

doi: 10.11823/j.issn.1674-5795.2017.01.08

动态校准、动态测试与动态测量的辨析

梁志国, 张大治, 吕华溢

(中航工业北京长城计量测试技术研究所, 北京 100095)

摘 要: 针对动态校准、动态测试和动态测量等概念进行了全面解析和讨论, 分别从对象、目标、用途、结果及形式、本质、前提条件几个维度进行区分和辨析, 讨论了它们的共同点和差异, 可用于区分实际工作的具体性质。同时对动态特性指标的使用方法也作了明确说明。本文可有效区分所述工作是属于校准、测试还是一般性测量。

关键词: 计量学; 测试; 校准; 测量; 检定; 溯源

中图分类号: TP274

文献标识码: A

文章编号: 1674-5795(2017)01-0030-05

Discussion on Dynamic Calibration, Dynamic Test and Dynamic Measurement

LIANG Zhiguo, ZHANG Dazhi, LV Huayi

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

Abstract: A discussion on all aspects of the dynamic calibration, dynamic test and dynamic measurement is presented. From the view of object, target, purpose, result and form, essence, and precondition, both the differences and common grounds are discussed in detailed. They can be used to identify the characters of measurement works. Meanwhile, how to use the dynamic performance of measurement equipment is introduced. By using the method in this paper, it's easy to determine whether they belong to calibration, test or general measurement.

Key words: metrology; test; calibration; measurement; verification; traceability

0 引言

动态是近年来计量测试行业里的热点研究方向之一, 其热度仅次于量子化自然基准的研究, 而其难度与复杂性则丝毫不亚于量子化自然基准。一是由于其大量应用场景是复杂多变的活动现场, 而非严格规范和控制环境条件的实验室; 二是因为一些量子化自然基准也在朝动态方向发展。

动态是从静态发展变化而来的, 主要是表述量值、状态或物理现象产生了随时间流逝而出现的变化。

与动态相关的诸多问题最具争议和最令人无所适从之处在于, 并非所有随时间流逝而变化的状态都被认定为动态。因为物质世界处于永恒的运动之中, 动是绝对的、永恒的, 而静则是相对的、有条件的。为何一些有变化的现象被称为静态, 而另外一些则被称

为动态, 其最主要原因是主观评价尺度不同。例如: 电池虽有缓慢放电过程, 但其输出电压被认为是静态而非动态; 直流电源虽有纹波和噪声, 其输出电压被认为是静态而非动态; 而超低频振动, 周期虽然达到上千秒, 却仍被认为是动态。

通常, 人们在认定动态与否时, 内心深处是存在“状态”这个概念与尺度的, 它实际上是一个量值波动的尺度或尺度区间。在同一个“状态”尺度内的变化, 未产生“状态”的变动, 多半不被认定为动态, 一旦变动超出原有“状态”的界限, 跑到另外一个“状态”当中, 出现了不同“状态”间的“状态切换”, 由此产生的变化很容易被认定为“动态”, 即“状态”出现了“变动”。

另外, 人们在认定量值时, 也存在本征量值和外界干扰的先期认知, 认为本征量值是静态时, 其中由干扰导致的变化与波动使得测量结果出现变化, 当这些变化足够小时也通常不被认定为动态。

当人们对测量对象的特性完全未知或很不完善时, 很难简单判定其本征状态到底是变化的还是恒定的,

收稿日期: 2017-01-09

作者简介: 梁志国(1962-), 男, 黑龙江巴彦人, 研究员, 工学博士, 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。

由此也导致了动态判定的困难与混乱。

动态的认定通常兼顾了两个条件：现象量值变动的差值和量值变动的速率。变化速率快但变动幅度特别微小的量值，其变化通常不被认定为动态，而被归结为噪声。变动量值较大，但变化速率极为缓慢，通常也不被认定为动态，而归结为漂移。只有量值变化足够大、且变化速率足够快的现象才被认定为动态现象。

判定动态与否的量值幅度大小以及变化速率快慢在不同专业、不同问题、不同准确度等级的表述中差异巨大，并无统一一致的客观标准，这也是动态问题的复杂性之一。

通常，人们在表述物理现象时，根据变化的剧烈、规范与否等程度，又有描述缓慢变化的“准静态”，表述平滑而周期性变化的“稳态”，以及存在阶跃跳变的“瞬态”等不同状态。其中，“准静态”在很多情况下被当作静态来考虑，“瞬态”是无可争议的动态，呈周期变化的“稳态”究竟归结为哪一类，尚有不同观点和意见。

引入上述“状态”及“尺度区间”的概念后，将很容易判定。在同一个状态尺度区间内的稳态变化，可不被认定为动态。超出一个状态尺度区间的稳态变化应该被认定为动态。因为它所产生的问题，以及对测量的要求与静态是截然不同的。

从上述讨论可见，尽管今天人们在实际工作中讨论动态问题的观点、视角、方式、方法有所不同，有时域、频域、值域、信息域、变换域等等理念，但其定义的本质仅仅来源于时域，来源于量值的时变特征，来源于量值变化是本征还是干扰的判定。

在计量行业，围绕着动态存在着很多概念，如动态测试、动态校准、动态测量等等，它们既有联系，又有差异。但它们的确切含义如何，如何区别这些不同的提法与概念，一直众说纷纭，本文后续内容，将从多个角度，对它们的含义予以辨析和讨论。

1 基本概念及讨论

按照国际上通行的术语^[1,2]，测量就是以确定(被测量对象的)量值为目的一组操作。测量是通过实验获得一个或多个量值，由此对量合理赋值的过程。

测试是对给定的产品、材料、设备、生物体、物理现象、过程或服务按规定程序确定的一种或多种特性的技术操作。测试也可以说是测量和试验的综合。

校准是在规定条件下，为确定测量器具或测量系

统所指示的量值，与对应的由测量标准所复现的量值之间关系的一组操作。

检验是对产品的一种或多种特性进行测量、检查、试验或度量，并将其结果与规定的要求进行比较以确定是否合格的活动。检验通常特指生产过程中的行为，以控制工序、工件的质量或出厂时的产品质量。

校验是对出厂后的产品或系统的一种或多种特性进行测量、检查、试验或度量，并将其结果与规定的要求进行比较以确定是否合格的活动。校验通常特指使用过程中的行为，以控制产品的性能和功能是否符合要求。

检定是提供客观证据证明一个给定项目满足规定的要求。项目可以是测量系统、测量标准、检测设备或装备等。规定要求可以是满足制造厂的技术规范，也可以是满足装备的使用要求等。

将它们按照各自的特征统一列表如表1所示。分别从作用对象、最终目标、用途、结果形式、实质、条件几方面进行比较阐述。

从表1可见，测量的关注对象仅仅是量值，而并不太关注量值的载体。同一量值可来自不同载体对象；条件不同时，同一载体对象可以表现出不同量值。测量的最终目标也是量值本身。其实质是通过将待测量值与已知标准相比较最终定量确定和表述待测物理量值的过程和操作，结果形式是带有不确定度(或误差限)的测量结果值，常用于描述和比较不同量值，其隐含的前提是被测量值通常是未知的。

测量不适用于标称属性，测量有对量的比较和总体统计的含义，测量预示了对量的一种描述，它与测量结果的预期用途、测量程序和一个根据指定测量条件与测量程序运行的校准测量系统相应。

被测量对象称为被测量(或测量量、待测物理量)，由测量确定的被测量值的估计值被称为测量结果(或称为测量值)，被测量希望确定的实际(客观)量值被称为被测量的真值。

测试的关注对象主要是量值载体，内涵最为庞杂，包括物体、现象、过程、服务等等。测试的最终目标是获得这些量值载体的特性和特征。它们既有本征特性，也有激励响应特性；既有计量特性，也包括非计量特性。测试的实质是确定被测对象的极值特性或条件极值特性。因而，孤立的量值结果说明不了任何问题，一定是附带着完整测试条件的一个范围才能基本展现待测目标的一种特性。测试的结果形式是测试报告，常用于极限特性(或者条件极值特性)的获取、故

表 1 术语含义辨析

术语	对象	目标	用途	结果及形式	实质	条件
测量	量值	量值	定量描述、比较量值	测量结果；不确定度	定量表述被测的量值	被测量值未知
校准	计量器具 (测量器具)	计量特性	计量特性重新赋值； 确认计量器具的技术状态	校准证书或报告；计量器具计量特性量值数据或差异值；不确定度	计量器具的计量特性重新赋值	被校对象的计量特性量值已知，但是否有变化则未知
测试	物体、现象、过程、服务	特性、特征	获取极值特性、条件极值特性；故障诊断定位	测试报告；量值数据结果；不确定度；非量值结论	确定被测对象的极值特性或条件极值特性	被测对象的特征、特性未知
检定	计量器具 (测量器具)	计量特性	判计量特性合格	检定证书；检定数据结果	重新全面确定计量器具的计量特性合格	被检对象的特性及合格准则均已知，是否有变化则未知
检验	产品	质量特性、特征	判出厂合格；判加工合格	合格证、合格印	确认产品的质量符合出厂要求或工序要求	被检对象的特性及合格准则均已知
校验	产品、系统	使用功能及特性	判使用合格	校验合格证及数据结果	确认产品符合使用要求	功能、特性及合格准则均已知，是否有变化则未知

障诊断定位等。其隐含的前提是被测特性或特征通常是未知的。

测试性是产品能及时、准确地确定其状态(可工作、不可工作或性能下降)并隔离其内部故障的一种设计特性。

校准和检定所关注的对象仅限于计量器具，最终目标都是计量特性，且计量特性均属于已知情况，此外，检定还已知其计量特性的合格判据。非计量器具或计量器具的非计量特性，没有检定和校准的提法。在计量器具的计量特性处于未知状态，首次对其计量特性进行定值的操作也应属于测试，而非校准或检定。因为此时其计量特性尚属未知，不存在“校准”或“检定”的前提。

校准的实质是对计量器具的计量特性进行重新赋值。包括本征特性和激励响应特性，也包括完整的校准条件要求，没有明确校准条件的校准结果，没有任何使用价值。校准以校准证书方式给出带不确定度的校准结果，用于对计量特性进行重新确认。

校准的第一步是得到校准值，第二步是利用校准值获得修正值或修正因子。即由测量标准提供的量值被校仪器示值的校准值，校准值与示值之差是被校仪器示值的修正值，校准值与示值之比是被校仪器示值的修正因子。

有时校准只有上述第一步。校准结果可以记录在校

准证书或校准报告中，给出校准值(包括校准函数、校准图、校准曲线或校准表格)，也可以给出修正值或修正因子。由于测量标准提供的量值是有不确定度的，因此，校准值、修正值或修正因子也是具有不确定度的。在一些场合称校准为定度或标校。

检定的实质是重新确定计量器具的全部计量特性合格与否，以检定证书形式给出结果和结论。检定的依据一定是检定规程和检定系统表(或量值传递关系图)，两者缺一不可。

计量检定要依据检定规程或经审批的相关技术文件。检定结果应对给定项目做出合格或不合格的结论。检定包括将被检项目的示值与对应的测量标准所复现的量值进行比较得到示值误差，然后再将示值误差与规定的要求进行比较，做出是否合格的结论。当被检项目与测量标准的测量不确定度比满足一定要求时，合格评定时可以忽略测量不确定度的影响，此时当示值误差小于规定要求时为合格；否则要考虑测量不确定度，即根据示值误差的绝对值加测量不确定度后是否小于规定要求来判定其是否合格。经检定，全部合格的装备和检测设备发给检定证书；部分合格且满足装备和检测设备使用要求的，发给检定证书并注明限用范围；检定不合格的装备和检测设备通知送检单位。在对装备或检测设备的检定中，检定还包括对装备或检测设备的功能检查、贴检定状态标识等。检定是查明和确认计量器具是否符合

法定要求的程序，它包括检查、加标记和(或)出具检定证书。检定通常是进行量值传递、保证量值准确一致的重要措施。

校准和检定的主要区别：

1) 校准不具有法制性，是企业自愿溯源行为；检定则具有法制性，属计量管理范畴的执法行为。

2) 校准主要确定测量仪器的示值误差；检定则是对其计量特性及技术要求的全面评定。

3) 校准的依据是校准规范、校准方法，通常应作统一规定，有时也可自行制定；检定的依据则是检定规程和检定系统表(或量值传递关系图)。

4) 校准通常不判断测量仪器合格与否，必要时可确定其某一性能是否符合预期要求；检定则必须做出合格与否的结论。

5) 校准结果通常是出具校准证书或校准报告；检定结果则是合格的发检定证书，不合格的发不合格通知书。

检验和校验关注的对象主要是产品(商品)，包括计量器具和非计量器具。其目标是产品的质量特性与特征，也包含计量特性(若有时)和非计量特性。其前提条件是产品的质量特性与特征及合格准则均已知。

检验的实质是出厂前确认产品质量是否符合要求，用于判定产品质量是否合格。或者零部件加工过程中本工序加工质量是否符合工艺规程要求，以便确认是否可进入后续工艺过程。

校验的实质是在出厂以后确认产品或系统功能与性能是否符合使用要求，用于判定产品能否正常使用。

在美国军用标准里，还有一类操作被称为诊断，且有相应的诊断设备。其实质上属于我国称为校验的操作，诊断设备主要指校验器等专用测试设备。

表1所述六种概念的操作共同点：①都是用已知衡量未知；②所用的计量标准是准确的，且测量结果中计量标准所带来的误差是少量的或可以忽略的。

核查是按事先规定的方法，对核查标准进行经常性的重复测量，通过数据分析对测量结果进行质量控制的一种手段。与前述六种概念都不同，核查不是计量溯源或量值传递的手段，仅仅是被核查量值质量稳定性控制的手段，属于辅助计量手段。两次检定或校准间隔内进行的核查称期间核查。

计量是实现单位统一、保障量值准确可靠的活动。计量学是关于测量及其应用的科学，它涵盖测量理论和实践的各个方面，而不论测量的不确定度如何，也不论测量是在哪个领域中进行。

2 动态问题

2.1 基本概念

关于动态的几个概念，可以从上述定义中抽象和推导出。

关于动态测量，俄国学者有两种定义^[3]：一种认为“动态测量是在物理量变化过程中对其进行的测量”。另一种认为“测量时测量器具是在动态下使用的，这样的测量被理解为动态测量”。也就是说，“动态是以测量器具输出变化信号为特征的”。虽然整个组合测量器具中只有一部分的状态是动态的，但这个组合测量器具(装置或系统)的状态也认为是动态的。在阐述动态问题时，认为动态是一个矢量，动态的完整表述应该是矢量表述。动态测量的结果表征应该为函数表征或曲线表征。

可以认为，动态测量是以确定量值随时间变化为目的的一组操作。也可以简单地认为动态测量即是量值随时间变化的波形测量与表述。

动态测试是确定给定对象的本征动态特性极限或动态激励响应特性极限的一组操作。可以是一个或多个动态特性参量的测试，以一个或多个特征参量方式表征测试结果。特征参量可以是极限参量或条件极限参量，对于每一个参量的极限，通常会有上下两个极限值。

动态校准可以认为是确定计量器具示值动态变化极限特性的一组操作，并以校准结果方式给其动态变化极限特性重新赋值，也称动态特性校准或动态计量。

2.2 动态特性指标的使用

在动态测量中，人们最关心的是所测信号的波形是否稳定、真实，牵涉到动态校准所获得的动态特性指标的使用问题。通常，对于动态波形测量仪器设备而言，其最重要的动态特性指标包括其测量通道的频带宽度，或其阶跃响应过渡时间(阶跃上升时间)。其次是采样速率和A/D位数。

对于动态波形激励源(信号源)而言，其最重要的动态特性指标包括其输出信号的频率范围(或信号带宽)，或波形上升时间。

在一般的波形测量中，均要用到波形测量仪器设备和动态信号源。实际上，每一次人们所获得的波形测量结果均是信号源动态特性与波形测量设备动态特性共同作用的结果。

当对未知动态信号波形进行测量时，为保证测量仪器设备的动态特性对所测量波形的影响很小(或可忽略)，通常要求测量仪器设备的频带宽度要大于被测波形信号带宽的3倍以上；对信号源进行动态校准时，要

再一次希望大家能够与我们共同欢庆这一年度的世界计量日，并再一次期待计量之于世界的重要性能够得到彰显。