

ICS XX.XXX.XX

CCS X XX

团体标准

T/CIECCPA □□□—202□

低压低浓度 CO₂ 多级变压吸附提浓设备

Low pressure and low concentration CO₂ multistage pressure swing
adsorption concentration equipment

(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 配套系统要求.....	4
5.5 涂漆与保温要求.....	5
5.6 安全防护要求.....	5
5.7 噪声要求.....	5
6 检验方法.....	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.....	6
6.5 噪声测量.....	6
6.6 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 包装、运输和贮存.....	7
8.1 包装.....	7
8.2 运输.....	7
8.3 贮存.....	7

9 安装、调试、运行和维护	7
附录 A（资料性）低压低浓度 CO ₂ 多级变压吸附提浓设备典型工艺流程	8
附录 B（资料性）脱水塔	9
附录 C（资料性）变压吸附塔	10
附录 D（规范性）二氧化碳捕集能耗计算方法	11
表 1 低压低浓度 CO ₂ 多级变压吸附提浓设备检验项目及要​​求	6
表 D.1 电、水及耗能工质的统一能源折算值	11

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：中国科学院山西煤炭化学研究所、浙江菲达环保科技股份有限公司、中国矿业大学、成都工业学院、北京敬科科技发展有限公司、中国石油工程建设有限公司北京分公司、国能龙源环保有限公司、武汉世嘉新能源工程有限公司、浙江天洁环境科技股份有限公司、浙江省环保集团生态环保研究院有限公司、浙江菲达电气工程有限公司、浙江菲达科技发展有限公司、浙江菲达脱硫工程有限公司。

本文件主要起草人：李磊、陆诗建、勾华杰、刘含笑、李国强、刘玲、康国俊、陈思铭、房昆、杨蒙、田伟、叶仲斌、郑妍、吴敏、俞佰均、闫新龙、倪中海、朱佳媚、王瑞玉、奚弦、郭振坤、张启玖、赵飞、周统、方雁惠。

本文件为首次发布。

СЛЕДСТВИЕ

低压低浓度 CO₂ 多级变压吸附提浓设备

1 范围

本文件规定了低压低浓度 CO₂ 多级变压吸附提浓设备的设备组成、技术要求、试验方法、检验规则、包装、运输和贮存及安装、调试、运行和维护。

本文件适用于采用固体吸附剂吸附燃煤烟气行业中低压低浓度 CO₂ 提浓设备的设计和制造，其他行业低压低浓度烟气/尾气 CO₂ 捕集设备可参照执行。

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 16157 固定污染源排气中颗粒物测定与气态污染物采样方法
- 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 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 CO₂ 捕集纯化工程设计标准
- HG/T 3986 塑料塔填料
- HG/T 20509 仪表供电设计规范
- HG/T 20513 仪表系统接地设计规范
- 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 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 4357 工业锅炉用离心引风机 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 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

物理吸附剂 physical adsorbents

通过分子间作用力（范德华力）对目标组分进行吸附的材料。

注：常用的物理吸附剂有分子筛、活性炭、硅胶、活性氧化铝以及金属有机骨架等吸附材料。

3.2

变压吸附法 pressure swing adsorption

采用特定的固体吸附剂，在一定压力下选择性地自气相中吸附易于吸收的气体的方法。

3.3

脱水单元 dehydration unit

采用变温吸附工艺，对原烟气中的污染物、温度等进行预处理的设备。

3.4

变压吸附塔 pressure-swing absorber

采用变压吸附的处理方法捕集烟气中 CO₂ 的设备。

3.5

再生塔 regenerator

利用真空泵对置换完成后的吸附塔进行抽真空，得到 CO₂ 产品气同时使吸附剂再生的设备。

3.6

CO₂ 捕集率 CO₂ capture efficiency

吸收(吸附)塔/吸收(吸附)反应器入口气和出口气中 CO₂ 总量的差值，与塔/反应器入口气中 CO₂ 总量的百分比。CO₂ 总量采用质量量化。

[来源：T/CIECCPA 011-2022, 3.6]

3.7

CO₂ 捕集能耗 energy consumption for CO₂ capture

解吸塔/解吸反应器分离出 CO₂ 的过程中所消耗的能量，包括捕集过程中设备的电耗，水耗等。计算方法应符合附录 D 的规定。

[来源：T/CIECCPA 011-2022，3.7]

4 设备组成

4.1 低压低浓度 CO₂ 多级变压吸附提浓设备主要由静设备、动设备和配套系统组成，低压低浓度 CO₂ 多级变压吸附提浓设备典型工艺流程见附录 A，脱水塔见附录 B，变压吸附塔见附录 C。

4.2 静设备主要包括换热器、电加热器和变压吸附塔，再生塔等；动设备主要包括引风机、增压风机、真空泵和压缩机等；

4.3 配套系统包括烟气旁路、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 应按照经过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 低压低浓度 CO₂ 多级变压吸附提浓设备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 大量低浓度的混合烟气，利用多级变压吸附法捕获 CO₂，物理吸附剂应采用具备 CO₂ 吸附能力强、再生性能低、腐蚀性弱、不易降解以及疏水等性质的固体吸附剂，在考虑成本的前提下，可使用如分子筛、活性炭、硅胶、活性氧化铝以及金属有机骨架等吸附材料。

5.1.4 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 98%。

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

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 °C；
- b) 烟尘浓度¹⁾ 不应大于 5 mg/m³；
- c) SO₂ 浓度不应大于 10 mg/m³。

5.2.2 低压低浓度 CO₂ 多级变压吸附提浓设备应满足以下指标：

- a) CO₂ 捕集率应不小于 80%；
- b) CO₂ 捕集能耗不应大于 4.0 GJ/t CO₂；
- c) CO₂ 吸收塔排放烟气中颗粒物浓度（含气溶胶）不应大于 10mg/m³。

5.3 设备要求

5.3.1 塔

5.3.1.1 吸附塔，再生塔应符合 TSG 21、GB/T 150（所有部分）和 NB/T 47041 的规定，应采用钢制结构。

5.3.1.2 吸附塔、再生塔应采用填料塔，填料类型应采用低压降规整填料，吸附塔的填料高度不应大

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

于 20 m。当采用塑料填料时，应符合 HG/T 3986 的规定。

5.3.1.3 进入吸附塔的混合烟气温度不应大于 50℃，再生温度一般为 0℃~80℃。

5.3.1.4 吸附塔，再生塔应设置合适尺寸和数量的人孔门，以便检修。

5.3.2 换热器

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，板式换热器的冷端温差不应小于 3℃。

5.3.2.2 管壳式换热器的设计应符合 GB/T 151 的规定，管壳式换热器的冷端温差不应小于 8℃。

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、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 泵

5.3.4.1 真空泵宜采用罗茨型干泵、爪式干泵和螺杆真空泵。

5.3.4.2 真空泵部件宜选用奥氏体不锈钢，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，应该考虑在泵的进气口管路上安装辅助设备，如冷凝器、除尘器。

5.3.4.4 真空泵的极限压力应该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，工程二氧化碳处理规模不小于 50 万吨/年时，宜选用离心式压缩机；工程二氧化碳处理规模不大于 50 万吨/年时，宜选用往复式压缩机或螺杆式压缩机。

5.3.5.3 往复式压缩机应设置备用机组，宜设减振沟；螺杆压缩机宜设置备用机组；离心式压缩机可不设备用机组。

5.3.5.4 CO₂ 液化制冷机组的压缩机宜选用螺杆式压缩机。

5.3.6 其他动设备

5.3.6.1 引风机应能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 4357 的规定。

5.3.6.2 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奥氏体不锈钢，负荷考虑 10% 的裕量，风机参数选取应符合 JB/T 10963 的规定。

5.3.6.3 制冷机组的配置应符合 GB/T 51316 的规定。

5.4 配套系统要求

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 和 HG/T 20513 的规定。

5.5 涂漆与保温要求

5.5.1 涂漆及外观要求应符合 GB/T 37400.12 的规定。

5.5.2 吸附塔、再生塔等静设备应进行保温处理，保温设计应符合 GB 50264 的规定。

5.6 安全防护要求

5.6.1 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。

5.6.2 楼梯、检修平台等处应设置照明装置。

5.6.3 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。

5.7 噪声要求

距设备 1.5 米处，噪声不应超过 85 dB（A）。

6 检验方法

6.1 主要设备检验

6.1.1 设备使用前应经过检验，设备外形尺寸检验使用的量具，其尺寸精度不应低于 II 级，分度值不应低于 0.5 mm。直线度、平面度的检验应采用拉线法。

6.1.2 加工部件几何尺寸的检验应采用能满足测量部件精度要求的工具和方法。

6.1.3 塔设备主要件检验应按 T/CIECCPA 012 执行。

6.1.4 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。

6.1.5 罐设备主要件检验应按 GB/T 150（所有部分）和 GB/T 12337 执行。

6.1.6 泵的检验应按 JB/T 11834 执行。

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

6.1.8 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10s，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 性能试验

6.6.1 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，应选择有资质的第三方测试单位进行性能试验。

6.6.2 CO₂捕集率测试方法应按 HJ 870 执行。

6.6.3 烟气温度、颗粒物、其他烟气污染物测试参数应按 GB/T 16157 执行。

6.6.4 CO₂捕集能耗计算应符合附录 D 的规定。

7 检验规则

7.1 检验类别

低压低浓度 CO₂ 多级变压吸附提浓设备检验分出厂检验、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 低压低浓度 CO₂ 多级变压吸附提浓设备检验项目及要

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	烟气温度	5.2.1 a)	6.6.3	—	—	√
2	烟尘/颗粒物浓度	5.2.1 b)、5.2.2 c)	6.6.3	—	—	√
3	SO ₂	5.2.1 c)	6.6.3	—	—	√
4	CO ₂ 捕集率	5.2.2 a)	6.6.2	—	—	√
5	二氧化碳捕集能耗	5.2.2 b)	6.6.4	—	—	√
6	塔及其组件	5.3.1	6.1.3	√	√	—
7	换热器	5.3.2	6.1.4	√	√	—
8	罐	5.3.3	6.1.5	√	√	—
9	泵	5.3.4	6.1.6	√	√	—
10	压缩机	5.3.5	6.1.7	√	√	—
11	风机	5.3.6	6.1.8	√	√	—
12	电气和控制系统	5.4	6.3	√	√	—
13	涂漆检验	5.5	6.4	√	√	—
14	噪声	5.7	6.5	—	√	—

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

每台低压低浓度 CO₂ 捕集装置均应做性能检验，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，则低压低浓度 CO₂ 多级变压吸附提浓设备判定为合格。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 包装、运输和贮存

8.1 包装

8.1.1 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。

8.1.2 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。

8.2 运输

8.2.1 产品运输时应轻拿轻放，不应抛掷、翻滚和踩踏。

8.2.2 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。

8.2.3 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。

8.3 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、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。

9 安装、调试、运行和维护

安装、调试、运行和维护应参照 JB/T 12909 的规定。

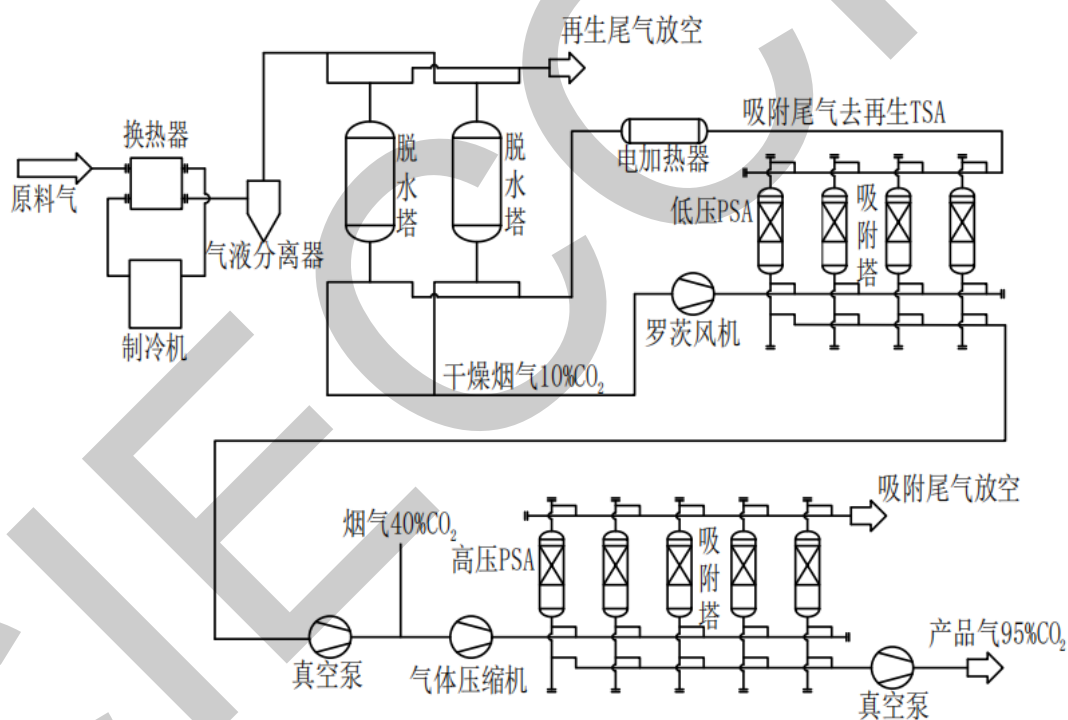
附录 A

(资料性)

低压低浓度 CO₂ 多级变压吸附提浓设备典型工艺流程

低压低浓度 CO₂ 多级变压吸附提浓设备工艺流程图见图 A.1。该设备的工作系统主要由脱水单元，一级变压吸附，二级变压吸附三个过程组成。本工艺主要针对低浓度的 CO₂ 烟气的捕集，同时也适用于化工气体中中等浓度的 CO₂ 捕集或提纯。该工艺将大量的低浓度烟气，如 CO₂ 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 CO₂ 浓度经过一级提浓到 40%，经过两级可提浓到 95% 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、加热、冷却三个步骤）。经脱水后的原料气进入低压 PSA 制 CO₂ 单元，吸附尾气从吸附塔顶部排出，经过一定循环步骤后，吸附塔内的 CO₂（95% 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。

图 A.1 低压低浓度 CO₂ 多级变压吸附提浓设备典型工艺流程图

附录 B
(资料性)
脱水塔

脱水塔图见图 B.1。脱水单元采用变温吸附工艺，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、加热、冷却三个步骤；在时序安排上，吸附塔所经历的步骤相互错开，保证原料气连续输入，尾气连续输出，使装置平稳、有序地工作。脱水塔主要包括塔本体，上、下分布器，进、出气口，卸料口，吸附剂支撑板。脱水塔主要分为降温和脱水两个阶段：烟气经引风机引入烟气管道，经过换热器对烟气降温，换热之后的水分经汽水分离器排出，烟气经管道进入变温吸附（TSA）脱水单元进行吸附脱水。烟气中的水分被塔内的吸附剂吸附，经加热解析后排出，脱水后的干烟气进入下一吸附单元。

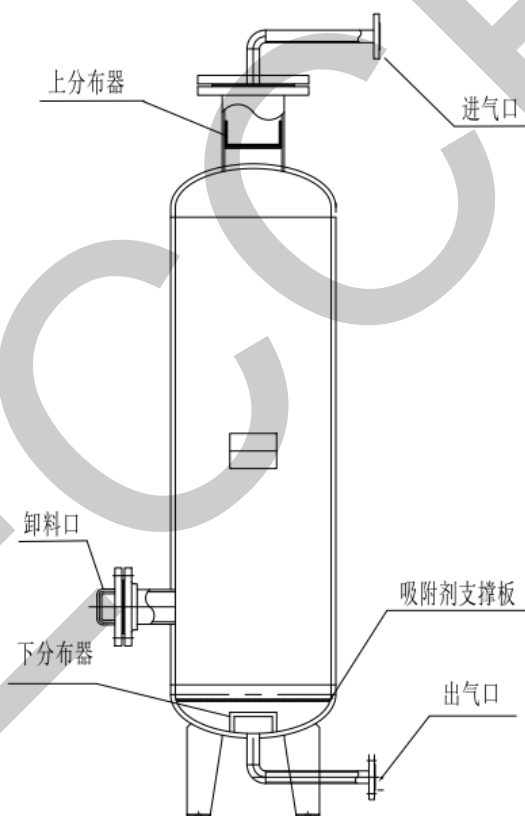


图 B.1 脱水塔图

附录 C
(资料性)
变压吸附塔

变压吸附塔图见图 C.1, 本装置有两级变压吸附单元, 每一级的变压吸附单元均可独立运行, 也可以联合起来做两级变压吸附工艺运行, 系统调节灵活、自动化程度高。

吸附塔主要包括塔本体, 上、下分布器, 进、出气口, 卸料口, 排污口, 透气口, 吸附剂支撑板。脱水后的干烟气经罗茨风机增压进入变压吸附 CO₂ 提浓单元。烟气由变压吸附塔底进气口进入, 在预定的吸附压力下混合气中的 CO₂ 被专用吸附剂所吸附, 为了保证吸附充分, 吸附完成后, 吸附塔依次与低压的吸附塔连通, 通过多次均压、降压、置换、抽真空、均压升压一系列过程, 即可得到 40%左右的 CO₂ 产品气; 随后 40%左右的 CO₂ 产品气通过气体压缩机进入高压吸附单元, 重复进行吸附过程最终即得 95%以上的 CO₂ 产品气。

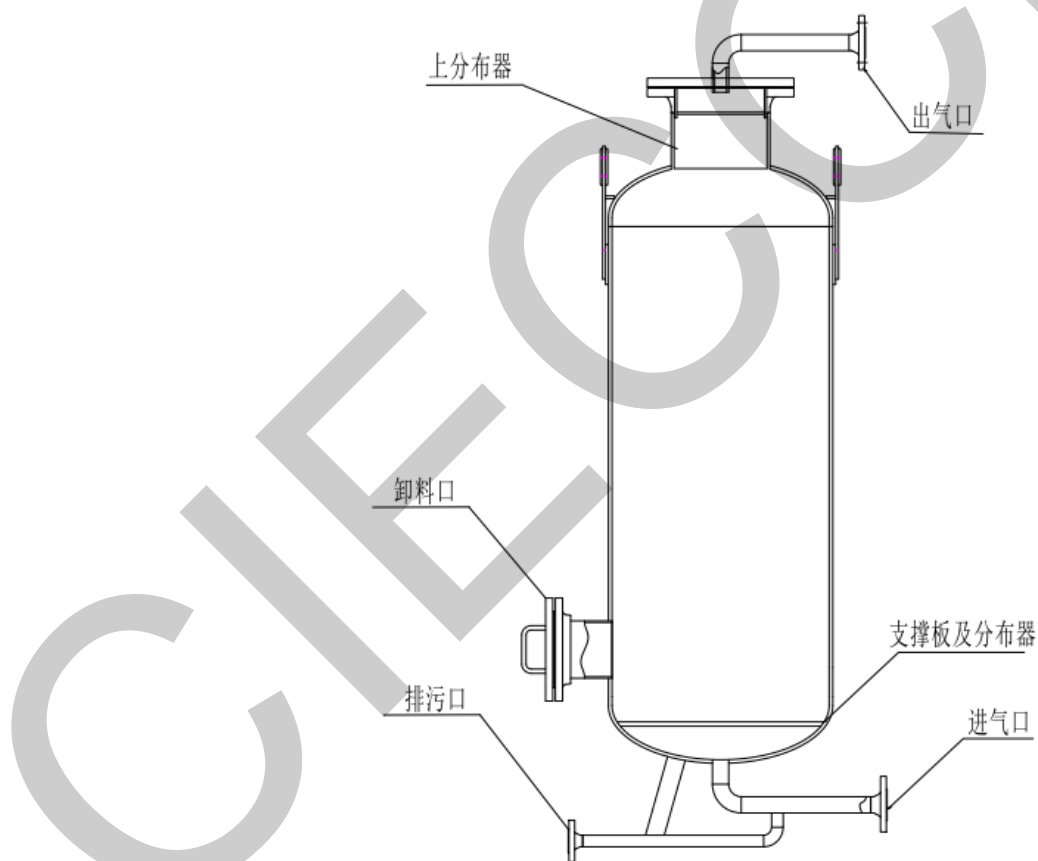


图 C.1 变压吸附塔图

附录 D

(规范性)

二氧化碳捕集能耗计算方法

CO₂ 捕集能耗应按公式 D.1 进行计算:

$$E_C = \frac{(E_e + E_w + E_g)}{m_{CO_2}} \dots\dots\dots (D.1)$$

式中: E_C ——CO₂ 捕集能耗, 单位为 GJ/t;

E_e ——每小时捕集装置运行所需要的电能, 单位为 GJ/h, 所有用电设备分别计算加和得到的电功率, 采用 GB/T50441 进行能耗折算;

E_w ——每小时捕集装置运行所需要的水耗, 单位为 GJ/h, 所有用循环水设备分别计算加和, 并根据水量进行估算, 计算方法按照 GB/T50441 进行能耗折算, 折算系数见表 D.1;

E_g ——每小时捕集装置运行所需要的仪表气消耗, 单位为 GJ/h, 所有用仪表气(非净化压缩空气)的设备分别计算加和, 并根据仪表气量进行估算, 计算方法按照 GB/T50441 进行能耗折算, 折算系数见表 D.1;

m_{CO_2} -----每小时捕集的 CO₂ 产量, 单位为 t/h, 所有用循环水设备分别计算加和, 并根据水量进行估算, 计算方法按照 GB/T50441 进行能耗折算, 折算系数见表 D.1;

能耗应按照一次能源消耗计算, 能耗单位采用千克(kg)标准油, 1 千克标准油的低发热量为 41.868 MJ。

表 D.1 电、水及耗能工质的统一能源折算值

序号	类别	单位	能源折算值 (kg 标准油)
1	电	kWh	0.22
2	循环水	t	0.06
3	非净化压缩空气	m ³	0.028