

电力市场环境下广东电力系统规划方法初探

刘新苗, 王诗超

引用本文:

刘新苗, 王诗超. 电力市场环境下广东电力系统规划方法初探[J]. 南方能源建设, 2021, 8(2): 111-118.

LIU Xinmiao, WANG Shichao. Initial Investigation of Guangdong Power System Planning Method Under Power Market Environment[J]. *Southern Energy Construction*, 2021, 8(2): 111-118.

相似文章推荐 (请使用火狐或IE浏览器查看文章)

Similar articles recommended (Please use Firefox or IE to view the article)

基于电网经济效率评估的发电和输电协调规划方法研究

Research on the Coordination Planning Method of Power Generation and Transmission Based on Economic Efficiency Assessment of Power Grid

南方能源建设. 2020, 7(3): 38-45 <https://doi.org/10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2020.03.005>

考虑本地气电和柔直联网的海岛供电方案研究

Research on Local Natural Gas Power Development and Flexible HVDC Connection with Mainland for Islands

南方能源建设. 2018, 5(4): 73-77 <https://doi.org/10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2018.04.011>

大型核电站输电规划方案研究

Research on Transmission Planning of Large-scale Nuclear Power Plant

南方能源建设. 2016, 3(3): 27-30 <https://doi.org/10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2016.03.005>

天然气网络对含新能源电力系统短期调度运行影响

Impact of Natural Gas System on Short-term Scheduling with Volatile Renewable Energy

南方能源建设. 2019, 6(1): 1-7 <https://doi.org/10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2019.01.001>

贵州典型行业及用户负荷特性分析

Analysis on Power Load Characteristics of Guizhou Representative Consumers

南方能源建设. 2020, 7(z1): 29-35 <https://doi.org/10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2020.S1.006>

电力市场环境下广东电力系统规划方法初探

刘新苗^{1,✉}, 王诗超²

(1. 广东电网有限责任公司, 广州510000; 2. 中国能源建设集团广东省电力设计研究院有限公司, 广州510663)

摘要: [目的] 在电力市场的新环境下, 电力系统规划所包含的变量、制约因素、规划目标更多, 复杂性更高, 需考虑可靠性、经济性等多维因素, 可以反映为负荷、电源、潮流、设备投退、政策、社会经济、商业模式、投资收益等多方面的不确定性因素, 需要充分考虑这些不确定因素, 建立更恰当的规划模型, 整个电力规划的研究方法和手段都需要进一步优化。[方法] 首先梳理了澳大利亚、美国PJM、欧洲等国外较为成熟的电力市场的现状, 并对其电力系统规划的模式和方法进行了分析。[结果] 结合广东电力市场发展的现状, 有针对性的对电力市场环境下广东电力系统的规划方法进行了优化。不仅对电力规划工作的体制机制给出了优化调整建议, 同时, 根据传统的广东电力系统规划方法, 从规划输入、项目分类、情景研究、电网经济效率评估和不确定性分析五方面进行了补充和改进。[结论] 在广东现货市场的新环境下, 通过建立合理的电力系统规划和评估体系, 可有利于合理配置电源, 实现网源之间的协调规划, 更好地适应未来电力市场的发展。

关键词: 电力市场; 电力系统规划方法; 需求侧响应; 电力市场仿真分析; 阻塞成本

中图分类号: TM7; TM715

文献标志码: A

文章编号: 2095-8676(2021)02-0111-08

开放科学(资源服务)二维码:



Initial Investigation of Guangdong Power System Planning Method Under Power Market Environment

LIU Xinmiao^{1,✉}, WANG Shichao²

(1. Guangdong Power Grid Co., Ltd., Guangzhou 510000, China;

2. China Energy Engineering Group Guangdong Electric Power Design Institute Co., Ltd., Guangzhou 510663, China)

Abstract: [Introduction] Under the new environment of power market, the power system planning contains more variables, constraints, planning objectives and complexity. The uncertainty variables include load, power supply, power flow, equipment retirement, policy, social economy, bussiness mode, investment profit, etc. It is necessary to establish appropriate plannig model based on the complexity mentioned above. The research methods of the whole power planning and means need to be further optimized. [Method] Firstly, this paper reviewed the status quo of the more mature power markets in Australia, PJM in the United States, Europe and other foreign countries, and analysed their power system planning models and methods. [Result] Combined with the current situation of Guangdong power market development, this paper optimized the planning method of Guangdong power system under the power market environment. Not only did it give suggestions for optimizing and adjusting the institutional mechanism of power planning work, but also complemented and improved the five aspects of planning input, project classification, scenario study, grid economic efficiency assessment and uncertainty analysis according to the traditional Guangdong power system planning method. [Conclusion] Under the new environment of Guangdong spot market of energy, by establishing a reasonable power system planning and evaluation system, it can be beneficial to rationalize allocation of power sources, achieve coordinated planning between network sources, and better adapt to the future development of the power market.

Key words: power market; planning of power system; demand side response; simulation analysis of power market; congestion cost
2095-8676 © 2021 Energy China GEDI. Publishing services by Energy Observer Magazine Co., Ltd. on behalf of Energy China GEDI. This is an open access article under the CC BY-NC license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>).

收稿日期: 2020-08-03 修回日期: 2021-01-29

基金项目: 广东电网公司电力规划专题“电力市场环境下广东电力系统规划研究”(XZ10881W)

在十八届三中全会深化体制改革的背景下，我国电力体制改革重装上阵，2015年3月23日国务院发布了文件〔2015〕9号《关于进一步深化电力体制改革的若干意见》（简称电改9号文），电力体制改革正式拉开帷幕。在当前的新形势下，电力市场条件下的竞争机制给计划经济环境下电力行业组织和运营体制带来了巨大改变，同时也极大地影响到电力规划的技术实施，特别是规划主体的变化和市场化运作的要求导致的规划方案的评判标准的变化。

在电力市场环境下，电源和电网规划所包含的变量、制约因素、规划目标更多，复杂性更高，需考虑可靠性、经济性等多维因素，其难点在于如何建立科学的数学模型^[1]，对复杂的问题进行求解，并进行评价和校验。电网规划也将面临规划环境、系统资源，规划协调、实施等方面的调整和挑战，可以反映为负荷、电源、潮流、设备投退、政策、社会经济、商业模式、投资收益等多方面的不确定性因素，电网规划过程中需要充分考虑并客观合理地描述这些不确定因素^[2]，建立更恰当的电网规划模型，有效提高规划灵活性及适应性，避免投资和安全运行风险。所以在这种新形势下，整个电力规划的研究方法和研究手段都需要进一步优化。

广东地区积极响应国家政策号召，一直走在电力市场改革道路的前沿，现货电力市场也在全国范围内率先启动。广东电源结构复杂并且多样化，在电力市场环境下，广东对新的电力系统规划方法的需求更为迫切。本文梳理和总结了国外成熟电力市场的发展现状以及电力系统规划方法，并在此基础上，结合广东电力市场发展现状，有针对性地提出了电力市场环境下广东电力系统的规划方法，对未来合理配置电源、促进发输电协调发展具有重要

意义。

1 广东电力市场发展现状

1.1 概况

2018年8月30日，南方能源监管局会同广东省经济和信息化委、广东省发展改革委联合公布《南方（以广东起步）电力市场运营规则体系（征求意见稿）》（以下简称《规则》），标志着我国首个电力现货市场交易规则正式问世。《规则》形成了“1+8”模式的电力现货市场规则体系。目前，广东电力现货市场仍然处于试运行阶段，在正式运行之前，交易及结算依然参考现行的中长期电力市场交易规则。

目前，广东已形成批发零售协同、场内场外互补的中长期市场交易体系，建立了一二级衔接、场内外互补的批发市场品种架构。现行的广东中长期电力市场交易周期涵盖年度交易和月度交易，年度交易包括场外双边协商、场内集中挂牌两个交易品种，月度交易包括集中竞争、发电权集中撮合两个交易品种，形成了年度交易为主、月度交易为辅的合理格局。

1.2 广东现货市场交易规则简介

广东电力市场包含电力批发市场以及电力零售市场。现阶段，电力批发市场采用“电能量市场+辅助服务市场”的市场架构^[3]。其中，电能量市场包含基于差价合约的日以上周期的中长期电能量市场和全电量竞价的日前、实时现货电能量市场，辅助服务市场包括集中竞价的调频辅助服务市场和备用、有偿无功调节、自动电压控制、黑启动等辅助服务补偿机制。电力零售市场交易在售电公司与电力用户之间开展。

现货市场基本体系架构如图1所示。

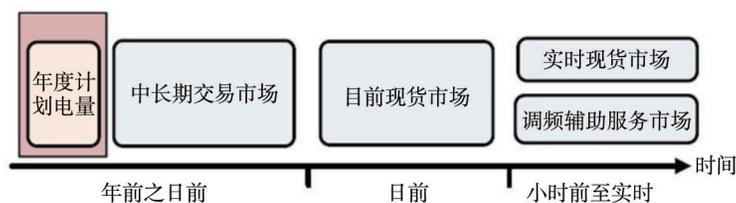


图1 现货市场基本体系架构

Fig. 1 Basic framework of the spot market

中长期交易市场：日前现货开市前，都属于中长期市场。和其他普通商品中长期交易一样，买卖

双方可以自主修正各自的购售电曲线和价格，充分体现市场主体的意愿，促进市场充分竞争，充分反

映电力的普通商品属性。中长期市场交易形成的合约为差价合约, 主要作用是帮助市场成员提前确定大部分的交易量并锁定价格, 规避现货市场价格波动风险。

日前现货市场: 充分考虑次日电网运行边界条件以及物理约束, 通过集中优化, 以发电费用最低为优化目标, 决策次日的机组开机组合以及发电出力曲线, 实现电力电量平衡、电网安全管理和资源优化配置。

实时现货市场: 是通过安全经济调度, 实现电力实时平衡的市场化调节以及电网安全约束的市场化调整, 针对电网实际运行情况与日前预测的偏差, 对发电机组的出力按照最经济原则进行调整。

调频辅助服务市场: 以市场化手段调用调频资源, 激励发电机组提升调节性能, 有效保障电网安全稳定运行。

2 国外电力系统规划现状

2.1 电源投资模式和方法

在竞争性电力市场环境下, 通常没有集中统一的电源规划。大部分国家电力市场改革起始于分离发电与电网, 以及在发电侧引入竞争机制, 而把发电资产的投产和运行决策交与项目主体, 减少政府对商业过程的干预, 特别是减少政府对发电项目的投资。下面是几种典型的电源发展模式:

1) 单一买方电力市场模式下有限的发电侧竞争, 如马来西亚, 泰国和印度尼西亚。国家电网公

司或电力市场监管机构(如马来西亚的能源委员会)编写和发布国家电力发展报告, 列出发展规划期内的电源和电网项目^[4]。电源项目通常会采用招标模式, 以BOT(建设-运营-转交)为主。

2) 有容量市场的电力市场, 如美国电力市场, 英国电力市场, 和其它一些欧洲市场。电力市场规则要求电力供应商(有电力零售许可的电力企业)必须自有容量或与电源方有容量合约, 来满足负荷需求和分摊的系统备用, 或者承担市场为采购足够容量来满足系统供电可靠性的成本^[5]。

3) 单一能源市场, 如澳大利亚国家电力市场, 新西兰电力市场, 美国得克萨斯州电力市场。在上述电力市场中, 没有统一的电源规划和容量市场, 电源建设是发电商的自发行为, 市场系统运行中心(ISO)通过频繁发布市场运行信息、未来供需形势的信息^[6], 来指导电源项目的建设。

2.2 电网规划模式和方法

电力市场环境下, 节点电价实时变化, 在不同的区域之间也存在阻塞盈余的可能性, 电网规划的目的也随之改变。加州电力市场、PJM电力市场、澳大利亚电力市场等均发展出了一套成熟的电力市场下的电网规划方法和流程。

1) 澳大利亚的完整规划体系涉及到不同的市场主体和时间尺度, 包括一年的年度输电价格定价^[7], 5年的电网监管以及20年的战略研究^[8], 各输电公司每年进行的10年电网发展规划等, 具体如图2所示。

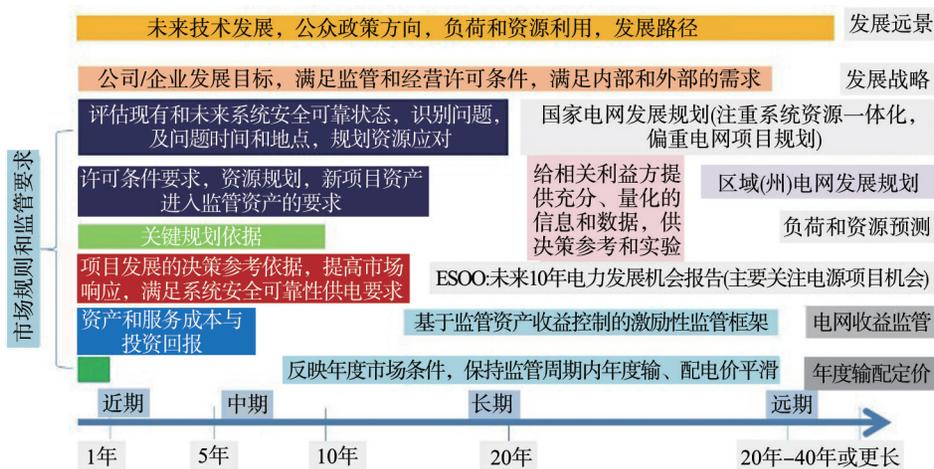


图2 澳大利亚规划体系

Fig. 2 Transmission planning system of Australia

2) PJM 也进行输电网、配电网规划,除统一的区域输电扩展规划(RTEP)外^[9],PJM 每个子区域电网公司也要做区域内的电网规划。PJM 电网规划所遵循的准则主要包括 PJM 输电电费协议、运

行协议、PJM 规划手册等,需遵守北美可靠性标准以及其他区域性电网标准^[10]。具体职能划分与协作关系如图 3 所示。

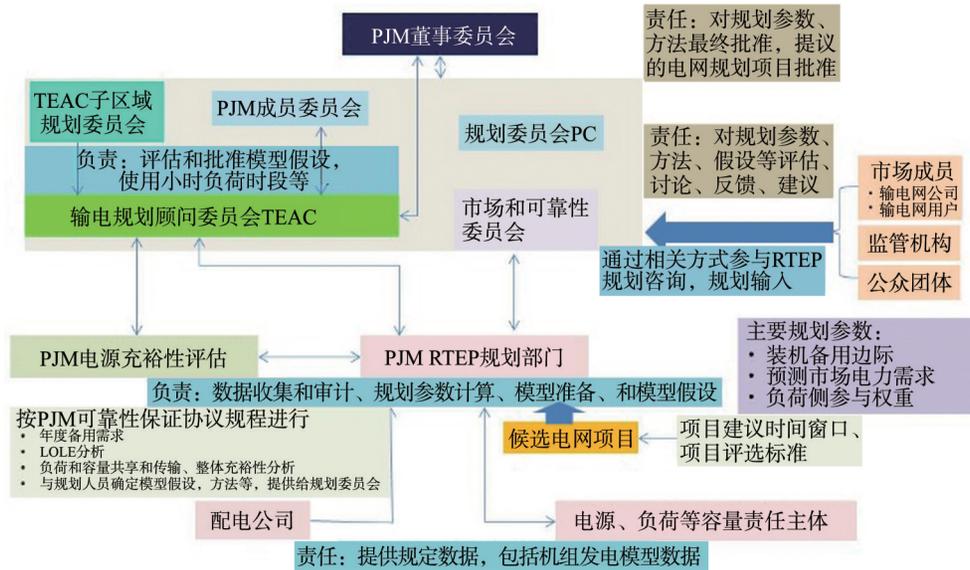


图 3 PJM 职能划分与协作关系示意图

Fig. 3 Schematic diagram of function division and cooperation relationship of PJM

3) 加州电网规划也分为年度规划(1年滚动规划)和中长期规划。年度输电规划的主要目的是满足可靠性要求,提出相应的输电网升级改造或者新建项目。能够提升系统可靠性、满足政策性目标或者提升系统经济性的项目都会被提出,以进行后续的研究和讨论^[11]。输电网拥有者(PTO, Participating Transmission Owners)或者其他市场参与者都可以在 PTO 年度输电网扩展规划中提出项目。具体流程如图 4 所示^[12]。

3 电力系统规划工作体制优化

电力市场改革的影响下,市场结构、成本和利益分配方式发生变化,电力系统的运行、规划的体制、流程和规范也都在发生变化。典型特征是从原来一体化运行转变为协调、配合下的分散决策。随着发输电分离,众多电力市场参与主体利益多元化,导致电力系统的规划和决策过于分散,系统性优化不足。为促进广东发电、输电规划的协调,建议建立统一电源规划和分散式发电商决策相结合的发展体系,把电力规划关注的重点从项目审批逐步转移到对于总量、结构以及布局的优化控制上^[13]。

因此,为保证电力市场环境下的规划过程的前瞻性和科学性,规划过程应更注重与各方的协调配合,信息、数据的透明、共享。鉴于此,我们建议广东电力系统规划工作可由广东电网公司牵头,电源企业、重要电力负荷、配电公司等多方市场主体参与(如图 5 所示),同时在规划组织和实施中,增加内部运行机构的信息、数据共享,成立一个具有代表性和行业权威性规划顾问机构,来对规划参数、方法、假设等进行讨论、评估。

该顾问机构作为一个连接电网与市场与监管以

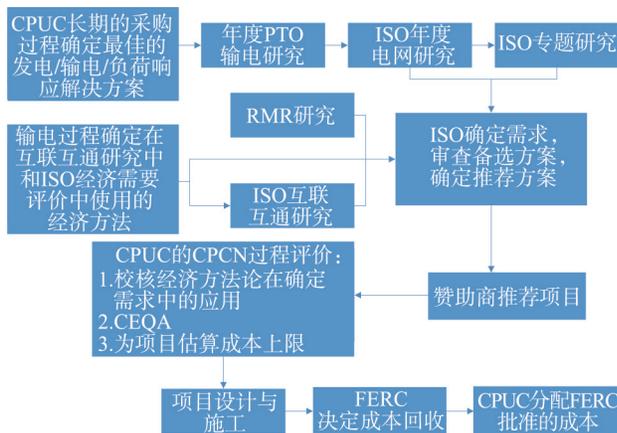


图 4 加州年度规划流程

Fig. 4 Annual transmission planning procedure of California

及公众的组织, 具有专业权威, 了解国内外相应规划和市场运行操作, 又具有一定的独立性的议事和讨论平台, 能够提高规划的透明度和对外可信度, 以及公开参与度。该组织可以由广东电网公司, 市场主体 (电源企业、电力用户等), 广东省发改委、

经信委、电力行业协会、电力专家等代表组成。从规划工作开始便参与进来, 对规划参数、方法进行评估, 讨论系统规划的中长期发展方向, 定期讨论系统中需要解决的问题, 提出解决方案和建议, 并向政府相关规划部门汇报。

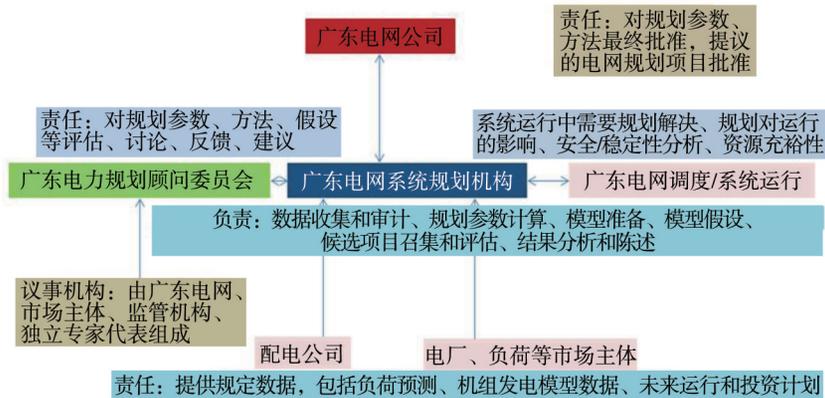


图 5 电力市场下广东电力系统规划体制建议

Fig. 5 Proposals for power system planning organization in Guangdong

4 电力市场环境下电力系统规划方法的优化

目前, 广东电网也有较为完善的规划体系, 包括年度运行方式分析, 输、配电网五年规划, 中长期电网规划, 远景目标网架规划等。传统电网规划流程如图 6 中所示, 通过分析电网存在问题, 结合负荷发展和电源方案, 进行主网架设计, 通过电网方案比选, 提出规划期内的输变电工程项目, 并进行投资估算。

广东电网传统规划模式与国外有所不同, 国外成熟电力市场的规划方法考虑的研究情景更为详

实、规划数据输入更全面, 且有量化的电网项目评估方法。因此, 为实现新市场环境下电力系统规划的目标, 建议广东电网规划对如下几方面进行补充和改进, 主要包括规划输入、项目分类、情景研究、电网经济效率评估和不确定性分析五方面内容, 如图 7 所示。

4.1 规划输入

对于电力市场下电网规划, 除了传统的电网规划的输入外, 还应重点收集电源相关的燃料信息, 如详细的燃气发展规划, 细化到区域和节点的天然气价格、煤炭成本、排放因子等, 上述数据的精确性直接影响到后续成本-效益评估的科学性和客观性。

4.2 仿真计算及项目分类

为提出规划年份的电网项目, 需进行电网安全稳定校核分析及电力市场仿真分析 (输电阻塞分析), 并结合市场主体的反馈, 分别获得两类项目:

1) 第一类项目: 通过安全稳定仿真计算, 筛选出对电网安全稳定产生重大提升的项目。一般针对不满足安全稳定标准、负荷增长的局部电网或区域电网提出, 能够对电网整体或局部安全性产生较大影响。

2) 第二类项目: 通过电力市场仿真分析, 筛选出对电力市场运行经济性产生影响的项目。该类



图 6 广东电网传统规划流程

Fig. 6 Traditional power system planning process of Guangdong province

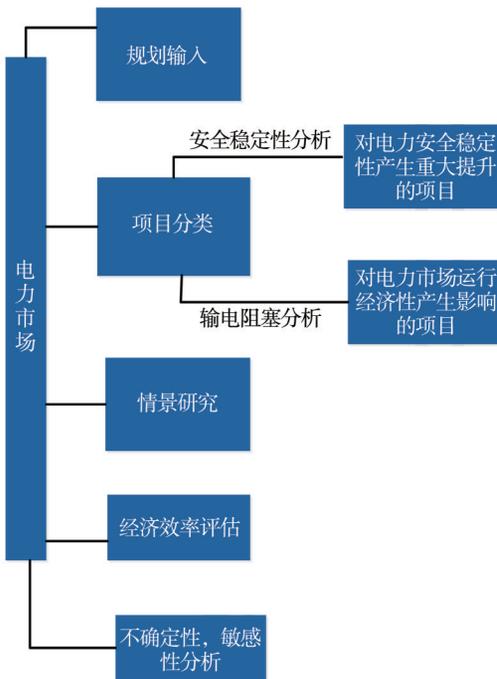


图7 电力市场下广东电力系统规划方法

Fig. 7 Power system planning process of Guangdong province considering energy market

项目重点针对电网中的输电阻塞问题，可以通过新建电网、提升电网输送能力等措施减少输电阻塞，提升系统的经济性。

对于第一类项目，可解决电网中存在的安全稳定问题，是电网必须建设的项目，后续电网项目评估的目的只是从多个比选方案中选出最优的方案。对于第二类项目，重点在于减少电力市场中的输电阻塞，后续需对该项目产生的效益和成本进行对比，来决定项目的可行性。

4.3 情景研究

电力市场环境，电源发展、负荷预测、燃料价格、环保因素、国家政策等的不确定性对电网和市场运行的影响更为明显，规划和设计应具备适应上述不确定性的能力，所以有必要进行详细的情景研究。具体流程如图8所示。

1) 选出可能对未来电网产生重大影响的因素。可以重点考虑负荷预测结果（需求侧响应和电动汽车等对负荷预测的影响）、核电政策、燃料价格、海上风电及储能技术发展、环保标准等。

2) 将每个因素设定不同的等级，并指定每个因素在不同等级的值。一般来说，每个因素都会设定一个基本方案（中方案）、一个高方案和一个低

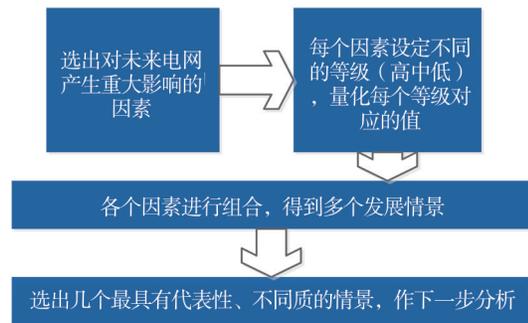


图8 情景分析流程

Fig. 8 Scenario analysis process

方案，根据需要，也可以设置次高方案和次低方案。

3) 对上述各个因素进行组合，可得到多个发展情景。实际计算中，为节省计算量，不需要对所有情景一一仿真，一般选出几个最具有代表性、不同质的情景，作下一步分析。例如，情景一中采用环保标准高方案，间接导致海上风电等新能源规模较大；情景二中采用海上风电发展高方案，两种情景考虑的因素不同，但产生的结果均是海上风电大发展，则上述两个情景可以考虑为同质的情景，只对其中一个进行仿真即可。另外，可以采用概率论的方案进行情景的选择，如拉丁超立方体抽样方法（the Latin Hypercube Sampling Technique）等。可重点关注如下三类情景：最具有可能性的发展情景（发生概率最高）；最极端的发展情景；中间情景（对规划方案比选有用的场景）。

4) 情景研究根据时间维度有所区分，不同时间维度的侧重点不同。可分为近期（5~10年）、中长期（10~20年）、远期（20~40年）。远期发展情景是对未来发展方向的描述，中长期是近期和远期的过渡。

所选出的具有代表性情景，将在4.5章节提及的不确定分析中，作为各类情景开展电力市场仿真分析。

4.4 电网经济效率评估

除传统的基于安全稳定的计算和评价，电力市场环境，电力规划和传统规划最大的区别就是电网经济效率评估。通过研究，建议广东电网采用成本-效益的评价方法，进行电网经济效率评估。上述两类电网项目均需进行经济效率评估，尤其是第二类解决输电阻塞的电网项目，需通过成本-效益

分析来评估项目建设的必要性,用于决策项目批准与否。成本-效益评价方法的总体思路是:

1) 分别计算不考虑该电网项目时系统效益NBO和考虑该电网项目时的系统效益NB。

2) 项目效益成本比 $BCR = (NB - NBO) / \text{项目成本}$ 。应根据相关研究,设置效益成本比BCR的阈值 K (K 值应大于1)。

4.5 不确定性分析(敏感性分析)

在电力市场环境下,不确定性因素增多,电源建设进度、环保标准、燃料价格波动等,都可以影响电网项目的决策。因此,在4.3中选定的各个情景下,分别开展电力市场仿真计算,针对未来产生重大影响的因素进行不确定性分析。

1) 针对第一类项目,以满足电网安全运行为主,建议在不同情景下进行技术适应性分析,校验电网的安全稳定性,但仅计算基本情景下的BCR值,作为经济比较的参考指标,不要求推荐方案的BCR值一定大于 K 。

2) 针对第二类项目,采用成本-效益评价方法,其目的主要是对项目投产前后的系统经济性进行对比,判定项目的投产是否能够提高系统经济性,以及提升的程度如何,需要对各情景下BCR值进行计算,则得到的效益成本比是一个区间值($BCRL \sim BCRH$)。需要结合情景发生的概率及阈值 K ,对项目进行决策。

4.6 电源规划改进方法的初步建议

电力市场环境下,不仅电网规划需要在规划输入、项目分类和效率等方面优化,电源规划也同样面临着新的挑战。传统电源规划主要考虑在满足一定负荷需求下的最优电源规划方案,而随着电力市场环境的发展,还需要考虑电力环保、电力调峰、需求侧管理和大量新能源发电并网等因素的综合影响。同时,电力市场环境也影响了电源规划的投资决策目标和决策方法。决策目标由传统的总成本最小化演变为投资收益最大化,决策过程中也需要考虑更多不确定因素带来的潜在风险。

因此,对于电源规划方法的改进有如下建议:

1) 综合考虑电力市场环境下的电力环保、需求侧管理、独立发电商等因素对电源规划模型的约束,深入研究有限个不确定因素参数约束下的电源规划组合建模问题,对广东省电源规划做出更适合

电力市场环境的改进。

2) 综合考虑适用于电力市场环境的电源规划投资决策,改变传统的投资决策目的和方法,可考虑采用基于实物期权理论(ROA)的发电投资决策方法^[14-15]、基于博弈论的发电投资决策方法^[16-17]等对电源规划投资模型进行进一步的细化分析。

5 结论

在电力市场环境下,电源和电网规划所包含的变量、制约因素、规划目标更多,复杂性更高,在这种新形势下,整个电力规划的研究方法和研究手段都需要进一步优化深化。

本文梳理和总结了国外成熟电力市场的发展现状以及电力系统规划方法,并在此基础上,结合广东电力市场发展现状,有针对性地提出电力市场环境下广东电力系统的规划方法。本文所提出的规划方法,充分考虑国家和地方能源政策对电源发展的影响,以及资源禀赋和机组运行特性以及负荷特性对未来电源发展情景的影响,对电源建设的不确定性,燃料价格等因素进行敏感性分析。针对电源布局 and 电网规划,引入电网经济效益评价,有利于对比分析电力项目优劣或量化评估项目建设的必要性。在电源规划阶段量化系统运行风险,分析电网线路上的阻塞成本、节点电价信息,找出阻塞产生的原因。通过市场运行模拟的阻塞价格信号来引导电源商进行电厂布局调整,优化电源布局,以达到促进发输电的协调发展的目的,提高电力市场运行经济性,实现社会效益最大化。

参考文献:

- [1] 许江风. 中国能源体制改革关键:城市主导能源集成规划[J]. 南方能源建设, 2019, 6(3): 29-31.
XU J F. Intergrated energy planning with urban leading is the key of energy system revolution in China [J]. Southern Energy Construction, 2019, 6(3): 29-31.
- [2] 李荣昌. 电力体制改革背景下的电力系统规划设计思路[J]. 山东工业技术, 2018(16): 178-179.
LI R C. Thinking on power system planning and design under the background of electric power system reform [J]. Industrial Technology of Shandong, 2018(16): 178-179.
- [3] 南方能源监管局. 广东电力市场运营基本规则(征求意见稿)[S]. 广州: 南方能源监管局, 2018.
Southern Energy Regulatory Authority. Basic rules for operation of Guangdong power market (Draft) [S]. Guangzhou:

- Southern Energy Regulatory Authority, 2018.
- [4] Energy Policy and Planning Office. Thailand power development plan 2015—2036 [R/OL]. (2015-05-06) [2021-01-29]. <http://www.eppo.go.th/index.php/en/policy-and-plan/en-tieb/tieb-pdp>.
- [5] 侯孚睿,王秀丽,锁涛,等. 英国电力容量市场设计及其对中国电力市场改革的启示 [J]. 电力系统自动化, 2015, 39(24): 1-7.
HOU F R, WANG X L, SUO T, et al. Capacity market design in the United Kingdom and revelation to China's electricity market reform [J]. Automation of Electric Power Systems, 2015, 39 (24): 1-7.
- [6] 澳大利亚能源市场委员会. 澳洲电力法: 版本 113 [S]. 悉尼: 澳大利亚能源市场委员会, 2018.
The Australian Energy Market Commission. National electricity rules: version 113 [S]. Sydney: AEMC, 2018.
- [7] 澳大利亚 TransGrid. 输电网年度规划报告 [R/OL]. (2018-06-30) [2021-01-29]. <https://www.aer.gov.au/networks-pipelines/guidelines-schemes-models-reviews/transmission-annual-planning-report-guidelines>.
Trans Grid Australia. Transmission annual planning report [R/OL]. (2018-06-30) [2021-01-29]. <https://www.aer.gov.au/networks-pipelines/guidelines-schemes-models-reviews/transmission-annual-planning-report-guidelines>.
- [8] 澳大利亚能源市场运营商. 集成电力系统规划报告 [R/OL]. (2018-07-17) [2021-01-29]. <https://www.aemo.com.au/Media-Centre/2018-Integrated-System-Plan>.
Australian Energy Market Operator. Integrated system plan [R/OL]. (2018-07-17) [2021-01-29]. <https://www.aemo.com.au/Media-Centre/2018-Integrated-System-Plan>.
- [9] 美国输电规划委员会. 2017年PJM地区输电规划扩展 [R/OL]. (2018-08-23) [2021-01-29]. <https://www.pjm.com/library/reports-notices/rtep-documents/2017-rtep.aspx>.
Transmission Planning Commission of America. 2017 PJM regional transmission expansion plan [R/OL]. (2018-08-23) [2021-01-29]. <https://www.pjm.com/library/reports-notices/rtep-documents/2017-rtep.aspx>.
- [10] 美国输电规划委员会. PJM手册14B:PJM地区输电网规划流程 [R/OL]. (2018-08-23) [2021-01-29]. <https://www.energy.gov/oe/services/electricity-policy-coordination-and-implementation/transmission-planning>.
Transmission Planning Commission of America. PJM manual 14B: PJM region transmission planning process [R/OL]. (2018-08-23) [2021-01-29]. <https://www.energy.gov/oe/services/electricity-policy-coordination-and-implementation/transmission-planning>.
- [11] 加利福尼亚独立电力系统运营商委员会. 2017—2018输电规划 [R/OL]. (2018-05-22) [2021-01-29]. <http://www. caiso. com/Documents/Final2017-2018StudyPlan. pdf>.
California Independent Power System Operators Committee. 2017—2018 transmission planning [R/OL]. (2018-05-22) [2021-01-29]. <http://www. caiso. com/Documents/Final2017-2018StudyPlan. pdf>.
- [12] 加利福尼亚独立电力系统运营商委员会. 输电经济型评估方法 [R]. California: ISO Board, 2004: 1-10.
California Independent Power System Operators Committee. Transmission economic assessment methodology [R]. California: ISO Board, 2004: 1-10.
- [13] 王诗超,苏步芸,白骏. 基于电网经济效率评估的发电和输电协调规划方法研究 [J]. 南方能源建设, 2020, 7(3): 38-45.
WANG S C, SU B Y, BAI J. Transmission based on economic efficiency assessment of power grid [J]. Southern Energy Construction, 2020, 7 (3): 38-45.
- [14] MOREIRA A, ROCHA K, DAVID P. Thermo power generation investment in brazil-economic conditions [J]. Energy Policy, 2004, 32 (1): 91-100.
- [15] BOTTERUD A, ILIC M D, WANGENSTEEN I. Optimal investments in power generation under centralized and decentralized decision making [J]. IEEE Trans on Power Systems, 2005, 20 (1): 254-263.
- [16] PIERRE P O, PAULI M. An oligopolistic investment model of the finnish electricity market [J]. Annals of Operations Research, 2003, 121 (1-4): 123-148.
- [17] HUANG A S, WU F, VARAIYA P. A game-theoretic model for generation expansion planning: problem formulation and numerical comparisons [J]. IEEE Trans on Power Systems, 2001, 16 (4): 885-891.

作者简介:



刘新苗

刘新苗 (通信作者)

1986-, 男, 湖南湘乡人, 高级工程师, 硕士, 从事电网规划、系统运行分析等相关工作 (e-mail) liuxinmiao0221@gd.csg.cn。

王诗超

1988-, 女, 江西万载人, 高级工程师, 硕士, 主要从事电力系统规划工作 (e-mail) wangshichao@gedi.com.cn。

(责任编辑 李辉)