

基于电网经济效率评估的发电和输电协调规划方法研究

王诗超[✉], 苏步芸, 白骏

(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] 为了促进电力市场下发输电相互协调, 提出了一种基于电网经济效率评估的发电和输电协调规划方法。[方法] 随着电力市场改革逐步推进, 发电侧的竞争更加多元化, 售电侧也逐步放开, 传统的电网规划的方法在电力市场环境下可能不再适用, 从电源建设不确定性、系统潮流不确定性等多个方面, 分析了电力市场新环境下, 产生电源和电网发展不协调现象的主要原因。[结果] 采用成本-效益法进行电网经济效率评估, 通过对有/无该项目时的系统净收益进行计算, 最终获得各项目的效益成本比BCR, 并以此作为优化电源布局、电网项目决策的重要依据。[结论] 建议可通过优化改进电网规划方法, 建立电网经济效率评价体系, 来促进电力市场下发输电相互协调。

关键词: 发输协调; 电力市场; 电网经济效率; 阻塞分析; 电源布局

中图分类号: TM7; TM715

文献标志码: A

文章编号: 2095-8676(2020)03-0038-08

开放科学(资源服务)二维码:



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

WANG Shichao[✉], SU Buyun, BAI Jun

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

Abstract: [Introduction] In order to promote the coordination of generation and transmission in the electricity market, this paper proposes a coordinated generation and transmission planning method based on economic efficiency evaluation of power grid. [Method] With the gradual advancement of the power market reform, the competition of generation side was more diversified and the selling side was gradually liberalized. Traditional planning methods of power grid might no longer be applicable in the power market. In this paper, the main causes of the inconsistency between power supply and power grid development under the new environment of power market were analyzed from the aspects of uncertainty of power supply development and power flow. [Result] The cost-benefit method to Evaluate Economic Efficiency is applied. By calculating the net benefit of the system with or without the project, the benefit-cost ratio BCR of each project is finally obtained, which is used to optimize the power distribution and serve as an important basis for the decision-making of power grid projects. [Conclusion] It is suggested that the coordination between generation and transmission in power market can be promoted by optimizing and improving the method of power grid planning and establishing an evaluation system of power grid economic efficiency.

Key words: generation and transmission coordination; power market; economic efficiency of power grid; congestion analysis; power distribution

随着电力市场改革的进行, 发输电分离, 众多电力市场参与主体的利益多元化, 导致电力系统的

规划和决策过于分散, 且系统优化严重不足。电力系统是一个连续运行的系统, 其规划与决策天然具有整体性, 割裂这种整体性追求局部利益最大化, 必然造成重复建设和资源浪费。具体表现为: 电源规划建设与电网规划建设的不同步与不协调、新能源发电与电网规划建设之间的不同步与不协调、新

收稿日期: 2019-10-08 修回日期: 2020-03-27

基金项目: 广东电网公司技术咨询专题项目“电力市场环境下广东电力系统规划研究”(XZ10881W)

能源发电与传统化石能源发电之间的不同步与不协调等“碎片化”现象,由此产生了电源重复建设、可再生能源并网比例偏低、电网设备利用效率低下等普遍现象,这也使得整个电力规划的研究方法和研究手段,尤其是发电和输电协调规划方法上需要进一步优化^[1]。

本文首先从电源建设不确定性、系统潮流不确定性等多个方面,分析了电力市场新环境下,产生电源和电网发展不协调现象的主要原因和存在的主要问题。接着梳理分析了国外成熟电力市场的电网经济效率评估方法,提出了基于电网经济效率评估的发输电协调规划方法,并为中长期的电力工业规划提供了经济效率评估相关的合理化措施和建议。

1 发输电协调问题分析

随着中长期和现货市场的建立,发电侧的竞争更加多元化,售电侧也逐步放开,发输电的协调问题更加凸显,主要体现在如下3个方面:

1) 电源建设不确定性增强

在电力市场环境下,发电和输电企业作为独立的市场主体,电源侧的发展更多取决于发电公司或投资者自身的决策。随着中长期、现货市场、辅助服务市场的建立以及参与市场交易的电量的增加,电价的波动区间增大,发电商以投资回报最大化为目标,其投资、竞价和交易具有更高的灵活性和不确定性^[2]。

2) 系统潮流不确定性增强

在管制模式下,调度部门在满足电网安全运行的条件下,可以提前统一优化全网所有发电机组的检修计划、出力等,电网潮流的可控性相对较高。在新一轮电力市场改革下,发电商一部分电量可以选择在中长期或现货市场集中竞价,零售商和大用户也有了更多的购电选择,市场竞价行为、燃料成本、用户侧响应等因素使系统潮流呈现更大的波动性和不确定性,更容易造成系统潮流分布不均以及系统失稳^[3]。

3) 电网出现输电阻塞的可能性增加

市场条件下,电源建设受发电商投资决策影响,电源开机受发电商竞价行为的影响,供需双方可以自由确定双边合同,自由竞价,系统潮流呈现较大的不确定性,可能造成输电阻塞,进而造成局

部地区电价升高,影响合同的执行等后果,不利于电力市场的发展。另外,发电商可能借助输电阻塞行使市场力,从而抬高电价,获取更多的利润,上述现象均会使得市场效率降低。

2 发输电协调问题解决措施分析

基于上述问题,输电投资与规划需要对未来的、期望的发电-负荷模式的变化做出反应。经研究,建议发输电协调问题通过如下措施解决:

1) 探索合理的发输电投资和规划模式

电源和电网投资与规划的协调应首先从机制或模式方面入手,设计合理的激励机制或管制机制,从宏观方面引导二者相互协调。在构建机制时,应首先识别影响发输电协调投资与规划的主要因素,明确各参与主体的责任和权利。建立统一电源规划和分散式发电商决策相结合的电源发展体系,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。改变目前诸多专项电源规划、区域电网规划的碎片化现象,将各类电源规划、电网规划等均纳入电力发展总体规划,突出统筹电源与电网发展,煤电与清洁能源发展,发电与调度,各类电源基地布局与重要电力通道布局。

2) 建立合理的市场激励机制

对发输电投资和规划影响最大的是发电上网电价和输配电价,应考虑通过建立合理的电价机制,来引导发电和输电投资规划。例如,在电力市场化交易中,如果能够按照市场成员利用电网资源的程度进行输电成本分摊,在电网出现阻塞前,以价格引导电网安全,越接近安全边界价格越高,将更有利于对于电网资源的高效利用。可考虑经济调度对市场的影响,在电网规划中充分模拟市场行为,以得到最适合电网和电源协调发展的交易模式。电网公司也应及时对资产利用情况、利用效率等进行评估,单独核算电力市场中有关电网的费用,计算输电效益。

3) 建立合理的评估体系和评价方法,促进市场条件下网源之间的协调

通过建立合理的评估和规划体系,实现网源之间的协调。在电源项目的申请、接入系统方案研究等多个环节,均应与电网公司充分接洽和沟通,保证电网公司会对电源接入后对现有输电网用户的影

响、对公网的影响、运行标准等进行详细的评估和谈判,促进电源建设和电网发展的协调。

在电网规划中,也应改善规划方法和流程,对电源建设的不确定性,燃料价格等因素进行敏感性分析。并考虑输电阻塞、市场成本收益等多方面因素对电网规划方法和评价体系的影响,以适应电力市场的要求。

由于发输电规划模式受政策不确定性影响较大,而市场机制的建立和逐步完善也需要一个循序渐进的过程,建议通过改进电网规划方法,建立合理的评估和规划体系,来促进发电与输电的协调发展。

3 国外电力市场下电网经济效率评价方法

国外电力市场在电网规划时,会对系统的发电资源进行评估,并对电源接入系统进行市场效益分

析,通过全面的电网经济效率评价,在一定程度上综合发输电的系统经济性,以及对系统供电安全和可靠性的影响,来规避电网和电源建设的不协调问题。所以,本小节对国外电力市场中电网经济效率评价方法进行了梳理和总结。

3.1 澳大利亚电力市场

在澳大利亚电力市场中,电网公司根据需求提出可行的电网项目。需求研究可以来自多种途径:如电网公司自己的运行模拟,市场运营中心AEMO在规划和运行中提出的系统需求,或者其他市场主体的需求研究^[4],其项目流程如图1所示。在澳大利亚20年国家输电网发展规划(NTNDP)中,根据成本/效益的评价方法对电网项目经济效率进行评价^[5],计算总收益和总成本,得出效益/成本的比值。通常比值大于1意味着投资该项目的收益大于成本,会被优先考虑。

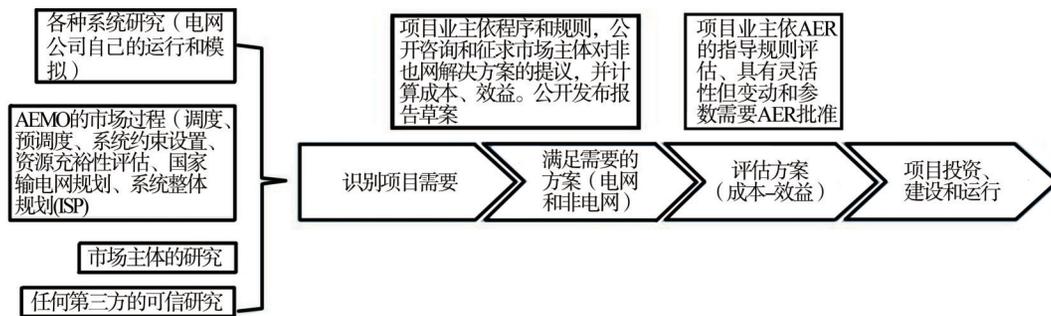


图1 澳大利亚电网项目流程图

Fig. 1 Flow chart of the grid project in Australia

在短期规划中,同样需要对项目进行更为具体的输电监管投资测试(RIT-T)^[6]。RIT-T的目的是确定输电投资的方案,最大化净经济效益,并满足相关可靠性标准。主要包括如下两类项目:

1) 必须满足可靠性标准的项目,则投资规划的目的是最小化成本。

2) 可带来净市场效益的项目,但不一定能满足特定的可靠性要求。

RIT-T运用成本-效益分析方法,比较在不同情境下,有/无该输电项目的净市场效益的差值。其中,对于输电网的评价,效益考虑燃料成本、负荷、网损、市场竞争、辅助服务等多个方面^[6]。成本主要包括资本性成本、运行维护成本、法律政策成本等。对于第一类项目,通过输电监管投资测试,从备选方案中得到经济性最好的方案;对于第

二类项目,效益/成本比需大于1才会被考虑。

3.2 PJM电力市场

PJM电力市场中,将各市场主体(包含电网公司)提交的电力项目分为三类:可靠性驱动型项目、经济性驱动型项目、政府政策导向性项目。市场效率分析(Market Efficiency Analysis)是整个PJM区域输电扩展规划(RTEP)流程的一部分^[7],在可靠性分析之后。可靠性驱动型项目通常只需要进行系统可靠性仿真,但如果想提前项目投产时间,则需要进行市场效率分析,评价提前投产是否能够提高市场效益;经济性驱动型项目必须经过市场效率分析。PJM市场效率分析的目的为:

1) 对有提前投产需求的可靠性驱动型项目进行评价,判断提前投产是否能够带来经济效益。

2) 找出可能带来经济效益的新的输电网升级

改造项目。

PJM 在市场效率分析中, 用效益/成本比率方法^[7]来确定一个项目是否加入 RTEP 的项目库中。首先, PJM 针对历史电网中的阻塞问题进行分析, 并对于规划年份的电力市场运行进行每个小时的仿真分析, 得到未来电网中的阻塞。然后, 提出相应的网架升级改造措施, 并进行成本-效益分析。效益/成本比率大于阈值 1.25 的项目获得 PJM 董事会

的批准的机会增加, 而小于该值的项目通常不会提交董事会。但项目的批准通常不只考虑一个因素, 有些项目即使效益/成本比率小于 1.25, 但因为后续系统条件的变化, 或者其他因素的影响, 也有可能获得批准。效益/成本比率计算流程如下图所示。

效益/成本比率= (能量市场年收益+容量市场年收益)/该电网项目的每年的成本, 效益/成本比率计算流程如图 2 所示。

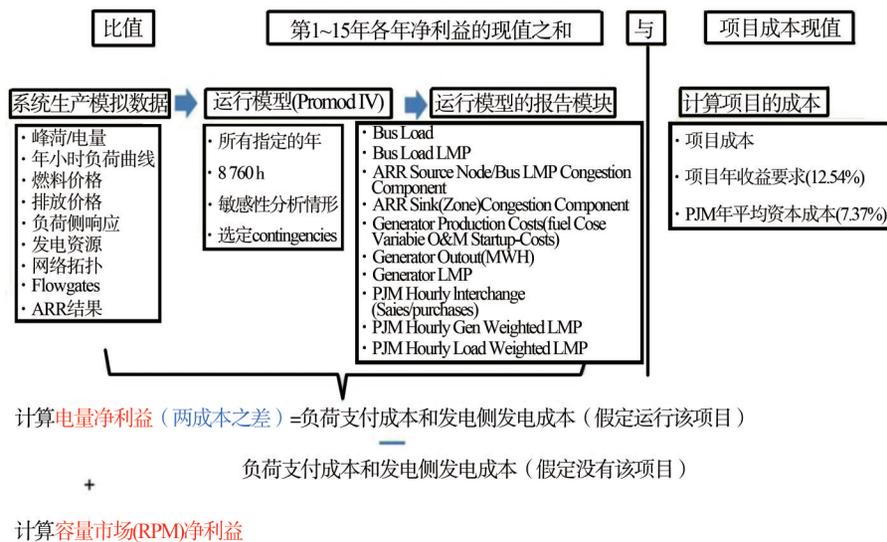


图 2 PJM 效益/成本比率计算流程

Fig. 2 Process of PJM benefit/cost ratio calculation

3.3 加州电力市场

与 PJM 类似, 加州的电网项目同样分为三类^[8], 可靠性驱动型项目都是满足电网安全稳定水平的, 由系统运行机构 (ISO) 根据系统可靠性仿真计算得到, 一般不需要进行成本-效益计算, 直接进入项目库。若项目有多个比选方案, 则根据成本-效益分析方法, 选择经济性最好的方案。

市场驱动型项目不一定必须满足系统可靠性要求, 但对促进市场交易和帮助缓解输电阻塞起到重要作用。ISO 每年都会对电网进行生产模拟仿真和阻塞分析, 列出电网中存在阻塞的区域或元件, 并结合各市场主体 (股东) 向 ISO 提出的经济驱动型项目, 进行成本-收益分析, 得到成本效益比 (BCR)。对于市场驱动型项目, BCR 必须大于 1。

基于成本-效益法进行电网经济效率评估的流程与 PJM 类似, 具体流程如图 3 所示。电网经济效率评价中, 最重要的是如何准确量化效益。加州一般采用 TEAM (Transmission Economic Assessment

Methodology) 评价方法^[9]对新建及升级改造项目的效益进行计算, 主要包括以下四个方面:

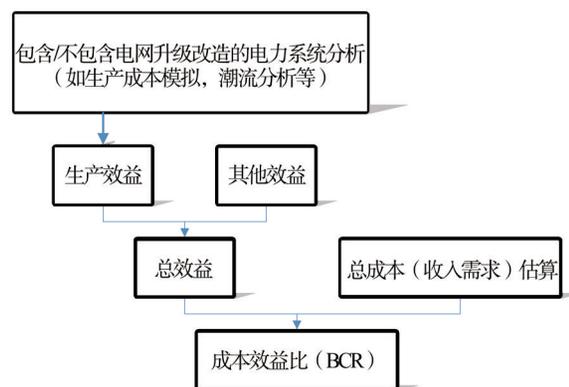


图 3 加州电网经济效率评估方法

Fig. 3 Economic efficiency evaluation method of California power grid

1) 建立完善的效益框架

TEAM 方法中的效益框架中, 包括全社会收益值、可靠性收益、运行灵活性收益、环境收益、输

电网升级带来的容量收益、网损减少带来的收益等。由于输电阻塞释放后，并不是所有市场参与者都能获得收益，所以需从用户、发电商和输电商三个角度分别评价。

2) 建立精准的电网模型

电网物理模型关系到仿真的结果是否可信，模型是否能够精确预测出潮流和节点电价是电网经济评估的关键。需要能够精准建立电网交直流模型、约束模型、控制系统模型等。

3) 考虑市场中电价的影响

通过建立策略性竞价的模型，对市场节点电价进行预测。建立竞价模型通常有两种方法：博弈论模型来模拟竞价行为；对比实时价格和历史预测价格的差异，来进行电价预测。

4) 不确定性分析

由于未来负荷增长，燃料价格，机组退役和新建，水电等机组的出力均具有不确定性，TEAM方法中选取不同的情景，通过进行敏感性分析，来应对不确定性。

3.4 欧洲电力市场

在欧洲长期电网规划 (TYNDP) 中，电网经济效率评估采用成本-效益法和多标准法相结合的方法，其中包括定性评估和量化、货币化评估^[10]。项目效益值大于成本值的项目会被优先考虑，但只是作为项目选择的一个考虑因素。评估所涉及的主要因素分为三大类：效益评估，成本评估以及其他影响分析^[11]。其评估框架如图4所示。

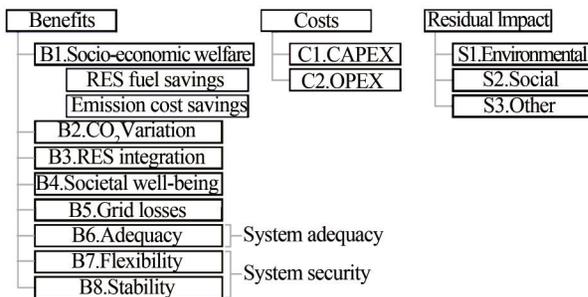


图4 TYNDP 评估框架

Fig. 4 Evaluation framework of TYNDP

效益评估包括社会经济收益（例如化石燃料和排放成本的减少）、CO₂排放的变化、新能源接入、电网损耗、系统安全裕度、灵活性和稳定性；成本则包含了资本性支出 CAPEX 和运行成本 OPEX；

最后应对环境的影响、对社会的影响和其他影响进行评估，并给出相应的措施。其中，社会经济效益反映了项目降低电网阻塞的能力，是指用户侧、发电侧以及电网侧经济盈余的总和，可用发电成本法和总盈余法两种方法来衡量。

4 基于电网经济效率评估的发电和输电协调规划方法研究

各电力市场下的电网项目的经济效率评价，一般采用成本-效益的分析方法，通过对项目投产前和项目投产后的对比，进行决策。电力市场环境下电力系统规划遇到诸多新问题和挑战，也可以考虑采用成本-效益的评价方法，进行电网经济效率评估，来促进发电与输电的协调发展。

首先，本方法分别计算不考虑该电网项目时系统效益 NB₀ 和考虑该电网项目时的系统效益 NB，并以此计算得到项目的效益成本比 BCR。具体计算流程如图5所示。其中，项目成本主要包括资本投资和运行成本；效益主要体现在对系统总成本的影响上，具体包括：(1) 可以减少电网中的阻塞，减少电源送出受限，从而使系统总生产成本降低；(2) 电网项目可能替代新电源项目的需要，减少或推迟电源投资，节约资金成本；(3) 可能降低网络损耗，降低系统损耗成本；(4) 减少系统中 CO₂、SO₂ 排放，降低系统排放成本。随着远期效益体系、市场机制的逐步完善，也将可靠性因素、系统充裕度因素等也考虑在内。

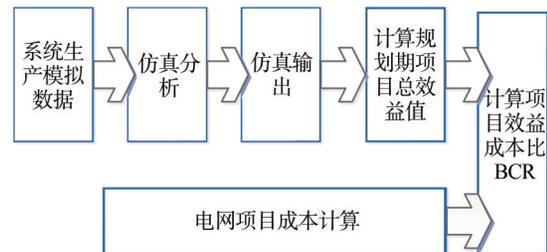


图5 效益成本比 BCR 的计算过程

Fig. 5 Calculation of benefit-cost ratio BCR

效益成本比 BCR 的具体计算过程描述如下：

1) 系统生产模拟数据输入。包括最高负荷/电量值、负荷曲线（精确至小时，一年 8 760 个点）、负荷侧响应情况、各机组燃料价格、排放价格、机组能耗及运行特性（包括出力上下限、热耗曲线等）、电网拓扑、支路/断面潮流约束、支路参数以

及系统备用约束。

2) 对系统进行仿真分析。包括对所有指定的年份进行仿真计算, 每年需计算8 760个小时, 也可选取每个月中具有代表性的2个星期进行计算, 以及敏感性分析。

3) 模拟仿真输出。包括母线负荷、负荷侧分区节点电价、负荷平均节点电价、发电机出力、发电机侧节点电价、与区外的电力交换值以及网络损耗。

4) 计算电网项目总净效益值。计算过程如下:

(1) 年净效益值=[(假定该项目投运)负荷支付成本+发电侧发电成本]-[(假定该项目不投运)负荷支付成本+发电侧发电成本]。

(2) 负荷支付成本=母线节点电价×母线节点负荷。

(3) 发电侧发电成本=系统燃料总成本+系统排放总成本+系统其它可变成本+向外采购电力的成本+向外售出的电力收入。

(4) 规划期每个年份净效益值相加, 得到项目总净效益。

5) 计算电网项目成本。包括项目投资成本、年运行成本以及其它成本, 如政策性成本等。

6) 计算项目效益成本比BCR=项目总净效益值(NB-NB₀)/项目成本。

同时, 根据相关研究, 设置效益成本比BCR的阈值K(K值应大于1)。

通过引入了电网经济效益评价, 有利于对比分析电网项目优劣或量化评估项目建设的必要性。对于规划的大型电源基地的配套送出线路项目, 可进行效益费用比分析, 以判断是否电源接入所带来的系统效益要高于通道建设投资, 并以此为依据进行电源规模、布点的优化, 市场运行模拟的阻塞价格信号也可以引导电源商进行电厂布局调整。对于提

高系统安全稳定水平的电网项目, 在各个比选方案的技术经济比较基础上, 采用电网经济效率评价方法, 可以使得方案比选更加全面、客观, 更有利于推荐电网项目适应未来电力市场的发展。

5 算例分析

为了说明电网项目的经济效率评价方法, 我们采用加州中部和南部之间的联络通道的网架加强方案进行分析, 需要加强的Path 26所处的位置如图6所示。该输电通道在北向南送电的情景下, 曾多次出现线路阻塞。因为, 为解决送电断面受阻的情况, 提出了网架加强方案, 即对Midway-Vincent第三回500 kV线路进行增容改造, 以满足北向南输送容量由3.400 GW提升至4.400 GW。

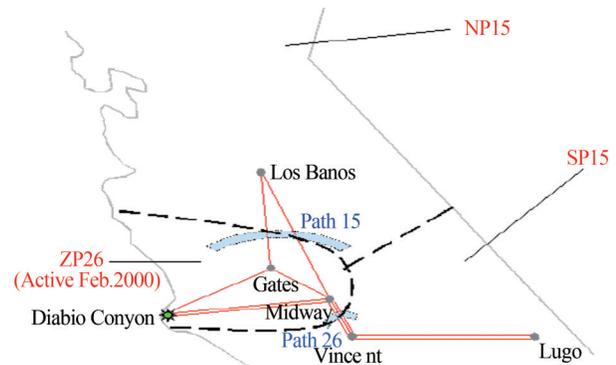


图6 Path 26位置示意图

Fig. 6 Location of Path 26 upgrade

在2013年典型场景下, 从不同角度对Path 26项目的收益进行了评价, 如表1所示。不同角度下, 收益计算所涉及的范围不同, 如从WECC全局角度(societal), 收益包括WECC所有用户、发电商和输电商的收益之和; 但从修正全局(modified societal)角度, 收益需除去非竞争市场中发电商收益。

表1 2013年典型场景下效益计算

Tab. 1 Benefit summary for typical 2013 scenario

| Perspective | Description | Consumer Benefit | Producer Benefit | Trans. Owner Benefit | Total Benefit |
|-----------------------------|-------------------|------------------|------------------|----------------------|---------------|
| | | /(mil. \$) | /(mil. \$) | /(mil. \$) | /(mil. \$) |
| Societal | WECC | 40.5 | -30.1 | -8.2 | 2.2 |
| Modified Societal | WECC | 40.5 | -19.4 | -8.2 | 12.9 |
| California Competitive Rent | CAISO Ratepayer | 12.5 | -4.4 | 0.0 | 8.1 |
| | CAISO Participant | 12.5 | 5.5 | 0.0 | 18.0 |

另外,用户侧收益是指用户侧所付费用的减少量;发电商收益是指发电商净收益的变化量;输电商收益是指输电阻塞收益的增加值;总体收益等于用户侧收益、发电商收益、输电商收益之和。

对市场价格、负荷增长、气价三个敏感因素进行不确定性分析,各单一敏感因素对总收益的潜在影响如图7所示。不难看出,市场价格对收益的影响大约是2 600万美元,气价的影响范围是2 300万美元,负荷增长的影响范围约600万美元。

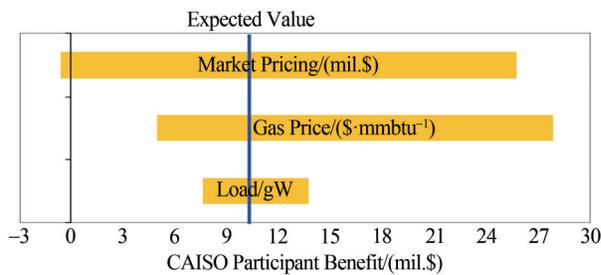


图7 单一敏感因素潜在影响分析

Fig. 7 Potential impact of single uncertain variables

依据不同的敏感因素可组合出多种研究情景,选出22个最具有代表性情景进行分析,计算不同情景下的年收益值,获得概率较高的收益范围,总收益和费用的概率区间如图8所示。可见,可能性最高的年收益范围为1 100万美金~1 400万美金。项目的成本按1亿美金考虑,若计及20%的不确定性,合理的年费用范围是1 000万美金~1 200万美金。

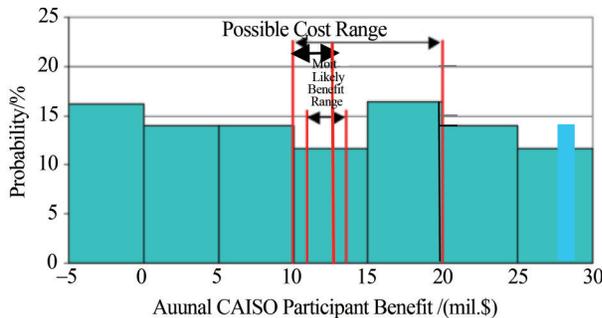


图8 收益和成本的概率区间

Fig. 8 Potential range of 2013 benefits and costs

由此可见,收益/成本比BCR值的范围是1.1~1.167,大于阈值1。该项目是存在一定的经济性的。当然,CAISO和CPUC还需要综合考虑多方因素来确定Path 26扩容方案的可行性。

6 结论

本文针对电力市场环境下所存在的发输电的协调问题,包括电源建设不确定性增强、系统潮流不确定性增强以及电网出现输电阻塞的可能性增加等三个方面进行分析,通过改进电网规划方法,建立电力市场下电网经济效率评估体系,来促进发电与输电的协调发展。本文对澳大利亚电力市场、PJM电力市场、加州电力市场和欧洲电力市场等国外电网的经济效率评估方法进行了梳理与总结,提出了基于电网经济效率评估的发输电协调规划方法,采用成本-效益法进行电网经济效率评估,通过对有/无该项目时的系统净收益进行计算,最终获得各项目的效益成本比BCR,并以此作为优化电源布局、电网项目决策的重要依据。最后,以加州中部和南部之间的联络通道的网架加强方案作为算例进行分析,进一步验证了所提出的电网经济效率评估方法的准确性和有效性。

本文在分析电力市场环境下的发输电的协调问题和国外电网经济效率评估和发输电协调规划方法的基础上,所提出的发输电协调规划方法具有一定的创新性,同时对于电网项目的科学决策具有重要的价值。目前电力系统多呈现复杂且多样化的电源结构,电力市场环境下电力系统规划也将不断遇到新问题和挑战,本次研究中所提出的成本-效益评价方法对于不同的电力市场环境的适用性仍需进一步分析,今后对于适用于多种不同电力市场环境的发输电协调规划方法的研究将是此领域的研究重点。

参考文献:

- [1] 李刚,王晓东,邓广义. 区域级综合能源系统多能耦合优化研究[J]. 南方能源建设,2017,4(2):24-28.
LI G, WANG X D, DENG G Y. Multi-energy complementary optimization research on local area integrated energy system [J]. Southern Energy Construction, 2017, 4(2): 24-28.
- [2] 黄仙,郭睿. 一种电力市场环境下的电源规划多智能体模型[J]. 电力系统保护与控制,2016,44(24):1-8.
HUANG X, GUO R. A multi-agent model of generation expansion planning in electricity market [J]. Power System Protection and Control, 2016, 44(24): 1-8.
- [3] 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.
- [4] 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出版,2018.
Australian Energy Market Commission. *National Electricity Rules:Version 113* [S]. Sydney:AEMC,2018.
- [5] 澳大利亚能源市场运营商. 集成电力系统规划报告 [R/OL]. 澳大利亚:AEMO,2018:3(2018-07-17)[2019-09-17]. <https://www.aemo.com.au/Media-Centre/2018-Integrated-System-Plan>.
Australian Energy Market Operator. *Integrated system plan* [R/OL]. Australia:AEMO,2018:3(2018-07-17)[2019-09-17]. <https://www.aemo.com.au/Media-Centre/2018-Integrated-System-Plan>.
- [6] 澳大利亚 Trans Grid. 输电网年度规划报告 [R/OL]. 新南威尔士:Trans Grid,2018:1-6(2018-06-30)[2019-09-17]. <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]. New South Wales:Trans Grid,2018:1-6(2018-06-30)[2019-09-17]. <https://www.aer.gov.au/networks-pipelines/guidelines-schemes-models-reviews/transmission-annual-planning-report-guidelines>.
- [7] 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]. USA:TPD,2018:22-23(2018-08-23)[2019-09-17]. <https://www.energy.gov/oe/services/electricity-policy-coordination-and-implementation/transmission-planning>.
Transmission Planning Department. *PJM Manual 14B:PJM region transmission planning process* [R/OL]. USA:TPD,2018:22-23(2018-08-23)[2019-09-17]. <https://www.energy.gov/oe/services/electricity-policy-coordination-and-implementation/transmission-planning>.
- [8] 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]. California:ISO Board,2018:13-15(2018-05-22)[2019-09-17]. <http://www.caiso.com/Documents/Final2017-2018StudyPlan.pdf>.
Board California ISO. *2017-2018 Transmission plan* [R/OL]. California:ISO Board,2018:13-15(2018-05-22)[2019-09-17]. <http://www.caiso.com/Documents/Final2017-2018StudyPlan.pdf>.
- [9] 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/OL]. California:ISO Board,2004:1-10(2004-06-01)[2019-09-17]. <https://max.book118.com/html/2017/0418/100795897.shtm>.
California ISO. *Transmission economic assessment methodology* [R/OL]. California:ISO Board,2004:1-10(2004-06-01)[2019-09-17]. <https://max.book118.com/html/2017/0418/100795897.shtm>.
- [10] 欧洲互联电网. 十年输电网规划2018年执行报告 [R/OL]. Europe:ENTSO-E,2018:20-35(2018-03-01)[2019-09-17]. https://tynpd.entsoe.eu/Documents/TYNDP%20documents/TYNDP2018/consultation/Main%20Report/TYNDP2018_Executive%20Report.pdf.
The European Network for Transmission System Operators Electricity. *TYNDP 2018 Executive Report* [R/OL]. Europe:ENTSO-E,2018:20-35(2018-03-01)[2019-09-17]. https://tynpd.entsoe.eu/Documents/TYNDP%20documents/TYNDP2018/consultation/Main%20Report/TYNDP2018_Executive%20Report.pdf.
- [11] 欧洲互联电网. 欧洲互联电网开发项目成本效益分析第二版指南 [R/OL]. Europe:ENTSO-E,2018:1-10(2018-09-27)[2019-09-17]. <https://tynpd.entsoe.eu/Documents/TYNDP%20documents/Cost%20Benefit%20Analysis/2018-10-11-tyndp-cba-20.pdf>.
The European Network for Transmission System Operators Electricity. *2nd ENTSO-E guideline for cost benefit analysis of grid development projects* [R/OL]. Europe:ENTSO-E,2018:1-10(2018-09-27)[2019-09-17]. <https://tynpd.entsoe.eu/Documents/TYNDP%20documents/Cost%20Benefit%20Analysis/2018-10-11-tyndp-cba-20.pdf>.

作者简介:



王诗超

王诗超 (通信作者)

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。

苏步芸

1992-, 女, 河南平顶山人, 工程师, 硕士, 主要从事电力系统规划设计工作 (e-mail) subuyun@gedi.com.cn。

白骏

1990-, 男, 河北泊头人, 工程师, 博士, 主要从事电力系统咨询规划工作 (e-mail) baijun@gedi.com.cn。

(责任编辑 李辉)