

# 通风机矩形阵列式消声器的设计与应用

郭鹏杰

山西省安瑞风机电气股份有限公司

DOI:10.12238/jpm.v4i7.6090

**[摘要]** 轴流通风机在地铁隧道区间、车站排风排热、煤矿地面主要通风系统中得到了广泛的应用;轴流型风机具有高风速、高风量、高风机压强的特性,但由于风机运行时的电机转动噪声、气流噪声对周围环境的影响很大,为达到风机对安装使用环境的内外噪声控制要求、标准,一般需要加装相应的消声器进行消声处理,或安装于建筑风道内,或与风机设备直接连接,以减少风机运行时的中频、低频噪声。

**[关键词]** 阵列式消声器;片式消声器;声环境;地铁通风;噪声控制;噪声指标

## Design and application of ventilator rectangular array muffler

Peng-jie guo

Shanxi Anrui Fan Electric Co., LTD. Shanxi 044402

**[Abstract]** Axial flow fan has been widely used in the main ventilation system of subway tunnel, station exhaust and coal mine floor. Axial flow fan has the characteristics of high wind speed, high air volume and high fan pressure, but due to the motor rotation noise during the operation of the internal and external noise control requirements and standards for the installation environment, it is necessary to install the corresponding muffler for noise processing, or installed in the building air duct, or directly connected with the fan equipment, so as to reduce the medium frequency and low frequency noise of the fan operation.

目前,风机消声器的主要形式有:板状消音器和阵列消音器。这两种消声器的构造原理大同小异,都是由两层金属制成的(外层是镀锌钢板和凸缘铆接,内层是镀锌钢穿孔板和凸缘,内层和外层填充了两层隔音棉),内层和外层都是同样的节距和厚度。

在这两类消音器中,金属穿孔板的穿孔数目很小,因而其消声性能不佳;消声器内部的消音棉布置不当,也造成了隔声性能不佳;消声器间的安装形式较为复杂,会对气流的流动产生一定的影响,从而对消声效果产生一定的影响;本文比较了阵列消声器和片式消声器的消声特性和阻尼损耗,表明:阵列消声器的性能和降噪效果都要好,并且具有模块化、标准化、小型化、提高生产效率、降低成本等特点。

### 1 概述

绿色、绿色、节约型建筑是我国政府的一项重要政策,也是我国铁路建设工作不断探索和追求的目标。在地铁环控排烟系统中,与传统的板型消声器比较,阵列型消声器的消声性能优越,阻力损失小,节能效果明显,便于运输安装,运行可靠,性价比高。噪声源、消声器、噪声指数是地铁通风空调系统噪声控制的三个基本要素。

#### 1.1 噪声源

地铁通风空调系统的噪声来源主要有:风机、活塞风噪、火车噪音等。一般情况下,风机的噪音都是有一定的频率特征的,而且不同的风机厂商会产生不同的频率特征。地铁通风空调系统的消声计算参数与消声效果及实际噪声指标密切相关。

#### 1.2 消声器

消声器是一种能在一定程度上抑制声波而使可流通的媒介经过的设备。对通风消音器进行了评估:

①消声效果。一般情况下,在宽频带中存在充分的消声能力,特别是消声性能的频谱特征符合设计要求时,消声能力愈大愈好。

(2) 阻尼损耗。尽可能的小。

(3) 空气流动的额外噪音。尽可能的小。

(4) 经济性。物有所值,自然是最好的。(5) 构造特征:结构简单,外形尺寸小,安装和拆卸方便,坚固耐用。

(6) 稳定性好。在长时期内,音质特性要保持稳定。

(7) 寿命。在一般的工作环境中,其工作寿命愈长愈好。

目前,我国城市轨道交通通风空调系统中使用的主要是常规的板状消音器和新的阵列消音器。

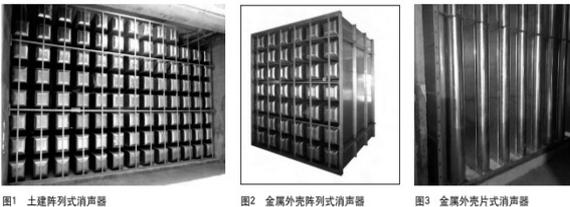
1.3 噪声指标

地铁环控系统的噪声设计指标必须达到《环境影响报告书》规定的城市区域噪声标准。

2 消声器结构形式及特点

2.1 结构形式

土建阵列式消声器见图1，金属外壳阵列式消声器见图2，金属外壳片式消声器见图3。



2.2 消声原理

消声器的消声量与消声系数和消声指数的乘积成正比，表达式如下：

$TL \propto \Phi(\alpha) \cdot K = \Phi(\alpha) \cdot P \cdot L/S$ ，式中：TL 为消声器消声量，dB； $\Phi(\alpha)$  为与吸声材料正入射吸声系数有关的消声系数；P 为消声器通道截面周长，m；L 为消声器有效长度，m；S 为消声器净流通面积， $m^2$ ；K 为消声指数，由几何尺寸决定消声性能的参数。一般而言，随着消声体厚度的增加，可提高低频消声系数；随着片间距的减小，可提高失效频率的下界。

3 性能对比

在表1中，阵列消音器和片状消音器的结构参数和性能比较。当流道比和阻力损耗相同时，阵列消声器的消声波段宽度更大，消声指数更高，消声系数更高。与片状消声器比较，阵列型消声器的消声和气动特性都有明显的优越性。

表1 阵列式消声器与片式消声器结构参数与性能对比

项目名称	横面尺寸/mm	横面面积/ $m^2$	消声器有效长度/m	片厚/mm	通道宽度/mm	片数/个	净通道面积/ $m^2$	通道比/%	截面周长/m	吸声面积/ $m^2$	消声指数	有效消声频率范围/Hz
阵列式消声器	2000×2000	4	3	273	127	25	2.14	52	27.3	81.9	38.33	157~1350
片式消声器	2000×2000	4	3	200	200	5	2.00	50	20.0	60.0	30.00	213~850

4CFD 计算机模拟分析

4.1 场合描述

地铁通风系统具有风量大、风压大、噪声大等特点，隧道式通风设备是由隧道式通风系统和它的两端安装的直径变大的管道和消音器构成。通常，风机前、后变径管道长度为2.0米，外消声器长度为3.0米，对内消声器长度为2.0米，而变径管道和风机间无软接点。

4.2 消声器类型及规格

以某地铁工程隧道风机所采用的消声器规格为例，其外型XSQ/B2消声器的尺寸为：3200 mm×4000 mm×3000 mm（宽×高×长）；内部的XSQ/B4消音器的大小是：3200毫米×4000毫米×2000毫米（宽、高、长）。

4.3 模拟分析

(1) 建立模型。阵列式消声器立体模型见图4，片式消声器立体模型见图5。

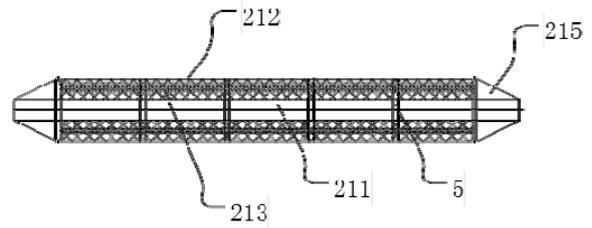


图4

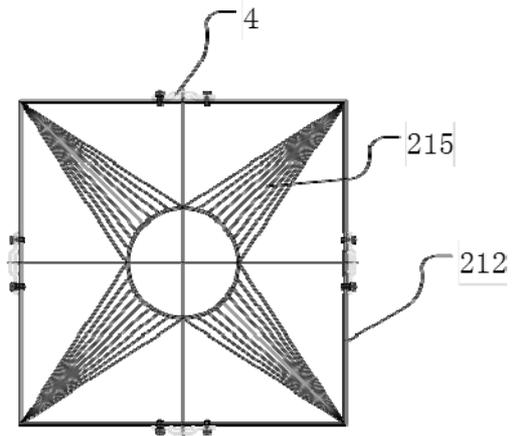


图5

(2) 边界条件。

进口状态：静压为0（与外界空气相通）；出口状态：自由流入和流出（亦可与外界空气相通）。栅格数目：板状消音器4176900，阵列消音器4193280。

(3) 仿真的结果：由于在模拟时，入口压力被设定为0，在经过消音器后，气流的阻力会骤降，从而降低了压力；外部消声器前端的液体经过风扇的加压而变成正压，超过40 Pa，出口设定成自由流，压力0。

采用仿真与截屏相结合的方法，比较了某一特定时间内的速度向量曲线。结果表明，板形消声器与阵列消声器具有相同的流场分布，并在风扇尾部形成旋流。该消声器采用了阵列消声器，其流场在风扇后变径和阵列消声器中相对稳定、流畅，且干扰很少。与板形消音器相比，阵列型消声器具有更低的阻力损耗。

5 实验室测试

采用同一管径和管径比例的阵列消音器和片状消音器，送到国内权威检验机构进行测试，其测试结果如图13所示。在表3中，阵列消音器与片状消音器的阻力损耗比较。通过比较，发现阵列消声器的阻力损耗比平板消声器低6.7%。在不同接管尺寸、通道比相近的情况下，阵列消声器与片状消音器的测量结果如图14所示。通过比较，可以得到：(1) 当阻力损耗接近或接近时，阵列消声器的消声效果优于片型消声器；(2) 当消音量相等或相近时，阵列型消音器的阻力损耗比片式消声器要小得多；(3) 阵列消音器的消声效果好，在环境保护上有显著的优越性，可以保证达到设计噪声指标。

6 技术性能分析

### 6.1 结构特征

(1) 薄片消音器。目前在地铁上招标和应用的片状消音器大都为 200 毫米片厚、200 毫米片间距 200 毫米。它的单层结构特点使其具有较稳定的消声性能。

(2) 阵列消音器。它的消音装置规格可以从小到大, 例如: 290 毫米×290 毫米、330 毫米×330 毫米、370 毫米×370 毫米、420 毫米×420 毫米、460 毫米×460 毫米等。这些构造的选择导致了不同的性能特征。比如, 当消声元件的截面尺寸增大时, 其低频的消音效果会得到改善; 通过调节流道比例, 可以对消声器的阻力损耗进行有效的控制。总体上, 可以通过调节消声单元的规格、数量、通道比例等来达到设计要求的消声特性和容许的阻尼损耗。

### 6.2 工程现状

对于片状消声器, 一般都是选用具有较好的消声性能, 以适应各种噪音特点的风机。由于片状消音器的降噪性能不符合消声设计的要求, 致使其降噪效果达不到设计要求。对于阵列消声器, 在获取正确的风机噪声参数时, 可以按照设计需要、性能相匹配的阵列消声器, 以确保达到降噪目的。

## 7 应用测试结果及评价

深圳 3 号线首次采用了阵列消音器。深圳市地铁集团于 2012 年委托深圳市环保科技研究中心, 对深圳市地铁风亭、冷却塔噪声进行了检测, 并对其进行了特殊的检测与比较, 提出了相应的评价与建议。监测结果表明, 造成环境噪声超标的风亭以新风亭和排风亭为主, 超标的主要原因是风亭内的风机设备噪音源噪音较大, 而消声器的降噪作用不明显; 而没有引起环境噪声超标但又是最大的噪声源的设施, 其消声、降噪效果很好, 这类风亭主要分布在龙岗线, 龙岗线的通风管道中使用了阵列消声器。在监测过程中, 阵列消声器的平均降噪效果达到 22 dB, 而片状消声器则达到 13 dB。在使用阵列消声器的情况下, 在距风亭 1 米的位置, 达到了 4 类声环境功能区的夜间噪声限值 55 dB (A), 比板式消声器的降噪效果好。该阵列消音器在深圳市地铁三号线、广州市五、三线北延段、重庆市三号线等工程中得到了广泛的应用。通过理论计算、CFD 计算机模拟、试验测试、技术分析和工程实践证明, 大尺寸阵列消声器的性能和降噪效果都比常规的板式消声器要好, 而且阻力损耗比常规的板式消声器要小。

### [参考文献]

[1]胡自林,方庆川.阵列式消声器性能曲线在地铁环控系统应用[J].铁道科学与工程学报,2022,19(06):1794-1800.DOI:10.19713/j.cnki.43-1423/u.t20210745.

[2]王亚晨,王巧燕,邱贤锋.新型大风量地铁风道消声器研制[J].上海船舶运输科学研究所学报,2021,44(04):84-88.

[3]李耀祖,吴群,吕岩,谭龙,仪垂杰.离心式压缩机噪声测试分析与治理研究[J].青岛大学学报(工程技术版),2021,36(04):67-72.DOI:10.13306/j.1006-9798.2021.04.010.

[4]吴群.微穿孔复合消声装置的研究及应用[D].青岛理工大学,2021.DOI:10.27263/d.cnki.gqudc.2021.000448.

[5]赵传辉,韦红旗,伍豪,周帅.阵列式消声器对自然通风逆流湿式冷却塔性能的影响[J].发电设备,2021,35(02):94-100.DOI:10.19806/j.cnki.fdsb.2021.02.004.

[6]蒋昭旭,龚凤海.阵列式阻性消声器声学性能预测方法研究[C]//2020中国西部声学学术交流会议论文集,2020:15-18.DOI:10.26914/c.cnkihy.2020.017446.

[7]林来豫,孙凯.各类消声器的性能差异及设计选择建议[J].暖通空调,2018,48(11):69-74.

[8]邹刚,牛军川,白国锋,隋富生.阵列式结构消声器的通风阻力特性研究[C]//2018年全国声学大会论文集 I 噪声与振动控制,2018:32-33.

[9].阵列式消声器[J].中国环保产业,2018(08):1.

[10]张荷玲,张玉麟.大型阵列式消声器优势探讨[J].铁路技术创新,2017(05):41-45.DOI:10.19550/j.issn.1672-061x.2017.05.041.

[11]但佳璧.汽车排气外声场可视化方法研究[D].清华大学,2017.

[12].噪声与振动控制行业 2016 年发展报告[C]//中国环境保护产业发展报告(2016年).2016:203-223.DOI:10.26914/c.cnkihy.2016.003722.

[13]赵晓臣.考虑声固耦合的管道噪声控制技术[D].哈尔滨工程大学,2016.

[14]李琨.阵列式结构消声器对地铁运行的节能影响研究[C]//2014中国城市地下空间开发高峰论坛论文集,2014:111-112+115.

[15]邱慧,于晓莹.城市轨道交通综合节能管理控制系统[J].中国铁路,2015(2):86-89.