

化工过程中的能量回收与利用技术研究

吕文龙

342222*****0094

摘要：化工过程中的能量回收与利用是实现化工行业节能减排、提高能源利用效率的重要途径。本文综述了化工过程中常见的能量回收与利用技术，包括余热回收、废气处理与能量回收、废水处理与能量回收等。通过分析这些技术的原理、应用现状及存在的问题，探讨了其在化工生产中的优化应用策略，旨在为化工行业的可持续发展提供参考。

关键词：化工过程；能量回收；余热回收；废气处理；废水处理；能量利用

DOI：10.69979/3029-2727.25.11.055

引言

化工行业是能源消耗大户，其生产过程中涉及大量的能量转换与利用。随着全球能源资源的日益紧张和环境保护要求的不断提高，如何在化工生产中实现能量的高效回收与利用，已成为化工行业面临的重要课题。能量回收与利用技术不仅能够减少能源浪费，降低生产成本，还能减少环境污染，提高企业的经济效益和社会效益。当前，化工生产中仍存在大量中低温余热、废气可燃成分、废水能量未被充分挖掘的情况，若能通过技术升级扩大回收范围、提升利用效率，可帮助行业大幅降低对传统化石能源的依赖，助力“双碳”目标实现。

1 化工过程中的能量回收与利用技术

1.1 余热回收技术

余热回收是化工生产中较为普遍的能量回收形式之一。化工反应环节常会释放大量余热，这些余热多以废热气体、废热液体或高温固体的形态存在。借助热管换热器、余热锅炉等适配的余热回收装置，可对这些余热进行有效回收，进而用于原料预热、蒸汽生成或热水制备等环节，最终提升整个化工工艺的能源利用效率。以硫酸生产为例，利用焚硫炉排出的高温气体余热预热进入系统的空气，能减少为加热空气额外消耗的能源。

1.2 废气处理与能量回收技术

化工废气中往往含有可燃成分，这类成分不仅会污染环境，同时也是一种潜在的能源。通过搭建废气焚烧炉与余热回收系统相结合的装置，可将废气中的可燃物质燃烧，释放的热量用于产生蒸汽或热水，满足厂区内的供热需求，甚至能驱动蒸汽轮机进行发电。除此之外，部分化工废气还可通过催化转化等技术转化为具有价

值的化学品或燃料，实现废气的资源化利用。

1.3 废水处理与能量回收技术

化工废水处理过程中同样存在能量回收的可能性。一方面，废水中的有机物可通过厌氧发酵等生物手段转化为沼气，并将其作为清洁能源使用；另一方面，废水排放时通常带有一定的压力能，利用水轮机等设备可将这部分压力能转化为机械能，再进一步转化为电能。另外，对于部分高温废水，可通过热交换器回收热量，用于预热其他工艺用水，提升能源利用效率。

2 化工过程中能量回收与利用技术的应用现状

2.1 余热回收技术的应用现状

余热回收技术已在化工行业广泛应用，但不同企业的应用程度和效率存在差异。一些大型化工企业采用高效的余热回收设备与系统，实现了较高的余热回收率，例如在石油炼化装置中，通过余热锅炉回收裂解炉烟气余热，产生的蒸汽可直接用于生产工艺，减少对外购蒸汽的消耗；而在部分中小企业中，余热回收技术的应用相对滞后，部分企业因资金不足，仍使用传统低效的换热设备，导致大量中低温余热直接排放。此外，工艺条件、设备投资及运行成本等因素也限制了余热回收技术的应用，比如部分化工工艺的余热温度波动较大，难以匹配稳定的回收设备，该技术仍需进一步优化推广。

2.2 废气处理与能量回收技术的应用现状

废气处理与能量回收技术在化工行业的应用正逐步推进。部分企业采用废气焚烧与余热回收一体化装置，以煤化工企业为例，将含甲烷的废气送入焚烧炉燃烧，产生的高温烟气加热余热锅炉生成蒸汽，既实现了废气的无害化处理，又完成了能量回收。不过，该技术的应

用仍面临诸多挑战,如化工废气成分复杂,常含有硫、氮等腐蚀性物质,会加速设备损耗;部分高浓度有机废气处理难度大,需要复杂的预处理工艺;且设备初始投资和运行维护成本较高,中小化工企业难以承受。因此,需进一步研发并应用高效的废气处理与能量回收技术,提高废气资源化利用水平。

2.3 废水处理与能量回收技术的应用现状

废水处理与能量回收技术在化工行业的应用相对较少,但具有较大的发展潜力。一些企业采用厌氧发酵技术处理有机废水,以制药化工企业为例,将高浓度有机废水送入厌氧反应器,微生物分解有机物产生沼气,成功回收沼气并用于加热或发电,降低了企业的能源成本;此外,部分企业还在化工废水输送管道上安装水轮机等设备,利用废水压力差驱动水轮机发电,回收废水中的压力能。然而,废水水质、处理工艺及设备效率等因素限制了该技术的应用,比如部分化工废水含有毒物质,会抑制厌氧微生物活性;传统水轮机对废水杂质较为敏感,易发生堵塞,该技术仍需进一步优化改进。

3 化工过程中能量回收与利用技术的优化应用策略

3.1 余热回收技术的优化策略

要提升余热回收技术的应用效果,需从设备选型、系统设计及运行管理等方面开展优化工作。首先,需结合化工生产过程中的余热特性,如温度、压力、介质成分等,选择适配的余热回收设备,例如针对高温烟气余热选用高效热管换热器,针对中低温余热选用余热锅炉,保障设备适配性;其次,在系统设计阶段,需充分考虑余热回收系统与主生产工艺的集成优化,比如将余热回收产生的蒸汽直接接入生产用汽管网,避免能量中转损耗,确保余热充分利用;最后,在运行管理过程中,需加强对余热回收系统的实时监测和定期维护,通过传感器实时监控设备温度、压力等参数,及时发现并解决设备运行中的泄漏、结垢等问题,提升系统的稳定性和可靠性。

3.2 废气处理与能量回收技术的优化策略

优化废气处理与能量回收技术,需从工艺改进、设备研发及运行管理等方面着手。首先,需根据化工废气的成分和特性,开发并应用高效的废气处理工艺,例如针对含氮氧化物废气采用选择性催化还原工艺,针对有机废气采用生物滤池处理工艺,在减少污染物排放的同时降低处理能耗;其次,需加强废气处理与能量回收设

备的研发,比如研发耐腐蚀、耐高温的换热器材质,提升设备抗损耗能力,优化焚烧炉燃烧效率,增加能量回收量;最后,在运行管理过程中,需加强对废气处理与能量回收系统的监测和控制,通过自动化控制系统调节废气流量、燃烧温度等参数,保障系统稳定运行和高效利用,减少人工操作误差。

3.3 废水处理与能量回收技术的优化策略

优化废水处理与能量回收技术,需综合考虑工艺优化、设备选型及运行管理等方面。首先,需根据废水的水质和水量,选择合适的废水处理工艺,例如针对高浓度有机废水优先采用厌氧发酵工艺,针对高压力废水采用水轮机发电工艺,确保工艺与废水特性匹配;其次,在设备选型阶段,需选择高效可靠的废水处理与能量回收设备,比如选用抗污染的厌氧反应器菌种,提升废水降解效率,选用自清洁式水轮机,降低杂质堵塞风险;最后,在运行管理过程中,需加强对废水处理与能量回收系统的监测和维护,定期检测废水水质变化,及时调整工艺参数,定期清理设备内部杂质,保障系统稳定运行和高效利用,提升能量回收效率。

4 化工过程中能量回收与利用技术面临的挑战

4.1 技术挑战

化工过程中的能量回收与利用技术面临着一些技术挑战,如余热回收设备方面,部分中低温余热回收设备热效率仅为 30%~40%,且在波动工况下稳定性差,易出现换热管结垢导致效率下降;废气处理与能量回收技术方面,因废气成分复杂,单一处理工艺难以兼顾净化效果与能量回收,且设备运行中易出现催化剂失活、设备腐蚀等问题,可靠性不足;废水处理与能量回收技术方面,成熟度较低,如厌氧发酵技术受废水毒性影响大,沼气产量不稳定,水轮机回收压力能的效率受废水流量波动制约。这些技术挑战需要通过进一步的研发和创新来解决,以提高能量回收与利用技术的应用效果和经济性。

4.2 经济挑战

能量回收与利用技术的应用需要一定的设备投资和运行维护成本,以一套中型化工企业的余热回收系统为例,初始设备投资约数百万元,加上每年的设备维护、耗材更换等费用,回收周期长达 5~8 年,这对资金实力较弱的中小化工企业来说压力较大,在一定程度上限制了其在化工行业中的广泛应用。此外,部分能量回收技术产生的经济效益受能源价格波动影响大,如当煤炭、

天然气价格下跌时,余热发电的经济性降低,企业应用积极性受挫。因此,需要通过技术优化和成本控制,如研发低成本的换热材料、提高设备使用寿命,降低能量回收与利用技术的投资和运行成本,提高其经济性和市场竞争力。

4.3 环境挑战

化工过程中的能量回收与利用技术在减少能源消耗和环境污染方面具有重要意义,但其应用过程中也可能会产生一些新的环境问题。例如,废气处理与能量回收过程中,若焚烧炉温度控制不当,可能会产生二噁英等剧毒污染物,造成二次污染;废水处理与能量回收过程中,厌氧发酵会产生少量硫化氢气体,且处理后会产生污泥等固体废弃物,若污泥处置不当,易造成土壤或地下水污染。此外,部分能量回收设备运行时会产生噪声污染,影响周边环境。因此,需要在技术应用过程中充分考虑环境因素,如安装废气二次净化装置、采用污泥无害化处理工艺、加装隔音设施等,采取有效的环境保护措施,减少对环境的影响。

5 化工过程中能量回收与利用技术的未来发展趋势

5.1 技术创新与集成

未来,化工过程中的能量回收与利用技术将朝着技术创新与集成的方向发展。通过不断研发和应用新的能量回收与利用技术,如研发新型高效的陶瓷换热器,提高高温余热回收效率;开发光催化氧化与余热回收结合的废气处理技术,提升废气净化与能量回收一体化水平;研究膜分离与厌氧发酵耦合的废水处理技术,提高沼气产量。同时,将不同技术进行集成和优化,如将余热回收、废气处理、废水处理系统联动,实现能量在各系统间的梯级利用,例如用余热加热废水预处理阶段的水体,用废气处理产生的能量补充余热系统不足,实现能量系统的协同运行和优化管理。

5.2 智能化与自动化

随着信息技术的快速发展,智能化与自动化将成为化工过程中能量回收与利用技术的重要发展趋势。通过应用大数据、人工智能、物联网等技术,在能量回收系统中安装多维度传感器,实时采集设备运行参数、能源消耗数据、环境监测数据等,利用大数据分析技术挖掘数据背后的规律,如预测余热产量变化趋势、判断废气处理设备故障风险;利用人工智能技术实现能量回收与利用系统的智能控制和优化调度,如自动调节余热回收

设备的运行负荷、动态调整废水处理工艺参数,确保系统始终处于最优运行状态。此外,通过物联网技术实现各能量回收设备的互联互通,构建智能化管理平台,提升系统管理效率。

5.3 多领域融合与协同

未来,化工过程中的能量回收与利用技术将在多领域融合与协同方面取得更大进展。通过加强化工领域与其他领域的技术交流和合作,实现能量回收与利用技术的跨领域应用和协同发展。例如,将化工过程中的余热回收技术应用于建筑领域,将化工企业产生的中低温余热通过热力管网输送至周边居民小区或商业建筑,用于供暖或热水供应,实现能源跨界利用;将化工过程中的废气处理与能量回收技术与能源领域相结合,将处理后达标且富含甲烷的废气接入城市天然气管网,或用于分布式能源发电,实现能源的清洁化和高效化利用;将化工废水处理产生的沼气与交通领域联动,提纯沼气制备生物天然气,用于新能源汽车燃料,推动多领域能源协同发展。

6 总结

化工过程中的能量回收与利用技术是实现化工行业节能减排、提高能源利用效率的重要途径。通过余热回收、废气处理与能量回收、废水处理与能量回收等技术的应用,可以有效减少能源浪费和环境污染,提高企业的经济效益和社会效益。然而,能量回收与利用技术的应用仍面临一些技术、经济和环境挑战,需要通过技术创新、成本控制和环境保护等措施来解决。未来,随着技术创新与集成、智能化与自动化、多领域融合与协同的发展,化工过程中的能量回收与利用技术将得到更广泛的应用和发展,为化工行业的可持续发展提供有力支持。

参考文献

- [1] 周新春. 冶金精细化工过程中的节能减排技术与应用研究[J]. 世界有色金属, 2024, (15): 202-204.
- [2] 张佳宇. 高浓煤化工含酚废水油氨酚回收处理短流程开发及过程优化研究[D]. 华南理工大学, 2023.
- [3] 刘阳. 煤制天然气过程全厂能量系统分析与集成研究[D]. 华南理工大学, 2018.
- [4] 金仁贵. 一种能量回收型氢气透平膨胀发电机在化工企业的应用[J]. 石化技术, 2022, 29(05): 231-232.
- [5] 张洪瑞. 催化裂化烟气能量回收及环保工艺优化研究[D]. 青岛科技大学, 2019.