

# 江苏分区电网低频低压减载方案适应性分析

周霞<sup>1</sup>, 罗凯明<sup>2</sup>, 李威<sup>1</sup>, 李琳<sup>1</sup>, 周磊<sup>1</sup>, 罗剑波<sup>1</sup>

(1. 国网电力科学研究院, 江苏南京 210003; 2. 江苏电力调度通信中心, 江苏南京 210024)

**摘要:**在调研评述国内外分区电网低频、低压减载方案研究现状的基础上, 针对江苏电网分层分区运行特点, 分析指出江苏分区电网极端严重连锁故障下存在严重功率缺额、局部孤网等问题, 通过校核江苏分区电网低频、低压减载方案的适应性, 提出江苏分区电网低频、低压减载配置方案的改进建议。最后针对特高压电网互联、电气联系紧密, 受电比例大、新能源出力不确定性等, 对低频、低压减载方案整定研究方向进行了展望。

**关键词:** 低频低压减负荷; 分区电网; 频率安全; 电压稳定

**中图分类号:** TM732

**文献标志码:** B

**文章编号:** 1009-0665(2012)02-0005-03

低频、低压减载作为保电网安全稳定运行“三道防线”的最后一道防线, 是电力系统在发生重大事故后切除部分负荷以保电网稳定而采取的特殊手段<sup>[1]</sup>。在电网发生事故频率下降时, 低频减载准确可靠切除负荷, 保持电源和负荷重新平衡, 防止因频率大幅度下降而造成系统瓦解, 对电网安全稳定、经济运行极为重要。低压减载对于防止概率很小的极端情况下(包括极端的大负荷、罕见的多重故障等)系统崩溃和大面积停电, 保证重要负荷的供电, 具有十分重要的意义, 在电力系统中得到了比较广泛的应用和研究。

受短路电流超标等因素影响, 江苏电网已逐步呈现出 500 kV 电网为主干网, 220 kV 电网分层分区运行的格局; 分层分区运行模式使得江苏电网低频、低压减载原有的配置模式受到一定挑战; 本文对江苏电网分区低频、低压减载方案适应性进行研究, 对不适应的方案进行优化整定, 确保江苏电网的安全可靠稳定运行, 避免因分区电网保不住而带来的大面积停电事故和经济损失。

## 1 分区电网低频或低压减载方案研究趋势

国内外对于电网运行中的频率要求和 UFLS 的配置整定有相关规范<sup>[2,3]</sup>; 而对于低压减载配置, 国内至今还没有一个统一的标准、配置原则和配置方案<sup>[4]</sup>。目前, 国内外对分区电网低频、低压减载方案的仿真校核和优化研究, 主要有以下几个方面的发展趋势。

(1) 时域动态仿真模型参数完善校核<sup>[5]</sup>。充分考虑负荷频率特性、调速系统特性等因素, 完善励磁、调速系统等动态仿真模型参数, 构建适合进行低频低压减载研究的仿真参数模型。随着系统元件模型与参数辨识的精度, 以及电网数据记录的频率

和精度的提高, 使得基于全过程动态仿真的低频低压减载优化配置成为可能。

(2) 低频减载和低压减载方案的优化。我国电网低频减载配置方式主要有两类: 一类快速动作或带短延时, 按动作频率分为 3 至 6 级预先设定, 切除的负荷总量通常是全网负荷的 30% 左右, 这一类被成为基本级; 另一类带较长的延时, 其动作频率较高, 其作用是为了防止在基本级动作后频率仍停留在某一较低值而不能动作, 通常被称为恢复级或特殊级。国外电力系统也采用了类似紧急频率控制策略, 但是所分级数及每级切除负荷量均不一样。低频、低压减载方案优化, 主要包括优先轮次参数、切除负荷量、动作的地点等方面内容, 而装置布点的优化是其他参数优化的前提。电力系统受扰后电压和频率的摆动和跌落都有复杂的时空分布特性, 其控制灵敏度也有所不同。因此, 只有在装置布点确定的情况下, 优化其他参数才有意义。

(3) 分区运行电网频率、电压特性研究。即充分考虑分区频率、电压特性, 使得方案能同时满足联网运行和正常或事故解列后孤立电网运行需要。分区运行电网因其电网规模、负荷特性、电源配置情况、电压支撑能力、发电机及其控制系统模型和负荷模型等因素不同, 导致分区电网的频率、电压特性各不相同。实际运行方式复杂多变, 分区受入功率水平变化幅度较大, 都会导致分区孤网运行后功率缺额不同, 从而导致频率、电压特性不同。即便在相同的功率缺额水平下, 也会因开机方式、负荷水平不同导致频率、电压特性变化。由于系统在不同工况和扰动下的切负荷控制性能也不同, 故必须考虑各种可能场景的概率。

(4) 低频低压减载间的协调优化配置<sup>[6]</sup>。在发生严重有功功率缺额的区域, 如果无功不足, 系统在发生暂态频率跌落的同时也会发生电压的跌落, 导致低频减载装置和低压减载装置同时动作。需要协

调低频减载和低压减载装置的动作时间、切负荷量及闭锁条件。

## 2 江苏分区电网运行特点

近年来,随着江苏电网分层分区运行方式的实行和电网的发展变化,各分区电网也发生了较大的变化。

(1) 分区电网容量相对江苏全网来说较小,视区内的装机情况,分区的最大供电能力差异较大;

(2) 分区电网均为受端网络,通过 500 kV 主变从大系统受电,每个分区有 2 至 3 台甚至更多 500 kV 主变与 500 kV 系统联络,受电的多少与各分区的装机容量有关,部分分区受电比例相对整个江苏电网的受电比例要大;

(3) 分区内部 220 kV 网架比较强,可靠性较高,但在恶劣天气条件下,如果出现多重严重故障,或在特殊检修方式下考虑 500 kV 线路同杆异名相故障时,分区有可能孤立运行;

(4) 分区孤立运行能力不足。由于分区负荷缺额大,而且分区内大机组出力占分区容量的比例较大,如孤立运行,一旦频率下降太快或大机组运行不稳定,都有可能造成整个分区崩溃。江苏电网多数分区受电比例都超过 30%,有的分区甚至达到 60%,分区孤网后频率、电压稳定问题不容忽视。

## 3 低频或低压减载配置方案适应性分析

针对上述分区电网的运行特点,江苏已有低频、低压减负荷方案存在如下问题:

(1) 由于分区电网孤立运行后具有电网容量变小,功率缺额相对较大,频率下降速度快、分区孤立运行能力较差等特点,若仅凭传统的低频、低压减载措施可能仍无法保证分区电网的安全,有时甚至会导致电压先于频率快速崩溃,或者是频率和电压的下降速率均很大(可能导致低频或低压减载闭锁),致使低频或低压减载无法动作;

(2) 当功率缺额较小方式下出现孤网运行时,可能会因为传统低频减载和低压减载配置不当导致负荷过切;

(3) 全网的装机容量与负荷在各分区电网的分配相差较大,而传统的低频减载方案却一律按负荷比例分配,缺乏合理性;

(4) 部分分区负荷缺额相当大,而所有分区电网的受电容量都按 500 kV 主变  $N-1$  控制,一旦分区电网孤立运行,传统的低周减载方案存在不能有效抑制频率下降的可能。

### 3.1 孤网情形下低频或低压减载的适应性分析

随着江苏电网分层分区运行模式的普遍实行,使得原有低频、低压减载的配置模式受到一定的挑战,主要表现为:

(1) 大区电网出现整体低频的概率将逐步减少,但个别局部孤网系统内出现严重功率缺额的情形则在增加;

(2) 按照已有的低频和低压减载配置理念,部分电网内很多 220 kV 孤网系统的频率和电压安全可能将无法得到保障;

(3) 对于某些功率缺额较大的孤网地区,原来的低频、低压减载配置方案也可能导致切负荷量不足、切负荷速度过慢、孤网后电压可能先于频率发生崩溃等问题。

### 3.2 分区负荷联切装置的切负荷方案

江苏电网多个地区,均可能出现局部的 220 kV 孤网系统,且其功率缺额会大于 50%,有的甚至达到 60%以上,如武南分区、吴江分区、石牌分区、苏州西分区。这些分区孤网存在的一些共同特点是:

(1) 可能存在的功率缺额通常较大;

(2) 原有的低频减载配置量不够,孤网后都将面临频率崩溃的巨大风险;

(3) 孤网后往往同时伴随有低压现象的出现,使得低压减载的配置也必须引起高度关注;

(4) 系统孤网后导致电压下降过多、过快或是发生电压崩溃,低频减载往往不能动作,江苏电网内很多的孤网系统内均存在该现象,且带有一定的普遍性;

(5) 仅依赖低频减载往往不能保证一些孤网系统的频率安全;

(6) 孤网后导致电压或频率下降过多、过快,目前已有低频或低压减载装置内防误动作的  $dj/dt$  或  $du/dt$  可能会达到闭锁条件,使得本应即刻动作的低频或低压减载装置反而不能动作。

### 3.3 分区负荷联切装置动作的门槛值

以上孤网分区除具备上述特点外,从低频低压减载配置上看,还可能存在如下的一些问题:

(1) 低压减载配置动作延时普遍偏长;

(2) 低频减载配置缺乏优化概念;

(3) 低频低压减载彼此配置间存在优化空间;

(4) 个别功率缺额特别大的孤网系统内,有必要考虑采取安控切负荷措施;

(5) 低频减载的配置方式有待改变,应由分散控制逐步改为集中控制。

## 4 低频或低压减载配置方案改进建议

### 4.1 改进总则

按照目前江苏电网低频、低压减载的配置总量

情况来看,基本可保证2011年和2012年内江苏电网整体或大范围内出现低频情形下的安全性,但发生概率较高的部分经济发达地区孤网系统的安全性则存在严重漏洞。鉴于此,在低频、低压减载配置的改进方面,有如下建议:

(1) 从长远来看,对江苏电网整体而言,配置的低频减载总量应保证相应水平年最大负荷的35%左右(包含特殊轮)。

(2) 江苏全网低频总配置量维持在目前水平,遵循在某些局部地区超配,并在某些局部地区适当低配,以维持目前的总配置量基本不变。

(3) 江苏电网内的各个地区(如受端和送端),低频减载配置方案应有所不同。

(4) 建议在部分受电比例较大区域应超配(比锡澄、张常、车坊、苏州西等某些可能出现严重功率缺额的分区内)。

(5) 送端电网内(如苏北各送电分区)配置的低频减载总量建议可少配,同时应妥善处理好高周切机与低频低压减载间的协调配合问题。

(6) 对送端电网内可能存在严重功率缺额的分区,低频减载总量仍需视实际最大功率缺额情况来配置。

(7) 有关低压减载配置方面改进建议。部分分区,比如苏北的盐城分区,目前没有配置低压减载方案,需增加低压减载配置;部分分区,如茅晋、通泰分区,低压减载装置动作的延时须重新整定,建议缩短低压减载配置的延时;部分分区,如锡澄、玉山、苏州西分区,建议除了缩短低压减载配置的延时,还需提高低压减载各轮配置比例。

(8) 实际中还可从如下几方面解决低频、低压减载配置方案中存在的问题。功率缺额较大时,加速切除后继轮次。经详细研究后,得到相应孤网地区出现最大功率缺额时其内部的电压和频率下降速率,并调整防误动的闭锁定值。

#### 4.2 其他改进建议

除以上有关低频、低压减载配置方面的改进建议外,还需考虑以下相关问题:

(1) 2011年江苏石牌、宁扬分区电网孤网后,目前低频、低压减载方案基本能适应,但为了保证孤网后系统稳定性,需对各自分区内的发电机高周保护定值进行改进。

(2) 对于孤网后功率缺额特别大的地区,如武南和吴江分区,为保证系统的安全稳定性,建议考虑安控联切负荷,并与低频低压减载间协调配合。

#### 4.3 江苏电网内低频减载配置理念的改进建议

随着电网内分层分区运行的现象越来越普遍,这意味着,大区电网内出现局部孤网的概率将有所增加,而且这些可能孤网的区域内功率缺额通常又较大,但由于它们所配置的低频减载是按照全网统一平均配置的理念设计的,反而在需要时,不能保证这些孤网系统内的频率安全。针对该现象,需将传统的低频减载配置理念作如下更新:

(1) 更加注重某些重要负荷区孤网情况下的频率安全,即该类地区的低频减载需进行特殊配置;

(2) 在电网运行允许的条件下,可根据详细分析后得出的结论,将原有的全网低频减载配置总量适当减少;如暂时不便减少,可依旧维持现状,但局部地区的低频减载量可超配;

(3) 当整体和局部的低频减载配置间出现矛盾时,应顾全整体,同时兼顾局部;如的确难以平衡,可按它们出现功率缺额的概率大小来进行优先抉择。

#### 5 结束语

低频低压减载作为保障电网安全稳定运行第三道防线的重要手段,其动作条件仅依赖于就地电气量,与故障原因、故障形式无关,这在一定程度上提高了低频低压减载措施在保障不确定因素日益增多的大电网安全稳定运行中的重要性。随着电网内分层分区运行的现象越来越普遍,使得电网传统的低频、低压减载原有的配置模式受到一定挑战;国务院新颁布的《电力安全事故应急处置和调查处理条例》,对于电力安全事故等级划分的标准,规定了对于事故的五个方面判定项,其中首先就是造成电网减供负荷的比例、造成城市供电用户停电的比例,导致以往常规的、集中式的低频、低压减载控制手段受到一定的制约和挑战。

#### 参考文献:

- [1] 袁季修. 防止电力系统频率崩溃的紧急控制[J]. 电力自动化设备, 2002, 22(4): 1-4.
- [2] DL 428—1991, 电力系统自动低频减负荷技术规定[S].
- [3] Underfrequency Issues Work Group of WSCC Technical Studies Subcommittee. WSCC Coordinated Off-nominal Frequency Load Shedding and Restoration Plan[C]. Nov. 1997.
- [4] 马世英, 易俊, 孙华东, 等. 电力系统低压减载配置原则及方案[J]. 电力系统自动化, 2009, 33(5).
- [5] 朱寰, 罗建裕, 赵晋泉, 等. 江苏电网低频低压减负荷优化配置研究(一)——研究方法 with 动态模型参数的获得[J]. 江苏电机工程, 2008, 27(1): 8-11.
- [6] 徐泰山, 李碧君, 鲍颜红, 等. 考虑暂态安全性的低频低压减载量的全局优化[J]. 电力系统自动化, 2003, 27(22).

## 参考文献:

- [1] 刘开俊,葛旭波,王楠. 能源基地建设特高压电网规划[J]. 中国电力, 2008, 41(1):1-3.
- [2] NB/T 3470—2010, 大型风电场并网设计技术规范[S].
- [3] 张丽英,叶廷路,辛耀中,等. 大规模风电接入电网的相关问题及措施[J]. 中国电机工程学报, 2010, 30(25):1-9.
- [4] 罗建裕,王小英,鲁庭瑞,等. 基于广域量测技术的电网实时动态监测系统应用[J]. 电力系统自动化, 2003, 27(24):78-80.
- [5] 高宗和,戴则梅,翟明玉,等. 基于统一支撑平台的EMS与WAMS集成方案[J]. 电力系统自动化, 2006, 30(16):41-45.
- [6] 梁志飞,肖鸣,张昆,等. 南方电网低频振荡控制策略探讨[J]. 电力系统自动化, 2011, 35(16):55-60.
- [7] 田立峰,李成鑫,刘俊勇. 电网低频振荡在线可视化监视的理论 and 实现[J]. 电力自动化设备, 2010, 30(5):28-33.

## 作者简介:

戴则梅(1973),女,江苏江宁人,高级工程师,从事调度自动化系统高级应用软件、广域相量策略系统设计、研发和管理工作;

陆进军(1972),男,江苏泰兴人,高级工程师,从事广域相量策略系统和综合智能报警系统设计、研发工作;

闪鑫(1982),男,安徽和县人,工程师,从事电力系统故障诊断和综合智能报警系统设计、研发工作;

徐春雷(1963),男,江苏南通人,高级工程师,从事电力系统调度自动化研发和管理工作;

李汇群(1963),男,河南内乡人,高级工程师,从事电力系统调度运行和管理工作。

## Integrated Application of PMU Data in Control Center

DAI Ze-mei<sup>1</sup>, LU Jin-jun<sup>1</sup>, SHAN Xin<sup>1</sup>, XU Chun-lei<sup>2</sup>, LI Hui-qun<sup>2</sup>

(1. NARI Technology Co. Ltd., Nanjing 210061, China;

2. Jiangsu Electric Power Company, Nanjing 210024, China)

**Abstract:** Problems in the development of China power grid were analyzed in this paper, From the viewpoint of dispatch and operation, the project of intensive application of PMU data and the design idea and application function of integrated intelligent alarm were described in detail. The overall framework of integrated smart alarm was proposed, which was based on information supported platform, to achieve risk pre-alarmed, fault analysis and decision support, and then improve dispatchers' online determining and emergency incident handling capabilities.

**Key words:** PMU; intelligent alarm; fault diagnosis; integrated analysis

(上接第7页)

## 作者简介:

周震(1978),女,江苏海门人,高级工程师,从事电力系统安全稳定分析与控制研究工作;

罗凯明(1978),男,贵州惠水人,工程师,从事电力系统安全稳定分析、调度运行工作;

李威(1976),男,江苏徐州人,高级工程师,从事电力系统安

全稳定分析与控制研究工作;

李琳(1987),男,湖南长沙人,硕士研究生,从事电力系统安全稳定分析与控制研究工作;

周磊(1982),男,山东泰安人,工程师,从事电力系统安全稳定分析与控制研究工作;

罗剑波(1962),男,江苏泰州人,研究员级高级工程师,从事电力系统安全稳定分析与控制研究工作。

## Analysis on Adaptability of UFLS &amp; UVLS Scheme in Jiangsu District Grids

ZHOU Xia<sup>1</sup>, LUO Kai-ming<sup>2</sup>, LI Wei<sup>1</sup>, LI Lin<sup>1</sup>, ZHOU Lei<sup>1</sup>, LUO Jian-bo<sup>1</sup>

(1. State Grid Electric Power Research Institute, Nanjing 210003, China;

2. Dispatch Center, Jiangsu Electric Power Company, Nanjing 210024, China)

**Abstract:** Based on the investigation and discussion of district power grid under-frequency and under-voltage load shedding scheme, this paper pointed out that Jiangsu district grids exist problems of serious power shortage and local isolated network under extremely serious chain faults with leveling and districting operation characteristics. Through checking adaptability of Jiangsu district power grid UFLS & UVLS scheme, improvement suggestions of UFLS & UVLS scheme in Jiangsu district power grid was proposed. Finally, considering of UHV grid interconnection, close electric connection, large proportion of power reception, and uncertainties of new energy output in the future, future research direction for setting under-frequency and under-voltage load shedding scheme is prospected.

**Key words:** under-frequency and under-voltage load shedding; district grids; frequency security; voltage stability