

基于网损和电压优化的分布式电源接入北京配电网策略研究

首先介绍了北京电网分布式电源的接入情况,然后综合考虑电网网损和电压优化,应用北京电网运行数据,搭建模型算例,采用长过程仿真,开展分布式电源接入北京配电网策略研究。提出以保证电压合格率较高为首要目标,兼顾网损最优,通过准确的分析评估,确定能够降低网损、保证电压合格率的分布式电源的优化选址和接入策略。

王海云 许方晨 孙健 杨楠 王存平 张岩 张再驰/国网北京市电力公司

0 引言

分布式电源一般定义为利用分散式的资源,装机规模小,一般在10 MW及以下,位于用户附近位置,直接向用户供电,潮流一般不穿越上一级变压器,通过10 kV或35 kV及以下电压等级接入的可再生能源、资源综合利用和能量阶梯级利用多联供发电设施。

我国新能源发电接入特点是,太阳能光伏发电接入电网呈现大规模集中接入与分布式并举的特点。远景规划2015年风力发电达到1亿kW,光伏发电达到1 000万kW;2020年风力发电达到2亿kW,光伏发电达到1亿kW;2030年风力发电达到3亿kW,光伏发电达到2亿kW^[1-2]。分布式电源的接入符合国家对环保的要求,适当的接入容量和位置,可以改变区域网损,提高了供电可靠性,成为能源互联网重要的发展方向。

但分布式电源的接入对电网运行特性、潮流分布、稳定水平、保护配置、电网网损以及电能质量等方面会造成很

大影响^[3-5]。针对分布式电源接入,国内外有很多研究,采用简化阶梯算法进行分布式电源选址文献^[6],但容易陷入局部循环;采用模拟遗传学和模拟退火算法混合求解解决分布式电源选址问题^[7-8],但耗费时间长,效率低;采用tabu搜索算法求解选址配置问题^[9],但准确度不高;应用遗传算法对分布式电源选址和定容问题进行优化^[10],但速度较慢,准确度低。在考虑分布式电源接入问题上,很多研究是从理论的智能算法角度进行选址和定容的研究,很少对实际电网运行数据进行仿真验证,本文从网损和电压优化方面,应用北京电网运行数据,搭建模型算例,开展分布式电源接入北京配电网策略研究,综合分布式电源接入对网损和电压分布的影响,以保证电压合格率较高为首要目标,兼顾网损最优的分布式电源接入策略。

1 北京地区分布式电源现状

1.1 北京地区风资源分布现状

北京市风能资源相对匮乏。北京风能资源储量约为460万kW,目前已探明的风资源可利用资源量为60万kW,主要分布于延庆、密云、门头沟北部及西北部山区风能资源最丰富^[2]。目前,北京在运风电厂为鹿鸣山官厅风电场项目,于2007年正式启动,为北京市第一个风力发电项目。

1.2 北京地区太阳能资源分布现状

北京地区的经度为东经116.46°,纬度为北纬39.92°,北京属于全国太阳能资源区域二类地区,太阳能资源潜力



王海云/工程师

关键词/Keywords

分布式电源·
网损·
电压合格率·
优化配置·
配电网·

较大，年日照时数达到2 750 h，年累计太阳辐照量达到5 357 mJ/m²，延庆、密云和怀柔等生态涵养区的太阳能资源条件较为优越^[1]。目前，北京市并网光伏主要包含居民屋顶光伏、国家金太阳工程和企业等并网发电项目。主要分布在北京亦庄、城区、顺义和朝阳等地区。

1.3 北京地区光热发电发展概况

光热发电在我国处于起步阶段，我国首个光热发电示范项目是位于延庆八达岭地区的1 MW塔式光热发电示范项目。该项目是“十一五”国家863计划“太阳能热发电技术及系统示范”重点项目，已于2012年8月9日成功并网发电(北京电网新能源与消纳研究报告，2014)。

1.4 北京地区生物质能资源分布

北京的生物质能发电主要包括垃圾焚烧发电和垃圾填埋沼气发电，北京市已投产鲁家山垃圾焚烧发电厂、高安屯垃圾焚烧电厂、阿苏卫填埋气电厂、德青源沼气电厂及绿赛克垃圾焚烧电厂等5座生物质能发电。计划到2020年，建成规模化畜禽养殖场沼气发电工程6座，工业有机废水沼气发电工程3处，城市污水处理沼气发电工程3座，沼气发电达到50万kW^[2]。

2. 分布式电源接入北京配电网影响分析

基于北京天坛地区连续一年每15 min一点的负荷时间序列值，以及同时刻风、光资源数据得到的分布式电源出力数据，在Digsilent中进行仿真分析，研究分布式电源接入后对地区网损和电压合格率的影响。

2.1 分布式电源接入对网损的影响

光伏发电系统的功率因数按照单位功率因数1、±0.95两种情况进行计算。根据北京天坛站负荷情况，选取永内路、陶然亭、桃园路、东蒲路、西里二、洋桥路、南纬路和龙潭路为待接入点。为了寻求天坛地区分布式光伏发电的最优接入容量，将光伏发电分别接入天坛地区8个10 kV出线处，按照8个10 kV出线的年平均负荷之比，不断增大和减少天坛地区光伏发电的接入容量，其中5种方案如表1所示。光伏发电接入前后天坛地区电网网损对比如表2所示。

表1 北京天坛地区8个10 kV出线的光伏发电接入方案(单位: MW)

10 kV 变电站名称	年平均负荷	方案1	方案2	方案3	方案4	方案5
永内路	1.60	0.8	1.60	3.2	6.4	9.6
陶然亭	1.59	0.8	1.60	3.2	6.4	9.6
桃园路	2.20	1.1	2.20	4.4	8.8	13.2
东蒲路	1.73	0.85	1.70	3.4	6.8	10.2
天坛西里二	1.70	0.85	1.70	3.4	6.8	10.2
洋桥路	2.16	1.05	2.10	4.2	8.4	12.6
南纬路	2.46	1.2	2.40	4.8	9.6	14.4
龙潭路	1.69	0.8	1.60	3.2	6.4	9.6
合计		7.45	14.9	29.8	59.6	89.4

表2 光伏发电接入前后北京天坛地区电网网损对比

光伏发电接入情况	电网网损 / kW·h	
未接入光伏发电	3 074 804	
接入光伏发电	单位功率因数	功率因数0.95
接入7.45 MW	2 930 356	2 922 447
光伏发电		
接入14.9 MW	2 818 485	2 805 974
光伏发电		
接入29.8 MW	2 700 079	2 682 836
光伏发电		
接入59.6 MW	2 860 360	2 841 516
光伏发电		
接入89.4 MW	3 549 120	3 531 047
光伏发电		

由网损的计算结果可以看出，分布式发电接入容量不同时配电网网损情况。由计算结果可以得出，在分布式发电接入容量不同的情况下，配电网损耗的最小值对应的接入位置不同。当分布式光伏发电按表1的方案接入天坛地区8个10 kV母线侧时，随着分布式光伏发电装机总容量的增大，网损呈现先减小后增大的变化趋势。当分布式光伏发电的总装机容量小于某个安装容量时，天坛地区的网损随着光伏发电装机容量的增大而降低；当分布式光伏发电的装机容量在20~50 MW时，天坛地区电网的网损最小，此时光伏发电的安装容量略大于天坛地区的总年平均负荷；当分布式光伏发电的安装容量大于这一最优容量时，网损随着光伏发电装机容量的增大而增大，继续增大光伏发电的装机容量，配电网的网损比起未接入光伏发电之前反而增大。光伏发电接入不同容量时的网损如图1所示。

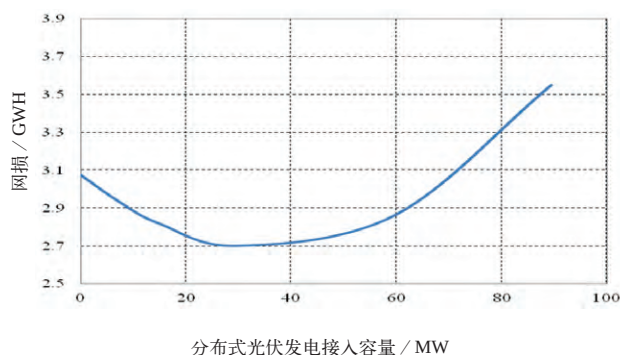


图1 光伏发电接入不同容量时的网损

另外仿真分析了光伏发电系统在功率因数0.9运行时网损情况,对比表2可以看出,当分布式光伏发电的装机容量在20~50 MW时,相比光伏发电接入前,光伏发电系统在两种运行方式下都在一定程度上减少了网损;光伏发电系统在功率因数0.9运行方式下,由于提高了电网电压水平,相比单位功率因数运行方式下网损有所减小,但减小幅度很小。从网损结果可以看出,由于分布式光伏发电的接入,最大可以将天坛地区网损量减小12%左右,提高了配电网运行的经济性。

假定线路参数不变,即单位长度电阻 r 、单位长度电抗 X 恒定,根据基尔霍夫定律,线路总长为 L , V_0 为馈线首端电压,假定分布式电源在 L_1 处接入,当 $L < L_1$ 时, ΔV 线性变化;当馈线参数恒定时,变化量与分布式电源注入容量成正比,单位长度电压的变化量 ΔV 为

$$\Delta V = \frac{P_{DG}r + Q_{DG}X}{V_0} L \quad (1)$$

$$\Delta V = \Delta V_{\max} = \frac{P_{DG}r + Q_{DG}X}{V_0} L_1 \quad (2)$$

当引入小容量的分布式发电时,配电网损耗随着接入位置距母线距离的增大呈下降趋势,即接入分布式发电的位置离母线越远,配电网损耗越小;而对于较大容量的分布式发电,配电网损耗随着分布式发电接入位置距母线距离的增大呈“U”型,且分布式发电接入容量越大越要靠近变电站母线;对于大容量的分布式发电,应尽量将其配置在变电所及母线附近合适的位置,否则会增大配电网损耗。

2.2 分布式发电接入位置对10 kV馈线电压分布的影响

由于每条10 kV馈线的线路长度和负荷情况不同,未接入分布式发电之前的电压分布情况不同,所以从分布式发电对馈线电压分布的影响来看,每条10 kV馈线上分布式光伏发电的最优接入位置也不相同,需要对具体的各条线路进行研究。本节选取的线路较长、负荷较重和末端电压较低的典型线路进行研究,研究分布式发电的接入位置对10 kV馈线电压分布的影响。

2.2.1 未接入分布式电源地区电压情况

光伏发电接入前相关母线电压变化曲线如图2所示。

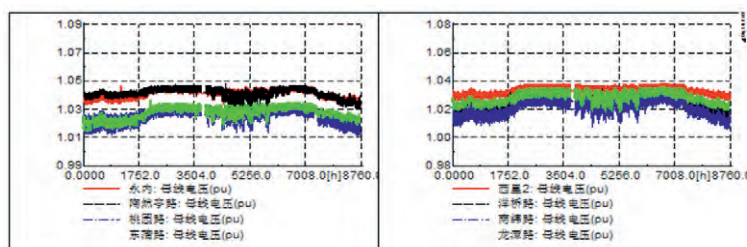


图2 光伏发电接入前相关母线电压变化曲线

从仿真结果可以看出,在未接入光伏发电时,天坛地区随着负荷波动,相关10 kV出线母线电压也发生着一定的波动,电压幅值集中在0.93~1.03 (pu) 和1.03~1.07 (pu) 范围之内,电压合格率为100%。

2.2.2 接入以恒功率因素运行的分布式电源地区电压情况

按表1所示方案接入分布式光伏发电,光伏发电系统以恒功率因数1.0运行,5种方案下电压变化曲线如图3和图4所示。

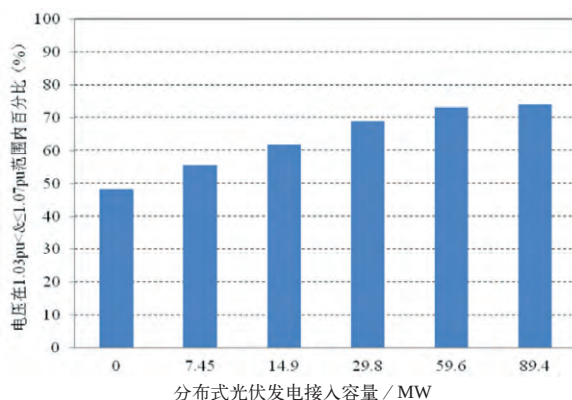


图3 光伏发电接入前后电压在1.03 (pu) <= < 1.07 (pu) 范围内分布情况

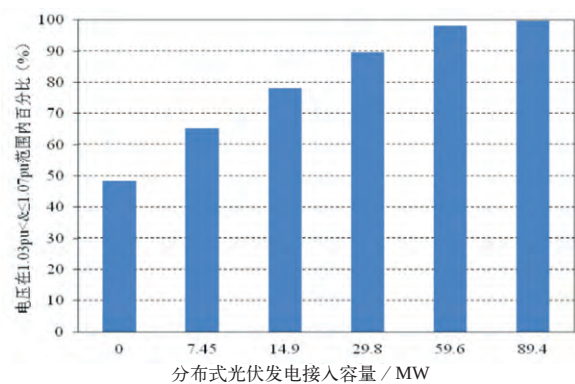


图4 光伏发电接入后电压在1.03(pu)<=U<=1.07(pu)范围内分布情况

从仿真结果可以看出，对比光伏发电接入前后10 kV出线母线的电压分布结果可以看出，分布式光伏发电的接入对并网点电压有抬高作用，而且随着光伏发电接入容量的增加，抬升程度越来越高。

2.2.3 光伏发电参与电压调节后地区电压情况

若利用光伏发电系统的无功-电压控制能力，在光伏发电系统的无功控制能力范围内，对光伏发电并网点进行电压控制，对光伏发电系统按照功率因数0.95运行时进行长过程时序仿真，由于光伏发电系统有一定的无功电压调节作用，在接入容量较大时可以将趋于母线电压控制在一定的水平内，减小了电压波动范围，有利于系统的电压安全稳定运行。

以该线路上述典型节点电压合格率的平均值作为比较方式来比较线路的电压合格率，可以分别计算出分布式发电接入线路不同位置时线路的电压合格率，如表3所示。

表3 分布式发电接入线路不同位置时的电压合格率

分布式 光伏发 电接入 位置	线路首 端	1/3处	1/2处	2/3处	末端	未接分 布式光 伏发电
电压合 格率 (%)	95.26	95.83	93.19	92.50	91.92	93.48

由表3可以看出，改变分布式发电在线路的接入位置进行仿真，可以看出，分布式发电的接入使馈线电压水平上升，电压越上限的概率增大，而且随着分布式发电接入位置与首端距离的增大，分布式发电对电压的影响增大，电压合格

率随之降低。例如分布式发电接入线路1/2处时的电压合格率低于接入1/3处。当分布式发电在馈线首端时对电压分布的影响最小，所以对于线路较短、负荷较轻，在未接入分布式发电时线路末端电压合格率较高的线路，分布式发电应接在变电站10 kV母线侧。在此仅是在理论上进行了接入位置的选择，实际的分布式电源的接入位置应该综合考虑所采用的机组和接入当地条件进行综合考虑。

3 基于网损和电压优化的分布式电源策略

从以上分析可见，分布式电源接入对网损和电压造成不同的影响，网损最小的分布式电源接入方案，不能保证电压合格率最高；同样，电压合格率最高的分布式电源接入方案，也不是网损最小的分布式电源配置方案。以一个3.5 kV系统算例，本节将分析网损和电压都较优的分布式电源接入方案。该系统基于连接在同一35 kV线路的4个35 kV变电站的连续一年的负荷时间序列值，以及同时刻分布式电源出力数据，进行仿真分析，得出了使该区域年网损量小、电压合格率高分布式电源最优容量和最优位置。该算例的系统接线图如图5所示。

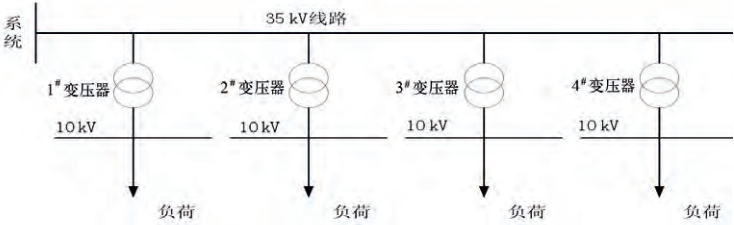


图5 算例系统接线图

为了寻求该地区分布式发电的最优接入容量，选取地区连接在同一35 kV线路的4个35 kV变电站，4个变电站最大负荷之比约为3.33:2:1:3.33，将分布式发电接入在4个变电站的10 kV母线上，使分布式发电接入按照4个变电站的最大负荷之比的比例逐步递增。不断增大4个变电站分布式发电的接入容量，以分布式发电接入的总容量为横坐标，以35 kV线路网损为纵坐标绘制曲线，如图6所示。

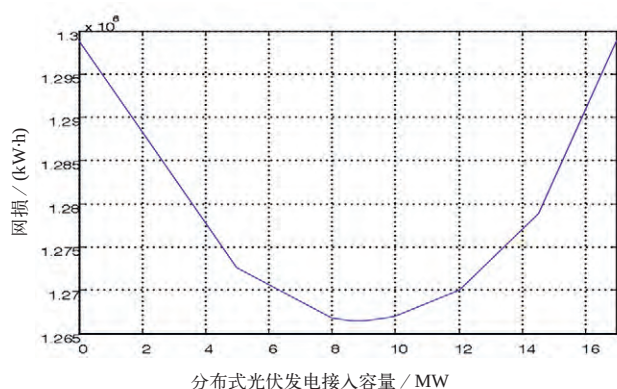


图6 不同的分布式发电接入总容量对应的线路网损

为了综合考虑分布式发电接入对各个节点电压的影响,本节考虑用有代表性的几条10 kV线路首端、中间点和末端电压合格率的平均值作为比较方式来比较不同容量的分布式发电接入后整个局域网的电压合格率,如表4所示。由表4可以看出,接入8.8 MW分布式发电时,平均电压合格率最高。

表4 分布式发电接入不同容量时的电压合格率

分布式光伏发电接入容量 / MW	电压合格率 (%)
0	93.91
5	94.56
8.8	95.15
14.5	93.60

3.1 网损最小时的电压合格率分析

根据以上分析,当该区域接入的分布式电源总容量为8.8 MW,在负荷较重的馈线的1/2处接入,其中各35 kV变电站的分布式电源接入容量按各变电站所带最大负荷之比进行分配,各条线路分布式电源的接入容量按其所带负荷与变电站所带总负荷之比进行分配。分布式电源的功率因数运行范围为超前0.95~滞后0.95,且并网点电压控制为1.05(pu)时,整个35 kV线路的网损最小,为1 214 056 kWh。经仿真计算此时的电压合格率较最高的方案相比平均降低了1.95%。

3.2 电压合格率最高时的网损分析

根据以上分析,当该区域接入的分布式电源总容量为8.8 MW,在负荷较重的馈线的1/3处接入,其中各35 kV变电站的分布式电源接入容量按各变电站所带最大负荷之比进行分配,各条线路分布式电源的接入容量按其所带负荷与变电站

所带总负荷之比进行分配。分布式电源的功率因数运行范围为超前0.95~滞后0.95,且并网点的电压控制为1.05(pu)时,该区域平均电压合格率最高,为95.96%。此时的网损为1 216 215 kWh,与网损最低的1 214 056 kWh方案相比,网损增大了2109 kWh。

综合分布式电源接入对网损和电压分布的影响,以保证电压合格率较高为首要目标,兼顾网损最优的原则,可以初步得出以下接入方案:

1) 当引入小容量的分布式发电时,配电网损耗随着接入位置距母线距离的增大呈下降趋势,即接入分布式发电的位置离母线越远,配电网损耗越小;而对于较大容量的分布式发电,配电网损耗随着分布式发电接入位置距母线距离的增大呈“U”型,且分布式发电接入容量越大越要靠近变电站母线;对于大容量的分布式发电,应尽量将其配置在变电所及母线附近合适的位置,否则会增大配电网损耗。

2) 当分布式电源的接入容量一定时,分布式电源的接入位置越接近变电站母线,对馈线电压分布的影响越小;分布式电源的接入位置越靠近馈线的末端,对馈线电压的影响越明显;当分布式电源的接入位置不变时,容量越大的分布式电源给电压分布带来的影响越大,使得电压提升越高。

经过以上分析可以归纳出分布式电源接入北京配电网分析流程如下:第一步,进行分布式电源出力特性和接入方式分析;第二步,应用电网网损和电压合格率分析;第三步,进行分布式电源定容和选址方案的优化;第四步,开展无功电压、短路电流、电网潮流、保护策略和电能质量的分析,通过准确的分析评估,确定能够降低网损、保证电压合格率的分布式电源的优化选址和接入方案。

4 结束语

本文基于电网网损和电压优化分析,开展分布式电源的优化布置及容量选择,建立详细的配电网模型,并基于至少连续一年的风能资源与负荷的实际数据,通过长过程动态仿真,分析不同接入点、不同接入容量下,分布式电源接入对电网电压合格率及网损的影响。通过准确的分析评估,确定能够降低网损、保证电压合格率的分布式电源的优化选址和接入策略。在负荷区适当的配置分布式电源,可以有效地增

(下转第117页)

OutageSteps又包含averageCml、callerCount、criticalCustomerCount、damage等十二个域，它的父类Document及IdentifiedObject又包含了类别和命名等相关的域。需要根据自己的业务需求从众多属性中选取需要的域或者扩展新的域来生成消息的XML Schema。

2) 基于这3个XML Schema实现相关的服务，例如对于配电自动化系统系统需要根据IEC 61968模型发送消息Outage Record，则需要根据上述的XML Schema来设计Web服务的WSDL文件。其中Outage Record是作为Web服务的消息类型，而消息目的地址为ESB上规定的地址。把服务的WSDL文件发布到服务注册管理，则相关系统和开发人员均可了解其数据设定。

3) 依次编辑另外两个消息Switching Schedule和Trouble Ticket；实现对应的Web服务；通过ESB配置把4个系统的服务相互关联，从而完成整个流程。

5 结束语

本文主要研究了电力IEC 61968标准的企业服务总线实现，利用开源的MULE ESB 做为服务总

线，在其基础上实现了服务注册、服务转发、安全服务、IEC 61968标准语义检验及安全隔离数据传输等功能，并通配电自动化系统(DAS)与配电指挥系统信息交互实例很好地验证了服务总线平台，这对于供电企业实现基于IEC 61968和企业服务总线的配电网信息系统具有重要的指导意义。

参考文献

- [1] 赵江河. IEC 61968与智能电网——电力企业应用集成标准的应用[M]. 北京：中国电力出版社，2013.
- [2] 于洋，刘东，陆一鸣等. 基于本体的IEC 61968标准信息模型一致性校验[J]. 电力系统自动化，2012(14).
- [3] 钟聪. IEC 61970及IEC 61968在电力企业管理信息系统中的应用[J]. 电力信息化，2008(2).

(收稿日期：2015-05-26) EA

作者简介

钟一俊（1984-），男，本科，工程师，主要研究方向为电网生产信息系统规划与设计。

周明磊（1974-），男，本科，高级工程师，主要研究方向为电网生产信息系统规划与设计。

(上接第98页)

加电网的稳定性、降低系统网损，改善电网电压，延缓系统的更新速度，提高电网可靠性和经济性。

参考文献

- [1] 王成山，陈凯，谢莹华，等. 配电网扩展规划中分布式电源的选址和定容[J]. 电力系统自动化，2006，30(3)：38-42.
- [2] 徐玉琴，李雪冬，等. 考虑分布式发电的配电网规划问题的研究[J]. 电力系统保护与控制，2011，39(1)：89-91.
- [3] 文升，顾洁，等. 分布式电源的准入容量与优化布置的实用方法[J]. 电力系统自动化设备，2012，32(10)：109-114.
- [4] Narayan S Rau, Yih-heui M. Optimum location of resource in distributed planning[J]. IEEE Transon Power System, 1994, 9(4)：2014-2020.
- [5] Kim JO, Park SK, Park KW, etal. Dispersed generation planning using improved Hreford ranchalgorithm[J].

Electric Power System Research, 1998(10)：678-683.

- [6] Gandomkar M, Vakilian M, Ehsan M. A combination of genetic algorithm and simulated annealing for optimal DG allocation in distribution networks[C]. Proceeding of IEEE Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering, 2005：645-648.
- [7] Gandomkar M, Vakilian M, Ehsan M. A genetic-based Tabu search algorithm for optimal DG allocation in distribution networks[J]. Electric Power Components and Systems, 2005, (33)：1351-1362.
- [8] Celli G, Pilo F. Optimal distributed generation allocation in MV distribution networks[C]. Proceedings of Transmission and Distribution Conference and Exposition, 2011, 2：622-627.

(收稿日期：2015-05-26) EA

作者简介

王海云（1988-），女，硕士，工程师，研究方向分布式电源并网，电网安全分析与仿真