

# 提高配电网承载力的分布式光伏双层规划方法

李武兴

国网天津市电力公司电力科学研究院 天津 300191

**摘要:** 文章提出一种提高配电网承载力的分布式光伏双层规划方法。该方法通过构建上层规划与下层规划模型,分别由配电网运营商和分布式光伏投资者负责,旨在实现电网全局优化与局部效益的最大化。上层规划关注电网安全、可靠与经济运行,下层规划则聚焦于光伏系统的优化配置与运营策略。采用嵌套迭代法、启发式算法或智能优化算法进行求解,确保规划方案的有效性与可行性。该方法为分布式光伏接入配电网提供了科学依据,有助于提升电网的承载能力与可再生能源的利用率。

**关键词:** 配电网;承载力;分布式光伏;双层规划方法

**引言:** 随着可再生能源的快速发展,分布式光伏在配电网中的接入量日益增加,这对配电网的承载力提出了更高要求。为确保电网的安全、可靠运行,同时最大化利用可再生能源,本文提出一种提高配电网承载力的分布式光伏双层规划方法。该方法通过构建双层规划模型,综合考虑电网全局优化与分布式光伏局部效益,旨在实现配电网承载力的有效提升与分布式光伏的合理接入。

## 1 分布式光伏与配电网承载力概述

### 1.1 分布式光伏的特点与优势

分布式光伏具有几大特点和优势;第一、灵活便捷:分布式光伏电站的布置灵活多样,可以在不同地区、不同结构中实现发电。这种灵活性使得分布式光伏电站能够根据不同的建设环境、时间和资金条件进行选择布置,从而提高能源利用率和空间利用效率。第二、降低传统电源建设压力:相比传统电站,分布式光伏电站的投资小、安装灵活,降低了传统电源建设的压力。通过虚拟网络将多个发电系统连接起来,分布式光伏能够建立低成本的供电系统,同时兼顾电网的稳定性,缓解传统电源的压力。第三、降低用电成本:分布式光伏能够减少传统模式电源建设的巨额费用,降低运营成本,从而有效地降低用户使用电能的成本,光伏发电可以充分利用太阳光的可再生能源,发电效率高且环境安全无污染,进一步降低了用电成本。第四、环保安全:分布式光伏发电不产生有害物质,不会对环境造成污染,是一种绿色环保的发电方式。光伏发电系统的研发技术和发电技术稳定可靠,可以保障系统的安全高效运行,满足大型用电设施的长时间发电需求。第五、可持续发展:分布式光伏发电的规模小且易于扩大,可以有效补充能源短缺问题。它是节能减排、可持续发展的一种新技术和发电方式,对于推动清洁能源的发展和社

会的可持续发展具有重要意义。

### 1.2 配电网承载力的概念与影响因素

配电网承载力是指在配网工程的设计、建设和运营过程中,工程各个部位能够承受设计荷载和应力的能力,确保工程安全、稳定、可靠运行。它是工程质量、可靠性和安全性的重要指标。配电网承载力的影响因素主要包括:设计过程中必须充分考虑工程的承载需求,合理确定各个部位的承载能力和应力要求,以确保工程的施工承载力<sup>[1]</sup>。选用合适的材料和施工工艺,保证工程各个部位的结构强度和稳定性,是确保工程施工承载力的关键。环境因素如气候条件、地质条件等也会对配电网的承载力产生影响。在施工过程中,必须严格遵守相关的规定和标准,加强施工管理和监督,以确保工程的施工承载力。

## 2 分布式光伏接入对配电网的影响

### 2.1 对电压分布的影响

分布式光伏接入配电网后,其发电功率的注入会显著改变电网的电压分布。由于分布式光伏通常安装在用户侧或靠近负荷点,其产生的电力会直接注入配电网,导致局部电压升高。这种电压变化可能会超出配电网的正常运行范围,影响电网的稳定性和安全性。特别是在光照充足且负荷较低的时段,分布式光伏的大量发电可能导致电压越限,甚至引起电压波动和闪变,对电网设备和用户用电造成不利影响。

### 2.2 对潮流分布的影响

分布式光伏的接入还会改变配电网的潮流分布。在传统的配电网中,潮流通常是从电源点流向负荷点,呈现单向流动的特点,分布式光伏的接入使得部分负荷点成为电源点,潮流方向可能因此发生逆转。这种潮流方向的改变可能导致配电网中的某些线路出现过载现象,

增加电网的运行风险，潮流分布的复杂化也增加了电网调度和控制的难度。

### 2.3 对电能质量的影响

分布式光伏接入配电网还可能对电能质量产生负面影响。一方面，由于分布式光伏的发电功率受到光照强度、温度等环境因素的影响，其输出功率具有波动性和间歇性，这可能导致电网中出现电压波动和闪变现象，影响用户的用电体验和设备的安全运行。另一方面，分布式光伏接入后，电网中的谐波含量可能增加，引起谐波污染，对电网设备和用户用电造成潜在威胁，分布式光伏的接入还可能引起电网的频率波动和三相不平衡等问题，进一步影响电能质量。

## 3 提高配电网承载力的分布式光伏双层规划方法

### 3.1 双层规划的基本原理与架构

在分布式光伏接入配电网的背景下，为了提高配电网的承载力并确保电网的安全稳定运行，可以采用双层规划方法。双层规划是一种特殊的优化方法，特别适用于涉及多个决策层次和利益主体的问题。双层规划的基本原理是在一个系统中存在两个层次的决策者，他们分别作出决策，并且这些决策之间存在相互影响。上层决策者首先做出决策，然后下层决策者根据上层决策者的决策做出自己的决策。下层决策者的决策结果会反馈给上层决策者，上层决策者再根据这些反馈调整自己的决策，以达到整体最优<sup>[2]</sup>。在配电网与分布式光伏的双层规划中，上层规划通常代表配电网运营商或电力调度中心，负责整体电网的规划、调度和控制；下层规划则代表分布式光伏投资者或用户，他们根据自己的利益和需求进行光伏电站的建设和运营。上层规划的主要目标是确保配电网的安全稳定运行，提高电网的承载力和供电可靠性，同时考虑经济效益和社会效益。具体任务包括确定配电网的扩展计划、优化电网结构、制定调度策略和控制措施等。下层规划的主要目标是最大化分布式光伏的发电效益和投资收益，同时满足用户的用电需求和电网的约束条件。具体任务包括选择光伏电站的建设地点、确定光伏电站的容量和类型、制定运营策略等。为了确保双层规划的有效实施，需要建立相应的协调机制。首先，需要明确上下层规划之间的信息传递和反馈机制，确保下层规划的结果能够及时准确地反馈给上层规划，同时上层规划也能够根据下层规划的结果进行必要的调整。其次，需要建立合理的激励和约束机制，鼓励下层规划者在追求自身利益的同时，也考虑整体电网的利益和需求。最后，需要采用先进的优化算法和计算工具，对双层规划问题进行求解，以得到最优的决策方案。

### 3.2 上层规划模型

在分布式光伏接入配电网以提高其承载力的双层规划方法中，上层规划模型扮演着至关重要的角色。上层规划的主要目标函数包括最大化经济效益和提高电网可靠性。经济效益方面，目标函数可能涵盖减少电网扩展成本、降低电网损耗、提高电力供应的灵活性和效率等。通过分布式光伏的合理接入，可以减少对传统电网扩容的需求，从而节约投资成本，通过优化调度策略，降低电网损耗，提高电力供应的经济性。提高电网可靠性方面，目标函数可能关注减少停电时间、降低停电频率以及提高电压和频率的稳定性。分布式光伏的接入可以为电网提供额外的电源支持，特别是在负荷高峰或电网故障时，有助于减轻电网压力，提高供电可靠性。为确保电网的安全运行和分布式光伏的合理接入，上层规划模型需要设置一系列约束条件。这些约束条件包括但不限于：（1）电网安全约束：确保电网在分布式光伏接入后，仍能满足电压、电流、频率等关键参数的安全范围要求，避免过载和短路等安全隐患。（2）光伏安装容量限制：根据电网的承载能力和分布式光伏的发电特性，合理设定光伏电站的安装容量上限，防止因光伏电站过度接入而导致的电网不稳定。（3）电网拓扑约束：考虑电网的拓扑结构，确保分布式光伏的接入不会破坏电网的连通性和稳定性，同时便于电网的调度和控制。（4）环境保护约束：在规划过程中，还需考虑分布式光伏接入对周边环境的影响，如光污染、噪声污染等，确保光伏电站的建设符合环保要求。（5）经济可行性约束：评估分布式光伏接入的经济效益，确保规划方案在经济上具有可行性，能够平衡电网运营商和光伏投资者的利益。

### 3.3 下层规划模型

在分布式光伏接入配电网的双层规划框架中，下层规划模型聚焦于分布式光伏系统的优化配置与运营策略，旨在从局部角度出发，实现光伏系统的经济效益最大化与电网性能的优化。下层规划的主要目标函数包括优化潮流分布、降低电压偏差以及最大化光伏系统的发电效益。优化潮流分布旨在通过合理布局光伏电站，减少电网中的潮流拥堵，提高电力传输效率。降低电压偏差则关注于通过光伏电站的接入，改善电网电压分布，减少电压波动与闪变，提升电网的电压质量。同时，最大化光伏系统的发电效益是下层规划的核心目标，通过提高光伏电站的发电效率与利用率，增加光伏系统的经济收益<sup>[3]</sup>。为确保分布式光伏系统的安全、可靠运行，并与上层规划保持协调一致，下层规划模型需要设置一系

列约束条件。这些约束条件包括但不限于：（1）设备运行约束：确保光伏电站内的光伏组件、逆变器、储能设备等关键设备在安全、稳定的参数范围内运行，避免设备过载、过热等安全隐患。（2）功率平衡约束：在光伏电站接入电网后，需确保电网的功率平衡，即光伏电站的发电功率与电网的负荷需求相匹配，避免电网出现功率过剩或不足的情况。（3）电网接入约束：根据上层规划提供的电网条件，确保光伏电站的接入符合电网的电压等级、相位、频率等要求，避免对电网造成冲击或干扰。（4）环境保护与可持续性约束：在光伏电站的建设与运营过程中，需遵守相关的环保法规与标准，确保光伏电站的建设与运营对周边环境的影响最小化，同时促进可再生能源的可持续利用。

### 3.4 求解算法与流程

在分布式光伏接入配电网的双层规划问题中，求解算法的选择与流程设计至关重要，它们直接决定了规划方案的有效性与可行性。针对双层规划问题的特点，适合采用的求解算法主要包括嵌套迭代法、启发式算法以及智能优化算法等。第一、适合双层规划的求解算法介绍；嵌套迭代法：这是一种经典的求解双层规划问题的方法，其基本思想是在上层规划求解过程中，嵌入下层规划的求解过程，形成嵌套迭代结构。通过不断迭代调整上层规划的决策变量，直至满足收敛条件。嵌套迭代法具有理论上的严密性，但计算量较大，适用于小规模或中等规模的双层规划问题。启发式算法：启发式算法如遗传算法、粒子群算法等，通过模拟自然界中的优化过程，寻找问题的近似最优解。这类算法具有全局搜索能力强、易于实现等优点，但求解结果可能受到算法参数设置的影响，且收敛速度较慢。在双层规划问题中，启发式算法可用于快速获得可行的规划方案，为后续优化提供基础。智能优化算法：智能优化算法如模拟退火算法、神经网络算法等，利用先进的数学工具和计算机技术，对复杂问题进行高效求解。这类算法具有自适应性强、鲁棒性好等优点，适用于大规模、非线性、多目标的双层规划问题。通过智能优化算法，可以实现对分布式光伏接入配电网的双层规划问题的全局优化<sup>[4]</sup>。第二、求解步骤与流程设计；问题定义与建模：根据配电

网的实际情况与分布式光伏的接入需求，建立双层规划问题的数学模型，包括上层规划与下层规划的目标函数、约束条件等。算法选择与参数设置：根据问题的规模、复杂度以及求解要求，选择合适的求解算法，并设置相应的算法参数，如迭代次数、种群规模、学习因子等。初始化：对算法进行初始化，包括生成初始解集、设置迭代计数器等。上层规划求解：在给定下层规划解的情况下，求解上层规划问题，得到上层规划的决策变量值。下层规划求解：根据上层规划的决策变量值，求解下层规划问题，得到下层规划的最优解或近似最优解。迭代更新：将下层规划的最优解或近似最优解反馈给上层规划，更新上层规划的决策变量值，进行下一次迭代。收敛判断：检查迭代过程是否满足收敛条件，如目标函数值的变化量小于预设阈值、迭代次数达到预设上限等。若满足收敛条件，则输出最优解；否则，继续迭代。结果分析与优化：对求解结果进行分析，评估规划方案的有效性与可行性。根据分析结果，对规划方案进行优化调整，直至满足实际需求。

### 结束语

提高配电网承载力的分布式光伏双层规划方法是一种有效的解决方案，它结合了电网全局优化与分布式光伏局部效益最大化的需求。通过科学合理的规划方法与先进的求解算法，该方法为配电网的承载力提升与分布式光伏的健康发展提供了有力支持。未来，随着可再生能源技术的不断进步与电网智能化水平的提升，该方法的应用前景将更加广阔。

### 参考文献

- [1]刘健.含分布式电源配电网的故障定位[J].电力系统自动化,2016,37(2)36-42.
- [2]张铁峰,高智慧,左丽莉等.分布式光伏接入配电网的选址定容优化研究[J].华北电力大学学报(自然科学版),2019,46(01):60-66.
- [3]王林富,邱方驰,张斌,等.基于分布式光伏电源的配电网多目标优化策略研究[J].智慧电力,2019,47(01):47-53.
- [4]唐红亮,吴柏林,胡旺,等.基于粒子群优化的地震应急物资多目标调度算法[J].电子与信息学报,2020,42(3):737-745.