

DOI:10.3969/j.issn.1001-4551.2016.05.023

以调峰能力为约束的湖北电网接纳风电能力研究^{*}

李子寿¹, 许 梁², 徐 箭³, 唐程辉^{3*}, 蒋 彪³

(1. 国网湖北省电力公司, 湖北 武汉 430077; 2. 中国电力工程顾问集团华北电力设计院有限公司, 北京 100120; 3. 武汉大学 电气工程学院, 湖北 武汉 430072)

摘要:针对2018年和2020年蒙鄂特高压直流送入湖北电网问题,综合考虑湖北电网与区外送电可利用的调峰空间,对蒙鄂特高压直流接入后湖北电网接纳风电的能力进行了研究。提出了以系统调峰能力为约束条件下的风电接纳容量计算方法,探讨了湖北电网远景规划年中消纳外区送入风电以及本省发展风电的空间。计算分析得到湖北电网2018年丰水期、枯水期、2020年枯水期能接纳的最大风电容量。研究结果表明受系统综合调峰能力的限制,湖北电网远景规划期间所能接纳的风电容量有限,可以为湖北电网未来接纳蒙西风电以及省内开发风电提供参考。

关键词:特高压;风电;调峰;调峰能力

中图分类号:TM727

文献标志码:A

文章编号:1001-4551(2016)05-0625-04

Study on acceptance of wind power in power grid constrained by peak shaving

LI Zi-shou¹, XU Liang², XU Jian³, TANG Cheng-hui³, JIANG Biao³

(1. State Grid Hubei Electrical Power Company, Wuhan 430077, China; 2. CPECC North China Power Engineering Co., Ltd., Beijing 100120, China; 3. School of Electrical Engineering, Wuhan University, Wuhan 430072, China)

Abstract: Aiming at the problem of Mongolian UHV DC into Hubei power grid in 2018 and 2020, the space of peak shaving that can be used by Hubei power grid and can be transmitted outside was comprehensively considered, the acceptance capacity of wind power of Hubei Power Grid with Mongolia UHV DC accessing was studied. A wind power acceptance capacity calculation method under the restraint condition based the system's peak regulation capability was presented, and the prospect plan of Hubei Power Grid about consumptive outside wind power and the space of wind power development in Hubei province were discussed. The maximum wind power capacities of Hubei Power Grid in wet season, dry season in 2018, dry season in 2020 were calculated. The results indicate the acceptance capacity of wind power is limited during the prospect plan of Hubei Power Network because of the system's peak regulation capacity, the conclusion can provide a reference for Hubei Power grid to get wind power from Western Inner Mongolia and to develop wind power in Hubei province.

Key words: ultra high voltage (UHV), wind power, peak shaving, capacity of peak shaving

0 引 言

在传统化石能源日渐枯竭,雾霾等环境问题日益严峻的情况下,调整能源结构,大力发展清洁的可再生能源是人类进行可持续发展的必然选择。在诸多可再生能源中,风电储量巨大、技术成熟,近年来得到了大规模开发和广泛应用^[1-3]。

大规模风电的并网发电会因其出力的随机性^[4-5]、

反调峰特性而将使系统的安全稳定运行面临压力^[6],同时受到当地负荷需求的限制,风能资源丰富的“三北”地区难以就地消纳,弃风现象突出,资源浪费严重。《2014中国风电发展报告》^[7]的数据显示,2013年全国弃风损失达16.2 TWh,平均弃风率达到11%。所以为了缓解弃风现象和资源浪费,更最大限度地利用风能,“三北”地区迫切需要构建特高压远距离外送通道^[8]。

电力系统调峰是指系统中的电源为了适应时刻在

收稿日期:2015-11-20

基金项目:国家自然科学基金资助项目(51477122)

作者简介:李子寿(1979-),男,湖北恩施人,硕士,主要从事电力系统运行与控制方面的研究。E-mail: lzshou1979@163.com

通信联系人:唐程辉(1990-),男,博士研究生,主要从事电力系统运行与控制方面的研究。E-mail: immocoy@163.com

发生变化的负荷,通过及时调整发电出力实现发电与负荷的实时供需平衡,保证电力系统安全稳定运行的过程。风电接入对系统调峰的影响是目前的研究热点,主要集中在系统消纳风电能力的评估以及风电接入后系统电源的协调运行。文献[9]主要从宏观的角度对中国的能源形势和供需现状进行了定性分析,从国家能源发展,资源优化配置的战略角度提出跨区电力对增强电网调峰能力的重要意义。文献[10]给出了水电调峰能力的计算方法,通过分析水电可调电量和风电电量的大小来判断系统对风电的消纳能力。文献[11-12]通过模拟风速时序序列来评估系统的调峰充裕性。文献[13-14]均建立了在接纳风电时,利用多种电源进行协调调峰的模型,但前者考虑了向外区送电通道参与调峰,后者没有考虑水电调峰作用。

本研究以 2018 年和 2020 年蒙鄂特高压直流接入湖北电网为背景,在综合考虑外区送电调峰能力以及湖北电网省内电源调峰能力的基础上,对蒙鄂特高压直流接入后湖北电网接纳风电的能力进行研究。

1 风电日出力特性对调峰的影响

从风电并网对系统运行的影响来看,风电功率的注入可能会改变电网原有的负荷特性,对电网的调峰产生影响。

风电功率对电网负荷特性的影响是由风电日出力变化特性决定,而风电日出力变化特性受地理、气候、温度等因素的影响,具有随机性。一般风电功率的调峰效应有正调峰、反调峰和过调峰。风电的正调峰效应对系统调峰有利。风电的反调峰会加剧系统的负荷峰谷差,对电网的调峰提出挑战。而风电的过调峰效应会使系统等效负荷曲线峰谷倒置。

一般情况下,风电日出力特性具有夜晚发电功率相对较大,白天发电功率相对较小的特点,与负荷变化的情况恰好相反,呈现反调峰的特性。另外,风电出力因为地缘、气候等影响还具有季节性。蒙西某风电场不同季节的典型风电日出力特性曲线如图 1 所示。

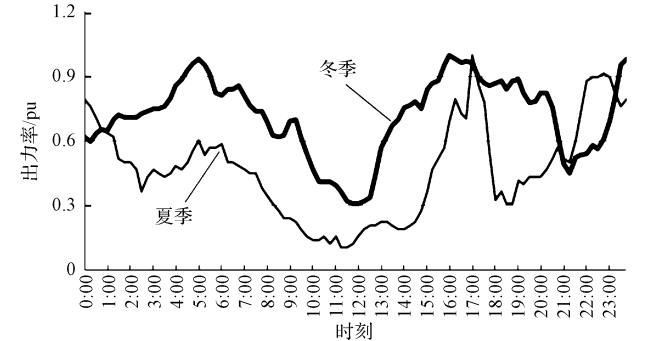


图 1 蒙西某风电场风电典型日出力曲线

由图 1 可知冬季平均发电功率较大,夏季平均发

电功率较小。以该风电场的风电注入湖北电网为例,将风电功率作为负的负荷,考虑不同水平年不同季节的典型日,得到不同风电输送容量下叠加风电出力曲线后的等效负荷特性计算结果如表 1 所示,夏季典型日等效负荷曲线变化情况如图 2 所示。

表 1 考虑风电功率注入后对湖北电网负荷特性的影响

负荷曲线		最大等 效负荷 /万 kW	最小等 效负荷 /万 kW	等效峰 谷差 /万 kW
2018 年 夏季典型日	原始负荷曲线	3965.0	2696.2	1268.8
	200 万 kW 风电	3861.6	2575.5	1286.0
	500 万 kW 风电	3706.4	2394.5	1311.9
2018 年 冬季典型日	原始负荷曲线	3489.2	2268.0	1221.2
	200 万 kW 风电	3315.4	2071.7	1243.6
	500 万 kW 风电	3054.6	1777.3	1277.3
2020 年 夏季典型日	原始负荷曲线	4783.0	3204.6	1578.4
	200 万 kW 风电	4679.6	3083.9	1595.6
	500 万 kW 风电	4524.4	2902.9	1621.5
2020 年 冬季典型日	原始负荷曲线	4209.0	2651.7	1557.3
	200 万 kW 风电	4035.2	2455.4	1579.8
	500 万 kW 风电	3774.5	2161.0	1613.4

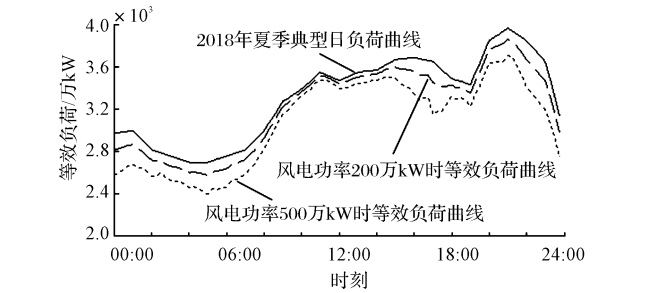


图 2 风电接入后等效日负荷曲线

由表 1 可知,风电功率注入后湖北电网的日等效负荷峰谷差增大,证明蒙西夏季和冬季的风电具有一定的反调峰特性。另外,随着风电输入功率的增大,湖北电网日负荷峰谷差加剧,负荷特性恶化,对电网的调峰能力提出更高要求。

2 以调峰能力为约束的系统接纳风电容量计算模型

从系统调峰角度来看,电网调峰电源的调峰能力决定了电网所能接纳的风电容量。风电接入后对电网调峰需求的影响主要存在于以下两个方面:①由于风电出力表现出来的反调峰特性,风电输入后增大了电网的等效负荷峰谷差,电网需要提供更大的可用调峰容量;②为了应对各时段风电出力的不确定性以及风电功率的预测误差,系统需要在提供常规备用容量的基础上为风电接入预留一定的旋转备用容量。而这部分增加的旋转备用容量会占用系统调峰电源的一部分可调容量。

2.1 系统接纳风电容量数学计算模型

首先,系统运行时必须满足有功功率平衡约束,即系统中的所有发电机组有功出力、负荷及有功损耗必须满足以下等式约束条件:

$$\sum_{i=1}^n P_{Gi} - P_L - \Delta P_L = 0$$

$$P_{Gimin} \leq P_{Gi} \leq P_{Gimax} \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (1)$$

式中: P_{Gi} —第*i*台发电机组的有功出力; P_{Gimax} , P_{Gimin} —发电机组有功出力的上、下限; P_L —系统的负荷; ΔP_L —系统的网损。

当系统中有风功率注入时,式(1)的有功功率平衡约束可用式(2)表示:

$$\sum_{i=1}^n P'_{Gi} + \sum_{i=1}^k P_{wi} - P_L - \Delta P_L = 0 \quad (2)$$

式中: P_{wi} —第*i*台风电场注入的风电功率; P'_{Gi} —风电注入后第*i*台发电机组经调整后的有功出力。

用式(1)减去式(2)可得风电功率注入后引起系统发电功率的变化,如式(3)所示:

$$\sum_{i=1}^k P_{wi} = \sum_{i=1}^n P_{Gi} - \sum_{i=1}^n P'_{Gi} \quad (3)$$

由式(3)可知,风电功率注入后系统发电机组的有功出力会相应减小,也就说为了接纳风电功率,系统发电机组会进行向下调峰(负调峰),随着风电注入功率的增大,系统发电机组的发电出力不断减小直至最小发电出力,此时就是系统所能接纳的最大风电功率。所以系统接纳风电的容量主要取决于系统发电机组的向下调峰容量,如下式所示:

$$\Delta P_G = \sum_{i=1}^n P_{Gi} - \sum_{i=1}^n P_{Gimin} \quad (4)$$

式中: ΔP_G —系统具备的向下调峰容量。

2.2 以调峰能力为约束的系统接纳风电能力计算方法

(1) 方法一:考虑极端场景

极端场景考虑的是风电反调峰特性的极端情况,即风电在负荷低谷时段恰好满发,那么此时系统发电机组所具备的向下调峰容量就等于所能接纳的最大风电容量,如下式所示:

$$P_{Lmin} - \sum_{i=1}^n P_{Gimin} = P_{wind} \quad (5)$$

式中: P_{Lmin} —系统负荷最小值, P_{wind} —风电接入的容量。

方法一考虑的是负荷低谷时段风电恰好满发的极端情况,计算结果比较保守。实际上,风电出力在负荷低谷时段满发,负荷高峰时段出力减为0的极端反调峰情况是一个小概率事件。更实际一点的计算场景是以风电日出力特性作为参考,以系统向下调峰容量作

为约束并为风电可能的增发预留一定向下备用容量的方式计算系统接纳风电的容量,即本研究的方法二。

(2) 方法二:考虑风电日出力特性

根据风电日出力特性,考虑系统各时刻所具备的向下调峰容量,同时还要考虑风电出力可能存在的预测误差,为当前时刻风电出力可能增大的情况预留一定的向下旋转备用。那么系统当前时刻的向下调峰能力应该要满足根据风电日出力特性计算的风电出力以及旋转备用容量,如下式所示:

$$P_L(t) - \sum_{i=1}^n P_{Gimin} \geq \theta(t)P_{wind} + \delta(t)P_{wind} \quad (6)$$

式中: $P_L(t)$ —系统*t*时段的负荷, $\theta(t)$ —风电功率的日出力特性, $\theta(t) \leq 1$; $\delta(t)$ —系统*t*时段为风电功率预测误差预留的备用系数,一般为常数,取装机容量的15%~30%。

根据式(6),系统接纳风电的最大容量就是系统各时段满足式(6)约束下的风电容量,实际上也就是求取各时刻点所能接纳的风电容量最大值中的最小值,计算模型如下式所示:

$$\begin{cases} \max F = P_{wind} \\ \text{s. t. } P_L(t) - \sum_{i=1}^n P_{Gimin} \geq \theta(t)P_{wind} + \delta(t)P_{wind} \\ \theta(t) + \delta(t) \leq 1 \end{cases} \quad (7)$$

式(7)中考虑当 $\theta(t) > 1 - \delta$,由于风电出力特性最大为1,那么此时系统没有必要再为风电出力提供按备用常数计算的旋转备用,只用保证 $\theta(t) + \delta(t) = 1$ 。

3 湖北电网接纳风电能力的计算分析

根据湖北电网“十三五”发展规划,预计在2018年建成并投产蒙西至湖北±800 kV特高压直流线路,预计2018年单极运行向湖北电网输送功率500万kW,2020年双极运行后输送功率1000万kW,大量接纳内蒙古西部地区丰富的风电和火电以满足湖北能源消耗和负荷增长的需求。大量外区电力的送入必然会对湖北电网的调峰造成影响。计算结果表明,考虑蒙鄂特高压直流送入下,除了2020年丰水期典型日调峰能力不足外,2018年丰水期、枯水期典型日以及2020年枯水期典型日湖北电网均具有一定的调峰裕度^[15]。

因此,本研究在保证各典型日开机方式不变的情况下,以考虑接纳蒙西风电为例根据2.2节提出的计算模型,对湖北电网在2018年丰水期、枯水期典型日以及2020年枯水期典型日接纳风电的容量进行计算。蒙西风电出力特性如图1所示,系统为风电预留的备用容量系数考虑风电最大输送容量的20%。

(1)方法一:考虑极端场景

考虑风电反调峰特性的极端情况,即风电在负荷低谷时段恰好满发,利用式(5)可以求出 2018 年丰水期、枯水期典型日和 2020 年枯水期典型日湖北电网能接纳的风电容量如表 2 所示。

表 2 方法一接纳风电能力计算结果

典型日	向下调峰容量/万 kW
2018 年丰水期典型日	111.2
2018 年枯水期典型日	236.2
2020 年枯水期典型日	44.8

(2)方法二:考虑风电日出力特性

由图 1 可知,蒙西风电日出力特性在夏季和冬季有所不同。根据不同季节风电出力特性的不同,考虑各典型日负荷变化情况以及为风电接入预留一定备用容量,利用式(7)可以求出蒙鄂特高压直流接入下湖北电网能接纳的风电容量,如表 3 所示。

对比表 3 和表 2 可知,2018 年丰水期典型日的接纳能力计算中,方法二的接纳容量略大于方法一,证明方法一的计算是比较偏保守的。

表 3 方法二接纳风电能力计算结果

典型日	向下调峰容量/万 kW
2018 年丰水期典型日	138.4
2018 年枯水期典型日	236.2
2020 年枯水期典型日	44.8

而枯水期典型日的接纳能力计算中,方法二和方法一的计算结果相同,其原因主要是根据图 1,蒙西风电在冬季负荷低谷时段出力率超过 0.8,接近满发,此时系统为风电预留的备用系数不用达到 20%,从而式(7)中 $\theta + \delta = 1$,那么方法二计算的情形与方法一相同,所计算的风电接纳容量也相同。

经过上述计算,特高压直流接入湖北电网后,考虑省内电源和外送电的综合调峰能力,湖北电网 2018 年丰水期、枯水期,2020 年枯水期以系统调峰能力为约束下的蒙西风电最大接纳容量分别为 138.4 万 kW、236.2 万 kW 和 44.8 万 kW。受系统综合调峰能力的限制,湖北电网远景规划期间所能接纳的风电容量有限。

4 结束语

本研究以蒙鄂特高压直流接入湖北电网为背景,在综合考虑外区送电调峰能力以及湖北电网省内电源调峰能力的基础上,对蒙鄂特高压直流接入后湖北电

网接纳风电的能力进行了研究,分别建立了考虑极端场景和风电出力特性下以系统调峰能力为约束的风电接纳容量计算模型。以湖北电网接纳蒙西风电为例,经过计算分析,在保证各典型日开机方式不变的情况下,湖北电网 2018 年丰水期、枯水期、2020 年枯水期能接纳的最大风电容量分别为 138.4 万 kW、236.2 万 kW 和 44.8 万 kW,可以为湖北电网未来接纳蒙西风电以及省内开发风电提供参考。

参考文献(References):

[1] 雷亚洲. 与风电并网相关的研究课题[J]. 电力系统自动化,2003,27(8):84-89.

[2] 陈炳森,胡华丽. 我国风电发展概况及展望[J]. 电网技术,2008,32(2):272-275.

[3] 张明峰,邓 凯,陈 波,等. 中国风电产业现状与发展[J]. 机电工程,2010,27(1):1-3,14.

[4] 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.

[5] 侯佑华,房大中,齐 军,等. 大规模风电入网的有功功率波动特性分析及发电计划仿真[J]. 电网技术,2010,34(5):60-66.

[6] 迟永宁,刘燕华,王伟胜,等. 风电接入对电力系统的影响[J]. 电网技术,2007,31(3):77-81.

[7] 李俊峰,蔡丰波,乔黎明,等. 2014 中国风电发展报告[R]. 北京:中国循环经济协会可再生能源专业委员会,2014.

[8] 汪宁渤,王建东,何世恩. 酒泉风电跨区消纳模式及其外送方案[J]. 电力系统自动化,2011,35(22):82-89.

[9] 张丽英,叶廷路,辛耀中,等. 大规模风电接入电网的相关问题及措施[J]. 中国电机工程学报,2010,30(25):1-9.

[10] 衣立冬,朱敏奕,魏 磊,等. 风电并网后西北电网调峰能力的计算方法[J]. 电网技术,2010,34(2):129-132.

[11] 张 宁,周天睿,段长刚,等. 大规模风电接入对电力系统调峰的影响[J]. 电网技术,2010,34(1):152-158.

[12] 张宏宇,印永华,申 洪,等. 大规模风电接入后的系统调峰充裕性评估[J]. 中国电机工程学报,2011,31(22):26-31.

[13] 吴 雄,王秀丽,李 骏,等. 考虑风电外送的省级系统调峰分析模型[J]. 电网技术,2013,37(6):1578-1583.

[14] 张志锋,徐 箭,闫秉科,等. 考虑特高压送风电的湖北电网调峰方案[J]. 电力自动化设备,2013,33(4):6-11.

[15] 武汉大学. 蒙西至湖北 ±800 千伏特高压直流送入对电网影响的研究[R]. 湖北:武汉大学,2015.

[编辑:周昱晨]

本文引用格式: