

风电光伏储能混合系统的能量管理与优化调度

范仲昊 李玫润 陶凌玥 赵倍晨 王历洋
华能(甘肃)新能源有限公司 甘肃 兰州 730000

摘要: 风电光伏储能混合系统通过整合风力发电、光伏发电与储能技术,实现了清洁能源的高效利用。本文聚焦其能量管理与优化调度,旨在提出科学的调控策略,以降低风险因素,提升系统稳定性。通过对储能容量的合理配置、充放电策略的优化以及多源协调机制的建立,本文探讨了如何提高系统经济效益、平滑输出功率波动,并促进风能和太阳能的最大化利用。

关键词: 风电光伏储能混合系统; 能量管理; 优化调度

引言: 在全球能源转型的大背景下,风电光伏储能混合系统因其清洁、高效、可持续的特点,成为推动能源结构优化的重要力量。然而,该系统的能量管理面临诸多挑战,如可再生能源的间歇性与不稳定性、电网互动的复杂性等。本文深入探索混合系统的能量管理与优化调度策略,旨在通过智能算法和技术创新,提升系统效能,保障电网稳定,促进清洁能源的广泛应用与可持续发展。

1 风电光伏储能混合系统概述

1.1 系统组成与工作原理

(1) 风电、光伏发电系统的基本原理。风电系统利用风力发电机将风能转换为电能。风力发电机通过风轮捕捉风的动能,并将其转化为机械能,再通过发电机将机械能转化为电能。这一过程无需消耗化石燃料,是一种清洁、可再生的能源利用方式。光伏发电系统则利用太阳能电池板将太阳光能转化为电能。太阳能电池板基于光生伏特效应,直接将太阳光能转换为电能,同样具有高效、清洁和可持续的优势。(2) 储能系统的类型与功能。储能系统是风电光伏储能混合系统的关键组成部分,用于存储发电过程中产生的过剩电能,并在需要时释放。目前,常用的储能技术包括铅酸蓄电池、锂电池、液流电池和超级电容器等。铅酸蓄电池技术成熟、成本低,但循环寿命相对较短;锂电池具有高能量密度、长循环寿命和高效率等优点,但成本相对较高。储能系统的功能在于平滑电力输出曲线,解决可再生能源发电的间歇性和不稳定性问题,提升系统的整体效率和供电稳定性^[1]。(3) 混合系统的整体架构及能量流动路径。风电光伏储能混合系统主要由风力发电模块、光伏发电模块、储能模块和控制系统四个部分组成。风力发电模块和光伏发电模块分别负责将风能和太阳能转化为电能,储能模块负责存储多余电能并在需要时释放,

控制系统则负责协调各模块的工作,确保系统的整体运行可靠。能量流动路径方面,风力发电和光伏发电产生的电能首先满足负载需求,多余部分则存储于储能系统中;当负载需求增加或可再生能源供应不足时,储能系统释放电能以满足需求。

1.2 系统的优缺点分析

1.2.1 优点

(1) 清洁能源利用

风电和光伏发电均利用可再生能源,显著减少了对化石燃料的依赖,降低了碳排放和温室气体排放,有助于应对气候变化和推动可持续发展。

(2) 供电稳定性提升

储能系统的引入有效解决了可再生能源发电的间歇性和不稳定性问题,提升了供电的稳定性和可靠性。

(3) 经济效益

通过优化能源管理和降低运营成本,混合系统在某些场景下具有显著的经济效益,特别是在偏远地区或无法接入主电网的地方,可以构建微电网,降低对外部电网的依赖和能源成本。

1.2.2 缺点

(1) 成本问题

尽管风电和光伏发电成本不断下降,但储能系统的成本仍然较高,导致整体系统投资较大。此外,系统设计与施工安装、配套设备及运维成本等也是不可忽视的开支。

(2) 技术复杂性

混合系统涉及多种能源形式和技术的整合,技术复杂性较高。系统调控面临多元化发展需求,出力决策与分配难度大。

(3) 资源波动性

尽管储能系统可以平滑电力输出曲线,但风能和太

阳能的供应仍受天气和地理位置等因素的影响,存在波动性。这可能会对系统的稳定运行和供电可靠性造成一定影响。

2 风电光伏储能混合系统的能量管理策略

2.1 能量预测与评估

2.1.1 风电、光伏发电的出力预测方法。

风力发电和光伏发电的出力预测是实现混合系统高效能量管理的基础。常用的预测方法包括数值模拟和卫星遥感等。数值模拟基于气象数据(如风速、风向、太阳辐射强度等)和物理模型,通过计算预测未来一段时间内的能源产出。这种方法具有较高的准确性,但需要大量的计算资源和精确的模型参数。卫星遥感技术则通过监测地球表面的辐射和反射情况,间接推算出太阳辐射强度和云层变化,从而预测光伏发电的潜力。这种方法适用于大尺度区域,能够快速获取数据,但在局部地区的预测精度可能受限。为了提高预测精度,研究者们还开发了多种机器学习和人工智能技术,如支持向量机、神经网络等,这些技术能够从历史数据中学习规律,自适应地调整预测模型,以应对复杂多变的天气条件^[2]。

2.1.2 储能系统容量的确定与评估

储能系统的容量设计是混合系统能量管理的关键。容量过小可能导致储能无法满足系统需求,容量过大则会增加不必要的成本。因此,确定合理的储能容量需要在保证系统稳定运行的前提下,综合考虑经济性、可靠性和能源效率。评估储能系统容量的方法通常包括基于历史数据的统计分析和基于模拟的优化方法。统计分析方法通过分析历史能源产出和负荷数据,确定储能系统需要满足的最大充放电需求和持续时间。优化方法则通过建立包含储能成本、维护费用、能源损失等多个目标的优化模型,采用遗传算法、粒子群算法等智能优化算法求解最优储能容量配置。

2.2 控制策略与优化算法

2.2.1 基于预测结果的实时控制策略

基于风力发电和光伏发电的预测结果,可以设计实时控制策略来优化混合系统的运行。这些策略包括功率平滑控制、负荷跟踪控制和紧急备用控制等。功率平滑控制旨在减少可再生能源发电的波动性,通过调整储能系统的充放电功率,使混合系统的输出更加稳定。负荷跟踪控制则根据负荷需求实时调整各发电单元的输出,确保系统在满足负荷需求的同时,最大化可再生能源的利用率。紧急备用控制则在系统出现故障或能源供应不足时,快速启动储能系统或备用电源,保障系统安全运行。

2.2.2 优化算法应用

为了实现混合系统的高效运行,优化算法被广泛应用于能量管理策略的制定中。遗传算法和粒子群算法是两种常用的智能优化算法。遗传算法模拟了自然选择和遗传机制的原理,通过迭代搜索寻找最优解。粒子群算法则模仿鸟群觅食的行为,通过粒子间的信息共享和协作,快速收敛到最优解。这些算法在求解包含多个目标和约束条件的复杂优化问题时表现出色,能够有效降低系统成本,提高能源效率。

2.3 并网与孤岛模式下的能量管理

2.3.1 并网模式下的能量调度与电网互动

在并网模式下,混合系统需要与电网进行互动,实现能量的双向流动。能量调度策略应充分考虑电网的运行状态和负荷需求,通过调整各发电单元的输出和储能系统的充放电策略,确保混合系统与电网的协同运行。同时,混合系统还可以作为电网的备用电源,在电网故障时提供紧急支持。为了实现这一目标,需要建立与电网的信息交互机制,实时获取电网状态和负荷信息,并制定相应的能量调度策略。

2.3.2 孤岛模式下的自给自足与稳定运行策略

在孤岛模式下,混合系统需要实现自给自足和稳定运行。由于失去了与电网的连接,混合系统必须依靠自身的发电和储能能力来满足负荷需求。为了实现这一目标,需要制定详细的负荷管理计划,优先保障关键负荷的供电^[3]。同时,通过调整各发电单元的出力比例和储能系统的充放电策略,确保系统在长时间内维持稳定的运行状态。此外,考虑到孤岛模式下可能出现的能源短缺情况,还需设计相应的应急响应机制,如启动备用电源或实施负荷削减策略,以保障系统的安全运行和关键负荷的连续供电。

3 风电光伏储能混合系统的优化调度方法

3.1 多时间尺度优化调度模型

多时间尺度优化调度模型是混合系统能量管理的重要组成部分,它考虑了不同时间尺度上的需求与资源变化,以实现更精细化的能量调度。(1)日前计划与实时调度相结合。日前计划是基于长期的气象预测和负荷需求预测,提前制定各发电单元的出力计划和储能系统的充放电策略。这一过程旨在最大化可再生能源的利用率,同时确保系统在预测期间的稳定运行。为了实现这一目标,可以采用混合整数线性规划(MILP)或非线性规划(NLP)等优化方法,考虑系统的运行约束和发电成本,制定出最优的日前计划。实时调度则是在日前计划的基础上,根据实时的气象数据和负荷变化对计划进行微调。这一过程旨在确保系统在实时运行中的稳定性

和经济性。为了实现实时调度的自动化和智能化,可以采用模型预测控制(MPC)等方法,通过滚动优化和反馈校正,实现对系统状态的实时跟踪和最优控制。(2)考虑不同时间尺度的需求与资源变化。在多时间尺度优化调度模型中,需要考虑不同时间尺度上的需求与资源变化。例如,在日前计划中,可以重点考虑日内的负荷需求和可再生能源发电的预测情况;而在实时调度中,则需要关注更短时间尺度内的负荷波动和气象变化。为了更好地适应这些变化,可以采用分层优化策略。将系统的优化问题分解为不同时间尺度上的子问题,分别进行求解,并通过协调层实现各子问题之间的最优协调。这种方法可以降低问题的复杂度,提高求解效率,同时确保系统在不同时间尺度上的稳定性和经济性。

3.2 不确定性与风险处理

风电和光伏发电的出力不确定性是混合系统优化调度面临的主要挑战之一。为了有效应对这些不确定性,需要采用合适的建模和应对策略。(1)风电、光伏发电出力不确定性的建模与应对。对于风电和光伏发电的出力不确定性,可以采用概率模型、区间模型或模糊模型等方法进行建模。这些方法能够描述出力的不确定性范围和概率分布,为优化调度提供决策支持。在应对不确定性方面,可以采用鲁棒优化、随机优化或模糊优化等方法。鲁棒优化旨在寻找在所有可能情况下均能满足系统约束的调度策略;随机优化则通过模拟不确定性的多种实现情况,寻找期望最优的调度策略;模糊优化则利用模糊集合理论处理不确定性,寻找满足一定模糊满意度水平的调度策略^[4]。(2)储能系统充放电策略的优化以降低风险。储能系统在混合系统中的作用不仅在于平滑能源输出和提供备用电源,还在于降低由不确定性带来的风险。通过优化储能系统的充放电策略,可以在保证系统稳定运行的同时,最大化可再生能源的利用率和经济效益。为了实现这一目标,可以采用自适应控制或预测控制等方法。自适应控制根据实时的系统状态和出力预测结果,动态调整储能系统的充放电功率;预测控制则通过预测未来的能源需求和供应情况,制定出最优的储能系统充放电计划。这些方法能够充分考虑不确定性的影响,实现储能系统的高效利用和风险控制。

3.3 经济性与环保性分析

经济性与环保性是评估混合系统优化调度方案优劣的重要指标。通过综合考虑成本效益分析和碳排放减少等目标,可以制定出更加符合实际需求和可持续发展要

求的调度策略。(1)考虑成本效益分析、碳排放减少等目标。成本效益分析是评估混合系统优化调度方案经济性的关键。这包括考虑发电成本、储能成本、设备维护成本以及可能的补贴和税收优惠等因素。通过构建成本函数,可以量化不同调度策略下的经济成本,从而选择出最具经济效益的调度方案。碳排放减少是评估混合系统优化调度方案环保性的重要指标。由于风电和光伏发电是清洁能源,它们的利用能够显著降低系统的碳排放。因此,在优化调度过程中,应优先考虑可再生能源的发电,以最大化碳排放的减少。同时,还可以通过引入碳排放权交易等市场机制,将碳排放成本纳入成本函数,从而进一步推动清洁能源的利用和碳排放的减少。

(2)优化调度方案的综合评估与比较。在制定和优化混合系统的调度方案时,需要进行综合评估与比较。这包括对不同调度策略下的经济性、环保性、稳定性和可靠性等指标进行量化分析,以及考虑用户的用电需求和满意度等因素。为了进行综合评估,可以采用多目标优化方法。这些方法能够同时考虑多个目标和约束条件,通过求解帕累托最优解集,找出满足不同目标和约束条件的调度策略。然后,可以采用模糊评价、灰色评价或数据包络分析等方法,对帕累托最优解集进行排序和选择,以确定最优的调度方案。

结束语

综上所述,风电光伏储能混合系统的能量管理与优化调度是实现清洁能源高效利用、保障电网稳定运行的关键。通过综合运用先进的预测技术、智能优化算法以及精细化的能量管理策略,我们不仅能有效提升系统的经济性和可靠性,还能为应对全球气候变化、推动能源结构转型做出重要贡献。未来,随着技术的不断进步和成本的进一步降低,混合系统将在能源领域发挥更加重要的作用。

参考文献

- [1]张墨晗.储能技术在新能源电力系统中的应用[J].光源与照明,2023,(11):119-120.
- [2]徐华利.储能技术在新能源电力系统中的应用[J].电力设备管理,2023,(13):126-128.
- [3]张永明.风电光伏并网储能容量优化配置方法[J].自动化应用,2023,(07):72-73.
- [4]段树勋.面向分布式风电光伏的储能容量优化配置方法研究[J].自动化应用,2023,(09):68-70.