

增量配电网多源协同优化运行探讨

Exploration of Multi Source Collaborative Optimization Operation in Incremental Distribution Network

张伟 丁小燕

Wei Zhang Xiaoyan Ding

郑州航空港兴港电力有限公司 中国·河南 郑州 450000

Zhengzhou Airport Xinggang Power Co., Ltd., Zhengzhou, Henan, 450000, China

摘要: 增量配电网构建目标是一种新型网络结构, 包含了储能、能量转换装置、分布式电源、监控、保护装置等组成的发配电系统。在各种约束条件下, 利用 Python 中线性规划库软件对配电网系统中各类分布式电源进行建模求解, 得到配电网系统中各分布式电源的合理出力, 以最低的成本和最高的效益来满足电力供需平衡。另外, 通过算例分析验证了增量配电网运行的经济性。

Abstract: The goal of constructing an incremental distribution network is a new network structure that includes a generation and distribution system composed of energy storage, energy conversion devices, distributed power sources, monitoring, protection devices, etc. Under various constraints, the linear programming library software in Python is used to model and solve various distributed power sources in the distribution network system, and the reasonable output of each distributed power source in the distribution network system is obtained to meet the balance of power supply and demand with the lowest cost and highest efficiency. In addition, the economic performance of the distribution network operation in this paper is verified through numerical analysis.

关键词: 分布式; 协同运行; 经济

Keywords: distributed; collaborative operating; economy

DOI: 10.12346/peti.v5i4.8844

1 引言

新一轮电力体制改革大力推进了配电领域的变革, 大量社会资本进入配电网领域形成增量配电网公司, 这类公司负责经营许可区域内配电网相关供电业务, 提供保底供电服务。在增量配电网区域内, 分布式电源以其经济灵活、可靠高效得到了广泛的发展和应用, 形成了以大电网为依托, 风能、太阳能、微型燃气轮机以及储能装置等发电单元组成的自发自用型微型系统, 随着多样式、多数量分布式电源的入网, 在保障电网安全稳定运行的原则下, 不同类型电源之间如何配合, 如何最大程度实现经济最优化, 成为当前亟须考虑的问题。论文重点通过利用数学规划、遗传算法、神经网络等方法对建立模型, 并对其进行优化求解, 对配电网中各项分布式电源的优化控制, 以实现电力系统的最优调度。

2 分布式电源基本情况

分布式发电按照能源是否可再生, 分为可再生能源和不可再生能源, 其中可再生能源主要有光伏、风能、生物质能等, 不可再生能源通常为小型燃气电厂居多, 分布式电源通常位于负荷侧, 就近获取能源, 就近消纳, 不进行远距离功率传输, 发电功率从几十千瓦到几十兆瓦不等, 随着自动化发展, 分布式电源逐步形成由先进信息技术控制的小型化、分散式发电模块。分布式电源使得能源能够就地消纳, 减少了输变电运行成本和设备损耗。优点还包括在大电网发生跳闸或故障时, 部分分布式电源可以维持重要负荷的不间断供电, 同时有助于上级电网黑启动, 在可再生能源利用方面, 与大电网形成有效互补, 减少大电网的备用容量; 分布式电源在增量配电网中能都得到充分的发展和融合, 实现多能供

【作者简介】张伟 (1988-), 男, 硕士, 工程师, 从事电网调度运行研究。

给的高可靠供电，是主动配电网的一种实现方式，是传统配电网向智慧配电网转型的基础。

分布式发电目前存在的缺点包括：分布式电源的盲目入网将导致电网供电的可靠性下降，电网稳定性也受到影响，电能质量无法得到保障；同时，分布式发电改变了原有电网的潮流方向，光伏、风能等可再生能源出力具有流动性和间歇性，使得电网的调度运行变得复杂。当大电网发生故障时，分布式发电必须马上退出运行，分布式发电设备多为电力电子设备，减少了电网阻尼，易使得电网发生失步。

3 配电网优化调度策略

3.1 配电网优化运行原则

以配电网为研究对象，建立多源接入后不同时间段内配电网最优运行的调度方案，该方案主要针对目前最优经济调度开展。推导出各类分布式电源运行成本函数，在各种运行情况下将多种电源运行成本进行归算；边界条件包括自发自用情况、电网峰谷电价、储能运行维护成本、光伏 MPPT、大电网购电等，根据日前光伏与负荷预测，以总运行成本为目标函数进行出力优化分配，解决混合整数非线性规划问题^[1]。

日前经济优化调度仅作为次日运行电网依据，当日实际运行情况由调度员以日前计划为依据，以电网安全为底线，以经济效益为指导，按照日前计划编制原则，进行实时调整。

在增量配电网中光伏发电、风力发电等可再生能源易受光照、风速、温度的影响具有随机性和波动性，经常会造成电压和频率的波动。在增量配电网中配置储能装置起到了填谷削峰的作用，可以提高配电网的安全性、灵活性和可靠性。但是储能装置往往是由第三方投资建设，因其更重视经济效益，单纯为了负荷平衡，会造成储能经济效益受损，如何平衡储能的作用，也是增量配电网在多源运行中的难点。

3.2 配电网优化运行模型

论文提出了一种配电网日前优化调度方法。该方法包括：分析光伏预测出力以及负荷预测、峰谷价差及各类电源成本价格、建立配电网日前优化模型、确定配电网调度策略^[2]。核心模型为整数非线性规划，本方案旨在增强配电网运行的经济性。

所述配电网日前优化模型包括：供电成本优化模型、风光配合供电优化模型以及约束条件。

目标函数：

$$\min W = W_C + W_N + W_S$$

其中：

$$W_N = \sum_{i=1}^{96} c^i$$

$$W_S = \sum_{i=1}^{96} \omega_S \times p_S^i$$

$$W_C = \sum_{i=1}^{96} P_{cha,i} X_i \times \omega_{c,i} - \sum_{i=1}^{96} P_{dis,i} Y_i \times \omega_{c,i}$$

电网约束条件包括：

$$0 \leq p_f^i \leq b^i \times C$$

$$0 \leq p_t^i \leq (1-b^i) \times C$$

$$c^i = p_f^i \times u_1 \times dt - p_t^i \times u_2 \times dt$$

$$p^i = p_f^i - p_t^i$$

储能约束条件包括：

$$S_{\min} \leq S_t \leq S_{\max}$$

$$S_t = S_0 + \frac{\sum_{i=1}^T P_{cha,i} X_i \Delta t - \sum_{i=1}^T P_{dis,i} Y_i \Delta t}{E_b}$$

$$X_t \times Y_t = 0$$

$$\begin{cases} 0 \leq P_{cha,t} \leq 0.2 E_b X_t \\ 0 \leq P_{dis,t} \leq 0.2 E_b Y_t \end{cases}$$

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^T |X_{i+1} - X_i| \leq N_1 \\ \sum_{i=1}^T |Y_{i+1} - Y_i| \leq N_2 \end{cases}$$

$$S_0 = S_T$$

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^T |X_{i+1} - X_i| \leq N_1 \\ \sum_{i=1}^T |Y_{i+1} - Y_i| \leq N_2 \\ \sum t^i \leq N_c \end{cases}$$

式中： $p_f^i \geq 0$ 表示 i 时刻从电网买电；

$p_t^i \geq 0$ 表示 i 时刻向电网卖电；

$b^i = \{0,1\}$ 1 表示从电网买电，0 表示向电网卖电；

C 表示电网交换功率限制值；

p^i 表示电网 i 时刻实际出力；

c^i 表示电网 i 时刻用电成本；

dt 表示时间步长；

u_1 、 u_2 表示该时刻单位买电成本和卖电收益（元/kwh）；

S_0 表示储能的初始 SOC 状态；

$P_{cha,t}$ 、 $P_{dis,t}$ 表示储能在第 t 个时刻的充电和放电功率；

$X_t = \{0,1\}$ 、 $Y_t = \{0,1\}$ 表示储能的充电状态和放电状态；

T 表示时段总数；

Δt 表示单位时间间隔；

E_b 表示电池容量；

S_{\min} 、 S_t 、 S_{\max} 分别表示储能 t 时段的 SOC 状态及其上、下限制；

N_1 、 N_2 分别表示储能充电和放电次数限制值

$b = \{b^1, b^2, \dots, b^n\}$ 表示充放电状态序列；

$t^i = |b^{i+1} - b^i|$ 、 $i = 1, 2, \dots, n-1$ 表示充放电变化次数；

W 表示全天总费用；

W_c 表示储能购电费用；

W_N 表示大电网购电费用；

W_S 表示光伏购电费用；

ω_S 表示光伏购电单价；

ω_N 表示电网购电单价;

$\omega_{c,i}$ 表示第 i 时刻储能充放电单价;

p_s^i 表示 i 时刻光伏出力。

将充放电次数等式约束进行松弛变换后:

$$-t^i \leq b^{i+1} - b^i \leq t^i$$

上述模型较为复杂,是一种混合整数模型规划求解问题,通过最优化方法求解。

3.3 模型最优化求解

在数学上,求解一个离散非线性的、多阶段多目标的组合优化问题可分为数学优化方法和启发式方法两大类^[3],启发式方法又分为现代启发法和传统启发式方法。现代启发式方法是近年来最优化问题求解的新型优化方法,已成为优化问题的主流算法。

3.3.1 传统启发式算法

传统启发式算法通过某个参数的灵敏度,调整某个性能指标达到最优,按照某个原则,逐步进行迭代,直到在众多参数中再做最优解。利用传统启发法理论已经基本成熟,也通过了多种例证。

3.3.2 数学优化方法

数学优化方法是将优化问题提炼为运筹学中的模型,通过计算机相应软件来求解,从而获得满足各类约束的最优解。常用的数学优化方法包括线性规划、非线性规划、动态规划及整数规划等方法^[4]。为了提高该类方法的实用性,现有的发展趋势是将数学优化方法和启发式方法相互融合起来,各自发挥自身优势。数学优化方法考虑了模型中的状态变量和决策变量之间的相互关系,因此相较于启发式方法,数学优化方法更为严格。

3.3.3 现代启发式算法

现代启发式算法起源仿生学。主要是通过个体之间的协作和竞争,在空间中搜寻出来最优解,此类算法主要有蚁群算法、禁忌搜索法、遗传算法、模拟退火法、粒子群算法等等。该类算法具有并行处理、收敛速度快、鲁棒性好等特点,在面对组合优化和病态优化等问题时,表现出比经典优化算法更加强势的优点,近几年,大力应用在电力系统领域研究和实践中,显示出其在优化问题方面广阔的应用前景和优越性,文献 5 分别介绍了各类算法在最优解中的应用。但是现代启发式算法的发展历史尚短,在理论基础与应用推广上都还存在问题。从电网调度的特点来看,目前现代启发式算法比较适合求解此类优化问题^[5]。

4 实例分析

以某增量配电网某区域为例,该区域电网购电及储能充放电所参考的分时电价如表 1 所示。

表 1 电网峰谷分时电价

时段	电度电价 (元 /kW · h)
0:00—8:00	0.32
8:00—12:00	0.94
12:00—18:00	0.61
18:00—22:00	0.94
22:00—24:00	0.61

摘取某一日负荷预测和光伏出力预测,出力曲线如图 1 所示。

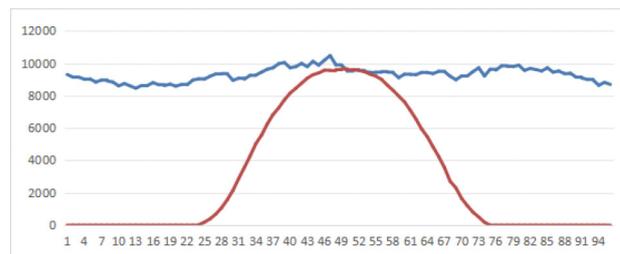


图 1 全网负荷及光伏出力预测

每隔 15min 共 96 个时间点的负荷、光伏、出力预测及分时电价数据已知,光伏购电成本 0.47 元 /kWh,平均售电价格 0.77 元 /kWh,配电网电量必须自行平衡,严禁向大电网进行反送电,储能容量 27.6MWh, SOC 初始值 0.2,运行范围 [0.2, 0.95],忽略储能损耗。本次可以采用 Python 软件中 CBC 求解器求解。

其中,各电源出力仿真图如图 2 所示。

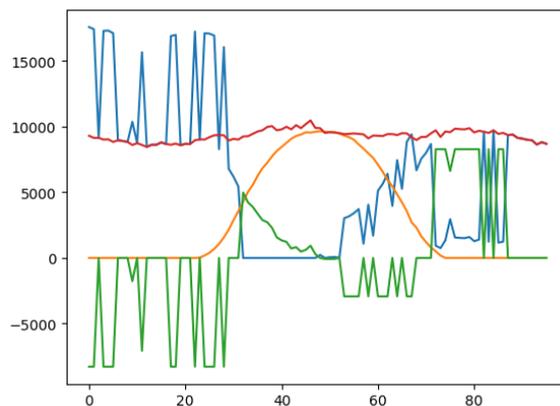


图 2 各电源出力仿真图

经测算,全天最大盈利 8.7 万元,平均购电单价 0.39 元 /kWh,各分布式电源出力情况为:优先购入光伏,储能设备谷充峰放,大电网主要购电时段在夜间,该模型可以用作实际应用中,指导次日增量配网优化调度问题。

5 结语

新一轮电力体制改革以来,随着增量配电网和分布式电

源的加速融合,对于分布式电源在配电网中应用研究得到深入发展。论文针对分布式电源出力随机性和配电网运行的分散性,通过建立多源协同的配电网优化调度方法,优化配电网运行经济性调度,并利用计算机编程进行了仿真计算。当配电网系统的工作模式处于并网方式运行时,配电网依靠分布式电源就地平衡模式实现购电费用最低,除了考虑系统中各分布式单元的出力配合,还应当计大电网严禁倒送的边界条件。该方法仍存在需要进一步改进地方,即储能充电不连续,实际运行中可以连续充电,需进一步优化算法。

参考文献

- [1] 孟晓丽,高君,盛万兴,等.含分布式电源的配电网日前两阶段优化调度模型[J].电网技术,2015,39(5):1294-1300.
- [2] 王敏,丁明.含分布式电源的配电系统规划[J].电力系统及其自动化学报,2004,16(6):5-8.
- [3] 程浩忠,张焰.电力网络规划的方法与应用[M].上海:上海科学技术出版社,2002.
- [4] 孙小玲,李端.整数规划新进展[C]//全国数学规划学术大会,2014.
- [5] 金义雄,程浩忠,严健勇,等.现代启发式算法及其在输电网络扩展规划中的应用[J].华东电力,2005(8):19-25.