

考虑多类型柔性负荷的日前优化调度技术

董蓓¹, 毛文博², 李峰², 苏大威³

(1. 国家电网公司客服中心南方分中心, 江苏 南京 210003;

2. 中国电力科学研究院, 江苏 南京 210003; 3. 国网江苏省电力有限公司, 江苏 南京 210024)

摘要: 新能源大规模接入以及用电侧使能技术的发展使得柔性负荷调度技术成为调度自动化领域的研究热点。文中提出一种涵盖多种类型柔性负荷的日前优化调度技术, 为实现源网荷三侧资源的协同调度提供了技术支持。基于现有调度自动化系统, 设计了考虑多类型柔性负荷的日前优化调度架构, 依据用户侧负荷特性, 将负荷进行分类, 并建立考虑各类负荷的日前优化调度模型。最后基于省级电网断面数据, 进行日前优化调度案例仿真, 并依据仿真结果, 分析了各类柔性负荷对电网运行的影响, 验证了所提技术的有效性。

关键词: 日前调度; 调度计划框架; 可中断负荷; 可转移负荷; 双向负荷

中图分类号: TM714

文献标志码: A

文章编号: 2096-3203(2018)06-0097-06

0 引言

未来电网中, 电源、电网和负荷间的构成形式、响应范围和交互模式较目前电网更趋复杂, 对电网调度控制和安全稳定运行将产生深远影响^[1-2]。

目前国内调度系统采用的常规日前优化调度还是采用发电跟踪负荷的模式, 但这种模式难以适应未来电网的发展。首先, 新能源机组的大规模接入不可避免, 风电、光伏发电成为未来电源侧重要资源, 然而这些资源发电的不确定性高^[3-4], 对电网功率平衡提出巨大挑战^[5], 常规调度不得不为此配置大量备用资源^[6]; 其次, 风电具有逆调峰特性, 导致夜间负荷水平低时, 系统下备用不足, 致使常规调度模式下, 只能大量弃风, 极大限制了风电的利用率^[7]; 再次, 随着负荷侧使能技术发展^[8-11] (包括智能插座、负荷终端等) 和可调节负荷容量的增加^[12-13] (包括电动汽车大范围应用^[14]、储能电站投建^[15]等) 使得系统负荷具有巨大的可调节潜力^[16-17], 常规调度对这些可调资源缺乏有效调控手段^[18]。相对而言, 考虑多类型柔性负荷的日前优化调度模式则更加适应未来电网的发展。首先, 柔性负荷作为备用的建设周期远远小于常规电源; 其次, 同时通过引入负荷侧资源, 可以促进发用电资源竞争, 提高资源优化配置及利用效率, 降低运行成本^[19]。

本文基于未来电网“源网荷”互动特征, 设计了柔性负荷日前优化调度系统, 该系统建立了多类型

负荷调度模型, 为负荷侧资源全方位参与系统调度提供接口; 建立了发用电一体化优化模型, 将发用电资源进行统一调配; 设计了调度方案对照分析机制, 对常规优化调度和计及柔性负荷的优化调度分别进行计算和界面展示。

1 柔性负荷日前优化调度系统架构

目前我国优化调度系统都搭载在 D5000 调度自动化系统上, 本文提出的柔性负荷日前优化调度系统也是在该系统上设计并开发的。柔性负荷一部分通过营销用电信息采集系统将响应数据发送至调度系统, 另一部分就近接入 110 kV 变电站, 从而通过数据采集系统 (SCADA) 实现与调度系统的通信。

计及柔性负荷的日前优化调度的 3 大功能模块分别是数据准备模块、优化服务模块和结果分析处理模块, 如图 1 所示, 各模块详细信息如下。

(1) 优化数据准备: 电网经济调度数据以及负荷可调度数据存储在 D5000 实时数据库。该模块获取经济调度数据, 生成标准格式的常规调度优化数据文件以及负荷调度优化数据文件。

(2) 优化服务模块: 调用商业优化软件 Aimms (当前系统广泛应用的优化平台) 提供的接口, 实现优化应用服务的调用, 包括优化模型装载、数据装载、计算求解等主要功能。本文所提模型为混合整数线性优化模型, Aimms 中调用 Cplex 求解器采用分支定界法求解。

(3) 结果分析处理模块: 对常规优化调度和计及柔性负荷优化调度结果进行统计分析, 更新 D5000 实时数据库的机组发电计划, 发布负荷调节

收稿日期: 2018-07-03; 修回日期: 2018-08-09

基金项目: 江苏省自然科学基金资助项目 (BK20160145);

国家电网有限公司科技项目 (DZ71-18-010)

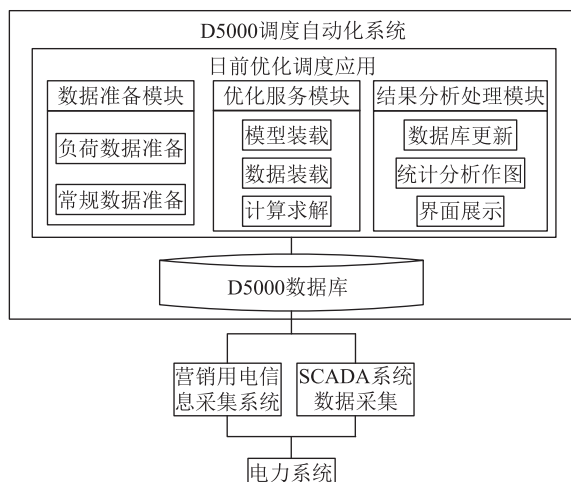


图1 柔性负荷日前优化调度系统框架

Fig.1 The framework of day-ahead optimized dispatching system with flexible loads

计划,并进行界面展示。

2 柔性负荷特性分析及分类

柔性负荷参与调度计划时,由于各类柔性负荷具有不同物理特性,在优化建模时,需要针对性设置相关约束。依据实际负荷特性调研,负荷可调度特性主要表现为:

(1) 可中断特性。在一定时段内可削减一定容量负荷,并持续一定时间。中断次数和提前通知时间有不同要求。

(2) 可转移特性。在一定时段内,负荷将用电需求整体转移至其它时段。这类负荷可能是在一段时间内具有总耗电量的需求(例如蓄冷用户),也可能是用电曲线整体转移(例如生产线提前或延后生产)。

(3) 双向潮流特性。负荷具有向电网发电(或放电)能力,这类负荷通常具有储能特性(包括电池、燃料等),可以实现负荷长时间尺度(甚至多日)负荷调整。

详细调研结果如表1所示。

3 计及柔性负荷的日前优化调度模型

计及柔性负荷的安全约束经济调度优化模型如式(1—20)所示。

(1) 目标函数。

$$\min: \sum_{t \in S_T} \left[\sum_{\substack{i_{gen} \in S_{gen} \\ i_{blk} \in S_{blk}}} P_{gbl}(i_{gen}, i_{blk}, t) C_{gbl}(i_{gen}, i_{blk}) + \sum_{\substack{i_{dr} \in S_{dr} \\ i_{blk} \in S_{blk}}} P_{drbl}(i_{dr}, i_{blk}, t) \times C_{drbl}(i_{dr}, i_{blk}) + \sum_{i_{pen} \in S_{pen}} C_{vio}(i_{pen}) \times V(i_{pen}, t) \right] \quad (1)$$

表1 柔性负荷特性分析及分类

Tab.1 The Characteristics and classification of flexible loads

负荷类型	可中断特性	可转移特性	双向潮流特性	备注(具体负荷可调度)
钢铁行业	√			轧钢生产线 49%
有色金属	√			延压加工 35%
水泥行业	√	√		研磨、破碎 57%
化纤行业	√			纺丝、卷绕 46%
造纸行业	√			卷纸、吊机 8%
塑料行业	√			辅助加工 64%
橡胶行业	√			造粒、整理 33%
商业负荷	√	√		空调、照明 25%~60%
居民用电	√	√		照明 15%、洗衣机 6%、空调 60%
电动汽车			√	私家车、充电桩、换电站

(2) 常规约束条件。

$$\sum_{i_{ld} \in S_{ld}} P_{ld}(i_{ld}, t) = \sum_{i_{gen} \in S_{gen}} P_{gen}(i_{gen}, t) + \sum_{i_{tie} \in S_{tie}} P_{tie}(i_{tie}, t) + \sum_{i_{dr} \in S_{dr}} P_{dr}(i_{dr}, t) \quad (2)$$

$$\sum_{i_{gen} \in S_{gensub}(i_{bus})} P_{gen}(i_{gen}, t) + \sum_{i_{ld} \in S_{ldsub}(i_{bus})} P_{ld}(i_{ld}, t) + \sum_{i_{dr} \in S_{drsub}(i_{bus})} P_{dr}(i_{dr}, t) + \sum_{i_{br} \in S_{brsub}(i_{bus})} P_{br}(i_{br}, t) = 0 \quad (3)$$

$$P_{br}(i_{br}, t) = \frac{[R_{tbus}(i_{br}, t) - R_{fbus}(i_{br}, t)] P_{BscMW}}{X_{br}} \quad (4)$$

$$-P_{maxbr}(i_{br}) \leq P_{br}(i_{br}, t) \leq P_{maxbr}(i_{br}) \quad (5)$$

$$P_{ming}(i_{gen}, t) I_{gen}(i_{gen}, t) \leq P_{gen}(t) \leq P_{maxg}(i_{gen}, t) I_{gen}(i_{gen}, t) \quad (6)$$

式(1)为目标函数, P_{gbl} 为分段发电量; i_{gen} 为第 i 台发电机组,属于发电机组集合 S_{gen} ; i_{blk} 为第 i 个分段,属于线性分段集合 S_{blk} ; t 为时段,属于时段集合 S_T ; C_{gbl} 为分段线性成本; P_{drbl} 为柔性负荷分段调节量; i_{dr} 为第 i 个柔性负荷,属于柔性负荷集合; C_{drbl} 为柔性负荷分段调节成本; C_{vio} 为惩罚系数; V 为松弛变量值,取正值,用于设置每个约束条件的松弛变量,优化问题存在可行解时,松弛变量为0,不影响结果,可行域内无解时,不满足的约束条件对应的松弛变量不为0,并发出条件越限告警; i_{pen} 为第 i 个松弛变量,属于松弛变量集合 S_{pen} 。

式(2)为功率平衡条件, P_{ld} 为系统负荷; i_{ld} 为第 i 个负荷,属于负荷集合 S_{ld} ; P_{gen} 为机组实际功率,是分段功率之和; P_{tie} 为联络线功率; i_{tie} 为第 i

条联络线,属于联络线集合 S_{tie} ; P_{dr} 为柔性负荷实际调节量,是分段调节量之和。

式(3)为节点功率平衡条件, i_{bus} 为第 i 个节点,属于节点集合 S_{bus} ; $S_{gensub}(i_{bus})$ 表示节点 i_{bus} 上挂接的机组集合; $S_{idsub}(i_{bus})$ 为挂接在节点 i_{bus} 上的负荷集合; $S_{brsub}(i_{bus})$ 为与节点 i_{bus} 相连的支路集合; P_{br} 为支路潮流,流入节点为正,流出节点为负。

式(4)为直流潮流方程, P_{br} 为支路潮流; R_{tbus} 为末端电压功角; R_{fbus} 为首段电压功角; X_{br} 为支路电抗; P_{BscMW} 为系统基准功率,通常选 100 MW。

式(5)为线路传输功率极限条件, P_{maxbr} 为线路传输功率极限。

式(6)为机组发电极限条件, P_{ming} 为机组最小发电功率; I_{gen} 为机组开停机状态; P_{maxg} 为机组最大发电功率。其他常规调度约束条件,包括机组爬坡约束、启停约束、旋转备用约束与现有系统日前优化模型相同,不在此详细阐述。

(3) 可中断负荷约束条件。可中断负荷通相关约束条件如式(7—12)所示。

$$P_{dr}(i_{itld}, t) = I_{dr}(i_{itld}, t) \times \sum_{i_{blk} \in S_{blk}} [P_{drst}(0, i_{itld}) + P_{drbl}(i_{blk}, i_{itld}, t)] \quad (7)$$

$$0 \leq P_{dr}(i_{blk}, i_{itld}, t) \leq P_{drend}(i_{blk}, i_{itld}, t) - P_{drst}(i_{blk}, i_{itld}, t) \quad (8)$$

$$\sum_{t \in S_T} y_{dr}(i_{itld}, t) \leq N_{maxdr}(i_{itld}) \quad (9)$$

$$\sum_{k=t}^{t+T_{drMinOff}(i_{itld})-1} [1 - I_{itld}(k)] \geq (i_{itld}) \times [I_{dr}(i_{itld}, t-1) - I_{dr}(i_{itld}, t)] \quad (10)$$

$$\sum_{k=t}^{t+T_{drMinOn}(i_{itld})-1} I_{dr}(k, i_{itld}) \geq T_{drMinOn}(i_{itld}) \times [I_{dr}(i_{itld}, t) - I_{dr}(i_{itld}, t-1)] \quad (11)$$

$$\sum_{k=t}^{t+T_{drMaxOn}(i_{itld})} I_{dr}(k, i_{itld}) \leq T_{drMaxOn}(i_{itld}) \quad (12)$$

上述公式中, i_{itld} 表示第 i 个可中断负荷,属于可中断负荷集合 S_{itld} ,且有 $S_{itld} \subseteq S_{dr}$,即可中断负荷集合是柔性负荷集合的子集。其中,式(7)为分段线性成本函数的分段起始功率;式(8)为分段优化功率范围条件, P_{drend} 为分段终点功率;式(9)为最大可中断次数条件, y_{dr} 为中断次数, N_{maxdr} 为最大调用次数;式(10)为最小调用间隔条件, $T_{drMinOff}$ 为最小调用间隔;式(11)为最小连续调用条件, $T_{drMinOn}$ 为最小连续调用时间;式(12)为最大连续中断条件, $T_{drMaxOn}$ 为最大连续调用时间。

(4) 可转移负荷约束条件。可转移负荷特点是

用电时段可以调节,对每个时段用电功率并无严格要求,但是为了不影响其使用功能,每天或者给定时段内的总用电量需求要得到满足。其约束条件如式(13—15)所示。

可转移负荷分段线性成本模型及可调用次数条件与可中断负荷约束条件式(7—9)一致不再赘述。

$$0 \leq P_{bscshld}(i_{shld}, t) - P_{dr}(i_{shld}, t) \leq P_{fullshld}(i_{shld}, t) \quad (13)$$

$$-P_{upshld}(i_{shld}) \leq P_{dr}(i_{shld}, t) \leq P_{dnshld}(i_{shld}) \quad (14)$$

$$\sum_{t \in S_T} P_{dr}(i_{shld}, t) = 0 \quad (15)$$

上述公式中, i_{shld} 表示第 i 个可转移负荷,属于可转移负荷集合 S_{shld} ,且 $S_{shld} \subseteq S_{dr}$ 。其中,式(13)为可转移用户负荷运行功率条件, $P_{bscshld}$ 为基线负荷, $P_{fullshld}$ 为满载负荷;式(14)为可转移负荷功率调节范围条件, P_{upshld} 为最大上调节功率, P_{dnshld} 为最大下调节功率。

(5) 双向潮流负荷约束条件。该类负荷的用电特性是具有双向潮流特性,既可以从电网获取电能,也可以将自身储存的能量输送给电网。其约束条件如式(16—20)所示。

双向负荷分段线性成本模型及可调用次数条件与可中断负荷约束条件(7—9)一致不再赘述。

$$P_{minbild}(i_{bild})I_{dr}(i_{bild}, t) \leq P_{dr}(i_{bild}, t) \leq P_{maxbild}(i_{bild})I_{dr}(i_{bild}, t) \quad (16)$$

$$I_{dr}(i_{bild}, t) \leq I_{bildset}(i_{bild}, t) \quad (17)$$

$$-P_{Dischg}(i_{bild}) \leq P_{Bscbild}(i_{bild}, t) - P_{dr}(i_{bild}, t) \leq P_{Chg}(i_{bild}) \quad (18)$$

$$Q_{SOC}(i_{bild}, t-1) \geq P_{esm}(i_{bild}, t) \quad (19)$$

$$Q_{SOC}(i_{bild}, t) = Q_{SOC}(i_{bild}, t-1) + P_{Bsc}(t) - P_{dr}(i_{bild}, t-1) - P_{esm}(i_{bild}, t-1) \quad (20)$$

上述公式中, i_{bild} 表示第 i 个双向负荷,属于双向负荷集合 S_{shld} ,且 $S_{bild} \subseteq S_{dr}$ 。其中,式(16)为调节范围约束, $P_{minbild}$ 为最小调节功率, $P_{maxbild}$ 为最大调节功率;式(17)为可调时段条件, $I_{bildset}$ 为可调标识,取 1 时为设定可调状态,0 为不可调状态;式(18)为充放电极限条件, P_{Dischg} 为最大放电功率, $P_{Bscbild}$ 为基线负荷,即原充电曲线, P_{Chg} 为最大充电功率;式(19)为耗能需求条件,表示库存电池电量不小于本时段电池耗量, Q_{SOC} 为荷电状态,表示库存电池电量, P_{esm} 为电池耗电量;式(20)为储能能量平衡条件。

4 仿真算例

为了充分研究柔性负荷参与日前优化调度对

系统的影响,设计了多种柔性负荷占比的仿真案例。系统负荷设定由两部分构成:可调负荷以及固定负荷。固定负荷功率完全按照负荷预测曲线波动;可调负荷功率则依据日前优化调度结果在负荷预测基础上波动。

本方案例以某省实际运行数据为依据,系统峰值为 52 989 MW,系统谷值为 43 289 MW,系统峰谷差为 0.18 p.u.,符合标准差为 3069 MW。

由于案例采用省级电网模型,负荷均为等值负荷,柔性负荷以等值聚合方式挂接在这些负荷上,经过筛选(负荷有功大于 1 MW),其中有 403 个等值负荷挂接了柔性负荷,每种类型各挂接一个等值柔性负荷,共计 1209 个等值柔性负荷。负荷具体功率依据初始断面负荷值以及案例设定的各类柔性负荷占比确定。

最大柔性负荷占比案例中,可中断负荷、双向负荷、可转移负荷可调量设定均为系统峰值的 10%,各类负荷的可调节范围分别为:可中断负荷 $[-10\%, 0\%]$,双向负荷 $[-5\%, 5\%]$,可转移负荷为 $[-7.5\%, 2.5\%]$ 。其他案例与此案例的各类负荷可调节范围分配一致,只是各类负荷可调量占比不同。

仿真案例对柔性负荷总量占比不同的情况进行了分析计算,其结果如下。

(1) 柔性负荷总可调量对系统影响。为了研究柔性负荷总可调量对系统负荷的影响,设定了总负荷可调量占系统峰值的 9%, 15%, 30% 3 个实验组,其中各类负荷占比均等。日前调度后,系统净负荷曲线如图 2 所示(在负荷预测值上叠加负荷响应量得到净负荷值)。

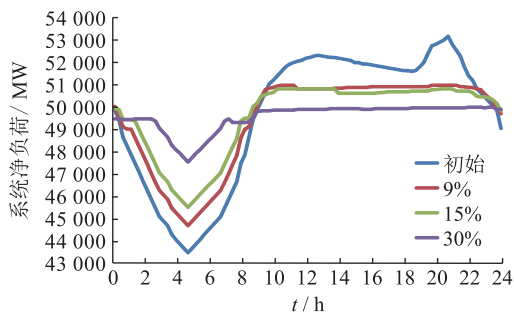


图 2 不同柔性负荷总量时系统净负荷曲线

Fig. 2 System net power curves with different flexible loads total amount

表 2 中峰谷差率为峰谷差与峰值的比,标准差表示系统净负荷的波动程度(采用 96 点样本统计),总发电量差主要涉及电厂利益。结果表明,柔性负荷可调总量越大,在经济性驱动下,系统峰谷波动特性得到改善的效果越明显,既可以减小峰谷

差率,从而减少系统备用容量,也可以减少系统负荷波动,从而减少发电机组调节频度和幅度,但总发电量的减少会影响到电厂利益。

表 2 柔性负荷总量对系统影响

Tab.2 Influences of total amount of flexible loads on system

柔性负荷占比/%	峰谷差率 /p.u.	标准差 /MW	总发电量差 /($MW \cdot h$)
0	0.18	3069	0
9	0.12	2089	-4776
15	0.10	1683	-1152
30	0.05	623	-1848

(2) 各类柔性负荷对系统的影响。为了研究各类柔性负荷对系统的不同影响,设定了柔性负荷总量不变时,各类负荷占比不同的 3 个实验组。

表 3 中,第一列说明了算例实验组的负荷占比设置,某一类负荷富集时,该类负荷占比为 10%,其余两类负荷占比为 3%。图 3 中各条曲线为不同负荷富集时的系统净负荷曲线。

表 3 不同柔性负荷对系统影响

Tab.3 Influences of different kinds of flexible loads on system

可中断、双向、可转移负荷占比/%	峰谷差率 /p.u.	标准差 /MW	总发电量差 /($MW \cdot h$)
0,0,0	0.18	3069	0
10,3,3	0.12	2066	-5523
3,10,3	0.05	1164	-1680
3,3,10	0.10	1511	-552

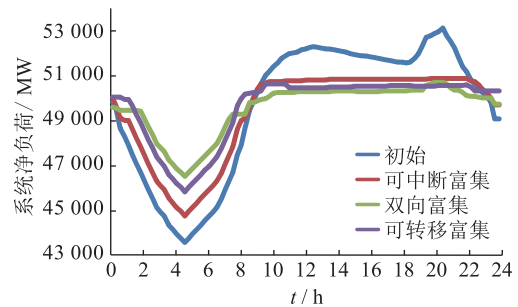


图 3 各类柔性负荷占比不同时系统净负荷曲线

Fig.3 System net power curves with different percentages for every kind of flexible load

结果表明:双向负荷的调峰效果最佳,主要原因是其储能特性,能大容量、长时间尺度的转移系统负荷;可转移负荷效果次之,且基本不会造成总发电量的减少;可中断负荷效果最差,同时减少系统平均负荷最为严重,对发电企业造成较大影响。

5 结语

本文针对未来电网源网荷互动特征以及未来

电网对柔性负荷调控的需求,对考虑多类型柔性负荷的日前优化调度技术进行了研究,主要包含:(1)基于 D5000 调度系统的柔性负荷日前优化调度系统架构设计;(2)柔性负荷特性分析及分类研究;(3)适应各类柔性负荷特性的计及柔性负荷的日前优化调度建模研究。在此基础上,基于省级电力系统运行数据,进行了仿真分析,计算结果表明,大量柔性负荷纳入日前调度可以减少系统备用容量需求,减少机组调节频率和幅度,双向负荷对系统负荷特性改善效果最佳,可转移负荷次之,可中断负荷具有较好削峰效果,但对发电厂发电量影响最大。

本文得到国网江苏省电力有限公司科技项目(52100217009)资助,谨此致谢!

参考文献:

- [1] 姚建国, 杨胜春, 高宗和,等. 电网调度自动化系统发展趋势展望[J]. 电力系统自动化,2007,31(13):7-11.
YAO Jianguo, YANG Shengchun, GAO Zonghe, et al. Development trend prospects of power dispatching automation system [J]. Automation of Electric Power Systems 2007, 31(13):7-11.
- [2] 王蓓蓓. 面向智能电网的用户需求响应特性和能力研究综述[J]. 中国电机工程学报,2014,34(22):3654-3663.
WANG Beibei. Research on consumers' response characteristics and ability under smart grid [J]. Proceedings of the CSEE, 2014,34(22):3654-3663.
- [3] 全生明,王江波,梁榕珊,等. 风电不确定性对电力系统可靠性的影响[J]. 华东电力,2010,28(11):1699-1701.
QUAN Shengming WANG Jiangbo, LIANG Rongshan, et al. Impact of wind power and by introducing the loss of expectation of the reliability of power system [J]. East China Electric Power, 2010,28(11):1699-1701.
- [4] 丁明,王伟胜,王秀丽,等. 大规模光伏发电对电力系统影响综述[J]. 中国电机工程学报,2014,34(1):1-14.
DING Ming, WANG Weisheng, WANG Xiuli et al. The review of the influences of large scale photo-voltage generating on power system [J]. Proceedings of the CSEE, 2014,34(1):1-14.
- [5] KAABECHE A, BELHAMEL M, IBTIOUEN R. Sizing optimization of grid-independent hybrid photo-voltaic or wind power generation system [J]. Energy, 2011,36(2):1214-1222.
- [6] 卢鹏铭,温步瀛,江岳文. 基于多时间尺度协调机组组合的含风电系统旋转备用优化研究[J]. 电力系统保护与控制, 2015,43(5):95-100.
LU Pengming, WEN Buying, JIANG Yuewen. Study on optimization of spinning reserve in wind power integrated power system based on multiple timescale and unit commitment coordination [J]. Power System Protection and Control, 2015,43(5):95-100.
- [7] MOHAMMADI J, RAHIMI-KIAN A, GHAZIZADEH M S. Joint operation of wind power and flexible load as virtual power plant [C] // International Conference on Environment and Electrical Engineering. IEEE, 2011:1-4.
- [8] 孙伟卿,田坤鹏,谈一鸣,等. 考虑灵活性需求时空特性的电网调度计划与评价[J]. 电力自动化设备,2018,38(7):168-174.
SUN Weiqing, TIAN Kunpeng, TAN Yiming, et al. Power grid dispatching plan and evaluation considering spatial and temporal characteristics of flexibility demands [J]. Electric Power Automation Equipment, 2018,38(7):168-174.
- [9] 刘亚南,徐研,韩华春,等. 多端背靠背柔性直流互联系统负载均衡[J]. 电力工程技术,2018,37(3):84-90.
LIU Yanan, XU Yan, HAN Huachun, et al. Load balancing of multi-terminal back-to-back flexible DC interconnection system [J]. Electric Power Engineering Technology, 2018, 37(3):84-90.
- [10] 陆玉军,李澄,陈灏,等. 紧急切负荷荷互动终端设计与实现[J]. 电力工程技术,2017,36(3):112-118.
LU Yujun, LI Cheng, CHENG Hao, et al. Design and implementation of user terminal unit for emergency load shedding [J]. Electric Power Engineering Technology, 2017,36(3):112-118.
- [11] 任建锋,颜云松,罗剑波,等. 毫秒级精准负荷控制系统设计与工程应用[J]. 电力工程技术,2018,37(1):45-50.
REN Jianfeng, YAN Yunsong, LUO Jianbo, et al. The design of millisecond-level previous load control system and engineering application [J]. Electric Power Engineering Technology, 2018,37(1):45-50.
- [12] LIU Chenxu, ZHEN Qingan, LIU Yun. Dynamic load control scheme for smart grid systems [C] // ICSGCE 2011: 27 - 30 September 2011, Chengdu, China:200-205.
- [13] FARUQUI A, HLEDIK R, SERGICI S. Rethinking prices; the changing architecture of demand response in America [J]. Public Utilities Fortnightly, 2010,148(1):30-39.
- [14] 陈梦涛,张兆君,谭风雷,等. 电动汽车充电站多阶段选址规划[J]. 电力工程技术,2017,36(6):117-121.
CHEN Mengtao, ZANG Zhaojun, TAN Fenglei, et al. Multi-stage location planning of electric vehicle charging station [J]. Electric Power Engineering Technology, 2017, 36(6):117-121.
- [15] 杨炼,范春菊,邵能灵. 考虑储能电站运行特性的配电网距离保护的整定优化策略[J]. 中国电机工程学报,2014,34(19):3123-3131.
YANG Lian, FAN Chunju, TAI Nengling. Optimized setting strategy of distance protection in distribution networks with battery-energy storage systems [J]. Proceedings of the CSEE, 2014,34(19):3123-3131.
- [16] JIA W, KANG C, CHEN Q. Analysis on demand-side interactive response capability for power system dispatch in a smart grid framework [J]. Electric Power Systems Research, 2012, 90(90):11-17.
- [17] CAPPERS P, GOLDMAN C, KATHAN D. Demand response in US electricity markets; empirical evidence [J]. Energy, 2010,

35(4):1526-1535.

(22):3664-3673.

- [18] KEVIN P S, JASON C F, DAVID P C. Multi-state load models for distribution system analysis[J]. IEEE Transactions on power system, 2011, 26(4):2425-2433.
- [19] PJM Interconnection. Demand Response Strategy[R]. PJM Interconnection, June 28, 2017.
- [20] 杨胜春, 刘建涛, 姚建国, 等. 多时间尺度协调的柔性负荷互动响应调度与策略[J]. 中国电机工程学报, 2014, 34(22):3664-3673.
- YANG Shengchun, LIU Jiantao, YAO Jianguo, et al. Model and strategy for multi-time scale coordinated flexible load interactive scheduling[J]. Proceedings of the CSEE, 2014, 34

作者简介:



董 蓓

董 蓓(1988—),女,硕士,工程师,从事负荷营销控制相关工作(E-mail:793623451@qq.com);

毛文博(1987—),男,硕士,工程师,从事电力系统优化调度、电力系统仿真型相关工作(E-mail:maowenbo@epri.sgcc.com.cn);

李 峰(1976—),男,硕士,研究院级工程师,从事电力系统仿真相关工作。

The Technique of Day-ahead Optimized Scheduling With Multi-type of Flexible Loads

DONG Bei¹, MAO Wenbo², LI Feng², SU Dawei³

(1. Southern Branch of State Grid Service Center, Nanjing 210003, China;

2. China Electric Power Research Institute, Nanjing 21003, China;

3. State Grid Jiangsu Electric Power Co., Ltd., Nanjing 210024, China)

Abstract: With large-scale injection of new energy into power system and the development of demand side enabling technology the scheduling technology with flexible loads becomes a hot issue on automatic dispatching field. Therefore, this paper proposes a day-ahead scheduling technology covering 3 kinds of typical flexible loads, which provides technical support for the coordinated scheduling of resources on all of generating, grid and demand sides. Based on the existing automatic dispatching system, a day-head scheduling framework is designed, considering flexible loads. Flexible loads are classified according to the users' energy consumption characteristics, and their optimization models are built. At last, based on the provincial power system data, day-ahead scheduling simulations are conducted. With these simulation results, the influences of flexible loads on system are analyzed and the mentioned scheduling technology is verified.

Key words: day-ahead scheduling; scheduling framework; interruptible load; shiftable load; bidirectional load

(编辑 钱 悦)