

微电网技术标准分析及体系架构研究

吴鸣^{1,2}, 张楠春¹, 刘海涛^{1,2}, 赵海翔³, 栾文鹏¹, 于辉², 马文媛¹

(1. 中国电力科学研究院有限公司, 北京市 海淀区 100192;

2. 国网上海能源互联网研究院有限公司, 上海市 浦东新区 201203;

3. 国家电网有限公司, 北京市 西城区 100031)

Analysis of Microgrid Technical Standards and Research on System Architecture

WU Ming^{1,2}, ZHANG Nanchun¹, LIU Haitao^{1,2}, ZHAO Haixiang³, LUAN Wenpeng¹, YU Hui², MA Wenyuan¹

(1. China Electric Power Research Institute, Haidian District, Beijing 100192, China;

2. State Grid Shanghai Energy Interconnection Research Institute, Pudong New Area, Shanghai 201203, China;

3. State Grid Corporation of China, Xicheng District, Beijing 100031, China)

ABSTRACT: The microgrid, a new technological form integrating source-network-load-storage resources on the distribution side, has become a key component of the new-type power system. With the rapid development of microgrid technology, its standardization has become a key factor in promoting industry regulation and large-scale applications. This paper first systematically reviews the current status of microgrid technology standardization both domestically and internationally. It then introduces the architecture of microgrid technical standard systems in different countries, systematically analyzing the standards covered within these systems. The paper further examines the existing deficiencies in microgrid technology standard systems from three aspects: technical coverage, hierarchical structure, and coordination mechanisms. Based on this, the paper explores the goals and pathways for improving the microgrid technology standard system, aiming to provide important support and reference for the high-quality development of microgrids.

KEY WORDS: microgrid; standardization; standard system architecture; industrialization

摘要: 微电网是位于配电侧源网荷储资源集成的一种新技术形态, 已成为新型电力系统的重要组成部分。随着微电网技术的快速发展, 其标准化建设成为推动行业规范化和规模化应用的关键。该文首先系统梳理了国内外微电网技术标准现状; 然后分别介绍了国内外微电网技术标准体系架构, 系统性分析了体系内涵盖的标准, 并从技术覆盖度、层次结构和协调机制 3 个方面对微电网技术标准体系现存不足进行分析; 在此基础上对微电网技术标准体系的完善目标与路径进行了充分探讨, 旨在为微电网高质量发展提供重要支撑和

参考。

关键词: 微电网; 标准化; 标准体系架构; 产业化

DOI: 10.13335/j.1000-3673.pst.2025.1232

0 引言

微电网是集分布式发电、储能、负荷、控制保护装置于一体的供用电网络, 是促进规模化分布式能源就地消纳, 提升供电可靠性, 实现多元新要素就近聚合互动的有效手段^[1-3]。通过灵活协调源网荷储多元要素, 微电网既可独立运行保障偏远地区或关键负荷的稳定供电, 亦可与主配网互动, 优化电力资源分配, 在工商业区、社区楼宇及岛屿等多类型场景实现广泛部署应用, 已成为新型电力系统的重要组成部分^[4-6]。微电网技术的应用范围从传统配电系统延伸至应急保供、交通建筑、军事科考以及综合能源服务等领域, 成为推动能源消费侧清洁化、智能化转型的核心技术支撑。从政策战略层面来看, 微电网已上升到与大电网并列、互为补充的地位, “主配微”协同规划与运行是必然趋势^[7-9]。

在微电网规划、设计、建设、运行中, 由于涉及多类型能源形式、多样化装备以及复杂的控制策略, 不同厂商设备的兼容性、运行的安全性、系统的经济性以及与主电网的协调性等方面存在诸多挑战^[10-11], 这些问题的核心在于, 缺乏统一的规范和标准导致系统间难以协调、效率下降, 甚至存在运行风险。因此, 建立完善的微电网技术标准体系成为推动微电网技术进步和产业健康发展的关键。目前, 国际上多个标准化组织发布了一系列关于微电网的技术标准, 包含微电网的规划设计^[12]、运行

基金项目: 国家电网公司科技项目-微电网框架项目(5400-202317826A-4-1-KJ)。

Project Supported by Science and Technology Project of SGCC-Microgrid Framework Project (5400-202317826A-4-1-KJ).

控制^[13]、能量管理^[14]、系统测试^[15]等,均未形成统一的标准体系架构;我国微电网标准化工作虽起步相对较晚,通过国家标准、行业标准、地方标准、团体标准和企业标准的协同推进,已形成多层次、多维度的标准体系,但由于微电网及相关技术发展快、场景多样化等原因,仍存在技术覆盖度不足、层次结构不清晰等问题,无法完全满足微电网多样化场景的发展与产业化应用需求。

本文通过系统梳理国内外微电网技术标准化及其体系构建现状,深入分析当前微电网技术标准体系存在的问题与发展挑战,结合实际发展需求提出微电网技术标准体系的完善路径与建议,为微电网乃至新型电力系统高质量发展提供重要技术支撑和标准发展战略参考。

1 微电网技术标准化工作现状

1.1 国际标准化现状

在电力领域,国际标准化组织和机构主要有国际电工委员会(International Electrotechnical Commission, IEC)、美国电气与电子工程师协会(Institute of Electrical and Electronics Engineers, IEEE)、国际标准化组织(International Organization for Standardization, ISO)、国际电信联盟(International Telecommunication Union, ITU)等。其中,微电网领域的标准化工作主要由 IEC 和 IEEE 主导,同时 ISO 与 ITU 在虚拟电厂、能源互联网等方面制定的相关技术标准,也为微电网标准制定提供参考^[16]。国际大电网委员会(Conseil International des Grands Réseaux Électriques, CIGRE)虽不直接制定标准,但其组织研究并发布的技术手册为微电网领域的技术标准制定提供了重要方向指引和技术准备。

1.1.1 IEC 标准

IEC 标准化管理局(Standard Management Board, SMB)于 2010 年启动了微电网标准化相关工作。IEC 第 3 系统工作组(SG3)在“IEC Smart Grid Standardization Roadmap”《IEC 智能电网标准化路线图》中描述了微电网的特征以及并离网状态下应具备的功能,系统梳理了微电网在规划设计、运行控制与保护、能量管理以及电能质量等方面亟需制定的标准,为推动微电网标准化工作提供了重要指导^[17]。

2013 年,电能供应系统技术委员(IEC TC8)成立 WG7 工作组,专门负责微电网标准的制定。随后, SMB 先后成立微电网特别工作组(AHG 53)和

非传统配网/微网系统评估组(SEG 6),用于研讨微电网标准制定的组织架构等相关问题。2017 年 3 月,我国在 IEC TC8 下成功申请成立 IEC SC8B 分布式电力能源系统分技术委员会^[18],主要负责制定分布式电力系统领域的技术要求与规范,保障分布式电力系统的安全性、可靠性和经济性。其中,第一联合工作组(JWG1,原 TC8 WG7)和第三工作组(WG3)主要负责微电网领域标准制定。截至目前,已有 7 项 IEC 微电网标准获得批准并正式发布,5 项标准在编/修订。

JWG1 主导制定微电网规划设计与运行控制领域的标准,其中,IEC TS 62898-1《微电网-第 1 部分:微电网项目规划与规范指南》将微电网规划设计的过程分为前期研究、系统规划、技术要求、项目评估 4 个主要阶段,如图 1 所示,为微电网从规划到实施提供了系统化、多维度的技术依据;IEC TS 62898-2《微电网-第 2 部分:运行指南》对微电网的运行模式、控制策略、通信与监测、保护原则、电能质量与电磁兼容、维护与测试等方面进行了技术规范。2023 年,IEC 发布了这两项标准的 1.1 版本,更新了部分基本定义和术语,对经济效益的评估进行了更为详细的规范。IEC TR 62898-4《微电网-第 4 部分:使用案例》,通过分析微电网的业务用例和系统用例,为不同应用场景下的微电网建设和运营提供参考,并为构建完整的标准框架奠定了基础^[19]。IEC TS 62898-5《微电网-第 5 部分:微电网群运行控制指南》正在编制,规范微电网群的协同运行机制、控制策略等。

WG3 主要负责微电网监控与能量管理系统方面的标准制定工作。图 2 为 IEC TS 62898-3-1 标准

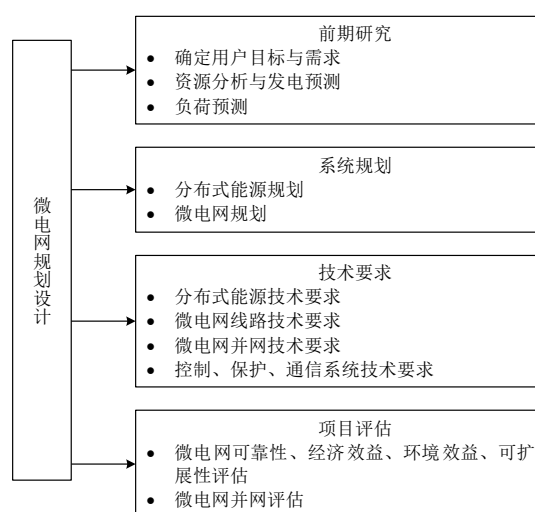


图 1 IEC TS 62898-1 微电网规划设计总体流程与框架
Fig. 1 Overall process and framework of microgrid planning and design in IEC TS 62898-1

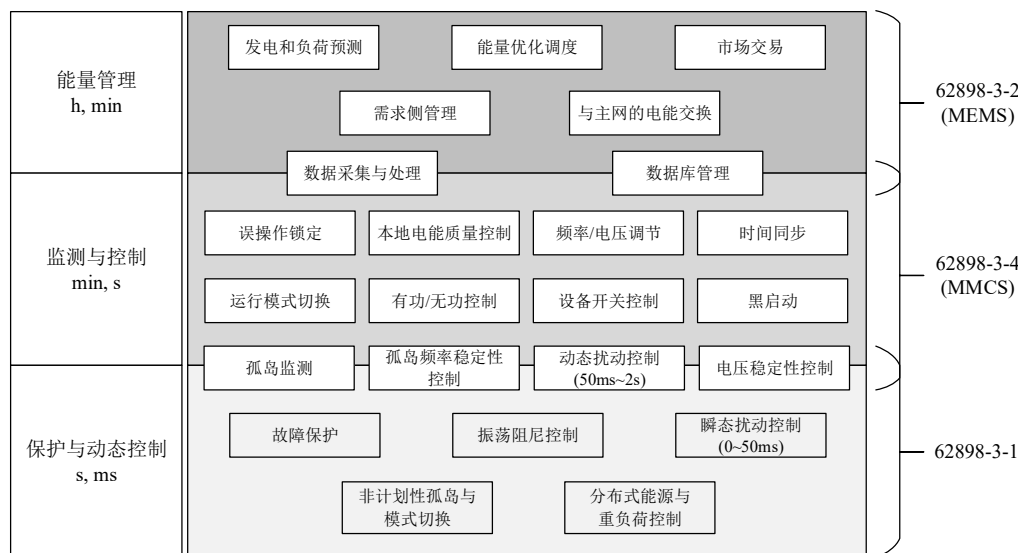


图2 IEC TS 62898-3-1 微电网运行控制功能映射

Fig. 2 Functional mapping for operation and control of microgrids in IEC TS 62898-3-1

中微电网运行控制的功能映射^[20]。IEC TS 62898-3-1《微电网-第3-1部分：保护与动态控制技术要求》为微电网的保护提供技术指导，定义了常见微电网保护的基本要求，对微电网的故障保护原则、动态稳定性保护原则以及保护类型的选择等进行了规范；IEC TS 62898-3-2《微电网-第3-2部分：能量管理系统技术要求》与IEC TS 62898-3-4《微电网-第3-4部分：微电网监控系统技术要求》从系统架构、软硬件配置、通信与网络安全、功能要求等方面对微电网能量管理系统(microgrid energy management system, MEMS)和监控系统(microgrid monitoring control system, MMCS)进行了规定^[11,21]；IEC TS 62898-3-3《微电网-第3-3部分：可调度负载的自我调节技术要求》提供了微电网中可调度负载自我调节功能的技术要求(包括频率稳定、电压稳定与混合控制)和测试方法^[22]。IEC TS 62898-3-5《微电网-第3-5部分：微电网监控与能量管理系统测试技术要求》正在编制，为微电网监控及能量管理系统的测试方法、性能评估等提供标准化指导。

另外，WG5主要负责制定直流和交直流混合配电系统的标准，《直流或混合微电网规划与设计指南》已经立项。

1.1.2 IEEE 标准

IEEE 1547 系列标准是全球公认的最早且较为全面、权威的分布式能源与微电网规范标准^[23-25]。其中，IEEE Std 1547.4TM-2011《微电网并网的规划、运行导则》是国际上首个针对微电网进行规范的标准，主要对微电网的结构分类、规划设计和运行控制进行了基础性规定，其基本架构如图3所示。

2013年以来，IEEE陆续颁布2030系列标准，

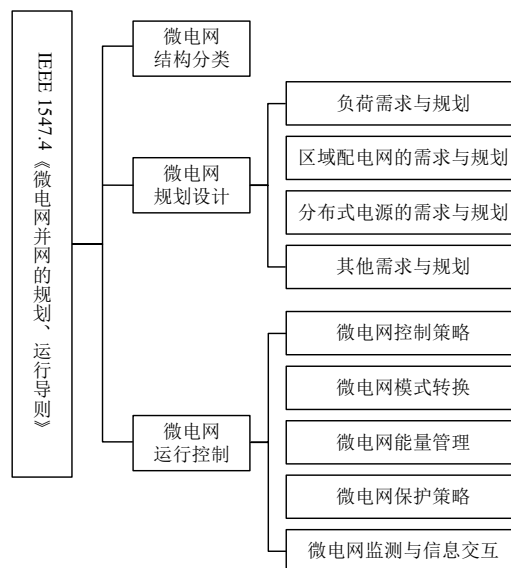


图3 IEEE1547.4 微电网标准架构

Fig. 3 IEEE 1547.4 microgrid standard architecture

旨在为现代电力系统提供可持续发展的技术框架，推动分布式能源资源整合与全球智能电网发展^[26-27]。其中，微电网标准主要由分布式发电、储能和互操作性标准委员会(BOG/SC21)、输配电技术委员会(PE/T&D)以及电力系统继电保护与控制技术委员会(PE/PSRCC)协同制定，截至目前，已形成4项正式标准及1项标准草案。

BOG/SC21主导编制的IEEE Std 2030.9TM-2019《微电网规划设计推荐性实践》，提供了一套系统、全面的微电网规划设计技术要求，涵盖从负荷分析、资源预测到一二次系统设计、安全及方案评估等各个环节^[28]，该标准充分参考了IEC TS 62898-1与IEEE Std 1547.4TM两项标准，并根据最新发展趋势，对微电网的应用场景、电气系统设计、保护、电能计量、安全等方面进行了补充与拓展。

PE/T&D 主要负责微电网能量管理方面的标准制定, IEEE Std 2030.7TM-2017《微电网控制器规范标准》定义了 MEMS 的核心功能要求, 包括调度功能和过渡功能, 调度功能负责根据不同运行模式协调分布式电源、储能和负载, 过渡功能保障微电网在并网与孤岛模式之间的平稳切换, 该标准明确了 MEMS 的互操作性和模块化设计, 同时提供了测试方法和度量标准^[29]; IEEE Std 2030.8TM-2018《微电网控制器测试标准》在上述标准的基础上建立了统一的测试标准与程序, 对 MEMS 的性能进行有效验证; IEEE Std 2030.10TM-2021《农村和偏远地区电力接入应用的直流微电网标准》, 针对农村和偏远地区的直流微电网应用, 在系统架构、电气参数、安全防护、设计配置等方面进行了规范与建议^[30]。

PE/PSRCC 制定的 IEEE P2030.12TM《微电网保护系统设计指南草案》, 为微电网保护系统的设计、设备选择及其协调性提供了技术指导, 该标准关注微电网在不同运行模式及模式切换过程中的保护需求, 提出了多种解决方案, 确保微电网能够在各种模式下可靠、安全运行^[31]。

1.1.3 CIGRE 技术手册

除 IEC 与 IEEE 外, CIGRE 主动配电系统和分布式能源研究委员会(C6)已发布了 2 篇有关微电网的技术手册, 对推动微电网标准的制定起到了基础支撑作用。

C6.10 工作组发布了《分布式能源、微电网组件的技术和商业标准化》, 讨论分布式能源与微电网组件的设备接口、通信协议和互操作性标准化问题, 强调微电源即插即用的重要性; 并介绍如何通过标准化降低市场门槛, 促进微电网技术的广泛应用。C6.22 工作组发布了《微电网发展路线图》, 介绍微电网的主要类型、关键技术和效益评估方法, 并通过加拿大波士顿巴尔微电网和英国霍尔姆路微电网的案例研究, 展示了如何构建微电网的商业案例^[32]。

1.2 国内标准化现状

当前, 我国微电网建设已步入规模化发展阶段, 相较于国际标准体系的先发优势, 我国微电网标准建设呈现出“多层次协同、分领域推进”的特征, 形成了以国家标准为纲领、行业标准为支撑、团体标准为补充、企业标准为实践探索的复合型标准架构。

1.2.1 国家标准与行业标准

我国微电网标准化工作主要由中国电力企业

联合会统筹管理, 由全国微电网与分布式电源并网标准化技术委员会(SAC/TC 564)负责, 并与 IEC TC8 专业对口, 专门负责微电网规划设计、运行控制、调度管理、试验检验与调试验收等全生命周期的标准制定工作; 同时, 全国电力需求侧管理标准化技术委员会(SAC/TC 575)、全国电压电流等级和频率标准化技术委员会(SAC/TC 1)、全国量度继电器和保护设备标准化技术委员会(SAC/TC 154)、能源行业电力系统规划设计标准化技术委员会(NEA/TC 4)等依托专业优势, 也组织制定了与本专业相关的部分微电网技术相关标准。截至 2025 年 8 月, 我国共发布和立项国家标准 16 项, 行业标准 11 项, 如表 1 所示, 初步满足微电网在规划设计、设备选型、并网运行及安全防护等关键领域的技术规范化需求, 为微电网系统可靠性和经济性提供基础技术支撑, 为我国微电网的规模化建设和产业发展奠定了基础。

国家标准以权威性和普适性为特征, 以 GB/T 33589-2017《微电网接入电力系统技术规定》为例, 通过明确微电网并网的电能质量、功率控制、安全防护、通信计量等共性技术要求^[33], 构建了微电网并网运行的技术基准, 具有较强的系统性和指导性。行业标准则更注重对细分领域的细化和补充, 填补国家标准在某些技术细节或实施层面的空白, 提供具体化、实用化的操作指南, 如 NB/T 10683-2021《微电网区域保护控制装置技术要求》, 针对微电网保护控制装置的技术要求、试验检验和贮存运输等进行了系统性规范, 为微电网保护设备的选型与检测提供了技术依据^[34]。

1.2.2 地方标准

我国微电网地方标准呈现显著的“先试先行”特征, 在国家及行业标准尚未发布的早期阶段(2016 年之前), 广西、河北、上海等地基于地方能源转型及微电网技术发展需求, 率先开展标准制定, 为后续国家标准的制定积累了实践经验。地方通过制定相关标准, 在上级标准缺失时期, 解决微电网工程建设无标可依的问题。已发布的地方标准如表 2 所示。

1.2.3 团体标准与企业标准

随着微电网技术的快速发展与迭代, 单一政府主导的标准供给模式面临创新响应迟滞、场景覆盖不足等挑战。除中国电力企业联合会外, 中国电器工业协会、中国电工技术学会等社会组织, 结合自身专业优势, 也制定了一系列微电网技术团体标准, 凝聚微电网上下游产业链共识, 推动技术方案的标准化, 进一步降低各市场主体的协同成本。

表 1 我国已立项/发布的微电网国家、行业标准

Table 1 National and industry standards for microgrids approved/published in China

序号	类型	标准号/计划号	标准名称	状态	归口管理
1	国标	20243272-T-524	微电网黑启动技术规范	正在起草	SAC/TC 564
2	行标	20241519-Z-524	微电网第 3-5 部分：微电网监控及 能量管理系统测试	正在起草	SAC/TC 564
3	国标	GB/T 33589-2017	微电网接入电力系统技术规定	正在修订	SAC/TC 564
4	国标	GB/T 34129-2017	微电网接入配电网测试规范	正在修订	SAC/TC 564
5	国标	GB/Z 34161-2017	智能微电网保护设备技术导则	已发布	SAC/TC 154
6	国标	GB/T 34930-2017	微电网接入配电网运行控制规范	正在修订	SAC/TC 564
7	国标	GB/T 51250-2017	微电网接入配电网系统调试与验收规范	已发布	中电联/住建部
8	国标	GB/T 36270-2018	微电网监控系统技术规范	正在修订	SAC/TC 564
9	国标	GB/T 36274-2018	微电网能量管理系统技术规范	正在修订	SAC/TC 564
10	国标	GB/T 51341-2018	微电网工程设计规范	已发布	中电联/住建部
11	国标	GB/T 38953-2020	微电网继电保护技术规定	已发布	SAC/TC 564
12	国标	GB/T 41995-2022	并网型微电网运行特性评价技术规范	已发布	SAC/TC 564
13	国标	GB/T 42731-2023	微电网技术要求	已发布	SAC/TC 564
14	国标	GB/T 43333-2023	独立型微电网调试与验收规范	已发布	SAC/TC 564
15	国标	GB/T 43334-2023	独立型微电网能量管理系统技术要求	已发布	SAC/TC 564
16	国标	GB/T 43463-2023	微电网群运行控制要求	已发布	SAC/TC 564
17	国标	GB/Z 44789-2024	微电网动态控制要求	已发布	SAC/TC 564
18	行标	NB/T 31092-2016	微电网用风力发电机组性能与安全技术要求	已发布	NEA/TC1/SC6
19	行标	NB/T 31093-2016	微电网用风力发电机组主控制器技术规范	已发布	NEA/TC1/SC6
20	行标	NB/T 20504-2018	核电厂核岛工程微网测量技术规程	已发布	核工业标准化研究所
21	行标	NB/T 10148-2019	微电网 第 1 部分：微电网规划设计导则	已发布	SAC/TC 1
22	行标	NB/T 10149-2019	微电网 第 2 部分：微电网运行导则	已发布	SAC/TC 1
23	行标	NB/T 10683-2021	微电网区域保护控制装置技术要求	已发布	SAC/TC 154
24	行标	DL/T 1863-2018	独立型微电网运行管理规范	已发布	SAC/TC 564
25	行标	DL/T 1864-2018	独立型微电网监控系统技术规范	已发布	SAC/TC 564
26	行标	DL/T 2405-2021	微电网需求响应技术导则	已发布	SAC/TC 575
27	行标	DL/T 5601-2021	分布式电源接入及微电网设计规程	已发布	NEA/TC4

表 2 我国已发布的微电网地方标准

Table 2 Local standards for microgrids published in China

序号	标准号	标准名称	归口管理
1	DB45/ T 864-2012	微电网接入 10 kV 及 以下配电网技术规范	广西壮族自治区 质量技术监督局
2	DB45/ T 1277-2016	微电网群 技术导则	广西壮族自治区 质量技术监督局
3	DB44/ T 1509-2014	多能源互补微电网 通用技术要求	广东省质量技术 监督局
4	DB13/T 2031.1-2014	泛能微网技术标准体系 第 1 部分： 基本定义及要求	河北省质量 技术监督局
5	DB13/T 2031.2-2014	泛能微网技术标准体系 第 2 部分：分布式电源 接入微网技术要求	河北省质量 技术监督局
6	DB13/T 2031.3-2014	泛能微网技术标准体系 第 3 部分：继电保护 技术要求	河北省质量 技术监督局
7	DB31/T 1146.7-2022	智能电网储能系统性能测试 技术规范第 7 部分：微电网 孤网运行应用	上海市市场 监督管理局

与此同时，微电网的标准化工作也得到了企业界的高度重视。国家电网公司根据国家战略需求和自身业务特点高度关注微电网技术的发展与标准体系的建设，积极推动微电网标准研究与国际化工

作，发布了 Q/GDW 12191-2021《增量配电网/微电网调度运行技术规范》等系列标准；南方电网公司、国家能源集团、华能集团等也根据自身技术需求发布了相关的企业标准。

2 微电网技术标准体系架构与分析

微电网技术标准及其体系不仅是技术规范的系统化整合，更是协调技术发展路线、统一产业认知、提升国际竞争力的关键载体。相较于单一标准的研究制定，体系化的标准架构能够通过层次化的框架设计，明确技术逻辑关联，覆盖微电网全生命周期需求，从而避免标准间的重复、矛盾或盲区，为微电网技术发展与市场推广提供系统性保障。

2.1 国外微电网技术标准体系架构

国际上，IEC、IEEE 在微电网技术标准制定中占据突出的先发优势，但尚未形成统一的体系化架构，国外学者基于 IEEE 1547.4TM、IEC TS 62898-1 等国际标准初步整合形成了具有代表性的微电网技术标准体系框架^[35]，除 IEC 和 IEEE 发布的标准外，还包括美国国家标准协会(American National Standards Institute，ANSI)、美国国家消防协会

(National Fire Protection Association, NFPA)等组织制定的相关标准以及国际大电网委员会(Conseil International des Grands Réseaux Électriques, CIGRE)发布的技术手册,如图4所示,进一步优化后的体系框架分为系统研究、元素建模、控制与保护、信息与通信、测试与验证、案例研究、能量管理、电网交互与基准测试九大领域。

在上述标准框架中包含多项具有深远影响的微电网技术标准,例如,基础综合层面 IEEE 1547.4TM-2011《微电网并网的规划、运行导则》;

规划设计层面 IEC TS 62898-1《微电网-第1部分:微电网项目规划与规范指南》和 IEEE Std 2030.9™-2019《微电网规划设计推荐性实践》;控制与保护层面 IEC TS 62898-2《微电网-第2部分:运行指南》、IEC TS 62898-3-1《微电网-第3-1部分:保护与动态控制技术要求》与 IEEE Std 2030.7TM-2017《微电网控制器规范标准》;测试与验证层面 IEEE Std 2030.8TM-2018《微电网控制器测试标准》,上述大部分标准经适应性调整后被多个国家直接采纳与应用。

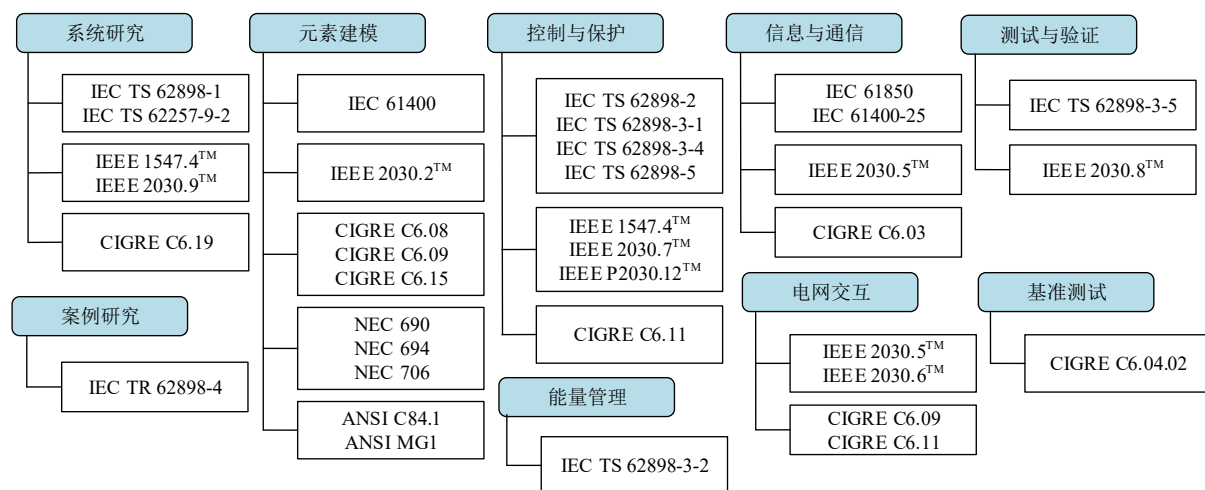


图4 国外微电网技术标准(技术手册)体系框架

Fig. 4 International microgrid standard (Technical Manual) system framework

2.2 国内微电网技术标准体系架构

在国内,通过借鉴 IEC 与 IEEE 核心标准,并融合我国微电网应用及与电网协同等方面的独特需求,全国微电网与分布式电源并网标准化技术委员会在中国电力企业联合会、国家电网公司的指导下创建了相对完整的微电网技术标准体系架构,共分为8大技术领域,如图5所示。

基础通用方面,作为微电网技术标准体系的底层支撑,聚焦于统一微电网领域的基本概念、术语定义、图形符号及标识编码,旨在为全行业提供基

础性技术共识和通用准则。目前,这一层面尚无专项标准,其核心内容通常分散嵌入各细分标准中。

规划设计方面,作为微电网建设的顶层指引,重点规范微电网源荷储配置、容量规划、电气系统设计等内容,为微电网从初步设计到落地实施提供科学的技术路线。目前已发布3项国/行标准,分别为 GB/T 51341-2018《微电网工程设计规范》、NB/T 10148-2019《微电网第1部分:微电网规划设计导则》与 DL/T 5601-2021《分布式电源接入及微电网设计规程》。

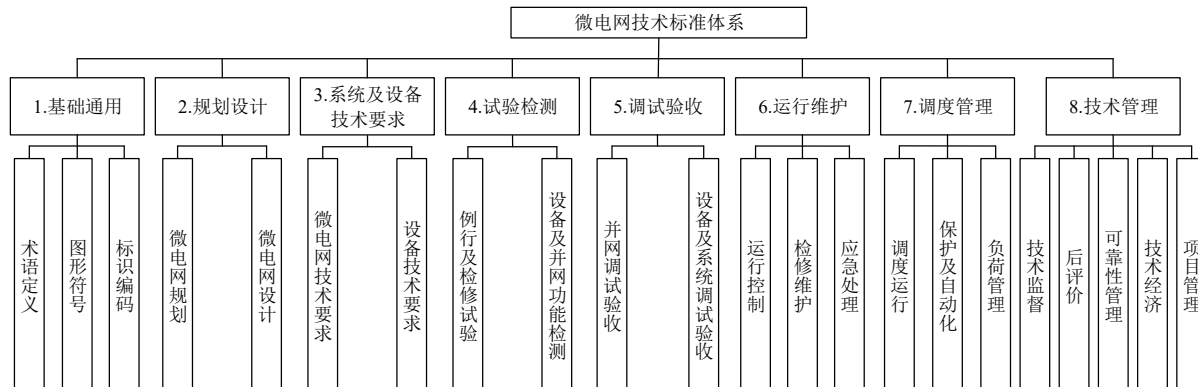


图5 我国微电网技术标准体系架构(2025版)

Fig. 5 Technical standard system architecture of microgrids in China (2025 Edition)

系统及设备技术要求方面,作为微电网系统的技术基准,规范微电网系统以及关键设备的功能要求、性能参数及边界条件等,旨在保障设备兼容性与系统的协调高效运行。目前,现行国/行标准共7项,包含 GB/T 33589-2017《微电网接入电力系统技术规定》、GB/T 36270-2018《微电网监控系统技术规范》、GB/T 36274-2018《微电网能量管理系统技术规范》、GB/T 42731-2023《微电网技术要求》等。

试验检验方面,作为微电网工程的验证保障,规范内容重点覆盖设备性能测试、系统功能验证及并网适应性评估等,旨在通过标准化检测流程确保微电网全生命周期质量可控。已发布国家标准1项,GB/T 34129-2017《微电网接入配电网测试规范》,行业标准《微电网第3-5部分:微电网监控及能量管理系统测试》正在编制。

调试验收方面,作为微电网工程建设的关键环节,聚焦系统投运前的设备调试、系统联调与试运行标准化,旨在确保微电网从建设到运行的平稳过渡,支撑工程的安全与可靠落地。已发布 GB/T 51250-2017《微电网接入配电网系统调试与验收规范》和 GB/T 43333-2023《独立型微电网调试与验收规范》2项国标。

运行维护方面,作为微电网系统的持续运营支撑,重点规范微电网系统的运行模式、控制策略、检修维护与应急处理等内容,旨在保障微电网长期稳定运行,避免因设备故障或管理不当造成系统中断或效率下降。已制定 GB/T 34930-2017《微电网接入配电网运行控制规范》、GB/T 43463-2023《微电网群运行控制要求》、NB/T 10149-2019《微电网第2部分:微电网运行导则》等5项国/行标准。

调度管理方面,作为微电网系统运行的核心纽带,针对微电网调度运行、负荷管理和继电保护等进行标准化,旨在确保电力资源的灵活调度,支撑实现能源利用最大化、电力供应可靠性提升以及系统安全稳定等多重目标。已制定 GB/Z 34161-2017《智能微电网保护设备技术导则》、GB/T 38953-2020《微电网继电保护技术规定》、DL/T 2405-2021《微电网需求响应技术导则》等5项国/行标准。

技术管理方面,作为微电网的综合保障,规范内容涵盖微电网技术监督、综合评估、可靠性管理及项目管理等,旨在通过全流程的管理机制,提升微电网的运行效率、可靠性与经济性,促进微电网可持续发展。目前发布 GB/T 41995-2022《并网型微电网运行特性评价技术规范》1项国标,国家标准《微电网黑启动技术规范》正在起草。

2.3 国内外微电网技术标准体系对比分析

IEC/IEEE 主导的微电网技术标准以通用性与兼容性为核心,强调技术中立性,其标准内容呈现“最小共识、最大兼容”的轻量化特征,注重通过技术原理梳理与核心参数界定,实现跨区域、多国家的广泛适配。IEC/IEEE 系列标准体系框架结构简洁,各技术模块独立性强、内容完备、边界清晰、拓展灵活,体现出较显著的技术驱动导向。

国际上,微电网技术标准体系构建由其对应的技术/标准委员会推动,通过工作组、特别小组等机制广泛吸纳全球专家参与,流程开放、共识性强。其演进过程呈现技术驱动的渐进式特征,依托多年技术积累,从基础功能延展至复杂场景应用,整体演进与发展节奏平稳。

相比之下,我国微电网技术标准体系更注重与新能源消纳、“高海边无”供电、主配微协同等场景适配及工程落地,呈现出“全生命周期、全要素管控”的重载化特征。紧扣电力系统建设需求,微电网技术体系架构覆盖从规划设计到运维评价的完整链条,工程和管理导向明确。值得注意的是,我国电网的发展建设、运行运营模式一定程度上制约了微电网多元化应用场景的开拓,从而影响了微电网技术标准的实践深度和广度。

我国微电网技术标准体系实行政府引导、行业主导、企业参与的多方协同机制,由 SAC/TC 564 统筹管理,呈现政策引导的跨越式演进特征。其发展以国家能源战略为导向,先通过地方探索积累经验,再快速推进全国性标准建设,重点填补关键技术空白,注重标准的落地性与实施效能,这种由管理和生产建设需求驱动的模式演进速度快,但在前沿技术探索和国际话语权方面仍需进一步加强。

3 微电网技术标准体系完善探讨

3.1 微电网技术标准体系分析

微电网是一项系统性、集成性、融合性的复杂工程,并且具有一定的前瞻性,其标准的制定和标准体系的构建极具挑战。构建一个清晰合理且多维度协同的标准体系既要充分考虑微电网技术的多样性、复杂性与兼容性,还要适配最新技术的动态演进和多样化应用场景。

微电网技术标准体系架构通过全生命周期覆盖和模块化设计,系统性统筹从顶层规划到技术管理的各环节规范,基本明确从系统级到设备级的各类技术要求,并基于运行维护、调度优化和动态评估等标准化模块,实现对微电网系统可靠性与可持

续性的有效保障,为微电网规模化应用提供坚实的技术支撑,解决标准分散、协同不足等行业痛点,具有一定的行业引领性和实践指导价值。

参考能源互联网标准体系架构^[36],结合微电网的结构与技术特征、供给侧与需求侧的不同应用需求,从能源域、工作域与系统域3个维度构建微电网标准域,如图6所示。分析发现,随着技术的不断进步与市场政策机制的变化,微电网技术标准体系架构仍存在持续优化的空间,需结合技术发展与应用需求持续改进完善,指导微电网技术标准的制定。重点关注以下方向:

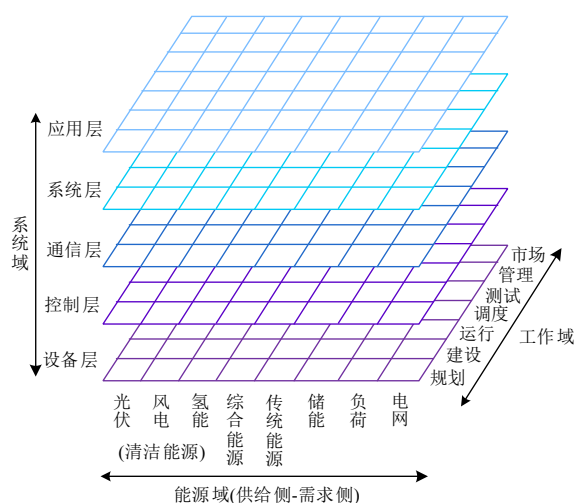


图6 微电网标准域

Fig. 6 Microgrid standard domain

1) 微电网技术标准体系的技术覆盖度需进一步提升。当前微电网标准主要覆盖了风能、太阳能等可再生能源,对氢能、地热能、海洋能等新兴能源的技术要求和接入规范覆盖不足;现有微电网标准涉及的储能技术大多以电化学储能为主,对飞轮储能、重力储能以及能量-功率混合型储能等新型储能技术适应性不足;当前微电网安全标准存在较大技术缺口,在系统防护、数据安全和网络攻击防范等领域,相关标准尚不完善;信息通信领域技术标准尚属空白,多源异构设备的通信协议尚未统一,导致设备间互操作性不足。详细分析见图7,现行微电网标准覆盖技术雷达图。

当前微电网技术标准体系在新兴技术领域,标准存在一定缺失,部分领域滞后性问题突出,已在实践中逐步显现。在规划阶段,对不同应用场景不够细分,并/离网等不同运行模式差异化考虑不充分,使微电网资源配置与容量规划难以精准量化评估,增加系统初期设计和投资的不确定性;氢能、新型储能等新兴技术相关标准的缺失,容易导致系统配置不合理,不同设备间兼容性不足,影响整体

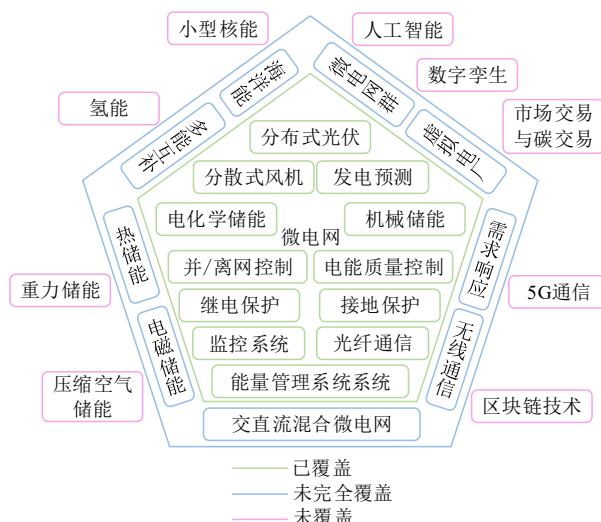


图7 现行微电网标准覆盖技术雷达图

Fig. 7 Radar chart of current microgrid standard coverage technologies

效能。在运行环节,人工智能在负荷预测、状态评估与优化调度上的应用日益增多,但缺乏算法可靠性、可解释性及数据安全方面的标准,易在模型失准或数据异常时引发错误的调控决策。在市场环节,区块链、绿电交易与碳交易等领域尚无涵盖计量鉴证、数据格式、结算流程的统一技术规范,使得微电网在参与绿色电力交易或碳资产管理时,可信性和可追溯性不足,限制了商业模式和增值路径的拓展。因此,填补这些技术领域的标准空白,增强标准的适应性和约束力,不仅是技术体系完善的需要,更是保障微电网安全、高效、市场化运行的迫切要求。

2) 微电网技术标准体系架构的层次结构需持续优化。由于微电网系统的复杂性与工程建设的维度不一致,导致子领域划分缺乏统一逻辑,各子分支之间可能存在一定程度的交叉、重叠或遗漏,而且部分分子分支被过度拆分,导致标准体系臃肿化,不利于对标准进行统一管理与评价。例如,标准体系中,“例行及检修试验”与“检修维护”子分支在检修问题上可能存在交叉;“运行维护”下的“检修维护”与“应急处理”子分支,核心目标高度趋同,功能差异不足以支撑其独立存在;检测认证内容在标准体系中没有明确体现。此外,随着直流技术的发展,直流微电网、交直流混合微电网的出现,交直流微电网标准在层次划分时 also 需进一步协调与整合,以增强体系的完整性和适用性。

3) 微电网技术标准体系构建时各方协调有待增强。微电网技术涉及新能源、储能、信息通信、电力装备等多个技术领域,在跨领域标准制定过程中,极易导致标准的技术要求不一致、技术参数不

统一，甚至内容冲突，在实际应用中出现不兼容等问题。微电网规划应与配电网规划技术与方法加强协同，微电网运行调控细则与主网调控方式的要求进一步衔接；技术管理标准与系统及设备技术要求之间协同性不足，微电网管理方面仍缺乏相应标准，使得微电网在管理流程、责任界定等方面缺乏明确依据。此外，由于政府、科研机构、企业等在微电网标准制定中利益关注度不一致，导致标准制定周期相对较长。最后，国际之间缺乏有效的协调平台，不同地区技术指标存在较大差异，使得微电网设备与技术在跨国应用时面临诸多技术壁垒，增加了设备制造商的研发成本和市场拓展难度，限制了微电网技术的全球推广与应用。

同时，现有微电网标准大多聚焦于技术规范，尤其在国内缺乏对微电网典型案例的研究分析。微电网发展迫切需要的是高质量的“典型性设计”，即通过对并网型/孤岛型等不同类型微电网典型场景的项目案例与应用的研究，提供一系列符合实际需求、可复制、可推广的优秀的典型性设计标准，为后续微电网项目及产业的高质量开展提供参考规范^[37]。

3.2 微电网技术标准体系完善目标

未来需通过整合交叉领域、优化分支层级、建立动态更新机制、强化国际对标，推动标准体系向精准高效转型，构建兼顾系统性、协调性、扩展性及开放性的微电网技术标准体系^[38-40]。

1) 系统性目标：构建覆盖微电网全生命周期的标准体系，加强顶层设计，建立层次分明、结构清晰的标准体系架构，确保每个层次之间相互关联、功能互补与协同配合，避免单一标准孤立化，形成有机统一的标准整体框架。

2) 协调性目标：构建多层次协调互动的标准体系，对内实现微电网内外部源、荷、储、通信等核心要素的技术标准统一，消除技术矛盾与重复规定；对外强化与大电网标准的动态衔接，确保微电网与上级主配电网的深度兼容，支撑协同互动。

3) 扩展性目标：构建随科技发展、市场需求、企业目标、管理机制变动而动态更新的标准体系框架，预留技术演进接口，适应多能互补、车网互动、数字孪生、人工智能等新兴领域发展需求，确保标准体系的长期适用性与前瞻性。

4) 开放性目标：建立国际标准跟踪与转化机制，推动国内标准与 IEC、IEEE 等国际标准的互认互通，打破技术壁垒，促进国内外技术交流与合作。鼓励产学研用多方参与标准制定，形成开放共享的

标准化生态。

3.3 微电网技术标准体系完善路径

当前，微电网标准供给的有效性和体系化不足，应结合当今国际能源发展战略和技术发展趋势，确定微电网标准化战略重点，持续开展微电网技术标准体系建设，有序开展微电网标准规划布局，逐步强化微电网标准的系统性供给能力。微电网技术体系发展路径如图 8 所示。

1) 微电网技术标准的制定需明确微电网技术体系发展路径，以应用需求为导向。首先，聚焦前沿与薄弱领域，通过在急需技术领域构建具有引领性和适应性的标准框架，推动技术规范化与规模化应用，进一步强化标准体系的系统性与完整性，应重点布局规模化分布式能源接入、多能互补、虚拟电厂、应急保供、低空经济等应用场景，尤其在电力市场的推动下，上述领域的技术迭代与发展实践已显露出急切的标准化需求，需通过急需标准的研制，推动重大科技成果转化技术标准，支撑微电网乃至电力系统的高质量发展。同时，随着微电网技术的不断成熟与应用场景的持续拓展，其服务边界已从传统的农村、工商业园区、社区楼宇延伸至极地、深海、太空等特殊环境，应适时启动针对极地微电网、月球能源系统等特殊环境应用的预研和标准布局^[41]，为未来可能的大规模探索与应用奠定坚实的规范基础。

2) 微电网技术标准的发展必须依赖底层技术的突破，以技术创新为基础。应瞄准微电网根技术与关键基础技术研究，聚焦新型材料及器件、先进能源发电、新型储能、高效高密度电力转换装备、智能控制、运维等共性技术难题，通过协同创新攻克现有技术瓶颈，持续优化标准中的核心指标和关键参数。同时，需重视前沿交叉技术在微电网中的应用，依托智能传感、建模仿真等基础通用技术，结合数字孪生技术构建多物理场仿真平台，基于人工智能技术实现更精准的优化调度等，从而增强跨领域标准的协调性与体系的扩展性。最后，需进一步加强技术研发与标准化的动态耦合，合理优化微电网系统及核心装备的功能性能指标要求，推动技术发展标准预研的同步发展，并加强标准与技术的反馈闭环，实现“以技术引领标准，以标准反哺技术”的良性循环，形成技术突破与标准升级的双向赋能格局，有效助力新型电力系统的构建。

3) 微电网技术标准需融入产业发展脉络，以推动产业发展为落脚点。微电网面对的是一个庞大的产业链集聚的系统，首先，应关注构网型装备、

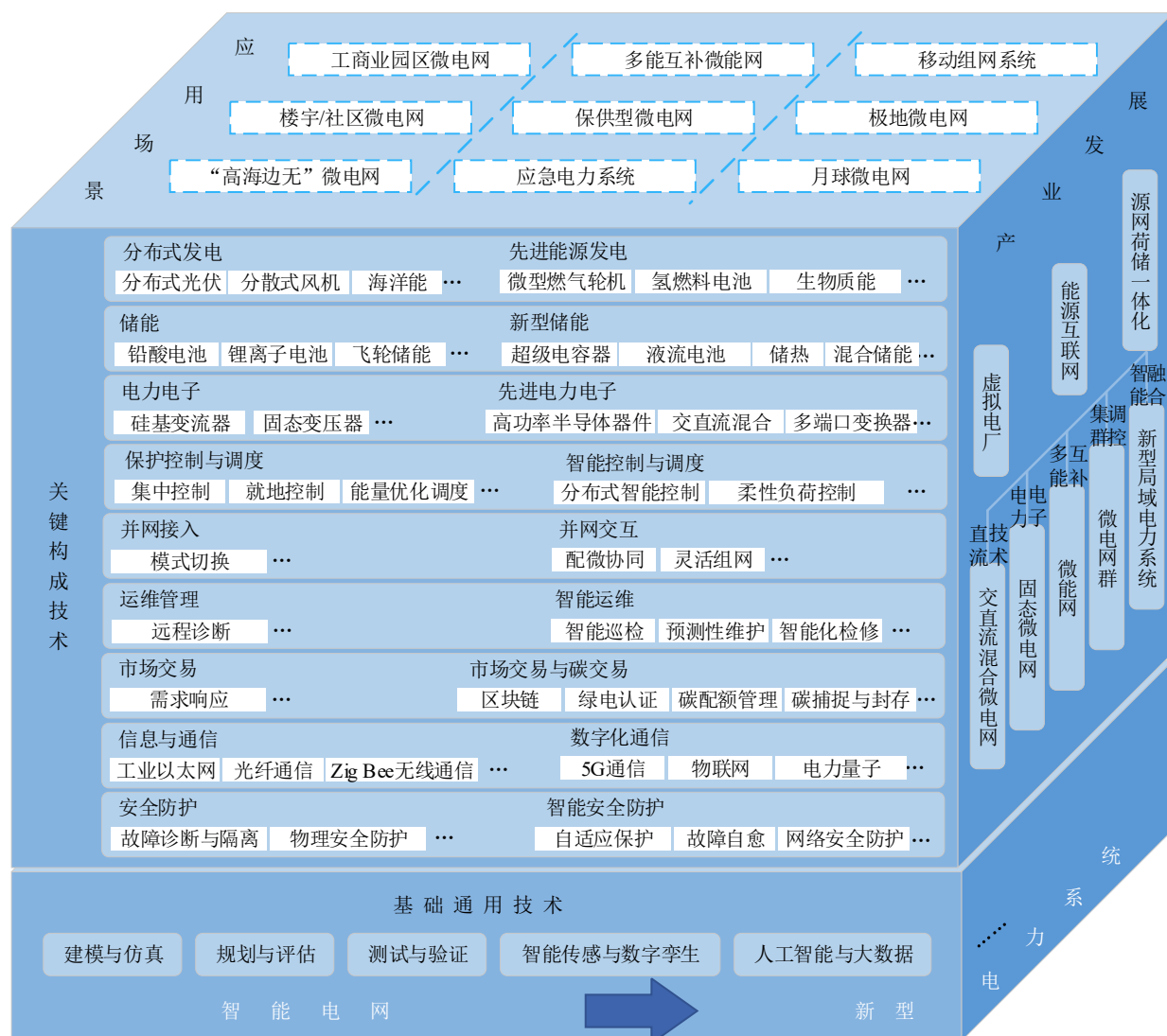


图8 微电网技术体系的发展路径

Fig. 8 Development path of the microgrid technology system

微能网、能源互联网、源网荷储一体化等新兴产业标准研制需求，在微电网标准制定滞后于装备研制及工程建设进度的新兴产业中，推动技术标准先行介入，促进互操作性与兼容性，保障新兴产业科学与规模化发展。同时，深挖产业标准需求，结合电力市场的进一步发展，精准定位微电网产业发展的痛点和关键方向，驱动新标准的产生，结合技术标准制修订，保障产业持续升级，增强产业竞争力；深化标准引领微电网全产业链协同发展策略，持续推动技术创新、产业升级和市场规范化，构建微电网技术-装备生态体系；密切跟踪新型电力系统国际标准编制动态，围绕微电网上下游产业输出需求，联合产业链力量，积极推动成立新的国际标准工作组，及时提出符合微电网产业发展的标准技术路线；促进微电网产业国际化，最终通过标准与产业的深度战略协同，使标准成为我国引领微电网乃至新型电力系统相关产业可持续发展和不断创新的

核心驱动力，提升微电网产业的整体竞争力与国际化水平。

4 结语

微电网能够有力推动能源系统高度电气化与电力系统高度低碳化转型，实现从资源依赖向技术依赖转变，提升电力系统的数智化水平，支撑新型电力系统建设。微电网标准体系更深入地融入新型电力系统标准体系，在提升配电网智能调控和双向互动能力、支撑高比例可再生能源接入和消纳、提升供电可靠性等方面发挥更重要的作用。

标准化作为连接科研与产业的纽带，在微电网技术发展与系统建设过程中发挥着确保系统安全、提升运行效率和保障设备兼容等基础性作用，加速科研成果转化，推动微电网产业健康发展的重要作用。

需要强调的是，微电网技术标准体系的构建不

仅是技术整合过程,更受到市场机制、政策导向与产业链协同等多重非技术因素的深刻影响。标准的生命力在于应用,其制定与推广需与产业发展、商业模式创新、电价机制、碳政策等市场要素相匹配,并依托强有力的政策引导与监管框架;同时,需充分考虑设备商、运营商、用户等产业链各方诉求,通过共建共享的协同机制,化解利益博弈,形成推动微电网标准落地实施的最大合力。

目前,我国乃至全球微电网技术标准化工作已取得一定成果,但随着微电网技术的快速发展和广泛应用,亟需围绕其新形态、新特性、新场景加强标准化总体布局,进一步完善微电网技术标准体系框架,以高水平标准助力高技术创新,促进微电网高水平发展,助力微电网全产业链高质量协同,支撑新型电力系统高效、稳定运行与“双碳”目标实现。

参考文献

- [1] 张智刚,康重庆.碳中和目标下构建新型电力系统的挑战与展望[J].中国电机工程学报,2022,42(8):2806-2818.
ZHANG Zhigang, KANG Chongqing. Challenges and prospects for constructing the new-type power system towards a carbon neutrality future[J]. Proceedings of the CSEE, 2022, 42(8): 2806-2818(in Chinese).
- [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.
SHU Yinbiao, CHEN Guoping, HE Jingbo, et al. Building a new electric power system based on new energy sources[J]. Strategic Study of CAE, 2021, 23(6): 61-69(in Chinese).
- [3] 钱伟,孙晓彤,费树岷.可再生能源高渗透下时滞孤岛微电网的负荷频率控制[J].电网技术,2024,48(2):630-639.
QIAN Wei, SUN Xiaotong, FEI Shumin. Load frequency control of islanded microgrids with time-delay under high penetration of RESs[J]. Power System Technology, 2024, 48(2): 630-639(in Chinese).
- [4] 吴鸣,张楠春,梁英,等.新型电力系统背景下微电网技术研究与展望[J].新型电力系统,2024,2(3):251-271.
WU Ming, ZHANG Nanchun, LIANG Ying, et al. Research and development of microgrid technology in the context of new type power system[J]. New Type Power Systems, 2024, 2(3): 251-271(in Chinese).
- [5] 王力,舒毅,赵斌,等.基于Kuramoto模型的孤岛微电网分布式二次频率控制策略[J/OL].太阳能学报,2024:1-10[2025-03-12].
<https://doi.org/10.19912/j.0254-0096.tynxb.2024-1449>.
WANG Li, SHU Yi, ZHAO Bin, et al. Distributed secondary frequency control strategy for islanded microgrids based on the Kuramoto model[J/OL]. Acta Energiac Solaris Sinica, 2024: 1-10[2025-03-12]. <https://doi.org/10.19912/j.0254-0096.tynxb.2024-1449>(in Chinese).
- [6] 高强,秦晓辉,张媛媛,等.碳减排需求下面向多元交互策略设计的微电网分布式能源发展规划研究[J].电网技术,2024,48(9):3574-3583.
GAO Qiang, QIN Xiaohui, ZHANG Yuanyuan, et al. Distributed energy development planning of microgrid with multi-vector interaction strategy design under carbon reduction demand[J]. Power System Technology, 2024, 48(9): 3574-3583(in Chinese).
- [7] 何国庆,王伟胜,刘纯,等.分布式电源并网技术标准研究[J].中国电力,2020,53(4):1-12,176.
HE Guoqing, WANG Weisheng, LIU Chun, et al. Study on technical standard of distributed resources grid integration[J]. Electric Power, 2020, 53(4): 1-12, 176(in Chinese).
- [8] 金强,张红斌,宋子洋,等.微电网规划方案的评价指标计算和空间距离评价方法[J].燕山大学学报,2021,45(3):246-253,261.
JIN Qiang, ZHANG Hongbin, SONG Ziyang, et al. Index calculation and space distance based evaluation for microgrid planning[J]. Journal of Yanshan University, 2021, 45(3): 246-253, 261(in Chinese).
- [9] 栗峰,丁杰,周才期,等.新型电力系统下分布式光伏规模化并网运行关键技术探讨[J].电网技术,2024,48(1):184-196.
LI Feng, DING Jie, ZHOU Caiqi, et al. Key technologies of large-scale grid-connected operation of distributed photovoltaic under new-type power system[J]. Power System Technology, 2024, 48(1): 184-196(in Chinese).
- [10] 别朝红,林雁翎,张建华.微网技术及其标准体系的研究[J].高电压技术,2015,41(10):3177-3184.
BIE Zhaozhong, LIN Yanling, ZHANG Jianhua. Review on microgrid technology and international standards[J]. High Voltage Engineering, 2015, 41(10): 3177-3184(in Chinese).
- [11] 张建华,史佳琪,郑德化,等.微电网运行与控制 IEC 标准进展与分析[J].电力系统自动化,2018,42(24):1-10.
ZHANG Jianhua, SHI Jiaqi, ZHENG Dehua, et al. Development and analysis of microgrid operation and control standards of international electrotechnical commission[J]. Automation of Electric Power Systems, 2018, 42(24): 1-10(in Chinese).
- [12] IEC. Microgrids-Part 1: guidelines for microgrid projects planning and specification: IEC TS 62898—1[S]. Geneva: IEC, 2017.
- [13] IEC. Microgrids-Part 2: guidelines for operation: IEC TS 62898—2[S]. Geneva: IEC, 2018.
- [14] IEC. Microgrids-Part 3-2: technical requirements-energy management systems: IEC TS 62898—3—2[S]. Geneva: IEC, 2024.
- [15] IEEE. IEEE standard for the testing of microgrid controllers: IEEE Std 2030.8—2018[S]. New York: IEEE, 2018.
- [16] 张晶,胡纯瑾,高志远,等.能源互联网技术标准体系架构设计及需求分析[J].电网技术,2022,46(8):3038-3048.
ZHANG Jing, HU Chunjin, GAO Zhiyuan, et al. Architecture design and requirement analysis of technical standard system for energy internet[J]. Power System Technology, 2022, 46(8): 3038-3048(in Chinese).
- [17] International Electrotechnical Commission. IEC TR 63097 smart grid roadmap[EB/OL]. (2010-06-11)[2025-03-11]. <https://syse-iec.ch/deliveries/iec-tr-63097-smart-grid-roadmap/>.
- [18] 王宏,闫园,文福拴,等.国内外综合能源系统标准现状与展望[J].电力科学与技术学报,2019,34(3):3-12.
WANG Hong, YAN Yuan, WEN Fushuan, et al. Standards associated with integrated energy systems: current situation and research prospects[J]. Journal of Electric Power Science and Technology, 2019, 34(3): 3-12(in Chinese).
- [19] IEC. Microgrids-Part 4: use case: IEC TR 62898—4[S]. Geneva: IEC, 2023.
- [20] IEC. Microgrids-Part 3-1: technical requirements-protection and dynamic control: IEC TS 62898—3—1[S]. Geneva: IEC, 2023.
- [21] IEC. Microgrids-Part 3-4: technical requirements-microgrid monitoring and control systems: IEC TS 62898—3—4[S]. Geneva: IEC, 2023.
- [22] IEC. Microgrids-Part 3-3: technical requirements-self-regulation of dispatchable loads: IEC TS 62898—3—3[S]. Geneva: IEC, 2023.

- [23] 黄秀琼, 赵敏, 黄少伟, 等. 《微电网接入 10kV 及以下配电网技术规范》广西地方标准研究[J]. 中国电力, 2013, 46(8): 11-15. HUANG Xiuqiong, ZHAO Min, HUANG Shaowei, et al. Studies on Guangxi provincial standard for microgrid——technical guide for interconnecting microgrids with distribution systems with voltages of 10 kV and below[J]. Electric Power, 2013, 46(8): 11-15(in Chinese).
- [24] IEEE. IEEE guide for design, operation, and integration of distributed resource island systems with electric power systems: IEEE 1547.4—2011[S]. New York: IEEE, 2011.
- [25] 杨大为, 黄秀琼, 杨建华, 等. 微电网和分布式电源系列标准 IEEE 1547 述评[J]. 南方电网技术, 2012, 6(5): 7-12. YANG Dawei, HUANG Xiuqiong, YANG Jianhua, et al. Introduction to and analysis on IEEE 1574 standard series for microgrids and distributed resources[J]. Southern Power System Technology, 2012, 6(5): 7-12(in Chinese).
- [26] IEEE Standards Association. Evolving IEEE standards foster a more sustainable power grid[EB/OL]. (2024-03-22)[2025-02-21]. <https://standards.ieee.org/beyond-standards/ieee-2030-standards/>.
- [27] 王涛, 赵晓明, 余志慧, 等. IEEE 智能电网标准体系及研究进展[J]. 浙江电力, 2017, 36(9): 8-12, 32. WANG Tao, ZHAO Xiaoming, YU Zhihui, et al. Review and research progress of IEEE smart grid standard system[J]. Zhejiang Electric Power, 2017, 36(9): 8-12, 32(in Chinese).
- [28] IEEE. IEEE recommended practice for the planning and design of the microgrid: IEEE Std 2030.9—2019[S]. New York: IEEE, 2019.
- [29] IEEE. IEEE standard for the specification of microgrid controllers: IEEE Std 2030.7—2017[S]. New York: IEEE, 2017.
- [30] IEEE. IEEE standard for DC microgrids for rural and remote electricity access applications: IEEE Std 2030.10—2021[S]. New York: IEEE, 2021.
- [31] IEEE. IEEE approved draft guide for the design of microgrid protection systems: IEEE Std P2030.12[S]. New York: IEEE, 2025.
- [32] MARNAY C, CHATZIVASILEIADIS S, ABBEY C, et al. Microgrid evolution roadmap[C]//2015 International Symposium on Smart Electric Distribution Systems and Technologies (EDST). Vienna: IEEE, 2015: 139-144.
- [33] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. 微电网接入电力系统技术规定: GB/T 33589—2017[S]. 北京: 中国标准出版社, 2017.
- [34] 国家能源局. 微电网区域保护控制装置技术要求: NB/T 10683—2021[S]. 北京: 中国电力出版社, 2021.
- [35] 哈桑·法翰吉, 盖扎·乔斯. 微电网规划与设计: 简明指南[M]. 国网经济技术研究院有限公司, 译. 北京: 中国电力出版社, 2022.
- [36] 马君华, 张东霞, 刘永东, 等. 能源互联网标准体系研究[J]. 电网技术, 2015, 39(11): 3035-3039. MA Junhua, ZHANG Dongxia, LIU Yongdong, et al. Study on standard framework of energy internet[J]. Power System Technology, 2015, 39(11): 3035-3039(in Chinese).
- [37] 杨沐岩. 微网也需有自己的标准[N]. 中国能源报, 2023-08-21(09).
- [38] 王宏, 宋禹飞, 刘润鹏, 等. 虚拟电厂标准化现状与需求分析[J]. 浙江电力, 2024, 43(5): 1-9. WANG Hong, SONG Yufei, LIU Runpeng, et al. Current status and demand analysis of virtual power plant standardization[J]. Zhejiang Electric Power, 2024, 43(5): 1-9(in Chinese).
- [39] 左娟, 艾芊, 王文博, 等. 虚拟电厂标准化现状及体系架构设计[J]. 电力系统自动化, 2025, 49(15): 144-156. ZUO Juan, AI Qian, WANG Wenbo, et al. Current status and architecture design of standardization for virtual power plants[J]. Automation of Electric Power Systems, 2025, 49(15): 144-156(in Chinese).
- [40] 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. LU Heping, CHEN Hao, BAI Jingfen, et al. Research on dynamic energy measurement technology and standardization for new power system[J]. Power System Technology, 2024, 48(4): 1383-1392(in Chinese).
- [41] 蒋迎伟, 张媛媛, 万金明. 月球微电网——深空探测综合能源基地[J]. 新型电力系统, 2024, 2(2): 190-200. JIANG Yingwei, ZHANG Yuanyuan, WAN Jinming. Lunar microgrid——integrated energy base for deep space exploration[J]. New Type Power Systems, 2024, 2(2): 190-200(in Chinese).



吴鸣

在线出版日期: 2025-10-27.

收稿日期: 2025-08-18.

作者简介:

吴鸣(1981), 男, 通信作者, 博士, 教授级高级工程师, 研究方向为分布式发电与微电网关键技术与核心装备, E-mail: wuming@epri.sgcc.com.cn; 张楠春(2002), 男, 硕士研究生, 研究方向为微电网运行控制与仿真, E-mail: Zhang284512@163.com;

刘海涛(1978), 男, 教授级高级工程师, 研究方向为智能配电、分布式能源与微网;

赵海翔(1968), 男, 教授级高级工程师, 研究方向为新能源发电并网仿真与分析技术;

栾文鹏(1964), 男, 教授, 研究方向为电力系统规划与分析、电力数据分析;

于辉(1978), 男, 教授级高级工程师, 研究方向为电力系统规划与仿真、新能源并网仿真。

马文媛(1986), 女, 高级工程师, 研究方向为国际经济与法律、智能电网标准化。

(责任编辑 徐梅 宋钰龙)