

微电网经济运行中的典型时序场景分析方法

丁 明,解蛟龙,潘 浩,楚明娟

(合肥工业大学 安徽省新能源利用与节能实验室,安徽 合肥 230009)

摘要: 微电网经济运行涉及对大量场景和方案的分析评价,区域内风电/光伏出力和负荷变化的时序性、周期性和不确定性给微电网运行带来影响。提出一种典型场景分析方法,对计算周期内的大量风电/光伏出力和负荷原始数据进行同步聚类划分,形成能够反映计算周期内历史数据特征的典型场景集;建立包含多种分布式电源和储能单元的微电网系统经济运行优化模型;针对某微电网区域,比较典型时序场景、全周期时序场景、周期内缩减场景 3 类场景数据的经济运行优化结果,验证所提方法的有效性。

关键词: 微电网; 分布式电源; 聚类; 场景分析; 典型场景; 运行优化

中图分类号: TM 732

文献标识码: A

DOI: 10.16081/j.issn.1006-6047.2017.04.002

0 引言

随着能源、环境问题的日益凸显和分布式能源(DER)技术的迅速发展,风能、太阳能等可再生能源得到有效利用。微电网将各种 DER 单元、负荷、储能单元及控制装置等融合成一体,形成可控单元向用户供给电能,为可再生能源的综合利用提供了一种有效的技术手段^[1]。目前,学者们在微电网优化配置、经济运行、控制调度等领域已做大量研究^[2-5],但针对上述研究领域的基础性场景分析工作的研究尚不足。

风电/光伏出力和负荷的变化都具有一定的周期性和不确定性^[6],根据微电网区域内大量的风电/光伏/负荷历史资源数据,提取具有代表性的时序场景,反映周期内风电/光伏出力和负荷的变化特征具有重要意义。场景分析是电力系统规划运行的基础性工作,现有微电网研究中涉及场景数据的选取方法主要有全周期时序场景法和周期内缩减场景法。全周期时序场景法直接选取研究周期内原始场景数据进行仿真计算。文献[7]用全年 8 760 h 气象和负荷时序数据求解微电网容量优化问题;文献[8]利用某月份每小时气象数据和一天中每小时负荷数据进行容量优化配置;文献[9]将全年分为 8 760 h,计算微电网全年的缺电概率。该方法一般需计算全周期的时间序列,计算效率低。周期内缩减场景法对周期内原始场景数据进行处理,依据经验和研究问题选取特定场景数据进行仿真计算。文献[10]根据历史数据得到不同季节的风电/光伏出力和负荷平均值时序特性曲线;文献[11]采用时序性聚类分析法将气象数据划分为合适的场景数;文献[12]选取冬季典型日风电/光伏出力和负荷预测曲线进行微电网经济

运行研究。

上述缩减场景法研究为微电网典型时序场景分析提供了思路,但仍存在不足,如部分缩减场景代表性不足、场景变化的特征不明显、较少考虑风电/光伏出力和负荷变化的相关性、计算结果偏于保守等。为了体现周期内数据的变化特性并确保生成场景的时序对应关系,提出一种典型时序场景分析方法并将其应用于微电网经济运行中,将大量风电/光伏出力和电力负荷时序数据进行特征提取和同步场景划分,生成少量具有代表性的典型时序场景。以某微电网为例,通过比较全周期时序场景、周期内缩减场景和典型时序场景 3 类场景数据的经济优化运行仿真结果,验证本文所提方法的可行性和有效性。

1 典型场景分析

1.1 K 均值聚类算法

聚类是数据挖掘技术的重要分支,它是将抽象或物理的集合依照相似性准则划分成若干子集(簇)的过程,处在相同子集中的各元素具有较高的相似性,不同子集中的各元素间差别较大。 K 均值聚类是一种常用的空间聚类算法,它将欧几里得距离作为相似性划分准则^[13],表达式为:

$$d(S_i, S_j) = \sqrt{(x_{i1} - x_{j1})^2 + (x_{i2} - x_{j2})^2 + \cdots + (x_{in} - x_{jn})^2} \quad (1)$$

其中, $S_i = (x_{i1}, x_{i2}, \cdots, x_{in})$ 和 $S_j = (x_{j1}, x_{j2}, \cdots, x_{jn})$ 为 n 维的数据样本。

K 均值聚类算法事先给出准确的聚类数 k ,并随机选取 k 个样本作为初始聚类中心,剩余样本按最小距离原则划分到离其最近的类(簇)中,然后重新计算每个类内平均值形成新的聚类中心(簇心),不断重复此过程,直到式(2)所示准则函数^[14]收敛为止。

$$E = \sum_{i=1}^k \sum_{p \in C_i} |p - m_i|^2 \quad (2)$$

其中, E 为所有研究对象的平方误差总和; p 为空间

收稿日期:2016-06-21;修回日期:2017-01-11

基金项目:国家高技术研究发展计划(863 计划)资助项目(2015-AA050104)

Project supported by the National High Technology Research and Development Program of China(863 Program)(2015AA-050104)

的点,即数据对象; m_i 为簇 C_i 的平均值。

为了检验聚类的有效性,本文计算不同聚类结果的伪 F-统计(PFS)指标^[15]。对于一个不为 0 的 P 维变量样本, PFS 指标的定义如下:

$$\text{PFS} = \frac{\text{tr}(\mathbf{S}_B^p)/(k-1)}{\text{tr}(\mathbf{S}_W^p)/(N-k)} \quad (3)$$

其中, k 为聚类数; N 为样本数; $\text{tr}(\mathbf{S}_B^p)$ 、 $\text{tr}(\mathbf{S}_W^p)$ 分别为样本的类间和类内散布矩阵的迹。聚类数越大,则划分结果的类内距离越小,类间距离越大。PFS 指标值越大,聚类结果越佳。在聚类数搜索范围 $[2, \sqrt{N}]$ 内^[16]计算 PFS 指标值,选择合理的聚类结果。

1.2 微电网典型场景分析

本文选择微电网区域内风电/光伏/负荷中长期时间序列数据为场景研究对象,原始数据均具有一定的随机性和周期性。微电网典型时序场景分析通过聚类技术以日内数据为聚类单元,对原始场景进行划分、缩减,生成可以表述原始数据变化特征的时间序列。

以生成微电网区域内光伏出力典型时序场景为例,假设周期内历史光伏出力场景总数为 M , 每日光伏数据记为一个场景 $m(m=1, 2, \dots, M)$, 每个场景有 T_1 个时刻的光伏测量数据,则全周期内光伏出力场景数据可用 $M \times T_1$ 阶矩阵表示。采用聚类技术对不同场景数据进行处理,将原始 M 个场景合并、缩减为少数 D 个场景,获得 $D \times T_1$ 阶矩阵(即周期内光伏典型时序场景),第 d 种典型场景中包含 N_d 个原始场景。典型场景划分过程中场景数目减少,但场景内 T_1 个时刻的数据的时序性对应不变,确保了典型原有数据的时序性。如上所述,对周期内 M 个时序对应的历史风电/光伏/负荷综合数据进行同步聚类划分和场景优选,每个聚类单元为一组时序对应的风电/光伏出力和负荷数据,生成 $D(D < M)$ 类综合典型时序场景集。通过 PFS 指标检验聚类结果,得到合理的微电网风电/光伏/负荷典型时序场景集。

2 微电网运行优化模型

为了检验上述典型场景分析方法的应用价值,本文采用如下微电网经济运行模型作为场景验证平台,将生成的风电/光伏/负荷典型时序场景用于微电网经济优化运行研究,计算并比较不同场景数据的综合运行成本、场景数目和计算时间等评价指标。

本文针对集中控制方式下的微电网系统(微电网可以与主网自由双向交换功率),建立了包含多种分布式电源和储能单元的微电网系统经济运行优化模型。

2.1 目标函数

目标函数为微电网系统综合成本最低。综合成本中考虑各 DER 单元的能耗成本、运行管理成本、环境治理成本以及微电网与主网间的能量交互成本,目标函数如式(4)所示。

$$\min C_{\text{COMP}}(P_t) = \sum_{t=0}^T \left\{ \sum_{i=1}^I [C_f(P_{it}) + C_{\text{OM}}(P_{it}) + C_{\text{ENV}}(P_t)] + C_{\text{PE}}(P_{\text{grid}t}) + I_{\text{SE}}(P_{\text{grid}t}) \right\} \quad (4)$$

$$C_{\text{OM}}(P_{it}) = \int_0^T K_{\text{OM}i} P_{it} dt \quad (5)$$

$$C_{\text{ENV}}(P_t) = \sum_{h=1}^H \alpha_h (\beta_{ih} P_{it} + \beta_h P_{\text{grid}t}) \quad (6)$$

$$\begin{cases} C_{\text{PE}}(P_{\text{grid}t}) = \int_0^T c_{\text{pt}} P_{\text{grid}t} dt & P_{\text{grid}t} \geq 0 \\ I_{\text{SE}}(P_{\text{grid}t}) = \int_0^T c_{\text{st}} P_{\text{grid}t} dt & P_{\text{grid}t} < 0 \end{cases} \quad (7)$$

其中, i 为系统中 DER 的编号; I 为 DER 种类数; T 为仿真总时段数; $C_{\text{COMP}}(P_t)$ 为系统运行成本; $C_f(P_{it})$ 为 DER 能耗成本; $C_{\text{OM}}(P_{it})$ 为 DER 运行管理成本; $C_{\text{ENV}}(P_t)$ 为环境治理成本; $C_{\text{PE}}(P_{\text{grid}t})$ 为微电网从主网购电的支出; $I_{\text{SE}}(P_{\text{grid}t})$ 为微电网向主网售电的收益; $P_{\text{grid}t}$ 为微电网与主网之间的交互功率; P_t 为系统中 DER 在 t 时段的有功出力; P_{it} 为第 i 种 DER 在 t 时段的有功; $K_{\text{OM}i}$ 为第 i 种 DER 的运行管理系数; h 为污染物排放种类号; α_h 为治理污染物 h 所需费用; β_{ih} 为第 i 种 DER 对应污染物 h 的排放系数; β_h 为从主网购电对应污染物排放系数; H 为排放污染物的总类数; c_{pt} 为微电网从主网购电电价; c_{st} 为微电网向主网售电电价。

2.2 约束条件

(1) 微电网系统功率供需平衡约束。

$$\sum_{i=1}^I P_{it} + P_{\text{ct}} + P_{\text{dt}} + P_{\text{grid}t} = P_L \quad (8)$$

其中, P_L 为 t 时段全部负荷需求功率; P_{ct} 和 P_{dt} 分别为储能在 t 时段的充电和放电功率。

(2) DER 出力约束。

$$P_{\text{min}} \leq P_{it} \leq P_{\text{max}} \quad (9)$$

其中, P_{max} 、 P_{min} 分别为第 i 种 DER 出力的上、下限。

(3) 微电网与主网间最大交互功率约束。

$$-P_{\text{grid}}^{\text{max}} \leq P_{\text{grid}t} \leq P_{\text{grid}}^{\text{max}} \quad (10)$$

其中, $P_{\text{grid}}^{\text{max}}$ 为微电网与主网间最大传输功率。

(4) 储能充放电功率及荷电容量约束。

a. 充放电功率约束。

$$\begin{cases} -P_{\text{inv}} \leq P_{\text{ct}} \leq 0 \\ 0 \leq P_{\text{dt}} \leq P_{\text{inv}} \end{cases} \quad (11)$$

b. 荷电容量约束。

$$\begin{cases} E_{\text{ct}} = \int P_{\text{ct}} dt \\ E_{\text{dt}} = \int P_{\text{dt}} dt \\ E_t = E_{\text{ini}} - \sum_{q=1}^t E_{\text{dq}} - \sum_{q=1}^t E_{\text{cq}} \\ E_{\text{min}} \leq E_t \leq E_{\text{max}} \end{cases} \quad (12)$$

其中, P_{inv} 为储能允许的最大充放电功率; E_{ct} 和 E_{dt} 分别为 t 时段内储能的充、放电量; E_{ini} 为储能系统的初始电量; E_{min} 和 E_{max} 分别为储能允许的最小电量和最大电量; E_t 为储能在 t 时段的电量值。

3 方法验证与算例分析

3.1 算例说明

在保证系统运行安全、综合考虑系统组成的基础上,选取一个包含柴油发电机、燃料电池、光伏发电、风力发电以及储能单元 5 种分布式发电单元的微电网系统为例,验证所提典型场景划分方法的合理性,微电网系统连接图见图 1。在给定的控制策略下为微电网内负荷提供电能,全年负荷和光伏/风电出力的原始数据见图 2(图中纵轴数据为标么值),微电网经济运行计算过程中其他数据和各项系数取自文献[5]。

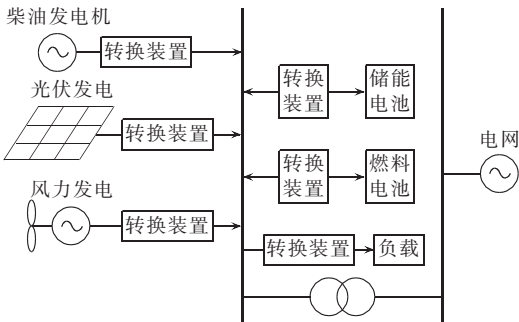


图 1 微电网系统连接图

Fig.1 Connection diagram of microgrid system

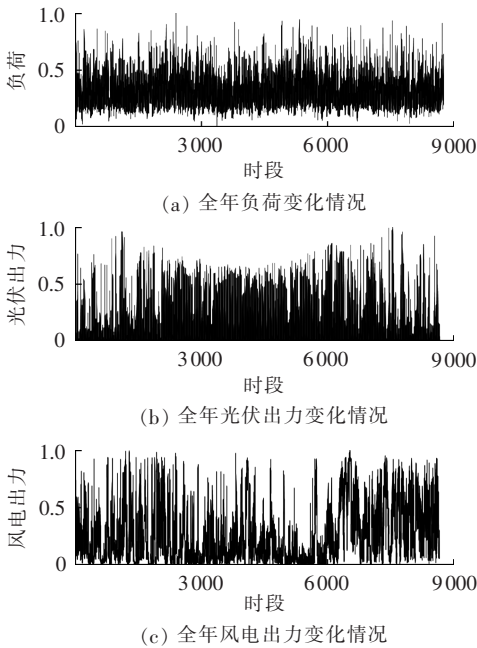


图 2 全年负荷和光伏/风电出力曲线

Fig.2 Annual load and solar/wind power output curves

首先对周期内综合数据集进行场景划分并获得典型场景,检验聚类方法的有效性;然后选用微电网运行优化模型计算全周期时序场景、缩减场景和典

型场景 3 类场景的各项评价指标;最后对周期内综合时序数据各计算指标结果进行对比分析,验证本文所提典型时序场景分析方法的有效性。

3.2 聚类方法及典型场景有效性验证

在研究周期的时间尺度上分别选取月度和年度 2 组历史数据,采用典型时序场景分析方法对实例样本进行典型场景构建,生成能够反映周期内历史数据特征的典型时序场景集。对 4 月份风电/光伏/负荷数据进行场景划分,检验聚类有效性指标,图 3 为 4 月份历史数据聚类有效性 PFS 指标值随不同场景数目的变化曲线。

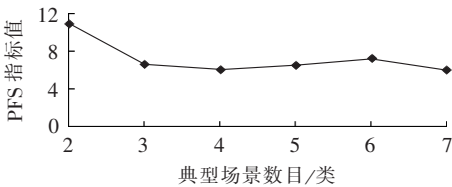


图 3 4 月份历史数据聚类结果 PFS 指标随场景数目的变化曲线

Fig.3 Curve of PFS index of clustered April's historical data vs. scenario quantity

由图 3 可见,当场景划分为 2 类和 6 类时,PFS 指标值均较大,场景划分显著性效果较好。为了获得能够代替原有时序场景的典型场景,期望典型场景内数据具有较高的相似性,即在显著性较好的前提下选择较小的类内距离。随着聚类数的增大,类内距离不断减小,基于此在最佳聚类数搜索范围[2,6]内选择较大的聚类数将原始场景划分为 6 类。

分析 4 月份原始场景综合数据,将包含风电/光伏/负荷的 30 个聚类单元(场景)划分缩减为 6 类场景,获得 6×24 阶矩阵,即 6 类典型场景数据,图 4 给出了综合典型时序场景的簇心曲线。

表 1 给出了 4 月份 6 类典型场景包含的原始场景和对应的概率。

为了更直观地反映所得典型时序场景与原始场景的聚类关系,给出生成典型场景前后的场景对比图,如图 5 所示,受文章篇幅限制仅选择图 4 中典型场景 4 进行分析。

综合分析图 4 和图 5 中典型场景曲线变化趋势,可得如下结论。

a. 图 4 中 6 类场景风电出力差异明显;图 4(a)、(b)中风电出力较小且变化平稳;图 4(c)—(e)中风电波动大,这是由于夜间风大,白天风小,风电呈现一定的反调峰特性;图 4(f)中全天风电出力在 20 kW 以下,23:00 和 00:00 出现短时大风;图 5(a)表明聚类得到的风电典型时序场景能很好地反映原始场景的变化特征,具有代表性;风电日出力的峰谷变化特性、强随机特性、反调峰特性等在不同典型场景中均得到体现。

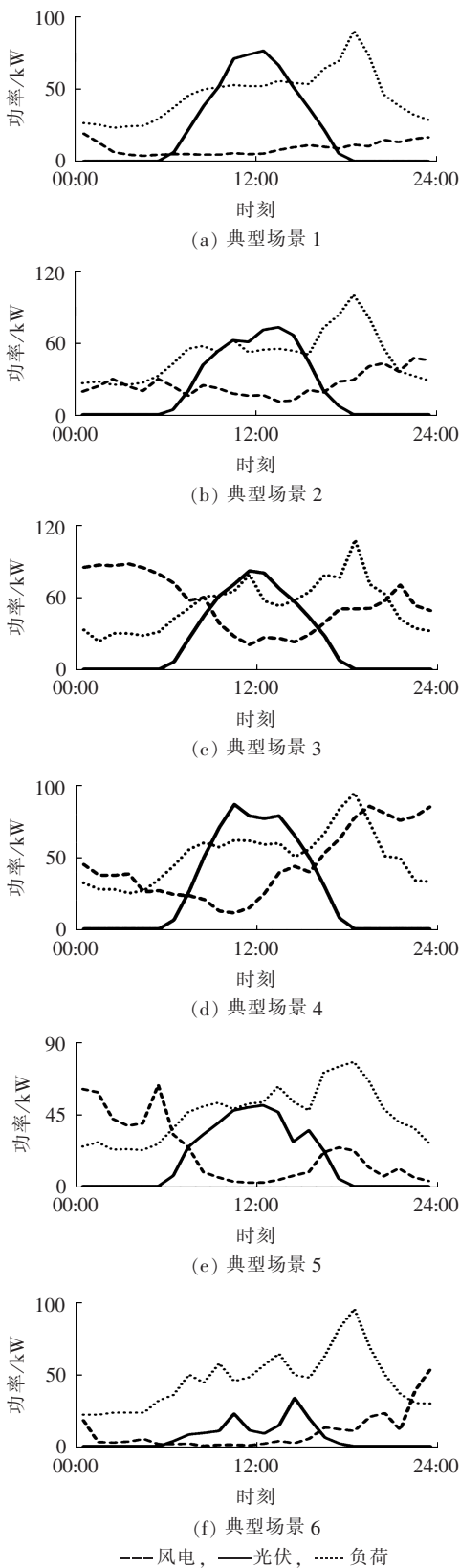


图 4 4 月份负荷和风电/光伏出力典型场景的簇心曲线
Fig.4 Cluster centre curve for different typical scenarios of April's load and wind/solar power outputs

b. 各典型场景中光伏出力日特性明显,与日光照变化呈现一致性,正午时出力最大;月内光照强度和阴晴变化不大,因此图 4(a)—(d)中约 83 % 的

表 1 4 月份典型场景划分结果
Table 1 Partitioned typical scenarios of April

典型场景	场景日期/号	场景概率
1	1,2,6,9,12,13,14,16,20,21,23,24,25,27,29,30	0.53
2	3,15,17,22	0.13
3	11,19	0.07
4	4,10,18	0.10
5	5,8,26	0.10
6	7,28	0.07

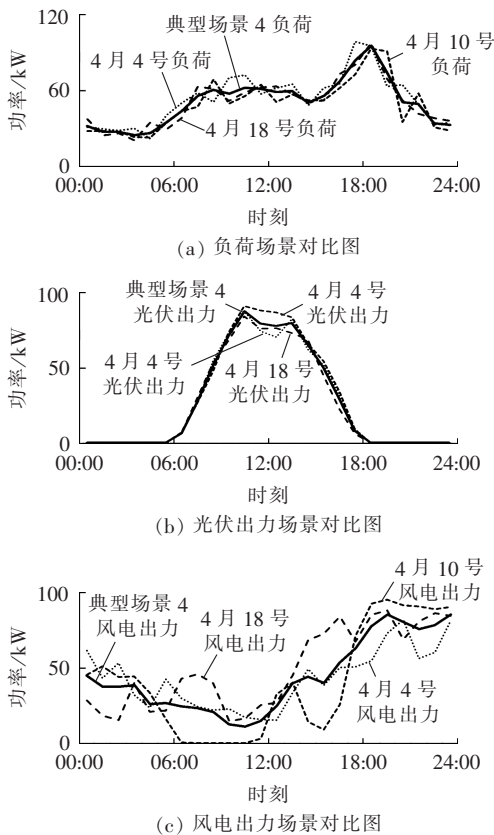


图 5 生成典型场景前后典型场景 4 的对比结果
Fig.5 Comparison between typical scenario 4 and original scenarios

典型光伏出力曲线数值相近,曲线变化仅存在细微差异;图 4(e)、(f)中光伏出力相对较小,其中图 4(f)中光伏出力最大不超过 30 kW,且呈现较强的波动性;图 5(b)表明聚类得到的光伏典型时序场景能很好地反映原始场景的变化特征,具有代表性。

c. 微电网区域内耗电单元相对单一,主要为生活用电,且月内用电量波动小。图 4 中负荷曲线日变化趋势十分接近,大小差异较小,负荷的变化特征符合生活习惯;各典型场景的深夜负荷水平低,从 06:00 负荷开始逐渐升高,略有波动并趋于平稳,18:00 左右达到负荷高峰,20:00 后又快速减小。

综上所述,算例周期内原始时序数据被划分为不同场景,划分后得到的各典型时序场景存在差异,聚类效果显著。各典型时序场景可直观地反映数据整体变化趋势,表述风电/光伏/负荷周期内变化特征。

为了进一步论述典型时序场景分析方法的有效性和工程应用价值,将所得典型场景时序数据用于微电网经济运行优化计算中,对生成的典型场景集进行场景评价指标计算和定量分析。

3.3 典型场景集应用检验

利用第 2 节所述微电网经济运行优化模型对全周期时序场景、周期内缩减场景和典型时序场景 3 类场景数据进行场景验证和评价指标计算,其中缩减场景数据按周期内时序等距离划分成与典型场景数目相同的若干区段,分别取各区段平均值。选择微电网算例区域内 4 月份和全年历史风电/光伏/负荷场景数据进行分析,获得 2 组历史数据的 3 类场景数据,比较各场景数据的微电网经济运行情况,并分别汇总于表 2 和表 3。

表 2 3 种场景分析方法的评价指标(4 月份数据)
Table 2 Comparison of evaluation indexes among three scenario analysis methods(April's data)

场景分析方法	场景数/类	综合成本/元	相对误差/%	计算时间/s
全周期时序	30	114646	0	82
周期内缩减	6	110955	3.2	16
典型时序	6	113612	0.9	16

表 3 3 种场景分析方法的评价指标(全年数据)
Table 3 Comparison of evaluation indexes among three scenario analysis methods(annual data)

场景分析方法	场景数/类	综合成本/元	相对误差/%	计算时间/s
全周期时序	365	1451106	0	846
周期内缩减	12	1323617	8.8	28
典型时序	12	1378295	5.0	28

以全周期时序场景数据的各指标计算结果作为比较标准,与周期内缩减场景数据和典型时序场景数据进行对比分析,可以得出如下结论。

a. 周期内缩减场景法和典型时序场景法都因为选取场景数目大幅减少而计算效率有显著提升。

b. 4 月份各场景数据中典型时序场景法计算所得运行综合成本的相对误差为 0.9%,而周期内缩减场景法计算所得综合成本的相对误差为 3.2%;全年各场景数据中典型时序场景法综合成本的相对误差 5.0%,周期内缩减场景法的相对误差为 8.8%。典型时序场景法所得场景数据用于微电网经济运行计算,相对误差明显优于周期内缩减场景法,计算结果更接近全周期时序场景法,能更准确地反映微电网经济运行情况。

逐渐增加典型场景数目,计算本算例全年和 4 月份不同典型场景数下的指标,结果见表 4。由表 4 可知,随着场景数目的增多,微电网运行成本的误差逐步下降,计算时间增加。因此,可根据具体工程研究和误差要求,选取合适的场景类数,以提高计算效率。

表 4 不同典型场景数目下本文方法的评价指标
Table 4 Comparison of evaluation indexes among different scenario quantities

研究周期	场景数	总成本/元	误差/%	计算时间/s
全年	6	1341220	7.5	17
	8	1369018	5.6	22
	12	1378295	5.0	28
4 月份	2	111219	3.0	5
	4	113424	1.1	12
	6	113612	0.9	16

4 结论

本文提出一种基于聚类方法的典型时序场景生成方法并应用于微电网经济运行优化研究中,以某微电网为例验证了所提方法的有效性和工程应用价值,具体结论如下:

a. 本文提出的微电网区域内典型时序场景生成方法综合考虑了风电/光伏出力 and 负荷的时序对应和变化关系,对周期内风电/光伏和负荷综合数据集进行同步场景构建,生成了能较好地表述周期内风电/光伏/负荷的变化特征的典型场景集;

b. 所得典型场景集可用于微电网运行、规划等不同研究领域,简化计算复杂度,在计算精度和效率上取得合理的平衡,为含风电/光伏分布式电源微电网的经济规划运行分析提供重要参考信息,具有较强的工程应用价值;

c. 算例结果表明,典型场景集数据用于微电网经济运行优化计算中,计算精度优于平均值法,计算效率优于全周期时序场景法,符合电网实际运行情况。

参考文献:

[1] LAASSETER R H,AKHIL A,MARNAY C,et al. Integration of distributed energy resources;the CERTS microgrid concept[R]. Berkeley,USA:Consortium for Electric Reliability Technology Solutions,2002.

[2] 刘春阳,王秀丽,刘世民,等. 计及蓄电池使用寿命的微电网经济调度模型[J]. 电力自动化设备,2015,35(10):29-36.
LIU Chunyang,WANG Xiuli,LIU Shimin,et al. Economic dispatch model considering battery lifetime for microgrid[J]. Electric Power Automation Equipment,2015,35(10):29-36.

[3] 窦晓波,袁简,吴在军,等. 并网型风光储微电网容量改进优化配置方法[J]. 电力自动化设备,2016,36(3):26-32.
DOU Xiaobo,YUAN Jian,WU Zaijun,et al. Improved configuration optimization of PV-wind-storage capacities for grid-connected microgrid[J]. Electric Power Automation Equipment,2016,36(3):26-32.

[4] 刘小平,丁明,张颖媛,等. 微网系统的动态经济调度[J]. 中国电机工程学报,2011,31(31):77-84.
LIU Xiaoping,DING Ming,ZHANG Yingyuan,et al. Dynamic economic dispatch for microgrids[J]. Proceedings of the CSEE,2011,31(31):77-84.

- [5] 丁明,张颖媛,茆美琴,等. 包含钠硫电池储能的微网系统经济运行优化[J]. 中国电机工程学报,2011,31(4):7-14.
DING Ming,ZHANG Yingyuan,MAO Meiqin,et al. Economic operation optimization for microgrids including Na/S battery storage[J]. Proceedings of the CSEE,2011,31(4):7-14.
- [6] WANG T,BI T,WANG H,et al. Decision tree based online stability assessment scheme for power systems with renewable generations[J]. CSEE Journal of Power & Energy Systems,2015,1(2):53-61.
- [7] 王晶,陈江斌,束洪春. 基于可靠性的微网容量最优配置[J]. 电力自动化设备,2014,34(4):120-127.
WANG Jing,CHEN Jiangbin,SHU Hongchun. Microgrid capacity configuration optimization based on reliability[J]. Electric Power Automation Equipment,2014,34(4):120-127.
- [8] 丁明,王波,赵波,等. 独立风光柴储微网系统容量优化配置[J]. 电网技术,2013,37(3):575-581.
DING Ming,WANG Bo,ZHAO Bo,et al. Configuration optimization of capacity of standalone PV-wind-diesel-battery hybrid microgrid[J]. Power System Technology,2013,37(3):575-581.
- [9] 马溪原,吴耀文,方华亮,等. 采用改进细菌觅食算法的风/光/储混合微电网电源优化配置[J]. 中国电机工程学报,2011,31(25):17-25.
MA Xiyuan,WU Yaowen,FANG Hualiang,et al. Optimal sizing of hybrid solar-wind distributed generation in an islanded microgrid using improved bacterial foraging algorithm[J]. Proceedings of the CSEE,2011,31(25):17-25.
- [10] 李亮,唐巍,白牧可,等. 考虑时序特性的多目标分布式电源选址定容规划[J]. 电力系统自动化,2013,37(3):58-63.
LI Liang,TANG Wei,BAI Muke,et al. Multi-objective locating and sizing of distributed generators based on time-sequence characteristics[J]. Automation of Electric Power Systems,2013,37(3):58-63.
- [11] 韩璐,李凤婷,周二雄,等. 基于成本-收益的微网分布式能源优化配置[J]. 电工技术学报,2015,30(14):388-396.
HAN Lu,LI Fengting,ZHOU Erxiong,et al. The distributed energy optimization configuration of micro-grid based on cost-benefit[J]. Transactions of China Electrotechnical Society,2015,30(14):388-396.
- [12] 吴雄,王秀丽,别朝红,等. 含热电联供系统的微网经济运行[J]. 电力自动化设备,2013,33(8):1-6.
WU Xiong,WANG Xiuli,BIE Zhaozhong,et al. Economic operation of microgrid with combined heat and power system[J]. Electric Power Automation Equipment,2013,33(8):1-6.
- [13] 杨善林,李永森,胡笑旋,等. K-means 算法中的 k 值优化问题研究[J]. 系统工程理论与实践,2006,26(2):97-101.
YANG Shanlin,LI Yongsen,HU Xiaoxuan,et al. Optimization study on k value of K-means algorithm[J]. System Engineering Theory and Practice,2006,26(2):97-101.
- [14] 王千,王成,冯振元,等. K-means 聚类算法研究综述[J]. 电子设计工程,2012,20(7):21-24.
WANG Qian,WANG Cheng,FENG Zhenyuan,et al. Review of K-means clustering algorithm[J]. Electronic Design Engineering,2012,20(7):21-24.
- [15] VOGEL M A,WONG A K C. PFS clustering method[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis & Machine Intelligence,1979,1(3):237-45.
- [16] KIM M,RAKAKRISHNA R S. New indices for cluster validity assessment[J]. Pattern Recognition Letters,2005,26(15):2353-2363.

作者简介:



丁明

丁明(1956—),男,安徽合肥人,教授,博士研究生导师,研究方向为电力系统可靠性与安全防护、可再生能源与分布式发电系统、电力电子技术在电力系统中应用等(E-mail:mingding56@126.com);

解蛟龙(1990—),男,山东安丘人,硕士研究生,研究方向为新能源与分布式发电系统(E-mail:xiej19021@foxmail.com);

潘浩(1992—),男,安徽六安人,博士研究生,研究方向为电力系统规划及可靠性(E-mail:hfut09ph@163.com);

楚明娟(1991—),女,山东高密人,硕士研究生,研究方向为新能源与分布式发电系统(E-mail:mingjuan91@126.com)。

Typical sequential scenario analysis method for economic operation of microgrid

DING Ming,XIE Jiaolong,PAN Hao,CHU Mingjuan

(Anhui Key Lab of New Energy Utilization and Energy Conservation,

Hefei University of Technology,Hefei 230009,China)

Abstract: The economic operation of microgrid involves the analysis and evaluation of different scenarios and schemes. The sequential,periodic and uncertain variation of regional loads and wind/solar power outputs affects the operation of microgrid. Typical scenario analysis method is proposed,which partitions and clusters synchronously the massive original data of wind/solar power outputs and loads for the computation period to form the typical scenarios for reflecting the characteristics of historical data. An economic operation optimization model is established for the microgrid with different distributed generations and energy storages. The results of economic operation optimization based on the scenario data obtained by the typical sequential scenario method,the complete-period sequential scenario method and the simplified scenario method for a microgrid are compared to verify the effectiveness of the proposed method.

Key words: microgrid; distributed power generation; clustering; scenario analysis; typical scenario; operation optimization