

利用蓄热式电采暖提高电网风电接纳能力的研究

张新伟¹ 耿万梅²

(1. 国网新疆电力公司乌鲁木齐供电公司 新疆 乌鲁木齐 830000;

2. 国网新疆电力公司昌吉供电公司 新疆 昌吉 831100)

摘要:电能的特点是易传输不易存储,热能的特点是易存储不易传输,热力系统的时间常数远大于电力系统,对电供热系统功率的短期调整不会明显影响供热效果。下面结合蓄热式电采暖的特点和风电出力特性,提出利用蓄热式电采暖技术提高电网接纳风电能力,解决了部分地区冬季热电厂因供热影响发电出力、系统调峰容量减少与风电接入后对系统调峰容量需求增加的矛盾,提高电网运行的安全性。

关键词:电采暖;调峰容量;风电并网;风电接纳能力

Abstract: The characteristics of electric power is easy to be transmitted but difficult to be stored which is just opposite to heat energy, and the time constant of the thermodynamic system is much larger than power system, so the short-term adjustment for the power of electric heating system will not significantly affect the heating effect. Combining the characteristics of heat accumulation electric heating with the output characteristics of wind power, the heat accumulation electric heating is proposed to be used to enhance the capacity of wind power penetration into power grid. So the influence of heat supply on power output and the conflicts between the reduction of system peak load capacity and the increasing demand of peak load capacity after the integration of wind power are removed, which improves the security of grid operation.

Key words: electric heating; peak load capacity; wind power integration; wind power acceptance capability

中图分类号: TM732 文献标志码: A 文章编号: 1003-6954(2014)04-0036-04

0 引言

随着新型能源发电技术的飞速发展,越来越多的大型风电场并网运行。因风能资源的不稳定性,风电场出力波动较大,大规模风电接入电网后,对电网的稳态频率和电压偏移产生较大影响。风电作为不稳定电源,无法参与到电网的频率调节,风电接入后将影响到系统备用容量水平、传统发电厂的发电效率以及系统运行的可靠性。冬季风电大发时,为保证系统安全稳定运行,有时需要采取弃风措施,限制风电出力。

在中国西北部分地区,地理环境特殊,冬季严寒时间较长,每年有6个月的供暖时间,电网内的大型电厂均为热电厂,承担着供热与供电双重任务^[1]。冬季供暖期间,发电机组的发电出力受供热影响而降低,系统备用容量减少,而大量风电的接入又对系统备用容量的需求有所提高,这将是限制电网风电接纳能力的一个重要因素。电能的特点是易传输不

易存储,热能的特点是易存储不易传输,热力系统的时间常数远大于电力系统,对电供热系统功率的短期调整不会明显影响供热效果^[2]。基于蓄热式电采暖负荷的特性和风电出力特性,结合电网运行实际,对利用蓄热式电采暖提高电网冬季风电接纳能力进行分析研究,具有重要的实际意义。

1 蓄热式电采暖提高电网风电接纳能力的必要条件

蓄热式电采暖负荷的应用受到电网的电采暖负荷承载能力限制,而电网的风电接纳能力与地区风电出力的时空特性密切相关。只有电网中各片区电采暖负荷承载能力大于供热负荷时,利用蓄热式电采暖提高风电接纳能力的研究才有实际价值^[3]。

在研究蓄热式电采暖提高电网风电接纳能力时,首先需根据人口数量、供热面积、供热量指标、环境温度等因素分片区对地区供热负荷进行评估,分片区对电网的电采暖负荷承载能力进行分析,综合考虑地区电网中风电出力的时空特性和并网点分布情况。

2 电网电采暖负荷承载能力分析

对电网的电采暖负荷的承载能力进行分析时,为保证分析结果的准确性,按照电网运行条件和不同地域的负荷特性,需要分片区对冬季供暖期间电网输、变电设备的裕度与承载能力进行分析。分析过程中,需要综合考虑电网稳定运行要求,各电压等级的线路、主变压器负载能力、下一年网架变化、新设备接入情况等,在保证供电能力的同时保证电网方式调整的灵活性,按输电线路额定功率的70%、主变压器额定容量的70%考虑设备接带负荷的能力。评估步骤如下。

(1) 确定具备接带蓄热式电采暖负荷能力的变压器。对各个变电站的平均负荷率和最大负载率做一个统计分析,基于分析结果,综合考虑220 kV设备和110 kV设备的负载能力,剔除重载主变压器和重载线路接带的主变压器,确定具有一定容量裕度,具备接带蓄热式电采暖能力的变压器。

(2) 确定变压器的典型日负荷曲线。选取变压器的典型日负荷曲线有两个条件:①典型日负荷曲线走势与大多数日负荷曲线走势一致;②尽量选取负荷大的日期作为典型日。

(3) 利用区间函数计算变压器的裕度容量。将变压器的典型日负荷曲线等分成24各区间(1个小时一个点)根据变压器的整点负荷统计结果,计算单个变压器在不同时刻的裕度容量,计算公式如下。

$$R_n = 0.7\lambda S_N - 1.05\max(P_n - P_{n-1}) \quad (1)$$

$$\text{其中 } \max(P_n - P_{n-1}) = \begin{cases} P_n & (P_n \geq P_{n-1}) \\ P_{n-1} & (P_n < P_{n-1}) \end{cases}$$

式中 R_n 为变压器在 n 时刻的裕度容量; λ 为功率因数; S_N 为变压器的额定容量; P_n 为 n 时刻的负荷值(整点负荷值)。

(4) 全网电采暖负荷承载能力分析。将电网中不同片区内所有接带电采暖负荷的变压器不同时刻的裕度容量线形叠加,既可算出该片区在不同时间段的电采暖负荷承载能力。将各片区的电采暖负荷容量裕度分时叠加,就得到了整个电网在不同时间段的电采暖负荷承载能力。

3 风电出力的时空特性分布分析

风速变化的随机性造成风电出力的可信度低,

风电的出力表现出较强的不确定性。根据概率数理统计原理,通过大量的数理统计,引入概率统计理论原理,利用现有风电场实际运行数据,结合电网接纳风力发电场的同时性,确定每个风电场在不同时段的发电出力波动的范围,为不同时段电网接纳风电的能力提供依据。具体分析步骤如下。

(1) 根据历史数据,对不同区域的风电场在冬季供暖期间的不同时刻的出力情况进行统计分析。将风电场的出力情况按整点进行统计,纵向分析,选取供暖期间每日 n 时刻的风电场出力,以风电场装机容量容量的20%为区间,出现概率最大的区间的功率值取平均值作为该时间段($n-1$ 时刻到 n 时刻)的出力。

(2) 对不同风电场在不同时刻的出力情况进行线形叠加,得到风电场汇集站和系统的联络线的功率曲线即整个电网的风电出力曲线时空分布特性。

(3) 根据整个电网风电出力曲线的时空分布特性,分析风电的反调峰特性和风电场出力的同时率。

4 蓄热式电采暖对风电接纳能力的影响分析

4.1 电网接纳风电的能力分析

由于风电出力具有较大的波动性和反调峰特性,电网必须有足够的调峰容量来确保大规模风电接入后的电力平衡和电网稳定。电网接纳风电的能力需综合考虑系统调峰容量和风电场的反调峰特性,当有多个风电场并网时,还需要考虑风电场出力的同时率^[4]。电网正常运行时,系统的调峰容量如式2所示。

$$R_{res} = \sum_{m=1}^N (G_m - P_m) + P_i - P_L \quad (2)$$

其中 G_m 为发电机组额定容量; P_m 为发电厂锅炉直供热负荷的等效用电负荷; P_i 为电网中的可中断负荷; P_L 为全网用电负荷,其中包括保证常规供热锅炉运行的负荷。

结合风电场的实际运行参数和电网运行实际,将电网低谷负荷时风电出力达到装机容量85%的概率定义为风电的反调峰率^[5],那么电网接纳风电的能力可表示为

$$G_{wind} = R_{res} / (\lambda \cdot \varphi) \quad (3)$$

其中 λ 表示多个风电场的同时率; φ 表示风电的反

调峰率。

将式(2)代入式(3)可得电网接纳风电的能力如式(4)所示。

$$G_{wind1} = \sum_{m=1}^N (G_m - P_m) + P_i - P_L / (\lambda \cdot \varphi) \quad (4)$$

由式(4)可以得出,当系统的调峰容量一定时,风电的反调峰率与同时率的乘积越小,电网可接纳的风电越多。而风电场的反调峰率和同时率受当地的气候特点、地形地貌、风机类型、风况等多种不可控因素的影响^[6],地区电网的并网风电反调峰率和同时率通常根据实际运行数据得到,属于不可控参数,那么提高电网的风电接纳能力重要途径就是提高系统的调峰容量^[7]。

4.2 蓄热式电采暖对风电接纳能力的影响

在冬季供暖期间,电网中的常规供热负荷包括两种形式,一种是热电厂的直供热负荷,另一种是保证供热公司的锅炉设备正常运行的用电负荷。由于热能的特点是易于存储不易于传输,不论是热电厂的直供热负荷还是常规供热方式,在热能传输工程中的大量损耗都无法避免,这种损耗会随着供热半径的增大而增大。

电采暖主要有两种应用形式:电暖气和电锅炉。蓄热式电采暖主要是在电采暖系统中引入了储热设备,提高供热系统的时间常数。

采用蓄热式电采暖后,对系统的调峰容量的影响主要表现在3个方面。

(1)减轻了发电厂中的锅炉直供热负荷的压力,锅炉容量可全部用于发电;

(2)供热系统的时间常数通常有数小时,而蓄热的引入增加了供热系统的时间常数,能够实现日调节,因此蓄热式电采暖负荷可以归类为可中断负荷;

(3)电网用电负荷会有所增加,但增量小于蓄热式电采暖负荷量。采用蓄热式电采暖前,电网总负荷等于保证常规供热锅炉运行的负荷与其他负荷的和;采用蓄热式电采暖后,电网总负荷等于蓄热式电采暖负荷与其他负荷的和,那么采用蓄热式电采暖后电网负荷的增量实际上是蓄热式电采暖负荷减去保证常规供热锅炉运行的负荷,必然小于蓄热式电采暖负荷。

采用蓄热式电采暖后,用 ΔP_i 表示电网中可中断负荷的增量,其数值等于蓄热式电采暖负荷;用 ΔP_L 表示电网总负荷的增量,其数值小于蓄热式电

采暖负荷。那么采用蓄热式电采暖后电网的风电接纳能力可以表示为式(5)。

$$G_{wind2} = \frac{\sum_{m=1}^N G_m + P_i + \Delta P_i - (P_L + \Delta P_L)}{\lambda \cdot \varphi} \quad (5)$$

那么采用蓄热式电采暖后电网接纳风电增量为

$$G_{add} = \sum_{m=1}^N P_m + \Delta P_i - \Delta P_L / (\lambda \cdot \varphi) \quad (6)$$

其中 $\Delta P_i > \Delta P_L$,故 $G_{add} > 0$ 。

通过式(5)可以看出,利用蓄热式电采暖有效提高了电网接纳风电的能力。

5 实例分析

以新疆中部某风资源丰富的地区为例,该地区共有A区、B区、C区、D区、E区5个行政区域,每个行政区有一个火电厂,冬季供暖期间火电厂均需承担供热任务,风电主要从E区接入电网。地区的供热指标为 27.71 W/m^2 ,通过该地区的供热指标和供热面积即可算出冬季供热负荷。各区的供热面积、供热负荷、电采暖负荷承载能力及火电装机容量如表1所示。

表1 发电及供热负荷

行政区域	供热面积 /m ²	供热负荷 /MW	电采暖承载能力/MW	火电容量 /MW
A区	7 350 000	203.67	325.7	2X330
B区	8 630 000	239.14	299.4	4X200
C区	6 460 000	179.01	350.9	2X300
D区	6 200 000	171.8	301.6	2X330
E区	3 220 000	89.23	222.1	3X200

由表1可以看出每个行政区的电采暖负荷承载能力均大于供热负荷,该地区电网具备接带电采暖负荷的基本条件。冬季供暖期间,各火电厂按最小方式考虑,发电厂直供热负荷的等效用电负荷为发电机组额定容量的15%,那么冬季供暖期间各发电厂的发电出力情况如表2所示。

表2 各发电厂的发电出力情况

行政区域	电厂直供热负荷/MW	发电出力 WM	供热锅炉负荷/MW	发电裕度 /MW
A区	99	480	28.800	81
B区	120	595	20.825	85
C区	90	423	17.766	87
D区	99	474	14.220	87
E区	90	435	17.400	75

由表2数据和式(1)~式(5)可以得出采用蓄

热电采暖后地区电网的发电容量裕度和电网中可中断负荷都有所增加 如图 1 所示。

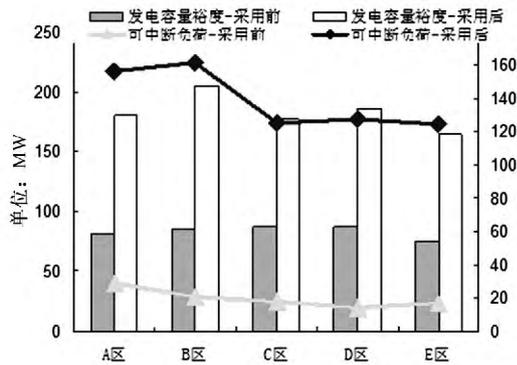


图 1 采用电采暖前、后发电裕度及可中断负荷对比

经过对该地区风电的时空特性分析,该地区风电反调峰率 0.63,风电同时率 0.77,那么采用蓄热式电采暖后系统调峰容量和接纳风电的能力如图 2 所示。

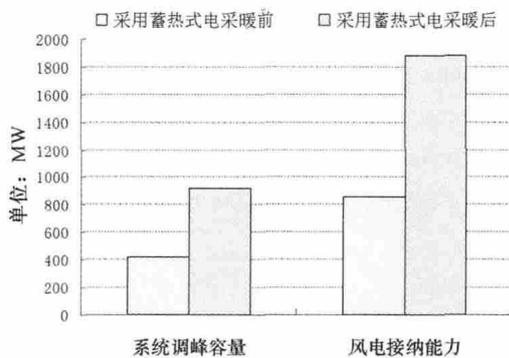


图 2 采用电采暖前、后风电接纳能力对比

通过图 2 可以看出,采用蓄热式电采暖后,由于发电机组的容量裕度和电网中可中断负荷均有所增加,系统的调峰容量由 415 MW 提高至 913 MW,电网风电接纳能力由 855.49 MW 提高至 1882.09 MW,利用蓄热式电采暖可有效提高电网接纳风电的能力。

6 结 论

随着越来越多城市雾霾现象出现,环境综合治理和清洁能源的开发应用已经成为备受关注的焦点问题,如何抑制风电波动性对电网稳定的影响,提高电网的风电接纳能力自然成为了研究的热点问题。前面根据冬季不同区域供暖期间的负荷特点,结合电采暖的特点和风电的运行特性,提出了对电网的电采暖负荷承载能力以及风电出力的时空特性的分析方法,并对蓄热式电采暖对电网接纳风电能力的影响进行了研究。结果表明,利用蓄热式电采暖能够有效提高电网的风电接纳能力,解决供热期间供热机组上网矛盾的同时,平衡风电出力的波动,提高电网运行的安全性。

参考文献

- [1] 谈小灵. 浅谈电采暖技术的优越性[J]. 煤炭工程, 2006(8): 64-65.
- [2] 肖明东, 余莉, 滕力. 电锅炉蓄热技术在某供暖工程中的应用[J]. 暖通空调, 2004, 34(1): 65-66.
- [3] 王振铭. 对电采暖应进行全面的科学论证[J]. 节能与环保, 2001(2): 7-10.
- [4] 吴功高, 叶中雄, 姚明, 等. 安徽电网接纳风电能力的分析研究[J]. 华东电力, 2011, 39(6): 97-99.
- [5] MILLIGAN M. Wind Power Plants and System Operation in the Hourly Time Domain [C]. AWEA Wind Power 2003 Conference, Austin Texas, May 18-21.
- [6] 吴醇. 风电场对电力系统调频和备用容量的影响[J]. 华东电力, 2011, 39(6): 93-96.
- [7] 颜巧燕, 温步瀛, 江岳文. 风电并网后系统备用容量需求分析[J]. 电力与电工, 2009, 29(2): 14-16.

作者简介:

张新伟(1986), 硕士, 主要从事电网稳定分析和调度控制的工作;

耿万梅(1986), 本科, 主要从事电网安全管理和新能源并网方面的工作。

(收稿日期: 2014-04-04)

(上接第 22 页)

- [9] 江全元, 程时杰, 曹一家. 基于遗传算法的 HVDC 附加次同步阻尼控制器的设计[J]. 中国电机工程学报, 2005(1): 87-91.
- [10] 杨秀, 王西田, 陈陈. 基于 H_{∞} 鲁棒控制理论的高压直

流输电系统附加次同步振荡阻尼控制设计[J]. 电网技术, 2006, 30(9): 57-61.

作者简介:

王敏华(1988), 硕士, 研究方向为电力系统的稳定与控制。

(收稿日期: 2014-04-02)