

Influence of Synthesis Load Model with Distribution Network on Transient Stability in Henan Power Grid

Qian Chen^{1,2}, Yangwu Shen¹, Xiaodong Zhang², Xiaotao Peng¹, Yuanzhang Sun¹

¹ Wuhan University, Wuhan, Hubei Province, P. R. China, 430072

² Electric Power of Henan Province, Zhengzhou, Henan Province, P.R. China, 450052

Email: chenqian3170@sohu.com, shenyangwu@126.com, bmw3@163.com, hustpxt@163.com, yzsun@mail.tsinghua.edu.cn

Abstract: This paper introduces the structure and characteristics of the synthesis load model with Distribution Network (SLM). According to the computing model of Henan power grid in the PSASP tools and the simulation results, the fitted parameters for synthesis load model in which the distribution network is taken into account are given. The influence of CLM and SLM on power system transient stability in Henan power grid is studied. The research result shows that critical clearing time of the important transmission tie-line by SLM is comparatively close to CLM load model, but the transmitted power limit of the tie-line connecting Shanzhou grid, Jiahe grid and Mudan grid in Henan power grid using SLM is 9.4% higher than that using CLM.

Keywords: synthetic load model considering distribution network (SLM); critical cutting time; power transmit limitation; transient stability

考虑配电网综合负荷模型对河南电网暂态稳定性的影响

陈 迁^{1,2}, 沈阳武¹, 张晓东², 彭晓涛¹, 孙元章¹

¹ 武汉大学电气工程学院, 湖北武汉, 中华人民共和国, 430072

² 河南省电力公司, 河南郑州, 中华人民共和国, 450052

Email: chenqian3170@sohu.com, shenyangwu@126.com, bmw3@163.com, hustpxt@163.com, yzsun@mail.tsinghua.edu.cn

摘 要: 本文介绍了考虑配电网的综合负荷模型 (SLM) 的结构和特点, 利用电力系统综合分析计算程序中的河南电网计算模型和仿真计算, 确定了适用于河南电网的该综合负荷模型的参数, 定量分析了河南电网现有负荷模型和 SLM 负荷模型对河南电网暂态稳定性的影响。仿真结果表明, 河南电网基于两种负荷模型的暂态稳定特性比较接近, 但是采用 SLM 负荷模型后, 豫西陕州-嘉和/牡丹输电线的潮流输送功率极限增加了 9.4%。

关键词: 考虑配电网的综合负荷模型 (SLM); 极限切除时间; 功率极限; 暂态稳定

1 引言

目前, 电力系统数字仿真已成为电力系统规划、设计、运行的主要工具, 元件的数学模型对仿真计算结果的准确性具有重要影响。基于负荷模型对系统稳定分析结果的重要影响^[1-6], 国际大电网委员会 CIGRE 和 IEEE 于 20 世纪 80 年代均成立了负荷建模工作组, 发达国家的电力公司几乎都在负荷建模方面做了大量的研究。2002 年, 基于对 1996 年 8 月 10 日和 2000 年 8 月发生的 2 次大停电事故的研究结果^[7-8],

湖北省自然科学基金项目(2008CDB307)

美国 WECC 也成立了负荷建模工作组。

电力系统负荷具有多样性、分布性、复杂性、时变性等特点, 建立精确的负荷模型非常困难。随着我国电力系统进入了大电网、高电压、大机组的现代大电网阶段, 电网的暂态稳定和电压稳定等问题日益突出, 因此, 负荷模型和参数对系统稳定的影响受到专家学者的普遍关注^[4-6]。

本文介绍了物理意义明确的考虑配电网综合负荷模型 (synthesis load model SLM) 的结构和特点, 基于电力系统综合分析计算程序 (PSASP) 下的河南电网计算模型和仿真计算, 确定了适用于河南电网的

SLM 的负荷模型参数；在此基础上，进行了 SLM 负荷模型对河南电网暂态稳定性影响的仿真研究。

2 配电网综合负荷模型的结构和特点

目前我国电力系统稳定计算大多采用图 1 所示的经典负荷模型 (Classic Load Model, CLM)。如图所示，该模型由等值电动机和静态负荷构成，当该综合负荷模型不计及等值电动机时，可视为由恒阻抗、恒电流和恒功率三种静态负荷分量构成的 ZIP 静态负荷。由现有负荷模型的初始化计算结果可知，当等值电动机吸收的无功功率大于系统向负荷提供的无功功率时，静态负荷的无功功率为负值，因此将现有负荷模型的恒定阻抗部分等效成无功补偿是合理的。对于现有负荷模型的恒定电流和恒定功率部分，可将其等效为无功电源，从而大幅度提高系统的稳定水平。但由于实际系统中并不存在这样的无功电源，因此这种等效是不合理的。

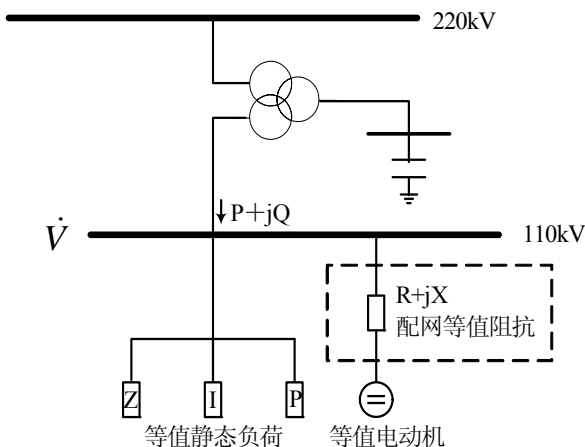


图1 经典综合负荷模型等值电路
Figure 1. The equivalent circuit of classical load model

针对上述 CLM 模型的不足，中国电力科学研究院提出应在综合负荷模型中进一步考虑配电网网络阻抗对静态负荷部分的影响，同时需要在综合负荷模型中考虑无功补偿装置和小电源的影响^[7]，从而保证模型结构更符合实际配电系统和用电负荷的关系，并将该负荷模型命名为考虑配电网的综合负荷模型，其等值电路见图 2。图中理想变压器将 220 kV 母线与低压母线相连，低压母线通过配电网阻抗与包括等值电动机、等值静态负荷、配电网无功补偿系统和等值发电机的并联结构相连。

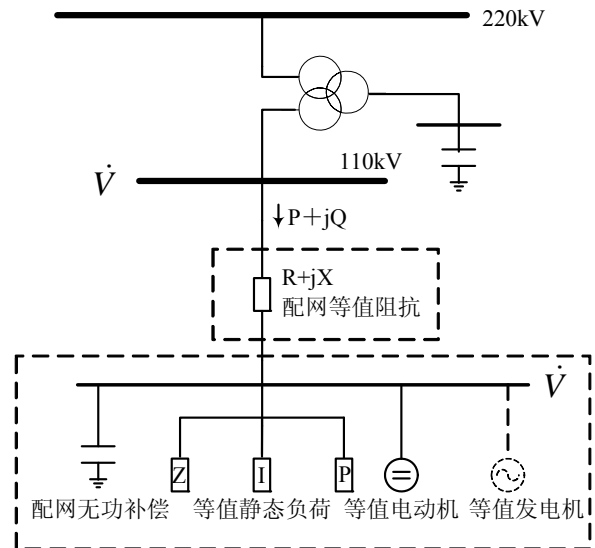


图 2 考虑配电网综合负荷模型等值电路
Figure 2. The equivalent circuit of synthesis load model with distribute network

该综合负荷模型的特点如下^[9-11]：①静态负荷和电动机负荷均可考虑配电系统阻抗的影响；②模拟了配电网的无功补偿；③考虑了配电网的小机组；④静态无功负荷不会出现负的恒定电流和恒定功率。

3.河南电网 SLM 负荷模型的参数确定

PSASP 作为电力系统分析计算的重要工具，其 SLM 负荷模型除河南电网计算模型中当前使用的感应电动机型 CLM 负荷模型中的 9 个参数外，新增加了感应电动机机械阻尼转矩系数 A（与转速平方相关项系数）、B（与转速相关项系数），电动机有功初始负载率 mlf、配电网等值电阻 R_d 、配电网等值电抗 X_d 、ZIP 静态负荷的功率因数 $\cos\varphi$ 、静态负荷 ZIP 分量的有功和无功系数、综合负荷模型动静态负荷比例、以及等值发电机的相关参数^[12]。

在河南电网的 SLM 参数的确定中，将原 CLM 负荷模型的 IEEEIII型马达参数和静态等值负荷以及动静态负荷比例等值替换入 SLM 负荷中的相应参数；另一方面，在不考虑 SLM 负荷模型的等值电动机的情况下，对上述新增参数则参考文献[11-12]介绍的东北电网大扰动仿真试验分析结果和河南电网负荷实际情况，同时结合暂态仿真拟合的方法进行确定。最终确定了适用于河南电网的 SLM 负荷模型参数如下：配电网中 $R_d=0.01$ 、 $X_d=0.06$ ，静态负荷所占比例 35%，静态负荷采用恒阻抗形式、静态负荷功率因数

$\cos\varphi=0.85$ 、不考虑静态负荷的频率特性，感应电动机中 $Mlf=0.4$ 、 $A=0.85$ 、 $B=0$ 、定子电抗 $X_s=0.18$ 、定子电阻 $R_s=0.013$ 、转子电抗 $X_r=0.12$ 、转子电阻 $R_r=0.02$ 、惯性时间常数 $T_j=2$ 、励磁电抗 $X_m=3.5$ 。

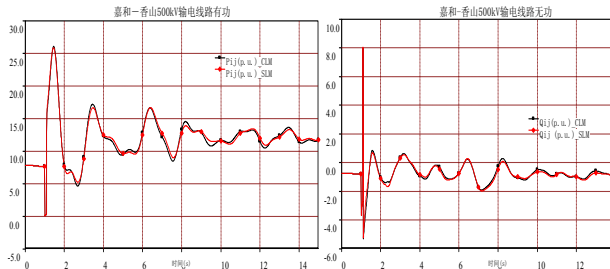


图3 嘉和-香山超高压II回线基于两种负荷模型的功率暂态响应
Figure 3 Transmit power transient response between Jiahe to Xiangshan based on the two different load model

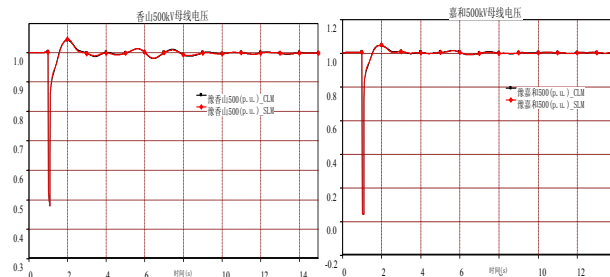


图4 嘉和和香山超高压母线电压基于两种负荷模型的暂态响应
Figure 4 Bus voltage transient response of Jiahe and Xiangsha based on the two different load model

图3和图4为河南电网某运行方式下，嘉和至香山500kv超高压I回输电线路靠近嘉和侧发生三相永久接地故障，故障后1.09s时刻嘉和至香山该回永久输电线路退出运行时，河南电网基于现有CLM负荷模型和采用上述参数SLM负荷模型的暂态响应仿真对比结果。对比图3和4可知，采用SLM负荷模型的暂态响应结果与采用感应电动机CLM负荷模型的暂态响应结果具有高度的拟合性，表明所确定的参数是合理的。

4 河南电网基于CLM和SLM的暂态稳定分析

负荷模型对电力系统安全稳定运行分析结果的重要影响毋庸置疑^[13]。本节在所确定的适用于河南电网的SLM负荷模型参数的基础上，进行了基于现有感应电动机CLM负荷模型和SLM负荷模型对河南电网重要输电线路故障极限切除时间和豫西重要潮流输送

通道功率传输极限影响的对比仿真研究。

4.1 河南电网基于不同负荷模型的故障极限切除时间比较

基于PSASP，通过在河南电网主要超高压输电线路的潮流送方且靠近送方超高压母线近端设置三相接地故障求取河南电网主要超高压输电线路的故障极限切除时间。故障极限切除时间定义为故障发生并持续到导致华北华中电网发电机发生功角不衰减振荡或中枢点电压不稳定的临界切除时间。所得到重要输电线路故障极限切除时间如表1所示。

Table1. The critical cutting time of the main transmit line in Henan power grid based on the two different load model

表1 河南电网主要超高压线路基于不同负荷模型的故障极限切除时间

故障方式	感应电动机负荷模型 CLM 的故障极限切除时间	考虑配电网负荷模型的故障极限切除时间
嘉香双回嘉侧	0.17s	0.18s
祥庄双回祥侧	0.16s	0.21s
瀚孝双回瀚侧	0.27s	0.28s
祥许双回祥侧	0.2s	0.21s
获嵩双回获侧	0.15s	0.16s
塔祥双回塔侧	0.19s	0.2s
获洹双回获侧	0.16s	0.17s
陕嘉双回陕侧	0.17s	0.17s
姚平双回姚侧	0.25s	0.26s
马将双回马侧	0.21s	0.21s

由表1可知，SLM综合模型的系统暂态稳定特性较采用CLM综合负荷模型的暂态稳定特性有所提高，与前面SLM负荷模型暂态特性与河南电网当前负荷模型的暂态特性相似的结论相吻合。

4.2 豫西超高压输电线路基于不同负荷模型的功率输送功率极限的比较

河南2010年规划电网夏季丰大运行方式下的超高压网络，主要表现为豫西地区向豫中和豫南地区输送功率的潮流分布格局。基于上述潮流分析结果，本节选择送端系统豫西地区电网的陕州至嘉和/牡丹传

输线路作为输送功率极限值的研究对象。该地区只要超高压线路的潮流分布如图 5 所示。

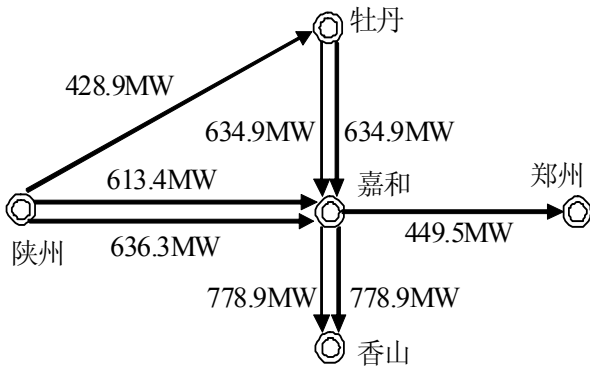


图 5 河南 2010 规划电网夏大运行方式下的豫西地区超高压稳态潮流
Figure 5 The steady power flow of the western in Henan under the 2010 programming summer operation mode

通过不断调整潮流送端和受端的开机方式，得到陕州至嘉和/牡丹传输线路分别在 2 种负荷模型下的功率极限^[13]，结果如表 2 所示。

Table 2. The power transmit limitation of the Shan-Jia-Mu transmit line based on the two different load model

表 2 基于两种负荷模型的陕州至嘉和/牡丹输送功率极限

线路名称	潮流通道功率极限	
	CLM 模型	SLM 模型
陕州~嘉和	692.6	749.8
陕州~嘉和	668	722.9
陕州~牡丹	492.4	554.1
断面功率小计	1853.1	2026.8

图 6 为陕州至嘉和/牡丹输送功率为表 2 所示的 2026.8MW 时，陕州-嘉和、陕州-牡丹两条同杆并架线路因系统故障退出运行的河南电网暂态稳定分析。如图 6 所示，调整开机改变线路传输功率后，当陕州至嘉和、陕州至牡丹同杆并架线路陕州侧发生永久故障并导致两条同杆并架线路退出运行时，该故障将导致三门峡火电厂机组功角及陕州变电站 500kV 母线电压出现等幅振荡。由表 2 可知，负荷模型对陕州至嘉和/牡丹潮流输送断面的输送功率极限有一定影响，计算分析的对比结果表明基于 SLM 模型的陕州至嘉和/牡丹潮流输送功率极限相对于 CLM 模型下的输送功率极限提高了 9.4%。

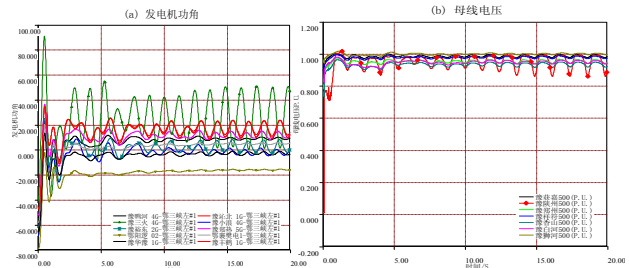


图 6 陕州至嘉和/牡丹同杆并架线路永久故障下的河南电网暂态响应
Figure 6 The transient response of Henan power grid under the permanent fault occurring in shan-Jia-Mu transmit line

5 结语

本文利用 PSASP 程序，采用拟合两种负荷模型的暂态仿真结果的方法，通过仿真研究确定了适用于河南电网的 SLM 负荷模型参数。河南规划电网基于 SLM 和现有 CLM 负荷模型的暂态分析对比结果验证了所确定参数的有效性。在此基础上，进行了河南电网基于两种综合负荷模型的暂态稳定特性分析，重要输电线路故障极限切除时间和陕州至嘉和/牡丹功率输送极限的对比仿真，仿真分析结果表明，河南电网采用 SLM 负荷模型的暂态稳定裕度有所提高。

References (参考文献)

- [1] IEEE Task Force on Load Representation for Dynamic Performance. Standard models for power flow and dynamic performance simulation[J]. IEEE Trans on Power Systems, 1995,10(3): 1302-1313.
- [2] Pourbeik P, Wang D, Hoang K. load modeling in voltage stability studies[C]. 2005 IEEE Power Engineering Society General Meeting, San Francisco, CA, United States, 2005.
- [3] Tseng lh H, Iao WS, Lin J R. Load model effects on distance relay settings[J]. IEEE Trans on Power Delivery, 2003, 18(4): 1140-1146.
- [4] CIGRE Task Force Electra, 1990(130):38.02.05. Load modeling and dynamics[S]. 123-141
- [5] Pereira L, Iasterev D, Mackin P, et al. An interim dynamic induction motor model for stability studies in the WSCC[J]. IEEE Trans on Power Systems, 2002, 17(4): 1108-1115.
- [6] Sun Huadong, Zhou Xiaoxur, Li Ruomei. Influence of induction motor load parameters on power system transient voltage stability[J]. Power System Technology, 2005, 29(3): 1-6 (in Chinese). 孙华东, 周孝信, 李若梅. 感应电动机参数对电力系统暂态电压稳定的影响[J]. 电网技术, 2005, 29(3): 1-6.
- [7] Tang Yong, Zhang Hongbin, Hou Junxian, et al. A synthesis load model with distribution network[J]. Power System Technology, 2007, 31(5): 34-38 (in Chinese). 汤涌, 张红斌, 侯俊贤, 等. 考虑配电网的综合负荷模型[J]. 电网技术, 2007, 31(5): 34-38.
- [8] Zhao Bing, Tang Yong. Dynamic characteristics analysis of induction motor loads[J]. Proceedings of the CSEE, 2009, 29(7): 71-77 (in Chinese). 赵兵, 汤涌. 感应电动机负荷的动态特性分析[J]. 中国电机工程学报, 2009, 29(7): 71-77.

- [9] Zhang Dongxia, Tang Yong, et al. Study on testing scheme for large-disturbance test in Northeast China power grid[J]. Power System Technology, 2007, 31(4):49-54(in Chinese).
张东霞, 汤涌, 等. 东北电网大扰动试验方案研究[J]. 电网技术, 2007, 31(4): 49-54.
- [10] Zhang Hongbin, Tang Yong, Zhang Dongxia, et al. Analysis on effects of different load models on transmitting capacity of Northeast China power grid[J]. Power System Technology, 2007, 31(4): 55-58(in Chinese).
张红斌, 汤涌, 张东霞, 等. 不同负荷模型对东北电网送电能力的影响分析[J]. 电网技术, 2007, 31(4): 55-58.
- [11] Tang Yong, Zhang Dongxia, et al. Synthesis load model and its fitting parameters in simulation of large disturbance test carried out in Northeast China power grid [J]. Power System Technology, 2007, 31(4): 75-78. (in Chinese).
汤涌, 张东霞等. 东北大扰动试验仿真计算中的综合负荷模型及其拟合参数[J]. 电网技术, 2007, 31(4): 75-78.
- [12] Wu Zhongxi, Guo Jian. Power System Analysis Software Package manual [Z]. Beijing: China Electric Power Research Institute, 2004.
吴中习, 郭剑. 电力系统分析综合程序用户手册[Z]. 北京: 中国电力科学研究院, 2004.
- [13] Song Junying, Chen Huihua, Tang Waiwen. Influence of Different Load Models on Transient Stability Level of Hunan Power Grid [J]. Power System Technology, 2007, 31(5): 29-32. (in Chinese).
宋军英, 陈辉华, 唐外文. 不同负荷模型对湖南电网暂态稳定水平的影响[J]. 电网技术, 2007, 31(5): 29-32.