

电机噪声控制译文集



第一机械工业部第八设计院

一九八〇年十月

前 言

我院自六十年代以来，从事电机噪声测量工作，给国内不少工厂和研究所设计了消声室，并研制生产了消声箱。最近，结合工厂设计开展一些工厂噪声控制的项目。在工作中，收集、翻译了国外有关电机噪声的科技文献和资料，主要是1975年以来美、日、德、俄等国刊物上发表的。同时还就国内外电机噪声及其控制的发展概况编写了综述。内容主要有：国际噪声标准的动态、电机噪声产生的机理、噪声测量、降低电机噪声的措施及国外低噪声电机发展的水平等。

本资料可供从事噪声研究、设计和测量的人员以及广大科技人员参考。编译工作是由我院声学组和情报科组织的。在编译过程中，虽然我们对本资料的质量给了应有的重视，但是，由于编译者的业务水平有限，难免会有这样或那样的缺点与谬误，因此欢迎读者多加批评指正。

一九八〇年十月

目 录

综 述.....	(八院) 王道禄 (1)
噪声方面 ISO的动向.....	(日) 五十嵐寿一 (26)
噪声方面的德国标准和国际标准.....	(西德) (29)
噪声源的声功率级测量方法.....	(日) 山口道征 (31)
西门子25系列标准电动机噪声的概况.....	(西德) Martin Renker (48)
传动电动机的噪声测量.....	(西德) Greiner (50)
电机的噪声和振动.....	(苏) Е. Я. Юдина (54)
保证4 A系列电动机所需的振动噪声特性.....	(苏) А. И. Каплин (77)
转子槽数和斜槽对三相异步电动机起动特性和声学特性的影响	(苏) В. А. Архипенко (83)
转子斜槽对交流电机噪声影响的实验性研究	(西德) Wolfgang Waber (88)
鼠笼型电动机断条和断环对电磁噪声级的影响.....	(西德) H. Hanafi (93)
风扇电动机电磁噪声的解析.....	(日) 加藤博良等 (98)
感应电动机负载时的噪声.....	日本感应电动机常设技术委员会 (107)
低噪声电动机的研究和使用的注意事项.....	(日) 平山胜己 (130)
低噪声电动机的进步及使用方法.....	(日) 绵引诚之、甲藤协 (139)
感应电动机的低噪声化.....	(日) 青柳章、高木正藏 (151)
发展中型低噪声电机的一些原则.....	(西德) H. Niebler (159)
从设计降低电机的噪声.....	(英) (164)
降低电机噪声.....	(西德) Hübner (167)
机械阻抗法在低噪声感应电动机研制方面的应用.....	(日) 平田东助 (171)
低噪声电动机.....	(西德) H. G. Hält (180)
低噪声电机.....	(西德) G. 基辛迈耶 (186)
低噪声水冷电动机.....	(英) Leif Lachonius (189)
电机加消声器.....	(英) R. J. Hobbs (192)
日用电器噪声测试室的特殊要求.....	(英) Hans J. Naake (196)

综 述

第八设计院 王道禄

一、概 论

噪声作为一种公害,已普遍受到人们的重视。近年来,许多国家都制定了噪声环境保护和劳动保护条例。美国和西欧国家大多规定,以工人连续8小时工作计,噪声的允许值控制在90分贝(A)之内。国际上还企图进一步降低这一允许值。国际标准化组织ISO声学技术委员会TC43 1970年相应作了调整,由各会员国在35—90分贝(A)之间自由规定允许值。我国于1980年公布了“工业企业噪声卫生标准”,规定新建厂工人操作地点的噪声允许值为85分贝(A),现有企业不得超过90分贝(A)。根据测试调查,我们的工厂很多超过了这一允许标准。党和国家关心劳动人民的身心健康,这就要求从各方面着手,运用噪声控制的技术措施,使城市环境和工厂的噪声降下来。工厂噪声主要来自机器设备的噪声,降低机器设备(声源)辐射的声功率,这是噪声控制中最积极的手段。为此,须研究各类机器设备产生噪声的原因,从而采取对策,设计和制造出新型的低噪声机电产品。

电机是工业部门使用得最广泛的机器之一,同样是工厂环境中的一个重要噪声源。大型汽轮发电机组决定着发电厂的环境噪声。根据电机厂试验站和发电厂的实测结果表明,在电机厂试验站内进行发电机及励磁机试车时,车间的噪声竟高达120—130分贝(A)。这样的噪声使工人难以忍受。12.5万千瓦汽轮发电机组的发电厂,噪声级也高达95—100分贝(A)左右,发电机及励磁机的噪声相当突出。作为各种各样机械动力用的各类电动机,工厂用得更为普遍。有些机床的噪声主要取决于驱动主轴的电动机噪声。压缩机——电动机配套机组中,有时压缩机采取了降噪措施,噪声已低于85分贝(A),相应地要求电动机的噪声也不大于85分贝(A)。压缩机与电动机发出的噪声频谱也不一样,往往频率刺耳的噪声是由电动机产生的,这就要求改善电动机噪声的频谱特性。一些小型电动机和微型电机用于电声设备和家用电器上,这方面的噪声要求就更高。电唱机和录音机上的微电机通常噪声不允许超过30分贝(A),甚至更低。

机器设备的振动和噪声反映着产品的质量,近年来许多产品要求把振动和噪声(以下简称振声特性)作为一项动态性能指标加以考核。精密机床电动机振动太大,直接影响加工零件的精密度。由振动转化来的噪声,在机床切削过程中,妨碍工人根据不同声响来控制机床的功能。早在60年代初,就对精密机床电动机提出了振动和噪声的指标,并在产品鉴定中进行测试。电动机的振声特性在一定程度上综合地反映了产品设计和生产

工艺的水平。例如：苏联新设计的4A系列电动机，与A₂、AO₂老系列相比，在同样机座中心高下，输出功率增大，体积缩小，同时振声特性也得到改善。德国西门子电机公司25系列的标准电动机，由于改进了设计，为低噪声的电动机创造了条件。电动机转子动平衡的工艺精度对其振声特性的影响很大。轴承装配得不好会使轴承噪声增高。这些说明生产工艺对电动机的振动和噪声有着密切的关系。反之，合理地设计电机的结构，提高某些部件的加工精度及部件之间的配合，可以降低电机的振动和噪声。现代机械工业的发展在某种程度上受产品的振动和噪声所限制。大型汽轮发电机组只有在振动和噪声问题获得妥善解决后，制造水平才能进一步提高；另一方面，大家知道，有经验的工人能够用一根探棒检出机器的毛病，能否设想今后通过测试电机的振声特性来找出它们的缺陷呢？当然，这方面还有很多工作要做，只能作为今后的努力方向吧。

国际上对环境保护和劳动保护的要求逐步提高，噪声指标已成为国际市场上竞争的一个重要方面。我国出口的电机产品，有时就是因为噪声太大而销路受到影响。为此，研究和发展低噪声电机，满足国内工业部门的需要，提高产品的噪声质量，扩大国外市场的销路，这一任务目前已经提到日程上来了。

二、噪声测量

既然对产品提出了噪声要求，那末首先的问题是要进行噪声的测量。噪声测量属于声学测量，下面先把一些声学基本术语和物理概念介绍一下：

2.1 基本概念和术语

物体在空气中振动，以空气为媒质激发起声波，并以一定的声速向外传播，这种噪声被称为空气噪声 (airbone noise)。激起声波的振动物体叫做声源。同时，机械上不平衡产生的激振力，还将通过电机的轴承座和底脚传到基础上的结构物件而传播噪声，称为固体噪声或结构噪声 (Structural noise)。固体噪声跟振动的关系更为密切。我们这里说的噪声测量主要是指空气噪声而言。

声音在20℃、一个大气压的空气中传播的速度约为340米/秒。声速C与声波的频率f及波长λ之间的关系如下：

$$\lambda = \frac{C}{f} \quad (1)$$

声波传播的空间称为声场。在声场中，由声波在单位面积上引起的压力，叫作声压，单位是牛顿/米²或微巴 (达因/厘米²)。声压是常用的表征声波强度的量，因为大多数声测量仪器的接受元件 (传声器) 是响应于声压的。

假设一个尺寸很小的声源，我们可以把它看作“点”声源。点声源在没有反射的自由空间中以球面形式向外传播，形成所谓“球面声场”。在球面声场时，声压P与离开声源的距离r成反比：

$$P \propto \frac{1}{r} \quad (2)$$

实际工作中，如果声源尺寸比 r 小得多（一般可取3—5倍），则很多实际的声源都可近似地看作“点声源”。

设单位时间声源辐射的能量为声功率 W （瓦），见图1。距离声源半径为 r 的球面上，单位面积 S 的声功率称为声强 I ，它们有如下的关系：

$$I = \frac{W}{4\pi r^2} \quad (3)$$

如果声源放在地面上，声学上称为在一个反射面上，声波就只向半空间辐射。这时：

$$I = \frac{W}{2\pi r^2} \quad (4)$$

用传声器距离声源 r ，在 S 面上测得的声压 P 与声强 I 的关系为：

$$I = \frac{P^2}{\rho_0 c} \quad (5)$$

式中 $\rho_0 c$ 是特性阻抗，取决于媒质的密度和声速的乘积。在温度20℃、一个大气压的空气中，特性阻抗近似为400瑞利。温度和压力变化，特性阻抗有所变化。

人耳能够听到的最低声音的强度约为 2×10^{-5} 牛顿/米²（听阈），而使耳朵感到痛觉的声音为 2×10 牛顿/米²（痛阈）。在声频范围内，人耳能够感觉到的声压相差达 10^6 之多。范围这样大，直接用声压表示很不方便。因此，声学量常用比值的以10为底的对数来表述，这就引出了“级”和“分贝”的概念。另外，人耳的听觉也大致符合于声强的对数变化，这也是用级和分贝表示声学量的一个重要因素。

声功率级 L_w 定义为：

$$L_w = 10 \log_{10} \frac{W}{W_0} \quad (6)$$

W_0 是基准声功率，取为 $W_0 = 10^{-12}$ 瓦

声强级 L_I 定义为：

$$L_I = 10 \log_{10} \frac{I}{I_0} \quad (7)$$

I_0 是基准声强，取为 $I_0 = 10^{-12}$ 瓦/米²

声压级 L_p 定义为：

$$L_p = 10 \log_{10} \frac{P^2}{P_0^2} = 20 \log_{10} \frac{P}{P_0} \quad (8)$$

P_0 是基准声压，取为 $P_0 = 2 \times 10^{-5}$ 牛顿/米²

人耳对声音的感觉还与它的频率有关。人们能听到的频率范围约为20—20000赫，但对高频（如10000赫）和低频（如100赫）的声音感觉到的声响，不及3000—4000赫的声音敏感。一些声学工作者以实验为基础，研究不同声压级下听觉与频率的关系，获得

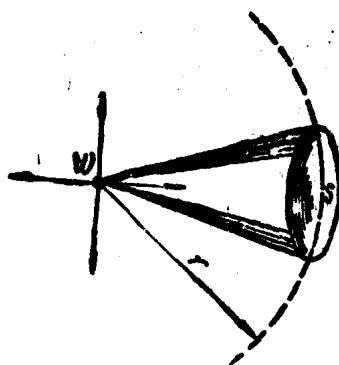


图 1

了一组等响曲线，见图2。这组等响曲线如今已有ISO推荐标准R226—1961。

图中是以1000赫作为响度判别的基准频率，1000赫纯音的声压级即为该等响曲线的响度级。响度级的单位是方。例如：一个频率80赫、声压级40分贝的声音，听起来与1000赫、20分贝的声音同样响，它们都落在响度级为20方的等响曲线上，这样它的响度级就是20方。响度级包含人耳主观听觉的因素。

2.2 测量仪器

测量噪声级的仪器——声级计为了反映人耳的主观听觉，设有A、B、C三条计权网络。它们分别为40、70和100方等响曲

线的倒数，如图3。现代声级计上A、B、C滤波网络的特性应符合国际电工委员会IEC或国家计量院颁布的《声级计检定规程》的要求。通过计权网络测得的数据，称为声级或噪声级，声级的单位在日本用方，欧美仍用分贝。我国和国际上多数国家一致，也用分贝，记作dB(A)……。

关于噪声测量时究竟用哪一种计权网络，60年代曾进行过争论。在过去的测量标准中，还可以看到有这样的规定：“测量噪声时，先用B计权测量，小于60分贝用A计权，60—80分贝用B计权，80分贝以上用C计权。作为参考最好A、B、C都测，这样可对噪声的频率成分作粗略的估计。”经过一段时间的讨论和研究，现在基本上已统一起来，认为从噪声的评价来说，用A计权最为合适。这里牵涉到如何评价噪声的问题。噪声的评价是个复杂问题，人们可从各种条件和目的得出不同的评价标准：从噪声对人耳听力损伤的角度，制定了听力损伤的评价标准；从噪声干扰（如妨碍语言通讯、引起烦恼和疲劳等）提出了噪声干扰的评价标准，还有其它种种评价标准。这些评价标准给出了一些噪声的允许曲线。上述曲线的形状都与A计权曲线较吻合。因而，如今对机器噪声的测量，许多国家的标准规定都只用A计权评定。

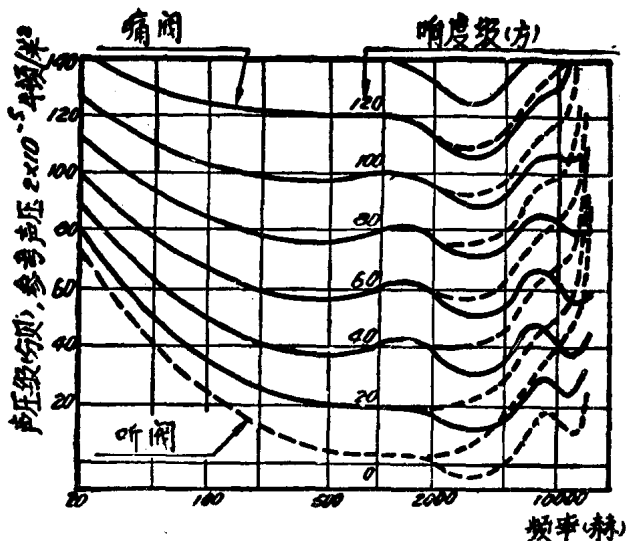


图2 等响曲线

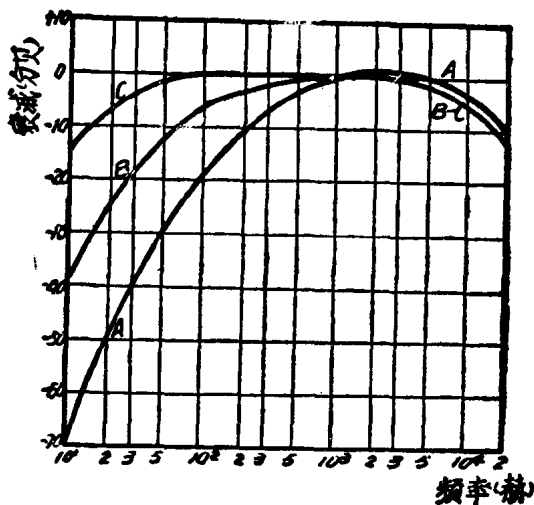


图3 计权网络

噪声测量的仪器应根据所测量的噪声类型和所需要的数据来选择。噪声的类型有：

(1) 稳态宽频带噪声，一般正常的电机噪声属于这一类型，其它如通风管道的噪声等也属于这种类型；(2) 稳态窄频带噪声，如圆锯发出的噪声等；(3) 撞击噪声，如铁锤等；(4) 间歇性噪声，城市环境、车辆通过的噪声等。按照测量的目的和要求，有的只要简单的知道A声级的数据，成批产品检验时大多就测A声级。有时在设计中需要获得更详细的噪声资料，那就须测量噪声的频谱和指向性等。

噪声测量最常用的仪器是声级计，有精密声级计和普通声级计二类。声级计的组成方框图见图4。

传声器是声波的接受元件，俗称话筒。它把声讯号转换成电讯号。声测量的话筒要求频率响应在20—16000赫之间平直无畸变，一般采用电容传声器为好。这种传声器性能稳定，灵敏度高。传声器通常响应于声波的声压，动态范围指的是声级测量范围。

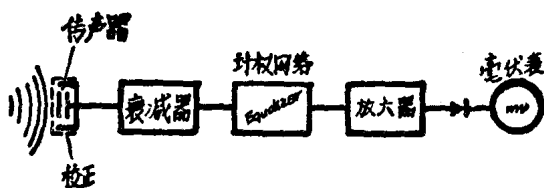


图4 声级计的方框图

值得指出的是，图4虽然为噪声测量的原理方框图。但只要把接受元件换成拾振器，就成为振动测量的方框图。当然，在振动测量中，没有听觉的问题，计权网络也就不要了。拾振器有速度拾振器和加速度拾振器，前者响应于振动速度，后者响应于振动加速度。速度拾振器多半是电磁式的，体积比较大，重量重。加速度拾振器一般由压电晶体制成，体积小，重量轻。在振动测量时附加重量会对振动值产生影响，这就与拾振器的类型选择有关系。选用拾振器时，同样也须考虑振动测量的动态范围和频率响应。

当需要了解噪声的频率组成时，则须进行频谱分析的测量，频谱分析可获得噪声在各个频带上分布的资料，对研究噪声产生的各种因素与频率的关系，从而有效地采取噪声控制的措施是有利的。

频谱测量实际上是把图4中的计权网络用频带滤波器取代，见图5。频谱分析的类型很多，电机噪声的频谱测量一般用倍频程或 $\frac{1}{3}$ 倍频程滤波器就可以了。所谓倍频程滤波器，即其通频带的上限频率为下限频率的一

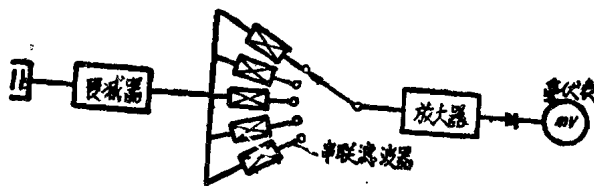


图5 频谱分析测量的方框图

倍。在20—20000赫的声频范围内分成如下若干频带：90—180、180—350、350—700、700—1400、1400—2800、2800—5600、5600—11200（赫）。分别以它们的中心频率表示为：125、250、500、1000、2000、4000、8000、16000（赫）。这是国际上推荐的以1000赫的倍数为中心频率的倍频程划分标准。 $\frac{1}{3}$ 倍频程滤波器则是将倍频程的每个频带相应地细分成三个频带。譬如：上面倍频程中心频率125赫（90—180赫）的频带被分成中心频率为100赫（90—110赫）、125赫（110—140赫）和160赫（140—180赫）三个频

带。 $\frac{1}{3}$ 倍频程的上限频率是下限频率的 $\sqrt[3]{2}$ 倍。作为一般用途的噪声测量，感兴趣的测

量频率范围包括中心频率为125至8000赫的倍频程，或者中心频率为100至10000赫的 $\frac{1}{3}$ 倍频程。比最高频带声压级低40分贝以上的频带可以忽略。图6是一台电机测得的噪声频谱之例，图的末尾是通过A、B、C计权网络测得的总声级。

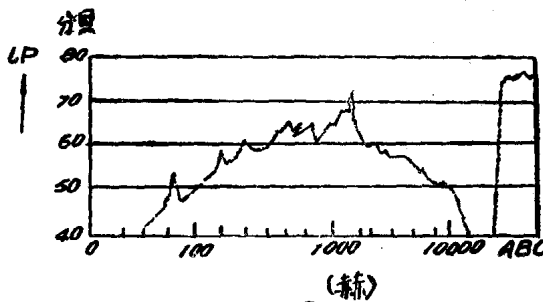


图6 电机噪声频谱图例

当电机噪声中含有突出的纯音峰值时，要分析产生这些纯音成份的原因，是由电机的磁噪声、轴承噪声造成的？还是风叶的通风噪声造成的？有时将用到窄频带滤波器。窄频带滤波器有二种：一种叫作恒定百分比带宽滤波器，这种滤波器的通频带宽度随频率而变化，其通频带与中心频率始终保持一个恒定的百分比值，适用于分析与基频有关的高次谐波成分；另一种叫作恒定带宽滤波器，它的通频带是恒定不变的，通常的带宽有2赫至200赫。适用于测量含有纯音峰值的噪声。窄频带滤波器用来测量电机噪声，电源频率要求稳定。电源频率的波动将难以取得可靠的测量数据。注意！频谱分析器的类型不同，所测得的频谱，外形上会很不相同。ISO1630规定，不管用哪一种滤波器分析，最后结果都以倍频程频谱给出。

测量仪器的读数可以象图4那样，由毫伏表的指针指示，这种毫伏表的标计已转换成成分贝刻度。表头有“快”（Fast）档和“慢”（Slow）档，IEC对表头的“快”、“慢”档特性也作出了规定。测量稳态下的噪声，如果噪声不随时间而起伏，则可用“快”档读数。如果噪声随时间有起伏，则用“慢”档读数，指示出该噪声在一段时间内的平均值。

放大器的输出还可以接到声级记录器上取得数据，记录器能把随时间变化的声压级自动地记录在标有刻度的座标纸上。图6的频谱图就是用记录器得到的。

使用声级计时，测量前应用精度 ± 0.2 分贝的校准器校正声级计的读数。一般常用活塞发生器作为校准器。至于校准器和测量仪器系统在整个测量频率范围内的校正，则应定期送往计量单位进行标定。

指向性 有些电机的噪声辐射在有的方向上强，有的方向上弱，这就要把它们作为指向性声源考虑。设距声源中心一定距离，在某个方向上测得的声压级为 L_p ，而在相同距离下测量，电机周围各个方向得到的平均声压级为 L_p ，则指向性定义为：

当电机在全球面辐射时：

$$\text{指向性指数 } DI = L_p - L_p \quad \text{分贝} \quad (9)$$

半球面辐射时：

$$DI = L_p - L_p + 3 \quad \text{分贝} \quad (10)$$

测量电机噪声的目的大致可区分为二类：一类是分析研究电机噪声产生的原因及其抑制的方法；另一类则是为确保产品质量而进行噪声的测试鉴定。研究性测量，按理是

无须任何技术规范,只要保证一定的测试条件,能够进行相对性的测量就行。产品的鉴定试验,则应严格按照规范测量,它要求得到一个“绝对”的测量值。因此,电机基本技术要求中须根据电机的不同容量、转速和型式,对每类电机规定出噪声的允许值或噪声限值 (noise limits)。同时,要制定相应的统一测量方法。这样才能通过测试,判断产品是否合格。

2.3 噪声测试标准

电机噪声测量方法及其允许的噪声限值,早在50年代末各个国家开始制定标准。现将我们所看到的列举如下:

美国AIEE 1958年提出了“旋转电机噪声测量试验规程的建议”。1973年成为美国电气、电子工程师学会IEEE标准85“旋转电机空气噪声测量方法”。

美国电气制造厂协会NEMA规定了标准电机的噪声限值。

日本工业标准JIS Z8731—1957“噪声级的测量方法”。专门关于电机噪声测量的,有日本电机工业协会JEM—1020 (1956)三相感应电动机试验方法中的噪声测量项目。1972年制定了一般用途的三相鼠笼型异步电动机的噪声限值——JEM标准R2066“三相鼠笼型异步电动机的噪声级”。

德国工业标准DIN45632 (1962年)“电机噪声测量”(暂定标准)。该标准现已为DIN45635第10章 (1974年)所代替。

德国电工委员会VDE0530标准规定了电机的噪声限值。

社会主义国家标准化机构Y I K (1965年)提出“电机的试验方法——噪声级的确定”

苏联国家标准ГОСТ16372 (1970年)制定了电机噪声和振动的允许标准。苏联标准除了规定电机的噪声允许值外,还划分了产品的噪声等级。

我国于1966年制定了“船用电机的振动和噪声试验方法”部标 (JB853—66)。

1967年则有“精密机床用小型电机的振动试验方法”和“噪声试验方法”部标 (JB951, JB952—67),相应地规定了振动和噪声的等级。

最近,我国正在修订国家标准“电机基本技术条件”(GB755—65),其中“电机噪声测定方法”和“电机振动测定方法”及其相应的限值标准正在审议之中。

国际上有二个组织与电机噪声的标准发生关系。国际标准化组织ISO声学技术委员会TC43制定噪声的测量方法;国际电工委员会IEC旋转电机TC2负责规定电机的技术性指标,其中包括噪声限值。我国国家标准制定时,要求积极采取符合于国际上最新发展趋势的先进方法。为此下面介绍一下这二个国际组织有关噪声方面的动向。

1966年ISO制定了ISO推荐标准R495——编制“测量机器噪声试验规程”的一般要求。1970年制定了ISO推荐标准R1680——“旋转电机空气噪声的测量规程”。上述标准是以测量声级(A)和频带声压级为基础的。从1977年开始到现在,ISO陆续公布了一个系列的机器噪声测量方法:ISO3740—3748,该系列标准都是以噪声源的声功率级测定为基础的。其中有些已经成为正式标准,例如:ISO3745声学——噪声源的声功率级测定——适用于消声室和半消声室的精密方法。有的处于草案讨论阶段,例如:ISO/DIS3744.2声学——噪声源的声功率级测定——适用于一个反射面上自由声场环

境的工程方法。这组标准取代了ISO R495。看来ISO R1680“旋转电机空气噪声的测量规程”也将修订。

1972年, IEC给出的电机噪声限值(初版)是以声级(A)和声功率级(A)二张表格规定的。在1979年发出的修订版中, 旋转电机的噪声限值只给出最大允许的声功率级分贝(A)。正如IEC报告中所说: “电机噪声限值可以用声压级, 也可以用声功率级给出。二者被广泛地使用于不同的用途, 现在国际上要统一还不行, 声功率级与测量面无关, 避免了用声压级作限值所带来的麻烦, 不需附加说明测量距离等几何数据。声功率级提供一个声辐射能量的数据。在作声学分析和设计中具有优越性。在今后规定噪声指标中, 将越来越多地被采用。因此, 本标准只用声功率级。但是, 距离电机1米测得的声压级数据在某些场合下也有用处, 标准给出计算这一量的方法。”编制说明中提出, 准备用二年左右时间由声压级的噪声限值过渡到声功率级的限值。IEC要求任何一个国家的标准只用一种作为噪声指标。

关于这点, 目前不少国家还是处于讨论准备阶段, 即使日本等工业发达国家过去也一直用声级分贝(A)作噪声限值。我国多年来已经习惯于声压级或声级(A)的测量, 现在要转到声功率级的概念上来, 当然须花一定的努力。采用声压级 L_p 的优点是简单, 能够直接从测量仪表上读得数据。声压级也有一定的用途, 从环境保护和劳动保护方面提出的噪声指标, 操作机床的工人工作地点的噪声不得大于85分贝(A), 这是指的声级分贝(A), 而不是声功率级分贝(A)。附带说明一下, 由于声压级和声功率级的单位是一样的, 都是分贝(A), 很容易混淆, 今后记述中必须注明清楚。同时对电机的噪声用声功率级或声压级标定须有明确的概念, 因为同一台电机用声功率级给出可能比声压级的分贝(A)值高8—20分贝。然而, 用声压级(或声级)表示机器产品的噪声时, 它不是机器辐射噪声的唯一依据。声压级的数值与测量距离和测量环境的声学条件有关。因此, 用测得的声压级数值标定机器产品的噪声值, 必须给出测量距离, 需要时还将对一些附加因素加以说明, 详细的最好画出测量的图示。用距离1米的声压级给出电机的噪声值还有一个问题, 这里我们举个例子来说明: 一台小电机和一台大电机, 同样距机壳1米测得的声压级为80分贝(A)。把它们安装到车间内, 显然大电机噪声危害的影响面大, 因为虽然它们1米处的声压级相同, 但噪声辐射的声功率, 大电机比小电机要大得多。过去作这种比较, 是把它们化算到相同基准半径的声压级, 如果测量面不是球面或半球面, 首先须化算到等效半径的球面上, 这种化算也相当麻烦。声功率级的数据只取决于机器辐射的声功率, 这是噪声源的唯一依据。由上面的例子可见, 在噪声控制设计时, 掌握声功率级的数据也比声压级有利。但是声功率级不能由测量直接得出数据, 它是从声压级的测量中通过计算得到的。声功率级须在一个设定面上进行测量, 与声压级测量相比, 有些复杂问题有待解决。对于单台电机来说, 测定其声功率级还是比较容易的。但是, 一些成套设备的机组要确定一个测量面, 实际中往往存在不少困难。声功率级有它的先进和合理的方面, 作为一个新的内容, 还有进一步研究和完善的必要。

2.4 测试方法

噪声测量属于声学测量, 必然要考虑测试环境的声学条件。环境的声学条件包括:

1. 背景噪声, 2. 噪声辐射的声场。

2.4.1 背景噪声

测量电机噪声时, 当电机未开动前, 若测试环境的背景噪声比电机运转时测得的噪声级低10分贝以上, 则所测得的噪声级无须对背景噪声作修正。如果小于10分贝, 应按下表修正:

电机运转时测得的噪声级与背景噪声级之差值小于4分贝, 则认为该测试环境不适合。

(以上是按正在审议中的国标“电机噪声测定方法”给出)

表1 背景噪声的修正值 K_1

电机运转时测得的噪声级与背景噪声级之差 (分贝)	4	5	6	7	8	9	10
修正值 k_1 (分贝)	2.2	1.7	1.3	1	0.8	0.6	0.4

2.4.2 环境声场

测试环境的声场以往通常区分为三类: 自由声场、混响声场和半混响声场。三种声场的含义说明如下:

自由声场 设想一台电机放在开阔的野外, 这时电机辐射的噪声, 声波向四周自由地传播开去, 没有任何边界障碍物的影响, 不会引起声波的反射和扩散, 这种声场就称为“自由声场”。由于野外环境的背景噪声、风速和气候条件等不易控制, 也难以取得各种需要的电源。野外测量电机噪声客观条件上有着不少困难。建立消声室(有人称作“无响室”, 其含义与混响室相对, 即无混响的试验室)的目的就是要在室中一定范围之内获得一个自由声场的环境。消声室的墙面敷设吸声系数很高的吸声结构, 使声源在整个需要测量的频率范围内辐射的声波, 传到墙面时声能被吸收掉。过去有些小型电机和微电机的噪声测量, 有把电机悬在消声室中央, 室内六个表面全部敷以吸声结构, 在全球面的测量面上提供自由声场条件, 这种消声室称为全消声室。国标制定中的验证表明, 悬吊方式和安置在地面的弹性基础上测量的噪声, 都能客观地反映被试电机的噪声等级, 二者的数据均具有稳定性。地面不敷吸声结构, 电机安装在地面基础上进行噪声测量, 对产品的运输等都要方便得多。因此, 近年来作为机器噪声测量, 趋向于采用地面为“硬性”反射面, 在半球面上测量的半消声室。新的电机噪声测量国标中, 微电机也不采用悬吊方式了。

消声室内的吸声结构现今大多使用吸声系数高达0.99的尖劈体, 吸声尖劈的设计与要求测量的频率范围有关。满足吸声系数为0.99的下限频率称作截止频率。这一设计参数很重要, 它在某一方面决定着消声室的性能和投资。截止频率越低, 表征着该消声室的性能要求越高, 随之尖劈体的长度也就越长。前面已谈到, 作为一般的噪声测量, 感兴趣的频率范围包括中心频率在125—8000赫之间的倍频程和中心频率在100—10000赫之间的 $\frac{1}{3}$ 倍频程。故而, 电机噪声测量的消声室通常截止频率取在100赫左右。需要着重指出, 从实用上看, 即使吸声系数没有达到0.99, 在电机周围的测量空间内也能满足一定距离的自由声场要求。消声室内的自由声场大小是由室内表面的吸声系数和房间容积二个因素决定的, 不要单纯追求吸声尖劈一个方面的指标。在实际应用时, 如果房间容积足够大, 墙面多少有些反射, 只要所需的测量半径内能实现自由声场就可以了。按照ISO

3745的规定,消声室的容积应为电机体积的200倍以上。半消声室的地坪在声学上应为“硬性”反射面,其吸声系数不得大于0.06。

消声室内自由声场范围的确定是按所谓“平方反比定律”验证的。从式(2)可知,由点声源辐射的球面声场,声压 P 与离开声源的距离 r 成反比:

$$P \propto \frac{1}{r},$$

$$\text{设 } P_1 \propto \frac{1}{r_1}, \quad P_2 \propto \frac{1}{r_2}, \quad r_2 = 2r_1$$

又从式(8)可得:

$$L_P = 20 \log_{10} \frac{P}{P_0}, \quad L_{P1} - L_{P2} = 6 \text{ 分贝}。$$

则从上面的式子中导出:当距离 r 增加一倍,声压级衰减6分贝,这就是平方反比定律。验证消声室的性能是测定实际声场与平方反比定律的偏差。其偏差应在ISO 3745规定的消声室或半消声室的允许偏差之内。消声室的设计准则和鉴定方法详见ISO 3745附录G和A。

混响声场 混响声场也需在特殊设计的混响室中才能获得。这种试验室的内表面几乎不吸声,房间各面的吸声系数都不大于0.06。当噪声源放在室内,发出的声波经房间表面反射而充分地扩散,理论上可使室内的声场十分均匀,这种声场称为混响声场。室内声场的扩散与声源的频率特性有关。为了使低频声波能充分扩散,测量电机噪声的混响室,如果下限频率取100赫,那末混响室的容积不能小于200立方米。而须测量3000赫以上的高频时,为避免空气吸收的影响,容积又不能太大,一般要小于300立方米。被试电机的体积应小于房间容积的1%。根据房间的容积,在某个频率以下又要有适量的吸声。有关混响室的设计要求和性能试验方法详见ISO 3741、3742的附录。

半混响场 消声室、半消声室和混响室都是特殊设计的声学实验室。ISO新系列标准规定了测量方法的精度等级,上述实验室测量属于精密级。倘若工厂没有这些实验室,须在一般的房间、普通的车间或户外较开阔的场地内测量产品的噪声。这时的声场既不能达到自由声场的条件,又不能满足混响声场的要求,而是处于二者之间,有人把这样的声场称为半混响场。美国IEEE标准35是这样区分环境声场的:将一个点声源放在试验环境的中央,围绕声源周围五点,分别在离声源中心半径为1米和2米的位置上测量声压级,声压级衰减小于1分贝的为混响声场;衰减在1—5分贝之间的为半混响场;衰减大于5分贝的为自由声场。最近ISO制定的新系列标准,则把半混响场划分得更细。ISO 3743—特定的混响试验室法,这是一种在准混响声场中的测量方法,它接近于混响室测量;ISO 3744—特定的半空间自由声场的测量方法,实质上该标准是对在准自由声场中测量作出规定。它的测量方法与ISO 3745中的半消声室测量是有联系的。此外,ISO还制订了一种在安装现场测量噪声的方法,如果现场的环境声学条件不能符合ISO 3744的要求,则可按ISO 3746概测法(Seeve Method)作概略的测量。依据ISO新系列标准,我们不妨大致划分如表2,供参考。

表 2

环境声场的差值 (分贝)	室内各点声压级 差值 < 1	室内各点声压级 差值 1—2	倍增距离 声场衰减 < 4	倍增距离 声场衰减 4—5	倍增距离 声场衰减 5—6
测量方法的标准	混响声场 ISO 3741 3742	准混响声场 ISO 3743	概测法 ISO 3746	准自由声场 ISO 3744	自由声场 ISO 3745

2.4.3 测量点的配置和数据计算

按自由声场、准自由声场或安装现场（标准 ISO 3745、3744 或 3746）进行噪声测量，则须在规定的测量距离和测量面上测量声压级。测量点配置在围绕声源的一个封闭曲面上，然后根据测量面上的声压级和它的面积计算出声功率级。

消声室和半消声室中，标准规定的测量面是球面和半球面。只有在不能采用球面或半球面时，可采用离声源辐射表面等距离 d （测量距离）所确定的测量面。测量半径 r 应大于 $2a$ ， a 是被测声源的最大尺寸。这时测量点处于远场之中，以避免近场测量带来的误差。测量点最好能离开房间内表面 $\frac{\lambda}{4}$ 的距离， λ 是测量最低频率的波长。球面的中心

要取在声源的中心上，半球面的中心取声源中心投影到地面上的那点。球面和半球面测量点配置的 20 点和 10 点座标参见 ISO 3745。我国电机噪声测量的国家标准，通过验证简化了测量程序。测量面采用半球面，测量点数为 5 点，测量点的配置见图 7。微型和小型电机（轴中心高 $H < 80$ 毫米）的测量半径 r 取 0.4 米，半径 $r = 0.4$ 米的半球面面积 $S \approx 1 \text{ 米}^2$ ，在该测量面上测得的 A 计权平均声压级即为 A 计权声功率级，简化了计算。中小型电机（250 毫米 $\geq$ 轴中心高 $H > 80$ 毫米），测量半径 r 取 1 米。

将测量面上各测量点测得的数据对背景噪声进行修正： $L_i - K_i$ （ L_i 是 i 点上测得的声压级）。由修正后的各点声压级求平均声压级 $\bar{L}_p$ ：

$$\bar{L}_p = 10 \lg \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(10^{\frac{L_i - K_i}{10}} \right) \right] \quad (11)$$

式中 n 是测量点数。

声功率级 L_w 由球面或半球面上的平均声压级 $\bar{L}_p$ 的结果按下式算出：

$$L_w = \bar{L}_p + 10 \lg \frac{S}{S_0} + C \quad (12)$$

式中：

S ：全球面时 $S = 4\pi r^2$ ；半球面时 $S = 2\pi r^2$ 。

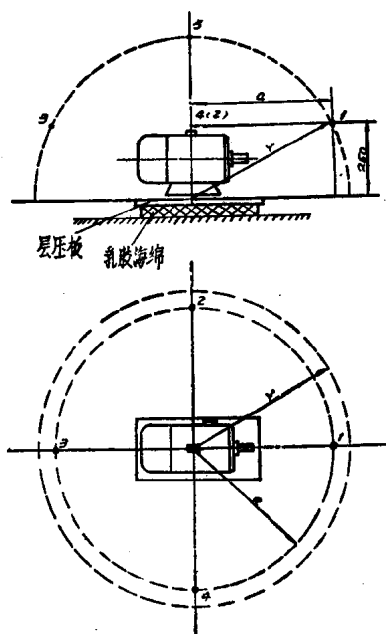


图 7 半球面测量点配置图

$$S_0 = 1 \text{ 米}^2$$

C是对温度、气压影响的修正值。当测量时的温度为 $t^\circ\text{C}$ ，气压为 P （毫巴），则C由下式给出：

$$C = 10 \lg \left[\left(\frac{423}{400} \right) \times \left(\frac{273}{273+t} \right)^{0.5} \times \left(\frac{P}{1000} \right) \right] \quad \text{分贝} \quad (13)$$

在温度 15°C 、一个大气压时 $C \approx 0$ ，一般情况下这个修正值C很小，可以忽略不予计算。

ISO 3744是工程上的测量方法，测量精度为2分贝。主要叙述在普通车间、一般房间内，环境声场具有一定的反射下的测量方法。当声源处于半混响场中，此时声源辐射的噪声在声源近处是直射声大于反射声，随着传声器离开声源距离的加大，四周反射回来的混响声逐渐增强。到了一定的距离后，声压级就不随距离的增加而衰减了。也即在半混响场中测得的声压级，既有声源辐射来的直射声，又有环境反射回来的混响声，它是二者之和。声压级与声功率级的关系为：

$$L_p = L_w + 10 \lg \left(\frac{1}{S} + \frac{4}{R} \right) \quad (14)$$

式中：

S ：测量面的面积， 米^2

R ：称为房间常数，它取决于房间的表面积和吸声系数

比较(12)式和(14)式可知，测量面 S 在半混响场中测得的声压级数值，与理想的自由声场测得的数值相比，多了一项由环境反射引起的修正值 K_2 ， K_2 可按下列式计算：

$$K_2 = 10 \lg \left(1 + \frac{4}{A/S} \right) \quad \text{分贝} \quad (15)$$

式中：

S ：测量面的面积 米^2

A ：房间的吸声量 米^2

符合ISO 3744测量的环境条件，标准要求 $\frac{A}{S} > 6$ ，此时修正值 $K_2 \approx 2$ 分贝。如果环境的声学条件不能满足上述要求，则应按ISO 3746概测法进行测量。概测法是用于机器设备难以搬移，就在安装现场作噪声测量的方法。当然，假如安装现场符合 $\frac{A}{S} > 6$ 的条件，那末就可按3744测量。当 $\frac{A}{S} < 6$ ，安装现场的环境较差，甚至 $\frac{A}{S} \geq 1$ 时，那末须按3746测量，测量精度不能要求太高，A计权声功率级的精度为5分贝。作为产品考核来说，用概测法是不适宜的。IEC规定电机产品鉴定测试，至少应按工程级精度以上的方法测量。

ISO 3744工程测量可采用三种测量表面：半球面、立方体面和合成体面。设定测量面时，首先得定出基准箱。基准箱是噪声测量中根据电机外形确定作为声源外围尺寸的一个简单立方体。对于形状不规则的电机，如果突出部分是不可忽视的发声部分，在确定基准箱时也要把它考虑进去。设基准箱的三条棱边的长度分别为 l_1 、 l_2 和 l_3 。由

基准箱中心为坐标原点到基准箱上角的距离为 $D_0 = \sqrt{(0.5l_1)^2 + (0.5l_2)^2 + l_3^2}$ ，把试验环境可使用的测量范围而定出的最小距离定为 $R_{min} = \sqrt{A/12\pi}$ ，A是房间的吸声量。测量面的选择须根据 D_0 和 R_{min} 之值而定。

如果选择半球测量面，半球面的测量半径 r 应满足： $(2 \sim 3) D_0 \leq r \leq R_{min}$ 。在声源很小，也即基准箱的 D_0 小，而环境的声场条件所决定的 R_{min} 又能满足上式的要求，最好采用半球面测量。当不能满足上述条件，则可取立方体或合成体测量面，这时基准箱到测量面的测量距离 d 应满足： $d \leq D_0 \leq R_{min}$ 。通常取 $d = 1$ 米。半球面的测量点配置与前面谈到的半消声室测量点配置相似，不再赘述。立方体测量面已为 IEC34—9 (1979年) 的文件中所采用，测量点的配置见图8。

根据各测量点上测得的数值，由下式求平均声压级 $\bar{L}_P$ ，此时需要对环境反射作修正：

$$\bar{L}_P = 10 \lg \frac{1}{n} \left(\sum_{i=1}^n 10^{\frac{L_{Pi} - K}{10}} \right) - K_2 \quad (16)$$

式中 K_2 为环境反射的修正值。

环境反射的修正值 K_2 ，ISO 3744附录A中提供了三种确定的方法。

1. 标准声源法（绝对比较测试）：

$$K_2 = L_{wr} - L_{wro} \quad (17)$$

式中， L_{wr} ：标准声源在该测试环境中测得的声功率级（分贝）

L_{wro} ：标准声源在消声室或混响室中测得的声功率级（分贝）

2. 多表面法（相对比较测试）：

分别在三个测量面上测得声压级 $\bar{L}_{P1}$ 、 $\bar{L}_P$ 和 $\bar{L}_{P3}$ 。它们的测量面面积相应为 S_1 、 S_2 和 S_3 。其中主要测量面 S_1 是声功率级的测定面。 S_2 和 S_3 是为了求出修正值 K_2 而增加的辅助测量面。 S_1 、 S_2 和 S_3 测量面的配置见图9。推

荐 S_1/S_2 、 $S_3/S_1 \sim 4$ ，也即测量半径 r_1/r_2 、 $r_3/r_1 = 2$ 。当测量面不是采用球面或半球面时，也可以采用立方体测量面，但 S_2 和 S_3 应与测量面 S_1 的几何形状一致。它们的面积比及等效测量半径之比最好能符合上面的关系。然后，按下列计算式求出 S_1 测量面上的环境反射修正值 K_2 ：

$$\Delta L_2 = \bar{L}_{P2} - \bar{L}_{P1} \quad (18)$$

$$\Delta L_3 = \bar{L}_{P3} - \bar{L}_{P1} \quad (19)$$

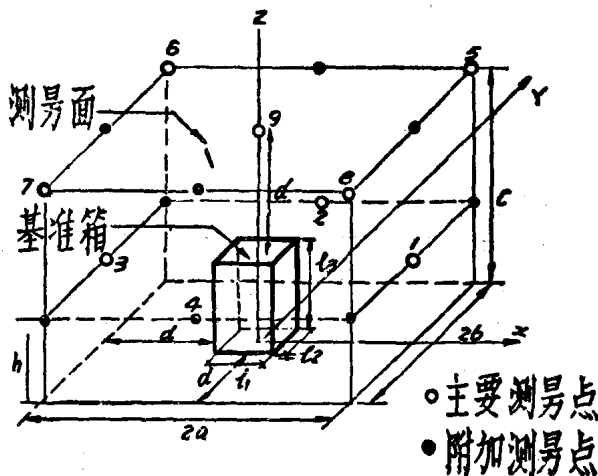


图8 立方体面测量点配置图

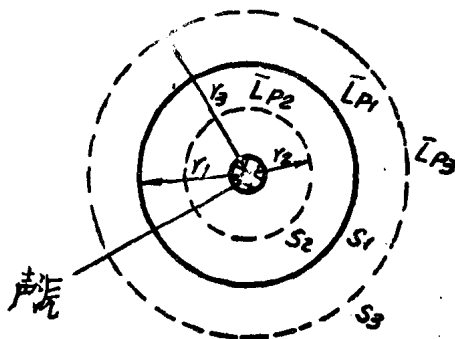


图9 多表面法求 K_2 值

则,
$$K'_2 = 10 \lg \frac{\frac{S_1}{S_2} - 1}{M_2 - 1} \quad M_2 = 10^{0.1 \Delta L_2} \quad (20)$$

$$K''_2 = 10 \lg \frac{\frac{S_3}{S_1} - 1}{1 - M_3} \quad M_3 = 10^{0.1 \Delta L_3} \quad (21)$$

取 K'_2 或 K''_2 中较小的那个值作为修正值 K_2 。

3. 混响时间法

测出环境的混响时间 T 和体积 V , 则房间的吸声量 $A = 0.16 \frac{V}{T}$, 就可按(15)式求得

修正值 K_2 :

$$K_2 = 10 \lg \left(1 + \frac{4}{A/S} \right) \quad \text{分贝}$$

S : 测量面的面积 (米²)

A : 吸声量 (米²)

上面的方法同样可用于频带声压级的修正。

由修正后得到的平均声压级 $\bar{L}_P$, 可从(12)式求出声功率级 L_W :

$$L_W = \bar{L}_P + 10 \lg S / S_0 + C$$

式中的测量面面积 S , 当用半球面测量时, $S = 2\pi r^2$; 当用立方体测量面时, 可从图 8 中得到 $S = 4(ab + bc + ca)$, 其中 $a = 0.5l_1 + d$; $b = 0.5l_2 + d$; $c = l_3 + d$ 。

数据计算中的几点注意事项:

(1) 平均声压级或声级 (A) 的计算

由几个测量点测得的数据求平均声压级 $\bar{L}_P$ 须按(11)式计算, 即:

$$\begin{aligned} \bar{L}_P &= 10 \lg \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n 10^{\frac{L_i}{10}} \right] \\ &= 10 \lg \left[\frac{1}{n} \left(10^{\frac{L_{P1}}{10}} + 10^{\frac{L_{P2}}{10}} + \dots + 10^{\frac{L_{Pn}}{10}} \right) \right] \end{aligned}$$

上式是对数计算, 如果没有袖珍电子计算机, 计算相当费时。为简化计算过程, 如各测量点之间所测得的数据差值不大于 5 分贝, 可以用算术平均值计算:

$$\bar{L}_P = \frac{1}{n} (L_{P1} + L_{P2} + \dots + L_{Pn}) \quad (22)$$

这时的计算结果与用对数计算的结果相比, 误差不超过 0.7 分贝, 如差值大于 5 分贝, 则应按 (11) 式用对数计算, 不然的话, 计算误差太大, 不能允许。

(2) 级的相加或相减

级的相加 (或相减) 不能用分贝数直接加减。应先把它们化成声强 I 才能加减, 再取对数求出级的合成。举例来说, 二个声压级 L_1 和 L_2 同为 80 分贝, $L_1 + L_2$ 则为:

$$L_1 = 10 \lg \frac{I_1}{I_0}; \quad L_2 = 10 \lg \frac{I_2}{I_0}; \quad I_1 = I_2。$$