

基于弃风-热的采暖负荷的联合调度补偿方法研究

樊国伟¹ 樊国旗² 蔺红² 张锋¹ 刘德福¹ 宋朋飞¹ 亢朋朋¹ 王飞³

(1. 国网新疆电力有限公司, 新疆 乌鲁木齐 830011; 2. 新疆大学, 新疆 乌鲁木齐 834200;
3. 南京南瑞继保电气有限公司, 江苏 南京 211100)

摘要:“三北”地区是中国“弃风”较多的地方,“以热定电”原则下的电网调度方法是导致80%“弃风”发生在冬季供暖时期的重要原因。利用电采暖负荷潜在的调节能力,从而完成降低供热机组出力和提高风电消纳的目标,进而实现双向提升风电的消纳目的,提出了一种电采暖追踪弃风的联合调度方法。首先根据温度计算出该地区供热所需量;然后根据弃风量,采用电采暖负荷追踪弃风量的联合调度方法并通过新的补偿方法,提高参与联合调度的积极性,促进风电的消纳。通过新疆某地区实际算例,验证了其可行性和经济性,对电采暖推广具有指导价值。

关键词:电采暖;联合调度;补偿方法

中图分类号:TM73 文献标志码:A 文章编号:1003-6954(2019)02-0006-04

DOI:10.16527/j.cnki.cn51-1315/tm.2019.02.002

Research on Joint Dispatching Compensation Method Based on Heating Load of Wind Power Curtailment

Fan Guowei¹ Fan Guoqi² Lin Hong² Zhang Feng¹ Liu Defu¹ Song Pengfei¹ Kang Pengpeng¹ Wang Fei³

(1. State Grid Xinjiang Electric Power Company, Urumqi 830011, Xinjiang, China;

2. Xinjiang University, Urumqi 834200, Xinjiang, China;

3. Nanjing Nari-relays Engineering Technique Co., Ltd., Nanjing 211100, Jiangsu, China)

Abstract: "Wind power curtailment" in "Three-North" area of China is normal. In winter heating period, 80% "wind power curtailment" is caused by the power grid dispatching method under the principle of "heat-fixing electricity". Using the potential regulation ability of electric heating load, the goal of reducing the output and increasing the consumption of new energy will be accomplished, and then the binary purpose of wind power consumption is achieved. A joint dispatching method for electric heating and tracking wind is proposed. Firstly, the heating load according to the temperature of heating area is calculated, and then the electric heating load is used to track the curtailed wind power according to the amount of curtailed wind power, therefore the wind power accommodation is promoted and the enthusiasm of participation in joint dispatching is improved by the new compensation method. The feasibility and economics of the proposed method are verified by practical examples in a certain area of Xinjiang, which has guiding value for electric heating promotion.

Key words: electric heating; joint dispatching; compensation method

0 引言

风电由于其可再生和无污染的特点,在减少大气污染和可持续发展战略中起着重要的作用^[1]。但是由于近几年新能源机组和负荷严重的不匹配增长^[2],是导致新疆地区“弃风”的主要原因。目前提高新能源消纳的方法有柔性负荷主动参与调峰^[3-4]、
基金项目:国家自然科学基金项目(51667019)

火电机组改造^[5]、抽水蓄能电站建设^[6]、特高压外送通道建设^[7]以及电能替代^[8]等措施。

负荷主动参与到电力系统的调度中,可以减少电网或者电源的建设费用。文献[9]提出了基于等舒适度损失原则的空调调温策略。文献[10]根据人体舒适度,建立不同的空调负荷控制模式。文献[11]通过单条馈线上风速和电采暖负荷的分布,计算电采暖和风速分布的相关性。文献[12]根据温度预报的电采暖控制,挖掘了电采暖在电力系统的

巨大潜力。文献 [13] 通过对比不同供热方式,验证了新能源电采暖方式的环境和价格优势。文献 [14] 提出了间歇供暖的方式,但是在严寒地区可能造成壁面结露,在新疆地区并不适应。文献 [15] 分析了新疆某地区不同电采暖负荷的优缺点。

但是上述文献均是某条线路上电源与负荷或者局部电源与负荷结合分析,没有专门针对弃风或者弃光进行分析;而在电力市场研究中,采用构造极端数据而没有具体结合到实际算例^[16]进行研究。

下面将“弃风”电量和采暖负荷相结合,进行联合调度,通过补偿平衡各方利益,促进新能源的消纳;提出了一种基于采暖负荷跟随风电出力变化从而实现系统成本最低的调度方法。通过新疆某地区的实际算例,验证了所提联合调度方法在技术上的有效性,并在实际的补偿方法中具有较高的效率指数,对实际电采暖负荷的推广有指导意义。

1 采暖负荷模型、联合调度方法及补偿方法

1.1 采暖负荷建模

采暖负荷的建模仅考虑了热的暂态过程实现热的暂态平衡,没有考虑热的动态过程。首先根据等效房间计算出不同内、外温条件下所需的单位面积供热功率,然后计算出当地集中供热总面积下的供热功率。

在构建等效的房间内热力学模型时,考虑了每天的散热指标以及房间内空气参数、不同墙体之间导热的差异性,构建了房间内温度和其他相关参数的状态方程^[16]。等效单位房间面积上单位时间内等效用户的采暖计算公式为

$$Q = \frac{\sum Qi}{A} = \frac{\sum \xi \cdot K \cdot S (T_{out}(t) - T_{in}(t))}{A} \quad (1)$$

式中: Q 为单位房间内单位时间的传输热量; A 、 S 分别为用户房间的总面积、外表面积; ξ 为房间散热指标; $T_{in}(t)$ 为室内温度; $T_{out}(t)$ 为室外温度。

推导出简化的热力学参数方程^[12],描述电采暖的动态过程为

$$\frac{dT}{dt} = \frac{P_{heat}(t) - (T_{in}(t) - T_{out}(t)) \cdot K \cdot S}{c_{air} \cdot \rho_{air} \cdot V} \quad (2)$$

1.2 联合调度方法

首先计算出该地区房间内恒温度所需的采暖负

荷量;然后根据弃风量,在约束条件下采用不同的温度调度方法;最后根据各方的电量信息,平衡各方收益来确定补偿方法。联合调度模型如图 1 所示。

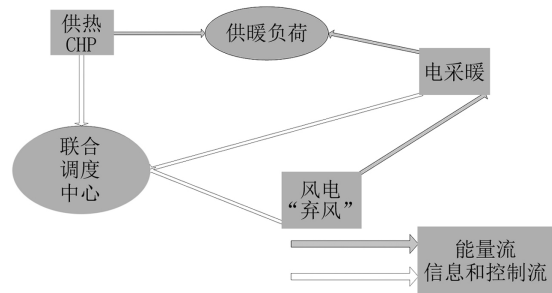


图 1 联合调度模型

1.3 补偿方法效率评价指数

风电企业将采暖用户多付出的电费用补偿后,在剩余的利润中,通过不同的方案补偿燃气供热机组并计算出其效率化指标。

当供热全部由风力发电提供的情况下,效率是最高的,将其效益指标均一化为 1,然后计算出其他模式下的效率化指数。

第 1 种方法是风电企业完全补偿燃气供热机组的利润;第 2 种方法是对燃气供热机组售价进行补偿;第 3 种方法是燃气供热机组供热按照电费售价进行补偿。3 种补偿方式分别由 S_1 、 S_2 、 S_3 表示。

1) 计算出双方不同温度控制目标下不同补偿模式收益的平均值

$$\bar{R}_w = \sum_{i=1}^N R_{wi} / N \quad (3)$$

式中: \bar{R}_w 为平均收益; R_{wi} 为补偿方法 i 收益。

2) 计算出不同温度控制目标下不同补偿模式的标准差 δ_i 。

$$\delta_i = \sqrt{[\sum_{i=1}^N (R_{wi} - \bar{R}_w)^2] / N} \quad (4)$$

3) 计算出公平性指标 f

$$f = \delta_i / \delta_e \quad (5)$$

式中: δ_e 是风电完全供热的收益; δ_i 为 3 种补偿模式下的标准差。

2 电采暖负荷跟随风电出力的调度方法

2.1 目标函数

联合调度目标是在不增加采暖用户费用的基础上,减少更多的弃风,同时平衡供热机组与风电企业的利润。

系统成本最小的调度目标函数为

$$\max(\sum_{i=1}^T P_i^w) \quad (6)$$

供热机组的供热成本为

$$C_H = \sum_{i=1}^T (d \cdot P_i^{h2} + e \cdot P_i^h + f) \quad (7)$$

式中: C_H 为供热负荷的成本; d 、 e 、 f 为供热机组的运行参数。

原调度方法的供热机组的收益 R_{w1} 为

$$R_{w1} = \sum_{i=1}^T P_{1i}^h r_h - C_H \quad (8)$$

式中: P_{1i}^h 为原调度方法某时刻供热机组的功率; r_h 为供热价格。第1种补偿方法中供热机组获得的补偿和原调度方法供热机组收益相同。

第2种补偿方法中供热机组参与联合调度的收益 R_{w2} 为

$$R_{w2} = (\sum_{i=1}^T P_{2i}^e) r_h - C_H \quad (9)$$

式中 P_{2i}^e 为新的调度模式中供热机组某时刻功率。

第3种补偿方法中供热机组的收益 R_{w3} 为

$$R_{w3} = (\sum_{i=1}^T P_{2i}^e) r_e - C_H \quad (10)$$

式中 r_e 为电采暖价格。

由于是弃风电量参与联合调度,因此可以认为风电企业该部分的成本为0。

风电企业的收益为

$$R_w = (r_d + r_t) \sum_{i=1}^T P_{pv} \quad (11)$$

式中: R_w 为风电企业收益; r_d 为电网企业支付给风电企业的费用; r_t 为国家对风电企业的补贴费用。

电采暖负荷实施需求响应的补贴成本为

$$C_{ehr} = \sum_{i=1}^T P_i^h (r_e - r_h) \quad (12)$$

2.2 约束条件

1) 热功率平衡约束

$$\sum h_i^e + h_{ehr} = L_{h,j} \quad (13)$$

2) 供热机组约束

出力约束:

$$h_i^{e, \min} \leq h_i^e \leq h_i^{e, \max} \quad (14)$$

式中 $h_i^{e, \min}$ 、 $h_i^{e, \max}$ 分别为供热机组供热功率上、下限。

爬坡约束:

$$h_i/h_{i-1} \leq \text{RAMP}_{up} \quad (15)$$

$$h_i/h_{i-1} \leq \text{RAMP}_{down} \quad (16)$$

式中 RAMP_{up} 、 RAMP_{down} 分别为供热机组功率最大上行和下行爬坡速率。

电采暖的响应时间非常短,没有爬坡约束条件;

电采暖的功率约束条件为

$$P_{\min}^e \leq P^e \leq P_{\max}^e \quad (17)$$

人体对温度舒适度的约束如图2所示。

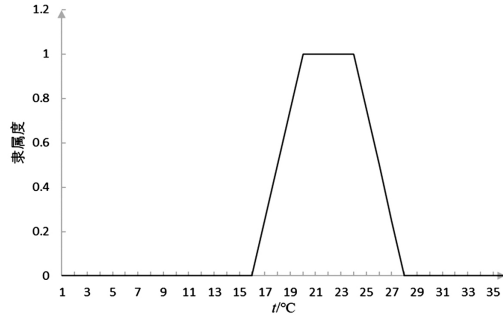


图2 人体温度与舒适度隶属度关系

3 算例仿真

3.1 地区情况分析

新疆某地区风电装机容量 1791 MW,由于其常规负荷较小,弃风率可达 20%。其中算例当天风力实际发电为 16 537.5 MWh,理论风力发电量为 19 849.7 MWh,弃风电量为 3 312.2 MWh;该地区集中供暖面积为 $6.65 \times 10^6 \text{ m}^2$,其中供热机组 1 台,技术参数如表 1 所示^[3]。供热的价格为 350 元/MWh,供电的价格为 400 元/MWh。

表1 供热机组参数

$h_i^{e, \min}$	$h_i^{e, \max}$	RAMP_{up}	RAMP_{down}	d, e, f
10	450	100	90	0.05, 35, 1055

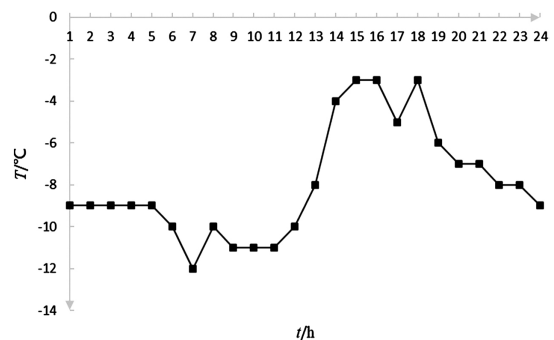


图3 温度曲线

该地区 2017—2018 年采暖季节的最低温度为

13℃,选取该地区1月29日作为算例研究,该日的温度变化曲线如图3所示。该地区风力的实际发电量、理论发电量和弃风电量如图4所示。

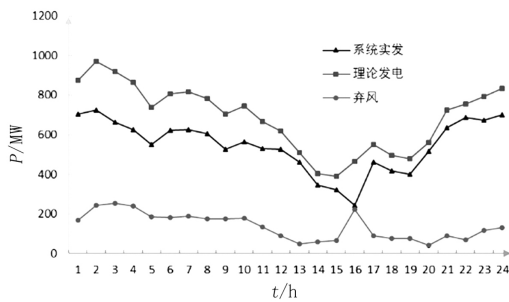


图4 风力发电曲线

等效建筑物的建筑面积为 120 m²,参数如表2所示。

表2 等效房间参数

参数名称	取值
外表面积 S/m^2	234.4
体积 V/m^3	312
导热系数 $K/(W \cdot m^{-2} \cdot ^\circ C^{-1})$	0.5
空气比热容 $C_{air}/(kJ \cdot kg^{-1} \cdot ^\circ C^{-1})$	1.007
空气密度 $\rho/(kg \cdot m^{-3})$	1.2

按照式(2)计算出该地区随气温变化下室内温度分别为 20~24℃所需要的采暖负荷的功率如图5所示。

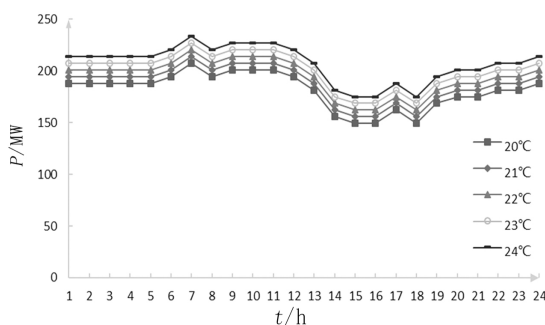


图5 采暖负荷的功率

3.2 调度与补偿方法研究

采用系统成本最小的调度方法,弃风没有任何价值,如果将弃风转化为电采暖,系统的成本则会最小。联合调度是线性混合规划问题,采用 lingo12 进行计算,供热机组功率如图6所示。

电采暖负荷和弃风情况分别如图7和图8所示;不同温度控制目标下的各补偿情况如表3所示。

因为风电产生的效益更高,此时取风电全供暖情况,然后计算出3种补偿方法的公平系数,不同补

偿方法的对比结果如表4所示。

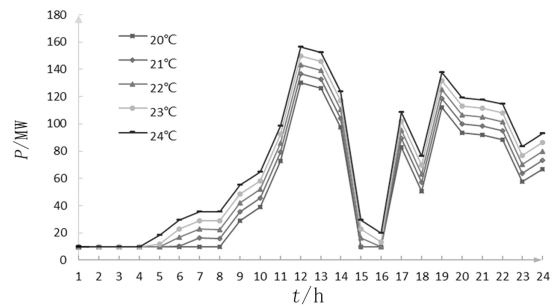


图6 供热机组功率

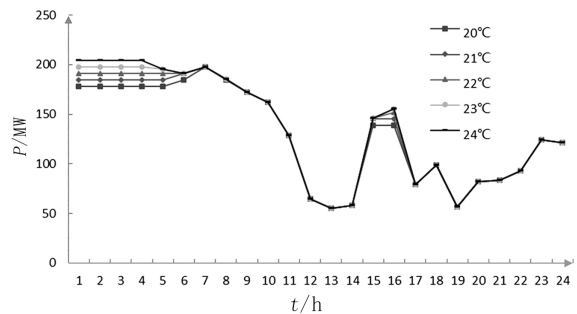


图7 电采暖负荷功率

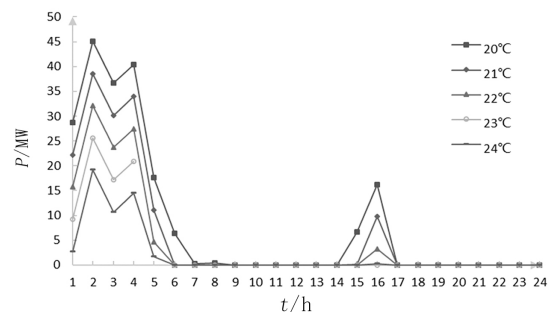


图8 弃风情况

由表4可知,第3种补偿方法的公平性指标较其他补偿模式均有较大的提高,在减少弃风的联合计划中,对减少弃风有较大的帮助。

4 结 语

采用弃风-热采暖负荷联合调度的方式可以大幅提高风电的消纳率,减少弃风;同时可以减少环境污染,节约能源,促进可持续发展。

在新的联合调度补偿方法中,将供热机组供热按照全电量补偿方法,可以较大地提高交易中的效率指标,平衡各方利润,促进弃风电量的消纳。

在所提的联合调度模型中,仍然有弃风的现象,需要配置储能或储热装置,或者增加其他的负荷参与调度,进而实现风电的零弃风。

(下转第51页)

参考文献

[1] 严玉婷,江健武,钟建灵,等.金属氧化物避雷器事故分析及测试方法的比较研究[J].电瓷避雷器,2011(5):63-69.

[2] 张益民,申萌,罗六寿,等.带外串联间隙线路避雷器续流切断试验探讨[J].电瓷避雷器,2012(6):91-96.

[3] 王光旭,李士庆,谢超,等.交流三相组合式氧化锌避雷器的研究[J].华北电力技术,2011(4):49-54.

[4] 李广军.三相组合式MOA在高功率电弧炉供电系统中的应用[J].电瓷避雷器,2002(4):47-48.

[5] 全国避雷器标准化技术委员会.交流三相组合式无间隙金属氧化物避雷器:JB/T 10496-2005[S].北京:中国标准出版社,2005.

[6] 闫中华.提高MOA阀片4/10大电流冲击耐受能力的研究[J].电瓷避雷器,2000(1):42-46.

[7] 全国避雷器标准化技术委员会.交流无间隙金属氧化物避雷器:GB 11032-2010[S].北京:中国标准出版社,2010.

作者简介:

方欣(1987),硕士,主要从事高电压试验技术、过电压和接地方面的研究工作。(收稿日期:2018-10-18)

(上接第9页)

表3 不同温度控制目标下的各补偿方法情况

单位:万元

控制目标 温度/℃	弃风 率/%	全风电 利润	供热供暖	风电利润	供热成本	供热补偿			用户 原成本	用户 新成本	用户 补偿
						S1	S2	S3			
20	6.0	252.4	1 237.8	180.6	68.0	145.6	36.5	41.5	152.3	164.8	12.5
21	4.5	261.4	1 340.8	183.7	78.3	149.9	39.1	44.5	157.8	170.4	12.6
22	3.2	270.4	1 457.4	186.0	83.3	154.9	42.7	48.5	163.2	176.0	12.8
23	2.2	279.5	1 579.2	187.9	88.5	159.8	46.4	52.7	168.7	181.7	13.0
24	1.4	288.5	1 709.0	189.4	94.1	164.7	50.4	57.2	174.1	187.2	13.1

表4 不同补偿方法效率指数对比

控制目标 温度/℃	S1	S2	S3	S3比S1 提高/%	S3比S2 提高/%
20	0.56	0.62	0.37	33.7	40.5
21	0.59	0.59	0.35	41.6	40.1
22	0.61	0.59	0.33	45.4	43.0
23	0.63	0.59	0.32	48.7	45.1
24	0.64	0.58	0.31	51.8	47.1

参考文献

[1] 舒印彪,张智刚,郭剑波,等.新能源消纳关键因素分析及解决措施研究[J].中国电机工程学报,2017,37(1):1-8.

[2] 范高锋,张楠,梁志锋,等.我国“三北”地区弃风弃光原因分析[J].华北电力技术,2016(12):55-59.

[3] 李明,胡殿刚,周有学.基于“两个替代”战略的甘肃新能源就地消纳模式研究与实践[J].电网技术,2016,40(10):2991-2997.

[4] 孙玲玲.空调负荷聚合建模及其在电力系统中的应用[D].南京:东南大学,2017.

[5] 王恺文,朱全胜,吕泉,等.计及非常规调峰的省级电网调峰形势评估[J].电网技术,2018,42(7):2168-2177.

[6] 葛晓琳,金言,夏澍,等.面向调峰调频需求的风水火电协调优化调度[J/OL].电网技术.https://doi.org/10.13335/j.1000-3673.pst.2018.2042.

[7] 覃琴,郭强,周勤勇,等.国网“十三五”规划电网面临的安全稳定问题及对策[J].中国电力,2015,48(1):25-32.

[8] 孙伟卿,谈一鸣,曾平良,等.考虑电能替代的全球负荷变化趋势分析[J].电网技术,2019,43(2):678-686.

[9] 丁继为.楼宇柔性负荷建模及其调峰组合优化策略研究[D].南京:东南大学,2016.

[10] 李娟,周红莲,周二彪,等.计及风速电锅炉等电采暖负荷相关性的配电网可靠性评估[J].电力自动化设备,2018,38(10):26-31.

[11] 黄亚峰,朱玉杰,穆钢,等.基于温度预报的户用电采暖负荷可调节能力评估[J].电网技术,2018,42(8):2487-2493.

[12] 刘兆霆,袁铁江,李国军,等.新能源电采暖资源与环境价值分析[J].电力电容器与无功补偿,2018,39(4):177-183.

[14] 李兆坚,江亿,燕达.住宅间歇供暖模拟分析[J].暖通空调,2005,35(8):110-113.

[15] 崔永军,刘兆霆,李渝,等.新能源电采暖电力负荷建模[J].电器与能效管理技术,2016(18):61-66.

[16] 舒畅,钟海旺,夏清.兼顾效率与公平的用电市场竞争价机制研究[J].电网技术,2014,38(3):681-686.

作者简介:

樊国伟(1976),本科、高级工程师,研究方向为电力系统调度与新设备管理。

(收稿日期:2019-02-05)