

冷、热、电联产型微电网能量管理研究

树宇鑫

(常州三新供电服务有限公司, 江苏 常州 213000)

摘要: 为了做好冷、热、电联产型微电网在能量管理方面的优化调整, 本文围绕能量流动与优化配置进行深入分析, 提出了一套能量管理框架和综合控制策略。通过构建能量转换机理的详细模型并分析多能互补的流动特性, 本文进一步探讨了实时优化策略与调度技术。结果表明, 本文提出的优化配置策略和能量管理技术能显著提高系统的能源利用效率, 同时确保供能的稳定性和经济性, 希望能够为冷、热、电联产型微电网能量的优化管理提供一定的参考。

关键词: 联产型微电网; 能量管理; 能量流动; 能量优化配置

DOI: 10.3969/j.issn.1671-1041.2024.05.011

文章编号: 1671-1041(2024)05-0030-03

中图分类号: TM727

Research on Energy Management of Cold, Hot and Electric Cogeneration Microgrids

Shu Yuxin

(Changzhou Sanxin Power Supply Service Co., Ltd., Changzhou, Jiangsu, China, 213000)

Abstract: To optimize the energy management of the cold, heat, and electricity co-production microgrid, this article delves into the analysis of energy flow and optimal allocation, proposing a set of energy management frameworks and integrated control strategies. By constructing detailed models of energy conversion mechanisms and analyzing the flow characteristics of multi-energy complementarity, this article further explores real-time optimization strategies and scheduling techniques. The results indicate that the optimal allocation strategies and energy management techniques proposed in this article can significantly improve the energy utilization efficiency of the system while ensuring the stability and economy of energy supply. It is hoped that this can provide a certain reference for the optimal management of cold, heat, and electricity co-production microgrid energy.

Key words: co-production microgrid; energy management; energy flow; optimal energy allocation

0 引言

随着全球能源需求的不断增长和环境压力的加剧, 传统的能源系统面临着日益严峻的挑战。微电网作为一种灵活、高效的能源分配和管理解决方案, 受到了广泛关注。特别是冷、热、电联产型微电网, 通过集成能量转换与利用过程, 实现能源的高效使用和环境影响的降低。然而, 这种类型的微电网在能量管理方面面临诸多挑战, 包括如何有效地进行能量流动分析、优化配置和综合控制。在此背景下, 对联产型微电网的能量管理进行研究, 不仅有助于提升能源利用的效率, 而且对于保障能源供应的可靠性和经济性具有至关重要的作用。

1 冷、热、电联产型微电网的能量流动与优化分析

1.1 能量流动分析

1.1.1 冷热电联产系统的能量转换机理

在冷、热、电联产型微电网中, 能量的高效流动是系统

性能优化的关键。能量流动分析的目的是理解各种能量形态之间的转换关系, 以及如何有效地进行能量的分配和利用^[1]。例如, 在典型的冷热电联产系统中, 主要包括了三种能量输出: 电力、热能和冷能。以某地区“绿谷微电网”为例, 该微电网采用了一台燃气轮机作为主要的能量转换设备。轮机运转, 首先产生电能, 同时轮机排放的高温烟气被回收利用, 通过热交换器提供热能, 用于供暖或热水; 而冷能则通过吸收式制冷机使用热能进行制冷^[2]。这种方式能够令原本单一的能量输入转换成了三种不同形态的能量输出, 实现了能源的多元化利用。

1.1.2 多能互补与流动特性

在上述“绿谷微电网”案例中, 多能互补的流动特性表现在电力、热能和冷能的生产与消耗之间形成了一种协同关系^[3]。例如, 在夏季, 电力消耗增加同时对冷气的需求也上升, 吸收式制冷机的运行时间增长, 热能的利用效率随之提升。而在冬季, 热能的需求量大于冷能, 系统则通过调整能

收稿日期: 2024-11-14

作者简介: 树宇鑫 (1992—), 男, 江苏常州人, 硕士; 研究方向: 神经网络, 微电网。

量转换设备的运行模式, 优先保障供暖需求。多能互补的这一特性使得“绿谷微电网”能够根据季节变化和用户需求, 动态调整能量生产与供应, 从而提高了能源利用的灵活性和效率。

1.1.3 能量损耗分析与效率评估

能量在转换与传输过程中的损耗是影响微电网效率的重要因素。以“绿谷微电网”为例, 在能量转换过程中, 燃气轮机的电能转换效率为 30% ~ 40%, 而其热能的回收利用率能达到 70% ~ 80%。这意味着有一部分原始能量在转换过程中以热损耗的形式散失。为此, 微电网管理者通过安装高效的热交换设备和优化制冷机的运行策略来减少热损耗。同时, 对电能的传输线路进行优化设计, 以减少传输过程中的能量损失。通过这些措施, “绿谷微电网”的综合能量转换效率得到了显著提升。对“绿谷微电网”整体效率的评估显示, 在采取能量流动优化措施后, 系统的总体能源利用率提高了 15%, 同时减少了运营成本和碳排放。这种效率的提升不仅体现在能量损耗的降低上, 还在于能量供应与需求之间达到更加精细的匹配。

1.2 能量优化配置策略

在冷、热、电联产型微电网的能量优化配置中, 模型构建是确保各类能源高效利用的基础^[4]。一套合理的能量优化模型需针对电网的特定运行条件和能源需求, 采用数学方法来描述能量转换和分配的过程。以上文所述“绿谷微电网”为例, 该微电网由风力发电机、太阳能板、燃气轮机、电池储能系统和连接到主电网的接口组成^[5]。优化的目标是最小化运营成本, 同时满足预测的电力需求和约束条件。在模型构建的过程中, 目标函数的表达式是:

$$C_{\text{total}} = C_{\text{wind}} + C_{\text{solar}} + C_{\text{gas}} + C_{\text{grid}} - C_{\text{sell}} + C_{\text{storage}} \quad (1)$$

式(1)中: C_{total} 代表总成本, 包括风能、太阳能、燃气轮机的运营成本 C_{wind} , C_{solar} , C_{gas} , 从主电网购买能量的成本 C_{grid} , 向主电网出售能量的收入 (C_{sell}), 以及电池储能的成本 C_{storage} 。

用于评估能量保持平衡状态的表达式是:

$$P_{\text{demand}}(t) = P_{\text{wind}}(t) + P_{\text{solar}}(t) + P_{\text{gas}}(t) + P_{\text{grid}}(t) - P_{\text{sell}}(t) + P_{\text{storage}}(t) \quad (2)$$

式(2)中: $P_{\text{demand}}(t)$ 是时刻 t 的电力需求, $P_{\text{wind}}(t)$, $P_{\text{solar}}(t)$, $P_{\text{gas}}(t)$, $P_{\text{grid}}(t)$, $P_{\text{sell}}(t)$, $P_{\text{storage}}(t)$ 分别代表风能、太阳能、燃气轮机、从主电网购买的能量、向主电网出售的能量和储能系统在时刻 t 的功率输出。

在此基础上, 需要设置的约束条件如下:

1.2.1 设备运行限制

$P_{\text{windmin}} \leq P_{\text{wind}}(t) \leq P_{\text{windmax}}$, 类似的约束也适用于其他能源设备。

1.2.2 储能系统约束

$$E_{\text{min}} \leq E_{\text{storage}}(t) \leq E_{\text{max}}; E_{\text{storage}}(t) = E_{\text{storage}}(t_1) + P_{\text{charge}}(t) - P_{\text{discharge}}(t)。$$

1.2.3 环境排放标准

$E_{\text{CO}_2} = \alpha_{\text{gas}} \cdot P_{\text{gas}}(t) \leq E_{\text{CO}_2\text{limit}}$, 其中 α_{gas} 是燃气轮机的单位能量排放系数。

1.2.4 安全规范

所有设备的运行必须满足特定的安全标准。

对上述模型的解读如下: 目标函数旨在最小化总成本, 包括各种能源的运营成本和交易成本。能量平衡方程确保在任何时刻, 供给能满足需求。约束条件则确保设备运行在安全和效率的范围内, 同时满足环境规范。在上述模型中, 每个组件(如风力发电机、太阳能板等)的具体成本和功率输出将根据实际情况进行计算。例如, 风力发电机的功率输出 $P_{\text{wind}}(t)$ 可以根据风速数据和发电机特性曲线建模, 而储能系统的状态 $E_{\text{storage}}(t)$ 又依赖于前一个时刻的状态和充放电活动。为了这个优化问题的解决, 通常会使用线性规划(LP)、混合整数线性规划(MILP)或其他高级优化算法, 这取决于模型的线性性质和是否涉及整数变量。计算得出的最优解将指导微电网的能量管理系统调度各种能源资源, 以达到预定的经济和环境目标^[6]。

2 冷、热、电联产型微电网的能量管理技术

2.1 能量管理系统(EMS)设计

2.1.1 EMS 架构与功能需求

在冷、热、电联产型微电网中, 能量管理系统(EMS)扮演着中枢神经的角色。设计高效的 EMS 架构是保证微电网运行高效、经济、稳定的关键。典型的 EMS 架构分为 3 个层次: 感知层、控制层、应用层。感知层负责实时收集微电网内各类能源的生成与消耗数据, 包括温度、电流、电压等参数。控制层则处理这些数据, 并根据预设规则和算法进行快速决策, 以实现对各种能源设备的精确控制。应用层提供用户界面, 显示系统状态, 允许操作者监控和调整微电网的运行。针对冷、热、电联产型微电网的特点, EMS 必须满足以下功能需求: ①具备实时监控能力, 以便于对微电网内的能源流进行精确测量和实时跟踪; ②应具有高度的数据分析和处理能力, 涉及对各种能源产出的优化计算, 以及对电池储能状态的精细管理; ③应当实现智能预测功能, 通过分析历史数据和天气预报等信息, 预测未来的能源需求和产出; ④要具备强大的决策支持功能, 能够根据当前的市场价格、用户需求、储能状态和预测信息, 自动进行能源调度和优化。通过这些功能, EMS 可以确保微电网在满足用户需求的同时, 实现成本最小化和能效最大化^[7]。

2.1.2 信息流与数据管理

冷、热、电联产型微电网的能量管理系统(EMS)在信息流与数据管理方面面临众多挑战。具体来说: ① EMS 必须处理来自风力发电机、太阳能板、燃气轮机、电池储能系统和其他设备的大量实时数据, 为维护系统的高效运行, 信息流设计应确保数据从采集点到决策中心的快速、准确传输, 数据管理模块在此过程中发挥着核心作用, 负责整合、

存储和保护数据,同时支持复杂的数据分析;②信息流的设计遵循严格的层次结构,以保证数据在各个层级之间的有序流动,在最底层,智能传感器和测量设备实时收集关于电网状态、能源消耗和环境因素的数据,接着,这些数据被传输至本地处理单元进行初步分析,如异常检测和趋势预测,经过处理的数据进而上传至中央数据中心,这里的高级分析引擎将数据转化为可操作的智能,为最终的优化决策提供支持;③数据管理系统要具备高弹性以应对急剧增加的数据量,同时保证数据的完整性和安全性,这要求采用先进的数据库系统,支持高并发访问和快速查询,以及数据备份和恢复机制,以防数据丢失或被破坏;另外,确保数据的可靠性,须实行严格的数据验证和清洗流程,确保决策依据的数据质量。只有通过精确的信息流设计和周密的数据管理,EMS才能有效地实现能量优化和微电网管理^[8]。

2.2 联产型微电网综合控制策略

2.2.1 预测与响应控制算法

在冷、热、电联产型微电网中,预测与响应控制算法是确保能量高效分配的关键技术。此算法依据对未来能源需求和供应的预测,提前调整能源产出和消耗,以达到最优的运行状态。准确的负载预测可以基于历史数据,结合机器学习技术,分析用户消费行为和季节变化规律。同时,对可再生能源产出的预测考虑天气模式和季节影响,提高预测的精确度。控制算法需要动态调整,不仅响应预测数据,还需考虑实际测量数据,实时优化能源分配策略。例如,若预测太阳能板产出高于实际,算法应迅速调整,增加储能装置的充电或减少非紧急负载,以保持系统平衡。

2.2.2 需求侧管理与响应

需求侧管理(DSM)是微电网控制策略中的一个重要组成部分,旨在通过激励和控制用户的能源使用行为,实现能源使用的优化。在冷、热、电联产型微电网中,DSM通过提供动态定价信号或直接控制某些负载,鼓励用户在能源供应充足、成本低的时段使用能源。例如,实时定价机制鼓励用户在太阳能产出高峰期间使用多余的电力进行热水加热或电动车充电。此外,微电网操作者可通过直接控制策略,如需求响应协议,暂时关闭某些非关键性负载,以应对短期内的能源短缺或过载情况。DSM的实施能够提高能源利用的灵活性和整体效率,对于维持微电网的稳定运行至关重要。

2.2.3 能量存储系统的作用与管理

能量存储系统在联产型微电网中起到缓冲不稳定能源供应和需求的关键作用。以电池为代表的储能设备可以在能源

过剩时储存电能,在需求高峰或可再生能源产出不足时释放能量,提高系统的可靠性和经济性。储能系统的管理策略要根据电网的实时状态和预测数据优化充放电周期。高效的管理不仅涉及电能的储存,还包括热能和冷能等其他形式的能量。例如,冷热电联产设备在夜间低谷电价时段产生的热能可以储存起来,用于白天高峰时段的供暖或生产热水,从而降低运行成本。管理策略还应包括储能设备的维护和寿命管理,确保长期稳定运行。通过实时监控储能设备的状态,预测维护需求,可以有效延长储能系统的使用寿命,降低系统维护成本。此外,对储能系统进行合理配置及精细化管理,对于提升联产型微电网的整体性能和经济性具有决定性作用,故应当予以重视。

3 结束语

综上所述,冷、热、电联产型微电网的能量管理通过精确的能量流动分析和优化配置策略可以达到更高的能源利用效率。本文提出的能量管理系统(EMS)设计和综合控制策略不仅能够实现能量的最优分配,而且能够提升系统对需求变化的响应能力。通过实施上述策略,微电网在保障能源供应稳定性的同时,还能够降低运营成本,还具有良好的经济效益。未来,随着技术的不断进步和可再生能源的进一步集成,联产型微电网的能量管理将趋向更加智能化和自动化。此外,对多能源互动和融合的深入研究,将成为提升能源系统可持续性的关键。

参考文献:

- [1] 王强,代希雷,吴俊明,等.基于风力发电影响的热电联产微电网优化调度[J].中国新技术新产品,2023,(19):85-87.
- [2] 石岐峰.基于改进鲸鱼算法的微电网优化调度研究[D].沈阳:沈阳工程学院,2023.
- [3] 郑莉琨.区域多微网综合能源系统随机优化运行研究[D].南宁:广西大学,2022.
- [4] 黄柯蒙,刘继春.计及需求响应和热电联产的多微电网联盟优化调度方法[J].智慧电力,2021,49(6):107-115.
- [5] 庄仲.大型商务区微电网优化运行技术研究[D].广州:广东工业大学,2021.
- [6] 周晓涵.考虑可再生能源出力及需求侧响应的微电网经济优化调度研究[D].南京:南京邮电大学,2020.
- [7] 刘豹.包含相变蓄热的热电联产型微电网容量优化配置[D].太原:山西大学,2020.
- [8] 米雪.基于需求侧响应的微电网多时间尺度能量管理策略[D].秦皇岛:燕山大学,2020.

上接第 29 页

参考文献:

- [1] 吴建蓉,何锦强,李昊,等.典型微地形区输电线路覆冰厚度影响因子分析[J].电气应用,2023,42(11):26-33.
- [2] 李小双,曹阳,彭小峰,等.输电线路偶发性覆冰厚度预测及增

强恢复力方法研究[J].电力科学与工程,2024,40(1):39-49.

- [3] 陈杰,张迺龙,邱刚,等.适用于小样本数据库的输电线路导线覆冰预测灰色模型及应用[J].电力科学与技术学报,2023,38(6):267-272.