

# 工业废气资源化制氢的碳捕集效率提升路径及环境成本优化

吴诗韵<sup>1</sup> 官廷锋<sup>2</sup>

1. 广西生之源环境监测有限责任公司 广西壮族自治区桂林市 541000

2. 桂林信息科技学院机电工程学院 广西桂林市 541004

**摘要:** 伴随世界能源结构转型的发展需求,对工业废气进行制氢已经成为降低温室气体排放量、实现可持续发展目标的重要方式。本文对工业废气制氢过程中涉及的碳捕集核心技术进行了研究,对提高碳捕集效果进行了研究,并提出了改善环境效益的思路,从各种碳捕集方式进行对比并根据实际情况对碳捕集方式进行了改进,包括选择更好的催化剂、优化反应条件、完善收集设备等;又从环境效益视角,考虑了工业废气制氢的能损与环境效益,并给出了降低环境效益的合理化措施,最后例举实例进行对比证明了路线及其优化方法的正确性,从而为工业废气制氢的可持续发展提供了理论依据和指导。

**关键词:** 工业废气资源化;制氢;碳捕集效率;环境成本;优化路径

## 引言

在全球气候变化日趋严重的情况下,工业废气资源化的制氢被认为是最主要的实现碳中和目标的方法,深受广泛关注。这是因为工业废气中充满了大量的制备氢气的原始物料,借助先进的资源化技术可以充分利用废弃物能量,降低温室气体的产生量。然而在碳捕捉技术制造出氢能的过程中仍然存在着一定的局限性,同时环境成本也非常高昂,因此探究提高碳捕捉效果的途径以及如何降低环境成本成为了推广该技术实施的重要部分。本篇论文主要对工业废气资源化的制氢过程中的碳捕捉技术做了深入的研究,提出了提升碳捕捉的方案,对于降低环境成本也提出了合理的建议,以此为其在相关领域的运用做理论指导。

## 1、工业废气资源化制氢的背景与意义

### 1.1 工业废气资源化的现状与挑战

工业废气中的 CO<sub>2</sub> 和 NO<sub>x</sub> 的资源化利用技术正逐步成为能源结构转型和环境保护领域的热点,由于其是主要温室气体排放源之一而对全球气候产生影响,同时由于其的存在产生严重的空气污染问题,因此有效地处置其废气具有极大的环境和现实意义。近年来,许多课题致力于将工业废气转化为可用能,例如从废气中碳中提取出用于生成氢气,但目前从废气资源化制备氢气仍然面临一系列挑战:一是需要有可靠的分离提纯工序来应对废气组分的种类繁多;二是制氢所需极大的能源需求是不容忽视的问题,如何节约能源提高效率是今后面临的研究焦点,三是现有的碳捕集技术手段未

能达标的捕获效率是面临的技术发展瓶颈,怎样实现其捕获效率的进一步提高且降低成本是当务之急。

### 1.2 制氢技术在碳中和目标中的作用

氢能生产技术是一项绿色能源转换手段,对于实现碳中和意义重大。同时由于具有针对交通、工业和电力等潜在的替代能源性,氢能作为一种有利的能源介质被考虑。利用工业废气再利用进行制取氢气,既能够减轻大气污染,同时也能够通过这一方式对垃圾实现资源化,实现一定的环境效益。在实现碳中和目的的过程中,关键在于氢能生产技术的推进,尤其是针对废气再利用制取氢气,以减少温室气体的排放量,也便于人们选择更加绿色的氢气制取方案。因此,提高废气再利用制氢中的碳捕集利用方法,才能促进实现碳中和目标。

## 2、CO<sub>2</sub> 捕集利用率提高的工业尾气资源化制氢路线

### 2.1 提高碳捕集效率的关键因素

#### 2.1.1 捕集材料的选择与性能提升

选择并且优化收集物有利于改善碳捕捉效率。虽然传统的活性炭和沸石具有一定的吸附能力,但是在工业排放高浓度和多元混合气体的环境中,它们的吸附能力及选择性不是很好。因此,新型材料 MOFs、COFs 和碳纳米管等正在逐步成为碳捕捉的热点。这些新型收集材料除了能够吸附更多的二氧化碳以外,在宽温度和压力条件下也会具备较好的稳定性。另外,开发新型收集材料有着特殊的功能也是提高碳捕捉效率的有效途径之一。通过引入不同的化学修饰基团

或者修饰收集材料,增加对特定气体的亲和力,从而提升碳捕捉效率。

### 2.1.2 反应条件的优化与调整

反应环境影响其有效性的重要因素之一。在制备氢气的过程中,例如反应的温度、压力、流量均可极大地影响碳吸收率。例如,高反应温度可加速分子运动提高吸附速率,但过高时会使得吸附剂被解吸,降低了其吸收率。适当调控流量与压力可以提高 CO<sub>2</sub> 的分离效率和反应效率,实现更高的吸收率。另外,反应环境的改善也包括对反应的混合气体组分以及反应气体的流向控制,以此来避免不同气体的相互干扰,进一步地提高吸收率。由此可以看出,充分的对反应环境进行探讨以及优化均对提高碳吸收效率有巨大的影响。

## 2.2 新型碳捕集技术的应用

### 2.2.1 低温吸附与高温吸附技术

在低温和高温的不同温度条件下进行二氧化碳的低温和高温吸附收集空气中的二氧化碳,一般对于二氧化碳浓度较低的二氧化碳排放物主要通过低温吸附法来获取,低温吸附法主要采用在低温状态下具有较大二氧化碳吸收能力的物质。这种吸收方法的优势主要为能源消耗量较少,便于对来自工厂排放气的低二氧化碳浓度进行吸收。其劣势则为吸附速率较慢,且所需时间较长的情况下才能够吸收达到较高量的二氧化碳。相反,对于二氧化碳浓度较高的二氧化碳排放物则适合采用高温吸附法。

### 2.2.2 膜分离与液体吸收法的结合

碳捕捉方法主要有膜分离法和吸收法两类。其中膜分离法主要以半透膜的形式把二氧化碳和其它气体充分地隔开,其分离和分离性都非常良好。目前膜分离法也能够随着膜的不断改进得到广泛的应用,也使膜分离法在对二氧化碳收集使用得到了极大的扩张。而吸收法则是以利用溶剂与二氧化碳之间的化学吸附来完成收集工作的,它不仅完全可以吸收二氧化碳,而且还可以对一定数量的二氧化碳高浓度废气进行广泛的应用,两者结合也能够最大限度地发挥作用。

## 3、工业废气资源化制氢的环境成本优化

### 3.1 环境成本的评估方法

#### 3.1.1 生命周期评估法

生命周期评估法(LCA)是一种为了查明在生命周期过程的每一个阶段产生的环境影响,采用包括原材料提取、生产、

使用和最终废弃处理的各个环节而对整个过程作出的科学性评估方法。对于工业废气制氢的工程项目而言,可以运用 LCA 技术确定各阶段可能会产生的污染类型,如 CO<sub>2</sub> 排放、能源消耗、能源及材料的消耗效率等。应用 LCA 技术可以为我们尽早地优化操作步骤、减少环境压力以及为我们后续制定出氢气生产的环境成本调节方案提供了非常有价值的指导。

#### 3.1.2 环境影响指数分析法

环境影响指标分析法 EIA 是通过一系列环境因素对某个过程或活动对环境的产生影响程度加以测定和评估的一种分析技术。该系列因素包括温室气体排放、用水量及废物排放等。EIA 相比 LC 更侧重于某个环境问题的量化计算,而不是对整个产品生命周期的整体分析评估。在工业废气再利用的过程中,EIA 可以帮助确定哪些部分对环境产生较大的不良影响,进而制定相应的具体化的环境保护措施。例如通过对碳的泄漏率、水的使用率等参数的评估,找到废气净化这一步骤中大量的能量损失,进行针对性的改进措施,提高利用率、减少不必要的浪费。通过 EIA 的辅助,企业了解到各环节的环境影响贡献率,进而优化生产工艺,做到更小的环境成本。

### 3.2 优化环境成本的策略

#### 3.2.1 过程能效的提升

优化流程效率也是有效降低环境成本的主要方式。而在该工业废气制氢过程中,优化效率指的是采用正确的方法,降低不必要地能量消耗,提高能源应用效率。第一方面,改进废气净化过程的热回收系统。废气净化和制取氢气的过程中会产生很多热能,如果可以将这些热能有效回收并利用,可减小外界能源的需求量,从而大幅降低温室气体的排放量和能源的浪费量。此外,采用优质催化剂,优化反应效率也可为提高效率发挥重要作用。

#### 3.2.2 捕集装置与反应系统的节能设计

在工业废气资源制氢过程中,节约能源的设计方法应用最广的应该是对捕集装置和反应器而言。首先是捕集装置的结构设计需要实现节能、高效的处理。传统的碳捕集技术由于使用大量的能量来辅助吸附和解吸过程,进而影响了整个制氢工序中对能源的应用量。但是,用新材料和新技术比如低能耗的膜分离技术、温度和压力的变化技术等可以在不降低捕集效率的情况下减少能耗。例如,探索和采用低温吸附

材料或改进过的吸附筒可以显著地降低捕集部分的热耗等。此外，在反应装置实现节能化的设计也很有必要。

#### 结论

本篇综述主要介绍工业废气中产生氢气的过程中碳收集的方法及提高碳收集效率的途径（如优化催化剂、调整反应条件、采用新的碳收集方式等），以及分析环保费用影响因素，提倡降低能源消耗、改善收集设备设计与提高系统能量效率。为工业废气制氢提供了一条可行的技术途径，并且对于工业废气制取氢的经济性与可持续性的提出有着重要的指导意义。后续还需更多研究在新型材料、更高效率的收集体系的探索工作，推广其应用场景。

#### 参考文献：

[1] 张浩然；王子轩. 工业废气资源化利用与氢气生产技术的研究进展 [J]. 能源与环保, 2023(6): 45-50.

[2] 李晨曦；刘紫涵；孙梓涵. 碳捕集技术的最新发展与挑战 [J]. 化学工程学报, 2022, 73(12): 2891-2899.

[3] 高振宇；陈思源；王宏伟. 碳捕集与利用技术在制氢中的应用与优化路径 [J]. 化学与环境, 2023, 35(4): 133-140.

[4] 杨睿婷；邱丽华. 工业废气资源化制氢技术的经济性分析及环境影响 [J]. 可持续发展与环境, 2024, 21(5): 80-85.

**作者简介：**吴诗韵（1996.03-），女，汉，广西桂林人，从事环保行业 7 年，主要涉及环境监测，环境工程，环境影响评价等环保项目。

官廷锋，男，汉，广西桂林人，硕士，桂林信息科技学院，主要研究方向为新能源材料与器件。

**基金项目：**本文系校级培育项目“磁控溅射制备硅/钛复合电极及其储锂演变行为研究”（编号：XJ2024096）