

麦克风阵列音频检查方法及标准

V2.8

2022-07-04

版本发布记录

日期	版本	编辑	备注
2017-05-02	V1.0	陈佳荧	初稿
2017-06-28	V1.1	陈佳荧	增加电噪声测试项
2017-10-12	V1.2	陈佳荧	更新 SPK 选型要求，更新电噪声测试标准
2018-02-09	V1.3	陈佳荧	更新产测方法
2018-08-21	V1.4	张颖	增加若干音频质量分析与测试点
2019-03-22	V2.0	王波 周晨	完善测试项目，规范测试方法
2019-04-09	V2.1	周晨	更新测试描述，增加 MIC SNR 测试
2019-04-25	V2.2	周晨	更新测试指标，明确测试音频
2019-06-27	V2.3	周晨	修改 MIC 幅值测试方法，增加气密性测试
2019-10-30	V2.4	周晨	增加结构震动/异音判断方法，增加回采通道抗混叠测试，更新 MIC SNR 测试
2020-04-26	V2.5	王波 职通亚	更新初版测试标准
2020-09-07	V2.6	职通亚	更新相位、信噪比、回路通道电噪声、通道延时、测试标准
2021-03-15	V2.7	职通亚	更新耳机测试标准
2022-07-04	V2.8	职通亚	更新部分测试标准

目录

目录 2 一、

概述..... 3 二、项

目初步评估4

2.1. 确认基本录音功能 4

2.2. 测试方法 4

三、音频估 5

3.1. 麦克风通道顺序 5

3.2. 麦克风通道幅度一致性 6

3.3. 音频幅度要求 7

3.3.1 麦克风通道 7

3.3.2 回采通道 8

3.4. 总谐波失真 9

3.4.1 麦克风通道 9

3.4.2 回采通道 12

3.5. 麦克风通道信噪比 13

3.6. 直流偏置 13

3.7. 回采通道电噪声检测 14

3.8. 恒频干扰 15

3.9. 抗混叠 16

3.10. 麦克风和回采通道延时 16

3.11. 麦克风通道同步性 17

3.12. 结构共振/震动/异音..... 18

3.13. 麦克风通道气密性 21

一、概述

为确保客户产品能够符合我司声学设计要求，制定本音频评测标准。音频评测工作，主要集中在研发设计阶段。

研发设计阶段针对待测产品形态的不同，测试分为裸板测试和整机测试，针对待测设备的原始音频进行分析，下表为不同阶段需要测试的项目。

测试项目	序号	测试项目	测试音源	播放方式
裸板测试	1	通道相位一致性	1kHz 电信号	N/A
	2	长时录音数据完整性	40min_test.mp3	安静环境外播录音&自播自录
	3	麦克风顺序	线性麦从左到右， 环形 mic 逆时针	N/A
	4	通道幅值一致性	76dBC_sweep.wav	安静环境外播录音
整机测试	5	音频幅度要求	mic_amplitude.wav	MIC 处 63dBC 外播 — MIC
			ref_amplitude.wav	最大音量自播 — 回路
	6	总谐波失真	76dBC_sweep.wav	自播自录 DUT 麦克风处本机场景 验收音量 (dba)
	7	麦克风通道信噪比	EQ 白噪声	消声室 MIC 处 63dBC 和安静录音
	8	直流偏置	N/A	安静环境录音
	9	回采通道电噪声检测	N/A	安静环境录音
	10	恒频干扰	N/A	安静环境录音
	11	抗混叠	1~15kHz.wav	安静环境自播自录
	12	通道相对延时	76dBC_sweep.wav	自播自录 SPK 出声口 50cm 76dBC

13	结构共振/震动/异音	76dBC_sweep.wav	自播自录 SPK 出声口 50cm 76dBC
14	麦克风通道气密性	76dBC_sweep.wav	安静环境外播录音
15	MIC 通道相位一致性	phase_test	人工嘴到设备距离 30cm 左右，需要正对两个或多 MIC 中心位置

二、项目初步评估

人工嘴到待测试设备距离 30cm 左右，

需要正对两个或多 MIC 中心位置

为提高项目评测效率，在接收客户样机之前，需客户进行简单的录音测试，并将录音所得音频文件发给思必驰确认，以确保客户样机基本录音功能完整。

2.1. 确认基本录音功能

- 1) 能够录取 MIC 和采集回路的原始音频
- 2) 录取到的音频质量基本符合要求
- 3) 长时录音数据完整性，不丢帧，采样晶振偏移小等

2.2. 测试方法

序号	测试步骤	执行人员
1	发送我司测试音频给客户	思必驰评审工程师
2	本机播放录音，安静环境外放录音，总时长 40 分钟	客户
3	导出录制的音频文件，发给思必驰评审工程师	客户
4	音频评测	思必驰评审工程师

录制一段不少于 40 分钟的音频，包含：

- 本机播放音频同时录音（≥5 分钟）
- 安静环境，外部声源正对 DUT 麦克风阵列中心，外部声源循环播放
30min_test.mp3，思必驰采集板和 DUT 同时录音（≥40 分钟）我司对客户

音频进行分析：

- 本机播放录音，主要查看 MIC 和回路是否存在丢帧问题
- 外放录音，音频每隔 5min 分析：1) DUT 通道和思必驰采集板录音的相对延时 ΔT_1 2) DUT 通道间相对延时 ΔT_2 ，若 30min 内 ΔT_1 、 ΔT_2 是恒定值，则满足要求

务必满足基本要求再寄样！

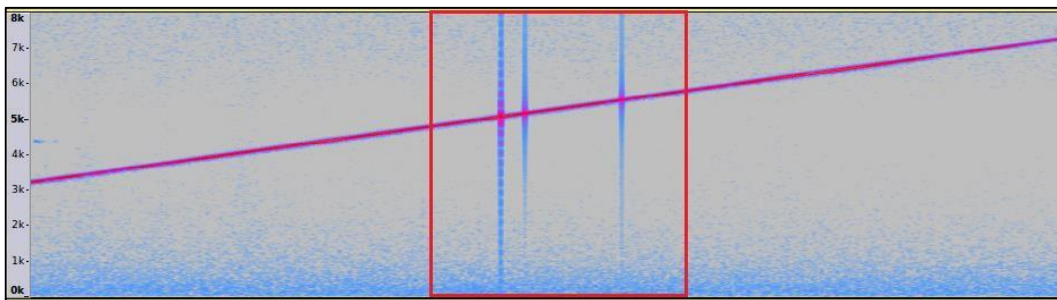


图 1 红框内显示³处丢数据

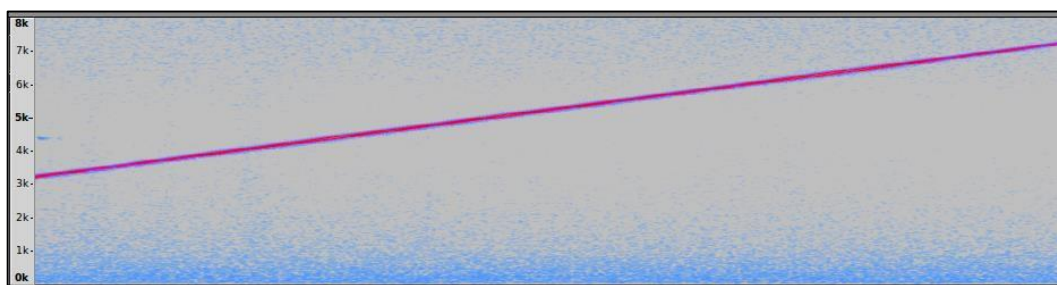


图 2 不存在丢数据的正常频谱

三、音频评估

3.1. 麦克风通道顺序

对着 MIC 收音孔，任意 MIC 开始轻轻敲击，线性 MIC 要求从左到右，环形 MIC 要求逆时针，查看录音音频，正确的示例音频如图 3。

注：此项只针对 4 麦及以上麦克风阵列，2 麦克风阵列无顺序要求。

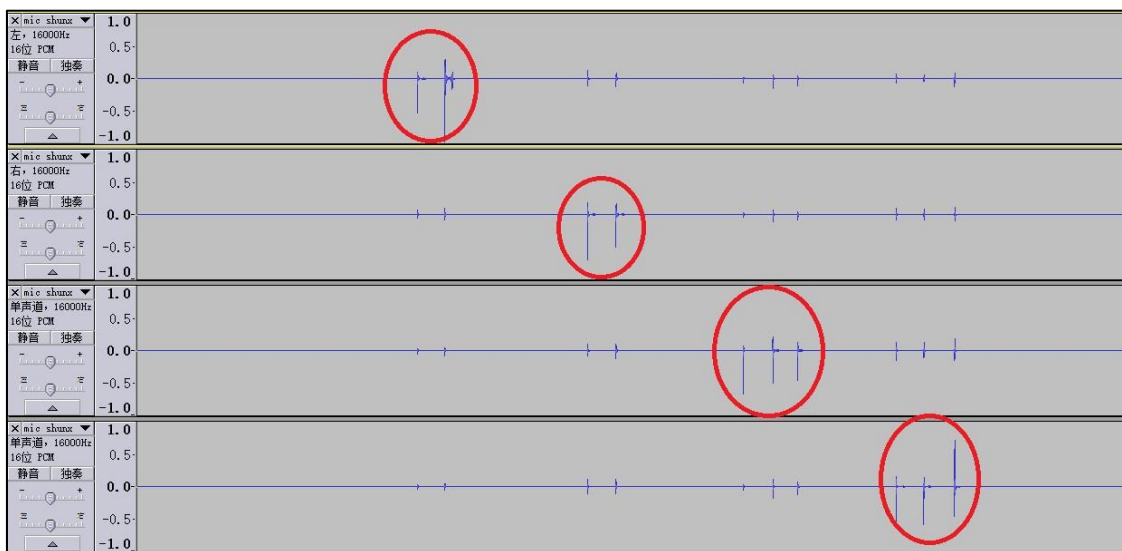


图 3

3.2. 麦克风通道幅度一致性

测试方法：

- DUT 按照实际使用场景放置，外部声源（如有源扬声器系统）放置在距离 DUT 拾音孔 0.5m 处
- 外部声源播放 76dBC_sweep.wav，控制 DUT 进行录音
- 使用 Audacity 打开 DUT 录制的 raw 音频，查看多路麦克风录制信号

多路麦克风信号包络形状基本一致，选取幅值相差较大的单频段（需是单频，打开频谱容易看出），“分析”——“对照”，若差值的绝对值 $\leq 3\text{dB}$ ，则该频率的麦克风一致性满足要求。以此类推，查看所有频点。

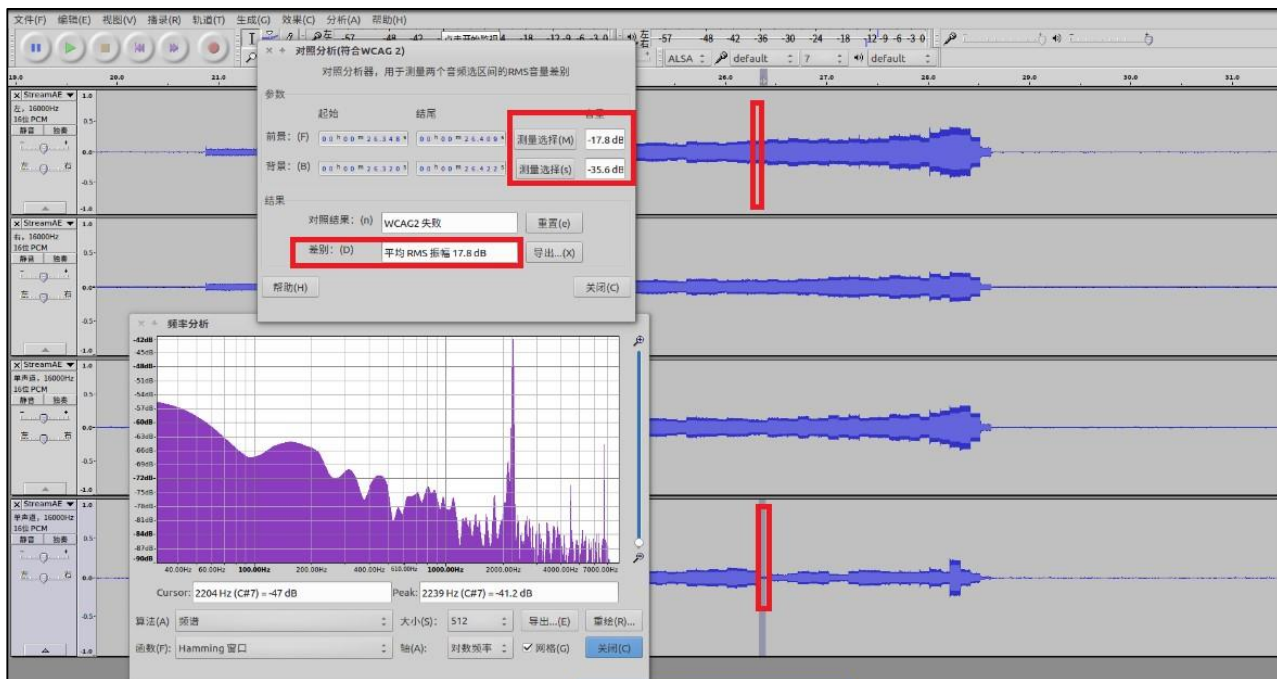


图 4 两个通道该频点的幅度差异超过 3dB

如果发现某一设备的 MIC 一致性较差，可从调节 MIC 的密封件的松紧或是否压紧来排查问题；若密封良好，但一致性仍无改善，则需要从元器件的差异性、焊接等因素来判断问题。

3.3. 音频幅度要求

3.3.1 麦克风通道

扬声器距离 DUT 50cm，播放 `mic_amplitude.wav`，调节音量使 MIC 处达到 63dBC，有 AEC 录取的音频幅值约 0.0035-0.0056。如果是 -26dBFS 灵敏度的数字

MIC，音频幅度约 0.001-0.0019，其他灵敏度自行换算。无 AEC 模拟麦数字麦标准 0.02~0.03，穿戴项目特殊处理

耳机：扬声器距离 DUT 50cm 播放 mic_amplitude.wav，调节音量使 MIC 处达到 94dB，FF&Talk mic 模拟数字麦，幅度为 0.21 ± 0.01 、FB mic 模拟数字麦，幅度为 0.052 ± 0.005 。

音频幅度的大小，结合 MIC 灵敏度并通过调节模拟增益满足幅值要求。数字增益始终为 0，即不要做任何数字放大。

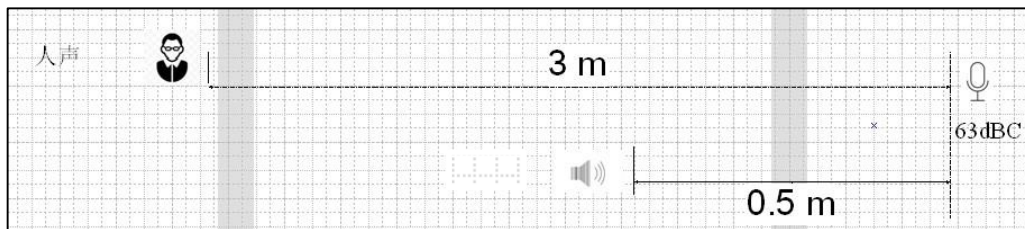


图 5

注意事项：Audacity 查看幅值前，先通过“效果”——“High Pass Filter”去直流和底噪，如图 6，然后再查看幅值是否达标。

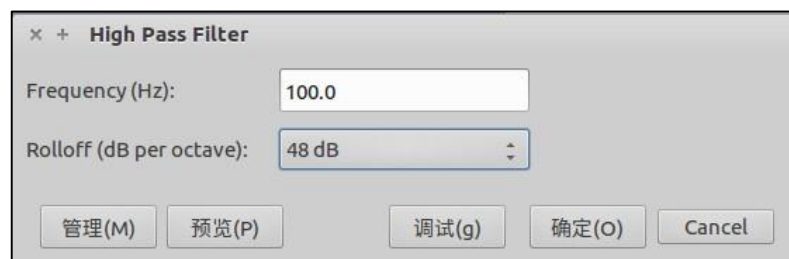


图 6

3.3.2 回采通道

1. 硬件模拟回采

本机最大音量，如音量过大，要求 MIC 处 105dbc 再使用测试音频 `ref_amplitude.wav`，通过调节回采电路分压网络实现回采信号的幅值大于 0.5。原则上硬回采网络通道 PGA 增益设为 0dB，实例的回路音频见图 7。

耳机：电话通话（10086/10010/10000），手机的最大响度，要求幅值大于 0.5 低于 0.5 以下的放大到 ≥ 0.5 同时底噪在-65dB 以下

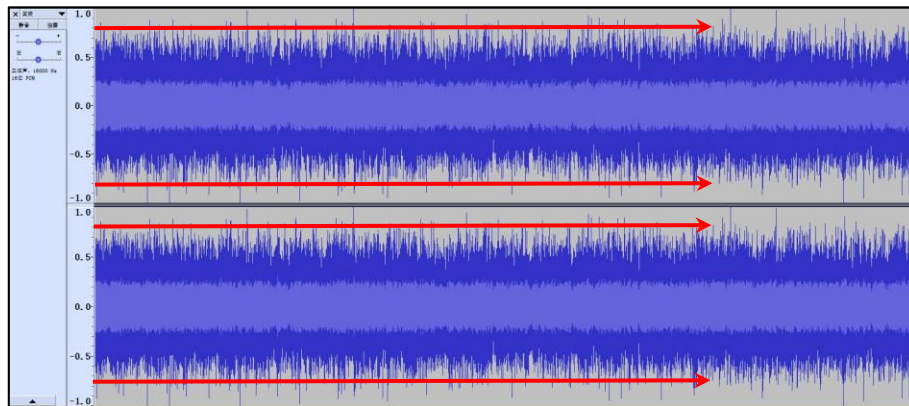


图 7

2. 数字回采本机最大音量播放 `ref_amplitude.wav`，通过驱动适配，幅值大于 0.5。

3.4. 总谐波失真

3.4.1 麦克风通道

针对 THD 不达标对唤醒率影响，需要通过再做验证和研究后，才能给出最终结论。

本机播放 76dBC_85dBC_calibration.wav，调整音量键，使距离 DUT 麦克风处声压级达到，本机场景验收音量 (dba)。然后保持音量不变，本机播放 76dBC_sweep.wav 并录音，计算自播自录情况下 MIC 所录音频的总谐波失真 THD。

远场应用 (≥ 3 米) 要求:

100 ~ 200Hz THD $\leq 8\%$ ($\Delta \leq -22.0\text{dB}$)

200 ~ 400Hz THD $\leq 5\%$ ($\Delta \leq -26.0\text{dB}$)

400 ~ 8 kHz THD $\leq 3\%$ ($\Delta \leq -30.5\text{dB}$)

近场应用 (≤ 1 米) 要求:

100 ~ 200Hz THD $\leq 20\%$ ($\Delta \leq -14.0\text{dB}$)

200 ~ 400Hz THD $\leq 14\%$ ($\Delta \leq -17.0\text{dB}$)

400 ~ 8kHz THD $\leq 8\%$ ($\Delta \leq -22.0\text{dB}$)

下图是谐波从频谱图的表现，见图 8 红圈内。

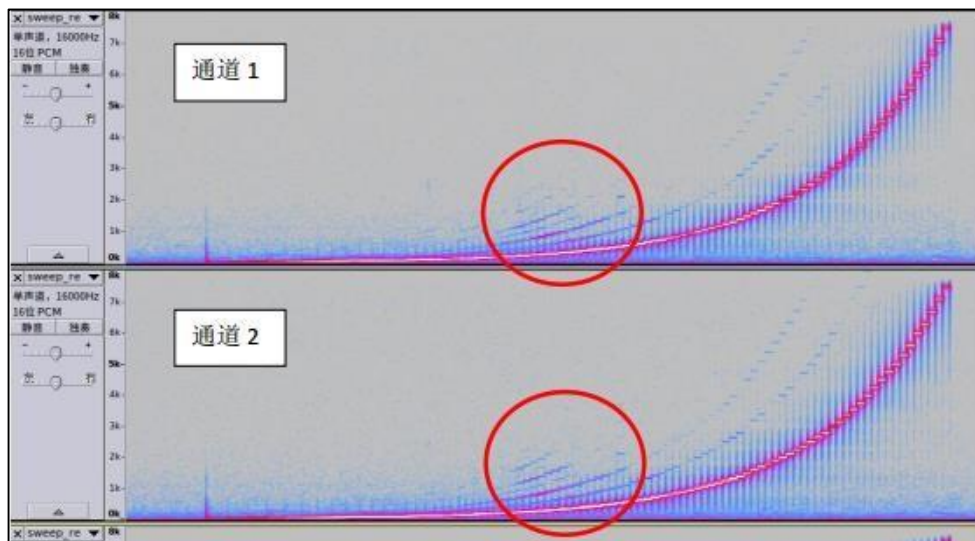


图 8

通常，频谱图中最大峰值为基频信号，如图 9，基频为 270Hz，二次谐波 540Hz 并不明显，而三次谐波 810Hz 是第二峰值。基频幅值-16dB，三次谐波幅值-50dB，能量相差 $\Delta = -34\text{dB}$ ，按照公式 1 可求得 THD 为 2.0%，说明 270Hz 情况下 DUT 自播自录 THD 满足要求。

$$\text{THD}(\%) = 10^{\Delta/20} * 100 \quad (1)$$

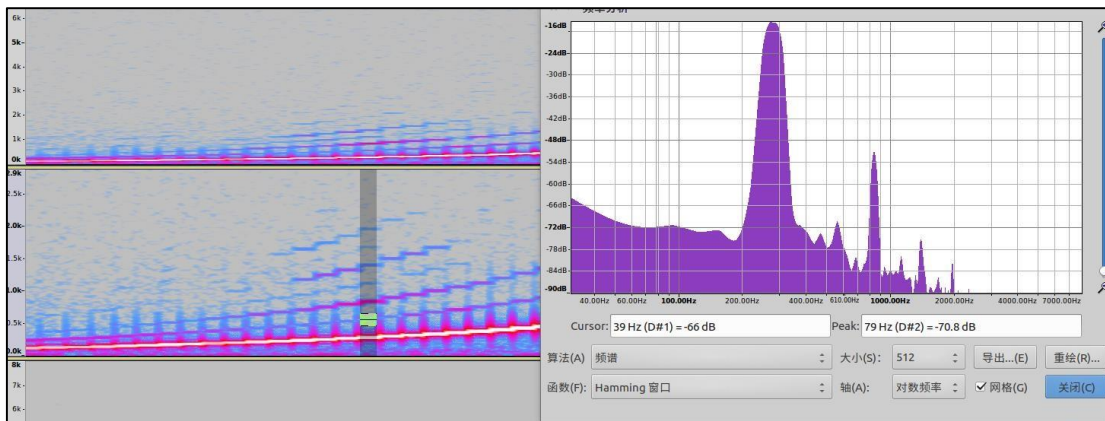


图 9

以此类推，将所有存在 THD 的频率点进行计算，即可得知 DUT 自播自录 THD 是否满足要求。比如图 10：265Hz 基频幅值-27.6dB，第二峰值 795Hz（三次谐波）幅值-36dB， $\Delta = -8.4\text{dB}$ ，故不满足要求。

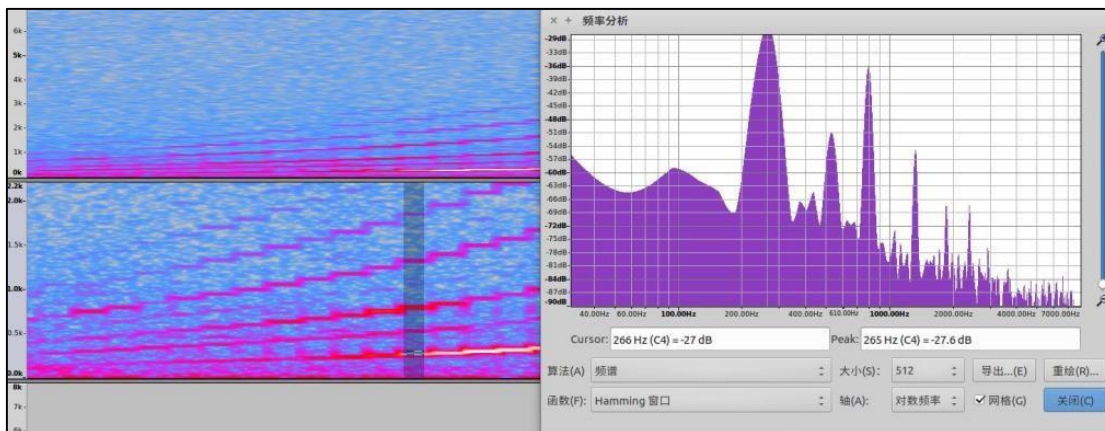


图 10

注意事项：对于基频能量明显较小导致的 THD 超标的，需要在 Audacity 中查看相应频点的谐波能量大小。

具体操作：比较自播自录 THD 达标的相近频点的谐波能量大小。举例，软件分析出 300Hz 自播自录 THD 超标，此时自播自录 THD 达标的 400Hz 基频能量-20dB，二次谐波能量-50dB，而 300Hz 处基频能量-40dB，二次谐波能量 50dB。据此可以判断 300Hz 处的自播自录 THD 达标。

如图 11，MIC 音频出现较多谐波，需要首先检查 SPK THD 是否超标（在评估阶段需严格控制好 SPK 的选型），其次确认 SPK 腔体是否引起结构振动。

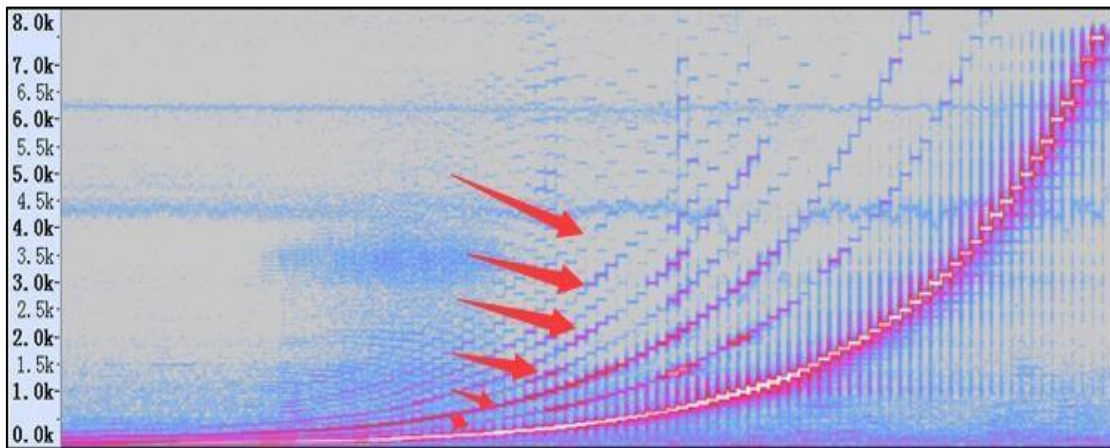


图 11

3.4.2 回采通道

如图 12，回路出现较多的谐波，如果电路回采信号接的是功放后端，则排查是否为功放的失真引起。

参考信号中出现谐波状态 ($\text{THD} \leq 3\%$)，对算法影响不大，但可能影响主观听效。

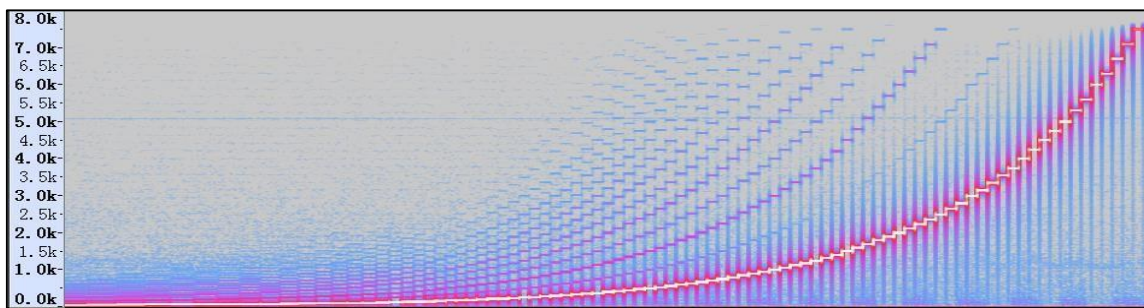
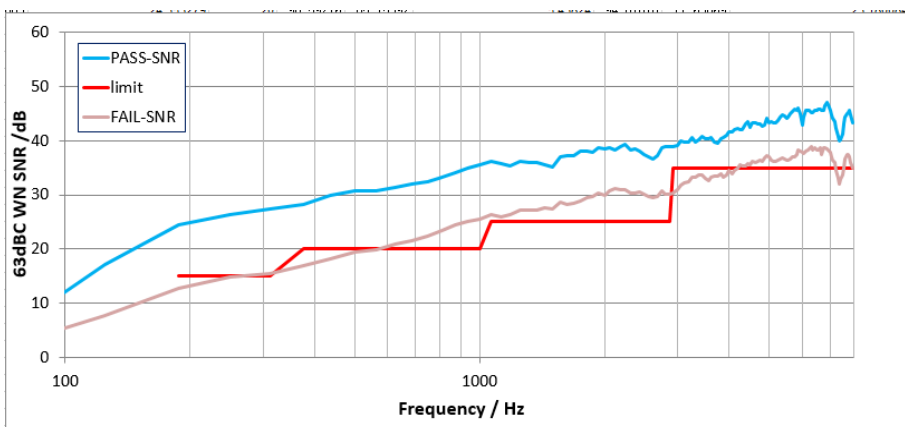


图 12

3.5. 麦克风通道信噪比

全 / 半消声室内，人工嘴 100~8000Hz 频响校准，随后人工嘴播放 100~8000Hz EQ 白噪声，调节 MIC 处达到 63dBC，设备录音 10s，然后外部声源不播放，设备空录 10s。Audacity 分析，音频重采样为 16kHz，频谱分析采样点大小为：256。目标值：200~300Hz SNR 大于 15dB；300~1000Hz SNR 大于 20dB；1000~3000Hz SNR 大于 25dB；3000Hz 以上 SNR 大于 35dB，越高越好，每个频段只能有 1 个点低于标准线以下，且不能低于该频段的 10%。如果是恒频导致的信噪比低，允许 5 个掉到红线以下，前提恒频 pass



3.6. 直流偏置

分析时为了排除噪声，使用低通滤波器，截止频率 1Hz。

麦克风通道：

模拟麦克风通路音频直流偏置 mic 处声压级 63dbc----- 直流能量不大于 mic 幅值的 1/3---举例模拟麦：0.005 *1/3，数字麦克风通路音频直流偏置应该小于 0.0015 *1/3

回采通道：

回路直流偏置应该小于 0.5% (0.005)。

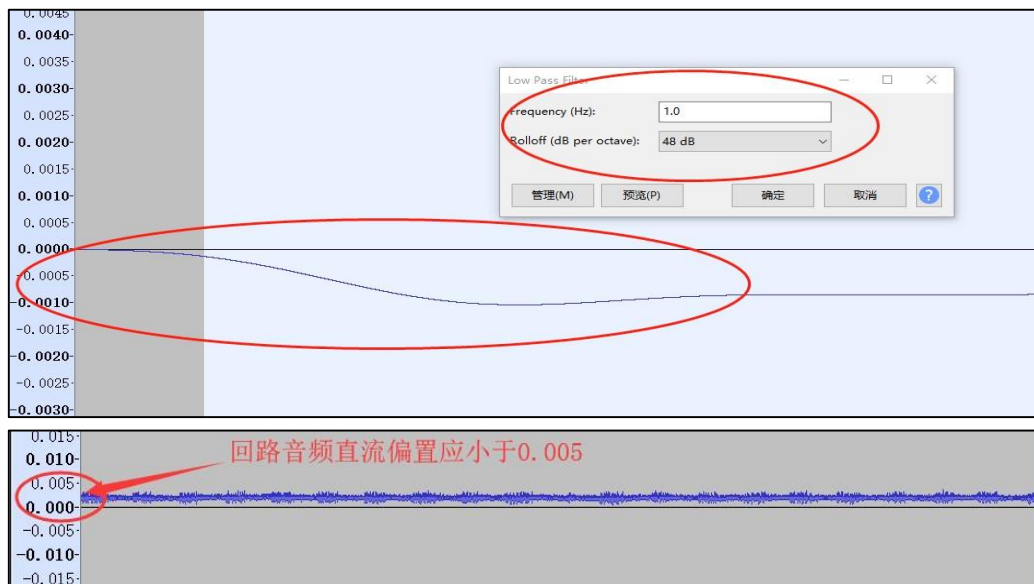


图 14

3.7. 回采通道电噪声检测

回采通道电噪声标准：

- 1, 最大音量的回路信号大于回路电噪声 66dB
- 2, 本机无播放条件下，确认回路是否有异常噪声

测试方法：

先抓取机器以最大音量播放白噪声的音频，记录此时回路的音频幅度；再抓取机器不播音时的音频，记录此时回路的音频幅度。最后对音频进行去直流操作，再进行判断。

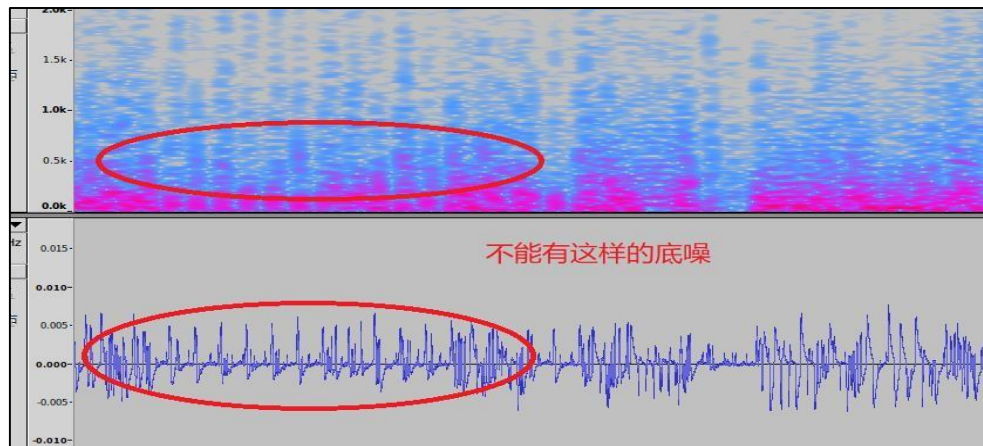


图 15

3.8. 恒频干扰

观察安静环境下通道录音频谱，判断是否存在恒频干扰现象。如图 16，箭头所指为恒频干扰。

恒频干扰判断标准：在信号幅度（增益）满足要求情况下，（新标准：双麦以上，恒频单频都可以过；多恒频 6 个以下，四麦能量低于 -65db（模拟麦）数字麦加 11db，双麦 -77db（模拟麦））数字麦加 11db 可以过；（超过 6 个待判定）；如果是恒频导致的信噪比低，允许 5 个掉到红线以下；），外部噪声导致的恒频单独评估。

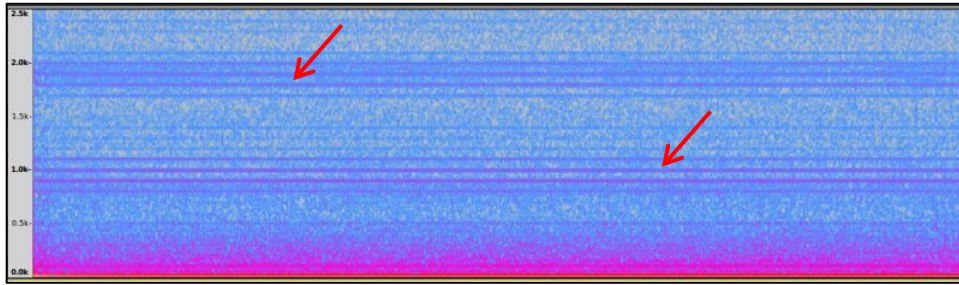


图 16

恒频干扰问题可从电源处入手，查看供电是否稳定、干净，更换成 LDO 给 MIC 阵列供电等方式解决问题；或者检查 MIC 信号走线是否与其他电信号存在串扰可能，常见串扰包括 LED，触控 IC 等。

3.9. 抗混叠

麦克风通道和回采通道都需要做低通滤波，过滤高于 8kHz 频率的信号。自播自录 1_15kHz.wav。图 17 没有低通滤波，存在混叠问题；图 18 经过低通滤波后不存在混叠。

1. 外部播放 50cm 处 63dbc，判断标准：使用频谱采样点为：1024 查看 6KHz-7KHz 对照的能量值，在使用频谱查看折痕 7KHz 处，用折痕处减去对照的能量值得到的值，要求小于-40db ,折痕 6KHz 处小于-70db

2. 针对抗混叠不达标，对唤醒率减低多少见：

<https://wiki.aispeech.com.cn/pages/viewpage.action?pageId=67314710>

- 2.自播自录参考回路同上

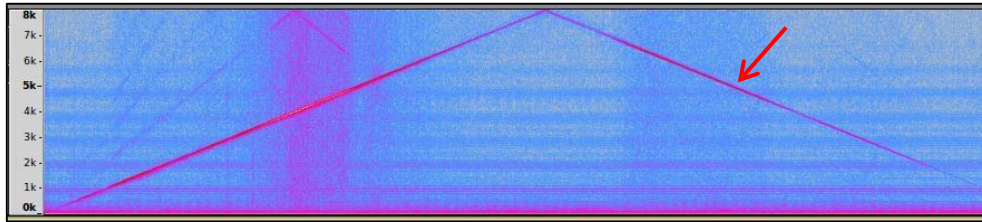


图 17

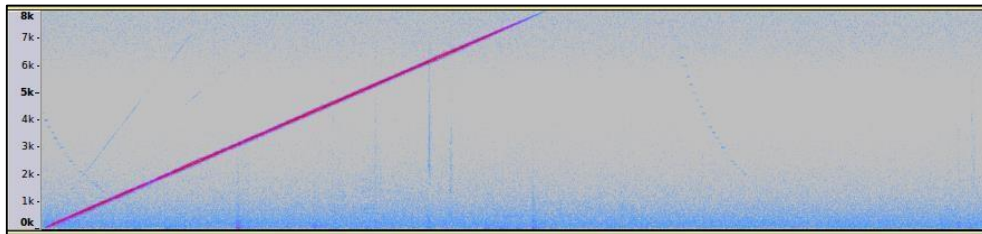


图 18

3.10. 麦克风和回采通道延时

麦克风相对回路的音频延时需要在 $0 \sim 20\text{ms}$ ，麦克风信号不能早于回路。音频使用测试 thd 的音频和回路幅值的音频查看

图 19 麦克风和回路的音频延时在 20ms 以内，这个延时在算法允许误差内。

图 20 的麦克风和回路的音频延时在 25ms 左右，做完 AEC 算法后的效果达不到最优。

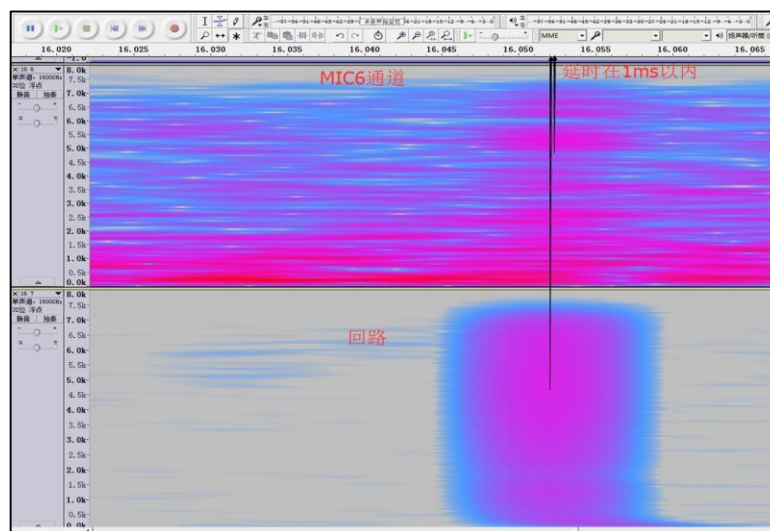


图 19

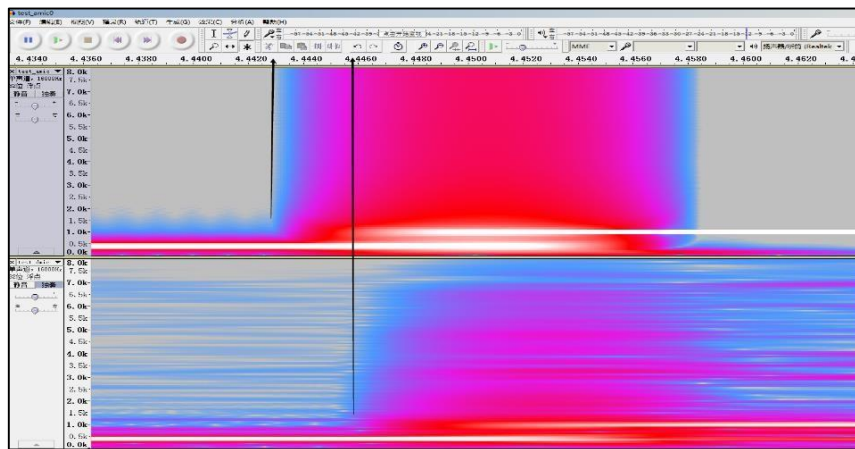


图 20

3.11. 麦克风通道同步性

麦克风通道必须保证同步，可以用 1kHz 单频电信号进行测试，比较容易看出相位差。如图 21，通道 4 与其他通道存在明显差异。

该测试方案只针对模拟麦克风，数字麦克风、整机带结构的同步性验证在消声室内完成。电路板级同步性通过电信号输入进行验证。

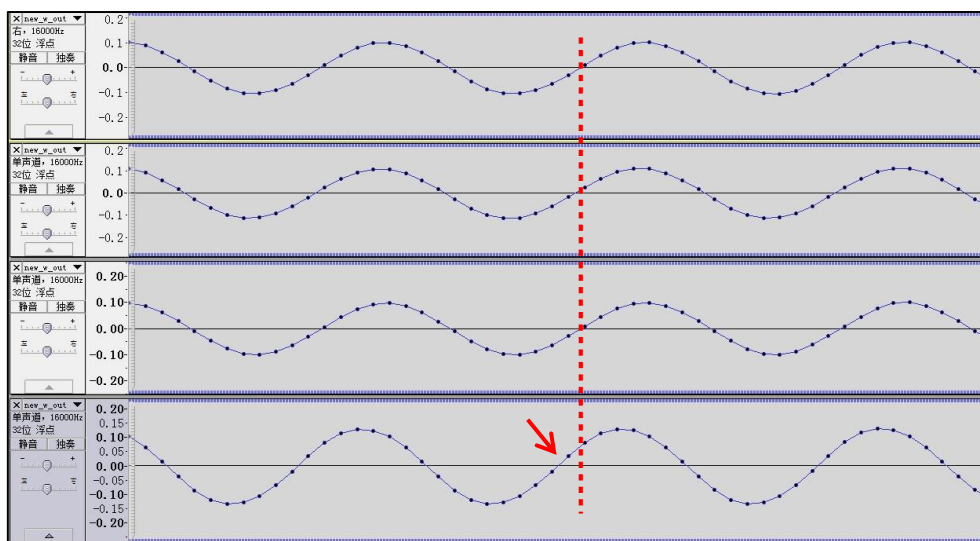


图 21

3.12. 结构共振/震动/异响 /THD

1.自放自录麦克风通道总谐波失真(50cm 76dBC

测试要求：100-200Hz，小于 8%，200-400Hz，小于 5%，400-8000Hz，小于 3%

近场要求：100 ~ 200Hz THD ≤ 20%) 200 ~ 400Hz THD ≤ 14%400 ~ 8kHz THD ≤ 8%

同时，在 mic 增益满足要求情况下，模拟 mic 设备自放自录的各谐波能量的绝对值小于-65dB，数字 mic 设备自放自录的各谐波能量的绝对值小于-76dB

两瓦以下小喇叭 THD 初步定对于麦克风处 85db 谐波标准-45 对比，数字 mic-56db)

- 共振

缺乏有效减震措施的结构，容易发生共振现象。发生共振的频段，通道幅度远大于没有共振的通道，如图 22。这种情况，通过增加硅胶/泡棉、加强 MIC 采集板、SPK 音腔的减震、EQ 调节等方式尝试解决问题。

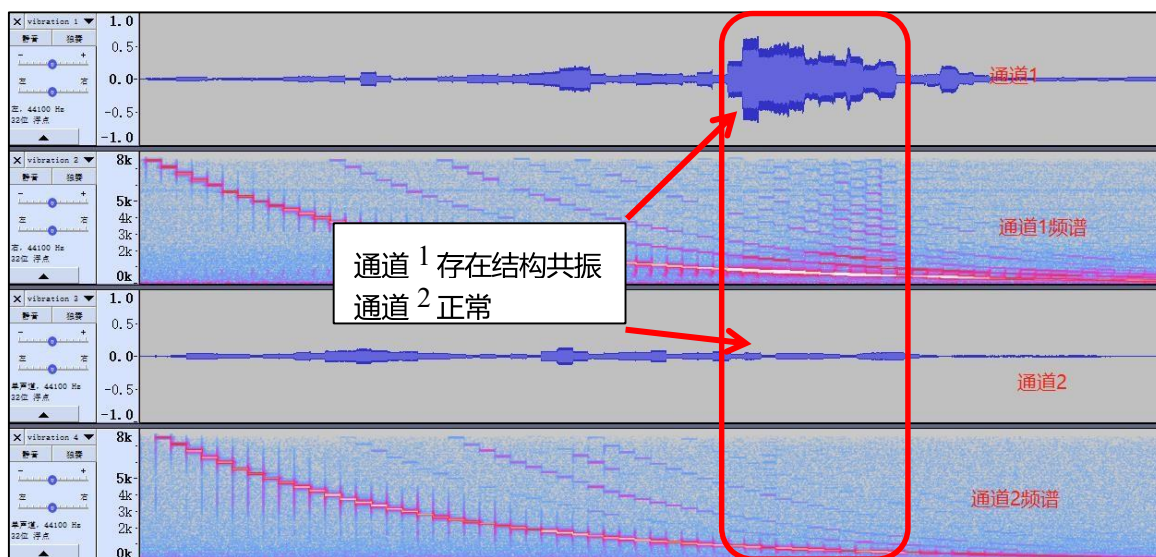


图 22

- 震动/异音

当设备内部器件松动、碰撞、摩擦时，可能引起震动/异音，影响唤醒打断效果。如图 23，震动会引起明显的 4 阶及以上高阶谐波（左，红框），不发生震动的频段谐波主要为喇叭 2/3 阶谐波，高阶谐波能量很弱（左，绿框）。异音通常为打线、结构件碰撞，呈宽频噪声（右，红框）。

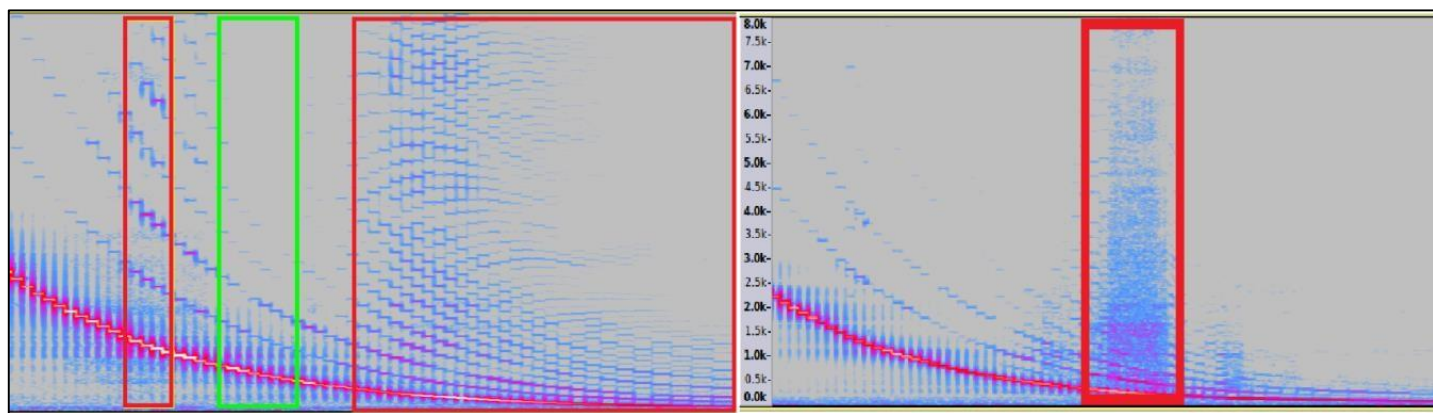


图 23 震动（左）异音（右）

异音通过加强内部器件的减震措施（加泡棉、硅胶、橡胶等）、增大结构内部间隙、EQ 调节等方式解决，较易做到完全避免。

震动通过加强内部器件的减震措施、EQ 调节等方式解决。达标的判断方法：在 3.3.1 麦克风通道幅度达标的前提下，模拟麦克风幅度不放大，数字麦克风放大 11.5dB 后，频谱分析，2/3 阶（图 24 橙色标记）谐波能量不超过 -60dB，4 阶以上（图 24 红色标记）谐波能量不超过 -75dB。

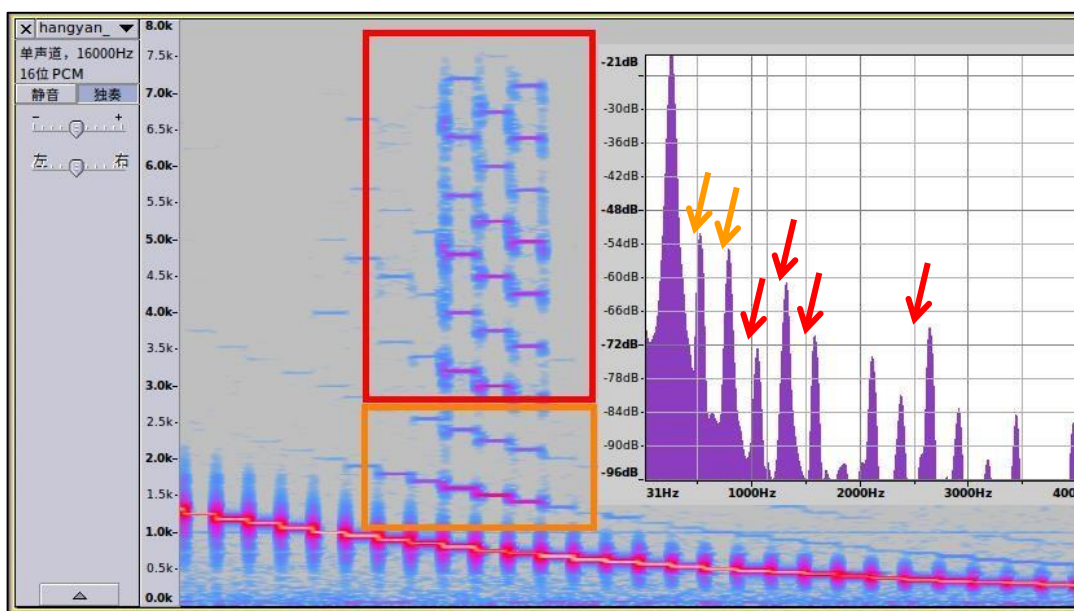


图 24

注意事项：在改善 3.4 总谐波失真、3.12 结构共振/震动/异音时均涉及 EQ 调节。EQ 调节需注意调节频率范围，仅针对超标的频段。若调节的频段过宽（图 25 黄框内频段不需降低 EQ），导致整体音量降低，最终测试时为了达到指定音量而增大播放功率，导致原先达标的其他频段发生超标（绿框内）。

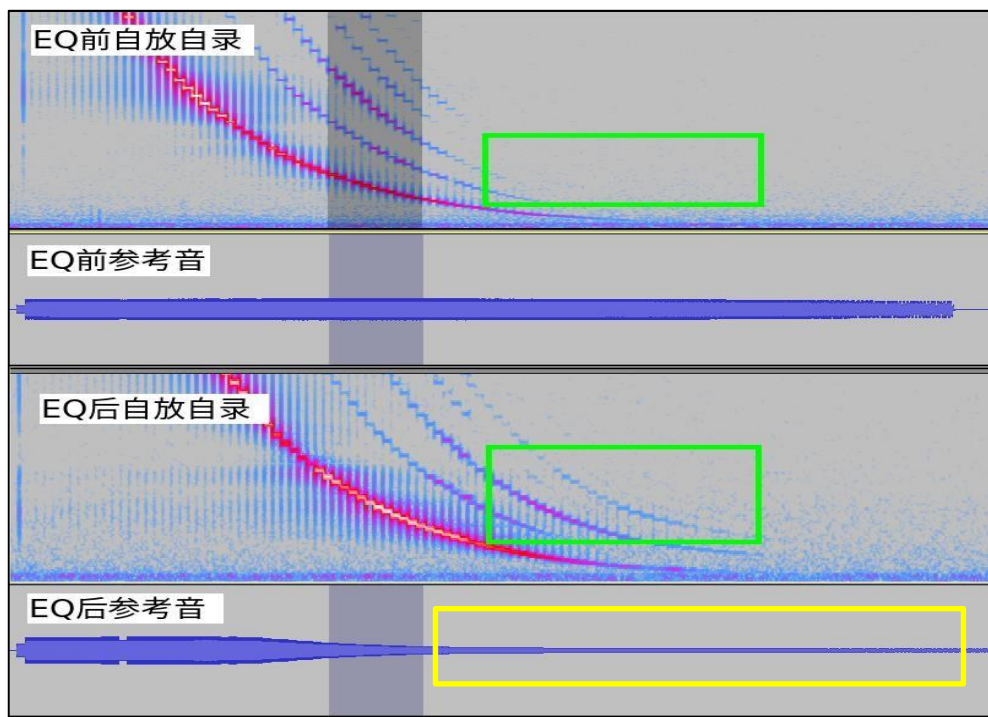


图 25

3.13. 麦克风通道气密性

麦克风收音通道密封性没做好，音箱、电视类产品会影响唤醒打断效果，油烟机、扫地机等强自噪产品会影响使用场景唤醒、识别性能。如果麦克风离扬声器、自噪声源很远（0.5 米以上），或者麦克风模组和扬声器模组处于完全独立的两个腔体内，则气密性不作要求。

1. 扬声器距离 DUT 50cm，使 MIC 处达到 63dB 循环播放 76dB_sweep.wav，录制多个扫频波周期后，使用阻尼、橡皮泥类材料将 DUT 麦克风收音孔进行密封，继续录制多个扫频波。针对气密性不达标，对唤醒率减低多少见：

<https://wiki.aispeech.com.cn/pages/viewpage.action?pagelId=67314710>

2. **判断标准：**（新标准：50cm 以上，mic 处声压级小于 85db 的设备，气密性不测。设备 mic 与喇叭在 20cm 以上 50cm 以下气密性差异可以放到 10db，麦克风与喇叭独立腔体的设备密封性≥5db）

如图 26，密封后幅度降至底噪水平，气密性达标；如图 27，密封后幅度没有明显降低，气密性超标。

解决方向：收音通道是否有密封层，不建议仅通过打胶方式作密封处理；密封层侧向厚度是否偏薄；密封层材质是否是硅胶、橡胶等材料，不建议使用开孔率高的泡棉等材料。

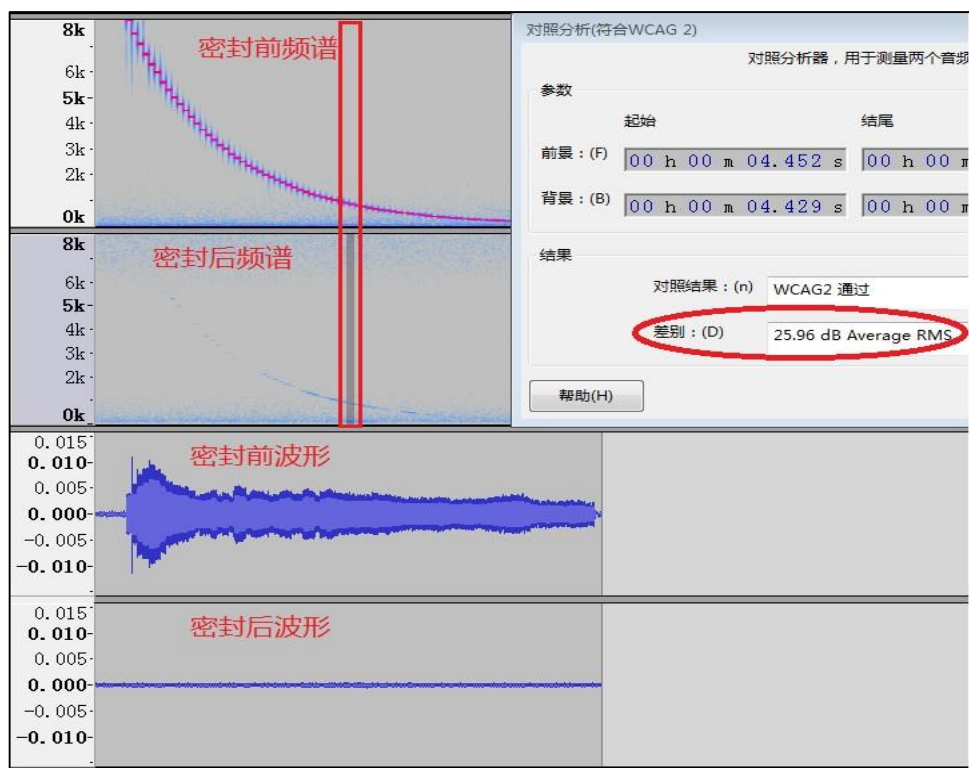


图 26

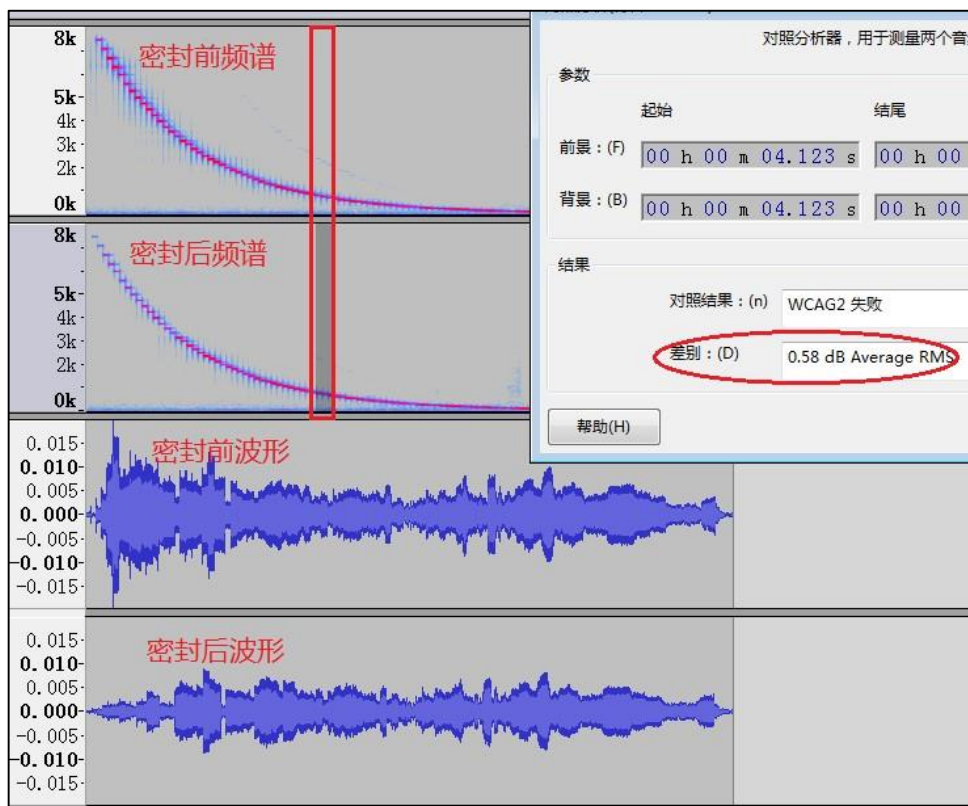


图 27

3.14. 耳机麦克风通道频响波动及一致性

通话情况下;

6K 频率以上的曲线不关注;

6K 频率以下, 2mic TWS 耳机关注 mic1 和 mic2 频响曲线间的差值不大于 3dB;

6K 频率以下, 3mic TWS 耳机, FB mic 频响曲线均线比 FF、Talk mic 频响曲线均线小 6dB, 波动差值 $\pm 1.5\text{dB}$

通话情况下, mic 在 100-5kHz 频段上, 频响波动在 5dB 以内,

高频 (5k-8kHz) 根据项目情况定频响波动范围;

ANC 情况下, mic 的频响波动另外考虑;

判断方式:

通过分析出来的频响曲线判断, 见图 25、见图 26、见图 27

