文章编号：1006-1355(2014)05-0135-05

KTV包间低频噪声控制

张炜权，吴九汇，马富银

（西安交通大学 机械工程学院 机械结构强度与振动国家重点实验室，西安 710049）

摘 要：KTV包间内的噪声污染主要在低频63 Hz～125 Hz，噪声级一般可以超过105 dB，其噪声源边界排放噪声也超出了相应的限值，针对KTV包间的噪声污染，介绍了目前比较成熟的噪声处理方案。首先KTV包间内的墙壁、顶棚、门和地板隔声处理；其次是介绍包间采取的吸声材料和广泛应用的吸声结构；包间音箱设备的隔振处理；包间内减少声波的泄露；以及新型局域共振声子晶体的理论及应用。

关键词：声学；KTV低频噪声；隔声；吸声；隔振；声子晶体

中图分类号:TB535 **文献标识码**：A DOI编码：10.3969/j.issn.1006-1335.2014.05.031

Research of Low-frequency Noise Control in KTV Rooms

ZHANG Wei-quan, WU Jiu-hui, MA Fu-yin

(School of Mechanical Engineering and State Key Laboratory for Strength and Vibration of Mechanical Structure, Xi'an Jiaotong University, Xi'an 71009, China)

Abstract : In KTV rooms, the noise pollution is mainly reflected in the low frequency range between 63 Hz and 125 Hz, the volume can reach 105 dB or more, and the noise level on the noise source boundary can exceed the critical value. In this paper, some successful schemes for low- frequency noise processing in KTV rooms are introduced, including sound insulations of walls, ceilings, doors and floors of the KTV rooms; the application of sound- absorption materials and structures and their vibration isolation characteristics; the vibration isolation of audio devices; acoustic leakage reduction in the rooms etc. Finally, the theory and application of phononic crystal plate with periodic novel spiral resonators are introduced.

Key words : acoustics ; KTV low-frequency noise ; insulation ; absorption ; isolation ; phononic crystal

KTV娱乐场所一般位于大型商城的楼层内，其工作高峰集中在晚上，正是居民休息的时间，因此很难避免会和群众利益产生冲突。对其进行噪声处理就显得非常必要。目前的KTV的业主和设计人员大部分缺乏减振降噪的专业知识，也就造成了噪声污染局面。本文通过对目前的KTV降噪手段进行归纳，供以后的研究参考。

1 噪声源分析及危害

KTV的噪声源主要为：包间里的音乐通常采用大功率低音饱和音响，其音量可达105 dB(A)～125 dB(A)左右，基本为低频段63 Hz～125 Hz；其次消费者自娱自乐发出的声音，平均释放音量可以达到103 dB(A)～116 dB(A)，特别是两个以上的人激情演唱时，其峰值往往可以达到110.8 dB(A)～119.4 dB(A)[1]，以低频声最强；此外还有空调、换气扇等用电设备产生的噪声源。低频穿透力强，能轻易穿越障碍物且传播距离远，衰减小，如果不采取适当的隔声、吸声等手段，通常可以沿着墙柱，上传至楼顶各层住户，底楼的声音可以直达30楼以上[3, 6, 7]。

KTV等娱乐场所主要晚上营业，根据GB22337-2008的《社会生活环境噪声排放标准》，社会生活噪声排放源边界噪声限值在夜间为40 dB(A)～55 dB(A)，具体的数值如表1所示。KTV的噪声大多数是室内产生噪声，通过空气传声和固体传声进行传播，包间的边界噪声数值超出了表中的排放限值，使周

收稿日期：2013-11-12

作者简介：张炜权(1990-)，男，研究生，云南红河人，从事振动噪声相关研究。
E-mail: 510739853@qq.com

通讯作者：吴九汇(1970-)，男，教授，博导，从事振动噪声相关研究。
E-mail: ejhwu@mail.xjtu.edu.cn

表1 社会噪声排放源边界噪声排放限值 单位:dB(A)

边界外声环境功能区类别	时段	
	昼间	夜间
0	50	40
1	55	45
2	60	50
3	65	55
4	70	55

围的环境受到污染,导致了环境矛盾。

噪声的泄露还会给附近的居民带来心情上的烦躁、萎靡不振等负面情绪,对人们的身心健康带来严重的影响[7, 11]。

2 降低噪声的主要控制措施

KTV包间的音响等设备的工作,首先通过空气介质在室内进行空气传声,到达墙壁地面以及天花板时,声波激发建筑构件的振动而引起传声,最后再通过室外传播,向外导致噪声的影响。根据公式(1)[4]

$$\mathrm{TL}=20\log\left(\omega m/2\rho\right) \tag{1}$$

其中TL为建筑构件的隔声量,ω是声波的圆频率,m是房间内建筑构件的面密度(包括顶棚的面密度和墙壁的面密度),ρ为空气特性阻抗。KTV包间的噪声里中低频特性的声波信号比较突出,这就使得声波的圆频率ω比较小,从而使得TL隔声量小,所以中低频的声波穿透性比较强[4]。

传统的减振降噪方法主要包括:噪声源的处理和对传播途径的处理。为了到达减振降噪的目的,本文对目前广泛采用的控制措施进行了详细的描述,主要包括:KTV包间的隔声处理,针对其墙壁、顶棚、门和地板,介绍了目前比较成熟的隔振方案;包间采取的吸声材料以及应用的吸声结构;音箱设备的隔振处理;减少声波的泄露措施;新型局域共振声子晶体结构的应用。

2.1 KTV包间的隔声处理

KTV包间的房间内采用隔声并添加吸声材料的方法,是一种有效的措施,根据公式(2)[10]

$$\mathrm{NR}=R-10\log\left[0.25+\left(1-a\right)/a\right] \tag{2}$$

式(2)中,NR为平均噪声降低量,R为房间建筑构件的隔声量,a为房间的吸声系数,通过隔声层和吸音材料的配合,来实现隔声。目前大部分的KTV都采用吊顶和四周墙壁的隔声处理。一般都可降低20 dB以上的噪声级。

2.1.1 包间顶棚和墙壁的隔声处理

包间的顶棚和墙壁上隔声层,如图1和2所示,且多采用多层隔声层共同作用来隔声[6]。当声源发出的声波信号到达石膏板基层时,引起墙板的振动,再经过填充的吸音棉,到达外墙传播到外室,由于填充层的弹性变形,具有减振的作用,可以提高墙体的隔声性能。同样,包间的顶部和楼层的顶部之间并不是刚性连接,选用弹簧吊筋的柔性连接形成吊顶,其次再选择和墙体一样的材料,采用多层隔声层共同作用。

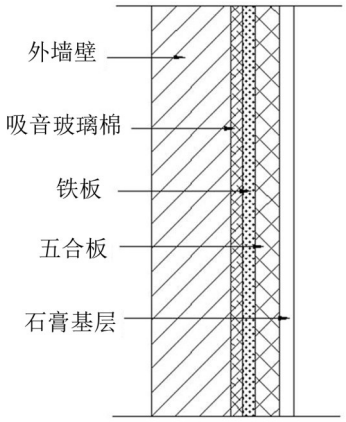


图1 双层墙体结构

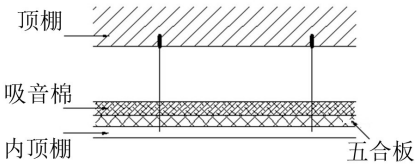


图2 顶棚结构

为了达到一个良好的隔声质量,就必须首先保证面密度为一个约40 kg/m^{2}以上合适的值,在此基础上,还要留有一定的墙体或顶棚空腔来填充吸声材料,构成声阻相间的隔振特性,提高隔声的效果。

2.1.2 包间地板的隔声处理

对于KTV包房的地板来说,采用一种“浮筑层”的隔声方法。如图3所示,用地面减振器和中间弹性垫层联合方案来进行隔声,即在原地板的基础上加装地面隔振器,采用弹簧阻尼系统来进行隔振处理,然后在地面隔振器的上表面添加一层中间弹性垫层,弹性垫层是以植物吸音纤维材料铺地作为一个面层,最后再在上面铺设包间内的地板,形成“浮筑层”的方式[9]。从而减弱振动能量的传播。

2.1.3 包间门的隔声处理

KTV包间里的声音很大部分是通过门传出的,若采用普通的木质门,其隔声量仅为16 dB,钢质门的隔声量也仅为20 dB,其隔音效果很差,这就

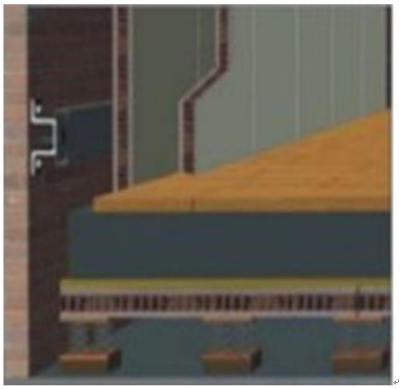


图3 隔音减振地板及墙身

需要对门进行一定的处理和改进，根据式(1)，虽然要想获得很好的隔声量需要很大面密度m，但是门明显不可能做得很重，所以可以选择将门做成多层隔声材料的复合结构门或者是在门内预留空腔进行吸声材料的填充，提高其隔声量，也可以在门的板材上涂上阻尼材料，均可有很好的隔声效果[11]。

2.2 KTV包间的吸声处理

2.2.1 吸声材料

墙壁以及顶棚的多层隔声结构中，需要预留一部分的空腔来填充吸声材料。吸声材料主要包括以下的特性：不易燃烧、具有宽频的吸声系数、不具有腐蚀性、较高的吸声系数且容重要小、吸声的性能长期稳定、防潮性好等[10]。目前广泛应用的吸声材料大都是些多孔材料，如：玻璃棉、软质纤维和吸声砖等。

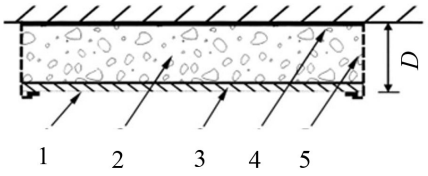
多孔吸声材料的吸声特性是随着材料厚度的增加而增加的，故KTV包间中的吸声材料尽可能地选择大厚度材料，以提高吸声的性能；同时也应该注重吸声材料的合理布置，充分发挥音响设备系统的音质效果，如音响正对的后墙应该布置上吸声材料，消除反射声对话筒的负面影响。

2.2.2 混响时间及吸声结构

混响时间的长短不仅影响室内声音的饱满，还影响着室外的噪声量级。KTV等室内声场，混响时间标准值在0.5 s～1 s之间，如果过短，则声音比较干涩，影响娱乐消费者的声音感受，过长，则会导致啸叫，造成噪声污染。

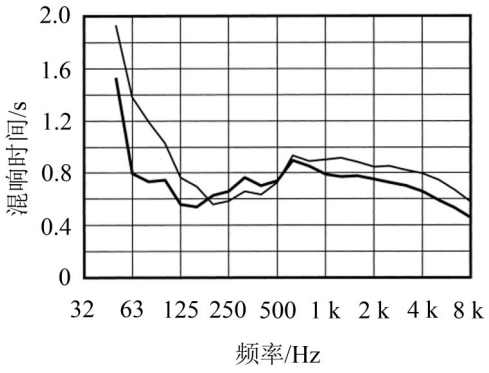
KTV房间主要以音乐为主，查雪琴[16]等人在对于混响时间特性上，提出了“低频不上升的混响时间特性”，即实现在低频段内针对63 Hz～125 Hz其混响时间减小，如图5所示。很多房间在设计之中并没有考虑到低频声能，一般的声学装修不能控制低频，使得房间内中低音轰鸣。

目前采用的吸声结构有穿孔板吸声结构、微穿孔板吸声体以及空间吸声体等形式。薄性低频吸声器(CPA)[2, 21]是采用最为广泛的吸声结构之一，其原理如图4所示，自由振动板主要吸收低频声，增加板的单位面密度，吸声峰会往低频段移动；在板的后面空腔内填充多孔吸声材料，可以提高该结构的吸声系数并且使得吸声的频率带加宽。图5是CPA的工程应用测量结果，可以看出该结构在低频段内可以实现混响时间降低的效果。



1 自由振动板； 2 多孔弹性泡沫板； 3、4 粘性连接层；5 吸声外壳

图4 CPA薄性低频吸声器[2]



(—) 和(━)分别为加入CPA前后的混响时间数值图

图5 某餐厅的混响时间测量结果[8]

2.3 包间音响设备的隔振处理

音箱主要产生的是低频声传播源，其放置于地面或者悬吊于顶棚之下。在播放音乐时，特别是强劲音乐时，音箱对地面、顶棚或楼板产生与音乐频率谐振的撞击，以固体传声的形传至楼上居民室内。而且有几个音箱就有几个点声源，也就是有几个球面声波。目前的KTV都分布在高层建筑的中间或底层，这使得低频的隔振越发重要。

因此，必须采取措施来解决这一问题。目前应用比较多的方法是对于放置于地面的音箱采用安装减震器，而对于悬吊于顶棚的音箱则采用减振吊钩，使声源产生的振动与建筑构件进行隔离[6]。如图6所示，悬挂减振吊钩具有弹簧的高弹性、固有频率低和丁腈合成橡胶的阻尼比大的双重特点，能减小共振时振幅，在较宽的频率范围内有明显的隔振效果，而且便宜方便，对于置于地面的音箱则需要采用安装减震器、铺设阻尼层来实现隔振，音箱底部设橡胶阻尼垫,地面铺设带衬垫的地毯，避免了音箱与建筑



图6 减振吊钩实物图

结构的刚性连接，有效控制楼板在声波作用下产生的振动。

KTV包间的顶棚也可采用悬挂吊顶的方式，如图2所示，它的地板，同样也可采用隔振，如图3所示，加装地面隔振器，采用弹簧阻尼系统来进行隔振处理。

这些都能避免相应的声源部件和建筑构件之间的硬性连接，可以有效地降低建筑部件在声波的干扰下引起的噪声污染。

2.4 包间内减少声波的泄露

KTV房间内的一些必要设施会引起声波的泄露，比如包间内的空调、换气口、门缝、消防道口等，都会成为释放声波的主要泄露口，给附近居民带来困扰，所以有必要对该泄漏口进行处理，目前比较广泛的是采用以下方案：

2.4.1 KTV通道设计成“声闸”的结构

顾客在唱歌期间进出包间时，会造成声波的泄露，会给居民带来困扰，采用“声闸”[20]结构。包间门之外另加设一道隔声门，使客人开启第2道门时第1道门已经关闭，声波无法泄出。

2.4.2 门缝处减少漏声

唱歌的过程中，如果门缝的间隙处理不当也会造成噪声泄漏，使得的隔声效果降低，所以必须在这些部位进行处理。目前广泛采用的是胶条密封，确保声波无法从门缝里泄露。

2.4.3 排气口、空调口等安装消声器

KTV等娱乐场所没有外窗，为了改变室内的空气流通，使得顾客们有个良好的环境，所以必须设置排风系统。排风系统在正常工作的过程中，废气排放时会把噪声一并带出，其声值视管道长短最高可以达到KTV内噪声的水平。设计上必须加装扩张式阻抗复合消声器，以在不影响正常排风的前提下，将降低排出高中低宽频声波；排风管道可以采用玻璃棉专用风管[22]，充分吸收气流中的噪声。

2.4.4 KTV内增设吸音软包

主要是用于房间内的吸音，也可以作为装饰物但是对于房间之外的隔音效果就比较差。

2.5 声子晶体的应用及展望

在KTV的噪声传播中，主要需要处理的噪声频率段为：63 Hz～125 Hz，其产生和振动相关，而振动通常都是以弹性波形式在各种介质中进行传播。吴九汇[17, 18]等人提出的局域共振型声子晶体在低频方面有着优越的振动带隙特性。

图7所示的是一种螺旋局域共振单元结构及其布里渊区，利用有机玻璃板传播的弹性波和内部共振单元柱的局域共振耦合作用，为声波的传播建立了一个有一定带隙宽度的低频禁带，如图8所示，通过有限元的仿真和局域共振声子晶体板的共振特性实验对比，证实了此类声子晶体板结构在低至42 Hz的低频范围之内可以获得较宽的振动带隙。可以根据结果来改变相应的尺寸参数，调节振动的低频范围，满足低频减振降噪的需要[18]。

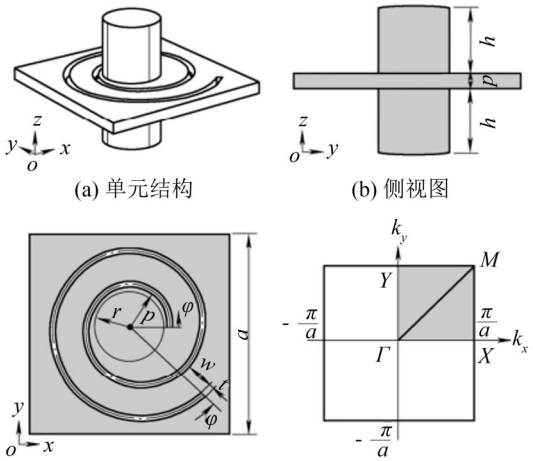


图7 螺旋局域共振单元结构及其布里渊区[18]

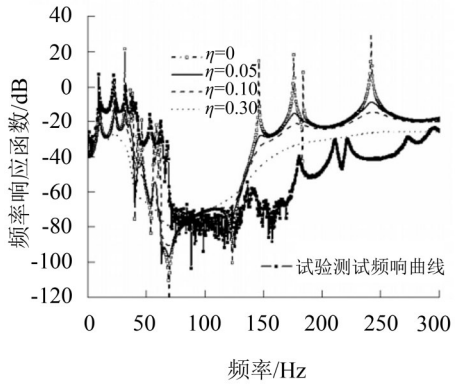


图8 试验测试的样件频响函数与仿真结果对比[18]

国内外局域共振的声子晶体研究已经取得的良好的效果，其中板状、杆状、梁状等的声子晶体结构形式被提出，可以获得更低的频率和更宽的低频带隙[25—28]。虽然还没有运用在KTV等娱乐场所的噪

声防治，但其优越的低频隔振带隙显示了其良好的减振降噪效果。后续的研究工作会针对这样的结构形式研究其合理的低频性能。

3 结 语

（1）KTV包间内的墙壁和顶棚首先要满足面密度的要求。在满足建筑结构承力的前提下，留有部分的空腔来填充吸音材料，形成声阻相间的复合隔声结构；可在包间的顶部采取弹性吊钩并填充吸音材料，提高隔声量；

（2）地板上采用“浮筑层”方法，即地面减振器和中间弹性垫层联合方案来进行隔声；并将门做成多层隔声材料的复合结构门或者是在门内预留空腔进行吸声材料的填充，提高其隔声量；

（3）根据KTV包间内噪声防治以及混响特性，应用多孔吸声材料和吸声结构CPA，即薄性低频吸声器，使在低频部分尤其是63 Hz～125 Hz之间有着良好的混响效果；

（4）对于放置地面或悬吊于横梁四周的音箱，可以采用安装减震器或增加减振吊钩的形式，避免相应的声源部件和建筑构件之间的硬性连接；

（5）KTV房间内采用“声闸”的结构、门缝处减少漏声、排气口、空调口等安装消声器以及KTV内增设吸声软包；

（6）新型局域共振型声子晶体的结构，在低频方面有着优越的振动带隙特性，成为在低频降噪中的最具有潜力的方案。后续的工作希望开展关于局域共振声子晶体的研究，并运用到KTV的低频降噪上。

参考文献：

[1] Park M Y. Assessment of potential noise-induced hearing loss with commercial “Karaoke” noise[J]. **International Journal of Industrial Ergonomics**, 2003, 31(6): 375-385.

[2] Fuchs H V, Lamprecht J. Covered broadband absorbers improving functional acoustics in communication rooms [J]. **Applied Acoustics**, 2012.

[3] 张西子. KTV 噪声消除技术[J]. **科技视界**，2012 (13)：95-96.

[4] 贾向义，吉晓丹，孔学礼，等. 卡拉OK扰民噪声治理的研究[J]. **环境污染治理技术与设备**，2003，4(6)：74-76.

[5] 石建慧，李强. 一次酒吧噪声扰民的原因分析及防治措施[J]. **北方环境**，2013 (3)：65-66.

[6] 包亚男，陈文海. KTV 娱乐场所噪声控制的主要措施与实践[J]. **江苏建筑**，2010 (006)：97-99.

[7] 王丽敏，韩茂蔚，申松梅，等. KTV 慢摇吧等娱乐场所噪声治理方法研究[J]. **环境科学与管理**，2008，33(10).

[8] Fuchs H V, ZHA X, ZHOU X, et al. Creating low-noise environments in communication rooms[J]. **Applied Acoustics**, 2001, 62(12): 1375-1396.

[9] 潘仲麟，翟国庆. 噪声控制技术[M]. 北京：化学工业出版社，2006.

[10] 李琪，徐晓春. 浅谈歌舞厅噪声的防治[J]. **噪声与振动控制**，2003，6：013.

[11] 吴铭权. 室内噪声的危害与控制[J]. **环境与健康杂志**，2006，23(2)：189-192.

[12] 姚萌江. 新建卷包车间噪声防治的思考[J]. **上海烟草系统**，2006 年度优秀学术论文集，2006.

[13] 刘先卓，陈敏，曲文学. 近年来噪声扰民特点及治理技术探讨[J]. **东北大学学报**(自然科学版)，2002，23 (增刊)：87-89.

[14] 刘加平. 建筑物理[M]. 北京：中国建筑工业出版社，2006，8.

[15] Maluski S, Gibbs B M. The effect of construction material, contents and room geometry on the sound field in dwellings at low frequencies[J]. **Applied Acoustics**, 2004, 65(1): 31-44.

[16] 查雪琴. 对混响时间特性的一些看法[C]//城市化进程中的建筑与城市物理环境：第十届全国建筑物理学术会议论文集，2008.

[17] Z Si-wen , W Jiu-hui. 局域共振复合单元声子晶体结构的低频带隙特性研究[J]. **物理学报**，62(13)：134302.

[18] 吴九汇，张思文，沈礼. 螺旋局域共振单元声子晶体板结构的低频振动带隙特性研究[J]. **机械工程学报**，2013，49(10)：62-69.

[19] 倪振华. 振动力学[M]. 西安：西安交通大学出版社，1989.

[20] 谭泽斌，易辉，刘芳. 甘肃大剧院大剧场观众厅 GRG 声学挂板施工组织及技术要点[J]. **环境工程**，2012，1.

[21] Zha X, Fuchs H V, Nocke C, et al. Measurement of an effective absorption coefficient below 100 Hz[J]. **Acoustics Bulletin**, 1999, 24: 5-12.

[22] 王志平. KTV 场所空调设计的几点改进体会[J]. **煤炭技术**，2005，10：070.

[23] 沈礼，吴九汇，陈花玲. 声子晶体结构在汽车制动降噪中的理论研究及应用[J]. **应用力学学报**，2010 (002)：293-297.

[24] 周一鸣，马均贞. KTV 室内声学设计与施工探讨[J]. **中华民居**(下旬刊)，2012，06：24-25.

[25] Hsu J C. Local resonances-induced low-frequency band gaps in two-dimensional phononic crystal slabs with periodic stepped resonators[J]. **Journal of Physics D: Applied Physics**, 2011, 44(5): 055401.

[26] 文岐华，左曙光，魏欢. 多振子梁弯曲振动中的局域共振带隙[J]. **物理学报**，2012，61(3)：34301-034301.

[27] 郁殿龙，刘耀宗，王刚，等. 二维声子晶体薄板的振动特性[J]. **机械工程学报**，2006，42(2)：150-154.

[28] Oudich M, Li Y, Assouar B M, et al. A sonic band gap based on the locally resonant phononic plates with stubs [J]. **New Journal of Physics**, 2010, 12(8): 083049.