

配电网潮流计算方法在工程应用中的分析

吴奕¹, 万真理², 张玉林³, 朱海兵¹, 熊浩¹, 陈娜¹, 范青¹
(1.江苏省电力公司, 江苏南京 210024; 2.宁波电业局, 浙江宁波 315336;
3.国电南瑞科技股份有限公司, 江苏南京 210061)

摘要:针对目前配电网自动化设备的覆盖率较低、配电网模型数据维护量大、基础数据不完整、研究实时量测信息缺少情况,结合用电信息采集和典型负荷特性进行负荷校验和负荷补全。利用最优乘子法,结合配电网辐射网络结构,采取分块稀疏矩阵技术,既保证了潮流计算收敛,又保证了计算快速准确性,满足了实际工程的需要,从而解决实际工程中的实用化潮流分析计算问题。

关键词:配电网;潮流计算;负荷校验;实用化

中图分类号:TM711

文献标志码:A

文章编号:1009-0665(2015)04-0010-04

调度控制中心为了对电力系统进行实时安全监控,需要根据实时数据库所提供的信息,随时判断系统当前的运行状态并对预想事故进行安全分析,这就需要进行广泛的潮流计算,并且对计算速度等还提出更高的要求,现有潮流计算方法已提出很多改进的措施^[1],但还需结合配网实际运行情况进一步加强实用化应用。虽然配电网的量测水平在不断提高,在配电网局部已经具有大量的量测数据,但是从整个配电网全局角度上来看,实时监测数据可观测范围所占比例还是较小。相应的自动化设备的技术和管理要求不完善,技术标准和管理制度还在制定中,现有配电网自动化技术的实用化水平较低,由于技术不成熟、网架结构调整频繁、运行维护力量不足等原因,部分区域存在缺失的情况。分布式电源的大量接入,改变了配电网馈线系统的故障电流大小及方向^[2],也为配电网潮流计算带来难度。

针对配电网监测数据现状,在智能配电网调度技术支持系统的分析平台上,结合实时采集、用电信息和典型负荷特性,利用配电网状态估计预处理、对不可观察的配电网负荷量测区域,利用历史数据、用电信息采集数据、负荷预测数据增加伪量测,并对量测数据进行综合评价,利用拓扑分析进行负荷校验处理,通过拓扑搜索实现配电网可观测性,在当前配电网现状下能够有效地进行准确的潮流分析,实现配电网实用化潮流计算。

1 拓扑分析

1.1 主配电网模型拼接

配电自动化主站系统模型范围覆盖主网以及配电网。配电网图模信息从地理信息系统获取,主网模型从能量管理系统获取,在配电自动化主站系统完成主、配电网模型的拼接以及模型动态变化管理功能,

构建完整的配电网分析应用模型。配电自动化主站系统与相关系统的图模交换全部通过信息交换总线实现。地理信息系统按照 CIM/SVG 格式导出配电网的模型以及相关图形,配电自动化主站系统中不再维护的图模,而是通过信息交换总线接受生产管理导出的图模信息,并转换到配电自动化主站系统中。能量管理系统按照 CIM/SVG 格式导出上级电网的模型以及相关图形,配电自动化主站系统通过信息交换总线接受能量管理导出的上级电网图模信息。配电自动化主站系统通过信息交换总线获取配电网图模数据和主网图模数据,然后在图模库一体化平台上实现馈线模型与站内模型拼接,在配电自动化主站系统中可以得到完整的电网网络模型,为配电网调度的指挥管理提供完整的电网模型及拓扑资料。

1.2 配电网拓扑分析

在同一个电压等级内部,根据开关刀闸的状态给每个节点进行着色,将与着色起始点通过闭合开关刀闸连在一起的所有节点全部着成同一个颜色,形成母线号。然后将通过支路(线路和变压器支路)连在一起的母线划分到同一个电气岛中去。网络拓扑分析软件的目的就是由厂站的结线方式抽象出系统设备联通关系的单线图。拓扑分析软件主要完成以下工作:

(1) 电气岛分析。电气岛即一个独立的供电、输电、用电系统,当系统发生故障继保动作后,系统经常会解列成多个电气岛,有了对电气岛的分析就可以进行多岛计算。

(2) 生成计算母线。通过对网络结线方式的搜索,将所有通过闭合的开关、刀闸以及联结线所联接的点聚集到一起,从而使每个节点之间都通过阻抗支路联接的,从而生成由母线和阻抗支路组成的系统单线图。

(3) 负荷数据校验与补全。综合利用用电信息采集电表数据、营销系统电量数据、历史曲线数据,负荷预测数据,主配电网开关实时量测数据,通过拓扑遍

历,进行负荷分配和负荷校准,以获得用于潮流计算的负荷信息。

2 配电网等值处理

2.1 配电网电源等值处理

配电网根据其自身的特点,以馈线作为一个计算单元,将变电站出线断路器作为等值电源处理,读取站内母线作为根节点的电压,同时读取到能量管理调度员潮流计算得到的站内母线的相角,以断路器的功率作为根节点的输出功率。

2.2 配电网负荷等值处理

2.2.1 配电网负荷模型处理

配电网负荷读取,配电网负荷主要是配电网公变和配电网专变模型及量测数据的读取。但是由于大部分供电公司的配变量测无法准确实时的读取,必须采取其他的方法来获得配电网负荷量测数据。本文采取将配电网开关等值处理为负荷方法,在模型中首先维护好配电网开关的开关类型。配电网开关类型主要分为线路开关和负荷开关,对于负荷开关的配电网开关则等值处理为负荷,将该负荷开关下游侧所有负荷等值为一个总负荷。读取到负荷开关的量测等值处理为该负荷开关下游所有负荷的总量测功率消耗。

如果开关站或者环网柜因为负荷没有量测导致流入配电网母线电流之和与流出配电网母线电流之和不平衡,则将流入与流出电流之差分配给该配电网母线上没有量测的负荷。当配电网母线出线开关下游侧实际上有负荷消耗功率,而配电网中并没有建立配电网负荷模型时,本文将配电网馈线段等值处理为负荷,并对该等值负荷分配负荷功率。

2.2.2 配电网负荷量测数据处理

负荷功率准确分配和读取是影响潮流计算准确度较大的因素。对于配电网负荷量测的读取,如果配电网开关没有功率量测值,只有电流量测值。则采用默认的功率因数。求节点功率值:流入节点功率为正,流出节点功率为负,节点流入功率一定是大于或等于流出的功率,如果流出功率小于流入功率,则该节点有剩余的功率来分配给负荷。获得了小区段总剩余功率注入,总功率减去各个注入元件的节点注入功率和支路损耗功率,最后的差值就为该小区段的负荷或者电源分配得到功率值。对于无量测的负荷,将小区段中剩余功率分配给负荷元件如果小区段没有负荷,则将剩余功率分配给电源元件。

负荷功率分配前提:所有配电网开关均计算得到开关流过的功率值。所有流入区段开关功率-所有流出区段开关功率-区段内节点注入功率(节点注入功率指该区段内负荷的功率与电源的功率之和)=不平衡功

率。然后将不平衡功率分配给该区段内无量测的负荷或者电源。

配电网负荷量测数据分配步骤:利用配电网变压器功率数据作为其冗余数据分析,是将配电网变压器的量测作为注入量测,求解超线性矩阵方程,得到正确的状态值。状态分析用于处理冗余的或不良的测量数据,以获得正确的一致信息。功率方向定义:流入节点功率为正,流出节点功率为负。

程序处理步骤如下:

(1) 如果配电网开关没有功率量测值,则采用出线断路器的功率因数,否则采用默认的功率因数。

(2) 求节点功率值:节点流入功率大于或等于流出的功率,则该节点有剩余的功率来分配给负荷;如果流出功率大于流入功率,则该节点有剩余的功率来分配给分布式电源。

(3) 获得小区段总剩余功率,注入总功率减去各个注入元件的节点注入功率和支路损耗功率,最后的差值就为该小区段的负荷或者电源分配得到功率值。

(4) 对于无量测的负荷,将小区段中剩余功率分配给负荷元件。

(5) 若小区段没有负荷,则将剩余功率分配给电源元件。负荷功率分配前提是:所有配电网开关均计算得到开关流过的功率值。技巧是:能够分清区段内那些开关是功率流入的开关,那些开关是功率流出的开关。

(6) 所有流入区段开关功率-所有流出区段开关功率-区段内节点注入功率(节点注入功率指该区段内负荷的功率与电源的功率之和)=不平衡功率。

然后将不平衡功率分配给该区段内无量测的负荷或者电源。

2.3 静态准实时量测一致性校验

静态负荷量测包括有功功率、无功功率、电流、电压、功率因数等。依据电路 KVL 和 KCL, PQI 匹配等基本准则进行校验分析,将不满足电路基本约束关系的量测去除。一致性检查的内容还包括:配电网开关 PQI 不匹配;馈线段两端(中间无分叉)有功、无功、电流相冲突;配电网母线量测流入流出不匹配;配电网负荷与负荷开关量测不匹配;配电网开关遥测与遥信不对应。

3 配电网潮流分析

配电网潮流计算其目的是求解配电网进行各种模拟操作后的稳态潮流分布,为其他分析模块提供基态潮流。配电网与输电网相比,在网络结构和参数上有着明显的差异。配电网的网络呈辐射状,在正常运行时是开环的,只有在转移荷时才有可能出现短时环网运行情况;另外,配电线路的总长度较输电线路要长且分支较多;配电线的线径比输电网细,导致配电网的 R/X

较大,且线路的充电电容可以忽略。由于配电网特殊的网络结构和参数分布特点,导致无法满足牛顿法的 P, Q 解耦条件,所以在输电网中常用的快速解耦算法在配电网中则难以收敛。

本文采用了多种潮流算法,包括:前推回代法^[3]、牛顿拉夫逊法^[4]及最优乘法子法^[5]等。既能进行辐射网的潮流计算,也能进行环网的潮流计算。对于配电网,由于馈线的 R/X 值一般较大,应用快速分解法进行潮流计算时可能遇到困难。对于辐射型配电网的潮流计算,前推回代法因其原理简单、算法实现方便,收敛性好等原因得到了广泛的应用。对于出现环网运行的情况,采用前推回代法进行潮流计算将遇到困难,可采用牛顿拉夫逊法或最优乘法子法进行潮流计算。潮流计算流程如图 1 所示。

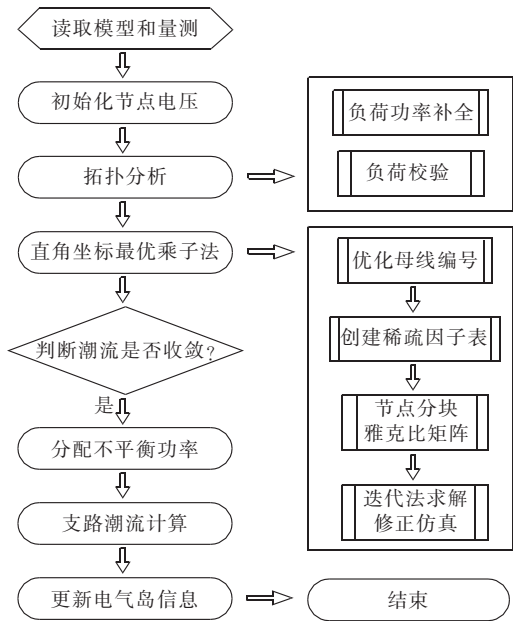


图 1 潮流计算流程图

而配电网较之主网而言具有以下特点:配电网设计及实际运行为开环、以辐射型网络或少网孔型网络为主、电压等级低、容量有限、节点间距离短、低电压配电网线路电阻较大不满足 $R \ll X$ 。根据配电网的特点综合比较各算法的优劣,考虑现有潮流计算模块所采用算法,决定采用牛顿—拉夫逊算法和稀疏向量矩阵技术^[6,7]进行潮流计算开发。牛顿—拉夫逊法也广泛地应用于主网的潮流计算软件中,他对复杂电网的处理能力,优于其他算法,牛顿—拉夫逊算法可直接处理双电源状态,不需另写代码加以处理,该算法是二阶收敛又对初值较为敏感影响其收敛速度(但可采用牛顿法和其他简单迭代相结合的方法加以解决)。

调度员潮流所需要的已知量包括每条母线上的有功无功量测、PV 节点和平衡节点上的电压量测。求出每条母线上的电压和相角,从而进一步确定出系统中的有功无功电流分布情况。计算步骤:(1) 通过拓扑分

析确定系统中的电气岛个数;(2) 在每个电气岛内,进行操作;(3) 寻找出此电气岛中的所有设备;(4) 对母线按照出现度的大小进行排序;(5) 形成此电气岛的导纳矩阵;(6) 形成此电气岛的节点注入功率;(7) 计算雅克比矩阵,根据功率偏差计算电压和相角的修正量;(8) 返回第(7)步,直至计算收敛或者发散;(9) 计算收敛以后,计算系统中的潮流分布情况,统计越限信息,以及网损信息。

4 案例分析

本案例以某供电公司开发变 221 相关电气岛进行数据分析,该电气岛简化等值计算电路图如图 2 所示。负荷校准和数据补全分析结果如表 1 所示。该电气岛潮流计算结果如表 2 所示。

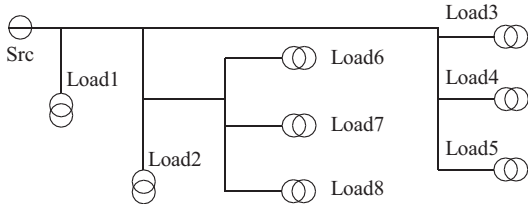


图 2 电气岛简化等值计算电路图

表 1 配电网负荷功率分配表

编号	设备名称	计算有功 /MW	计算无功 /Mvar	基准电压 /kV
1	Load1	0.254 1	0.083 6	10.5
2	Load2	0.114 5	0.003 7	10.5
3	Load3	0.302 5	0.103 1	10.5
4	Load4	0.354 1	0.115 7	10.5
5	Load5	0.344 1	0.105 7	10.5
6	Load6	0.457 8	0.158	10.5
7	Load7	0.347 8	0.108	10.5
8	Load8	0.357 8	0.118	10.5

表 2 线路潮流计算分布表

编号	设备名称	P 量测 /MW	Q 量测 /Mvar	P 计算 /MW	Q 计算 /Mvar
1	Sec1	2.71	0.7	2.701	0.827
2	Sec2	0	0	1.035	0.319
3	Sec3	1.37	0.4	1.41	0.453
4	Sec4	2.538	0.562	2.55	0.6
5	Sec5	0.162	0.01	0.14	0.010 1
6	Sec6	0	0	0.357	0.115
7	Sec7	1.248	0.393	1.13	0.4
8	Sec8	0	0	0.064	0.004
9	Sec9	0	0	0.354	0.108
10	Sec10	0	0	0.301	0.102

由表 2 可知,对没有量测的配电网负荷首先进行合理的量测分配,并对分配的量测进行校验。然后进行配电网潮流计算分析,部分没有量测的开关通过潮流计算后进行了量测补全。

4.1 配电网潮流误差分析

影响配电网潮流的误差因素主要有:(1) 模型建立不完整, 线路中没有改造的环网柜没有建立模型, 或者新建的并且已经投运的负荷没有进行模型更新。(2) 部分环网柜没有采集到开关状态, 需要人工对开关状态进行设置, 而错误的人工置位导致拓扑搜索错误。(3) 馈线部分开关站或者环网柜量测不可观察性, 无法对负荷进行量测分配。分配的伪量测导致潮流计算存在误差。(4) 配电网变压器量测非实时性及不完整性。(5) 线路状态估计不收敛或者无法进行状态估计。(6) 馈线只有极少部分开关采集实时量测, 绝大部分开关没有采集量测数据。

5 结束语

由于配电自动化系统在配变终端覆盖率低, 缺少完整实时的配变量测, 将用电信息采集系统读取到的电度表的数据通过数据总线转发到配电自动化系统, 利用实时较为准确的线路开关的量测来校验用电信息的负荷量测数据, 对缺少的配变量测通过拓扑分析, 利用开关的量测进行补全, 在此基础上进行一次配电网潮流计算。为了提高计算的准确性, 也可以采用了将与配变直接相连的负荷开关上的量值等值处理为配变的量测, 而负荷开关的量测比较准确实时, 通过等值处理后, 潮流计算和的准确度就有了较大的提高。但是当部分负荷开关没有安装终端采集到量测, 或者通信等原因导致量测不变化, 那么这部分线路就成为不可观察点无法计算, 就只能将整条线路或者环网柜等值处理成为一个负荷以保证全网潮流计算的准确性。

利用拓扑搜索原理, 结合用电信息和典型负荷特性的配电网状态分析进行负荷校验和负荷补全, 或者

负荷等值处理, 进行潮流计算。利用最优乘子法, 结合配电网辐射网络结构, 采取分块稀疏矩阵技术, 既保证了潮流计算收敛, 又保证了计算快速准确性, 满足了实际工程的需要。

参考文献:

- [1] 于继来, 王 江, 柳 悼. 电力系统潮流算法的几点改进[J]. 电机工程学报, 2001, 21(9): 88-93.
- [2] 陈 冲, 陈小伟, 沈明慷, 等. 含分布式电源的配电网馈线系统保护研究[J]. 江苏电机工程, 2012, 31(6): 6-10.
- [3] 温 建, 刘观起. 地区配电网潮流计算及软件开发[D]. 保定: 华北电力大学, 2006.
- [4] 于尔铿, 潘 毅, 王宪荣, 等. 电力系统潮流收敛性的实用性改进[J]. 电网技术, 1995, 19(1): 23-26.
- [5] 王宪荣, 包丽明, 柳 悼. 极坐标标准最优乘子病态潮流解法研究[J]. 中国电机工程学报, 1994, 14(1): 40-45.
- [6] 吴建平, 王正华, 李晓梅. 稀疏线性方程组的高效求解与并行计算[M]. 长沙: 湖南科学技术出版社, 2004: 26-29.
- [7] 黄正波. 用于潮流计算的稀疏技术研究[D]. 重庆: 重庆大学, 2010: 7-10.

作者简介:

- 吴 奕(1968), 男, 重庆人, 高级工程师, 从事电网调度与运行管理工作;
- 万真理(1981), 男, 重庆万县人, 工程师, 从事智能配电网调度自动化工作;
- 张玉林(1981), 男, 重庆云阳人, 工程师, 从事电力调度自动化系统运行与管理工作;
- 朱海兵(1978), 男, 江苏张家港人, 高级工程师, 从事电网调度与运行管理工作;
- 熊 浩(1982), 男, 江苏南京人, 工程师, 从事电网调度与运行管理工作;
- 陈 娜(1985), 女, 安徽巢湖人, 工程师, 从事电网调度与运行管理工作;
- 范 青(1981), 男, 镇江丹阳人, 工程师, 从事电网调度与运行管理工作。

Application analysis of Power Flow calculation in the practical distribution network

WU Yi¹, WAN Zhenli², ZHANG Yulin³, ZHU Haibin¹, XIONG Hao¹, CHEN Na¹, FAN Qing¹

(1. Jiangsu Electric Power Company, Nanjing 210024, China;

2. Ningbo Power Supply Company, Ningbo 315336, China;

3. NARI Technology Development Co. Ltd., Nanjing 210061, China)

Abstract: The low rate of using automation equipment, big amount of distribution network model data, incompleteness of fundamental data and lacking of real-time measured information, a method for load verification and information completing based on electricity data collecting and load characteristic analysis is proposed. By using optimal multiplier method, combining radial distribution network structure and adopting block sparse matrix technology, the proposed method ensures the convergence, fast speed and accuracy of power flow calculation, which satisfies the engineering requirement and can be used in practical engineering projects.

Key words: distribution network; power flow calculation; load verification; practical