



## 扬声器量产保证品质与产量的在线测试观念

史密特·葛瑞格<sup>1, †</sup>, 胥勇<sup>2</sup>

(1. 恩缇艾音频设备技术有限公司, 列支敦士登

2. 恩缇艾音频设备技术(苏州)有限公司, 江苏省 苏州市 215168)

**摘要** 管理高产量, 多产线与场所的扬声器生产是一种需要多方面技术的挑战性任务。本文提供设计及维护在线测试系统的观念有助于实现维持一致的产出与质量。涵盖的主题包括声学及电气测试参数选择, 机械测试治具设计, 限度评定策略, 容错工作流程建立, 测试系统校准, 环境影响处理及运用统计学与统计工程控制。

## End-of-line Test concepts to achieve and maintain yield and quality in high volume loudspeaker production.

Gregor Schmidle<sup>1, †</sup>, Jack Xu<sup>2</sup>

(1. NTi Audio AG, Im alten Riet 102, Schaan, LIECHTENSTEIN

2. NTi China, No.60 Suli Road, Wuzhong District, Suzhou, CHINA)

**Abstract:** Managing high volume, multiple line and location loudspeaker production is a challenging task that requires interdisciplinary skills. This paper offers concepts for designing and maintaining end-of-line test systems that help to achieve and maintain consistent yield and quality. Topics covered include acoustic and electrical test parameter selection, mechanical test jig design, limit finding strategies, fault-tolerant workflow creation, test system calibration and environmental influence handling as well as utilizing statistics and statistic process control.

**Keywords:** end-of-line test, loudspeaker production, test & measurement, NTi Audio

### 引言

在高产量扬声器生产环境保持一致的产出与质量, 需要恰当的设计生产与测试流程。有

---

收稿日期: ; 修回日期:

<sup>†</sup>作者简介: 史密特·葛瑞格, 男, 奥地利, 理科硕士, 应用科学与技术。E-mail: g.schmidle@nti-audio.com

\*通讯作者: 胥勇, 男(汉族), 资深应用工程师, 电子信息科学与技术。E-mail: j.xu@nti-audio.com

很多可能的原因会导致测量结果的变化。在单一生产线中，这种变化可能是原材料品质的波动，生产装配过程[1]中的变动或者环境的影响造成的。为保证精准度，测试系统的各设备必须定期的校准或者在系统校准中得到鉴定。这当同样型号在几条产线并行操作时导致各产线之间的偏差就尤为重要。在很多情况下，这些生产线也散布着多个设备。当共用限值用于不同生产线时，测试治具之间的机械差异导致在声学特性的额外偏差。

进一步论述多余的偏差为：操作员操作错误及测试系统部件的磨损，比如电接触点。

另一个重要的主题是 IT 事故的一套还原计划，比如硬盘损坏。

在最后一章，演示由在线测试系统传送的统计数据的运用。

## 1 在线测试设计

### 1.1 测量参数与功能

在线测试选用适当的测量参数与功能为高效率的测试系统奠定了基础。有两个基本却相冲突的原则须完善：

- a) 测试必须如所需要的详细以对需求的品质做可靠的测试。
- b) 测试必须尽可能的快速以确保高产量。

扬声器在线测试典型的测试功能有频率响应，阻抗响应，各种组合的谐波失真，不同频带的声压级，谐振频率，T/S 参数，扬声器极性当然还有异音测量。扬声器直流电阻可用恒流源测量，或从推测低频趋于 0 Hz 的阻抗响应计算出来。

技术上，所有这些测量都可以由单一次扫频激励信号完成。然而，测量扬声器的一些功能，如频率响应，声压级以及所有电学测量时采用所测扬声器的标称电压，而异音测试通常采用较高的电压。除了要考虑测量功能之外，还必须要选择足够高的测试信号电平以保证相对于环境有一个合适的信噪比，同时也够低到不致于损害测试系统操作员的听力。后者可通过抑制人耳更易感知的高频率段测试电平来做到。

测试信号的起始与终止频率应该涵盖扬声器的传声频带，也要确实覆盖谐振频率。若扬声器直流电阻由阻抗响应推算所得，需要设置远离谐振频率点的较低频率。异音测试信号的起始与终止频率典型的设置于扬声器的低频段以触发任何机电问题。

### 1.2 极限定义

有多种方法与策略来决定扬声器测试的极限值。详细过程《扬声器产线测试公差》“Loudspeaker production measurement limits” [2]一文中有所叙述。

较多设定采用绝对限值，即做一份规格书，或者用一个或多个标准样本。设定流程如图 1 所示。

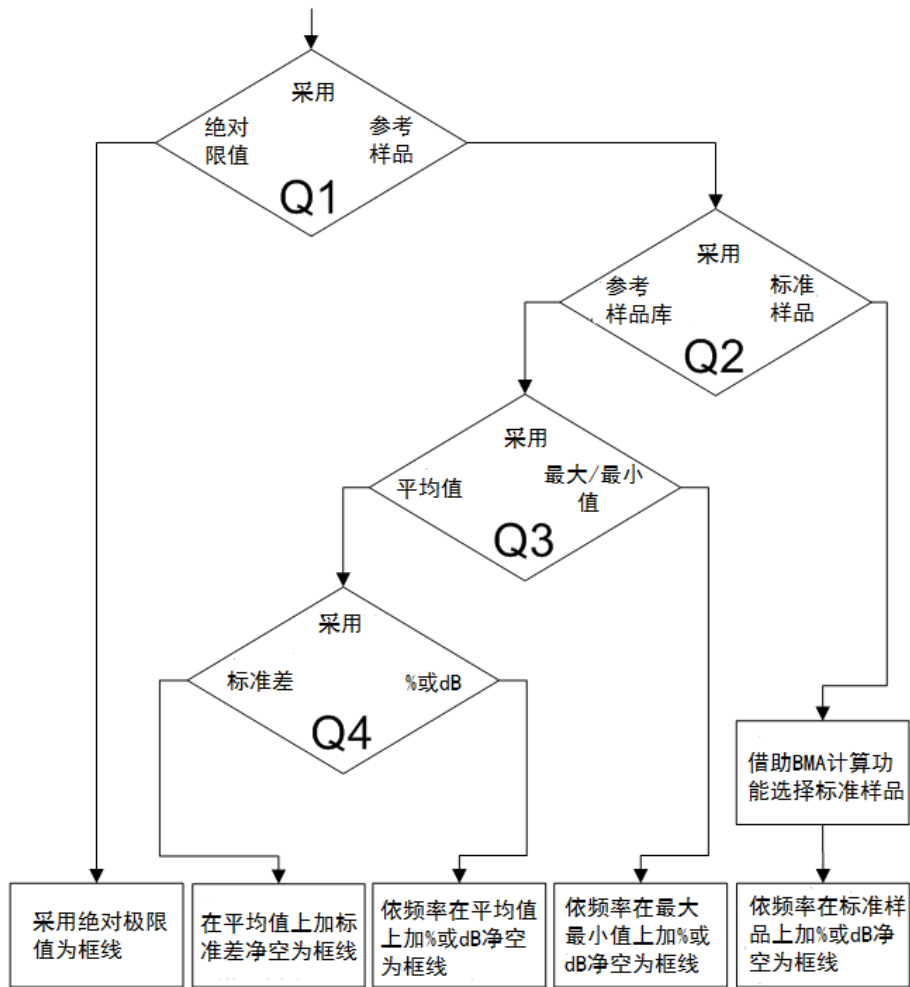


图 1 常用公差计算流程

Figure 1 Generic limit calculation decision tree

每个测量功能的极限研究策略应该分别评估。

采用绝对公差的典型测量功能是频率响应，失真响应，以及所有的电气测量如阻抗响应及其他衍生的结果。当使用绝对公差于声学测量时，重要的是要知道这极限值在什么条件下有效（如，自由场）。若在线测试的条件不一样，相应的测量结果必须要做补正。

参考样品取样常用于当没有有效的规格书时采用，如异音(Rub & Buzz)测试。

### 1.3 测试设备和夹具的设计

理想的测试环境是消声室。然而，在现实中是行不通的。尽管如此，测试设备仍然必须具备一定程度的性能：

- 待测体放置于与传声器相对的固定位置。
- 待测体与测试夹具紧密固定。
- 建立可重现的声学状况。
- 避免声反射。
- 给待测体提供规定的前腔与/或后腔。
- 为传声器屏蔽环境噪声。
- 为传声器屏蔽结构传声噪声。
- 为操作员屏蔽高声压曝露。

- 可快速取放待测体（手动或自动）。
- 可以正确的极性可靠的接触待测体。
- 可快速改变配置测试不同扬声器型号。

此外，测试治具本身不会与箱体或松动部件谐振引发噪声。

考虑到以上各点，典型的设计是一个里面贴上吸音棉的不对称大木箱。由于市面上通常没有现成的测试治具出售，大多数扬声器制造厂家自己制作测试治具。

制作消音箱是容易处理的工作，问题通常发生在当复制多个测试治具时。建议准确的记录所有的尺寸，材料及制作步骤，因为即使是很微小的差异也会给声学测试结果带来差异。

#### 1.4 多个产线与地点的考量

通常，在一个工厂里会有多条生产线。有时，生产线分布在不同的工厂甚至世界上不同的地方。尽管如此，仍然被要求以完全一样的方法生产与测试产品。扬声器必须以同样的测试参数，按照相同的极限值，以及，当然，得到同样的质量和产量。

不同在线测试系统里大部分的组成成分能：

- 容易选用同样的  
(音频分析仪，附件，缆线及接触端子)
- 参数表现一致  
(音频功放增益，传声器灵敏度)

无论如何，测试治具必须做得尽可能的一致，因为它直接影响到声学效应。虽然可以做算数补正，但这增加了系统的复杂性。

当极限值是基于参考样品计算所得时，必须要考虑到参考样品实物只是在一个站点有效。虽然算出来的极限值被应用于多个产线与地点，通常没有简易的方法来验证。

#### 1.5 量测的重复性与再现性 Gauge R&R

“Gauge R&R”指的是“量测的重复性及再现性”。它表达测量（即在线测试系统）给出一致性结果的能力，不管测试是由谁做的以及测试进行了多久。Gauge R&R 测量的重复性及再现性量化了测试系统的精确度。如标题所示，这过程由两个主要步骤组成。

##### 1.5.1 重复性 Repeatability

确定测量系统的重复性，需要同一测试员在同一测试系统上短时间内多次测量同一扬声器。在各测量之间，同一扬声器经过取放。所有结果的标准差表示重复性。

##### 1.5.2 再现性 Reproducibility

接下来，变量增加。由不同操作员重复在几个不同测试系统上测试数个扬声器（比如 10 个）。这产生  $n_{DUT} \times n_{Systems} \times n_{Runs}$  个结果可供计算出再现性。

##### 1.5.3 应用测试功能

Gauge R&R 方法需要的是带有上下公差数字结果。最好考虑选用声学及电学测试结果。合适的测量功能为，声压级，直流电阻，谐振频率或者 T/S 参数中的每个 Q 因数。

##### 1.5.4 精度与变差

六西格玛方法，普遍习惯的做法是将测试系统的精度与被测待测体的变化相关联。[3] 一种范例为精度公差比(“Precision to Tolerance” P/T ratio)。测试系统的精度与生产过程的总公差相关联。此度量用于决定测量系统能否适当的判定所测待测体。低的 P/T 比值(<0.1)表示测试系统对制造过程的总公差影响很小。高的 P/T 比值(>0.3)显示很有可能发生良品误报或不良品漏报。

#### 1.6 数据记录与追溯

几乎所有扬声器生产厂，尤其有质量管理体系的，必需做到能回溯他们产品的在线测试结果。对于高品质扬声器可能为每单一扬声器编序列号。对于较小且较便宜的扬声器，通常可以只使用批量号。这一般可回溯到工厂地点，生产日期及生产线编号。

数据记录,这意味着在线测试软件必需能记录除了测量结果之外的各种补充数据,例如:日期与时间,日历周,项目名,操作员名,序列或批次号以及如温湿度等环境数据。

显然,这些记录档案会随时间变得很大。因此,建议周期性的开始新记录档案,比如每周,或者在每个新生产批次的开始时。

## 2. 维护测试系统

### 2.1 校准

Gauge R&R 衡量的是测试系统的精确度,测量组件的校准保证了系统的精确度。

#### 2.1.1 设备校准

设备校准时,测量结果与高精度参考结果相比较,若需要时校正。设备校准通常由仪器生产厂每年执行一次。这些是在 ISO 或其他质量体系下可追溯标准的校准。扬声器在线测试仪典型需要校准的设备是音频分析仪与测量传声器。

传声器的灵敏度可由系统操作员使用传声器校准器进行校准。因此该过程可视为系统校准的一部分。

#### 2.1.2 系统校准

系统校准是经由操作员将待测体连接到测试系统并执行的一个过程。它包含:

- 功放增益的设置后校准扬声器两端的测试电压。
- 补偿功放的电学频率响应,确保测试电压设置在整個测试频带。
- 使用传声器校准器校准传声器的灵敏度。
- 注意传声器到扬声器的距离(当需要校准到特定声压级时)。

### 2.2 易磨损部件

扬声器在线测试系统的有些部件容易磨损,因此需要定期的检查或者更新:

- 扬声器到测试系统的电气接触点经常摩擦而磨损,导致电阻增大或者无法连接。
- 传声器膜容易被灰尘和污垢污染,尤其当传声器的朝上放置时。这会造成传声器频率响应及灵敏度改变。一个简单的保护措施是使用防尘罩并定期更换。
- 测试机械台定位与固定扬声器通常使用软的材质,如泡棉或者软木。有时也会使用制动系统。因为机械在每次取放过程都在同一位置受到机械压力,这些部位有被磨损甚至变形的危险。这将造成声学及电学测量结果的变化。

### 2.3 系统检查

有些生产厂商要求在每次换班时开始检查测试系统的功能,主要验证所有的组件已连接上且已开启。这可以通过执行系统检测做到。按照正常或者更严的极限值测试一个已知的参考扬声器,如果测试通过,系统视为在正确的工作中。

### 2.4 事故处理

为保证持续可用,系统需适度准备应对事故。很显然,对测试系统所有组成部分进行备份是一个好主意,特别对那些已经陈旧或损坏具高风险的部分。而且同时,有任何更换都必须要有载明组建步骤的流程。例如,当更换传声器时,新传声器的灵敏度必须在测试系统里设置。这将减少停工时间。

为准备应对 IT 事故比如电脑或者硬盘损坏,建议定期备份系统及项目设置。这工作可自动由测试系统软件处理。同样,载明如何恢复数据步骤的文件有助于快速高效的组建新系统,从而减少停工时间。

## 3. 最大限度减少操作员处理错误

### 3.1 硬件处理

常见的硬件问题有突然拔掉连接电缆,旋转旋钮或者切换开关。因此好的做法是:

- 使用固定增益或音量旋钮带有保护的功放。
- 固定并隐藏连接缆线。
- 保护切换开关防止错误操作（如带门的机柜）。

### 3.2 测试流程设计

扬声器必须以清楚且明确的方式装到测试夹具上。定位及接触过程都应该让操作员感触到。

如果需要操作员触发测试，触发按钮必须方便的设置在测试治具旁边，以便扬声器装到测试治具后立马按下。

另外，测试系统可不断扫描接触点并且在侦测到连接上扬声器时自动触发测量。

测量结束必须清楚的显示给操作员以便他能立即取下待测体。

当高度优化，产线下一个扬声器已经安到第二个工装上，与正在测试的第一个轮流。这样会增加测试系统的产量。

### 3.3 软件处理

为防止操作错误，测试软件应当具备用户权限管理系统。系统管理员为技巧娴熟使用者不受限制，操作员只能进入确实必要的控制。若操作员无需进行任何配置，键盘及鼠标可以收藏好。

## 4. 环境影响处理

当然，避免环境对最终测试系统的影响应该摆在首位。但是在现实中这几乎是不可能的。因此，重要的是要知道这些影响会引起哪些后果及对他们的处理办法。

### 4.1 温度

温度影响扬声器的大部分电气参数，尤其是谐振频率及与其相关的参数。温度的变化或起因于环境温度，也可能是由于在线测试之前的制造过程中扬声器被短暂加热所引起的。对于后一种情况，建议在测试前有足够长的冷却期让待测体处于室温。

如果一年之中室温的变化很显著，比如测试环境中没用空调，谐振频率测量结果可用在线测试系统规格化到某一参考温度。需要一只温度传感器与一个“f0 对于温度”矫正曲线。

### 4.2 噪声

生产的噪声显著的影响声学测量。这适用于空气传播以及结构传播的噪音。虽然有的测量较不受噪声影响（如频率响应），最挑剔的测量是异音 **Rub & Buzz**。

扬声器在线测试系统有噪声消除方法。但是，这应该只是最后一条防线，因为他们对付的只是脉冲噪声而且会增加测试时间。

噪声的大部分必须被测试治具屏蔽。这对所有固定的背景噪声特别有效。（如生产噪声/机械噪声）这样一个屏蔽能降低测试治具内的本底噪声让你有效测量 **Rub & Buzz** 否则就不好检测。所有那些只是偶尔发生的脉冲噪声可由在线测试系统的噪音消除算法所处理。

### 4.3 电磁干扰

使用短的及平衡的音频线（XLR 音频线）是最好的处理电磁感应的方法。这对于低电平高阻抗的缆线（如传声器缆线）尤为重要。

此外强烈建议将在线测试系统的放置与那些会发出非常强电磁场的扬声器充磁机保持一定的安全距离。

## 5. 运用统计学与工程指标

统计数据是保证提供持续品质的强大工具。同时他对在比较多个在线测试系统的性能也很有价值。

### 5.1 基本统计

基本统计报告通常由在线测试软件提供。他们包含：

### 5.1.1 总览与具体产量

合格及不良的扬声器的总结果及各类测量以绝对数量与百分比方式报告。这可以鉴别与评定测试过的产品以及扬声器的最共同的不良。

### 5.1.2 趋势分析

测量的趋势分析功能描述测试结果的长期发展趋势。当生产工程是稳定的，结果稳定保持在平均值附近。当趋势实际偏离了平均值则预示了生产工程的问题。很多时候测量结果的漂移是由温度变化引起的，因此，建议将结果趋势曲线与测量到的温度曲线叠加。

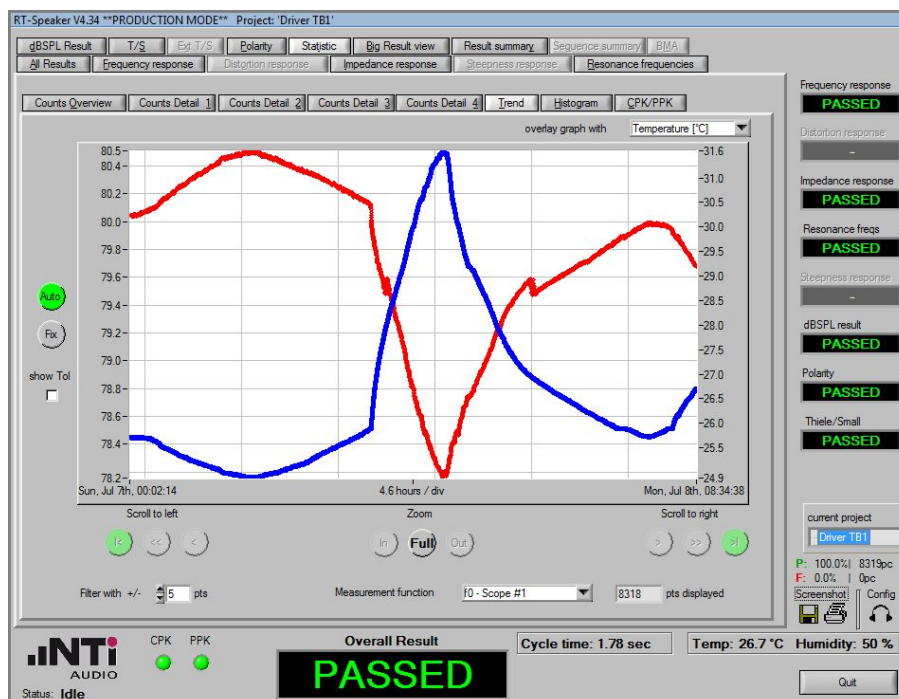


图 2:  $f_0$  趋势曲线与温度曲线叠加

Figure 2:  $f_0$  trend curve with overlaid temperature

### 5.1.3 直方图分析

直方图指出测量结果与期望的均值及上下极限值一同分布显示。理想上，我们会看一个以平均值为中心的高斯形状分布。不同的图样可能预示生产工程存在问题。

## 5.2 工程指数

工程指数是量化生产出合格规格产品的工程能力。因此，将测量的变量范围与规范的变化范围相比较。

### 5.2.1 工程能力指数 $C_{pk}$

$C_{pk}$  描述的是生产符合规格产品工程的短期稳定性。当  $C_{pk} \geq 1.33$  时，工程被认为“可控”。

### 5.2.2 工程能力指数 $P_{pk}$

$P_{pk}$  描述的是生产符合规格产品过程的长期稳定性。当  $P_{pk} \geq 1.67$  时，工程被认为“可控”。

## 6. 总结

- 设计测试参数，运行测量与定极限值为稳定且高效的在线测试奠定基础。

- 想要在不同地点的多个测试站进行可靠且可重复的测量，精心的测试治具设计具重要的作用。
- Gauge R&R 过程量化了测试系统的精度。
- 在线测试系统正确的维护确保了高精密度与高准确度。
- 通过简单的动作将操作员处理错误减到最少。
- 尽可能的避免环境影响，不然要处理好。
- 统计工具可帮助分析量化工程参数以保持恒定的品质

**参考文献：**

- [1] S. Hutt, L. Fincham, “Loudspeaker Production Variance”, presented at the AES125th Convention, San Francisco, CA, USA, 2008 October 2-5
- [2] G. Schmidle, “Loudspeaker production measurement limits”, presented at the AES131st Convention, New York, NY, USA, 2011 October 20-23
- [3] Six Sigma Academy, “The Black Belt Memory Jogger”, First Edition GOAL/QCP, 2002