

基于汽机抽汽—锅炉再加热的中温中压供汽系统设计

张江涛

河南中平电新能源投资有限公司, 河南 平顶山 467000

摘 要 : 本文针对基于汽机抽汽—锅炉再加热的中温中压供汽系统进行设计研究。基于此, 分析中温中压供汽系统的技术特点和应用场景, 明确系统设计的基本要求, 详细探讨了汽机抽汽和锅炉再加热技术的原理及其在系统中的应用, 提出系统设计的关键技术和参数选择。在此基础上, 构建系统的数学模型, 通过仿真分析验证设计方案的可行性, 针对系统运行中可能遇到的问题, 提出相应的优化措施。

关 键 词 : 中温中压; 供汽系统; 汽机抽汽; 锅炉再加热; 系统设计

Design Of Medium Temperature And Medium Pressure Steam Supply System Based On Steam Engine Extraction And Boiler Reheating

Zhang Jiangtao

Henan Zhongping Power New Energy Investment Co., LTD. Pingdingshan, Henan 467000

Abstract : This paper designs and studies the medium temperature and medium pressure steam supply system based on steam engine extraction-boiler reheating. Based on this, the technical characteristics and application scenarios of medium temperature and medium pressure steam supply system are analyzed, the basic requirements of system design are clarified, the principles of steam engine extraction and boiler reheating technology are discussed in detail, and the key technology and parameter selection of system design are put forward. On this basis, the mathematical model of the system is built, the feasibility of the design scheme is verified through simulation analysis, and the corresponding optimization measures are put forward according to the possible problems encountered in the operation of the system.

Keywords : medium temperature and medium pressure; steam supply system; steam engine extraction; boiler reheating ; system design

一、前言

随着工业化进程不断加速, 能源需求进一步增长, 环保能源供应系统成为工业发展的重要支撑。在各种能源供应方式中, 基于汽机抽汽—锅炉再加热的中温中压供汽系统因其独特的技术优势和经济效益, 逐渐受到业界的广泛关注。所谓中温中压供汽系统是指在温度和压力范围内提供蒸汽的系统, 满足多种工业过程的热能需求, 与传统供汽系统相比, 中温中压系统在能源利用效率、系统运行稳定性、环境影响等方面具有明显优势。而汽机抽汽—锅炉再加热技术是该系统的核心, 利用汽机抽汽在不影响汽

机发电效率的前提下, 提供所需的中温中压蒸汽。而锅炉再加热则保证蒸汽品质和供应连续性, 对于保证工业生产稳定性具有至关重要的重要。

二、研究对象

(一) 锅炉概况

某电厂三期 #5、#6 机组为进口 350MW 亚临界机组, 锅炉采用 FOSTER WHEELER 公司研发的 W 火焰燃烧方式、自然循环汽包炉。锅炉实施运行燃料见表 1。

表 1 煤质分析

煤质分析	全水分 /%	空气干燥基水分 /%	收到基灰分 /%	干燥无灰基挥发分 /%	收到基低位发热量 /MJ*kg ⁻¹	收到基碳 /%	收到基氢 /%	收到基氧 /%	收到基氮 /%	收到基全硫 /%
煤质 1	11.4	2.70	21.25	30.34	21.25	55.98	2.99	6.66	1.06	0.66
煤质 2	11.6	2.90	16.46	21.24	23.38	62.66	2.80	5.06	0.98	0.44

(二) 汽轮机概况

汽轮机主要包括双缸双排汽、凝汽式汽轮机、N350—

16.65/538/538 型单轴, 全部由日本日立公司进行生产, 回热等级为 8 级。额定负荷数据和候选抽汽点参数如下表。

作者简介: 张江涛, 1989 年 6 月, 男, 汉, 河南省许昌市, 本科, 工程师, 火电厂运行管理。

表2 汽轮机抽汽点参数

参数	负荷 / MW	一抽压力 /MPa	一抽温度 /°C	高压缸排气压力 /MPa	高压缸排气温度 /°C
100%THA	350	5.79	384	3.61	321
80%THA	280	4.47	366	2.85	308

三、供汽参数分析

(一) 抽汽点选择

在热电联产系统中，汽轮机抽汽用于供热是一种常见的方式，选择合适的抽汽点对于保证供热质量具有重要意义。本文设定供汽参数为压力4.2 MPa，温度470 °C，对应焓值为3374.5 kJ/kg，该参数设定旨在满足供热管路的需求，同时考虑到管路压力和散热损失。从温度对口角度出发，抽汽点选择应抽出的蒸汽温度与供热需求相匹配。在不同负荷（100%，80%THA，50%THA）下，汽轮机各抽汽点的温度会有所不同。在100%负荷运行时，汽轮机各抽汽点的温度较高，超过470 °C，选择温度适中的抽汽点，有效避免过热；在80%THA负荷下，抽汽点温度接近470 °C，选择合适的抽汽点更好地匹配供热需求；在50%THA负荷运行时，抽汽点的温度较低，需要选择温度较高的抽汽点，以保证供热温度^[1]。

从压力匹配角度出发，抽汽点的选择抽出的蒸汽压力与供热管路的需求相匹配。在不同负荷下，汽轮机各抽汽点的压力也会有所不同。100%负荷运行时，汽轮机各抽汽点的压力较高，超过4.2 MPa选择压力适中的抽汽点，避免压力过高；在80%THA负荷下，抽汽点的压力更接近4.2 MPa，选择合适的抽汽点科学匹配供热需求；50%THA负荷运行时，抽汽点的压力较低，要选择压力较高的抽汽点，保证供热压力。

(二) 抽汽再加热方案

抽汽再加热方案主要涉及从汽轮机的一抽点前增设开孔，抽取高温蒸汽（主汽或再热汽）与供热蒸汽进行汽汽换热，显著提高供热蒸汽的温度，同时高温蒸汽在冷却后用于低压供热，实现能源的梯级利用^[2]。在热源选择时，采用高温蒸汽和热烟气，高温蒸汽通常来自汽轮机的主汽，具有较高的温度和压力，适合用于提升供热蒸汽的温度；热烟气则来自锅炉的烟气余热，通过余热回收系统进行利用。

在供热蒸汽温度提升方面，将高温蒸汽与供热蒸汽进行热交换，提升供热蒸汽的温度，显著改善供热系统的效率，减少能源消耗，提高供热质量。经过汽汽换热后，高温蒸汽的温度降低，但仍具有较强的热能，该部分冷却后的蒸汽用于低压供热，如生活热水供应、低压蒸汽需求，实现能源的充分利用^[3]。在实施抽汽再加热方案时，需要对以下参数进行详细分析，确定合适的抽汽量，保证供热蒸汽温度提升同时不影响汽轮机的运行效率，分析汽汽换热器的换热效率，科学评估系统在不同负荷条件下的稳定性，确保供热系统的可靠运行。

四、锅炉侧烟气在加热供汽改造方案

(一) 汽机抽汽点参数

各种工况抽汽口参数如下表所示。

表3 抽汽口各工况参数

项目	工况 1	工况 2	工况 3	工况 4	工况 5	工况 6	工况 7	工况 8	工况 9
电负荷 / mw	280	299	327	230	230	230	150	150	135
流量 / t*h-1	165	100	80	165	100	80	100	74	78.5
压力 / MPa	6.119	6.65	7.188	4.921	4.96	4.866	4.778	4.59	4.411
温度 /°C	391	402	413	367	370	372	375	378	382

根据提供的抽汽口各工况参数表，随着电负荷不断增加，进一步增加电负荷与流量，工况1（280 MW）流量为165 t/h，而工况3（327 MW）的流量为80 t/h，表明在较高电负荷下流量会有所减少，是由于系统效率优化、特定操作条件的结果。在压力与温度关系时，随着电负荷持续增加，抽汽口压力和温度进一步增加，工况1压力为6.119 MPa，温度为391°C，而工况3压力为7.188 MPa，温度为413°C，说明在高负荷条件下蒸汽的热力学性质更为强烈。在相同的电负荷下，流量、压力和温度变化直接反映操作条件的微调系统效率的变化。例如：工况4、5、6电负荷均为230 MW，但流量、压力、温度有所不同，主要原因是在这些工况下，系统在不同的操作模式下运行。在工况7、8、9低的电负荷下，流量、压力和温度相对较低，其在低负荷运行时系统要进行科学调整，保持其自身的稳定性^[4]。

(二) 再加热供汽流程

中温中压供汽系统主要由锅炉、汽轮机、抽汽装置、再加热器、管网组成。系统工作原理是通过锅炉产生高温高压蒸汽，蒸汽进入汽轮机做功，利用抽汽装置抽取部分蒸汽进行再加热，从而满足不同用户对蒸汽温度的需求。在再加热供汽操作过程中，锅炉产生高温高压的蒸汽，这些蒸汽经过主蒸汽管道输送到汽轮机，蒸汽进入汽轮机后，推动叶片旋转，驱动发电机发电，降低蒸汽压力和温度。在汽轮机的特定位置设置抽汽点，抽取部分已经做过功的蒸汽，这部分蒸汽被送入再加热器，利用加热介质（如烟气或热水）进行再加热，使其温度和压力恢复到所需的中温中压水平^[5]。接下来，再加热后的蒸汽通过供汽管道输送到各个用户端，包括化工、纺织、食品加工等行业，根据自身工艺需求使用不同温度和压力的蒸汽，用户使用后的蒸汽会冷凝成水，通过回水管道返回锅炉进行循环利用。

(三) 再加热器运行控制和保护

第一，流量和压力控制。再加热器流量和压力控制是确保系统稳定运行的关键点，工作人员要安装流量计和压力传感器，实时监测蒸汽流量和压力。控制系统根据设定的参数自动调节阀门的开度，维持稳定的流量和压力，采用PID控制算法提高控制的响应速度。汽温控制是防止蒸汽过热、欠热的重要措施，利用温度传感器监测蒸汽温度，并与设定值进行比较，控制系统调节再加热器的热输入，保持蒸汽温度的稳定性。而壁温控制则是为了防止再加热器壁面过热，导致设备损坏，设置监测壁温，采取相应的冷却措施，有效保护再加热器的安全运行^[6]。第三，再加热器

的保护。再加热器保护措施包括超温保护、超压保护、低流量保护。超温保护通过设置温度上限，当蒸汽温度超过设定值时，系统自动切断热源，防止设备过热；超压保护则是通过压力上限控制，当蒸汽压力超过安全值时，自动释放压力，避免设备损坏；低流量保护则是为了防止因流量过低，出现严重的局部过热，实时监测设备流量，制定合理的解决措施，控制再加热器的稳定运行^[7]。

五、运行效果

根据提供的运行参数表，#5和#6机组的电负荷均为230 MW，表明在改造后两台机组的电力输出保持一致，没有因改造而产生显著差异。#6机组的换热器蒸汽流量为90 t/h，而#5机组为86.3 t/h，表明#6机组的蒸汽流量略高于#5机组，主要原因是#6机组供汽系统在改造后效率有所提升。#6机组加热器进口压力为4.2 MPa，而#5机组为2.5 MPa，表示#6机组进口压力显著高

于#5机组，可能是由于#6机组的供汽系统设计较为优化。而#6机组的加热器出口蒸汽温度为520℃，压力为4 MPa，而#5机组分别为504℃和2.33 MPa，说明#6机组的出口蒸汽温度和压力均高于#5机组，#6机组具有较高加热效率，能提供更高温高压的蒸汽^[8]。

六、总结

综上所述，在本文中深入探讨基于汽机抽汽与锅炉再加热的中温中压供汽系统设计研究，详细分析该系统的核心技术，以及实际应用中的关键问题，加深对该技术的理解程度，为未来工程实践提供实践指导。我们相信，随着技术的不断进步和创新，中温中压供汽系统将在能源领域展现出更加广阔的应用前景。期待与业界同仁共同努力，推动这一技术的进一步发展，为构建绿色、高效的能源体系贡献力量。

参考文献：

- [1] 李晓军, 毛园园, 刘施江, 等. 基于物联网技术的智能恒压供汽系统设计 [J]. 南通职业大学学报, 2020, 34(3): 74-77, 81.
- [2] 高凤泉. 大容量汽轮发电机组润滑油系统设计及仿真研究 [D]. 黑龙江: 哈尔滨工业大学, 2022.
- [3] 王永良. 供应链环境下 A 公司重型汽车质量区块链系统设计与实现 [D]. 山东财经大学, 2023.
- [4] 罗海华, 方昌勇, 孙士恩, 等. 基于蒸汽压差驱动的高转速压缩空气供应系统设计 [J]. 机电信息, 2022(22): 38-42.
- [5] 刘荀. 汽车双驱引风机灵活高效供热系统设计与优化 [D]. 华北电力大学, 华北电力大学(北京), 2020.
- [6] 孙亚凯. 化工装置真空系统设计负荷计算及影响因素探讨 [J]. 山东化工, 2024, 53(7): 200-204, 215.
- [7] 雷天凤, 张永, 龚春忠, 等. 基于大语言模型的竞品车型配置问答系统设计与应用研究 [J]. 汽车科技, 2024(3): 73-80.
- [8] 张国政. 基于大数据的超声波温控在线检测系统设计与实现 [J]. 工业加热, 2024, 53(3): 33-35, 39.