

HG

中华人民共和国化工行业标准

HG/TXXXXX—XXXX

## 低浓度二氧化碳捕集技术规范

Technical specification for low concentration carbon dioxide capture

（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。

XXXX-XX-XX 发布

XXXX-XX-XX 实施

中华人民共和国工业和信息化部 发布

## 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。

本文件由中国石油和化学工业联合会提出并归口。

本文件起草单位：

本文件主要起草人：

# 低浓度二氧化碳捕集技术规范

## 1 范围

本文件规定了低浓度二氧化碳捕集的化学吸收剂要求、捕集技术、捕集效果评价。

本文件适用于工业排放气中二氧化碳浓度在3 %~55 %范围的化学吸收法捕集。其他捕集方法，可参考执行。

## 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/T 4272 设备及管道绝热技术通则

GB 15603 危险化学品储存通则

GB/T 29639 生产经营单位生产安全事故应急预案编制导则

GB/T 50087 工业企业噪声控制设计规范

GB/T 50441 石油化工设计能耗计算标准

GB/T 51316 烟气二氧化碳捕集纯化工程设计标准

AQ 3013 危险化学品从业单位安全标准化通用规范

AQ 3028 化学品生产单位受限空间作业安全规范

HG 20571 化工企业安全卫生设计规范

HG/T 21559.1 不锈钢网孔板波纹填料工程技术规范

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

TSG 21 固定式压力容器安全技术监察规程

## 3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

### 3.1

**化学吸收法** chemical absorption method

化学吸收剂在吸收塔内与工业排放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，完成二氧化碳与排放气中其他气体分离的方法。

[来源：GB/T 51316-2018，2.0.4，有修改]

### 3.2

**解吸** desorption

在一定的条件下，从吸收了二氧化碳的化学吸收剂中，分解释放二氧化碳的过程。

### 3.3

**富液 rich solution**

吸收二氧化碳后未再生的吸收剂溶液。

[来源：JB/T 12909-2016, 3.7]

### 3.4

**贫液 lean solution**

新鲜的或再生后用于吸收二氧化碳的吸收剂溶液。

[来源：JB/T 12909-2016, 3.6]

### 3.5

**吸收塔 absorber**

使用化学吸收剂采用化学吸收法吸收工业排放气中二氧化碳的塔器设备。

### 3.6

**解吸塔 desorber**

将富液中的二氧化碳解吸出来，使富液转化为贫液的装备。又称再生塔。

### 3.7

**吸收剂复活 absorbent revival**

采用加热回收装置将降解的吸收剂中尚带有活性成分的吸收剂经蒸汽蒸发回收后重新使用。

## 4 化学吸收剂要求

### 4.1.1 种类

化学吸收剂分为：

a) 均相有机胺吸收剂，分为：

- 1) 单一胺吸收剂，如伯胺、仲胺、叔胺、环状有机胺、直链有机多胺基等；
- 2) 复合胺吸收剂，由两种或两种以上的单一胺复合而成，如伯胺-叔胺、仲胺-叔胺、环状有机胺-叔胺、多胺-叔胺等

b) 相变吸收剂：由有机胺和有机溶剂组成，如伯胺-酯类、多胺-酰胺、伯胺-醇类等；

c) 离子液体吸收剂，分为：

- 1) 传统离子液体，如咪唑型离子液体；
- 2) 功能化离子液体，如氨基功能化离子液体、双氨基功能型离子液体。

### 4.1.2 选择原则

化学吸收剂性能决定了吸收反应的可行性，选择宜遵循以下原则：

- 有较好的选择性，与CO<sub>2</sub>反应良好且不与其他气体组分产生作用；
- 吸收速率高，能快速实现物质与能量的平衡；
- 挥发性低，溶剂损失少；
- 黏度低，传质阻力小，有利于气液两相充分接触；
- 吸收容量大，再生性能好，可减少吸收剂使用成本；

- 稳定性高，不易降解（包括热降解和氧化降解）；
- 腐蚀性低，低毒或者是无毒；
- 易获得，经济性好。

#### 4.1.3 性能要求

化学吸收剂应满足以下要求：

- CO<sub>2</sub>捕集率宜不小于90 %；
- 吸收剂再生能耗不应大于2.8 GJ/tCO<sub>2</sub>；
- 吸收剂的损耗不大于1 kg/tCO<sub>2</sub>；
- 系统捕集能耗（不含压缩液化）不应大于3.1 GJ/tCO<sub>2</sub>；
- 对设备的腐蚀性小。

### 5 捕集技术

#### 5.1 基本要求

5.1.1 捕集系统应采用技术先进、经济合理、节能环保、安全可靠的工艺，并符合 GB/T 51316 等标准的要求。

5.1.2 捕集过程中产生的各项污染物应达标排放。

#### 5.2 捕集装置组成

低浓度二氧化碳捕集装置由预处理系统、二氧化碳吸收系统、二氧化碳解吸系统、吸收剂复活系统组成。

#### 5.3 工艺流程

##### 5.3.1 流程简述

工业排放气经除尘、脱硫和初步冷却等预处理后，进入吸收塔，与塔顶喷淋下来的化学吸收剂溶液（贫液）逆相接触反应，与CO<sub>2</sub>生成中间化合物，脱碳后的尾气从吸收塔顶经处理达标后排放，而吸收了CO<sub>2</sub>的吸收剂溶液（富液）经贫富液换热器与热贫液进行换热后，被送入解吸塔中再生，解吸气冷凝后进入后续工序。解吸塔底的贫液经过贫富液换热器换热，经冷却器冷却到所需的温度后，重新喷入吸收塔中，从而实现系统的循环。定期从系统中排出已降解的吸收剂进入复活装置，将尚具有活性的吸收剂，蒸发复活后返回到解吸塔重新使用。典型化学吸收法CO<sub>2</sub>捕集系统工程布置方式见附录A。

##### 5.3.2 工艺框图

采用化学吸收法进行低浓度二氧化碳捕集工艺框图见图1。

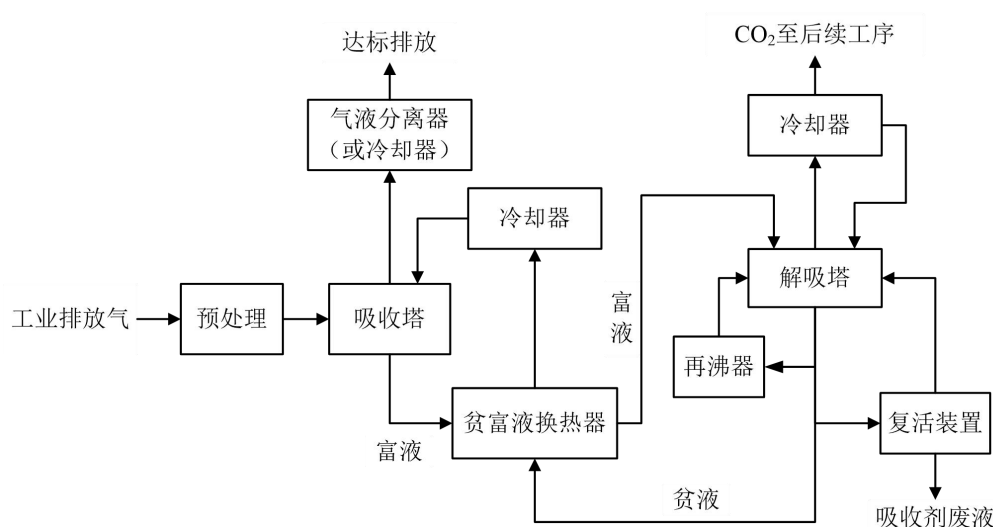


图1 化学吸收法进行低浓度二氧化碳捕集工艺框图

## 5.4 捕集工艺

### 5.4.1 预处理工艺

#### 5.4.1.1 工艺描述

工业排放气在进入捕集设备进行脱碳处理前，应经除尘、脱硝、脱硫后方可进入预处理单元。预处理单元进一步脱除原料气中的污染物并降低原料气温度。

#### 5.4.1.2 控制要求

工序的工艺控制要求：

- 工业排放气温度应不高于40℃；
- 可过滤颗粒物浓度应不高于3 mg/Nm<sup>3</sup>；
- 氮氧化物浓度应不大于50 mg/Nm<sup>3</sup>；
- 二氧化硫的浓度应不大于10 mg/Nm<sup>3</sup>。

注：有环保等相关更高要求的，应符合更高标准。

### 5.4.2 CO<sub>2</sub>吸收工艺

#### 5.4.2.1 工艺描述

经过预处理的排放气从吸收塔下部进入吸收塔，与从吸收塔上部的贫液逆流接触，排放气和贫液在吸收塔内接触后发生化学反应，排放气中的CO<sub>2</sub>被贫液吸收后变成富液。脱碳后的净化气与从吸收塔顶部进入吸收塔上部洗涤段的洗涤水逆流接触，洗去夹带的吸收剂。

#### 5.4.2.2 控制要求

工序的工艺控制要求：

- 吸收温度控制在30℃~50℃范围内；
- 吸收塔的压力应控制不大于20 kPa；
- 冷却器宜将吸收液降至不高于50℃；
- 对进出吸收塔的排放气的流量、压力、温度、液位、CO<sub>2</sub>的含量等应进行监测。

### 5.4.3 CO<sub>2</sub>解吸工艺

#### 5.4.3.1 工艺描述

富液经过富液泵加压进入贫富液换热器，与来自解吸塔再生后的贫液进行换热，从塔上部进入解吸塔。在解吸塔中，塔顶喷淋的富液与塔底再沸器产生的蒸汽进行逆流接触，在温度和压力的作用下，使富液中的不稳定盐发生解吸分解，解吸出 CO<sub>2</sub>，富液经过解吸 CO<sub>2</sub> 含量降低转变成贫液，在贫液泵的作用下，进入贫富液换热器与吸收塔出来的低温富液换热降温后，再经冷凝器降温后返回吸收塔内，完成 CO<sub>2</sub> 的解吸和吸收剂的再生过程。

#### 5.4.3.2 控制要求

工序的工艺控制要求：

- 解吸塔塔顶压力应控制不大于 130 kPa（绝压）；
- 解吸温度应不大于 110 °C；
- 塔顶冷凝器宜将解吸气的温度降至 40 °C 以下；
- 解吸后 CO<sub>2</sub> 浓度应不小于 99 %（以干基计）。

### 5.4.4 吸收剂复活工艺

#### 5.4.4.1 工艺描述

在贫液管线旁路上设置吸收剂复活装置（如胺回收加热器），定期从系统中排出因长期使用产生降解产物的化学吸收剂，此过程中会带走少部分具有活性胺液，此部分胺液经回收加热器中的蒸汽蒸发后，返回到解吸塔重新使用。

#### 5.4.4.2 控制要求

工序的工艺控制要求：

- 进入复活装置的吸收剂流量应控制在不超过循环量的 5 %；
- 胺回收加热器的压力应高于解吸塔压力 10 kPa ~20 kPa；
- 排放的降解废液应依规处置。

### 5.5 捕集设备

#### 5.5.1 设备组成

低浓度二氧化碳捕集设备主要由静设备、动设备和配套系统组成：

- 静设备主要包括塔设备（如预处理塔、吸收塔、解吸塔）、槽（如地下槽、吸收液储槽、洗涤液储槽、碱液储槽等）、罐（如闪蒸罐、除盐水罐等）、换热器（如贫富液换热器、贫液冷却器、吸收塔级间换热器等）等；
- 动设备包括风机、泵（如贫液泵、富液泵、洗涤泵、回流泵、闪蒸汽压缩机等）等；
- 配套系统包括排放气旁路、管道、监测、电气、控制及安全装置。

#### 5.5.2 设备要求

##### 5.5.2.1 塔设备

5.5.2.1.1 预处理塔、吸收塔和解吸塔均应符合 TSG 21、GB/T 150（所有部分）和 NB/T 47041 的规

定，预处理塔、吸收塔应采用钢制结构，解吸塔应采用传质效果好的不锈钢制设备。

5.5.2.1.2 吸收塔、解吸塔应采用填料塔，填料类型应采用低压降填料。

5.5.2.1.3 在吸收塔内部宜采用冷却工艺（如设置级间冷却器），以降低吸收塔的温度。

5.5.2.1.4 吸收塔、解吸塔的设计空塔流速宜为液泛时气速的 50%~70%，泛点气速的计算应符合 HG/T 21559.1 的规定。

5.5.2.1.5 吸收塔洗涤系统补充用水应采用除盐水或软化水。

5.5.2.1.6 吸收塔顶端应设置除雾器。

#### 5.5.2.2 罐和槽

5.5.2.2.1 在贫富液换热器和解吸塔间宜设置闪蒸罐，最大程度利用贫液的热量，降低解吸塔中再生的能耗。

5.5.2.2.2 闪蒸罐宜为卧式罐，闪蒸罐设计压力宜为 70 kPa~105kPa（绝压）。

5.5.2.2.3 洗涤液储罐、碱液储罐和胺液储罐宜为立式常压罐。

5.5.2.2.4 地下槽宜为半埋地常压罐。

5.5.2.2.5 吸收液储槽、洗涤液储槽、碱液储槽均应进行防腐。

#### 5.5.2.3 换热器

5.5.2.3.1 贫富液换热器、贫液冷却器、吸收塔级间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。

5.5.2.3.2 贫富液换热器的冷端温差不宜大于 10℃。

5.5.2.3.3 管壳式换热器的设计应符合 GB/T 151 的规定。

#### 5.5.2.4 其他设备

5.5.2.4.1 引风机应能满足预处理系统、吸收系统和相应管道整体压降的要求，负荷考虑 10%的裕量，风机参数选取应符合 JB/T 4357 的规定。

5.5.2.4.2 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。

5.5.2.4.3 设置闪蒸汽压缩机时，应根据风量选用罗茨式或离心式压缩机，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。

### 5.6 安全与职业卫生

#### 5.6.1 安全

5.6.1.1 生产经营单位应根据 GB/T 29639 等有关法律法规建立安全责任制和事故应急救援预案，配备应急救援器材、设备。

5.6.1.2 碳捕集的安全与职业卫生措施应符合 HG 20571 的规定。

5.6.1.3 压力管道、压力容器等特种设备应严格按照《特种设备安全监察条例》和 TSGR 0004 的规定进行安全检查、检测和监察。

5.6.1.4 涉及到塔内或储存罐内等有限空间作业时，应执行 AQ 3028 的要求。



- 5.6.1.5 若采用液氨作为制冷剂，液氨的储存、分类、堆放应符合 GB 15603 的规定。
- 5.6.1.6 吸收液使用场所应符合 AQ 3013 的规定。不能回收的吸收液应交给有资质的危废处理单位处置，不应直接排放。
- 5.6.1.7 事故废水应排入事故废水收集池，按相关要求合理处置
- 5.6.2 职业卫生
- 5.6.2.1 现场巡检人员应佩戴便携式二氧化碳检测仪和氧气检测仪，装置运行过程中涉及高低温管道、电加热、低温二氧化碳介质，应严格注意粉尘、噪声、静电、辐射、酸碱、有毒介质等的防护措施，符合 GBZ 1 的规定。
- 5.6.2.2 设备和管道的绝热设计应符合 GB/T 4272 的规定。
- 5.6.2.3 使用或储存化学吸收剂、碱液区域应设置事故淋洗器和洗眼器。
- 5.6.2.4 工作场所噪声防护应符合 GB/T 50087 的规定。

## 6 捕集效果评价

### 6.1 二氧化碳的捕集率计算

二氧化碳捕集率以 $\eta$ 表示，按公式（1）计算：

$$\eta = \frac{F_1 c_1 - F_2 c_2}{F_1 c_1} \times 100\% \dots\dots\dots (1)$$

式中：

$F_1$ —预处理塔进口吸收塔工业排放气进口流量，单位为千克每小时（kg/h）；

$c_1$ —预处理塔进口吸收塔进口工业排放气中二氧化碳质量分数，单位为千克每千克（kg/kg）；

$F_2$ —吸收塔工业排放气出口流量，单位为千克每小时（kg/h）；

$c_2$ —吸收塔出口工业排放气中二氧化碳质量分数，单位为千克每千克（kg/kg）。

### 6.2 CO<sub>2</sub>捕集系统能耗

#### 6.2.1 再生能耗

化学吸收剂的再生能耗以 $E_r$ 计，数值以吉焦每吨表示，按公式（2）计算：

$$E_r = \frac{Q_m \times H_v}{m_{CO_2}} \dots\dots\dots (2)$$

式中：

$Q_m$ ——每小时的蒸汽使用量，单位为吨每小时（t/h）；

$H_v$ ——蒸汽在实际工况下的潜热值（一定温度、压力下的蒸汽焓值减去凝结水的焓值，可查询化工数据手册）单位为吉焦每吨（GJ/t）；

$m_{CO_2}$ ——每小时 CO<sub>2</sub> 产量，单位为吨每小时（t/h）。

#### 6.2.2 捕集系统能耗

捕集系统的能源消耗以 $E_z$ 计，数值以吉焦每吨表示，按公式（3）计算：

$$E_z = E_r + \frac{E_e + E_w}{m_{CO_2}} \dots\dots\dots (3)$$

式中：

$E_r$ ——每小时再生系统能耗，单位为吉焦每吨（GJ/t）[按公式（2）计算]；

$E_e$ ——每小时捕集装置运行所有用电设备需要的电能，吉焦每小时（GJ/h）；用电设备分别计算并加和得到，采用 GB/T 50441 进行能耗折算；

$E_w$ ——每小时捕集装置运行所需要的水耗，单位为吉焦每小时（GJ/h），应根据循环水量进行估算，采用 GB/T 50441 进行能耗折算；

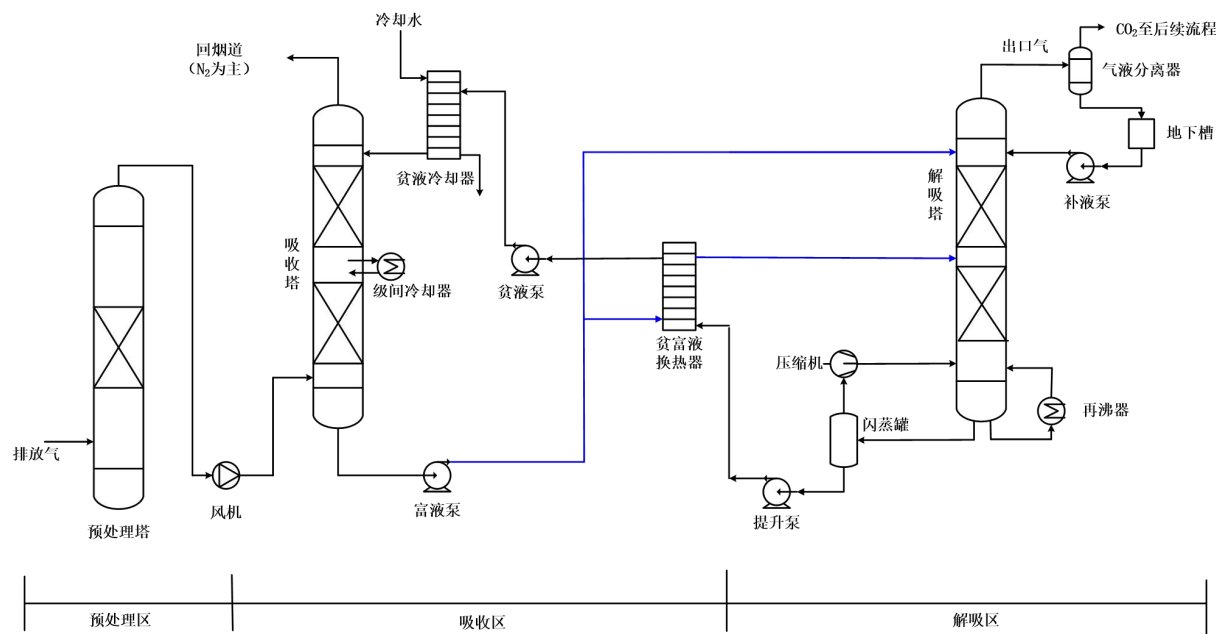
$m_{CO_2}$ ——每小时 CO<sub>2</sub> 产量，单位为吨每小时（t/h）。

能耗应按一次能源消耗计算，附录 B 给出了推荐的电、水及耗能工质的能源折算值。

附录 A  
(资料性)

典型化学吸收法 CO<sub>2</sub> 捕集系统工程布置方式

工业排放气CO<sub>2</sub>捕集装备典型化学吸收法布置方式，见图A.1所示。



图A, 1 典型化学吸收法捕集系统布置方式图

附 录 B  
(资料性)  
电、水及耗能工质的能源折算值

表B.1给出了推荐的电、水及耗能工质的能源折算值。

表 B.1 电、水及耗能工质的能源折算值

序号	类别	单位	能源折算值 (kg 标煤)
1	电	kWh	0.1229
2	新鲜水	t	0.2571
3	软化水	t	0.4857
4	除盐水	t	0.9714
5	氮气	m <sup>3</sup>	0.4000
6	压缩空气	m <sup>3</sup>	0.0400

\_\_\_\_\_