

区域供冷与集中供热系统中电气设备的运维管理及节能优化策略

钟煌

广州大学城能源发展有限公司，广东 广州 510006

DOI:10.61369/ETQM.2025090025

摘 要： 本文围绕区域供冷与集中供热系统展开，介绍其架构，分析制冷机组等设备特性及能耗关联，阐述电气设备运维痛点与解决措施，包括远程监测平台等，还探讨节能策略如冷凝热回收、设备群控算法等，并结合案例说明效果及效益评估方法。

关 键 词： 区域供冷；集中供热；电气设备

Operation, Maintenance Management and Energy-saving Optimization Strategies for Electrical Equipment in District Cooling and Centralized Heating Systems

Zhong Huang

Guangzhou University Town Energy Development Co., Ltd., Guangzhou, Guangdong 510006

Abstract： This paper focuses on district cooling and centralized heating systems. It introduces their architecture, analyzes the characteristics and energy consumption correlation of equipment such as chillers, and elaborates on the pain points and solutions for electrical equipment operation and maintenance, including remote monitoring platforms. Energy-saving strategies such as condensation heat recovery and equipment group control algorithms are discussed, with case studies demonstrating their effectiveness and benefit evaluation methods.

Keywords： district cooling; centralized heating; electrical equipment

引言

随着城市化进程的加快，能源需求不断增长，区域供冷与集中供热系统作为一种高效的能源利用方式受到广泛关注。2022年我国发布的相关能源政策强调了提高能源利用效率和加强能源管理的重要性。区域供冷与集中供热系统涵盖冷热源机组、输配管网和终端换热装置等部分，各部分协同工作满足制冷或制热需求。制冷机组等设备的特性研究、电气设备运维管理、基于物联网的监测平台构建、最佳频率调节策略探讨、冷凝热回收利用以及设备群控算法开发等方面都对系统的高效运行和节能至关重要，这些研究符合政策导向，有助于推动区域供冷与集中供热系统的可持续发展。

一、区域供冷与集中供热系统技术特征

（一）系统架构与设备组成

区域供冷与集中供热系统的架构主要包括冷热源机组、输配管网和终端换热装置等部分。冷热源机组是系统的核心，其配置特点根据能源形式和需求不同而有所差异，例如采用电制冷机组、吸收式制冷机组或热泵等作为冷源，锅炉、热电联产等作为热源^[1]。这些机组通过能源转换为系统提供冷量或热量。输配管网负责将冷热源产生的能量输送到各个区域，其设计要考虑管网的布局、管径、保温等因素，以减少能量损失。终端换热装置则实现能量在用户端的转换和利用，如板式换热器、空调末端设

备、散热器等，与冷热源机组和输配管网相互配合，满足用户的制冷或制热需求，形成一个功能耦合的系统。

（二）电气设备运行特性分析

制冷机组、循环水泵、变频器等设备在区域供冷与集中供热系统中至关重要。研究其负荷时变特性与能耗关联机制具有重要意义。制冷机组的负荷随环境温度和用户需求变化，其能耗受制冷效率等多种因素影响^[2]。循环水泵的负荷取决于系统的水流量需求，其能耗与水泵的运行效率和扬程有关。变频器通过调节电机转速来控制设备的运行频率，其负荷特性与所控制设备相关，能耗受频率调节精度和效率影响。通过对这些设备的深入研究，建立设备运行效率与工况参数的数学模型，可为系统的优化

运行和节能提供理论依据。

二、电气设备智能运维管理体系

（一）运维管理痛点与挑战

区域供冷与集中供热系统中的电气设备运维面临诸多痛点与挑战。设备老化是常见问题，随着使用时间增长，电气设备的性能下降，可能导致运行不稳定^[9]。参数失配也较为突出，例如设备的实际运行参数与设计参数不符，影响设备的正常运行和能效。控制逻辑冲突同样不容忽视，不同设备之间或设备与控制系统之间的逻辑不一致，可能引发故障。这些典型运维问题会对系统能效产生影响。设备故障可能导致能源浪费，降低系统的整体运行效率。准确识别和量化这些问题及其对能效的影响程度，是实现高效运维管理的关键。

（二）智能化运维技术路径

构建基于物联网的远程监测平台，实现电气设备运行数据的实时采集与传输^[4]。通过传感器网络，全面感知设备的运行参数，如温度、电压、电流等。利用云计算技术对海量数据进行存储和处理，为后续的分析提供数据支撑。提出设备状态评估算法，基于机器学习和数据分析技术，对设备的健康状态进行准确评估。通过建立设备的性能模型，对比实际运行数据与模型预测值，及时发现潜在故障隐患。同时，制定预防性维护策略，根据设备的运行状态和历史维护记录，合理安排维护计划，降低设备故障率。设计多源数据融合的故障诊断模型，综合利用设备的运行数据、维护记录以及相关领域知识，提高故障诊断的准确性和效率。

三、系统节能优化关键技术

（一）设备级能效提升技术

1. 变频调速优化控制

研究水泵风机类设备在变工况下的最佳频率调节策略对于设备级能效提升至关重要。通过建立能耗最小化控制模型，可以实现变频调速的优化控制。在实际运行中，设备的工况会不断变化，传统的固定频率运行方式往往无法满足节能需求。通过分析设备的运行特性和负载变化规律，结合能耗最小化目标，确定最佳的频率调节方案。这不仅可以提高设备的运行效率，降低能耗，还可以延长设备的使用寿命。同时，该控制模型还可以考虑到系统的整体运行情况，实现设备之间的协调运行，进一步提高系统的节能效果^[6]。

2. 余热回收技术集成

制冷机组在运行过程中会产生大量的冷凝热，若直接排放，会造成能源的浪费。因此，探讨冷凝热回收利用方案具有重要意义。可以通过设计合理的热回收装置，将冷凝热进行有效回收，并用于其他需要热能的环节，如预热生活热水、加热建筑物的供暖水等^[6]。同时，热泵耦合的新型能源梯级利用系统也是一种有效的节能措施。该系统能够根据不同的温度需求，对能源进行梯

级利用，提高能源的利用效率。例如，在区域供冷与集中供热系统中，利用热泵将低品位的热能提升为高品位的热能，满足不同用户的供热需求，同时减少对传统能源的依赖，实现节能减排的目标。

（二）系统级协同优化策略

1. 多设备协调运行控制

开发基于模型预测控制的设备群控算法是实现多设备协调运行控制的关键。通过建立精确的系统模型，考虑冷热源与输配系统的特性及相互关系，预测系统未来的运行状态^[7]。在此基础上，算法能够根据预测结果对设备进行动态调控，使冷热源的输出与输配系统的需求达到最佳匹配。这种动态匹配不仅能提高系统的运行效率，减少能源浪费，还能提升系统的稳定性和可靠性。同时，模型预测控制算法可适应不同的工况和负荷变化，为区域供冷与集中供热系统的节能优化提供了有效的技术手段。

2. 负荷预测与调度优化

构建深度学习负荷预测模型，利用历史数据挖掘负荷变化规律，提高预测精度^[8]。考虑区域供冷与集中供热系统的复杂性，如不同区域的需求差异、不同时段负荷波动等。通过对大量数据的学习，模型能够准确捕捉这些特征，为调度优化提供可靠依据。在此基础上，提出分时分区差异化供能调度方案。根据不同时段和区域的负荷预测结果，合理分配能源，避免能源浪费。例如，在负荷低谷期减少供能，在高峰期合理增加供能，同时针对不同区域的需求特点进行个性化供能调整，提高系统整体能效。

四、实证研究与效益分析

（一）典型工程案例分析

1. 项目概况与数据采集

某园区供冷供热系统作为研究案例，其原有系统在电气设备运维管理及节能方面存在一定不足。为深入研究并实施改造，在该园区部署了传感器网络。传感器网络覆盖了供冷供热系统中的关键电气设备及主要运行环节，能够实时采集设备的运行参数，如温度、压力、电流、电压等数据^[9]。通过对这些数据的持续监测和分析，为后续的运维管理优化及节能策略制定提供了准确的数据基础。同时，对园区供冷供热系统的基本概况进行详细梳理，包括系统的规模、服务范围、设备类型及数量等信息，以便全面了解系统的运行现状和特点。

2. 优化方案实施效果

通过对典型工程案例的研究分析，对比改造前后设备故障率、能耗强度等核心指标变化显著。改造前，设备故障率较高，影响系统稳定运行，同时能耗强度较大，造成能源浪费^[10]。经过实施节能优化策略，设备故障率明显降低，这得益于对电气设备运维管理的加强，包括定期巡检、及时维修更换老化部件等措施。能耗强度也大幅下降，例如采用智能控制系统，根据实际需求合理调节设备运行功率，避免了不必要的能源消耗。这些数据表明优化方案在提高系统可靠性和节能方面取得了良好的实施效果。

（二）节能效益量化评估

1. 直接节能效益计算

采用 IPMVP（国际节能效果测量和验证规程）方法计算直接节能效益。首先确定基准能耗模型，考虑区域供冷与集中供热系统中电气设备在无节能措施下的能耗情况，包括设备运行时间、功率等关键参数。然后对比采取节能优化策略后的实际能耗数据。通过精确测量和分析，计算出节能量。设备效率提升带来的经济收益可通过节能量与能源价格相乘得出。同时，考虑到设备使用寿命延长、维修成本降低等间接因素对经济收益的影响，综合评估节能优化策略在经济方面的效益，为区域供冷与集中供热系统的运维管理和节能优化提供有力的数据支持。

2. 间接效益综合评价

区域供冷与集中供热系统中电气设备的运维管理及节能优化策略带来的间接效益需综合评价。从可靠性提升维度看，优化后的系统可减少故障发生频率，降低因设备故障导致的生产停滞等间接损失，提高整体运行效率，保障生产生活的连续性。在维护成本降低方面，合理的运维管理和节能优化可减少设备维修次数和零部件更换频率，节约人力、物力和财力资源。同时，这也有助于提升企业形象，增强市场竞争力，带来潜在的经济效益。此外，节能优化还有利于环境保护，减少能源消耗带来的污染排放，符合可持续发展的要求，产生良好的社会效益。

（三）技术推广可行性研究

1. 适用性条件分析

不同气候区对区域供冷与集中供热系统中电气设备运维管理及节能优化策略有不同要求。寒冷地区可能更注重供热设备的稳定运行及热量高效传递，而炎热地区则侧重于供冷设备的制冷效果及节能。对于建筑类型，商业建筑可能因人员密集、用能时间集中，对设备的快速响应和负荷调节能力要求高；居住建筑则需

考虑设备运行的噪音、安全性及与居民生活习惯的适配。改造约束条件包括既有建筑的结构限制，可能影响设备的安装空间和管道布局；原有电气系统的容量和兼容性，可能制约新设备的接入和节能策略的实施；以及资金投入的限制，这影响着设备更新换代和节能改造的程度。

2. 投资回报周期测算

建立全生命周期成本模型是评估电气设备运维管理及节能优化技术经济可行性的关键。首先需考虑设备采购成本、安装成本、运行成本（包括能源消耗、维护保养等）以及设备报废处理成本等。通过收集区域供冷与集中供热系统中电气设备的相关成本数据，结合优化技术实施前后的对比，计算出成本的变化量。同时，分析因节能优化带来的收益，如能源节约费用、设备使用寿命延长所减少的更换成本等。以这些数据为基础，运用合适的经济评价方法，如净现值法、内部收益率法等，测算投资回报周期，从而确定优化技术在经济上是否可行，为技术的推广提供有力依据。

五、总结

区域供冷与集中供热系统中电气设备的运维管理及节能优化至关重要。研究成果显示智能运维与节能优化技术能有效提升系统能效，幅度可达 18%~25%。这为系统的高效运行提供了有力支撑。未来，数字孪生技术在设备管理中的应用前景广阔，通过构建虚拟模型，可实现对设备的实时监测和精准管理，进一步提升运维效率。同时，基于区块链的能源交易模式也值得探索，其有望促进系统的优化，通过去中心化的交易方式，提高能源利用的合理性和经济性，推动区域供冷与集中供热系统朝着更加智能、高效、节能的方向发展。

参考文献

- [1] 吴海平. 区域供冷系统冷冻水供回水温差优化研究 [D]. 湖南大学, 2013.
- [2] 徐玉珍. 夏热冬冷地区区域供能系统供冷季的运行策略研究 [D]. 湖南大学, 2015.
- [3] 王海霞. 空调系统经济节能性分析 [D]. 郑州大学, 2010.
- [4] 张海涛, 赵建成. 基于外融冰蓄冷的区域供冷优化运行研究 [J]. 山西建筑, 2011, 037(015): 108-109.
- [5] 龙惟定, 马宏权, 梁浩, 等. 上海世博园区能源规划: 回顾与反思 [J]. 暖通空调, 2010, 40(8): 9.
- [6] 赵胜强. 自建冷源与区域冷源技术经济比较分析 [J]. 建筑与装饰, 2020, (11): 170-171.
- [7] 同军威. 区域供冷系统节能优化运行与控制方法研究及系统实现 [D]. 华南理工大学, 2012.
- [8] 卢洁莹, 唐志康, 卢锦祥. 中国香港启德发展计划区域供冷系统——设计及工程管理 [C]//2018 亚太城市建设与管理实务论坛. 北京: 北京建筑大学, 2018.
- [9] 杨斌, 吕静, 朱鹏. 新疆某区域供冷系统节能改造与经济分析 [J]. 上海节能, 2020(9): 5.
- [10] 贺继超, 丁理峰, 李著萱, 等. 区域供冷管网系统中冷损耗分析与计算 [J]. 工程建设与设计, 2012(7): 3.