等于(或大于) D 时, 频率高于 $f_{\text{上}}$ 的声波将呈束状直接通过消声器, 很少或者完全不与吸声材料接触, 使消声性能显著下降。也就是说, 消声器的消声量与其结构尺寸密切相关, 筒体直径、内片的多少和大小决定了声波通道当量直径 D , 也就能决定消声量的大小。

由式(3)引出的推论是: 同样结构的消声器只要规格尺寸不同, 消声量就不会一样。特别是圆形消声器, 筒体能容纳的内片数量有限, 因而规格越大, D 就可能越大, 消声量就越差。所以把小规格的消声器检测数据用到同类大规格消声器上是十分荒谬的。可是能查阅到的消声器性能数据都是仅限于某种特定尺寸的, 如果生产厂家模仿其结构并简单放大几何尺寸去生产大规格消声器, 无疑会被误导, 这样的消声器是根本不会合格的。

2.2 自制的单层微穿孔板消声器检测

为了搞清楚微穿孔板的孔径究竟对消声量有多大影响, 又制作了一个 D630 圆形单层微穿孔板消声器样品, 其结构和尺寸与图 2 一样, 只是换用了孔径为 0.8 mm 的标准微穿孔板, 穿孔率为 1.5%。

2.2.1 检测结果(见表 2)

表 2 自制 D630 单层微穿孔板消声器声压级插入损失

风速/(m/s)	阻力损失/Pa	A 声级	倍频程中心频率/Hz								dB
			63	125	250	500	1 000	2 000	4 000	8 000	
0	0	7.6	1.6	0.8	1.3	6.1	10.5	9.4	7.5	6.4	
4	17	7.6	1.6	1.0	1.3	6.1	10.7	9.5	7.3	6.3	
8	64	7.4	1.4	1.2	1.4	5.9	10.9	9.4	6.8	6.6	

2.2.2 检测数据分析

从表 2 看, A 声级消声量只有 7.6 dB, 虽然稍有提高, 但仍与设计选用时需求的 20 dB 差距很大。看来单纯改良孔径并不能解决问题。这一结果证实了微穿孔板消声器采用简易的单层单腔结

构是完全错误的。今后必须停止使用单层微穿孔板消声器。

这也正应了某著名学者在一次学术大会上提出的观点: “除非是对洁净度和流速有特殊考虑, 否则应慎重选择普通微穿孔板消声器, 随意对这类消

声器的外壳和内片进行减薄处理就更不可取。”

3 双层微穿孔板消声器的检测结果与分析

为了寻求微穿孔板消声器的最佳结构形式,以满足工程建设的实际需求,根据相关消声理论和资料,研制了多种不同规格、不同长度的矩形和圆形截面的双层微穿孔板消声器样品,并对其进行了检测。为了便于与前述样品的测试值对比,仍以有效长度为 1.9 m 的 D630 圆形双层微穿孔板消声器为例讲述检测情况。

3.1 双层微穿孔板消声器的结构

圆形双层微穿孔板消声器样品的结构如图 3 所示。

该样品采用双层微穿孔板、双消声腔结构,微穿孔板板厚 0.8 mm,孔径 0.8 mm。内层采用穿

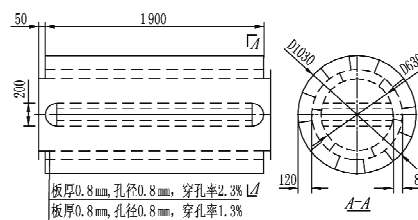


图3 双层微穿孔板消声器结构

孔率 1.3% 的微穿孔板,外层采用穿孔率 2.3% 的微穿孔板。前后腔深的比值为 4:6。内片的两面也均为双层结构。为了减少阻力损失,特意把内片端头由三角形改成了更为有利的半圆形。

3.2 检测结果

检测结果见表 3,消声频谱特性曲线(1/3 倍频程)见图 4。

表 3 D630 双层微穿孔板消声器声压级插入损失

风速/(m/s)	阻力损失/Pa	A 声级	倍频程中心频率/Hz								dB
			63	125	250	500	1 000	2 000	4 000	8 000	
0	0	12.8	4.0	3.8	4.4	16.2	17.6	15.1	11.9	10.1	
4	13	13.2	4.5	4.8	5.4	16.3	18.0	15.5	11.7	10.1	
8	50	13.4	4.3	5.9	6.5	17.5	18.5	15.5	11.6	10.2	

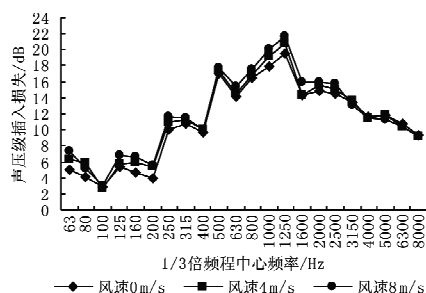


图4 D630 双层微穿孔板消声器消声频谱特性曲线

3.3 检测数据分析和验证

3.3.1 检测数据分析

从表 3 看, D630 双层微穿孔板消声器的 A 声级消声量是 13.4 dB, 虽然已经将近单层微穿孔板消声器的 2 倍, 但仍然没有达到 20 dB 的期望值, 倍频程各频带消声量还是明显比文献[5]等手册提供的数值小。图 4 是用 1/3 倍频程测值绘制的消声频谱特性曲线(峰值高于倍频程测值, 但 A 声级消声量仍与倍频程测值相同), 从中可看到手册中介绍的微穿孔板消声器应具有宽的宽频消声特性也未得到充分展现, 只能说是表现平平。在测试中曾多次改变样品筒体和内片的穿孔率及前后腔深的比值, 经过多次优化改进, 才得到这个结果。虽说这是个不能令人满意的

结果, 但事实上这已经是 D630 双层微穿孔板消声器所能达到的最好效果了。

微穿孔板消声器的真实、有效消声量问题目前在工程中已受到怀疑, 该双层微穿孔板消声器样品的总体综合性能与实际工程的经验数据基本吻合, 消声量实测值(包括各倍频程)虽比手册提供的数值偏小, 但仍是可信的。

3.3.2 检测数据验证

根据文献[3]提供的估算公式, 消声器的消声量为

$$\Delta L = K_1 \frac{\alpha P}{S} L \quad (4)$$

式中 ΔL 为消声量, dB; α 为吸声材料吸声系数; P 为消声器的截面周长, m; S 为消声器的截面积, m^2 ; L 为消声器的长度, m; K_1 为系数, 建议取 1.6。

将表 3 测出的 ΔL 值代入式(4), 算出 D630 消声器样品所用的双层微穿孔板的吸声系数 α , 见表 4。

表 4 D630 消声器所用的双层微穿孔板的吸声系数 α

	频率/Hz				
	125	250	500	1 000	2 000
ΔL /dB	5.9	6.5	17.5	18.5	15.5
α	0.12	0.14	0.38	0.4	0.33

从文献[3]中查得双层微穿孔板的吸声结构吸声系数, 见表 5。

表 5 双层微穿孔板的吸声结构吸声系数 α

材料(结构)名称	穿孔率/%	空腔距离/cm	频率/Hz					
			125	250	500	1 000	2 000	4 000
双层微穿孔板,孔径 0.8 mm,板厚 0.8 mm	2,1	8,12	0.41	0.91	0.61	0.61	0.31	0.30

对比表 4 和表 5,可看到表 5 的吸声系数 α 比表 4 明显偏高,这可能就是各种手册给出的双层微穿孔板消声器的消声量比实测值要高的原因。或许是由于消声器的实际结构复杂多样,表 5 给出的吸声系数 α 值并不能处处准确适用,从而导致手册中以此推算的消声量都过于理想。这个问题有待进一步研究。

3.3.3 消声器的内片对消声量和阻力的影响

从图 3 可以看到,双层双腔消声器的内片厚度达 200 mm。由于要保持一定的流通面积,消声器筒体能容纳的内片数量有限,D800 以下的消声器只能容下 1 组内片,D1000 的消声器才能容下 2 组内片。测试中,具有多组内片的消声器由于声波通道当量直径较小,所以消声量会高一些,这与式(4)指出的 P 与 S 的比值越大消声量会越高也是一致的。比如有效长度为 1.9 m 的 D1250 的消声器装入 3 组内片,消声量可达 17.6 dB,比只有 1 组内片的 D630 消声器的消声量明显提高,但其阻力损失也高了很多。而在 D1400 消声器中也装入 3 组内片,消声量则只能达到 14.9 dB,当然阻力损失也会低一些。这就证明了同类消声器只要规格尺寸不同,消声量就不会一样,阻力损失也不会一样。不论是圆形截面还是矩形截面的消声器,这一点都是相同的。

4 结论和建议

4.1 实测证明单层微穿孔板消声器消声量太小,这是工程内通风噪声大的主要原因,今后工程中只能采用双层微穿孔板消声器。

4.2 实测证明双层微穿孔板消声器的消声量小于

手册给出的数值,为了满足消声量要求,工程设计中应该适当增加所选用的微穿孔板消声器的有效长度,建议考虑增加 50% 以上。

4.3 双层微穿孔板消声器共振腔比较厚,外形尺寸大,设计时应充分考虑安装空间。

4.4 系统有洁净要求或有防沾染要求时,可选择使用微穿孔板消声器。对于一般风速不高的通风空调系统,建议尽量采用由纤维性材料作吸声体的阻性或阻抗复合消声器。实测证明后者的单位长度消声量远高于前者。

4.5 同类消声器只要规格尺寸不同,消声量就不会一样,阻力损失也不会一样。应继续对所有规格的微穿孔板消声器进行测试研究,列出所有规格的微穿孔板消声器的消声量、阻力实测值,绘制微穿孔板消声器的系列标准图集,为生产和设计选用微穿孔板消声器提供新的切实可行的依据。

参考文献:

- [1] 同济大学声学研究所,北京市劳动保护科学研究所. GB 4760—1995 声学消声器测量方法[S]. 北京:中国标准出版社,2002
- [2] 上海市安装工程局有限公司. GB 50243—2002 通风空调工程施工质量验收规范[S]. 北京:中国计划出版社,2002
- [3] 电子工业部第十设计研究院. 空气调节设计手册[M]. 2 版. 北京:中国建筑工业出版社,1995
- [4] 马大猷. 噪声与振动控制工程手册[M]. 北京:机械工业出版社,2000
- [5] 项端祈. 空调系统消声与隔振设计[M]. 北京:机械工业出版社,2005
- [6] 方丹群,王文奇,孙家麒. 噪声控制[M]. 北京:北京出版社,1986

· 简讯 ·

2008 年度《暖通空调》特约通讯员表彰与 2009 年度聘任

吴延鹏、刘学来、刘俊杰、王立峰同志被评为 2008 年度《暖通空调》优秀特约通讯员,给予公开表扬;并对林波荣、王昭俊、张杰、刘汉华同志给予表扬。

2009 年本刊聘请的特约通讯员名单如下(按姓名笔画为序):

于晓明 山东省建筑设计研究院
王立峰 中国建筑西北设计研究院
王昭俊 哈尔滨工业大学
叶大法 华东建筑设计研究院有限公司
李兆坚 总装备部工程设计研究总院
刘汉华 江西省建筑设计研究总院
刘学来 山东建筑大学

刘俊杰 天津大学
张 杰 北京市建筑设计研究院
吴延鹏 北京科技大学
林波荣 清华大学
周传辉 武汉科技大学
胡松涛 青岛理工大学
徐稳龙 中国建筑设计研究院
高 鹏 住房和城乡建设部标准定额研究所
裴清清 广州大学
潘毅群 同济大学
燕 达 清华大学

(本 刊)