

ICS XX.XXX.XX

CCS X XX

团体标准

T/CIECCPA □□□—202□

工业烟气二氧化碳捕集用换热器

Heat exchanger of carbon dioxide capture for industrial flue gas

(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

СЛЕДСТВИЕ

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 设备类型和组成.....	3
5 技术要求.....	3
5.1 通用要求.....	3
5.2 材料要求.....	3
5.3 性能要求.....	4
5.4 水洗液冷却器要求.....	4
5.5 洗涤液冷却器要求.....	4
5.6 级间冷却器要求.....	4
5.7 贫液冷却器要求.....	4
5.8 贫富液换热器要求.....	5
5.9 再生气冷却器要求.....	5
5.10 换热管的拼接要求.....	5
5.11 焊接要求.....	5
5.12 涂漆与保温要求.....	5
5.13 气密性要求.....	6
5.14 耐压性能要求.....	6
6 试验方法.....	6
6.1 性能试验.....	6
6.2 主要设备检验.....	6
6.3 材料检验.....	6
6.4 拼接检验.....	6
6.5 焊接质量检验.....	6
6.6 涂漆与保温检验.....	7
6.7 气密性检验.....	7
6.8 耐压性能检验.....	7
7 检验规则.....	7
7.1 外观检查.....	7

7.2	尺寸检查	7
7.3	性能测试	7
7.4	无损检测	7
8	安装、运行与维护	8
8.1	安装要求	8
8.2	运行与维护	8
9	安全与环保要求	8
9.1	安全要求	8
9.2	环保要求	9
10	标志、包装与运输	9
10.1	标志	9
10.2	包装	9
10.3	运输	9
	附录 A（资料性）工业烟气二氧化碳捕集用换热器设备结构流程图	10
	参考文献	11
	图 A.1 工业烟气二氧化碳捕集用换热器设备结构流程图	10
	表 1 工业烟气二氧化碳捕集用换热器项目及要	8

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：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。

СЛЕДСТВИЕ

工业烟气二氧化碳捕集用换热器

1 范围

本文件界定了工业烟气二氧化碳捕集用换热器的术语和定义，规定了设备类型和组成、技术要求，描述了相应的试验方法，规定了检验规则、安装、运行与维护、安全与环保要求和标志、保证与运输。

本文件适用于工业烟气二氧化碳捕集用换热器。其他行业烟气二氧化碳捕集用换热器可参照使用。

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 150.4 压力容器
- GB/T 151 热交换器
- GB/T 191 包装储运图示标志
- GB/T 985.1~2 气焊、焊条电弧焊、气体保护焊和高能束焊的推荐坡口
- GB/T 1527 铜及铜合金拉制管
- GB/T 1576 工业锅炉水质
- GB/T 3280 不锈钢冷轧钢板和钢带
- GB/T 3880.1 一般工业用铝及铝合金板、带材 第3部分：尺寸偏差
- GB/T 4437.1 铝及铝合金热挤压管
- GB/T 8163 输流体用无缝钢管
- GB/T 8923 涂覆涂料前钢材表面处理 表面清洁度的目视评定
- GB/T 9124 钢制管法兰
- GB/T 9237 制冷系统及热泵·安全与环境要求
- GB/T 9948 石油裂化用无缝钢管
- GB/T 12771 流体输送用不锈钢焊接钢管
- GB/T 13296 锅炉、热交换器用不锈钢无缝钢管
- GB/T 14976 流体输送用不锈钢无缝钢管
- GB/T 37400.12 重型机械通用技术条件 第12部分：涂装
- GB/T 50264 工业设备及管道绝热工程设计规范
- GB/T 51316 烟气二氧化碳捕集纯化工程设计标准
- HG/T 2650 水冷管式换热器
- HG/T 4112 塑料衬里储槽和罐式容器技术条件
- HG/T 20581 钢制化工容器材料选用规范

- HG/T 20678 化工设备衬里钢壳设计标准
- NB/T 10558 压力容器涂敷与运输包装
- NB/T 47013 承压设备无损检测
- NB/T 47015 承压力容器焊接规程
- JB/T 8701 制冷用板式换热器
- JB/T 10990 湿法烟气脱硫装置专用设备 回转式烟气换热器
- JB/T 14507 环保设备氟塑料气水换热器
- NB/T 47004.1~2 焊接板式热交换器
- TSG/R 21 固定式压力容器安全技术监察规程

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

水洗液冷却器 washing liquid cooler

烟气进入 CCUS 系统前需对烟气进行脱硫、除尘等水洗净化处理，为保证洗效果，减少水分蒸发，需采用水洗液冷却器对水洗水进行降温的设备。

3.2

洗涤液冷却器 scrubbing liquid cooler

为减小有机胺逃逸，降低有机胺消耗和消除环境二次污染，对进入碳捕集后的烟气进行洗涤净化处理，为保证洗涤效果、减少高温挥发，进行降温处理的设备。

3.3

级间冷却器 interstage cooler

吸收塔胺液吸收二氧化碳是一个放热的过程，为避免胺液升温降低有机胺吸收二氧化碳的效果，对胺液进行降温的设备。

3.4

贫液冷却器 lean liquid cooler

为提高有机胺捕集二氧化碳的效率，对贫胺液进行降温处理的设备。

3.5

贫富液换热器 rich and lean liquid heat exchanger

是将高温的富液与低温的贫液进行热量交换的设备。

3.6

再生气冷却器 regenerative gas cooler

为将再生后的水蒸气、胺蒸气、二氧化碳混合气体进行分离，采用再生气冷却器通过冷却水对混合气进行冷凝，使得里面的水蒸气、胺冷凝析出从而提纯二氧化碳的设备。

4 设备类型和组成

4.1 工业烟气二氧化碳捕集用换热器（以下简称碳捕集高效节能换热器）包括水洗液冷却器、洗涤液冷却器、级间冷却器、贫液冷却器、贫富液换热器和再生气冷却器等。设备结构流程图参见附录 A。

4.2 水洗液冷却器、洗涤液冷却器、级间冷却器、贫液冷却器和贫富液冷却器宜采用板式换热器，板式换热器主要由传热垫片、密封垫片、压紧板、夹紧螺栓、导杆、框架组成。再生气冷却器宜采用管壳式中换热器，管壳式换热器主要由壳体、封头、换热管、管板、管箱和进出口接管组成。

5 技术要求

5.1 通用要求

5.1.1 换热器的设计、制造、检验和验收、除必须符合本标准的规定外、还应遵守 GB/T 150 和国家颁布的有关法令、法规及图样的要求。管式换热器还应遵守 TSG/R 21 的要求。

5.1.2 换热器试验系统内的二氧化碳和润滑油应保证正常运转使用的量。

5.1.3 管壳式换热器的换热管的选择应符合 GB/T 8163、GB/T 9948、GB/T 14976、GB/T 13296 和 GB/T 12771 的规定。

5.1.4 换热器换热组件的清扫介质为水、压缩空气或过热蒸汽，清洗介质应符合 GB/T 1576 的规定。

5.2 材料要求

5.2.1 水洗液冷却器、洗涤液冷却器、级间冷却器、贫液冷却器和贫富液换热器宜采用板式换热器，符合 NB/T 47004.1 或 NB/T 47004.2 的规定，再生气冷却器应使用管壳式换热器，符合 GB/151 的要求。

5.2.2 换热器钢制外壳应符合 HG/T 20581 或 HG/T 20678 的规定，要求与 CO₂ 接触的材料应考虑介质的腐蚀。

5.2.3 换热器铝板材料应符合 GB/T 3880.1 的规定、铝管材料应符合 GB/T 4437.1 的规定、铜管材料应符合 GB/T 1527 中 T2、TP2 牌号铜管的规定、其他材料应符合相应国家标准或行业标准的规定，特殊性材料由供需双方确认。

5.2.4 螺栓、螺柱应进行磁粉检测，符合 NB/T 47013 中 I 级的规定。

5.2.5 管壳式换热器

1) 管壳式换热器所有选用的材料应符合相应的标准和规范。设备受压元件所用钢板应符合 GB/T 713 的要求。换热器壳体及封头材料选用 GB/T 150 和 GB/T 151 上允许使用的，且材料应符合 GB/T150 和 GB/T 713 的规定。

换热器材质的其他检验，热处理状态、无损检测等应符合《固定式压力容器安全技术监察规程》TSG 21 和《钢制压力容器》GB/T 150.1~150.4 《热交换器》GB/T151 的要求。

5.2.6 板式换热器

1) 板式换热器各部件材料的选择应符合 NB/T47004 的规定, 选择的材料应与使用条件(如设计温度、设计压力、介质特性等)相匹配, 板片材料不低于 GB/T 3280 标准的 304 不锈钢;

2) 板式换热器板片、压紧板、中间隔板、夹紧螺柱、法兰、接管、垫片等主要零部件用材料及承受内压的焊缝用焊接材料必须具备质量证明书。

5.3 性能要求

5.3.1 板式换热器的换热面积应不低于需求的 130%。

5.3.2 换热器的实测换热量不应小于名义换热量的 95%。

5.3.3 板式换热器设计温度不应大于 150 °C, 管壳式换热器设计温度不应大于 110 °C。

5.3.4 板式换热器设计压力不应大于 10 MPa, 管壳式换热器设计压力壳程不应大于 1 MPa、管程不应大于 1 MPa。

5.3.5 进入换热器的烟气雾滴含量不大于 75 mg/m³, 符合 JB/T 10990 的规定。

5.3.6 换热器入口气体温度一般控制在 160 °C 以下, 可允许出现不超过 20 min 的 180 °C 以上的高温, 符合 JB/T 10990 的规定。

5.3.7 换热器应具有较高的传热效率和较低的压降, 以实现高效的能量回收和传递。

5.3.8 换热器应具有良好的耐腐蚀性和耐磨损性, 以适应不同介质和工作环境。

5.3.9 换热器应具备一定的抗震能力和抗冲击能力, 以应对可能发生的外部冲击和振动。

5.4 水洗液冷却器要求

5.4.1 水洗液冷却器传热系数应大于 1800 W/(m²·°C), 壳侧压差应小于 20 KPa, 管侧压差应小于 30 KPa。

5.4.2 制造水洗液冷却器时, 不得因管端受压而缩小流通截面, 由于管子本身的缺陷应堵塞(从管子两端进行牢固堵塞), 堵塞的管数不应超过管子总数的 1%。

5.5 洗涤液冷却器要求

5.5.1 洗涤液冷却器内的水流速度不应超过 1.52 m/s。

5.5.2 洗涤液冷却器应考虑容器内的沉积物, 并采取适当的措施进行清理, 如设置排污口, 使用清洗剂。

5.6 级间冷却器要求

5.6.1 级间冷却器经 3000 次温度交变循环后, 不应出现泄漏和零件损坏。

5.6.2 在暗转应尽量靠近与其配连的高、低压级压缩机, 基础地面以上的高度不应小于 150 mm, 底脚下要垫防腐处理的木块防止冷桥。

5.6.3 清洗剂温度应低于 70 °C, 循环清洗时间应根据垢量确定, 应少于 10h。

5.7 贫液冷却器要求

5.7.1 经贫液冷却器冷却后, 贫液温度应低于 40 °C。

5.7.2 经贫液和冷却介质在通过冷却器时产生的压力损失应小于 1.3kPa, 符合 JB/T 10990 的要求。

5.8 贫富液换热器要求

5.8.1 贫富液换热器在高浓度差的贫液和富液换热过程中不应发生局部过热以及结晶现象。

5.8.2 贫富液换热器的换热效率应高于 85%。

5.9 再生气冷却器要求

5.9.1 连接法兰的型式和尺寸应符合 GB/T 9124 的要求，法兰的尺寸公差应符合规定。

5.9.2 衬里层可用化工设备内衬氟材料复合结构的制造方法[即聚四氟乙烯(PTFE)衬里与金属构件复合的成型技术工艺]或滚衬(ETFE、PE、PO、PP)工艺或喷涂工艺(ECTFE)方法成型。

5.9.3 衬里施工前，换热器钢壳所有衬里内表面应进行去锈处理，除锈等级应符合 GB/T 8923 中 Sa2 的规定。

5.9.4 换热器衬里厚度应符合 HG/T 4112 表 2 的规定，表面应光滑流畅、泽均匀，无翘曲和泛白现象，有划痕、裂纹及塑化不良等缺陷。

5.10 换热管的拼接要求

5.10.1 拼接接头数量应符合下列规定：

- a) 同一根换热管长度小于 2 m，不允许拼接；
- b) 包括至少 50 mm 直管段的 U 形弯管段范围内不允许拼接；
- c) 同一根换热管长度大于 2 m，允许有一个接头，拼接管子最小长度应大于 500 mm；
- d) 同一根换热管长度大于 5 m 时，允许有不超过 2 个接头，拼接管子最小长度应大于 500 mm。

5.10.2 换热管管端坡口加工应符合下列规定：

- a) 宜采用机械加工方法；
- b) 坡口表面不允许有裂纹、分层、夹渣等缺陷；

5.11 焊接要求

5.11.1 受压原件的施焊应由有资质证书的焊工担任，焊工资格应按《固定式压力容器安全技术监察规程》TSG 21 执行。

5.11.2 钢管焊接工艺规程应按图样要求，根据评定合格的焊接工艺制定，且应符合 NB/T 47015 的规定。

5.11.3 焊接应有记录。焊工应有识别标记，施焊后在焊缝附近规定部位打上焊工代号标记。有特殊要求，按图样要求。

5.12 涂漆与保温要求

5.12.1 换热器筒体外壳应对外表面进行防锈处理，并涂加铁红快干防锈油漆及醇酸油漆，不应有漏涂、流挂、皱皮和起泡等，设备外表面均做防腐，涂装前应喷砂除锈，除锈等级应为 Sa2.5 级并涂刷防腐涂层和底漆。

5.12.2 换热器保温材料应具有较低的热导率和较低的吸水率，以保证保温性能，保温要求如下：

- 1) 保温层应符合《工业设备及管道绝热工程设计规范》GB/T 50264 的相关规定。

2) 保温材料应选择具有允许使用温度和燃烧性能检测证明的产品；可选用硅酸盐、酚醛泡沫、玻璃棉和岩棉等材料。

3) 保温层捆扎材料宜选用镀锌铁丝或镀锌钢带。

4) 两端盲板（封头）应设置保温固定件。

5) 法兰、阀门等需要拆卸检修的部位，可采用可拆卸盒式保温结构。

6) 带有内防腐层及不允许现场焊接的管壳式换热器，不应采用焊接方式固定保温钉，宜采用抱箍或粘接保温顶形式固定。

7) 金属保护层宜选用镀锌薄钢板或铝合金薄板等材料，环向接缝宜采用搭接或插接，纵向接缝宜采用搭接或咬接，接缝应嵌填密封剂。

5.13 气密性要求

板式换热器的气密性应符合 JB/T 8701 中 7.4 的规定，管壳式换热器的气密性应符合 GB/T 151 中 4.8 的规定。

5.14 耐压性能要求

5.14.1 对于在 GB/T 9237 中表 1 规定的特殊场合使用的气体冷却器和冷凝器，应经受极限耐压强度试验或耐疲劳试验。

5.14.1 耐压试验应采用水压试验，水压试验的方法及要求按《压力容器 第 4 部分：制造、检验和验收》GB/T 150.4 执行，试验顺序按《热交换器》GB/T 151 规定执行。设备壳体的应力值不超过 0.9 倍的标准屈服强度。泄漏试验的方法及要求按《压力容器 第 4 部分：制造、检验和验收》GB/T 150.4 执行。

6 试验方法

6.1 性能试验

在设备正常投运两个月后、六个月内进行，应选择有资质的测试单位进行性能试验。

6.2 主要设备检验

6.2.1 采用测量范围在-20℃~+150℃双金属温度及温度传感器进行对各换热器进出口温度进行检测。

6.2.2 换热器的设计、制造、检验和验收按 GB/T 51316 执行。

6.3 材料检验

6.3.1 换热器壳体和换热管系统材料的技术按 GB/T 151、JB/T 14507 和 HG/T 2650 执行。

6.3.2 换热器内衬防腐材料，腐蚀裕量根据介质腐蚀性和使用寿命而定，及留有腐蚀裕量

6.4 拼接检验

拼接的焊接接头应作焊接工艺评定。试件的数量、尺寸、试验方法按 NB/T 47014 标准执行。

6.5 焊接质量检验

- 6.5.1 换热器的焊接接头型式采用对接接头按 GB/T 985.1~2 执行。
- 6.5.2 换热器内部所有焊缝均应为连续密封焊，焊接高度应不小于较薄板的厚度。除注明的之外，所有构件、零件材料未注明焊缝的连接均应为等强度连接。
- 6.5.3 换热器内壁焊缝和金属母材的加工、制作和安装按 HG/T 20678 执行。
- 6.5.4 焊缝的外观和质量按 GB/T 150.4 执行。

6.6 涂漆与保温检验

- 6.6.1 换热器装置涂漆及外观要求按 NB/T 10558 执行。
- 6.6.2 换热器装置保温按 GB/T 50264 执行。
- 6.6.3 涂漆前应进行除锈检查，结合钢材表面原始锈蚀程度等级，按 GB/T 37400.12 中的分析评定除锈等级执行。涂层漆膜厚度和漆膜附着力按 GB/T 37400.12 执行。

6.7 气密性检验

换热器气密性检验应采用压力法，试验时，介质应采用洁净、干燥的氮气、温度不低于 5℃，将换热器的制冷剂侧加压，气体压力缓慢上升至试验压力，然后浸入水槽中（水应洁净透明），保压不少于 3 min，进行检查，换热器表面和连接部位应无渗漏和异常变形。

6.8 耐压性能检验

排除换热器内部空气后，充入不可压缩液体，并将其连接至液压系统上，使液体压力缓慢升至 3 倍的设计压力，并保持 1 min；观察换热器状态，应无明显的破裂或泄露现象。然后继续缓慢加压，直到管路出现泄露或开裂等现象，记录发生破坏现象前的最后稳定压力即爆破压力，该压力应大于 3 倍设计压力。

7 检验规则

7.1 外观检查

对换热器的外观进行检查，应无裂纹、夹渣等缺陷，检验项目见表 1。

7.2 尺寸检查

对换热器的关键尺寸进行测量和检查，应符合设计要求，检验项目见表 1。

7.3 性能测试

对换热器进行传热效率、压降、耐压强度等性能参数的测试，按 GB/T 151 执行，检验项目见表 1。

7.4 无损检测

采用适当的无损检测方法（如射线检测、超声波检测等）对换热器进行内部缺陷的检测。

表 1 工业烟气二氧化碳捕集用换热器项目及要

序号	项目名称	“技术要求”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	外壳	5.2.1	6.3.1	√	√	—
2	铝板材料、铝管材料、铜管材料	5.2.3	6.3.1	√	√	—
3	螺栓、螺柱	5.2.4	6.3.1	√	√	—
4	拼接接头	5.10.1	6.4	√	√	—
5	换热器管端破口	5.10.2	6.4	√	√	—
6	焊接质量	5.11.2	6.5.4	√	√	—
7	涂漆	5.12.1	6.6.1	√	√	—
8	保温	5.12.2	6.6.1	√	√	—
9	气密性	5.13.2	6.7	√	√	√
10	耐压性	5.14.1	6.8	√	√	√
11	换热面积、换热效率	5.3.1	7.3	—	—	√
12	换热量	5.3.2	7.3	—	—	√

注：打“√”表示要检验的项目，“—”表示不需要检验的项目。

8 安装、运行与维护

8.1 安装要求

- 8.1.1 安装前应检查换热器的外观和尺寸是否符合要求，无损坏和缺陷。
- 8.1.2 应按照安装图纸和说明进行安装，安装位置正确、固定牢固。
- 8.1.3 在安装过程中应注意保护换热器的表面和内部零件，避免划伤和碰撞。

8.2 运行与维护

- 8.2.1 在运行过程中应定期检查换热器的工作状态，正常运行。
- 8.2.2 应定期对换热器进行清洗和维护，去除表面积累的污垢和沉积物。
- 8.2.3 应对换热器的密封件和紧固件进行定期检查和更换，其密封性能良好。
- 8.2.4 在维护过程中应注意安全操作，避免发生意外事故。

9 安全与环保要求

9.1 安全要求

- 9.1.1 换热器应符合相关安全标准和规定，确保在使用过程中不会发生安全事故。
- 9.1.2 换热器的设计和制造应充分考虑防止泄漏和爆炸等安全风险。
- 9.1.3 在使用过程中应定期对换热器进行安全检查和评估，安全运行。

9.2 环保要求

- 9.2.1 换热器在设计 and 制造过程中应优先选择环保材料和工艺，减少对环境的影响。
- 9.2.2 在使用过程中，应控制换热器的排放物，符合相关环保标准。
- 9.2.3 废弃的换热器应按照相关环保规定进行回收和处理，减少对环境 的污染。

10 标志、包装与运输

10.1 标志

- 10.1.1 每个换热器应在其显著位置标明产品名称、型号、规格、生产厂家和生产日期等基本信息。
- 10.1.2 换热器还应标明相关的安全警示标志和环保标志。
- 10.1.3 包装和储运的标志应符合 GB/T 191 的规定。

10.2 包装

- 10.2.1 换热器在运输前应进行适当的包装，防止在运输过程中受到损坏。
- 10.2.2 包装材料应选择环保、耐用的材料，并符合相关标准和规定。
- 10.2.3 包装上应标明产品名称、数量、重量和体积等信息，便于运输和仓储。
- 10.2.4 包装和存储应符合 NB/T 10588 的规定。

10.3 运输

- 10.3.1 换热器的运输应符合相关运输规定，确保运输过程中的安全；
- 10.3.2 在运输过程中应避免剧烈震动和冲击，以免对换热器造成损坏；
- 10.3.3 换热器的运输应符合 NB/T 10558 的要求。

附录 A

(资料性)

工业烟气二氧化碳捕集用换热器设备结构流程图

工业烟气二氧化碳捕集用换热器由洗涤液冷却器、级间冷却器、贫液冷却器、贫富液换热器和再生气冷却器等组成。设备结构流程图见图 A.1。

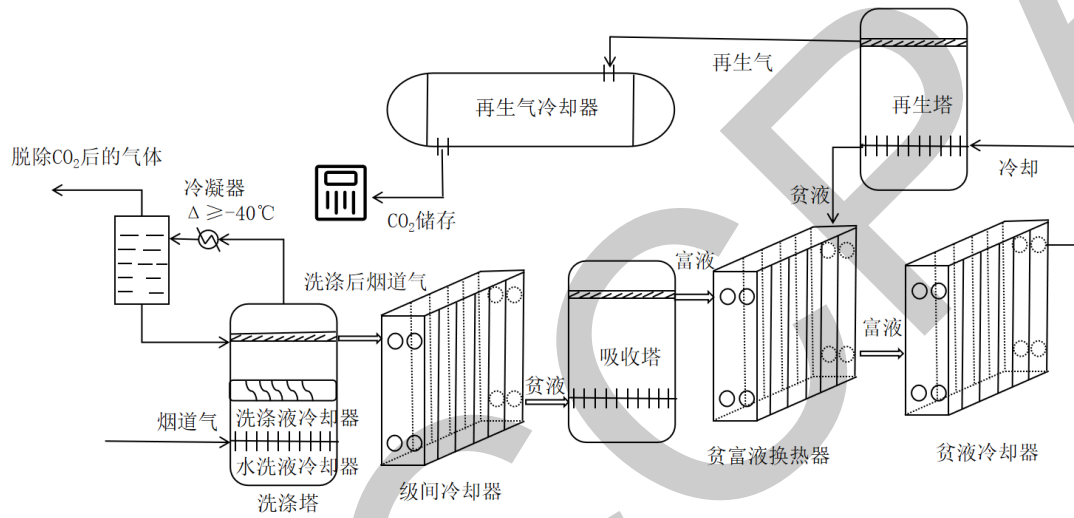


图 A.1 工业烟气二氧化碳捕集用换热器设备结构流程图

参 考 文 献

- [1] NB/T 47004.1-2017 板式热交换器 第 1 部分：可拆卸板式热交换器
[2] NB/T 47004.2-2021 板式热交换器 第 2 部分：焊接板式热交换器
-

CIECCPA