

电厂余热余压发电系统的应用及综合性能

刘东兴

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: 为提升电厂能源综合利用率,助力电厂节能降碳与提质增效,本文聚焦电厂余热余压发电系统,阐述其资源特性、核心原理与主流技术体系,分析该系统在不同类型电厂的适配方案与工程应用工艺。通过构建多维度性能评价指标,实证研判工况、设备、调控等核心影响因素,梳理系统运行现存短板,并针对性提出设备升级、智能调控、多能耦合等优化策略,为电厂余热余压资源化利用改造提供技术参考与实践依据。

关键词: 电厂余热余压;发电系统;应用;综合性能

引言: 电力生产过程中会产生大量余热余压资源,未被有效利用的副产物能源造成严重浪费与碳排放压力,不符合双碳背景下火电节能低碳发展需求。余热余压发电是挖掘电厂废弃能源价值、提升能源利用效率的核心技术。为系统化推进该技术落地应用,本文围绕其技术体系、工程应用、综合性能展开全面研究,剖析实际应用中的痛点问题,探索高效优化路径,旨在推动电厂能源梯级利用,助力火电行业绿色低碳转型升级。

1 电厂余热余压发电系统核心理论与技术体系

1.1 电厂余热余压资源概述

(1) 电厂余热、余压的产生机理与主要类型。电厂燃煤、燃气做功过程中,燃料化学能无法完全转化为电能,未被利用的能量以余热、余压形式损耗。余热主要包括烟气余热、蒸汽余热、设备散热余热,余压多产生于高炉煤气、蒸汽管路及汽轮机尾端高压介质。这类资源是电力生产的副产物,具备持续性、伴生性特征。

(2) 不同工况下余热余压的能量特性与分布规律。机组额定负荷工况下,余热余压能量稳定、参数均衡,可利用价值最高;低负荷、变负荷启停工况下,介质温度、压力波动较大,能量连续性差。整体呈现高温烟气余热集中于锅炉系统、高压余压集中于动力输出末端的分布规律。(3) 余热余压可回收利用的能量阈值与评估标准。行业通用评估以介质温度、压力、流量为核心阈值,烟气温度高于120℃、管路余压超0.2MPa为可回收基础条件。同时结合能量品位、稳定性、回收经济性综合评估,剔除能耗大于收益的低效资源^[1]。

1.2 余热余压发电系统核心工作原理

(1) 余热回收发电热力循环原理。依托朗肯循环核心理念,通过换热设备吸收余热加热工质,使其汽化产生高压蒸汽,推动汽轮机做功,完成热能-机械能-电能的转化。(2) 余压透平发电能量转换机理。高压介质直

接进入透平机组,依靠压力差驱动叶轮高速旋转,将介质压力势能直接转化为机械能,再带动发电机发电,无需二次换热,转化效率更高。(3) 系统能量传递、转换与损耗核心逻辑。能量沿“资源采集-换热/做功-发电-并网”路径传递,核心损耗源于换热温差、机械摩擦、介质泄漏及变工况适配损耗,是系统优化的关键靶点。

1.3 主流余热余压发电技术类型

(1) 蒸汽、烟气余热发电技术。前者回收管路废蒸汽热能发电,适配火电稳态工况;后者通过省煤器、空预器回收烟气余热,适配锅炉排烟余热利用场景。(2) 高炉煤气、汽轮机余压发电技术。高炉煤气余压技术针对钢铁电厂煤气余压资源,汽轮机余压技术回收机组尾端剩余压力能量,适配大型火电、冶金配套电厂。(3) 复合型耦合发电技术。融合余热、余压双重回收模式,可适配多工况、多能源副产物场景,抗波动能力强,适用于大型综合电厂,能大幅提升能源综合利用率。

2 电厂余热余压发电系统的实际工程应用

2.1 不同类型电厂的系统应用方案

(1) 火力发电厂余热余压发电系统适配方案。大型火电厂余热余压储量大、参数稳定,适配一体化回收发电方案。系统集中回收锅炉排烟、汽轮机排汽及辅机散热余热,搭配朗肯循环发电装置与透平机组,搭建全流程回收体系。结合机组负荷特性搭载智能调控模块,适配机组变负荷运行工况,减少排烟与管路压力损耗,提升主机能源利用率,可满足大容量、高参数火电机组的节能改造需求。(2) 热电联产电厂余热余压回收应用模式。此类电厂兼具供电、供热功能,余热余压产出连续、品类多元。方案以“热电协同、梯级利用”为核心,优先利用高温烟气、蒸汽余压发电,再将发电后的低温余热用于工业与民用供暖,形成高品位发电、低品位供热的利用体系,有效平衡电热负荷矛盾,改善传统

模式能源浪费、适配性差的问题,显著提升综合能源利用率^[2]。(3)中小型自备电厂简化余热余压发电配置方案。工矿配套自备电厂机组容量小、工况波动大,且场地与预算受限,适配简易模块化方案。舍弃复杂换热及大型设备,采用小型一体化余热、低压余压回收设备,聚焦核心可回收资源,简化管网与控制系统,具备投资低、安装运维便捷的优势,适配中小型机组不稳定的能源产出特点,契合低成本节能改造需求。

2.2 系统工程应用流程与关键工艺

(1)余热余压资源勘测与系统方案设计。工程前期需对电厂机组工况、烟气参数、管路压力、余热流量等数据进行全面勘测,精准统计可回收能源总量与能量品位。结合电厂机组类型、运行规律及场地条件,针对性设计回收发电方案,明确设备布局、管网走向、系统容量,同时预判变工况运行风险,优化方案适配性,为工程落地提供技术依据。(2)设备选型、安装调试与管网适配工艺。依据设计方案匹配适配的余热换热、余压透平、发电并网设备,优先选择适配机组波动工况、能耗低的模块化设备。安装阶段严格把控管网对接、设备固定、密封防护工艺,避免介质泄漏、热量损耗。调试阶段重点校验设备联动性、换热效率、压力适配度,优化管网阻力参数,保障各设备协同稳定运行。(3)系统并网运行与工况联动调控流程。系统调试完成后,按照电力并网规范完成继电保护、电能质量调试,实现稳定并网。运行阶段采用联动调控模式,依托智能控制系统,实时匹配主机负荷变化,动态调节余热回收量、透平转速与发电功率,适配机组启停、高低负荷切换等工况,保障系统安全、高效、连续运行^[3]。

2.3 典型工程应用案例分析

(1)大型火电厂余热余压发电改造工程案例。某600MW大型燃煤火电厂开展余热余压综合改造工程,针对锅炉排烟余热、汽轮机末端余压浪费问题,加装烟气余热换热装置和低压余压透平发电系统,重构余热回收管网与智能调控系统,实现烟气、余压资源一体化回收发电,适配机组全负荷运行工况。(2)项目应用成效、运行数据与实践经验总结。改造后项目运行稳定,机组综合热效率提升4.2%,年均新增发电量超260万kWh,有效降低电厂厂用电率与燃煤消耗。实践表明,大型火电厂需采用梯级回收、智能联动的改造方案,精准匹配机组工况特性,同时做好设备常态化运维,可最大化挖掘余热余压利用潜力,实现节能增效、降本减耗的双重目标。(3)工程应用中暴露的共性问题梳理。结合多项工程实践,当前应用存在三类共性问题:一是机组深度

变负荷时,余热余压参数波动大,导致发电系统效率下降、稳定性不足;二是老旧电厂管网老化、阻力不均,造成能量损耗偏高,影响回收效率;三是部分项目运维体系不完善,设备积灰、密封老化等问题未及时处理,长期运行能耗递增,制约系统长效稳定运行。

3 电厂余热余压发电系统综合性能分析与优化

3.1 系统综合性能评价指标体系构建

(1)能源性能指标。能源性能是评价系统核心利用水平的关键指标,主要包含发电效率、能量回收率与能耗损耗率。发电效率指系统将余热余压势能转化为电能的有效利用率,直接反映能量转换能力;能量回收率代表可回收资源的实际利用占比,体现资源挖掘程度;能耗损耗率统计换热、传动、管网输送全过程的能量损耗占比,是判定系统节能短板的核心依据,三者共同构成系统能源利用效能的评价核心。(2)经济性能指标。经济指标决定项目落地与长期运行价值,涵盖投资成本、运维成本和投资回收期。投资成本包含设备采购、管网改造、系统安装及并网配套等一次性投入;运维成本聚焦设备检修、耗材更换、人工运维及设备损耗产生的额外能耗;投资回收期是衡量项目经济性的核心参数,指通过节能收益、新增发电收益收回初始投资的周期,是电厂改造立项的重要评判标准^[4]。(3)环保与运行性能指标。该指标体系兼顾生态效益与运行可靠性,包括碳减排量、运行稳定性与工况适配性。碳减排量依据余热余压替代燃煤发电的节煤量核算,体现系统低碳环保价值;稳定性指系统长期连续运行的能力,以故障频次、停机时长为评判依据;适配性代表系统应对机组负荷波动、工况切换的自适应能力,适配性越强,系统全工况运行效能越优。

3.2 系统综合性能实证分析

(1)不同工况下系统发电性能数据对比分析。通过对标机组高、中、低三类运行工况数据可知,额定高负荷工况下,余热余压参数稳定,系统发电效率、能量回收率处于最优区间,运行效能平稳可靠;中负荷工况性能小幅波动,整体效能降幅可控;低负荷工况下,烟气温度、介质压力大幅下降且波动频繁,系统换热与做功效率显著降低,发电功率不稳定,是制约整体发电性能的主要工况短板。(2)系统运行经济性与环保效益量化评估。从经济效益来看,完成余热余压改造的电厂,可有效降低燃煤消耗量与厂用电率,长期运维成本远低于节能发电收益,多数项目可在3-5年完成回本。环保层面,回收余热余压替代传统燃煤发电,可大幅减少二氧化硫、粉尘及二氧化碳排放,单座中型电厂年均可实现

数百吨碳减排,兼具经济价值与生态环保价值。(3)影响系统综合性能的核心因素敏感度分析。经实证数据分析,工况负荷变化对系统性能敏感度最高,直接决定能量输入稳定性;其次为管网状态与设备性能,管网阻力过大、设备老化会持续增加能耗损耗;最后是调控策略,传统固定模式调控无法适配动态工况,会加剧发电效能波动。三类因素相互叠加,直接影响系统综合运行水平。

3.3 系统运行现存性能短板与问题成因

(1)低负荷工况下发电效率偏低问题。电厂机组启停、调峰及低负荷运行时,余热余压能量品位大幅下降,介质流量、温度压力参数不稳定。同时传统发电系统参数匹配固定,无法根据低负荷工况自适应调整,换热不充分、透平做功不足,导致系统发电效率大幅下滑,资源浪费问题突出。(2)设备老化、管网适配性差导致的能耗损耗问题。多数改造电厂沿用原有老旧管网,管道结垢、腐蚀、阻力不均问题普遍存在,介质输送过程能量损耗严重。长期运行的换热设备、透平机组出现部件磨损、密封老化等问题,设备换热、做功精度下降,进一步增加无效能耗,降低系统整体运行效率^[5]。

(3)智能调控水平不足引发的运行稳定性问题。目前部分电厂余热余压系统仍采用传统人工或半自动调控模式,缺乏实时数据监测与动态联动调控能力。面对机组工况突变,系统无法快速调整运行参数,易出现发电功率波动、设备运行失衡等问题,增加系统故障风险,影响运行稳定性与连续性。

3.4 系统性能优化策略与发展展望

(1)设备升级与工艺优化提升发电效率方案。针对低负荷效能短板,可更换高效换热组件、升级低压适配型透平设备,优化系统做功区间。同时改造老旧管网,规整管路布局、清理管道积垢,降低输送阻力与能量损耗,优化换热、做功核心工艺,拓宽系统高效运行工况范围,全面提升全负荷发电效率。(2)智能化调控、

联动运维优化运行性能策略。搭建一体化智能监测调控平台,实时采集工况参数、设备运行数据,依托算法实现负荷自适应调节、设备联动控制。建立智能化运维机制,实现设备故障预警、定期检修提醒,减少设备故障停机时间,解决工况适配差、运行不稳定等问题,提升系统自动化、精细化运行水平。(3)新型耦合发电技术融合应用与未来发展趋势。未来余热余压发电将向多能源耦合、高效集成方向发展,融合储能技术、光伏辅助发电技术,弥补低负荷工况能量不足的短板。同时推进余热余压与热电、储能一体化耦合系统应用,实现能源梯级高效利用。随着双碳政策推进,智能化、低碳化、集成化将成为电厂余热余压发电技术的核心发展趋势。

结束语

本文系统探究了电厂余热余压发电系统的技术原理、工程应用效果与综合性能,明确了低负荷适配性差、设备管网老化、智能调控不足等核心问题。通过针对性优化改造,可有效提升系统发电效率与运行稳定性,兼顾电厂经济效益与环保效益。未来随着多能耦合、智能运维技术的迭代升级,余热余压发电技术将实现更广泛的工况适配,成为火电行业节能降碳、高效提质的关键支撑技术。

参考文献

- [1]刘秋升.600MW纯凝改供热空冷机组余压余热联合利用改造分析[J].发电设备,2022,36(4):278-283.
- [2]汪前成.某660MW燃煤机组深度耦合余热利用系统优化[J].发电设备,2024,38(6):381-386.
- [3]赵雅卓,张文杰,廖颖慧,等.核电厂低品位余热发电技术研究[J].发电技术,2025,46(4):512-520.
- [4]孔杭欣.电厂烟气余热利用中的热管换热器性能研究[J].中国新技术新产品,2026,10(2):45-47.
- [5]台哲亮.燃煤电厂烟气余热利用节能减排技术研究[J].电气技术与经济,2026,12(1):78-80.