

# 新建 350MW 超临界机组耦合熔盐储热系统方案研究

郑麒麟<sup>1</sup>, 王禹朋<sup>1</sup>, 苗闪闪<sup>1</sup>, 殷亚宁<sup>1,2</sup>

(1. 哈尔滨哈锅能源动力科技有限公司, 黑龙江 哈尔滨 150046;

2. 低碳热力发电技术与装备全国重点实验室(哈尔滨锅炉厂有限责任公司), 黑龙江 哈尔滨 150046)

**摘要:**本文设计了一种燃煤机组耦合熔盐储热系统新型技术方案, 依托某新建 350MW 超临界机组灵活性调峰项目, 提出采用抽汽+电加热联合式加热熔盐的技术路线。为提高系统效率并最大化利用高温蒸汽携带的热量, 抽取的主汽采用部分凝结释放潜热加热熔盐的方案, 抽取的主汽未凝结部分与熔盐换热后回到再热器冷段, 解决了因抽主汽流量过多导致的再热器壁温超温问题, 该方案不需要对现有机组方案做任何改动, 在保证系统安全稳定高效运行的同时, 能够使机组实现从 30% THA 负荷降至 20% THA 负荷的深调目标。

**关键词:**熔盐储热; 部分凝结; 灵活性调峰; 抽汽蓄能

中图分类号: TM621 文献标识码: A 文章编号: CN23-1249(2024)04-0013-03

## Research on non afterburning compressed air energy storage system based on molten salt heat storage

ZHENG Qilin<sup>1</sup>, WANG Yupeng<sup>1</sup>, MIAO Shanshan<sup>1,2</sup>, YIN Yaning<sup>1,2</sup>

(1. Harbin Boiler Company Limited, Harbin 150046, China; 2. State Key Laboratory of Low-carbon Thermal Power Generation Technology and Equipments (Harbin Boiler Company Limited), Harbin 150046, China)

**Abstract:** This paper designs a new technical solution for a coal-fired unit coupled molten salt heat storage system. Based on the flexible peak shaving project of a newly built 350MW supercritical unit, the technical route of using a combined steam extraction and electric heating to heat molten salt is proposed. In order to improve system efficiency and maximize the utilization of heat carried by high-temperature steam, the extracted main steam adopts a scheme of partially condensing and releasing latent heat to heat the molten salt. The uncondensed part of the extracted main steam exchanges heat with the molten salt and returns to the cold section of the reheater, solving the problem of overheating of the reheater wall temperature caused by excessive extraction main steam flow. This scheme does not require any modifications to the existing unit scheme, ensuring the safe, stable, and efficient operation of the system, it can enable the unit to achieve the deep adjustment goal of reducing the load from 30% THA to 20% THA.

**Key words:** molten salt thermal storage; partial condensation; flexible peak shaving; steam extraction and energy storage

## 0 引言

火电作为中国电力供应的基础电力, 以其发电灵活、供电稳定等优势在新旧能源的转换和更替过程中起着“压舱石”和“顶梁柱”的作用,

但现有火电机组灵活性受限于深调能力有限、机组安全性和经济性不足等问题存在技术瓶颈。随着熔盐储热技术在新能源领域的成熟应用, 通过将熔盐储热与传统火电机组耦合, 可以有效解决火电机组深度调峰、热电解耦的技术

收稿日期: 2024-01-02

作者简介: 郑麒麟(1994-), 男, 硕士, 工程师, 毕业于哈尔滨工业大学, 现从事电站锅炉整体性能和储能系统研究工作。

难题<sup>[1]</sup>。本文以某新建 350MW 超临界机组作为研究对象,在保证机组安全稳定运行的情况下,为使机组达到 20% THA 深度调峰能力,提出一种全新的火电机组耦合熔盐储热技术方案来拓宽机组出力范围。

### 1 机组概况

本文新建 350MW 机组锅炉为超临界参数变压直流煤粉炉,单炉膛、一次再热、切圆燃烧、Π 型布置方式,锅炉设计最低稳燃负荷为 30% THA。受锅炉最低稳燃负荷限制,锅炉安全稳定运行工况范围在 BMCR - 30% THA 负荷之间,设计工况下主蒸汽出口参数为 572℃/25.73MPa,再热蒸汽出口参数为 572℃/5.748MPa。为满足电厂 20% THA 的深调需求,考虑为原机组配备一套熔盐储热系统,深调阶段熔盐储热投运的基准工况对应为机组 30% THA 负荷,锅炉侧能够保持 30% THA 负荷稳定运行,汽轮发电机侧运行负荷深调至 20% THA。

### 2 系统方案描述

目前燃煤机组耦合熔盐储热系统加热熔盐的技术路线主要分为三类:第一类是从锅炉侧抽取一定温度的烟气来加热熔盐,由于与锅炉本体耦合程度较深,从系统复杂程度、系统控制和安全性方面考虑目前此路线还不成熟;第二类是采用厂用电直接加热熔盐降低上网电量来达到深调目的,此技术路线系统简单目前国内已有示范项目投运,但系统效率偏低;第三类是采用抽汽显热或潜热来加热熔盐<sup>[2]</sup>。本机组经过与汽轮机厂配合,为保证高排不超温,同时分别抽取主、再热蒸汽流量加热熔盐,最多能使机组从 30% THA 降至 24.5% THA 负荷,不能再通过抽汽来进一步降低负荷。针对此情况,本文提出一种抽汽 + 电加热联合式加热熔盐的系统方案,该方案能够实现机组深调负荷达到 20% THA,同时在确保汽轮机安全稳定运行的前提下,避免由于抽取主汽流量过多导致的锅炉再热器超温问题,同时保证储放热系统效率处于较高水平。

本文熔盐储热方案采用抽汽 + 电加热联合式加热熔盐的技术路线。抽汽蓄能模块方案为同时抽取主蒸汽和再热热段蒸汽,抽取的主蒸汽流量中的一部分用于凝结释放潜热来加热熔盐,凝结后去往给水管道与给水混合,剩下的主蒸汽抽汽

量与熔盐换热经减温减压后去往再热器冷段管道,用于弥补由于主蒸汽抽汽引起的再热器流量的减少,主、再热蒸汽按一定比例抽取保证汽轮机高、中压缸进汽流量匹配,从而使机组发电负荷从 30% THA 降至 24.5% THA,机组在 24.5% THA 至 20% THA 的负荷区间采用电加热熔盐储热方式。高温熔盐放热用于加热除氧器出口给水产生过热蒸汽,为保证储放热系统效率,考虑将产生的过热蒸汽送往再热器冷段管道进入锅炉再热系统,工艺系统如图 1 所示。

本方案熔盐储热系统设备包含熔盐换热器 A、熔盐换热器 B、相变换热器、熔盐换热器 C 和熔盐换热器 D,熔盐电加热器,高低温熔盐立式储罐各 1 台。熔盐放热系统设备包含预热器、蒸发器、汽包和过热器各 1 台,系统中包含熔盐泵、熔盐阀、电伴热等相关辅机设备。为确保系统安全稳定运行,本方案采用成熟度较高的 Hitec 三元熔盐(7% NaNO<sub>3</sub> + 40% NaNO<sub>2</sub> + 53% KNO<sub>3</sub>)作为蓄热介质。

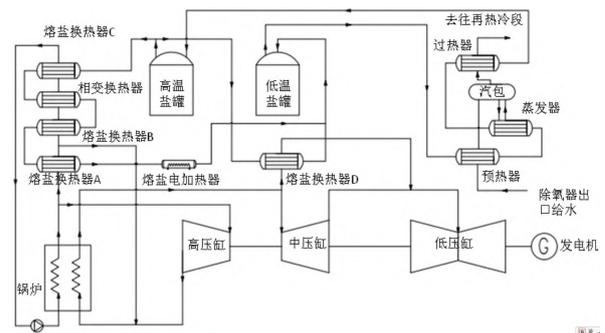


图 1 工艺系统图

### 3 计算结果及分析

本系统方案储热基准工况设定为 30% THA,根据汽机热平衡图,30% THA 负荷主汽参数为 520℃/7.782MPa,再热蒸汽参数为 520℃/1.454 MPa。根据系统方案抽汽蓄能调峰区间为 30% ~ 24.5% THA,为满足调峰要求,同时抽取主、再热蒸汽,经过核算主汽抽汽量为 72t/h,其中 32t/h 蒸汽用于释放显热和潜热加热熔盐冷凝为水,经过循环泵加压与给水参数匹配,剩余 40t/h 主汽只通过释放显热加热熔盐,换热后的蒸汽参数经过减温减压与冷段参数进行匹配。再热蒸汽抽汽量为 30t/h 用于加热熔盐,换热后的蒸汽参数经过减温减压与低压缸入口参数进行匹配。电加热熔盐蓄能调峰区间为 30% ~ 24.5% THA,电加热

器设计功率为16MW。熔盐储热温度区间为200℃~405℃,储热设计时长4h。

表1 主/再热蒸汽抽汽参数表

序号	项目	单位	参数
1	储热基准工况	-	30% THA
2	锅炉主蒸汽流量	t/h	328.6
3	主蒸汽温度	℃	520
4	主蒸汽压力	MPa	7.782
5	锅炉再热蒸汽流量	t/h	286.6
6	再热蒸汽温度	℃	520
7	再热蒸汽压力	MPa	1.311
8	主汽抽汽量	t/h	72
9	主汽凝结部分流量	t/h	32
10	再热蒸汽抽汽量	t/h	30
11	给水压力	MPa	8.786
12	给水温度	℃	213
13	再热蒸汽入口压力	MPa	1.454
14	再热蒸汽入口温度	℃	316.5

表2 熔盐储放热系统设计参数

序号	项目	单位	参数
1	低温熔盐温度	℃	200
2	高温熔盐温度	℃	405
3	储热时长	h	4
4	熔盐储热总容量	MWh	184
5	抽汽储热容量	MWh	122
6	电加热储热容量	MWh	62
7	熔盐总用量	t	2250
8	系统效率	-	56.3%

通过系统热平衡计算,本熔盐储热系统总储热容量为184MWh, Hitec 三元熔盐总用量为2250t,其中通过抽汽加热熔盐的储热容量为122MWh,电加热熔盐部分的储热容量62MWh。根据电厂需求,熔盐放热过程用于加热除氧器出口给水120t/h产生蒸汽去往再热器冷段管道回到原系统发电,经过计算储放热系统效率为56.3%。

## 4 结语

本文依托某新建350MW超临界机组灵活性调峰项目展开研究,为提高原机组的灵活性调峰能力提出为机组配备熔盐储热系统,熔盐加热方案采用抽汽+电加热联合式加热的技术路线。储热过程同时抽取高温主汽和再热蒸汽,为最大程度利用抽取高温蒸汽携带的热量,抽取的主汽采用部分凝结释放潜热的方案,此方案的设计解决了由于抽取主汽流量过多导致的锅炉再热器壁温超温问题,该方案无需对新建燃煤机组方案做任何改动,在保证系统安全稳定高效运行的同时,能够使机组实现从30%THA负荷降至20%THA负荷的深调目标,本系统的提出可为火电机组灵活性调峰提供新思路。

## 参考文献

- [1] 王坚,王辉. 火电厂抽汽储能深度调峰技术研究[J]. 电力勘测设计, 2022(06):30-34.
- [2] 刘金恺,鹿院卫,魏海姣,等. 熔盐储热辅助燃煤机组调峰系统设计及性能对比[J]. 热力发电, 2023, 52(02):111-118.

[上接第10页]

## 5 结束语

本文主要介绍了某电厂660MW超超临界锅

炉过热器/再热器欠温原因分析及相应的解决方案。为同类型机组出现的相似问题提供了一种分析问题和解决问题的思路与方法。

[上接第12页]

- [3] Rodríguez Sánchez, María de los Reyes. On the design of solar external receivers[J]. 2011.
- [4] Rodríguez - Sánchez, M. R., Soria - Verdugo A, et al. Thermal design guidelines of solar power towers[J]. Applied Thermal Engineering, 2014, 63(1):428-438.
- [5] Zhou Hao, Li Yawei, Zuo Yuhang, et al. Thermal per-

formance and thermal stress analysis of a 600 MWth solar cylinder external receiver[J]. 2021, 164:331-345.

- [6] JB/Z 201-83 电站锅炉水动力计算方法[M]. 上海发电设备成套设计研究所.
- [7] D. L. Siebers, J. S. Kraabel, Estimating Convective Energy Losses from Solar Central Receivers, Sandia National Laboratories, Albuquerque, 1984. SAND 84-8717.