

ICS XX. XXX. XX

CCS X XX

团体标准

T/CIECCPA □□□—202□

二氧化碳电催化转化增值

Value-added through electrocatalytic conversion of carbon dioxide

（征求意见稿）

（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。）

202□-□□-□□ 发布

202□-□□-□□ 实施

中国工业节能与清洁生产协会发布

CIECCCPA

目 次

前 言.....III

1 范围.....1

2 规范性引用文件.....1

3 术语和定义.....2

4 技术要求.....2

 4.1 系统组成.....2

 4.2 基本要求.....2

 4.3 设备要求.....3

 4.4 材料要求.....4

 4.5 设计与结构要求.....4

 4.6 外观质量要求.....4

 4.7 耐磨防腐要求.....4

 4.8 旁通要求.....4

 4.9 监测控制要求.....4

 4.10 环境适应性要求.....5

5 试验方法.....5

 5.1 主要设备检验.....5

 5.2 材料检验.....5

 5.3 设计与结构检验.....5

 5.4 外观质量检查.....5

 5.5 材水压/气压试验.....5

 5.6 耐磨防腐检验.....5

 5.7 旁通试验.....5

 5.8 监测控制测试.....6

 5.9 环境适应性测试.....6

 5.10 焊接质量检验.....6

 5.11 性能测试.....6

6 检验规则.....6

 6.1 检验分类.....6

 6.2 出厂检验.....6

 6.3 安装检验.....7

 6.4 性能检验.....7

 6.5 判定规则.....7

7 标志和文件.....7

7.1 固定产品标志.....7

7.2 包装和储运标志.....7

7.3 文件.....7

8 包装、运输和贮存.....7

8.1 包装.....7

8.2 运输.....7

8.3 贮存.....8

附录 A（资料性） 二氧化碳电催化转化系统典型工艺流程9

附录 B（资料性） 膜反应器10

附录 C（资料性） CO₂ 纯化装置.....11

附录 D（资料性） CO₂ 电催化转化气态产物分离纯化装置.....12

表 1 二氧化碳电催化转化系统检验项目及要求的..... 7

图 A.1 二氧化碳电催化转化系统典型工艺流程图 9

图 B.1 膜反应器图 10

图 C.1 CO₂ 纯化装置图..... 11

图 D.1 CO₂ 电催化转化气态产物分离纯化装置图..... 12

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：北京国电电力有限公司、浙江菲达环保科技股份有限公司。

本文件主要起草人：

本文件为首次发布。

CIECCCPA

二氧化碳电催化转化增值技术规范

1 范围

本文件规定了二氧化碳电催化转化增值工程的术语和定义，总体技术要求，二氧化碳反应器预处理，反应装置和催化剂筛选，产物分离与纯化，试验方法、安装调试运行和维护技术规范。

本文件适用于高纯度二氧化碳电催化转化增值的设计和制造。

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 150（所有部分） 压力容器
- GB/T 191 包装和储运的标志
- GB/T 700 碳素结构钢
- GB/T 772 高压绝缘子瓷件 技术条件
- GB/T 6388 运输包装收发货标志
- GB/T 13296 锅炉、热交换器用不锈钢无缝钢管
- GB/T 13306 标牌
- GB/T 13384 机电产品包装通用技术条件
- GB/T 16507.4 水管锅炉 第4部分:受压元件强度计算
- GB/T 16507.6 水管锅炉 第6部分:检验、试验和验收
- GB/T 17116.1 管道支吊架 第1部分:技术规范
- GB/T 18301 耐火材料 常温耐磨性试验方法
- GB/T 19804 焊接结构的一般尺寸公差和形位公差
- GB/T 23938 高纯二氧化碳
- GB/T 24511 承压设备用不锈钢和耐热钢钢板和钢带
- GB/T 32201 气体流量计
- GB/T 41118 机械安全 安全控制系统设计指南
- GB 50016 建筑设计防火规范
- GB 50017 钢结构设计标准
- GB 50128 立式圆筒形钢制焊接储罐施工规范
- GB 50160 石油化工企业设计防火规范
- GB 50205 钢结构工程施工质量验收标准
- GB 50236 现场设备、工业管道焊接工程施工规范
- GB 50264 工业设备及管道绝热工程设计规范
- GB 50316 工业金属管道设计规范

GB 50727 工业设备及管道防腐蚀工程施工质量验收规范

GB/T 51316 烟气二氧化碳捕集纯化工程设计标准

HY/T 061 中空纤维微滤膜组件

NB/T 47041 塔式容器

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

增值产品 Value-added products

增值产品包括一氧化碳、甲酸、乙酸、乙烯、甲醇、乙醇、甲烷、乙烷。

3.2

CO₂ 纯化器 CO₂ purifier

提高 CO₂ 纯度的设备

3.3

流量计 Flowmeter

对 CO₂ 气体流速进行控制的设备

3.4

膜反应器 Membrane reactors

对 CO₂ 进行电催化转化的设备。

3.5

分离纯化装置 Separation and purification device

对 CO₂ 转化产品进行分离纯化的设备。

3.6

储存罐 Storage tanks

对二氧化碳转化产物进行储存的装备。

4 技术要求

4.1 系统组成

二氧化碳电催化转化系统由CO₂纯化器、流量计、CO₂还原装置（膜反应器）、分离纯化装置和储存罐等五部分设备组成。见图A.1二氧化碳电催化转化系统典型工艺流程图。

4.2 基本要求

4.2.1 二氧化碳电催化转化系统由CO₂纯化器、流量计、CO₂还原装置（膜反应器）、分离纯化装置和储存罐等五部分设备组成。见图A.1二氧化碳电催化转化系统典型工艺流程图。

4.2.2 二氧化碳电催化转化系统应符合本文件的要求，并按照经规定程序批准的产品图样及技术文件制造、安装、调试及验收。如有特殊要求，应在订货合同或技术协议中注明。

4.2.3 经CO₂纯化装置后的气体条件应符合GB/T 23938的要求。

4.2.4 二氧化碳电催化转化反应设备设计寿命应不低于主体系统使用寿命。

4.2.5 二氧化碳电催化转化反应设备的负荷变化速率应与主体工程负荷变化速率相适应，二氧化碳电催化转化设备可用率应不小于98%。

4.2.6 二氧化碳电催化转化系统焊接件技术要求应符合GB/T 19804的规定。

4.3 设备要求

4.3.1 CO₂纯化装置

4.3.1.1 纯化装置应与旁路、监测配套使用，其设计、制造、安装、调试和验收应符合GB/T 51316的规定。

4.3.1.2 纯化装置的布置应符合主体工程总体布置、工艺流程、安全生产和环境保护的要求，并符合GB 50016和GB 50160的规定。

4.3.1.3 纯化装置设计使用寿命应不低于主体工程的使用寿命，可用率应大于98%。

4.3.2 流量计

4.3.2.1 在设计工况条件下，进口 CO₂ 气体最大压力应满足设备安装要求。

4.3.2.2 流量计要稳定控制 CO₂ 反应气的流速，避免反应过程中气体流速波动，导致反应装置的工况不稳。

4.3.2.3 总管道处的流量计的进气流速根据组装的膜反应器个数确定；分管道处流量计气体流速根据膜反应器调试结果确定。

4.3.3 CO₂还原装置（膜反应器）：

4.3.3.1 CO₂还原装置由大量单个膜反应器串并联组成，单个膜反应器由电极、膜、电解质构成，电极一般采用气体扩散电极，通过沉积法进行制备，其中催化剂应根据具体的转化产物进行选择。

4.3.3.2 膜反应器的工业电流密度最低应不低于 200mA cm⁻²，法拉第效率应大于 80%，催化剂活性不低于 100A g⁻¹。

4.3.3.3 当电解液为KOH等低粘度溶液时，循环泵宜选用蠕动泵，当电解液为离子液体等高粘度溶液时，液体循环泵宜选用离心泵。

4.3.3.4 可通过增设温度控制装置提高电催化转化过程的稳定性和催化剂活性。

4.3.3.5 膜反应器应密封，使用前应检查密封性并充分预热。

4.3.3.6 电耗、水耗等为按需检验项目，检验结果应符合设计要求

4.3.3.7 产品生成的选择性、活性与稳定性应该满足经济性要求。

4.3.4 分离纯化设备

4.3.4.1 气态 CO₂ 还原产物使用膜分离法分离纯化，液态 CO₂ 还原产物使用蒸馏法分离纯化。

4.3.4.2 分离纯化设备的处理速度应该不小于产品的生成速度。

4.3.5 储存罐

4.3.5.1 液体产品储存罐要密封，注意检查是否漏液；气态产品储存在密封高压气罐中，气罐须满足相关国家标准。

4.3.5.2 储存材质应根据具体产物选择，储存过程中应避免产物与储存容器反应，储存场所应干燥、通

风良好。

4.3.6 配套系统

4.3.6.1 绝缘子设计应符合 GB/T 772 的规定；

4.3.6.2 管道使用的不锈钢无缝钢管应符合 GB/T 13296 的规定，检验应符合 GB/T 16507.4 的规定；试验和验收应符合 GB/T 16507.6 的规定；

4.3.6.3 管道支吊架应符合 GB/T 17116.1 的规定；

4.3.6.4 金属管道设计规范应符合 GB 50316 的规定。

4.4 材料要求

4.4.1 设备主体材质应根据工作条件和介质特性选择，应具有足够的强度、耐腐蚀性和耐高温性能。

4.4.2 外壳体材料宜以碳钢材料为主，对于接触腐蚀性介质的部位，应采用防腐材料或做防腐处理；

4.4.3 系统内部管道宜采用防腐性能不低于 S31603 的不锈钢或非金属防腐材质；

4.4.4 对于腐蚀性强的电解液，电解槽材料表面应使用合成树脂、橡胶等材料进行覆盖。

4.5 设计与结构要求

4.5.1 反置器的设计应充分考虑二氧化碳的流动特性和反应动力学，采用合理的结构形式，以提高反应效率和选择性。

4.5.2 设备的结构应具备良好的密封性和稳定性，能够承受工作压力和温度的变化，同时便于拆卸和维修。

4.6 外观质量要求

4.6.1 设备整体表面应平整、光滑，无明显凹凸不平、划痕、裂纹、锈蚀等缺陷。设备标识（如设备名称、型号、规格、制造商、生产日期等）应清晰、准确。

4.6.2 设备各部件连接处应紧密、牢固，无松动、错位现象，焊接部位应平整、光滑，焊缝应符合相关标准，无裂纹、夹渣等缺陷。紧固件（如螺栓、螺母等）应齐全、完好，无缺失、损坏现象。

4.7 耐磨防腐要求

4.7.1 与二氧化碳及反应介质直接接触的部件应选用耐腐蚀、耐磨的材料，如不锈钢、钛合金等，并进行表面处理，如钝化、镀膜等，以增强其耐腐蚀性和耐磨性。

4.7.2 设备的内表面应涂覆耐腐蚀涂层，涂层应均匀、无剥落、起泡现象，且应符合相关标准的要求。

4.7.3 对于易磨损部位，如阀门阀芯、搅拌部件等，应采用耐磨材料或进行表面硬化处理，以提高其使用寿命。

4.8 旁通要求

4.8.1 旁通系统的设计应能够在主设备故障或维护时迅速切换，保证生产流程的连续性和稳定性。

旁通系统应具备自动切换和手动切换两种功能，切换过程应平稳、迅速。

4.8.2 旁通管道和阀门的规格和参数应与主管道相匹配，能够满足正常生产的流量和压力要求。

旁通管道和阀门的尺寸和性能应经过合理计算和选型，以确保在旁通状态下能够维持生产的正常运行。

4.9 监测控制要求

4.9.1 监测与控制系统应能够实时准确地测量温度、压力、电流、电压、气体流量和成分等关键参数，

并将数据传输至中央控制室。

4.9.2 控制系统应具备自动调节和手动控制两种模式，能够根据预设的工艺参数对反应条件进行精确控制。

4.9.3 报警系统应能够及时发现异常情况，并发出声光报警信号，提醒操作人员采取相应的措施。

4.10 环境适应性要求

4.10.1 环境温度、pH、湿度、压力等参数应满足 CO₂ 还原装置的工作条件。

4.10.2 控制设备内介质的成分、温度、pH 值等参数，以减少对设备的腐蚀和磨损，或采用电化学保护方法，如阴极保护、阳极保护等，来减缓设备的腐蚀速率。

5 试验方法

5.1 主要设备检验

5.1.1 塔器纯化装置构件、零件和装置内设备的安装偏差应按 NB/T 47041 和 GB 50128 执行，并考虑制造和安装的影响，如焊缝收缩等。膜分离纯化装置应符合 HY/T 061 的要求。

5.1.2 流量计的检验应按 GB/T 32201 执行。

5.1.3 CO₂ 还原装置采用目视法对外观进行检查，包括膜组件、反应器壳体、连接件等是否完好无损，无裂纹、变形等缺陷。

5.1.4 储存罐的检验应按 GB/T 150（所有部分）执行。

5.2 材料检验

所有构件钢材检验除注明外均采用如下标准：

- a) 不锈钢的力学性能、化学成分和可焊性应按 GB/T 24511 执行；
- b) 普通碳钢的力学性能、化学成分和可焊性等应按 GB/T 700 执行；

5.3 设计与结构检验

二氧化碳电催化转化系统的设计应按 GB 50017 的执行。

5.4 外观质量检查

5.4.1 采用目视检查的方法，在充足的自然光或照明条件下，距离设备表面 0.5-1 米处，对设备的外观进行全面检查。

5.5 水压/气压试验

按照相关标准的规定，对设备进行水压或气压试验，试验压力和保压时间应符合设计要求。

5.6 耐磨防腐检验

二氧化碳电催化转化系统防腐检验应按 GB 50727 执行；设备及管道的保温检验应按 GB 50264 执行。二氧化碳电催化转化系统的耐磨检验应按 GB/T 18301 执行。

5.7 旁通试验

在正常运行条件下，模拟主设备故障或维护情况，进行旁通系统的自动和手动切换试验，检查切换过程的平稳性和响应时间。测量旁通状态下的流量和压力，与设计值进行对比，验证旁通系统的性能是否满足要求。

5.8 监测控制测试

- 5.8.1 模拟各种工况变化，检查监测系统对关键参数的测量准确性和响应速度。
- 5.8.2 验证控制系统对参数变化的调节能力，观察控制效果是否符合设计要求。

5.9 环境适应性测试

- 5.9.1 将设备置于不同的环境条件下，如高温、高湿、腐蚀性气体环境等，进行一定时间的运行测试。
- 5.9.2 检查设备在环境变化后的性能和外观，评估其环境适应性是否满足要求。

5.10 焊接质量检验

现场设备、管道的焊缝质量检验应按 GB 50236 执行，焊接气密性可用煤油渗透法检验，密封性焊缝应按 100%检验，钢结构的焊缝质量检验应按 GB 50205 执行。其中，所有承压件的对接焊缝应进行 100%的射线检测(RT)或超声检测(UT)。

5.11 性能测试

5.11.1 性能测试条件

性能测试宜在移交试生产 2 个月后、6 个月内进行，应选择有资质的第三方测试单位进行性能试验。按现行合适的标准给出试验方法，并按相应标准执行。

5.11.2 性能测试

分离纯化产品性能应按照相关操作规范使用离子色谱和气相色谱进行检验，应达到设计规定的指标要求。

6 检验规则

6.1 检验分类

6.1.1 二氧化碳电催化转化增值系统的检验分为出厂检验、安装检验和性能检验

6.2 出厂检验

- 6.2.1 每套二氧化碳电催化转化系统所有零部件应经制造厂质量检验部门检验合格方可交付使用。
- 6.2.2 检验项目见表 1。

表 1 二氧化碳电催化转化系统检验项目及要

序号	项目名称	“要求” 的章条号	“试验方法” 的章条号	出厂 检验	安装 检验	性能 检验
1	主要设备检验	4.3	5.1、5.11	√	√	—
2	材料要求	4.5	5.2	√	√	—
3	设计与结构要求	4.6	5.3	√	√	—
4	外观质量要求	4.7	5.4、5.5、5.10	√	√	—
10	耐磨防腐要求	4.8	5.6	√	√	—
11	旁通要求	4.9	5.7	√	√	—
12	监测控制要求	4.10	5.8	√	√	—
13	环境适应性要求	4.11	5.9	—	√	—
注：打“√”表示要检验的项目，“—”表示不需要检验的项目。						
a 项目为按需检验项目。						

6.3 安装检验

安装检验在现场进行，检验项目见表 1。

6.4 性能检验

二氧化碳电催化转化系统性能检验项目见表 1。

6.5 判定规则

性能检验项目符合要求，则判定为合格。若有不合格项时，允许对其进行调整、消缺，重新做性能检验。

7 标志和文件

7.1 固定产品标志

应在合适而明显位置上固定产品标牌，其型式和尺寸应符合 GB/T 13306 的规定，应在衬里设备外表面标明“严禁碰撞”、“严禁施焊”等警告语句。主要应包括以下内容：

- a) 制造单位名称或商标；
- b) 设备型号及名称；
- c) 设计处理能力；
- d) 设备外形尺寸；
- e) 设备执行的标准号；
- f) 设备编号；
- g) 生产日期。

7.2 包装和储运标志

包装和储运的标志应符合 GB/T 191 和 GB/T 6388 的规定。

7.3 文件

应随机提供安装、运行、维护等阶段的文件资料，主要应包括以下内容：

- a) 设备总图、系统图、基础图和安装图等；
- b) 设备总清单、材料清单、备件清单和耗材清单等；
- c) 安装技术要求等；
- d) 使用说明文件、运行维护手册等。

8 包装、运输和贮存

8.1 包装

8.1.1 包装应符合 GB/T 13384 的规定。

8.1.2 零部件及外购件应在出厂检验合格后方可进行包装。

8.1.3 包装箱内应有产品合格证。

8.2 运输

8.2.1 运输时应应对设备的接管法兰表面加以保护，采用合理装载加固措施，对易变形的部件应有在运输和贮存环节不致发生损坏的包装措施。

8.2.2 产品要用干燥、有遮篷运输工具运输，在运输过程中，应防止雨淋、水浸、压轧、撞击和玷污。

8.3 贮存

8.3.1 建设过程中，钢结构件及大件设备可露天存放。

8.3.2 电子产品及保温材料不应露天存放。

8.3.3 设备配件箱库存。

8.3.4 供需双方对零部件应妥善保管、贮存。

附录 A

(资料性)

二氧化碳电催化转化系统典型工艺流程

二氧化碳电催化转化系统典型工艺流程如图 A.1 所示。二氧化碳电催化转化系统由 CO_2 纯化装置、流量计、 CO_2 还原装置（膜反应器）、分离纯化和储存罐等五部分设备组成。含有 CO_2 的烟气首先经过 CO_2 纯化器以产生高纯度的 CO_2 ，然后采用空压设备通过管道并经由流量计通入到 CO_2 反应装置（膜反应器）。 CO_2 在电能的作用下转化为气态产品和（或）液态产品。具体生成的产物可由膜反应器中的电极调控。含气体产物的 CO_2 气流和含有液态产品的电解质在分离纯化装置的作用下分离产品、 CO_2 和电解质。分离纯化后的产品储存在储存罐中。分离后的 CO_2 和电解质循环使用。

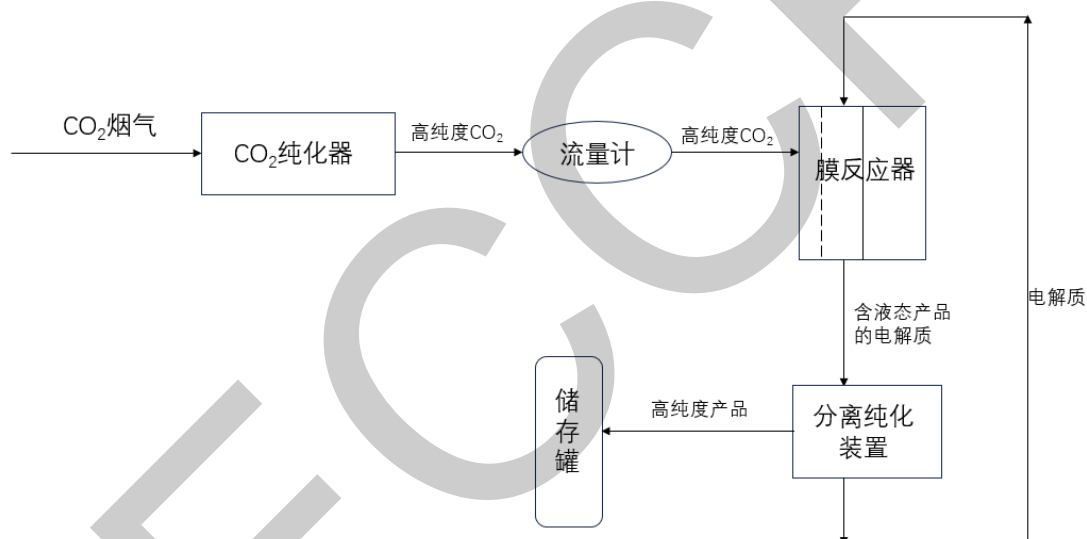


图 A.1 二氧化碳电催化转化系统典型工艺流程图

附录 B

(资料性)

膜反应器

膜反应器如图 B.1 所示。膜反应器由外壳、阴阳极、膜组成。膜反应器被膜分割成两个部分，即阴极室和阳极室。阴极室和阳极室均有电解质入口和电解质出口。其中，阴极室有 CO_2 气体进气口和出口。 CO_2 在阴极表面发生反应并被转化为产物。阴极和阳极分别于电源连接。

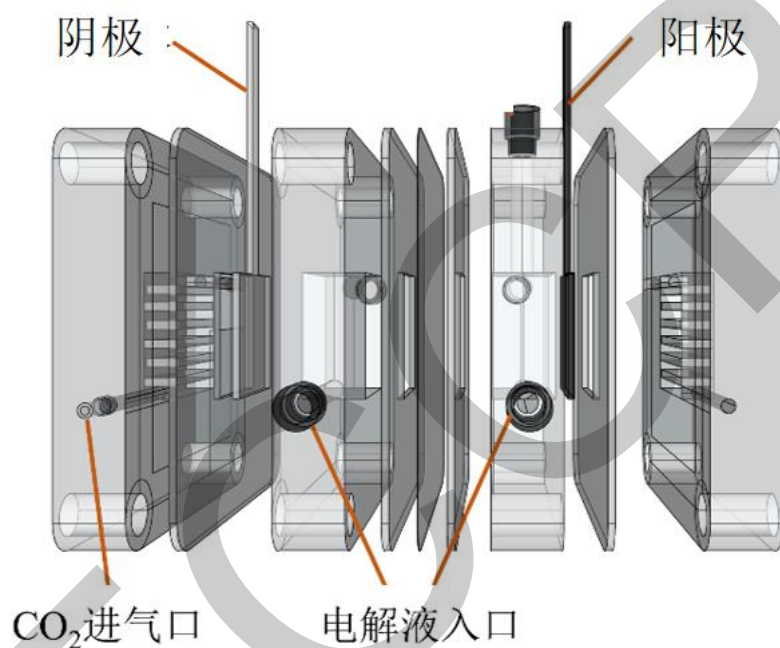


图 B.1 膜反应器图

附录 C
(资料性)
CO₂纯化装置

CO₂纯化装置如图 C.1 所示。CO₂纯化装置的主要功能部分是中空分离膜。

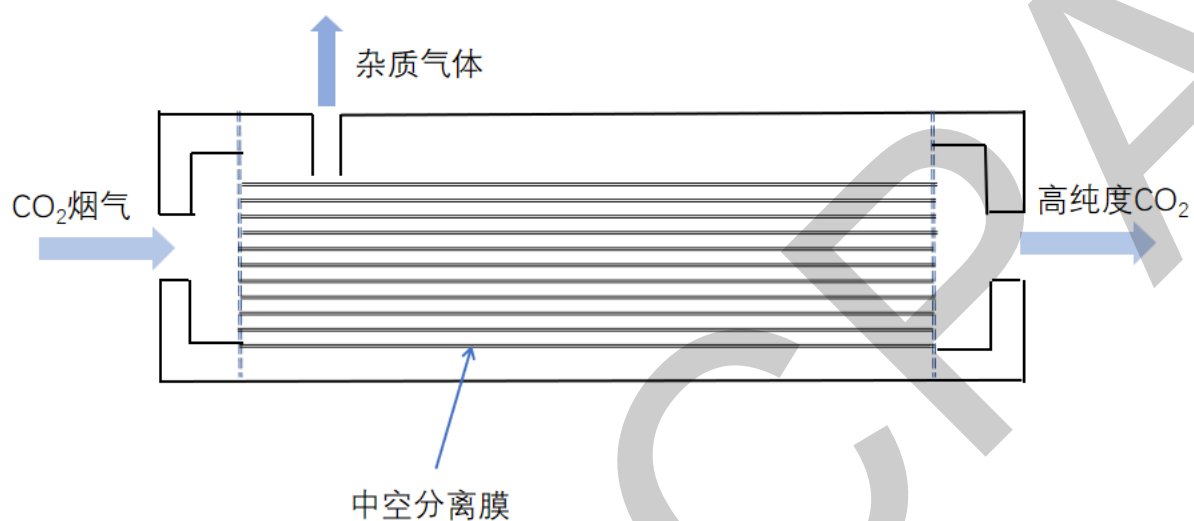


图 C.1 CO₂纯化装置图

附录 D

(资料性)

CO₂电催化转化气态产物分离纯化装置

CO₂电催化转化气态产物分离纯化装置如图 D.1 所示。

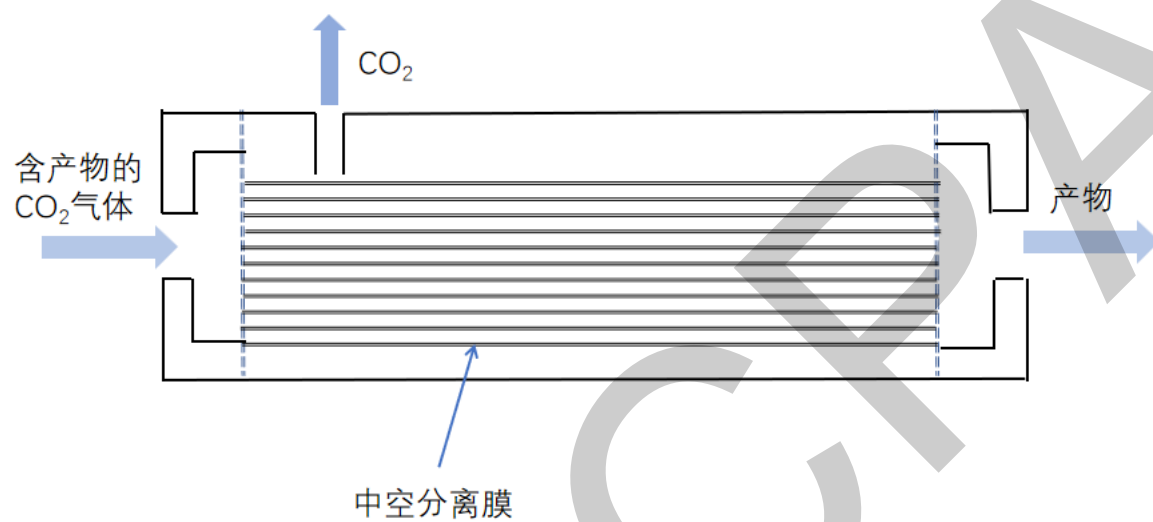


图 D.1 CO₂电催化转化气态产物分离纯化装置图