

新形势下电厂锅炉设备在热能与动力工程中的应用

袁吉勇

丹阳中鑫华海清洁能源有限公司 江苏 镇江 212311

摘要:新形势下,电厂锅炉设备在热能与动力工程中的应用面临新挑战与机遇。本文概述电厂锅炉设备的基本构造、工作原理及其在热能动力工程中的重要性。探讨热能动力工程对电厂锅炉设备的多方面影响,包括提升能量转换效率、完善锅炉内部构造以及加强设备维护与故障预防。进而提出电厂锅炉设备在热能动力工程中的应用策略,涵盖提升热能与机械能转换率、优化内部结构、推进技术革新以及强化维护与预防措施,旨在为电厂锅炉设备的高效运行与热能动力工程的可持续发展提供理论参考与实践指导。

关键词:新形势下;电厂锅炉设备;热能与动力;工程的应用

引言:在全球能源转型与“双碳”目标的大背景下,电力行业正经历深刻变革。电厂作为能源转换与供应的核心枢纽,其锅炉设备的运行效率与稳定性直接关系到能源利用效能与电力供应质量。热能与动力工程作为研究能量转换与传递规律的关键学科,为电厂锅炉设备的优化升级提供了重要理论支撑与技术路径。新形势下,深入探究电厂锅炉设备在热能动力工程中的应用,不仅有助于提升锅炉设备的性能指标,降低能源消耗与污染物排放,还能推动电力行业向绿色、高效、智能方向转型,对于保障国家能源安全、实现经济社会可持续发展具有重大战略意义。

1 电厂锅炉设备概述

1.1 基本构造

燃气电厂余热锅炉构造以高效回收烟气能量为核心,主要由过热器、再热器、省煤器、锅筒及受热面管束等关键部分构成。过热器负责将饱和蒸汽加热至高温高压状态,提升做功能力;再热器对汽轮机排汽再次加热,降低终湿度损失;省煤器利用低温烟气预热给水,减少换热损失;锅筒承担汽水分离与工质储存功能;受热面管束按烟气温度梯度分级布置,形成高温段、中温段和低温段的梯级换热系统。

1.2 工作原理

余热锅炉工作原理基于能量梯级利用原则。燃气轮机燃烧天然气产生的高温烟气(通常600-800℃)进入余热锅炉,依次流经高温过热器、中温再热器、低温省煤器等受热面。烟气携带的热能通过辐射和对流方式传递给受热面内的工质(水或蒸汽),自身温度逐步降至120-150℃后排入大气。工质吸收热量后经历水→饱和蒸汽→过热蒸汽的相变过程,高温高压的过热蒸汽进入汽轮机膨胀做功,驱动发电机发电,形成“燃气轮机做功+余热

发电”的联合循环系统,实现能源的高效梯级利用。

1.3 在热能动力工程中的重要性

在热能动力工程领域,余热锅炉是燃气-蒸汽联合循环的核心纽带。它将燃气轮机排出的中品位余热转化为高品位蒸汽能,使能源利用率从简单循环的35%-40%提升至联合循环的55%-60%,显著提高能源利用效率。作为清洁发电系统的关键设备,其性能直接影响联合循环的经济性与环保性,可减少单位发电量的碳排放30%以上。同时,余热锅炉的技术水平决定了联合循环对变工况的适应性,在调峰电站中能快速响应负荷变化,对推动热能动力工程向高效化、低碳化发展具有不可替代的作用^[1]。

2 热能动力工程对电厂锅炉设备的影响

2.1 提升能量转换效率

2.1.1 基于热能动力学原理的技术改进

热能动力学中的熵增原理与能量守恒定律为燃气发电厂余热锅炉技术改进提供量化依据。在燃烧尾气余热利用中,依据传热学原理建立高效换热模型,通过优化余热锅炉内部结构,采用高效翅片管替代普通光管,增强烟气与工质的换热效果,使换热效率提升至92%。传热环节运用努塞尔数关联式,对省煤器采用螺旋管结构,增强工质湍流强度,使对流换热系数提升35%;同时基于灰污热阻计算,在蒸发器表面加装智能吹灰装置,根据积灰情况自动调节吹灰频率,保持受热面清洁度,降低传热热阻。针对排烟损失,结合热平衡方程设计烟气旁通系统,将部分高温烟气合理分流,既降低氮氧化物生成,又使排烟温度从180℃降至140℃,年节气量达150万立方米,实现能量转换过程的精准调控。

2.1.2 优化设备协作性以加快能量转换

设备协作性优化依托热能动力系统集成理论,构建

“燃气-余热-汽水-蒸汽”协同机制。采用数字孪生技术搭建余热锅炉全工况仿真平台,实时映射燃气轮机、余热锅炉、汽包等18个关键设备的运行参数,通过遗传算法优化控制参数,使燃气流量与蒸汽负荷的响应延迟从12秒缩短至6秒。在汽水循环系统中,基于伯努利方程优化下降管与上升管的布局,减少流动阻力损失;同时将汽轮机抽汽参数与加热器压力进行联动调节,使给水温度稳定在 $200^{\circ}\text{C}\pm 2^{\circ}\text{C}$,避免因水温波动导致的换热效率波动。通过工业以太网实现各子系统数据互通,当发电负荷从50%升至90%时,余热回收系统与汽水系统的协同调节可使蒸汽压力稳定在 $16\text{MPa}\pm 0.2\text{MPa}$,能量转换响应速度提升30%,显著减少工况切换时的能量损耗,形成连续高效的能量传递链。

2.2 完善锅炉内部构造

2.2.1 优化内部结构以保障设备运行

基于热能动力工程中的结构力学与传热学交叉理论,余热锅炉内部结构优化着重解决应力集中与传热不均难题。炉膛设计采用渐缩渐扩的流线型轮廓,借助CFD仿真模拟燃气轮机尾气流动路径,精准调控弯道处尾气速度,降低对受热面的冲刷力度,延长管材使用寿命。针对过热器管束,采用错列螺旋布置方式替代传统直列,增强尾气横向冲刷效果,缩小管间温差,防止热应力引发的管材破裂。在汽包内部,独创设计四级分离体系,首级运用离心式分离器初步分离蒸汽与水,次级经丝网除沫器深度脱水,第三级通过波纹板进一步净化蒸汽,末级利用均汽板均衡蒸汽流速,大幅降低蒸汽湿度,降低管道结垢几率。

2.2.2 结合实际优化热能技术

结合不同燃气发电厂的燃气特性与负荷特点,热能技术优化做到精准适配。对于燃气热值较低的发电厂,采用强化传热膜式受热面,增加辐射换热面积,配合尾气旁通调节炉膛温度,保障燃烧稳定;针对高氢含量燃气锅炉,研发低氮燃烧技术,通过精确控制燃烧空气量,抑制氮氧化物生成。在调峰机组中,应用智能热能调控系统,依据负荷变动实时调整过热器减温水量,缩小汽温波动范围,减轻热冲击。此外,基于余热梯级利用理论,高温段余热用于产生高压蒸汽驱动汽轮机发电,中温段余热加热凝结水,低温段余热预热助燃空气,提升综合余热利用效率,实现热能技术与实际需求的高度契合。

2.3 加强设备维护与故障预防

2.3.1 定期检查与维护的重要性

定期检查与维护对燃气发电厂余热锅炉设备至关重

要。余热锅炉长期利用燃气轮机排出的高温尾气,处于高温、烟气腐蚀等复杂恶劣工况,其各部件如受热面管束、汽包、阀门等极易出现磨损、腐蚀、变形等状况。若未能及时察觉和处理,小隐患可能逐步恶化成严重故障,甚至引发安全事故。通过定期检查,能全方位了解设备运行状态,及时察觉潜在安全风险,像受热面管束的泄漏、管道的微小裂纹、阀门的卡顿不灵活等,进而采取有效维护举措,防止故障扩大。定期维护可对设备进行深度清洁、精准润滑、牢固紧固等操作,确保设备性能稳定,延长设备使用年限,降低设备更换成本。同时,合理的维护规划能减少设备非计划停机次数,提升余热锅炉设备的可用率,保障燃气发电的连续性和稳定性,避免因设备故障造成的停电损失,对电厂的经济效益与社会效益影响深远。

2.3.2 预防措施与责任意识培养

制定周全的预防措施是规避余热锅炉设备故障的核心。要构建设备故障数据库,详尽记录并深入分析过往故障,归纳故障规律与成因,为制定预防策略提供有力支撑。依据设备特性与运行工况,规划科学合理的巡检路线与检查标准,运用红外热成像仪、超声波测厚仪等先进检测技术与工具,提升故障检测的精准度和时效性。强化责任意识培养不可或缺。通过开展专业培训和教育活动,提升运维人员的专业技能与责任意识,使其清晰自身在设备维护中的职责,严格依照操作规程开展操作与维护。建立激励与考核机制,对在设备维护和故障预防中表现突出的人员给予奖励,对因疏忽导致设备故障的人员进行问责,营造全员积极参与设备维护的良好局面^[2]。

3 电厂锅炉设备在热能动力工程中的应用策略

3.1 提升热能与机械能转换率

提升热能与机械能转换率是燃气发电厂余热锅炉在热能动力工程中高效应用的核心策略,需从能量转换全流程着眼,融合热力学原理与系统优化技术。首先,深化热能动力工程理论运用,构建余热锅炉热力系统仿真模型,精准剖析燃气轮机尾气余热回收、传热、汽水循环等环节的能量损耗点。依据卡诺循环理论,优化炉膛尾气温度与蒸汽参数的匹配关系,降低不可逆损失。在余热回收环节,采用智能监测与调节技术,根据燃气轮机排气参数,动态调整余热锅炉受热面的吸热量,确保余热充分吸收利用。其次,优化关键设备性能,对汽轮机与余热锅炉进行联动改造。选用高效叶片型线设计,减少蒸汽在汽轮机内的流动损失;改进余热锅炉过热器与再热器的布置方式,提高蒸汽参数稳定性,为机械能

转换提供高品质能量。此外,构建实时监控与动态调节系统,利用传感器网络采集各环节运行数据,借助人工智能算法预测能量转换效率变化趋势,提前调整燃气流量、给水量等参数,实现热能向机械能转换的精准调控,提升燃气发电厂的整体效率。

3.2 优化内部结构

优化余热锅炉内部结构需以热能动力工程中的流体力学和传热学为指引,从整体布局到局部细节开展系统性改造,消除能量损耗节点与故障隐患。炉膛部分采用渐变式流线型设计,模拟燃气轮机尾气湍流状态,优化炉膛截面积变化曲线,减少尾气流动的局部阻力。依据热负荷分布,动态调整受热面管的排列密度,在高热负荷区域加密布置,实现热量均匀吸收,避免局部过热致管材损坏。受热面系统全面升级,将传统布置改为错列与顺列交替的复合式布局,增强尾气扰动的同时降低流动阻力。配合采用内翅片或螺旋槽结构的传热管材,扩大换热面积、强化湍流效应,提升传热效率。汽包内部实施分层优化,上层设置高效旋风分离装置,中层加装波形板干燥器,下层布置均流孔板,通过三级净化精确控制蒸汽湿度。同时,优化内部汽水循环管路走向,减少局部涡流造成的能量损耗,保障余热锅炉稳定高效运行。

3.3 技术革新

技术革新是推动燃气发电厂余热锅炉在热能动力工程中高效应用的核心驱动力,需紧扣节能与环保双重目标,突破传统技术局限。在燃烧相关技术领域,针对燃气发电特点,引入先进的低氮燃烧优化技术,通过精准调控燃气与空气的混合比例及喷射方式,在余热锅炉的燃烧区域营造出更合理的燃烧氛围,有效抑制氮氧化物的生成,满足日益严格的环保排放要求。同时,结合烟气深度冷却技术,利用高效换热器进一步降低排烟温度,充分回收烟气中的余热,提升能源利用效率。智能控制技术是革新的关键方向。运用数字孪生技术构建余热锅炉的虚拟模型,实时精准映射设备的实际运行状态。借助大数据分析机器学习算法,对不同工况下的运行参数进行深度挖掘和优化,实现负荷快速变化时的自适应调节,确保余热锅炉始终在最佳工况下运行。在余热回收方面,突破传统单级回收模式,开发多级梯度余热利用系统,根据烟气温度的不同梯度,将其分别用

于预热锅炉给水、驱动溴化锂制冷机组等,实现能源的梯级高效利用。

3.4 维护与预防

维护与预防是保障燃气发电厂余热锅炉稳定运行的关键,需构建覆盖全生命周期的管理体系。依托先进的传感技术与物联网平台,在余热锅炉的炉膛、受热面、汽水管道的关键部位广泛安装各类高精度传感器,实时采集温度、压力、流量等关键参数。这些数据通过物联网传输至云端分析系统,利用智能算法快速识别异常数据,提前预警管壁超温、受热面积灰、阀门卡涩等潜在故障,实现从传统被动维修向主动预防的转变。制定科学合理的分级维护方案,对于省煤器、蒸发器等易积灰结垢的部件,采用定期离线化学清洗与在线高压水冲洗相结合的方式,确保受热面的清洁和高效传热;对高温高压的管道连接部位,定期运用超声波检测、射线检测等无损检测技术,及时发现裂纹、腐蚀等缺陷,防止蒸汽泄漏事故的发生。同时,建立完善的备品备件库,根据部件的损耗规律和使用频率,合理储备关键部件,缩短设备故障后的修复时间。强化人员培训,通过理论授课、虚拟仿真操作等方式,提升运维人员的故障诊断和处理能力,严格执行标准化操作流程,关键环节实施双人监护制度^[3]。

结束语

新形势下,电厂锅炉设备在热能与动力工程中的应用关乎能源高效利用与环保发展。通过提升转换率、优化结构、技术革新及强化维护等策略,可实现其高效稳定运行。这不仅能提高电厂经济效益,更契合绿色可持续发展理念。未来,需持续探索技术创新,深化二者融合,以应对能源与环境挑战,为电力行业高质量发展提供坚实支撑,助力社会能源体系转型升级。

参考文献

- [1]刘立柱.热能与动力工程在锅炉应用中的问题探究[J].大科技,2021,(11):193.
- [2]李响.新形势下火电厂锅炉设备在热能动力工程中的应用研究[J].中小企业管理与科技,2021:147-147.
- [3]宋刚.试析新形势下电厂锅炉应用在热能动力工程中的应用[J].科学与信息化,2022:75.