

华中电网稳定计算用负荷模型参数仿真研究

李 勇, 徐友平, 肖 华, 姜文立

(华中电力调度通信中心, 湖北省 武汉市 430077)

Simulation Study on Load Model Parameters for Stability Analysis of Central China Power Grid

LI Yong, XU You-ping, XIAO Hua, JIANG Wen-li

(Central China Electric Power Dispatching and Communication Center, Wuhan 430077, Hubei Province, China)

ABSTRACT: Load model is one of the important factors effecting power system stability simulation. To research the accuracy of the load model and its parameters being adopted in the dispatching department of central China power grid to guide the load modeling scientifically, the equivalent impedances of distribution networks of central China power grid are calculated by power system analysis software package (PSASP). Simulation results show that there is a certain difference between the equivalent load model parameters being adopted and their practical values, and the factors, such as the structure of distribution network, its operating voltage and the approach to process the equivalent impedance and so on, effect the equivalence accuracy of load model. Using the equivalent load model parameters obtained from simulation, the measures being adopted currently to enhance voltage stability of power network can be simplified.

KEY WORDS: central China power grid; load model; distribution network; equivalent impedance

摘要: 负荷模型是影响电力系统仿真计算的重要因素。为探讨目前华中电网调度部门实际使用的负荷模型及其参数的准确性, 指导科学建模工作, 利用电力系统分析综合程序 PSASP 计算了华中电网各配电网的等值阻抗, 仿真结果表明目前应用的等值负荷模型参数与实际情况有一定差距, 配电网结构、运行电压、等值阻抗处理方法等因素对负荷模型等值的准确性均有影响, 利用仿真得到的负荷模型等值参数可减少电压稳定问题突出的电网所需要的稳定措施量。

关键词: 华中电网; 负荷模型; 配电网; 等值阻抗

0 引言

负荷模型及其参数是影响电力系统数字仿真分析准确性的重要因素^[1-5], 由于收资困难、仿真规模有限等多种原因, 目前在省级以上电网调度部门安全稳定计算分析工作中, 一般将电动机、照明、生活用电等各种接于低压配电网的用电负荷等

值到 220 kV 变压器的 110 kV 侧^[6]。等值负荷中配电网的模型和参数一直沿用前苏联国家标准^[7]。

随着国民经济发展和城乡电网建设, 低压配电网及其用电负荷成分与以前相比发生了较大改变。此外, 随着“西电东送、南北互供、全国联网”战略的逐步实现, 我国电网规模急剧扩大, 电网的功角稳定问题逐渐减少, 动态稳定和电压稳定问题越来越突出, 负荷模型对电网仿真计算结果的影响已变得不容忽视。深入研究、建立适应于我国现阶段大规模互联系统的负荷模型和参数, 对于提高大电网仿真分析精度、改善电网安全稳定水平、提高电网输电能力具有重要意义, 并已受到人们的广泛关注^[8], 在理论分析和实测建模方面取得了许多成果, 主要有基于元件的统计综合法^[9]和基于实测的总体测辨法^[9-13]。

为更准确地了解稳定计算中配电网等值参数与实际情况的差别, 指导负荷模型及其参数的科学选择, 本文以华中电网为研究对象, 调查收集了华中电网 6 省、市 18 个城区、郊区和农村的典型配电网, 利用电力系统分析综合程序(power system analysis software package, PSASP)计算分析了各配电网的等值阻抗, 并研究了各种因素对计算结果的影响。

1 华中电网配电网等值计算

1.1 配电网参数应用现状

目前, 华中电网调度系统的稳定计算程序中绝大部分用电负荷接在 220 kV 降压变压器的 110kV 侧, 负荷模型采用包含感应电动机和恒定阻抗的综合负荷模型^[14], 感应电动机负荷模型的定子绕组电抗 x_1 为 0.295, 由感应电动机实际定子阻抗 (0.12)和配电网等值阻抗(0.175) 2 部分构成。

华中电网典型配电网接线及其等值阻抗如图1、2所示。由图2可知，配电网的等值电抗 $X_L=0.175$ 。需要说明的是，本文所表述的数值没有标注单位时均为标么值，电压基准值为各电压等级额定值的1.05倍，感应电动机参数的容量基准值取自身的额定容量，其余参数的容量基准值取100MVA。

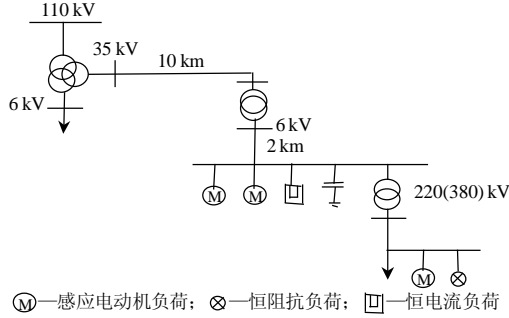


图1 华中电网典型配电网接线
Fig.1 Circuit connection of typical distribution grid of central China power grid

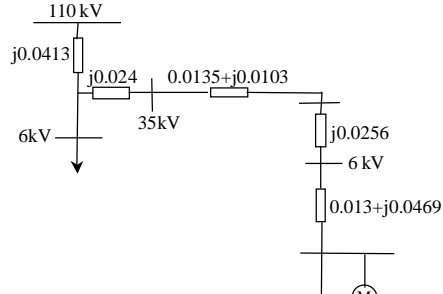


图2 配电网的等值阻抗
Fig.2 Equivalence impedance diagram of typical distribution grid

1.2 等值计算原理

本文以湖北 220 kV 马家塆变电站配电网为例，说明配电网等值电抗计算方法。正常运行时，湖北 220 kV 马家塆变电站 1 台主变运行(总容量 90MVA)，负荷水平为 29 MW+j16 Mvar，配电网潮流如图 3 所示。

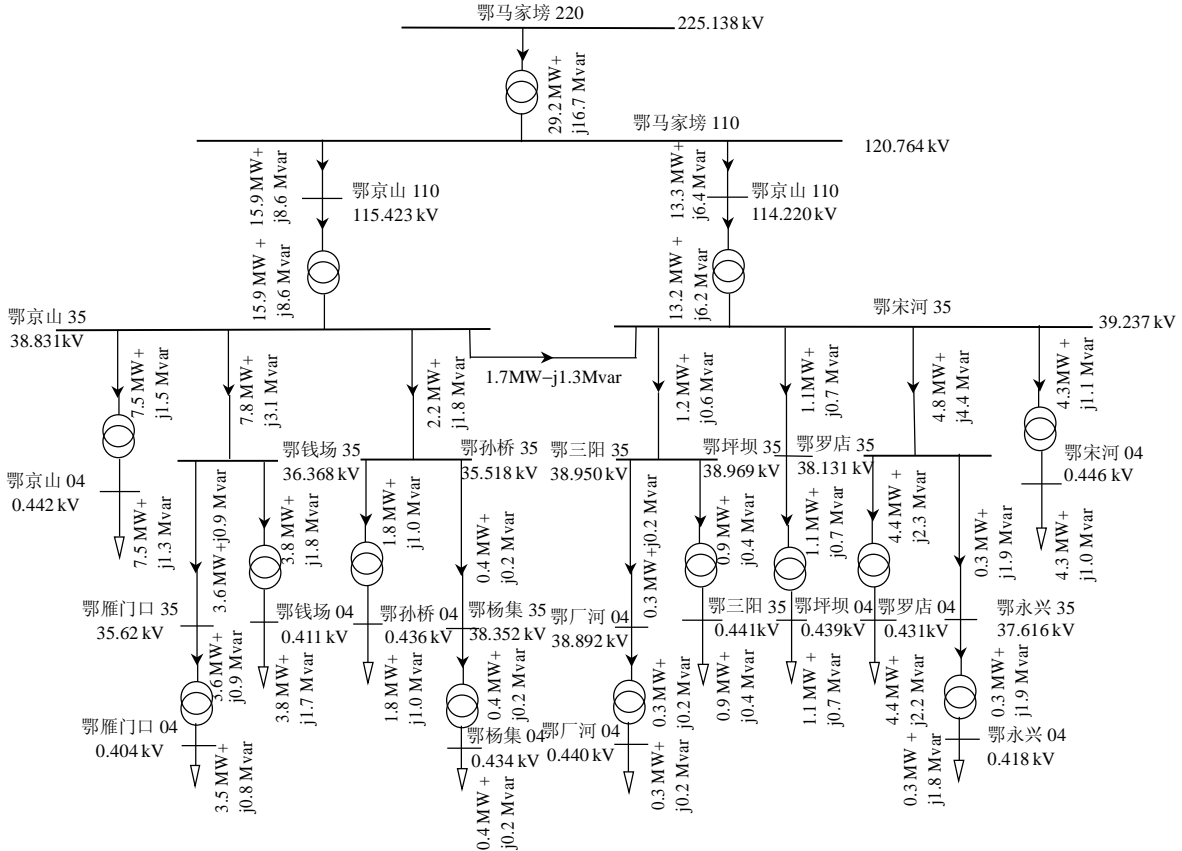


图3 湖北 220kV 马家塆变电站配电网潮流
Fig.3 Power flow of distribution grid for 220kV Majiabang substation in Hubei province

对于图3所示的配电网，采用综合负荷模型，其中感应电动机比例为65%、恒阻抗比例为35%；感应电动机模型采用典型参数，其定子电阻 $r_1=0$ ，

定子电抗 $x_1=0.12$ ，激磁阻抗 $x_m=3.5$ ，转子电阻 $r_2=0.02$ ，转子电抗 $x_2=0.12$ 。

计算步骤如下：①选择一套典型的华中电网调

度部门潮流稳定计算用的正常运行方式数据,建立湖北 220kV 马家塆变电站配电网络;②在马家塆变电站 220kV 母线设置三相故障,获得马家塆主变高压侧电压、有功、无功的变化曲线;③在等值系统中调整感应电动机 x_1 参数,使等值系统在马家塆 220kV 母线三相故障时的主变高压侧电压、有功、无功的变化曲线尽量接近。

选择与详细配电网络相同的故障地点、时间和类型,在感应电动机比例 K 和其他电气参数均不变时,湖北 220kV 马家塆变电站配电网络等值电抗 $X_L=0.06$ 时,马家塆 220kV 主变有功功率和无功功率响应曲线最接近,表明此时的等值负荷可较好地描述详细配电网络下负荷的动态特性,因此等值负荷中感应电动机定子阻抗为 $x_1=0.12+0.06=0.18$,计算结果如图 4~6 所示。

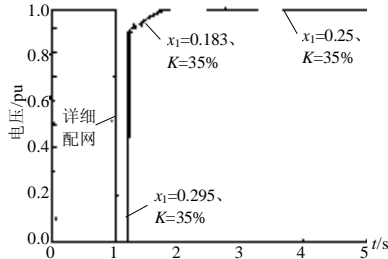


图 4 湖北 220kV 马家塆变电站 220kV 母线电压曲线
Fig.4 Voltage curve of 220kV bus at Majiabang substation in Hubei province

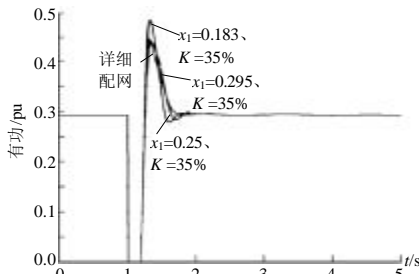


图 5 湖北 220kV 马家塆变电站主变有功曲线
Fig.5 Active power curve of transformer at 220kV Majiabang substation in Hubei province

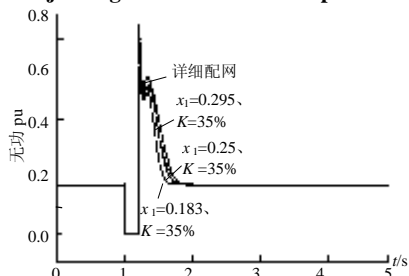


图 6 湖北 220kV 马家塆变电站主变无功曲线
Fig.6 Reactive power curve of transformer at 220kV Majiabang substation in Hubei province

1.3 华中电网典型配电网等值计算结果

本文对河南、湖北、湖南、江西、四川、重庆电网的 18 个配电网进行等值电抗计算,计算结果如表 1 所示。计算中,河南、湖北、湖南、江西、四川、重庆电网的负荷模型中感应电动机比例取各省、市调度部门实际使用比例,分别为 50%、65%、65%、50%、40%、40%。由表 1 可见,目前仿真计算中应用的负荷模型与实际有一定差距,配网等值阻抗离散性很强, X_L 在 0.03~0.16 范围为变化(即 x_1 在 0.15~0.28 范围变化)。

表 1 华中电网典型配电网等值计算结果

Tab.1 Equivalence reactance calculation results of typical distribution grid in central China power grid

电网	配网所属地区	配网性质	配电网等值阻抗 X_L /pu
河南	洛阳中州	地区城市	0.09
	南阳邓州	县城、农村	0.16
湖北	马家塆	县城、农村	0.06
	常德太子庙	大工业用户	0.10
湖南	邵阳平溪	农业	0.12
	株洲桂花	城镇和农村	0.12
	榔梨	长沙城区	0.06
	张家界	农村	0.06
江西	南昌昌东	南昌城市	0.03
	南昌西郊	南昌近郊	0.12
	赣州虎岗	城镇	0.13
	赣州金堂	农村	0.11
吉安	吉安	城镇和农村	0.12
	四川	巴中	农村
朱坎	朱坎	工业	0.03
	南岸走马羊	城区	0.06
重庆	万州双桂	远郊	0.10
	永川邮亭	远郊	0.075

1.4 各种因素对配电网等值计算结果的影响

(1) 负荷模型中感应电动机比例对等值计算结果的影响。

以湖北 220kV 马家塆变电站配电网络为例,分析方法为:在详细网络和等值负荷中设置相同的故障条件,保持其他条件不变,调整等值负荷中感应电动机比例,选择与详细网络最接近的响应曲线。在详细网络中,负荷模型的感应电动机比例为 65%、 $x_1=0.12$ 。在等值负荷中,感应电动机的 $x_1=0.295$ (目前实际使用值),比例考虑 60%、65%(目前实际使用值)和 70% 3 种情况。

计算表明,在进行配电网等值时,减小感应电动机比例更符合实际情况,但其比感应电动机定子电抗对等值结果的影响小。

(2) 配电网电压水平对等值计算结果的影响。

以河南南阳 220kV 邓州变电站配电网络为例,

分析方法为: 在详细网络和等值负荷中设置相同的故障条件, 保持其他条件不变, 调整等值负荷下系统电压水平, 选择与详细网络最接近的响应曲线。计算表明, 电压水平升高, 配电网络等值阻抗减小。

(3) 等值阻抗置于感应电动机模型以外对暂态计算结果的影响。

以湖北 220kV 马家塆变电站配电网络为例, 将 X_L 放在 220kV 变电站 110kV 侧, 与将 X_L 放在电动机定子电抗 x_1 内比较。计算表明, 将 X_L 放在 x_1 内时, 湖北马家塆变电站等值网络阻抗为 0.06。将等值阻抗放在 x_1 以外时, 如感应电动机负荷率按 100% 考虑, 配电网等值阻抗为 0.117 4; 如负荷率取 50%, 配电网等值阻抗为 0.058 7; 如负荷率取 53.64%, 配电网等值阻抗为 0.06, 与放在 x_1 内时相同。说明对配电网等值阻抗的不同处理方法及感应电动机的负荷率会影响等值计算结果。

(4) 35kV 以下配电网对等值计算结果的影响。

以湖北 220kV 马家塆变电站配电网络为例。由于现场收资困难, 本文对 35kV 以下配电网做如下简化处理: ①根据 35kV 变电站实际负荷按 50% 负荷率推算 35/0.4kV 主变容量, 短路阻抗按 6% 计算; ②0.4kV 侧负荷中感应电动机定子电抗取 0.10; ③将配电网中 110kV 侧直接带负荷的线路去掉。计算结果为: 考虑 35/0.4kV 变压器时, 配电网等值阻抗为 0.13。表明 35kV 以下配电网对等值计算结果有影响。

2 负荷模型参数变化对稳定计算结果的影响

本文采用 PSASP 程序, 在华中电网典型潮流运行方式下, 将华中电网全部节点负荷模型中感应电动机定子电抗 x_1 由 0.295 改为 0.18, 校核了负荷模型参数变化对稳定计算结果的影响。典型潮流运行方式为: 华中电网与华北电网联网, 华中送华北 430 MW, 湖北送河南 2 100 MW, 四川送重庆 3 100 MW, 重庆送湖北 1 300 MW, 湖北送湖南 1 000 MW, 湖北送江西 100 MW。校核结果如表 2 所示。

由表 2 可见, 修改负荷模型参数对原参数下电压问题突出的电网稳定水平影响较大, 减小感应电动机定子电抗可减少稳定措施量, 如在湖南电网内元件三相短路可少切湘中负荷 400 MW, 在川渝电网内元件三相短路可少切二滩 1~2 台机。

表 2 负荷模型参数变化对稳定计算结果的影响
Tab.2 Influence of load model's parameter variation on system stability

三相故障点	是否改参数	措施	稳定情况
500kV 葛岗线岗侧	否	无	湘中电压不能恢复
	是	切湘中负荷 400 MW	稳定
500kV 江复线复侧	否	无	湘中电压不能恢复
	是	切湘中负荷 100 MW	稳定
500kV 云白线云侧	否	无	湘中电压不能恢复
	是	切湘中负荷 400 MW	稳定
500kV 三万线万侧	否	无	川渝电压不能恢复
	是	无	川渝电压不能恢复
500kV 万龙线万侧	否	无	川渝电压不能恢复
	是	无	稳定
500kV 洪陈线洪侧	否	切二滩电厂 4 台机	稳定
	是	切二滩电厂 2 台机	稳定
500kV 洪龙线洪侧	否	切二滩电厂 2 台机	稳定
	是	切二滩电厂 1 台机	稳定
500kV 二石线二侧	否	切二滩电厂 1 台机	稳定
	是	切二滩电厂 1 台机	稳定
220kV 陈凉线陈侧	否	无	不稳定
	是	无	不稳定
220kV 陈梅线陈侧	否	无	不稳定
	是	无	稳定

3 结论

随着我国配电网的发展, 目前电力系统仿真计算中应用的负荷模型和参数与实际情况有一定的差距, 为提高仿真计算准确性, 应深入研究负荷建模和参数选择。仿真计算表明, 配电网结构、配电运行电压水平、配网等值阻抗处理方法等因素对负荷模型等值的准确性均有一定影响。

电力系统负荷模型是影响仿真计算准确性的重要因素, 但由于负荷的复杂性、分布性和随机性等特点, 影响负荷建模的因素很多(如负荷的组成和特性、配电网的无功补偿、综合负荷中感应电动机的比例、感应电动机的动态等值、感应电动机的负载率、静态负荷的构成等), 要建立较精确的负荷模型是一个不易解决的难题, 还必须从技术上、管理上综合采取措施。

参考文献

- [1] 倪以信, 陈寿孙, 张宝霖. 动态电力系统的理论和分析[M]. 北京: 清华大学出版社, 2002.
- [2] 贺仁睦. 电力系统动态仿真准确度的探究[J]. 电网技术, 2000, 24(12): 1-4.
He Renmu. Research into veracity of power system dynamic simulation[J]. Power System Technology, 2000, 24(12): 1-4(in Chinese).

(下转第 38 页 continued on page 38)