

110675

风机噪声控制 研究报告集

智乃刚 屈德荫 编著

山西省环境保护局
太原市环境保护局

一九八五年

风机噪声控制研究报告集

智乃刚 屈德荫编著

研究报告的主要作者:

智乃刚 屈德荫 许雅芬 蔡京京 张 元

序 言

根据国内环境保护和劳动保护部门的调查统计表明：风机噪声是当前国内城市和二矿企业噪声污染的主要噪声源之一。为了控制环境污染保护人民身体健康，从一九七八年起，北京市劳动保护科学研究所与北京消声器厂、太原市消声器厂、山西原平消声器厂、沈阳鼓风机研究所、武汉通风机消声器研究所等单位先后开展了《离心式风机消声器系列化的研究》、国家标准《风机和罗茨鼓风机噪声测量方法》、机械工业部标准《通风机噪声限值》、《新型系列消声器》等课题以及风机噪声与振动控制的试验研究。目前两个标准已分别于一九八三年一月和一九八四年四月实施。系列化消声器产品在北京、太原等地已批量生产。有关风机噪声与振动的综合治理工程也取得良好效果。

近年来，许多单位来信来访要求提供上述四个鉴定会的有关资料及治理工程的实例。为了普及噪声知识贯彻国家和机械部标准，进一步推动风机噪声治理和低噪声风机研究的开展，我们在山西省和太原市环保局的大力支持下，将过去的研究报告编辑成《风机噪声控制研究报告集》以满足有关技术管理人员及工人的需要。

本书是一个集刊，对过去的研究报告除文字上作了修改之外未作大量变动。由于时间仓促，水平有限，难免有错误与疏漏之处，希望读者见谅，并予以指正。

山西省环保局、太原市环保局以及太原市消声器厂的贺铭钧，

张金铭、高喜堂等同志都为此书付出艰辛的劳动，在此表示衷心地感谢。

作 者

一九八四年五月于北京

目 录

一、风机噪声基础知识.....	(1)
二、浅谈噪声控制技术.....	(37)
三、风机和罗茨鼓风机使用现场噪声调查报告.....	(41)
四、风机和罗茨鼓风机噪声典型频谱图.....	(62)
五、离心通风机模型级的噪声特性.....	(86)
六、离心式与轴流式通风机样机噪声调查报告.....	(118)
七、9-19高压离心通风机样机噪声频谱测试报告.....	(135)
八、9-26高压离心通风机样机噪声频谱测试报告.....	(142)
九、6-48中压离心通风机样机噪声频谱测试报告.....	(147)
十、5-48低压离心通风机样机噪声频谱测试报告.....	(156)
十一、4-68低中压离心通风机样机噪声频谱测试报告.....	(165)
十二、灶用吹风机噪声调查报告.....	(178)
十三、评价消声器消声性能的一种新方法——消声指数.....	(186)
十四、离心通风机的A声级和倍频带声压级的预算方法.....	(192)
十五、由A声级预算通风机倍频带声压级的方法.....	(196)
十六、中华人民共和国国家标准GB2888-82风机和罗茨鼓风机 噪声测量方法.....	(199)
十七、中华人民共和国国家标准 GB 2888-82《风机和罗茨鼓风机 噪声测量方法》编制说明.....	(217)
十八、一般声场与半自由场的噪声测量偏差.....	(222)
十九、中华人民共和国机械工业部部标准JB/TQn341-84 通风机噪声限值.....	(232)
二十、中华人民共和国机械工业部部标准《通风机噪声限值》编制说明.....	(233)
二十一、通风机噪声限值分类方法的探讨.....	(244)

二十二、气流噪声与消声器实验装置的研究.....	(250)
二十三、风机噪声测量简易消声室的设计.....	(269)
二十四、片式消声器模型的试验研究.....	(277)
二十五、气流再生噪声的试验研究.....	(305)
二十六、风机消声器的声疲劳破坏及其防止措施.....	(318)
二十七、消声器的结构形式与其压力损失.....	(322)
二十八、ZYG系列消声器稳流段的设计及其效果.....	(330)

第一篇 风机噪声基础知识

一、风机噪声测量技术概述

在冶金、石油化工、机械、建筑、轻工、电子、矿山等部门，广泛使用通风机、鼓风机和压缩机（以上简称风机）。这些风机在运转过程中产生强烈的噪声。噪声通过进出口、机壳、管道等部位传到周围空间，不但损害工作人员的身心健康，而且污染环境。现在风机噪声已成为噪声污染的一个重要来源。为了搞好劳动保护和环境保护，有效地控制风机噪声对环境的影响范围和程度，研制低噪声风机，使之达到相应的允许标准，就必须对风机噪声进行治理。

在治理噪声过程中，噪声测量是关键的一环。例如，要兴建一个大型锅炉房，在设计时就会遇到如何控制送风机和引风机的噪声问题。为了使操作人员在工作时不受风机噪声的干扰，能够比较方便地相互交谈，就要求风机房和控制室之间有足够隔声性能，其具体降噪值应取决于风机房的A声级与控制室中允许的A声级之差。另外，送风机的进气口和引风机的排气口都与大气相通。风机噪声必然从进出口向外辐射，对周围环境造成干扰。这就要求在送风机进口和引风机出口的适当部位安装消声器，使风机噪声获得明显减弱，而对消声器总消声值的要求，又取决于风机进出口的A声级与周围环境允许的A声级之差。我们看到，从开始就要求对送风机和引风机近旁以及进出口的A声级和八个倍频带声压级进行测量。根据声学基础实验，选择最佳设计参数，经过对照比较，选定合理的隔声和消声方案，都需要反复测量。当锅炉房建成后，所安装的隔声和消声设备是否达到设计要求，也要经过测量作出鉴定。又如，要研制一台高效率低噪声风机，首先要掌握国内外同类风机噪声水平，这就要求对风机进行噪声测量。在模型机和样机试验过程中，叶片形状、叶轮结构、风舌间隙和转数等参数对风机噪声的影响如何，也要进行大量对比测量。风机正式投产后，还要通过噪声测量检验噪声级是否达到设计要求。目前，国家标准《风机和罗茨鼓风机噪声测量方法》向各风机制造厂及有关检测单位提供了一种统一的测量方法。如果各单位都采用统一的方法进行测量，那么对同类产品的噪声测量结果不但能进行对照比较，而且可以预测风机对环境的污染程度。

正确掌握《风机和罗茨鼓风机噪声测量方法》，就应熟悉噪声基础知识、噪声测量方法和测量仪器的使用。对于采用管口法测量A声级和倍频带声压级时，一定要注意测试环境的声衰减规律是否达到半自由场的条件。

随着噪声测量任务的日益增多和近代电子技术的迅猛发展，噪声测量仪器的质量在不断提高，种类和数量也在逐渐增多。由于测量的目的和要求不同，可选择不同的测量仪器，遵循一定的方法对噪声进行测量分析。常用的测量仪器有声级计、滤波器、频谱

分析器、定时分析仪、自动记录仪、录音机等。

上述测量仪器中，以丹麦 B & K 公司生产的仪器在我国应用最广泛，其次是日本、英国、西德等国家的声学测量仪器。随着电子工业的发展，我国的声学测量仪器的质量也有一定的提高。北京、上海、江西、江苏、湖南等地不少单位在声学仪器的研制和生产方面已有相当规模。产品定型、配套和系列化工作也取得可喜的成果。如声级计，已有不少厂定型投产。实践证明，其性能指标已达到相应的有关标准，可以推广使用。

二、噪声测量基础

（一）声波的产生

声音是由物体振动而产生的。一个物体来回运动或者振动时，都会扰动邻近的空气，使它随之来回运动。这种运动从一个质点传到另一个质点，交替形成密层和疏层，这样空气中就激起声波，在一定的距离内，当这种声波传到人的耳朵时，就产生了声音的感觉。

在日常生活中，物体振动产生声音的例子是很多的。例如人们的谈话声，广播中的歌曲声，各种机械的运转声等。考虑一下我们听到的声音，就会发现虽然它们的具体形式多种多样，但共同的特点是声音的振源都来自于物体的振动。讲话声来自于喉管内声带的振动，广播喇叭发声来源于纸盆或音膜的振动，机械声来源于机械部件运转的振动。由此可见，声音总是由振动着的物体发出的。因此，我们把振动发声的物体叫做声源。

当然声源不一定非固体不可，液体、气体同样会因振动而发声。例如刮大风时，江河湖海中的水后浪推前浪，形成波涛声，就是液体发声；各类通风机、鼓风机、压缩机排气放空时产生刺耳的声音，就是气体发声。

声源发出的声音，必须通过中间的介质才能传播出去。例如喇叭发声，当外加讯号使喇叭纸盆来回振动时，邻近的空气层被带动一起振动，邻近空气层被带动后就带动较远空气层一起振动。这样，一层层空气就由近到远地先后开始振动，结果使物体的振动以一定的速度传播到空间去。当这种振动传入人们的耳朵时，作用在鼓膜上，会带动鼓膜一起振动。鼓膜的振动通过听觉机构的“翻译”就发出讯号刺激听觉神经，产生声音的感觉。

特别需要指出：声音在空气中传播到四面八方时，空气层并不跟随声音一起传播出去，它只是在平衡位置附近来回振动。可见，声音的传播指的是物体振动的传播。即传播出去的是物质的振动而不是物质的本身。这说明声音是物质的一种运动形式，这种形式叫做波动。

振动和波动是相互密切联系的运动形式。振动是波动的产生根源，而波动是振动的传播过程。声音在本质上是由波动产生的，因此，声音就叫声波。

声源发出的声音，按照传播介质的不同，也可以把它分为空气声、液体声、固体声等类型。在噪声测量和噪声控制中，所研究的主要是空气声，所谓声音或声波指的就

空气声。

(二) 声音的频率、波长与声速

声音听起来有的低沉, 有的尖锐, 我们说它们的音调不同。音调是声音的主观感觉特性, 而音调的高低主要由声源振动的频率来决定。

所谓振动的频率就是单位时间振动的次数, 振动次数越多, 频率数值越大, 即频率越高。由于振动频率在振动过程中是不变的, 所谓声音的频率指的就是声源振动的频率。

频率通常用 f 表示。在MKS(米千克秒)单位制中, 时间用秒为单位, 频率的单位是赫(记作Hz)。例如常用的交流电频率是50赫, 就是指它在1秒内来回变化50次。在声学中还常用赫的导出单位如千赫(KHz)等频率单位。

声音并不是所有频率的声音都能听到。人耳可听到的声音频率范围通常是20赫到20000赫叫可闻声。频率低于20赫的叫次声, 频率高于20000赫的叫超声。它们作用到听觉器官后, 不能引起声音的感觉, 所以, 我们听不到。在噪声测量和噪声控制中所研究的主要是可闻声。

从一个声源发出声波, 其相邻的两个压缩层(稀密层)之间的距离称为波长, 用 λ 表示。声波行经一个波长的距离所需要的时间就是周期 T , 对正弦波来讲 $f = \frac{1}{T}$, 所以声音可以用下式表示:

$$C = \frac{\lambda}{T} \quad \text{或} \quad C = f \cdot \lambda \quad (1)$$

式中 C ——声速 m/s

声音不仅在空气中可以传播, 在水中或钢铁、混凝土等固体中也可以传播。声音在介质中以一定的速度传播, 这种传播速度叫声速, 不同介质有不同的声速。

在任何介质中, 声速大小只取决于介质的弹性和密度, 而与声源无关。一般情况下, 在钢铁中声速约为5000米/秒, 水中约为1500米/秒, 橡胶中约为40~50米/秒, 空气是最主要的一种介质, 其弹性和密度与温度有关, 其声速为:

$$C = 20.05 \sqrt{T} \quad \text{m/s} \quad (2)$$

式中 T ——绝对温度 $T = 273 + ^\circ\text{C}$

$^\circ\text{C}$ ——摄氏温度

当 $^\circ\text{C} < 30^\circ\text{C}$ 时

$$C = 331.5 + 0.61C^\circ \quad \text{m/s}$$

通常在室温下空气中的声速约为344m/s。

声速与温度的关系见表1—1。

表 1—1 声速与温度的关系

℃	c m/s	℃	c m/s	℃	c m/s
0	331.5	90	382	190	431
/	/	100	387	200	436
10	337.6	110	392	210	441
20	344	120	397	220	445
30	349	130	402	230	449
40	354	140	407	240	454
50	360	150	412	250	459
60	365	160	417	260	462
70	371	170	422	270	467
80	376	180	426	280	471

三、声压、声强、声功率

我们已经知道瞬时声压是指某瞬时媒质中压强相对无声波时内部压强的改变量，即单位面积的压力变化。所以声压的单位就是压强的单位，即牛顿/米²或达因/厘米²（微巴）。瞬时声压是随时间变化的，它的均方根值称为有效声压。

对于正弦波，有效声压等于瞬时声压的最大值除以 $\sqrt{2}$ ，通常所说声压，如不加说明，即指有效声压。

声强是在声波传播方向上，与该方向垂直的单位面积，单位时间通过的声能量。通常用 I 表示，单位是瓦/米²。

声压与声强有密切关系。在自由场中，对于平面波和球面波某处的声强均与该处声压的平方成正比：

$$I = \frac{P^2}{\rho_0 C_0} \quad (3)$$

式中 P ——有效声压 牛顿/米²

ρ_0 ——空气密度 千克/米³

C_0 ——空气中声速，常温时 $\rho_0 C_0$ 为 450 牛顿秒/米³。

声功率是指声源在单位时间内向外辐射出的总声能。单位为瓦或微瓦。声源的声功率或指全部可听范围所辐射的功率，或者指在某个有限范围所辐射的功率（通常称频带声功率）。

四、声压级、声强级、声功率级及其分贝

从听阈（ 2×10^{-5} 牛顿/米²）到痛阈（ 2×10^2 牛顿/米²），声压级的绝对值相差

100万倍。因此用声压级的绝对值来表示声音的强弱是不方便的。再者人对声音的响度感觉是与声强的强度的对数成比例的。所以为了方便起见，引用了声压比或能量比的对数来表示声音的大小，这就是声压级如同地震级计算一样。

声压级的单位是分贝，分贝是一个相对单位，声压与基准声压之比，取以10为底的对数，再乘上20，就是声压级的分贝数。即：

$$L_p = 20 \lg \frac{P}{P_0} \quad (4)$$

式中 L_p ——声压级 db (分贝)

P ——声压 牛顿/米²

P_0 ——基准声压 ($P_0 = 2 \times 10^{-5}$ 牛顿/米²)

用同样的方法把声强级 L_I 定义为：

$$L_I = 10 \lg \frac{I}{I_0} \quad (5)$$

其中基准声强为：

$$I_0 = 10^{-12} \text{ 瓦/米}^2$$

在自由传播的平面波或球面波中，声强级和声压级的数值相等。

声功率级 L_w 定义为：

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

式中 L_w ——声功率级 分贝

W_0 ——基准声功率 ($W_0 = 10^{-12}$ 瓦)

为了直观起见，在图 1—1 中给出了声压与声压级，声强与声强级、声功率与声功率级的关系图。

(五)、声级与声功率级的相加

在设计一个车间或一个机房时，常常不只是安装一台机器，往往是布置数台机器，假若知道每台机器的 A 声级分别为 L_{A1} 、 L_{A2} 、 L_{A3} …… L_{An} ，问在机器中间位置，n 台机器产生的 A 声级 L_{A1} 是多少分贝？

根据定义：

$$L_{A1} = 10 \lg \left(\frac{P_1}{P_0} \right)^2 \quad (7)$$

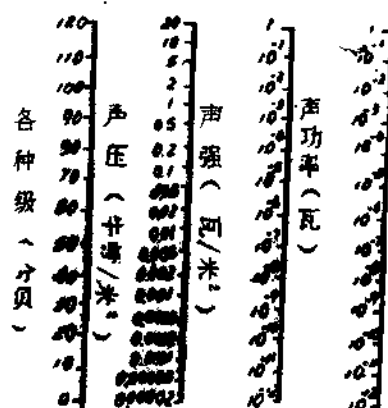


图 1—1 级的换算图

$$\left(\frac{P_1}{P_0}\right)^2 = 10^{\frac{L_{A1}}{10}} \quad (8)$$

总 A 声级 L_{At} 可写成:

$$L_{At} = 10 \lg \left(\sum_{i=1}^n 10^{\frac{L_{Ai}}{10}} \right) \quad (9)$$

同样, 可以导出 n 个声功率级 L_{wi} 的相加表达式为:

$$L_{wt} = 10 \lg \left(\sum_{i=1}^n 10^{\frac{L_{wi}}{10}} \right) \quad (10)$$

例 1 若三个风机的 A 声级分别为 $L_{A1}=90$ 分贝; $L_{A2}=95$ 分贝; $L_{A3}=88$ 分贝, 求总 A 声级 L_{At} 。

解: 按公式 (9)

$$L_{At} = 10 \lg \left(\sum_{i=1}^3 10^{\frac{L_{Ai}}{10}} \right)$$

上式展开:

$$L_{At} = 10 \lg (10^{90/10} + 10^{95/10} + 10^{88/10})$$

= 96.8 分贝

例 2 若已知三台机器的三个倍频带声功率级 $L_{w1}=100$ 分贝; $L_{w2}=103$ 分贝; $L_{w3}=106$ 分贝, 求总声功率级。

解: 按照公式 (10) 计算

$$L_{wt} = 10 \lg \left(\sum_{i=1}^3 10^{\frac{L_{wi}}{10}} \right)$$

$$= 10 \lg (10^{100/10} + 10^{103/10} + 10^{106/10})$$

= 108.4 分贝

噪声级和声功率级可以按照公式 (9) 和 (10) 进行计算, 也可以按照图 1—2 差值法进行演算, 求出二个或三个以上的声源的总声级 L , 或总声功率级 L_{wt} , 其具体步骤如下:

如若一个 100 分贝的声音和一个 90 分贝的声音相加, 则总声级应等于多少?

先算出两个声音的分贝差 $L_{A1} - L_{A2} = 2$ 分贝, 再在图 1—2 中找出分贝相对应的增值 $\Delta L = 2.1$ 分贝, 然后加在分贝数大的 L_{A1} 上, 得出 L_{A1} 和 L_{A2} 的和 $L_{At} = 100 + 2.1 = 102.1$ 分贝, 取整数 102 分贝。

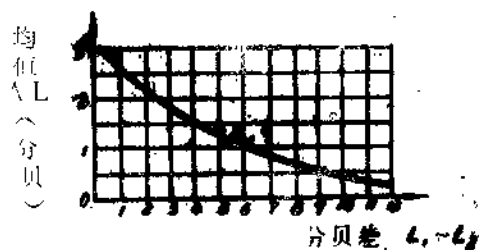


图 1—2 分贝和的增值图

如果是 n 个分贝数相加，亦是依次进行，例如图 1—3 所示。

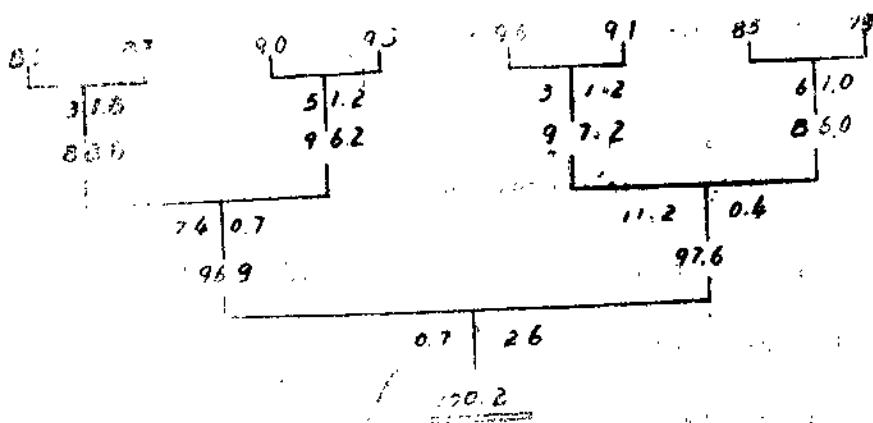


图 1—3 噪声级相加

(六) 噪声级的相减

在实际噪声测量中，往往会遇到从总的测量的噪声级中减去环境或本底噪声级，以求得机器本身产生的噪声级。若被测量的机器的噪声级与本底噪声级差值小于 3 分贝，此种测量是毫无意义的。

分贝相减的程序与分贝相加类似。

$$L_{\text{总}} = 10 \lg \left(\frac{P_{\text{总}}}{P_0} \right)^2 \quad \text{或} \quad L_{\text{总}} = 10 \lg (11) \quad (11)$$

或

$$\left(\frac{P_{\text{总}}}{P_0} \right)^2 = 10^{L_{\text{总}}/10} \quad (12)$$

同样，环境或本底噪声级为：

$$L_{\text{总}} = 10 \lg \left(\frac{P_{\text{总}}}{P_0} \right)^2$$

或

$$\left(\frac{P_{\text{总}}}{P_0} \right)^2 = 10^{L_{\text{总}}/10} \quad (14)$$

式中 L_{AB} ——环境或本底噪声 A 声级

因此, 所求的 A 声级 L_A 为:

$$L_{A_i} = 10 \lg \left[\left(\frac{P_{A_i}}{P_0} \right)^2 - \left(\frac{P_{AB}}{P_0} \right)^2 \right] \quad (15)$$

或

$$L_{A_i} = 10 \lg(10^{L_{A_i}/10} - 10^{L_{AB}/10}) \quad (16)$$

在实际应用时, 二种测量都需要, L_{A_i} 即机器开动的总 A 声级, L_{AB} 即机器关闭时环境 A 声级。

例 1 假若在某一点一台机器开动时 $L_{A_i} = 94$ 分贝, $L_{AB} = 85$ 分贝, 求机器的 A 声级 L_A 。

解: 按照公式 (16)

$$\begin{aligned} L_{A_i} &= 10 \lg(10^{L_{A_i}/10} - 10^{L_{AB}/10}) \\ &= 10 \lg(10^{94/10} - 10^{85/10}) \\ &= 10 \lg 2.196 \times 10^9 \\ &= 93.4 \text{ (分贝)} \end{aligned}$$

如图分贝相加一样, 我们也可以以相减, 分贝相减如图 1-4 所示。

例 2 $L_{A_i} = 94$ 分贝, $L_{AB} = 85$ 分贝 ΔL

求 L_A ?

总 A 声级 L_{A_i} 和本底噪声级 L_{AB} 之间差值 L_d 为:

$$L_{A_i} = 94 - 85 = 9 \text{ 分贝}$$

由图 1-4 中可查出修正值 ΔL 为 0.6 分贝

因此, $L_A = 94 - 0.6 = 93.4$ 分贝

此结果与例 1 计算一致。

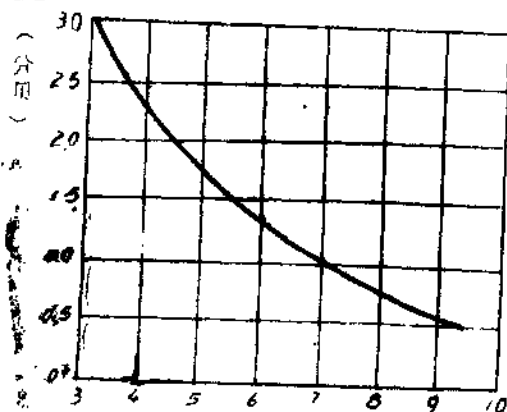


图 1-4 总声级和本底噪声之差

在噪声测量和噪声控制中, 如一台机器在不同的时间内发出的噪声级不同, 或者说工人在不同的时间内接受的噪声级不同, 那么就要求出一天内平均噪声级; 在测量一台机器的噪声级时, 由于机器各方面的声级不同, 因此需测若干点的噪声级, 然后, 求其平均值 $\bar{L}$ 。另外, 为了确定声源的指向性, 也需求出 $\bar{L}_A$, 有时在一个测点上测 n 次 A 声级, 求其平均值。

分贝平均的程序, 可直接按求和的方法进行。根据公式 (9) 计算。

根据总和除以声源个数, 我们可以计算出平均 A 声级。

$$\bar{L}_A = 10 \lg \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n 10^{L_{Ai}/10} \right) \quad (17)$$

此公式是求 $\bar{L}_A$ 的一个很方便公式，在确定指向函数时，我们将使用此式。

例如一台风机，在机壳四面方向测得噪声级分别为 $L_{A1}=96$ 分贝； $L_{A2}=100$ 分

贝； $L_{A3}=90$ 分贝； $L_{A4}=97$ 分贝；求 A 声级的平均值 $\bar{L}_A$ ；

解：从公式 (17) 得到

$$\begin{aligned} \bar{L}_A &= 10 \lg \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n 10^{L_{Ai}/10} \right) \\ &= 10 \lg \left[\frac{1}{4} (10^{96/10} + 10^{100/10} + 10^{90/10} + 10^{97/10}) \right] \\ &= 10 \lg \left[\frac{1}{4} (10^{9.6} + 10^{10} + 10^9 + 10^{9.7}) \right] \\ &= 97 \text{ 分贝} \end{aligned}$$

(八) $\bar{L}_A$ 的近似计算法

在实际应用时，我们常常遇到测点之间的声级变化是 10 分贝或 10 分贝以下，当声级的变化在 5 分贝以下时，可简单表达为：

$$L_{A \max} - L_{A \min} \leq 5 \text{ (分贝)}$$

式中 $L_{A \max}$ —— 第 i 点最大 A 声级 分贝

$L_{A \min}$ —— 第 i 点最小 A 声级 分贝

平均值 $\bar{L}_A$ 可近似地按算术平均计算，表达为：

$$\bar{L}_A = \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n L_{Ai} \right) \quad (18)$$

当声级变化最大值在 5 ~ 10 分贝之间时，即表达为：

$$5 < L_{A \max} - L_{A \min} \leq 10 \text{ (分贝)}$$

平均值 $\bar{L}_A$ ，可近似按下式计算，表达为：

$$\bar{L}_A = \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n L_{Ai} \right) + 1 \quad (19)$$

在工业噪声测量中，广泛采用公式 (18) 和 (19)。

例如一台机床四个方向测得噪声级为 $L_{A1}=94$ 分贝； $L_{A2}=89$ 分贝； $L_{A3}=99$ 分

贝； $L_{A4}=90$ 分贝，求其平均值 $\bar{L}_A$ 。使用近似和精确二种方法计算结果进行比

较。

解：求得变化范围

$$L_{A(\max)} - L_{A(\min)} = 99 - 89 = 10 \text{ (分贝)}$$

使用公式 (19) 求近似值为：

$$\begin{aligned}\bar{L}_A &= \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n L_i \right) + 1 \\ &= \frac{1}{4} (94 + 89 + 99 + 90) + 1 \\ &= 94 \text{ 分贝}\end{aligned}$$

使用公式 (17) 求精确值为：

$$\begin{aligned}\bar{L}_A &= 10 \lg \left[\frac{1}{4} (10^{94/10} + 10^{89/10} + 10^{99/10} + 10^{90/10}) \right] \\ &= 94.9 \text{ 分贝}\end{aligned}$$

计算用两种不同方法，取得近似相同值。

(九) 声源的指向性

(1) 指向性

声源除了声压级的频谱以外，另一个重要特性是它的指向性，也就是声源在自由空间中声辐射的分布情况。

当声源的尺寸比波长小得多时，可看成是点声源；它是无方向性的，距声源中心相同距离处的声压级相等，如果考虑过声源中心的某一平面，以极坐标图表示，它就是一个以声源为圆心的圆。当声源尺寸与波长相差不多或者大于波长时，它就不是点声源，可以看成由无数点声源所组成叠加的结果，向各方向辐射就不一样，因而是有指向性的。在极坐标图上，在不同方向上距声源中心相同距离处声压级不一样。频率越高，指向性越强。指向性越强，直达声能越集中于声源辐射轴线附近。图 1—5 表示一个扬声器在 xy 平面上 1000 赫辐射的极坐标图样。

(2) 指向性因数

一般来说，我们涉及到的噪声源，如一台风机在各方向的声辐射是不均匀的，为了研究机器噪声的指向性，我们引入了指向性因数，它的定义为：在相同距离某一角度的声强 I_0 与辐射面上的平均声强 $\bar{I}$ 之比。其数学表达式为：

$$Q = \frac{I_0}{\bar{I}} = \frac{P_0^2}{\bar{P}^2} \quad (20)$$

式中

Q —— 指向性因数

I_0 —— 在一定距离某方向辐射声强

θ —— 表示声波辐射的角度

$\bar{I}$ ——在相同距离声波辐射面上的平均声强

P_Q^2 ——在相同距离声波辐射面上的声压

因为，我们测量了声压级，所以借助于声压和声压级讨论指向性因数是很方便的。

(3) 指向性指数

指向性指数定义为

$$DI = 10 \lg \frac{P_Q^2}{\bar{P}^2} \quad (21)$$

式中 DI ——指向性指数

$\bar{P}^2$ ——离开声源特殊方向的均方声压

P_Q^2 ——离开声源特殊方向的声压值

P_Q^2 和 $\bar{P}^2$ 二者都是离开声源相同距离时确定的。将公式(20)代入公
(21) 我们获得 Q 和 DI 之间的关系式为：

$$DI = 10 \lg Q \quad (22)$$

式中 $Q = 10^{DI/10}$

对于实际的应用，借助于声压级 L_Q 和平均声压级 $\bar{L}$ ，表示 DI 是更方便的。根据 L_P 的定义表达式代入公式(21)简单代替，我们很容易得到：

$$DI = 10 \lg \frac{\left(\frac{P_Q^2}{P_0^2}\right)^2}{\left(\frac{\bar{P}^2}{P_0^2}\right)^2}$$

$$\begin{aligned} &= 10 \lg \left(\frac{P_Q^2}{P_0^2}\right)^2 - 10 \lg \left(\frac{\bar{P}^2}{P_0^2}\right)^2 \\ &= L_{PQ} - \bar{L} \end{aligned} \quad (23)$$

式中 L_{PQ} 和 $\bar{L}$ 是离开噪声源相同固定距离确定的。

因此，将公式(23)代入(22)，获得指向性因数的简化表达式为：

$$(24)$$

从以上看出，在实际情况下，确定声源的平均声压级 $\bar{L}$ 是需要的。

例如 若指向性指数为 3.5 分贝，计算指向性因数 Q 。

解： $Q = 10^{DI/10} = 10^{3.5/10} = 2.24$