

不同测量表面对喷射虹吸式坐便器冲洗 噪声测试的影响

李文杰¹, 王 博², 章雪松³

(1. 唐山出入境检验检疫局国家陶瓷检测重点实验室, 河北唐山 063000;
2. 咸阳陶瓷研究设计院, 陕西咸阳 712000; 3. 惠达卫浴股份有限公司, 河北唐山 063000)

摘要:以喷射虹吸式陶瓷坐便器为研究对象,按照国标 GB/T 3768—1996《声学 声压法测定噪声源声功率级 反射面上方采用包络测量表面的简易法》规定的声学通用性导则,依据包络声源测试原理,探索建立了平行六面体和半球测量表面两种声学监测数学模型,制定了测量表面、测点阵列、测试参数、测试环境、测试步骤、安装条件、仪器设备、数据处理和不确定度评定等一系列关键技术内容;并采用单因素方差分析法,考察了在上述两种测量表面条件下同一坐便器声源样品冲洗噪声测量结果之间的离散性差异程度。研究表明,当显著性差异水平为 5%时,按照平行六面体及半球测量表面法对 5 件陶瓷坐便器样品进行连续 3 次冲洗噪声测定后,每件样品的 6 个平均声压级及声功率级测量结果间均无显著性差异。

关键词:测量表面;喷射虹吸式坐便器;冲洗噪声;测试;

中图分类号:TB53

文献标识码:A

文章编号:1000-3630(2016)-06-0550-013

DOI 编码:10.16300/j.cnki.1000-3630.2016.06.012

Study of the influence of different measuring surfaces on the flushing noise measurement of jet siphon toilet

LI Wen-jie¹, WANG Bo², ZHANG Xue-song¹

(1. State Key Ceramics Testing Laboratory of Tangshan Entry-exit Inspection & Quarantine Bureau, Tangshan 063000, Hebei, China;
2. Xianyang Research and Design Institute of Ceramics, Xianyang 712000, Shaanxi, China;
3. Hui Da Sanitary Ware Co., LTD, Tangshan 063000, Hebei, China)

Abstract: In this paper, the ceramic jet siphon toilet is taken as the research object, and based on the Chinese standard – GB/T 3768-1996《Acoustics-Determination of sound power level of noise sources using sound pressure-Survey method using an enveloping measurement surface over a reflecting plane》, two acoustic monitoring mathematical models for parallelepiped and hemisphere measuring surfaces are established according to the enveloping sound source testing principle, and a series of key technical contents, such as measuring surface, measuring point array, test parameters, test environment, testing procedure, installation conditions, instrumentation, data processing and uncertainty evaluation are specified. The single factor variance analysis method is used to study the uniformity of the test results for the above two different measuring surfaces of the same toilet sample. After 3 times successively measuring flushing noise for 5 ceramic toilet samples with the parallelepiped and hemisphere measuring surface methods, it is verified that when the significant difference level of data analysis is 5%, there are no significant differences between 6 test results of average sound pressure level and sound power level for each sample.

Key words: measuring surface; jet siphon toilet; flushing noise testing; influence;

0 引 言

中国陶瓷生产历史悠久,其中卫生陶瓷产量约占世界同类产品总量的 40%,为举世公认的卫生陶

瓷生产和消费大国。近年来,为加速转型升级步伐,众多优势企业纷纷将“超静音”系列坐便器的研制作为实现产品差异化的主攻方向,低噪音坐便器不断推陈出新。但由于种种原因,目前国内关于小管径流体动力性噪声测试方面的理论研究和实验探索相对滞后,国标 GB 6952—2005《卫生陶瓷》^[1]仅规定了坐便器冲洗噪声的限值要求,其他现有文献资料多属一般性问题探讨,相关专题性研究罕见。由于缺乏具体适用的测试技术规范,导致检测机构在测试方法步骤、结果数据处理等方面随意性

收稿日期:2015-12-10;修回日期:2016-03-22

基金项目:国家质检总局 2015 年度科技计划项目(2015IK095)

作者简介:李文杰(1972—),女,河北唐山人,硕士,工程师,主要从事陶瓷理化性能检测技术研究。

通讯作者:王博, E-mail: hebeitsh.li@163.com。

大、可比性差。本文针对图 1 所示的喷射虹吸式坐便器冲洗噪声的产生机理, 以噪音检测通用性导则 GB/T3768—1996《声学声压法测定噪声源功率级反射面上方采用包络测量表面的简易法》^[2]作为理论基础, 探索建立适用的声学监测数学模型, 科学设计声源选取、测点定位、设备选型、测试步骤、结果计算等一系列关键技术环节, 通过实验验证在平行六面体和半球两种不同测量表面条件下, 坐便器冲洗噪声测试结果之间的差异程度, 有效评价相关测试方法的科学性和规范性。

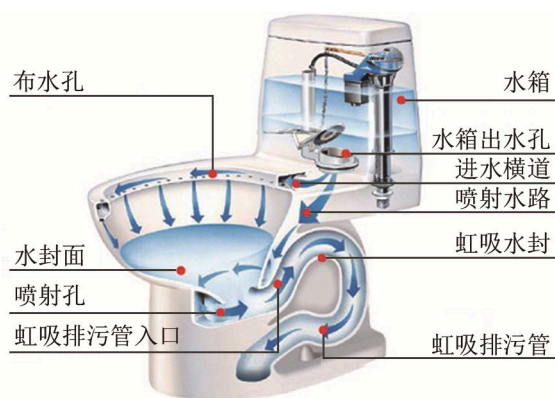


图 1 喷射虹吸式坐便器工作原理图

Fig.1 The working principle diagram of injection siphon toilet

1 实验部分

1.1 测试参数

鉴于噪声的非连续特征, 为正确反映其对心理和生理的影响, 实验采取 A 计权的时间平均声压级 $L_{peq,T}$ 为坐便器冲洗噪声的主观评价参数^[3]。根据产品标准 GB 6952—2005《卫生陶瓷》第 6.4 款规定“冲洗噪声的累计百分数声级 L_{50} 应不超过 55 dB, 累计百分数声级 L_{10} 应不超过 65 dB”, 故本文分别以 L_{50} 和 L_{10} 作为测试参数。

1.2 测试环境

实验在图 2 所示半消音室内进行, 其可用空间尺寸为 430 cm×400 cm×260 cm, 瓷砖地面为单一反射面, 室内除配备进水软管、冲洗阀和配套管道外再无其他固定设施; 能够提供测试频率范围为 125~8000 Hz 的近似自由场环境。测量时空气温度范围为(23±1)℃, 相对湿度为(75±10)%, 大气压为(1.013×10⁵±2%) Pa。在 125 Hz 的声波截止频率条件下, 室内 5 个吸声尖劈表面的法向吸声系数高于 0.99; 瓷砖地面反射系数大于 95%, 其反平方律性能偏差满足国际标准 ISO 3745 的要求^[4]。



图 2 半消音室结构示意图

Fig.2 Schematic diagram of the semi-anechoic room structure

1.3 测试设备

实验采用日本理音公司生产、经计量检定合格可测量等效连续声压 L_{eq} 的 NA-28 精密噪音分析仪进行声音信号采集, 设备性能符合标准 IEC 804 中有关 2 型积分声级计的规定^[5], 所用滤波器满足国标 GB 3241 要求^[6]; 其中噪音分析仪前置放大器的灵敏度为(-27±2) dB、A 加权线性操作量程为 25~130 dB、测量频率量程为 10 Hz~20 kHz、采样周期为 15.6 ms。

1.4 声源样品选取及工作条件

为有效验证坐便器陶瓷样品本身的冲洗噪声量值范围, 本实验特选取 5 件由不同制造商提供的规格尺寸、内部结构、冲洗功能各异的分体落地式喷射虹吸坐便器作为待测声源样品, 并统一安装同一厂家生产的同款侧进水式水箱配件(样品结构和尺寸参见图 3)。使用与分体落地式坐便器样品配套的冲水装置将其按照正常使用状态安装在地面反射面的中心位置, 确保连接后各接口无渗流。本实验 5 件坐便器样品的标称用水量均为 6 L, 噪声测试开始前按照产品说明将 1#~5#样品的水箱冲水装置调节至规定用水量, 即水箱工作水位标志线处; 然后冲水使便器水封充水至正常水位, 并按正常方式启动冲水装置, 完成一个冲水周期和水封回复。

1.5 声源基准体

为便于定位被测声源、测量表面及传声器的位置, 需借助三维坐标系统设定一个基准体, 其中 x 轴和 y 轴位于半消音室内单反射平面——地面, 并与基准体的长和宽平行。综合考虑喷射虹吸坐便器冲洗噪声的产生部位及声能强弱等方面因素, 确定以坐便器的水平长度作为声源基准体长度 l_1 , 以坐便器座圈的水平宽度为声源基准体宽度 l_2 , 以水箱工作水位线至坐便器排污口的距离作为基准体高度 l_3 。文中 1#~5#坐便器样品冲洗噪声源基准体的结

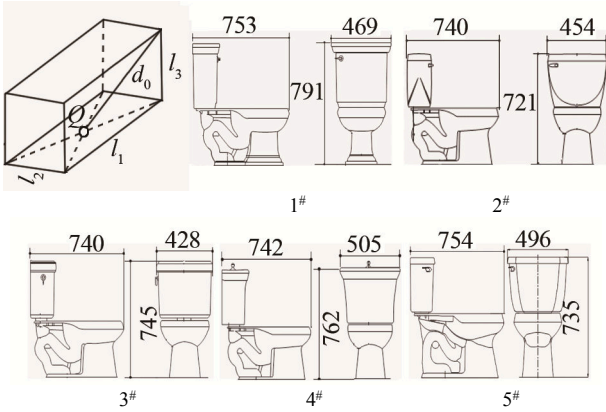


图3 坐便器冲洗噪声源基准体及1#~5#样品的结构尺寸示意图
Fig.3 Diagram of the structure and size of toilet flushing noise source (base body and sample 1#~5#)

构和尺寸详见图3,其中特定声源尺寸 $d_0=[(l_1/2)2+(l_2/2)2+l_3^2]^{1/2}$ 。

1.6 测量表面及测点坐标

1.6.1 平行六面体测量表面及传声器位置确定

依据标准 GB/T 3768—1996 要求选取与声源基准体外形相似、定位中心与包络待测声源的基准体中心重合的平行六面体作为测量表面;其是一个面积为 S 、包络声源、各边平行于基准体的边、与基准体距离为 d 的假想平面;由标准 GB/T 3768—1996 中 7.3 可知,测量距离 d 应优先选择 1 m。平行六面体测量表面上的传声器阵列如图 4 所示,其中 1、2、3、4 四个测点均匀地距离声源基准体外廓 1 m、距离反射面 $(l_3+d)/2$ m,并分布在通过声源基准体几何中心且平行于反射面的一个平面上,第五个测点 5 位于距声源基准体顶部中心 1 m 处;描述传声器位置的 x 轴和 y 轴同在水平反射面, z 轴垂直于该平面。五个基本传声器位置 1、2、3、4、5 在测量表面上以相等的面积连结;平行六面体假想测量表面面积为 $S=4(ab+ac+bc)$,其中 $a=0.5l_1+d$ 、 $b=0.5l_2+d$ 、 $c=l_3+d$,式中 l_1 、 l_2 、 l_3 分别为声源基准体的长、宽、高。

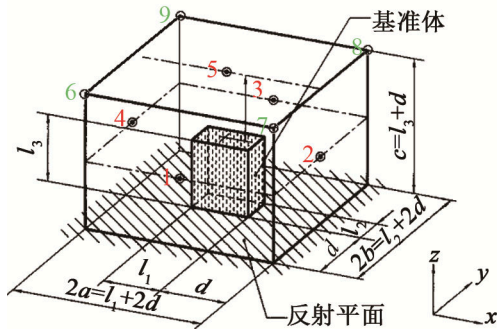


图4 平行六面体测量表面上的传声器阵列示意图
Fig.4 Diagram of the microphone array on the parallelepiped measuring surface

标准 GB/T 3768—1996 规定,当在基本传声器位置上测得的声压级数值范围(最高和最低声压级之差)超过测点数目的 2 倍或声源辐射噪声的指向性较强时,需在平行六面体测量表面上附加传声器位置。经实验验证,坐便器冲洗噪声源具备上述特征,故将图 4 中测点 5 所处顶平面的四个端点设定为附加测点 6、7、8、9,其中附加传声器位置在测量表面上以不等面积连结。上述九个测点共同构成平行六面体测量表面传声器阵列,其位置坐标如表 1 所示。

表1 平行六面体测量表面上基本传声器位置和附件传声器位置的坐标
Table 1 The location coordinates of basic microphone and additional microphone on the parallelepiped measuring surface

传声器位置	1	2	3	4	5	6	7	8	9
x	a	0	$-a$	0	0	a	$-a$	$-a$	a
y	0	b	0	$-b$	0	b	b	$-b$	$-b$
z	$c-1$	$c-1$	$c-1$	$c-1$	c	c	c	c	c

备注: 5 个基本传声器位置以等面积连结, 4 个附加传声器位置以不等面积连结。

1.6.2 半球测量表面及传声器位置的确定

在满足声学条件要求的半消音室环境中,采用测试距离相对较大的半球测量表面可有效避免由噪声源指向性所带来的影响^[7],其半球中心位于基准体及其在邻接反射面内的虚像所构成的箱体中心(图 3 中原点 Q),半球测量表面的半径 r 应大于或等于特性声源尺寸 d_0 的两倍且不小于 1 m;根据表 2 中 1#~5#坐便器样品冲洗噪声源基准体的 d_0 数值,将半球测量表面半径 r 设定为 2 m。因本实验只涉地面一个反射面,传声器位置所在的假想半球表面面积 $S=2\pi r^2$,半球表面上的测点位置如图 5 所示;其中 4 个基本传声器位置 i、j、k、l 在半径为 r 的半球表面上以相等的面积连结。通过将图 5 的原阵列绕 z 轴旋转 180° 增加了 4 个附加测点 m、n、o、p。因新阵列 z 轴上的顶点与原阵列的顶点重合,故上述 7 个测点共同构成半球测量表面传声器阵列,两种传声器位置的坐标详见表 2。

表2 半球测量表面上基本传声器位置和附加传声器位置的坐标
Table 2 The location coordinates of basic microphone and additional microphone on the hemisphere measuring surface

传声器位置	i	j	k	l	m	n	o	p
x/r	0.00	-0.45	0.45	-0.45	0.45	-0.89	0.89	0.00
y/r	0.00	-0.77	-0.77	0.77	0.77	0.00	0.00	0.00
z/r	1.00	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	1.00

备注: 顶点位置 i 和 p 重合

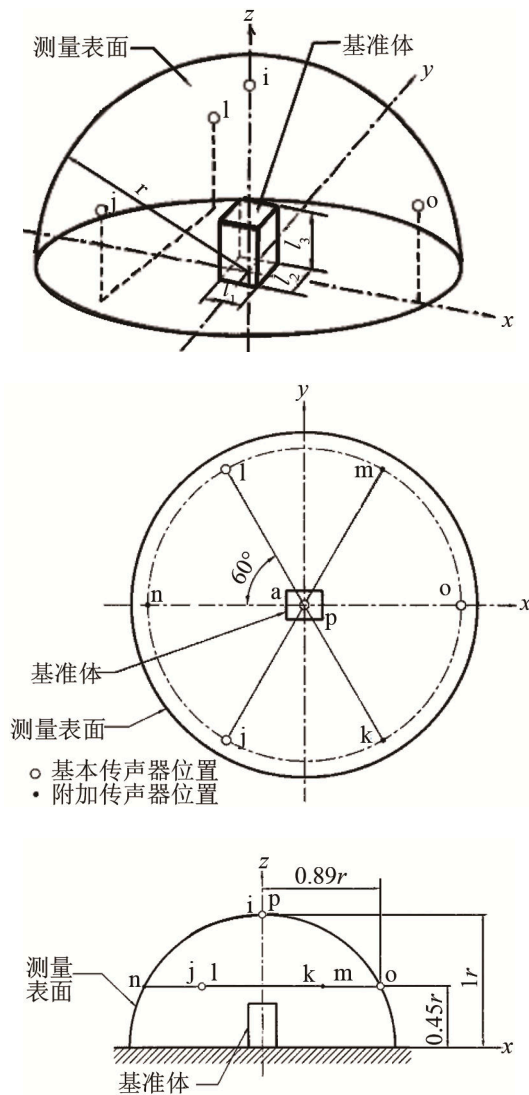


图5 半球测量表上传声器阵列示意图
Fig.5 Diagram of the microphone array on the hemisphere measuring surface

1.7 计算公式及结果修正

1.7.1 测量表面平均 A 计权声压级

基于测量表面上各传声器位置非均匀分布、占有面积不均等这一前提, 根据标准 GB/T 6882—2008《声学 声压法测定噪声源功率级 消声室和半消声室精密法》^[8]中 8.7.2.3 规定, 测量表面平均 A 计权声压级(dB)用式(1)计算:

$$\bar{L}'_{pA} = 10 \lg \left[\frac{1}{S} \sum_{i=1}^N S_i \times 10^{0.1L'_{pAi}} \right] \quad (1)$$

式中: $\bar{L}'_{pA}$ 为被测声源工作期间的测量表面平均 A 计权声压级(dB); L'_{pAi} 为在第 i 个传声器位置上测得的 A 计权声压级(dB); S_i 为第 i 个传声器位置在平行六面体上占有的面积(m^2); S 为测量平行六面体的总表面积(m^2); N 为传声器位置数目。

1.7.2 平均背景噪声 A 计权声压级

背景噪声来自被测声源之外所有其他声源, 包括环境空气噪声、结构传导振动、仪器自身电噪声等; 与测量表面平均 A 计权声压级同理, 测量表面平均背景噪声 A 计权声压级用式(2)计算:

$$\bar{L}''_{pA} = 10 \lg \left[\frac{1}{S} \sum_{i=1}^N S_i \times 10^{0.1L''_{pAi}} \right] \quad (2)$$

式中: $\bar{L}''_{pA}$ 为测量表面平均背景噪声 A 计权声压级(dB); L''_{pAi} 为在第 i 个传声器位置上测得的背景噪声 A 计权声压级(dB); S_i 为第 i 个传声器位置在平行六面体上占有的面积(m^2); S 为测量平行六面体的总表面积(m^2); N 为传声器位置数目。

1.7.3 背景噪声修正值 K_{1A}

为确保坐便器冲洗噪声检测结果的准确性, 消除背景噪声对表面声压级的影响, 特引入背景噪声修正值 K_{1A} , 其计算公式为式(3):

$$K_{1A}(\text{dB}) = -10 \lg(1 - 10^{-0.1\Delta L_A}) \quad (3)$$

式中: $\Delta L_A = \bar{L}'_{pA} - \bar{L}''_{pA}$,

1.7.4 测试环境修正值 K_{2A}

根据标准 GB/T 3768—1996 规定, 对于半消音室这一测试环境而言, 环境修正 K_{2A} 来自房间边界(墙、地板、天花板)或被测声源附近反射物声反射的影响, 其大小主要由测量表面面积 S 和测试房间吸声面积 A 之比决定, 与声源在测试房间内所处的位置关系不大, 计算公式为式(4):

$$K_{2A}(\text{dB}) = 10 \lg[l + 4(S/A)] \quad (4)$$

式中: A 为 1 kHz 频率上房间的等效吸声面积(m^2); S 为测量表面面积(m^2);

其中 A 值的计算公式为式(5):

$$A = \alpha \cdot S_v \quad (5)$$

式中: α 为房间表面的 A 计权平均吸声系数; S_v 为测试房间边界总面积(墙、地板、天花板)(m^2); 标准规定对于天花板和墙壁装饰有大量吸声材料的半消音室而言, 其表面 A 计权平均吸声系数 α 为 0.5。

经计算, 本实验所用半消音室的房间边界总面积 S_v 为 $430 \text{ cm} \times 400 \text{ cm} \times 2 + 430 \text{ cm} \times 260 \text{ cm} \times 2 + 400 \text{ cm} \times 260 \text{ cm} \times 2 = 77.56 \text{ m}^2$, 等效吸声面积 A 为 $77.56 \text{ m}^2 \times 0.5 = 38.78 \text{ m}^2$; 平行六面体测量表面法中与 1#~5#坐便器声源样品相对应的环境修正系数 K_{2A} 分别为 5.58、5.47、5.48、5.56 和 5.53 dB, 数值普遍大于 5.00 dB; 测试室等效吸声面积 A 与各样品测量表面面积 S 之比依次为 1.52、1.58、1.57、1.53、1.55, 其数值均大于 1。半球测量表面法中与 1#~5#坐便器声源样品相对应的环境修正系数 K_{2A} 均为 5.53

dB, $A/S=38.78/25.12=1.54>1$; 说明上述两种测量表面满足标准 GB/T 3768—1996 的要求, 能够用于坐便器冲洗噪声测试。

1.7.5 气象条件修正

依据标准 GB/T 6882—2008 规定, 在 23℃ 和 1.013×10^5 Pa 的参考气象条件下, 声源的声功率级 L_w 测试结果需附加 C_1 和 C_2 进行修正。其中

$$C_1 = -10 \lg \{B \div B_0 \times [313.15 \div (273.15 + \theta)]^{1/2}\} \quad (6)$$

$$C_2 = -15 \lg \{B \div B_0 \times [296.15 \div (273.15 + \theta)]^{1/2}\} \quad (7)$$

式中: B 为测量时的大气压, Pa; B_0 为参考大气压 1.013×10^5 (Pa); θ 为测量时的大气温度(℃); 式(7)在温度范围为 $15^\circ\text{C} \leq \theta \leq 30^\circ\text{C}$ 时使用。

因实验时的大气温度 $\theta=23^\circ\text{C}$, 故由式(6)和式(7)可计算出 $C_1=-0.13$ 、 $C_2=-0.01$ 。

1.7.6 A 计权表面声压级及声功率级的计算

表面声压级按式(8)计算:

$$\bar{L}_{PA} = \bar{L}'_{PA} - K_{1A} - K_{2A} \quad (8)$$

声功率级按式(9)计算:

$$L_{WA}(\text{dB}) = \bar{L}_{PA} + 10 \lg [S/S_0] + C_1 + C_2 \quad (9)$$

式中: $\bar{L}_{PA}$ 为 A 计权表面声压级; S 为测量表面的面积, m^2 ; S_0 为 1 m^2 。

1.7.7 指向性指数

根据国标 GB/T 14573.1—1993《声学 确定和检验机器设备规定的噪声辐射值的统计学方法 第一部分: 概述与定义》^[9], 以 dB 表示的声源的指向性指数按式(10)计算:

$$D_I = L_{PA} - \bar{L}_{PA} \quad (10)$$

式中: L_{PA} 为在所要计算 D_I 的特定方向上离声源距离 1 m 的声压级, dB; $\bar{L}_{PA}$ 为在以测量距离为 1 m 的测试平行六面体表面上的平均声压级, dB。

1.7.8 测量不确定度

L_w 测定方法的准确度考虑了测量过程中不确定度的累积效应, 可用再现性或重复性标准偏差表示; 标准 GB/T 3768—1996 规定在一定测量时间内对声压级进行积分处理后, 根据环境修正系数的量值范围, 辐射稳态窄带噪声源 A 计权声功率级的再现性标准偏差应等于或小于 3 dB ($K_{2A} < 5$ dB) 或 4 dB ($5 \text{ dB} \leq K_{2A} \leq 7 \text{ dB}$)。再现性标准偏差包括重复性标准偏差, 即对同一个噪声源在同一实验室、操作者及仪器设备等相同条件下, 短时间内重复应用相同的噪声辐射测量方法得到的标准偏差; 且坐便器冲洗噪声 A 计权声功率级的重复性标准偏差在理论

上应比再现性标准偏差小得多。

2 结果与讨论

2.1 测量方法

首先, 按照 1.4 要求安装 1#~5#坐便器声源样品, 分别采用分布在平行六面体及半球测量表面上固定传声器位置的阵列, 使用钢卷尺、直角尺和三脚架, 依据表 1、表 2 和图 3~图 5 对基本传声器位置和附件传声器位置进行测量和定位。然后, 由一名检测人员负责启动坐便器冲洗模式, 另一位检测人员则在测量表面各相邻位置处移动并操作传声器, 并以坐便器冲洗开始至进水终止即被测声源运行的一个完整周期作为测量时间间隔相继采集坐便器冲洗时输出的声频信号, 读取 1#~5#坐便器声源样品的 A 计权声压级时应注意使传声器取向与其校准时声波入射角相同, 且传声器应在测量表面上最靠近传声器的点上垂直指向测量表面。

2.2 结果计算

对 1#~5#组坐便器声源样品(其声源基准体尺寸及平行六面体、半球测量表面的面积如表 3 所示)各启动 21 次冲洗模式, 传声器在任一样品平行六面体的 5 个基本传声器、4 个附加传声器以及半球测量表面的 4 个基本传声器、3 个附加传声器坐标位置分别连续测量三次。因实验环境的 $\Delta L_A > 10$ dB, 故进行坐便器冲洗噪声测试时无需对背景噪声加以修正; 相关声学测量值及单因素多水平方差分析(F 检验)统计数据详见表 4~表 13。

表 3 基本传声器和附加传声器阵列对 1#~5#坐便器声源样品冲洗噪声的测量数据

Table 3 The flushing noise measurement data of sample 1#~5# obtained by basic microphone and additional microphone array

尺寸及参数	1#	2#	3#	4#	5#
l_1/mm	753	740	740	742	754
l_2/mm	469	454	428	505	498
l_3/mm	791	721	745	762	735
平行六面体					
d/m	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
a/m	1.38	1.37	1.37	1.37	1.38
b/m	1.23	1.23	1.21	1.25	1.25
c/m	1.79	1.72	1.75	1.76	1.74
S/m^2	25.50	24.60	24.69	25.36	25.10
半球					
d_0/m	0.91	0.84	0.86	0.88	0.86
r/m	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
S/m^2	25.12	25.12	25.12	25.12	25.12

表 4 1[#]~5[#]坐便器样品在积分时间为 10 s 时 $L'_{pA(10)}$ 测量值及 F 检验法统计结果(平行六面体测量表面法)

Table 4 The $L'_{pA(10)}$ measuring results and F test results of toilet sample 1[#]~5[#] when the integration time is 10 s using the parallelepiped measuring surface method

样品 编号	测点 位置	$L'_{pA(10)}$ /dB 三次测量值			F 检验法 ($\alpha=0.05$)
1 [#]	1	60.01	59.75	59.62	$F_{(\alpha,9,17)}=0.010$; $F_{(\text{查表值})}=2.494$
	2	55.43	54.85	56.11	
	3	52.29	54.02	53.51	
	4	55.37	55.25	56.24	
	5	66.98	67.25	66.72	
	6	58.31	58.43	57.92	
	7	54.56	55.43	54.64	
	8	55.12	55.17	53.87	
	9	58.68	58.62	57.95	
2 [#]	1	64.43	63.52	63.85	$F_{(\alpha,9,17)}=0.002$; $F_{(\text{查表值})}=2.494$
	2	59.51	58.67	60.05	
	3	56.14	57.53	57.22	
	4	59.45	60.02	59.84	
	5	71.41	70.63	71.87	
	6	62.61	62.12	62.03	
	7	58.56	58.92	58.51	
	8	59.15	58.66	57.68	
	9	63.02	63.34	62.06	
3 [#]	1	62.14	61.93	62.26	$F_{(\alpha,9,17)}=0.041$; $F_{(\text{查表值})}=2.494$
	2	57.49	56.95	58.67	
	3	54.31	56.12	56.01	
	4	57.43	57.36	58.81	
	5	69.21	69.55	69.53	
	6	60.41	60.58	61.22	
	7	56.61	57.54	57.16	
	8	57.18	57.29	56.47	
	9	60.79	61.13	60.55	
4 [#]	1	63.58	63.95	64.02	$F_{(\alpha,9,17)}=0.058$; $F_{(\text{查表值})}=2.494$
	2	58.92	58.97	59.21	
	3	55.73	56.06	56.42	
	4	58.86	59.33	60.43	
	5	70.67	71.66	71.34	
	6	61.85	62.59	62.27	
	7	58.04	59.51	58.89	
	8	58.61	59.24	58.09	
	9	62.23	62.79	63.29	
5 [#]	1	61.34	60.63	61.16	$F_{(\alpha,9,17)}=0.002$; $F_{(\text{查表值})}=2.494$
	2	56.77	55.81	57.64	
	3	53.69	54.97	55.08	
	4	56.71	56.59	57.20	
	5	68.25	69.02	68.48	
	6	59.65	59.33	58.86	
	7	55.94	56.37	56.24	
	8	56.49	56.12	55.44	
	9	60.02	59.52	59.49	

表 5 1[#]~5[#]坐便器样品在积分时间为 10 s 时 $L'_{pA(50)}$ 测量值及 F 检验法统计结果(平行六面体测量表面法)

Table 5 The $L'_{pA(50)}$ measuring results and F test results of toilet sample 1[#]~5[#] when the integration time is 10 s using the parallelepiped measuring surface method

样品 编号	测点 位置	$L'_{pA(50)}$ /dB 三次测量值			F 检验法 ($\alpha=0.05$)
1 [#]	1	44.21	42.75	43.52	$F_{(\alpha,9,17)}=0.052$; $F_{(\text{查表值})}=2.494$
	2	45.01	44.85	43.78	
	3	47.04	45.74	46.21	
	4	43.33	44.19	43.47	
	5	52.67	53.82	53.24	
	6	50.36	49.78	50.12	
	7	46.21	47.15	45.84	
	8	47.27	48.16	46.65	
	9	50.45	49.75	49.59	
2 [#]	1	47.46	45.45	46.61	$F_{(\alpha,9,17)}=0.098$; $F_{(\text{查表值})}=2.494$
	2	48.29	47.62	46.88	
	3	50.41	48.53	49.47	
	4	46.54	46.93	45.89	
	5	56.27	56.84	55.98	
	6	53.86	52.71	53.44	
	7	49.54	49.98	50.02	
	8	50.64	51.03	49.86	
	9	53.95	52.67	52.92	
3 [#]	1	45.77	44.39	45.43	$F_{(\alpha,9,17)}=0.002$; $F_{(\text{查表值})}=2.494$
	2	46.55	46.44	45.69	
	3	48.52	47.31	48.07	
	4	44.91	45.79	45.38	
	5	54.03	55.19	54.96	
	6	51.75	51.25	51.91	
	7	47.72	48.68	47.76	
	8	48.75	49.67	48.50	
	9	51.84	51.22	51.39	
4 [#]	1	46.84	45.76	46.73	$F_{(\alpha,9,17)}=0.002$; $F_{(\text{查表值})}=2.494$
	2	47.67	47.96	47.01	
	3	49.78	48.89	49.56	
	4	45.93	47.27	46.68	
	5	55.62	57.37	56.96	
	6	53.23	53.13	53.68	
	7	48.92	50.37	49.17	
	8	50.02	51.43	50.03	
	9	53.32	53.10	53.12	
5 [#]	1	45.19	43.38	44.64	$F_{(\alpha,9,17)}=0.048$; $F_{(\text{查表值})}=2.494$
	2	45.97	45.40	44.90	
	3	47.94	46.26	47.27	
	4	44.34	44.77	44.60	
	5	53.40	54.05	54.12	
	6	51.16	50.16	51.08	
	7	47.13	47.62	46.91	
	8	48.16	48.59	47.69	
	9	51.25	50.13	50.56	

表 6 1[#]~5[#]坐便器样品在积分时间为 10 s 时 $L''_{pA(10)}$ 测量值及 F 检验法统计结果(平行六面体测量表面法)

Table 6 The $L''_{pA(10)}$ measuring results and F test results of toilet sample 1 [#] ~5 [#] when the integration time is 10 s using the parallelepiped measuring surface method					
样品 编号	测点 位置	$L''_{pA(10)}$ /dB 三次测量值			F 检验法 ($\alpha=0.05$)
1 [#]	1	20.81	21.16	21.64	$F_{(\alpha,9,17)}=1.259$; $F_{(查表值)}=2.494$
	2	21.92	21.95	19.89	
	3	19.58	20.25	19.46	
	4	21.62	20.71	20.73	
	5	19.49	20.22	19.80	
	6	21.56	19.88	20.37	
	7	20.41	20.91	19.54	
	8	20.14	19.97	19.87	
	9	19.96	20.19	19.57	
2 [#]	1	19.83	19.68	20.73	$F_{(\alpha,9,17)}=0.336$; $F_{(查表值)}=2.494$
	2	20.29	19.27	20.36	
	3	20.42	21.05	20.22	
	4	19.54	19.27	20.16	
	5	20.61	21.15	21.17	
	6	19.44	19.67	21.52	
	7	20.54	21.06	20.16	
	8	19.71	20.18	19.81	
	9	21.64	20.53	19.87	
3 [#]	1	20.48	19.76	21.24	$F_{(\alpha,9,17)}=0.009$; $F_{(查表值)}=2.494$
	2	19.59	19.81	20.43	
	3	20.36	19.58	19.44	
	4	19.33	21.11	19.42	
	5	20.59	19.55	20.37	
	6	19.63	19.68	20.21	
	7	20.65	21.36	20.54	
	8	20.21	19.34	20.04	
	9	20.73	21.26	20.12	
4 [#]	1	19.56	19.49	20.37	$F_{(\alpha,9,17)}=0.298$; $F_{(查表值)}=2.494$
	2	19.75	20.75	20.53	
	3	20.67	20.14	20.01	
	4	20.11	19.72	21.51	
	5	20.13	20.29	19.72	
	6	20.36	19.58	19.44	
	7	21.33	19.61	19.42	
	8	19.59	21.55	20.37	
	9	19.39	21.89	19.61	
5 [#]	1	19.59	19.37	20.72	$F_{(\alpha,9,17)}=2.168$; $F_{(查表值)}=2.494$
	2	19.66	20.31	19.64	
	3	19.88	20.78	20.34	
	4	20.65	21.37	20.08	
	5	20.15	19.73	20.43	
	6	20.11	20.95	19.51	
	7	20.13	21.29	19.62	
	8	19.43	20.25	19.46	
	9	21.22	20.37	19.76	

表 7 1[#]~5[#]坐便器样品在积分时间为 10 s 时 $L''_{pA(50)}$ 测量值及 F 检验法统计结果(平行六面体测量表面法)

Table 7 The $L''_{pA(50)}$ measuring results and F test results of toilet sample 1 [#] ~5 [#] when the integration time is 10 s using the parallelepiped measuring surface method					
样品 编号	测点 位置	$L''_{pA(50)}$ /dB 三次测量值			F 检验法 ($\alpha=0.05$)
1 [#]	1	19.32	19.21	19.40	$F_{(\alpha,9,17)}=0.219$; $F_{(查表值)}=2.494$
	2	19.19	18.60	18.30	
	3	18.70	19.40	18.80	
	4	18.96	19.24	19.72	
	5	18.83	19.36	19.10	
	6	19.65	19.27	18.98	
	7	19.43	19.51	18.77	
	8	18.61	17.95	17.84	
	9	17.85	18.26	18.42	
2 [#]	1	19.39	19.53	18.41	$F_{(\alpha,9,17)}=1.454$; $F_{(查表值)}=2.494$
	2	18.59	19.56	18.88	
	3	17.97	19.12	18.21	
	4	19.11	18.31	17.91	
	5	17.85	19.23	19.39	
	6	18.47	18.39	19.17	
	7	17.95	18.76	18.76	
	8	18.34	18.76	19.20	
	9	19.30	19.07	19.16	
3 [#]	1	18.62	18.62	19.14	$F_{(\alpha,9,17)}=0.321$; $F_{(查表值)}=2.494$
	2	19.57	19.37	19.43	
	3	19.02	18.82	17.98	
	4	18.71	18.37	19.47	
	5	17.94	18.72	18.44	
	6	19.06	19.21	17.52	
	7	17.81	19.26	19.28	
	8	18.64	18.67	19.24	
	9	18.73	18.59	19.32	
4 [#]	1	19.32	18.64	18.75	$F_{(\alpha,9,17)}=0.583$; $F_{(查表值)}=2.494$
	2	18.74	19.12	18.52	
	3	19.21	17.79	19.12	
	4	17.96	18.81	19.02	
	5	17.81	19.26	19.28	
	6	19.02	18.82	17.98	
	7	18.71	19.37	19.47	
	8	17.94	18.72	19.44	
	9	19.57	19.37	19.18	
5 [#]	1	19.35	18.75	19.28	$F_{(\alpha,9,17)}=1.138$; $F_{(查表值)}=2.494$
	2	19.32	19.23	18.52	
	3	18.39	17.93	19.18	
	4	18.67	18.86	19.34	
	5	18.43	19.29	18.49	
	6	19.02	17.67	17.86	
	7	19.28	18.43	19.29	
	8	19.32	19.49	18.64	
	9	19.18	17.89	18.67	

表 8 1[#]~5[#]坐便器样品在积分时间为 10 s 时 $L'_{pA(10)}$ 测量值及 F 检验法统计结果(半球测量表面法)

Table 8 The $L'_{pA(10)}$ measuring results and F test results of toilet sample 1 [#] ~5 [#] when the integration time is 10 s using the hemisphere measuring surface method						
样品 编号	测点 位置	$L'_{pA(10)}$ /dB 三次测量值			F 检验法 ($\alpha=0.05$)	
1 [#]	i	59.56	60.04	60.61	$F_{(\alpha,7,13)}=0.035$; $F_{(查表值)}=2.832$	
	j	52.17	52.46	51.67		
	k	50.93	51.38	51.95		
	l	57.55	56.62	57.34		
	m	55.75	57.23	57.80		
	n	53.66	53.74	53.08		
	o	52.69	53.15	52.97		
2 [#]	i	63.34	64.02	63.58	$F_{(\alpha,7,13)}=0.107$; $F_{(查表值)}=2.832$	
	j	55.72	56.18	54.48		
	k	54.44	55.06	54.77		
	l	61.27	60.48	60.25		
	m	59.41	61.11	60.72		
	n	57.25	57.50	55.92		
	o	56.25	56.89	55.81		
3 [#]	i	61.74	62.36	61.68	$F_{(\alpha,7,13)}=0.184$; $F_{(查表值)}=2.832$	
	j	54.54	54.96	53.13		
	k	53.33	53.91	53.40		
	l	59.78	59.02	58.55		
	m	58.03	59.62	58.99		
	n	55.99	56.21	54.48		
	o	55.05	55.63	54.37		
4 [#]	i	64.17	64.05	63.82	$F_{(\alpha,7,13)}=0.123$; $F_{(查表值)}=2.832$	
	j	56.53	56.29	54.78		
	k	55.24	55.18	55.07		
	l	62.09	60.55	60.51		
	m	60.23	61.17	60.98		
	n	58.07	57.60	56.21		
	o	57.06	56.99	56.10		
5 [#]	i	61.56	61.37	60.49	$F_{(\alpha,7,13)}=0.419$; $F_{(查表值)}=2.832$	
	j	54.07	53.78	51.75		
	k	52.82	52.70	52.02		
	l	59.52	57.94	57.29		
	m	57.70	58.56	57.74		
	n	55.58	55.06	53.13		
	o	54.60	54.47	53.02		

表 9 1[#]~5[#]坐便器样品在积分时间为 10 s 时 $L'_{pA(50)}$ 测量值及 F 检验法统计结果(半球测量表面法)

Table 9 The $L'_{pA(50)}$ measuring results and F test results of toilet sample 1 [#] ~5 [#] when the integration time is 10 s using the hemisphere measuring surface method						
样品 编号	测点 位置	$L'_{pA(50)}$ /dB 三次测量值			F 检验法 ($\alpha=0.05$)	
1 [#]	i	49.92	49.78	49.90	$F_{(\alpha,7,13)}=0.129$; $F_{(查表值)}=2.832$	
	j	44.52	45.27	44.93		
	k	44.37	43.59	45.14		
	l	46.19	45.38	45.62		
	m	45.47	46.25	47.05		
	n	47.10	45.91	46.95		
	o	46.00	47.37	47.00		
2 [#]	i	53.09	53.08	52.35	$F_{(\alpha,7,13)}=0.068$; $F_{(查表值)}=2.832$	
	j	47.63	48.51	47.39		
	k	47.48	46.81	47.60		
	l	49.32	48.62	48.08		
	m	48.59	49.50	49.51		
	n	50.24	49.16	49.41		
	o	49.13	50.64	49.46		
3 [#]	i	51.75	51.70	50.78	$F_{(\alpha,7,13)}=0.201$; $F_{(查表值)}=2.832$	
	j	46.54	47.35	46.08		
	k	46.40	45.72	46.28		
	l	48.15	47.45	46.73		
	m	47.46	48.29	48.08		
	n	49.03	47.97	47.99		
	o	47.97	49.38	48.04		
4 [#]	i	53.78	53.10	52.54	$F_{(\alpha,7,13)}=0.246$; $F_{(查表值)}=2.832$	
	j	48.14	48.44	47.47		
	k	47.98	46.70	47.68		
	l	49.89	48.55	48.17		
	m	49.13	49.45	49.63		
	n	50.84	49.10	49.53		
	o	49.69	50.61	49.58		
5 [#]	i	51.60	50.88	49.80	$F_{(\alpha,7,13)}=0.831$; $F_{(查表值)}=2.832$	
	j	46.24	46.46	45.04		
	k	46.09	44.81	45.24		
	l	47.90	46.57	45.70		
	m	47.18	47.42	47.07		
	n	48.80	47.09	46.97		
	o	47.71	48.52	47.02		

表 10 1#~5#坐便器样品在积分时间为 10 s 时 $L''_{pA(10)}$ 测量值及 F 检验法统计结果(半球测量表面法)

Table 10 The $L''_{pA(10)}$ measuring results and F test results of toilet sample 1 [#] ~5 [#] when the integration time is 10 s using the hemisphere measuring surface method					
样品 编号	测点 位置	$L''_{pA(10)}$ /dB 三次测量值			F 检验法 ($\alpha=0.05$)
1 [#]	i	19.64	20.03	19.52	$F_{(\alpha,7,13)}=0.490$; $F_{(\text{查表值})}=2.832$
	j	20.58	19.38	20.80	
	k	21.01	19.37	20.83	
	l	20.76	20.19	20.63	
	m	19.91	21.52	20.66	
	n	21.17	20.56	19.92	
	o	21.14	20.87	20.16	
2 [#]	i	20.57	20.16	20.6	$F_{(\alpha,7,13)}=0.488$; $F_{(\text{查表值})}=2.832$
	j	20.32	19.57	20.29	
	k	19.72	20.45	19.88	
	l	20.24	19.67	20.24	
	m	20.61	21.15	21.17	
	n	19.49	21.02	21.36	
	o	21.11	20.58	20.46	
3 [#]	i	21.18	20.79	20.42	$F_{(\alpha,7,13)}=0.491$; $F_{(\text{查表值})}=2.832$
	j	20.33	19.91	20.38	
	k	20.56	19.68	21.14	
	l	19.78	20.61	19.74	
	m	20.53	20.75	21.13	
	n	20.32	19.92	19.76	
	o	21.25	20.41	20.79	
4 [#]	i	20.76	19.49	20.37	$F_{(\alpha,7,13)}=0.847$; $F_{(\text{查表值})}=2.832$
	j	19.75	20.54	20.39	
	k	20.76	20.47	21.05	
	l	20.73	21.17	21.21	
	m	20.46	20.39	19.82	
	n	20.61	19.89	21.24	
	o	21.13	19.71	19.68	
5 [#]	i	21.37	19.69	20.48	$F_{(\alpha,7,13)}=0.245$; $F_{(\text{查表值})}=2.832$
	j	20.45	20.36	19.83	
	k	19.59	20.61	19.92	
	l	19.88	21.27	20.38	
	m	20.54	20.71	21.23	
	n	20.79	20.51	19.81	
	o	21.31	20.96	21.05	

表 11 1#~5#坐便器样品在积分时间为 10 s 时 $L''_{pA(50)}$ 测量值及 F 检验法统计结果(半球测量表面法)

Table 11 The $L''_{pA(50)}$ measuring results and F test results of toilet sample 1 [#] ~5 [#] when the integration time is 10 s using the hemisphere measuring surface method					
样品 编号	测点 位置	$L''_{pA(50)}$ /dB 三次测量值			F 检验法 ($\alpha=0.05$)
1 [#]	i	17.87	18.75	18.26	$F_{(\alpha,7,13)}=0.016$; $F_{(\text{查表值})}=2.832$
	j	18.35	17.79	18.52	
	k	19.23	19.31	19.18	
	l	19.64	19.45	19.52	
	m	18.58	18.69	18.46	
	n	19.35	18.83	19.03	
	o	19.18	19.63	19.10	
2 [#]	i	19.26	19.15	19.34	$F_{(\alpha,7,13)}=0.896$; $F_{(\text{查表值})}=2.832$
	j	18.37	19.53	17.89	
	k	18.76	19.22	17.86	
	l	19.11	18.34	17.93	
	m	18.51	19.23	19.43	
	n	19.37	18.86	18.47	
	o	18.59	17.74	18.61	
3 [#]	i	19.24	18.55	18.65	$F_{(\alpha,7,13)}=1.128$; $F_{(\text{查表值})}=2.832$
	j	19.73	19.40	19.32	
	k	18.82	17.89	19.08	
	l	17.81	18.73	19.24	
	m	18.49	17.82	18.34	
	n	19.60	17.81	19.22	
	o	18.21	19.38	19.12	
4 [#]	i	18.57	19.43	18.69	$F_{(\alpha,7,13)}=0.118$; $F_{(\text{查表值})}=2.832$
	j	19.34	18.62	18.75	
	k	19.31	17.86	19.22	
	l	18.62	17.81	19.22	
	m	19.19	19.34	17.87	
	n	18.62	19.29	17.85	
	o	18.43	19.26	19.40	
5 [#]	i	19.54	18.69	19.13	$F_{(\alpha,7,13)}=0.806$; $F_{(\text{查表值})}=2.832$
	j	19.32	19.23	18.52	
	k	18.39	17.93	19.18	
	l	18.67	18.86	19.34	
	m	18.43	19.29	18.49	
	n	19.02	17.67	17.86	
	o	19.28	18.43	19.29	

表 12 1#~5#坐便器样品在积分时间为 10 s 时各项声学测量数据(平行六面体测量表面法)

Table 12 The acoustic measurement data of toilet sample 1#~5# when the integration time is 10 s using the parallelepiped measuring surface method				
样品 编号	参数/dB	测量次数		
		I	II	III
1#	$\bar{L}_{pA(10)}$	59.94	60.12	59.72
	$\bar{L}_{pA(50)}$	48.45	48.66	48.24
	$\bar{L}''_{pA(10)}$	20.70	20.64	20.14
	$\bar{L}''_{pA(50)}$	18.98	19.01	18.85
	$\Delta L_{A(10)}$	39.24	39.48	39.58
	$\Delta L_{A(50)}$	29.47	29.65	29.39
	$K_{1A(10)}$	0.001	0.001	0.001
	$K_{1A(50)}$	0.005	0.005	0.005
	K_{2A}		5.58	
	$L_{WA(10)}$	68.29	68.46	68.07
	$L_{WA(50)}$	56.79	57.00	56.58
	$D_{I(10)}$	7.04	7.13	7.00
	$D_{I(50)}$	4.22	5.16	5.00
2#	$\bar{L}_{pA(10)}$	64.29	63.77	64.40
	$\bar{L}_{pA(50)}$	51.92	51.58	51.36
	$\bar{L}''_{pA(10)}$	20.27	20.27	20.48
	$\bar{L}''_{pA(50)}$	18.57	19.00	18.82
	$\Delta L_{A(10)}$	44.02	43.50	43.92
	$\Delta L_{A(50)}$	33.35	32.58	32.54
	$K_{1A(10)}$	0.000	0.000	0.000
	$K_{1A(50)}$	0.002	0.002	0.002
	K_{2A}		5.47	
	$L_{WA(10)}$	72.59	72.06	72.70
	$L_{WA(50)}$	60.22	59.88	59.66
	$D_{I(10)}$	7.12	6.86	7.47
	$D_{I(50)}$	4.35	5.26	4.62
3#	$\bar{L}_{pA(10)}$	62.11	62.38	62.49
	$\bar{L}_{pA(50)}$	49.88	50.12	50.04
	$\bar{L}''_{pA(10)}$	20.20	20.23	20.23
	$\bar{L}''_{pA(50)}$	18.71	18.86	18.92
	$\Delta L_{A(10)}$	41.91	42.15	42.26
	$\Delta L_{A(50)}$	31.17	31.26	31.12

续表 12

样品 编号	参数/dB	测量次数		
		I	II	III
3#	$K_{1A(10)}$	0.000	0.000	0.000
	$K_{1A(50)}$	0.003	0.003	0.003
	K_{2A}		5.48	
	$L_{WA(10)}$	70.42	70.69	70.80
	$L_{WA(50)}$	58.18	58.43	58.34
	$D_{I(10)}$	7.10	7.17	7.04
	$D_{I(50)}$	4.15	5.07	4.92
4#	$\bar{L}_{pA(10)}$	63.56	64.37	64.21
	$\bar{L}_{pA(50)}$	51.28	52.02	51.77
	$\bar{L}''_{pA(10)}$	20.14	20.42	20.16
	$\bar{L}''_{pA(50)}$	18.74	18.90	19.00
	$\Delta L_{A(10)}$	43.42	43.95	44.05
	$\Delta L_{A(50)}$	32.54	33.12	32.77
	$K_{1A(10)}$	0.000	0.000	0.000
	$K_{1A(50)}$	0.002	0.002	0.002
	K_{2A}		5.56	
	$L_{WA(10)}$	71.90	72.72	72.56
5#	$L_{WA(50)}$	59.62	60.36	60.11
	$D_{I(10)}$	7.11	7.29	7.13
	$D_{I(50)}$	4.34	5.34	5.19
	$\bar{L}_{pA(10)}$	61.25	61.56	61.32
	$\bar{L}_{pA(50)}$	49.28	49.03	49.21
	$\bar{L}''_{pA(10)}$	20.09	20.62	19.92
	$\bar{L}''_{pA(50)}$	19.01	18.66	18.83
	$\Delta L_{A(10)}$	41.16	40.94	41.40
	$\Delta L_{A(50)}$	30.27	30.37	30.38
	$K_{1A(10)}$	0.000	0.000	0.000
5#	$K_{1A(50)}$	0.004	0.004	0.004
	K_{2A}		5.53	
	$L_{WA(10)}$	69.57	69.88	69.65
	$L_{WA(50)}$	57.60	57.36	57.53
	$D_{I(10)}$	7.00	7.46	7.16
	$D_{I(50)}$	4.13	5.02	4.91

表 13 1#~5#坐便器样品在积分时间为 10 s 时各项声学测量数据(半球测量表面法)

Table 13 The acoustic measurement data of toilet sample 1#~5# when the integration time is 10s using the hemisphere measuring surface method

样品 编号	参数/dB	测量次数		
		I	II	III
1 [#]	$\bar{L}_{pA(10)}$	55.62	55.95	56.32
	$\bar{L}_{pA(50)}$	46.62	46.63	46.97
	$\bar{L}''_{pA(10)}$	20.64	20.34	20.38
	$\bar{L}''_{pA(50)}$	18.92	18.96	18.89
	$\Delta L_{A(10)}$	34.98	35.61	35.94
	$\Delta L_{A(50)}$	27.7	27.67	28.08
	$K_{1A(10)}$	0.001	0.001	0.001
	$K_{1A(50)}$	0.008	0.008	0.007
	K_{2A}		5.53	
	$L_{WA(10)}$	63.95	64.28	64.65
	$L_{WA(50)}$	54.95	54.96	55.30
	$D_{I(10)}$	3.94	4.09	4.29
	$D_{I(50)}$	3.30	3.15	2.93
2 [#]	$\bar{L}_{pA(10)}$	59.31	59.82	59.24
	$\bar{L}_{pA(50)}$	49.76	49.89	49.42
	$\bar{L}''_{pA(10)}$	20.32	20.24	20.75
	$\bar{L}''_{pA(50)}$	18.87	18.95	18.50
	$\Delta L_{A(10)}$	38.99	39.58	38.49
	$\Delta L_{A(50)}$	30.89	30.94	30.92
	$K_{1A(10)}$	0.001	0.001	0.001
	$K_{1A(50)}$	0.004	0.004	0.004
	K_{2A}		5.53	
	$L_{WA(10)}$	67.64	68.15	67.57
	$L_{WA(50)}$	58.09	58.22	57.75
	$D_{I(10)}$	4.03	4.20	4.34
	$D_{I(50)}$	3.32	3.19	2.92
3 [#]	$\bar{L}_{pA(10)}$	57.88	58.34	57.53
	$\bar{L}_{pA(50)}$	48.55	48.64	47.99
	$\bar{L}''_{pA(10)}$	20.59	20.32	20.51
	$\bar{L}''_{pA(50)}$	18.89	18.52	19.05
	$\Delta L_{A(10)}$	37.29	38.02	37.02

续表 13

样品 编号	参数/dB	测量次数		
		I	II	III
3#	$\Delta L_{A(50)}$	29.66	30.12	28.94
	$K_{1A(10)}$	0.001	0.001	0.001
	$K_{1A(50)}$	0.005	0.004	0.006
	K_{2A}		5.53	
	$L_{WA(10)}$	66.21	66.67	65.86
	$L_{WA(50)}$	56.88	56.97	56.32
	$D_{I(10)}$	3.86	4.02	4.15
	$D_{I(50)}$	3.19	3.06	2.79
4#	$\bar{L}_{pA(10)}$	60.13	59.88	59.50
	$\bar{L}_{pA(50)}$	50.36	49.86	49.56
	$\bar{L}''_{pA(10)}$	20.62	20.27	20.58
	$\bar{L}''_{pA(50)}$	18.88	18.85	18.75
	$\Delta L_{A(10)}$	39.51	39.61	38.92
	$\Delta L_{A(50)}$	31.48	31.01	30.81
	$K_{1A(10)}$	0.001	0.001	0.001
	$K_{1A(50)}$	0.003	0.003	0.004
	K_{2A}		5.53	
	$L_{WA(10)}$	68.46	68.21	67.83
	$L_{WA(50)}$	58.69	58.19	57.89
	$D_{I(10)}$	4.04	4.17	4.32
	$D_{I(50)}$	3.42	3.25	2.99
5#	$L'_{pA(10)}$	57.59	57.27	56.27
	$L'_{pA(50)}$	48.32	47.78	46.98
	$\bar{L}''_{pA(10)}$	20.61	20.61	20.42
	$\bar{L}''_{pA(50)}$	18.97	18.62	18.86
	$\Delta L_{A(10)}$	36.98	36.66	35.85
	$\Delta L_{A(50)}$	29.35	29.16	28.12
	$K_{1A(10)}$	0.001	0.001	0.001
	$K_{1A(50)}$	0.005	0.005	0.007
	K_{2A}		5.53	
	$L_{WA(10)}$	65.92	65.60	64.60
	$L_{WA(50)}$	56.65	56.11	55.31
	$D_{I(10)}$	3.97	4.10	4.22
	$D_{I(50)}$	3.27	3.10	2.82

表 14 1#~5#坐便器样品在不同测量表面条件下声学参数计算值的 F 检验统计结果

Table 14 The F test results of acoustic parameters calculated value for toilet sample 1#~5# by different measurement surface method

声学参数 /dB	每组样品 $F_{(\alpha,2,3)}$ 计算值($\alpha=0.05$)				
	1#	2#	3#	4#	5#
$L'_{pA(10)}$	0.005	0.000	0.009	0.006	0.027
$L'_{pA(50)}$	0.004	0.059	0.049	0.022	0.201
$L_{WA(10)}$	0.005	0.000	0.009	0.006	0.027
$L_{WA(50)}$	0.004	0.061	0.052	0.022	0.202
$D_{I(10)}$	0.003	0.019	0.002	0.003	0.009
$D_{I(50)}$	0.051	0.088	0.049	0.051	0.044

备注： $F_{(查表值)}=9.552$

表 15 1#~5#坐便器样品在不同测量表面条件下声功率级重复性标准偏差计算结果

Table 15 The calculation results of sound power level repeatability standard deviation for toilet sample 1#~5# by different measurement surface method

样品编号	声学参数	重复性标准偏差 σ	
		平行六面体法	半球法
1#	$L_{WA(10)}$	0.20	0.35
	$L_{WA(50)}$	0.21	0.20
2#	$L_{WA(10)}$	0.34	0.32
	$L_{WA(50)}$	0.28	0.24
3#	$L_{WA(10)}$	0.20	0.41
	$L_{WA(50)}$	0.13	0.35
4#	$L_{WA(10)}$	0.43	0.32
	$L_{WA(50)}$	0.38	0.41
5#	$L_{WA(10)}$	0.16	0.69
	$L_{WA(50)}$	0.13	0.68

由表 4、表 5 数据可知，采用不同的测量表面对 1#~5#组坐便器样品进行冲洗噪声测定后，在平行六面体测量表面条件下，5 组样品在 9 个传声器坐标处所得到的 27 个冲洗噪声 A 计权声压级 $L'_{pA(10)}$ 、 $L'_{pA(50)}$ 检测结果的单因素方差分析 $F_{(\alpha,9,17)}$ 数值分别为 0.010、0.002、0.041、0.058、0.002 和 0.052、0.098、0.002、0.002、0.048，均小于 $F_{(查表值)}2.494$ 。同时，表 6、表 7 数据显示，27 个背景噪声 A 计权声压级 $L''_{pA(10)}$ 、 $L''_{pA(50)}$ 检测结果的单因素方差分析 $F_{(\alpha,9,17)}$ 数值分别为 1.259、0.336、0.009、0.298、2.168 和 0.219、1.454、0.321、0.583、1.138，皆小于临界值；说明上述任一坐便器样品在平行六面体测量表面 9 个测点位置处连续三次测得的冲洗噪声及背景噪声，每组 27 个累计百分数 A 计权声压级检测结果无任何显著性差异。

由表 8、表 9 数据可知，在半球声学测量模型中，1#~5#组坐便器声源样品在 7 个传声器位置处，连续三次测得的 21 个冲洗噪声累计百分数 A 计权声压级 $L'_{pA(10)}$ 、 $L'_{pA(50)}$ 检测结果的单因素方差

分析 $F_{(\alpha,7,13)}$ 值分别为 0.035、0.107、0.184、0.123、0.419 和 0.129、0.068、0.201、0.246、0.831，均小于 $F_{(查表值)}2.832$ 。同时，表 10、表 11 数据显示，21 个背景噪声 A 计权声压级 $L''_{pA(10)}$ 、 $L''_{pA(50)}$ 实验数据的单因素方差分析 $F_{(\alpha,7,13)}$ 值分别为 0.490、0.488、0.491、0.847、0.245 和 0.016、0.896、1.128、0.118、0.806，皆小于临界值，因此测量数据的均匀性较好。

由此可见，坐便器冲洗噪声虽具有一定的指向性，在平行六面体和半球测量表面上不同坐标方位处的 A 计权声压级 $L'_{pA(10)}$ 和 $L'_{pA(50)}$ 实测值呈现出高低有序的特点，其中与平行六面体、半球声学监测模型中 $L'_{pA(10)}$ 和 $L'_{pA(50)}$ 测量值排序相对应的传声器位置分别为 5、1、6、9、2、4、7、8、3 和 i、l、m、n、o、j、k；而半球测量模型中平均声压级的强弱顺序则分别为：两种不同几何形状和测点阵列的测量表面上各组坐便器样品冲洗噪声平均声压级的强弱顺序与其声源指向性指数的高低排序相一致；且在 5% 的显著性差异水平条件下，任一测量表面上基本点及附加点两种不同传声器阵列所对应的半消音室背景噪声和坐便器冲洗噪声实验数据均匀性俱佳。

针对平行六面体和半球两种不同测量表面法特点，1#~5#组坐便器样品的声压级、声功率级和指向性指数等声学参数计算值详见表 11 和表 12。表 13 数据则揭示，对各组样品冲洗噪声检测数据进行单因素方差分析后，尽管平行六面体和半球测量表面上各测点累计百分数 A 计权平均声压级 $\bar{L}'_{pA(10)}$ 和 $\bar{L}'_{pA(50)}$ 数值的均匀性良好，其 $F_{(\alpha,2,3)}$ 计算值依次为 0.005、0.000、0.009、0.006、0.027 和 0.004、0.059、0.049、0.022、0.201，皆远远小于其 9.552 的 $F_{(查表值)}$ ；但显然平行六面体较半球测量表面而言，其 $\bar{L}'_{pA(10)}$ 和 $\bar{L}'_{pA(50)}$ 数值普遍偏高 5.40%~8.24%和 1.79%~4.53%。由于平行六面体测量表面上 6~9 附加传声器阵列临近坐便器洗净面正上方，受冲洗噪声源的指向性特征制约，其信号能量较强，加之半球测量表面相对较少的上方测点与较大的测量距离，导致两者之间 A 计权平均声压级计算值存在一定差异。同理，与平行六面体和半球测量表面相对应的 1#~5#组坐便器冲洗噪声源指向性指数 $D_{I(10)}$ 、 $D_{I(50)}$ ，虽因样品内部结构和虹吸效应等方面不同而存在 38.71%~45.63%和 20.82%~43.29%的较大差异，但其 $F_{(\alpha,2,3)}$ 的最大值却仅为 0.019 和 0.088，说明无显著性差异。

另外，表 13 数据显示，处于相对均匀的半消音室声学环境中，在理论上背景噪声累计百分数 A

计权平均声压级 $\bar{L}_{pA(10)}''$ 和 $\bar{L}_{pA(50)}''$ 的数值不随测点数量增减、位移而改变;虽然实验中不可避免的系统误差和偶然误差等因素使得室内背景噪声测量值出现小幅波动, $\bar{L}_{pA(10)}''$ 和 $\bar{L}_{pA(50)}''$ 在不同测量表面条件下分别呈现 $-2.59\% \sim 1.45\%$ 和 $-1.62\% \sim 1.80\%$ 的变化,但与之相应的背景噪声修正值 $K_{LA(10)}$ 和 $K_{LA(50)}$ 的变化却微乎其微。因此,表 14 表明,不同测量表面和传声器阵列对同一陶瓷坐便器样品冲洗噪声的 A 计权声功率级 $L_{WA(10)}$ 和 $L_{WA(50)}$ 并无显著性影响,其 5 组样品 $L_{WA(10)}$ 和 $L_{WA(50)}$ 结果数据的 $F_{(\alpha,2,3)}$ 计算值分别为 0.005、0.000、0.009、0.006、0.027 和 0.004、0.061、0.052、0.022、0.202,全线远远小于其临界值 9.552。

而表 15 数据则证明,在平行六面体和半球测量表面条件下,5 组坐便器声源样品冲洗噪声测量结果的重复性标准偏差 $L_{WA(10)}$ 和 $L_{WA(50)}$ 最大值分别为 0.43、0.69 dB 和 0.38、0.68 dB,完全符合相关测量不确定度要求。

3 结 论

(1) 经实践验证,源自声学原理制定的反射面上方采用包络测量表面法测定坐便器冲洗噪声源声功率级的技术规范在理论上具备一定的科学性和指导性;但在既定的测量不确定度条件下,由于坐便器冲洗噪声测试过程受本底条件、仪器性能、样品安装、人员操作、环境条件等因素的制约,对不同实验室之间的再现性标准偏差考核需针对具体情况进行有效的实验验证。

(2) 基于包络声源测试原理,在环境设施、仪器设备、测试人员等实验条件相同的情况下,虽然平行六面体和半球两种声学测量模型的传声器阵列坐标存在差异,但采用 F 检验法对 5 组陶瓷坐便器样品冲洗噪声的平均声压级和声功率级测量数据进行统计分析后,推导出在置信度为 95% 的条件下,同一样品 6 个测量结果间无显著性差异;重复性标准偏差数值范围满足相关规定。

(3) 本文依据单因素方差分析法揭示出 $F_{\text{计算值}}$ 与不同测量表面条件下分体重力式喷射虹吸陶瓷坐便器冲洗噪声测试结果的相关性;但受样品类型、样品数量和测试条件、测量频次等诸多因素限制,统计分析数据不够充足,实验样品的代表性也存在一定局限。因此,如何科学规范陶瓷坐便器冲洗噪声测试技术仍有待广大科技工作者做进一步的研究和探讨。

(4) 理论分析和实验研究在一定程度上验证了陶瓷坐便器冲洗噪声存在着不容忽视的指向性特征,测量结果与本底水平、气象状况等环境因素之间存在着客观联系。但受实验条件所限,本文缺乏对便器用水量、盖板使用、测量时间等测试环节的考察;同时,为规范相关领域噪声监测技术,亟待研究其他冲洗结构机理和样品安装方式对坐便器冲洗噪声测量的影响。

参 考 文 献

- [1] 全国建筑卫生陶瓷标准化技术委员会. GB 6952-2015 中国标准书号[S]. 北京:中国标准出版社, 2015.
- [2] 全国声学标准化技术委员会. GB/T 3768-1996 中国标准书号[S]. 北京:中国标准出版社, 1996.
- [3] 黎巍, 刘子建, 李静波. 基于扩张室消声器的坐便器噪声控制研究[J]. 应用声学, 2008, 33(1): 1-6.
LI Wei, LIU Zi-jian, LI Jingbo. Application of an expansion cavity type muffler to toilet noise control[J]. Applied Acoustics, 2008, 33(1): 1-6.
- [4] ISO 3745-2003, Acoustics. Determination of sound power levels and sound energy levels of noise sources using sound pressure. Precision methods for anechoic rooms and hemi-anechoic rooms[S].
- [5] IEC 804-1983, Integral average sound level meter[S].
- [6] 全国电声学标准化技术委员会. GB 3241-2010 中国标准书号[S]. 北京:中国标准出版社, 2010.
- [7] 房丽艳. 噪声检测技术与方法[J]. 民营科技, 2011, 29(12): 126-129.
FANG Liyan. The technology and method of noise measurement[J]. Private Science and technology, 2011, 29(12): 126-129.
- [8] 全国声学标准化技术委员会. GB/T 6882-2008 中国标准书号[S]. 北京:中国标准出版社, 2008.
- [9] 全国声学标准化技术委员会. GB/T 14573. 1-1993 中国标准书号[S]. 北京:中国标准出版社, 1993.