

# EMS网络模型与外网整合实现全网潮流计算的方法

汤必强<sup>1</sup>,汪胜和<sup>2</sup>,李峰<sup>1</sup>,於益军<sup>1</sup>

(1.国网电力科学研究院,江苏南京 210003;2.安徽省电力公司电力调度中心,安徽合肥 230061)

**摘要:**提出了一种将能量管理系统(EMS)网络模型与外网网络模型进行整合的实用方法,其中外网网络模型直接采用国产BPA软件潮流计算文件格式。BPA外网模型的接入使得电力系统潮流分析计算计及外网的影响,同时避免了EMS全网统一建模或进行实际的模型拼接带来的大量工作,以及基于分布式潮流计算所必需的各地人员的协同配合工作。基于实际系统的仿真算例结果证明了该方法的有效性。

**关键词:**电力系统;电网模型整合;能量管理系统;BPA模型

**中图分类号:**TM744

**文献标志码:**A

**文章编号:**1009-0665(2011)05-0005-03

随着经济的持续快速增长,电力工业得到了长足的发展,我国电网将成为世界上规模最大和网架结构最复杂的电网。与此同时,电力系统的调度控制管理仍然采用分层分区的模式。各级电力调度中心的能量管理系统(EMS)通常只对本管辖区域的电网进行网络建模,对外网采用等值的方法进行模型处理。因此在EMS潮流计算中,外网(全网中本管辖区域以外的部分)对内网(本管辖区域内电网)的影响不能得到准确反映。

全网模型下的潮流计算能真正反映外网对内网的影响,目前有两种计算方法,一是集中式建模,即在EMS中将全网都进行网络建模。通常采用将各个调度中心已建好的电网模型进行拼接,形成全网模型<sup>[1]</sup>。采用该模型,可以方便地进行全网潮流计算。但是,该模型拼接是为了通过全网模型进行电力系统的监控和一体化分析,拼接工作涉及的模型数据不仅仅包括潮流计算所需的数据,而是整个EMS正常运转所需的所有数据。因此,拼接和维护的工作量十分巨大,需要专人负责。二是分布式建模,即利用各个调度中心EMS已经建立的电网模型,在各EMS之间进行计算数据的交互与迭代,以实现全网潮流计算。文献[2]提出了一种分布式潮流计算的“主从分裂算法”。文献[3]以松弛牛顿法潮流求解公式为出发点,首先利用矩阵分裂法,将互联电网分解为相互独立的子系统,然后利用矩阵求逆运算的Sherman-Morrison-Woodbery公式对各子系统进行协调求解。也有学者提出使用戴维南等值理论来构造外层迭代格式的分布式潮流分解协调算法<sup>[4,5]</sup>。以上算法都需要构造外层协调迭代计算。另外,文献[6]提出基于计算模型拼接的互联系统分布式潮流计算方法,该算法在子网间无任何外层协调迭代计算,从而避免了复杂的算法组织模式,同时具备和全

网一体化计算完全一致的计算结果。不管是集中式建模还是分布式建模,都属于分布式潮流的范畴,需要在各个调度中心进行不同程度的协调和组织,单个调度中心人员没办法独立完成。而我国大多数电力系统调度中心所用的BPA离线分析计算软件的潮流计算模型文件的数据结构简单,便于程序解析。将其用于与已有EMS网络模型进行整合,能够有效地解决这一问题。

## 1 模型整合方法

本文主要考虑在不具备分布式潮流计算条件下,如何方便地进行全网模型下的潮流计算;在将本地EMS网络模型扩展到全网模型进行潮流计算时,力求实现外网模型的建立过程尽可能简化、快速,同时又保证外网模型的接入不影响边界设备潮流。

通常用于电力系统运行方式分析的BPA格式的潮流计算文件是全网潮流计算文件,包括本区域的设备模型。因此,需要在整合前剔除掉BPA文件中与本EMS已建模型重复的部分。剔除方法采用网络拓扑广度搜索原理,在BPA文件中选取一个本EMS已经建模的节点,作为搜索起始节点,向外搜索,直到搜索到联络支路为止;将搜索到的所有设备从BPA潮流计算文件中剔除,形成纯外网模型。将剔除内网设备的BPA外网模型导入到EMS网络模型数据库中,并根据联络支路及节点对应关系,将EMS模型中的联络支路靠近外网侧的节点用BPA网络模型中的对应节点代替,形成内外网连为一体的全网模型。

文中提出的将EMS网络模型与外网BPA网络模型整合的方法,包括下列步骤:(1)定义EMS中已建网络模型与外部网络模型之间的联络支路,以及联络支路对应BPA潮流计算文件中的节点名称和电压等级,建立联络支路及节点对应关系。(2)对

BPA 网络模型进行预处理, 通过网络设备连接关系, 剔除掉 BPA 潮流计算文件中与 EMS 已建模型(即内网模型)重复的部分。(3) 将 BPA 潮流计算文件中剩下的网络模型(即外部网络模型)与 EMS 已建模型(即内网模型)进行拼接整合, 形成全网模型。(4) 针对内网潮流方式, 根据灵敏度分析调整外网发电机及负荷节点的注入量, 使得全网潮流计算后边界联络支路的潮流与整合前内网潮流方式一致。

## 2 边界联络线潮流调整

由于 BPA 潮流计算模型文件主要用于离线分析计算, 外网设备的运行方式不一定与当前 EMS 系统中的运行方式一致。因此, 文中采用根据灵敏度分析结果调整外网发电机及负荷节点注入量的方法。节点有功注入功率变化引起的支路潮流变化量的计算公式<sup>[7]</sup>如下:

$$\begin{cases} \Delta P_k^i = G_{k-1} \Delta P_i \\ G_{k-1} = \frac{X_{mi} - X_{ni}}{X_k} \end{cases} \quad (1)$$

式中:  $\Delta P_i$  为节点  $i$  有功功率变化量;  $\Delta P_k^i$  为引起支路  $k$  的有功功率变化量;  $G_{k-1}$  为节点功率转移分布因子;  $X$  为电纳矩阵的逆阵;  $m$  和  $n$  分别是支路  $k$  的两端节点号。

根据式(1)可以计算出发电机和负荷节点有功注入的变化量与引起的联络支路潮流变化量的关系。对所有外网发电机和负荷节点功率转移分布因子进行排序, 按照转移分布因子绝对值大小顺序对外网发电机和负荷功率进行调整。

在进行功率调整时, 需要考虑以下几点: (1) 调整过程中, 发电机出力不能超出实际出力的上下限值。当出力被调节到其限值时, 该发电机失去调节能力, 继续调节下一台机组出力。(2) 调整过程中, 负荷的最小功率为 0, 即不考虑负荷向电网发送功率。(3) 根据边界联络线偏差量及转移分布因子调整外网发电机和负荷功率后, 从发用电平衡的角度出发, 需要检查发电机功率的调整总量是否与负荷功率的调整总量相等。如果不相等, 调整对联络线功率转移分布因子绝对值很小的发电机或负荷功率, 确保系统发用电平衡。

通过以上功率调整, 实现全网潮流计算后的边界联络支路的潮流与整合前内网潮流方式一致, 具体流程见图 1。

## 3 算例结果

以江苏电网 EMS 2007 年 8 月 1 日极值断面和

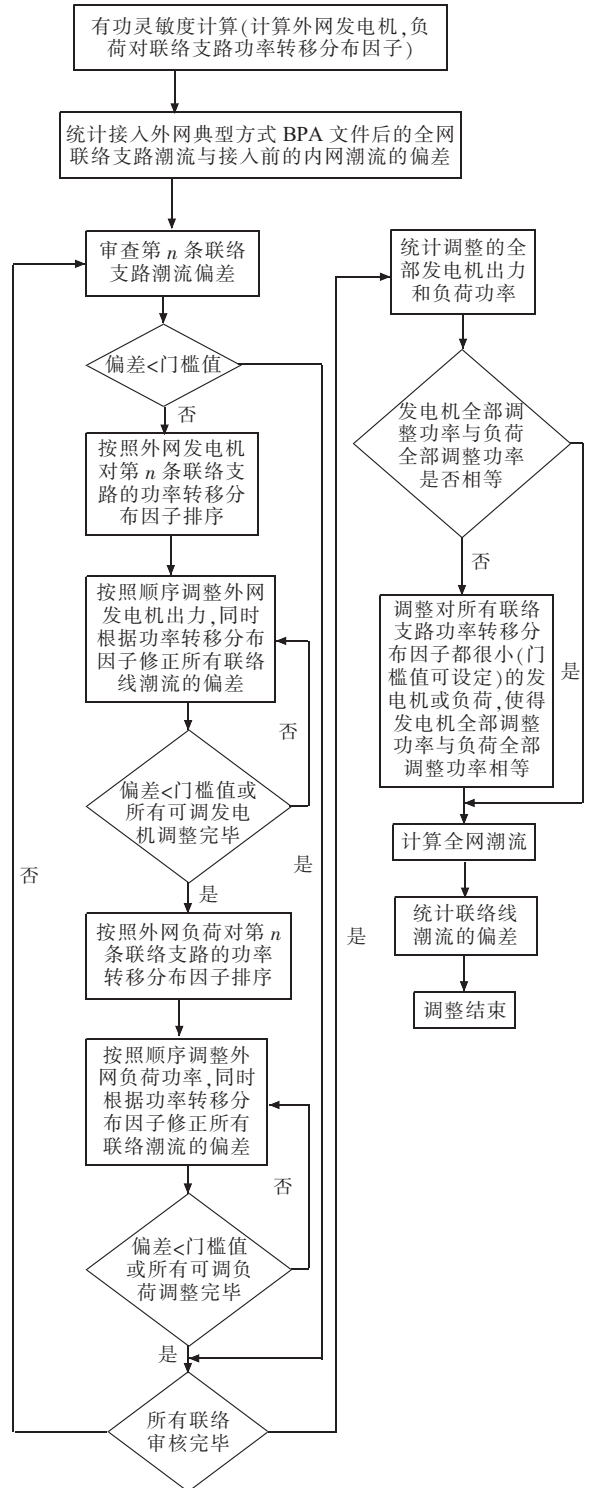


图 1 外网发电机和负荷功率调整的计算流程

华东电网 2007 年夏季典型运行方式的 BPA 潮流计算文件为例, 检验 EMS 网络模型与外网 BPA 网络模型整合的过程和结果。内网(江苏电网)与外网(华东电网除去江苏部分)联络支路和 BPA 节点的对应关系如表 1 所示。

模型整合步骤如下: (1) 确定算例中江苏电网与外网的联络支路与 BPA 节点对应关系, 形成联络支路及节点对应关系。(2) 剔除掉 BPA 潮流计算文件中与 EMS 已建模型重复部分。选取搜索起始节

表 1 联络支路及节点定义

序号	EMS 数据库 交流线段名	线路外网侧 节点 BPA 名	线路内网侧 节点BPA 名	线路节点 电压等级	BPA 回路号
1	牌渡 5913 线	SHD	JSPAI	525 kV	3
2	牌渡 5903 线	SHD	JSPAI	525 kV	4
3	瓶武 5915 线	PY	JWN	525 kV	1
4	瓶武 5905 线	PY_2	JWN	525 kV	2
5	太徐 5923 线	SXUH	JKUNT	525 kV	1
6	太行 5933 线	SXUH	JKUNT	525 kV	2
7	当桥 5914 线	AMASH	JDSQ	525 kV	1
8	当善 5904 线	AMASH	JDSQ	525 kV	2

点为“JTJ\_03\_”, 10.5 kV”。剔除 BPA 文件中全部江苏内网设备。(3) 将华东外网 BPA 模型导入到江苏 EMS 网络模型数据库中, 将 EMS 模型中联络支路靠近外网侧的节点用 BPA 网络模型中对应节点代替, 形成内外网连为一体的全网模型。(4) 进行全网潮流计算, 得到边界联络支路的功率潮流。计算全部外网发电机和负荷节点对联络支路功率转移分布因子; 然后根据图 1 给出的功率调整流程, 对外网发电机和负荷功率进行调整; 再计算调整后的全网潮流。

将整合后的全网模型潮流计算结果与未整合外网模型前的江苏内网潮流结果进行比对, 发现内网线路有功潮流偏差小于 2%, 母线电压幅值偏差小于 1%。整合前后边界联络支路的潮流偏差见表 2, 可以看出整合前后的江苏内网潮流方式基本一致。

表 2 整合外网前后联络支路有功潮流结果比对

序号	联络支路名	整合前有 功率 /MW	整合后有 功率 /MW	偏差 /MW
1	牌渡 5913 线	482.7	479.6	-3.1
2	牌渡 5903 线	475.2	477.9	2.7
3	瓶武 5915 线	245.8	242.6	-3.2
4	瓶武 5905 线	313.9	312.6	-1.3
5	太徐 5923 线	886.9	888.2	1.3
6	太行 5933 线	880.8	888.2	7.4
7	当桥 5914 线	-205.4	-204.6	0.8
8	当善 5904 线	-190.1	-190.0	0.1

#### 4 结束语

### Network Integration Approach of EMS and Outer-grid Model for Entire Grid Power Flow Calculation

TANG Bi-qiang<sup>1</sup>, WANG Sheng-he<sup>2</sup>, LI Feng<sup>1</sup>, YU Yi-jun<sup>1</sup>

(1.State Grid Electric Power Research Institute, Nanjing 210003, China;

2. Anhui Electric Power Dispatching and Communication Center, Hefei 230061, China)

**Abstract:** A novel integration method of EMS network model and outer-grid model with BPA format was presented in this paper. The influence of outer-grid can be considered in power flow calculation through the BPA model integration. Furthermore, the enormous work brought by whole-grid modeling, actual model integration and distributed power flow calculation can be avoided. The feasibility of the proposed method is verified by simulation results of an actual power grid.

**Key words:** power system; network model integration; energy management system; BPA model

采用 EMS 网络模型与外网 BPA 网络模型整合进行全网潮流计算的方法, 可在不具备分布式潮流计算的条件下对全网模型进行潮流计算。同时该方法有别于已有的集中建模计算, 采用全网 BPA 潮流计算文件作为外网模型的来源, 不进行全网一体化建模或进行实际的设备详细模型拼接, 由于 BPA 潮流计算文件中的网络模型比实际电网设备模型有很大的简化, 因此节省了大量的数据库建模和实际设备模型拼接的工作, 使用方便, 快捷, 便于维护, 非常适合工程化应用。该方法已经实际应用于安徽电网 DTS 系统, 将安徽外网模型接入仿真, 能有效反映电网出现大扰动下的联络线潮流转移, 对安徽电网调度人员培训及联合反事故演习提供了有力支持。

#### 参考文献:

- [1] 张瑞鹏. 电力系统多区域网络模型拼接方法: 中国, 200610166302.1 [P]. 2007-07-25.
- [2] 孙宏斌, 张伯明, 相年德. 发输电全局电力系统分析 [J]. 电力系统自动化, 2000, 24(1): 17-21.
- [3] 汪芳宗, 杨力森, 高学军, 等. 基于松弛牛顿法的互联电网并行分布式潮流计算方法 [J]. 继电器, 2007, 35(16): 25-31.
- [4] 张海波, 张伯明, 孙宏斌. 基于异步迭代的多区域互联系统动态潮流分解协调计算 [J]. 电力系统自动化, 2003, 27(24): 1-5.
- [5] 张海波, 张伯明, 孙宏斌. 分布式潮流计算异步迭代模式的补充和改进 [J]. 电力系统自动化, 2007, 31(2): 12-17.
- [6] 李 锋, 高 明, 姚建国, 等. 基于计算模型拼接的互联系统分布式潮流计算方法: 中国, 200710191542.1 [P]. 2008-7-16.
- [7] 张伯明. 高等电力网络分析 [M]. 北京: 清华大学出版社, 2007.

#### 作者简介:

汤必强(1979-), 男, 广东花都人, 工程师, 从事电网分析与仿真的研究及开发工作;

汪胜和(1971-), 男, 安徽怀宁人, 高级工程师, 从事电网调度自动化工作;

李 峰(1976-), 男, 湖北沙市人, 工程师, 从事电网分析与仿真的研究及开发工作;

於益军(1967-), 男, 江苏江阴人, 高级工程师, 从事电网分析的研究与开发工作。