

# Analysis of distribution network planning and optimization operation strategy considering new energy access

Yang Yun

State Grid Aba Power Supply Company, Aba Prefecture, Sichuan, 624000, China

## Abstract

With the continuous expansion of new energy power generation, distribution networks are facing increasing operational pressure and planning challenges in accommodating intermittent sources such as wind and photovoltaic power. The volatility and uncertainty of new energy output have heightened the risks related to power quality, supply reliability, and economic operation of distribution networks, making it urgent to study rational planning and optimized operation strategies. Based on an analysis of the impact of new energy integration on distribution network operating characteristics, this paper constructs a multi-objective optimization-oriented planning model, with a particular focus on the coordinated constraints of supply reliability, energy balance, and operating cost. At the operational level, optimization strategies based on demand response and energy storage regulation are proposed to mitigate the fluctuations of new energy output.

## Keywords

new energy integration; distribution network planning; optimized operation; energy storage scheduling; demand response

# 考虑新能源接入的配电网规划与优化运行策略分析

杨云

国网阿坝供电公司, 中国·四川阿坝州 624000

## 摘要

随着新能源发电规模的不断扩大,配电网在承载风电、光伏等间歇性电源接入方面面临运行压力和规划挑战。新能源出力的波动性和不确定性增加了配电网电能质量、供电可靠性与经济运行的风险,迫切需要研究合理的配电网规划与优化运行策略。本文在梳理新能源接入对配电网运行特性影响的基础上,构建了以多目标优化为导向的配电网规划模型,重点考虑了供电可靠性、能量平衡与运行成本的协同约束。在运行层面,提出了基于需求响应与储能调节的优化策略,以缓解新能源出力波动。

## 关键词

新能源接入; 配电网规划; 优化运行; 储能调度; 需求响应

## 1 引言

近年来,新能源的快速发展对电力系统运行格局带来了深远影响。以光伏和风电为代表的分布式电源呈现并网容量快速增长的趋势,其在清洁能源替代与“双碳”战略背景下地位日益突出。然而,由于新能源具有随机性、波动性和间歇性的特点,大规模接入配电网后对电压稳定、线路潮流分布及供电可靠性带来严峻挑战。传统的配电网规划模式往往依赖负荷预测和确定性电源布局,难以满足新能源占比持续提升后的运行需求。配电网作为电力系统的重要末端环节,是新能源消纳与电能输送的关键平台。如何在满足可靠供电的前提下,兼顾新能源消纳、运行经济性与网络安全性,成为当前电力系统研究的核心问题。近年来,学界和工程界

提出了多种技术途径,包括储能优化配置、需求侧响应机制以及智能调度策略等,但如何将其系统化应用于配电网规划与运行优化仍需深入探讨。

## 2 新能源接入对配电网运行特性的影响

### 2.1 出力波动性对电能质量的冲击

新能源出力的波动性直接影响配电网的电压稳定与频率稳定。当光伏功率在1小时内波动幅度超过30%时,电压偏移可能导致局部母线电压偏离标称值5%以上,进而引发电能质量下降。风电机组在大风条件下的随机波动也会造成线路潮流频繁变化,增加无功功率调节压力。研究表明,当新能源出力波动率由10%提升至25%时,配电网电压合格率会由99.1%下降至94.7%,供电可靠性明显降低。这种电能质量问题需要在规划阶段通过配置无功补偿装置、选择合理接入点来缓解,在运行阶段通过储能与灵活调度实现动态平衡。

【作者简介】杨云(1975-),男,中国湖北荆门人,本科,高级工程师,从事电力系统及其自动化研究。

## 2.2 大规模接入对线路潮流与网架结构的影响

当新能源装机容量超过配电网总负荷的40%时，潮流反向与功率倒送现象愈加显著，造成线路过载和电流分布不均。以某典型城市配电网为例，当光伏渗透率从20%提升至50%时，线路平均负荷率上升了18%，部分支路超过额定容量的概率增至12%。此外，大规模新能源接入可能导致局部区域出现“电压升高”问题，尤其在轻负荷、强光照的夏季中午时段更加突出。若未采取相应措施，网架运行风险增加。因此，在规划中需要通过网架结构调整与线路加固来缓解风险，并结合运行策略实施潮流优化<sup>[1]</sup>。

## 3 配电网规划优化模型构建

### 3.1 多目标规划模型设计

在新能源接入条件下，配电网规划不仅要满足供电需求，还需兼顾新能源消纳、电能质量与经济性。本文构建的多目标规划模型包括三个核心目标：一是最小化网络损耗，通过潮流优化降低线路损耗率；二是最大化新能源消纳能力，保证光伏和风电出力尽可能并网；三是最小化运行成本，包括购电成本、设备投资与维护费用。模型采用加权法和法实现多目标综合，权重可根据不同地区规划需求进行调整。例如，在新能源占比较高的区域，新能源消纳权重设定为0.5，而在负荷增长较快的区域，经济性目标权重可提高至0.6。模型采用混合整数线性规划方法求解，兼顾精度与可计算性，为配电网规划提供理论依据。

### 3.2 模型约束条件构建

规划模型的有效性依赖于合理的约束条件设置。本文考虑以下主要约束：一是功率平衡约束，即任一节点的有功与无功功率必须保持平衡；二是电压约束，节点电压需控制在0.95–1.05 pu区间；三是线路容量约束，电流不得超过线路额定容量；四是新能源出力约束，根据风速与光照预测确定光伏与风电的功率上限；五是储能约束，充放电功率与容量需符合设备运行特性。通过这些约束条件，模型能够确保解的物理可行性与工程合理性。特别是在新能源出力波动剧烈时，储能系统的充放电约束对于维持电网运行安全至关重要。约束条件的建立为模型求解提供了现实基础，并保证优化结果具有应用价值。

### 3.3 算例参数与仿真分析

为验证模型的有效性，本文选取一个含有33个节点的典型城市配电网作为研究对象，接入新能源容量20 MW，其中光伏12 MW、风电8 MW，储能容量配置为5 MWh。采用MATPOWER平台进行潮流计算，结合历史负荷曲线和气象数据进行仿真。结果显示，在传统规划模式下，系统电能损耗率为7.8%，电压合格率为93.4%；采用本文模型优化后，电能损耗率下降至5.1%，电压合格率提升至97.9%，系统运行成本降低了13.5%。仿真结果表明，所构

建的模型能够有效提升配电网的运行效率与新能源消纳水平，为后续运行策略优化奠定了基础<sup>[2]</sup>。

## 4 配电网优化运行策略研究

### 4.1 储能系统在运行优化中的作用

储能系统作为新能源与电网之间的缓冲装置，在平抑功率波动和提升系统灵活性方面发挥着关键作用。其主要功能包括削峰填谷、应急供电和电能质量调节。以某典型配电网为例，配置5 MWh电池储能后，系统日负荷峰值下降了7.6%，谷段负荷上升了5.3%，负荷曲线趋于平滑。储能在新源高出力时段吸收多余电能，在低出力时段释放电能，实现功率动态平衡。此外，储能还能在电压偏离时提供快速无功支撑，提高节点电压合格率2%–3%。研究表明，若将储能容量提升至系统峰荷的15%，配电网的新能源消纳率可提升至96%以上，显著增强运行安全性与经济性。

### 4.2 需求响应机制的应用

需求响应通过引导用户调整用电行为来实现负荷侧调节，是配电网优化运行的重要手段。本文采用价格型需求响应与激励型需求响应相结合的方式，在高峰电价时段引导用户削减负荷，在低谷电价时段鼓励用户增加用电或储能充电。以某区域配电网为例，引入需求响应后，峰谷差由37%降至26%，系统峰值负荷降低9.1%。在夏季空调用电高峰时段，约有18%的用户参与负荷转移，使得负荷侧弹性显著增强。通过需求响应的灵活调节，不仅缓解了新源出力波动带来的电网冲击，还在一定程度上降低了电能采购成本，为优化运行提供了有效支撑。

### 4.3 多策略协同优化运行效果

储能与需求响应若单独应用，虽能改善系统运行指标，但其效果存在局限。本文提出两者协同的优化运行策略，即在储能调节基础上引入需求响应，实现源-网-荷-储一体化协调。仿真结果显示，在新能源渗透率为40%的条件下，单独应用储能可将新能源消纳率提升9.8%，单独应用需求响应提升7.4%；若两者协同，消纳率提升达到16.5%，运行成本下降18.2%。同时，线路过载概率由10.7%降至4.2%，电能损耗率由6.9%降至4.8%。结果表明，多策略协同不仅增强了系统调节能力，还实现了经济性与可靠性的双提升，详见表1。

表1 配电网优化运行策略对比结果

指标	未优化运行	储能优化	需求响应优化	协同优化
新能源消纳率(%)	82.6	92.4	90	96.1
电能损耗率(%)	6.9	5.6	5.9	4.8
峰值负荷(MW)	128	119	116	110
电压合格率(%)	94.1	96.3	95.8	98.2
运行成本(万元)	1850	1650	1680	1515

## 5 新能源接入下的配电网风险分析与防控措施

### 5.1 新能源波动性带来的运行风险

新能源尤其是光伏与风电的功率出力具有显著的间歇性与不确定性，这种特性在高比例接入配电网后容易引发运行风险。当晴天与阴天交替时，光伏出力在10分钟内的波动幅度可超过35%，直接造成配电网电压大幅上下波动。风电机组在风速突变的情况下，其功率曲线呈现明显的阶跃变化，易导致线路潮流失衡和系统频率波动。仿真结果表明，当新能源装机占比提升至40%以上时，节点电压越限的概率由传统电网的2.1%升至8.4%，严重影响电能质量。若缺乏储能与灵活调节手段，部分负荷节点可能频繁遭遇欠压或过压情况，继电保护误动概率也随之增加。更为严峻的是，极端天气如暴雨、大雪或台风同时影响光伏与风电时，配电网将面临电源不足与波动叠加的双重冲击。这种运行风险不仅削弱供电可靠性，还可能在高峰负荷时段引发区域性停电，因此必须在规划和运行层面强化风险识别与预防<sup>[4]</sup>。

### 5.2 电网结构与设备运行的安全风险

新能源接入还会对电网结构和设备运行带来新的安全隐患。随着光伏、风电分布式电源接入点逐渐增多，传统的单向潮流被双向潮流取代，部分线路出现功率倒送和负荷集中问题，导致导线过载与变压器温升。实际运行数据显示，当光伏渗透率由20%增加到50%时，线路的平均过载率增加15%，而变压器超载时间延长近1.5倍。与此同时，逆变器的大量接入改变了电网的电磁环境，引发谐波畸变、电磁干扰和电压波形畸变，对继电保护和自动化装置的灵敏度与动作可靠性构成挑战。例如在某些典型案例中，继电保护装置因谐波信号干扰而出现误动，造成局部停电范围扩大。长期处于这种状态下，不仅缩短了设备的使用寿命，还可能引发设备的不可逆损坏与系统级故障。此外，新能源出力的不确定性使得调度中心难以精确预测线路潮流，增加了电网结构稳定性维护的复杂性。这些问题凸显了在新能源高比例接入场景下，必须通过设备适配、结构优化和保护定值调整来确保电网运行安全。

### 5.3 风险防控与保障措施

面对新能源接入带来的运行与安全风险，配电网必须建立系统化、多层次的防控体系。源侧方面，应通过光伏逆变器的动态无功补偿和风电机组的有功功率曲线优化来减缓波动性，同时在大规模新能源基地配置合理容量的储能装置，使其具备削峰填谷和应急供电功能。网架方面，应对关键线路进行加固，优化网架结构为环网形式，减少单支路潮流压力，并通过分布式电源合理接入点选择降低潮流集中风险。荷侧方面，需求响应可发挥重要作用，在电价引导下用户主动参与负荷调节，使供需平衡更加灵活可靠。在运行层面，应完善配电自动化系统，构建分布式能源管理系统，实现对新能源出力、储能状态和负荷水平的实时监测与动态调度<sup>[4]</sup>。

## 6 结语

随着新能源在配电网中的接入比例不断提高，其带来的波动性与不确定性逐渐成为制约系统安全与经济运行的重要因素。本文从运行特性、规划模型和优化策略三个方面进行了系统研究，并在风险识别的基础上提出了多层次的防控措施。研究表明，通过合理的规划优化设计、储能与需求响应的协同运行以及源网荷储一体化调控，不仅能够有效降低电能损耗和运行成本，还能显著提升新能源消纳率和供电可靠性。未来，随着新能源渗透率进一步上升，配电网需在结构适应性、灵活调节能力与智能化调度水平等方面持续提升，以实现绿色低碳转型与电力系统的高质量发展。

### 参考文献

- [1] 刘建国,张晓林,陈志强.新能源大规模接入下的配电网运行风险与调控策略研究[J].电力系统保护与控制,2023,51(4):112-120.
- [2] 王晨辉,李佩瑜,郑浩然.基于储能与需求响应的配电网优化运行方法[J].中国电机工程学报,2022,42(15):3985-3996.
- [3] 周凯文,赵子豪,吕俊伟.考虑分布式电源接入的配电网规划模型与应用[J].电力建设,2021,42(10):75-83.
- [4] 孙绍辉,高文军,马文杰.新能源消纳背景下配电网源网荷储协调优化运行研究[J].电力系统自动化,2023,47(12):29-38.