

石化场景微电网规划要素及优化问题

张洪阳

(中石化(大连)石油化工研究院有限公司, 辽宁 大连 116045)

摘要: 微电网是石化场景下企业绿色用能的重要手段,也是落地“双碳”目标的重要载体。微电网在接入石化企业电网过程中,涉及波动性新能源安稳接入,新旧电力电源融合调度,故障穿越及保护机制等规划要素及优化问题。首先分析了石化场景典型微电网架构及特点,并以石化负荷稳定运行为约束条件,构建微电网的设计原则;其次,从微电网规划优化、“源网荷储”配置及协同调度等方面出发,研究和分析了构建石化场景微电网的一体化规划优化目标和方法;然后,从用户侧角度出发,讨论了微电网控制和保护问题;最后,以某企业微电网为例,总结和分析了石化场景微电网的设计和应用经验,以期推动石化行业绿电应用和整体提质增效。

关键词: 石化场景;微电网规划;要素优化;控制和保护

Key elements and optimization issues in microgrid planning for petrochemical scenarios

ZHANG Hongyang

(Sinopec (Dalian) Petroleum and Petrochemical Research Institute Co., Ltd., Dalian 116045, China)

Abstract: Microgrid is an important means for enterprises to use green energy in the petrochemical industry, and it is also an important carrier for achieving the “dual carbon” goal. There are planning elements and optimization issues related to the stable integration of fluctuating new energy sources, integrated scheduling of new and old power sources, fault ride through and protection mechanisms. Firstly, the typical microgrid architecture and characteristics and the design principles based on the constraint of stable operation of petrochemical load are analyzed; Secondly, the microgrid planning optimization, “source grid load storage” configuration, collaborative scheduling are studied and analyzed; Thirdly, from the perspective of users, the control and protection issues of microgrids are discussed; Finally, a case study of a microgrid in a certain enterprise is introduced, the design and application experience of microgrids in petrochemical scenarios are summarized and analyzed. The ultimate goal is to promote the application of green electricity and overall quality and efficiency improvement in the petrochemical industry.

Keywords: petrochemical scene; microgrid planning; optimization of elements; control and protection

0 引言

“双碳”目标的提出,给传统石油化工企业的电气化带来了深远的影响。随着新能源渗

透率不断增加,微电网成为未来智能电网的重要组成部分^[1-2]。2024年底,国家能源局印发《关于支持电力领域新型经营主体创新发展的指导意见》,明确了新型经营主体包括单一技术类

新型经营主体和资源聚合类新型经营主体，支持具备条件的工业企业、工业园区等开展智能微电网建设，提高新能源就地消纳水平；2025年5月，国家发展改革委、国家能源局发布《关于有序推动绿电直连发展有关事项的通知》，明确绿电直连项目以满足企业绿色用能需求、提升新能源就近就地消纳水平为目标，上述政策导向等都将进一步推动石化行业风光绿色电力应用。文献[3]研究了基于太阳能、电能、热能等不同能源综合利用的多能微电网，提出一种考虑多变量因素的多能微电网两阶段分布鲁棒优化模型，该模型可应对新能源出力波动性和随机性，以及负荷需求等问题。文献[4]提出针对风光储直流微电网的分布式模型预测控制方法，用来稳定母线电压。在电网的规划和优化方面，文献[5]考虑输电走廊约束和投资费用约束，针对不同运行场景优选不同的调度方案和网架结构，并结合预想事故，提出考虑网络结构优化的含可再生能源的电网规划方法。文献[6]针对当前绿电绿氢耦合利用中可能存在的因有功功率和无功功率不平衡引起的微电网频率、电压振荡以及变流器过载退出运行等问题，提出基于储能的多模式控制策略。文献[7]从决策变量、优化目标、约束条件和求解方法等方面，阐述人工智能赋能微电网等技术。当前，随着不同类型分布式电源、储能和柔性负荷等接入微电网，微电网潮流、电能质量问题亟需关注。文献[8]研究评估了使用太阳能光伏、风电和统一潮流控制器（Unified Power Flow Controller, UPFC）的微电网分析模型，并阐述了UPFC策略等。

本文从石化行业企业实际需求出发，聚焦风光波动性新能源安稳接入石化企业电网的一体化规划要素及优化问题。首先，分析了石化场景典型微电网架构及特点，并以石化负荷稳定运行为约束条件，建立起构建微电网的设计原则；然后，研究和分析了构建石化场景微电网的一体化规划优化目标和方法，讨论了微电网控制和保护问题；最后，总结和分析了石化场景微电网的设

计和应用经验。

1 石化场景微电网架构及设计关键

微电网涉及电源、线路、输变电和负荷等内涵要素，其基本架构如图1所示。其中，风光储及电力电子系统构成的子系统可以是小型微电网，也可以是微电网内的一个子系统，这主要取决于微电网架构和控制功能等。此外，系统还包括信息和通信部分，共同组成物理-信息系统有机结合微电网。通过差异化优化手段实现能量及信息交互，最终实现能源资源利用效率和可再生能源利用率最大化，提高系统整体动态平衡能力，达到安全、低碳和经济等多重目标。

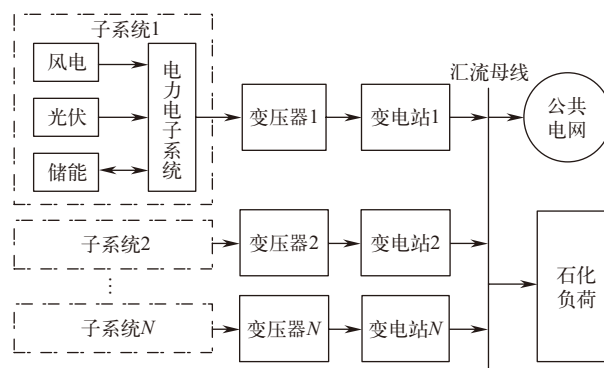


图1 石化场景微电网基本架构

Fig. 1 Development framework of new type of power distribution system

石化企业生产负荷对供电稳定性要求高，电力事故易造成重大风险隐患或事故，而风光新能源的波动性和随机性特征明显，因此需通过多要素互补、协同调控等方式实现电功率平衡。据此，石化场景下微电网设计上应当因地制宜，综合考虑安全和效率等因素，针对石化行业高可靠供电需求与新能源波动性矛盾，提出综合技术解决方案。

1) 硬件配置和系统升级方面。通过升级SCADA系统，增加数据采集终端等手段，掌握全过程电网状态；采用无功补偿、有源滤波等提升新能源接入后的抗扰动能力。

2) 储能配置和源储互补方面。通过配置储能系统平抑风光波动和电力缺口，抑制重要

电力电子设备可能因“晃电”现象（电压骤降10%~90%且持续10 ms~3 s）带来的生产停工。

3) 控制保护与冗余设计方面。需结合运行微电网模式切换、故障特性差异等，配置过电流保护、差动保护等装置。此外，关键负荷需考虑N-1电源冗余设计以及快切装置等手段。

4) 功率预测与调控方案方面。配置风光功率预测系统，结合负荷时空分布模型，预测负荷最大需量等；分级管控负荷资源，一级负荷通过后备电源保障供电，禁止参与响应等。

2 石化场景微电网一体化规划目标和方法

石化行业微电网一体化规划可以从高可靠性、经济性和低碳化等多个角度定义规划目标。针对不同的规划目标，可以针对性制定方案，一种石化场景微电网规划方案如图2所示。

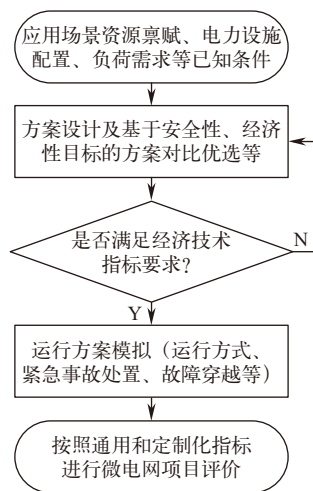


图2 石化场景微电网规划优化过程

Fig. 2 Optimization process of microgrid planning in petrochemical scenarios

为保障石化场景负荷用电安全，避免造成事故，本文仅从微电网运行的功率平衡角度进行分析，以“源网荷储”等多要素配置的微电网为例，按照功率平衡原则进行设计。

(1) 有功功率平衡

当风电、光伏发电系统发出的有功功率过多

时，储能系统吸收多余的有功功率，风光储联合发电系统有功功率、电网负荷的有功需求之间的表达式为

$$\pm P_{\text{net}} = P_{\text{wind_in}} + P_{\text{pv_in}} - P_{\text{load}} - P_{\text{ch_in}} \quad (1)$$

式中， $P_{\text{wind_in}}$ 、 $P_{\text{pv_in}}$ 分别为风电、光伏发电系统吸收的有功功率； $P_{\text{ch_in}}$ 为储能系统吸收的有功功率； P_{load} 为负荷吸收的有功功率； P_{net} 为电网吸收的有功功率（±表示有功功率双向）。

(2) 无功功率平衡

风电、光伏发电系统功率因数运行范围一般可调，一般控制在0.95（超前）~0.95（滞后）的范围内。当功率因数超前运行时，风电、光伏发电系统吸收无功功率；当功率因数滞后运行时，风电、光伏发电系统发出无功功率。正常运行时，功率因数一般取值为1。

当风电或光伏发电系统功率因数滞后运行，且发出的无功功率过多时，储能系统吸收多余的无功功率。风光储联合发电系统有功功率、电网负荷的无功需求之间的表达式为

$$\pm Q_{\text{net}} = Q_{\text{wind_out}} + Q_{\text{pv_out}} - Q_{\text{load}} - Q_{\text{ch_out}} \quad (2)$$

式中， $Q_{\text{wind_out}}$ 、 $Q_{\text{pv_out}}$ 分别为风电、光伏发电系统发出的无功功率； $Q_{\text{ch_out}}$ 为储能系统发出的无功功率； Q_{load} 为负荷发出的无功功率； Q_{net} 为电网发出的无功功率（±表示无功功率双向）。

3 石化场景微电网控制和保护

3.1 分层分级控制

从用户侧角度出发，微电网规模一般可从百千瓦到兆瓦级不等，因此可以结合投资成本、回报周期等条件，参考大电网控制架构思路，按照分层分级控制原则灵活构建微电网的控制结构。基本的微电网架构包括调度管理层、控制层和设备执行层等，如图3所示。其中，调度管理层根据用户需求、电价和气象预测等信息，制定运行管理模式及数据报表等；控制层通过边缘计算处理数据采集与协议转换，可操作母线电压的快速调整和功率分配等；设备层包括风光储等终端设备的基本设备及本地操作功能等。

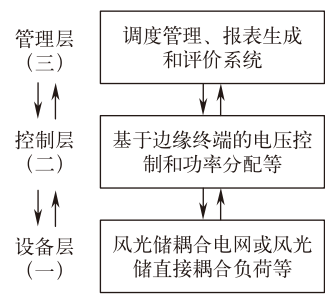


图3 石化场景微电网架构

Fig. 3 Microgrid architecture for petrochemical scenarios

在控制和调度策略方面，主要包括：

- 1) 下垂控制策略。通过设定下垂系数，平衡系统功率并抑制波动，确保孤岛运行时母线电压稳定。
- 2) 模式自适应切换。并离网无缝转换，下垂工作状态切换等。
- 3) 功率预测及柔性负荷控制。中短期、超短期预测可以有效提高微电网内资源配置效率，同时提高经济性。

3.2 综合保护配置

微电网的综合保护配置与大电网相比要求较低，但是对于离网功能型微电网，则要求较高，主要涉及确保系统在并网与孤岛模式间无缝切换，同时实现故障快速检测与隔离等。一般可配置：并网点保护，用于检测电网侧或微电网侧故障，执行防孤岛保护并实现安全解列；方向性过电流保护，用于区分微电网侧故障与电网侧故障，并快速定位故障区域；低电压/过电压保护，用于监控电压波动并采取保护措施；稳控措施（离网型），需要协同风光储-负荷等多种要素的全过程，特别是石化关键负荷的停机逻辑及顺序控制等。

4 算例分析

以某油田微电网为例，通过实施光伏微电网项目，实现了井场生产的绿色用电。其中，在光照较好情况下，基本可以实现绿电全部替代。算例条件：某连续7日的光伏发电量及负荷用电量情况见下表。可以看出，光伏发电受到光照条件影响较大，连续7日发电量的最大差值较大。

其中，对电网影响从最大馈电170 kW·h到吸收7 kW·h，电网变化范围达到负荷的70%。

表 发电量和负荷需求情况
Tab. Power generation and load demand situation

日期	光伏发电量 /kW·h	负荷需电量 /kW·h	负荷绿电替代比例 (%)	网电 (+/- 馈电 / 下电) /kW·h
1	408	245	167	163
2	256	247	104	9
3	410	240	171	170
4	396	239	166	157
5	235	242	97	-7
6	305	238	128	67
7	380	295	129	85

5 结束语

微电网在石化场景下的安全稳定和经济运行涉及微电网多规划要素及优化问题。从微电网规划优化、“源网荷储”配置、协同调度等方面出发，分析了功率平衡原则，给出构建石化场景微电网的一体化规划的三层结构，并讨论了综合保护配置原则。最后，以某企业微电网为例，表明了微电网在石化场景下的可行性及重要意义。微电网的新技术和未来发展方向正经历快速演进，聚焦于AI赋能、新型储能创新、多元化应用及市场机制优化等方面，微电网必将成为重要的绿色电力供给和消纳主体之一，其系统韧性、经济性和可持续性等都将不断提升。

参考文献

[1] 赵瑛, 迟化昌, 王康, 等. 浅析智能化及新能源融合在石油化工企业节能提质中的应用[J]. 电气应用, 2025, 44(1): 70-75.

[2] 吴俊勇. 含高比例分布式光伏配电网的规划与优化运行[J]. 供用电, 2024, 41(6): 1-2.

[3] 李鸿, 朱继忠, 董瀚江. 考虑协变量因素的多能微电网两阶段分布鲁棒优化调度[J]. 中国电机工程学报, 2025, 45(3): 822-834.

[4] ZHENG Yi, WANG Yanye, MING Xun, et al.

- Distributed economic MPC for synergetic regulation of the voltage of an island DC microrid[J]. IEEE/CAA Journal of Automatica Sinica, 2024, 11(3): 734-745.
- [5] 张天宇, 宣文博, 李慧, 等. 综合考虑输电结构优化的含可再生能源电网规划方法[J]. 电力系统及其自动化学报, 2021, 33(5): 113-120.
- [6] 李君, 陶丽楠, 张洪阳. 绿电制氢装置并网与离网供电稳定控制方案研究[J]. 炼油技术与工程, 2024, 54(3): 40-46.
- [7] 葛磊蛟, 范延赫, 来金钢, 等. 面向低碳经济的人工智能赋能微电网优化运行技术[J]. 高电压技术, 2023, 49(6): 2219-2238.
- [8] MARRIAM L, TURKI A, ARSLAN A A, et al. Transient stability enhancement in renewable energy integrated multi-microgrids: A comprehensive and critical analysis[J]. Measurement and Control, 2024, 57(2): 187-207.

作者简介

张洪阳（1982—），男，博士，副研究员，主要从事石化新型电力系统、综合能源等技术研发工作。

（收稿日期：2025-05-13）