

doi: 10.11823/j.issn.1674-5795.2019.03.18

大型试验设备全寿命计量性设计

张鹏, 李太景, 吕国义, 于亚楠

(航空工业北京长城计量测试技术研究所, 北京 100095)

摘要: 从大型试验活动中试验设备的特点入手, 本文分析了试验设备性能量值的溯源状况, 分析了针对试验设备开展计量性设计研究的必要性并提出了开展计量性设计的基本方法, 这有助于装备大型试验设备相关的管理者、设计者、试验者、使用者和维修者将计量性理念融入到自身工作当中, 实现用计量的手段将大型试验设备参量, 尤其是系统级的输出参量全部溯源到被批准的国家计量标准上, 最终实现对试验系统技术状态的有效掌控。

关键词: 大型试验设备; 计量性; 溯源

中图分类号: TB9; TP242

文献标识码: C

文章编号: 1674-5795(2019)03-0093-04

Measurability Design of Large-scale Test Equipment in its Lifetime

ZHANG Peng, LI Taijin, LYU Guoyi, YU Yanan

(Changcheng Institute of Metrology & Measurement, Beijing 100095, China)

Abstract: Starting from the characteristics of test equipment in large-scale test activities, this paper analyzes the metrological traceability of the experimental equipment, analyzes the necessity of conducting quantitative design research on test equipment and proposes the basic method of carrying out quantitative design, which helps the managers, designers, testers, users and maintainers involved in the large-scale test equipment integrate the metrological concept into their own work, and realize the measurement of large-scale test equipment by means of measurement, especially the system-level output parameters. Traceability to the approved national metrology standards will ultimately enable effective control of the technical state of the test system.

Key words: large-scale test equipment; measurability; traceability

0 引言

计量保障工作是保障装备技术状态的基础工作之一, 贯穿于装备(型号)的立项、方案论证、设计、生产、试验、使用以及维护保障的全寿命过程中。开展装备的计量性设计是协调和统一复杂武器装备系统的技战术性能和整体作战效能的重要工具和手段^[1]。

本文结合武器装备大型试验中所使用设备的具体情况, 开展大型试验设备(包括大型试验过程中所使用的全部计量器具、标准物质、通用测量设备、专用测试设备以及试验装置等)的计量性研究, 希望有助于涉及大型试验设备相关的管理者、设计者、试验者、使用者和维修者推进装备计量性设计理念在相关业务实践中的落实和自觉应用, 将大型试验设备试验参量尤其是系统级的试验参量全部溯源到被批准的国家计量标准上, 最终实现对试验系统技术状态的有效掌控。

1 大型试验设备的特点

大型试验设备是大型试验过程中使用的测量设备

的统称。试验过程中通过使用测量设备实现对试验件质量或性能的验证。本文中大型试验设备主要是指为完成大型试验活动所使用的全部设备, 包含计量器具、标准物质、通用测量设备、专用测试设备以及试验装置等, 是对大型试验活动中应用到的全部设备的统称^[2]。大型试验设备所获得的试验结果是否准确既是其自身性能的集中体现, 也是大型试验过程中测量结果的准确和在测量结果基础上实现准确试验动作这两部分内容的统一。大型试验由于涉及的保障因素多、试验内容难度大, 往往需要测量多个参量或多次重复测量, 对设备的可靠性、稳定性、一致性等保障要求更高, 计量保障业务工作量较大。对大型试验设备开展计量性研究是保障大型试验设备在试验过程中的测量准确并准确完成试验动作获取可信试验结果的基础, 对武器装备的设计验证、性能验证以及确切评价性能指标的试验有着重要作用。大型试验设备特点有:

1) 模型化程度要求高

大型试验涉及参量工况多半复杂恶劣, 试验设备

性能会受到诸如高温、高压、振动等恶劣环境影响,因此对试验设备的要求较高,需要将试验设备系统本身以及边界影响条件模型化,通过模型化将参量与性能指标进行关联,才能实现对试验结果的控制。

2) 结构复杂涉及专业广

大型试验设备系统组成复杂,各组成系统涉及专业广泛,需要多方面的专业支持和各系统协调工作才可保证试验的顺利完成。例如军用飞机试飞系统可以划分为19个(除飞机本体和发动机之外)子系统,包括飞控、液压、气压、刹车、燃油、救生等。

3) 复杂的系统工程

大型试验涉及大量的资源,保证试验设备良好的运行是一个复杂的系统工程。为了实现试验目的,试验设备、系统的构建过程中往往是设备、系统多级嵌套,相互间的关联影响因素复杂,围绕试验项目需求,基于可控资源,往往需要运用系统论的方法和手段构建试验设备、系统,以求得性能优化。

2 大型试验设备性能溯源基本现状

针对大型试验活动中应用的设备、系统进行量值溯源保障工作,保证大型试验设备性能正常并能够精确运行,目前还欠缺明确的、系统化的规范性文件作为支撑。随着技术发展,对大型试验设备系统级运行状态的相关保障要求,不断在各种规范中出现,且随着时代的发展与认知的深入,在不断地向系统级保障的方向前进。只是这个发展过程还处于被动的、不系统的状态。

这其中最具有代表性就是1986年7月1日实施的《中华人民共和国计量法》,1990年4月5日国务院、中央军委颁布《国防计量监督管理条例》(54号令)和2003年7月9日中央军委主席江泽民签发颁布《中国人民解放军计量条例》等。

《中华人民共和国计量法》是我国计量领域的基本法律法规^[3],有“总则”“基准器具、计量标准器具和计量检定”“计量器具管理”“计量监督”“法律责任”“附则”六章内容组成,整体而言主要是针对计量量具和计量标准进行约束和规范。

《国防计量监督管理条例》(54号令)在《计量法》的基础上,通过第十七条的第三款和第五款、第十八条的第二款和第二十条的第一款明确地将专用测试设备和装置也纳入了计量的管理渠道^[4]。

《中国人民解放军计量条例》更是在上述基础上通过“第三条,军队计量工作的基础任务是按照计量法

律、法规和其他有关规定对装备和检测设备进行计量检定、校准,保证其量值的准确可靠和计量单位的统一^[5]”明确地将计量的对象扩展为装备和检测设备。并在其后的条款对装备或检测设备的计量保障进行了规范。

通过“计量法”、“54号令”、“计量条例”,逐次实现了将计量保障的对象从保障计量量具和计量标准——到专用测试设备和过程保证——到保障产品和测量设备的转变。这个过程的演变与跨越,同美军的美军标 MIL-STD-1839 系列^[6-7]对计量校准不断变化的轨迹相仿。只是在我国,这样的必然变化之间的联系是被动的、不系统的,也还是不彻底的。但在追求更高准确度、更高性能状态水平的过程中,这一变化是发展的必然结果。

此外,我国2003年颁布的《中国人民解放军武器装备管理工作条例》第八十二条规定:“装备日常管理应当实行科学化、制度化、经常化管理,保证装备达到规定的完好率,始终保持应有配备水平和良好的技术状态,保障部队随时执行各项任务^[8]”与2010年9月颁布的《武器装备质量管理条例》第三条规定:“武器装备质量管理的基本任务是依据有关法律、法规,对武器装备质量特性的形成、保持和恢复等过程实施控制与监督,保证武器装备性能满足规定或者预期要求^[9]”等对武器装备性能提出了明确要求,但是如何实现这些要求并没系统性的指导。

由于大型试验活动中应用的设备往往需要针对特殊参量进行测量和控制,在实践中存在大量的专用测试设备需要进行计量性能评定。由于测量结果的针对性强而且试验结果多是综合复杂参量,专用测试设备的计量特性需求往往也较常规的通用测量设备存在较大的差异。具体在实际工作中大型试验设备性能溯源现状是:常规通用测量设备利用现行的国家或国防计量体系通过量传或者比对就可以实现单位统一和量值准确的目的,但大型试验中应用的大量专测设备难以借由更高准确度的专用标准参量或综合参量标准器具实现量值溯源。

具体而言,目前大型试验设备的计量保障主要集中在三个方面:①所有参加试验的通用仪器仪表全部完成计量保障;②试验选用的传感器和相应的二次仪表全部进行了有效的溯源;③试验用专用设备、校准系统进行了有效的计量检查,实现了对其测试能力评估认可,对能实现计量检测的指标进行计量检测。

这些保障方法在事实上对保障试验结果的单位统

一和量值准确可靠起到了巨大的作用。但是并没有建立确保大型试验设备运行时性能状态的一致性和准确性的溯源保障方法。为了能够进一步掌控试验设备的性能和持续保持试验性能水平,需要对大型试验设备开展计量性设计。

3 大型试验设备全寿命计量性研究

大型试验设备的计量保障工作是保证大型试验活动中准确高效的重要基础工作,大型试验设备的全寿命期包含了立项、方案论证、设计、生产、试验、使用以及维护等阶段。针对大型试验设备的计量保障工作是一项复杂的系统性的工作,特别是面向复杂的专测设备、系统开展计量保障工作时,需要从设备、系统的构建过程即充分考虑其性能评价的需求,并建立必要的技术规范性文件给予指导。

大型试验主要是应用于测量或验证某一或多个参量。大型试验设备通过包含的全部测量设备测量试验过程中的相应数据,并依据测量数据完成相应的试验动作,实现大型试验测量或验证某一或多个参量的目标。

对装备产品、试验设备而言,计量性是其具备的一种属性^[10],是基于对功能性能参数量化、参数指标数值化、量值单位标准化、溯源渠道归一化等影响后续计量保障活动效率的设计工作目标的规划,是通过设计活动过程赋予设计对象的一种属性。大型试验设备计量性是确保实现大型试验结果数据准确一致可靠且实现其关键性能指标在寿命周期内向国家计量标准溯源的属性。

为了保障并不断提升大型试验的效率,保证大型试验设备的性能指标、提高试验数据的质量,需要从试验设备的计量保障入手、从提升设备的计量性着手,在试验设备、系统构建活动中不断改进设备计量性的设计工作。实现这一目标的步骤具体如下:

首先,需要设计单位在对试验设备进行设计之初就要考虑到性能指标溯源性的问题,紧紧围绕使用要求确定测量需求,将大型试验活动中对设备性能指标的要求转换成相应的具有明确定义的物理参量,同时还要分析出该物理量所需要的特性、范围和满足试验需要的不确定度范围,将目标需求转换成以特征参量为辨识的可以明确量化为精度范围或一定不确定度要求范围内的数值参量,实现量值定义需求、精度决定边界的量化认知需求的效果。

其次,对于已经量化的特征参量要确保实现准确

测量,确保试验结果的准确一致和量值溯源。这需要在设计制造试验设备的过程中同步论证计量需求,包括同步配套研究试验设备配套的测量/校准设备、测量/校准方法、测量数据处理算法以及其他影响测量结果因素的控制方法。其中最关键的计量需求是大型试验由试验目标需求转换成的特征参量后的溯源需求。试验设备的特征参量是反映试验需求的物理量,是设计试验设备完成的试验目标,是由试验输入经过试验设备得到的关键试验输出。分析试验设备特征参量的溯源,需要科学地分析试验设备,将其按系统层级划分为系统、子系统、部件,并明确各层级之间的关系。借助科学手段分析内在系统模型,建立起输入输出关系,评价输出特征参量的不确定度,认定在满足既定不确定度要求的前提下,特征参量的溯源路径。

最终按照系统划分的层级,将输入参量划分至部件级或有明确输入输出关系的子系统,此时可以将输入参量纳入现行计量体系,按照一定的不确定度比溯源到国家标准或其他被国家批准的计量标准上。

通过试验目标(系统性能)、试验测量参量(试验输出参量)、系统模型、试验设备特征参量(试验输入参量)、计量标准器具,构建一条清晰完整的链条,确保实现性能指标按照一定不确定度要求的溯源,通过对链条中每个环节的数据控制,完成掌控大型试验设备性能的目的。尤其是分析溯源链中对系统性能影响权重最大的输入参量为主要保障参量,开展对主要保障参量的定期检定与校准,实现对系统性能的定期保障,保障周期则可以结合参量自身失效时间和其可靠性情况商定。

在试验设备、系统的构建设计基础上,设备的生产定型过程也应注重对设备本身计量性的实现与评估认定,这个过程中最主要的任务是要充分实现控制系统性能溯源链上每个环节数据,以便保障对试验设备的性能状态的掌控。具体来说就是在试验设备的研制、生产、定型过程中要用实物固化溯源链,需要考虑溯源链中各环节需要保障的数据能够计量,留有计量接口以及配套的计量保障方案和设备,并对接口与保障设备尽可能实现归一化设计,使计量保障成本最低、效率最高。

在维护和使用操作试验设备的活动中,从保持和改进设备的计量性的角度,使用方应努力做到按照供应方提供的主要保障参量和参量保障方法使用配套保障设备,进行定期检定校准,维持试验设备输出数据的不确定度持续保持在一个预期范围内。并且承制方

和使用方应共同建立计量保障数据库，记录试验设备在使用过程中的计量保障相关数据，为装备技术保障采集提供必要的信息，不断累积计量保障的技术与管理相关数据。维修过程最终是要实现恢复性能的目的，按照性能溯源链的线索维修可以抓住故障源头，快速解决相对应性能故障表征的问题。

4 小结

大型试验是武器装备研制过程的一个重要环节，是评价装备复杂系统质量的重要方法，是武器装备正式使用(运行)的预先演练。试验过程中，试验设备(特别是大型的试验设备)性能的准确直接影响到试验的结果和评价。通过对大型试验设备开展可计量性设计，从而保障大型试验最终试验结果数据的准确可靠与量值一致，是一项重要的工作。

大型试验设备的可计量性研究不仅要研究计量保障接口效率等问题，更要从保障试验结果的准确一致性的角度开展研究，确保掌控试验过程中的所有状态，使大型试验设备始终保持应有配备水平和良好的技术状态，具备随时执行各项任务的能力。

参 考 文 献

[1] 北京长城计量测试技术研究所.《装备可计量性设计研究》

研究报告[Z]. 2011.

[2] 航空航天部 203 所. GJB 1309 - 1991 军工产品大型试验计量保证与监督的要求[S]. 1991.

[3] 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.

[4] 国防计量监督管理条例[S]. 1990.

[5] 中国人民解放军计量条例[S]. 2003.

[6] MIL-STD - 1839D Department of Defense Standardpr Actice Calibration And Measurement Requirements[S]. 2010.

[7] MIL-HDBK - 1839A Department of Defense Standardpractice Calibration and Measurement Requirements Handbood[S]. 2000.

[8] 中国人民解放军武器装备管理工作条例[S]. 2003.

[9] 武器装备质量管理条例[S]. 2010.

[10] 周自力, 李太景, 于亚楠, 等. 计量性及计量性设计[J]. 计测技术, 2018, 38(5): 4 - 7.

收稿日期: 2018 - 04 - 01

作者简介

张鹏(1985 -)男, 工程师, 硕士, 主要从事热学计量和计量自动化工作。



《计测技术》受邀参加第一届动态测量国际学术研讨会

本刊讯 2019 年 5 月 28 日至 29 日,《计测技术》参加了第一届动态测量国际学术研讨会。此次会议在北京召开并取得圆满成功,来自英国、德国、乌克兰及国内知名计量技术机构、科研院所、高校、企业的 120 余名专家和代表参加此次会议。会议围绕动态测量技术的重要突破及其在航空、高铁、汽车等领域的应用情况进行了分享和交流,共有 11 名中外专家在会上做专题学术报告,并通过网络媒体进行全程直播。

此次会议凝聚了动态测量研究领域的科研力量,扩大国际影响力,巩固与国外计量技术机构的交流成果,使国内外更好地在相关领域开展技术交流与合作。《计测技术》将邀约与会专家合力完成"动态力与多分量力专辑",为进一步打造以动态测量为品牌的国际高端计量专业技术平台做出贡献。

