



中华人民共和国国家计量技术规范

JJF 1136—2005

音准仪校准规范

Calibration Specification of Tonometers

2005-10-09 发布

2006-01-09 实施

国家质量监督检验检疫总局 发布

音准仪校准规范

Calibration Specification

of Tonometers

JJF 1136—2005

本规范经国家质量监督检验检疫总局 2005 年 10 月 9 日批准，并自 2006 年 1 月 9 日起施行。

归口单位： 全国声学计量技术委员会

主要起草单位： 广州市计量测试所

参加起草单位： 国家轻工业乐器质量监督检测中心（广州）
广州珠江钢琴集团有限公司

本规范由全国声学计量技术委员会负责解释

本规范主要起草人：

周伦彬 （广州市计量测试所）

谭 山 （广州市计量测试所）

张国庆 （广州市计量测试所）

参加起草人：

潘绮珊 （国家轻工业乐器质量监督检测中心（广州））

戴 斌 （广州市计量测试所）

江 泓 （广州市计量测试所）

寇淑霞 （国家轻工业乐器质量监督检测中心（广州））

陈燕珊 （广州珠江钢琴集团有限公司）

目 录

1 范围	(1)
2 引用文献	(1)
3 术语和计量单位	(1)
3.1 音	(1)
3.2 纯音	(1)
3.3 复音, 复声	(1)
3.4 分音	(1)
3.5 谐音	(2)
3.6 律音	(2)
3.7 音符(音名)	(2)
3.8 频程, 音程	(2)
3.9 八度	(2)
3.10 音分	(2)
3.11 乐律, 音阶	(2)
3.12 平均律, 等程音阶	(2)
3.13 半音音阶(音)	(2)
3.14 标准调音频率、标准音高	(2)
4 概述	(2)
5 计量特性	(3)
5.1 外观	(3)
5.2 标准音高测量	(3)
5.3 律音音高测量	(3)
5.4 调音信号输出	(3)
5.5 音分指示分辨率	(3)
5.6 音分指示范围和最大允许误差	(3)
5.7 电信号输入幅度和触发电平	(3)
5.8 声信号输入灵敏度和频率响应特性	(3)
6 校准条件	(4)
6.1 环境条件	(4)
6.2 (测量)标准及其他设备	(4)
7 校准项目和校准方法	(4)
7.1 校准项目	(4)
7.2 校准方法	(5)
8 校准结果的表达	(7)
9 复校准时间间隔	(8)

附录 A	律音音名与频率对照表	(9)
附录 B	音准仪测量结果不确定度评定实例	(18)
附录 C	校准证书内页格式	(21)

音准仪校准规范

本规范依据 GB/T 3451—1982《标准调音频率》和 ISO 16—1975《声学 - 标准调音频率》对标准调音频率（标准音高）、音分等平均律音乐声学术语进行表述。同时为参考对照方便，本规范参照 QB 2100—1995《十二平均律音名标注方法》将律音音名和频率对照表在附录 A 中附上。

1 范围

本规范适用于指针式、数字式、单盘和多盘闪光式、走马灯式或采用其他测量原理及显示方式测量十二平均律音音调及相对偏差的音准仪的校准。

2 引用文献

本规范引用了下列文献：

GB/T3947—1996 《声学名词术语》

GB/T 3102.7—1993 《声学的量和单位》

GB/T 3451—1982 《标准调音频率》

ISO 16—1975 《声学 - 标准调音频率（标准音调）》

JJF 1034—2005 《声学计量名词及定义》

JJF 1059—1999 《测量不确定度评定与表示》

QB 2100—1995 《十二平均律音名标注方法》

使用本规范时，应注意使用上述引用文献的现行有效版本。

3 术语和计量单位

本规范采用 GB/T 3947—1996、JJF 1034—2005 中有关术语定义。

本规范采用 GB/T 3102.7—1993 中规定的量和单位。

3.1 音 tone

- a. 有音调的声觉。
- b. 能引起有音调的声觉的声波。
- c. 乐律中较大的音程（即全音）。

3.2 纯音 pure tone, simple tone, pure sound

- a. 有单一音调的声觉。
- b. 瞬时值为一简单正弦式时间函数的声波。

3.3 复音，复声 complex tone, complex sound

- a. 具有一个以上音调的声觉。
- b. 由一定频率不同的简单正弦式成分合成的声波。

3.4 分音 partial tone

- a. 复音中可以用耳分清为纯音而不能再分的成分。

b. 复音中的一个物理成分。

注：分音的频率可以比主频高或低，可以是后者的整数倍或整分数，也可以不是，分音的频率不是主频的整数倍或整分数时，称为非谐分音。

3.5 谐音 harmonic

频率为基频的整数倍的分音。

注：频率为基频 n 倍的分音称为 n 次谐音。

3.6 律音 note, tonic

有音调和长短的声觉，或者引起这种声觉的振动。表示律音的符号称为音符 (note)。

3.7 音符 (音名) note

表示律音的符号也称音名，按十二平均率标注的音名及对应的频率值见附录 A。

3.8 频程，音程 interval

两个音之间的距离，如以频率比的以 2 为底的对数来表示，则称为频程；如以音调来表示，则为音程。

3.9 八度 octave

在音乐声学中倍频程常称作八度。

注：作为声学单位其符号为 oct，更小单位是半音和音分，半音 = $1/12$ oct，音分 = $1/1200$ oct。

3.10 音分 cent

两个相比等于 2 的 1200 次方根的频率间的频程。

注：两个音的音调间的频程，用音分表示，等于频率比的以 2 为底的对数乘以 1200，因此 1200 音分等于 12 个半音等于 1 倍频程。

3.11 乐律，音阶 [musical] scale

许多律音 (或音符) 为适合音乐的要求，从低到高按一定音程的排列。

3.12 平均律，等程音阶 equally tempered scale

把一个倍频程分为 12 个等频程的乐律。

3.13 半音音阶 (音) chromatic scale

由十二个半音组成的音阶。

3.14 标准调音频率，标准音高 standard tuning frequency, standard musical pitch

律音 A4 的频率，即 440Hz。

注：对乐器调音要求在环境温度为 15℃ 或制造者所规定的温度进行。

4 概述

音准仪是用于测量律音音调是否准确及偏差大小 (音分) 的专用声学测量仪器，普遍用于钢琴、风琴、手风琴或电子琴等平均律乐器在制造、演奏过程中对标准音调、音高和其他音名所对应的音调、音高的检测与调校。

音准仪按测量原理和音分指示方式的不同，可分为指针式、数字式、闪光式、走马灯式等。但是，不管音准仪采用何种原理和指示方式，它都必须具备对输入的声信号或电信号指示其音调与偏差的基本功能。

5 计量特性

5.1 外观

被校音准仪的结构、配件显示器、操作功能等不应有影响校准结果的缺陷。

5.2 标准音高测量

律音 A4 为标准音高，其频率为 440Hz。

音准仪以 440Hz 为调音频率测量 A4 标准音高时最大允许误差为 ± 1 cent。

当音准仪有内部电校准信号输出时，其输出信号频率实测值相对 A4 标准音高的频率标准值误差一般不超过 ± 0.5 cent（或 ± 0.13 Hz）。

注

1. 制造商给出的标准音高测量允许误差优于 ± 1 cent 时，也可以按制造商给出的技术指标进行校准。

2. 用于调校一些特殊乐器如古乐器时，标准音高可能不是 440Hz，此时应将音高（pitch）旋钮置于要求的频率值并按此频率值校准各音调的频率值也要重新计算。一般 pitch 在（410 ~ 450）Hz 范围调节。

5.3 律音音高测量

音准仪律音音高及对应的频率测量范围为律音音高的测量范围，一般由制造厂在使用说明书中给出。而音准仪的律音音高测量（0 音分偏差时）在其对应的律音音高测量范围内最大允许误差为 ± 2 cent。

注：用于张弦或粗调工序的专用音准仪的最大允许误差为 ± 5 cent。

5.4 调音信号输出

音准仪的调音信号输出最大允许误差为 ± 2 cent。

注：用于张弦或粗调工序的专用音准仪的最大允许误差可以放宽到 ± 5 cent。

5.5 音分指示分辨率

音准仪的最大分辨率一般不低于 ± 1 cent，在离音分指示中心位置（0 cent）较远时分辨率可低于 1 cent。

5.6 音分指示范围和最大允许误差

音准仪的音分指示范围一般不低于（0 ~ ± 50 ）cent 或（0 ~ 100）cent；在（0 ~ ± 50 ）cent 或（0 ~ 100）cent 范围内最大允许误差为 ± 2 cent。

5.7 电信号输入幅度和触发电平

对标准音高，输入信号在（0.02 ~ 1.0）V（有效值）范围内任何能使音准仪正常工作的触发电平都可以；若对输入信号电平有特殊要求的，制造商应在使用说明书中加以注明。

其余音名、音高测量时输入信号的触发电平相对于标准音高的触发电平一般应在 ± 3 dB 以内；若有特殊要求，制造商应在说明书中加以注明。

5.8 声信号输入灵敏度和频率响应特性

在音准仪可测量的音高及频率范围内，其声信号输入灵敏度一般应对距声源 1m，声级为（50 ~ 80）dB 的纯音信号能正常测量并稳定指示音高及音分；而其声信号触发灵敏度的频率响应特性参数可参考制造商给出的具体技术指标。

6 校准条件

6.1 环境条件

- 1) 环境温度：(20 ± 10)℃；
- 2) 环境湿度：(35 ~ 85)%；
- 3) 大气压力：(83.0 ~ 110.0) kPa；
- 4) 其他条件：以不影响对音准仪的正常校准为限。

6.2 (测量) 标准及其他设备

1) 正弦信号发生器

频率范围优于 10Hz ~ 10kHz，频率最大允许误差为 1×10^{-5} ，在下限频率的分辨率应达到 1 mHz 并连续可调，输出信号幅度应优于 (0.02 ~ 1.0) V 并连续可调，输出信号的总失真不超过 0.5%。

2) 数字电压表

4 位半的交流数字电压表。

3) 数字频率计

在所需的频率范围内，其频率误差应优于 $\pm 1 \times 10^{-5}$ 。

4) 声压级测试系统

具有平坦的频率响应功能 (Flat)，在 31.5Hz ~ 8000Hz 范围满足 IEC61672 - 1: 2002 《电声 - 声级计 - 第一部分：技术要求》(2 级)。

5) 声源系统

能发出 30Hz ~ 8000Hz 的纯正弦音信号，距声源中心 1 m 处的声压级不低于 80dB。

6) 声测试环境

30Hz ~ 8000Hz 频率范围内声压级均不超过 60dB，若条件可能优先考虑消声室、半消声室 (或消音箱、低频耦合腔)。

7 校准项目和校准方法

7.1 校准项目

音准仪的校准一般包含以下项目：

表 1 音准仪校准项目一览表

序号	校准项目	备注
1	外观	
2	标准音高测量	
3	律音音高测量	
4	调音信号输出	
5	音分指示分辨率	
6	音分指示	
7	电信号输入幅度及触发电平	
8	声信号输入灵敏度及频率响应特性	

7.2 校准方法

7.2.1 标准音高测量

音准仪标准音高校准示意图见图 1。

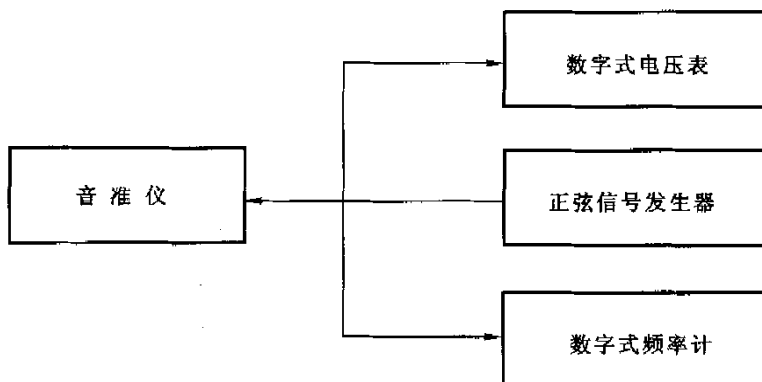


图 1 标准音高校准示意图

将正弦信号发生器的信号输出直接接到被校音准仪的电信号输入端。音准仪若有内部调零和校准功能的应在开机预热后先调零、校准；标准音高可调节的首先应调到 440Hz，音高测量设为律音 A4（有自动调谐功能可免去此项）。正弦信号发生器的频率也设为 440Hz，逐步加大信号幅度至音准仪能稳定的指示或读数（一般信号幅度不超过 1 V，或参照使用说明书要求设定）。待音准仪和信号发生器达到要求的开机预热时间，指示或读数完全稳定后，轻微地调节信号发生器的频率微调旋钮，使音准仪在标准音高的音分指示为零，记录此时信号发生器的频率实际值 f_{pitch} 。按下式计算标准音高的误差（用音分表示）：

$$E_s(440) = \frac{1200}{\lg 2} \times (\lg f_{pitch/s} - \lg f_{pitch}) \quad (1)$$

式中： $E_s(440)$ ——440Hz 标准音高的音分误差，cent；

$f_{pitch/s}$ ——标准音高频率（即标准调音频率 440Hz），Hz；

f_{pitch} ——标准音高实测频率实际值，Hz。

注： $1200/\log_{10} 2 = 3986.3$ ，是比值与音分之间换算的系数。

若音准仪具有标准音高自校及信号输出功能，可用频率计直接测量后带入（1）式计算。

标准音高可以设定为 440Hz 以外的其他数值在需要校准时，均可按以上相同的方式，在计算音分误差时， f_{pitch} 值应按设定的值代入即可。

注：音准仪律音音高测量范围的确定可按 7.2.1 给出的方法得到，只是信号发生器的频率值按该型号律音音高测量范围最低和最高音名所对应的频率设置并测量。

7.2.2 律音音高测量

音准仪律音音高测量校准示意图见图 1，校准方法参考 7.2.1，只需将标准音高换成音准仪音高测量范围内被校准的音高。各音名音高对应的频率标称值见附录 A。建议

选择第 4 组 C4 ~ B4 十二个半音及测量范围内其他各组的 A 音如 A0, A1, A2, A3, A4, A5, A6, A7, A8 为首选校准点。按下式计算被校音名音高的误差 (以音分表示):

$$E_{\text{tone}} = \frac{1200}{\lg 2} \times (\lg f_{\text{tone}/s} - \lg f_{\text{tone}}) \quad (2)$$

式中: E_{tone} ——被校音名音高以音分表示的误差, cent;

$f_{\text{tone}/s}$ ——被校音名音高频率标称值 (见附录 A), Hz;

f_{tone} ——被校音名音高实测频率实际值, Hz。

注: 音准仪律音音高测量范围可按 7.2.1 给出的方法得到; 只是信号发生器的频率值按该型号律音音高测量范围中最低与最高音各所对应的频率设置并测量。

7.2.3 调音信号输出

音准仪调音信号输出校准示意图见图 2。

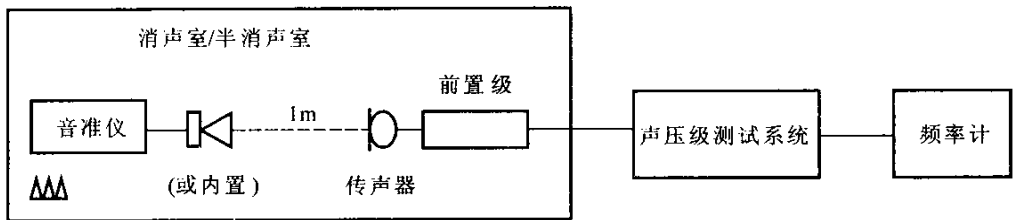


图 2 调音信号输出校准示意图

将音准仪置于调音信号输出或手动调谐方式, 选择被校音调音名发出声音信号, 声压级测试系统置于线性响应或平坦频率计权, 输出信号接到频率计。将该音调在频率计上的实测值与其标称值 (见附录 A) 比较, 根据公式 (2) 计算误差。

注: 音准仪调音信号输出带有电信号输出端口时, 也可将频率计直接接入到该输出端进行测量。

7.2.4 音分指示分辨率

音准仪音分测量分辨率校准示意图见图 1。

a) 音准仪在零音分正/负位置的最小刻度 (或指示灯等其他方式) 通常为 $\pm 1 \text{ cent}$ 。

b) 输入标准音高 (A4) 信号, 调节信号频率使指示为 0 音分位置时, 以此时实际的频率为参考, 做 $\pm 1 \text{ cent}$ 的调整, 在音准仪上的指示也应随之产生清晰的相应变动。

c) 闪光盘式和走马灯式音准仪, 若有音分刻度的微调调谐度盘, 同 7.2.4.b), 随着输入信号调节 $\pm 1 \text{ cent}$ 时, 音准仪又回到稳定的调谐状态; 若无微调调谐度盘或其他微调装置, 至少在输入信号变化 $\pm 1 \text{ cent}$ 时, 调谐状态会有明显的改变, 显示非调谐或非同步状态。当输入信号调回零音分时, 音准仪也能回到调谐或同步状态。

7.2.5 音分指示

音准仪音分测量校准示意图见图 1。参照 7.2.1 的基本方法开机预热、校准、调零。选择音准仪测量范围内的任意一音调为参考 (为了设置频率和计算的方便, 建议选择各组 A 音为参考, 如 A4 等)。调节信号发生器的信号频率, 使音准仪指向被校音分 (建议为 20 和 40 音分) 的示值。并按下式计算音分指示误差:

$$E_{\text{cent}} = \frac{1200}{\lg 2} \times (\lg f_{\text{cent/s}} - \lg f_{\text{cent}}) \quad (3)$$

式中： E_{cent} ——音准仪音分指示误差，cent；

$f_{\text{cent/s}}$ ——被校音分示值对应的标称频率计算值，Hz；

f_{cent} ——被校音分示值对应的实测频率实际值，Hz。

$f_{\text{cent/s}}$ 由下式计算：

$$f_{\text{cent/s}} = f_{\text{tone/s}} \times 2^{\left(\frac{x_{\text{cent}}}{1200}\right)} \quad (4)$$

式中： x_{cent} ——被校音分示值（可以是正/负或零），cent。

7.2.6 电信号输入幅度及触发电平

a) 校准示意图见图 1。校准方法参考 7.2.1。选择标准音高 A4 频率为参考，输入信号电平从零开始逐渐加大，至音准仪正常工作，指示出标准音高 A4 及音分值，仔细调节到调谐状态（音分指示或同步稳定），记录此时输入电信号幅度（电压）有效值。

b) 锁定频率，继续调高信号幅度，观察调谐状态是否稳定。

注：制造商对输入信号幅度范围有特定要求的，按其给出的范围校准。

选择其他律音，重复 7.2.6 a) 的过程，记录对应的触发电平，并以 A4 的触发电平为 0dB 参考。

7.2.7 声信号输入灵敏度及频率响应特性

校准示意图见图 3。

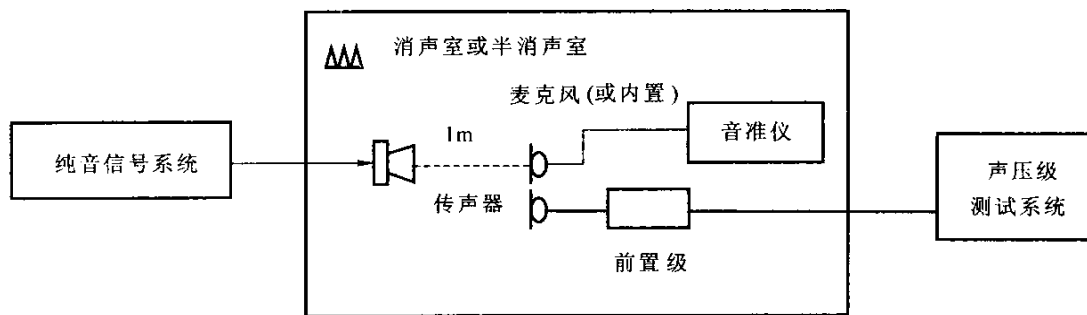


图 3 声信号输入灵敏度及频率响应特性校准示意图

在音准仪可测量的音高及频率范围内，逐步加大信号使音准仪工作在稳定调谐状态，在相同位置测量声压级值，作为该音高及频率的声信号触发灵敏度值。其频率响应特性应符合制造商所给出的技术要求。

施加（50~80）dB 的声信号时，音准仪能正常工作指示。

8 校准结果的表达

8.1 在音准仪校准过程中得到的数据应记入校准记录，校准记录至少应包含附录 C 里所需的内容。

8.2 所有测量得到的数据应先计算后修约，计算后的位数应比计算前的位数至少多保留一位，以待修约处理；出具校准数据均保留一位小数。

8.3 音准仪的校准结果应在校准证书上反映；校准证书应包括：校准实验室、委托单位、被校对象、校准环境、技术依据、测量标准的有效性，以及测量结果不确定度等有效信息。校准证书的内页格式可参见附录 C。

8.4 音准仪校准结果的测量不确定度实例参见附录 B。

9 复校准时间间隔

音准仪的复校准时间间隔可根据实际使用情况自行决定；建议复校准时间间隔为 1 年。

附录 A

律音音名与频率对照表

音名	频率值/Hz					
	标称值 $f_{\text{tone/s}}$	音分示值对应的标称频率计算值 $f_{\text{cent/s}}$				
	0cent	+ 10 cent - 10 cent	+ 20 cent - 20cent	+ 30cent - 30cent	+ 40 cent - 40 cent	+ 50cent - 50cent
C0 (C ₂)	16.352	16.446	16.542	16.637	16.734	16.831
		16.257	16.164	16.071	15.978	15.886
C [#] 0 ([#] C ₂)	17.324	17.424	17.525	17.627	17.729	17.832
		17.224	17.125	17.026	16.928	16.831
D0 (D ₂)	18.354	18.460	18.567	18.675	18.783	18.892
		18.248	18.143	18.039	17.935	17.832
D [#] 0 ([#] D ₂)	19.445	19.558	19.671	19.785	19.900	20.015
		19.333	19.222	19.111	19.001	18.892
E0 (E ₂)	20.602	20.721	20.841	20.962	21.083	21.205
		20.483	20.365	20.248	20.131	20.015
F0 (F ₂)	21.827	21.953	22.080	22.208	22.337	22.466
		21.701	21.576	21.452	21.328	21.205
F [#] 0 ([#] F ₂)	23.125	23.259	23.393	23.529	23.665	23.802
		22.991	22.859	22.727	22.596	22.466
G0 (G ₂)	24.500	24.642	24.784	24.928	25.072	25.218
		24.359	24.218	24.079	23.940	23.802
G [#] 0 ([#] G ₂)	25.957	26.107	26.258	26.410	26.563	26.717
		25.807	25.658	25.511	25.364	25.218
A0 (A ₂)	27.500	27.659	27.820	27.981	28.143	28.306
		27.342	27.184	27.028	26.872	26.717
A [#] 0 ([#] A ₂)	29.135	29.304	29.474	29.645	29.816	29.989
		28.967	28.801	28.635	28.470	28.306
B0 (B ₂)	30.868	31.047	31.226	31.407	31.589	31.772
		30.690	30.513	30.337	30.163	29.989

注：括号内的音名符号为轻工行业标准 QB 2100—1995《十二平均律音名标注方法》所命名的标记，便于乐器制造行业、音乐曲谱的对照使用。

表 (续)

音名	频率值/Hz					
	标称值 $f_{\text{tone/s}}$	音分示值对应的标称频率计算值 $f_{\text{cent/s}}$				
	0cent	+ 10 cent - 10 cent	+ 20 cent - 20cent	+ 30cent - 30cent	+ 40 cent - 40 cent	+ 50cent - 50cent
C1 (C_1)	32.703	32.893	33.083	33.275	33.468	33.661
		32.515	32.328	32.141	31.956	31.772
C [#] 1 ([#] C_1)	34.648	34.849	35.050	35.253	35.458	35.663
		34.448	34.250	34.053	33.856	33.361
D1 (D_1)	36.708	36.921	35.050	38.350	37.566	37.784
		36.497	36.286	36.077	35.870	35.663
D [#] 1 ([#] D_1)	38.891	39.116	37.135	39.571	39.800	40.030
		38.667	38.444	38.223	38.003	37.784
E1 (E_1)	41.203	41.442	39.343	41.924	42.167	42.411
		40.966	40.730	40.496	40.262	40.030
F1 (F_1)	43.654	43.906	41.682	44.417	44.674	44.933
		43.402	43.152	42.904	42.656	42.411
F [#] 1 ([#] F_1)	46.249	46.517	44.161	47.058	47.330	47.605
		45.983	45.718	45.455	45.193	44.933
G1 (G_1)	48.999	49.283	46.787	49.856	50.145	50.435
		48.717	48.437	48.158	47.880	47.605
G [#] 1 ([#] G_1)	51.913	52.214	49.569	52.821	53.126	53.434
		51.614	51.317	51.021	50.727	50.435
A1 (A_1)	55.000	55.319	52.516	55.961	56.286	56.612
		54.683	54.368	54.055	53.744	53.434
A [#] 1 ([#] A_1)	58.270	58.608	58.948	59.589	59.632	59.978
		57.901	57.601	57.269	56.940	56.612
B1 (B_1)	61.735	62.093	62.453	62.815	63.178	63.544
		61.344	61.026	60.850	60.325	59.978
C2 (C_2)	65.406	65.785	66.166	66.550	66.935	67.323
		65.030	64.655	64.283	63.913	63.544

表 (续)

音名	频率值/Hz					
	标称值 $f_{\text{tone/s}}$	音分示值对应的标称频率计算值 $f_{\text{cent/s}}$				
	0cent	+ 10 cent - 10 cent	+ 20 cent - 20cent	+ 30cent - 30cent	+ 40 cent - 40 cent	+ 50cent - 50cent
C [#] 2 (° C)	69.296	69.697	70.101	70.507	70.915	71.326
		68.897	68.500	68.105	67.713	67.323
D2 (D)	73.416	73.841	74.269	74.699	75.132	75.567
		72.993	72.573	72.155	71.739	71.326
D [#] 2 (° D)	77.782	78.232	78.686	79.141	79.600	80.061
		77.334	76.888	76.446	76.005	75.567
E2 (E)	82.407	82.884	83.364	83.847	84.333	84.822
		81.932	81.460	80.991	80.525	80.061
F2 (F)	87.307	87.813	88.322	88.833	89.348	89.865
		86.804	86.304	85.807	85.313	84.822
F [#] 2 (° F)	92.499	93.034	93.573	94.115	94.661	95.209
		91.966	91.436	90.910	90.386	89.865
G2 (G)	97.999	98.567	99.138	99.712	100.29	100.87
		97.434	96.873	96.315	95.761	95.209
G [#] 2 (° G)	103.83	104.43	105.03	105.64	106.25	106.87
		103.23	102.63	102.04	101.45	100.87
A2 (A)	110.00	110.64	111.28	111.92	112.57	113.22
		109.37	108.74	108.11	107.49	106.87
A [#] 2 (° A)	116.54	117.22	117.90	118.58	119.26	119.96
		115.87	115.20	114.54	113.88	113.22
B2 (B)	123.47	124.19	124.91	125.63	126.36	127.09
		122.76	122.05	121.35	120.65	119.96
C3 (c)	130.81	131.57	132.33	133.10	133.87	134.65
		130.06	129.31	128.57	127.83	127.09
C [#] 3 (° c)	138.59	139.39	140.20	141.01	141.83	142.65
		137.79	137.00	136.21	135.43	134.65

表 (续)

音名	频率值/Hz					
	标称值 $f_{\text{nom}/s}$	音分示值对应的标称频率计算值 $f_{\text{cent}/s}$				
	0cent	+ 10 cent - 10 cent	+ 20 cent - 20cent	+ 30cent - 30cent	+ 40 cent - 40 cent	+ 50cent - 50cent
D3 (d)	146.83	147.68	148.54	149.40	150.26	151.13
		145.99	145.15	144.31	143.48	142.65
D [#] 3 (* d)	155.56	156.46	157.37	158.28	159.20	160.12
		154.67	153.78	152.89	152.01	151.13
E3 (e)	164.81	165.77	166.73	167.69	168.67	169.64
		163.86	162.92	161.98	161.05	160.12
F3 (f)	174.61	175.63	176.64	177.67	178.70	179.73
		173.61	172.61	171.61	170.63	169.64
F [#] 3 (* f)	185.00	186.07	187.15	188.23	189.32	190.42
		183.93	182.87	181.82	180.77	179.73
G3 (g)	196.00	197.13	198.28	199.42	200.58	201.74
		194.87	193.75	192.63	191.52	190.42
G [#] 3 (* g)	207.65	208.86	210.07	211.28	212.51	213.74
		206.46	205.27	204.09	202.91	201.74
A3 (a)	220.00	221.27	222.56	223.85	225.14	226.45
		218.73	217.47	216.22	214.98	213.74
A [#] 3 (* a)	233.08	234.43	235.79	237.16	238.53	239.91
		231.74	230.40	229.08	227.76	226.45
B3 (b)	246.94	248.37	249.81	251.26	252.71	254.18
		245.52	244.11	242.70	241.30	239.91
C4 (c ¹)	261.63	263.14	264.67	266.20	267.74	269.29
		260.12	258.62	257.13	255.65	254.18
C [#] 4 (* c ¹)	277.18	278.79	280.403	282.03	283.66	285.303
		275.59	274.00	272.42	270.85	269.29
D4 (d ¹)	293.66	295.37	297.08	298.80	300.53	302.27
		291.97	290.29	288.62	286.96	285.30

表 (续)

音名	频率值/Hz					
	标称值 $f_{\text{tone/s}}$	音分示值对应的标称频率计算值 $f_{\text{cent/s}}$				
	0cent	+ 10 cent - 10 cent	+ 20 cent - 20cent	+ 30cent - 30cent	+ 40 cent - 40 cent	+ 50cent - 50cent
D [#] 4 (* d ¹)	311.13	312.93	314.74	316.57	318.40	320.24
		309.34	307.55	305.78	304.02	302.27
E4 (e ¹)	329.63	331.54	333.46	335.39	337.33	339.29
		327.73	325.84	323.96	322.10	320.24
F4 (f ¹)	349.23	351.25	353.29	355.55	357.39	359.46
		347.22	345.22	343.23	341.25	339.29
F [#] 4 (* f ¹)	369.99	372.14	374.29	376.46	378.64	380.84
		367.86	365.74	363.64	361.54	359.46
G4 (g ¹)	392.00	394.27	396.55	398.85	401.16	403.48
		389.74	387.49	485.26	383.04	380.84
G [#] 4 (* g ¹)	415.30	417.71	420.13	422.56	425.01	427.47
		412.91	410.53	408.17	405.82	403.48
A4 (a ¹)	440.00	442.55	445.11	447.69	450.28	452.89
		437.47	434.95	432.44	429.95	427.47
A [#] 4 (* a ¹)	466.16	468.86	471.58	474.31	477.06	479.82
		463.48	460.81	458.16	455.52	452.89
B4 (b ¹)	493.88	496.74	499.62	502.52	505.43	508.36
		491.04	488.21	485.40	482.60	479.82
C5 (c ²)	523.25	526.28	529.33	532.40	535.48	538.58
		520.24	517.24	514.26	511.30	508.36
C [#] 5 (* c ²)	554.37	557.68	560.81	564.06	567.32	570.61
		551.17	548.00	544.84	541.70	538.58
D5 (d ²)	587.33	590.73	594.15	597.60	601.06	604.54
		583.95	580.58	577.24	573.91	570.16
D [#] 5 (* d ²)	622.25	625.86	629.48	633.13	636.80	640.49
		618.67	615.11	611.56	608.04	604.54

表 (续)

音名	频率值/Hz					
	标称值 $f_{\text{tone/s}}$	音分示值对应的标称频率计算值 $f_{\text{cent/s}}$				
	0cent	+ 10 cent - 10 cent	+ 20 cent - 20cent	+ 30cent - 30cent	+ 40 cent - 40 cent	+ 50cent - 50cent
E5 (e^2)	659.26	663.07	666.92	670.78	674.66	678.57
		655.46	651.68	647.93	644.20	640.49
F5 (f^2)	698.46	702.50	706.57	710.67	714.78	718.92
		694.43	690.43	686.46	682.50	678.57
F [#] 5 ($^{\#}f^2$)	739.99	744.28	748.59	752.92	757.29	761.67
		735.73	731.49	727.28	723.09	718.92
G5 (g^2)	783.99	788.53	793.10	797.69	802.32	806.96
		779.48	774.99	770.52	766.08	761.67
G [#] 5 ($^{\#}g^2$)	830.61	835.42	840.26	845.13	850.02	854.95
		825.83	821.07	816.34	811.64	806.96
A5 (a^2)	880.00	885.10	890.23	895.38	900.57	905.79
		874.93	869.89	864.88	859.90	854.95
A [#] 5 ($^{\#}a^2$)	932.33	937.73	943.16	948.62	954.12	959.65
		926.96	921.62	916.31	911.03	905.79
B5 (b^2)	987.77	993.49	999.24	1005.0	1010.9	1016.7
		982.08	976.42	970.80	965.21	959.65
C6 (c^3)	1046.5	1052.6	1058.7	1064.8	1071.0	1077.2
		1040.5	1034.5	1028.5	1022.6	1016.7
C [#] 6 ($^{\#}c^3$)	1108.7	1115.2	1121.6	1128.1	1134.6	1141.2
		1102.3	1096.0	1089.7	1083.4	1077.2
D6 (d^3)	1174.7	1181.5	1188.3	1195.2	1202.1	1209.1
		1167.9	1161.2	1154.5	1147.8	1141.2
D [#] 6 ($^{\#}d^3$)	1244.5	1251.7	1259.0	1266.3	1273.6	1281.0
		1237.3	1230.2	1223.1	1216.1	1209.1
E6 (e^3)	1318.5	1326.1	1333.8	1341.6	1349.3	1357.1
		1310.9	1303.4	1295.9	1288.4	1281.0

表 (续)

音名	频率值/Hz					
	标称值 $f_{\text{tone/s}}$	音分示值对应的标称频率计算值 $f_{\text{cent/s}}$				
	0cent	+ 10 cent - 10 cent	+ 20 cent - 20cent	+ 30cent - 30cent	+ 40 cent - 40 cent	+ 50cent - 50cent
F6 (f^6)	1396.9	1405.0	1413.1	1421.3	1429.6	1437.8
		1388.9	1380.9	1372.9	1365.0	1357.1
F [#] 6 ($f^{\#6}$)	1480.0	1488.6	1497.2	1505.8	1514.6	1523.3
		1471.5	1463.0	1454.6	1446.2	1437.8
G6 (g^6)	1568.0	1577.1	1586.2	1595.4	1604.6	1613.9
		1559.0	1550.0	1541.0	1532.2	1523.3
G [#] 6 ($g^{\#6}$)	1661.2	1670.8	1680.5	1690.3	1700.0	1709.9
		1651.7	1642.1	1632.7	1623.3	1613.9
A6 (a^6)	1760.0	1770.2	1780.5	1790.8	1801.1	1811.6
		1749.9	1739.8	1729.8	1719.8	1709.9
A [#] 6 ($a^{\#6}$)	1864.7	1875.5	1886.3	1897.2	1908.2	1919.3
		1853.9	1843.2	1832.6	1822.1	1811.6
B6 (b^6)	1975.5	1987.0	1998.5	2010.1	2021.7	2033.4
		1964.2	1952.8	1941.6	1930.4	1919.3
C7 (c^7)	2093.0	2105.1	2117.3	2129.6	2141.9	2154.3
		2089.9	2069.0	2057.0	2045.2	2033.4
C [#] 7 ($c^{\#7}$)	2217.5	2230.3	2243.2	2256.2	2269.3	2282.4
		2204.7	2192.0	2179.4	2166.8	2154.3
D7 (d^7)	2349.3	2362.9	2376.6	2390.4	2404.2	2418.2
		2335.8	2322.3	2309.0	2295.7	2282.4
D [#] 7 ($d^{\#7}$)	2489.0	2503.4	2517.9	2532.5	2547.2	2561.9
		2474.7	2460.4	2446.3	2432.2	2418.2
E7 (e^7)	2637.0	2652.3	2667.7	2683.1	2698.7	2714.3
		2621.8	2606.7	2591.7	2576.8	2561.9
F7 (f^7)	2793.8	2810.0	2826.3	2842.7	2859.1	2875.7
		2777.7	2761.7	2745.8	2730.0	2714.3

表 (续)

音名	频率值/Hz					
	标称值 $f_{\text{tone}/s}$	音分示值对应的标称频率计算值 $f_{\text{cent}/s}$				
	0cent	+ 10 cent - 10 cent	+ 20 cent - 20cent	+ 30cent - 30cent	+ 40 cent - 40 cent	+ 50cent - 50cent
F [#] 7 ([#] f ⁴)	2960.0	2977.1	2994.3	3011.7	3029.1	3046.7
		2942.9	2926.0	2909.1	2892.3	2875.7
G7 (g ⁴)	3136.0	3154.1	3172.4	3190.8	3209.3	3227.9
		3117.9	3099.9	3082.1	3064.3	3046.7
G [#] 7 ([#] g ⁴)	3322.4	3341.7	3361.0	3380.5	3400.1	3419.8
		3303.3	3284.3	3265.4	3246.6	3227.9
A7 (a ⁴)	3520.0	3540.4	3560.9	3581.5	3602.3	3623.1
		3499.7	3479.6	3459.5	3439.6	3419.8
A [#] 7 ([#] a ⁴)	3729.3	3750.9	3772.6	3794.5	3816.5	3838.6
		3707.8	3686.5	3665.2	3644.1	3623.1
B7 (b ⁴)	3951.1	3974.0	3997.0	4020.1	4043.4	4066.8
		3928.3	3905.7	3883.2	3860.8	3838.6
C8 (c ⁵)	4186.0	4210.3	4234.6	4259.2	4283.9	4308.7
		4161.9	4137.9	4114.1	4090.4	4066.8
C [#] 8 ([#] c ⁵)	4434.9	4460.6	4486.5	4512.4	4538.6	4564.9
		4409.4	4384.0	4358.7	4333.6	4308.7
D8 (d ⁵)	4698.6	4725.9	4753.2	4780.8	4808.5	4836.3
		4671.6	4644.7	4617.9	4591.3	4564.9
D [#] 8 ([#] d ⁵)	4978.0	5006.9	5035.9	5065.0	5094.4	5123.9
		4949.4	4920.9	4892.5	4864.3	4836.3
E8 (e ⁵)	5274.0	5304.6	5335.3	5366.2	5397.3	5428.6
		5243.7	5213.5	5183.4	5153.6	5123.9
F8 (f ⁶)	5587.7	5620.0	5652.6	5685.3	5718.3	5751.4
		5555.5	5523.5	5491.7	5460.0	5428.6
F [#] 8 ([#] f ⁶)	5919.9	5954.2	5988.7	6023.4	6058.3	6093.4
		5885.8	5851.9	5818.2	5784.7	5751.4

表 (续)

音名	频率值/Hz					
	标称值 $f_{\text{tone/s}}$	音分示值对应的标称频率计算值 $f_{\text{cent/s}}$				
	0cent	+ 10 cent - 10 cent	+ 20 cent - 20cent	+ 30cent - 30cent	+ 40 cent - 40 cent	+ 50cent - 50cent
G8 (g^5)	6271.9	6308.3	6344.8	6381.6	6418.5	6455.7
		6235.8	6199.9	6164.2	6128.7	6093.4
G*8 ($*g^5$)	6644.9	6683.4	6722.1	6761.0	6800.2	6839.6
		6606.6	658.6	6530.7	6493.1	6455.7
A8 (a^5)	7040.0	7080.8	7121.8	7163.1	7204.6	7246.3
		6999.5	6959.1	6919.1	6879.2	6839.6
A*8 ($*a^5$)	7458.6	7501.8	7545.3	7589.0	7633.0	7677.2
		7415.7	7373.0	7330.5	7288.3	7246.3
B8 (b^5)	7902.1	7947.9	7994.0	8040.3	8086.8	8133.7
		7856.6	7811.4	7766.4	7721.6	7677.2

附录 B

音准仪测量结果不确定度评定实例

音准仪是用于测量律音音调是否准确及偏差大小（音分）的专用声学测量仪器，其中律音音高的测量从方法到程序都具有一定的代表性，故在此以音准仪的律音音高的测量为例来分析测算其测量结果不确定度。

B.1 测量方法

根据规范中关于律音音高测量方法的阐述，首先将正弦信号发生器的信号输出直接接到被校音准仪的电信号输入端。音准仪若有内部调零和校准功能的应在开机预热后先调零、校准；标准音高可调节的首先应调到 440 Hz，音高测量设为律音 A4（有自动调谐功能可免去此项）。正弦信号发生器的频率也设为 440Hz，逐步加大信号幅度至音准仪能稳定的指示或读数（一般信号幅度不超过 1V，或参照使用说明书要求设定）。待音准仪和信号发生器达到要求的开机预热时间，指示或读数完全稳定后，轻微地调节信号发生器的频率微调旋钮，使音准仪在标准音高的音分指示为零，记录此时信号发生器的频率实际值。按下式计算标准音高的误差（用音分表示）。

B.2 数学模型

根据规范，被校音准仪的音名音高的误差（以音分表示）计算公式为

$$E_{\text{tone}} = \frac{1200}{\lg 2} \times (\lg f_{\text{tone/s}} - \lg f_{\text{tone}})$$

式中： E_{tone} ——被校音名音高以音分表示的误差，cent；

$f_{\text{tone/s}}$ ——被校音名音高频率标称值（见附录 A），Hz；

f_{tone} ——被校音名音高实测频率实际值，Hz。

B.3 方差和传播系数

$$\text{依 } u_c^2(y) = \sum [\partial f / \partial x_i]^2 u^2(x_i)$$

$$u_c^2(E_{\text{tone}}) = c^2(f_{\text{tone/s}}) u^2(f_{\text{tone/s}}) + c^2(f_{\text{tone}}) u^2(f_{\text{tone}})$$

其中：

$$c(f_{\text{tone/s}}) = \frac{\partial E_{\text{tone}}}{\partial f_{\text{tone/s}}} = \frac{1200}{\lg 2 \cdot \ln 10} \cdot \frac{1}{f_{\text{tone/s}}}$$

$$c(f_{\text{tone}}) = \frac{\partial E_{\text{tone}}}{\partial f_{\text{tone}}} = -\frac{1200}{\lg 2 \cdot \ln 10} \cdot \frac{1}{f_{\text{tone}}}$$

B.4 标准不确定度分量的分析测算

B.4.1 被校律音音高频率的分量 $u(f_{\text{tone/s}})$ B.4.1.1 被校音准仪重复性引入的分量 s

经实验得到重复测量 10 次的实验标准差为 21mHz

$$s = 21\text{mHz}$$

自由度： $\nu(s) = n - 1 = 10 - 1 = 9$

B.4.1.2 被校音准仪指针对线偏差引入的分量 u_1

AT-3 型音准仪的分辨力为 1cent/格, 对线可准确到 $\frac{1}{20}$ 格, 按均匀分布处理, 则以音分 (cent) 表示的标准不确定度为

$$u_1 = \frac{1}{\sqrt{3}} \times \frac{1}{20} = \frac{1}{20\sqrt{3}} (\text{cent})$$

转换为频率(Hz)表示则:

$$u_1 = 440 \times 2^{\left(\frac{1}{20\sqrt{3}}\right)} - 440 = 0.007\ 337\text{Hz} = 7.337\text{mHz}$$

自由度: $\nu_1 = \infty$

B.4.1.3 分量 $u(f_{\text{tone/s}})$ 的值和自由度 $\nu(f_{\text{tone/s}})$

$$u(f_{\text{tone/s}}) = \sqrt{s^2 + u_1^2} = \sqrt{21^2 + 7.337^2} = 22\text{mHz}$$

$$\nu(f_{\text{tone/s}}) = \frac{u^4(f_{\text{tone/s}})}{\frac{s^4}{\nu(s)} + \frac{u_1^4}{\nu_1}} = \frac{22^4}{\frac{21^4}{9} + \frac{7.337^4}{\infty}} = 11$$

B.4.2 标准装置引入的分量 $u(f_{\text{tone}})$

忽略信号电压对测量频率的影响, 则标准装置引入的不确定度完全由标准信号发生器的频率准确度和调节细度引起。B&K1050 的调节细度为 1mHz, 频率准确度为 1×10^{-6} 。

B.4.2.1 标准信号发生器的频率调节细度引起的分量 u_2

B&K1050 的调节细度为 1mHz, 按均匀分布处理, 则:

$$u_2 = \frac{1}{2\sqrt{3}} = 0.29\text{mHz}$$

自由度: $\nu_2 = \infty$

B.4.2.2 由标准信号发生器的频率准确度引入的分量 u_3

B&K1050 的频率准确度为 1×10^{-6} , 按均匀分布处理, 则:

$$u_3 = \frac{1 \times 10^{-6}}{\sqrt{3}} \times 440 - 440 = 2.54\text{mHz}$$

自由度: $\nu_3 = \infty$

B.4.2.3 分量 $u(f_{\text{tone}})$ 的值和自由度

$$u(f_{\text{tone}}) = \sqrt{u_2^2 + u_3^2} = \sqrt{0.29^2 + 2.54^2} = 2.60\text{mHz}$$

$$\text{自由度: } \nu(f_{\text{tone}}) = \frac{u^4(f_{\text{tone}})}{\frac{u_2^4}{\nu_2} + \frac{u_3^4}{\nu_3}} = \frac{22^4}{\frac{0.29^4}{\infty} + \frac{2.54^4}{\infty}} = \infty$$

B.5 标准不确定度分量一览表

B.6 合成标准不确定度

$$c(f_{\text{tone/s}}) = \frac{1\ 200}{\lg 2 \cdot \ln 10} \cdot \frac{1}{f_{\text{tone/s}}} = 3.935 \quad c(f_{\text{tone}}) = \frac{1\ 200}{\lg 2 \cdot \ln 10} \cdot \frac{1}{f_{\text{tone}}} = -3.935$$

$$u_c(E_{\text{tone}}) = \sqrt{c^2(f_{\text{tone/s}}) u^2(f_{\text{tone/s}}) + c^2(f_{\text{tone}}) u^2(f_{\text{tone}})}$$

$$= \sqrt{3.935^2 \times (22 \times 10^{-3})^2 + (-3.935)^2 (2.6 \times 10^{-3})^2} = 0.087(\text{cent})$$

标准不确定度分量 $u(x_i)$	不确定度来源	标准不确定度值	$c_i = \partial f / \partial x_i$	自由度
$u(f_{\text{tone}/s}) = 22\text{mHz}$ $\nu = 11$	重复性	21mHz	$\frac{1200}{\lg 2 \cdot \ln 10} \cdot \frac{1}{f_{\text{tone}/s}}$	9
	指针对线偏差	7.337mHz		∞
$u(f_{\text{tone}}) = 2.6\text{mHz}$ $\nu = \infty$	频率调节细度	0.29mHz	$-\frac{1200}{\lg 2 \cdot \ln 10} \cdot \frac{1}{f_{\text{tone}}}$	∞
	频率准确度	2.54mHz		∞
u_c	$u_c(E_{\text{tone}}) = 0.087\text{cent};$ $\nu_{\text{eff}} = 11;$ $U = (p = 95\%, \nu = 11)$			

B.7 有效自由度

$$\nu(E_{\text{tone}}) = \frac{0.087^4}{\frac{3.935^4 \times (22 \times 10^{-3})^4}{11} + \frac{(-3.935)^4 \times (2.6 \times 10^{-3})^4}{\infty}} = 11$$

B.8 音准仪的律音音高测量结果的扩展不确定度

$$U = t_{0.95}(11) \times u_c(E_{\text{tone}}) = 2.11 \times 0.087 = 0.176(\text{cent})$$

$$(p = 95\%; \nu = 11)$$

附录 C

校准证书内页格式

校准结果				共 页 第 页
一、外观情况: _____				
二、标准音高:				
标准音高音名	音名指示	标准频率值/Hz	实测频率值/Hz	误差/cent
A4(a ¹)				
标准音高测量结果不确定度为: _____ cent				
三、律音音高测量(以标准音高 A4 = _____ Hz 为参考)和音分指示:				
音名	音名指示	标准频率值/Hz	实测频率值/Hz	误差/cent
律音音高测量结果不确定度: (~)cent				

校准结果

共 页 第 页

四、音分指示分辨率：

音分指示分辨率为：_____ cent

五、音分指示(以_____音高, f_{low} = _____ Hz 为参考)

音分指示/cent	标准频率值/Hz	实测频率值/Hz	误差/cent

音分指示分辨率测量结果不确定度：_____ cent

六、电信号输入幅度(触发电平)：

最低输入电压：_____ V；最高输入电压：_____ V

七、声信号输入灵敏度及频率响应特性：

标准音高响应		低频响应		高频响应	
A4 最小声压级	A4 最大声压级	律音 最小声压级	律音 最大声压级	律音 最小声压级	律音 最大声压级
dB	dB	dB	dB	dB	dB

八、说明：

1. 校准环境温度：_____ ℃ 相对湿度：_____ %
2. 未经校准实验室书面同意，不得部分复制此证书。