

doi: 10.11823/j.issn.1674-5795.2018.05.01

计量性及计量性设计

周自力¹, 李太景², 于亚楠², 张鹏², 陆迪泉³, 唐伟³

(1. 中国航空研究院, 北京 100029; 2. 航空工业北京长城计量测试技术研究所, 北京 100095;
3. 军委装备发展部技术基础管理中心, 北京 100035)

摘要: 从测量的对象分析入手, 比较了《计量法》、《国防计量监督管理条例》和《中国人民解放军计量条例》, 提出了测量的计量性问题; 通过对美军标 MIL-STD-1839D《美国国防部校准和测量要求》的分析, 为确保系统运行的一致性和准确性, 提出了必须开展计量性设计的研究工作; 最后, 基于系统、便捷、快速的计量保障保证系统始终处于良好技术状态的前提下, 提出了计量性设计方法和设计原则。

关键词: 计量性; 计量性设计; 量值定义; 量化; 优化; 固化

中图分类号: TB9

文献标识码: A

文章编号: 1674-5795(2018)05-0001-04

Metrology and Metrology Design

ZHOU Zili¹, LI Taijing², YU Ya'nan², ZHANG Peng², LU Diqian³, TANG Wei³

(1. China Institute of Aeronautical Research, Beijing 100029, China;

2. Changcheng Institute of Metrology & Measurement, Beijing 100095, China;

3. Technical Basic Management Center of the Devision of Equipment Development of the Military Committee, Beijing 100035, China)

Abstract: Starting from the analysis of the measured object, the metrology law, the regulations of the national defense measurement supervision and management and the Chinese people's Liberation Army measurement regulations are compared, and the measurement problems are put forward. Through the analysis of the US military standard MIL-STD-1839D "The calibration and measurement requirements of the United States Department of defense", in order to ensure the consistency and accuracy of the system operation and accuracy, the research work of metrological design is put forward. Finally, based on the precondition that the systematic, convenient and rapid measurement guarantee system being always in good state of technical, the metrology design method and design principle are put forward.

Key words: metrology; metrology design; value definition; quantification; optimization; solidification

0 引言

当提及计量与测量, 检定、校准和测试的关系问题时^[1], 争论不休, 各执一词, 没有定论; 而在谈及计量与质量的关系时, 观点趋于一致。计量是质量的基础、计量是标准, 具有权威性, 不仅确保了测量数据的准确性, 还是提高产品质量的必要条件。可见, 计量的权威性在于数据的准确性, 为提高测量过程的数据准确性必须提出一个概念: 计量性。^[2-4]

1 问题的提出

《计量法》的研究对象是计量器具和计量标准的管理, 主要研究计量标准的建立和量值传递等问题。但《国防计量监督管理条例》发布后, 计量的外延扩大了, 其研究对象从计量器具和计量标准递进了到制造过程和试验过程的测试设备的管理。然而, 部分人对计量

的认知却仍停留在计量器具和计量标准的理解上, 认为测试设备或大型试验设施属于测试范畴, 不属于计量范畴, 只是按《国防计量监督管理条例》的要求对研制过程中的测量设备和测试设备进行管理。《中国人民解放军计量条例》将研究对象定义为装备和测量设备, 这种提法从装备计量保障的角度大家是认可的, 该条例将计量管理的对象从计量器具和计量标准提升至装备和测量设备上。计量的外延从《计量法》的计量器具和计量标准的管理进一步扩大至装备和测量设备的管理。计量的外延扩大了, 其内涵是否扩大了? 首先应明确计量的内涵是什么? 计量管理该如何做? 站在传统计量管理的理念上如何管理装备和测量设备?

针对以上问题, 开展了测量过程计量属性的研究, 即测量过程的计量性及其实现这种属性的有关问题的研究。

2 测量过程的计量性

计量是实现单位统一、量值准确可靠的活动。计量的主要工作有以下几个方面：计量单位与单位制；计量器具(或测量仪器)，包括实现或复现量值的计量基准、标准与工作计量器具；量值传递与量值溯源，包括检定、校准、测试、检验与检测；物理常量、材料与物质特性的测定；不确定度、数据处理与测量理论及其方法；计量管理，包括计量保证与计量监督等。以下从三个层面进行分析。

传统《计量法》研究的对象是计量器具和计量标准。第一，计量保证被测参数量值准确一致、单位统一、溯源有据；第二，严格按照测量不确定度的比值关系或量值传递图进行溯源或传递；第三，在管理上形成了一整套严格的法律法规，有效地保证了量值传递活动的正确性；第四，其所依据的工作文件是政府发布的有法律效力的规范或规程，是标准化的测量活动；第五，计量活动的环境条件受到严格控制，满足计量标准准确赋值的前提条件；第六，计量人员的素质和技能等要求较高并严格管理；第七，计量活动随时接受主管部门的监督管理，有利于按要求开展准确的量值传递工作。

《国防计量监督管理条例》中计量的研究对象是研制过程中的测量设备和专用测试设备或大型试验设施，计量管理需要针对研制过程建立计量师管理体系强化过程的计量监督管理。目前，在国防工业领域按照研制总要求，各型装备依据《国防计量监督管理条例》及配套法规，制定了计量保证方案，强化设计、制造、试验和使用过程中的计量器具和测量设备的计量管理，特别是针对试验过程出台了专用测量设备和大型试验设施相关计量管理办法，强化了研制过程的计量管理，对提升装备研制能力和水平起到了积极促进作用。即将计量以及计量管理的理念延伸至研制过程的相关测量活动的管理。

《中国人民解放军计量条例》中的计量对象改变为装备和测量设备。用保证计量器具或计量标准的技术和管理手段以及基于性能指标的保障理念，保障装备在使用阶段处于良好技术状态。为此，加强装备全寿命各阶段系统性计量保障方案的建立并强化计量监督管理。不仅要加强测量设备和计量标准的管理，更需加强装备或测量设备的计量保障。也就是说装备以及测量设备从设计到使用各阶段，都要按照计量的理念建立有利于装备使用阶段的系统计量保障的管理理念。

总之，原本计量是在严格的实验室环境下，按照规程或规范所要求的测量程序，经过反复验证保证测量结果的准确性。在研制生产过程测量数据的有效性如何保证呢？也应该按照计量标准器具的严格管理理念，对研制生产过程中计量标准、测量设备、专用测试设备和大型试验设施，进行测量数据的有效性管理，即“计量性”管理。同样，加强装备全寿命各阶段系统性计量保障方案的建立，并强化对装备和测量设备按照“计量性”要求进行计量管理，保证装备和测量设备的测量数据有效性。其实质为“测量过程的计量性”，简称“计量性”。

我国传统计量管理有四大特性，即：准确性、一致性、溯源性和法制性，保证测量结果可重复、可复现、可比较。准确性是计量的基本特性，表征测量结果与约定真值的接近程度；一致性是统一单位下量值的一致程度，表征测量结果在给定条件下不确定度的可比较程度；溯源性是指任何测量结果都能通过连续的比较链溯源到计量基准或计量标准，是准确性和一致性的技术归宗；法制性是计量社会属性的法律保障，是技术手段之外的行政管理。这四大特性也是“计量性”的细化或表述，保证了测量结果的准确性、一致性、溯源性和法制性。

比照测量的国际定义：测量是通过实验获得并合理赋予某量一个或多个量值的过程。此处，①测量不适用于标称特性；②测量意味着量的比较并包括实体的计数；③测量的先决条件是对测量结果预期用途相适应的量的描述、测量程序以及根据规定测量程序(包括测量条件)进行操作的经校准的测量系统。

由定义可以看出，测量的本质是量的量化，测量体现了人们对测量结果的认知程度。测量的先决条件：某量的量值描述、量化的方法及所包含的边界条件、所选用的满足溯源链要求的经校准的测量设备。所以，测量的基本要求与计量性要求是一致的，其核心内涵都是量的合理赋值。

研究美军标 MIL - STD - 1839D《美国国防部校准和测量要求》(以下简称 1839)时，可发现我国测量人员和管理人员常把该标准当作测试性标准，而其测量的准确性和溯源性却没有得到足够的重视。美军标 1839 系列标准是计量性要求，各章节都涉及系统、子系统和测量设备的校准和溯源方法，非常重视测量数据的计量特性。其研究对象包含了装备和测量设备，也包含了研制过程和试验过程中的计量标准、测量设备、专用测试设备和大型试验设施等，回答了测量过

程的计量问题。

3 计量性通用要求

1839 系列标准的核心是构建清晰完整的溯源链,将产品所有性能参量按照溯源性要求溯源到被批准的国家或国际标准。构建装备和测量设备性能指标从设计、生产、试验到使用全过程各阶段参数流程图,形成性能指标的量值定义、测量设备的校准、校准设备的检定、溯源到国家标准的完整链条,使装备和测量设备满足计量特性的管理要求,尤其是复杂环境条件下测量的准确性和复杂系统参数的溯源性,最终确保系统运行的一致性和准确性。

标准第一章“目的”：“本标准是所有系统、子系统和设备的校准和测量溯源方法的总要求,本标准中的系统均指系统、分系统和设备。本标准确保系统操作的完整性和准确性。标准规定了从系统级的测量溯源到国家标准技术研究院或别的测量源头的要求。”标准第二章列出的八份支持性文件均为溯源性文件。

标准第四章“通用要求”,要求设计单位应当确保在整个寿命周期内,对系统和设备完成以下四项内容:①为确保系统正常而精确地运行需测量的所有参数都应当确定下来,即“参数的完整性指标”;②维持系统良好运行所需的校准和测量活动都要完成,并且,这些活动应当在所有相应的系统和子系统级别上完成,同时应当恰当地综合生成总的系统要求,即“参数的系统性指标”;③所有的参数都应迅速可达并易于测量,同时尽可能地减少测量次数、缩短测量时间,即“测量或校准的便捷性指标”;④所有系统和子系统参数的测量溯源性,即“性能指标的溯源性指标”。

这四项要求实际是系统和设备的计量总要求及其评价指标。提出了系统性能测量与校准的总原则:为确保系统正常而精确地运行需测量的所有参数且所有参数都应迅速可达并易与测量。

标准第五章“要求细则”分为四大部分:系统测量参数;机内测试及机内测试设备;系统测试点;测试、测量和诊断设备。

5.1 系统测量参数主要要求确保系统性能条件下的参量的定义与区分。

5.2 机内测试(BIT)及机内测试设备(BITE)主要针对日益广泛使用的“BIT”和“BITE”并没有改变对参数校准的需求,用于定量测量或提供既定激励的“BIT”和“BITE”和其他保障设备一样都需要进行校准。如果没有校准,就不能维护系统的溯源性,超出容差的情况

可能不会被发现。不经校准的“BIT”和“BITE”可能会使错误被拒绝的概率提高,从而导致那些好系统进行不必要的重复工作,更糟的情况是可能错误接受超出容差的状态出现,从而导致系统在任务尚未完成时却错误地认为任务已经完成。

5.3 系统测试点是对校准测试点提出了几个评价指标。系统测试点应该做到校准对系统的干扰最小、校准对校准人员完全风险最小、校准期间引起设备故障的概率最小、校准效率尽可能的高。

5.4 测试、测量和诊断设备(TMDE)通过 5.4.1 推荐 TMDE、5.4.2 保障 TMDE 的 TMDE 和 5.4.3 测量不确定度比的要求提出了构建不间断溯源链的相应要求,并对 5.4.4 自动测试设备(ATE)进行了设计规范。

综上所述,1839 系列标准是基于性能保障要求的装备和测量设备的计量性文件,是确保系统性能参数指标一致性和准确性的通用要求。同时还需要满足其使用便捷性和保障快速性等问题,需要从设计之初提出相应计量保障要求以及指标,并为此开展计量性设计的研究。

将作战要求转化为性能和保障指标,是美军“基于性能保障”的基本要求,性能和保障指标应包括装备战备完好性、可用性、响应时间等,这些保障要求始于设计。计量性设计就是研究装备或系统在有限计量保障资源的前提下,如何便捷快速保障其始终处于良好技术状态的一种设计特性。即产品或系统一旦交付使用,如何利用计量资源快速保障其在使用状态中处于良好技术状态。如果我们在设计和制造阶段按照某种计量保障模式进行有效的技术管理,掌握在使用过程中可能失准的系统或关键参量等,并及时准确地进行校准,从而保障其处于良好技术状态,这种设计称为计量性设计。

4 计量性设计

1839 系列标准提出了计量性通用要求,但并没有提出如何解决实现快速高效系统保障的设计方法。首先装备在设计阶段必须提出基于性能保障的指标要求;其次给出开展计量性设计的原则和方法,以保障装备在使用阶段所有状态的测量数据都经过量化、优化和固化的迭代而处于控制状态,从而保证装备处于良好技术状态。

测量是量化的手段,是设计的有效输入。对装备而言,首先需要描述或定义测量需求,全面梳理装备系统、分系统和测量设备的性能及指标,用计量参数

定义其性能指标和边界条件,用量值定义或描述的方法进行参量分解,按系统、分系统和测量设备构建参数流程图;其次,选用标准测量方法和设备对被测参量进行测量,进行设计-试验的反复优化和迭代;再次,用准确数据量化其物理状态,获取使用过程无需再测量校准的状态参数数据,优化设计固化状态。

计量性设计还应保证计量保障资源最小化。充分考虑使用方计量保障资源协同设计,匹配系统及系统间测量和校准设备进行标准化协同,校准时间间隔协同,包括机内测试及机内测试设备的配置和自动测试设备的设计等。

计量性设计流程:系统功能需求分析;参数量值定义;测量方法选择;参数流程优化;设计参数固化;优化固化迭代;内、外部测量点和参量设置。装备定型阶段设计优化应收敛至测量需求最小化。

计量性设计原则:所有参数量化原则;测量链最短原则;充分试验状态固化原则;保障参数指标和时间间隔标准化原则(含接口);保障参数最小化最优化原则;保障快速便捷原则;系统级保障原则;保障间隔期与保障维修级别协调一致原则;计量保障资源最小化原则等。

研制过程各阶段都需进行测量需求的优化设计和反复迭代。测量从来不是目的,只是手段,为保证系统性能状态,通过准确测量优化设计达到测量最小化的控制要求,试验的意义在于固化所有状态参数,实现设计要求和性能指标。按照量化—优化—固化的流程将测量和校准参量迭代至最少,满足使用过程快速便捷的计量保障需求。

计量性设计应保证装备在使用过程中技术状态始终良好,系统模型分析至关重要,构建测量模型或半

实物仿真模型,获得影响性能指标一致性和准确性的关键参量群,对系统相关试验数据进行研究,充分优化测量参量和校准参量,通过充分的试验将关键性能的状态参数固化为设计修正指标。这种“量化、优化、固化”迭代的设计方法就是获取装备处于良好技术状态的测量数据的常用方法,这就是计量性设计的方法。

5 小结

综上所述,计量性是一种针对测量过程的技术和管理属性,装备研制必须建立基于性能的计量保障理念,按照保障装备在使用阶段处于良好技术状态的理念,构建装备全寿命各阶段系统性计量保证方案,开展计量管理,使得测量满足计量性要求。同时,为实现使用阶段装备处于良好技术状态,必须从设计之初开展“量化、优化、固化”的计量性设计工作。

参考文献

- [1] 梁志国,吕华溢,张大治.专用测试系统计量校准问题讨论[J].计测技术,2017,37(2):1-5.
- [2] 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.
- [3] 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.
- [4] 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):1-7.
- [5] 全国人民代表大会常务委员会.中华人民共和国计量法[M].北京:法律出版社,2018.
- [6] 国务院,中央军事委员会.国防计量监督管理条例[Z].1990.
- [7] 中央军事委员会.中国人民解放军计量条例[Z].2003.
- [8] MIL-HDBK-1839A department of defense standard practice calibration and measurement requirements handbook[S].2000.

收稿日期:2018-06-12

作者简介



周自力(1964-),男,研究员。1987年,毕业于北京航空学院机械制造学院;2001年,于北京航空航天大学控制工程专业取得硕士学位;1986-2000年,从事圆光栅测角仪、光电雷达校准技术研究;2001-2005年,负责齿轮测量标准装置研究;2010-2014年,从事风力发电逆变器研、负责民用飞机数字化装配大尺寸测量基准网校准技术研究。多次承担国家级项目、发表多篇论文,并有“一种带有直线度分析的大尺寸校准装置”和“一种光束平行度和瞄准误差的检测方法”等多项专利。