

[配电网电压调控]

# 考虑负荷重要程度含DG中压配电网电压调控策略

文/侯峰<sup>1</sup> 康子森<sup>2</sup>

1. 国网浙江省电力有限公司庆元县供电公司

2. 浙江环网电力设备有限公司

针对带有分布式发电（DG）的中压配电网，提出一种新型的电压调控策略，该策略考虑了负荷的重要程度。首先，构建对应的电压调控现状分析体系，识别现有策略面临的挑战；进一步介绍DG技术的基础知识。随后，建立负荷重要程度的评估模型，通过定量计算为调控机制提供依据。在此基础上，设计了基于负荷重要性的电压调控机制，并对中压配电网模型进行详尽的构建。研究的调控策略能有效提升电网运营效率，确保关键负荷的电压质量。最终通过定量分析验证该电压调控策略的有效性与优越性。

近年来，随着分布式发电（DG）技术的快速发展，中压配电网系统的电压控制问题日益凸显。传统电压控制策略往往忽视负荷的重要程度对电网电压稳定性的影响，导致了电网电压波动较大的问题。因此，考虑负荷的重要程度，结合DG技术，对中压配电网进行电压调控策略的研究具有重要的理论和实际意义。在此背景下，本文从负荷特性、电压控制策略和分布式发电技术等方面进行深入分析，并结合实际案例进行探讨，旨在提出一种能够兼顾负荷重要程度的含DG中压配电网电压调控策略。

## 配电网电压调控概述

### 1. 电压调控的现状与挑战

作为电压调控电网运行中的重要环节，其最主要挑战包括充分考虑多种不确定性因素对电压水平的影响，提高电压调控的精确度以及效率，降低电压调控成本以及实现对不断增加的DG的有效管理和控制。随着DG在中压配电网中的逐渐普及应用，电压调控中还需要考虑负荷的重要程度，以实现对关键负荷的优先保护和稳定供电。因此，电压调控的现状需要更加全面地考虑多种因素的影响，并针对

不同负荷的特点制定相应的调控策略。同时，由于中压配电网的规模较大，拓扑结构复杂，电压调控面临更大挑战，需要更加灵活、智能的调控方法与技术来应对日益复杂的运行环境。

### 2. DG技术简介

分布式发电主要是指在配电网中以小功率为主的发电方式，通常介入到配电网的低压或者中压侧。区别于传统的集中式发电，DG技术具有就近发电、减少线损以及提高电网可靠性以及灵活性的特点。常见DG技术包括光伏发电，风力发电以及燃气轮机等方面。这些技术能够分散发电，减少对传统中压配电网的额外负荷，同时，也为电网提供更多的电源接入方式，有助于提高电网的灵活性以及鲁棒性。值得一提的是，DG技术的接入对配电网的电压水平有影响，因此，需要进行合理调控与管理。

## 负荷重要程度评估模型

### 1. 负荷分类与评估标准

电力系统中，负荷能够结合其对系统可靠性以及经济性的影响程度划分，如系统稳定性以及电压质量类型的重要性做出负荷分类。其中，负荷对电

压质量敏感性程度属于评估负荷水平的重要指标类型，对不同类型负荷，对电压要求也并不相同。

电力负荷根据其发生时间、中断供电造成的损失程度以及负荷特性的不同进行分类，而高峰负荷、年负荷特性指标等为电力系统规划和管理提供了重要依据。负荷对电压质量的敏感性见表1。

表1 负荷对电压质量的敏感性

| 负荷类型 | 系统重要程度指标            | 电压质量敏感性 |
|------|---------------------|---------|
| 工业负荷 | 负荷稳定性高，负荷率一般在0.95以上 | 高敏感性    |
| 商业负荷 | 负荷变化均衡              | 中敏感性    |
| 居民负荷 | 负荷率较低，一般在0.70以下     | 低敏感性    |

负荷分类与评估指标中，通常会考虑负荷的功率因数、波动性、对电压的灵敏程度和启动特性等，这些因素可以通过数据分析以及实测数据评估，并量化为对系统的稳定性和电压质量的影响指标。通过对这些指标的评估，可以确定不同负荷的重要程度，并为配电网的电压调控策略提供依据。负荷评估指标的建立，需要考虑系统的实际运行情况与需求。因此，在建立评估模型时，需要充分考虑系统特性以及运行数据的可靠性。同时，为了提高评估模型的准确性，可以结合专家经验以及实测数据，采用综合评价方式对不同负荷进行分类与评估。针对不同级别的负荷重要程度，可以制定相应的电压调控策略，以保障系统的稳定运行和电压质量。因此，负荷分类与评估标准对于配电网的电压调控策略具有重要的指导意义，可以为提高系统的可靠性和经济性提供支持。

#### 2. 负荷重要程度定量计算

负荷重要程度的定量计算是评估负荷在配电网中的重要性，通过负荷功率、故障对系统的影响程度以及负荷对系统电压稳定性的影响等指标来进行量化分析。在考虑包含DG的中压配电网电压调控策略中，负荷重要程度的定量计算具有重要意义。

在负荷重要程度定量计算中，可采用负荷功率大小作为衡量指标，较大功率负荷往往具有较高的重要程度。此外，还可以考虑负荷对系统电压的敏感程度，通过计算负荷引起的电压变化幅度来评估其重要程度。同时，还可以考虑负荷在系统中的相对位置，距离母线较远的负荷对系统的影响较小。

除了单一指标外，还可以采用多指标综合评价

的方法，通过建立综合评价模型，综合考虑负荷功率、电压稳定性和负荷位置等因素，得到负荷重要程度的综合评估结果。综合评价模型见表2。

表2 综合评价模型

| 指标          | 描述                |
|-------------|-------------------|
| 负荷功率大小      | 衡量负荷对电网影响的基础指标    |
| 系统电压敏感度     | 通过负荷引起的电压变化幅度评估   |
| 负荷地理位置      | 距离母线的远近决定对电网的影响程度 |
| 最大负荷（尖峰负荷）  | 一段时间内的用电最大值       |
| 全年最大半小时平均负荷 | 反映全年电能消耗水平        |

负荷重要程度定量计算的结果将为配电网电压调控策略的制定提供重要依据，有利于合理分配调控资源，优化系统运行。因此，在考虑含DG的中压配电网电压调控策略时，负荷重要程度的定量计算是至关重要的一步。

### DG集成的电压调控策略

#### 1. 中压配电网模型构建

在进行中压配电网模型构建时，首先需要考虑网络拓扑结构，包括各个节点间的连接关系和拓扑参数。配电网应呈辐射状正常运行，并确保能够满足N-1安全校验，即至少存在一种运行方式可以在任何单一元件失效时仍然维持正常供电。其次，需要考虑负荷模型，包括负荷类型、负荷大小和负荷特性等，以准确描述负荷对系统的影响。根据负荷类型、负荷大小和负荷特性来描述负荷对系统的影响。这对于确保电网供电能力和分析可消纳负荷增量至关重要。

在考虑到DG集成到中压配电网的情况时，需要对DG的特性进行准确的描述。DG的类型、容量和功率因数等参数是影响配电网运行的关键因素。DG的接入模式包括低压分散接入和中压分散接入。低压分散接入模式是将小容量DG接入中压配电变压器的低压侧，适合用户基础上的小规模发电；而中压分散接入模式则是将容量中等的DG接入中压配电线路的支线，适合稍大规模的分分布式发电。DG的接入不仅可以提高并网点附近用户的供电可靠性，也因DG本身的故障概率和出力随机性可能对系统的供电可靠性产生不利影响。此外，DG的并网和控制需要

大量的电力电子设备，这些设备的频繁使用会影响系统稳定性。分布式电源快速发展，尤其是风电和光伏，其出力的随机性与波动性给配电网规划运行带来挑战。在电压控制方面，研究表明配电网中DG接入点容易出现电压越限问题，因此提出了基于无功调节和有功调节的本地电压控制策略，该策略可以有效消除DG接入引起的电压越限问题。在具体的模型中，可以这样描述DG的特性：假设DG工作在单位功率因数模式，即只产生有功功率而不产生/消耗无功功率。在进行网络损耗最小化时，可以比较不同的DG分配方法，如损失敏感系数（LSF）、改进的分析法（IA）和穷举负载流（ELF）方法，并选取降低系统损耗最有效的方法。

此外，还需考虑传输线路的参数，包括电阻、电抗和电导等参数，以确保模型的准确性和可靠性。最后，需要考虑模型的动态特性，包括节点电压的动态变化和系统响应速度等，以实现电压调控策略的有效性和可行性。

3.2 基于负荷重要性的调控机制

基于负荷重要性的调控机制是一种根据负荷的重要程度来实施电压调节的方法。在配电网中，不同负荷对电压的需求是不同的，一些重要负荷对电压的稳定性有着更高的要求，而一些较为次要的负荷对电压的要求则相对较低。因此，通过对负荷进行分类，可以根据负荷的重要性程度制定不同的电压调节策略。

实际应用中，可通过负荷功率的大小、对电压波动的敏感程度等因素来评估负荷的重要性。然后，针对不同重要性的负荷，制定相应的电压调节策略，对重要负荷实施更为精细和及时的电压调节，以保障其稳定供电；对次要负荷，可采取更为宽松的电压调节策略，以降低系统的调节成本。

通过基于负荷重要性的调控机制，可以充分满足不同负荷的电压需求，提高配电网的稳定性和可靠性。需求侧资源的调控已经取得一定成果，特别是在可调节负荷资源普查与容量核证方面。这表明通过负荷重要性的调控机制，配电网能够更好地满足不同用户的电压需求，提升运行效率和经济性。电力公司已经建立了相应的监测系统，实时监测率达到了70.4%，这为负荷的精确控制提供了数据支持。技术问题仍然存在，比如负荷数据的准确度、

实时性和响应性能需要进一步提升。同时，负荷数据的稽查手段也需加强，以确保调控的准确性和避免市场干扰。可调节负荷的聚合商参与对于实现负荷的灵活响应至关重要，但聚合商的技术水平和调度数据网环境的接入需要进一步完善。负荷重要性调控机制见表3。

表3 负荷重要性调控机制

| 参数              | 2023年数据             | 目标                   | 备注          |
|-----------------|---------------------|----------------------|-------------|
| 实时监测率           | 70.4%               | 到2025年达到最大用电负荷的70%以上 | 用于跟踪负荷动态    |
| 削峰响应容量          | 2 990万kW            | -                    | 表明需求响应潜力    |
| 填谷响应容量          | 1 563万kW            | -                    | 表明需求响应潜力    |
| 可调节负荷资源数据普查覆盖用户 | 约1.7万户              | -                    | 用于优化电网运行效率  |
| 聚合商技术架构问题       | 需要从调度大区向外延伸至聚合商运营平台 | -                    | 影响负荷灵活响应的关键 |

在实际应用中，需要将负荷重要性的概念融入到电压调控的具体算法中，设计和实现相应的电压控制策略。同时，也需要充分考虑数据采集和通信方面的技术支持，确保对负荷重要性的准确评估和及时响应。通过不断的实践和优化，可以逐步完善基于负荷重要性的调控机制，为配电网的安全稳定运行提供更为有效的保障。

结论

通过对含分布式发电的中压配电网电压调控策略加以研究，能够得出本研究中提出的考虑负荷重要程度的电压调控策略，可以提高配电网的电压质量，以及降低电压波动及电压失真的情况，提高系统的稳定性与可靠性。基于负荷重要程度的电压调控策略能够更好地满足不同负荷的电压需求，保障重要负荷的供电质量。此外，本文所提出的策略在实际中压配电网中具有一定的可行性和可实施性，能够为实际工程应用提供有益的参考和指导。综上所述，本文所提出的基于负荷重要程度的含DG中压配电网电压调控策略具有重要的理论和实际意义，对于提高配电网的电压质量和稳定性具有一定的指导作用。EA

(收稿日期：2024-04-01)