

基于热力循环优化的焚烧发电厂能效提升研究

谢朝龙 邱惠华

浙江省杭州市建德市浦发电能源有限公司 浙江 杭州 311612

摘要：本文探讨了基于热力循环优化的焚烧发电厂能效提升策略。首先介绍了焚烧发电的原理、流程及热力循环的基本概念，然后分析了焚烧发电厂在能效方面存在的问题，包括热效率低下、污染物排放控制不足以及设备老化和技术落后等。针对这些问题，提出调整等策略。最后，展望了焚烧发电厂能效提升的未来方向，包括深度融合前沿技术、拓展多元能源协同利用模式等。

关键词：热力循环优化；焚烧发电厂；能效提升

1 焚烧发电厂热力系统基础

1.1 焚烧发电原理与流程

焚烧发电是一种高效的垃圾处理方式，它通过将生活垃圾作为燃料进行高温燃烧，将产生的热能转化为电能。这一过程中，垃圾中的可燃成分在焚烧炉内与助燃空气充分混合并燃烧，释放出大量的热能。这些热能随后被用来加热水质（如水），使之转化为高温高压的蒸汽。高温高压蒸汽推动汽轮机旋转，汽轮机再带动发电机发电，从而将热能转化为电能。焚烧发电厂的工艺流程主要包括垃圾收集与预处理、焚烧、热能转化及烟气处理等几个关键步骤。首先是垃圾收集与预处理。城市生活垃圾通过专用的垃圾收集车从各垃圾收集点运送到焚烧发电厂。在焚烧前，垃圾会经过一系列预处理操作，如破碎、混合、脱水等，以提高焚烧效率和稳定性，预处理后的垃圾被送入封闭的垃圾储坑内，等待焚烧。接下来是焚烧过程。预处理后的垃圾通过給料装置送入焚烧炉。焚烧炉通常采用二段式炉排炉工艺，分为逆推段和顺推段两个燃烧区域，在逆推炉排上，垃圾经历干燥、着火和燃烧过程；随后掉入水平的顺推炉排床上，继续燃烧直至燃尽。焚烧炉内的高温（通常在850-1100℃）确保了垃圾中的可燃成分能够充分燃烧，释放出大量的热能。热能转化是焚烧发电的核心环节；焚烧产生的高温烟气在余热锅炉中进行热交换，将热量传递给锅炉内的水，使之蒸发并转化为高温高压蒸汽。这些蒸汽随后被送入汽轮机，推动汽轮机叶片旋转，汽轮机与发电机相连，通过机械能转化为电能。电能最终通过电网输送到各地，供人们使用^[1]。最后是烟气处理；焚烧产生的烟气中含有多种有害物质，如颗粒物、酸性气体、重金属等。因此，在排放前必须对烟气进行净化处理。烟气净化系统通常采用“SNCR+半干法+活性炭吸附+袋式除尘”的工艺组合，以确保烟气中的有害物质得到

有效去除，达到国家排放标准。

1.2 热力循环基本概念

热力循环是指工质（如水、蒸汽等）从某一初始状态出发，经过一系列热力过程后，最终回到初始状态的过程。在焚烧发电厂中，热力循环是实现热能转化为电能的关键环节。热力循环的基本构成包括四个主要过程：等熵压缩、等压加热、等熵膨胀和等压冷却。在焚烧发电厂的热力系统中，这些过程对应于汽轮机的不同工作阶段；等熵压缩阶段，工质（蒸汽）被压缩，压力和温度升高，但熵值基本保持不变。这一过程对应于汽轮机中的高压缸入口部分；等压加热阶段，工质在余热锅炉中吸收热量，温度大幅升高，而压力保持不变。这是热能转化为蒸汽内能的关键步骤；等熵膨胀阶段，高温高压的蒸汽推动汽轮机叶片旋转，将内能转化为机械能。在此过程中，蒸汽的压力和温度降低，但熵值仍基本不变。这一阶段对应于汽轮机的高压缸和中压缸工作部分；等压冷却阶段，蒸汽在汽轮机低压缸中继续膨胀做功，随后进入冷凝器进行冷却。在冷凝器中，蒸汽被冷却成液态水，压力降低至环境压力以下，同时释放出潜热。这一过程为下一个热力循环的等熵压缩阶段做准备；热力循环的效率是衡量焚烧发电厂能效的重要指标之一。通过优化热力循环过程中的参数（如蒸汽压力、温度等）和设备（如汽轮机、余热锅炉等），可以显著提高焚烧发电厂的能效水平。

2 焚烧发电厂能效问题分析

2.1 热效率低下的问题及成因

热效率低下是焚烧发电厂能效问题的核心之一。尽管焚烧过程能够将垃圾中的热能释放出来，但在实际操作中，由于燃烧不充分、热量回收系统不完善等因素，导致大量热能未被有效利用。燃烧不充分可能源于垃圾预处理不当、焚烧炉设计不合理或操作参数控制不准

确, 这些因素限制了热能的最大转换效率。同时, 热量回收系统(如余热锅炉)的传热效率、蒸汽参数的选择以及系统整体的匹配性也会影响热能的回收利用。

2.2 污染物排放控制不足的问题

焚烧发电过程中产生的烟气含有多种污染物, 如颗粒物、二氧化硫、氮氧化物和重金属等。尽管现代焚烧发电厂都配备了烟气净化系统, 但污染物排放控制仍然是一个棘手的问题。一方面, 烟气净化系统的运行效率和稳定性直接影响污染物的去除效率; 另一方面, 随着环保法规的日益严格, 对污染物的排放要求也不断提高, 现有的净化技术可能难以完全满足新的排放标准^[2]。

2.3 设备老化和技术落后的问题

设备老化和技术落后也是影响焚烧发电厂能效的关键因素。随着运行时间的增长, 焚烧炉、汽轮机、余热锅炉等关键设备会逐渐出现磨损、腐蚀和性能下降等问题, 导致能效降低。同时, 由于技术更新迭代迅速, 一些早期建设的焚烧发电厂可能采用了相对落后的技术, 如蒸汽参数较低、自动化控制水平不高等, 这些都在一定程度上限制了能效的提升。

3 基于热力循环优化的能效提升策略

3.1 燃烧过程优化

燃烧过程是焚烧发电厂能量转换的起点, 其效率直接影响整个热力循环的能效。因此, 燃烧过程的优化是提升焚烧发电厂能效的关键环节。第一, 优化垃圾预处理技术是提高燃烧效率的重要手段。通过对垃圾进行分类、破碎、混合和干燥等预处理, 可以改善垃圾的燃烧性能, 提高燃烧效率。例如, 将高热值的废物如废旧木材、塑料等合理配入垃圾燃料中, 可以显著提高整体热值。同时去除垃圾中的杂物和湿垃圾, 保证燃料的质量, 也是提高燃烧效率的有效措施。第二, 采用先进的燃烧技术和设备也是提升燃烧效率的重要途径。例如, 磁化燃烧技术通过磁场的作用使燃料分子间产生相互吸引并形成链式结构, 进而达到充分燃烧的效果。此外, 低氮燃烧器、流化床焚烧炉等先进设备的应用, 也能够实现燃烧过程的精准控制, 提高燃烧效率和热效率。第三, 在燃烧过程中, 合理控制燃烧参数也是至关重要的。通过精确控制燃料供给、空气流量、炉膛温度等参数, 可以确保垃圾在炉膛内稳定燃烧, 避免燃烧波动和熄火现象, 优化燃烧条件, 如合理配风、调整炉膛形状等, 也能够提高燃烧效率, 减少不完全燃烧损失。

3.2 余热回收利用强化

焚烧发电厂在燃烧过程中会产生大量的高温烟气, 其中蕴藏着大量的热能。通过余热回收利用技术, 可以

将这部分热能转化为蒸汽或热水, 用于供暖、发电等用途, 从而提高能源利用效率。(1) 合理设计余热回收系统是强化余热回收利用的关键。例如, 在焚烧炉后设置余热锅炉, 利用高温烟气加热锅炉内的水产生蒸汽, 然后将蒸汽送入汽轮发电机组发电。还可以采用热交换器等设备, 将烟气中的热量传递给其他介质(如水、空气等), 实现热量的回收和利用。(2) 提高余热回收效率也是强化余热回收利用的重要措施。通过增加余热锅炉的换热面积、采用高效的热交换器、优化烟气流程等方式, 可以提高余热回收效率, 将更多的热能转化为可用能源。例如, 使用鳍片管换热器可以提高换热性能, 将废热转化为热水或蒸汽, 用于供暖、工业生产等领域^[3]。

(3) 还可以将余热回收与热电联产相结合, 实现能量的循环利用。通过利用焚烧过程中产生的高温烟气或蒸汽, 驱动汽轮机发电, 同时利用余热供暖或制冷, 可以进一步提高能源利用效率。

3.3 传热优化与设备升级

传热过程是热力循环中能量转换的重要环节, 其效率直接影响整个系统的能效。通过改进锅炉的内部构造, 如调整炉膛形状、优化受热面布局等, 可以使燃料燃烧更充分, 提高热能的吸收效率。例如, 采用新型的膜式壁结构可以增加受热面积, 提高热传递效率。同时, 定期清理锅炉受热面上的积灰, 防止积灰影响热传递效率, 也是保持锅炉高效运行的重要措施; 升级设备性能也是提高传热效率的重要手段。例如, 采用耐高温、耐腐蚀的材料制作锅炉受热面, 可以延长设备使用寿命, 减少维修和更换成本。采用先进的燃烧控制系统和监测设备, 可以实时监测锅炉的运行状态, 及时发现并解决问题, 保证设备的稳定运行; 还可以采用多级燃烧技术, 逐步将烟气中的可燃成分燃烧殆尽, 提高整体燃烧效率。通过多级燃烧, 可以使燃料在炉膛内充分燃烧, 减少未燃尽物质的产生, 从而提高传热效率。

3.4 污染物排放控制技术

焚烧发电厂在燃烧过程中会产生大量的污染物, 如二氧化硫、氮氧化物、颗粒物等。这些污染物的排放不仅对环境造成严重影响, 还会降低焚烧发电厂的能效。因此, 采用先进的污染物排放控制技术也是提升焚烧发电厂能效的重要措施。采用高效的烟气净化设备是控制污染物排放的关键; 例如, 脱硫装置可以去除烟气中的二氧化硫, 脱硝装置可以去除烟气中的氮氧化物, 布袋除尘器可以去除烟气中的颗粒物等。通过采用这些先进的烟气净化设备, 可以将焚烧发电厂排放的污染物控制在国家和地方的环保标准之内。优化燃烧过程也是减少

污染物排放的有效途径;通过精确控制燃烧参数,如燃料供给量、空气流量、炉膛温度等,可以使燃料在最佳条件下燃烧,减少污染物的生成。例如,采用低氮燃烧技术可以显著降低氮氧化物的排放量。还可以采用余热回收技术将烟气中的热量进行回收,降低排烟温度,进一步减少污染物的排放。通过余热回收技术,不仅可以提高能源利用效率,还可以降低排烟温度,减少烟气中的有害物质含量。

3.5 系统运行状态的监测与调整

焚烧发电厂是一个复杂的热力循环系统,其运行状态直接影响整个系统的能效。通过安装各种传感器和监测设备,可以实时监测焚烧发电厂的运行状态,包括炉内温度、压力、含氧量、烟气成分等参数。这些参数的变化可以反映系统的运行状态和能效水平,为后续的调整和优化提供依据;对监测数据的分析,可以及时发现系统存在的问题和瓶颈,并采取相应的措施进行调整和优化。例如,当发现炉膛温度过高或过低时,可以通过调整燃料供给量、空气流量等参数来稳定炉膛温度;当发现烟气中污染物含量超标时,可以通过调整燃烧参数或加强烟气净化设备的运行来降低污染物排放量;采用智能化管理系统对焚烧发电厂的运行状态进行实时监测和数据分析。通过结合物联网、大数据等现代信息技术,可以实现对焚烧发电厂运行状态的精准控制和优化,智能化管理系统可以根据实时监测的数据自动调整焚烧炉的运行参数,如空气与燃料的混合比例、炉膛温度等,确保焚烧过程处于最佳状态,提高燃烧效率和热效率。

4 焚烧发电厂能效提升的未来展望

4.1 深度融合前沿技术

人工智能和机器学习技术将深度融入焚烧发电厂的运行管理。通过对海量运行数据的深度挖掘与分析,能够实现对热力循环系统的精准预测与智能调控。例如,借助机器学习算法预测垃圾成分变化,提前调整燃烧参数,确保燃烧过程始终处于最优状态,进一步提升燃烧效率。物联网技术将实现设备间的互联互通,实时监测设备的运行状况,及时发现潜在故障,降低设备维护成本,保障系统的稳定运行^[4]。

4.2 拓展多元能源协同利用模式

焚烧发电厂将不仅仅局限于垃圾焚烧发电这一单一模式,而是会朝着与其他能源形式协同发展的方向迈进。例如,与太阳能、风能等可再生能源相结合,构建多能互补的能源系统。在光照充足或风力强劲时,利用太阳能光伏发电或风力发电补充电力供应,同时将垃圾焚烧产生的余热存储起来,在可再生能源发电不足时释放用于供热或发电,提高能源利用的稳定性和可靠性,进一步挖掘能效提升潜力。

4.3 强化全生命周期管理

从焚烧发电厂的规划设计阶段开始,就将能效提升理念贯穿始终。在设计过程中,充分考虑设备选型、系统布局等因素对能效的影响,采用先进的设计方法和工具,实现系统的优化设计。在建设阶段,严格把控工程质量,确保设备安装调试符合高效运行要求。在运营阶段,持续开展设备维护、技术升级和管理优化工作。在退役阶段,对设备进行合理回收与再利用,减少资源浪费和环境污染,通过全生命周期管理实现焚烧发电厂能效的持续提升。

结束语

随着环保和能源需求的日益增长,焚烧发电厂的能效提升显得尤为重要。通过优化热力循环,不仅可以提高能源利用效率,降低污染物排放,还能延长设备使用寿命,减少维修成本。未来,焚烧发电厂应继续深化技术创新,融合前沿科技,拓展多元能源协同利用模式,并强化全生命周期管理,以实现能效的持续提升和环境的可持续发展。

参考文献

- [1]甄欠,吴玉琴,姜培学,等.压缩式制冷系统介观热力循环优化分析(二)[J].哈尔滨商业大学学报(自然科学版),2020,36(2):219-223.DOI:10.3969/j.issn.1672-0946.2020.02.017.
- [2]李凡彬,赵金国.发动机废热回收的热力循环优化[J].汽车实用技术,2022,47(6):66-69.DOI:10.16638/j.cnki.1671-7988.2022.006.014.
- [3]蒲军军.浅谈国内外燃机-蒸汽联合循环电厂发展经验[J].上海节能,2020,(04):309-314.
- [4]郑子纯.燃机-蒸汽联合循环电厂发电机保护系统探索[J].智能城市,2021,5(21):198-199.