

虚拟电厂标准体系研究与需求分析

江海燕¹ 李晨阳¹ 陈爱康¹ 单沫文^{2*} 周格格² 程刘柯²

(1. 国网(苏州)城市能源研究院; 2. IEC国际标准促进中心(南京))

摘 要: 虚拟电厂技术可以将风机、光伏、电动汽车等分布式资源聚合, 作为整体参与电力调度, 丰富了新型电力系统中的可控资源, 促进了新能源消纳, 适应了目前电力行业从传统的集中发电和远距离输电向分布式发电和就近消纳的转变现状。在能源革命逐步推进, 虚拟电厂技术初步兴起的背景下, 虚拟电厂的标准化工作对行业的有序健康发展尤为重要。首先对虚拟电厂所涉及的关键技术方向进行了梳理和分析, 然后对目前国内外在虚拟电厂领域相关标准的发展现状进行了分析和总结, 提出标准体系升级完善的必要性, 最后基于虚拟电厂技术发展对标准的应用需求, 构建了虚拟电厂标准体系总体结构和框架, 为后续虚拟电厂标准的制修订提供参考。

关键词: 虚拟电厂, 新能源并网, 能源革命, 标准体系

DOI编码: 10.3969/j.issn.1674-5698.2024.09.012

Research on the Standards System of Virtual Power Plants and Requirement Analysis

JIANG Hai-yan¹ LI Chen-yang¹ CHEN Ai-kang¹
SHAN Mo-wen^{2*} ZHOU Ge-ge² CHENG Liu-ke²

(1. State Grid (Suzhou) City & Energy Research Institute; 2. IEC Promotion Center (Nanjing))

Abstract: Virtual power plant technology can aggregate distributed resources such as wind turbines, photovoltaics, and electric vehicles as a whole to participate in power dispatch, enriching controllable resources in the new power system, promoting the consumption of new energy, and adapting to the current transformation of the power industry from traditional centralized power generation and long-distance transmission to distributed power generation and nearby consumption. Against the backdrop of the gradual advancement of the energy revolution and the initial rise of virtual power plant technology, the standardization of virtual power plants is particularly important for the orderly and healthy development of the industry. Firstly, the key technical directions involved in virtual power plants are sorted and analyzed. Then, the current development status of relevant standards in the field of virtual power plants at home and abroad is analyzed and summarized. Finally, the necessity of upgrading the standards system is proposed. Based on the application requirements of virtual power plant technology development for standards, the overall structure and framework of the virtual power plant standards system are constructed, providing reference for the subsequent development of virtual power plant standards.

Keywords: virtual power plant, new energy grid connection, energy revolution, standards system

作者简介: 江海燕, 博士, 高级研究员, 研究方向为能源战略与规划、虚拟电厂技术等。

单沫文, 通信作者, 研究方向为虚拟电厂优化运营、国际标准化策略等。

0 引言

为了应对全球气候变化,中国提出了2030年力争实现碳达峰,2060年力争实现碳中和的宏伟目标。推动清洁可再生能源逐步替代化石能源,是我国实现碳达峰、碳中和战略的重大支撑,是人类社会实现能源与经济可持续发展的重大战略需求。目前以太阳能、风能等能源为主要能源形式的分布式能源系统进入了快速发展期。然而,清洁可再生能源普遍具有间歇性与波动性,高比例接入时,其不确定性与时空分布特性给传统交流系统的安全稳定运行带来了巨大的挑战,同时也阻碍了清洁可再生能源的消纳。

为促进清洁可再生能源的有效消纳,并对规模化的分布式资源进行充分利用,虚拟电厂应运而生。虚拟电厂不但包括电源,也包括负荷侧的资源整合,主要有需求响应、储能、电动汽车群等,它通过先进的量测技术、通信技术、控制技术把物理上不直接相连的分布式电源整合成一个整体,进行控制,以实现大量分布式电源有序接入,减少对电网的冲击^[1]。典型的虚拟电厂示意图如图1所示。

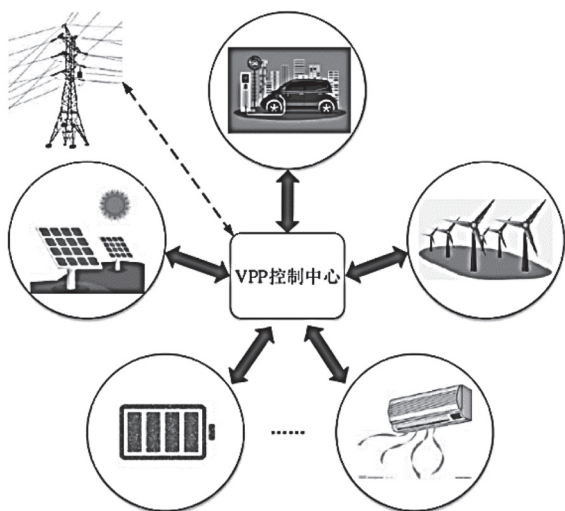


图1 虚拟电厂示意图

虚拟电厂是提高新能源消纳率和能源利用率的重要解决方案,其发展是由控制气候变化、能源供应安全和可再生能源规模化提高能源效率的预期驱动的。而随着虚拟电厂的迅猛发展以及其概

念、理论及技术体系趋于成熟完善,涉及的需求响应、电力交易、微电网、分布式发电、分布式储能、通信控制保护、能源管理平台等多个产业将逐渐形成一个巨大的市场。在此背景下,急需建立虚拟电厂的标准体系,对虚拟电厂技术的有序健康发展及规范化进程发挥指导性的作用。然而目前虚拟电厂相关标准缺乏完整体系的现状阻碍了虚拟电厂标准建设的进展。

在虚拟电厂标准化进程方面,当前国际标准化组织尚未提出虚拟电厂技术及其服务的标准架构;目前,仅在发电侧单一发电资源的领域标准化较为成熟,虚拟电厂在基本概念、体系架构、核心技术等方面尚未形成共识,需要从资源高效聚合与利用领域对虚拟电厂标准化进行统筹。

另一方面,对于中国来说,抢占国际标准化制定的制高点,无疑将提高中国虚拟电厂的国际竞争力。中国在国际电工委员会(IEC)已发起成立分布式电力能源系统分技术委员会(SC 8B)并承担秘书处工作,且下辖虚拟电厂工作组(WG4),专门负责虚拟电厂方面的标准化工作,为我国开展虚拟电厂技术的国际标准化工作提供了一定的便利。但据统计,由中国提交并正式发布的国际标准在国际标准化组织(ISO)、IEC标准占比仅为1.58%^[2],我国国际标准化水平与发达国家仍存在较大的差距。以我国牵头发布IEC《以新能源为主体的零碳电力系统》白皮书^[3]为契机,持续加强在相关技术领域开展主导国际标准制定的布局,积极提升我国的影响力和话语权。而虚拟电厂作为分布式清洁能源的高效消纳和聚合方案,亟需立足虚拟电厂关键技术特征和问题,开展虚拟电厂标准体系分析。

针对以上现状,首先对虚拟电厂所涉及的关键技术方向进行了梳理和分析,然后对目前主要的国际标准组织在虚拟电厂领域相关标准的发展现状进行了分析和总结,最后对相关领域的国际标准化发展趋势进行了展望,为后续虚拟电厂国际标准的制修订提供参考。

1 我国虚拟电厂技术发展现状

在我国,虚拟电厂的研究尚处于起步阶段。虚拟电厂作为新型电力系统中能源互联网技术的典型代表,通过信息-能量交互有效聚合大量分布式资源,实现广域范围的能源互联与共享。虚拟电厂内部由可再生分布式能源(包括风电、光伏等)、可控分布式电源(包括燃气轮机发电机组、小水电等)、电动汽车充电设施、温控负荷和储能(ES)等聚合而成,从而作为一个整体与上级电网交互,提高聚合资源的可调可控性^[4]。

对此,我国出台了一系列政策,支持虚拟电厂技术和产业的发展。2015年国务院发布《关于进一步深化电力体制改革的若干意见》,明确提出,鼓励专业化能源服务公司与合作或以“合同能源管理”模式建设分布式电源。2015年7月国务院印发《关于积极推进“互联网+”行动指导意见》提出“互联网+”智慧能源行动。2016年7月,国家能源局发布《关于实施“互联网+”智慧能源示范项目的通知》,鼓励在工业园区或者开发区等,推动绿色能源的灵活自主微平衡交易,开展化石能源互联网交易平台试点,开展分布式电源直供负荷试点,在试点区域内探索“过网费”标准和辅助服务费标准、交易监管等政策创新。

在此背景下,2019年年底,经国家能源局批复,华北能源监管局印发了《第三方独立主体参与华北电力调峰辅助服务市场规则(试行)》,国家电网冀北公司建成全国首个经国家能源局批复以市场化方式运营的虚拟电厂示范工程,实现了原先不在调度范围内的用户侧可调资源的感知、聚合、优化、调控与运营,为电力系统提供连续柔性的调节能力,有效促进新能源消纳。

2 虚拟电厂标准化的现状

2.1 虚拟电厂国际标准

IEC是世界上成立最早的国际性电工标准化机构,其宗旨是,促进电气、电子工程领域中标准化及有关问题的国际合作,增进国际间的相互了解。IEC在虚拟电厂领域已有一定的研究。目前,IEC在虚拟电厂领域的相关标准有以下两项。

(1) IEC TS 63189-1:2023《虚拟电厂:第一部分 架构与功能要求》^[5]

该标准首先给出了虚拟电厂管理系统(virtual power plant management system, VMS)、分布式资源(distributed energy resources, DER)、需求响应(demand response, DR)等虚拟电厂相关术语的定义。然后,介绍了虚拟电厂由微电网、发电单元、储能装置、可控负荷和VMS组成,并分别介绍其在虚拟电厂中的作用。接着分别从集中式控制和分布式控制两种控制方式,介绍控制架构、通信系统与适合的应用场景。最后,对虚拟电厂的核心功能要求,如:状态监测和通信、预测、聚合和优化、辅助服务、电力市场交易功能等层面进行了流程的梳理,并提出了技术要求。

(2) IEC TS 63189-2:2023《虚拟电厂:第二部分 用例》^[6]

该标准同样先给出了虚拟电厂相关术语的定义。然后介绍虚拟电厂本身的需求,包括隐私保护、网络安全、互操作性、可靠性、运行风险评估等方面。接着针对虚拟电厂的各参与方,包括VPP参与者、DER所有者、系统操作员、电力市场运营商,介绍其参与流程、在虚拟电厂中的作用、相应的应用场景和功能。最后介绍虚拟电厂用例的形成方法和编写形式。

总体来看,现有的虚拟电厂标准主要提供了一个基础的框架,但并未对诸如状态监测和通信、预测、聚合和优化、辅助服务、电力市场交易等虚拟电厂核心技术要求进行详细规范。

2.2 虚拟电厂国内标准

虚拟电厂是我国能源绿色低碳发展的必然要求,是顺应新型电力系统“双高”发展趋势的必然产物,推进虚拟电厂技术发展是助力国家“双碳”目标实现和能源安全新战略落地的重点抓手,是我国能源市场化改革和能源转型的必然要求。基于国内虚拟电厂发展现状和发展趋势,从适用性、系统性、先进性和实用性等角度出发,通过全国标准信息公共服务平台、国家标准全文公开系统、国家标准网等网站平台,梳理国标、地标、行标、团标、企标等不同层次的虚拟电厂标准,见表1^[7]。

表1 虚拟电厂国内标准

序号	名称	归口单位	级别	状态
1	《虚拟电厂管理规范》	全国电力需求侧管理标准化技术委员会	国标	起草
2	《虚拟电厂资源配置与评估技术规范》	全国电力需求侧管理标准化技术委员会	国标	征求意见
3	《虚拟电厂系统建设导则》	中电联能源互联网标准化技术委员会	国标	筹备
4	《分布式光伏接入虚拟电厂管理云平台技术规范》	深圳市发展和改革委员会	地标	现行
5	《虚拟电厂终端授信及安全加密技术规范》	深圳市发展和改革委员会	地标	现行
6	《虚拟电厂可调节性能指标设计与设计方法》	全国电力需求侧管理标准化技术委员会	行标	立项
7	《虚拟电厂分布式电源聚合与互动技术规范》	中电联能源互联网标准化技术委员会	团标	起草
8	《负荷侧虚拟电厂管控平台功能导则》	中国电工技术学会	团标	现行
9	《电化学储能系统接入虚拟电厂技术规范》	中关村储能产业技术联盟	团标	现行
10	《虚拟电厂硬件架构与设备终端总体要求》	全国电力需求侧管理标准化技术委员会	团标	立项
11	《虚拟电厂运营建设技术规范》	国家电网公司	企标	现行
12	《虚拟电厂调峰辅助服务》	北京国能国源能源科技有限公司	企标	现行
13	《德联虚拟电厂聚合平台》	烟台开发区德联软件有限责任公司	企标	现行
14	《虚拟电厂用户交互终端技术规范》	国电南京自动化股份有限公司	企标	现行
15	《虚拟电厂边缘智慧能源终端技术规范》	国电南京自动化股份有限公司	企标	现行
16	《虚拟电厂运营管控系统技术规范》	国电南京自动化股份有限公司	企标	现行
17	《基于边云协同的虚拟电厂管理应用技术规范》	南京磐能电力科技股份有限公司	企标	现行

总的来说,我国在虚拟电厂标准化方面尚未形成完备的虚拟电厂标准体系,相关的标准化工作在各个层面仅形成了初步的进展,在系统建设、信息化管理、资源互动、调峰调频等方面的内容形成了部分标准对虚拟电厂技术进行规范。

3 虚拟电厂标准体系构建研究

本章根据上文对虚拟电厂标准现状的分析,进行虚拟电厂标准体系构建的研究。本章通过对标准体系目标、需求、适用性、结构的研究,利用系统工程学中标准化系统工程六维模型、工作分解结构、平行分解法、属种(过程)划分法,构建出以科学理论为基础的结构合理、内容逻辑完备的虚拟电厂标准体系。

3.1 虚拟电厂标准范畴划定

虚拟电厂标准术语规定的范畴应包括如下方面。

从主要目标用户角度,包含:城市商业综合体;工商企业及园区;政府、医院、学校和小区物业。

覆盖的主要发电资源有:风、光、气、生物质能等类别。

从涉及的主要物理对象角度看,主要覆盖了:源、网、荷、储的环节,具体包含有风、光、气等多种形式的一次资源或由其转化得到的二次电力能

源;在用户“围墙”边界内的供能管网,例如:园区中压配网、户用供网、小型微网及充电网络;能源负荷则包含不同用能特性的终端用能设备设施;储能设备包括一般的储能装置和既可作为可控负荷又可储能的电动汽车等。

从数据信息层面来说,涉及到本地与云端两个部分。本地即为传统的OT部分,主要是SCADA和自动化,云端包含支撑本地数据向云端采集处理、传输通信、存储管理、分析加工、展示应用的相关云、大、物、移动互联网ICT技术。

从专业服务角度,涉及的主要有能源管理、协调控制、系统运维以及增值服务需求等类别^[8]。

3.2 基于系统工程学的虚拟电厂标准体系架构设计

在明确虚拟电厂的标准范畴界定后,进一步开展虚拟电厂标准体系的具体构建研究。系统工程学是目前广泛应用于标准体系构建的理论,它以生产设计一种产品的视角来看待标准体系设计的过程,从而整体、系统地对其进行布局安排。目前,此理论已成功应用于国际空间站相关标准体系等一系列应用场景中^[9]。

因此,在构建虚拟电厂标准体系时,始终从整体的视角进行布局,将设计出一个有机的、不断发展发展的整体作为原则。综合全局考虑设计的内外部要素,将标准设计目标对象、相关行业标准体系等

外部要素与标准子类、具体内容等内部要素之间的交互关系和各子体系之间的影响进行统一兼顾的考虑。使设计出的虚拟电厂标准体系上下层级与平行关系之间都环环相扣,具有紧密的逻辑对应关系。

将虚拟电厂标准体系的设计过程视为一项工程项目,则以工程研制的视角可以将设计流程分为以下5个步骤。

(1) 要求定义

确定标准体系建设目标,根据收集分析行业发展现状、标准化现状以及相关文件规定的建设依据,对体系应包含的内容范畴、专业领域等指标作出计划规定。

(2) 需求分析

调研现存体系的内容、业务涵盖面、适用性等现状,将其与目标进行对比,发掘两者差距,得出标准需求,以此指导标准体系构建下一步的进行。

(3) 产品设计

对照体系建立原则、目标以及需求,进行顶层设计构建标准体系大框架,进而细化具体结构层级设计。

(4) 产品实现

确定子类所在子体系、子类名称及其内容。将体系内各板块的级别、类别进行划分,并归入不同子类。

(5) 产品验证

在虚拟电厂标准体系建立完成后,不断根据体系需求的改变而优化、修正体系框架。

具体流程如图2所示。

3.3 虚拟电厂标准体系综合分析

结合电力行业其他相近技术领域,如:微电网、能源互联网等技术领域标准体系的成熟经验,根据虚拟电厂聚合多资源进行有序调控和管理的特点,突出虚拟电厂的信息化技术,充分考虑虚拟电厂参与电力市场交易对调控和运维的影响,对标准化的要素进行系统分析,形成如图3所示的虚拟电厂标准体系总体结构。

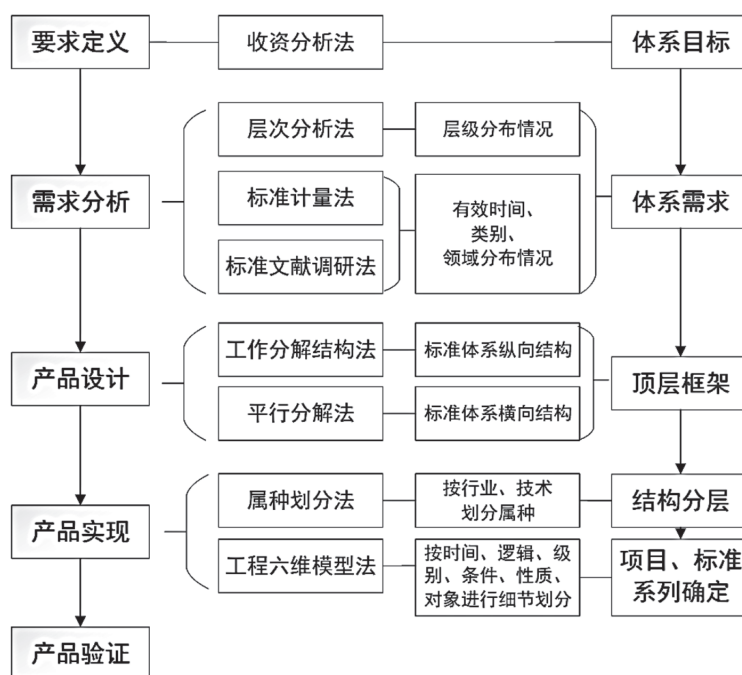


图2 标准体系设计流程图

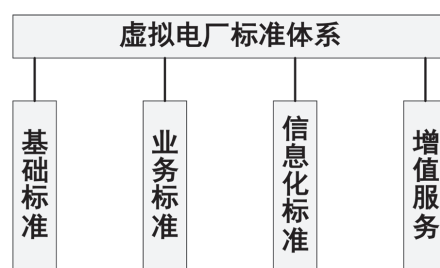


图3 虚拟电厂标准体系总体结构

其中:(1)基础标准应涵盖总则、术语、图形标准、命名规则、安全与环保等内容,为标准体系规定范畴、明确一系列定义和基础知识。(2)在业务标准中,应规定虚拟电厂的规划设计标准。此外,还应规定工程建设相关标准,并在虚拟电厂系统运营方面作出标准规范。最后,制定验收与评价标准,规范成效评估的业务流程。(3)在建立信息化标准时,不仅应涵盖平台标准和终端标准,还应应对系统检验检测过程进行规范。同时,智能应用方面的内容也应在体系中作出相关标准化规定。(4)在增值服务标准中,应规定虚拟电厂的优化用能和需求响应相关标准,同时制定多资源协同调度标准。此外,还应涵盖碳交易相关标准,从而组成体系化的增值服务标准架构。

4 虚拟电厂标准体系框架

虚拟电厂标准体系经过前文的大体框架设计已经具有了初步的规模,根据现有标准及相关行业标准体系的参考和比对,本节将对子类、标准系列进行细化设计,并最终得出虚拟电厂标准体系布局方案。

4.1 基础标准

如图4所示为虚拟电厂基础标准子体系,为虚拟电厂标准提供通用性条款和规范支撑,组成部分包括虚拟电厂总则、术语、图形标准、命名规划以及安全规定等方面相关标准。

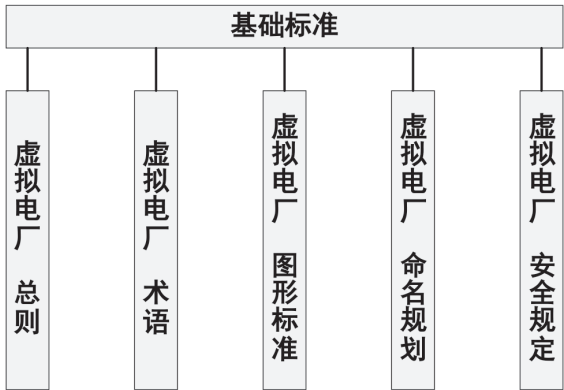


图4 虚拟电厂基础标准子体系图

4.2 业务标准

如图5所示为虚拟电厂业务标准子体系。
规划设计子类在虚拟电厂计划建设阶段对建

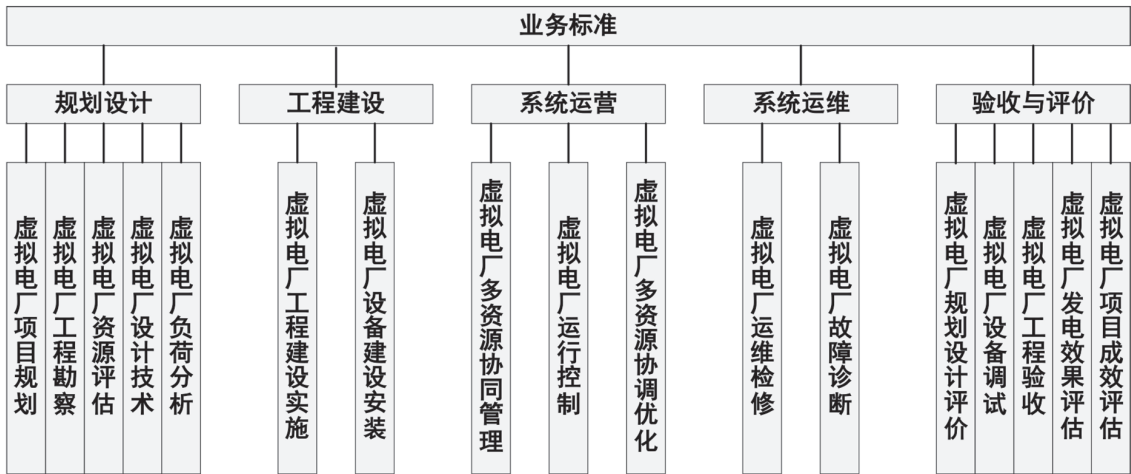


图5 虚拟电厂业务标准子体系图

设目标的资源负荷条件分析、勘察规划设计方法选择和具体执行作出规范,是提升虚拟电厂整体能效的标准尺度和关键支撑,包括虚拟电厂项目规划、工程勘察、资源估计、设计技术与负荷分析等领域的相关标准。

工程建设子类是在虚拟电厂项目投入建设后,对工程建设工作和设备安装配置工作的执行做出规范,包括虚拟电厂工程建设实施、虚拟电厂设备建设安装等工作相关的标准。

系统运营子类意在指导虚拟电厂实现多资源高效协调运行,制定合理计划满足系统内不同负荷对电能质量的需求,该子体系由虚拟电厂多资源协同管理、虚拟电厂运行控制、虚拟电厂多资源协调优化等领域的相关标准组成。

系统运维子类为保证虚拟电厂安全运行、可靠供能提供支持,组成包括虚拟电厂运维检修、虚拟电厂故障诊断两部分的相关标准。

验收与评价子类对虚拟电厂工程规划建设成果以及运行过程的评判工作做出规范,对检验工程建设、运行情况有重要意义。其组成包括虚拟电厂规划设计评价、虚拟电厂设备调试、虚拟电厂工程验收、虚拟电厂发电效果评估、虚拟电厂项目成效评估等。

4.3 信息化标准

如图6所示为虚拟电厂信息化标准子体系。
信息化平台标准子类是虚拟电厂信息化、智能

化管理的平台建设基础,是实现虚拟电厂多方信息交互,深入开展多资源协调优化和出力数据监测分析的重要保障,包括虚拟电厂运行管控平台、虚拟电厂交易与服务平台、虚拟电厂仿真平台、虚拟电厂信息安全、虚拟电厂信息系统接口、智能网关技术等技术领域的诸多标准。

系统终端标准子类为客户提供智能调控、数据量测、远动作业、通信、数据价值挖掘的服务提供技术保障,组成部分包括虚拟电厂控制终端、虚拟电厂量测终端、虚拟电厂移动作业终端、虚拟电厂通信终端等用客户侧终端技术领域标准。

试验检测子类为虚拟电厂信息平台 and 多种终端设备的可靠运行提供规范基础,该子体系由虚拟电厂平台调试、虚拟电厂平台维护、虚拟电厂终端

调试和虚拟电厂终端检测几部分标准组成。

智能应用子类为虚拟电厂实现多资源灵活管控提供技术支持,该子体系由虚拟电厂智慧用能管理、虚拟电厂多资源状态监测以及虚拟电厂智能运维等相关的技术标准构成。

4.4 增值服务标准

如图7所示为虚拟电厂增值服务标准子体系。

优化用能标准子类是虚拟电厂运营商为分布式电源、储能设备、可控负荷、可调机组等多类资源提供高效、具有竞争力的虚拟电厂聚合方案的依据。该子体系包括虚拟电厂系统后评价、能源审计、能效评估以及能源托管代运维等相关标准。

需求响应子类为虚拟电厂各资源参与需求响应的调度提供技术保障,组成部分包括虚拟电厂

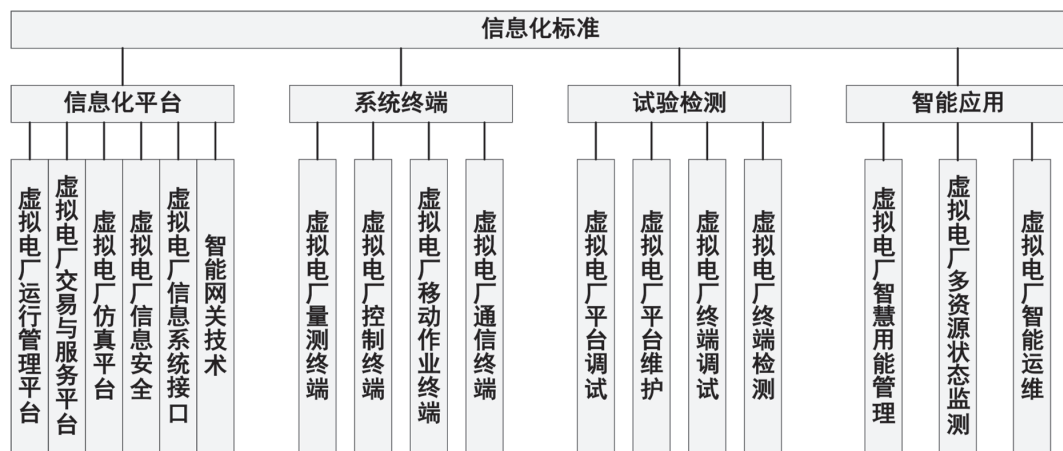


图6 虚拟电厂信息化标准子体系图

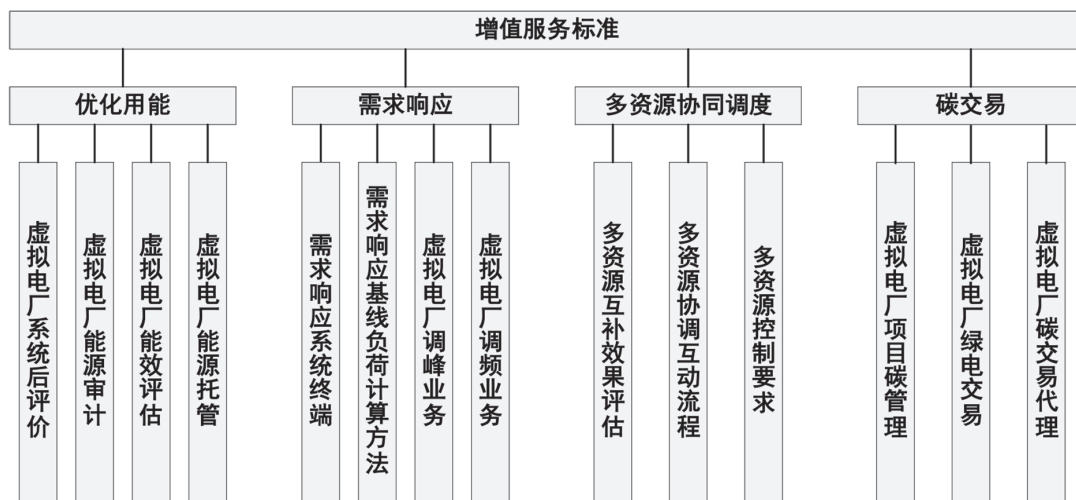


图7 虚拟电厂增值服务标准子体系图

系统终端、需求响应基线负荷计算方法、虚拟电厂调峰业务、虚拟电厂调频业务等技术领域标准。

多资源协同调度子类为各资源主动参与虚拟电厂运行调节提供规范。各类资源拥有者与虚拟电厂运营商达成交易,各资源通过调节出力 and 负荷参与虚拟电厂优化调控。该子体系由多资源互补效果评估、多资源协调互动流程、多资源控制要求几部分标准组成。

碳交易子类为虚拟电厂中的清洁资源以虚拟电厂作为一个整体参与碳交易提供保障。该子体系的组成部分包括虚拟电厂项目碳管理、虚拟电厂绿电交易、虚拟电厂碳交易代理等碳交易过程的标准。

5 标准体系明细表

上述的虚拟电厂标准体系,在结构上包含4个子体系,15个大类;在清洁能源类型上包含光伏、风能、生物质3种清洁能源;在用能场景方面包含工业园区、商业楼宇、农业用能、公共机构、居民用能5种典型场景。

其中,结合当前虚拟电厂技术发展中对项目验收与评价相关规范的需求增加,故在业务标准子体系中增加了验收与评价子类。基于目前虚拟电厂中,多资源耦合、节能咨询、碳市场交易等业务规模逐渐发展,故将增值服务标准子类单独开辟为一个子体系,内涵优化用能、需求响应、多资源协同调度和碳交易4个子类。经过调查,平台技术标准属于信息化的范畴,故将平台技术纳入新增的信息化标准子体系内,并根据目前虚拟电厂中增加的

终端设备、工程实验和智慧用能管理等需求,新增了系统终端、试验检测 and 智能应用子类。

总体框架中提出了53个标准系列。以上内容具体对应体系内条目举例见表2。

表2 虚拟电厂标准体系支撑技术

分支	详情
4个子体系	基础标准、业务标准、信息化标准、增值服务标准
14个大类	基础标准、规划设计、工程建设、系统运营、系统运维、验收与评价、信息化平台、系统终端、试验检测、智能应用、优化用能、需求响应、多资源协调调度、碳交易
3种清洁能源类型	GB/T 38946-2020《分布式光伏发电系统集中运维技术规范》 GB/T 41512-2022《分散式风力发电机组》 NB/T10483-2012《生物质能资源调研与评价技术规范》
5种用能场景	工业园区: GB/T 39218-2020 《智慧化工业园区建设指南》 商业楼宇: DB35/T 1663-2017 《电子商务基地建设 with 运营规范》 农业用能: DL/T 5131-2015 《农村电网建设与改造技术导则》 公共机构: DB44/T 2268-2021 《公共机构能源审计导则》 居民用能: T/CECS 554-2018 《智慧家居设计标准》

6 结语

本文提出的虚拟电厂标准体系框架始终从整体的视角进行布局,将设计出一个有机的、不断发展的整体作为原则,结构合理,细节内容涵盖广,对目前零散、缺乏体系化的虚拟电厂标准未来科学合理发展具有指导性意义。

参考文献

[1] 蒋正威,张锋明,胡凤桐,等. 虚拟电厂分布式资源的聚合响应能力评估方法[J]. 电力工程技术, 2022,41(6):39-49.

[2] 杜传忠,陈维宣. 全球新一代信息技术标准竞争态势及中国的应对战略[J]. 社会科学战线, 2019,42(6):89-100+282.

[3] IEC. Draft Technology and Market Outlook: Zero carbon power system based primarily on renewable energy [Z]. IEC Position Paper, 2022.

[4] 雷若愚.考虑碳交易的虚拟电厂优化运行及收益分配研究[D]. 北京: 华北电力大学, 2021.

[5] IEC TS 63189-1:2023, Virtual power plants – Part 1: Architecture and functional requirements[S]. IEC, 2023.