

Analysis of the Clean-energy And Low-vacuum Heating Scheme in Qi County, China

Hailiang Cong¹ Yipeng Li¹ Yang Jiao²

1. First Branch of Beijing Capital Environmental Technology Co., Ltd., Beijing, 100000, China

2. Beijing Capital Environmental Investment Co., Ltd., Beijing, 100000, China

Abstract

In order to address the environmental degradation caused by heating, the paper proposes an integrated heating system for household waste incineration power generation and biomass straw power generation. Taking Qi County as an example, the heat load indicators for heating and industrial steam are first determined through theoretical calculations, and economic analysis is conducted based on the heating scheme. The results indicate that the coordinated heating scheme of biomass incineration power generation and waste incineration power generation can meet the heating demand of Qi County for 120 days. This heating scheme can provide reference and inspiration for promoting clean energy heating and circular economy development.

Keywords

district heating scheme; biomass straw power generation; waste incineration for power generation; clean energy

中国杞县清洁能源低真空供热方案分析

丛海亮¹ 李宜鹏¹ 焦阳²

1. 北京首创环境科技有限公司第一分公司, 中国·北京 100000

2. 北京首创环境投资有限公司, 中国·北京 100000

摘要

为了应对供暖带来的环境恶化问题, 论文提出了生活垃圾焚烧发电及生物质秸秆发电一体化供热系统, 以杞县为例, 首先通过理论计算确定采暖和工业用汽的热负荷指标, 并根据供热方案进行经济性分析。结果表明, 生物质焚烧发电及垃圾焚烧发电相协调的供热方案可以满足杞县120天的供暖需求。此外, 经济性分析表明, 供热改造后, 年多增加收入为710万元, 且运行第二年可收回成本。这一供热方案可以为推动清洁能源供热和循环经济发展提供参考和借鉴。

关键词

区域供热方案; 生物质秸秆发电; 垃圾焚烧发电; 清洁能源

1 引言

在当前全球能源结构调整和环境保护的背景下, 清洁能源和可再生能源成为供热领域的重要选择。生物质能源作为一种环保、可再生的能源形式, 具有巨大的潜力, 其中生物质秸秆和生活垃圾是重要的生物质资源。秸秆是农业生产的副产品, 其大量废弃不仅占用土地资源, 还会造成环境污染; 而生活垃圾则是城市生活中产生的大量有机废弃物, 若不能有效处理, 也会对环境造成严重影响。

论文以杞县的生活垃圾焚烧发电及生物质秸秆发电一体化项目为基础, 介绍一体化项目的工程设置^[1,2], 阐述生物质秸秆焚烧发电和垃圾焚烧发电一体化系统用于区域供热的热负荷指标, 探讨杞县采暖背景下的低真空供热技术实施方案,

并进行经济性分析, 以论证该方案的可行性及有效性^[3]。

2 项目概述

2.1 工程设置概况

本项目为生物质秸秆焚烧发电及垃圾焚烧发电一体化项目, 垃圾焚烧发电设有1×600t/d机械炉排炉, 配置1×12MW凝汽式汽轮发电机组。生物质秸秆焚烧发电设有一台130t/h生物质锅炉及1套30MW抽凝式汽轮发电机组。

2.2 项目现状

生活垃圾焚烧发电项目于2021年12月4日并网发电, 生物质秸秆焚烧发电项目2021年11月16日并网发电。由于杞县尚未实施集中供暖, 因此两台机组均未供热, 但两台机组均为杞县热电联产规划中热源。

3 热负荷

3.1 供热区域

根据《杞县产业集聚区热电联产规划(2017—2030)》

【作者简介】丛海亮(1988—), 男, 中国黑龙江哈尔滨人, 本科, 工程师, 从事环保能源研究。

和《杞县供热收购及续建项目可行性研究报告》供暖区域近期为整个杞县规划城区。

3.2 采暖热指标及热负荷

3.2.1 采暖热指标

根据供热区域内各种建筑物围护结构实际情况及室外气象条件,结合CJJ34—2022《城镇供热管网设计标准》和《杞县产业集聚区热电联产规划(2017—2030)》,确定供热区域采暖综合热指标取 $40\text{W}/\text{m}^2$ 。

3.2.2 采暖设计热负荷

根据《杞县供热收购及续建项目可行性研究报告》,新建设计供暖面积 210 万平方米。根据综合热指标,可计算采暖设计热负荷。

3.2.3 年耗热量及年采暖热负荷

GB50736—2012《民用建筑供暖通风与空气调节设计规范》中相关气象参数如表1所示。

表1 参数表

供暖期平均温度($\leq +8^\circ\text{C}$ 期间)	2.8°C
冬季供暖室外计算温度	-3.9°C
供暖期天数	120天

3.3 工业用汽热负荷

根据《杞县供热收购及续建项目可行性研究报告》,杞县产业集聚区内各个企业用汽量均不大,其中最大热用户蒜片加工企业,最大用汽量 $13.9\text{t}/\text{h}$,但其为季节性用汽,仅5、6、7月用汽。经整理后,折算到汽轮机出口参数为 1.1MPa 、 310°C ,近期最大设计热负荷为 $21.1\text{t}/\text{h}$ 。采暖期平均热负荷 $9.1\text{t}/\text{h}$,非采暖期平均热负荷 $12.17\text{t}/\text{h}$ 。

4 技术方案

4.1 非采暖季工况

根据工业用汽热负荷,非采暖期平均热负荷为 $12.17\text{t}/\text{h}$,最大热负荷 $21.1\text{t}/\text{h}$,生物质秸秆焚烧电厂汽轮机额定抽汽量为 $30\text{t}/\text{h}$,能满足工业用汽要求。根据汽轮机厂提供的热力平衡图,汽轮机进汽量 $130\text{t}/\text{h}$,抽汽量为 $12.17\text{t}/\text{h}$ 时,汽轮机发电机组电负荷为 28350kW 。垃圾电厂锅炉额定出力为 $54\text{t}/\text{h}$,汽轮机最小进汽量为 $16\text{t}/\text{h}$,因此垃圾电厂可作为生物质电厂供汽的备用热源以满足工业用汽安全性。

4.2 采暖季工况

4.2.1 低真空供暖技术介绍

汽轮机低真空供暖是在不增加主要设备的情况下,通过降低凝汽器排汽真空度,以提高排汽背压和温度,充分利用排汽潜热,以凝汽器作为表面式换热器,将循环水加热后对外供热技术。汽轮机低真空运行,利用循环水供热,其系统热效率可达到 85% 左右,经济效率显著,技术成熟,目前已得到广泛应用。

4.2.2 供热参数确定

本工程采暖期汽轮机低真空运行,提高机组排汽压力,利用通过凝汽器的循环水向外部用户供暖。

非采暖期,汽轮机纯凝工况运行,排汽压力为 0.007MPa ,凝汽器循环水利用冷却塔散热;采暖期,降低凝汽器排汽真空度,提高汽轮机排汽温度,此时凝汽器循环水管路从冷却塔切换至循环水供热管路,向采暖用户供热。

根据汽机厂提供的生物质汽轮机热力系统平衡图,当排汽压力提高到 0.02MPa ,排气温度为 60°C ,循环水供水温度为 55°C ,最大抽汽量 $20\text{t}/\text{h}$;当排汽压力提高到 0.025MPa ,排气温度为 65°C ,循环水供水温度为 60°C ,最大抽汽量 $10\text{t}/\text{h}$ 。

综合考虑现有热源厂实际运行供回水温度及汽机运行安全性等因素,本方案按凝汽器循环水进出水温度为 $45^\circ\text{C}/60^\circ\text{C}$ 考虑。根据3.3节,采暖季平均热负荷为 $9.1\text{t}/\text{h}$,生物质汽轮机抽汽 $10\text{t}/\text{h}$ 能满足工业用气需求。

4.3 汽机低真空运行供热量及凝汽器循环水流量

汽机低真空运行,排汽压力 0.025MPa ,排气温度 65°C ,生物质部分汽机最大排汽流量为 $87.8\text{t}/\text{h}$,排汽焓 $2508\text{kJ}/\text{kg}$,凝结水焓 $271.7\text{kJ}/\text{kg}$,凝汽器换热效率 0.98 。垃圾部分汽机最大排汽流量为 $50.28\text{t}/\text{h}$,排汽焓 $2529\text{kJ}/\text{kg}$,凝结水焓 $271.7\text{kJ}/\text{kg}$,凝汽器换热效率 0.98 。凝汽器循环水进出水温度为 $45^\circ\text{C}/60^\circ\text{C}$ 。

经计算,生物质部分汽机低真空运行时,凝汽器所能提供的最大热负荷为 $Q=53.45\text{MW}$,对应循环水量 $G=3070\text{t}/\text{h}$ 。垃圾部分汽机低真空运行时,凝汽器所能提供的最大热负荷为 $Q=30.8\text{MW}$,对应循环水量 $G=1770\text{t}/\text{h}$ 。整个电厂所能提供最大热负荷为 $Q=84.25\text{MW}$,对应循环水量为 $G=4840\text{t}/\text{h}$ 。

4.4 管网水力计算

本方案水力计算流量按 $4840\text{t}/\text{h}$ 考虑,输送距离为电厂至杞县热用户最远换热站,管线总长约 10km 。

电厂换热首站阻力:汽机凝汽器 $5\text{mH}_2\text{O}$,其他设备 $10\text{mH}_2\text{O}$,合计 $15\text{mH}_2\text{O}$ 。

4.5 汽机运行方案

4.5.1 采暖初、末期运行模式

杞县当地供暖期 120 天,采暖室外计算温度 -3.9°C ,采暖期室外平均温度 2.8°C 。在供暖初期和末期,室外温度远远未达到计算温度,因而热负荷也未达到设计值。当室外温度不低于 3°C 时,采暖热负荷不超过 53.4MW 。在此供暖期,生物质部分汽轮机低真空运行,垃圾部分汽轮机纯凝运行。

汽轮机低真空运行时,热网循环水经凝汽器换热带走汽轮机排汽余热,因此,汽轮机组的电负荷受制于热网的热负荷。在采暖初末期,热网的热负荷低于3.3节计算的热负荷,为了同时满足热网热负荷和机组安全运行要求,建议此阶段热网采用“质调节”模式,即不改变热网循环水流量,仅改变热网循环水供回水温度。此模式下供暖期约 47 天。

4.5.2 采暖中期运行模式

在采暖中期,一般 12 月至次年 2 月间,室外温度较低,用户所需热负荷也随之增大,生物质部分汽轮机低真空运行已不能满足热负荷需求。此供暖期内,垃圾部分汽轮机投入低真空运行,通过增加热网循环水量补充热量。电厂

运行模式为：两台汽轮机均处于低真空运行工况（生物质部分带 9.1t/h 抽汽量）。

此运行模式下，两台机组同时低真空运行最大供热量可达 84.25MW，完全可以满足 210 万平方米采暖需求。建议此阶段热网采用“量调节”模式，即改变热网循环水流量，不改变热网循环水供回水温度。此模式下供暖期约 73 天。

4.6 主要设备配置

4.6.1 供热首站

- ①循环水泵：4 台， $Q=1650\text{m}^3/\text{h}$ ， $H=122\text{mH}_2\text{O}$ ， $N=800\text{kW}$ 。
- ②补水泵：2 台， $Q=48\text{m}^3/\text{h}$ ， $H=25\text{mH}_2\text{O}$ ， $N=3\text{kW}$ 。

4.6.2 运行方式

采暖初末期时，仅有生物质部分汽轮机低真空运行，供热首站循环水泵运行两台；在采暖中期时，生物质部分汽轮机和垃圾部分汽轮机均低真空运行，供热首站循环水泵运行 3 台。

5 技术经济性

本工程需要改造的部分为生物质部分汽轮机、垃圾部分汽轮机，需要新增的部分为供热首站、外供蒸汽管道以及配套的设施。为了方便计算，特假定计算条件：①生物质秸秆低位发热量为 2500kcal/kg；②生物质部分汽轮机在采暖季初末期以变电负荷方式运行来满足外界热负荷；③垃圾部分汽轮机进汽量在采暖季和非采暖季均进汽量为 54t/h；④年运行小时数 8000h。

根据汽轮机厂提供的热力平衡图，生物质部分汽轮机纯凝运行，进汽量为 116t/h 时，发电量为 30000kW，厂用电率为 9%；垃圾部分汽轮机纯凝运行，进汽量为 54t/h 时，发电量为 11800kW，厂用电率 15%。

5.1 非采暖季工况

在非采暖季，仅生物质部分汽轮机抽汽运行。根据汽轮机厂提供的热力平衡图，汽轮机进汽量 130t/h，抽汽量为 12.17t/h 时，汽轮机发电机组电负荷为 28350kW。垃圾部分汽轮机纯凝运行。

整个非采暖季，供汽量为 6.23 万 t；生物质汽轮机发电量 $1.45 \times 10^8\text{kWh}$ ，供电量 $1.32 \times 10^8\text{kWh}$ ；垃圾部分发电量 $0.6 \times 10^8\text{kWh}$ ，供电量 $0.51 \times 10^8\text{kWh}$ ；总发电量 $2.05 \times 10^8\text{kWh}$ ，总供电量 $1.83 \times 10^8\text{kWh}$ 。

5.2 采暖季工况

在采暖季，生物质部分汽轮机和垃圾部分汽轮机均低真空运行。根据上一章运行模式以及当地负荷延续曲线，电厂采用“质—量”调节方式，整个采暖季平均供暖热负荷为 58.3MW。整个采暖季，总的供暖量为 $61.48 \times 10^4\text{GJ}$ 。

生物质部分汽轮机采暖季抽汽低真空运行时，最大供暖量时发电功率为 27960kW，抽汽量 9.1t/h，垃圾部分汽轮机最大供暖量时发电功率为 11050kW。

采暖初末期时，仅生物质部分汽轮机低真空运行，垃圾部分汽轮机纯凝运行，约 47 天。这一阶段，生物质部分汽轮机电负荷随外界热负荷的增高而降低，根据负荷延续曲线，这一阶段生物质部分汽轮机平均热负荷为 45.8MW，汽

轮机组发电功率为 25400kW，由于新增了热网循环水泵，生物质部分厂用电率增加到 18%，供电功率为 20828kW。采暖中期时，生物质部分汽轮机低真空最大负荷运行，垃圾部分汽轮机随外界热负荷增加而逐渐投入低真空运行。

5.3 汇总及结论

按照机组运行现状，生物质电厂电价 0.75 元/kWh，垃圾电厂电价 0.65 元/kWh。供暖出厂价格 25 元/GJ，供汽出厂价格 190 元/t，生物质燃料价格 285 元/t。以下收入均为不含税收入（改造前后垃圾量未变，以下收入为计入垃圾处理费用）：

改造前，电厂供电量为 $2.98 \times 10^8\text{kWh}$ ，总供电收入：1.741 亿元。

改造后，电厂供电量为 $2.738 \times 10^8\text{kWh}$ ，总供电收入：1.566 亿元；电厂总供暖量为 $61.48 \times 10^4\text{GJ}$ ，总供暖收入：1410 万元；电厂总供汽量为 $8.85 \times 10^4\text{t}$ ，总供汽收入：1436 万元；电厂总收入：1.877 亿元。

改造后生物质电厂在采暖中期及非采暖季比改造前汽轮机进汽量多了 14t/h，年主蒸汽增加量为 9.62 万吨，折算燃料量为 2.45 万吨。改造后，燃料费用增加值为 641 万元。

改造后需新增一座供热首站，根据以往类似项目，首站暂定尺寸为 30m × 9m，整个工程总投资为 996 万元。

综合上述计算，经过供热改造后，年多增加收入为 710 万元，运行第二年可收回投入成本。本方案是基于供热面积为 210 万平方米计算的，若供热面积能达到 300 万平方米以上时，两台汽轮机可以均以低真空运行方式带热网基本热负荷，电厂收益会更好。

6 结论

通过对生物质秸秆和生活垃圾的焚烧发电技术进行整合，利用其产生的热能为区域供热提供稳定可靠的热源。首先考虑到生物质秸秆焚烧发电和垃圾焚烧发电的工程设置，作为设计供热系统的运行方案的基础，并且综合考虑气候条件、居民用热及企业用热要求等因素，对区域供热需求进行了科学合理的评估计算。以此实现采暖初末期生物质发电系统供热、采暖中期生物质发电系统及垃圾焚烧发电系统耦合供热的技术方案。最后，对基于生物质秸秆焚烧发电和垃圾焚烧发电一体化系统的区域供热方案的技术经济性分析显示，该方案在经济效益等方面具有良好的表现，具有较高的推广应用价值和社会效益。因此，该低真空供热技术方案具有重要的理论和实践意义，为推动清洁能源供热提供了有效途径和参考模型。

参考文献

- [1] 闫丰哲,张帅.双碳背景下生物质能源转化技术的研究进展[J].中国资源综合利用,2024,42(2):112-114.
- [2] 贾和峰,隋先鹏,杨迪,等.“双碳”背景下生物质能源的发展现状与建议[J].能源与节能,2023(12):33-35+79.
- [3] 刘桐利,赵立欣,孟海波,等.秸秆能源化利用技术评价方法探究与优化[J].环境工程,2020,38(8):195-200.