

中华人民共和国国家标准

GB/T 4963—2007/ISO 226:2003
代替 GB/T 4963—1985

声学 标准等响度级曲线

Acoustics—Normal equal-loudness-level contours

(ISO 226:2003, IDT)

2007-11-14 发布

2008-05-01 实施

中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局
中国国家标准化管理委员会

发布



目 次

前言	III
引言	IV
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 标准等响度级曲线公式	2
附录 A (规范性附录) 自由场测听条件下纯音标准等响度级曲线	4
附录 B (规范性附录) 自由场测听条件下纯音标准等响度级曲线数值表	5
附录 C (资料性附录) 关于标准等响度级曲线推导的说明	8
参考文献	15

前 言

本标准等同采用 ISO 226:2003《声学 标准等响度级曲线》(英文版)。

本标准代替 GB/T 4963—1985。

本标准与 GB/T 4963—1985 的差异如下:

——GB/T 4963—2007 等同采用 ISO 226:2003,有 4 章 3 个附录;GB/T 4963—1985 参照的是 ISO/R 226:1961,只有 3 章 1 个附录。GB/T 4963—2007 参照的版本容量大了许多,而增加的内容都是实质性的。

——就核心内容说,GB/T 4963—2007 有从响度级推导声压级的公式:

$$L_p = \frac{10}{\alpha_f} \cdot \lg A_f - L_0 + 94$$

又有从声压级推导响度级的公式:

$$L_N = 40 \cdot \lg B_f + 94$$

而 GB/T 4963—1985 只有从声压级推导响度级的公式:

$$L_N = 4.2 + \frac{a_f(L_f - T_f)}{1 + b_f(L_f - T_f)}$$

而且,公式也不同。

——公式不同反映,GB/T 4963—2007 的等响度级曲线与 GB/T 4963—1985 的等响度级曲线相比,在频率 1 000 Hz~2 000 Hz 之间有了重要修改,这是根据近 20~30 年的最新研究成果做出的。

——GB/T 4963—2007 的附录 C 给出了标准等响度级曲线的由来,连同参考文献列出了十几个国家数十项研究的信息,可帮助标准使用者了解相关的研究方法。

本标准等同翻译 ISO 226:2003,并作了编辑性修改。

本标准的附录 A、附录 B 为规范性附录,附录 C 为资料性附录。

本标准由中国科学院提出。

本标准由全国声学标准化技术委员会(SAC/TC 17)归口。

本标准起草单位:中国科学院声学研究所、同济大学、中国科学院心理学研究所。

本标准主要起草人:戴根华、方至、毛东兴、李晓东。

本标准所代替标准的历次版本发布情况为:

——GB/T 4963—1985。

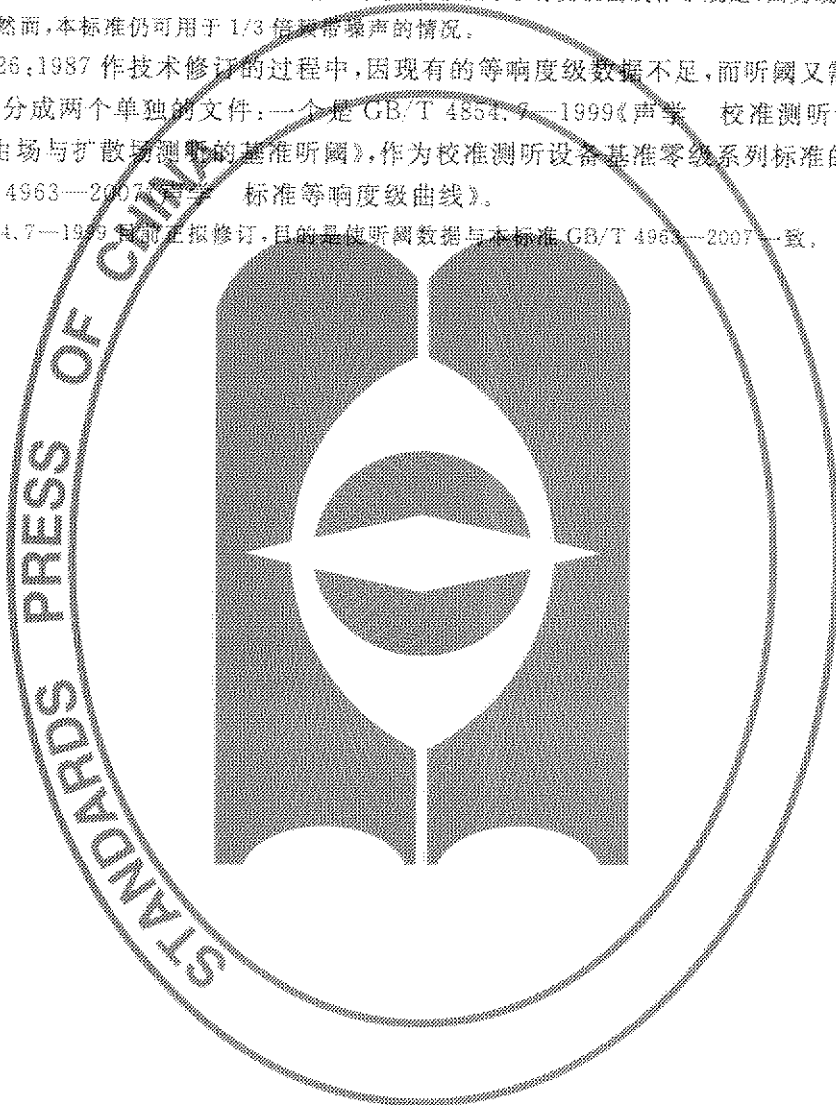
引 言

本标准定义了感觉上等响的一组纯音的频率和其声压级的关系曲线,以表示人的听觉系统的基本特性,这在心理声学领域具有重要的基础性意义。

注:也能对频带噪声确定等响度级。但在本标准中仅对纯音的等响度级曲线作了规定,因为现有的频带噪声的数据不够。然而,本标准仍可用于 1/3 倍频带噪声的情况。

在对 ISO 226:1987 作技术修订的过程中,因现有的等响度级数据不足,而听阈又需要,决定将听阈数据和阈上数据分成两个单独的文件:一个是 GB/T 4854.9—1999《声学 校准测听设备的基准零级 第 7 部分:自由场与扩散场测量的基准听阈》,作为校准测听设备基准零级系列标准的一部分;另一个是本标准 GB/T 4963—2007《声学 标准等响度级曲线》。

注:GB/T 4854.7—1999 目前正在修订,目的是使听阈数据与本标准 GB/T 4963—2007 一致。



声学 标准等响度级曲线

1 范围

本标准规定了听者感觉等响的持续性纯音的频率和声压级之间的关系。规定依据的条件如下：

- a) 听者不在场时的声场由自由平面行波组成；
- b) 声源在听者前方；
- c) 声信号为纯音；
- d) 声压级在听者的头的中心位置测定，但听者不在场；
- e) 双耳测听；
- f) 听者为年龄包括 18~25 岁的耳科正常人。

数据以附录 A 中的图和附录 B 中的表的形式给出。根据 GB/T 3240—1982，常用频率包括 20 Hz~12 500 Hz 的 1/3 倍频程中心频率。

2 规范性引用文件

下列文件中的条款通过本标准的引用而成为本标准的条款。凡是注日期的引用文件，其随后所有的修改单（不包括勘误的内容）或修订版均不适用于本标准，然而，鼓励根据本标准达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件，其最新版本适用于本标准。

GB/T 3240—1982 声学测量中的常用频率

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本标准。

3.1

耳科正常人 otologically normal person

无任何耳疾症候、耳道内无耵聍、无过度的噪声暴露史、从未使用过对耳有强烈毒害作用的药物、无听力损失家族史的健康状况正常者。

3.2

自由[声]场 free [sound] field

均匀各向同性媒质中，边界影响可以不计的声场。

3.3

响度级 loudness level

等于根据听力正常的听者判断为等响的 1 000 Hz 纯音（来自正前方的平面行波）的声压级。

注：响度级单位为方（phon）。

3.4

等响度关系 equal-loudness relationship

表示给定频率的纯音的响度级与其声压级之间的关系的曲线或函数。

3.5

等响度级曲线 equal-loudness-level contour

典型听者认为响度相同的纯音的声压级与频率的关系的曲线。

3.6

标准等响度级曲线 normal equal-loudness-level contour

表示年龄包括 18~25 岁的耳科正常人平均判断的等响度级曲线。

注：推导标准等响度级曲线的方法见附录 C。

3.7

听阈 threshold of hearing

在规定条件下,以一规定的信号进行的多次重复试验中,对一定百分数的听者能正确地判别所给信号的最低声压。信号的特性、它到达听者的方式以及测量声压的地点都必须说明。

注 1: 除非另有说明,否则到达人耳的环境噪声假设是可以忽略不计的。

注 2: 听阈一般用相对于 20 μPa 的分贝数表示。

注 3: 多次重复试验是指使用恒定声源的方法。其他心理物理方法也可使用,不过对所用方法应加以说明。

注 4: 一定百分数常取 50%。

4 标准等响度级曲线公式

4.1 从响度级推导声压级

频率为 f 响度级为 L_N 的纯音的声压级 L_p (单位: dB) 由式(1)给出:

$$L_p = \frac{10}{\alpha_f} \cdot \lg A_f - L_v + 94 \quad (1)$$

式中:

$$A_f = 4.47 \times 10^{-3} \times (10^{0.025L_N} - 1.15) + [0.4 \times 10^{(\frac{T_f + L_v}{15} - 9)}]^{*}$$

T_f ——听阈,单位为分贝(dB);

α_f ——响度感觉幂指数;

L_v ——对 1 000 Hz 归一化线性传递函数的幅值,单位为分贝(dB)。

表 1 给出了这些参数。

式(1)适用的频率范围取决于从 20 phon 的低限到下述高限(phon)的响度级:

20 Hz~4 000 Hz: 90 phon

5 000 Hz~12 500 Hz: 80 phon

响度级低于 20 phon 时,式(1)只是提示性的,因为缺少 20 phon 和听阈之间的实验数据。对于频率从 20 Hz 到 1 000 Hz 而响度级高于 90 phon 到 100 phon,式(1)也是提示性的,因为仅有一个研究所提供了 100 phon 的实验数据。

4.2 从声压级推导响度级

频率为 f 声压级为 L_p 的纯音的响度级 L_N (单位: phon) 由式(2)给出:

$$L_N = 40 \cdot \lg B_f + 94 \quad (2)$$

式中:

$$B_f = [0.4 \times 10^{(\frac{L_p + L_v}{10} - 9)}]^{*} - [0.4 \times 10^{(\frac{T_f + L_v}{15} - 9)}]^{*} + 0.005 135$$

T_f 、 α_f 和 L_v 的含义同 4.1。

对式(1)的限制条件同样适用于式(2)。

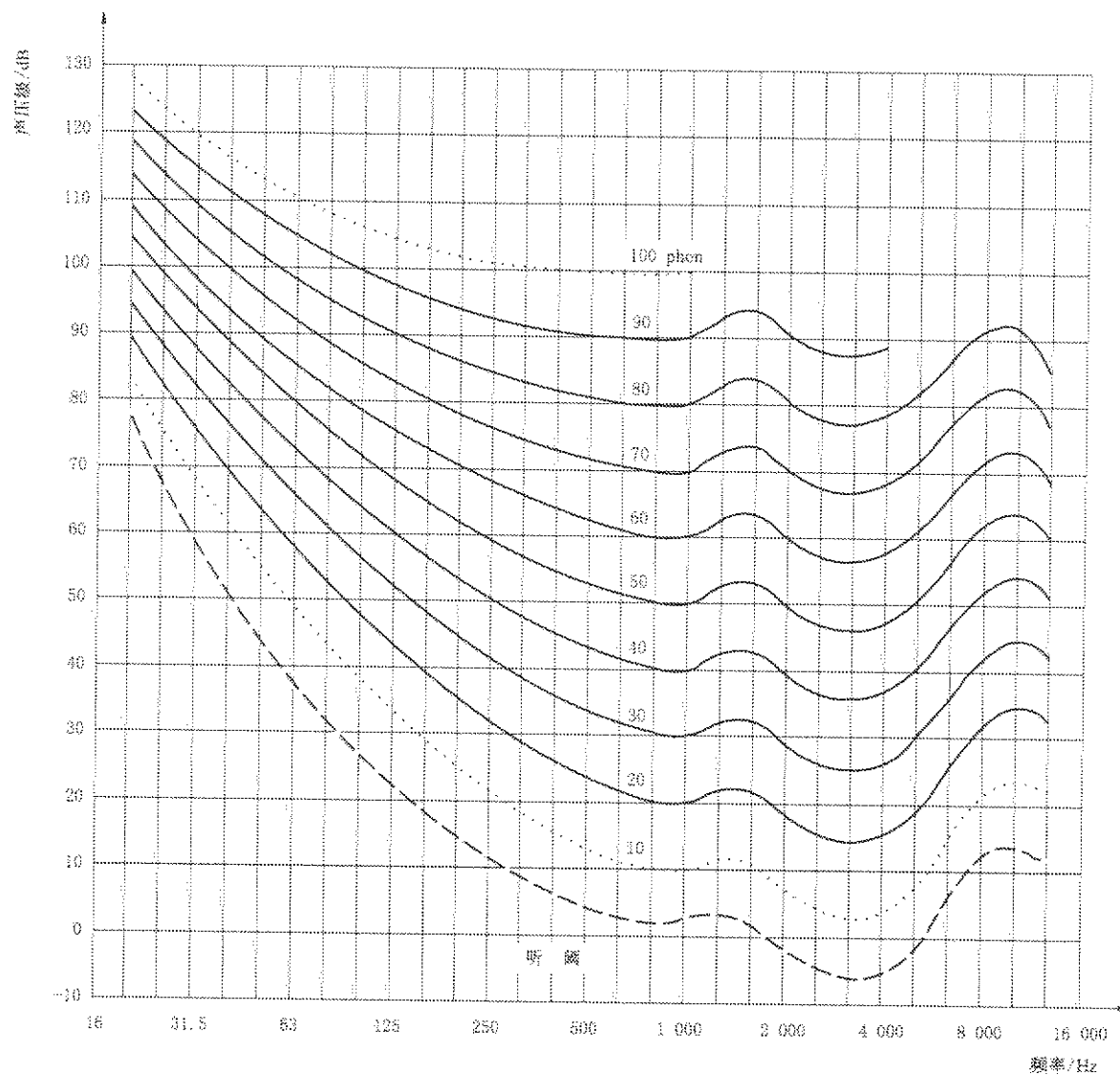
表 1 用于计算标准等响度级曲线的参数

频率 f/Hz	α_f	L_0/dB	T_f/dB
20	0.532	-31.6	78.5
25	0.506	-27.2	68.7
31.5	0.480	-23.0	59.5
40	0.455	-19.1	51.1
50	0.432	-15.9	44.0
63	0.409	-13.0	37.5
80	0.387	-10.3	31.5
100	0.367	-8.1	26.5
125	0.349	-6.2	22.1
160	0.330	-4.5	17.9
200	0.315	-3.1	14.4
250	0.301	-2.0	11.4
315	0.288	-1.1	8.6
400	0.276	-0.4	6.2
500	0.267	0.0	4.4
630	0.259	0.3	3.0
800	0.253	0.5	2.2
1 000	0.250	0.0	2.4
1 250	0.246	-2.7	3.5
1 600	0.244	-4.1	1.7
2 000	0.243	-1.0	-1.3
2 500	0.243	1.7	-4.2
3 150	0.243	2.5	-6.0
4 000	0.242	1.2	-5.4
5 000	0.242	-2.1	-1.5
6 300	0.245	-7.1	6.0
8 000	0.254	-11.2	12.6
10 000	0.271	-10.7	13.9
12 500	0.301	-8.1	12.3

附录 A

(规范性附录)

自由场测听条件下纯音标准等响度级曲线



注1: 自由场测听条件下的听阈 T_f 由短划线表示;

注2: 因为缺少20 phon和听阈之间的实验数据,10 phon的等响度级曲线用点线表示,同时,100 phon的等响度级曲线也用点线表示,因为只有一个研究所提供了100 phon等响度级曲线的数据。

图 A.1 纯音标准等响度级曲线
(双耳自由场测听,前向入射)

附 录 B
(规范性附录)

自由场测听条件下纯音标准等响度级曲线数值表

表 B.1 20 Hz~12 500 Hz 频率范围内的纯音的响度级与其声压级之间的关系

响度级/ phon	声 压 级/dB									
	20 Hz	25 Hz	31.5 Hz	40 Hz	50 Hz	63 Hz	80 Hz	100 Hz	125 Hz	160 Hz
10	(83.8)	(75.8)	(68.2)	(61.1)	(55.0)	(49.0)	(43.2)	(38.1)	(33.5)	(28.8)
20	89.6	82.7	76.0	69.6	64.0	58.6	53.2	48.4	43.9	39.4
30	94.8	88.5	82.4	76.5	71.3	66.2	61.2	56.8	52.6	48.4
40	99.9	93.9	88.2	82.6	77.8	73.1	68.5	64.4	60.6	56.7
50	104.7	99.1	93.7	88.5	84.0	79.6	75.4	71.6	68.2	64.7
60	109.5	104.2	99.1	94.2	90.0	86.0	82.1	78.7	75.6	72.5
70	114.3	109.2	104.4	99.8	95.9	92.2	88.6	85.6	82.9	80.2
80	119.0	114.2	109.6	105.3	101.7	98.4	95.2	92.5	90.1	87.8
90	123.7	119.2	114.9	110.9	107.5	104.6	101.7	99.3	97.5	95.4
100	(128.4)	(124.2)	(120.1)	(116.4)	(113.4)	(110.6)	(108.2)	(106.2)	(104.5)	(103.0)

响度级/ phon	声 压 级/dB									
	200 Hz	250 Hz	315 Hz	400 Hz	500 Hz	630 Hz	800 Hz	1 000 Hz	1 250 Hz	1 600 Hz
10	(24.8)	(21.3)	(18.2)	(15.1)	(13.0)	(11.2)	(10.0)	10.0	(11.3)	(10.4)
20	35.5	32.0	28.7	25.7	23.4	21.5	20.1	20.0	21.5	21.4
30	44.8	41.5	38.4	35.6	33.4	31.5	30.1	30.0	31.6	32.0
40	53.4	50.4	47.6	45.0	43.1	41.3	40.1	40.0	41.8	42.5
50	61.7	59.0	56.5	54.3	52.6	51.1	50.0	50.0	52.0	52.9
60	69.9	67.5	65.4	63.5	62.1	60.8	59.9	60.0	62.2	63.2
70	77.9	75.9	74.2	72.6	71.5	70.5	69.8	70.0	72.3	73.5
80	85.9	84.3	82.9	81.7	80.9	80.2	79.7	80.0	82.5	83.7
90	93.9	92.6	91.6	90.8	90.2	89.8	89.6	90.0	92.6	94.0
100	(101.8)	(101.0)	(100.3)	(99.8)	(99.6)	(99.5)	(99.4)	100.0	—	—

表 B.1(续)

响度级/ phon	声 压 级/dB								
	2 000 Hz	2 500 Hz	3 150 Hz	4 000 Hz	5 000 Hz	6 300 Hz	8 000 Hz	10 000 Hz	12 500 Hz
10	(7.3)	(4.5)	(3.0)	(3.8)	(7.5)	(14.3)	(21.0)	(23.4)	(22.3)
20	13.2	15.4	14.3	15.1	18.6	25.0	31.5	34.4	33.0
30	28.8	26.0	25.0	26.0	29.4	35.5	41.7	44.6	42.5
40	39.2	36.5	35.6	36.6	40.0	46.8	51.8	54.3	51.5
50	49.6	46.9	46.1	47.1	50.5	56.1	61.8	63.8	60.1
60	60.0	57.3	56.4	57.6	60.9	66.4	71.7	73.2	68.6
70	70.3	67.6	66.8	68.0	71.3	76.6	81.5	82.5	77.0
80	80.6	77.9	77.1	78.3	81.6	86.8	91.4	91.7	86.4
90	90.9	88.2	87.4	88.7	—	—	—	—	—
100	—	—	—	—	—	—	—	—	—

注:括号内的数据仅供参考。

表 B.2 20 Hz~12 500 Hz 频率范围内的纯音的声压级与其响度级之间的关系

声压级/ dB	响 度 级/phon									
	20 Hz	25 Hz	31.5 Hz	40 Hz	50 Hz	63 Hz	80 Hz	100 Hz	125 Hz	160 Hz
0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
10	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
20	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
30	—	—	—	—	—	—	—	(4.3)	(7.3)	(11.1)
40	—	—	—	—	—	—	(7.5)	(11.6)	(16.0)	20.7
50	—	—	—	—	(6.0)	(10.9)	(16.5)	21.9	26.9	31.9
60	—	—	—	(8.9)	(15.2)	21.8	28.4	34.2	39.3	44.1
70	—	—	(12.1)	20.6	28.2	35.5	42.2	47.8	52.5	56.8
80	(4.4)	(15.9)	26.2	35.7	43.6	50.7	57.0	62.0	66.1	69.8
90	20.8	32.7	43.3	52.7	60.1	66.5	72.1	76.4	79.9	82.9
100	40.3	51.7	61.8	70.4	77.1	82.7	87.5	(91.0)	(93.8)	(96.1)
110	61.1	71.6	80.7	88.5	(94.3)	(99.0)	—	—	—	—
120	82.2	(91.7)	(99.8)	—	—	—	—	—	—	—

表 B.2(续)

声压级/ dB	响 度 级/phon									
	200 Hz	250 Hz	315 Hz	400 Hz	500 Hz	630 Hz	800 Hz	1 000 Hz	1 250 Hz	1 600 Hz
0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
10	—	—	—	(5.5)	(7.3)	(8.9)	(10.0)	10.0	(8.8)	(9.6)
20	(6.2)	(8.9)	(11.8)	(14.5)	(16.7)	(18.6)	(19.9)	20.0	(18.6)	(18.7)
30	(14.6)	(18.0)	21.3	24.4	26.6	28.5	29.9	30.0	28.4	28.1
40	24.8	28.4	31.8	34.7	36.9	38.7	40.0	40.0	38.3	37.6
50	36.0	39.6	42.7	45.4	47.3	48.9	50.0	50.0	48.1	47.3
60	47.9	51.2	53.9	56.3	57.9	59.2	60.1	60.0	57.9	56.9
70	60.2	63.0	65.3	67.2	68.5	69.5	70.3	70.0	67.8	65.7
80	72.6	74.9	76.7	78.2	79.1	79.9	80.4	80.0	77.6	76.4
90	85.2	86.9	88.2	89.2	89.8	(90.2)	(90.5)	90.0	87.4	86.1
100	(97.7)	(98.9)	(99.7)	—	—	—	—	100.0	—	—
110	—	—	—	—	—	—	—	—		
120	—	—	—	—	—	—	—	—		

声压级/ dB	响 度 级/phon									
	2 000 Hz	2 500 Hz	3 150 Hz	4 000 Hz	5 000 Hz	6 300 Hz	8 000 Hz	10 000 Hz	12 500 Hz	
0	—	(6.1)	(7.4)	(8.8)	—	—	—	—	—	
10	(12.5)	(15.1)	(16.2)	(15.4)	(12.3)	(6.0)	—	—	—	
20	21.8	24.3	25.3	24.5	21.3	(15.3)	(9.1)	(7.1)	(8.1)	
30	31.2	33.8	34.7	33.8	30.6	24.8	(18.6)	(15.9)	(17.0)	
40	40.8	43.4	44.2	43.2	40.0	34.4	28.3	25.5	27.3	
50	50.4	53.0	53.8	52.8	49.6	44.1	38.2	35.6	38.3	
60	60.1	62.7	63.5	62.4	59.2	53.8	48.3	46.0	49.9	
70	69.8	72.4	73.2	72.0	68.8	63.6	58.4	56.7	61.7	
80	79.6	82.1	82.9	81.7	78.5	73.4	68.5	67.4	73.6	
90	89.2	—	—	—	—	—	78.6	78.2	—	
100	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
110	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
120	—	—	—	—	—	—	—	—	—	

注：括号内的数据仅供参考。

附录 C

(资料性附录)

关于标准等响度级曲线推导的说明

C.1 实验数据

本标准规定的自由场测听条件下标准等响度级曲线,是从 12 个独立的实验研究结果得来的,见文献[1]~[12]。大多数情况下,诸如刺激和受试者的选择标准等实验条件满足优选测试条件(见文献[13]),与优选测试条件的差别认为是可以忽略的。实验研究的简要情况在表 C.1 中给出。

C.2 式(1)和式(2)的推导

等响度级曲线画在以频率和声压级为轴的二维平面上。由于画这些曲线的实验数据是一个点一个点地给出的,所以数据必须适当地作平滑和内插处理。结果求得一个表示等响关系的模型函数。这个函数的各个参数的数值,由使用最小二乘法将它拟合到实验数据而得。

沿声压级轴的内插根据模型响度函数进行。响度函数将声音响度以其声压级的函数表示,已提出几个函数作为纯音的模型响度函数 l 。本标准采用如式(C.1)的函数:

$$l = c(p^{25} - p_i^{25}) \dots\dots\dots (C.1)$$

式中:

c ——有量纲的常数;

p ——纯音声压;

θ ——响度感觉过程幂指数;

p_i ——以声压表示的听阈。

该函数由文献[14]和[15]给出,它形式虽然简单,但能很好地描述无掩蔽噪声时纯音的响度函数(见文献[16])。

此外,文献[17]指出,评定响度有两个过程:一个是“响度感觉过程”,另一个是“数值评定过程”。有鉴于此,提出了一个“二过程模型”,模型中两个过程的结果用不同幂指数的变换描写。而且,在实际的听觉系统中,声源辐射的声音由诸如头相关传递函数,及外耳、中耳和内耳的线性力学部分的线性传递函数等所变换。线性传递函数描述声源和刚要产生响度感觉的过程前的阶段之间总的传递函数。根据这些思想,响度评定过程由三部分组成:

- 线性传递函数;
- 响度感觉;
- 数值评定。

图 C.1 示出该模型的框图。根据这个模型和式(C.1)所示的响度函数,响度响应由式(C.2)给出:

$$l = b\{c[(U \cdot p)^{25} - (U \cdot p_i)^{25}]\}^\theta \dots\dots\dots (C.2)$$

式中:

U ——扩展的线性传递函数;

c 和 α ——“响度感觉过程”的扩展的有量纲常数和幂指数;

b 和 β ——“数值评定过程”的扩展的有量纲常数和幂指数;

p 和 p_i ——同式(C.1)中的定义。

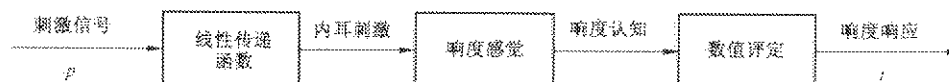


图 C.1 响度评定过程模型方框图

除声压外,沿频率轴的等响关系也需用一个函数表示。当 1 000 Hz 的纯音的响度等于 f 的纯音的响度时,由式(C.2)可得式(C.3):

$$p_f^2 = \frac{1}{U_f^2} [(p_r^{2\alpha_r} - p_u^{2\alpha_r}) + (U_f \cdot p_{if})^{\alpha_f}]^{\frac{1}{\alpha_f}} \dots\dots\dots (C.3)$$

式中:

p_f ——其响度等于声压为 p_r 的 1 000 Hz 纯音的响度时 f (Hz) 纯音的声压;

p_{if} —— f (Hz) 的听阈;

p_u ——1 000 Hz 的听阈;

α_f 和 α_r —— f (Hz) 和 1 000 Hz 的纯音的幂指数;

U_f ——对 1 000 Hz 归一化线性传递函数的幅值。

即令 1 000 Hz 的 $U=1$ 。在上述推导中,已假定“数值评定过程”中的变量 b 和 β 与频率无关。使用这些公式,可计算响度与 1 000 Hz 纯音的响度相等的 f (Hz) 纯音的声压级。

将 $p_f^2, p_r^2, p_{if}^2, p_u^2, U_f^2$ 分别代以 $p_f^2 = p_0^2 \cdot 10^{L_f/10}, p_r^2 = p_0^2 \cdot 10^{L_r/10}, p_{if}^2 = p_0^2 \cdot 10^{T_f/10}, p_u^2 = p_0^2 \cdot 10^{T_u/10}, U_f^2 = p_0^2 \cdot 10^{L_u/10}$, 式(C.3)就转换成式(1), 这里 $p_0 = 20 \mu\text{Pa}, \alpha_r = 0.25, T_u = 2.4 \text{ dB}$ 。

采用相同的替代,可从式(C.3)导得式(2)。

1 000 Hz 的幂指数 α_r 取为 0.25 是基于如下的原因:用绝对幅值估计(AME)法所得的 α_r 的典型值为 0.27(对声压而言为 0.54),见文献[15]。用 AME 法实验所得的响度,似乎适合“二过程模型”的结果。因此,取 0.27 作为文献[15]公式中的指数 α, β , 而 $\beta = 1.08, \beta$ 的值在文献[18]中确定。这样,1 000 Hz 的幂指数 α_r 就假定为 0.25(=0.27/1.08)。

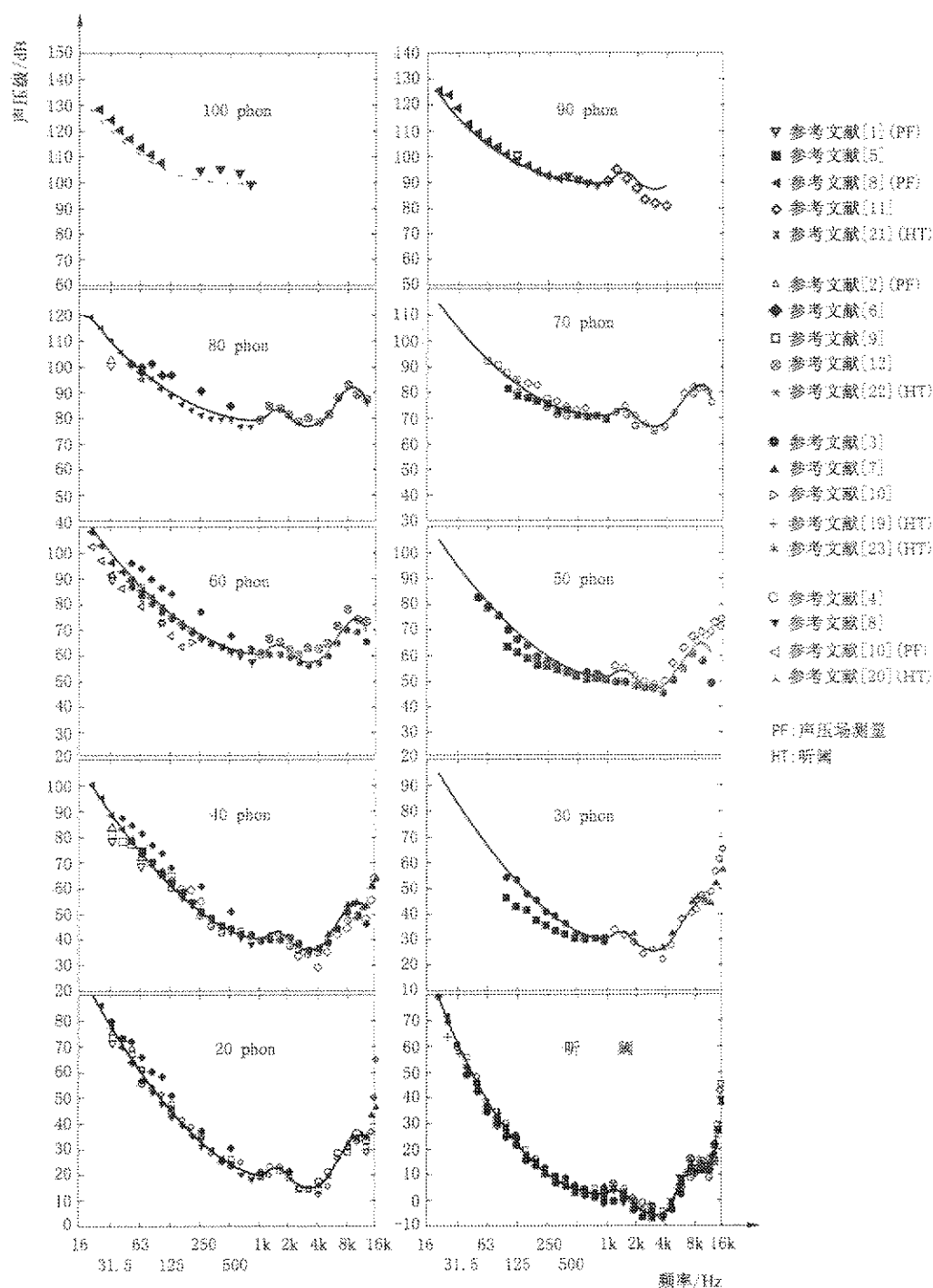
C.3 表 1 中与频率有关的各个参数的获得

如果得到了式(1)中与频率有关的各个参数 α_f, L_u 和 T_f , 那么,就能画出等响度级曲线。这些参数按如下步骤从实验数据计算而得:

- 除两项研究^[19,21]用平均值外,在其余各项研究^[3,9,11,13,20,22,23]中,20 Hz~12 500 Hz 的听阈,都取各自在每个频率所得结果的中数值的平均值表示,其中作了平滑和三次 B-样条函数的内插处理。这样得到的 T_f 示于表 1。听者的人数在 B-样条函数计算中未予以考虑。
- 式(1)已在每个频率按非线性最小二乘法,对各研究^[1~13]结果的平均值作了拟合,以估算 α_f, L_u 。然后,将所得的 α_f 作平滑和三次 B-样条函数的内插处理, α_f 如表 1 所示。
- 将 α_f 代入式(1),对 L_u 作再估算。对再估算后的 L_u 作平滑和按三次 B-样条函数内插处理,所得的 L_u 示于表 1。

C.4 等响度级曲线和实验数据的比较

等响度级曲线的测定在 20 Hz~12 500 Hz 的频率范围进行,高于 12 500 Hz 的现有数据呈现较大的变化。图 C.2 给出来自文献[1]~[12]和[19]~[23]的数据,还有拟合后的标准等响度级曲线及听阈曲线。



注1: 声压场(PF)只有低频测试数据(见表C.1和脚注b);

注2: 各种符号表示测试数据,所有曲线是按式(1)计算得来的。

图 C.2 自由场测听条件下正常听力的纯音等响度级曲线

表 C.1 纯音标准等响度级曲线的研究

实验研究	参考文献[1]	参考文献[2]	参考文献[3]	参考文献[4]
年 份	1983	1984	1989	1989
国 家	丹 麦	丹 麦	德 国	日 本
声 场	声压场 ^a	声压场 ^a	自由场	自由场
测试范围 ^a	20phon; 2 Hz~63 Hz 40phon; 2 Hz~63 Hz 60phon; 2 Hz~63 Hz 80phon; 8 Hz~63 Hz 100phon; 31.5 Hz~ 63 Hz	20phon; 2 Hz~63 Hz 40phon; 2 Hz~63 Hz 60phon; 2 Hz~63 Hz 80phon; 4 Hz~63 Hz 100phon; 16 Hz~ 63 Hz	听阈; 40 Hz~ 15 000 Hz 30phon; 100 Hz~ 1 000 Hz 40phon; 50 Hz~ 12 500 Hz 50phon; 50 Hz~ 12 500 Hz 60phon; 50 Hz~ 12 500 Hz	听阈; 63, 125, 250~12 500 Hz 20phon; 63, 125, 250, 500, 1 000, 2 000, 4 000~12 500 Hz 40phon; 125, 250~4 000, 8 000 Hz 60phon; 125, 250~4 000, 8 000 Hz
受试者人数 (年龄)	24 (18~25)	28 (18~25)	13~49 (17~25)	9~32 (19~25)
试验方法	随机最大似然排序法	随机最大似然排序法	恒定刺激法	恒定刺激法
基准音	63 Hz 固定声级	63 Hz 固定声级	1 000 Hz 固定声级	1 000 Hz 固定声级
试验音 声压级	从 μ 和 $\mu \pm \sigma$ 中随机 选取 ^b	从 μ , $\mu \pm \sigma$ 和 $\mu \pm 2\sigma$ 中 随机选取	分为 7 档, 每档 5 dB	分为 9 档, 每档 1.5 dB~4.5 dB
音持续时间	2 s	2 s	1 s	1 s
试验音与基 准音的次序	基准音在前	随机	随机	随机
单次测试中的 判别数/ 结束规则	操作者感觉 PSE ^c 被 被足够精确地估计	试验中 5 个可能的试 验音声压级放送完毕	7 个试验音声压级 $\times 3$ = 21 个判别	9 个试验音声压级 $\times 20$ = 180 个 判别
主观相等点 (PSE ^c) 估计	最大似然估计	最大似然估计	较响的响应为 50%	最大似然估计
注	基准音声压级由 1 000 Hz 的基准音与 63 Hz 的试验音等响 时逐个确定	基准音声压级由 1 000 Hz 的基准音与 63 Hz 的试验音等响 时逐个确定	测试期间试验音声压 级的变动为 2.5 dB	

表 C.1(续)

实验研究	参考文献[5]	参考文献[6]	参考文献[7]
年 份	1990	1990	1994
国 家	德 国	丹 麦	丹 麦
声 场	自由场	自由场	自由场
测试范围 ^a	听阈:100 Hz~1 000 Hz 30phon:100 Hz~1 000 Hz 50phon:100 Hz~1 000 Hz 70phon:100 Hz~1 000 Hz	听阈:25~125,250,500,1 000 Hz 20phon:31.5~125,250,500 Hz 40phon:40~125,250,500 Hz 60phon:50~125,250,500 Hz 80phon:50~125,250,500 Hz	听阈:1 000 Hz~16 000 Hz 20phon:1 000 Hz~16 000 Hz 30phon:1 000 Hz~16 000 Hz 40phon:1 000 Hz~16 000 Hz
受试者人数 (年龄)	12 (21~25)	10~12 (18~30)	29 (18~25)
试验方法	恒定刺激法	升降法	升降法
基准音	1 000 Hz 固定声级	1 000 Hz 固定声级	1 000 Hz 固定声级
试验音声压级	等响度级上下 ± 1.875 dB, ± 4.875 dB, ± 7.875 dB(见 文献[24])	每档变动 2dB	每档变动 3 dB
音持续时间	1 s	1 s	1 s
试验音和基 准声的次序	随机	随机	随机
单次测试中的 判别数/结束规则	70 次判别(± 1.875 dB; 各 20 次, ± 4.875 dB; 各 10 次, ± 7.875 dB; 各 5 次)	完成 6 次降序和 5 次升序	完成 4 次降序和 4 次升序
主观相等点 (PSE*)估计	50%心理函数测定	除去起始降序外所有序列结束 时的试验音声压级的平均	所有序列结束时的试验音声 压级的中数值
注		开始的试验音声压级为 ISO 226:1987 规定值以上 15 dB~20 dB	开始的试验音声压级为 ISO 226:1987 规定值以上 15 dB

表 C.1(续)

实验研究	参考文献[8]		参考文献[9]	参考文献[10]	
年 份	1997		1997	1999	
国 家	丹 麦		日 本	德 国	
声 场	自由场	声压场 ^a	自由场	自由场	声压场 ^a
测试范围	听阈:50 Hz~ 16 000 Hz 20 phon:50 Hz~ 800 Hz 40 phon:50 Hz~ 800 Hz 60 phon:50 Hz~ 800 Hz 80 phon:50 Hz~ 800 Hz 90 phon:125 Hz~ 800 Hz 100 phon:250 Hz~ 800 Hz	听阈:20 Hz~ 100 Hz 20 phon:20 Hz~ 100 Hz 40 phon:20 Hz~ 100 Hz 60 phon:20 Hz~ 100 Hz 80 phon:20 Hz~ 100 Hz 90 phon:20 Hz~ 100 Hz 100 phon:25 Hz~ 100 Hz	听阈:31.5 Hz~20 000 Hz ^d 20 phon:31.5~63,125, 250,500,1 000~ 4 000,8 000,12 500 Hz 40 phon:31.5~63,125, 250,500 Hz 50 phon:125 Hz 60 phon:125 Hz 70 phon:63~125,250~4 000 8 000 Hz 90 phon:125 Hz	60 phon: 100,200, 630,1 000 Hz	60 phon: 16~160 Hz
受试者人数 (年龄)	27 (19~25)	14 (19~25)	9~30 (19~25)	12 (不确定)	
试验方法	随机最大似然排序法		恒定刺激法	一上一下自调节法	
基准音	1 000 Hz 固定声级	100 Hz 固定声级	1 000 Hz 固定声级	1 000 Hz 固定声级	100 Hz 固定声级
试验音声压级	从 $\mu \pm \sigma$ 和 $\mu \pm 2\sigma$ 中随机选取		9 档,每档变动 1.5 dB~2.5 dB	响度测定中,每逢试验 音声压级第二次倒向 时,起始档距 8 dB,后 减半,直到 2 dB	
音持续时间	1 s		1 s	—	
试验音和基 准音的次序	随机		随机	—	
单次测试中的 判别数/结 束规则	一次试验中用完 5 个可能的试验音声 压级		9 个试验音声压级 $\times 20 = 180$ 次判别	2 dB 的档距用完	
主观相等点 (PSE*)估计	最大似然估计		最大似然估计	—	
注	自由场中 100 Hz 的各等响度级作 为基准音声压级			自由场中 100 Hz 的 各等响度 级作为基 准音声 压级	

表 C.1(续)

实验研究	参考文献[11]	参考文献[12]
年 份	2000	2002
国 家	日 本	日 本
声 场	自由场	自由场
测试范围	听阈:31.5 Hz~18 000 Hz 20 phon:50 Hz~16 000 Hz 30 phon:1 000 Hz~16 000 Hz 40 phon:80 Hz~16 000 Hz 50 phon:1 000 Hz~16 000 Hz 70 phon:125 Hz~12 500 Hz 90 phon:1 000 Hz~4 000 Hz	听阈:1 000 Hz~12 500 Hz 60 phon:1 000 Hz~12 500 Hz 80 phon:1 000 Hz~6 300 Hz
受试者人数 (年龄)	7~32 (13~25)	21 (20~25)
试验方法	随机最大似然排序法	随机最大似然排序法
基准音	1 000 Hz 固定声级	1 000 Hz 固定声级
试验音声压级	从 μ 、 $\mu \pm 2$ dB、 $\mu \pm 4$ dB 和 $\mu \pm 6$ dB 中随机选取 ^c	从 μ 、 $\mu \pm 2$ dB、 $\mu \pm 4$ dB、 $\mu \pm 6$ dB 和 $\mu \pm 8$ dB 中随机选取 ^c
音持续时间	1 s	1 s
试验音和基准音的次序	随机	随机
单次测试中的判别数/结束规则	50 对音用完	60 对音用完
主观相等点 (PSE ^a)估计	最大似然估计	最大似然估计
注	第 1 个和第 2 个试验音的声压级,取为文献[11]关于 PSE 的最佳估计值 ± 20 dB	第 1 个和第 2 个试验音的声压级,取为文献[11]关于 PSE 的最佳估计值 ± 20 dB

^a PSE(Points of Subjective Equality):主观感觉响度相同时的声压级。

^b 测试范围“A Hz~B Hz”表示 GB/T 3240—1982 中规定的 1/3 倍频带的频率 A Hz~B Hz。

^c “声压场”测试在特殊的小室中进行,小室中产生规定的声压。这样的测试限于极低的频率范围。比较研究证实,“声压场”测试结果与自由场测试结果一致。

^d μ 和 σ 为最大似然法的心理测定函数的平均值和标准偏差的估计值。

^e 文献[9]没有报告听阈,但文献[25]和[4]报告了。

参 考 文 献

- [1] Kirk, B. Hørestyrke og genevirkning af infralyd. Institute of Electronic Systems, Aalborg University, Aalborg, Denmark, 1983, 1-111.
- [2] Møller, H., Andresen, J. Loudness of pure tones at low and infrasonic frequencies. *J. Low Freq. Noise and Vib.*, 3, 1984, 78-87.
- [3] Betke, K. and Mellert, V. New measurements of equal-loudness level contours. *Proc. Inter-noise* 89, 1989, 793-796.
- [4] Suzuki, S., Suzuki, Y., Kono, S., Sone, T., Kumagai, M., Miura, H. and Kado, H. Equal-loudness level contours for pure tone under free field listening condition(I)—Some data and considerations on experimental conditions. *J. Acoust. Soc. Jpn. (E)*, 10, 1989, 329-338.
- [5] Fastl, H., Jaroszewski, A., Shorer, E. and Zwicker, E. Equal-loudness contours between 100 and 1 000 Hz for 30, 50 and 70 Phon. *Acustica*, 70, 1999, 197-201.
- [6] Watanabe, T. and Møller, H. Hearing threshold and equal-loudness contours in free field at frequencies below 1 kHz. *J. Low Freq. Noise and Vib.*, 9, 1990, 135-148; Watanabe, T. and Møller, H. Low frequency hearing thresholds in pressure field and in free field. *J. Low Freq. Noise and Vib.*, 9, 1990, 106-115.
- [7] Poulsen, T. and Thøgersen, L. Hearing threshold and equal-loudness contours in a free sound field for pure tones from 1 kHz to 16 kHz. *Proc. Nordic Acoust. Meeting*, 1994, 195-198.
- [8] Lydolf, M. and Møller, H. New measurements of the threshold of hearing and equal-loudness contours at low frequencies. *Proceedings of the 8th international meeting on Low Frequency Noise and Vibration*, Gothenburg, Sweden, 1997, 76-84.
- [9] Takeshima, H., Suzuki, Y., Kumagai, M., Sone, T., Fujimori, T. and Miura, H. Equal-loudness level measured with the method of constant stimuli—Equal-loudness level contours for pure tone under free-field listening condition(II). *J. Acoust. Soc. Jpn. (E)*, 13, 1997, 337-340.
- [10] Bellmann, M. A., Mellert, V., Reckhardt, C. and Remmers, H. Sound and vibration at low frequencies. *Joint meeting of ASA, EAA, and DAGA*, 1999, Relin, Germany. *J. Acoust. Soc. Am.*, 105, 1999, 1297.
- [11] Takeshima, H., Suzuki, Y., Fujii, H., Kumagai, M., Ashihara, K., Fujimori, T. and Sone, T. Equal-loudness contours measured by the randomized maximum likelihood sequential procedure. *Acustica—acta acustica*, 87, 2001, 389-399.
- [12] Takeshima, H., Suzuki, Y., Ashihara, K., Fujimori, T. Equal-loudness contours between 1 k Hz and 12.5 k Hz for 60 and 80 phons. *Acoust. Sci. Tech.*, 23, 2002, 106-109.
- [13] ISO/TC 43/WG 1 Threshold of hearing, Preferred test conditions for determining hearing thresholds for standardization. *Scand. Audiol.*, 25, 1996, 45-52.
- [14] Zwislocki, J. J., and Hellman, R. P. On the psychophysical law. *J. Acoust. Soc. Am.*, 32, 1960, 924.
- [15] Lochner, J. P. A., and Burger, J. F. Form of the loudness function in the presence of masking noise. *J. Acoust. Soc. Am.*, 33, 1961, 1705-1707.
- [16] Humes, L. E. and Jesteadt, W. Models of the effects of threshold on loudness growth and summation. *J. Acoust. Soc. Am.*, 90, 1991, 1933-1943.
- [17] Atteneave, F. Perception and related areas. A study of science. Vol. 4, S. Koch (ed.), McGraw

Hill, New York, 1962.

- [18] Zwislocki, J. J. Group and individual relations between sensation magnitudes and their numerical estimates. *Perception Psychophysics*, 33, 1983, 460-468.
 - [19] Robinson, D. W. and Dadson, M. A. A re-determination of the equal-loudness relations for pure tones. *British. J. Appl. Phy.*, 7, 1956, 166-181.
 - [20] Teranishi, R. Study about measurement of loudness on the problems of minimum audible sound. *Researches of the Electrotechnical laboratory*, No. 658, Tokyo, Japan, 1955.
 - [21] Brinkmann, K. Audiometer-Bezugsschwelle und Freifeld-Hörschwelle. *Acustica*, 28, 1973, 147-154.
 - [22] Vorländer, M. Freifeld-Hörschwellen von 8 kHz~16 kHz. *Fortschritte der Akustik—DAGA'91*, Bad Honnef, DPG-GmbH, 1991, 533-536.
 - [23] Poulsen, T. and Han, L. A. The binaural free field hearing threshold for pure tones from 125 Hz to 16 k Hz. *Acustica—acta acustica*, 86, 2000, 333-337.
 - [24] Zwicker, E. *Psychoakustik. Hochschultext*, Springer, Berlin, 1982.
 - [25] Takeshima, H. , Suzuki, Y. , Kumagai, M. , Sone, T. , Fujimori, T. and Miura, H. Threshold of hearing for pure tone under free-field listening conditions. *J. Acoust. Soc. Jpn. (E)*, 15, 1994, 159-169.
-

中 华 人 民 共 和 国
国 家 标 准

声学 标准等响度级曲线

GB/T 4963—2007/ISO 226:2003

*

中国标准出版社出版发行
北京复兴门外三里河北街16号

邮政编码:100045

网址 www.spc.net.cn

电话:68523946 68517548

中国标准出版社秦皇岛印刷厂印刷

各地新华书店经销

*

开本 880×1230 1/16 印张 1.5 字数 36 千字

2008年3月第一版 2008年3月第一次印刷

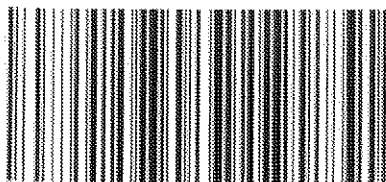
*

书号:155066·1-30836 定价 20.00 元

如有印装差错 由本社发行中心调换

版权专有 侵权必究

举报电话:(010)68533533



GB/T 4963-2007