

# 化工装置低温余热供暖系统的余热回收效率与效益研究

隋劲松（中石化（天津）石油化工有限公司，天津 300270）

**摘要：**在化工行业，随着生产规模的扩大和技术的不断进步，能源消耗和环境污染问题日益凸显。化工装置在生产过程中会产生大量的低温余热，这些余热如果不加以回收利用，不仅会造成能源的巨大浪费，还会加剧环境污染。因此，开发和应用化工装置低温余热供暖系统，实现余热的高效回收和再利用，对于提高能源利用效率、降低生产成本、减少温室气体排放具有重要意义。

**关键词：**化工装置；低温余热供暖系统；余热回收效率；经济效益

## 0 引言

化工生产过程中会产生大量的低温余热，这些余热若直接排放，不仅造成能源的浪费，还会对环境产生热污染。随着能源问题日益突出和环保要求的不断提高，如何有效回收利用化工装置的低温余热成为研究热点。将化工装置低温余热应用于供暖系统，既能满足供暖需求，又能实现能源的梯级利用，提高能源利用效率。研究化工装置低温余热供暖系统的余热回收效率与效益，对于推动化工行业节能减排、实现可持续发展具有重要意义。

## 1 化工装置低温余热供暖系统概述

### 1.1 低温余热来源

化工装置产生低温余热的环节众多，例如化学反应后的产物冷却过程、精馏塔塔顶蒸汽的冷凝、加热炉尾气排放等。这些低温余热温度范围通常在  $50^{\circ}\text{C}$  -  $150^{\circ}\text{C}$  之间，具有流量大、温度相对稳定的特点。在化工生产复杂流程里，产物冷却释放大量余热，精馏塔塔顶蒸汽冷凝蕴含可观热量，加热炉尾气排放也带有不少热能。此温度区间余热流量大且稳定，为有效利用提供良好基础，具备极大的节能潜力。

### 1.2 供暖系统原理

化工装置低温余热供暖系统主要基于热交换原理。通过管道将化工装置产生的低温余热输送至供暖区域的换热器，在换热器中，低温余热与供暖循环水进行热量交换，使供暖循环水温度升高，然后通过循环泵将热水输送至各个供暖终端，如散热器或地暖管道，实现供暖目的。冷却后的低温余热则返回化工装置进行后续处理或再次利用。该供暖系统巧妙利用热交换，低温余热经管道流入换热器，把热量传递给循环水，升温后的循环水经泵压送至散热器或地暖管道释放温暖。冷却后的余热回流，可继续参与化工流程，实现资源高效利用。

## 1.3 系统构成

该系统主要由余热收集子系统、余热传输子系统、热交换子系统和供暖分配子系统组成。余热收集子系统负责从化工装置中收集低温余热；余热传输子系统通过保温管道将余热输送至供暖区域；热交换子系统实现低温余热与供暖循环水的热量交换；供暖分配子系统将加热后的循环水分配到各个供暖用户。整个系统分工明确，余热收集子系统精准捕捉余热，传输子系统借保温管道高效输送，热交换子系统完成热量转移，供暖分配子系统合理分配热水到各用户，各部分协同运作保障供暖高效进行。

## 2 影响余热回收效率的因素

### 2.1 余热温度与流量

余热的初始温度越高、流量越大，可回收的热量就越多，回收效率理论上也越高。但实际中，化工装置的生产工艺决定了余热的温度和流量，在一定程度上限制了可回收热量的上限。化工生产按特定流程运行，工艺条件制约着余热状态。尽管高温大流量余热潜力大，可工艺的稳定性使余热难以随意改变，这就要求在既定条件下，探索更优回收方式，挖掘余热回收最大价值。

### 2.2 热交换设备性能

热交换器的类型、换热面积、传热系数等性能参数对余热回收效率有直接影响。高效的热交换器能在较小的温差下实现较大的传热量，从而提高回收效率。例如，板式热交换器因其紧凑的结构和较高的传热系数，在余热回收中应用广泛。不同类型热交换器特性各异，换热面积大小、传热系数高低，都决定着热量传递的效果。像板式热交换器凭借自身优势，能高效实现热量转移，为提高余热回收效率提供有力支持，在众多项目中备受青睐。

### 2.3 系统保温性能

系统管道和设备的保温效果直接关系到余热在传

输过程中的损失。良好的保温材料和合理的保温结构可以有效降低热量散失,提高余热到达供暖区域的比例,进而提高回收效率。若保温性能不佳,大量余热会在传输过程中损耗,降低系统的整体回收效率。从管道到设备,保温环节贯穿始终。优质保温材料和科学保温结构,如同给余热穿上“保暖衣”,减少热量在传输途中的流失。反之,保温不力将使大量余热白白浪费,严重影响系统的节能成效。

## 2.4 供暖需求与系统匹配度

供暖需求的变化,如不同季节、不同时段供暖负荷差异,需要系统具备良好的调节能力。如果余热回收系统与供暖需求不匹配,例如在供暖需求低时仍大量输送余热,会导致部分余热无法有效利用而浪费,降低回收效率。供暖需求随季节、时段波动,系统需灵活适应。若匹配不当,高负荷时余热供应不足影响供暖,低负荷时余热过剩造成浪费。只有实现精准匹配与调节,才能让余热回收系统高效运行。

## 3 余热回收效益评估

### 3.1 经济效益

#### 3.1.1 能源节约效益

通过回收化工装置低温余热用于供暖,可显著减少对传统能源(如煤炭、天然气等)的依赖。以某化工企业为例,其低温余热供暖系统每年可回收余热折合标准煤 5000t,按照当前煤炭价格计算,每年可节约能源费用 400 万元。这一举措不仅降低了企业自身的能源采购成本,还响应了国家节能减排政策。大量传统能源的节约,有助于缓解能源供应压力,减少因开采和使用传统能源带来的环境污染,从多方面体现出显著的能源节约效益。

#### 3.1.2 设备投资与运行成本

建设低温余热供暖系统需要一定的设备投资,包括余热收集设备、传输管道、热交换器等。设备投资成本根据系统规模和设备选型而定。运行成本主要包括电力消耗(用于循环泵等设备)、设备维护费用等。初期,设备投资和运行成本可能给企业带来一定经济压力。然而,从长期来看,随着能源价格的持续上涨和余热回收系统的稳定运行,能源节约带来的收益将逐渐超过设备投资和运行成本,实现经济效益的提升。而且稳定的余热回收利用,也为企业能源供应的稳定性提供保障。

#### 3.1.3 减少供暖费用支出

对于供暖用户而言,使用化工装置低温余热供暖,

其供暖费用低于传统供暖方式。这不仅减轻了用户的经济负担,还提高了企业的社会形象,间接带来经济效益。居民或企业作为供暖用户,费用降低意味着生活成本或运营成本的减少,提高了生活质量和竞争力。而提供低温余热供暖的企业,因这种惠民举措,获得良好口碑,吸引更多合作机会和用户,进一步拓展市场,形成良性循环,在多个层面实现经济效益的增长。

### 3.2 环境效益

#### 3.2.1 减少温室气体排放

利用化工装置低温余热供暖,减少了传统能源燃烧产生的二氧化碳、二氧化硫等温室气体和污染物的排放。以每年节约标准煤 500t 计算,可减少二氧化碳排放约 13000t,有效降低了对环境的污染,对缓解全球气候变化具有积极意义。传统能源在燃烧过程中会大量释放温室气体,加剧全球变暖,引发一系列环境问题。而化工装置低温余热供暖的应用,实现了能源的高效利用,大幅减少了二氧化碳等的排放。

#### 3.2.2 降低热污染

减少化工装置低温余热的直接排放,降低了对周边环境的热污染。这有助于保护生态环境,维持生态系统的平衡,对周边水体、土壤和生物的生存环境产生积极影响。化工装置若直接排放低温余热,会使周边水体温度升高,影响水生生物的生存与繁衍;土壤温度异常也会干扰植物生长。减少余热排放后,水体温度趋于正常,为水生生物提供稳定栖息环境;土壤生态恢复正常,保障植物健康生长,进而维护整个生态系统的稳定与平衡,促进生态和谐发展。

### 3.3 社会效益

#### 3.3.1 提高能源供应稳定性

通过余热回收利用,增加了能源供应的多样性,一定程度上缓解了能源供应紧张的局面。尤其在冬季供暖高峰时期,化工装置低温余热供暖系统可作为一种补充能源,保障供暖的稳定供应,提高社会能源供应的可靠性。当传统能源供应因各种因素受限,该系统能及时顶上,确保居民温暖过冬,减少能源供应波动对生产生活的影响,为能源稳定供应增添有力保障。

#### 3.3.2 促进产业协同发展

化工装置低温余热供暖系统的建设和运行,促进了化工行业与供暖行业的协同发展。加强了不同产业之间的联系与合作,推动了产业链的延伸和优化,为地方经济发展创造了新的机遇。双方围绕余热利用紧密协作,从技术交流到资源共享,催生出新的业务模



式和经济增长点,带动上下游产业共同进步,形成互利共赢的良好产业发展格局。

## 4 提高余热回收效率与效益的策略

### 4.1 优化系统设计

在系统设计阶段,充分考虑化工装置的余热特性和供暖需求,选择合适的余热收集、传输和热交换设备。采用先进的系统集成技术,实现各子系统的高效匹配,提高整体回收效率。化工装置的余热特性复杂多样,其温度、流量、稳定性等因素各不相同。设计时需深入分析这些特性,如对于高温、大流量的余热,要选用耐高温、大通量的收集设备;对于波动较大的余热,收集装置应具备良好的适应性。供暖需求同样具有多样性,不同地区、不同建筑类型对供暖的温度、时间要求有别。在设备选择上,要综合考量性能、成本、维护等多方面因素。例如,选择高效的热交换设备,能在较小温差下实现大量热量传递;优质的传输管道可减少热量在传输过程中的损耗。先进的系统集成技术是关键,它如同一条纽带,将收集、传输、热交换等子系统紧密相连,确保各环节高效协同工作,使余热顺畅地从化工装置传输到供暖终端,最终大幅提高整体回收效率,实现能源的最大化利用。

### 4.2 加强运行管理

建立完善的运行管理制度,加强对系统设备的日常维护和监测。定期对热交换器、管道等设备进行检查和清洗,确保设备处于良好的运行状态。根据供暖需求的变化,及时调整系统运行参数,实现余热的合理分配和高效利用。完善的运行管理制度是系统稳定运行的基石,明确各岗位的职责和操作流程,规范日常工作,确保每个环节都有章可循。日常维护和监测工作至关重要,通过定期巡检和实时监测设备的运行参数,如温度、压力、流量等,能及时发现潜在问题。热交换器和管道作为系统的关键部件,容易因污垢积累、腐蚀等问题影响性能。定期检查和清洗,可去除污垢,防止腐蚀加剧,保证设备高效运行。供暖需求随季节、天气、时段等因素变化,系统需具备灵活的调节能力。依据实际需求,及时调整循环泵的流量、热交换器的换热功率等运行参数,使余热精准地分配到各个供暖区域,避免余热浪费,实现高效利用,为用户提供稳定、舒适的供暖服务,同时降低系统能耗,提高经济效益。

### 4.3 技术创新与升级

关注行业技术发展动态,积极引进和应用新技术、新材料。例如,研发高效的热交换材料、智能控制系

统等,不断提高余热回收系统的性能和效率。鼓励企业与科研机构合作,开展余热回收技术的研发和创新,推动行业技术进步。随着科技的飞速发展,余热回收领域不断涌现新技术、新材料。关注行业前沿动态,企业能够及时捕捉到这些创新成果并应用到自身系统中。高效的热交换材料可显著提高热传递效率,减少热阻,使热量在更短时间内传递,提升系统整体性能。智能控制系统则能实现对余热回收过程的精准调控,根据实时数据自动优化运行参数,提高能源利用效率。企业与科研机构的合作是推动技术创新的强大动力。科研机构具备深厚的理论基础和先进的研究设备,企业则拥有丰富的实践经验和应用场景。双方携手,以市场需求为导向,针对余热回收中的关键问题开展联合研发。通过合作,加速新技术从实验室走向实际应用,推动整个行业技术升级,提高行业在能源利用和环境保护方面的水平,为可持续发展做出更大贡献。

## 5 结束语

综上所述,化工装置低温余热供暖系统在余热回收效率和效益方面具有巨大潜力。通过合理设计系统、优化运行管理和不断技术创新,可以有效提高余热回收效率,实现显著的经济效益、环境效益和社会效益。本文深入探讨了余热回收效率的影响因素和效益评估方法。在能源短缺和环保要求日益严格的背景下,推广和应用化工装置低温余热供暖系统,对于推动化工行业节能减排、促进能源的高效利用和可持续发展具有重要的现实意义。

### 参考文献:

- [1] 刘文川.我国低温余热供暖资源利用现状、挑战及前景分析[J].能源与环境,2024(03):63-65+76.
- [2] 陈彬,杨延春,张建海.低温工业余热回收利用典型场景与应用案例[J].节能与环保,2023(01):87-88.
- [3] 关晓楠.煤气化水处理系统低温余热的优化利用[J].山西化工,2022,42(04):79-80+87.
- [4] 许鸿翔.低温余热利用相变蓄能装置与供暖研究[D].重庆:重庆大学,2022.
- [5] 司道朋.煤气化水处理系统低温余热的优化利用[J].氮肥与合成气,2021,49(09):21-22.
- [6] 肖彤彤.供热机组低温余热热泵回收系统建模及经济性分析[D].济南:山东大学,2020.
- [7] 冯超,徐志强,蒋习梅,等.基于多因素约束下的低温余热供暖资源潜力研究[J].矿业科学学报,2020,5(01):108-114