



中华人民共和国国家标准

GB/T XXXXX—XXXX

二氧化碳捕集 燃烧后二氧化碳捕集系统通用要求

Carbon dioxide capture General requirements for post-combustion CO₂ capture system

(征求意见稿)

(本草案完成时间：2025.01.14)

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。

XXXX - XX - XX 发布

XXXX - XX - XX 实施

国家市场监督管理总局
国家标准化管理委员会 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 分类与组成	3
4.1 分类	3
4.2 组成	3
5 技术要求	3
5.1 总体要求	3
5.1.1 材料	3
5.1.2 设备	3
5.1.3 管道与阀门	4
5.1.4 接口	4
5.1.5 性能要求	4
5.1.6 排放要求	5
5.1.7 安全要求	5
5.1.8 其他要求	5
5.2 烟气预处理单元	5
5.3 捕集单元	6
5.4 二氧化碳压缩单元	7
5.5 液化单元	7
5.6 仪表与控制单元	7
5.6.1 仪表	7
5.6.2 控制单元	8
6 试验验证	8
6.1 试验目的	8
6.2 试验内容	8
6.3 验证方法	8
6.4 试验报告	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××××提出。

本文件由××××归口。

本文件起草单位：XXX、XXX。

本文件主要起草人：XXX、XXX。

二氧化碳捕集 燃烧后二氧化碳捕集系统通用要求

1 范围

本文件规定了燃烧后二氧化碳捕集系统（以下简称“碳捕集系统”）的分类与组成、技术要求、试验验证等。

本文件主要适用于火电、化工、石油、钢铁、水泥等行业吸收法、吸附法和膜法碳捕集系统（不含实验装置）的设计、建造和验收，其他行业燃烧后二氧化碳捕集系统可参照执行。

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 2894 安全标志及其使用导则
- GB/T 6052 工业液体二氧化碳
- GB 8978 污水综合排放标准
- GB 10621 食品添加剂 液体二氧化碳
- GB 14554 恶臭污染物排放标准
- GB 18599 一般工业固体废物贮存、处置场污染控制标准
- GB 31570 石油炼制工业污染物排放标准
- GB 31571 石油化学工业污染物排放标准
- GB 31572 合成树脂工业污染物排放标准
- GB 37822 挥发性有机物无组织排放控制标准
- GB 37823 制药工业大气污染物排放标准
- GB 37824 涂料、油墨及胶粘剂工业大气污染物排放标准
- GB/T 45121 火力发电厂烟气二氧化碳捕集系统能耗测定技术规范
- GB 50058 爆炸危险环境电力装置设计规范
- GB/T 50087 工业企业噪声控制设计规范

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

燃烧后二氧化碳捕集 post-combustion CO₂ capture

从碳基燃料燃烧产生的烟气流中捕集CO₂。

3.2

吸收法 absorption

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。

[来源：GB/T 51316—2018，2.0.4]

3.3

吸附法 adsorption

通过物理或化学方式将二氧化碳吸附到固体吸附剂的孔隙内，并实现CO₂分离的方法。

3.4

膜法 membrane carbon capture

依据CO₂与其他气体分子在分离膜内传递速率的差异捕集CO₂的方法。

3.5

吸收剂 absorbent

吸收二氧化碳的溶液。

3.6

吸附剂 adsorbent

用于从含二氧化碳气流中吸附二氧化碳，或从不纯二氧化碳中吸附其他杂质的固体材料，可实现二氧化碳与其他气体的分离。

3.7

分离膜 separation membranes

用于选择性透过混合物系中组分的薄膜。

3.8

膜元件 membrane modules

通过特定工艺将多个分离膜制成的模块化单元设备，包含分离膜及其支撑结构。

3.9

真空变压吸附 vacuum pressure swing adsorption; VPSA

用于二氧化碳分离的技术，通过在低于大气压力（例如由真空泵实现真空环境）下进行解吸操作，以提高系统性能。

3.10

变压变温吸附 pressure and temperature swing adsorption; PTSA

通过同时调节系统的压力和温度进行二氧化碳分离和净化的装置。

3.11

二氧化碳捕集效率 CO₂ capture efficiency

CO₂捕集装置捕集前后烟气中CO₂质量的差值与捕集前烟气中CO₂质量的百分比。

[来源：GB/T 51316—2018, 2.0.7]

3.12

吸收塔 adsorber

采用化学或物理的处理方法分离捕集烟气中二氧化碳的装置。

[来源：GB/T 45121—2024, 3.10]

3.13

解吸塔 regenerator

将富液中的二氧化碳分离出来，使富液转化为贫液的装置。

[来源：GB/T 45121—2024, 3.11, 有修改]

3.14

吸附器 adsorber

装有吸附剂、用于捕集二氧化碳的设备，可以是立式设备。

3.15

程控阀 sequence control valve

根据控制系统发出的信号，通过启闭阀门来控制气体流动的操作装置。

3.16

二氧化碳压缩 CO₂compression

将二氧化碳气体通过机械设备增加其压力，用于将二氧化碳气体转化为高压液体或为后续处理提供所需的压力条件。

3.17

二氧化碳液化 CO₂liquefaction

将气态二氧化碳在适当的压力和温度条件下转化为液态的过程。

3.18

高压液化 high pressure liquefaction

将二氧化碳气体加压至临界压力以上，使其在较高的压力条件下转变为液态的过程。

3.19

低温液化 low temperature liquefaction

将二氧化碳气体降温至临界温度以下，使其在较低的温度条件下转变为液态的过程。

4 分类与组成

4.1 分类

按照二氧化碳的捕集方法，碳捕集系统主要分为以下三类：

- a) 吸收法碳捕集系统；
- b) 吸附法碳捕集系统；
- c) 膜法碳捕集系统。

4.2 组成

碳捕集系统至少由以下五个部分组成：

- a) 烟气预处理单元；
- b) 捕集单元；
- c) 二氧化碳压缩单元；
- d) 液化单元；
- e) 仪表与控制单元。

5 技术要求

5.1 总体要求

5.1.1 材料

5.1.1.1 碳捕集系统应选用具有良好工艺适应性的材料，塔器、罐体、管道、泵、风机、换热器、压缩机等主体结构材料及垫片等辅助材料应满足对工艺介质的耐腐蚀和承压要求。

5.1.1.2 捕集材料应具有二氧化碳选择性能，宜具有低成本、低能耗等特性，对有特殊要求者，所选材料还应满足相应特定的性能要求，如结构强度、化学稳定性、热稳定性等。

5.1.2 设备

5.1.2.1 增压风机应满足以下要求：

- a) 增压风机的最小流量应大于喘振流量的 105%;
 - b) 增压风机的全压应不小于系统通过最大气量时的阻力, 裕量宜不低于全压的 20%。
- 5.1.2.2 泵的流量和扬程应满足输送流体性质、塔(器)的操作参数要求。
- 5.1.2.3 驱动设备的功率应与被驱动机相匹配并应留有 10%~20%的裕量, 且应满足不同季节环境温度、不同海拔高度条件下的工况需求。
- 5.1.2.4 热交换器应满足介质阻力低、传热效率高、结构紧凑的要求。

5.1.3 管道与阀门

- 5.1.3.1 直接与吸附器连接的管道, 如吸附器与程序控制阀之间的管道, 设计时应考虑循环压力变化对管道强度和管道疲劳寿命的影响。
- 5.1.3.2 循环压力变化会对管道连接件产生疲劳效应, 应确保管道连接件(如法兰、垫片、紧固件等)的密封在循环压力变化工作状态下不泄漏。
- 5.1.3.3 对于可能产生应力集中的管道, 应进行柔性设计。
- 5.1.3.4 对于易于产生应力腐蚀的碱液、氨液管道应防止应力腐蚀开裂。
- 5.1.3.5 阀门应满足以下要求:
- a) 阀门的类型、结构及其各部件材料应满足流体的特性、温度和压力的要求;
 - b) 阀门非金属密封材料应耐二氧化碳介质的腐蚀性;
 - c) 用于液化气体的具有密闭中腔结构的阀门应具备超压泄放功能。

5.1.4 接口

- 5.1.4.1 烟气接口宜从主体工程脱硫装置或湿式电除尘器后接入。
- 5.1.4.2 电气接口要求如下:
- a) 燃烧后碳捕集系统各设备电源接口应与搭载燃烧后碳捕集系统的主体工程相匹配;
 - b) 各类通信接口应与主体工程相应系统匹配。
- 5.1.4.3 机械接口要求如下:
- a) 应优先采用耐腐蚀金属并能承受最大工作压力的标准系列接头;
 - b) 接头布置时, 还应考虑到避免受到损伤的安全性措施;
 - c) 燃烧后碳捕集系统的与搭载燃烧后碳捕集系统的主体工程管路连接;
 - d) 有振动的设备应在安装接口处采取隔振措施;
 - e) 燃烧后碳捕集系统各模块的安装接口, 应便于快速安装和拆卸。

5.1.5 性能要求

- 5.1.5.1 碳捕集系统性能应符合表 1 的要求。

表 1 碳捕集系统性能要求

序号	项目	性能指标		
		吸收法	吸附法	膜法
1	二氧化碳捕集效率	>80%		
2	单位二氧化碳再生热耗	<3.0 GJ/tCO ₂	—	—
3	单位二氧化碳用电量 (不包括压缩液化)	≤95 kWh/tCO ₂	(VPSA) ≤500kWh/tCO ₂	≤900kWh/tCO ₂

注: 二氧化碳捕集效率、单位二氧化碳再生热耗和单位二氧化碳用电量计算方法按GB/T 45121—2024的规定。

5.1.5.2 二氧化碳产品气的品质，驱油二氧化碳产品气纯度应大于 95%，工业级二氧化碳产品气纯度应符合 GB/T 6052 的规定，食品级二氧化碳产品气纯度应符合 GB/T 10621 的规定。

5.1.6 排放要求

5.1.6.1 固体废弃物排放

固体废弃物处置应符合 GB 18599 的规定。

5.1.6.2 气体排放

5.1.6.2.1 挥发性有机物（VOC）排放应符合 GB 37822 的要求。

5.1.6.2.2 氨排放应符合 GB 14554 要求。

5.1.6.3 废水排放

废水（含工艺水）处理应符合 GB 8978 的有关规定。

5.1.7 安全要求

5.1.7.1 爆炸危险区域的划分范围应符合现行 GB 50058 的要求。

5.1.7.2 对有可燃气体、有毒气体和粉尘泄漏的封闭作业场所应设置良好的通风系统。

5.1.7.3 可能发生液氨或氨气泄漏的区域应设置检测设备和水喷雾系统，液氨储罐宜设置水喷淋降温系统。

5.1.7.4 在易发生有毒有害气体泄漏的区域应设置检测设备和应急处置措施。

5.1.7.5 应根据生产工艺要求、作业环境特点和物料的性质采取相应的防静电措施。

5.1.7.6 有火灾爆炸危险的装置、露天设备、储罐、电气设施和建（构）筑物应设有防雷装置，并应设置防感应雷接地。

5.1.7.7 吸收用胺液、碱液等腐蚀性物料的储存区，应设置围堰。

5.1.7.8 危险化学品应分类储存，其分类应符合国家危险化学品名录。

5.1.7.9 危险化学品堆放和使用场所应设置明显的安全标志与安全告知牌，安全标志的设置与使用应符合 GB 2894 的规定，安全告知牌应注明危险化学品特性、危害防护、处置措施、报警电话等内容。

5.1.7.10 危险化学品装卸运输时，应根据不同特点采用专用装卸运输工具。

5.1.7.11 设备产生噪声的应满足 GB/T 50087 的要求。

5.1.8 其他要求

二氧化碳捕集系统使用寿命应不低于主体工程的使用寿命。

5.2 烟气预处理单元

5.2.1 烟气在进入捕集单元前宜采用直接喷淋方式进行预处理，喷淋的洗涤液应根据烟气中污染物浓度选用工艺水或碱液。

5.2.2 经预处理后的烟气宜符合下列规定：

- a) 温度不高于 45 ℃；
- b) 粉尘不大于 1 mg/Nm³；
- c) SO₂ 浓度不大于 1 mg/Nm³；
- d) NO_x 浓度不大于 40 mg/Nm³。

5.2.3 原料气在进入真空变压吸附装置中的吸附器前，如气体中存在过饱和的水，宜采取一定措施（如将原料气冷却、气液分离后再热），将原料气中水分脱除至进料温度下的饱和状态以下，再送入吸附器。

5.3 捕集单元

5.3.1 捕集单元应符合下列要求：

- a) 碳捕集单元参数准确可靠；
- b) 碳捕集单元可根据上游烟气负荷或下游二氧化碳产品需求量进行调整；
- c) 碳捕集单元运行调整过程应避免参数出现较大的波动；
- d) 在满足性能要求的前提下，优化运行参数，提高经济性。

5.3.2 吸收法捕集单元的要求如下：

- a) 吸收剂宜选用吸收能力强、再生能耗低、挥发性低、腐蚀性小、不易降解、不易发泡的溶剂；
- b) 二氧化碳捕集工艺宜配套吸收剂净化再生装置；
- c) 进入吸收塔的贫液温度宜为 40℃~50℃，解吸塔底的温度根据吸收剂的特性确定，不宜高于 125℃；
- d) 蒸汽要满足二氧化碳再生的压力 0.4MPa、温度 144℃及流量要求；
- e) 吸收塔和解吸塔内应保证气、液分布均匀；
- f) 吸收塔和解吸塔宜采用填料塔，吸收塔顶部应设洗涤段并设置除雾器，解吸塔顶宜设温度检测和高低温报警装置，与再沸器蒸汽流量有联锁调节措施；
- g) 吸收塔贫液进口管路应设旁路过滤装置；
- h) 吸收塔贫液、富液管道应设取样口；
- i) 贫富液换热器、贫液冷却器宜选用板式换热器，换热端差不宜大于 5℃；
- j) 再沸器宜选用热虹吸式换热器或釜式换热器，换热端差不宜大于 8℃。

5.3.3 吸附法捕集单元的要求如下：

- a) 吸附剂应具有足够的机械强度，对于变温吸附装置及变压变温吸附装置，吸附剂还需要有足够的热稳定性，避免在频繁加压、降压及升温、降温过程中出现破碎或粉化；
- b) 吸附剂的吸附容量不宜低于 0.02 g/g；
- c) 吸附剂的抗压压碎力不应低于 10N/P，滚筒磨耗率不应高于 0.1%；
- d) CO₂吸附可根据工艺需求采用变温吸附、变压吸附、流化床吸附等方式；
- e) 变压吸附捕集单元，可根据工艺需求选用真空变压吸附 (VPSA) 装置，或选用真空变压吸附 (VPSA) 装置串联变温吸附装置 (TSA)、变压变温吸附 (PTSA) 装置进行二氧化碳捕集；
- f) 真空变压吸附装置的操作压力宜为-0.08 MPa (G)~6.0MPa (G)，操作温度宜为 20℃~40℃；
- g) 变温吸附装置的操作压力宜为 0.02 MPa (G)~6.0MPa (G)，操作温度宜为 20℃~250℃；
- h) 变压变温吸附装置的操作压力宜为-0.08 MPa (G)~6.0MPa (G)，操作温度宜为 20℃~250℃；
- i) 真空变压吸附装置的抽空再生压力宜为-20kPa (G)~-80kPa (G)；
- j) 变温吸附装置及变压变温吸附装置，可采用高温气体或由蒸汽、电加热再生气进行再生；
- k) 若采用蒸汽直接对解吸塔中吸附剂再生时，蒸汽温度宜低于 140℃，且解吸器底部应设有排凝阀；
- l) 再生吸附剂冷却温度不宜高于 100℃；
- m) 当采用流化床时，吸附塔的流化气宜采用原料气或空气，流速宜为 0.3 m/s~1.0 m/s；解吸塔的流化气宜采用空气或 CO₂产品气，流速宜为 0.1 m/s~1.0 m/s；
- n) 吸附器顶部出口管线上应配置压力或温度检测仪表；
- o) 吸附器的规格尺寸、内部组件应能防止吸附剂泄漏和颗粒流化；
- p) 吸附器的筒体上，应尽量避免使用焊接垫板；
- q) 真空变压吸附、变温吸附、变压变温吸附装置，应采用程控阀进行时序控制，程控阀的选择应考虑其动作频繁特性及高速气流冲击/冲蚀影响，避免频繁开关导致阀门密封失效。

5.3.4 膜法碳捕集单元要求如下：

- a) 分离膜的 CO₂ 渗透率不宜小于 200 GPU, CO₂/N₂ 选择性不宜小于 30;
- b) 分离膜宜采用具有 CO₂ 优先渗透性质的有机高分子或有机/无机复合材料;
- c) 有机高分子聚合物材料膜元件形式宜为中空纤维式或螺旋卷式结构;
- d) 膜元件应具有一定的承压能力、耐受水蒸气和酸性气体腐蚀的能力;
- e) 膜元件应具备足够的机械强度和化学稳定性, 使用寿命不少于 3 年;
- f) 膜装置应设置压力连锁保护措施并设置泄压旁路;
- g) 膜装置截留气宜加装能量回收设备;
- h) 膜装置在停用时宜以惰性气体保护;
- i) 膜装置中原料气应采用加压方式;
- j) 膜装置宜在下列的操作温度、压力范围内正常运行:
 - 1) 温度: 0℃~50℃;
 - 2) 进料测压力: 0.1 MPa~0.5 MPa;
 - 3) 渗透测压力: ≤0.1 MPa。

5.4 二氧化碳压缩单元

5.4.1 二氧化碳压缩单元的设置应符合下列要求:

- a) 压缩机进出口应设置压力限值报警并连锁停机;
- b) 压缩机组润滑油及冷却系统应设置压力及温度监测报警, 润滑油系统应设低压报警并连锁停机;
- c) 压缩机组内空冷器风机应设置振动开关;
- d) 往复式压缩机组及管道应进行气流脉动和管道机械振动分析, 压缩机进出口均应设置缓冲罐;
- e) 离心式压缩机应设置喘振检测及控制设施;
- f) 离心式压缩机的干气密封系统应设置泄放报警;
- g) 往复式和螺杆式压缩机入口及各级出口管道上应设置安全阀;
- h) 对于管道内可能有冷凝液带入压缩机的, 压缩机入口前应设置气液分离器;
- i) 进、出口管道宜设置自动切断阀和自动放空阀。

5.4.2 采用二氧化碳恒温压缩工艺时应配置级间冷却; 采用二氧化碳绝热压缩工艺时应在压缩后配置冷却装置。

5.4.3 压缩机级间或未级之后应设置脱水系统, 脱水方法宜采用固体吸附法; 二氧化碳脱水率若达不到运输条件时, 应进一步脱水。脱水后露点温度应满足下列要求:

- a) 若产品要求为气态, 水露点应低于输送条件下最低环境温度 5℃;
- b) 若产品要求为液态, 水露点应低于液化温度 5℃。

5.4.4 往复式压缩机应设减振沟、减振器、抗震支撑等震动减缓设备, 以降低震动对系统的影响, 确保设备稳定运行。

5.5 液化单元

5.5.1 二氧化碳液化工艺可采用高压液化法或低温液化法。

5.5.2 二氧化碳液化采用高压液化法时, 应采用管道直接外输。

5.5.3 二氧化碳液化采用低温液化法时, 制冷剂宜选用氨。

5.5.4 采用高压液化法时, 二氧化碳液化单元的脱水系统应符合 5.4.3 的相关要求。

5.6 仪表与控制单元

5.6.1 仪表

捕集系统应至少包括以下仪表：

- a) 烟气进出口成分分析仪；
- b) 烟气进口管路温度和流量计；
- c) 气态二氧化碳浓度、温度、流量分析仪；
- d) 液态二氧化碳储罐液位计、流量计；
- e) 在管道和装置的潜在泄漏点处以及场地地势低洼气体易于聚集处，应设置二氧化碳及氧气探测器；潜在泄漏点处于封闭或局部通风不良的半敞开厂房内，应设置二氧化碳及氧气探测器；
- f) 预处理系统洗涤液管道出口位置宜设 pH 计。

5.6.2 控制单元

5.6.2.1 热工自动化水平宜与主体工程的自动化控制水平相匹配；

5.6.2.2 控制单元宜采用集中监控方式，实现整体启动，正常运行的监视和控制，停机和事故应急处理，在启动、停止、运行及事故处理时均不应影响主体工程正常运行；

5.6.2.3 控制单元宜选用分散控制系统（DCS），部分子设备可选用可编辑控制系统（PLC）。其功能包括数据采集和处理（DAS）、模拟量控制（MCS）、顺序控制（SCS）及连锁保护、厂用电源系统监视及变压器监视保护；

5.6.2.4 烟气进出口应设置烟气成分分析仪表并兼有控制连锁与环保监测功能。

5.6.2.5 控制保护应满足以下要求：

- a) 应有防止误动和拒动的措施；
- b) 用于保护的控制器应采用冗余设置，冗余的 I/O 信号应通过不同的 I/O 模块接入；
- c) 重要的保护系统应采用独立的 I/O 通道，并设置电隔离装置，保护信号宜单独设置变送器，应采用常规硬接线方式接入；
- d) 保护动作原因应设置时间顺序记录，并具有事故追忆功能。

5.6.2.6 应根据重要性设置报警优先级。

5.6.2.7 控制单元应具有数据采集处理、自动控制、保护连锁等功能。硬件、软件配置及功能要求应与工艺过程的规模和控制要求相适应。重要服务器及交换机设备应冗余设置，双机热备运行。

6 试验验证

6.1 试验目的

验证碳捕集系统、各系统单元技术要求是否满足指标要求。

6.2 试验内容

试验内容主要包括：燃烧后二氧化碳捕集系统捕集性能、各系统单元功能性能等。

6.3 验证方法

验证方法一般包括二氧化碳捕集效率、能耗等测试项目，试验时对试验结果进行记录。

6.4 试验报告

试验后应形成试验报告，试验报告应包含能重现试验的全部信息。

参 考 文 献

- [1] GB/T 51316—2018 烟气二氧化碳捕集纯化工程设计标准
-