

doi: 10.11823/j.issn.1674-5795.2018.02.02

计量校准中的复杂环境的剖析与应对策略

梁志国, 尹肖, 孙浩琳, 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: 概述了各种不同的环境表述方式, 包括自然环境、人工环境、物理环境、化学环境等。总结了计量校准环境的四类要素, 即环境媒介、环境场、环境力学条件和环境空间, 以对复杂化的环境进行标准化表述与构建。提出了主环境要素分类法, 按后续要素的重要性依次递减方式, 用以表述复杂多变的环境状态。并对计量校准中环境因素影响的应对之策进行了总结归纳, 包括技术提升策略、局部环境控制策略、环境因素降维策略等。

关键词: 计量学; 计量; 校准; 复杂环境; 现场; 在线

中图分类号: TB9

文献标识码: A

文章编号: 1674-5795(2018)02-0004-05

The Strategy to Complex Environment in Both Calibration and Measurement

LIANG Zhiguo, YIN Xiao, SUN Haolin, ZHANG Dazhi

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

Abstract: Some different environment conditions are summarized in detail, including nature environment, manmade environment, physical environment, chemical environment, etc. Four basic elements are presented out. They are the environment medium, environment field, environment mechanics conditions, and environment spaces. And they can be used to describe and construct various different environments. The host environment element classification method is taken out, the environment elements are list on the essentiality in both describe and construct environment. In calibration, the strategy to the complex environment influences are summarized, including the technique upgrade, local environment control, decrease of the environment influences dimension etc.

Key words: metrology; measure; calibration; complex environment; in field; online

0 引言

多数情况下, 计量校准都是在校准试验室内进行, 需要对温度、湿度等环境因素进行控制和约定。其本质是这些环境条件的变化, 会导致校准结果的变化。

伴随着计量校准从实验室走向现场, 一些环境条件与校准实验室有很大不同, 甚至不能由主观意愿来完全控制, 校准结果的量值及其含义便打上了相应环境条件的烙印。人们先是对其进行不同程度的约定, 其后, 则倾向于以环境条件的方式对校准结果进行注释。当变化的环境条件不止一项时, 人们往往很难再具体确切表征其变化特征, 便笼统将其称之为“复杂环境条件”^[1-4]。实际上, “复杂环境条件”并无明确定义, 提法也不确切, 属于含义不清、状况不明的粗略表述方式, 对于工作要求并无指导和借鉴意义。

环境, 新华字典的解释是“周围的一切事物”。而现代汉语词典的解释为: ①周围的地方; ②所处的情况和条件。

计量校准工作中所涉及的环境含义更倾向于所处的情况和条件。从国家军用标准中, 可以寻找出对各种不同环境的不同表述法。例如, 环境模拟、野外环境、工程保障作业环境、战场环境、室内环境、自然环境、特殊环境等^[5-12]。

自然环境, 包括不同地域特征的情况, 例如: 寻常自然环境、异常自然环境、特殊自然环境、灾害自然环境、生物环境、生态环境、各种气象环境等等。每一种自然环境又都包括了各种不同的环境要素, 并且由于表述过于粗略, 它们往往都具有不确定性。

譬如, 沙漠自然环境、湿热自然环境、寒区自然环境、自然盐雾环境。

其中的因素可能包括: 大气温度; 大气压, 低气压, 风压, 风向, 风速; 大气湿度, 积冰、冻雨、淋雨、降雨量; 大气辐射, 日光辐射, 太阳辐照度, 激光照射, β 射线辐射, γ 射线辐射, 中子辐射, 质子辐射; 流体污染, 浸渍, 酸性大气; 霉菌, 盐雾; 雷击, 雷暴,

浪涌,冲击波超压,光冲量;沙尘,吹沙,低能见度。

另外,这些环境也可能按照其某一代表性特征被表述成:高温环境、低温环境、温度冲击环境、交变温度环境、恒定湿热环境、交变湿热环境等不同的方式。

以上主要涉及物理环境,实际工作中也包含一些化学环境。例如,空气中的物质:二氧化硫、硫化氢、氧化氮、臭氧、盐酸、氢氟酸、氨、油雾、盐雾、粉尘、沙暴;霉菌、动物、有害昆虫等。

自然环境之外,即属于人工环境,包括人工物理环境、人工化学环境。例如:振动,颠簸,随机振动,倾斜摇摆,炮击振动,飞机炮振,加速度;冲击,舰船冲击,弹道冲击,爆炸大气,爆炸分离冲击,坠撞,倾跌;噪声,空气噪声,水声;放射性粒子云。多属于人造物理环境条件。

另外,一些特殊的计量测试活动所面临的环境,属于人工环境。例如,放置于火炮膛内的测量火炮膛压的“放入式电子测压器”;测量引信膛内、飞行、终点环境的“弹载全弹道动态参数快速存储测试装置”;它们的局部环境为:高温 2000 °C 以上、高压 1 GPa 以上、高冲击加速度 20 万 g 以上,需要测量记录毫秒、微秒、甚至纳秒量级的高机动性的瞬态过程^[13]。

例如,高速撞击侵入过程测试:高冲击加速度 20 万-30 万 g;爆炸冲击波及其毁伤参量测试;油井测压器;弹载记录仪(黑匣子)测试等等;其面临的局部环境均是特殊的人工环境条件。

从这些不同的表述上看,环境条件变化多端,影响因素众多,其中的排列组合极为复杂,若想简洁明了而又清晰明确地表述和区分不同的环境条件,并不是一件轻而易举的事。

例如,仅仅针对物理环境,人们就可以抽象出大气环境、气象环境、电磁环境、光环境、声环境、力学环境、生物环境、真空环境等不同特征的表述方式。

从本质上看,任何一种环境都是各个不同要素共同组合作用的结果,所不同的仅仅是这些要素的条件和取值范围不同而已。

极限环境是人们经常提及的一个概念,它多指某一项或几项环境条件特征呈现出超乎寻常的状态,表现为超高、超低、超强、超弱、超软、超硬、超复杂等。极限环境超出通常意义上的普通环境,很多属于人工环境。极限环境下的活动往往呈现艰难化和复杂化,通常意味着增加巨额成本、极易产生伤害与损毁。

极限环境并不等同于复杂环境,极限并不一定复杂,而复杂并不一定处于极限状态。

恶劣环境也是一个常见的表述法,但也是一个更加主观的概念。通常是指对处于环境中的主体说来,濒临或超出其承受能力极限的环境条件,令其感觉不舒服,或功能、性能呈现下降状态的环境条件。

恶劣环境之所以是一个主观概念,是因为没有绝对的恶劣与否的定义。例如水下生存对于人类来说属于环境恶劣,而对于鱼类,则恰是寻常环境,盐雾下的海水环境,对于多数金属具有腐蚀作用,因此对于很多包含金属零部件构建的仪器设备属于恶劣环境,但对于某些有机高分子材料以及石料等,则没有伤害,因而不属于恶劣环境。

因此,有必要对环境条件进行分类研究与阐述,并以标准化方式进行表述和构建,以便将其更加明确地应用于计量校准中。

2 环境条件及其分类

2.1 环境要素

在讨论环境分类之前,首先应明确的概念是环境要素,现代汉语词典称它们是构成环境的基本单元。不同的环境要素在形态、组成和性质上各不相同,彼此独立。通过物质转换和能量传递而相互联系,构成环境的整体。有了环境要素的概念,人们就比较好描述、分类、归纳和总结环境条件了。

环境要素齐全完整的表述被认为是确定、完备的描述方法,但不一定是唯一的描述方式。不完整的要素要求隐含着未知的不确定性。例如,自然环境要素,包括水、空气、生物、土壤、岩石、阳光等。缺少其中的任何一项都是不完整的自然环境描述,而其中的任何一个要素的变化都是自然环境发生了变化。

总体而言,可以将计量校准所涉及和关心的环境要素概括为以下几类:

①媒介条件:主要指构成周围环境的媒介的主体。通常的媒介包括空气、淡水、海水、真空、油液、污秽物、毒害气体、毒害液体、污染物及火焰等。

②场条件:主要指周围存在的物理场条件。通常包括电磁场、温度场、湿度场、噪声场、光辐射场、电离辐射场等。

③力学条件:主要指周围存在的使环境中主体感受到力的作用的物理条件。通常包括振动、冲击、压力、旋转、摆动、流动、机动过载、爆炸冲击波等。

④空间条件:主要指周围存在的使环境中主体感受到的可以利用的自由空间条件。通常包括开放空间、封闭空间、半开放(半封闭)空间、狭小空间。

上述四类条件能成为环境要素,其本质原因包括两个方面,其一是该要素在变化时,会对测量结果产生影响,即它本身是测量的影响量。例如场条件和力学条件多半属于这类范畴。其二是该要素虽然本身不是测量结果的影响量,但却会对测量过程的顺利实施与否造成影响。例如媒介条件和空间条件多半属于该类范畴。

2.2 环境条件分类

有了上述四类环境要素的抽象后,环境条件的分类即可容易进行。首先以一类要素为主进行区分分类,然后再按照重要程度或关注程度依次确定其它类别要素的条件即可完成分类。

例如,按照媒介要素分类,可以有真空环境、空气环境、瓦斯气体环境、天然气体环境、淡水水下环境、海水水下环境、石油液体环境、 SO_2 气体环境、甲烷气体环境、污水水下环境等。

若确定为空气媒介环境,则对其中的场条件特性,包括电磁场、温度场、湿度场、噪声场、光辐射场、电离辐射场均应有明确具体的要求;对其中的力学条件特性,包括振动、冲击、压力、旋转、摆动、流动、机动过载及爆炸冲击波也应有明确具体的要求;对其中的空间条件特性,包括开放空间、封闭空间、半开放(半封闭)空间及狭小空间应给出具体说明与阐述。

若确定为真空环境,则其场要素中的温度场、湿度场、噪声场,其力学条件要素中的爆炸冲击波等均不存在,但其它各个要素应予以明确。

若确定为海水水下环境,则其场要素中的电磁场、温度场、湿度场、噪声场、光辐射场等等均不存在或影响可以忽略,而其它各个要素应予以明确。

环境条件的分类与完整表述实际上是非常复杂繁琐的,为了简化表述,人们往往将多数环境条件的影响予以忽略,只列出最容易引起结果变化的环境影响量予以明确,并将其称之为标准环境或参考环境。例如,给出正常大气条件,温度为 $15 \sim 35\text{ }^\circ\text{C}$, $45\% \text{ RH} \sim 75\% \text{ RH}$, $86 \sim 106\text{ kPa}$ 。认为多数在空气环境下的实验室均可以达到该条件。人们给出判定大气条件,温度为 $25 \pm 1\text{ }^\circ\text{C}$, $48\% \text{ RH} \sim 52\% \text{ RH}$, $86 \sim 106\text{ kPa}$ 。以比正常大气条件严格一些的约定,用来判定仪器系统的技术参数是否符合要求,并比较不同仪器设备的性能优劣。

显然,这里仅仅列出温度、湿度和压力三个环境要素,其它环境要素的影响被忽略了。

3 环境条件的规范性表述

环境条件的表述,可以分为恒定环境与非恒定环境两类。恒定环境是全部环境要素恒定不变的理想情

况,非恒定环境则复杂得多,可以是仅有一个环境要素在变化的单变量环境系统,这也是各类环境试验所采用的常见环境系统。此时若该环境要素的变化规律是平稳随机过程式变化,或在某一个范围内呈周期性变化,则将其称之为单变量稳态变化环境。若该环境要素呈瞬变规律急速变化,例如冲击、阶跃等规律,则可以将其称之为单变量瞬态变化环境。

非恒定环境中,最常见的情况是不止有一种环境要素在变化,称为多变量变化环境。这些变量既可以是同时在变化(称之为环境综合变化),也可以是顺序变化(称之为环境组合变化)、间歇变化等,变化的组合状况和规律均可能非常复杂。这种情况下,环境条件的完整表述应该是每一种环境要素及其变化规律的完整表述。

实际上,每一个环境都是多维的,其维数就是其环境要素的个数。在实际的计量校准中提及环境条件时,通常很少提环境要素,而是直接提环境变量。从表面上看,人们可以将环境要素的变化直接等同于环境变量的变化。其深层次的原因不仅如此,它隐含着另外一种观念,即对于某一个具体的测量原理下的测量过程而言,并非每一个环境要素的变化都能对测量结果造成显著影响。通常只将那些能对测量结果造成显著影响的环境要素列为环境变量,而众多对测量结果没有影响或影响可以忽略的环境要素,通常不被列为环境变量。

例如,温度、湿度在很多情况下都对测量结果有显著影响,故它们在多数情况下都被列为需要特别控制和管理的环境变量。

对于电子测量仪器设备而言,强电磁场和电磁波一直是比较主要的影响因素,因而常被列为环境变量,而对于具有良好接地屏蔽的系统而言,电磁场和电磁波造成的影响可以忽略,此时,可以不将其当作环境变量来处理。另外,对于激光测量而言,再强的电磁场都很难对其光学系统产生显著影响,因而,此时也可以不将电磁场作为环境变量处理。

环境要素是否被当作环境变量还与测量准确度要求密切相关,对于较低准确度的测量而言,一些环境要素的影响不占主流,可以忽略不计,因此不被当作环境变量处理。而当对测量准确度要求提高到一定程度以后,不能再忽略其对测量产生的影响时,自然就成了环境变量。例如在激光干涉测距离时,空气折射率的影响就属于这种情况。

4 计量校准中的环境应对之策

在确立了环境条件的完整表述原则以后,考虑到

环境影响量的作用因素,可以将那些对测量结果没有影响或影响可以忽略的要素,不在环境条件中特别考虑。则计量校准所能采取的环境应对之策随之确定。总结起来,主要有以下几种:

①选择或研制适应环境的计量校准系统。使其在所涉及的变化环境或极限环境下,仍然能够有优良的适应性以及测量准确度。该策略对测量系统以及计量校准装置要求极高,所采取的措施包括校准原理、校准技术、校准软件和方法等各个方面,难度最大。

②局部环境控制策略。该策略不改变校准系统本身,仅仅通过将其封闭到一个局部狭小空间环境内,在此局部环境内进行环境条件控制,使其工作在良好性能状态,以提高整个计量校准过程的环境适应性。例如,可以在北方严冬的 $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的野外环境下,靠计量校准方舱,使得舱内的环境温度控制在 $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 左右,以适合计量校准系统工作,顺利完成计量校准任务。又比如,在电磁环境极为复杂的通讯对抗环境中,采用流动屏蔽室方式,将计量校准仪器设备置于其中,使其不受影响,也是局部环境控制策略之一。该策略是目前大多数现场校准应对环境因素的方式,应用广泛,效果良好。

③影响因素的降维策略。为了适应严酷的环境影响,使用对其中一种或几种影响量不敏感的技术或原理执行计量校准,以达到减少影响量、降低影响因素维数的效果。例如,采用光纤传感器进行应变、温度、压力等量值的测量,以替代应变片、热电偶、压电式传感器,由于光波对于电磁干扰因素不敏感,使得电磁场与电磁波的影响因素降到可以忽略,达到降低影响因素维数的效果。该策略是目前大多数现场校准研究应对环境因素的主要方法之一,技术在持续发展,前景广阔。

5 讨论

从上面的讨论可见,在计量校准中,环境问题非常重要且复杂,因其对测量带来的影响的复杂性和多样性,量值传递与溯源的大多数活动都规定了一个标准环境,以便使得所讨论的量值结果在不同的实验室之间具有含义一致性和可比性。所允许的标准环境参数的波动范围也是在其对测量结果造成的影响可以忽略或有效修正的前提下设定的。伴随着计量校准活动从实验室的标准环境走向工业现场,走向军事战场,走向海洋,走向深空,环境带来的影响已经远不能忽略。在这种情况下,寻求各种可以适应不同环境条件的高准确度计量校准技术和方法成为计量校准的一个

发展方向。首先,对环境条件进行分类并确切描述是最为重要的。否则,仅仅使用“复杂环境”这样的表述,人们依然很难体会其复杂在何处,更无法在不同的专题中达成共识。

对于计量校准中环境因素的影响量的确定与评估,涉及到如何构建环境实验室的校准能力,对于环境的分类表述具有更加重大的意义和价值。此时,使用媒介环境、场环境、力学环境、空间环境的分类要素来规划与构建,并形成明确的环境变化谱,将使得全部环境因素清晰明了,并易于系统展现。

除了在大气中所作的各类校准试验所需的常规的与特殊的环境条件以外,在面向宇宙航天的各项任务中,构建模拟宇宙空间的真空环境、零重力环境、宇宙射线辐射环境、电离层环境、浮离地环境等均是必须考虑的环境条件。

在面向海洋的各项任务中,海水水下环境、深海高压环境、高湿度盐雾环境、舰船上的复杂电磁环境、潜艇内的封闭空间环境、高压水声环境等需要着重考虑。

在与环境保护、环境污染有关的计量校准方面,各种气体、液体、流体、化学污染物、污水、废渣、废液等,是需要重点考虑的环境条件。且它们并非单一存在,往往是多种污染物混合出现,且可能产生各种生化反应,形成新型污染物。它们对传感器、测量分析仪器的综合作用效果,均需要已知环境条件的计量校准技术予以解决。

6 结束语

计量校准中环境因素的影响是复杂而多方面的。本文通过介绍环境要素分类的方式,对其进行系统性和标准化表述、构建、分析。主要从环境媒介、环境场、环境力学条件、环境空间等几个方面去展开,避免“复杂环境”一类不确定的表述,给人以清晰明了的认知与共识,促进计量校准中环境因素的研究与应用。

参考文献

- [1] 何昭,郭晓涛,张亦弛.“复杂环境下通信和测量设备的计量溯源关键技术研究”项目获“国家质量基础的共性技术研究与应用”重点专项支持[J].中国计量,2017(12):64-66.
- [2] 严守道,袁海文,陆家榆,等.复杂环境下地面合成电场测量系统的研究[J].电网技术,2013,37(1):183-189.
- [3] 郭万林.复杂环境下的三维疲劳断裂[J].航空学报,2002,23(3):215-220.
- [4] 舒立春,白困利,胡琴,等.基于支持向量机的复杂环境

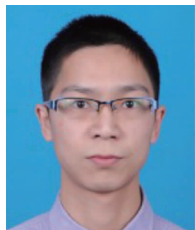
- 条件下绝缘子闪络电压的预测[J]. 中国电机工程学报, 2006, 26(17): 127-131.
- [5] 中央军委装备发展部. GJB 8848-2016 系统电磁环境效应试验方法[S]. 2016.
- [6] 中国人民解放军总装备部. GJB 8649.8-2015 水下枪械性能试验方法 第8部分: 环境模拟[S]. 2015.
- [7] 中国人民解放军总装备部. GJB 8848-2015 榴弹发射器试验方法 第6部分: 环境模拟试验[S]. 2015.
- [8] 国防科学技术工业委员会. GJB 8192-2015 舰船电子设备环境试验总则[S]. 1983.
- [9] 国防科学技术工业委员会. GJB 150.1-1986 军用设备环境试验方法 总则[S]. 1986.
- [10] 中国人民解放军总装备部. GJB 150.1A-2009 军用装备实验室环境试验方法 第1部分: 通用要求[S]. 2015.
- [11] 国防科学技术工业委员会. GJB 367.2-1987 军用通信设备通用技术条件环境试验方法[S]. 1987.
- [12] 国防科学技术工业委员会. GJB 403.4-1987 舰载雷达通用技术条件环境要求[S]. 1987.
- [13] 祖静, 马铁华, 裴东兴, 等. 新概念动态测试[M]. 北京: 国防工业出版社, 2016, 9(1): 9-18.

收稿日期: 2018-04-17



梁志国(1962-), 男, 黑龙江省巴彦县人, 博士, 研究员, 主要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。

1983 年于北京航空学院电子工程系雷达与导航专业, 获工学学士学位; 1988 年毕业于航空航天部第 304 研究所飞行器仪表与测试专业, 获工学硕士学位; 2010 年毕业于北京航空航天大学仪器科学与光电工程学院测试计量技术与仪器专业, 获工学博士学位。全国无线电计量技术委员会委员; 中国计量测试学会电子计量专业委员会委员; 全国误差与不确定度研究会理事会理事; 中国空气动力学学会测控专业委员会委员; 中国航空工业集团公司特级专家; 中国航空工业集团公司基础技术研究院首席专家; 北京长城计量技术研究所特级专家; 国防计量检定员, 国防计量主考员, 国家计量许可证考评员, 国家计量标准一级考评员, 国家一级注册计量师。已在各种杂志发表文章 160 余篇。



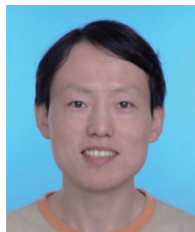
尹肖(1989-), 男, 湖北孝感人, 工程师, 主要研究方向为动态力计量校准、动态应变计量校准、振动与冲击动态测试与校准。

2012 年于南京航空航天大学飞行器设计与工程专业毕业, 获工学学士学位; 2015 年于北京长城计量测试技术研究所仪器科学与技术专业毕业, 获工学硕士学位。参与国家重大仪器专项、国防计量技术基础、国家军事计量等多个科研项目。



孙浩琳(1989-), 男, 山东烟台人, 工程师, 主要研究方向为航空发动机叶尖间隙测量、振动与冲击动态测试。

2013 年毕业于福州大学机械学院机械设计制造与自动化专业, 获得学士学位; 2016 年毕业于北京长城计量测试技术研究所测试检测技术及自动化专业, 获得硕士学位, 毕业论文获得中国航空研究院优秀硕士论文。主持完成航空科学基金 1 项; 参与国家重大仪器专项、国防计量技术基础、国家军事计量等多个科研项目。已发表学术论文 3 篇, 获发明专利 2 项。



张大治(1977-), 男, 吉林人, 高级工程师, 中国航空工业集团公司北京长城计量测试技术研究所重点实验室, 动态测试校准技术研究方向学科带头人。

1996 年天津大学光电信息工程专业毕业, 获学士学位; 2010 年获北京航空航天大学仪器仪表专业硕士学位; 2012 年起在德国德累斯顿工业大学信息工程学院测量测试专业高级技术访问一年。国家振动冲击转速标准化委员会委员。已完成技术基础科研课题 15 项, 国家重大仪器专项 1 项, 创新基金课题 16 项, 智力引进项目 1 项, 攻克了 25 万 g 超高冲击加速度激励及激光绝对法溯源、从 0.01 Hz 超低频大振幅到 50 kHz 高频微振幅振动激光绝对法溯源、三轴振动激光绝对溯源、1.5 kHz 高频角振动低失真激励及激光绝对法溯源、高速转子综合参数激光多普勒测量、任意表面激光测振、瞬态散斑全场振动测量与校准等多项关键技术, 具备 1 km/s 瞬态高速激光测量、1.5 km/s 流场瞬态速度分布激光测量、多点振动激光同步测量、发动机转子叶片振动模态精确测量等技术能力, 获得国防科技进步一等奖 2 项, 二等奖 2 项, 集团科技进步一等奖 2 项, 二等奖 1 项, 已发表论文 15 篇, 获得发明专利 6 项, 参加 4 项国家标准和计量技术规范的制订。