

# 化工行业余热利用关键技术研究与经济性分析

商俊勇<sup>1</sup> 付振明<sup>2</sup> 张娜娜<sup>1</sup>

(1. 山东金海钛业资源科技有限公司, 山东 滨州 251900)

(2. 山东鲁北企业集团总公司, 山东 滨州 251900)

**摘要:** 化工行业是一个能源消耗较高的行业, 并且在化工生产过程中产生大量的余热, 充分将余热进行回收利用, 可替代部分一次能源的消耗, 在节能的同时, 也能节省企业运营成本, 给企业带来经济效益。本文从化工行业进行余热利用的意义、化工行业余热利用关键技术研究与应用、化工行业余热利用的经济性分析等方面进行了论述和研究, 旨在为化工行业进行余热利用提供借鉴和参考。

**关键词:** 化工行业; 余热利用; 关键技术; 经济性分析

## 0 引言

化工行业作为国民经济的支柱产业, 其能源消耗和排放问题逐渐受到了人们的重视。化工、冶金等行业发展过程中产生大量余热, 且普遍存在能源利用率低, 大量余热被直接排放的现象。大量的余热若得不到有效回收利用, 不仅浪费了能源, 也增加了环境污染的风险。反之, 如果这些余热能够得到充分利用, 不仅能降低能源消耗和生产成本, 还可以减少环境污染, 提高企业经济效益。

## 1 化工行业进行余热利用现状及发展趋势

余热是在一定经济技术条件下, 在能源利用设备中没有被利用的能源, 也就是多余、废弃的能源, 主要体现在企业热能转换设备及用能设备在生产过程中排放的废热、废水和废气中。我国化工行业的节能降碳空间非常大。据有关机构统计, 在我国化工行业中, 每年能源消费量约占全国消费总量的 10% ~ 12%。在化工产品成本中, 能源通常占到 20% ~ 30%, 高耗能产品的能源消耗甚至达到 60% ~ 70%。我国化工行业能源利用效率比发达国家低约 10% ~ 20%。利用余热回收技术将这些能源加以回收利用, 可以大幅降低企业能源消耗、降低企业运营成本、提高企业经济效益。近年来, 随着“双碳”战略的大力推进, 化工行业对余热利用的重视程度逐渐增强。大力研究余热回收利用技术并进行应用将成为未来化工行业节能降耗的重要举措和发展趋势。

## 2 化工行业余热利用关键技术研究与应用

### 2.1 基于溴化锂机组的工业余热回收技术

冰山松洋制冷(大连)有限公司自主研发的基于

溴化锂机组的工业余热回收技术主要应用于煤化工行业的余热回收利用。该技术主要是采用大温差型溴化锂吸收式冷热水机组, 回收 60 ~ 100℃ 工业低品位余热制取冷热水, 实现低温余热夏季制冷, 冬季供暖, 余热利用温差达 40℃。采用循环氨水为热源的制冷技术, 解决溴化锂吸收式制冷机组的换热器腐蚀及换热器堵塞问题。回收热量是传统机组的 2 倍, 可大幅降低运行及系统投资费用。2022 年 6 月, 该技术应用于恒力石化(大连)新材料科技有限公司。改造前采用电制冷空调, 主要耗能种类为电力, 年耗电量约 14800 万千瓦时。根据公开资料显示, 该项目主要技术改造内容是安装 14 台热水型溴化锂机组及配套系统代替电制冷空调, 制取 6℃/7℃ 的冷水。改造完成后, 预测可实现节能量 5.9 万吨标准煤 / 年, 二氧化碳减排量 15.7 万吨 / 年。从回收热量的效果来看, 该技术相比传统机组有着巨大的突破。其回收热量是传统机组的 2 倍, 这意味着在相同的条件下, 能够回收更多的余热资源, 转化为更多的冷热水, 满足更大规模的制冷和供暖需求。由于回收热量的增加, 还可大幅降低运行及系统投资费用, 为企业带来了显著的经济效益。冰山松洋制冷(大连)有限公司的工业余热回收技术在煤化工行业具有广阔的应用前景。它不仅能够提高能源利用效率, 降低企业运营成本, 还能为环境保护贡献力量。随着技术的不断完善和推广, 相信这项技术将在更多的煤化工企业中得到应用, 推动行业的绿色、可持续发展。

### 2.2 无露点腐蚀水热媒烟气低温余热回收技术

无露点腐蚀水热媒烟气低温余热回收技术是一种

新型烟气余热回收技术，该技术主要是将烟气温度降低至露点温度以下，回收大量低温冷凝热，经济效益显著。特别是在石化企业中各种加热炉是重要耗能设备，其中，采用空气预热器、省煤器等余热回收设备回收烟气低温余热，降低加热炉排烟温度是最有效的节能手段。由于受低温露点腐蚀问题困扰，常规的余热回收设备难以长周期、安全、高效运行，也难以适应加热炉燃料、负荷、工艺参数变化等。采用无露点腐蚀水热媒烟气低温余热回收技术能够克服这一难题，大大提升了企业余热回收效率。比如，天津石化采用了该技术后，8台加热炉的平均热效率由88%提高到了92%。

### 2.3 热交换技术

热交换技术是通过换热器将余热传递给需要加热的物料，实现能量的回收与利用。根据美国能源部的数据，工业部门约20%-50%的能源消耗可以通过有效的热交换技术得以回收。该技术简单易行，尤其适用于余热温度高、热量大的情况。在化工行业中，热交换技术广泛应用于各种加热、冷却、蒸发、冷凝等过程中，有效降低了能耗和生产成本。例如，在氨合成工艺中，废热锅炉通过回收反应热来预热原料气体，显著提高了整体能效。此外，板式换热器因其高效传热性能被广泛应用于精细化工过程，进一步提升了能源利用率。研究表明，采用高效换热设备可使企业的能源消耗降低15%-30%，这不仅减少了生产成本，还对环境保护起到了积极作用。广东华瑞能源科技有限公司专业致力于工业节能环保产品的研发与制造，是一家集空压机余热回收、空压机节能改造、工业物联网、工业自动化控制等于一体的高新技术企业。该公司自主研发的无油螺杆空压机采用先进的热交换器设计，在压缩空气的过程中，高效地将产生的热量传递给需要热量的工艺环节，从而实现余热的回收利用。

### 2.4 吸收式热泵技术

目前，吸收式热泵（吸收式热泵系统流程图如图1所示）主要分为增热型热泵和升温型热泵两种类型。增热型热泵以蒸汽、燃料（燃气、燃油）、废热水或废蒸汽为驱动热源，把低温热源的热量提高到中、高温，从而提高了能源的品质和利用效率；升温型热泵是利用大量中间温度的废热和低温热源的热势差，制取温度高于中间废热的热量，从而提高废热的品质。

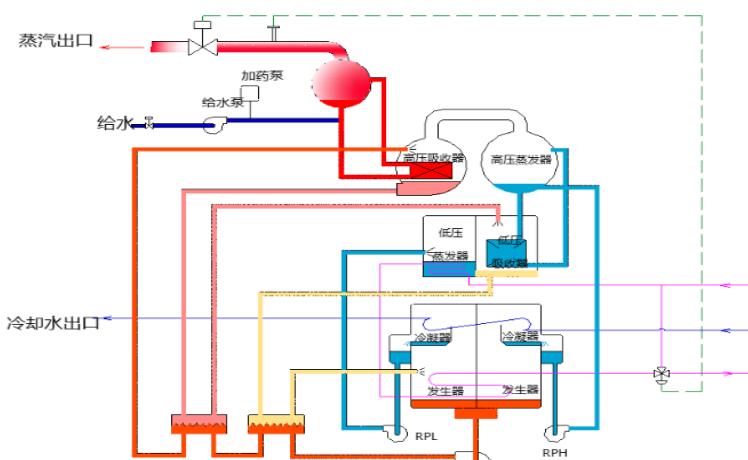


图1 吸收式热泵系统流程图

在化工企业中，具体用哪一种热泵需要根据企业实际情况选型，也可搭配使用。比如，某化工企业将现有的大量废水、废气通过水处理进行回收利用，但废水温度较高，其中还含有较多热量，所以在相应工艺处理之前，就设计采用了升温型热泵先将废水中的余热量进行回收，转化为可利用的低温蒸汽，输送到工艺系统，以达到提高能源利用率，实现节能减排的目标。

### 2.5 氨吸收余热制冷技术

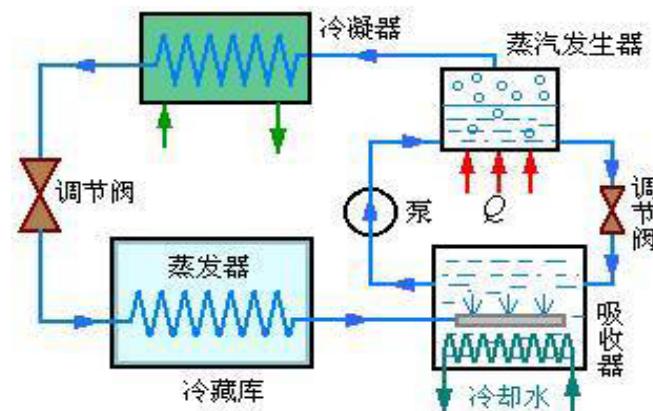


图2 氨吸收余热制冷流程图

氨吸收余热制冷技术是一种以尾气、余热为驱动源通过氨水吸收制冷方式来实现制冷的新技术。氨( $\text{NH}_3$ )作为一种高效的制冷剂，具有优良的热力学性能。（氨吸收余热制冷流程图如图2所示）其潜热大、蒸发速度快，使得制冷效率高，且对环境影响较小。氨的溶解度高，能与水以任意比例互溶，形成稳定的溶液，为溶液循环系统的稳定运行提供了基础。在氨吸收制冷技术中，溶液循环系统起着核心作用。该系统由发生器、冷凝器、蒸发器、吸收器和溶液泵等组成。在发生器中，通过加热使氨从氨水溶液中分离出来，形成氨蒸汽；随后，氨蒸汽在冷凝器中被冷却成液态。

氨；液态氨进入蒸发器后迅速蒸发，吸收大量热量，从而实现制冷效果；蒸发后的氨蒸汽再次被吸收器中的氨水溶液吸收，完成一个完整的循环。通过氨水吸收制冷机组热冷转换，废气热量重新得到了有效的利用，大大节约了能源消耗，经济效益和社会效益显著。

### 3 化工行业余热利用的经济性分析

#### 3.1 金陵石化：积极开展余热回收利用工作，创造巨大经济效益

金陵石化公司在其化肥厂和炼油厂的运营过程中，积极实施了一系列余热回收措施。这些措施不仅提高了能源利用效率，还有效地降低了企业生产成本，提高了企业经济效益。在化肥厂合成氨装置中，金陵石化利用了二氧化碳吸收塔和再生塔之间的压差。通过安装一台功率为 610 千瓦的液力透平，该公司成功地将这部分压差转化为机械能，进而回收并再利用。这一举措不仅减少了能量的浪费，还提高了整个装置的运行效率。炼油厂加氢裂化装置中的高压分离器和低压分离器之间同样存在显著的压差。金陵石化通过引入一台功率为 545 千瓦的液力透平，有效地回收了这部分能量。这种能量的回收与再利用，不仅有助于降低炼油过程中的能耗，还提高了生产的经济效益。

除了液力透平外，金陵石化还积极探索其他能量回收技术。化肥厂与中科院共同研制了气体膨胀发电机组，用于回收合成氨生产过程中驰放气的压降损失能量。这一创新性的技术实践，使得回收功率达到了 127 千瓦，每小时可稳定发电 100 千瓦，不仅为公司提供了新的电力来源，还在一定程度上减少了对传统能源的依赖。金陵石化公司在能量回收方面的实践，充分展示了其在节能减排、提高能源利用效率方面的决心与努力。通过液力透平和气体膨胀透平等先进技术的应用，该公司不仅优化了生产流程，还实现了能源的高效利用，为石化行业的绿色发展树立了典范。

#### 3.2 某炼化公司：余热 ORC 低温发电，节能降耗成效显著

在炼化公司的生产过程中，芳烃联合装置是一个重要的环节。然而，在该装置的生产工艺过程中，脱庚烷塔顶物料、成品塔顶物料、邻二甲苯塔顶物料等处的冷却过程，通常采用空冷或水冷的方式，这不仅消耗了大量的电能和水资源，还造成了热源的浪费，对生态环境也构成了一定的污染威胁。为了解决这一问题，山东某炼化公司于 2023 年积极开展了余热回用专项技改项目。在芳烃联合装置中设置热水换热器，

替代原有的冷却设，不仅有效地回收了生产过程中的余热，还将其转化为有价值的能源，实现了每小时制取 645 吨 120℃的热水。

为了进一步利用这些回收的余热，该公司还引进了 PureCycle 机组进行发电。这种机组具有高效、环保的特点，能够将热水中的热能转化为电能。据统计，每小时可产生电能约 3487.6 度。按照全年运行 8000 小时计算，年发电量可达 2790 万度。这一数字不仅证明了技改项目的成功，也为公司带来了巨大的经济效益。并且，实现了年节约标煤 1.12 万吨，CO<sub>2</sub> 减排量 2.78 万吨，还大大减少了对环境的污染。

### 4 结束语

在化工行业中，余热利用正逐渐成为一个引人瞩目的领域，其发展前景非常广阔。随着能源资源的日益紧张，如何有效利用余热，提高资源利用效率，将成为化工行业可持续发展的关键。在未来，我们期待化工行业不断创新和完善余热利用技术，提高能源利用效率，降低生产成本，同时为推动全球绿色发展做出积极贡献。

#### 参考文献：

- [1] 杨晓丹, 程彦林. 水热媒技术使加热炉热效率提高到 92%[N]. 中国石化报, 2008-12-17(003).
- [2] 姜远征. 溴化锂吸收式热泵在热电厂余热回收中的应用 [C]//2019 供热工程建设与高效运行研讨会论文集, 2019-04-21 (33-35) .
- [3] 文博, 尚宇. 太阳能与空调技术 [J]. 山西建筑, 2010, 36(25):245-247.
- [4] 曲兆庚. 煤化工应用氨吸收制冷技术研究 [D]. 长春工业大学, 2015 (53) .

#### 作者简介：

1. 商俊勇 (1976-) , 男, 汉族, 山东省滨州市人, 毕业于西北工业大学, 本科, 高级技师、工程师, 山东金海钛业资源科技有限公司, 研究方向: 化工工程、化学分析及质量管理等。
2. 付振明 (1974-) , 男, 汉族, 山东省滨州市人, 毕业于天津轻工业学院, 大专, 高级技师、工程师, 山东鲁北企业集团总公司, 研究方向: 化工工程、化学分析及质量管理等。
3. 张娜娜 (1986-) , 女, 汉族, 山东省滨州市人, 毕业于电子科技大学, 大专, 工程师, 山东金海钛业资源科技有限公司, 研究方向: 化工工程、化学分析及质量管理等。