

Consideration on full back pressure operation of cogeneration units under carbon neutral background

Yongwu Li

Jiangsu Senda Thermoelectric Corporation, Yancheng, Jiangsu, 224700, China

Abstract

This paper is to talk about the problems related to the total back pressure operation mode of cogeneration units. The effects and requirements of cogeneration under carbon neutrality are described. The economic performance under full back pressure operation is analyzed through the actual transformation operation of our company, including the change of operation mode, efficiency change and carbon reduction impact. At the same time, the strategy to ensure the reliable operation of the unit under the condition of high heating and low load is deeply discussed, and the multi-dimensional thinking is carried out from equipment maintenance and operation parameter adjustment, with the purpose of providing a theoretical basis for the optimization of the operation of the cogeneration unit under the new background, referring to engineering cases and discussing practical operation.

Keywords

carbon neutrality; Combined heat and electricity; Heat supply

碳中和背景下热电联产机组全背压运行的思考

李用武

江苏森达热电总公司, 中国 · 江苏 盐城 224700

摘 要

本文要说的是对热电联产机组全背压运行模式有关问题的思考。描述了碳中和目标下对热电联产的影响和要求, 通过我们公司实际改造运行情况对全背压运行下的经济性能进行分析, 包括运行方式改变、效率变化、降碳影响等方面。同时, 深入探讨在供热高、低负荷情况下保障机组可靠运行的策略, 从设备维护、运行参数调整等多维度展开思考, 目的是为热电联产机组在新背景下优化运行提供理论依据, 参考工程案例和探讨实践运作。

关键词

碳中和; 热电联; 供热

1 引言

随着全球对气候变化问题的重视, 碳中和目标成为能源领域发展的重要指引, 低碳经济就是以低能耗低排放低污染为基础的经济模式。国家“双碳”目标是坚定的, 有一定的实施路径, 在大力发展无碳能源上积极推进, 积极分发展核电、大力发展水电、规模化发展风电和加快太阳能利用等等, 充分考虑经济社会的发展、发电行业的实际情况、市场调节需要等因素, 结合减排目标和行业发展技术特点, 合理设计并不断调整配额方案。健全市场碳配额发放机制, 营造平等开放竞争的市场环境。压实企业降碳责任, 推动企业绿色低碳转型。所以在大力发展可再生能源的基础上, 碳市场交易会越来越严格, 越来越受到各行各业的重视。

【作者简介】李用武（1968-），男，中国江苏盐城人，本科，工程师，从事火力发电、热力生产与供应以及环保超低排放运行和分析等研究。

热电联产作为一种高效的能源利用方式, 在满足供热和发电需求方面有着重要作用。在碳中和这个大背景下, 探索热电联产机组更优的运行模式, 如全背压运行, 对于提高能源效率、降低碳排放具有重要意义。同时, 保障供热过程中机组在不同负荷下的可靠运行, 是确保供热质量和能源供应稳定性的关键。

本文重点分析在碳中和目标的约束下, 热电联产机组发展全背压运行来实现能源的高效利用和碳排放的降低, 同时对其技术可行性、经济性等进行探讨。

2 碳中和目标对热电联产的影响

2.1 政策导向与碳排放限制

各国政府纷纷出台相关政策, 对能源行业的碳排放进行严格限制。中国更是很快明确了碳达峰碳中和的时间表。热电联产机组需要在满足供热需求的同时, 降低发电供热过程中的碳排放。这促使企业寻求更高效的运行模式, 全背压运行因其在特定条件下的优势而受到关注。热电联产企业的

碳排放配额也会逐年收紧，不断科学调整企业配额系数，企业必须通过技术改进来应对。我们首先来了解一些碳排放的理论和政策。

摘我们国家 2023、2024 年各类别机组碳排放基准值
机组类别：

燃煤矸石、煤泥、水煤浆等非常规燃煤机组（含燃煤循环流化床机组）基准值：

发电基准值（tCO ₂ /MWh）		
2023 平衡值	2023 基准值	2024 年基准值
0.8352	0.8285	0.8244
供热基准值（tCO ₂ /GJ）		
2023 平衡值	2023 基准值	2024 基准值
0.1041	0.1038	0.1033

数据调整说明：2023 年平衡值是基于 2023 年碳排放数据，综合考虑履约优惠政策、修正系数计算，是各类机组发电、供热碳排放配额量与应清缴配额量平衡时对应的数值。2023 年 300MW 等级以上常规燃煤机组发电基准值较 2023 年平衡值下降约 0.4%，300MW 等级及以下常规燃煤机组发电基准值较平衡值下降约 0.8%，燃煤矸石、煤泥、水煤浆等非常规燃煤机组发电基准值较平衡值下降约 0.8%，燃气机组发电基准值较平衡值上升约 2.0%，燃煤机组供热基准值均较平衡值下降约 0.3%，燃气机组供热基准值均较平衡值上升约 2.0%。2024 年各类别机组发电、供热基准值再做调整。

了解燃煤机组的 CO₂ 排放配额计算。公式如下：
 $A=A_e+A_h$ 式中：

A—机组 CO₂ 配额总量（tCO₂）， A_e —机组发电 CO₂ 配额量（tCO₂）， A_h —机组供热 CO₂ 配额量（tCO₂）

机组发电 CO₂ 配额量计算方法： $A_e=Q_e \times B_e \times F_l \times F_f$

Q_e —机组发电量，单位 MWh， B_e —机组所属类别的发电基准值，单位 tCO₂/MWh；

F_l —机组冷却方式修正系数，如果凝汽器的冷却方式是水冷，则机组冷却方式修正系数为 1；如果凝汽器的冷却方式是空冷，则机组冷却方式修正系数为 1.05；对于背压机组等特殊发电机组，冷却方式修正系数为 1。

同样品质参数和同质量的蒸汽发出更多的电产出更多的热都是提高效率的具体体现，从计算方法中知道发电越多供热越多自然就会得到更多的碳配额，是科学正确的算法。在国家政策的引导下，如何自己达到中和，或者出现更多的碳盈余是我们追求的目标。对于热电联产企业来讲，同样的耗能发出越多的电，供出越多的热能，那么其能效越高，其降碳效果就越明显。这需要多方面的努力才行。其中，全背压运行就是一个最重要的基础运行方式。作为一个企业如何实现它？作为一个工业园区，一个县域供热如何安排部署才能实现？是值得思考的。

2.2 能源结构调整的压力

碳中和目标推动能源结构向可再生能源和低碳能源转型。热电联产机组面临着与其他清洁能源竞争的压力，需要提高自身的经济性和环保性。在这种情况下，全背压运行如果能实现更好的经济性能，将有助于热电联产在能源转型中保持极强的竞争力。比如，太阳能、风能等可再生能源的发展，可能会影响热电联产机组的发电市场竞争力，或者是碳配额影响，促使热电联产优化运行。但在供热上又是太阳能、风能目前难以做到的，这是供热机组的优势。尽管有光能热力机组的运行研究，都是较小的，难以大型化，且是刚刚开始研究试验阶段，当然有理由相信在当今时代不久的将来，也会把光热电力产业做得更好。

3 集团公司改造的工程案例，作为案例促进技改思考

一热电公司 2005 年投产，有 3*75t/h,1*130 t/h（后增加 1*220 t/h）次高温次高压锅炉，2*15MW 抽凝机组。供热由开始的 10 t/h 逐步增长到 80 t/h 左右，考虑到机组的供热能力和效率，在热电联产以热定电政策指引下，2010 年 10 月，1 号 15MW 抽凝机组改 15MW 背压机替代项目启动。13 日通过工程质量监督中心站的质量咨询后具备整套启动试运条件，16 日顺利并网；2011 年 2 号 15MW 抽改背等量替代改造开工，施工历时 3 个月，顺利并网。2017 年随着供热上升，为满足园区需求新上了 1*220t/h 的次高温次高压锅炉、1*15MW 杭汽背压机组于 11 月份投入运行。为 2018 年供热高峰时达到 400t/h 左右实现三台背压机组全部投入运行。

二热电公司，2005 年投产，有 1*75t/h,1*130 t/h 次高温次高压锅炉，2*15MW 抽凝机组，2011 年 6 月 2 号机组完成背压式替代改造投入运行。随着供热上升，2013 年将 1 号机 15MW 抽凝机组改背压机启动。2021 年该公司将第一台 15MW 背压机改成 6MW 背压机组，是由于园区产业调整供热量发生较大变化，供热由原来的 100t/h 多减少到 40t/h 左右，15MW 背压机容量偏大发电机组无法运行，只能用网电运行锅炉，双减供热。效率低、不经济、成本高严重亏损。为响应热电联产政策，提升综合热效率，降低企业运营成本，减少亏损，必须改造。11 月该公司 6MW 机组顺利发电，平均发电 5MW，汽耗平均 11kg/kwh。

4 热电联产机组全背压运行的各种情况

4.1 机理分析

4.1.1 运行控制的差异

全背压运行时，机组的效率、汽耗与蒸汽参数和流量密切相关，也与机组大小、负荷率有很大关系。在不同的负荷下，全背压运行可能需要锅炉时刻精细的调整控制。热电联产机组，对于抽凝机来讲，只要电负荷或者进汽量能满足抽汽的要求，只是热与电的一个转换，根据供热大小通过隔

板或其它方法改变抽汽大小，抽汽供热多，电就发得少，反之一样；除非进汽量不够，抽汽能力满足不了需求时，需要增大锅炉负荷。机组纯背压时，是100%的以热定电，需要随时调整锅炉负荷。低负荷时需要调整给煤量和配风，以确保稳定燃烧和热量供应，如果出现供热瞬时很低，来不及调整就需要释放一部分蒸汽，或者增大疏水，调节平衡，这肯定会增加一定的运行成本[1]。

这样改造后，同样的供热，我们减少了煤炭的用量。比如第一公司，热负荷100吨/时，抽凝机供热时，需要两台15MW机组带额定负荷运行，每台抽汽50-58 t/h，进汽约100 t/h，锅炉需要产汽约200 t/h；

纯背压机供热运行时，锅炉产出110 t/h左右的蒸汽，一台15MW背压机运行满足供热，发电汽耗约12kg/kwh。

抽凝运行时，至少需要一台75t/h和一台130 t/h锅炉，两台15MW抽凝机运行，在背压机运行就用一台130 t/h锅炉和一台15MW背压机。同样的供热抽凝运行时增加近40%的碳排放。

4.1.2 设备投入和维护

纯背压运行，较高的背压和排汽温度增加机本体一次投入成本。同时，相关的管道、阀门等设备在全背压工况下都需要进行增大改造。

但是辅助设备在纯背压运行如凝结水泵、射水泵、抽汽管道等也就没有了，建设和维护上减少了范围，减少了凝结系统、射水系统不稳定带来的风险。

4.1.3 供热参数稳定

纯背压运行监测和控制系统更先进更简化。运行人员接受专业的培训，运行相对简单。一定的负荷，保持基本稳定的进汽参数，其排汽温度和压力基本稳定。实时监测背压、温度、流量等参数，其主要是用户汽量变化，我们根据这些参数变化及时调整出力控制机组的进汽大小，增强科学运行管理。如果是抽背型，提供更多不同等级的蒸汽，那么会有多个抽汽口，其道理是一样，通过调节阀的调整满足各种参数要求。

4.2 效率提升情况

4.2.1 供热收益

总热效率和热电比是热电联产机组2个最重要的热经济性指标。对于背压式热电联产机组，单纯依据这2个指标进行装机方案比选会产生偏差，提出以热电联产年节煤量、年平均热电比，作为背压式热电联产机组热经济性评价辅助指标，实际上就是你的年供热量在什么水平，持续性和发展情况以更准确地进行背压机组的选型。我们目前纯背压运行可提高供热能力和供热质量，完全是100%以热定电，从原来的热效率45-55%左右一下子提升到80%以上。热电比可高达1600%以上，当然这主要与供热大小有关系。除去热损失、机械损失蒸汽在发电完成后所有热力除了自用汽外全部输送供热市场，稳定且高质量的供热可以获得更高的社会

效应。

对于用汽供热品质要求不高的地方，用纯背压运行，更加能体现热能的高效梯级利用。特别在寒冷地区，稳定的高质量供热可以更好地服务和满足工业和居民用户的需求，可以提高了低品位热能的使用，提高效率。纯背压运行热电联产企业在供热上有一定的优势，大大小小的机组配合调度，灵活性大保障性强，通过向用户提供更可靠的热能，在供热面积拓展方面有更好的前景。我们选用杭汽引进德国西门子三系列积木块技术设计的背压式汽轮机，完全依照用户需求设计满足各种负荷、参数的汽轮机，科学又方便设计，机型小巧，汽轮机的通流部分采用反动式、整锻转子结构，效率更高，运行更可靠[2]。

4.2.2 发电消耗情况

虽然是纯背压运行，主要侧重于供热，但在满足供热的时候，通过背压式汽轮机，合理的发电输出能带来收益。不同的设计发电汽耗会不同；主蒸汽参数以及排汽参数不同，发电汽耗也不同。一般情况下低的发电汽耗可以达到7kg/kwh左右，发电汽耗高的12 kg/kwh左右，各不相同。发电量除自用外，售电到电网，这是与减温减压供热不发电明显的差别，也是热电联产提高能效的另一具体体现。通过优化背压控制，提高机组的发电效率，降低汽耗，在电力市场中获取更高的经济回报。

4.3 负荷稳定范围不确定时规划的考虑

纯背压运行在长期来看可以实现更高的经济效益，尤其是在供热需求大且稳定的地区。但在供热负荷波动很大、企业或者园区形势不稳定等情况下，需要更谨慎地对待全部改成纯背压，或者是新背压机上马问题，怎么科学配置必须多思考。机组的机炉配置、大小不同等问题，考虑既能配合供热变化，又不能闲置多，科学性很重要。

在参数考虑上，因为是供热机组，我认为应当不要太在意参数高低。改造的机组以原有锅炉参数作为参考来设计背压机，机组实际运行太长需要淘汰、搬迁等原因则需要全部改造，完全可以考虑高一级的参数；机组大小依据供热水平高低、峰谷量等情况来定；个人认为作为供热机组，中温中压、次高温高压机组和高温高压都是可以的，无需再高，我们从供热和发电看无疑供热是重点，我们热电联产与大型发电机组是不一样的。如选择高参数因为供热大，机组容量要大，参数越高，满足供热情况下，机组需要的容量会更大，加之高参数对材质的要求，会使得投资加大。供热的灵活性也会打折扣。

5 受供热影响机组高负荷运行下可靠运行的思考

5.1 设备状态监测与维护

5.1.1 关注设备实时监测

在机组运行在高负荷期间，每台机组担负的供热责任

更大,加强对汽轮机、锅炉等关键设备的监控是必不可少的。通过安装更多的检测装置,实时获取设备的温度、振动、压力等参数,保证运转在正常状态,更加注意排汽温度的变化。一般汽机有最大进汽量要求,在供热需求时可以进到最大量。另外对于汽轮机,密切关注轴承温度、瓦温和振动情况,特别是杭汽机顶缸情况,一旦出现异常可以及时预警,保护必须完好投入,防止设备故障扩大。

5.1.2 增强设备可靠性

根据设备的运行时间和状态,定期切换,提前安排预防性维护和大修,大修一般三年一次,可根据设备状态和供热形势适当提前或推迟进行,一般情况下通流部分总会存在这样那样的问题。在供热高负荷来临之前,对可能出现问题的设备部件进行维保或更换[3]。尤其是锅炉,对锅炉的受热面进行检查和清洗,要水压检查、测厚检查,确保良好的热传递效率和安全运行,防止因结垢等问题导致的热效率降低和设备损坏。包括空预器漏风检查等等。汽轮发电机要定期做调速、并网等各种实验。

5.2 运行参数优化

5.2.1 进汽蒸汽参数调整

根据供热负荷的变化,合理调整蒸汽的压力、温度和流量。在机组高负荷时,保证蒸汽参数在额定左右,可适当提高蒸汽参数,以满足供热需求的同时保证机组的稳定运行。但需要注意不能超过设备的设计极限,避免安全事故。纯背压机运行对外供热,对于锅炉的出力很关键,要根据变化调整发挥锅炉的出力,要满足要求更要有一定的余量,不能时刻都在高位运行,也就是高峰要能够满足需要,减少锅炉的启停。在机组低负荷时,调整到可靠运行。

5.2.2 背压控制

合理控制背压对于全背压运行机组至关重要。在机组高负荷下,可能需要适当提高背压,减少管道压降变大对用户的影响,是一个正常科学的做法,不能一成不变,但要综合考虑汽轮机的排汽能力和供热系统的压力需求;在供热低负荷下,在用户要求允许范围内适当降低背压,可以降低汽耗多发电。一般通过进汽量来调节。通过背压保护调节,实现背压的稳定控制,确保机组的安全高效运行。供热分支和用户端都需要阀门来控制,因为用户的压力需求不同、管流量也高低不同,所以根据需要进行开关调整,以益于生产。

5.3 应急时的处理考虑

5.3.1 故障应急处理流程

制定完善的故障应急处理流程,明确在设备故障、参数异常等情况下的操作步骤,对于运行规定紧急停机的,出现必须果断处理。故障停机的是经过处理,无法解决的应正确判断和执行。如参数异常必须快速降低负荷,直至停机;调整控制参数恢复正常,当汽轮机出现振动突然偏大故障时,运行人员应按照预定流程迅速降低负荷、检查相关系统,分析原因,专业处理降低振动,防止损坏汽封。

5.3.2 备用设备启用方案

确保有足够的备用设备,并制定详细的启用方案。在关键设备出现故障无法短时间修复时,及时启用备用设备,保障供热不间断。各类主设备如备用炉和机组,各种一类设备随时可以投入启动;辅助设备备用完好;减温减压装置必须满足供热容量需求,也需要大小配置,始终在热备用状态下,可立即投入运行。

6 受供热影响机组低负荷情况下机组可靠运行的思考

6.1 低负荷运行对机组的影响

6.1.1 锅炉燃烧稳定性问题

在供热低负荷时,对于燃煤的热电联产机组,燃烧稳定性必然受到影响,同时也会影响到环保设备运行的效果。燃料量减少可能导致燃烧温度下降,燃烧不稳定,容易出现熄火等问题。例如,在流化床锅炉中,低负荷下床温低,可能引起燃烧不完全,增加一氧化碳等污染物的排放,同时影响运行 SNCR 系统氨水的还原反应。

6.1.2 设备效率降低问题

机组在低负荷下,背压机的负荷率问题,需要相适应的的汽机来运行,否则设备的运行效率通常会降低,过低流量,发电汽耗增大。汽轮机在低流量蒸汽下,排汽温度增加,效率下降的同时,也影响到设备以及排汽管道的安全。同时,锅炉等设备在低负荷运行时,燃烧和热损失相对增大,影响整体的能源利用效率。

6.2 保障低负荷可靠运行的措施

6.2.1 燃烧调整

针对低负荷下的燃烧问题,优化燃烧器的运行参数。对于燃煤粉机组,可以调整煤种和配风方式,提高火焰的稳定性。对于燃气机组,通过改进燃气喷嘴和空气调节装置,改善燃气与空气的混合效果,确保稳定燃烧。流化床锅炉必须通过调整达到需要的床温,能够连续稳定运行,要研究锅炉带高负荷和低负荷的能力。

6.2.2 最好配置一定量的大小出力锅炉来配合调整。

根据自身公司各种因素规划锅炉的配置非常重要,我们需要足够的供热能力,又需要有高度的灵活性来保障。考虑的因素很多,每个电厂情况都会不一样[4]。

6.2.3 挖掘自用汽的可调量

对单台机组纯背压运行,或者是两台纯背压机运行而负荷率低情况,为减小供热下降带来的机组运行困难问题,需要增加自用汽的可调力度,例如给水泵改为汽动,排汽进入除氧器,或进高加后再进除氧器(对于背压运行的机组,完全可以考虑高加不再运行),以及其它的一些大的辅机改为工业汽轮机驱动,从而增加供热,提高机组进汽量,从而稳定运行,保障供热和提高效率。即使在高供热状态,也都是汽动给水泵运行,电动泵作为备用,一般可以按照一

比一的比例。

全厂中央空调，利用蒸汽，冬天供热，夏天制冷。用蒸汽锅烧菜；蒸汽箱蒸饭。都是节约电能和增加机组负荷率调节的有效办法。

6.3 负荷调节灵活性提升

6.3.1 热网调节与蓄热装置应用

通过热网的调节，实现供热负荷的灵活分配。根据用户的实际需求调节供热流量，鼓励错峰调节使用。同时，可以结合蓄热装置，如储备热水等，在低负荷时储存多余的热能，在高负荷时释放，提高机组对供热负荷变化的适应能力。

6.3.2 增加自用汽的可调型

在供热低负荷时，用配套的小锅炉和对应的背压机组，通过自用汽的增加和沿途管路的检查调整，保持背压机连续运行，减少热电联产机组的负荷波动，提高整个供热系统的稳定性和可靠性。

7 结论

发展热电联产集中供热是节约能源改善环境的有效措施。只有集中供热提高供热量，才有能力全部变成背压机运行方式，提升供热水平，利于调节。城市与工业园区都应采取集中供热的方式；在碳中和大背景下，热电联产机组纯背压运行，直至全部背压运行，效能的提高，按照现有的国家

平衡标准，全背压运行的机组基本能实现碳中和水平，甚至有碳盈余，发展大小容量背压机配合的方式适应供热负荷变化；集中供热，全部背压运行，提高供热能力、效率和机动性，把发电供应社会的任务交给大型电厂、可再生能源。集中供热距离近运行快，应该是供热的最佳方式。采用高温高压或次高温高压就可以，供热为主，应无需选择高参数；大型机组采取了高参数提高发电效率，承担电力供应和调配；科学客观评估片区供热高、低负荷情况，通过锅炉调节负荷能力、自用汽调整等等手段，保障机组在供热低时机组能够稳定运行。总之紧跟国家产业政策，减少碳排放。发展全部背压运行的方式，提高能效减少能源消耗，降低碳排放，企业率先实现碳中和，追求碳盈余。为大型电厂高参数发电，各种可再生能源发电的发展铺开一条大道，为国家减碳贡献力量。

参考文献

[1] 颜晓辉,陈世新,洪蕾.背压式热电联产机组选型的热经济性指标探析[J].能源与节能,2021(06):60-61.

[2] 钟史明 低碳经济与电力能源 2011年中国电机工程学会热电专业学术交流会

[3] 王振铭 我国近年来集中供热的发展与建议 2011年中国电机工程学会热电专业学术交流会

[4] 2023、2024 年度全国碳排放权交易发电行业配额总量和分配方案