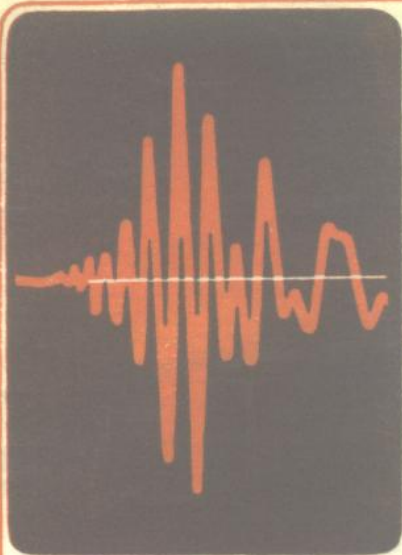




Guideline of Industrial Noise Measurements

工业噪声测量指南

Gongye Zaosheng Celiang Zhinan

(第二版)

章句才 著

Zhang Jucan

中国计量出版社

工业噪声测量指南

(第 2 版)

章 句 才 著

中国计量出版社

内 容 提 要

本书采用问答形式,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 144 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;各类噪声测量准则及国际法制计量组织(OIML)最新发布的声级计国际建议。书末附录了分贝与比值换算表、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

(第 2 版)

章句才 著

责任编辑 孙维民

中国计量出版社出版:

北京和平里 11 区 7 号

中国计量出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

—*

开本 850×1168/32 印张 6.76 字数 169 千字
1989 年 11 月第 2 版 1989 年 11 月第 2 次印刷

印数 20001—30000

ISBN 7-5026-0274-2/PB·222

定价 3.10 元

第二版前言

原书“工业噪声测量指南”出版近五年来受到广大科技与工程人员的欢迎，已故著名声学专家陈绎勤教授对该书给予了高度的评价。

修订版与原书比，除作一些技术性修改之外，主要增添了噪声分析概念、声强测量及国际法制计量组织（OIML）的声级计国际建议等 10 多处主题，以使新版增添新信息。

趁再版机会，谈谈对目前噪声测量与管理方面的几个问题的领会：

关于对“工业噪声”的理解，似不必局限于伴随工业生产过程所产生的噪声，可更为广泛地理解为工业化所带来的噪声。工业产品成为现代商业的重要部分，因此商业领域的噪声也应引起人们的认识与管理。在现代化超级市场，上百台电视机排列着同步显示图像，不许开发伴音；其它录音机等音响设施在选购中均不得试声，因此宽广的超级市场只听到川流不息的顾客脚步声，身临其境，会有繁而不噪的感受。与此对比，有些商店用强烈刺激的音乐力图招揽顾客，~~甚至各种商业音乐广告~~很使顾客与居民反感，是应该管理的工业噪声的一部分。“北京晚报”在 1986 年作过评述，使京、穗、沪等城市的情况明显好转，颇得居民赞赏。当然要彻底解决这样一个普遍的社会问题，仅靠法规与管理是不够的，还要靠社会风气的逐步提高，~~掌握~~噪声量值概念与测量方法的宣传。

其次，在噪声测量的量值统一方面还需要作一些工作，这也是目前我国的测量仪表工业水平尚不够高所要求的。我们已经做出了许多成绩，引起国际上的注意，我国被指定为国际法制计量组织（OIML）的声学仪器（简称声级计）报告秘书处负责国，

因此我们有责任把这方面的工作作得更好。在国际上，法制计量是无声的技术监督，它有利于扭转测量仪表在生产、使用、校准等环节的无政府状态。希望广大读者从不同角度来观察并提出工业噪声测量中的问题。

作者

1988年7月

第一版前言

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，又蒙陶攀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?	(11)
18. 什么叫声阻抗、声导纳、声阻、声抗、声阻、声顺等?	(11)
19. 什么叫机械阻抗或力阻抗?	(13)
20. 什么是机-电-声类比?	(13)
21. 什么叫声场?	(15)

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?	(16)
25. 什么叫反平方律? 它在噪声测量中有何作用?	(16)
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?	(22)
31. 什么叫吸声材料?	(23)
32. 什么叫消声室?	(24)
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?	(27)
38. 基频与主频有何区分?	(27)
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?	(29)
47. 什么叫无规噪声?	(29)
48. 什么叫脉冲声与猝发声?	(29)
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?	(30)
51. 什么叫响度和响度级?	(30)

二、噪声的主观评价参数	(31)
52. 什么叫等响曲线?	(31)
53. 响度与响度级之间的换算关系是什么?	(37)
54. 什么叫响度指数?	(39)
55. 什么叫计权声级 A, B, C, D 等?	(40)
56. 什么叫噪度与感觉噪声级?	(43)
57. 什么叫等效连续声级 L_{eq} ?	(48)
58. 什么叫声暴露级?	(48)
59. 什么叫日夜平均声级 L_{dn} ?	(50)
60. 什么叫噪声污染级 L_{NP} ?	(50)
61. 什么叫交通噪声指数 TNI?	(51)
62. 什么叫噪声评价曲线 NR?	(51)
63. 什么叫噪声标准曲线 NC?	(51)
64. 什么叫语言干扰级 SIL?	(53)
65. 什么叫噪声次数指数 NNI?	(54)
66. 以保护听力为目的各国噪声标准是什么?	(55)
67. 噪声剂量 D 的定义和具体算法是什么?	(56)
三、噪声频谱分析	(58)
68. 什么叫噪声的频谱分析?	(58)
69. 理想的滤波通带与实际的滤波通带有什么区别?	(58)
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?	(59)
71. 什么叫倍频程、1/2 倍频程、1/3 倍频程滤波器?	(61)
72. 滤波器的带宽如何表示?	(62)
73. 什么叫滤波器的优先频率?	(62)
74. 什么叫高通滤波器、低通滤波器?	(65)
75. 声频频谱仪与频率分析仪有何区别?	(65)
76. 如何进行噪声信号的频率分析?	(67)
77. 双通道测量中有哪些数理分析概念?	(73)
四、测试噪声的传声器性能	(81)

78. 选用测量噪声用的传声器 (话筒) 时, 需从哪 些特性考虑?	(81)
79. 为什么在噪声测量中普遍采用电容传声器?	(81)
80. 声压传声器与声场传声器有什么区别?	(82)
81. 传声器在什么情况下使用无规入射校正器、鼻 锥或风罩?	(84)
82. 传声器灵敏度数值表达形式是什么?	(85)
83. 电容传声器为什么不能直接插到一般电压表上 读数?	(86)
84. 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?	(87)
85. 如何维护电容传声器?	(87)
五、基本测量仪器及计量	(88)
86. 声级计是怎么发展起来的?	(88)
87. 声级计的基本性能是什么?	(88)
88. 声级计主机衰减器旋钮有些什么特点?	(91)
89. 声级计主机检波电路的功能有些什么特点?	(91)
90. 声级计的过载指示灯闪烁时是否影响读数精 度?	(92)
91. 开始使用声级计的步骤是什么?	(92)
92. 如何选择声级计的测量点?	(93)
93. 什么是积分声级计的设计原理?	(94)
94. 什么是噪声剂量计?	(94)
95. 怎样选择噪声测量用的滤波器?	(95)
96. 用于噪声测量的声级记录仪有哪些要求?	(96)
97. 声级计、滤波器、记录仪三者如何配合?	(96)
98. 实时分析仪如何用于噪声测量?	(96)
99. 噪声测量用录音机有什么要求?	(97)
100. 用什么方法校准传声器的灵敏度?	(97)
101. 用活塞发声器校准电容传声器要注意些什么?	(97)

102. 用什么方法自动描画电容传声器的频响曲线?(98)
103. 滤波器的滤波特性曲线如何画出?(98)
104. 如何校准声级计?(98)
105. 有关声级计标准的欧美分歧是什么?(99)
106. 车间噪声测量从何着手?(103)

六、各类噪声测量准则.....(104)

107. 用于测量建筑构件隔声性能的实验室有哪些
基本要求?(104)
108. 建筑构件隔声特性需测哪些量?(104)
109. 建筑构件隔声测量的程序是什么?(105)
110. 两室之间隔声的现场测量如何进行?(106)
111. 楼板撞击声的实验室测量方法是什么?(106)
112. 楼板撞击声的现场测量方法是什么?(107)
113. 在混响室测量吸声系数怎样进行?(107)
114. 汽车噪声怎样测量?(108)
115. 电动旋转机械的空气噪声怎样测量?(109)
116. 飞机噪声怎样测量?(110)
117. 什么是轰声? 怎样进行测量?(114)
118. 内航道及码头上船舶噪声如何测量?(116)
119. 有轨车辆噪声如何测量?(118)
120. 厅堂的混响时间怎样测量?(119)
121. 国际上用声功率参量测定工业产品噪声的准
则是什么?(119)
122. 在混响室内如何测量宽频带的机器声功率?(122)
123. 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?(123)
124. 如何按工程法在专用混响室内测定机器声功率?.....(125)
125. 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?(126)
126. 如何在消声室及半消声室精密测定机器声功率?.....(127)

127. 什么是工业产品噪声功率测量的简测法?	(131)
128. 如何从频带声功率级换算成 A 计权声功率级?	(133)
129. 工业产品噪声功率测量标准偏差公式及要求 是什么?	(134)
130. 工业产品噪声功率测量用的标准声源有些什 么要求?	(135)
131. 工业产品噪声功率测量用消声室的性能鉴定 如何进行?	(136)
132. 声场型电容传声器使用中的声中心的位置如 何确定?	(136)
133. 多台机器的噪声如何计算?	(139)
134. 机器噪声测量时如何估计背景噪声的影响?	(142)
135. 如何利用声级计测量振动?	(144)
136. 声级计上配用的加速度计具有什么特性?	(145)
137. 加速度计的灵敏度如何表示?	(147)
138. 加速度计的前置放大器有何作用?	(148)
139. 安装加速度计有哪些方式?	(150)
140. 振动的隔离原理是什么?	(151)
141. 什么叫声发射测量技术?	(154)
142. 工业噪声中新兴的声强测量是什么?	(158)
143. 声强测量仪的探头如何进行校准?	(165)
144. 光纤技术在工业噪声测量中有何应用?	(169)
附录	(171)
附录一 分贝与比值换算表	(171)
附录二 声级计的评价与检定步骤的推荐范围	(173)
附录三 国际法制计量组织关于声级计的第 58 号 建议	(175)
附录四 世界上一些国家的工业噪声测量标准目录	(176)
附录五 专业名词术语英汉对照	(190)
参考文献	(200)

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:

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

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

由此可见, 大气温度每改变 10°C , 声速相应增减 6 m。

声速常用于估计两地间的距离, 因为差不多 3 s 走 1 000 m, 每小时约走 1 188 km, 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 1h), 即叫超音速, 并用 M (马赫数) 表示, 例如 1.5 M 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 (13°C)	金	银	混凝土	冰
声速, m/s	70	331	344	1 441	2 000	2 700	3 100	3 200

媒质名称	铜	松木	砖	大理石	瓷器	钢	硬铝	玻璃
声速, m/s	3 500	3 600	3 700	3 800	4 200	5 000	5 400	6 000

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 $T = 1/f$ (s)。例如频率为1000 Hz时的周期为 $1/1000$ s，即1 ms，而频率为1 Hz时的周期为1 s。

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

频率 (Hz)	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，媒质内传播为数达 f 个 λ （波长）的总距离。故有：

$$c = f \lambda \quad (5.1)$$

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 1 000 Hz 的波长为:

$$\lambda = 344 \text{ (m/s)} / 1\,000 \text{ (Hz)} \approx 0.34 \text{ m 或 } 34 \text{ cm}$$

同样, 频率 f 为 10 000 Hz 的波长约为 3.4 cm, 其它数值的频率与波长的对应值见简图所示。

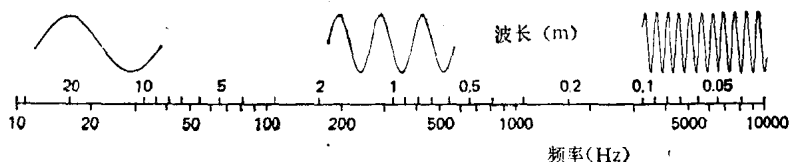


图 5.1 正常条件下空气中声波波长与频率的关系

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, 它与电磁波在交变特性上是相同的。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。了解各交变参量之间的关系, 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:

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

$$(6.2)$$

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。

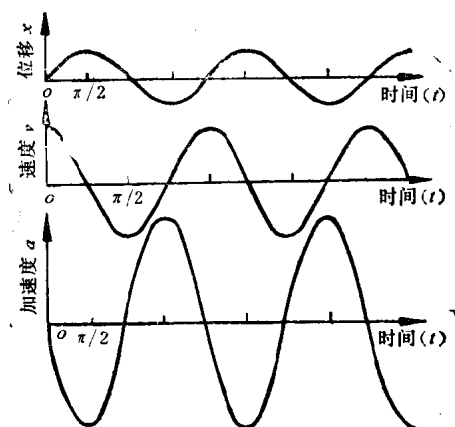


图 6.1 位移、速度及加速度三者之间的相位关系

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：