

# “双碳”目标下烟气余热回收技术的研究进展

戚江平 秦乐 陈晓雨 摆玉芬

新疆天富环保科技有限公司 石河子 832000

**摘要:** 随着能源消耗和工业生产的增加,大量的烟气热能在传统工业过程中被浪费掉,造成了能源资源的浪费和环境污染。而烟气余热回收技术可以通过捕获和利用这些烟气中的余热,将其转化为可再生能源或高效能源,以提高能源利用效率和降低温室气体排放,进一步推动工业节能减排和碳减排的目标实现。因此,“双碳”目标下烟气余热回收技术的应用成为关键的环保和能源战略之一。本文就我国目前主要采用的烟气余热回收技术进行简要论述,为今后余热利用技术的进一步研究指明了方向。

**关键词:** “双碳”目标; 烟气余热; 回收技术

中国政府在应对环境问题和气候变化方面采取了一系列措施,并明确提出了力争在 2030 年前实现二氧化碳排放达到峰值,在 2060 年前实现二氧化碳排放净零,即实现碳中和。为实现这些目标,中国政府正在推动能源结构调整,加大清洁能源发展力度,减少对高碳能源的依赖。此外,中国也在鼓励节能减排,推广低碳技术和绿色产业,加强森林保护和植树造林工作,以及促进循环经济等方面采取行动。与此同时中国政府还积极参与国际合作,推动全球应对气候变化的努力,中国已经加入《巴黎协定》,承诺采取具体措施应对气候变化,并致力于推动全球气候治理。中国还举办过联合国气候变化大会(COP)等重要国际会议,与其他国家共同商讨应对气候变化的政策和行动。

## 一、烟气余热回收利用的必要性

烟气余热回收是指在工业或能源生产过程中,通过利用产生的烟气中的高温余热能量,采用特定的设备和技术将其捕获、转化和利用的过程。通常情况下,工业过程会产生大量的烟气,其中包含有高温的热能,如果不进行回收利用,则会被浪费掉。烟气余热回收的目的是最大程度地利用这些烟气中的余热,将其转化为可再生能源或高效能源,以提高能源利用效率,减少能源消耗和环境污染。下面就针对烟气余热回收利用的必要性进行简要分析:

(1) 能源资源的高效利用。传统工业过程中产生的烟气中蕴含大量高温余热,如果不进行回收利用就会被浪费掉。通过烟气余热回收利用技术,可以有效捕获和利用这些热能,将其转化为电力、热水或蒸汽等可再生能源或高效能

源,提高能源利用效率,减少对传统能源的需求<sup>[1]</sup>。

(2) 节能减排和环境保护。回收利用烟气余热可以降低工业生产过程中的燃料消耗量,减少对非可再生能源的依赖,从而实现节能减排。同时,减少了燃烧排放产生的污染物,如二氧化碳、氮氧化物等,对改善空气质量和减少温室气体的排放起到积极作用,促进环境保护和可持续发展。

(3) 经济效益和竞争力提升。通过回收利用烟气余热,企业可以降低能源成本,并在能源消耗方面实现经济效益。此外,通过减少温室气体排放,企业还可以获得碳排放权或碳交易收入,提高竞争力和可持续发展的长期利益。

## 二、“双碳”目标下烟气余热回收技术的研究进展

### 1. 直接热利用技术

我国在燃煤锅炉系统中应用最为广泛的延期余热回收技术就是直接热利用技术,该系统设备主要包括烟气省煤器、换热器和空气预热器等。

烟气省煤器是一种将烟气中高温热能传递给进入锅炉的给水或其他介质的换热器,它能够通过烟气与给水之间的换热,将部分烟气中的热能转移到给水中,提高给水的温度,从而减少燃料的消耗,达到节能的目的。除了烟气省煤器外,还可以使用其他类型的换热器来进一步回收烟气中的余热,这些换热器可以根据具体需求,对烟气中的热能进行不同程度的回收和利用,例如通过换热器将烟气中的热能转化为蒸汽或热水,供应给需要热能的工艺过程<sup>[2]</sup>。空气预热器是一种用于将烟气中的余热转移到给风中的设备,其可以明显提高燃烧过程中的燃料热效率,通过预热空气,可以降低锅炉

燃料的消耗量,减少排放物的产生并提高锅炉的整体热效率。这些设备和技术的应用可以有效回收燃煤锅炉烟气中的余热能量,提高能源利用效率、节约能源,并减少对环境的影响,在我国燃煤电厂和工业领域得到广泛应用,对推动可持续发展和减少碳排放具有重要意义。

烟气冷凝也是一种有效回收锅炉排烟余热和水分的技術。在锅炉排烟中,除了高温烟气中的热能外,还含有大量的水蒸气。通过烟气冷凝技术,可以将烟气中的水蒸气冷凝成液态水,并同时释放出携带的潜热,实现对烟气中的余热的回收。通过烟气冷凝技术,锅炉排烟中的余热和水分都可以得到回收利用,这不仅提高了锅炉系统的能源利用效率,减少了能源消耗和碳排放,还可以降低对自来水的需 求,实现节约用水的目标,烟气冷凝技术在工业和能源领域被广泛应用,对于可持续发展和环境保护具有重要意义。

将脱硫塔或填料塔作为换热的直接接触装置,实现烟气和水的直接接触换热也是一种烟气余热回收方式。这种回收方式利用了烟气和水的直接接触,实现了高效的热量传递。在脱硫塔或填料塔中,烟气通过其中的喷淋器或喷头雾化成细小的颗粒或液滴,并与水进行充分的接触和混合。通过烟气与水之间的传热,烟气中的余热被传递到水中,使水温升高,同时冷凝出部分烟气中的水分,从而实现烟气中余热的回收和水的加热<sup>[3]</sup>。相对于传统的热交换器,不需要复杂的换热器设备,降低了系统的复杂性和成本,而且可以通过调整喷淋器或喷头的参数,灵活控制换热效果,适应不同工况和需求。然而,使用脱硫塔或填料塔作为直接接触换热装置也存在一些考虑因素,如腐蚀、堵塞等问题,需要合理设计和维护。另外,也要注意处理好烟气中的污染物,以免对环境造成负面影响,在具体应用中需要综合考虑各种因素,并确保操作安全和环保可行性。

## 2. 余热提质技术

余热提质技术是指将无法直接利用或者温度较低的余热通过与热泵技术联合,进一步提高其温度并进行有效利用的技术。传统的余热回收技术(例如烟气余热回收、蒸汽余热回收等)通常要求余热的温度较高,能够直接满足应用需求。然而许多工业过程中产生的余热温度往往较低,无法直接利用,此时便可以结合热泵技术对低温余热进行进一步提升温度,使其能够满足特定的热能需求。

热泵技术利用了热量的传递原理,在低温环境中提取

热能,经过压缩和传热,将低温热量转化为高温热量供给需要的过程或系统。通过热泵技术,低温余热可以被提升到更高的温度,并用于供暖、热水生产、工艺加热等多种应用领域。

研究发现,吸收式热泵技术在提升机组整体系统热效率上具有明显的效果。吸收式热泵技术能够充分利用低温余热,将其提升至更高的温度,用于加热需要热能的过程或系统,最大限度地回收和利用低品位热能,提高能源利用效率,减少对传统高温热源(如燃料)的需求<sup>[4]</sup>。

总之,采用余热提质技术可以提高对低温余热的回收利用效率,减少能源浪费,降低碳排放。这种技术的应用使得余热回收利用技术更加多元化和灵活,扩大了其适用范围,并为工业过程中的能源节约和环境保护做出了贡献。

## 3. 热工转化技术

热工转化技术是一种高效的余热回收利用技术,它通过将低品位热源的热能转化为机械能或电能来实现能量利用。常用的方法是利用热力循环,例如蒸汽循环、有机朗肯循环和卡诺循环等,这些循环利用了热能对工质(如水蒸气或工质流体)进行加热、膨胀、冷却和压缩的过程,从而将热能转化为机械能或者驱动发电机产生电能。

有机朗肯循环的工质选择是影响余热回收系统热效率的关键因素之一,该循环中,有机工质替代水蒸气作为传热介质和工作流体,在选择有机朗肯循环的工质时,需要综合考虑以下因素,比如:沸点(工质的沸点应与低温余热源的温度相匹配,较低的沸点可以使工质在相对较低温度下蒸发);饱和蒸汽压力(较高的饱和蒸汽压力意味着在给定的温度下,工质可以蒸发更多的热量);热导率和比热容(这些参数影响工质传热的效率<sup>[5]</sup>。较高的热导率和比热容可提高传热速率和传热量)等。并根据具体的应用需求和余热回收系统的工况参数进行合理选择,常见的有机工质包括丁烷、异丁烷、丙烷等,它们在低温下具有较好的性能,可适用于不同温度范围的余热回收系统。

对有机朗肯循环工质的进一步研究确实是提升系统性能的关键。随着对低温余热回收技术的不断发展,学者们对有机朗肯循环工质进行了广泛的研究和优化,部分致力于寻找更适合特定应用的工质,包括通过分子结构设计和改进工艺来提高工质的性能,他们还探索了不同工质之间的比较和选择,以找到最佳的工质组合,以提高循环效率和可行性。

此外,将有机朗肯循环与其他技术耦合也成为众多学者深入研究的方向。例如,与压缩制冷/蓄冰技术、膜分离技术、化学吸附等技术的耦合,可以进一步提高系统的能效和整体性能,实现能量的综合利用。

通过热工转化技术,低品位的热能可以被有效地转化为机械能或电能,这种技术在工业领域中广泛应用,特别是针对高温低品位余热的回收利用,可以实现能源的高效利用,并降低对传统能源的需求,从而减少能源消耗和碳排放。

天富环保工业燃煤烟气低品位余热回收利用技术成功入选《国家工业节能技术装备推荐目录(2020)》,申请国家专利 17 项,已授权发明专利 1 项,实用新型专利 8 项,形成燃煤烟气低温余热梯级回用技术系列知识产权保护体系,建立了国内首套基于 2x330MW 燃煤机组回收烟气排放余热及节水减排一体化成套技术,节约标煤 > 6500 吨/采暖季、热量回收利用率 > 80%、烟气收水 > 60 吨/时、SO<sub>2</sub> 排放浓度 < 20mg/NM<sub>3</sub>, 颗粒物排放浓度 < 3mg/NM<sub>3</sub>, 填补了国内在该技术领域的空白。

需要注意的是,热工转化技术的应用需要综合考虑各种因素,如工质的选择、设备的匹配和操作参数的优化等,同时也要注意系统的维护和运行安全性。

### 三、结束语

总而言之,烟气余热回收技术在实现“双碳”目标方面具有重要作用,通过回收工业过程中产生的烟气中的余

热,可以有效提高能源利用效率,降低能耗和碳排放,这种技术的应用不仅可以减少对传统能源的依赖,还可以降低对环境的影响,实现可持续发展。随着“双碳”目标的推进,烟气余热回收技术将得到更广泛的应用和发展,同时也需要进一步优化和创新,以提高回收效率、降低成本,并适应不同行业和工艺的需求。

### 参考文献

- [1] 袁昌旗. 工业锅炉低温烟气余热回收利用技术的研究 [D]. 大连理工大学, 2021.
- [2] 黄波, 苏相成. 焦化厂焦炉烟气余热回收技术及应用 [J]. 冶金动力, 2020(09):37-38+42.
- [3] 高阳. 液气喷射泵技术在燃气锅炉烟气余热回收中的应用 [J]. 暖通空调, 2020, 50(04):75-78+20.
- [4] 那永帅. 烟气余热回收技术在热电厂中的应用 [J]. 冶金与材料, 2019, 39(03):82+84.
- [5] 蔡皓干. 传统燃气锅炉烟气余热回收再利用技术研究 [J]. 住宅与房地产, 2019(28):245.

### 科技项目:

能源污染物治理与节能降碳兵团重点实验室

### 科技项目:

基于焓差补偿汽化的园区级锅炉连排余热综合利用技术研究及应用示范