

引用格式: 王冠鹰, 白巍, 梁先锋, 等. 电力传感技术标准化体系与协同治理研究 [J]. 标准科学, 2026 (4): 58-68.
WANG Guanying, BAI Wei, LIANG Xianfeng, et al. Research on Power Sensing Technology Standardization System and Collaborative Governance[J]. Standard Science, 2026(4): 58-68.

电力传感技术标准化体系与协同治理研究

王冠鹰 白巍 梁先锋 王翌雪 陆阳 鞠登峰 郭经红

(中国电力科学研究院有限公司)

摘要:【目的】面向以新能源为主体的新型电力系统对全局可观测、智能可控的需求,提出“三层四域”电力传感技术标准化体系,并给出协同治理的实施路径。【方法】系统梳理国内外电力传感技术标准现状,构建覆盖“发—输—变—配—用”全链条的三层(基础层—技术层—应用层)四域(源—网—荷—储)框架;明确量子传感、MEMS传感、光纤传感与低功耗通信等子领域的标准路线,提出接口、数据模型、时间同步与安全防护的统一要求;结合典型场景开展对比分析与试点验证,形成实施流程与效果评价指标。【结果】建立术语—量值映射矩阵与标准族目录,给出一致性测试与认证流程及场景化指标表;结果显示,该标准体系显著提升传感网络的互操作性、测量可靠性与响应时效性,并明确关键标准空白领域与优先优化方向。【结论】通过涵盖术语与计量溯源、性能测试、接口与数据模型、安全防护等方面的成体系标准,以及政府、产业、企业等多方协同治理,可增强传感网络的一致性、安全性与可扩展性,支撑新型电力系统建设与碳达峰碳中和目标的实现,并为标准国际化与动态更新提供路径。

关键词: 新型电力系统; 电力传感技术; 标准化体系; 协同治理

DOI编码: 10.3969/j.issn.1674-5698.2026.04.005

Research on Power Sensing Technology Standardization System and Collaborative Governance

WANG Guanying BAI Wei LIANG Xianfeng WANG Yixue LU Yang

JU Dengfeng GUO Jinghong

(China Electric Power Research Institute)

Abstract: [Objective] To address the new power system's requirements for comprehensive observability and intelligent control, this paper proposes a power sensing technology standardization system with three layers across four domains, combined with a collaborative governance strategy. [Methods] The study systematically reviews relevant standards both domestically and internationally. Building on this, the study develops a framework covering the generation, grid, load, and storage domains at foundational, technical, and application layers. The framework incorporates various subfields such as quantum sensing, MEMS sensing, optical fiber sensing, and low-power communication. The study further defines unified interfaces, data models, time synchronization mechanisms, and security requirements. In addition, it performs comparative analyses and case-based validation. Finally, it develops metrics to evaluate implementation effectiveness.

基金项目: 本文受国家电网有限公司总部科技项目“复杂工况下磁敏传感及环境取能材料、器件耐候性评测技术研究”(项目编号: 5500-202358769A-3-6-ZX)资助。

作者简介: 王冠鹰, 博士, 高级工程师, 研究方向为电力传感技术。

[Results] The study establishes a mapping matrix linking terminology and metrics and compiles a catalog of standard families. Additionally, it provides implementation workflows accompanied by scenario-specific indicator tables. A pilot implementation indicated that the proposed standards system enhances interoperability, boosts measurement reliability, and reduces latency. The tests also uncover key gaps and help prioritize areas for further optimization. [Conclusion] The findings indicate that a robust standards system, combined with multi-stakeholder collaborative governance, can greatly improve the consistency, security, and scalability of power sensing networks. This in turn supports the development of the new power system and helps in achieving the dual carbon goals. It also lays out a clear pathway for internationalizing standards and keeping them dynamically updated.

Keywords: new power system; power sensing technology; standardization system; collaborative governance

0 引言

构建以新能源为主体的新型电力系统是实现碳达峰碳中和目标的重要途径之一^[1]。新型电力系统具有“清洁低碳、源—网—荷—储协同、强电力电子化”等特征。源侧出力的随机波动叠加可移动负荷与柔性负荷,改变了系统的等效惯量、阻尼及扰动传播特性;由此对广域监视—保护—控制提出微秒级同步、可溯源测量不确定度和跨域互操作等刚性要求^[1-2]。相关研究指出^[2-3],大规模接入的海量分布式电源与灵活负荷导致感知覆盖不足与测量精度劣化,制约全局“可观—可测—可控”目标的实现;现有调控手段难以及时、全面地实现全网测量与控制,已成为制约新型电力系统建设的突出因素。

标准化通过统一术语、计量溯源、接口、数据模型与安全机制,能够降低系统集成与互操作成本、提升可靠性,是连接科技创新与规模化应用的关键公共基础^[4]。既有研究亦强调,应以系统化标准体系建设引领新型电力系统关键技术发展方向^[2]。面向多主体的标准化协同治理有望提升协作效率、降低成本,并加速清洁能源发展目标的实现^[4-5]。同时,电力传感技术标准化研究为能源互联网架构提供了技术支撑^[6]。

本文围绕新型电力系统背景下的电力传感技术标准化体系与协同治理展开研究,分析新需求及关键作用,梳理国内外标准体系并比较差异,结合实践探讨技术与标准协同演进路径,提出完

善标准体系与治理机制的策略建议。主要贡献为:

(1) 提出覆盖基础层、技术层、应用层,面向源—网—荷—储的“三层四域”标准化架构。相较于已有框架,该架构在术语、接口、数据模型和安全机制方面实现了统一,覆盖发—输—变—配—用全链条且层次分明。(2) 提出“科研—试验验证—标准—认证—应用”联动的标准化工作流程及多主体协同治理的实施路径。

1 电力传感技术需求与研究进展

1.1 新型电力系统的特征及传感需求

新型电力系统的显著特征在于高比例可再生能源接入与大规模电力电子化,这对电网的实时感知与精准测量能力提出了前所未有的严格要求。新能源发电出力具有随机波动性,传统以变电站为中心的监测模式难以及时覆盖分布式电源和柔性负荷的动态状态;同时,大规模电力电子化降低了系统的等效惯量并加剧动态耦合,因此迫切需要更高的时空分辨率、更低的测量不确定度数据来保障系统安全稳定运行。为此,必须构建覆盖全面的全景感知体系,实现广域、细粒度的状态监测。在新型电力系统中,传感器作为感知层的基本单元,其时间戳、同步性能和测量不确定度需要统一建模并实现可溯源,为调度、保护和优化控制提供可信、可追溯的数据基础。

实证研究表明,通过部署智能传感与事件驱动采样,可大幅降低扰动漏检率,并显著提升系

统运行的可靠性^[3]。例如,隧道磁阻电流传感器和非接触式电流传感器等新原理器件,为实现宽量程、高精度的电气参量测量提供了新的技术途径。即使在毫安级的小电流和复杂电磁环境下,仍能保持较高的线性度和温度稳定性。其性能指标表明:电流测量在 ± 100 mA量程内,电流测量的相对误差可控制在0.05%以内,带宽约10 kHz;在强扰动环境下,非接触式电流测量的总体误差约为1%~2%^[7-9]。基于新原理的传感技术在极端量程和超高精度测量方面取得的突破,有望为新能源出力波动引发的频率、电压稳定性挑战提供可行的解决方案。再例如,采用GNSS授时,并结合IEEE 1588-2019等标准实现站内时间分发与同步,从而支撑跨区域的相量同步测量,该类装置已成为广域监测与控制的关键测量装备。根据IEEE C37.118.1系列标准:在稳态条件下,PMU相量总矢量误差(TVE)限值为1%;频率测量的典型误差限值为:P类 ≤ 0.005 Hz、M类 ≤ 0.01 Hz;M类频率变化率误差 ≤ 0.1 Hz/s。上述指标可满足广域电网扰动监测的精度要求^[3,10]。此外,为实现大规模分布式能源的友好并网,还需要依托风速、太阳辐照度、气温、湿度等气象传感数据,以提高超短期和短期功率预测的准确性^[11]。

上述需求对传感技术及其标准提出更严格的性能与同步要求。站域传输需满足IEC 61850-5对GOOSE、SV等业务的时延等级要求;广域相量传输需满足IEEE C37.118.2与IEEE C37.244对报告时延和数据汇聚的约束。同时,时间同步误差应达微秒级;测量不确定度根据JCGM 100:2008的规定进行统一表达;数据可用率 $\geq 99.9\%$ 、数据完整性 $\geq 99.0\%$;并采用统一数据模型与语义以实现跨厂商互操作^[12-15]。

当前电力传感技术正呈现出智能化、数字化与网络化协同发展的态势。一方面,传感器由传统功能型向智能型演进,在器件内部集成数据处理和通信模块并具备一定的边缘计算能力,即形成“智能传感器”。例如,在配电终端部署此类装置,可本地识别电压暂降等事件,并通过标准化接

口以事件驱动模式上报,从而减少数据回传的带宽占用并提高事件响应的确定性^[9]。另一方面,电力物联网感知层持续建设中,越来越多的传感器以有线/无线方式接入边缘设备以及主站系统,形成了覆盖全网的传感器网络,针对规模化的终端接入场景采用低功耗微功率无线电及窄带物联网等通信方案,上传数据之前先做事件检测和数据压缩处理;使用统一标准的无线传感器接口与通信协议来汇聚数据,能够在同一系统内高效采集并汇聚不同厂商、不同型号的采集装置,支撑跨厂商“即插即用”。国家电网企业标准Q/GDW 1939—2013中从安全接入和协议标准方面对不同厂商传感器的“即插即用”进行了规定和规范,目前也正在逐步建立标准统一的感知测量网络,促进电网由经验驱动向数据驱动转变^[16]。随着海量终端接入导致攻击面扩大与隐私风险上升,亟须制定面向传感器网络的数据安全与隐私保护相关标准,并配套场景化实施细则与合规检查机制^[12,17]。

1.2 电力传感技术的现状与进展

电力传感技术的目标是高可信地采集电气量、环境量、状态量等信息,并确保时间同步对齐和语义封装。通过实现这些要求,可以形成一套从敏感元件、传感装置、边缘处理、通信互联、计量溯源到网络安全的端到端技术体系。根据感知对象和功能的不同,电力传感器可分为电气量传感器、环境量传感器、设备状态量传感器、行为量传感器等不同类别。表1列举了各类电力传感器的典型代表及其应用领域。

在新型传感器器件层面,应特别关注传感器的性能与可靠性。对于MEMS型电流、振动、气体等传感器,可参照IEC 62047-37:2020等标准开展薄膜元件的环境适应性与可靠性测试(如温湿度、应力应变、温度循环等),以验证其在典型工况下的稳定性^[18-19];而对于量子传感器,则要围绕灵敏度(如 nT/\sqrt{Hz} 、 pA/\sqrt{Hz})、动态范围、零漂稳定性等关键指标,建立可溯源的校准比对链路,并完善噪声模型,以支撑对其超高精度测量能力的评估^[8]。

一方面,传感—边缘—主站的分层网络架构

已成为电力物联网感知层的主干。我国产业界在传感器网络参考架构、传感数据分类编码、微功率无线/窄带物联网接入、安全机制等方面制定了一系列标准规范,包括GB/T 30269系列、GB/T 36962以及国家电网企业标准Q/GDW 1939等。这些标准为多类型传感装置的互联接入提供了统一基础,使其能够实现“即插即用、可测可控、可管可评”。另一方面,源源涌现的新原理传感技术为电力系

统测量提供了新的技术路径。例如,光纤传感器具有抗电磁干扰,可在高电压环境下安全运行且易于实现分布式测量等优点,目前已在输电电缆温度分布监测、变压器绕组热点监测等场景得到工程应用^[20-21]。又例如,量子传感器利用量子效应实现超高灵敏度,未来有望应用于电流、电场等电力参数的高精度原位测量。随着新型传感器与边缘智能的演进,并辅以统一的计量溯源和互

表1 电力传感器类别、典型代表与应用领域

类别	典型代表/原理	关键性能要点	典型应用场景	主要参照标准/规范
电气量传感器	电子式电流/电压互感器、霍尔/磁通门/隧道磁阻电流传感器、光纤电流/电压传感器、非接触式电流传感器	量程从mA至kA; 弱电流 ± 100 mA内相对误差 $\approx 0.05\%$, 带宽 ≈ 10 kHz; 非接触式电流总体误差 $\approx 1\% \sim 2\%$; 温漂与线性度可溯源; 站域/广域测量需 μ s级时间同步	发电/变电/配电一次设备电流、电压测量; 母线/馈线监视; 储能变流器量测	DL/T 1894-2024 Q/GDW 12133-2022 IEEE 2700-2017
同步相量测量装置	基于GPS/GNSS授时与IEEE 1588-2019 PTP的同步相量测量	TVE $\leq 1\%$; 频率误差: P类 ≤ 0.005 Hz、M类 ≤ 0.01 Hz; ROCOF误差 ≤ 0.1 Hz/s; 端到端报告/传输时延可控	广域监测/保护/控制; 扰动识别与低惯量系统动态评估	IEEE C37.118.1/2 IEC/TR 61850-90-5 IEC/IEEE 60255-118-1 IEEE 1588-2019
环境量传感器	风速/风向、太阳辐照度、温湿度、气压/气体、降雨/覆冰等	测量不确定度统一按JCGM 100:2008表述; 高可用率($\geq 99.9\%$)和数据完整性($\geq 99.0\%$); 抗干扰与户外可靠性	新能源功率预测(超短期/短期); 线路覆冰/走廊环境监测; 厂站微气象	GB/T 34069 GB/T 30269系列 ISO 17800
设备状态量传感器	振动/声学/局放/温度/湿度/油中溶解气体; 分布式光纤温度与应变	长距离分布式测量、抗电磁、热点温升直观; MEMS类需通过环境应力与温循可靠性验证	变压器绕组热点、油纸绝缘老化; 电缆温度分布; 开关设备状态监测; 旋转设备振动	IEC 61757-1 IEC 62047-37:2020
行为/负荷侧传感器	智能用电终端、用能行为识别、非侵入式负荷监测等	事件驱动采样与边缘分析; 统一语义/数据模型便于跨域优化控制	需求响应、虚拟电厂、园区/建筑能源管理	ISO 17800 ISO/IEC/IEEE 21451系列
储能侧传感器	电池单体电压/电流/温度、SOH/SOC估算传感、BMS采集链路	高精度、多点同步; 异常事件(热失控)快速检测	储能站/分布式储能的安全与寿命管理	GB/T 30269系列 GB/T 34069
通信/接入与边缘装置	微功率无线、窄带物联网、就地汇聚/边缘计算单元	站域: 满足IEC 61850-5对GOOSE/SV时延等级要求; 广域: IEEE C37.118.2/IEEE C37.244的报告与汇聚约束; 事件本地识别与压缩上送	传感—边缘—主站分层架构; 跨厂商“即插即用”接入	GB/T 30269系列 GB/T 36962 Q/GDW 1939-2013
新原理/前沿传感器	量子电流/电场传感、超导/冷原子等	关注灵敏度(nT/\sqrt{Hz} 、 pA/\sqrt{Hz})、动态范围、零漂、噪声模型与可溯源校准	极弱信号/宽量程高精度测量; 低惯量下快速扰动感知	推进转化为IEC/IEEE

操作约束,电力系统的“神经末梢”将具备更高的灵敏度、更低的时延,以及更强的可验证性与可信度。这将为全网态势感知与自主控制提供可复用、可认证的数据基础^[22]。

图1以变电站为例给出电力智能传感器网络:现场多类传感器经短距有线/无线接入就地汇聚装置,边缘侧再通过上层网络与站端边缘计算或主站连接,将数据上传至调控系统。该分层架构可高效汇聚设备各处的数据,实现对设备状态与环境参数的全面感知;不同厂商传感器经统一汇聚单元接入并采用规范化接口与安全机制完成协议与语义对齐,支持跨厂商的即插即用与一致性管理。此类网络亦可向发电、配电、用电及储能侧延伸,为故障预警与智能运维提供数据支撑^[23]。

可见,如果缺乏以接口、数据模型和安全防护为核心的标准化支撑,大规模协同感知将难以与电网调控形成有效协作,新型电力系统的运行效率和韧性也会受到影响。因此,亟须建立完善的电力传感技术标准体系,从传感器性能、接口与数据

模型、计量溯源、安全防护等方面进行系统规范。

2 电力传感技术标准化现状

2.1 国内电力传感技术标准化体系现状

我国自20世纪60年代开始研究传感技术,经过几十年的努力,在传感器原理、材料、制造工艺和检测等方面不断取得进展,并逐步建立起较为完善的标准和检测体系。面向电力行业应用,已经发布了多个层级的标准,初步形成了电力传感技术标准体系。整体而言,该体系可分为基础通用标准和应用领域标准两大部分:基础通用标准涵盖术语定义、分类编码、基本性能要求、试验方法、通信接口等共性要求;应用领域标准则针对发电、输电、变电、配电、用电各环节的具体传感设备提出技术规范 and 测试方法。这种“通用+专业”并行的标准架构已在工程实践中得到验证,尤其是在光纤传感、动态电能计量、配用电侧状态感知等领域沉淀出了可复用的指标体系和试验方



图1 电力智能传感器网络

法集^[14,20,22]。

我国已发布的部分电力传感基础通用标准如下: GB/T 36962—2018《传感数据分类与代码》为传感数据分类与编码提供了方法与代码体系参考,有助于提升跨系统数据语义一致性,为数据共享和集成奠定基础; GB/T 30269《信息技术 传感器网络》系列标准(参照ISO/IEC 29182),覆盖传感器网络的参考架构、协同处理、接口、安全和测试要求,为电力物联网感知层建设提供了体系化指南; GB/T 34069—2017《物联网总体技术 智能传感器特性与分类》,规范了智能传感器的特性要求及分类方法,为统一界定智能电力传感器的定义和功能提供了依据。除此之外,针对电力行业的特殊要求还有许多专门化的传感器标准,例如DL/T 1894—2024《电力光纤传感器通用规范》规定了电力系统光纤传感器性能指标和检测方法;国家电网企业标准Q/GDW 12133—2022《互感器技术规范》统一了电子式电流/电压互感器的技术要求和试验要求等。这些针对特定系统的专业标准弥补了从电磁式传感向电子传感发展过程中所出现的标准缺失,保障了在过渡时期内新旧两种传感技术并存时电网运行的可靠、安全。

我国已经发布的电力传感基础标准中包含了术语、分类编码、传感器网络架构、接口协议、各种传感器的技术要求等内容,并建立了一套较为完整的框架。但目前新型电力系统的快速发展也暴露出一些标准的缺陷:一是新兴场景及全新指标没有统一的规范;二是传感器与控制系统的协同、安全接口还没有实现标准化;三是存在跨厂商互连的问题,对于传感器即插即用、异构数据的融合还没有建立统一数据模型以及一致性测试的规范;四是企业标准应及时升级成为行业标准或国家标准以扩大覆盖面。总的来看,我国的电力传感标准体系尚缺乏系统性与前瞻性,不能完全做到技术的进步和应用要求齐头并进。

2.2 国际电力传感技术标准化进展

在国际上,电力及相关领域的传感技术标准化工作主要由以下组织推动。

(1) 国际电工委员会(IEC): IEC在传感器领域有多个技委会参与,如IEC TC 47(半导体器件)及其下属SC 47E(分立器件)、SC 47F(MEMS),负责传感器、MEMS相关半导体传感器以及微机电传感器方面的标准制定; IEC TC 85(测量和试验仪器)制定涉及传感器在电工测量装置上的相关标准; IEC TC 13(电能计量装置)、IEC TC 38(互感器)等与电力传感设备有关的标准也有参与;针对新出现的技术,IEC成立TC 124(可穿戴设备和技术)技术委员会,主要负责制定可穿戴技术相关的标准,其中涉及新的传感器以及相关的检测方法。近年来,IEC围绕数字电网、广域互操作持续推动智能感知和测量相关的标准化工作,制定了一系列技术报告或应用导则。例如,在变电站及广域量测场景下,IEC/TR 61850-90-5将同步相量测量信息映射为可路由的GOOSE/SV报文,并给出了与IEEE C37.118语义对齐的映射方式,从而支持跨网段的同步量测传输^[13]。IEC标准在全球范围内具有广泛影响力,中国也积极参与IEC传感标准的制定工作,将国内先进的传感技术和应用经验融入国际标准中。

(2) 国际标准化组织(ISO): ISO也在一些特定领域涉及传感器标准。例如,ISO/TC 108(机械振动与冲击)制定了振动传感器测试方法标准; ISO与IEC在物联网传感领域通过JTC 1联合工作组研究传感网络标准。值得一提的是,ISO发布的重要标准ISO 17800:2017提出了与具体通信协议无关的设施侧信息模型,涵盖需求响应、储能、负荷监测与预测、负荷管理等内容,为建筑或园区与电网之间实现语义互联提供了一套统一的“信息对象”模型。这类信息交换标准为电力传感技术在系统集成方面提供了参考。

(3) 电气电子工程师协会(IEEE): 制定了众多电力系统测量与通信相关标准。IEEE C37.118系列已成为同步相量测量的主流标准,并通过IEC/IEEE 60255-118-1:2018实现了与IEC测量标准的统一; IEEE 2815-2024发布了智能配电变压器终端的技术规范指南,涵盖功能、环境、供电、通信

接口、软硬件平台等要求；此外，IEEE还主导制定了大量物联网和传感器接口标准，其中IEEE 1451智能传感器接口系列通过与ISO/IEC合作以ISO/IEC/IEEE 21451双重编号发布，提供了传感器与网络交互的通用数据模型，奠定了传感器“即插即用”和跨网络互操作的基础。IEEE标准通常紧密结合工程实践，在全球范围内认可度高。

(4) 其他组织：国际大电网会议(CIGRE)作为电力行业的重要国际组织，也发布技术报告和建议，对新技术应用提出指导，其中包括对电力设备状态监测和传感的研究报告。另外，国际电信联盟(ITU)在物联网通信方面的标准也涉及泛在传感器网络的标准化问题。国际半导体设备与材料组织(SEMI)则制定与半导体传感器制造和测试相关的一些标准。

目前已有的国际传感与物联网的相关标准：IEEE 2700-2017统一了常见的传感器性能参数术语定义；ISO/IEC 30101:2014提出了一种用于智能电网的传感器网络体系架构与接口需求，ISO/IEC 30144:2020定义了适用于变电站场景的智能无线传感器网络技术框架；IEC 61757-1:2018是关于光纤传感器的一般要求标准；IEC 62047-37:2020是对MEMS压电薄膜传感器进行环境试验的方法；ISO/IEC/IEEE 21451是一系列标准，详细规定了智能传感器的数据模型以及它如何与网络发生相互作用。以上标准均有助于电力传感技术的发展。然而，由于缺乏统一的顶层规划，不同标准之间仍存在接口和数据模型不兼容的问题。例如，IEC/TR 61850-90-5提供了同步相量信息与IEC 61850通信体系的映射与承载方式，工程应用中仍需明确互操作剖面与映射规则以降低跨标准集成成本。针对上述互操作难题，各国际标准组织已开始加强协作，提出了统一互操作剖面、分层控制架构等解决思路^[4,15]。即便如此，要实现全球范围内电力传感标准的真正统一仍面临巨大挑战。

总体来看，尽管国际上已有大量传感器及物联网相关标准，但专门面向电力系统传感技术的标准仍相对零散且覆盖不全。不同组织各自为政的状

况导致标准碎片化，如IEC偏重设备与系统层面的通用标准，IEEE则侧重通信接口细节，过去两者在PMU通信标准上就曾缺乏一致。此外，在配电物联网终端等领域缺少国际标准的情况下，各国往往采用自身的企业或行业标准，造成标准林立而互不兼容。这一现状迫切需要通过加强国际标准化合作来加以改进。总体来看，国际电力传感标准化将朝着互联互通与协同发展的方向演进，但当前仍需全球标准化伙伴进一步合作，携手构建统一协调的标准框架。

2.3 标准体系差异及升级路径

我国电力传感技术标准体系与国际相比各有所长，但也面临一些差异和挑战。

(1) 在标准体系的完整性方面，我国正积极构建涵盖“基础—实体—信息—价值”4个层面的新型电力系统标准顶层架构，将电力传感技术标准纳入基础层，并与控制、通信、安全等标准体系协同发展^[12,15,24]。相比之下，国际上尚缺乏专门针对“电力传感”的系统化标准框架，相关标准分散于IEC、ISO/IEC JTC1 SC41、IEEE等不同组织。我国产学研界提出的电力传感标准体系整体方案有望作为“中国方案”引领国际传感标准体系的构建，但如何与现有国际标准体系有效接轨仍有待探索。有鉴于此，本文提出了覆盖基础层—技术层—应用层，面向源—网—荷—储4个领域的“三层四域”电力传感标准体系总体架构(如图2所示)。该架构层次清晰、领域覆盖全面，可作为完善国内标准体系提供方向指引，也可为与国际标准框架的对接提供参考。

(2) 在标准内容的先进性方面，我国相关标准制定起步相对较晚，不少基础通用类标准主要沿袭或参考了国际标准，理论性通用标准相对薄弱。然而在特高压量子传感器、数字化变电站物联网等新兴应用领域，我国在部分应用场景中积累了较多工程实践^[25]，相应的企业标准和团体标准在部分技术指标上已达到国际先进水平。为此，建议通过“评估—补齐—升级—对接”的路径，将其中成熟的企业标准和团体标准优先上升为行业或

国家标准,并形成常态化机制,及时向IEC、IEEE等国际组织提出标准提案并开展协同工作。目前我国电力传感标准的整体水平与国际先进水平仍有差距,需要持续补齐短板、对标国际先进标准,加快标准的迭代升级^[15,24]。

(3)在标准一致性与互认方面,由于国内标准与国际标准存在差异,我国电力设备出口经常遇到认证壁垒,提高标准与国际接轨的程度已成为当务之急^[17,26]。例如,过去某些传感设备标准未充分考虑国际兼容性,如今需要通过修订并采纳IEC等国际标准来减少重复测试和认证成本。同时,我国积极参与国际标准制定工作,推动量子电流传感等自主创新技术成果形成标准提案并参与IEC/IEEE等国际标准化工作,逐步提升国际影响力与可用性^[24,27]。

(4)目前新兴领域标准存在空白点,不论是虚拟电厂,还是分布式能源接入、电力物联网安全

中传感技术等都是刚刚开始研究的新课题,有关标准还需要尽快开展规划。我国可借助标准“走出去”的角色,抓住先机提早开展相关标准制定,然后通过多方合作、互认等方式,让我国标准能走出去,并参与到互操作规范或一致性认证等领域,推进我国标准与国际标准衔接。

综上所述,我国需要统筹国内国际两个市场,加强标准化战略布局。一方面在国内加快完善电力传感的标准化建设,使新型电力系统的建设有规可循;另一方面积极参与国际标准化活动,输出更多的中国标准,推进全球标准统一,依靠标准的互联互通助推全球能源互联网建设进程^[6]。

3 讨论与分析

3.1 科研与标准制定的协同机制

技术标准是伴随科技创新活动产生的,“技术

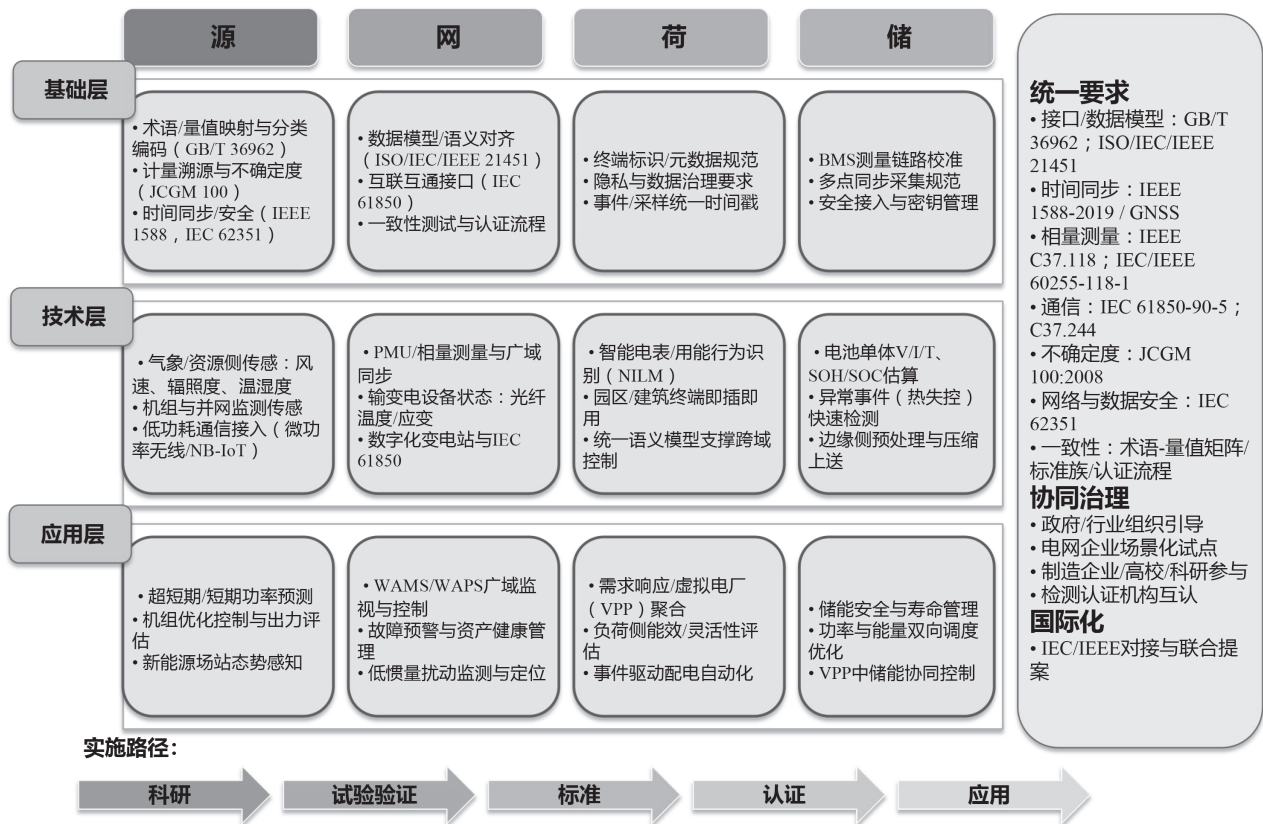


图2 “三层四域”电力传感标准化体系总体架构

来了无标准”“有标准了却无法满足不同技术需求”等情况并不少见。要想解决这样的矛盾问题,就要建立起科研和标准共进的工作体系,把标准化的要求融入科研全过程,在确定项目立项的时候就把标准化的目标也同步确定好,在项目的研究中把标准的需求也同步考虑好,让成熟度高的成果快速转化为标准规范,并且在互操作性和一致性验证环节需要加入“硬件在环测试”,提高验证结果的可复现性与可扩展性^[28]。在实践中,国网甘肃电力提出了“科研项目+标准研制”协同发展的方式。对于重要的科研项目立项时,就可以同步做出标准化的工作方案,同时组织科研人员起草企业标准和行业标准,把项目成果及时转化为标准^[27]。机制运行后,已形成可在相关领域推广应用的、可以被多次利用的标准,实现了科研—试验验证—标准—认证—应用的连接贯通,有利于促进成果的大规模推广应用。以此为基础可以进一步在国家和行业的科研管理中强化标准的导向,把标准化的成果输出作为科研考核的重要指标。首先,在科研项目申报时要求项目承担单位同时提出拟制定的标准清单,并把形成的相应标准作为科研项目成果之一纳入考评;其次,针对重大创新技术进行标准预研,提前开展标准框架和核心指标研究工作;再次,发挥校企合作产学研联合标准工作组的作用,成立设备制造厂商、电网企业、高校等多方参与的标准起草小组,使所制定标准既具有前瞻性又能与实际情况紧密结合;最后,建立企业标准快速提升通道,对于应用较为成熟并具有良好效果的企业标准,在有关部门的组织下,快速将其上升为行业或国家标准。由此可知,科研与标准协同发展,能够快速将创新成果变成标准,并避免因为没有标准而阻碍技术应用,于是构成了“科研—标准—应用”的循环往复过程。为此,应当建立健全标准转化绩效评估机制,跟踪掌握科研成果标准化工作进展及成效情况,使得以上协同机制运转到位^[3]。

3.2 标准化工作的多主体协同治理机制

电力传感技术标准涉及政府、行业、电网企业、

制造企业及科研院所等多元主体。提高标准的有效性与适用性水平,完善多方主体形成利益共享、责任共担的利益联结格局,实现全流程的流程化闭环管理,形成各类主体间责权明晰、协力共进的工作局面。其中,政府部门负责制定标准发展的路径规划及相应的激励政策,电网企业充分发挥主导作用,牵头组织场景化的标准试点验证工作^[29],科研院所为标准制定提供理论方法与评估手段,第三方检测认证机构建立统一测试、认证及国际互认机制,制造企业积极参与标准治理,共享标准指标和测试方法,避免少数企业垄断标准制定权,保持公平公正的市场竞争秩序,创建开放包容的生态氛围,高校和科研机构为标准制定提供技术支撑,开展基础研究和战略布局,把最新的研究发现和技术发展成果加入标准的提议之中,并且依托国际学术交流途径引进国外先进理念,提高标准的科学性;最后是最最终用户及公众积极反馈意见,根据用户以及社会大众的需求确定是否开展试点示范,并接受其使用标准的效果评价,在此过程中充分发挥协会及学会的作用,作为桥梁与纽带促进双方良性互动,充分调动从业人员的素质培训、各种活动的成熟度测评、面向社会的标准化能力宣传,为各行业搭建平台、集聚知识,增强行业的标准化意识和标准化水平。

一方面,基于多主体多角度协同作用,在政府的带领下建立“政府引导、企业主导、产学研用共同参与”的标准治理模式,使标准的制定更具有公开性和合理性,并加快了标准的推广应用;另一方面,在国际层面上,坚持开放合作的原则,加强同IEC和IEEE等国外组织的标准合作,共建伙伴关系,联合开展标准研制、互认及推广应用等工作^[5-6]。从实践的角度上看,标准化合作有利于技术互通、共赢合作及促进实现联合国可持续发展目标^[30]。

4 结论

新型电力系统对电力传感技术提出了更高的要求,同时也为传感技术标准带来了新的使命

和挑战。本文围绕电力传感技术标准化体系与协同治理展开研究讨论,主要结论如下:

(1) 传感标准化是新型电力系统的基础性支撑。在新能源高占比和强电力电子化的背景下,要求有高精度、广覆盖、低时延的感知来保障运行的安全可靠;接口、数据模型、时间同步、安全防护等的统一,将实现信得过的采集和互操作,服务调度、保护、优化控制,并加快新技术的规模化落地。

(2) 我国电力传感标准体系已经建立,但还需继续补充和完善。目前已经发布的有传感数据编码、传感器网络、智能传感器、光纤传感器等基础标准,形成了“术语—通用—专业”的标准体系框架,但在传感技术高速发展以及新的应用场景不断出现的情形下,相关的标准还存在一定的缺失或者不够完善的地方,在互操作性、安全防护和特殊环境适应性等方面还存在空白点。针对这些情况,应加快制定相关的标准并及时对已有标准加以修改和更新,使标准体系不断完善,时刻保持先进性;加强企业标准与行业标准、国家通用标准的有效衔接,并不断提高其先进性及国际化程度,避免出现标准落后于技术发展的情况以及出现缺乏统一协调的问题。

(3) 国际上的传感标准仍然较为碎片化,需要强化标准化伙伴合作。我国应积极参与国际标准化活动和互认机制,推动形成可对接的统一框架;在采用国际先进标准的同时,促进我国自主创

新成果融入国际标准体系,推动设备与数据的全球互联互通。

(4) 科研与标准协同、产学研多方共治是提高标准有效性的2个主要抓手,同时要通过科研项目和技术标准研制同步部署,组建产学研联合标准工作组,促进技术创新成果及时转化为标准,确保标准具有很强的技术引领作用和创新水平;需要构建由政府引导、电网企业牵头、制造企业与科研院所等共同参与的完善标准化协同治理体系,形成共商共建共享的良好局面,并通过多主体协同、闭环评价来提高标准可执行性以及推广应用效果,以发挥标准的约束性要求,并通过标准国际合作搭建平台促进标准化成为各国合作的桥梁纽带,在推动落实全球气候治理行动中发挥作用。

(5) 标准化工作必须持续创新、不断发展,在新型电力系统推动下必然会产生许多新型的传感技术,需要及时更新、修订现行标准,这样才能跟上新型传感技术的发展步伐,这也是保持标准化工作的前瞻性及开放性的体现。国内方面要统筹标准化工作同科技创新、产业政策协同发力,制定符合国情的自主标准体系;国际方面要树立多赢意识,广泛深度参与世界能源电力行业国际标准治理,共享标准经验与成果。以标准创新驱动技术水平,凝聚产业力量推动产业发展,形成以标准为纽带支撑能源电力行业绿色发展,服务保障碳达峰碳中和目标落地实施的产业生态。

参考文献

- [1] 《新型电力系统发展蓝皮书》编写组. 新型电力系统发展蓝皮书[M]. 北京: 中国电力出版社,2023.
- [2] 舒印彪,陈国平,贺静波,等. 构建以新能源为主体的新型电力系统框架研究[J]. 中国工程科学,2021,23(6):61-69.
- [3] SONG E Y, FITZPATRICK G J, LEE K B. Smart sensors and standards-based interoperability in smart grids[J]. IEEE Sensors Journal, 2017,17(23):7723-7730.
- [4] 陈锐,沈华,周永根. 标准化: 产业与技术协同发展的重要基石[J]. 中国科学院院刊, 2014,29(3):293-298.
- [5] KHASRU S M, BRODJONEGORO B, MEDDEB R, et al. SDG 7 and renewable energy innovations: The road ahead for green growth and sustainable trade, and energy security[R]. Waterloo: Centre for International Governance Innovation (CIGI), 2025.
- [6] 赵海,蔡巍,王进法,等. 能源互联网架构设计与拓扑模型[J]. 电工技术学报, 2015,30(11):30-36.
- [7] XU Y, JIN Z, CHEN J. High-precision tunneling magnetoresistance (tmr) current sensor for weak current measurement in smart grid applications[J]. Micromachines, 2025,16(2):136.

- [8] 中国电力科学研究院有限公司, 中国能源研究会信息通信专业委员会, 中国能源研究会电力传感和智能分析专业委员会. 电力传感技术发展报告[M]. 北京:中国水利水电出版社,2024.
- [9] OSMANI K, JONES L, SCHULZ D. An innovative contactless current sensor for smart grids applications[J]. *Heliyon*, 2025,11(10):e42980.
- [10] 白静芬,李琪林,张永睿,等. 新型电力系统传感测量关键技术及国际标准综述[J]. 新型电力系统,2025,3(1):45-58.
- [11] ALONSO M, AMARIS H, ALCALA D, et al. Smart Sensors for Smart Grid Reliability[J]. *Sensors*,2020, 20(8):2187.
- [12] 宋禹飞,刘润鹏,王宏,等.新型电力系统标准体系架构设计及需求分析[J]. 南方电网技术, 2024,18(9):88-96.
- [13] GUTIÉRREZ S A, BOTERO J F, GÓMEZ N G, Fletscher L A, Leal A. Next-Generation Power Substation Communication Networks: IEC 61850 Meets Programmable Networks[J]. *IEEE Power and Energy Magazine*, 2023,21(5):58-67.
- [14] IEEE PES PSIM Sensors Task Force. MV Smart Grid Sensor and Sensor Systems: Measurement Accuracy and Uncertainty Considerations[R]. Piscataway, NJ: IEEE PES, 2023.
- [15] 雷煜卿,仝杰,张树华,等.能源互联网感知层技术标准体系研究[J]. 供用电, 2021,38(7):14-20.
- [16] 安春燕,陆阳,翟迪,朱雪琼. 电力智能传感器及传感网安全防护技术[J]. 中国电力,2023,56(11):67-76.
- [17] 卢慧强,杨孟超,张冬冬.浅析我国电力行业标准的国际化战略[J]. 电气技术, 2019,20(9):7-9.
- [18] 林文浩,陈昱,夏曼,等. MEMS传感器技术发展及应用分析[J]. 电子元件与信息技术, 2021,5(7):11-12.
- [19] ABDULHUSSAIN S H, MAHMMOD B M, ALWHELAT A, et al. A comprehensive review of sensor technologies in IoT: Technical aspects, challenges, and future directions[J]. *Computers*, 2025,14(8):342.
- [20] 王敏学,李黎,周达明,等.分布式光纤传感技术在输电线路在线监测中的应用研究综述[J]. 电网技术,2021,45(9):3591-3600.
- [21] MA G, WANG Y, QIN W, ET AL. Optical sensors for power transformer monitoring: A review[J]. *High Voltage*, 2021,6:367-386.
- [22] 卢和平,陈昊,白静芬,等. 新型电力系统动态电能测量技术及其标准化研究[J]. 电网技术,2024,48(4):1383-1392.
- [23] MAHADIK S, GEDAM M, SHAH D. Environment sustainability with smart grid sensor[J]. *Frontiers in Artificial Intelligence*, 2025,7:1510410.
- [24] 郭经红,梁云,陈川,等. 电力智能传感技术挑战及应用展望[J]. 电力信息与通信技术,2020,18(4):15-24.
- [25] 李鹏,习伟,蔡田田,等.数字电网的理念、架构与关键技术[J]. 中国电机工程学报,2022,42(14):5002-5017.
- [26] 吴林海. 论技术标准的国际化[J]. 科学管理研究, 2003(1):57-59.
- [27] 康晓华,牛炜,杨军亭,等. 电力创新成果向技术标准转化机制与实践路径: 基于甘肃电网实践[J]. 标准科学,2025(1):78-81.
- [28] SONG E, LEE K. Hardware-in-the-loop simulation-based interoperability testing method of smart sensors in smart grids[C]// Proceedings of the 7th IEEE International Conference on Industrial Cyber-Physical Systems (ICPS). St. Louis: IEEE, 2024: 1-6.
- [29] 肖婷婷,王愿,李彦斌,等.电网投资监管的演化博弈均衡与双赢机制研究:基于政企互动视角[J]. 工程研究:跨学科视野中的工程,2025,17(6):705-717.
- [30] LEAL FILHO W, Wall T, Barbir J, et al. Relevance of international partnerships in the implementation of the UN Sustainable Development Goals[J]. *Nature Communications*, 2022,13: 613.