

前 言

本标准是根据国际标准化组织的系列标准之一 ISO 9613-1:1993《声学 户外声传播衰减 第1部分:大气声吸收的计算》制订的,在技术内容上与该国际标准等效,编写遵守 GB/T 1.1—1993《标准化工作导则 第1单元:标准的起草与表述规则 第1部分:标准编写的基本规定》的规定。系列标准之二 ISO 9613-2:1993《声学 户外声传播的衰减 第2部分:一般计算方法》,已于1998年被等效制订为国家标准 GB/T 17247.2—1998《声学 户外声传播的衰减 第2部分:一般计算方法》。制订本标准,有利于与国际标准接轨。

本标准的附录 A、附录 B、附录 C、附录 D、附录 E 和附录 F 都是提示性的附录,仅供参考。

本标准提出单位:中国科学院。

本标准归口单位:全国声学标准化技术委员会。

本标准起草单位:中国科学院声学研究所、北京大学。

本标准主要起草人:戴根华、栾桂冬。

本标准委托全国声学标准化技术委员会声学基础分会负责解释。

ISO 前言

国际标准化组织(ISO)是由各国标准化委员会(ISO 成员国)组成的世界范围联合组织。国际标准的制订工作通常由 ISO 技术委员会来完成。每个成员国在对某技术委员会所确定的某项标准感兴趣时,有权参加该技术委员会。与 ISO 有联系的政府与非政府组织也可参加该项工作。国际标准化组织(ISO)与国际电工委员会(IEC)在电工标准化的各个方面保持密切合作。

各技术委员会采纳的国际标准草案应分发给各成员国投票表决。国际标准草案至少需要 75% 成员国投票赞同,才能作为国际标准出版发行。

国际标准 ISO 9613-1 是由 ISO/TC 43(声学)技术委员会 SC1(噪声)分会起草。

ISO 9613 在总标题《声学 户外声传播衰减》下,包括以下两部分:

——第 1 部分:大气声吸收的计算

——第 2 部分:一般计算方法

ISO 9613 这部分的附录 A、B、C、D、E 和 F 都是提示性的,仅供参考。

中华人民共和国国家标准

声学 户外声传播衰减 第1部分:大气声吸收的计算

GB/T 17247.1—2000
eqv ISO 9613-1:1993

Acoustics—Attenuation of sound during
propagation outdoors—Part 1: Calculation of the
absorption of sound by the atmosphere

1 范围

本标准规定了各种气象条件下,户外声源发出的声音,经过大气传播时,大气吸收引起的声衰减的计算方法。

对于纯音,大气吸收衰减用与四个变量即声音频率、大气温度、湿度和气压有关的衰减系数表示。计算所得衰减系数以表列出。表中气压是1个标准大气压(101.325 kPa),另三个变量的范围是预测户外声传播经常遇到的,为:

- 频率,50~10 kHz;
- 温度,−20~+50℃;
- 相对湿度,10%~100%。

对于特殊用途的更宽的变量范围,例如,缩尺模型研究中的超声频,和声音由高处向地面传播时的低气压,也提出了计算公式。

对于宽带声,常用分数倍频程带通滤波器(例如1/3倍频程带通滤波器)作分析。本标准规定,用频率为频带中心频率的纯音的方法计算大气吸收衰减。此外,附录D中还讲述了一种替代的谱积分法。声音频谱可能是宽带的且无明显的离散频率成分,也可能是宽带声和离散频率声合成的。

本标准适用于均匀气象条件的大气,也可用来确定计及不同气象条件下大气吸收损失之间的差异测得的声压级的修正量。本标准可推广到不均匀大气,特别是气象条件随离地高度而变化的大气,这在附录C中讨论。

本标准只考虑其中没有明显雾气或污染的大气的主要吸收机理。大气吸收以外的其他机理,如折射或地面反射引起的声衰减的计算,在GB/T 17247.2—1998中都有讲述。

2 引用标准

下列标准所包含的条文,通过在本标准中引用而构成本标准的条文。本标准出版时,所示版本均为有效。所有的标准都会被修订,使用本标准的各方应探讨使用下列标准最新版本的可能性。

- GB/T 3240—1982 声学测量中的常用频率
- GB/T 3241—1998 倍频程和分数倍频程滤波器
- GB/T 17247.2—1998 声学 户外声传播的衰减 第2部分:一般计算方法
- ISO 2533:1975 标准大气

3 符号

f	声音频率, Hz
f_m	频带中心频率, Hz
h	水蒸气克分子浓度, %
p_r	基准环境大气压, kPa
p_i	初始声压, Pa
p_t	瞬时声压, Pa
p_0	基准声压, 20 μ Pa
p_a	环境大气压, kPa
s	声音传播距离, m
T	环境大气温度, K
T_0	基准大气温度, K
α	大气吸收引起的纯音声衰减系数, dB/m

注 1: 为方便起见, 本标准采用较短的词语“衰减系数”替代上述全名来称呼 α 。

δL_t 大气吸收引起的衰减, dB

4 基准大气条件

4.1 组分

大气吸收对大气的组分, 特别是对变化范围很大的水蒸气浓度非常敏感。在海平面高度上的纯净干燥的大气, 三种通常固定不变的主要组分氮、氧和二氧化碳的标准克分子浓度或体积百分数分别为: 0.78084, 0.209476 和 0.000314 (取自 ISO 2533)。干燥大气其余的微量组分元素, 加起来仅为 0.00937, 对大气吸收没有显著影响。在计算大气吸收时, 本标准设定, 干燥大气的这三种主要组分的标准克分子浓度, 在平均海平面以上至少 50 km 的高度范围保持不变。然而, 对大气吸收起主要影响的水蒸气克分子浓度, 在地表附近变化很大, 从海平面到 10 km 高度, 变化超过两个数量级。

4.2 大气压和温度

本标准采用的基准环境大气压 p_r , 为平均海平面处的国际标准大气压, 即 101.325 kPa; 基准大气温度 T_0 , 为 293.15K (20°C)。支持本标准的最可靠的数据即是在这个温度获得的。

5 大气吸收引起的纯音衰减系数

5.1 衰减的基本表示式

纯音经过大气传播了距离 s 后, 其瞬时声压 p_t , 因大气的吸收作用, 将从初始声压 p_i , 假设按自由空间中平面声波的衰减公式

$$p_t = p_i \exp(-0.1151 \alpha s) \quad \dots\dots\dots (1)$$

作指数衰减。

注 2: $\exp(-0.1151 \alpha s)$ 表示指数算式 $e^{-(0.1151 \alpha s)}$, 常数 0.1151 是由 $1/[10 \lg(e^2)]$ 得来的。

5.2 声压级的衰减

频率为 f 的纯音, 从声压为 p_i 的起点处传播到声压为 p_t 的 s 处, 大气吸收引起的以分贝计的声压级衰减量 $\delta L_t(f)$ 为

$$\delta L_t(f) = 10 \lg(p_i^2/p_t^2) = \alpha s \quad \text{dB} \quad \dots\dots\dots (2)$$

6 纯音衰减系数的计算步骤

6.1 变量

计算中遇到的声学变量和大气变量有声音频率、环境大气温度、水蒸气克分子浓度和环境大气压，它们的符号和单位见第3章。

注3：对指定的潮湿大气样品，水蒸气克分子浓度是水蒸气的干摩尔数(千克分子重量数)对干燥大气的和水蒸气的干摩尔数之和的比(以百分数表示)。根据阿伏伽德罗定律，水蒸气的克分子浓度也是水蒸气的分压与大气压的比。

注4：对通常遇到的平均海平面高度附近的气象条件，水蒸气克分子浓度的范围在0.2%到2%之间，但在10 km以上高度处降到比0.01%低很多。

6.2 公式

如附录A所述，大气吸收衰减与两个弛豫频率：氧弛豫频率 f_{O_2} 和氮弛豫频率 f_{N_2} 有关。 f_{O_2} 和 f_{N_2} 以 Hz 计，由下式

$$f_{O_2} = \frac{p_a}{p_r} \left[24 + 4.04 \times 10^4 h \frac{0.02 + h}{0.391 + h} \right] \dots\dots\dots(3)$$

和

$$f_{N_2} = \frac{p_a}{p_r} \left[\frac{T}{T_0} \right]^{-1/2} \times \left[9 + 280 h \exp \left\{ -4.170 \left[\left(\frac{T}{T_0} \right)^{-1/3} - 1 \right] \right\} \right] \dots\dots\dots(4)$$

计算。

大气吸收衰减系数 α 以 dB/m 计，由式

$$\alpha = 8.686 f^2 \left\{ \left[1.84 \times 10^{-11} \left(\frac{p_a}{p_r} \right)^{-1} \left(\frac{T}{T_0} \right)^{1/2} \right] + \left(\frac{T}{T_0} \right)^{-5/2} \times \left\{ 0.01275 \left[\exp \left(\frac{-22391}{T} \right) \right] \right\} \right. \\ \left. \times \left[f_{O_2} + \left(\frac{f^2}{f_{O_2}} \right) \right]^{-1} + 0.1068 \left[\exp \left(\frac{-3352.0}{T} \right) \right] \left[f_{N_2} + \left(\frac{f^2}{f_{N_2}} \right) \right]^{-1} \right\} \dots\dots\dots(5)$$

计算。

式(3)到式(5)中， $p_r = 101.325 \text{ kPa}$ ， $T_0 = 293.15 \text{ K}$ 。

式(3)到式(5)结合起来，成为适宜计算而形式简洁的公式，它给出各种物理机理的贡献，见附录A。

6.3 衰减系数的计算

式(3)、式(4)和式(5)是计算各选定的变量值时大气吸收引起的纯音衰减系数所必需的全部公式。虽然大气温度和大气压力的数值，可能不是以第3章给的量度单位提供的，但将其分别转换到开尔文和千帕的转换因子很容易找到。另一方面，湿度的数据很少以水蒸气克分子浓度的形式提供。附录B提供了为把以相对湿度、露点温度和别的量度单位表示的湿度转换到相应的克分子浓度时的资料。

对实际非均匀大气，可用6.2公式中设定的均匀大气予以近似，方法将在附录C中讨论。

6.4 衰减系数表

对标准大气压(101.325 kPa)下给定的 T 、 h 和 f ，表1列出大气吸收引起的纯音衰减系数，这是从式(3)、式(4)和式(5)计算得来的。为了在传播路程达数公里的户外声传播时使用较为方便，表中采用 dB/km 作单位。表中数值用以10为底的指数形式表示，为的是保持低频时的精度。表1的使用者不应在变量之间作内插，也不应在变量范围以外作外推，而应使用式(3)到式(5)，计算所要求的条件下特定的纯音衰减系数。

注5：为了方便，表1中的频率取的是1/3倍频程带通滤波器的常用频率(见GB/T 3240—1982和GB/T 3241—1998)，但衰减系数是对精确的频带中心频率 f_m (Hz) 计算的， f_m 的一般表示式为

$$f_m = 1000(10^{3b/10})^k \dots\dots\dots(6)$$

式中1000 Hz是精确的基准频率； b 是一有理分数，为某种分数倍频程带通滤波器的带宽标识符。例如， $b = 1/3$ 表示1/3倍频程带通滤波器，等等。就表1而言，指数 k 为取值从-13到+10的一个整数，相当于常用频率从50 Hz到10 kHz。对于从10 kHz到1 MHz的超声频范围，计算精确的1/3倍频带中心频率时，式(6)中的 k 的取值从+10到+30。

注6：表1中第一行的相对湿度，是关于各温度下液态水面以上的饱和蒸汽压的相对值。饱和蒸汽压由制订国际气象报表^[2]用的公式计算，见附录B。

表1 标准大气压(101.325 kPa)时纯音大气吸收的衰减系数(dB/km)

常用频率 Hz		相对湿度, %									
		10	15	20	30	40	50	60	70	80	90
50	5.89×10 ⁻¹	5.09×10 ⁻¹	4.18×10 ⁻¹	2.85×10 ⁻¹	2.11×10 ⁻¹	1.68×10 ⁻¹	1.42×10 ⁻¹	1.25×10 ⁻¹	1.14×10 ⁻¹	1.05×10 ⁻¹	9.92×10 ⁻²
63	7.56×10 ⁻¹	7.04×10 ⁻¹	6.02×10 ⁻¹	4.21×10 ⁻¹	3.08×10 ⁻¹	2.41×10 ⁻¹	2.00×10 ⁻¹	1.73×10 ⁻¹	1.55×10 ⁻¹	1.42×10 ⁻¹	1.33×10 ⁻¹
80	9.24×10 ⁻¹	9.35×10 ⁻¹	8.46×10 ⁻¹	6.19×10 ⁻¹	4.55×10 ⁻¹	3.52×10 ⁻¹	2.86×10 ⁻¹	2.43×10 ⁻¹	2.14×10 ⁻¹	1.94×10 ⁻¹	1.79×10 ⁻¹
100	1.08	1.18	1.15	9.02×10 ⁻¹	6.75×10 ⁻¹	5.21×10 ⁻¹	4.19×10 ⁻¹	3.50×10 ⁻¹	3.03×10 ⁻¹	2.69×10 ⁻¹	2.45×10 ⁻¹
125	1.20	1.43	1.49	1.28	9.98×10 ⁻¹	7.76×10 ⁻¹	6.22×10 ⁻¹	5.14×10 ⁻¹	4.39×10 ⁻¹	3.84×10 ⁻¹	3.44×10 ⁻¹
160	1.30	1.64	1.83	1.77	1.45	1.16	9.30×10 ⁻¹	7.66×10 ⁻¹	6.48×10 ⁻¹	5.61×10 ⁻¹	4.96×10 ⁻¹
200	1.37	1.82	2.15	2.33	2.06	1.70	1.39	1.15	9.70×10 ⁻¹	8.34×10 ⁻¹	7.31×10 ⁻¹
250	1.43	1.95	2.42	2.93	2.83	2.46	2.06	1.73	1.46	1.26	1.09
315	1.46	2.05	2.63	3.49	3.70	3.43	3.00	2.57	2.20	1.90	1.65
400	1.49	2.12	2.79	3.99	4.60	4.59	4.23	3.74	3.27	2.85	2.50
500	1.52	2.17	2.91	4.38	5.45	5.86	5.72	5.29	4.76	4.23	3.76
630	1.55	2.22	3.00	4.68	6.17	7.10	7.39	7.19	6.71	6.13	5.55
800	1.59	2.27	3.08	4.92	6.75	8.22	9.07	9.31	9.09	8.60	7.98
1 000	1.65	2.34	3.16	5.11	7.21	9.14	1.06×10	1.15×10	1.17×10	1.16×10	1.11×10
1 250	1.74	2.43	3.27	5.28	7.57	9.88	1.19×10	1.35×10	1.44×10	1.48×10	1.47×10
1 600	1.88	2.58	3.42	5.48	7.90	1.05×10	1.30×10	1.52×10	1.69×10	1.80×10	1.86×10
2 000	2.10	2.80	3.65	5.73	8.24	1.10×10	1.39×10	1.66×10	1.90×10	2.10×10	2.24×10
2 500	2.44	3.15	4.00	6.10	8.66	1.16×10	1.47×10	1.78×10	2.08×10	2.35×10	2.58×10
3 150	2.99	3.69	4.55	6.66	9.26	1.23×10	1.55×10	1.90×10	2.24×10	2.57×10	2.88×10
4 000	3.86	4.56	5.42	7.54	1.02×10	1.32×10	1.66×10	2.02×10	2.40×10	2.78×10	3.14×10
5 000	5.24	5.94	6.80	8.92	1.16×10	1.46×10	1.81×10	2.19×10	2.59×10	3.00×10	3.41×10
6 300	7.42	8.12	8.98	1.11×10	1.38×10	1.69×10	2.04×10	2.42×10	2.83×10	3.27×10	3.71×10
8 000	1.09×10	1.16×10	1.24×10	1.46×10	1.72×10	2.03×10	2.39×10	2.78×10	3.20×10	3.65×10	4.11×10
10 000	1.64×10	1.71×10	1.79×10	2.01×10	2.27×10	2.58×10	2.94×10	3.33×10	3.76×10	4.22×10	4.70×10

表 1 (续)

(b) 大气温度: -15℃		相 对 湿 度, %										
常用频率	Hz	10	15	20	30	40	50	60	70	80	90	100
50	5.73×10 ⁻¹	4.25×10 ⁻¹	3.21×10 ⁻¹	2.12×10 ⁻¹	1.64×10 ⁻¹	1.39×10 ⁻¹	1.24×10 ⁻¹	1.14×10 ⁻¹	1.07×10 ⁻¹	1.02×10 ⁻¹	9.68×10 ⁻²	
63	7.93×10 ⁻¹	6.18×10 ⁻¹	4.72×10 ⁻¹	3.05×10 ⁻¹	2.28×10 ⁻¹	1.88×10 ⁻¹	1.66×10 ⁻¹	1.52×10 ⁻¹	1.42×10 ⁻¹	1.35×10 ⁻¹	1.30×10 ⁻¹	
80	1.06	8.85×10 ⁻¹	6.93×10 ⁻¹	4.46×10 ⁻¹	3.24×10 ⁻¹	2.60×10 ⁻¹	2.24×10 ⁻¹	2.02×10 ⁻¹	1.87×10 ⁻¹	1.77×10 ⁻¹	1.70×10 ⁻¹	
100	1.34	1.23	1.01	6.60×10 ⁻¹	4.71×10 ⁻¹	3.68×10 ⁻¹	3.08×10 ⁻¹	2.71×10 ⁻¹	2.48×10 ⁻¹	2.32×10 ⁻¹	2.21×10 ⁻¹	
125	1.62	1.65	1.44	9.79×10 ⁻¹	6.95×10 ⁻¹	5.32×10 ⁻¹	4.35×10 ⁻¹	3.74×10 ⁻¹	3.34×10 ⁻¹	3.08×10 ⁻¹	2.89×10 ⁻¹	
160	1.88	2.11	1.99	1.45	1.04	7.86×10 ⁻¹	6.30×10 ⁻¹	5.31×10 ⁻¹	4.64×10 ⁻¹	4.18×10 ⁻¹	3.86×10 ⁻¹	
200	2.08	2.57	2.63	2.10	1.55	1.17	9.32×10 ⁻¹	7.72×10 ⁻¹	6.63×10 ⁻¹	5.87×10 ⁻¹	5.32×10 ⁻¹	
250	2.24	2.99	3.32	2.97	2.30	1.76	1.40	1.15	9.73×10 ⁻¹	8.47×10 ⁻¹	7.56×10 ⁻¹	
315	2.35	3.33	3.98	4.05	3.34	2.64	2.11	1.73	1.45	1.25	1.10	
400	2.43	3.59	4.56	5.27	4.73	3.89	3.17	2.61	2.19	1.88	1.65	
500	2.50	3.78	5.03	6.52	6.43	5.61	4.70	3.93	3.32	2.85	2.49	
630	2.55	3.93	5.39	7.67	8.35	7.81	6.83	5.85	5.01	4.33	3.78	
800	2.61	4.05	5.66	8.65	1.03×10	1.04×10	9.62	8.53	7.46	6.53	5.74	
1 000	2.67	4.15	5.87	9.44	1.21×10	1.32×10	1.30×10	1.21×10	1.09×10	9.69	8.63	
1 250	2.77	4.28	6.07	1.01×10	1.37×10	1.60×10	1.67×10	1.63×10	1.53×10	1.40×10	1.28×10	
1 600	2.92	4.44	6.28	1.06×10	1.49×10	1.84×10	2.05×10	2.11×10	2.07×10	1.97×10	1.83×10	
2 000	3.14	4.67	6.54	1.10×10	1.59×10	2.05×10	2.39×10	2.60×10	2.67×10	2.64×10	2.54×10	
2 500	3.49	5.03	6.92	1.15×10	1.68×10	2.22×10	2.69×10	3.05×10	3.27×10	3.37×10	3.37×10	
3 150	4.04	5.59	7.49	1.22×10	1.78×10	2.37×10	2.95×10	3.45×10	3.84×10	4.10×10	4.25×10	
4 000	4.92	6.47	8.38	1.31×10	1.89×10	2.52×10	3.18×10	3.79×10	4.34×10	4.78×10	5.11×10	
5 000	6.31	7.86	9.78	1.46×10	2.04×10	2.71×10	3.41×10	4.12×10	4.79×10	5.40×10	5.91×10	
6 300	8.52	1.01×10	1.20×10	1.68×10	2.27×10	2.96×10	3.70×10	4.47×10	5.24×10	5.98×10	6.65×10	
8 000	1.20×10	1.36×10	1.55×10	2.03×10	2.63×10	3.32×10	4.09×10	4.90×10	5.74×10	6.58×10	7.39×10	
10 000	1.75×10	1.91×10	2.10×10	2.59×10	3.19×10	3.89×10	4.67×10	5.51×10	6.40×10	7.30×10	8.21×10	

表 1 (续)

(c) 大气温度: -10°C		相 对 湿 度, %										
常用频率	Hz	10	15	20	30	40	50	60	70	80	90	100
50	4.82×10 ⁻¹	3.25×10 ⁻¹	2.45×10 ⁻¹	1.74×10 ⁻¹	1.46×10 ⁻¹	1.31×10 ⁻¹	1.21×10 ⁻¹	1.13×10 ⁻¹	1.06×10 ⁻¹	1.00×10 ⁻¹	9.46×10 ⁻²	
63	7.00×10 ⁻¹	4.75×10 ⁻¹	3.50×10 ⁻¹	2.38×10 ⁻¹	1.95×10 ⁻¹	1.74×10 ⁻¹	1.61×10 ⁻¹	1.52×10 ⁻¹	1.45×10 ⁻¹	1.38×10 ⁻¹	1.32×10 ⁻¹	
80	9.99×10 ⁻¹	6.97×10 ⁻¹	5.09×10 ⁻¹	3.32×10 ⁻¹	2.61×10 ⁻¹	2.28×10 ⁻¹	2.10×10 ⁻¹	1.99×10 ⁻¹	1.91×10 ⁻¹	1.84×10 ⁻¹	1.79×10 ⁻¹	
100	1.39	1.02	7.49×10 ⁻¹	4.72×10 ⁻¹	3.57×10 ⁻¹	3.02×10 ⁻¹	2.73×10 ⁻¹	2.57×10 ⁻¹	2.46×10 ⁻¹	2.39×10 ⁻¹	2.33×10 ⁻¹	
125	1.86	1.48	1.11	6.88×10 ⁻¹	5.01×10 ⁻¹	4.09×10 ⁻¹	3.60×10 ⁻¹	3.32×10 ⁻¹	3.15×10 ⁻¹	3.04×10 ⁻¹	2.97×10 ⁻¹	
160	2.38	2.10	1.63	1.02	7.21×10 ⁻¹	5.69×10 ⁻¹	4.85×10 ⁻¹	4.36×10 ⁻¹	4.06×10 ⁻¹	3.88×10 ⁻¹	3.76×10 ⁻¹	
200	2.89	2.87	2.37	1.52	1.06	8.16×10 ⁻¹	6.76×10 ⁻¹	5.91×10 ⁻¹	5.37×10 ⁻¹	5.03×10 ⁻¹	4.80×10 ⁻¹	
250	3.36	3.75	3.35	2.27	1.58	1.20	9.69×10 ⁻¹	8.26×10 ⁻¹	7.34×10 ⁻¹	6.72×10 ⁻¹	6.29×10 ⁻¹	
315	3.74	4.66	4.56	3.35	2.38	1.79	1.43	1.19	1.04	9.28×10 ⁻¹	8.53×10 ⁻¹	
400	4.03	5.51	5.93	4.86	3.57	2.70	2.13	1.76	1.51	1.33	1.20	
500	4.24	6.24	7.32	6.82	5.30	4.07	3.23	2.65	2.24	1.95	1.73	
630	4.41	6.82	8.61	9.20	7.70	6.10	4.89	4.01	3.38	2.92	2.57	
800	4.53	7.26	9.71	1.18×10	1.08×10	8.99	7.36	6.09	5.14	4.43	3.88	
1 000	4.65	7.60	1.06×10	1.44×10	1.46×10	1.29×10	1.09×10	9.19	7.82	6.75	5.91	
1 250	4.78	7.87	1.13×10	1.68×10	1.88×10	1.79×10	1.58×10	1.37×10	1.18×10	1.03×10	9.02	
1 600	4.94	8.14	1.18×10	1.88×10	2.30×10	2.36×10	2.21×10	1.98×10	1.75×10	1.55×10	1.37×10	
2 000	5.18	8.44	1.23×10	2.05×10	2.68×10	2.97×10	2.96×10	2.78×10	2.54×10	2.29×10	2.06×10	
2 500	5.54	8.85	1.28×10	2.18×10	3.01×10	3.56×10	3.78×10	3.74×10	3.55×10	3.29×10	3.02×10	
3 150	6.11	9.44	1.35×10	2.31×10	3.29×10	4.09×10	4.59×10	4.79×10	4.75×10	4.57×10	4.31×10	
4 000	7.00	1.03×10	1.45×10	2.44×10	3.54×10	4.55×10	5.35×10	5.85×10	6.07×10	6.06×10	5.90×10	
5 000	8.40	1.18×10	1.59×10	2.61×10	3.79×10	4.97×10	6.02×10	6.84×10	7.39×10	7.67×10	7.74×10	
6 300	1.06×10	1.40×10	1.82×10	2.86×10	4.08×10	5.38×10	6.64×10	7.75×10	8.64×10	9.28×10	9.67×10	
8 000	1.42×10	1.75×10	2.17×10	3.22×10	4.48×10	5.86×10	7.27×10	8.62×10	9.82×10	1.08×10 ²	1.16×10 ²	
10 000	1.97×10	2.31×10	2.73×10	3.79×10	5.07×10	6.51×10	8.02×10	9.54×10	1.10×10 ²	1.23×10 ²	1.35×10 ²	

表 1 (续)

(d) 大气温度: -5℃		相 对 湿 度, %										
常用频率	Hz	10	15	20	30	40	50	60	70	80	90	100
50		3.76×10^{-1}	2.56×10^{-1}	2.05×10^{-1}	1.64×10^{-1}	1.45×10^{-1}	1.31×10^{-1}	1.20×10^{-1}	1.11×10^{-1}	1.02×10^{-1}	9.45×10^{-2}	8.78×10^{-2}
63		5.47×10^{-1}	3.61×10^{-1}	2.79×10^{-1}	2.16×10^{-1}	1.92×10^{-1}	1.77×10^{-1}	1.66×10^{-1}	1.55×10^{-1}	1.46×10^{-1}	1.37×10^{-1}	1.29×10^{-1}
80		8.01×10^{-1}	5.18×10^{-1}	3.87×10^{-1}	2.85×10^{-1}	2.49×10^{-1}	2.32×10^{-1}	2.20×10^{-1}	2.10×10^{-1}	2.01×10^{-1}	1.92×10^{-1}	1.83×10^{-1}
100		1.17	7.55×10^{-1}	5.49×10^{-1}	3.81×10^{-1}	3.23×10^{-1}	2.98×10^{-1}	2.84×10^{-1}	2.75×10^{-1}	2.67×10^{-1}	2.59×10^{-1}	2.51×10^{-1}
125		1.69	1.11	7.96×10^{-1}	5.22×10^{-1}	4.23×10^{-1}	3.81×10^{-1}	3.61×10^{-1}	3.50×10^{-1}	3.43×10^{-1}	3.37×10^{-1}	3.30×10^{-1}
160		2.38	1.65	1.17	7.36×10^{-1}	5.68×10^{-1}	4.93×10^{-1}	4.58×10^{-1}	4.40×10^{-1}	4.31×10^{-1}	4.25×10^{-1}	4.21×10^{-1}
200		3.23	2.42	1.75	1.07	7.86×10^{-1}	6.56×10^{-1}	5.91×10^{-1}	5.57×10^{-1}	5.39×10^{-1}	5.30×10^{-1}	5.25×10^{-1}
250		4.20	3.49	2.60	1.58	1.12	9.03×10^{-1}	7.85×10^{-1}	7.20×10^{-1}	6.83×10^{-1}	6.62×10^{-1}	6.51×10^{-1}
315		5.19	4.87	3.83	2.36	1.65	1.28	1.08	9.61×10^{-1}	8.89×10^{-1}	8.45×10^{-1}	8.18×10^{-1}
400		6.10	6.53	5.53	3.55	2.46	1.87	1.54	1.33	1.20	1.11	1.06
500		6.87	8.34	7.72	5.31	3.71	2.80	2.25	1.90	1.68	1.52	1.42
630		7.48	1.01×10	1.03×10	7.83	5.61	4.22	3.36	2.80	2.43	2.16	1.97
800		7.94	1.17×10	1.32×10	1.13×10	8.42	6.40	5.09	4.20	3.59	3.16	2.84
1 000		8.29	1.31×10	1.60×10	1.57×10	1.24×10	9.68	7.74	6.38	5.42	4.72	4.20
1 250		8.58	1.41×10	1.85×10	2.08×10	1.79×10	1.45×10	1.17×10	9.73	8.25	7.16	6.33
1 600		8.85	1.49×10	2.07×10	2.64×10	2.49×10	2.12×10	1.76×10	1.48×10	1.26×10	1.09×10	9.65
2 000		9.16	1.56×10	2.24×10	3.18×10	3.32×10	3.01×10	2.60×10	2.22×10	1.91×10	1.67×10	1.48×10
2 500		9.57	1.63×10	2.38×10	3.66×10	4.21×10	4.11×10	3.72×10	3.28×10	2.88×10	2.54×10	2.25×10
3 150		1.02×10	1.71×10	2.50×10	4.07×10	5.08×10	5.35×10	5.13×10	4.70×10	4.23×10	3.79×10	3.41×10
4 000		1.11×10	1.81×10	2.64×10	4.42×10	5.87×10	6.64×10	6.77×10	6.50×10	6.05×10	5.55×10	5.07×10
5 000		1.25×10	1.96×10	2.81×10	4.75×10	6.57×10	7.87×10	8.51×10	8.60×10	8.33×10	7.88×10	7.36×10
6300		1.48×10	2.19×10	3.06×10	5.10×10	7.21×10	9.00×10	1.02×10^2	1.08×10^2	1.10×10^2	1.07×10^2	1.03×10^2
8 000		1.83×10	2.55×10	3.43×10	5.54×10	7.86×10	1.00×10^2	1.18×10^2	1.31×10^2	1.38×10^2	1.40×10^2	1.39×10^2
10 000		2.40×10	3.11×10	4.00×10	6.16×10	8.62×10	1.11×10^2	1.34×10^2	1.52×10^2	1.66×10^2	1.74×10^2	1.79×10^2

表 1 (续)

常用频率 Hz		相 对 湿 度,%									
		10	15	20	30	40	50	60	70	80	90
50	3.02×10 ⁻¹	2.26×10 ⁻¹	1.95×10 ⁻¹	1.65×10 ⁻¹	1.44×10 ⁻¹	1.28×10 ⁻¹	1.14×10 ⁻¹	1.03×10 ⁻¹	9.28×10 ⁻²	8.46×10 ⁻²	7.77×10 ⁻²
63	4.24×10 ⁻¹	3.02×10 ⁻¹	2.56×10 ⁻¹	2.19×10 ⁻¹	1.98×10 ⁻¹	1.81×10 ⁻¹	1.65×10 ⁻¹	1.51×10 ⁻¹	1.38×10 ⁻¹	1.27×10 ⁻¹	1.18×10 ⁻¹
80	6.07×10 ⁻¹	4.11×10 ⁻¹	3.37×10 ⁻¹	2.84×10 ⁻¹	2.63×10 ⁻¹	2.46×10 ⁻¹	2.30×10 ⁻¹	2.15×10 ⁻¹	2.01×10 ⁻¹	1.87×10 ⁻¹	1.75×10 ⁻¹
100	8.84×10 ⁻¹	5.73×10 ⁻¹	4.49×10 ⁻¹	3.64×10 ⁻¹	3.38×10 ⁻¹	3.23×10 ⁻¹	3.09×10 ⁻¹	2.96×10 ⁻¹	2.81×10 ⁻¹	2.67×10 ⁻¹	2.53×10 ⁻¹
125	1.30	8.18×10 ⁻¹	6.14×10 ⁻¹	4.69×10 ⁻¹	4.27×10 ⁻¹	4.11×10 ⁻¹	4.01×10 ⁻¹	3.90×10 ⁻¹	3.79×10 ⁻¹	3.67×10 ⁻¹	3.54×10 ⁻¹
160	1.92	1.19	8.65×10 ⁻¹	6.16×10 ⁻¹	5.41×10 ⁻¹	5.14×10 ⁻¹	5.04×10 ⁻¹	4.98×10 ⁻¹	4.91×10 ⁻¹	4.83×10 ⁻¹	4.74×10 ⁻¹
200	2.80	1.77	1.25	8.35×10 ⁻¹	6.96×10 ⁻¹	6.44×10 ⁻¹	6.26×10 ⁻¹	6.19×10 ⁻¹	6.16×10 ⁻¹	6.14×10 ⁻¹	6.10×10 ⁻¹
250	4.00	2.63	1.85	1.17	9.22×10 ⁻¹	8.21×10 ⁻¹	7.79×10 ⁻¹	7.63×10 ⁻¹	7.59×10 ⁻¹	7.60×10 ⁻¹	7.61×10 ⁻¹
315	5.53	3.91	2.76	1.69	1.27	1.08	9.92×10 ⁻¹	9.51×10 ⁻¹	9.34×10 ⁻¹	9.30×10 ⁻¹	9.32×10 ⁻¹
400	7.33	5.71	4.14	2.49	1.80	1.47	1.30	1.21	1.17	1.15	1.14
500	9.25	8.14	6.16	3.73	2.63	2.08	1.78	1.61	1.51	1.45	1.42
630	1.11×10	1.12×10	9.03	5.63	3.93	3.03	2.52	2.21	2.02	1.90	1.82
800	1.27×10	1.47×10	1.29×10	8.49	5.93	4.52	3.68	3.16	2.82	2.59	2.43
1 000	1.40×10	1.83×10	1.77×10	1.27×10	9.00	6.83	5.50	4.64	4.06	3.66	3.37
1 250	1.51×10	2.18×10	2.33×10	1.86×10	1.36×10	1.04×10	8.32	6.96	6.01	5.34	4.85
1 600	1.59×10	2.48×10	2.91×10	2.64×10	2.03×10	1.58×10	1.27×10	1.06×10	9.07	7.98	7.16
2 000	1.66×10	2.72×10	3.46×10	3.60×10	2.98×10	2.38×10	1.93×10	1.61×10	1.38×10	1.21×10	1.08×10
2 500	1.72×10	2.92×10	3.95×10	4.70×10	4.23×10	3.53×10	2.92×10	2.46×10	2.11×10	1.85×10	1.65×10
3 150	1.80×10	3.09×10	4.36×10	5.82×10	5.77×10	5.09×10	4.35×10	3.73×10	3.23×10	2.83×10	2.52×10
4 000	1.90×10	3.26×10	4.70×10	6.90×10	7.52×10	7.10×10	6.33×10	5.55×10	4.88×10	4.32×10	3.86×10
5 000	2.05×10	3.45×10	5.03×10	7.86×10	9.34×10	9.48×10	8.90×10	8.07×10	7.25×10	6.51×10	5.87×10
6 300	2.28×10	3.71×10	5.37×10	8.71×10	1.11×10 ²	1.21×10 ²	1.20×10 ²	1.13×10 ²	1.05×10 ²	9.61×10	8.80×10
8 000	2.64×10	4.09×10	5.81×10	9.52×10	1.27×10 ²	1.47×10 ²	1.54×10 ²	1.53×10 ²	1.47×10 ²	1.38×10 ²	1.29×10 ²
10 000	3.22×10	4.67×10	6.43×10	1.04×10 ²	1.42×10 ²	1.72×10 ²	1.90×10 ²	1.98×10 ²	1.97×10 ²	1.91×10 ²	1.83×10 ²

表 1 (续)

(f) 大气温度: 5°C		相 对 湿 度, %										
常用频率	Hz	10	15	20	30	40	50	60	70	80	90	100
50	2.68×10 ⁻¹	2.20×10 ⁻¹	1.97×10 ⁻¹	1.64×10 ⁻¹	1.38×10 ⁻¹	1.18×10 ⁻¹	1.03×10 ⁻¹	9.09×10 ⁻²	8.12×10 ⁻²	7.33×10 ⁻²	6.67×10 ⁻²	
63	3.59×10 ⁻¹	2.88×10 ⁻¹	2.61×10 ⁻¹	2.27×10 ⁻¹	1.99×10 ⁻¹	1.75×10 ⁻¹	1.55×10 ⁻¹	1.38×10 ⁻¹	1.24×10 ⁻¹	1.13×10 ⁻¹	1.03×10 ⁻¹	
80	4.88×10 ⁻¹	3.75×10 ⁻¹	3.37×10 ⁻¹	3.03×10 ⁻¹	2.76×10 ⁻¹	2.50×10 ⁻¹	2.27×10 ⁻¹	2.06×10 ⁻¹	1.88×10 ⁻¹	1.72×10 ⁻¹	1.58×10 ⁻¹	
100	6.80×10 ⁻¹	4.92×10 ⁻¹	4.31×10 ⁻¹	3.91×10 ⁻¹	3.69×10 ⁻¹	3.45×10 ⁻¹	3.21×10 ⁻¹	2.98×10 ⁻¹	2.76×10 ⁻¹	2.56×10 ⁻¹	2.38×10 ⁻¹	
125	9.71×10 ⁻¹	6.61×10 ⁻¹	5.54×10 ⁻¹	4.93×10 ⁻¹	4.74×10 ⁻¹	4.58×10 ⁻¹	4.38×10 ⁻¹	4.16×10 ⁻¹	3.93×10 ⁻¹	3.71×10 ⁻¹	3.49×10 ⁻¹	
160	1.42	9.14×10 ⁻¹	7.29×10 ⁻¹	6.17×10 ⁻¹	5.94×10 ⁻¹	5.85×10 ⁻¹	5.74×10 ⁻¹	5.58×10 ⁻¹	5.39×10 ⁻¹	5.18×10 ⁻¹	4.96×10 ⁻¹	
200	2.09	1.30	9.88×10 ⁻¹	7.81×10 ⁻¹	7.35×10 ⁻¹	7.27×10 ⁻¹	7.25×10 ⁻¹	7.20×10 ⁻¹	7.10×10 ⁻¹	6.96×10 ⁻¹	6.78×10 ⁻¹	
250	3.11	1.90	1.38	1.01	9.15×10 ⁻¹	8.92×10 ⁻¹	8.92×10 ⁻¹	8.97×10 ⁻¹	8.98×10 ⁻¹	8.96×10 ⁻¹	8.88×10 ⁻¹	
315	4.58	2.82	2.00	1.36	1.16	1.10	1.09	1.09	1.10	1.11	1.12	
400	6.64	4.23	2.95	1.90	1.53	1.39	1.34	1.33	1.34	1.35	1.37	
500	9.34	6.32	4.42	2.74	2.10	1.82	1.69	1.64	1.63	1.64	1.66	
630	1.26×10	9.34	6.66	4.04	2.97	2.47	2.22	2.09	2.03	2.01	2.01	
800	1.63×10	1.35×10	9.99	6.06	4.34	3.49	3.03	2.76	2.61	2.53	2.49	
1 000	2.00×10	1.89×10	1.48×10	9.18	6.48	5.08	4.29	3.80	3.50	3.31	3.20	
1 250	2.34×10	2.54×10	2.15×10	1.39×10	9.81	7.58	6.26	5.43	4.89	4.52	4.27	
1 600	2.62×10	3.26×10	3.01×10	2.09×10	1.49×10	1.15×10	9.35	7.99	7.06	6.42	5.95	
2 000	2.85×10	3.96×10	4.05×10	3.09×10	2.27×10	1.75×10	1.42×10	1.20×10	1.05×10	9.39	8.58	
2 500	3.04×10	4.61×10	5.19×10	4.46×10	3.41×10	2.66×10	2.17×10	1.82×10	1.58×10	1.41×10	1.27×10	
3 150	3.19×10	5.16×10	6.32×10	6.20×10	5.04×10	4.03×10	3.31×10	2.79×10	2.42×10	2.14×10	1.92×10	
4 000	3.35×10	5.62×10	7.37×10	8.26×10	7.25×10	6.02×10	5.02×10	4.27×10	3.70×10	3.27×10	2.94×10	
5 000	3.54×10	6.02×10	8.28×10	1.05×10 ²	1.01×10 ²	8.78×10	7.52×10	6.48×10	5.66×10	5.02×10	4.51×10	
6 300	3.80×10	6.43×10	9.09×10	1.27×10 ²	1.33×10 ²	1.24×10 ²	1.10×10 ²	9.70×10	8.58×10	7.66×10	6.91×10	
8 000	4.18×10	6.91×10	9.87×10	1.47×10 ²	1.69×10 ²	1.68×10 ²	1.56×10 ²	1.42×10 ²	1.28×10 ²	1.16×10 ²	1.05×10 ²	
10 000	4.77×10	7.57×10	1.07×10 ²	1.67×10 ²	2.05×10 ²	2.18×10 ²	2.14×10 ²	2.01×10 ²	1.86×10 ²	1.72×10 ²	1.58×10 ²	

表 1 (续)

(g) 大气温度: 10°C		相 对 湿 度, %										
常用频率	Hz	10	15	20	30	40	50	60	70	80	90	100
50		2.62×10 ⁻¹	2.24×10 ⁻¹	1.97×10 ⁻¹	1.55×10 ⁻¹	1.26×10 ⁻¹	1.05×10 ⁻¹	9.01×10 ⁻²	7.85×10 ⁻²	6.96×10 ⁻²	6.24×10 ⁻²	5.65×10 ⁻²
63		3.42×10 ⁻¹	2.98×10 ⁻¹	2.71×10 ⁻¹	2.25×10 ⁻¹	1.88×10 ⁻¹	1.60×10 ⁻¹	1.39×10 ⁻¹	1.22×10 ⁻¹	1.08×10 ⁻¹	9.75×10 ⁻²	8.85×10 ⁻²
80		4.45×10 ⁻¹	3.85×10 ⁻¹	3.59×10 ⁻¹	3.16×10 ⁻¹	2.74×10 ⁻¹	2.39×10 ⁻¹	2.10×10 ⁻¹	1.86×10 ⁻¹	1.67×10 ⁻¹	1.51×10 ⁻¹	1.38×10 ⁻¹
100		5.85×10 ⁻¹	4.90×10 ⁻¹	4.61×10 ⁻¹	4.25×10 ⁻¹	3.86×10 ⁻¹	3.47×10 ⁻¹	3.11×10 ⁻¹	2.80×10 ⁻¹	2.54×10 ⁻¹	2.31×10 ⁻¹	2.12×10 ⁻¹
125		7.88×10 ⁻¹	6.23×10 ⁻¹	5.79×10 ⁻¹	5.51×10 ⁻¹	5.22×10 ⁻¹	4.86×10 ⁻¹	4.47×10 ⁻¹	4.11×10 ⁻¹	3.78×10 ⁻¹	3.48×10 ⁻¹	3.22×10 ⁻¹
160		1.09	8.06×10 ⁻¹	7.25×10 ⁻¹	6.92×10 ⁻¹	6.78×10 ⁻¹	6.53×10 ⁻¹	6.20×10 ⁻¹	5.84×10 ⁻¹	5.47×10 ⁻¹	5.12×10 ⁻¹	4.79×10 ⁻¹
200		1.56	1.07	9.19×10 ⁻¹	8.52×10 ⁻¹	8.49×10 ⁻¹	8.43×10 ⁻¹	8.25×10 ⁻¹	7.97×10 ⁻¹	7.64×10 ⁻¹	7.28×10 ⁻¹	6.92×10 ⁻¹
250		2.29	1.48	1.20	1.05	1.04	1.05	1.05	1.04	1.02	9.96×10 ⁻¹	9.63×10 ⁻¹
315		3.39	2.11	1.62	1.31	1.27	1.28	1.30	1.31	1.31	1.30	1.29
400		5.06	3.08	2.26	1.70	1.56	1.55	1.57	1.60	1.63	1.64	1.65
500		7.52	4.59	3.27	2.28	1.98	1.90	1.90	1.93	1.97	2.00	2.03
630		1.10×10	6.89	4.84	3.17	2.60	2.39	2.32	2.33	2.36	2.40	2.45
800		1.57×10	1.04×10	7.27	4.58	3.56	3.13	2.94	2.87	2.86	2.89	2.93
1 000		2.16×10	1.54×10	1.10×10	6.77	5.07	4.26	3.86	3.66	3.57	3.54	3.55
1 250		2.84×10	2.26×10	1.66×10	1.02×10	7.42	6.04	5.29	4.86	4.62	4.48	4.42
1 600		3.55×10	3.21×10	2.47×10	1.55×10	1.11×10	8.83	7.52	6.73	6.23	5.92	5.72
2 000		4.23×10	4.38×10	3.62×10	2.35×10	1.68×10	1.32×10	1.10×10	9.66	8.76	8.14	7.71
2 500		4.83×10	5.72×10	5.14×10	3.54×10	2.57×10	2.00×10	1.65×10	1.43×10	1.27×10	1.16×10	1.08×10
3 150		5.32×10	7.10×10	7.02×10	5.27×10	3.91×10	3.06×10	2.51×10	2.15×10	1.90×10	1.71×10	1.57×10
4 000		5.73×10	8.40×10	9.15×10	7.66×10	5.90×10	4.67×10	3.84×10	3.28×10	2.87×10	2.57×10	2.35×10
5 000		6.10×10	9.56×10	1.13×10 ²	1.08×10 ²	8.75×10	7.08×10	5.88×10	5.02×10	4.39×10	3.92×10	3.56×10
6300		6.48×10	1.06×10 ²	1.35×10 ²	1.45×10 ²	1.27×10 ²	1.06×10 ²	8.94×10	7.69×10	6.74×10	6.01×10	5.44×10
8 000		6.94×10	1.15×10 ²	1.54×10 ²	1.87×10 ²	1.77×10 ²	1.55×10 ²	1.34×10 ²	1.17×10 ²	1.03×10 ²	9.24×10	8.37×10
10 000		7.59×10	1.25×10 ²	1.72×10 ²	2.30×10 ²	2.37×10 ²	2.20×10 ²	1.97×10 ²	1.75×10 ²	1.57×10 ²	1.41×10 ²	1.28×10 ²

表 1 (续)

(h) 大气温度:15℃		相 对 湿 度,%										
常用频率	Hz	10	15	20	30	40	50	60	70	80	90	100
50		2.68×10^{-1}	2.24×10^{-1}	1.89×10^{-1}	1.41×10^{-1}	1.11×10^{-1}	9.14×10^{-2}	7.74×10^{-2}	6.70×10^{-2}	5.91×10^{-2}	5.28×10^{-2}	4.77×10^{-2}
63		3.53×10^{-1}	3.10×10^{-1}	2.72×10^{-1}	2.12×10^{-1}	1.71×10^{-1}	1.42×10^{-1}	1.21×10^{-1}	1.05×10^{-1}	9.27×10^{-2}	8.31×10^{-2}	7.52×10^{-2}
80		4.54×10^{-1}	4.13×10^{-1}	3.78×10^{-1}	3.11×10^{-1}	2.57×10^{-1}	2.17×10^{-1}	1.87×10^{-1}	1.63×10^{-1}	1.45×10^{-1}	1.30×10^{-1}	1.18×10^{-1}
100		5.77×10^{-1}	5.31×10^{-1}	5.04×10^{-1}	4.41×10^{-1}	3.78×10^{-1}	3.26×10^{-1}	2.85×10^{-1}	2.51×10^{-1}	2.24×10^{-1}	2.02×10^{-1}	1.84×10^{-1}
125		7.35×10^{-1}	6.67×10^{-1}	6.47×10^{-1}	6.01×10^{-1}	5.39×10^{-1}	4.79×10^{-1}	4.26×10^{-1}	3.81×10^{-1}	3.43×10^{-1}	3.12×10^{-1}	2.85×10^{-1}
160		9.56×10^{-1}	8.28×10^{-1}	8.06×10^{-1}	7.86×10^{-1}	7.40×10^{-1}	6.81×10^{-1}	6.21×10^{-1}	5.65×10^{-1}	5.16×10^{-1}	4.73×10^{-1}	4.36×10^{-1}
200		1.28	1.04	9.91×10^{-1}	9.89×10^{-1}	9.73×10^{-1}	9.30×10^{-1}	8.74×10^{-1}	8.15×10^{-1}	7.57×10^{-1}	7.04×10^{-1}	6.55×10^{-1}
250		1.78	1.33	1.22	1.21	1.23	1.22	1.18	1.13	1.07	1.02	9.59×10^{-1}
315		2.55	1.77	1.54	1.47	1.50	1.53	1.53	1.51	1.47	1.41	1.36
400		3.74	2.44	2.00	1.79	1.81	1.87	1.91	1.92	1.91	1.89	1.85
500		5.58	3.49	2.70	2.23	2.18	2.24	2.31	2.36	2.40	2.41	2.41
630		8.36	5.11	3.80	2.89	2.68	2.69	2.75	2.84	2.91	2.97	3.01
800		1.25×10	7.63	5.50	3.89	3.41	3.29	3.31	3.38	3.48	3.57	3.65
1 000		1.84×10	1.15×10	8.17	5.45	4.51	4.16	4.06	4.08	4.15	4.25	4.35
1 250		2.65×10	1.74×10	1.23×10	7.90	6.22	5.49	5.17	5.05	5.05	5.11	5.20
1 600		3.69×10	2.60×10	1.86×10	1.17×10	8.90	7.55	6.86	6.51	6.35	6.30	6.32
2 000		4.93×10	3.83×10	2.82×10	1.77×10	1.31×10	1.08×10	9.50	8.75	8.31	8.07	7.95
2 500		6.25×10	5.48×10	4.22×10	2.69×10	1.97×10	1.59×10	1.36×10	1.22×10	1.14×10	1.08×10	1.04×10
3 150		7.55×10	7.57×10	6.21×10	4.10×10	2.99×10	2.38×10	2.01×10	1.77×10	1.61×10	1.50×10	1.43×10
4 000		8.73×10	9.99×10	8.88×10	6.20×10	4.57×10	3.62×10	3.03×10	2.64×10	2.37×10	2.17×10	2.03×10
5 000		9.74×10	1.26×10^2	1.22×10^2	9.24×10	6.97×10	5.54×10	4.62×10	3.99×10	3.55×10	3.22×10	2.98×10
6 300		1.06×10^2	1.51×10^2	1.61×10^2	1.35×10^2	1.05×10^2	8.47×10	7.08×10	6.11×10	5.40×10	4.87×10	4.47×10
8 000		1.14×10^2	1.74×10^2	2.02×10^2	1.90×10^2	1.56×10^2	1.29×10^2	1.08×10^2	9.37×10	8.28×10	7.46×10	6.81×10
10 000		1.23×10^2	1.95×10^2	2.42×10^2	2.57×10^2	2.26×10^2	1.92×10^2	1.65×10^2	1.44×10^2	1.27×10^2	1.15×10^2	1.05×10^2

表 1 (续)

(1) 大气温度: 20°C		相 对 湿 度, %										
常用频率	Hz	10	15	20	30	40	50	60	70	80	90	100
50		2.70×10^{-1}	2.14×10^{-1}	1.74×10^{-1}	1.25×10^{-1}	9.65×10^{-2}	7.84×10^{-2}	6.60×10^{-2}	5.70×10^{-2}	5.01×10^{-2}	4.47×10^{-2}	4.03×10^{-2}
63		3.70×10^{-1}	3.10×10^{-1}	2.60×10^{-1}	1.92×10^{-1}	1.50×10^{-1}	1.23×10^{-1}	1.04×10^{-1}	8.97×10^{-2}	7.90×10^{-2}	7.05×10^{-2}	6.37×10^{-2}
80		4.87×10^{-1}	4.32×10^{-1}	3.77×10^{-1}	2.90×10^{-1}	2.31×10^{-1}	1.91×10^{-1}	1.62×10^{-1}	1.41×10^{-1}	1.24×10^{-1}	1.11×10^{-1}	1.00×10^{-1}
100		6.22×10^{-1}	5.79×10^{-1}	5.29×10^{-1}	4.29×10^{-1}	3.51×10^{-1}	2.94×10^{-1}	2.52×10^{-1}	2.20×10^{-1}	1.94×10^{-1}	1.74×10^{-1}	1.58×10^{-1}
125		7.76×10^{-1}	7.46×10^{-1}	7.12×10^{-1}	6.15×10^{-1}	5.21×10^{-1}	4.45×10^{-1}	3.86×10^{-1}	3.39×10^{-1}	3.02×10^{-1}	2.72×10^{-1}	2.47×10^{-1}
160		9.65×10^{-1}	9.31×10^{-1}	9.19×10^{-1}	8.49×10^{-1}	7.52×10^{-1}	6.60×10^{-1}	5.82×10^{-1}	5.18×10^{-1}	4.65×10^{-1}	4.21×10^{-1}	3.84×10^{-1}
200		1.22	1.14	1.14	1.12	1.05	9.50×10^{-1}	8.58×10^{-1}	7.76×10^{-1}	7.05×10^{-1}	6.44×10^{-1}	5.91×10^{-1}
250		1.58	1.39	1.39	1.42	1.39	1.32	1.23	1.13	1.04	9.66×10^{-1}	8.95×10^{-1}
315		2.12	1.74	1.69	1.75	1.78	1.75	1.68	1.60	1.50	1.41	1.33
400		2.95	2.23	2.06	2.10	2.19	2.23	2.21	2.16	2.08	2.00	1.90
500		4.25	2.97	2.60	2.52	2.63	2.73	2.79	2.80	2.77	2.71	2.63
630		6.26	4.12	3.39	3.06	3.13	3.27	3.40	3.48	3.52	3.52	3.49
800		9.36	5.92	4.62	3.84	3.77	3.89	4.05	4.19	4.31	4.39	4.43
1 000		1.41×10	8.72	6.53	5.01	4.65	4.66	4.80	4.98	5.15	5.30	5.42
1 250		2.11×10	1.31×10	9.53	6.81	5.97	5.75	5.78	5.92	6.10	6.29	6.48
1 600		3.13×10	1.98×10	1.42×10	9.63	8.00	7.37	7.17	7.18	7.31	7.48	7.68
2 000		4.53×10	2.99×10	2.15×10	1.41×10	1.12×10	9.86	9.25	9.02	8.98	9.06	9.21
2 500		6.35×10	4.48×10	3.26×10	2.10×10	1.61×10	1.37×10	1.25×10	1.18×10	1.15×10	1.13×10	1.13×10
3 150		8.54×10	6.62×10	4.94×10	3.18×10	2.39×10	1.98×10	1.75×10	1.61×10	1.53×10	1.48×10	1.45×10
4 000		1.09×10^2	9.51×10	7.41×10	4.85×10	3.61×10	2.94×10	2.54×10	2.29×10	2.13×10	2.02×10	1.94×10
5 000		1.33×10^2	1.32×10^2	1.09×10^2	7.39×10	5.51×10	4.44×10	3.79×10	3.36×10	3.06×10	2.86×10	2.71×10
6 300		1.56×10^2	1.75×10^2	1.56×10^2	1.12×10^2	8.42×10	6.78×10	5.74×10	5.04×10	4.54×10	4.18×10	3.91×10
8 000		1.75×10^2	2.21×10^2	2.15×10^2	1.66×10^2	1.28×10^2	1.04×10^2	8.78×10	7.66×10	6.86×10	6.26×10	5.81×10
10 000		1.93×10^2	2.67×10^2	2.84×10^2	2.42×10^2	1.94×10^2	1.59×10^2	1.35×10^2	1.18×10^2	1.05×10^2	9.53×10	8.79×10

表 1 (续)

(j) 大气温度: 25°C		相 对 湿 度, %										
常用频率	Hz	10	15	20	30	40	50	60	70	80	90	100
50	2.62×10 ⁻¹	1.97×10 ⁻¹	1.56×10 ⁻¹	1.09×10 ⁻¹	8.30×10 ⁻²	6.71×10 ⁻²	5.63×10 ⁻²	4.85×10 ⁻²	4.26×10 ⁻²	3.79×10 ⁻²	3.42×10 ⁻²	3.42×10 ⁻²
63	3.74×10 ⁻¹	2.95×10 ⁻¹	2.38×10 ⁻¹	1.69×10 ⁻¹	1.30×10 ⁻¹	1.06×10 ⁻¹	8.88×10 ⁻²	7.65×10 ⁻²	6.73×10 ⁻²	6.00×10 ⁻²	5.41×10 ⁻²	5.41×10 ⁻²
80	5.15×10 ⁻¹	4.29×10 ⁻¹	3.57×10 ⁻¹	2.61×10 ⁻¹	2.03×10 ⁻¹	1.66×10 ⁻¹	1.40×10 ⁻¹	1.21×10 ⁻¹	1.06×10 ⁻¹	9.48×10 ⁻²	8.56×10 ⁻²	8.56×10 ⁻²
100	6.81×10 ⁻¹	6.04×10 ⁻¹	5.23×10 ⁻¹	3.97×10 ⁻¹	3.14×10 ⁻¹	2.58×10 ⁻¹	2.19×10 ⁻¹	1.90×10 ⁻¹	1.67×10 ⁻¹	1.49×10 ⁻¹	1.35×10 ⁻¹	1.35×10 ⁻¹
125	8.67×10 ⁻¹	8.16×10 ⁻¹	7.40×10 ⁻¹	5.91×10 ⁻¹	4.79×10 ⁻¹	3.99×10 ⁻¹	3.40×10 ⁻¹	2.96×10 ⁻¹	2.62×10 ⁻¹	2.35×10 ⁻¹	2.13×10 ⁻¹	2.13×10 ⁻¹
160	1.07	1.06	1.01	8.56×10 ⁻¹	7.17×10 ⁻¹	6.08×10 ⁻¹	5.25×10 ⁻¹	4.60×10 ⁻¹	4.09×10 ⁻¹	3.67×10 ⁻¹	3.33×10 ⁻¹	3.33×10 ⁻¹
200	1.31	1.32	1.31	1.20	1.05	9.09×10 ⁻¹	7.97×10 ⁻¹	7.06×10 ⁻¹	6.31×10 ⁻¹	5.70×10 ⁻¹	5.20×10 ⁻¹	5.20×10 ⁻¹
250	1.61	1.60	1.64	1.60	1.47	1.32	1.18	1.06	9.63×10 ⁻¹	8.76×10 ⁻¹	8.03×10 ⁻¹	8.03×10 ⁻¹
315	2.02	1.93	1.99	2.05	1.99	1.86	1.71	1.57	1.44	1.32	1.22	1.22
400	2.63	2.35	2.38	2.53	2.57	2.51	2.38	2.24	2.10	1.96	1.83	1.83
500	3.56	2.92	2.86	3.04	3.19	3.23	3.18	3.08	2.95	2.80	2.66	2.66
630	5.00	3.78	3.50	3.61	3.84	4.00	4.06	4.05	3.97	3.86	3.73	3.73
800	7.24	5.09	4.44	4.31	4.55	4.80	4.99	5.09	5.12	5.09	5.02	5.02
1 000	1.07×10	7.13	5.87	5.27	5.39	5.68	5.96	6.19	6.35	6.44	6.47	6.47
1 250	1.61×10	1.03×10	8.09	6.68	6.52	6.73	7.04	7.35	7.62	7.84	8.00	8.00
1 600	2.43×10	1.53×10	1.16×10	8.85	8.16	8.14	8.36	8.68	9.01	9.33	9.61	9.61
2 000	3.66×10	2.30×10	1.70×10	1.22×10	1.07×10	1.02×10	1.02×10	1.04×10	1.07×10	1.10×10	1.14×10	1.14×10
2 500	5.42×10	3.49×10	2.55×10	1.75×10	1.45×10	1.33×10	1.28×10	1.28×10	1.29×10	1.32×10	1.35×10	1.35×10
3 150	7.86×10	5.29×10	3.86×10	2.58×10	2.06×10	1.81×10	1.69×10	1.63×10	1.62×10	1.62×10	1.64×10	1.64×10
4 000	1.10×10 ²	7.94×10	5.88×10	3.88×10	3.01×10	2.57×10	2.32×10	2.19×10	2.11×10	2.08×10	2.06×10	2.06×10
5 000	1.49×10 ²	1.17×10 ²	8.91×10	5.90×10	4.50×10	3.76×10	3.32×10	3.05×10	2.88×10	2.77×10	2.71×10	2.71×10
6 300	1.91×10 ²	1.68×10 ²	1.33×10 ²	9.00×10	6.83×10	5.62×10	4.88×10	4.41×10	4.08×10	3.86×10	3.71×10	3.71×10
8 000	2.33×10 ²	2.32×10 ²	1.96×10 ²	1.37×10 ²	1.04×10 ²	8.54×10	7.34×10	6.54×10	5.98×10	5.58×10	5.28×10	5.28×10
10 000	2.74×10 ²	3.08×10 ²	2.79×10 ²	2.07×10 ²	1.60×10 ²	1.31×10 ²	1.12×10 ²	9.89×10	8.96×10	8.28×10	7.76×10	7.76×10

表 1 (续)

(k) 大气温度: 30℃		相 对 湿 度, %										
常用频率	Hz	10	15	20	30	40	50	60	70	80	90	100
50	2.45×10 ⁻¹	1.77×10 ⁻¹	1.37×10 ⁻¹	9.39×10 ⁻²	7.13×10 ⁻²	5.74×10 ⁻²	4.81×10 ⁻²	4.14×10 ⁻²	3.63×10 ⁻²	3.23×10 ⁻²	2.92×10 ⁻²	2.92×10 ⁻²
63	3.62×10 ⁻¹	2.70×10 ⁻¹	2.12×10 ⁻¹	1.47×10 ⁻¹	1.12×10 ⁻¹	9.07×10 ⁻²	7.60×10 ⁻²	6.54×10 ⁻²	5.74×10 ⁻²	5.12×10 ⁻²	4.62×10 ⁻²	4.62×10 ⁻²
80	5.21×10 ⁻¹	4.06×10 ⁻¹	3.26×10 ⁻¹	2.30×10 ⁻¹	1.76×10 ⁻¹	1.43×10 ⁻¹	1.20×10 ⁻¹	1.03×10 ⁻¹	9.08×10 ⁻²	8.10×10 ⁻²	7.31×10 ⁻²	7.31×10 ⁻²
100	7.21×10 ⁻¹	5.95×10 ⁻¹	4.92×10 ⁻¹	3.56×10 ⁻¹	2.76×10 ⁻¹	2.24×10 ⁻¹	1.89×10 ⁻¹	1.63×10 ⁻¹	1.43×10 ⁻¹	1.28×10 ⁻¹	1.16×10 ⁻¹	1.16×10 ⁻¹
125	9.58×10 ⁻¹	8.45×10 ⁻¹	7.25×10 ⁻¹	5.43×10 ⁻¹	4.28×10 ⁻¹	3.51×10 ⁻¹	2.96×10 ⁻¹	2.56×10 ⁻¹	2.26×10 ⁻¹	2.02×10 ⁻¹	1.82×10 ⁻¹	1.82×10 ⁻¹
160	1.22	1.15	1.03	8.15×10 ⁻¹	6.55×10 ⁻¹	5.43×10 ⁻¹	4.62×10 ⁻¹	4.02×10 ⁻¹	3.55×10 ⁻¹	3.18×10 ⁻¹	2.88×10 ⁻¹	2.88×10 ⁻¹
200	1.51	1.50	1.42	1.19	9.87×10 ⁻¹	8.32×10 ⁻¹	7.15×10 ⁻¹	6.25×10 ⁻¹	5.55×10 ⁻¹	4.98×10 ⁻¹	4.52×10 ⁻¹	4.52×10 ⁻¹
250	1.82	1.88	1.87	1.68	1.45	1.25	1.09	9.63×10 ⁻¹	8.60×10 ⁻¹	7.75×10 ⁻¹	7.05×10 ⁻¹	7.05×10 ⁻¹
315	2.20	2.28	2.35	2.28	2.07	1.84	1.63	1.46	1.32	1.20	1.09	1.09
400	2.69	2.73	2.86	2.95	2.83	2.61	2.38	2.17	1.98	1.82	1.67	1.67
500	3.40	3.26	3.41	3.67	3.70	3.57	3.36	3.14	2.91	2.71	2.52	2.52
630	4.46	3.96	4.04	4.41	4.63	4.66	4.55	4.36	4.14	3.92	3.70	3.70
800	6.10	4.98	4.85	5.21	5.60	5.82	5.88	5.81	5.66	5.47	5.25	5.25
1 000	8.67	6.52	6.00	6.15	6.63	7.03	7.29	7.41	7.41	7.32	7.17	7.17
1 250	1.27×10	8.91	7.72	7.39	7.80	8.31	8.75	9.08	9.28	9.37	9.37	9.37
1 600	1.89×10	1.26×10	1.04×10	9.17	9.30	9.78	1.03×10	1.08×10	1.12×10	1.15×10	1.17×10	1.17×10
2 000	2.85×10	1.85×10	1.45×10	1.18×10	1.14×10	1.17×10	1.22×10	1.27×10	1.33×10	1.38×10	1.42×10	1.42×10
2 500	4.31×10	2.76×10	2.10×10	1.60×10	1.46×10	1.43×10	1.46×10	1.51×10	1.57×10	1.63×10	1.68×10	1.68×10
3 150	6.48×10	4.18×10	3.12×10	2.25×10	1.94×10	1.83×10	1.81×10	1.83×10	1.88×10	1.93×10	1.99×10	1.99×10
4 000	9.60×10	6.35×10	4.71×10	3.27×10	2.70×10	2.45×10	2.34×10	2.31×10	2.31×10	2.35×10	2.40×10	2.40×10
5 000	1.39×10 ²	9.62×10	7.16×10	4.87×10	3.90×10	3.41×10	3.16×10	3.03×10	2.97×10	2.96×10	2.97×10	2.97×10
6 300	1.94×10 ²	1.44×10 ²	1.09×10 ²	7.37×10	5.77×10	4.93×10	4.44×10	4.16×10	3.98×10	3.89×10	3.84×10	3.84×10
8 000	2.60×10 ²	2.11×10 ²	1.65×10 ²	1.13×10 ²	8.71×10	7.31×10	6.47×10	5.93×10	5.57×10	5.33×10	5.18×10	5.18×10
10 000	3.32×10 ²	3.01×10 ²	2.46×10 ²	1.72×10 ²	1.33×10 ²	1.11×10 ²	9.65×10	8.71×10	8.07×10	7.61×10	7.28×10	7.28×10

表 1 (续)

常用频率 Hz		相 对 湿 度, %									
		10	15	20	30	40	50	60	70	80	90
(1) 大气温度: 35°C											
50	2.22×10 ⁻¹	1.56×10 ⁻¹	1.19×10 ⁻¹	8.10×10 ⁻²	6.13×10 ⁻²	4.93×10 ⁻²	4.12×10 ⁻²	3.54×10 ⁻²	3.11×10 ⁻²	2.77×10 ⁻²	2.50×10 ⁻²
63	3.37×10 ⁻¹	2.42×10 ⁻¹	1.87×10 ⁻¹	1.28×10 ⁻¹	9.68×10 ⁻²	7.80×10 ⁻²	6.52×10 ⁻²	5.61×10 ⁻²	4.92×10 ⁻²	4.39×10 ⁻²	3.96×10 ⁻²
80	5.01×10 ⁻¹	3.71×10 ⁻¹	2.91×10 ⁻¹	2.01×10 ⁻¹	1.53×10 ⁻¹	1.23×10 ⁻¹	1.03×10 ⁻¹	8.88×10 ⁻²	7.79×10 ⁻²	6.95×10 ⁻²	6.27×10 ⁻²
100	7.25×10 ⁻¹	5.60×10 ⁻¹	4.47×10 ⁻¹	3.14×10 ⁻¹	2.40×10 ⁻¹	1.94×10 ⁻¹	1.63×10 ⁻¹	1.40×10 ⁻¹	1.23×10 ⁻¹	1.10×10 ⁻¹	9.92×10 ⁻²
125	1.01	8.26×10 ⁻¹	6.78×10 ⁻¹	4.86×10 ⁻¹	3.76×10 ⁻¹	3.05×10 ⁻¹	2.57×10 ⁻¹	2.21×10 ⁻¹	1.95×10 ⁻¹	1.74×10 ⁻¹	1.57×10 ⁻¹
160	1.35	1.18	1.00	7.46×10 ⁻¹	5.84×10 ⁻¹	4.78×10 ⁻¹	4.03×10 ⁻¹	3.49×10 ⁻¹	3.07×10 ⁻¹	2.74×10 ⁻¹	2.48×10 ⁻¹
200	1.73	1.62	1.45	1.12	8.98×10 ⁻¹	7.42×10 ⁻¹	6.30×10 ⁻¹	5.47×10 ⁻¹	4.83×10 ⁻¹	4.32×10 ⁻¹	3.91×10 ⁻¹
250	2.13	2.13	2.00	1.65	1.36	1.14	9.77×10 ⁻¹	8.53×10 ⁻¹	7.56×10 ⁻¹	6.78×10 ⁻¹	6.14×10 ⁻¹
315	2.56	2.69	2.66	2.36	2.01	1.73	1.50	1.32	1.17	1.06	9.62×10 ⁻¹
400	3.05	3.27	3.37	3.23	2.89	2.55	2.26	2.01	1.81	1.64	1.49
500	3.66	3.88	4.12	4.22	4.00	3.66	3.32	3.01	2.73	2.50	2.30
630	4.52	4.59	4.90	5.30	5.29	5.05	4.72	4.38	4.05	3.74	3.47
800	5.78	5.48	5.76	6.40	6.69	6.67	6.46	6.15	5.81	5.47	5.14
1 000	7.71	6.74	6.82	7.55	8.15	8.43	8.45	8.30	8.03	7.71	7.37
1 250	1.07×10	8.61	8.28	8.85	9.65	1.03×10	1.06×10	1.07×10	1.06×10	1.04×10	1.02×10
1 600	1.54×10	1.15×10	1.04×10	1.05×10	1.13×10	1.21×10	1.28×10	1.32×10	1.35×10	1.35×10	1.35×10
2 000	2.28×10	1.60×10	1.37×10	1.28×10	1.34×10	1.42×10	1.51×10	1.59×10	1.64×10	1.68×10	1.71×10
2 500	3.42×10	2.31×10	1.88×10	1.62×10	1.61×10	1.68×10	1.78×10	1.87×10	1.95×10	2.02×10	2.08×10
3 150	5.18×10	3.41×10	2.68×10	2.15×10	2.02×10	2.04×10	2.11×10	2.20×10	2.30×10	2.40×10	2.48×10
4 000	7.83×10	5.13×10	3.93×10	2.97×10	2.65×10	2.57×10	2.58×10	2.65×10	2.74×10	2.83×10	2.93×10
5 000	1.18×10 ²	7.80×10	5.90×10	4.26×10	3.63×10	3.38×10	3.29×10	3.29×10	3.34×10	3.42×10	3.51×10
6 300	1.73×10 ²	1.19×10 ²	8.95×10	6.28×10	5.17×10	4.64×10	4.37×10	4.26×10	4.23×10	4.25×10	4.31×10
8 000	2.49×10 ²	1.79×10 ²	1.36×10 ²	9.45×10	7.59×10	6.62×10	6.07×10	5.77×10	5.60×10	5.52×10	5.50×10
10 000	3.45×10 ²	2.67×10 ²	2.07×10 ²	1.44×10 ²	1.14×10 ²	9.73×10	8.74×10	8.13×10	7.74×10	7.49×10	7.34×10

表 1 (续)

(m) 大气温度: 40°C		相 对 湿 度, %									
常用频率 Hz	10	15	20	30	40	50	60	70	80	90	100
50	1.98×10 ⁻¹	1.36×10 ⁻¹	1.04×10 ⁻¹	7.00×10 ⁻²	5.29×10 ⁻²	4.25×10 ⁻²	3.55×10 ⁻²	3.05×10 ⁻²	2.68×10 ⁻²	2.39×10 ⁻²	2.15×10 ⁻²
63	3.06×10 ⁻¹	2.14×10 ⁻¹	1.63×10 ⁻¹	1.11×10 ⁻¹	8.36×10 ⁻²	6.72×10 ⁻²	5.62×10 ⁻²	4.83×10 ⁻²	4.24×10 ⁻²	3.78×10 ⁻²	3.41×10 ⁻²
80	4.66×10 ⁻¹	3.32×10 ⁻¹	2.56×10 ⁻¹	1.74×10 ⁻¹	1.32×10 ⁻¹	1.06×10 ⁻¹	8.90×10 ⁻²	7.66×10 ⁻²	6.72×10 ⁻²	5.99×10 ⁻²	5.40×10 ⁻²
100	6.95×10 ⁻¹	5.11×10 ⁻¹	3.98×10 ⁻¹	2.74×10 ⁻¹	2.08×10 ⁻¹	1.68×10 ⁻¹	1.41×10 ⁻¹	1.21×10 ⁻¹	1.06×10 ⁻¹	9.48×10 ⁻²	8.56×10 ⁻²
125	1.01	7.74×10 ⁻¹	6.15×10 ⁻¹	4.29×10 ⁻¹	3.28×10 ⁻¹	2.65×10 ⁻¹	2.22×10 ⁻¹	1.92×10 ⁻¹	1.68×10 ⁻¹	1.50×10 ⁻¹	1.35×10 ⁻¹
160	1.42	1.15	9.35×10 ⁻¹	6.67×10 ⁻¹	5.14×10 ⁻¹	4.17×10 ⁻¹	3.51×10 ⁻¹	3.02×10 ⁻¹	2.66×10 ⁻¹	2.37×10 ⁻¹	2.14×10 ⁻¹
200	1.91	1.65	1.39	1.03	8.00×10 ⁻¹	6.53×10 ⁻¹	5.51×10 ⁻¹	4.76×10 ⁻¹	4.19×10 ⁻¹	3.75×10 ⁻¹	3.39×10 ⁻¹
250	2.45	2.28	2.02	1.55	1.23	1.02	8.63×10 ⁻¹	7.48×10 ⁻¹	6.60×10 ⁻¹	5.90×10 ⁻¹	5.34×10 ⁻¹
315	3.03	3.03	2.82	2.30	1.88	1.57	1.34	1.17	1.03	9.27×10 ⁻¹	8.40×10 ⁻¹
400	3.63	3.84	3.77	3.30	2.79	2.38	2.06	1.81	1.61	1.45	1.32
500	4.28	4.68	4.82	4.56	4.04	3.54	3.12	2.77	2.48	2.25	2.05
630	5.08	5.55	5.92	6.02	5.64	5.12	4.61	4.16	3.77	3.44	3.16
800	6.14	6.51	7.04	7.61	7.53	7.13	6.62	6.10	5.62	5.19	4.80
1 000	7.68	7.68	8.25	9.24	9.62	9.52	9.14	8.66	8.14	7.62	7.14
1 250	1.00×10	9.28	9.68	1.09×10	1.18×10	1.21×10	1.21×10	1.18×10	1.14×10	1.09×10	1.03×10
1 600	1.36×10	1.16×10	1.16×10	1.28×10	1.40×10	1.49×10	1.53×10	1.54×10	1.52×10	1.48×10	1.44×10
2 000	1.93×10	1.52×10	1.43×10	1.50×10	1.64×10	1.77×10	1.86×10	1.92×10	1.94×10	1.94×10	1.93×10
2 500	2.82×10	2.08×10	1.84×10	1.80×10	1.92×10	2.07×10	2.20×10	2.31×10	2.39×10	2.44×10	2.46×10
3 150	4.21×10	2.95×10	2.49×10	2.25×10	2.30×10	2.44×10	2.59×10	2.73×10	2.85×10	2.96×10	3.03×10
4 000	6.36×10	4.32×10	3.50×10	2.93×10	2.85×10	2.92×10	3.06×10	3.21×10	3.37×10	3.51×10	3.63×10
5 000	9.64×10	6.47×10	5.08×10	3.99×10	3.68×10	3.63×10	3.71×10	3.84×10	3.99×10	4.15×10	4.30×10
6 300	1.46×10 ²	9.79×10	7.56×10	5.66×10	4.97×10	4.72×10	4.67×10	4.72×10	4.83×10	4.97×10	5.13×10
8 000	2.17×10 ²	1.49×10 ²	1.14×10 ²	8.28×10	6.99×10	6.40×10	6.14×10	6.05×10	6.07×10	6.15×10	6.27×10
10 000	3.18×10 ²	2.26×10 ²	1.74×10 ²	1.24×10 ²	1.02×10 ²	9.04×10	8.43×10	8.10×10	7.95×10	7.91×10	7.94×10

表 1 (续)

(n) 大气温度: 45°C		相 对 湿 度, %										
常用频率	Hz	10	15	20	30	40	50	60	70	80	90	100
50		1.75×10^{-1}	1.19×10^{-1}	9.02×10^{-2}	6.07×10^{-2}	4.58×10^{-2}	3.68×10^{-2}	3.07×10^{-2}	2.64×10^{-2}	2.32×10^{-2}	2.07×10^{-2}	1.86×10^{-2}
63		2.73×10^{-1}	1.87×10^{-1}	1.42×10^{-1}	9.60×10^{-2}	7.25×10^{-2}	5.82×10^{-2}	4.87×10^{-2}	4.18×10^{-2}	3.67×10^{-2}	3.27×10^{-2}	2.95×10^{-2}
80		4.22×10^{-1}	2.94×10^{-1}	2.24×10^{-1}	1.52×10^{-1}	1.15×10^{-1}	9.22×10^{-2}	7.71×10^{-2}	6.63×10^{-2}	5.82×10^{-2}	5.18×10^{-2}	4.68×10^{-2}
100		6.44×10^{-1}	4.57×10^{-1}	3.52×10^{-1}	2.39×10^{-1}	1.81×10^{-1}	1.46×10^{-1}	1.22×10^{-1}	1.05×10^{-1}	9.21×10^{-2}	8.21×10^{-2}	7.41×10^{-2}
125		9.65×10^{-1}	7.05×10^{-1}	5.48×10^{-1}	3.77×10^{-1}	2.86×10^{-1}	2.30×10^{-1}	1.93×10^{-1}	1.66×10^{-1}	1.46×10^{-1}	1.30×10^{-1}	1.17×10^{-1}
160		1.41	1.07	8.48×10^{-1}	5.90×10^{-1}	4.50×10^{-1}	3.64×10^{-1}	3.05×10^{-1}	2.63×10^{-1}	2.31×10^{-1}	2.06×10^{-1}	1.86×10^{-1}
200		1.98	1.59	1.29	9.18×10^{-1}	7.06×10^{-1}	5.73×10^{-1}	4.81×10^{-1}	4.15×10^{-1}	3.65×10^{-1}	3.26×10^{-1}	2.94×10^{-1}
250		2.68	2.30	1.93	1.41	1.10	8.98×10^{-1}	7.57×10^{-1}	6.54×10^{-1}	5.76×10^{-1}	5.14×10^{-1}	4.65×10^{-1}
315		3.47	3.21	2.82	2.15	1.70	1.40	1.19	1.03	9.06×10^{-1}	8.11×10^{-1}	7.34×10^{-1}
400		4.30	4.28	3.96	3.19	2.59	2.16	1.85	1.61	1.42	1.27	1.15
500		5.15	5.46	5.34	4.61	3.88	3.29	2.84	2.49	2.22	1.99	1.81
630		6.05	6.68	6.87	6.42	5.65	4.92	4.32	3.83	3.43	3.10	2.82
800		7.09	7.92	8.47	8.55	7.93	7.16	6.42	5.78	5.23	4.76	4.36
1 000		8.45	9.25	1.01×10	1.09×10	1.07×10	1.00×10	9.27	8.51	7.82	7.20	6.65
1 250		1.04×10	1.08×10	1.18×10	1.33×10	1.38×10	1.35×10	1.29×10	1.22×10	1.14×10	1.06×10	9.94
1 600		1.33×10	1.29×10	1.38×10	1.57×10	1.70×10	1.74×10	1.72×10	1.67×10	1.60×10	1.52×10	1.45×10
2 000		1.78×10	1.59×10	1.63×10	1.84×10	2.02×10	2.14×10	2.19×10	2.19×10	2.16×10	2.10×10	2.03×10
2 500		2.48×10	2.05×10	1.99×10	2.15×10	2.37×10	2.56×10	2.69×10	2.76×10	2.79×10	2.78×10	2.74×10
3 150		3.58×10	2.75×10	2.52×10	2.56×10	2.77×10	3.00×10	3.20×10	3.35×10	3.45×10	3.52×10	3.54×10
4 000		5.30×10	3.86×10	3.35×10	3.15×10	3.29×10	3.52×10	3.75×10	3.97×10	4.15×10	4.29×10	4.39×10
5 000		7.98×10	5.60×10	4.65×10	4.06×10	4.03×10	4.20×10	4.43×10	4.67×10	4.90×10	5.11×10	5.29×10
6 300		1.21×10^2	8.32×10	6.69×10	5.46×10	5.15×10	5.17×10	5.33×10	5.56×10	5.80×10	6.05×10	6.28×10
8 000		1.83×10^2	1.26×10^2	9.89×10	7.66×10	6.88×10	6.65×10	6.66×10	6.80×10	7.00×10	7.24×10	7.48×10
10 000		2.76×10^2	1.91×10^2	1.49×10^2	1.11×10^2	9.60×10	8.94×10	8.68×10	8.65×10	8.74×10	8.91×10	9.12×10

表 1 (完)

(p) 大气温度: 50°C		相 对 湿 度, %									
常用频率 Hz	10	15	20	30	40	50	60	70	80	90	100
50	1.54×10 ⁻¹	1.04×10 ⁻¹	7.86×10 ⁻²	5.28×10 ⁻²	3.98×10 ⁻²	3.19×10 ⁻²	2.67×10 ⁻²	2.30×10 ⁻²	2.02×10 ⁻²	1.80×10 ⁻²	1.62×10 ⁻²
63	2.42×10 ⁻¹	1.64×10 ⁻¹	1.24×10 ⁻¹	8.36×10 ⁻²	6.30×10 ⁻²	5.06×10 ⁻²	4.23×10 ⁻²	3.64×10 ⁻²	3.19×10 ⁻²	2.85×10 ⁻²	2.57×10 ⁻²
80	3.77×10 ⁻¹	2.59×10 ⁻¹	1.96×10 ⁻¹	1.32×10 ⁻¹	9.98×10 ⁻²	8.02×10 ⁻²	6.71×10 ⁻²	5.77×10 ⁻²	5.06×10 ⁻²	4.51×10 ⁻²	4.07×10 ⁻²
100	5.84×10 ⁻¹	4.05×10 ⁻¹	3.09×10 ⁻¹	2.09×10 ⁻¹	1.58×10 ⁻¹	1.27×10 ⁻¹	1.06×10 ⁻¹	9.13×10 ⁻²	8.02×10 ⁻²	7.15×10 ⁻²	6.45×10 ⁻²
125	8.93×10 ⁻¹	6.32×10 ⁻¹	4.85×10 ⁻¹	3.30×10 ⁻¹	2.50×10 ⁻¹	2.01×10 ⁻¹	1.68×10 ⁻¹	1.45×10 ⁻¹	1.27×10 ⁻¹	1.13×10 ⁻¹	1.02×10 ⁻¹
160	1.34	9.75×10 ⁻¹	7.57×10 ⁻¹	5.19×10 ⁻¹	3.94×10 ⁻¹	3.18×10 ⁻¹	2.66×10 ⁻¹	2.29×10 ⁻¹	2.01×10 ⁻¹	1.79×10 ⁻¹	1.62×10 ⁻¹
200	1.96	1.49	1.17	8.14×10 ⁻¹	6.21×10 ⁻¹	5.01×10 ⁻¹	4.20×10 ⁻¹	3.62×10 ⁻¹	3.18×10 ⁻¹	2.84×10 ⁻¹	2.56×10 ⁻¹
250	2.78	2.22	1.79	1.27	9.74×10 ⁻¹	7.89×10 ⁻¹	6.63×10 ⁻¹	5.72×10 ⁻¹	5.03×10 ⁻¹	4.49×10 ⁻¹	4.06×10 ⁻¹
315	3.78	3.22	2.69	1.96	1.52	1.24	1.04	9.02×10 ⁻¹	7.94×10 ⁻¹	7.09×10 ⁻¹	6.41×10 ⁻¹
400	4.90	4.51	3.93	2.98	2.35	1.93	1.64	1.42	1.25	1.12	1.01
500	6.09	6.05	5.55	4.44	3.60	2.99	2.55	2.22	1.96	1.76	1.59
630	7.30	7.75	7.53	6.45	5.39	4.57	3.94	3.45	3.06	2.76	2.50
800	8.55	9.51	9.75	9.02	7.89	6.85	5.99	5.30	4.74	4.29	3.91
1 000	9.95	1.13×10	1.21×10	1.21×10	1.11×10	1.00×10	8.94	8.03	7.25	6.60	6.05
1 250	1.17×10	1.32×10	1.44×10	1.55×10	1.51×10	1.41×10	1.30×10	1.19×10	1.09×10	1.00×10	9.24
1 600	1.42×10	1.53×10	1.69×10	1.90×10	1.96×10	1.91×10	1.82×10	1.71×10	1.59×10	1.49×10	1.39×10
2 000	1.79×10	1.81×10	1.96×10	2.26×10	2.43×10	2.48×10	2.44×10	2.36×10	2.25×10	2.14×10	2.03×10
2 500	2.36×10	2.20×10	2.30×10	2.63×10	2.91×10	3.07×10	3.13×10	3.12×10	3.06×10	2.97×10	2.87×10
3 150	3.25×10	2.79×10	2.78×10	3.07×10	3.41×10	3.68×10	3.86×10	3.95×10	3.98×10	3.96×10	3.89×10
4 000	4.64×10	3.71×10	3.49×10	3.63×10	3.98×10	4.32×10	4.61×10	4.82×10	4.96×10	5.04×10	5.06×10
5 000	6.82×10	5.14×10	4.58×10	4.44×10	4.71×10	5.06×10	5.42×10	5.73×10	5.99×10	6.18×10	6.32×10
6 300	1.02×10 ²	7.39×10	6.29×10	5.66×10	5.73×10	6.02×10	6.39×10	6.76×10	7.10×10	7.40×10	7.65×10
8 000	1.55×10 ²	1.09×10 ²	8.97×10	7.54×10	7.26×10	7.38×10	7.67×10	8.03×10	8.41×10	8.78×10	9.12×10
10 000	2.35×10 ²	1.64×10 ²	1.32×10 ²	1.05×10 ²	9.63×10	9.43×10	9.54×10	9.80×10	1.01×10 ²	1.05×10 ²	1.09×10 ²

注: 大气吸收的衰减系数是用式(6)对 1/3 倍频带 (b=1/3) 滤波器的精确的中心频率计算得来的, 覆盖了指数 k 从 -13 到 +10 的常用频率范围

7 不同变量范围纯音衰减系数计算值的准确度

7.1 ±10% 的准确度

大气吸收纯音衰减系数计算值的准确度估计为±10%，只要各变量在以下的范围内：

水蒸气克分子浓度：0.05%~5%

大气温度：253.15~323.15 K(-20~+50℃)

大气压：低于 200 kPa(2 个大气压)

频率/气压比： 4×10^{-4} ~10 Hz/Pa

注7：如 7.1~7.3 中水蒸气克分子浓度和大气温度二者结合起来意味着相对湿度大于 100%，则将它们从准确度估计中除去。

7.2 ±20% 的准确度

大气吸收纯音衰减系数计算值的准确度估计为±20%，只要各变量在以下的范围内：

水蒸气克分子浓度：0.005%~0.05%，或大于 5%

大气温度：253.15~323.15 K(-20~+50℃)

大气压：低于 200 kPa(2 个大气压)

频率/气压比： 4×10^{-4} ~10 Hz/Pa

7.3 ±50% 的准确度

大气吸收纯音衰减系数计算值的准确度估计为±50%，只要各变量在以下的范围，这包括直到 10 km 的高空中遇到的环境条件：

水蒸气克分子浓度：小于 0.005%

大气温度：高于 200 K(-73℃)

大气压：低于 200 kPa(2 个大气压)

频率/气压比： 4×10^{-4} ~10 Hz/Pa

8 用分数倍频程带通滤波器分析时宽带声大气吸收衰减的计算

8.1 一般问题和计算方法

8.1.1 以前各章考虑大气吸收对纯音经大气传播时声级降低的影响，而实际上，大部分声音的频谱覆盖很宽的频率范围。谱分析通常用分数倍频程带通滤波器进行，得到的结果是各个频带中的声压级。

8.1.2 当宽带声压信号采用分数倍频程带通滤波器分析时，大气吸收引起的衰减的计算，就因测得的频带声压级中的误差而变得很复杂了。这些误差的出现，是因为通过实际滤波器的等效声功率，与通过相应的通带中增益为 1 而通带外衰减为无限大的理想滤波器的等效声功率相比，非大即小。每个频带的误差大小，随加到滤波器上的信号的频谱的斜率，以及滤波器的衰减的频响的形状而变化。远处接收器位置上声压级的测量，特别容易受高频段频带声压级的误差影响，因为大气吸收通常随频率的增加而快速增大，结果使入射到传声器上的声压信号的频谱有很大的负斜率。

8.1.3 因为采用分数倍频程带通滤波器，对频谱斜率大的声音作分析时，存在固有的不可避免的频带声压级误差，也因为实用上处理这些误差的步骤很复杂，所以本标准将在 8.2 中提出一种计算方法，就是在作谱分析用的带通滤波器的频率范围上，对宽带声实际的衰减作离散频率近似。离散频率(纯音)计算方法可用到许多实际场合，但被大气条件和传播条件的结合所限制，这样以致于在感兴趣的频带中，声传播路程上大气吸收引起的衰减不超过大约 15 dB。具体要求见 8.2.2。

8.1.4 8.3 中还要讲述将纯音计算方法，用于根据未计权分数倍频带声压级的测量值(或规范特性)，估计 A 计权声压级。而 8.4 中，则要提出声音频谱是宽带谱上叠加离散谱时，纯音计算方法应用的一般情况。

8.1.5 附录 D 是另一种可供选择的计算方法，它要求关于声压信号作为频率的连续函数的资料。附录

D的方法,采用数值积分步骤,确定各频带声压级的大气吸收衰减。谱积分法,给出更加精确的大气吸收引起的频带声压级衰减的估计值,它的应用范围比8.2的纯音方法更广。

8.2 纯音法近似计算频带声压级的衰减

8.2.1 对每个感兴趣的分数倍频带和声传播路程上给定的均匀的气象条件,在精确的频带中心频率(根据式(6)确定),采用第6章介绍的纯音法,计算大气吸收引起的衰减系数。每个频带的频带声压级的衰减(dB),即为中心频率上的衰减系数与路程长度的乘积,见讨论纯音时的式(2)。声程较长时,可能遇到不均匀气象条件,这在附录C中讨论。

8.2.2 纯音算法导致的频带声压级衰减的误差,估计不会超过 ± 0.5 dB,只要满足以下条件:

- a) 带通滤波器符合GB/T 3241—1998规定的1类或0类容差限;
- b) 对1/3倍频程带通滤波器,声源到接收器的程长(km)与中心频率(kHz)的平方之积,不超过 $6 \text{ km} \cdot \text{kHz}^2$,或程长不超过6 km(任何一个中心频率);
- c) 对倍频程带通滤波器,声源到接收器的程长(km)与中心频率(kHz)的平方之积,不超过 $3 \text{ km} \cdot \text{kHz}^2$,或程长不超过3 km(任何一个中心频率)。

8.2.3 8.2.1的方法,可用于计算固定或运动声源产生的声音的频带声压级的衰减。如果声源在观察时间内运动,那么大气吸收衰减将随时间而变化,因为由于多普勒效应,有效频率(或有效波长)自己随时间变化。应根据每一观察时刻声音发射角度上的多普勒移频,即时计算衰减系数,以便把多普勒效应考虑进来。

8.3 A计权声压级的大气吸收衰减的计算

因为大气吸收效应与频率关系极大,所以本标准推荐的预测大气吸收对A计权声压级的影响的方法步骤,如附录E中所叙述的那样,是先确定该大气条件下频带声压级的衰减,后将计算所得的频带声压级的衰减,加到在一参考距离处测定的频带声压级,再适当考虑参考距离到预测距离之间的其他损失,最后将标准A计权值加到预测距离处的频带声压级。

注8:当声传播路程大于8.2.2中所讲的限定值时,按8.2.1的方法计算频带声压级的衰减 δL_b 的误差也要增大,而且常常增加很快。然而,就个别频带说,这种声压级的误差虽很大,但8.2.1的方法对宽带声的计算仍然是实用的,因为各个频带声压级相加得来的A计权声压级的计算误差往往非常小,其原因是大气吸收引起的衰减,因而8.2.1所说的滤波器引起的误差,只有在衰减很大的频带中才比较大,而这些频带对A计权声压级无重要贡献。

附录E给出一个A计权声压级的大气吸收衰减的计算实例。

8.4 宽带声和纯音的合成声

对于由宽带成分和一个或多个纯音成分合成的声信号,应采用以下方法步骤计算大气吸收引起的分数倍频带声压级衰减。这种方法对固定的或运动的声源都适用。如声源是运动的,就应对纯音成分的多普勒移频或宽带成分的频带中心频率计算衰减系数,见8.2.3。

步骤1:根据时均平方声压,将测得的谱分解为纯音成分和宽带成分。对于纯音成分,纯音的频率可由窄带滤波器作谱分析,或由已有的声源资料,或仅根据相邻分数倍频带中声压级的相对变化而对纯音的存在和其声压级作出估计而加以确定。对于宽带成分,纯音的频率设定是滤波器频带的精确中心频率。可是,如8.2中的纯音近似法用于宽带成分,同时纯音的频率就认为是滤波器频带的精确中心频率,那么分离频谱成分的步骤就不必要,因为相同的纯音衰减可用于宽带成分和离散频率成分。

步骤2:采用5.2和6.3规定的用于纯音成分和8.2规定的用于宽带成分的方法,对每个谱成分,分别计算给定传播程长上的衰减。

步骤3:如初始谱是在声源位置取得的,那么从单个离散频率成分和宽带成分的声压级,减去计算所得的大气吸收衰减,就得到考虑了大气吸收损失后,接收器位置处两种成分的声压级的估算值。如初始谱是在接收器位置取得的,那么加上计算得来的大气吸收衰减,就得到声源位置处相应声压级的估算值。而且,还要把其他机理(例如波发散)的衰减的估算值从初始谱的频带声压级中减去(或加上)。

步骤4:将谱的两种成分的时均平方声压的估算值相加,得到接收器或声源位置处的合成声的频带声压级的估算值。

附录 A
(提示的附录)
物理机理

A1 6.2 中计算大气吸收衰减系数 α 的式(3)、式(4)和式(5),将一些物理机理的贡献结合成为一个适于计算的公式。但是,由于这些公式的复杂性,使人对过程的理解必定会感到困惑。附录 A 给出描述各个机理的贡献的公式,以使读者对式(3)、式(4)和式(5)所包含的意义有一个了解。

A2 表示各个机理的那些公式(已写成符合现有的对物理过程而言为最好的理论理解)的形式,本质上是合乎理论的,而非经验性的。公式中的常数,是从理论,以及从广泛收集到的关于潮湿和干燥大气还有组分气体的大气吸收损失的实验室测量的分析结果得来的。

A3 衰减系数 α 以分贝每米(dB/m)计,可表示为四项之和

$$\alpha = \alpha_{cl} + \alpha_{rot} + \alpha_{vib,O} + \alpha_{vib,N} \quad \dots\dots\dots(A1)$$

式中: α_{cl} 代表“经典”物理的输运过程引起的经典吸收;

α_{rot} 代表转动弛豫引起的分子吸收;

$\alpha_{vib,O}$ 和 $\alpha_{vib,N}$ 分别为氧和氮的振动弛豫引起的分子吸收。

注 9: 在第 7 章规定的准确度范围内,因二氧化碳的存在引起的少量分子吸收,可归入氧和氮的振动弛豫项中。

A4 经典吸收和转动吸收衰减系数这部分,就本标准关心的大气温度范围说,可近似为其二者之和,即

$$\alpha_{cr} = \alpha_{cl} + \alpha_{rot} = \frac{1.60 \times 10^{-10} (T/T_0)^{1/2} f^2}{p_a/p_r} \quad \dots\dots\dots(A2)$$

式中基准大气压 p_r 和基准大气温度 T_0 的取值见 4.2。

A5 式(A1)中的两个振动弛豫项具有相同的形式,就是

$$\alpha_{vib,O} = [(\alpha\lambda)_{max,O}](f/c) \times \{2(f/f_{rO})[1 + (f/f_{rO})^2]^{-1}\} \quad \dots\dots\dots(A3)$$

$$\alpha_{vib,N} = [(\alpha\lambda)_{max,N}](f/c) \times \{2(f/f_{rN})[1 + (f/f_{rN})^2]^{-1}\} \quad \dots\dots\dots(A4)$$

式中,下标 O 代表氧弛豫,下标 N 代表氮弛豫。

c ——声速, m/s。

f_r ——弛豫频率, Hz。

$(\alpha\lambda)_{max}$ 以米计的一个波长(λ)的距离上,振动弛豫引起的最大衰减, dB。氧和氮的振动弛豫频率的公式见 6.2 中式(3)和式(4)。

A6 就本标准说,式(A3)和式(A4)中的声速 c (以 m/s 计)按

$$c = 343.2(T/T_0)^{1/2} \quad \dots\dots\dots(A5)$$

计算。

注 10: 式(A5)忽略了水蒸气对声速的微小影响,在第 7 章给定的大气条件下,影响小于 0.3%。

A7 振动弛豫引起的一个波长距离上的最大衰减 $(\alpha\lambda)_{max}$, 仅与大气温度有关,而且氧弛豫和氮弛豫具有相同的形式,分别由

$$(\alpha\lambda)_{max,O} = 1.559X_O(\theta_O/T)^2 \exp(-\theta_O/T) \quad \text{dB} \quad \dots\dots\dots(A6)$$

和

$$(\alpha\lambda)_{max,N} = 1.559X_N(\theta_N/T)^2 \exp(-\theta_N/T) \quad \text{dB} \quad \dots\dots\dots(A7)$$

决定。式中, θ 为特征振动温度, X 为干燥大气中氧(下标 O)和氮(下标 N)的分数克分子浓度。

A8 就本标准说,特征振动温度和分数克分子浓度的数值为

$$\theta = \begin{cases} 2\,239.1 \text{ K, 氧} \\ 3\,352.0 \text{ K, 氮} \end{cases}$$

$$X = \begin{matrix} 0.209, \text{氧} \\ 0.781, \text{氮} \end{matrix}$$

式(A6)和式(A7)中的常数 1.559 是从理论表达式 $(2\pi/35)(10 \lg e^2)$ 算出来的。

A9 6.2 中的式(5)是将式(A2)到式(A7)代入式(A1)得到的。

附录 B

(提示的附录)

湿度对水蒸气克分子浓度的转换

本标准的正文给出一个计算大气吸收引起的声压级衰减的方法,它在形式上是一些解析公式,非常适合计算。附录 B 的目的是再提供一些正文中没有的解析表示式,进而完善计算程序包,以便由相对湿度、大气温度和露点的测量或资料,计算水蒸气克分子浓度。湿度的其他表示量如湿球和干球温度,应先转换到相对湿度,然后再转换到克分子浓度。

B1 相对湿度

对于温度给定的潮湿大气样品,以百分数表示的相对湿度,是潮湿大气蒸汽压对饱和蒸汽压 p_{sat} 的比。饱和蒸汽压是指在温度和压力与确定潮湿大气样品特性的温度和压力相同时的液态水面上方的压力。对已知的温度和压力,给定相对湿度 h_r (以百分数表示)时的水蒸气克分子浓度 h (以百分数表示)由

$$h = h_r (p_{sat}/p_r) (p_a/p_r) \quad \dots\dots\dots (B1)$$

计算。式中, p_a 为大气压, kPa; p_r 为基准环境大气压, 见 4.2。

注 11: 根据惯例, 温度低于 0℃ 时的相对湿度, 按不结冰的液态水面上方的饱和蒸汽压计算。

B2 饱和蒸汽压

液态水面上方水蒸气的饱和蒸汽压 p_{sat} , 仅取决于温度 T 。各种 p_{sat} 与 T 的关系表, 以及制表所用的公式, 在许多参考手册中都能找到。但是为了计算, 更方便的办法是采用式(B2)和式(B3)。

$$p_{sat}/p_r = 10^C \quad \dots\dots\dots (B2)$$

$$C = -6.8346(T_{01}/T)^{1.261} + 4.6151 \quad \dots\dots\dots (B3)$$

式中温度 T 是绝对温度; T_{01} 是三相点等温温度, 等于 273.16 K (即 +0.01℃)。这两个表示式提供的饱和蒸汽压, 与世界气象组织的计算和国际气象表^[2]中所列的值十分接近。

为了求得 T 、 p_a 和 h_r 给定时的 h , 首先利用式(B2)和(B3)计算 p_{sat}/p_r , 然后再利用式(B1)算出基准大气压 $p_r = 101.325$ kPa 时的水蒸气克分子浓度 h 。

B3 露点温度

在温度 T 、压力 p_a 和克分子浓度 h 下, 潮湿大气样品的露点温度 T_D , 是样品冷却到相同压力时液态水面上方成为饱和时的平衡温度。

为了计算水蒸气克分子浓度, 在测定某大气温度时的露点后, 先要确定露点温度 T_D 时的饱和蒸汽压比 p_{sat}/p_r , 这可借助式(B2)和式(B3), 同时用 T_D 代替 T 完成。然后, 再利用式(B1), 并令相对湿度 $h_r = 100\%$, 确定已知 p_a/p_r 比时的克分子浓度。

注 12: 事实上, 大气温度较低时露点的测量, 得到的可能是雾点, 这相当于冰面而非过冷水面上方的饱和。当雾点测到了, 就应考虑相对湿度的惯常定义。式(B2)和式(B3)只能应用于液态而非结冰或结雾水面上方的饱和蒸汽压的计算。

附录 C
(提示的附录)
非均匀实际大气的影响

正文将声传播经过的大气,假设为在传声路径上是均匀的,即压力、温度和水蒸气克分子浓度中每一个都能用单值表示。现在考虑传过非均匀实际大气时气象参数发生变化的影响。

C1 随高度的变化

北纬 45°附近的中纬度地带,水蒸气年平均克分子浓度 h_m (%)的垂直变化示于表 C1,这是从现有的最好的资料^[3]中引证来的。表中还列有相应的年平均温度 T_m (K)和年平均压力 p_m (kPa),它们取自国际标准大气(见 ISO 2533)。以下的公式用来拟合这些垂直变化。分两个高度 H (km),一个从 0 到 11 km(对流层),另一个从 11 km 到 20 km(同温层)。

a) 海平面到 11 km 的对流层

$$T_m = T_{ms} - 6.5H \quad \dots\dots\dots(C1)$$

$$p_m = p_{ms}(T_m/T_{ms})^{5.25588} \quad \dots\dots\dots(C2)$$

$$h_m = A_0 \times 10^{G_1} \quad \dots\dots\dots(C3)$$

式中, $G_1 = A_1H + A_2H^2 + A_3H^3 + A_4H^4 + A_5H^5 + A_6H^6$ 。

b) 11 km 到 20 km 的同温层

$$T_m = 216.65 \quad \dots\dots\dots(C4)$$

$$p_m = 22.632 \times \exp[-0.157688(H - 11)] \quad \dots\dots\dots(C5)$$

$$h_m = A_7 \times 10^{G_2} \quad \dots\dots\dots(C6)$$

式中, $G_2 = A_8H + A_9H^2 + A_{10}H^3 + A_{11}H^4$ 。

T_{ms} 和 p_{ms} 为海平面高度年平均温度(288.15K)和年平均压力(101.325 kPa)。各个常数为 $A_0=1.00271$; $A_1=-0.12223$; $A_2=0.04546$; $A_3=-0.031545$; $A_4=0.0076472$; $A_5=-0.00079906$; $A_6=0.000029429$; $A_7=1.8395 \times 10^{-20}$; $A_8=5.44894$; $A_9=-0.60683$; $A_{10}=0.0283643$; $A_{11}=-0.000474746$ 。

表 C1 所列的大气吸收引起的纯音衰减系数,是根据这些气象参数,对按式(6)算得的精确的频带中心频率,采用式(3)、式(4)和式(5)计算出来的。注意,所有频率的年平均衰减系数随高度的变化都很大。

表 C1 中纬度地带温度、压力、水蒸气克分子浓度和纯音大气衰减系数与海平面以上高度的关系

高度 H, km	温度 T_m, K	压力 p_m, kPa	分子浓度 h_m	衰减系数 $\alpha_m, dB/km$							
				优选频率, Hz							
				63	125	250	500	1 000	2 000	4 000	8 000
0	288.15	101.325	1.00271	0.12	0.43	1.18	2.30	4.06	9.53	30.48	109.03
0.5	284.90	95.461	0.88702	0.13	0.44	1.10	2.02	3.81	10.04	34.01	121.27
1	281.65	89.875	0.79385	0.14	0.43	1.00	1.79	3.70	10.76	37.76	132.05
2	275.15	79.495	0.60935	0.15	0.40	0.79	1.53	4.02	13.61	48.49	151.09
3	268.65	70.109	0.43513	0.15	0.34	0.66	1.65	5.41	19.26	61.61	143.83
4	262.15	61.640	0.30250	0.14	0.29	0.70	2.27	8.03	25.81	60.50	99.20
5	255.65	54.020	0.21167	0.12	0.30	0.96	3.38	10.87	25.46	40.67	58.97
6	249.15	47.181	0.14486	0.14	0.43	1.48	4.68	10.62	16.26	21.95	37.47
7	242.65	41.061	0.08843	0.22	0.74	2.14	4.16	5.66	7.17	11.55	28.53

表 C1 (完)

高度 H, km	温度 T_m, K	压力 p_m, kPa	分子浓度 h_m	衰减系数 $\alpha_m, \text{dB/km}$							
				优选频率, Hz							
				63	125	250	500	1 000	2 000	4 000	8 000
8	236.15	35.600	0.043 22	0.43	0.90	1.26	1.48	1.82	3.05	7.89	27.19
9	229.65	30.742	0.016 46	0.26	0.30	0.33	0.42	0.77	2.16	7.69	29.72
10	223.15	26.436	0.005 95	0.10	0.11	0.13	0.24	0.64	2.23	8.57	33.82
11	216.65	22.632	0.003 80	0.06	0.07	0.10	0.21	0.67	2.51	9.81	38.87
12	216.65	19.330	0.002 74	0.05	0.06	0.09	0.23	0.77	2.91	11.46	45.49
13	216.65	16.510	0.002 01	0.04	0.05	0.09	0.25	0.88	3.39	13.40	53.24
14	216.65	14.102	0.001 60	0.03	0.05	0.09	0.28	1.02	3.96	15.68	62.32
15	216.65	12.045	0.001 44	0.03	0.04	0.10	0.32	1.18	4.63	18.34	72.95
16	216.65	10.287	0.001 47	0.03	0.04	0.11	0.36	1.37	5.41	21.47	85.41
17	216.65	8.787	0.001 68	0.03	0.04	0.12	0.42	1.60	6.33	25.13	99.99
18	216.65	7.505	0.002 07	0.02	0.05	0.13	0.48	1.87	7.40	29.42	117.06
19	216.65	6.410	0.002 57	0.02	0.05	0.15	0.56	2.19	8.66	34.44	137.05
20	216.65	5.475	0.002 93	0.02	0.05	0.17	0.65	2.56	10.14	40.31	160.45

注

- 1 衰减系数是根据式(C1)到式(C6)确定的大气温度、压力和克分子浓度计算得来的。
- 2 α_m 的值是按精确的三分之一倍频带中心频率, 即 63 Hz 到 8000 Hz 的八个常用频率计算得来的。下标 m 表示年平均条件

C2 局域变化

C2.1 大气压、温度和湿度偏离表 C1 平均值的局域变化是很复杂的。气象条件下的这些变化对大气吸收的影响, 可归纳如下:

C2.2 海平面以上的一定高度处, 大气压的变化很少大于表 C1 中的压力的 $\pm 5\%$ 。 $\pm 5\%$ 的大气压变化, 将引起小于 $\pm 5\%$ 的衰减系数变化。因此, 实用中, 大气压对于表 C1 中的平均值的偏离通常可以不计。

C2.3 一定高度处的大气温度和水蒸气克分子浓度, 随时间和地点都有较大的变化。例如, 地面附近的变化范围, 可与表 C1 中的随高度的平均变化量相比。结果, 为了计算大气吸收衰减, 当时当地的温度和水蒸气克分子浓度资料是不可替代的。

然而, 一般的情况是, 气象资料通常仅限于地面附近约 10 m 高度的局部一处测得(或预报)的时间平均值。时间平均值给使用者留下一个判定问题, 即对于一特定时间的地面附近声传播路径上的气象条件, 时间平均值的代表性如何。

C2.4 当气象资料只有地面附近的一些数据时, 应清楚意识到以下两点:

- a) 按照式(3)、式(4)和式(5), 决定大气吸收行为的气象变量是水蒸气克分子浓度;
- b) 正常的白昼时间内, 由于风的作用而产生的大气混合, 使最接近地面的整个附面层内, 水蒸气克分子浓度趋于常数。

如果传播路径完全在混合层内, 又假定直到混合层的最高处克分子浓度为常数, 那么, 采用地面附近的气象测量, 或许能使大气吸收衰减的计算, 达到适合许多应用的准确度。混合层的厚度, 能从夏季夜间的 10 m 左右, 变到光照强烈的下午的 1 km 左右。当厚度可疑时, 应采用无线电高空测候仪观察, 或咨询专家的意见。

C3 对分层大气的应用

C3.1 纯音

C3.1.1 表 C1 的平均衰减系数表明,在计算长距离垂直或斜向传播的吸收损失时,它随高度的变化,对于假设为均匀的大气层来说太大了,同时应记住 8.2.2 中的一些限制。为避免引入大的误差,大气应采用多层水平层模拟。这样,吸收损失的计算按以下步骤进行。

C3.1.2 温度 T 、大气压力 p 和克分子浓度 h ,取分层大气传播路径上选定点处的值。这些数由测量或预测模型得来,如表 C1。选定点处频率为 f 的衰减系数,用式(3)、式(4)和式(5)计算。应选取足够数量的点,以使衰减系数沿由 n 个有限程长的层段组成的路径能连续变化,同时每一层段的厚度远比声波波长长,但其上的衰减系数明显为常数。

C3.1.3 整个路径上总纯音吸收损失 $\delta L_i(f)$,由在 n 个层段上按下式求和而得。

$$\delta L_i(f) = \sum_{i=1}^n [\alpha_i(f)] [\delta s_i] \quad \dots\dots\dots (C7)$$

式中, $[\alpha_i(f)]$ 是程长为 $[\delta s_i]$ 的第 i 个层段中间位置处的频率为 f 的平均大气吸收衰减系数。

C3.2 用分数倍频程带通滤波器分析宽带声

C3.2.1 宽带声传过非均匀大气时的衰减,在增补了 C3.1 的步骤后,即可采用 8.1 给出的用于宽带声的方法计算。

C3.2.2 如采用 8.2 的纯音法,则 C3.1 中的方法步骤自然要遵守。C3.1.2 中的频率 f 就是式(6)中所论频带的中心频率 f_m 。式(C7)的 $\delta L_i(f_m)$ 就给出从声源到接收器(或从接收器到声源)传播路径上频带声压级的总大气吸收衰减。

C3.2.3 如选用附录 D 所述的谱积分法,则计算较繁琐。为了求得从声源到接收器(或从接收器到声源)的路径上频带声压级的衰减 δL_B ,要先对每个频带中选定的某些频率,仿效 C3.1 的方法步骤,由式(C7)求出作为频率的离散函数的 $\delta L_i(f)$,然后,将这组纯音衰减系数代入式(D1),并按附录 D 所述的方法,对频率作数值积分。

然而,对于 D3 中所论的接收器处的频带声压级已知的第二种情形,需要对其求得作为频率函数的纯音衰减系数的声传播程长,就谱积分法而言通常太长了以致失败,原因在于实际滤波器在它通带外的一些频率上有不适当的衰减而引入了较大的误差,见 8.1.2 的论述。

附录 D

(提示的附录)

宽带声用分数倍频程带通滤波器分析时计算其衰减的通用谱积分法

D1 引言

D1.1 本附录讲述计算大气吸收引起的分数倍频带声压级衰减的通用谱积分法。该方法可用于各种实际情况,而无 8.2.2 规定的限制条件。

D1.2 本方法的使用者应知道实用上的一些限制,例如进行计算所要求的时间,以及一些声压级也许可以计算(或者应被测定)但实际上不能用市场上现有的仪器测量,因为周围环境的背景噪声、仪器的电噪声或者使用实际的带通滤波器所引入的固有误差(见 8.1.2)限制了测量。另一方面,本附录所述的方法,虽比 8.2 的近似纯音法复杂,但它能比纯音法给出更加精确的频带声压级的估算值。

D1.3 谱积分法的一般特点分三种情形论述。第一种情形,声源位置处频带声压级已知,要确定远处接收器位置处频带声压级。第二种情形,接收器处频带声压级已知,需确定声源处相应的频带声压级。第三种情形,在声传播路径上的一组气象条件下,接收器处频带声压级已知,需确定同一位置处但在不同气象条件下的频带声压级,这些声压级或许已测定过。对于全部三种情形,本附录讲述的方法,都仅限于处理大气吸收过程引起的衰减,其他机理产生的衰减不作考虑。

D1.4 本附录的分析方法假设,带通滤波器是按 10 为底的指数式设计的,其频带中心频率见式(6)。如

采用 2 为底的指数式,则所用公式要作适当修改。

D2 第一种情形:声源位置处的频带声压级已知

D2.1 在接收器位置 R 处,经受从声源到接收器的路径上的大气吸收衰减后,其分数倍频带声压级 $L_{BR}(f_m)$ (以 dB 计,基准声压 p_0 等于 $20 \mu\text{Pa}$)可按

$$L_{BR}(f_m) = 10 \lg \left[\int_{f_L}^{f_U} 10^{0.1[L_s(f) - \delta L_s(f) - \Delta A(f)]} df / f_0 \right] \text{dB} \quad \dots\dots\dots (D1)$$

计算。

式中: $L_s(f)$ ——声源位置处的声压谱级(以 dB 计,基准量为 p_0^2/f_0 , f_0 为基准带宽,等于 1 Hz)。

$\delta L_s(f)$ ——声源到接收器整个路径上大气吸收引起的纯音衰减,以 dB 计,按式(C7)计算。

f_L 和 f_U ——有效低限和高限频率,以 Hz 计。

$\Delta A(f)$ ——用于分析声源信号和接收信号的滤波器的相对衰减,以 dB 计。

注 13: 为在感兴趣的全部频率范围作积分时方便起见,对每个滤波器频带,可用精确的频带中心频率 f_m ,对 f 、 f_L 和 f_U 进行归一处理,精确的频带中心频率用式(6)计算。

D2.2 如有现成的作为频率的连续函数的声压谱级、纯音衰减和滤波器相对衰减响应的解析表达式,那么原则上,式(D1)是可以按预定的方式计算的。事实上积分通常用数值法,即在一频段的若干离散频率上,为被积函数三个元素赋值后求和而完成。

D2.3 声源处的声压谱级 $L_s(f)$,一般可根据规定工作条件下声源有效位置处测得的或预估的频带声压级 $L_{BS}(f_m)$ 确定。就本标准的目的而言,声源处每个滤波器频带中心频率上的声压谱级 $L_s(f_m)$,为 $L_{BS}(f_m)$ 减去相应的理想带通滤波器的带宽校正量,即

$$L_s(f_m) = L_{BS}(f_m) - 10 \lg(BW_i/f_0) \text{dB} \quad \dots\dots\dots (D2)$$

其中理想滤波器带宽 BW_i (Hz)由式

$$BW_i = f_2 - f_1 = f_m(10^{3b/20} - 10^{-3b/20}) \quad \dots\dots\dots (D3)$$

计算。

式中, f_2 和 f_1 分别是通带上限和下限频率, b 是带宽标识符,见 6.4 注 5。

D2.4 式(D2)的计算方法只适用于频谱连续且无离散频率成分的宽带声,如频谱中既有宽带声又有离散频率成分,那么首先应采用 8.4 所述的计算方法,来确定复合谱的两种成分的估算值。对于离散频率成分,遵照第 6 章的方法确定衰减。这种情况下就不应从所论频带声压级中扣除理想滤波器带宽校正。

D2.5 对于宽带声成分,相邻频带中心频率间任一频率上的声压谱级,可用线性内插法确定而得到该频率上 $L_s(f)$ 的估算值。为了建立声源处各低频段初始的声压级,需要把所用滤波器的相对衰减响应的下过渡带频率包括进来,同样,为了建立各高频段最后的声压级,也需要把所用滤波器的相对衰减响应的上过渡带频率包括进来,由于这个原因,也许需要一个特别的协议,来分别估计频率低于最低频带的下限频率,或高于最高频带的上限频率的声压谱级。

注 14: 对于大部分实用上感兴趣的声源,算得的接收器位置处的一组频带声压级中,略去最低的一个或两个频带声压级。以及最高的频带声压级,不会显著影响接收器处的频率计权声压级的计算准确度。

D2.6 如声源到接收器的声传播路径上气象条件均匀,那么任何频率的纯音衰减 $\delta L_s(f)$,就很容易采用式(2)到式(5)指明的步骤计算。如声传播路径上气象条件不均匀,那么大气应模拟为一系列水平层,每层厚度有其平均气象条件。此时,应遵从 C3.1 的方法步骤,逐个频率地对每个滤波器频带和每个可能存在的离散频率,完成式(D1)的积分而确定路径上的纯音大气吸收衰减。

D2.7 式(D1)中用于确定声源处频带声压级的滤波器相对衰减响应特性 $\Delta A(f)$,应与接收器处的滤波器的特性相同。相对衰减响应(即滤波器衰减减去制造商给的基准衰减),最好由实验对每个滤波器频带测定,或者直接由制造商提供。另外,也可将所选的滤波器设计的相对衰减响应的解析表示式用于式(D1)的计算中。为了取得谱分析器中滤波器的相对衰减响应的解析表示式,应向滤波器制造商咨询相

关意见。

D2.8 为了计算式(D1)的积分而必需要规定的剩下的两点是,低限和高限频率及它们之间数值积分的频率步长。

D2.9 许多实际的滤波器的相对衰减响应是不对称的,而且一组分数倍频程带通滤波器的每个滤波器各不相同。频率增加时衰减的变化率,在上过渡带(即从滤波器上限频率到高频一边的阻带的高衰减区)中常比下过渡带中快。此外,在声频的低中频段,许多宽带声源的声压谱级的斜率,或随频率的增加而稍微上升,或几乎与频率无关。而在高频段(例如高于1 kHz左右),宽带声压谱级的斜率常为负。正是因为这些原因,所以一般使用时,建议式(D1)中的有效低限和高限分别取为

$$f_L = (1/5)f_1, f_U = 2f_2 \quad \dots\dots\dots (D4)$$

对于任何一种按以10为底的指数式设计的分数倍频程带通滤波器,通带的下限频率 f_1 和上限频率 f_2 由下式

$$f_1 = (10^{-3b/20})f_m, f_2 = (10^{3b/20})f_m \quad \dots\dots\dots (D5)$$

计算。特殊情况下要求式(D1)的积分限包括比 $1/5f_1$ 到 $2f_2$ 更宽的频率范围,而另外的情况。较窄的积分范围也许就足够了。

D2.10 频率步长应小心选取(对于1/3倍频程带通滤波器,选为1倍频程的1/72)。在 f_1 和 f_2 之间的通带中,带通滤波器相对响应近似为常数,这时,对于1/3倍频程带通滤波器,相继两积分频率间隔可增大到1倍频程的1/24。

D3 第二种情形:接收器位置处的频带声压级已知

D3.1 这时,如只考虑接收器到声源的传播路径上大气吸收衰减,则声源位置S处分数倍频带声压级 $L_{BS}(f_m)$ (dB),可用稍作修改后的式(D1)计算,即

$$L_{BS}(f_m) = 10 \lg \left[\left\{ \int_{f_L}^{f_U} 10^{0.1[L_R(f) + \delta L_i(f) - \Delta A(f)]} df \right\} / f_0 \right] \text{ dB} \quad \dots\dots\dots (D6)$$

式中 $\delta L_i(f)$ 的符号为正,不再如式(D1)中那样为负,以表明从接收器回到声源时声压级是增加的。

D3.2 接收器处声压谱级应特别小心地加以确定,因为测得的频带声压级一定包含了分析所用的滤波器引入的某些误差(见8.1.2)

D3.3 确定接收器处声压谱级的近似方法是,从接收器处的频带声压级减去理想滤波器的带宽校正量,就象式(D2)表示的声源处的情况那样,然而,由于接收器位置处比声源位置处,声压谱级的斜率随频率的变化更快(尤其是大于1 kHz的高频段),所以应仔细考虑用来对频带中心频率之间的频率作声压谱级内插的方法步骤。对于高于2 kHz左右的频带中心频率之间,声压谱级线性内插法不适用了。同时,声压谱级既不能外推到比测得的接收器处频带声压级的最高频带的通带上限频率还高的频率,也不能外推到比最低频带的通带下限频率还低的频率。

D3.4 如接收器处的频带声压级,代表的是经过长距离声传播后,或在高吸收条件下测定的结果,那么常常观察到,高频段频带声压级受到仪器电噪声级的污染。这时,真正的声源信号的频带声压级没有测量到。污染了的频带声压级,应从分析中除去,以免错误地计算声源处的频带声压级。或者,可采用适当的外推步骤,以得到因污染而丢失的频带声压级的估算值。

D3.5 在对接收器处的声压谱级,和对路径上纯音大气吸收衰减作出适当估算后,式(D6)的计算就可象声源处频带声压级已知的第一种情形那样进行了。然而,当积分是在滤波器的下过渡带(通常为高频段)进行,而其频率范围内所估算的声压谱级负斜率的绝对值,超过下过渡带中滤波器相对衰减特性正斜率的相应绝对值时,就不应再尝试进行频带声压级的计算了。

D4 第三种情形:计及声传播路径上不同气象条件引起的大气吸收衰减的差别,修正接收器位置处声压级的测量值

D4.1 以下的公式,可用来把在气象条件1(例如试验当天的条件)接收器处测定的分数倍频带声压级 $L_{BR1}(f_m)$ 修正到气象条件2(例如基准气象条件)测定的频带声压级:

$$L_{BR2}(f_m) = 10 \lg \left[\left(\int_{f_L}^{f_U} 10^{0.1[L_{R1}(f) + \delta L_{11}(f) - \delta L_{12}(f) - \Delta A(f)]} df \right) / f_0 \right] \text{ dB} \quad \dots\dots\dots (D7)$$

式中, $L_{R1}(f)$ 和 $\delta L_{11}(f)$ 分别为气象条件 1 时, 接收器处的声压谱级和纯音大气吸收衰减。 $\delta L_{12}(f)$ 为气象条件 2 时的纯音大气吸收衰减。

D4.2 计算式(D7)的积分的方法, 一旦输入量给定以后, 就如计算第一种和第二种情形中相应的表示式时所述的一样。应特别注意 D3.4 和 D3.5 讨论过的述评。

附录 E

(提示的附录)

A 计权声压级衰减的计算实例

E1 为了进一步阐明 8.3 所述的计算方法和步骤, 这里考虑一个估算通行高速卡车和汽车的高速公路附近 500 m 处等效连续 A 计权声压级的问题。提供的声源噪声级是距离 15 m 处的长时平均倍频带声压级。大气温度 15℃, 相对湿度 50%, 气压 1 个标准大气压。

E2 500 m 处的等效连续倍频带声压级 $L_{p,500}$, 从 15 m 处的等效连续倍频带声压级 $L_{p,15}$ 按

$$L_{p,500} = L_{p,15} - \alpha_s s - \Delta \quad \dots\dots\dots (E1)$$

估算。

式中: α_s ——精确频带中心频率时的大气吸收衰减系数;

s ——声传播路径长度;

Δ ——大气吸收以外其他机理引起的衰减。

E3 假设其他机理(发散、地面效应等)引起的衰减为 30.5dB, 且与频率无关。衰减系数可用式(3)到式(6)诸式计算。但也可根据给定的温度、湿度和气压, 从表 1 读得。声传播路程长度(km)为:

$$s = (500 - 15) / 1000 = 0.485 \text{ km} \quad \dots\dots\dots (E2)$$

E4 具体计算步骤如表 E1 所示。

E5 将表 E1 最后一列换算来的时间平均平方 A 计权倍频带声压相加, 后取其常用对数, 再乘以 10, 就得 500 m 距离处的等效连续 A 计权声压级的估算值 51.8 dB。上面的算例中, 已忽略了 500 m 距离处 4 kHz 和 8 kHz 两个倍频带声压级, 因为 8.2.2 对距离和频率规定的条件不能满足。确实, 4 kHz 和 8 kHz 两个倍频带声压级如计算的话, 其值显然很低, 对等效连续 A 计权声压级的贡献微不足道。

表 E1 衰减的计算

f Hz	$L_{p,15}$ dB	Δ dB	α_s dB/km	$\alpha_s s$ dB	$L_{p,500}$ dB	A 计权因子, dB	$L_{pA,500}$ dB
31.5	75	30.5	≈0	≈0	44.5	-39.4	5.1
63	80	30.5	≈0.1	≈0	49.5	-26.2	23.3
125	83	30.5	≈0.5	0.2	52.3	-16.1	36.2
250	84	30.5	≈1.3	0.6	52.9	-8.6	44.3
500	83	30.5	≈2.2	1.1	51.4	-3.2	48.2
1 000	79	30.5	≈4.2	2.0	46.5	0	46.5
2 000	74	30.5	10.8	4.9	38.6	+1.2	39.8
4 000	70	30.5	36.2	17.6	—	+1.0	—
8 000	62	30.5	129.0	62.6	—	-1.1	—

注

1 衰减系数为近似值。标准 A 计权因子引自 GB/T 3785—1983。

2 这里 Δ 的值是特例, 使用本标准时, 应根据具体情况确定 Δ 值。

附录 F
(提示的附录)
参考文献

- [1] GB/T 3785—1983 声级计的电、声性能及测试方法
 - [2] LETESTU, S. (ed.) *International Meteorological Tables*, WMO-No. 188. TP94, Geneva, Switzerland; World Meteorological Organization.
 - [3] VALLEY, S. L. (ed.) *Handbook of Geophysics and Space Environments*, Office of Aerospace Research, U. S. Air Force, 1965, pp. 3-31 to 3-37.
-