

含分布式电源的配网网损分摊方法研究综述

黄 湘, 欧阳森, 王克英

(华南理工大学 电力学院, 广州 510640)

Review of energy losses allocation method of distribution system
including distributed generation

HUANG Xiang, OUYANG Sen, WANG Ke-ying

(School of Electric Power, South China University of Technology, Guangzhou 510640, China)

摘要: 分布式电源接入配网运行引起功率输送损耗以及配网负载率的变化,使得含分布式电源的配网线损分摊工作更为复杂。从传统配网线损分摊原理出发,分别基于比例分摊、市场经济、敏感系数分析等不同角度全面概述现有的配网线损分摊方法,并分析考虑分布式电源后各方法有可能存在的问题;在此基础上,从改进传统网损分摊方法、挖掘新型网损分摊方法、考虑配网运行经济性、考虑分布式电源对配网的影响等方面着手,阐述分布式电源(DG)并网后的配网线损分摊新趋势。

关键词: 分布式电源;配网线损;线损分摊;比例分摊;市场经济;敏感系数分析;经济运行时间

Abstract: The access of distributed generation to distribution network will lead to the change of power flow, power transmission loss and load rate of the distribution network, which makes the network loss allocation more complicated. Based on the principle of traditional line loss allocation, a comprehensive overview of the existing methods of line loss distribution is presented based on proportion sharing, market economy and sensitivity coefficient analysis, and the possible problems of each method after considering the distributed power supply are put forward. Furthermore, the new trend of loss allocation of distribution network with DG is prospected in the aspects of improving the traditional method of network loss allocation, exploring new methods of network loss allocation, considering the operation efficiency of distribution network, considering the influence of distributed power to distribution network, etc.

Key words: distributed generation; loss of distribution system; loss allocation; proportional allocation; market economy; sensitivity coefficient analysis; economic operation time

中图分类号:F407.61;TK018 文献标志码:C

近年来,分布式电源(distributed generation, DG)在电力系统中的应用越来越普遍,DG并网逐渐成为智能电网下的一大重要技术特征^[1]。但是DG的接入在很大程度上会改变系统电压分布与潮流走向^[2-3],进而影响配网的网损情况^[3]。然而,目前虽然DG接入影响网损,却不分摊任何网损,这使得供电企业不得不承担更高的网损率;且随着电力市场化的改革,电网用户都希望能公平公正地获得来自电网的服务,因而无论从供电企业、用户的公平开放方面考虑还是从科学管理配网用户方面考虑,含DG配网的网损分摊都具有重要的研究价值。

1 配电网网损分摊研究现状

目前,国内外关于输电网网损分摊问题的研究

收稿日期:2018-05-21;修回日期:2018-06-20

基金项目:广东省自然科学基金项目(2016A030313476)

作者简介:黄湘(1994),女,湖北英山人,硕士研究生,主要研究方向为电能质量分析、分布式发电系统与微电网;欧阳森(1974),男,广西青州人,博士,副研究员,主要研究方向为分布式发电系统与微电网、电能质量、节能技术与智能电器;王克英(1963),男,黑龙江哈尔滨人,博士,教授,主要研究方向为电力系统保护、控制与自动化。

很广泛,所提出的网损分摊方法包括网损系数法、图论、追踪及网络结构等多种方法^[4-10]。但是由于配电网节点众多、呈辐射状且结构复杂等特点,导致网损分摊方法不易在配电网中实现,目前关于配电网网损分摊方法的研究仍然很少。

在传统配电网中,没有一种通用的、普遍能一致接受的线损分摊方法,而是形成了通过供电公司制定购电价与售电价的方式来平衡配电网线损的现状。但此种方法目前仍不能很好地应用于含DG的配电网中,主要有以下几方面的原因:①它难于计及DG对配网线损的影响,不能做到量化分摊,体现不出差异,因而无法激励DG健康可持续发展;②此法无法正确评估DG的并网经济效益,不能指导DG的正确并网规划;③方法透明性也不够,很难使DG投资用户信服。故在DG用户与供电公司之间仍亟需制定一套科学合理的网损分摊方法,线损分摊结果既能将网损公平合理地分摊给DG用户和供电公司,又能反映DG并网经济效益,指导DG的投建并网规划。

目前,国内外网损分摊方法的研究主要可归结于以下3大类:比例分摊、市场经济、敏感系数分析。

下文将依次从上述3个角度对现有网损分摊方

法进行概述,在分析各方法的原理及计算模型的基础上,归纳总结各方法实用性与优缺点,并就各法在DG并网后有可能存在的问题进行简要的分析;最后,综合以上研究内容,分析其面临的挑战和机遇,并展望未来可能的发展方向。

2 比例分摊

2.1 平均网损系数法

平均网损系数法是在电力市场中最先采用的线损分摊方法,它采用平均分摊的思想,将网损按照负荷功率大小和相同的网损系数在各负荷用户间进行分摊,容易理解,简单易行^[7]。它不考虑输电网的结构、输电距离的长短以及输送功率的收发点位置,且节点所分摊的线损与节点所处的电气位置和节点类型无关^[8-9]。

其局限性在于只能将网损单一地分摊给电源节点或负荷节点,不能实现双向分摊,无法适用于含分布式电源的配电网中,因而无法评估DG并网的经济效益,不能为DG的有序并网提供依据^[10-12]。随着电力市场理论研究的不断深入和逐步完善,特别是当DG并网后,平均网损系数法逐渐被淘汰。

2.2 潮流追踪法

潮流追踪法以潮流计算或状态估计所得到的系统潮流分布为基础,通过顺流追踪和逆流追踪,以比例分配为原则确定各发电节点输出功率在各负荷节点上所占份额,以及各负荷节点所吸收的功率来自于哪些发电节点,并以此作为功率损耗分摊的依据将系统网损分摊给发电机(或负荷)^[13-15]。

文献[16]、文献[17]提出对功率进行追踪时,线路上必然存在网损,为潮流追踪法计算的方便,分别提出了不同的将有损网络化为无损网络的方法。文献[18]对潮流追踪法进行了改进;文献[19]在追踪电流的实部和虚部的基础上,提出一种基于贡献因子的含分布式电源的配电网网损分摊方法,该方法引入了贡献因子的概念,能为网损分摊方法提供正确的经济信号;文献[20]研究潮流追踪法在电源分析中的应用,从网损分摊的角度对电源进行分析,引导资源优化配置。由于潮流追踪是一种拓扑分析方法,可追踪系统功率潮流,能够定量计算发电侧和负荷侧功率在线路中的分布,使网损合理地分摊给负荷侧和电源侧,被广泛应用于网损分摊的研究中,其可适用于含分布式电源的配电网中,但潮流追踪法对计算参数条件要求较高。

随着DG的大量并网,潮流追踪法也逐渐被学者应用到含DG并网的配网线损分摊中。其中,文献[21]提出了基于顺流、逆流追踪的平均网损分摊法,该法可实现含多个DG的配网线损的分摊,且实例证明此法的可行性。含DG的配网线损分摊方法是在

计算配电网实时潮流的基础上,求解DG对线路各元件的利用份额,以此为基础进行DG的网损分摊比例求解,优点在于能将所有的服务对象等同对待,追踪所有DG业主的功率在系统中的流动情况,利用DG对系统输电元件的使用程度进行系统网损的分摊。

此法在计算线损分摊的过程中物理意义明确,简单直观、公平合理,分摊过程清晰且透明,符合常规思维,易于被用户接受。但是,此法在含DG并网下的配电网也有以下不足:①计算过程复杂,计算参数条件要求较高;②计算难度大,且DG微小的扰动即可引起较大的分摊结果误差;③潮流追踪法使用比例分摊的原则尚缺少严格的理论依据;④无法提供DG并网的经济学信号,不能为含DG配网的运行管理、技术改造工作提供指导依据。因而,在DG大规模并网的背景下,此法的适用性与可行性还有待进一步考究。

3 市场经济

3.1 短期边际成本法

短期边际成本法是一种基于微观经济学理论,将输电网的网损并入输电成本中予以考虑的线损分摊方法。它不单独考虑网损分摊问题,而是根据供电公司执行输配电业务时,分析输电量单位变化时系统总成本的边际变化(包括网损成本、发电成本、运行成本以及输配电线路的功率约束成本的变化),并以此作为输配电费的制定依据^[22]。

含DG的配网线损分摊采用短期边际成本法时,可根据其并网容量的大小分别视为发电节点或负荷节点,当DG容量满足当地负荷需求,并将剩余发电量售至配电网,则可将其视为发电节点;当DG容量不能满足当地负荷需求,则当做负荷节点。在制定分布式电源的上网电价时考虑整个配电网的线损,将配电网的网损成本融入分布式电源和发电机的发电成本中,合理的制定DG的上网电价,从而完成DG对配网线损的分摊。

这种定价方法在新西兰和美国纽约电力市场得到了广泛应用^[22],它能真实地反映电能单位消费的增加而引起的费用,使得市场参与者在每时每刻、任何一个位置都能得到反映系统边际网损成本的经济信号。但是此算法过程复杂,计算量大,基于实时电价理论,对潮流计算算法的精度和收敛性要求都较高,且不具有透明性。同时,采用此方法计算的输电成本不能保证输电网的年收支平衡,输电公司往往难以回收成本,因而,应用时需要增加“平衡项”进行修正,然而这一“平衡项”目前还未得到有效解决。

分布式电源接入,采用此法进行线损分摊可以综合考虑配网线损、DG上网电价及配网运行成本等因素,以配网运行总成本最低为目标,通过设置合

理的分布式电源上网电价从而使其分摊一部分的线损,此方法的应用将会提供电网运行的经济信号,同时能指导分布式电源的并网规划,但是其具体计算步骤及计算过程中存在的问题还有待进一步的研究与深入。

3.2 节点定价法

节点电价在目前美国主流的电能计价模式,定义为满足系统某节点新增1 MW电量时所需的系统边际成本^[23]。由于系统输电线路损耗和输电阻塞的存在,系统中不同节点的单位电量有不同的价格。DG并网后,配电网潮流分布会发生改变,甚至可能出现与原设计中潮流流向相反的逆潮流,导致配电网线损变化分析过程更为复杂,采用节点定价法可考虑从DG并网对配电网某运行指标的影响程度出发,根据影响对象及影响程度的不同,修正各个负荷节点分摊配电网运行的总成本,从而完成配电网的线损分摊。

电力市场中的电能采用合理的节点电价,能够反映系统中不同地理位置的母线在不同时刻通过的功率的价值,为电力的生产者、消费者、投资者和管理者提供正确的、具有前瞻性的电价信号,优化电力资源的配置,促进电力市场稳定发展。与此同时,当DG并网后,此方法能量化DG对配电网的贡献,在此基础上制定的电价政策更为科学合理,在一定程度上能有效引导DG的并网规划建设,优化其布局,激励DG的可持续发展。

3.3 基于博弈论的线损分摊方法

博弈论是研究多个在利益上相冲突的个体,经过相互博弈,优化各自策略,最终实现对于利益各方来说最为合理的行为方案。考虑到电力市场的参与者共享传输网络资源,经过合作可以获得最好的可能利润^[24-28]。因而,将配电网网损分摊问题当成合作博弈问题,实现各参与者共同利益的基础上,使系统损耗降到最低,社会效益最大化。

合作博弈问题不仅可以讨论合作中的收益分配问题,也可应用于多个参与者的费用分摊问题,如:配电网的运行总成本和总损耗的分摊^[29]。文献[30]将输电网等效成线性电路,发电机和负荷等效成电流源,采用叠加定理计算各电流源接入时各支路的潮流分布和功率损耗大小,再应用Auman-Shapley法对各支路上的互耦合功率损耗进行分摊,但它没有考虑交易次序的问题。文献[31]提出了一种新的、基于核仁理论的网损分摊方法,它全面考虑每个市场参与者对网损的影响,不受各交易追加次序的影响,公平对待各交易,分摊结果易被各交易接受。

DG的接入可以当作是一个博弈者的加入,因而其对配电网线损的影响可以采用博弈论的方法进行分析,进而计算出此博弈者应该分摊的网损大小。采用此法计算得到的各参与者分摊的网损值

唯一且可行,具有稳定性,能够体现此参与者对整个集体的贡献,反映其重要性,并向合作各方提供有价值的经济激励信号,用来促进电源和负荷的合理分布,从而达到降损的目的。但是,分布式电源接入所引起的反向潮流问题,采用博弈论的方式如何考虑这些问题仍然有待进一步的研究。

4 敏感系数分析

4.1 边际网损系数法

边际网损系数法是一种将全网网损分摊给发电机和负荷节点的灵敏度方法^[10]。通过求解各个节点的有功和无功边际网损系数,从而完成对各个节点的网损分摊。边际网损系数(marginal loss coefficient, MLC)即:某一节点注入功率单位变化所引起系统网损变化量的大小,分为有功边际网损系数和无功边际网损系数。该法可反映各节点功率的变化造成系统网损的微增成本信息,从而为电网发展提供良好的经济信号,促使潮流向着网损减少的方向流动,达到优化潮流,指导用户投资的目的,因而广泛应用于国内外电力市场中的线损分摊^[17]。

运用边际网损系数法计算网损分摊时,首先可将系统内的节点分类。对于系统中的PQ节点,有功、无功的MLC都不为零;对于PV型节点,又称电压控制节点,其作用是维持给定的电压幅值,因而其无功的MLC为零;对于平衡节点,其电压幅值和相位是给定的,用以维持系统有功功率平衡、平衡系统网损,故其有功和无功的MLC都为零。

文献[32]指出传统的边际网损系数法下,平衡节点不需要分摊网损,平衡节点选取位置不同,网损分摊结果不同,基于此,该文提出了一种考虑平衡节点的灵敏度网损分摊算法。

由于DG与电网互联的接口方式以及运行控制方式的不同,如采用边际网损系数法进行线损分摊计算时,可根据实际情况,分别将DG当做PQ节点、PV节点或平衡节点,根据潮流计算得到的雅克比矩阵得到系统中各个节点的无功、有功边际网损系数,继而得到各个节点分摊的线损大小。这样考虑到了分布式电源的多样性,具有一定的说服力。

总体来说,边际网损系数法在线损分摊的过程中思路清晰,借用敏感系数分析的方法,基于某一节点功率的变化得到整个系统网损的变化量,体现各节点对电网网损的微增成本信息,具有很高的经济指导价值。但是在算法和计算简易程度上具有一定的难度,同时,采用该方法计算出的各节点分摊网损之和与实际系统网损不等,会造成网损成本的过量回收。因而采用边际网损系数法分摊网损时,需要对边际网损系数进行调整,除了采用GMM法中的比例法,还可以采用平移法。

4.2 损耗微增率法

损耗微增率法是基于配网总损耗,通过确定具体每一笔交易所流经的潮流路径,根据每个交易加入后对系统功率的影响程度来确定每一笔交易所需分摊的线损量^[7,18]。它可以考虑交易的地理位置和交易量的大小的变化,但是对于网损交叉项的处理比较粗略。

该方法主要有交易估价法和合计分摊法2种^[28]。交易估价法每次只考虑一个交易,分别计算在基准状态下和包含一个交易下的配网损耗,推算出该交易对系统损耗的影响;接下来分别考虑其他交易,从而得到每个交易对系统损耗影响的一个估计值,但它不能考虑交易次序和网损交叉项问题,所有的交易都当成是第一次接入系统^[18]。合计分摊法既考虑作为唯一交易接入时的网损增量(边际分摊量),也考虑作为最后一笔交易接入时的网损增量(微增量),取两者平均值为线损分摊的合计分量,再根据系统损耗补偿量与系统损耗的合计分摊量来计算各个交易分摊的辅助分量,将合计分量与辅助分量相加得到各个交易最后分摊的线损量,解决了交易次序不同对最终损耗分摊结果的影响^[28]。

DG的接入可当成一笔交易的加入,因而,采用此方法可以考虑DG并网位置、并网容量的变化对配网线损的影响,以此为依据对配网线损进行分摊。此法计算过程简单清晰,市场参与者易于接受,但是也存在以下缺点:①网损分摊总量与实际网损值之间有差别,需要均摊不平衡量,然而均摊过程目前尚缺乏理论支持;②每笔交易加入次序的不同会影响分摊结果,合计分摊采用边际分摊量与微增量的平均值解决这一问题,然而解决此问题的方法不唯一,因而分摊结果也不唯一;③某一交易,例如DG引入,配网中出现反向潮流,该交易的存在有可能会减小配网线损,电网公司应对此线损进行补偿,然而这一方法并没有考虑这一问题^[33-36]。

5 DG并网后的配网线损分摊新趋势

随着DG的大规模并网,配网运行方式、拓扑结构也都面临着巨大的改变,随之而来,电网的功率流向、电压分布也都与并网前不尽相同,进一步影响配电网的线损情况,使得含DG的配网网损分摊工作更为复杂。

5.1 改进传统线损分摊方法

DG接入造成配网线损发生变化,针对其接入,可以在含DG配网潮流计算的基础上,求得配网总线损,再结合DG对传统线损分摊方法进行改进,使其适用于含DG的分摊。文献[21]就是在潮流追踪技术的基础上,将配网线损平均分给发电节点和负荷节点,进而将线损分给供电公司和DG;文献[25]

基于长期增量成本法提出含分布式电源的配电网节点电价计算方法,以负荷点的期望停电损失作为可靠性成本对含DG的配电网节点电价进行修正。但是,其他常用的线损分摊方法,如邮票法、边际网损系数法、短期边际成本法,在国内外配网中都被应用广泛,但其是否适用于含DG配网、是否可通过改进应用于含DG的配网仍是亟需研究的课题。

5.2 挖掘新型线损分摊方法

作为一个独立的个体,DG接入配网,对配网多方面均造成巨大影响,传统线损分摊方法难以量化DG对配网的影响,更无法评估DG并网的经济效益。因而,可以从全新的角度考虑含DG的线损分摊,使分摊结果既可以让供电公司和DG用户信服,又可提供电网经济运行的信号,指导DG的合理并网规划。文献[17]提出了系统的节点因子定价法,此法可降低边际损失,激励DG的发展。文献[23]以交易盈余弥补线损成本,于DG用户必然可降低其总运行成本,激励其并网发展,但是会降低供电公司的经济效益,于供电公司长远不利;同样,文献[19]将DG并网后的线损变化量全部分摊给DG,一是线损受DG、配网、用户等多方面影响,是多对象作用下的结果,全部由DG承担缺乏理论依据;二是若DG接入配网线损降低,此线损变化量的分摊又将另做考虑。因而,如何考虑DG对配网线损的影响,量化其影响,并在此基础上制定新形式下的线损分摊方案将是未来DG并网下的一个重要研究方向。

5.3 考虑配网运行经济性

DG并网会消纳电网中部分功率,一定程度上会使得原有配网的配变变压器的负载率发生变化,从而导致配网运行在不同的负载区间。合适容量的DG接入会改善电网运行方式,使配网由重载区变为经济负载区,降低配网损耗,使配网发挥最大的经济效益;相反,盲目增大DG并网容量将会大幅度地减小原有线路的输送功率,导致原有配网投入资源有所浪费,使其偏离经济区间运行。考虑分布式电源接入前后配网经济运行程度的变化,可以量化DG并网对配网的影响,同时,此变化亦可以作为配网线损分摊的理论依据。因而,未来含DG的配网线损分摊中可以考虑DG并网前后配网经济运行区间的变化,并根据变化的不同,分别采用不同的奖惩方法进行线损分摊,这样可以评估DG并网的经济效益,为其并网规划提供理论基础,是未来的一大重要研究方向。

5.4 考虑分布式电源对配网的影响

DG接入对配网的潮流走向、电压分布、线损变化和配网运行造成不同程度的影响。如何考虑上述影响,并将其纳入到网损分摊中,是一大难点。同时,随着电力市场的日益成熟,配电网用户都希望能够公平开放地获得来自电网的服务,考虑包括DG在内的各用电户接入对配网的影响,对供电企业

科学管理电网、提高配网的运行效益等方面具有重要的研究意义。

6 结束语

(1) 从传统线损分摊原理出发,基于比例分摊、市场经济、敏感系数分析等角度全面概述了各配网线损分摊方法的原理、优缺点及实用性,并针对分布式电源的接入,概述各方法有可能存在的问题。

(2) 为 DG 接入后的配网提出未来的线损分摊趋势,从改进传统网损分摊方法、挖掘新型网损分摊方法、考虑配网运行经济性、考虑分布式电源对配网的影响等几个方面着手,展望未来此领域可能出现的一些理论和方法,以期能为该领域将来的研究提供一些参考。D

参考文献:

- [1] 王波,陈蓓蓓,殷勤. 分布式电源接入电网相关问题研究[J]. 电力需求侧管理,2017,19(S1):58-60.
- [2] 杨珮鑫,张沛超. 分布式电源并网保护研究综述[J]. 电网技术,2016,40(6):1 888-1 895.
- [3] 郭剑,徐剑楠. 分布式光伏并网发电对配电网的影响以及应对调整策略[J]. 电力需求侧管理,2014,16(2):38-40,44.
- [4] 王义贺,栗然,马慧卓,等. 10 kV 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(3):4-9.
- [5] 霍箭. 电力市场环境输电网损成本分摊及结算方法研究[D]. 北京:华北电力大学,2017.
- [6] 严宇,周明,王霄,等. 基于网络分裂法的跨区双边交易网损分摊方法[J]. 中国电机工程学报,2017,37(6):1 702-1 711.
- [7] 徐耀良,夏磊,杨晓红,等. 电力市场双边交易模式下应用边际网损系数法的网损分摊[J]. 上海电力学院学报,2011(1):87-90.
- [8] 但扬清. 区域电网过网网损分摊方法研究[D]. 北京:华北电力大学,2012.
- [9] 梁子贤. 输电网损分摊计算新方法[D]. 北京:华北电力大学,2016.
- [10] 杨极,邓武军,郭涌涛,等. 电力市场下网损分摊策略综述[J]. 四川电力技术,2005(3):48-51.
- [11] 谭艳妮. 网损分摊方法研究[D]. 北京:华北电力大学,2015.
- [12] Taciana V Menezes, Luiz C P da Silva. A Method for Transmission Loss Allocation Based on Sensitivity Theory [C]//Power Engineering Society General Meeting. 2006(6):18-22.
- [13] Pandelis N B, Athanasios T. Transmission loss allocation through zonal aggregation [J]. Electric Power Systems Research, 2011, 81(10): 197 3-198 5.
- [14] 王金喜. 基于改进的潮流跟踪算法的网损分摊方法研究及应用[D]. 大庆:东北石油大学,2013.
- [15] 张言滨. 基于改进潮流追踪的网损分摊问题的研究[D]. 吉林:东北电力大学,2008.
- [16] Daniel Kirschen, Goran Strbac. Tracing Active and Reactive Power between Generators and Loads Using Real and Imaginary Currents [J]. IEEE Trans. on Power Systems, 1999, 14(4): 1 312-1 319.
- [17] 孙洪波,常宝波,周家启. 网损分摊决策研究[J]. 电力系统及自动化,1999,23(2):59-62.
- [18] Bialek J W, Ziemaneks, Abi-Sanra N. Tracking-based Loss Allocation and Economic Dispatch [C] // In: Proceedings of the 13th Power Systems Comoputation Conference. Trondheim(Norway):1999:375-381.
- [19] 唐伟. 电力市场环境下的网损计算和网损分摊方法的研究[D]. 成都:西南交通大学,2006.
- [20] 涂有庆,吴政球,黄庆,等. 基于贡献因子的含分布式发电配电网损分摊[J]. 电网技术,2008(20):86-89.
- [21] 焦阳. 网损分摊算法的研究及其在电源分析中的应用[D]. 北京:北京交通大学,2016.
- [22] 王义贺. 含分布式发电的配电网网损分摊方法研究[D]. 北京:华北电力大学,2013.
- [23] 杨子林. 双边交易模式电力市场网损分摊方法的研究[D]. 保定:华北电力大学,2005.
- [24] 李平. 电力市场下基于最优潮流的节点电价算法研究[D]. 成都:西南交通大学,2010.
- [25] 曾鸣,马少寅,王蕾,等. 基于分布式电源并网的配电网线损分摊定价模型[J]. 华东电力,2011(12):1 965-1 968.
- [26] 周晶晶,袁越,杨清,等. 含分布式电源的配电网节点电价计算方法[J]. 电力系统及其自动化学报,2015(11):9-15,20.
- [27] 马铂浩,胡浩. 输电阻塞管理中节点电价法的研究[J]. 黑龙江科技信息,2015(12):99.
- [28] 张红燕,袁荣湘,崔雪. 改进的边际网损系数法及其应用研究[J]. 华中电力,2010(3):75-78.
- [29] 李生伟. 基于合作博弈 Owen 值的输电损耗分摊[D]. 长沙:湖南大学,2004.
- [30] 王峥,刘创华,魏珍,等. 基于叠加定理和 Aumann-Shapley 法的发电权交易网损分摊[J]. 电力系统保护与控制,2014(2):13-22.
- [31] 周兴华,杜松怀. 双边交易电力市场下基于核仁理论的网损分摊方法[J]. 中国电机工程学报,2005(1):63-68.
- [32] 张超,吴政球,钟浩,等. 考虑平衡节点的网损分摊[J]. 电力系统及其自动化学报,2011(6):127-130.
- [33] 张芳,鲍海,杨以涵. 面向交易的网损分摊方法[J]. 华东电力,2009(3):425-428.
- [34] Willis Lee, Finney John, Ramon, et al. Computing the Cost of Unbundled Services [J]. IEEE Computer Applications in Power, 1996(4): 16-21.
- [35] K M Jagtap, D K Khatod. Distribution loss allocation technique with distributed generations [C]//2016 National Power Systems Conference, Bhubaneswar, 2016: 1-5.
- [36] Moussa, Sahar Abdel Moneim. Optimum allocation of distributed generation units in distribution power grids with line losses and voltage sag considerations [C]//2016 Annual Connecticut Conference on Industrial Electronics, Technology & Automation (CT-IETA), 2017: 1-4.