

文章编号:1006-1355(2018)04-0149-04

# 机场周边既有住宅建筑降噪隔声改造设计及应用研究

陆珏, 陈洋, 谢巍

(上海市房地产科学研究院, 上海 200031)

**摘要:**针对机场周边既有住宅建筑及其声环境的特点,综合考虑住宅室内声环境要求及建筑结构安全性,结合实际工程案例分析机场周边既有住宅建筑降噪隔声改造的关键技术,包括门窗隔声性能试验及选型、阳台加固、小区综合环境治理等。噪声实测和后评估分析表明,改造后住宅室内声环境已经达标,居民的居住环境和舒适度也有较大提高,有关结论对今后既有住宅建筑降噪隔声改造具有一定参考价值。

**关键词:**声学;机场周边;飞机噪声;既有住宅建筑;隔声改造

**中图分类号:**V35

**文献标志码:**A

**DOI编码:**10.3969/j.issn.1006-1355.2018.04.029

## Design and Application of Sound-insulation Reconstruction for the Existing Residential Buildings around the Airport

LU Jue, CHEN Yang, XIE Ni

(Shanghai Real Estate Science Research Institute, Shanghai 200031, China)

**Abstract:** The characteristics of acoustic environment and existing residential buildings around the airport are analyzed. The requirements of residential indoor acoustic environment and building structure safety are considered. On this basis, the technical scheme of sound-insulation reconstruction for the existing residential buildings combined with the actual engineering cases is proposed. This reconstruction includes sound insulation performance test, selection of the entrance doors and windows, structural reinforcement of balconies and comprehensive renovation of the residential environment. According to the indoor noise measurement result and the post occupancy evaluation after the reconstruction, the indoor noise meets the requirements of the standard and the comfort of the residential environment is greatly improved. The proposed sound-insulation reconstruction technique can provide a reference for similar projects.

**Keywords:** acoustics; around airport; aircraft noise; existing residential building; sound-insulation reconstruction

交通噪声污染在国内许多大城市都是困扰居民安静生活的主要原因之一,2016年全国322个地级及以上城市4a类功能区(即:交通干线两侧区域)夜间达标率最低,仅为50.5%,机场航空噪声是主要因素之一<sup>[1]</sup>。我国航空事业近年快速发展,飞机起降架次逐年增长,同时机场大规模扩建,与城市的距离也越来越近,导致越来越多的居民受到飞机噪声污染的困扰。

飞机噪声和一般交通干线两侧的噪声不同,飞机噪声来自空中,地面地形、遮挡物等对其衰减效果不够明显<sup>[2]</sup>。降低飞机噪声对居民日常生活影响的

方式可以敏感建筑物的被动防护措施为主,通过降低既有住宅建筑室内噪声,保障居民日常生活。

然而,在既有住宅建筑隔声改造方面可供借鉴的研究成果较少,且缺乏实际案例,部分技术推广项目缺乏长效后评估,对实践的指导性不强。另外既有住宅建筑隔声改造难度大,协调居民的工作难做,建设周期长,改造费用高。因此针对机场航空噪声的特点,如何选择经济合理的适用技术有效改善建筑室内声环境,亟待进一步深入研究。

## 1 机场周边既有住宅及声环境特征分析

### 1.1 机场周边需重点改造的既有住宅分析

我国境内民用航空(颁证)机场共有218个(不含港澳台地区),其中定期航班通航机场216个,定期航班通航城市214个<sup>[3]</sup>。机场数量的增加、规模的

收稿日期:2017-11-16

基金项目:上海市科学技术委员会基金资助项目(14231201100)

作者简介:陆珏(1985-),女,江苏省海门市人,博士,主要研究方向为房屋安全管理、建筑声学。

E-mail: lujue1985@126.com

扩大给噪声污染防治工作带来巨大压力。根据《民用航空运输机场选址规定》(CCAR-170CA)<sup>[4]</sup>,民用机场选址时需考虑与城市的距离。然而一方面,随着城市中心城区的不断扩大,居民的生活圈不断向机场靠近;另一方面,旅客吞吐量的增加,航班量的与日俱增,加上未来飞机向大型化发展,很多现有跑道已满足不了需求,机场在新建跑道的同时还须考虑大型机的要求,因此运行参数的改变造成了新增噪声污染,导致以前达标的声环境变成超标区。

近年在机场周边新建的房屋,在设计之初就已注意当下噪声对既有住宅的影响;而对于早年建造的房屋,由于在设计之初未考虑飞机噪声的影响,隔声降噪措施不足,室内声环境通常不能达到规范要求,是降噪隔声改造的重点对象。此类住宅多建于上世纪80年代至90年代,以砖混结构的多层住宅为主,经年累月的使用导致这些建筑日益呈现结构老旧、能耗状况不佳、隔声效果差等问题。在已摒弃大规模拆除重建的改造方式的今天,为这些老旧住宅找到一种适宜的改造途径以期实现对其的再利用具有重要的意义。

## 1.2 机场周边声环境特征分析

飞机噪声主要指飞机在起飞、降落、滑行和发动机试车时产生的各种噪声源的声辐射总和,属于交通噪声的范畴,主要噪声源为航空器。综合来说,机场航空噪声的特点包括:声压级高、低频(<250 Hz)、噪声大、影响范围广、噪声影响具有时空的间断性、累加性、噪声源非稳态运动等<sup>[5]</sup>。飞机噪声时间上是间歇的,一般持续20 s~50 s。以上海虹桥机场的航空噪声为例,飞机起降频次约3 min~5 min,即机场周边地区每隔3 min~5 min的安静中会出现一次20 s~50 s的飞机噪声。且尽管一架航空器的噪声影响转瞬即逝或持续时间并不长,但繁忙机场的多架次航空器同时或不间断或小间隔的运行,均会造成噪声影响的累积或叠加。

可见,机场航空噪声与一般环境噪声不同,它包含着逐次突发的高声级事件,期间又被非常安静的状态所隔开。由于人们对安静环境中出现的短时间持续噪声非常不舒适,因此,飞机噪声比持续的交通噪声更令人烦恼。飞机在飞过时产生的噪声和一般环境噪声也不同,飞机噪声来自空中,地面地形、遮挡物等不能衰减飞机产生的噪声。同时,飞机噪声与飞机类型、飞航距离有关,起飞与降落时的噪声值相差很大。

由于飞机噪声的特殊性,它与一般交通噪声的测量方式和标准不同。一般交通噪声采用的是昼夜连续等效A声级,即 $L_{eq}$ ;而机场周围受飞机噪声影响

区域的噪声测量标准是根据GB-9660-1988《机场周围飞机噪声环境标准》<sup>[6]</sup>采用一昼夜24 h的计权等效连续感觉噪声级作为评价量,即 $L_{WECPN}$ 。据该标准规定:一类区域(特殊住宅区、居住、文教区) $L_{WECPN} \leq 70$  dB,二类区域(除一类区域以外的生活区) $L_{WECPN} \leq 75$  dB。《机场周围飞机噪声测量方法》<sup>[7]</sup>GB-9661-1988给出计权等效连续感觉噪声级 $L_{WECPN}$ 用A声级近似表示的近似式(1)、式(2)和式(3)

$$L'_{Amax} = L_{Amax} + 10 \lg(T_d/20) \quad (\text{dB}) \quad (1)$$

$$\bar{L}_{EPN} = \bar{L}' + 13 \quad (\text{dB}) \quad (2)$$

$$L_{WECPN} = \bar{L}_{EPN} + 10 \lg(N_1 + 3N_2 + 10N_3) - 39.4 \quad (\text{dB}) \quad (3)$$

式中 $\bar{L}_{EPN}$ 表示通过 $N$ 次飞行事件的有效感觉噪声级的能量平均值, $\bar{L}'_{Amax}$ 表示一周内所有飞行的 $L'_{Amax}$ 能量平均值, $N_1$ 表示白天的飞行次数, $N_2$ 表示傍晚的飞行次数, $N_3$ 表示夜间的飞行次数。

本文选择上海某机场附近噪声敏感建筑布置测点,进行室外的噪声监测。测点的位置见表1,测点布置于顶层朝南房间外,测量仪器为AWA6228+型多功能声级计,测量前后用声级校准器进行校准,噪声小时频谱及 $L_d$ 、 $L_n$ 监测结果如表2所示,频谱图如图1所示。

表1 测试的既有住宅位置/m

编号	1#	2#	3#
距跑道中心线距离	420	640	860
距跑道端部的距离	800	1 000	1 030

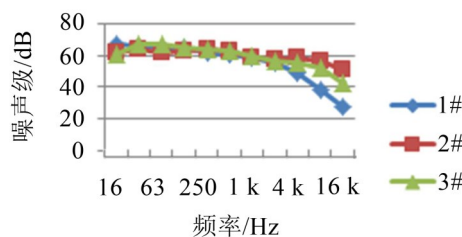


图1 室外噪声监测测点频谱图

将该机场飞机架次数 $N_1$ 、 $N_2$ 、 $N_3$ 及机场周围检测仪器所测 $L_{Amax}$ 、 $T_d$ 值代入式(1)、式(2)和式(3)中计算,算出 $L_{WECPN}$ 与环评结果基本一致。

据监测结果分析:

(1) 机场附近既有住宅室外声环境噪声的频谱规律基本相同,主要集中在中低频段,125 kHz~1 kHz范围内噪声值大致相同,有缓慢减小趋势,2 kHz以后噪声值急剧减小;

(2) 根据《民用建筑隔声设计规范》(GB50118-2010)的规定,卧室允许噪声级昼间应小于45 dB、夜间应小于37 dB,起居室(厅)内的噪声级昼间、夜间均应小于45 dB,因此住宅建筑隔声量应在29 dB至35 dB左右。

表2 噪声小时频谱(10:00—11:00)及 $L_d$ 、 $L_n$ 监测结果: $L_{eq}$ (dB)

测点	16 Hz	31.5 Hz	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz	8 kHz	16 kHz	$L_d$	$L_n$
1#	66.8	66.6	65.2	65	62	60.5	59	55.4	49.5	37.8	27.1	66.2	59
2#	61.7	63.7	62.4	63.1	63.7	62.7	58.4	57.4	58.6	56.1	50.9	67.7	58.7
3#	60.9	67.5	67.5	65.6	64.5	62.5	59.7	56.7	55	52.5	42.7	67	61.1

## 2 隔声改造方案设计

对既有住宅建筑进行降噪隔声改造,应根据室外噪声的频谱特性、传播特性和声压级大小、建筑本体隔声性能、住宅建筑类型、走廊和阳台的形式等确定噪声控制目标和策略。改造设计时需重点考虑隔声门窗改造、阳台加固改造和小区环境综合治理3个方面的设计。最后利用噪声预测模型或软件,预测按设计方案改造后的室内噪声是否符合要求。本文以上海某机场周边既有住宅降噪隔声改造工程为例,介绍既有住宅降噪隔声改造中门窗、阳台、小区整体环境的设计。

### 2.1 工程概况

该工程拟改造房屋建造于1985至1993年间,总量约60幢,涉及约2 000户,总建筑面积近14万 $m^2$ 。房屋均为6层砖混结构建筑,平面布置为一梯四户,有敞开式北走廊,窗户为单层玻璃钢窗,部分改成铝合金窗,房门为夹板满固门。据环评结果,改造前该工程室外噪声昼间约为66 dB至75 dB,夜间约为58 dB至68 dB;据现场监测,室内噪声昼间约32 dB至46 dB,夜间约为27 dB至45 dB。住宅室内噪声不满足限值要求,因此需要对住宅建筑进行隔声降噪改造。

### 2.2 标准规范及隔声量分析

各规范的室内允许噪声级均采用A声级作为评价量,且均以关窗状态下昼间和夜间时段的噪声级标准值作为评价依据。《民用建筑隔声设计规范》(GB50118-2010)<sup>[6]</sup>规定普通住宅卧室昼间等效声级 $\leq 45$  dB(A),夜间等效声级 $\leq 37$  dB(A),起居室(厅) $\leq 45$  dB(A)。结合待改造小区环评结果,室外昼间最高75 dB,夜间最高68 dB,因此隔声量应在31 dB以上。

### 2.3 隔声门窗设计

隔声门窗选型设计需考虑外部声源特点及不同房间使用功能对噪声声级要求的差异。改造应满足隔声量要求及《建筑外窗空气隔声性能分级及检测方法》(GB/T8485-2008)<sup>[7]</sup>的规定。

目前的降噪隔声工程通常在设计前,通过大量样窗设计与测试进行隔声构件选型,存在重复性和

盲目性。本文通过试验方法,研究了窗扇玻璃形式与规格、窗框型材、开启方式与密封形式、双层窗间距对单层隔声窗和双层隔声窗隔声性能的影响,从而系统分析不同设计参数对隔声窗隔声性能的影响规律,挑选出实际工程中适用性强、隔声效果好的单层、双层隔声窗<sup>[8]</sup>,为隔声改造工程提供技术参考。

本次试验共设计了30幢单层隔声窗和27幢双层隔声窗,各选取有代表性的7幢和5幢如表3、表4所示:

试验实测数据表明:玻璃规格形式对计权隔声量影响较小,但低频共振现象存在显著差异;单层窗在低频段隔声效果基本相近,在200 kHz~2 kHz频段,真空玻璃、夹胶中空玻璃形式窗隔声性能相对最好;塑钢窗的隔声性能稍好于断桥铝型材窗,均显著好于普通铝合金窗,增大窗框型材厚度可有效提升窗体隔声性能;平开窗隔声性能显著优于推拉窗,两者隔声性能差异主要体现在中高频段受吻合效应影响的严重程度,且采用包覆式密封条对提升推拉窗隔声量有一定效果;对于双层窗而言,当两层窗之间间距大于90 mm时,计权隔声量基本相近,隔声性能优于间距为80 mm的双层窗。最终根据国家现行标准《建筑外窗空气声隔声性能分级及检测方法》GB/T8485-2008将隔声门窗空气声隔声性能等级可分为6级的标准,为每一级门窗选定合理的选型参数,为降噪隔声工程中隔声窗设计提供数据支持与参考。

根据试验结果确定窗户的改造方案为:

(1) 卧室、起居室采用夹胶玻璃双排消声通道隔声窗;

(2) 其他部位(厨房、卫生间)如直接对外,采用夹胶玻璃双排消声通道隔声窗;如窗户开向北走廊,采用单排中空夹胶玻璃塑钢隔声窗;

(3) 后走廊、楼梯间的开敞部分都采用单排中空夹胶玻璃塑钢隔声窗进行封闭。

在隔声门的设计方面,考虑门扇重量和厚度、门扇内填充物、门扇与门框间密封等,最终门的改造方案为:目前住户入户门形式各异,有木门加铁门形式、防盗门等,但都不符合此次隔声降噪标准要求。改造措施是改套型门为密封性能较好的钢质防盗门(有门槛)。详见隔声门窗汇总表5。



表 3 部分单层隔声窗参数设计及试验结果/dB

编号	窗框型材	开启方式	密封形式	玻璃形式	玻璃规格	$R_w$	$C_{tr}$	$R_w+C_{tr}$
D1	70 系列	平开	三元乙丙密封胶条	单夹层中空	27.76[8+9A+(6+0.76pvb +4)]	36	-3	33
D2	70 系列	平开	三元乙丙密封胶条	三玻双夹层	23.28(5+1.14pvb +6+1.14pvb +10)	37	-2	35
D3	70 系列	平开	三元乙丙密封胶条	真空玻璃	10(5+v+5)	35	-1	34
D4	普通铝合金	平开	三元乙丙密封胶条	单夹层中空	24.76[5+9A+(6+0.76pvb +4)]	30	-5	25
D5	断桥铝	平开	三元乙丙密封胶条	单夹层中空	24.76[5+9A+(6+0.76pvb +4)]	33	-3	30
D6	88 系列	推拉	毛条	单夹层中空	24.76[5+9A+(6+0.76pvb +4)]	27	-2	25
D7	70 系列	内开内倒	三元乙丙密封条	单夹层中空	24.76[5+9A+(6+0.76pvb +4)]	37	-3	34

表 4 部分双层隔声窗设计及试验结果/dB

编号	密封条	间距	窗框型材	开启方式	玻璃构造形式与规格	$R_w$	$C_{tr}$	$R_w+C_{tr}$
S1	三元乙丙密封条/毛条	100	塑钢 70 系列	外平开/内推拉	外中空/内单片 25(6+9A+10)+空腔+12	50	-4	46
S2	三元乙丙密封条/毛条	100	塑钢 70 系列	外平开/内推拉	外夹层/内单片 18.76(8+0.76+10)+空腔+8	49	-3	46
S3	毛条	100	塑钢 70 系列	双推拉	外夹层/内单片 10.76(4+0.76+6)+空腔+8	44	-3	41
S4	三元乙丙密封条/毛条	100	断桥铝 55 系列	外平开/内推拉	外夹层/内单片 10.76(4+0.76+6)+空腔+8	50	-3	47
S5	三元乙丙密封条/毛条	80	塑钢 70 系列	外平开/内推拉	外夹层/内单片 10.76(4+0.76+6)+空腔+8	47	-2	45

2.4 阳台加固设计

待改造工程的阳台形式有内阳台和外阳台,外阳台住户部分已自行封阳台,封阳台以塑钢窗和铝合金窗为主。阳台栏板厚度为 60 mm~80 mm,阳台楼板厚度为 80 mm~120 mm,不满足隔声要求,并且不满足封阳台时双排窗的承载力。拟采用以下措施:

(1) 经计算,有代表性的阳台结构加固方案详见表 6;

(2) 改阳台栏板为 140 mm 厚钢筋混凝土墙,以符合隔声要求;

(3) 对空调管道等外墙孔洞,使用柔性材料进行封堵。

2.5 小区整体环境设计

小区整体环境的修缮方案主要包括室外总体整治和建筑单体修缮,总体环境整治包括道路、附属设

施和绿化;建筑单体包括外立面、室内公共部位和门窗。具体为:总体整治如道路整体新做、小区外围墙修缮粉刷、绿化整理修补、公共设施修缮、宣传公告栏修缮、小区大门修缮等;建筑单体综合改造如屋面平改坡、外立面设施整修、外墙新刷涂料、楼道修粉、新漆楼梯栏杆、整理楼道内管线、屋顶水箱改造等。

3 隔声改造效果分析

3.1 改造成效分析

环评结果显示,改造前小区声环境质量较差,住宅室外噪声级不满足规范限值要求。为对比改造后的隔声降噪效果,在改造前后各选取一天(均为飞机起飞为主的多云天气),对表 1 中 1#和 2#测点进行 24 小时室内外噪声监测,结果如表 7 所示。

从隔声效果来看,改造后的隔声量在 29.9 dB(A)~37.1 dB(A)之间,比改造前提高了 4.7 dB(A)~8.7 dB(A)。从测试结果来看,改造后住宅室内声环

表 5 隔声门窗改造汇总表

种类	位置	排数	通风方式	开启方式	玻璃类型/备注
外窗	起居室/阳台	双排	消声通道自然通风	内推拉/外推拉	内排 8 mm 单层安全玻璃;外排双层夹胶玻璃
	卧室	双排	消声通道自然通风	内推拉/外平开	内排 8 mm 单层安全玻璃;外排双层夹胶玻璃
	厨房	靠外墙窗	双排	消声通道自然通风	外平开/内推拉
	卫生间	靠外墙窗	双排	消声通道自然通风	外平开/内推拉
	厨房	靠走道窗	单排	/	上悬
	卫生间	靠走道窗	单排	/	上悬
	公共走道	单排	/	平开	三层中空夹胶玻璃
入户门	入户门	单扇	/	内/外平开	钢制隔声防盗门(有门槛)

境已经达标。

改造后建筑外立面、小区整体环境均有较大改善,改造前后效果如图2、图3所示。



图2 改造前住宅建筑情况



图3 改造后住宅建筑效果

### 3.2 后评估分析

为进一步了解改造工程的隔声效果、适用性、耐久性、舒适性,本文对既有住宅建筑降噪隔声改造项目进行系统和科学的POE使用后评估。评估的内容包括社区的整体环境质量、改造后室内外声环境、居住舒适度、隔声门窗使用情况、改造后阳台的使用情况以及居民针对隔声改造工程的意见与建议等7个方面。通过24小时噪声监测、居民问卷调查、入户访谈以及技术座谈会等方式,了解到86.5%居民认为改造后小区噪声情况改善效果明显;90.5%居民认为改造后关窗时室内噪声情况改善效果显著。

综观各项评价标准可知,该住宅隔声改造工程的综合效果较好,住宅室内声环境较改造前有明显改善,居民的居住舒适度得到了一定程度的提升。

## 4 结 语

目前飞机噪声污染问题日益严峻,机场周边需重点改造的既有住宅数量不断上升,既有住宅改造的工作迫在眉睫。本文结合机场周边需重点改造的既有住宅建筑特点及飞机噪声对既有住宅建筑声环境影响的特点,从建筑降噪隔声改造的噪声被动控制角度出发,综合考虑住宅室内声环境要求及建筑结构安全性,分析了机场周边既有住宅建筑降噪隔声改造的流程及关键技术,包括门窗隔声性能试验及选型、阳台加固、小区综合环境治理等,并将研究成果应用于实际工程中。通过改造和小区的综合治理,室内噪声满足噪声质量评价标准的要求,小区综合品质也得到了提升,可见本文所提出的隔声改造方案具有可行性和适用性,噪声控制方法可改善居民的居住环境和舒适度,对今后既有住宅降噪隔声改造具有一定参考价值。

#### 参考文献:

- [1] 中华人民共和国环境保护部. 2017年中国环境噪声污染防治报告[R].
- [2] 张青,闫国华,方括. 机场附近的噪声环境和住宅的隔声改造[J]. **振动与噪声控制**, 2011, 31(2): 75-80.
- [3] 中国民用航空局. 2016年民航机场生产统计公报[R]. <http://www.caac.gov.cn>.
- [4] CCAR-170CA 民用航空运输机场选址规定[S]. 1997.
- [5] 李冉. 机场航空噪声预测及其影响因素研究[D]. 天津: 中国民航大学, 2008.
- [6] GB 50118-2010 民用建筑隔声设计规范 [S], 2010.
- [7] GB/T8485-2008 建筑外窗空气隔声性能分级及检测方法 [S]. 2008.

表6 阳台加固方式示意图

阳台形式	加固方式
外挑梁阳台	采用增大截面法加固原阳台挑梁,根据计算需要加固原阳台栏板
板式阳台	采用板底加腋加固原阳台板,增大原阳台板根部截面计算高度,提高原悬挑板的承载力

表7 改造前后各测点昼夜间平均 $L_{Aeq}$ 结果比较/dB

因子	测量时间		测点位置					
			1#测点			2#测点		
	日期	时段	室外	室内	声级差	室外	室内	声级差
$L_{Aeq}$	改造前	昼间	67.1	42.8	24.3	69.0	37.4	31.6
		夜间	55.5	31.8	23.7	57.6	28.8	28.8
	改造后	昼间	66.2	36.3	29.9	67.7	30.6	37.1
		夜间	59.0	26.6	32.4	58.7	25.3	33.4