

Research on improving the heat supply per unit hour (under low load in pure condensing condition) of one-to-one unit under the dual-carbon background

Xinyu Deng

Beijing Jingneng Gao'antun Gas Thermoelectricity Co., Ltd., Beijing, 100024, China

Abstract

Heat supply is an important output mode of gas turbine units. Improving the efficiency of these units under the dual-carbon background is significantly helpful for reducing carbon emissions. This article introduces technical methods to increase heat supply based on the operating characteristics of the unit under one-to-one pure condensing conditions, from the perspectives of optimizing the supply-side parameters of the thermal system and optimizing the heat exchange process. It provides practical references for the heat supply capacity of similar units.

Keywords

Heating network; Dual carbon; Heat supply

双碳背景下提高机组一拖一单位小时供热量（纯凝工况低负荷）的研究

邓新宇

北京京能高安屯燃气热电有限责任公司，中国·北京 100024

摘要

热力供应是燃气机组的重要输出方式。在双碳背景下提高机组效率对于减少碳排放有明显帮助。本文介绍了一拖一纯凝工况下根据机组运行特性，从热力系统供应侧参数优化以及换热流程优化等方向探讨提高供热量的技术方式，为同类型的机组供热能力提供实践参考。

关键词

热网；双碳；供热量

1 引言

燃气机组作为典型的热电联产机组，具备发电与供热协同运行的核心特性，可有效回收利用机组末端蒸汽热能实现对外供热，是能源梯级利用、提升综合能效的重要载体。面对当前日趋严峻的生产运营形势及刚性的供热任务指标要求，为全力保障既定供热目标圆满完成，特针对夏季一拖一纯凝运行工况开展专项技术研究，通过对该工况下机组运行参数、换热系统效能、能量传递路径的全面分析与优化，精准破解工况制约难题，切实提升机组该工况下的供热能力，保障供热系统安全、稳定、高效运行。

2 设备概况

北京京能高安屯燃气热电有限责任公司采用1套9F级燃气蒸汽联合循环“二拖一”多轴布置机组，燃机发电机和蒸汽轮发电机组为分轴布置。其中燃机发电机和蒸汽轮发电机组由上海电气集团股份有限公司供货，余热锅炉由无锡华光锅炉股份有限公司供货。机组热网系统配置有热网加热器、热网疏水冷却器。加热蒸汽可以取自汽轮机中压缸排汽，也可经高、中压两级旁路减温减压直接供给，还可取自低压补汽。经过热网加热器及其疏水冷却器后，疏水温度降至约75℃，热网加热器疏水通过热网疏水泵送至凝结水系统轴封加热器进口管段。

为最大限度回收利用燃机排气余热，降低烟气排放热损失，提升机组整体能源利用效率，余热锅炉采用扩大省煤器换热面积的专项设计，通过强化换热效果，充分吸收燃机排气中的低位热能，减少高温烟气直接排放造成的能源浪

【作者简介】邓新宇（1994—），男，中国北京人，本科，工程师，从事燃气发电系统运行技术与能效提升研究。

费，为后续热网供热提供稳定的热量来源。每台余热锅炉配套设置1台烟气热网水水换热器及2台烟气热网再循环泵，采用“一用一备”的冗余配置模式，确保热网换热系统连续稳定运行，规避单台泵故障导致的供热中断风险，保障供热可靠性。

系统运行时，抽取低压省煤器出口的凝结水作为换热介质，送入烟气热网水水换热器壳侧，与管侧流通的热网循环水进行间接换热，利用余热加热热网循环水回水，提升热网供水温度，满足对外供热需求。烟气热网水水换热器与热网加热器、疏水冷却器采用并联布置方式，该布置可实现多路径供热调节，根据外界供热负荷需求、机组运行工况变化，灵活切换换热路径，优化换热效率，同时便于单台设备检修维护，不影响整个热网系统的正常运行。

热网系统具备多工况供热能力，可根据机组不同运行状态，灵活采用五种供热模式：烟气热网水水换热器余热加热、汽轮机纯凝工况低压补汽加热、汽轮机抽凝工况供汽加热、汽轮机背压工况供汽加热及汽轮机全切工况供汽加热，全面覆盖机组各类运行场景，确保供热的灵活性和稳定性。其中，在机组一拖一纯凝工况下，热网系统优先采用烟气热网水水换热器余热加热与汽轮机纯凝工况低压补汽加热相结合的运行方式，既充分利用燃机排气余热实现节能降耗，又通过低压补汽辅助加热，保障供热参数达标，兼顾经济性与供热质量，最大化提升机组能源利用效率。

3 可能造成供热量低的原因

机组在不进行全切的情况下，主要热源来自中压缸排汽、低压补汽和锅炉烟气这三个途径。从这三个途径进行相应分析，可得出5个可能造成供热量低的原因，分别是热网系统温度超限、热网系统压力超限、热网系统水质不合格、热网加热器未达到最大换热量和烟气热网水水换热器未达到最大换热量。

瞬时供热量的核心计算依据为热量传递基本公式，其表达式如下：

$$Q=cm\Delta t \quad (1)$$

式中各参数定义及工程实际取值规范如下：式中Q为瞬时供热量（单位：kJ/s，工程中常用MW换算，1MW=10⁶J/s），表征单位时间内热网系统输出的有效热量；c为热网循环水的比热容（常温下取4.186kJ/(kg·℃)，随水温变化略有波动，工程计算中可按定值选取，确保误差控制在允许范围内）；m为单位时间内热网循环水的质量流量（单位：kg/s，与体积流量成正比，可通过热网流量计实测获取）；Δt为热网循环水供回水温差（单位：℃），即供水温度与回水温度的差值，是反映热交换效率的关键运行参数。

由公式（1）可知，瞬时供热量Q与比热容c、质量流量m、供回水温差Δt呈正相关关系。由于热网循环水介质

固定，比热容c可视为常量，因此提升供热量的核心路径仅为两种：一是增大热网循环水供回水温差Δt，二是提高热网循环水质量流量m。

在夏季低负荷运行工况下，结合电网调度指令及热负荷需求，热网供水温度被严格控制在80℃左右。此时受环境温度、末端换热设备工况限制，供回水温差Δt维持在相对固定的合理区间，无法通过调整温差实现供热量提升。因此，在该工况下，唯一可操作且有效的供热量提升手段，即为通过调整热网循环水泵转速、优化水泵运行方式等措施，提高热网循环水质量流量m，从而依据公式（1）的量化关系，实现瞬时供热量Q的稳步提升，满足调度要求及热负荷需求。

4 提高供热量的主要途径

针对热网系统问题开展专项排查，对照热网加热器、烟气热网水水换热器技术协议，核对系统供回水及换热器进出口实际温压数据，各测点参数均处于协议设计区间及规范范围，无超温、压力异常现象，排除温压超限问题。同时按行业规范及厂内规程，化验热网循环水硬度、酸碱度等关键水质指标，所有参数均达标，无超标污染问题，排除水质不合格问题。经核查发现，一拖一纯凝低负荷工况下，热网加热器热源侧输入热量、冷源侧循环水吸热能力未达技术协议设计值，换热效率未充分发挥；烟气热网水水换热器热网循环水实际流量偏小，介质通流量未达设计标准，换热面积利用率不足。综上，提升夏季热网供热量的核心途径为提升热网加热器、烟气热网水水换热器的换热量。

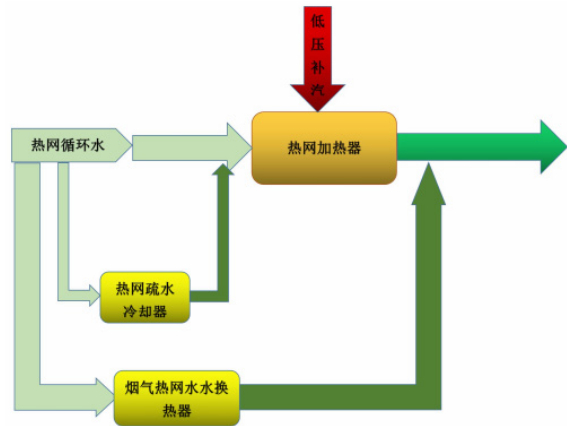


图1 热网系统布置图

为适配供热负荷提升需求，需增大热源侧有效热量输出，依托热网加热器、烟气热网水水换热器等核心设备强化介质换热效率，将热源侧热量高效传递至热网循环水侧，精准匹配新增负荷热量需求，保障供水、回水温度及压差等关键参数稳定，满足热网整体供热要求。

热网回水经循环水泵升压后分流，一路至烟气热网水水换热器，另一路至热网加热器及疏水冷却器，换热后汇流

输出热量，分流比例可按需动态调整。

机组纯凝低负荷工况下，热网加热器进汽以低压补汽为主，补汽压力稳定性影响热源侧供热效率。当前可通过调整低压主蒸汽至热网蒸汽关断阀开度，精准调控补汽压力，减少阀门截流的蒸汽损耗，提升蒸汽利用率，增加瞬时热量供给，该环节压力调整与损耗优化实操空间较大，精细化调控可进一步释放换热潜力。

烟气热网水水换热器热源为凝结水余热，热量供给受凝结水流量、温度影响显著。调整时需严守设备安全规范，在确保锅炉排烟、低压省煤器进口温度不超设计限值，避免设备腐蚀及热损失增加的前提下，逐步增加凝结水流量，提升热源侧热量输送效率，稳步增加热量供给，强化换热器换热能力，缓解热网供热量不足问题。

5 结果验证与分析

在机组纯凝低负荷工况下，热网加热器进汽依赖低压补汽，为提升其热源侧热量供给，可通过调节低压主蒸汽至热网阀门开度，精准控制热网加热器进汽压力。调节需坚守设备安全底线，在确保蒸汽保持合理过热度、杜绝蒸汽带水冲刷损坏热网加热器管束的前提下，尽量开大该阀门，降低阀门截流损耗、提升蒸汽换热利用率，其对热网供热量的具体调节效果如表 1 所示。

表 1 调整低压补汽供汽压力试验表

序号	机组负荷 (MW)	低压补汽压力 (MPa)	供热量 (GJ/h)
1	215	0.1	100.9
2	213	0.18	98.2
3	214	0.18	97.8
4	213	0.15	98.9

在相同负荷情况下，通过调整低压补汽供汽压力，增加热网加热器换热量，供热量可增加约 3GJ/h。

针对烟气热网水水换热器热源供给优化，需严格遵循设备安全运行约束，在保证锅炉排烟温度不低于 70℃、低压省煤器进口温度稳定维持在 60℃-61℃的前提下，尽可能增加其凝结水侧流量。此举可提升热源侧热量输送效率，充分利用凝结水携带热量，提升换热器换热能力，其对热网供

热量的具体调节结果如表 2 所示。

表 2 调整烟气热网水水换热器凝结水侧流量试验表

序号	机组负荷 (MW)	凝结水侧调门开度%	供热量 (GJ/h)
1	230.89	60	97.5
2	232.89	65	98.2
3	232.91	54	95.5
4	231.78	57	96.1

在相同负荷情况下，通过提升烟气热网水水换热器凝结水侧流量，增加烟气热网水水换热器换热量，供热量提高约 2GJ/h。

6 经济效益分析

本次试验针对一拖一纯凝低负荷工况热网供热量不足问题，制定并实施系列优化调节举措，有效提升机组热网供热量，改善热网系统换热效率，实现供热量精准提升。按非供热季 33 元 / GJ 的统一供热定价，结合实测数据测算，机组小时供热量平均提升 5GJ，单小时供热营收增加 165 元。参照夏季低负荷工况机组 650 小时实际运行时长，预计夏季可新增供热营收 10.69 万元，实现供热效益与机组运行经济性双重提升。

7 结语

热网供热量提升是需长期谋划、持续推进的系统性工作，核心统筹机组运行工况，推动纯凝、抽凝工况下热量抢发工作协同开展。纯凝工况持续优化调节举措，深挖低负荷供热潜力；抽凝工况结合特性优化负荷分配与换热调节，充分释放供热能力。后续将围绕机组极限供热量提升开展专项攻关，重点突破换热效率提升、参数精准调控等难点，强化供热稳定性与可控性，筑牢北京地区热力可靠供应防线，保障区域热力供应。

参考文献

- [1] 杨铸.汽轮机运行.中国电力出版社, 2017.
- [2] 张磊.余热锅炉设备与运行.中国电力出版社, 2022.
- [3] 秦宝平.锅炉运行.中国电力出版社, 2016.
- [4] 张磊.燃气轮机和蒸汽轮机设备与运行.中国电力出版社, 2020.