

Analysis of the Power Quantity Balance Calculation Technology in the New Power System

Xiaolong Wang

SDIC Yunnan New Energy Co., Ltd., Kunming, Yunnan, 650000, China

Abstract

With the development of new power system, especially the increasing proportion of new energy in the power system, the calculation of power balance is facing new challenges and demands. The power balance of electricity ensures that the supply and demand balance of power and quantity in the power system is the basis of realizing the efficient and safe operation of the power system, and its computing technology is particularly important in the new power system. The key technologies of power balance calculation in the new power system include the construction of resource model, the application of simulation technology and the development of optimization algorithm. This paper analyzes the main challenges of power balance calculation technology, including the uncertainty and volatility of new energy and the new demand for scheduling strategies and control algorithms.

Keywords

new power system; resource mode; simulation technology

新型电力系统电力电量平衡计算技术分析

王小龙

国投云南新能源有限公司, 中国·云南昆明 650000

摘要

随着新型电力系统的发展,特别是新能源在电力系统中占比的不断增加,电力电量平衡计算面临着新的挑战和需求。电力电量平衡确保了电力系统中电力和电量的供需平衡是实现电力系统高效、安全运行的基础,其计算技术在新型电力系统中尤为重要。新型电力系统中电力电量平衡计算的关键技术包括资源模型的构建、仿真技术的应用以及优化算法的开发。分析了电力电量平衡计算技术面临的主要挑战,包括新能源的不确定性和波动性以及调度策略和控制算法的新需求。

关键词

新型电力系统; 资源模型; 仿真技术

1 引言

电力电量平衡作为确保电力系统稳定运行的基础,其计算技术在新型电力系统中尤为重要,面对新能源的高度不确定性和波动性,传统的电力电量平衡计算方法需要适应性的改进和优化。随着技术的发展,如何融合先进技术以提升电力电量平衡计算的效率和准确性成为当前研究的热点。分析聚焦于新型电力系统中电力电量平衡计算的关键技术和挑战,旨在为电力系统的可持续发展提供理论支持和技术指导。

2 新型电力系统电力电量平衡概念与挑战

2.1 电力电量平衡的基本概念

电力电量平衡是确保电力系统中电力供应与需求在任

何时刻都能保持平衡的过程,关键在于匹配发电量与负荷需求并确保系统稳定运行。在新型电力系统中,这一概念不仅涵盖了传统的火电、水电等稳定电源,也包括了风电、光伏等新能源发电方式,以及电池储能、抽水蓄能等储能技术。电力电量平衡计算的核心在于通过对各种能源的精确模拟和优化,实现在不同时间尺度(如实时、短期、中期和长期)上的供需平衡。这要求系统能够准确预测负荷需求和各类电源的发电量,考虑电网的传输能力和系统的可靠性要求。随着新能源的快速发展,其间歇性和不确定性对电力电量平衡计算提出了更高的要求,这不仅需要更精确的预测技术,也需要更灵活的运行和调度策略。此外,储能技术的引入为缓解新能源的波动性提供了新的解决方案,但同时也带来了电力电量平衡计算方法和模型的更新需求(见图1)。

【作者简介】王小龙(1990-),男,中国云南宣威人,硕士,工程师,从事新型电力系统、电力工程研究。



图1 新型电力系统

2.2 新型电力系统面临的挑战

新型电力系统的发展特别是在提升可再生能源比例方面面临复杂挑战，其中新能源如风能和太阳能的不确定性及其对天气条件的高度依赖造成了预测难度，其输出波动性可达到40%~60%，这直接影响了电力电量平衡的有效实现，并对系统的负荷匹配及长期规划产生深远影响。新能源项目的地理分散性要求电网增强传输能力以覆盖发电点与负荷中心之间的距离，这可能导致电网升级成本增加10%~20%。随着新能源占比的上升，传统依靠大型火力发电机组的调峰手段变得不再足够，系统调节能力的不足需要通过引入灵活资源如储能设施和需求侧响应等方式得到补充，这些灵活性资源的部署和运用则需要依赖于更为复杂的计算模型和提升效率5%~15%的优化算法。电力市场的演变同样提出新要求，市场价格信号的变动要求电力电量平衡能够动态适应，以实现成本效益最大化。应对新型电力系统挑战，需要在技术创新（如开发更精确的天气预测模型降低预测误差至10%以下）、管理调整及政策制定等多方面进行同步推进，保障电力系统的稳定和经济运行，确保能源转型的成功实施^[1]。

3 电力电量平衡计算的关键技术

3.1 资源模型的构建

在新型电力系统的发展过程中，建立精细化的资源模型成为确保电力电量平衡与系统优化的基石。这些模型覆盖了从传统能源如火电（效率约40%~60%）、水电（转换效率高达90%）到新能源如风电（容量因子20%~40%）、太阳能（容量因子15%~25%）的广泛发电方式，以及电池储能（循环效率90%~95%）、抽水蓄能（总效率70%~85%）等储能技术。精确的模型不仅需映射出发电能力和可调度性，还要细致描述启动与停机时间、经济成本与环境影响等多维度特性。例如，对于风电和太阳能，必须详尽考量风速变化（ $\pm 3\text{m/s}$ ）和日照强度（ $\pm 200\text{W/m}^2$ ）的波动对发电效率的实时影响，储能技术模型需涵盖充放电效率与能量损耗，确保能量管理的最优化。经济性分析更是离不开对运维成本的精准预估，如风电场的年平均维护成本约为总投资的

1%~3%，太阳能则为0.5%~1%。近年来引入机器学习算法对模型参数进行优化已成趋势，通过历史数据学习可以将预测误差降低至5%~10%以下，显著提升模型的适用性和准确度。

3.2 仿真技术的应用

仿真技术在新型电力系统的电力电量平衡计算中扮演着至关重要的角色。通过模拟电力系统的运行，仿真技术能够预测在不同条件下系统的行为，包括负荷变化、新能源输出波动和系统故障等情况。这种技术依赖于复杂的数学模型来模拟电网的物理和工程特性，以及各类电源和负载的动态交互。高级仿真平台可以集成多种仿真模式，如静态仿真、动态仿真和蒙特卡洛仿真，每种模式针对不同的分析目的和时间尺度。静态仿真关注于电力系统的稳态行为，如负荷分配和电压稳定性分析；动态仿真则模拟系统对扰动的响应，如故障后电力系统的动态稳定性；而蒙特卡洛仿真通过随机抽样技术评估系统运行的不确定性和可靠性。以表1展示了不同仿真技术在电力系统分析中的应用目标、对系统功率的提升以及在新能源发电量预测中的误差范围。

表1 不同仿真技术在电力系统分析中的应用

仿真类型	目标	成功率提升	预测误差
静态仿真	电压稳定性分析	10%	不存在
动态仿真	系统恢复过程分析	5%~10%	不存在
蒙特卡洛仿真	新能源发电量波动评估	不存在	$\pm 3\%$

3.3 优化算法的开发

优化算法旨在寻找最优或近似最优的解决方案，以实现电力系统资源的高效配置和运行。考虑到新型电力系统的复杂性，特别是新能源的不确定性和波动性，以及电网的大规模互联，传统的线性规划（LP）和非线性规划（NLP）方法往往难以直接应用或在合理的时间内获得解决方案。因此引入高级优化算法，包括遗传算法（GA）、粒子群优化（PSO）和模拟退火（SA）等启发式和元启发式算法，成为电力电量平衡计算的趋势。例如遗传算法通过模拟自然选择和遗传机制来优化问题解决方案，已被证明在处理复杂系统优化问题时特别有效。在某些实例中，GA能在数百个可能的系统状态中，通过迭代进化找到满足约束条件的最优解或近似解，在电力系统调度问题中，GA的应用可以降低约5%~10%的运行成本。粒子群优化算法，借鉴鸟群捕食行为的社会心理原理，通过粒子间的信息共享来寻找全局最优解，在电力电量平衡问题中PSO被用于优化发电计划，能够在保证系统稳定性的前提下有效减少运行成本约8%。模拟退火算法启发于固体退火过程，通过逐渐减小搜索空间来逼近全局最优解，在配电网的优化中SA算法能够提升电力分配的效率减少能量损耗约3%~5%。这些高级优化算法不仅提高了电力电量平衡计算的准确性和效率，也使得电力系统规划和运行更加灵活和经济^[2]。

4 电力电量平衡技术的发展方向

4.1 提高模型的精度与适应性

随着新能源比例的增加，系统的不确定性和复杂性也随之增长，这就要求模型不仅要准确反映各种资源的物理和经济特性，还需要具备良好的适应性以应对快速变化的系统条件。例如考虑到风电和太阳能的输出高度依赖于天气条件，采用基于数据驱动模型，如深度学习算法可以显著提高新能源输出预测的准确性。利用深度学习算法的风电预测模型相比传统模型，其预测误差可降低约20%~30%。系统运营商可以根据不同的可靠性要求和经济考虑，动态调整备用容量以实现成本与可靠性之间的最佳平衡。随着电力市场的发展和需求响应技术的应用，需求侧资源（如可调度负荷和分布式能源资源）的参与为电力电量平衡提供了新的解决方案。

4.2 优化调度策略与控制算法

利用前沿的数学优化和控制理论，实现电力系统的实时或近实时优化调度，已成为当前科研和工程界的一大挑战。基于实时市场价格的需求响应算法通过动态调整负荷消耗以适应电力市场和系统需求的变化，不仅能够降低运行成本，而且还能提高系统可靠性。实施此类策略可使系统运行成本降低5%~10%并显著提高系统的灵活性与稳定性，储能资源的优化调度同样至关重要，高效的算法能确定最佳的充放电时机和量，对于平衡负荷波动、增强新能源消纳能力以及提升经济效益具有重要意义。通过采用混合整数线性规划（MILP）等高级优化算法，结合储能系统和可再生能源的独特特性可以实现储能调度策略的优化以最大化成本效益。在实际案例分析中，合理的储能调度可以使系统运行成本降低约3%~7%，并提高系统对新能源的接纳能力。表2提供了实施这些优化策略和算法后的具体经济效益估计，展现了在降低成本、提高灵活性和稳定性方面的潜在改进^[3]。

表2 优化策略和算法后的经济效益

策略类型	成本降低	灵活性提升	稳定性增强
需求响应算法	5%~10%	显著	显著
储能优化调度	3%~7%	提高	提高

4.3 融合先进技术与跨领域应用

随着信息技术、人工智能（AI）、大数据分析和云计算等技术的快速发展，这些技术的集成应用为新型电力系统的电力电量平衡计算提供了新的解决方案。例如，人工智能和机器学习算法已被广泛应用于负荷预测和新能源发电预测中，通过分析历史数据和实时数据能够大幅提高预测的准确率。采用深度学习模型的负荷预测准确率可提高至95%以上，而传统的预测方法准确率通常在80%~90%。大数据分析技术能够处理和分析来自电力系统各个环节的海量数据为电力系统的运行与维护提供决策支持，通过数据驱动的方式优化电力电量平衡计算模型，提高系统运行的灵活性和经济性。云计算平台为电力系统提供了强大的计算资源，使得复杂的电力电量平衡计算和仿真分析成为可能，而且能够实现资源的按需分配和弹性伸缩，极大地降低了计算成本。采用云计算服务的电力系统仿真分析成本比传统的本地计算环境低30%~50%，物联网（IoT）技术的应用使得电力系统中的各种设备能够实现实时监控和通信，为电力电量平衡的实时计算和动态调整提供了技术基础。

5 结论

深入分析新型电力系统中电力电量平衡计算的关键技术、挑战及其发展方向，强调了提高资源模型精度、仿真技术应用、优化调度策略与控制算法的重要性，指出融合先进技术与跨领域应用的必要性以应对新能源高比例接入带来的挑战。这些研究不仅为新型电力系统的高效、可靠运行提供了理论支持和技术指导，也为实现电力系统的绿色转型和可持续发展提供了方向。

参考文献

- [1] 张沛. 电力系统中电量平衡计算方法分析[J]. 集成电路应用, 2023, 40(11): 52-53.
- [2] 陈典, 陆润钊, 张松涛, 等. 新型电力系统电力电量平衡计算分析技术综述[J]. 电网技术, 2023, 47(10): 3952-3970.
- [3] 任彬华, 冷迪. 基于柔性计算的新型电力系统电量平衡方法[J]. 电工技术, 2023(9): 29-31.