

新编扬声器 YangShengQi

优化设计与生产装配工艺

与检测维修技术标准



下

卷

第八篇

扬声器的检测 与音质评价

第一章 扬声器潜在失效模式及后果分析

QS9000 标准及 ISO/TS16949 标准，都要求认证单位采用潜在失效模式及后果分析。

在扬声器行业过去对质量管理的方法和思路是：发现问题；分析问题出现的原因；采取解决问题的措施。这种方法有一定效果，但它是消极的、被动的。有时问题出现了，一大批产品已经生产出来了，使处理者面临“鸡肋”和进退维谷的局面。如果产品的问题到了用户手中，再发现若干质量问题，那就更麻烦。被迫将产品召回，面临“索赔”、“信誉下降”、“商机丢失”等一系列损失，还不算对用户造成的损失。

在改变思路的过程中，潜在失效模式及后果分析（FMEA, Potential Failure Mode and Effects Analysis）应运而生。这是一种基于前期预防的设计和制造技术。尽管 FMEA 引入许多新概念、新的计算方法、新的程序、新的量化措施，但我们可以说它体现了一种智慧。中国最早经典《礼记·中庸》中提到“凡事豫则立，不豫则废”，“豫”就是事先有准备。而在《周易·既济》中又指出“君子以思患而豫防之”。“患”指灾难，“豫”就是预防。这里，“患”也可以看成是扬声器的缺陷，我们要事先预防，并有的放矢地去解决，正所谓“未雨绸缪”。

第一节 FMEA 在扬声器领域的应用

FMEA 是一种分析工具，也是一种预防工具，用于识别出产品及过程的潜在失效（在失效发生以前），从而提供可采取的相应纠正措施。当用于扬

声器领域时, FMEA 可以:

- (1) 识别扬声器已知的和潜在的失效模式;
- (2) 识别扬声器每一种失效模式的产生原因;
- (3) 区分扬声器失效模式的优先次序;
- (4) 制定并采取纠正措施。

这里提到的“扬声器”不仅包括扬声器单元本身, 而且包括扬声器的零部件及原材料(如胶黏剂)。这里提到的“过程”, 不仅包括扬声器及部件的制造过程, 还包括检验、仓储、运输等过程。

FMEA 是“未雨绸缪”, 而不是“亡羊补牢”、“贼走关门”。FMEA 的目的是达到顾客满意, 体现扬声器生产企业的社会责任感, 从而必然提高企业的信誉。

FMEA 的种类有:

- (1) 与系统相关的称为系统(System) FMEA;
- (2) 与设计相关的称为设计(Design) FMEA, 或 DFMEA;
- (3) 与过程相关的称为过程(Process) FMEA, 或 PFMEA。

第二节 潜在失效模式的产生及后果

1. 潜在失效模式的产生

扬声器中潜在失效模式产生的原因是:

- (1) 设计原因造成扬声器的缺陷及令人不满意的情形;
- (2) 扬声器或扬声器零部件未达到设计要求的失效模式;
- (3) 在过程中可能发生的不满足过程要求或设计意图的失效表现形式。

2. 潜在失效的后果

失效的后果, 可能有以下几个方面:

- (1) 影响最终用户;
- (2) 影响下道工序、中间用户;

(3) 产品等级下降, 性能和质量下降;

(4) 违反有关规定。

3. 潜在失效的原因

应该找出扬声器失效的原因。潜在的本意是指“存在于事物内部不容易发现或发觉的。而英文 potential 除了有潜在的含义以外, 还有“可能的”含义。这也是表明潜在失效只是有可能发生, 不是一定发生。究竟发生的概率多少, 需要有一定的方法规定与量化。

第三节 后果的评估

1. 频度 (O)

频度指某一特定失效原因出现的可能性。潜在失效原因出现的频度评估分为 1 级 ~ 10 级。扬声器的 FMEA 的频度分级表见表 1-1 所列。

在确定频度等级时, 宁肯保守留有充分余地。在没有任何把握时, 可从 10 级开始。

表 1-1 扬声器 FMEA 频度分级表

失效可能性	可能的失效率	频度/级	失效可能性	可能的失效率	频度/级
很高	$\geq 1/2$	10	中等: 偶然性失效	1/400	5
持续性失效	1/3	9		1/2000	4
	1/8	8	低: 很少发生失效	1/15000	3
高: 经常性失效	1/20	7		1/150000	2
	1/80	6	极低: 不太可能失效	1/1500000	1

2. 严重度 (S)

严重度表示潜在失效后果的严重程度, 评估分为 1 级 ~ 10 级。表 1-2 是严重度分级表。

表 1-2 评估后果严重度分级表

后果	评定标准——后果的严重度	严重度/级
无警告的严重危害	非常严重的失效形式，在没有任何失效预兆提前下，影响整机安全使用或不符合有关法规	10
有警告的严重危害	非常严重的失效形式，在有失效预兆提前下，影响整机安全使用，或不符合有关法规	9
很高	系统不能工作，丧失基本功能	8
高	系统能工作但性能下降，顾客不满意	7
中等	系统能工作，但音质较差，安装很不方便，顾客不满意	6
低	系统能工作，但音质一般或安装不方便，顾客有些不满意	5
很低	配合、外观或纯音等项目不符合要求，大多数顾客感到有缺陷	4
轻微	配合、外观或纯音等项目不符合要求，有一半顾客感到有缺陷	3
很轻微	配合、外观或纯音等项目不符合要求，只有少数顾客能发觉有缺陷	2
无	无可辨别的后果	1

第四节 控 制

FMEA 最早是 20 世纪 60 年代用于航空事业。有些事，出问题当然不好，有时尚可挽救。航空、航天事业常要求“万无一失”。显然，万一出事，难以回天。

1. 现行设计控制

现行设计控制是指现行扬声器设计时，对其特定的失效模式进行探测的方法和手段，如扬声器的消声室检测、寿命试验、高低温潮湿试验、听音评价试验、设计评审、设计验证等。现行设计控制是用于使设计完善、充分的技术，分为如下几种情况。

(1) 防止失效原因发生，或降低失效原因出现，或降低失效原因出现率。

(2) 查明、监测失效原因，并进行纠正。

(3) 查明、监测失效模式的发生。

2. 现行过程控制

现行过程控制是指对现行过程中其一特定失效模式进行控制的方法和手段。过程控制是在产品到达用户之前,监测出产品的缺陷。例如扬声器的抽样记录、设备仪器的保养规定等。过程控制包括如下几种情况。

- (1) 防止失效原因的发生,或降低失效原因的发生率。
- (2) 监测、查明失效原因的发生,并纠正。
- (3) 监测、查明失效模式的发生。

3. 探测度(D)

探测度是指利用现行设计或过程控制查明失效原因或失效模式的可能性评估标准。评价指标分为1~10级。探测度级别愈低,探测失效的能力越强。探测度分级表见表1-3所列。

表 1-3 探测度分级表

探测性	准 则	探测方法推荐范围	探测度/级
几乎不可能	不可能探测	不能探测	10
很微小	控制方法可能探测不出来	间接或随机检测	9
微小	只有极少机会	目测检查	8
很小	有很少机会	双层目测	7
小	有较少机会		6
中等	控制可能探测出来		5
中上	控制有中上机会探测出来		4
高	控制有较多机会探测出来		3
很高	控制有很多机会探测出来		2
几乎肯定	控制几乎肯定能探测出来		1

4. 风险顺序数

风险顺序数(RPN) = 严重度 × 频度 × 探测度 = $S \times O \times D$

RPN 的值可为1~1000。数值愈大,潜在的风险愈大。RPN 值高则表示:

- (1) 失效的后果是严重的;
- (2) 失效原因发生的可能性是很大的;
- (3) 对过程控制不够。

FMEA 的中心思想是：通过风险顺序数 RPN 的给出和排序，使得对风险的评估由定性转为定量。采取措施时，首先针对风险顺序高的潜在失效模式，然后是次高的，并以此类推。

采取相应措施后重新计算 RPN，用数据验证效果。

根据杰夫公司的经验，对于扬声器潜在失效后果来说，严重度很少超过 8 级，所以在扬声器开始实施 FMEA 时，初始 RPN 规定值可定为 100，实施一段时间再调整；而严重度高于 7 级时，应采取相应措施。

第五节 FMEA 实施的前提

目前国内实施 FMEA 的还不多，杰夫公司已取得一些经验。

FMEA 实施的前提有如下几点。

(1) 把它当成控制、保证扬声器质量的重要手段工具，认真去做。

(2) 对过去的经验教训分析和总结。将扬声器工程师的设计思维规范化、文件化，最终形成 FMEA 文件。总结不完整，FMEA 文件就会有漏洞。FMEA 文件必须及时更新与完善，这说明 FMEA 是一份动态的文件。刚开始容易感到文件的繁琐，而看不到文件的效果，要坚持和完善，才能见效。

(3) FMEA 应有一个工程小组。要有一支高素质的工程技术队伍，有责任心、有理论素养、有实践经验。

(4) 有完善的测试仪器和检测手段。

(5) 负责的为客户服务，及时、客观地反馈客户意见。

第六节 扬声器 FMEA 的实施

扬声器 FMEA 的结果是通过 FMEA 表的编制来体现的。FMEA 表的编制，可使从事扬声器产品设计和工艺（过程）设计的工程师思维活动有序、清晰

和条理化。在 FMEA 规程中有设计 FMEA、过程 FMEA 的标准表。表 1-4 是杰夫公司的设计 FMEA 表。

表 1-4 设计 FMEA 表

编号: D1234

(设计 FMEA)

第 1 页 共 3 页

零部件: 设计责任: 设计部

编制者: ***

产品名称/型号: 电动式纸盆扬声器/ YD***-*** 关键日期: 2003.11.16 编制日期: 2003.10.05

修订日期: 2003.10.10

项目 功能	潜在失效模式	潜在失效后果	严重度 (S)	级别	潜在失效起因/机理	频度 (O)	现行设计控制	探测度 (D)	风险顺序数 RPN	建议的措施	责任及目标完成日期	措施结果				
												采取的措施	严重度 (S)	频度 (O)	探测度 (D)	RPN
电声换能器, 将电信号转换为声信号	扬声器灵敏度达不到 $89 \pm 2\text{dB}$ 规格要求	扬声器尽管能工作, 客户不满意	7	◇	音乐绕组卷幅值未能满足效率要求	6	设计经验和手工计算存在较大误差	7	294	采用 CAD 软件进行推算, 并在已有的相近产品中进行验证	*** 找出设计值和测试值之间的误差	试验结果 (03-272 试验报告) 表明设计值和测试值之间误差缩小至 1dB	7	5	2	70

核心小组/部门: ***/** ***/** ***/**

一个完善的 FMEA 表可以集中展示本单位扬声器技术水平, 而 FMEA 表的完善, 则要相当时间的积累。

第二章 扬声器的检测及指标分析

在《实用扬声器技术手册》一书中，第 16 章“扬声器的测试”中已谈到的内容，读者可参看。本书不再赘述。本章除了介绍有关电声测试外，还着重介绍环境试验方法和设备等。另外加入对扬声器各指标纵向分析，并提出 17 个指标。从指标出发，研究它与哪些设计、工艺有关。

第一节 扬声器客观测试与主观评价的关系

一、扬声器客观测试的重要性

现在，几乎已没有人怀疑扬声器客观测试的重要性，但是在 20 年前，分歧却还不小。在 1996 年全国首届音响展上，笔者在会上强调扬声器测试的重要性，除广泛的赞同以外，也不泛有一些质疑，当时有如下一段问答。

问：请问王先生，扬声器、音箱是不是用来听的？

答：是的。

问：既然是用来听的，只要自己听起来感觉好就行了，为什么还要测试？

答：如果你是一个发烧友，做一对箱子自己听，测不测都可以。但如果你是一个工厂，每天可能生产成千上万只扬声器、成百对音箱。请问你如何听？谁来听？如何保证产品合格？如何保证产品的一致性？

二、按国家标准对扬声器测试仅是初步要求

扬声器有 IEC 标准、国家 (GB) 标准, 每个工厂有自己厂的标准, 客户 OEM、ODM 产品还要满足客户的需求标准。达到这些标准的产品可视为合格产品, 但并不代表它是优秀产品。

这一点对高档扬声器来说更为明显。如 GB7313—87《高保真扬声器系统最低性能要求及测量方法》, 等同于 IEC 581—7《Minimum Requirements of High Fidelity Loudspeaker System》, 说得再明白不过, 达到此标准, 仅是最低性能要求, 仅是必要条件, 仅是及格线。

国内外都听过一种说法, “扬声器频率响应曲线均匀, 声音不一定好听”。如果是探讨扬声器主观评价和客观测试的关系, 会有无穷的趣味; 如借此否定扬声器的测量价值, 则理由不充分。

三、好听的扬声器频率响应曲线多半是均匀的

扬声器 (或扬声器系统) 的主观指标与客观指标有什么关系? 特别是定量的关系如何? 不少人对此很感兴趣。有的人认为存在一种微妙的关系; 也有人作了不少探讨; 还有人认为这是没有价值的问题。这至少说明这是一个有待解决的问题。

扬声器有一个重要指标, 即频率响应曲线。我们发现一条规律: 音质较好的扬声器, 其轴向频率响应曲线多半是均匀的。这是一种长期观察和积累的结果。经过对数百例大多数人认为是音质良好的扬声器实测和查看其频率响应曲线发现, 其轴向频率响应曲线多半是平直的、平坦的, 而且没有遇到过例外。

国外做过一系列实验, 随机抽样一批听众 (不同性别、不同年龄、不同职业) 去聆听不同的扬声器, 并对听感满意的扬声器打分。对打分结果进行统计, 找出听众满意的扬声器, 再对这批满意度高的扬声器测试, 结果发现

其轴向频率响应曲线是均匀、平坦的。

第二节 消声室及测试设备

一、对消声室的新认识

随着计算机技术的发展,各种扬声器计算机辅助测试方法应运而生,这也为扬声器技术人员带来方便,受到广泛欢迎。但是在使用中又发生一些问题。在对音箱的测试中,低频范围是不准的,虽然可用近场法来拼接曲线,但在实际操作中有诸多不便。对音箱的技术设计而言,就是低频部分的设计。在现代音箱设计中,将音箱看成一个高通滤波器,不论是几阶的切比雪夫、巴特沃思、贝塞尔等滤波器,其差别只在低频处。如果这种细枝末节测不出来,其测量价值便很小,使得这种辅助测试方法遭遇困惑,因此人们将眼光重新投向消声室。人们并不轻视消声室,只是难于承受其造价之重。

消声室造价重在屋中屋结构和隔振设置。图 2-1 所示为一屋中屋隔振结构。将一个数百立方米到上千立方米的房间架空建造,还要用专用弹簧大面积支撑,其费用可想而知。

对于专门的检测机构、研究单位、大型企业等建立这样完备的消声室自有其必要性。对于一般的扬声器生产企业,可以建立简易消声室。在 20 世纪 90 年代,笔者曾为深圳某扬声器公司设计、建造了一简易消声室,并取得成功。这样的简易消声室有以下几点。

- (1) 消声室内尖劈完全按要求设计、制作。
- (2) 不设室中室结构。
- (3) 在选址时远离噪声源与振动源。
- (4) 尽可能另加隔振和降噪措施。

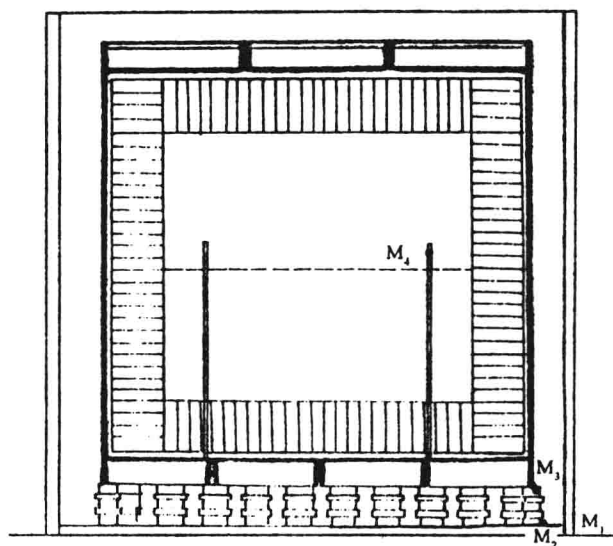


图 2-1 屋中屋结构

这种简易消声室，只要几十万元的投入，便可获得满意的效果。

二、测试设备的进展

由于计算机技术的进展，传统的测试设备有了很大的改观。在《实用扬声器技术手册》第 16 章提到的种种测试设备仍在有效地使用，但在新建消声室、新置设备时，自然将目光投向性能更好、操作更方便、功能更齐全之新一代产品。

1. BK 公司的产品

BK 公司推出 2012 音频分析仪，具有多项功能。用于测量扬声器的方框图如图 2-2 所示。

除了测量扬声器各项指标以外，配合其他设备，还可测量耳机、电话送（受）话器、耳机、传声器等。传统的记录仪（2307）已不需要，只是 2012 价格太贵。

2. Audio Precision (AP) 公司的产品

AP 公司扬声器测试如图 2-3 所示。除了有一个输入、输出的接口系

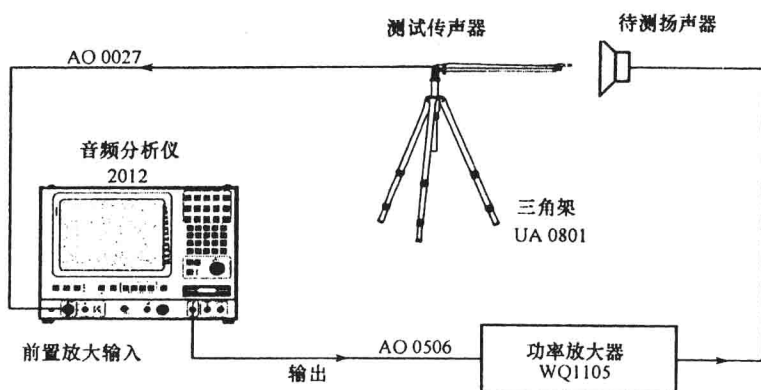


图 2-2 2012 测试扬声器

统，在计算机内装有软件 APWIN 和 MLS，配合接口系统中 DSP，就可以对扬声器进行逐项测试。

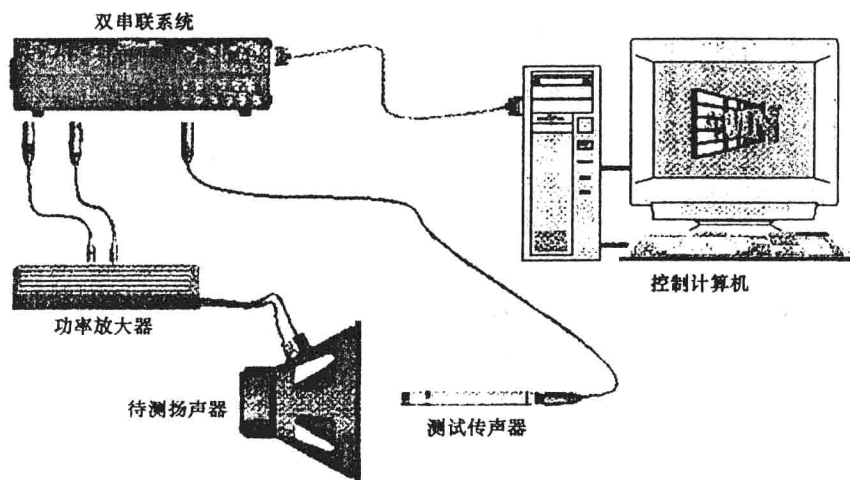


图 2-3 AP 公司测试图

第三节 扬声器的说明书

当扬声器提交给终端用户时，应附有一个说明书，准确、翔实、清晰、

简洁地将扬声器的基本情况告诉用户，而这些资料又正是用户想了解的。这个资料应该是准确的，许多参数用户要验证测量的，信息虚假和不实对双方都会造成伤害；而翔实、清晰、简洁的介绍既方便了用户，对用户负责，也衬托出生产公司的信誉度、水平、社会责任感和自信心。

作为他山之石，不妨看看几家公司说明书实样。

一、AUDAX 公司的说明书

图 2-4、图 2-5 是 AUDAX 公司 AT130MO 扬声器的说明书。这两页说明书中有如下几项内容。

(1) 名称、型号、使用范围。130mm 屏蔽式纸盆扬声器，用于中低频范围。

(2) 外形图和尺寸图。

(3) 法、英文的简短说明。如：磁屏蔽式扬声器用于 A/V 系统；谐振频率为 52Hz；纸盆等。

(4) 频率响应曲线。有轴向和偏轴 30° 两条，在 IEC 标准障板上用 MLSSA 测得。

(5) 阻抗曲线。

(6) 参数表。包括基本参数：阻抗、谐振频率、额定功率、灵敏度。

音圈参数，包括音圈直径、最小阻抗、直流电阻、音圈电感、音圈高度、音圈骨架材料、绕线层数。

磁体参数，包括磁体直径、质量、磁通密度、力系数、磁隙高度、杂散磁场、最大线性位移。

音箱设计参数，包括顺性、机械质量因数、电质量因数、总质量因数、机械阻、动生质量、有效辐射面积、等效容积、扬声器质量。

(7) 脉冲响应。

(8) 瀑布图（后沿瞬态特性）。

(9) 参考应用，包括箱体参考尺寸和参考曲线。