

文本复制检测报告单(全文标明引文)

№:ADBD2021R_2021072315351220210723154743311183154333

检测时间:2021-07-23 15:47:43

检测文献: 029

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: 8.7%

跨语言检测结果: 3.2%

去除引用文献复制比: 8.7%

总文字复制比: 8.7%

单篇最大文字复制比: 5.3% (231)

重复字数: [2884]

总段落数: [4]

总字数: [33175]

疑似段落数: [4]

单篇最大重复字数: [1753]

前部重合字数: [0]

疑似段落最大重合字数: [1888]

后部重合字数: [2884]

疑似段落最小重合字数: [129]



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

1.3% (141) 1.3% (141) 029_第1部分 (总10548字)

8.1% (726) 8.1% (726) 029_第2部分 (总8976字)

18.7% (1888) 18.7% (1888) 029_第3部分 (总10083字)

3.6% (129) 3.6% (129) 029_第4部分 (总3568字)



(注释: 无问题部分 文字复制部分 引用部分)

1. 029_第1部分

总字数: 10548

相似文献列表

去除本人文献复制比: 1.3% (141)

文字复制比: 1.3% (141)

疑似剽窃观点: (0)

1 风电多点并网的网源协调输电网扩展规划

1.3% (141)

李鹤(导师: 刘文霞) - 《华北电力大学(北京)硕士论文》- 2015-03-01

是否引证: 否

原文内容

专业硕士学位论文清洁能源并网下的
输电网网架扩展规划

Research and Development of Clean Energy Grid

Transmission Network Expansion Planning

2021 年 06 月

国内图书分类号: TM 715 学校代码: 10079

国际图书分类号: 621.3 密级: 公开

专业硕士学位论文清洁能源多点并网下的输电网网架扩展规划

硕士研究生:

导师:

企业导师:

申请学位: 工程硕士

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 Professional Master Degree

Research and Development of Clean Energy Grid

Transmission Network Expansion Planning

Candidate:

Supervisor:

Enterprise Mentors:

Academic Degree Applied for: Master of Engineering

Speciality: Computer Science and Technology

Cultivation ways: Part-time

School:

School of Control and Computer

Engineering

Date of Defence: June, 2020

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《清洁能源多点并网下的输电网网

架扩展规划》, 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

《清洁能源多点并网下的输电网网架扩展规划》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, 同意学校保留并向国家有关部门或机构送交论文的复印件和电子版本, 同意学校将学位论文的全部或部分内容编入有关数据库进行检索, 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、缩印或扫描等

复制手段保存、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

全球大范围的能源危机使得清洁能源的使用途径越来越广泛, 其中风资源有着资源量大、利用方便等多方面的便利条件, 使得它被大量地应用于电力系统当中。但是考虑到风速的随机特性会导致风电出力特性的随机性和波动性等特点, 风电接入后会对原本的电网在安全稳定运行方面产生多种不利影响, 由此给传统的电网规划问题带来新的挑战。

一方面为了促使风电资源的消纳, 另一方面, 为了保证电网安全运行, 本文以风电接入下的输电网为研究对象, 针对扩展规划问题进行研究, 主要研究内容:

首先, 从风电并网对电网的影响入手, 首先分析了风力发电的两种类型,

阐述了风力发电的优点和缺点; 接着从并网后的电压问题(电压偏移、波动闪变、静态稳定性)、频率问题和潮流问题入手, 以此推导分析风电接入的影响;

最后本章通过从无功、有功规划作为电网规划问题的分类, 对风电并网后对两种规划带来的影响展开分析。

接着, 通过分析电网规划中的不确定性因素, 针对负荷(随机变动)、机组出力(线性化分段函数)和风速(两参数威布尔分布)建立概率模型; 然后将蒙特卡洛随机抽样的方法用于抽取规划水平年的所有运行场景, 接着提出基于多维空间分布的聚类方法, 来化简获得基于多场景技术的组合运行场景。

然后, 首先建立多目标优化规划模型, 目标函数为综合成本、最小弃风量和风险水平最小, 约束条件为潮流和容量约束。

接着简述 DE 算法的基本原理以及参数设置来有效求解构建的优化模型；阐述本文采用的约束处理方法来适应含约束的多目标优化模型的求解需求；对 EDA 的基本原理及其概率更新机制的进行方法改进分析讨论，最后基于以上分析提出本文的改进混合算法。

最后，算例分析采用 MATLAB 编程来对 IEEE RTS24 系统下的网源协调输电网扩展规划模型展开寻优计算及结果分析。首先针对改进的混合算法当中新增加的参数设置进行讨论和分析，并最终确定相应的参数值；接着求解所得的最优规划方案可以证实本文多目标优化模型；最后将改进算法和传统算法对比分析来验证所提算法的优越性。

关键词：风电接入；输电网规划；场景聚类；分布估算算法；微分进化算法

II

Abstract

The global wide range of energy crisis makes the use of clean energy more and more widely, among which wind resource has many convenient conditions, such as large amount of resources, convenient use and so on, which makes it widely used in the power system. However, considering the random characteristics of wind speed will lead to the randomness and volatility of wind power output characteristics, wind power access will have a variety of adverse effects on the original power grid in the safe and stable operation, which brings new challenges to the traditional power grid planning. On the one hand, in order to promote the wind energy consumption, on the other hand, this paper studies the expansion planning of the transmission network in the case of wind power access:

Firstly, in view of the influence of wind power injection on the steady-state operation of power grid, this paper analyzes the influence of wind power injection on the steady-state operation of power grid from three aspects: voltage problem, frequency and flow distribution. By summing up the above effects, the paper puts forward the expansion planning of grid source coordinated transmission network of wind power multi-point grid connection, which provides the theoretical basis for the establishment of the model in this paper.

Secondly, the uncertain factors in the power grid planning are analyzed and the probability model is established, and the operation scenarios in the planning year are obtained by Monte Carlo sampling. The clustering is proposed to simplify the operation scenarios. The clustering technology reduces the calculation amount for the flexible power grid planning considering the uncertainty factors.

Then, the paper summarizes the planning objectives that need to be considered in the coordinated planning, quantifies and establishes a multi-objective optimization planning model with the objectives of comprehensive cost, Minimum

Abandoned air volume and minimum risk level. The model takes power balance, line capacity limit and unit output limit as constraints. In order to meet the higher requirements of the calculation speed and accuracy of the solution method for the transmission network expansion planning problem, this paper combines the characteristics of the distribution estimation algorithm and the differential evolution algorithm, and improves the probability update mechanism of the distribution estimation algorithm according to the characteristics of the transmission network expansion problem, and proposes a hybrid algorithm for solving the large-scale transmission network expansion planning problem, which is the solution of the model proposed in this paper Provide technical support.

III

Finally, In the case study, Matlab is used to carry out optimization calculation and result analysis for the extended planning model of grid source coordinated transmission network under IEEE RTS24 system. Firstly, the newly added parameter settings in the improved hybrid algorithm are discussed and analyzed, and the corresponding parameter values are finally determined; then the optimal planning scheme obtained by the solution can prove the correctness of the experimental model and algorithm; in the part of multi scene clustering accuracy analysis, the comparative analysis method is used to verify that the multi-dimensional space based clustering technology can not only greatly reduce the calculation amount At the same time, it can also meet the specific requirements of the transmission network expansion planning in terms of calculation accuracy.

Finally, the improved algorithm and the traditional algorithm are compared to verify the superiority of the proposed algorithm.

Keywords: wind power injection ; trasmission network planning, scenarios clustering, estimation distribution algorithm, differential algorithm

IV

目录

摘要

..... I

Abstract..... II

目录.....

.....	IV
第 1 章绪论	
.....	1
1.1 研究背景和意义	1
1.2 国内外研究现状	2
1.2.1 风电并网下的输电网规划研究	2
1.2.2 输电网规划模型的研究	3
1.2.3 规划模型求解方法的研究	4
1.3 本文的研究内容	6
第 2 章风电并网对电网的影响分析	8
2.1 风力发电的类型及特点	8
2.2 风电并网对电网稳态运行的影响	10
2.2.1 风电并网对电压的影响	10
2.2.2 风电并网对频率的影响	12
2.2.3 风电并网对潮流分布的影响	12
2.3 风电并网对电网规划的影响	13
2.4 本章小结	14
第 3 章多场景的建模方法	15
3.1 不确定性因素建模	15
3.1.1 风速模型	15
3.1.2 机组出力模型	15
3.1.3 负荷模型	16
3.2 聚类技术下的多场景建模	17
3.3 本章小结	19
第 4 章输电网规划模型及改进算法	V
4.1 网源协调的输电网规划模型	21
4.1.3 目标函数	21
4.1.4 约束条件	22
4.2 微分进化算法	23
(DE)	23
4.2.1 基本原理	23
4.2.2 参数设置	24
4.2.3 约束处理	25
4.3 分布估算算法 (EDA)	25
4.3.1 基本原理	25
4.3.2 算法改进	26
4.4 改进的混合算法	27
4.5 本章小结	

.....	28
第 5 章算例分析	
.....	29
5.1 系统的基础参数	
.....	29
5.2 参数选取及仿真过程	
.....	29
5.2.1 改机算法 ω 参数取值	30
5.2.2 改进算法 β 参数的取值	30
5.2.3 仿真过程	
.....	31
5.3 优化的规划方案	
.....	32
5.4 聚类技术的精度分析	
.....	34
5.5 算法对比分析	
.....	35
5.5 本章小结	
.....	35
第 6 章结论与展望	
.....	37
6.1 结论	
.....	37
6.2 展望	
.....	38
参考文献	
.....	39
攻读硕士学位期间发表的论文及其他成果	46
攻读硕士学位期间参与的科研工作	
VI	
致谢	
.....	48

1
第 1 章绪论

1.1 研究背景和意义能源是非常重要且又无法缺失的天然资源，经济的飞速发展，让化石类的能源被严重地消耗，由此产生了世界范围内的重大能源危机；并且随着这些化石燃料使用量的与日俱增，随之而来的温室气体随意排放等问题，造成了生态环境的大范围污染。针对上述的问题，为了减轻在能源和环境这两方面的巨大压力，“可再生能源”的相关发展便随之产生了。现阶段应用范围比较广泛的可再生能源，主要有：风能、太阳能、水能以及潮汐能等等其他的能源类型[1]。

在上述的可再生能源当中，电力系统中考虑到风能具有分布广泛且规模较大的特点，同时其清洁型较好，利用起来也比较方便，因此其发展相对迅速。

中国地大物博的特点使得风能的资源相对丰富，且分布地比较广泛，所以，

中国近些年在风电方面的新增装机容量，甚至是多年来累计的装机容量，都在世界范围内处于领先的地位。可见，在电力方面大力地推进新能源产业的应用与发展，尤其是着力推进风电在电网的应用于建设，是电网公司未来一个十分重要的发展方向。

但是风电在广泛应用的同时，也带来了许多的问题。其装机容量的飞速增长、并网规模的逐步增加，给电网的某些方面带来了诸多的负面影响，具体为：

风电作为一种可再生的能源，具有着季节性和随机性，其产生的波动是影响电网的一个方面，另一方面，从电网特性来讲，风电难以调度，且与传统负荷的特性相悖，由此一来，风电便对电网的诸多方面，例如电网安全稳定运行、系统的电能质量等造成严重的影响；与此同时，风电的大规模并网，也会明显地影响到电网的调度和未来的电网规划等方面[2]。

从电网规划的角度为切入点，传统研究当中的输电网扩展规划问题，大多是以最大负荷作为依据进行规划[3]，或是以特定的运行方式[4]为切入点进行输电网的规划问题研究。上述的规划方案没有考虑到风电并网后其出力的特性对输电网整体的网架规划方案产生的影响。实际上如果忽略了风电并网对规划方案在经济性和可靠性等的影响。传统的规划方案并未研究风电并网时，并网点优化问题，只是单纯地对网架结构进行扩展规划。实际上风电并网点与网架扩展结构的协同优化是考虑网源协调的整体优化问题，其具有更好的规划效果，

并且在提高电网与风电场的收益、帮助电网和风电场实现可持续发展方面都具 2
有显著的优势。

综上所述，风电并网下的输电网扩展规划问题的相关研究，对提高风电的消纳能力、促进风电并网都具有非同寻常的意义

。本文考虑经济性、风险、风电接纳能力等多种因素，建立风电场多点接入电网的网源协调优化模型；同时将改进的求解算法应用于模型的求解过程当中。本文所提的模型和算法可以作为风电多点并网情况下电网扩展规划问题的重要技术支撑。

1.2 国内外研究现状电力系统按照电压等级以及具体功能的不同，可以分成输电网及配电网。

220kV 及以上为输电网，用于输送电能，而 110kV 及以下为配电网，则用于分配电能[5]。

电网的规划按照地域进行区分有：区域规划、省级规划、地市级规划等；

按照时间跨度进行区分有长期（十五年及以上）、中期（五到十年）和短期（五年左右）。输电网规划的目的是将负荷预测以及电源发展情况做为具体的依据，

以此来对输电网进行扩建，来达到最终电力输送的要求。

1.2.1 风电并网下的输电网规划研究输电网规划目标函数当中的经济效益包括建设成本、运行维护成本、失电成本等多个方面，具体研究如下。文献[5]在目标函数中除传统目标外，增添最小化排废量作为目标函数，在节能方面体现出较为显著的效果；文献[6]将并网点处的电压闪变水平作为表征风电并网影响电能质量的重要指标，并将并网点电压闪变水平指标作为目标函数进行考虑，仿真结果显示，由此得到的模型能够在考虑到经济性的同时，明显降低并网点的电压闪变水平。同样考虑到电压质量，文献[7]将静态电压稳定性指标纳入了目标函数。为了计及风电并网对负荷的相关影响，文献[8]同时考虑了风电在出力与负荷两方面的不确定性，把风电并网和负荷变动所导致的过负荷损失，转化到经济性方面的成本因素，并将其计及到目标函数中。同样是负荷影响，文献[9]则采用了需求侧的响应机制，

将负荷的损失进行了量化地削减。在拥塞成本[10]方面，文献[11]把无功规划和网架规划进行了结合，并以分阶段的方法进行各阶段的求解。

基于多场景的规划是用来解决风电并网带来的不确定因素的明智之举。文献[12]将负荷、风电出力的不确定性与金融环境下投资成本的不确定性相结合得到不确定性的集合，以各个因素的概率为具体依据组合得到各场景，并以此来对模型进行求解。还有运用了概率规划的模型：如文献[8]将 Monte Carlo 方法

与概率潮流的方法进行了一个结合运用，由此计算可得线路当中有功的概率分布及其功率分布函数，并以此为出发点来求取线路的过负荷概率，来核算约束条件以得到更具适应性的规划方案；而文献[13]利用 Monte Carlo 方法以风电出力的统计特性来抽取随机数由此建立概率模型并得到概率密度函数，然后采用直流潮流的方法来得到每一条支路过负荷概率，再计及建设的成本效益，最终提出线路重要度的概念，并将线路重要度作为指标得到最优的输电网规划方案。

上述研究单纯考虑了输电网的扩展规划，而没有研究风电并网点的优化问题，文献[14-15]将输电网扩展规划问题与风电并网点优选问题进行了协同的优化，从网源协调的角度尝试了电网与电源的协调规划。

1.2.2 输电网规划模型的研究输电网规划模型的特点为：不确定性、多目标、非线性、高维度、解集非凸等，且模型的复杂度与待规划系统的整体规模成正相关的关系。再输电网的扩展规划的建模问题当中，考虑的因素有以下三个方面。

经济性是首要考虑的关键因素，它指的是规划过程中计及到建设的投资费用、年运行费用以及维护的费用后，综合得到一年当中最低的一个总费用[16]。

在经济性方面的研究主要有：文献[17]的目标函数为投资和运行费用最小，约束条件为功率平衡、线路潮流、节点电压等约束，文章以此建立了双层的规划模型，同时求解了变电站的选址和线路路径的优化问题。文献[18]考虑到了全寿命周期，因此在成本的目标函数中计及了土地机会成本，由此得到的规划方案考虑到了土地资源价值的评估，因此该方案更具全面性。除此之外，在环保问题方面，文献[19-20]在探讨了碳排放价格的波动特之后提出了碳排放价格预测模型及其排放量计算方法，然后将上述模型和方法作为研究基础，将碳排放成本作为经济性方面的一个目标函数。在考虑电力市场的影响下，文献[21]综述了输电网规划问题在市场环境当中存在的不确定性因素的处理方法以及在此基础上的规划目标的建立和约束条件分析。文献[22-24]对线路投资成本、输电阻塞导致的成本、缺电造成的成本进行了一个综合地计算，由此形成了可以反映规划方案全面经济性的社会综合成本，并将该成本作为目标函数进行优化方案的求解，优化结果可以为市场环境下的输电网的优化规划决策提供强有力的技术支持。

可靠性作为输电网规划问题当中无法忽略的一个重要目标，指的是电力系统需要满足正常运行和事故情况两方面要求下的能力，在规划问题当中多运用 4

N-1 校验。采用确定性约束[25]作为校验的条件，大多情况下容易造成冗余的线路建设。考虑到上述情况，文献[26]将机会约束运用于输电网的规划当中，该方法基于以下设定：模拟状态当中元件的 N-1 通过率如果大于既定的一个概率值，就能够认为该规划方案达到了可靠性的要求。机会约束相对确定性的约束，

在计算量方面具有较为明显的优势[27]。虽然 N-1 校验在规范问题方面具有相对较广的应用范围，但是该校验方法将更多的注意力放在了大概率的事件上，在

实际应用当中，大概率事件的出现也并不一定会造成相应的损失，因此，考虑 N-1 校验作为可靠性校验标准所得到规划方案的问题表现在建设费用整体偏高，而可能会出现的小概率事件则很有可能会使得电网产生严重的损失，由此可见，基于 N-1 校验得到的规划结果难以对付重大的损失事故。此时出现了风险的概念，风险[28]是同时考虑到了时间出现的概率与该事件后果的严重程度，

所以更适合作为规划问题的目标函数[29-34]。文献[30]把期望值和标准差当做随机变量的特征，用于实现了风险值的量化描述，并采用算例验证了模型的风险防范能力。

灵活性期望得到的规划方案尽量满足以下几个方面的需求：可以适应电网的多种运行方式，可以应对源荷的变化等。灵活性在电网规划问题当中建模的应用为：计及的电网剩余输送容量[35]的规划模型，可以在一定程度上代表系统可以承受的源荷的变动。网络潮流流的概念[36]用在规划问题当中，来代表负载均衡情况，同时考虑到经济性来求得规划方案，算例表明以此得到的方案在源荷变化方面具有较强的适应性和灵活性。

为达到规划方案对灵活性方面的相关要求，基于多场景的规划手段进行多方面的透彻分析，并以不确定因素为依据来罗列出很多可能的组合场景，由此把不确定性规划的问题，就转变成了很多确定性的规划问题，对上述确定性规划进行求解可以大大地降低模型的求解难度[37-39]。而基于不确定性理论的规划模型可以分为概率模型[40]、模糊模型[41]、盲数模型[42]和区间模型[43]等等，这些模型在理论当面对具有更强的严密性，并且在处理不确定性的因素时，处理结果更为精确。

1.2.3 规划模型求解方法的研究数学解析法，通常情况下涵盖了线性[44]、非线性[45]规划和 Bender's 分解法[46]，该方法的优点主要体现在，他可以非常精确地能求取模型的全局最优解。

但是如果待求模型当中的目标函数或是某一个约束条件出现不可微的情况，该算法的计算效率收到阻碍，所以数学解析法在实际的输电网规划模型求解应用 5

的过程当中存在着一定的限制因素。

启发式算法[47]主要是以特定的评价指标为依据，对待选的方案进行灵敏度的计算来获取满意方案，常见的方法有扩线法[48]和倒推法[49]。该算法的特点主要体现在以下几个方面：算法易实现、计算量小，但在大规模电网的规划问题当中，启发式算法不能达到全局最优的考量来满足规划需求。

种群智能算法可以快速达到收敛。表现出非常明显的优势，因而被广泛地运用与输电网规划模型的求解当中[50-51]。

(1) 遗传算法遗传算法[52]以交配、繁殖和突变的现象作为算法的依据，该算法的大概流程是：将某个初始种群作随机选择、交叉和变异后，产生全新一代个体，然后他们向着适应值逐渐变优的方向发展，随着进化过程的持续演变，收敛到最优个体，以得最优解。

该算法在收敛速度方面没有明显优势，且最终的结果与初始值的选择有很大的关系，常改进如下。模拟退火算法用于初始值的选定过程[53]，由此来解决初值选择不当造成的无法达到全局最优的局面。拓扑随机搜索 [54]用于初始化以减少不可行解的数目。

(2) 粒子群算法粒子群算法[55]在种群全局搜索策略的基础之上，又采用了“速度-位移”的简单模型来规避遗传操作的复杂性。粒子群算法的主要步骤包括：适应值计算、个体和全局最优值的计算及更新等步骤。基于该算法的规划研究如下，文献[56]

将合声搜索用于解决多约束的问题，同时把被动聚集因子的参数应用于粒子群算法。文献[57]采用 k-means 聚类算法，提高粒子种群之间的差异，避免算法提前收敛。文献[58]对算法的参数进行了相应修正，即在算法进行迭代和寻优中对于惯性权重系数进行了动态地实时更新。

(3) 微分进化算法微分进化算法 (Differential Evolution, DE) 作为随机并行的一种搜索算法 [59]，在计算方面保留全局搜索策略的同时运用了实数编码和竞争生存的策略来减少进化过程中的复杂程度。文献[60]在采用全局编译算子的同时运用了局部变异的算子，由此来形成一种双种群的进化原则，该原则的使用可以对该算法在全局搜索和局部搜索这两方面的能力当中做出一个权衡；此外该算法还可以采用编码的方法，然后对二进制进行一个转换过程。

(4) 分布估算算法分布估算算法 (Estimation of Distribution Algorithm, EDA) [61]与上述各算 6

法最明显的区别在于，它直观地以父代的全部种群信息为具体的依据，来建立一个概率的模型，然后由此再生成子代。上述过程可以看出，分布估算算法在全局信息保留能力和搜索能力方面具有非常突出的优势[62]。但是该算法的缺陷也非常明显，主要表现为：邻域搜索操作欠缺下导致的较差的局部寻优能力。

考虑到上述缺陷，在进行规划模型的求解时，学者大多将分布估算的算法进行针对性的改进，或是与其他的算法相结合，由此来保证算法能够求得一个全局最优的解。如：文献[63]采用控制概率值的方法对子代生成过程进行改进，序列的形式[64-65]也可以将分布估算算法与微分进化算相结合，该混合算法首先按照分布估算算法的流程进行操作，当该算法达到设定的某个跳转条件的时候，

则跳转至算法至收敛。文献[66]为了增加子代的丰富性，将微分进化算法当中的变异算子，添加到分布估算算法当中去，使得算法在进化过程有与原有算法产生差异。

综上所述，单一的算法用于求解规划模型时，或多或少都存在着某些问题或缺陷，因此在实际的应用当中应当针对性地对相应算法进行改进和修正，有需要的情况下还可以提取多种算法的优点对其进行混合使用。

1.3 本文的研究内容风电多点并网的输电网扩展规划，主要从风电并网的影响、计及不确定性因素下的建模方法、规划模型的建立及求解算法的提出进行研究。本文的研究内容如下：

研究内容一：从风电并网对电网的影响入手，首先分析风力发电的两种类型，阐述了风力发电的优点和缺点；接着从并网后的电压问题（电压偏移、波动闪变、静态稳定性）、频率问题和潮流问题入手，以此推导分析风电接入的影响；最后本章通过从无功、有功规划作为电网规划问题的分类，对风电并网后对两种规划带来的影响展开分析。

2. 029_第2部分		总字数：8976
相似文献列表		
去除本人文献复制比：8.1%(726)		文字复制比：8.1%(726) 疑似剽窃观点：(0)
1	风电多点并网的网源协调输电网扩展规划 李鹤(导师：刘文霞) - 《华北电力大学(北京) 硕士学位论文》- 2015-03-01	8.1% (726) 是否引证：否
原文内容		

最后本文为了引出文章的研究对象，阐明风电与电网的协调发展环境下有功规划问题的新思路，即同时考虑风电并网的并网点优化与输电网的网架扩展优化。

研究内容二：通过分析电网规划中的不确定性因素，针对负荷（随机变动）、机组出力（线性化分段函数）和风速（两参数威布尔分布）建立概率模型；然后将蒙特卡洛随机抽样的方法用于抽取规划水平年的所有运行场景，接着提出基于多维空间分布的聚类方法，来化简获得基于多场景技术聚类技术下的组合运行场景。

研究内容三：建立多目标优化规划模型，目标函数为综合成本、最小弃风 7

量和风险水平最小，约束条件为潮流和容量约束。然后简述 DE 算法的基本原理以及参数设置来有效求解构建的优化模型；阐述本文采用的约束处理方法来适应含约束的多目标优化模型的求解需求；接着简介 EDA 原理，同时提出改进的概率更新机制，最后基于以上分析提了本文的改进混合算法。

研究内容四：本算例分析采用 MATLAB 编程来对 IEEE RTS24 系统下的网源协调输电网扩展规划模型展开寻优计算及结果分析。首先针对改进的混合算法当中新增加的参数设置进行讨论和分析，并最终确定相应的参数值；接着求解所得的最优规划方案，再验证聚类技术的计算量和计算精度；最后将改进算法和传统算法对比分析来验证所提算法的优越性。 8

第 2 章 风电并网对电网的影响分析

本章首先对风力发电类型以及其波动性、随机性的出力特点进行分析，然后分别从风电并网引起的电压问题、频率偏移和潮流分布这三个方面来分析风电并网对电网稳态运行的影响，最后基于以上分析，研究风电并网对电网规划的影响。

2.1 风力发电的类型及特点 风力发电机组的具体运行方式，可以分为独立的发供电运行系统以及并网的送电系统这两种，具体如图 2-1 所示。图中的图 a 代表其中的风电场是独立运行供电的，图 b 代表其中的风电场是通过升压站来并网送电的。

图 2-1 风力发电机组的两种运行方式 上述两种风力发电机组的运行方式当中，前一种独立运行的风力发电机组，通常情况下风电的装机容量比较小，且供电的整体范围也相对较小。由此一来，大多数的风电资源就需要就地消纳，此时的能源消纳需要依靠储能装置等[67]。这种运行方式通常被运用在相对来说比较偏远的地区。后一种并网送电的风力发电机组，大多由上百台的风电机组来构成一个大型的风电场，然后再通过“发电——输电——售电”的运行方式来并网送电，可见这种并网送电的运行方式通常具备较大的规模。同时，这种并网送电的方式是风能最高效的一种利用方式，也是最经济的方法[68]。

在风电并网送电的方式中，风电接入电网的方法也分为分散式和集中式接入两种。其中，风电资源分散式接入电网，大多应用在风电机组的装机规模不太大的场景当中。在上述场景下，风电资源接入高压配网之后，大部分的风能资源可以直接进行就地消纳，所以风电并网后极少会造成大范围的恶劣影响。但是仍 9

存在特殊情况下考虑到地理环境限制的限制，导致风电场之间的距离相对较远，使得集中式的并网在建设方面存在大量困难，因而只能采用分散式的方法将风电接入地区的电网。由此一来，风能资源只能有一部分进行本地的消纳，而剩余的大部分风能则需要外送到其他地方，在外送过程中便会对受端电网电压和潮流等造成影响。集中式的接入方法多应用于风电场的装机容量很大、地理位置很集中的场景当中。集中接入下的风电资源主要是通过高压输电线路进行远距离的异地输送，所以风电资源大多实现了异地的消纳。但是集中接入的方法由于风电功率相对较大，虽然输送时损耗较小，但是对于风电注入地区的电网和受端电网在稳定性方面的影响较大，因此需要两端电网在容量配合、电压支撑能力方面具有较强的技术支撑。同时，风电的传输通道也同样需要具备很强的传输能力，来满足风电功率的远距离和大规模的消纳。

本文从风力发电的优缺点出发来阐述其特点。风力发电经历了风能转换、系统运行到功率输出的一个完整的过程，所以风力发电在技术方面与常规的机组有着完全不同的特性，其优点突出表现在以下几个方面：

- (1) 施工周期短。在生产制作方面，风电机组拥有工厂化的生产流程，且具备相对简单的场地处理方法，因而无需花费大量时间用于生产制造；在设备安装周期方面，小规模机组的运输和安装时间一般情况下是低于九十天的，即使是 10MW 级的大规模风电场，其总体的建设周期也大概在一年左右的时间。同时，风电机组不需要磨合期，在设备安装完成之后可以马上投入使用。
- (2) 设备运维简单。大多数的风电场具备非常高的自动化管理的水平，因此在设备的运行管理和维护的过程当中，基本能够达到无人值守的条件。
- (3) 占地面积小。一个风电场所配备的的监控设备和变电设备等，他们所需占用的建筑面积，相对风电场本身的占地面积来说，大约仅需其百分之一的面积，且其余的场地还可以用来进行农业方面的利用。
- (4) 适应多种土地性质。在多种不同的土地条件下，均能够实施建设。

缺点如下：

- (1) 能量密度小。以水轮机为例，若是要获取同等的发电量，风力发电机组风轮尺寸的大小要比水轮机的水轮大得多，且其单机最大有功出力相对较小。
- (2) 波动性大。在输入端来讲，风电机组接纳的风能，在风速方面具有很强波动性和随机性，且难以获得较为准确的预测结果；在输出端来讲，由于风速容易受天气、环境等因素影响，所以机组的整体出力也随着风速的波动呈现出非常明显的随机性。

(3) 利用小时数低。考虑到风能资源会受到季节性变化和不同地理环境等 10 多方面因素的影响，所以全国各地在风能资源的利用效果上存在明显差异，但是总体上来讲，我国在风能的年利用小时数方面仍然保持在较低的水平，一般情况下在两千到三千小时之间。

考虑到风力发电存在明显的局限性，且风电通常接入在电网结构弱、缺乏电源支撑的末端电网，故而风电并网会对电力系统产生多方面的不良影响，并且随着装机容量的指数提升，其影响范围也逐渐扩大。

2.2 风电并网对电网稳态运行的影响

2.2.1 风电并网对电压的影响 风速随季节和环境因素变化导致风电机组出力的随机性和波动性，由此对电力系统的电压产生显著影响，具体包括电压偏差和波动闪变问题。严重情况下，

大规模并网还会造成电力系统的静态电压稳定性问题。

(1) 电压偏差 电压偏差：线路始端或末端的电压值与线路额定电压的数值差，与额定电压的百分比。以标准《GB 12325-90》为依据，电压偏差的要求范围为-10%~+7%。

末端电压 U_2 的电压偏差如式(2-1)：

$$\% N100\%$$

$$N$$

$$U \quad UU$$

$$U \quad (2-1)$$

究其风电资源接入电网后带来电压偏差的原因，具体为风电机组出力的波动性和随机性致使电网结构和线路潮流发生变化，然后进一步地造成了系统当中出现不平的无功功率，最终导致大量的无功流过输电线路[69]。

风电资源若是以恒速的风机接入电网当中，是必须要在很短的时间内接入电网的，由此一来就需要在很短时间内吸收掉大量的无功功率，此时风电并网的并网点处的节点电压值会大幅度地下降。当系统中加入电压控制手段之后，并联电容器的投切以及有载调压变压器的使用，会对整个系统进行无功补偿来减小整体的电压波动和偏差。但是该补偿方式并不是一个平滑的补偿过程，可能会无意间导致功率的波动，从而造成一定程度的电压偏差。

风电资源若是以变速的风机接入电网当中，考虑到变速机组能够对有功和无功的出力进行解耦地控制，此时风电场和接入电网这二者之间不存在大量的功率交换，便不会出现大范围的电压偏差情况[70]。但是，如果风电机组的出力一直维持在一个较高的水平，上述情况下再考虑到线路远距离传输时伴随的大量无功损耗，极大可能会引起电压偏差问题。 11

现阶段关于风电并网后的电压偏差的技术要求是，在正常运行方式的情况下，电压偏差必须保持在标称电压的-3%~+7%。

(2) 电压波动及闪变电压波动：工频电压包络线的周期性变化。电压波动的数值通常情况下可以采用电压均方根的最大、最小的差来进行表征；电压波动的情况可以采用上述的电压波动值和额定电压 U_N 进行表征[71]，具体见式(2-2)。电压闪变：电压波动导致肉眼对灯光闪烁的个人感觉。风电并网后系统的电压波动和闪变的允许范围必须满足 GB/T 12326-2008《电能质量电压波动和闪变》中的具体要求。 $\max \min \times 100\%$

$$\begin{aligned} &N N \\ &U U \quad U V \\ &U U \quad (2-2) \end{aligned}$$

在风电并网的系统当中，引起电压波动和闪变的原因在于风电机组出力的波动性[72]。其余的各种原因还包括：风速随机性、机组类型、控制系统结果、接入网架构等等。

本文此处将两节点的等效网络作为范例，来具体地分析风电机组出力影响电压的机理[73]。两节点的等效电网见图 2-2。

图 2-2 两节点等效电网在图 2-2 中，对各变量的解释如下： R 线路电阻， X 线路电抗， B 等效线路的电容， U_{grid} 电网电压， P_w 风电场有功出力， Q_w 风电场无功出力， S_w 风电场等效视在功率， E_w 风机接口电压。假设忽略掉线路两端的电压差的纵分量，

以电力系统中最基本的潮流计算为依据，可以计算得到电压波动的数值 U 如

公式(2-3)所示，进一步可以推导得到电网的电压如公式(2-4)所示：

$$\begin{aligned} &P R Q X U E U \\ &E \quad (2-3) \quad w w \quad grid \quad w w \\ &P R Q X U E \\ &E \quad (2-4) \end{aligned}$$

(3) 静态电压稳定性静态电压稳定性：系统遭受小扰动后电压恢复到扰动前水平的能力。在本文 12 研究的含风电并网的系统当中，该系统的静态电压稳定性与系统中无功功率的流动有着直接的关系，具体分析如下：在风电机组发出功率实施送电行为的情况下，

考虑到其本身的无功特性，机组在发出有功功率的同时，能够吸收无功功率，由此一来风电并网点处的电压会或多或少的受到一定程度的影响。之后风电机组的出力会越来越大，也就会吸收更多的无功，此时对电压稳定性方面的具体的影响程度，也就会随之逐渐地加强。

2.2.2 风电并网对频率的影响电力系统要求频率保持在额定值 50Hz 偏移在-0.2~+0.2Hz 之间。但是风电并网后其机组出力的随机性尤其是反调峰特性，会直接造成大范围频率偏移。

由风电机组出力造成的电压偏移，可以采用公式(2-5)进行表征。 0

$$\begin{aligned} &N \\ &S \\ &P f K \\ &P f \quad (2-5) \end{aligned}$$

公式(2-5)式中， f_N 正常运行时的频率的额定值， P_0 正常运行时的有功功率的额定值， P 有功功率不平衡时的有功缺额， f 频率偏离额定值的偏移值， K_s 系统单位调节功率， K_s 涵盖了发电机 K_G 和负荷 K_L 这两部分调节功率。

从理论层面分析可得，风电出力的随机性使得公式(2-5)中的有功缺额 P 产生了很大的变动，由此造成了频率偏移值 f 的偏移。具体为：如果风电机组的出力表现出骤增的趋势，此时供给的电力能源远远超过了系统负荷的实际需求，即使频率调节系统会针对优化目标进行一个全局的优化和控制，但仍然会使得系统频率大大高于额定值；相反地，如果风电机组的出力表现出骤降的趋势，则供给远远地低于负荷的实际需求，最终导致频率低于额定值。

系统单位调节功率 K_s 的意义在于表征电力系统一次调频的能力。若系统需要进行二次调频，那么二次调频时在某些出力情况下，能够保证无差调节且不造成频率偏移，但是，上述做法必须要增加调频的容量，容量不足依然会造成较大偏移。

根据上述的分析我们可以看到，风电场在接入电网时必须研究其接入导致的电网频率变化，且需要以实际频率的变化情况为具体的依据，在风电场允许的情况下，有选择、有顺序地对风电场实施退出运行或加入运行的操作，由此来避免大范围频率偏差的出现导致的“频率崩溃”。

2.2.3 风电并网对潮流分布的影响风电机组一般以集中式或是分散式的方式接入到地区电网的末端，考虑到 13 末端电网不具备足够的本地电源，所以在风电机组出力相对较小的情况下并电力系统则需要从外部引入电网来进行供电的过程。接下来机组的出力会慢慢地增加来对本地的负荷供电，此时输电线路上的有功会慢慢呈现出减少的趋势。

之后在风电机组出力比较大的情况下，受端电网自身的负荷不能够将大量的功率进行就地的消纳，就需要实施电能的外送，此时电网的功能由一个受端的电网变成送端的电网。综上可得，风电机组的功率变动的极其频繁，且功率的变化范围也很大，会导致接入端电网的潮流分布呈现出很大的变化。

而系统中潮流分布的变化，会显著地影响到输电线路的经济运行。本文在此选取输电线路的网损指标来表征网络中的潮流变化对线路经济性的影响，具体的数学关系式如公式(2-6)所示： 2 2 2 1 1 1 1 1

U (2-6)

分析公式(2-6)我们很容易地可以得到结论:潮流分布的变化会引起明显的线路有功网损变化,故而适量地风电并网能够降低网损。

以 2.3 节风电并网对稳态运行的影响分析为基础, 本节归纳并研究风电并网对电网规划在无功规划和有功规划这两方面的具体影响。

(2) 有功规划的影响依据 2.3.3 节风电并网对潮流分布的改变, 我们很容易地得到结论, 电网的有功网损与电网的网架结构、风电的接入量和接入位置等多种因素有着不可分割的重要联系。当风电接入后可以最大化的供给给本地的负荷进行本地消纳, 14

除此之外在计及了风电并网之后，电网的有功规划必须能够在现阶段的规划中，同时地考虑数年后风电的并网情况，以此来确保输电网具有合理的输送容量和网架结构，可以保证风电机组的并网和送电。假如有功规划过分的追求网络架构的坚强，那么由此多建造的冗余的线路不但会增加建设费用，同时会由于风电随机性导致传输效率底下从而降低整个电网的经济性。

2.4 本章小结本章从风电并网对电网的影响入手，首先分析了风力发电的两种类型，阐述了风力发电的优点和缺点；接着从并网后的电压问题（电压偏移、波动闪变、

第 3 章多场景的建模方法

再采用聚类的方法对上述场景进行组合和削减。

3.1 不确定性因素建模

3.1.1 风速模型 风速在一定时间段范围内符合某种概率的统计特征[74], 其概率特性是非常重要的且不能够或缺的参数。

此处两参数的威布尔分布在本文中用于表征风速的概率特性。两参数的威布尔分布涵盖了风速的概率密度函数和概率分布函数，其具体的表达式如下：

$$1(\cdot) \exp[\cdot]_{k \ k \ v \ v f \ v \ c \ c \ c} \quad (3-1)$$

$$\left(\frac{1}{2} \right) \left(\frac{1}{2} \right) \exp \left[- \left(\frac{1}{2} \right) \right] \text{kvF} \quad v \quad P \quad V \quad v \quad c \quad (3-2)$$

在公式 (3-1) 当中, $f(v)$ 是风速的概率密度函数; 在公式 (3-2) 当中, $F(v)$

是风速的概率分布函数; 两式当中出现的各变量的意义如下: v 表示的是风电场的风速, 风速的具体单位是 m/s ; k ——形状参数, c ——尺度参数。

蒙特卡洛的方法用于对风速的概率分布模型进行抽样, 并通过抽样得到的结果来建立组合的各个场景, 最终得到风速的抽样数值。假定 M 是 $[0, 1]$ 之间的随机数, 那么:

$$(\quad) = 1 - \exp\left[-\left(\frac{\quad}{\quad}\right)\right] \text{ kV} \cdot \text{M} \cdot \text{F} \cdot \text{v} \cdot \text{c} \quad (3-3)$$

$$1/[\ln(1-\alpha)]k_v c_0 M \quad (3-4)$$

3.1.2 机组出力模型风机具有单机容量少的特点，这是与常规电厂不同的地方，同时考虑到尾流效应[75]的影响，即使是处于相同的风速条件下，同一个风电场当中处于不同位置的风电机组仍然有着不同的出力情况。通常情况下，风电机组的功率特性 16

曲线[76]可以用来表征风速和机组出力这两者间的关系,风电场出力随风速的变化模型采用分段函数描述:

$$R \subset I \subset R$$

R c i

R R co v v v vf v p v v v v v

$$P_v v v \quad (3-5)$$

在公式（3-5）当中，PR 代表的是风机的额定输出功率；风速方面的变量包括 v_R ——风机额定风速， v_{ci} ——切入风速， v_{co} ——切出风速。

考虑稳态潮流计算在电网规划过程中为重中之重，风电场可以被等效地看做是电力系统当中一个 PV 或 PQ 节点。PQ 节点下风电场的无功： $\tan PQ$ （3-6）

——风电场的功率因数角，功率因数 \cos 一般取 0.9~0.98。

根据式(3-5)，已知风速便可求取风电场相应的机组出力，风电场的无功出力可根据式(3-6)进行计算。同时假设风速和风向均相同，即风电场内部风电场获取风能特性相同，忽略风电场内部各机组之间的相互影响，相应风速下对应风电场的实际有功出力为根据风速抽样值与式（3-5）计算出的值乘以 0.9[77]。

3.1.3 负荷模型负荷的随机分布模型通常情况下，多用正态分布的模型来描述其随机分布，在正态分布当中，负荷预测的值可以作其平均值[78]。正态分布的方差能够以统计计算负荷的变动情况为依据，然后取一个经验值来获得。得负荷的概率密度分布模型： $22()21() , 2$

$$\begin{aligned} &L \\ &L x \\ &L f x e x \end{aligned} \quad (3-7)$$

在上式当中，负荷的正态分布模型 $N(\mu_L, \sigma_L)$ ， μ_L 负荷的预测均值、 σ_L 负荷方差。假定负荷点功率因数保持恒定不变，即各负荷点无功负荷能够就地补偿，

本文所指负荷分布为有功负荷分布。

在潮流计算中，负荷节点一律看做是已知有功和无功功率的 PQ 节点，序贯蒙特卡洛用于随机抽样得到负荷的有功数值之后，公式（3-6）可直接用于求解各负荷节点的无功功率数值。 17

3.2 聚类技术下的多场景建模在风电场分多个并网点接入电网的运行场景当中，包含了前述的负荷随机特性以及风电机组处理的波动特性，与此同时我们还需要考虑到风电场在空间分布方面的特点。本节的研究内容是基于前面对负荷和机组出力特性的阐述，

来生成一个涵盖多维变量的输电网的运行场景，然后针对该运行场景采用经典的聚类算法，将原有的运行场景进行削减和组合来减小运行场景的个数，其目的在于通过对相似的场景进行组合来降低整体的计算时间以便能够提高计算效率。本文所建立的运行场景是多维的变量，其中涵盖了风电的有功出力、电网负荷水平等。

设风电场的数量为 n ，用 sr 来表示第 r 个运行场景，该场景代表了这一个风电场的出力情况、负荷的整体水平以及该场景的持续时间等具体情况。第 r

个运行场景 sr 可以用公式(3-8)表示：

$[, , \dots , ,]_r loadr winir winjr winnr r s p w w t$ (3-8)

在上述的公式中，运行场景 sr 包含了诸如 $plodr$ 、 $wwinir$ 等多个子变量，其中 $plodr$ 代表的是该场景当中的整体的负荷水平， $wwinir$ ——第 i 个风电场的出力情况， tr ——该场景在规划水平年当中的持续时间。

指 标
疑似剽窃文字表述
1. 章风电并网对电网的影响分析 本章首先对风力发电类型及其波动性、随机性的出力特点进行分析，然后分别从风电并网引起的电压问题、频率偏移和潮流分布这三个方面来分析风电并网对电网稳态运行
2. 静态电压稳定性问题。 (1) 电压偏差电压偏差：线路始端或末端的电压值与线路额定电压的数值差，与额定电压
3. 闪变的允许范围必 须满足 GB/T 12326-2008《电能质量电压波动和闪变》中的具体要求
4. , Ugrid 电网电压, Pw 风电场有功出力, Qw 风电场无功出力, Sw 风电场等效视在功率
5. 发出有功功率的同时，能够吸收无功功率，由此一来风电并网点处的电压会或多或少的受到一定程度的影响。
6. 规划中，同时地考虑数年后风电的并网情况，以此来确保输电网具有合理的输送容量和网架结构，可以保证风电机组的并网和送电
7. 风电多点并网下的网源协调输电网扩展规划，以此来为具体规划模型的建立和新型求解方法的提出奠定理论基础

3. 029_第3部分			总字数：10083
相似文献列表			
去除本人文献复制比：18.7%(1888)		文字复制比：18.7%(1888)	疑似剽窃观点：(0)
1	231	17.4% (1753)	
	- 《学术论文联合比对库》- 2014-12-22	是否引证：否	
2	231	17.4% (1753)	
	- 《学术论文联合比对库》- 2014-12-26	是否引证：否	
3	风电多点并网的网源协调输电网扩展规划	3.3% (335)	


```

      1 inf`1 1
    0 inf
      8760 inf 8760 8760 ... .. load w load i w i i load
w p w T

```

$$\begin{array}{l} 1 \text{ inf } 1 \\ 0 \text{ inf } \\ 8760 \text{ inf } 8760 \dots \dots \dots \text{load w load i w i i load} \\ w T \\ S p w T \\ P w T \end{array} \quad (3-9)$$

进行聚类 and 组合, 即为了减小计算量, 找到一个包含运行场景数目更少的简化集合替代 S_0 。

为判断, 来确定所有的样本之间的远近关系, 之后再将得到的远近关系作为标准来对所有的样本进行划分, 这便是聚类的原理。本文采用 S0 中各子场景在多维空间的分布信息[81]来对其进行聚类划分, 采用的聚类目标是样本的欧式聚类最近, 即样本欧式距离较近的样本被划分到一类当中, 而欧氏距离较远的样本则被划分到不同的类。

图 3-1 多维空间针对上述的多维空间 V ，此处定义多维子空间中心点 V_r 和各子空间的平均状态 M_r 。假定带规划的电网当中，总共有待并网的 n 座风电场，此时 V_r 的数目为 N_{n+1} 。由以上步骤可得：运行场景样本集合 S_0 ，多维子空间 V_r 及其子空间中心点 M_r 。

(1)使各个子空间中心点 Mr 成为聚类的中心:

$Ss_i = [pload_i, wwinl_i, \dots, wwinn_i]$ ，依照聚类的目标按下式求上述元素其和各中心点 Mr 的欧式距离：

$$2 \quad 2 \quad (\quad , \quad) \quad (\quad (1) \quad (1)) \quad (\quad (1) \quad (1)) s \quad i \quad r \quad s \quad i \quad r \quad s \quad i \quad r \quad d \quad S \quad M \quad S \quad M \quad S \quad n \quad M \quad n \quad (3-10) \quad 19$$

距离最近的多维子空间当中去: si r

$$\overline{S \vee (3-11)}$$

, Tr——场景 r 的持续时间, 多维子空间 V_r

$$1[\cdot, \cdot], 1, \dots, nr \text{ } r \text{ } r$$

$$\frac{S}{M} \frac{T}{r} N \quad (3-12)$$

图 3-2 场景聚类操作流程在经历了上述的场景聚类过程以后,得到的运行场景 Sr^* 同时计及了各种不确定性的因素以及场景随机分布的特性这两方面,并且在运行场景数目大幅度减小之后,算法用于求解规划模型的计算量和计算时间随之也会大大降低。

出力（线性化分段函数）和风速（两参数威布尔分布）建立概率模型；然后将蒙特卡洛随机抽样的方法用于抽取规划水平的所有运行场景，接着提出基于多维空间分布的聚类方法，来化简获得基于多场景技术的组合运行场景。21

4.1 网源协调的输电网规划模型

(1) 综合成本最小 1 1 2 min f C C (4-1)

和公式 (4-4)。 $1, 1, \dots, 1, 2, \dots,$

$$\begin{aligned} & \text{LN } i \ i \ i \ i \\ & \text{C A C L K } i \ i \ \text{LN} \end{aligned} \quad (4-13)$$

– 12 –

与当前的个体进行叠加操作。

假定前述选定的当前个体为第 i 个个体, x_{it} , $i=1, 2, \dots, N_p$, 经由上述的随机向量差分法进行变异操作之后, 可以得到下一代个体 v_{it+1} :

$$l*()t t t t i j k$$

$Fv_{xx} (4-11)$ 24 j, k ——随机选择的两个个体, F ——缩放因子, 其作用是确定差分向量的加权值, 取值是在零到二的范围内。

三、交叉操作。

采用二项式交叉算子的途径, 父代的个体 x_{it} 跟变异子代的个体 v_{it+1} , 可以由此生成一个试验的个体 u_{it+1} , 该实验个体是用以保持整个种群个体的多样性的, 实验个体如公式 (4-12) 所示: $l otherwise t t i j j rand i j t i j v if rand CR or j J u x (4-12)$

式中, CR ——交叉概率, $Jrand$ ——随机基因位置。

四、选择操作。

选择即是对比的过程, 如果在适应度方面, 试验个体 u_{it+1} 的表现比 x_{it} 更优,

那么该试验个体 u_{it+1} 被选为下个父代, 否则 x_{it} 将直接进入下一代: $l l l () () t t t t i i i t i if f f otherwise u u x x (4-13)$

4.2.2 参数设置

(1) 种群规模 N_p 。

种群规模越大, 种群当中相应个体的复杂性也就愈加地多样, 也就意味着会更容易地获取到规划方案的最优解。但是其问题在于, 种群规模的增加也会

随之带来计算和求解方面复杂度。故而, 问题维度的 2^5 倍一般为种群规模 N_p 的取值。

(2) 缩放因子 F 。

F 决定向量偏差的放大比例, 一般取 $[0, 2]$ 之间的值。如果 F 太小, 那么群体的差异度过早下降, 就会造成群体早熟收敛; 如果 F 太大, 那么群体的差异度不易下降, 就会使得群体收敛速度缓慢。合理的 F 取值建议在 0.4 到 1 的范围之间, 初值建议取为 0.5 较为适宜。

(3) 交叉因子 CR 。

CR 表征子代个体从变异产生的试验个体中继承基因的比例, 一般取 $[0, 1]$ 之间的值。依据相应问题的变量相关程度, 本文对交叉因子的初值选取为 0.9 。

由于 F 和 CR 是随着算法的迭代过程不断变化的, 本文首先为其设定初值,

之后根据文献[85]的策略, 对 F 和 CR 实施自适应的控制策略, 由此两参数便可以在种群个体的进化过程当中实现自动地更新, F 的更新策略如式 (4-14) 所 25

示、 CR 的更新策略如式 (4-15) 所示: $min 1 max 2 1, 1, *,$

$$, i l i l$$

$$F rand F if rand$$

$$F$$

$$F otherwise (4-14) 3 4 2, 1, ,$$

$$, i l i l rand if rand$$

$$CR$$

$CR otherwise (4-15)$ $randj$ 是随机数, 它服从 $(0, 1)$ 均匀分布, λ_1 ——调整 F 的概率, λ_2 ——调整交叉因子 CR 的概率, F_{min} 、 F_{max} 为 F 最大、最小值。

4.2.3 约束处理传统算法在优化无约束的模型时表现良好, 但是若用于求解有约束的多目标优化问题, 就必须要对算法进行约束处理[86]。本文针对进化算法的约束处理方法参照的是文献[87]中的策略, 该策略具体为: 第一步先将种群的个体 i 选取为约束处理当中的对象; 第二步是针对上述的种群的个体 i , 再进行距离 $d_i(x)$

计算及自适应的惩罚值 $p_i(x)$ 的建立; 第三个步骤是依据距离 $d_i(x)$ 和惩罚值 $p_i(x)$

进行修正后目标函数 $F_i(x)=d_i(x)+p_i(x)$ 的求解。在经过这三个步骤之后, 本文当中所建立的多目标的优化问题, 则可以转变成, 一个统一度量的单目标、无约束问题。

4.3 分布估算算法 (EDA)

4.3.1 基本原理

EDA 算法把一个随机变量 (一个基因) 视为待优化问题的每一个决策变量 x_i [88], 并且, 所有随机变量构成随机向量 $x=(x_1, \dots, x_2)$ 。随机向量的随机取值和待优化问题的解是等同的, 且其的概率分布的具体情况[89]是与种群的概念相等同的, 也就是说上述的群体, 是能够由随机向量的概率分布来进行一个很完整地表征的, 其包含变量间的概率关系, 同时也包含了各随机变量的概率分布[90]。

由于本文采用的是二进制编码的规划模型, 因此要建立离散值变量的概率分布。PBIL (Population Based Incremental Learning) 算法[91]将基于离散变量的概率分布用于实现二进制的编码, 在求解本文的规划模型方面有着显著的优势。PBIL 的概率分布模型如式 (4-16) 所示: $1 2$

$$() (), (), (), () t t t t i t n p x p x p x p x p x (4-16)$$

公式当中的 n 是决策变量的个数, $P_t(x_i)$ ——第 t 代种群中第 i 个决策变量值等于一的概率。 26

PBIL 算法的基本步骤:

(1) 概率向量 $p_0(x)$ 经初始化得 M 个个体: $x_{t1}, \dots, x_{tk}, \dots, x_{tM}$;

(2) 以约束处理后得到目标函数 $F_i(x)$ 为依据, 计算 t 代种群 M 个个体的适应值, 并对该适应值进行排序操作, 筛选出前 N 个表现最优的个体;

(3) 该 N 个个体以公式 (4-17) 为依据, 进行 $t+1$ 代种群的概率向量 $p_{t+1}(x)$ 的更新操作: $1 : 1$

$$1() (1) () N t t t k M k p x p x a x$$

$$N (4-17)$$

式中, (0, 1], 将父代概率分布遗传给子代概率分布, 即权衡第 t 代概率向量在子代 $t+1$ 中的信息量, 通常可以设置为 0.5。

(4) 上一步得到的概率向量 $p_{t+1}(x)$ 会随之生成 M 个 $t+1$ 代的个体。此时若是达到了终止条件则迭代结束, 继续执行下一个步骤; 若是仍然无法达到终止条件, 那么算法则返回至步骤 (2), 继续进行迭代寻优;

(5) 迭代结束并输出计算结果。

4.3.2 算法改进在风电并网情况下风电功率从不同的并网节点接入, 同时接入电网的负荷水平整体呈现出增长的趋势之后, 考虑到此时输电线路的传输容量首先, 所以需要对输电网的网架进行扩展规划。如果是为了消除输电线路过负荷的现状, 那么如果待规划的输电走廊线路的输送功率, 远远地超过了该条线路的额定容量的, 上述情况下本文采用的策略是: 走廊增加输电线路, 或临近的走廊增加线路。通过输电走廊线路的增加, 来对整个系统的潮流分布进行改变, 达到缓解过负荷的目的。另一种情况是潮流越限导致的节点切负荷, 此时本文的策略是在扩展规划中新增切负荷点相连输电线路的回数。可见, 考虑到扩展规划的特点, 应当在传统 EDA 算法的基础上, 增加输电网扩展规划问题中反映线路扩展情况的决策变量及其更新机制。

根据公式 (4-16) 本定义 $p_t(x_i)$ 的附加概率增量 $p_t(x_i)$ 。将 $p_t(x_i)$ 的附加概率增量 $p_t(x_i)$ 的物理意义解释如下:

切负荷情况下, 经机组优化调度的可计算求取各节点切负荷总量 R 以及各节点切负荷值 r_j ($j=1, 2, \dots, N_b$, N_b 表示电网节点总数), 上述变量再经计算可得,

各节点年度总削减电量 E 及切负荷量 e_j 。

假定 j 节点的切负荷量 e_j 与 m 条线路连接, 在备选线路集中抽取线路 i ,

那么与线路 i 对应的决策变量的概率增量 $p_t(x_i)$ 如下: 27

$$() j t i e p x$$

$$E (4-18)$$

假设节点 k 为备选线路 i 的另一侧节点, 且其切负荷电量 e_k , 若 $p_t(x_i)$ 不等于零, 那么随机选择除线路 i 外与节点 k 相连的一条线路 h , 依据公式 (4-18)

可以计算线路 h 的附加增量 $p_t(x_h)$ 。

以发生负荷削减的情况为依据, 对备选线路集合当中的所有线路, 进行附加概率增量的逐一计算, 直到能够得到第 t 代种群各个决策变量的附加概率增量向量 $p_t(x)$: 1 2

$$() (), (), (), () t t t t i t n$$

$$p x p x p x p x p x (4-19)$$

结合式 (4-17)、(4-19) 可以得到本文改进的 EDA 概率模型更新机制 (针对输电网扩展规划问题): 1 : 1

$$1() (1) () () N t t t k M t k x x a x x$$

$$N p p p (4-20)$$

(0, 1], 将父代概率分布遗传给子代概率分布, 即权衡第 t 代概率向量在子代 $t+1$ 中的信息量, 通常可以设置为 0.5。附加概率权重因子 β 是属于 (0, 1)

的常数, 其作用是用来确定附加概率增量在子代概率模型中的权重。

4.4 改进的混合算法基于以上研究, 改进的混合算法主要从两方面进行: 把 DE 变异、交叉算子 DE 变异、交叉算子加入 EDA 进化操作生成子代[92], 两算法形成序列的优化, 先执行 EDA, 达到跳转的条件后, 然后再由 DE 进行寻优至混合算法收敛

[93]。跳转条件如下: $() () () t L D t t L D f f f$ (4-21) $f(t)$ ——第 t 代最优个体适应值函数值, (0, 1) 给定 EDA 寻优程度, EDA

执行次数随数值增加, 随之 DE 寻优空间减小。

本文在适应值计算时采用基于约束支配的非支配方法排序, 并且提出多目标规划模型, 可能 t 代的最优个体不能够明确地给出, 所以式 (4-21) 的跳转判据

需要改进。本文在改进的混合算法中预先给定混合算法迭代次数的限制为 $IterMax$, 将 EDA 算法执行的次数设定为 $\omega IterMax$, 将 ω (0, 1) 定义为混合算法比例系数。

具体的计算流程图如下: 28

图 4-1 改进混合算法的流程图

4.5 本章小结本章建立了规划的模型, 目标函数为综合成本、最小弃风量和风险水平最小, 约束条件为潮流和容量约束。然后简述了 DE 算法的基本原理以及参数设置来有效求解构建的优化模型; 阐述本文采用的约束处理方法来适应含约束的多目标优化模型的求解需求; 接着简介 EDA 原理, 同时提出改进的概率更新机制, 最后基于以上分析提出了本文的改进混合算法。

29

第 5 章算例分析

5.1 系统的基础参数 IEEE RTS 24 实例用于算例求解。节点功率因数假定 0.95, 同时设定无功负荷。总负荷平均值取 2850MW, 负荷取服从 (0, 0.1287) 的正态分布模型; 风速的模型假设其服从威布尔分布, 其中选取的多个风电场, 以及每个风电场当中的具体参数如表 5-1 所示, 表中最后一行为各个风电场备选的并网节点。

本文的算例当中假定输电通道是在原有的线路上进行扩展建设的, 不会新建输电线路。在扩建的建造费用当中, 110kV 输电线路的造价为约为每千米 50

万元, 220kV 输电线路的造价为约为每千米 80 万元, 其中等年值系数的取值为

0.08。经济性当中考虑的网损成本电价为每千瓦时 0.05 万元/MWh, 社会综合电价取每千瓦时 0.1 万元。

5.2 参数选取及仿真过程在 DE 算法当中, 有着非常重要的两个参数: 突变因子 F 、交叉因子 CR ,

他们的数值变化是在算法的自适应调整的。其余参数 λ_1 、 λ_2 取 0.1, F_{min} 取 0.1、

F_{max} 取 [85], 由此可以得到前述的 F 的取值范围是 $F[0.1, 1]$, CR 的取值范围是 $CR[0, 1]$ 。

在 EDA 算法当中，决策变量 LD 的取值设定为 38，种群的数量 Np 取值可以设定为 LD 取值的两倍到五倍，此处 Np 取 100，相应的 Mp 取 2Np，即为 200； 30

最大的迭代次数同样设定为 200。

β 、 ω 的取值都可以是零到一之间的实数值，为了对上述的参数进行合理的选取，具体的数值将由 5.2.1 节将通过改进混合算法的计算结果进行分析和取值的选择。

5.2.1 改机算法 ω 参数取值考虑到 ω (0, 1)，比例系数 ω 用来权衡 ED 和 EDA 两种算法在改进的混合算法当中，在迭代时所占据的比例以及起到的作用：在前面的阶段，EDA 基于全

种群的所有信息来用来尽可能快速地去缩小整个的搜索空间；在后面的阶段，DE 用于在上述已得到的空间内进行寻优操作。

由上述分析可以看出 ω 的取值与本文所提算法的计算效率以及寻优结果有着非常密切的联系，所以必须要对其进行合理地取值操作，以便算法可以充分地将其中所混合各算法的优势发挥到最大化。

首先将 β 的值固定地设置为 0.5，然后将 f1、f2 构成一个双目标的优化模型，

再对 ω 的取值分别取 0.05、0.1、0.15、0.2 这四种情况，针对每一种不同的取值进行基于改进算法的模型求解。最终得到的算法求解模型的耗时情况和最后的求解结果如表 5-2 所示。

从上述的计算结果可以得到以下的结论：从表 5-2 可以看出， ω 用来权衡 ED 和 EDA 两种算法在改进的混合算法当中，在迭代时所占据的比例以及起到的作用，其中 ω 的取值处于 0.1 到 0.2 之间时，改进算法计算耗时较小且可以达到较优的优化效果。因此，本文此处对于 ω 的值取为 0.1。

5.2.2 改进算法 β 参数的取值基于 5.2.1 节的分析 ω 的值取为 0.1，再采取与上述分析方法相同的简化模型，以此来进一步地分析 β 取值。

指 标
疑似剽窃文字表述
1. 运行场景 i 下第 j 条支路的有功， $\Delta \theta_{ij}$ ——支路 j 两端的节点相角差。 Pjmax——支路 j 有功功率最大传输量。 gij 表示——场景 i 下 j 发电机的有功出力，gjmax——发电机 j 的最大有功出力，
2. 概率向量 $p_{t+1}(x)$ 会随之生成 M 个 t+1 代的个体。此时若是达到了终止条件则迭代结束，继续执行第下一个步骤；
3. 110kV 输电线路的造价为约为每千米 50 万元，220kV 输电线路的造价为约为每千米 80 万元，其中等年值系数的取值为 0.08。经济性当中考虑的网损成本电价为每千瓦时 0.05 万元/MWh，社会综合电价取每千瓦时 0.1 万元。

4. 029_第4部分	总字数：3568
相似文献列表	
去除本人文献复制比：3.6%(129) 文字复制比：3.6%(129) 疑似剽窃观点：(0)	
1 风电多点并网的网源协调输电网扩展规划 李鹤(导师：刘文霞) - 《华北电力大学(北京) 硕士学位论文》- 2015-03-01	2.6% (91) 是否引证：否
2 船舶电力推进永磁同步电机非线性反步控制器设计与优化研究 杨明(导师：王兴成) - 《大连海事大学 博士学位论文》- 2012-01-01	1.0% (34) 是否引证：否
原文内容	

对 β 的取值分别取 0.1、0.2、0.3、0.4、0.5 这五种情况，针对每一种不同的取值进行基于改进算法的模型求解。最终得到的 31

算法求解模型的耗时情况和最后的求解结果见表 5-3。

由表 5-3 的计算结果我们容易得出：相比于 ω 来说， β 在不同取值的情况下，对整体寻优结果的影响相对更偏向于计算速度方面，其中 β 的取值处于 0.1 到 0.3 之间时，改进算法优化效果较好。因此，本文此处对于 β 的值取为 0.2。

5.2.3 仿真过程本文针对实际数据的仿真和模拟采用 Matlab 编程进行，程序的具体计算流程图 5-1。具体步骤为：

(1) 将待规划年的注入负荷和风速等统计信息输入程序进行初始化，具体信息涵盖了系统当中负荷与风速模型、电网的网架结构、规划在备选的线路集合以及系统中可能会发生的预想故障的集合等信息。

(2) 采用序贯蒙特卡洛的方法对系统中输入的负荷和风电机组的出力概率模型进行随机抽样，抽样的时间间隔采用一小时，以此来生成规划年的所有运行场景。采用聚类技术对抽样所得的所有尝尽进行聚类的化简，来简化得到规划所需的场景。

(3) 如果迭代次数小于迭代最大值，那么执行 EDA 算法的子程序，如果大于迭代最大值，则执行 DE 子程序直至达到收敛条件。

(5) 最后执行优化的子程序来选取优化规划方案。 32

图 5-1 优化程序流程图

5.3 优化的规划方案本文规划的目标电网涵盖了三个有待选定并网具体接入点的风电场，且完整的运行场景经由第三章介

绍的场景聚类技术进行场景缩减之后，八千七百六十个运行场景被化简为一百四十四个运行场景。基于该场景，优化的规划模型采用改进的混合算法进行求解，具体结果如表 5-4 所示。经改进混合算法求得的 Pareto 解集前沿如图 5-2 中的蓝色线条所示。 33 5.7054 5.7054 5.7054 5.7054 5.7054 $\times 10^{-8}$ 1.4 1.6 1.8 2 $\times 10^4$ 2 2.5 3 3.5 4 $\times 10^5$

风险值 / 万元综合成本 / 万元弃风量 / MWh

图 5-2 算法求得 Pareto 解集前沿依据表 5-4 与图 5-2：三种方案在风险方面并无大的差距，均在 5.7054×10^{-8} 万元，可得三种方案均可以应对 N-1 事故，甚至是严重情况下的部分预想双重故障。在弃风量方面，对比方案 1 和 3 可以得到，上述两种方案虽然弃风量近乎相似，但是线路的扩展方案确有着微小的不同。且方案 1 和 3 与方案 2 在并网方法上有着明显的差异。对比结果可见，方案 2 中二号风电场接入节点 4 时，

对比其接入在节点 3 的情况下，弃风量更高，所以本文算例中的弃风量与并网点的选择存在明显的关联关系。在综合成本方面，方案 2 虽然弃风量相对很高，但是其综合成本在三个方案中是最低的；方案 1 和 3 在弃风量无明显差异的情况下，方案 3 在综合成本方面有着非常显著优势。

综合上述分析，本文选取方案 3 为最优的线路扩展方案和风电最优接入位置方案。具体的规划情况见图 5-3。图中的实线代表的是输电网原有的线路， 34

而虚线则代表规划方案中新增的扩展线路。

图 5-3 最优的规划方案的图解

5.4 聚类技术的精度分析线路扩展费用从方案 3 总体的综合成本当中去掉后，能够得到该方案的年运行成本为 1.4131×10^4 万元，且由表 5-4 可得该方案的风险水平和弃风量。

测试电网方案 3 抽样得到不经聚类的八千七百六十个运行场景，来对测试电网一年的运行状况进行模拟仿真，得到的结果如下：年运行成本是 1.6108×10^4 35

万元、风险水平是 6.58946×10^{-8} 万元、弃风量是 1.9454×10^5 MWh。

将优化得到的方案 1 与经测试算例得到的优化结果可以得出结论：在运行成本方面，测试算例比方案 1 高出 14%，在弃风量方面，测试算例比方案 1 低

6%，而风险水平均处在较低的水平，测试算例比方案 1 高出 15%。对比数据可

得：由于采用了多维空间分布的聚类技术，聚类后的场景数由原先的八千七百六十降低至一百四十四，总体的计算量下降了大约百分之八十，计算误差保持在百分之十五，该误差能够满足电网规划对计算精度的要求。

此处可得结论：经多维空间分布方法聚类技术得到的多场景，虽然在计算结果方面存在误差，但是仍然可以替代随机抽样产生的全部运行场景。可见本文所提基于多维空间分布的聚类技术的有效性 with 实用性。

5.5 算法对比分析为了体现本文所提改进混合算法的优势，此处对单独采用 DE、EDA 和混合使用两种算法求解得到的规划方案进行对比分析如下。

根据表 5-5 可以看出改进算法求得的方案 1 在线路扩展方案和风电并网点的优化方面均优于单一算法求解得到的方案。可见本文所提的混合 EDA/DE 算法在全局搜索能力方面有很好的表现，可以缓解单一寻优结果差的局面。

5.5 本章小结本章的算例分析采用 MATLAB 编程来对 IEEE RTS24 系统下的网源协调输电网扩展规划模型展开寻优计算及结果分析。首先针对改进的混合算法当中新增加的参数设置进行了讨论和分析，并最终确定相应的参数值；接着求解所得的最优规划方案可以证实规划模型；多场景聚类精度分析的部分采用对比分析 36

的方法验证了基于多维空间的聚类技术不但可以大幅度地减少计算量，而且同时还能够达到输电网扩展规划当中对于计算精度方面的具体需求；最后将改进算法和传统算法对比分析来验证所提算法的优越性。 37

第 6 章结论与展望

6.1 结论风电有着资源量大、利用方便等多方面的便利条件，使得它被大量地应用于电力系统当中。但是考虑到风速的随机特性会导致风电出力特性的随机性和波动性等特点，风电接入后会对原本的电网在安全稳定运行方面产生多种不利影响，由此给传统的电网规划问题带来新的挑战。

风电并网的网源协调输电网扩展规划，主要从风电并网的影响、计及不确定性因素下的建模方法、规划模型的建立及求解算法的提出进行研究。本文的研究内容如下：

(1) 从风电并网对电网的影响入手，首先分析了风力发电的两种类型，

阐述了风力发电的优点和缺点；接着从并网后的电压问题（电压偏移、波动闪变、静态稳定性）、频率问题和潮流问题入手，以此推导分析风电接入的影响；

最后本章通过从无功、有功规划作为电网规划问题的分类，对风电并网后对两种规划带来的影响展开分析。最后本文为了引出文章的研究对象，阐明了风电与电网的协调发展环境下有功规划问题的新思路，即同时考虑风电并网的并网点优化与输电网的网架扩展优化。

(2) 通过分析电网规划中的不确定性因素，针对负荷（随机变动）、机组出力（线性化分段函数）和风速（两参数威布尔分布）建立概率模型；然后将蒙特卡洛随机抽样的方法用于抽取规划水平年的所有运行场景，接着提出基于多维空间分布的聚类方法，来化简获得基于多场景技术的组合运行场景。

(3) 首先建立了多目标优化规划模型，目标函数为综合成本、最小弃风量和风险水平最小，约束条件为潮流和容量约束。然后简述了 DE 算法的基本原理以及参数设置来有效求解构建的优化模型；阐述本文采用的约束处理方法来适应含约束的多目标优化模型的求解需求；接着分层 EDA 原理提出算法改进的方法，最后基于以上分析提出了本文的改进混合算法。

(4) 算例分析采用 MATLAB 编程来对 IEEE RTS24 系统下的网源协调输电网扩展规划模型展开寻优计算及结果分析。首先针对改进的混合算法当中新增加的参数设置进行了讨论和分析，并最终确定相应的参数值；接着求解所得的最优规划方案可以证实实验模型和算法的正确性；多场景聚类精度分析的部分采用对比分析的方法验证了基于多维空间的聚类技术不但可以大幅度地减少计 38

算量，而且同时还能够达到输电网扩展规划当中对于计算精度方面的具体需求；

最后将改进算法和传统算法对比分析来验证所提算法的优越性。

6.2 展望

(1) 本文的研究仅针对少部分不确定因素展开研究, 仍未深入地考量到输电网规划问题当中存在的更多不确定性因素, 例如: 线路造价变动、电力市场政策等一些不服从概率分布的不确定因素。

(2) 多目标优化模型的建立和求解时, 由于计算条件受限, 关于风险水平方面的计算, 只是将 N-1 故障和小部分双重故障考虑进来。但是在未来的研究当中, 如何采用枚举的方法来加快故障的识别和排序速度, 仍然值得是未来需要探索的方向。

39

参考文献

- [1] 李俊峰, 等. 风电发展报告 2014[R]. 北京: 中国环境科学出版社, 2014.
- [2] 刘伟. 风电接入对电网电压的影响分析[D]. 华北电力大学, 2017.
- [3] Samarakoon H M D R H, Shrestha R M, Fujiwara O. A mixed integer linear programming model for transmission expansion planning with generation location selection[J]. International Journal of Electrical Power & Energy Systems, 2013, 23(4):285-293.
- [4] Capuder T, Pandzic H, Kuzle I, et al. Specifics of integration of wind power plants into the Croatian transmission network[J]. Applied Energy, 2018, 101(JAN.):142-150.
- [5] 秦磊, 孙曼, 李松. 基于混合智能算法考虑时序性的风光电源多目标规划[J]. 可再生能源, 2019, 33(6):843-850.
- [6] 张新松, 袁越, 陈哲, 等. 考虑电能质量约束的含风电场电网规划[J]. 电网技术, 2012(06):201-205.
- [7] 卢冰. 基于静态电压稳定性的含风电场的输电网规划方法研究[D]. 浙江大学, 2016.
- [8] 于晗, 钟志勇, 黄杰波, 等. 考虑负荷和风电出力不确定性的输电系统机会约束规划 [J]. 电力系统自动化, 2019, 033(002):20-24.
- [9] 曾鸣, 吕春泉, 邱柳青, 等. 风电并网时基于需求侧响应的输电规划模型[J]. 电网技术, 2015, 35(4):129-134.
- [10] Moeini-Aghtaie M, Abbaspour A, Fotuhi-Firuzabad M. Incorporating Large-Scale Distant Wind Farms in Probabilistic Transmission Expansion Planning — Part I: Theory and Algorithm[J]. Power Systems IEEE Transactions on, 2017, 27(3):p.1585-1593.
- [11] Hemmati R, Hooshmand R A, Khodabakhshian A. Market based transmission expansion and reactive power planning with consideration of wind and load uncertainties[J]. Renewable & Sustainable Energy Reviews, 2014, 29:1-10.
- [12] 王秀丽, 张凯, 曾平良, 等. 基于多场景的风电场接入与输电网协调规划[J]. 电力建设, 2018, 36(10):46-52.
- [13] 张新松, 袁越, 吴博文, 等. 电力市场环境含大规模风电场的输电网规划 [J]. 电力自动化设备, 2012, 032(004):100-103.
- [14] 高赐威, 吴天婴, 何叶, 等. 考虑风电接入的电源电网协调规划[J]. 电力系统自动化, 2015(22):35-40. 40
- [15] 余贻鑫, 王靖然, 吕晓阳. 基于安全性价值的含大风电的电力系统扩展规划 [J]. 中国科学:技术科学, 2017(07):83-97.
- [16] 聂宏展, 王毕元, 孙金红, 等. 基于混沌人工鱼群算法的输电网规划方法[J]. 电网技术, 2019(12):109-113.
- [17] 舒隽, 韩冰, 陈学姣. 计及线路路径优化的空间电网规划[J]. 中国电机工程学报, 2014, 34(4):570-577.
- [18] 丁伟. 市场机制下输电规划方法研究与投资分析[D]. 华北电力大学(北京), 2017.
- [19] 曾鸣, 张徐东, 段金辉, 等. 考虑碳排放成本的输电网最优规划模型[J]. 华东电力, 2019(10):11-14.
- [20] 田廓, 邱柳青, 曾鸣. 基于动态碳排放价格的电网规划模型[J]. 中国电机工程学报, 2012(04):10+85-92.
- [21] 王一, 程浩忠. 电力市场环境输电网扩展优化规划研究综述[J]. 电工技术学报, 2017, 22(9):174-183.
- [22] 孙旭, 任震. 市场环境下电网优化规划的研究[J]. 电网技术, 2016(3):41-44.
- [23] 付蓉. 市场环境下基于阻塞激励机制的输电网扩展规划[D]. 东南大学, 2015.
- [24] 金华征. 考虑市场环境的多目标输电网优化规划研究[D]. 上海交通大学, 2017.
- [25] Hui Zhang, Vittal, V, Heydt, G.T. A Mixed-Integer Linear Programming Approach for Multi-Stage Security-Constrained Transmission Expansion Planning[J]. IEEE Transactions on Power Systems, 2018, 27(2):p.1125-1133.
- [26] Yu, H, Chung, C.Y, Wong, K.P. A Chance Constrained Transmission Network Expansion Planning Method With Consideration of Load and Wind Farm Uncertainties[J]. IEEE Transactions on Power Systems, 2019, 24(3):1568-1576.
- [27] Rocha M C D, Saraiva J T. A discrete evolutionary PSO based approach to the multiyear transmission expansion planning problem considering demand uncertainties[J]. International Journal of Electrical Power & Energy Systems, 2013, 45(1):427-442.
- [28] 周家启, 赵霞. 电力系统风险评估方法和应用实例研究[J]. 中国电力, 2016, 39(8):77-81.
- [29] 杨慎全. 考虑风险的输电网优化规划[D]. 山东大学, 2018.
- [30] 杨宁, 文福拴. 计及风险约束的多阶段输电系统规划方法[J]. 电力系统自动化, 2015, 29(4):28-33.
- [31] 王一, 程浩忠, 胡泽春, 等. 计及过负荷风险的输电网多目标期望值规划[J]. 中国电机工程学报, 2019(1):21-27. 41
- [32] 周金辉, 余贻鑫, 曾沅. 大规模风电接入下输电网扩展规划的启发式优化算法[J]. 电力系统自动化, 2011, 35(22):66-70.

- [33]Delgado D , Claro J . Transmission network expansion planning under demand uncertainty and risk aversion[J]. International Journal of Electrical Power & Energy Systems, 2013, 44(1):696-702.
- [34]Hooshmand R A , Hemmati R , Parastegari M . Combination of AC Transmission Expansion Planning and Reactive Power Planning in the restructured power system[J]. Energy Conversion & Management, 2012, 55(none):26-35.
- [35]屈刚, 程浩忠, 欧阳武, 等. 考虑线路剩余输电容量的多目标电网规划[J]. 电力系统自动化, 2018, 32(10):27-31.
- [36]吴耀武, 蔡芝菁, 姜素华, 等. 考虑电网负载均衡度的输电网规划模型[J]. 华中科技大学学报:自然科学版, 2013(12).
- [37]程浩忠, 范宏, 翟海保. 输电网柔性规划研究综述[J]. 电力系统及其自动化学报, 2017(01):25-31.
- [38]程浩忠. 电力系统规划[M]. 北京:中国电力出版社, 2008.
- [39]王一. 电力市场环境下的多目标输电网优化规划方法研究[D]. 上海交通大学, 2018.
- [40]Leite d S A M , Ribeiro S M P , Arienti V L , et al. Probabilistic load flow techniques applied to power system expansion planning[J]. IEEE Transactions on Power Systems, 1990, 5(4):P.1047-1053.
- [41]Sousa A S , Asada E N . Combined heuristic with fuzzy system to transmission system expansion planning[J]. Electric Power Systems Research, 2011, 81(1):123-128.
- [42]徐瑞卿. 基于盲数的市场环境下电网规划[D]. 北京交通大学, 2017.
- [43]熊文, 武鹏, 陈可, 等. 区间负荷下的输电网灵活规划方法[J]. 电网技术, 2015(4):139-143.
- [44]Villasana R , Garver L L , Salon S J . Transmission Network Planning Using Linear Programming[J]. IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, 2017, PAS-104(2):349-356.
- [45]Correa C A , Bolanos R A , Garces A . Environmental Transmission Expansion Planning using non-linear programming and evolutionary techniques[C]// Alternative Energies and Energy Quality (SIFAE), 2012 IEEE International Symposium on. IEEE, 2012.
- [46]Ibrahim Alhamrouni, Azhar Bin Khairuddin, Mohamed Salem. Differential evolution algorithm for transmission network expansion planning based on AC load flow model[C]// Energy Conversion, IEEE Conference. IEEE, 2014.
- [47]王锡凡. 电力系统优化规划[M]. 北京:水利电力出版社,1990. 42
- [48]Albuyeh F , Skiles J J . A Transmission Network Planning Method for Comparative Studies[J]. IEEE Transactions on Power Apparatus & Systems, 1981, 100(4):1679-1684.
- [49]El-Sobki S M , El-Metwally M M , Farrag M A . New approach for planning high-voltage transmission networks[J]. IEE Proceedings. Part C: Generation, Transmission and Distribution, 1986, 133(5):256-262.
- [50]Correa Florez C A , Bolaños Ocampo R A , Escobar Zuluaga A H . Multi-objective transmission expansion planning considering multiple generation scenarios[J]. International Journal of Electrical Power & Energy Systems, 2014, 62:398-409.
- [51]邱威, 张建华, 刘念. 微分进化算法在电力系统中的应用 [J]. 现代电力, 2019, 026(005):11-17.
- [52]汪定伟, 王俊伟, 王洪峰, 等. 智能优化方法 [M]. 北京: 高等教育出版社, 2017
- [53]黄慧, 顾波. 改进遗传算法在电网规划中的应用[J]. 电力系统保护与控制, 2012(22):70-73+118.
- [54]顾益磊, 许诺, 王西田. 遗传算法应用于电网规划的难点与改进[J]. 电网技术, 2017(S1).
- [55]Kennedy J , Eberhart R . Particle swarm optimization[C]// Icnn95-international Conference on Neural Networks. IEEE, 1995.
- [56]符杨, 徐自力, 曹家麟. 混合粒子群优化算法在电网规划中的应用[J]. 电网技术, 2018, 32(15):31-35.
- [57]郭巨新. 基于改进粒子群算法的配电网网架规划优化研究[D]. 华北电力大学, 2015.
- [58]Yang X , Yuan J , Yuan J , et al. A modified particle swarm optimizer with dynamic adaptation[J]. Applied Mathematics & Computation, 2017, 189(2):1205-1213.
- [59]Storn R , Price K . Minimizing the real functions of the ICEC'96 contest by differential evolution[C]// IEEE International Conference on Evolutionary Computation. IEEE, 2012.
- [60]邱威, 张建华, 刘念, 等. 输电网扩展规划的双种群二进制微分进化算法[J]. 电力系统及其自动化学报, 2019, 21(6):56-61.
- [61]H. Mühlenbein, G. Paa?. From recombination of genes to the estimation of distributions I. Binary parameters[J]. 1996.
- [62]Bai L , Wang J , Jiang Y , et al. Improved Hybrid Differential Evolution-Estimation of Distribution Algorithm with Feasibility Rules for NLP/MINLP Engineering Optimization Problems[J]. Chinese Journal of 43 Chemical Engineering, 2012, 20(6):1074-1080.
- [63]Ahn C W , An J , Yoo J C . Estimation of particle swarm distribution algorithms: Combining the benefits of PSO and EDAs[J]. Information Sciences, 2012,


192(none):109-119.


- [64]Wang Y , Li B , Zhang K . Estimation of distribution and differential evolution cooperation for real-world numerical optimization problems[C]// Proceedings of the IEEE Congress on Evolutionary Computation, CEC 2011, New Orleans, LA, USA, 5-8 June, 2011. IEEE, 2011.
- [65]Wang Y , Li B , Weise T . Estimation of distribution and differential evolution cooperation for large scale economic load dispatch optimization of power systems[J]. Information Sciences, 2010, 180(12):2405-2420.
- [66]Debchoudhury S , Biswas S , Kundu S , et al. Modified estimation of Distribution algorithm with differential mutation for constrained optimization[C]// IEEE Congress on Evolutionary Computation. IEEE, 2013.
- [67]余贻鑫, 王靖然, 吕晓阳. 基于安全性价值的含大风电的电力系统扩展规划[J]. 中国科学:技术科学, 2012(07):83-97.
- [68]何东升, 刘永强, 王亚, 等. 并网型风力发电系统的研究[J]. 高电压技术, 2018, 34(1):142-147.
- [69]张新燕, 王维庆. 风力发电机并网后的电网电压和功率分析[J]. 电网技术, 2019, 33(17):130-134.
- [70]席磊, 李海燕, 孔庆东. 风电场投切对地区电网电压的影响[J]. 电网技术, 2018(10):62-66.
- [71]林海雪. 电力系统电压波动和闪变标准介绍[J]. 电网技术, 1993(1):51-55.
- [72]孙涛, 王伟胜, 戴慧珠, 等. 风力发电引起的电压波动和闪变[J]. 电网技术, 2013(12):62-66.
- [73]高玉洁. 风电场接入电网后的电能质量问题分析 [J]. 南方电网技术, 2019, 3(4):68-72.
- [74]李自应, 王明, 陈二永, 等. 云南风能可开发地区风速的韦布尔分布参数及风能特征值研究[J]. 太阳能学报, 2012(03):25-30.
- [75]陈树勇, 戴慧珠, 白晓民, 等. 尾流效应对风电场输出功率的影响[J]. 中国电力, 2008(11):28-31.
- [76]汪海琪, 白晓民. 大规模风电场的发电充裕度与容量可信度评估[J]. 电网技术, 2012(06):206-212.
- [77]吴义纯, 丁明, 李生虎. 风电场对输电系统可靠性影响的评估[J]. 电工技术学报, 2014(11):74-78.
- [78]杨宁, 文福拴. 计及风险约束的多阶段输电系统规划方法[J]. 电力系统自动 44 化, 2015, 29(4):28-33.
- [79]宋玲芳 . 基于模糊聚类分析与 BP 网络的电力系统短期负荷预测 [D]. 2015. 29(1):20-23
- [80]姜惠兰. 基于硬 C 均值聚类算法和支持向量机的电力系统短期负荷预测[J]. 电网技术, 2016, 30(8):81-85.
- [81]Zou K , Agalgaonkar A P , Muttaqi K M , et al. Distribution System Planning With Incorporating DG Reactive Capability and System Uncertainties[J]. IEEE Transactions on Sustainable Energy, 2012, 3(1):112-123.
- [82]孟红云. 多目标进化算法及其应用研究[D]. 西安电子科技大学, 2015.
- [83]吕泉, 王伟, 韩水, 等. 基于调峰能力分析的电网弃风情况评估方法[J]. 电网技术, 2016(07):118-125.
- [84]高赐威, 何叶. 考虑风力发电接入的电网规划[J]. 电力科学与技术学报, 2019(4):19-24.
- [85]Brest J , Greiner S , Boskovic B , et al. Self-Adapting Control Parameters in Differential Evolution: A Comparative Study on Numerical Benchmark Problems[J]. IEEE Transactions on Evolutionary Computation, 2006, 10(6):646-657.
- [86]Deb K , Pratap A , Agarwal S , et al. A fast and elitist multiobjective genetic algorithm: NSGA-II[J]. IEEE Transactions on Evolutionary Computation, 2002, 6(2):0-197.
- [87]赵天阳. 规模化电动汽车充电与风力/火电发电系统的协调运行[D]. 华北电力大学(北京), 2013.
- [88]王圣尧, 王凌, 方晨, 等. 分布估计算法研究进展%Advances in estimation of distribution algorithms[J]. 控制与决策, 2012, 027(007):961-966, 974.
- [89]Mühlenbein, Heinz. The Equation for Response to Selection and Its Use for Prediction[J]. Evolutionary Computation, 1997, 5(3):303-346.
- [90]López, Edgar Galván, Poli R . An empirical investigation of how and why neutrality affects evolutionary search. [C]// Conference on Genetic & Evolutionary Computation. ACM, 2016.
- [91]Garrett D , Dasgupta D . An empirical comparison of memetic algorithm strategies on the multiobjective quadratic assignment problem[C]// Computational intelligence in multi-criteria decision-making, 2009. mcdm '09. ieeesymposium on. IEEE, 2019.
- [92]Sun J , Zhang Q , Tsang E P K . DE/EDA: a new evolutionary algorithm for global optimization[M]. Elsevier Science Inc. 2015.
- [93]Song X M , Tang L X . A Novel Hybrid Differential Evolution-Estimation of Distribution Algorithm for Dynamic Optimization Problem[M]// A novel hybrid 45 Differential Evolution-Estimation of Distribution Algorithm for dynamic optimization problem. 2013. 46
- 攻读硕士学位期间发表的论文及其他成果 47
- 攻读硕士学位期间参与的科研工作 48
- 致谢


指 标
疑似剽窃文字表述
1. 模型和算法的正确性；多场景聚类精度分析的部分采用对比分析的方法验证了基于多维空间的聚类技术不但可以大幅度地减少计

- 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/>

学位论文 (TMLC)