

工业噪声测量指南

Gongye Zaosheng Celiang ZHinan

章句才 著

计 量 出 版 社

工业噪声测量指南

章句才 著

计量出版社

1984·北京

内 容 提 要

本书采取问答的形式，阐述了工业噪声测量中可能遇到的普遍性问题。书中选取了136个题目，涉及到六个方面：基本概念与基本参数；噪声的主观评价参数；噪声频谱分析；测试噪声的传声器性能；基本测量仪器的计量；各类噪声测量准则等。书末附录了分贝与比值换算表、声级计检定规程、世界一些国家的工业噪声标准目录、基本专用名词英汉对照，可供读者查阅。

本书可供计量测试、工业交通、质量管理、环境保护、医疗卫生等噪声测量领域中具有中等文化水平的工程技术人员、管理人员及有关师生参考。

工 业 噪 声 测 量 指 南

章句才 著

责任编辑 陈艳春

计量出版社出版

(北京和平里11区7号)

中国标准出版社秦皇岛印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

开本 850×1168 1/32 印张 5³/₈

字数 146 千字 印数 1—20 000

1984年3月第一版 1984年3月第一次印刷

统一书号 15210·274

定价 0.89 元

前 言

自古以来，不善之音即被称做“噪”。随着近代工业交通的发达和城镇人口的密集，声波带给当今社会的副产品——工业噪声，更泛为公众之患。因而，关心治理“噪声污染”这一公害的人也愈益增多。除声学专业人员之外，工业交通、质量管理、环境保护、医疗保健、教育宣传等许多方面的人员，都希望掌握有关噪声的基本知识，尤其希望能开门见山地得到有关的定性与定量概念。

本人主张在宣传工业噪声危害的过程中，应消除“有声便是害”的误解。客观而全面的噪声测量，才是认识、判断及处理噪声问题的重要手段。本书根据作者在科研实践中所经常接触到的普遍性概念，结合国际上较为通行的各类工业噪声的测量方法，以及便于掌握仪器准确程序的计量手段，给出工业噪声测量的综合性介绍。书中介绍的程序与方法力求规范化和具有先进性，并随题纳入测量中所必不可少的数据、公式及图表。

书末附录了世界上一些国家的工业噪声标准目录，并编列了基本专用名词英汉对照，以供查阅。

本书多承南京大学声学研究所魏荣爵教授审阅，又蒙陶擎天等同志和责任编辑同志惠教，谨一并致谢。

限于作者水平，书中难免疏漏错讹，恳请各方指正。

作 者

1982年

目 录

一、基本概念与基本参量.....	(1)
1. 声波是怎样产生的?	(1)
2. 声波可否与水波相提并论?	(1)
3. 声波的传播速度是多少?	(1)
4. 声波的频率、周期是怎样决定的?	(2)
5. 声波的波长是什么?	(3)
6. 声源振动的位移、速度、加速度之间的换算关系如何?.....	(4)
7. 测量仪表的峰值、平均值及有效值指示是什么意思?.....	(5)
8. 什么叫峰值因数及波形因数?	(6)
9. 声压与大气压的数值关系如何?	(7)
10. 什么叫声强?	(8)
11. 什么叫声功率?	(8)
12. 什么叫声压级?	(9)
13. 什么叫声强级?	(9)
14. 为什么有时把声压级也称做声强级?	(9)
15. 什么叫声功率级?	(10)
16. 用分贝 (dB)表示声学量有什么好处?	(10)
17. 日常的声压数量级变化时对应的声压级是多少?	(10)
18. 什么叫声阻抗、声导纳、声阻、声抗、声损、声顺等?.....	(11)
19. 什么叫机械阻抗或力阻抗?	(12)
20. 什么是机—电—声类比?	(13)
21. 什么叫声场?	(14)
22. 什么叫自由声场?	(15)
23. 什么叫平面行波?	(15)
24. 什么叫球面行波?	(15)
25. 什么叫反平方律? 它在噪声测量中有何作用?	(15)

26.	柱面声波也能适用反平方律吗?	(18)
27.	用什么参量表示机器声辐射的指向特性?	(19)
28.	混响声场是什么?	(19)
29.	什么叫活跃室或半混响场?	(21)
30.	工业噪声测量用的混响室有什么要求?	(21)
31.	什么叫吸声材料?	(23)
32.	什么叫消声室?	(23)
33.	什么叫半消声室?	(25)
34.	什么是墙壁隔声的质量定律?	(25)
35.	什么叫空气声? 什么叫固体声?	(26)
36.	什么叫纯音?	(26)
37.	什么叫复合音?	(26)
38.	基频与主频有何区分?	(26)
39.	什么叫谐波?	(27)
40.	什么叫乐音?	(27)
41.	什么叫噪声?	(27)
42.	什么叫频谱?	(27)
43.	什么叫线状谱与连续谱?	(27)
44.	什么叫声压谱级?	(27)
45.	什么叫白噪声?	(28)
46.	什么叫粉红噪声?	(28)
47.	什么叫无规噪声?	(28)
48.	什么叫脉冲声与猝发声?	(28)
49.	环境噪声、背景噪声、本底噪声三者有何区分?	(29)
50.	工业噪声测量与人耳有何关系?	(29)
51.	什么叫响度和响度级?	(29)
二、噪声的主观评价参数		(30)
52.	什么叫等响曲线?	(30)
53.	响度与响度级之间的换算关系是什么?	(31)

- 54. 什么叫响度指数? (33)
- 55. 什么叫计权声级 A, B, C, D 等? (34)
- 56. 什么叫噪度与感觉噪声级? (38)
- 57. 什么叫等效连续声级 L_{eq} ? (40)
- 58. 什么叫日夜平均声级 L_{dn} ? (41)
- 59. 什么叫噪声污染级 L_{NP} ? (41)
- 60. 什么叫交通噪声指数TNI? (42)
- 61. 什么叫噪声评价曲线 NR? (42)
- 62. 什么叫噪声标准曲线 NC? (42)
- 63. 什么叫语言干扰级 SIL? (44)
- 64. 什么叫噪声次数指数 NNI? (46)
- 65. 以保护听力为目的各国噪声标准是什么? (46)
- 66. 噪声剂量 D 的定义和具体算法是什么? (48)

三、噪声频谱分析..... (49)

- 67. 什么叫噪声的频谱分析? (49)
- 68. 理想的滤波通带与实际的滤波通带有什么区别? (49)
- 69. 什么叫滤波器的中心频率、截止频率? (50)
- 70. 什么叫等带宽滤波器、等百分比带宽滤波器、等比带宽滤波器? (50)
- 71. 什么叫倍频程、1/2倍频程、1/3倍频程滤波器? (51)
- 72. 滤波器的带宽如何表示? (52)
- 73. 什么叫滤波器的优先频率? (54)
- 74. 什么叫高通滤波器、低通滤波器? (55)
- 75. 声频频谱仪与频率分析仪有何区别? (55)

四、测试噪声的传声器性能..... (57)

- 76. 选用测量噪声用的传声器(话筒)时,需从哪些特性考虑? (57)
- 77. 为什么在噪声测量中普遍采用电容传声器? (57)

- 78. 声压传声器与声场传声器有什么区别? (58)
- 79. 传声器在什么情况下使用无规入射校正器、鼻锥或风罩? (60)
- 80. 传声器灵敏度数值表达形式是什么? (61)
- 81. 电容传声器为什么不能直接插到一般电压表上读数? ... (62)
- 82. 电容传声器的灵敏度为什么有开路灵敏度与闭路灵敏度之分? (63)
- 83. 如何维护电容传声器? (63)

五、基本测量仪器及计量..... (64)

- 84. 声级计是怎么发展起来的? (64)
- 85. 声级计的基本性能是什么? (64)
- 86. 声级计主机衰减器旋钮有些什么特点? (67)
- 87. 声级计主机检波电路的功能有些什么特点? (67)
- 88. 声级计的过载指示灯闪烁时是否影响读数精度? (68)
- 89. 开始使用声级计的步骤是什么? (68)
- 90. 如何选择声级计的测量点? (69)
- 91. 什么是噪声剂量计? (70)
- 92. 怎样选择噪声测量用的滤波器? (70)
- 93. 用于噪声测量的声级记录仪有哪些要求? (71)
- 94. 声级计、滤波器、记录仪三者如何配合? (71)
- 95. 实时分析仪如何用于噪声测量? (71)
- 96. 噪声测量用录音机有什么要求? (72)
- 97. 用什么方法校准传声器的灵敏度? (72)
- 98. 用活塞发声器校准电容传声器要注意些什么? (72)
- 99. 用什么方法自动描画电容传声器的频响曲线? (73)
- 100. 滤波器的滤波特性曲线如何画出? (73)
- 101. 如何校准声级计? (73)
- 102. 车间噪声测量从何着手? (74)

六、各类噪声测量准则…………… (74)

103. 用于测量建筑构件隔声性能的实验室有哪些基本要求? …………… (74)
104. 建筑构件隔声特性需测哪些量? …………… (75)
105. 建筑构件隔声测量的程序是什么? …………… (75)
106. 两室之间隔声的现场测量如何进行? …………… (76)
107. 楼板撞击声的实验室测量方法是什么? …………… (76)
108. 楼板撞击声的现场测量方法是什么? …………… (77)
109. 在混响室测量吸声系数怎样进行? …………… (77)
110. 汽车噪声怎样测量? …………… (78)
111. 电动旋转机械的空气噪声怎样测量? …………… (79)
112. 飞机噪声怎样测量? …………… (81)
113. 什么是轰声? 怎样进行测量? …………… (85)
114. 内航道及码头上船舶噪声如何测量? …………… (86)
115. 有轨车辆噪声如何测量? …………… (88)
116. 厅堂的混响时间怎样测量? …………… (89)
117. 国际上用声功率参量测定工业产品噪声的准则是什么? …………… (89)
118. 在混响室内如何测量宽频带的机器声功率? …………… (92)
119. 关于离散频率或窄频带的机器声功率的混响室测量有何要求? …………… (93)
120. 如何按工程法在专用混响室内测定机器声功率? …… (95)
121. 有一个反射平面的自由场条件工程法如何测量机器声功率? …………… (96)
122. 如何在消声室及半消声室精密测定机器声功率? …… (97)
123. 什么是工业产品噪声功率测量的简测法? …………… (102)
124. 如何从频带声功率级换算成 A 计权声功率级? …… (103)
125. 工业产品噪声功率测量标准偏差公式及要求是什么?… (104)
126. 工业产品噪声功率测量用的标准声源有些什么要求?… (105)

127. 工业产品噪声功率测量用消声室的性能鉴定如何进行?	(106)
128. 多台机器的噪声如何计算?	(107)
129. 机器噪声测量时如何估计背景噪声的影响?	(110)
130. 如何利用声级计测量振动?	(112)
131. 声级计上配用的加速度计具有什么特性?	(114)
132. 加速度计的灵敏度如何表示?	(115)
133. 加速度计的前置放大器有何作用?	(116)
134. 安装加速度计有哪些方式?	(118)
135. 什么叫声发射测量技术?	(119)
136. 工业噪声中新兴的声强测量是什么?	(121)

附录..... (125)

附录一 分贝与比值换算表.....	(125)
附录二 声级计检定规程.....	(128)
附录三 世界上一些国家的工业噪声测量标准目录.....	(138)
附录四 专业名词术语英汉对照.....	(152)
参考文献.....	(161)

一、基本概念与基本参量

1. 声波是怎样产生的？

答：当物体发生运动时，和它相连的媒质就随之引起压力、质点速度等参量的变化。对于象空气这样的弹性媒质来说，遇有物体运动，毗邻的空气就出现压缩膨胀、稀疏稠密的周期性变化，并由近到远交替地向空间扩展，这就产生声波。空气固然是传播声波的基本媒质，但除此之外，液态、固态的弹性体，如海洋、地壳、冰层、铁轨等等，都可以发生和传播声波。

2. 声波可否与水波相提并论？

答：声波在空气中的表现形式是纵波。这种波动中的媒质分子，它们规则运动的方向与声波传播方向一致。水波作为一种周期性运动，它的表象为肉眼所常见，故常被人们用以比喻声波。一池静水，石落波起，这时水媒质分子作着克服重力的上下运动，方向与波动前进方向相垂直，因此水波是一种横波，而且它传播缓慢，扩展的范围也较小。但是，在投石以后，与水面形成横波的同时，水底下将向四周传播声波——它是纵波。它远比水波传得快，作用范围也大得多。每当投石以后，鱼类能闻讯而动，靠的是水下声波送信，而非水波所及。

固体媒质中的波动方式有纵向、横向、扭转等，有时往往是几种方式的组合，因此作为声波的形式，问题更为复杂，需要将测试对象加以简化或极端化后再作分析。

3. 声波的传播速度是多少？

答：无论是在气体、液体还是固体中，声波的传播速度（简称为声速），实质是媒质分子在无规则的热运动的基础上，有规则运动向

相邻分子作动量传递的快慢程度。显然，媒质分子结构越紧密，内损耗特性越小，声速值就越大。例如，空气、水、钢铁的物质特性决定了它们的声速比值约为 1:4:12，而软橡皮的声速为最低。

因为温度与媒质分子运动的活跃程度有密切的联系，所以当媒质温度升高时，声速相应增大。以空气为例，声速 c 与温度 t 的关系可表示为：

$$c = c_0 \sqrt{1 + \frac{t}{273}}$$

式中： c_0 为 0°C 时空气的声速。对于通常的环境温度，即当 t 比 273 小得多时，上式可近似简化为：

$$c = c_0 + 0.6t \quad (3.1)$$

$$\text{或 } c = 331 + 0.6t \quad (3.2)$$

由此可见，大气温度每改变 10°C ，声速相应增减 6 米。

声速常用于估计两地间的距离，因为差不多 3 秒钟走 1000 米，每小时约走 1188 公里，这相当于北京与上海之间的距离。当飞机超过声速值飞行（即京—沪航时不到 1 小时），即叫超音速，并用 M （马赫数）表示，例如 $1.5M$ 即为 1.5 倍的声速。以下是几种常见材料的声速值：

媒质名称	软橡皮	空气(0°C)	空气(20°C)	水(15°C)	金	银	混凝土	冰
声速, 米/秒	70	331	344	1441	2000	2700	3100	3200
媒质名称	铜	松木	砖	大理石	瓷器	钢	硬铝	玻璃
声速, 米/秒	3500	3600	3700	3800	4200	5000	5000	6000

4. 声波的频率、周期是怎样决定的？

答：运载声波的媒质，它在单位时间之内的交替次数，和声源的激励条件有关。每秒钟交替变化的次数叫频率，记作 f 。而每秒交变

一次叫1赫兹，简称为赫，符号为Hz（这是为纪念德国物理学家 Heinrich Rudolf Hertz 而定的符号）。频率是噪声的主要属性之一，它将决定噪声的作用、影响，以及声源的自身特征。一定的结构、尺寸和材料，以及一定的激励方式，决定了具体系统的频率值，称为系统的固有频率。当外界激发力的频率（也叫工作频率）与固有频率吻合时，就形成共振。共振时很微弱的激发力就可以引起很大的运动振幅。

媒质或振源每振动一次（或者说交替一次）所经历的时间，叫周期，记作 T ，单位为秒。显然，周期越长频率越低，因此二者互为倒数，即 $T=1/f$ （秒）。例如频率为1000赫时的周期为 $1/1000$ 秒，即1毫秒，而频率为1赫时的周期为1秒。

声学研究的频率范围很宽，目前至少是从 10^{-4} 赫到 10^{14} 赫，可按频段分成以下几类：

频率（赫）	频段名称
10^{-4} —20	次声
20— 2×10^4	可听声
2×10^4 — 5×10^8	超声
5×10^8 — 10^{12}	特超声
10^{12} — 10^{14}	热振动

5. 声波的波长是什么？

答：存在声波现象的媒质中，质点沿声波方向振动一个周期所传播的距离，或者说在波形上相位相同的相邻两点间的距离，即称为波长，记为 λ ，单位为米，习惯上也有以厘米为单位的。

根据波长 λ 及问题4中频率 f 的概念，可以理解声速 c 的意义为在单位时间内，媒质内传播为 f 个 λ （波长）的总距离。故有：

$$c = f\lambda \tag{5.1}$$

这就是声速、频率、波长三者之间的关系式。由于一定媒质的声速为常数，故频率与波长成反比关系。例如，室温空气中频率 f 为1000赫的波长为：

$$\lambda = 344(\text{米/秒}) / 1000(\text{赫}) \approx 0.34 \text{ 米或 } 34 \text{ 厘米}$$

同样，频率 f 为 10000 赫的波长约为 3.4 厘米。其它数值的频率与波长的对应值见简图所示。

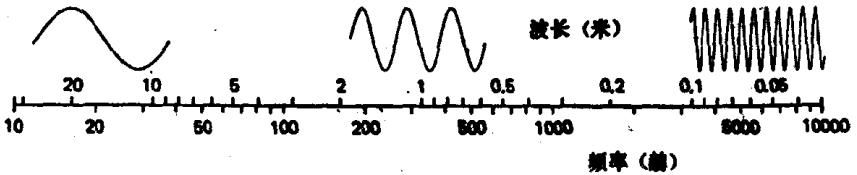


图 5.1 正常条件下空气中声波波长与频率的关系

正如以下问题将要涉及的，在工业噪声测量中，波长是估计机器噪声特性及环境影响的重要参量。

6. 声源振动的位移、速度、加速度之间的换算关系如何？

答：声波作为机械弹性波，它与电磁波在交替特性上是相同的。因此二者之间除换能器及频段数值不同以外，所用电子测量仪器的工作原理完全相同。了解各交替参量之间的关系，对熟悉噪声测量仪表的示值会有一定帮助。

测量中普遍遇到的最简单的交变量可用正弦函数表达。诸如一根细线悬重物构成的单摆；一根弹簧驱动一个质量块构成的振动系统；以及声波、水波等运动形式，均可属于这一类，它们都称为简谐运动，所形成的波称为简谐波。

用 t 表示运动物体或运动质点开始运动后的时间，用 x 表示离参考点的距离，则位移、速度、加速度可分别表达为：

$$\text{位移 } x = A \sin 2\pi ft \quad (6.1)$$

式中： A 为 x 的极大值，称为位移的振幅。

位移随时间的变化率即为质点的速度，即：

$$\text{速度 } v = \frac{dx}{dt} = A(2\pi f) \cos 2\pi ft = A(2\pi f) \sin(2\pi ft + \pi/2) \quad (6.2)$$

质点速度随时间的变化率即为质点的加速度，即：

$$\text{加速度 } a = \frac{dv}{dt} = \frac{d^2x}{dt^2} = -A(2\pi f)^2 \sin 2\pi ft \quad (6.3)$$

以上三式中 $2\pi f$ 令等于 ω ，叫角频率。位移、速度、加速度三者之间的关系在数值上是角频率的倍乘关系，但在相位上互不相同。

例如：在起始点，即在时间 $t=0$ 时，式 (6.1) 及式 (6.3) 均为零，也就是位移 x 与加速度 a 都等于零。而这时式 (6.2) 为极大值，即速度 $v=2\pi fA=\omega A$ 。

又当 $t=\pi/2$ 时，位移 $x=A$ ，为极大值。而速度 $v=0$ 。加速度 $a=-(2\pi f)^2 A=-\omega^2 A$ ，即达到负的极大值。

其余各点的参量对比见图所示：

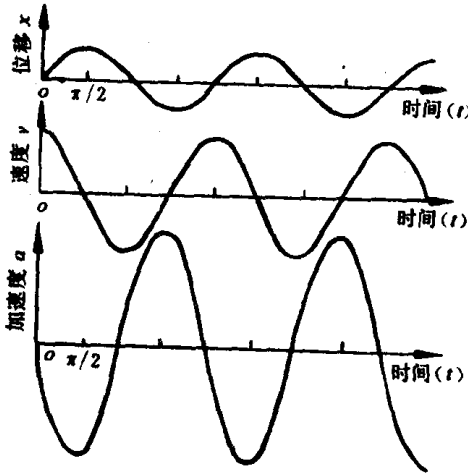


图 6.1 位移、速度及加速度三者之间的相位关系

7. 测量仪表的峰值、平均值及有效值指示是什么意思？

答：测量仪表的峰值指示是指在观察期间的信号最大值，可表示为 $A_{\text{峰值}}$ 。

而在此期间的信号绝对值相加的平均，即为平均值，即：

$$A_{\text{平均}} = \frac{1}{T} \int_0^T |x| dt \quad (7.1)$$

而在此期间的信号平方和的平均，再取平方根的值，称为均方根值，也称有效值，即：

$$A_{\text{有效值}} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T |x|^2 dt} \quad (7.2)$$

正因为均方根值是信号幅值平方的函数，故它与能量概念直接相关，在噪声测量中普遍采用。 $A_{\text{有效值}}$ 常写成 $A_{r.m.s.}$ 或 $A_{r.M.S.}$ 。

在简谐运动中，峰值、平均值及有效值三者之间的关系是：

$$A_{\text{有效值}} = \frac{\pi}{2\sqrt{2}} A_{\text{平均值}} = \frac{1}{\sqrt{2}} A_{\text{峰值}} \quad (7.3)$$

或者 $A_{\text{有效值}} = 1.11 A_{\text{平均值}} = 0.707 A_{\text{峰值}} \quad (7.4)$

$$A_{\text{平均值}} = 0.90 A_{\text{有效值}} = 0.637 A_{\text{峰值}} \quad (7.5)$$

由式 (7.4) 及式 (7.5) 可以看出，简谐信号的峰值最大，有效值次之，平均值最小。例如：若一个简谐信号的峰值为 3，则有效值为 2.12，平均值为 1.91。

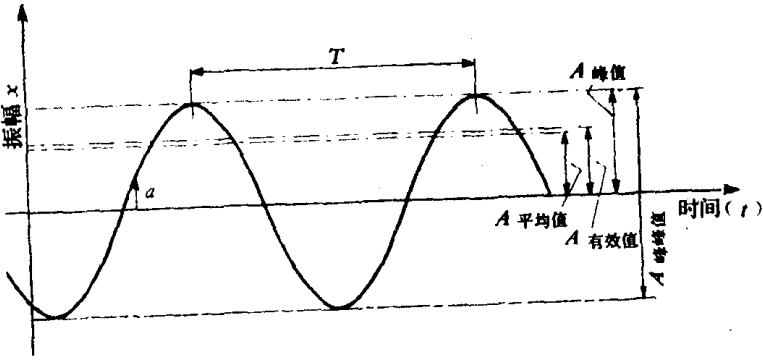


图 7.1 简谐信号的峰值、有效值、平均值等量之间的关系示图

8. 什么叫峰值因数及波形因数？

答：噪声信号的峰值与有效值的比值，称为峰值因数或颠峰因数，表示为 F_c 。而有效值与平均值之比称为波形因数，表示为 F_f 。
即：

$$\text{峰值因数 } F_c = \frac{A_{\text{峰值}}}{A_{\text{有效值}}} \quad (8.1)$$

$$\text{波形因数 } F_f = \frac{A_{\text{有效值}}}{A_{\text{平均值}}} \quad (8.2)$$

由问答 7 中的数值关系，可得简谐信号的峰值因数 $F_c = \sqrt{2} = 1.414$ ；波形因数 $F_f = 1.11$ 。

这两个参量可以表达波形的特征。如果噪声信号具有很尖的峰，则峰值因数值就大。如果波形越不像正弦信号，波形因数就越偏离 1.11。同样，声级计等其它噪声测量仪表所具备的峰值因数的大小，是衡量它能否胜任测量脉冲信号的标准。普通只能测量稳态噪声的声级计，峰值因数只有 3，而现在某些可测脉冲噪声的声级计，峰值因数可达 20 甚至 40。

9. 声压与大气压的数值关系如何？

答：以空气为例的弹性介质中，声压是由于声波的存在而引起的压力增值。空气中原来就有比较恒定的静压力，即大气压，它是由于空气分子的不规则运动及相互排斥所引起的。声波是空气分子在这基础上有指向、有节律的运动。由于空气分子弹性好，阻尼损耗小，各方向性能相同，又有一定的压缩性，给声传播造成良好的传播条件。只要在大气中发生小小的微扰，就可使平衡的大气压力增添一微小的声压，并迅速传向各方。

大气压力或静压力用 p_s 表示，一个标准大气压力叫 1 巴(bar)。

声压用 p 表示，历来沿用微巴 (μbar) 为单位，它是巴的百万分之一，即 1 微巴 = 10^{-6} 巴。1 微巴也是 1 达因/厘米² ($1\text{dyn}/\text{cm}^2$)。由于近年国际上采用统一的力学与长度单位，故声压单位也放弃了微巴，而采用帕(Pa) (即帕斯卡 Pascal) 为单位。1 Pa 即为 1 牛/米²。1 巴等于 10^5 帕，即 $1\text{bar} = 10^5\text{Pa}$ 。新、旧声压单位的关系是 1 帕 = 10 微巴。

从声波可使弹性介质形成压缩与稀疏两种状态来考虑，声压可以是正值，也可以是负值。但通常所说的声压，均指它的有效值，故实