

团 体 标 准

T/SHJNXH0014—2025

代替 T/SHJNXH0014—2024

火力发电厂烟气二氧化碳捕集系统 (化学吸收法)能效评价方法

Energy Efficiency Assessment Method for Flue Gas CO₂ Capture

(Chemical Absorption) at Coal-Fired Power Plant

2025-05-22 发布

2025-05-22 实施

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 总体要求	5
5 计算方法	5
5.1 单位二氧化碳捕集热耗的计算	5
5.2 单位二氧化碳捕集电耗的计算	5
5.3 单位二氧化碳捕集能耗的计算	6
6 评价方法	6
6.1 能效评价	6
6.2 能效评价分级	6
7 测试方法	7
7.1 测试准备	7
7.2 测试要求	8
7.3 测试项目及测试方法	8
8 结果应用	8
附录 A (资料性) 各种能源折标准煤参考系数表	9
附录 B (资料性) 二氧化碳捕集工艺(化学吸收法)示意图	10
附录 C (资料性) 二氧化碳捕集系统(化学吸收法)能效测试项目及方法	11
参 考 文 献	15

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。

本文件由上海市能效中心（上海市产业绿色发展促进中心）提出，由上海市节能协会归口。

本文件起草单位：上海市能效中心（上海市产业绿色发展促进中心）、中国华能集团清洁能源技术研究院有限公司、华能石洞口第二电厂、上海外高桥第三发电有限责任公司、上海长兴岛热电有限责任公司、上海电力大学、上海交通大学、上海节能技术服务有限公司。

本文件主要起草人：侯震寰、秦宏波、郭东方、郑棹方、潘卫国、葛天舒、闫霆、张庆文、沈浩、张寅、刘洋、张岭、陆永华、申婷婷、刘牛、陆晓林、吴俊晔、吴韶飞、徐良晨、陈彦霖、刘玥、樊建俊。

本文件首期承诺执行单位：中国华能集团有限公司华东分公司、申能股份有限公司、上海电力股份有限公司、上海太平洋能源中心、上海电力大学、上海交通大学、上海节能技术服务有限公司。

本文件属于首次发布。

火力发电厂烟气二氧化碳捕集系统(化学吸收法)能效评价方法

1 范围

本文件规定了火力发电厂烟气二氧化碳捕集系统（化学吸收法）能效评价测试和计算的要求与方法，包含二氧化碳捕集能效计算方法、二氧化碳捕集能效评价方法、测试准备、测试要求、测试内容、测试方法、结果应用等内容。

本文件适用于火力发电厂化学吸收法碳捕集工艺的能耗测试和计算，其它钢铁、水泥、燃煤燃气等企业可参照执行。

2 规范性引用文件

下列文件中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。凡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 16157 固定污染源排气中颗粒物测定与气态污染物采样方法

GB/T 32150 工业企业温室气体排放核算和报告通则

GB/T 34060-2017 蒸汽热量计算方法

DL/T 904—2015 火电发电厂技术经济指标计算方法

HJ 870 -2017 固定污染源废气 二氧化碳的测定 非分散红外吸收法

HJ 1240—2021 固定污染源废气 气态污染物（SO₂、NO、NO₂、CO、CO₂）的测定 便携式傅立叶变换红外光谱法

3 术语和定义

GB/T 32150界定的及下列术语和定义适用于本标文件。

3.1

烟气 flue gas

化石燃料燃烧产物，经脱硫、脱硝及除尘处理后形成的气体和烟尘的混合物。

3.2

捕集后烟气 processed gas

烟气经二氧化碳捕集后排出的尾气。

3.3

二氧化碳捕集 CO₂ capture

将二氧化碳从大气、工业或能源设施中分离，产生易于运输、储存或利用的高浓度二氧化碳的过程。

3.4

化学吸收法 chemical absorption method

化学吸收剂在吸收塔内与烟气中的二氧化碳进行化学反应，生成化合物，并在解吸塔内经升温后释放出吸收的二氧化碳，完成二氧化碳与其他气体分离的方法。

3.5

再生塔 regenerator

将富液中的二氧化碳分离出来，使富液转化为贫液的装置。

3.6

捕集装置 capture plant

用于富集二氧化碳的工艺和相关设备。

3.7

化学吸收法捕集工艺 capture facility

烟气中含有低浓度二氧化碳的捕集装置，主要以吸收塔—解吸塔为基础工艺，以节能换热设备和动力设备为辅助实施，实现烟气二氧化碳从低浓度（<15%）到高浓度富集（>99%，干基）的过程。

注：基本工艺流程图见附录 A。该图所示工艺为基础工艺，该标准适用于以此工艺为基础进行优化后的捕集工艺。

3.8

单位二氧化碳捕集能耗 energy consumption of CO₂ capture

在捕集装置中，将二氧化碳吸收形成富液、并从富液中分离富集过程中所需的系统总能量消耗。宜采用单位二氧化碳的捕集能耗衡量，包括热耗和电耗。

3.9

单位二氧化碳捕集热耗 heat consumption of CO₂ capture

在捕集装置中，将二氧化碳从富液中分离富集过程中所需的系统总热量消耗。单位二氧化碳的

捕集热耗衡量。

3.10

单位二氧化碳捕集电耗 power consumption of CO₂ capture

在捕集装置中，将二氧化碳从富液中分离富集过程中所需的系统总电量消耗。单位二氧化碳的捕集电耗衡量。

4 总体要求

火力发电厂二氧化碳捕集系统（化学吸收法）能效评价以单位二氧化碳捕集能耗为评价依据，通过计算捕集系统单位二氧化碳捕集热耗、捕集电耗和捕集能耗确定能效等级。

5 计算方法

5.1 单位二氧化碳捕集热耗的计算

单位二氧化碳的捕集热耗 SE_r 按式（1）或（2）计算：

蒸汽冷凝水回用的情况下：

$$SE_r = [(H_v - H_c) \times Q_{ms}] / Q_{mc} \quad (1)$$

蒸汽冷凝水不回用的情况下：

$$SE_r = (H_v \times Q_{ms}) / Q_{mc} \quad (2)$$

式中：

SE_r 为捕集装置单位二氧化碳的捕集热耗，是捕集一吨二氧化碳所消耗的热量，单位为吉焦/吨（GJ/tCO₂）；

Q_{ms}——进入碳捕集装置的蒸汽质量流量，单位为吨每小时（t/h）；

H_v——进入碳捕集装置的蒸汽在实际工况下的焓值，单位为千焦/千克（kJ/kg）；

H_c——出碳捕集装置的冷凝水的焓值，单位为千焦/千克（kJ/kg）；

Q_{mc}——捕集装置每小时二氧化碳产量，单位吨每小时（t/h）。

5.2 单位二氧化碳捕集电耗的计算

单位二氧化碳的捕集电耗 SE_e 按式（3）或（4）计算：

捕集系统具有独立计量的情况下：

$$SE_e = (W_{fi} - W_{in}) / (T \times Q_{mc}) \quad (3)$$

捕集系统没有独立计量的情况下：

$$SE_e = (E_{mo} + E_{st}) / Q_{mc} \quad (4)$$

式中：

SE_e ——捕集装置单位二氧化碳的捕集电耗，是捕集一吨二氧化碳所消耗的电量，单位为千瓦时/吨（kW h/tCO₂）；

W_{in} ——测试起始时的用电设备或装置单元对应的电度表电量数值，单位为千瓦时（kW h）；

W_{fi} ——测试终止时的用电设备或装置单元对应的电度表电量数值，单位为千瓦时（kW h）；

T ——实际测试时间，单位为小时（h）；

E_{mo} ——捕集装置所有电动设备每小时用电量之和，单位为千瓦时/小时（kW h/h）；

E_{st} ——捕集装置其他耗电设备每小时用电量之和，单位为千瓦时/小时（kW h/h）；

Q_{mc} ——捕集装置每小时二氧化碳产量，单位吨/小时（t/h）。

5.3 单位二氧化碳捕集能耗的计算

单位二氧化碳的捕集能耗 E_{TO} 按式（5）计算：

$$E_{TO} = SE_r^* + SE_e^* \quad (5)$$

式中：

E_{TO} ——捕集装置单位二氧化碳的捕集能耗，是捕集一吨二氧化碳所消耗的各种能源实物量，按规定的计算方法和单位分别折算标准煤（当量值）的总和，单位为千克标煤/吨（kgce/tCO₂）；

SE_r^* ——捕集装置单位二氧化碳的捕集当量热耗，是捕集一吨二氧化碳所消耗的热量，热力的热值以企业在统计报告期内实测的热值为准，无法实测的或没有实测条件的，参照附录 A 中的能源折标系数，折算成标准煤（当量值），单位为千克标煤/吨（kgce/tCO₂）。

SE_e^* ——捕集装置单位二氧化碳的捕集当量电耗，是捕集一吨二氧化碳所消耗的电量，参照附录 B 中的能源折标系数，折算成标准煤（当量值），单位为千克标煤/吨（kgce/tCO₂）。

6 评价方法

6.1 能效评价

二氧化碳捕集系统（化学吸收法）的能效评价以捕集能耗为指标，单位二氧化碳捕集能耗 E_{TO} 计算方法见 5.3 所示。

6.2 能效评价分级

能效评价等级是衡量在二氧化碳捕集系统中的能源利用效率高低差别的一种分级方法，分成三种能

效评价等级，其中 1 级能源效率最高，3 级能源效率最低。根据 5.1 中公式(1)所定义的能效指标来对现行火力发电厂烟气二氧化碳捕集系统进行能效评价分级，从 1 级到 3 级分别是：一级能效（先进值）、二级能效（准入值）、三级能效（限定值）。具体评价范围和能效评价等级详见表 1。

表 1 火力发电厂烟气二氧化碳捕集系统能效评价等级

能效指数选取值 (kgce/tCO ₂)	$E_{TO} < 86$	$86 \leq E_{TO} \leq 106$	$106 < E_{TO} \leq 123$
能效等级	1	2	3

注：一级能效按照单位二氧化碳消耗蒸汽 2.3 GJ/ tCO₂，耗电 60 kWh/ tCO₂ 计算。二级能效按照单位二氧化碳消耗蒸汽 2.8 GJ/ tCO₂，耗电 85 kWh/ tCO₂ 计算。三级能效按照单位二氧化碳消耗蒸汽 3.2 GJ/ tCO₂，耗电 110 kWh/ tCO₂ 计算。

7 测试方法

7.1 测试准备

7.1.1 应确定测定对象，划定被测试捕集装置的范围。

7.1.2 应收集与测试捕集装置有关的基础资料，包括主要设计参数、运行参数、主要耗能设备的档案等资料。

7.1.3 应结合具体情况制定测试方案。制定测试方案前，应明确测试任务的性质、目的、内容、方法、质量等要求，必要时组织人员到碳捕集装置现场核查，并按相关程序评估能力和资源是否能满足测试任务的需求。测试方案一般包括：

- a) 测试目的和要求
- b) 测试项目
- c) 测试点位
- d) 样品采集方法和仪器仪表
- e) 数据分析方法和依据
- f) 人员组织与分工
- g) 测试进度安排等
- h) 测试原始数据记录表
- i) 测试现场危险源分析及安全防护措施

注：对于常规、简单和例行的测试任务，方案可做适当简化。

7.1.4 应配齐满足检测要求的测试设备、仪器、计量器具，全部检测仪表应完成检定或校准，且在有效期内。

a) 应正确连接各仪器的分析仪、采样管路等，达到仪器工作条件后按 GB/T 16157 检查气密性，若检查不合格，应检查漏气点并重新连接，再次检漏，直至确认不漏气方可使用。

b) 按 GB/T 16157 准备二氧化碳校正用零气、中浓度及高浓度标准气体，将二氧化碳标准气体以仪器规定的流量导入分析仪进行测定，若示值误差满足 HJ 1240 或 HJ 870 的要求，分析仪可用；否则，

需按仪器使用说明书中规定的步骤进行零点及量程校准。

c) 对烟气参数测定设备进行功能检查，应能正常工作。

7.1.5 测试条件和边界：碳捕集装置二氧化碳产量满负荷运行，通过8小时稳定运行期内，数据跟踪（用电消耗和蒸汽消耗）取平均值，核算生产每吨二氧化碳所需的平均蒸汽量和电量。

7.2 测试要求

7.2.1 测试开始前，捕集装置完成调试，测试期间捕集装置应正常运行。

7.2.2 测试开始前，对捕集装置的烟气入口和出口，均应规范化设置采样位置，包括采样平台和梯架、采样孔、采样点位等，详见附录 B。

7.2.3 测试期间，捕集装置进口烟气二氧化碳浓度稳定，波动范围在 $\pm 10\%$ 以内。

7.2.4 在捕集装置系统运行工况达到稳定工况，可开展测试工作。

7.2.5 同参数不同测试点位的测试应同步进行。

7.3 测试项目及测试方法

详见附录C。

8 结果应用

8.1 现有的火力发电厂烟气二氧化碳捕集系统（化学吸收法）的能效等级应符合表 1 中的 3 级能效标准，否则应及时采取节能措施改善系统能效。

8.2 新建及改扩建的火力发电厂烟气二氧化碳捕集系统（化学吸收法）的能效等级应符合表 1 中的 2 级能效标准。

附录 A
(资料性)
各种能源折标准煤参考系数表

各种能源折标准煤参考如表B.1所示。

表 B.1 各种能源折标准煤参考系数表

能源名称	折标准煤系数
原 煤	0.7143 千克标准煤/千克 (kgce/kg)
洗 精 煤	0.9000 千克标准煤/千克 (kgce/kg)
原 油	1.4286 千克标准煤/千克 (kgce/kg)
燃 料 油	1.4286 千克标准煤/千克 (kgce/kg)
汽 油	1.4714 千克标准煤/千克 (kgce/kg)
煤 油	1.4714 千克标准煤/千克 (kgce/kg)
柴 油	1.4571 千克标准煤/千克 (kgce/kg)
液化石油气	1.7143 千克标准煤/千克 (kgce/kg)
天 然 气	1.33 千克标准煤/立方米 (kgce/m ³)
液化天然气	1.7572 千克标准煤/千克 (kgce/kg)
煤 焦 油	1.1429 千克标准煤/千克 (kgce/kg)
热力(当量)	0.03412 千克标准煤/百万焦耳 (kgce/MJ)
	0.14286 千克标准煤/1000 千卡 (kgce/kcal)
电力(当量)	0.1229 千克标准煤/千瓦时 (kgce/kWh)
注：各种能源的热值以企业在统计报告期内实测的热值为准。没有实测条件的，采用表中各种能源折标准煤参考系数。	

附录 B

(资料性)

二氧化碳捕集工艺（化学吸收法）示意图

二氧化碳捕集工艺（化学吸收法）示意图如图A.1所示。

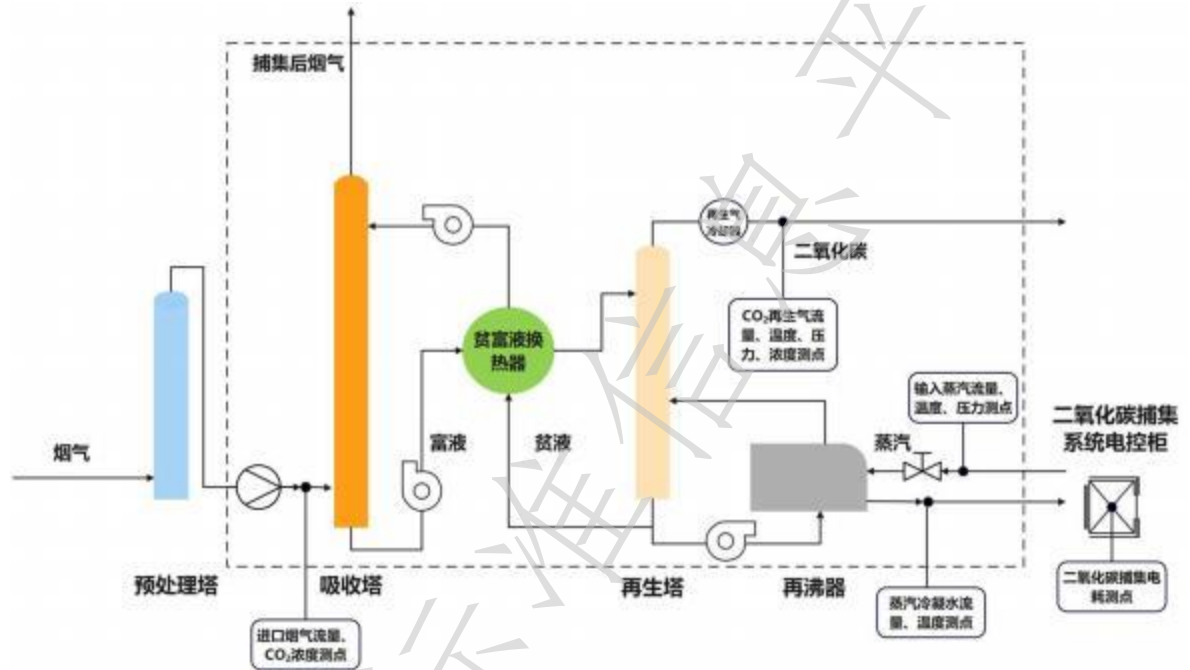


图 A.1 二氧化碳捕集工艺（化学吸收法）示意图

附录 C
(资料性)

二氧化碳捕集系统（化学吸收法）能效测试项目及方法

1、 测试项目

- (1) 捕集装置二氧化碳浓度测试项目应包括捕集装置进口烟气二氧化碳体积浓度（%）。
- (2) 捕集装置烟气量测试项目应包括捕集装置进口和出口的烟气温度（℃）烟气量与二氧化碳质量浓度均以标准状态下的结果计，且两者的干湿基状态应相同。
- (3) 蒸汽测试项目应包含蒸汽温度（℃）、蒸汽压力（MPa）、蒸汽质量流量（t/h）或蒸汽体积流量（m³/h）。
- (3) 蒸汽冷凝水测试项目应包含冷凝水温度（℃）、冷凝水质量流量（t/h）或冷凝水体积流量（m³/h）；蒸汽流量和蒸汽冷凝水流量测试类型应保持一致。
- (4) 捕集装置电耗测试项目应包含界区内风机、循环泵、能量回收装置等用电设备电耗（kW h）
- (5) 二氧化碳捕集能效测试项目见表 2。

表 2 二氧化碳捕集能效测试项目表

序号	测试项目	测点位置	测试仪器	精度	备注
1	二氧化碳捕集装置负荷	/	/	/	二氧化碳捕集系统满负荷状态
2	捕集装置进口烟气流	烟气进入捕集装置的管道的水平管段上	气体流量计	≅ ±2.5%	
3	捕集装置进口烟气二氧化碳浓度	捕集装置烟气入口，采用网格法测量	二氧化碳分析仪	≅ ±5.0%	二氧化碳捕集系统满负荷状态
4	输入蒸汽用量	蒸汽进入捕集装置减温减压阀前管道的水平管段上	蒸汽流量计	≅ ±2.5%	
5	输入蒸汽压力	蒸汽进入捕集装置减温减压阀前管道	压力变送器、压力表	≅ ±1.6%	
6	输入蒸汽温度	蒸汽进入捕集装置减温减压阀前管道	温度变送器、金属温度计、热电偶温度计	≅ ±0.5%	
7	蒸汽冷凝水流量	冷凝水出解吸塔再沸器后疏水阀管道的水平管段上	液体流量计	≅ ±2.5%	
8	蒸汽冷凝水温度	蒸汽加热设备疏水阀后的旁通阀门（应在测量前事先安装）	温度变送器、金属温度计、热电偶温度计	≅ ±0.5%	
9	二氧化碳捕集器电耗	二氧化碳捕集系统进电控制柜输出端口	电能质量分析仪（钳式功率计）	≅ ±1.0%	
10	二氧化碳再生气流量	再生气冷却器出口管道的水平段上	气体流量计	≅ ±2.5%	

序号	测试项目	测点位置	测试仪器	精度	备注
11	二氧化碳再生气温度	再生气冷却器出口管道上	温度变送器、金属温度计、热电偶温度计	$\leq \pm 0.5\%$	
12	二氧化碳再生气压力	再生气冷却器出口管道上	压力变送器、压力表	$\leq \pm 1.6\%$	
13	二氧化碳再生气浓度	再生气冷却器出口管道上	二氧化碳分析仪	$\leq \pm 5.0\%$	

2、测试方法

2.1 烟气二氧化碳浓度

2.1.1 测试位置

捕集装置烟气入口、捕集装置捕集后烟气出口。

2.1.2 测试方法

(1) 烟气二氧化碳浓度的测试按照 HJ870 或 HJ1240 执行。

(2) 捕集装置烟气入口、捕集装置烟气出口二氧化碳含量应采用网格法测量，采样点数目参照 GB/T 16157 中 4.2 执行。

2.2 蒸汽测试

2.2.1 测试位置

测试位置宜选择在蒸汽进入捕集装置减温减压阀后管道的水平管段上，应避免蒸汽管道弯头和断面急剧变化的部位。

2.2.2 测试方法

(1) 蒸汽参数测试应在捕集装置正常工作的工况下进行。

(2) 蒸汽比焓根据蒸汽的温度、压力进行查表或计算，计算方法按照 GB/T 34060-2017 中的规定，蒸汽焓值表见附录 D。

2.3 蒸汽冷凝水测试

2.3.1 测试位置

测试位置宜选择在冷凝水出解吸塔再沸器后疏水阀管道的垂直管段上，应避免蒸汽管道弯头和断面急剧变化的部位。同时宜设置在距弯头、阀门、变径管下游方向不小于 6 倍直径和上述部件上游方向不小于 3 倍直径处。

2.3.2 测试方法

(1) 冷凝水参数测试应在捕集装置正常工作的工况下进行。

(2) 冷凝水温度测试：打开蒸汽加热设备疏水阀后的旁通阀门（应在测量前安装），采用金属温度计、热电偶温度计等温度仪表每 20 min 测试一次，取其平均值为冷凝水温度。

(3) 冷凝水流量测试：采用电磁流量计、超声波流量计、孔板流量计、涡街流量计等封闭管道流量测量仪器，取 3h 累计值。

冷凝水比焓及密度根据温度查表得到。

2.4 再生气测试

2.4.1 测试位置

测试位置宜选择在再生气冷却器出口管道的水平管段上。

2.4.2 测试方法

(1) 再生气参数测试应在捕集装置正常工作的工况下进行。

(2) 再生气比焓根据蒸汽的温度、压力进行查表或计算，计算方法按照 GB/T 34060-2017 中的规定进行。

2.5 二氧化碳捕集器电耗测试

2.5.1 测试位置

测试位置宜选择二氧化碳捕集器系统的进电控制柜输出端口。

2.5.2 测试方法

二氧化碳捕集器系统的电耗，测试仪器建议使用电能质量分析(钳式功率计)，单位为千瓦时 (kW h)，统计 8 小时内用电量。

3 测试数据质量控制

3.1 设备要求

3.1.1 测试前，烟气二氧化碳浓度测试仪器应进行气密性检查和零点、量程校准，质量保证和质量控制应按照 HJ 870 或 HJ 1240 执行，烟气量测试仪器的质量保证和质量控制应按照 GB/T 16157 执行。

3.1.2 测试所用的温度计、压力表、流量计应在检定/校准周期内，最大允许误差应满足附录 C 要求。

3.1.3 在测试过程中，碳捕集装置运行应在满足设计工况的条件下进行，测试仪器设备应满足测量精度要求，必要时采取固定加便携两种方式同步进行测试。

3.1.4 应建立健全与碳捕集装置能耗测试相关的各项管理制度，建立碳捕集装置主要测量设备运行管理的台帐制度。

3.2 测试点位

测试点位应根据测试项目的性质和数据的预期用途等，按相关技术规范和标准进行设置（引用），保证测试数据的代表性和完整性。重要的、存在安全风险的测试点位应设置专用标志。

3.3 样品采集

涉及到样品采集的测试，应根据测试方案所确定的采样点位、测试项目、频次、时间和方法进行采样。

采样人员应充分掌握采样方法、质量保证措施、采样量和样品保存要求等。应按照相关规范要求对采用准备、采样过程实行必要的质量监督。

3.4 数据分析

应保证数据的完整性，确保全面、客观地反映测试结果。不应选择性地舍弃不利数据，人为干预测试和评价结果。测试数值的修约和计算按照标准GB/T8170《数值修约规则与极限数值的表示和判定》和相关测试分析方法标准的要求执行。

全国团体标准信息平台

参考文献

- [1] LIU H, FU Z, HUANG Q, et al. Experimental investigation on continuous reaction crystallizer for CO₂ capture by phase-change method [J]. *Chemical Engineering Journal*, 2023, 466: 143345.
- [2] ANDERSON C, HARKIN T, HO M, et al. Developments in the CO₂CRC UNO MK 3 Process: A Multi-component Solvent Process for Large Scale CO₂ Capture [J]. *Energy Procedia*, 2013, 37: 225–232.
- [3] YU Y, ZHANG C, ZHOU C, et al. Carbon dioxide desorption intensified by metal atom [J]. *International Journal of Energy Research*, 2022, 46(2): 1419–1430.
- [4] TU T, YANG X, CUI Q, et al. CO₂ regeneration energy requirement of carbon capture process with an enhanced waste heat recovery from stripped gas by advanced transport membrane condenser [J]. *Applied Energy*, 2022, 323: 119593.
- [5] 林海周, 罗海中, 裴爱国, 方梦祥. 燃煤电厂烟气 MDEA/PZ 混合胺法碳捕集工艺模拟分析 [J]. *化工进展*, 2019, 38(4): 2046–2055.
- [6] DUBOIS L, THOMAS D. Comparison of various configurations of the absorption-regeneration process using different solvents for the post-combustion CO₂ capture applied to cement plant flue gases [J]. *International Journal of Greenhouse Gas Control*, 2018, 69: 20–35.
- [7] KIERZKOWSKA-PAWLAK H, SOBALA K. Heat of absorption of CO₂ in aqueous solutions of DEEA and DEEA + MAPA blends—A new approach to measurement methodology [J]. *International Journal of Greenhouse Gas Control*, 2020, 100: 103102.
- [8] RAYNAL L, ALIX P, BOUILLON P-A, et al. The DMXTM process: An original solution for lowering the cost of post-combustion carbon capture [J]. *Energy Procedia*, 2011, 4: 779–786.
- [9] 白永锋, 王争荣, 詹国雄, 等. 燃煤烟气碳捕集模拟及节能优化. *环境工程*, 2023, 41(09): 61–71.
- [10] 张婷. 燃煤电站全工况脱碳性能分析及运行策略优化 [D]. 华北电力大学(北京), 2023. DOI:10.27140/d.cnki.ghbbu.2023.000254.
- [11] 熊波, 陈健, 李克兵, 等. 工业排放气二氧化碳捕集与利用技术进展 [J]. *低碳化学与化工*, 2023, 48(01): 9–18.
- [12] 孙路长, 王争荣, 吴冲, 等. 燃煤电厂万吨级碳捕集工程设计与运行优化研究 [J]. *华电技术*, 2021, 43(06): 69–78.
- [13] 吴佳阳. 燃烧后二氧化碳捕集系统的全生命周期环境评价 [D]. 浙江大学, 2019.
- [14] CUI Q, ZHAO R, WANG T, et al. A 150 000 t·a⁻¹ Post-Combustion Carbon Capture and Storage Demonstration Project for Coal-Fired Power Plants [J]. *Engineering*, 2022, 14: 22–26.
- [15] Knudsen J N, Jensen J N, Vilhelmsen P J, et al. Experience with CO₂ capture from coal flue gas in pilot-scale: Testing of different amine solvents [J]. *Energy Procedia*, 2009, 1(1): 783–790.
- [16] Pittsburgh. Post-combustion CO₂ capture for existing PC boilers by self-concentrating absorbent. NETL Carbon Dioxide Capture Technology Meeting. 2012.
- [17] Raynal L, Bouillon PA, Gomez A, et al. From MEA to demixing solvents and future steps, a roadmap for lowering the cost of post-combustion carbon capture [J]. *Chemical Engineering Journal*, 2011, 171(3): 742–752.
- [18] Zhang, J., Misch, R., Tan, Y. and Agar, D.W. (2011), Novel Thermomorphic Biphasic Amine Solvents for CO₂ Absorption and Low-Temperature Extractive Regeneration [J]. *Chem. Eng. Technol.*, 34: 1481–1489.
- [19] Loldrup Fosbøl, P.; Neerup, R.; Almeida, S.; Rezazadeh, A.; Gaspar, J.; Nesse Knarvik, A. B.; Enaasen Flø, N. Results of the fourth Technology Centre Mongstad campaign: LVC testing [J]. *International Journal of Greenhouse Gas Control*, 2019, 89: 52–64.

[20] Kim, H.; Lee, K. S. Energy analysis of an absorption-based CO₂ capture process [J]. International Journal of Greenhouse Gas Control, 2017, 56: 250–260.

[21] Romeo, L. M.; Bolea, I.; Escosa, J. M. Integration of power plant and amine scrubbing to reduce CO₂ capture costs [J]. Applied Thermal Engineering, 2008, 28(8): 1039–1046.

全国团体标准信息平台