

北京电网多元分布式电源的准入容量计算

在分布式发电研究当中关于分布式电源的准入容量的研究是最重要的研究方向之一。本研究根据北京电网的实际情况,综合考虑电网的静态约束、暂态约束及电力平衡约束,采用试探法分别对风力发电、光伏发电和冷热电三联供3种形式的分布式电源的独立准入容量进行了仿真计算分析,找出了限制不同形式的分布式电源接入容量的主要因素;结合分布式电源资源约束以及国外运行成熟的多元分布式电源典型配比,对多元分布式电源的综合准入容量进行了仿真计算分析;研究结果可供3类典型分布式电源的未来发展规模参考。

刘慧珍¹ 巩晓昕² 刘艳³ 王立永^{2/1}. 1. 国网北京电科院 2. 国网北京市电力公司
3. 郑州新力电力有限公司

0 引言

分布式发电 (Distributed Generation, DG)。DG是指直接配置在配电网或负荷附近的发电设施,是一种经济、高效和可靠的发电方式一般指将相对小型的发电装置,分散布置在用户现场或用户附近的发电方式^[1-2]。分布式电源主要包括风力发电、光伏电池、燃料电池、微型燃气轮机、地热发电装置和储能装置等。

分布式发电具有集中式发电无可比拟的优势:紧靠用户,大大减少了输配电网的成本和损耗,电价更具竞争力;占地少,升级扩容方便,对环境的影响轻微;规划和建设周期短,而且投资少,见效快;可按需发电,调峰方便;建设冗余系统的成本低,高可靠性电力供应更容易实现;新型的可再生能源和清洁能源更加环保;新型能源的燃料种类多,灵活性高,燃料运输成本低。

国家高技术研究发展计划(863计划)(2014AA051901)
《主动配电网关键技术研究示范》。

分布式发电在电网发生事故时能够在负荷侧提供电源支撑保障重要用户的电力供应。分布式发电不只是传统发电模式的补充,在能源的综合利用上也很重要^[2]。对我国而言,分布式发电在提高能源效率、改变能源结构和节约能源方面的效益十分重要。在2007年国家发布的《可再生能源中长期发展规划》中,更是鼓励我国大力发展可再生能源,尤其是利用风能、太阳能等发电。

1 分布式电源对电力系统的影响

虽然分布式电源的并网能够给系统带来许多效益,如削峰填谷、减小线路损耗、减少输电阻塞和延缓输电设备投资新建等;但由于和传统电源相比,分布式电源还存在很多特殊性,如波动性、分布性和不可控等,所以同时也会给系统的运行带来一些负面影响^[3-4],如对配电网规划、系统电压、电能质量、继电保护、稳定性和可靠性的影响。

1.1 对配电网规划的影响

由于分布式电源的发展具有不确定性,因此会给传统的配电网规划带来新的问题:大用户安装分布式电源为自己供电导致规划部门难以准确地预测未来负荷水平,电网建设难以达到最优的网络布置,影响后续的电网规划^[5]。

1.2 对系统电压的影响

分布式电源主要接入配电网,在接入分布式电源之后,配电系统从放射状结构变为多电源结构,潮流的大小和方向有可能发生巨大改变,会对配电网电压分布产生影响^[6],使配电网的稳态电压也发生变化,原有的调压方案不一定



刘慧珍/高级工程师

关键词/Keywords

北京电网·
多元分布式电源·
准入容量·
静态安全约束·
暂态约束·
电力平衡·

能满足接入分布式电源后的配电网电压要求。

1.3 对电能质量的影响

当DG突然起动或停运时,往往会引起电压突升、电压骤降、电压闪变和短时供电中断等现象。此外,由于一些DG系统通过电力电子变换器接口并网,因此开关器件频繁开断不可避免地会向电网注入各种谐波,造成谐波污染。

1.4 对继电保护的影响

鉴于传统配电网大多是单侧电源的辐射状运行,保护开关往往不设方向元件。但是DG接入后,一旦馈供线路发生故障,那么故障点两侧线路可能均会出现短路电流,这时如果要求保护有选择性地动作,线路两侧的开关必须配置方向元件^[8]。另外,DG并网后要求对已有的保护参数进行重新整定,增加了保护定值整定计算的复杂性。

1.5 对系统稳定性的影响

如果电网中接入的DG数量较少,穿透水平不高,那么DG对系统稳定性基本不会构成影响,在动态分析过程中传统的做法是将这些小规模DG看成“负”的负荷。随着DG数量的增多和DG在电网中穿透容量的增大,DG对系统的电压稳定性、暂态稳定性和小扰动稳定性的影响就不能忽视了^[9-10]。

1.6 对系统可靠性的影响

DG对系统可靠性的影响具有两面性。DG作为备用电源可以提高供电可靠性,当系统由于故障切除了部分区域负荷时,如果在停电区域投入DG,并采取合适的孤岛运行策略,那么就可以恢复对一部分负荷的供电,从而减少负荷的停电时间,提高用户的供电可靠性。但是另一方面,DG并网运行时,由于DG运行工况具有高度的不确定性以及DG本身存在发生故障的可能性,因而在一定程度上也会降低系统的供电可靠性。

以上这些都可能影响到电力系统的安全、可靠和稳定运行,因此,随着分布式电源的进一步发展,电力系统到底能接纳多大容量的分布式电源逐渐成为分布式发电领域的一个重要研究方向。

2 分布式电源准入容量的研究方法

分布式电源准入容量是指在满足一定技术

指标的前提下,系统所能接受的分布式电源的最大容量。常用的计算准入容量的方法有如下几种^[11-13]。

2.1 试探法

给定一个分布式电源的位置和容量,计算在各种负荷水平下电压分布和系统短路电流,如果电压分布和短路电流水平满足安全运行的要求,再增加分布式电源的容量,重复上述计算,直到分布式电源容量不能再增加为止。

2.2 解析计算方法

解析法为了计算分布式电源的准入功率,建立解析方程,来计算满足方程的分布式电源的准入功率。

2.3 数学优化法

数学优化模型,以最大准入功率为目标函数,给出系统参数,考虑各种约束,用优化算法解出状态、控制变量,为电压调整措施提供指导。

总体来说,解析法比较繁琐,适用的范围非常有限,因为如果设备改变了,就需要重新建立数学模型,而且需要评估模型的有效性。数学优化法的系统建模复杂,如何建立有效的数学模型要考虑各种约束,而且计算量大,特别是考虑多种分布式电源时的优化问题。

3 分布式电源准入容量的研究现状

分布式电源接入配电网使得电网结构发生了变化,即由放射式网络变为多电源网络,这给电网运行带来很多困难。分布式电源接入电网以后,电网规划、系统电压调整、保护策略和运行调度都将产生变化。为了更有效地利用分布式电源,就需要在安全稳定的前提下尽可能多的接入分布式电源,因此计算分布式电源的最大准入容量是需要考虑的问题。有许多因素影响准入容量,这些因素包括短路电流的大小与分布、潮流分布、电压调整和保护配置等。

大量分布式电源的并网运行影响配电网的结构及配电网中短路电流大小与分布,由此给配电网的运行与控制带来多方面的影响。文献[14]建立了计及短路电流约束的准入容量的计算模型,该模型把DG容量作为优化的目标函数,短路电流作为约束条件,把短路电流转化为含有

DG容量的函数,从而求出可以接入网络的DG最大准入容量。分布式电源接入电网会对电网的电压分布产生影响。文献[15]对分布式电源接入电网以后的电压调整进行研究,提出了建立在各种电压调整方法上的准入容量优化模型,分析各种电压调整方法下的分布式电源准入容量,发现电压的有效调整能够大幅度提高分布式电源的准入容量;文献[16]分析了分布式电源的接入对配电网电压分布和线路潮流的影响,在此基础上采用优化方法,把分布式电源准入容量的问题归结为在系统静态安全约束下的分布式电源有功功率最大化问题。

文献[14-16]都考虑了某些约束,能够针对某一些约束提供一些具体的研究方法,能够计算验证某些算法的有效性和正确性。本文结合北京电网综合考虑这些约束以及与电网运行相关的动态约束,利用已有的这些研究来指导解决实际的工程问题。

4 北京电网分布式电源准入容量计算方法

根据北京电网的现状与发展趋势,北京电网的分布式电源主要包括风力发电、光伏发电和冷热电三联供。不同分布式电源的不同特点对电网的影响不同,为了更有效地分析各类分布式电源的综合准入容量,首先采用试探法对3种分布式电源单一接入电网的准入容量进行计算分析,即风电准入容量、光伏准入容量和三联供准入容量;其次结合由京津唐电网的调峰调频能力决定的北京电网,用来平抑风电波动的旋转备用容量限制确定修正准入容量;然后利用成熟的分布式发电的典型配比确定分布式电源的综合准入容量,同时参考北京地区的风能资源、太阳能资源和天然气资源等资源约束下实际可以利用的最大的分布式发电容量来修正准入容量。

采用中国电力科学研究院电力系统研究所“PSD电力系统分析软件工具(PSD Power Tools)”软件包中的重要计算仿真工具之一的PSD-BPA进行仿真计算,仿真计算过程中考虑静态安全约束、暂态安全约束和电力平衡约束对最大接入容量的限制^[14-15]。其中静态安全约束主要考虑设备过载、电压越限、潮流阻塞和系统短

路电流,暂态安全约束主要考虑暂态电压跌落,电力平衡约束考虑分布式电源突然消失一定比例后是否能够在京津唐电网中实现电力平衡以及备用容量是否满足要求。

5 北京电网分布式电源独立准入容量计算

5.1 北京电网风电准入容量计算

文献[17-18]列出了接入点静态电压限制、接入变电站的变压器额定容量限制、输电容量的限制、暂态电压跌落限制、短路容量限制、低电压穿越限制和谐波限制等风电接入电网的具体评估准则。

根据风力资源位置选定的7个风电场并网点为吕村、草厂、平谷、密云、聂各庄、怀柔 and 军都。通过仿真计算发现静态电压限制、变压器额定容量限制、暂态电压跌落限制和短路容量限制等因素中变压器容量限制是风电最大接入容量的主要限制因素,在此限制因素下,怀柔风电最大接入容量为360 MW,其余6个并网点均为240 MW,共计1 800 MW。综合京津唐电网一年的运行情况,可用来平衡北京地区分布式电源功率波动的旋转备用容量不超过1 000 MW。以最大风电功率的波动范围为风电接入容量的60%计算,即其功率波动为1 080 MW,超过了旋转备用的最大值,所以为了满足电力平衡约束,风电接入容量不能超过1 667 MW。

5.2 北京电网光伏发电准入容量计算

文献[17-18]列出了接入点静态电压限制、接入变电站的变压器额定容量限制、输电容量的限制、暂态电压跌落限制、短路容量限制、低电压穿越限制和谐波限制等光伏发电系统接入电网的具体评估准则。

在北京电网中选择具有代表性的3类不同的变电站各一个作为光伏发电系统接入点,分别为大北窑、草桥和南苑。结合计算结果对比静态电压、暂态电压跌落及短路容量约束,可以发现光伏发电系统并网容量的限制条件主要是短路容量的限制。在此主要限制条件下3个接入点的最大可接入容量分别为10.0 MW、7.7 MW和7.2 MW,平均接入容量为8.3 MW。考虑北京电网的变电站按327座计算,则北京电网可消纳的光伏发电系统的容量 S

$=8.3 \text{ MW} \times 327 = 2\,718 \text{ MW}$ 。以光伏电站最大功率波动60%来计算,其功率波动为1 630 MW,超过旋转备用的最大值1 000 MW,所以为了满足电力平衡约束光伏发电系统接入容量不能超过1 667 MW。

5.3 北京电网三联供发电准入容量计算

由于有关部门还没有出台三联供发电系统接入电网的相关技术标准,本文采用与其他分布式发电系统接入电网相类似的评估准则。选择大北窑、朝阳门和玉泉营作为三联供发电系统的接入点。结合计算结果对比静态电压、暂态电压跌落及短路容量约束,可见三联供发电系统并网容量的限制条件主要是短路容量的限制。在此主要限制条件下3个接入点的最大可接入容量均为8.0 MW。若北京电网按327座变电站计算,则北京电网可消纳的三联供发电系统的容量 $S = 8.0 \text{ MW} \times 327 = 2\,616 \text{ MW}$ 。以三联供系统最大功率波动20%来计算,其功率波动为523 MW,远远小于旋转备用的最大值1 000 MW,满足电力平衡要求的最大接入容量2 616 MW的要求。

6 北京电网分布式电源资源约束下的准入容量分析

6.1 风能资源约束下的风电准入容量

北京地区北部和西部山区风能资源最丰富,特别是山区隘口(如官厅水库库区)和山顶(如灵山)风速较大,具有一定的风能资源开发潜力,其中官厅水库位于燕山余脉的山涧之间,当强大的西北气流自蒙古高原经坝上南下时,受地形影响,库区周边的风速大,且风向稳定,在10 m的高度年平均风速为5.0 m/s,在70 m的高度年平均风速为7.11 m/s,平均风功率密度约为 422 W/m^2 。风能资源总储量为 $4\,980 \text{ MW}^{[26]}$,结合现有的开发技术,北京地区实际可开发风电容量为590 MW。

6.2 太阳能资源约束下的光伏发电准入容量

屋顶式小型光伏电站建设可以根据北京的平均光照度和典型建筑的面积来估算,根据北京气象局提供的数据,北京地区一栋典型建筑的发电量约为200 kW。据统计,北京地区可以安装太阳能的建筑约有1 600栋左右,按此计算可以得到北京地区分布式太阳能发电容量约为

300 MW。

大中型光伏电站建设可以根据远郊区县的可利用平原面积来估算其规模。北京地区的辐照度为 $1\,400 \sim 1\,750 \text{ kW}\cdot\text{h/m}^2$,北京年平均日照时数为 $2\,000 \sim 2\,800 \text{ h}$,大部分地区在2 600 h左右。由此算得北京地区太阳能年平均发电量为 $0.673 \text{ kW}\cdot\text{h/m}^2$,一般考虑在荒山、荒坡等非农业用地区域进行光伏电站建设,北京裸露荒地面积约20万公顷(北京市农林科学院草业与环境研究发展中心的资料),且太阳能板最大发电效率为18%,则铺满太阳能板后发电容量为930 MW。

6.3 天然气资源约束下的三联供准入容量

根据国家发改委及国家统计局的统计及预测分析,预计城市天然气需求中的31.2%用于天然气发电,考虑到北京燃气发电厂占总燃气总量的20%,同时,北京地区大型燃气发电厂受各种因素限制,发展空间有限,因此新增的11.2%的天然气全部用于发展三联供系统发电。计算得到北京地区三联供系统的装机容量为935 MW,以此作为北京地区三联供系统装机容量的资源容量限制。

7 北京电网多元分布式电源综合准入容量计算

考虑电网的静态约束、暂态约束、电力平衡约束和资源总量约束,3种分布式电源同时接入电网时综合计算3种分布式电源的协同准入容量。在计算中,与单独接入计算中相同,考虑风电和光伏发电系统的最大功率波动为总并网容量的60%,三联供发电系统的最大功率波动为总并网容量的20%,如果不考虑资源约束的分布式电源的功率波动为2 524 MW,而可用来平衡北京地区分布式电源功率波动的旋转备用容量不超过1 000 MW,低于分布式电源的最大波动功率,因此分布式电源的装机容量需要进一步减小。依据3种分布式电源的容量比例为1:1:1.18进行削减,这样风电将超出资源总量的约束,这里就取其上界为590 MW,然后光伏发电和可接纳三联供按1:1.18进行削减,直至波动功率小于1 000 MW。那么北京电网可接纳风电590 MW,可接纳光伏发电773 MW,三联供发电911 MW,共2

274 MW, 约占北京电网最大负荷16 661 MW的13.65%。

8 结束语

在全面考虑系统各种安全稳定运行的约束条件的基础上对分布式电源准入容量进行了综合分析。利用试探法仿真计算分析北京电网3种分布式电源的独立准入容量和同时接入电网时的综合准入容量, 得出北京电网分布式电源综合准入容量为2 274 MW。通过仿真分析可以发现, 限制北京电网分布式电源综合准入容量的最主要因素是受整个京津唐电网影响的北京电网的电力平衡约束。由于北京电网是一个典型的受端电网, 用于平抑负荷波动之外的分布式发电功率波动的能力受限; 其次是资源约束和电网自身的静态安全和暂态约束。

对北京电网的分布式电源准入容量的研究, 可以为北京电网分布式能源的发展规划提供参考。有利于统筹规划、循序渐进和协调适度地发展各种分布式电源, 从而发挥其最大优势, 保障整个北京电网的安全、经济运行, 实现能源与环境、经济与安全的全面协调可持续发展。

参考文献

- [1] 崔金兰, 刘天琪. 分布式发电技术及其并网问题研究综述[J]. 现代电力, 2007, 24(3): 53-57.
- [2] Ackermann T, Knyzkin V. Interaction between distributed generation and the distribution: operation aspects[C]. Yokohama: IEEE/PES, Transmission and Distribution Conference and Exhibition, 2002.
- [3] 欧阳武. 含分布式发电的配电网规划研究[D]. 上海: 上海交通大学, 2009.
- [4] 梁才浩, 段献忠. 分布式发电及其对电力系统的影响[J]. 电力系统自动化, 2001, 25(6): 53-56.
- [5] 王敏, 丁明. 含分布式电源的配电系统规划[J]. 电力系统及其自动化学报, 2004, 16(6): 5-9.
- [6] 王志群, 未守真, 周双喜, 等. 分布式发电对配电网电压分布的影响[J]. 电力系统自动化, 2004, 28(16): 56-60.
- [7] 庞建业, 夏晓宾, 房牧. 分布式发电对配电网继电保护的影响[J]. 继电器, 2007, 35(11): 5-8.
- [8] Wang S.X, Zhao Wei, Chen Y.Y. Distribution system reliability evaluation considering DG impacts [C]. Third International Conference on Electric Utility Deregulation and Restructuring and Power Technologies, Nanjing, China, 2008.
- [9] 赵宏伟, 毕天姝, 叶志峰, 等. 异步机型分布式电源暂态稳定研究[J]. 电力科学与技术学报, 2009, 24(2): 47-51.
- [10] 王海超, 周双喜, 鲁宗相. 基于相关规划理论的风电最大接入容量计算[J]. 现代电力, 2009, 26(2): 54-57.
- [11] 王一波, 李晶, 许洪华. 考虑电网安全约束的光伏电站最大安装容量计算与分析[J]. 太阳能学报, 2008, 29(8): 971-975.
- [12] 陈赞. 风力发电和光伏发电并网问题研究[D]. 上海: 上海交通大学, 2009.
- [13] 连欣乐, 吴政球, 赵柯宇, 等. 计及短路电流约束的分布式电源准入容量的计算[J]. 电力科学与技术学报, 2008, 23(1): 50-55.
- [14] 王超, 何阳, 夏翔, 等. 分布式电源准入容量对电力系统的影响分析[J]. 华东电力, 2006, 34(4): 267-270.
- [15] 夏成军, 崔弘, 王强, 等. 考虑静态安全约束的分布式电源准入容量计算[J]. 电网技术, 2009, 33(16): 96-100.
- [16] GB12326-2008 电能质量电压波动和闪变[S]. 北京: 中国标准出版社, 2008.
- [17] DL/T 1040-2007 电网运行准则[S]. 北京: 中国电力出版社, 2007.
- [18] 中国可再生能源发展战略研究项目组. 中国可再生能源发展战略研究丛书——风能卷[M]. 北京: 中国电力出版社, 2008.

(收稿日期: 2015-05-26) EA

作者简介

刘慧珍 (1972-), 女, 高级工程师, 主要研究方向为电网研究、电厂技术监督等。

巩晓昕 (1984-), 男, 硕士研究生, 工程师, 主要研究方向为电网规划、建设、物资等管理工作。