

doi: 10.11823/j.issn.1674-5795.2017.06.01

计量性与未来制造业

梁志国, 周自力, 熊昌友

(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: 总结了未来制造业的三种模式, 即智能制造、网络化制造和增材制造。从未来制造业的技术发展出发, 讨论了产品制造及质量保证对计量测试的需求, 重点讨论了产品全寿命周期的计量性设计对未来制造业发展的基础作用及引领作用, 提出以数字化计量、智能计量和增材制造装备计量, 分别应对未来制造业的3种模式。

关键词: 计量学; 计量性; 校准; 溯源性; 未来; 制造; 加工

中图分类号: TB9

文献标识码: A

文章编号: 1674-5795(2017)06-0001-07

The Relationship between the Measure Ability and the Future of Manufacturing

LIANG Zhiguo, ZHOU Zili, XIONG Changyou

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

Abstract: Three kinds of manufacturing modes are introduced: the intelligent making, networking manufacturing, and 3D printing. From the development of manufacturing in future, the needs of both manufacturing and quality assurance for calibration are presented in detail. The emphases are put on both the base effects and leading effects of the measure ability and the testability on the development of future manufacturing. The main idea is that by using the digital measurement, the intelligent measurement, and the 3D printing calibration, one can face the three kinds of manufacturing modes in future.

Key words: metrology; measure ability; calibration; traceability; future; manufacture; machining process

1 概述

关于未来, 一直都是未来学有关的事情, 而关于未来工业的发展, 在当今世界上却变成了现实规划与行动。率先提出这一概念的是面向未来的德国工业4.0^[1-3], 它希望通过信息通讯手段, 借助网络空间和实际的信息物理系统相结合的技术方式, 将制造业向智能化方向转型。被誉为引领未来的第四次工业革命。

人们将其称为继第一次工业革命、第二次工业革命、第三次科技革命之后的第四次工业革命, 由于它被认为是信息革命和工业革命的融合, 也被称为最后一次工业革命。

此后, 各国纷纷推出自己的面向未来的工业发展战略, 比较著名的有“英国工业2050战略”^[4]、“日本

科技工业联盟”^[5]、“美国先进制造业国家战略计划”^[6], 以及“中国制造2025”^[7]。

1.1 “德国工业4.0”

2013年4月, 德国政府在汉诺威工业博览会上推出德国“工业4.0”战略, 其基本目的是为了在新一轮工业革命中抢占先机, 最终目标是提高德国工业的竞争力。其主要包括3个部分内涵。

“智能工厂”, 主要理念是以批量工业化规模和方式, 实现生产线上的每件产品均有不同的个性化定制与生产。重点包括生产系统及生产过程的智能化研究, 以及并行分布式网络化生产流程及生产设施的工程实现。

“智能生产”, 主要包括物流及生产的管理、3D技术的应用、人机交互等。本质上是纳入了智能制造理念和技术的生产流程与方式, 以更加适应智能工厂的生产方式。

“智能物流”, 主要包括使用互联网、物流网、物联网、通讯网等各种信息网络和实体网络资源, 整合全部物流资源, 优化社会总体物流运行模式, 充分发

收稿日期: 2017-11-29

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。

挥物流资源全体供应方的规模效率,使得全体物流需求方能够快速获得所需要的物流信息和相匹配的物流服务。在制造业,其本质上是在高效精准服务、社会诚信、契约精神、职业素养基础上的工厂内部流程的社会化。

该战略已经得到德国科研机构 and 产业界的广泛认同,西门子公司动作迅速,在其工业软件开发中和生产控制系统制造中,已经开始贯彻这一思想理念。

1.2 “美国先进制造业国家战略计划”

为了应对未来工业发展,并在新一轮工业竞争中抢占先机,2012年,美国推出自己的“先进制造业国家战略计划”,同年,“国家3D打印机制造创新研究所”在俄亥俄州的扬斯顿建立。2013年,“制造业创新国家网络”宣告组建,同年5月,“下一代电力电子制造研究所”、“轻量制造和现代金属制造业创新研究所”、“数字制造和设计创新研究所”3个创新中心由美国政府组建。2014年2月,“复合材料制造业研究所”宣告成立。此后,“集成光电子研究所”、“宽频半导体研究所”、“革命纤维与纺织制造创新研究所”、“智能工厂研究所”、“柔性混合电子制造创新研究所”等单位陆续筹划建立。

其方式是侧重于工业互联网,以一批骨干示范企业,试图通过机器互联、软件及大数据分析,提升生产效率,创造数字工业的未来。

该计划的基本目标,是以资本驱动方式,组建创新网络联盟,进一步推动美国本土的高等院校、生产制造企业以及政府部门之间的优化合作,并形成总体合力。通过制造业的创新网络方式,缩小科学技术研究与商业运行之间的距离。并试图打造一批创新集群,使它们拥有先进理念和先进的制造能力,并能够促进新技术、新型生产工艺、新型产品和新兴教育项目的开发,为美国社会创造更多的就业机会,推动美国先进制造业的本土复兴,最终提振美国经济。

1.3 “中国制造2025”

“中国制造2025”,本质上是德国工业4.0的中国版,即将德国工业4.0的理念在中国的主要制造行业中按照中国特色方式进行稳步推进。为此,提出了“市场主导、政府引导;立足当前、着眼长远;整体推进、重点突破;自主发展、开放合作”的发展原则,以及“创新驱动、质量为先、绿色发展、结构优化、人才为本”的行动方针;希望实现从制造业大国向制造业强国转变,最终实现制造业强国的战略目标。

用信息化和工业化两化深度融合来引领和带动整

个制造业的发展。

推行包括制造业创新中心建设、智能制造、强化基础、高端装备创新、绿色制造在内的五大系统工程。

重点包括:新一代信息技术产业;先进航空航天装备;机器人和高档数控机床;高技术船舶及海洋工程装备;节能减排技术和新能源汽车;先进轨道交通装备;先进农机装备;先进电力设备;高性能医疗器械及生物医药技术、新兴材料等十个领域。

从上述各国面向未来的工业计划可见,人们对于未来工业是有其独特愿景和预期的,其理想状态是人们可以使用任何材料、高效、自动加工出具有任意复杂内外结构的产品和部件,并且无须特别的检验就能符合预期要求,合格率100%。

如何达到这样的状态以及通过何种手段达到这样的目的,是一个复杂而艰难的技术过程。计量性设计与实施,为这一愿景的实现提供了一种技术上的可能。本文后续内容,将主要讨论未来工业对于产品计量性的需求以及计量性在未来工业中的核心作用。

2 传统工业制造中的问题及解决方式

从本质上,工业制造的基本目的是制造出能够具有特定功能和性能要求的产品,它们主要包括准备材料和生产加工制作。可能涉及天然的原材料,如木材、石材等,也可能涉及人造原材料,如冶金、复合合成材料、陶瓷烧制等。

生产制造加工,则是在选定材料的基础上,通过不同工艺手段,制造出具有各种不同内外结构的工业产品。为此,人们发明了多种不同的加工方法和手段,如常见的车、铣、刨、磨、铸、锻、镗、锯、钻、切割、焊接、铆、粘接、镶嵌、电镀、热处理等。

这些传统的加工工艺手段,共同的特点是,比较适合用于加工外部表面和结构,对于内部结构和内表面,则不太适合,对于简单形貌与简单结构,使用工艺较少,效率较高,其结构量值要求简单、易测量,也较容易保证。而对于复杂形貌和复杂结构,则往往需要使用的工艺手段较多,结构量值要求可能非常复杂,很难进行直接测量和量值保证,即,产品质量也不易保证。

为了解决内部结构不易加工的问题,人们将复杂完整的结构进行了肢解,使其变成了一个个不同的、只有外表面简单结构的零部件进行加工制作,然后,再通过焊接、铆接、联接、装配等手段,使其形成一个功能整体,变成具有复杂内外结构和特定功能的完整产品。

例如,对于特别复杂的异形结构,人们往往使用铸造工艺实现,而较薄形状的复杂异形结构,也会使用镗压工艺制作。

所有这些加工制造的手段和方法,构成了现代工业的基础和能力。其特点为:1)外部形貌结构简单化处理;2)复杂结构分解为简单结构;3)不同的简单结构合成复杂结构。

由此造成了产品制造工艺十分复杂繁琐,质量保证环节众多,生产效率受到极大限制,劳动强度和制造成本很难降低。大部分工作属于劳动密集型活动过程,对产业工人的经验、技术要求较高。同时,对于新兴的信息技术领域,例如微尺度机电系统(MEMS)的微小零部件以及大型船舶、电站等所需的巨大结构件的加工制作等较难适应,使得这些领域里,只有少数掌握特别技术和工艺的工厂才有能力进行加工和制造。

3 面向未来的加工制造方式

为了解决信息技术领域里的 MEMS 制造和加工问题,人们发明了化学腐蚀、激光刻蚀、激光熔铸、电子束熔铸等工艺,以制作复杂而细小的机电结构,并将其集成为 MEMS。其后,又发明了 3D 打印技术,用于制作各种材料的产品^[8-14]。

3D 打印是一种快速成型技术,它通过逐层打印堆积的方式来构造任意物体,使用的材质是粉末状金属或塑料等可粘合材料,其核心是以数字模型文件为基础的三维物体模型。

3D 打印通常使用数字化材料打印机来实现,被广泛用在工业设计、模具制造等领域制造模型,也被用于直接制造一些产品和复杂的非标准零部件。在工业设计、航空航天、汽车、土木工程、建筑和施工、教育、医疗、地理信息系统、工程领域都有应用。也被用于珠宝、制鞋、制牙、制枪等其它用途。

3D 打印被称为面向未来的制造加工技术,又被称为增材制作技术,即制造过程中,材料是不断堆积和增加的。与之相对应,多数传统机械制造技术,可以被认为是属于减材制作技术,即制造过程中,材料是不断切削和减少的。它们之间的主要特点比较,如表 1 所示。

从表 1 可见,传统的减材制造技术,比较适合外部简单形貌工件的加工制作,只有在这种情况下效率较高,针对复杂形貌结构工件的加工有些力不从心,涉及内部结构形貌加工更加困难,对于封闭式、遮挡式内部结构形貌加工则无能为力。而 3D 打印这种增材制造方式,在任何情况下都能高效胜任工作。

表 1 增材制造与减材制造的特征比较表

工件特征	传统工艺技术	3D 打印技术
简单外部形貌	适合,效率高。	适合,效率高
复杂外部形貌	可以,一次成型效率低下。 可拆解成简单外部形貌件,然后合成。	适合,效率高
开放式简单内部形貌	可以,加工成型效率低下。	适合,效率高
封闭或遮挡式简单内部形貌	不适合,可拆解成简单外部形貌件,然后合成。工序复杂。加工成型效率低下。	适合,效率高
开放式复杂内部形貌	不适合,可拆解成简单外部形貌件,然后合成。工序复杂。加工成型效率低下。	适合,效率高
封闭或遮挡式复杂内部形貌	不适合,可拆解成简单外部形貌件,然后合成。工序复杂。加工成型效率低下。	适合,效率高

3D 打印这种增材制造技术,之所以被称为面向未来的制造加工技术,主要原因是可以同时一次成型制造出具有极为复杂的内外结构的复杂产品形貌,具有高效、快速、成型即合格的智能化特征。

而对于打印这种面向未来的制造加工技术制作的具有复杂内外部结构的产品,如何保证其复杂结构的各个特征量值准确可靠,不仅给制造带来巨大挑战,也给计量测试带来新的问题。人们已经很难轻易地在成品时测量其复杂的内部结构,更谈不上高效的量值保障。为解决这一问题,最简捷易行的方式是制作过程中的量值实时控制及有效溯源。

首先,将待加工的产品进行空间立体模型化表述,将其抽象成确定坐标系下的空间点阵元,由此将复杂形貌的加工制作转化为简便易行的以三维坐标点控制的方式进行材料堆积的量值保障。从而保证最终加工产品的量值准确度。这一类问题的处理方式,恰属于产品的计量性设计范畴。

4 计量性设计

4.1 设计原则

文献[15]已经给出了计量性设计的定义,可以认为,计量性设计的实质是量值保障方式的技术设计。

实际上,任何产品中,可定量表征的量值特性均应该能够通过计量校准手段进行校准和溯源。计量性设计的原则包括以下几点。

1)表征产品质量特性的全部量值的计量校准在物理上和工程上均可实现;包括响应特性可激励和记录,固有特性可测量与评估。必要时,每一项参数量值均可单独或与其它参量联合计量校准。

2)计量性设计的理念是在量值能够保证的前提下,将计量校准的工作量降为最小;即同时体现计量校准的充分性和必要性。

这包括对实际产品使用性能无影响的量值参数可以免除校准;已经被其它技术手段确保的量值参数可以不进行额外的计量校准;在使用过程中基本没有变化或变化可以忽略的量值参数可以只进行首次校准,后续不必进行额外校准。所有判断均应有实验验证作为支撑。

最理想的情况是不用进行计量校准就能确保量值在要求范围之内。有人将其称为不需要计量校准,实际上是计量校准行为已经渗透到产品的生产和使用过程中成为产品本身的一部分,与产品无法分离与割裂。而不是不再需要计量校准工作。

3)计量性设计需要兼顾效率、成本、可行性、实用性。

4.2 阶段目标

尽管每一个产品,在不同阶段、不同环节,使用不同的手段,都可以进行涉及其性能和质量的量值保证,但是,其量值保证难度、成本、效率可能具有巨大差异。

因而,产品的计量性设计,从内容上看,主要包括制造过程中的量值保证的最优化设计以及使用过程中量值溯源的最优化设计两部分工作。本意都是用最少的外部计量资源,进行最全面的量值保证。从时机上看,应当从产品概念形成阶段即予以考虑,在产品的技术设计论证阶段,同时要考虑其全生命周期的计量性设计问题,包括方法与技术可行性、经济成本可行性、时间成本可行性、使用要求可行性、人员要求可行性、操作过程的简捷性等等。否则,一旦未考虑计量性设计的产品设计完毕,很多性能指标可能不再具有被计量的可能性,因而也就丧失了计量性,导致这部分性能指标在后续的产品寿命过程中无法进行计量保障。尽管能够从技术上执行计量保障,但时间成本、经济成本、人员素质要求等,都会导致不具有的可行性。

1)计量性设计在产品论证阶段的作用是提出产品的核心指标的计量性要求。该要求主要体现出产品使用维护阶段计量校准的充分性和必要性。

2)计量性设计在产品设计阶段的作用是提出后期使用过程中产品的核心指标的计量保证技术方案。该要求主要体现出产品使用维护阶段计量校准的充分性、必要性、经济性、可行性。

3)计量性设计在产品工程研制阶段的作用是产品计量保证设计方案在工程上的实施、优化和调整,以确保其有效性与可行性。

4)计量性设计在产品试验阶段的作用是确定后期使用维护过程中的计量保障参量具有充分性和必要性,并对计量保障方式进行迭代优化,寻找出最佳计量保证方式。

产品在试验阶段的计量性设计,即是以完全的使用条件模拟的方式,对各种可能的恶劣环境及使用条件下,产品的全部性能参量的最优计量溯源方式与方法的探索与寻优。最终,迭代提炼出最简单、经济、高效的方式方法,对涉及到产品计量特性的量值稳定性要求予以确保。经过该阶段的计量性试验后,将对于产品的全部性能参量进行分类,分别确定出:

①对使用性能和功能没有影响的质量型参量;

②最稳定。只需要制造加工即能够保证要求,无需后续计量校准即可确保的参量;

③条件稳定。只要在规定的环境条件下使用、便无需后续计量校准即可确保的参量;

④需要在后续使用中进行周期性计量校准才可以确保的量值。

并将试验阶段获得的结论和提炼出的方法,推广应用到后续产品的使用维护过程中。并且将使用过程中的计量性设计目标、方案和流程,主要针对最后一类别的量值的计量校准中。

5)计量性设计在生产阶段的作用,是保证生产出合格产品。其主要是通过量值控制手段保障产品的质量特性,特别是包含使用性能的计量特性。

在产品出厂以前的生产制造阶段,最佳的计量性设计方案,是以最为简捷高效的方式方法,进行制造过程中的量值过程控制,并在线溯源。使得生产出来的产品无需再进行计量检验就能保证全部符合预计的设计要求,即始终在生产出合格的产品。

产品在生产阶段的计量性设计,即是以最简单、经济、高效的方式,对涉及到产品质量的量值控制要求予以确保。包括产品与工件的数字化模型描述与处

理,各种加工条件量值和环境条件量值的在线监测与控制,机床加工的自动化控制及在线溯源等等。经过该阶段的计量性设计,理想情况下,可以将计量溯源和量值质量控制等完全融入生产制造过程,与生产制造融为一体,将使得生产出来的产品无需再进行检验和计量校准就能确保质量合格,从而为高效率、全自动化的智能生产创造基础。

6) 计量性设计在使用阶段的作用是保障产品的实用性能参量在规定的范围内,以便能发挥出最佳效能。其主要是通过量值确定与判定,确保产品的主要技术指标和计量特性在规定的范围内。

在产品投入使用后的应用阶段,最佳的计量性设计方案是以最为简捷高效的方式方法进行特征量值的自动化校准,即保证产品的易变性能一直在规定范围内。

产品在使用阶段的计量性设计,即是在完全的使用条件下,以最简单、经济、高效的方式(最好是全自动化方式),对涉及到产品使用性能的重要计量特性的量值要求予以确保和溯源。从完备性方面讲,需要对涉及到产品使用性能指标的全部计量特性均能进行计量校准,但是,其主要关注目标是那些在使用过程中必须进行计量校准才能确保的量值。如上述试验阶段提到的第③类量值。最理想的产品设计方案是无需使用产品中的外在计量校准也能始终保持其使用功能和性能,显然,要达到该目标,并非不需要计量校准,而是需要使用嵌入式计量方式、量子化计量标准、远程计量校准等方式进行量值保证,只是不需要额外的人工计量校准而已。

4.3 共性要求

通常,产品全寿命过程划分为:①产品论证阶段;②方案设计阶段;③工程研制阶段;④试验定型阶段;⑤生产阶段;⑥使用阶段;⑦报废阶段。共7个阶段。

产品全寿命计量保障涉及的部门和单位,包括与产品全寿命计量工作负有相关责任的管理部门,以及:①产品论证部门;②承研承制单位;③试验单位;④使用单位;⑤采购部门;⑥计量保障单位;⑦维修保障单位等。共7个部门和单位。

产品的计量性设计是分阶段的,在其全寿命周期的每一阶段均有其不同的目标要求,其共性要素要求主要包含以下几点^[16]。

- 1) 产品的计量描述;
- 2) 产品全量值的溯源链构建;
- 3) 产品全量值的计量完整性;

- 4) 产品计量的标准器具;
- 5) 产品与计量标准器的交互连接;
- 6) 产品不同量值的时序与同步;
- 7) 产品的溯源方式;
- 8) 产品量值的校准方式;
- 9) 产品的溯源形式;
- 10) 产品的溯源时间;
- 11) 产品计量的人员要求;
- 12) 产品计量的校准环境;
- 13) 产品计量的校准法规;
- 14) 产品的计量保障性分析。

完整的考虑了上述要素的计量性设计,将使得生产制造的产品质量有最可靠的定量保证,并且在后续使用过程中,其量值性能的计量保障实施过程能够高效顺利完成。

5 计量性设计与未来工业

针对未来工业中的加工制造业,人们有很多愿景和标志性特征,归纳起来,其主要部分有:

1) 智能制造。其核心体现是,人们定义和表述被制造的产品不是用一些简单的几何特征值尺寸,而是以数字化的数学物理模型全面表征。相应的,进行高效自动化制造和处理,快速获得合格产品。一些工艺优化、原材料筛选寻优、成分配比寻优等繁重复杂的工作,完全由计算机控制的智能制造系统自主完成,无需人工干预。

2) 网络化制造。其核心体现是,以明确的数学物理模型表征的产品设计要求,借助于互联网可以远程快速传递,并可以与智能制造设备实行联动,直接在智能制造设备上,异地、远程、瞬间完成制造。产品全产业链中不同的工厂构成网络化制造能力集群,通过信息网络,以并行制造方式快速完成各自的产品部件制造,以达到高效制造任意产品的效果。

3) 增材制造。以3D打印为标志的增材制造技术,代表着未来制造的主流方向之一,其核心体现是,借助于增材制造方式,人们可以高效自动化完成具有任意复杂的内外部结构的任何产品,而不像其它减材制造方式,只能进行外部形貌结构的加工制造,很难涉及内部形貌与结构的加工制造。实际上,未来制造业的理想愿景是实现任意制造。即,人们可以高效自动化地制造出任意能够想象出来的复杂产品以及想象不出来的复杂产品。

从2010年到现在,人们已经使用3D打印技术制

造出许多物品,其中包括汽车、飞机、火箭、人造肝脏组织、心脏、胚胎肝细胞、骨骼、牙齿、血管、手枪、房屋、比基尼、巧克力等等。3D打印的常用材料有许多,其中包括铝、不锈钢、钛合金等金属材料,以及尼龙、尼龙玻纤、橡胶等有机合成材料,还有石膏和镀银、镀金类无机矿物材料。其常用材料、打印类型和累积技术如表2所示。

表2 3D打印主要技术特征

打印类型	基本材料	累积技术
挤压	共晶系列金属;热塑性塑料;食用材料。	熔融沉积式
线	合金	电子束自由成形
粒状	合金	金属激光烧结
	钛合金	电子束熔化成型
	铝;不锈钢; 钛合金;钴铬合金;	激光熔化成型
	热塑性粉末	热烧结
粉末层喷头 3D打印	金属粉末;热塑性塑料; 陶瓷粉末。	激光烧结
	石膏	3D打印
层压	金属膜;纸;塑料薄;膜	分层实体制造
光聚合	光硬化树脂	立体平板印刷
	光硬化树脂	数字光处理

3D打印的基本设计流程是:首先,通过建模软件对被打印的物体进行数学物理建模,获得表述模型结果的模型文件;然后,再将建成的以模型文件方式表述的三维模型“分区”成逐层的截面,即模型切片,从而传输给3D打印机逐层打印;最后,执行打印获得所需物体。

3D打印机内装的材料是实实在在的原材料,包括塑料、陶瓷、金属、砂石粉末等不同的打印材料。与计算机连接后,通过计算机控制3D打印机把“打印材料”层层堆叠、固化,并最终把计算机上模型文件方式表述的三维模型变成实物。

由此可见,制造业与信息化的深度融合是未来制造业的显著特征之一,因此,制造业将成为信息产业的一部分。在此基础上,未来制造业的商业模式,不仅仅是软硬件产品的制造和销售,而是以解决顾客问题为主,通过提供各种服务获取附加价值,即软性制造。

具备信息功能的产品和系统将成为未来硬件产品的核心,这意味着体现用户个性化需求的、小批量不同产品的批量定制制造将成为未来制造业的潮流。制

造业需要在产品的制造过程中,尽可能多地增加产品的附加价值,拓展更多、更快、更丰富、更完整的服务,提出更优良、更简洁、更完美、更经济的解决方案,满足消费者群体的任意个性化需求,走“软性制造+个性化定制”道路。

未来制造业的上述特征,给计量测试行业的生存及工作方式带来了巨大挑战。其中,智能制造带来的是以数学物理模型对被制造的产品的全面表征,而计量测试面对这一变化将如何适应?人们应该计量校准这些产品的哪些量值?如何定义?及如何实施?而所实施的计量校准是否已经足够?是否能够与表征被制造产品的数学物理模型相对照和相一致?具有恒定不变的流程和规范特质的计量校准,是否能适应以模型参量随时处于变化状态为特征的条件制造、柔性制造和智能制造?

网络化制造,带来的是空间上的挑战,除了仍然是以数学物理模型表征被制造产品所带来的挑战外,这些产品在全产业链中是相互关联的。异地同时在不同制造装备上制造出来的产品与部件,其各自的生产条件、环境条件等皆有不同。如何保证它们能够在相同的环境与使用条件下的统一与一致?如何体现出计量校准的统一、一致、效率、实时性、完备性与可靠性?

以3D打印为首的增材制造,对计量校准的挑战最大。由于可以单次制造出几乎任意产品,因而,对于那些具有复杂内部结构的封闭式或遮挡式产品结构,在加工完成后,其内部结构量值将很难再进行计量校准,即使进行计量校准,其工作量将极大、难度巨大、效率极低,并且实时性很差,导致以目前常见的计量校准手段,均很难达到预期目的。

既然制造业信息化是其主流,可以实现产品、零部件、原材料信息确定与获取的计量测试,将成为未来产业的基础与核心,计量测试如何介入未来产业,产业计量应如何开展,便成为人们需要思考的主要问题。

无论从哪个角度出发进行阐述,计量校准的实质都是量值的确定和量值管理。以产业发展为目标和导向的工业计量或产业计量,其计量校准的实质应为涉及产品质量的量值控制、量值确定、量值管理。任何一项产品在其全寿命周期中,其自身的量值控制、确定和管理的难易程度,并非一成不变。为达到有效的量值控制、确定和管理的最终目的,从而确保产品的质量、效益、成本,产品全寿命周期的计量性设计是一种方式,通过这一过程,可以寻找最佳时机、最佳手段、最高效率的完成产品量值的确定、管理和控制。

进而适应未来制造业的新发展,并能在任何条件下、任何技术状态下,均保证产品的技术质量。

针对智能制造模式,人们应加强智能化计量校准的基础研究,对应于产品表征的模型化和数字化,加强模型化和数字化测量原理、方法的研究。推进各种间接测量理论与方法研究,以便能从直接测量获得的量值数据中抽象出具有最优意义的模型参量值,并与产品的表征参量一一对应,为提升与控制产品质量提供手段和评价依据。

针对网络化制造模式,应加强网络化计量校准理论、方法和技术研究,加强远程计量校准研究,以嵌入式、量子化、无线传输等多种方式和形式,实现异地远程的量值传递与溯源,寻求统一和一致。用以应对网络化制造所带来的计量校准问题。以提升和保证产品全寿命周期的量值质量。

针对以3D打印为主导特征的增材制造模式,应加强3D打印机等制造设备的量值控制、确定与管理研究。针对挤压、线堆积、颗粒堆积、粉末喷涂、层压、光聚合凝结成型等不同原理的打印方式,分别开展量值控制、保障与校准研究,从源头做起,从制造加工和成型的过程量值确定与控制入手,最终保证产品的量值质量。让计量校准渗透和融合到生产制造过程之中,使得产品一旦加工完毕,就能自然符合预期要求,不必再进行额外的计量校准工作,也能保证产品质量。

由此可见,数字化、模型化计量校准理论、方法和技术是应对未来工业制造的能力基础,围绕产品全寿命周期的计量性设计是高效质量保证的基石,而智能化、网络化、远程实时的量值传递与计量校准是未来产业计量的主流发展方向。产品计量性设计与实施在未来产业计量中的地位与作用由此可见一斑。

6 结束语

综上所述,新一轮产业技术革命已露端倪,各主要工业强国均在大力推进,强大的产业信息化需求,将使得计量测试在未来制造业中的地位举足轻重,围绕着数字化、网络化、智能制造、柔性制造、增材制造等未来制造模式,对其产品的全寿命计量性设计所需的理论、方法、技术,进行先期探索研究,将直接体现计量测试对产业发展的引领、推进、基础性作用,可以展现计量性设计的特殊意义与价值。在不太遥远的将来,人们会发现,在未来产业发展过程中,没有

产品计量性设计的制造业将寸步难行,任何有关计量性设计和实践的研究、探索、准备活动都是必要的和非常值得的,特别是在工业界和计量测试行业。

参考文献

- [1] “工业4.0”开启中德合作新时代[EB/OL]. [2014-12-19]. http://www.gov.cn/zhengce/2014-10/13/content_2763807.htm.
- [2] 德国联邦政府的高科技战略举措行动“工业4.0”[EB/OL]. [2013-09-13]. <http://c.iot-online.com/news/2013/022123662.html>.
- [3] 德国,工业4.0的真相[EB/OL]. [2016-02-2]. <http://focus.news.163.com/15/0310/11/AKBG39GJ00011SM9.html>.
- [4] 深度解析英国版工业4.0“英国工业2050战略”[EB/OL]. [2016-02-18]. <http://www.cechina.cn/m/article.aspx?ID=53964>.
- [5] 日本企业成立联盟机制追赶工业4.0[EB/OL]. [2015-07-10]. <http://roll.sohu.com/20150710/n416539580.shtml>.
- [6] 辛玉军,陈林生.工业4.0实践精要[M].北京:机械工业出版社,2016.
- [7] 国务院关于印发“中国制造2025”的通知[EB/OL]. [2016-09-26]. http://www.gov.cn/zhengce/content/2015-05/19/content_9784.htm.
- [8] 3D打印机的发展史[EB/OL]. [2013-11-11]. http://qd.ifeng.com/special/3ddayin/detail_2013_07/24/1026914_0.shtml.
- [9] 3D打印(简介、原理及技术)[EB/OL]. [2013-11-11]. <http://www.rs-online.com/designspark/content-206>.
- [10] 全球首款3D打印金属手枪问世成功发射50枚子弹[EB/OL]. [2013-11-9]. http://www.chinadaily.com.cn/hqzx/2013-11/08/content_17091422.htm.
- [11] 你所不知的“3D打印”[EB/OL]. [2013-11-11]. http://paper.people.com.cn/rmrbhwb/html/2012-09/17/content_1113645.htm.
- [12] 全球首款能开3D打印汽车Urbee[EB/OL]. [2016-05-19]. <http://auto.163.com/13/0623/09/921TJU8R000853RO.html>.
- [13] 英国工程师首次用3D打印机“打印”出无人飞机[EB/OL]. [2013-11-14]. <http://discovery.163.com/11/0802/10/7AEOIFP1000125LI.html>.
- [14] 3D打印引发建筑革命未来建筑工人会失业吗?[EB/OL]. [2014-09-7]. <http://tech.qq.com/a/20140905/012995.htm>.
- [15] 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,计测技术,2017,37(3):7-12.
- [16] 梁志国,张大治,复杂系统的计量性设计与评估,计测技术,2017,37(5):1-6.