

ICS 13.020.40

CCS Z 05

团体标准

T/CIECCPA 092—2025

烟气低浓度二氧化碳吸收剂

Absorption solution for low concentration carbon dioxide in flue gas

2025-09-29 发布

2025-10-09 实施

中国工业节能与清洁生产协会 发布

CLECCRA

目 次

前言.....II

1 范围.....1

2 规范性引用文件.....1

3 术语和定义.....1

4 技术要求.....2

5 试验方法.....3

6 检验规则.....4

7 标志、标签和随行文件.....5

8 包装、运输和贮存.....5

附录 A（规范性） 吸收剂循环吸收容量的测定.....6

附录 B（资料性） CO₂ 饱和吸收试验.....7

附录 C（资料性） CO₂ 解吸再生试验.....9

附录 D（资料性） CO₂ 负载量测定（排体积法）.....11

附录 E（规范性） 吸收速率的测定.....13

附录 F（规范性） 解吸速率的测定.....14

附录 G（规范性） 解吸率的测定.....15

附录 H（资料性） 热氧稳定性测定.....16

附录 I（规范性） 热氧稳定性指数的测定.....18

附录 J（规范性） CO₂ 吸收剂腐蚀性的测定.....19

附录 K（规范性） SO₂ 敏感性指数的测定.....21

附录 L（规范性） NO₂ 敏感性指数的测定.....22

附录 M（资料性） 标签示例.....23

参考文献.....24

图 B.1 CO₂ 吸收装置示意图.....8

图 C.1 吸收剂 CO₂ 解吸再生装置示意图.....10

图 D.1 测量吸收剂中 CO₂ 负载量的滴定试验装置示意图.....12

图 H.1 旋转氧弹示意图.....17

图 J.1 CO₂ 吸收剂腐蚀性测定反应釜及内衬示意图.....21

图 M.1 烟气低浓度二氧化碳吸收剂标签示例.....23

表 1 烟气低浓度二氧化碳吸收剂性能指标.....2

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。

本文件由中国工业节能与清洁生产协会提出并归口。

本文件起草单位：中国石油天然气股份有限公司石油化工研究院、中国矿业大学、中国昆仑工程有限公司、深圳合成纪元科技有限公司、长沙博能科技股份有限公司、中国石油大学（北京）、北京化工大学。

本文件主要起草人：刘克峰、陆诗建、代振宇、戈钧、于瑶、付英博、刘岱、彭勃、杜乐、时文、高飞、刘雨、刘束玉、曹靖、杨延翔、范明、万子岸、任春晓、刘陶然、王金可、董卫刚、孙欣婵、阿布都合里力·亚克甫、杨代斌、杨浩、鲁宽华、王奕然。

本文件为首次发布。

烟气低浓度二氧化碳吸收剂

1 范围

本文件规定了烟气低浓度二氧化碳吸收剂的技术要求、试验方法、检验规则，标志、标签和随行文件，以及包装、运输和贮存。

本文件适用于化学吸收法捕集低浓度二氧化碳吸收剂的生产和检测。

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 1884 原油和液体石油产品密度实验室测定法（密度计法）

GB/T 6678 化工产品采样总则

GB/T 6680 液体化工产品采样通则

GB/T 6682 分析实验室用水规格和试验方法

GB/T 8170 数值修约规则与极限数值的表示和判定

GB/T 21603 化学品 急性经口毒性试验方法

GB/T 22235 液体黏度的测定

GB/T 28137 农药持久起泡性测定方法

3 术语和定义

3.1

二氧化碳吸收剂 carbon dioxide absorption solution

吸收二氧化碳的化学物质。

[来源：T/CSES 41-2021 5.5，有修改]

3.2

循环吸收容量 cycling absorption capacity

在多次（通常为 10 次）吸收和解吸循环过程中，吸收剂能够稳定吸收二氧化碳的量，以 $\text{mol CO}_2/\text{kg}$ 吸收剂表示。

3.3

吸收速率 absorption rate

单位时间内，单位质量吸收剂吸收二氧化碳的摩尔数，以 $\text{mol CO}_2/(\text{kg 吸收剂} \cdot \text{min})$ 表示。

3.4

解吸速率 desorption rate

单位时间内，单位质量饱和吸收的吸收剂在指定条件下解吸二氧化碳的摩尔数，以 $\text{mol CO}_2/(\text{kg}$

吸收剂·min)表示。

3.5

热氧稳定性 thermal-oxidative stability

化合物在高温和氧气存在条件下抵抗氧化降解的能力。在特定的温度和氧气压力下，能够保持化学结构和性能不发生显著变化的能力，通常通过诱导期来衡量。

3.6

诱导期 induction period

在特定的温度和氧气压力下，热氧稳定性测试中，从试验开始到试样压力下降超过一定值所需的时间。诱导期越长，表明化合物的热氧稳定性越好。它是衡量化合物在高温和氧气环境下稳定性的关键指标。

3.7

热氧稳定性指数 thermal-oxidative stability index

经过 10 次吸收解吸循环使用后，CO₂ 饱和吸收剂氧化安定性诱导期与新鲜的 CO₂ 饱和吸收剂氧化安定性诱导期之间的比值。

3.8

SO₂ 敏感性指数 SO₂ sensitivity index

反映烟气中 SO₂ 对吸收剂性能影响的参数，测定时向烟气中添加 100 μL/L SO₂ 气体，以吸收剂循环吸收容量与不添加 SO₂ 时吸收剂循环吸收容量的比值表示，%。

3.9

NO₂ 敏感性指数 NO₂ sensitivity index

反映烟气中 NO₂ 对吸收剂性能影响的参数，测定时向烟气中添加 100 μL/L NO₂ 气体，以吸收剂循环吸收容量与不添加 NO₂ 时吸收剂循环吸收容量的比值表示，%。

4 技术要求

4.1 通用要求

4.1.1 烟气低浓度二氧化碳吸收剂的技术要求包括性能指标、安全性等方面，以确保吸收剂的高效性、稳定性和环境友好性。

4.1.2 循环吸收容量在多次使用后仍能保持稳定，使用寿命一般在 24000 h 以上。

4.2 性能指标

烟气低浓度二氧化碳吸收剂的性能指标要求应符合表 1 的规定。

表 1 烟气低浓度二氧化碳吸收剂性能指标

序号	指标	要求
1	外观	无色或浅黄色透明液体
2	密度 (g/cm ³)	25 °C, 0.87~1.15
3	动力黏度 (mPa · s)	40 °C, ≤ 8
4	起泡体积 (mL)	25 °C, ≤ 10
5	循环吸收容量 (mol CO ₂ /kg 吸收剂)	≥ 1.2
6	吸收速率 (mol CO ₂ /(kg 吸收剂 · min))	≥ 0.20
7	解吸速率 (mol CO ₂ /(kg 吸收剂 · min))	≥ 0.20
8	解吸率 (%)	≥ 95
9	热氧稳定性指数 (%)	≥ 95
10	钢片腐蚀速率 (mm/a)	≤ 0.05
11	SO ₂ 敏感性指数 (%)	≤ 3
12	NO ₂ 敏感性指数 (%)	≤ 3

4.3 安全性要求

4.3.1 化学稳定性

烟气低浓度二氧化碳吸收剂化学稳定性要求包括但不限于以下内容：

- 1) 吸收剂在储存和使用过程中应保持化学稳定性，不发生分解或变质。
- 2) 吸收剂应具有良好的热氧稳定性，其热氧稳定性指数应符合表 1 的要求。

4.3.2 腐蚀性

烟气低浓度二氧化碳吸收剂腐蚀性要求包括但不限于以下内容：

- 1) 吸收剂对设备的腐蚀性应比较低，钢片腐蚀速率应符合表 1 的要求。
- 2) 吸收剂在使用过程中应避免与强酸、强碱等腐蚀性物质接触。

4.3.3 毒性

烟气低浓度二氧化碳吸收剂毒性要求包括但不限于以下内容：

- 1) 吸收剂成品应通过急性经口毒性试验 (GB/T 21603)，LD₅₀>2000 mg/kg (体重) 方可判定为“实际无毒”；若 LD₅₀≤2000 mg/kg，则须在化学品安全技术说明书 (SDS) 中给出“吸入/皮肤接触/误食”的急救措施，并在外包装加贴“有害”标识。
- 2) 原料及副产物不得含有《危险化学品目录》(最新版) 中列为“剧毒”或“致癌性 1A/1B”类物质；若含有“皮肤腐蚀性 1C”或“呼吸道致敏 1”类组分，其质量分数须 ≤0.1%，并在标签上明示“可能致敏”。

5 试验方法

5.1 烟气低浓度二氧化碳吸收剂的外观使用目测法，应为无色或浅黄色透明液体。

5.2 烟气低浓度二氧化碳吸收剂的密度按照 GB/T 1884 有关规定进行。

5.3 烟气低浓度二氧化碳吸收剂的动力黏度按照 GB/T 22235 有关规定进行。

- 5.4 烟气低浓度二氧化碳吸收剂的起泡体积按照 GB/T 28137 有关规定进行。
- 5.5 烟气低浓度二氧化碳吸收剂的循环吸收容量按照附录 A 有关规定进行。
- 5.6 烟气低浓度二氧化碳吸收剂的吸收速率按照附录 E 有关规定进行。
- 5.7 烟气低浓度二氧化碳吸收剂的解吸速率按照附录 F 有关规定进行。
- 5.8 烟气低浓度二氧化碳吸收剂的解吸率按照附录 G 有关规定进行。
- 5.9 烟气低浓度二氧化碳吸收剂的热氧稳定性指数按照附录 I 有关规定进行。
- 5.10 烟气低浓度二氧化碳吸收剂的钢片腐蚀速率按照附录 J 有关规定进行。
- 5.11 烟气低浓度二氧化碳吸收剂的 SO₂ 敏感性指数按照附录 K 有关规定进行。
- 5.12 烟气低浓度二氧化碳吸收剂的 NO₂ 敏感性指数按照附录 L 有关规定进行。

6 检验规则

6.1 检验项目

6.1.1 出厂检验

出厂检验项目应包括表 1 中外观、密度、动力粘度、起泡体积。

6.1.2 型式检验

型式检验项目应包括表 1 中规定的所有项目，应在以下情况下进行：

- 1) 新产品试制鉴定时；
- 2) 产品在设计、工艺或材料有重大改变时；
- 3) 出厂检验结果与上次型式检验结果有较大差异时；
- 4) 国家质量监督机构提出要求时；
- 5) 用户提出要求时。

6.2 组批规则和采样方案

6.2.1 组批规则

每批不大于 20 t，每批均应抽样检验；也可以按照用户要求组批。

6.2.2 采样方案

采样点数的确定应符合 GB/T 6678、GB/T 6680 的规定，烟气低浓度二氧化碳吸收剂采样量不得少于 2000 mL，采出全部样品经混合均匀后分为两份，一份为检验样品，另一份为保留样品，分别装入样品瓶内密封，贴上标签，注明产品名称、型号、批号、样品量、取样日期、取样人、取样地点等。保留样品保存时间为该批烟气低浓度二氧化碳吸收剂的使用周期，以备核查。

6.3 判定规则

检验结果的判定采用 GB/T 8170 中规定的修约值比较法。检验结果全部符合本文件第 4 章要求为合格。如果检验有不合格项时，应重新抽取双倍样品进行复查，复验结果有一项不合格项时，判定为不合格。

7 标志、标签和随行文件

7.1 标志和标签

7.1.1 标志内容

烟气低浓度二氧化碳吸收剂的包装桶上应有牢固且清晰的标志，标志内容应包括但不限于以下信息：

- 1) 产品名称：烟气低浓度二氧化碳吸收剂
- 2) 型号：具体型号标识（如有）
- 3) 批号：生产批次编号
- 4) 净含量：包装内吸收剂的重量或体积
- 5) 执行文件编号：本文件编号（如 T/CIECCPA XXX—202X）
- 6) 生产日期：产品生产的具体日期
- 7) 保质期：产品推荐的使用期限
- 8) 生产厂名称和地址：生产厂家的名称和详细地址
- 9) 化学品安全技术说明：包括预防措施、事故响应、安全储存、废弃处理等内容
- 10) 危险标识：如有必要，应标明“危险”“有毒有害”等警示标识
- 11) 其他重要信息：如储存条件、使用说明等

7.1.2 标签

如果吸收剂属于危险化学品，包装上应明确标注“危险”“有毒有害”等警示标识，并按照国家相关标准和法规要求进行标识，样式可参考附录 M。

7.2 随行文件

每批生产的产品交付时都应附有质量证明书和化学品安全技术说明书（MSDS），质量证明书上至少包括第 4 章规定的所有项目的检验结果以及检验日期、检验员签章等信息。

8 包装、运输和贮存

8.1 包装

烟气低浓度二氧化碳吸收剂应用清洁的聚乙烯塑料桶包装，每桶净含量为 1 t。用户对包装规格和包装材质有特殊要求时，由供需双方协商确定。

8.2 运输

烟气低浓度二氧化碳吸收剂在运输过程中应采取防雨、防潮、防晒措施。应装载在清洁、干燥的运输工具内，确保包装桶固定牢固，避免剧烈撞击。运输过程中应尽量避免吸收剂暴露在极端温度下，建议保持运输环境温度在 5℃至 40℃之间。运输工具应配备必要的应急设备，如灭火器、泄漏应急处理工具等，以应对可能发生的意外情况。如发生泄漏，用砂土吸附后按危险废物处置。

8.3 贮存

烟气低浓度二氧化碳吸收剂应贮存在通风、干燥、避雨、防火、应急的库房内。

附 录 A

(规范性)

吸收剂循环吸收容量的测定

A.1 方法提要

按照附录 B 和附录 C 的方法，测定第 10 次饱和吸收和解吸循环中的 CO₂ 负载量，两者之差定义为吸收剂循环吸收容量。

A.2 结果计算

吸收剂循环吸收容量按式 A.1 计算：

$$R_c = R_{10_rich} - R_{10_lean} \dots\dots\dots (A.1)$$

式中：

R_c ——吸收剂循环吸收容量，单位为 mol CO₂/kg 胺溶液；

R_{10_rich} ——第 10 次饱和吸收富液的 CO₂ 负载量，单位为 mol CO₂/kg 胺溶液；

R_{10_lean} ——第 10 次解吸后贫液的 CO₂ 负载量，单位为 mol CO₂/kg 胺溶液。

取三次平行测定结果的算术平均值为报告结果。三次平行测定结果的绝对差值不大于 0.5%。

附 录 B

(资料性)

CO₂ 饱和吸收试验

B.1 方法提要

用 O₂、N₂ 和 CO₂ 的混合气体模拟烟气的组成,将 N₂ 和 CO₂ 分别经过减压阀、流量控制器、压力表和气体混合装置按一定比例充分混合(O₂:N₂:CO₂=8:77:15(摩尔比)),以便得到模拟的工业烟气,将其通入吸收剂中进行 CO₂ 吸收。吸收过程中的温度由温度计测量,并由水浴锅的温度控制器控制温度,确保吸收温度稳定,同时在吸收装置出气位置连接冷凝管,避免气体流动造成水分和有机胺溶剂的流失,保证有吸收剂的浓度不会发生变化。

B.2 试剂

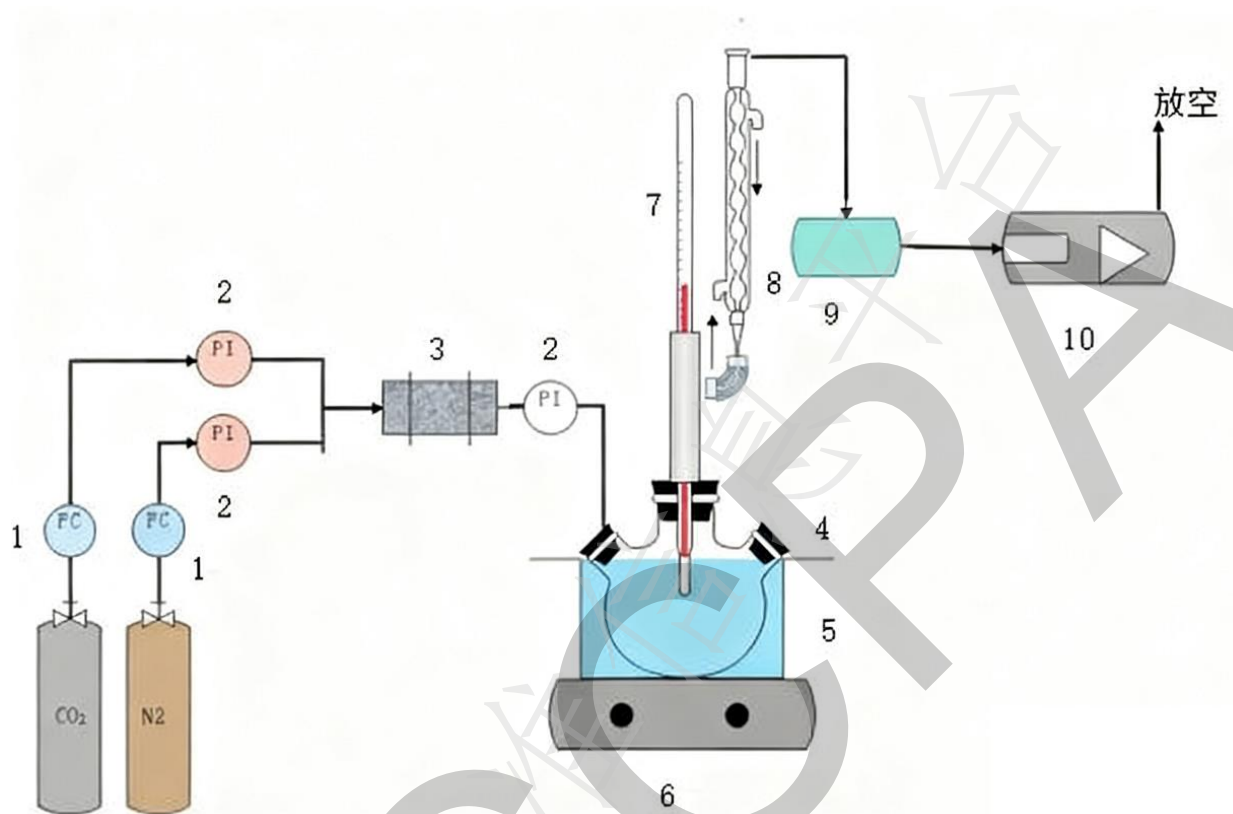
B.2.1 CO₂, 纯度 ≥ 99.9%B.2.2 N₂, 纯度 ≥ 99.9%B.2.3 O₂, 纯度 ≥ 99.9%B.3 CO₂ 吸收试验

B.3.1 吸收装置

CO₂ 吸收试验装置示意图见图 B.1。

B.3.2 CO₂ 吸收步骤

- 1) 通入 N₂, 检查装置的气密性;
- 2) 称取一定质量的(约 100 g)吸收剂到 250 mL 的三口烧瓶中;
- 3) 用 N₂ 吹扫整个系统,使整个系统为 N₂ 气氛;
- 4) 调节 O₂、N₂ 和 CO₂ 钢瓶气体流量,使混合气流的压力为 5 kPa,混合气体的浓度为 8%O₂、15%CO₂、77%N₂;
- 5) 等混合气流浓度稳定后,将混合气流引入到吸收瓶中,控制混合气体流速 30~50 mL/min,计时开始吸收反应,过程中控制水浴温度为 40℃,搅拌速度为 300 rpm,实时记录 CO₂ 检测出口气体的浓度;
- 6) 当 CO₂ 分析仪检测的出口 CO₂ 浓度与进入吸收装置的 CO₂ 浓度对比无变化时,视为吸收剂已达到 CO₂ 的饱和吸收,记录结束吸收的时间,停止吸收反应。



标引序号说明：

1——流量控制器；2——压力指示器；3——气体混合装置；4——三口烧瓶；5——水浴锅；6——磁力搅拌器；7——温度计；8——冷凝管；9——干燥器；10——CO₂分析仪

图 B. 1 CO₂吸收装置示意图

附 录 C

(资料性)

CO₂解吸再生试验

C.1 方法提要

将吸收 CO₂ 饱和后的吸收溶液转移至再生装置中,通过油浴锅加热提高吸收剂的温度进行解吸(再生)。

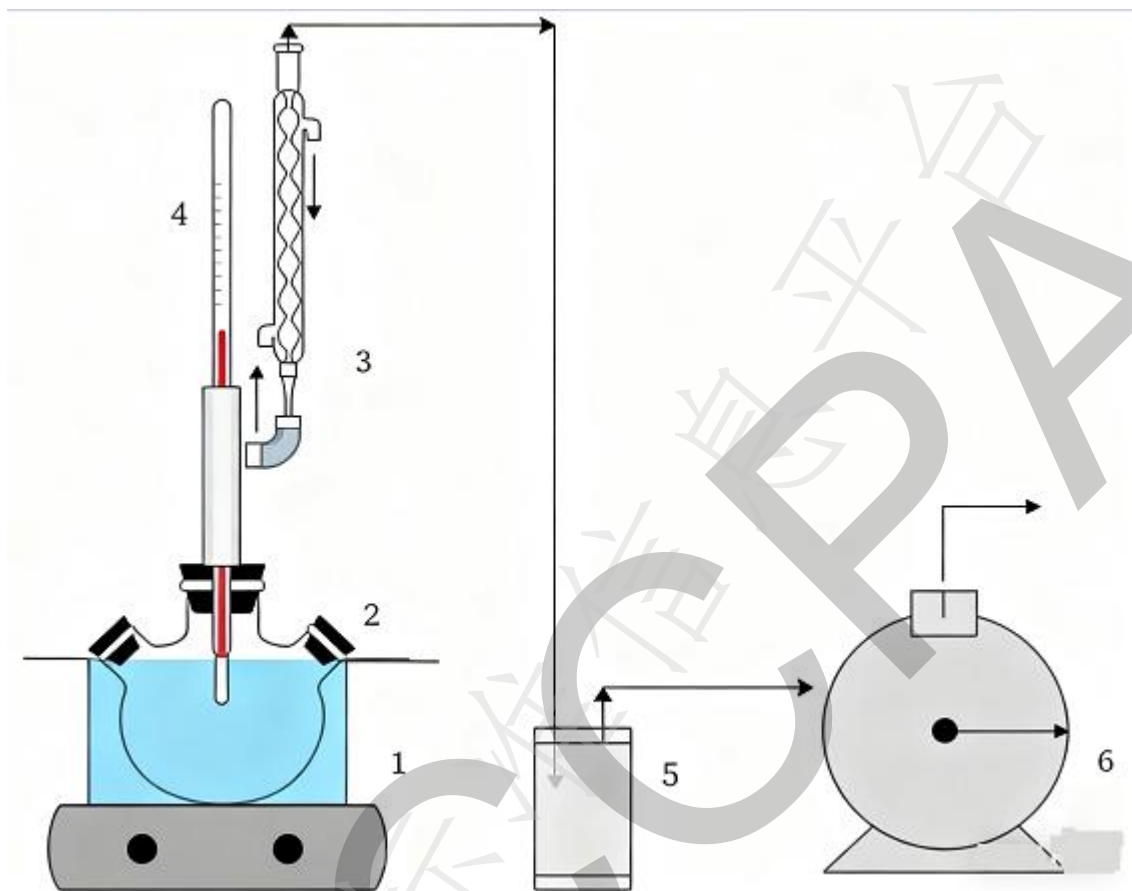
C.2 吸收剂 CO₂ 解吸再生试验

C.2.1 解吸装置

吸收剂 CO₂ 解吸再生试验装置示意图见图 C.1。

C.2.2 解吸试验步骤

- 1) 用 N₂ 吹扫再生系统,使整个系统为 N₂ 气氛;
- 2) 将一定质量(约 100 g)吸收 CO₂ 饱和后的吸收溶液转移至再生装置中,通过油浴锅加热快速提高吸收剂的温度至 120 °C,当有 CO₂ 逐渐溢出时,开始计时;
- 3) 再生后的 CO₂ 气体进入湿气流量计,实时记录不同时间流量计的示数;
- 4) 当出口没有气体溢出,即湿气流量计示数一段时间内(5 s)不再变化时,认为已再生完毕,记录时间,停止再生试验。



标引序号说明：

1——恒温油浴锅；2——三口烧瓶；3——冷凝管；4——温度计；5——CO₂饱和液；6——湿式气体流量计

图 C.1 吸收剂 CO₂解吸再生装置示意图

附 录 D

(资料性)

CO₂负载量测定(排体积法)

D.1 方法提要

向吸收剂样品中滴加过量的强酸,强行将吸收剂与 CO₂ 形成的不稳定性胺基甲酸盐中的 CO₂ 充分释放出来,再根据气体摩尔体积换算出吸收剂 CO₂ 负载量。

D.2 试剂

D.2.1 盐酸-水标准滴定溶液

$c(\text{HCl}) = 1.0 \text{ mol/L}$, 用去离子水做介质, 配制。使用前标定。

D.2.2 甲基橙指示剂

溶解 0.1 g 甲基橙于 100 mL 水中, 搅拌均匀即可。

D.2.3 去离子水, 电导率 $< 1.0 \mu\text{S/cm}$, 符合 GB/T 6682 二级水的规格。D.3 吸收剂 CO₂负载量测定(排体积法)

D.3.1 滴定装置

滴定试验装置包括: 磁力搅拌、锥形瓶、酸式滴定管、量气管、水位瓶等, 仪器示意图见图 D.1。

D.3.2 分析步骤

- 1) 配制 1 mol/L 的 HCl 溶液, 装满酸式滴定管;
- 2) 移取一定质量的待测的胺吸收剂(约 2 g 为宜, 具体通过电子天平称量确定)到带有磁子的容积为 100 mL 的干净锥形瓶中。之后, 将 2~3 滴甲基橙指示剂剂和约 20 mL 去离子水也加入到锥形瓶中, 盖紧瓶塞, 确保气密性;
- 3) 控制水位瓶和量气管内的液面保持一致, 记录量气管内溶液的初始体积 V_1 。关闭放空阀, 打开磁力搅拌, 拧动酸式滴定管旋塞, 开始滴定, 使待测液和 HCl 反应生成 CO₂, 后经过排气管排向量气管, 将量气管内的溶液压向水位瓶;
- 4) 当锥形瓶内溶液到达滴定终点时(无色→红色), 控制滴加速度至量气瓶的液面不再下降后关闭滴定管旋塞, 调节水位瓶与量气管的液面相平, 记录量气管内液体体积 V_2 。完成吸收剂 CO₂ 负载量测定试验。

D.3.3 结果计算

吸收剂 CO₂ 负载量, 按式 D.1 计算:

$$R = \frac{V_2 - V_1}{22.4w} \times \frac{273.15}{273.15 + T} \quad \text{..... (D.1)}$$

式中:

R ——胺吸收剂的 CO₂ 负载量, 单位为 mol CO₂/kg 胺溶液;

w ——移取的胺吸收剂的质量, 单位为克 (g);

V_1 ——滴定前水位瓶和量气管内的液面保持一致时量气管的液面刻度值, 单位为毫升 (mL);

V_2 ——滴定后水位瓶和量气管内的液面保持一致时量气管的液面刻度值, 单位为毫升 (mL);

T ——室温, °C。

取三次平行测定结果的算术平均值为报告结果。三次平行测定结果的绝对差值不大于 0.5%。

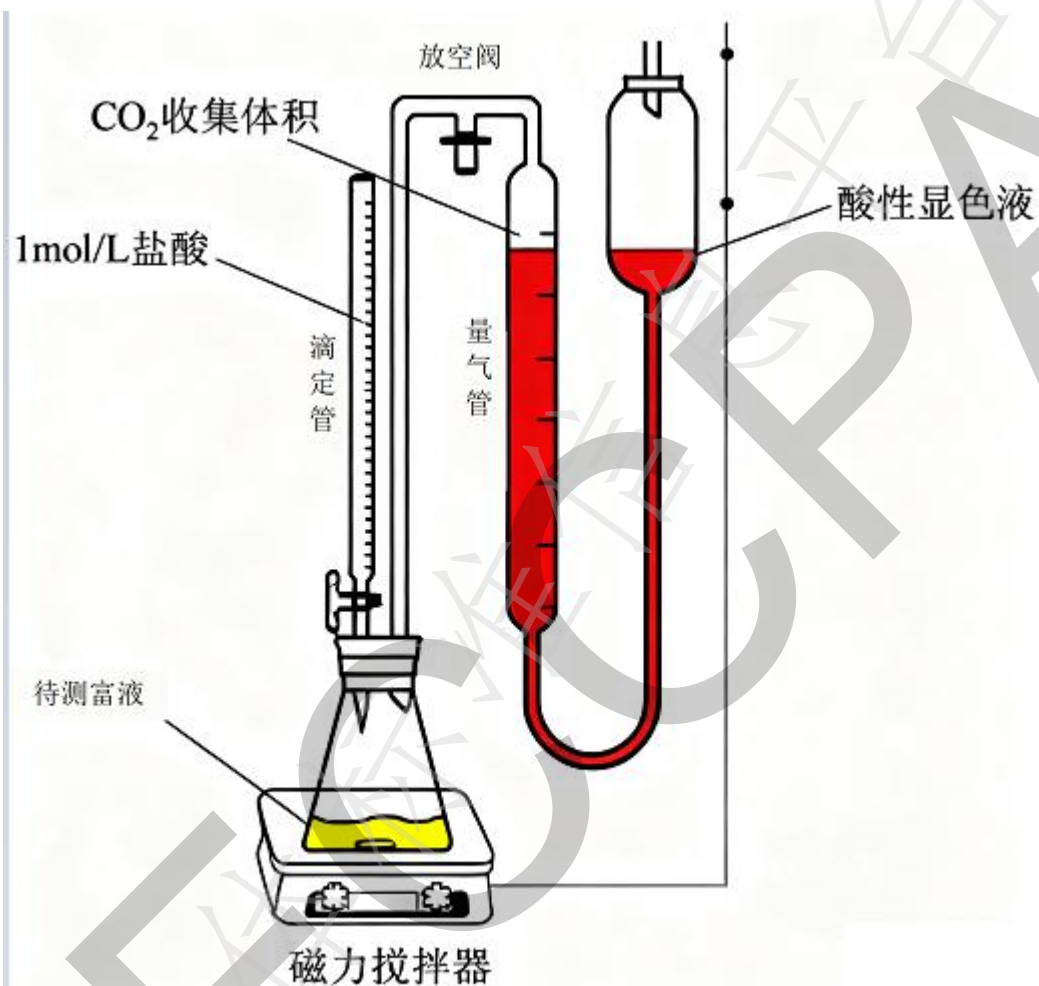


图 D.1 测量吸收剂中 CO₂ 负载量的滴定试验装置示意图

附 录 E

(规范性)

吸收速率的测定

E.1 方法提要

吸收速率定义为：单位时间、单位质量吸收剂吸收 CO₂ 分子的摩尔数。按照附录 B 的方法进行第 10 次饱和吸收，记录吸收的起始时间和终止时间。按照附录 A 的方法计算得到第 10 次循环吸收容量，即可计算得到吸收剂的 CO₂ 吸收速率。

E.2 结果计算

吸收剂 CO₂ 吸收速率按式 E.1 计算：

$$r = \frac{60 \times R_c}{t_{2_10in} - t_{1_10in}} \quad (E.1)$$

式中：

r ——吸收速率，单位为 mol CO₂/（kg 吸收剂 • min）；

R_c ——第 10 次循环吸收容量，单位为 mol CO₂/kg 吸溶液；

t_{2_10in} ——第 10 次饱和吸收起始时间，单位为 s；

t_{1_10in} ——第 10 次饱和吸收终止时间，单位为 s。

取三次平行测定结果的算术平均值为报告结果。三次平行测定结果的绝对差值不大于 0.5%。

附 录 F

(规范性)

解吸速率的测定

F.1 方法提要

解吸速率定义为：单位时间、单位质量饱和吸收的吸收剂在指定条件下解吸出来的 CO₂ 分子的摩尔数。按照附录 C 的方法进行第 10 次饱和吸收剂的解吸，记录解吸的起始时间和终止时间，按照附录 A 的方法得到第 10 次循环吸收容量，即可计算得到吸收剂的 CO₂ 解吸速率。

F.2 结果计算

吸收剂 CO₂ 解吸速率按式 F.1 计算：

$$\varphi = \frac{60 \times R_c}{t_{2_10out} - t_{1_10out}} \quad \text{..... (F.1)}$$

式中：

φ ——解吸速率，单位为 mol CO₂/（kg 吸收剂 • min）；

R_c ——第 10 次循环吸收容量，单位为 mol CO₂/kg 吸溶液；

t_{2_10out} ——第 10 次饱和吸收剂解吸的起始时间，单位为 s；

t_{1_10out} ——第 10 次饱和吸收剂解吸的终止时间，单位为 s。

取三次平行测定结果的算术平均值为报告结果。三次平行测定结果的绝对差值不大于 0.5%。

附 录 G

(规范性)

解吸率的测定

G.1 方法提要

解吸率定义为:单位质量饱和吸收剂解吸后贫液的 CO₂ 负载量与解吸前富液的 CO₂ 负载量的比值。按照附录 B 的方法,进行第 10 次再生液的 CO₂ 饱和吸收;按照附录 C 的方法进行第 10 次饱和吸收剂的解吸,按照附录 D 的方法测量吸收剂解吸前后的 CO₂ 负载量,即可计算得到吸收剂的 CO₂ 解吸率。

G.2 结果计算

吸收剂 CO₂ 解吸率按式 G.1 计算:

$$x = \left(1 - \frac{R_{10_lean}}{R_{10_rich}}\right) \times 100\% \dots\dots\dots (G.1)$$

式中:

x ——吸收剂 CO₂ 解吸率, %;

R_{10_rich} ——第 10 次饱和吸收富液的 CO₂ 负载量,单位为 mol CO₂/kg 胺溶液;

R_{10_lean} ——第 10 次解吸后贫液的 CO₂ 负载量,单位为 mol CO₂/kg 胺溶液。

取三次平行测定结果的算术平均值为报告结果。三次平行测定结果的绝对差值不大于 0.5%。

附 录 H

(资料性)

热氧稳定性测定

H.1 方法提要

将 CO₂ 饱和吸收剂和金属催化剂放入带盖的玻璃盛样器内，置于装有压力表的氧弹中，氧弹充入 0.2 MPa 压力的氧气，放入规定的恒温油浴中(120 °C)，使其以 100 rpm 的速度与水平面成 30° 角度轴向旋转。试验达到规定的压力降所需的时间(min)，即为试样的氧化安定性（诱导期）。

H.2 试剂

H.2.1 O₂，纯度 ≥ 99.9%H.2.2 N₂，纯度H.2.3 硝酸铁，(Fe(NO₃)₃·9H₂O，化学纯

H.2.4 无水乙醇，纯度 ≥ 99.5%

H.3 吸收剂热氧稳定性测定

H.3.1 旋转氧弹

旋转氧弹试验组件包括：氧弹、带有四个孔的聚四氟乙烯盖子的玻璃盛样器、固定弹簧、压力表、温度计和试验油浴，仪器示意图见图 H.1。

H.3.2 分析步骤

- 1) 用无水乙醇清洗玻璃容器、四氟乙烯盖子、氧弹体、平盖和弹柄内侧，并用氮气吹干；
- 2) 取 (Fe(NO₃)₃·9H₂O 0.500 g (精确至 0.1 mg)，用去离子水溶解并定容至 100 mL 容量瓶中，配成 5.00 mg/mL ((Fe(NO₃)₃·9H₂O 计) 的储备液；
- 3) 向盛样器内加入按附录 B 得到的饱和吸收剂样品约 100 g，10.0 mL 步骤 2) 所述储备液 (硝酸铁 (Fe(NO₃)₃·9H₂O 含量 500 ppm)，具体用量依据添加的饱和吸收剂样品的质量确定。将样品盛样器轻轻滑入弹体中。在盛样器上盖上聚四氟乙烯盖子，并在聚四氟乙烯盖子的顶部放置一个固定弹簧。在氧弹平盖密封槽中的 O 形密封圈的外层涂上一层薄薄的硅酮润滑脂来提供润滑，把氧弹平盖插入氧弹体中；
- 4) 将氧气瓶的出口管线连接到氧弹弹柄的进口阀上，慢慢拧开氧气输送阀门直到压力达到 0.2 MPa。关上氧气输送阀门，拧松接头或使用一个泄放阀慢慢释放压力。重复吹扫步骤两次以上；吹扫步骤要持续大约 3min。调节氧气调节阀，在室温 25 °C 下使压力达到 0.2 MPa。当氧弹充满至所需的压力后，用手关紧进口阀门。并把氧弹浸入水中试漏（试漏后的要擦去氧弹表面的水分或吹风机吹干）；
- 5) 开启油浴搅拌、加热，在转速度 100 rpm±5 rpm 搅拌情况下，使油浴达到规定的试验温度 120 °C。待油浴温度恒定在 120 °C±0.1 °C 范围后，将氧弹插入转动架中，待氧弹压力不再升高后，记录开始时间。当压力从最高点下降超过 0.1 MPa 时，记录结束时间，完成试验；
- 6) 试验结束后，从油浴中取出氧弹并冷却到室温。缓慢释放掉氧弹中的气压，用无水乙醇清洗氧弹；

- 7) 试验开始时间与结束时间的差值,即为样品氧化安定性的诱导期,单位为 min。
取三次平行测定结果的算术平均值为报告结果。三次平行测定结果的绝对差值不大于 0.5%。

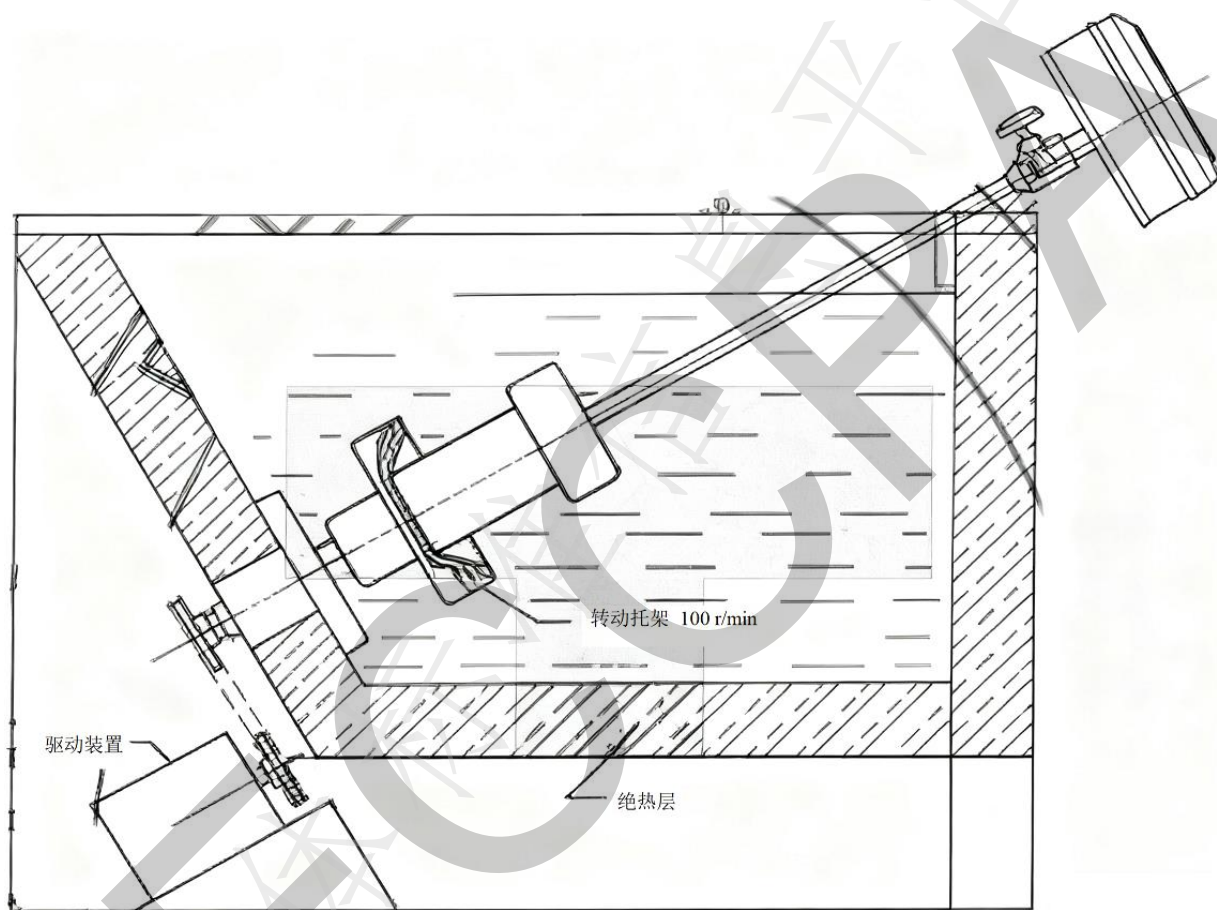


图 H.1 旋转氧弹示意图

附录 I

(规范性)

热氧稳定性指数的测定

I.1 方法提要

按照附录 B 的方法,进行新鲜吸收剂的 CO₂ 饱和吸收以及第 10 次再生后的吸收剂的 CO₂ 饱和吸收;按照附录 H 的方法,分别进行氧化安定性诱导期的测量,即可计算得到吸收剂的热氧稳定性指数。

I.2 结果计算

吸收剂热氧稳定性指数按式 I.1 计算:

$$O_{idx} = \frac{RT_{10}}{RT_0} \times 100\% \dots\dots\dots (I.1)$$

式中:

O_{idx} ——吸收剂热氧稳定性指数, %;

RT_{10} ——第 10 次饱和吸收剂的氧化安定性诱导期, 单位为 min;

RT_0 ——新鲜吸收剂饱和吸后的氧化安定性诱导期, 单位为 min。

取三次平行测定结果的算术平均值为报告结果。三次平行测定结果的绝对差值不大于 0.5%。

附 录 J

(规范性)

CO₂吸收剂腐蚀性的测定

J.1 方法提要

在一定条件下,将钢片浸没于 CO₂ 饱和吸收剂中一段时间。称量钢片质量变化,从而测得钢片在 CO₂ 吸收剂中的腐蚀速率。

J.2 原料

J.2.1 待测钢片,尺寸为: 10mm×10mm×2mm

J.2.2 去离子水,电导率 <1.0 μs/cm,符合 GB/T 6682 二级水的规格

J.2.3 无水乙醇,化学纯

J.3 CO₂吸收剂腐蚀性的测定

J.3.1 腐蚀待测钢片预处理

待测钢片先后使用 240 目及 500 目的砂纸打磨,对边缘进行处理以减少边缘效应。用去离子水及无水乙醇进行洗涤,在烘箱中干燥,之后置于氮气气氛自封袋内备用,防止样品的表面氧化。

J.3.2 反应釜检漏

- 1) 在反应釜中装入 20 mL 去离子水,并记录反应釜初始质量;
- 2) 将反应釜放入强制对流烘箱中,设定温度 120 °C,放置一天;
- 3) 取出反应釜,记录结束质量。

检漏前后质量差小于 0.1 g 的反应釜视为密闭性良好,可以进行后续热腐蚀试验。

J.3.3 腐蚀试验

将密闭性检测合格的反应釜和内衬烘干,称量预处理好的待测钢片质量,记录 m_0 。将待测钢片浸没于装有一定体积按附录 B 得到的 CO₂ 饱和吸收剂的内衬中(足以浸没试样材料,图 J.1 所示),用分隔件分隔后盖上内衬盖,内衬放入反应釜后拧紧盖子。设定恒温烘箱温度为 120 °C,待温度恒定至 120 °C±0.1 °C后,将反应釜放入烘箱,连续恒温 120 °C热处理 144 h±5 min 进行腐蚀试验。

J.3.4 腐蚀待测钢片后处理

腐蚀试验完成后,待测钢片用去离子水及无水乙醇洗涤,然后用烘箱烘干,凉至室温称重 m_1 。

J.3.5 结果计算

CO₂吸收剂腐蚀速率计算,按式 J.1 计算:

$$C = \frac{8760 \times (m_0 - m_1)}{S \times t \times \rho} \dots\dots\dots (J.1)$$

式中:

C ——腐蚀速率,单位为毫米/年,(mm/a);

m_0 ——待测钢片腐蚀前的重量,单位为克(g);

m_1 ——待测钢片腐蚀后的重量,单位为克(g);

S ——待测钢片表面积,单位为平方厘米(cm²);

t ——腐蚀试验持续时间，单位为小时（h）；

ρ ——待测钢片的密度，单位为克/立方厘米（ g/cm^3 ）。

取三次平行测定结果的算术平均值为报告结果。三次平行测定结果的绝对差值不大于 0.5%。



图 J. 1 CO_2 吸收剂腐蚀性测定反应釜及内衬示意图

附 录 K

(规范性)

SO₂ 敏感性指数的测定

K.1 方法提要

SO₂ 敏感性指数定义为：模拟烟气中添加 100 ppm SO₂ 气体与否时，测得的吸收剂循环吸收容量的比值。测量方法为：在 O₂:N₂:CO₂=8:77:15（摩尔比）组成的模拟烟气中添加 100 ppm 的 SO₂ 气体，按照附录 A 的方法，分别用 O₂:N₂:CO₂=8:77:15（摩尔比）组成的模拟烟气和外加有 100 ppm SO₂ 气体的模拟烟气，测量吸收剂的循环吸收容量，即可计算得到吸收剂的 SO₂ 敏感性指数。

K.2 结果计算

SO₂ 敏感性指数按式 K.1 计算：

$$S_{SO_2} = (1 - \frac{R_{c_{SO_2}}}{R_c}) \times 100\% \dots\dots\dots (K.1)$$

式中：

S_{SO_2} ——吸收剂的 SO₂ 敏感性指数，%；

R_c ——以 O₂:N₂:CO₂=8:77:15（摩尔比）组成的模拟烟气测得的循环吸收容量，单位为 mol CO₂/kg 胺溶液；

$R_{c_{SO_2}}$ ——以 O₂:N₂:CO₂=8:77:15（摩尔比）以及外加 100 ppm SO₂ 气体组成的模拟烟气测得的循环吸收容量，单位为 mol CO₂/kg 胺溶液。

取三次平行测定结果的算术平均值为报告结果。三次平行测定结果的绝对差值不大于 0.5%。

附录 L

(规范性)

NO₂ 敏感性指数的测定

L.1 方法提要

NO₂ 敏感性指数定义为：模拟烟气中添加 100 ppm NO₂ 气体与否时，吸收剂循环吸收量的比值。
测量方法为：在 O₂:N₂:CO₂=8:77:15（摩尔比）组成的模拟烟气中添加 100 ppm 的 NO₂ 气体，按照附录 A 的方法，分别用 O₂:N₂:CO₂=8:77:15（摩尔比）组成的模拟烟气和外加有 100 ppm NO₂ 气体的模拟烟气，测量吸收剂的循环吸收容量，可计算得到吸收剂的 NO₂ 敏感性指数。

L.2 结果计算

NO₂ 敏感性指数按式 L.1 计算：

$$S_{NO_2} = \left(1 - \frac{R_{c_NO_2}}{R_c}\right) \times 100\% \quad \text{..... (L.1)}$$

式中：

S_{NO_2} ——吸收剂的 NO₂ 敏感性指数，%；

R_c ——以 O₂:N₂:CO₂=8:77:15（摩尔比）组成的模拟烟气测得的循环吸收容量，单位为 mol CO₂/kg 胺溶液；

$R_{c_NO_2}$ ——以 O₂:N₂:CO₂=8:77:15（摩尔比）以及外加 100 ppm NO₂ 气体组成的模拟烟气测得的循环吸收容量，单位为 mol CO₂/kg 胺溶液。

取三次平行测定结果的算术平均值为报告结果。三次平行测定结果的绝对差值不大于 0.5%。

附 录 M

(资料性)

标签示例

M.1 标签示例

烟气低浓度二氧化碳吸收剂的标签样式可参考图 M.1。



图 M.1 烟气低浓度二氧化碳吸收剂标签示例

参 考 文 献

- [1] T/CSES 41 二氧化碳捕集利用与封存术语
-