

doi: 10.11823/j.issn.1674-5795.2017.05.01

复杂系统的计量性设计与评估

梁志国, 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: 从产品的计量性概念出发, 以用户的视角和愿望, 提出了计量性的 14 个设计要素构成的指标体系及设计原则, 用以指导产品的计量性设计; 对于计量性设计的优劣, 使用了相同的 14 个要素进行评估, 并可用于比较不同的计量性设计的优劣。

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

中图分类号: TB9

文献标识码: A

文章编号: 1674-5795 (2017)05-0001-06

Design and Evaluation of the Measure Ability of Complex Products

LIANG Zhiguo, ZHANG Dazhi

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

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

Abstract: An index system of 14 design elements and the tenets of measure ability are presented from the concept of measure ability of complex products and at the position of users, and they are used to instruct the measure ability design of complex products. The same 14 elements are applied to the estimation of measure ability of products, and they are also used to compare the different measure ability designs.

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

0 引言

在大工业生产中, 有许多专用测试设备和系统以及试验台和试验设施, 它们被设计建造用于产品性能的测量、测试和诊断, 以定量的量值参数形式给出结果和结论。而这些设备、系统和设施本身往往不能进行有效的计量溯源。其原因非常复杂, 主要是由于在设计建造之初并没有考虑计量溯源问题, 导致使用中若进行计量校准, 可能缺乏合适的物理通道与操作空间, 或者外部激励信号量值无法进行有效加载, 或者是虽然可以加载, 但系统的响应信号及信息无法有效输出, 从而无法进行相应的计量特性量值溯源, 以至于使获得的测试结果的意义与价值大打折扣。

这一类问题的出现, 获得众多人的关注^[1-11], 从而引出产品的计量性概念^[12]以及计量性设计要求。其本意是通过计量性设计, 使得产品在生产、使用、维护、报废的全寿命周期的各个阶段, 均能进行有效

的计量溯源。但如何进行计量性设计以及如何对计量性设计的结果进行评价, 一直未受到足够重视。本文后续内容, 将主要讨论这些问题, 并希望通过这些讨论, 使计量性设计的要素、要求、准则和评估要素愈加清晰明了, 以推动计量性设计与评估的应用和实施。

1 计量性设计

产品的计量性^[12], 可以认为是其功能模型参量溯源性的工程属性, 即参量定义上的明确性与完备性和参量计量工程上的可实现性。包括产品功能模型参量及其影响量的计量特性表述、可激励性、可控性、可观测性和溯源性。通常也被称为可计量性。

产品的计量性设计, 简单地说就是使产品具有可计量性。既然是设计, 人们的期望与要求并非仅仅是产品在任何情况下均可计量溯源而已。由此引出相应的计量性设计要素、准则、要求, 以及计量性评估要素与准则, 用以评价和比较不同设计方案的优劣。

对于产品的使用者而言, 其出厂、使用、维护过程中, 最关心的计量要素可以归结为产品的计量性要素, 它们主要包括以下各方面内容:

收稿日期: 2017-05-22

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。

1) 计量描述

产品的计量描述是指由产品定义直接转化而来的计量表述,即将产品定义中的功能、性能、质量等完整的模型参量转换成以物理量值范围及其最大允许误差的计量表述方式。

特别需要说明的是,产品定义的计量描述,在产品的设计、研制、试验、生产、使用、维护、报废等全寿命周期的不同阶段,所涉及的物理量值及其特性是有所不同的。包括产品的性能指标参量、制造过程控制参量、质量控制参量、环境条件控制参量等。产品的使用性能指标仅仅是其中的一小部分而已,并非全部。

每一阶段的计量要求都有所不同,并拥有自己的溯源链分析结论及溯源流程。

产品的计量描述是基于模型的计量表述。即,将每一种产品均视为一个完整独特的数学物理模型,其中的每一个模型参量均具有稳定性、独立性、特殊性,表述了产品某一方面的特性与特征,有其不可替代的意义与价值;而不同的模型参量之间,具有关联性、互补性、协调性,并相互依存、相互依赖、互为条件、互为支撑、共存共荣;全体模型参量对于表述产品具有整体性、全面性和完整性,不能断章取义、以偏概全。

其中,全面性体现在符合产品定义要求的全部要素均已被转化为计量表述方式,即量值加最大允许误差的表述方式。例如,对电子仪器设备,其计量特性已经处于计量描述要求状态,而其质量特性,包括长、宽、高的尺寸要求,重量要求,功耗要求,环境适应性要求等均需要转换成计量描述方式。

完整性则体现在每一要素参量表述的完整性,没有缺失和遗漏。例如,描述正弦波,一定要使用幅度、频率、相位与直流分量四个参量和失真度参量进行完整表征,缺乏任何一项都是不完整的表述。

计量描述设计完成后,形成产品定义量值的完整要求图表。

2) 溯源链构建

产品定义转化而来的计量描述,是一个个含有允许误差带的计量参量,需要根据其量值范围和允许误差等级构建溯源链。

对于含有众多同种量值的复杂产品,为了降低外部溯源工作量,需要构建内部溯源链,进行内部溯源设计。

具体方式包括将同种量值按照准确度等级要求进行排序,将准确度最高者作为产品内部最高计量标准,

对其它同种量值进行量值传递。

将准确度要求低的量值直接溯源到准确度要求高的量值上。只有准确度最高的量值才作为产品内部最高计量标准参量进行外部溯源。

若多个同种量值的准确度要求皆为产品内部最高,则需要全部溯源到外部计量标准。

若有过多的同种量值需要溯源到外部计量标准,则最佳方式是构建一个内部嵌入式计量标准以进行内部溯源。然后,仅将此嵌入式内部计量标准自己进行外部溯源。例如,某型民用飞机疲劳强度试验用应变数据采集系统,拥有三万个测量通道的同种类应变量需要外部溯源,宜使用嵌入式内部计量标准溯源。嵌入式内部计量标准的优势是可以随时随地进行计量校准,对于调整产品的计量校准周期、进行视情校准带来巨大方便和可能。

对于不同种类的量值,应分别进行外部溯源。

产品溯源链构建的原则是外部溯源量值尽量少,而全部内部量值参量均已进行量值溯源。能够使用内部溯源的量值尽量使用内部溯源方式,以便将外部溯源的量值数目降到最低,减少计量溯源成本。

溯源链构建完毕后,形成符合产品计量性设计要求的完整的溯源关系图表。

3) 计量完整性

计量完整性设计是指产品中构建溯源链并执行计量溯源的参量是否完整的要素。已经由定义转化而来的产品全部计量描述量值参量均已构建溯源链的产品,可以认定为具备全部量值特性的计量完整性,仅部分计量描述量值参量已构建溯源链的产品,可以认定为不具备全部量值特性的计量完整性;其中,表征产品计量特性的全部参量均已溯源的产品,可认为具备计量特性的计量完整性;表征产品质量特性的全部参量均已溯源的产品,可认为具备质量特性的计量完整性。

计量完整性设计的层次分别为:计量特性完整溯源、质量特性完整溯源、全部特性完整溯源。

通常,针对电子仪器系统类产品而言,仅对产品的计量特性进行校准和溯源。对其它不影响使用的质量特性,如几何尺寸、重量、功耗等,较少进行计量校准。即产品只具有计量特性的计量完整性。当其它特性影响使用性能时,则进行全部特性的计量校准。当没有条件执行全部特性计量校准时,选取最重要的计量特性进行溯源。此时,虽然不具有产品的计量完整性,但仍然可以满足多数情况下的实际应用。例如,用于保持频率量值的正弦信号源,对于失真度、相位

等要求可以不必存在和溯源。

计量完整性设计完成后,形成具有明确结论的完整性表述。如具有计量特性完整溯源、质量特性完整溯源、全部特性完整溯源。或者仅仅某些特性计量溯源。

4) 标准器具

产品溯源链构建完成后,依据所需要溯源的量值、校准方法产生计量器具要求。客观上,计量性设计准则要求产品溯源所需的量值种类尽量少,尽量使用通用计量器具,少用或不用专用计量器具,并且产品校准所需的计量器具尽量少,准确度不宜过高,且符合 $1/3 \sim 1/10$ 的习惯要求。

所选的计量标准器具应有利于自动化校准的实施,所用校准方法的测量准确度高,信号处理方式成熟稳定。

标准器具设计完毕后,以信号(如直流、正弦、方波、冲击、阶跃等)、幅度、频率、量程、最大允许误差方式形成标准信号的计量需求表述图表。根据该图表选取与推荐合适的计量器具。

对于标准器具,能够使用一种信号波形进行多个量值溯源传递时,优先采用其进行量值溯源传递,以节约计量成本。例如正弦波信号,可以用来传递幅度、频率、时间差等量值。

5) 交互连接

产品与计量器具连接后,是否需要特殊的交联握手信号触发和状态指示。交互连接包括信号触发、指令触发、运行条件触发等触发方式以及电平指示、通断指示等状态指示。计量性设计应尽量减少交互连接所需的握手信号的种类和数量,以降低操作的复杂性。

“交互连接”设计完成后,用量值及关系图表方式,以时序逻辑、组合逻辑等方式,汇总列出交联握手信号要求和状态指示方式。

6) 时序与同步

在产品内部存在多种量值信号时,它们之间的组合逻辑、时序逻辑、同步等要求应明确公开是计量性设计的原则要求,特别涉及到外部激励与响应之间的要求时。

“时序与同步”设计完成后,用量值及关系图表方式,表述时序与同步要求。

7) 溯源方式

产品的溯源方式有送检、现场校准和原位在线校准方式几种。产品可以仅适合其中的一种或兼具不同的溯源方式。计量性设计原则要求产品尽可能适应多

种溯源方式,以便在实际溯源中尽量降低计量成本。

“溯源方式”设计完成后,应明确产品可以采取的溯源方式。

8) 校准方式

产品的校准方式可分为自动、手动、半自动几种。这与校准所涉及的物理量、计量器具、校准方法等多种因素有关。一些物理量较易实现自动校准,而另外一些物理量则不易实现。通常,静态参量与稳态参量较易实现自动校准,而动态参量、瞬变参量自动校准的难度较大。电磁参量较易实现自动校准,可用电磁方式激发或控制的其它物理量较易实现自动校准,如用电磁方式激发与控制的物理量,则较难实现自动校准。

“校准方式”设计完成后,应明确产品可以采取的校准方式或者不能采取的校准方式。

9) 溯源形式

产品的溯源形式可以是嵌入式计量标准和外接式计量标准两种形式。嵌入式计量标准,即是将外溯源所需的计量标准嵌入产品,设计成为产品本身的一部分。由此形成一个子模块——计量模块,运行其嵌入式计量模块,即可完全实现产品其它量值的全自动校准。然后,只需要完成嵌入式标准的计量溯源,就可以完全达到将产品计量溯源的目的。嵌入式标准应该是即插即用的组合式模块,也可以是需要时才接入的附加模块,并可方便地从产品中取下独自进行外部溯源而不影响产品的使用。

在可能的情况下,优先选取那些可以实现远程溯源的计量标准,采用可以远程溯源的量(例如时间量、频率量)以及可以将其它所需溯源的物理量转化成可以远程溯源的量,然后,通过远程校准即可实现自溯源的嵌入式计量标准,以避免送检的溯源方式出现。无论如何,嵌入式计量标准均属于产品自身的一部分。

外接式计量标准是相对于嵌入式计量标准而言的多数情况。计量性设计原则要求尽量将产品的计量校准部分单独设计成一个嵌入到产品中的功能子模块。可以自动、半自动或手动运行,无论是执行原位在线校准、现场校准,还是送检,均可以提高计量效率,节约计量的时间成本。

经过计量性设计的产品,应明确其溯源形式。

10) 溯源时间

产品的溯源时间,主要指其由于对其进行计量溯源而无法履行工作职能的时间。它是一个非固定的变动物量,包括校准所用时间、非原位校准时的产品拆装

时间、送检时的路途时间等几部分。在嵌入式计量标准情况下,如嵌入式标准送检而不影响产品正常工作时,其嵌入式标准的送检时间不须计入溯源时间。

计量性设计原则是尽量降低溯源时间,以便增加产品的有效工作时间。

通常,校准所用时间和产品需校准的参量数、量程数、通道数、每个参量的校准时间均有关系,是所有校准时间的累计相加。计量性设计原则是校准所用时间越短越好。

原位在线校准的溯源方式,若使用了嵌入式计量标准,所用的溯源时间可以没有产品校准的拆装时间和送检路途时间,可认为溯源时间就是校准时间。

现场非原位校准的溯源方式,所用的溯源时间将包含校准时间和校准所需的拆装时间,但无需送检路途时间,通常比原位在线校准所需时间要长。

送检产品的溯源方式,所用的溯源时间将包含校准时间、校准所需的拆装时间、送检的路途时间,是三种溯源方式中最长的。

“溯源时间”设计完成后,应该以定量方式给出产品执行校准所用的校准时间、非原位在线校准时的拆装时间,以便估计计量溯源的时间成本。

11) 人员要求

产品计量性设计中的人员要求,主要涉及人员技术水平和工作经验要求。计量性设计原则是校准对人员水平要求越高越不好。应当以全自动校准等方式降低对产品计量所需的人员的技术和经验要求。

经过计量性设计后的产品,应该明确其不同的校准溯源方式,对计量人员基本技术水平和工作经验的要求。

12) 校准环境

校准环境主要受制于溯源方式、产品的使用环境、计量校准器具的环境适应性等几方面因素。通常,现场校准、在线校准要求的环境条件即是产品使用的现场条件,同时,要求所用的计量器具应能够适应现场环境条件。对于送检的产品,虽然可以使用实验室的校准环境条件,但所获得的校准结果在现场使用时,会遇到校准条件与应用条件不一致的问题。校准环境有关的计量性设计原则是依使用环境和所采用的溯源方式而确定合适环境。

13) 校准法规

这里的校准法规是指产品校准所依据的法规文件为通用校准规范还是专用校准规范。通常通用校准规范具有更好的普适性和技术成熟程度,但复杂产品系

统需组合多部通用技术规范才能完成校准,需要取舍与调整,对人员水平要求较高,往往需要根据校准规范制定更为详尽的作业指导书才能进行校准。而专用校准规范的针对性更强,有更为良好的操作性。

经过计量性设计的产品,应该明确给出其计量溯源所用的校准规范,若无专用校准规范,列出可参照的通用计量技术规范。

14) 计量保障性分析

主要是分析通过上述计量性设计要素的执行,产品的计量特性、质量特性、全部描述特性,是否获得了全面保障,还是仅产品的部分特性获得了计量保障,并给出明确结论。

若仅产品的部分特性获得了计量保障,对于产品计量描述中其它没能执行计量保障的特性参量,应对其缺乏溯源而不会影响产品的主要性能及实用功能的情况进行技术说明。

以上所述的计量性设计要素与原则,主要是从用户的使用与维护角度考虑的,若是从生产厂商自身的角度考虑,以计量校准融入产品的全寿命周期,则其所涉及的计量性要求,需要另外加上产品的生产过程的过程量值控制要素,并构建溯源链,以提高产品的质量和效益,相关问题,文献[12]给出了一种描述。

2 基于模型的专用测试系统计量性设计示例

物理上,专用测试系统属于拥有多物理量输入、多物理量输出的复杂试验系统。具有多通道、多量程、多物理量、多状态、多模式并行工作的技术特征。数学上,可以使用多变量输入/多变量输出的复杂系统模型表述。

专用测试系统校准的首要工作,是对专用测试系统进行完整的计量描述,它需要将校准的专用测试系统的功能、性能、质量等特性,转化为以物理量为核心的、带有量值范围、最大允许误差和环境条件要求的计量特性方式表述。

其次,按照所描述量值要求构建内部溯源链,进行内部溯源校准操作流程设计。

最后,将专用测试系统最高要求的量值进行外部溯源,构建外部溯源链、配备校准仪器设备,执行计量校准,完成计量溯源工作。

设 $x_i(t)$ 为输入变量(包括待测量的量和其它环境影响量), $y_j(t)$ 为变量 $x_j(t + \tau_j)$ 已估计的输出结果变量, t 为时间变量, τ_j 为时间延迟,由专用测试系统各个物理量间的时序要求而设定, $i = 1, 2, \dots, n, j =$

1, 2, ..., m。则有模型函数关系:

$$y_j(t) = f_j[x_1(t + \tau_1), x_2(t + \tau_2), \dots, x_n(t + \tau_n)] \quad (1)$$

写成向量模式为

$$Y(t) = F[X(t)] \quad (2)$$

$$X(t) = \begin{bmatrix} x_1(t + \tau_1) \\ x_2(t + \tau_2) \\ \vdots \\ x_n(t + \tau_n) \end{bmatrix}; Y(t) = \begin{bmatrix} y_1(t) \\ y_2(t) \\ \vdots \\ y_m(t) \end{bmatrix}; F = \begin{bmatrix} f_1(*) \\ f_2(*) \\ \vdots \\ f_m(*) \end{bmatrix}$$

从上述模型关系(1)可以看出,若 $y_i(t)$ 为待测量 $x_i(t + \tau_i)$ 已估计的输出结果变量,则 $k \neq i$ 时的其它输入变量 $x_k(t + \tau_k)$ 都是 $y_i(t)$ 的测量条件!这也是专用测试系统计量校准中最重要的也是最容易忽略的。

由于相关性、串扰、时序逻辑要求等的存在,由其它输入变量转化而成的测量条件的变化,可能成为左右测量输出 $y_i(t)$ 的重要影响因素。这也是相区别于单输入单输出系统的多输入多输出特征的专用测试系统计量校准中的特别问题。忽略该问题的“校准”,会因为校准条件与实际系统使用条件不一致而缺乏实用价值。

从定义内涵来讲,“校准”只涉及到量值与量值之间对应关系,无涉校准条件、软硬件条件的可控性与可观性等其它措施,并认为它们被满足是不言而喻和顺理成章的。实际工程实践中并非如此。

关于校准,系统校准与综合校准的内涵似乎有些相似,又因为是两种提法,而有一些不同。

“系统校准”,通常的含义是将被校准对象作为一个完整的整体考虑而进行的校准。是充分考虑了式(1)所述校准条件的完整性和系统性,体现了各个物理量值之间的相关性、互扰性、协调性、适应性等众多因素,不能将其拆解、割裂后进行校准。

关于“综合校准”,可以认为是在综合彻底地分析和研究了全面校准的组合状况后,将最为恶劣的组合状态提取出来,形成综合校准状态方案,并在这些状态下进行计量校准的一种校准方式。从逻辑上,它能获取校准结果 $y_j(t)$ 的上界边界 $y_{ju}(t)$ 和下界边界 $y_{jd}(t)$ 。

$$y_{ju}(t) = f_j[x_{1u}(t + \tau_1), x_{2u}(t + \tau_2), \dots, x_{nu}(t + \tau_n)] \quad (3)$$

$$y_{jd}(t) = f_j[x_{1d}(t + \tau_1), x_{2d}(t + \tau_2), \dots, x_{nd}(t + \tau_n)] \quad (4)$$

式中: $x_{iu}(t + \tau_i)$ 为校准 $y_j(t)$ 上界边界的校准条件; $x_{id}(t + \tau_i)$ 为校准 $y_j(t)$ 下界边界的校准条件。使用上下边界校准结果 $y_{ju}(t)$ 和 $y_{jd}(t)$, 从而达到以较少的工作量 and 经济成本达到完成系统校准的目的,并且不留任何技术隐患。

未能充分考虑上下边界的“综合校准”,从逻辑上讲,均存在技术隐患。综合校准不应理解为简单的技

术参量的堆积和罗列,而应是不同条件维度下技术特征的综合体现。

特别对于校准条件的控制和掌握,一直缺乏可操作性与统一性,导致同样的专用测试系统,在不同的实验室、不同的人员操作下,校准条件的差异很大,而校准结果的统一性与一致性存在隐患。

拥有对专用测试系统进行完整的计量描述,构建其计量校准条件模型,同时实施其上下边界条件校准,着重体现其综合性与系统性的含义。

综合性(不同的通道逻辑状态下,明确的上下边界),应该涵盖最严酷条件的组合,以及最极端状态的展现。所有最恶劣的条件与状态均已在综合性中得到体现,否则,很难谈得上综合。

以上是专用测试系统基于模型的计量性设计的简要流程,详细设计需要考虑全体 14 个计量性设计要素。其基于模型体现在将专用测试系统作为一个整体看待,全体参量均属于其物理模型参量,具有独立性、关联性、整体性,互为条件、互相制约、互相匹配,缺一不可。

3 计量性评估

计量性设计的评估,实际上是将上述设计要素整体作为指标评价体系,针对上述设计要素的满足程度和满足方式进行的定量评估。以获得明确的结论,并比较针对同一产品的不同计量性设计的优劣。

1) 计量描述评估

产品的计量描述评估主要是评估是否拥有产品描述量值的完整要求图表以及符合产品定义的计量描述是否齐全完整,若不完整时,缺乏哪些描述以及只有哪些描述的明确结论。

2) 溯源链构建评估

产品的溯源链构建评估主要检查完整的溯源关系图表,包括内部溯源和外部溯源。考查针对已经获得的产品计量描述参量,是否构建了完整合适的量值溯源链以及该溯源链是否合理有效。

3) 计量完整性评估

产品的计量完整性评估主要考查构建溯源链并执行计量溯源的参量及特性描述的溯源是否具备完整性。通常,计量描述不全、溯源链构建不全的产品计量,不具有计量完整性。但即使计量描述和溯源链构建没有遗漏者,其计量完整性也不能确保。以正弦波为例,即使有正弦信号参量的计量描述和溯源链,但在波形分析要求较高的场合,没有具备幅度、频率、相位、

直流分量、失真度5项参量完整溯源链者,也属于缺乏计量完整性的形式。

4) 标准器具评估

产品的计量标准器具评估主要是评估是否具有合理的标准信号的计量需求表述图表以及所设计的标准器具的成本是否合理,准确度等级等要求是否合理,是否使用了不易溯源的信号形式以及过高的标准要求。

5) 交互连接评估

产品的交互连接评估主要是考查交联握手信号要求关系和状态指示方式图表,考查交互连接是否需要,若需要时,通过图表评估给出交互条件简洁、交互条件复杂、交互条件要求严格等明确结论。另外,要考查所有待校准的量值是否具有可控性、可观性以及合适的输入、输出方式,没有可控性、可观性以及适当的输入、输出方式的产品,在计量校准中无法正常交互连接。

6) 时序与同步评估

产品的时序与同步评估主要是通过时序与同步要求图表,考查校准所需时序与同步要求的有无,若需要时,通过图表评估给出时序与同步条件简洁、时序与同步条件复杂、时序与同步条件要求严格等明确结论。

7) 溯源方式评估

产品的溯源方式评估主要是考查其溯源方式是否能够达到校准要求,并且其时间成本、计量成本是否经济有效。通常,在实验室送检的溯源方式下,对于恶劣现场使用的产品,其溯源方式存在巨大隐患。

8) 校准方式评估

产品的校准方式评估主要是考查所设计的校准方式是否快捷高效,有利于日常的计量保障。通常,自动校准方式优于半自动校准方式,而半自动校准方式要优于手动校准方式。

9) 溯源形式评估

产品的溯源形式评估主要是考查所设计的溯源形式是否快捷高效,有利于日常的计量保障。通常,嵌入式计量标准标准全自动溯源形式为最优形式,尤其对于拥有众多量值需要溯源的庞大系统的产品。而针对量值较少,甚至是单量值的系统则要视具体情况而定是否最优。

10) 溯源时间评估

产品的溯源时间评估主要是根据产品的校准时间、溯源方式、溯源形式等实际组合,结合通道数、量程数、校准量值个数以及每校准一个参量所需的时间来计算和估计溯源时间。通常路途时间、校准时间、拆装时间分别估计,并给出累计。

11) 人员要求评估

主要考察计量性设计所提出的人员水平要求是否合理以及对人员要求是否过高或过低。

12) 校准环境评估

主要考察计量性设计所给出的校准环境是否与实际使用环境相一致,相一致者最佳,否则存在技术隐患。

13) 校准法规评估

主要考察计量性设计所给出的校准法规要求是否获得满足,若没有获得满足,替代法规是否适合实际需求。

14) 计量保障性评估

主要是评估通过上述计量性设计要素的执行,产品的计量特性、质量特性、全部描述特性,是否获得了全面保障,还是仅产品的部分特性获得了计量保障,并给出明确结论。评估结论通常包括:全部计量特性获得了计量保障、全部质量特性获得了计量保障、全部描述特性获得了计量保障以及仅仅某一特性获得了计量保障。

若仅产品的部分特性获得了计量保障,对于产品计量描述中其它没能执行计量保障的特性参量,应对其缺乏溯源而不会影响产品的主要性能及实用功能的情况进行技术评估,并给出明确结论。从这些评估结论与实际应用需求的契合程度评估计量性设计的优劣。

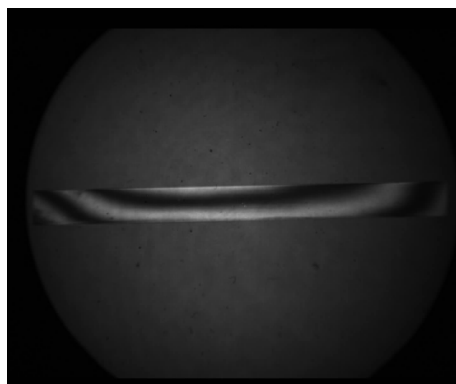
4 讨论

综上所述,计量性设计,从本意上讲是对产品溯源流程的详细设计,以便使得其全部特性均能获得计量保障,并且在实际工作中,可以高效低成本地实现量值溯源。因此,自始至终,量值及不确定度(或最大允许误差)要求都是最重要的,它始终是产品的核心,无论是计量特性、质量特性、安全环保特性、环境适应性、易用性、可行性、正确性等。离开了定量的量值要求,一切都无从谈起。

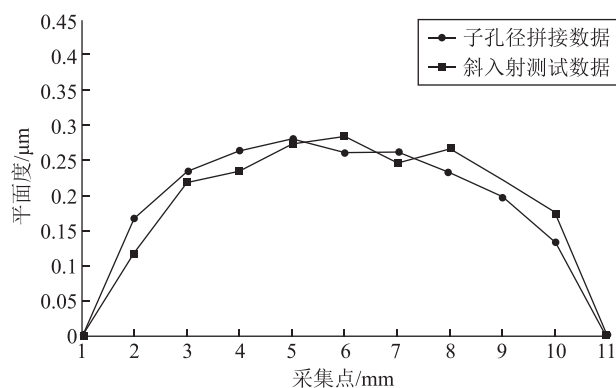
所以,计量性设计的源头才是产品定义以量值方式的计量描述,计量性评估的最终结果是产品定义转化而来的量值计量描述是否全部获得了计量保障。其中间环节,主要是围绕如何降低计量成本、提高计量效率、降低计量复杂性等方面的考虑。

通过上述讨论,将使得人们面对一个产品或系统,如何进行计量性设计与评估,考虑哪些要素,有一个基本的认识,详尽的工作将因所涉及的产品的状况而千差万别。

(下转第11页)



(a) 斜入射干涉图



(b) FlatEx拼接与斜入射数据对比

图 11 斜入射干涉图及 FlatEx 拼接与斜入射数据对比

(上接第 6 页)

实际上, 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, 在全寿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, 计量性设计与评估是复杂工业产品技术状态控制及质量管理的基础。

另外, 当今世界正在推崇的智能制造, 其核心有两个, 一为模型化制造, 二为过程量值的精确测量与控制。这也是未来高端制造业的主流发展方向, 从中不难看出, 如果智能加工设备没有进行计量性设计, 高精密智能加工将寸步难行。

参 考 文 献

- [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

从理论上予以说明, “以点控线”的合理性, 对于平面度的表示既给出按 1 mm 间隔测试横向纵向的所有点, 也按国标规定抽取相应的特征点。

研磨面平尺测量实验表明, 拼接测量数据的多次测量的数据差值较小, 标准差在 0.05 ~ 0.10 μm 之间, 分析 FlatEx 软件研磨面平尺拼接后的 PV 值为 0.283 μm, rms 值为 0.212 μm, 斜入射方法的 PV 值为 0.285 μm, rms 值为 0.210 μm, 二者均符合研磨面平尺检测的测量要求, FlatEx 作为计量专用软件可以使用。

参 考 文 献

- [1] 徐德衍, 王青, 高志山, 等. 现行光学元件检测与国际标准[M]. 北京: 科学出版社, 2009.
- [2] 刘兆栋, 陈磊, 韩志刚, 等. 斜入射干涉检测大口径碳化硅平面反射镜[J]. 光学精密工程, 2011, 19(7): 1437-1443.
- [3] 徐新华, 王青, 宋波, 等. 基于子孔径拼接技术的大尺寸光学材料均匀性检测系统[J]. 光学学报, 2012, 32(4): 118-124.
- [4] 徐晨, 陈磊. 光学平面绝对检验方法的研究[J]. 光学技术, 2006, 32(5): 775-778.
- [5] Rakshit S, Ghosh A, Shankar B U. Fast mean filtering technique (FMFT)[M]. Elsevier Science Inc, 2007.

测技术, 2008, 28(4): 1-3.

- [4] 范静, 王光发, 荆卓寅, 等. 涡扇发动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] 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.
- [6] 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.
- [7] 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.
- [8] 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.
- [9] 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.
- [10] 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.
- [11] 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.
- [12] 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.