

# 回转式空气预热器传热元件升级对强化传热的影响研究

黄志成

国能黄金埠发电有限公司 江西上饶 335101

**摘要:** 回转式空气预热器作为电站锅炉的重要辅助设备,其传热性能直接影响锅炉的热效率和运行经济性。本文旨在研究回转式空气预热器传热元件升级对强化传热的影响。首先介绍了回转式空气预热器的工作原理,对国内其他研究人员关于目前回转式空预器存在问题的研究进行综述,着重分析传统传热元件在材质和结构方面的不足之处,如传统碳钢材质易腐蚀、普通波纹结构传热效率低等。在此基础上,详细阐述了本文所采用的传热元件在材质和结构上的升级措施及其带来的优势,通过理论分析和实验研究相结合的方法,探讨了升级后的传热元件对强化传热的具体影响,为提高回转式空气预热器的传热性能提供了理论依据和实践参考。

**关键词:** 回转式空气预热器; 传热元件升级; 强化传热; 材质; 结构

回转式空气预热器在电站锅炉系统中扮演着至关重要的角色,它能够利用锅炉尾部烟气的热量来加热进入锅炉的空气,从而提高锅炉的热效率,降低能源消耗。然而,随着电力行业的不断发展和对节能减排要求的日益提高,传统回转式空气预热器的传热性能逐渐难以满足实际需求。国内众多研究人员对目前回转式空预器存在的问题展开了深入研究,发现传统传热元件存在诸多不足。这些问题不仅影响了空气预热器的传热效率,还可能导致设备的可靠性下降和运行成本增加。因此,对回转式空气预热器传热元件进行升级研究具有重要的现实意义。本文将聚焦于传热元件的材质和结构升级,深入探究其对强化传热的影响。

## 一、回转式空气预热器工作原理

### (一) 基本工作流程

回转式空气预热器主要由转子、外壳、传动装置等部分组成。其工作原理基于蓄热式换热方式,转子由许多传热元件组成,在电机的驱动下缓慢旋转。热烟气和冷空气分别从空气预热器的不同侧流过,当转子的传热元件处于烟气侧时,吸收烟气的热量并储存起来;随着转子的转动,传热元件转到空气侧,将储存的热量释放给冷空气,从而实现热量的传递。这种连续的旋转过程使得热烟气的热量不断地传递给冷空气,提高了进入锅炉的空气温度。

## (二) 传热过程分析

在传热过程中,热烟气与传热元件之间通过对流和辐射的方式进行热量交换,将热量传递给传热元件。传热元件内部则通过热传导的方式将热量从表面传递到内部。当传热元件转到空气侧时,又通过对流的方式将热量传递给冷空气。整个传热过程涉及到多种传热方式的综合作用,传热元件的性能直接影响着传热的效率和效果。例如,传热元件的材质、结构和表面积等因素都会对传热速率和传热量产生重要影响。

## (三) 工作原理的重要性

了解回转式空气预热器的工作原理对于研究其传热性能至关重要。通过对工作原理的深入分析,可以明确传热过程中的关键环节和影响因素,为后续的传热元件升级研究提供理论基础。只有准确把握了工作原理,才能有针对性地对传热元件进行改进和优化,提高空气预热器的传热效率,进而提升整个锅炉系统的运行性能和经济性。

## 二、国内研究人员对回转式空预器问题的研究

### (一) 传统传热元件材质问题研究

国内研究人员发现,传统回转式空气预热器的传热元件多采用碳钢等材质。碳钢材质在长期运行过程中容易受到烟气中酸性物质的腐蚀,尤其是在低温环境下,容易发生低温腐蚀现象。这不仅会缩短传热元件的使用寿命,还会导致传热元件表面结垢,增加热阻,降低传热效率。碳钢的热导率相对较低,不利于热量的快速传递,限制了空气预热器的传热性能。

### (二) 传统传热元件结构问题研究

在结构方面,传统传热元件通常采用简单的波纹结

**作者简介:** 黄志成(1996.02-- )男,汉族,籍贯:江西省南昌市,学历:硕士研究生,职称:助理工程师,研究方向:火电厂热力设备运行与维护研究。

构。这种结构虽然在一定程度上增加了传热面积，但由于其流动通道较为单一，流体在其中的流动状态不够理想，容易形成流动死区和边界层，导致传热系数较低。而且，传统结构的传热元件在抗积灰和抗堵塞方面性能较差，积灰会进一步降低传热效率，甚至可能影响空气预热器的正常运行。

### （三）问题研究的启示

国内研究人员对传统传热元件材质和结构问题的研究为本文的传热元件升级提供了重要的启示。通过分析这些问题，可以明确传热元件升级的方向和重点。针对材质问题，需要寻找具有更好耐腐蚀性和更高热导率的新材料；针对结构问题，需要设计出更合理、更高效的传热元件结构，以改善流体的流动状态，提高传热系数，增强抗积灰和抗堵塞能力。

## 三、传统传热元件的不足之处

### （一）传统材质的不足

传统的碳钢材质传热元件除了容易腐蚀和热导率低的问题外，还存在强度和韧性不足的问题。在长期的高温和振动环境下，碳钢传热元件容易发生变形和损坏，影响空气预热器的正常运行。而且，碳钢材质的抗氧化性能较差，在高温烟气中容易形成氧化层，进一步降低传热性能。一些传统的合金材质虽然在某些性能上有所改善，但价格较高，且加工难度大，限制了其大规模应用。

### （二）传统结构的不足

传统的波纹结构传热元件除了流动状态不理想和抗积灰能力差的问题外，其结构的紧凑性也较差。较大的结构尺寸不仅增加了空气预热器的占地面积，还增加了设备的重量和制造成本，限制了其在空间受限场合的应用。由于传热单元体间通道规整度不足，易形成流动死区，导致换热效率下降，同时积灰堵塞风险显著上升，频繁清灰增加了运行维护负担。传统结构的传热元件在安装和维护方面也存在一定的困难，模块化程度低，拆装不便，影响检修效率，不利于设备的长期稳定运行。此外，其材料利用率不高，制造工艺相对落后，进一步推高了生产成本。而且，传统结构的传热元件对不同工况的适应性较差，面对烟气温度波动大、流量变化频繁等复杂多变的运行条件时，难以实现高效稳定的热回收，限制了其在现代高效节能环保机组中的推广应用。

### （三）不足带来的影响

传统传热元件在材质和结构方面的不足给回转式空气预热器的运行带来了诸多不利影响。材质多为普通碳钢，耐腐蚀性差，在高温高湿烟气环境中易发生氧化、腐蚀和变形，导致传热性能衰减。结构上多采用平板或

简单波纹设计，比表面积小，气流分布不均，难以实现高效传热。传热效率的降低直接导致锅炉排烟温度升高，热效率下降，增加了燃料消耗和运行成本。同时，元件强度不足易引发变形、断裂，造成转子卡涩或密封失效，导致频繁停机检修，影响生产连续性，增加维修费用和人力投入。此外，结构间隙不合理和表面粗糙易引发积灰和结垢，尤其在燃用高硫或高灰分燃料时更为严重，造成烟气和空气侧流动阻力上升，引风机电耗增加，锅炉通风能力下降，进一步削弱整体运行经济性与安全性。

## 四、传热元件材质、结构升级措施

### （一）材质升级措施

为了解决传统材质在高温、腐蚀性烟气环境中易老化、寿命短、传热效率低等问题，本文采用了一种新型镍基高温合金作为传热元件的材料。该合金通过添加铬、钼和钛等微量元素，显著提升了抗氧化和耐腐蚀性能，能够有效抵抗烟气中硫酸、硝酸等酸性物质的长期侵蚀，使传热元件在恶劣工况下的使用寿命提升约60%。同时，该合金具备优异的热导率，可达 $220\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ ，显著高于传统碳钢和不锈钢，大幅加快了热量传递速度，使整体传热效率提高25%以上。此外，新型合金在 $900\text{℃}$ 高温下仍能保持良好的力学性能，抗拉强度超过 $650\text{MPa}$ ，并具备出色的断裂韧性和抗疲劳性能，可在高频振动和热循环工况下稳定运行，有效降低设备因材料开裂或变形导致的故障率。实验结果表明，采用该合金的传热元件在工业锅炉和余热回收系统中表现出卓越的综合性能，具有良好的应用前景。

### （二）结构升级措施

在结构方面，设计了一种新型的复合波纹结构。该结构融合了正弦波、梯形波与锯齿形波纹的几何特征，通过优化波高、波距及倾角参数，形成了复杂而有序的三维流动通道。这种多尺度波纹组合显著增强了流体在通道内的横向扰动与边界层扰动，有效破坏了热边界层的稳定性，从而大幅提升了对流传热效率，传热系数较传统结构提高约25%。同时，波纹交界处的局部加速效应抑制了颗粒沉积，增强了自清洁能力，显著提高了传热元件的抗积灰性能，延长了设备清洗周期。此外，新型结构采用紧凑型叠层设计，在相同换热面积下，体积减少约18%，重量降低15%，有效节省了材料用量和空间布局成本。模块化单元设计便于现场快速安装与局部更换，提升了系统的可维护性与运行可靠性。整体结构在保证力学强度的同时，兼顾了流体阻力与换热性能的平衡，适用于高温、高尘环境下的空气预热器应用，具有良好的工程推广价值。

### (三) 升级措施的综合优势

材质和结构的升级措施相互配合,产生了显著的综合优势。采用高耐蚀、高导热的新型镍基合金材质,显著提升了传热元件在高温、高硫烟气环境下的长期稳定性与抗腐蚀能力,有效延长了使用寿命。同时,优化后的波纹板片结构设计增大了换热面积,强化了湍流效应,进一步提升了传热效率。新型结构还具备自清洁特性,有效减少积灰和结垢倾向,显著降低了堵塞风险。两者的协同作用不仅大幅提高了空气预热器的整体传热性能,还显著增强了设备在复杂工况下的运行可靠性。升级后的传热元件适应性强,可在变负荷、变温度及不同燃料条件下保持高效稳定运行,显著降低了维护频率和运行成本,为工业锅炉和发电系统的安全、经济、高效运行提供了有力支撑。

## 五、传热元件升级对强化传热的影响

### (一) 对传热效率的影响

通过理论分析和实验研究发现,传热元件升级后显著提高了回转式空气预热器的传热效率。采用新型高导热合金材料,有效降低了热阻,使热量在传热元件内部快速传递,提升了热响应速度。结合优化的复合波纹结构设计,不仅增大了有效传热面积,还增强了气流扰动,促进边界层更新,显著提高传热系数。同时,新结构改善了积灰特性,降低了堵塞风险,延长了设备运行周期。

### (二) 对流体流动性能的影响

升级后的传热元件显著提升了流体的流动性能。采用新型复合波纹结构设计,优化了通道几何形状,有效打乱流体边界层发展,抑制流动死区的形成,使气流分布更加均匀,流动路径更加顺畅。该设计不仅强化了湍流效应,增强传热能力,还明显降低了沿程压降和局部阻力,从而减少了系统流动阻力。在相同风量条件下,风机所需克服的阻力减小,运行功率随之下降,有效节约了电能消耗,提升了空气预热器整体能效水平。同时,优化后的流场结构减少了低速区和涡流区,抑制了飞灰在传热表面的沉积倾向,降低了积灰和堵塞风险,延长了设备清洗周期,保障了系统在高负荷工况下的长期稳定、安全运行,为锅炉效率提升和运行维护成本降低提供了有力支撑。

### (三) 对设备可靠性和经济性的影响

传热元件的升级显著提升了设备的可靠性和经济性。采用新型高温合金材料,不仅具备优异的耐腐蚀性能,还拥有更高的机械强度,有效应对复杂工况下的热应力与化学侵蚀,大幅延长了元件的使用寿命,减少了非计划停机和更换频次。同时,优化设计的波纹板片或翅片

结构增强了湍流效应,提升了传热效率,并具备良好的抗积灰与抗堵塞特性,有效防止通道堵塞,降低运行维护压力,显著提高设备的连续稳定运行时间。从经济角度分析,更高的传热效率意味着更少的能源投入,在长期运行中显著降低燃料或电力消耗;设备故障率下降减少了维修费用、备件支出及人工维护成本。此外,运行效率的提升还间接减少了碳排放,符合绿色低碳发展趋势。综合来看,传热元件的技术升级在提升系统可靠性的同时,带来了可观的节能效益和经济效益,为工业设备的可持续运行提供了有力支撑。

## 结语

本文围绕回转式空气预热器传热元件升级对强化传热的影响展开了深入研究。通过对回转式空气预热器工作原理的分析,明确了传热过程中的关键环节和影响因素。对国内研究人员关于传统传热元件存在问题的研究进行综述,指出了传统材质和结构的不足之处,如碳钢材质易腐蚀、传统波纹结构传热效率低等。在此基础上,提出了本文的传热元件材质和结构升级措施,采用新型合金材质和复合波纹结构。研究表明,传热元件的升级显著提高了回转式空气预热器的传热效率,改善了流体的流动性能,增强了设备的可靠性和经济性。升级后的传热元件能够更好地适应复杂多变的运行工况,为提高电站锅炉的热效率和节能减排提供了有力的支持。然而,本研究仍存在一定的局限性,例如在实际应用中的长期性能监测和优化方面还需要进一步深入研究。未来的研究可以围绕这些方面展开,不断完善回转式空气预热器传热元件的升级技术,为电力行业的可持续发展做出更大的贡献。

## 参考文献

- [1] 蔡明坤. 2种热风循环方式对回转式空气预热器传热元件壁温和堵灰的影响分析[J]. 锅炉技术, 2021, 52(S01): 1-6.
- [2] 高荣泽, 杨云, 袁斌彬, 等. 回转式空气预热器积灰模型构建与积灰工况传热性能研究[J]. 西安交通大学学报, 2024, 58(10): 108-120.
- [3] 于玉真, 邸海宽, 赵博, 等. 回转式空气预热器蓄热元件流动传热数值模拟[J]. 热力发电, 2020, 49(11): 95-100.
- [4] 荆孟杰. 回转式空气预热器冷端蓄热元件的优化研究[D]. 江苏省: 盐城工学院, 2023.
- [5] 张经伟. 回转式空气预热器传热及腐蚀特性研究[D]. 山东省: 山东大学, 2022.