

智能配电网中分布式储能布局优化配置研究

路巧玲¹,徐 省¹,李娜¹,赵仕波²,张驰宇³,方志辉¹

(1.国网浙江省电力有限公司岱山县供电公司,浙江 岱山 316200;2.岱山县仕波渔业机械经营部,浙江 岱山 316200;3.舟山海山机械密封材料股份有限公司,浙江 岱山 316200)

摘 要:文中基于智能配电网中分布式储能的布局优化,系统地研究了布局优化方法与技术方案。通过建立基于电网规划、能源需求和经济性的布局优化模型,结合储能设备选型、容量与位置优化配置以及系统运行控制策略,实现了对分布式储能在智能配电网中的合理配置;通过案例分析,验证了优化方案的有效性和可行性。通过文中的研究,为智能配电网中分布式储能的布局优化提供了理论指导和实践参考。

关键词:智能配电网;分布式储能;布局优化;控制策略

中图分类号:TM 714 **文献标志码:**B **文章编号:**1006-348X(2025)01-0063-04

0 引言

随着能源需求的不断增长和可再生能源产业的快速发展,智能配电网已成为电力系统发展的重要方向之一。智能配电网通过引入信息通信技术和先进的电力电子设备,实现了对电力系统的智能化、高效化和可靠化管理,为电力系统的安全稳定运行提供了新的解决方案。在智能配电网的发展过程中,分布式储能技术作为一种重要的能量存储手段,具有调节电力负荷、提高电网供电可靠性、促进新能源的接入等诸多优势,受到广泛关注。文中旨在探究智能配电网中分布式储能布局优化配置的相关问题,以提高电网的稳定性和经济性,推动智能电网技术的应用与发展。

1 智能配电网与分布式储能技术概述

1.1 智能配电网的定义与特点

智能配电网是一种基于信息通信技术和智能化控制策略的电力系统,具有高度自动化、智能化和互联互通的能力。智能配电网通过实时监测、控制和调度电力系统中的各个环节,能够实现对电力生产、传

输、分配和使用的智能化管理和优化。智能配电网能够将传统的单向输电模式转变为双向能量交互,使得电力系统更加灵活可靠,能够更好地适应复杂多变的电力需求和供给情况,促进清洁能源的大规模应用和电力系统的可持续发展。

1.2 分布式储能技术的基本原理与分类

分布式储能技术作为智能配电网中的重要组成部分,主要是通过将储能设备分布在电网各个节点,以实现电力的灵活储存和释放。分布式储能技术主要分为电化学储能、机械储能和热能储能等几种形式。电化学储能主要采用电池等装置将电能转化为化学能进行存储,包括锂离子电池、铅酸电池等装置。机械储能则利用动能或势能进行能量存储,如压缩空气储能、重力储能等方式。热能储能是将电能转化为热能进行储存,如水蓄热、熔融盐储热等方式^[1]。

2 分布式储能布局优化方法

2.1 基于电网规划的布局优化模型

基于电网规划的布局优化模型旨在通过对电网结构和负荷特征的分析,确定最佳的分布式储能设备的布局方案,以实现电网的有效运行和能源管理。该

收稿日期:2024-09-15

作者简介:路巧玲(1988),女,大学本科,工程师,主要研究电力电子技术、智能电网。

模型考虑了电网的结构特点,包括线路拓扑、负载分布、电压水平等,再通过数学建模和优化算法,确定最佳的储能设备配置方案,以实现最小化电网运行成本或最大化电网运行效益。

模型中的基本变量包括电网结构参数、负载特征参数和储能设备参数。假设电网包含 N 个节点和 L 条线路,其中节点 i 的负载为 P_i ,线路 l 的电流为 I_l ,储能设备 j 的容量为 E_j ,充放电功率为 P_{ij}^{ch} 和 P_{ij}^{dis} 。设 x_{ij} 为储能设备 j 是否连接到节点 i 的二进制决策变量。则优化目标可定义为:

$$\min C = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M c_{ij} \cdot x_{ij} \quad (1)$$

式中: c_{ij} 为储能设备 j 连接到节点 i 的成本系数。基于以上模型,可以利用线性规划、整数规划、混合整数线性规划等优化算法,求解得到最优的储能设备布局方案^[2-4]。

2.2 基于能源需求的布局优化模型

基于能源需求的布局优化模型根据用户的能源需求模式和电力系统的运行特点,通过优化分布式储能的位置和容量配置,以实现能源需求的灵活调节和电力系统的平衡运行。通过对用户的能源需求进行建模分析,包括对用户用电模式、负荷曲线、能源消耗特点等进行详细分析和统计,确定用户在不同时间段的能源需求量和需求特点;对分布式储能技术的特性进行研究,主要包括不同类型储能设备的充放电效率、容量、响应时间等技术指标,以及在不同场景下的适用性和性能表现;基于以上建模分析,可以建立优化目标函数,通常是 minimized 系统总成本或 maximized 系统效益,包括考虑到储能设备的成本、运行损耗、电网运行效率等因素,以及满足用户能源需求和电力系统稳定运行的约束条件;考虑到各种约束条件,如储能设备的安装位置、技术参数限制、电网容量限制等。这些约束条件旨在保证系统的安全稳定运行和储能设备的合理利用。基于建立的优化模型和目标函数,采用合适的优化算法进行求解;常用的优化算法包括线性规划、整数规划、遗传算法、模拟退火算法等,以找到最优的分布式储能布局方案。

基于能源需求的布局优化模型的数学表达通常可以用以下公式表示:

$$\min \sum_{i=1}^n C_i E_i \quad (2)$$

$$\text{s.t.} \sum_{i=1}^n P_i \leq P_{\max} \quad (3)$$

$$E_{\min} \leq E_i \leq E_{\max} \quad (4)$$

$$P_i \geq 0, i = 1, 2, \dots, n \quad (5)$$

式中: C_i 表示第 i 个储能设备的成本; E_i 表示第 i 个储能设备的储能量; P_i 表示第 i 个储能设备的功率; $P_{\max}$ 表示电网的最大功率容量; $E_{\min}$ 和 $E_{\max}$ 分别表示储能设备的最小和最大储能量。公式中的约束条件确保了系统的安全稳定运行和储能设备的合理利用。

2.3 基于经济性的布局优化模型

基于经济性的布局优化模型通过考虑成本因素,优化分布式储能设备的布局 and 配置,以最大程度地降低系统运行成本,提高能源利用效率。模型需要先对电力系统运行的各项成本进行详细分析,如电力购买成本、峰谷差价成本、储能设备的投资成本、运维成本等;通过成本分析,可以全面了解各种成本对系统运行的影响程度,为后续的优化提供依据;基于成本分析结果,建立经济性优化的目标函数,通常优化目标是 minimized 系统总成本,其中包括电力购买成本、储能设备投资成本、运维成本等。优化目标函数的建立需要考虑到各项成本之间的相互影响和权衡,以及系统运行的稳定性和可靠性。在建立优化模型时,需要考虑到各种约束条件,如电网容量限制、储能设备的技术参数限制、运行安全约束等。这些约束条件是保证系统运行稳定和储能设备安全的关键因素。基于建立的优化模型和目标函数,采用合适的优化算法进行求解,常用的优化算法包括线性规划、整数规划、遗传算法、粒子群算法等。通过优化算法,可以找到最优的分布式储能布局方案,使系统总成本达到最小化^[4-6]。

基于经济性的布局优化模型的数学表达通常可以用以下形式表示:

$$\min \sum_{i=1}^n C_i E_i + \sum_{j=1}^m I_j \cdot N_j \quad (6)$$

$$\text{s.t.} \sum_{i=1}^n P_i \leq P_{\max} \quad (7)$$

$$E_{\min} \leq E_i \leq E_{\max} \quad (8)$$

$$P_i \geq 0, i = 1, 2, \dots, n \quad (9)$$

$$N_j \geq 0, j = 1, 2, \dots, n \quad (10)$$

式中: I_j 表示第 j 类储能设备的投资成本; N_j 表示第 j 类储能设备的数量。公式中的约束条件确保了系统的安全稳定运行和储能设备的合理利用。

3 分布式储能配置技术方案

3.1 储能设备选型与配置

储能设备的选型与配置是分布式储能技术方案中的核心环节,涉及多个技术参数的权衡与决策。根据应用场景的需求确定储能设备的类型,如锂离子电池、铅酸电池、超级电容器等。每种类型都有其独特的性能特点,如能量密度、功率密度、循环寿命和成本等。例如,锂离子电池具有高能量密度和长循环寿命,适用于需要长时间储能和快速充放电的场景。根据系统的能量需求和功率需求来确定储能设备的容量和数量。通过对系统的负载特性进行深入分析,包括负载的峰值、平均值、波动范围等,通过合理的容量和数量配置,可以确保储能设备在满足系统需求的同时,达到最佳的经济性。同时,还需要考虑储能设备的并联与串联组合方式。并联可以增加系统的容量,提高系统的供电能力;串联则可以增加系统的电压等级,满足高电压应用的需求^[7-8]。合理的组合方式,可以实现储能设备的优化配置,提高系统的整体性能。在选型与配置过程中,还需要考虑储能设备的安全性和可靠性,如设备的过充、过放、过流、短路等保护功能,以及设备的散热、防火、防爆等安全措施。选择具有良好安全性能和稳定性的设备,可以确保分布式储能系统的长期稳定运行。

3.2 储能容量与位置优化配置

储能容量与位置优化配置是分布式储能技术方案中的关键环节,涉及对电网结构、负载特性以及储能技术特性的深入理解与综合考量。分析电网的拓扑结构,识别关键节点和薄弱环节,确定储能系统接入电网的最佳位置,有助于最大化储能系统的效用,提升电网的供电可靠性和稳定性。对负载特性进行深入研究,包括负载的峰值、平均值、波动性以及时空分布等,可以精确预测储能系统的能量需求和功率需求,从而确定合理的储能容量。同时,考虑到不同时段和季节的负载变化,需要对储能容量进行动态调整和优化。在储能容量的优化配置中,还需综合考虑储能技术的特性,如能量密度、功率密度、充放电效率、循环寿命等。不同技术类型的储能设备具有不同的性能优势和适用场景,需要根据实际需

求选择合适的储能技术。例如,对于需要快速响应的场景,可选择具有高功率密度的储能技术;对于需要长时间储能的场景,则应选择具有高能量密度的储能技术。

3.3 储能系统运行控制策略

储能系统运行控制策略是确保分布式储能系统高效、安全和可靠运行的关键,具体的运行控制流程如图1所示。运行控制策略应实时监控电网的运行状态,包括电压、电流、频率等关键参数。当电网出现波动或故障时,储能系统需要迅速响应,通过充放电操作来平衡电网的供需关系,维持电网的稳定运行。系统需要实时监测储能设备的荷电状态(SOC)、温度、健康状态等关键指标,确保设备在安全范围内运行。当设备出现故障或性能下降时,系统应及时采取措施,如切换备用设备、调整运行参数等,防止设备损坏或影响整个系统的运行。系统应根据负载的实时需求,智能调整储能设备的充放电功率和容量,以满足负载的峰值和平均需求。同时,通过预测负载的未来需求,系统可以提前进行储能设备的充放电操作,实现能量的优化调度和管理^[9-11]。根据不同的管理目标,如降低成本、提高可再生能源利用率、减少碳排放等,系统需要灵活调整储能设备的运行策略。例如,在可再生能源发电高峰时段,系统可以通过储能设备吸收多余的电能,降低弃风、弃光等现象的发生;在负荷高峰时段,则可以释放储能设备的电能,缓解电网供电压力。

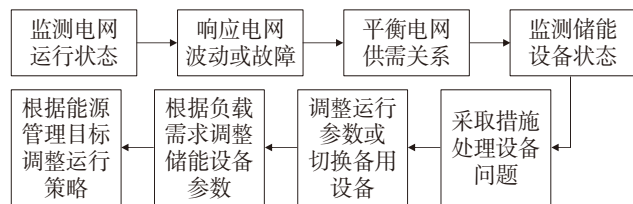


图1 储能系统运行控制流程

4 智能配电网中分布式储能布局优化案例分析

4.1 某智能配电网项目的优化实践

在某智能配电网项目中,针对日益增长的电力需求和电力系统的运行稳定性问题,进行了分布式储能布局优化实践。项目团队对配电网的负荷特性进行了深入分析,发现在高峰时段存在较大的负荷波动和

功率峰值,而传统的电力系统无法有效应对这种负荷波动。基于此,团队决定引入分布式储能技术,以提高系统的负荷调节能力和供电稳定性。在储能设备选型与配置阶段,团队选择了适用于该配电网的锂离子电池储能设备,并根据系统的负荷特性和电网结构,确定了储能设备的总体容量和分布式配置方案。通过对电力系统负荷分布和峰谷特性的分析,团队合理确定了储能设备的容量大小和分布位置,以实现系统负荷的平滑调节和供电峰谷削平。同时,为了优化储能设备的运行效率和降低系统运行成本,团队还设计了储能系统的运行控制策略,包括充放电控制、优化调度等。

4.2 优化效果分析

根据表 1 所示的优化效果数据,可以清晰地观察到智能配电网中分布式储能布局优化的显著效果。在早晚高峰时段,电网负荷波动幅度分别下降至 15% 和 12%,而储能系统的利用率则分别提高到了 80% 和 85%。而在非高峰时段,电网负荷波动幅度更是降至 8%,同时储能系统的利用率达到了 70%。这些数据表明,通过优化分布式储能布局,智能配电网的电网负荷波动幅度得到了有效控制,储能系统的利用率得到了提高,进而提升了系统的供电稳定性和运行效率。

表 1 优化效果

时间段	电网负荷波动幅度	储能系统利用率
早高峰	15	80
晚高峰	12	85
非高峰时段	8	70

5 结语

文中深入探讨了智能配电网中,基于不同原则和模型的布局优化方法,提出了相应的储能配置技术方

案。通过案例分析,验证了这些优化方法的有效性,并展示了优化效果。文中研究成果为智能配电网的设计和运行提供了重要的理论指导和实践经验,有助于提高电网的可靠性、经济性和可持续性,推动智能配电网的发展。未来,将继续深入研究,不断完善智能配电网中分布式储能布局优化配置的理论和方法,为构建更加智能、高效的能源系统贡献力量。

参考文献:

[1] 杜剑峰,朱明媛,庄镇宇.智能配电网中分布式储能布局优化配置分析[J].现代工业经济和信息化,2022,12(10):268-270.

[2] 任锐焕.智能配电网中分布式储能布局优化配置研究[J].电气应用,2021,40(4):31-35.

[3] 韩中合,马立,段宇轩,等.基于多元储能的分布式能源系统优化调度方法研究[J].动力工程学报,2024,44(2):317-327.

[4] 邵明纯,栗荣超,陈传琦,等.基于分布式电源的配电网分区储能优化研究[J].自动化应用,2023,64(22):202-204.

[5] 席庆雁.微电网分布式储能系统的优化探究[J].电气技术与经济,2023(5):117-118+121.

[6] 唐文左,梁文举,崔荣,等.配电网中分布式储能系统的优化配置方法[J].电力建设,2015,36(4):38-45.

[7] 杜剑峰,朱明媛,庄镇宇.智能配电网中分布式储能布局优化配置分析[J].现代工业经济和信息化,2022,12(10):268-270.

[8] 崔弘.智能电网中分布式电源的优化配置[J].电气应用,2013,32(4):17-18.

[9] 任锐焕.智能配电网中分布式储能布局优化配置研究[J].电气应用,2021,40(4):31-35.

[10] 顾洁,王承民,冯小珊.含分布式电源的配电网中混合储能优化配置[J].浙江电力,2020,39(2):71-76.

[11] 陈徽,刘世林,汝改革.配电网中分布式储能系统的优化配置[J].四川理工学院学报(自然科学版),2018,31(6):39-45.