

园区供热现状分析及低碳路径探索

何林坤 孙丽明

北京长峰新联工程管理有限公司 北京 100039

【摘要】：研究旨在分析园区供热系统的运行特性和节能潜力，以期为优化系统运行提供理论依据。首先，阐述了园区供热系统的组成；然后，分析了系统的运行特性、烟气余热量、碳排放量；最后，通过对运行管控、节能潜力进行分析，提出了技术和管理优化措施。研究结果指出，通过改进运行管理，增加余热回收装置，可提升园区供热系统的热效率、能效。因此，深入研究园区供热系统的运行特性和节能潜力，对实现系统的高效和低碳运行具有重要意义。

【关键词】：供热；直燃机；锅炉；余热

DOI:10.12417/2705-0998.26.04.056

引言

“十四五”能源领域科技创新规划指出，实现电、热、冷、水、气、储、氢等多能流优化运行及智慧运维，全面提升能源综合利用率^[1]。近两年公司逐步建立了冷暖、电力、能耗等运维平台动力运维智能化水平得到大幅提升。针对目前各类平台数据分析利用率低、分析手段欠缺等问题，以园区现有能源管理平台为基础进行数据分析，引入能源基准和能源绩效参数指标，进一步优化能源平台，提高能源利用率。

1 设备基本情况

现园区供热站房主要由1号站、2号站组成。1号站供热系统由2台直燃机、2台热水循环泵、3台冷水补水泵组成、由分集水器统一进行输配。2号站供热系统分为空调系统与锅炉系统两种。空调系统由直燃机供热，由4台直燃机、4台热水循环泵、2台冷水补水泵组成，由分集水器统一进行输配。锅炉一次水系统由3台锅炉、3台一次水循环泵、2台一次水补水泵组成，分为两路热水通至板式换热器进行供热，分别对应北区供热区域、南区供热区域；锅炉二次水系统由2台南区二次水循环泵、2台南区二次水补水泵、2台北区二次水循环泵、2台北区二次水补水泵组成。

2 设备运行分析

2.1 直燃机运行能效分析

1号站房有2台直燃机，2号站房有4台直燃机，均为双良直燃型溴化锂吸收式冷(温)水机组，型号ZXQ II-698H2M2，额定制热量5582kW，配电量35.9kW。根据理论公式计算可得^[2]，双良直燃型溴化锂吸收式冷(温)水机组额定制热COP为0.93。

以供暖季某日为例，统计典型直燃机每小时运行参数，进行设备及系统运行能效计算。1#直燃机稳定运行期间，供水流量稳定在837m³/h，热水供水温度稳定在30.0℃，热水回水温度稳定在26.0℃，平均供回水温差在4.0℃，供热量稳定在3944kW。直燃机制热COP稳定在0.83。

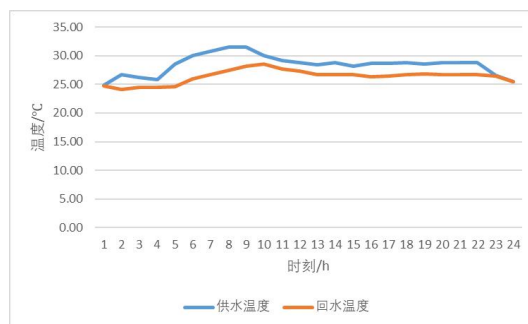


图1 直燃机供回水温度随时间变化

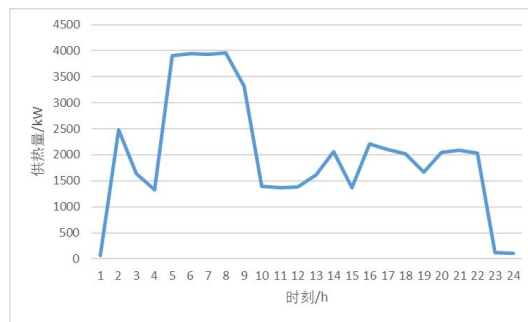


图2 直燃机供热量随时间变化

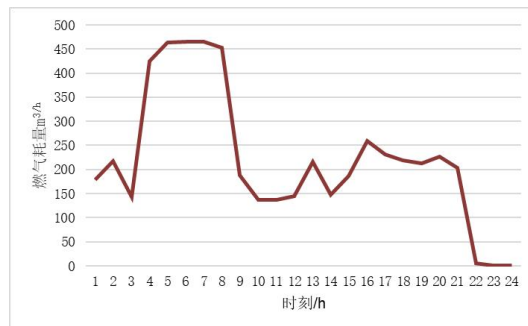


图3 直燃机燃气耗量随时间变化

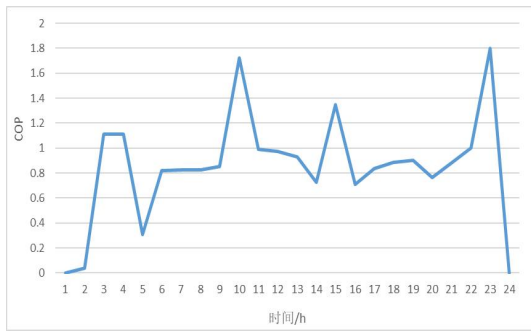


图 4 直燃机 COP 随时间变化

通过理论分析可知，直燃机供热节能降耗的途径为：增大供回水温差，适当增加供回水流量，减少直燃机低负荷运行时间，降低排烟温度。通过增大供回水温差，可降低水泵运行电耗，在运行情况允许的情况下，保证较大的供回水温差有利于运行系统节能降耗。直燃机制热 COP 随直燃机负荷降低而降低，根据室外温度选择相匹配负荷的直燃机运行，减少直燃机低负荷运行时间，有利于提高直燃机热效率。直燃机排烟温度较高，通过增加烟气热回收装置，可大幅降低排烟温度，提高直燃机系统运行经济性。

2.2 锅炉运行能效分析

2 号站房有 3 台热水锅炉，均为中正冷凝式燃气热水锅炉。2 台锅炉为型号 WNS2.8-1.0/95/70-Y,Q，额定制热量 2800kW，额定出口水温 95℃，额定进口水温 70℃，配电量 12kW；1 台锅炉为型号 WNS4.2-1.0/115/70-Y,Q，额定制热量 4200kW，额定出口水温 115℃，额定进口水温 70℃，配电量 16kW。根据理论公式计算可得中正冷凝式燃气热水锅炉额定低位热效率为 95%^[3]。

以供暖季某日为例，统计典型锅炉每小时运行参数，进行设备及系统运行能效计算。1#锅炉稳定运行期间，供水流量稳定在 120m³/h，热水供水温度稳定在 62.7℃，热水回水温度稳定在 45.8℃，平均供回水温差在 16.9℃，供热量稳定在 2367kW。锅炉低位热效率稳定在 88.3%。

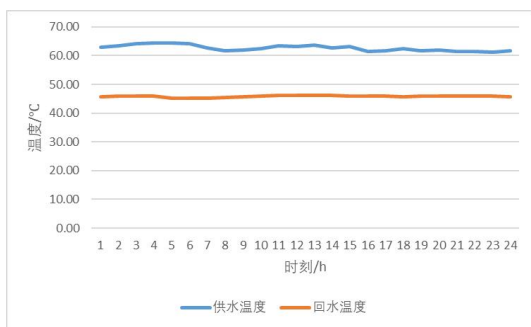


图 5 锅炉供回水温度随时间变化

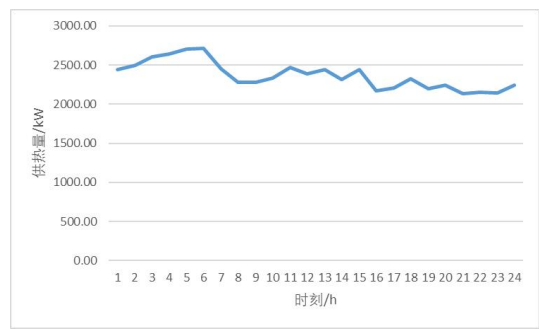


图 6 锅炉供热量随时间变化



图 7 锅炉燃气耗量随时间变化

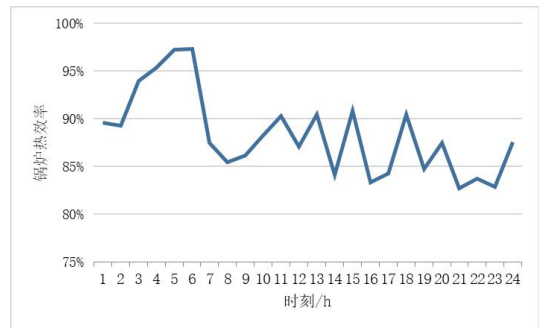


图 8 锅炉热效率随时间变化

通过理论分析可知，锅炉节能降耗的途径为：增大供回水温差，减少锅炉低负荷运行时间，降低排烟温度。通过增大供回水温差，降低供回水流量，可降低水泵运行电耗，1#锅炉供回水温差在 16.9℃，在运行情况允许的情况下，保证较大的供回水温差有利于运行系统节能降耗。锅炉运行热效率随锅炉负荷降低而降低，根据室外温度选择相匹配负荷的锅炉运行，减少锅炉低负荷运行时间，有利于提高锅炉热效率。通过增加烟气热回收装置，可降低排烟温度，提高锅炉系统运行经济性。

2.3 烟气余热分析

天然气的主要成分是 CH₄，故天然气烟气中含有大量的水蒸气，即蕴含大量潜热。若在回收天然气烟气余热过程中，使烟气中水蒸气冷凝，不仅可以提高换热器的传热能力，还可以深度回收烟气余热。

1#直燃机稳定运行期间，经计算可得直燃机排烟温度与烟气热值的关系，烟气露点温度为 56.5℃。当锅炉排烟温度从 140℃降低至露点温度，烟气热值的差值为 1602kJ/m³天然气^[4]；

1#直燃机稳定运行期间，排烟温度稳定在 150.4℃，可回收烟气热量稳定在 912kW。

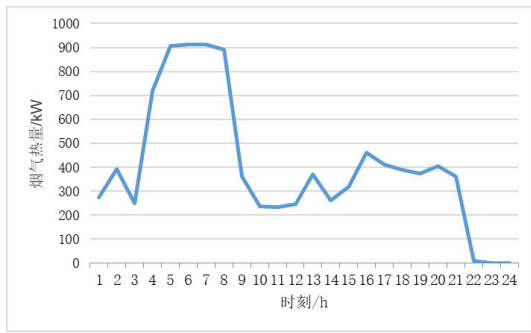


图9 直燃机烟气热量随时间变化

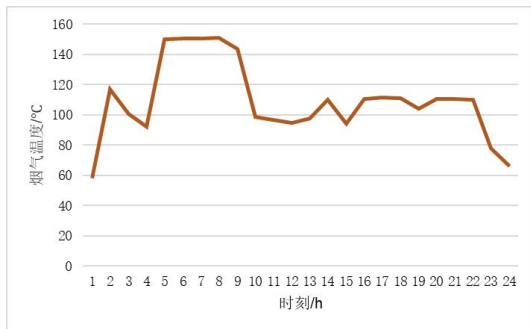


图10 直燃机排烟温度随时间变化

1#锅炉稳定运行期间，经计算可得锅炉排烟温度与烟气热值的关系，烟气露点温度为 58.6℃。当锅炉排烟温度从 70℃降低至露点温度，烟气热值的差值为 212.2kJ/m³ 天然气。1#锅炉高负荷稳定运行期间，排烟温度稳定在 78.8℃，可回收烟气热量稳定在 358.2kW。

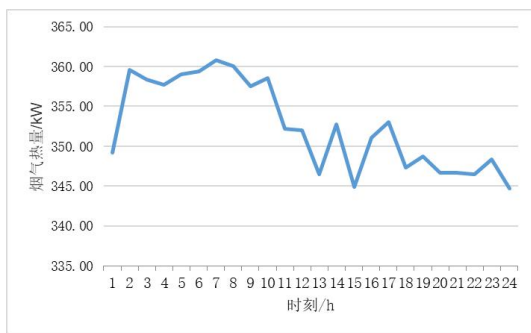


图11 锅炉烟气热量随时间变化

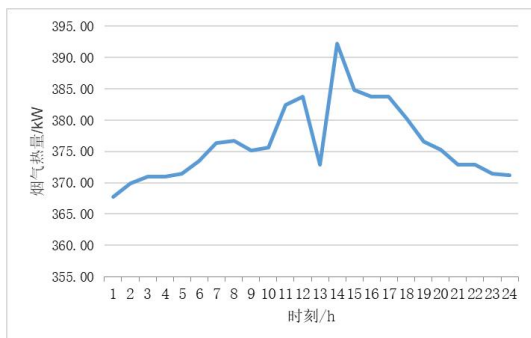


图12 锅炉烟气热量随时间变化

2.4 碳排放量分析

1号站房、2号站房供热系统稳定运行期间，1号站房供热系统每小时 CO₂ 排放量为 1007kgCO₂，2号站房锅炉供热系统每小时 CO₂ 排放量为 458kgCO₂。

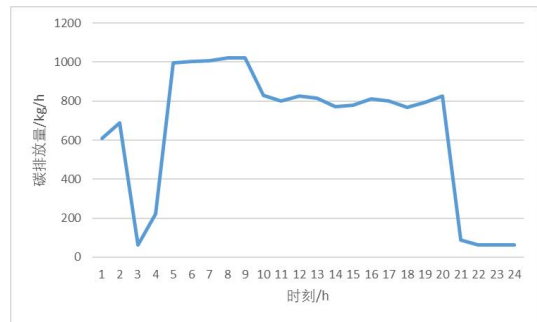


图13 1号站房直燃机 CO₂ 排放量随时间变化

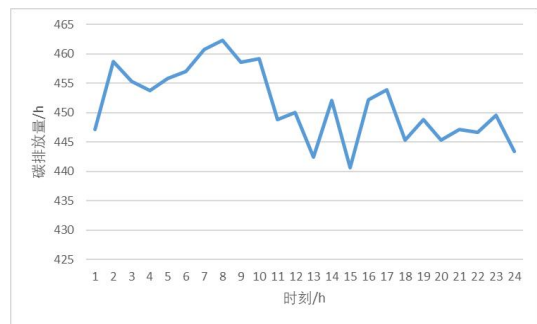


图14 2号站房锅炉系统 CO₂ 排放量随时间变化

3 运行节能管控策略

3.1 高性能设备使用

在供应相同热量时，不同能效设备消耗的能源量不同。当采用高效设备时，可降低能源消耗、运行成本、碳排放等特点。以园区直燃机为例，当直燃机设备 COP 为 0.8，且直燃机以高负荷运行，天然气消耗量 400m³/h，供热量 4523.11kW 时。直燃机设备 COP 从 0.8 提升到 0.9 时，可节约天然气 44.44m³/h，占使用天然气量 11.11%；直燃机设备 COP 从 0.8 提升到 1 时，可节约天然气 80m³/h，占使用天然气量 20.00%。

3.2 烟气余热回收

锅炉、直燃机的排烟温度直接影响到机组运行的经济性，将排放的高温烟气进行余热回收利用，可有效提高设备能效，节约能源及运行费用。目前，烟气余热回收按照烟气与水换热方式，分为间壁式换热与直接接触式换热。间壁式换热，即低温热水和烟气的换热过程在各类间壁式换热器中进行；直接接触式换热，即低温热水与烟气直接接触换热，增大水换热面积，换热效率较间壁式换热有较大提升。

为回收更多的烟气热量，以园区直燃机为例，利用直燃机排放的烟气，通过集中引入至喷淋塔内，利用 35℃ 中介水与排放烟气直接接触式换热，将中介水加热至 40℃，加热后的中介

水通过板式换热器与回水进行换热，将回水温度加热至 35℃，进入分水器用于用户采暖。

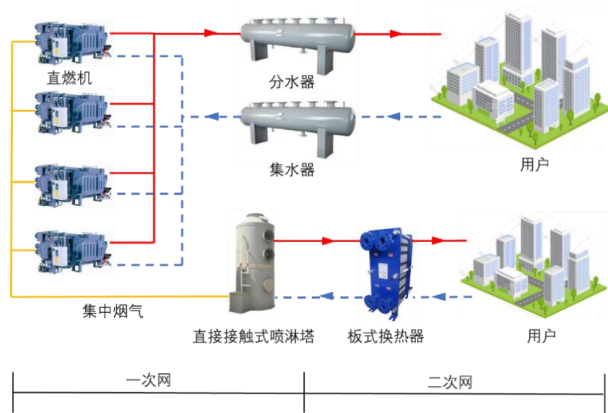


图 15 采用直接接触式换热器系统流程图

通过对市场直接接触换热器调研，各环节供热参数如下表所示^[5]。

表 1 供热参数

供水温度	回水温度	流量	一次网供热总功率
℃	℃	m ³ /h	kW
35	30	1100	6395

表 2 喷淋塔参数

烟气进气温度	烟气排气温度	烟气进气焓值	烟气排烟焓值	天然气流量	换热量
℃	℃	kJ/m ³ 天然气	kJ/m ³ 天然气	m ³ /h	kW
140	40	6899	2493	420	514

参考文献:

- [1] 国家能源局.关于印发《“十四五”能源领域科技创新规划》的通知[EB/OL].(2021-11-29)[2021-11-29].
- [2] 张昌.热泵技术与应用[M].机械工业出版社,2018.
- [3] 樊泉桂.锅炉原理[M].中国电力出版社,2014.
- [4] 陈珣,盛锴,刘明,等.燃煤电站烟气余热回收耦合中低温储热系统热力学及技术经济性分析[J].热能动力工程,2026,41(02):153-162.
- [5] 何正,孔令凯,孙涛,等.基于吸收式换热的石化余热供暖新工艺及方案[J].暖通空调,2017,47(05):130-133.

通过设置直接接触式换热，可将烟气排烟温度降低至 40℃，回收热量 514kW，可节约天然气占使用天然气 8.04%，相比间壁式换热可提升近 4 倍。该方案可将烟气降低至更低温度，并可回收烟气中冷凝水，既可作为中介水的补充水源，也可集中排放，不会对直燃机运行产生影响；但该方案涉及到设备占地问题，需结合站房室内外空间进行合理安排。

3.3 高度智能化调节策略

供热负荷受建筑物本身性能、气象参数、人员使用情况等因素影响。对于工业园区内办公建筑，供热负荷主要受室外气象条件影响。在室外温度较低时，应避免供热量过低造成室内热舒适度偏低；在室外温度较高时，应避免供热量过高造成能源浪费。

因此，根据不同的室外气象参数，选择合理地供回水温度，可有效降低能源消耗。采用高度智能化调节策略，以负荷预测+精准调节为途径。负荷预测，即通过获取不同的室外气象参数，预测下一日供热负荷，指导下一日供热策略制定。精准调节，即通过预测的供热负荷，自动调节供回水温度曲线，使站房供热量与实际需求量相匹配，通过变频技术调节循环泵转速实现水泵功率与供热负荷动态平衡。为实现高度智能化调节，需要采用分时分区调节与自动化控制系统，达到不同室外气象条件精准分配不同用户的供热量。

4 结论

综上所述，园区供热系统的运行特性分析是一项非常重要的工作。研究园区供热系统中系统的运行特性、烟气余热、碳排放量，揭示其运行机理，为优化运行提供理论基础。在此基础上，分析系统的运行特性，找出系统中存在的浪费环节，为制定节能措施及能源管理策略提供了重要依据。