配电谐波治理方案的优化设计与实施

余毅聪

深圳市达能电力技术有限公司 广东 深圳 518000

摘要：配电谐波作为电力系统中不容忽视的电能质量问题，对电网的稳定性和设备的安全运行构成了严重威胁。随着非线性负载设备的广泛应用，谐波问题日益凸显，其引发的设备损耗增加、计量精度下降以及精密电子设备干扰等问题，已成为电力行业 and 用户关注的焦点。本文旨在全面分析配电谐波问题，并提出一套科学合理的治理方案，为电力系统的持续、稳定、高效运行提供有力支撑。

关键词：配电谐波；治理方案；优化设计；实施

引言：谐波是电力系统中由非线性负载产生的电能质量问题，对电网和设备造成多方面影响。其危害包括增加设备损耗、影响计量及干扰精密设备。为应对此问题，提出综合治理方案：加装有源谐波调节器、无源电力滤波器，加强管理和多方共治，以及安装隔离变压器。方案设计与优化涉及谐波源识别、设备选择与配置、经济性分析。实施与监测同样关键，需制定详细方案、强化施工管理、质量控制，并建立监测评估机制，确保治理效果持久稳定。

1 配电谐波概述

配电谐波这一电力系统中不容忽视的电能质量问题，其根源在于配电系统中频繁出现的、频率为基波频率整数倍的异常电流或电压分量。这些谐波成分，往往由变频器、整流器等非线性负载设备在电能转换过程中产生，并回馈至电网，导致原本平滑的电压和电流波形发生畸变。谐波对配电系统的影响深远且广泛^[1]。第一，表现为电网与设备损耗的显著增加，这种无谓的能耗不仅降低了系统的整体能效，还加剧了能源浪费。第二，谐波引发的设备过热和绝缘老化现象，如同慢性毒药，悄然侵蚀着设备的健康，大幅缩减了它们的使用寿命。第三，谐波对电力系统的继电保护和自动控制设备构成了严峻挑战，它们的干扰可能导致这些关键设备误动或拒动，直接威胁到电力系统的安全稳定运行。

2 谐波的危害分析

2.1 增加设备损耗

谐波，作为电力系统中一种不可忽视的电能质量问题，其存在对各类设备造成了显著的损耗增加。谐波电流的频率是基波频率的整数倍，这一特性决定了它在设备中产生的涡流和磁滞损耗也会相应增大。涡流损耗是由于谐波电流在导体内部形成闭合回路而产生的，而磁滞损耗则是由于谐波磁场在铁磁材料中引起的磁畴运

动所导致的。这些额外的损耗不仅增加了设备的能耗，更重要的是，它们会转化为热能，使得设备温度显著升高。长时间的高温运行对设备来说是一个极大的考验。高温会加剧设备的热应力，使得设备内部材料的老化和劣化速度加快。

2.2 影响计量精度

谐波对电力系统的计量设备，尤其是互感器，产生了严重的不良影响。互感器作为电力系统中测量电流和电压的关键设备，其计量精度直接关系到电费结算的准确性和公平性。然而，谐波的存在却干扰了互感器的正常工作。由于谐波电流和电压的波形畸变，互感器输出的信号不再准确反映实际的电流和电压值，而是包含了大量的谐波分量。这种计量误差不仅会给企业带来额外的费用负担，因为企业需要为这些被错误计量的电能支付更多的费用；还可能引发电费纠纷，破坏电力系统的正常运营秩序。

2.3 干扰精密电子设备

谐波对精密电子设备的干扰问题尤为突出。这些设备，如计算机、通信设备、医疗设备等，对电压和电流的波形有着极高的要求。任何微小的波形畸变都可能对其正常工作造成严重影响。谐波产生的电磁干扰会耦合到电子设备的电路中，引起电路中的噪声增加和信号质量下降。这种干扰不仅会降低设备的性能，如通信速率下降、数据传输错误率增加等；还可能导致设备功能失效，如计算机死机、通信设备通信中断、医疗设备误诊等。对于某些特别敏感的电子设备而言，谐波干扰甚至可能引发更严重的后果。例如，在计算机系统中，谐波干扰可能导致数据丢失或损坏。

3 配电谐波治理方案

3.1 加装有源谐波调节器

有源谐波调节器作为一种先进的谐波治理技术，其

核心在于其能够实时、精确地补偿由非线性负载产生的谐波电流和无功分量。这一功能的实现，依赖于高精度的谐波与无功检测算法以及先进的脉宽调制（PWM）变换技术。AHF通过内置的电流传感器实时监测系统内的谐波成分，随后通过高速处理器计算出需要补偿的谐波和无功电流的大小与方向。利用PWM技术，AHF能够生成与这些谐波和无功分量完全相反、大小相等的补偿电流，并将其注入电网中，从而实现对谐波的精确定抵消和无功的动态补偿。AHF的显著优势在于其动态补偿能力，不受电网阻抗变化的影响，能够自适应各种复杂的电网环境。此外，AHF还具备良好的可扩展性，通过并联多台设备，可以轻松扩大补偿容量，满足大型电力系统或谐波问题特别严重的场合的需求。

3.2 加装无源电力滤波器

无源电力滤波器（PPF）作为谐波治理领域的重要工具，凭借其基于谐振电路的选择性滤波特性，在减少电网谐波传播方面发挥着关键作用。PPF主要由电容器、电感器和电阻器等基础元件精心组合而成，通过严谨的参数设计，能够针对性地构建出对应不同次数谐波的谐振电路。当电网中的谐波电流流经PPF时，这些精心设计的谐振电路会精准地吸收或大幅衰减特定频率的谐波，从而显著降低谐波在电网中的流量^[2]。PPF因其结构简单、维护便捷以及成本相对低廉的优势，成为针对特定次数谐波治理的理想选择。然而，PPF的滤波成效并非一成不变，它深受电网阻抗和谐波源特性的双重影响。因此，在设计PPF之初，就必须全面考量电网的实际运行参数以及谐波源的频谱特征，以确保滤波器能够稳定且高效地发挥作用。

3.3 加强管理，多方出资，共同治理

谐波治理工作不仅面临技术层面的挑战，更是一场管理上的考验。鉴于谐波治理所需资金庞大且技术复杂，单一依靠供电部门难以独力承担。（1）必须明确谐波治理的职责划分。供电部门，作为电网的守护者，应肩负起监测与管理电网的重任，及时发现并上报谐波问题，为治理工作提供详实的数据支撑与专业的技术指导。而电力用户，作为谐波的主要产生者，同样需承担起治理责任，确保自身设备产生的谐波量严格控制在国家标准之内。（2）应探索建立多元化的资金筹措机制。谐波治理投资大，需汇聚各方力量。政府可通过提供财政补贴、税收减免等优惠政策，激励企业与社会资本积极参与谐波治理。企业则可利用自有资金进行设备升级与改造，提升谐波控制能力。（3）社会资本亦可通过投资谐波治理项目，在助力电网优化的同时获取合理回报，实现共赢；通过多方

合力，共同为谐波治理工作提供坚实的资金与技术支撑，推动治理工作高效有序开展。

3.4 加装隔离变压器

隔离变压器，以其独特的设计理念和卓越的性能，在谐波治理领域独树一帜，尤其在阻断3次谐波电流方面展现出了非凡的能力。其Dyn接法，通过原边绕组的三角形连接与副边绕组的星形连接（且中性点不接地），构建了一道有效的谐波隔离屏障。这种巧妙的绕组结构，如一道精密的滤网，将3次谐波电流牢牢锁定在变压器的一侧，有效防止了其向电网其他部分的扩散。不仅如此，隔离变压器还显著提升了电网的稳定性和安全性，为电力系统的平稳运行提供了有力保障。然而，任何设备的维护都是不可忽视的，隔离变压器也不例外。为了确保在变压器维护期间不影响负荷的正常供电，一种创新的旁路电路设计应运而生。这个旁路电路，由开关和电阻器等关键元件精心组合而成，如同变压器的“守护者”。当变压器需要检修或维护时，只需简单操作，闭合开关，负荷便能迅速、平稳地切换到旁路电路上，确保了供电的连续性和稳定性。

4 谐波治理方案的设计与优化

4.1 谐波源的识别与分类

在设计谐波治理方案的初步阶段，谐波源的识别与分类显得尤为重要，它是整个治理工作的起点和基础。谐波源，顾名思义，即产生谐波的根本源头，其主要包括两大类：非线性负载和发电设备。（1）非线性负载，如变频器、整流器、软启动器等，这些设备在工作过程中，由于其内部的非线性元件，会不可避免地产生谐波。这些谐波不仅会影响设备自身的运行效率，还可能对电网造成污染，影响其他设备的正常工作^[3]。（2）发电设备，如发电机、变压器等，在能量转换和传输过程中，也可能因设计或运行条件的原因，引入或产生谐波。这些谐波同样会对电网的稳定性和安全性构成威胁；通过细致的谐波源识别与分类，我们可以深入了解谐波的产生机理、分布规律及影响程度。

4.2 谐波治理设备的选择与配置

在明确谐波源后，合理选择并配置谐波治理设备是治理方案的关键所在。针对不同类型的谐波源和治理需求，我们需要有针对性地选择治理设备。（1）对于非线性负载产生的谐波，有源滤波器（APF）因其动态响应快、补偿精度高、适应性强等特点而备受青睐。APF能够实时检测电网中的谐波成分，并产生与之相反的谐波进行补偿，从而有效消除谐波对电网的污染。（2）而对于发电设备产生的谐波，无源滤波器（PPF）则因其结构简

单、维护方便、成本较低而成为优选。PPF通过设计特定的谐振电路，能够吸收或衰减特定频率的谐波，从而减少谐波在电网中的传播。(3)为了进一步提升谐波治理效果，我们还可以考虑加装隔离变压器等辅助设备。隔离变压器通过其特殊的绕组结构和连接方式，能够有效阻断谐波的传播路径，将谐波限制在变压器的一侧，从而保护电网的其他部分不受谐波的影响。

4.3 治理方案的经济性分析

在设计谐波治理方案的过程中，经济性分析无疑占据着举足轻重的地位。它要求我们全面审视治理方案的各个环节，以确保在达到治理目标的同时，实现成本的最优化。设备的购置成本是治理初期的主要支出，包括有源滤波器、无源滤波器、隔离变压器等关键设备的采购费用。安装成本则涉及设备的运输、安装、调试等环节的费用。而运行维护成本则是治理方案长期运行过程中不可避免的开销，包括设备的定期检查、维修、更换以及人员的培训和管理等。为了全面评估不同治理方案的经济性，我们需要细致对比各方案的成本构成，包括初期投资和长期运营成本，从而选择出成本相对较低的方案。为了降低治理初期的经济压力，分阶段治理的方式不失为一种明智的选择。

5 谐波治理方案的实施与监测

5.1 制定详细的实施方案

在实施谐波治理之前，制定一份详尽的实施方案是至关重要的。这份方案应成为整个治理工作的行动指南，确保每一步都朝着既定的目标迈进。实施方案首先应明确治理目标，即期望达到的谐波抑制水平和对电网稳定性的提升程度。接着，详细列出治理措施，包括选用的治理设备、安装位置、配置方式等，确保每一项措施都针对谐波源的特性进行了精心设计。制定合理的时间表，规划出各个阶段的起止时间和关键节点，以确保治理工作能够有序进行。责任分工也是不可或缺的一部分，它明确了每个参与者的职责和任务，确保每个人都能为治理目标的实现贡献自己的力量。

5.2 加强施工管理和质量控制

谐波治理方案的实施过程，如同建造一座精密的建筑，施工管理和质量控制是确保其稳固和美观的基石。通过制定详细的施工计划，我们可以明确每个阶段的任

务和目标，确保施工过程的顺利进行，设定严格的质量标准，对施工材料、设备安装、接线工艺等各个环节进行严格把控，确保治理效果的有效实现。加强现场监管是施工管理的关键。通过定期巡查、记录施工情况、及时发现并解决问题，我们可以确保施工过程的规范性和安全性。而验收工作则是对施工质量的最终检验，只有经过严格验收，确保治理设备的质量和性能符合要求，我们才能放心地将其投入运行^[4]。

5.3 建立监测和评估机制

谐波治理并非一蹴而就，而是一个持续改进的过程。因此，建立监测和评估机制显得尤为重要。通过定期对治理效果进行监测，我们可以及时了解谐波抑制的实际情况，发现可能存在的问题或不足。而评估机制则是对治理效果进行客观评价的重要手段，它可以帮助我们量化治理成果，对比预期目标，从而判断治理方案的有效性和合理性。基于监测和评估结果，我们可以对治理方案进行调整和优化。无论是调整设备参数、改进安装工艺，还是采用新的治理技术，都是为了进一步提升治理效果，确保电网的稳定性和安全性。

结语：综上所述，配电谐波问题对电力系统的稳定性和设备的安全运行构成了严峻挑战。通过深入分析谐波的成因、危害及治理方案，我们认识到，谐波治理不仅是一项技术任务，更是一项涉及管理、资金和技术多方面的综合性工作。本文提出的综合治理方案，包括加装谐波调节器、无源电力滤波器、加强管理多方出资共同治理以及加装隔离变压器等措施，为谐波治理提供了全面而有效的解决方案。

参考文献

- [1]王云峰,岳田.供配电系统中电力谐波与治理方法研究[J].电力设备管理,2024(9):50-52.
- [2]李文竹,寇汉鹏,曹阳,等.含高比例分布式电源配电网谐波治理策略[J].电工技术,2023(2):65-68,71.
- [3]张明全.煤矿供配电系统谐波分析及治理[J].能源与节能,2022(2):160-161.
- [4]林丽娟,贾清泉,田书娅,等.基于一致性算法的配电网谐波分布式治理策略[J].电力系统自动化,2022,46(2):109-117.