

[风电场]

提高源荷平衡的稳定控制方案探讨

文/侯筱贤¹ 文志伟²

1. 郴州职业技术学院; 2. 国网湖南省郴州供电分公司

随着清洁能源的快速发展,配电网结构的发展已略显滞后,在局域配电网中存在多处清洁能源送出瓶颈、源荷不平衡的情况。基于甲地配电网的现状,对风电集中上网片区进行稳定控制方案研究,通过设定合适的稳措、AVC、AGC策略,优化各策略间的配合,制定合理的运行方式以提高配电网的稳定性,经软件仿真计算,从配电网稳定性、经济性等方面分析出最有利于源荷平衡的控制方案。

随着2030年前实现碳达峰、2060年前实现碳中和政策的提出,加快新能源的建设成为推动“双碳”目标的重要因素。近年来甲地电网新能源发展迅速,其中风电装机容量已达200万kW,风电、光伏电厂的建设还在不断的规划当中,加上水电、生物质等能源的发展,清洁能源消纳将超该地配电网极限。在源端发展不断加速而荷侧负荷未及时跟上,出现新能源发展超前于配电网建设发展的情况,使配电网结构薄弱、源荷不平衡,导致大量弃风、配电网N-1下稳定弱化等情况出现。为适应新型配电网的发展,迫使配电网加快向新型电力系统转型,加快配电网的建设,同时推动配电网在现有网络结构下对稳定控制方案的研究。由于配电网规划建设需要一个长期过程,本文针对甲地配电网存在的源荷不平衡问题,在现有网络结构的前提下对稳定控制方案进行探讨,并通过对配电网稳定、经济性等关键指标进行权衡分析,得出提高源荷稳定、提升供电能力的稳定控制方案。

局域配电网简介

1. 局域配电网结构分析

甲地电网风电场总体呈现“广泛分布、局部集

中”的分布特性、“逆调峰”的出力特性以及“风水同步”的季节特性,对配电网稳定运行、电能质量、配电网损耗和系统消纳造成极大影响。当前配电网结构下,甲地A区电网存在220 kV全义变电站配置主变压器1台,容量18万kV·A。供电范围内并网电厂3座,总装机容量32.3万kW,其中水电站1座,装机容量4.5万kW;风电场2座,装机容量10万kW、17.8万kW,其范围内最小用电负荷1万kW,从并网电厂容量看,甲地已存在很大的上网瓶颈,通过对甲地配电网方式的调整,在风水电大发的方式下,弃风将成为常态。甲地B区配电网220 kV蓉城变电站配置主变压器2台,容量24万kV·A,供电范围内并网电厂4座,总装机容量29.6万kW,其中4座风电场,装机容量分别为8.6万kW、12.8万kW、7万kW和1.2万kW,B区若在丰水季节,风水电大发,网内设备也将存在设备重载的情况。图1为甲地A、B两区网络图,从图1中可知,A区以单座220 kV变电站为枢纽,长串供带几座风电场及水电厂,110 kV网络构建不完善,上网路径长,线损高,网络稳定性差。B区网络以220 kV的蓉城变电站为核心,110 kV网架发展得比较完善,可形成环网运行方式。甲地局部电网网络结构图如图1所示。

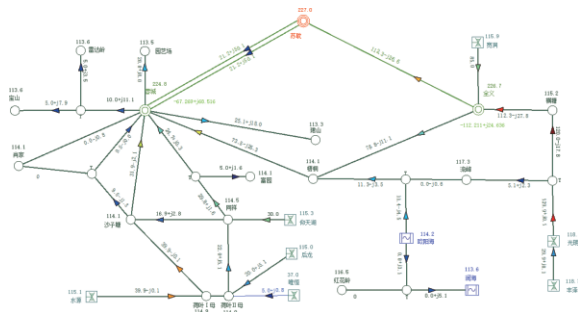


图1 甲地局部电网网络结构图

局域电网源荷平衡性分析

在目前网络结构下,因新能源发展迅速导致A、B地区存在源荷不平衡情况。A区因220 kV变电站主变压器容量受限,导致风电无法通过220 kV网络全额送出,该片区用电负荷小,新能源不能完全就地消纳,存在长期限电情况。从日负荷情况看,风电送出主要受限时段为22:00~次日09:00;从月负荷情况分析,A区主要限电在大风及丰水季。B区风水电大发期间,220 kV蓉城变电站主变压器将重载,可能存在弃风、弃水风险,其中220 kV变电站主变压器N-1情况下该区将存在较大弃风、弃水风险。B区同时是重载区,在无枯水季,若风电出力减少,该区又将出现下网重载,同时出现源荷平衡性因季节或用电负荷而变动较大的情况。

稳定控制方案研究

1. 稳控控制方案分析

A区因主变压器容量受限,导致上网风电受限问题,在蓉城变电站及各风电场安装了稳定控制装置,避免A区三个风电场同时大发下主变压器过载,导致设备故障,稳控装置的子站主要作用于风电场的集电线路,采用硬切机模式。但若稳控装置设置不得当,导致频繁切风电场集电线路,将对风电场机组机械性能及使用寿命产生不利影响;同时当风力下降后风电机组需要人工到现场逐一恢复,影响机组并网发电,给电厂造成不必要的损失。针对此问题,对稳控策略进行了相应调整,在确保设备不过载的情况下,建立可动态追踪3个风电场时出力及风功率预测模型,该模型以风电场按装机容量比为分配出力基准值,通过实时出力追踪及加权

风功率预测系数,在设备限额内分配出每个风电场应得的计划实时出力值,将该值推送至风机切换后台,通过人工后台确定机组的起停状态避免硬切机及直接通过稳控切集电线路。同时在设置三个风电场突然大发情况下的安全边界值,通过此值启动稳控直接切各风电场的集电线路。

B区存在源荷在不同季节下的不平衡情况,针对该区配电网运行方式,提出蓉城—同祥—荷叶—沙子塘双环网运行,为保证环网内任一设备发生故障时,其余设备均不发生过载,联合风电场建设稳控系统,自主研究制定稳定控制策略,通过对220 kV蓉城变电站主变压器、7条110 kV线路N-1故障方式下的潮流计算,及结合风电场风机分布情况,准确制定稳定控制策略,无论枯水期大方式还是丰水期小方式下,均满足N-1安全稳定校核要求。通过以上双环网运行及环内增加稳控装置的措施,确保了环网内220 kV蓉城主变压器及其他110 kV输变电设备的稳定运行,有效杜绝配电网六级风险,大大提高了片区电网供电可靠性。

2. AVC、AGC控制方案分析

风水电大发方式下,局域网内电压随着风水电出力的变化也在不断的变化,为提高供电电压质量和线路输送功率因数,减少线损,对AVC、AGC策略进行联动设置。针对存在的问题,提出一种基于大数据智能分析与人工干预双管齐下的管理策略,通过开发大数据智能分析平台辅助管理,同时可提高变电站无功补偿设备可用率。从D5000大数据中台中提取无功补偿设备无功功率和风电出力数据智能判断设备投退情况,自动将快超限未投运设备信息推送到平台主界面,提醒监控员及时投退,解决因潮流变化而导致的电压大幅波动等问题。同时在平台的无功设备中加入人工干预设备状态功能,通过人工录入设备状态,弥补大数据中台15 min采一个数据点的不足,解决电压调整的实时性,从而提高系统运行稳定性。文中针对AB片区电压对AVC策略进行了上下限值修改,在丰水期适当允许10 kV母线电压抬高至10.9 kV,从而避免无功设备频繁动作。通过AGC与稳控措施的配合,可以更加细化电厂出力的调整,同时加上对负荷侧无功管理,加强对蓉城片区重载区域的负荷预测管理,判断无功的需求量,从而减少稳控装置动作次数。

稳定控制方案下源荷平衡评判流程

1. 配电网N-1源荷稳定性

甲地B区通过改变运行方式进行双环网运行，合环运行后不影响系统稳定运行，同时在稳态运行状态下环网内任何设备不过载，避免了稳控装置频繁动作而引起配电网暂态失稳。 $N-1$ 方式下，稳控装置切机可实现环网内任何设备不过载。

电网 $N-1$ 后该片区电压恢复情况如图2所示。图2模拟的是蓉城片区水电、风电大发情况下，电网发生 $N-1$ 故障，通过对该电网进行配电网 $N-1$ 电网事故仿真，得到故障后蓉城变电站母线电压在1 s内恢复，电压未失稳。同时本文还对枯水期、小风季节等方式下对该区电网稳定性进行仿真，发现双环网运行下，蓉城片区任何一天110 kV线路发生故障，均不会造成设备重载。该运行方式的提出，需要环网下所有线路均配置光差保护，确保故障0 s切除，不越级跳闸，同时要求相关站备自投装置必须投入。通过仿真验证，该运行方式的提出，提高了该区配电网稳定性，保证了风电送出能力。

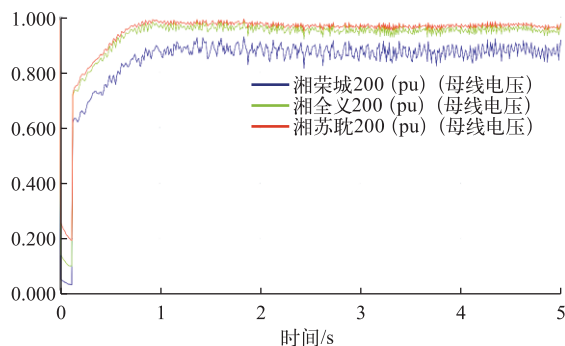


图2 电网 $N-1$ 后该片区电压恢复情况

2. 经济性评估

通过对风电场出力、风功率预测进行动态跟踪建模，将风电场出力计划按容量比实时推送至风机控制中控室，进行人工软切机。对稳控装置的策略进行修订，确保三电厂突然大发的极端情况下的安全边界，极大减少了稳控动作的频率，省去了因切集电线路风机长时间不能恢复造成的出力损失。通过调取前几次稳控动作切机后恢复的时间来看，粗略估计人工恢复一台风机大概需要1.5 h左右，按2.5 MW每台风机容量计算，切两条集电线路将导致2.5万kW退出备用4 h，粗略计算满发情况下将给风电场带来不小的损失。同时B区改变运行方式后，任何

一条线路跳闸均不会造成弃风现象，使该区清洁能源可以全额消纳。同时通过对AGC、AVC、稳控及风电出力的联动调整，提高了电压质量，减少了线路和主变压器的损耗，提高了新能的源外送效率。

结束语

随着新能源的不断发展，类似本文甲地两区局域配电网特性的情况将会不断出现，本文针对该地源荷集中分布、源集中分布、网络结构发展成熟及初步形成等特点进行了分区分析和分季节潮流特性仿真。针对不同区域的问题，提出了不同的优化方案和建议。在无须改变现有网架结构的前提下，通过优化调整稳控策略、优化电压调整策略等方法，提高了该区风电场送出效益；采用特殊的双环网运行方式、稳定控制装置联动调节方法，提高了该区网络的稳定性，大大提升了风电场的送出能力，避免了在 $N-1$ 时候可能限出力的情况。最后，本文通过对其稳定性及经济性进行分析，得出本文针对该区存在的问题，提出的对源荷平衡稳定控制方案建议具有一定的成效，在提高网络稳定的同时，降低了风电场的弃风概率，提高了发电厂的效益，减少了潮流的远距离传输，降低了设备的损耗。

由于风电等新能源的特性，工商业、居民负荷分布相对集中，新能源远距离输送，无法就地消纳的问题将长期存在。随着新能源的大力发展，因新能源导致的调峰、调频困难也将日益突出，为更好的解决此类问题，应该从源的规划开始入手，尽早发现并解决源荷不平衡问题。EA

(收稿日期：2022-01-20)

参考文献

- [1] 南哲，侯玉琤，宁辽逸. 500/220 kV电磁环网解环与分区运行研究[J]. 东北电力技术，2014(3): 4-8.
- [2] 赵国勇. 日前计划方式断面输电极限快速评估的研究[D]. 北京：中国电力科学研究院，2018.
- [3] 杨溢，郭志忠. 双端电磁环网的 $N-1$ 静态安全分析[J]. 中国电机工程学报，2016.
- [4] 任锐焕. 智能配电网中分布式储能布局优化配置研究[J]. 电气应用，2021，40(4): 31-35.