

关于区域互联电网电能量与备用辅助服务联合优化模型研究

周兆旭^[1] 张林^[2]

(1. 浙江珊溪水利水电开发股份有限公司, 浙江 温州 325000;
2. 温州技师学院, 浙江 温州 325000)

摘要 当前, 电网面临着特高压交直流混联大电网运行、电力市场化改革深入发展与市场交易电量执行、新能源并网规模高速发展与优先保障消纳、外来电比例不断增大等新形势, 电网省际间加入缺乏可行的市场化平衡机制, 将会造成电网面临较大的运行压力, 跨省备用服务支援的需求十分迫切。因此, 在电力现货市场环境驱使下, 通过市场手段, 能够充分发挥出区域备用资源对负荷预测偏差、大直流故障后缺口的风险吸纳作用, 有效衔接省际市场交易边界, 集中配备正负备用资源, 保障电网安全稳定经济运行。

关键词 区域互联电网 电能量 备用辅助服务 SUCC 数学模型

中图分类号: TM7

文献标识码: A

文章编号: 1007-0745(2022)03-0013-03

市场化改革背景下, 电能量与辅助服务的联合优化已经成为研究热点, 跨省跨区域的协同调度才能科学地克服清洁能源电力消纳弊病, 这种要求为电网调度带来新的挑战。伴随全国范围内电力市场持续推进改革, 浙江配套系统成为了华东电网区域备用辅助服务市场的重要组成部分, 采用面向电力市场业务的统一支持平台, 构建包括市场管理、数据申报、信息发布、数据交换等功能模块, 实现区域备用市场规则中省市部分的功能及流程, 为浙江调管范围内机组参与华东跨省区备用市场提供支撑平台, 提升系统的经济性及可靠性。

在实际运行过程中, 备用需求评估和备用资源配置属于必要的任务, 其中, 备用需求主要源于电网运行的不确定性。在区域互联电网条件下, 电能量与备用辅助服务联合优化要重点考虑系统及备用需求容量的设置方法、电能量与备用辅助服务联合优化模型、备用调度等问题。本文简要分析区域互联电网电能量与备用辅助服务联合优化 SUCC 数学模型, 构建单、多区域情形下联合优化模型, 在此基础上进行简化案例分析, 充分验证有效性影响, 极大程度上提升联合系统运行可靠性^[1]。

1 华东区域互联电网电能量与备用辅助服务市场流程

华东区域互联电网电能量与备用辅助服务市场流程建设立足于华东电网区域备用辅助服务市场运营管

理需求之上, 充分借鉴国内外一流的专业技术, 保证系统在各项功能的针对性基础上体现出整体的实用性以及针对不同应用环节的适用性。为了充分保证数据和系统的安全性, 市场流程采取科学的加密防护措施, 以防范利用网络发起对系统流程的恶意攻击和破坏。

2 备用需求容量配置方法

2.1 电网计算机监控系统 and 系统之间互联的备用需求容量配置

考虑到电网计算机监控系统 and 系统之间进行互联的过程中, 备用需求容量需要获取充分的经济适用性, 还需要同时计算区域之间备用区域联络线传输容量对备用容量可用程度的干扰, 所以本文采取了基于电网计算机监控系统 and 系统之间互联过程中的失负荷概率指标 (LOLP) 反馈电力市场的供需形式, 量化系统容量不足的风险, 采取利用 AFSA 算法改进, 获得可用传输能力问题优化模型分析在电网可用传输能力中尚未解决的实际问题。

失负荷概率指标是目前电力系统采取最为广泛的可靠性指标的一种, 电力市场可用传输能力算法是充分考虑到电压安全约束、线路热极限约束等等, 同时采取约束变尺度最优化的方法求解。利用可用传输能力优化模型解决初始问题后, 可以引入遗传算法, 并运用 IEEE RTS-96 系统验证、构建并求解预期互联电网电能量与备用辅助服务需求容量数学模型, 确定系统备用需求容量。

2.2 分区备用容量配置

系统之所以需要备用容量,主要是由电力生产特点和用电不均衡所决定的,备用容量资源主要用于应对系统在运行过程中有可能会产生的有功不平衡。为了确保向电网所有用户进行安全、平等的连续提供输电服务,必须充分利用现有的电网输电网络资源,在分区备用容量配置上主要用在平衡瞬间负荷备用、检修和事故备用,考虑到备用容量所处状态又分为热备用和冷备用,确定备用容量按照占最大负荷并以固定的百分比确定并计算,汇总并形成备用容量需求。

$$R_i = \frac{\sum_{i=1}^n a_i}{3} + \frac{\sum_{i=1}^n \beta_i}{3} + \frac{\sum_{i=1}^n \gamma_i}{3} \times R$$

基于充分考虑,在确定电网计算机监控系统和系统之间互联的备用需求容量配置上,各分区要根据周波和负荷备用进行最大统调负荷、单一元件故障以及新能源最大有功缺额的预测,以此分摊系统的备用需求容量^[2]。

3 华东区域互联电网能量与备用辅助服务联合优化的 SUCC 数学模型

华东区域备用辅助服务市场技术支持系统建设遵循安全性、先进性、开放性、实用性和与智能电网调控系统(D5000)一体化等原则,建立区域互联电网能量与备用辅助服务联合优化的 SUCC 数学模型最根本的要求是能够满足系统安全运行的约束,能够适应未来辅助服务市场规则的变化,实现经济效益最优化,满足未来华东未来辅助服务市场发展需求。

3.1 单区域电能量与备用联合优化模型

3.1.1 目标函数

$$\min F = \min \sum_{i=1}^N \sum_{t=1}^T [C_{i,t}(P_{i,t}) + C_{i,t}^U + C_{i,t}^{R10} R_{10,i,t} + C_{i,t}^{R30} R_{30,i,t} + C_{i,t}^{NR} R_{N,i,t}] + \sum_{l=1}^{N_L} \sum_{t=1}^T M[S_{L,t}^+ + S_{L,t}^-] + \sum_{s=1}^{N_S} \sum_{t=1}^T M[S_{L,s}^+ + S_{L,s}^-]$$

3.1.2 约束条件

系统负荷平衡约束为:

$$\sum_{i=1}^N P_{i,t} + \sum_{j=1}^{N_T} T_{j,t} = D_t$$

系统正备用容量约束为:

$$\sum_{i=1}^N R_{10,i,t} \geq R_{R10,t}$$

$$\sum_{i=1}^N (R_{R10,i,t} + R_{30,i,t}) \geq R_{R10,t} + R_{R30,t}$$

系统负备用容量约束为:

$$\sum_{i=1}^N R_{N,i,t} \geq R_{N,t}$$

机组容量约束为:

$$P_{i,t} \leq a_{i,t} P_{i,t}^{\max} - R_{10,i,t} - R_{30,i,t}$$

$$a_{i,t} P_{i,t}^{\min} + R_{N,i,t} \leq P_{i,t}$$

机组爬坡约束为:

$$P_{i,t} - P_{i,t-1} \leq \Delta P_i^U a_{i,t-1} + P_{i,t}^{\min} (a_{i,t} - a_{i,t-1}) + P_{i,t}^{\max} (1 - a_{i,t})$$

$$P_{i,t-1} - P_{i,t} \leq \Delta P_i^D a_{i,t} - P_{i,t}^{\min} (a_{i,t} - a_{i,t-1}) + P_{i,t}^{\max} (1 - a_{i,t-1})$$

机组最小连续开停时间约束为:

$$T_{i,t}^D - (a_{i,t} - a_{i,t-1}) T_D \geq 0$$

$$T_{i,t}^U - (a_{i,t-1} - a_{i,t}) T_U \geq 0$$

机组正负备用上限约束为:

$$\begin{cases} R_{10,i,t} \leq R_{10,i,t}^{\max} \\ R_{30,i,t} \leq R_{30,i,t}^{\max} \\ R_{N,i,t} \leq R_{N,i,t}^{\max} \end{cases}$$

机组正负备用爬坡约束为:

$$R_{10,i,t} \leq R_{T10,i,t}^{\max}$$

$$R_{10,i,t} + R_{30,i,t} \leq R_{T30,i,t}^{\max}$$

$$R_{N,i,t} \leq R_{NT,i,t}^{\max}$$

网络线路潮流约束为:

$$-P_l^{\max} \leq \sum_{i=1}^N G_i P_{i,t} + \sum_{j=1}^{N_T} G_j T_{j,t} - \sum_{k=1}^K G_{l-k} D_{k,t} - S_{L,t}^+ + S_{L,t}^- \leq P_l^{\max}$$

断面潮流约束为:

$$P_s^{\min} \leq \sum_{i=1}^N G_{s-i} P_{i,t} + \sum_{j=1}^{N_T} G_{s-j} T_{j,t} - \sum_{k=1}^K G_{s-k} D_{k,t} - S_{L,s}^+ + S_{L,s}^- \leq P_s^{\max}$$

3.2 多区域电能量与备用联合优化模型

3.2.1 分区备用容量约束

$$\sum_{i=1}^N J_{ai} R_{10,i,t} \geq R_{R10,a,t} \quad a=1,2,\dots,N_A$$

$$\sum_{i=1}^N J_{ai} (R_{10,i,t} + R_{30,i,t}) \geq R_{R10,a,t} + R_{R30,a,t}$$

$$a=1,2,\dots,N_A$$

表1 单区域场景与区域互联电网场景下各级容量需求

备用需求种类	系统备用需求	分区 1	分区 2	分区 3
1 级正备用需求	170	57	57	57
2 级正备用需求	427.5	142.5	142.5	142.5
负备用需求	170	57	57	57

表2 不考虑分区备用计算各项成本

计算程序	电能量成本	空载成本	一级 / 二级备用成本	负备用成本	总成本
SUCC	2809653.56	601729.8	11088.07/1445.62	10866.69	3434783.90
SCED	2803701.76	0	11581.33/1445.62	10993.31	28277723.05

表3 考虑分区备用计算各项成本

计算程序	电能成本	空载成本	一级 / 二级备用成本	负备用成本	总成本
SUCC	2817946.70	599087.74	13351.81/1748.90	11701.78	3441829.01
SCED	2809952.0	0	14214.53/1748.90	11855.64	28.7771.04

3.2.2 区域联络线传输容量约束

$$H_{j,t}^{\min} \leq \sum_{i=1}^N G_{j=i} P_{i,t} + \sum_{m=1}^{N_T} G_{j=m} T_{m,t} - \sum_{k=1}^K G_{j=k} D_{k,t} \leq H_{j,t}^{\max}$$

4 算例分析

4.1 算例参数

采用 IEEE RTS-96 系统, 3 片区域中, 低价机组为分区 1 机组设置, 中价机组为分区 2 机组设置, 高价机组为分区 3 机组设置。根据备用需求容量配置方法计算, 不分区和分区条件下 3 片区域的各级备用容量需求如表 1 中所示。

4.2 仿真分析

不考虑分区备用计算各项成本(如表 2 中所示), 机组的组合收敛精度在 0.1% 以内。

在考虑分区备用的前提下, 利用 SCUC/SCED 程序计算出各项成本(如表 3 中所示), 机组的组合收敛精度在 0.1% 以内。

通过上述对比, 可以从表 3 的数据中了解到, 考虑或者不考虑分区备用联合优化区域互联电网的电能量与备用辅助服务对机组出力水平产生的影响并不大, 当处于 SUCC/SCED 两种方式下, 机组在电能成本计算结果上总成本的差异结果较小, 备用总成本在总成本中的占比相对较低。一旦考虑到分区备用, 任何区域产生故障后, 区内的备用能够及时进行输送。在分区备用得到优化的重要前提之下, 系统可靠性也能得到

较大程度上的提高, 区间联络线阻塞和故障的同时, 分区内的机组可以快速提供备用容量, 在未考虑分区备用交互联合优化时, 联络线阻塞或者产生故障会干扰分区备用无法科学快速地进行跨区调度。

5 结论

综上所述, 华东电网区域电能量与备用辅助服务联合优化模型已经成型, 通过华东电网区域备用辅助服务市场浙江配套系统的设计与开发, 遵循和满足已制定的华东区域备用辅助服务市场基本规则和设计要 求, 能够充分调用电能量与备用辅助服务资源, 实现区域现货市场经济最优化。华东电网区域电能量与备用辅助服务联合优化模型考虑分区备用和区域间联络线传输容量约束, 能够有效解决分区备用调度, 充分满足未来一段时期内区域备用辅助服务市场规则的变化要求, 主要目标在于建立市场高效交互平台和实现统一的网省市数据交互, 推动构建更加完备的区域电力现货市场。

参考文献:

- [1] 刘建涛, 朱炳铨, 马经纬, 等. 计及可靠性的日前旋转备用容量评估指标 [J]. 电网技术, 2019, 43(06): 2147-2153.
- [2] 陶仁峰, 李凤婷, 李燕青, 等. 基于系统频率响应特征的电网广义旋转备用优化配置 [J]. 电力系统自动化, 2019, 43(09): 82-91.