

DOI:10.3969/j.issn.1001-4551.2016.02.020

极端负荷方式下的宁波地区电网无功问题研究

孙 琰¹, 金雪林¹, 夏蓓鑫²

(1. 宁波供电公司, 浙江 宁波 315000; 2. 上海大学 机电工程与自动化学院, 上海 200072)

摘要:针对极端负荷方式下宁波地区无功问题造成的电压不稳定现象,从母线电压、功率因素等方面对夏季尖峰负荷和节假日低谷负荷这两种极端负荷方式下的宁波地区电网运行现状进行了分析,对电厂无功出力、变压器分接头、并联电容器等影响电压稳定的关键因素进行了归纳,提出了一种基于 BPA 的仿真方法,并以夏季尖峰负荷方式为例,通过模拟计算结果与实际运行结果的对比分析对所提方法进行了测试,最后给出了极端负荷方式下宁波地区无功问题的具体解决方案。研究表明,模拟计算结果与实际运行结果基本一致,所提解决方案能保证电网各母线电压在极端负荷方式下不越限,从而保持电网电压稳定。

关键词:极端负荷方式;电压稳定性;无功问题;BPA 仿真

中图分类号:TM71

文献标志码:A

文章编号:1001-4551(2016)02-0221-05

Study on reactive problem of ningbo power grid under extreme loads

SUN Long¹, JIN Xue-lin¹, XIA Bei-xin²

(1. Ningbo Power Company, Ningbo 315000, China; 2. School of Mechatronics Engineering and Automation, Shanghai University, Shanghai 200072, China)

Abstract: Aiming at solving the voltage instability problem of Ningbo power grid under extreme loads, the operation statuses including bus bar voltage and power factor of Ningbo power grid under peak load in summer and valley load in vocation were analyzed and the critical factors of voltage stability, e. g., reactive source outputs, transformer taps, parallel capacitors, were concluded. Then, a simulation approach based on BPA (Bonneville Power Administration) was proposed. Moreover, taking the situation under peak load in summer for example, the simulation results were compared with the real results to validate the proposed method. Finally, the solution to reactive problem of Ningbo power grid under extreme loads was provided. The experiment results indicate that the simulation results and the real results are basically consistent and the bus bar voltages under extreme loads are within a limit when adopting the provided solution which stands for the voltage stability.

Key words: extreme load; voltage stability; reactive problem; bonneville power administration(BPA) simulation

0 引 言

在现代大型电力系统中,电压稳定性已成为供电侧与用户侧极其关心的问题^[1]。根据 IEEE 定义,电压稳定性是指系统维持电压的能力^[2]。电网安全稳定运行以保证电压稳定性是优质可靠电力供应的先决条件,而电力系统的无功电压运行和管理对电网安全稳定运行具有十分重要的意义。通过对电力系统无功

电源的合理配置和对无功负荷的最佳补偿,不仅可以维持电压水平和提高电力系统运行的稳定性,而且可以降低有功网损和无功网损,使电力系统能够安全经济运行^[3-4]。

近年来,国家电网公司通过加强无功电压管理,进一步改善电压质量,降低损耗,提高各级电网无功支持能力,为电网安全稳定运行提供保障,已经取得很好的成效。但是目前局部电网的无功电压运行仍存在一些

收稿日期:2015-09-22

作者简介:孙 琰(1984-),男,浙江宁波人,主要从事电压无功的管理方面的研究。E-mail:13967878778@163.com.

通信联系人:夏蓓鑫,男,博士,讲师,硕士生导师。E-mail:bxia1984@163.com.

问题,如:无功配置规模不尽合理、局部地区无功补偿不足、动态无功备用不足等。根据宁波电网的无功电压运行情况反映,目前在无功电压运行方面的主要问题体现在极端负荷方式下的电压不稳定问题。具体包括两个方面:

- (1)尖峰负荷即夏季尖峰方式下宁波电网部分变电所因主变重载而存在电压偏低问题;
- (2)低谷负荷即节假日低谷方式下宁波电网部分变电所因下级电网电力电缆线路充电功率过剩而存在无功倒送和电压偏高的问题。

针对上述无功电压控制问题,本研究以宁波电网近年运行方式和负荷历史数据为基础,基于电力系统仿真计算程序 BPA 搭建宁波电网春节低谷方式和夏季尖峰方式的仿真数据,通过仿真计算研究宁波电网在上述两种运行方式下的无功电压运行特性与问题,探讨解决宁波电网节假日低谷方式和夏季尖峰方式无功电压运行问题的技术措施。

1 基于 BPA 仿真的分析方法

为了保证电力系统运行的功能和质量,必须确切、完整地掌握实际系统的特性,包括静态特性和动态特性。然而由于安全性、可靠性、经济性等原因,在实际电力系统中进行相关实验和研究会遇到诸多问题,因此,利用仿真模型进行研究成为一种有效的途径。

当前国内外在电力系统仿真方面的代表性软件包括^[5-6]:BPA 程序、EUROSTAG4.2、PSCAD/EM TDC 程序、NET OMAC、PSASP、Power World 等等。其中电力仿真计算程序 BPA 是中国电力科学院从美国 BPA 引进的具有国际先进水平的电力系统分析软件包,具有计算规模大、计算速度快、数据稳定性好、功能强等特点^[7]。自 1997 年底推出以来,BPA 在电力系统规划设计、调度运行及教学科研部门得到了广泛的应用。BPA 潮流程序可对电网进行分析,得到线路的潮流流动、线路功率损耗、线路两端补偿的无功容量等参数,更可以通过开放的数据接口和编程语言对潮流计算结果进行二次开发,以实现对电网电压的稳定分析^[8]。

针对宁波地区在夏季高峰时段和节假日低谷时段无功电压控制困难、负荷功率因数难以满足考核指标的问题,本研究提出了基于 BPA 的分析方法,通过对近两年极端方式(夏季尖峰方式和春节低谷方式)进行潮流计算,分析宁波电网无功电压运行状况,评估采用不同手段改善无功电压水平的效果并提出相应建议。该方法通过分析研究无功电压运行水平,进行合理的无功补偿配置,合理安排发电机无功出力 and 变压

器分接头,改善宁波电网的电压质量和负荷功率因数,同时提高浙江电网的电压合格率。下面以夏季尖峰方式为例进行方法介绍及验证。

本研究以 2013 年高峰期间宁波电网统调负荷最大点为例,以 PI、SCADA 系统和关口表计实际无功、电压监测数据为基础,对高峰负荷时段宁波电网无功电压情况进行复现,并对存在的问题进行详细分析、提出相关措施和建议,最后模拟 2014 年夏季尖峰方式并与实际最大负荷方式对比,对无功电压控制措施进行校核和验证。

2 夏季尖峰方式无功电压问题分析

2.1 宁波电网 2013 年夏季尖峰方式复现

2013 年宁波电网统调最大负荷为 10 033.3 MW,统调最大负荷发生时间为 2013 年 7 月 24 日 13:03。宁波电网 2013 年夏季尖峰方式的负荷分布、电厂出力以及接线方式与上述统调最大负荷时间点的电网实际运行情况一致。最大统调负荷时间点的电网数据来源为 PI、SCADA 系统。

2013 年夏季尖峰方式下,宁波电网所有 500 kV、220 kV 和 110 kV 母线电压均达到考核要求,但是天一变和梅梁变的 220 kV 母线电压已较接近下限值,需引起注意。2013 年夏季尖峰方式下宁波电网各级母线电压的统计情况如表 1 所示。

表 1 2013 年夏季尖峰方式各级母线电压运行情

电压等级/ kV	母线电压等级/ kV	电压规定值/ kV	变电所及电压值/ kV	
			最低	最高
500	500	495.0 ~ 520.0	河姆变 502.2	宁海变 509.0
	220	220.0 ~ 242.0	天一变 220.9	句章变 228.8
	220	214.0 ~ 236.0	梅梁变 214.9	殿跟变 229.9
220	110	106.7 ~ 117.7	潘桥变 108.0	候青变 115.7
	110	106.7 ~ 117.7	石浦变 106.9	桥头变 116.1

无功运行情况方面,2013 年夏季尖峰方式下,宁波电网所有 42 座 220 kV 变电所中,通济变的功率因数最低,为 0.950;所有 42 座 220 kV 变电所均满足功率因数考核要求。

根据夏季尖峰方式的无功电压计算结果,天一变和梅梁变 220 kV 母线存在一定的电压偏低问题。分析原因,这主要是由于天一变和梅梁变在夏季尖峰方

式下负载较重。

针对无功电压问题,提出以下改善方案:

方案1:增加北仑电厂无功出力。在基本开机方式的基础上,增加北仑电厂的无功出力 90 Mvar。

方案2:增加强蛟电厂无功出力。在基本开机方式的基础上,增加强蛟电厂的无功出力 100 Mvar。

方案3:增加乌沙山电厂无功出力。在基本开机方式的基础上,增加乌沙山电厂的无功出力 100 Mvar。

方案4:调整变压器分接头。将天一主变中压侧分接头电压提高 1 个档位,由 230.00 kV 调整至 235.75 kV。

方案5:增装并联电容器。天一变的主变低压侧增加 1 组 60 Mvar 并联电容器。

各种调压措施对天一变和梅梁变 220 kV 母线电压的改善效果对比如图 1 所示。

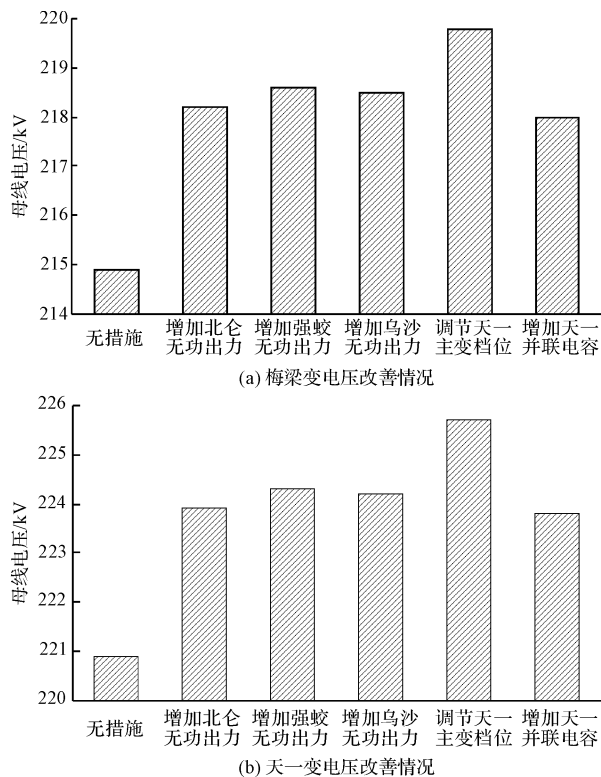


图1 各种调压措施前后天一变和梅梁变的电压改善情况

从图1以及前述分析可以看出,3种措施都可以有效改善天一变和梅梁变220 kV母线电压。调整天一主变分接头对天一变和梅梁变220 kV母线电压的改善效果最好,而且不易引起宁波电网110 kV母线电压偏高,但是由于天一主变是无载调压变压器,其可行性有待商榷。在无法调整天一主变分接头的情况下,可以考虑在天一变主变低压侧增装1组60 Mvar并联电容器。另外,通过采用在高峰负荷期间增加北仑电厂、强蛟电厂、乌沙山电厂的无功出力的方式也可达到临时性提高天一变和梅梁变的电压水平的效果。但是

在采取这两种措施时都需要注意全网110 kV母线电压的变化情况,必要时需要灵活调整220 kV变电所主变分接头,防止110 kV母线电压偏高。

2.2 实验与结果分析

本研究以宁波电网2014年夏季尖峰方式为例,通过由所提方法得到的模拟计算结果与实际宁波电网2014年夏季尖峰方式下运行结果的比对分析,验证方法的有效性。

本研究预计2014年宁波电网最大统调负荷为10 800 MW,同比增长7.64%。宁波电网2014年夏季尖峰方式参照2013年夏季尖峰方式运行情况,其负荷分布情况与2013年夏季尖峰方式相同,但是各个110 kV变电所负荷等比例提高7.64%,即全网负荷水平按照预计最大统调负荷10 800 MW进行校核计算;宁波地区主要电厂出力情况在2014年夏季尖峰方式的基础上增加部分机组出力;宁波电网接线方式与《宁波电网2014年年度运行方式》中的2014年宁波电网110 kV及以上接线图保持一致。

2014年夏季尖峰方式下,宁波电网所有500 kV、220 kV和110 kV母线电压均达到考核要求,具体情况如下:

(1)500 kV母线。6座500 kV变电所中,春晓变500 kV母线电压最高,为512.4 kV,河姆变500 kV母线电压最低,为502.0 kV。

(2)220 kV母线。6座500 kV变电所中,句章变220 kV母线电压最高,为228.0 kV,天一变220 kV母线电压最低,为222.1 kV;宁波42座220 kV变电所中,殿跟变220 kV母线电压最高,为231.5 kV,梅梁变220 kV母线电压最低,为215.1 kV。

(3)110 kV母线。42座220 kV变电所中,锦堂变110 kV母线电压最高,为116.4 kV,梅梁变110 kV母线电压最低,为108.1 kV;宁波176座110 kV变电所中,观城变110 kV母线电压最高,为116.4 kV,洞桥变110 kV母线电压最低,为106.8 kV。

虽然2014年夏季尖峰方式下宁波电网各级母线电压均达到考核要求,但是天一变和梅梁变的220 kV母线电压已经较接近下限值,需要引起注意。

2014年夏季尖峰方式下,所有46座220 kV变电所中,冷岙变的功率因数最低,为0.951;所有46座220 kV变电所均满足功率因数考核要求。

上小节已经针对宁波电网2013年夏季尖峰方式的无功电压问题提出相应的改善措施。本研究在此基础上进一步验证前述改善措施对缓解宁波电网2014年夏季尖峰方式无功电压问题的有效性。具体方案

包括:

方案 1:增加北仑电厂无功出力。在基本开机方式的基础上,增加北仑电厂的无功出力 90 Mvar。

方案 2:增加强蛟电厂无功出力。在基本开机方式的基础上,增加强蛟电厂的无功出力 100 Mvar。

方案 3:增加乌沙山电厂无功出力。在基本开机方式的基础上,增加乌沙山电厂的无功出力 100 Mvar。

方案 4:增加六横电厂无功出力。在基本开机方式的基础上,增加六横电厂的无功出力 100 Mvar。

方案 5:调整变压器分接头。将天一变主变中压侧分接头电压提高 1 个档位,由 230.00 kV 调整至 235.75 kV。

方案 6:增装并联电容器。在天一变主变低压侧增加 1 组 60 Mvar 并联电容器。

2014 年夏季尖峰方式下,各种调压措施对天一变和梅梁变 220 kV 母线电压的改善效果对比如图 2 所示。

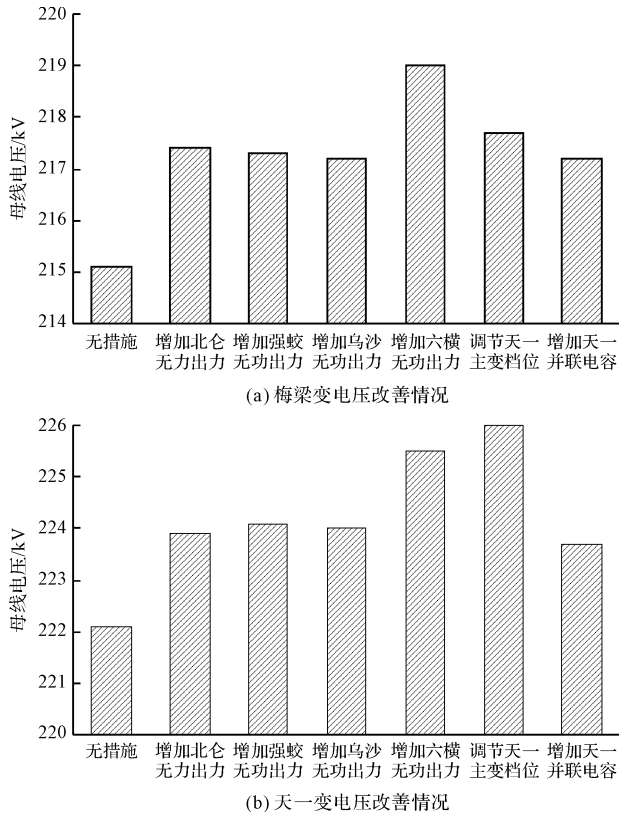


图 2 各种调压措施前后天一变和梅梁变的电压改善情况

从图 2 以及前述分析可以看出,3 种措施都可以有效改善天一变和梅梁变 220 kV 母线电压。调整天一主变分接头对天一变和梅梁变 220 kV 母线电压的改善效果最好,而且不易引起宁波电网 110 kV 母线电压偏高,但是由于天一主变是无载调压变压器,其可行性有待商榷。在无法调整天一主变分接头的情况

下,可以考虑在天一变主变低压侧增装 1 组 60 Mvar 并联电容器,或者在高峰负荷期间增加北仑电厂、强蛟电厂、乌沙山电厂和六横电厂的无功出力,以提高天一变和梅梁变的电压水平,但是在采取这两种措施时都需要注意全网 110 kV 母线电压的变化情况,必要时需要灵活调整 220 kV 变电所主变分接头,防止 110 kV 母线电压偏高。

宁波电网 2014 年实际夏季尖峰方式下运行结果:按照省公司的统一安排,宁波统调实际最高负荷发生在 2014 年 8 月 6 日,为 10 343.9 MW,较去年增长 3.13%,并未达到预计最高负荷值(10 800 MW)。在实际 2014 年夏季尖峰方式下,宁波电网 42 座 220 kV 变电所中,殿跟变母线电压最高,为 233.15 kV;梅梁变母线电压最低,为 222.58 kV。

根据 2014 年实际夏季尖峰方式下宁波电网 220 kV 母线电压的统计情况可知,2014 年实际夏季尖峰方式下,宁波电网 500 kV、220 kV 和 110 kV 电压等级各母线电压均未越限。该实际运行方式下的各母线无功电压情况与模拟计算结果基本一致,证明了该方法的有效性。

3 无功问题解决方案

本研究通过使用所提方法可以对春节低谷负荷方式进行同样的分析研究,最终发现了当前宁波地区在极端负荷方式下主要存在的问题,并针对这些问题给出了相应的解决方案。

3.1 尖峰负荷时段

宁波电网在夏季尖峰方式下天一变和梅梁变 220 kV 母线电压较低。在并联电抗器全切、并联电容器全投的情况下,天一变和梅梁变 220 kV 母线仍可能因负载较重而存在电压越下限的风险。通过增加宁波大型公用电厂无功出力、调整天一主变分接头和在天一变低压侧增装并联电容器都可以有效提高夏季尖峰方式天一变和梅梁变 220 kV 母线的电压水平。在 3 种措施中,调整天一主变分接头对天一变和梅梁变 220 kV 母线电压的改善效果最好,且不易引起宁波 110 kV 母线电压偏高,但是由于天一主变是无载调压变压器,其可行性有待商榷。在无法调整天一主变分接头的情况下,可以考虑在天一变主变低压侧增装 1 组 60 Mvar 并联电容器,或者在高峰负荷期间增加北仑电厂、强蛟电厂、乌沙山电厂和六横电厂的无功出力 100 Mvar 左右。

解决方案为:在高峰负荷期间适当临时性增加北

仑电厂、强蛟电厂、乌沙山电厂和六横电厂的无功出力100 Mvar左右,或者在天一变主变低压侧增装1组60 Mvar并联电容器,以提高天一变和梅梁变的电压水平,但是在采取这两种措施时都需要注意全网110 kV母线电压的变化情况,必要时可以通过灵活调整220 kV变电所主变分接头,防止110 kV母线电压偏高。

3.2 低谷负荷时段

目前在春节低谷方式下(负荷均为1 593 MW)220 kV变电所无功倒送问题严重。新乐变、沙湾变、湾塘变、宁西变、咸祥变、洪塘变、下应变、慈溪变、潘桥变、鲍家变、翠屏变和达蓬变较易出现无功倒送现象,其中宁西变和洪塘变的下属110 kV变电所还存在电压偏高问题。地方电厂调停和进相运行、调整变压器分接头、拉停500 kV线路可解决局部地区110 kV电网电压偏高问题,但难以解决220 kV变电所无功倒送问题。

因此,解决方案从三方面进行:

(1)考虑到220 kV变电站实际安装条件和近年并联电抗器总安装容量限制,建议优先在新乐变、湾塘变、咸祥变、慈溪变、鲍家变、翠屏变和达蓬变各新增1台10 Mvar并联电抗器,总计新增并联电抗器容量70 Mvar。在该推荐方案下,沙湾变、湾塘变、咸祥变、下应变、慈溪变、潘桥变、鲍家变、翠屏变和达蓬变的无功倒送问题以及宁西变和洪塘变下级110 kV电网电压偏高问题有望得到解决;新乐变、宁西变和洪塘变的无功倒送问题尚不能完全解决,可在后续工作中通过继续增装并联电抗器加以解决。

(2)对于采用电缆进/出线的220 kV变电站,建议在春节低谷时段按照实际负荷水平适当减少电缆线路运行数量,并按无功电力分层就地平衡的基本要求增加电抗器配套工程,以补偿高压线路的充电功率。

(3)建议进一步加强宁波地区电厂无功输出管控,做好运行监控和记录工作,节假日低谷期间严格要求电厂并网功率因数控制在0.99以上,同时建议尽快开展宁波地区电厂进相运行试验,在满足发电机机端电压及各部件温升条件下,确定进相能力,解决节假日大量无功倒送问题。

4 结束语

极端负荷方式下无功问题会造成电网电压不稳定现象。针对这一问题,本研究以PI、SCADA系统和关口表计实际无功、电压监测数据为基础,采用BPA仿真程序复现了夏季尖峰负荷和节假日低谷负荷这两种极端负荷方式下宁波电网的运行情况,详细分析了其中存在的问题,根据当前宁波电网的运行现状提出了解决方案,并以2014年夏季尖峰负荷方式为例,验证了方法的有效性。本研究能够实现无功电压的科学运行与管理,有效改善极端负荷方式下的电网电压稳定性。

无功电压的分层分区控制以及无功就地平衡是无功电压控制管理的基本原则,本研究并未基于这一原则进行系统分析,因此在下一阶段的研究将进一步深入分析电网各配置对电网运行状况的内在关系,实现分层分区优化的目标。

参考文献(References):

- [1] 马立新,王宏宇.基于多目标非支配解提取法的电力系统无功优化[J].机电工程,2015,32(1):118-122.
- [2] 晏 璐.基于BPA的北京电网电压安全稳定分析[D].北京:华北电力大学(北京)电气与电子工程学院,2005.
- [3] 孙莹莹.驻马店配电网无功优化方案的研究与实践[D].北京:华北电力大学电气与电子工程学院,2012.
- [4] 颜 伟,高 强,余 娟,等.输电网络的分层分区电压无功调节方法[J].电网技术,2011(2):71-77.
- [5] 李广凯,李庚银.电力系统仿真软件综述[J].电气电子教学学报,2005(3):61-65.
- [6] 胡 浩.电力系统仿真分析软件BPA与PSS/E数据转换研发与应用[D].昆明:昆明理工大学电力工程学院,2012.
- [7] 彭国政.电力系统仿真软件的通用性研究[D].北京:华北电力大学(北京)电气与电子工程学院,2006.
- [8] 谢 栋.上海电网在大受端运行情况下电压稳定性分析[D].上海:上海交通大学电子信息与电气工程学院,2010.

[编辑:张 豪]

本文引用格式:

孙 珑,金雪林,夏蓓鑫.极端负荷方式下的宁波地区电网无功问题研究[J].机电工程,2016,33(2):221-225.

SUN Long, JIN Xue-lin, XIA Bei-xin. Study on reactive problem of ningbo power grid under extreme loads[J]. Journal of Mechanical & Electrical Engineering, 2016,33(2):221-225.

《机电工程》杂志: <http://www.meem.com.cn>