

燃煤电厂膜法碳捕集运行技术规范

Technical specification for operation of carbon dioxide capture system by membrane separation

2024 - 10 - 28 发布

2025 - 01 - 28 实施

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 工艺系统要求 1

5 系统运行要求 3

6 系统事故处理 4

附录 A（资料性） 捕集性能测试评价指标..... 7

附录 B（规范性） CO₂捕集率计算 8

参考文献 9

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。

本文件由广东省生态环境厅提出并组织实施。

本文件由广东省碳达峰碳中和标准化技术委员会（GD/TC 73）归口。

本文件起草单位：深圳市深汕特别合作区华润电力有限公司、广东润碳科技有限公司、广东省粤科标准化科学研究所、中国矿业大学。

本文件主要起草人：王恩泽、姜鸿起、陈阿小、景强、胡黎明、张铁刚、郑宝旭、张茅、黄振杰、赵欣雷、曾冬苗、陆诗建、吴巧。

燃煤电厂膜法碳捕集运行技术规范

1 范围

本文件规定了燃煤电厂膜法碳捕集运行的工艺系统要求、系统运行要求和系统事故处理等。
本文件适用于燃煤电厂膜法碳捕集系统的运行、监测和事故处理。

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 50050 工业循环冷却水处理设计规范

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

膜分离法捕集 CO₂系统 **membrane carbon dioxide capture system**

采用膜分离技术捕集CO₂的装置系统。

3.2

烟气 **flue gas**

化石燃料燃烧后经脱硫、脱硝及除尘处理形成的气体和烟尘的混合物。

3.3

渗透气 **permeate**

烟气经过膜分离装置后，透过膜组件且富含CO₂的气相物流。

3.4

渗余气 **residue**

烟气经过膜分离装置后，未透过膜组件且含有杂质的气相物流。

4 工艺系统要求

4.1 工艺系统烟气指标

进入膜分离法捕集CO₂系统的烟气指标符合下列要求：

- a) 烟气温度不宜高于 55 °C；
- b) 粉尘含量不宜大于 5 mg/Nm³；
- c) SO₂不宜大于 10 mg/Nm³；
- d) 氮氧化物（以 NO₂计）不宜大于 50 mg/Nm³。

4.2 工艺系统组成

- 4.2.1 工艺系统包括烟气预处理单元、膜分离单元，具体如下：
- a) 烟气预处理单元主要是对烟气进行增压，同时脱除烟气中残存的污染物（硫化物、颗粒物等），降低烟气温度；
 - b) 膜分离单元主要由膜组件、风机和真空泵组成，烟气进入膜组件，在选择渗透性原理下分离出烟气中 CO₂，实现 CO₂的捕集。
- 4.2.2 膜分离法捕集 CO₂工艺系统设备分类见表 1。

表1 膜分离法捕集 CO₂系统捕集工艺系统组成

工艺系统	设备组成
烟气预处理单元	烟气预处理塔
	水洗泵
膜分离单元	第一级膜组件
	第一级风机
	第一级真空泵
	第二级膜组件
	第二级风机
	第二级真空泵
	第三级膜组件
	第三级风机
	第三级真空泵

4.2.3 膜分离法捕集 CO₂工艺系统图见图 1。

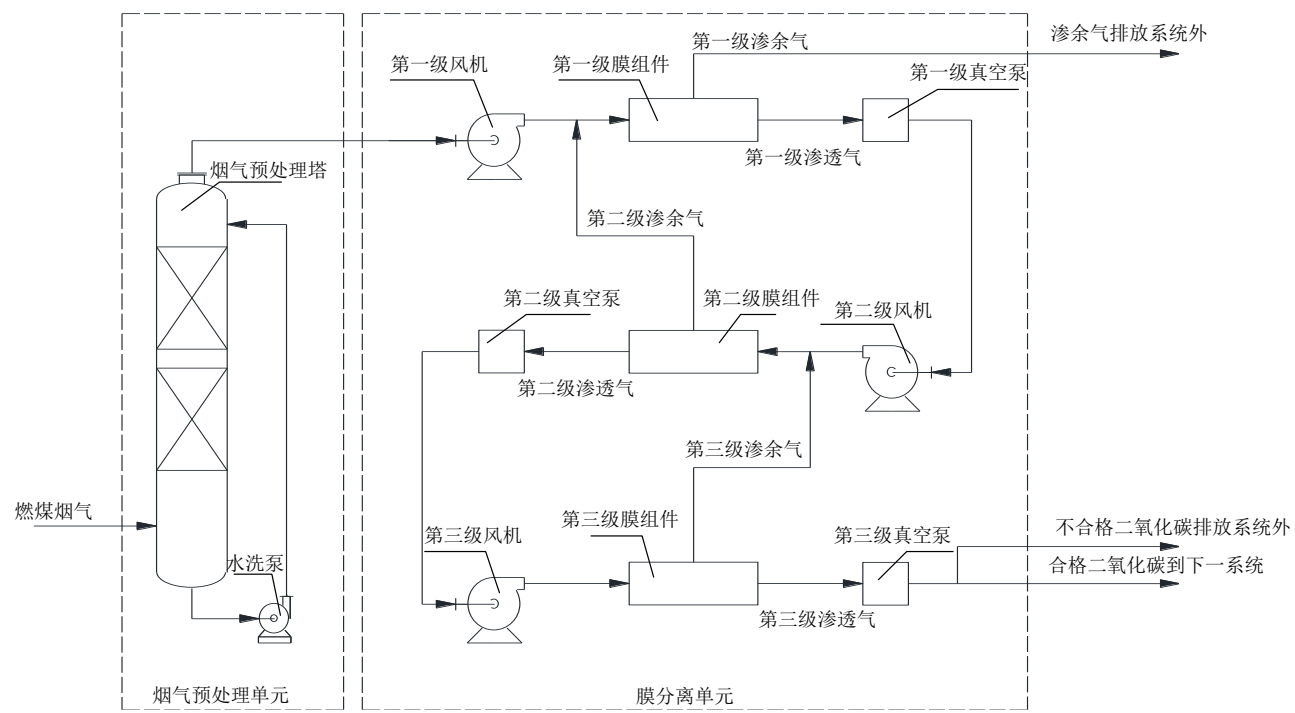


图1 膜分离法捕集 CO₂系统捕集系统图

4.3 工艺系统原料

工艺系统所需原料要求如下：

- a) 碱液应为 10%~40%的 NaOH 溶液；
- b) 工艺水浊度 ≤ 3 NTU，总硬度（以 CaCO_3 计） ≤ 450 mg/L，总碱度（以 CaCO_3 计） ≤ 350 mg/L，pH 值应为 6.5~8.5；
- c) 冷却水应符合 GB/T 50050 的要求。

4.4 工艺系统流程

4.4.1 烟气预处理单元

满足 4.1 要求的烟气进入烟气预处理单元，将烟气中携带的粉尘、 SO_2 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。

4.4.2 膜分离单元

4.4.2.1 经过烟气预处理单元的烟气进入膜分离单元进行气体分离，经过单级或多级膜组件后，最终合格 CO_2 进入下一个系统，具体流程如下：

- a) 经过烟气预处理单元的气体进入膜分离单元，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；
- b) 第一级膜组件将烟气分离成富 CO_2 的第一级渗透气和富氮气的第一级渗余气，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；
- c) 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_2 的回收率和纯度，第二级真空泵抽取第二级渗透气送入第三级风机；
- d) 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_2 的回收率和纯度，第三级膜组件渗余气进入第二级膜组件入口，以提高 CO_2 的回收率和纯度；
- e) 第三级膜组件产生含有约 90 wt% 的 CO_2 的第三级渗透气，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 95 wt% 的合格 CO_2 进入下一个系统。

4.4.2.2 应根据不同的膜组件性能和需求的 CO_2 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。

5 系统运行要求

5.1 启动前检查项目

启动前检查项目如下：

- a) 系统工艺管道连接完好；
- b) 真空泵和风机状态正确，具备启动条件；
- c) 系统启动辅助工程如冷却水、压缩空气、电等供应正常；
- d) 控制和监测系统状态正常，具备控制和监测条件；
- e) 系统所有安全保护装置可靠备用。

5.2 系统投运

5.2.1 启动烟气预处理单元

启动烟气预处理单元的工序如下：

- a) 烟气预处理塔加入工艺水和碱液，调节烟气预处理工艺水 pH 值在 7~9 之间，启动水洗泵，工艺水在烟气预处理塔内循环；
- b) 烟气通入烟气预处理单元。

5.2.2 启动膜分离单元

启动膜分离单元的工序如下：

- a) 将烟气至膜分离系统通路打开；
- b) 启动膜分离单元，启动工序为：
 - 1) 第一级风机；
 - 2) 第一级真空泵；
 - 3) 第二级风机；
 - 4) 第二级真空泵；
 - 5) 第三级风机；
 - 6) 第三级真空泵。
- c) 调整膜分离系统出口第一级渗余气压力和每级风机、真空泵出力，气体流量调整至合适值，三台真空泵入口压力调整至 -50 kPaG~-80 kPaG；
- d) 待 CO₂纯度达到要求后，合格 CO₂进入下一个系统。

5.3 系统运行监测与调整

系统运行监测与调整包括以下内容：

- a) 每级膜组件前后压力由真空泵和风机提供，风机出口压力应维持在设计值，真空泵入口真空度应保持在 -50 kPaG~-80 kPaG；
- b) 每级膜组件前后压差应保持在 100 kPaG~120 kPaG；
- c) 每级风机和真空泵在运行中轴承箱油位应保持在 2/3 以上，轴承温度应控制在 20℃~65℃，风机振动应保持在规定值以下，风机出口气体温度应控制在 20℃~40℃；
- d) 膜分离法捕集 CO₂系统入口应保持稳定的烟气流量和压力；
- e) 膜分离系统捕集性能测试评价指标见附录 A。
- f) 膜分离法捕集 CO₂系统出口的气体纯度应控制在 90%以上，CO₂捕集率应控制在 50%以上，CO₂捕集率计算方法见附录 B。

5.4 系统停运

系统停运包括以下要求：

- a) 停运水洗泵；
- b) 烟气至膜分离系统通路关闭；
- c) 停运所有风机和真空泵；
- d) 将膜分离系统内残余的压力和废气释放；
- e) 对于长期停运，系统应保持在 10 KpaG~50 KpaG 压力下进行氮封。

6 系统事故处理

6.1 故障分析及排除

风机和真空泵作为系统的关键部件，应保证故障排除的效率和正确性。针对膜分离法捕集CO₂系统运行过程中出现的其他故障问题，应作相应的故障排除记录。

6.2 风机故障及处理

膜分离法捕集CO₂系统风机故障及处理见表2。

表2 膜分离法捕集 CO₂系统风机故障及处理

序号	故障	原因	处理
1	风量不足	1. 风机叶轮间隙增大 2. 皮带过松打滑 3. 密封环损坏	1. 修复间隙 2. 张紧皮带 3. 更换密封环
2	电机超载	1. 过滤器或管道堵塞 2. 风机叶轮与叶轮、墙板或机壳摩擦	1. 清除堵塞物或障碍物 2. 检查原因，修复间隙
3	过热	1. 主油箱内润滑油过多 2. 升压增大 3. 叶轮磨损，间隙过大 4. 水冷油箱冷却不良	1. 调整油位 2. 减小系统阻力，降低升压 3. 修复间隙 4. 确保冷却水畅通，并满足使用要求
4	敲击声	1. 可调整齿轮和叶轮的位置失常 2. 装配不良 3. 异常压力上升 4. 超载或润滑不良造成齿轮损伤	1. 重新调整位置 2. 重新装配 3. 查明压力上升原因并排除 4. 更换同步齿轮
5	轴承、齿轮严重损伤	1. 润滑油不良 2. 润滑油不足	1. 更换润滑油 2. 补充润滑油
6	轴、叶轮损坏	1. 超负荷 2. 系统气体回流	1. 查明超载原因，降低负荷 2. 查明气体回流原因，采取措施
7	振动加剧	1. 风机叶轮平衡破坏 2. 轴承磨损或损坏 3. 齿轮损坏 4. 紧固螺栓松动 5. 橡胶隔振器老化、损坏	1. 检查排除 2. 更换轴承 3. 更换齿轮 4. 检查后拧紧 5. 更换隔振器
8	泄压阀限压失灵	1. 压力调整有误 2. 弹簧失效	1. 重新调整 2. 更换弹簧
9	压力表失灵	1. 压力表损坏	1. 更换压力表

6.3 真空泵故障处理

膜分离法捕集CO₂系统真空泵故障处理见表3。

表3 膜分离法捕集 CO₂系统真空泵故障处理

序号	故障	原因	处理
1	启动困难，电机跳闸或超电流	1. 启动时真空泵内水位过高 2. 填料压盖压的太紧 3. 胶带拉的过紧 4. 内部机件生锈 5. 排出压力增高	1. 按规定水位启动 2. 放松填料压盖 3. 适当放松胶带 4. 用力扳动转子，并供水冲洗 5. 检查排气管路及阀门口径是否过小
2	试车或者运转过程中出现卡死现象	1. 新管路有焊渣、铁屑等异物被气体带入泵体内 2. 结垢严重	1. 可松开前、后盖螺栓，转动叶轮并用水清洗，待转动灵活后才紧固螺栓。如不能排除，须拆开检查 2. 拆卸清除或酸洗
3	吸气量明显下降真空度降低	1. 胶带打滑而引起转速下降 2. 供水量不足或水温过高 3. 系统有泄漏 4. 介质有腐蚀或带入物料腐蚀，使内部机件间隙加大 5. 填料密封泄漏 6. 内部结垢严重 7. 机件腐蚀 8. 修配后，轴向间隙不符合要求 9. 柔性阀板破损	1. 拉紧胶带 2. 调节供水量，检查供水管路是否堵塞 3. 检查管路连接的密封性 4. 净化介质，防止固体物料吸入泵体内，更换磨损零件 5. 稍拧紧填料压盖 6. 清除水垢 7. 更换零件 8. 重新调整轴向间隙 9. 更换阀板
4	运转声音异常	1. 胶带松弛 2. 气体冲刷或喷射 3. 吸、排气管壁太薄 4. 泵在高真空下运行发生汽蚀	1. 拉紧胶带 2. 把排气口引出室外 3. 采用管壁较厚的气管 4. 采用较低温度的工作水，或在吸入侧补充气体，也可配上喷射器
5	振动大	1. 机座与基础接触不良，地脚螺栓松动 2. 对中不好	1. 用混凝土填充底座空隙，拧紧地脚螺栓 2. 重新对中和锁紧
6	轴承部位发热	1. 胶带拉得过紧 2. 电机、真空泵不对中 3. 润滑不良，油脂干涸或太多 4. 轴承安装不当 5. 轴承锈蚀、磨蚀、滚道被划伤	1. 适当放松胶带 2. 重新对中 3. 改善润滑条件 4. 重新调整轴承位置 5. 更换轴承

附 录 A
(资料性)
捕集性能测试评价指标

膜分离系统捕集性能测试评价指标见表A. 1。

表A. 1 捕集性能测试评价指标

指标	指标分类	指标名称	单位
性能指标	效率	CO ₂ 捕集率	%
	纯度	CO ₂ 产品纯度	%（干基）
能耗指标	水	循环冷却水	m ³ / t CO ₂
		脱盐水	m ³ / t CO ₂
	电	电耗	kWh/ t CO ₂

附 录 B
(规范性)
CO₂捕集率计算

CO₂捕集率为烟气经过膜组件后，烟气中CO₂总量与净化气中CO₂总量之间差值与烟气中CO₂总量的百分比。计算方法见公式B. 1。

$$\eta_{CO_2} = \frac{F_1 C_1 - F_2 C_2}{F_1 C_1} \times 100\% \dots\dots\dots (B. 1)$$

式中：

- η_{CO_2} ——CO₂捕集率；
- F_1 ——膜分离装置进口烟气流量，kg/h；
- F_2 ——膜分离装置出口烟气流量，kg/h；
- C_1 ——膜分离装置进口烟气中 CO₂浓度；
- C_2 ——膜分离装置出口烟气中 CO₂浓度。

参 考 文 献

- [1] GB 1886.228 食品安全国家标准 食品添加剂 二氧化碳
 - [2] GB/T 6052 工业液体二氧化碳
 - [3] GB 8978 污水综合排放标准
 - [4] GB 12348 工业企业厂界环境噪声排放标准
 - [5] GB 13223 火电厂大气污染物排放标准
-

广东省地方标准

燃煤电厂膜法碳捕集运行技术规范

DB44/T 2556—2024

*

广东省标准化研究院组织印刷
广州市海珠区南田路 563 号 1304 室
邮政编码：510220
电话：020-84250337