

中华人民共和国工业和信息化部

电子计量技术规范

**JJFZ**(电子) 003─2020

陶瓷封装外壳飞针测试系统

校准规范

Calibration Specification for Flying Probe Testers Used for Ceramic Package

（报批稿）

××××-××-××发布 ××××-××-××实施

**中华人民共和国工业和信息化部** 发 布

陶瓷封装外壳飞针测试系统校准规范

Calibration Specification for Flying Probe Testers Used for Ceramic Package

**JJFZ(电子) 003**─**2020**

归 口 单 位：中国电子技术标准化研究院

主要起草单位：中国电子科技集团公司第十三研究所

本规范技术条文委托起草单位负责解释

本规范主要起草人：

荆晓冬（中国电子科技集团公司第十三研究所）

吴爱华（中国电子科技集团公司第十三研究所）

翟玉卫（中国电子科技集团公司第十三研究所）

参加起草人：

丁立强（中国电子科技集团公司第十三研究所）

李 灏（中国电子科技集团公司第十三研究所）

赵 丽（中国电子科技集团公司第十三研究所）

目 录

引 言………………………………………………………………………………………Ⅱ

1 范围…………………………….…………………………………………………………1

2 概述……………………………………………………………………………………….1

3 计量特性…………………….……………………………………………………………1

3.1 校准板上电阻…………….…………………………………….……………………… 1

3.2 校准板上电容………...….……………….…………….……………………………… 1

3.3 校准板上电感………….……………………………….……………………………… 1

3.4 电阻测量….…………….……………………………………………………………… 2

3.5 电容测量………...……...……………………………………………………………… 2

3.6 电感测量……………..………………………………………………………………… 3

4 校准条件…………………………………..………………………………………………2

4.1 环境条件……………………………………………………………..………………… 2

4.2 测量标准及其他设备…..……...…………………….………………………………… 2

4.3 其他条件 ……………………………………………………………………………… 3

5 校准项目和校准方法……………………………………………………………………..7

5.1 校准项目……………………………...…………………………………………………7

5.2 校准方法………...………………………………………………………………………7

6 校准结果表达…………………………………………………..…………………………8

7 复校时间间隔……………………………………………………………………..………9

附录A 原始记录格式………………………………………………………………………10

附录B 校准证书内页格式…………………………………………………………………11

附录C 测量不确定度评定示例………………………………..………………………..…12

引 言

本规范依据JJF1071-2010《国家计量校准规范编写规则》和JJF1059.1-2012《测量不确定度评定与表示》编写。

本规范为首次发布。

陶瓷封装外壳飞针测试系统校准规范

1 范围

本规范适用于陶瓷封装外壳飞针测试系统电阻、电容、电感测量功能的校准。

2 引用文件

本规范引用了下列文件：

JJG 166-1993 直流电阻器检定规程

JJG 183-2017 标准电容器检定规程

JJG 726-2017 标准电感器检定规程

注：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。

3 概述

陶瓷封装外壳飞针测试系统具备电阻、电容、电感测试的功能，主要用于判断陶瓷封装外壳上金属焊盘、金属线路之间的通断，以及对电路中电阻、电容、电感参数的测量，从而为最终产品检测出性能合格的陶瓷封装外壳。陶瓷封装外壳飞针测试系统带有校准板，校准板上集成有电阻、电容、电感等分立元件，测试部分主要由位移装置搭载的飞针、连接线缆以及包含测试仪器和显示装置的主体三部分组成，结构如图1所示。



图1 陶瓷封装外壳飞针测试系统结构图

本规范规定陶瓷封装外壳飞针测试系统校准分为两步进行：第一步，对其自带校准板上电阻、电容、电感等分立元件进行校准标定；第二步，利用陶瓷封装外壳飞针测试系统一一测量校准板上已被校准的各个分立元件，完成对陶瓷封装外壳飞针测试系统的校准。

4 计量特性

4.1 校准板电阻

范围：10mΩ~100mΩ

测量不确定度：0.05%~5%，*k*=2；

范围：1Ω~100MΩ

测量不确定度：0.001%~5%，*k*=2；

范围：1GΩ~10GΩ

测量不确定度：0.1%~5%，*k*=2

4.2 校准板电容

范围：1pF~100pF

频率：1MHz

测量不确定度：0.1%~5%，*k*=2；

范围：1nF~100nF

频率：1kHz

测量不确定度：0.1%~5%，*k*=2

4.3 校准板电感

范围：10μH~100μH

频率：1kHz

测量不确定度：0.1%~5%，*k*=2

4.4 飞针测试系统电阻测量

范围：10mΩ~10GΩ

最大允许误差：±（0.3%~15%）

4.5 飞针测试系统电容测量

范围：1pF~100pF

频率：1MHz

最大允许误差：±（0.3%~15%）；

范围：1nF~100nF

频率：1kHz

最大允许误差：±（0.3%~15%）

4.6 飞针测试系统电感测量

范围：10μH~100μH

频率：1kHz

最大允许误差：±（0.3%~15%）

5 校准条件

5.1 环境条件

5.1.1 环境温度：（20±2）℃, 校准期间温度变化不超过2℃；

5.1.2 环境相对湿度：40%~60%；

5.1.3 供电电源：220 V ± 22V，50 Hz ± 1Hz；

5.1.4 周围无影响仪器正常工作的电磁干扰和机械振动。

注：环境温湿度的允许偏差也可以参照仪器使用说明书中的规定。

5.2 测量标准及其他设备

5.2.1 数字多用表

电阻测量范围：1Ω~100MΩ

最大允许误差：±（0.001%~5%）

5.2.2 标准电阻

范围：10mΩ~100mΩ

最大允许误差：±（0.01%~5%）

5.2.3 带有高阻测量功能的仪器（如高阻计、绝缘电阻测量仪、源表测试系统等）

测试电压：100V或500V

测量范围：100MΩ~10GΩ

最大允许误差：±（0.01%~5%）

5.2.4 直流毫欧表

测量范围：10mΩ~1Ω

最大允许误差：±（0.2%~5%）

5.2.5 LCR测量仪

电容测量范围：1pF~1μF，频率1kHz~1MHz

最大允许误差：±（0.05%~5%）

电感测量范围：10μH~10mH，频率1kHz~1MHz

最大允许误差：±（0.05%~5%）

5.2.6 标准电容

范围：1pF~100nF，频率1kHz~1MHz

最大允许误差：±（0.1%~5%）

5.2.7 标准电感

范围：10μH~100μH，频率1kHz~1MHz

最大允许误差：±（0.1%~5%）

5.3 其他条件

校准过程中表笔或飞针应保证与校准板焊盘目视的中心点接触良好。

6 校准项目和校准方法

6.1 校准项目

校准项目如表1所示：

表1 陶瓷封装外壳飞针测试系统校准项目

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 序号 | 项目名称 | 对应章节 |
| 1 | 外观、附件及工作正常性检查 | 6.2.1 |
| 2 | 校准板电阻 | 6.2.2 |
| 3 | 校准板电容 | 6.2.3 |
| 4 | 校准板电感 | 6.2.4 |
| 5 | 飞针测试系统电阻测量 | 6.2.5 |
| 6 | 飞针测试系统电容测量 | 6.2.6 |
| 7 | 飞针测试系统电感测量 | 6.2.7 |

6.2 校准方法

本规范陶瓷封装外壳飞针测试系统校准分为两步进行：第一步，对其自带校准板上电阻、电容、电感等分立元件进行校准；第二步，利用陶瓷封装外壳飞针测试系统测量校准板上已被校准的各个分立元件，完成对陶瓷封装外壳飞针测试系统的校准。

6.2.1 外观、附件及工作正常性检查

6.2.1.1 设备外观应完好，无影响正常工作机械损伤。

6.2.1.2 附件配置齐全、完好。

6.2.1.3 操作按钮、开关应灵活可调，计算机正常工作，显示正常。

6.2.1.4 通电测试，仪器传动机构可以正常运行，测试平台装夹功能正常，探针定位精准。

6.2.2 校准板电阻校准

校准板电阻分为常规电阻以及高值电阻，常规电阻为阻值100MΩ及其以下的直流电阻，高值电阻为阻值在100MΩ以上的直流电阻。常规电阻的校准采用直接测量法或同标称值替代法，高值电阻的校准采用直接测量法。

6.2.2.1 常规电阻直接测量法

1. 将校准板在实验室环境中放置24h以上；
2. 选择合适的标准器，调到合适量程，将标准器短路清零；
3. 连线如图2或图3所示，选择校准板电阻进行测量，读取标准器的测量值*A*X即为校准板电阻的校准值*R*。



图2 四线法测电阻示意图



图3 两线法测量电阻示意图

6.2.2.2 常规电阻同标称值替代法

直流电阻同标称值替代法测量引用于JJG166-1993《直流电阻器检定规程》第28章节。

1. 校准板与标准电阻在实验室环境中放置24h以上；
2. 选择与校准板电阻标称值相同的标准电阻，选择合适的标准数字多用表或直流毫欧表，短路清零；
3. 连线如图4所示，首先利用标准数字多用表或直流毫欧表测量标准值为*R*S的标准电阻得到其测量值*A*S；
4. 利用标准数字多用表或直流毫欧表测量校准板电阻得到其测量值*A*X；
5. 通过公式（1）计算得到校准板电阻的校准值*R*；

*R* = *R*S +（*A*X — *A*S） （1）

式中：

*R* —— 校准板电阻的校准值；

*R*S —— 标准电阻的标准值；

*A*X —— 校准板电阻的测量值；

*A*S —— 标准电阻的测量值。



图4 替代法测电阻示意图

6.2.2.3 高值电阻直接测量法

1. 校准板与标准器在实验室环境中放置24h以上；
2. 调整标准器测试电压（通常为100V或500V），将标准器清零；
3. 连线如图3所示，测量校准板电阻，读取标准器的测量值*A*X即为校准板电阻的校准值*R*。

6.2.3 校准板电容校准

校准板电容的校准可以通过直接测量法或同标称值替代法进行。

6.2.3.1 直接测量法

1. 校准板与标准器在实验室环境中放置24h以上；
2. 将标准器调到合适量程，设置测试频率，在开路状态下进行标准器清零；
3. 尽量保持表笔及线缆位置不变，连线如图5所示，选择校准板电容测量，读取标准器的测量值*B*X即为校准板电容的校准值*C*。



图5 直接法电容/电感测量示意图

6.2.3.2 同标称值替代法

电容同标称值替代法测量引用于JJG183-2017《标准电容器检定规程》第7.4.2.2章节。



图6 替代法测电容/电感示意图

1. 校准板及标准电容在实验室环境中放置24h以上；
2. 选择与校准板电容标称值相同的标准电容，选择合适的标准LCR测量仪，调到合适量程，设置测试频率，开路清零；
3. 连线如图6所示，首先利用LCR测量仪测量标准值为*C*S的标准电容得到其测量值*B*S
4. 尽量保持表笔及线缆位置不变，连线如图7所示，选择校准板电容测量，读取标准LCR测量仪的测量值*B*X；
5. 通过公式（2）计算得到校准板电容的校准值*C*。

*C* = *C*S +（*B*X — *B*S） （2）

式中：

*C* —— 校准板电容的校准值；

*C*S —— 标准电容的标准值；

*B*X —— 校准板电容的测量值；

*B*S —— 标准电容的测量值。

6.2.4 校准板上电感校准

校准板电感的校准可以通过直接测量法或同标称值替代法进行。

6.2.4.1 直接测量法

1. 校准板与标准器在实验室环境中放置24h以上；
2. 将标准器调到合适量程，测试频率设置为1kHz，在短路状态下进行标准器清零；
3. 尽量保持表笔及线缆位置不变，连线如图5所示，选择校准板电感测量，读取标准器的测量值*D*X即为校准板电感的校准值*L*。

6.2.4.2 同标称值替代法

电感同标称值替代法测量引用于JJG726-2017《标准电感器检定规程》第7.3.2.2章节

1. 校准板与标准器在实验室环境中放置24h以上；
2. 选择与校准板电感标称值相同的标准电感，选择合适的标准LCR测量仪，调到合适量程，测试频率设置为1kHz，短路清零；
3. 连线如图6所示，首先利用LCR测量仪测量标准值为*L*S的标准电感得到其测量值*D*S；
4. 尽量保持表笔及线缆位置不变，连线如图7所示，选择校准板电感测量，读取标准LCR测量仪的测量值*D*X；
5. 通过公式（3）计算得到校准板电感的校准值*L*。

*L* = *L*S +（*D*X — *D*S） （3）

式中：

*L* —— 校准板电感的校准值；

*L*S —— 标准电感的标准值；

*D*X —— 校准板电感的测量值；

*D*S —— 标准电感的测量值。

6.2.5 飞针测试系统电阻测量

1. 测试平台装夹校准板；
2. 选择校准板上校准值为*R*的电阻（6.2.2章节得出），校准采用直接测量法，根据飞针测试系统的说明书选择四线测量或两线测量；
3. 控制飞针机构按图7连接；
4. 飞针测试系统选择电阻测量功能（100MΩ以上选择测试电压100V或500V），测量所得示值*R*X即为电阻测量的校准值。

 

a.四线测量 b.两线测量

图7 飞针测试系统电阻测量校准示意图

6.2.6 飞针测试系统电容测量

1. 测试平台装夹校准板；
2. 选择校准板上校准值为*C*的电容（6.2.3章节得出），校准采用直接测量法，根据飞针测试系统的说明书选择测量频率；
3. 控制飞针机构按图8连接；
4. 飞针测试系统选择电容测量功能，测量所得示值*C*X即为电容测量的校准值。



图8 飞针测试系统电容/电感测量校准示意图

6.2.7 飞针测试系统电感测量

1. 测试平台装夹校准板；
2. 选择校准板上校准值为*L*的电感（6.2.4章节得出），校准采用直接测量法，根据飞针测试系统的说明书选择测量频率；
3. 控制飞针机构按图8连接；
4. 飞针测试系统选择电感测量功能，测量所得示值*L*X即为电感测量的校准值。

7 校准结果表达

校准后，出具校准证书。校准证书至少应包含以下信息：

a) 标题：“校准证书”；

b) 实验室名称和地址；

c) 进行校准的地点（如果与实验室的地址不同）；

d) 证书的唯一性标识（如编号），每页及总页数的标识；

e) 客户的名称和地址；

f) 被校对象的描述和明确标识；

g) 进行校准的日期，如果与校准结果的有效性和应用有关时，应说明被校对象的接收日期；

h) 如果与校准结果的有效性应用有关时，应对被校样品的抽样程序进行说明；

i) 校准所依据的技术规范的标识，包括名称及代号；

j) 本次校准所用测量标准的溯源性及有效性说明；

k) 校准环境的描述；

l) 校准结果及其测量不确定度的说明；

m) 对校准规范的偏离的说明；

n) 校准证书签发人的签名、职务或等效标识；

o) 校准结果仅对被校对象有效的说明；

p) 未经实验室书面批准，不得部分复制证书的声明。

8 复校时间间隔

建议复校时间间隔不超过1年。由于复校时间间隔的长短是由仪器的使用情况、使用者、仪器本身质量等诸多因素决定的，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

原始记录格式

A.1　外观、附件及工作正常性检查

表A.1 外观及工作正常性检查

|  |  |
| --- | --- |
| 项目 | 检查结果 |
| 外观、附件检查 |  |
| 工作正常性检查 |  |

A.2　校准板电阻

表A.2　校准板上电阻标定

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 标称值*R*/Ω | 测量值*A*X/Ω | 相对扩展不确定度  *U*rel（*k*=2） |
|  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |

A.3　校准板电容

表A.3　校准板上电容标定

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 标称值  *C*/pF | 测量频率  *f*/Hz | 测量值  *B*X/pF | 相对扩展不确定度  *U*rel（*k*=2） |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |

A.4　校准板电感

表A.4　校准板上电感标定

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 标称值  *L*/μH | 测量频率  *f*/Hz | 测量值  *D*X/μH | 相对扩展不确定度  *U*rel（*k*=2） |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |

A.5　飞针测试系统电阻测量

表A.5　飞针测试系统电阻测量校准

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 校准板测量值*A*X/Ω | 飞针测试系统电阻测量校准值*R*X/Ω | 相对扩展不确定度  *U*rel（*k*=2） |
|  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |

A.6　飞针测试系统电容测量

表A.6　飞针测试系统电容测量校准

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 校准板测量值*B*X/pF | 测量频率  *f*/Hz | 飞针测试系统电容测量校准值*C*X/pF | 相对扩展不确定度  *U*rel（*k*=2） |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |

A.7　飞针测试系统电感测量

表A.7　飞针测试系统电感测量校准

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 校准板测量值*D*X/μH | 测量频率  *f*/Hz | 飞针测试系统电感测量校准值*L*X/μH | 相对扩展不确定度  *U*rel（*k*=2） |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

附录B

校准证书内页格式

B.1　外观、附件及工作正常性检查

表B.1 外观及工作正常性检查

|  |  |
| --- | --- |
| 项目 | 检查结果 |
| 外观、附件检查 |  |
| 工作正常性检查 |  |

B.2　校准板电阻

表B.2　校准板上电阻标定

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 标称值*R*/Ω | 测量值*A*X/Ω | 相对扩展不确定度  *U*rel（*k*=2） |
|  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |

B.3　校准板电容

表B.3　校准板上电容标定

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 标称值  *C*/pF | 测量频率  *f*/Hz | 测量值  *B*X/pF | 相对扩展不确定度  *U*rel（*k*=2） |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |

B.4　校准板电感

表B.4　校准板上电感标定

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 标称值  *L*/μH | 测量频率  *f*/Hz | 测量值  *D*X/μH | 相对扩展不确定度  *U*rel（*k*=2） |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |

B.5　飞针测试系统电阻测量

表B.5　飞针测试系统电阻测量校准

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 校准板测量值*A*X/Ω | 飞针测试系统电阻测量校准值*R*X/Ω | 相对扩展不确定度  *U*rel（*k*=2） |
|  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |

B.6　飞针测试系统电容测量

表B.6　飞针测试系统电容测量校准

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 校准板测量值*B*X/pF | 测量频率  *f*/Hz | 飞针测试系统电容测量校准值*C*X/pF | 相对扩展不确定度  *U*rel（*k*=2） |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |

B.7　飞针测试系统电感测量

表B.7　飞针测试系统电感测量校准

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 校准板测量值*D*X/μH | 测量频率  *f*/Hz | 飞针测试系统电感测量校准值*L*X/μH | 相对扩展不确定度  *U*rel（*k*=2） |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

# 附录C

测量不确定度评定示例

C.1 概述

环境条件：温度：20℃，相对湿度：46%；

测量标准：8508A型数字多用表，BZ3C型标准电阻，E4980A型LCR测量仪；

被校对象：陶瓷封装外壳用飞针测试系统；

测量方法：校准分两步，首先利用标准器测量校准板上的电阻、电容、电感，在利用校准板电阻、电容、电感的校准值对飞针测试系统测量功能进行校准。下面以10mΩ电阻、10kΩ电阻、10nF电容、10mH电感为典型点进行评定。

C.2 校准板电阻测量不确定度（10mΩ替代法，均为相对值）

C.2.1 测量模型

测量模型如式C.1。

*R* = *R*S +（*A*X — *A*S） （C.1）

式中：

*R* —— 校准板电阻的校准值；

*R*S —— 标准电阻的标准值；

*A*X —— 校准板电阻的测量值；

*A*S —— 标准电阻的测量值。

C.2.2 不确定度来源

校准板电阻替代法测量的不确定度主要来源于4个方面（均为相对形式）：

a)标准电阻准确度引入标准不确定度分量，*u*1；

b)数字多用表测量标准电阻重复性引入标准不确定度分量，*u*2；

c)数字多用表测量校准板电阻重复性引入标准不确定度分量，*u*3；

d)数字多用表分辨力引入的标准不确定度分量，*u*4。

考虑到两次测量结果*A*X和*A*S是由同一数字多用表短时间内测量所得，数字多用表测不准引入的不确定度呈线性的完全正相关，因此公式（C.1）测量模型中两次测量值*A*X和*A*S相减后，将数字多用表两次测不准的不确定度分量消除，所以本规范不再做分析计算。

C.2.3 标准不确定度评定

C.2.3.1 标准电阻准确度引入标准不确定度分量（*u*1）

由上级证书可知，上级评定BZ3C型标准电阻0.01Ω的不确定度为3×10-7，与准确度等级0.01级相比很小，因此可以忽略上级评定不确定度的影响。标准电阻准确度等级为0.01级，按B类评定其服从均匀分布，置信因子*k*=，因此，标准电阻准确度引入的相对不确定度分量*u*1：

*u*1==5.8×10-5

C.2.3.2 数字多用表测量标准电阻重复性引入标准不确定度分量（*u*2）

按照A类方法评定，首先将数字多用表与BZ3C型标准电阻放置在校准环境下预热24h，利用数字多用表对BZ3C型标准电阻连续测量10次，测量结果如表C.1所示，计算其实验标准偏差，与测量值相比得到*u*2。

表 C. 1 测量标准电阻重复性测量数据

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 第*i*次测量 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 测量值/mΩ | 10.0008 | 10.0007 | 10.0008 | 10.0007 | 10.0009 |
| 第*i*次测量 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 测量值/ mΩ | 10.0006 | 10.0011 | 10.0009 | 10.0010 | 10.0008 |

根据表C.1中的数据，可由贝塞尔公式计算出标准装置测量重复性的实验标准偏差：



则，对其求相对量得到*u*2：



C.2.3.3 数字多用表测量校准板电阻重复性引入标准不确定度分量（*u*3）

按照A类方法评定，首先将数字多用表与被测电阻放置在校准环境下预热24h，利用数字多用表对被测电阻连续测量10次，测量结果如表C.2所示，计算其实验标准偏差，与测量值相比得到*u*3。

表 C. 2 测量被测电阻重复性测量数据

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 第*i*次测量 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 测量值/mΩ | 10.0750 | 10.0752 | 10.0771 | 10.0755 | 10.0870 |
| 第*i*次测量 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 测量值/ mΩ | 10.0730 | 10.0763 | 10.0740 | 10.0740 | 10.0717 |

根据表C.2中的数据，可由贝塞尔公式计算出标准装置测量重复性的实验标准偏差：



则，对其求相对量得到*u*3：



C.2.3.4 数字多用表8508A分辨力引入的标准不确定度（*u*4）

按B类方法评定，从说明书得知飞针测试系统测量10mΩ电阻时分辨力为0.0001mΩ，其分布为均匀分布，置信因子*k*=。因此，可得*u*4。



C.2.4 相对合成标准不确定度

不确定度汇总表见表C.3。

表 C. 3 校准板电阻校准不确定度汇总表

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 不确定度分量 | 不确定度来源 | 评定  方法 | 分布  类型 | 值 | 相对标准不确定度 |
| *u*1 | 标准电阻准确度 | B类 | 均匀 |  | 5.8×10-5 |
| *u*2 | 测量标准电阻重复性 | A类 | 正态 | / | 1.5×10-5 |
| *u*3 | 测量被测电阻重复性 | A类 | 正态 | / | 3.1×10-3 |
| *u*4 | 数字多用表分辨力 | B类 | 均匀 |  | 2.9×10-6 |

各不确定度分量不相关，且由于重复性和分辨力引入不确定度存在重复，因此两者取大值计算，由表C.3可知，*u*4可被忽略，则合成标准不确定度按照下式计算得出：

=4.2×10-4

C.2.5 相对扩展不确定度

使用简易法，取包含因子*k*＝2，则扩展不确定度为：



C.3 飞针测试系统电阻测量校准值测量不确定度（10mΩ，均为相对值）

C.3.1 测量模型

测量模型如式C.2。

 （C.2）

式中：

*R*——校准板电阻的校准值，kΩ；

*R*x——飞针测试系统的电阻测量值，kΩ。

C.3.2 不确定度来源

飞针测试系统电阻测量校准值的测量不确定度主要来源于3个方面（均为相对形式）：

a)测量过程的重复性引入的标准不确定度分量，*u*1；

b)校准板电阻校准值的不准确引入的标准不确定度分量，*u*2；

c)飞针测试系统分辨力引入的标准不确定度分量，*u*3。

C.3.3 标准不确定度评定

C.3.3.1 测量过程的重复性引入的标准不确定度（*u*1）

按照A类方法评定，利用飞针测试系统对校准板电阻连续测量10次，测量结果如表C.4所示，计算其实验标准偏差，与测量值相比得到*u*1。

表 C. 4 重复性测量数据

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 第*i*次测量 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 测量值/mΩ | 10.0 | 10.1 | 10.0 | 10.1 | 10.1 |
| 第*i*次测量 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 测量值/ mΩ | 10.1 | 10.0 | 10.0 | 10.1 | 10.1 |

根据表C.4中的数据，可由贝塞尔公式计算出标准装置测量重复性的实验标准偏差：



则，对其求相对量得到*u*1：



C.3.3.2 校准板电阻校准值不准引入的标准不确定度（*u*2）

按B类方法评定，由于由C.2章节得知校准板电阻校准值的测量不确定度*U*rel，包含因子*k*=2。因此，可得*u*2。



C.3.3.3 飞针测试系统分辨力引入的标准不确定度（*u*3）

按B类方法评定，从说明书得知飞针测试系统测量10mΩ电阻时分辨力为0.1mΩ，其分布为均匀分布，置信因子*k*=。因此，可得*u*3。



C.3.4 相对合成标准不确定度

不确定度汇总表见表C.5。

表C.5 飞针测试系统电阻测量校准不确定度汇总表

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 不确定度分量 | 不确定度来源 | 评定  方法 | 分布  类型 | 值 | 相对标准不确定度 |
| *u*1 | 测量过程重复性 | A类 | / | / | 5.1×10-3 |
| *u*2 | 校准板电阻校准值不准确 | B类 | 均匀 | 2 | 4.2×10-4 |
| *u*3 | 飞针测试系统分辨力 | B类 | 均匀 |  | 2.9×10-3 |

考虑到被测飞针测试系统的重复性和分辨力存在重复，计算合成标准不确定度时应将较小值去除，则合成标准不确定度按照下式计算得出：

=5.1×10-3

C.3.5 相对扩展不确定度

使用简易法，取包含因子*k*＝2，则扩展不确定度为：



C.4 校准板电阻测量不确定度（10kΩ直接测量法，均为相对值）

C.4.1 测量模型

测量模型如式C.3。

 （C.3）

式中：

*R*——被校校准板电阻的校准值，kΩ；

*R*M——被校校准板电阻的测量值，kΩ。

C.4.2 不确定度来源

校准板电阻测量的不确定度主要来源于3个方面（均为相对形式）：

a)测量过程的重复性引入的标准不确定度分量，*u*1；

b)数字多用表测量不准确引入的标准不确定度分量，*u*2；

c)数字多用表分辨力引入的标准不确定度分量，*u*3。

C.4.3 标准不确定度评定

C.4.3.1 测量过程的重复性引入的标准不确定度（*u*1）

按照A类方法评定，首先将数字多用表与被测电阻放置在校准环境下预热24h，利用数字多用表对被测电阻连续测量10次，测量结果如表C.6所示，计算其实验标准偏差，与测量值相比得到*u*1。

表 C. 6 重复性测量数据

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 第*i*次测量 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 测量值/kΩ | 10.013731 | 10.013764 | 10.013752 | 10.013733 | 10.013741 |
| 第*i*次测量 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 测量值/ kΩ | 10.013752 | 10.013722 | 10.013732 | 10.013731 | 10.013722 |

根据表C.6中的数据，可由贝塞尔公式计算出标准装置测量重复性的实验标准偏差：



则，对其求相对量得到*u*1：



C.4.3.2 数字多用表10kΩ测量不准引入的标准不确定度（*u*2）

按B类方法评定，查阅说明书其服从正态分布，置信概率为95%，置信因子*k*=1.96。因此，根据标准器说明书此点技术指标可得*u*2。



C.4.3.3 数字多用表8508A分辨力引入的标准不确定度（*u*3）

按B类方法评定，从说明书得知飞针测试系统测量10kΩ电阻时分辨力为0.000001kΩ，其分布为均匀分布，置信因子*k*=。因此，可得*u*3。



C.4.4 相对合成标准不确定度

不确定度汇总表见表C.7。

表 C.7 校准板电阻校准不确定度汇总表

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 不确定度分量 | 不确定度来源 | 评定  方法 | 分布  类型 | 值 | 相对标准不确定度 |
| *u*1 | 测量过程重复性 | A类 | / | / | 1.5×10-6 |
| *u*2 | 数字多用表测量不准 | B类 | 正态 | 1.96 | 3.8×10-6 |
| *u*3 | 数字多用表分辨力 | B类 | 均匀 |  | 2.9×10-8 |

各不确定度分量不相关，由于分辨力与重复性引入不确定度分量有重复，所以两者取大值合成，则合成标准不确定度按照下式计算得出：

=4.1×10-6

C.4.5 相对扩展不确定度

使用简易法，取包含因子*k*＝2，则扩展不确定度为：



C.5 飞针测试系统电阻测量校准值测量不确定度（10kΩ，均为相对值）

C.5.1 测量模型

测量模型如式C.4。

 （C.4）

式中：

*R*——被校校准板电阻的校准值，kΩ；

*R*x——飞针测试系统的电阻测量值，kΩ。

C.5.2 不确定度来源

飞针测试系统电阻校准值的测量不确定度主要来源于3个方面（均为相对形式）：

a)测量过程的重复性引入的标准不确定度分量，*u*1；

b)校准板电阻校准值的不准确引入的标准不确定度分量，*u*2；

c)飞针测试系统分辨力引入的标准不确定度分量，*u*3。

C.5.3 标准不确定度评定

C.5.3.1 测量过程的重复性引入的标准不确定度（*u*1）

按照A类方法评定，利用飞针测试系统对校准板电阻连续测量10次，测量结果如表C.8所示，计算其实验标准偏差，与测量值相比得到*u*1。

表 C. 8 重复性测量数据

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 第*i*次测量 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 测量值/kΩ | 10.015 | 10.015 | 10.015 | 10.015 | 10.014 |
| 第*i*次测量 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 测量值/ kΩ | 10.015 | 10.015 | 10.015 | 10.015 | 10.015 |

根据表C.8中的数据，可由贝塞尔公式计算出标准装置测量重复性的实验标准偏差：



则，对其求相对量得到*u*1：



C.5.3.2 校准板电阻校准值的不准引入的标准不确定度（*u*2）

按B类方法评定，由于由C.4章节得知校准板电阻校准值的测量不确定度*U*rel，包含因子*k*=2。因此，可得*u*2。



C.5.3.3 飞针测试系统分辨力引入的标准不确定度（*u*3）

按B类方法评定，从说明书得知飞针测试系统测量10kΩ电阻时分辨力为0.001kΩ，其分布为均匀分布，置信因子*k*=。因此，可得*u*3。



C.5.4 相对合成标准不确定度

不确定度汇总表见表C.9。

表C.9 飞针测试系统电阻测量校准不确定度汇总表

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 不确定度分量 | 不确定度来源 | 评定  方法 | 分布  类型 | 值 | 相对标准不确定度 |
| *u*1 | 测量过程重复性 | A类 | / | / | 4.1×10-6 |
| *u*2 | 校准板电阻校准值不准确 | B类 | 均匀 | 2 | 3.2×10-5 |
| *u*3 | 飞针测试系统分辨力 | B类 | 均匀 |  | 2.9×10-5 |

考虑到被测飞针测试系统的重复性和分辨力存在重复，计算合成标准不确定度时应将较小值去除，则合成标准不确定度按照下式计算得出：

=3.2×10-5

C.5.5 相对扩展不确定度

使用简易法，取包含因子*k*＝2，则扩展不确定度为：



C.6 校准板电容测量不确定度（10nF，均为相对值）

C.6.1 测量模型

测量模型如式C.5。

 （C.5）

式中：

*C*——被校校准板电容的校准值，nF；

*C*M——被校校准板电容的测量值，nF。

C.6.2 不确定度来源

校准板电容测量的不确定度主要来源于3个方面：

a)测量过程的重复性引入的标准不确定度分量，*u*1；

b)LCR测量仪测量不准确引入的标准不确定度分量，*u*2；

c)LCR测量仪分辨力引入的标准不确定度分量，*u*3。

C.6.3 标准不确定度评定

C.6.3.1 测量过程的重复性引入的标准不确定度（*u*1）

按照A类方法评定，首先将LCR测量仪与被测电容放置在校准环境下预热24h，利用LCR测量仪对被测电容连续测量10次，测量结果如表C.10所示，计算其实验标准偏差，得到*u*1。

表C.10 重复性测量数据

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 第*i*次测量 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 测量值/nF | 10.002 | 10.003 | 10.003 | 10.002 | 10.002 |
| 第*i*次测量 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 测量值/ nF | 10.002 | 10.002 | 10.003 | 10.002 | 10.002 |

根据表C.10中的数据，可由贝塞尔公式计算出标准装置测量重复性的实验标准偏差：



则，得到*u*1：



C.6.3.2 LCR测量仪10nF测量不准引入的标准不确定度（*u*2）

按B类方法评定，假设其服从均匀分布，*k*=。因此，查阅标准器说明书此点技术指标可得*u*2。



C.6.3.3 LCR测量仪分辨力引入的标准不确定度（*u*3）

按B类方法评定，从说明书得知LCR测量仪测量10nF电容时分辨力为0.001nF，其分布为均匀分布，置信因子*k*=。因此，可得*u*3。



C.6.4 合成标准不确定度

不确定度汇总表见表C.11。

表C.11 校准板电容校准不确定度汇总表

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 不确定度分量 | 不确定度来源 | 评定  方法 | 分布  类型 | 值 | 相对标准不确定度 |
| *u*1 | 测量过程重复性 | A类 | / | / | 4.8×10-5 |
| *u*2 | LCR测量仪测量不准 | B类 | 均匀 |  | 5.7×10-4 |
| *u*3 | LCR测量仪分辨力 | B类 | 均匀 |  | 2.9×10-5 |

考虑到重复性和分辨力存在重复，计算合成标准不确定度时应将较小值去除，则合成标准不确定度按照下式计算得出：

=5.7×10-4

C.6.5 扩展不确定度

使用简易法，取包含因子*k*＝2，则扩展不确定度为：



C.7 飞针测试系统电容测量校准值测量不确定度（10nF，均为相对值）

C.7.1 测量模型

测量模型如式C.6。

 （C.6）

式中：

*C*——被校校准板电容的校准值，nF；

*C*x——飞针测试系统的电容测量值，nF。

C.7.2 不确定度来源

飞针测试系统电容测量校准值的测量不确定度主要来源于3个方面：

a)测量过程的重复性引入的标准不确定度分量，*u*1；

b)校准板电容校准值的不准确引入的标准不确定度分量，*u*2；

c)飞针测试系统分辨力引入的标准不确定度分量，*u*3。

C.7.3 标准不确定度评定

C.7.3.1 测量过程的重复性引入的标准不确定度（*u*1）

按照A类方法评定，利用飞针测试系统对校准板电容连续测量10次，测量结果如表C.12所示，计算其实验标准偏差，得到*u*1。

表C.12 重复性测量数据

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 第*i*次测量 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 测量值/nF | 9.80 | 9.80 | 9.81 | 9.82 | 9.80 |
| 第*i*次测量 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 测量值/ nF | 9.81 | 9.80 | 9.81 | 9.80 | 9.80 |

根据表C.12中的数据，可由贝塞尔公式计算出标准装置测量重复性的实验标准偏差：



则，得到*u*1：



C.7.3.2 校准板电容校准值不准引入的标准不确定度（*u*2）

按B类方法评定，由于由C6.5章节得知校准板电容校准值的测量不确定度*U*rel，其包含因子*k*=2。因此，可得*u*2。



C.7.3.3 飞针测试系统分辨力引入的标准不确定度（*u*3）

按B类方法评定，从说明书得知飞针测试系统测量10nF电容时分辨力为0.01nF，其分布为均匀分布，置信因子*k*=。因此，可得*u*3。



C.7.4 合成标准不确定度

不确定度汇总表见表C.13。

表C.13 飞针测试系统电容测量校准不确定度汇总表

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 不确定度分量 | 不确定度来源 | 评定  方法 | 分布  类型 | 值 | 相对标准不确定度 |
| *u*1 | 测量过程重复性 | A类 | / | / | 7.2×10-4 |
| *u*2 | 校准板电容校准值不准确 | B类 | 均匀 | 2 | 5.7×10-4 |
| *u*3 | 飞针测试系统分辨力 | B类 | 均匀 |  | 2.9×10-4 |

考虑到被测飞针测试系统的重复性和分辨力存在重复，计算合成标准不确定度时应将较小值去除，则合成标准不确定度按照下式计算得出：

=9.6×10-4

C.7.5 扩展不确定度

使用简易法，取包含因子*k*＝2，则扩展不确定度为：



C.8 校准板上电感测量不确定度（10mH，均为相对值）

C.8.1 测量模型

测量模型如式C.7。

 （C.7）

式中：

*L*——被校校准板电感的校准值，mH；

*L*M——被校校准板电感的测量值，mH。

C.8.2 不确定度来源

校准板电感测量的不确定度主要来源于3个方面：

a)测量过程的重复性引入的标准不确定度分量，*u*1；

b) LCR测量仪测量不准确引入的标准不确定度分量，*u*2。

c)LCR测量仪分辨力引入的标准不确定度分量，*u*3。

C.8.3 标准不确定度评定

C.8.3.1 测量过程的重复性引入的标准不确定度（*u*1）

按照A类方法评定，首先将LCR测量仪与被测电感放置在校准环境下预热24h，利用LCR测量仪对被测电感（以10mH为例）连续测量10次，测量结果如表C.14所示，计算其实验标准偏差，得到*u*1。

表C.14 重复性测量数据

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 第*i*次测量 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 测量值/mH | 10.002 | 10.001 | 10.003 | 10.003 | 10.003 |
| 第*i*次测量 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 测量值/ mH | 10.002 | 10.002 | 10.002 | 10.002 | 10.002 |

根据表C.14中的数据，可由贝塞尔公式计算出标准装置测量重复性的实验标准偏差：



则，得到*u*1：



C.8.3.2 LCR测量仪10mH测量不准引入的标准不确定度（*u*2）

按B类方法评定，假设其服从均匀分布， *k*=。因此，查阅标准器说明书此点技术指标可得*u*2。



C.8.3.3 LCR测量仪分辨力引入的标准不确定度（*u*3）

按B类方法评定，从说明书得知LCR测量仪测量10mH电容时分辨力为0.001mH，其分布为均匀分布，置信因子*k*=。因此，可得*u*3。



C.8.4 合成标准不确定度

不确定度汇总表见表C.15。

表C.15 校准板电感校准不确定度汇总表

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 不确定度分量 | 不确定度来源 | 评定  方法 | 分布  类型 | 值 | 相对标准不确定度 |
| *u*1 | 测量过程重复性 | A类 | / | / | 6.3×10-5 |
| *u*2 | LCR测量仪测量不准 | B类 | 均匀 |  | 5.7×10-4 |
| *u*3 | LCR测量仪分辨力 | B类 | 均匀 |  | 2.9×10-5 |

考虑到被测飞针测试系统的重复性和分辨力存在重复，计算合成标准不确定度时应将较小值去除，则合成标准不确定度按照下式计算得出：

=5.8×10-4

C.8.5 扩展不确定度

使用简易法，取包含因子*k*＝2，则扩展不确定度为：



C.9 飞针测试系统电感测量校准值测量不确定度（10mH，均为相对值）

C.9.1 测量模型

测量过程数学模型如式C.8。

 （C.8）

式中：

*L*——被校校准板电感的校准值，mH；

*L*x——飞针测试系统的电感测量值，mH。

C.9.2 不确定度来源

飞针测试系统电感测量校准值的测量不确定度主要来源于3个方面：

a)测量过程的重复性引入的标准不确定度分量，*u*1；

b)校准板电感校准值不准确引入的标准不确定度分量，*u*2；

c)飞针测试系统分辨力引入的标准不确定度分量，*u*3。

C.9.3 标准不确定度评定

C.9.3.1 测量过程的重复性引入的标准不确定度（*u*1）

按照A类方法评定，利用飞针测试系统对校准板电感连续测量10次，测量结果如表C.16所示，计算其实验标准偏差，得到*u*1。

表C.16 重复性测量数据

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 第*i*次测量 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 测量值/mH | 9.91 | 9.90 | 9.90 | 9.92 | 9.91 |
| 第*i*次测量 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 测量值/ mH | 9.90 | 9.90 | 9.91 | 9.90 | 9.92 |

根据表C.16中的数据，可由贝塞尔公式计算出标准装置测量重复性的实验标准偏差：



则，得到*u*1：



C.9.3.2 校准板电感校准值不准确引入的标准不确定度（*u*2）

按B类方法评定，由于由C8.5章节得知校准板电感校准值的测量不确定度*U*rel，其包含因子*k*=2。因此，可得*u*2。



C.9.3.3 飞针测试系统分辨力引入的标准不确定度（*u*3）

按B类方法评定，从说明书得知飞针测试系统测量10mH电容时分辨力为0.01mH，其分布为均匀分布，置信因子*k*=。因此，可得*u*3。



C.9.4 合成标准不确定度

不确定度汇总表见表C.17。

表C.17 飞针测试系统电感测量校准不确定度汇总表

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 不确定度分量 | 不确定度来源 | 评定  方法 | 分布  类型 | 值 | 相对标准不确定度 |
| *u*1 | 测量过程重复性 | A类 | / | / | 8.2×10-4 |
| *u*2 | 校准板电感校准值不准确 | B类 | 均匀 | 2 | 5.8×10-4 |
| *u*3 | 飞针测试系统分辨力 | B类 | 均匀 |  | 2.9×10-4 |

考虑到被测飞针测试系统的重复性和分辨力存在重复，计算合成标准不确定度时应将较小值去除，则合成标准不确定度按照下式计算得出：

=1.0×10-3

C.9.5 相对扩展不确定度

使用简易法，取包含因子*k*＝2，则扩展不确定度为：

