

文本复制检测报告单(全文标明引文)

№:ADBD2021R_2021072315351220210723154736311182982691

检测时间:2021-07-23 15:47:36

检测文献: 012

作者: 养方式

检测范围: 中国学术期刊网络出版总库

中国博士学位论文全文数据库/中国优秀硕士学位论文全文数据库

中国重要会议论文全文数据库

中国重要报纸全文数据库

中国专利全文数据库

图书资源

优先出版文献库

学术论文联合比对库

互联网资源(包含贴吧等论坛资源)

英文数据库(涵盖期刊、博硕、会议的英文数据以及德国Springer、英国Taylor&Francis 期刊数据库等)

港澳台学术文献库

互联网文档资源

源代码库

CNKI大成编客-原创作品库

个人比对库

时间范围: 1900-01-01至2021-07-23

检测结果

去除本人文献复制比: 18%

跨语言检测结果: 0%

去除引用文献复制比: 18%

总文字复制比: 18%

单篇最大文字复制比: 17.3% (11912650_裘森强_风电场的选址定容及风储联合经济调度研究)

重复字数: [7247]

总段落数: [4]

总字数: [40287]

疑似段落数: [4]

单篇最大重复字数: [6952]

前部重合字数: [413]

疑似段落最大重合字数: [4194]

后部重合字数: [6834]

疑似段落最小重合字数: [575]



指 标: ☒ 疑似剽窃观点 ☒ 疑似剽窃文字表述 ☐ 疑似整体剽窃 ☐ 过度引用

表 格: 0

公 式: 没有公式

疑似文字的图片: 0

脚注与尾注: 0

5.6% (575) 5.6% (575) 012_第1部分 (总10192字)

39.6% (4194) 39.6% (4194) 012_第2部分 (总10589字)

7.1% (841) 7.1% (841) 012_第3部分 (总11846字)

21.4% (1637) 21.4% (1637) 012_第4部分 (总7660字)



(注释: 无问题部分 文字复制部分 引用部分)

疑似剽窃观点 (4)

012_第1部分

1. 分布式电源功率因数的选取对网损计算结果影响较大。

012_第2部分

1. 分布式电源功率因数的选取对网损计算结果影响较大。

012_第3部分

1. 可以看出 A1 法和 ELF 法计算的结果较为接近, DG 机组日损耗曲线与负荷特性曲线较为接近, 因此, A1 法对确定 DG

机组容量较为合适。

2. 从不同的方法对比结果中可以看出，A1 与 ELF 法较为接近。

1. 012_第1部分			总字数：10192
相似文献列表			
去除本人文献复制比：5.6%(575) 文字复制比：5.6%(575) 疑似剽窃观点：(1)			
1	11912650_裘森强_风电场的选址定容及风储联合经济调度研究 裘森强 - 《学术论文联合比对库》- 2017-11-14	4.7% (474)	
		是否引证：否	
2	基于时序特性的分布式电源优化配置研究 黄付顺(导师：王倩) - 《西南交通大学硕士论文》- 2015-05-01	0.6% (64)	
		是否引证：否	
3	小水电位置及机组检修对网损分摊的影响 刘家军;孙强;杨晓倩;段建东; - 《西安理工大学学报》- 2020-06-29 1	0.4% (37)	
		是否引证：否	
4	24 智能控制策略研究 - 《学术论文联合比对库》- 2016-05-11	0.3% (29)	
		是否引证：否	

原文内容

硕士学位论文考虑分布式电源选址定容的配网网损优化研究
Research on Distribution Network Loss Optimization
Considering Location and Sizing of Distributed Power Generation □□□
2021 年 6 月
国内图书分类号：TM715 学校代码：10079
国际图书分类号：621.3 密级：公开
硕士学位论文考虑分布式电源选址定容的配网网损优化研究
硕士研究生：□□□
导师：□□□教授企业导师：□□□高工
申请学位：工学硕士
专业领域：电气工程培养方式：非全日制
所在学院：电气与电子工程学院
答辩日期：2021 年 6 月
授予学位单位：华北电力大学
Classified Index: TM715
U.D.C: 621.3
Thesis for the Master Degree
Research on Distribution Network Loss Optimization
Considering Location and Sizing of Distributed Power Generation
Candidate: □□□
Supervisor: Prof. □□□
Academic Degree Applied for: Master of Engineering
Speciality: Electrical Engineering
School:
School of Electrical and Electronic Engineering
Date of Defence: June, 2021
Degree-Confering-Institution: North China Electric Power University
华北电力大学硕士学位论文原创性声明
本人郑重声明：此处所提交的硕士学位论文《考虑分布式电源选址定容的配网网损优化研究》，是本人在导师指导下，在华北电力大学攻读硕士学位期间独立进行研究工作所取得的成果。据本人所知，论文中除已注明部分外不包含他人已发表或撰写过的研究成果。对本文的研究工作做出重要贡献的个人和集体，均已在文中以明确方式注明。本声明的法律结果将完全由本人承担。
作者签名： 日期： 年月日
华北电力大学硕士学位论文使用授权书
《考虑分布式电源选址定容的配网网损优化研究》系本人在华北电力大学攻读硕士学位期间在导师指导下完成的硕士学位论文。本论文的研究成果归华北电力大学所有，本论文的研究内容不得以其它单位的名义发表。本人完全了解华北电力大学关于保存、使用学位论文的规定，
的复印件和电子版本，允许论文被查阅和借阅，学校可以为存在馆际合作关系的

兄弟高校用户提供文献传递服务和交换服务。本人授权华北电力大学，可以采用影印、缩印或其他复制手段保存论文，可以公布论文的全部或部分内容。

本学位论文属于（请在以上相应方框内打“√”）：

保密□，在年解密后适用本授权书

不保密□

作者签名： 日期： 年月日 导师签名： 日期： 年月日

摘要

分布式电源作为传统发电方式的补充，因其具有清洁、高效、灵活性高的特点，

在解决能源问题中发挥着重要作用。分布式电源接入电网时需要进行合理的规划和布局，以保证其发挥最高效用。在对原有分布式电源接入电网的相关文献研究内容进行总结的基础上，分析了现有研究的优势和不足，提出了分布式电源接入配网选址定容的优化模型。考虑到分布式电源接入点的功率因数，使用 Elgerd 损耗公式、

支路电流损耗公式和支路功率损耗公式分别计算网损。并以配网网损最小为优化目标，对分布式电源选址定容进行合理的改进。论文完成的主要工作如下：

首先，分析了三种网络损耗计算模型，并说明了三种模型适用范围和使用条件。

针对已有研究对于功率因数对网损的影响进行了分析、研究，建立了分布式电源机组容量和功率因数的最优模型，并对建模过程中的详细计算过程进行了说明。

其次，提出了考虑分布式电源接入的配电网络损耗优化模型，考虑到有功损耗、

无功损耗、电压稳定性和电压偏移以及功率因数优化的影响，制定了网络优化参数的主要内容。由此，建立了配电网络损耗优化模型，并进行了成本效益分析模型的设计。

最后，利用所提出的考虑分布式电源接入的配电网络损耗优化模型，对典型配电网络进行了仿真计算。仿真结果表明，分布式电源功率因数的选取对网损计算结果影响较大。在此基础上，提出了计算分布式电源机组最优容量和功率因数的方法及流程。

本文的研究工作及成果表明，对分布式电源接入电网的结构及参数确定的情况下，分布式电源的功率因数对网损影响较大，当功率因数以超前到落后的规律变化时，网损削减值不断变大；网损是分布式电源接入配网选址定容，以及含有分布式电源配电网运行需要重点关注和需要处理的问题，当分布式电源机组数量增加时，

分布式电源机组的渗透率逐渐增加，网络损耗减少量也逐渐增加；附加收益对收益成本比、分布式电源机组最佳数量有一定影响，且净现值随着分布式电源机组的数量增加而增加。

关键词：分布式电源选址定容；最优功率因数；配网优化；成本效益分析

II

Abstract

As a supplement to traditional power generation, distributed power generation plays an important role in solving energy problems because of its characteristics of cleanliness, high efficiency and high flexibility. When the distributed power is connected to the grid, reasonable planning and layout should be carried out to ensure its maximum effectiveness. On the basis of summarizing the original literature on distributed power access to power grid, this paper analyzes the advantages and disadvantages of the existing research, and puts forward the optimization model of distributed power access to distribution network location and capacity. Considering the power factor of the access point of distributed power supply, Elgerd loss formula, branch current loss formula and branch power loss formula are used to calculate the network loss respectively. Taking the minimum loss of distribution network as the optimization goal, the location and capacity of distributed power supply are improved reasonably. The main work of this paper is as follows:

Firstly, three models of network loss calculation are analyzed, and the applicable scope and operating conditions of the three models are explained. Based on the analysis and research of the influence of power factor on the network loss, the optimal model of the capacity and power factor of distributed power generation unit is established, and the detailed calculation process in the modeling process is explained.

Secondly, the optimization model of distribution network loss considering the access of distributed power supply is proposed, and the main content of network optimization parameters is formulated considering the influence of active power loss, reactive power loss, voltage stability and voltage offset and power factor optimization. Therefore, the optimization model of distribution network loss is established, and the cost-benefit analysis model is designed.

Finally, a typical distribution network is simulated by using the proposed distribution network loss optimization model considering the access of distributed power. The simulation results show that the selection of power factor of distributed power supply has great influence on the calculation results of power loss. On this basis, the method and flow chart for calculating the optimal capacity and power factor of distributed power generation unit are presented.

III

The research work and results of this paper show that the power factor of distributed power has a great influence on the network loss when the structure and parameters of distributed power access to the grid are determined. When the power factor changes with the rule of leading to lagging, the reduction value of the network loss becomes larger and larger. Network loss is a problem that needs to be paid attention to and dealt with in the operation of distributed power distribution network. When the number of distributed power units increases, the permeability of distributed power units increases gradually, and the reduction of network loss also increases gradually. The additional revenue has a certain influence on the cost-benefit ratio and the optimal number of distributed power units, and the net present value increases with the increase of the number of distributed power units.

Keywords: Location and capacity of distributed power generation; optimal power factor; distribution network optimization; cost-benefit analysis

IV
目录
摘要

..... I	
Abstract	
..... II	
第 1 章绪论	
..... 1	
1.1 研究目的和意义	1
1.2 国内外研究现状	1
1.2.1 分布式电源选址定容研究现状	1
1.2.2 配网网损优化研究现状	3
1.2.3 配网优化方法研究现状	4
1.2.4 研究现状分析	5
1.3 本文的主要研究工作	7
第 2 章计及网损和功率因数的分布式电源选址定容	9
2.1 引言	
..... 9	
2.2 网损模型	
..... 9	
2.2.1 Elgerd 损耗公式	10
2.2.2 支路电流损耗公式	
..... 11	
2.2.3 支路功率损耗公式	
..... 12	
2.3 DG 机组功率因数对网损的影响	13
2.4 DG 机组最优容量和功率因数	13
2.4.1 DG 机组最优位置	
..... 14	
2.4.2 不同位置 DG 机组定容	14
2.4.3 不同位置的最优功率因数	15
2.4.4 不同 DG 机组计算过程	16
2.5 本章小结	
..... 17	
第 3 章考虑分布式电源接入的配网网损优化模型	19
3.1 引言	
..... 19	

3.2 配网优化参数概述

3.2.1 有功网损

3.2.2 无功网损

3.2.3 电压稳定性和电压偏移

3.2.4 功率因数优化

3.3 配网网损优化模型

3.3.1 目标函数

3.3.2 约束条件

3.4 成本效益分析

3.5 本章小结

第 4 章算例分析

4.1 引言

4.2 系统说明

4.3 计及网损和功率因数的分布式风机选址定容仿真

4.3.1 情景 1

4.3.2 情景 2

4.3.3 情景 3

4.3.4 对比分析

4.4 考虑分布式电源的配网网损优化仿真

4.4.1 选址定容优化结果分析

4.4.2 网损和电压稳定性分析

4.4.3 成本效益分析

4.5 本章小结

第 5 章结论及展望

5.1 结论

5.2 展望

参考文献

附录

第1章绪论

1.1 研究目的和意义

分布式电源是可再生能源利用的主要形式，包括风能、光伏太阳能、生物质能等。目前我国电网规模逐渐扩大、电网复杂性也逐步增强，配网规模和成熟度也逐渐发展，分布式电源在配网中的渗透率也不断提升。分布式电源具有清洁、高效的特点，其接入配网，可以节省投资、降低能耗、提高电力系统的灵活性，并且能够在一定程度上实现绿色发电

- 5 -

，有助于完成我国提出的“碳中和、碳达峰”等目标。

根据目前已有的运行经验，合理的设计实际分布式电源在配电网中的位置和容量，不仅能够为电网输送电能，而且还能够降低线路的传输损耗，在一定程度上提升配电网络的可靠性。分布式电源的接入点选择和容量选取不合理则会一定程度上造成配电网资源的浪费，还有可能对电网的运行产生不利的影响。因此，选取合

适的分布式电源接入配电网络的节点和容量十分关键。此外，由于输电网络中的 R/X 大于配电网络中的数值，导致配电网络的网络损耗、电压稳定性的问题较为突出。分布式电源的接入也可以影响配电网络的网络损耗分布。

针对上述问题，可以通过合理规划分布式电源的位置和容量来达到优化配网运行的目的。一方面是分布式电源接入配网的位置和容量能够影响网络的潮流，从而影响网络内的网损分布；另一方面是分布式电源接入网络也影响着网络的运行成本，从而可以在成本方面进一步优化。因此，研究分布式电源的选址定容对配网潮流和网损的影响是十分有意义的。

1.2 国内外研究现状目前，国内外针对分布式风机选址定容的研究较多，也有大量关于网损优化的文献。现对目前国内外研究成果综述如下。

1.2.1 分布式电源选址定容研究现状分布式电源的选址定容是以分布式电源的位置和容量为优化条件，对以风电、

光伏、微汽轮机等为代表的可再生能源进行规划的方法。一般来说，分布式电源的选址定容优化通常要以配电网络网损、电压、成本为目标进行多目标优化。选址和容量经过优化设计选择后，也可以同时提升分布式电源和配网运行的可靠性、安全性和经济型。分布式电源选址定容研究现状综述如下：2

针对分布式电源选址定容的优化，文献[1]对配网内所有的母线就是否适合接入分布式电源的问题进行了初步的计算。以常用的电压稳定性约束条件建立相关的目标函数，研究了分布式电源选址定容的配网降损方法。文献[2]除考虑到文献[1]提出了约束条件外，还考虑到分布式电源投资人员的实际经济效益，以此为首要的优化条件，进行分布式发电选址定容的优化设计。此外，文献还研究总结了多目标问题的求解办法。总体思路是将多层目标通过一定的数学计算折合成单目标问题进行计算。

文献[3]考虑到配网的特殊性，针对于农村配电网存在的电网电压质量低和网络损耗严重的问题，以上述问题为优化目标，考虑到改善问题需进行的投资购买费用、

运行修缮费用等，提出了基于改进粒子群算法的农村配电网分布式光伏选址定容研究。文献[4]对配电网可靠性指标的计算是以系统平均的断电时间和电量不足为指标进行的。考虑到总的费用和总的网络损耗，提出了计及供电可靠性的多目标分布式电源选址定容方法。文献[5]对现有的规划模型、规划方法以及求解算法做出了详细

的阐释说明，提出了考虑可靠性的分布式电源选址定容规划研究。

针对问题的求解算法，文献[6]采用的分布式电网为光伏电池板，针对于光伏电池板存在的发电的不连续性，提出了基于改进果蝇优化算法的分布式电源选址与定容。文献[7]针对于网络损耗和电压水平两项优化指标量纲不相同的问题，设置了转移功率的指标，从而使建立的模型能够更方便的应用于实际分布式电源容量和布局合理选择的计算当中。基于此，提出了基于智能单粒子算法的分布式电源选址与定容。

文献[8]简要的分析了分布式电源对配电网的影响因素，考虑到电压偏移等指标提出了遗传狮群算法的分布式电源定容选址方案。仿真结果也表明，相对于其他算法，文献提出的算法具有收敛速度快，找寻最优解能力强的优势。文献[9]着眼于具体的配网结构，考虑了分布式电源的接入对现有配网的优化补充作用。此外，基于确定的 IEEE14 节点算例，提出了基于 NSGA-II 算法的多目标优化分布式发电选址定容方案。此方案考虑到实际的经济投入以及分布式电源加入后引起的配网功率损耗、电能质量降低等问题，进行了分布式发电选址定容的多目标优化。

文献[10]将天牛须搜索算法进行了算法稳定性的改进，提出了基于改进天牛须搜索算法的分布式电源选址定方案。文献[11]分析了不同节点类型的各类等效分布式电源模型的差异性，基于模型的差异性提出了基于群智能算法的分布式电源选址与定容方案，此方案选用的算法原理简单、参数设置少但算法稳定性高。

文献[12]提出了基于灰狼优化算法的分布式电源定容选址研究方案，方案综合了各个接入分布式电源的特性，并设置相应的约束条件进行优化设计。3

由上述综述可知，现有的分布式电源定容选址研究方案主要从改进各类算法为首要目标进行分布式电源选址定容的优化设计，算法一般以启发式算法为主。主要是改进算法的稳定度，寻求最优解的速度，算法求解的快速性。其次，根据不同的配网结构，具体的分析分布式电源接入优化设计的约束条件。约束条件大多数都从经济效益上、配网损耗上、电能质量上、电压条件上来考虑，从而进行最大程度上的分布式电源选址定容的合理选择。

针对选址定容问题与其他配网当中常见的问题的联合考虑，文献[13]研究了电动汽车充换放储一体化电站选址定容方案，方案主要研究了电动汽车电站的实际选址方法。方法要求电动汽车电站的建立需要以经济性效益为首要考虑目标，其次要以用户在需要充电的时间内，实际驾驶到电动汽车电站的行驶路线最短进行考虑。建立了多目标模型进行了分布式电源位置的优化设计。

随着现有分布式电源数量的逐渐增多，不仅是分布式接入配电网需要考虑众多优化问题，当分布式电源从配电网网上切出的时候，也需要考虑切除后的分布式电源对配电网的影响。文献[14]研究了考虑网络动态重构的分布式电源选址定容优化方法。文献[15]主要考虑到配网的安全性，研究了考虑 N-1 安全的分布式电源多目标协调优化配置方法。文献[16]提出了一种同时考虑 DG 和 ESS 选址定容的主动

配电网规划方法。方法充分的考虑了现有的功率平衡约束和电压约束等条件，通过IEEE 69 节点算例进行提出方法的仿真验证。

1.2.2 配电网网损优化研究现状网络损耗的大小在配电网中是一个十分重要的作用量，并且影响着配电网络的日常运行可靠性和经济性。如何对分布式电源接入后，引起的网络损耗进行合理的优化设计使其处在一个最优值，也是现在研究的重点。现有的研究都针对配网的网损优化展开。

文献[17]提出了考虑 DG 对配电网网损贡献率的网损分摊方法。分析现有的分布式电源的指标，例如加入配电网的分布式电源的容量、并网的位置、电源供电的连续性、是否还接入了其他的配网负载等因素对网络损耗的影响程度。另外，也需将这些影响因素的重要性进行初步的预选排序来进行主要约束条件的选定，从而计算选定的约束条件对网络损耗的贡献度。

文献[18]针对分布式电源并网对配电网网损影响展开了研究。主要通过理想模型进行分布式电源加入配电网后引起的网络损耗计算分析。目前，由风机、光伏构成的分布式电源受风力、光照强度影响较为剧烈，导致其发电波动性大，也会对 4

配电网络造成一定的冲击。因此，文献[19]研究了风光资源特性相关性对配网重构的影响。

文献[20]针对于目前家庭光伏并网发电大规模试行的趋势，研究了光伏单相接入对低压配网的网损影响。并对产生的网络损耗进行了详细的计算。文献[21]针对

10kV 配网接入分布式电源后电压及网损进行了计算与分析。仿真结果和理论都表

明当分布式电源接入配网时，网络损耗受影响的程度取决于分布式电源的接入位置和分布式电源的输出功率。此外，在不同的接入位置下，配电网络的电压分布和计算的网损有着不小的差异。

文献[22]针对分布式发电并网的网损影响评价指标进行了研究。提出了网络贡献度和网损分配率两个概念指标进行分布式电源投切时网络损耗对配网的影响。利用前推回带算法可以模拟放射状的配网结构特征的特点，文献[23]研究了分布式电源对配网网损影响。文献[24]补偿了原有的潮流跟踪算法的阻抗差值，提出了基于改进潮流跟踪的网损分摊方法。推导了损耗和线路潮流之间的定性计算公式以进行后续的分析。

随着现有的计算机技术的发展，实时采集电力网络数据变的越来越方便。文献

[25]提出了基于机器学习的网损计量分析方法，此方法可以做到在某个固定时间段内预测负荷，加快网络损耗的计算。文献[26]提出了基于多时间尺度需求侧响应模型的网损优化方法。文献[27]提出了基于机会约束的含分布式电源配电网网损优化方法。将现有的风力发电、光伏发电的概率模型进行了重新建立。文献[28]提出了基于网络拓扑结构优化的电力系统网损在线综合优化方法。通过对网络拓扑结构的优化，进行网络损耗的优化。文献[29]提出了基于网损估计的系统恢复新方法。

文献[30]提出了基于图论和潮流追踪的网损分摊方法。文献[31]提出了基于HELM 网损灵敏度的配电网无功优化方法。文献[32]进行了输电系统的网损参数优化设计。

由上述研究现状可知，网络损耗的优化办法主要也是基于各种算法进行的，通过对原有网络损耗优化计算方法的改进，从而达到网络损耗计算最优的效果。

1.2.3 配网优化方法研究现状配网的优化是一个大的研究范畴，很多学者针对配网本身、与其他内容融合的角度提出了不同的优化方法。

文献[33]针对配网建设和运行管理中常见问题和方法进行了研究。文献[34]提出了基于改进两阶段鲁棒优化的主动配电网经济调度。文献[35]提出了考虑杆塔平衡力的配网线路快速机械除冰次序优化。文献[36]提出了计及配网有功无功协调运

行优化的 SST 规划方法。文献[37]提出了基于 PDCA 循环的配网基建工程质量管理流程分析及优化方案。文献[38]提出了输配网一体化建模与分析方法。文献[39]提出了基于随机矩阵理论的配网故障可观的 PMU 优化配置方法。

文献[40]提出了基于综合补偿的配网三相不平衡优化方法。文献[41]提出了配网台区三相不平衡补偿装置优化配置方法。文献[42]提出了配网调度管理存在问题分析和优化方法。配网调度对现有的配网的管理起到了充分的积极性的促进作用。

但由于现有的管理制度较为简单、固定，管理的过程缺乏专业性的指导，可能会导致管理效率不高的问题。

文献[43]提出了基于配网工程造价的施工组织设计优化研究。文献[44]针对含可再生能源发电的配网储能多目标优化配置方法进行了研究。文献[45]提出了电力配网自动化运行优化方案。配网自动化运行技术通过将地理信息系统和计算机系统有效的结合起来，可以对配电网的实际运行状态进行在线监测管理。但目前也是存在许多问题。例如管理人员专业性不强、自动化程度低等问题。需要再去进一步的改进。文献[46]提出了配网不确定性优化方法。文献[47]提出了基于网络分析的配网优化。

1.2.4 研究现状分析针对分布式电源选址定容的研究现状、配电网网损优化的研究现状、配电网优化方法的研究现状，总结性的概述如下：

(1) 原有关于分布式风机选址定容的研究多集中于分布式风机，且通常在固定负荷水平下进行相关的研究，研究分布式风机功率因数与负荷水平相匹配的研究成果较少。目前已有研究一般假设 DG 机组按照固定功率因数运行，仅研究此情况下的 DG 机组的选址和定容，忽视了最优功率因数的选择对 DG 机组在减少网损中的作用。

(2) 在新能源技术不断发展以及现有电力系统灵活性不断增加的背景下，最优潮流的数学模型求解较为困难，迫切需要寻找求解效率和收敛性都较好的求解算法。最优潮流模型一般为非线性模型，在某些方面，最优潮流模型一般难以反映网络规模和网络的复杂度。在模型的求解过程中，最优潮流模型求解算法也有可能难以寻找到全局最优点。多数学者在求解全局最优点的过程中将计算算法进行了改进。求解的主要办法是将模型线性化或局部线性化。详细性的概述如下：

1、非线性优化非线性优化能够有效反映电力系统的特点，其优化过程中可能用到某些近似，

例如在网络重构中的变量离散化处理。现阶段应用较为广泛的为混合整数规划。也有部分学者提出了动态非线性规划，能够从技术和经济两个维度得到综合最优解。

2、二阶锥和凸松弛优化最优潮流模型的凸松弛求解方法是最近较为流行的求解方法之一。利用这类松弛技术，可以减少求解空间维数，最优潮流求解可以得到理想的全局最优解，并且求解速率大大提升。松弛后的模型可以较为方便地判断是否可以得到可行解。主要的松弛技有半定规划、二阶锥规划以及四阶凸松弛。这些松弛技术的优势各有所差别。其中，二阶锥松弛模型的求解工具较多，并且求解速度较快，在某些情况下甚至快于半定规划。其实现方法如下：

$$\begin{aligned} & it \\ & ijtijt \\ & ij \\ & V \\ & QP \\ & I \quad (1-1) \end{aligned}$$

在求解最优潮流优化的模型中，需要对松弛的裕度有所规定。对于辐射状的配电网，只要负荷的上限无限制，则松弛程度是确定的。并且在电压约束等其他条件不存在时，松弛也是可行的。但是这些约束一般会限制潮流的方向或 X/R 之比，在具有分布式电源的电网中并不实际。针对辐射状配网，可以在松弛度约束不高的情况下得到较为精确的结果。但需要满足下述条件：网络的图是连通的；目标函数为凸函数；目标函数中支路电流的平方为增，与视在功率无关。此时，最优潮流模型可以用松弛方法求解。

3、线性规划线性规划较为简洁、计算速度和收敛性都较好。最优潮流模型在利用线性化求解中都需要近似化，这是由于功率约束的非线性造成的。直流最优潮流是典型的线性规划。在直流潮流模型中，忽略了支路阻抗，所有节点的电压都假设为标

么值，
并且相角之间的差值很小。支流潮流模型是无需利用迭代算法求解的，因此可以进行快速的在线计算，这也是直流潮流在工业中应用较普遍的原因。
其他的线性规划，包括序列线性规划等，都需要一系列的线性近似完成，也需要进行迭代处理。

指 标
疑似剽窃观点
1. 分布式电源功率因数的选取对网损计算结果影响较大。
疑似剽窃文字表述
1. 接入电网的相关文献研究内容进行总结的基础上，分析了现有研究的优势和不足，提出了分布式电源接入配网选址定容的优化模型。考虑到分布式电源接入
2. 1.2 国内外研究现状目前，国内外针对分布式风机选址定容的研究较多，也有大量关于网损优化的文献。现对目前国内外研究成果综述如下。
1.2.1 分布式电源选址定容研究现状分布式电源的选址定容
3. 机组按照固定功率因数运行，仅研究此情况下的 DG 机组的选址和定容，忽视了最优功率因数的选择对 DG 机组在减少网损中的作用。

2. 012_第2部分		总字数：10589
相似文献列表		
去除本人文献复制比：39.6%(4194) 文字复制比：39.6%(4194) 疑似剽窃观点：(1)		
1	11912650_裘森强_风电场的选址定容及风储联合经济调度研究 裘森强 - 《学术论文联合比对库》- 2017-11-14	38.1% (4038) 是否引证：否
2	配电系统中电动汽车与可再生能源的随机协同调度 王贵斌;赵俊华;文福拴;薛禹胜;辛建波; - 《电力系统自动化》- 2012-10-10	0.4% (44) 是否引证：否
3	基于信任技术的最优潮流新算法 谢毓广;江晓东; - 《电力系统自动化》- 2011-10-25	0.4% (44) 是否引证：否
4	基于填充函数方法的最小静态负荷裕度计算 刘林;王锡凡;丁晓莺; - 《电力系统自动化》- 2010-03-25	0.4% (44) 是否引证：否
5	基于有功矩法的分布式电源优化配置方法 周谦;耿姣; - 《电气开关》- 2017-10-15	0.3% (30) 是否引证：否

原文内容

可以通过一阶泰勒级数展开对某一点处进行线性化。在考虑储能以及可响应负荷等设备之后，也有学者提出了基于电压和功率控制的灵活性较强的求解方法。

4、混合整数规划在配网领域中，连续非线性规划、凸规划、线性规划都不能完整描述配网的特征。为此，学者提出了混合整数规划。这类问题一般利用启发式算法而非确定性方法进行求解，但是随着凸松弛技术的发展，混合整数规划也可以利用确定性方法求解。 7

利用二阶锥可以较为便捷地找到全局最优解。在配网中，如果最优潮流问题还伴随着配网重构、电压补偿等问题，可以利用混合整数二阶锥算法进行解决，并且可以得到全局最优解。也有学者提出了两阶段配网优化算法：第一阶段是日前阶段，为直流最优潮流模型；第二阶段为实时阶段，利用迭代线性算法进行求解。在求解过程中，需要利用灵敏度系数对非线性问题进行线性化。通过这一系列优化，可以实现对日前调度成本、实时调度成本、实时网损以及实时电压稳定性的优化。

5、启发式算法启发式算一般是对自然界生物现象的模拟，从而寻求最优解。启发式算法能够更为方便地处理约束条件，得到的结果更加近似最优解，能够减少传统求解方法在数学复杂度方面的问题，因而求解时间方面也更有优势。求解效率高，速度快，应用的也较为普遍。

目前针对多目标优化、非凸优化等，出现了一大批新的启发式算法。包括蚁群算法、人工神经网络算法、遗传算法、粒子群算法、模拟退火算法、人工免疫算法等，这类算法在最优潮流中的应用较为广泛。

1.3 本文的主要研究工作随着分布式电源在配电网的渗透率逐渐提高，配电网的运行可靠性和电能质量都受到一定影响，其影响程度与分布式电源接入的位置和容量密切相关。众多研究表明，分布式电源在配电网合理的接入能够减少网络损耗，降低系统运行成本，提高配网运行的经济性和可靠性。因此，设计经济合理的分布式电源选址定容方法，对于分布式电源接入配网，以及提升其渗透率起着至关重要的作用。

本文以大规模辐射型配电网中的分布式电源位置选取和容量确定作为求解变量，以降低配电网运行损耗为目标，在满足相应的约束条件下，采用相应的模型和算法进行求解分布式电源的最优接入位置和容量。

首先，本文分析了目前较为成熟的三种网络损耗计算模型的适用范围和使用条件。针对现有的研究结论，在功率因数对配电网网损的具体影响方面进行了简要分析。

建立了分布式电源机组容量和功率因数的最优模型，并对详细的计算流程进行了说明。

其次，建立了含有分布式电源接入的配电网损耗优化模型，考虑有功损耗、无功损耗、电压稳定性和电压偏移以及最优功率因数等约束条件影响，建立了成本效益分析模型。并进行了成本效益分析模型的设计。

最后，利用所提出的考虑分布式电源接入的配电网损耗优化模型，对典型配电网进行了仿真计算。仿真结果表明，分布式电源功率因数的选取对网损计算结果影响较大。在此基础上，提出了计算分布式电源机组最优容量和功率因数的方法及流程。后续给出了本文的结论和展望。

。 9

第2章计及网损和功率因数的分布式电源选址定容

2.1 引言目前，常用的网损计算方法主要依托 Elgerd 损耗公式、支路电流损耗公式和支路功率损耗公式进行，相对应着三种网络损耗计算方法。三种具体的网络损耗计算模型所需的输入条件有所差异，需要分析其具体的适用场景。从而可以在针对含有分布式电源的选址定容优化问题中选择适当的方法，得到最小网损、最优化的功率因数。

本章主要对计及网损和功率因数的分布式电源选址定容展开研究，分析了三种网损模型的差异，并对分布式电源机组的最佳位置接入和最优容量的计算方法进行了分析。

2.2 网损模型分布式电源在接入配网之后，对于配网的潮流和网络损耗都有一定的影响。分布式电源规划在配电网的不同位置，对配网的网损分布、电压分布也有较大影响。

分布式电源在配电网的选址定容就是对分布式电源在配电网的接入点和接入容量进行优化。这种优化是在不改变配电网结构下进行的。

配电网网络损耗是影响配网潮流的重要因素之一，与其联系紧密的还有系统容量、电压稳定性、电压曲线的波动性等因素。分布式电源对配电网网络损耗的影响，

主要体现在分布式电源出力的间歇性和渗透率不断升高的情况。此外，负荷的不断波动也会给配电网的网络潮流分布带来一定的冲击，会出现潮流波动、电压升高、

网损增加、电压稳定性降低等问题。综上，需要利用分布式电源机组的位置和容量来优化配电网所出现的上述问题，继而优化配电网运行状态，从而提升其运行的稳定性、经济性和可靠性。

根据现行 IEEE 1547 标准，可再生 DG 机组不允许提供无功功率[53]。随着 DG

机组渗透率不断升高，DG 机组的有功注入在提升电力系统运行质量方面也起到重要作用。但无功功率支撑的缺少对电网无疑是一种冲击，将会带来更多的不稳定因素。当 DG 机组不提供无功时，电力系统运行的成本会由于系统中多安装的无功补偿设备而增加，系统运行的经济性会降低。此外，无功过度支撑会导致系统潮流反向，进而导致网损提高、电压上升等问题。因此，有必要合理设计研究 DG 机组的功率因数，使得 DG 机组的有功和无功注入都达到最优。 10

现有研究一般假设 DG 机组按照固定功率因数运行，在此情况下，仅研究的DG 机组的选址和定容，就会忽略当 DG 机组采用最优功率因数时在减少网损中的

作用。部分学者研究了推荐将 DG 机组的功率因数设置为系统负荷因数，由此减少DG 机组的接入引起的网损。然而，系统所有节点的功率因数仍然假设为相同。经总结，已有相关文献对于有时变特性的电源和负荷在削减网损方面的功率因数优化研究仍较少。因此，根据负荷动态特性，DG 机组可以通过提供优化后的有功和无功来给电网削减网损，继而保证配电网运行的可靠性、安全性[54]。

本文将 DG 机组分为可调度和不可调度两种。
定义 DG 机组的容量因数 cf 如下：
$$cf = \frac{P_{DG}}{P_{max}} \quad (2-1)$$

其中， P_{DG} 为 DG 机组有功功率， P_{max} 为 DG 机组最大有功功率。

2.2.1 Elgerd 损耗公式根据 Elgerd 损耗公式，网络内总的有功和无功损耗可用下式计算[55]：

$$P_{loss} = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \frac{P_i P_j}{L_{ij}} \quad (2-2)$$

$$Q_{loss} = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \frac{Q_i Q_j}{L_{ij}} \quad (2-3)$$

其中， P_i 为节点 i 的有功功率， Q_i 为节点 i 的无功功率， L_{ij} 为节点 i 和节点 j 之间的线路阻抗。

$$V_i = \sqrt{V_i^2 \cos^2 \delta_i + V_i^2 \sin^2 \delta_i}$$

$$r_i = \sqrt{r_i^2 \cos^2 \delta_i + r_i^2 \sin^2 \delta_i}$$

$$x_i = \sqrt{x_i^2 \cos^2 \delta_i + x_i^2 \sin^2 \delta_i}$$

其中， N 为节点的数目； $V_i \angle \delta_i$

为节点 i 的复数形式电压； r_i

$j + jx$

$i j = Z$

$i j$

为阻抗矩

阵 $[Z_b$

$us]$ 的第 ij 个元素； P_i 和 P_j 分别为节点 i 和 j 的有功注入； Q_i 和 Q_j 分别为节点 i 和 j 的无功注入。

含 DG 机组网络的节点 i 总有功和无功注入表达式如下：

$G_{ii} D_i$

$PPP (2-4)$

$G_{ii} G_{ii} D_i D_i$

$Q QPa QQ (2-5)$

其中， QD

$G_i = a_i P$

DGi

； PD

G_i

和 QD

G_i

分别为 DG 机组注入节点 i 的有功和无功；

$a_i = (\text{sign}) \tan(\cos^{-1}$

$(\text{pf}_D$

$G_i))$ ， $\text{sign} = \pm 1$ ；DG 机组注入无功时， $\text{sign} = +1$ ；DG 机组消耗 11

无功时， $\text{sign} = -1$ ； PDi 和 Q

D_i

分别为节点 i 的负荷有功和无功； pf_D

G_i

为 i 节点 DG 机组的运行功率因数。

将式 (2-4) 和 (2-5) 带入 (2-2) 和 (2-3)，得到总的有功和无功功率损耗如下：

N

i

N

$j G_{ii} j i G_{ij} D D j D D i$

$$P_{11} = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N G_{ij} I_i I_j$$

$$Q_{11} = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N B_{ij} I_i I_j$$

由此来计算网络的有功和无功损耗。

2.2.2 支路电流损耗公式支路电流也是计算网损的方法之一，根据支路电流损耗的计算公式，计算的具体表达式如下[56]：

$$P_{12} = \sum_{i=1}^n R_i I_i^2$$

$$Q_{12} = \sum_{i=1}^n X_i I_i^2$$

式中， R_i 和 X_i

分别为支路 i 的电阻和电抗； I_i 为支路电流幅值，该支路电流分为有功部分 I_a

和无功部分 I_r

。上式又可改写为：

$$P_{12} = \sum_{i=1}^n I_i^2 R_i$$

$$Q_{12} = \sum_{i=1}^n I_i^2 X_i$$

若 DG 机组的有功、无功电流注入节点 k ，上式又可写为：

$$P_{12} = \sum_{k=1}^n I_k^2 R_k$$

$$Q_{12} = \sum_{k=1}^n I_k^2 X_k$$

令 $\cos \theta_k = \frac{P_k}{S_k}$

， $\text{sign}=+1$ 表示 DG 机组注入无功； $\text{sign}=-1$ 表示DG 机组消耗无功。

节点 k 的 I_a

与 I_r

的关系如下：

$$I_a = I \cos \theta_k$$

最终的网损计算公式如下：

$$\begin{aligned}
 & k \ n \ k \ n \\
 & LDG \ a_i \ a_k \ i \ a_i \ i \ r_i \ k \ a_k \ i \ r_i \ i \\
 & i \ i \ k \ i \ i \ k \\
 & P \ I \ I \ R \ I \ R \ I \ a \ I \ R \ I \ R \quad (2-15) \ 2 \ 2 \ 2 \ 2 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ (\) \ (\) \\
 & k \ n \ k \ n \\
 & LDG \ a_i \ a_k \ i \ a_i \ i \ r_i \ k \ a_k \ i \ r_i \ i \\
 & i \ i \ k \ i \ i \ k \\
 & Q \ I \ I \ X \ I \ X \ I \ a \ I \ X \ I \ X \quad (2-16)
 \end{aligned}$$

由此来计算网络的有功和无功损耗。

2.2.3 支路功率损耗公式网络损耗可以由支路功率来计算，具体表达式如下[57]：

$$\begin{aligned}
 & \frac{i}{n} \\
 & \frac{i}{i} \ i \\
 & b_i b_i \\
 & L \\
 & R \\
 & V \\
 & QP \\
 & P \quad 1 \ 2 \ 22 \quad (2-17) \\
 & i \\
 & n \\
 & i \ i \\
 & b_i b_i \\
 & L \\
 & X \\
 & V \\
 & QP \\
 & Q \quad 1 \ 2 \ 22 \quad (2-18)
 \end{aligned}$$

其中， P_b

$\frac{i}{i}$ 和 Q_b

$\frac{i}{i}$ 分别为流过支路 i 的有功和无功功率。

若 DG 机组的有功、无功功率注入节点 k ，上式又可写为：

$$\begin{aligned}
 & \frac{i}{n} \\
 & \frac{k_i}{k_i} \ i \\
 & b_i \\
 & i \\
 & k \\
 & i \ i \\
 & DG_k b_i \\
 & i \\
 & n \\
 & k_i \ i \\
 & b_i \\
 & i \\
 & k \\
 & i \ i \\
 & DG_k b_i \\
 & LDG \\
 & R \\
 & V \\
 & Q \\
 & R \\
 & V \\
 & QQ \\
 & R \\
 & V \\
 & P \\
 & R
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &V \\
 &PP \\
 &P \quad 1 \ 2 \ 2 \ 1 \ 2 \ 2 \ 1 \ 2 \ 2 \ 1 \ 2 \ 2 \) \ (\ (2-19) \\
 &i \\
 &n \\
 &ki \ i \\
 &bi \\
 &i \\
 &k \\
 &i \ i \\
 &DGkbi \\
 &i \\
 &n \\
 &ki \ i \\
 &bi \\
 &i \\
 &k \\
 &i \ i \\
 &DGkbi \\
 &LDG \\
 &X \\
 &V \\
 &Q \\
 &X \\
 &V \\
 &QQ \\
 &X \\
 &V \\
 &P \\
 &X \\
 &V \\
 &PP \\
 &Q \quad 1 \ 2 \ 2 \ 1 \ 2 \ 2 \ 1 \ 2 \ 2 \ 1 \ 2 \ 2 \) \ (\ (2-20)
 \end{aligned}$$

有功功率 P_D
 G_k
 和 Q_D
 G_k
 的关系为：
 $G_k D G_k k \ D$
 $P_a \ Q \ (2-21)$
 则最终损耗表达式为：

$$\begin{aligned}
 &\frac{i}{n} \\
 &\frac{ki}{i} \\
 &bi \\
 &i \\
 &k \\
 &i \ i \\
 &bikDGk \\
 &i \\
 &n \\
 &ki \ i \\
 &bi \\
 &i \\
 &k \\
 &i \ i \\
 &DGkbi \\
 &LDG \\
 &R \\
 &V \\
 &Q
 \end{aligned}$$

R
V
Pa Q
R
V
P
R
V
PP
P 1 2 2 1 2 2 1 2 2 1 2 2) () ((2-22)

i
n
ki i
bi
i
k
i i
bikDGk
i
n
ki i
bi
i
k
i i
DGkbi
LDG
X
V
Q
X
V
Pa Q
X
V
P
X
V
PP
Q 1 2 2 1 2 2 1 2 2 1 2 2) () ((2-23) 13

由此来计算网络的有功和无功损耗。
2.3 DG 机组功率因数对网损的影响
 根据公式 (2-6) 和 (2-7) 可知，有功损耗和无功损耗是 PD

G
和 a 的函数，PD
G
和 a 这两个变量对配网网损有很大影响[
58]。根据有功网损与变量 PD

G
 和 a 的关系，
 绘制出有功网损与 DG 电源容量、功率因数的函数关系图[59]
 有功网损 (，如图 2-1 所示。

MW) opfDG
 opfDG+5%
 opfDG-5%

图 2-1 位置和功率因数对系统有功损耗的影响从图 2-1 中可以得知，对某一功率因数，有功网损与 DG 机组的容量成反比关系，有功网损最小点即为 DG 机组最优容量。如果机组容量继续增长，有功网损开始升高，可能导致电网系统潮流反向。类似地，对给定 DG 机组容量，有功网损最小时即可得到 DG 机组最优功率因数。根据公式 (2-6) 和 (2-7) 可知，该结论对无功网损同样适用。因此，分布式电源 DG 机组配置在合适的容量、运行于最优功率因数对减少系统网损是至关重要的。

2.4 DG 机组最优容量和功率因数基于 Elgerd 网损公式可以以网损最小为目标对 DG 机组的容量和功率因数进行优化。总的有功网损取决于获得的数据。当以 1 小时为间隔进行计算时，年网损计算式如下：

$$24 \times 1 \times 24 \times 0$$

) (365) (d) (365)

t

LossLoss Loss

PPttt Pt (2-24) 14

2.4.1 DG 机组最优位置

网损在有功注入各节点 i 的灵敏度可以用来确定 DG 机组的位置。当节点安装 DG 机组后，该节点的有功注入会增加。最佳的 DG 机组位置便是使得该节点的灵敏度为负的最大节点，在该节点，减少网损的量可以达到最大。

2.4.2 不同位置 DG 机组定容

这里根据上文给出的三种配网网损计算模型，分 3 种方法来说明。

1、方法 1 (A1)

该方法基于 Elgerd 损耗公式，以网损最小为目标的节点 i 的 DG 机组容量为：

iii

Diiiiiii Di

DGi

a

PQBa Aa

P (2-25)

GiDGii D

Pa Q (2-26)

其中，

N

ijj

jijjiji

QPA ,1 ,

N

ijj

jijjiji

PQB ,1

， a_i 由式 (2-5) 确定。

该式适用于当 pfD

G_i

或者 a_i 已知时，确定不同 DG 机组的最优容量。DG 机组的功率因数取决于运行条件和 DG 机组接入的类型。通过设置 pfD

g_i

的参数值可以确定各节点 DG 机组的最优容量。其设置具体方法如下：

(1) 类型 1: DG 机组仅可以注入有功， pfD

$G_i=1$;

(2) 类型 2: DG 机组仅可以注入无功， pfD

$G_i=0$;

(3) 类型 3: DG 机组可以同时注入有功和无功， pfD

G_i

$\in (0,1)$ 且 $sign=+1$;

(4) 类型 4: DG 机组可以注入有功吸收无功， pfD

G_i

$\in (0,1)$ 且 $sign=-1$ 。

通过将 pfD

$G_i=1$ 或 $a_i=0$ 以及 pf

$DG_i=0$ 或 $a_i=\infty$ 可以得到节点 i 的 DG 机组最优有功

容量和最优无功容量：

ii

i

GiDi D

A

PP (2-27)

ii

i

GiDi D

B

QQ (2-28)

2、方法 2 (A2)

该方法基于支路电流损耗公式。系统损耗削减量可由式 (2-29) 表示：

k
i
i
k
i
akki*i*

k
i
akki

k
i
ak*i*ak Loss

IIPIa RRIRIa RI 11 22 11 2 22 (2-29)

当该式对节点 k DG 机组的有功电流注入的偏微分为 0 时，网损减少量最大，
即： 15 02222 11 2 11

k
i
i
k
i
akki*i*

k
i
ki
k
i
ak*i*i

ak
Loss
RIRIRIa Ra

I
P (2-30)

由此求出 I_a

k
的表达式即可。

假设 DG 接入后节点电压无明显变化，可以求得最优容量：

$G_{kakk} D$

IVP (2-31)

$G_k D G_{kk} D$

Pa Q (2-32)

3、方法 3 (A3)

方法 3 根据支路功率损耗方法计算求得。

根据该方法，网损的表达式如下：

k
ii
i
DGkk

k
ii
bii
DGkk

k
ii
i
DGk

k
ii
bii
DGk Loss

V
R

Pa
V
QR
Pa
V
R
P
V
PR
PP 1 2 22 1 2 1 2 2 1 2 22 (2-33)

对式 (2-33) 求对节点 k DG 机组有功功率注入量的偏导，得到：

k
ii
i
DGkk
k
ii
bii
k
k
ii
i
DGk
k
ii
bii
DGk
Loss
V
R
Pa
V
QR
a
V
R
P
V
PR
P
P 1 2 2 1 2 1 2 1 2 2222 (2-34)

令式 (2-34) 等于 0，求得最优有功容量 PD

Gk。

再由G

kDGkk D

Pa Q 求出最优无功容量 QD

Gk

。，即可得到 DG 机组最优容量。

2.4.3 不同位置的最优功率因数 这里的计算模型也根据上文的不同方法分为三种。

1、方法 1

根据负荷特性的不同，不含无功补偿的配网系统的负荷功率因数常在 0.7 到 0.95 之间，系统具有滞后和感性的特征。因此，DG 机组的最优功率因数应当滞后，本文假设配网负荷的功率因数均为滞后。

式 (2-27) 和式 (2-28) 确定了机组的最优有功和无功容量。2.4.2 章方法 1 中类型 1 和类型 2 分别确定了机组的最优有功和最优无功容量，节点 i 的机组同时注入有功和无功便可得到类型 3 的最优容量，即： 22

GiGi DDGi D

QPS (2-35)

这就是说，DG 机组能够在总系统损耗最小的节点 i 同时提供有功和无功。

因此，根据这个思路，类型 3 的节点 i 的机组的最优功率因数为： 16 22

GiDGi D

DGi

DGi
QP
P
opf (2-36)

2、方法 2

以式 (2-36) 为基础，基于支路电流损耗法，以最小化网损为目的，在每个节点的 DG 机组最优功率因数可由式 (2-31) 代入式 (2-36) 求得。

其中含 DG 注入的总有功网损计算式为：

L_{Loss}^{LDG}

PPP (2-37)

3、方法 3

同样的，基于支路功率损耗法，以最小化网损为目的在每个节点的 DG 机组最优功率因数可由式 (2-34) 代入式 (2-36) 求得。

2.4.4 不同 DG 机组计算过程根据上述推导，可以得到确定 DG 机组最优容量和功率因数的方法。考虑到负荷时变性、DG 运行条件，可以使得 DG 机组在最优出力同时达到最小网损。DG

机组分为可调度、不可调度两种。根据负荷曲线来调整可调度 DG 机组的出力使得网损达到最小，而对不可调度机组，确定其负荷处的容量，便可通过 DG 出力曲线确定其最大容量或者最优容量，进一步便可确定整个网络的能量损耗。本文考虑以下 3 种情景：

情景 1：无 DG 机组情景 2：可调度 DG 机组；

情景 3：不可调度 DG 机组；

1、针对情景 1

计算每日各时段网络潮流及网络总损耗。电网系统中无 DG 机组时，对网络损耗，可利用 Elgerd 法、支路电流损耗法、支路功率损耗法进行分析，可得配网系统网损及功率因数。

2、针对情景 2

(1) 计算峰荷水平下的基线负荷潮流，利用式 (2-2) (2-8) (2-17) 计算总有功损耗；

(2) 仅计算峰荷水平下的 DG 机组最优选址、容量和功率因数；

a) 利用式 (2-27) 计算各节点最优容量、最优功率因数；

b) 将之前得到的 DG 机组逐一放置在各节点，利用式 (2-37) 计算每种情况下的功率损耗； 17

c) 确定使节点网损最小的最优机组容量或者节点最大输出。

(3) 确定 t 时刻机组在最优位置的最优输出功率，其中 t

为

t 时刻负荷需求标么

值。

GDG_{tt}^{Dmax}

SS, (2-38)

(4) 对每个时刻进行步骤 (3) 的同样操作，计算总的网损。

3、针对情景 3

(1) 运行系统在平均负荷水平下无 DG 机组或者系统在利用式 (2-2) (2-8) (2-17)

计算得到的功率因数下的潮流，计算总的网损；

(2) 确定仅在平均负荷水平下各 DG 机组的最优选址、容量和功率因数；

a) 利用式 (2-27) (2-31) 计算各节点最优容量，利用式 (2-36) 计算节

点 i 的最优功率因数；

b) 将之前得到的 DG 机组逐一放置在各节点，利用式 (2-37) 计算每种情

况下的功率损耗；

c) 确定损耗最小的最优节点，同时确定相应的各节点平均负荷下 DG 机组的最优容量。

(3) 利用式 (2-1) 确定基于日输出曲线的容量因数；

(4) 确定仅在最优位置时的 DG 机组最优容量或者最大输出功率；

cf

S

SD

Gav

DG

m

ax (2-39)

(5) 确定 t 时刻最优位置的最优 DG 输出；

(6) 对每个时刻进行步骤 (5) 的同样操作，计算总的网损。

上述方法能够确定不同功率因数的不同种类 DG 机组的最优选址、容量和功率因数，也可以确定 DG 机组预设功率因数值。当功率因数提前设定，除了上述情景

2 和情景 3 中的 (2) a) 不同外，计算最优的容量公式也有所改变。

2.5 本章小结首先，本章对现有的三种不同损耗计算模型（以 Elgerd 损耗公式、支路电流损耗公式和支路功率损耗公式为依托的三种计算模型）进行了详细的介绍。此外，说明了三种模型适用范围和使用条件。

其次，详细介绍了 DG 机组的功率因数对网络损耗的影响。对于某一功率因数，网损与 DG 机组的容量成反比关系，网损最小点即是 DG 机组最优容量。给定 DG 机组容量，网损最小时可得到最优功率因数。 18

再次，对 DG 机组最优位置、不同位置下的 DG 机组定容、不同位置下的最优功率因数的计算过程进行了详细的叙述。

最后，考虑到无 DG 机组、可调度 DG 机组、不可调度 DG 机组三个情景给出了详细的计算过程。 19

第3章考虑分布式电源接入的配网网损优化模型

3.1 引言分布式电源接入电网后，不仅会改变网络潮流分布，而且对于网损有着一定影响。在分布式电源接入网络后，虽然最佳接入位置和最优容量是以网损为目标优化得到的，位置和容量已经确定。但是在考虑机组具体运行时，还需要结合有功网损、

无功网损和电压稳定性、功率因数等具体内容进一步优化。

本章主要针对配网的网损优化模型进行研究，对配网优化的主要参数进行了分析，建立了具体的网损优化模型，并针对配网成本效益建立了模型进行详细分析。

3.2 配网优化参数概述

3.2.1 有功网损

对于不含 DG 的配电网络， P_k 和 Q_k

为支路 k 的有功和无功潮流； P_{Di} 和 Q_{Di}

分别为节点 i 的注入有功功率和注入无功功率。

指 标
疑似剽窃观点
1. 分布式电源功率因数的选取对网损计算结果影响较大。
疑似剽窃文字表述
1. 无功过度支撑会导致系统潮流反向，进而导致网损提高、电压上升等问题。因此，有必要合理设计研究 DG 机组的功率因数，使得 DG 机组的有功和无功注入都达到最优。 10 现有研究一般假设 DG 机组按照固定功率因数运行，在此情况下，仅研究的DG 机组的选址和定容，就会忽略当 DG 机组采用最优功率因数时在减少网损中的作用。
2. 然而，系统所有节点的功率因数仍然假设为相同。经总结，已有相关文献对于有时变特性的电源和负荷在削减网损方面的功率因数优化研究仍较少。
3. 如果机组容量继续增长，有功网损开始升高，可能导致电网系统潮流反向。类似地，对给定 DG 机组容量，有功网损最小时即可得到 DG 机组最优功率因数。
4. 配置在合适的容量、运行于最优功率因数对减少系统网损是至关重要的。
2.4 DG 机组最优容量和功率因数基于 Elgerd 网损公式可以以网损最小为目标对 DG 机组的容量和功率因数进行优化。总的有功网损取决于获得的数据。
5. 当节点安装DG 机组后，该节点的有功注入会增加。最佳的 DG 机组位置便是使得该节点的灵敏度为负的最大节点，在该节点，减少网损的量可以达到最大。
2.4.2 不同位置 DG 机组定容 这里根据上文给出的三种配网网损计算模型，分 3 种方法来说明。
6. 该式适用于当 p_{fD} G_i 或者 a_i 已知时，确定不同 DG 机组的最优容量。DG 机组的功率因数取决于运行条件和 DG 机组接入的类型。通过设置 p_{fD} g_i 的参数值可以确定各节点 DG 机组的最优容量。
7. 这里的计算模型也根据上文的不同方法分为三种。 1、方法 1 根据负荷特性的不同，不含无功补偿的配网系统的负荷功率因数常在 0.7 到 0.95 之间，系统具有滞后和感性的特征。因此，DG 机组的最优功率因数应当滞后，本文假设配网负荷的功率因数均为滞后。
8. 考虑到负荷时变性、DG 运行条件，可以使得 DG 机组在最优出力同时达到最小网损。DG 机组分为可调度、不可调度两种。根据负荷曲线来调整可调度 DG 机组的出力使得网损达到最小，而对不可调度机组，确定其负荷处的容量，便可通过 DG 出力曲线确定其最大容量或者最优容量，进一步便可确定整个网络的能量损耗。

本文考虑以下 3 种情景：
 情景 1：无 DG 机组情景 2：可调度 DG 机组；
 情景 3：不可调度 DG 机组；
 1、针对情景 1
 计算每日各时段网络潮流及网络总损耗。

9. (3) 确定 t 时刻机组在最优位置的最优输出功率，其中 t 为 t 时刻负荷需求标么值。

10. 机组的容量成反比关系，网损最小点即是 DG 机组最优容量。给定 DG 机组容量，网

11. 有功和无功潮流；PD_i 和 QD_i 分别为节点 i 的注入有功功率和注入无功功率。

3. 012_第3部分

总字数：11846

相似文献列表			
去除本人文献复制比：7.1%(841)		文字复制比：7.1%(841)	疑似剽窃观点：(2)
1	11912650_裘森强_风电场的选址定容及风储联合经济调度研究 裘森强 - 《学术论文联合比对库》- 2017-11-14	7.1% (841) 是否引证：否	

原文内容

对于 n 节点的辐射状配电网络，系统的网损计算如下。分布式电源机组 DG 在任意节点 k 的有功 PD_{Gk} 和 QD_{Gk} 可以进行计算，由于有功和无功节点注入功率的不同，随着网络不断向下延伸，考虑到网络的损耗，末端节点的有功和无功会减少，但是支路的功率保持恒定。

i
 k
 i
 n
 kii
 i
 i
 i
 DG_{ki}
 i
 k
 i
 n
 kii
 i
 i
 i
 DG_{ki}
 LDG
 R
 V
 Q
 R
 V
 QQ
 R
 V
 P

R
V
PP
P 1 1 2 2 2 2 1 1 2 2 2 2 (3-1)

根据公式：G

kDGkk D

Pa Q ，有：

k
i
Li
i
GkkDGkkbi D

k
i
i
i
GkDGkbi D

LDG

PR

V

PPa Qa

R

V

PPP

P 1 2 22 1 2 2 22 (3-2)

有功网损因子定义如下：

L

LDG

APL

P

P (3-3) 20

3.2.2 无功网损 1 2 3 4 5

G

图 3-1 辐射状配网示意图 1 2 3 4 5

G

D

G

图 3-2 含分布式电源辐射状配网示意图

对含有 n 个支路的辐射状配网，无功功率的计算在第二章已经给出，根据公式：

GkDGkk D

Pa Q ，重新得到无功网损新的表达形式：

k
i
Li
i
GkkDGkkbi D

k
i
i
i
GkDGkbi D

LDG

QX

V

PPa Qa

X

V

PPP

Q 1 2 22 1 2 2 22 (3-4)

无功网损因子定义如下：

L

LDG
RPL
Q

Q (3-5)

3.2.3 电压稳定性和电压偏移电压稳定性是指电网在紧急状态下，系统仍能够保持电压水平波动处于可接受的范围。配网中各节点的电压稳定性计算公式如下。

针对辐射状配电系统网络，可以得到如下公式：

SS
SS
S
Rj X
VV
I 1 (3-6)

SSSS
IVQj P*1 11
^^ (3-7)

其中， 1
^

sP为节点 s+
1 的有效有功。 21
将上式进行处理，得到：

02222212121112141 SSssssssssXRQPVXQRPVV (3-8)

令：
ssssssXRQPVb1121122 (3-9) 22212

11 SSss
XRQPc (3-10)

则有： 01 2 11 4 1

s
sssb VV (3-11)

对上式进行求解，得到： 1 2 111 4 2 2

s
sss
cbb V (3-12)

当下式成立时，有可行的解： 0412 1

s
scb (3-13)

则有：
0^4^42112114 sssssssssVRQXPRQXPV (3-14)
21121141^4^4SIssssssssss VVRQXPRQXPV (3-15)

其中， 1
V

SIs 为节点 s+1 的电压稳定性指标；N 为节点总数；电压稳定性指标在 0 和 1 之间，分别对应电压崩溃和空载。得到所有节点电压稳定性指标后，整个配网系统的电压稳定性指标为：

N
i
SIVSIi V 1 (3-16)

针对系统的电压偏移，其表达式如下： 1

i
biibii
Vi

V
QXPR
D (3-17)

对上式，其平方形式为：

n
ii
biibii
Vi
V
QXPR
D 1 2 1 2 2 (3-18)

考虑到节点的注入有功 PD

Gk

和 QD

Gk

，上式可写为： 22

n

kii

bibiii

k

ii

GkbiiiDGkbi D

n

kii

bii

k

ii

DGkbii

n

kii

bii

k

ii

DGkbii

Vi

V

PQXR

V

QQPPXR

V

QX

V

QQX

V

PR

V

PPR

D 1 2 11 2 1 1 2 1 22 1 2 1 22 1 2 1 22 1 2 1 22 2 2 2 2 (3-19)

又由于公式： $G_k D G_{kk} D P_a Q$ ，上式为： 2 1 2 1 2 1 2 1 22 1 2 1 22 2 2 22

Vi

k

ii

GkkbiiiGkbi DDGkk D

k

ii

GkkiDGkkbi D

k

ii

GkiDGkbi D

Vi

D

V

Xa PRQPa PP

V

XPPa Qa

V

PPPR

D (3-20)

最终得到电压偏移定义： 2 2

V

VDG

VD

D

D (3-21)

3.2.4 功率因数优化在实际工程中，分布式电源的容量确定需要按照设计条件以及通用设备容量进行选择，考虑到这一情况，分布式电源的功率因数优化过程中需要调整有功和无功容量，本文利用拉格朗日乘子 λ_i 进行分析。

拉格朗日函数为： $\mathcal{L} = \sum_{i=1}^n \lambda_i (P_i - P_{i,\max}) + \sum_{i=1}^n \mu_i (Q_i - Q_{i,\max})$

, , G

$iG_i DPLAPLVD_i DG_{ii} R_{Gi} DDG_i D$

QPSQPL (3-22)

根据各参数的具体定义，得到：

$\mathcal{L} = \sum_{i=1}^n \lambda_i (P_i - P_{i,\max}) + \sum_{i=1}^n \mu_i (Q_i - Q_{i,\max})$

V

VDG

L

LDG

L

LDG

QPS

D

D

Q

Q

P

P

L (3-23)

根据优化原理，需要将上式求导为零进行求解，具体表达式如下： $\frac{\partial \mathcal{L}}{\partial P_i} = 0, \frac{\partial \mathcal{L}}{\partial Q_i} = 0, \frac{\partial \mathcal{L}}{\partial V_i} = 0, \frac{\partial \mathcal{L}}{\partial L_i} = 0, \frac{\partial \mathcal{L}}{\partial \lambda_i} = 0, \frac{\partial \mathcal{L}}{\partial \mu_i} = 0$

DG_{ii}

DG_k

VDG

VDG_i

LDG

LDG_i

LDG

LDG_i

P

P

D

DP

Q

QP

P

PP

L (3-24) $\frac{\partial \mathcal{L}}{\partial P_i} = 0, \frac{\partial \mathcal{L}}{\partial Q_i} = 0, \frac{\partial \mathcal{L}}{\partial V_i} = 0, \frac{\partial \mathcal{L}}{\partial L_i} = 0, \frac{\partial \mathcal{L}}{\partial \lambda_i} = 0, \frac{\partial \mathcal{L}}{\partial \mu_i} = 0$

DG_{ii}

DG_k

VDG

VDG_i

LDG

LDG_i

LDG

LDG_i

Q

P

D

DQ

Q

QQ

P

PQ

L (3-25) $\frac{\partial \mathcal{L}}{\partial P_i} = 0, \frac{\partial \mathcal{L}}{\partial Q_i} = 0, \frac{\partial \mathcal{L}}{\partial V_i} = 0, \frac{\partial \mathcal{L}}{\partial L_i} = 0, \frac{\partial \mathcal{L}}{\partial \lambda_i} = 0, \frac{\partial \mathcal{L}}{\partial \mu_i} = 0$

DG

VDG

VDG
 LDG
 LDG
 LDG
 LDG
 D
 D
 DD
 Q
 QD
 P
 PD
 L (3-26) 23 02 22
 GiGi DDGi D

i
 SQP
 L (3-27)

由于实际工程中，节点电压偏移一般规定在 0.95-1.05p.u. 之间。为简化分析，
 可以考虑忽略节点电压对最优功率因数的影响，即上式略去等式右边第三项，得到：

i
 jii
 N
 j
 jijjij
 DGi
 LDG
 APQP
 P
 P 222 1 (3-28)

i
 jii
 N
 j
 jijjij
 DGi
 LDG
 CPQP
 P
 Q 222 1 (3-29)

i
 jii
 N
 j
 jijjij
 DGi
 LDG
 BQPQ
 Q
 P 222 1 (3-30)

i
 jii
 N
 j
 jijjij
 DGi
 LDG
 DQPQ
 Q
 Q 222 1 (3-31)

N
 ijj

jijjiji
 QPA ,1 (3-32)
 N
 ijj
 jijjiji
 PQB ,1 (3-33)
 N
 ijj
 jijjiji
 QPC ,1 (3-34)
 N
 ijj
 jijjiji
 PQD ,1 (3-35)
 得到:

022221 D
 Giiiiii
 L
 iiii
 L
 PCP
 Q
 AP
 P (3-36)
 022221 D

Giiiiii
 L
 iiii
 L
 QDQ
 Q
 BQ
 P (3-37)

由第二章公式，得到： 24

i
 L
 ii
 L
 ii
 L
 i
 L
 i
 L
 ii
 L
 ii
 Di
 DGi
 QP
 Q
 C
 P
 A
 QP
 P
 P

21 2121 (3-38)

i
 L
 ii
 L

ii
 L
 i
 L
 i
 L
 ii
 L
 ii
 Di
 DGi
 QP
 Q
 D
 P
 B
 QP
 Q
 Q
 21 2121 (3-39)
 又由于: 02 22
 GiGi DDGi D
 i
 SQP
 L (3-40)
 最终得到: 2 2121 2 212121 1
 L
 i
 L
 i
 L
 ii
 L
 ii
 Di
 L
 i
 L
 i
 L
 ii
 L
 ii
 Di
 DGi
 i
 L
 ii
 L
 ii
 Q
 D
 P
 B
 QP
 Q
 Q
 C
 P
 A
 QP
 P

SQP (3-41)

进而: 2 2121 2 2121 2121

L
i
L
i
L
ii
L
ii
Di
L
i
L
i
L
ii
L
ii
Di
DGi
L
i
L
i
L
ii
L
ii
Di
DGi
Q
D
P
B
QP
Q
Q
C
P
A
QP
P
S
Q
C
P
A
QP
P
P

(3-42) 2 2121 2 2121 2121

L
i
L
i
L
ii
L
ii
Di
L

$$\begin{aligned}
& i \\
& L \\
& i \\
& L \\
& ii \\
& L \\
& ii \\
& Di \\
& DGi \\
& L \\
& i \\
& L \\
& i \\
& L \\
& ii \\
& L \\
& ii \\
& Di \\
& DGi \\
& Q \\
& D \\
& P \\
& B \\
& QP \\
& Q \\
& Q \\
& C \\
& P \\
& A \\
& QP \\
& P \\
& S \\
& Q \\
& D \\
& P \\
& B \\
& QP \\
& Q
\end{aligned}$$

(3-43)

可以看出，分布式电源的有功和无功出力可以为正，也可以为负，该值与系统的负荷特性有关。对于电力系统的功率因数，一般为 0.7-1 之间，因此，本文规定分布式电源的有功出力均为正，而 QD

Gi

根据容性和感性负载的不同可以取正或者取负。 25

3.3 配网网损优化模型

3.3.1 目标函数目前大多数分布式电源的选址定容优化是在考虑网损最小的前提上进行的，本文提出利用多目标优化方式，并且考虑功率因数进行分布式电源的选址定容优化。

考虑如下公式： 2 2 321

$$\begin{aligned}
& V \\
& VDG \\
& L \\
& LDG \\
& L \\
& LDG \\
& D \\
& D \\
& Q \\
& Q \\
& P \\
& P
\end{aligned}$$

(3-42)

其中，

N
 i
 N
 j $G_{iij}G_{ij}$ DDj DD i
 $G_{iij}G_{iij}$ DDj DD i
 LDG
 $QPPQPa$
 $PQQPa$ PP
 P 1 1 (3-43)

N
 i
 N
 j $G_{iij}G_{ij}$ DDj DD i
 $G_{iij}G_{iij}$ DDj DD i
 LDG
 $QPPQPa$
 $PQQPa$ PP
 Q 1 1 (3-44)

为使得上式取得最小值，对上式求偏导： 0 2 2 2 13

DGk
 VDG
 $VDGk$
 LDG
 $LDGk$
 LDG
 $LDGk$

P
 D
 DP
 Q
 QP
 P
 PP (3-45)

上式可以分解为：

$GkkkDGkkkkk$ D
 DGk
 LDG
 $PCAaPa$ CB

P
 $P22$ 222 (3-46)
 $GkkkDGkkkkk$ D
 DGk
 LDG
 $PFDaPa$ FE

P
 $Q22$ 222 (3-47)
 $GkkGkkkk$ $DDGkkkkkkkk$ D
 DGk
 VDG

$IHPGPKa$ $JaLPa$ Ma
 P
 D 42222222 2 (3-48)

其中：

k
 ii
 bii
 k
 V
 PR
 A 1 2 ,
 k

ii
bii
k
V
QR
B 1 2 ,
k
ii
i
k
V
R
C 1 2 ,
k
ii
bii
k
V
PX
D 1 2 ,
k
ii
bii
k
V
QX
E 1 2 ,
k
ii
i
k
V
X
F 1 2 ,
k
ii
i
k
V
R
G 1 2 1 2 ,
k
ii
bii
k
V
PR
H 1 2 1 2 ,
k
ii
i
k
V
X
I 1 2 1 2 ,
k
ii
bii
k
V
QX

J 1 2 1 2 , 26

k

ii

biii

k

V

PXR

K 1 2 1 ,

k

ii

biii

k

V

QXR

L 1 2 1 ,

k

ii

ii

k

V

XR

M 1 2 1

最终得到分布式电源的容量为:

k

kkkk

V

kkk

L

kkk

L

kkkkkk

V

kkk

L

kkk

L

DGk

aMa IG

D

Fa FC

Q

a C

P

aLKa JH

D

Ea DB

Q

a A

P

P 2221 2223 2 213 (3-49)

分布式电源的功率因数取决于机组运行条件以及技术条件，可以按照前文所述方法进行选择。

分布式电源选址的优化目的是为了减少网络中的有功和无功网损，但同时可能会带来电压偏移和分布式电源渗透率低的问题。为了权衡分布式电源渗透率、电压偏移和网损的影响，需要利用多目标优化，实现网络潮流最优解的求取，三者之间的关系如下式：

RPLAPLVD 3 21 (3-50)

其中1321

，且

1,0i。

通过对三者赋值相应的权重，可以减少分布式电源在选址和定容过程中对系统的影响。权重因子的确定取决于经验以及历史数据。

由于分布式电源接入的位置和节点对于系统的有功和无功损耗以及电压曲线有较大影响，而有功网损对于配电系统的营销

收益影响较大，无功网损和电压曲线相比影响较小，因此有功网损的权重应当较大。设置本文的有功网损权重系数为 0.5，其余影响因素的权重均为 0.25。

考虑到整个优化时段的平均值，有：

$$\begin{aligned} &T \\ &t \\ &T \\ &tt \\ &T \\ &tt \\ &T10)(1 \\ &d)(1(3-51) \end{aligned}$$

所得到最终的目标函数为：

$$Fmin(3-52)$$

3.3.2 约束条件

1、功率平衡约束 $0 \leq P \leq P_{max}$ ，

$$loss$$

$$N$$

$$n$$

$$N$$

$$i$$

$$Din \quad DG \quad G$$

$$PPPP$$

$$DG \quad N(3-53) \quad 27$$

其中，PG为系统从上级电网的总购电量；P

$$DG, n$$

为分布式电源 n 的总有功出力；

$$PD$$

$$i$$

为节点 i 的总有功负荷；P1

$$oss$$

为分布式电源存在下的总的系统网损；Nn为系统中

节点数量；ND

$$G$$

为系统中分布式电源数量。

2、分布式电源位置约束分布式电源本身是在部分节点上进行接入的，选址的位置是经过优化后确定的。但是由于节点负荷的情况是随着用户的用电行为发生变化的，由此，分布式电

源位置的情况不是在用户负荷变化的情况也要改变，最佳位置只有一处。

$$NDGn$$

$$2NN(3-54)$$

$$GnDGi \quad D$$

$$NN(3-55)$$

$$DGDGDG)3()2()1($$

$$NNN(3-56)$$

其中，ND

$$G(1)$$

$$\text{和 } ND$$

$$G(2)$$

$$\text{和 } ND$$

$$G(3)$$

分别为分布式电源 DG 在正常情况、负荷峰值和负荷低谷时的位置。

3、分布式电源容量约束分布式电源机组的容量需要进行优化后确定，并且在上下约束之间。

具体表达式如下：

$$DG$$

$$N$$

$$n$$

$$GDGn \quad DD \quad G$$

$$PPP \quad 1$$

$$\max, \min(3-57)$$

一般来说，容量上下限为系统总的有功的百分比，本文取 60%和 10%。

4、分布式电源机组出力约束分布式电源机组的出力需要满足一定约束条件，表达式如下：

$$DG \quad N$$

$$\sum_{i=1}^N \text{DGloss}_i \leq \sum_{i=1}^N \text{Dn}_i \cdot \text{PPP}_i \quad (3-58)$$

5、节点电压约束本文考虑节点电压的波动不超过额定值的±5%，具体表达式如下：

$$0.95 \leq V_i \leq 1.05 \quad (3-59)$$

在不含有分布式电源的情况下，可以将这一值放大至±10%。

6、电压稳定性约束电压稳定性需要满足一定的约束条件，具体表达式如下：

$$\text{VSI}_i \geq 28 \quad (3-60)$$

其中， $i \in (2, N)$ 。

3.4 成本效益分析

1、用户效益分布式电源运行商的效益现值是由于提升分布式电源渗透率而获得的收益，其表达式如下：

$$\sum_{i=1}^N \frac{y_{\text{DG}i}}{1 + d} + \sum_{i=1}^N \frac{y_{\text{IE}i}}{1 + d} + \sum_{i=1}^N \frac{y_{\text{ND}i}}{1 + d} + \sum_{i=1}^N \frac{y_{\text{PD}i}}{1 + d} \quad (3-61)$$

其中，折现率为 d ； R_y 为年售电收入； IL

为降损激励； IE_y 为排放激励； ND 为缓建收益； PD

为节点 i 的分布式电源出力； N_y 为投资年限； IL

可以改写为：

$$\sum_{i=1}^N \frac{y_{\text{loss}}}{1 + d} + \sum_{i=1}^N \frac{y_{\text{ATCI}}}{1 + d} \quad (3-62)$$

其中：

loss

y_{C}

为损耗值；

loss

y_{T}

为不含 DG 机组的网络年损耗；

loss

y_{A}

为含有 DG 机组的网络年实际损耗。

当分布式电源机组接入电网进行发电时，考虑到其环境友好性可以减少传统机组的二氧化碳排放，从而带来一定的环境效益。因此，环境效益因素也要考虑在里面。

E
y
I 则为配电商从 DG 机组和主网购电产生的环境效益。
其表达式如下所示：

E_{yE}

y

E

y

E

y

ATCI (3-63)

其中，

E

y

C

为二氧化碳排放单位成本；

E

y

A

为含有 DG 机组的系统年实际排放值；

E

y

T

为不含 DG 机组的系统年排放值。

2、用户成本用户的成本现值是由于整个投资期内的各项费用产生的。

具体的表达式为：

$NiGDGi DNyy0$

M

y

PC

d

C

C

y 111 (3-64)

其中，

OM

y

C

为年运行和维护成本；CD

G

为 DG 机组的资金成本。 29

3、成本收益分析

效益成本比表达式如下：

C

B

BCR (3-65)

配网分布式电源的运行在减少网络损耗的同时，还需要满足在最优位置和容量的条件下，效益成本比最大。

3.5 本章小结本章提出了考虑分布式电源接入的配电网所优化模型。

首先，根据分布式电源接入配电网产生的有功网损、无功网损以及电压偏移和

稳定性作为因素进行了建模，说明了功率因数在优化过程中的求解方法。

其次，建立了以有功网损、无功网损和节点电压偏移为最小的优化目标函数，

并且考虑了功率平衡约束、分布式电源位置约束、分布式电源容量约束、分布式电源机组出力约束、节点电压约束和电压稳定性约束。

最后，以用户效益和用户成本进行成本收益分析，使得配电网分布式电源的运行在减少网络损耗的同时，还需要满足在最优位置和容量的条件下，效益成本比最大。 30

第4章算例分析

4.1 引言

本文利用 IEEE 33 节点算例对第二章提出的选址定容方法进行仿真分析。利用IEEE 69 节点算例对第三章提出的网损优化模型进行仿真分析。仿真分别针对计及网损和功率因数的分布式风机选址定容进行，并且考虑分布式电源的配电网网络损耗最优化解进行计算。

4.2 系统说明

针对配网的负荷水平不同，本文考虑轻载、均载以及重载三种情况，分别对应 0.5pu、1.0pu、1.6pu。利用 Matlab 进行仿真，具体的系统参数详见附件。
IEEE 33 节点系统是辐射状配网结构，含有 32 个分段开关和 5 个常开开关。系统总有功、无功和视在功率如表 4-1 所示。

表 4-1 系统功率方法	系统有功 k W	系统无功 kvar	系统视在 k VA
轻载	1867	1150	2185
均载	3715	2300	4356
重载	5944	3682	6891
主网	1906	3916	6529

假设分析过程中的负荷功率因数保持恒定不变，分析时段为 24 小时。分布式电源机组可以布置在所有节点，当容量和位置确定后，便可利用本文所提方法计算相应的网损。 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 2728 29 30 31 32 3326 23 24 25 1 19 20 21 22

图 4-1 IEEE 33 节点接线图 31 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 37 38 39 404636 41 42 43 44 45 47 48 49 50 53 54 55 56 57 58 59 60 61 62 63 64 65 66 67 68 69 1 51 52

图 4-2 IEEE 69 节点接线图以上所有系统的节点电压均设置在 0.95-1.05p.u.。69 节点系统的热稳定极限设定在 5.1MVA（270A）。并且考虑负荷引起的电压波动，负荷年增长率为 3%，规划期为 15 年。在规划期内的负荷水平为 0.75。在此基础上，假设所有节点均适合分布式电源接入，同一节点可以接入一台以及多台机组。变电站内变压器的热稳定极限达到一定限值就需要对主变进行扩容。

为简化分析，假设分布式电源机组在建设期初初始年就接入系统并且在整个规划期内平稳运行，即假设其使用率为 100%。对 69 节点的分析数据如表 4-2 所示。

表 4-2 系统数据
类别数值DG 机组预设容量 0.8MVA
投资成本 960\$/kW
运维和燃料成本 50\$/MWh
售电成本 75\$/MWh
缓建收益 400\$/MWh
主网排放因子 0.9t CO2/MWh
排放成本 10\$/tCO2
折现率 8%

其中 69 节点系统中，考虑不含分布式电源机组、1 台分布式电源机组、2 台分布式电源机组、3 台分布式电源机组、4 台分布式电源机组和 5 台分布式电源机组的情况。 32

4.3 计及网损和功率因数的分布式风机选址定容仿真为了验证方法的有效性，采用第 2 章中提到的 A1、A2、A3 和详细潮流计算

(exhaustive load flow, ELF) 方法进行对比。

4.3.1 情景 1

情景 1 没有分布式电源接入，仅需要计算在一定负荷水平下的网损。

该情景中，年网损为 1381.53MWh。负荷曲线如图 4-3，计算的有功网损如图 4-4。 5.0 4.5 4.0 3.5 3.0 2.5 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24

时间负荷需求 (MVA)

图 4-3 负荷需求曲线 250 200 150 100 50 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24

时间有功损耗 (KW)

图 4-4 有功损耗曲线

4.3.2 情景 2

情景 2 为可调度风电机组，计算结果如表 4-3。可以看出 A1 法和 ELF 法计算的结果较为接近，DG 机组日损耗曲线与负荷特性曲线较为接近，因此，A1 法对确定 DG 机组容量较为合适。相应的 A2 与 A3 法的结果也显示在图 4-5 和 4-6 中。

33

表 4-3 情景 2 计算结果方法	A1	A2	A3	ELF
最优功率因数(落后)	0.82	0.83	0.83	0.82
最优节点	17	17	17	17
最优容量(MVA)	2.222	2.222	2.298	2.241
年网损(MWh)	144.35	144.68	144.56	144.27
CPU 运行时长(s)	0.77	0.10	0.10	> 1625.67

A1
A2
A3

ELF 3.0 2.0 1.0 0.0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24

时间DG 容量
(MVA)

图 4-5 情景 2 不同方法计算的 DG 容量结果 100 75 50 25 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24

时间
A1
A2
A3
ELF
有功网损 (k W)
图 4-6 情景 2 不同方法计算的有功网损结果

4.3.3 情景 3
情景 3 的计算结果如表 4-4 所示。得到风机最优的配置节点为 17。
从不同的方法对比结果中可以看出，A1 与 ELF 法较为接近。A1 计算的最优容量结果为 3.684MVA，ELF 法计算的结果为 3.316MVA。因此，用 A1 法计算的总的年网损为 307.52MWh，用 ELF 法得到的为 294.24MWh。具体的结果如表 4-4 所示。结果表明，A1、A2、A3 和 ELF 法得到的结果差别不大，在可以接受的范围内。
因此，本文提出的方法可以应用于大规模网络计算。 34
另外，可以从 CPU 运行时间上看出，A2 和 A3 的时间相同，这是因为这两种方法都从相同的网损公式推导而来。

指 标
疑似剽窃观点
1. 可以看出 A1 法和 ELF 法计算的结果较为接近，DG 机组日损耗曲线与负荷特性曲线较为接近，因此，A1 法对确定 DG 机组容量较为合适。
2. 从不同的方法对比结果中可以看出，A1 与 ELF 法较为接近。
疑似剽窃文字表述
1. 4.3.1 情景 1 情景 1 没有分布式电源接入，仅需要计算在一定负荷水平下的网损。 该情景中，年网损为 1381.53MWh。负荷曲线如图 4-3，计算的有功网损如图
2. A1 计算的最优容量结果为 3.684MVA，ELF 法计算的结果为 3.316MVA。因此，用 A1 法计算的总的年网损为 307.52MWh，用 ELF 法得到的为 294.24MWh。具体的结果如表 4-4 所示。结果表明，A1、A2、A3 和 ELF 法得到的结果差别不大，在可以接受的范围内。 因此，本文提出的方法可以应用于大规模网络计算。 34 另外，可以从 CPU 运行时间上看出，A2 和 A3 的时间相同，这是因为这两种方法都从相同的网损公式推导而来。

4. 012_第4部分	总字数：7660
相似文献列表	
去除本人文献复制比：21.4%(1637)	文字复制比：21.4%(1637) 疑似剽窃观点：(0)
1 11912650_裘森强_风电场的选址定容及风储联合经济调度研究 裘森强 - 《学术论文联合比对库》- 2017-11-14	20.9% (1599) 是否引证：否
2 分布式电源配置优化算法研究 李晨(导师：徐敏) - 《南昌大学硕士论文》- 2012-05-31	0.4% (30) 是否引证：否
原文内容	

但是 A2 和 A3 的误差不同，这主要是因方程线性化的处理不同造成的。
方法 A3 要比 A2 更为复杂，A2 由基本的支路电流损耗公式推导而来，其输入为支路阻抗和支路电流；A3 法由支路功率损耗而来，其输入为支路阻抗、支路有功和无功和节点电压。
表 4-4 情景 3 计算结果方法 A1 A2 A3 ELF
最优功率因数(落后) 0.82 0.83 0.83 0.82
最优节点 17 17 17 17
最优容量(MVA) 3.684 3.684 3.777 3.316
年网损(MWh) 307.52 305.00 309.24 294.24
CPU 运行时长(s) 0.77 0.10 0.10 > 1625.67
图 4-7 为情景 3 中不同方法计算的 DG 容量。 2.4 2.1 1.8 1.5 1.2 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18
19 20 21 22 23 24

时间
A1
A2
A3
ELF
DG 容量

(MVA)
图 4-7 情景 3 不同方法计算的 DG 容量结果图 4-8 为情景 3 中不同方法计算的有功网损。 25 20 15 10 5 1 2 3 4 5
6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24
时间
A1
A2
A3
ELF
有功网损
(k W)

图 4-8 情景 3 不同方法计算的有功网损可以看出，情景 3 中的可调度风机在最优容量配置、年网损等方面都与情景 2 有所不同，这也充分说明了风电机组的可调度性会影响整个网络的网损等。

35
4.3.4 对比分析图 4-8 给出了机组在最大渗透率和实际渗透率水平下的对比。
实际渗透率为最大渗透率乘以容量因数 cf。从图中得知，不可调度机组的最大渗透率水平高于可调度机组的渗透率水平。
但是实际渗透率水平的情况正好相反，

不可调度机组的实际渗透率明显低于可调度机组的。这主要是由于可调度机组能够
更好地匹配负荷需求曲线，而不可调度机组就做不到这一点。虽然这对不同类型DG 机组有所不同，但是整体的情况不会改变。
100 75 50 25 0 2 3

情景最大渗透率实际渗透率渗透率 (%) 57.51 47.69 95.36 45.69
图 4-8 各情景渗透率对比图 4-9 给出了以上情景的网损情况。从图中可知，可调度机组情境中，网损下降的情景比含有不可调度机组的情景更多。这主要是由于可调度机组与负荷需求匹配较好，原因同前。
100 75 50 25 0 2 3

情景渗透率 (%)
图 4-9 各情景年网损值图 4-10 给出了在最极端情况下各场景的电压曲线。在不含风机等机组时，最极端情况出现在负荷峰值时，网络节点 16-24 低于 0.94pu 的最低限值。

考虑到风机等分布式电源机组与负荷的匹配，极端情况的时间段为：情景 2 为
16 时，情景 3 为 12 时。从图中也可得知，在分布式电源接入之后，极端情况下的 36
电压曲线在可接受范围内有一定改善，另外，情景 3 含有可调度机组的电压曲线好于情景 2 含有不可调度机组的情况。

1.06 1.02 0.98 0.94 0.90
情景1
情景3
情景2
电压 (p.u.) 1 3 5 7 9 11 13 15 17 19 21 23 25 27 29

图 4-10 各情景节点电压另外，DG 机组的类型和功率因数在减少网损方面也十分关键。
利用方法 1，在节点 17 以不同的功率因数代表不同类型的机组，图 4-11、4-12

给出了情景 2、情景 3 下不同类型 DG 机组网损减少的变化趋势。当功率因数以超前到落后的规律变化时，网损削减值不断变大，当机组运行在 0.82 最优落后的功率因数时，网损削减量最大。同时看出，类型 3 的机组对网损削减影响最大，而类型

4 的机组影响最小。
但是，许多国家要求并网风机在合理范围内提供一定的无功支持或有功控制。
例如在爱尔兰，风机的功率因数按照要求应当在 0.835 超前到 0.835 落后之间变化。
在英国，应当在 0.95 超前到 0.9 落后。因此，为了对功率因数对网损削减的影响进行研究，本文将其设置为 0.9 超前到 0.9 落后变化。最终的结果显示，对削减网损最有利的情况是 0.9 落后。所有情景得到的最优位置全在 17 节点。机组的容量和相应的年网损值也都表示在图中。
3.63 3.68 3.00 1.76

DG 容量网损 75.93 77.44 54.33 20.77
DG
功率因数 5 100 4 80 3 60 2 40 1 20 0 0 4 1 3 3
电源类型最优容量 (MVA) 0.9
超前 1 0.9
滞后0.814
滞后最优网损削减百分比 (%)
图 4-11 情景 2 功率因数 37 2.19 2.22 1.81 1.06
DG 容量网损 87.38 89.55 62.45 23.78
DG
功率因数 5 100 4 80 3 60 2 40 1 20 0 0 4 1 3 3
电源类型最优容量 (MVA) 0.9
超前 1 0.9
滞后0.814 滞后最优网损削减百分比 (%)
图 4-12 情景 3 功率因数

4.4 考虑分布式电源的配网网损优化仿真
4.4.1 选址定容优化结果分析在该节中，利用 IEEE 69 节点进行仿真。5 台分布式电源的最佳位置分别为 63、

33、28、2 和 44 节点。表 4-5 给出了最佳位置和容量的求解结果。

该求解结果的规划年限是 15 年。每台机组的容量均预设为 0.8MVA，功率因数通过优化得到。最优功率因数均为滞后，但是机组之间的差异性较大。随着机组的数量增长，机组的最优容量也呈现增加的趋势。可以看出，机组的数量对电压约束有一定影响，在机组数量少于 3 时，出现了电压越限。

表 4-5 选址定容结果

DG 机组数量 DG 位置 DG 容量(MVA) DG 功率因数DG 总容量
(MVA)

约束是否越限

1 63 0.8 0.88 0.8 是 2 63 0.8 0.88
1.6 是 33 0.8 0.89 3 63 0.8 0.87
33 0.8 0.89 2.4 否 28 0.8 0.89 4 63 0.8 0.87
3.2 否 33 0.8 0.88 28 0.8 0.85 2 0.8 0.89 38 5 63 0.8 0.87
4 否 33 0.8 0.86 28 0.8 0.89 2 0.8 0.84 44 0.8 0.83

表 4-6 给出了 ζ_{APL} 、 ζ_{RPL} 和 ζ 之间随着机组数量不同的关系。可以看出，机组数量增加后，这三个参数均有所下降。但是随着机组数量进一步增加，当分布式电源在电网的渗透率高于系统负荷需求时，这些参数的增加的意义就不是很大。并且在机组配置数量中， ζ_{APL} 均大于 ζ_{RPL} 。这说明含有分布式电源的电网在优化有功网损而获得的收益要大于优化无功网损获得的收益。

表 4-6 参数对比DG 机组数量 ζ_{APL} ζ_{RPL} ζ 1 0.756 0.741 0.752 2 0.502 0.486 0.499 3 0.385 0.377 0.380 4 0.269 0.248 0.251 5 0.266 0.250 0.249

4.4.2 网损和电压稳定性分析图 4-13 给出了规划期含有分布式电源和不含分布式电源的网络有功损耗的情况。

对不同数量的分布式电源机组，网络的损耗是依据当年代表节点的负荷水平推算的。可以从图 4-13 中看出，不含分布式电源的网络损耗由于年负荷增长的影响在规划期内有所增加。而对含有分布式电源的网络，在规划期内的网络损耗则有所下降。当分布式电源数量为 5 台机组时，网络损耗最低。从图 4-13 中还可以看出，

当分布式电源机组从 3 台增长为 5 台时，分布式电源机组的渗透率逐渐增加，网络损耗减少量也逐渐增加，这说明在分布式电源机组为 3 台时，网络损耗削减不明显。

39 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 0 300 600 900 1200

年份网损(MWh)1500 13 14 15

不含DG

3台DG

4台DG

5台DG

图 4-13 网损结果图 4-14 给出了含有分布式电源机组和不含分布式电源机组的网络在规划期内电压稳定性的情况。

在单位规划时期内，系统的节点电压水平在最大负荷时降至最低。从图 4-14

中可以看出，含有 3-5 台分布式电源机组的系统节点电压偏移水平与不含分布式电源机组的网络相比具有明显提升。例如，在第一年，含有 3 台分布式电源机组的网络在 63、33 和 28 节点出力为 2.4MVA 时，分布式电源机组产生的节点电压变动从

2.8681 升为 4.5918。第 2 年和第 15 年之间的情况也类似。

另外，从图 4-14 中还可以看出，含有 4 台或者 5 台分布式电源机组时，节点电压稳定性裕度的增加比含有 3 台机组的情况要好很多。这主要是由于分布式电源带来的无功损耗与分布式电源机组的数量呈正相关，因而节点电压水平也有所改变。由图 4-14 可分析出，含有分布式电源机组和不含分布式电源机组的节点电压偏移水平随着年负荷的增长有所下降，因此规划期末时节点电压便宜水平降至最低。 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 0 1.5 3.0 4.5 6.0

年份电压稳定性裕度13 14 15

不含DG

3台DG4台

DG

5台DG

图 4-14 电压稳定性结果 40

表 4-7 给出了含有分布式电源机组和不含分布式电源机组的网络，在系统规划时期内的网络损耗情况。

网损的削减对系统的收益是有帮助的，当分布式电源机组数量达到 5 台时能够获得最大的收益。系统的平均电压稳定欲度是根据规划期内所有年份节点电压稳定性裕度的求和取得的。

可以看出，当分布式电源机组安装 3-5 台时系统节点电压稳定性裕度也随之上升。这说明分布式电源机组的安装数量在一定范围内的时候，可以帮助电力系统提升电压稳定性，并且减降低网损。

表 4-7 参数对比DG 机组数量网损(GWh/15 年) 节能(GWh/15 年) 年电压偏移平均电压偏移 0 14.68 - 2.2103 - 3 5.66 8.27 3.5987 1.4425 4 4.89 10.87 3.5864 1.4081 5 4.13 10.24 3.6698 1.5239

4.4.3 成本效益分析附加收益包括损耗激励、排放激励和网络延缓建设。系统总的收益是附加收益和售电收益的总和。网络成本包括运行成本、维护成本、燃料成本和分布式电源机组容量成本。

表 4-8 给出了含有附加收益和不含附加收益的网络，在规划期内的成本收益结果对比。结果包括收益成本比、净现值、回收期以及内部收益率。

表 4-8 参数对比DG 数量不含附加收益含附加收益 3 4 5 3 4 5

售能收益 11569 14867 18256 11569 14867 18256

网损激励 - - - 325 384 399
排放激励 - - - 251 308 376
缓建收益 - - - 880 1125 1403
总利润 - - - 13025 16684 20434
售能收益利润比 - - - 0.888215 0.891093 0.893413
总收益利润比 - - - 0.111785 0.108907 0.106587 41
运维成本 6802 8865 11096 6802 8850 11027
DG 容量成本 2063 2768 3359 2065 2801 3542
总成本 8865 11633 14455 8867 11651 14569
收益成本比 1.30502 1.278002 1.262954 1.46893 1.43198 1.402567
净现值 2704 3234 3801 4158 5033 5865
回收期 5.60 5.60 5.60 2.92 2.96 3.01
内部收益率 16.89 16.89 16.89 33.57 32.18 31.22

对不含附加收益的情况，从表 4-8 中可以看出，收益成本比在 1.288 时所有情景均相同。此时，内部收益率为 16.48%，投资回收期为 5.6 年。

对含有附加收益的情况，从表 4-8 中可以看出，售电收益占了总收益的 89%至 90%，而总的附加收益大约占有 10%到 11%。但是，附加收益，尤其是损耗激励收益在分布式电源机组安装容量和安装数量上起到关键作用。因此对收益成本比也有较大影响。从表 4-8 中还可以看出，收益成本比随着分布式电源机组有 3 台增加至 5 台时，从 1.468 下降至 1.402。当分布式电源机组数量为 3 台时，收益成本比最高，达到了 1.468。在这个情况下，净现值达到了 4158000 美元，内部收益率达到了 33.57%，投资回收期为 2.92 年。

总的来说，不含有附加收益时，分布式电源机组的数量最优为 5 台，而考虑附加收益时数量为 3 台。附加收入考虑与否对收益成本比、内部收益率和投资回收期都有较大影响，根据经验总结，考虑之后能够实现更高的内部收益率和更短的投资回收期。

另外，从表 4-8 中可以看出，净现值随着分布式电源机组的数量增加而增加。

但由于分布式电源机组数量受到系统容量的限制，当分布式电源机组数量超出范围时，渗透率的增加会导致节点电压约束越限，从而使系统的运行不具有稳定性。

图 4-15 给出了含有附加收益的各场景在规划期内的净现值情况。可以看出，

在某一确定的分布式电源使用因数下，净现值在 5 台机组时达到最大，3 台机组时净现值最低。另外，每个情境中，分布式电源机组的利用率达到 100%时净现值最大。但是在实际工程中，由于机组轮换检修等原因机组利用率不可能达到 100%，因此，实际工程中净现值会有所加降低。

42 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100 0 1.5 3 4.5 6

DG平均利用率%

NPV(m\$)3台DG

台DG4台DG5 7.5

图 4-14 不同 DG 使用效率与净现值的关系图 4-16 给出了规划期内负荷按照 3%增速下含有损耗的总需求与变压器热极限之比。

对含有分布式电源的情况，图 4-16 的分布式电源机组利用率为 100%，即理想情况。对不含有分布式电源机组，则需要在前 4 年对变压器进行增容以满足稳定极限。但是含有 3 台分布式电源机组的情况下，主变增容可以延缓至第 11 年，即产生了缓建收益，并且该收益随着分布式电源机组数量的增加而增加。

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 0 50 100 150 200

年份百分比%13 14 15

不含DG

3台DG4台

DG

5台DG

传输极限图 4-15 网损与负荷需求之和与热稳定极限比值曲线

4.5 本章小结本章通过选取 IEEE 33 和 IEEE 69 节点模型对第二章和第三章提出的模型进行了算例分析。 43

第一，通过三种网损计算方法，确定了 DG 机组的最优位置和容量。在此条件下，确定了 DG 机组运行时的功率因数。算

例仿真结果表明，当功率因数以超前到落后的规律变化时，网损削减值不断变大。

第二，对含有分布式电源的系统进行网损优化。算例仿真结果表明，随着机组的数量增长，机组的最优容量也呈现增加的趋势。当分布式电源机组数量增加时，分布式电源机组的渗透率逐渐增加，网络损耗减少量也逐渐增加，即分布式电源机组数量较少时网络损耗削减不明显。算例的仿真结果对第二章和第三章进行的理论推导和提出的分布式电源选址定容的优化方法进行了进一步的验证。 44

第5章结论及展望

5.1 结论本文对分布式电源选址和定容优化以及配电网络损耗优化进行了研究，并对网络损耗和功率因数在分布式电源选址定容中的作用进行了说明。同时建立了相应的

模型，给出了分布式电源在最优容量和功率因数选择方面的计算过程及方法。文章给出了网络损耗优化参数的主要内容，提出了以网络损耗最小的目标函数，并考虑了功率平衡和分布式电源位置等多种约束条件，以用户效益和用户成本进行成本收益分析，使得配电网分布式电源的运行在减少网络损耗的同时，还需要满足在最优位置和容量的条件下，效益成本比最大。在 IEEE 33 和 IEEE 69 节点模型中的算例仿真验证了相关研究结论。

研究工作的主要结论如下：

(1) 仿真算例说明了风电机组的可调度性会影响整个网络的网损,可调度风电机组情景中, A1 法和 ELF 法计算的结果较为接近, DG 机组日损耗曲线与负荷特性曲线较为接近, 因此, A1 法对确定 DG 机组容量较为合适;从模型求解时间上来看, A2 和 A3 的时间一样。

(2) 不可调度机组的最大渗透率水平高于可调度机组的渗透率水平。但是实际渗透率水平的情况正好相反,不可调度机组的实际渗透率明显低于可调度机组。

可调度机组情境中,网损下降的比含有不可调度机组的情景更多。分布式机组的数量对电压约束有一定影响,在机组数量少于 3 时,出现了电压越限。

(4) 当分布式电源机组数量增加时,分布式电源机组的渗透率逐渐增加,网络损耗减少量也逐渐增加,说明在分布式电源机组数量较少时,网络损耗削减不明显。

(5) 净现值随着分布式电源机组的数量增加而增加。但是由于分布式电源机组数量受到系统容量的限制,当分布式电源机组数量超出范围时,渗透率的增加会导致节点电压约束越限,从而使系统的运行不具有稳定性。缓建收益随着分布式电源机组数量的增加而增加;净现值随着分布式电源机组的数量增加而增加。

5.2 展望本文还需在以下方面进行深入:

(1) 应当进一步考虑分布式电源的随机性问题; 45

(2) 进一步完善网损优化的目标函数,考虑多目标优化;

(3) 考虑储能能在分布式电源选址定容中的作用和影响。 46

参考文献

[1] 王涛,贺春光,周兴华,邵华,耿光飞,檀晓林.基于分布式电源选址定容的配网降损方法研究[J].可再生能源,2020,38(09):1246-1251.

[2] 王涛,刘雪飞,郑重,刘芮,习朋,赵阳,张丽洁,苗世洪.基于潮流线性化的分布式发电选址定容新算法[J].电力自动化设备,2020,40(08):117-128.

[3] 朱训君,王宾,李海雨,刘阳,高涵冰,李德宇.基于改进粒子群算法的农村配网分布式光伏选址定容研究[J].电力电容器与无功补偿,2020,41(04):206-214.

[4] 盖克胜,陈焕浩.计及供电可靠性的多目标分布式电源选址定容方法[J].湖南电力,2020,40(03):5-11.

[5] 肖鱼.考虑可靠性的分布式电源选址定容规划研究综述[J].电力设备管理,2020(06):157-160.

[6] 李智威.基于改进果蝇优化算法的分布式电源选址与定容[D].安徽理工大学,2020.

[7] 李佳祥,徐建华,韩卫民,童樵,何剑杰.基于智能单粒子算法的分布式电源选址与定容[J].通信电源技术,2020,37(09):1-5+10.

[8] 李晓东.遗传狮群算法的分布式电源定容选址[J].重庆工商大学学报(自然科学版),2019,36(06):106-110.

[9] 李宏博.基于NSGA-II算法的多目标优化分布式发电选址定容研究[J].机电信息,2019(30):1-5.

[10] 卢光辉,滕欢,廖寒逊,吴泽穹.基于改进天牛须搜索算法的分布式电源选址定容[J].电测与仪表,2019,56(17):6-12.

[11] 杨智君.基于群智能算法的分布式电源选址与定容[D].太原科技大学,2019.

[12] 刘强,刘佩,马少飞,王庆丰,樊平,齐凌成,刘随阳,廖方帆,慧宇翔.基于灰狼优化算法的分布式电源定容选址研究[J].智慧电力,2018,46(11):40-46.

[13] 何晨可,韦钢,朱兰,包伟涔,龚博杰.电动汽车充换放储一体化电站选址定容

[J].中国电机工程学报,2019,39(02):479-489+645.

[14] 朱俊澎,顾伟,张韩旦,王伟军,朱刚,尤锭军.考虑网络动态重构的分布式电源选址定容优化方法[J].电力系统自动化,2018,42(05):111-119.

[15] 刘佳,徐谦,程浩忠,兰洲,马则良,朱忠烈.考虑N-1安全的分布式电源多目标协调优化配置[J].电力自动化设备,2017,37(07):84-92.

[16] 盛四清,刘梦.一种同时考虑DG和ESS选址定容的主动配网规划方法[J].电力科学与工程,2015,31(10):21-26.

[17] 黄湘,欧阳森,马少华.考虑DG对配网网损贡献率的网损分摊方法[J].电测与仪表,2019,56(18):16-24.

[18] 衣庆圆,闫征,朱良涛.分布式电源并网对配网网损影响的仿真研究[J].通信电源技术,2017,34(03):56-57.

[19] 黄红程,顾洁,方陈.风光资源特性相关性对配网重构的影响[J].电力系统及其自动化学报,2017,29(05):83-90. 47

[20] 杨满天,李德祥,陈碧云,叶蕾,崔堂山.光伏单相接入对低压配网的网损影响分析[J].广西电力,2016,39(01):11-14+32.

[21] 王义贺,栗然,马慧卓,刘洋.10kV配网接入分布式电源后电压及网损的计算与分析[J].东北电力技术,2013,34(03):4-9.

[22] 张勇军,翟伟芳,林建熙.分布式发电并网的网损影响评价指标研究[J].电力系统保护与控制,2011,39(13):134-137.

[23] 刘鹏,马明,张俊芳.分布式电源对配网网损影响的研究[J].现代电力,2008,25(06):27-30.

[24] 杨慧彪,祁鑫,邵鹏,王运.基于改进潮流跟踪的网损分摊方法[J].电子设计工程,2021,29(04):168-171+176.

[25] 吴凯,李辉.基于机器学习的网损计量分析[J].科技创新与应用,2021(05):70-71+74.

[26] 况华,沐欣欣,覃日升.基于多时间尺度需求侧响应模型的网损优化方法[J].四川电力技术,2020,43(06):49-54+65.

[27] 张琦,陈谦,周聪,仇娜,邓晓璐,周文海.基于机会约束的含分布式电源配网网损优化[J].供用电,2020,37(12):8-15+30.

[28] 蒋航,方颖颖,周建英,黄丽琼,陈荣锋,熊军.基于网络拓扑结构优化的电力系统网损在线综合优化方法[J].自动化与仪器仪表,2020(11):210-215.

[29] 唐晓健,林济铿,郭其一.基于网损估计的系统恢复新方法[J].电气技术,2020,21(10):15-20.

[30] 刘文颖,陈鑫鑫,王方雨,刘福潮,王耿.基于图论和潮流追踪的网损分摊方法

[J].华北电力大学学报(自然科学版),2020,47(05):1-9.

- [31] 赵亦岚, 朱小燕, 盛文洋, 高慧敏, 陈健琳. 基于HELM网损灵敏度的配网无功优化研究[J]. 浙江电力, 2020, 39(09):1-7.
- [32] Van Belle Lucas, Claeys Claus, Deckers Elke, Desmet Wim. Implications of Nonsub-Wavelength Resonator Spacing on the Sound Transmission Loss Predictions of Locally Resonant Metamaterial Partitions[J]. J. Vib. Acoust, 2021, 143(4).
- [33] 傅利, 周步祥, 王小红, 等. 计及用户侧响应的含风电电力系统清洁经济调度[J]. 电力系统及其自动化学报. 2014(12): 74-79.
- [34] 随权, 林湘宁, 童宁, 李雪松, 汪致洵, 胡志豪, 李正天, 孙士苒. 基于改进两阶段鲁棒优化的主动配网经济调度[J]. 中国电机工程学报, 2020, 40(07):2166-2179+2396.
- [35] 吕默影, 陈苑婷, 常建斌, 郑腾飞. 考虑杆塔平衡力的配网线路快速机械除冰次序优化[J]. 机械设计与制造工程, 2020, 49(02):64-68.
- [36] 石季英, 乔文, 薛飞, 马丽, 杨文静. 计及配网有功无功协调运行优化的SST规划方法[J]. 天津大学学报(自然科学与工程技术版), 2020, 53(01):50-60.
- [37] 陈光. 基于PDCA循环的配网基建工程质量管理流程分析及优化[J]. 机电信息, 2019(35):174-175.
- [38] 余佳音, 唐坤杰, 章杜锡, 周飞, 董树锋, 吴金城. 输配网一体化建模与分析方法研究综述[J]. 浙江电力, 2019, 38(11):1-9.
- [39] 王伟冠, 杨启洪, 陆凯烨, 吴细辉, 陈春泉, 王红霞. 基于随机矩阵理论的配网故障可观的PMU优化配置方法[J]. 电网与清洁能源, 2019, 35(05):29-37+41. 48
- [40] 贝嘉鹏, 金正伟, 刘同. 基于综合补偿的配网三相不平衡优化方法研究[J]. 电力设备管理, 2019(01):58-60.
- [41] 木孙渡. 配网台区三相不平衡补偿装置优化配置方法研究[J]. 中国新技术新产品, 2018(23):65-67.
- [42] 唐妮妮. 配网调度管理存在问题分析和优化方法 [J]. 山东工业技术, 2018(04):186.
- [43] 张嘉裕. 基于配网工程造价的施工组织设计优化研究 [J]. 科技创新与应用, 2017(33):101-102.
- [44] 程庭莉, 陈民铄, 罗欢. 含可再生能源发电的配网储能多目标优化配置方法[J]. 电网技术, 2017, 41(09):2808-2815.
- [45] 郑伟权. 电力配网自动化运行优化研究[J]. 科技与创新, 2017(11):65+69.
- [46] Huilian Liao. Review on Distribution Network Optimization under Uncertainty[J]. Energies, 2019, 12(17).
- [47] Alp Ustundag, Aysenur Budak. A web-based DSS for fuzzy distribution network optimization[J]. Journal of Enterprise Information Management, 2015, 28(2).
- [48] 苏明, 傅志华, 许文, 等. 碳税的国际经验与借鉴[J]. 环境经济. 2009(09): 28-32.
- [49] 朱永彬, 刘晓, 王铮. 碳税政策的减排效果及其对我国经济的影响分析[J]. 中国软科学. 2010(04): 1-9.
- [50] 张梓太. 关于我国碳税立法的几点思考[J]. 法学杂志. 2010(02): 98-100.
- [51] Zhang Y, Iu H H, Fernando T, et al. Cooperative Dispatch of BESS and Wind Power Generation Considering Carbon Emission Limitation in Australia[J]. IEEE TRANSACTIONS ON INDUSTRIAL INFORMATICS. 2015, 11(6): 1313-1323.
- [52] Zhang Y, Yao F, Iu H H C, et al. Wind-thermal systems operation optimization considering emission problem[J]. INTERNATIONAL JOURNAL OF ELECTRICAL POWER & ENERGY SYSTEMS. 2015, 65: 238-245.
- [53] Ieee. IEEE Standard for Interconnecting Distributed Resources with Electric Power Systems[C]. 2003.
- [54] Hung D Q. Smart integration of distributed renewable generation and battery energy storage[J]. Battery Energy Storage. 2014.
- [55] Elgerd O I. Electric Energy Systems Theory: An Introduction[M]. McGraw-Hill, 1971: 296-297.
- [56] Mekhamer S F, El-Hawary M E, Soliman S A, et al. New Heuristic Strategies for Reactive Power Compensation of Radial Distribution Feeders[J]. IEEE Power Engineering Review. 2007, 22(6): 63.
- [57] Chang C F. Reconfiguration and Capacitor Placement for Loss Reduction of Distribution Systems by Ant Colony Search Algorithm[J]. IEEE Transactions on Power Systems. 2008, 23(4): 1747-1755.
- [58] Hung D Q, Mithulanathan N. Loss reduction and loadability enhancement with DG: A dual-index analytical approach[J]. Applied Energy. 2014, 115(115): 233-241. 49
- [59] Hung D Q, Mithulanathan N, Bansal R C. Analytical strategies for renewable distributed generation integration considering energy loss minimization[J]. Applied Energy. 2013, 105(2): 75-85.
- [60] Hung D Q, Mithulanathan N, Bansal R C. Analytical Expressions for DG Allocation in Primary Distribution Networks[J]. IEEE Transactions on Energy Conversion. 2010, 25(3): 814-820.
- [61] 苏鹏, 刘天琪, 赵国波, 等. 基于改进粒子群算法的节能调度下多目标负荷最优分配[J]. 电网技术. 2009(05): 48-53.
- [62] Zobaa A F, Bansal R C. Handbook of Renewable Energy Technology[M]. WORLD SCIENTIFIC, 2011: i. 50

指 标
疑似剽窃文字表述
<div><div>1. 但是 A2 和 A3 的误差不同，这主要是因方程线性化的处理不同造成的。 方法 A3 要比 A2 更为复杂，A2 由基本的支路电流损耗公式推导而来，其输入为支路阻抗和支路电流；A3 法由支路功率损耗而来，其输入为支路阻抗、支路有功和无功和节点电压。</div><div>2. 35 4.3.4 对比分析图 4-8 给出了机组在最大渗透率和实际渗透率水平下的对比。 实际渗透率为最大渗透率乘以容量因数 cf。从图中得知，不可调度机组的最大渗透率水平高于可调度机组的渗透率水平。但是实际渗透率水平的情况正好相反， 不可调度机组的实际渗透率明显低于可调度机组的。这主要是由于可调度机组能够 更好地匹配负荷需求曲线，而不可调度机组就做不到这一点。虽然这对不同类型DG 机组有所不同，但是整体的情况不会改变。</div><div>3. 4-8 各情景渗透率对比图 4-9 给出了以上情景的网损情况。从图中可知，可调度机组情境中，网损下降的情景比含有不可调度机组的情景更多。这主要是由于可调度机组与负荷需求匹配较好，原因同前。</div><div>4. 4-9 各情景年网损值图 4-10 给出了在最极端情况下各场景的电压曲线。在不含风机等机组时，最极端情况出现在负荷峰值时，网络节点 16-24 低于 0.94pu 的最低限值。 考虑到风机等分布式电源机组与负荷的匹配，极端情况的时间段为：情景 2 为 16 时，情景 3 为 12 时。从图中也可得知，在分布式电源接入之后，极端情况下的 36 电压曲线在可接受范围内有一定改善，另外，情景 3 含有可调度机组的电压曲线好于情景 2 含有不可调度机组的情况。</div><div>5. 利用方法 1，在节点 17 以不同的功率因数代表不同类型的机组，图 4-11、4-12 给出了情景</div><div>6. 落后的规律变化时，网损削减值不断变大，当机组运行在 0.82 最优落后的功率因数时，网损削减量最大。同时看出，类型 3 的机组对网损削减影响最大，而类型 4 的机组影响最小。 但是，许多国家要求并网风机在合理范围内提供一定的无功支持或有功控制。 例如在爱尔兰，风机的功率因数按照要求应当在 0.835 超前到 0.835 落后之间变化。 在英国，应当在 0.95 超前到 0.9 落后。因此，为了对功率因数对网损削减的影响进行研究，本文将其设置为 0.9 超前到 0.9 落后变化。最终的结果显示，对削减网损最有利的情况是 0.9 落后。所有情景得到的最优位置全在 17 节点。机组的容量和相应的年网损值也都表示在图中。</div><div>7. 通过三种网损计算方法，确定了 DG 机组的最优位置和容量。在此条件下，确定了 DG 机组运行时的功率因数。</div><div>8. 但是实际渗透率水平的情况正好相反，不可调度机组的实际渗透率明显低于可调度机组。</div></div>

说明：1. 总文字复制比：被检测论文总重合字数在总字数中所占的比例

2. 去除引用文献复制比：去除系统识别为引用的文献后，计算出来的重合字数在总字数中所占的比例

3. 去除本人文献复制比：去除作者本人文献后，计算出来的重合字数在总字数中所占的比例




4. 单篇最大文字复制比：被检测文献与所有相似文献比对后，重合字数占总字数的比例最大的那一篇文献的文字复制比

5. 指标是由系统根据《学术论文不端行为的界定标准》自动生成的

6. 红色文字表示文字复制部分；绿色文字表示引用部分；棕灰色文字表示作者本人文献部分

7. 本报告单仅对您所选择比对资源范围内检测结果负责



 amlc@cnki.net
 <http://check.cnki.net/>
 <http://e.weibo.com/u/3194559873/>