

[能源调度]

面向分布式新能源消纳的配电网最大供电能力调度方法

文/肖海辉

广东电网有限责任公司云浮供电局

传统供电调度方法所需费用较高，导致配电网新能源消纳水平较差，现提出面向分布式新能源消纳的配电网最大供电能力调度方法。首先构建分布式发电的配电网供电能力调度模型，其次消纳配电网新能源负荷，最后优化配电网最大供电能力。实验结果证明了本方法的可行性。

我国的总用电量在不断增加。与此同时，随着煤炭、石油等不可再生能源的不断枯竭，大气环境质量的恶化，也引起了国家和有关能源部门的高度重视。传统的配电网自动化水平低下，调度能力落后，随着分布式能源的大规模接入和利用，其运行的安全性受到了显著影响。在无分布式电源的情况下，配电网络上的负载必须通过输电网络来实现。在配电系统中，由低电压侧接入的分布式电源，不仅使配电系统的供电方式发生了变化，而且还产生了一种双向输送的现象。

文献[1]使用有源配电网新能源消纳两阶段调度策略，在电动汽车方面进行了实验研究。该方法对电网进行了改造，提高了电网容量，扩大了电网结构，在此基础上对电网进行了改造。配电网规划中后期所采取的网络重组，实质上也是一种优先利用现有网络来消纳负荷的方法。因此，本文选择分布式新能源消纳方法进行配电网最大供电能力调度操作。

面向分布式新能源消纳的配电网最大供电能力调度方法

1. 构建分布式发电的配电网供电能力调度模型

随着环境污染的加剧和新能源技术的快速发

展，以风能和太阳能为代表的新能源在配电系统中所占的比重越来越大。分布式新能源在高比例接入配电系统时，其自身所具有的不确定性和波动性对电网安全、稳定运行提出了巨大的挑战。

构建新能源波动及相关配电网调度模型时，必须考虑城市的配电网络可以利用与主网直接连接的节点来与主网实现电力的交换，并且由于可以将城市配电网的分布式计算中电源装机容量设定为远小于负荷总量，所以不存在配电网将电力送回主网的情况。设定配电网中含有 q_e 个节点， n_e 个支路， a 节点为平衡节点， b 节点至 $a+n_{kl}$ 节点中间为 kl 节点，剩余其他节点为 km 节点，以节点功率为基础确定电网运行状态，其计算公式为

$$g_{i,\beta}^{\text{load}} = w_{i,\beta} \sum_{j \in i} w_{j,\beta} \left[s_{ij} \cos(\delta_{ij,\beta}) + v_{ij} \sin(\delta_{ij,\beta}) \right] \quad (1)$$

式中， $g_{i,\beta}^{\text{load}}$ 为周期负载的有功电力； $w_{i,\beta}$ 为周期负载的无功电力； $w_{j,\beta}$ 、 $\delta_{ij,\beta}$ 为结点电压的振幅。其中， v_{ij} 、 s_{ij} 是两个节点之间导纳值的实部、虚部； $\delta_{ij,\beta}$ 是节点 i 、 j 的角度差值。

通常情况下，配电网可以分为辐射型、网格型和环形型。目前，我国的配电网普遍采用闭环设计，开环运行，并呈现出辐射型的特点。随着电源流向的变化，电源电压呈递减趋势。在分布式电源

接入配电网后，配电网中有功功率和无功功率的大小以及方向会发生变化，配电网变成多电源系统，并不一定可以维持严格的辐射状结构。

在含有分布式新能源发电的配电网络中，如何将分布式新能源转换为等价的负载，是实现配电网中供电能力调度网络潮流计算的关键。牛顿-拉夫逊方法的本质是连续线性化，即把这两个方程用泰勒级数展开，去掉两个或更多的高阶项，再进行求解。该方法的关键在于对迭代方程进行重复构造和求解，并给出了相应的迭代格式，其表达式为

$$\begin{cases} f(x^{(k)}) = c^{(k)} \Delta x^{(k)} \\ x^{(k+1)} = x^{(k)} + \Delta x^{(k)} \end{cases} \quad (2)$$

式中， x 和 Δx 是 n 维态列矢量和它们的修正，其中由 n 个修改函数组成的 n 维列向量； c 是其第 i 行第 j 列的Jacobian矩阵，用第 i 个函数对第 j 个变量进行偏微分来代表； k 是迭代数。

目前，以燃气涡轮、内燃发动机为代表的分布式发电系统，多采用同步发电机。在光伏系统中，采用同步发电机和采用电压控制的逆变器并网的分布式电源都可以看作光伏节点。在潮流计算时，如果有节点的无功过界，就把它转化成相应的 kl 节点。当 kl 节点的电压越界时，再将该节点变换到对应的 km 节点。将配电网与新能源耦合在一起，是实现配电网最大供电能力调度优化的关键。

2. 消纳配电网新能源负荷

负荷消纳是配电网规划的一项重要工作，它的最终目标是确保整个配电网范围内的所有负荷都能安全可靠地供电。针对日益增长的电力系统，本文提出新能源消纳策略。首先利用现有的配电网的供电能力消纳新能源负荷增长。然后在配电网中出现电力资源短缺的情况下，通过增加分布式新能源容量来增强供电能力。这一策略特别适用于已经成熟的城市电力配电网系统。而按照现状分析、负荷预测和变电站及网络规划步骤的传统规划方法，在过去的几十年中，在配电网的负荷消纳中起到了很大的作用。该方案先考虑新增的变电所，然后再进行线网规划，特别适合于负荷迅速增长的场合。在增加负荷的过程中，可按要求提高全部或部分节点的载荷量，使整个节点或部分节点的载荷量按需提高。

配电网分布式新能源负荷消纳的基本流程如图1

所示。

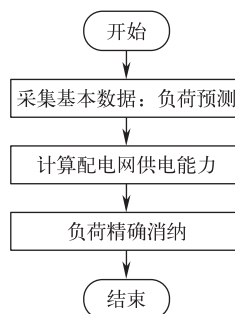


图1 负荷消纳规划流程

当新能源产生的新负荷与原有的变电所距离太远，形成了一个供电盲区时，就必须建立新的变电所。在一些现有的变电所中，由于负荷过大，仅靠增设新的馈线或新的联络方式不能满足要求时，也必须增设新的变电所。随着电力系统的发展，电力系统的总负荷已经远远超出目前配电网的阈值，无法由目前的电力系统完全消化。但是通过加固网格的开挖可以使阈值的承载超过总的承载能力。在这种情况下，可以采用馈线计划方法，在不符合要求的情况下，再采用负载重新分配方法。

3. 优化配电网最大供电能力

分布式新能源消纳的配电网能够实现接入到其上的分布式能源的主动控制与主动管理。传统配电网不具备对接入的分布式电源进行调控的能力，除了把大电网的所购电能配送给用户之外，对配电网侧接入的分布式电源并不存在发电竞争。但是在分布式新能源消纳配电网中，通过对有源配电网的协调控制，可以使分布式能源为可控机组参与供电、配电和用电各环节的优化运行，既可以在技术上实现多源双向供电，又可以在经济上解决大电网和可控分布式能源之间的矛盾。

当分布式新能源消纳配电网中的负荷按某种规律持续成长时，将导致分布式新能源消纳配电网的运行偏离其经济运行点，接近其极限工作状态。若为了获取最大的供电能力，将所接入的各种分布式电源都置于最大输出状态，虽然可以获得最大的供电能力，但是却偏离了最优运行点，影响了其运行的经济效益。以新能源消纳为研究对象，基于新能源发电特性和历史数据，通过数据驱动，构造新能源发电不确定性集合，并在新能源发电最弱情形下，建立高层调度模型。在此基础上，针对配电网

中各类分布式能源的发电费用，建立了使配电网运行费用最小的低层调度模型。分布式新能源消纳的配电网最大供电能力的调度框架图如图2所示。

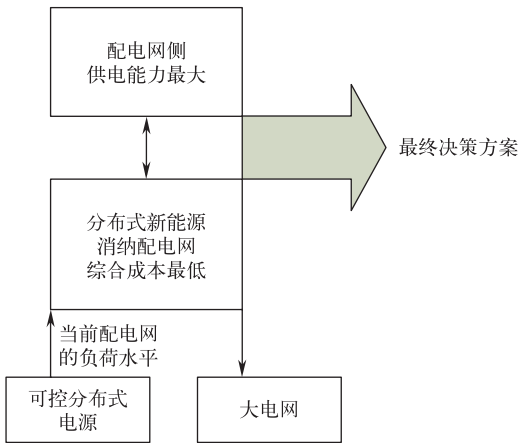


图2 配电网最大供电能力的调度框架

在负荷增长期间，将根据供电能力调度的原理，对多个受控分布式能源进行调度。在每个工作点处，以受控分布式能源的生产成本为基础，实现了受控分布式能源的最大供电能力。综合考虑供电能力调度因素，得出分布式新能源消纳配电网最大供电能力调度优化方法。

实验测试与分析

为了证实上述给出的基于分布式新能源消纳的配电网中最大用电能力调节方式的有效性，现开展了实验测试，比较本文方法与传统方式中1、2的最大调节有效性。为验证本文方法的正确性，本章将本文方法运用实验测试中，并对其能否满足规定的调度标准，能否取得良好的供电效果进行检验。在实验测试之前，需要做一些准备工作，保证本次实验的准确性。

1. 实验准备

实验以含风电、光伏和柴油发电机组等多个分布式电源的有源配电网为例，对其进行了模拟测试。在本次实验中，将节点18与光伏发电系统相连接，使其照明强度满足贝塔分布，在节点23上建立了风电场。节点15与20连接到柴油发生器上。节点38对燃气轮机进行访问。每一个计算机限制的可信度被设定为0.89。在粒子群算法中，学习因子 a_1 取3， a_2 取4，种群规模为50， q_1 和 q_2 是1~2之间的随机数，最大迭代次数为2 500，惯性权重初始值为

0.85。此次实验所选用的分布式电源的装机容量数据见表1。

表1 分布式电源装机容量

序号	连接节点	类型	安装容量/kW	调度模式
1	A7	风力发电	300	不可调度
2	A14	柴油发电机	660	可调度
3	A25	风力发电机	300	不可调度
4	A26	燃气轮机	650	可调度
5	A30	光伏发电	200	不可调度
6	A32	柴油发电机	300	可调度

将节点18与光伏系统相连，并对其功率预测，得到163.41 kW的功率；在节点5与26上的风电系统中，其风电系统的有功输出分别为254.36 kW、281.41 kW。其中，节点15与柴油发电机相连，节点20与小型燃气透平相连，节点38与燃料电池相连，各节点均有一定的无功调节能力。实验中分布式电源提供的部分有功功率，通过向上级电网购电来提供，降低有源配电网的总发电成本，在保证有源配电网安全运行的前提下，提高经济性。在保障安全、兼顾经济调度的前提下，可以节省投资，具有较大的经济效益，与分布式新能源消纳的配电网的实际运行相适应。

2. 实验结果与分析

根据上述实验准备，进行实验测试，将三种方法分别代入实验测试中，测试三种方法在相同配电网中的最大供电能力。

表2 实验结果

配电网节点	面向分布式新能源消纳的配电网最大供电能力调度方法的最大供电能力/kW	方法1的最大供电能力/kW	方法2的最大供电能力/kW
50	1 203.47	523.41	652.3
200	4 436.36	693.48	1 556.5
250	4 526.44	1 955.63	2 322
500	8 453.45	3 952.47	4 523.74
750	8 596.74	4 536.1	4 023
1 000	9 556.47	3 694	5 591.37

由上述实验结果可以清楚地看出，随着配电网中节点的增加，其负荷也在随之增加，供电能力也会随之提升。使用本文提出的面向分布式新能源消纳的配电网最大供电能力调度方法检测的最大供电能力要远远超过其余两种方法，相较于本文方法的最大供电能力，方法1少了5 862.47 kW，方法2少

了3 965.1kW，证明了本文方法的可行性，对相关电力研究方法有一定的参考价值。

结束语

总之，现有的供电能力方法一般都是通过统计的指标，对供电能力进行定性的估算，其结果可以为配电网的规划和升级改造起到一定的指导作用，但是并不能为调度人员提供决策依据。同时，含新能源的配电网中包含了大量的发电装置，这些装置对配电网的输能过程呈现出强烈的波动性和间歇性。因此，本文使用面向分布式新能源消纳的配电网最大供电能力调度方法，提出兼顾供电功能与安全保障的运行方法。EA

(收稿日期：2023-09-11)

参考文献

[1] 李清涛，卢钺，刘洋，等. 计及电动汽车的有源配电网新能源消纳两阶段调度策略[J]. 热力发电，2022，51(9)：54-62.

[2] 程维杰，颜云松，康明才，等. 考虑分布式电源影响的配电网源荷储分层协调控制[J]. 电力工程技术，2020，39(05)：113-119.

[3] 章博，刘晟源，林振智，等. 高比例新能源下考

虑需求侧响应和智能软开关的配电网重构[J]. 电力系统自动化，2021，45(8)：86-94.

[4] 罗金满，刘丽媛，刘飘，等. 考虑源网荷储协调的主动配电网优化调度方法研究[J]. 电力系统保护与控制，2022，50(1)：167-173.

[5] 白浩，袁智勇，周长城，等. 计及新能源波动与相关性的配电网最大供电能力调度方法[J]. 电力系统保护与控制，2021，49(8)：66-73.

[6] 黄牧涛，陈兴邦，高素花，等. 省级电网最大供电能力优化调度研究[J]. 水电能源科学，2023，41(5)：216-220.

[7] 陈建钿，王超，林桂辉，等. 基于多运行场景的主动配电网态势感知及优化调度[J]. 电子设计工程，2023，31(1)：116-119.

[8] 王愚，李佩，李江伟，等. FTTB场景下基于强化学习的智慧供电决策方法[J]. 信息技术，2022(10)：147-152.

[9] 周玮，孙恺，孙辉，等. 基于机会约束规划的主动配电网最大供电能力双层优化[J]. 电力系统保护与控制，2018，46(4)：70-77.

[10] 俞屹，张宏熙，王绍勇，等. 基于网络资源共享的地铁供电能力提升方法研究[J]. 实验技术与管理，2023，40(7)：134-141.

