

分散式多能系统综述及标准需求化分析

王坤¹, 刘晓楠¹, 杜颖康¹, 张博涵¹, 田昕怡¹, 张肇南²

(1. 国网天津市电力公司电力科学研究院, 天津 300384;

2. 天津大学 电气自动化与信息工程学院, 天津 300072)

摘要:分散式多能系统(DMES)是能源转型和就地高效利用的重要手段,其标准涵盖分布式能源、微电网、储能技术、通信控制等多个领域,因此标准化工作更具系统性和复杂性。目前DMES相关国际标准与实际应用存在差距,各国标准规范不同,难以沟通整合。为规范未来DMES标准化工作,提炼相关标准化建议以提高我国在国际综合能源系统领域的影响力。在调研IEC,ISO,IEEE等标准化组织制定的DMES相关标准的基础上,分析了现有标准应用于分散式多能系统的适用性与差距,总结了标准化的需求,并对未来DMES标准化工作进行了展望。

关键词:分布式;多能互补系统;标准化需求;标准体系

中图分类号:TM715 **文献标识码:**A **DOI:**10.19457/j.1001-2095.dqed26302

Review and Standard Requirement Analysis of Decentralized Multiple Energy Systems

WANG Kun¹, LIU Xiaonan¹, DU Yingkang¹, ZHANG Bohan¹, TIAN Xinyi¹, ZHANG Zhaonan²

(1. *Electric Power Research Institute State Grid Tianjin Electric Power Company, Tianjin 300384, China;*

2. *School of Electrical and Information Engineering, Tianjin University, Tianjin 300072, China*)

Abstract: Decentralized multiple energy systems (DMES) are vital for energy transition and local efficient utilization. The standards for DMES cover various fields, including distributed energy, microgrids, energy storage technologies, and communication control, making the standardization work more systematic and complex. Currently, there are gaps and blank areas in DMES-related international standards, and differing standards across countries pose challenges for communication and integration. To regulate future DMES standardization efforts and enhance China's influence in the international multi-energy complementary systems field, it is essential to extract relevant standardization recommendations. An analysis of the applicability and gaps of existing standards related to DMES was conducted, as established by standardization organizations such as IEC, ISO, and IEEE. Based on this survey, the standardization needs and offers an outlook on future efforts in DMES standardization was summarized.

Key words: decentralized; multiple energy systems; standardized requirements; standard system

气候变化、能源短缺与环境污染成为制约全球经济和社会可持续发展的主要瓶颈,为此我国提出了2030年力争实现“碳达峰”,2060年力争实现“碳中和”的宏伟目标。开发先进能源系统已成为构建清洁低碳、安全高效能源体系的重大需求,而分散式多能系统(decentralized multiple energy systems, DMES)作为集中式能源供应的重要补充手段,是实现能源低碳转型和能源利用技术变革的重要方向。DMES具有临近负荷和多能互补两个主要特点,临近负荷中心降低了能源损

耗和基础设施投资,实现能源的就地生产与消纳;多元灵活的利用能源实现了传统能源和可再生能源的优势互补。在“碳中和”目标下,以可再生能源为主体的分散式多能系统是实现可持续性发展的必由之路。

DMES在全球范围内受到了广泛关注,世界各国就发展DMES制定了相关政策。美国侧重于发展高可再生能源占比、清洁的能源系统。2022年,美国提出《通货膨胀削减法案》,通过税收抵免和激励措施,推动了碳捕获和储存技术的应

基金项目:国网天津市电力公司科技项目(SGTJDK00DYJS2300155)

作者简介:王坤(1990—),男,硕士,高级工程师,主要研究方向为综合能源、新能源技术,Email:wangkun900906@163.com

用^[1],促进了DMES发展,提高了能源利用效率。2024年发布《分散式多能系统政策报告更新》,评估和预测了DMES供应、生产、运输、分配和需求等情况,为制定保护生态和能源可靠性的政策提供了数据支撑。欧盟侧重于发展适应气候变化、经济上可负担的DMES。2020年欧盟与中国合作调研电力系统现状,创新性提出调整当前电力市场的运行模式以应对分布式能源渗透的不断增长^[2]。2021年英国发布《智能系统和灵活性计划》,旨在通过数字化和智能化技术提高能源系统的灵活性和效率,支持分布式能源的集成和优化运行^[3]。

我国以用户终端为导向,DMES发展政策强调全方位、灵活性和模块化,侧重于集中能源与分散能源协同运行,发展不同形式能源灵活转换的综合能源系统。2021年2月25日,中国国家发展改革委、国家能源局联合发布《关于推进电力源网荷储一体化和多能互补发展的指导意见》^[4],明确了推进电力源网荷储一体化和多能互补的重要意义和总体要求,提出了源网荷储一体化多能互补的实施路径和重点方向。2023年4月我国牵头发布IEC《综合能源耦合技术及市场展望报告》,分析了智能化多能互补能源系统国际标准的发展现状和标准化需求^[5]。

随着DMES的迅猛发展,其概念、理论及技术体系趋于成熟完善,涉及微电网、分布式能源、储能系统、通信控制保护等多个产业^[6],因此,多能互补系统与智能电网^[7-9]、微电网^[10-12]、可再生能源系统^[13]相比,更具系统性、复杂性。目前国际标准化组织在DMES标准化领域尚未形成共识,亟须进行统一规划和顶层设计。在此背景下,抢占国际标准化制定的制高点,将提高我国综合能源系统的国际竞争力^[14]。

为此,本文调研了IEC,ISO,IEEE等标准化组织制定的相关标准,在此基础上对现有标准应用于DMES的适用性与差距进行了分析,得出了DMES标准化需求和发展方向。

1 分散式多能系统

本文所描述的DMES表示在一定空间范围内,能源生产、传输、分配、转换、存储和消费多环节协同优化的综合能源系统^[15-16],它既可满足用户电、气、热、冷等能源需求,又能实现多能源灵活互动,支撑外部能源网络运行。图1展示了

DMES的典型结构。DMES具有以下特点^[17]:

1)分散式结构:DMES的能源生产和消费单元广泛分布在建筑物、社区和工业区中,提供了更大的空间灵活性和去中心化特征。

2)多能耦合:DMES通过灵活的能源转换和优化调度,集成冷、热、电、气、氢等多种能源系统,提高能源效率并降低运营成本。

3)智能管理:DMES通过先进的信息通信技术和优化的控制策略实现动态多能管理,进一步提升能源效率。

4)多方利益相关者参与:DMES系统涉及多个生产者、运营商和消费者,这些利益相关方通常拥有不同的能源需求,且存在一定的利益冲突。

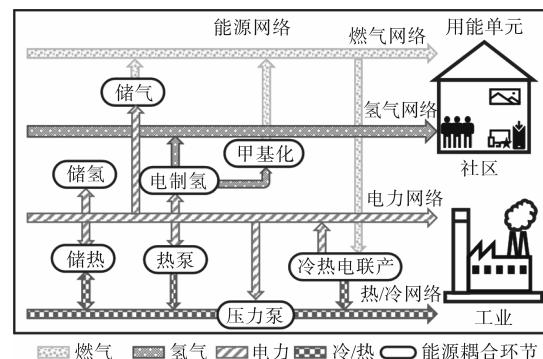


图1 DMES示意图

Fig.1 Schematic diagram of DMES

2 DMES关键技术

2.1 DMES技术架构

DMES的技术架构由上到下可分为应用层、平台层、信息层、设备层,如图2所示。

应用层表示在市场、政策和参与方需求映射下,各设备通过信息互联实现的应用和功能。应用层代表DMES的最终服务目标,支持用户和运营方实现各种应用场景,包括用户侧应用、运营侧应用、市场与政策支持。

信息层表示在实现应用层功能时交换的信息对象及其底层的规范数据模型、设备信息互联互通。这些信息对象和规范数据模型提供了通用语义,通过通信手段实现信息层面的互操作性,确保不同设备间的信息交换具有一致性和互操作性。

设备层表示DMES中所有参与组件的物理分布,包括系统和设备参与方、电力系统设备、保护和远程控制设备、网络基础设施(有线和无线通信连接、路由器、交换机、服务器)以及各种类型的计算机。

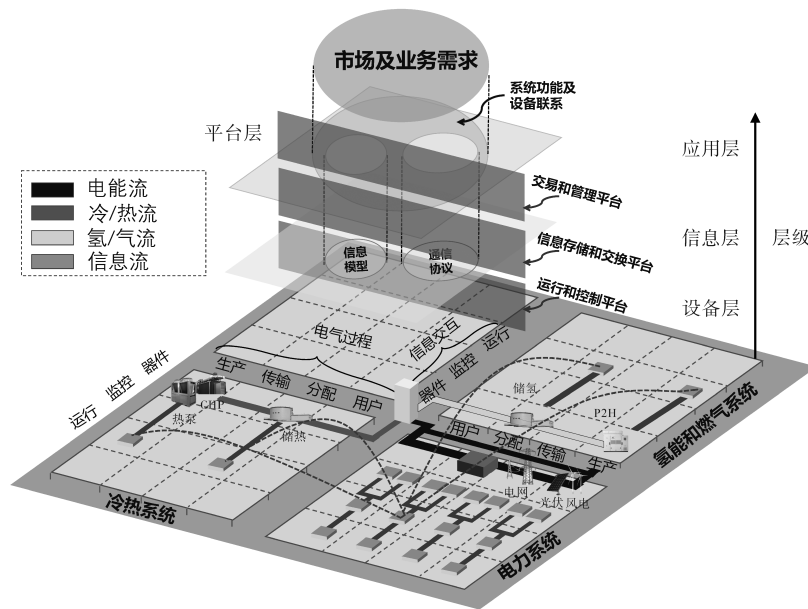


图2 DMES技术架构

Fig.2 The technical architecture of DMES

平台层主要管理和展示单一级或多个层级的功能和运行过程。通常基于云计算或边缘计算架构交叉于应用层、信息层和设备层之间,作为实现DMES层级交叉互连的功能性和展示平台,包括运行和控制平台、信息存储和互联平台、交易和管理平台。

2.2 DMES技术难点

各层级关键技术难点如下:

1)设备层主要表现在多源异构设备标准化与模块化设计、恶劣条件下设备鲁棒性提升以及实时协同通信与统一调度上。

2)信息层关键技术难点主要表现在分布式异构数据精准采集与高效传输和解决多利益方数据共享和数据安全矛盾上。

3)平台层关键技术难点主要表现在实现跨系统、跨层级的协同与互操作性和高吞吐量、低延迟数据存储上。

4)应用层关键技术难点主要体现在供需负荷联合预测及需求响应和不同的运行特性和时间周期下能源的协同优化调度上。

3 DMES标准现状及差距

本文根据相关技术架构总结了DMES标准化体系如图3所示,通过梳理相关国际标准总结了现有标准应用于DMES的适用性和差距。

3.1 基础标准适用性及差距分析

DMES基础标准包括术语、总则、图形标准等

内容。表1所示基础标准主要来自于电力系统和热力系统,应用于DMES中仍存在差距。

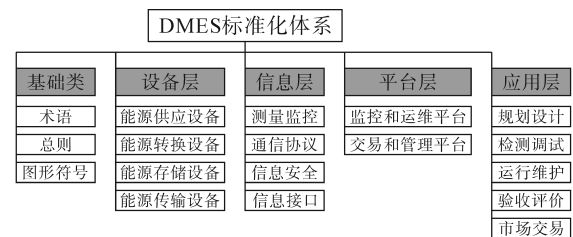


图3 DMES标准化体系

Fig.3 DMES standardization system

表1 基础类相关标准

Tab.1 Basic commonalities related standards

分类	标准号	标准名称
术语	ISO/IEC 13273	能源效率和可再生能源-通用国际术语
	IEC 6050	国际电工词汇
	IEC 62687	设备用图形符号-词汇
	IEC 62934	可再生能源发电并网-术语和定义
总则	IEC TS 63222-1	电能质量管理-第1部分:通用准则
	IEC 60038	标准电压
	IEC 60364-1	低压电气装置-总则和基本原则
	IEC 61010	测量、控制实验室用电气设备的安全要求
	IEC 61850-1	电力系统自动化通信网络和系统-总则
图形符号	ISO 55000	资产管理-概述、原则和术语
	IEC 60848	顺序功能图的GRAFCET规范语言
	IEC 62744	用图形符号表示物体的状态
	IEC 80416	设备用图形符号的基本原则

3.1.1 术语

术语是DMES标准化的基础,统一术语定义,可以避免在设计、建设和运行过程中出现歧义和误解。相关领域的术语标准应用于DMES仍存在差距,如图4所示。

术语		
标准	ISO/IEC 13273, IEC 60050, IEEE Std 100, IEC 62934...	
适用性	电力系统	热力系统
差距	DMES场景、定义和范围	多能耦合与跨域协同

图4 术语标准适用性和差距分析

Fig.4 Terminology standard applicability and gap analysis

在综合能源术语方面,ISO/IEC 13273规范了能源效率领域的横向概念。在电力系统术语方面,IEC 60050涵盖了电气工程、电力系统等方面的定义和术语,IEC 62934提供了可再生能源发电与并网领域的术语和定义,IEEE Std 100规范了电气、电子和计算机科学领域的通用术语。

现有术语标准在DMES本身的定义、范围上缺乏共识,且新兴技术术语在多语言间的转换存在不一致性,无法多能耦合和满足跨领域的需求。

3.1.2 总则

现有电力系统总则应用于DMES仍存在差距,如图5所示。

总则		
标准	IEC TS 63222-1, IEC 60038, IEC 60364-1, IEC 61010, IEC 61850-1, IEC 61508, ISO 55000...	
适用性	电力系统	资产管理
差距	DMES的管理框架	分布资源和区域的灵活性 多能协同管理

图5 总则标准适用性和差距分析

Fig.5 General standard applicability and gap analysis

在电力系统设计总则方面,IEC 60364系列标准涉及低压电气装置的设计和安装,包括总则、规范和具体要求。IEC 61850-1提供了电力系统自动化系统的基本要求和规范。在系统安全总则方面,IEC 61010-1规定了基本安全要求和环境要求,提供了设备设计和操作的安全原则。IEC 61508系列标准提供了功能安全的总则和要求,涵盖了电气、电子和可编程电子系统的安全设计和实施,在能源系统资产管理总则方面,ISO 55000资产管理体系总则适用于能源系统资产全生命周期管理。

现有总则大多面向集中式电力系统的安全性、稳定性和效率,缺乏针对多能系统的整体性框架。且在DMES的特有问题如多能互补、负荷

平衡、能源管理等方面,无法多能耦合和满足跨领域的需求。此外现有总则标准较少考虑地域差异和资源多样性的影响,灵活性不足。

3.1.3 图形符号

现有电力系统图形符号库应用于DMES仍存在差距,如图6所示。

图形符号		
标准	IEC 60617, ISO 14617, IEEE Std 315, IEC 60848, IEC 62744, IEC 80416...	
适用性	电力系统	控制系统
差距	多能设备动态交互	前沿技术符号

图6 图形符号标准适用性和差距分析

Fig.6 Graphic symbol standard applicability and gap analysis

在通用图形符号方面,IEC 62744涵盖了图形符号表示对象状态和未来图形符号的通用规则;IEC 80416提供了创建注册图形符号的基本原则和指南,并提供了编写标题、说明和注释的主要原则和规则;ISO 14617是用于流程图的图形符号标准,适用于能源转换和传输系统的描述。在电力系统图形符号方面,IEC 60617和IEEE Std 315涵盖了电气和电子工程图形符号的标准。在控制系统图形符号方面,IEC 60848对控制系统顺序部分的行为进行功能描述,指定了此语言的图形表示符号和规则以及其解释。

现有图形符号在表示这种复杂的多能流动和交互方面可扩展性不足,无法有效体现系统的耦合关系和动态变化。对于涵盖多能耦合、能量转换和复杂控制的DMES,现有图形符号难以全面表达。

3.2 设备层标准适用性及差距分析

本节汇总了IEC,IEEE等组织提出的设备相关标准,并从能源供应设备、转换设备、储存设备、传输设备4个方面进行了分类梳理,如表2所示。

DMES设备层可沿用电力、热力系统的设备标准,其标准化工作较为完善,设备层标准适用性如图7所示。

电力系统设备层标准应用于DMES中的差距主要体现在:

1)能源供应设备缺乏统一的多能源协同标准。

2)能源存储设备相关标准主要面向单一的、中短期的能源存储,缺乏对多能存储协调配置(如氢能电能联合储存)和跨季节存储标准的支持。

表2 设备层相关标准

Tab.2 Equipment layer commonalities related standards		
分类	标准号	标准名称
供应设备	IEEE 1547	分散式能源与电力系统互联
	IEC TS 62786	分散式能源与电网的连接
	IEC 62909-2	双向并网电力变换器第2部分: GCPC与分散式能源的接口
	IEC 61660	制冷装置的性能测试方法
转换设备	IEC 61778	热电联产(CHP)系统的测试和性能评估
储存设备	IEC TS 62786-3	分散式能源与电网的连接第3部分:固定式电池储能系统的附加要求
	IEC 62282-8-201	燃料电池技术第8-201部分:在反向模式下使用燃料电池模块的储能系统-功率对电源系统性能的测试程序
	IEC TS62933-3-1	电能存储(EES)系统第3-1部分:电能存储系统的规划和性能评估-通用规范
	IEC TS62933-3-2	电能存储(EES)系统第3-2部分:电能存储系统的规划和性能评估-电力密集型和可再生能源集成相关应用的附加要求
	IEEE 2030.2	电力基础设施集成储能系统互操作性指南
	IEEE 2030.2.1	固定式和移动式电池储能系统的设计、运行和维护指南,以及与电力系统集成的应用
	IEEE 2030	智能电网能源技术和信息技术操作与电力系统(EPS)互操作性指南
	IEC 60255	测量继电器和保护设备
	IEC 60439	低压开关柜和控制柜组件
	ISO 19880-1:2020	气体燃料-氢气供应-氢气加注站一般要求
传输设备	ISO 15590-1	石油和天然气工业-管道输送系统-第1部分:钢管
	ISO 15590-2	石油和天然气工业-管道输送系统-第2部分:管件

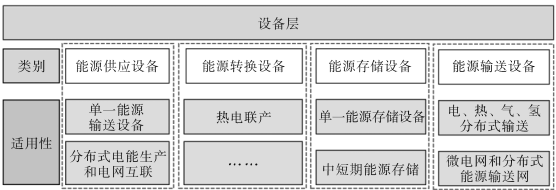


图7 设备层标准适用性分析

Fig.7 Equipment layer standard applicability

3)能源传输设备缺乏跨介质传输系统的综合标准,未覆盖DMES中多介质耦合传输的复杂性需求(如电缆与多类型管道参数配置与规划方面存在空白)。

3.3 信息层标准适用性及差距分析

本节汇总了IEC,IEEE等组织提出的信息层

相关标准,并从测量监控、通信协议、信息安全、信息接口4个方面进行了分类梳理,如表3所示。

表3 信息层相关标准

Tab.3 Information layer commonalities related standards		
分类	标准号	标准名称
测量监控	IEC 61724	光伏系统性能第1部分:监测
通信协议	IEC 61850	电力自动化用通信网络和系统-所有部件
	IEC 62325	能源市场沟通框架
	IEC 60870	遥控设备和系统
信息安全	ISO/IEC 27001	信息安全、网络安全和隐私保护。信息安全管理系统-要求
	IEC 62351	电力系统管理和相关信息交换-数据和通信安全
信息接口	IEEE 1686	IEEE智能电子设备标准
	IEC 61970	能源管理系统应用程序接口(EMS-API)-所有部分

DMES信息层可沿用电力的信息标准,其标准化工作较为完善,信息层标准适用性如图8所示。



图8 信息层标准适用性分析

Fig.8 Information layer standard applicability analysis

电力系统信息层标准应用于DMES中的差距主要体现在:

- 1)测量监控标准在多能系统耦合后的复杂测量场景缺乏支持,在跨系统协同测量部署与参数配置方面存在空白。
- 2)多能系统耦合通信接口和协议方面存在空白。
- 3)缺乏多能系统复杂控制场景的动态接口标准,限制了系统的灵活性和可拓展性。

3.4 平台层标准适用性及差距分析

本节汇总了IEC,IEEE等组织提出的DMES平台层相关标准,主要对监测和运维管理平台、交易和管理平台进行了分类梳理,如表4所示。

表4 平台层相关标准

Tab.4 Platform layer commonalities related standards		
分类	标准号	标准名称
监控和运维平台	IEC TS 62898-2	微电网第2部分:运行指南
交易和管理平台	IEC 62325	电力市场信息交换
	IEC 61970	能源管理系统应用程序接口
	IEEE 2413	标准物联网(IoT)架构框架

DMES平台层可沿用电量、热力系统的监控运维平台及交易管理平台标准,其标准适用性如图9所示。

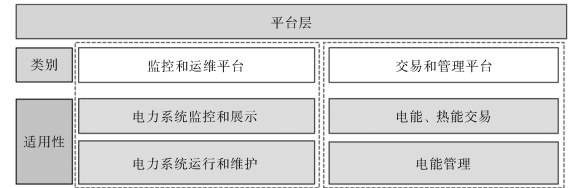


图9 平台层标准适用性分析
Fig.9 Platform layer standard applicability analysis

电力系统和热力系统的平台标准应用于DMES的差距主要体现在:

- 1) 监控和运维平台标准在多能源监控时能源网惯性时间和监控方法误差等因素考虑不足,在展示复杂系统间能流和设备交互上存在空白。
- 2) 监控和运维平台标准在跨部门设备状态监控与联合运维方面存在空白。
- 3) 能源交易平台标准以电交易为主,无法满足多能交易的需求,缺少促成多能交易的标准。

3.5 应用层标准适用性及差距分析

本节汇总了IEC,IEEE等组织提出的DMES应用层相关标准,并从规划设计、工程建设、检测调试、运行维护、验收评价、市场交易6个方面进行了分类梳理,如表5所示。

3.5.1 规划设计

DMES规划设计标准主要涉及:多能源供需预测、多能源网络设计。现有微电网、智能电网的标准应用于DMES中仍存在差距,如图10所示,并对各方面的标准内容与差距进行了详细分析。

在多能需求预测方面,IEC TS 62898-1规定了微电网中电力负荷供需预测技术要求以及用于发电的能源预测技术要求,IEC TR 63043总结了风电、光伏发电功率的预测技术、预测系统、预测评估等方面的技术现状。在多能源网络设计方面,IEC 63200分析了智能电网参考架构SGAM在热与气方面的场景扩展并提出详细要求。IEC TS 62898-1针对微电网的不同电力系统运行模式场景提出了标准规范要求,包括孤岛系统场景和非孤岛系统场景。

现有能源系统规划设计标准应用于DMES的差距主要体现在:

- 1) 多能源需求联合预测方面和分布式能源消纳能力评估上存在空白。
- 2) 无法满足对于不同能源耦合程度、不同区

表5 应用层相关标准

Tab.5 Application layer commonalities related standards		
分类	标准号	标准名称
规划 设计	IEC TR 63043	可再生能源功率预测
	IEC TS 62898-1	微电网第1部分:微电网项目规划和规范指南
	IEC TS 63102	风电、光伏电站并网电网规范符合性评价方法
	IEEE 1547	分散式能源与电力系统互联
	IEC TS 62786	分散式能源与电网的连接
	IEC 63200	扩展SGAM智能电网的定义
检测 调试	IEC 60834	电力系统远程保护设备-性能和测试
	IEC 62446-1ED2	光伏系统:并网系统-文档、调试测试和检查
运行 维护	IEC TR 62357	电力系统管理和信息交换
	IEC TS 62898-2	微电网第2部分:运行指南
	IEC TS 62898-3-4	微电网第3-4部分:微电网监测控制系统
	IEC TS 62898-3-1	微电网第3-1部分:保护与动态控制
	IEC 62351	电力系统管理和相关信息交换-数据和通信安全
	IEC TS 62898-1	微电网第1部分:微电网项目规划和规范指南
验收 评价	IEC TS 63102	风电、光伏电站并网符合性评估方法
	IEC 62746-10-1	客户能源管理系统和电力管理系统之间的系统接口-10-1:开放自动化需求响应
市场 交易	IEC62325-301	能源市场通信框架第301部分:市场通用信息模型(CIM)扩展
	IEC 62872-2	工业过程测量控制和自动化第2部分:物联网(IoT)工业设施需求响应能源管理应用框架
	ISO/IEC 15067-3	信息技术-家用电子系统应用模型-第3部分:家用电子系统的需求响应能源管理系统模型
	IEC 62325-451	能源市场通信框架

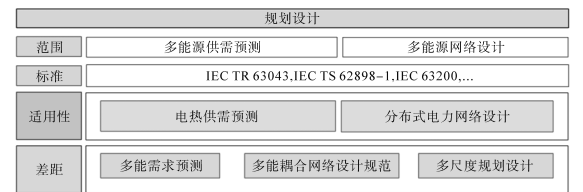


图10 规划设计标准适用性和差距分析
Fig.10 Planning and design standard applicability and gap analysis

域大小等场景的多能源网络规划设计要求。

3.5.2 检测调试

DMES检测调试标准主要涉及:测试流程、一般要求、模型建立规则、分析内容、结果评估与结

果输出。其中,测试流程、一般要求、模型建立规则、分析内容、结果评估与结果输出属于各类系统通用需求,现有标准通常涵盖多个方面的内容,因此这些方面在下面一同被分析,具体如图11所示。

检测调试					
范围	测试流程	一般要求	模型建立	分析内容	结果评估与结果输出
标准	IEEE 1547, IEC 60834, IEC 62446-1 ED2, ISO/IEC 17025...				
适用性	微电网运行 试验要求	分布式能源定期 试验要求	远程保护装置的试验 程序和要求	分布式电力设备和电网的监 测、控制和试验方法和要求	
差距	多能耦合系统试验标准		多能源系统多时间尺度仿真		多能系统多能设备联调

图11 检测调试标准适用性和差距分析

Fig.11 Test and adjustment standard applicability and gap analysis

在DMES测试流程方面,IEEE 1547涉及分散式能源与公共电力系统的定期测试要求。IEC 60834规定了远程保护设备的测试步骤与要求。IEC 62446-1涉及了光伏系统并网的调试测试内容。

现有电力系统检测调试标准应用于DMES的差距主要体现在无法满足不同时间响应尺度的和多部门设备联调和性能测试的需求上。

3.5.3 运行维护

运行维护方面标准主要涉及:多能源负荷预测、能量管理策略、优化运行原则、监控与信息安全、多能源状态估计、多能源保护控制。现有标准应用于DMES中仍存在差距,如图12所示。

运行维护					
范围	多能负荷预测	能源管理	优化运行	监控安全	多能状态估计
标准	IEC TR 62357, IEC TS 62898-2, IEC 62351, IEC TS 62898-1, IEC TS 62898-3-4, IEC TS 62898-3-1...				
适用性	可再生能源和 电力负荷预测	能源管理框架	电力控制方法、 目标和场景	系统通信、信息 安全和状态估计	电力系统保护要 求和故障场景
差距	多能负荷联合预测		多能耦合协同运营策略		多能多目标优化

图12 运行维护标准适用性和差距分析

Fig.12 Operation and maintenance standard applicability and gap analysis

在多能源负荷预测方面,IEC TS 62898-1规定了微电网中电力负荷供需预测技术要求以及用于发电的能源预测技术要求。在能量管理策略方面,IEC TR 62357系列标准提出了电力系统管理和信息交换的参考架构、IPv4到IPv6迁移的指南等内容。IEC TS 62898-3-2规定了微电网能量管理系统的实施要求、技术规范等内容。这些标准中电力系统管理信息框架、实施要求、技术规范可以用于DMES电力相关部分参考。

在优化运行方面,IEC TS 62898-2提出了考虑分散式能源的交流微电网的优化运行和控制,包括并网型微网、离网型微网、电储能系统等运

行和控制要求。该标准中电力系统运行控制方法、目标、场景可以给DMES电力为主的场景做参考。在监控与信息安全方面,IEC 62351系列标准对电力系统管理和信息交换中的数据和通信安全进行了详细的规定,并对于电力系统数据的状态估计处理方法给出了具体要求。在多能源状态估计方面,IEC TS 62898-3-4提出了微电网的监控、状态估计与控制方面的具体技术要求。这些标准对于电力网络方面信息交换、通信安全等规则可以继续沿用到DMES能源网络的信息交换、通信安全等方面。

在多能源保护控制方面,IEC TS 62898-3-1提出了交流微电网动态保护控制的技术要求,旨在确保微电网在故障和干扰条件下安全稳定运行。

现有单一能源系统运行维护标准应用于DMES的差距主要体现在:

1) 能量管理标准在多能源的监测、综合指标、管理控制、通信传感方面存在不足。如:气网的变化在多能耦合系统中会对耦合程度不同的节点带来不同的影响。

2) 优化运行标准在自然条件变化和电-气-冷-热场景变化方面考虑不足。

3) 监控与信息安全与多能源状态估计标准未考虑不同能源网惯性时间和误差的不同和不同状态估计方法误差不同等因素。

4) 安全保护标准在多能源设备故障传播溯源方面存在空白。

3.5.4 验收评价

DMES验收评价标准主要涉及:分散式能源资源的评价、系统评估和验证。其适用性和差距如图13所示。

验收评价		
范围	分布式能源评价	系统能效评估和验证
标准	IEC 63102, ...	
适用性	分布式能源评价方法	储能系统应用指南 及能效评价
差距	碳足迹和碳排放的评估方法	设计、安装和运行的 安全性和可靠性

图13 验收评价标准适用性和差距分析

Fig.13 Acceptance and evaluation standard applicability and gap analysis

在系统评估和验证方面,IEC TS 63102规范了发电频率和电压范围、无功功率、控制性能(包括有功功率控制和无功功率控制)、故障穿越能力和电能质量,评估方法包括规范测试和规范模拟。ISO 50006涵盖了能效基准和绩效指标的测

量与验证方法。

现有验收评价标准应用于 DMES 的差距主要体现在:

- 1)能效与碳排放测评缺乏整体测评框架,不同能源形式能效和碳足迹缺乏统一的评价依据。
- 2)缺乏对 DMES 多维绩效的评价方法。

3.5.5 市场交易

市场交易方面标准主要涉及:市场通信、用户市场能量管理系统、市场体系。现有市场交易标准应用于 DMES 中仍存在差距,具体如图 14 所示。

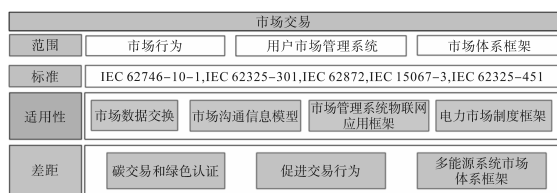


图 14 市场交易标准适用性和差距分析

Fig.14 Market transactions standard applicability and gap analysis

在市场通信方面,IEC 62746-10-1 规定了需求响应、定价和分散式能源通信的最小数据模型和服务,旨在规定了如何实施双向信号系统,以促进电力服务提供商、聚合商和最终用户之间的信息交换。IEC 62325-301 规定了能源市场通信的公共信息模型。以上内容可以应用于 DMES 内对应能源设备与市场进行通信,这些标准内容同时可以为其他组成设备或场景的市场通信标准提供参考。

在用户市场能量管理系统方面,ISO/IEC 15067-3 规定了家庭级用户参与市场的能量管理系统的模型以及参与直接控制、局部控制和分散式控制 3 种需求响应类型。IEC 62872-2 提出了用于智能电网的工业设施需求响应能源管理的物联网应用框架。这些标准规范内容可以应用于 DMES 家庭级或园区级且为标准所涉及设备的能量管理系统的框架,这些标准内容可以为建筑级和包括其他元素用户的能量管理系统标准设计提供参考。

在市场体系方面,IEC 62325-451 以欧洲能源市场为例规定了能源市场从市场信息发布、拍卖、调度业务、确认业务、问题陈述和状态请求、结算和对账等流程内容。

现有市场交易标准应用于 DMES 的差距主要体现在:碳交易和绿色能源认证的标准体系尚未完全覆盖 DMES 交易平台的需求。

4 结论和展望

4.1 结论

本文主要对 DMES 的概念、技术体系、现有标准的适用性和空白等方面内容进行了总结与分析,得出如下结论:

1)融合电/气/冷/热/氢多能源、能效高、多主体灵活接入的 DMES 将成为未来能源系统发展方向。

2)因 DMES 多能耦合和用户侧需求的复杂性,现有电力系统和热力系统的相关标准应用于 DMES 仍存在空白,主要表现为多时间尺度、空间范围预测评估和规划设计的空白,多能流、信息流设备运行维护和安全保护的空白,多元需求促成多维度市场行为的空白等。

4.2 展望

当前国际上对于智能电网、微电网及分布式电源等已有较为完备的标准体系,但仍不能完全满足 DMES 要求。本文给出如下建议:

1)DMES 定义需要进一步明确。目前世界各国对于 DMES 理解并不一致,需要各个国家协同对其构成、特点、作用达成共识,为后续开展标准化工作奠定基础。

2)DMES 标准化工作可按基础类标准、设备层标准、信息层标准、平台层标准、应用层标准这一标准化技术路线推进。

3)DMES 的标准制定需与各国工程应用进一步结合。目前各个国家和地区根据自身资源禀赋、用户需求发展了不同类型的 DMES,技术标准制定需结合各国工程实际,满足不同发展需求。

4)DMES 标准体系建设需要结合现有标准。智能电网、微电网以及分布式能源标准体系不断发展变化,相关标准在 DMES 的适用性和关联性,协同推进 DMES 标准体系建设。

5)DMES 标准制定需要加强与国内外相关标准化组织工作组的交流合作。国内加强与 SAC/TC564, SAC/TC20SC3, SAC/TC20SC6, SAC/TC82 等在分布式能源、节能评估、信息技术领域的合作。国际上加强与 IECTC82, IECTC88, IECTC120 在分布式光伏及风电系统以及电储能系统等方面的合作;加强与 IEC SyC Smart Energy 在多种能源使用领域密切合作;加强与 IECTC22, IECTC57 在电力电子系统和设备以及电力系统管理及信息交换方面的合作;加强与 IECTC8 内部 SC8A,

SC8C在可再生能源接入以及互联电力系统网络管理方面的合作;加强与ISO TC 301, CIGRE C2, CIGRE C6等工作组的交流合作。

参考文献

- [1] 周静虹,胡怡建. 美国《通货膨胀削减法案》的政策背景、形成过程和应对思路[J]. 国际税收, 2023(3): 39-44.
ZHOU Jinghong, HU Yijian. Policy background, formation process and countermeasures of the inflation reduction act in the United States[J]. International Taxation in China, 2023(3): 39-44.
- [2] XIA Qing, SUPPONEN Matti, CHEN Qixin, et al. Electricity markets and systems in the EU and China[R]. China: ECECP, 2020.
- [3] Department for Energy Security and Net Zero, Department for Business, Energy & Industrial Strategy. Clean growth strategy [EB/OL]. (2017-10-12) [2024-11-07]. <https://www.gov.uk/government/publications/clean-growth-strategy>.
- [4] 国家发展改革委能源局. 关于推进电力源网荷储一体化和多能互补发展的指导意见[EB/OL]. (2021-12-05) [2024-11-07]. http://www.gov.cn/gongbao/content/2021/content_5602023.html.
Energy Bureau of the National Development and Reform Commission. Guiding opinions on promoting the integrated development of power sources, grids, loads and storage and multi-energy complementarity[EB/OL]. (2021-12-05) [2024-11-07]. http://www.gov.cn/gongbao/content/2021/content_5602023.html.
- [5] IEC. Multi-energy coupling system IEC technology and market outlook paper[M]. Geneva: IEC, 2023: 1-45.
- [6] 艾芊,郝然. 多能互补、集成优化能源系统关键技术及挑战[J]. 电力系统自动化, 2018, 42(4): 2-10, 46.
AI Qian, HAO Ran. Key technologies and challenges for multi-energy complementarity and optimization of integrated energy system[J]. Automation of Electric Power Systems, 2018, 42(4): 2-10, 46.
- [7] 韩利群,李振杰,张斌,等. 智能电网技术标准体系研究[J]. 电力勘测设计, 2023(8): 57-62, 100.
HAN Liqun, LI Zhenjie, ZHANG Bin, et al. Research on smart grid technical standard system[J]. Electric Power Survey & Design, 2023(8): 57-62, 100.
- [8] 张晶,叶筠英,李彬,等. 智能电网标准国际化战略研究[J]. 供用电, 2020, 37(3): 3-9.
ZHANG Jing, YE Yunying, LI Bin, et al. Research on the internationalization strategy of smart grid standards[J]. Distribution & Utilization, 2020, 37(3): 3-9.
- [9] 高志远,陈鹏,陈天华,等. 新一代智能电网调度自动化标准体系研究[J]. 供用电, 2020, 37(3): 22-26, 57.
GAO Zhiyuan, CHEN Peng, CHEN Tianhua, et al. Research on new generation standard system for smart grid dispatching automation[J]. Distribution & Utilization, 2020, 37(3): 22-26, 57.
- [10] 于辉,栾文鹏,熊雄. 微电网技术国际标准化现状与展望[J]. 河北水利电力学院学报, 2020, 30(2): 1-5.
YU Hui, LUAN Wenpeng, XIONG Xiong. Study on the international standardization needs of microgrids technology[J]. Journal of Hebei University of Water Resources and Electric Engineering, 2020, 30(2): 1-5.
- [11] 姚玉永,张立臣,穆勇,等. 基于自适应虚拟电机策略的微电网储能控制研究[J]. 供用电, 2022, 39(7): 84-92.
YAO Yuyong, ZHANG Lichen, MU Yong, et al. Research on energy storage control in microgrid based on adaptive virtual machine strategy[J]. Distribution & Utilization, 2022, 39(7): 84-92.
- [12] 雷振华,鹿丽,刘欢,等. 基于能源交易机制的多微电网系统优化调度方法[J]. 供用电, 2024, 41(6): 36-46.
LEI Zhenhua, LU Li, LIU Huan, et al. Optimal scheduling method for multi-microgrid system based on energy trading mechanism[J]. Distribution & Utilization, 2024, 41(6): 36-46.
- [13] 王泉,贺伟,吴红蕊,等. 促进分布式光伏消纳的配电网灵活资源可行域聚合方法[J]. 供用电, 2024, 41(6): 3-11, 20.
WANG Xiao, HE Wei, WU Hongrui, et al. Aggregation method of flexible resource feasibility domain for promoting distributed photovoltaic consumption in distribution network[J]. Distribution & Utilization, 2024, 41(6): 3-11, 20.
- [14] 范建斌,孟昭军,单沫文,等. 综合能源系统关键技术与国际标准化综述[J]. 电网与清洁能源, 2023, 39(12): 1-9.
FAN Jianbin, MENG Zhaojun, SHAN Mowen, et al. A review of key technologies and international standardization of multi-energy coupling systems[J]. Power System and Clean Energy, 2023, 39(12): 1-9.
- [15] International Energy Agency (IEA). Unlocking the potential of distributed energy resources: power system opportunities and best practices[EB/OL]. [2024-11-07]. <https://www.iea.org/reports/unlocking-the-potential-of-distributed-energy-resources>.
- [16] National Renewable Energy Laboratory (NREL). Distributed energy resource management systems[EB/OL]. [2024-11-07]. <https://www.nrel.gov/grid/distributed-energy-resource-management-systems.html>.
- [17] U. S. Department of Energy Office of Energy Efficiency and Renewable Energy. Using distributed energy resources: a how-to guide for federal facility managers[EB/OL]. [2024-11-07]. <https://www.nrel.gov/docs/fy02osti/31570.pdf>.

收稿日期: 2024-11-07

修改稿日期: 2024-12-16