隔声窗隔声性能的现场监测方法及效果初探

张迪生，陈潇江
（南京市环境监测中心站，江苏　南京　210013）

摘　要：采用隔声窗作为典型道路的交通噪声控制措施，探索隔声性能的现场监测方法。分别选取真空玻璃窗与中空玻璃窗进行监测，两种隔声窗对交通噪声 1 000 Hz 和 2 000 Hz 两个倍频带的隔声量最大，真空玻璃隔声窗对 500 Hz 倍频带及以下的噪声比中空玻璃隔声窗更有效，如果采用两种隔声窗进行组合，在全频带的隔声量达到 25 dB。

关键词：隔声窗；中空玻璃；真空玻璃；隔声量；噪声监测
中图分类号：X829　　**文献标识码**：A　　**文章编号**：1674－6732(2014)02－0025－05

The Preliminary Discussion of Field Monitoring Method and Effect for Sound Insulation Properties of Sound Insulation Windows

ZHANG Di-sheng, CHEN Xiao-jiang
(*Nanjing Environmental Monitoring Central Station*, *Nanjing*, *Jiangsu* 210013, *China*)

Abstract: Using sound insulation windows as the traffic noise control measures for typical roads , the field monitoring method for the sound insulation property is established. The vacuum glazing and insulating glazing are selected for monitoring. The results show that the two kinds of windows are all most effective for 1 000 Hz to 2 000 Hz octave band frequency noise, while the vacuum glazing is more effective than insulating glazing for 1 000 Hz octave band frequency noise below. The sound reduction index to the full band frequency noise can reach 25 dB when using combination of sound insulation windows.

Key words: Sound insulation windows; Insulating glazing; Vacuum glazing; Sound reduction index; Noise monitoring

随着经济的迅猛发展，噪声作为一种新的环境污染公害，影响着市民的正常生活和身体健康，已成为市民当前反映的热点和焦点问题。据统计显示，在各类环境投诉案件中，噪声投诉占据首位，2012 年，南京市污染举报中心共接到各类污染投诉 23 665 件次，其中噪声投诉最多，占 74.7%[1]。而交通噪声作为一种非稳态、不连续的流动污染源，具有强度大、影响范围广的特点，已逐渐成为城市环境噪声的主要污染源，也成为环境噪声控制的难点。解决交通噪声投诉是提高市民满意率的基本措施，也是全面建设小康社会的重要基础。

文献[2]对交通噪声治理提供了相应对策。该技术政策规定了合理规划布局、噪声源控制、传声途径噪声削减、敏感建筑物噪声防护、加强交通噪声管理 5 个方面的地面交通噪声污染防治技术原则与方法。目前，普遍采用了低噪声路面、绿化带、声屏障、隔声窗等手段进行控制，在这些手段中，低噪声路面属于对噪声源进行控制，绿化带和声屏障属于在传声途径上进行噪声削减，隔声窗属于对敏感建筑物的噪声防护。文献[3]显示低噪声路面投资较低，但降噪效果为 3～8 dB；双侧式声屏障降噪量为 10～20 dB，但投资较高，尤其是全封闭声屏障，单分贝投资为 7.7～22.7万元；绿化带降噪对于土地紧缺的城市而言其适用范围较小。而隔声窗作为对敏感目标的最后一道防护措施，其耐腐蚀性、综合性能高，且安装方便，其使用范围逐步扩大。对于隔声窗的隔声性能，目前尚缺乏现场监测的技术规范和要求，因此有必要对其在实际使用过程中的现场监测方法进行探讨。

1　隔声窗物理特性介绍

隔声窗是由双层或三层同质地和不同厚度的隔声玻璃与窗框组成，隔声玻璃使用夹 PVB 膜经

收稿日期：2014－01－21

作者简介：张迪生（1971—），男，高级工程师，本科，从事环境监测工作。

高温高压牢固粘结而成的玻璃窗[4]。另外在窗架内填充吸声材料,有效地吸收了透明玻璃的声波,使各频段噪声有效地得到隔离。隔声玻璃通常选用中空玻璃、真空玻璃、夹胶玻璃、聚酯玻璃等,研究选用真空玻璃与中空玻璃进行对比。

中空玻璃是将两片或多片玻璃以有效支撑均匀隔开并周边粘结密封,使玻璃层间形成有干燥气体空间的玻璃制品。其主要材料是玻璃、铝间隔条、弯角栓、丁基橡胶、聚硫胶、干燥剂。中空玻璃作为建筑节能材料,因其具有良好的隔热和隔声性能而被广泛应用,同时对中空玻璃的质量要求越来越高。目前,中空玻璃最大的质量问题在于使用中空气层结露,而空气层结露的原因就是空气层的露点在使用过程中升高了。因此控制中空玻璃的露点是控制中空玻璃质量的关键。

真空玻璃作为新一代节能玻璃,具有比中空玻璃更好的隔热、保温性能。真空玻璃基于保温瓶的原理,将两片平板玻璃四周密封起来,将其间隙抽成真空并密封排气口。两片玻璃之间的间隙为 0.1 ~0.2 mm。为使玻璃在真空状态下承受大气压力的作用,两片玻璃板之间放有支撑物,支撑物非常小,不会影响玻璃的透光性,真空玻璃与中空玻璃的结构比较见表 1。

真空玻璃比中空玻璃薄,最薄只有 6 mm,现有住宅窗框原封不动即可安装。由于真空玻璃薄、轻,可以减少窗框材料,减轻窗户的整体重量。

表 1　真空玻璃与中空玻璃结构比较

名称	间隙层	空隙尺寸/mm	四周密封方式	总厚度/mm
真空玻璃	真空	0.1 ~0.2	玻璃熔封	最薄 6
中空玻璃	空气或氩气	6 ~8	树脂胶黏剂	最薄 12

真空玻璃是新一代的节能玻璃,其保温隔热性能是中空玻璃的 2 倍,是单片普通玻璃的 4 倍。真空玻璃与中空玻璃隔热性能比较见表 2。真空玻璃热阻高,与中空玻璃相比,具有更好的防结露性能,真空玻璃与中空玻璃防结露性能的比较见表 3。在相同湿度条件下,真空玻璃的结露温度更低,这对严寒地区冬天的采光极为有利,而且真空玻璃不会发生像中空玻璃常发生的“内结露”问题。“内结露”是中空玻璃因间隔内含有水气,在较低温度下结露而产生,根本无法去除,严重影响视觉和采光。

表 2　真空玻璃与中空玻璃隔热性能比较

样品类别		厚度(玻璃 + 间隙 + 玻璃)/mm	热阻/($m^2 \cdot k \cdot W^{-1}$)	表现热阻率/($W \cdot m^{-2} \cdot k^{-1}$)	U 值/($W \cdot m^{-2} \cdot k^{-1}$)
真空玻璃	普通型	3 + 0.1 + 3 ≈ 6	0.188 5	0.031 5	2.921
	单面低辐射膜	4 + 0.1 + 4 ≈ 8	0.451 2	0.015 5	1.653
	双面低辐射膜	4 + 0.1 + 4 ≈ 8	0.655 3	0.011 2	1.230
中空玻璃	普通型(1)	3 + 6 + 3 ≈ 12	0.107 1	0.112 0	3.833
	普通型(2)	3 + 12 + 3 ≈ 18	0.133 3	0.135 0	3.483
	单面低辐射膜(e = 0.23)	6 + 12 + 6 ≈ 24	0.321 9	0.074 6	2.102

表 3　真空玻璃与中空玻璃防结露性能的比较①

样品类别	厚度(玻璃 + 间隙 + 玻璃)/mm	室外气温(结露温度)/℃		
		室内湿度 60%	室内湿度 70%	室内湿度 80%
真空玻璃	3 + 0.1 + 3 ≈ 6	-21	-8	2
中空玻璃	3 + 6 + 3 ≈ 12	-1	-5	11

①室温 20℃,室内自然对流,户外风速 3.5 m/s。真空玻璃一面为低辐射玻璃。

2　隔声窗隔声性能的现场监测方法

考虑对城区沿街建筑物安装隔声窗后的隔声量进行监测。对于隔声窗隔声量的监测,现有国家标准采用的是实验室(利用相邻混响室)法[5],现场监测中虽然有使用扬声器法进行监测的先例[6],但操作较为复杂,且无法代表实际交通噪声的情况。针对这个问题,采用类似声屏障插入损失的方法[7],选取沿街开窗的建筑物顶楼某户安装隔声窗,在室内距离外窗 1 m 和窗外与隔声窗相连的外墙体上方 1.5 m 处分别布点,室内点作为受声点,室外点作为参考点,分别在开窗和关窗条件下

测量,如图 1 所示。隔声量 Rw 为:

$$Rw = (L_{ref,a} - L_{ref,b}) - (L_{r,a} - L_{r,b})$$

式中:$L_{ref,b}$——在窗外墙体上方 1.5 m 参考点处测量的开窗时的声级;$L_{r,b}$——在室内离窗 1 m 受声点处测量的开窗时的声级;$L_{ref,a}$——在窗外墙体上方 1.5 m 参考点处测量的关窗时的声级;$L_{r,a}$——在室内离窗 1 m 受声点处测量的关窗时的声级。

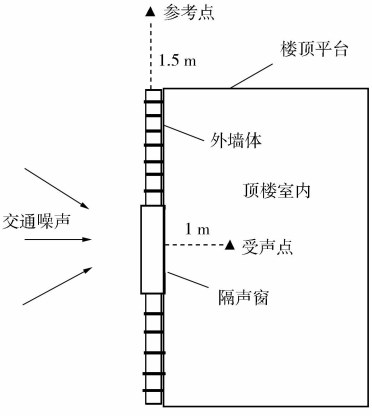

图 1　隔声窗隔声性能的现场测量方法

测量数据应包括连续等效 A 声级、各倍频带声压级,使用 2 台 1 型频谱仪分别在开窗和关窗情况下进行实时测量。计算出相应的 A 计权隔声量和倍频带隔声量。

测量时段及频次与声屏障监测相同,昼间监测 3 次,每次 20 min,1d。地点选择车流量平稳较大的路边建筑,且周围其他噪声干扰较小。

在室内测量时,将其他门窗关闭,关闭室内可能产生干扰的其他声源。

3　隔声窗隔声性能现状分析

实际监测选择的路段为南京市扬子江大道沿路居民楼顶楼卧室外一处,该处道路两侧受交通噪声污染。对居民生活造成一定程度的影响,该次试验采用的隔声窗型号为复合玻璃隔声窗(VA - 60 型),采用了真空玻璃和塑钢框架材料,为了进行对比,将其与普通中空玻璃隔声性能进行对比。分别作了无窗户遮挡、有中空玻璃遮挡、有真空玻璃遮挡、组合窗遮挡 4 种试验。

各类隔声窗现场监测结果见表 4 - 7。

将表 4 - 7 监测结果带入隔声窗隔声量公式进行计算,可得到各种隔声窗在遮挡情况下的交通噪声隔声情况,如表 8 所示。为了分析其隔声性能,将以上数据绘制成图 2 和图 3 加以分析。

表 4　无窗户遮挡下交通噪声监测结果　　dB

监测点位	频次	63Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 000 Hz	2 000 Hz	4 000 Hz	L_{Aeq}
室外参考点	①	70.4	61.7	60.8	60.9	62.2	58.4	52.9	65.6
室内受声点		56.9	53.4	52.2	49.9	50.4	46.5	38.3	54.0
室外参考点	②	70.8	62.0	62.8	61.2	62.4	59.1	50.8	65.9
室内受声点		57.2	54.5	55.6	50.2	51.0	47.6	39.3	54.9
室外参考点	③	74.2	66.4	63.9	61.9	62.5	58.8	50.5	66.2
室内受声点		57.2	57.0	56.0	50.9	50.9	47.4	38.8	55.1
室外参考点	均值	71.8	63.4	62.5	61.3	62.4	58.8	51.4	65.9
室内受声点		57.1	55.0	54.6	50.3	50.8	47.2	38.8	54.7

表 5　中空玻璃窗遮挡下交通噪声监测结果　　dB

监测点位	频次	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 000 Hz	2 000 Hz	4 000 Hz	L_{Aeq}
室外参考点	①	70.6	64.2	62.9	60.8	62.4	58.8	50.8	65.8
室内受声点		46.2	42.3	41.8	32.7	29.7	22.4	19.9	36.4
室外参考点	②	70.1	63.1	63.2	61.7	62.4	59.1	51.1	66.1
室内受声点		45.3	41.3	39.3	31.8	29.7	23.3	18.8	35.2
室外参考点	③	71.3	62.9	61.6	61.8	63.1	59.6	51.5	66.5
室内受声点		47.4	43.2	44.4	35.6	31.0	24.1	22.2	38.7
室外参考点	均值	70.7	63.4	62.6	61.4	62.6	59.2	51.1	66.1
室内受声点		46.3	42.3	41.8	33.4	30.1	23.3	20.3	36.8

表 6　真空玻璃窗遮挡下交通噪声监测结果　　dB

监测点位	频次	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 000 Hz	2 000 Hz	4 000 Hz	L_{Aeq}
室外参考点	①	75.6	66.4	61.7	61.6	62.5	58.6	50.4	65.9
室内受声点		44.4	40.7	36.6	33.3	28.7	24.8	20.9	35.1
室外参考点	②	72.5	63.8	62.9	62.1	62.2	58.9	51.6	66.0
室内受声点		45.2	38.7	35.5	31.7	26.8	23.4	19.4	33.5
室外参考点	③	72.2	64.8	62.9	62.7	62.8	59.9	52.2	66.7
室内受声点		42.9	39.9	34.7	31.5	27.1	23.6	19.5	33.5
室外参考点	均值	73.4	65.0	62.5	62.1	62.5	59.1	51.4	66.2
室内受声点		44.2	39.8	35.6	32.2	27.5	23.9	19.9	34.0

表 7　组合窗遮挡下交通噪声监测结果　　dB

监测点位	频次	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 000 Hz	2 000 Hz	4 000 Hz	L_{Aeq}
室外参考点	①	73.8	66.2	65.1	63.7	63.1	59.6	51.6	67.0
室内受声点		43.0	36.8	33.6	29.3	22.4	18.2	17.0	30.7
室外参考点	②	69.4	62.2	61.9	62.7	63.4	60.6	52.3	67.1
室内受声点		40.0	35.9	31.5	29.1	24.0	19.8	17.3	30.6
室外参考点	③	72.0	62.3	62.0	61.4	62.3	58.8	50.5	65.7
室内受声点		40.1	34.6	30.2	27.8	22.3	18.9	17.7	29.4
室外参考点	均值	71.7	63.6	63.0	62.6	62.9	59.7	51.5	66.6
室内受声点		41.0	35.8	31.8	28.7	22.9	19.0	17.3	30.2

表 8　各种隔声窗遮挡情况下交通噪声隔声计算结果　　dB

隔声窗类型	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 000 Hz	2 000 Hz	4 000 Hz	L_{Aeq}
中空玻璃窗遮挡	9.7	12.7	12.9	17.0	20.9	24.3	18.2	18.1
真空玻璃窗遮挡	14.5	16.8	19.0	18.9	23.4	23.6	18.9	21.0
双层玻璃窗同时遮挡	16.0	19.4	23.3	22.9	28.4	29.1	21.6	25.2

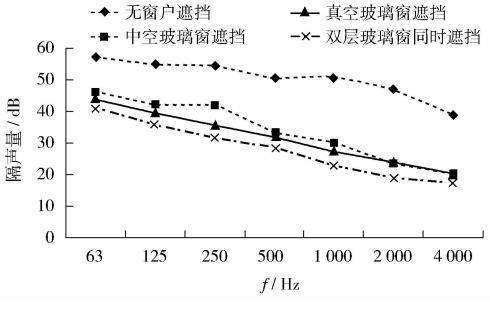

图 2　室内受声点各种情况下声级值

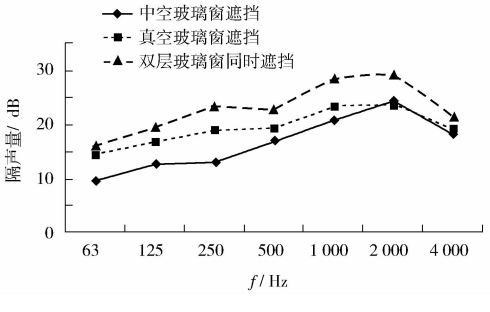

图 3　各种隔声窗遮挡下隔声量情况

由图 2 和图 3 可以得出，交通噪声的主要频率范围在 63 ~ 1 000 Hz 倍频带之间的中低频；两种隔声窗对交通噪声 63 ~ 4 000 Hz 全频段范围内隔声均有显著效果，其中在 1 000 Hz 和 2 000 Hz 2 个倍频带隔声量最大，中空隔声窗所使用的中空玻璃存在的主要缺陷是低频共振低谷和高频吻合谷现象造成漏声而影响其隔声效果。然而城市噪声污染主要是交通噪声，噪声能量主要在低频，采用真空玻璃后，对于 500 Hz 倍频带以下的噪声比中空玻璃隔声更有效，各频带隔声量增加了 4 ~ 7 dB。这表明真空玻璃解决了普通中空玻璃普遍存在的低频共振低谷现象。而对于 2 000 Hz 倍频带以上的噪声，其改进有限。若采用组合隔声窗进行遮挡后，在全频带的隔声量达到 25 dB，能够为房间内提供一个良好的生活环境。

4　结论

（1）对于典型交通噪声的控制，采用隔声窗作为对敏感目标的最后一道防护措施，其耐腐蚀性、综合性能高，且安装方便，其使用范围逐步扩大。

对于隔声窗隔声性能现场监测,采用类似声屏障插入损失的方法建立参考点及受声点,监测方便易行,具有实用性及可操作性。

(2)该研究选取真空玻璃及中空玻璃隔声窗进行对比,真空玻璃保温隔热性能良好,适合家庭生活环境。监测结果表明:采用真空玻璃后,对于500 Hz 倍频带以下的噪声比中空玻璃隔声更有效,各频带隔声量增加了 4 ~7 dB,解决了普通中空玻璃普遍存在的低频共振低谷现象;若采用组合隔声窗进行遮挡后,在全频带的隔声量达到25 dB,能够为房间内提供一个良好的生活环境。

(3)对交通噪声的控制,应当因地制宜,首先应尽量考虑从源头控制,改进汽车降噪工艺,降低声源噪声。交通规划应当与声环境保护规划相协调,通过合理构建交通网络,提高交通效率,总体减轻地面交通噪声对周围环境的影响,隔声窗虽然能够改善室内声环境,但其室外声环境质量无法改变,不能解决噪声污染的根源问题。

(4)根据文献[5]的要求,隔声窗隔声性能级数分为 6 级,实验室测量结果的分级指标值在 20 ~45 dB。研究采用现场监测方法,利用交通噪声作为自然声源,采用真空玻璃的隔声量为21 dB,中空与真空玻璃组合隔声量也仅为 25 dB。因此,应当针对交通噪声的频谱特性,加强对隔声窗研制的选性研究,使其在实际使用过程中能体现预期要求。

[参考文献]

[1] 南京市环境质量报告书(2012 年度)[R]. 2012:96 - 97.

[2] 环境保护部. 地面交通噪声污染防治技术政策[Z]. 2010.

[3] 储益萍. 道路交通噪声控制措施的技术、经济比较分析 [J]. 环境污染与防治,2011(5):107 - 110.

[4] 王公玉. 浅谈民用隔声窗的研制[J]. 黑龙江环境通报,2013(3):84 - 87.

[5] GB/T 8485 - 2008　建筑门窗空气声隔声性能分级及检测方法[S].

[6] 陈卫松,邱小军,刘嘉俊. 隔声现场测量的扬声器声源法改进[J]. 噪声与振动控制,2007(3):138 - 144.

[7] HJ/T 90 - 2004　声屏障声学设计和测量规范 [S].

(上接第 20 页)

对实验室间比对结果的分析需要选用合适的统计方法,要考虑样品的均匀性、稳定性、保存时间、保存条件、交接状态、样品基体和待测组分特点等。该次比对的检测项目为苯系物,属易挥发组分,样品在发放和接收过程中均处于常温环境下,未冷藏保存,且比对实施的时间距离样品定值的时间较长,所以最好不采用以参考值为公议值的误差系数法。

统计方法的选择同时与实验室比对的目的和实施过程有关。若比对目的为检验行业或领域内实验室结果的可比性和整体偏离程度,宜采用以中位值为公议值的统计方法。而误差系数法更适用于对某个实验室的定值考核、认证检查中。

稳健统计法是实验室间比对或其他能力验证活动的国际通用的统计方法,这种方法给予极端值较低的权重,在计算参量时将极端值的影响降到最低,统计结果更为合理,尤其适用于参加实验室数量较多的情况。

[参考文献]

[1] 王清华,陈丹青. 基于实际水样的实验室间比对结果评价与分析[J]. 科技资讯,2012(6):64 - 65.

[2] 赵馨,李业鹏,常迪,等. 2006 年全国省级疾控中心食品中铅、砷含量实验室间比对结果分析[J]. 中国卫生检验杂志,2008,18(1):10 - 11.

[3] 邱跃龙,姬中华,周映,等. 铝合金中 Si、Fe 含量测定的实验室间比对结果分析[J]. 中国无机分析化学,2011(2):66 - 69.

[4] 王卫华,卢晓华,徐锐锋,等. 酱油中 3 - 氯 - 1,2 - 丙二醇检测实验室间比对分析[J]. 化学分析计量,2012,21(5):89 - 91.

[5] 甘露,王苏明. 生态地球化学调查评价形态分析实验室间比对试验结果分析[J]. 中国环境监测,2011,27(4):9 - 15.

[6] 董芳. 实验室间比对结果统计处理采用方法的比较分析[J]. 现代测量与实验室管理,2009(4):57 - 59.

[7] 邢小茹,马小爽,田文,等. 实验室间比对能力验证中的两种稳健统计技术探讨[J]. 中国环境监测,2011,27(4):4 - 8.

[8] 中国合格评定国家认可委员会. CNAS - GL02:2006 能力验证结果的统计处理和能力评价指南[S].

[9] 王承忠. 实验室间比对的能力验证及稳健统计技术[J]. 理化检验 - 物理分册,2004,40(11):589 - 596.

[10] 宋国强,施敏芳,李可芳,等. 用有证标准样品进行能力验证的方法探讨[J]. 环境科学与技术,2004,27(6):42 - 43.