

「区域电力」

基于虚拟分区的电网平衡机制研究

文/国网浙江省电力公司 陆春良 黄 静 吴华华 张 俊
北京清软创新科技股份有限公司 岳菁鹏
国网浙江省电力公司杭州供电公司 商佳宜

电网分区可简化安全分析和调度控制，具有十分广泛的工程应用，首先通过分区原则对电网中不同行政区域的变电站和母线进行重新组合，形成了广域的在电网虚拟区域，然后对虚拟分区内进行电力平衡分析计算，从而得出各区域平衡状态及区域间虚拟电力传输方案。以浙江省电网结构为例，将浙江省电网分为浙北、浙中、浙南三个虚拟区域，通过对区域内日平衡状态进行分析，建立了省、地、县三级协同的电网分区平衡体系和电能传输机制。电网分区电力平衡研究为制订电网发电计划、实现整个电网平衡，降低断面传输压力和电能就近消纳提供参考。

近年来国内外发生的多次大停电事故，对社会和经济造成了巨大的影响和损失。因此，掌握电网的平衡状态及制订科学合理的发电计划，对保障系统的高效安全运行尤为重要。实际电网运行中，对每个区域每条母线都进行监控和管理是不现实的。对大型电网来说，运行人员需针对性地加强对系统重点区域和关键环节的运行管理。目前，电网越发庞大复杂，对电网的分析与监控也越发困难，电网的分区运行也是大电网发展的一种趋势。运行人员往往依据地域将电网划分为若干子区域以降低调度控制的复杂度。

电力调度机构工作方式大都采用统一管理、分级负责的机制，各级的调度机构依照行政区域来设立，随着华东电网公司等网公司的改制，目前基本上没有虚拟的电网分区调度机构。但电网有其独有的结构特性，基本都可划分为几个独立的负荷区域，并通过重要输电断面来进行关联，组成一个大的电网。按虚拟电网分区进

行分析、预测和电能平衡分析是提升电网运行安全，解决电源就近消纳和分布式电源并网影响的重要手段。

在实际电网运行中，从发电设备输送到负荷可能经过较长传送距离，这样将导致不必要的网损，为增加区域间的断面传送压力，可通过精细化的母线节点负荷预测，打破现有的地域限制，按电网分区进行重新组合，精确预测电网各子区域电力需求，制订最优发电计划，实现分区电力平衡，降低断面传送压力和电能就近消纳，从而提高电网可靠性。

国内在电网虚拟分区在负荷预测和电能平衡方面的研究较少，本文将通过对电网进行虚拟分区，区域平衡分析计算，虚拟通道传输的步骤进行分析，最终将达到整个电网的平衡，图1为分区平衡分析流程图。本研究将在基于母线节点为单元的虚拟电网分区，和电能平衡方面进行突破，为调度计划的制订提供理论参考。

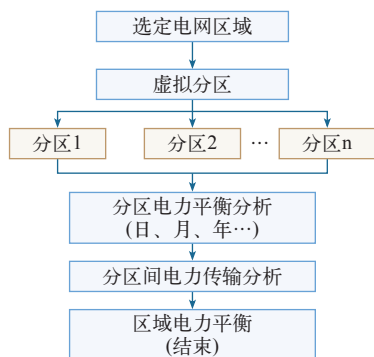


图1 分区平衡分析流程图

电网虚拟分区

受电力系统安全运行约束的影响，在电网中存在着一些局部区域，这些局部区域内各变电站虽然属于不同的行政区域，但是具有相近的负荷特性或电源结构，在电网分析过程中，按照一定的规则和方法，可以将其视为一种由扩大的广域母线节点组合而成的区域，这就是“虚拟分区”。

就分区电网结构而言，国内外分区电网内都要求有一定规模的发电机组，相邻分区间都要求有一定的相互事故支援能力。但国内电网分区还处于形成阶段，一些分区内缺乏发电容量，部分电网分区间缺乏互供能力。针对这种现状，本文提出一种基于相邻地理区域母线负荷特性、电源及联络线特性进行划分，确定电网分区。分区主要原则和步骤如下：

(1) 虚拟分区原则

在进行电网虚拟分区过程中，以地理区域相邻进行区域划分，需要考虑如下条件：

- 1) 每个分区与主网架（220 kV）有足够强的联络，任何故障会不会引起分区电网孤立运行。
- 2) 各分区具有电压、无功调节能力，能保证分区内的母线具有合格的电压水平。
- 3) 分区内应具有和区域母线负荷相适应的电源结构。
- 4) 相邻分区之间应保留一定的互联线路。

(2) 虚拟分区划分方法

系统以节点负荷作为电网中的基本负荷及预测单元，也可进一步实现区域化的负荷分组及虚拟分区的定义，目标区域可以根据实际需要进行设定。在对目标区域内的电网进行划分时，可以根据节点地理位置、节点负荷特性以及实际需要来实现该划分。

- 1) 基于节点地理位置进行划分。实际电网调

度一般依据地理分区对系统进行监控，得到的每个电网分区均具有电源（机组）、负荷（精细到母线负荷）及联络线，从而每个电网分区形成一个相对独立的小电网，此步骤根据电网实际运行经验和基本分区原则进行。

2) 基于负荷节点特性来确定区域边界。电力网络节点间相互影响，但也具有明显的局部性。目前对电网的分区尚无精确的定义，但普遍认为电网的分区应具有分区内部节点联系稠密分区之间节点联系稀疏的特点，需要在虚拟分区划分时应考虑区域边界和确定边界母线的归属，一般将边界节点划到与之电气关系联系强的临近区域内。

区域电力日平衡分析

每个电网分区均呈现出自己区域的出力平衡状态，且各个电网分区的出力平衡状态可能相同，也可能不同。简单来说，一个电网分区的出力平衡状态可以理解为该电网分区的电力供应和电力输出的状态，可以基于每个电网分区的电源出力功率、联络线功率及负荷占用功率计算得出该电网分区的出力平衡状态，本文主要分析区域的日平衡状态。

系统的电能平衡基本都是针对全网的发用电进行平衡，由于负荷增长和电源分布的不均，将电能从发电设备输送到负荷可能经过较长传送距离，这样将导致不必要的网损和增加区域间的断面传送压力。本项目建立一个省、地、县三级协同的电网分区平衡体系，同时研究基于分区节点负荷预测、虚拟分区负荷预测和分区供电能力统计的电网分区电能平衡，通过节点负荷预测结果，指导和优化发电企业机组出力，在短期内实现分区内的电能平衡、就近购电，降低系统网损、节能降耗，在中长期时间维度上实现调整电源布局，改善电源结构的目标。

在分区日平衡分析时，步骤如图2所示，同时对区域内的主要平衡状态指标进行计算。

日平衡分析时，主要对区域最大、最小可调电力，最大、最小发受电力，及电力余缺，公式如式（1）～式（5）。

$$P_{\text{最大可调}} = P_{\text{max}} - P_{\text{检修}} - P_{\text{受阻}} \quad (1)$$

$$P_{\text{最小可调}} = P_{\text{min}} - P_{\text{检修}} \quad (2)$$

$$P_{\text{最大发受}} = P_{\text{最大可调}} + P_{\text{外购}} \quad (3)$$

$$P_{\text{最小发受}} = P_{\text{最小可调}} + P_{\text{外购}} \quad (4)$$

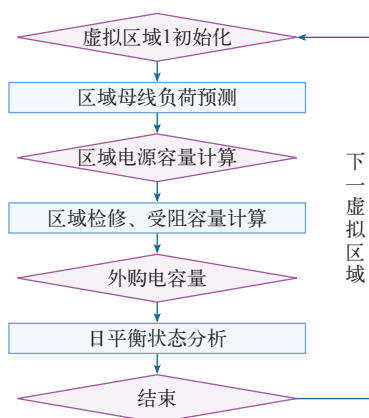


图2 分区日平衡分析流程图

$$P_{\text{余缺}} = P_{\text{最大发电}} - P_{\text{区域负荷}} \quad (5)$$

本文将区域内的区域平衡状态分为三种，分别为“富裕”“紧张”“基本平衡”。判断的标准如下：

1) 当 $P_{\text{余缺}} > 0.2P_{\text{区域负荷}}$ 时，区域平衡状态为富裕。

2) 当 $0 < P_{\text{余缺}} < 0.2P_{\text{区域负荷}}$ 时，区域平衡状态为基本平衡。

当 $P_{\text{余缺}} < 0$ 时，区域平衡状态为紧张。

如进行季度或年度平衡计算时，方法与日平衡计算类似，完成区域平衡进行分析后，就为下一步安排发电计划，虚拟传输打下基础。

基于虚拟传输通道的电力传输

虚拟传输通道：分区之间可能存在着多条联络线，但是如果考虑各条线路的实时潮流来计算电力的情况，数学运算比较复杂，所以将这些线路等效为一条传输通道。对于虚拟传输通道，应设置分区通道的名称，包含线路的数量、线路各自的名称，以及各条线路的传输极限，从而通过各条线路的传输极限得到整个通道的传输极限。

1) 当区域平衡状态为富裕时，可考虑虚拟通道进行电力传输。

2) 当区域平衡状态为紧张，可考虑接受临近区域电力传输。

3) 当区域平衡状态为基本平衡。时说明本地负荷可基本被消纳。

根据上小节计算出的区域的平衡状态进行发电计划校核。实现富裕区域到紧张区域的电力流向，这里是用发电计划来计算各个区域的电力余缺。遵循富裕状态的出力自动经过虚拟分区通道

转移到紧张状态区域的原则。根据电力余缺，一般进行如下方案传输。

1) 如果富裕区域的余量 $>$ 传输通道的传输极限，按照传输极限的95%进行功率传输。

2) 如果富裕区域的余量 $<$ 传输通道的传输极限，传送电力余缺剩余的功率。

虽然分区后的各区域平衡状态会有所不同，但所有区域仍然在调度上数据基于所在省、地、县的大区域，应根据区域间通道的功率流转，达到各区域间的电力平衡，最后达到整个大区域的电力平衡。

实例分析

以浙江电网为例，基于分区原则和运行经验，将电网分为浙北区、浙中区和浙南区三个区域，其中浙北区域包括湖州、嘉兴、杭州、衢州等相邻区域，浙中区域包括嘉兴、宁波、金华部分区域，浙南区域包括金华部分区域、丽水、温州等区域。通过预测当日高峰及电力余缺计算，对某日的区域平衡状态分析判断，结果如下。

表1 浙江电网平衡分析指标（单位：MW）

区域	区域高峰 负荷	区域 发受电	电力余缺	平衡状态
浙北区	8 271	7 794	-477	紧张
浙中区	10 826	11 098	272	平衡
浙南区	18 739	25 394	6 655	富裕

经过对区域最大最小可调出力、电力余缺、负荷等指标的计算，可以对区域的平衡状态进行预估，根据浙北地区为紧张，浙中地区为基本平衡、浙南区域为富裕的平衡结果，可以利用两条虚拟传输线路，以及传输线路的传输极限，将浙南地区的富裕电量输送到浙北地区，以缓解浙北地区的用电紧张。其中浙南地区由于包含有宾金 ± 800 kV特高压直流，区域输电情况正常下一般为富裕状态。图3为分区及传输示意图。在平衡示意图中，用红色表示紧张状态，黄色表示基本平衡状态，绿色表示富裕状态，使区域平衡分析更加直观。

根据各区域联络线的情况得到“北中通道”（浙北到浙中虚拟传输线）的传输极限为500 MW，“中南通道”（浙中到浙南虚拟传输线）的传输极限为800 MW，所以在本例中形成了两条通道，分别是浙北→浙中通道和浙中→浙南通道。形成

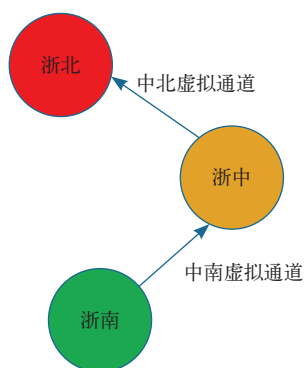


图3 分区平衡状态及传输示意图

为从电力富裕区域到电力紧张区域的自动流转，最终形成了整个大区域的平衡。通过分区平衡的研究分析亦可提高浙北与浙南电网的送电能力、避免事故扩大、提高供电可靠性。

结束语

本文通过对大型的电网进行虚拟分区，电网虚拟分包打破了原有的行政区域限制，建立一个省、地、县三级协同的电网分区平衡体系。本文通过计算日平衡的方法来对整个电网的电能平衡进行评估，进而为指导和安排发电计划和电力传输计算做参考，同时还可对区域电能进行周平衡、季平衡以及年度平衡进行分析，理论方法与日平衡相近。下一步可对分区优化方法在深入研究，对区域内的发电特性、母线负荷特性等进行深入分析，为电能就地消纳、降低远距离传输压力，制订更加精确的调度计划提供理论参考。EA

(收稿日期：2017.10.30)

(编辑：白文亭)

(上接第62页)

在模拟试验平台上进行放电试验，利用声学检测系统检验能否将放电声信号从原始信号中分离出来。通过滤波器前后的信号波形如图8所示。

从图8可以看出，未滤波前无法从信号的时域波形上看出变压器内是否存在放电故障，通过滤波器后变压器的放电声信号与正常时的声信号被分离，可以明显分辨出放电声信号。分离出放电声信号后，利用第二部分所说的小波变换法对故障信号进行处理，取得了良好的效果。

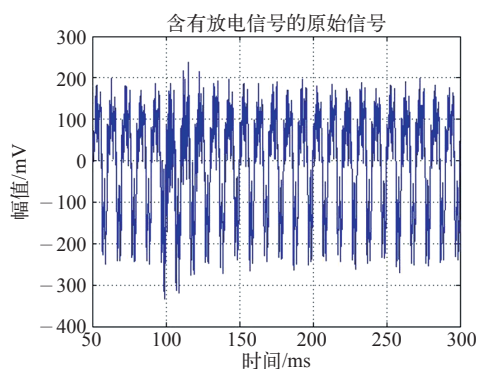
结束语

1) 正常工作时，变压器声信号波形比较平稳，没有明显的脉冲，且频率分量绝大多数集中在1kHz以下且多为100 Hz及其谐波。

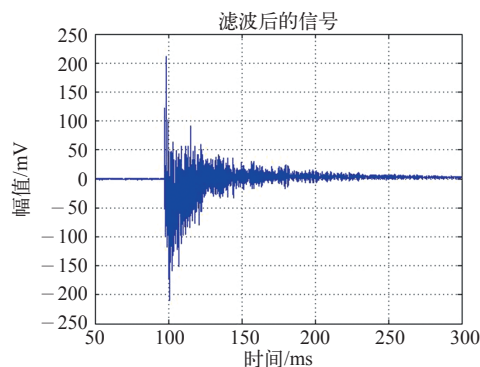
2) 当变压器内部发生放电故障时，声信号具有瞬时脉冲性，傅里叶分析不适用。采用小波变换后，发现放电声信号的特征频率均高于2 kHz，与正常工作时的声信号频谱有明显不同，因此采用小波变换是有效的。

3) 研制了一套变压器放电故障声学检测系统，并取得了良好的效果。EA

(收稿日期：2017.10.27)



(a) 原始信号



(b) 滤波后的信号

图8 通过滤波器前后的信号对比

(编辑：朱金凤)