

# 低品位工业余热回收供暖的应用与实践

文 / 孙世春 大连红昇工程设计有限公司

**摘要：**为解决工业生产中低品位余热资源浪费和环境污染问题，本文研究低品位工业余热回收供暖技术，通过采用烟气余热回收技术、冷却水余热回收技术和废热蒸汽回收技术等方法，将工业生产中形成的低温废气、废水和废热进行全面回收，并利用先进的热交换技术和系统集成方案。实践案例分析表明，该技术能够显著提高能源利用率，减少碳排放，保证供暖系统的稳定性和可靠性，同时降低工程成本和提高供暖质量。

**关键词：**低品位工业余热；回收技术；供暖应用；节能减排

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2025.13.062

## 引言

随着现代工业化发展速度加快，工业生产中所形成的低品位余热资源量不断增大。低品位余热资源类型较多，包含高炉冲渣水、工业炉窑烟气等，如果随意排放到自然环境中导致热量资源浪费严重，也会引发环境污染危害。因此，工业生产中低品位工业余热回收供暖技术的研发已经成为现代社会发展中必不可少的技术之一，符合我国节能、减排以及可持续发展要求。低品位工业余热回收供暖技术的应用，主要作用是将低温热能全面回收，再采用先进的热交换技术和系统集成方案，使其转变为满足居民生活以及工业生产的热能资源。该技术应用后切实提高能源利用率，避免出现能源浪费现象，也能减少碳排放，对保证供暖系统的稳定性、可靠性、降低工程成本、提高供暖质量有积极作用。

### 一、低品位工业余热特点

#### （一）温度低

工业生产中由于工艺复杂性较高，特别是在生产过程中形成体量巨大的低温废气、废水以及废热，这些温度往往比能源交换设备中的工作温度低，未达到锅炉或发电机的正常运行温度。如有些工业废气排放时温度稍高于环境温度，甚至有些温度接近或低于露点。这些低品位余热利用时有较高的难度，主要是因为传统换热技术应用时必须要有较高的温差才能将其转换为电能或者机械能，这就导致大量的低品位余热存在资源浪费现象<sup>[1]</sup>。

#### （二）能量密度小

由于低品位余热的能量密度较小，导致相同体积或质量的情况下，其含有的能量远远低于高温热源。能量密度较小的低品位余热在回收以及利用的环节，需进行介质处理，如废气、废水等，这使得回收系统运行过程中的成本升高，并且系统设计时复杂性较高。此外，低能量密度的工业余热在转换时还会存在能量损失严重的现象，造成整个能量回收系统的能耗升高，甚至无法达到经济性的效果。

### （三）运用范围广

虽然低品位工业余热使用的过程中有温度低、能量密度小的缺陷，但其产生量较大，可应用的范围广。工业生产中几乎每个工序都会形成一定量的低温余热，如果不能及时应用，随意排放到自然环境中会导致能源损耗严重。钢铁、化工、造纸等领域中低温余热使用率相对较高，主要用来预热原材料、加热工艺、用水产生蒸汽等。而在城市供暖、制冷、热水等领域内，低品位余热的应用也逐步进行，已经成为城市中可持续利用的能量来源。

## 二、低品位工业余热回收技术

### （一）烟气余热回收技术

燃煤电厂、钢铁冶炼、水泥制造等行业生产的过程中，燃料燃烧时形成大量的烟气排放到自然环境中，带走大量的热能。如果未采取任何能源利用措施，随意排放后导致能源浪费严重。根据工业生产排放烟气的情况，研发烟气余热回收技术，利用多种热交换设备，如热管换热器、板式换热器、回转式空气预热器等，使得工业生产中排放的烟气传递给工作介质，利用水、空气、导热油等介质进行余热回收，提高废弃热源的利用率。烟气余热回收技术的应用过程中依赖效率较高的热交换器，加强热交换器设计以提高烟气余热回收利用水平。交换器设计阶段考虑到烟气余热回收的具体工况，提高材料的耐热性、耐腐蚀性，从而能够应对复杂多变的烟气环境。同时，为确保天烟气余热回收利用水平不断提升，还要在热交换器设计中选择适宜的设计方案，使得烟气和工作介质接触面积足够大，且有较长接触时间以提高热量回收效率。此外，烟气余热回收系统设计中还要综合考虑废气排放时的流动性和压力损失，进而保证整个换热系统运行具备较高的稳定性。而燃气回收技术应用阶段实时监控烟气的状态，加强成分、温度、流量的监控使得热交换器运行状态合格以提高余热利用效率<sup>[2]</sup>。

### （二）冷却水余热回收技术

工业生产流程中设备数量较多，大多数的设备以及

工艺需要通过冷却水保持适宜的运行温度。冷却水使用过程中存在升温现象,但如果随意排放会导致冷却水的能源流失严重,也会存在低品位余热资源无法使用的情况。冷却水余热回收技术利用的是工业生产中看似无用的低温废水,采用高效热交换技术,使得冷却水中能量得到回收,将其用来供暖、制冷以及其他工作介质的加热,提高冷却水热量回收以及利用效率。由于工业生产中冷却水的温度低、流量大,所以在热交换器设计时选择大面积、低阻力设计方式,保证整个系统能源传输顺畅,系统运行具备更高的稳定性。同时,为全面提高热量回收效率,冷却水余热回收系统设计时还要考虑到介质特性、热交换过程、自动化控制等方面因素以提高热量回收水平。此外,为防止使用过程中引发严重的设备腐蚀或损坏情况,系统设计阶段还要使用预处理以及清洗设备确保整个热交换器运行具备更高的稳定性<sup>[3]</sup>。

### (三) 废热蒸汽回收技术

化工、石化、造纸、食品加工与发电生产过程中蒸汽作为必不可少的生产介质时,主要作用是驱动设备、加热物料、产生动力,满足工业生产运行需求。蒸汽完成其功能后往往直接排放到大气环境中,这造成能源浪费,也会引发环境污染危害。因此,研究废热蒸汽回收技术,确保其能够及时进行热量回收,研发出高效的热交换和能量转换设备,使废气中蒸汽热量及时回收,将其转变为电能、热能、机械能以提高能源利用率,也防止环境污染危害。

蒸汽凝结成液态水时释放大量的热量,这就是潜热,而显热则指的是蒸汽降温时释放的热量。为了能够全面提升废热蒸汽热量回收效率,回收系统设计时采用多级热交换器回收,逐步降低蒸汽的温度以及压力,并且将回收后的热量传输给其他介质,如冷水、导热油、空气等。此外,为提高废热蒸汽回收技术运行效率,系统设计阶段还要考虑到蒸汽的流量、压力、温度等参数,对于热交换结构进行合理设计提高热量回收效率以满足废热蒸汽回收技术运行需求。

## 三、低品位工业余热供暖应用案例分析

### (一) 项目概况

某钢铁公司的规模较大,集中运营6座高炉、6座与之匹配的热风炉、3座热轧工段的加热炉、4座煤气发电机座。该企业生产过程中形成大量的高炉冲渣水、高炉热风炉烟气、热轧加热炉烟气以及煤气发电锅炉烟气等,其中有大量的低品位余热资源随意排放到自然环境中导致环境污染加剧、能源浪费严重。该企业所在地区的集中供暖以热水供暖方式为主,通过多台小型锅炉进行水资源加热,完成热量供应。由于供热系统的锅炉能量较小,系统运行的过程中比较分散,热量分布极为不

均衡,也会导致锅炉燃烧效率下降,无法满足能源利用率要求。

为确保该企业内供热达到既定目标,也要充分利用生产工序中低品位余热资源。本项目在设计过程中以现有的高炉热风炉、加热炉、煤气发电机组作为基础,规划3座渣水换热站、4座高炉热风炉烟气余热回收换热站、3座热轧加热炉烟气余热回收换热站,以及4座发电煤气锅炉烟气余热回收换热站。上述换热站投入运营的过程中,对生产工序中的低品位余热资源充分回收,将其应用在区域内的供暖设施中,提高热量利用效率,也能降低环境污染<sup>[4]</sup>。

### (二) 回收方案详述

本项目设计过程中需充分利用钢铁生产过程中的余热,将其用作为厂区内集中供热的热源,保证供热系统稳定运行,也能改善现有供热状态。该厂区内集中供暖系统设计中,其中包含有一、二级管网系统,所以将余热回收后传输到一级管网,然后再输入到各个供暖系统的换热站,利用二级管网完成循环水的加热以及循环利用。二级管网中的供热循环水温度处于适宜状态,则直接传输到各个供暖终端中。本项目设计环节,根据设计方案和供暖需求,将一级管网供水温度设定为96.6℃,回水温度为45℃,循环水量3000m<sup>3</sup>/h,预计回收热量132.5MW,供热量为180MW。为确保整个供热系统运行状态良好,并根据实际供热需求进行必要调整,还要考虑到系统热负荷变动情况,本项目设计中确定如下余热回收流程:

本项目设计中其供热区域内采暖总回水流量为300m<sup>3</sup>/h、温度45℃,采用加压输送方式将其传输到供热区域内。上述回水进入到工业生产中,废热排放区域经过热量传输使其温度达到65℃。然后将加热完成的水资源流量控制在2700m<sup>3</sup>/h,进行余热回收系统的利用,并且将水资源温度提升到85℃。升温完成后的水和没有进行升温的65℃水流量在300m<sup>3</sup>/h左右,充分混合后将其温度提升到83℃。进入到冬季,由于该区域环境温度较低,为保证供暖系统内水温处于适宜条件,在供暖过程中利用蒸汽补热,使其水温度加热到96.6℃。加热后的水进行系统循环供热,并将其输入到连接点位置,再利用加压泵提高供水压力,使得各个终端有足够的供热水资源使用<sup>[5]</sup>。

### (三) 余热换热站

#### 1. 高炉冲渣水余热回收换热站

第一:换热站选址布局。高炉冲渣水余热回收换热站设计时确定合适的安装地点极为重要,这对余热回收效率以及系统运营成本存在直接影响。由于高炉冲渣池周边的设备分布密集度较高,经过对工业生产现场的实

际情况分析，总计布置3座冲渣池，设置在渣水换热站周边以提高余热回收效率。该设计方式使其系统的运行状态合格，余热回收效率提升，也防止传输距离过长导致热量损失严重，并且和整个工业生产的工序紧密结合。

第二：换热站内部配置。该项目换热站布置时选择适宜的设备型号以及类型，保证其换热效率达到使用需求。1#、2#渣水换热站布置阶段，其内部设置有3台渣水换热器。该项目换热器选择时采用单级或多级热交换设备，及时回收工业生产中余热，每台换热器热负荷为7.5MW，保证其换热效果合格，提高能源的利用率。

第三：换热站运行优化。为使得高炉冲渣水余热换热站运行功能性合格，使其在运行过程中具备稳定性，还要进行系统优化设计。为实时掌握换热站运行状态，系统设计阶段设置有完善的监控装置，实时监控换热器的进出口水温、流量、压力等参数，以便发现潜在问题采取应对措施。经过对高炉冲渣水的温度波动、水质变化方面因素分析，制定适宜调整方案，确保在多种工况条件下运行状态合格，具体见表1。此外，为保证换热站运行效果达到标准，选用合适热回收技术和材料，利用高效热管换热器、耐腐蚀性材料等满足系统运行需求。

表1 高炉冲渣水换热器调节方案

工况编号	冲渣水温度范围(℃)	水质指标(如COD、悬浮物等)	换热器调节措施	换热效率(%)	换热器出口水温(℃)
工况1	55~65	COD: 200~300 mg/L; 悬浮物: 50~100 mg/L	增加循环水量, 提高换热效率	≥85	≥75
工况2	65~75	COD: 150~250 mg/L; 悬浮物: 30~80 mg/L	保持正常循环水量, 优化换热介质流速	≥90	≥80
工况3	75~85	COD: 100~200 mg/L; 悬浮物: 20~60 mg/L	适度降低循环水量, 防止过热损坏换热器	≥88	≥85
工况4	55~85 (波动大)	COD: 波动大(100~300 mg/L); 悬浮物: 波动大(20~100 mg/L)	动态调节循环水量和换热介质流速, 根据实时监测数据调整	≥85 (平均)	≥75 (平均)

2. 工业炉窑烟气余热回收换热站

经过渣水换热站升温之后的采暖水，使其温度达到相对较高的范围，再将其引入到高炉热风炉、热轧加热炉、煤气发电锅炉的排烟管道位置，利用该位置排放烟气产生的低品位余热资源进行加热。为提高热能利用效率，还要设计适宜的烟道换热器配置方案以确保能源回收效率达到系统需求。高炉热风炉设备周边区域内，根据余热回收需求在每条排烟管道上布置3台高性能烟道换热器，每台换热器的换热面积为200m²，发挥先进热交换技术和耐腐蚀

性材料的作用提高效率，延长使用寿命。热水经过换热器之后吸收25MW的热能，使得采暖设备供应有足够的热量支持。热轧加热炉的工序内按照余热回收技术标准，每条烟道中设置2台烟道换热器，每台换热面积180m²，及时回收热轧加热炉中高温排放烟气能量，回收能量达到20MW，进一步进行采暖供水加热处理。除此之外，煤气发电锅炉的区域内设置余热回收装置，在每条烟气管道中设置4台烟道换热器，换热面积150m²，满足回收热量需求，使得回收热能达到30MW，具体配置可见表2。

表2 部署位置

换热器编号	部署位置描述	换热面积(平方米)
换热器1	锅炉A排烟烟道中段	150
换热器2	锅炉A排烟烟道末端	150
换热器3	锅炉B排烟烟道中段	150
换热器4	锅炉B排烟烟道末端	150

经过对上述余热回收装置的分析，发现在多道工序中安装余热换热站，布置数量达到19台，总换热面积3700m²左右，低品位热量回收量达到75MW。

结语

工业生产中低品位余热资源体量巨大，以往生产中直接排放到自然环境中导致能源浪费严重，也会引发严重环境污染危害。结合工业生产低品味余热资源实际情况，根据工业生产工艺特性设置合理的余热回收系统，并将其应用到供暖系统内，从而提高热量利用率，并且减轻对生态环境产生的污染危害，对现代社会可持续发展有积极作用。

参考文献

[1] 丛龙胜, 王春林, 方豪, 等. 迁西低品位工业余热供暖研究[J]. 区域供热, 2022, (06): 43-56.  
 [2] 赵化涛, 石灿, 张素华, 等. 燃气锅炉烟气余热深度回收技术及应用分析[J]. 区域供热, 2024, (04): 8-14.  
 [3] 付旭续, 王新宇. 流化床锅炉烟气喷淋换热余热回收技术探讨[J]. 资源节约与环保, 2024, (06): 44-49.  
 [4] 李少强. 焦化炉废气余热回收利用的技术研究[J]. 山西化工, 2024, 44(02): 248-250.  
 [5] 魏景源. 燃煤工业锅炉烟气余热回收技术与节能效益研究[J]. 节能与环保, 2023, (05): 83-85.