



虚拟电厂规模化灵活资源聚合调控框架研究与思考

宋天琦, 吕志鹏, 宋振浩, 马韵婷, 张智慧, 周珊, 李昊

(国网上海能源互联网研究院有限公司, 上海 200120)

摘要: 在“云边协同+物联网”的背景下, 为给虚拟电厂动态性能量化分析评估提供全面的资源结构基础和系统化的调控框架, 在对现有和潜在虚拟电厂规模化灵活资源进行调研梳理和系统分析基础上, 结合资源电网接入体系和电网可控性进行研究, 形成了融合 3 类路径、适应多场景多情形的系统化虚拟电厂规模化灵活资源聚合调控框架。同时, 依据该框架提出云边协同+物联网的虚拟电厂动态性能量化分析评估系统架构研究参考原则, 探讨了虚拟电厂相关机制体制研究方向。

关键词: 虚拟电厂; 规模化灵活资源; 聚合调控; 电网可控性; 框架

DOI: 10.11930/j.issn.1004-9649.202306121

0 引言

“双碳”政策下的新型电力系统以新能源为主体, 新能源的随机、间歇、波动等特性对电网安全产生挑战^[1]。新的发用电势态下, 虚拟电厂技术以其能够聚合分散资源、动态优化能源生产和消费、助力电网实现平衡而得以飞速发展^[2-3]。同时, 分布式新能源、新型储能、电动汽车以及各类可控负荷、微电网等灵活资源进入规模化发展阶段, 逐渐成为虚拟电厂资源的构成主体^[4-7]。

当前诸多基于虚拟电厂资源体系和资源聚合调控框架的研究难以找到共性基础。例如, 在研究虚拟电厂单元的运行机制和控制策略时, 按分布式电源、可控负荷以及不可控负荷划分虚拟电厂资源组成, 并将分布式资源进一步分为从外部需求响应交易市场购得的资源以及虚拟电厂内部的直接可控负荷^[8]。在进行虚拟电厂单元运行策略研究时, 将虚拟电厂资源定性分为工业用户负荷、居民用户负荷、分布式光伏、分布式储能^[9]。可以看出, 这些研究基于的虚拟电厂资源体系和聚合调控框架呈现局部性、重叠性以及概念范围不明确等情况, 且常常针对单一虚拟电厂单元,

缺乏对“云边协同+物联网”背景下虚拟电厂规模化灵活资源及其聚合调控的整体概念和系统框架。在对规模化灵活资源整体进行的研究中, 常见的定性分类方法分为源、荷、储 3 类^[10], 但越来越多的虚拟电厂资源主体, 如微电网、园区综合能源系统等, 已不限于某一特定类型。按照可调节负荷是否具备电力调度机构直接控制条件并与电力调度机构签订并网调度协议, 可分为直控型和非直控型两类^[11], 该分类方法实用性强, 具有虑及资源电压等级、分布式或集中式、商业属性等先天优势, 但源、储资源只考虑现阶段参与虚拟电厂可行性较高的直控型, 尚未对规模化发展、潜力巨大的非直控型低压资源进行统筹分类。全面考虑现有和潜在资源的虚拟电厂规模化灵活资源体系和相应系统化聚合调控框架亟须进一步梳理完善。

本文通过对现有和潜在虚拟电厂规模化灵活资源进行调研梳理和系统分析, 将资源结合其电网接入体系和电网可控性进行研究, 从而构建形成资源涵盖范围广泛、具有普适参考价值的虚拟电厂规模化灵活资源体系和聚合调控框架。

1 基本概念

由于“虚拟电厂”这一概念在众多研究和各类情境中被广泛提及, 为避免歧义, 现将本研究中常用的“虚拟电厂”“虚拟电厂单元”“动态

收稿日期: 2023-06-30; 修回日期: 2023-11-06。

基金项目: 国家重点研发计划资助项目(规模化灵活资源虚拟电厂聚合互动调控关键技术, 2021YFB2401200)。



虚拟电厂”“虚拟电厂平台”等概念做以下澄清。

“虚拟电厂”泛指参与中国虚拟电厂运行机制的主体单元。“虚拟电厂单元”表示一个商业主体并实际存在，含有确定不变的资源来组建虚拟电厂，可指一个参与虚拟电厂机制的单一电力用户，也可指某类聚合商。除直接被称作“虚拟电厂”的聚合商外，可参与中国虚拟电厂运行机制的负荷聚合商、单个微网、多个微网聚合体、充放电设施聚合商等主体单元均可视作虚拟电厂单元。“动态虚拟电厂”主要指由“虚拟电厂平台”主导，按照电力系统不同时段的整体需求，对接入的规模化灵活资源进行聚合所形成的暂态虚拟电厂单元。“虚拟电厂平台”每次聚合方案不同，所形成的“动态虚拟电厂”个数及其所含资源组分均可能不同。此处“虚拟电厂平台”专指国家电网或南方电网在电网信息化系统内建设的特定业务应用平台^[12]。

2 资源范围

35 kV 是中国许多地区电网公司内部划分调度工作权限的分界点^[13]，也是许多能源系统是属于分布式还是集中式的参考点^[14-17]。本文将规模化灵活资源按电压等级是否高于 35 kV 以区分资源研究范围。

2.1 35 kV 及以下资源

对于 35 kV 及以下规模化灵活资源，根据资源本身供用电特点，分为分布式电源、可调负荷和混合型资源。

分布式电源型资源，参照行业标准规范，主要指接入 35 kV 及以下电压等级电网的电源，包括太阳能、天然气、生物质能、风能、水能、氢能、地热能、海洋能、资源综合利用发电（含煤矿瓦斯发电）等类型^[14]。本研究中，分布式电源不包含储能。只聚合分布式电源的聚合商也被视为分布式电源型资源，如分布式光伏云平台等。

可调负荷型资源，依其是否能进行功率调节分为可中断型负荷和柔性可调型负荷 2 类。只聚合可调负荷的聚合商也被视为可调节负荷型资源，如充换电设施聚合商、智能家居云平台等。诸多研究中常见的“可平移负荷”可归并入 2 类定义中的一类，不再另分类。

混合型资源主要指对外可呈现电源和负荷两种状态的资源，如储能、微网、带 V2G 功能的充电系统等。为协同资源研究，未提及电压等级的可调负荷型资源和混合型资源，均为 35 kV 及以下资源。

2.2 35 kV 以上资源

35 kV 以上资源，通常属于集中式或单体体量较大的资源，以专线或专变接入电网。这类资源中的电源型和混合型资源，大部分具有直接与电网调度机构通信并直接接受调度机构调度的特点，作为虚拟电厂资源的聚合调控路径简单，直接向调度机构负责，上送自身状态信息，接收调度指令，在虚拟电厂机制中的灵活性仅体现在向调度机构上报响应能力环节。这类资源中的可调负荷型资源和部分混合型储能资源则更加灵活，无须直接受电网调度机构调度，在经聚合商聚合的条件下，可由聚合商进行调度指令再分配。

3 资源电网可控性分析

由于 35 kV 及以下资源的类型、电压等级、接入体系等因素不同，以及不同地区相关政策的差异，存在较为复杂多样的电网可控性情形，本章进行梳理凝练，形成一套全面的资源可控性说明，为现有及潜在的虚拟电厂资源聚合调控框架奠定基础。

3.1 分布式电源型资源可控性

对于 35 kV 及以下的分布式电源资源，中压资源由电网调度机构直控。调度机构因地区不同而稍有差异，通常为调度主站或 I 区配自主站。资源通常经远动机构、配电终端等接入调度机构。部分低压资源则经各类配网智能化终端接入 IV 区配电系统，进而与电网虚拟电厂平台互动，参与虚拟电厂机制。本类资源可控性的系统说明如表 1 所示。

3.2 可调负荷型资源可控性

可调负荷型资源的中压资源乃至 35 kV 以上资源若未被聚合或未参与虚拟电厂机制，在电网正常运行状态下，不会对其进行调度干预，因此可在由调度机构直控和被聚合商聚合 2 种模式之间做选择来参与虚拟电厂。由调度机构直控，通常须满足一定标准要求^[11]。本类资源可控性的系统说明如表 2 所示。



表 1 虚拟电厂 35 kV 及以下分布式电源型资源可控性
Table 1 Controllability of 35 kV and below distributed power resources of VPP

资源类别	电压等级	资源可控性
分布式电源 (专变/专线)	10~35 kV	电网调度机构直控 ^[14]
分布式电源	220~380 V	具备配自系统Ⅳ区直控条件的资源(有些可功率调节,有些只控并离网):1)始终授权直控,充当配网自动化调控资源(Ⅰ类);2)默认电网保消纳,仅在授权直控时,充当配网自动化调控资源(Ⅱ类);3)默认电网保消纳,从不授权直控,仅在应急条件下被并/离网(Ⅲ类)
分布式电源 (聚合商)	220~380 V	1)聚合商达到直控标准的由调度机构直控调度 ^[11] ,未达直控标准的由虚拟电厂平台调控; 2)聚合商可签订协议以聚合的资源包含3种:①不具备配自系统Ⅳ区直控条件的资源,电网保消纳,响应聚合商调控;②具备配自系统Ⅳ区直控条件的Ⅱ类资源,在未授权充当配网自动化调控资源时,响应聚合商调控;③具备直控条件的Ⅲ类资源,在非应急条件下被并离网,响应聚合商调控

表 2 虚拟电厂 35 kV 及以下可调负荷型资源可控性
Table 2 Controllability of 35 kV and below adjustable load resources of VPP

资源类型	电压等级	资源可控性
可调负荷 (专变/专线)	220 V~35 kV	1)符合调度机构直控标准的资源,可由调度机构直控 ^[11] ;2)不符合调度机构直控标准,具备配自系统Ⅳ区直控条件的资源(有些可功率调节,有些只控并离网):①始终授权直控,充当配网自动化调控资源(Ⅰ类);②仅在授权直控时,充当配网自动化调控资源(Ⅱ类);③从不授权直控,仅在应急条件下被并/离网(Ⅲ类)
可调负荷 (聚合商)	220 V~35 kV	1)聚合商符合调度机构直控标准的可由调度机构直控调度 ^[11] ,否则由虚拟电厂平台调控; 2)聚合商可签订协议聚合的资源包含3种(有些可功率调节,有些只控并离网):①不具备配自系统Ⅳ区直控条件的资源,电网保供电,响应聚合商调控;②具备配自系统Ⅳ区直控条件的Ⅱ类资源,在未授权充当配网自动化调控资源时,响应聚合商调控;③具备直控条件的Ⅲ类资源,在非应急条件下,响应聚合商调控

3.3 混合型资源可控性

对于 35 kV 及以下的混合型资源分为储能和微网。由于中国现行标准对二者进入电网的标准规范要求有所不同,其可控性和参与虚拟电厂机制的可用性有所不同。具有 V2G 功能的充换电设施因其主要凭借电动汽车储能电池实现充放电,亦主要被视作混合型储能资源。本类资源可控性的系统说明如表 3 所示。

4 虚拟电厂资源聚合调控架构

本章对资源接入电力系统的边缘终端体系进行对应分析,结合电力系统内调度控制结构和系统,形成 3 条资源调控路径,从而全面构建虚拟电厂规模化灵活资源的聚合调控框架。

4.1 规模化灵活资源电网接入体系

从电网可控性进一步向资源电网接入体系延伸,不同电网可控性资源对应不同类型的边缘终端系统,形成参与虚拟电厂机制的三大类聚合调控路径,如图 1 所示。

第 1 类资源的边缘终端通常为智能远动终端、负荷管理终端、聚合商平台等,直接接入电网生产控制大区^[18]接受电网调度机构调度。其中可包

含 35 kV 以上虚拟电厂机制涉及的资源、10 kV 及以上分布式电源资源(如小水电、抽水蓄能电站、光伏电站、自备电厂等)、符合调度机构直控条件的电力用户、授权接受调度机构调度的混合型资源以及符合调度机构直控条件的聚合商(如负荷聚合商、充换电设施群运营商等)等。

第 2 类资源的边缘终端通常为台区智能融合终端、专变智能终端、智慧用能单元^[19]等,直接接入电网管理信息大区,不直接参与电网调度机制,但可经电网物联管理平台、用电信息采集前置模块、新型电力负荷管理系统^[20]等接入电网企业中台,进而与电网应用层各类平台,如虚拟电厂平台进行信息交互,从而间接参与电网调控。该类资源通常可以选择是否参与、如何参与虚拟电厂机制或其他类型电网调控。该类资源通常包含第 3 章所述的低压资源,如小型光伏、储能、微网、工商业可调负荷用户等。

第 3 类资源通常不具备被电网调度机构、配网系统有效感知和调控的条件和权限,属于电网在正常情况下会保证供电、按协定消纳的资源,其灵活性强,对于电网来说不确定性亦较高。通常具有分散度高、体量小、可监可控性差等特点中的一种或多种。大部分电力用户(包括居民用



表 3 虚拟电厂 35 kV 及以下混合型资源可控性
Table 3 Controllability of 35 kV and below mixed type resources of VPP

资源类别	电压等级	资源可控性
混合型 (储能)	10~35 kV	1) 接受调度机构调度的资源, 由调度机构直控 ^[16] ; 2) 不接受调度机构调度的资源, 默认为自由运行、只监不控。当资源具备直控条件, 并同意接收调控时, 可充当调度机构调度资源
混合型 (储能)	220~380 V	具备配自系统 IV 区直控条件的资源 (有些可功率调节, 有些只控并离网): 1) 始终授权直控, 充当配网自动化调控资源 (I 类); 2) 默认自由运行、只监不控, 仅在授权直控时, 充当配网自动化调控资源 (II 类); 3) 默认自由运行、只监不控, 从不授权直控, 仅在应急条件下被并/离网 (III 类)
混合型 (储能聚合商)	220 V-35 kV	1) 聚合商达直控标准的可由调度机构直控调度 ^[11] , 否则由虚拟电厂平台调控; 2) 聚合商可签订协议以聚合的资源包含 3 种: ①10~35 kV 不接受调度机构调度的资源, 默认为自由运行、只监不控, 而当资源被聚合商聚合后, 可响应聚合商调控; ②220~380 V 具备配自系统 IV 区直控条件的 II 类资源, 在未授权充当配网自动化调控资源时, 响应聚合商调控; ③220~380 V 具备配自系统 IV 区直控条件的 III 类资源, 在非应急条件下, 响应聚合商调控
混合型 (微网)	10~35 kV	具备调度机构直控能力 (可功率调节) ^[17] , 通常在并网点电能质量满足电网要求的情况下, 自由运行、只监不控, 但电网有权对其进行“四遥”。1) 在资源授权调度机构直控时, 可充当调度机构调度资源; 2) 在资源未授权调度机构直控时, 根据并网点电能质量在能力范围内进行调节, 无法参与调节应能自动离网独立运行
混合型 (微网)	220~380 V	具备监测和记录运行状况的功能 ^[17] 。自由运行、只监不控。具备配自系统 IV 区直控条件的资源 (可功率调节): 1) 仅在授权直控时, 充当配网自动化调控资源; 2) 从不授权直控的, 在并网点电能质量不满足电网要求时, 自动离网独立运行
混合型 (微网聚合商)	220~380 V	1) 聚合商达直控标准的可由调度机构直控调度 ^[11] , 否则由虚拟电厂平台调控; 2) 聚合商可签订协议以聚合的资源包含: ①220~380 V 具备配自系统 IV 区直控条件的 II 类资源, 在未授权充当配网自动化调控资源时, 响应聚合商调控; ②220~380 V 具备配自系统 IV 区直控条件的 III 类资源, 在非离网状态下, 响应聚合商调控

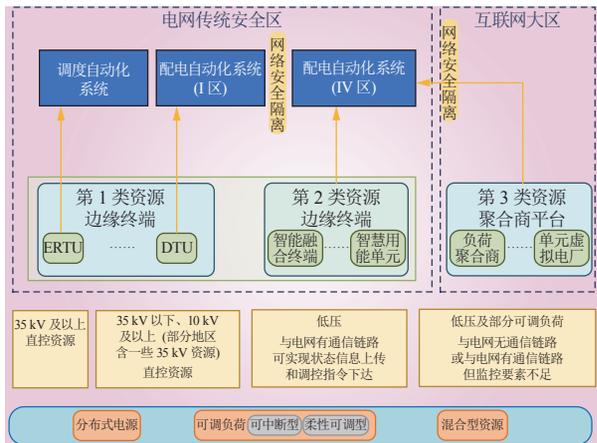


图 1 规模化灵活资源电网接入体系

Fig. 1 Large scale flexible resources grid access system

户) 等资源即属该类, 第 3 章所述各类聚合商聚合的资源中的一部分亦属该类。通过聚合商聚合是其参与虚拟电厂机制的主要途径。因此, 其边缘终端通常为虚拟电厂单元的系统平台。

4.2 虚拟电厂机制聚合调控架构

4.2.1 聚合调控层次

由于当前中国电力系统调度控制的核心是电网的调度机构, 电力交易中心亦受相关调度单位管理, 而虚拟电厂平台在大多数情况下则仅为电网“云”体系架构中多项应用平台之一, 本文在进行规模化灵活资源聚合调控架构的分析研究时参考如图 2 所示的调控层级模型作为前提。

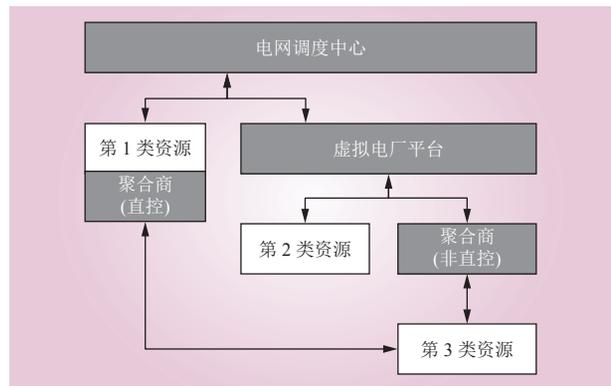


图 2 规模化灵活资源聚合调控分层

Fig. 2 large scale flexible resources aggregation and dispatching control hierarchy

电网调度中心调度控制来自第 1 类资源的虚拟电厂单元和来自虚拟电厂平台构建的动态虚拟电厂。聚合第 1 类资源和/或第 3 类资源并达到调度机构直控标准的聚合商, 亦视为第 1 类资源。第 1 类资源和虚拟电厂平台直接以其响应能力向电网调度中心负责, 满足调度需求、落实调度指令。

虚拟电厂平台聚合协同第 2 类资源和非直控型聚合商以构建动态虚拟电厂。非直控型聚合商直接以其响应能力向虚拟电厂平台负责。

聚合商平台对聚合的第 3 类或第 1 类资源全权负责, 协调统筹, 形成聚合商响应能力。

4.2.2 聚合调控框架

虚拟电厂规模化灵活资源聚合调控框架如图 3 所示。由图 3 可以看出，现阶段及未来中短

期中国虚拟电厂机制所涉及的规模化灵活资源可全部涵盖其中，其聚合调控路径对应有 3 条主要路径。

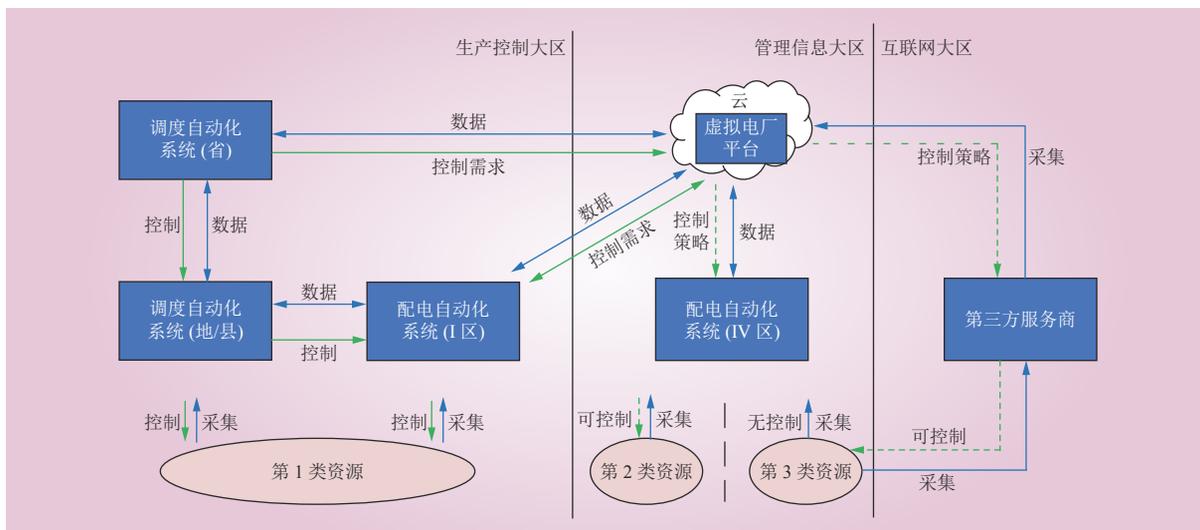


图 3 规模化灵活资源聚合调控框架

Fig. 3 The aggregation and dispatching control framework of large scale flexible resources

第 1 类资源，在响应能力上报环节，可依照自身利益目标和诉求，进行决策优化。上报后，各个资源严格按照调度机构依其上报响应能力情况生成下发的调度指令落实响应。

第 2 类资源，通过边缘终端与虚拟电厂平台通信，向虚拟电厂平台提供自身响应能力，并与非直控型聚合商上报的响应能力合力支撑虚拟电厂平台构建动态虚拟电厂，参与调控。相对于第 1 类资源和聚合商，第 2 类资源具有体量相对小、数量相对大的特点，在其聚合调控过程中，虚拟电厂平台作用关键^[21-22]，是依照特定策略与原则为资源个体分配制定相应调控指令的主体。

对于第 3 类资源，聚合商承担关键聚合调控责任。可根据自身原则和目标引导资源申报响应能力、分配调控指令。聚合商仅向虚拟电厂平台或调度机构上报自身响应能力，并严格落实上报响应能力范围内的调控指令，下辖资源单体相关信息可减量甚至无须进入虚拟电厂聚合调控框架系统。

5 结语

本文通过对虚拟电厂规模化灵活资源的全面

梳理审视以及对其电网可控性的系统研究，结合资源电网接入体系，形成了资源涵盖范围全面、聚合调控路径清晰的虚拟电厂规模化灵活资源聚合调控框架。

以此框架为前提，后续面向云边协同+物联网的虚拟电厂动态性能量化分析评估系统架构研究将从以下几项原则出发考虑：一是基于第 1 类资源的虚拟电厂动态性能量化评估相对独立，其资源边缘终端侧评估将作为未来研究重点，其信息流无需与云上虚拟电厂平台过多互动；二是虚拟电厂平台将重点围绕第 2 类资源及其边缘终端构建云边协同的动态性能量化分析评估体系；三是对于同时归属其他平台（如车联网平台）的聚合商做进一步研究，探求体系融合支撑虚拟电厂动态性能量化评估的方法与潜力。

与此同时，从本文研究形成的框架可以看出，第 1 类资源聚合调控路径相对独立并直连调度机构，其规模化参与虚拟电厂机制，将给电网调度机构的决策调度机制带来的迭代需求有待进一步全面探究。此外，第 3 类资源通过技术设备改造升级可变为第 2 类资源或第 1 类资源，部分第 1 和第 2 类资源亦拥有成为第 3 类资源的选择权，聚合商作为电网外第三方商业主体，具有和



电网虚拟电厂平台竞争网内聚合调控资源的倾向，亦具有协助电网整合管理分散度高、不确定性强资源的潜力，如何做好虚拟电厂资源统筹分类，制定适合的机制体制，以避免虚拟电厂资源聚合调控相关通信路径重复建设，节约配电网智能化升级成本，引导市场力量参与降低电网不确定性，亦期待更多洞见。

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): 2806–2819.
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): 2806–2819.
- [2] YAVUZ L, ÖNEN A, MUYEEN S M, *et al.* Transformation of micro grid to virtual power plant: a comprehensive review[J]. IET Generation, Transmission & Distribution, 2019, 13(11): 1994–2005
- [3] ZHANG G, JIANG C W, WANG X. Comprehensive review on structure and operation of virtual power plant in electrical system[J]. IET Generation, Transmission & Distribution, 2019, 13(2): 145–156
- [4] 卫璇, 潘昭光, 王彬, 等. 云管边端架构下虚拟电厂资源集群与协同调控研究综述及展望 [J]. 全球能源互联网, 2020, 3(6): 539–551.
WEI Xuan, PAN Zhaoguang, WANG Bin, *et al.* Review on virtual power plant resource aggregation and collaborative regulation using cloud-tube-edge-end architecture[J]. Journal of Global Energy Interconnection, 2020, 3(6): 539–551.
- [5] 赵建立, 向佳霓, 汤卓凡, 等. 虚拟电厂在上海的实践探索与前景分析 [J]. 中国电力, 2023, 56(2): 1–13.
ZHAO Jianli, XIANG Jiani, TANG Zhuofan, *et al.* Practice exploration and prospect analysis of virtual power plant in Shanghai[J]. Electric Power, 2023, 56(2): 1–13.
- [6] 袁金斗, 陈宋宋. 楼宇可调节负荷研究与应用 [J]. 电力需求侧管理, 2023, 25(1): 52–58.
YUAN Jindou, CHEN Songsong. Research and Application of adjustable load of buildings[J]. Power Demand Side Management, 2023, 25(1): 52–58.
- [7] 马麟, 梁安琪, 王立永, 等. 公共楼宇可调负荷资源调控技术研究综述 [J]. 电测与仪表, 2023, 60(5): 1–10, 22.
MA Lin, LIANG Anqi, WANG Liyong, *et al.* Review of research on regulation technology of adjustable load resources in public buildings[J]. Electrical Measurement & Instrumentation, 2023, 60(5): 1–10, 22.
- [8] 杜宏宇, 张宏宇, 陈波, 等. 计及多种需求响应资源的虚拟电厂运行机制及控制策略优化 [J]. 电工电能新技术, 2023, 42(7): 77–86.
DU Hongyu, ZHANG Hongyu, CHEN Bo, *et al.* Operation mechanism and control strategy optimization of virtual power plant considering multiple DR resources[J]. Advanced Technology of Electrical Engineering and Energy, 2023, 42(7): 77–86.
- [9] 翟晓鹤, 余顺坤, 丁贺. 基于资源特性的虚拟电厂“双层-三阶段”运行策略设计 [J]. 智慧电力, 2023, 51(4): 92–98.
ZHAI Xiaohuo, YU Shunkun, DING He. Two-layer-three-stage operation strategy of virtual power plant considering resource characteristics[J]. Smart Power, 2023, 51(4): 92–98.
- [10] 康重庆, 陈启鑫, 苏剑, 等. 新型电力系统规模化灵活资源虚拟电厂科学问题与研究框架 [J]. 电力系统自动化, 2022, 46(18): 3–14.
KANG Chongqing, CHEN Qixin, SU Jian, *et al.* Scientific problems and research framework of virtual power plant with enormous flexible distributed energy resources in new power system[J]. Automation of Electric Power Systems, 2022, 46(18): 3–14.
- [11] 国家能源局南方监管局. 关于印发《南方区域电力并网运行管理实施细则》《南方区域电力辅助服务管理实施细则》的通知（南方监能市场〔2022〕91号）[EB/OL].(2022-06-13)[2023-05-15]. <https://nfj.nea.gov.cn/adminContent/initViewContent.do?pk=4028811c80b7744a01815cbdb9a4006e>.
- [12] 汪尧乔, 苏剑, 潘娟, 等. 虚拟电厂通信网络架构及关键技术研究展望 [J]. 电力系统自动化, 2022, 46(18): 15–25.
WANG Wanqiao, SU Jian, PAN Juan, *et al.* Prospect of research on communication network architecture and key technologies for virtual power plant[J]. Automation of Electric Power Systems, 2022, 46(18): 15–25.
- [13] 周杰娜. 现代电力系统调度自动化 [M]. 重庆: 重庆大学出版社, 2002.
- [14] 国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. 分布式电源并网技术要求: GB/T 33593—2017[S].
- [15] 国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. 光伏电站接入电力系统技术规定: GB/T 19964—2012[S]. 北京: 中国标准出版社, 2013.
- [16] 国家市场监督管理总局, 国家标准化管理委员会. 电化学储能系统接入电网技术规定: GB/T 36547—2018[S]. 北京: 中国标准出版社, 2018.
- [17] 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].
- [18] 国家电力监管委员会, 国家能源局. 《电力二次系统安全防护规



- 定》(2004年12月20日令第5号)[Z].
- [19] 南瑞集团有限公司, 国电南瑞科技股份有限公司. 一种台区能源控制系统: 114285159[P]. 2022-04-05.
- [20] 李彬, 白雪峰, 王京菊, 等. 新型电力负荷管理系统发展的关键支撑技术研究[J]. 内蒙古电力技术, 2023, 41(2): 1-6.
- LI Bin, BAI Xuefeng, WANG Jingju, *et al.* Research on key supporting technology for development of new power load management system[J]. Inner Mongolia Electric Power, 2023, 41(2): 1-6.
- [21] 陈启鑫, 高洪超, 冯成, 等. 虚拟电厂动态构建与可信量化: 理论分析与关键技术[J]. 电力系统自动化, 2022, 46(18): 26-36.
- CHEN Qixin, GAO Hongchao, FENG Cheng, *et al.* Dynamic construction and trustworthy quantification of virtual power plant: theoretical analysis and key technologies[J]. Automation of Electric Power Systems, 2022, 46(18): 26-36.
- [22] 许泽凯, 和敬涵, 刘翌, 等. 基于耦合约束解耦的虚拟电厂动态可行

域求解方法[J/OL]. 中国电机工程学报: 1-13[2023-10-07]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.2107.TM.20230608.1559.014.html>.

XU Zekai, HE Jinghan, LIU Zhao, *et al.* Solution method of virtual power plant dynamic feasible region based on decoupling of coupling constraints[J/OL]. Proceedings of the CSEE: 1-13[2023-10-07]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.2107.TM.20230608.1559.014.html>.

作者简介:

宋天琦(1990—), 女, 硕士, 工程师, 从事虚拟电厂技术、可再生能源富余电力电解水制氢技术等研究, E-mail: songtianqi@epri.sgcc.com.cn;

吕志鹏(1984—), 男, 博士, 高级工程师(教授级), 从事分布式能源并网、能源互联网等研究, E-mail: lvzp@epri.sgcc.com.cn。

(责任编辑 李博)

Research and Thinking on the Aggregation and Dispatching Control Framework of Virtual Power Plant's Large Scale Flexible Resources

SONG Tianqi, LV Zhipeng, SONG Zhenhao, MA Yunting, ZHANG Zhihui, ZHOU Shan, LI Hao
(State Grid Shanghai Energy Internet Research Institute, Shanghai 200120, China)

Abstract: In the background of the "cloud-edge collaboration + Internet of Things", in order to provide a comprehensive resource structure basis and a systematic regulation framework for dynamic performance quantitative analysis of virtual power plant (VPP), this paper conducts a comprehensive survey and systematic analysis of the existing and potential VPP's large-scale flexible resources, and makes a study on the grid access system and grid controllability of the resources. On this basis, a comprehensive systematic aggregation and regulation framework of VPP large-scale flexible resources is constructed, which integrates three paths and adapts to multiple scenarios and conditions. Based on the proposed framework, the reference principles are given for the research on the "Cloud-edge collaboration + Internet of Things" architecture of the VPP dynamic performance quantitative analysis and evaluation system, and the research directions of relevant VPP mechanisms are also discussed.

This work is supported by the National Key R&D Program of China (Aggregation Interaction Regulation Key Technologies of Virtual Power Plant with Enormous Flexible Distributed Energy Resources, No.2021YFB2401200).

Keywords: virtual power plant; large scale flexible resources; aggregation and regulation; grid controllability; framework