

含分布式电源的配网网损分摊方法及其场景适用性研究

欧阳森, 梁伟斌, 黄 湘

(华南理工大学 电力学院 广东省绿色能源技术重点实验室, 广东 广州 510640)

摘要:目前网损分摊方法的研究主要集中于110 kV及以上电压等级的输电网络,难以直接应用于分布式电源接入配网的情况,也未对分布式电源造成的配网运行场景变化进行探讨。为此,提出一种含分布式电源的配网网损分摊方法,并对其场景适用性进行分析。首先,将分布式电源的运行场景依据其出力情况分为“不发电”、“本地消纳”和“余量上网”,并对3种运行场景的网损分摊必要性和分摊特点进行研究。然后,综合对比分析传统网损分摊方法在含分布式电源的配网中的适用性,并在此基础上设计一种适用于含分布式电源的配网网损分摊方法,该方法考虑了2种常见的计算分支,并从原理上对2个计算分支的场景适用性进行详细研究。最后,以IEEE 33节点配电系统为例,对分布式电源接入配网进行网损分摊计算,验证了所提方法的实用性。

关键词:配网;网损分摊方法;分布式电源;场景适用性

中图分类号:TM 732

文献标识码:A

DOI:10.16081/j.issn.1006-6047.2018.08.016

0 引言

分布式电源 DG (Distributed Generation) 的接入会导致配网的网损发生变化,同时也降低了整个电网的输送功率,提升了电网的网损率。由于网损率是电网企业的重要考核指标之一,DG 的投入会增加电网企业的网损管理负担,也降低了电网网架的设备利用率。但目前 DG 并未参与网损分摊,随着 DG 的应用越来越广泛,DG 引起的网损分摊问题将越来越受到供电双方的重视^[1-3]。

目前国内外已有一些研究网损分摊方法的成果,包括基于合作博弈论、图论、追踪和网络结构等多种方法^[3-15]。由于任何一种网损分摊方法都具有各自的适用范围,并不是所有网损分摊方法都适用于含 DG 的配网,目前也暂时没有一种通用的、能得到大家一致承认的分摊方法^[3]。

依据网损分摊对象的不同,可将目前国内外对网损分摊的研究分为针对双边交易^[4-9]和针对接网用户(发电机和负荷)^[10-15]2类。双边交易模式确定了发电机与负荷之间的交易关系,包括交易路径。在这种模式下,交易双方会签订相关的交易合同,因此只需要将网损具体分摊到确定的交易上即可,交易双方的分摊方式由交易双方内部协商解决^[4]。针对双边交易的网损分摊方法有合同路径法^[5]、基于博弈论的分摊法^[6-7]和跨区双边交易网损分摊方法^[8-9]等,然而,由于 DG 的出力不稳定和发电量不高,业主一般不会与用电用户签订交易合同,故难以将针对双边交易的网损分摊方法应用于含 DG 的配

网中,本文将不对此类网损分摊方法进行详细分析。在针对接网用户的网损分摊方法中,将所有接网的发电机和负荷当作独立个体看待,将网损同时分摊给各接网用户^[10-15]。在实际应用方面,传统的平均网损系数法和边际网损系数法在国内外区域输电网中均有应用^[10-12],但这些方法只适用于输电网中,不能应用于含 DG 的配网;在理论研究方面,基于流追踪的潮流追踪法的研究最为广泛^[13-15],该方法可追踪潮流使网损合理地分摊给负荷侧和电源侧,可适用于含 DG 的配网中,但其对计算参数条件的要求较高。

此外,由于 DG 的出力具有波动性、不规则的特点,这将直接影响其附近电网负荷的电力供应,造成配网的运行场景发生变化。然而,不同网损分摊方法的分摊原理不同,导致其对运行场景的适用性也不同,但目前仍没有任何文献对网损分摊方法在含 DG 配网的场景适用性进行研究。

针对上述现状,本文提出一种考虑 DG 的配网网损分摊方法,并对其在含 DG 配网中的场景适用性进行详细分析。首先,结合 DG 出力与负荷消纳情况对 DG 的运行场景进行分析,并讨论各运行场景的分摊必要性;然后,对传统的网损分摊方法进行分析,主要分析其在含 DG 的配网中的适用性,并在此基础上,提出一种适用于含 DG 配网的网损分摊方法,依据电量、线路和负荷等计算参数的完整性可分成改进平均网损系数法和潮流追踪法等计算分支,并分析各计算分支在不同的 DG 运行场景下的场景适用性;最后,以 IEEE 33 节点配电系统为例,采用所提网损分摊方法计算该配网中的 DG 网损分摊情况,并验证网损分摊方法的实用性。

收稿日期:2017-12-11;**修回日期:**2018-06-06

基金项目:广东省自然科学基金资助项目(2016A030313476)

Project supported by the Natural Science Foundation of Guangdong Province(2016A030313476)

1 DG 的运行场景分析

由于 DG 主要接入 10 kV 以下的中低压配网中,而配网中存在大量的用户负荷,DG 多采取就近供电的原则对用户进行供电,DG 并网的简化理想拓扑图如图 1 所示。

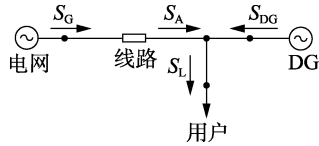


图 1 DG 并网简化理想拓扑图

Fig.1 Simplified ideal topology of grid-connected DG

根据图 1 中的功率流向可得式(1)和式(2)。

$$S_A = S_L - S_{DG} \quad (1)$$

$$S_G = S_A + S_{loss} \quad (2)$$

其中, S_G 为线路首端流过的功率; S_A 为线路末端流过的功率; S_{loss} 为线路的损耗功率; S_L 为用户负荷功率; S_{DG} 为 DG 发电上网的功率。

由于 DG 的出力随天气、日照和温度的变化而变化,具有波动性和不规则性。当 $S_G > 0$ 时,电网向 DG 相邻的用户供电,此时 DG 发出的电能没有输送至电网;当 $S_G < 0$ 时,DG 向相邻的用户与电网供电,此时 DG 发出的电能输送至电网。

综合考虑 DG 是否出力以及电能是否通过线路上网 2 个方面,根据判断 S_A 的符号或 S_L 和 S_{DG} 的大小关系,可将 DG 的运行场景分为“不发电”、“本地消纳”及“余量上网”3 种,如式(3)所示。

$$\begin{cases} S_L \geq S_{DG} \text{ 且 } S_{DG} = 0 & \text{不发电} \\ S_L \geq S_{DG} \text{ 且 } S_{DG} > 0 & \text{本地消纳} \\ S_{DG} > S_L \text{ 且 } S_{DG} > 0 & \text{余量上网} \end{cases} \quad (3)$$

上述场景的定义为:“不发电”即 DG 不出力的运行场景,例如无光照时,光伏系统不发电;“本地消纳”即 DG 有出力但其电能被本地消纳而没有输送至电网的运行场景,例如微弱光照或者用户负荷较大时,用户的光伏发电全部供自己使用的情况,此时用户不仅只用光伏发出的电能,仍可能从电网吸收电能;“余量上网”即 DG 出力足够大且其电能输送至电网的运行场景,例如光照充足时,光伏系统发

电上网。

为具体分析各种运行场景下 DG 对配网网损的影响情况,下文对各场景下的 DG 是否需要分摊网损进行研究,具体结果见表 1。

“不发电”和“余量上网”时 DG 是否需参与网损分摊已经没有争议。然而,当 DG 处于“本地消纳”场景时是否需要参与分摊仍值得商榷:从供电企业角度而言,在实际电网运行中,当 DG 开始发电即开始使用电网,改变了配网的负荷结构,减轻了配电变压器的负载率,当 DG 开始发电就应该开始参与网损分摊;从业主的角度而言,DG 在“本地消纳”场景下,电能并未经过电网线路上网供电,此时有理由不参与网损分摊。综上所述,无论从供电企业或从业主的角度考虑都有其道理,两者存在一定的利益博弈关系,需要双方共同商讨决定对策。

2 传统的网损分摊方法

目前国内外对网损分摊的研究主要应用于输电网络,平均网损分摊法、边际网损系数法和潮流追踪法是当下主流的输电网网损分摊方法^[10-15],但这些方法中仍没有一种能够得到大家一致认同可对网损进行分摊的通用方法。文献[1,4,14]都对网损分摊对象问题进行了分析,并提出在电力联营模式下,由于网损是发电侧和负荷侧共同作用造成的,本着谁使用谁支付的原则,网损应由发电侧和负荷侧共同承担。

目前,平均网损分摊法和边际网损系数法是国内外电力市场中一些大型电网公司所采用的方法。和输电网相比,配网电压等级低、接线形式比较复杂,故输电网的网损分摊方法难以直接用于配网。传统的网损分摊方法间的对比如表 2 所示。

根据表 2 可知,由于边际网损系数法的局限性源于其基本原理,该方法无法应用于考虑 DG 的配网网损分摊;潮流追踪法的局限性源于其参数要求较难实现,但随着计量自动化水平的不断提高,利用该方法计算实际配网的网损分摊越来越可能成为现实;平均网损系数法的局限性在于未把网损分摊给电源节点,但其算法易于实现,仅根据负荷功率的大小和全网的网损系数来决定节点分摊网损的多少,

表 1 DG 的运行场景分析

Table 1 Analysis of operation scenarios of DG

DG 运行场景	对配网网损影响分析	DG 是否需参与网损分摊
不发电	DG 没有接入配网,对配网的潮流和网损等方面都没有影响	不需要
本地消纳	DG 的出力仅供本地负荷使用,并未经线路传输到其他位置,在线路上未产生额外的线路损耗;但是 DG 接入消纳本地负荷,造成配网整体负载率降低,使得原始配网的有功出力不能得到有效的利用,甚至出现网损率高于 DG 并网前的情况	理论上不需要分摊网损,但 DG 发电消纳了电网负荷,造成配网整体的负载率降低或部分配电设备资源浪费,理应弥补电网损失
余量上网	DG 接入会直接改变系统潮流走向,进一步影响配网的网损情况	需要

表 2 传统的网损分摊方法简介与比较

Table 2 Introduction and comparison of traditional loss allocation methods

方法	简介	优点	缺点	对含 DG 配网的适用性
平均网损分摊法	将整个输电网络损耗按照输电用户功率的比例进行分配	算法简单、易于实现且结果相对稳定;不必考虑电网的结构、线路的距离和输送功率的收发点位置	不能提供电网运行的经济信号,缺乏电力市场的经济激励机制;不能将网损分摊给电源节点	无法将网损分摊给电源节点,故不适用于含 DG 的配网
边际网损系数法	根据节点注入功率的单位变化引起全网网损变化量的大小来对各节点(除平衡节点外)进行网损的分摊	能反映各节点造成全网网损的微增成本信息,从而提供很好的经济信号	计算出所有交易分摊网损之和与实际系统网损不等,不能完全回收输电损耗成本;平衡节点的选取会严重影响网损分摊结果;需要不断地计算边际网损系数	稳定性较差,故不适用于结构复杂、节点较多的配网
潮流追踪法	根据电路基本定理、比例共享原则,跟踪并求出各电源和各用户对输电线路的有功、无功线损分摊额进行线损费用的分摊	可将网损分摊给各发电节点或各负荷节点;物理意义清晰,符合人们的常规思维	要求电路结构简单且线路与节点的参数齐全;计算过程复杂	对参数要求较高,应用于配网时计算过程冗长

适用于结构复杂的配电网络。针对此,本文提出一种含 DG 的配网网损分摊方法。

3 含 DG 的配网网损分摊方法

由于配网具有节点多、线路结构复杂的特点,输电网络的网损分摊方法不一定适用于配网。供电企业在不断推动提高配网的管理能力,中低压配网都能以日或月为单位获取用户电量数据,此外,随着计量自动化管理水平的提高,中压配网完全统计线路和节点负荷数据越来越容易实现,但对低压配网而言仍不易实现。因此,本文针对配网的管理现状设计一种含 DG 的配网网损分摊方法,其流程图如图 2 所示。针对不同的配网计算参数条件,分别设计改进平均网损系数法(计算分支 1)和潮流追踪法(计算分支 2)等计算分支。由于计算分支 1 和 2 的理论研究都已非常成熟,因此 2 种方法可互为参照,相互验证网损分摊的合理性。

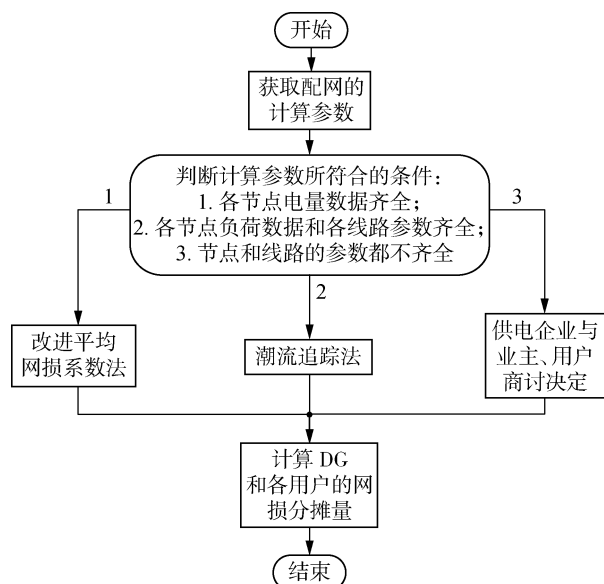


图 2 含 DG 的配网网损分摊方法流程图

Fig.2 Flowchart of network loss allocation method for distribution network with DG

该方法考虑了如下条件:当配网各节点的电量数据可获取时,应该选用改进平均网损系数法进行网损分摊计算;当配网各节点负荷数据和线路参数可获取时,应该选用潮流追踪法进行网损分摊计算;当配网的各节点和线路参数都不齐全时,应另外协商考虑网损分摊方式。

3.1 改进平均网损系数法

传统的平均网损分摊法实际上是一种“邮票法”,是将整个输电网络损耗按照输电用户功率的比例进行分配,不必考虑电网的结构、线路的距离和输送功率的收发点位置,在全网范围内按相同的网损系数进行分配。该方法算法简单、易于实现且结果相对稳定,减少了网损分摊波动性,从而降低了电网投建风险性。但该方法存在局限性,即只能将网损分摊给用户,无法将网损分摊给电源节点,故传统的平均网损分摊法不适用于考虑 DG 的配网,因此,本文提出一种改进平均网损系数法。

改进平均网损系数法是在传统平均网损系数法的基础上进行改进,使得网损可按功率比例分摊给负荷节点和电源节点,既有成熟的理论支撑也符合电力市场的发展需求。由于网损可以理解成是发电机和负荷共同造成的,本着谁使用谁支付的原则,双方应共同承担产生的损耗^[1]。首先将配网网损的一半分给电源,另一半分给负荷用户;然后,分别根据负荷节点功率的大小和发电节点的出力大小计算负荷和电源的网损系数;最后在负荷和电源之间,分别采用各自的网损系数进行网损的分摊,从而实现配网网损在负荷节点和发电节点的同时分摊。

因此,通过计算可以得到负荷的网损系数 λ_L 为:

$$\lambda_L = \frac{1}{2} \frac{W_{\text{loss}}}{\sum_{i=1}^n W_{L_i}} \quad (4)$$

其中, i 为负荷节点编号, n 为负荷节点数目; W_{L_i} 为

节点 i 的有功负荷; W_{loss} 为全网网损。此时节点 i 有功负荷应该分摊的网损 $W_{\text{LL}i}$ 为:

$$W_{\text{LL}i} = \lambda_L W_{Li} \quad (5)$$

同理,可以计算得到电源的网损系数为:

$$\lambda_G = \frac{1}{2} \frac{W_{\text{loss}}}{\sum_{j=1}^m W_{Gj} + \sum_{k=1}^z W_{Gk}} \quad (6)$$

其中, j 为发电节点编号, m 为发电节点的个数; W_{Gj} 为节点 j 的发电出力; k 为 DG 节点编号, z 为 DG 的个数; W_{Gk} 为节点 k 的发电出力。此时发电节点 j 应该分摊的网损 $W_{\text{LG}j}$ 为:

$$W_{\text{LG}j} = \lambda_G W_{Gj} \quad (7)$$

第 k 个 DG 应该分摊的网损 $W_{\text{LG}k}$ 为:

$$W_{\text{LG}k} = \lambda_G W_{Gk} \quad (8)$$

改进平均网损系数法将整个网络损耗按照用户或电厂的功率比例进行分配,不必考虑配网复杂的结构、线路距离和输送功率的收发点位置。该方法继承了平均网损系数法的优点,算法简单、稳定性高,适用于计算考虑 DG 的网损分摊电量。

3.2 潮流追踪法

潮流追踪法在电力市场中是一种重要的输电网成本分摊方法。潮流追踪技术基于比例分配原则,按照追踪方向的不同可分为逆流和顺流追踪。由于网损可以理解成是发电机和负荷共同造成的,本着谁使用谁支付的原则,应将网损的一半经过逆流追踪法分摊给发电机,另一半经过顺流追踪法分摊给负荷侧。

顺流追踪方法是沿着潮流的方向对潮流流经的路径进行追踪,用来追踪某个负荷节点由哪些发电节点供电,可以将线路的损耗分摊给所有的负荷。逆流追踪方法是指逆着潮流方向对潮流流经的路径进行追踪,用来追踪某个发电节点分别给哪些负荷节点供电,可以将线路的损耗分摊给所有的发电机。

潮流追踪法是一种物理流方法,其最大的特点是直观描述了实际潮流的物理流向,可准确反映系统潮流的非线性。由于潮流追踪法的计算参数要求较高,需要收集配网节点负荷数据和线路参数,其主要应用于输电网络,而较难适用于配网。但随着配网计量自动化水平的不断提高,将潮流追踪法应用于配网的可能性越来越大。由于潮流追踪法在计算网损的分摊中思路清晰,形象直观,十分符合人的常规思维,因此潮流追踪法一经提出就被广泛接受,并引起了很多研究人员的关注。

由于潮流追踪法的理论研究已非常成熟,因此,下文将把潮流追踪法与所提的改进平均网损系数法进行对比分析。

3.3 场景适用性分析

根据目前各地区供电局对配网的管理现状,仅能采用改进平均网损系数法计算低压配网网损分摊,可以采用改进平均网损系数法或潮流追踪法计算中压配网网损分摊。由于目前也没有一种通用的、能得到大家一致认可的分摊方法,故下文对 2 个计算分支的场景适用性进行探讨。

DG 处于“不发电”运行场景时, DG 不分摊网损; DG 处于“不发电”运行场景时, DG 需要分摊网损。目前的网损分摊方法对以上 2 种场景已达成一致意见。然而,当 DG 处于“本地消纳”场景(即 $S_L \geq S_{\text{DG}}$ 且 $S_{\text{DG}} > 0$) 时,各种网损分摊方法能否计算出 DG 应承担的网损分摊量仍有待分析。

a. 改进平均网损系数法是依据发电量的大小乘以相应系数进行分摊的,当 DG 发电时就产生电量累计,即当 $S_{\text{DG}} > 0$ 时 DG 参与分摊网损,因此上述方法在 DG 处于“本地消纳”和“余量上网”场景时都可以计算 DG 的网损分摊量。

b. 潮流追踪法是依据 DG 对线路的使用份额进行分摊,当 DG 处于“余量上网”运行场景时, DG 使用了线路输电上网,此时潮流追踪法可计算出 DG 应承担的网损分摊量;而当 DG 处于“本地消纳”运行场景(即 $S_L \geq S_{\text{DG}}$ 且 $S_{\text{DG}} > 0$) 时, DG 发电没有经过线路传输到电网,此时该法计算 DG 应承担的网损分摊量为 0。

结合 DG 的 3 种运行场景,分别对 2 个计算分支的场景适用性进行对比,具体对比结果如表 3 所示。

表 3 2 个计算分支的场景适用性比较分析

Table 3 Comparison of scenario applicability between two calculation branches

DG 运行场景	是否分摊网损	
	改进平均网损系数法	潮流追踪法
不发电	不分摊	不分摊
本地消纳	分摊	不分摊
余量上网	分摊	分摊

DG 在“本地消纳”场景是否应该承担相应的网损仍存在争议,若为保持与低压配网相同的网损分摊思路,则中压配网也可采取改进平均网损系数法;然而,中压配网采用以线路使用份额为原则的潮流追踪法能够更精确地进行网损分摊,符合越来越追求精细化管理的电力市场环境要求。因此,当配网的计算参数条件满足潮流追踪法的要求时,本文建议采用潮流追踪法计算网损分摊;若计算参数条件不能满足潮流追踪法的要求,则可采取改进平均网损系数法。

无论从供电企业或从业主的角度考虑都有其道理,且网损分摊方法的选取直接关系到供电企业和

业主的利益,两者存在一定的利益博弈关系,建议双方共同商讨并慎重决定对策。

4 DG 接入配网的网损分摊应用

由于中压配网可以采用改进平均网损系数法或潮流追踪法计算配网网损分摊,而 2 个计算分支的方法原理不同,导致其场景适用性不同。下文以 IEEE 33 节点配网为例,对 2 种计算分支分别进行案例分析。

4.1 含 DG 的中压配网模型

本案例的中压配网场景以 IEEE 33 节点配网为例进行分析,电压等级为 10 kV,共有 33 个节点、24 条线路,具体的网络拓扑图如图 3 所示。

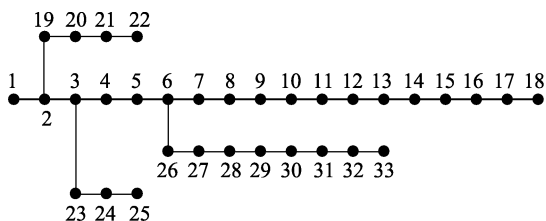


图 3 IEEE 33 节点配电系统

Fig.3 IEEE 33-bus distribution system

图 3 中节点 1 为平衡节点,其余各节点的负荷参数如表 4 所示,本案例假设在节点 22 处接入额定容量为 1 200 kW 的光伏发电电源。

4.2 DG 的网损分摊情况

假设在节点 22 处接入额定容量为 1 200 kW 的光伏发电电源,根据概率统计的方法得到光伏的不同出力在 24 h 内出现的概率,将其折算成如表 5 所

表 4 各节点的负荷参数

Table 4 Load parameters of each node

节点 编号	有功负荷/ kW	无功负荷/ kvar	节点 编号	有功负荷/ kW	无功负荷/ kvar
2	100	60	18	90	40
3	90	40	19	90	40
4	120	80	20	90	40
5	60	30	21	90	40
6	60	20	22	90	40
7	200	100	23	90	50
8	200	100	24	420	200
9	60	20	25	420	200
10	60	20	26	60	25
11	45	30	27	60	25
12	60	35	28	60	20
13	60	35	29	120	70
14	120	80	30	200	60
15	60	10	31	150	70
16	60	20	32	210	100
17	60	20	33	60	40

示的微时段时长进行分析。本节采用牛顿拉夫逊法对图 3 的模型进行潮流计算,并分别采用 2 种计算分支对各微时段 DG 的网损分摊情况进行计算,得到各个微时段的网损分摊计算结果如表 5 所示。

根据表 5 的计算结果,可以得到对应微时段下 DG 应该承担的网损比例,根据各微时段的时间叠加,可以得到一天 24 h 内 DG 应该承担的网损电量与网损比例,具体分摊结果如表 6 所示。

根据表 5 和表 6 可知,当 DG 处于“本地消纳”的运行场景,即 DG 出力小于节点 22 的负荷(90 kW)时,计算分支 1 中 DG 参与网损分摊,计算分支 2 中 DG 不参与网损分摊,导致计算分支 1 的网损分

表 5 2 种计算分支的 DG 各微时段网损分摊结果

Table 5 Loss allocation results of DG in every micro-period for two calculation branches

DG 出力/kW	电网出力/kW	配网总损耗/kW	计算分支 1 的分摊比例/%	计算分支 2 的分摊比例/%	微时段时长/h
0	3 981.24	266.23	0	0	11.75
60	3 920.01	265.01	0.708	0	0.42
120	3 859.02	264.02	1.415	0.001	1.08
180	3 798.25	263.24	2.123	0.011	1.00
240	3 737.70	262.69	2.830	0.033	0.58
300	3 677.36	262.36	3.537	0.076	0.25
360	3 617.25	262.24	4.244	0.147	0.75
420	3 557.34	262.34	4.950	1.022	0.50
480	3 497.65	262.64	5.655	1.940	0.58
540	3 438.16	263.16	6.359	2.888	0.50
600	3 378.88	263.87	7.062	3.864	0.33
660	3 319.79	264.79	7.764	4.865	0.67
720	3 260.91	265.91	8.464	5.888	0.42
780	3 202.23	267.23	9.163	6.930	0.33
840	3 143.74	268.74	9.860	7.988	0.58
900	3 085.45	270.44	10.555	9.059	0.42
960	3 027.34	272.34	11.249	10.141	0.75
1 020	2 969.42	274.42	11.940	11.231	0.67
1 080	2 911.69	276.69	12.629	12.325	0.50
1 140	2 854.15	279.14	13.315	13.423	0.42
1 200	2 796.78	281.78	13.999	14.520	1.50

表6 2个计算分支的典型日DG网损分摊结果

Table 6 Loss allocation results of DG in typical day for two calculation branches

DG 日上网电 量/(kW·h)	系统日供电电 量/(kW·h)	配网总网损电 量/(kW·h)	DG 应分摊电量/(kW·h)		DG 应分摊的网损比例/%	
			计算分支1	计算分支2	计算分支1	计算分支2
7 864.8	87 713.1	6 417.83	399.80	290.21	6.23	4.52

摊结果比计算分支2的大,两者的DG网损分摊比例分别为6.23%和4.52%,表明分摊方法的场景适用性对DG的网损分摊计算有较大影响。

因为目前的网损电量都由电网企业承担,因此本文从电网企业的角度对网损分摊方法的合理性进行分析。本文对加入DG前、后的电网承担网损率进行对比,分析结果如表7所示。

表7 加入DG前、后电网企业承担的网损率

Table 7 Loss rate born by power supply enterprises before and after accessing DG

条件	电网企业承担的网损率/%
加入DG前	6.69
DG不参与分摊	7.32
加入DG后 计算分支1分摊后	6.86
计算分支2分摊后	6.99

由表7可知:当加入DG后,但DG不参与分摊时,电网承担的网损率为7.32%,远大于加入DG前的网损率6.69%,即电网承担了多余的网损,提高了电网企业的网损成本和管理负担;当采用计算分支1和2进行分摊时,电网承担的网损率分别降低至6.86%和6.99%,接近加入DG前的网损率,从而减少了DG加入引起的电网企业的网损成本和管理负担,进一步验证了网损分摊的必要性和分摊方法的合理性。

综合上述分析可知,一方面,采用配网网损分摊方法对DG引起的网损进行分摊具有必要性和合理性;另一方面,根据中低压配网的计算参数完整性可知,低压配网目前仅能采用改进平均网损系数法,中压配网可以采用改进平均网损系数法或潮流追踪法。而对于中压配网分摊方法的选取涉及到供电企业与业主的利益,因此,建议供电企业与业主共同探讨制订分摊方法时,综合考虑场景适用性和方法可行性来选取网损分摊方法。

5 结论

a. 本文在分析传统网损分摊方法的优缺点与对含DG配网的适用性的基础上,提出一种适用于含DG配网的网损分摊方法。该方法解决了现有网损分摊方法难以适用于含DG配网的缺陷,并依据计算参数的完整性可分为改进平均网损系数法和潮流追踪法等计算分支。指出低压配网目前仅能采用改进平均网损系数法的计算分支,中压配网则可以采

用改进平均网损系数法或潮流追踪法等计算分支,当计算参数条件满足潮流追踪法的要求时,本文建议采用潮流追踪法计算网损分摊。

b. 本文依据DG的出力和负荷消纳情况将DG的运行场景分为“不发电”、“本地消纳”和“余量上网”3种,分析发现“本地消纳”运行场景的网损分摊必要性存在较大争议,需要分析网损分摊方法的场景适用性差异。

c. 本文从分摊原理上对网损分摊方法的场景适用性进行分析,结果表明计算分支1和2主要对“本地消纳”场景下的网损分摊适用性存在差异,并通过实例验证了所提配网网损分摊方法的实用性、合理性与场景适用性。分析结果表明DG理应参与网损分摊,并建议供电企业在制订网损分摊方法时,综合考虑分摊方法的场景适用性。

参考文献:

- [1] 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.
WANG Yihe. Research on allocation of energy losses of distribution system including distributed generation[D]. Beijing: North China Electric Power University, 2013.
- [2] EXPOSITO G, SANTOS J M R, GARCIA T G, et al. Fair allocation of transmission power losses[J]. IEEE Transactions on Power Systems, 2000, 15(1): 184-188.
- [3] 常乃超, 郭志忠. 网损分摊问题的思考[J]. 中国电机工程学报, 2003, 23(4): 43-47.
CHANG Naichao, GUO Zhizhong. Pondering on the loss allocation problem[J]. Proceedings of the CSEE, 2003, 23(4): 43-47.
- [4] 谭艳妮. 网损分摊方法研究[D]. 北京: 华北电力大学, 2015.
TAN Yanni. Research on loss allocation[D]. Beijing: North China Electric Power University, 2015.
- [5] CONEJO A J, ARROYO J M, ALGUACIL N, et al. Transmission loss allocation: a comparison of different practical algorithms[J]. IEEE Transactions on Power Systems, 2002, 17(3): 571-576.
- [6] 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, 25(1): 60-65.
ZHOU Xinghua, DU Songhuai. A novel nucleolus theory based allocation method of power losses in bilateral electricity markets[J]. Proceedings of the CSEE, 2005, 25(1): 60-65.
- [7] 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, 42(2): 13-22.
WANG Zheng, LIU Chuanghua, WEI Zhen, et al. Losses allocation resulting from generation rights trade based on superposition principle and Aumann-Shapley method[J]. Power System Protection and Control, 2014, 42(2): 13-22.
- [8] 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): 1702-1711.
- YAN Yu, ZHOU Ming, WANG Xiao, et al. Diakoptics based power losses allocation approach for cross-regional bilateral electricity transactions[J]. Proceedings of the CSEE, 2017, 37(6): 1702-1711.
- [9] 王霄. 互联电网跨区双边交易网损分摊方法研究[D]. 北京: 华北电力大学, 2016.
- WANG Xiao. Interregional bilateral transactions loss allocation method for interconnected power grid[D]. Beijing: North China Electric Power University, 2016.
- [10] MACQUEEN C N, IRVING M R. An algorithm for the allocation of distribution system demand and energy losses[J]. IEEE Transactions on Power System, 1996, 11(1): 338-343.
- [11] MESUT E B, VENKAT B, KENNETH E G. A transaction assessment method for allocation of transmission services[J]. IEEE Transactions on Power Systems, 1999, 14(3): 920-928.
- [12] BISKAS P N, TSAKOUMIS A, BAKIRTZIS A G, et al. Transmission loss allocation through zonal aggregation[J]. Electric Power Systems Research, 2011, 81(10): 1973-1985.
- [13] DANIEL K, GORAN S. Tracing active and reactive power between generators and loads using real and imaginary currents[J]. IEEE Transactions on Power Systems, 1999, 14(4): 1312-1319.
- [14] 梁子贤. 输电网损分摊计算新方法[D]. 北京: 华北电力大学, 2016.
- LIANG Zixian. A new method of the network loss allocation to calculate[D]. Beijing: North China Electric Power University, 2016.
- [15] 刘梓洪, 程浩忠, 王秋梅, 等. 不同电力市场交易模式下的网损分摊方法[J]. 电力自动化设备, 2004, 24(7): 60-64.
- LIU Zihong, CHENG Haozhong, WANG Qiumei, et al. Loss allocation methods for different power market transaction models[J]. Electric Power Automation Equipment, 2004, 24(7): 60-64.

作者简介:



欧阳森

欧阳森(1974—),男,广西钦州人,副研究员,博士,研究方向为电能质量分析与控制、智能电器 (**E-mail**: ouyangs@scut.edu.cn);

梁伟斌(1993—),男,广东东莞人,硕士研究生,通信作者,研究方向为电能质量分析与控制 (**E-mail**: lbw-vinson@qq.com);

黄湘(1994—),女,湖北黄冈人,硕士研究生,研究方向为电能质量分析与控制 (**E-mail**: huangx1226@foxmail.com)。

Loss allocation method of distribution network with distributed generation and its scene applicability

OUYANG Sen, LIANG Weibin, HUANG Xiang

(Key Laboratory of Clean Energy Technology of Guangdong Province, School of Electric Power, South China University of Technology, Guangzhou 510640, China)

Abstract: Since the current researches of loss allocation methods are mainly focused on the transmission network of 110 kV and above voltage level, they are hardly applied to the distribution network with DG (Distributed Generation) directly, and the researches haven't discussed the variation of operation conditions of distribution network caused by DG, a loss allocation method of distribution network with DG is proposed and its scene applicability is analyzed. Firstly, the operation conditions of DG are classified into no power, local consumption and power supply to grid, and their necessity and characteristics of loss allocation are researched. Secondly, the applicability of traditional loss allocation methods in distribution network with DG is comprehensively compared. On this basis, a loss allocation method applicable to distribution network with DG is designed, which considers two common calculation branches. The scene applicability of the two branches is analyzed detailedly in principle. Finally, the IEEE 33-bus distribution network is taken as an example to analyze the loss allocation of distribution network with DG, which verifies the practicability of the proposed method.

Key words: distribution network; loss allocation method; distributed generation; scene applicability