

# T/CWDPA

团 体 标 准

T/CWDPA XXX—XXXX

## 碳捕集利用与封存系统（CCUS）余热利用 效能评价规范

Specification for efficiency evaluation of waste heat utilization in carbon capture,  
utilization and storage (CCUS) system

（征求意见稿）

XXXX-XX-XX 发布

XXXX-XX-XX 实施

中国西部开发促进会 发 布



目次

前言 ..... II

1 范围 ..... 3

2 规范性引用文件 ..... 3

3 术语和定义 ..... 3

4 略缩语 ..... 4

5 评价要求 ..... 4

    5.1 评价原则 ..... 4

    5.2 评价边界 ..... 4

    5.3 余热资源来源 ..... 4

    5.4 余热品位分类 ..... 4

6 评价指标 ..... 5

    6.1 基础能效指标 ..... 5

    6.2 热力学品质指标 ..... 5

7 数据采集与监测 ..... 5

    7.1 测试工况与周期 ..... 5

    7.2 测试参数与测点布置 ..... 5

    7.3 测试仪器精度要求 ..... 5

    7.4 数据质量控制 ..... 5

8 计算方法 ..... 6

    8.1 总余热资源量 ..... 6

    8.2 余热有效利用量 ..... 6

    8.3 余热利用率 ..... 6

    8.4 余热焓效率 ..... 6

    8.5 其他指标计算 ..... 6

9 能效等级判定 ..... 7

    9.1 划分要求 ..... 7

    9.2 判定规则 ..... 7

10 评价报告 ..... 7

    10.1 报告基本内容 ..... 7

    10.2 报告编制要求 ..... 7

## 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。

本文件由中国西部开发促进会提出。

本文件由中国西部开发促进会归口。

本文件起草单位：。

本文件主要起草人：。

本文件首次发布。

# 碳捕集利用与封存系统（CCUS）余热利用效能评价规范

## 1 范围

本文件规定了碳捕集利用与封存系统（CCUS）余热利用的术语和定义、缩略语、评价要求、评价指标、数据采集与监测、计算方法、效能等级判定、评价报告。

本文件适用于燃煤、燃气、钢铁、水泥、化工等工业领域配套的燃烧后CO<sub>2</sub>捕集CCUS系统，涵盖捕集、净化、压缩、输送全流程余热回收与梯级利用系统的效能评价。富氧燃烧捕集、直接空气碳捕集（DAC）等其他CCUS技术路线余热利用效能评价可参照执行。

## 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 1028 工业余能资源评价方法

GB/T 2589 综合能耗计算通则

GB/T 6422 用能设备能量测试导则

GB/T 8174 设备及管道绝热效果的测试与评价

GB/T 46877—2025 二氧化碳捕集 燃烧后二氧化碳捕集系统通用要求

GB/T 46879—2025 基于项目的温室气体减排量评估技术规范 二氧化碳捕集、利用与封存项目

## 3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

### 3.1

**CCUS系统余热** waste heat from CCUS system

CCUS系统运行过程中，从捕集装置、压缩机、换热器等工艺单元排出的未被有效利用的、具有一定温度水平和可利用价值的热能。

### 3.2

**余热利用系统** waste heat utilization system

以CCUS系统产生的余热为热源，通过换热器、热泵、热交换网络等设备将余热转化为可供厂内或外部利用的热能（或转化为电能、冷能）的成套装置和输送系统。

### 3.3

**余热利用量** waste heat utilization quantity

CCUS余热利用系统终端有效输出、被生产工艺或用能设备实际消耗的余热量，不含系统输送、换热、散热损失。

### 3.4

**余热利用率 waste heat utilization rate**

CCUS系统有效余热利用量占总余热资源量的百分比，用于表征系统余热资源的利用程度。

3.5

**余热焓效率 thermal waste energy efficiency**

CCUS余热有效利用焓值占余热总焓值的百分比，基于热力学第二定律，反映余热能量品位的利用优劣程度。

3.6

**基准温度 reference temperature**

用于 CCUS 系统余热资源量、余热焓统一核算的热力学基准温度，依据项目所在地循环冷却水常年设计供水温度取值；北方取 20℃~25℃，冷却水温升 8℃~10℃；南方取 28℃~30℃，冷却水温升 6℃~8℃，介质温度低于该温度的热量不计入可回收余热资源。

4 略缩语

CCUS：碳捕集、利用与封存（Carbon Capture, Utilization and Storage）

CO<sub>2</sub>：二氧化碳（carbon dioxide）

5 评价要求

5.1 评价原则

评价工作应遵循边界清晰、数据可测、方法统一、科学公正、梯级适配、节能增效的原则，统一不同工况、不同工艺CCUS系统余热利用效能评价标准，保障评价结果可对比、可追溯、可应用。

5.2 评价边界

5.2.1 上游边界

界定为CCUS各余热产生单元出口，包括胺液再生再沸器冷凝出口、CO<sub>2</sub>各级压缩冷却器出口、烟气换热出口、工艺介质冷却出口等余热生成终端。

5.2.2 下游边界

界定为余热利用终端，包括供热管网入口、蒸汽母管入口、余热发电装置入口、工艺介质预热入口等有效用能终端。

5.2.3 排除边界

不包含主机锅炉、焚烧炉主系统热能、CO<sub>2</sub>产品自身化学能、外部输入辅助热源、非CCUS系统产生的余热资源。。

5.3 余热资源来源

CCUS系统余热资源主要包含以下单元余热：

- 捕集单元：吸收剂再生冷凝器冷凝余热、吸收塔出口烟气余热、富液/贫液冷却余热；
- 压缩单元：多级 CO<sub>2</sub>压缩机级间冷却余热、压缩终端高温 CO<sub>2</sub>冷却余热；
- 净化脱水单元：分子筛再生冷却余热、再生气冷凝余热；
- 输送增压单元：管道散热余热、增压站设备冷却余热；
- 利用单元：CO<sub>2</sub>化工转化、矿物碳化、驱油等资源化工艺设备冷却、反应放热余热；
- 封存单元：地层注入增压设备冷却余热、井下流体换热余热、井口介质降温余热。

5.4 余热品位分类

按照余热介质在主要放热过程中的热力学平均温度划分CCUS系统余热品位，分类如下：

- a) 高温余热：介质温度 $\geq 300\text{ }^{\circ}\text{C}$ ；
- b) 中温余热： $100\text{ }^{\circ}\text{C} \leq \text{介质温度} < 300\text{ }^{\circ}\text{C}$ ；
- c) 低温余热：介质温度 $< 100\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

## 6 评价指标

### 6.1 基础能效指标

#### 6.1.1 总余热资源量

表征CCUS系统可开发利用的余热资源总规模，是评价余热利用潜力的基础参数。

#### 6.1.2 余热有效利用量

表征CCUS余热实际资源化利用的有效规模，直观体现余热回收成果。

#### 6.1.3 余热利用率

反映余热资源的整体回收利用水平，是系统余热收集、输送、利用效率的综合体现。

#### 6.1.4 单位捕集量余热利用量

单位CO<sub>2</sub>捕集量对应的有效余热利用量，单位为GJ/tCO<sub>2</sub>，用于不同规模CCUS项目横向对标。

### 6.2 热力学品质指标

#### 6.2.1 余热焓效率

衡量余热能量品位的利用效率，规避单纯热效率无法体现能量品质差异的缺陷，反映余热梯级利用合理性。

#### 6.2.2 余热梯级利用度

高、中、低温余热匹配对应应用能场景的利用占比，体现余热利用的科学化、精细化水平。

## 7 数据采集与监测

### 7.1 测试工况与周期

测试工况和周期应符合如下要求：

- a) 测试应在CCUS系统80%及以上额定负荷稳定运行状态下开展；
- b) 连续测试周期不少于24 h，数据采集时间间隔不大于15 min；
- c) 测试全过程同步记录环境温度、湿度、大气压力等环境参数。

### 7.2 测试参数与测点布置

测试核心参数包含各余热介质流量、进出口温度、压力、介质组分、终端用能参数、系统电耗与热耗；测点应布置在各余热产生单元、换热单元、利用终端的关键进出口位置，覆盖全部余热支路。

### 7.3 测试仪器精度要求

所有测试仪器应经计量校准且在有效期内，精度满足以下要求：

- a) 温度测量： $\pm 0.5\text{ }^{\circ}\text{C} \sim \pm 1.0\text{ }^{\circ}\text{C}$ ；
- b) 压力测量： $\pm 0.1\% \sim \pm 0.5\%\text{FS}$ ；
- c) 流量测量： $\pm 1.5\% \sim \pm 2.5\%\text{FS}$ ；
- d) 电能、热能计量： $\pm 0.5\%\text{FS}$ 。

### 7.4 数据质量控制

测试数据应完整、连续、可追溯，对异常波动数据进行剔除并标注原因；完成数据重复性校验，必要时开展测量不确定度评定，保障计算结果准确可靠。

## 8 计算方法

### 8.1 总余热资源量

CCUS系统总余热资源量为各余热单元可回收余热累加值，计算公式如下：

$$Q_{tot} = \sum m_i (h_{in} - h_0)$$

式中：

- $Q_{tot}$ ——总余热资源量，单位为吉焦每小时（GJ/h）；
- $m_i$ ——各余热介质质量流量，单位为千克每小时（kg/h）；
- $h_{in}$ ——介质进口工况比焓，单位为千焦每千克（kJ/kg）；
- $h_0$ ——基准温度下介质比焓，单位为千焦每千克（kJ/kg）。

### 8.2 余热有效利用量

余热有效利用量为各类利用场景余热输出总和，扣除系统全部热损失，计算公式如下：

$$Q_{use} = Q_{heat} + Q_{steam} + Q_{elec} + Q_{pre} - Q_{loss}$$

式中：

- $Q_{use}$ ——余热有效利用量，单位为吉焦每小时（GJ/h）；
- $Q_{heat}$ ——供热利用余热量，单位为吉焦每小时（GJ/h）；
- $Q_{steam}$ ——产汽利用余热量，单位为吉焦每小时（GJ/h）；
- $Q_{elec}$ ——余热发电等效余热量，单位为吉焦每小时（GJ/h）；
- $Q_{pre}$ ——工艺预热利用余热量，单位为吉焦每小时（GJ/h）；
- $Q_{loss}$ ——系统总热损失，单位为吉焦每小时（GJ/h）。

### 8.3 余热利用率

余热利用率计算公式如下：

$$\eta_e = \frac{Q_{use}}{Q_{tot}} \times 100\%$$

式中：

- $\eta_e$ ——余热利用率，%；
- $Q_{use}$ ——余热有效利用量，单位为吉焦每小时（GJ/h）；
- $Q_{tot}$ ——总余热资源量，单位为吉焦每小时（GJ/h）。

### 8.4 余热焓效率

#### 8.4.1 余热总焓值计算公式如下：

$$E_{xtot} = \sum [m_i (h_{in} - h_0) - T_0 (s_{in} - s_0)]$$

#### 8.4.2 余热焓效率计算公式如下：

$$\eta_{ex} = \frac{E_{xuse}}{E_{xtot}} \times 100\%$$

式中：

- $\eta_{ex}$ ——余热焓效率，%；
- $E_{xuse}$ ——余热有效利用焓值，单位为千焦每小时（kJ/h）；
- $E_{xtot}$ ——余热总焓值，单位为千焦每小时（kJ/h）；
- $T_0$ ——基准环境温度，单位为开尔文（K）；
- $s_{in}$ 、 $s_0$ ——介质进口熵值、基准温度熵值，单位为千焦每千克开尔文（kJ/(kg·K)）。

注：余热有效利用焓值为各利用终端有效焓输出累加值。

### 8.5 其他指标计算



单位捕集量余热利用量、节能量、碳减排量按照GB/T 2589及行业通用节能核算方法计算。

9 能效等级判定

9.1 划分要求

结合余热利用率、余热焓效率双核心指标，将CCUS余热利用效能划分为四级，指标均满足对应等级要求方可定级，等级标准见表1。

表1 CCUS 系统余热利用效能等级划分表

| 效能等级 | 等级定义  | 相变余热利用率 $\eta_e$<br>(%) | 无相变余热利用率 $\eta_e$<br>(%) | 相变余热焓效率 $\eta_{ex}$<br>(%) | 相变余热焓效率 $\eta_{ex}$<br>(%) |
|------|-------|-------------------------|--------------------------|----------------------------|----------------------------|
| 1级   | 先进水平  | $\geq 90$               | $\geq 75$                | $\geq 75$                  | $\geq 60$                  |
| 2级   | 良好水平  | 75~90                   | 60~75                    | 65~75                      | 50~60                      |
| 3级   | 合格水平  | 60~75                   | 50~60                    | 55~65                      | 40~50                      |
| 4级   | 待改进水平 | $< 60$                  | $< 50$                   | $< 55$                     | $< 40$                     |

9.2 判定规则

- 判定规则应符合：
- a) 等级判定以余热利用率、余热焓效率双指标同步达标为依据，取最低匹配等级为最终评价等级；
  - b) 新建 CCUS 项目余热利用效能不宜低于 2 级；在役 CCUS 项目不宜低于 3 级，低于 3 级应制定节能改造方案并限期整改；
  - c) 梯级利用度、节能量、减排量作为等级评优的参考依据。

10 评价报告

10.1 报告基本内容

CCUS余热利用效能评价报告应包含项目概况、评价依据、系统边界说明、测试工况与设备信息、数据采集与处理过程、指标计算全过程、效能等级判定结果、系统存在问题、优化改进建议等内容。

10.2 报告编制要求

报告内容应真实完整、数据可追溯、结论清晰明确，所有计算公式、测试数据、判定依据应逐一列明；优化建议应具备针对性、可行性，贴合CCUS系统运行实际。