

声学 and 声学测量的基本概念

Filename

Brüel & Kjær 

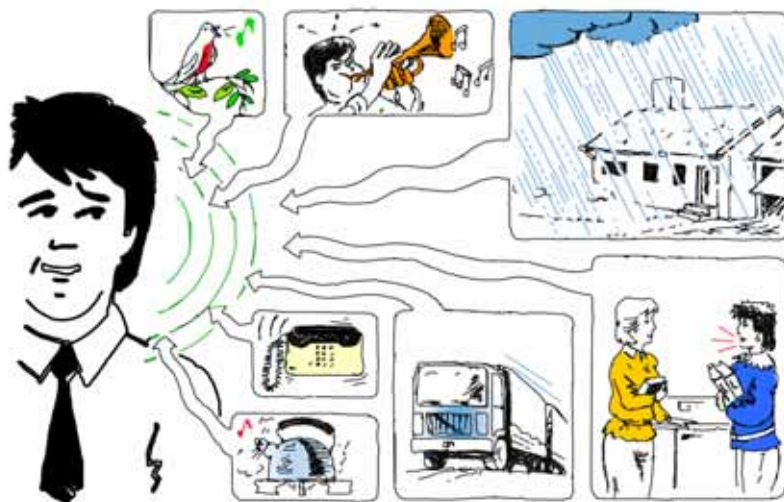
声学基本概念

- 定义
- dB的转换
- 声场
- $\text{dB} \pm \text{dB}$
- 频率和波长
- 频谱分析
- 声音的感知

2 www.bksv.com

Brüel & Kjær 

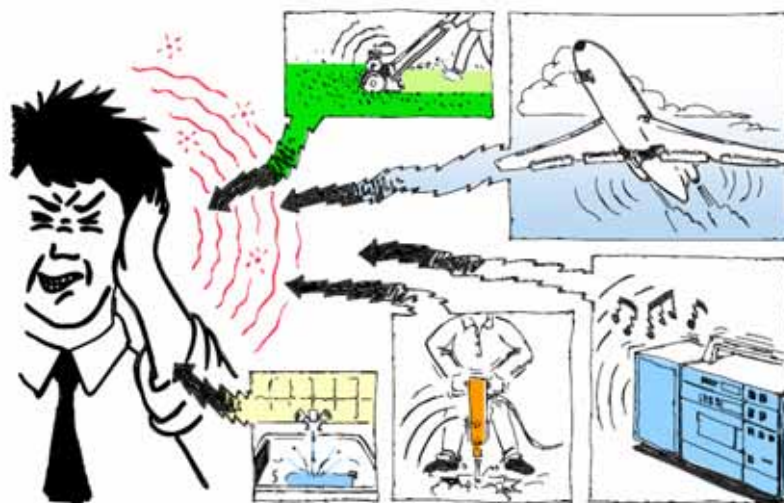
声音



3 www.bksv.com

Brüel & Kjær

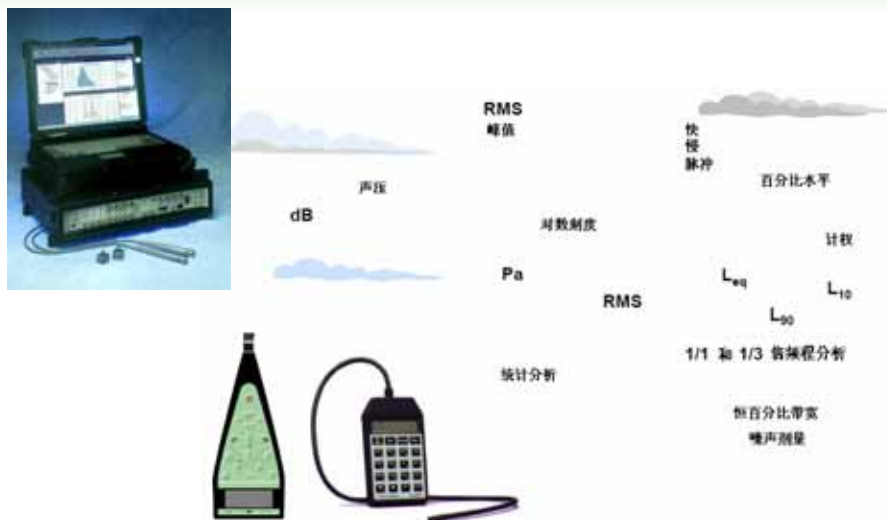
声音和噪声



4 www.bksv.com

Brüel & Kjær

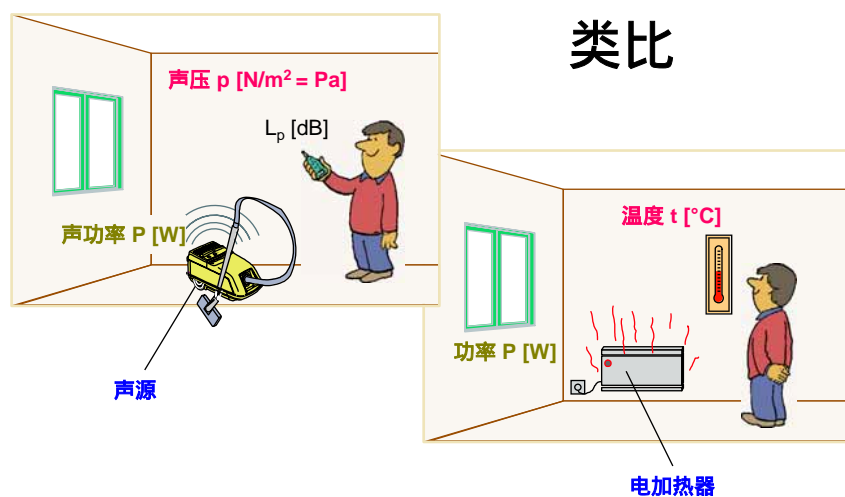
声学基本术语



5 www.bksv.com

Brüel & Kjær

声压及声功率

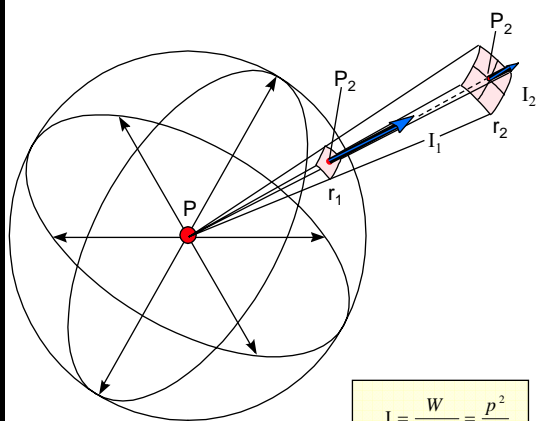


6 www.bksv.com

Brüel & Kjær

声场基本参数

自由场条件:



$$I = \frac{W}{4\pi r^2} = \frac{p^2}{\rho c}$$

声压

$$L_p = 10 \log_{10} \frac{p^2}{p_0^2}$$

$$p_0 = 2 \times 10^{-5} \text{ N/m}^2$$

$$= 20 \mu\text{Pa}$$

声强

$$L_I = 10 \log_{10} \frac{I}{I_0}$$

$$I_0 = 1 \text{ pW/m}^2$$

声功率

$$L_W = 10 \log_{10} \frac{W}{W_0}$$

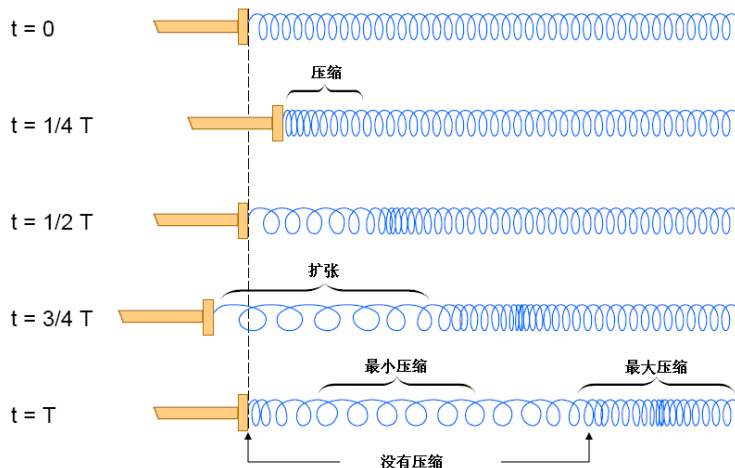
$$W_0 = 1 \text{ pW}$$

7

www.bksv.com

Brüel & Kjær

声音传播

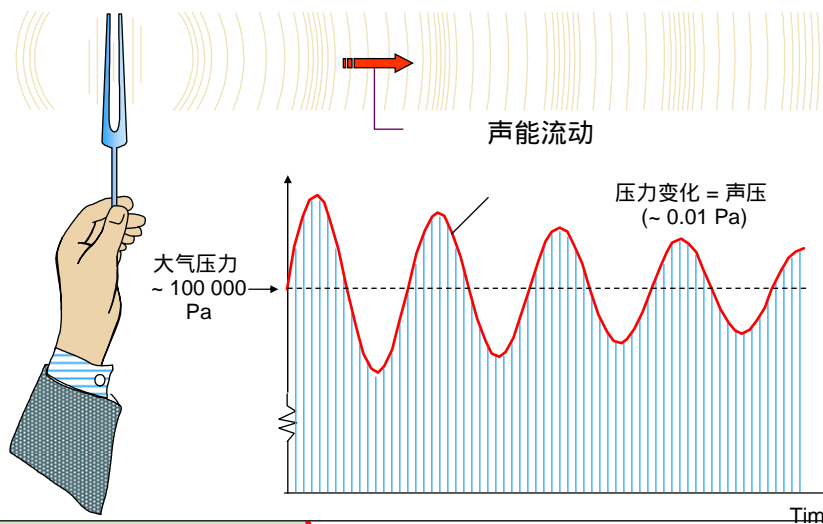


8

www.bksv.com

Brüel & Kjær

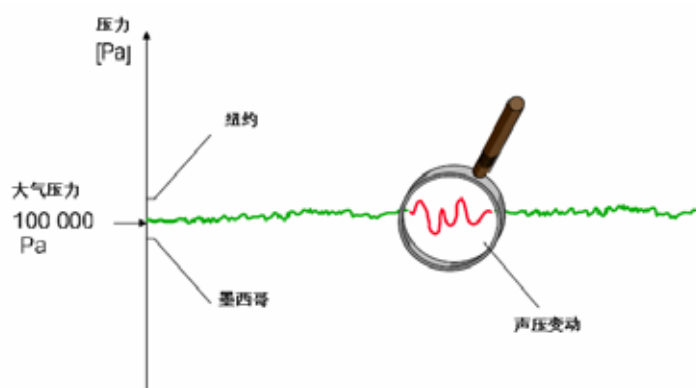
声压



9 www.bksv.com

Brüel & Kjær

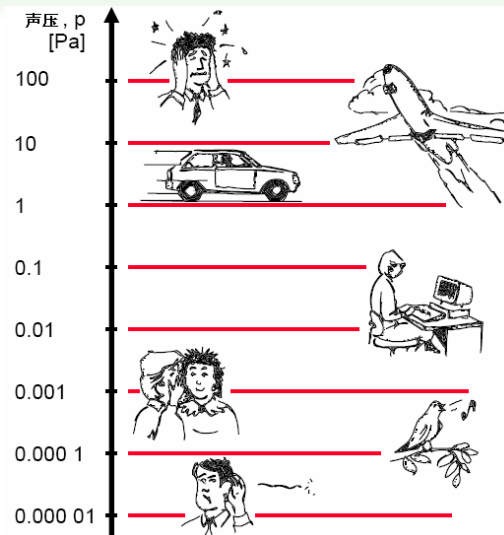
声压



10 www.bksv.com

Brüel & Kjær

声压范围



11 www.bksv.com

Brüel & Kjær

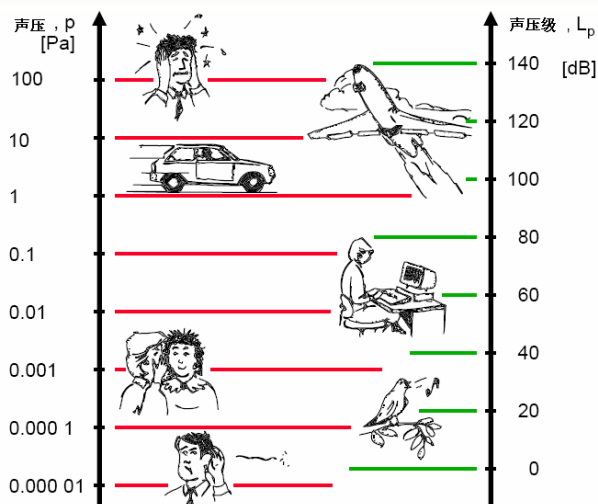
声学基本概念

- 定义
- dB的转换
- 声场
- $\text{dB} \pm \text{dB}$
- 频率和波长
- 频谱分析
- 声音的感知

12 www.bksv.com

Brüel & Kjær

声压级的范围



13 www.bksv.com

Brüel & Kjær

分贝

$$L_p = 20 \log \frac{p}{p_0} \text{ dB re } 20 \mu\text{Pa}$$

$$(p_0 = 20 \mu\text{Pa} = 20 \times 10^{-6} \text{ Pa})$$

例1: $p = 1 \text{ Pa}$

$$L_p = 20 \log \frac{1}{20 \times 10^{-6}}$$

$$= 20 \log 50\,000$$

$$= 94 \text{ dB}$$

例2: $p = 31.7 \text{ Pa}$

$$L_p = 20 \log \frac{31.7}{20 \times 10^{-6}}$$

$$= 20 \log 1.58 \times 10^6$$

$$= 124 \text{ dB}$$

14 www.bksv.com

Brüel & Kjær

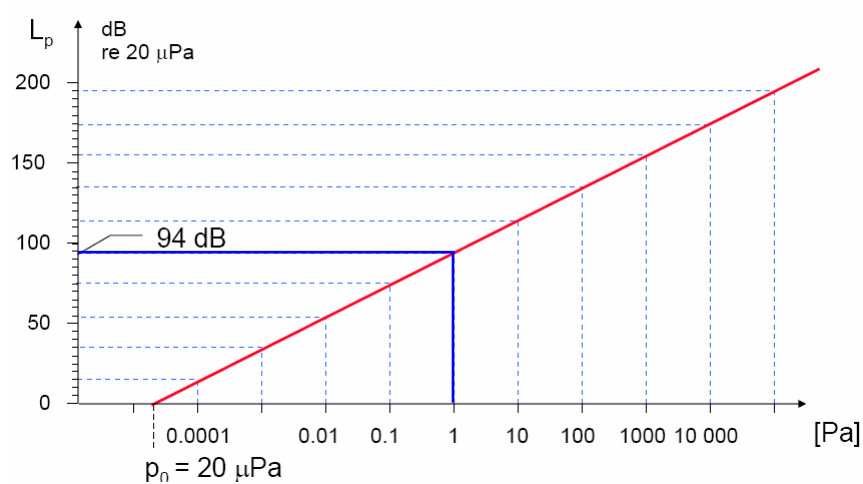
分贝 (dBs) 的理解

声级变化 (dB)	感知的响度变化
3	可以察觉
5	显著差异
10	2倍 (1/2倍) 响
15	大幅变化
20	4倍 (1/4倍) 响

15 www.bksv.com

Brüel & Kjær

向dB转换的图表说明



16 www.bksv.com

Brüel & Kjær

dB和声压比例的转换

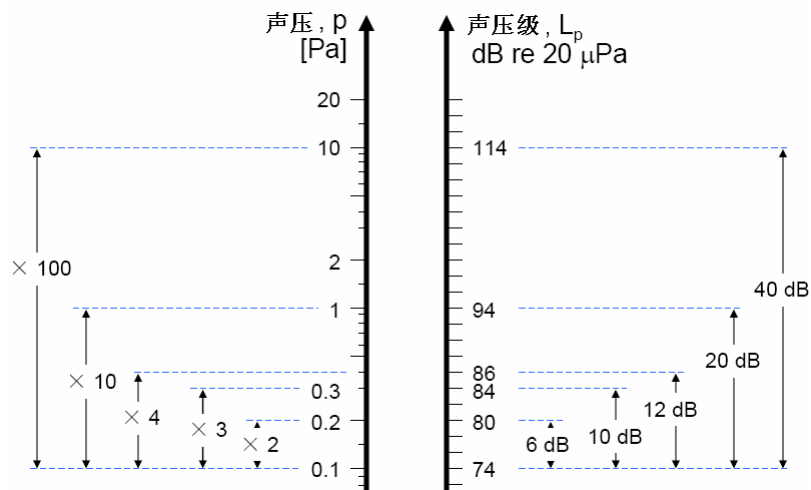
dB到声压比得转换

声压比	-dB+	声压比	声压比	-dB+	声压比
1.00	0.0	1.000	0.501	6	1.995
0.989	0.1	1.012	0.447	7	2.239
0.977	0.2	1.023	0.398	7	2.512
0.966	0.3	1.035	0.355	9	2.818
0.955	0.4	1.047	0.316	10	3.162
0.944	0.5	1.059	0.251	12	3.981
0.933	0.6	1.072	0.200	14	5.012
0.923	0.7	1.084	1.158	16	6.310
0.912	0.8	1.096	0.126	18	7.943
0.902	0.9	1.109	0.100	20	10.000
0.891	1.0	1.122	0.0316	30	31.62
0.841	1.5	1.189	0.0100	40	100
0.794	2.0	1.259	0.0032	50	316.2
0.708	3.0	1.413	10^{-3}	60	10^3
0.631	4.0	1.585	10^{-4}	80	10^4
0.562	5.0	1.778	10^{-5}	100	10^5

17 www.bksv.com

Brüel & Kjær

转换的简单规则



18 www.bksv.com

Brüel & Kjær

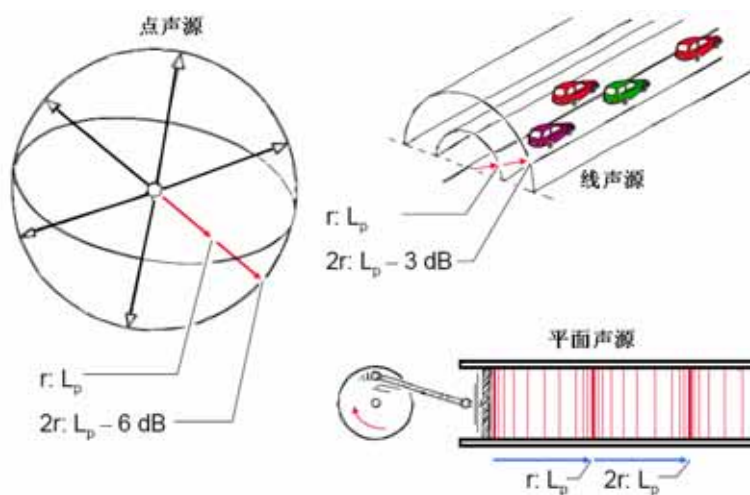
声学基本概念

- 定义
- dB的转换
- 声场
- $\text{dB} \pm \text{dB}$
- 频率和波长
- 频谱分析
- 声音的感知

19 www.bksv.com

Brüel & Kjær

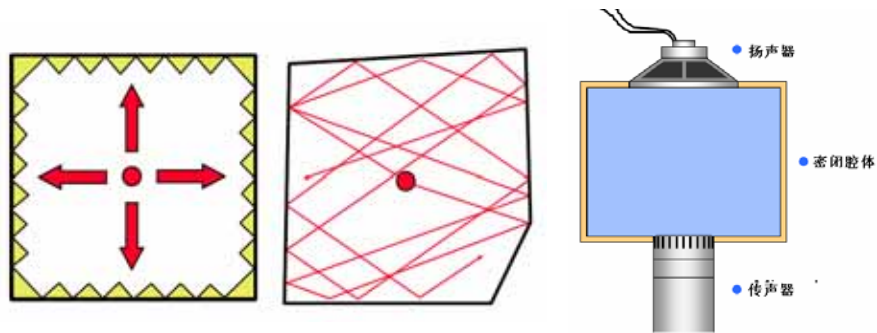
声源类型



20 www.bksv.com

Brüel & Kjær

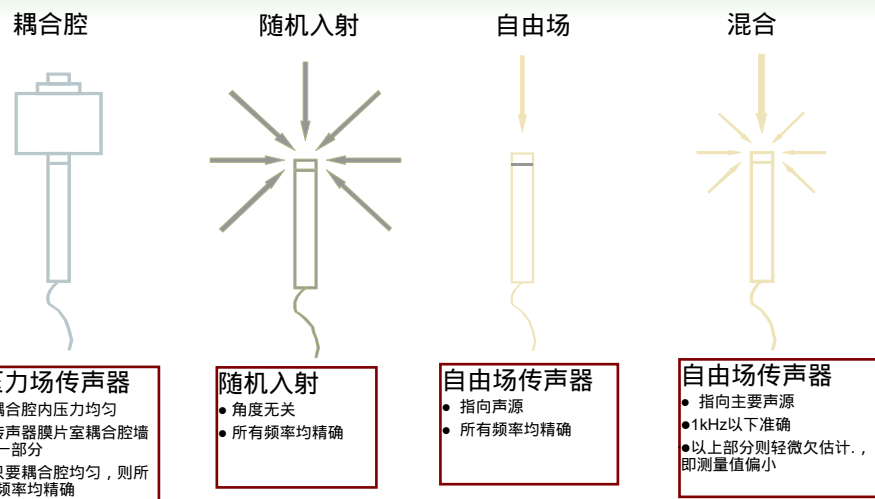
消声室、混响室和压力场



21 www.bksv.com

Brüel & Kjær

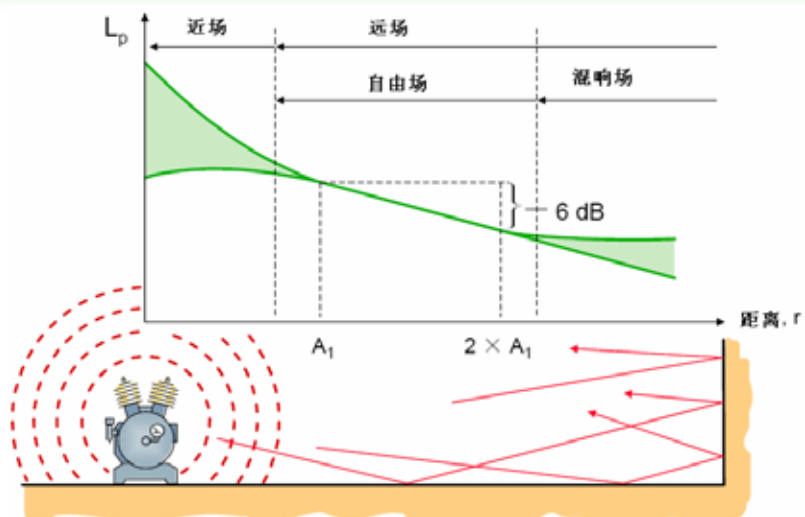
根据声场选择测量用传声器



22 www.bksv.com

Brüel & Kjær

声场



23 www.bksv.com

Brüel & Kjær

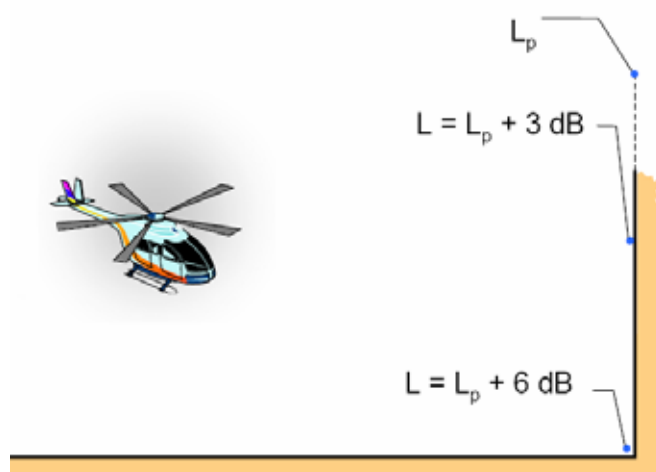
指向性指数

声源位置	指向性因子	指向性指数 dB	
自由场	1	0	$L = L_p$
在平面上	2	3	$L = L_p + 3 \text{ dB}$
在两平面的结合位置	4	6	$L = L_p + 6 \text{ dB}$
在三平面的结合位置	8	9	$L = L_p + 9 \text{ dB}$

24 www.bksv.com

Brüel & Kjær

墙壁面引起的声压增加



25

www.bksv.com

Brüel & Kjær

声学基本概念

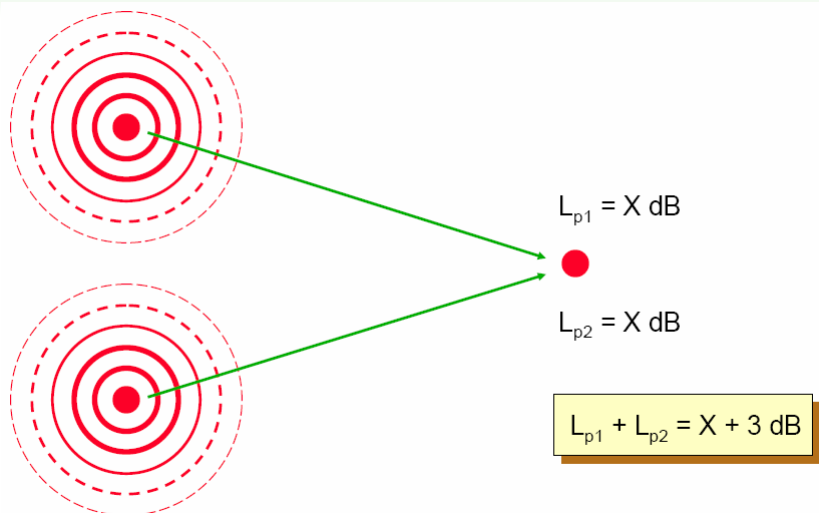
- 定义
- dB的转换
- 声场
- $\text{dB} \pm \text{dB}$
- 频率和波长
- 频谱分析
- 声音的感知

26

www.bksv.com

Brüel & Kjær

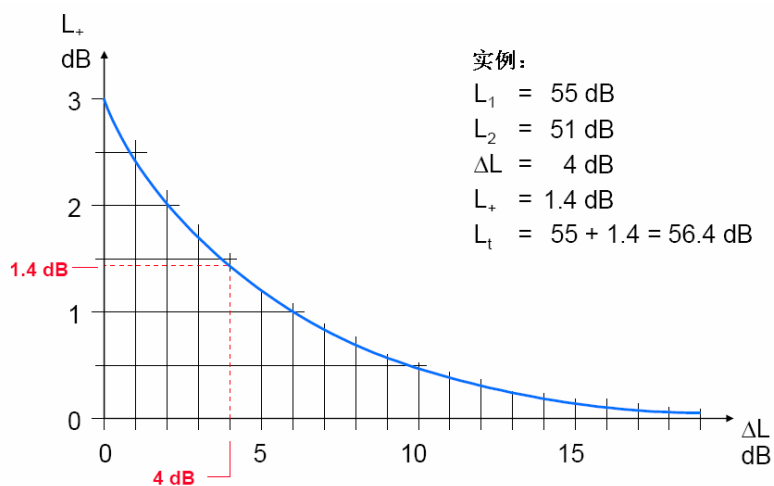
两个声源



27 www.bksv.com

Brüel & Kjær

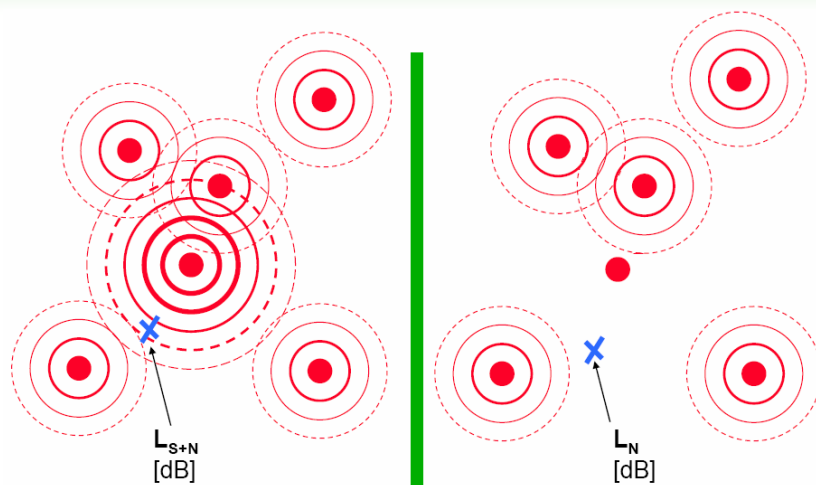
dB的相加



28 www.bksv.com

Brüel & Kjær

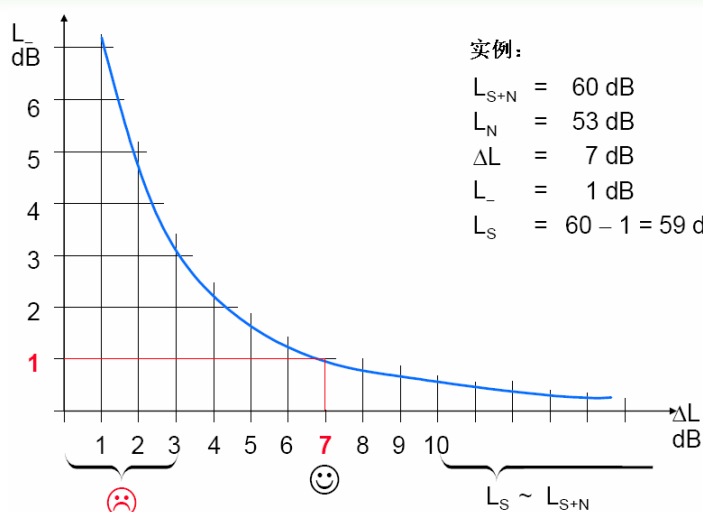
噪声的相减



29 www.bksv.com

Brüel & Kjær

dB的相减



30 www.bksv.com

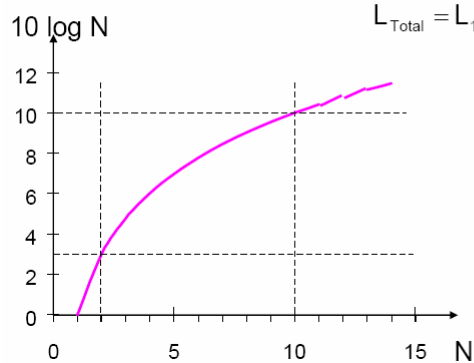
Brüel & Kjær

许多dB值的相加

声源水平的相加： $L_1 + L_2 + \dots + L_N = ?$

For $L_1 = L_2 = L_3 + \dots = L_N$

$$L_{\text{Total}} = L_1 + 10 \log N$$



例如：

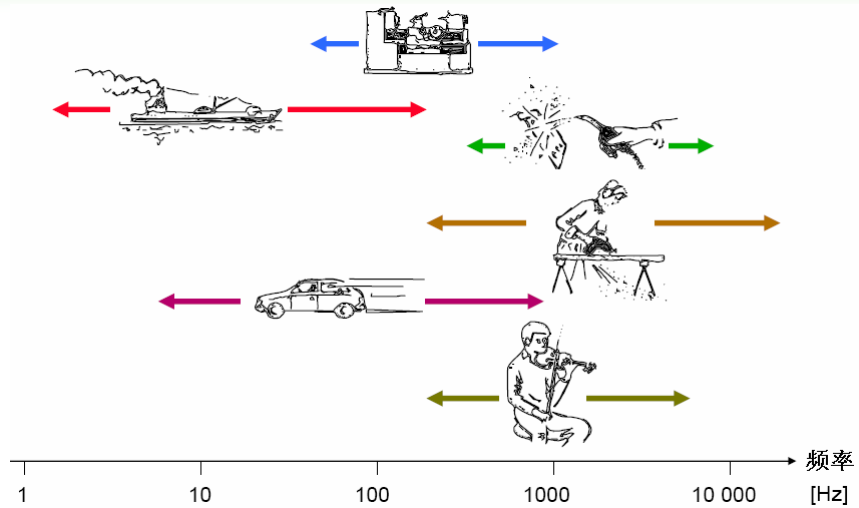
$$N = 2: L_{\text{Total}} = L_1 + 3 \text{ dB}$$

$$N = 10: L_{\text{Total}} = L_1 + 10 \text{ dB}$$

声学基本概念

- 定义
- dB的转换
- 声场
- $\text{dB} \pm \text{dB}$
- 频率和波长
- 频谱分析
- 声音的感知

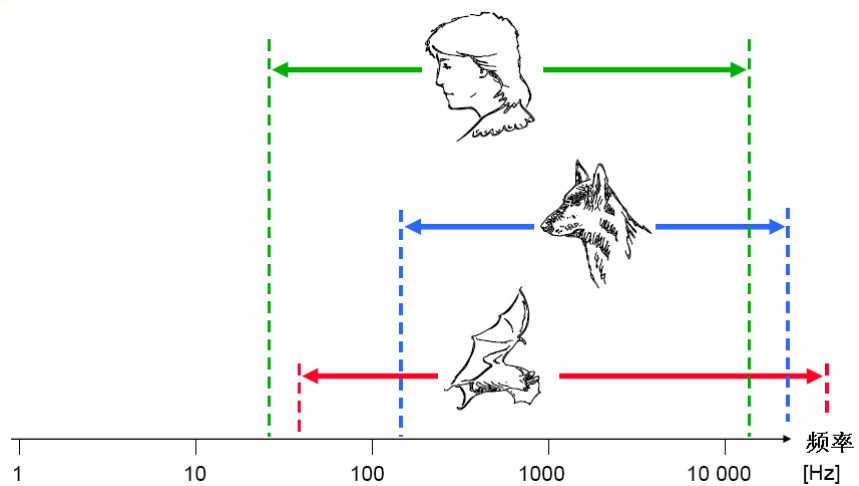
不同声源的频率范围



33 www.bksv.com

Brüel & Kjær

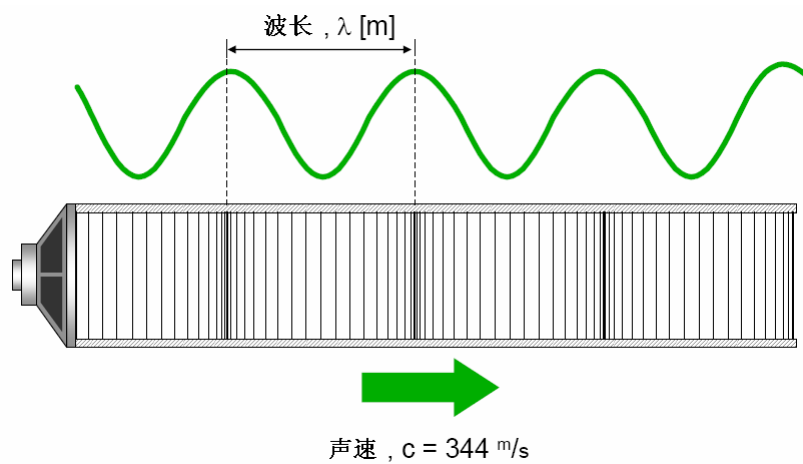
可听频率范围



34 www.bksv.com

Brüel & Kjær

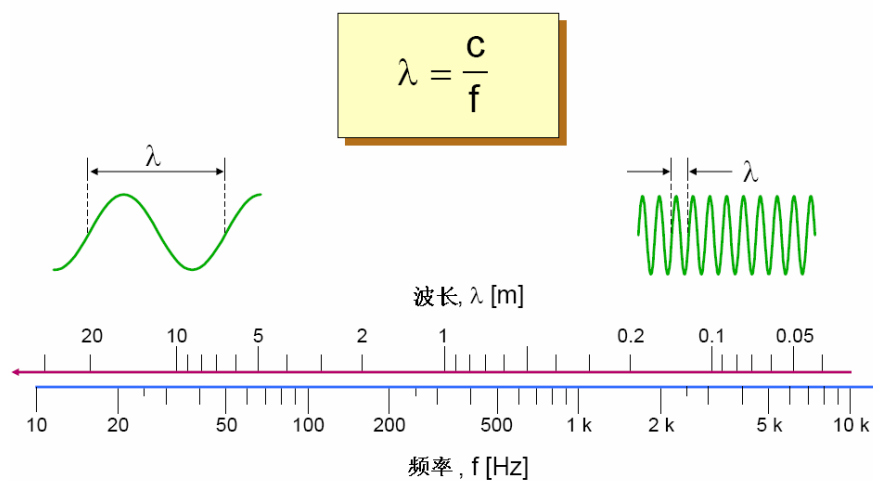
波长



35 www.bksv.com

Brüel & Kjær

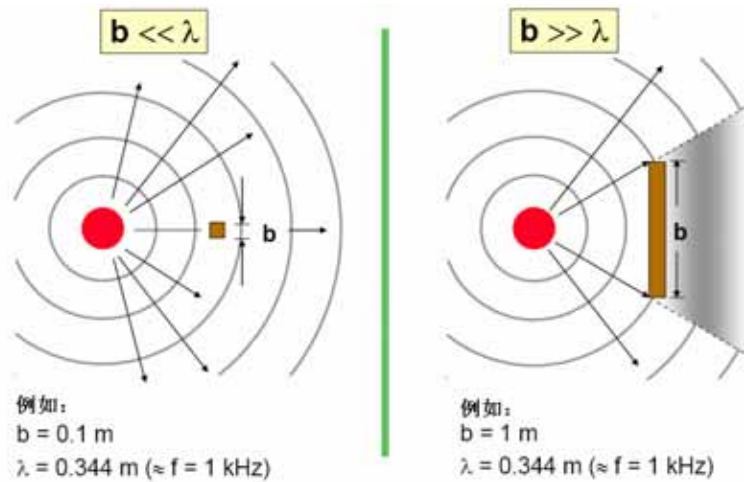
波长和频率



36 www.bksv.com

Brüel & Kjær

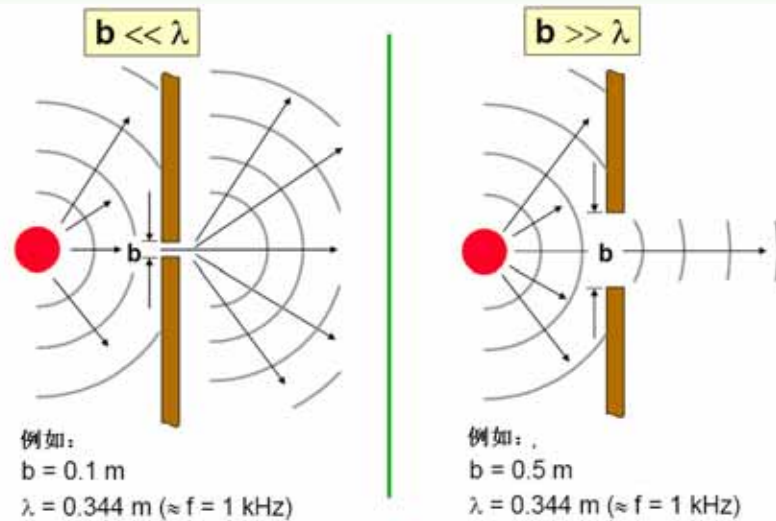
声音的绕射



37 www.bksv.com

Brüel & Kjær

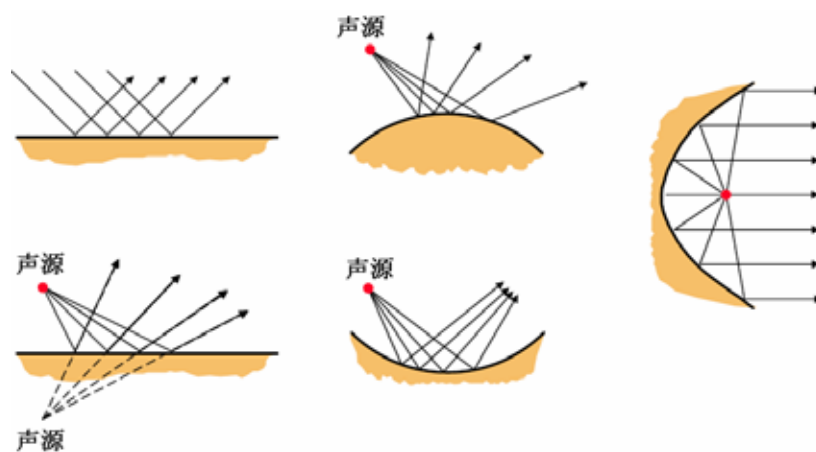
声音的扩散



38 www.bksv.com

Brüel & Kjær

声音的反射



39 www.bksv.com

Brüel & Kjær

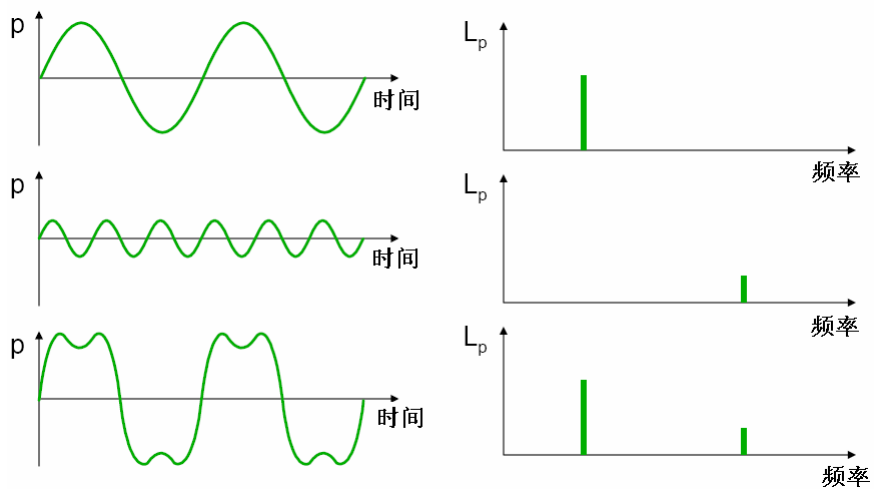
声学基本概念

- 定义
- dB的转换
- 声场
- $\text{dB} \pm \text{dB}$
- 频率和波长
- 频谱分析
- 声音的感知

40 www.bksv.com

Brüel & Kjær

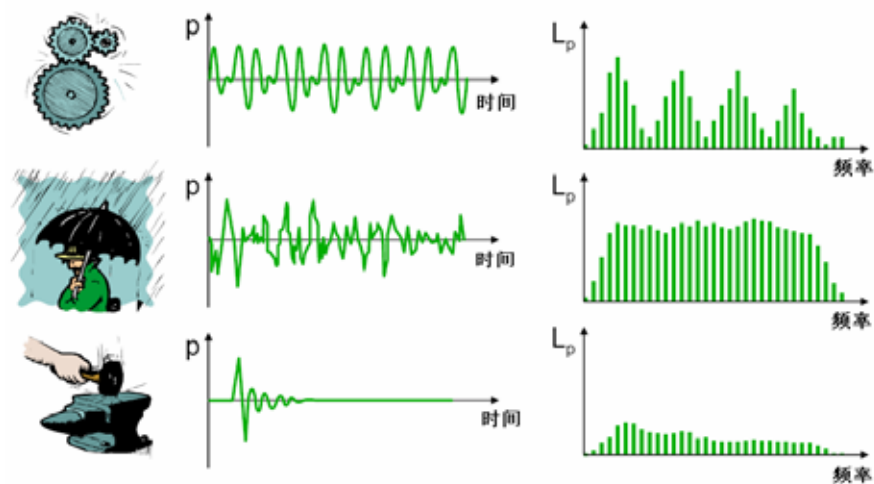
波长和频率



41 www.bksv.com

Brüel & Kjær

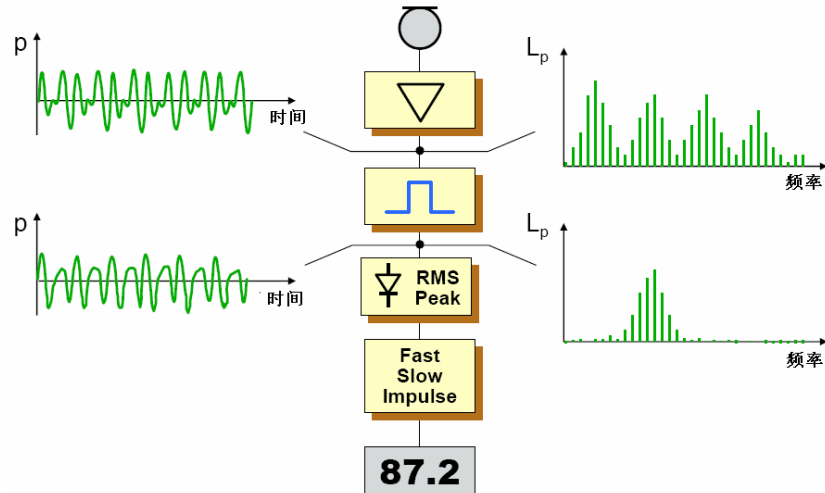
典型的声音和噪声信号



42 www.bksv.com

Brüel & Kjær

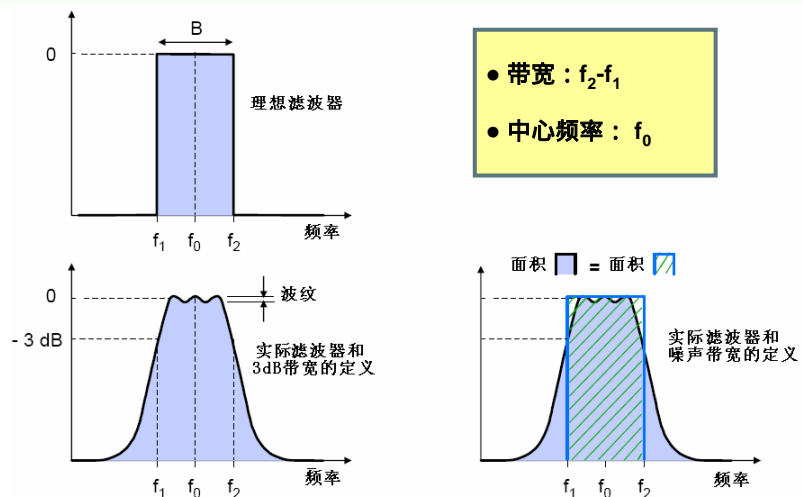
滤波器



43 www.bksv.com

Brüel & Kjær

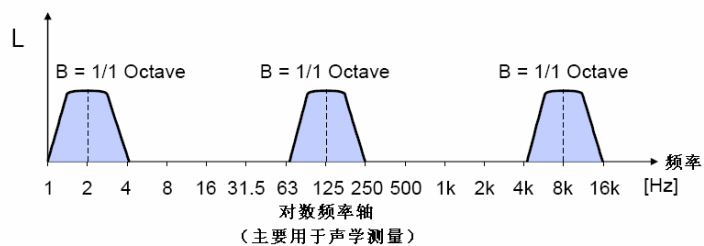
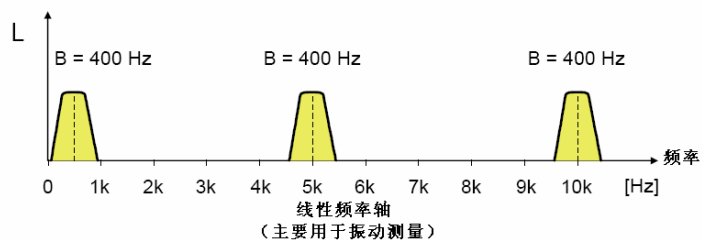
带通滤波器和带宽



44 www.bksv.com

Brüel & Kjær

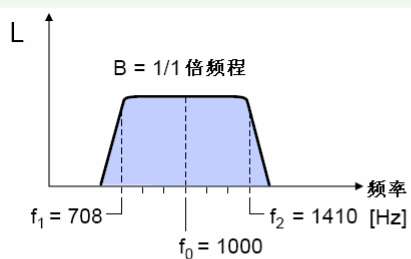
滤波器类型和频率刻度



45 www.bksv.com

Brüel & Kjær

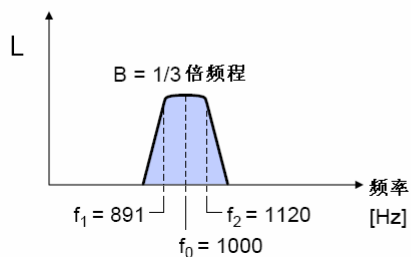
1/1倍频程和1/3倍频程滤波器



1/1倍频程

$$f_2 = 2 \times f_1$$

$$B = 0.7 \times f_0 \approx 70\%$$



1/3倍频程

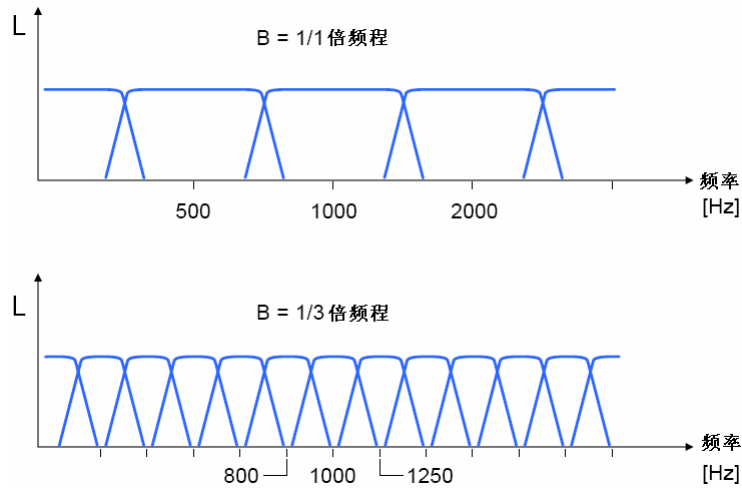
$$f_2 = \sqrt[3]{2} \times f_1 = 1.25 \times f_1$$

$$B = 0.23 \times f_0 \approx 23\%$$

46 www.bksv.com

Brüel & Kjær

3 × 1/3 倍频程. = 1/1 倍频程



47 www.bksv.com

Brüel & Kjær

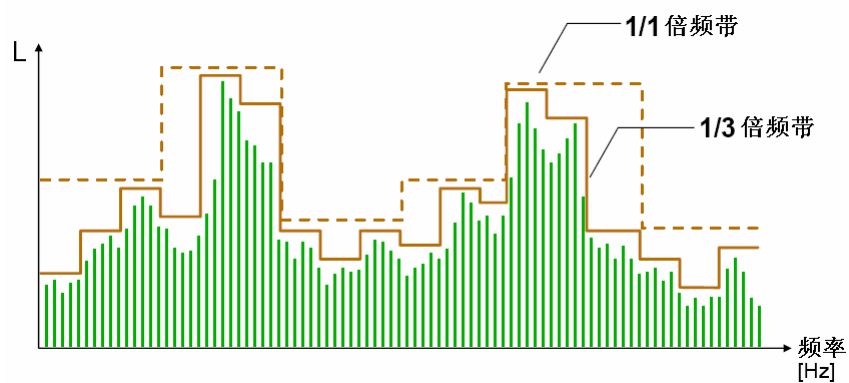
1/3倍频带和倍频带

带序号	归一化的中心频率	1/3倍频带	倍频带
1	1.25	1.12 – 1.41	1.41 – 2.82
2	1.6	1.41 – 1.78	
3	2	1.78 – 2.24	
4	2.5	2.24 – 2.82	
5	3.15	2.82 – 3.55	
6	4	3.55 – 4.47	2.82 – 5.62
27	500	447 – 562	355 – 708
28	630	562 – 708	708 – 1410
29	800	708 – 891	
30	1000	891 – 1120	
31	1250	1120 – 1410	
32	1600	1410 – 1780	
40	10 K	8910 – 11200	11.2 – 22.4 K
41	1.25 K	11.2 – 14.1	
42	16 K	14.1 – 17.8 K	
43	20 K	17.8 – 22.4 K	

48 www.bksv.com

Brüel & Kjær

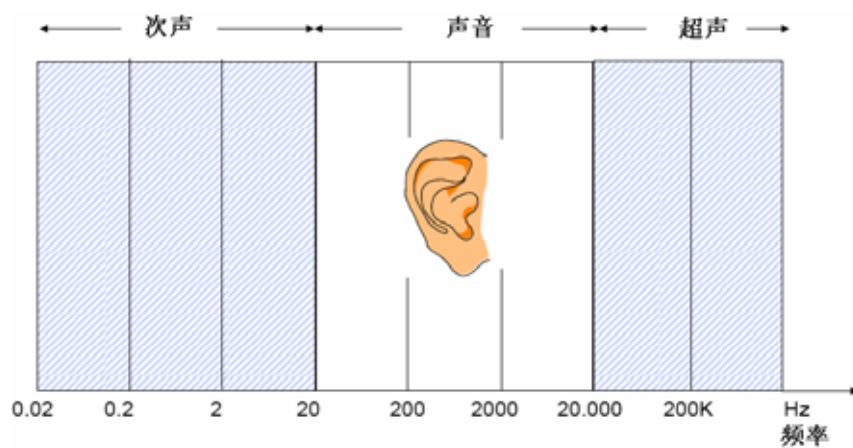
频谱图



49 www.bksv.com

Brüel & Kjær

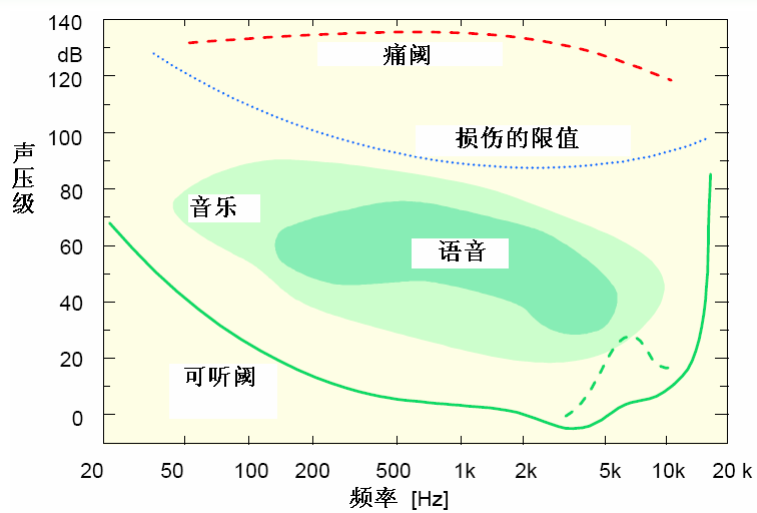
声音的频率



50 www.bksv.com

Brüel & Kjær

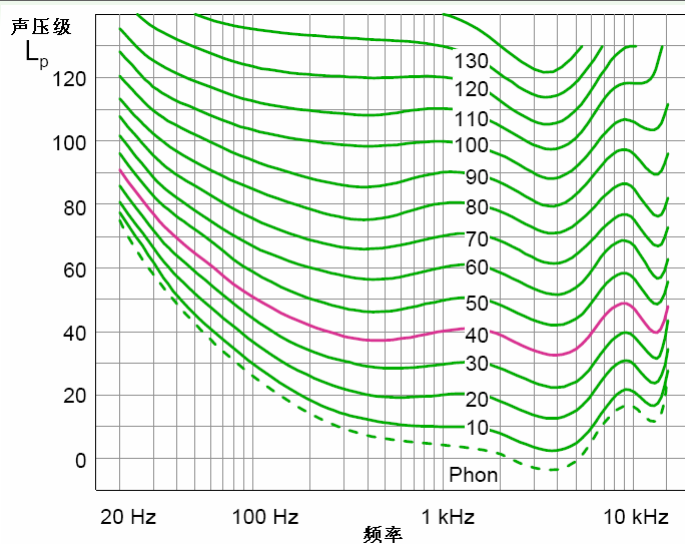
听觉声场



51 www.bksv.com

Brüel & Kjær

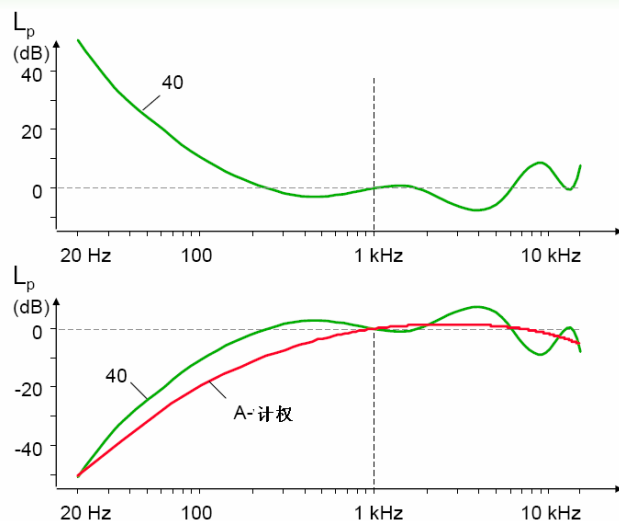
纯音的等响曲线



52 www.bksv.com

Brüel & Kjær

40dB的等响曲线和A计权



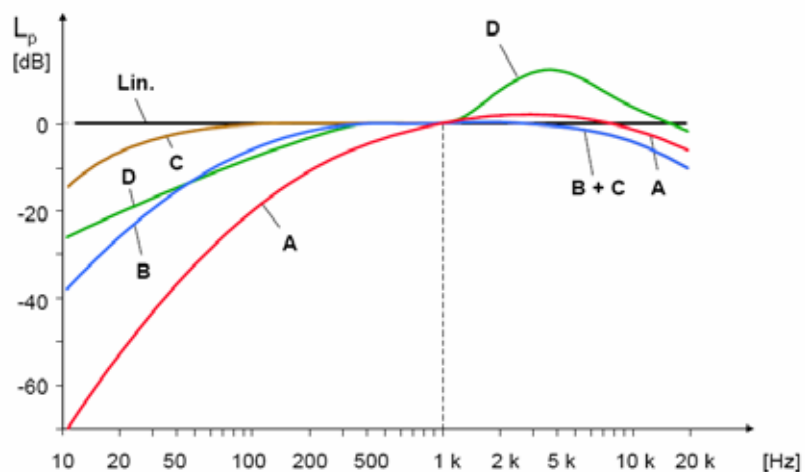
- 40dB的等响曲线 (1000Hz归一化到0dB)

- 40dB等响曲线的倒数和A-计权曲线的对比

53 www.bksv.com

Brüel & Kjær

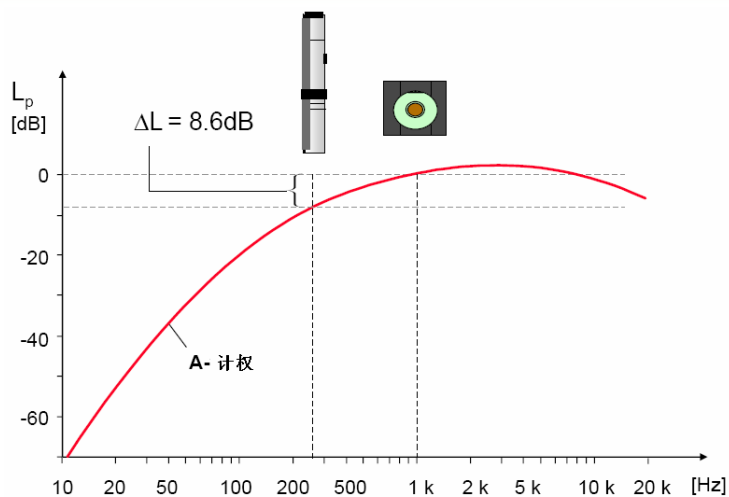
频率计权曲线



54 www.bksv.com

Brüel & Kjær

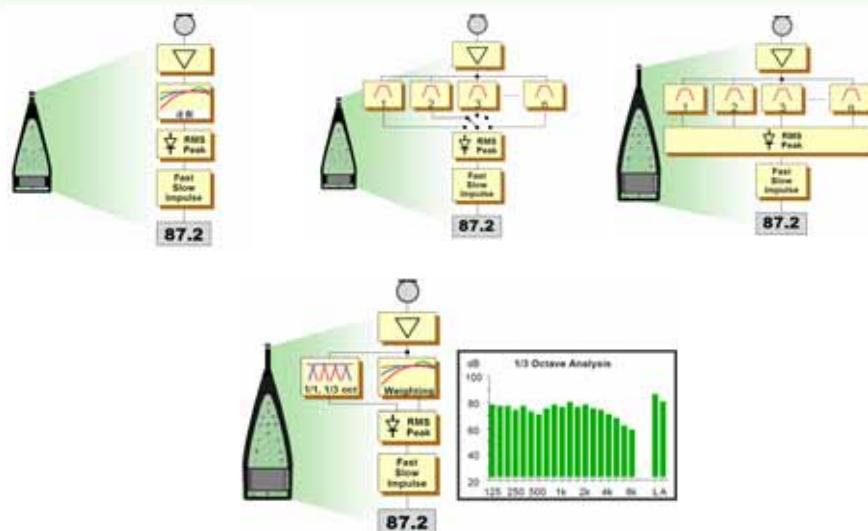
标定和计权



55 www.bksv.com

Brüel & Kjær

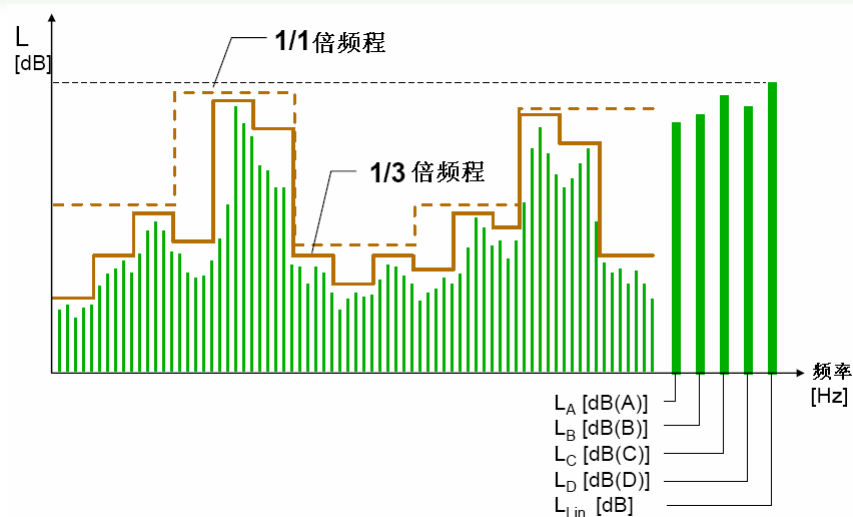
频率计权的使用



56 www.bksv.com

Brüel & Kjær

频谱图和总级值



57

www.bksv.com

Brüel & Kjær

小结

- 声压的参考值为 2×10^{-5} 帕
- 人的听力范围为130dB
- dB不能进行直接相减，而是需要根据能量关系和公式进行运算，亦可以通过查表进行
- 介绍了可听声的频率范围和波长
- 声音的衍射、扩散和反射
- 使用FFT和数字滤波器进行频谱分析
- 1/1和1/3倍频程的概念
- 声音的感知和A、B、C、D计权的背景
- 声级计的信号流和分析过程

58

www.bksv.com

Brüel & Kjær

声学测量



Brüel & Kjær 

目录

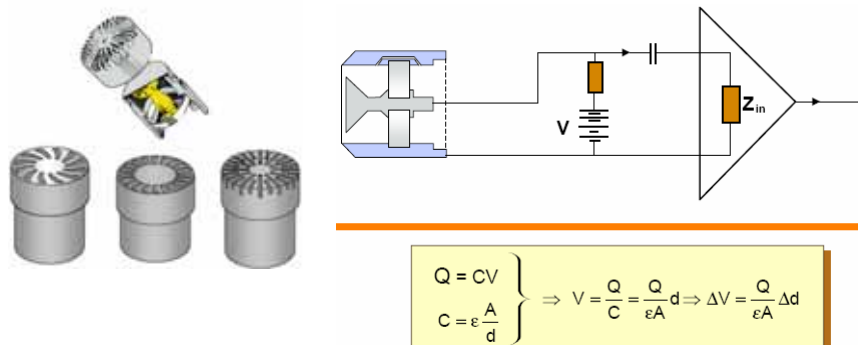
● 传声器

- 声级计
- Leq
- 统计量和噪声计量
- 声学测量的实际因素

60 www.bksv.com

Brüel & Kjær 

极化电容传声器的工作原理



61 www.bksv.com

Brüel & Kjær

膜片移动多少呢？

$$\frac{\Delta V}{V} = \frac{\Delta d}{d}$$

- 直径 12.5 mm
- 膜片厚度 5 μm
- 膜片和后板之间距离 20 μm
- 极化电压 200 V
- 灵敏度 50 mV/Pa

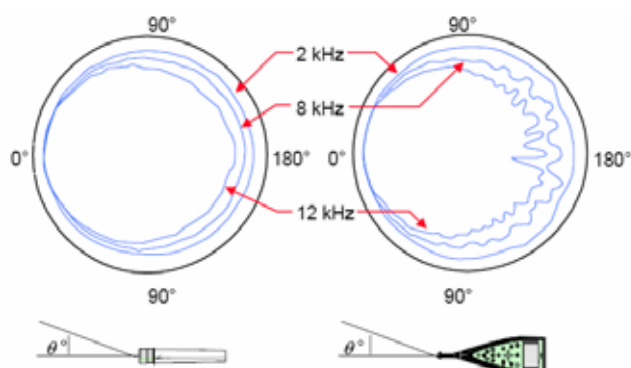
对于 94 dB = 1 Pa, 则膜片移动

$$\Delta d = \frac{\Delta V \times d}{V} = \frac{50 \text{ mV} \times 20 \text{ μm}}{200 \text{ V}} = 5 \text{ nm}$$

62 www.bksv.com

Brüel & Kjær

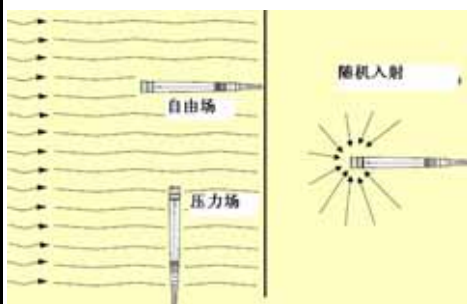
指向特性



63 www.bksv.com

Brüel & Kjær

传声器类型

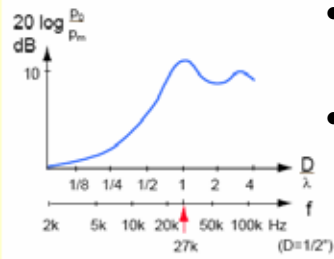
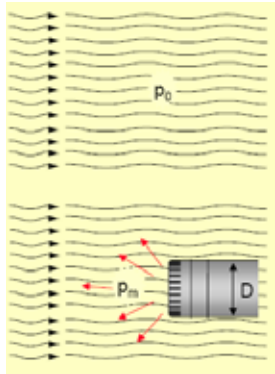


- **自由场传声器**被设计得与传声器放置之前具有一致的频响特性，传声器将影响声场，自由场传声器被设计得可以补偿上述影响
- **压力场传声器**被设计得具有与实际的压力水平相一致的频响，当压力场传声器被用于自由场测量时，则应该与声传播方向90度夹角放置，从而使在测点处声音传播是擦过传声器表面膜片
- **随机入射传声器**被设计得对同时从所有方向入射的声音具有一致的频响，当被用于自由场时，它应该被放置得与声传播方向具有 $70^\circ \sim 80^\circ$ 夹角

64 www.bksv.com

Brüel & Kjær

自由场修正

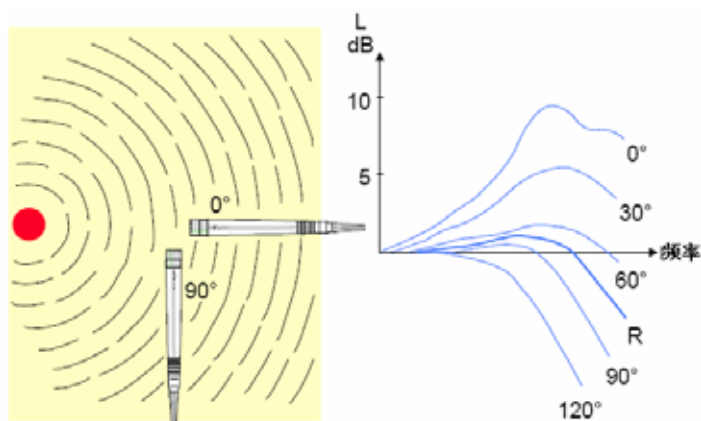


- P_0 是声场未放置传声器时的本身的声压
- P_m 为放置传声器后测量得到的声压
- $P_m > P_0$ 且当声波波长与传声器直径一样时出现最大反射

65 www.bksv.com

Brüel & Kjær

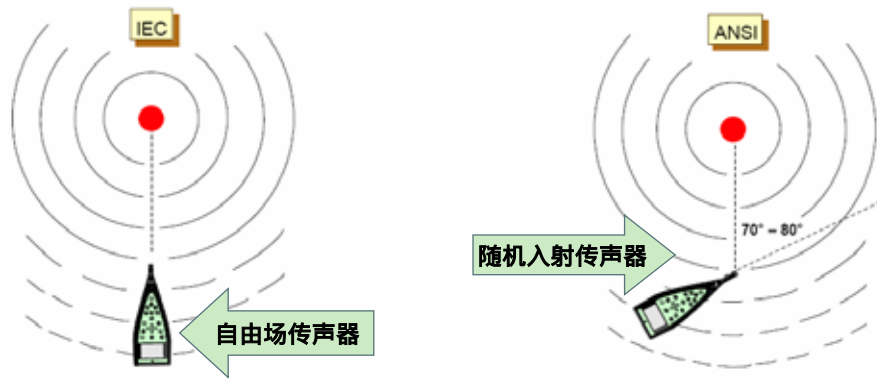
自由场修正



66 www.bksv.com

Brüel & Kjær

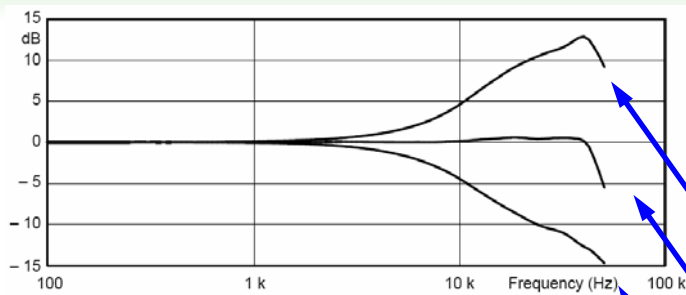
根据标准进行测量



67 www.bksv.com

Brüel & Kjær

自由场、随机入射型两种传声器的响应曲线

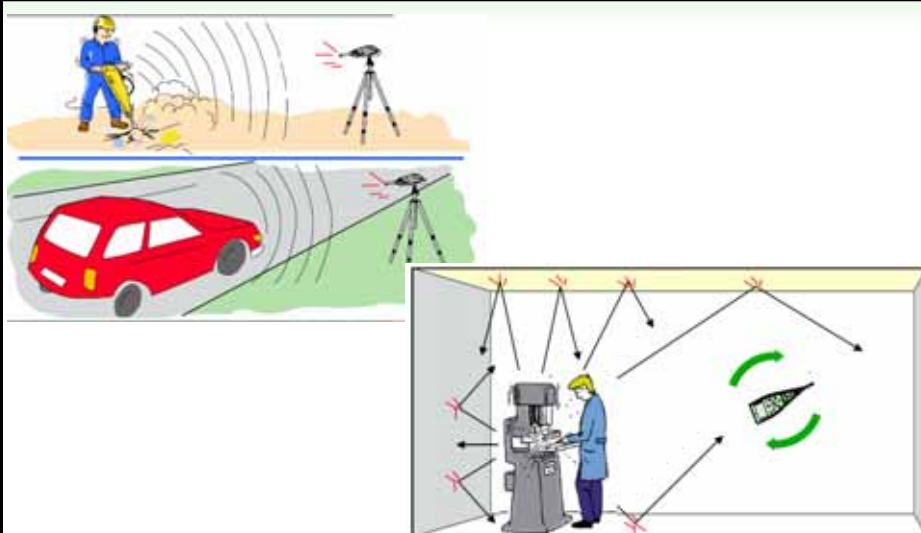


- 第一条曲线是传声器以0度对准声源时，本身放入声场中本身所引起的声压变化，在高频段，响应上翘。
- 中间的平直曲线为自由场型传声器以0度对准声源时的响应曲线，主要用于自由场中使用。这一类传声器膜片设计时，考虑了第一条曲线的效应，即进行了“自由场修正”。
- 最下方曲线为扩散型传声器以0度对准声源时的响应曲线，在高频段，衰减最大，主要用于混响室等反射较强的舱室。
- 由此可见：两种传声器在2kHz以下响应基本完全相同，在高频段才有差异，具体值请从每个传声器盒中的磁盘上读取。

68 www.bksv.com

Brüel & Kjær

传声器的选用



69 www.bksv.com

Brüel & Kjær

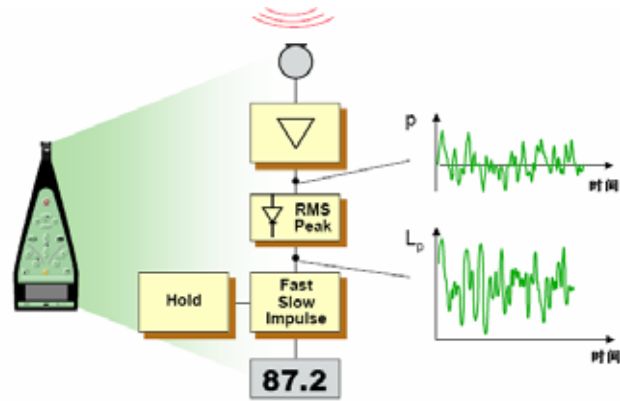
目录

- 传声器
- 声级计
- Leq
- 统计量和噪声计量
- 声学测量的实际因素

70 www.bksv.com

Brüel & Kjær

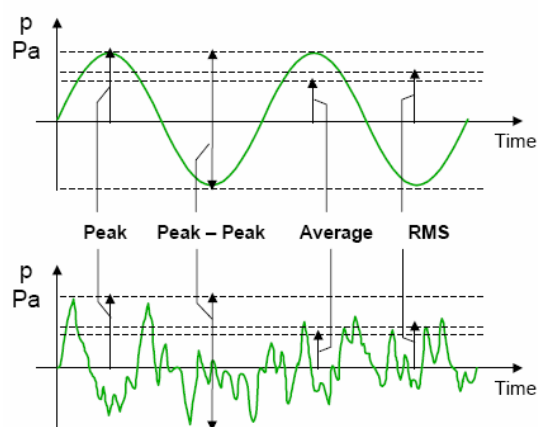
声级计



71 www.bksv.com

Brüel & Kjær

声音水平的描述参数



$$\text{RMS} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T x^2(t) dt}$$

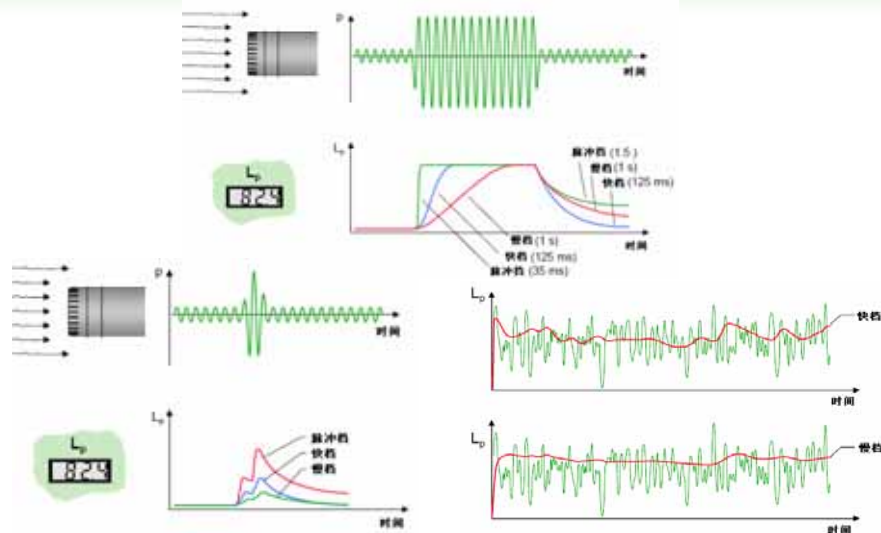
$$\text{Average} = \frac{1}{T} \int_0^T |x| dt$$

$$\text{Crest factor} = \frac{\text{Peak}}{\text{RMS}}$$

72 www.bksv.com

Brüel & Kjær

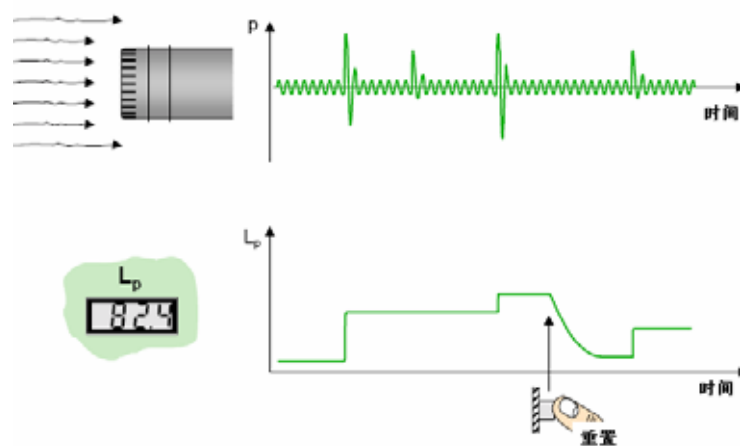
时间计权



73 www.bksv.com

Brüel & Kjær

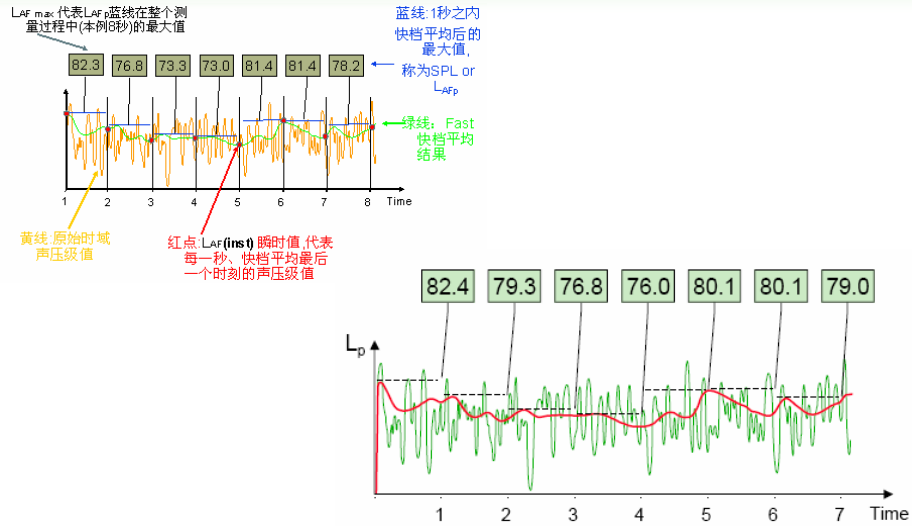
峰值保持



74 www.bksv.com

Brüel & Kjær

数字显示

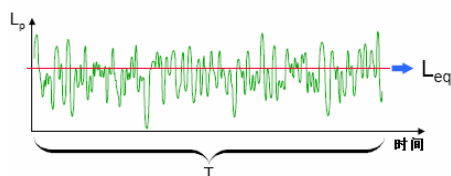


目录

- 传声器
- 声级计
- **Leq**
- 统计量和噪声计量
- 声学测量的实际因素

等效声级 L_{eq}

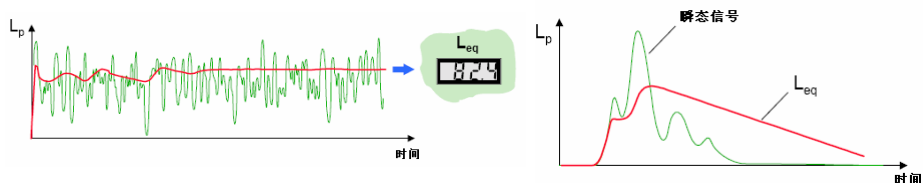
$$L_{eq} = 10 \log_{10} \frac{1}{T} \int_0^T \left(\frac{p(t)}{p_0} \right)^2 dt$$



L_{eq} 可以认为是与原始波动信号在测量周期内具有相同能量的一个连续噪声信号

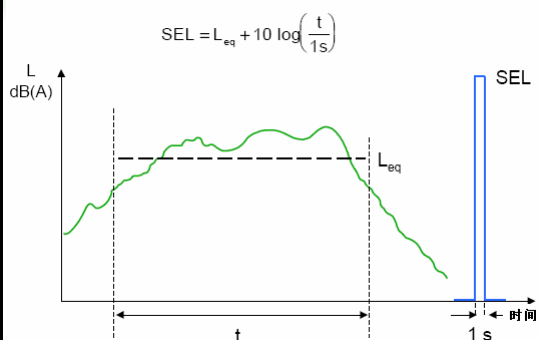
- T 是测量时间
- $p(t)$ 为瞬时声压
- P_0 为参考声压 (20 μ Pa)

测量 L_{eq}

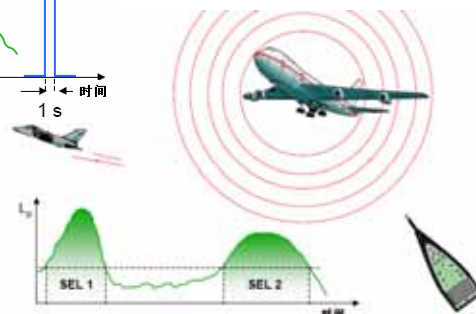


- 测量开始时, L_{eq} (红线) 为 0, 接下来会跟随信号 (绿线) 快速上升
- 随着时间的增加, L_{eq} 的变化会越来越小
- L_{eq} 在测量开始的时候变化要比后来的变化大得多, 因此, 您能使用 L_{eq} 是否已经稳定来判断测量是否已经结束
- 稳定得水平指示了一个典型的测量结果

声音暴露水平(SEL)及其起因



- 克服了等效连续声级不能反映声音作用时间的缺点
- SEL大小可以被解释为：能够在1秒内释放与原始信号相等声能的声音大小



79 www.bksv.com

Brüel & Kjær

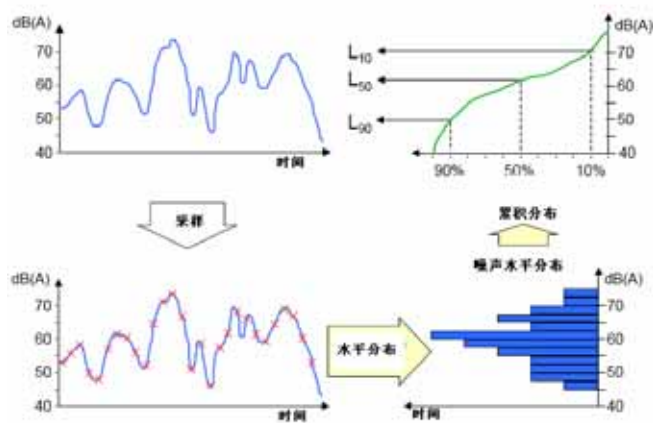
目录

- 传声器
- 声级计
- Leq
- 统计量和噪声计量
- 声学测量的实际因素

80 www.bksv.com

Brüel & Kjær

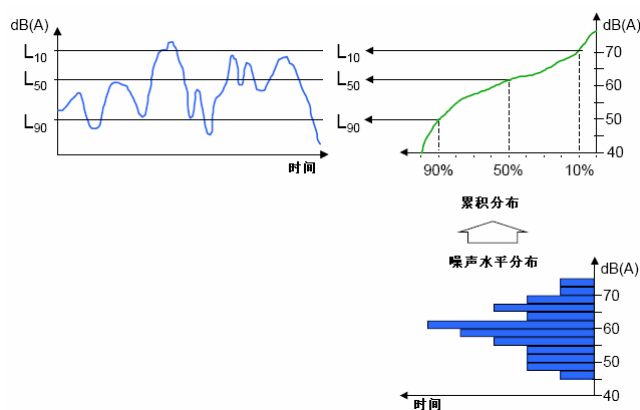
噪声水平分布和累积分布



81 www.bksv.com

Brüel & Kjær

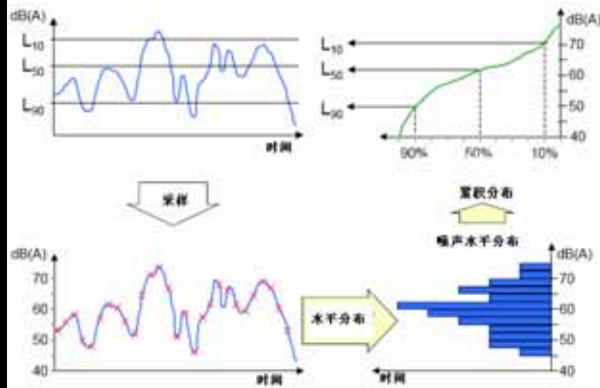
百分比水平 L_N



82 www.bksv.com

Brüel & Kjær

噪声水平的统计分析



统计分析的四个步骤:

- 采样信号
- 根据信号水平进行分级, 以获得分布图
- 对分布水平进行累加获得累积水平曲线
- 从累积水平曲线计算百分比水平

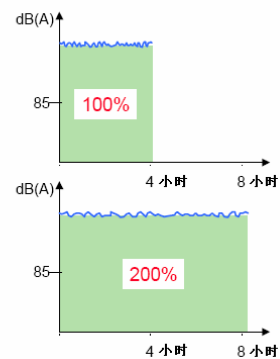
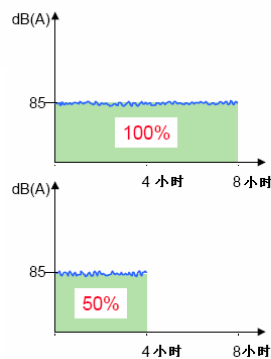
83 www.bksv.com

Brüel & Kjær

噪声剂量的定义



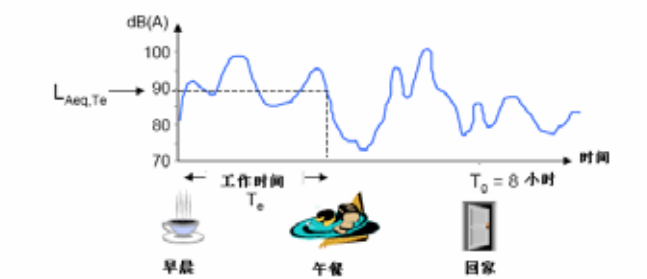
= 100 % 噪声剂量



84 www.bksv.com

Brüel & Kjær

每日个人噪声暴露, $L_{EP,d}$



$$L_{EP,d} = L_{Aeq,Te} + 10 \log_{10} \frac{T_e}{T_0}$$

例如:

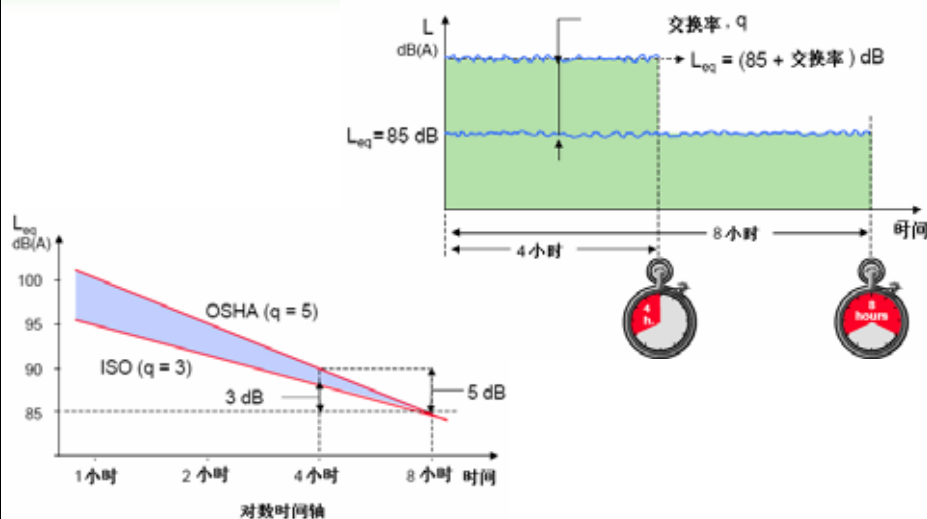
$L_{Aeq,Te} = 89.2 \text{ dB}$ 和 $T_e = 4 \text{ 小时}$

$L_{EP,d} = 89.2 + 10 \log_{10} \frac{4}{8} = 89.2 - 3 = 86.2 \text{ dB}$

85 www.bksv.com

Brüel & Kjær

交换率



86 www.bksv.com

Brüel & Kjær

小结

- 传声器的灵敏度依赖于噪声的入射方向，这就是为什么会有自由场传声器和随机入射型传声器。传声器放置于声场中会对声场产生影响并将影响测量结果，这也是为什么会有压力场传声器的原因以及为什么要对传声器进行修正的原因。
- 声级计是一个集成设备，它有标准的时间计权和测量参数
- L_{eq} 是一个噪声在其作用周期内的能量平均，它亦是最重要的测量参数

87 www.bksv.com

Brüel & Kjær 

目录

- 传声器
- 声级计
- L_{eq}
- 统计量和噪声计量
- 声学测量的实际因素

88 www.bksv.com

Brüel & Kjær 

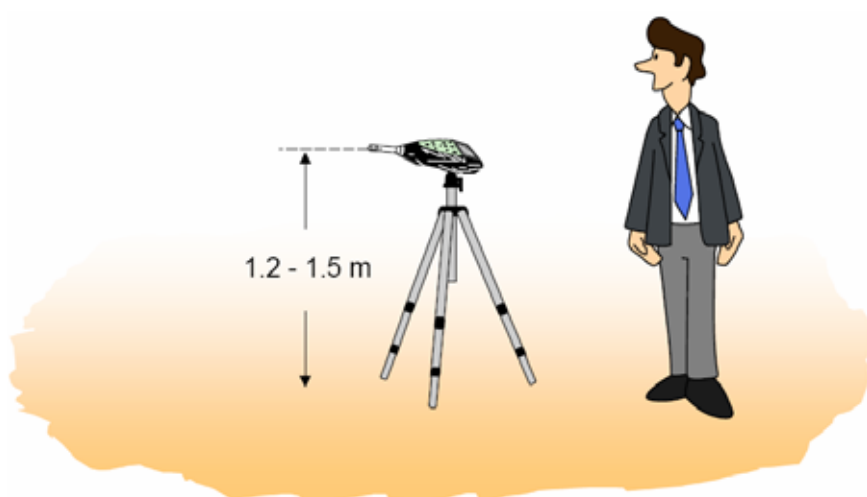
声学测量的实际因素



89 www.bksv.com

Brüel & Kjær

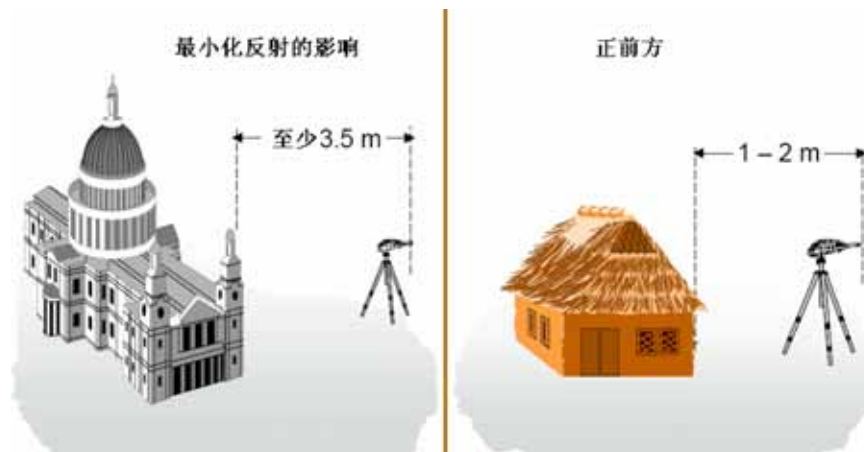
传声器的离地高度



90 www.bksv.com

Brüel & Kjær

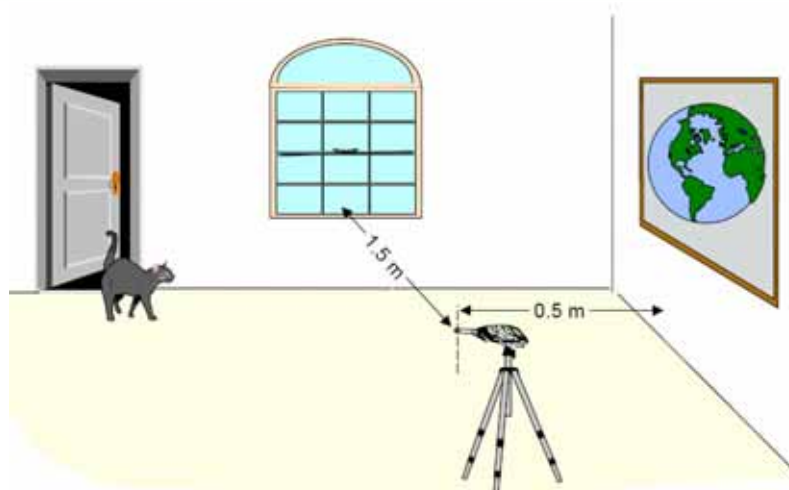
室外的传声器位置



91 www.bksv.com

Brüel & Kjær

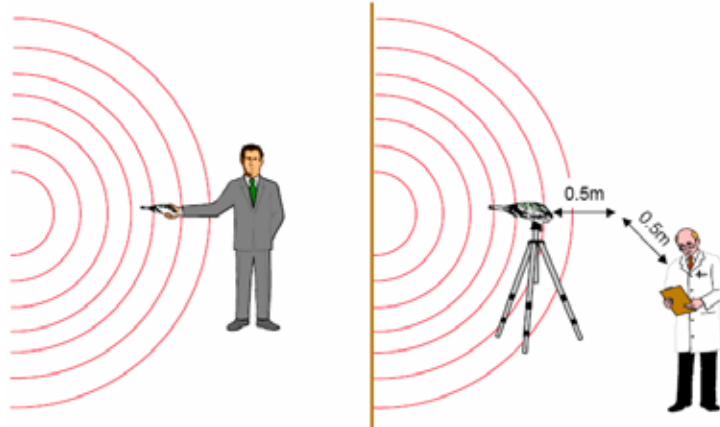
室内的传声器位置



92 www.bksv.com

Brüel & Kjær

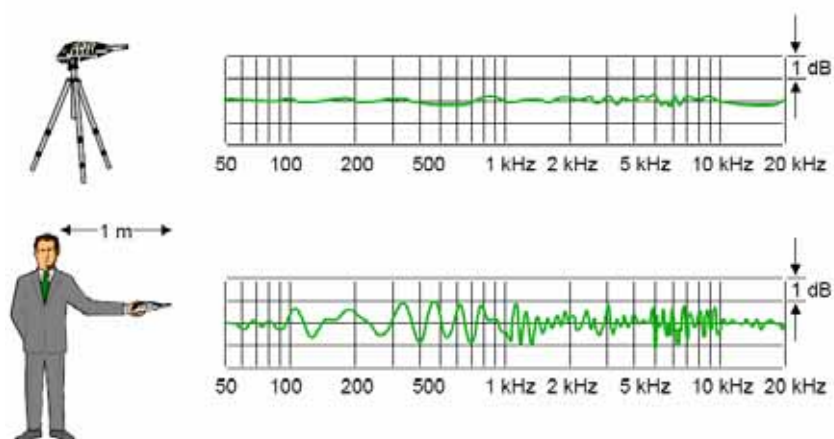
操作者的位置



93 www.bksv.com

Brüel & Kjær

声级计和操作者的影响



94 www.bksv.com

Brüel & Kjær

标准



声级计标准

- IEC 651/804 – International
- ANSI S 1.4 – America

测量过程标准

- ISO 1996
Description and measurement of environmental noise
- ISO 9612
Guidelines for the measurement and assessment of exposure to noise in a working environment

声级计的精度

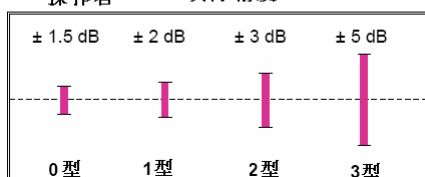
- 声级计的精度等级
 - 0型-实验室标准
 - 1型-精确测量（外场和实验室）
 - 2型-通用目的（外场）
 - 3型-调研（外场）

声级计的精度

● 实际精度（非参考条件）

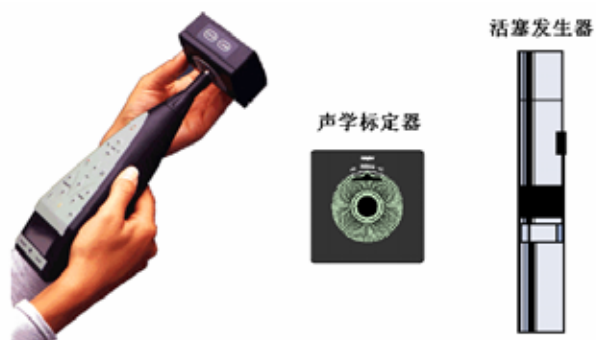
- 温升
- 指向性影响
- 频率计权
- 量程控制
- 时间计权
- 环境压力
- 湿度
- 温度
- 标定器
- 操作者

实际精度

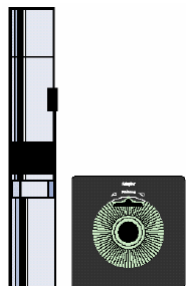


	0型	1型	2型
参考条件精度	0.4	0.7	1.0
温升	0.2	0.3	0.5
指向性影响	0.5	1.0	2.0
频率计权	0.7	1.0	1.5
量程控制	0.3	0.5	0.7
时间计权	0.5	0.5	1.0
环境压力	0.3	0.3	0.5
湿度	0.5	0.5	0.5
温度	0.5	0.5	0.5
标定器	0.2	0.2	0.2
操作者	0.5	0.5	0.5

声学标定



根据ISO1996进行标定



- 在每个系列测量之前和之后
 - 使用声级标定器或者活塞发生器
 - 记录标定结果
- 此外，假如测量是在一个相当长的时间内进行，则每天至少标定两次
 - 上述的两个方法之一
 - 使用一个集成的标定系统

99 www.bksv.com

Brüel & Kjær 

远离故障的使用提示



- 当把声级计连接到其他设备时，确保所有设备处于关闭状态
- 仔细操作传声器并且让膜片远离灰尘和其他物体
- 绝不触摸传声器膜片
- 决不在声级计电源打开的时候安装传声器
- 当连接传声器、延长电缆和输入端口的时候一定要细心
- 不要将声级计和附件暴露在过度潮湿、过冷和过热的环境中，请在干燥的地方加以保存，推荐使用自带保存盒

100 www.bksv.com

Brüel & Kjær 