

考虑虚拟电厂动态组合的售电公司调度决策

孟祥东¹ 张燕驰² 王海波³ 罗艳雄⁴ 胡超航⁵

- 1.大唐国际发电股份有限公司 北京 100000
- 2.大唐河北能源营销有限公司 河北石家庄 050000
- 3.大唐国际发电股份有限公司 北京 100000
- 4.大唐河北能源营销有限公司 河北石家庄 050000
- 5.河北大唐国际张家口热电有限责任公司 河北张家口 075000

摘要:售电公司是通过中长期合同进行电力买卖交易以获取利益的市场主体,在具体的经营实践中,需求侧资源整合能力的不足、实时市场电价的不确定性、用户用电负荷波动均会对售电公司的运营带来比较严重的风险,为了增强售电公司的经营灵活性,需要引进全新的理论参与其调度决策。本文通过对相关文献进行查阅,引进了虚拟电厂(virtual power plant, VPP)的聚合管理方式,构建了VPP参与的售电公司运营体系,并进一步基于主从博弈理论建立了售电公司、VPP优化决策模型。希望本文的研究内容能够为当前时代背景下售电公司调度决策的优化提供一定的理论指导。

关键词:虚拟电厂;动态组合;售电公司;调度决策;主从博弈

Scheduling decision of power selling companies considering dynamic combination of virtual power plants

Xiangdong Meng¹, Yanchi Zhang², Haibo Wang³, Yanxiong Luo⁴, Chaohang Hu⁵

1. Datang International Power Generation Co., Ltd. Beijing 100000
2. Datang Hebei Energy Marketing Co., LTD. Shijiazhuang City, Hebei Province 050000
3. Datang International Power Generation Co., Ltd. Beijing 100000
4. Datang Hebei Energy Marketing Co., LTD., Shijiazhuang 050000
5. Hebei Datang International Zhangjiakou Thermal Power Co., LTD., Zhangjiakou City, Hebei Province, 075000

Abstract: The Power Sale Company is the market main body which obtains the benefit through the medium and long-term contract to carry on the electric power sale transaction, in the concrete management practice, the shortage of demand-side

作者简介:

- 1.孟祥东(1969-),男,汉,内蒙古赤峰,硕士学位,哈尔滨工业大学,正高级工程师,研究方向:技术经济与管理,单位:大唐国际发电股份有限公司;
- 2.张燕驰(1969-),男,汉,河北石家庄,硕士学位,华北电力大学,高级工程师,研究方向:电力营销,单位:大唐河北能源营销有限公司;
- 3.王海波(1982-),男,汉,吉林省吉林市,本科学历,东北电力大学,高级工程师,研究方向:电力营销,单位:大唐国际发电股份有限公司;
- 4.罗艳雄,(1973-),男,汉,河北石家庄,本科学历,北京化工大学,中级经济师,研究方向:电力营销,单位:大唐河北能源营销有限公司;
- 5.胡超航(1986-),男,汉,陕西咸阳,本科学历,西安交通大学,高级技师(工程师),研究方向:火力发电厂生产运行,单位:河北大唐国际张家口热电有限责任公司。

resource integration ability, the uncertainty of real-time market price and the fluctuation of user load will bring serious risks to the operation of the power sales company, it is necessary to introduce a new theory to participate in its scheduling decision-making. Based on the literature review, this paper introduces virtual power plant (VPP) aggregation management method, and constructs the operation system of VPP participating power sale company, furthermore, based on the principal-subordinate Game Theory, the optimal decision-making model of power distribution company and VPP is established. It is hoped that the research content of this paper can provide some theoretical guidance for the optimization of dispatching decision-making of power sales companies under the current era background.

Keywords: Virtual Power Plant; dynamic combination; Power Sales Company; dispatching decision; master-slave game

前言:

随着中国新一轮电改政策的逐步推进以及售电侧市场的全面开放,当前我国售电公司在电力市场上的职能属性发生了较为明显的转变。在传统的电力经营实践中,售电公司主要是通过电能交易中心、用户之间赚取差价的方式来获取利润。但是,售电公司需要面临电力市场电价波动、用户需求电量变化等不确定因素的影响,具备较强的经营风险。需要相关技术人员对其进行解决。

1. 研究背景与意义

近年来,中国进行了新一轮的电力政策改革,并全面开放了售电侧市场,这就导致传统的售电公司职能出现了转变,在迅速发展的售电公司中,电价具备较强的波动性,用户侧可控负荷具备较强的不确定性,间歇性能源也存在一定的不确定性,这些因素都可能对售电公司的正常运行,即保持实时市场电量平衡造成比较严重的威胁。

虚拟电厂(VPP)的高速发展为售电公司规模化发展DER、DL提供了全新的方式,其中,VPP可以通过虚拟控制中心将DL、可平移负荷、储能系统、可控DG等多种DER聚合成为一个有机整体,并运用更加高等级的协调通信技术实现对虚拟电厂资源的统一调度,在售电公司进行电力供应的过程中,能够为客户提供更加稳定的功能,提高生产经营效率,进而强化相关单位的经济效益^[1]。因此,相关单位必须及时建立全新的运营模式以及精细化调控模型来提升售电公司的控制能力,最终提升经济效益。

2. 考虑VPP参与的售电公司运营模式

2.1 售电公司用户侧需求响应

需求响应是需求侧管理的重要手段,在本文中的根本概念为,市场用户在受到来自某些手段的影响时,主动改变自身的用电行为。其影响因素有很多,主要包括市场激励、法律政策、经济手段、电价等内容^[2]。

在本文中,售电公司用户侧可以基于市场给予的电价信号,对自身的能源使用计划进行深入调整,进而改

善系统本身的负荷曲线。基于经济学原理以及往常的需求响应关系,电力弹性系数表达式为:

$$\eta = \frac{\Delta q}{\Delta p} \times \frac{p}{q}$$

在上式中, η 表示电力弹性系数。 p 表示电价, q 表示用电需求。 Δp 表示电价的相对增量。 Δq 表示用电量的相对增量。

根据进一步推断可知需求侧响应后总电量:

$$q_z = q_n + \Delta q_n = [q_1 \dots q_n] + [q_1 \dots q_n] E_e \begin{bmatrix} \Delta p_1 & \dots & \Delta p_n \\ \Delta p_1 & \dots & \Delta p_n \end{bmatrix}^T$$

在上式中, q_z 表示需求侧响应后的负荷需求电量, q_n 表示需求侧响应前的负荷需求电量, E_e 表示电量电价弹性矩阵。

2.2 含VPP的售电公司运营体系

在我国当前的电力市场交易体系背景下,售电公司必将成为市场改革的核心主体,本文结合了中国当前售电市场的发展情况,对含VPP的售电公司运营体系进行了分析。

2.3 VPP调度模式

本节首先对VPP的结构进行简要阐述,具体内容如下:(1)发电系统。这是VPP的主要结构,其内容主要包括分布式电源、微型燃气轮机等,此类发电系统具备相互独立的性质,在售电公司电力盈余、不足等情况下根据需求供应电能,能够有效提升相关单位的经济效益。(2)能量存储系统。主要包括常规储能、特殊储能,在实践中,能量存储系统能够对DG波动性等具备不确定性的来源做出反应,适时、适当调整负荷需求变化,能够有效提升能源应用效率。(3)通信系统。其作用在于协调VPP内部各方数据,并进行信息通信,同时也能强化售电公司对于VPP系统的掌控能力^[3]。

VPP内部的可调单元数量相对较多,因此,采取直接调度模式非常容易出现不易求解的现象,本文结合了主从博弈理论,先由售电公司与VPP制定决策方案,再由VPP根据调度计划进行优化调度。

3. 考虑虚拟电厂动态组合的售电公司调度决策模型

3.1 主从博弈理论

博弈的基本概念为，两个、两个以上主体基于自身掌握的信息，按照既定规则轮流重复制定使自身利益达到最大化的决策，最终达到相对均衡结果。其基本内容包括博弈参与者、博弈信息、策略集、收益/支付函数、博弈结果等^[4]。

3.2 售电公司优化决策模型

本节首先对售电公司的目标函数进行探究。其收益目标函数为：

$$\max F_{er} = \Delta T \sum_{t=1}^T [E_t^{\text{load}} - E_t^{\text{day}} - E_t^{\text{real}} - E_t^{\text{VPP}}]$$

在上式中， ΔT 表示电力销售时段间隔， T 表示一天总时段。

E_t^{load} 表示售电公司的收入，可以用 $E_t^{\text{load}} = C_t^s P_t^l$ 进行表示。其中， C_t^s 表示售电公司在第 t 个时段的售价， P_t^l 表示在第 t 个时段的负荷。

E_t^{day} 表示售电公司的购电成本，可以用 $E_t^{\text{day}} = C_t^d \times \eta P_t^l$ 来表示。其中， C_t^d 表示市场当日电价， η 表示单位的实际购电率^[5]。

E_t^{real} 表示交易电量费用，可以用 $E_t^{\text{real}} = C_t^r \times P_t^r$ 来表示。其中 C_t^r 表示 t 时段市场实时电价， P_t^r 表示 r 时段市场交易电量。

3.3 VPP优化调度模型

本节首先对目标函数进行探究，目标函数为：

$$\min f_{VPP, n} = \Delta T \sum_{t=1}^T [\lambda^+ f(\Delta P_{n, t}^{\text{VPP}}) + \lambda^- f(-\Delta P_{n, t}^{\text{VPP}}) + \lambda_1 P_{n, t}^{\text{MT}} + \lambda_2 |P_{n, t}^{\text{ESS}}| + \lambda_3 \theta_n^t P_{n, t}^{\text{IL}} + \lambda_4 |P_{n, t}^{\text{SL}}| + \lambda_5 |P_{n, t}^{\text{TL}}|]$$

在上式中， $f_{VPP, n}$ 表示 n 个总调用成本， λ^+ 表示上调惩罚系数， λ^- 表示下调惩罚系数， λ_1 表示微型燃气轮机的成本系数， $P_{n, t}^{\text{MT}}$ 表示 t 时段第 n 个VPP的微型燃气轮机输出功率， λ_2 表示储能系统充放电成本系数， $P_{n, t}^{\text{ESS}}$ 表示 t 时段第 n 个VPP储能系统的重放功率， λ_3 表示可中断负荷调用成本系数， θ_n^t 表示 t 时段第 n 个VPP可充电负荷的调用状态， $P_{n, t}^{\text{IL}}$ 表示 t 时段第 n 个VPP可中断负荷的削减量， λ_4 表示平移成本系数， $P_{n, t}^{\text{SL}}$ 表示 t 时段第 n 个VPP负荷平移功率， λ_5 表示负荷转移成本系数， $P_{n, t}^{\text{TL}}$ 表示 t 时段第 n 个VPP的负荷转移功率^[6]。

3.4 售电公司与VPP主从博弈及模型求解

根据上文中的内容可知，售电公司与VPP的主从博弈模型可以表述为 $G = \{N, S, u\}$ 。其中， N 表示参与者， S 表示策略， u 表示收益/支付。

在本文中，售电公司的策略集为 $S_1 = \{P_{t, t}^l, P_t^r, P_t^{\text{VPP}}\}$ ，收益/支付为 $u_1 = \max F_{er}$ 。

VPP的策略集为 $S_2 = \{P_t^{\text{MT}}, P_t^{\text{ESS}}, \theta_n^t, P_t^l, P_t^{\text{SL}}, P_t^{\text{TL}}\}$ ，收益/支付为 $u_2 = \min F_{VPP}$ 。

具体的模型求解主要分为以下几个步骤：（1）获取相关数据。主要包括售电价、市场价、平移成本系数等。（2）根据售电公司需求侧负荷、电价弹性矩阵进行用户需求侧响应。（3）选择初值（ x_0, y_0 ）。（4）以售电公司收益最高为目标进行决策。（5）将VPP调度计划进行传递。（6）以VPP调用成本最低为优化目标进行决策。（7）判断优化结构是否具备一致性，直到两轮结果相同。（8）输出优化方案^[7]。

3.5 算例分析

为了确定本文的研究内容能够满足实际需求，引进了实际工作中的某个售电公司的数据进行计算，并完成了优化结果分析^[8]。

在无VPP参与优化的情况下，售电公司运营收益为27161.22元，仅考虑VPP1参与，运营收益为27998.11元，VPP1、2同时参与运营，其总收益为28134.56元。

在直接调度模型背景下，VPP1、2的运营成本分别为1234.28、831.23元，在主从博弈优化模型背景下，VPP1、2的运营成本分别为1121.23/701.23元。

由此可见，本文所提出的优化模型确实能够提升售电公司的经营效益。

4. 结论

纵观全文，在当前时代背景下，我国售电公司的发展迎来了新的挑战，本文通过对相关文献、资料进行查阅，在综合多种理论的基础上，提出了一种考虑虚拟电厂动态组合的售电公司调度决策模型，进而实现对VPP内各DER、DL的优化管理。通过最后的算例验证可知，VPP技术参与售电公司调度决策具备以下几点主要优势：（1）售电公司能够真正实现DER、DL市场的有效运用，保护各VPP的运行隐私。（2）售电公司能够通过VPP切实提升其运营的优越性，进而降低售电公司在实时电价高峰期的购电成本，最终有效提升售电公司基础业务的经营效益空间。（3）具备良好的求解效率。

本文的研究内容虽然具备一定的成果，但是从根本上讲，还是存在不少的缺陷，如没有充分考量市场电价的不确定性等，希望相关专家学者可以在本文的基础上真正实现提升售电公司调度决策质量。

参考文献：

[1]张枫.水电富集电力系统省间中长期购售电策略

优化模型研究[D].华北电力大学(北京),2021.

[2]李逸鸿.考虑虚拟电厂的售电公司最优决策和优化调度研究[D].三峡大学,2021.

[3]张涛,李逸鸿,郭玥彤,鄢仁武,刘景.考虑虚拟电厂调度方式的售电公司多时间尺度滚动优化[J].电力系统保护与控制,2021,49(11):79-87.

[4]封钰,刘存,黄弦超.基于动态分时电价的含可平移负荷的微网优化调度[J].华北电力大学学报(自然科学版),2021,48(02):30-39.

[5]窦迅,王俊,叶飞,邵平,顾伟.考虑虚拟电厂组合策略的售电公司优化调度及购售电决策[J].电网技

术,2020,44(06):2078-2086.

[6]张涛,王成,王凌云,王娅镭,雷水平.偏差电量考核机制下含DG的售电公司多目标优化调度模型[J].电工技术学报,2019,34(15):3265-3274.

[7]张涛,王成,王凌云,张东方,章佳莹.考虑虚拟电厂参与的售电公司双层优化调度模型[J].电网技术,2019,43(03):952-961.

[8]顾伟,任佳依,高君,高菲,宋晓辉,刘海波.含分布式电源和可调负荷的售电公司优化调度模型[J].电力系统自动化,2017,41(14):37-44.