

火力发电厂汽轮机余热回收与综合利用技术分析

李 瑞

鄂尔多斯市西金余热发电有限公司 内蒙古 鄂尔多斯 017000

摘 要：火力发电厂汽轮机运行过程中伴随大量余热散失，本文围绕汽轮机余热的资源构成、回收技术、综合利用路径及系统优化四个层面展开分析。排汽、抽汽、缸体散热及凝结水构成主要余热来源，各具差异化能量品级。排汽余热回收、抽汽余热回收、设备表面散热回收与凝结水余热回收构成主流技术路线。余热可在热力系统内部回用、厂区辅助生产、跨领域协同及储能延时利用等场景实现多维消纳。设备结构、工艺流程、多热源耦合与运行适配性的持续改进，为汽轮机余热资源的高效开发提供了系统化技术支撑。

关键词：火力发电厂；汽轮机；余热回收；综合利用；技术优化

引言：汽轮机作为火力发电厂热能-机械能转化的枢纽设备，其热力循环固有的不可逆性导致大量热能以排汽、抽汽残余、缸体散热等形式闲置散失。随着能源利用效率要求持续提升，对汽轮机余热实施梯级回收与多元化利用已成为火电行业降耗增效的关键方向。从余热资源的热力学特征切入，梳理主流回收技术的运行机理，探讨综合利用体系的多场景适配路径，并就设备结构与系统工艺的优化改进进行论述，为汽轮机余热的深度开发提供理论参照与技术依据。

1 汽轮机余热资源构成与产生机理

1.1 汽轮机余热主要来源分类

火力发电厂汽轮机整体运行流程中，热力转化与设备运转的各个阶段都会生成不同类型的余热载体。排汽余热产生于蒸汽做功收尾阶段，做功后的蒸汽介质仍旧留存大量热能，无法继续参与动力转化流程。缸体散热余热源自汽轮机高温金属结构，长期接触高温蒸汽的设备壳体持续和外界环境发生热交换，以对流和辐射形式散失热量。抽汽系统完成机组热力调节与供热工序后，剩余未参与反应的介质仍旧留存丰富热能，形成抽汽残余余热。

1.2 汽轮机余热形成原理

汽轮机依靠闭式热力循环实现热能向机械能的转化，循环运行机制自带能量转化局限。高温高压蒸汽推动叶片完成膨胀做功时，仅有部分热能可以转化为机械动力^[1]。蒸汽介质在通流部件内部流动会产生摩擦阻力与涡流扰动，有序的能量会在各类物理作用下发生耗散。热力循环的不可逆特性让能量无法实现百分之百转化，大量热能会停留在系统内部。蒸汽做功过程中参数持续衰减，能量转化效率跟随工况状态不断变动，大幅降低热能利用的完整程度。

1.3 汽轮机余热能量特性

轮机不同环节产生的余热具备差异化的能量属性，各类余热的能量品级存在明显区分，对应不同的温度区间与能量利用价值。缸体散热产生的余热整体温度水平相对稳定，热能密度处于较低水平，排汽余热与抽汽残余余热具备更高的温度层级与能量密度。各类余热在机组内部的空间分布具备固定规律，热能聚集区域与扩散范围随机组运行状态保持稳定。机组持续运转的特性让余热生成过程具备连续性，热能输出状态会跟随机组负荷变化产生小幅波动。不同位置余热的能量密度、温度梯度与扩散能力存在显著区别，各类余热可开发利用的潜力存在明显差异。精准辨析各类余热的能量属性与分布特征，能够为后续余热回收工艺的选型、利用系统的搭建提供严谨的理论支撑，保障热能资源的合理化开发与高效化复用。

2 汽轮机主流余热回收技术

2.1 排汽余热回收技术

汽轮机排汽属于典型低品位热能资源，常规热力转化模式难以完成高效利用。专属回收工艺依托热力换热与能量转化相关原理，针对排汽热能特性搭建专项回收体系。成套应用设备包含换热主体装置、热能输送构件以及温度调控配套装置，整体结构适配排汽大流量、低温度的运行特点^[2]。完整工作流程围绕排汽热能捕捉、热量置换、能量转化递进展开，机组运行产生的废弃排汽进入换热装置内部，通过介质接触完成热量传递，实现热能从废弃排汽向工作介质的转移。技术运行逻辑贴合低品位热能的转化规律，通过提升换热介质的吸热能力，弱化低品质热能转化效率偏低的问题，完成低品位排汽热能的有效回收与二次转化，实现废弃热能的资源化利用。

2.2 抽汽余热回收技术

汽轮机运行过程中会产出不同压力等级的分级抽汽, 各类抽汽蕴含的余热资源具备差异化利用条件, 对应形成完整的余热回收技术体系。不同压力参数的抽汽会匹配差异化的热能回收路径, 高压抽汽可依托高阶换热流程完成热能捕捉, 低压抽汽适配温和式换热工艺完成能量收集。整套技术围绕热能富集与介质归集两大核心环节推进, 通过层级化换热结构对分散的抽汽热能进行集中整合。热力管路系统可对不同工况下产出的抽汽介质进行统一归集, 让零散分布的余热资源形成稳定的热能输出源头。层级化的技术流程能够适配机组多变的抽汽工况, 让不同压力属性的抽汽余热都可以得到规范收集与集中利用。

2.3 设备表面散热余热回收技术

汽轮机缸体、热力管道以及配套辅机设备运行过程中会持续向外散发表面热能, 这类散散热资源具备分散性与低温性的特点, 适配主动式与被动式两类主流回收技术。被动式回收技术依托密闭保温换热结构完成热能拦截, 通过优化设备表层包覆结构减少热能向外扩散, 将滞留的热能导入换热介质内部完成收集。主动式回收技术依托动力输送构件驱动换热介质循环流动, 持续贴合设备散热表面完成动态吸热, 提升低温散热资源的收集效率。两类技术依托不同的运行原理适配多样的散热场景, 针对固定设备表层静态散热与动态设备运行散热形成针对性回收模式, 拓宽设备表面余热的可利用范围。

2.4 凝结水余热回收技术

汽轮机凝结水在热力循环流程中会留存大量残余热能, 稳定的水流状态让这类余热具备良好的回收条件。凝结水余热回收技术形成标准化的工艺体系, 完整流程涵盖热能精准收集、高效热量交换、稳定热能储存多个核心环节。换热装置可直接对接凝结水输送管路, 对水流内部留存的热能进行全方位捕捉。置换后的热能可通过储能介质完成暂时存储, 规避热能瞬时损耗的问题。整套工艺贴合凝结水连续流动的运行特征, 适配机组全负荷运行状态下的余热回收需求, 构建连续性、稳定性更强的余热回收运行体系, 实现凝结水残余热能的充分挖掘与利用。

3 汽轮机余热综合利用技术体系

3.1 热力系统内部回用技术

汽轮机余热可通过专项工艺融入机组固有热力循环流程, 实现热能资源的内部消纳与循环复用。给水预热工艺依托换热装置捕捉余热资源, 对进入锅炉的低温给水进行升温处理, 减少锅炉燃料燃烧产生的热能消耗,

优化热力循环的能量投入结构^[3]。风系统加热工艺利用回收余热调控机组送风温度, 改善风温参数适配机组运行的热力需求, 弱化低温介质对机组运行效率的干扰。辅机热源补给工艺将收集后的余热输送至各类辅助生产设备, 为设备运行所需的热源消耗提供支撑。多条内部利用路径相互配合, 依托成熟的换热与介质输送工艺, 挖掘余热在机组热力体系中的复用价值, 提升整套热力系统的能量利用效率, 优化机组内部能量流转结构。

3.2 厂区辅助生产利用技术

汽轮机回收余热可全面服务于电厂日常辅助生产环节, 搭建适配厂区运行需求的就地利用技术模式。厂区供暖依托余热输送管网与温控换热装置, 将稳定热能输送至厂区生产区域与工作区域, 满足厂区日常温控需求。设备防冻依托持续供给的余热资源, 对室外及低温区域布设的机组管路与配套设备进行恒温保温, 规避低温环境引发的设备运行隐患。工艺水源加热利用余热置换低温水源的热能, 调整生产工艺用水的温度参数, 适配各类厂区辅助生产工序的运行标准。各类利用场景依托适配的换热与温控工艺, 实现余热资源的地高效消纳, 降低厂区辅助生产环节的额外能源消耗。

3.3 跨领域协同利用技术

汽轮机余热可突破机组内部生产边界, 依托完善的输送与调控工艺实现跨场景的拓展应用。工业热源配套利用模式依托多级换热与稳压输送技术, 将稳定可控的热能输送至周边工业生产体系, 适配各类工业生产的热源消耗需求。民生供热应用模式通过热能提纯、稳压调控、长距离输送等系列工艺, 优化热能输出参数, 贴合民用供热的稳定与安全运行标准。整套技术体系包含热能品质调控、长距离介质输送、压力温度动态调控等核心工艺, 能够适配不同外部场景的用热标准, 实现电厂余热资源的社会化与产业化复用, 拓宽余热资源的利用维度与应用场景。

3.4 余热储能与延时利用技术

汽轮机余热产出节奏会跟随机组负荷状态产生波动, 储能相关工艺可化解热能供需时序错位的行业问题。热能存储依托相变储热、介质储热等主流工艺, 将富余状态下的余热资源进行固化留存, 实现热能资源的有序储存。热能缓释通过调控储热介质的换热速率, 控制热能释放的平稳程度, 保障热能输出状态的稳定。延时供给依托储热系统的调控机制, 在用热需求旺盛或余热产出不足的时段释放储存热能, 平衡全时段热能供需关系。整套技术工艺能够适配机组动态运行特性, 提升余热资源的利用灵活性, 消除余热瞬时产出带来的资源

浪费,完善余热利用的全周期技术体系。

4 汽轮机余热回收利用技术优化与适配改进

4.1 余热回收设备结构优化技术

余热回收整套设备的工作性能直接决定热能捕获与传输水平,针对换热收集输送各类核心设备开展针对性改进可有效提升余热利用上限^[4]。结构优化围绕设备内部流通通道与换热接触面展开改造设计,调整构件排布方式,增大热能介质与设备结构的接触面积,强化热能捕捉基础性能。材质升级选用高导热、耐腐蚀、耐温变的新型工业材料替换传统构件材料,提升设备长期运行状态下的导热效率与结构稳定性,适配复杂热力工况。布局调整结合机组热力空间分布特征,重新规划各类回收设备的安装位置与衔接形式,缩短热能输送路径,弱化热能传递过程中的损耗。多维度设备改进方式能够持续强化设备吸热、换热与输热综合性能,强化整套设备对不同品位余热的捕捉与传输水平。

4.2 余热利用系统工艺优化

余热回收利用全流程工艺存在持续优化的空间,依托精细化工艺改造可实现热能利用体系的提质增效。流程精简针对冗余的换热输送环节进行整合调整,简化介质流转工序,缩减热能在管路与设备内部的滞留时长。热能损耗削减依托密封处理、换热增效、管路保温升级等技术手段,阻断热能向外扩散流失的渠道,压缩无效能量损耗。能量梯级利用遵循热能品质匹配的核心思路,按照余热温度层级划分利用场景,将高品位热能应用于高阶热力工序,低品位热能适配基础生产供热需求。系统化工艺改进思路能够重塑余热流转利用模式,构建层级清晰、损耗更低的标准化余热利用工艺流程。

4.3 多热源耦合利用优化技术

电厂运行体系内部存在多种类型的余热资源,单一余热利用模式难以挖掘全部热能价值,多热源耦合技术可实现各类热能资源的统筹开发。技术应用依托统一的热能调控体系,整合汽轮机排汽抽汽散热等各类余热资源,联动电厂其他系统产生的热能资源完成集中统筹利用。协同调配依托智能热力调控机制,依据不同热源的产出特性与能量品级,分配适配的利用路径与换热工序。互补利用依托各类热源产出周期的差异化特征,弥

补单一热源产出不稳定的短板,维持整体热能输出的平稳状态。耦合优化逻辑打破单一热源利用的局限性,提升电厂整体热能资源的综合开发程度。

4.4 系统运行适配性改进技术

火电机组日常运行会频繁出现负荷波动,固定运行参数的余热利用系统难以适配动态工况变化。动态适配改进针对系统运行参数进行柔性调整,依据机组负荷变化规律微调换热强度、介质流速与热能输出参数。智能调控技术依托热力数据实时采集与分析机制,自主适配机组变负荷运行状态下的余热产出变化,优化系统运行模式^[5]。针对性的技术改进可以弱化工况波动对余热回收效率的干扰,让余热利用系统始终贴合机组实时运行状态。持续优化的运行适配能力,能够提升整套余热回收利用系统的工况兼容能力,保障全负荷状态下热能利用的稳定性与高效性。

结束语

汽轮机余热的回收与利用是一项涉及热力学原理、设备工艺与系统集成的综合性技术课题。排汽、抽汽、散热及凝结水等多元余热载体各具能量特征,对应不同的回收工艺与利用场景。从热力系统内部回用到跨领域协同供热,从单一热源开发到多热源耦合调配,技术路径的拓展为火电机组节能降耗开辟了切实通道。设备结构优化、工艺流程精简、智能动态适配等改进手段的持续推进,将进一步释放汽轮机余热的利用潜能,推动火电行业热能管理水平稳步提升。

参考文献

- [1]李鑫.火力发电厂汽轮机余热回收与综合利用技术分析[J].电力设备管理,2025(15):239-241.
- [2]赵丹丹,潘渤海,康童童.高温超超临界机组汽轮机余热回收系统的能效优化[J].现代工业经济和信息化,2026,16(2):134-136.
- [3]章今湛,陈金勇.汽轮机试车排汽的主要特性和余热回收路径[J].设备管理与维修,2025(19):181-184.
- [4]杨浩,高秀志,孙莲,等.汽轮机热力系统耦合凝汽器余热回收方式浅析[J].东方汽轮机,2022(3):5-8,22.
- [5]王飞,张标,刘宁.基于热碳联动的汽轮机余热回收与碳交易协同机制研究[J].电力设备管理,2026(6):250-252.