

异步联网运行下有序用电执行流程优化研究

杨再鹤,朱余启,施 超,杨远航

(云南电力调度控制中心,昆明 650011)

Research on executing process optimization of orderly power utilization in power grid asynchronous operation

YANG Zaihe, ZHU Yuqi, SHI Chao, YANG Yuanhang

(Electrical Dispatching and Control Center of Yunnan Power Grid, Kunming 650011, China)

摘要:在分析了有序用电所面临新形势的基础上,针对异步联网运行电网调频手段多样化和频率稳定问题复杂化的特点,提出了限电序位表指标分配优化方法,方法中结合了负荷增长率和政策原则的约束,使得有序用电负荷指标分配更趋合理,达到了制定方案更具执行性的目的。最后,从调度机构层面优化了有序用电执行流程。研究表明,该优化方法可操作性较强,有一定的现实意义,能满足实际要求。

关键词:异步联网;有序用电;限电序位表;执行流程

Abstract: The new circumstances of the orderly power utilization are discussed and the characteristics about frequency stability and diversification of frequency control in power grid asynchronous operation are described. According to increasing rate of power load and policy principles, the optimization method for the index allocation of the power restriction sequence table is proposed, in which index allocation is more reasonable and the plan is more effective. Finally, executing process of the orderly power utilization is further optimized from the level of dispatching and control center. The research shows that the proposed method can be more maneuverable, which is suitable for power grid.

Key words: asynchronous operation; orderly power utilization; power restriction sequence table; executing process

中图分类号:TM732 文献标志码:B

0 引言

云南电网与南方电网主网异步联网运行以来,系统运行特性发生较为显著变化。而云南水电、风电、光伏等清洁能源装机规模较大,电源结构性矛盾较为突出,在枯平期电力供应偏紧,存在全省出现局部性、时段性缺电情况,特别是部分时段高峰用电需求供应紧张局面较为明显。

在电力供应紧张时期,通过开展电力需求侧管理有助于缓解电力供需矛盾,稳定社会用电秩序,保障社会经济的正常运转。作为电力需求侧管理的重要组成部分,有序用电已成为各级电力部门应对电力缺口的重要措施。目前使用较多的为行政措施和技术手段。

为了促进有序用电工作的顺利开展和科学发展,国家发展和改革委员会于2011年颁布了《有序用电管理办法》。文献[1]从有序用电各个部门角度建立了有序用电管理工作的精益化管理体系。文献[2]对有序用电调度策略进行探讨,建立一个

与用户之间的博弈方案。文献[3]从尽可能满足用户用电需求出发,获得了各种运行方式下的最优错峰计划。而在错峰方案的编制方面,文献[4]一文文献[7]探讨了不同地区层面错峰容量的分配方案。

目前的研究大多从用户和电力营销部门角度来制定有序用电实施和分配方案。本文考虑到调度机构作为有序用电方案的执行者和监控者,需对有序用电执行流程进行严格把控,确保电网安全稳定经济环保运行。本文以云南电网异步联网运行调频特性为前提,结合有序用电面临的新形势,考虑政策制约等因素的影响,提出了限电序位表指标分配优化方法,并以此为基础制定了调度机构有序用电执行流程优化方案,最后对优化流程进行了效果评价分析。

1 异步联网调频特性分析

1.1 调频手段多样化与频率稳定问题复杂化

目前国家电网的西北电网与华中电网、华中电网与南方电网、华中电网与华东电网,南方电网的云南电网与南方电网主网均通过直流输变电工程异步互联运行^[8]。

云南电网与南方电网主网异步联网运行后,通

收稿日期:2019-05-28;修回日期:2019-07-06

基金项目:中国南方电网有限责任公司科技项目(KJDD 208102)

This work is supported by Science and Technology Project of Southern Power Grid Corporation of China(No.KJDD 208102)

过八回直流与南方主网相连,八回直流最大输送能力达3 115万kW,电网将面临直流闭锁、大电源跳闸、重要输电通道故障等导致的频率稳定问题。对于省间同步电网而言,系统频率集中控制,故障情况下可实时进行省际间功率支援,频率稳定问题不突出。而对于异步联网运行的云南电网,需独自承担系统调频责任,调频手段为机组一次调频、AGC(二次调频)、直流FLC(频率限制器)、稳控切机、高周切机及低周减载,其中一次调频和AGC的调节需要系统留足足够的备用容量。直流FLC设置有调节死区,只有系统频率超过调节死区时,直流FLC才会动作将系统频率调整至死区范围内。高周切机及低周减载则为系统稳定的第三道防线。总体而言,云南电网异步联网后的频率调节框架将以50 Hz±FLC调节死区为分界点展开。在正常无故障状态下,系统频率主要依靠一次调频、AGC共同作用来调整;而在直流闭锁及省内丢失大电源故障发生后,则依靠稳控、第三道防线、直流FLC将系统频率限制在50 Hz±FLC调节死区附近,而后依靠一次调频、AGC以及三次调频将系统频率恢复至额定频率50 Hz。综上所述,异步联网运行频率调节手段的多样化和调频责任的独立性导致了系统频率稳定问题更趋复杂化。

1.2 系统备用容量要求严苛

在电力供应紧张时期,如系统备用容量不满足要求,则云南电网面临的频率稳定问题主要体现为低频问题。一般而言,要求在任何运行方式下系统事故备用“留足,留够”,并且在规定时间内(一般为10 min内)可供调用,用于应对发电设备或输变电设备非计划停运导致的功率缺额^[9]。事故备用分为发电侧备用和负荷侧备用2部分,发电侧备用应不小于电网单一简单故障可引起本网的最大有功缺额,其余事故备用容量可为负荷侧备用容量。根据前文所述的调频手段,当系统备用不足时,发电机组一次调频、AGC二次调频的功能将无法发挥作用。随着电网负荷的不断增长,系统频率将不断降低,直至降至50Hz-FLC调节死区附近,依靠直流FLC的不断动作将系统频率维持在50Hz-FLC调节死区附近运行。若此时发生大电源N-1故障,电网将只能依靠第三道防线即低周减载装置的正确动作来维持频率稳定。但目前电网第三道防线可靠性未得到充分检验,即使正确动作,仍有可能损失大量负荷。故在电力供应紧张时期,若发电侧备用已充分挖掘,而为满足事故备用相关要求,需通过提前控制负荷侧备用来进行调节,而有序用电的行政措施和技术手段是控制负荷侧备用满足要求的重要措施,能够最大限度保障电力供应平稳有序。

2 有序用电面临的新形势

2.1 新能源发电的发展壮大

随着各省区坚定不移贯彻“创新、协调、绿色、开放、共享”的新发展理念,对能源电力走绿色发展道路提出了新要求,最终将从根本上实现能源结构从化石能源为主向清洁能源的巨大转变^[10]。近年来,云南大力发展新能源,新能源已替代火电成为了云南电力供应的第二大支撑电源。截至目前,新能源装机容量已占系统总装机容量的12.4%,但因新能源出力变化比较集中,且在时间上的分布与电网负荷需求之间的差异较大,对系统调峰不利。总体而言,新能源受来风、来光间歇性特性影响,无法时时稳定提供电力,风电、光伏在极端情况下出力将大幅下降。同时,新能源发电出力预测精度虽可达90%左右,但由于新能源装机规模较大,不可避免的预测偏差势必对调度运行日内实时调峰带来不利影响。

2.2 电力市场化交易的逐步深化

随着电力市场化交易继续开展,需确保发电企业有序发电,电力用户有序用电,推进节能减排,稳步推动电力市场化改革。当前参与中长期市场化交易的售电主体基本为清洁能源电厂(包括水电、风电和光伏发电),需科学执行市场化交易计划,开展不同能源间的互补协调优化调度,在保障电网安全稳定运行、电力有序可靠供应、清洁能源消纳的前提下科学执行交易计划,对运行实时调控、有序用电执行提出了新的要求。在电力市场化交易调度执行层面,以电网安全、优质、经济、环保为原则,执行发用电调度计划,负责电力电量平衡。因负荷预测偏差、新能源出力预测偏差和网络阻塞等原因需要对交易计划进行大规模调整或采取有序用电措施保障负荷侧备用时,因涉及多部门沟通协调、涉及优先购电权计划落实、涉及电力需求响应的启动等,执行准度和执行时限难以精确保证。

2.3 电力需求响应机制的不断发展

目前许多地区将电力需求响应作为有序用电的前置手段,而将有序用电作为保障电网安全稳定运行的保底措施^[11]。但因电力需求响应涉及面广、调节容量有限、响应时间不确定等因素,在电力需求响应发展完善前,有序用电还需遵循明确的原则,既与电力需求响应做好有效承接,又能保障电网安全稳定运行。当前云南电网电力需求响应已开始起步,还需将有序用电作为调度机构保安全底线的措施。有序用电目前主要按照“五保四压”(保人民生活、保发展目标、保节能降耗指标、保效益、保重点工程,压高耗能、压高污染、压低附加值、压不符合产业政策的企业、项目和产品)原则,以及“先生活,后生产”

的原则,统筹兼顾,确保人民生活用电。

3 限电序位表指标分配方法优化

3.1 限电序位表指标分配方法优化思路

各地区所编制的限电序位表是启动有序用电后调度机构进行拉闸限电的执行依据,但部分地区所列负荷在电力供应紧张时期可能因季节性、时间性和生产特性等原因面临在调度机构启动拉闸限电措施后无负荷可限或所限负荷量无法满足控制要求的极端情况。考虑上述原因,可从限电序位表指标分配优化上来解决这一难题。

通常情况下,限电序位表分为超计划用电限电序位表和事故拉闸限电序位表。目前各地区在进行限电序位表指标分配时,主要考虑各地区最大负荷预测增长率及各地区最大负荷占全省负荷的比重。如前文所述,因无法兼顾各种原则,加之因季节性和生产特性等差异,限电序位表所列负荷可能面临执行性不强的情况。针对上述问题,本文提出如下优化思路:考虑各地区负荷增长率,以各地区最大用电负荷占全省总用电负荷比重作为基本分配比例,综合考虑各地区用电结构差异和有序用电政策、原则的制约,计算调整系数,并将基本分配比例和调整系数的乘积作为最终的分配比例。

3.2 限电序位表指标分配具体方法

3.2.1 基本分配比例

各地区负荷指标的基本分配比例 $Z_{初}$ 计算方法为

$$Z_{初} = \frac{\text{各地区预测最大负荷}}{\text{各地区预测最大负荷之和}} \quad (1)$$

其中各地区预测最大负荷为当年最大负荷与负荷预测增长率的乘积。

3.2.2 调整系数的确定

政府电力主管部门一般要求按以下顺序限产来控制用电:① 产业结构调整目录中的所有淘汰类和限制类企业用电(包括趸售);② 可中断的黄磷、铁合金、电石、水泥、工业硅用电;③ 参与电力市场化交易的用户用电。

根据上述3类用户确定各地区调整系数,具体如下

$$k_i = 1 - [(a_i - b_i) \times C] \quad (2)$$

式中: $i=1,2,3$,按顺序分别对应上述3类不同用户; k_i 为每类用户调整系数; a_i 为各地区该类用户用电比重; b_i 为整个省区该类用户用电比重; C 为各地区用电占全省总用电的比例。

根据上述限电顺序,第一类和第二类负荷类型在各地区用电比重较大,在维持保安电力的基础上在限电过程需承担大部分限电容量。同时考虑3类负荷在限电比例的均衡性,每种负荷类型在总调整

系数中的比例设置为0.5、0.3、0.2,则总调整系数为

$$k = k_1 \times 0.5 + k_2 \times 0.3 + k_3 \times 0.2 \quad (3)$$

3.2.3 各地区最终分配比例的确定

各地区调整后的分配比例为

$$Z_{调} = k \times Z_{基} \quad (4)$$

若各地区调整后的分配比例之和 S 小于100%,则进行余数再分配,再分配比例为

$$Z_{再} = (1 - S) \times C \quad (5)$$

各地区负荷指标的最终分配比例为

$$Z = Z_{再} + Z_{调} \quad (6)$$

4 有序用电调度执行流程优化

4.1 有序用电执行流程

传统有序用电执行流程主要分为提醒、警告、执行3个阶段。如前文所述,针对有序用电面临的新形势,特别是在异步联网运行下,有序用电执行效果与电网安全稳定运行的底线密切相关,调度机构需以有序用电合理执行为手段,严守电网事故备用“不越底线,不碰红线”。故从调度机构角度对有序用电调度执行流程进行如下优化。

(1) 下令阶段。省级调度机构值班调度员将有序用电要求以调度指令形式下达至各地区调度机构,要求各地区严格执行有序用电方案,确保网供负荷和网供电量不超有序用电指标。

(2) 提醒和警告阶段。如果地区用电负荷已超过或预计将超过有序用电指标,各地区调度机构须安排进一步挖掘地区电网发电能力,同时通知市场部门采取错峰用电措施,将用电负荷控制在有序用电指标内。期间省级调度机构值班调度员将进行监视、提醒和警告。

(3) 执行阶段。若各地区经提醒和警告仍控制不力,省级调度机构值班调度员将下令各地区即时执行超计划用电限电。各地区依照《超计划用电限电序位表》执行省级调度下达的超计划用电限电指令。当出现事故跳闸等紧急情况造成电网事故备用不满足要求时,将下令各地区依照《事故拉闸限电序位表》执行事故拉闸限电,同时综合评估是否终止电力市场化交易。

(4) 恢复阶段。如地区负荷已低于有序用电指标,则省级调度机构值班调度员需根据系统运行情况逐步恢复超计划限电负荷,可遵循“先限先恢复”的原则,但恢复负荷后地区负荷不得再次越过有序用电指标。对于事故拉闸限电所限负荷,当故障处置告一段落且评估系统事故备用容量已满足要求时,需尽快恢复限电负荷。

(5) 校核阶段。当日结束后,省级调度机构值班调度员根据有序用电执行方案校核各地区供电

部门前日网供电量指标是否越限。针对指标越限地区,将实施调度考核机制和“今超明还”的指标闭环机制,确保有序用电有效执行。同时,省级调度机构汇总统计各地区有序用电执行情况,动态分析有序用电执行期间存在的问题,将相关情况及时反馈至市场营销部门和政府电力主管部门,推动有序用电指标分配更趋合理化。

4.2 优化效果分析

较传统有序用电执行流程而言,下令阶段以调度指令的严肃性、权威性和规范性让各地区调度机构认识到有序用电的有效实施对系统安全稳定运行至关重要,从而确保在地区层面将有序用电方案执行到位。恢复阶段对省级调度机构值班调度员客户服务意识进行了强化,要求对用户的影响范围和影响时间控制到最小。通过有序用电考核阶段的建立,实施调度考核机制和“今超明还”的指标闭环调整机制可使省级调度机构值班调度员在非负荷高峰时段不必紧盯负荷曲线,将精力放在电网的实时调控上。在系统备用满足要求前提下,也无需采用强制方式控制各地区网供电量指标,而是通过调度考核机制使各地区供电部门成为问题解决的主体,便于各地区供电部门提前做好供用电的安排及用户的疏导工作。

总体而言,通过有序用电执行流程的优化,能够充分发挥异步联网运行的云南电网各调频手段的作用,保障系统频率合格率满足要求。同时能够确保系统事故备用“留足,留够”,有效应对系统各类故障导致的系统频率稳定问题。

5 结束语

本文考虑云南电网与南方电网主网异步联网运行的调频特性,分析了有序用电所面临的新形势,并提出了限电序位表指标分配优化方案,最后制定了在异步联网下有序用电调度执行优化流程。在电力需求侧管理向精益化方向不断发展的背景下,对异步联网运行电网乃至整个电网的调度机构有序用电执行流程管理有一定的借鉴意义和实用价值。D

参考文献:

- [1] 陈海燕,刘新才.有序用电工作的精细化管理过程[J].电力需求侧管理,2010,12(3):30-33.
CHEN Haiyan, LIU Xincan. Fine management process of orderly power utilization work [J]. Power Demand Side Management, 2010, 12(3): 30-33.
- [2] 韦志伟,岳超,谢昕怡.关于有序用电调度策略的探讨[J].通讯世界,2015,12(3):123-124.
WEI Zhiwei, YUE Chao, XIE Xinyi. Discussion on orderly electricity dispatching strategy [J]. Telecom World, 2015, 12(3): 123-124.
- [3] 陆婷婷,高赐威,苏卫华,等.有序用电管理下的最优错峰计划[J].电力需求侧管理,2013,15(6):15-22.
LU Tingting, GAO Ciwei, SU Weihua, et al. Optimal scheduling of peak load shifting by orderly power consumption management [J]. Power Demand Side Management, 2013, 15(6): 15-22.
- [4] 姜鹤,黄群古,吴国丙.错峰用电在电力系统运行中的地位和作用[J].广东电力,2006,19(7):1-3.
JIANG He, HUANG Qungu, WU Guobing. Station and action of staggering power consumption in power system operation [J]. Guangdong Electric Power, 2006, 19(7): 1-3.
- [5] 黄远明.错峰预警信号系统的实现[J].电力需求侧管理,2007,9(3):59-61.
HUANG Yuanming. Achievement of early warning signal system for peak load shifting plan [J]. Power Demand Side Management, 2007, 9(3): 59-61.
- [6] 李扬,高立群,于宏涛,等.基于专家知识结构的错峰控制限电分配研究[J].继电器,2006,34(19):46-50.
LI Yang, GAO Lique, YU Hongtao, et al. Power limiting distribution research based on expert knowledge structure in peak load shifting control [J]. Relay, 2006, 34(19): 46-50.
- [7] 钟海旺,夏清,黄媚,等.降低网损和消除阻塞的有序用电模式与方法[J].电网技术,2013,37(7):1915-1921.
ZHONG Haiwang, XIA Qing, HUANG Mei, et al. A Pattern and method of orderly power utilization considering transmission loss reduction and congestion elimination [J]. Power System Technology, 2013, 37(7): 1915-1921.
- [8] 黄明良,张卫东.西北与华中电网多点联网有关问题探讨[J].中国电力,2007,40(11):46-50.
HUANG Mingliang, ZHANG Weidong. Study on multiple-point interconnecting between northwest China power system and central China power system [J]. Electric Power, 2007, 40(11): 46-50.
- [9] 郑秀波,夏春,林勇,等.中国电网运行事故备用标准建议[J].电力系统自动化,2018,42(1):151-159.
ZHENG Xiubo, XIA Chun, LIN Yong, et al. Suggestion on operation contingency reserve standards for power grid of China [J]. Automation of Electric Power Systems, 2018, 42(1): 151-159.
- [10] 严太山,程浩忠,曾平良,等.能源互联网体系架构及关键技术[J].电网技术,2016,40(1):105-113.
YAN Taishan, CHENG Haozhong, ZENG Pingliang, et al. System architecture and key technologies of energy internet [J]. Power System Technology, 2016, 40(1): 105-113.
- [11] 高赐威,陈曦寒,陈江华,等.我国电力需求响应的措施与应用方法[J].电力需求侧管理,2013,15(1):1-4.
GAO Ciwei, CHEN Xihan, CHEN Jianghua, et al. Measures and application of China's demand response [J]. Power Demand Side Management, 2013, 15(1): 1-4.

作者简介:

杨再鹤(1990),男,云南丽江人,硕士,主要研究方向为电力系统运行与控制、电力需求侧管理。

(责任编辑 徐文红)