

考虑特高压送风电的湖北电网调峰方案

张志锋¹,徐 箭¹,闫秉科¹,覃 芸¹,汪 湧²,王婉晴²,孙元章¹

(1. 武汉大学 电气工程学院,湖北 武汉 430072;2. 湖北省电力公司,湖北 武汉 430077)

摘要:以特高压送风电情况下湖北电网的电力电量消纳为背景,基于模糊分时段负荷预测和改进小生境遗传算法,对 2015 年丰大方式下湖北电网的调峰方案进行了研究。建立了以有功损耗最小为目标,计及机组爬坡速率约束以及系统安全约束的优化调度模型,制定了特高压送不同风电比例情况下湖北电网的调峰方案。仿真结果表明,2015 年丰大方式下,特高压送风电时,湖北电网调峰能力不足,需要特高压参与调峰。采用所提方法制定的调峰方案与传统方法相比,在确保系统安全运行的前提下,充分利用了火电及抽水蓄能机组的调节能力,有效减少了网损。

关键词:特高压输电;风电;负荷特性;调峰;优化调度;负荷管理

中图分类号:TM 77;TM 614

文献标识码:A

DOI: 10.3969/j.issn.1006-6047.2013.04.002

0 引言

随着中国风电装机容量的快速增加和风电场规模的不断扩大,风电接入对电网安全运行的影响日益凸显^[1]。由于我国风能资源和负荷呈逆向分布,风电无法就地消纳。据《2011 年中国风电发展报告》,蒙东、蒙西、河北、新疆风电基地电力除本地区消纳外,将通过特高压交直流通道的,送至“三华”电网负荷中心^[2]。

风电场输出功率具有随机性和波动性,并且表现出一定的反调峰特性^[3],大规模风电接入后的电力系统调峰问题是一个全新的课题。现有的解决方法主要有目标优化法^[4-6]、内点法^[7]和等微增率法^[8-10]3 种。由于上述方法并未考虑机组爬坡速率约束和系统安全约束,计算结果可能导致机组出力变化过于频繁,在增加额外燃料消耗的同时影响机组寿命,且系统运行参数变化较大,因此难以在实际中推广^[11]。

针对上述问题,本文提出了一种基于模糊分时段负荷预测和改进小生境遗传算法的调峰方法,并结合湖北电网调峰电源情况制定了特高压送风电时的调峰方案。该方案以有功损耗最小为目标,计及机组爬坡速率约束以及系统安全约束,计算出 96 点的机组最优发电曲线。该方案在确保系统安全运行的前提下,充分利用了火电及抽水蓄能机组的调节特性,能够有效减少网损。

1 湖北电网调峰电源及调峰能力

湖北电网可用的调峰方式主要有火电调峰、水

电调峰和抽水蓄能调峰。

1.1 火电调峰特性

火电机组调峰运行主要采用启停方式和压出力方式,前者较适合于单机容量 100 MW 及以下的机组,后者则较适合于容量更大的机组。湖北电网省内火电机组最小技术出力按表 1 选取。

表 1 火电机组最小技术出力
Tab.1 Minimum technical output
of thermal units

机组类型	最小技术出力 / %
600 MW 以上	50
600 MW	58
300 MW	63
200 MW	73
200 MW 以下	80

1.2 水电调峰特性

湖北电网有大量水电资源,水电承担湖北省绝大部分基荷以及对省外的供电,省内大部分 500 kV 机组都属于非统调机组,省调水电机组大部分为 220 kV 机组。水电机组停机调峰依最小出力接近 100%。

1.3 抽水蓄能调峰特性

随着电网峰谷差的增大,具有“调峰填谷”双重作用的蓄能电站在电力系统中的作用越来越大^[12]。抽水蓄能电厂可在发电机状态和电动机状态之间进行切换,其机组的调峰能力接近 200%。

1.4 湖北电网调峰能力评估

接入 110 kV 及以下电网的火电机组可用调峰容量小,一般属于地调控制范围,因此在研究全省调峰容量时不考虑 110 kV 及以下火电机组;接入 500 kV 和 220 kV 火电机组的容量一般较大,因此不考虑其启停机调峰,只考虑机组的压最小技术出力调峰。丰大方式下水电机组一般应该满发,故不考虑水电机组的弃水调峰。因此只需要对接入 500 kV 和 220 kV 电网的火电机组及抽水蓄能机组进行调峰容量分

收稿日期:2012-04-08;修回日期:2013-02-11
基金项目:国家重点基础研究发展计划(973 计划)资助项目(2012CB215201);国家自然科学基金资助项目(51190105)
Project supported by the National Basic Research Program of China(973 Program)(2012CB215201) and the National Natural Science Foundation of China(51190105)

析。根据《湖北电网“十二五”发展规划报告》,2015 年湖北电网丰大方式下最大峰谷差为 10 630 MW,可用调峰容量为 6 930 MW,不能满足负荷波动,因此需要考虑区外电源调峰。

根据国家电网特高压规划,湖北境内 2015 年将建成交流特高压荆门站和武汉站。特高压传输功率将由风电和火电两部分组成,既具有一定的随机波动性,同时也由于火电的存在而具有一定的可调节能力。本文定义传输功率中风电所占的比例为风电配额,主要研究丰大方式下不同风电配额时特高压参与调峰的方案。

2 不同风电配额的特高压电力接入后湖北电网的峰谷差特性

2.1 基于模糊分时段技术的全网负荷曲线预测

负荷曲线的预测是调峰方案制定的基础。根据《湖北电网“十二五”发展规划报告》,2015 年丰大方式下,湖北电网最大负荷为 37 960 MW,日平均负荷率 0.873,日最小负荷率 0.714。本文采用模糊分时段技术^[13],分别就凌晨时段(00:00—07:45)、上午时段(08:00—12:45)、午后时段(13:00—19:45)以及晚上时段(20:00—23:45) 4 个时段应用不同的方法进行预测,然后叠加生成一天完整的负荷曲线,最终得到湖北电网 2015 年丰大典型日的日负荷曲线如图 1 所示。

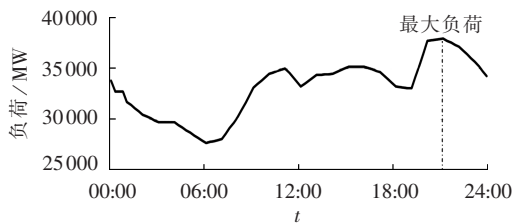


图 1 湖北电网 2015 年丰大典型日的日负荷曲线

Fig.1 Typical daily load curve of Hubei Power Grid in 2015' wet season

2.2 特高压接入前后电网调峰需求的变化

通过统计调研得到典型风电场风电功率波动曲线,按风电配额分别为 0%、30% 和 70% 与火电叠加得到特高压荆门站和武汉站的传输功率波动曲线。丰大典型日的日负荷曲线及特高压联络线上的不同风电配额时的传输功率曲线见图 2。可见,风电功率占负荷功率的比重较小。在 06:00、12:00 和 20:00 左右,风电特性均呈现明显反调峰的趋势。本文定义由预测得到日负荷曲线叠加上负的特高压传输功率曲线后的曲线为“等效日负荷曲线”。特高压采用不同的风电配额输送会得到不同的等效日负荷曲线,图 3 为丰大典型日的系统等效日负荷曲线,当风电配额为 0% 时,等效日负荷曲线即为预测的全网负荷曲线。

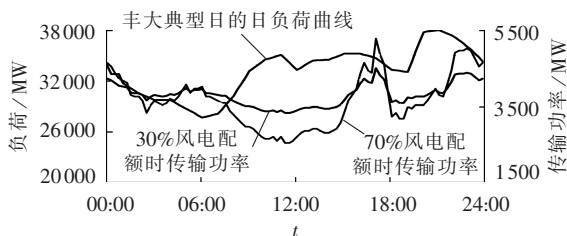


图 2 丰大典型日的日负荷曲线及不同风电配额特高压传输功率曲线

Fig.2 Typical daily load curve of wet season and power transmission curve of UHV network for different proportions of wind power

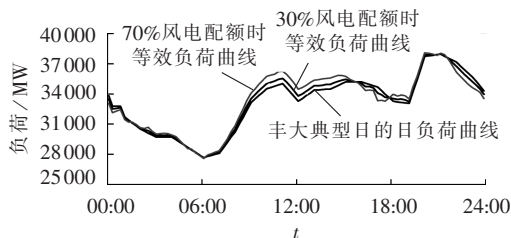


图 3 丰大典型日的不同风电配额等效日负荷曲线

Fig.3 Typical daily load curve of wet season for different proportions of wind power

3 不同风电配额的特高压电力接入后湖北电网调峰方案

3.1 数学模型

以有功损耗最小为目标函数,综合考虑系统节点电压、火电机组爬坡速率、机组出力的最大调峰容量和线路热稳极限约束,以罚函数的形式构造如式(1)所示目标函数。

$$\min F = P_{\text{loss}} + \lambda_u \sum \left(\frac{U_i - U_{il}}{U_{\text{imax}} - U_{\text{imin}}} \right)^2 + \lambda_d \sum (\Delta P_i - \Delta P_{\text{imax}}) + \lambda_p \sum (P_i - P_{\text{imax}}) + \lambda_g \sum \left(\frac{G_i - G_{il}}{G_{\text{imax}} - G_{\text{imin}}} \right)^2 \quad (1)$$

$$U_{il} = \begin{cases} U_{\text{imax}} & U_i > U_{\text{imax}} \\ U_i & U_{\text{imin}} \leq U_i \leq U_{\text{imax}} \\ U_{\text{imin}} & U_i < U_{\text{imin}} \end{cases}$$

$$G_{il} = \begin{cases} G_{\text{imax}} & G_i > G_{\text{imax}} \\ G_i & G_{\text{imin}} \leq G_i \leq G_{\text{imax}} \\ G_{\text{imin}} & G_i < G_{\text{imin}} \end{cases}$$

其中, P_{loss} 为系统有功损耗;式(1)等号右侧第 2 项为节点电压越界的惩罚项,第 3 项为机组爬坡速率越界的惩罚项,第 4 项为线路热稳越界的惩罚项,第 5 项为机组出力调峰容量越界的惩罚项; λ_u 、 λ_d 、 λ_p 、 λ_g 为相应参数越界的罚系数; U_i 为负荷节点电压, U_{imax} 和 U_{imin} 为节点电压的上、下限; ΔP_{imax} 为机组爬坡速率的最大值; P_{imax} 为线路热稳的极限值; G_{imax} 、 G_{imin} 为发电机的最大、最小技术出力。

系统运行约束条件包括潮流约束方程和变量约

束方程。潮流约束方程为:

$$\begin{cases} P_{gi} - P_{li} - U_i \sum_{j=1}^N U_j (G_{ij} \cos \theta_{ij} + B_{ij} \sin \theta_{ij}) = 0 \\ Q_{gi} - Q_{li} - U_i \sum_{j=1}^N U_j (G_{ij} \sin \theta_{ij} - B_{ij} \cos \theta_{ij}) = 0 \end{cases} \quad (2)$$

变量约束条件为:

$$\begin{cases} P_{gin} \leq P_{gi} \leq P_{gim} & i \in N_g \\ U_{imin} \leq U_i \leq U_{im} & i \in N_L \\ Q_{imin} \leq Q_i \leq Q_{im} & i \in N_L \end{cases} \quad (3)$$

其中, P_{gi} 为发电机机端功率; U_i 和 Q_i 分别为负荷节点电压和无功功率; N_g 和 N_L 分别为系统发电机节点集合和负荷节点集合。

3.2 基于改进小生境遗传算法的调峰策略优化

由数学模型可知,不同风电配额的特高压电力接入后的电力系统调峰优化调度是一多变量、多约束的非线性混合整数规划问题。本文采用基于模糊聚类的自适应改进小生境遗传算法^[14]。

基于模糊动态聚类的自适应改进小生境遗传算法应用于调峰优化调度的实现过程如下。

a. 初始化。系统首先对初始点进行潮流计算,读取初始点有功损耗和机组出力。然后依次读取负荷节点一天中的有功功率和无功功率数据,并对系统变量的范围和初始值进行定义。

b. 根据负荷大小,分 4 种情况设计调峰方案。如图 4 所示。

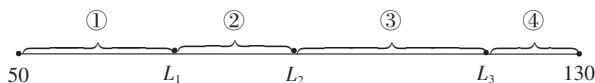


图 4 调峰方案制订线段图

Fig.4 Line graph of peak load regulation scheme

图中,横轴表示负荷总和从小逐渐变大的过程。不同的负荷总和对应不同的调峰方案制订方式。

方式 1,判别不等式为:

$$\sum_{i=1}^{n_1} L_i < \sum_{j=1}^{n_1} P_{tminj} + \sum_{k=1}^{n_2} P_{wmaxk} - \sum_{m=1}^{n_3} P_{pumpm} \quad (4)$$

当负荷总和满足式(4)时,即火电机组最小技术出力的总和加上水电满发的出力总和减去抽水蓄能机组在抽水时的出力,大于当前负荷的总和,则考虑火电机组均为最小技术出力,抽水蓄能机组根据负荷总和的不同以对应的功率蓄水,通过调节特高压输入功率来弥补负荷的差额。

方式 2,判别不等式为:

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^{n_1} L_i > \sum_{j=1}^{n_1} P_{tminj} + \sum_{k=1}^{n_2} P_{wmaxk} - \sum_{m=1}^{n_3} P_{pumpm} \\ \sum_{i=1}^{n_1} L_i < \sum_{j=1}^{n_1} P_{tminj} + \sum_{k=1}^{n_2} P_{wmaxk} + \sum_{m=1}^{n_3} P_{pumpm} \end{cases} \quad (5)$$

当负荷总和满足式(5)时,抽水蓄能机组以相应的功率抽水,水电机组全部满发,特高压按额定功率

输入,通过火电机组出力寻优来跟踪负荷波动。

方式 3,判别不等式为:

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^{n_1} L_i > \sum_{j=1}^{n_1} P_{tminj} + \sum_{k=1}^{n_2} P_{wmaxk} + \sum_{m=1}^{n_3} P_{pumpm} \\ \sum_{i=1}^{n_1} L_i < \sum_{j=1}^{n_1} P_{tmaxj} + \sum_{k=1}^{n_2} P_{wmaxk} + \sum_{m=1}^{n_3} P_{pumpm} \end{cases} \quad (6)$$

当负荷总和满足式(6)时,水电满发、抽蓄发电,通过火电机组出力的寻优来跟踪负荷的波动。

方式 4,判别不等式为:

$$\sum_{i=1}^{n_1} L_i > \sum_{j=1}^{n_1} P_{tmaxj} + \sum_{k=1}^{n_2} P_{wmaxk} + \sum_{m=1}^{n_3} P_{pumpm} \quad (7)$$

当系统中所有可调机组全部满发但发出的有功功率依然无法平衡负荷时,则需要采用增大从外区的供电等方式来保证有功的平衡。

基于改进小生境遗传算法的湖北电网接入特高压后的调峰方案设计程序流程如图 5 所示。

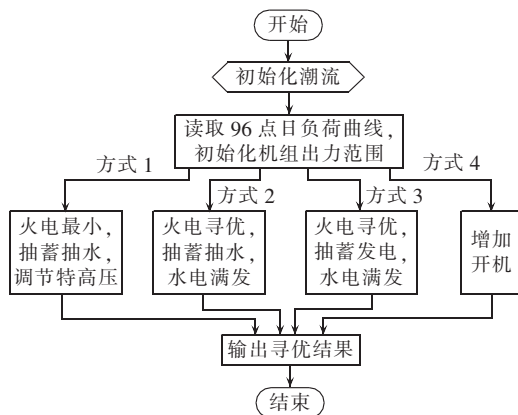


图 5 调峰方案设计程序流程图

Fig.5 Flowchart of peak load regulation scheme design

4 算例分析

据《湖北电网“十二五”发展规划报告》,内蒙和河北 3600 MW 风电经特高压荆门站和武汉站向湖北输送。本文考虑风电配额分别为 0%、30% 和 70% 3 种方式下特高压输入电力的情况,其中风电配额为 0% 时,特高压输入功率为一条恒定的直线。以 2015 年丰大典型日为例,仅考虑湖北电网 500 kV 和 220 kV 网架,包括 32 个发电机节点和 38 个负荷节点。取系统的基准容量为 100 MV·A。

采用第 3 节提出的模型及算法分别对 3 种方式下的调峰方案进行了寻优。改进小生境遗传算法初始种群为 40,最大迭代次数为 100,交叉率 $P_{c1}=0.9$ 、 $P_{c2}=0.5$,变异率 $P_{m1}=0.1$ 、 $P_{m2}=0.001$ 。

4.1 考虑风电配额为 0% 的湖北电网调峰方案

以调峰机组可用调峰容量和日负荷曲线为已知量,得到如图 6 所示的湖北电网调峰方案。

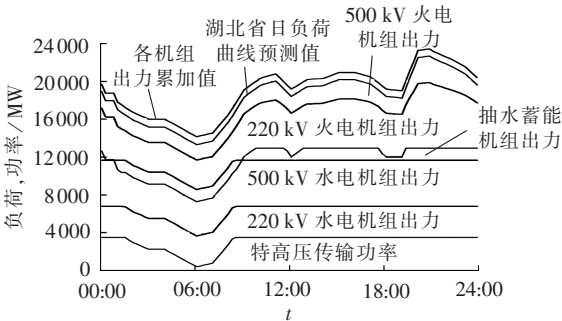


图 6 省内机组调峰方案
Fig.6 Peak load regulation scheme by provincial units

图 6 中各个区域的面积表示对应类型的发电机组在日负荷曲线上的负荷分配情况。各机组出力累加与日负荷曲线预测值之间的差额为系统网损。从图中可以看出,不考虑特高压参与调峰时,特高压承担的是系统的基荷。在 01:00—08:00 负荷低谷时段,火电机组按照最小技术出力运行,系统总发电功率仍然大于负荷功率。需要特高压参与调峰,采用寻优算法得到的特高压调节方案如图 7 所示。

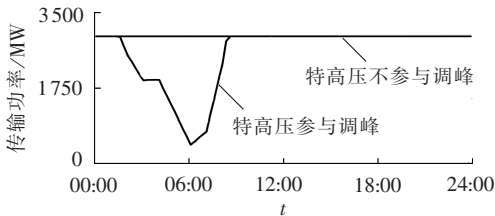


图 7 0% 风电配额时特高压传输功率的调节方案
Fig.7 Regulation scheme of UHV power transmission for 0% wind power

由于寻优程序对电力平衡关系中发电机的全天出力进行了全局寻优,得到满足电力系统各约束条件下的最优潮流。如图 8 所示,与传统的经济调度相比^[15],优化方案降低了近 2% 的有功损耗,累计减少的电能耗耗为 300.2 MW·h。

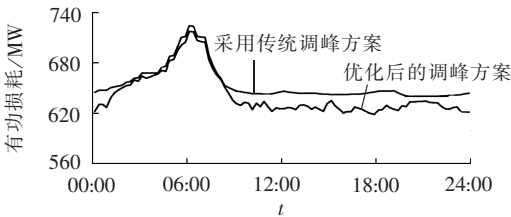


图 8 2 种调峰方案有功损耗比较
Fig.8 Comparison of active power loss between two peak load regulation schemes

4.2 考虑风电配额为 30% 和 70% 下的湖北电网调峰方案

考虑风电配额后湖北电网调峰方案如图 9、10 所示。

与风电配额 0% 情况相同,在负荷低谷时段,仍需要特高压参与调峰,采用寻优算法得到的特高压调节方案如图 11、12 所示。

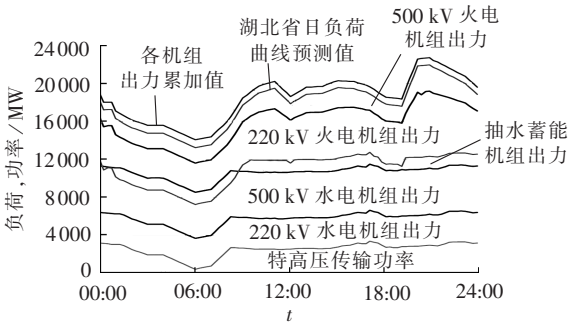


图 9 考虑风电配额 30% 的调峰方案
Fig.9 Peak load regulation scheme for 30% of wind power transmission by UHV network

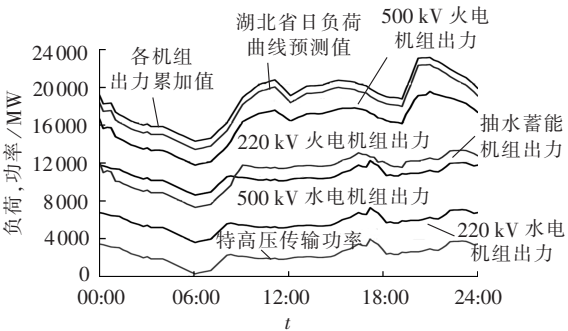


图 10 考虑风电配额 70% 的调峰方案
Fig.10 Peak load regulation scheme for 70% of wind power transmission by UHV network

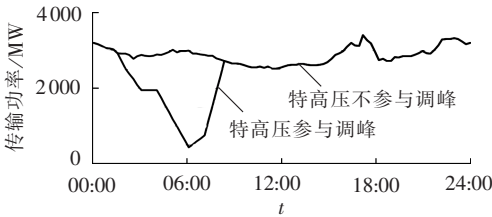


图 11 30% 风电配额时特高压传输功率的调节方案

Fig.11 Regulation scheme of UHV power transmission for 30% wind power

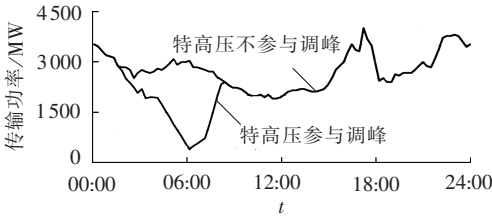


图 12 70% 风电配额时特高压传输功率的调节方案

Fig.12 Regulation scheme of UHV power transmission for 70% wind power

当风电配额为 30% 时,最小负荷时特高压电力参与调峰的容量应至少是其输送容量的 82.8%,调峰电量应至少是其消纳电量的 12.8%;当风电配额为

70%时,最小负荷时特高压电力参与调峰的容量应至少是其输送容量的77.7%,调峰电量应至少是其消耗电量的12.2%。

与传统的经济调度相比,当风电配额为30%时,寻优算法减少的电量损耗为307.3 MW·h;当风电配额为70%时,寻优算法减少的电量损耗为313.5 MW·h。

5 结论

本文采用模糊分时段技术对2015年湖北电网丰大典型日的日负荷曲线进行了预测,建立了特高压落点后的电力系统调峰优化的数学模型,并运用基于自适应改进小生境遗传算法进行求解,得到了特高压不同风电配额下湖北电网的优化调峰方案。仿真结果表明,2015年丰大方式,特高压送风电时,湖北电网调峰能力不足,需要特高压参与调峰。采用本文所提方法制定的调峰方案与传统方法相比,在确保系统安全运行的前提下,充分利用了火电及抽水蓄能机组的调节能力,有效减少了网损。

参考文献:

- [1] 李俊峰. 风光无限——2011年中国风电发展报告[R]. 北京:中国环境科学出版社,2011.
- [2] 肖创英,汪宁渤,丁坤,等. 甘肃酒泉风电功率调节方式的研究[J]. 中国电机工程学报,2010,30(10):1-7.
XIAO Chuangying, WANG Ningbo, DING Kun, et al. System power regulation scheme for Jiuquan wind power base[J]. Proceedings of the CSEE, 2010, 30(10): 1-7.
- [3] 孙惠娟,彭春华,易洪京. 大规模风电接入电网多目标随机优化调度[J]. 电力自动化设备,2012,32(5):123-128.
SUN Huijuan, PENG Chunhua, YI Hongjing. Multi-objective stochastic optimal dispatch of power system with wind farms[J]. Electric Power Automation Equipment, 2012, 32(5): 123-128.
- [4] 张晓花,赵晋泉,陈星莺. 节能减排多目标机组组合问题的模糊建模及优化[J]. 中国电机工程学报,2010,30(22):71-76.
ZHANG Xiaohua, ZHAO Jinqian, CHEN Xingying. Multi-objective unit commitment fuzzy modeling and optimization for energy-saving and emission reduction[J]. Proceedings of the CSEE, 2010, 30(22): 71-76.
- [5] 孙静,于继来. 节能发电调度问题的多目标期望控制模型及解法[J]. 电力系统自动化,2010,34(11):23-27.
SUN Jing, YU Jilai. A multi-objective expectation control model and its solutions for energy-saving power dispatch problems[J]. Automation of Electric Power Systems, 2010, 34(11): 23-27.
- [6] 喻洁,季晓明,夏安邦. 基于节能环保的水火电多目标调度策略[J]. 电力系统保护与控制,2009,37(1):24-27.
YU Jie, JI Xiaoming, XIA Anbang. Multi-objective hydro-thermal dispatch based on energy conservation and environmental protection[J]. Power System Protection and Control, 2009, 37(1): 24-27.
- [7] 刘新东,陈焕远,姚程. 计及大容量燃煤机组深度调峰和可中断负荷的风电场优化调度模型[J]. 电力自动化设备,2012,32(2):95-98.
LIU Xindong, CHEN Huanyuan, YAO Cheng. Economic dispatch considering deep peak-regulation and interruptible loads for power system incorporated with wind farms[J]. Electric Power Automation Equipment, 2012, 32(2): 95-98.
- [8] 王正风,汤伟,吴昊,等. 等微增率准则在机组负荷优化分配中的应用条件[J]. 电力自动化设备,2007,27(4):39-41.
WANG Zhengfeng, TANG Wei, WU Hao, et al. Discussion of relations between equal consumed energy increase ratio law & equal network loss increase ratio law and optimal power flow[J]. Electric Power Automation Equipment, 2007, 27(4): 39-41.
- [9] 姚尧,姚建刚,吴政球,等. 电力市场上网电价与火电系统经济负荷分配的算法研究[J]. 电力自动化设备,2002,22(2):30-33.
YAO Yao, YAO Jiangang, WU Zhengqiu, et al. Algorithm study on economic dispatch in electricity market[J]. Electric Power Automation Equipment, 2002, 22(2): 30-33.
- [10] 李树山,李刚,程春田,等. 动态机组组合与等微增率法相结合的火电机组节能负荷分配方法[J]. 中国电机工程学报,2011,31(7):41-47.
LI Shushan, LI Gang, CHENG Chuntian, et al. Thermal units' energy conservation load dispatch method with combining dynamic unit commitment into equal incremental principle[J]. Proceedings of the CSEE, 2011, 31(7): 41-47.
- [11] WEI Wei, MEI Shengwei, LIU Feng, et al. Smart scheduling of power system under energy saving policy and renewable energy integration[C]//Proc Control Conf(CCC). 2012 31st Chinese, 2012. Hefei, China: [s.n.], 2012:6809-6814.
- [12] 宋云亭,张瑞华. 电力市场环境下蓄能电站的运行效益评估[J]. 电力自动化设备,2002,22(9):27-30.
SONG Yunting, ZHANG Ruihua. Operational benefit evaluation of storage plant in power market[J]. Electric Power Automation Equipment, 2002, 22(9): 27-30.
- [13] 金吉芬. 采用模糊技术分时段处理实现的短期负荷预报[J]. 华北水利水电学院学报,2004,25(4):41-43.
JIN Jifen. Short-term load forecasting for special times using fuzzy inference method[J]. Journal of North China Institute of Water Conservancy and Hydroelectric Power, 2004, 25(4): 41-43.
- [14] 谭艳艳. 基于模糊聚类与多生境排挤的小生境遗传算法研究[D]. 淮南:安徽理工大学,2009.
TAN Yanyan. Research on niche genetic algorithm based on fuzzy cluster and multi-niche crowding[D]. Huainan: Anhui University of Technology, 2009.
- [15] 王楠,张粒子,黄巍,等. 电力系统安全经济调度网损协调优化方法[J]. 电网技术,2010,34(10):105-108.
WANG Nan, ZHANG Lizi, HUANG Wei, et al. Coordinative optimization of network loss in security-constrained economic dispatching[J]. Power System Technology, 2010, 34(10): 105-108.

作者简介:

张志锋(1963-),男,湖北咸宁人,博士研究生,研究方向为电力系统规划;

徐箭(1980-),男,湖北咸宁人,副教授,主要研究方向为电力系统电压稳定分析与控制、大规模风电接入后的电力系统运行与控制(E-mail:xujian@whu.edu.cn);

闫秉科(1988-),男,湖北宜昌人,硕士研究生,研究方向为电力系统运行与控制。

Hubei Power Grid peak load regulation considering wind power
transmitted by UHV network

ZHANG Zhifeng¹,XU Jian¹,YAN Bingke¹,QIN Yun¹,WANG Yong²,
WANG Wanqing²,SUN Yuanzhang¹

(1. School of Electrical Engineering,Wuhan University,Wuhan 430072,China;
2. Hubei Electric Power Corporation,Wuhan 430077,China)

Abstract: Based on the load forecast with fuzzy period and the improved niche genetic algorithm,the peak load regulation considering the wind power transmitted by UHV network in 2015’ wet season mode is researched for Hubei Power Grid according to its power consumption. With the minimum power loss as its goal and the unit ramp rate and system security as its constraints,an optimal dispatch model is established and a peak load regulation scheme of Hubei Power Grid is planed for different proportions of wind power transmitted by UHV network. Simulative result shows that,in case of wind power transmitted by UHV network in 2015’ wet season mode,the peak load regulation ability of Hubei Power Grid is not sufficient and the UHV network should take part in it. Compared with traditional ones,the proposed peak load regulation scheme,on the premise of safe system operation,fully utilizes the peak load regulation capability of thermal and pumped storage units and effectively reduces the net loss.

Key words: UHV power transmission; wind power; load characteristics; peak load regulation; optimal dispatch; electric load management

+++++
(上接第 5 页 continued from page 5)

Impact of wind farm integration on relay protection(4):performance analysis
for wind farm outgoing transmission line protection

ZHANG Baohui¹,WANG Jin¹,YUAN Bo¹,HAO Zhiguo¹,HUANG Renmou²,WANG Xiaoli^{1,3}

(1. School of Electrical Engineering,Xi’an Jiaotong University,Xi’an 710049,China;2. Hainan Power Grid Corporation,Haikou 570100,China;3. Dispatch Center of Ningxia Electric Power,Yinchuan 750001,China)

Abstract: The fault features of outgoing transmission line in DFIG-based wind farm with the capacity of low-voltage ride-through are analyzed,which shows that,the bus voltage at wind farm side and the short circuit current have same frequency only in the case of three-phase bolted fault while they are different in other fault cases;because the weak power characteristic of wind farm makes its positive- and negative-sequence impedance far greater than its zero-sequence impedance,the wind power short circuit current of grounding fault is mainly the zero-sequence component,resulting in three nearly same phase-currents;the direction element,distance element and phase-selection element at wind farm side operate incorrectly. The operating performance of the outgoing transmission line protection is tested for a regional grid-connected wind power and the experimental result shows that,the sensitivity of current differential protection reduces and the operating performances of direction element,distance element and phase-selection element are severely affected.

Key words: low-voltage ride-through; doubly-fed induction generator; wind farms; outgoing transmission line; relay protection