

标准参考数据的科学内涵及发展战略研究

方向*, 于连超, 任思源, 熊行创

(中国计量科学研究院, 北京 100029)

摘要: 标准参考数据是一类高质量科学数据, 兼具计量科学特征和技术标准属性, 是国家重要的科技基础和战略资源。我国标准参考数据的研究与建设基本处于空白状态, 大幅落后于国际先进水平, 造成科学研究和生产的系统性风险。本文详细阐明标准参考数据的科学内涵、外延特征及其战略价值, 深度分析美国标准参考数据的发展脉络、管理体系、国际影响及其实际应用, 在此基础上梳理我国标准参考数据的发展现状, 重点指出其中存在的概念不清晰、顶层设计不足、数据资源积累匮乏、管理体系缺失等关键问题, 并系统地设计了我国标准参考数据的建设路径。研究建议, 建立健全标准参考数据政策制度体系; 强化研究与建设经费保障; 加强宣传教育, 加快人才培养; 汇集多方力量, 加大国际合作。

关键词: 科学数据; 计量溯源; 标准化; 标准参考数据

中图分类号: G301; G203 **文献标识码:** A

Scientific Connotation and Development Strategy of Standard Reference Data

Fang Xiang*, Yu Lianchao, Ren Siyuan, Xiong Xingchuang

(National Institute of Metrology, Beijing 100029, China)

Abstract: Standard reference data is a type of high-quality scientific data and has both metrological and technical standard attributes; therefore, it is an important national science foundation and strategic resources. Research on the standard reference data in China lags significantly behind the advanced world level, causing potential risks to scientific research and production. This study explores the scientific connotation, extended characteristics, and strategic values of standard reference data, and analyzes the progress, management system, international influence, and practical application of standard reference data in the United States. Moreover, the current status of standard reference data development in China is viewed, key problems such as unclear concept, insufficient top-level design, lack of data resource accumulation, and missing management system are highlighted, and a construction path for standard reference data in China is proposed. Furthermore, the study recommends establishing a sound policy system for standard reference data, strengthening the financial guarantee for relevant research, strengthening publicity and education to accelerate the cultivation of talents, and encouraging international cooperation.

Keywords: scientific data; metrological traceability; standardization; standard reference data

收稿日期: 2023-02-14; **修回日期:** 2023-03-21

通讯作者: *方向, 中国计量科学研究院研究员, 研究方向为计量测试技术与仪器; E-mail: fangxiang@nim.ac.cn

资助项目: 国家科技基础资源调查专项“生命科学领域标准参考数据资源调查及数据库构建”(2022FY101200); 国家自然科学基金委专项“信息与电子领域工程科技未来20年发展战略研究”(L2124012)

本刊网址: www.engineering.org.cn/ch/journal/sscae

一、前言

当前,科学数据已成为科学研究的关键成果和重要的基础性、战略性资源。2020年,美国知名咨询公司弗若斯特沙利文(Frost & Sullivan)预测,未来90%的变革性科技突破都依赖于数据流动和使用^[1]。随着信息技术的不断发展,科学数据的生成方式越来越多样,数据量越来越大,数据获取难度越来越低,应用领域越来越广泛。这一方面为科学研究积累了大量潜在的经验知识,另一方面也会带来大量低质的、未经验证的数据,从而降低研究的可信度和质量。在科学研究的“大数据时代”,对于高质量数据资源的需求愈发积极和紧迫。2018年3月,国务院办公厅印发《科学数据管理办法》,明确指出有关科研院所、高等院校和企业等单位是科学数据管理的责任主体,确保数据质量是其主要职责之一^[2]。

标准参考数据(SRD)是一种经过严格评价和准确性验证的数据,用以描述现象、物质或系统的特性,涉及物理、化学、生物、信息技术等众多领域,是典型的高质量科学数据。标准参考数据的生成方式通常基于计量学概念和方法,使科学研究过程中产生的测量数据具有明确的测量不确定度,并溯源至相应的测量标准,从而建立数据质量的“可追溯性”^[3];同时,还需基于权威和规范的原则和程序,对其他数据特性(如完整性、安全性等)进行评估审查。

标准参考数据具备科学性、权威性、实用性和稳定性,能够为基础研究、技术应用和标准化活动提供坐标系和参考系。标准参考数据既是可靠的量值库,也是人类宝贵的知识库。欧美先进国家和地区早已开展标准参考数据建设工作,在数据开发积累、技术与产业应用和扩大国际影响力方面占据了先发优势,而国内目前对于标准参考数据概念了解甚少,战略布局尚未系统展开。本文详细阐述标准参考数据的科学内涵、外延特征及其战略价值,系统分析美国标准参考数据战略发展经验,立足我国标准参考数据发展现状与问题,构思建设路径,并形成对策建议,以期为促进我国标准参考数据建设提供参考。

二、标准参考数据的科学内涵与价值特征

根据 ISO/IEC GUIDE 99:2007 《国际计量学词

汇——基础和通用概念及相关术语》(VIM)显示,标准参考数据是指从确定的来源获得,经公认的权威机构严格评估和准确性验证并发布的,与某种现象、物体或物质特性有关的数据,或者与已知化合物成分或结构系统有关的数据^[4]。这一定义是由国际标准化组织(ISO)、国际电工委员会(IEC)、国际临床化学和实验室医学联盟(IFCC)、国际纯粹与应用化学联合会(IUPAC)、国际纯粹与应用物理学联合会(IUPAP)、国际法制计量组织(OIML)、国际米制公约组织(BIPM)等七大国际组织联合提出的,具有相当高的权威性。根据特征不同,国际数据委员会(CODATA)进一步将标准参考数据分为三类:一是给定物质或系统的特性数据,二是观测数据,三是统计数据^[5](见表1)。

美国国家标准与技术研究院(NIST)提出了标准参考数据的评估原则^[6]。针对数值数据(如物质或物质系统的属性信息),需要保证数据的完整性(例如,明确测量不确定度和相关测量标准),检查数据的合理性(例如,比较数据与物理原理的一致性,对比不同的独立方法获得的数据),并评估数据的可用性(例如,包含元数据和完整记录的测量程序);针对数字数据对象(如图像、视频),首先要确保该对象是基于物理原理、基础科学或广泛接受的数据收集标准操作程序获取的,并且要检查该对象已经过测试,或者其计算数据和实验数据已经过定量比较。

(一) 标准参考数据属于计量科学范畴

标准参考数据是一类测量数据,其根本属于计量领域。计量具有准确性、一致性和溯源性等基本特征。“已知来源”(identified source)、“严格评价”(critically evaluated)和“准确性验证”(verified for accuracy)是标准参考数据的基本要求。“已知

表1 标准参考数据分类

分类	特征	举例
类别A	根据已定义的系统得出的具有可再现性的数据	物理、化学材料
类别B	通过观测获得的数据	生物、天文、资源、地球科学
类别C	统计调查数据	基因、人体骨骼、心电图

来源”表明标准参考数据应具有明确的参考来源，物化数据的量值能够溯源至特定的测量标准，即具备“溯源性”。“严格评价”表明标准参考数据经过正式的形式审查与数据质量评测流程，从而可复现、可比较，符合“一致性”要求。“准确性验证”表明其测量方法合理、测量结果准确，具有较小的测量不确定度，符合“准确性”要求。在国际上，标准参考数据是计量学的重要概念。早在1984年，BIPM联合IEC、ISO、OIML等有关国际组织就将标准参考数据纳入共同编撰的国际指南（VIM），旨在全球范围内统一计量学基本术语。美国有学者将标准参考数据与“性能标准”（performance standards）和“测试方法”（test methods）都纳入测量标准（measurement standards）范畴^[7]。

在不同国家，标准参考数据均被纳入计量工作范畴。标准参考数据是各国计量法的重要组成部分，如俄罗斯《关于确保测量统一的联邦法》对标准参考数据的管理机构、重点建设领域、评审要求等进行了规定。同时，标准参考数据工作具体由国家计量研究院组织协调，如NIST对全国标准参考数据工作进行管理协调，德国联邦材料研究和测试研究所（BAM）和德国联邦物理技术研究院（PTB）共同负责发展德国标准参考数据。

（二）标准参考数据是标准化活动的基础

标准参考数据本身是标准化活动的成果。根据ISO和IEC关于标准的定义，标准具有“经协商一致”“由公认机构批准”和“供通用或重复使用”等要求，而标准参考数据在审核确认过程中，需要“严格评价”和“准确验证”，并由公认的权威机构发布，特别是国家标准参考数据（NSRD）须由国家认可的权威机构发布，并由政府部门负责管理。同时，各国也对标准参考数据产生过程提出明确要求，这也符合了标准化活动的程序正义。例如，美国于1963年建立了国家标准参考数据系统（NSRDS），整合了来自政府机构、学术机构和非政府实验室所属数据中心的各类数据，并由NIST的前身美国国家标准局（NBS）组织开展数据评估、审查和汇编。因此，标准参考数据本身具备了标准的基本要素。经过长期积累、验证和迭代，标准参考数据已成为各领域科学发现、先进技术和经验知识的集成总结。“基于经过整理的科学、技术和经验”是对标准

技术内容的要求^[9]，标准参考数据成为技术标准化活动的坚实支撑。例如，“先进材料和标准凡尔赛合作计划”（VAMAS）特别强调标准制定前的测试研究、试验结果相互比较等工作，旨在获得高质量的标准参考数据，为国际标准的发展做出贡献^[9]。

（三）标准参考数据是国家战略科技资源

在大国竞争背景下，国际竞争向基础研究领域前移，科学数据成为国家竞争的优势资源，对数据的重视已成为国际共识。作为科学数据的一个重要分类，标准参考数据正在成为科学研究的新驱动力，是国家重要的战略科技资源。一方面，现代科学研究会产生海量的科学数据，而要想真正实现科学大数据的价值，对数据的整合汇编、价值研判和开放共享是基础。通过建立和使用标准参考数据库，可以有效防止各领域重复性实验，并减少由于实验结果不准确而造成的损失，提升实验权威性和说服力，缩短研究周期，从而在科技竞争中占得先机。另一方面，标准参考数据库是动态迭代的，自建立之时起，数据库能够不断吸纳权威研究机构、实验室或先进企业的最新实验数据，并对已有数据进行迭代，确保支撑最新研究进展。经过长期迭代的先进标准参考数据库甚至会形成科技垄断，加剧国际竞争“卡脖子”局面。例如，我国在购买或免费申请使用部分国外标准参考数据库时，数据所有方并不会直接将数据交给我们，而是需要我们将现有的科研数据发送给他们，再由他们对数据进行加工处理后反馈给我们。如此，不仅将我们的数据资源贡献给国外，使国外的标准参考数据库不断发展壮大，也使我国最新研发进展暴露无遗，更有甚者，对方可能会反馈错误数据，从而误导我国科研方向，耽误科研进度。如此，我们的基础研究将总是处于跟踪模仿阶段，更可能会导致我们在战略必争领域丧失主动权。

（四）标准参考数据是产业发展的“数字标准”

仿真建模是产品开发初期的重要技术手段。通过流程模拟，可有效降低实验测试次数，突破现实条件局限，节约研发时间与资金^[10]。在这一过程中，标准参考数据发挥重要作用。使用标准参考数据进行材料和工艺建模可以最大程度地降低过程设计、工艺改造等过程中的误差，减少整个研发和生

产过程中可能出现的错误的杠杆效应，并能够提升生产线标准化水平，提高产品质量。另一方面，随着国际单位制（SI）量子化变革的实现以及产业数字化转型不断深化，测量标准将逐渐由“实物化”向“数字化”转变，标准参考数据的应用将越来越广泛，发挥着“数字测量标准”的作用。这是因为传统实物测量标准的操作和使用受地理因素影响较大，且量值会随环境和时间发生变化，而标准参考数据能以二进制形式存储在网络数据库中，随时可取可用，不受外界环境等因素影响^[11]，具有更高的稳定性和可用性。在产业数字化转型背景下，传统的“原级测量标准—一级测量标准—工作测量器具”的多级量值传递溯源体系将逐渐被“标准参考数据—工作测量器具”的扁平化体系取代。健全完善的标准参考数据库将作为“数字测量标准”服务于数字化、智能化生产，技术人员不再需要对仪器设备进行实地检测校准，远程、在线和实时校准模式将极大地提升生产效率。

三、国际标准参考数据发展典型案例研究——以美国为例

美国具有浓厚的数据底蕴。在建国初期，美国立宪会议确定了国会实行参众两院制，众议院席位按人口比例在各州之间分配。人口数据就变得尤为重要，人口普查也因此被写进了美国宪法^[12]。一位美国著名统计和管理学家说过：我们信仰上帝，除了上帝，任何人都必须用数据来说话^[13]。可以说，“数据分权”的治国理念早已被刻进美国的基因中，联邦政府高度重视数据资源建设和数据规则制定。美国标准参考数据发展历史悠久，资源丰富，制度完善，且影响广泛，成为美国科技创新引领全球的重要支撑，是实现“美国优先”的科技战略基础资源。

（一）发展历史悠久，先发优势明显

物理科学与技术的基础研究本质上涉及到对材料或系统的某些性质进行定量测量。这些测量结果有助于我们理解世界的结构和自然过程，构成了应用研究的基础，也是工程化活动的必须要素。事实上，从有记录的科学发展早期开始，科学家就一直零星开展对物质特性数据的汇编和评估工作。然

而，实践中有两个主要困难，一是数据收集过程会耗费大量的个人精力，并存在重复劳动的可能性；二是数据评估的权威性、认可度有限。因此，需要从更高层面上对标准参考数据建设开展部署，以提升效能。1900年，时任美国财政部部长向国会提交了一份拟议法案，建议成立“美国国家标准局”，将“确定物理常数和材料特性的数据”明确为其六大职能之一，并在随后被完整地纳入《国家标准局法案》^{[14][15]}。美国也成为世界上最早在法律层面提及标准参考数据的国家。NBS在1909年开展了对致冷剂特性的有关研究，并进行了数据评估和标准化工作^[16]。20世纪20至30年代，美国国家科学院组织世界各地的科学家编制了《国际科技常数手册》（International Critical Tables），至今仍被广泛参考^[17]。经过120多年的长期发展和迭代积累，NIST目前已建立和维护了100多个标准参考数据库，年销售量超过6000个单元，年下载数据量超过1.3亿。资源丰富、影响广泛、方便易用的标准参考数据库已经成为NIST，乃至美国创新体系的核心能力之一。

美国标准参考数据的建设有明显的先发优势。一方面，标准参考数据建设的投入周期长，前期投入成本高，后期可变成成本低。基于成本—收益理论分析，从短期来看，数据使用主体直接引进数据的私人边际收益大于私人边际成本，自主建设数据的私人边际收益小于私人边际成本。随着周期不断增长，数据规模增大、质量提升，引进数据的私人边际成本不断提高，而自主建设的私人边际成本却在降低。因此，就长期发展而言，标准参考数据建设具有先发优势，标准参考数据从根本上是对基础科学水平和大量研发投入的长时间积累的体现，后进主体难以实现赶超。另一方面，标准参考数据是一种异质性资源。根据资源基础理论，异质性资源是指具有优势生产特征的资源，表现为有价值性、稀缺性、难以模仿性和难以替代性。资源基础理论表明市场主体对异质性资源的占有使其能够获得可持续的竞争优势。如果先发优势存在，一个产业内的企业在他们所控制的资源方面应该是异质的。标准参考数据的先行建设主体往往会综合利用法律、技术、标准等多重手段限制潜在竞争者加入这一竞争行列。这构成了“先发优势—数据垄断—被迫使用—进一步扩大竞争优势”的相互反馈的循环，使得

竞争对手难以聚集足够的用户数量，实现“市场挤出”效果，进而降低了数据竞争效果，可能会造就先进主体的垄断地位。

(二) 重视规则建构，管理体系完善

历史上，美国的大部分标准参考数据编制工作是以项目形式开展，数据成为“一次性”产品，在项目结束后就不再更新，并且缺乏协调或标准化的数据格式。究其原因，是缺乏一套一致的数据管理体系。以编制《国际科技常数手册》为例，美国国家科学院为此专门设立了办公室（Office of Critical Tables），但其既没有行政权力，也没有财政经费来行使管理和运营职能，仅仅发挥了协调和激励作用。联邦科学技术委员会认识到这些问题，于是建议设置一个全面的协调机制。通过这一建议，联邦科学技术委员会和总统科学技术办公室于1963年联合颁布了一项联邦政策，建立NSRDS，并将其管理职责交给了NBS^[18]。总体来说，NSRDS有两大目标：一是协调管理全国范围内的标准参考数据活动；二是向公众提供专门的数据服务。为此，NBS采取了一系列细化措施。首先，NBS制定了相关准则，明确了数据管理范围，包括核性质、原子和分子性质、固态性质、热力学和传输性质、化学动力学、胶体和表面性质以及机械性质七个方面；制定了数据评估、数据质量、数据格式等方面的标准，并设立标准参考数据办公室（Office of Standard Reference Data）统筹管理。其次，建立了标准参考数据中心网络，由位于NBS的国家标准参考数据中心（NSRDC）和其他标准参考数据中心组成。这些中心由大学、研究机构和其他非政府机构资助和管理，并需满足NSRDS相关的数据标准和其他建设要求。最后，NBS还为公众提供周到的数据产品服务。根据需要，NBS可以输出多种形式的数据产品，包括专著、公开评审意见、电子数据文件、数据修正服务、标准分析仪器等。

NSRDS为美国标准参考数据体系的管理和运行确立了成熟的框架结构，并一直维持至今日。1968年，美国国会通过了《标准参考数据法案》（Standard Reference Data Act），从法律层面对标准参考数据进行了定义，该法案也正式创建了国家标准参考数据项目，并于1969年拨付专款用于项目实施。2017年，美国对《标准参考数据法》进行修

订，对标准参考数据的定义进行完善，将物质或物质系统的生物属性、系统工程特性、各种数字对象数据等纳入范围，并为新定义下的标准参考数据修订了评估原则，这也是标准参考数据在信息时代的一次重要演进。

(三) 资源垄断全球，主导国际规则

国际数据权力仅仅依靠数据资源的积累和扩散是不够的，只有将其规则化和机制化，成为国际社会接受的共识和遵守的规范，其权力才能真正得到巩固和强化^[19]。美国在其国内开展标准参考数据工作的同时，也主导了一系列国际标准参考数据项目合作。早在20世纪20年代，美国国家科学院就在编制《国际科技常数手册》过程中发挥主导和协调作用。1958年，美国哥伦比亚大学应用物理与工程系主导设计了微观中子数据库Computer Index of Neutron Data (CINDA)，汇集了自1935年起关于中子截面和其他微观中子数据的测量、计算、评估和审查的参考资料。时至今日，中子截面数据的汇编和评估已经受到广泛的国际关注，俄罗斯、加拿大、英国、法国、国际原子能机构等国家和组织均建立了基于CINDA架构的原子核数据库^[20]。

除此之外，美国还在许多国际数据组织中占有主导话语权。CODATA最早由来自美国国家科学基金委和NIST的三位科学家发起成立，是一个非营利、非官方和非政治性国际组织，旨在提高所有科技领域内重要数据的质量，增强数据的可靠性，改进数据的管理，扩大数据的可获取性，属于科学数据方面最知名的机构。CODATA在成立之初就由美国国家科学院科技常数手册办公室主任担任委员会主席。后来，CODATA以其与NIST、BIPM合作开展的基本物理常数测定工作而闻名。从1988年开始，CODATA与NIST、BIPM的联合工作组每四年都会发布基本物理常数推荐值，为科学界提供最一致的标准参考数据。CODATA每次发布的基本物理常数推荐值都会收录于NIST标准参考数据库中^[21]，并在《物理和化学参考数据杂志》发布。可以说，美国一直是该组织的实际领导者。美国还协调英国、法国、德国、意大利、加拿大等国家建立了有关先进材料及其标准的“凡尔赛计划”（VAMAS），开展高分子材料、复合材料等新材料的试验、评估和标准化工作，其成果被ISO采纳。目前VAMAS

已建立45个技术工作组,涵盖了先进材料应用的广泛的标准研究需求。

(四) 应用领域广泛,并发挥关键作用

得益于长期的数据积累和完善的管理体系,美国标准参考数据的应用广泛性和影响力已达到相当高度。其中,科学研究是标准参考数据最基础的应用领域。例如,由NIST、美国国家环境保护局(EPA)和美国国立卫生研究院(NIH)共同建立的质谱数据库(NIST/EPA/NIH Mass Spectral Library,以下简称NIST质谱库)是在世界范围内应用最为广泛的质谱库之一,最新的NIST质谱库包含超过100万张质谱,其中包括350 000种化合物的306 000张EI(电子轰击电离)光谱和1 320 000张串联MS/MS光谱。NIST还专门研制了配套的谱库检索程序,便于用户检索和分析数据,并与其出售的分析仪器捆绑销售^[22]。目前,几乎所有的GC-MS分析仪器都配备了NIST质谱库,此举也加深了用户的数据依赖性。由于该数据库每几年就会进行版本和内容的更新,用户若想随时获取最新的数据资源,就必须不断购买最新的分析仪器。

工业生产也是标准参考数据的用武之地。以化工领域为例,Aspen Plus是全球公认的标准大型稳态过程模拟软件,在行业中发挥着极为关键的作用。全球各大化工、石化、炼油等过程工业企业及著名的工程公司都是Aspen Plus的用户。物性模型和数据是得到精确可靠的模拟结果的关键,该软件背后的各类集成数据库是最核心的组件。NIST建立维护的化学标准参考数据库(NIST Chemistry WebBook)是其中的重要一环。不同于其他数据库,NIST库是直接放置在Aspen Plus软件工具栏的“Data Source”选项中的,这也显示着它不一样的地位。对于每个不同条件下的数据,NIST库都标注了参考文献,这意味着用户在找到想要的数据后,可以直接查看原文献,这确保了数据溯源性和拓展性,也极大提升了模拟效率。

值得一提的是,标准参考数据在美国“芯片计划”的实施过程中同样发挥了重要作用。美国于2022年8月出台了《芯片与科学法案》(CHIPS and Science Act 2022),并拨款96.8亿美元,授权NIST开展先进计量技术和标准研究。NIST随后发布《美国半导体制造业的战略机遇》报告^[23],分析了

美国新一代半导体生态系统面临的关键计量挑战以及应对策略。报告系统总结了芯片生产的四大关键要素——原材料、集成电路设计、制造和封装测试,而描述原材料、元器件物化性质的标准参考数据在设计、制造过程的建模仿真和组件集成中发挥着不可或缺的作用,是NIST落实“芯片计划”的重要部署。

四、我国标准参考数据发展现状与问题

相较于美国、英国等发达国家,我国科学数据资源的研究和建设起步较晚,直到1982年,第一篇关于科学数据的中文研究文献才被发表^[24]。而标准参考数据的有关研究迄今鲜有。我国也仅有部分科研机构在个别领域参与国际标准参考数据建设工作。例如,在基础物理领域,中国计量科学研究院基于定程圆柱声学原级测温和量子噪声原级测温方法,对玻尔兹曼常数进行精确测量,测量不确定度分别达到了 2.0×10^{-6} 和 2.7×10^{-6} ,获得了相应方法全球最佳的测定结果。两种方法的测量结果均被CODATA国际基本物理常数推荐值收录,并为温度单位开尔文(K)的定义做出了贡献。中国科学院基于大科学装置兰州重离子加速器冷却储存环(HIRFL-CSR),开展了短寿命原子核的高精度质量测量工作,并承担了国际原子核质量评估(AME)工作^[25]。又如,在新材料领域,中国计量科学研究院成立了中国先进材料与标准计划(China Project on Advanced Materials and Standard,简称VAMAS-in-China),为新材料测量方法的统一、数据准确可靠提供技术支持,加速相关标准的建立,提升我国材料产业整体竞争力。

近年来,我国政府逐渐重视标准参考数据建设,出台了一系列相关政策予以支持。2021年11月2日,国家市场监督管理总局发布《中华人民共和国计量法(2021年10月征求意见稿)》,面向社会广泛征求意见。这也是迄今为止我国计量法最新的修订版本。相较于现行计量法,此版征求意见稿特别新增了标准参考数据的相关条款:国务院计量行政主管部门在关系公共利益的重点领域建立统一的标准参考数据库,开展标准参考数据的收集、验证、评估和发布。国务院有关主管部门可以根据本部门测量活动的需要,组织采集、编辑、传播和应

用标准参考数据，充分挖掘和利用标准参考数据。这是我国首次尝试将标准参考数据建设纳入政府部门的法定职责，具有重大的战略意义。2022年1月13日，国家市场监督管理总局、科学技术部、工业和信息化部等五部门联合发布《关于加强国家现代先进测量体系建设的指导意见》，提出推进测量数据积累和应用。加快建设国家计量数据中心，培育一批国家计量数据建设应用示范基地，探索建立国家标准参考数据中心，提升测量数据价值挖掘能力，实现跨行业、跨领域测量数据融合、共享和应用。2022年1月28日，国务院印发《计量发展规划（2021—2035年）》，明确在生命健康、装备制造、食品安全、环境监测、气候变化等领域培育一批计量数据建设应用基地，建设国家标准参考数据库。可以预见，建设标准参考数据将是计量科学，乃至所有科学领域的重要任务之一。

目前，我国标准参考数据发展面临的问题主要有以下几个方面。

一是对标准参考数据的概念认识不清晰、不统一。从本质上看，标准参考数据是具备计量学特征和标准属性的科学数据。然而，VIM对标准参考数据仅进行了描述性定义，并未明确指出其本质。这在一定程度上阻碍了标准参考数据的概念普及和传播。人们在谈及标准参考数据时，经常以“大数据”“测量数据”“数据标准”等概念遮蔽其严谨内涵，从而忽视其科学价值。另一方面，实际从事标准参考数据建设工作的专业人员也都不具有这一概念，通常以“高精度测量数据”“高质量测量数据”等描述相关成果，给标准参考数据的系统性建设带来困难。

二是顶层设计不完善，战略部署欠缺。目前，我国针对标准参考数据的顶层规划设计大都只停留在鼓励建设相关数据库的层面，而在标准参考数据的采集、评估、管理、应用和共享等方面，缺乏相应的制度设计。另一方面，我国对于标准参考数据的研发投入有限，科研项目布点欠缺，目前仅科技部在生命科学领域支持了标准参考数据资源专项研究，人力和资金资源投入有限，统筹不足，尚未形成研究合力，难以发挥1+1>2的作用。

三是数据资源积累匮乏，对国外数据依赖性强，存在系统性风险。虽然我国此前参与过国际标准参考数据建设工作，但涉及领域不够宽泛，数据

广度和深度均有不足。而美国等发达国家凭借长期的数据积累和完善的服务模式占据着主导地位。我国科研活动长期依赖国外的标准参考数据，导致经常处于被动局面。例如，在2019年年初，由于美国NIST的标准参考数据库关闭长达1个月时间，我国的相关基础研究工作不得不延迟或被迫停止。可以说，标准参考数据建设不足的现状存在系统性风险，将深远影响从基础研究，到技术研发，再到工程应用的整个产业链条。

五、我国标准参考数据建设路径设计

（一）全面开展数据资源调查摸底

对国内外数据资源总体建设情况开展全面调研。国际上，调研先进国家、权威国际组织等，对数据库建设现状、建设标准和规则、运行模式、运行效果等情况进行调查分析，总结标准参考数据建设的先进经验与模式。在国内，全面开展各领域科学数据的现状调研，了解数据类型、数据来源，评估数据质量，完成标准参考数据系统性建设的原始积累。

（二）构建协调工作机制

借鉴国际通行做法，授权国家计量技术机构作为国家标准参考数据的协调管理主体和评估机构，健全技术规范体系，明确数据汇集、评定、入库、注册等流程规范，试行参考数据注册评审认证制，设计标准参考数据建设组织框架，统一协调数据的搜集、评估和管理工作。成立标准参考数据专业技术委员会，承担标准参考数据的审核验证、科研立项建议、宣讲和培训等职责，并建立相应的反馈机制。成立标准参考数据专家委员会，提出标准参考数据库建设工作的方针、政策和技术措施的建议，确定当前及未来重点领域标准参考数据工作的方向，对于专业技术委员会审定后的标准参考数据进行评审，推荐发布。

（三）组织建立标准参考数据库

鼓励科研人员、数据人才和其他专业技术人员合作开发标准参考数据，加快标准参考数据积累。聚焦于生命科学、工业制造、生态环境、国防军工等具有较好发展基础的、关系我国战略发展的重点

领域，发挥新型举国体制优势，动员各部门、各领域和各地方的技术力量形成合力，优先建立标准参考数据资源库。推动建设标准参考数据中心，明确数据中心挂靠单位的责任，建立健全数据中心的各项经营管理和技术规范。

（四）提升数据共享与服务能力

宏观上遵循统筹规划、数据共享、服务多样、安全可控的原则，构建由不同部门、不同学科领域的标准参考数据库组成的全国标准参考数据网络共享服务系统，并提供数据查询、数据比对、数据分析建模等多种功能。增加对数据提供方的激励，根据所提供数据的质量和数量，将收取的部分数据库使用费返回给数据提供方，予以激励。联合开发的数据，根据双方投入，协商收益的分配比例，从而建立良好的正反馈机制，进一步提升数据共享与公众服务能力，发掘资源更大价值。

六、我国标准参考数据发展建议

（一）建立健全政策制度体系

学习国际立法经验，将标准参考数据纳入《计量法》，实行立法管理。健全完善标准参考数据相关法律法规，明确政府部门、技术机构和科研人员的权利、义务与责任，明晰标准参考数据的产权关系和管理措施，强化标准参考数据的安全保障和知识产权保护，实施反垄断法规制，为标准参考数据的长远发展提供周全的法制保障。

（二）强化研究与建设经费保障

开展标准参考数据发展战略研究，密切跟踪国际前沿发展动态，准确识变，科学应变。坚持“四个面向”，强化财政经费保障，优先布局优势领域和科学、经济、社会发展急需的标准参考数据库建设，补齐短板、锻造长板，努力实现标准参考数据资源的独立自主和安全可控。对运行效果显著的标准参考数据库，鼓励数据库建设人员申报国家质量奖、国家科学技术部等的奖励，并给与申报支持，增加对数据提供方的激励。

（三）加强宣传教育，加快人才培养

加强标准参考数据方面的宣传教育，举办各类

宣传普及活动，提升标准参考数据的社会认知度和相关从业人员的意识。加强数据诚信理念宣传，提升入库数据的完整性与实验数据的一致性。加快标准参考数据相关的专业技术人员的队伍建设，培养复合型、创新型高技能人才。依托标准参考数据中心，聘请国内外高水平计量、数据分析和信息技术专家组成高端智库。

（四）汇集多方力量，加大国际合作

积极参加国际合作，对标准参考数据国际规则做出中国贡献。结合“一带一路”倡议等国家重大战略，利用和开拓国际合作交流机制和平台，加强在标准参考数据成果研制、数据库建设等方面的交流与合作，举办专业培训、技术和政策研讨会、论坛等活动，提高数据中心的水平和能力，扩大我国在标准参考数据方面的国际影响力。

利益冲突声明

本文作者在此声明彼此之间不存在任何利益冲突或财务冲突。

Received date: February 14, 2023; **Revised date:** March 21, 2023

Corresponding author: Fang Xiang is a research fellow from National Institute of Metrology. His major research field is measurement and testing technology and instruments. E-mail: fangxiang@nim.ac.cn

Funding project: Special Project for National Science and Technology Basic Resources Survey “Resource Investigation and Database Construction of Standard Reference Data in the Field of Life Sciences” (2022FY101200); National Natural Science Foundation of China (NSFC) Special Project “Research on the Development Strategy of Engineering Science and Technology in Information and Electronics for the Next 20 Years” (L2124012)

参考文献

- [1] Valente F. 90% of industrial enterprises will utilize edge computing by 2022, finds frost & sullivan [EB/OL]. (2020-08-26) [2023-02-10]. <https://www.frost.com/news/press-releases/90-of-industrial-enterprises-will-utilize-edge-computing-by-2022-finds-frost-sullivan/>.
- [2] 国务院办公厅. 国务院办公厅关于印发科学数据管理办法的通知 [R]. 北京: 国务院办公厅, 2018.
General Office of the State Council. Notice of the General Office of the State Council on the issuance of scientific data management rules [R]. Beijing: General office of the state Council, 2018.
- [3] Lee D. Big data quality assurance through data traceability: A case study of the national standard reference data program of Korea [J]. IEEE Access, 2019, 7: 36294–36299.
- [4] ISO. IEC Guide 99: 2007 International vocabulary of metrology—Basic and general concepts and associated terms [S]. Geneva: ISO, 2007.

- [5] Chae K, Lee E B. A study on the quality control and operating system of standard reference data (SRD) [J]. *Journal of Korean Library and Information Science Society*, 2005, 36(2): 283–305.
- [6] National Institute of Standards and Technology (NIST). Critical evaluation criteria of SRD [R]. (2021-06-02)[2023-02-10]. <https://www.nist.gov/srd/critical-evaluation-criteria>.
- [7] ByAlbert N. The economics and science of measurement: A study of metrology [M]. London: Routledge, 2021.
- [8] 于连超. 标准化法原论 [M]. 北京: 中国标准出版社, 2021.
- Yu L C. The basic theory of standardization law [M]. Beijing: Standards Press of China, 2021.
- [9] Versailles Project on Advanced Materials and Standards (VAMAS). Introduction to technical working areas (TWA) of VAMAS [EB/OL]. [2023-02-10]. <http://www.vamas.org/twa/index.html>.
- [10] 陆佳伟, 汤吉海, 张竹修, 等. Matlab与Aspen Plus软件交互实现和应用 [J]. *计算机与应用化学*, 2018, 35(1): 53–61.
- Lu J W, Tang J H, Zhang Z X, et al. Interactive implementation and application of Matlab and Aspen Plus software [J]. *Computers and Applied Chemistry*, 2018, 35(1): 53–61.
- [11] 窦晨, 周自力. 数字世界计量的重要性及计量的发展方向探析 [J]. *计量科学与技术*, 2022, 66(9): 70–73.
- Dou C, Zhou Z L. The importance of metrology in the digital world and the development direction of metrology [J]. *Metrology Science and Technology*, 2022, 66(9): 70–73.
- [12] 涂子沛. 数据之巅 大数据革命, 历史、现实与未来 [M]. 北京: 中信出版社, 2014.
- Tu Z P. Top of data: Big data revolution, history, reality and future [M]. Beijing: CITIC Press, 2014.
- [13] 姬海波. 美国“大数据”战略的启示 [J]. *金融电子化*, 2014 (1): 83–85.
- Ji H B. The inspiration of “big data” strategy in the United States [J]. *Financial Electronics*, 2014 (1): 83–85.
- [14] 黄海洋, 李建强. 美国共性技术研发机构的发展经验与启示——NIST的发展经验及其在美国技术创新体系中的角色与作用 [J]. *科学管理研究*, 2011, 29(1):63–68.
- Huang H Y, Li J Q. The development experience and inspiration of U.S. common technology R&D institutions—The development experience of NIST and its role and function in the U.S. technology innovation system [J]. *Science Management Research*, 2011, 29(1): 63–68.
- [15] 林嫫岚, 李哲. 美国国家标准与技术研究院的立法特点及启示 [J]. *全球科技经济瞭望*, 2016, 31(11): 60–64.
- Lin X L, Li Z. Legislative features and insights of the National Institute of Standards and Technology [J]. *Global Science and Technology Economic Outlook*, 2016, 31(11): 60–64.
- [16] Semerjian H G, Burgess D R. Data programs at NBS/NIST: 1901—2021 [J]. *Journal of Physical and Chemical Reference Data*, 2022, 51(1): 011501.
- [17] Brady E L, Wallenstein M B. The national standard reference data system [J]. *Science*, 1967, 156(3776): 754–762.
- [18] Brady E L, Wallenstein M B. National Standard Reference Data System: Plan of operation [R]. Gaithersburg: National Standard Reference Data System, 1964.
- [19] 沈本秋. 国家的国际数据权力基础——兼论中国的国际数据权力基础与发展路径 [J]. *社会科学*, 2022 (1): 24–37.
- Shen B Q. The international data power base of the state — and the international data power base of China and the development path [J]. *Social Science*, 2022 (1): 24–37.
- [20] 苏宗涤, 周建明, 曹小平. CINDA(Computer Index of Neutron Data)检索系统的研发 [J]. *中国原子能科学研究院年报*, 2002: 52.
- Su Z D, Zhou J M, Cao X P. The development of CINDA retrieval system [J]. *Annual Report of China Academy of Atomic Energy Science*, 2002: 52.
- [21] National Institute of Standards and Technology (NIST). CODATA internationally recommended 2014 values of the fundamental physical constants [DB/OL]. [2023-02-10]. <https://physics.nist.gov/cuu/Constants/index.html>.
- [22] National Institute of Standards and Technology (NIST). Mass spectrometry data center [EB/OL]. (2023-02-07)[2023-02-10]. <https://chemdata.nist.gov/dokuwiki/doku.php?id=chemdata:start>.
- [23] National Institute of Standards and Technology (NIST). Strategic Opportunities for U.S. Semiconductor Manufacturing: Facilitating U.S. Leadership and Competitiveness through Advancements in Measurements and Standards [EB/OL]. (2022-08)[2023-02-10]. <https://nvlpubs.nist.gov/nistpubs/CHIPS/NIST.CHIPS.1000.pdf>.
- [24] 姜晓虹. 国内科学数据相关研究进展分析 [J]. *图书情报工作*, 2009, 53(13): 50–53.
- Jiang X H. Analysis of the progress of domestic scientific data-related research [J]. *Library and Information Work*, 2009, 53(13):50–53.
- [25] 王猛, 张玉虎, 周小红. 原子核质量的测量 [J]. *中国科学: 物理学 力学 天文学*, 2020, 50(5): 54–64.
- Wang M, Zhang Y H, Zhou X H. Measurement of the mass of atomic nucleus [J]. *Chinese Science: Physics Mechanics Astronomy*, 2020, 50(5): 54–64.