

ICS 点击此处添加 ICS 号

CCS 点击此处添加 CCS 号

# T/CIEP

## 中国工业环保促进会团体标准

T/XXX XXXX—XXXX

### 煤化工减碳技术路线指南

Guidelines for coal chemical industry carbon reduction technology pathways

草案版次选择

在提交反馈意见时，请将您知道的相关专利连同支持性文件一并附上。

XXXX - XX - XX 发布

XXXX - XX - XX 实施

中国工业环保促进会 发布

## 目 次

|                                |     |
|--------------------------------|-----|
| 前言 .....                       | II  |
| 引言 .....                       | III |
| 1 范围 .....                     | 1   |
| 2 规范性引用文件 .....                | 1   |
| 3 术语和定义 .....                  | 1   |
| 4 总体要求 .....                   | 1   |
| 4.1 系统性 .....                  | 1   |
| 4.2 技术可行 .....                 | 1   |
| 4.3 经济性 .....                  | 1   |
| 4.4 环保 .....                   | 2   |
| 5 原料环节减碳技术 .....               | 2   |
| 5.1 原料清洁化 .....                | 2   |
| 5.2 原料多元化与替代 .....             | 2   |
| 6 生产工艺过程减碳技术 .....             | 2   |
| 6.1 气化技术升级 .....               | 2   |
| 6.2 合成工艺优化 .....               | 3   |
| 6.3 系统集成与能量梯级利用 .....          | 4   |
| 7 设备与装备能效提升技术 .....            | 4   |
| 7.1 高效动力设备 .....               | 4   |
| 7.2 余热余压利用 .....               | 4   |
| 7.3 热能管理 .....                 | 4   |
| 8 二氧化碳捕集、利用与封存（CCUS）技术 .....   | 5   |
| 8.1 二氧化碳捕集 .....               | 5   |
| 8.2 二氧化碳输送 .....               | 5   |
| 8.3 二氧化碳利用 .....               | 5   |
| 8.4 二氧化碳封存 .....               | 5   |
| 9 碳排放管理与监测 .....               | 5   |
| 9.1 管理体系建立 .....               | 5   |
| 9.2 排放核算与报告 .....              | 5   |
| 9.3 监测与计量 .....                | 5   |
| 9.4 数字化碳管理 .....               | 5   |
| 附录 A（资料性）减碳技术实施潜力与成熟度参考表 ..... | 6   |

## 前 言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由中国工业环保促进会提出并归口。

本文件起草单位：

本文件主要起草人：

## 引 言

煤化工行业作为保障国家能源安全的重要产业，正面临“双碳”目标下的转型压力。该行业虽具战略价值，但传统煤炭加工过程能耗高、碳排放量大，亟需绿色升级。目前煤制烯烃、煤制甲醇等细分领域能效水平不均，部分产能能效偏低，减排改造空间巨大。因此指定《煤化工减碳技术路线指南》为煤化工企业提供系统化的减碳技术路径，涵盖工艺优化、能效提升和碳捕集利用等关键方向。通过推动技术创新和示范应用，引导行业在保障能源供应的同时，实现绿色低碳转型，提升产业可持续发展能力与核心竞争力。

# 煤化工减碳技术路线指南

## 1 范围

本文件给出了煤化工减碳技术路线在原料环节、生产工艺、设备装备、二氧化碳捕集、封存和利用技术、碳排放管理监测方面的建议。

本文件适用于煤化工企业减碳技术实施的指导和建议。

## 2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

- GB/T 23331 能源管理体系 要求及使用指南
- GB/T 29456 能源管理体系 实施、保持和改进
- GB/T 23331 能源管理体系指南
- GB/T 32150 工业企业温室气体排放核算和报告通则
- GB/T 32151.10 碳排放核算与报告要求 第10部分：化工生产企业
- DB11/T 2323 碳排放核查技术规程
- DB3212/T 1125 碳排放在线监测系统建设规范

## 3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

### 3.1

**煤化工减碳** coal chemical industry carbon reduction

在煤化工生产过程中通过采取技术可行，经济合理的措施，降低煤化工生产过程中向环境释放二氧化碳所进行的活动。

### 3.2

**煤化工减碳技术** coal chemical carbon reduction technology

能实现降低煤化工生产过程中向环境所释放二氧化碳的技术。

## 4 总体要求

### 4.1 系统性

减碳技术实施应贯穿煤化工全生命周期，从系统层面统筹优化原料、工艺、装备和能源管理。

### 4.2 技术可行

应基于煤化工不同细分领域的工艺差异，优先选择技术成熟、与现有生产系统适配性强、运行安全稳定的减碳技术。技术路线选择可参考附录 A 中内容。

### 4.3 经济性

应避免盲目追求减碳效果，平衡减碳投入与实际收益，高性价比的减碳技术。

#### 4.4 环保

减碳技术实施应满足污染排放的环保要求。

### 5 原料环节减碳技术

#### 5.1 原料清洁化

5.1.1 应使用高品质、低灰分、低硫分、高固定碳优质煤作为生产原料，如无烟煤、优质烟煤等适宜煤化工转化的煤炭品种，从源头降低煤炭气化、合成等过程中的污染物生成和二氧化碳排放，同时减少炉内结渣、设备腐蚀等问题，提升生产装置运行稳定性。

5.1.2 宜对原煤进行深度洗选加工提高入炉煤质量，如配套建设煤炭洗选车间或与采用跳汰选煤、重介选煤、浮选等成熟洗选技术去除原煤中的矸石、灰分、硫分等杂质；

5.1.3 建立原料煤品质检测和管控体系，对进厂原料煤进行实时采样检测，重点监测灰分、硫分、固定碳、发热量等关键指标，对品质不达标的原料煤进行分级储存、搭配使用，避免单一低品质煤炭直接入炉，保障生产装置稳定运行和原料转化效率。

#### 5.2 原料多元化与替代

5.2.1 应推广“煤-油气”“煤-生物质”“煤-废弃物（如废塑料、废橡胶、生物质废渣）”的共气化/共处理技术的开发和工业化应用，通过对现有煤气化装置进行技术改造等技术，在原料煤中掺入一定比例的天然气、焦炉煤气、生物质（秸秆、木屑、农林废弃物）、废塑料等原料，实现共气化规模化应用。

5.2.2 在具备可再生能源资源丰富、绿氢供应充足、天然气管网配套条件的地区，宜引入富氢或绿氢资源与煤炭进行碳氢互补，优化合成气  $H_2/CO$  比例；鼓励使用天然气部分代替煤炭，直接作为气化原料或燃烧原料，减少煤炭消耗；优先引入外部绿氢（如通过可再生能源电解水制取的氢气）作为合成气调质原料，替代部分煤制氢过程。

5.2.3 在煤制甲醇、煤制烯烃等对合成气组成要求较高的领域，应基于生产工艺要求、产品产量目标和不同原料的特性（含碳量、含氢量、热值），优化原料煤与替代原料的配比方案，在保障产品质量和生产装置稳定运行的前提下，最大化提升替代原料比例，实现碳减排效应最大化。

5.2.4 加强替代原料的供应体系建设，对于生物质原料，鼓励与周边农林产区、生物质收集加工企业合作，建立生物质原料收集、储运、加工一体化供应体系，保障生物质原料的稳定供应；对于绿氢原料，可结合企业自身可再生能源项目建设（如光伏、风电），配套建设电解水制氢装置，实现绿氢自给自足，降低绿氢采购成本。

### 6 生产工艺过程减碳技术

#### 6.1 气化技术升级

6.1.1 新建项目宜选择具有高碳转化率、高冷煤气效率、宽煤种适应性、低能耗、低排放的先进煤气化技术（如干粉煤气化、水煤浆气化等）。

6.1.2 对于现有采用固定床气化炉（如间歇式固定床气化炉、常压固定床气化炉）的存量煤化工项目，鼓励开展技术改造或升级换代：

- a) 对于产能规模较大、设备基础较好的固定床气化炉，宜采用“以旧改新”的方式进行技术改造，引入先进的气化烧嘴、炉体结构优化、温度压力控制系统等技术，将传统固定床气化炉改造为加压固定床气化炉，提升碳转化率和冷煤气效率；
- b) 对于产能规模较小、设备老化严重、改造价值低的固定床气化炉，宜逐步淘汰，替换为干粉煤气化或水煤浆气化等先进气化装置，结合企业产能扩张或技术升级，实现气化技术的整体升级换代。
- c) 存量项目气化技术改造过程中，宜注重与现有生产系统的衔接，优化气化装置与后续合成、净化装置的工艺匹配，避免因单一环节改造导致的系统不兼容问题。

6.1.3 鼓励围绕气化环节开展配套工艺优化，提升整体气化系统的减碳效果：

- a) 优化气化炉操作参数，通过精准控制气化炉的温度、压力、氧煤比、汽煤比等关键参数，实现气化过程的最优运行，提升碳转化率，减少未反应碳的排放，降低能耗。
- b) 加强气化炉渣灰的回收利用，对气化炉产生的炉渣、飞灰进行分选加工，未反应的碳粉回收重新入炉气化，提高煤炭综合利用效率，减少资源浪费和碳排放。

## 6.2 合成工艺优化

6.2.1 鼓励以“深度净化+等温变换”为核心，构建高效率、低能耗、长周期、智能化的合成气净化与转化技术体系。宜在新建或改造项目中优先采用多级协同净化、等温变换反应器与智能控制系统，结合原料特性定制工艺方案，全面提升装置的技术竞争力与环保水平。

### 6.2.2 煤制甲醇工艺：

- a) 净化环节优先采用“低温甲醇洗+变压吸附”低能耗多级协同工艺，减少净化过程的动力和热能消耗，确保合成气总硫含量不大于 0.1ppm，避免催化剂中毒导致的能耗上升；
- b) 变换环节宜配套等温变换反应器，精准控制反应温度，提升 CO 变换效率，同步回收反应热用于原料预热或蒸汽产生，替代外部能源输入，降低变换工序综合能耗；
- c) 通过在线监测精准调控合成气  $H_2/CO$  比例，避免过量变换产生额外  $CO_2$ ，同时减少合成工序的无效能耗；
- d) 宜配套管壳式或绝热 - 管壳复合式高效合成反应器，强化反应器传热效率，提升甲醇选择性，减少副反应带来的能量损耗；
- e) 优化弛放气回收路径，优先提纯氢气回注合成系统，提升氢能利用率，减少燃料替代带来的额外能耗。

### 6.2.3 煤制烯烃工艺：

- a) 前端甲醇合成环节宜符合 6.2.2 中内容，从源头降低烯烃生产基础能耗；
- b) 优先选用低能耗 MTO/MTP 技术，配套专用分子筛催化剂，提升乙烯 + 丙烯选择性，优化催化剂再生工艺参数，降低再生热耗；
- c) 配套大型循环流化床反应器，实现催化剂连续再生与循环利用，提升反应系统能量利用效率；
- d) 烯烃分离可采用“前脱丙烷 + 深冷分离”低能耗工艺，配套高效换热设备，强化分离过程冷量、热量的回收与梯级利用，降低分离系统综合能耗；
- e) 对反应器再生高温烟气进行余热回收，产汽用于发电或工艺用能，实现烟气余热资源化利用。

### 6.2.4 煤制油工艺：

- a) 间接液化适配“低温甲醇洗 + 耐硫变换”工艺，按催化剂类型精准控制合成气  $H_2/CO$  比例（铁基 2.0~2.2、钴基 2.2~2.4），减少无效变换能耗；
- b) 优先选用浆态床等高效反应器，强化费托合成、直接液化反应热回收，回收热量优先用于原料预热、合成气压缩，提升系统热能自足率；
- c) 产品分离采用多级精馏与高效分离设备，优化精馏塔操作参数，强化各分离工序热量耦合，降低分离系统蒸汽、冷量消耗；
- d) 直接液化采用“煤直接液化 + 加氢提质”一体化工艺，优化加氢反应参数，严控单位产品氢耗，减少加氢工序综合能耗。

### 6.2.5 煤制天然气工艺：

- a) 采用“低温甲醇洗 + 深度变换”工艺，深度脱除杂质，避免催化剂失活导致的能耗上升，确保合成气杂质含量满足甲烷化反应要求；
- b) 精准控制合成气  $H_2/CO+CO_2$  比例在 3.0~3.1，减少氢耗过高带来的能源浪费，优化合成气压缩系统，采用高效压缩机与变频调速技术，降低压缩动力能耗；
- c) 配套“绝热 - 等温串联”甲烷化反应器，强化反应器换热系统，最大化回收甲烷化反应热，产汽用于工艺用能或系统发电；
- d) 对净化环节高浓度  $CO_2$  优先捕集利用或封存，弛放气提纯后回注合成系统，减少能源浪费与碳排放。

### 6.2.6 煤焦油工艺：

- a) 采用低能耗脱渣、脱水、脱重预处理工艺，减少原料中杂质和重质组分，降低加氢反应器结焦风险和后续工序能耗负荷；

- b) 选用“加氢精制 + 加氢裂化”两段低能耗工艺，配套高效耐硫加氢催化剂，提升轻油收率，严控加氢精制、裂化单位产品氢耗；
- c) 强化加氢反应器内置换热系统，回收加氢反应热用于原料煤焦油预热，替代外部加热源，减少加热工序热能消耗；
- d) 与上游焦化工艺协同，利用焦炉煤气作为加氢氢源，替代传统煤制氢，降低制氢环节能耗，提升产业链能源利用效率。

#### 6.2.7 煤制合成氨工艺：

- a) 采用“低温甲醇洗 + 液氮洗”深度净化工艺，降低净化过程动力与热能消耗，严控合成气杂质含量不大于 10ppm，避免氨合成催化剂中毒；
- b) 优化合成气  $H_2/N_2$  比例在 3.0，适配氨合成反应要求，减少过量变换导致的能耗损失；
- c) 选用低压力适应型高效合成氨催化剂，降低氨合成反应压力，减少合成气压缩系统动力能耗，配套高效氨合成塔，提升氨合成效率；
- d) 全面回收变换、合成环节反应热及锅炉、加热炉烟气余热，用于蒸汽产生、原料预热或低温发电，替代外部能源输入。

#### 6.2.8 煤制乙二醇工艺：

- a) 精准控制合成气中  $CO$ 、 $H_2$  比例，适配草酸酯合成要求，减少杂质导致的催化剂失活，避免因催化剂更换带来的能耗与成本损失；
- b) 选用高活性草酸酯合成与加氢催化剂，优化反应参数，降低酯合成与加氢工序的热能、动力消耗，强化反应过程热量回收；
- c) 乙二醇分离提纯采用低能耗多级精馏工艺，配套高效规整填料塔和换热设备，强化精馏过程热量耦合与梯级利用，降低蒸汽、冷量消耗；
- d) 对精馏残液进行提纯回收，有效成分回注系统，提升原料与能源综合利用效率。

#### 6.2.9 煤制二甲醚工艺：

- a) 优先选用一步法低能耗工艺，实现甲醇合成与甲醇脱水原位耦合，减少中间工序物料输送和能量损耗，替代两步法分环节操作；
- b) 优化耦合反应参数，强化反应器换热系统，回收甲醇合成、脱水过程反应热，用于原料预热、蒸汽产生，降低反应工序能耗；
- c) 选用高活性长寿命二甲醚合成耦合催化剂，提升二甲醚选择性和收率，减少甲醇分解等副反应导致的能量浪费；
- d) 采用低能耗产品分离设备，优化分离工艺参数，降低二甲醚分离提纯环节的综合能耗。

### 6.3 系统集成与能量梯级利用

6.3.1 宜采用全厂能量系统优化技术（如分布式能源系统），实现热、电、冷、蒸汽等多能源的梯级和高效利用。

6.3.2 推广化工过程强化技术，如微反应器、超重力场等，缩小设备体积，提高反应效率，降低能耗。

## 7 设备与装备能效提升技术

### 7.1 高效动力设备

7.1.1 新建或更新改造时，宜选用达到国家能效标准等级 1 级或 2 级的电动机、变压器、风机、水泵、空压机等通用设备。

7.1.2 推广采用变频调速、永磁传动等先进调速技术，根据负荷变化实时调节设备运行状态。

### 7.2 余热余压利用

7.2.1 对工艺装置产生的中低温余热、反应热、蒸汽冷凝液等进行回收利用（如热泵技术、热夹点技术），用于预热原料、产生蒸汽、驱动制冷或区域供暖。

7.2.2 充分利用工艺系统中的压力能和热能，开发利用副产蒸汽、有机朗肯循环发电技术，实现余热余压利用。

### 7.3 热能管理

- 7.3.1 宜加强蒸汽管网的保温和疏水阀管理，减少输送过程中的热损失。
- 7.3.2 推广应用高效换热设备（如螺旋缠绕管式换热器、光排管换热器等），提高传热效率。

## 8 二氧化碳捕集、利用与封存（CCUS）技术

### 8.1 二氧化碳捕集

- 8.1.1 对于煤化工过程排放浓度高、排放源集中的环节（如变换单元后、燃烧烟气），宜部署二氧化碳捕集装置。
- 8.1.2 宜根据气源条件和成本，选择适宜的捕集技术（如化学吸收法、物理吸附法、膜分离法等）。

### 8.2 二氧化碳输送

- 8.2.1 捕集的二氧化碳宜经提纯、压缩和脱水处理，达到管道输送或车辆运输标准。
- 8.2.2 宜规划建设区域性二氧化碳输送管网，降低运输成本，提高运输效率。

### 8.3 二氧化碳利用

- 8.3.1 宜优先将捕集的二氧化碳用于生产高附加值化工产品，如甲醇（二氧化碳加氢制备）、可降解塑料、碳酸酯、碳酸钙、碳酸镁等。
- 8.3.2 推广用于驱油（EOR）、驱煤层气（ECBM）提高采收率。
- 8.3.3 可利用高浓度二氧化碳养殖微藻类植物，加速光合作用，生产生物柴油、精细化学品、蛋白质、蛋白饲料等。
- 8.3.4 高纯度液态二氧化碳可作为焊接保护气体、医疗冷冻治疗剂、食品保鲜剂（碳酸饮料气泡）、农业气体肥料等。

### 8.4 二氧化碳封存

- 8.4.1 宜在开展详细地质调查与评估的基础上，选择适宜的枯竭油气田、深部咸水层等地质构造进行二氧化碳封存。
- 8.4.2 宜建立封存场地长期监测与风险管控体系，确保环境安全。

## 9 碳排放管理与监测

### 9.1 管理体系建立

- 9.1.1 企业宜依据 GB/T 23331、GB/T 29456 标准建立、实施、保持和改进能源管理体系，并将其作为碳管理体系的核心。
- 9.1.2 鼓励企业建立专门的碳管理制度，明确碳管理职责，设立碳管理岗位。

### 9.2 排放核算与报告

- 9.2.1 企业宜参照 DB11/T 2323-2024、GB/T 32151.10-2023，定期开展碳排放核算，编制碳排放报告。
- 9.2.2 宜建立碳排放台账，对化石燃料消耗量、净购入电力和热力、原料含碳量等关键数据进行常态化记录和管理。宜对原料样品（煤等）进行 5 年~10 年的保存。
- 9.2.3 宜使用经过校正的能源计量器具和仪表仪器，对基础数据进行有效的检测、度量和计算。

### 9.3 监测与计量

- 9.3.1 宜加强对重点排放源（如锅炉、气化炉、加热炉等）的燃料消耗和运行参数的在线监测与计量。
- 9.3.2 在条件成熟时，宜对排放口的二氧化碳浓度和流量进行直接监测。

### 9.4 数字化碳管理

企业宜参照 DB3212/T 1125-2023 建设碳排放在线监测管理平台，利用大数据、物联网等技术，实现碳排放数据的实时采集、分析和预警，支撑碳资产管理和减排决策。

## 附录 A

(资料性)

## 减碳技术实施潜力与成熟度参考表

减碳技术实施潜力与成熟度可参考表A.1中内容。

表 A.1 减碳技术实施潜力与成熟度参考

| 技术类别 | 具体技术示例               | 技术成熟度 | 减排潜力 | 投资成本估算 | 备注       |
|------|----------------------|-------|------|--------|----------|
| 原料环节 | 绿氢耦合                 | 示范阶段  | 高    | 高      | 依赖绿氢成本   |
|      | 生物质共气化               | 示范阶段  | 中    | 中      | 需保障生物质资源 |
| 生产工艺 | 先进煤气化                | 成熟    | 中~高  | 高      | 新建项目首选   |
|      | 过程强化技术               | 成熟    | 中    | 中      | 长期潜力大    |
| 设备装备 | 高效电机+变频              | 成熟    | 低~中  | 低~中    | 投资回收期短   |
|      | 余热发电                 | 成熟    | 中    | 中      | 经济效益较好   |
| CCUS | 燃烧后捕集                | 示范    | 高    | 高      | 当前成本较高   |
|      | CO <sub>2</sub> 制化学品 | 研发/示范 | 中    | 高      | 产品价值驱动   |