

# 电学计量的不确定度理论与误差分析

孙 颖

中国特种飞行器研究所 湖北荆门 448000

**摘 要:** 所谓的系统误差或确定性误差是指恒值不变或按照一定规律变化的误差, 这种误差的出现具有规律性, 其影响能够在测量结果中被消除。但如果没有及时发现系统误差, 就会对计量检定的准确性造成影响, 并且这种误差无法在测量结果中消除。而不确定度理论的应用, 则有利于电学计量误差的消除。因此, 对此项课题进行研究, 具有十分重要的意义。本文对电学计量的不确定度理论与误差进行分析。

**关键词:** 电学计量; 误差分析; 不确定度理论

## 一、电学计量误差分析

### 1. 人员因素

第一, 人员误差。具体表现为电学计量人员对知识的掌握水平低下, 对检定方法的了解程度不深, 操作方法不正确, 均会导致系统误差的产生。第二, 读数误差。测量人员的读数习惯也是系统误差产生的直接原因, 比如: 部分人员喜欢采用与表面不垂直的固定角度对读数进行观察, 最终引发了系统误差, 并且这种方式属于人员误差。第三, 实验者操作影响。测量人员的操作习惯同样会导致系统误差, 比如: 在转换机械形状的过程中, 使用力度的不同, 会使开关所接触电阻出现变化<sup>[1]</sup>。

### 2. 方法误差

1) 没有将检定规程作为操作依据。在检定过程中, 如果计量人员没有依据检定规程, 容易引起方法误差。

2) 非标准方法。在测量过程中, 测量人员有时会采取非标准方法, 在企业中这种现象极为常见。比如: 在进行测量仪器校准时, 采用非标准的方法, 会影响测量结果的准确性。

### 3. 量具误差

在电学计量阶段, 量具误差是系统误差的重要内容, 首先, 不同标准器在适用范围上存在区别, 且准确度和精确度的差异也较为显著, 导致通过这种标准器测量出的计量数据存在系统误差, 因此, 在选择标准器的过程中, 需要选择具有更高精确度的标准量具。此外, 大多数计量仪器的精确度不同, 比如: 有效位数和最小刻度。精确度的不足, 容易使计量人员在读数时出现偏差, 建议计量人员在测量过程中, 将合适和统一的计量仪器作为主要选择。如果需要采用差值法, 计量人员应在具体操作阶段, 对计量仪表的读数进行利用, 从而实现对被测量值的准确计算<sup>[2]</sup>。

### 4. 外部环境因素

第一, 磁场。虽然在大部分情况下, 电路内各元件之间的磁场影响偏小, 但如果直流电路中的电动仪器缺少屏蔽, 磁场敏感度就会上升, 计量结果的准确性也会受到影响。如果电学计量环境外部磁场较强, 计量人员应采取有效的措施对磁场进行控制, 以此来保证计量结果的准确性。第二, 电场。各绝缘体之间会产生电容, 交流电各条通路也会受到电容的影响, 最终会引起元件读数误差。第三, 电流热效应。在实际计量阶段, 对部分元件的数值进行改变或调整, 会导致电流发生变化, 元件所散发的热量也会受到影响, 最终造成计量结果出现误差。

### 5. 测量装置因素

第一, 标准装置中的其他设备。标准装置由多个设备构成, 主要包括标准器和其他设备, 如果其他设备在质量和性能上与测量要求不符, 容易诱发系统误差, 并且这种问题的隐蔽性较强, 很难被检定人员及时发现。第二, 其他元件的误差。元件误差会对测量结果产生极为不利的影 响, 因此, 在实际测量过程中, 需要对元件和辅助性设备误差进行考虑, 确定其影响程度, 究其原因, 主要是这些元件和辅助设备, 所处位置通常为电学检定线路。第三, 线路接点和导线电阻。测量线路的连接, 需要通过接点, 比如: 开关接点、焊接点等, 而接点之间存在电阻。虽然此类电阻相对较小, 一般情况下无需考虑, 但部分计量检定对精准度的要求较高, 此时, 这些电阻就会成为误差产生的原因。第四, 开关变差。开关属于操作部件, 其所接触的电阻会不断变化。在开关接触电阻转换后复位时, 接触电阻就会产生微小的变化, 容易生成开关变差。如果变差值过大, 会使检定结果的准确性受到影响, 并且这种影响无法被忽略。第五, 交流感抗影响。这里所说的交流感抗, 经常在线路接点、开关和导线处发生。如果测量情景中存在交流, 在测量时, 还要对导线电容、接线柱进行考虑。第六, 调节细度不足。比如: 测量人员在测量阶段, 如果对补偿法进行了使用, 可能会因为细度不足, 导致步进值发生变化, 最终超过灵敏度阈值, 指示器也会因此而偏转, 从而使最终平衡受到影响, 此时, 测量人员在读取结果时只能通过估读法, 而估读结果的准确性很难得到保

**作者简介:** 孙颖, 1976.1.10, 民族: 汉, 女, 籍贯: 湖北荆门, 就职于中国特种飞行器研究所, 现任中级工程师, 大学学历, 主要研究方向: 电学计量, 邮箱: 972590216@qq.com。

证<sup>[3]</sup>。

## 二、不确定度理论

### 1. 测量不确定度的概念

测量不确定度是“表征合理地赋予被测量之值的分散性，与测量结果相联系的参数”。通常测量结果的好坏用测量误差来衡量，但是测量误差只能表现测量的短期质量，测量过程是否持续受控，测量结果是否能保持稳定一致，测量能力是否符合生产盈利的要求，就需要用测量不确定度来衡量。

### 2. 测量不确定度理论的发展情况

为对误差概念所引发的争论进行消除，再加上，经济全球化对测量和测量结果提出了严格要求，因此，制定国际统一的评定标准刻不容缓。这个评定标准的实施，可以避免因同种产品在不同地区的计量标准差异，所引发的损失。在这种趋势下，测量不确定度理论不断发展，最终形成了国际统一标准。

### 3. 不确定度的分析评定过程

#### (1) 静态不确定度评定

国内学者在研究后，提出了基于最大方差法对测量结果的标准不确定度进行评定的方法。另有一些学者给出了不确定度评定公式，该公式的基础为测量值是一种最小二乘测量结果，在经过拓展后所形成的公式，这种测量结果在服从正态分布的同时，还具备独立的特点，并且实际应用结果表明，这种不确定度评定公式的应用，有利于解决GUM在表述上的缺陷。张海濱等学者验证了不确定度评定模型，通过对埃奇沃思级数展开形式的运用，对测量数据分布函数进行表示，然后利用蒙特卡罗模拟法得出测量数据模拟值，这些模拟值均符合分布函数，接下来将通过计算得到的模拟值标准差作为不确定度评定验证值，最终达成验证各种不确定度评定模型的目标。最后结合实例，对这种方法的应用效果进行分析，结果表明，这种方法可以有效控制电学计量误差。

#### (2) 动态不确定度评定

在现代误差理论中，动态测量不确定度可谓是其精髓，同时也是不确定度理论未来发展的方向。动态不确定度理论完全脱离于以统计理论为基础的传统方法，解决了传统方法存在的缺陷。但由于发展时间较为短暂，因此，这种方法并不能在全部统计理论中的不确定度问题中适用，而融合使用静态不确定度评定和动态不确定度评定方法，可以取得更加显著的效果<sup>[4]</sup>。

以某学者的研究为例，该学者通过建立数学模型的方式，利用不确定度理论消除误差影响。在不确定度测量中，需要建立与评定要求相符的数学模型，简言之，就是所建立的关系函数，需要与影响量 $X_i$ 和被测量 $Y$ 之间存在密切的关联，该学者所建立的关系式为 $Y=f(X_1, X_2 \cdots X_n)$ ，在实际测量过程中，测量人员需要充分了解测量过程，避免重复测量或测量遗漏现象的出现，所有对不确定度测量产生影响的输入量，均要在模型中体现，只有这样，才能确

保数学模型的有效性。由 $X$ 输入量得出最佳值 $x$ ，由 $Y$ 得出的最佳值为 $y$ ，即 $y=f(x_1 \cdots x_n)$ 。故 $X_i$ 的不确定度会成为被测量设备不确定度的决定因素，因此，对 $X$ 的不确定度进行评定至关重要。不确定度来源的分析：基于数学模型，列出与被测量不确定度存在关联的分量。在进行被测量不确定度评定之前，还要在测得值中加入修正值，通过这种方式，对被测量仪器的最佳值进行明确，同时将异常值剔除。不确定度评定：测量结果的不确定度会受到多种因素的影响，而标准不确定度分差代表的是评定各个不确定度来源的标准偏差，可以用 $u$ 进行表示。在评定时可采取不同的方法，但无论采用哪种评价方法，在评定不确定度分量时，都要确保这些分量都能在模型中找出与之相匹配的输入量<sup>[5]</sup>。

不确定度合成：可以使用 $u_c(y)$ 对被测量估计值的标准不确定度进行表示，这种不确定度属于输入量不确定度的合成。测量结果的区间值可以通过扩展不确定度所确定，究其原因，主要是扩展不确定度可能会包含区间范围。因此，这种不确定度也被学者称为展伸或范围不确定度。扩展不确定度表示测量不确定度的方法为标准不确定度的倍数，其关系式为 $U=ku_c$ ，其中 $k$ 代表倍数，通常为2倍或3倍，倍数的选择，需要将被测量仪器的重要性、效益和风险作为决定性因素。如果被测量仪器的重要性、效益和风险较高， $k$ 的值为3，否则就是2。不确定度报告：在完成对不确定度的分析评定后，需要以报告的形式反映测量结果。比如：运用合成标准不确定度，对测量不确定度进行表示，需要在报告中给出自由度和 $u_c$ 。如果在表示不确定度时，对扩展不确定度进行运用，应将 $u_c$ 、 $p$ 、 $v$ 、 $k$ 在报告中给出。总之，不确定报告所体现的信息应该完整全面，这是提高结果使用价值的重要举措<sup>[6]</sup>。

## 三、结束语

综上所述，在研究后可知，对于电学计量而言，测量不确定度评定十分重要。评定流程是否合理、评定算法是否精确都会对影响电学计量的质量。通过结合国内学者的研究成果，对静态不确定度测量和动态不确定度测量进行总结，并提出在电学计量中应用不确定度理论的建议。

### 参考文献：

- [1]刘瑜.电学计量检定测量系统误差的因素分析[J].中国设备工程, 2021(03): 181-182.
- [2]言敬.电学计量检定及测量的误差因素分析[J].自动化应用, 2018(03): 51-52.
- [3]王平东.电学计量检定和测量的系统误差因素分析[J].现代经济信息, 2017(23): 328.
- [4]王子鹏,刘畅.电学计量系统的误差因素分析[J].中国标准化, 2017(18): 42-43.
- [5]言敬.测量不确定度评定及其在电学计量中的应用[J].中国设备工程, 2018(05): 85-86.
- [6]王亚栋.电学计量检定及测量误差原因的探讨[J].仪器仪表标准化与计量, 2019(06): 31-33.