

微电网协同模式下配电网施工电源配置优化策略

邓明辉

(信宜市信能输变电有限公司, 广东 茂名 525000)

摘要: 随着配电网施工规模扩大与电源类型多元化, 施工场景中电源配置与负荷需求的适配性不足, 易导致能耗偏高、系统稳定性欠佳等问题。储能与柴油发电机等多电源协同运行可有效平衡施工负荷波动, 提升供电可靠性。提出一种配电网施工电源优化配置方法, 基于微电网-多施工电源协同系统, 采用 BiLSTM 解析负荷与出力的时序特征, 结合果蝇算法进行超参数调优, 构建电源配置优化模型。研究表明, 所提方法不仅提升了电源配置与施工需求的适配性, 还优化了系统能耗与运行经济性, 可应用于实际工程的电源配置中。

关键词: 微电网协同; 配电网施工; 电源配置; 优化模型

Optimization strategy for power supply configuration in distribution network construction under microgrid collaboration mode

DENG Minghui

(Xinyi Xinneng Transmission and Transformation Co., Ltd., Maoming 525000, China)

Abstract: As the scale of distribution network construction expands and power sources diversify, mismatches between power supply and load demand often occur, leading to high energy consumption and poor system stability. Coordinated operation of multiple power sources—such as energy storage systems and diesel generators—can effectively smooth load fluctuations and improve power reliability. This paper proposes an optimized power configuration method for distribution construction based on a microgrid-multi-source collaborative system. It uses BiLSTM to capture load and output patterns, and optimizes parameters with a fruit fly algorithm. The method improves supply-demand matching, boosts efficiency, and cuts costs, making it practical for real projects.

Keywords: microgrid collaboration; distribution network construction; power configuration; optimization model

0 引言

微电网协同模式下的配电网施工电源配置优化, 是支撑配电网工程规模化发展、提升施工供电效能的核心路径。配电网作为电力系统连接用户的末端环节, 其施工阶段的电源保障

不仅关系工程进度, 更直接影响投运后的供电可靠性^[1]。微电网协同通过整合分布式能源、储能设备与传统发电资源, 构建多能互补的供电体系, 为实现施工电源的低碳化、高效化提供了全新范式, 是新型电力系统在工程建设领域的重要实践^[2]。

近年来,相关研究为配电网电源配置与微电网协同技术提供了扎实积累。文献[3]通过配电网设备参数标准化设计,验证了统一性能约束对提升多电源兼容性的作用;文献[4]构建的负荷-电源协同模型,为量化施工负荷与微电网出力的匹配关系提供了理论支撑;文献[5]基于数字孪生的电源调度模拟,实现了施工供电方案的预演优化,其数字化管控思路具有重要借鉴意义;文献[6]通过储能与微电网的协同控制策略,将供电波动幅度降低40%,为提升稳定性提供了可行路径。但现有研究多聚焦单一技术维度,对施工场景的动态负荷适配性不足,且缺乏微电网与施工电源协同的全流程标准化方案,难以满足模块化工程的高效实施需求。

基于此,本文提出微电网协同模式下的配电网施工电源配置优化策略。首先,通过多目标函数量化“能耗-成本-稳定性”协同目标,建立参数约束体系;其次,构建融合双向长短记忆网络的配置优化模型,挖掘电源参数与协同目标的动态关系;最后,利用果蝇算法实现超参数调优,并通过工程验证效果,为配电网施工电源的高效协同提供可推广的技术范式。

1 微电网-施工电源协同系统框架

1.1 系统框架构成

该框架是微电网协同模式下配电网施工电源配置的基础支撑,由微电网侧、施工电源侧及协同交互层构成有机整体,典型系统框架如图1所示。微电网侧整合光伏、风电等分布式能源及配套储能设备,通过电力电子接口实现电能双向流动;施工电源侧包含柴油发电机、储能系统及负荷监测单元,满足施工阶段动态供电需求;协同交互层则依托数据采集与控制模块,实现两侧的信息互通与运行状态联动,为电源配置优化提供实时参数支撑,其结构适配配电网施工场景的临时性与动态性特征^[7]。

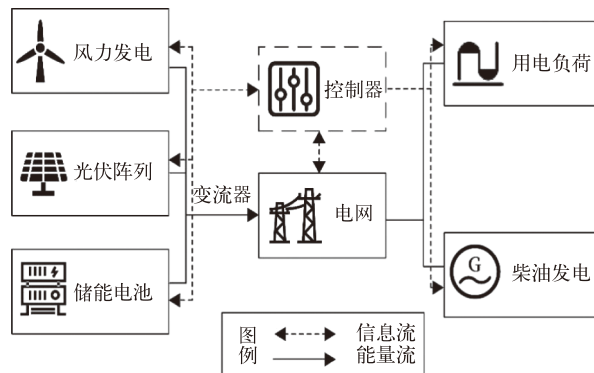


图1 典型微电网-施工电源协同系统框架

Fig. 1 Typical microgrid construction power supply collaborative system framework

1.2 框架运行机制

为规范微电网与施工电源的协同逻辑,基于负荷特性与微电网出力波动特征,建立分级响应规则,具体见表1。

表1 协同运行优先级规则

Tab. 1 Collaborative operation priority rules

优先级	触发条件	运行策略	约束指标
I级	微电网出力 $\geq$ 施工负荷	微电网全额供电,储能浮充,发电机备用	弃电率 $\leq 3\%$
II级	微电网出力小于施工负荷(差额 $\leq 20\%$)	储能放电补足差额,发电机热备用	放电深度 $\leq 80\%$
III级	微电网出力 $<$ 施工负荷(差额 $> 20\%$)	储能+发电机联合供电,发电机承担差额70%以上	启动响应 $\leq 30\text{ s}$
IV级	出力骤降/负荷骤增($\geq 30\%/5\text{ min}$)	发电机紧急启动,储能瞬时放电支撑	中断时间 $\leq 0.1\text{ s}$

基于上述优先规则,形成多场景适配的协同逻辑,为配电网施工电源配置优化提供刚性约束。

2 微电网协同模式下的电源配置优化模型

2.1 多目标协同优化函数设计

针对微电网协同模式下配电网施工电源的配置需求,构建以“能耗-成本-稳定性”为核心的多目标协同优化函数,量化协同运行目标。

(1) 能耗优化目标

最小化施工全周期的综合能耗,涵盖微电网

弃电损失、柴油发电机油耗及储能充放电损耗，表达式为

$$F_1 = \sum_{t=1}^T (P_{\text{弃电},t} \Delta t) + \sum_{t=1}^T (P_{\text{油机},t} \rho \Delta t) + \sum_{t=1}^T (k_{\text{损}} |E_{\text{储放},t} - E_{\text{储充},t}|) \quad (1)$$

式中， $P_{\text{弃电},t}$ 为 t 时刻微电网弃电功率； ρ 为柴油发电机油耗系数 $[\text{g}/(\text{kW} \cdot \text{h})]$ ； $k_{\text{损}}$ 为储能充放电损耗率； $E_{\text{储放},t}$ 、 $E_{\text{储充},t}$ 分别为 t 时刻储能充放电电量。

(2) 成本优化目标

最小化配置全成本，包括设备购置、运维及微电网接入费用，公式为

$$F_2 = C_{\text{油机}} + C_{\text{储能}} + C_{\text{接口}} + \sum_{t=1}^T (C_{\text{油机运维}} t_{\text{运行}} + C_{\text{储能运维}} \text{SOC}_t) \quad (2)$$

式中， $C_{\text{油机}}$ 、 $C_{\text{储能}}$ 分别为柴油发电机与储能系统购置成本； $C_{\text{接口}}$ 为微电网接入设备费用； SOC_t 为 t 时刻储能荷电状态。

(3) 稳定性约束目标

控制施工母线与微电网接入点的电压偏差，表达式为

$$F_3 = \max_{t=1}^T \left(\left| \frac{V_{\text{施工},t} - V_N}{V_N} \right|, \left| \frac{V_{\text{微电网},t} - V_N}{V_N} \right| \right) \leq 5\% \quad (3)$$

式中， $V_{\text{施工},t}$ 、 $V_{\text{微电网},t}$ 分别为 t 时刻施工母线与微电网接入点电压； V_N 为额定电压。

综合目标函数为

$$F = \omega_1 F_1 + \omega_2 F_2 + \omega_3 F_3 \quad (4)$$

其中， $\omega_1 + \omega_2 + \omega_3 = 1$ ，按施工场景优先级动态调整。

2.2 电源配置优化模型构建

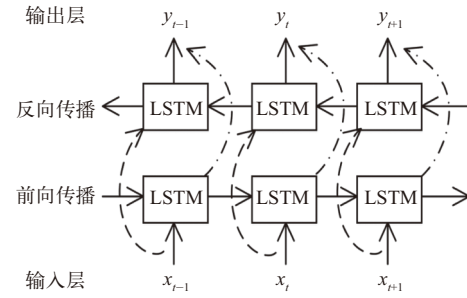
该模型基于多目标协同优化函数，构建双向长短记忆网络（BiLSTM）电源配置优化模型。BiLSTM利用前向LSTM（ $\overrightarrow{\text{LSTM}}$ ）与后向LSTM（ $\overleftarrow{\text{LSTM}}$ ）的并行结构，挖掘电源参数与协同目标的非线性映射关系^[8]。公式为

$$H_t = [\vec{h}_t, \overleftarrow{h}_t] \quad (5)$$

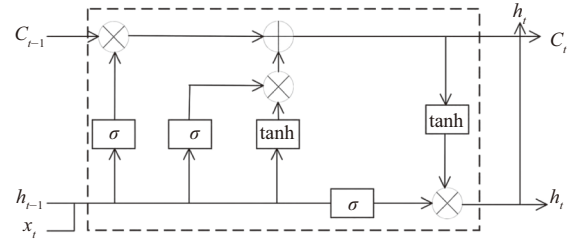
通过拼接双向隐藏层输出，形成包含全时

序依赖的特征向量 H_t ，可精准捕捉微电网出力（光伏 $P_{\text{PV},t}$ 、风电 $P_{\text{WT},t}$ ）与施工负荷 $P_{\text{load},t}$ 的动态耦合规律^[9]。

BiLSTM神经网络传播方式与结构如图2所示。



(a) BiLSTM神经网络传播方式



(b) BiLSTM框架

图2 BiLSTM神经网络传播方式与结构

Fig. 2 BiLSTM neural network propagation method and structure

模型以柴油发电机额定功率 $P_{\text{额}}$ 、储能系统容量 $E_{\text{储}}$ 和微电网最大接入功率 $P_{\text{微网,max}}$ 为决策变量，结合上述协同规则建立约束边界，公式为

$$P_{\text{额}} \geq \max (P_{\text{load}} - P_{\text{微风,max}}) \quad (6)$$

$$E_{\text{额}} \geq 1.2 \times \max (P_{\text{load}} - t_{\text{波动}}) \quad (7)$$

$$P_{\text{微电网,max}} \leq 0.8 S_{\text{接口}} \quad (8)$$

通过BiLSTM输出的特征向量与约束条件耦合，模型可输出参数优化的可行域，为超参数调优提供初始边界，其输出层采用Sigmoid激活函数将参数范围归一化至 $[0,1]$ 区间，便于后续算法调用^[10]。

2.3 配置优化超参数调优

为提升参数组合与协同目标的适配性，采用果蝇算法（FOA）对核心超参数进行寻优，其调优流程如图3所示。

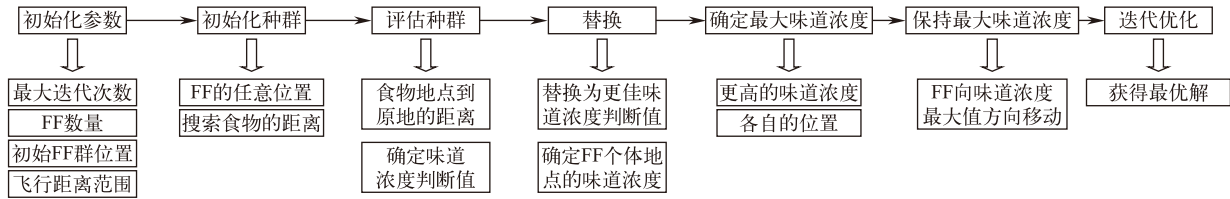


图3 基于FOA的超参数调优流程

Fig 3 Hyperparameter tuning process based on FOA

初始化参数涉及最大迭代次数（设为500）、FF数量（种群规模50）、初始FF群位置（ X 轴对应 $P_{\text{额}}$ ， Y 轴对应 $E_{\text{储}}$ ， Z 轴对应 $P_{\text{微电网,max}}$ ）及飞行距离范围（ $\pm 5\%$ 参数边界）。初始化种群时，任意FF的位置（ X_i 、 Y_i 、 Z_i ）及搜索距离计算公式为

$$X_i = X_{\text{axis}} + R\Delta P_{\text{额}} \quad (9)$$

$$Y_i = Y_{\text{axis}} + R\Delta E_{\text{储}} \quad (10)$$

$$Z_i = Z_{\text{axis}} + R\Delta E_{\text{微电网,max}} \quad (11)$$

式中， X_{axis} 、 Y_{axis} 、 Z_{axis} 为初始轴位置（基于上述可行域中心设定）； R 为 $[-1,1]$ 区间随机值； $\Delta P_{\text{额}}$ 、 $\Delta E_{\text{储}}$ 、 $\Delta E_{\text{微电网,max}}$ 为参数步长（分别取额定值的5%、5%和3%）； i 为种群序号。

迭代过程中，通过综合目标函数 F 计算各FF的味道浓度 $S_i = 1/F_i$ ，保留最大浓度对应的最优位置 X_{best} 、 Y_{best} 、 Z_{best} ，后续种群向该位置移动，更新公式为

$$X_i^{+1} = X_{\text{best}} + R\sigma\Delta P_{\text{额}} \quad (12)$$

$$Y_i^{+1} = Y_{\text{best}} + R\sigma\Delta E_{\text{储}} \quad (13)$$

$$Z_i^{+1} = Z_{\text{best}} + R\sigma\Delta P_{\text{微电网,max}} \quad (14)$$

式中， σ 为衰减因子，随迭代次数从0.8线性降至0.1。当达到最大迭代次数或连续30代最优值波动不大于1%时，输出最优参数组合，确保适配微电网协同模式下的施工供电需求。

3 微电网协同配置优化策略的实验验证

3.1 实验设计与参数设置

为验证微电网协同模式下配电网施工电源配置优化策略的有效性，选取某10 kV配电网改造工程为实验场景，施工周期30天，日均工作时长

12 h（8:00—20:00）。其基础参数见表2。

表2 实验基础设置参数
Tab 2 Experimental setup parameters

类别	参数名称	数值 / 范围
微电网	光伏额定功率 / kW	100
	风电额定功率 / kW	50
	储能初始 SOC(%)	60
施工负荷	峰值负荷 / kW	500
	负荷波动系数	$\pm 15\%$ （10 min 内）
柴油发电机	额定功率范围 / kW	150 ~ 300
优化算法	果蝇算法种群规模	50
	最大迭代次数	500
	隐藏层节点数	64
BiLSTM 模型	训练周期 / 轮	200

实验基于MATLAB/Simulink搭建仿真平台，采集微电网出力（ $P_{\text{PV},t}$ 、 $P_{\text{WT},t}$ ）、 $P_{\text{load},t}$ 、储能SOC等实时数据（采样间隔1 min），通过分析优化策略实施后的能耗、成本及稳定性指标，验证协同配置的有效性。

3.2 多维度指标综合分析

微电网协同配置优化策略通过BiLSTM模型的时序特征挖掘与FOA的参数精准调优，实现了能耗、成本与稳定性的协同优化。该策略从系统整体出发，统筹微电网出力、施工负荷、储能和柴油发电机的运行状态，使各环节形成联动效应，通过动态匹配与智能调控，显著提升了整体运行效率。

能耗指标方面，全周期内能耗相关参数的动态特征如图4所示。微电网弃电率在2.8%~3.5%区间波动，第26~30天最低（2.8%），第1~5天最高（3.5%），整体处于较低水平，反映出

微电网出力与施工负荷的良好匹配性；柴油发电机运行时长随微电网出力变化调整，第11~15天因风电出力不足运行19 h，第26~30天因光伏出力充足仅运行10 h，适配性显著；储能充放电损耗率稳定在4.6%~5.1%，转换效率也保持稳定。各时段能耗累计形成的曲线趋势显示，能源分配与施工负荷波动高度契合，整体运行高效。

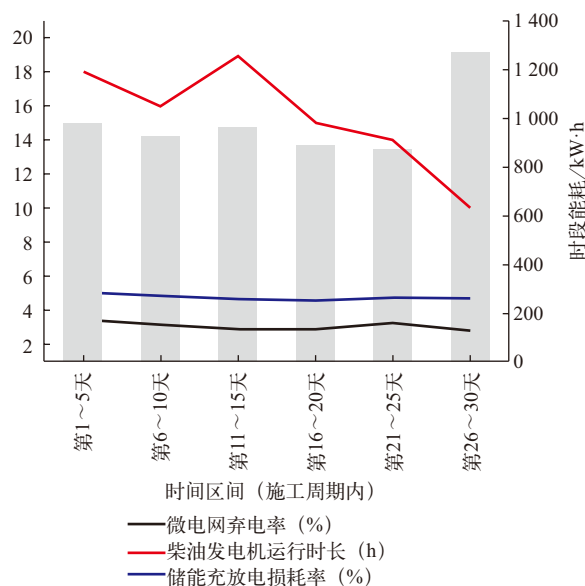


图4 微电网能耗相关指标时序变化曲线

Fig. 4 Time series curves of microgrid energy consumption indicators

成本优化体现在设备配置与运维支出的结构合理性上。各成本项分布如图5所示。柴油发电机购置成本22.3万元，占比35.0%，对应200 kW额定功率，经优化与全周期92 h运行需求匹配，避免功率冗余浪费；储能系统购置成本29.7万元，占比46.6%，作为核心调节设备，320 kW·h容量可消纳富余电能、填补供电缺口，支撑系统稳定运行，是关键投入；微电网接入设备成本7.9万元，占比12.4%，含变流器、保护装置等，满足多电源并网的电压匹配、信号传输等技术要求；30天运维成本3.8万元，占比6.0%，用于设备保养检测，与日均5次起停的运行强度适配。各项成本占比体现“核心设备优先保障、辅助设备按需配置、运维投入精准匹配”原则，实现成本与效益平衡。

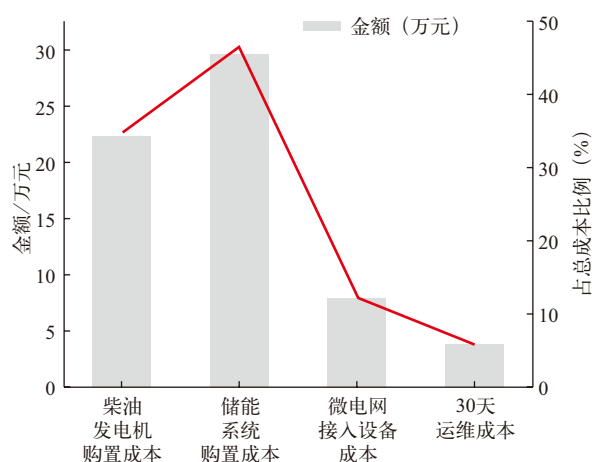


图5 微电网协同模式下成本构成占比

Fig. 5 Cost composition ratio under microgrid collaboration mode

施工母线电压偏差时序如图6所示，其详细记录了不同时段电压特征：8:00—10:00因负荷启动初期波动较小，电压偏差均值为1.2%，最大值为1.7%；12:00—14:00受焊接设备集中运行影响，负荷峰值达480 kW（额定值的96%），电压偏差均值升至1.6%，最大值达2.0%，但仍控制在 $\pm 2\%$ 的严格标准内；极端场景下的电压波动在1.4%~1.8%之间，如12:00—14:00光伏骤降70%时，储能以0.5C倍率瞬时放电支撑，配合柴油发电机30 s内从怠速升至额定功率的80%，电压波动被限制在1.8%，且全时段供电中断时长均为0 s，验证了多电源协同响应的鲁棒性，满足配电网施工对供电连续性的“零容忍中断”要求。

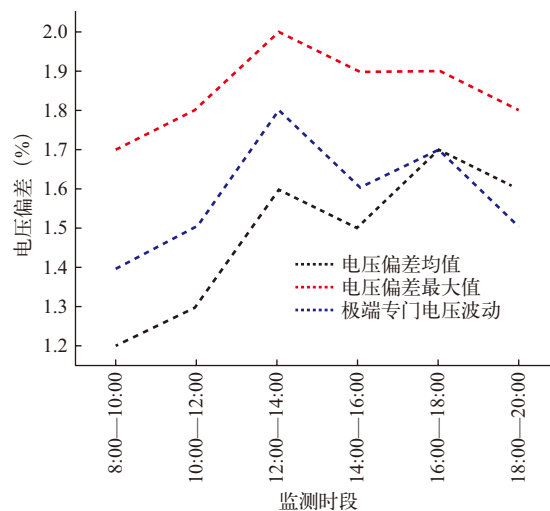


图6 施工母线电压偏差时序

Fig. 6 Time series of construction bus voltage deviation

综上,从能耗指标看,微电网弃电率、柴油发电机运行时长及储能损耗率的动态调整,实现了能源的高效利用,各时段数据波动与施工负荷特征高度匹配;成本指标中,各项支出的占比结构合理,核心设备投入与辅助成本控制形成平衡,符合经济性原则;稳定性指标通过电压偏差的小幅波动与零中断表现,满足了配电网施工对供电质量的严格要求。三者共同印证了微电网协同配置优化策略的有效性,为实际工程中电源配置的参数设定与运行调控提供了具体数据支撑,其指标表现与微电网-施工电源协同系统的设计目标高度契合,具备较强的实践指导意义。

4 结束语

通过构建微电网协同配置优化体系,验证了配电网多源协同框架在施工电源配置场景中的实践价值。从技术逻辑看,BiLSTM模型对负荷-出力时序特征的解析与果蝇算法的参数适配形成联动,使柴油发电机、储能系统等核心设备的容量选型与运行策略深度贴合施工场景需求,突破了传统配置中“经验化选型、粗放式调控”的局限。从应用成效看,系统通过电源设备与施工负荷的动态匹配,实现了配置准确度与工程经济性的双重提升,为同类场景的电源配置提供了可复制的技术范式。未来可从以下三方面深化电源配置研究:一是针对施工工序差异(如线路架设、设备安装)建立负荷分类模型,优化专用电源的模块化配置;二是设计可拆卸储能单元和可并联发电机组,提升配置方案对施工规模变化的适应性;三是将设备折旧、残值回收等长效成本纳入优化模型,强化全生命周期经济性,持续提升配置准确度。

参考文献

- [1] 海瑛,陈静.考虑分布式电源接入的主动配网储能配置优化方法[J].电气技术与经济,2025(6):376-379.
- [2] 王建,李晓庆,迟恩先,等.高比例新能源配电系统电能质量与储能一体化应用[J].电气应用,2025,44(6):29-33.
- [3] 母雪东,孙家兴.一种风电接入中压直流配电网的多重化换流器技术研究[J].电气应用,2025,44(6):68-74.
- [4] 周雨桐,田品慧,朱永强,等.配电网综合电压偏差评价方法及应用[J].电气应用,2025,44(6):20-28.
- [5] 巫菁菁,徐浩.配网环网图多电源追踪图形分析技术[J].电气技术与经济,2025(5):152-154.
- [6] 汤哲.城市配网中光储与柔直混联系统开发技术应用[J].电力设备管理,2025(8):101-103.
- [7] 燕跃豪,李沐峰,赵昱臣,等.基于“双碳”目标的配电网故障百秒感知大数据应用体系研究[J].电气时代,2025(4):46-51.
- [8] 冯子阳.分布式电源对电网继电保护的影响分析[J].电子技术,2025,54(3):300-301.
- [9] 杨安琪.分布式电源接入对配网继电保护的影响及改进技术研究[J].电力设备管理,2025(5):64-66.
- [10] 管廷辉,杨正强,杨志华,等.新型电力系统下配网新能源承载力评估研究[J].电力设备管理,2025(5):157-159.

作者简介

邓明辉(1986—),男,工程师,研究方向为电力工程电气。

(收稿日期:2025-06-12)