

Study on parameter selection of 350MW combined heat and power units

Tao Zhang Yinjuan Du

Shandong Electric Power Engineering Consulting Institute Co., Ltd., Jinan, Shandong, 250013, China

Abstract

With the transformation of energy structures and the increasing demand for clean heating, 350MW combined heat and power units have become the primary source of centralized heating in northern China due to their moderate size, flexible peak regulation, and high heating efficiency. This paper compares the economic and technical advantages of two schemes—supercritical and ultra-supercritical units—based on the heating capacity and development trends of domestic 350MW heating units, taking into account actual heat load conditions. The study results show that although the initial investment for ultra-supercritical units is higher, they offer significant operational economic benefits, aligning more closely with national policies on energy utilization and emission reduction. They also hold broad application prospects under the context of carbon trading.

Keywords

350MW; combined heat and power; parameter optimization; ultra-supercritical unit

350MW 热电联产机组参数选择研究

张涛 杜银娟

山东电力工程咨询院有限公司, 中国·山东 济南 250013

摘要

随着能源结构转型和清洁供热需求的提升, 350MW 热电联产机组因其规模适中、调峰灵活及供热效率高等优势, 成为我国北方集中供热的主力热源。本文基于国内 350MW 供热机组的供热能力和发展趋势, 结合实际热负荷情况, 对超临界机组和超超临界机组两个方案进行经济技术比较。研究表明, 超超临界机组虽初投资增加, 但在运行经济性上有明显优势, 更符合国家能源利用及节能减排政策导向, 在碳交易背景下具有广阔的应用前景。

关键词

350MW; 热电联产; 参数优化; 超超临界机组

1 概述

随着碳达峰碳中和目标推进, 热电联产机组的高效化、清洁化转型成为行业焦点。350MW 级机组作为区域供热主力机型, 其参数选择直接影响能源利用效率与减排效果。本文以实际工程为背景, 基于热负荷需求与政策导向, 重点对比超临界 (24.6MPa/569°C/569°C) 与超超临界 (25MPa/600°C/600°C) 两种技术方案的经济技术特性。

2 产业政策要求

按照国家发展改革委、国家能源局《关于开展全国煤电机组改造升级的通知》(发改运行[2021]1519号)要求“严格能效准入门槛。加强对新增煤电项目设计煤耗水平的

管控, 鼓励煤电项目的前期论证、设备选择、工艺设计等各个环节提高标准。设计工况下供电煤耗高于 285 克标准煤/千瓦时的湿冷煤电机组和高于 300 克标准煤/千瓦时的空冷煤电机组不允许建设投产”。

3 主机参数选择

3.1 超临界参数

超临界机组参数一般为 24.2MPa/566°C/566°C, 主蒸汽及再热蒸汽管道材质选择 A335P91。在不改变主要部件材料的前提下, 适当提高主蒸汽和高温再热蒸汽参数, 可提高机组热效率。在超临界参数下, 将机组参数提高至 24.6MPa/569°C/569°C, 主机厂各部件材料无需更换, 主机价格几乎不变; A335P91 材料的使用温度上限为 593°C, 管道仍选用 A335P9 料。已经实施的项目有陕西富平、华电南雄、新疆阿克苏、华能董家口、华能济宁等多个项目。

3.2 超超临界参数

目前, 600MW 及以上容量机组中已投运多台高效超

【作者简介】张涛 (1982-), 男, 中国山东临朐人, 本科, 高级工程师, 从事发电厂规划咨询设计及节能降碳研究、供热技术研究及应用研究。

超临界参数机组,其进汽参数提高至 28MPa/600℃/620℃ 甚至 31MPa。针对 350MW 机组来说,主蒸汽压力提高至 28MPa,汽缸通流面积变小、叶高降低,会对热效率产生不利的影响,高压缸效率略有降低;同时主机厂对采用 28MPa/600℃/620℃ 参数,尚无深入研究,因此暂不考虑此参数。目前国内主机厂已完成 25MPa/600℃/600℃ 参数的 350MW 超超临界机组方案设计,汽轮机热耗率降低约 150 ~ 200kJ/kWh。

4 350MW 超临界和超超临界机组技术发展

4.1 超临界机组的发展及现状

上世纪 90 年代我国从俄罗斯引进的第一台 300MW 超临界机组投入运行后,又分别从日本、美国等相继引进多台大容量超临界机组。随着国民经济的发展,国家从战略高度提出超临界机组的国产化,并于 2004 年在华能沁北电厂成功实现超临界机组设备国产化。国内主机厂在引进超临界技术的基础上,消化吸收,形成了国产 350MW 超临界机组技术。截至目前,国内在运行的 350MW 超临界机组已超过百台,350MW 超临界机组在设计和制造方面成熟可靠。

4.2 超超临界机组发展及现状

2005 年以后,新建 600MW 及以上等级机组选用了 25MPa 或 26.25MPa/600℃/600℃ 参数,包括邹县四期、玉环电厂等,其后新建的 600MW 及以上等级机组也使用了类似参数,包括外高桥三期、莱州一期、华能营口、华润菏泽、威海三期等也已相继投产。近几年新建 600MW 及以上等级机组采用 28MPa/600℃/620℃ 参数,包括华能安源、华能罗源、烟台八角、信源、华润焦作等工程已相继投产。根据不完全统计,至目前为止,国内已投产的 600MW 及以上等级国产超临界及超超临界台数已有数百台。根据中国电力企业联合会颁布的可靠性指标,超临界及超超临界机组的等效可利用系数平均值呈逐年上升趋势。

4.3 超超临界机组材料选择

4.3.1 材料选择原则

目前国内外已形成 600℃ 等级的 9 ~ 12% Cr 钢的材料标准系列,新型高温铁素体马氏体 9 ~ 12%Cr 材料已用于 31MPa/600℃/620℃ 温度参数的超超临界机组。经过汽轮机各高温高压部件近十多年的应用,材料技术已经成熟。随着国内外 600MW 等级和 1000MW 等级机组的投产和运行,说明超超临界机组在 600℃ 材料使用方面已比较完善和成熟。

4.3.2 超超临界与超临界机组材料对比

锅炉方面,省煤器及部分低温受热面的材质不变,只是材料分界变化,每种材料的用量比例有不同。屏过、高过、高再等高温受热面部分材料需要升级,如原先的 347 材质升

级为 SUPER304 或者 HR3C。

汽轮机方面,需要提高材料等级的部件有高、中压转子、高压联合汽阀、中压联合汽阀、中压内缸、高中压导汽管,如原先的 ZG15Cr2Mo1 升级为 ZG13Cr9Mo1VNbN、30Cr1Mo1V 升级为 14Cr10.5Mo1W1NiVNbN 等。

4.4 超超临界机组设计和制造能力

随着超超临界技术的日趋成熟和迅速发展,超超临界机组高效率、低燃煤量等优势在实现节能减排、高效环保起到积极的作用。国内主机厂对 350MW 超超临界机组均具备设计和制造能力,目前已有国家电投通辽、国家能源秦皇岛、国家能源蠡县、河北建投任丘等多台项目相继选用超超临界参数机组,且均已完成设备订货。其中,国家电投通辽项目已进入调试阶段,即将实现 350MW 等级超超临界国产化热电联产机组零的突破;国家能源秦皇岛项目也将于年内建成投产。

5 技术经济性比较

5.1 初投资

经过初步咨询、核算,单台超临界机组与超超临界机组的锅炉增加约 2500 万元、汽轮机增加约 2000 万元、四大管道增加约 650 万元、主要辅机增加约 250 万元,总计约 5400 万元。

5.2 热经济指标对比

根据汽轮机厂提供的超临界机组和超超临界机组热平衡图做经济性对比,详见表 1:

从表 1 可以看出,两家汽轮机厂对应的节煤量分别为 1.180 万吨、1.174 万吨,平均值为 1.492 万吨。按标煤价格 722 元/t,年节省燃料费用 1077.2 万元。

5.3 总体经济性比较

从上面比较可以看出:单台超超临界机组相比超临界机组,初投资高约 5400 万元,相应设备维护费增加 81 万元(按 1.5% 计列),每年可节约燃料费约 1077.2 万元,年节约厂用电费用约 33 万元。

下面以动态投资回收期法作为经济性分析。

投资回收年限为 n 为:

$$n=1-\log(1+i) \left((1-\Delta U \times i \times (1+i)) / (\Delta B \times Cc-81+33) \right)$$

式中:

ΔU 为工程投资增加的费用,为 5400 万元;

ΔB 为节约标煤量(万吨/年),为 1.492 万吨/年;

Cc 为燃料价格(元/吨),按到厂标煤价为 722 元/吨。

i 为年利率(%),按 $i=4.65\%$,

计算得:在年节标煤量 1.492 万吨、年利率 4.65%、标煤价 722 元/吨的条件下,回收年限需要 9.3 年。

超临界和超超临界机组热经济性指标比较 (单台机组)

项目	单位	汽轮机厂一热平衡						汽轮机厂二热平衡					
		超临界 24.6MPa/569℃/569℃			超超临界 25MPa/600℃/600℃			超临界 24.6MPa/569℃/569℃			超超临界 25MPa/600℃/600℃		
		采暖季	夏季	75% 负荷	采暖季	夏季	75% 负荷	采暖季	夏季	75% 负荷	采暖季	夏季	75% 负荷
主蒸汽流量	t/h	1060.39	1060.39	757.38	1012.70	1012.70	728.56	1066.87	1066.87	771.2	1006.95	1006.95	731.85
再热蒸汽流量	t/h	855.10	853.03	625.54	832.73	831.06	614.95	878.54	876.3	651.38	831.13	828.92	618.72
汽轮机热耗	kJ/kWh	5848.8	8392.5	7893.1	5576.8	8138.4	7658.2	5762.8	8295.8	7865.3	5563.3	8136.9	7729.6
发电标煤耗	g/kWh	218.2	313.1	291.5	208.1	303.6	285.7	215.0	309.5	293.4	207.6	303.6	288.4
机组年利用小时	h	3415	832	1254	3384	796	1320	3391	815	1295	3347	800	1352
机组年运行小时	h	4320	898	1700	4320	861	1790	4320	883	1760	4320	868	1840
机组发电功率	kW	276648	323981	258119	274157	323745	258119	274711	322886	257436	271199	322751	257229
锅炉效率	%	92.5			92.5			92.5			92.5		
管道效率	%	99			99			99			99		
年均供热标煤耗	kg/GJ	38.06			38.06			38.06			38.06		
年均发电标煤耗	g/kWh	249.9			240.5			247.5			241.4		
年均耗标煤量	万 t	基准			-1.810			基准			-1.174		

6 结论

通过上述对超临界和超超临界机组的经济性对比,得出以下结论:

(1) 350MW 超超临界机组 (25MPa/600℃/600℃) 国内主机厂均具备设计和制造能力,且已有订货业绩。

(2) 超超临界机组初投资较超临界机组增加5400万元,每年设备维护费用增加约81万元,节煤量1.492万吨,节约厂用电费用约33万元。按年节煤量1.492万吨、年利率4.65%、煤价722元/吨的条件下,回收年限需要9.3年。

(3) 从节能降耗方面考虑,按照平均节约标煤计算,单台超超临界机组的CO₂、NO_x、SO₂、烟尘排放量分别减

少4.09万吨、7.31吨、4.82吨、0.47吨,对改善当地大气环境质量有重要作用,环境与社会效益显著。

参考文献

- [1] 高慧云,霍沛强. 超超临界350MW机组的可行性研究和参数选型分析[J]. 南方能源建设,2019,6(4):47-53.
- [2] 郝云燕. 350 MW供热机组采用超超临界参数的技术经济分析[J]. 华电技术,2017,39(9):52-53,57.
- [3] 李建刚,杨宏民. 合理确定供热汽轮机热电分摊比的新方法[J]. 汽轮机技术,2014(6):443-446,450.
- [4] 李斌,胡楠,杜艳玲. 基于热经济学结构理论的热电联产机组煤耗计算[J]. 汽轮机技术,2014,56(2):137-140,106.