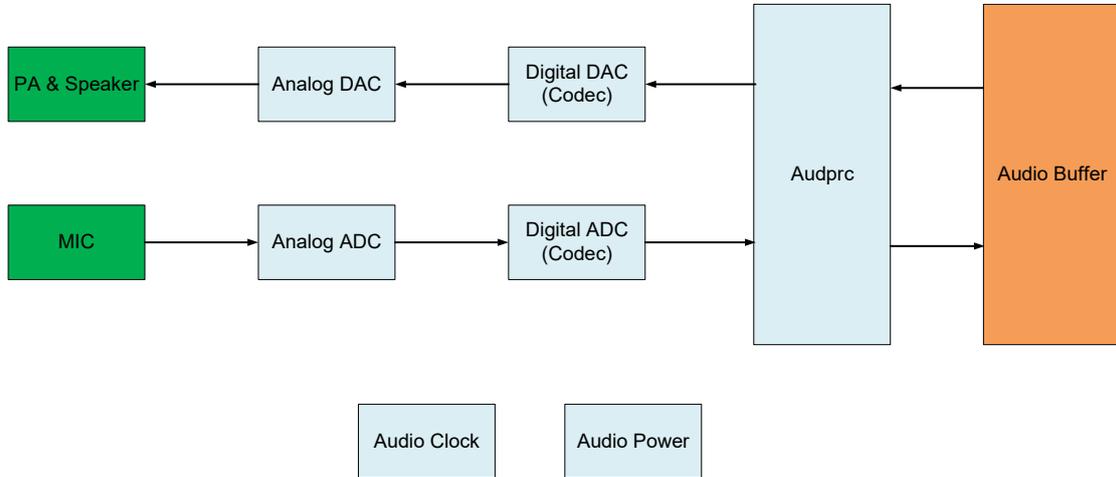


# 蓝牙音频调试指南

## 基本通路与概念



音频通路通常由上图中几个模块组成，其中 Audio Buffer 表示由软件准备的音频收发的缓存，绿色的 PA&Speaker 表示外部的功放和喇叭，MIC 表示外部麦克风，剩余的其他模块均为芯片内部音频硬件模块。

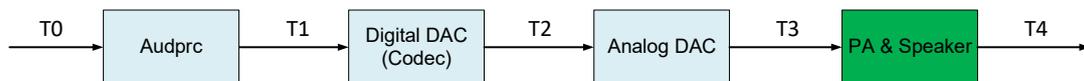
采样率：采样率指的是音频数据的频率范围，常见采样率包括通话用 8KHz/16KHz，音乐播放用 44.1KHz/48KHz 等。

倍频：倍频现象是指在频谱中出现某一个频率单音信号以及这个频率整数倍的分量，这个现象通常是由于电路中的非线性引起的。例如 1KHz 信号的倍频包括 2KHz，3KHz，4KHz 等等。当发现倍频时，一般优先排查最低频点的单音信号源头。

饱和：饱和是指对于单音正弦波，因为输出范围受限，正弦波的峰值被削顶。

## 调试流程：

### 一、DAC 通路测试



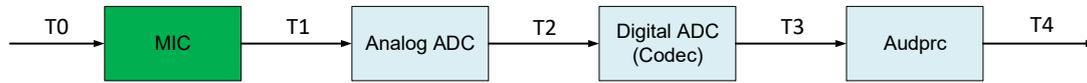
如图所示，DAC 基本通路测试流程要求由软件准备原始音频素材，通过整条音频通路直到喇叭播放。具体测试要求参考如下表格：

采样率	音频素材	喇叭处效果
16KHz	普通声音	声音清晰，无杂音，除底噪外无其他噪声
16KHz	单音 1KHz	信号无谐波和失真，声音清晰，除底噪外无其他噪声
16KHz	静音	除底噪外没有其他声音
44.1KHz	普通声音	声音清晰，无杂音，除底噪外无其他噪声
44.1KHz	单音 1KHz	信号无谐波和失真，声音清晰，除底噪外无其他噪声
44.1KHz	静音	除底噪外没有其他声音

以上六组测试可以酌情进行筛检，但至少需要保留一组 16KHz 和一组 44.1KHz，后续的软件

调试可以参考这两个测试的 DAC 模拟/数字模块寄存器配置。有条件的可以通过仪器对 PA 的输入输出端进行测量，包括底噪，1K 单音响应等。

## 二、ADC 通路测试



如图所示，ADC 通路测试要求由软件采集 MIC 端的声音输入，并将其保存下来进行播放。此时需要保证已经完成了 DAC 的通路测试，并且通路测试没有问题。具体测试要求参考如下表格：

采样率	音频素材	采集后播放效果
16KHz	普通声音	声音清晰，无杂音，除底噪外无其他噪声
16KHz	单音 1KHz	信号无谐波和失真，声音清晰，除底噪外无其他噪声
16KHz	安静环境	除底噪外没有其他声音
44.1KHz	普通声音	声音清晰，无杂音，除底噪外无其他噪声
44.1KHz	单音 1KHz	信号无谐波和失真，声音清晰，除底噪外无其他噪声
44.1KHz	安静环境	除底噪外没有其他声音

以上六组测试可以酌情筛检，但建议至少保留 16KHz 的一组测试。后续的软件调试可以参考这两个测试的 DAC 模拟/数字模块寄存器配置。有条件的可以通过仪器对 MIC 的输出端进行测量，包括底噪，1K 单音响应等，同时也可以将软件录音的出去传输到 PC 上进行更细致的分析。

## 三、蓝牙射频性能测试

手表需通过蓝牙射频性能测试，频偏、发射功率、接收灵敏度等指标达到基本要求。如果射频性能存在问题，可能会对调试音频的卡顿等问题造成干扰。

## 四、蓝牙音乐测试

手机能够通过蓝牙搜索与连接手表。手机与手表距离 1 米以内，能够稳定播放手机音乐 5 分钟以上，没有明显变调、杂音、死机重启等问题。如果播放声音明显异常，需关注时钟、采样率问题。如果中间出现杂音，并且 DAC 通路测试没有异常，通常考虑蓝牙射频或屏幕引入的干扰。如果播放长时间后出现死机重启等问题，考虑手机时钟与本地时钟偏差可能引发的问题。

## 五、音乐 EQ 调节

音乐 EQ 通常根据客户要求，配合客户一起调试。

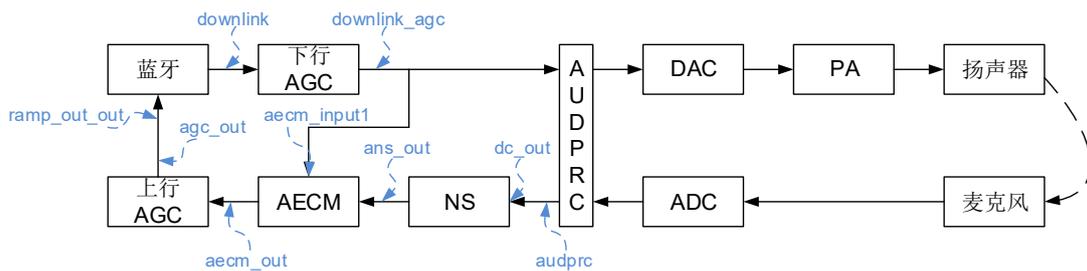
音乐 EQ 一般用于修正播放音乐时喇叭的频响曲线，以达到客户预期的音质效果。不同客户的喇叭不同，对音质的要求也不一致，因此每个产品都需要单独调试。

## 六、蓝牙通话通路测试

手表拨号，与远端手机能稳定通话 2 分钟以上，上行单讲与下行单讲时对端都能听到无明显变调的声音。此时如果出现回声、噪声、音量、音质等问题暂不关注。手表与近端手机无遮挡距离 2m 远，关闭通话音频算法，上行单讲与下行单讲时对端不应听到明显卡顿，否则需要检查射频性能或者手机信号问题。

## 七、蓝牙通话算法导入

1. 合入通话算法，并简单听一下大致效果，预期无明显回声和噪声，音量和音质正常，单讲无卡顿掉字。不论此时通话效果是否符合预期，均应当进行后续的相关指标确认。
2. 合入通话算法后需关注通话时的 cpu 占用率，稳定在 50%左右比较合理。如果 cpu 占用率稳定超过 80%就比较异常，需要特别留意 cpu 瞬态超 100%时可能引发的卡顿、系统崩溃等问题。通话时不建议客户切换到其它界面进行操作。如果客户有这种强制要求，需要进行针对性的专项测试和优化。
3. 合入有线抓数功能，能够在飞线机器上进行至少一路数据的稳定长时间抓取。通话音频调试主要依赖于有线抓取到的数据。
4. 蓝牙通话流程与有线抓数的采集点如下图。



## 八、手表喇叭音量调节

喇叭播放音量调节(下行增益调节)须与客户一起调试，由客户确认最大音量。

合入音频算法后，DAC 的输入通常为 16bit 幅度值 16k(-6dB)左右的信号，可通过有线抓数 downlink\_agc 确认。该信号经过 AUDPRC/DAC 增益调节，输出到 PA，又经过 PA 放大送给喇叭。客户会根据需求，通过 EQ 工具调节下行增益，最终使得喇叭播出的音量达到目标。下行增益主要通过 AUDPRC 和 DAC 调节，PA 采用固定增益。客户调试音量后，应当通过示波器观察最大音量档位通话时，DAC 输出和 PA 输出的波形未出现明显饱和，并且听感上喇叭没有明显破音。

喇叭播放的音量过大时，可能出现近端音质差，远端回声，以及双讲时远端听到卡顿等诸多问题。必须与客户确认该产品的最终音量需求，尽量选用适中音量，或明确告知客户音量过大带来的负面影响。由于每个终端产品选用的喇叭不同，音腔不同，隔离度不同，所能承受的通话质量不受损失的最大音量也有所不同，因此每个产品都需要单独与客户进行最大音量的确认。主观感受上，手表以最大音量播放时，在距离手表 20cm 处声音清晰明亮且不感觉到刺耳为佳。

喇叭播放音量也是影响通话功耗的最主要因素。

## 九、通话 EQ 调节

该流程非必须，通常根据客户要求，配合客户一起调试。如客户无明确要求，也可不使用 EQ。通话 EQ 一般用于修正通话时喇叭的频响曲线，以达到客户预期的音质效果。不同客户的喇叭不同，对音质的要求也不一致，因此每个产品都需要单独调试。通话 EQ 与音乐 EQ 覆盖的频率范围不同，必须分别调试。通话 EQ 对通话功耗也有影响。

## 十、通话音频指标确认

1. 录音音量(录音增益调节)。该指标需进行有线抓数确认，不需客户参与。  
通话时远端手机麦克风静音，近端距离手表 15cm 处正常音量讲话，通过有线抓数 audprc

采集 30s 以上，观察采集到数据的幅度值，目标值为 4~5k 左右。



如果幅值不符合预期，则需要通过修改 AUDPRC 中的寄存器调节录音增益，使得采集到的语音幅度值达到 4~5k。软件初始值应当设为 0x24(0dB 增益)，在此基础上进行调整。

0x5C	0x0000_0000	adc_path_cfg0	
[31:15]	17'h0	RSVD	
[14]	rw	1'h0	rx2tx_loopback rx to tx loopback enable
[13]	rw	1'h0	data_swap swap adc path left and right channel data
[12]	rw	1'h0	src_sel adc path source select 1'h0: select audio codec 1'h1: select external interface
[11:6]	rw	6'h3f	vol_r volume control from -18~13dB, step is 0.5dB 6'h0: -18dB 6'h1: -17.5dB ..... 6'h3e: 13dB 6'h3f: mute
[5:0]	rw	6'h3f	vol_l volume control from -18~13dB, step is 0.5dB 6'h0: -18dB 6'h1: -17.5dB ..... 6'h3e: 13dB 6'h3f: mute

2. 录音噪底。该指标需进行有线抓数确认，必要时可能需要客户修改 PCB。通话时远端手机麦克风静音，近端需在安静环境下静默(开启麦克风)，通过有线抓数 audprc 采集 30s 以上，观察采集到数据的幅度值，目标值小于 200，并且没有周期性的扰动。

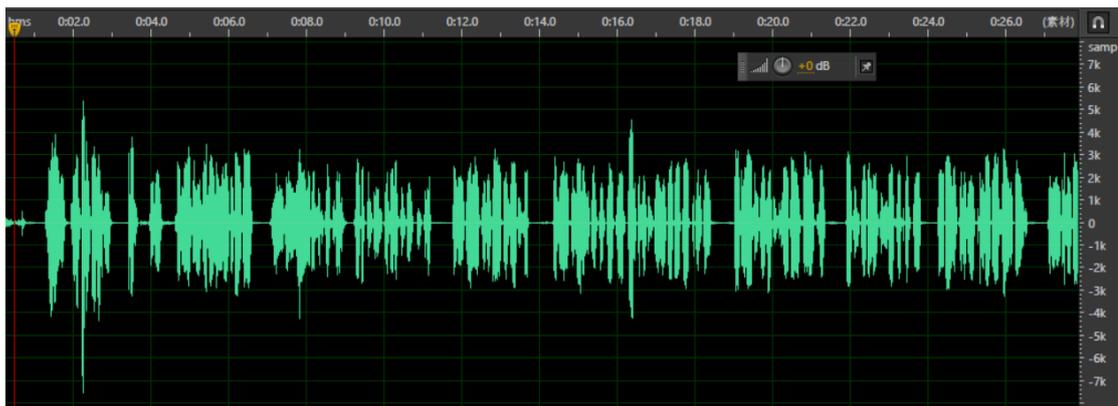


如果噪声幅度明显偏大，需要查找板上可能引入的干扰。该指标会影响上行噪声和回声的处理。通常干扰源可能来自屏幕刷新、背光 PWM、蓝牙射频等，可以通过噪声的频谱大致推断与排除。

降噪的效果可以通过有线抓数 ans\_out 确认，数据幅度值小于 50 可以认为基本达标。

3. 回声音量。该指标需进行有线或无线抓数确认，必要时可能需要客户修改手表内部结构。测量该指标的前提是需要喇叭播放音量指标经过客户确认，以及录音音量调节完毕。通话时近端需在安静环境下静默(开启麦克风)，播放音量调整到最大，远端手机正常音

量讲话, 通过抓数 audprc 采集 10s 以上, 观察采集到数据的幅度值, 目标值为 5k 以下。



如果回声幅值大于 5k, 需要考虑增强麦克风与喇叭的隔离度。对于飞线机器, 回声大可能是飞线导致的密闭性不好, 必要时可以从表身侧面打孔引出分线。也可通过整机无线抓数的方法确认回声音量。

## 十一、通话音频测试

蓝牙通话效果与手机平台密切相关。不同近端手机与远端手机的组合, 出来的效果都不太一致。因此在蓝牙通话算法部署完成后, 必须进行多平台的测试, 至少覆盖近端苹果远端苹果, 近端苹果远端安卓, 近端安卓远端苹果, 近端安卓远端安卓四种组合。不同平台手表和远端手机听到的声音音质和音量有一些区别属于正常现象, 但是都应该达到如下标准: 安静环境下声音能不费力听清, 单讲无明显卡顿丢字, 无明显回声, 底噪轻微。

## 常见问题和调试方法

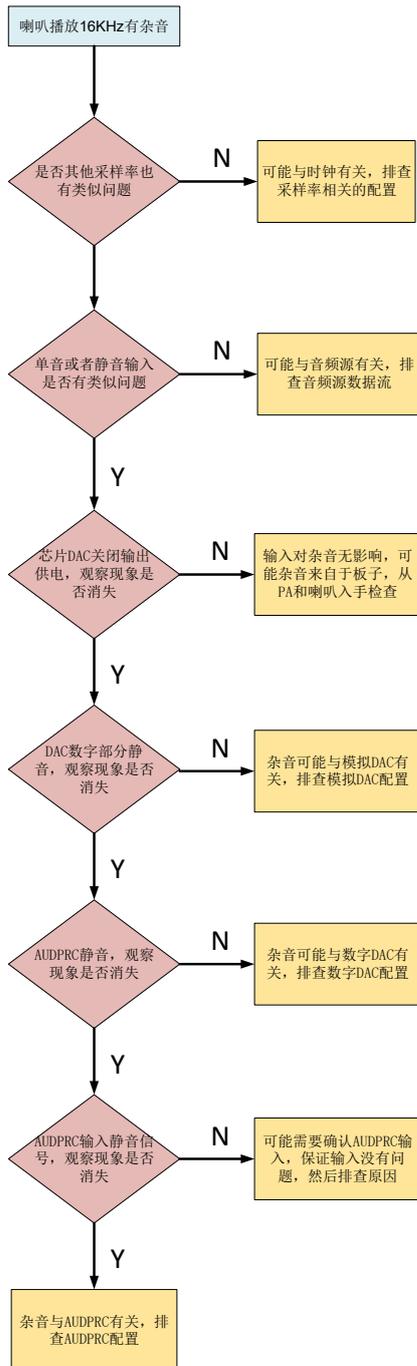
### 一、DAC 通路问题。

从后向前原则: 由喇叭开始, 一级一级向前推断, 找到引入问题的音频模块, 向前推断方法包括测量前一级输出, dump 前一级数据, 以及将前一级输出静音, 看当前级变化。

复杂输入到简单输入原则: 复杂到简单输入的顺序是普通音频, 单音音频, 静音音频, 简化输入可以减少输入的影响, 其中单音信号主要用于测试音频幅度和饱和问题, 静音信号用于测试音频底噪。

考虑到芯片出厂时均经过了最基本的芯片级别音频测试, 基本的音频指标是有一定保证的, 测试中的排查应该集中在喇叭的听感上, 如下的案例就是一个排查喇叭杂音的案例:

问题: 喇叭播放 16KHz 的音频有滋啦滋啦杂音



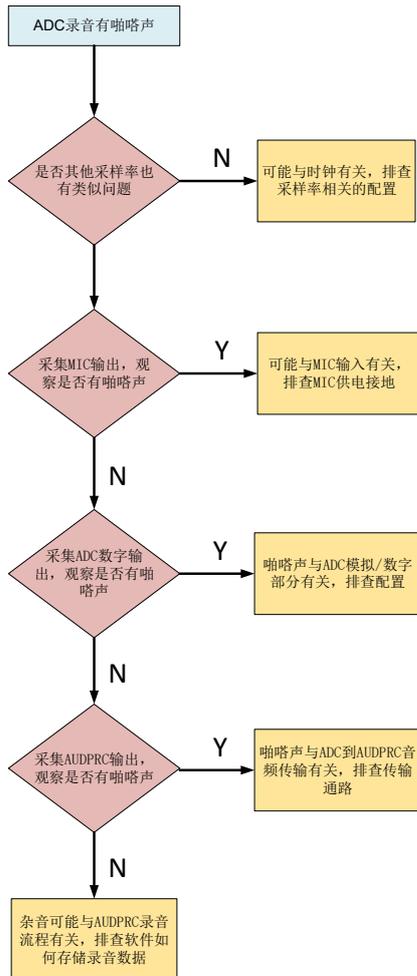
上图中红色框表示调试的方法，黄色框表示调试结果得到的反馈结论，这些结论有助于之后进一步更精细的排查问题所在。

## 二、ADC 通路问题。

从前向后原则：由 MIC 开始，一级一级检查下一级的输出，找到引入问题的音频模块，向后推断要求能够采集每一级的音频输出，通过比对音频数据的变化，确认问题所在。

复杂输入到简单输入原则：复杂到简单输入的顺序是普通音频，单音音频，静音音频，简化输入可以减少输入的影响，其中单音信号主要用于测试音频幅度和饱和问题，静音信号用于测试音频底噪。

如下案例是一个排查 ADC 录音啪嗒声的案例：



这个案例的流程也是遵循 ADC 通路问题分析的原则。

### 三、周期性或持续性的杂音与噪音。

通常由 PCB 板上的干扰引发，需要进行板级的测试。

检查音频相关的供电和接地：供电主要包括 audio 的 3.3v，MIC 的 bias 电压，外部 PA 的供电等，供电上需要保证电压稳定，对于某些操作，例如屏幕刷新，蓝牙收发包，有可能会对 VDD 产生周期性的干扰，所以在检查的时候最好使用 AP 进行频谱分析，通过分析典型信号频率来定位干扰来源。接地部分类似，也是排查接地上是否有周期性的干扰，从频谱出发进行排查。

### 四、pop 音。

指的是短暂出现的“啪”一下的声音，本质上是声音在时域上出现不连贯。

重点要检查音频通路各模块开启关闭顺序，避免音频采集和输出过程中产生瞬态突变。音频模块的开启关闭顺序有一定的原则。对于 DAC 通路，先开启/关闭下一级前要保证前级已经稳定且音量足够小，例如开关 PA 前要保证 DAC 模拟输出信号足够小并且稳定。对于 ADC 通路，开启/关闭下一级前要保证前级输出已经稳定，例如开关 ADC 的时候要保证 MIC 供电稳定且进入正常工作的状态了。对于 pop 音，尤其是喇叭中听到的，都可以通过示波器抓取瞬时 PA 输出信号来确认。

蓝牙丢包时也可能产生 pop 音，需要排除这个因素。经过 PLC 补偿以后因为蓝牙丢包产生的 pop 音应当不明显。

五、手表喇叭播放的声音过大/过小/有破音。

检查下行增益是否配置合理，包括 AUDPRC,DAC, PA。

六、手表喇叭声音失真/尖锐/有颤音。

检查 DAC 输出与 PA 输出是否有饱和。部分喇叭频响不好，需要通话 EQ 进行补偿，调节音质。

七、手表喇叭有持续噪声。

先将远端手机麦克风静音，如果还有噪声就需要排查手表播放通路自己的问题，需要确保音频播放通路的性能测试能够通过。如果确认噪声是远端传来的，通常是特定的远端手机底噪或背景噪声过大，同时本地音量也调的太大造成，没有很好的解决办法，只能调低音量或者远端更换手机测试。可以有线抓取 downlink 数据确认。

八、手表喇叭出现尖锐的啸叫或者逐渐变轻的回声。

一般是远端手机和近端手表距离太近造成。应保证测试时远端和近端在声音上的隔离，建议两边在不同楼层或相距较远的房间里测试。

九、手表喇叭出现短暂的杂音/噪声/异响。

通常是远端手机发生了动作(例如拿起放下，触碰到麦克风通孔等)，或者远端环境中出现突发噪声(如关门，咳嗽等)，传到了手表这边。出现这种情况时，需要第一时间询问远端人员发生了什么事情，一般都能找到原因。特别是通话刚接通时经常有相关动作造成的杂音。建议通话两端在接通前几秒不要有任何动作，听一下是否还有类似杂音。

十、手表喇叭听到声音频繁卡顿，掉字。

检查手表和近端手机是否距离 1 米以内无遮挡。远端尝试提高讲话音量看是否有改善。可以尝试远端切换到手机听筒排除手机信号不好的因素。

十一、手表喇叭突然出现无声。

检查远端手机是否麦克风静音，是否讲话声音太小，是否手表喇叭静音。排除上述原因后需记录现场 log 分析软件状态，最好能有线抓取 downlink 数据确认。

十二、手表喇叭突然出现电钻声、变形金刚声。

确认是否拉锯场景。需记录现场 log 分析软件状态，最好能有线抓取 downlink 数据确认。

十三、远端手机听到的声音过小。

重点检查录音增益是否设置正确，可以有线抓取 agc\_out 数据确认。检查手表麦克风通孔是否被阻挡，通常麦克风通孔位于手表左侧或右侧。检查远端手机音量设置。

十四、远端手机听到的声音卡顿，掉字。

首先需要确认近端讲话与手表的距离在 20cm 以内，手表麦克风通孔未被阻挡。并且要区分单讲和双讲场景。单讲时先将远端手机的麦克风静音，如果听到的声音仍然卡顿，主要怀疑算法部署问题或算法兼容性问题，需检查软件代码。双讲时卡顿为已知问题，暂无有效解决办法，近端讲话时离手表更近或声音更大可以相对缓解。

十五、远端手机听到的音质差，声音尖锐/沉闷/遥远。

通常为远端手机的个体差异造成，可以替换手机或替换竞品手表进行对比。如果与竞品手表差别较大，需要个例分析。

十六、远端手机听到明显回声并且持续时间较长。

回声测试需要在密封性良好的整机上进行，飞线机器有可能出现较大回声。测试时确认手表周围没有其它物品遮盖，并且正确部署了音频算法。需确认回声音量指标是否达标，并有线抓取 ans\_out,aecm\_input1 和 aecm\_out 三路数据进行算法分析。

十七、远端手机偶尔听到短暂回声。

通话刚接通时、手表喇叭音量调节后、手表周围被遮盖时出现短暂回声属于正常现象，只要回声不持续发生就问题不大。

十八、远端手机听到持续噪声。

先将手表麦克风静音，排除远端手机自身干扰。然后两端都不说话时存在的噪声一般就是近端较大的背景噪声。如果只在近端说话时才存在噪声，那也是近端存在的较小的背景噪声，只是在不说话时噪声被滤掉了。如果噪声是远端说话后才持续几秒钟，远端不说话就没有，那其实是回声残留。客户如果报了噪声相关问题，首先需要明确是上述哪一种噪声，再针对性的分析解决。

十九、远端手机听到短暂的杂音/噪声/异响。

通常是手表端发生了动作(例如拿起放下，触碰到麦克风通孔等)，或者近端环境中出现突发噪声(如关门，咳嗽等)，传到了远端。出现这种情况时，需要第一时间询问近端人员发生了什么事情，一般都能找到原因。特别是通话刚接通时经常有相关动作造成的杂音。建议通话两端在接通前几秒不要有任何动作，听一下是否还有类似杂音。

二十、远端手机突然听不到声音。

检查远端手机是否静音，手表是否麦克风静音。排除上述原因后需记录现场 log 分析软件状态。可以有线抓取 ramp\_out\_out 数据确认。

二十一、远端手机听到“嗡嗡”电流音。

电流音一般出现在远端说话后，是回声抑制出现了问题，需要检查音频算法部署情况。严重时需确认回声音量指标是否达标，有线抓取 ans\_out,aecm\_input1 和 aecm\_out 三路数据进行算法分析。

二十二、通话持续一定时间后突然出现明显的声音卡顿或死机。

主要怀疑蓝牙时钟与手表时钟误差造成的音频缓存溢出。需要对照软件 log，检查时钟跟踪算法。

二十三、通话过程中 UI 卡顿

通话算法占用了一部分 CPU 资源，因此 UI 帧率会收到一定影响。一般不建议客户放开通话时 UI 切换的权限。如果客户有这种强制要求，需要进行针对性的专项测试和优化(例如限制全屏动画播放)，使得帧率满足基本要求。