

doi: 10.11823/j.issn.1674-5795.2020.03.01

# 计量量子化变革对我国工业计量的影响

梁志国, 李新良, 王宇, 李维

(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:** 针对新一轮计量单位制量子化变革带来的普遍影响进行了阐述, 相应地, 讨论了计量标准小型化、芯片化趋势带来的作用和影响。关于计量量子化变革对工业计量的影响, 本文结合航空行业特征, 特别针对计量单位制量子化变革和计量标准小型化、芯片化趋势给航空行业计量带来的挑战和契机进行了系统论述, 包括行业计量与量子化融合、量子化计量融入产品的全生命周期、量子化计量与虚拟仪器技术相融合以及芯片化计量对工业计量的推动作用, 同时, 给出了应对措施与展望。

**关键词:** 计量学; 计量单位制; 量子化; 航空; 校准; 评价

**中图分类号:** TB91

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1674-5795(2020)03-0001-06

## Impact of Revision of SI on China's Industrial Measurement

LIANG Zhiguo, LI Xinliang, WANG Yu, LI Wei

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

**Abstract:** Aiming at the universal influence brought by the revision of the SI, the role and impact of the miniaturization and chipization trend of measurement standards are discussed. In combination with the characteristics of the aviation industry in particular, the challenges and opportunities brought by the revision of the SI, the miniaturization of measurement standards and the trend of chipping to the aviation industry have been systematically discussed, including the integration of industry measurement and quantization, the integration of quantization metrology into the life cycle of industry products, the integration of quantization metrology and virtual instrumentation technology, and the promotion of chip metrology to industrial metrology. At the same time, the prospects for response are given.

**Key words:** metrology; SI; quantization; aviation; calibration; evaluation

## 1 计量单位制变革带来的变化及工作

2019年5月20日, 伴随着第26届国际计量大会通过的国际单位制重新定义的决议正式生效, 全世界范围内的计量单位制发生了根本性的变革, 导致计量行业出现以下变化:

1) 表述物理世界的7个基本量单位: 长度单位米(m)、质量单位千克(kg)、时间单位秒(s)、热力学温度单位开尔文(K)、电流单位安培(A)、发光强度单位坎德拉(cd)、物质的量单位摩尔(mol), 除了发光强度单位外, 全部使用了量子化效应和基本物理常数进行定义<sup>[1-2]</sup>, 完全不依赖于某一具体的实物标准。这标志着, 人类测量活动必须采用实物基准的历史行将终结, 量子技术在计量中具有不可替代的作用, 以量子基准为核心的量子计量时代已经开启。

由此导致基本量的复现以及向基本量溯源的手

段、方法、原理等, 均可能不再唯一<sup>[3-4]</sup>。从主导思想上, 量值溯源主要是溯源到复现基本量及导出量的稳定可靠的物理现象的某种特征上, 而非某一实物基准上, 该特质将对现有的量值传递与溯源体制造成重大冲击。

时间频率量值的权重更加提升, 不仅仅因为时间频率比其它基本量的准确度高几个数量级, 是目前人们可以获得的准确度最高的基本量<sup>[5-6]</sup>, 更因为可以由时间频率量结合基本物理常数导出一些其它基本量。在未来, 基本量的数目和重要性仍然有可能发生变化, 一些可以溯源到时间频率量或者可以由时间频率量导出的基本量将可能被撤销<sup>[3-4]</sup>。

另外, 由于目前时间频率量是唯一可以无实物传递实现远程量值传递和溯源的基本量<sup>[7]</sup>, 对于可以溯源到时间频率量上的其它物理量值的计量校准, 将产生深远的影响。随着计量标准小型化、芯片化、便携

化技术的成熟,取消时间频率量值以外的其它物理量值的实物传递,实现远程计量校准的目标已为期不远。

一旦实现物理量值的远程无实物传递和溯源,即可以实现互联网技术与计量技术的融合,并以此为契机,可望形成全球一体化的计量校准模式。届时,人们将有可能在地球内外的任何一处,实现对地球内外的另外任意一处物理量值的实时计量校准,这样的技术前景,对于地球内外的任何设备、量值的计量校准,将能做到从容自如和随心所欲,计量技术接近成熟和完美。

2)自身具有复现基本量功能的仪器设备与系统,将可能不再需要外部计量校准或溯源,仅需要进行自身内部完备的溯源与校准。即它们溯源的终极标准和认定准则,可能是符合量子化定义的具体量值,而非传统的国家标准或国际标准。相应的计量法规,可能需要针对这种情况进行调整与补充。

3)新的计量单位制的物理复现及运行服务工作,主要是新单位制基本量及导出量的量子化、芯片化复现工作,包括原理、方法、技术、装置等诸方面内容。该方面的量值将包括信息量值,如比特等的定义、复现、保存<sup>[8-9]</sup>;适应人工智能计量校准的量值,如定量评估聪敏程度或愚昧程度的量值定义、保存及复现;衡量心理成熟程度的成熟度或自信度、自卑度等的定义、保存与复现等。

4)新单位制基本量及导出量的量子化复现值与目前已有的各级计量标准、计量器具的直接关联以及其量值传递理论、方法和技术对接。

5)新单位制基本量及导出量的量子化复现值与目前实际工作的工程量值的直接关联以及其量值传递理论、方法和技术对接。

6)未来的愿景目标:量子化自然基准嵌入商品,取消外部溯源及量值传递工作,仅仅需要商品内部和系统内部的完备量值控制、传递与溯源即可。

## 2 计量量子化带来的变化及影响

1)在非量子化技术中,人们所复现、测量的物理量值通常是连续的和无限可分的。

因而,人们要复现、测量一定准确度的量值时,一定需要更高准确度、稳定性和分辨力的量值测量系统、装置、器具,从无例外。

而在量子化技术中,人们所复现的则是一些明确的、离散的、具有超高稳定性和复现性的量值,人们

只要将测量比较系统的分辨力和稳定性优于相邻量子化量值的离散间隔的 $1/2$ ,就可以正确无误地“判别”出量子化技术所复现的物理量的真实量值。

因而,量子化计量的本质,是人们借助于量子化物理效应中的高稳定度的离散现象,可以使用较低的测量准确度和分辨力的测量系统、装置、器具,获得高得多的稳定度和复现性的物理量值,从而突破实物系统、装置、器具本身的测量准确度的极限。

量子化效应中的量值,多来源于极限条件下微小粒子能量转换过程中产生的特殊物理现象所呈现的离散化效应,大多具有准确度和稳定性比非量子化效应量值的测量器具高一个或几个数量级的特征。

通常,该类量值不再依赖或受限于某个具体的复现装置、地理位置、外部条件,具有全球普适性,无需溯源和校准。但在外层宇宙空间中,其量值是否仍然符合定义并具有和地球上一样的普适性,仍然需要理论和实验证实<sup>[10]</sup>。

因此,它直接挑战了目前不确定度评定标准中的真值不可知论的前提假设。若在计量校准中,标准装置的误差比被计量对象小一个数量级以上时,应该可以认定其即为工程真值。在量子化效应涉及的技术体系中,应当修订相关法规文件,允许真值可知论的存在。

2)以量子化技术、原理、方法、装置复现基本量及其导出量,是人们理所当然的首选,其核心思想和理念是以较低精度的技术手段复现高精度的量值,并将其多值化、量程化、交流化、波形化<sup>[11-12]</sup>。

3)量子化计量装置目前存在的几个问题:

①体积庞大笨重,原理比较复杂,制造成本高昂;

②多数需要在接近绝对零度的超低温条件下才有量子化效应,工作条件苛刻,运行维护成本高昂;

③原始的量子化效应,仅能提供一个或几个稳定的量值,表现为仅有稳定的量值而缺乏波形变化,很难直接广泛应用于工程实际中。

针对这些问题,人们一直在尝试解决,例如:

①量子化计量装置的小型化、便携化、芯片化<sup>[13-14]</sup>,以期能够降低成本,并将其嵌入到实际仪器系统中;

②高温、常温条件下量子化效应的探索与研究<sup>[15]</sup>,以期能够降低运行维护成本;

③量子化计量装置的多值化、量程化、交流化、波形化技术研究,以期能够与工程实际应用直接结合。

目前已经开展的工作,例如用多个约瑟夫森结串

联叠加合成的 1 V 和 10 V 约瑟夫森电压基准, 以众多约瑟夫森结以 D/A 方式合成的交流约瑟夫森电压基准等, 即属于该方向上的技术尝试<sup>[11-12]</sup>。

实际上, 将现有的波形发生装置的参量, 如幅度、周期、脉宽等锁定到量子化参考标准上, 也应该是交流流量值与动态量值的量子化发展方向之一。

### 3 量子化计量给工业计量带来的影响

#### 3.1 行业计量与量子化融合

工业领域的众多产品均非计量器具, 但其产品指标及质量确需计量控制。其过程中的重要环节即是工业计量。但是在我国, 相应的法律法规还远未完善。

以航空行业为例, 飞机、发动机以及其它航空器, 均非计量器具, 因而, 从本质上, 就现行只监管到计量器具的计量法的作用范畴而言, 它们在总体上均不属于计量法涉及的管理范畴。

只有国家军用标准 GJB 5109 - 2004《装备计量保障通用要求 检测和校准》, 在涉及武器装备的全寿命周期计量保障要求、国家的产品质量法、国际分工合作的分包合同、航空器自身产品质量与性能保证、民用航空的适航性检测、飞行器维护维修保障等技术要求时, 才真正实实在在地提出了航空计量的总体要求<sup>[16]</sup>。

这些具体而明确的要求复杂多样、包罗面广, 总体上涉及航空行业的全产业链, 航空产品的全溯源链, 航空产品的设计、研制、试验、生产、交付、使用、维护等全寿命周期, 要求航空计量在其中体现出先导性、前瞻性、引领性与保障性。

它们即是航空计量的特点, 也是难点, 属于航空行业计量工作中一直试图解决的问题, 且一直未能解决好。

随着计量单位制变革, 以及量子化、扁平化发展, 将迎来解决航空计量问题的新一轮契机, 并将会带来新的解决方式。其具体范围涉及航空产品的设计、研制、试验、生产、制造、使用、维护、维修、保养等众多方面。

航空计量的特点, 可以概括为:

- 1) 对象描述复杂;
- 2) 技术要求复杂;
- 3) 对象运行过程封闭、复杂;
- 4) 可靠性要求高。

举例说来, 航空发动机叶片, 不仅材料及内外部结构复杂, 其外形尺寸也极不规则。只用一个或几个量值进行面型描述, 不可能全面完整, 一定会存在众

多隐患。例如其面型量值控制与计量的参考面的确定就不能太过随意和变化, 应有具体、稳定、统一而明确的技术要求。参考点和参考面的不同, 将导致获取的控制量值截然不同, 其加工、复现、工艺实现的难度、量值不确定度等也将明显不同, 它们之间的互导, 将带来额外的误差和不确定度。其最佳计量方式, 将是在制造过程中, 实时调控其制造条件, 以保证其形貌尺寸并直接溯源, 确保其制造结果完全符合规格指标的定义及质量控制要求, 并不再需要额外的检验工序。但在制造过程中, 其计量参考面尚未成形和出现, 即使预先加工了计量参考面, 其精度、完整性、可靠性等仍然存在问题, 与加工完毕的成品有着本质的差异, 使得其加工过程的面型量值控制具有极大的难度和挑战性。

另外, 在航空制造工厂, 有很多智能化的数字化加工中心, 即智能机床, 它们可以与计算机等直接相连, 将数字化的机械图纸直接转化加工成复杂形貌的工件。这些工件的合格检验, 若使用人工手动进行, 其工作量巨大, 时间成本高昂, 并且使检验很难做到全面和彻底。其最佳计量方式, 依然是使用这类智能机床或数字化加工中心, 它们本身对制造量值公差的控制和直接溯源, 可保证其刀具等在装配时或有一定程度磨损的情况下, 都能符合预定的公差要求, 使制造出的工件不必另行检验而直接判定合格, 从而节约大量时间和经济成本, 并且使得制造过程的量值控制更加全面和彻底。

再有, 针对面向未来制造而新出现的增材制造, 如 3D 打印技术及装备等, 其加工结果的合格性计量检验依然复杂繁琐、成本巨大, 并且还存在着内部结构形貌无法检验的情况。其最佳计量方式, 依然是使用这类智能加工制造设备, 它们本身对制造量值公差的控制和直接溯源, 可保证在各种情况下, 都能符合预定的公差要求<sup>[17]</sup>。

航空系统有很多试验台, 例如, 对飞机各个系统进行地面试验的试验台<sup>[18]</sup>有: ①飞行品质模拟试验台; ②飞行控制系统试验台; ③电网模拟试验台; ④燃油系统模拟试验台; ⑤液压系统模拟试验台; ⑥环控系统模拟试验台; ⑦座舱盖模拟试验台; ⑧航空电子综合模拟试验台; ⑨进气道调节系统模拟试验台; ⑩座舱照明模拟试验台; ⑪发动机试车台; ⑫发动机高空试验台; ⑬飞机全静力及疲劳试验系统; ⑭全机地面共振试验台; ⑮机体结构落振与坠撞试验台; ⑯结构部件振动强度试验台; ⑰结构噪声测试试验台;

⑮起落架落震试验台；⑯起落架摆振试验台；⑰离散源冲击试验台（飞机前座舱鸟撞试验台，冰击试验）；⑱飞行器水平冲击试验台；⑲摆锤击胸假人试验系统；⑳风洞（常温风洞、高温风洞、低温风洞、亚音速风洞、超音速风洞、高超音速风洞、激波风洞等）；等等。这些试验台一直游离于计量范畴之外，其根本原因在于建造时未能考虑其量值计量溯源问题，没有进行计量性设计，导致其内部许多量值无法在整体不拆装时进行计量校准。

为了解决上述问题，并满足航空产品全寿命周期的计量保障要求，航空工业内部正在尝试开展计量性研究。计量性设计目标是利用最小的计量资源实现产品性能指标的稳定输出<sup>[18-20]</sup>，以推进产品全寿命周期的计量保障活动，试图从产品设计开始同步考虑计量问题，构建产品性能参数的全溯源链，针对各个参数量值对产品性能指标的影响进行定量评估等活动。

良好的计量性设计与量子化计量的完备结合，将有可能彻底解决航空计量所面临的众多问题，使其性能、质量、可靠性、效益等均获得极大提升。

计量量子化为计量性设计带来的影响，可能包括：

- 1) 溯源链重塑；
- 2) 以内嵌式计量标准或芯片取代外部计量标准；
- 3) 实现实时全自动计量校准；
- 4) 最终理想的状况是取消外部溯源。

从而简化和取消计量性评估、实施、确认等其它环节。

### 3.2 量子计量融入工业产品的全寿命周期

在工程领域，产品的全寿命是指产品在时间维度上由生至死的过程。根据不同的关注重点以及不同类别的产品可以产生不同的寿命划分阶段，但是无论产品全寿命怎么划分阶段，对产品进行统筹管理和科学保障的目的是一致的。通常，产品全寿命周期可以划分为“研制立项、方案论证、设计、研制、使用以及维护、报废”几个阶段，或者划分为“预研、论证、研制、定型、生产、采购、使用和维修、报废”诸阶段，或者划分为“需求分析、概念设计、详细设计、制造、销售、售后服务”等阶段。随着产品全寿命概念的扩展，在某些领域将逐渐在“使用和维修”或“售后服务”阶段中单独提出“回收阶段”或“报废阶段”等。

全寿命计量的概念是依托产品全寿命概念演变而来的，是围绕产品在全寿命过程中统筹开展的计量保

障工作使产品的性能动态稳定在目标状态的技术与管理的统称，它包括技术保障和管理体系保障。

该项工作在航空计量领域具有复杂、繁琐、参量众多、难度巨大的特征，多涉及性能控制、质量监测、健康状况监测、合格评估等。减少外部溯源的任务十分艰巨。量子化、芯片化、嵌入式计量校准与良好的产品计量性设计结合，将为该类工作提供契机和优良前景。其最大的优势可能在于量子化计量直接溯源到基本量，不再需要额外的向上级溯源操作，将极大简化计量环节，提高效率，降低成本，促进行业技术提升和技术进步。

### 3.3 量子计量与虚拟仪器技术的结合应用

工业计量中有许多任务涉及到各种量值的波形计量，从简单的正弦波、脉冲波、阶跃波、猝发信号波形、随机信号波形，到模拟调制的 AM, FM, PM 波形及数字调制的各种码流等波形序列，复杂多样。量子化计量标准通常很难提供复杂多变的波形，因而，可以将波形参量提取出来并与量子化计量标准相比较的虚拟仪器技术应该是工业计量的一个非常有前景的发展方向<sup>[21-22]</sup>。通过芯片化的量子化计量标准、A/D 和 D/A 技术，以及通用数据采集平台、通用任意波发生器平台、数字信号处理技术、模型化测量方法等，各种理论、方法、技术相融合，推动和解决量子化物理量值向复杂波形参数的量值传递问题，从而最终解决工业产品及系统中的复杂波形参量的计量校准问题。在航空行业尤其如此。

### 3.4 芯片化计量技术的推动作用

芯片化计量技术是以美国国家标准技术研究院 (NIST) 为首的西方发达国家计量院所近年来推出的一个计量技术发展方向。本身包含三个层次：首先是现有计量标准的小型化、芯片化、集成化，试图将庞大复杂的计量标准实现芯片尺度的缩微集成，以便降低成本和灵活运用；其次是将众多不同量值的计量标准集成到一片芯片上，从而实现一片多值的复合芯片级计量标准状态；最后是实现量子化计量标准的芯片化集成，使其不再需要外部溯源，从而彻底解决物理量值的溯源问题。

目前，机载信息化武器装备在使用过程中，其常规传感/测试系统需要拆卸进行离线计量校准、维修保养，传感/测试与计量校准分立，极大影响了装备运行效率并制约装备智能化发展。基于嵌入式的芯片级计量标准和传感技术具有长期稳定性、高准确度、可实时监测和多测量参数集成的优点，可以提升航空装备

的测量精度,提升武器装备试验效率,提高装备智能化发展水平。

首先,芯片级计量设备可直接嵌入到待测设备中,实现不受环境干扰的实时测量,在保证测量精度的前提下,有利于各种武器装备与系统的小型化和集成化。

例如,基于量子光学的芯片级光梳,可应用于激光测距领域,特别针对一些便携化的测距应用场合(如无人驾驶飞机或卫星、智能工厂的过程控制)。这些应用程序对测量速度和精度以及光学测距系统的尺寸都有非常严格的要求。

芯片级光梳,也可以为将来便携式激光测距仪、小型化激光雷达、微型无人机等高新武器装备提供更精密的激光源,有利于无人机等装备的小型化、便携化与集成化发展。同时,芯片级光梳作为频率梳齿,可以直接对长度量值进行校准溯源,对军事领域广泛应用的中红外激光源进行校准。

其次,基于量子原理的计量标准芯片,具有长期稳定性,量值直接溯源到基本物理量,无需外部溯源,可以提高量子化芯片标准的武器装备的试验效率。如基于量子原理的芯片级原子钟,可直接嵌入分布式传感器、武器平台、指挥控制系统,实现作战所需的时间同步精度,确保通信和协同准确。

特别是在卫星导航信号拒止的情况下,芯片级原子钟可确保用时终端在一定的时间内,仍具有精确的导航、定位和授时能力。如在导弹制导过程中,因导弹飞行速度快,位置变化快,需要维持精准的时间才能确保打击效果。虽然在打击时间、位置的导航定位上,不需要原子钟级别的时间同步,但导弹与地面、卫星的通信控制需要高精度时间同步。在导弹飞行试验过程中,需要时刻保持与测控基站、信息收集站的高带宽数据传输,同时,必须保持时间高度同步。芯片级原子钟嵌入到导航系统中,使其在短时间飞行过程中摆脱卫星导航时间同步的束缚(飞行速度快、信号质量差、周围没有差分站等等),可大幅提高武器试射工作的质量效益。

最后,芯片级计量能将多个量值参数计量标准集成在一个芯片模块上,实现集多参量、高精度为一体的芯片级综合计量,可以节约计量测试成本,促进武器装备智能化发展。如采用一块集成了温度、湿度、压力、时间、长度的芯片级传感器,将其应用在武器装备测试现场,可极大节省准备计量校准的时间,降低测试成本,促进武器装备的智能化发展。

## 4 结语

综上所述,计量单位制的变革给计量行业带来了新的挑战,量子化计量为新一轮的工业革命带来契机。工业计量行业,若能围绕产品与装备的自主创新发展需求,积极开展先进计量测试技术理论的研究探索,研究评价各类量子测量方案的先进性与可行性,将为行业计量开辟出一个前所未有的新天地。真正践行“科技要发展,计量须先行”理念,落实“需求牵引、技术推动”原则,在未来新一代装备与产品的自主创新发展进程中发挥坚实的基础技术支撑作用,为我国自主工业产品的技术先进性与量产可靠性提供技术保障与支撑。

## 参考文献

- [1] BIPM. On the revision of the SI [EB/OL]. (2019-04-18) [2019-10-16]. <https://www.bipm.org/en/measurement-units/rev-si/>.
- [2] Stock M, Davis R S, De Mirandes E, et al. The revision of the SI-the results of three decade of progress in metrology [J]. *Metrologia*, 2019, 56: 022001
- [3] 张悦琴. 关于计量单位向量子基准发展的趋势[J]. *中国计量学院学报*, 1991(1): 96-102.
- [4] 宋明顺, 方兴华, 马爱文, 等. 论新国际单位制(SI)的“秒制”特征及其未来发展[J]. *计量学报*, 2019, 40(4): 541-548.
- [5] 刘杰. 光纤光学频率传递研究[D]. 北京: 中国科学院研究生院(国家授时中心), 2016.
- [6] 梁志国, 严家骅, 张大治, 等. 飞秒激光及光钟[J]. *计测技术*, 2010, 30(1): 5-11.
- [7] 高小珣, 高原, 张越, 等. GPS 共视法远距离时间频率传递技术研究[J]. *计量学报*, 2008, 29(1): 82-85.
- [8] 崔伟群, 滕俊恒, 田锋. 基于比特流的网络流量计量技术研究[J]. *计量技术*, 2010(12): 41-42.
- [9] 梁志国, 孙璟宇, 尹肖, 等. 电子数据量及电子网络流量计量的讨论[J]. *计量技术*, 2019(7): 52-57.
- [10] 刘民, 彭明, 刘碧野. 基本物理单位定义在空间计量中的讨论[J]. *宇航计测技术*, 2017, 37(1): 1-6.
- [11] 朱珠, 康焱, 王路, 等. 基于约瑟夫森效应的交流电压标准研究[J]. *宇航计测技术*, 2012, 32(3): 31-34.
- [12] 王曾敏, 高原, 李红晖. 交流约瑟夫森电压合成装置的研究[J]. *计量学报*, 2012, 33(2): 154-157.
- [13] 赵国瑞, 何慧钧, 霍海琴. 生物芯片技术研究简况[J]. *中国计量学院学报*, 2002, 13(3): 229-234.
- [14] 张志凯, 滑晓欣, 高赛, 等. 基于微机电系统的纳米力学测量装置的研制[J]. *计量学报*, 2012, 33(4): 303-307.
- [15] 盛柏桢. 韩国成功开发常温量子点半导体[J]. *半导体信息*, 2003(1): 29.

[16] GJB 5109 - 2004 装备计量保障通用要求检测和校准 [S]. 2004.

[17] 梁志国, 周自力, 熊昌友. 计量性与未来制造业[J]. 计测技术, 2017, 37(6): 1-6.

[18] 梁志国, 曹英杰, 孙璟宇, 等. 飞机地面测试试验系统综合校准述评[J]. 航空计测技术, 2001, 21(5): 7-9.

[19] 梁志国, 吕华溢, 张大治. 计量性是复杂工业产品技术状态控制及大数据管理的基石[J]. 计测技术, 2017, 37(3): 7-12.

[20] 梁志国, 张大治. 复杂系统的计量性设计与评估[J]. 计测技术, 2017, 37(5): 1-6.

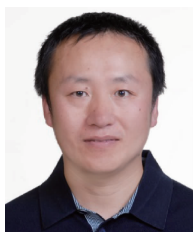
[21] 梁志国, 孟晓风. 关于虚拟仪器概念的讨论[J]. 仪器仪表学报, 2007, 28(Z3): 1-8.

[22] 梁志国, 孟晓风, 孙璟宇. 虚拟仪器思想述评[J]. 仪器仪表学报, 2008, 29(Z2): 603-606.

收稿日期: 2019-01-09; 修回日期: 2019-11-30

基金项目: 国家市场监督管理总局专项研发计划(LCC201803-05)

### 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, 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; 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; 航空工业北京长城计量测试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。已在各种杂志发表文章 170 余篇。



(广告)

## 欢迎订阅《化学分析计量》

邮发代号 24-138

《化学分析计量》为国内外公开发行的全国性分析、计量专业技术类刊物, 双月刊, 大 16 开本, 单月 20 日出版。国际刊号: ISSN 1008-6145, 国内刊号: CN37-1315/O6。《化学分析计量》是中国科技核心期刊、美国《化学文摘》(CA) 千种表收录期刊、中国学术期刊综合评价数据库统计源期刊, 中国石油和化工行业优秀期刊、中国兵器工业优秀期刊、山东省优秀期刊。您可通过邮局或银行汇款向《化学分析计量》杂志社办理订阅手续, 欲订阅过刊或合订本、合订本光盘的读者直接向杂志社订阅。

地址: 山东省济南市 108 信箱杂志社 邮编: 250031 电话: (0531)85878132, 85878224, 85878148  
E-mail: anameter@126.com 投稿网址: www.cam1992.net

## 《化学分析计量》2020 年第 3 期目次

### 标准物质

丙酮中除虫脲溶液标准物质研制曹进喜

乳粉中黄曲霉毒素 M1 残留标准物质研制

### 分析测试

空气辅助分散液液微萃取 - 数字成像比色法检测水体中阴离子表面活性剂

电感耦合等离子体质谱法测定三水铝土矿中的 15 种有效稀土元素

超高效液相色谱法检测土壤中硝基咪唑类药物残留

有机元素分析仪测定丙烯酸 - 衣康酸共聚物中衣康酸的含量

电感耦合等离子体发射光谱法测定高纯铝中硅

LC-MS/MS 法测定大鼠血浆中人参皂苷 Rb1 的含量及其药代动力学研究

锂盐 - 铈镍试金 - 等离子质谱法测定黑色页岩中铂族元素

气相色谱 - 质谱法同时测定土壤中的 4 种丙烯酸酯类农药

微波消解 - 电感耦合等离子体发射光谱法测定土壤中的硫

固相萃取 - 液相色谱 - 质谱法测定益母草中 7 种真菌毒素

电感耦合等离子体发射光谱法测定二硼化钴中 26 种杂质

硫化物标定方法的改进

抑制褪色光度法测定油炸面制品中痕量铝

顶空 - 气相色谱法测定葡萄糖氯化钠注射液中 12 种溶剂残留量

热解析 - 气相色谱法测定印刷品中总挥发性有机化合物释放量

分散固相萃取 - 增强型去除脂质 - LC-MS/MS 法测定衣物洗涤剂中的马来酸二乙酯

双通道原子荧光光谱法同时测定土壤中的砷和汞  
气相色谱法测定密闭空间空气中 7 种苯系物

### 样品处理

废弃线路板化学分析采样、制样及检测方法

### 计量技术

基于液相色谱原理的黄曲霉毒素测定仪校准方法

### 实验室管理

鸡蛋中氟虫腈能力验证样品单元内与单元间均匀性评价案例与模型分析

药代动力学实验室液相色谱串联质谱仪期间核查方法的建立

### 仪器设备

复合式气体报警器检定装置的研制

可移动式微量氧分析仪检定装置研制

### 不确定度

芥子气纯度测定不确定度分析与评定

电感耦合等离子体质谱法测定镍基高温合金中磷含量的不确定度评定

### 综述

氧弹分解 - 原子荧光法测定煤中汞的研究进展

铁矿石、锰矿石和铬矿石取样和样品制备技术概况