

ICS 13.020.40

CCS Z 05

团体标准

T/CIECCPA 023—2023

循环流化床吸附法捕集二氧化碳装置

Carbon dioxide capture device by circulating fluidized bed adsorption

2023-06-08 发布

2023-06-12 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 设备组成	3
5 技术要求	3
5.1 一般要求	3
5.2 性能要求	3
5.3 设备要求	3
5.4 电气和控制系统要求	4
5.5 焊接要求	5
5.6 涂漆与保温要求	5
5.7 安全保护要求	5
5.8 噪声要求	5
6 试验方法	5
6.1 主要设备检验	5
6.2 焊接质量检验	5
6.3 电气和控制试验	5
6.4 涂漆检验	5
6.5 噪声测量	6
6.6 防护等级	6
6.7 性能试验	6
7 检验规则	6
7.1 检验类别	6
7.2 出厂检验	6
7.3 安装检验	7
7.4 性能检验	7
7.5 判定规则	7
8 标志、包装、运输和贮存	7

8.1 标志.....7

8.2 包装.....7

8.3 运输.....7

8.4 贮存.....7

附录 A（资料性）循环流化床二氧化碳吸附装置工艺流程8

附录 B（资料性）捕集塔9

附录 C（资料性）再生塔10

表 1 循环流化床吸附法捕集 CO₂ 装置检验项目及要​​求.....6

图 A. 1 循环流化床二氧化碳吸附装置典型工艺流程图8

图 B. 1 典型吸附塔图9

图 C. 1 典型再生塔图10

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：中国矿业大学、浙江菲达环保科技股份有限公司、中国科学院山西煤炭化学研究所、浙江天洁环境科技股份有限公司、中国21世纪议程管理中心、清华大学、北京理工大学、生态环境部环境工程评估中心、江苏省碳捕集环保研究院有限公司、西南石油大学、广东华润碳能科技有限公司、华油惠博普科技股份有限公司、中国华电科工集团、国能龙源环保有限公司、中石化江汉石油工程设计有限公司、东南大学、重庆大学、浙江大学、华中农业大学、浙江省环保集团生态环保研究院有限公司、浙江菲达科技发展有限公司。

本文件主要起草人：陆诗建、李磊、邱永辉、闫新龙、酆建国、陈永东、魏一鸣、张贤、李俊华、俞徐林、李夫济、牛皓、高飞、刘含笑、吴廷有、李国强、王凯亮、王争荣、孙路长、段威、齐美荣、潘鑫、蔡勇、宫千博、段伦博、陈晓平、钟栋梁、方梦祥、王涛、晏水平、纪龙、万昊、黄高卫、刘玲、陈阿小、胡黎明、张铁刚、康国俊、钟建斌、陈思铭、康佳宁、陈阵、王锋国、曹景沛、倪中海、杨菲、张娟娟、王风、刘苗苗、贡玉萍、王宁、赵琳、周统、赵飞。

本文件为首次发布。

CLECCRA

循环流化床吸附法捕集二氧化碳装置

1 范围

本文件规定了循环流化床吸附法捕集二氧化碳装置的设备组成、技术要求、试验方法、检验规则及标志、包装、运输和贮存。

本文件适用于燃煤烟气循环流化床吸附法捕集二氧化碳装置的制造,其他二氧化碳捕集装置可参照执行。

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 151 热交换器
- 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 (IP 代码)
- GB/T 4980 容积式压缩机噪声的测定
- GB/T 12337 钢制球形储罐
- GB/T 13384 机电产品包装通用技术条件
- GB/T 29529 泵的噪声测量与评价方法
- GB/T 37400.12 重型机械通用技术条件 第 12 部分:涂装
- GB/T 50057 建筑物防雷设计规范
- 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/T 50406 钢铁工业环境保护设计规范
- GB 50601 建筑物防雷工程施工与质量验收规范
- GB/T 51316-2018 烟气二氧化碳捕集纯化工程设计标准
- HG/T 20509 仪表供电设计规范
- HG/T 20513 仪表系统接地设计规范
- HG/T 21514 钢制人孔和手孔的类型与技术条件
- HJ 404 建设项目竣工环境保护设施验收技术规范 钢铁工业
- HJ 836 固定污染源废气 低浓度颗粒物的测定 重量法

HJ 870 固定污染源废气二氧化碳的测定 非分散红外吸收法
JB/T 10963 湿法烟气脱硫装置专用设备 增压风机
JB/T 11834 离心式烟气脱硫循环泵
JB/T 12909 燃煤烟气二氧化碳捕集装备
NB/T 47004.1 板式热交换器 第1部分：可拆卸板式热交换器
NB/T 47041 塔式容器
TSG 21 固定式压力容器安全技术 监察规程
T/CIECCPA 011 低压低浓度二氧化碳捕集技术工艺包编制规范
T/CIECCPA 012 燃煤烟气二氧化碳捕集塔

3 术语和定义

GB/T 51316-2018 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

吸附剂 adsorbent

用以选择性吸附气体或液体混合物中某些组分的多孔性固体物质。

3.2

变温吸附法 temperature swing adsorption

采用特定的固体吸附剂，在某一温度下选择性地自气相中吸附易于吸附的气体并于另一温度下脱附的方法。

3.3

脱水单元 dehydration unit

采用变温吸附工艺，对引入循环流化床二氧化碳捕集装置的烟气中的污染物进行控温，并进行预处理的设备。

3.4

吸附塔 adsorber

采用吸附剂较低温度下吸附的处理方法捕集烟气中 CO₂ 的设备。

3.5

再生塔 regenerator

利用加热的方法使吸附剂的气体脱附，得到 CO₂ 产品气同时使吸附剂恢复吸附功能的设备。

3.6

CO₂ 捕集率 CO₂ capture efficiency

吸附塔入口气和出口气中 CO₂ 总量的差值，与塔入口气中 CO₂ 总量的百分比。CO₂ 总量可以是质量。

3.7

再生能耗 regeneration energy consumption

再生塔/再生反应器分离出 CO₂ 的过程中，消耗的蒸汽或电量所折算的热值。

4 设备组成

4.1 循环流化床吸附法捕集 CO₂ 装置主要由静设备、动设备和配套系统组成，循环流化床二氧化碳吸附装置工艺流程见附录 A.1，典型吸附塔见附录 B.1，典型再生塔见附录 C.1。

4.2 静设备主要包括换热器、电加热器、吸附塔、罐和再生塔等；动设备应主要包括引风机、增压风机、水泵、真空泵和压缩机等。

4.3 配套系统包括烟气旁路、电气设备、管道，监测与控制装置及安全装置。

5 技术要求

5.1 一般要求

5.1.1 应按照规定程序批准的图纸和设计文件要求，对设备进行制造、安装、调试和验收，应符合 GB/T 50406、GB/T 51316 和 HJ 404 的规定。

5.1.2 循环流化床吸附法捕集 CO₂ 装置中静设备设计使用寿命不应低于主体工程的使用寿命，动设备设计使用寿命不应低于 15 年。

5.1.3 CO₂ 捕集设备在设计选型时应符合节能、降耗和增效的原则，设备可用率应保证在 98% 以上。

5.1.4 CO₂ 捕集设备稳定运行的范围应在设计烟气量的 50%~110%。

5.1.5 吸附剂应具备 CO₂ 吸附能力强、再生能耗低、腐蚀性弱、不易降解及机械强度高的性质，在考虑成本的前提下，可使用如分子筛、固载胺、活性炭及硅胶吸附材料。

5.2 性能要求

5.2.1 预处理塔的出口烟气条件：

- a) 烟气温度不宜大于 50 ℃；
- b) 烟尘浓度不应大于 5 mg/m³¹⁾；
- c) SO₂ 浓度不应大于 10 mg/m³；
- d) 烟气中水汽达到饱和状态。

5.2.2 循环流化床吸附法捕集 CO₂ 装置应满足以下指标：

- a) CO₂ 捕集率不应小于 80%；
- b) 再生能耗不应大于 3.0 GJ/t CO₂；
- c) CO₂ 再生塔排放烟气中颗粒物浓度（含气溶胶）不应大于 10 mg/m³。

5.3 设备要求

5.3.1 塔

5.3.1.1 捕集塔应符合 TSG 21、GB/T 150（所有部分）和 NB/T 47041 的规定，材质应为钢制。

5.3.1.2 捕集塔宜采用圆筒形或圆锥形结构，内含气体分布器。

5.3.1.3 进入捕集塔的混合烟气温度不宜大于 50 ℃，再生温度一般为 100℃~200 ℃（与吸附材料种类、性能相关）。

5.3.1.4 再生塔应设置合适尺寸和数量的双层人孔门，以便检修，应符合 HG/T 21514。

5.3.2 换热器

¹⁾本文件所规定的污染物浓度指标标准状态（273K，101.325kPa）下干烟气，并折算到对应排放标准基准氧含量时的数值。

5.3.2.1 换热器宜选用板式换热器，板式换热器的设计应符合 NB/T 47004.1 的规定。

5.3.2.2 管壳式换热器的设计应符合 GB/T 151 的规定。

5.3.3 罐

5.3.3.1 CO₂ 储罐不应少于 2 座，可选用立式、卧式或球形储罐，应符合 GB/T 150（所有部分）、GB/T 12337 和 NB/T 47041 的规定。

5.3.3.2 CO₂ 储罐的设计应符合 GB/T 51316 的规定。

5.3.3.3 CO₂ 储罐应设置安全阀、切断阀和释放阀等相关附属设备，附属设备应符合 GB/T 51316 的规定。

5.3.3.4 CO₂ 储罐底部可设置增压用汽化器，汽化器的设计压力不应低于储罐的设计压力。

5.3.4 真空泵

5.3.4.1 真空泵宜采用罗茨型干泵、爪式干泵或螺杆真空泵。

5.3.4.2 真空泵部件宜选用防腐性能不低于 S30408 的不锈钢材料，为保证安全稳定运行，应采用一用一备设置。

5.3.4.3 考虑到混合烟气中含有蒸汽、颗粒及腐蚀性气体，应考虑在真空泵的进气口管路上安装辅助设备，如冷凝器、除尘器等。

5.3.4.4 真空泵的极限压力应满足该工艺的工作压力。

5.3.5 压缩机

5.3.5.1 CO₂ 压缩机、CO₂ 液化制冷机组的压缩机宜布置在封闭式厂房内。

5.3.5.2 CO₂ 压缩机选型应符合 GB/T 51316 的规定，当 CO₂ 处理规模在 50 万吨/年以上时，宜选用离心式压缩机；当 CO₂ 处理规模在 50 万吨/年以下时，宜选用往复式压缩机或螺杆式压缩机。

5.3.5.3 CO₂ 液化制冷机组的压缩机宜选用螺杆式压缩机。

5.3.6 旋风分离器

5.3.6.1 旋风分离器额定气体处理量应与实际需要处理的含尘气体量一致。

5.3.6.2 选择旋风分离器直径时应尽量小，如果要求通过的风量较大，可采用几个小直径的旋风分离器并联为宜。

5.3.6.3 粗旋风分离器的设计分离效率应不低于 90%，单级旋风分离器的设计分离效率不应低于 99%。

5.3.7 其他动设备

5.3.7.1 引风机应满足各设备及相应烟道整体压降的要求，负荷考虑 10% 的裕量，风机参数选取应符合 JB/T 12909 的规定。

5.3.7.2 设置增压风机时，应根据风量选用离心式风机，风机过流部件宜选用防腐性能不低于 S30408 的不锈钢材料，负荷考虑 10% 的裕量，风机参数选取应符合 JB/T 10963 的规定。

5.3.7.3 制冷机组的配置应符合 GB/T 51316 的规定。

5.4 电气和控制系统要求

5.4.1 管道设计和布置方式均应符合 GB 50316 的规定。

5.4.2 监测仪表选型应符合 GB/T 51316 的规定。

5.4.3 控制系统宜选用集散控制系统，系统的设计应符合 GB/T 51316 的规定。

5.4.4 仪表及控制系统的供电及接地设计应符合 HG/T 20509、HG/T 20513 和 GB50057 的规定。

5.4.5 用电设备、控制柜和现场操作箱外壳防护等级应符合 GB/T 4208 的规定

5.5 焊接要求

5.5.1 塔内壁焊缝和金属母材的加工、制作和安装应符合 HG/T 20678 的规定。

5.5.2 焊缝的外观和质量应符合 GB/T 150.4 的规定。

5.6 涂漆与保温要求

5.6.1 涂漆及外观要求应符合 GB/T 37400.12 的规定。

5.6.2 应对再生塔等静设备和吸附饱和的吸附剂出吸收塔管道、再生吸附剂出再生塔管道进行保温处理，应符合 GB 50264 的规定。

5.7 安全保护要求

5.7.1 楼梯、防护栏杆和平台等安全技术条件应符合 GB 4053（所有部分）的规定。

5.7.2 楼梯和检修平台等处应设置照明装置。

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

5.8 噪声要求

距离设备 1.5 m 处，噪声不应超过 85 dB（A）。

6 试验方法

6.1 主要设备检验

6.1.1 塔设备主要件检验应按 T/CIECCPA 012 执行。

6.1.2 板式换热器主要件检验应按 NB/T 47004.1 执行，管壳式换热器主要件检验应按 GB/T 151 执行。

6.1.3 罐设备主要件检验应按 GB/T 150 和 GB/T 12337 执行。

6.1.4 真空泵的检验应按 JB/T 11834 执行。

6.1.5 压缩机的检验应按 GB/T 51316 和 JB/T 12909 执行。

6.1.6 旋风分离器的检验应按 GB/T 150 执行。

6.1.7 风机的检验应按 JB/T 12909 和 JB/T 10963 执行。

6.2 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。

6.3 电气和控制试验

6.3.1 电气装置安装工程低压电器的检验应按 GB 50254 执行，爆炸和火灾危险环境电气装置检验应按 GB 50257 执行。

6.3.2 防雷、接地的施工检验应按 GB 50601 执行。

6.3.3 应进行联锁保护试验，检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。

6.3.4 用电设备、控制柜和现场操作箱外壳防护等级检验应按 GB/T 4208 执行。

6.4 涂漆检验

油漆前应进行除锈检查，结合钢材表面原始锈蚀程度等级，对照GB/T 37400.12 中的分析评定除锈等级。涂层漆膜厚度和漆膜附着力应按GB/T 37400.12 执行。

6.5 噪声测量

静设备在正常运行时进行噪声测量，用声级计A计权在距离设备1.5 m处，采用慢速档，测量3次，每次10 s，取3次的算术平均值为设备的运行噪声值。泵、压缩机等动设备的噪音测量应按GB/T 29529 和GB/T 4980 执行。

6.6 防护等级

防护等级试验应按 GB/T 4208执行。

6.7 性能试验

6.7.1 设备性能试验至少在设备正常投运二个月后、六个月内进行，应选择有资质的测试单位进行性能试验。

6.7.2 CO₂捕集率测试方法应按 HJ 870 执行。

6.7.3 烟气温度、颗粒物和其他烟气污染物测试等应按 HJ 836 执行。

6.7.4 再生能耗的检验方法应按照 T/CIECCPA 011 执行。

7 检验规则

7.1 检验类别

循环流化床吸附法捕集 CO₂ 装置检验分出厂检验、安装检验和性能检验。

7.2 出厂检验

7.2.1 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 循环流化床吸附法捕集 CO₂ 装置检验项目及要

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	塔	5.3.1	6.1.1	√	√	—
2	换热器	5.3.2	6.1.2	√	√	—
3	罐	5.3.3	6.1.3	√	√	—
4	真空泵	5.3.4	6.1.4	√	√	—
5	压缩机	5.3.5	6.1.5	√	√	—
6	旋风分离器	5.3.6	6.1.6	√	√	—
7	风机	5.3.7	6.1.7	√	√	—
8	焊接质量	5.5	6.2	√	√	—
9	电气和控制系统	5.4	6.3	√	√	—
10	涂漆质量	5.6	6.4	√	√	—
11	噪声	5.8	6.5	—	√	—
12	防护等级	5.4.5	6.6	√	√	—
13	CO ₂ 捕集率	5.2.2 a)	6.7.2	—	—	√
14	烟气温度	5.2.1 a)	6.7.3	—	—	√
15	烟尘/颗粒物浓度	5.2.1 b) 、5.2.2 c)	6.7.3	—	—	√
16	SO ₂ 浓度	5.2.1 c)	6.7.3	—	—	√
17	再生能耗	5.2.2 b)	6.7.4	—	—	√

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

7.4.1 每台循环流化床吸附法捕集 CO₂ 装置均应做性能检验，性能检验项目见表 1。

7.4.2 应在循环稳定后每隔一个周期对吸附剂性能进行检验，包括吸附性能、物理性质等。

7.5 判定规则

性能检验项目应符合要求，循环流化床吸附法捕集 CO₂ 装置判定为合格。若有不合格项时，允许对其进行调整和消缺，重新做性能检验。

8 标志、包装、运输和贮存

8.1 标志

8.1.1 循环流化床吸附法捕集 CO₂ 装置中各设备应在明显位置装有固定标志，且至少应包括：产品名称、生产单位、产地、生产日期和使用有效期。

8.1.2 产品或包装上标志字迹清楚、牢固而持久；从标志上应便于识别，在必要时可追回需经检验产品。

8.2 包装

8.2.1 设备包装应符合 GB/T 13384 的规定，并附有下列图样和随机文件：

- a) 设备总清单；
- b) 设备总图、基础图、管路图及安装图；
- c) 产品合格证；
- d) 包装总清单和备品备件清单；
- e) 操作、使用和注意事项；
- f) 上述图样及技术文件清单。

8.2.2 设备的包装应符合有关铁路、公路、水路及空运装载和运输的要求，应保证在正常运输条件下不发生损坏。应根据产品的特性以及收货地点的气候条件采取相应的防护包装措施。

8.3 运输

8.3.1 产品运输时应轻拿轻放，不应抛掷、翻滚和踩踏。

8.3.2 运输车辆应有防雨棚布并垫离车厢地板或选用集装箱运输。运输过程中应防止受潮、挤压和雨淋，不应与腐蚀性物品同时运输。

8.3.3 产品运输起吊时，应按包装箱外壁上的标记稳起轻放，防止碰撞。

8.4 贮存

设备的钢结构件及大件设备可露天存放，其余设备、电气和仪表等零部件及保温材料应分类平整地存放在通风、干燥和无腐蚀气体的场地内，并应远离火源和高温物体。

附录 A

(资料性)

循环流化床二氧化碳吸附装置工艺流程

循环流化床二氧化碳吸附装置工艺流程图见图 A.1。该设备的工作系统主要方法是变温吸附法，主要由脱水单元，流态化吸附捕集，变温再生三个过程组成。本工艺主要针对低浓度的 CO_2 烟气的捕集，同时也适用于化工气体中中等浓度的 CO_2 捕集。该工艺将大量的低浓度烟气，如 CO_2 浓度在 10% 左右的烟气，经过该设备工艺可以根据应用需要将 CO_2 浓度提浓到 95% 及以上。

来自电厂、钢厂和水泥厂的烟气，首先经过换热器将其温度降至常温，然后根据实际需求对换热后的烟气进行脱水处理（脱水单元采用变温吸附法的工艺，两个吸附塔轮流循环工作，每个吸附塔所经历的步骤为：吸附(A)、加热(R)和冷却(C)三个步骤）。经脱水后的原料气进入流态化 CO_2 吸附捕集单元，吸附尾气从捕集塔顶部排出；吸附剂经分离进入再生塔，在一定温度下进行再生，再生塔内的 CO_2 （90%以上）通过抽真空方式排出吸附塔，进入产品气罐被压缩后送入下游；再生后的吸附剂进入捕集塔再次进行吸附捕集。

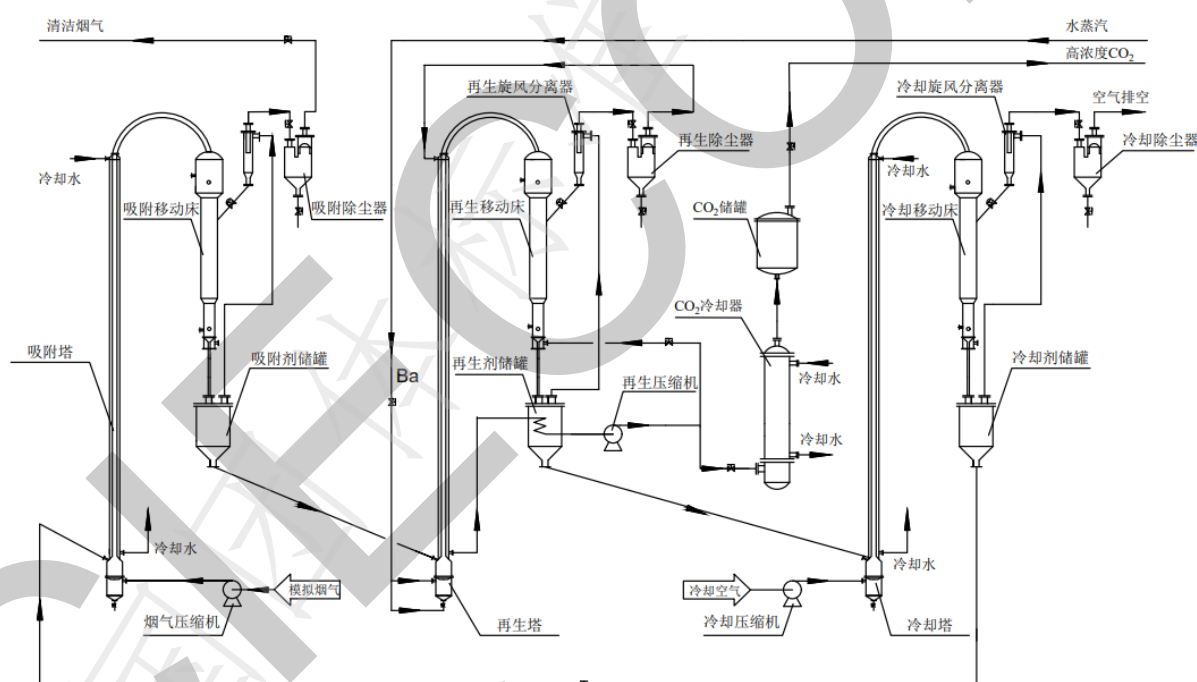


图 A.1 循环流化床二氧化碳吸附装置典型工艺流程图

附录 B
(资料性)
捕集塔

典型捕集塔图见图 B.1。捕集塔主要包括塔本体、气体分布器、进气口、吸附剂入口、出口和卸料口。脱水后的烟气经罗茨风机增压，由捕集塔底进气口进入，将由吸附剂入口进入的吸附剂流态化，并从出口处进入旋风分离器；在此过程中，混合气中的 CO_2 被专用吸附剂所吸附；为了保证吸附充分，吸附剂应在捕集塔内有适宜的停留时间；经旋风分离器分离后，废烟气由顶部排出，吸附饱和的吸附剂则进入再生器内。

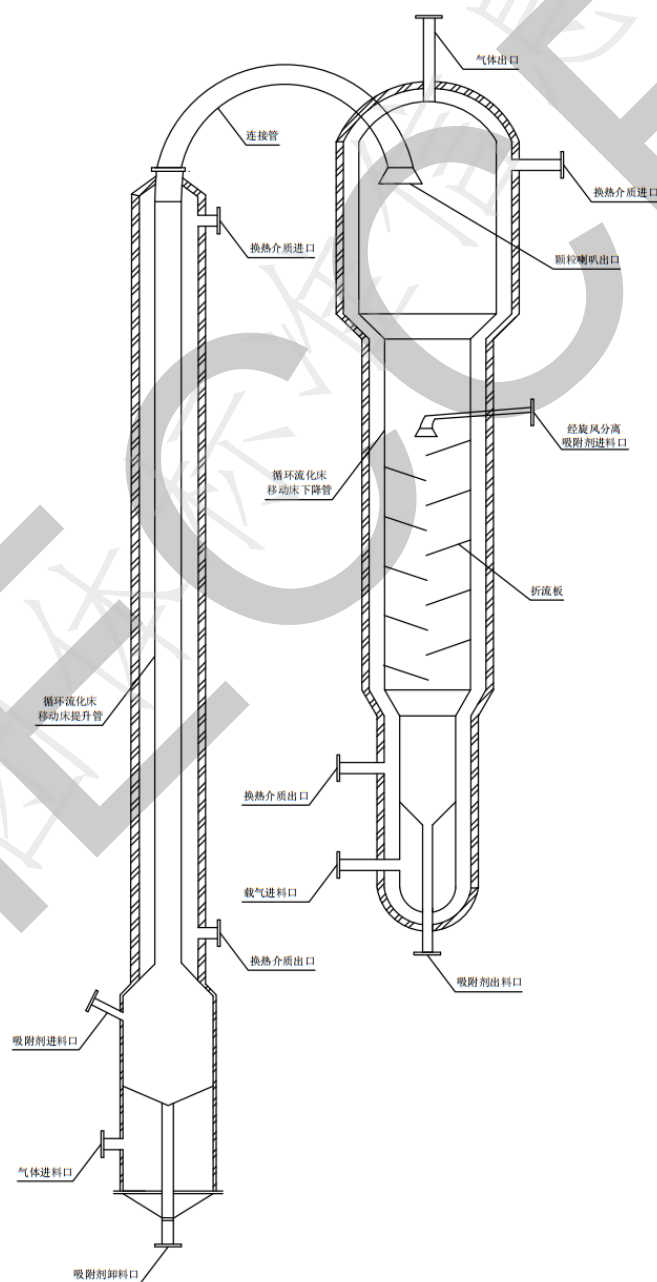


图 B.1 典型吸附塔图

附录 C

(资料性)

再生塔

典型再生塔见图 C.1，再生塔主要包括塔本体、加热部分、进口、吸附剂出口、出气口、卸料口和除尘器。吸附饱和的吸附剂进入再生塔，在加热及抽真空条件下， CO_2 产品气由出气口排出，经除尘、压缩后进入气体储罐。吸附剂由再生塔底部斜管送回捕集器循环使用。

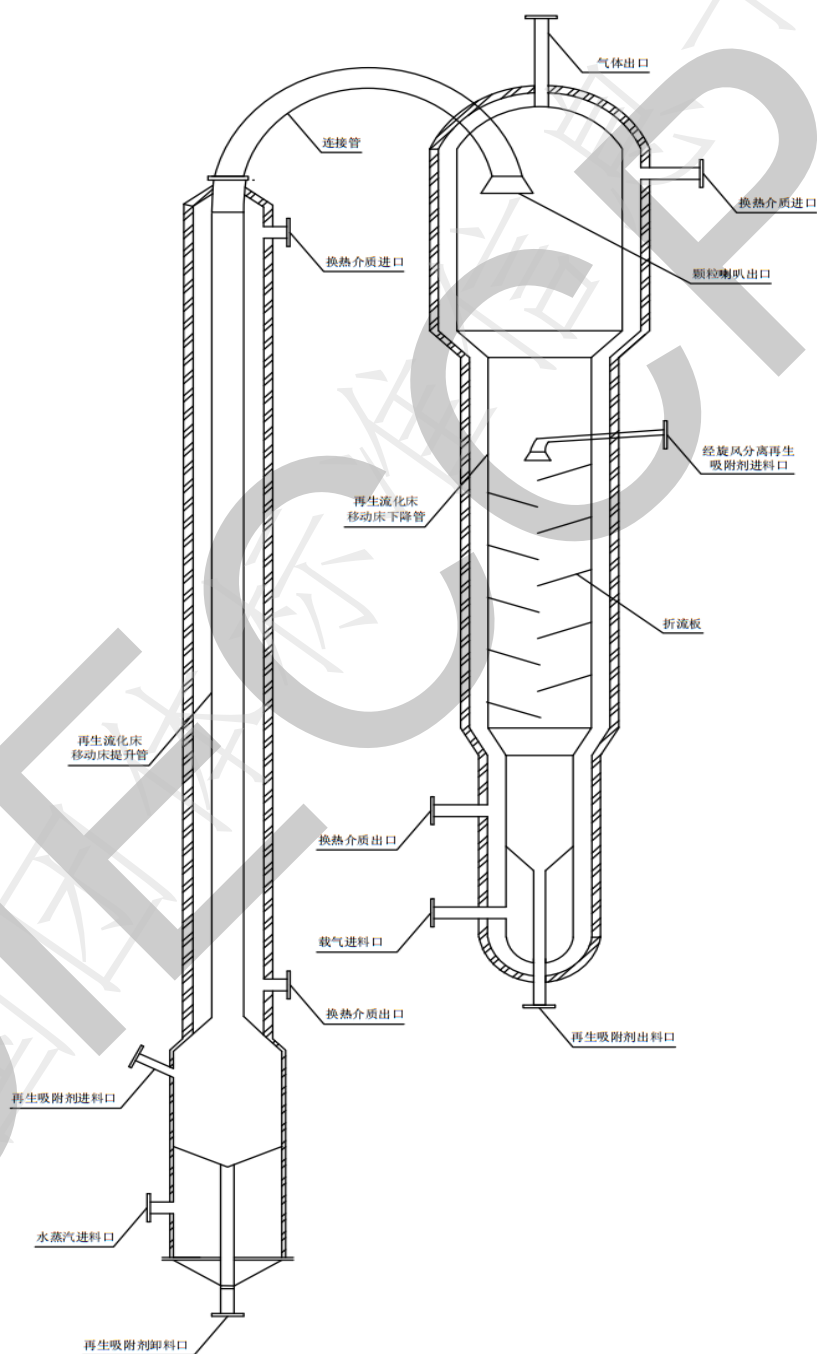


图 C.1 典型再生塔图