

扩声系统防啸叫技术简介

硬件维修

扩声系统防啸叫技术简介（ZT）

- 一、啸叫的常识简介-----1.
 - 1. 为什么要啸叫-----1.
 - 1. 解决回声啸叫的办法-----2.
- 二、啸叫的形成机理-----2.
 - 1、声音的一些基本特点-----2.
 - 2、峰点的形成——房间固有声学响应-----6.
 - 3、反馈——啸叫的形成条件-----8.
 - 4、房间啸叫的形成机理-----12.
 - 5、实践中需注意的问题-----15.
- 三、防啸叫技术方案实施的原理及优劣对比-----17.
 - 1、均衡方式抑制啸叫-----17.
 - 2、移频方式抑制啸叫-----20.
 - 3、移相方式抑制啸叫-----23.
 - 4、参量均衡方式抑制啸叫-----25.
 - 5、DSP 技术的运用-----28.

一、啸叫的常识简介

1、为什么要啸叫？

不知各位还记得小时候到礼堂、空旷的大房间以及山谷中去玩耍打闹、高声喧哗时产生的回声吗，这些地方为什么产生回声呢？是因为我们发出的声音经过空气传播出去后（声音致使空气产生压缩和扩张，并按 340 米/秒的速度将这种压缩和扩张进行四散传播），遇到了墙壁、高山使声音返回来再次传到我们的耳朵里，就听到有重音或回声；由于声音通过空气的传输能量会逐次递减

（变成空气热量而消耗掉），所以我们听到的回声会一次比一次弱小以致最后消失，不会产生啸叫。

在我们使用扩声系统时，尤其室内使用拾音器（俗称话筒）扩声经常产生啸叫，原因就是房间固有的存在前面提到的回声现象，当音箱产生的回声返回时通过了话筒，会再次被话筒拾到声音，使回声再次进入扩音系统进行了放大，如果回音和初始音相位相同则两个声音会产生叠加加强，加强的声音再次回声到话筒放大，再次加强，如此周而复始，便产生了强烈的刺耳的啸叫，从而破坏了扩声系统的稳定，有效的声音进不去也扩不出来，也听不到，整个设备不能正常工作。所以，产生啸叫的根本原因是回声（回声反馈加速引起的）。

2、解决回声啸叫的办法

在音响界，最初解决回声啸叫的办法是降低扩声系统的增益（放大量）来使系统稳定工作，缺点是不能完全满足扩声音量的需要；所以工程技术人员又在室内建筑声学、结构声学以及室内装饰装修方面下功夫以解决扩声难题和回声反馈啸叫，这方面最典型的是北京的中国音乐厅，它基本上可以不用现在的扩声器材，但它的造价及施工难度非常大，不具备普遍推广意义；故工程技术人员又通过仔细认真研究啸叫形成机理又在电路上想办法解决这一扩声难题，先后开发了均衡、移频、移相、参量均衡等方案，基本上能满足现代扩声要求，具有普遍推广意义。

二、啸叫的形成机理

前面讲了，回声是形成啸叫的根本原因，没有回声则永远不会啸叫。那针对某个房间啸叫具体是怎样形成的？相位又是什么呢？何为峰点、谷点？

1、声音的一些基本特点

我们首先要记住声音的一些基本知识：

1、声音是靠空气振动传播的（在真空中人是听不到声音的）。

2、空气中声音传播速度为 340 米/秒。

3、声音的传播需要能量。即传播需要消耗功率，没有能量的注入就不会有声音的传播；声音在空气中的传输能量会被空气逐渐吸收转化为热量消耗从而声音会越传越弱小以至消失；海面上声音往往传不远，这是因为海水比空气和陆地对声音能量的吸收要厉害的多，故往往轮船汽笛喇叭的功率要求达到上千瓦特甚至十几万瓦特。

4、人耳可听声音频率范围：20Hz（赫兹）~20000Hz（赫兹），即空气每秒振动的次数在 20 次到 20000 次人耳能听到，每秒振动次数低于 20 次以下称为次

声波，每秒高于 20000 次称为超声波。

5、人声语言的音频范围：一般在 200Hz~4000Hz 之间。男性的频率成分偏中低频，女性的频率成分偏中高频。这就是为了尽量不占频带资源而电话机的带通频率一般设在 300Hz~3000Hz 的真正原因，而我们都知电话机的通话音质完全可以接受。

6、音强：即声音的大小强弱，空气压缩或扩张的程度越强则声音越大，相反压缩或扩张的程度越弱则声音越小。

7、声压：声音的大小用分贝（即 dB）来表示，人耳可听音强范围在 0dB~140dB 左右。

8、分贝：分贝是对声压的对数表示方式，即参照物按乘法的方式变化时我们的对数（即分贝）按加法的方式来表示。其中人耳听力曲线是与对数曲线非常相近，即当音量成倍增大时，人耳听觉对音量的这种增大感觉要迟缓，越是到了高声压级（大音量）后，感觉越迟缓。用分贝表述声压单位符合人耳的听觉特性。

举例：音量增加了 10 倍，我们分贝表示增加了 20dB；当音量再增加 10 倍即原来的 $10 \times 10 = 100$ 倍时，我们的分贝值再增加 20dB 即 $20 + 20 = 40\text{dB}$ ；同理，当一个声音增加了 100000 倍即 $10 \times 10 \times 10 \times 10 \times 10$ 倍，我们用分贝值表示此声音增加了 $20 + 20 + 20 + 20 + 20 = 100\text{dB}$ ；显然用分贝数表示声压比直接表示声压值要显得易读和省事（至少少写了许多“0”，不信试着写出并读出 200dB 声压的声音增加了多少倍？10000000000 倍）；实际倍数和分贝换算之间还有一个方式即：声压每增加 1 倍，分贝值增加 6dB；再增加 1 倍即 $2 \times 2 = 4$ 倍，分贝值增加 $6 + 6 = 12\text{dB}$ ；以此类推。相反，当声音减弱多少倍，分贝值则相应地按上述换算关系减去多少分贝。

值得注意的是对功率的表示值是功率每增加 10 倍产生的声压分贝值只增加 10dB，功率每增加 1 倍产生的声压分贝值只增加 3dB，这刚好是前面换算的一半。这是因为功率是一个复合参数（电压和电流同时作用才叫功率），大家不必知道这是为什么，只是必须知道是这么一回事，因为在实际的扩声中，有能量的消耗才会有声音产生，功率是能量的实际表征，故功率的换算方式具有实际意义。

9、人耳听觉音强范围描述：

0dB 音强指在完全消音的房间里人耳刚刚能听到或感到声音存在时的声音大小（显然，这种理论上的环境是不会存在的，完美的消音室也做不到 0dB 的声音出来）；人们正常音量讲话口腔位置发出的声压在 100dB 左右，在环境相对安静时人们耳朵感觉最舒服的音量大小在 88dB~92dB 左右（这一点尤为重要，我们在常规语言扩声领域追求的每一听众位置能得到的平均声压就在这一数值，声压过弱过强人耳都容易感觉疲劳）；大多数人在声压达到 130dB~140dB 即感到耳疼、头痛、头皮发炸，即痛域值；我们知道宇航员在火箭升空过程中耳

朵要承受 160dB 的噪音是多么不容易，痛域值比常人简单的多出 20~30dB 这意味着经过训练的宇航员他的要比常人能承受的极限声音还可以高出 10 倍到 30 倍左右。

10、波长：20Hz 的声音每振动一次声音已走了 17 米（即 20Hz 声音的波长为 $17 \text{ 米} = 340 \text{ 米/秒} \div 20\text{Hz}$ ）、20000Hz 的声音每振动一次声音已走了 0.017 米（即波长 1.7 厘米）；

11、直达声：声音在空气中直接进入人耳的声音叫直达声；

12、反射声：声音经过建筑物反射后进入人耳的声音叫反射声；声音在传播中遇到障碍物（比如墙面、地面、桌椅等）时，一部分进入障碍物被其吸收，一部分被障碍物反射回去（即回声，其反射方向同镜子反射光线一样）；

一次反射声：声音被障碍物第一次反射后的声音叫一次反射声，一次反射声弱于直达声；

二次反射声：声音被障碍物第二次反射后的声音叫二次反射声，二次反射声弱于一次反射声；

N 次反射声：声音被障碍物第 N 次反射后的声音叫 N 次反射声；N 次反射声弱于 N-1 次反射声；

13、房间声音的描述：

当一个房间完全吸收声音能量，则该房间完全没有反射声只有直达声，这种房间我们称之为消音室，这时人耳听到的声音发干、干瘪。

当一个房间完全不吸收声音能量而只有反射称为不吸音，这时反射声的能量不衰减，叫反射声过强；这时人耳听到的声音浑浊、混沌。

直达声和反射声往往先后作用于人耳，实验表明当两者时间相差 50ms（0.05 秒）以内，人耳听不到两个声音，反射声起到补充直达声的作用，声音变得厚实、丰满；

14、房间混响时间：

无数次的反射声和直达声共同形成了混响，当一个房间的混响时间在 1 秒到 2 秒之间为混响适中，人感觉听感舒适；当混响时间大于 4 秒则听感浑浊，说明房间反射过强、吸音过弱，应增加一些吸音措施；当混响时间小于 1 秒则听感干瘪，说明房间吸音过强、反射过弱，应减少一些吸音措施；

15、声音的相位：

我们知道声音是通过空气的压缩和扩张来传播的，对空

间的某一点来说,当直达声压缩该点的空气,而反射声反射到该点时有两种情况:

一、同样地在压缩该点的空气,我们称反射声和直达声在该点的相位相同,则该点空气压缩的程度变强,音强得到增加,声压得到了提高;

二、相反地在扩张该点的空气,我们称反射声和直达声在该点的相位相反,则该点空气压缩的程度变弱,音强得到减弱,声压得到了降低。一句话:相位相同声音变大,相位相反声音变小。

2、峰点的形成——房间固有的声学响应

有了以上的声音的一些基本知识我们回头分析啸叫的形成机理,对于特定的房间,有它固有的房间声学频率响应特性,这种特性只与房间的几何结构尺寸和材料及内饰物的表面吸音和反射能力及位置相关。这种固有的频率特性是什么,又是怎样得来的呢

在房间里,当一个声音发出去以后,直达声呈扇面球状立体发散的传递,这些无数角度方向发出去的直达声音在遇到房间房顶、地板、四面墙壁以及内饰物、呈列物后一部分声音能量被其吸收掉,另一部分被其反射回来形成反射声;反射声经过空中传递后又进入这些物体一部分被其吸收另一部分又被其再次反射;周而复始,直到最原始的声音能量被空气和这些物体吸收怠尽为止。

我们来具体看这个过程。很显然在声音完全消失前,房间空间的任何一点都充斥着:原始直达声+N次反射声=N+1次的叠加,这些无数次的反射声到达空间该点的方向、大小强弱是杂乱无章的。有的反射声到达该点与原始直达声相位相同,声音变大,声压提高;有的反射声到达该点与原始直达声相位相反,声音变小,声压降低;一般来说,越后面的反射声能量越小,对该点声压的影响越小,越可以忽略不计,通常只考虑直达声和前两三次反射声对空间某一点声压实施的影响。

理论和实践表明:对于特定的某个房间,只要音箱位置固定或声源的方向固定,房间空间中的任何一点都有相应固定不变的声压——频率响应曲线,该曲线表征了房间特定某一点上声音在 20Hz~20000Hz 不同频率点位上的直达声和反射声叠加后对该频率点声压施加的影响。

可以看出 20Hz~20000Hz 的音频范围内,声压的大小是各不相同的(不是标准的一条直线),这是由于不同频率声音的波长不同,反射到该点路径不同,最终在该点和原始直达声的相位不同。有的频率点直达声和所有反射声相位相同,声压显著提高,我们称该频率点为峰点,声压最高的频率点叫第一峰点,声压次高的频率点叫第二峰点,依次类推;有的频率点直达声和个别反射声相位相同,声压有所提高;有的频率点直达声和个别反射声相位相反,声压显著降低我们称该频率点为谷点,声压最低的频率点叫第一谷点,声压次低的频率点叫第二谷点,依次类推;从声压——频率曲线图还可以看出,峰点谷点往往在声音频率的中低频段分布更多一点,10000Hz 以上要少一些,这是由于材料和空气对高频的声

音能量吸收快，反射少，反射声少则意味着高频声音在空间由于相位不同造成的叠加机会少，故高频段的峰谷点分布少；而中低频段的峰点分布多的重要原因是低频声音具有强绕射能力（前面讲过越是低频波长越长，20Hz 时波长可达 17 米，明显长波在传递过程中可以很轻松地绕过障碍物，即绕射能力强）同时不易被材料和空气吸收能量，故峰点在中低频段分布多一些。

很显然，当房间的声压——频率相应曲线越平坦，峰谷点分布越少说明该房间还音效果越好，房间混响适中；相反曲线落差越大，峰谷点分布越多说明该房间还音效果差，该房间的混响偏重。

房间的声压——频率响应曲线可通过粉红噪声发生仪和声压计以及扫频仪来测得。测试证明，世界一流的音乐厅，其房间听众位置的任何一点的声压——频率响应曲线更完美；这是因为建筑声学 and 材料声学材料作用，优秀的建筑声学大师就象优秀的调味大师一样非常懂得怎样控制直达声和反射声的混合方式和混合量的；当然通过建筑 and 材料来实现完美声音重现其成本是非常壮观的。

明白了房间的声压——频率响应曲线关系，同时也明白了什么叫峰点、谷点后，同时明白了声音的一些基本知识后，我们来理解扩声中啸叫的形成机理就变得易如反掌。

3、反馈——啸叫的形成条件

专业的说法啸叫就是自激，自激形成的条件就是系统存在信号的正反馈现象。这里有必要说明一下反馈的含义：反馈就是系统设备输出的信号通过某种途径又进入了系统设备的输入端，信号通过这个途径由输出到输入的过程就叫反馈。

反馈分正反馈和负反馈。

在忽略反馈需要时间的情况下，正反馈信号与原输入信号相位相同结果使输入信号变大，当然输出信号一样变大，结果使同相的反馈信号又比上一轮变得更大；如此信号每反馈一次，输出信号便增加一次……周而复始，如此循环直到输出信号强度稳定地达到系统设备的满度，这便是自激振荡，扩声上叫声啸叫了，显然啸叫破坏了系统的正常工作，我们需要的声音被啸叫音淹没了，出不来了；负反馈信号与原输入信号相位相反结果抵消了输入信号的强度，使输出信号在一定程度内不会变大。

对语音扩声系统来说，系统的输入端就是现场的麦克风（即话筒），输出端则为现场的音箱，反馈信号的途径就是声音在空间传播后部分进入麦克风的声路径。声音从音箱发出声后经过各种途径包括直达、绕射或反射，最终部分声音又经过了麦克风，被麦克风拾到声音。在这个反馈的过程中，由于声音在空中的传播相比信号通过导线在系统设备中的传递要慢得多（可近似用声速和光速来相比），故分析扩声系统的啸叫机理就不能忽略反馈过程所花的时间。

可以计算，当反馈的声音信号到达麦克风时，前面的原始声音音头已经过去

了，这时已经无所谓反馈信号是正反馈还是负反馈了（单一的反馈声音，没有比较，就完全谈不上相位的问题）。但是为什么还是会啸叫呢？不难想象只要反馈到麦克风的声压 $>$ 初始的原始声压，只要系统设备和房间环境设备不变动的话，就会一如既往的二次反馈声压 $>$ 一次反馈声压，三次反馈声压 $>$ 二次反馈声压……周而复始，如此循环直到输出信号强度稳定地达到系统设备的满度，这便构成啸叫。故啸叫建立的时间长短取决于反馈声通过反馈路径传播所需要的时间长短，一般来说，房间越小啸叫建立的时间越短。啸叫是非常有害的一种现象，不仅让设备不能正常，而且往往容易烧毁扩声器材功放音箱等，而且有伤人耳。

通俗讲：如果将话筒与音箱现场完全分开，则音箱发出的声音永远也进入不了话筒，即反馈的这一部分开路，系统就处于开环状态，无论扩声系统声音开得多大，都不会有啸叫产生。

通过上面的分析可以看出，啸叫是系统处于闭环状态时不可避免发生的一种特殊情况，特殊性在于什么呢？就在于闭环的扩声系统其闭环的系统增益 $K_{闭}>1$ 。我们首先要明白什么叫增益和反馈系数？

增益：就是指放大倍数或叫放大量，扩声系统为什么要用音响设备啊？就是因为人讲话的声音音量太小，听众听不到或听不清，音响设备可以将声音放大后再通过音箱发音让听众很舒服地听见并听清讲话人的讲话内容，这个音响设备就是放大设备，其放大的倍数就是增益，其增益是有用的开环增益，用 $K_{开}$ 表述， $K_{开} = \frac{\text{设备的输出量}}{\text{设备的输入量}}$ 。一般常说的调整音量大小，就是调整扩音系统设备的放大量即 $K_{开}$ 。

反馈系数：我们知道从音箱发出的声音只有一小部分反入到麦克风，并且经过数次反射和传播损耗，故到达麦克风时音量已经比原始音箱发出的声音减小了许多，减少的程度用反馈系数表述，反馈系数用 $F_{反}$ 表示， $F_{反} = \frac{\text{反馈到麦克风时的音量}}{\text{音箱发出时的音量}}$ 。可以看出在现场的扩声系统中，反馈系数 $F_{反}$ 取决于现场音箱和话筒的位置，以及房间的几何结构和固定反射面， $F_{反}$ 几乎是不可变更的。

显然在现场扩声系统信号的传递路径（设备内的电信号+设备外的声音信号+电声/声电转换）是一个完全封闭的环路，是闭环的。包括现场会议、语音教室、现场节目表演等，啸叫是现场扩声永远不可回避的问题，所以啸叫问题必须在闭环状态考虑才有实际意义

闭环增益 $K_{闭} = K_{开} \cdot F_{反}$ ，根据前面分析啸叫形成的过程可以看出当反馈音量 $>$ 初始音量，形成啸叫，可以计算这时 $K_{闭}>1$ 。所以：闭环增益 $K_{闭}>1$ 是现场扩声系统啸叫的本质原因；闭环增益 $K_{闭}<1$ 是现场扩声系统稳定工作的秘密。如果想办法将闭环增益 $K_{闭}$ 减小，使得 $K_{闭}<1$ 则系统是没有啸叫的； $K_{闭}=1$ 是一种临界状态，系统处在啸叫的边缘，也应当避免。

由式闭环增益 $K_{闭} = K_{开} \cdot F_{反}$ 可以看出，减小 $K_{开}$ 或 $F_{反}$ 都可以降低系统的闭环增益。反馈系数 $F_{反}$ 在采取硬手段（即尽可能让音箱和话筒的距离变

大，并且各自的指向相背，且选用近距离拾音话筒以求到达话筒等）后是几乎在不能减小了，变得几不可调的；事实上，调整系统开环增益 $K_{开}$ 是避免啸叫让系统闭环增益 $K_{闭} < 1$ 的根本办法，即发生啸叫是要迅速降低扩声设备的系统音量，保证让系统设备在闭环增益 $K_{闭} < 1$ 的情况下工作。

这里又引发出了另一个问题：在实际扩声系统调试中，已经做到了 F 反的最小化了，慢慢调整系统音量电平时，有效听众位置的声音音量并没有变大起来，根本还没有满足量感的需要（即语音要求声压达到 88dB~92dB）而系统就啸叫了，设备无法用了，这是怎么回事？难道 $K_{闭} < 1$ 是这么的苛刻，这么的不尽人情，还是那里出问题了？

这个问题算是问到了核心上了，这便是我们推出系列防啸叫设备的真实原因了，这些设备既能继续扩大音量，同时又能有效避免 $K_{闭} > 1$ ，满足语言扩声系统稳定工作的苛刻条件 $K_{闭} < 1$ 。

4、房间啸叫的形成机理

那上述问题究竟是怎么一回事呢？让我们继续分析啸叫的机理。

当我们在具体的某个房间设定好音箱和话筒位置后，接下来便正确地联接好扩声系统设备，确保系统设备完好、系统联接正确后于是给系统通电使其预热，然后慢慢调大系统音量（一定是慢慢调大音量）使其开始工作。这时会发现在音量开到了某个位置（临界位置）时会明显感到啸叫要发生了，再往上开音量肯定立马啸叫，（不管啸叫是在低音还是中高音），于是只好将音量往下回调一点，可听众席位置的声音还太小，音量根本不够用。于是扩声设备就成了摆设无法用了。

需要必须明白的是，人耳感觉声音大或声音小这是声音能量（即空气振动的能量）累积作用于人耳后人主观生理上的感受。远处飞机轰鸣而过虽声压不大，但我们感到声音低沉、能量充沛，声音很大；近处一个气球爆裂或塑料纸的摩擦声响虽声压很高，但我们感觉不到有多大的声音能量，故也感觉不到声音有多大。

话题回到前面，我们感觉听众席位置的声音不够，是由于在啸叫前音箱发出的声音累积到人耳的能量不够，而这种能量的声音组成是在 200Hz~4000Hz 范围内共同作用于人耳的。简单地说：语言范围内的声音平均能量并没有起来，人就会感觉声音小；相反，当人耳感觉声音大小合适是由于语言范围内声音的平均能量起来了；再用前面讲到的平均声压在 88dB~92dB 人耳感觉声音大小最合适，其意思是语言频率范围（即 200Hz~4000Hz 频率范围）的大多数频率点的平均声压都能达到 88dB~92dB，通俗地说语言范围内的声音都出得来

我们知道啸叫是由于反馈声再次被话筒拾到音后引起的，而话筒这种内似“人耳拾音”的东西其拾音的方式与“人耳”确是大不相同。话筒对声音能量的累积反应（即声音转化为电的过程）要比人耳反应迅速，特别在对突发的相对单一频率成分的声音反应能力上比人耳快的优势明显，往往人耳还未感觉到有什么特别的成分在扩声现场，由于话筒的作用系统已经进入了临界状态并要开始

啸叫了。

这个特别的频率成分便是前面所讲到的室内扩声现场在话筒参考点位置固有的声压——频率曲线上的峰点对应的频率成分。一目了然，本不平坦的声压——频率曲线上存在的所有峰点便是形成系统啸叫的真正罪魁祸首，而啸叫产生或刺耳、或轰鸣的声音所对应的频率点就是曲线上峰点所对应的频率，故峰点首先啸叫。

根据啸叫必须在闭环增益 $K_{闭} > 1$ 时才会产生的这一理论，不难理解，当系统音量增大过程中，峰点频率附近的声压很高，虽然频带窄，但由话筒有比人耳反应更迅速的能力可知，峰点附近的声音已被话筒强烈地吸收到了，闭环系统在该点足以满足 $K_{闭} > 1$ 的条件，虽对人有用的大多数语言频率成分的音量还低，还处在 $K_{闭} < 1$ 的稳定状态，可系统已经啸叫了。换句话说：当音量开打过程中，系统大多数频率成分的声音还没放起来的时候，峰点频率的声音确已经很大了，虽人耳不明显感觉到其存在，可系统设备已经发现并引起了啸叫。啸叫总是率先发生在峰点位置，啸叫点的先后顺序是第一峰点、第二峰点、第三峰点……这样一个顺序。由此可知，房间固有的声压——频率相应曲线中峰点的存在成了语言扩声的严重障碍。这就是在现场实际扩声中啸叫发生的真正内在原因和机理。

实践证明只要能有效避开峰点位置的扩声，语言范围内的平均声压能得到明显的提升，从而满足绝大多数听众对声音量感上的需求，同时系统稳定。近代所有电子防啸叫技术都是围绕这一基本原则命题展开的；就算是前面提到的通过建筑结构声学、材料声学等昂贵的方式满足扩声量感和质感等方法，其本质也是在围绕消除峰点这个基本命题展开的。

我们还需要知道，房间的声压——频率响应曲线是指房间音箱发声音的空间位置和角度一定的情况下，房间空间中任何一点位置的响应曲线；同一房间，曲线和空间位置有一一对应的关系，空间位置变了，曲线也会发生变化，曲线上对应的峰谷点频率位置也会发生一些变化；我们讨论的近代电子防啸叫技术防的是什么呢？防的就是话筒所在空间位置点上的峰点。

实践中，房间参考点的声压——频率响应曲线其主要的峰谷点受房间大面积的反射面影响更重，其余的峰谷点则受参考点附近反射面的影响更多一点。对界面话筒来说，其咪头部位则为参考点，故而安装界面话筒时要主意回避其附近物件反射面反射声音的直接进入，同时为什么改变界面话筒位置有时会产生新的啸叫点，就是因为随着话筒位置改变，新参考点附近反射面的反射条件也跟着改变导致新的峰谷点产生的缘故。

一般情况下，越柔性的房间（吸音多，反射少）扩声条件好一些，处理起来容易些，越刚性的房间（吸音少，反射多）扩声条件差一些，处理起来要难些。

5、实践中需注意的问题

这里需要简单的提一下关于 DSP 技术在防啸叫领域的运用情况：

一是，只要每个位置声压平均相等，同时这些位置的平均音量满足听感要求（即平均声压达到 88dB~92dB 范围）即可，太大的声音不但时间长了听众耳朵容易疲劳，而且我们已经知道房间的任何一点的声压——频率曲线都不会是平直的，存在大大小小的峰谷点，音量太大，系统会触及到曲线上太多新的小峰点从而引发新的系统不稳定；一句话，声音太大没必要且有害。上面还说明了这么一个简单的道理，无论怎么扩大音量都不会啸叫的现场扩声系统是永远不会有，那些话筒直接对准贴近音箱同时又打开系统音量而不会发出啸叫的伎俩是骗人的。

二是，通过对稳定工作的扩声现场用声压计测量可知，听众位置的每一点从音箱得到的声压一定比在讲话人所用录音话筒的空间位置得到的声压弱 1~2dB。换句话说一个稳定的扩声系统，在空间有用的听众位置得到的声压都弱于系统话筒录音时所得到的声压，即一个稳定的扩声系统其实就是一个负（减小）放大的系统，这样的系统显然满足 $K_{闭} < 1$ 的理论要求；这里要注意的是：单纯就声压来说系统是减小的负放大，但是扩声系统将从电源获得的声音能量平均发散似地传递到了每一个有效的受众耳朵里了，系统扩音并没有白白浪费，系统的声压上的负放大和系统能量上的扩声是两回事。所以当房间面积过小，在不扩音时，用正常声音讲话，房间空间的任一点的声压都能满足人耳听音量感的要求（即平均声压达到 88dB~92dB 范围），这样的房间，在没有其他扩声方面的功能要求（比如电视电话会议等）仅需讲话时就不需要扩声设备；因为刚刚讲到稳定的语言扩声系统实际是一个负（减小）的放大系统，添加了扩声设备或防啸叫设备从音箱出来的声音反而没有人直接放送的声音大，否则系统难以调试，采用扩声系统对语言现场进行能量上的放大毫无意义同时画蛇添足。

三是，现场的语言扩声既要讲究规避啸叫产生，以求达到声音量感上的需要，同时也要讲究声音的语音清晰度。扩声系统失真和房间混响都有害语音清晰度，声音失真大人将会听不懂字词句，人耳努力鉴别时容易身体疲劳；混响重，人将会听不清字词句，大脑发嗡。所以对于特别刚性、空旷、反射厉害的房间，其混响时间肯定大于 4 秒钟以上，即发出一个音节要在房间里响到 4 秒甚至更长时间后才结束，这显然不可能分清一句话前后的字词，声音将浑浊不清，这样的房间是不能使用的，包括安装电子防啸叫设备等都是毫无意义的！除非增加吸音措施有效降低混响时间（比如摆满桌椅、挂上窗帘、墙上壁画、安装天花石膏吊顶、坐满人员使用等等）；对于混响稍微偏重的房间，适当多点平均分布音箱，并总体降低每只音箱的声音能量，并多衰减低音成分，同时追求适当低一点的声压量级是有效提高语音清晰度的好方法。

三、防啸叫技术方案实施的原理及优劣对比

明白了啸叫产生机理同时又懂得了一些基本扩音常识后，我们接着需要知道的是现代电子技术有哪些方法可以防止房间的峰点响应，从而达到防啸叫的目的，这些方法有哪些特点、哪些差异、有何优劣？DSP 又是如何工作的？

前面讲到，电子技术防啸叫有均衡、移频、移相、参量均衡等方案，这些方案都有可行实施的理论依据和可行实施的产品问世和使用，各有优劣、各有千秋。随着时代发展，人们要求的提高、技术的进步，有的防啸叫实施方案逐渐淡出市

场、有的方案成为市场的新宠、有的方案成为发展的新趋势。我们将这些方案作综合性的比对。? [/align]

1、均衡方式抑制啸叫：

均衡器（这里特指图示均衡器，其面板推杆分布同实际声压频谱图，直观明了故得其名）是将 20Hz~20000Hz 内的声音频带按照一定的倍频程（倍数关系）划分段落，最常见有 15 段和 31 段均衡器等（双通道和单通道姑且不管）。国际通行惯例，15 段均衡器按 2 / 3 倍频程关系分段选取中心频点，由低频端到高频端中心频点分别在 25Hz、40Hz、63Hz、100Hz、160Hz、250Hz、400Hz、630Hz、1KHz、1.6KHz、2.5KHz、4KHz、6.3KHz、10KHz、16KHz 共 15 段；而 31 段均衡器按 1 / 3 倍频程关系分段选取中心频点，由低频端到高频端中心频点分别在 20Hz、25Hz、31.5Hz、40Hz、50Hz、63Hz、80Hz、100Hz、125Hz、160Hz、200Hz、250Hz、315Hz、400Hz、500Hz、630Hz、800Hz、1KHz、1.25KHz、1.6KHz、2KHz、2.5KHz、3.15KHz、4KHz、5KHz、6.3KHz、8KHz、10KHz、12.5KHz、1.6KHz、20KHz 共 31 段。均衡器的频率点位完全固定，每一频点上设置的推杆都可以对本频率点上的声压进行 ±15dB（即 6、7 倍音量）的提升或衰减。

均衡器是怎样抑制扩声啸叫的呢？我们知道均衡器将音频进行了预先的频率分段，引发扩声啸叫的房间峰点总会落在均衡器划分好了的某个频段里面。使用均衡器防啸叫的正确步骤是：首先将均衡器各频率点上的提衰推杆置于中心点，保证均衡器在音频范围的响应平直；慢慢增大系统音量，使系统第一啸叫点临界发生，通过人耳主观判断啸叫点的频率；迅速在均衡器上找到分管该频率点的推杆，并迅速拉下该推杆，这时系统将减小对该频点的放大量，啸叫消失；同理，继续增大系统音量，使系统第二啸叫点临界发生，后面的操作以此类推……直到系统音量满足为止。

从上面均衡器防啸叫的操作过程来看，有如下特点：一、是采用人工手动的方法；二、需要人耳非常熟悉发音的频率是多少；三、动作要迅速，判断频率和操作要迅速到位，不能出错，否则长期啸叫可能引发系统不稳和烧毁。很明显对操作人员的要求极高，非专业人士难以胜任。

事实上，均衡器用来抑制啸叫还有如下的问题存在：

1、中心频点的 Q 值低。Q 值的含义是当下拉均衡器某个推杆比如 1KHz 推杆时，1KHz 声音音量降低的同时，受其影响 1KHz 上下相临的声音音量也会同时降低；影响的大小强弱就是用 Q 值表示的，影响的频率范围越小 Q 值越高，影响越大 Q 值越低。显然我们会要求设备能消除有害的峰点，而其他的频率成份保留的越多音质越保真、声音越丰满，即要求设备有高 Q 值。广义地认为拉动均衡器推杆将会影响与其上下相临的频段。从频段划分可知，当拉动中心频率 1KHz 推杆时，对于 15 段均衡器，受到的影响将在其上下 2 / 3 倍频程范围内，即 630Hz~1.6KHz；对于 31 段均衡器，受到的影响将在其上下 1 / 3 倍频程范围内，即 800Hz~1.25KHz，很明显，均衡器的低 Q 值既让声音变得不饱满同时降低了离开峰点位置较大范围有用声音的声压。

2、衰减量低。前面已知，均衡器推杆的衰减量在 15dB，个别均衡器只有 10~12dB（可换算衰减量在 4~7 倍之间），对于一些啸叫严重的房间，其峰点的幅度会非常高，需要的衰减量在 10~20 倍之间，显然，这时均衡器的衰减量不能满足克服峰点的影响，也就难以抑制啸叫的发生了。其实在均衡器的实践上，Q 值和衰减量更是一对矛盾，要获得大的衰减量，Q 值会进一步降低；要获得设备的高 Q 值，衰减量又会打折了。

3、中心频点固定。均衡器的中心频点是事先设定好了的，而不同扩声现场话筒位置的峰点变化确是千差万别的，固定的中心频点往往对不准峰点从而导致抑制能力下降，调试时往往需要同时下拉相邻的两段推杆，从前面介绍 Q 值时我们就知道，拉下相邻的两组推杆无疑是在更宽频率范围内影响现场扩声的丰满度、音质水准和更宽频率范围声音的响度，这样就反而抵消了一部分扩声能量。

显然，一台均衡器其分频段数越多，用于啸叫的抑制其现实意义更大一些；有的专业的调音台或简易综合机其控制面板上，往往会有单双 5、7、9 段均衡器，这种低段位数的均衡器用于抑制啸叫是会贻笑大方的。事实上，均衡器用于抑制啸叫只是其辅助功能，其更主要功能是当扩声或录制节目时，对现场房间声压——频率特性曲线进行弥补、修正作用（即均衡的作用）或对节目内容和演出器材音色进行补充修饰、调试作用，均衡器设备经久不衰并在扩声系统中大量使用和必备使用的真正原因就在此；而且，确实是非专业人士很难使用好均衡器的，使用不来，反而适得其反。

综述：均衡器设备固有的问题缺陷制约了其在防啸叫领域里的使用和发扬，而且用高昂的价格购买专业的均衡器却用于防啸叫，用其辅助功能，而浪费其主要功能是避重就轻、得不偿失的。随着后续防啸叫技术的推广运用，均衡器已经极少被用来防啸叫，采用均衡器抑制啸叫是一定阶段的产物。

2、移频方式抑制啸叫：

上世纪五十年代，国际上移频技术被开发出来，曾经生产过一小部分实验样机，由于移频技术固有的一些缺点（后面会分析到）加上当时技术上的不成熟和器件性能限制等原因，国际上未能形成商品；七十年代，在我国当时经济条件落后、基础产业薄弱的背景下，移频技术由绵阳市无线电厂引进并被形成商品，适应了当时国情，当时移频器一度成了防啸叫设备的代名词。顾名思义，移频就是移动频率，移频器正是基于通过改变输入信号的频率来不断回避房间峰点施加的影响，从而破坏构成声反馈的条件，最终达到防止啸叫的目的。

移动频率，怎么理解呢？

我们知道所有自然界的声包括人声，不管声音差异多大，不管动听、难听，这些声音都有其固有的频率组成，都可分解为无数单一音频的频率（基波和无数谐波）。现行移频器一般会移动（或叫改动）进入信号频率 3~8Hz，即有 3~8Hz 的移频数可调。举例说明，输入一个 1000Hz 信号时，当正方向移频 3~8Hz 时，移频器将会输出一个 1003~1008Hz 的信号；当反方向移频 3~8Hz 时，移频器将会

输出一个 997~992Hz 的信号。

根据前面分析啸叫的过程机理可以看出，啸叫是需要时间累积的，是一次比一次反馈信号变强的 N 次循环放大后的结果表现形式。移频器防啸叫过程如下：当房间峰点位置频率信号在反馈中满足了 $K_{\text{闭}} > 1$ ，便有了首次强烈反馈到话筒输入端的第一次反馈信号，该信号经过移频器放大后却发生了频率上的改变（即在原始信号频率基础上增加或减少了 3~8Hz）；这时输出信号在峰点位置便发生了 3~8Hz 的移动，我们知道峰点位置声压最高，意思就是这时的输出信号在再次反馈到话筒时（第二次反馈声）声压降低了；二次反馈声进入移频器后再次被移动了 3~8Hz，致使第三次反馈到话筒的信号频率又偏离了峰点 3~8Hz，声压继续降低……以此类推。由此反馈的信号每循环一次便减弱一次，最终使峰点位置信号满足 $K_{\text{闭}} < 1$ 的稳定工作条件，啸叫就不可能发生。

换言之，移频器的工作方式就是：当正向移频时，将引发啸叫的峰点一步一步往音频的高频端“赶”，直到“赶”出音频的范围；反之，当正向移频时，将其一步一步往音频的低频端“赶”，目的是同样“赶”出音频范围。

从上面可以看出，移频器的工作有如下特点：一、操作过程简便。使用时只需启动移频功能开关即可，移频数 3~8Hz 连续可调。二、抑制啸叫过程自动完成，无须人工去鉴别调试。三、抑制啸叫的能力比较显著，效果明显。由于以上特点，移频技术从上世纪 70 年代诞生以来一度成为防啸叫的经典技术。

移频技术存在的问题：

1、整个声音频率范围内的频率失真。我们注意到移频器输出的信号和本身的输入信号相比频率发生了变化，输出信号是失真了的频率信号。换言之，移频器是通过对整个音频范围内的有意失真换取抑制啸叫的目的。

2、移频器对扩声环境没有鉴别。可以说是“眉毛胡子一把抓”的工作方式。实际扩声现场扩声条件千差万别，而移频器在扩音时的防啸叫功能与现场毫无关系，哪怕是扩声现场本无啸叫点，也在不停地“移动频率”制造新的失真的声音信号。

3、移频器的“振荡镶边”和“拍频镶边”。在实践中，人们发现使用移频器后，经常会出现一个“喔、喔、喔”不停的振荡回声。这是由于在移频时，前后连绵不断的声音频率“涌向”房间峰点，由峰点引发声反馈、继而重复地每声反馈一次“撤离”峰点 3~8Hz，在“撤离”的时间周期内必然引发前面的振荡回声；这种情况哪怕是本没有在峰点位置的声音频率都要跑去“振荡”一回，因为设备在不断地移频。这便是移频器的“振荡镶边”。另外，声音就是一种声波（好比电磁波），声音的传播就是声波的传播，根据“波的干涉”原理，当两个不同频率的波相遇时，会产生“合拍”、“差拍”。举例说明：400Hz 和 500Hz 的声音相遇时，会派生出“合拍”即 $500\text{Hz} + 400\text{Hz} = 900\text{Hz}$ 的声音，同时派生出“差拍”即 $500\text{Hz} - 400\text{Hz} = 100\text{Hz}$ 的声音。由此可见移频器始终存在“拍频镶边”，特别是在产生“振荡镶边”时，“拍频镶边”就越发明显。

综述：移频技术自从被引进并被商品化后曾经一度成了国人防啸叫设备的专用名词，成了当时具有创新价值和适用价值的扩声技术。随着新技术实施的完善和国民经济发展水平的提高，移频器固有的技术问题制约了其进一步发展，移频技术已逐渐淡出市场，相当一些前沿的使用单位已适用了新的技术变革。

3、移相方式抑制啸叫：

顾名思义，移相就是移动相位。在前面我们曾提到过“相位”一词，在空中某点，当反馈回来的声音和原始声音同时压缩或扩张了该点空气，我们称反馈声与原始声相位“同相”，该点声音增大；相反，如果一个声音压缩该点空气的同时另一个声音却扩张了该点的空气，我们称这两个声音相位“反相”，该点声音减弱。可见当原始声和反馈声（或直达声和反射声）在空中相遇后到底使音量增大了呢、还是减小了呢，这与其之间的相位紧密相关。移相器正是基于通过改变输入信号的相位来破坏房间峰点和啸叫的累积建立过程，从而破坏构成声反馈条件，最终达到防止啸叫的目的。

当今时代，DSP 微电脑处理技术在各个领域都发挥了至关重要的作用，硬件技术和软件技术都在此得到充分想象、发挥和运用，DSP 微电脑技术的推广和渗透，满足的是人们对自动化的要求，解放了人力；可研究核心的技术机理、掌握最有效的实施办法才是根本。DSP 并不能成为领域技术先进的代名词，或许只能说代表了领域内一种先进的工具和手段。在扩声领域，DSP 的图示均衡器、DSP 的移频器、DSP 的移相器、DSP 的参量均衡器都同时存在。我们常用模拟的和数字的来区别设备的手动化或自动化；其实，无论模拟、还是数字，只要实施的技术机理是一样的，就听感来说效果差异是不会多明显的。一句化，只能说数字机解放了人，成了工具和时代的标志。

未来防啸叫技术的发展方向可以不难看出，是朝着综合参量声场校正的方向前进的，而 DSP 数字化将会让复杂的综合参量校正计算变得轻而易举。