**中华人民共和国国家计量技术规范**

JJF ××××－202×

测量传声器相频特性校准规范

（静电激励器法）

Calibration Specification for Phase-Frequency Characteristics of Measurement Microphones

(Electrostatic Actuator Method)

（征求意见稿）

202X－XX－XX发布 202X－XX－XX实施

**国家市场监督管理总局**发布

|  |  |
| --- | --- |
| 测量传声器相频特性校准规范（静电激励器法）  Calibration Specification for Phase-Frequency Characteristics of Measurement Microphones  (Electrostatic Actuator Method) | JJF XXXX－202X |

归口单位： 全国声学计量技术委员会

起草单位： 中国测试技术研究院

中国计量科学研究院

杭州爱华智能科技有限公司

新疆维吾尔自治区计量测试研究院

本规范委托全国声学计量技术委员会负责解释。

本规程主要起草人：

桂 桂（中国测试技术研究院）

孙 磊（中国测试技术研究院）

牛 锋（中国计量科学研究院）

参加起草人：

万正军（中国测试技术研究院）

熊文波（杭州爱华智能科技有限公司）

闫 磊（北京航天计量测试技术研究所）

牛国辉（新疆维吾尔自治区计量测试研究院）

目 录

[引 言 II](#_Toc172194917)

[1 范围 1](#_Toc172194918)

[2 引用文件 1](#_Toc172194919)

[3 术语和计量单位 1](#_Toc172194920)

[4 概述 1](#_Toc172194921)

[5 计量特性 2](#_Toc172194922)

[5.1 相频响应 2](#_Toc172194923)

[5.2 相频非线性误差 2](#_Toc172194924)

[5.3 相位一致性 2](#_Toc172194925)

[6 校准条件 2](#_Toc172194926)

[6.1 环境条件 2](#_Toc172194927)

[6.2 测量标准器及其他设备 2](#_Toc172194928)

[7 校准项目和校准方法 3](#_Toc172194929)

[7.1 校准项目 3](#_Toc172194930)

[7.2 校准前检查 3](#_Toc172194931)

[7.3 相频响应 3](#_Toc172194932)

[7.4 相频非线性误差 4](#_Toc172194933)

[7.5 相位一致性 4](#_Toc172194934)

[8 校准结果表达 5](#_Toc172194935)

[9 复校时间间隔 5](#_Toc172194936)

[附录A 校准证书的内容和格式 6](#_Toc172194937)

[附录B 测量不确定度评定示例 9](#_Toc172194938)

引 言

JJF 1071 《国家计量校准规范编写规则》、JJF 1001 《通用计量术语及定义》、JJF 1059.1 《测量不确定度的评定与表示》共同构成支撑本规范制定的基础性系列规范。

本规范为首次发布。

测量传声器相频特性校准规范

1. 范围

本规范适用于测量传声器（包括工作标准传声器和电容式工程测量传声器）相频响应的校准。其他类似传声器相频特性的校准参照使用。

1. 引用文件

本规范引用下列文件：

JJG 175 工作标准传声器（静电激励器法）检定规程

JJF 1001 通用计量术语及定义

JJF 1034 声学计量术语及定义

JJF 1059.1 测量不确定度的评定与表示

JJF 1288 多通道声分析仪校准规范

GB/T 3947 声学名词术语

GB/T 20441.6-2017 《电声学 测量传声器 第6部分：用于测定频率响应的静电激励器》

凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本规范；凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本规范。

1. 术语和计量单位

上述引用文件界定的以及下列术语和定义适用于本规范。

3.1 静电激励器 electrostatic actuator

用于测定传声器频率响应的装置，它包含一个置于传声器膜片附近的导电刚性平板，在平板和膜片间施加时变电压，可产生均匀地分布在膜片表面上的模拟声压的静电力。

[来源：GB/T 20441—2017IEC 61094-6，定义3.1 ]

3.2 传声器相位

在信号激励下，测量传声器输出信号的相位。

注：本规范所述相频响应，特指采用静电激励器法测得的相位。

3.3 相频响应 phase response

在信号激励下，输出、输入信号的相位差随频率的变化。

注：本规范所述相频响应，特指采用静电激励器法测得的相频特性。

3.4 相位一致性 phase consistency

两只或两只以上传声器的相频响应的一致性。

1. 概述

传声器是一种将声波转化为电信号或机械作用的器件，常用于声音的传输与检测，对机械尺寸和电声性能有特定的要求。电容传声器是一种依靠电容量变化而起换能作用的传声器，具备广泛的应用场景。传声器相频响应主要是膜、声结构以及电路部分可能存在的延时导致的。利用静电激励器测量得到传声器相频响应，能够不借助参考传声器评价相位一致性、频散等特性。

需要测量相频响应的传声器，通常用于声强测量、多通道数据采集、声成像系统以及高保真音质评价系统校准。

1. 计量特性
   1. 相频响应

传声器标称的频率范围内，相频响应的测量重复性应小于1.5°。

* 1. 相频非线性误差

传声器标称的频率范围内，声压灵敏度的相频非线性最大允许误差见表1。

表1 相频非线性最大允许误差

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 频率/Hz | 最大允许误差/° | | |
| 压力场传声器 | 自由场传声器 | 扩散场传声器 |
| 20~500 | 5.0 | 5.0 | 5 |
| >500~10000 | 3.0 | / | / |
| >10000~20000 | 5.0 | / | / |

* 1. 相位一致性

当有两只或两只以上传声器配套使用时，在工作频率范围内，同一组（对）传声器相位差值最大不能超过7.0°。

注：以上技术要求不用于合格判定，仅供参考

1. 校准条件
   1. 环境条件

传声器应在以下环境条件下进行校准：

1. 温度：（23±3）℃；
2. 相对湿度：（30～90）%；
3. 静压：（94~103）kPa；
4. 实验室及其周围环境应无影响测试准确度的振动和冲击源。
   1. 测量标准器及其他设备
5. 多通道声分析仪

信号发生器部分的频率范围应覆盖20 Hz～40 kHz，频率示值误差不超过±0.5%，总失真小于0.1%，相对于参考频率（250 Hz）的幅频特性优于±0.1 dB，输出信号电压不低于5 V。输入端短路噪声低于10 μV（线性），总失真小于0.1%，相频非线性误差小于±0.1°。

1. 静电激励器

在参考频率上（250 Hz），其响应的重复性优于0.04 dB。

1. 前置放大器

使用频率范围内，输入端短路噪声低于10 μV（线性），3 μV（A计权）。

1. 校准项目和校准方法
   1. 校准项目

传声器相位的校准项目见表2。不同类型传声器可根据实际情况选择部分校准项目。

表2 校准项目一览表

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 项目名称 | 技术要求的条款号 | 校准方法的条款号 |
| 1 | 相频响应 | 5.1 | 7.3 |
| 2 | 相频非线性误差 | 5.2 | 7.4 |
| 3 | 相位一致性 | 5.3 | 7.5 |

* 1. 校准前检查

校准前应对传声器进行以下检查，并完整记录，必要时在校准报告中描述：

1. 是否存在影响正常工作及读数的机械性损伤或变形；
2. 是否存在接触不良等现象。
   1. 相频响应

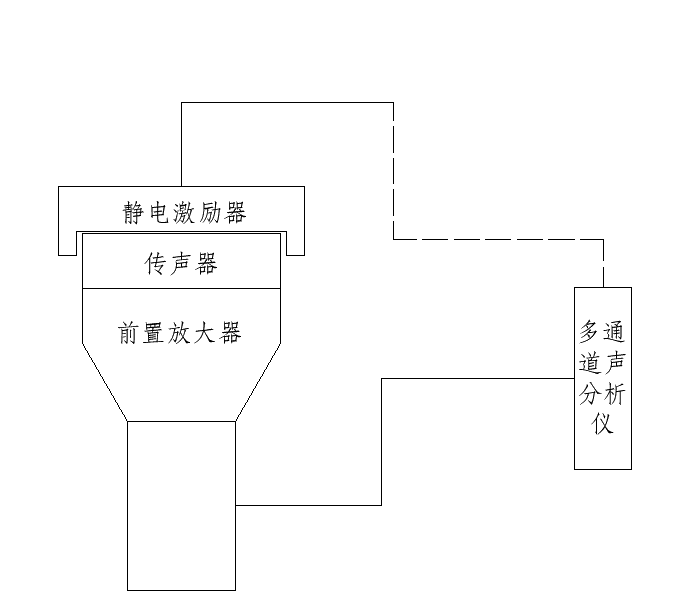


图1 相频响应测量装置示意图

相频响应测量装置方框图见如图1所示。

相频响应测量步骤如下：

1. 调节多通道声分析仪，根据被校传声器要求设置传声器灵敏度、极化电压等参数。
2. 取掉被校传声器保护栅，将静电激励器置于传声器表面上，使其参考轴处于与水平面成90°角的位置。
3. 调节多通道声分析仪发生的信号幅度，使在被检频率范围内，静电激励器的幅值响应级高于环境噪声声压级25 dB以上。
4. 采用步进正弦线性扫频方法（SSR）测量，扫频点数为400个，记录多通道声分析仪的相频响应数据，将不同频率点位上的输出相位记为。
5. 取下静电激励器，改变传声器和静电激励器相对耦合位置，分别转动静电激励器约120°和240°，重复测量步骤a）~d），每个频率点均取3次测量的算术平均值作为该频率点的相位。

式中：

——测量次数；

——某频率下的相位值，°；

1. 根据不同频率点的相位，即可得到被检传声器的相频响应。
   1. 相频非线性误差
2. 在线性坐标轴上采用最小二乘法将频率响应曲线拟合为一条直线，计算公式如（2）所示。

式中：

——线性频率点数；

——频率点，Hz；

——某频率下的相位，°；

——拟合的某频率下的相位，°。

1. 根据公式（2）计算处各线性频率点上的值记为。
2. 按公式（3）计算相频非线性误差
   1. 相位一致性
   2. 若有两只或两只以上配套使用的传声器，重复7.3的测量步骤得到每一只传声器被检频率范围内的相位，按公式（4）计算每个频率点上的相位平均值：

式中：

——传声器个数；应采用其他符号，与上文区分

——多个传声器相位的平均值，°；

* 1. 按公式（5）计算不同频率上的相位一致性：

1. 校准结果表达
   1. 校准数据处理

所有的数值应先计算，后修约。出具的校准数据均保留一位小数。

* 1. 校准证书

应为校准的传声器出具校准证书。校准证书应包括的信息及推荐的校准证书的内页格式见附录A。

* 1. 校准结果的测量不确定度

传声器相位校准的测量不确定度应按JJF 1059.1的要求评定，不确定度评定的示例见附录B。

1. 复校时间间隔

建议传声器相位复校时间间隔为一年。然而，复校时间间隔的长短取决于仪器的使用情况（使用部位的重要性、环境条件、使用频率）、使用者、仪器本身质量等诸多因素，因此，送校单位可根据实际使用情况自主决定复校时间间隔。

附录A 校准证书的内容和格式

A.1 传声器相位的校准证书至少应包括以下信息：

1. 标题，如“校准证书”；
2. 校准实验室的名称和地址；
3. 进行校准的地点（如果与校准实验室的地址不同）；
4. 证书的唯一性标识（如编号），页码及总页数的标识；
5. 客户的名称和地址；
6. 被校对象的描述和明确标识（如型号、性能等级、类型标识及出厂编号等）；
7. 进行校准的日期；
8. 本技术规范的标识，包括名称及编号；
9. 本次校准所用测量标准的溯源性及有效性的说明；
10. 校准环境的描述；
11. 校准结果及其测量不确定度的说明；
12. 校准人签名、核验人签名、批准人签名；
13. 校准结果仅对被校对象有效的声明；
14. 未经实验室书面批准，不得部分复制证书的声明。

A.2 推荐的传声器相位校准证书的内页格式见图A.1。

证书编号××××××－××××

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 校准机构授权说明 | | | | | | | | | |
| 校准的技术依据  JJF XXXXXX-XXXX 传声器相位校准规范 | | | | | | | | | |
| 校准环境条件及地点 | | | | | | | | | |
| 空气温度 | ℃ | | 相对湿度 | | % | | 静 压 | | kPa |
| 地 点 |  | | | | | | | | |
| 校准使用的计量（基）标准装置 | | | | | | | | | |
| 名 称 | | 测量范围 | | 不确定度 /准确度等级 /最大允许误差 | | 计量（基）标准证书编号 | | 有效期至 | |
|  | |  | |  | |  | |  | |
| 校准使用的标准器 | | | | | | | | | |
| 名 称 | | 测量范围 | | 不确定度 /准确度等级 /最大允许误差 | | 检定/校准证书编号 | | 有效期至 | |
|  | |  | |  | |  | |  | |

第×页 共×页

图A.1 校准证书内页的格式

证书编号××××××－××××

校 准 结 果

1相频响应:

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 频率*f*/Hz | 20 | 25 | 31.5 | 40 | 50 | 63 | 80 | 100 | 125 |
| 相位/° |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 频率*f*/Hz | 160 | 200 | 250 | 315 | 400 | 500 | 630 | 800 | 1000 |
| 相位/° |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 频率*f*/Hz | 1250 | 1600 | 2000 | 2500 | 3150 | 4000 | 5000 | 6300 | 8000 |
| 相位/° |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 频率*f*/Hz | 10000 | 12500 | 16000 | 20000 |  |  |  |  |  |
| 相位/° |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

2 相频非线性误差:

20 Hz~ Hz范围内，相频非线性误差为 °。

3 相位一致性:

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 频率*f*/Hz | 20 | 25 | 31.5 | 40 | 50 | 63 | 80 | 100 | 125 |
| 相位差/° |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 频率*f*/Hz | 160 | 200 | 250 | 315 | 400 | 500 | 630 | 800 | 1000 |
| 相位差/° |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 频率*f*/Hz | 1250 | 1600 | 2000 | 2500 | 3150 | 4000 | 5000 | 6300 | 8000 |
| 相位差/° |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 频率*f*/Hz | 10000 | 12500 | 16000 | 20000 |  |  |  |  |  |
| 相位差/° |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

以下空白。

第×页 共×页

图A.1 校准证书内页的格式（续）

附录B 测量不确定度评定示例

B.1 测量方法

相位非线性误差计算公式为：

式中：

——某频率下的相位，°；

——拟合的某频率下的相位，°。

B.2 测量不确定度来源

相位非线性误差的不确定度来源主要包括：测量重复性、静电激励器直流电压、静电激励器安装位置、数据修约。其中测量重复性采用A类方法评定，其他各项采用B类方法评定。

B.2.1 测量重复性引入的不确定度

测量重复性引入的不确定度采用A类方法评定。

相位非线性误差的测量结果见表B.1,以其标准偏差作为A类不确定度分量*u*A。

表B.1 相频响应

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 频率/Hz | 第1次/° | 第2次/° | 第3次/° | 第4次/° | 第5次/° | 第6次/° | 标准偏差/° |
| 20.00 | 2.31 | 2.27 | 2.27 | 2.24 | 2.27 | 2.25 | 0.02 |
| 70.08 | 2.30 | 2.26 | 2.26 | 2.23 | 2.26 | 2.24 | 0.02 |
| 120.15 | 2.33 | 2.80 | 2.29 | 2.14 | 2.19 | 2.14 | 0.25 |
| 170.23 | 2.40 | 2.45 | 2.53 | 2.54 | 2.23 | 2.36 | 0.12 |
| 220.30 | 2.44 | 2.45 | 2.40 | 2.21 | 2.35 | 2.32 | 0.09 |
| 270.38 | 2.49 | 2.50 | 2.64 | 2.45 | 2.43 | 2.46 | 0.08 |
| 320.45 | 2.51 | 2.47 | 1.39 | 2.45 | 2.41 | 2.41 | 0.43 |
| 370.53 | 2.53 | 2.34 | 1.76 | 2.47 | 2.48 | 2.40 | 0.29 |
| 420.60 | 2.47 | 2.44 | 2.27 | 2.43 | 2.45 | 2.21 | 0.11 |
| 470.68 | 2.47 | 2.36 | 2.29 | 2.39 | 2.38 | 2.41 | 0.06 |
| 520.75 | 1.64 | 2.39 | 2.41 | 2.39 | 2.39 | 2.40 | 0.31 |
| 570.83 | 1.28 | 2.41 | 2.37 | 5.53 | 2.37 | 2.30 | 1.45 |
| 620.90 | 2.31 | 2.25 | 3.31 | 2.35 | 2.18 | 2.32 | 0.42 |
| 670.98 | 2.29 | 2.28 | 2.65 | 2.09 | 2.27 | 2.28 | 0.18 |
| 721.05 | 2.37 | 2.25 | 2.56 | 2.22 | 2.37 | 2.24 | 0.13 |
| 771.13 | 1.96 | 2.23 | 2.46 | 2.17 | 2.18 | 2.25 | 0.16 |
| 821.20 | 1.77 | 2.19 | 2.34 | 2.30 | 2.18 | 2.15 | 0.20 |
| 871.28 | 2.22 | 2.11 | 1.44 | 2.15 | 2.16 | 2.10 | 0.29 |
| 921.35 | 2.11 | 2.16 | 3.27 | 2.14 | 2.05 | 2.11 | 0.47 |
| 971.43 | 2.13 | 1.96 | 1.98 | 2.04 | 2.11 | 2.04 | 0.07 |
| 1021.50 | 2.08 | 2.09 | 2.29 | 2.01 | 2.02 | 2.02 | 0.11 |
| 1071.58 | 2.04 | 2.22 | 2.00 | 1.99 | 2.03 | 1.98 | 0.09 |
| 1121.65 | 2.01 | 1.93 | 1.96 | 1.92 | 1.97 | 1.96 | 0.03 |
| 1171.73 | 1.97 | 1.96 | 1.88 | 1.98 | 1.95 | 1.91 | 0.04 |
| 1221.80 | 1.96 | 1.95 | 2.29 | 1.73 | 1.97 | 1.88 | 0.18 |
| 1271.88 | 1.92 | 1.84 | 1.87 | 1.80 | 1.87 | 1.84 | 0.04 |
| 1321.95 | 1.85 | 1.81 | 1.93 | 1.61 | 1.84 | 1.78 | 0.11 |
| 1372.03 | 1.84 | 1.65 | 1.89 | 1.65 | 1.76 | 1.77 | 0.10 |
| 1422.11 | 1.78 | 1.73 | 1.70 | 1.53 | 1.73 | 1.73 | 0.09 |
| 1472.18 | 1.78 | 1.70 | 1.46 | 1.55 | 1.78 | 1.68 | 0.13 |
| 1522.26 | 1.72 | 1.77 | 0.96 | 1.65 | 1.70 | 1.63 | 0.31 |
| 1572.33 | 1.76 | 1.93 | 1.27 | 1.61 | 1.68 | 1.56 | 0.22 |
| 1622.41 | 1.62 | 1.57 | 1.35 | 1.57 | 1.60 | 1.56 | 0.10 |
| 1672.48 | 1.49 | 1.57 | 1.14 | 1.52 | 1.57 | 1.56 | 0.17 |
| 1722.56 | 1.55 | 1.51 | 1.12 | 1.54 | 1.58 | 1.54 | 0.17 |
| 1772.63 | 1.53 | 1.47 | 1.37 | 1.49 | 1.49 | 1.50 | 0.05 |
| 1822.71 | 1.48 | 1.47 | 1.36 | 1.41 | 1.48 | 1.44 | 0.05 |
| 1872.78 | 1.41 | 1.40 | 1.64 | 1.37 | 1.43 | 1.40 | 0.10 |
| 1922.86 | 1.40 | 1.42 | 1.36 | 1.45 | 1.38 | 1.35 | 0.04 |
| 1972.93 | 1.42 | 1.09 | 1.72 | 1.19 | 1.37 | 1.35 | 0.22 |
| 2023.01 | 1.35 | 1.54 | 1.02 | 1.30 | 1.32 | 1.31 | 0.16 |
| 2073.08 | 1.32 | 1.31 | 1.51 | 1.24 | 1.28 | 1.25 | 0.10 |
| 2123.16 | 1.28 | 1.27 | 1.21 | 1.19 | 1.24 | 1.22 | 0.03 |
| 2173.23 | 1.23 | 1.22 | 1.09 | 1.20 | 1.19 | 1.16 | 0.05 |
| 2223.31 | 1.18 | 1.13 | 1.15 | 1.14 | 1.16 | 1.14 | 0.02 |
| 2273.38 | 1.16 | 1.12 | 1.13 | 1.09 | 1.09 | 1.06 | 0.04 |
| 2323.46 | 1.18 | 1.11 | 1.38 | 1.03 | 1.10 | 1.07 | 0.13 |
| 2373.53 | 1.11 | 1.01 | 0.92 | 1.08 | 1.08 | 1.05 | 0.07 |
| 2423.61 | 1.05 | 1.01 | 0.90 | 0.98 | 1.42 | 1.01 | 0.18 |
| 2473.68 | 1.03 | 0.99 | 1.10 | 1.05 | 1.13 | 0.99 | 0.06 |
| 2523.76 | 1.02 | 0.91 | 0.85 | 0.99 | 0.97 | 0.92 | 0.06 |
| 2573.83 | 0.98 | 0.91 | 0.68 | 0.92 | 0.88 | 0.92 | 0.10 |
| 2623.91 | 0.92 | 0.91 | 1.77 | 0.86 | 0.78 | 0.86 | 0.37 |
| 2673.99 | 0.90 | 0.88 | 0.61 | 0.73 | 0.76 | 0.82 | 0.11 |
| 2724.06 | 0.87 | 0.80 | 0.75 | 0.85 | 0.76 | 0.80 | 0.05 |
| 2774.14 | 0.78 | 0.79 | 0.74 | 0.71 | 0.81 | 0.75 | 0.04 |
| 2824.21 | 0.79 | 0.80 | 0.76 | 1.02 | 0.70 | 0.73 | 0.11 |
| 2874.29 | 0.74 | 0.66 | 0.81 | 0.70 | 0.72 | 0.68 | 0.05 |
| 2924.36 | 0.71 | 0.66 | 0.67 | 0.65 | 0.69 | 0.65 | 0.02 |
| 2974.44 | 0.70 | 0.70 | 0.55 | 0.65 | 0.63 | 0.61 | 0.06 |
| 3024.51 | 0.63 | 0.58 | 0.60 | 0.61 | 0.59 | 0.54 | 0.03 |
| 3074.59 | 0.62 | 0.60 | 0.14 | 0.69 | 0.54 | 0.56 | 0.20 |
| 3124.66 | 0.58 | 0.53 | 1.84 | 0.53 | 0.55 | 0.35 | 0.55 |
| 3174.74 | 0.54 | 0.52 | 1.33 | 0.35 | 0.49 | 0.56 | 0.35 |
| 3224.81 | 0.51 | 0.49 | 0.51 | 0.43 | 0.44 | 0.43 | 0.04 |
| 3274.89 | 0.47 | 0.47 | 0.38 | 0.47 | 0.44 | 0.42 | 0.04 |
| 3324.96 | 0.48 | 0.47 | 0.43 | 0.33 | 0.39 | 0.37 | 0.06 |
| 3375.04 | 0.40 | 0.33 | 0.41 | 0.37 | 0.39 | 0.34 | 0.03 |
| 3425.11 | 0.41 | 0.37 | 0.53 | 0.35 | 0.31 | 0.34 | 0.08 |
| 3475.19 | 0.32 | 0.34 | 0.16 | 0.23 | 0.29 | 0.27 | 0.06 |
| 3525.26 | 0.31 | 0.27 | 0.44 | 0.24 | 0.27 | 0.24 | 0.08 |
| 3575.34 | 0.24 | 0.24 | 0.37 | 0.13 | 0.23 | 0.20 | 0.08 |
| 3625.41 | 0.24 | 0.22 | 0.28 | 0.23 | 0.20 | 0.20 | 0.03 |
| 3675.49 | 0.22 | 0.19 | 0.19 | 0.13 | 0.16 | 0.14 | 0.03 |
| 3725.56 | 0.18 | 0.11 | -0.45 | 0.19 | 0.15 | 0.03 | 0.24 |
| 3775.64 | 0.14 | 0.12 | 0.38 | 0.07 | 0.10 | 0.09 | 0.12 |
| 3825.71 | 0.10 | 0.07 | -0.09 | 0.01 | 0.11 | 0.02 | 0.07 |
| 3875.79 | 0.06 | 0.04 | -0.37 | 0.03 | 0.01 | 0.03 | 0.16 |
| 3925.86 | 0.07 | 0.02 | 0.01 | -0.04 | 0.00 | 0.01 | 0.04 |
| 3975.94 | 0.03 | 0.04 | 0.12 | -0.09 | -0.02 | -0.03 | 0.07 |
| 4026.02 | -0.01 | -0.04 | -0.22 | -0.01 | 0.01 | -0.10 | 0.09 |
| 4076.09 | -0.02 | -0.09 | 0.02 | -0.14 | -0.09 | -0.06 | 0.06 |
| 4126.17 | -0.08 | -0.13 | -0.03 | -0.11 | -0.12 | -0.16 | 0.05 |
| 4176.24 | -0.09 | -0.20 | -0.24 | -0.19 | -0.17 | -0.16 | 0.05 |
| 4226.32 | -0.08 | -0.15 | -0.20 | -0.20 | -0.16 | -0.19 | 0.05 |
| 4276.39 | -0.16 | -0.29 | -0.20 | -0.24 | -0.20 | -0.22 | 0.04 |
| 4326.47 | -0.17 | -0.24 | -0.26 | -0.28 | -0.23 | -0.26 | 0.04 |
| 4376.54 | -0.19 | -0.29 | -0.27 | -0.26 | -0.29 | -0.27 | 0.04 |
| 4426.62 | -0.22 | -0.31 | -0.29 | -0.32 | -0.30 | -0.31 | 0.04 |
| 4476.69 | -0.23 | -0.32 | -0.24 | -0.31 | -0.30 | -0.34 | 0.04 |
| 4526.77 | -0.28 | -0.35 | -0.34 | -0.16 | -0.34 | -0.37 | 0.08 |
| 4576.84 | -0.30 | -0.39 | -0.38 | -0.33 | -0.38 | -0.40 | 0.04 |
| 4626.92 | -0.33 | -0.43 | -0.58 | -0.49 | -0.41 | -0.43 | 0.08 |
| 4676.99 | -0.35 | -0.43 | -0.43 | -0.47 | -0.42 | -0.46 | 0.04 |
| 4727.07 | -0.36 | -0.50 | -0.45 | -0.48 | -0.44 | -0.48 | 0.05 |
| 4777.14 | -0.41 | -0.58 | -0.33 | -0.51 | -0.46 | -0.51 | 0.09 |
| 4827.22 | -0.45 | -0.48 | -0.54 | -0.53 | -0.50 | -0.54 | 0.04 |
| 4877.29 | -0.48 | -0.49 | -0.54 | -0.56 | -0.49 | -0.56 | 0.04 |
| 4927.37 | -0.50 | -0.58 | -0.60 | -0.62 | -0.58 | -0.60 | 0.04 |
| 4977.44 | -0.56 | -0.44 | -0.59 | -0.62 | -0.59 | -0.61 | 0.07 |
| 5027.52 | -0.58 | -0.95 | -0.50 | -0.66 | -0.62 | -0.67 | 0.15 |
| 5077.59 | -0.60 | -0.67 | -0.67 | -0.68 | -0.64 | -0.67 | 0.03 |
| 5127.67 | -0.62 | -0.63 | -0.66 | -0.71 | -0.68 | -0.70 | 0.04 |
| 5177.74 | -0.63 | -0.65 | -0.68 | -0.72 | -0.67 | -0.72 | 0.04 |
| 5227.82 | -0.67 | -0.68 | -0.76 | -0.77 | -0.73 | -0.75 | 0.04 |
| 5277.89 | -0.72 | -0.77 | -0.72 | -0.86 | -0.77 | -0.78 | 0.05 |
| 5327.97 | -0.71 | -0.83 | -0.78 | -0.78 | -0.79 | -0.79 | 0.04 |
| 5378.05 | -0.74 | -0.82 | -0.75 | -0.83 | -0.82 | -0.82 | 0.04 |
| 5428.12 | -0.76 | -0.95 | -0.83 | -0.87 | -0.83 | -0.85 | 0.06 |
| 5478.20 | -0.82 | -0.86 | -0.87 | -0.90 | -0.87 | -0.86 | 0.03 |
| 5528.27 | -0.80 | -0.83 | -0.86 | -0.94 | -0.89 | -0.87 | 0.05 |
| 5578.35 | -0.82 | -0.96 | -0.91 | -0.95 | -0.94 | -0.91 | 0.05 |
| 5628.42 | -0.88 | -0.94 | -0.88 | -0.96 | -0.92 | -0.93 | 0.03 |
| 5678.50 | -0.88 | -0.98 | -0.96 | -0.98 | -0.97 | -0.97 | 0.04 |
| 5728.57 | -0.91 | -0.99 | -1.17 | -0.99 | -0.98 | -1.00 | 0.09 |
| 5778.65 | -0.93 | -1.03 | -0.89 | -1.07 | -1.00 | -1.01 | 0.07 |
| 5828.72 | -0.99 | -0.99 | -1.04 | -1.18 | -1.00 | -1.03 | 0.07 |
| 5878.80 | -0.95 | -1.02 | -0.92 | -1.14 | -1.05 | -1.06 | 0.08 |
| 5928.87 | -1.07 | -1.12 | -0.99 | -1.11 | -1.07 | -1.09 | 0.05 |
| 5978.95 | -1.01 | -1.11 | -1.11 | -1.03 | -1.09 | -1.14 | 0.05 |
| 6029.02 | -1.04 | -1.09 | -1.11 | -1.12 | -1.12 | -1.10 | 0.03 |
| 6079.10 | -1.05 | -1.09 | -1.10 | -1.16 | -1.13 | -1.17 | 0.05 |
| 6129.17 | -1.06 | -1.13 | -1.16 | -1.17 | -1.14 | -1.16 | 0.04 |
| 6179.25 | -1.11 | -1.11 | -1.21 | -1.15 | -1.17 | -1.17 | 0.04 |
| 6229.32 | -1.11 | -1.20 | -1.19 | -1.23 | -1.19 | -1.21 | 0.04 |
| 6279.40 | -1.12 | -1.22 | -1.17 | -1.21 | -1.19 | -1.24 | 0.04 |
| 6329.47 | -1.15 | -1.19 | -1.22 | -1.24 | -1.21 | -1.16 | 0.04 |
| 6379.55 | -1.18 | -1.23 | -1.23 | -1.32 | -1.23 | -1.28 | 0.05 |
| 6429.62 | -1.17 | -1.24 | -1.25 | -1.24 | -1.25 | -1.27 | 0.03 |
| 6479.70 | -1.32 | -1.25 | -1.22 | -1.29 | -1.26 | -1.28 | 0.04 |
| 6529.77 | -1.31 | -1.28 | -1.29 | -1.31 | -1.28 | -1.29 | 0.02 |
| 6579.85 | -1.26 | -1.26 | -1.29 | -1.32 | -1.30 | -1.31 | 0.03 |
| 6629.92 | -1.30 | -1.39 | -1.29 | -1.35 | -1.32 | -1.34 | 0.03 |
| 6680.00 | -1.31 | -1.30 | -1.35 | -1.36 | -1.34 | -1.34 | 0.02 |
| 6730.08 | -1.33 | -1.29 | -1.30 | -1.37 | -1.35 | -1.37 | 0.03 |
| 6780.15 | -1.35 | -1.34 | -1.34 | -1.38 | -1.36 | -1.36 | 0.02 |
| 6830.23 | -1.36 | -1.36 | -1.38 | -1.41 | -1.38 | -1.40 | 0.02 |
| 6880.30 | -1.38 | -1.39 | -1.39 | -1.44 | -1.41 | -1.40 | 0.02 |
| 6930.38 | -1.39 | -1.42 | -1.38 | -1.42 | -1.39 | -1.43 | 0.02 |
| 6980.45 | -1.43 | -1.46 | -1.42 | -1.44 | -1.43 | -1.38 | 0.03 |
| 7030.53 | -1.44 | -1.37 | -1.42 | -1.46 | -1.44 | -1.42 | 0.03 |
| 7080.60 | -1.58 | -1.09 | -1.41 | -1.46 | -1.43 | -1.41 | 0.16 |
| 7130.68 | -1.49 | -1.40 | -1.43 | -1.48 | -1.45 | -1.42 | 0.03 |
| 7180.75 | -1.36 | -1.43 | -1.44 | -1.44 | -1.44 | -1.36 | 0.04 |
| 7230.83 | -1.54 | -1.44 | -1.37 | -1.48 | -1.47 | -1.40 | 0.06 |
| 7280.90 | -1.46 | -1.47 | -1.63 | -1.50 | -1.44 | -1.43 | 0.07 |
| 7330.98 | -1.45 | -1.46 | -1.98 | -1.50 | -1.48 | -1.42 | 0.21 |
| 7381.05 | -1.48 | -1.46 | -1.61 | -1.39 | -1.46 | -1.43 | 0.07 |
| 7431.13 | -1.48 | -1.48 | -1.37 | -1.48 | -1.49 | -1.44 | 0.05 |
| 7481.20 | -1.48 | -1.31 | -1.48 | -1.38 | -1.49 | -1.50 | 0.08 |
| 7531.28 | -1.48 | -1.32 | -1.49 | -1.35 | -1.52 | -1.51 | 0.09 |
| 7581.35 | -1.49 | -1.53 | -1.47 | -1.80 | -1.51 | -1.52 | 0.12 |
| 7631.43 | -1.51 | -1.52 | -1.93 | -1.50 | -1.54 | -1.51 | 0.17 |
| 7681.50 | -1.50 | -1.74 | -1.31 | -1.52 | -1.53 | -1.49 | 0.14 |
| 7731.58 | -1.52 | -1.52 | -1.51 | -1.54 | -1.53 | -1.50 | 0.01 |
| 7781.65 | -1.51 | -1.55 | -1.56 | -1.57 | -1.52 | -1.50 | 0.03 |
| 7831.73 | -1.49 | -1.52 | -1.53 | -1.54 | -1.53 | -1.49 | 0.02 |
| 7881.80 | -1.53 | -1.63 | -1.52 | -1.55 | -1.53 | -1.47 | 0.05 |
| 7931.88 | -1.49 | -1.57 | -1.55 | -1.55 | -1.53 | -1.49 | 0.03 |
| 7981.95 | -1.48 | -1.70 | -1.48 | -1.51 | -1.55 | -1.48 | 0.09 |
| 8032.03 | -1.48 | -1.56 | -1.52 | -1.53 | -1.51 | -1.52 | 0.02 |
| 8082.11 | -1.46 | -1.51 | -1.46 | -1.52 | -1.52 | -1.52 | 0.03 |
| 8132.18 | -1.50 | -1.54 | -1.57 | -1.50 | -1.52 | -1.55 | 0.03 |
| 8182.26 | -1.48 | -1.56 | -1.52 | -1.52 | -1.50 | -1.55 | 0.03 |
| 8232.33 | -1.48 | -1.48 | -1.38 | -1.51 | -1.49 | -1.54 | 0.05 |
| 8282.41 | -1.43 | -1.45 | -1.48 | -1.57 | -1.52 | -1.51 | 0.05 |
| 8332.48 | -1.45 | -1.51 | -1.51 | -1.55 | -1.52 | -1.51 | 0.03 |
| 8382.56 | -1.45 | -1.52 | -1.48 | -1.52 | -1.50 | -1.51 | 0.03 |
| 8432.63 | -1.46 | -1.53 | -1.49 | -1.50 | -1.50 | -1.51 | 0.02 |
| 8482.71 | -1.44 | -1.46 | -1.44 | -1.50 | -1.47 | -1.50 | 0.03 |
| 8532.78 | -1.47 | -1.44 | -1.49 | -1.48 | -1.47 | -1.48 | 0.02 |
| 8582.86 | -1.44 | -1.48 | -1.45 | -1.54 | -1.48 | -1.49 | 0.03 |
| 8632.93 | -1.43 | -1.51 | -1.42 | -1.47 | -1.44 | -1.46 | 0.03 |
| 8683.01 | -1.41 | -1.69 | -1.37 | -1.45 | -1.46 | -1.45 | 0.11 |
| 8733.08 | -1.40 | -1.42 | -1.44 | -1.46 | -1.44 | -1.43 | 0.02 |
| 8783.16 | -1.39 | -1.43 | -1.39 | -1.46 | -1.43 | -1.44 | 0.03 |
| 8833.23 | -1.38 | -1.39 | -1.40 | -1.45 | -1.44 | -1.42 | 0.03 |
| 8883.31 | -1.38 | -1.37 | -1.37 | -1.43 | -1.41 | -1.41 | 0.02 |
| 8933.38 | -1.34 | -1.37 | -1.36 | -1.42 | -1.38 | -1.37 | 0.03 |
| 8983.46 | -1.33 | -1.36 | -1.37 | -1.41 | -1.40 | -1.39 | 0.03 |
| 9033.53 | -1.31 | -1.36 | -1.33 | -1.38 | -1.33 | -1.34 | 0.03 |
| 9083.61 | -1.30 | -1.28 | -1.29 | -1.34 | -1.35 | -1.33 | 0.03 |
| 9133.68 | -1.27 | -1.30 | -1.30 | -1.33 | -1.35 | -1.34 | 0.03 |
| 9183.76 | -1.24 | -1.24 | -1.27 | -1.32 | -1.32 | -1.28 | 0.03 |
| 9233.83 | -1.23 | -1.18 | -1.31 | -1.28 | -1.30 | -1.30 | 0.05 |
| 9283.91 | -1.25 | -1.22 | -1.28 | -1.28 | -1.29 | -1.28 | 0.02 |
| 9333.99 | -1.22 | -1.26 | -1.25 | -1.23 | -1.18 | -1.27 | 0.03 |
| 9384.06 | -1.19 | -1.23 | -1.23 | -1.22 | -1.28 | -1.23 | 0.03 |
| 9434.14 | -1.14 | -1.16 | -1.17 | -1.20 | -1.17 | -1.18 | 0.02 |
| 9484.21 | -1.13 | -1.17 | -1.21 | -1.27 | -1.20 | -1.16 | 0.05 |
| 9534.29 | -1.10 | -1.17 | -1.12 | -1.16 | -1.29 | -1.14 | 0.07 |
| 9584.36 | -1.07 | -1.12 | -1.19 | -1.14 | -1.17 | -1.12 | 0.04 |
| 9634.44 | -1.04 | -1.49 | -1.16 | -1.09 | -1.09 | -1.13 | 0.16 |
| 9684.51 | -0.99 | -0.98 | -1.08 | -1.10 | -1.06 | -1.05 | 0.05 |
| 9734.59 | -0.97 | -1.03 | -1.04 | -1.02 | -1.04 | -1.01 | 0.03 |
| 9784.66 | -0.96 | -1.06 | -1.01 | -1.01 | -1.03 | -0.99 | 0.03 |
| 9834.74 | -0.94 | -1.03 | -1.02 | -1.01 | -1.01 | -0.98 | 0.03 |
| 9884.81 | -0.93 | -0.97 | -0.94 | -0.98 | -1.02 | -0.94 | 0.03 |
| 9934.89 | -0.88 | -0.91 | -0.84 | -0.94 | -0.95 | -0.89 | 0.04 |
| 9984.96 | -0.82 | -0.90 | -0.84 | -0.87 | -0.91 | -0.85 | 0.03 |
| 10035.04 | -0.82 | -0.87 | -0.86 | -0.86 | -0.90 | -0.82 | 0.03 |
| 10085.11 | -0.74 | -0.83 | -0.80 | -0.83 | -0.86 | -0.75 | 0.05 |
| 10135.19 | -0.75 | -0.76 | -0.73 | -0.77 | -0.79 | -0.71 | 0.03 |
| 10185.26 | -0.70 | -0.73 | -0.66 | -0.72 | -0.77 | -0.66 | 0.04 |
| 10235.34 | -0.64 | -0.69 | -0.62 | -0.55 | -0.72 | -0.59 | 0.06 |
| 10285.41 | -0.63 | -0.55 | -0.58 | -0.74 | -0.72 | -0.56 | 0.08 |
| 10335.49 | -0.59 | -0.66 | -0.51 | -0.57 | -0.67 | -0.49 | 0.08 |
| 10385.56 | -0.57 | -0.59 | -0.51 | -0.60 | -0.63 | -0.50 | 0.05 |
| 10435.64 | -0.57 | -0.62 | -0.47 | -0.33 | -0.62 | -0.46 | 0.11 |
| 10485.71 | -0.56 | -0.50 | -0.43 | -0.43 | -0.56 | -0.42 | 0.07 |
| 10535.79 | -0.47 | -0.85 | -0.42 | -0.26 | -0.50 | -0.48 | 0.20 |
| 10585.87 | -0.45 | -0.33 | -0.41 | -0.44 | -0.47 | -0.53 | 0.07 |
| 10635.94 | -0.50 | -0.53 | -0.39 | -0.48 | -0.43 | -0.63 | 0.09 |
| 10686.02 | -0.48 | -0.96 | -0.41 | -0.52 | -0.40 | -0.65 | 0.21 |
| 10736.09 | -0.47 | -0.59 | -0.43 | -0.46 | -0.40 | -0.67 | 0.11 |
| 10786.17 | -0.44 | -0.60 | -0.42 | -0.49 | -0.39 | -0.69 | 0.12 |
| 10836.24 | -0.49 | -0.63 | -0.50 | -0.48 | -0.48 | -0.72 | 0.10 |
| 10886.32 | -0.51 | -0.66 | -0.53 | -0.80 | -0.46 | -0.70 | 0.13 |
| 10936.39 | -0.60 | -0.63 | -0.56 | -0.58 | -0.48 | -0.74 | 0.09 |
| 10986.47 | -0.57 | -0.64 | -0.58 | -0.69 | -0.58 | -0.70 | 0.06 |
| 11036.54 | -0.53 | -0.66 | -0.59 | -0.66 | -0.61 | -0.71 | 0.06 |
| 11086.62 | -0.64 | -0.67 | -0.62 | -0.75 | -0.63 | -0.72 | 0.05 |
| 11136.69 | -0.56 | -0.68 | -0.63 | -0.74 | -0.56 | -0.70 | 0.07 |
| 11186.77 | -0.55 | -0.68 | -0.62 | -0.64 | -0.55 | -0.72 | 0.07 |
| 11236.84 | -0.53 | -0.68 | -0.56 | -0.68 | -0.59 | -0.67 | 0.07 |
| 11286.92 | -0.55 | -0.67 | -0.65 | -0.64 | -0.55 | -0.65 | 0.05 |
| 11336.99 | -0.55 | -0.78 | -0.68 | -0.70 | -0.62 | -0.67 | 0.08 |
| 11387.07 | -0.56 | -0.64 | -0.72 | -0.72 | -0.58 | -0.64 | 0.07 |
| 11437.14 | -0.54 | -0.52 | -0.70 | -0.78 | -0.60 | -0.65 | 0.10 |
| 11487.22 | -0.54 | -0.56 | -0.78 | -0.81 | -0.62 | -0.63 | 0.11 |
| 11537.29 | -0.57 | -0.57 | -0.78 | -0.82 | -0.65 | -0.59 | 0.11 |
| 11587.37 | -0.61 | -0.60 | -0.80 | -0.87 | -0.70 | -0.61 | 0.12 |
| 11637.44 | -0.65 | -0.63 | -0.82 | -0.96 | -0.76 | -0.63 | 0.13 |
| 11687.52 | -0.69 | -0.64 | -0.78 | -0.89 | -0.76 | -0.62 | 0.10 |
| 11737.59 | -0.74 | -0.62 | -0.83 | -0.91 | -0.81 | -0.68 | 0.11 |
| 11787.67 | -0.77 | -0.60 | -0.82 | -0.86 | -0.82 | -0.66 | 0.11 |
| 11837.74 | -0.76 | -0.60 | -0.85 | -0.89 | -0.78 | -0.66 | 0.11 |
| 11887.82 | -0.78 | -0.61 | -0.86 | -0.90 | -0.79 | -0.72 | 0.11 |
| 11937.90 | -0.78 | -0.59 | -0.84 | -0.85 | -0.80 | -0.67 | 0.11 |
| 11987.97 | -0.80 | -0.65 | -0.84 | -0.85 | -0.76 | -0.74 | 0.08 |
| 12038.05 | -0.78 | -0.67 | -0.83 | -0.84 | -0.78 | -0.77 | 0.06 |
| 12088.12 | -0.78 | -0.69 | -0.82 | -0.86 | -0.76 | -0.79 | 0.06 |
| 12138.20 | -0.80 | -0.71 | -0.82 | -0.87 | -0.74 | -0.84 | 0.06 |
| 12188.27 | -0.79 | -0.76 | -0.82 | -0.88 | -0.77 | -0.83 | 0.04 |
| 12238.35 | -0.81 | -0.72 | -0.83 | -0.85 | -0.74 | -0.84 | 0.05 |
| 12288.42 | -0.77 | -0.76 | -0.88 | -0.47 | -0.75 | -0.82 | 0.14 |
| 12338.50 | -0.81 | -0.76 | -0.91 | -0.90 | -0.76 | -0.84 | 0.06 |
| 12388.57 | -0.84 | -0.78 | -0.82 | -0.87 | -0.77 | -0.83 | 0.04 |
| 12438.65 | -0.71 | -0.76 | -0.80 | -0.86 | -0.77 | -0.83 | 0.05 |
| 12488.72 | -0.88 | -0.75 | -0.83 | -0.84 | -0.77 | -0.78 | 0.05 |
| 12538.80 | -0.59 | -0.79 | -0.87 | -0.89 | -0.85 | -0.85 | 0.11 |
| 12588.87 | -0.53 | -0.81 | -0.86 | -0.90 | -0.84 | -0.84 | 0.13 |
| 12638.95 | -0.83 | -0.76 | -0.80 | -0.86 | -0.80 | -0.79 | 0.03 |
| 12689.02 | -0.81 | -0.80 | -0.85 | -0.89 | -0.83 | -0.85 | 0.03 |
| 12739.10 | -0.78 | -0.73 | -0.82 | -0.82 | -0.84 | -0.79 | 0.04 |
| 12789.17 | -0.76 | -0.73 | -0.81 | -0.82 | -0.80 | -0.79 | 0.03 |
| 12839.25 | -0.76 | -0.74 | -0.83 | -0.94 | -0.82 | -0.79 | 0.07 |
| 12889.32 | -0.77 | -0.75 | -0.79 | -0.73 | -0.82 | -0.80 | 0.03 |
| 12939.40 | -0.77 | -0.79 | -0.83 | -0.84 | -0.83 | -0.84 | 0.03 |
| 12989.47 | -0.77 | -0.76 | -0.78 | -0.79 | -0.81 | -0.82 | 0.03 |
| 13039.55 | -0.76 | -0.77 | -0.81 | -0.86 | -0.84 | -0.84 | 0.04 |
| 13089.62 | -0.79 | -0.79 | -0.83 | -0.88 | -0.84 | -0.88 | 0.04 |
| 13139.70 | -0.76 | -0.78 | -0.84 | -0.87 | -0.77 | -0.86 | 0.05 |
| 13189.77 | -0.80 | -0.79 | -0.83 | -0.86 | -0.86 | -0.79 | 0.03 |
| 13239.85 | -0.77 | -0.81 | -0.85 | -0.87 | -0.84 | -0.87 | 0.04 |
| 13289.93 | -0.78 | -0.83 | -0.86 | -0.87 | -0.83 | -0.86 | 0.03 |
| 13340.00 | -0.76 | -0.80 | -0.81 | -0.85 | -0.77 | -0.86 | 0.04 |
| 13390.08 | -0.75 | -0.80 | -0.82 | -0.83 | -0.86 | -0.85 | 0.04 |
| 13440.15 | -0.75 | -0.78 | -0.78 | -0.81 | -0.73 | -0.83 | 0.04 |
| 13490.23 | -0.72 | -0.77 | -0.83 | -0.84 | -0.84 | -0.84 | 0.05 |
| 13540.30 | -0.72 | -0.75 | -0.79 | -0.80 | -0.74 | -0.83 | 0.04 |
| 13590.38 | -0.81 | -0.78 | -0.84 | -0.77 | -0.80 | -0.80 | 0.03 |
| 13640.45 | -0.74 | -0.75 | -0.78 | -0.97 | -0.78 | -0.84 | 0.09 |
| 13690.53 | -0.72 | -0.74 | -0.79 | -0.84 | -0.79 | -0.85 | 0.05 |
| 13740.60 | -0.74 | -0.80 | -0.80 | -0.78 | -0.80 | -0.86 | 0.04 |
| 13790.68 | -0.70 | -0.78 | -0.76 | -0.81 | -0.78 | -0.85 | 0.05 |
| 13840.75 | -0.77 | -0.78 | -0.80 | -0.84 | -0.81 | -0.85 | 0.03 |
| 13890.83 | -0.73 | -0.74 | -0.75 | -0.79 | -0.78 | -0.84 | 0.04 |
| 13940.90 | -0.72 | -0.75 | -0.85 | -0.83 | -0.81 | -0.86 | 0.06 |
| 13990.98 | -0.72 | -0.75 | -0.78 | -0.83 | -0.82 | -0.85 | 0.05 |
| 14041.05 | -0.73 | -0.79 | -0.78 | -0.81 | -0.79 | -0.86 | 0.04 |
| 14091.13 | -0.69 | -0.74 | -0.92 | -0.76 | -0.76 | -0.83 | 0.08 |
| 14141.20 | -0.69 | -0.77 | -0.74 | -0.77 | -0.75 | -0.82 | 0.04 |
| 14191.28 | -0.67 | -0.74 | -0.75 | -0.74 | -0.76 | -0.83 | 0.05 |
| 14241.35 | -0.66 | -0.73 | -0.70 | -0.76 | -0.77 | -0.76 | 0.04 |
| 14291.43 | -0.67 | -0.78 | -0.72 | -0.80 | -0.74 | -0.89 | 0.08 |
| 14341.50 | -0.65 | -0.66 | -0.69 | -0.77 | -0.70 | -0.76 | 0.05 |
| 14391.58 | -0.64 | -0.65 | -0.67 | -0.72 | -0.71 | -0.79 | 0.06 |
| 14441.65 | -0.57 | -0.68 | -0.65 | -0.68 | -0.65 | -0.75 | 0.06 |
| 14491.73 | -0.59 | -0.67 | -0.63 | -0.67 | -0.67 | -0.70 | 0.04 |
| 14541.81 | -0.60 | -0.64 | -0.62 | -0.69 | -0.67 | -0.77 | 0.06 |
| 14591.88 | -0.59 | -0.65 | -0.64 | -0.68 | -0.67 | -0.70 | 0.04 |
| 14641.96 | -0.50 | -0.67 | -0.63 | -0.70 | -0.65 | -0.78 | 0.09 |
| 14692.03 | -0.53 | -0.61 | -0.57 | -0.63 | -0.64 | -0.68 | 0.05 |
| 14742.11 | -0.51 | -0.60 | -0.58 | -0.64 | -0.62 | -0.66 | 0.05 |
| 14792.18 | -0.51 | -0.59 | -0.61 | -0.62 | -0.57 | -0.66 | 0.05 |
| 14842.26 | -0.46 | -0.58 | -0.56 | -0.58 | -0.57 | -0.64 | 0.06 |
| 14892.33 | -0.48 | -0.55 | -0.52 | -0.54 | -0.58 | -0.61 | 0.05 |
| 14942.41 | -0.46 | -0.53 | -0.53 | -0.54 | -0.52 | -0.60 | 0.05 |
| 14992.48 | -0.43 | -0.49 | -0.49 | -0.48 | -0.53 | -0.61 | 0.06 |
| 15042.56 | -0.44 | -0.49 | -0.47 | -0.52 | -0.48 | -0.58 | 0.05 |
| 15092.63 | -0.46 | -0.50 | -0.44 | -0.46 | -0.45 | -0.57 | 0.05 |
| 15142.71 | 0.12 | -0.45 | -0.44 | -0.46 | -0.47 | -0.56 | 0.25 |
| 15192.78 | -0.09 | -0.45 | -0.48 | -0.47 | -0.47 | -0.50 | 0.16 |
| 15242.86 | -0.45 | -0.44 | -0.42 | -0.43 | -0.47 | -0.53 | 0.04 |
| 15292.93 | -0.33 | -0.43 | -0.41 | -0.41 | -0.41 | -0.51 | 0.06 |
| 15343.01 | -0.31 | -0.40 | -0.37 | -0.43 | -0.42 | -0.50 | 0.06 |
| 15393.08 | -0.26 | -0.36 | -0.35 | -0.43 | -0.40 | -0.46 | 0.07 |
| 15443.16 | -0.28 | -0.37 | -0.35 | -0.36 | -0.37 | -0.43 | 0.05 |
| 15493.23 | -0.24 | -0.33 | -0.24 | -0.32 | -0.33 | -0.41 | 0.06 |
| 15543.31 | -0.27 | -0.35 | -0.32 | -0.32 | -0.36 | -0.45 | 0.06 |
| 15593.38 | -0.26 | -0.33 | -0.30 | -0.33 | -0.33 | -0.39 | 0.04 |
| 15643.46 | -0.19 | -0.30 | -0.29 | -0.36 | -0.30 | -0.35 | 0.06 |
| 15693.53 | -0.18 | -0.27 | -0.26 | -0.29 | -0.29 | -0.36 | 0.06 |
| 15743.61 | -0.14 | -0.25 | -0.23 | -0.24 | -0.26 | -0.33 | 0.06 |
| 15793.68 | -0.12 | -0.23 | -0.20 | -0.23 | -0.25 | -0.30 | 0.06 |
| 15843.76 | -0.07 | -0.18 | -0.17 | -0.16 | -0.19 | -0.26 | 0.06 |
| 15893.84 | -0.06 | -0.18 | -0.16 | -0.20 | -0.17 | -0.26 | 0.07 |
| 15943.91 | -0.05 | -0.15 | -0.14 | -0.13 | -0.18 | -0.20 | 0.05 |
| 15993.99 | -0.04 | -0.14 | -0.12 | -0.14 | -0.16 | -0.21 | 0.06 |
| 16044.06 | 0.02 | -0.08 | -0.06 | -0.10 | -0.09 | -0.14 | 0.05 |
| 16094.14 | 0.01 | -0.08 | -0.07 | -0.13 | -0.11 | -0.16 | 0.06 |
| 16144.21 | 0.03 | -0.06 | -0.03 | -0.10 | -0.07 | -0.13 | 0.06 |
| 16194.29 | 0.06 | -0.02 | -0.02 | -0.07 | -0.06 | -0.09 | 0.05 |
| 16244.36 | 0.06 | -0.01 | -0.01 | -0.03 | -0.03 | -0.09 | 0.05 |
| 16294.44 | 0.13 | 0.04 | 0.04 | 0.00 | 0.04 | -0.04 | 0.06 |
| 16344.51 | 0.11 | 0.05 | 0.05 | -0.01 | 0.02 | -0.06 | 0.06 |
| 16394.59 | 0.18 | 0.08 | 0.09 | 0.07 | 0.09 | 0.04 | 0.05 |
| 16444.66 | 0.20 | 0.15 | 0.14 | 0.10 | 0.13 | 0.01 | 0.07 |
| 16494.74 | 0.19 | 0.14 | 0.16 | 0.08 | 0.12 | 0.07 | 0.05 |
| 16544.81 | 0.26 | 0.15 | 0.18 | 0.14 | 0.15 | 0.09 | 0.06 |
| 16594.89 | 0.27 | 0.21 | 0.23 | 0.19 | 0.18 | 0.17 | 0.04 |
| 16644.96 | 0.32 | 0.24 | 0.24 | 0.21 | 0.25 | 0.16 | 0.05 |
| 16695.04 | 0.34 | 0.26 | 0.27 | 0.23 | 0.24 | 0.19 | 0.05 |
| 16745.11 | 0.37 | 0.29 | 0.30 | 0.26 | 0.29 | 0.20 | 0.05 |
| 16795.19 | 0.40 | 0.32 | 0.29 | 0.26 | 0.29 | 0.22 | 0.06 |
| 16845.26 | 0.45 | 0.36 | 0.33 | 0.30 | 0.33 | 0.33 | 0.05 |
| 16895.34 | 0.44 | 0.38 | 0.33 | 0.30 | 0.34 | 0.26 | 0.06 |
| 16945.41 | 0.49 | 0.42 | 0.39 | 0.33 | 0.35 | 0.30 | 0.07 |
| 16995.49 | 0.51 | 0.45 | 0.39 | 0.36 | 0.37 | 0.33 | 0.07 |
| 17045.56 | 0.52 | 0.42 | 0.40 | 0.35 | 0.39 | 0.36 | 0.06 |
| 17095.64 | 0.54 | 0.47 | 0.42 | 0.39 | 0.41 | 0.35 | 0.07 |
| 17145.71 | 0.55 | 0.47 | 0.43 | 0.39 | 0.42 | 0.38 | 0.06 |
| 17195.79 | 0.59 | 0.52 | 0.47 | 0.42 | 0.48 | 0.39 | 0.07 |
| 17245.87 | 0.62 | 0.53 | 0.51 | 0.44 | 0.46 | 0.45 | 0.07 |
| 17295.94 | 0.62 | 0.54 | 0.53 | 0.47 | 0.50 | 0.45 | 0.06 |
| 17346.02 | 0.66 | 0.58 | 0.55 | 0.50 | 0.59 | 0.47 | 0.07 |
| 17396.09 | 0.67 | 0.57 | 0.59 | 0.50 | 0.60 | 0.51 | 0.06 |
| 17446.17 | 0.69 | 0.64 | 0.61 | 0.55 | 0.61 | 0.56 | 0.05 |
| 17496.24 | 0.72 | 0.66 | 0.63 | 0.56 | 0.63 | 0.57 | 0.06 |
| 17546.32 | 0.73 | 0.71 | 0.68 | 0.61 | 0.68 | 0.59 | 0.06 |
| 17596.39 | 0.80 | 0.71 | 0.70 | 0.65 | 0.71 | 0.63 | 0.06 |
| 17646.47 | 0.81 | 0.77 | 0.76 | 0.71 | 0.76 | 0.67 | 0.05 |
| 17696.54 | 0.86 | 0.78 | 0.76 | 0.68 | 0.79 | 0.68 | 0.07 |
| 17746.62 | 0.88 | 0.79 | 0.84 | 0.76 | 0.78 | 0.72 | 0.06 |
| 17796.69 | 0.90 | 0.84 | 0.79 | 0.78 | 0.82 | 0.76 | 0.05 |
| 17846.77 | 0.94 | 0.88 | 0.69 | 0.80 | 0.87 | 0.80 | 0.09 |
| 17896.84 | 0.98 | 0.92 | 0.93 | 0.86 | 0.90 | 0.79 | 0.07 |
| 17946.92 | 1.01 | 0.93 | 1.09 | 0.89 | 0.95 | 0.84 | 0.09 |
| 17996.99 | 1.08 | 1.03 | 1.11 | 0.97 | 1.02 | 0.92 | 0.07 |
| 18047.07 | 1.11 | 1.04 | 1.05 | 0.96 | 1.00 | 0.96 | 0.06 |
| 18097.14 | 1.12 | 1.06 | 1.10 | 1.03 | 1.10 | 1.00 | 0.05 |
| 18147.22 | 1.19 | 1.10 | 1.14 | 1.06 | 1.13 | 1.03 | 0.06 |
| 18197.29 | 1.22 | 1.15 | 1.15 | 1.11 | 1.14 | 1.06 | 0.05 |
| 18247.37 | 1.26 | 1.20 | 1.20 | 1.15 | 1.20 | 1.09 | 0.06 |
| 18297.44 | 1.30 | 1.22 | 1.23 | 1.18 | 1.22 | 1.13 | 0.06 |
| 18347.52 | 1.35 | 1.27 | 1.30 | 1.24 | 1.26 | 1.16 | 0.06 |
| 18397.59 | 1.36 | 1.26 | 1.29 | 1.25 | 1.25 | 1.18 | 0.06 |
| 18447.67 | 1.41 | 1.33 | 1.34 | 1.29 | 1.34 | 1.24 | 0.06 |
| 18497.74 | 1.43 | 1.33 | 1.36 | 1.31 | 1.34 | 1.25 | 0.06 |
| 18547.82 | 1.46 | 1.38 | 1.41 | 1.34 | 1.40 | 1.27 | 0.06 |
| 18597.90 | 1.48 | 1.41 | 1.44 | 1.41 | 1.37 | 1.31 | 0.06 |
| 18647.97 | 1.51 | 1.46 | 1.46 | 1.42 | 1.44 | 1.34 | 0.05 |
| 18698.05 | 1.55 | 1.49 | 1.49 | 1.43 | 1.48 | 1.37 | 0.06 |
| 18748.12 | 1.57 | 1.49 | 1.52 | 1.48 | 1.50 | 1.40 | 0.05 |
| 18798.20 | 1.63 | 1.56 | 1.57 | 1.62 | 1.54 | 1.45 | 0.06 |
| 18848.27 | 1.64 | 1.56 | 1.58 | 1.64 | 1.54 | 1.46 | 0.07 |
| 18898.35 | 1.68 | 1.61 | 1.64 | 1.61 | 1.59 | 1.53 | 0.05 |
| 18948.42 | 1.72 | 1.65 | 1.68 | 1.62 | 1.62 | 1.53 | 0.06 |
| 18998.50 | 1.74 | 1.69 | 1.71 | 1.66 | 1.66 | 1.60 | 0.05 |
| 19048.57 | 1.76 | 1.69 | 1.71 | 1.68 | 1.68 | 1.60 | 0.05 |
| 19098.65 | 1.78 | 1.74 | 1.74 | 1.68 | 1.70 | 1.62 | 0.06 |
| 19148.72 | 1.85 | 1.82 | 1.80 | 1.75 | 1.76 | 1.69 | 0.06 |
| 19198.80 | 1.84 | 1.80 | 1.80 | 1.76 | 1.77 | 1.71 | 0.04 |
| 19248.87 | 1.88 | 1.87 | 1.85 | 1.81 | 1.80 | 1.75 | 0.05 |
| 19298.95 | 1.88 | 1.85 | 1.85 | 1.80 | 1.81 | 1.76 | 0.04 |
| 19349.02 | 1.93 | 1.90 | 1.89 | 1.89 | 1.83 | 1.78 | 0.06 |
| 19399.10 | 1.98 | 1.94 | 1.93 | 1.90 | 1.91 | 1.83 | 0.05 |
| 19449.17 | 1.97 | 1.96 | 1.97 | 1.93 | 1.90 | 1.83 | 0.06 |
| 19499.25 | 2.06 | 1.99 | 2.00 | 1.99 | 1.95 | 1.90 | 0.05 |
| 19549.32 | 2.08 | 2.04 | 2.05 | 2.02 | 1.99 | 1.92 | 0.06 |
| 19599.40 | 2.12 | 2.09 | 2.08 | 2.08 | 2.02 | 1.97 | 0.06 |
| 19649.47 | 2.13 | 2.08 | 2.10 | 2.08 | 2.05 | 1.99 | 0.05 |
| 19699.55 | 2.21 | 2.15 | 2.19 | 2.14 | 2.12 | 2.05 | 0.06 |
| 19749.62 | 2.23 | 2.18 | 2.19 | 2.16 | 2.12 | 2.06 | 0.06 |
| 19799.70 | 2.26 | 2.20 | 2.25 | 2.18 | 2.15 | 2.11 | 0.06 |
| 19849.77 | 2.30 | 2.27 | 2.27 | 2.27 | 2.21 | 2.14 | 0.06 |
| 19899.85 | 2.31 | 2.30 | 2.27 | 2.28 | 2.25 | 2.17 | 0.05 |
| 19949.93 | 2.38 | 2.33 | 2.35 | 2.31 | 2.30 | 2.21 | 0.06 |
| 20000.00 | 2.37 | 2.35 | 2.33 | 2.34 | 2.31 | 2.25 | 0.04 |

可以看到，标准偏差最大为1.45°，故测量重复性引入的不确定度分量为1.45°

B.2.2 静电激励器电压引入的不确定度

激励器直流电压在校准过程中的波动等其他影响因素引入的不确定度分量估为0.020°。

B.2.3 静电激励器位置偏差引入的不确定度

因激励器位置偏差导致测量误差，根据多次测量数据分析，位置偏差的影响约为±0.05°，按正态分布考虑，取包含因子*k*=2，其标准不确定度=0.025°。

B.2.4 传声器前置放大器引入的不确定度

激励器直流电压在校准过程中的波动、失真等其他影响因素引入的不确定度分量 估为0.020°。

B.2.5 数据修约引入的不确定度

修约为0.1°，半区间宽为0.05°，按均匀分布考虑，取包含因子=,，故数值修约引入的标准不确定度=0.029°

B.3 合成标准不确定度和扩展不确定度

合成标准不确定度和扩展不确定度见表B.2。

表B.2 相频响应合成标准不确定度和扩展不确定度

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 序号 | 符号 | 不确定度分量 |
| 1 |  | 1.450 |
| 2 |  | 0.020 |
| 3 |  | 0.025 |
| 4 |  | 0.020 |
| 5 |  | 0.029 |

传声器相位特性校准的合成标准不确定度为：

°

取，扩展不确定度为°。