

doi: 10.11823/j.issn.1674-5795.2017.03.01

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

梁志国, 吕华溢, 张大治

(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: 以质量控制观念及大数据管理为视角, 阐述了计量性的概念、意义和价值, 指出了计量性实质上就是产品状态参量的可激励性、可控制性和可观测性。按照技术目标与能力要求, 将计量性划分为 5 个不同的技术等级, 以贯穿从产品的设计制造到使用维护的全寿命过程。讨论了计量性对提升产品成熟度的作用。

关键词: 计量学; 计量性; 可激励性; 可控性; 可观性; 可测量; 大数据; 校准; 溯源

中图分类号: TB9

文献标识码: A

文章编号: 1674-5795(2017)03-0007-06

Measure Ability is the Foundation of Both the Complex Products State Control and Big Data Managing

LIANG Zhiguo, LV Huayi, ZHANG Dazhi

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

Abstract: In view of quality control and big data managing, the measure ability is discussed, including the concept, meaning and value. In fact, the measure ability is all of the stimulation ability, controllability and testability of products. According to the technical target and ability requirements, the measure ability is divided into 5 technical levels. They run through the design, manufacture, and application, the full life of products. Finally, in the course of upgrading the quality of products, the effect of measure ability is presented in detail.

Key words: metrology; measure ability; stimulation ability; controllability; testability; measurable; big data; calibration; traceability

0 引言

工业产品的质量控制与技术成熟度提升一直是困扰我国产业界的主要瓶颈之一, 对于复杂工业产品尤其如此。例如: 航空发动机由众多零部件构成, 且工作在高温、高压、强噪声、动载荷的恶劣环境条件下, 属于极为复杂的工作系统, 有着众多的技术指标和参数。其产品质量、性能如何定量评估和控制, 技术成熟度如何进一步提升, 一直是主要关注点。科研人员从材料、工艺、结构、原理等不同技术层面想了许多办法, 以解决高温、疲劳、振动等方面的问题, 以求提高发动机的功率、效率、推重比和疲劳寿命, 降低其振动、噪声、故障率、维护难度与成本。

实践证明, 全寿命周期的技术状态控制与管理这

类复杂工业产品的是发现技术问题、提高其产品质量、性能和技术稳定性的有效手段。但是, 如何实施技术状态控制和管理却是一个复杂而艰难的过程。原因是: ①复杂工业产品的零部件众多, 工况条件变化多端, 因而其技术状态所涉及到的物理量种类较杂, 几何量、热学量、力学量、电学量、光学量、化学量等均可能涉及; ②有众多状态量值, 如何控制和管理, 怎样才能达到最佳, 绝非轻而易举。因此, 针对这类复杂系统建立数学物理模型成为必然之选。

在各种技术状态条件下的系统模型预期结果值是需要预先设计和定量确定的, 而在实际工作及试验过程中, 各种不同技术状态参量的数据值构成的数据流和数据变化规律与趋势, 则完全展现了产品的技术状态及其变化规律, 构成了产品设计和试验的核心。它们与产品的数学物理模型预期值之间的差异大小, 即体现了产品的性能、质量、技术成熟度的高低。对这些海量数据的挖掘、统计、分析、管理、应用与完善的过程, 即是产品的性能、质量、稳定性及技术成熟

收稿日期: 2017-01-16

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。

度不断提升的过程。

然而,针对一款实际的产品,其不同条件下技术状态数据的测量与获取,有一些是比较容易的,例如输入、输出特性(外特性),而另外一些则非常困难(如内部状态参量),甚至是不可能的,由此,引出了产品的可计量性问题。其实质上是产品技术状态的可控性与可观性问题。

产品全寿命周期的计量性设计手段为解决该问题提供了一种有效的思路和技术途径^[1~17]。本文后续内容,将主要阐述产品的技术状态控制与大数据管理引出的可计量性问题,实践证明,这是产品质量提升和保障极为关键的问题之一。

1 产品及质量的含义

简单地说,产品就是生产出来的物品。其定义是“一组将输入化为输出的相互关联或相互作用的活动的结果”,也即“过程的结果”。广义的产品为“能够提供给市场,被人们使用和消费,并能满足人们某种需求的任何东西”,包括有形的物品、无形的服务、组织、观念,以及它们的各种组合。

工业产品则被定义为“工业企业生产活动所创造的、符合于原定生产目的和用途的生产成果”。

质量的定义为“一组固有特性满足要求的程度。”

技术成熟度是指技术相对于某个系统而言所处的状态,它实际上反映了技术对于某个具体系统而言所处的发展状态,反映了技术对于预期目标的满足程度。技术成熟度等级是指对技术成熟度进行度量评测的一种标准,1989年由美国NASA提出,始分为7级,1995年修订为9级,可用于评价特定技术的成熟程度,也可以判断不同技术对目标的满足程度(见表1)。

从技术成熟度列表中可以看到,多数成熟度等级的区分、验证、评定等均需要通过实验测试来获取定量特性的实验结果。由此可见,产品技术状态参量的可控制性与可观测性的重要意义与价值(没有状态参量的可控性与可观性,实验将无从谈起)。

实际上,工业产品是一种可以满足人类某种需求的实体,其实质是一种有明确输入、输出特性的功能模型。该模型的参量具有时变性、因果性,其影响遍布产品从设计研制到报废的全寿命周期,并在全寿命周期中均可能产生变化,从而影响产品功能的实现以及性能的发挥。

表1 技术成熟度等级

等级	技术成熟度特征
1	观察到基本原理或看到了基本原理的报道;
2	提出了将基本原理应用于系统的设想;
3	通过分析和试验对关键功能和特性进行了概念证明;
4	原理样件通过了实验室环境验证;
5	演示样机通过了模拟使用环境验证;
6	系统/分系统的原形样机通过了模拟使用环境验证;
7	系统的工程样机通过了典型使用环境验证;
8	实际系统完成,通过测试和演示验证了系统“总体合格”;
9	实际系统通过多次成功执行任务得到验证。

产品的质量优劣主要体现在其功能模型参量准确度及稳定性的高低;产品的性能优劣主要体现在其功能模型参量量值的状况;产品的技术成熟度的高低主要体现在其功能模型参量间的匹配程度优劣以及稳定可靠的程度。

一款产品的设计研制过程是一个不断优化迭代的过程,是在具有明确定量描述的输入、输出特性参数基础上,经过①系统设计;②功能及性能试验;③设计要求是否被满足的分析评估。在不满足预期设计要求时,需要调整设计参量,重新进行①,②,③所述的过程,经过如此循环往复,不断迭代的寻优过程,最终在设计要求被满足的情况下,固定其设计参数及条件为产品的定型设计参数及工艺条件,从而完成一个完整的设计过程。

由此可见,在产品的设计发展过程中,产品功能模型参量及各种试验数据的特性与变化规律的重要性。

整个试验过程的目标即是确定、采集、分析、分类和存储数据,以便开发出为达到试验目标所需要的数据产品。在该过程中,数据流和完整性将由数据管理计划控制。该计划将跟踪负责产生每一个数据项目是如何记录和存储的,对其进行快速分析、验证与控制。在该项试验结束后立即对数据进行录入、存储、处理,以及进行与预期目标模型数据的符合性验证,最终并入一个统一的数据库之中,以便进行后续的数据管理和使用。

通常认为,工业产品有内在参量和外部参量;有固有特性参量和响应特性参量。若考虑到制造和使用过程,还可以有过程参量和结果参量,这些全部属于

功能模型参量。这些参量完全体现了产品的技术状态及质量水平。

以往,人们只重视新产品出厂和购置时的外部参量、结果参量、固有特性参量,对于其内在参量、过程参量、响应特性参量则重视不足,造成一些复杂产品的性能较低、质量不稳定,被称为“技术不成熟”。实质上,是其功能模型参量的控制与管理存在不完善的缺陷造成的。引入计量性设计理念和思想,有望解决这类问题,特别是对于复杂工业产品的技术状态控制及大数据管理,其为必然之道。

2 计量性定义

产品的计量性,可以认为是其功能模型参量溯源性的工程属性,即参量计量在工程上的可实现性。包括功能模型参量及其影响量的可激励性、可控制性、可观测性和溯源性。通常也被称为可计量性。

可激励性,指每一个被列入计量对象的产品激励响应类模型参量,拥有明确有效的激励输入路径通道和物理结构,能将计量所需要的物理量值加载到所需激励的位置。

可控制性,指计量产品模型参量时所需要的条件、状态、握手信号、指令控制接口,均能有效控制和设定,以便能在所需要的状态实施计量操作。

可观测性,指每一个被列入计量对象的产品模型参量,拥有明确有效的响应输出路径通道和物理结构,能对所需要的物理量值和变化过程进行有效观察与测量。

按照不同的技术目的要求,可以将产品的计量性划分为5个不同的层级水平。

第1层级,也是最基本的层级,应该是产品的输入、输出特性中的计量特性的可激励性、可控性、可观性、溯源性;它只涉及到产品外特性的基本计量特性参量,可以保证产品在使用中的计量特性一直能够有效溯源。

第2层级,是在满足第1层级要求的基础上,产品的一部分重要内在特性参量的可激励性、可控性、可观性、溯源性;该部分参量主要涉及产品的易损件和关键件等主要环节与薄弱环节。它不仅保证了产品在使用过程中的溯源性,而且可以保证产品在使用过程中的健康状况一直良好。

第3层级,是在满足第2层级要求的基础上,产品的全部特性参量的可激励性、可控性、可观性、溯源性;它不仅保证了产品在使用过程中的溯源性及健康状况良好,而且几乎可以保证产品在使用过程中不

出任何意外。

第4层级,是在满足第3层级要求的基础上,产品的制造过程中的部分过程控制参量的可激励性、可控性、可观性、溯源性;该部分参量主要涉及产品的复杂、脆弱、关键件和关键工艺等主要环节与薄弱环节。它不仅保证了产品的使用性能,还将有效提升产品质量。

第5层级,是在满足第4层级要求的基础上,产品的制造过程中的全部过程控制参量及影响量的可激励性、可控性、可观性、溯源性;它不仅保证了产品的卓越性能和质量,还将能够制造出顶级的高质量产品。

前3个层级仅仅涉及到成品的模型特征参量的计量性,而后2个层级已经将计量性拓展到产品的制造过程。虽然执行是自制造过程起,但其思想、原则、设计方案实际上从产品的概念形成阶段就已经出现,贯穿于产品的全寿命周期。否则,将无法使其具有良好的计量性。

由此可见,完全的计量性设计是使产品全部功能模型参量及其影响量,均具有可激励性、可控制性、可观测性和溯源性的技术设计。该特征贯穿于成熟完善的工业产品的设计、试验、制造、使用维护及报废的全寿命过程。在不同的生命阶段,将面临不同的功能模型参量。

产品功能模型参量及其影响量的可激励性、可控性、可观测性特征是复杂多样的,一些参量可能仅在制造过程中是可控的,在制造完成以后便固定不变而不再可控了。另外一些则相反,仅在制造完成之后才存在和可控,在制造过程之中尚未完全形成。而也会有一些在全寿命周期内均是可控的。观测性也是如此。

一些参量可以同时存在可控制性和可观测性,而另外一些功能模型参量的可控制性与可观测性不能同时存在。

可观测性不仅与产品的功能模型量值密切相关,也与所采用的技术手段密切相关,在一种技术条件下不可观测的量,在另外一种技术下也可变成可观测量。可控制性也是如此。由此可见,计量性设计工作,将构建所有功能模型参量及其影响量之间的因果关系模型,以便使用合适的技术手段对这些参量的量值进行调整、观测和控制。从而为复杂工业产品的技术状态控制提供技术基础和定量的量值依据。

通常只在产品完成后,具有了完整的模型功能,才具有可激励性,没有形成完整的模型功能时,激励

响应特性缺乏使用价值。

在所有产品质量管理与控制中,其核心是完整明确的定量产品特性要求。然后以明确的数学物理模型限定这些不同的特性量值之间的因果性、关联性和稳定性。人们用各种不同的环境试验与工作试验,以实际观测其特性量值是否满足预期要求。没有明确的定量特性要求的产品,无从谈质量。

我国复杂工业产品的性能不高、质量不稳定、技术成熟度不高,根本原因在于:这些产品的设计定型过程不完善。它们或者未能进行如①,②,③所述的设计迭代过程,或者虽然有设计迭代过程,但由于产品技术方案缺乏计量性设计理念,很多参量在整机试验时已经没有可观测性及可控制性,导致产品的功能模型数据参量试验不够全面和充分,总也无法提升其性能稳定其产品质量。

在大规模生产制造和使用过程中,经过良好计量性设计的复杂工业产品,全寿命周期中的功能模型参量的收集、保存、整理和大数据分析,将对该产品的质量瓶颈、技术关键、易损件和薄弱环节,均能给出定量的统计分析结果,从而为提升产品性能、提高产品质量、增强其技术稳定性、降低生产成本等,提供有效的技术依据。

反之,若缺乏计量性设计方面的考虑时,一些功能模型参量不具备可观测性,其给产品的功能、性能、质量方面造成的影响不能定量给出和定量控制,将造成质量不稳定、性能低下,即使该参量具备可控制性,也缺乏对其调整控制以提高产品质量的数值依据,无法改善和提高产品的性能和质量。

因而,可以认为,计量性设计是复杂工业产品技术状态控制及大数据管理的必要前提和有效技术手段。

3 计量性的作用

3.1 计量融入生产与制造过程

具有了可计量性设计理念和原则的产品,能够在实际生产制造和使用过程中带来较大益处。其中之一是计量介入生产过程。

计量融入生产与制造过程,并实现过程计量控制将改变生产工艺流程,从而更加有利于自动化的现代化生产制造的实现,对于降低成本和提高效率具有极为重要的意义。图1为典型的机械加工工序流程图。

它是以“制造+检验”方式完成每一道工序流程的,被制造的工件在完成每一道工序之后,需要进行检验,以判定是否合格,合格者进入下一道工序,否则报废。

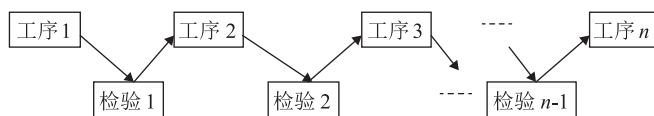


图1 典型的机械加工工序流程图

从图1可见,工件加工的上一个工序和下一个工序之间,并不直接连贯,需要嵌入一个检验工序,当检验“合格”后才允许进入下一道工序,它是保障加工质量的基本环节,同时导致工件的加工过程不连贯,即提高了成本,又无法实现自动化加工。很难提高效率和适应大规模复杂工件的现代化生产和制造。

计量融入制造业后,通过掌握制造过程中各个物理量值参数与产品量值指标参数之间的因果对应关系,以量值溯源手段对制造过程中的条件量值进行精密控制和实时调整,以便令生产出的产品和工件直接符合要求,其间,将以对每一道工序的加工设备的量值计量校准和控制代替检验工序,使得按此方式加工出的工件“必然”合格,从而取消检验环节,形成如图2所示的工件加工工序。

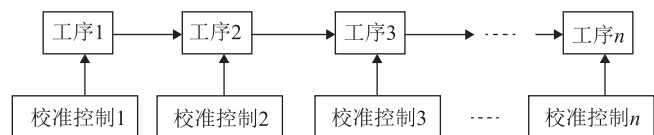


图2 计量融入制造过程的典型机械加工工序流程图

从图2中可见,它将使得加工工序变得连贯,极易实现自动化加工,并且对于调整、合并、细分工序极为有利。将极大提高劳动生产率,极大提高加工控制精度。更加适应高效、复杂的现代化大规模生产和制造的需求。

首先,它不单纯是一个计量问题,还涉及制造工艺流程和条件控制模型问题,由于每一个产品或零件加工及要求的不同,均会导致其工艺条件要求的不同,并无先验知识,需要计量部门和生产制造部门联合开展研究予以解决,其后制定校准规范和工艺流程,寻找并确定合格判据,以确认条件参量的控制准确度和分辨力。最后,以计量手段对最终指标和参数进行计量校准,以保证产品的终极质量。

融入制造产业的计量模式实质上是一种过程计量和过程控制模式,其优点是效率高、工艺流程简捷,适宜复杂产品和工艺的现代化大生产;其缺点是需要计量深度介入产品的制造过程,需要对产品制造过程中的控制条件量值及参数进行深入全面的研究,并重新制定合适的工艺流程。面临的问题是该工作的难度

非常大，既缺乏研究成果，又与传统的制造业习惯做法相背离。如何解决这一问题？首先，可望其在信息产业、信息电子、微纳米等新兴产业中得以实现，然后，再逐步过渡到传统制造业中；其次，可以在发动机等制造难度巨大且一直没能取得技术突破的领域内率先进行试点，将有望解决困扰我国发动机技术与进步的技术瓶颈。

3.2 计量面向产品全寿命周期

拥有计量性的产品，同时拥有了面向产品全寿命的计量模式，其主体思想是计量贯穿于产品的概念阶段、预研阶段、设计阶段、试验阶段、制造阶段、使用维护阶段、报废阶段等全寿命过程。

它是对融入产品制造过程的计量模式的进一步拓展，其优点是对产品全寿命计量过程和特性进行总体设计，明确了不同阶段的计量要素要求，有利于及早发现计量问题，以免影响和制约产品质量；缺点是对于每一种类的产品，其全寿命计量模式均需进行专题研究，然后进行系统设计、试验、验证，以最终给出计量校准流程和解决方案。所面临的问题依然是该问题复杂繁琐，需要计量部门和产品的研制部门联合解决。表2表述了面向产品全寿命的计量模式的一种过程。可见，计量性在其中的重要意义和价值体现。

在产品的整个全寿命周期阶段中，为了保证产品的性能参数量值准确一致，实现测量溯源性和检测过程受控，确保产品始终处于良好的技术状态，需要在每个阶段对产品进行计量论证和计量保障。同时，计量论证和计量保障也有利于实现产品的成本控制，从而提高产品的经济效益。

计量保障是为保证产品性能参数的量值准确一致，实现测量溯源性和检测过程受控，确保产品始终处于良好技术状态，具备随时准确执行预定任务的能力，而进行的一系列管理和技术活动。计量保障的质量和效率直接影响到测试设备和产品的质量和使用效率。

4 讨论

当今社会是信息化社会，信息爆炸是其特征之一。几乎每一个人都在关注和谈论大数据，讨论所谓大数据的挖掘、分析、应用，以求获得成功。但是什么是大数据？它从何而来？又向何处去？

首先，大数据应该是一种理念和处理事务的方式，是试图从群体无意识的海量行为当中，以统计分析方式找出其内在行为准则和行为规律，主要是以随机

表2 面向产品全寿命周期的计量模式

产品生命阶段	全寿命计量运行模式	解决的问题
概念阶段	可计量性原则； 考虑所提指标性能在技术上是否已经可以计量和验证； 若不能计量验证，将无法证明指标是否达到；	技术指标是否可以计量，过高的指标无法计量确认；
预研阶段	可计量性试验； 以计量技术指标方式进行性能试验和验证；	技术指标是否可以达到；
设计阶段	可计量性设计； 主要考虑所需全部性能是否预留计量校准物理通道和控制接口；	使用维护过程中可以有效计量溯源；
试验阶段	可计量性验证； 试验样机的设计指标和功能是否方便计量校准的试验验证；	使用维护过程中可以有效计量溯源；
制造阶段	可计量性制造和保障； 产品的设计指标和功能是否获得有溯源性的计量保障；	产品性能指标保证；
使用维护阶段	可计量性实施； 周期性计量校准；	使用维护过程中可以有效计量溯源；
报废阶段	从计量角度判定是否达到报废标准要求。	报废技术判据。

过程的方式对待世间事物的一种思想，力求避免偏颇和局限。

其次，整个社会就是一个大数据库。但是，不同问题、不同事物、不同主题，又都有着各自相对独立的子数据库，需要大家共同建设和完善。

最后，大数据的采集、存储绝非个人行为，也不仅仅是一些资讯公司的组织行为，而是一种全社会的群体行为。目前，多数与大数据有关的论题都是从公共互联网、各类文献数据库上收集与获取信息，另外，一些则依靠社会调查、社会普查，以信息调查表的方式进行信息采集。还有一部分依靠年度报告、报表等方式形成。对社会现象，这些做法无可厚非，但对于科学研究以及工程实践而言，则显得远远不够。

有关科研工作的过程数据以及结果数据，理应专门及时采集、获取和长久有效留存。在这些方面，我国工业界和科技界做的还远远不够。一些经验、教训、工艺诀窍等，没有了师徒流转传承，没有档案、数据库留存，仅有少量留存在专利和科技文献之中。很大

计量性设计，并不仅仅是一个设计准则和理念要求，它的发展与完善将使得所设计制造的产品，在全生命周期中的各种状态特性参量数据变得透明、可用，并极易实现数据信息的采集、收集和留存，供后续发展及改进产品自身使用。从这个意义上说，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。

- [1] 刘春艳, 王卫华, 陈慧宇. 舰艇计量保障初探[J]. 计测技术, 2010, 30(5): 59-60.
- [2] 纪明霞, 陈世夏. 机载 ATS 闭环计量保障模式探讨[J]. 计测技术, 2011, 31(4): 49-51.
- [3] 张玉莲, 宋双杰. 试飞测试校准技术及其发展趋势[J]. 计测技术, 2008, 28(4): 1-3.

- [4] 范静, 王光发, 荆卓寅, 等. 涡扇发动机机试车台推力测量与校准技术概述[J]. 计测技术, 2012, 32(5): 1-4.
- [5] 朱崇全. 产业计量学的提出及其研究[J]. 计测技术, 2012, 32(1): 6-9.
- [6] 柴振海, 周伟超, 陈云梅. 导弹武器系统计量保障[J]. 宇航计测技术, 2004, 24(5): 60-64.
- [7] 郑媛月, 郑保, 王静波, 等. 飞机研制的计量保障探讨[J]. 计测技术, 2010, 30(3): 49-50.
- [8] 刘燕虹, 陈强. 关于计量标准化的几点思考[C]//宇航计量技术学会. 国防军工计量测试学术交流会会议文集. 2008, 503-507.
- [9] 董锁利, 唐武忠, 高万忠. 航空装备计量保障关键技术分析[J]. 计测技术, 2011, 31(5): 45-48.
- [10] 李志强, 朱霞辉, 陈怀艳, 等. 航天测控工程计量保障需求和管理对策研究[J]. 宇航计测技术, 2004, 24(5): 55-59.
- [11] 董锁利, 丁颖, 张建兰, 等. 机载设备计量性分析与设计讨论[J]. 计测技术, 2011, 31(3): 46-48.
- [12] 孙海燕, 宿亮, 胡艳, 等. 基于产品数据管理平台的计量科研项目信息化管理系统研究[C]//宇航计量技术学会. 国防军工计量测试学术交流会会议文集, 2009, 46-48.
- [13] 王海平. 计量保障在装备管理中的作用及未来发展思考[C]//宇航计量技术学会. 国防军工计量测试学术交流会会议文集, 2009, 43-45.
- [14] 梁志国. 军事计量的挑战与对策[J]. 计测技术, 2009, 29(6): 1-5.
- [15] 段双菊. 浅谈军工产品生产阶段的计量保障[J]. 计测技术, 2010, 30(2): 54-55.
- [16] 张学涛, 周世峰, 田阳, 等. 浅谈民用飞机适航性与计量测试之间的关系[J]. 计测技术, 2012, 32(2): 51-54.
- [17] 王光发, 荆卓寅, 赵东风. 新一代发动机测试计量保障体系初探[J]. 计测技术, 2011, 31(2): 56-59.

硬度值的硬度测试工作, 将会有较大实际意义。

- [1] 赵朝前. 力学计量[M]. 北京: 中国计量出版社, 2004.
- [2] 国家质量技术监督局. GB/T 1172-1999 黑色金属硬度及强度值[S]. 北京: 中国标准出版社, 1999.
- [3] American Society for Testing and Materials. ASTM E140-12b Standard Hardness Conversion Table for Metals Relationship Among Brinell Hardness, Vickers Hardness, Rockwell Hardness, Superficial Hardness, Knoop Hardness, Scleroscope Hardness, and Leeb Hardness[S]. West Conshohocken, 2012.

- [4] International Organization for Standardization. ISO 18265: 2013 Metallic materials — Conversion of hardness values [S]. Switzerland, 2013.
- [5] 国家质量监督检验检疫总局. JJG 112-2013 金属洛氏硬度计(A, B, C, D, E, F, G, H, K, N, T 标尺)检定规程 [S]. 北京: 中国质检出版社, 2013.
- [6] 王穗辉. 误差理论与测量平差[M]. 山东: 同济大学出版社, 2010.
- [7] 宇传华. SPSS 与统计分析[M]. 北京: 电子工业出版社, 2004.
- [8] 姚春臣, 汪灿, 肖体安, 等. 关于纯铜的几种硬度值相互关系的初步探讨[J]. 国防技术基础, 2010(6): 23-25.