

ICS 13.020.01
CCS Z 06

团体标准

T/CIECCPA 058—2024

二氧化碳电催化还原增值设备

Value-added equipment of carbon dioxide electrocatalytic reduction

2024-12-27 发布

2025-01-02 实施

中国工业节能与清洁生产协会 发布

CLECCRA

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 组成..... 2

5 技术要求..... 2

 5.1 通用要求..... 2

 5.2 性能要求..... 3

 5.3 设备要求..... 3

 5.4 材料要求..... 4

 5.5 设计与结构要求..... 4

 5.6 外观质量要求..... 4

 5.7 耐磨防腐要求..... 4

 5.8 涂漆与保温要求..... 4

 5.9 旁通要求..... 5

 5.10 监测控制要求..... 5

 5.11 环境适应性要求..... 5

 5.12 焊接技术要求..... 5

 5.13 安全要求..... 5

6 试验方法..... 5

 6.1 主要设备试验..... 5

 6.2 材料试验..... 6

 6.3 设计与结构试验..... 6

 6.4 外观质量检查..... 6

 6.5 耐磨防腐试验..... 6

 6.6 涂漆与保温试验..... 6

 6.7 旁通试验..... 6

 6.8 监测控制试验..... 6

 6.9 环境适应性试验..... 6

 6.10 焊接质量试验..... 6

 6.11 接地电阻试验..... 6

 6.12 电气与控制试验..... 6

 6.13 性能测试..... 7

7 检验规则..... 7

7.1 检验分类..... 7

7.2 出厂检验..... 7

7.3 安装检验..... 8

7.4 性能检验..... 8

7.5 判定规则..... 8

8 标志和文件..... 8

8.1 固定产品标志..... 8

8.2 包装和储运标志..... 8

8.3 文件..... 8

9 包装、运输和贮存..... 9

9.1 包装..... 9

9.2 运输..... 9

9.3 贮存..... 9

附录 A（资料性） 二氧化碳电催化还原增值设备典型工艺流程 10

附录 B（资料性） 二氧化碳纯化器示意 11

附录 C（资料性） 膜反应器示意 12

图 A.1 二氧化碳电催化转还原典型工艺流程图 10

图 B.1 二氧化碳纯化器示意图 11

图 C.1 膜反应器示意图 12

表 1 二氧化碳电催化还原增值设备检验项目及要​​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。

本文件由中国工业节能与清洁生产协会提出并归口。

本文件起草单位：国电电力发展股份有限公司、浙江菲达环保科技股份有限公司、国家能源煤基能源碳捕集利用与封存技术研发中心、国能（北京）低碳科技有限责任公司、浙江省环保集团生态环保研究院有限公司、浙江环研碳集科技有限公司、中国工业节能与清洁生产协会。

本文件主要起草人：寻志伟、刘含笑、魏书洲、李歌、顾永正、贡玉萍、王天堃、朱江涛、刘美玲、张利勇、刘思远、王俊、吕旭东、张建虎。

本文件为首次发布。

CLECCRA

二氧化碳电催化还原增值设备

1 范围

本文件规定了二氧化碳电催化还原增值设备的组成、技术要求，描述了相应的试验方法，规定了检验规则、标志、文件、包装、运输和贮存。

本文件适用于二氧化碳浓度不低于 99%的电催化还原增值设备的制造。

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 压力容器
- GB/T 191 包装储运图示标志
- GB/T 700 碳素结构钢
- GB/T 772 高压绝缘子瓷件 技术条件
- GB 4053（所有部分） 固定式钢梯及平台安全要求
- GB/T 4208 外壳防护等级
- GB/T 6388 运输包装收发货标志
- GB/T 8174 设备及管道绝热效果的测试和评价
- 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 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 20042.4 质子交换膜 第 4 部分 电催化剂测试方法
- 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 26800 电导电极
- GB/T 30296 氯碱工业用全氟离子交换膜 测试方法
- GB/T 37400.12 重型机械通用技术条件 第 12 部分 涂装
- GB/T 39843 电子学特性测量 大面积超导膜的局域临界电流密度及其分布
- GB 50017 钢结构设计标准
- GB 50057 建筑物防雷设计规范
- GB 50128 立式圆筒形钢制焊接储罐施工规范
- 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 50254 电气装置安装工程 低压电器施工及验收规范
GB 50257 电气装置安装工程 爆炸和火灾危险环境电气装置施工及验收规范
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 50601 建筑物防雷工程施工与质量验收规范
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 47003.1 压力容器 第1部分：钢制焊接压力容器
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

二氧化碳纯化器 CO₂ purifier

用于去除杂质，将二氧化碳气体纯度提高到不低于99%的设备。

3.2

膜反应器 membrane reactor

由电极、膜和电解质构成的二氧化碳电催化还原装置。

注：含有专用催化剂的电极一般采用通过沉积法制备的气体扩散电极。

3.3

可用率 available rate

设备实际可用时间占计划运行总时间的比例。

3.4

分离纯化器 separation purifier

用于将混合物中不同组分进行分离并提纯到所需纯度的设备。

4 组成

二氧化碳电催化还原增值设备由二氧化碳纯化器、膜反应器、分离纯化器、储存罐和配套设备组成。
二氧化碳电催化还原增值设备典型工艺流程见附录A。

5 技术要求

5.1 通用要求

5.1.1 二氧化碳电催化还原增值设备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。

5.1.2 经二氧化碳纯化器后二氧化碳品质应符合 GB/T 23938 的规定。

5.1.3 膜反应器的设计寿命应不低于10年。

5.1.4 二氧化碳电催化还原增值设备可用率应不小于98%。

5.1.5 二氧化碳电催化还原增值设备焊接件的一般尺寸和形位公差应符合 GB/T 19804的规定。

5.2 性能要求

5.2.1 膜反应器的工业电流密度应不低于 300 mA/cm²。

5.2.2 电能转化为化学能的单程转化效率应大于 10%。

5.2.3 催化剂活性不低于 100 A/g。

5.3 设备要求

5.3.1 二氧化碳纯化器

5.3.1.1 二氧化碳纯化器宜采用管式膜反应器或螺旋膜反应器。

5.3.1.2 经二氧化碳纯化器纯化后的二氧化碳浓度应不低于99%。

5.3.1.3 二氧化碳纯化器可用率应大于98%。

5.3.1.4 二氧化碳纯化器示意图见附录B。

5.3.2 膜反应器

5.3.2.1 二氧化碳膜反应器由大量单个膜反应器串联或并联组成，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还原产物进行选择。

5.3.2.2 二氧化碳电催化还原采用直流电源供应，且输出电压和电流在一定范围内可以连续调节。

5.3.2.3 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，循环泵宜选用离心泵。

5.3.2.4 可通过增设温度控制装置提高电催化还原过程的稳定性和催化剂活性。应对系统温度进行控制和检测，避免温度过高导致反应效率下降。

5.3.2.5 膜反应器应密封，使用前应检查密封性并充分预热，需要对气体泄漏进行实时监测，并设置防爆设备。

5.3.2.6 在电催化还原反应中，可通过恒电流控制模式控制反应速率恒定，通过恒电压控制模式控制反应的选择性，对于负载的电解反应，采用多通道电源对不同反应单元的电流和电压进行分别控制。

5.3.2.7 正常运行条件下，膜组件的寿命不应低于 3 年。

5.3.2.8 二氧化碳膜反应器示意图见附录 C。

5.3.3 分离纯化器

5.3.3.1 分离纯化器的处理速度应大于产品的生成速度。

5.3.3.2 对于气态还原产物宜使用膜分离法分离纯化。

5.3.3.3 对于液态还原产物宜使用蒸馏法分离纯化。经气液分离后二氧化碳用于循环反应，液态还原产物通过沸点差异进行蒸馏提纯。

5.3.4 储存罐

5.3.4.1 液体产品储存罐应密封，气态产品储存在密封高压气罐中，气罐应满足 GB/T 150 的规定。

5.3.4.2 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。

5.3.5 配套设备

5.3.5.1 绝缘子设计应符合 GB/T 772 的规定。

5.3.5.2 管道使用的不锈钢无缝钢管应符合 GB/T 13296 的规定。

5.3.5.3 管道支吊架应符合 GB/T 17116.1 的规定。

5.3.5.4 金属管道设计应符合 GB 50316 的规定。

5.3.5.5 防雷装置的设计应符合 GB 50057 的规定。

5.4 材料要求

5.4.1 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。

5.4.2 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。

5.4.3 系统内部管道应采用防腐性能不低于 S31603 的不锈钢或非金属防腐材质。

5.4.4 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。

5.4.5 电极材料应具有良好的导电性、稳定性、耐腐蚀性和选择性，电极材料应根据还原产物类型进行确定，选择性通过负载催化剂进行调控。

5.4.6 隔膜材料应具有良好的离子传导性、化学稳定性和机械强度，一般采用聚合物电解质膜或离子交换膜，高温条件下宜使用无机膜或复合膜。

5.4.7 分离纯化器膜材料应具备高选择性和耐腐蚀性，宜选用无机膜。

5.5 设计与结构要求

5.5.1 膜反应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。

5.5.2 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。

5.6 外观质量要求

5.6.1 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。

5.6.2 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；紧固件（如螺栓、螺母等）应齐全、完好，无缺失、损坏现象。

5.7 耐磨防腐要求

5.7.1 与二氧化碳及反应介质直接接触的部件应选用防腐蚀、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），以增强其防腐蚀和耐磨性能。

5.7.2 设备的内表面应涂覆防腐蚀涂层，涂层应均匀、无剥落、起泡现象。

5.7.3 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。

5.8 涂漆与保温要求

5.8.1 涂漆及外观要求应符合 GB/T 37400.12 的规定。

5.8.2 应对膜反应器、电解液及管道进行保温处理，并符合 GB 50264 的规定。

5.9 旁通要求

5.9.1 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。

5.9.2 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。

5.10 监测控制要求

5.10.1 监测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。

5.10.2 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。

5.10.3 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。

5.11 环境适应性要求

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。

5.12 焊接技术要求

焊接应符合 GB 50661 的规定，确保焊缝质量，无气孔、夹渣等缺陷，焊缝高度、形状及强度需满足设计要求，同时应采取有效措施减小焊接变形和残余应力。

5.13 安全要求

5.13.1 楼梯、防护栏杆和平台等安全技术条件应符合 GB 4053 的规定。

5.13.2 楼梯、检修平台等处应设置照明装置。

5.13.3 电气和控制设备的防护等级应适应所在场所的环境条件。

5.13.4 为保证设备的运行安全性和稳定性，膜反应器接地电阻不应超过 $4\ \Omega$ 。接地电缆的截面应根据电流的大小和传输距离进行选择，一般选择截面较大的铜线或铝线，以保证电流能够顺利流向地面。

5.13.5 电源系统需要具备过载保护功能，在电流超过设定值时自动断电或降低电流。

5.13.6 应能实现人孔门、高压隔离开关柜门与高压供电电源的安全联锁。

5.13.7 危险化学品堆放和使用场所应设置明显的安全标志与安全告知牌，应符合 GB/T 51316 的规定。

6 试验方法

6.1 主要设备试验

6.1.1 二氧化碳纯化器的试验按 HY/T 061 执行。

6.1.2 膜反应器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。

6.1.3 采用膜分离发时分离纯化器的试验按 HY/T 061 执行，其余按 NB/T 47003.1 和 GB 50128 执

行。

6.1.4 储存罐的试验按 GB/T 150 执行。

6.2 材料试验

6.2.1 不锈钢的力学性能、化学成分按 GB/T 24511 执行。

6.2.2 普通碳钢的力学性能、化学成分按 GB/T 700 执行。

6.2.3 电极材料的试验按 GB/T 26800 执行。

6.2.4 膜材料的测试方法按 GB/T 30296 执行。

6.3 设计与结构试验

二氧化碳电催化还原增值设备的设计应按 GB 50017 的执行。

6.4 外观质量检查

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 0.5m-1m 处，对设备的外观进行全面检查。

6.5 耐磨防腐试验

二氧化碳电催化还原增值设备的耐磨检验应按 GB/T 18301 执行；二氧化碳电催化还原增值设备防腐检验应按 GB 50727 执行。

6.6 涂漆与保温试验

涂层漆膜厚度和漆膜附着力按 GB/T 37400.12 执行，保温效果试验按 GB/T 8174 执行。

6.7 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。

6.8 监测控制试验

6.8.1 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。

6.8.2 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。

6.9 环境适应性试验

6.9.1 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。

6.9.2 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。

6.10 焊接质量试验

现场设备、管道的焊缝质量试验按 GB 50236 和 NB/T 47041 执行，焊接气密性可用煤油渗透法试验，密封性焊缝按 100% 试验，钢结构的焊缝质量试验按 GB 50205 执行。

6.11 接地电阻试验

接地系统的试验按 GB 50601 执行。

6.12 电气与控制试验

6.12.1 电气装置安装工程低压电器的试验按 GB 50254 执行，爆炸和火灾危险环境电气装置试验按 GB 50257 执行。

6.12.2 应进行联锁保护试验,试验顺序控制和模拟量控制的准确性。控制系统应正确显示设备的运行参数、运行状态、记录历史运行参数和报警信息,并能实现设备设置参数的修改和设备开停操作。

6.12.3 用电设备、控制柜和现场操作箱外壳防护等级试验按 GB/T 4208 执行。

6.13 性能测试

6.13.1 性能测试条件

6.13.1.1 性能测试推荐在设备移交试生产后的 2 至 6 个月内进行,确保设备稳定运行一段时间后再评估其性能。测试应由具备相应资质的第三方单位执行,确保结果的客观性和准确性。

6.13.2 性能测试

6.13.2.1 膜反应器工业电流密度的检验按 GB/T 39843 执行。

6.13.2.2 转化效率的检验按公式(1)执行。

$$\eta = \frac{E_{\text{产物}}}{E_{\text{电}}} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (1)$$

式中:

η ——转化效率;

$E_{\text{产物}}$ ——还原产物所含的化学能, J;

$E_{\text{电}}$ ——总输入电能, J。

6.13.2.3 催化剂活性的检验按 GB/T 20042.4 执行。

7 检验规则

7.1 检验分类

7.1.1 二氧化碳电催化还原增值设备的检验分为出厂检验、安装检验和性能检验

7.2 出厂检验

7.2.1 每套二氧化碳电催化还原增值设备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。

7.2.2 检验项目见表 1。

表 1 二氧化碳电催化还原增值设备检验项目

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	膜反应器工业电流密度	5.2.1	6.12.2.1	—	—	√
2	转化效率	5.2.2	6.12.2.2	—	—	√
3	催化剂活性	5.2.3	6.12.2.3	—	—	√
4	二氧化碳纯化器	5.3.1	6.1.1	√	√	—
6	膜反应器	5.3.2	6.1.2	√	√	—
7	分离纯化器	5.3.3	6.1.3	√	√	—
8	储存罐	5.3.4	6.1.4	√	√	—
9	材料	5.4	6.2	√	√	—
10	设计与结构	5.5	6.3	√	√	—

表 1 二氧化碳电催化还原增值设备检验项目

11	外观质量	5.6	6.4	√	√	—
12	耐磨防腐	5.7	6.5	√	√	—
13	涂漆与保温	5.8	6.6	√	√	—
14	旁通	5.9	6.7	√	√	—
15	监测控制	5.10	6.8	√	√	—
16	环境适应性	5.11	6.9	—	√	—
17	焊接质量	5.12	6.10	√	√	—
18	接地电阻	5.13	6.11、6.12	√	√	—
注：打“√”表示要检验的项目，“—”表示不需要检验的项目。						

7.3 安装检验

安装检验在现场进行，检验项目见表 1。

7.4 性能检验

二氧化碳电催化还原装置性能检验项目见表 1。

7.5 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。

8 标志和文件

8.1 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。

8.2 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。

8.3 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。

9 包装、运输和贮存

9.1 包装

- 9.1.1 包装应符合 GB/T 13384 的规定。
- 9.1.2 零部件及外购件应在出厂检验合格后方可进行包装。
- 9.1.3 包装箱内应有产品合格证。

9.2 运输

- 9.2.1 运输时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。
- 9.2.2 产品应使用干燥、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。

9.3 贮存

- 9.3.1 建设过程中，钢结构件及大件设备可露天存放，但应采取必要防护措施。
- 9.3.2 电子产品及保温材料不应露天存放。
- 9.3.3 设备配件箱库存。
- 9.3.4 供需双方对零部件应妥善保管、贮存。

附录 A

(资料性)

二氧化碳电催化还原增值设备典型工艺流程

二氧化碳电催化还原增值设备典型工艺流程如图 A.1 所示。二氧化碳电催化还原增值由二氧化碳纯化器、膜反应器、分离纯化设备和储存罐组成。含有二氧化碳的烟气首先经过二氧化碳纯化器以产生高纯度的二氧化碳，然后采用空压设备通过管道并经由流量计通入到膜反应器。二氧化碳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。含气体产物的二氧化碳气流和含有液态产品的电解质在分离纯化器的作用下分离产品、二氧化碳和电解质。分离纯化后的产品储存在储存罐中。分离后的二氧化碳和电解质循环使用。

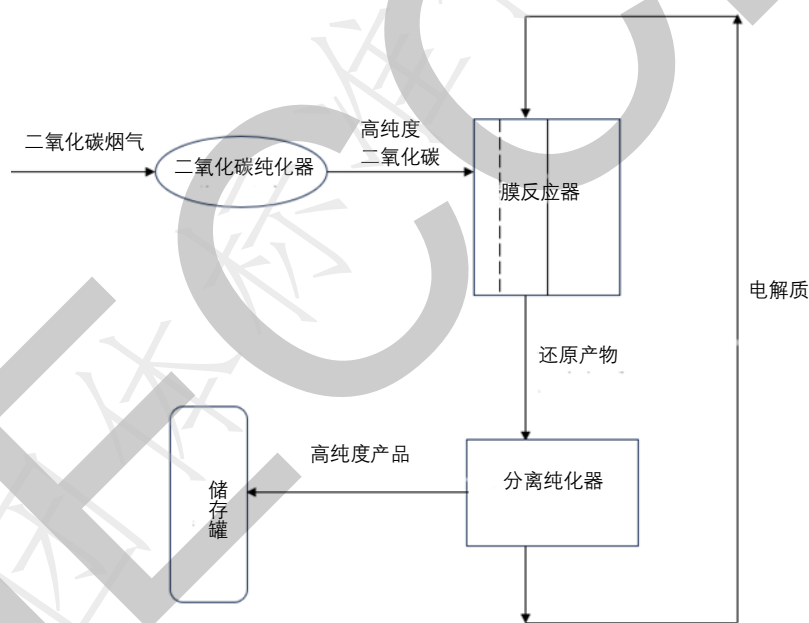


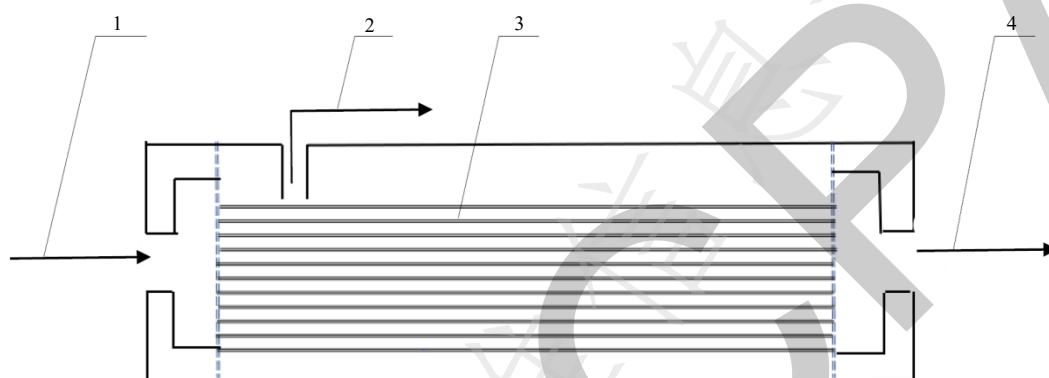
图 A.1 二氧化碳电催化还原增值设备典型工艺流程图

附录 B

(资料性)

二氧化碳纯化器示意

二氧化碳纯化器示意图 B.1。二氧化碳纯化器的主要功能部分是中空分离膜。

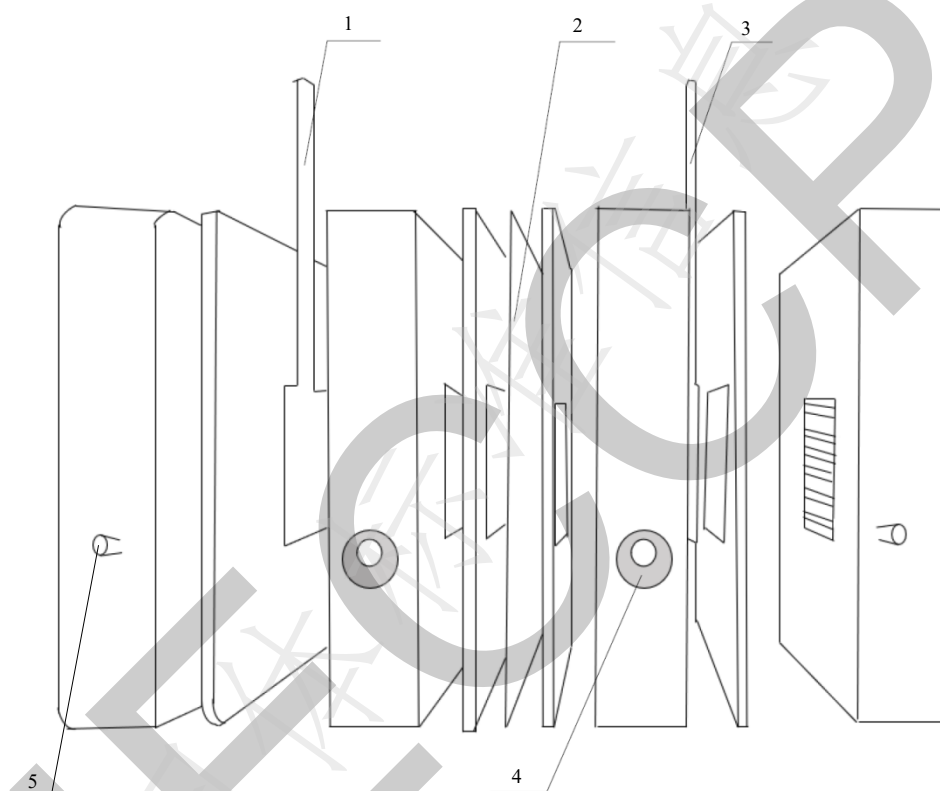


标引序号说明：1—二氧化碳烟气 2—杂质气体 3—中空纤维膜 4—高纯度二氧化碳

图 B.1 二氧化碳纯化器示意图

附录 C
(资料性)
膜反应器示意

膜反应器示意图 C.1。膜反应器主要由阴、阳极、膜和电解液组成。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，阴极室有二氧化碳气体进气口。二氧化碳在阴极表面发生反应并还原为产物。阴极和阳极分别于电源连接。



标引序号说明：1—阴极 2—膜 3—阳极 4—电解液入口 5—二氧化碳进气口

图 C.1 膜反应器示意图