

ICS 13.020  
CCS D44

# 团 体 标 准

T/CIECCPA XXX—20XX

## 电厂烟气二氧化碳捕集与精制技术标准

Technical standard for carbon dioxide capture and refining of power plant

flue gas

(征求意见稿)

XXXX - XX - XX 发布

XXXX - XX - XX 实施

中国工业节能与清洁生产协会 发布



# 目 次

前 言 .....	II
1 范围 .....	1
2 规范性引用文件 .....	1
3 术语和定义 .....	1
4 总体要求 .....	2
5 二氧化碳捕集 .....	2
6 二氧化碳压缩及纯化 .....	6
7 二氧化碳精制技术 .....	6
8 设备要求 .....	7
9 电气和控制系统要求 .....	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：聊城信源集团有限公司、浙江工业职业技术学院、碳和科技（北京）有限公司、福建华电可门发电有限公司、华电青岛发电有限公司。

本文件主要起草人：宋世伟、惠相君、李玉雪、戚励、汤联生、宿星会、郝宗鹏、安冬冬。

# 电厂烟气二氧化碳捕集与精制技术标准

## 1 范围

本文件规定了电厂烟气二氧化碳捕集与精制的总体要求、二氧化碳捕集、二氧化碳压缩及纯化、二氧化碳精制技术、设备要求以及电气和控制系统要求。

本文件适用于电厂烟气二氧化碳捕集与精制工艺设计与装置选用。

## 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 151 热交换器

GB/T 4208 外壳防护等级(IP代码)

GB/T 4272 设备及管道绝热技术通则

GB 8978 污水综合排放标准

GB 16297 大气污染物综合排放标准

GB 18597 危险废物贮存污染控制标准

GB 50057 建筑物防雷设计规范

GB 50316 工业金属管道设计规范

GB/T 51316 烟气二氧化碳捕集纯化工程设计标准

DL/T 5046 发电厂废水治理设计规范

HG/T 20509 仪表供电设计规范

HG/T 20513 仪表系统接地设计规范

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

## 3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

### 3.1

**电厂烟气 flue gas of power plants**

电厂含碳燃料燃烧时所产生的从烟道或烟囱排出的气体。一般含有水蒸气、二氧化碳、氮气、氧气、氮氧化物及硫氧化物等。

### 3.2

**二氧化碳捕集 carbon dioxide capture**

将二氧化碳从电厂烟气中分离，产生易于运输、储存或利用的高浓度二氧化碳流体的过程。

### 3.3

**二氧化碳精制 carbon dioxide refining**

将提取回收的高浓度二氧化碳气源，进一步加工成高纯度的二氧化碳。

### 3.4

### 吸收法 absorption method

化学吸收剂在吸收塔内与烟气中的二氧化碳进行化学反应，生成化合物，并在解吸塔内经升温后释放出吸收的二氧化碳，完成二氧化碳与其他气体分离的方法。

### 3.5

#### 膜分离法 membrane separating method

利用特定选择性渗透膜从电厂烟气中完成二氧化碳与其他气体分离的方法。

### 3.6

#### 吸附法 adsorption method

主要是利用固体吸附剂（如活性炭、分子筛、沸石等）通过物理或化学吸附作用，将二氧化碳从电厂烟气中分离出来。

### 3.7

#### 二氧化碳压缩及纯化 carbon dioxide compression and purification

通过升高二氧化碳压力，分离出杂质组分，以提高二氧化碳纯度。

## 4 总体要求

4.1 应根据实际情况，综合考虑技术、经济、地理位置等因素，选择合适的二氧化碳捕集工艺与精制技术。

4.2 应评估所选二氧化碳捕集、精制技术链中潜在的环境影响，防止出现严重泄漏，造成二次污染。

4.3 碳捕集废水可根据实际情况选择回用或排放，废水排放应满足 GB 8978 中的规定。不经处理达不到排放标准的废水，应根据实际采用的碳捕集工艺选择废水处理装置，废水处理系统设计可参照 DL/T 5046 执行。碳捕集废气需引入净化装置如酸洗塔、热氧化炉等处理，确保排放符合 GB 16297 的要求。碳捕集废液，必须严格按照 GB 18597 进行分类、暂存与封装，并交由具备相应资质的单位进行安全处置或资源化利用。

4.4 系统设计应追求能源利用效率最大化，优先采用高效节能设备与工艺，并鼓励利用余热、余压等低品位能源。

4.5 应设定明确的系统性能指标，包括但不限于：单位产品二氧化碳的捕集能耗（kWh/tCO<sub>2</sub>）、捕集率（%）与产品气纯度（%）。这些指标需作为设计、采购与考核的关键依据。

4.6 应建立完整的操作规程、巡检制度与维护保养规程，确保系统在设计的工艺参数内稳定运行。

## 5 二氧化碳捕集

### 5.1 常用方法

电厂烟气二氧化碳捕集常用的方法有吸收法、膜分离法、吸附法，应根据实际情况选择适宜的捕集方法。

### 5.2 吸收法

#### 5.2.1 工艺流程

吸收法二氧化碳捕集工艺流程见图1。

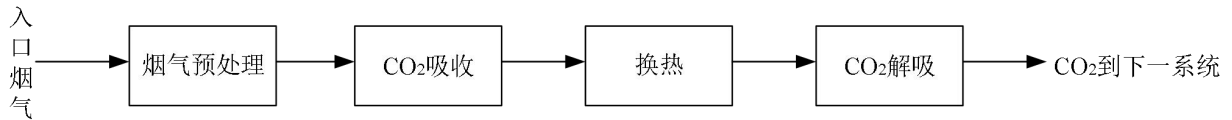


图1 吸收法二氧化碳捕集工艺流程

### 5.2.2 烟气预处理

烟气预处理流程如下：

- a) 烟气进入烟气预处理塔，脱除烟气中残存的污染物；烟气进行初步的降温、粉尘脱除、脱硫以及脱硝等处理后进入烟气预处理塔；
- b) 烟气在烟气预处理塔内自下向上流动，与从上部入塔的碱液形成逆接触，进一步脱除烟气中残存的污染物，同时降低烟气温度的；
- c) 烟气从烟气预处理塔进入增压风机增压，进入 CO<sub>2</sub> 吸收环节。

### 5.2.3 CO<sub>2</sub>吸收

CO<sub>2</sub>吸收环节流程如下：

- a) 烟气预处理后的烟气进入吸收塔在吸收塔内自下向上流动，与从上部入塔的吸收剂形成逆流接触并反应，形成富液，富液经富液泵送入贫富液换热器，与高温的贫液换热，富液温度升高后进入 CO<sub>2</sub> 解吸环节；
- b) 脱除 CO<sub>2</sub> 后的烟气从吸收塔顶排除系统外。

### 5.2.4 换热

换热流程如下：

- a) 富液与贫液在贫富液换热器中进行换热，回收利用贫液热量；
- b) 贫液在贫液冷却器中被循环冷却水冷却至设定温度。

### 5.2.5 CO<sub>2</sub>解吸

CO<sub>2</sub>解吸环节流程如下：

- a) 进入 CO<sub>2</sub> 解吸环节的富液进入再生塔上部，解吸出部分 CO<sub>2</sub> 成为半贫液进入煮沸器；
- b) 在煮沸器中，半贫液进一步解析出 CO<sub>2</sub> 成为贫液，从再生塔底流至贫液泵，送入富贫液换热器，与低温的富液换热；
- c) 贫液经过贫液冷却器，与循环冷却水换热，将贫液温度冷却至设定温度，进入吸收塔循环使用；
- d) 解析出 CO<sub>2</sub> 连同水汽经冷却、分离除去水汽后得到合格 CO<sub>2</sub> 进入下一个系统。

### 5.2.6 工艺系统设备

工艺系统设备主要包括：

- a) 塔式容器，包括烟气预处理塔、吸收塔、再生塔；
- b) 板式热交换器，包括贫液冷却器、贫富液换热器；
- c) 管壳式热交换器，包括再生气冷却器、煮沸器；
- d) 离心泵，包括水洗泵、富液泵、贫液泵；
- e) 离心风机，包括增压风机等；
- f) 容器，包括再生气分离器等。

## 5.3 膜分离法

### 5.3.1 工艺流程

膜分离法二氧化碳捕集应根据不同的膜组件性能和需求的CO<sub>2</sub>产品纯度采用不同的膜组件级数，一般最高设置三级膜组件，其工艺流程见图2。

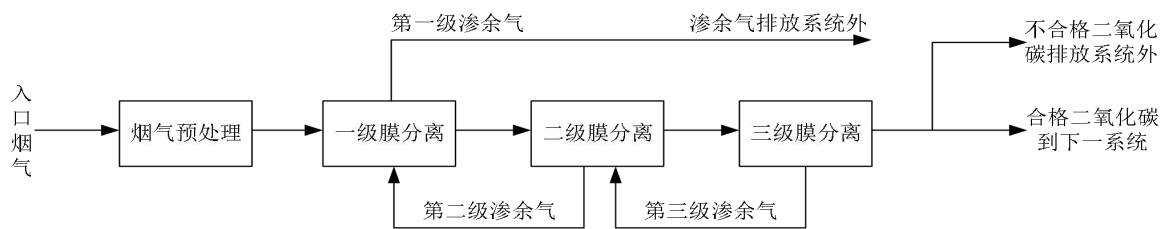


图2 膜分离法二氧化碳捕集工艺流程

### 5.3.2 烟气预处理

烟气进入预处理单元，将烟气中携带的粉尘、SO<sub>2</sub>等杂质进一步分离，并将烟气冷却，使烟气中的杂质含量及物性指标满足膜分离单元的进料要求。

### 5.3.3 一级膜分离

一级膜分离流程如下：

- 经过预处理的气体由第一级膜法风机提压至 40 kPaG~50 kPaG，温度降至 35℃~40℃，进入第一级膜组件和管道；
- 第一级膜组件将烟气分离成富 CO<sub>2</sub> 的第一级渗透气和富氮气的的第一级渗余气，第一级渗余气排放系统外；
- 第一级真空泵抽取第一级渗透气送入第二级风机。

### 5.3.4 二级膜分离

二级膜分离流程如下：

- 第二级风机将第一级渗透气送入第二级膜组件，第二级膜组件将其分离成第二级渗透气和第二级渗余气；
- 第二级渗余气循环回到第一级膜组件以提高 CO<sub>2</sub> 的回收率和纯度，第二级真空泵抽取第二级渗透气送至第三级风机。

### 5.3.5 三级膜分离

三级膜分离流程如下：

- 第三级风机将第二级渗透气送入第三级膜组件，第三级膜组件将其分离成第三级渗透气和第三级渗余气；
- 第三级渗余气循环回到第二级膜组件以提高 CO<sub>2</sub> 的回收率和纯度；
- 第三级真空泵抽取第三级渗透气，该渗透气中的水被冷凝并干燥以产生 95wt% 的合格进入下一个系统。

### 5.3.6 工艺系统设备

工艺系统设备主要包括烟气预处理塔、水洗泵、风机、真空泵、膜组件压力容器、换热器、真空泵密封冷却水冷却器、膜分离法水箱等。

## 5.4 吸附法

#### 5.4.1 工艺流程

吸附法二氧化碳捕集工艺流程如图3所示。

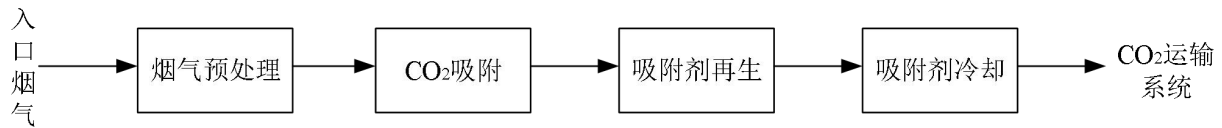


图3 吸附法二氧化碳捕集工艺流程

#### 5.4.2 烟气预处理

在吸附之前，烟气中可能含有杂质（如水蒸气、硫氧化物、氮氧化物等），需要通过过滤、干燥等方式进行预处理。

#### 5.4.3 CO<sub>2</sub>吸附

CO<sub>2</sub>吸附环节流程如下：

- 经过预处理的烟气经烟气压缩机与来自冷却吸附剂储罐的吸附剂进入吸附流化床提升管进行CO<sub>2</sub>吸附；
- 烟气携带吸附CO<sub>2</sub>的吸附剂进入吸附流化床下降管，进一步吸附饱和CO<sub>2</sub>，随着气速减小，大部分吸附剂沿折流板向下流动，进入吸附剂储罐；
- 从吸附流化床上段出口的低浓度CO<sub>2</sub>烟气经旋风分离器进行气固分离，分离出的吸附剂进入吸附流化床下降管内，沿折流板向下流动，进入吸附剂储罐；
- 清洁空气经布袋除尘器以及水除尘装置进一步除去吸附剂粉末后进行排空，水除尘装置回收的粉未经自然蒸发后回收利用。

#### 5.4.4 吸附剂再生

CO<sub>2</sub>吸附剂再生环节流程如下：

- 吸附剂储罐内的吸附剂与高温蒸汽一起进入再生流化床提升管内，充分接触后进入再生流化床的扩大段，气速减小，吸附剂沿折流板向下流动，进入再生剂储罐；
- 从再生流化床下降管出口的高浓度CO<sub>2</sub>，和水蒸汽经再生旋风分离器进行气固分离，分离出的吸附剂进入再生流化床下降管内，沿折流板向下流动，进再生剂储罐。
- 来自再生旋风分离器分离出的高温CO<sub>2</sub>，经布袋除尘器和水除尘装置进一步除去吸附剂粉末后，进入再生流化床提升管的提升管夹层内作为再生吸附剂预热热源，换热后气体进入再生吸附剂储罐与高温吸附剂进行换热后经再生压缩机进入CO<sub>2</sub>冷却器，将水蒸汽或蒸汽冷凝下来，得到高纯度的CO<sub>2</sub>进入CO<sub>2</sub>储罐，蒸汽冷凝液返回蒸汽发生器循环利用。

#### 5.4.5 吸附剂冷却

吸附剂冷却环节流程如下：

- 来自再生剂储罐的吸附剂与来自冷却压缩机的空气一起进入冷却流化床提升管内，充分接触后进入冷却流化床下降管，在冷却流化床的扩大段，气速减小，吸附剂沿折流板向下流动，进入冷却吸附剂储罐；
- 从冷却流化床下降管出口的携带吸附剂的空气经冷却旋风分离器进行气固分离，分离出的吸附剂进冷却流化床下降管，沿折流板向下流动，进冷却吸附剂储罐。

- c) 来自冷却旋风分离器分离出的空气经布袋除尘器和水除尘装置进一步除去吸附剂粉末后排空，水除尘装置回收的粉未经自然蒸发后回收利用。

#### 5.4.6 工艺系统设备

工艺系统设备主要包括换热器、电加热器、吸附塔、罐、旋风分离器、再生塔、引风机、增压风机、水泵、真空泵等。

## 6 二氧化碳压缩及纯化

- 6.1 二氧化碳压缩系统应能适应气体组成、进气压力、进气温度和进气量的波动。
- 6.2 二氧化碳压缩机的选型应符合 GB/T 51316-2018 中 4.4.2 的规定。
- 6.3 等温压缩工艺需配置级间冷却，绝热压缩工艺需在压缩配置冷却系统。热交换热量可用于加热锅炉冷凝水或补给水。
- 6.4 若下游运输或封存环节对二氧化碳运输气水分限定较高，二氧化碳压缩脱水效率不够时，可利用三乙二醇（TEG）、乙二醇、硅胶或分子筛等深度脱水。
- 6.5 若下游运输或封存环节对二氧化碳运输气中氧气含量限定较高，应进一步脱除氧气。
- 6.6 压缩降温过程，除使用冷却水外，也可采用液氨、丙烷或氟利昂制冷。

## 7 二氧化碳精制技术

### 7.1 常用方法

二氧化碳精制提纯采用较为先进常用的方法为吸附精馏法。

### 7.2 吸附精馏法

#### 7.2.1 工艺流程

二氧化碳精制提纯吸附精馏法工艺流程如图4所示。

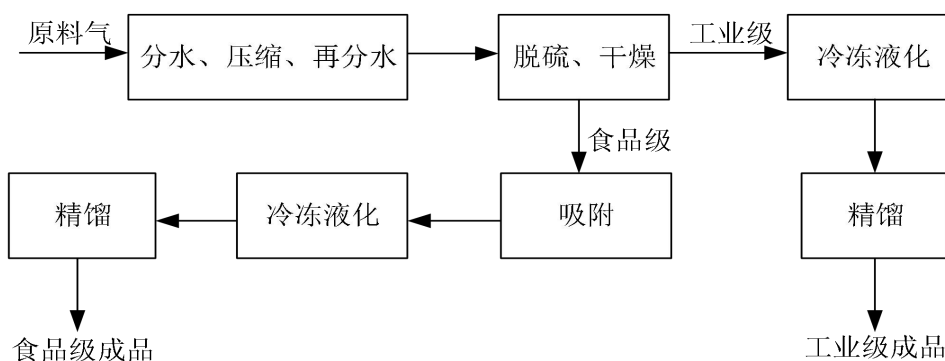


图4 二氧化碳精制提纯吸附精馏法工艺流程

#### 7.2.2 分水压缩再分水

原料气经过缓冲冷却、分水以及多级压缩的工艺流程，将气体压力增加到特定的压力，进入稳压罐进行更进一步的分水。

#### 7.2.3 脱硫干燥

原料气经压缩分水后，先进入串联的脱硫床脱除硫化物，并通过一用一备的方式实现催化剂的不停机更换；随后气体进入并联的干燥床，一床进行吸附脱水时，另一床则利用高温残气进行再生解吸，通过双床切换确保连续生产；最终，干燥后的气体经精密过滤并冷却至常温，送入后续工段，经脱硫床脱硫、干燥床干燥后原料气分成食品级和工业级两股物流。

#### 7.2.4 精馏及成品贮存

精馏及成品贮存环节流程如下：

- a) 食品级物流经过吸附器后进入制冷液化工段，液化后温度降到-10℃左右液化，进入精馏塔精馏，塔底得到高纯度的食品级成品，进入二氧化碳成品贮罐；
- b) 工业级物流从干燥床出来后经过冷却预冷，直接进入液化器液化，然后进入精馏塔脱除轻组分，塔底得到工业级二氧化碳产品，直接进入工业级二氧化碳成品球罐。

### 8 设备要求

#### 8.1 塔式容器

- 8.1.1 塔式容器应符合 NB/T 47041 中的规定。
- 8.1.2 塔式容器及管道的绝热设计应符合 GB/T 4272 的规定。

#### 8.2 热交换器

- 8.2.1 管壳式热交换器应符合 GB/T 151 中的规定。
- 8.2.2 板式热交换器应符合 NB/T 47004.1 中的规定。

#### 8.3 离心泵

- 8.3.1 离心泵及转子泵的轴密封宜选用机械密封。
- 8.3.2 离心泵宜采用自排气型离心泵。

#### 8.4 离心风机设计

- 8.4.1 离心风机驱动方式宜选用直连方式。
- 8.4.2 离心风机振动值 $<4.6 \text{ mm/s}$ 。
- 8.4.3 离心风机过流部件宜选用奥氏体不锈钢。

#### 8.5 储罐

- 8.5.1 CO<sub>2</sub> 储罐的设计应符合 GB/T 51316 的规定。
- 8.5.2 CO<sub>2</sub> 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。
- 8.5.3 CO<sub>2</sub> 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。

#### 8.6 旋风分离器

- 8.6.1 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。
- 8.6.2 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。
- 8.6.3 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%。

### 9 电气和控制系统要求

T/CIECCPA XXX—20XX

- 9.1 管道设计和布置方式均应符合 GB 50316 的规定。
  - 9.2 监测仪表选型应符合 GB/T 51316 的规定。
  - 9.3 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。
  - 9.4 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 GB 50057 的规定。
  - 9.5 用电设备、控制柜和现场操作箱外壳防护等级应符合 GB/T4208 的规定。
-