

doi: 10. 11823/j. issn. 1674 - 5795. 2015. 06. 02

大数据时代计量校准理论与技术的发展展望

梁志国

(中航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: 针对当代计量校准的两种需求进行了详细讨论。针对适合于各种严酷人工环境条件下的测量仪器设备与系统的现场计量校准需求, 提出了大数据系统的理论技术发展方向, 以线性或非线性系统模型进行系统建模, 由单一环境条件变化合成多种环境条件变化, 最终以系统理论方式解决多种因素严酷环境条件下的现场计量与校准问题的预测。针对数字化特征明显的数据域仪器设备的计量校准, 提出了数据域计量校准理论、方法、技术的发展方向, 以统计理论、信息理论、系统理论为基础, 以频域、值域、逻辑域、变换域等理论与技术为手段, 以模型参数等作为计量校准目标和结果。

关键词: 计量学; 计量; 校准; 发展; 理论; 现场校准; 数据域校准

中图分类号: TB9

文献标识码: A

文章编号: 1674 - 5795(2015)06 - 0006 - 04

The View of Development of Both Theory and Technology About Measurement and Calibration in Big Data Time

LIANG Zhiguo

(National Key Laboratory of Science and Technology on Metrology & Calibration, Changcheng

Institute of Metrology & Measurement, Beijing 100095, China)

Abstract: Two requirements of calibration are discussed in detail. To the calibration of both instrument and equipment in some asperity environment, the theory and technology development direction by using big data is put forward. Through linear or non-linear system model, many individual environment vectors are combined into one complex environment, and the calibration in multi-factor environment will be solved. To the calibration of the digital instrument, the theory and technology direction of data domain calibration is put forward, by using all of the statistic theory, the information theory and the system theory, in frequency domain, value domain, logic domain and transformation domain, and the model parameters will be the calibration results of the data domain instrumentation.

Key words: metrology; measurement; calibration; development; theory; on-line calibration; data domain calibration

1 问题的提出

计量测试与校准理论和技术发展到今天, 极大地拓展了人类认识世界的视野和空间, 也给人类改造世界提供了强有力的手段。特别是有关的技术进展方面, 由宏观到微观, 由古典到经典, 到现代, 到量子化, 各种物理现象、物理特征、物理原理与法则, 不断被人们发现并加以利用, 奠定了当今计量测试技术的强大基础。但有关计量测试理论方面, 当前以及未来的发展, 并无特别清晰的脉络。这也并不奇怪, 计量测试的理论很少作为一个独立学科自我发展, 多数情况

下, 都是从物理学科、数学学科、工程学科等借鉴和衍化而来。尤其是经典的控制理论、线性系统理论、概率理论等, 加上信号的分析与重构理论、变换与逆变换理论、调制与解调理论, 以及不确定度理论, 等等。

1.1 现场计量校准的初衷及问题

总体而言, 计量测试从诞生之日起发展到今天, 可以认为大体上经历了三个阶段。

第一阶段, 计量活动全部发生在自然环境下的类活动现场; 在这里, 计量活动承担着单位统一、量值准确的任务目标, 并发挥着实际效力。这一阶段, 人们对计量活动要求比较简单粗略, 涉及的范围也比较窄, 主要是商业贸易等事务, 因而并无特别严重的问题需要解决。

第二阶段, 计量测试活动大部分发生在人工特定

收稿日期: 2015 - 08 - 19

作者简介: 梁志国(1962 -), 男, 黑龙江巴彦人, 工学博士, 研究员, 主要研究方向为数字化测量与校准、模式识别、动态校准和精确测量。

环境条件下的校准实验室内；这主要是因为，随着人们对于计量范围逐渐拓宽，商贸以外，介入工业化过程渐多，对计量测试准确度要求也不断提高，伴随对客观事物认识的不断深化，发现了环境温度、湿度、大气压力等环境条件对于计量测试量值的复现及测量具有明显的作用和影响。为了降低这些环境条件变化带来的物理量值的变化，而构建了具有恒定环境条件范围的校准实验室，以提高计量测试量值的准确度，同时统一不同时间、地点、人员操作获得的相同量值的一致性定义，增加其可比性，减小它们的条件差异。目前，绝大多数计量测试仪器设备及传感器件的计量校准，均是在具有人工特定环境下的校准实验室完成的。相应地，其各种量值及不确定度也是在这种校准实验室环境条件下确定的。这一阶段计量校准的特点，主要是由于介入了工业化社会分工的需要，计量校准的准确度提高所造成的。虽然量值准确度提高了，但脱离了各种变化多端的现场环境，计量校准工作距离实际生产生活更加远了些。

第三阶段，大规模现代化工业化生产的进一步需求，要求解决各种工业现场计量测试仪器设备的计量校准问题；国防工业和军事计量中，需要解决复杂恶劣的陆、海、空、天战场环境，以及电子对抗、信息对抗等恶劣环境下的仪器设备的计量校准；国防工业科研试验，军事计量科研试验中，都有相当一部分计量测试仪器设备与系统是工作在复杂人工环境现场或极端恶劣的多种自然环境条件现场，例如高温、高压、强风、强震动、高冲击、强噪声、强电磁场、强放射性、超低温、高粉尘、重盐雾、高湿度、水下高压等各种环境条件及其综合环境条件。在这些复杂严酷的人工环境以及恶劣自然环境条件下，所使用的测量测试仪器设备的特性参数，与校准实验室环境里的计量校准给出的特性与量值被认为是明显差异的。但多数情况下，在这些严酷条件下进行计量校准操作很难实现且成本高昂。如何解决这类复杂恶劣的人工或天然环境条件下测试测量仪器装备的现场计量校准问题，或如何将实验室条件下所复现的特性与量值切实有效地传递到这些复杂环境条件下的仪器设备特性与量值之中，一直是计量测试行业里未能彻底解决的问题^[1-19]，这也是许多工业现场的测量测试工程师对当前实验室校准的测试测量仪器设备是否能够真正解决工业现场的计量校准问题而心存疑虑的原因之一。即使是使用便携式计量标准开展现场校准，也是因为这类便携式计量标准本身就是特定的与实际应用环境

完全不同的实验室环境内进行的计量校准，因此是否在工业现场环境还能按相同的性能工作也是被质疑的。

由此可见，第三阶段的计量测试实际上需要在保持更高准确度的要求下仍然回归到现场环境条件里的计量校准和现场环境条件下的计量溯源，只不过是这一阶段的人工特殊环境现场更加恶劣和更具有挑战性，也更加难以解决而已。

计量行业内早已注意到该问题，并已经在使用环境控制设备和设施进行环境条件的构建和模拟。如高低温控温箱、增压舱、低压舱、大气环境模拟方舱、高温风洞、燃烧室、高压水槽、低温杜瓦、振动台、三轴振动台、屏蔽室、消声室、混响室、电波暗室、横电磁波小室、温湿度箱，等等。对于测量仪器设备随单一环境条件因素变化的规律与极限进行了众多研究，也取得了一些成效。如通常的温度系数、抗电磁干扰能力、抗震能力等，即是这些研究的具体体现。但当不止一个环境因素变化，而是多个环境因素均有剧烈变化时，计量测试活动如何确保量值传递和有效溯源，给人们提出了巨大挑战。同时，也给计量测试理论和技术发展提出了明确的待解决的问题要求。仅有一项环境因素变化时，人们尚可以通过构建环境控制系统或设施，将被测对象依环境条件的变化而变化的特征定量描述出来；而当两个以上环境条件变化时，构建该类设施的复杂程度、工作量、经济成本等，均随着环境条件数的增多呈指数规律上升，且在很多种组合情况下极难以实现。

以怎样的计量测试理论抽象表征这种特征，以怎样的计量测试方法处理这类问题，以何种计量测试技术实现这类目标，始终都是一个问題。

在很多情况下，“现场校准”被简单理解为在现场条件下的“校准”，而“综合校准”则被粗暴地认为是多几个“主要”参量的简单罗列而已。并未体会出现场校准的条件是千变万化的，很难穷尽，因而具有极大的挑战性的意味。几个参量的简单罗列与综合校准的本意相去甚远，并未能体现出一种总体性模型化的概念与内涵。有了详尽而深入的模型化研究后，人们才能系统而综合地考虑和处理该类问题，就如同有了合适的人体模型后，人们可以通过任何一块骨头的特征，推断出人体其他所有骨头的基本特征，以及身高、体重、性别、年龄等，而不必将全部骨骼均进行测量和获取。目前，计量测试研究远没有达到这样的水平，但前景目标和实际需求则一直是明确而具体的。

1.2 数据域计量校准的问题

我们所处的社会是一个信息化社会,以计算机、互联网、多媒体为特征的社会到处充斥着数字化信息与数字化仪器设备。

人们所处的物理世界则是一个纯粹的模拟世界,其典型特征是它无论在时间上还是在空间上,均具有无限的分辨力。经过计量测试活动后,对其物理信号进行幅度量化和时间抽样,从而变成具有离散化和量化特征的数字化信息和数字化量值。从此,造就了包括互联网在内的众多数据域仪器设备的计量校准,成为信息化社会或者说数字化世界呈现给人们的一个难题。诸如逻辑分析仪、码流发生器、数据发生器、矢量信号分析仪、矢量信号源、通信协议分析仪等,这些数据域仪器设备以及信息数据模型,以哪些指标、参量表征和量值进行溯源,人们将以何种理论、方法、概念构建数据域以及数据域仪器设备的计量校准理论技术体系,对它们进行技术表征、技术评价,这一直是计量测试理论与技术面临的主要问题之一。

2 大数据时代的信息化特征

我们所处的时代也被称为大数据时代,其具体体现是借助于 24 小时不停息运转的互联网、覆盖全球的信息通讯网、有线与无线交互构成的广播电视网等,每时每刻都有海量信息在产生、采集和传播流动,浩如烟海,体量巨大,呈爆炸式增长,给人们从中获取最有价值的信息提出了巨大挑战。这些海量信息具有:①随机性;②因果性;③可观性;④离散性;⑤开环可控性;⑥部分相关性;⑦耦合性;⑧非同步性;⑨非等间隔取样特征;⑩非等精度取样特征;⑪独立性特征不明显;⑫低信噪比;⑬可靠性不明确;⑭传输方式的网络化和非线性特征。

这样的大数据背景下,人们若想从中提取出某一主题的有用信息,主要关注的是信息检索、信息可靠、信息独立、信息冗余、信息滤波和信息加权融合等问题,以信息理论和技术为基础,以适合描述多输入多输出,或者多输入单输出为特征的非线性因果信息传输网络模型来描述这类宏大复杂的信息网络特性。例如,仿生模型中的神经网络模型等非线性系统模型,可用于构建其系统结构模型;仿生算法中的遗传算法、蚁群算法等,可用于构建其信息传输规则;一些实际的输入输出采样样本,可用于对其进行学习建模,确定模型参量等。最后,在某些特定条件和约束下,可以确定所要获得的信息特征、信息发展趋势、其发展

变化中的周期性特征等。

由于需要处理的信息量非常巨大,网络结构极为复杂,以往处理小系统和简单系统时所用的降维、线性化等方法 and 手段已经不再适用,且可操作性不佳。因而,适应其需求的一些智能算法、仿生算法、学习型算法等应运而生,如支持向量机算法等。一些适合并行运转且可有效融合的技术,如云计算、云存储等技术也相应得到了发展。

一位信息产业界人士曾经认为:我们当今的时代是数字化时代,它有别于此前信息化时代的特征之一为大数据技术。信息化时代,人们从海量信息中通过检索分析提取信息特征来判断现在,并以其为自身服务;而数字化时代,人们以大数据方式预测和引领未来,为他人服务。由此,可见大数据时代的一些端倪和本质特征。

3 大数据时代计量校准理论与技术的发展

对于计量校准理论与技术未来的发展预测,和其他任何预测一样具有巨大的难度和主观性。理由是,短时期的顺理成章的发展延续无须“预测”便一目了然,而那些稍长期一点的有划时代革命性特征的发展,很难简单看出其迹象。其起因和发展、壮大等,尤其具有偶然性。尽管如此,上述第三阶段的计量测试发展的客观需求,以及数字化时代里,数字化和信息化仪器设备的计量发展与校准需求,一直在那里呼唤和引导着计量校准的新兴理论、方法与技术的诞生,以期在不远的未来,人们得以彻底解决任何人工的和自然的特殊恶劣环境条件下,仪器设备的计量校准和量值溯源问题。

3.1 复杂环境的计量校准

实际上,计量测试仪器设备,是以其在各种环境条件下的性能和指标进行定量限定与表征的,在它们被设计、制造、构建和使用,敏感元件、传输部件、耦合部件,以及输出和显示呈现部件,多是按照单输入单输出、线性时不变因果系统设计研制的,即使加上环境条件的变化因素的影响,也仅仅是增加了温度、湿度、压力、震动等少数几个附加变量,以及在进行多通道多物理量测量时,各个通道信号之间的相互影响。例如泄漏、耦合叠加、串扰、交叉调制等,这些因素可能是线性的,符合线性叠加原理,也可能是非线性的,无法简单使用线性叠加原理进行处理,但它们都是叠加在系统的激励响应的线性主特性之上的微小量部分内容。如此导致计量测试仪器与系统,即使

工作在多种严酷复杂环境条件之下,整个系统的复杂程度,以及信息与信号的流动耦合与传输关系,也远不如大数据系统复杂和繁琐。当然,其特点是参数准确度要求要高得多。

对比大数据系统的海量数据特征,人们发现,有关计量测试仪器设备在各种应用环境条件下的量值数据及特征信息显得过于缺乏。例如,适用于发动机测试或电子对抗的战场需求,或者宇宙空间环境的航天器要求,人们可能会让它们在各种复杂严酷的人工环境条件与自然环境条件下有效工作,例如高温、低温、水下高压、强噪声、强电磁干扰等单一环境或几种环境的复合环境下进行工作,但是这些仪器设备在这些环境下的工作数据却一直少得可怜,甚至根本没有。而人们拥有的最多的信息也一直是校准实验室环境下的量值溯源数据,因此,导致人们在面对多种复杂严酷的人工复合环境或恶劣自然环境时,计量校准一直缺乏令人满意的结果,尽管人们也在一直试图研制和构建各种严酷的人工环境控制系统与设施。

在可以预见的将来,将首先需要实际获取和积累计量测试仪器设备在每一种环境因素变化情况下的特性变化情况数据,并对于不同因素相互作用(包括线性叠加、非线性叠加、交叉调制、加权耦合等)进行仿真模拟(包括模型仿真、数据仿真、半物理仿真、全物理仿真等)。然后,模仿大数据系统模型进行处理,以获得在任何环境条件下的计量校准结果。其中,可能包括以下几方面工作:①确定输入量、输出量 and 环境影响量的个数;②获取在单一影响量变化时的输入输出量变化特性;③确定系统模型性质(线性时不变因果系统,或非线性时不变因果系统);④针对每一个输入量,确定各个输入量以及影响量之间的相互关系(线性叠加、非线性叠加、交叉调制、关联传递等);⑤统一各个输入输出量及环境影响量的时序同步关系;⑥选择合适的分布式大系统模型,以原有数据进行分析、学习和建模;最终,当各种输入条件以及环境条件确定后,获得该条件下的计量校准结果。目前已经出现的一些仿生分布式非线性系统模型,如神经网络模型等,可望用于该问题的解决。

经过上述过程及逐渐完善,可望以大数据系统方式解决复杂环境条件下的计量测试仪器设备的计量校准问题,或者至少将其向完全解决方向推进了一步。

3.2 数据域计量校准

针对数据域仪器设备的计量校准,人们一直存在着较大困惑,到底需要如何计量校准它们?需要计量

溯源哪些参数量值?如何确保它们的功能和性能?例如逻辑分析仪、码流发生器、数据发生器、通信协议分析仪、矢量信号分析仪、误码率分析仪等,这些仪器设备常引起计量人员困惑的根本原因,在于它们与以往的模拟量计量测试设备不同,它们产生和处理的主要是数字量和数字化信息。对于模拟量,人们拥有着一整套完善的理论、方法、指标体系和处理方式,以模拟量值获取、误差传递、不确定度合成等,最终给出计量校准结果。而对于数字量和数字化信息,特别是数据域以及逻辑域有关的数字量和数字化信息,以何种理论、方法、指标体系和处理方式,去表述、定量评价、给出误差和不确定度因素特征,对于计量测试行业来说,仍然是一个挑战。目前众多数据域仪器设备的计量校准仍旧停留在功能检查的通过与不通过的逻辑判断上,较少涉及定量参数指标的计量校准。这本身就很难让人理解为已经有效溯源了。

实际上,模拟量计量校准多数涉及的是信号分析及其变换处理理论与技术,而数据域仪器设备除此以外,更多涉及的是信息分析及其变换处理理论与技术,需要用到统计无线电理论与技术、信息理论与技术、系统辨识理论与技术、模型辨识理论与技术,等等。

其中,会涉及到时间统一、相关分析、时序分析、逻辑分析、特征分析、统计分析等,涉及到码流速率、误码率、信息熵、数学模型、物理模型、模型特性参数准确度、时间同步误差、模型特征值分析与测量等。不仅仅在时域进行分析,还需要用到频域、值域、逻辑域、变换域等理论与技术手段,以及开展广泛而深入细致的研究工作,构建数据域、信息域计量校准理论技术体系,研究出相应的量值体系和指标体系,提出量值溯源和校准方法,完善其量值溯源及传递工作。

由于我们的社会是信息社会,我们所处的时代是具有大数据特征的数字化时代,因而,各种数据域仪器设备众多,量大面广,已经渗透到人们生产生活的各个方面。因此,有关数据域计量测试与校准,或称其为数字化仪器设备的计量与校准,前景广阔,影响深远,其不断完善和进步,将对以互联网、全球通信网在内的信息产业及运行产生深远影响。

4 结束语

综上所述可见,有关计量校准理论与技术的发展方向,包括恶劣自然环境和人工特殊严酷环境的复杂环境下仪器设备和装备的计量校准将是未来的重点发

(下转第 28 页)

参 考 文 献

- [1] 刘政崇. 高低速风洞气动与结构设计[M]. 北京: 国防工业出版社, 2003.
- [2] 张连河, 范洁川. 三元收缩段优化设计研究[J]. 空气动力学学报, 2003, 21(4): 417~423.
- [3] 李强, 丁珏, 翁培奋. 上海大学低湍流度低速风洞及气动设计[J]. 上海大学学报(自然科学版), 2007, 13(2): 203~207.
- [4] 王帅, 刘小康, 陆龙生. 直流式低速风洞收缩段收缩曲线的仿真分析[J]. 机床与液压, 2012, 40(11): 100~104.
- [5] 吴宗成, 陈晏清, 万曦. 水洞收缩段流场的数值模拟及优选[J]. 北京航空航天大学学报, 1998, 24(3): 315~318.
- [6] 周刚, 汪家道, 陈皓生, 陈大融. 小型高速水洞收缩段的优化设计[J]. 船舶力学, 2009, 13(4): 513~521.
- [7] 李坦, 勒世平, 黄素逸, 刘伟. 流场速度分布均匀性评价指标比较与应用研究[J]. 热力发电, 2013, 42(11): 17~20.

(上接第 9 页)

展方向之一, 但是, 有关的计量校准, 其本意包括如何确定和复现该环境条件下的标准量值及其溯源性, 以及如何确定该环境下的被计量量值的溯源性。并不是简单地将仪器设备和标准放到该环境下直接进行计量校准, 那样将导致计量难度、成本、复杂性过大而无法实现。这需要的是理论、方法、理念、流程的全面更新和系统研究。其中, 首先也包括各种单一环境条件变化情况下的仪器特性研究, 以及复合环境变化的仿真研究。

关于数据域计量校准的理论、方法和技术研究将是计量测试理论与技术的另外一个重要发展方向。一定需要寻找到定量评价和定量溯源的物理量与物理参数, 而不仅仅是通过与否地计量评价数据域仪器设备。仅仅用通过与否来表征数据域仪器设备的计量结果不足以展现其溯源性和量值传递结果, 也无法评定其不确定度。

本文所述内容, 仅为一家之言, 不一定完全合适, 仅希望对同行具有参考和借鉴作用。

参 考 文 献

- [1] 李希明, 李文军, 顾喆涵, 等. 在中低温条件下环境辐射对光谱发射率测量的影响[J]. 计量学报, 2014, 35(1): 10~12.
- [2] 陈少龙, 屠征音. 关于 CFM56-5B 发动机高压转子振动监控的若干思考[J]. 航空维修与工程, 2014(3): 49~51.
- [3] 葛炼伟, 郭韵, 丁有元, 等. 核电厂高压加热器传热管涡流检测及缺陷产生机理分析[J]. 无损检测, 2014, 36(1): 74~76.
- [4] 严兵, 李建斌, 孙红胜, 等. 动态高温温场测量研究[J]. 红外与激光工程, 2014, 43(4): 1312~1315.
- [5] 梁雅军, 孙曾玉, 高越, 等. 高温环境下物体外形轮廓动态测量与评价方法探索[J]. 宇航计测技术, 2014, 34(2): 1~5.
- [6] 李亚晋, 赵俭, 王建军. 几种典型燃烧室高温气流温度传感器的设计[J]. 计测技术, 2014, 34(3): 36~39.
- [7] 刘砚涛, 王莉敏, 吴兵, 等. 低温静力试验热应变/热应力修正方法研究[J]. 强度与环境, 2014, 41(2): 34~38.
- [8] 刘向阳, 苏超, 贺凯, 等. 高温高压水比定压热容的实验测量[J]. 工程热物理学报, 2014, 35(5): 844~847.
- [9] 蔡廷栋, 高光珍, 王敏锐, 等. 高温高压下基于 TDLAS 的二氧化碳浓度测量方法研究[J]. 光谱学与光谱分析, 2014, 34(7): 1769~1773.
- [10] 史汝超, 张亚军, 徐胜利. 水下爆炸气泡膨胀过程的 RG-FM 和高精度格式数据模拟[J]. 爆炸与冲击, 2014, 34(4): 439~443.
- [11] 李园, 郝晓剑, 周汉昌. 蓝宝石光纤高温传感器抗冲击性能的测试研究[J]. 计算机测量与控制, 2013, 21(2): 330~332.
- [12] 曾育伟, 李旭, 刘胜, 等. 真空高低温环境滤波减速器性能测试试验台设计[J]. 航空精密制造技术, 2013, 49(5): 13~16.
- [13] 张建斌, 赵琦. 低温压力传感器自动检定/校准装置设计[J]. 计量技术, 2013(5): 55~58.
- [14] 黄利君. 高低温交变湿热试验箱温场均匀度超差的原因[J]. 计量与测试技术, 2013, 40(9): 13~14.
- [15] 周亮, 邓联文, 肖鹏, 等. 材料微波反射率高温测量系统设计[J]. 计算机测量与控制, 2013, 21(6): 1431~1433.
- [16] 王振涛, 沈毅雄, 安继刚, 等. 一种测量高压气体中离子漂移速度的方法[J]. 原子能科学技术, 2013, 47(3): 476~480.
- [17] 蒋山平, 杨林华, 许杰, 等. 真空低温环境下卫星天线变形摄影测量技术[J]. 光学技术, 2013, 39(4): 313~317.
- [18] 胡立荣, 王东方, 兰玉岐. 低温压力传感器校准系统研制与应用[J]. 低温工程, 2013(4): 60~64.
- [19] 孙丰, 吴彬, 王喆, 等. 舰船水下爆炸冲击环境实用建模方法[J]. 舰船科学技术, 2014, 36(4): 22~26.