

doi: 10.11823/j.issn.1674-5795.2019.06.04

模型化测量的基本问题讨论

梁志国

(航空工业北京长城计量测试技术研究所 计量与校准技术重点实验室, 北京 100095)

摘 要: 针对不同条件下测量的特点、目的、需求, 以及表征和比较中的基本问题, 进行了系统分析和讨论; 对模型化测量的特点进行了详细分析和讨论, 特别针对其中仍然存在的问题, 例如测量条件变化、测量系统变化、测量参数变化时, 获得的同一被测对象的波形数据结果存在明显差异的问题, 提出了一种标准化处理方案。使用几种简单的组合模型方式, 进行偏置、平移、幅度归一化, 然后再采用模型化处理与表征的结构化方式, 统一处理波形测量结果的标准化表征问题。

关键词: 模型化; 测量; 校准; 波形测量; 波形比较; 标准化

中图分类号: TB9

文献标识码: A

文章编号: 1674-5795(2019)06-0020-05

The Discussion on Modeling Measurements

LIANG Zhiguo

(National Key Laboratory of Science and Technology on Metrology & Calibration,
Changcheng Institute of Metrology & Measurement, Beijing 100095, China)

Abstract: Aiming at objectives, requirements, and basic problems in measurements and comparison under different conditions, the characteristics were systematically analyzed and discussed. At the same time, the characteristics of modeling measurements were also analyzed and discussed in detail. A standardized processing scheme is proposed, especially for the problems that still exist, such as when the measurement condition, the measurement system and the measurement parameter change, the obtained waveform data of the same measured object has obvious difference. By using several simple combined model methods, the offset, translation, amplitude normalization, and then the modeling method of modeling and characterization, this paper has unified processing of the standardized characterization of waveform measurement results.

Key words: modeling; measurement; calibration; waveform measurement; waveform comparison; standardization

0 引言

模型化是一种处理问题的重要思维方法, 又被称为仿真方法^[1], 它主要通过模型研究来揭示所表述的事物原型的形态、特点和本质。其根本特征在于, 它不是直接研究客观现实中某一现象或过程本身, 而是构建一个该现象或过程仿制品, 并对此进行规律性和特征研究。被研究的真实对象称为原型, 原型的仿制品称为模型。按总体来分, 有实物模型和思想模型; 按构造来分, 有数学模型、逻辑模型、图形模型、功能模型等。测量所用到的模型多数属于思想模型和数学模型。

测量, 是通过实验获得并合理赋予一个或多个量值的过程^[2]。其中, “实验”与“合理赋值”是关键词。实验的含义中有试一试、修正和优化后, 再判定执行的行为特征, 也有反复进行数据与经验积累令其稳定

平衡的行为特征; 而合理赋值, 则意味着测量结果不仅是客观的映射, 也包含在以往经验基础上的主观的行为特征^[3]。测量的本质是一种有先决条件的量化行为。

测量包含两部分行为: ①测量数据的获取; ②测量结果的表征。

大多数人仅仅关注了前半部分“测量数据的获取”, 而对后半部分“测量结果的表征”不够重视, 或者将两者混为一谈。

实际上, 后者尤其重要。其重要性主要体现在, 它不仅是简单的数据呈现, 也是一种“合理赋值”的过程结果。内涵极为丰富。其核心要素包括: ①使用尽可能少的资源, 尽量完整地表征被测对象; ②任何测量对象的测量结果都包含本质特征、变化特征两部分, 其赋值表征应该尽量达到统一和一致。在不同的测量环境及测量条件下, 其本质特征应具有统一一致的稳

定性。

模型化测量具有能够符合上述核心要求的技术特征。

模型化测量实际上是模型化方法与测量的有机结合。通常,它有两种含义:一种是将测量系统或测量系统中的某一环节(如放大器、滤波器、衰减器、检波器、混频器等等),假定为其激励响应的传递特性符合某种确定模型的稳定系统,然后通过极限激励及其响应关系,辨识出确定模型的各个参数^[4];另一种则是在某些限定条件下,针对某些被测量对象的测量数据序列,假定其符合某些特定的模型规律,然后通过某种最优方式,获取模型参数,该模型即作为测量数据序列的拟合结果^[5-10]。本文所述的模型化测量,主要讨论后一种情况。

针对不同的测量需求,选择相适应的模型,以实际被测对象的测量数据序列作为模型的条件抽样序列,或模型系统作用导致的结果,进行模式识别,获得模型参数。从模型参数本身或其组合运算结果,可以获得被测对象的本质特征参数。这些参数通过与作为参考标准的参考量值参数的比较,可以最终获得被测对象的待测参量。

1 测量的特点及需求

1.1 测量的特点

测量是世界上每时每刻都在发生的寻常事情,归纳起来,其特点主要有:

1)被测对象复杂多样,千差万别。可以是比较稳定的单个物理量值,如器件电阻,电池的电动势,量块的长度等等;也可以是稳定的周期性过程,如振动、摆动、转动;或者是单次瞬变过程,如冲击过程,闪电放电过程,水滴溅射过程等等。因而,导致产生的测量需求也是截然不同的。有些可能仅是一个稳定的量值或是过程的特征参量,如振动的峰值、频率,冲击的峰值、脉宽、频谱宽度等等;也有些是包含不同测量结果的相互比较,如延迟、相似性、复现性等等。

2)测量是有条件的,且一些条件是变化多样的。例如环境条件的温度、湿度、压力、震动、真空、水下、污染等等;例如触发条件、采样间隔、量化误差等等。即使是同一个量值对象,同一物理过程,它们的测量数据都会有明显的差异和不同。一些情况下,测量条件的变化果真促使被测对象发生了变化,而这正是人们所要追踪、获取并研究应用的目标;另外一些情况下,被测对象本身并未随环境发生变化,仅仅

是由于测量条件发生变化后,使得测量数据变得有些不同,这需要人们去恰当赋值和表述,以体现测量结果在本质上相符合的特点。

3)测量原理、方法具有多样性,测量结果的表征形式也具有多样性,缺乏统一一致性。

4)测量系统是不完善的。仅有有限的带宽,不可避免地存在量化误差、非线性误差以及其它干扰和噪声,仅有有限个采样速率可以使用,且存储深度也是有限的。通常,测量数据最完整的表述形式也仅仅是具有幅度量化特征和时间抽样特点的有限长时序采样序列。用以表述被测的模拟量值时,无论是幅度上还是时间上,都只具有有限的分辨力,其量化误差和抽样间隔误差不可避免。

1.2 测量的目的与需求

测量的目的与需求,并不是统一的和一成不变的,而是与测量对象自身的状态密切相关。

1)单值测量:在测量过程中始终保持量值稳定不变的测量,是最简单的一种测量。其目的与需求仅仅是不断降低量值的测量不确定度。

在测量过程中,被测对象的量值仅在满足某些条件下才出现。对这种被测量的测量,则需要构建条件,令这些条件出现时触发测量;或在大规模测量后,从测量数据中挑选出符合预定特征的量值作为测量结果。如单脉冲的峰值,震荡的幅值,阶跃响应的上升时间等等。

在这类测量中,构建条件和触发测量往往是首要问题,它们需要保证待测状态能够被有效捕捉,然后才是量值与不确定度的问题。由此可见触发测量的重要性。

2)多值测量:针对同一物理对象,相互关联的物理特征的不同量值表述,是测量里最多的物理需求。例如脉冲峰值、脉冲宽度、脉冲重复周期,正弦波幅度、频率、与参考信号之间的相位差,AM信号的载波幅度、载波频率、调制深度、调制信号频率等等,均构成多值测量的典型实例。在这类测量中,人们不仅要关注各个量值的测量准确度,而且往往还要关注它们相互之间的时序关系是否正确,以及是否符合预期要求。既要有一个统一一致的幅度参考点,也需要一个统一一致的时间参考点。

3)过程测量:是针对处于变化过程中的物理现象进行的测量。此时,人们不仅仅关注被测对象变化过程的细节,更希望从中找出变化规律及本质特征因素,以便进行特征获取与规律分析。无论是否使用了

抽样和量化技术,过程测量通常都被认为是一种连续的测量方式。

4)比较测量:针对同一物理对象,使用相同的或不同的测量原理、方法、设备或系统进行测量,获得的测量数据会有很多差异,客观上需要对这些测量数据获得的测量结果进行统一一致的测量表述。以此才能对同一对象的不同测量进行详细而全面的比较,以确定其符合性、一致性、差异性在具体特征。

1.3 测量对象的特征与需求

在上述各种不同的测量要求中,所遇到的测量对象量值种类主要包括以下几种:

1)稳定的直流量值,即在测量过程中保持不变或变化极为缓慢的量值信号;

2)周期信号波形;

3)单次确定性信号波形;

4)随机信号波形。

针对这些对象,人们最基本的测量需求包括:

1)测量结果不受测量条件变化的影响。例如幅度量程、采样速率、触发条件等的变化不应影响测量结果产生影响。

2)系统不完善部分的影响得以抑制和分离。例如,测量系统中的直流偏置,可以导致波形的整体升高或降低,触发延迟可导致波形数据的时间整体平移,幅度量程的变动将导致波形数据的时间整体放大或缩小,带宽的变动会导致高频分量的波动。这些因素的变化,均不应影响测量结果的比较产生额外影响。

3)测量结果表征形式的标准化。在量值参数表征方面,人们已经实现了标准化,但是在波形测量结果的表征上,还远未达成统一和一致。以至于即使是同一物理对象的波形测量结果,由于触发条件的差异,采样间隔的不同,量程范围的不一致,也很难让人一眼就判定出两者是同一物理对象的波形测量结果。标准化的测量结果表征方式将最终解决该类问题。

2 模型化测量特点的讨论

模型化方法与测量的有机结合,产生了模型化测量方法。这种方法有望更好地满足上述有关测量的客观需求。其主要原因,在于模型化测量具有如下几个典型特点:

1)近似性。模型化测量是一种抓主要矛盾和主要特征的思维方法,主要特点是根据实际被测对象的测量数据,用一种特征明确的模型方式去近似和拟合该测量数据,以期获得模型参数作为拟合结果。正因为

其近似性和主要特征因素是主导要素,所以任何测量数据所可以选择的模型都不是唯一的,可以有众多不同的选择,所获得的近似程度当然会有所不同,有的简单,有的复杂,有的收敛性良好,也有的收敛性差些。最简单的模型化可以认为是曲线的直线化以及分段线性化。

2)面向对象的包容性。实际中,被测对象的量值多数为模拟量值,它们在幅值上和时间上均具有可无限细分的分辨力。而数字化测量所获得的数据序列其幅度具有明确的量化特征,时间上具有不可避免的抽样特征,导致它们的幅度和时间分辨力均是有限的。模型化方法的包容性体现在其既可以面对连续性的模拟对象,也可以面对离散化的数字化对象,这一点对于实际测量的呈现是尤其重要的。

实际上,除了与采样、量化有关的定理和方法外,多数的理论和方法体系,所针对的模拟对象和离散对象都是截然不同的,其定义、概念、机理等均有本质差异。所惯用的处理方式也是输入与输出均为同类别参量,如均为连续的模拟量,或均为离散的数字量。即使一方与另外一方不同,也要将离散量一方“理解”为或“解释”为连续的模拟量的等间隔抽样。而模型化方法的特点是通过数据建模,可以将输入与输出均进行模型化。无论其具体对象是连续的模拟量还是离散的数字量,其模型参数均是连续的模拟量,因而具有广泛的适应性及鲁棒性。

3)模型参数的连续性。表现为无论是面对连续的模拟对象,还是面对离散化的数字化对象,模型化测量中的模型参数都是连续的,从理论上拥有无穷的分辨力,这使得使用它们来处理 and 表征测量结果具有极大的先天优势。

4)结构化模型的组合可以将一些影响量有效分离出来。例如对原始采集数据进行幅度与时序上的整体平移处理,剔除直流分量,按模型特征统一时基零点,对其幅度进行伸缩和归一化处理,可以彰显不同测量方式下同一物理过程的统一和一致性。对于测量结果的比较是极为必要的技术措施,否则,测量的比较在很多情况下将无法进行。

5)结构化模型近似性的调整。人们已经证明,在满足一定约束条件的前提下,结构化模型可以无限逼近真实的被测对象,逼近的近似程度主要靠调整变化模型的阶次来实现。通常,阶次越高,将更好地逼近被测对象,获得更良好的测量结果。另外,不同的模型,其对测量结果的逼近能力也是不同的。通常,相

同逼近误差的情况下,阶次越低的模型效果越好。

6)模型参量的拓展性。主要体现在结构化模型阶次的调整与生长方面,非结构化确定模型没有参数的拓展性。

3 模型化测量的标准化应用讨论

模型化测量的标准化应用,主要是针对测量过程中出现的同一被测对象的模型参数不一致问题,是进行统一化处理的一种思想。

前已说明,被测对象在不同的测量中,在不同的测量系统中,在不同的测量条件下,会出现的比较常见的问题有:

- 1)波形整体偏移及均值不一致问题;
- 2)波形整体平移及延迟不一致问题;
- 3)波形整体伸缩与幅度尺度不一致问题;
- 4)抽样时间间隔不一致导致时间尺度不统一问题。

它们不仅会造成特征参量的辨识与表述有差异,而且会造成同一被测对象在不同测量里的量值比较变得困难。多数情况下,人们都要反复强调,那些需要比较的参量与过程,它们的测量条件应完全一致,以利于进行比较研究。

在使用了一些标准化方式进行处理和表述后,至少可以化解一部分问题,使得有差异条件的测量结果,其相互比较评价变得更加容易。至少从模型参数上,两者更加一致和统一。

对于周期性确定信号波形,可以采取如下措施进行标准化处理,以期最终进行测量结果表述时,可获得统一一致的模型化表达方式。

- 1)选取整数个波形周期作为计算对象,将波形的均值(直流分量)从测量数据中提取出来进行单独表述;
- 2)对测量波形进行谐波分析,以基波相位零点处作为零参考时刻点,确定测量数据波形其它点的时刻坐标;
- 3)将测量波形表述成与采样间隔无关的方式,可以避免不同采样间隔的测量序列波形无法直接比较的问题;
- 4)对剔除均值的测量波形序列进行幅度归一化处理,提取其幅值因数;
- 5)对经过上述(1)~(4)步骤处理后的数据序列使用统一的模型进行模式识别和参数表征,将可望容易获得统一一致的标准化模型测量结果。

对于周期性伪随机信号波形,除了采取上述措施外,可以使用相关分析法获取它们之间的时序延迟。

对于半正弦类单次冲击波形信号,可采取如下措施进行标准化处理。

1)选取初始状态为零状态,当初始状态“本底”幅度不为“0”时,将其单独提取出来予以单独表述;

2)对测量波形数据进行峰值拟合,以拟合峰值点处的时刻定义为“0”参考时刻点,并以此为基准确定其它特征点的时刻坐标;

(3)~(5)的要求与周期信号相同。

4 模型化测量重点的讨论

从上述分析可以看出,模型化测量的重点问题都是围绕着测量的表述和结果的比较而出现的。

测量过程,永远都是以少量的离散量值表征测量结果。当被测量值的定义是直流单值或有限个直流单值时,直接使用测量结果可以完整表征被测对象。而当被测对象是一个变化过程时,体现的是随时间而变化的波形信号,此时,被测对象实际上含有无穷多个过程量值,以少量的离散量值表征的测量结果将是不完整和不完备的,存在以少代多、以偏概全的问题。这时,引入模型化测量表征方法,以模型方式表征测量结果,将避免以少代多和以偏概全的问题,达到对被测过程的完整表征。并且,在模型化测量方法中,模型参数的数量总是远少于测量数据的数量,因而,与直接使用测量数据的不完整表征相比,它可以达到使用少数参数量值完整表征测量结果的目的。

若能以标准化操作方式进行模型化测量的结果表征,不仅可以化解其中的大部分问题(例如以少数模型参数代替庞大数据库序列来简明清晰地表征测量结果,既能极大节约测量结果的存储空间,又能保留绝大多数的本质特征),而且更加便于不同测量结果之间的横向比较和应用;在以结构化模型方式分离出测量条件及测量不完善造成的影响后,此前测量条件有差异而无法直接比较的测量结果,在测量参数与测量过程的层级上也可以直接地进行差异比较了。

模型化测量表述的实质问题,不仅是测量数据序列之间的问题,而且是透过数据本身,洞察测量系统自身技术指标的完善情况及测量条件的精确化、完善化的情况。需要以模型化测量的要求方式,标准化、系统化、完备化、统一化测量系统的技术要求,以控制、限定、补偿测量系统自身对测量结果的影响,否则,仅仅局限于数据序列的模型参数本身,不能对测量系统及其技术参数提出额外的参量限制要求,模型化的意义将大打折扣。

目前情况下,人们还停留在认定并接受模型不唯一和不统一的局面存在,对于简单的测量结果表征和表述,并无问题。但若上升到实现不同测量结果的比较、测量变化规律的探索、测量过程的复现、测量不确定度的评估等等方面,不唯一、不统一的模型表征方式将带来一系列的问题。

因此,人们最理想的愿景,是未来能够寻找到统一一致的结构化模型,可以统一、完整地表征所有类别的测量结果。

5 结束语

本文主要内容是讨论了以模型化方式进行测量结果表征的基本问题,包括技术要求、目的与特征、标准化操作、模型化统一与标准化等。

其中,总结出的标准化方法包括:

- 1) 提取直流分量;
- 2) 以基波零相位点方式确定统一的零时刻点原则;
- 3) 令模型参量与采样间隔无关(采样间隔隐形化)原则;
- 4) 幅度归一化处理原则,提取幅值因数;
- 5) 使用统一的模型进行模式识别和参数表征。

经过如此标准化方式处理后的测量数据,再使用模型化方法进行识别后,有望获得统一一致的模型参数,将有利于模型化测量方法的比较、复现、统一和推广。

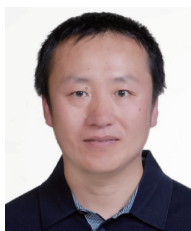
希望本文所述方法能够抛砖引玉,引出对于模型化测量问题的思考,以推动该方向的技术进步。

参 考 文 献

- [1] 李庆臻. 科学技术方法大辞典[M]. 北京: 科学出版社, 1999.
- [2] 国家质量监督检验检疫总局. JJF 1001—2011 通用计量术语及定义[S]. 北京: 中国质检出版社, 2012.
- [3] 李慎安. JJF1059—1999《测量不确定度评定与表示》讨论之四十一 JJF1001—2011《通用计量术语及定义》实施后应注意的若干问题[J]. 工业计量, 2012(4): 49—50.
- [4] 黄俊钦. 静、动态数学模型的实用建模方法[M]. 北京: 机械工业出版社, 1988.
- [5] 赵新民, 陈海军. 模型化测量的发展现状与展望[J]. 计量学报, 1992, 13(4): 314—319.
- [6] 张建秋, 赵新民, 洪文学. 畸变电功率的模型化测量方法[J]. 仪器仪表学报, 1996, 17(5): 449—454.
- [7] 张志杰, 祖静. 非线性动态测试系统的模型化测量方法理论初探[J]. 测试技术学报, 1996, 10(3): 21—25.
- [8] 梁志国, 孙璟宇. 正弦波模型化测量方法及应用[J]. 计测技术, 2001, 21(6): 3—7.
- [9] 钮永胜, 周庆东, 董加勤. 模型化测量方法在加速度计摆片参数测量中的应用[J]. 哈尔滨工业大学学报, 1997, 29(2): 71—73.
- [10] 梁志国, 成志尧. 静态测量系统线性度与温度的模型化补偿方法[J]. 计量学报, 2001, 22(4): 259—263.

收稿日期: 2019-09-23

作者简介



梁志国(1962—), 男, 黑龙江巴彦人, 航空工业北京长城计量测试技术研究所计量与校准技术重点实验室研究员, 博士研究生导师。主要研究方向为数字化测量与校准, 模式识别, 动态校准, 精确测量。

1983年毕业于北京航空学院电子工程系雷达与导航专业, 获工学学士学位; 1988年毕业于航空航天部第304研究所飞行器仪表与测试专业, 获工学硕士学位; 2010年毕业于北京航空航天大学仪器科学与光电工程学院测试计量技术与仪器专业, 获工学博士学位。全国无线电计量技术委员会委员; 中国计量测试学会电子计量专业委员会委员; 全国误差与不确定度研究会理事会理事; 中国空气动力学会测控专业委员会委员; 中国航空工业集团公司基础技术研究院首席专家; 北京长城计量技术研究所金牛特级专家; 国防计量检定员, 国防计量主考员, 国家计量许可证考评员, 国家计量标准一级考评员, 国家一级注册计量师。已在各种杂志上发表文章170余篇。