

ICS 13.020

CCS D 44

团 体 标 准

T/TMAC ×××—2023

碳捕集、运输与封存技术规范

Technical specifications for carbon capture, transportation and storage

（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。

已授权的专利证明材料为专利证书复印件或扉页，已公开但尚未授权的专利申请证明材料为专利公开通知书复印件或扉页，未公开的专利申请的证明材料为专利申请号和申请日期。

××××-××-××发布

××××-××-××实施

中国技术市场协会 发布

中国技术市场协会（TMAC）是科技领域内国家一级社团，以宣传和促进科技创新，推动科技成果转移转化，规范交易行为，维护技术市场运行秩序为使命。为满足市场需要，做大做强科技服务业，依据《中华人民共和国标准化法》《团体标准管理规定》，中国技术市场协会有序开展标准化工作。本团体成员和相关领域组织及个人，均可提出修订 TMAC 标准的建议并参与有关工作。TMAC 标准按《中国技术市场协会团体标准管理办法》《中国技术市场协会团体标准工作程序》制定和管理。TMAC 标准草案经向社会公开征求意见，并得到参加审定会议多数专家、成员的同意，方可予以发布。

在本文件实施过程中，如发现需要修改或补充之处，请将意见和有关资料反馈至中国技术市场协会，以便修订时参考。

本文件著作权归中国技术市场协会所有。除了用于国家法律或事先得到中国技术市场协会正式授权或许可外，不许以任何形式复制本文件。第三方机构依据本文件开展认证、评价业务，须向中国技术市场协会提出申请并取得授权。

中国技术市场协会地址：北京市丰台区万丰路 68 号银座和谐广场 1101B

邮政编码：100036 电话：010-68270447 传真：010-68270453

网址：www.ctm.org.cn 电子信箱：136162004@qq.com

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 4

5 二氧化碳捕集工艺 4

 5.1 一般要求 4

 5.2 燃烧后二氧化碳捕集 4

 5.3 燃烧前二氧化碳捕集 6

 5.4 富氧燃烧二氧化碳捕集 7

 5.5 二氧化碳压缩及纯化 9

6 二氧化碳运输 9

 6.1 一般要求 9

 6.2 管道气体组成 10

 6.3 管道系统组成 10

 6.4 运输能力 11

 6.5 安全泄放 11

 6.6 材料及防腐 11

7 二氧化碳封存 12

 7.1 一般要求 12

 7.2 筛选和选择 12

 7.3 勘察 12

 7.4 设计、开发和运营 13

 7.5 闭场及闭场后阶段 13

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。

本文件由西安热工研究院有限公司提出。

本文件由中国技术市场协会归口。

本文件起草单位：西安热工研究院有限公司、XXX、XXX。

本文件主要起草人：XXX、XXX。

碳捕集、运输与封存技术规范

1 范围

本文件规定了碳捕集、运输与封存技术中的总体要求、二氧化碳捕集、二氧化碳运输、二氧化碳封存，并界定了术语和定义。

本文件适用于二氧化碳捕集、运输与封存。二氧化碳捕集适用于采用燃烧后、燃烧前及富氧燃烧的捕集工艺；二氧化碳运输适用于在陆地或海洋采用管道运输方式运输气相、密相或超临界二氧化碳的运输工艺；二氧化碳封存适用于在陆地或海洋长期安全封存二氧化碳的地质封存工艺，包括地下咸水层封存、枯竭油气藏封存等。

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 8978 污水综合排放标准

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

二氧化碳捕集 carbon dioxide capture

将二氧化碳从大气、工业或能源设施中分离，产生易于运输、储存或利用的高浓度二氧化碳流体的过程。

[来源：T/CSES 41，5.1]

3.2

烟气预处理 flue gas pretreatment

降低燃烧后烟气温度、含湿量及二氧化硫等杂质含量的处理过程。

3.3

吸收剂 absorbent

用于吸收二氧化碳的溶剂。

3.4

富液 rich solvent

吸收二氧化碳后未再生的吸收剂。

[来源：JB/T 12909-2016, 3.7]

3.5

贫液 lean solvent

新鲜的或吸收二氧化碳后又再生的吸收剂。

[来源：JB/T 12909-2016, 3.6]

3.6

吸收塔 absorber

使用化学、物理方法分离烟气中二氧化碳的装置。

[来源：JB/T 12909-2016, 3.8]

3.7

再生塔 regenerator

将富液中二氧化碳分离出来，使富液转化成贫液的装置。

[来源：JB/T 12909-2016, 3.9]

3.8

负载差 loading difference

标准状态下，单位体积的富液与贫液中二氧化碳负载量的差值，单位为L/L。

3.9

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。

3.10

二氧化碳捕集率 efficiency of carbon dioxide capture

烟气中二氧化碳被捕集的质量占被捕集前质量的百分比。

3.11

空气分离单元 air separation unit

将空气中的氧气与氮气、氩气等分离，用于制备高纯度氧气供气化或燃烧使用。

3.12

燃烧后捕集 post-combustion capture

从燃料空气燃烧过程中产生的烟气中捕集二氧化碳的过程。

[来源: T/CSES 41, 5.4]

3.13

燃烧前捕集 pre-combustion capture

在燃烧前对燃料进行处理并捕集二氧化碳的过程。

[来源: T/CSES 41, 5.2]

3.14

气化 gasification

将煤、生物质等碳基原料转化为以一氧化碳与氢气为主要成分的合成气的反应。

3.15

富氧燃烧捕集 oxy-fuel combustion capture

燃料与纯氧或高浓度氧与再循环烟气混合物燃烧后捕集二氧化碳的过程。

[来源: T/CSES 41, 5.3]

3.16

水-气变换反应 water-gas shift reaction

一氧化碳与水反应生成二氧化碳与氢气的反应。

3.17

二氧化碳运输 carbon dioxide transport

将二氧化碳从捕集点输送到注入点的过程。

3.18

密相二氧化碳 dense phase carbon dioxide

二氧化碳压力高于临界压力且温度低于临界温度时的相态。

3.19

二氧化碳地质封存 geological storage of carbon dioxide

通过工程技术手段将捕集的二氧化碳直接注入至地下深部咸水层、枯竭油气藏等地质构造中, 实现其与大气长期隔绝的过程。

[来源：T/CSES 71—2022，3.2]

3.20

闭场阶段 closure period

从停止二氧化碳注入到场地被证明符合关闭标准之间的一段时间。

[来源：T/CSES 41—2021，3.6]

3.21

闭场后阶段 post-closure period

从场地被证明符合关闭标准开始的时期。

[来源：T/CSES 41，3.7]

4 总体要求

4.1 二氧化碳捕集、运输与封存环节应相互适应，二氧化碳的捕集能力、运输能力、封存容量应相匹配；捕集二氧化碳纯度与杂质组分、含量应满足运输与封存的要求等。

4.2 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、运输条件及封存方式，并防止二次污染。

4.3 应评估所选二氧化碳捕集、运输与封存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。

5 二氧化碳捕集工艺

5.1 一般要求

5.1.1 不同碳捕集工艺与其他系统之间的边界显著不同，不同碳捕集工艺的系统组成显著不同。燃烧后捕集系统配置于烟气处理末端，独立于其他系统，系统边界清晰明确；燃烧前捕集系统部分整合于其他系统（如锅炉系统、烟气净化系统等），可识别出具体边界；富氧燃烧捕集系统完全整合于其他系统（如空气分离系统、锅炉系统、烟气净化系统、输煤系统等），无法定义与其他系统的边界。

5.1.2 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。废水不经处理达不到排放标准的，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。

5.1.3 二氧化碳捕集后的压缩及纯化工艺包含于碳捕集系统。

5.1.4 加装碳捕集系统可能引起的蒸汽轮机及发电系统变化，不包含于碳捕集工艺之内。

5.2 燃烧后二氧化碳捕集

5.2.1 工艺流程

典型的燃烧后二氧化碳捕集工艺流程见图1。

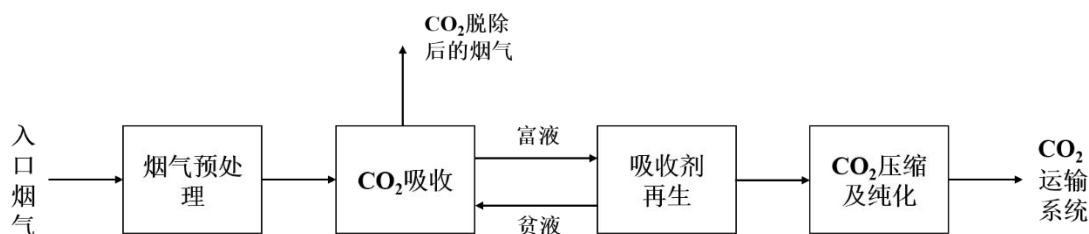


图1 燃烧后二氧化碳捕集工艺流程

5.2.2 烟气预处理

5.2.2.1 燃烧后的烟气经上游净化单元处理后的品质无法满足二氧化碳捕集工艺的要求时，需进行烟气预处理。

5.2.2.2 烟气预处理主要方式为水洗、碱洗等。

5.2.2.3 预处理吸收塔宜采用填料塔，并符合NB/T 47041的规定。

5.2.2.4 预处理后的烟气应满足：

- a) 温度低于40℃；
- b) 二氧化硫浓度不高于10 mg/m³；
- c) 粉尘浓度不高于5 mg/m³。

5.2.3 二氧化碳吸收

5.2.3.1 燃烧后捕集工艺主要采用化学吸收法，吸收溶剂以有机胺及氨基酸盐类为主，应综合比较不同吸收工艺的经济性、运行稳定性等，结合实际情况选择合适的吸收溶剂。

5.2.3.2 二氧化碳吸收宜在填料塔内进行，并符合NB/T 47041的规定。

5.2.3.3 二氧化碳吸收过程温度宜控制在40℃~75℃。

5.2.3.4 二氧化碳吸收系统捕集效率宜不低于90%。

5.2.3.5 吸收塔内上部应设置水洗段，宜在顶部设置除雾器。

5.2.3.6 富液、贫液二氧化碳负载差不宜低于20 L/L，吸收溶剂运行损耗不宜高于1.0 kg/t CO₂。

5.2.4 吸收剂再生

5.2.4.1 吸收剂再生塔宜采用填料塔。

5.2.4.2 再沸器采用蒸汽为解吸热源时，蒸汽温度不宜超过150℃。

5.2.4.3 再生塔内温度宜不大于 130℃。

5.3 燃烧前二氧化碳捕集

5.3.1 工艺流程

5.3.1.1 典型的燃烧前二氧化碳捕集工艺流程见图2。

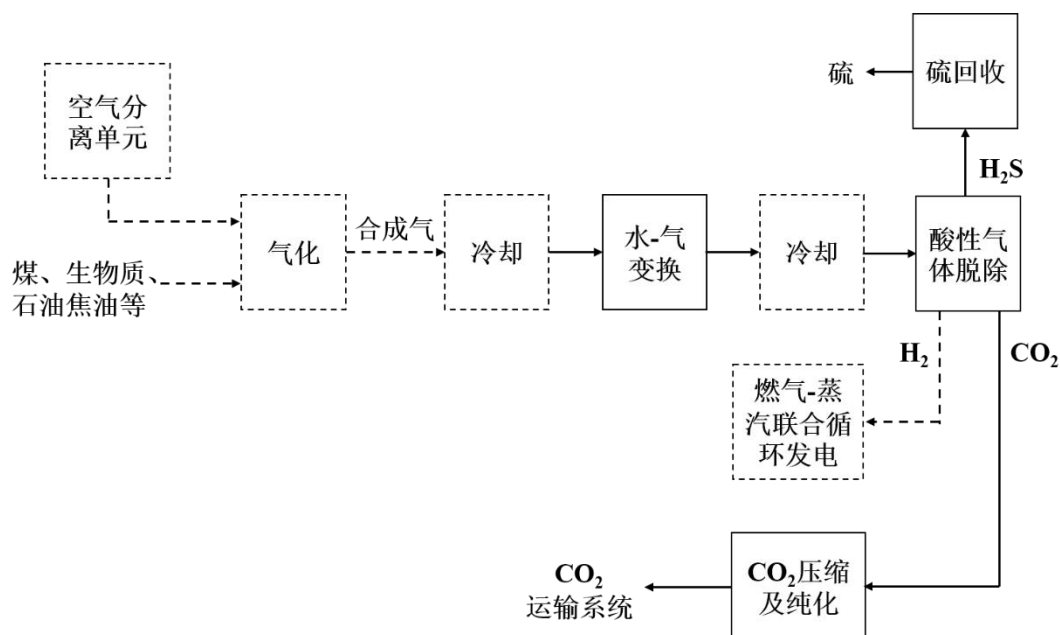


图2 燃烧前二氧化碳捕集工艺流程

5.3.1.2 燃烧前二氧化碳捕集工艺主要包括：水-气变换、酸性气体脱除及二氧化碳压缩及纯化系统。

5.3.1.3 合成气中硫化氢的脱除宜位于水-气变换系统之后，包含于酸性气体脱除单元。

5.3.2 水-气变换

5.3.2.1 进入水-气变换系统前的合成气宜采用水冷直接接触方式降温。

5.3.2.2 水-气变换系统应利用热蒸汽将合成气中的一氧化碳转化为二氧化碳及氢气。

5.3.2.3 水-气变换系统宜包含2-4级水-气变换反应。

5.3.2.4 水-气变换转化率宜不低于95%。

5.3.3 酸性气体脱除

5.3.3.1 酸性气体脱除系统宜采用两级分离技术，分别脱除硫化氢及二氧化碳。

5.3.3.2 酸性气体脱除系统可以采用物理吸收法、化学吸收法或物理化学吸收法。

5.3.3.3 物理吸收法吸收剂可采用聚乙二醇二甲醚、低温甲醇等。

5.3.3.4 化学吸收法吸收剂可采用甲基乙醇胺（MDEA）、碳酸钾溶液等。

5.3.3.5 物理化学吸收法吸收剂可采用醇胺-环丁砜-水，其中醇胺可采用二乙醇胺（DEA）

或二异丙醇胺（DIPA）。

5.3.3.6 分离出的硫化氢可经回收后用于硫磺制备，分离出的二氧化碳经压缩脱水纯化后运输。

5.3.3.7 二氧化碳脱除的捕集效率宜不低于90%。

5.4 富氧燃烧二氧化碳捕集

5.4.1 工艺流程

5.4.1.1 典型的煤粉锅炉及循环流化床（CFB）锅炉富氧燃烧二氧化碳捕集工艺流程见图3和图4。

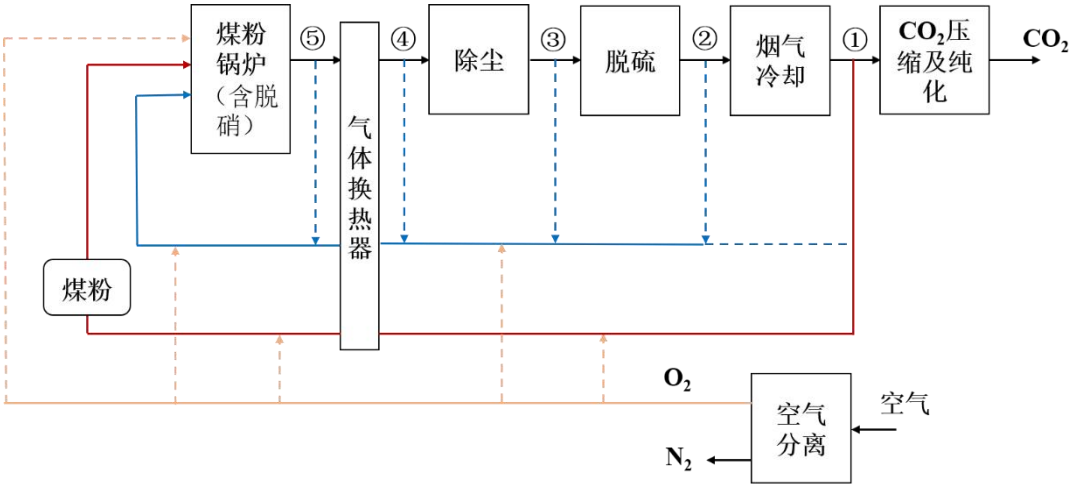


图3 煤粉锅炉富氧燃烧二氧化碳捕集工艺流程

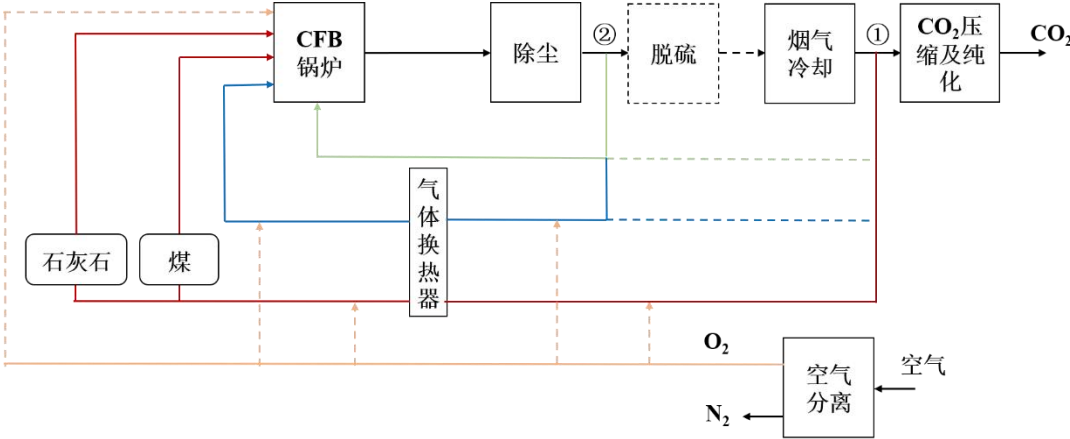


图4 CFB锅炉富氧燃烧二氧化碳捕集工艺流程

5.4.1.2 富氧燃烧二氧化碳捕集工艺主要包括：锅炉燃烧、空气分离、烟气净化、烟气冷却及二氧化碳压缩及纯化工艺。

5.4.1.3 富氧燃烧二氧化碳捕集工艺部分烟气宜循环进入锅炉系统。

5.4.1.4 氧气可直接进入锅炉，也可与循环烟气混合后再进入。

5.4.2 锅炉

5.4.2.1 对于煤粉锅炉富氧燃烧，循环烟气可从图3所示①~⑤位置引出；对于循环流化床锅炉燃烧系统，循环烟气可从图4所示①、②位置引出。

5.4.2.2 循环烟气的引出及氧气的引入位置宜根据燃料及烟气中的水分及硫分确定，同时应考虑对NO_x还原、锅炉效率的影响。

5.4.1.3 循环烟气宜从除尘系统后引出，从除尘系统前引出时，需考虑对引风机磨损的影响。

5.4.1.4 循环烟气及氧气混合后可直接进入锅炉系统或经气体换热器后进入。

5.4.1.5 用于输煤（或石灰石）的循环烟气宜从烟气冷却系统后引出。

5.4.1.6 对于粉煤锅炉富氧燃烧系统，循环进入锅炉系统的烟气量宜为65%~75%。

5.4.1.7 对于粉煤锅炉富氧燃烧系统，锅炉内氧含量宜控制在28%~32%，不宜超过40%。

5.4.1.8 对于循环流化床富氧燃烧系统，锅炉系统宜不设置烟气脱硝环节。

5.4.3 空气分离

5.4.3.1 空气分离系统宜采用深冷分离工艺。

5.4.3.2 分离出的氧气纯度宜控制在95%~97%，绝对压力宜控制在0.15MPa~0.2 MPa。

5.4.3.3 当一套空气分离设备无法满足锅炉系统的氧气需求时，可采用多套设备同时供给。

5.4.3.4 空气分离系统配置的灵活性应能满足燃煤运行工况变化的要求。

5.4.4 烟气净化

5.4.4.1 烟气净化包括烟气除尘、脱硫及脱硝系统。

5.4.4.2 烟气除尘工艺可采用干式及湿式静电除尘器、袋式除尘器等。

5.4.4.3 烟气脱硫工艺可采用湿法脱硫、半干半湿法脱硫及干法脱硫等。

5.4.4.4 对于煤粉炉富氧燃烧系统，对高硫煤（硫分>1.5%），烟气净化系统宜设置脱硫工艺，循环烟气宜从脱硫系统后引出；对低硫煤（硫分<0.5%），烟气净化系统可考虑不设置脱硫工艺或仅设置干法脱硫工艺。

5.4.4.5 对于循环流化床富氧燃烧系统，宜根据燃煤硫分及循环流化床脱硫效率等实际情况选择是否在锅炉外部设置脱硫系统。

5.4.4.6 烟气脱硝工艺可采用选择性催化还原及选择性非催化还原，宜根据实际情况确定是否设置脱硝工艺。

5.4.5 烟气冷却

5.4.5.1 烟气冷却系统宜采用直接接触式的水洗或碱洗工艺。

5.4.5.2 系统可采用喷淋塔、填料塔等，并配备除雾器及其辅助设施。

5.5 二氧化碳压缩及纯化

5.5.1 等温压缩工艺需配置级间冷却，绝热压缩工艺需在压缩后配置冷却系统。热交换热量可用于加热锅炉冷凝水或补给水。

5.5.2 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。

5.5.3 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。

5.5.4 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。

5.5.5 应用于富氧燃烧二氧化碳捕集工艺时，还包括：

——宜包含烟气过滤系统。

——选材应具有强耐酸性。

——脱除NO_x及协同脱除SO_x时，压力宜大于1 MPa。

——脱除氧气、氮气、氩气等气体时，宜在低温、高压环境下采用闪蒸及蒸馏工艺脱除。宜回收部分闪蒸及蒸馏工艺中排气及高浓度二氧化碳产气。排气中的氧气宜通过膜分离、变压吸附或真空变压吸附分离后重新进入锅炉。排气中CO浓度过高时，可采用空分单元所排氮气进行稀释或催化燃烧后排放。

——如需脱汞，宜配置活性炭汞脱除工艺。

6 二氧化碳运输

6.1 一般要求

6.1.1 二氧化碳管道运输宜以单相形式运输，若采用双相形式输送，则需结合工程实际进行充分论证并给出具体原因。

6.1.2 二氧化碳管道运输可根据输送距离、人口稠密程度、地形地貌等选择流体输送相态（气相、密相、超临界）。

6.1.3 采用气相运输时流体应远离饱和状态。

6.1.4 存在不同二氧化碳输送源时应确保混合流体性质满足管道设计及操作要求。

6.1.5 应根据管线设计，选择是否设置中间压缩机站或泵站。

6.1.6 为应对偶发情况，应设置压力控制及过压保护系统。

6.1.7 应充分优化管道系统压力分布，防止运输终点压力远高于二氧化碳封存注入压力。

6.1.8 应严格控制输送二氧化碳水分含量，预防腐蝕。

6.1.9 应与目前相关管道运输标准保持一致。

6.2 管道气体组成

6.2.1 运输二氧化碳杂质类型取决于捕集源及捕集工艺，具体包括：氧气、水、氮气、氢气、硫氧化物、氮氧化物、硫化氢、氢氰酸、硫化碳、氨气、胺、醛、颗粒物等。

6.2.2 管道运输对杂质的要求受下游二氧化碳的利用或封存方式影响，同时受管道材质限制。管道气体组成的一般要求可参照表1执行。

表1 管道气体组分含量控制的一般要求

气体组成	单位	含量	备注
CO ₂	mol%	> 95	
H ₂ O	mol%	<0.05	
N ₂	mol%	<2	总含量<4%
H ₂	mol%	<0.75	
CH ₄	mol%	<2	
CO	mol%	<0.2	
O ₂	mol%	<0.01	
H ₂ S	mol%	<0.02	
SO ₂	mol%	<0.005	
NO _x	mol%	<0.005	
C ₂ ⁺	mol%	<2.5	
颗粒物	mg/Nm ³	<1	最大粒径<10 μm

6.3 管道系统组成

6.3.1 二氧化碳捕集与运输之间的系统边界节点位于管道入口阀门处，运输与封存之间的系统边界节点位于二氧化碳流体离开运输管道并进入封存基础设施处，可参见GB/T 42797。

6.3.2 管道主要部件包括阀门、压缩机、泵、清管器发射器和接收器、配料站、仪表、监控和数据采集（SCADA）系统等。

6.3.3 阀门宜安装于压缩机、泵的周围及二氧化碳注入位置，设计阀站时应综合考虑成本与阀门本身泄露的风险。

6.3.4 管道系统需安装截止阀用于在发生泄漏或维护时隔离管道。截止阀间隔宜设置为16-32公里，在道路和河流交叉口以及城市地区等关键位置安装应更为密集。

6.3.5 管道系统应安装止回阀在发生泄漏时使用。

6.3.6 管道系统应安装清管器发射器和接收器主要用于调试阶段的管道脱水及运行过程中的内部检查。

6.3.7 管道沿线需安装仪表用于测量二氧化碳的流量、压力和温度，宜安装于压缩机、泵

及截止阀处。

6.3.8 管道运输应配备监控及数据采集系统（SCADA）用于压缩机、泵和管道的远程监控和操作。

6.3.9 管道运输应采用自动监测技术对管路运输系统进行气密性检查，宜安装泄漏探测系统，也可通过压力点分析、视觉调查等方式验漏确保安全的二氧化碳运输。

6.3.10 管道运输应配备管道内腐蚀监测系统及二氧化碳泄漏快速截止控制系统。

6.4 运输能力

6.4.1 对捕集压缩后的二氧化碳进行冷却，并需充分考虑温度季节变化、压力及地形因素对管道运输系统运输能力的影响。

6.4.2 应充分考虑二氧化碳所含杂质（包括类型、浓度及组合方式等）对管道运输能力的影响。

6.5 安全泄放

6.5.1 陆地泄压放空

6.5.1.1 每一处阀站均需设置永久性的泄压放空设施。

6.5.1.2 放空的气体应安全排入大气。

6.5.1.3 放空管宜配备流量控制阀及温度表，放空阀应具备远程操作功能，通过流量调节时应确保放空过程中管道温度不低于设计温度。

6.5.1.4 设计放空管的位置及方向时，应考虑风向及地形的影响。

6.5.1.5 放空管顶部的设计需能够使排气与空气充分混合。

6.5.1.6 放空过程的噪音不可影响周围居民的生活与工作。在装备消音器时，应考虑其对出口气体流速及扩散的影响。

6.5.1.7 在检查、维修管道需进行管路放空时，可使用临时性的放空设施。

6.5.2 海洋泄压放空设施

6.5.2.1 对水下管道放空时，宜在水下管道的上游尾部进行放空。

6.6 材料及防腐

6.6.1 管道选材应满足低温要求。

6.6.2 不宜在管道中使用内衬。若使用，内衬材料应在管道中不易脱落。

6.6.3 若管道内二氧化碳流体与管道外环境温度温差较大，则宜在管道外部增设绝热涂层材料。

6.6.4 非金属材料（如O型圈、密封垫、阀座等）的选取应能承受快速的气体减压；在高分压二氧化碳气氛下化学稳定性好，不发生降解，不对金属材料造成损伤；能承受所设计的温度范围。选用合成橡胶时，应考虑其膨胀影响及对流体快速泄压时的适用性。

6.6.5 石油基或其他合成型润滑油用于管道系统（如阀门、泵等）时应能适应二氧化碳流体组分、运行温度、压力等。

6.6.6 二氧化碳流体进入管道前应充分脱水，管路关停时压力控制系统应保有足够的裕量控制水的生成。

6.6.7 管道运输系统应设置水分监控系统，准确校准，并设置单独的两套。

6.6.8 管道壁厚设计时应有足够的裕量应对正常与非正常运行（如水分短时间内升高）工况时的腐蚀。

7 二氧化碳封存

7.1 一般要求

7.1.1 二氧化碳地质封存通过注入井注入。

7.1.2 二氧化碳地质封存场地应具备足够大的储层空间、良好的密封性及可注入性、稳定的水文地质环境及区域构造地质背景和内外动力环境、良好的工程环境等。

7.1.3 二氧化碳地质封存不可对其他资源、环境、现有基础设施、人员健康等造成不可接受的风险。

7.1.4 二氧化碳地质封存过程应制定详细的风险管理计划及风险应对措施，并对封存全过程进行监测和验证，以协助管理健康、安全和环境风险，并评估封存性能。

7.2 筛选和选择

7.2.1 二氧化碳封存场地的筛选应根据关键技术及法律法规中的相关标准进行，以去除不适宜储存的场地，可参照T/CSES 71执行。

7.2.2 关键技术标准主要为封存场地的地质特征是否满足封存要求。如：封存容量、注入速率、抗震层级、断层与破裂压力等。

7.2.3 法律法规标准主要为封存场地是否影响其他自然或社会资源。如，受保护地下水、天然气存储、环境保护区、国家公园、军事基地等。

7.2.4 封存场地的选择应以场地筛选为基础，并综合考虑地质及土地利用等因素。

7.3 勘察

7.3.1 应勘察封存场地地质及水文地质特点，合理估算封存容量和注入能力，评估泄漏和力学失稳风险，可参照T/CSES 71执行。

7.3.2 应评价封存场地的密封性。

7.3.3 应勘察封存场地主要组成（如化学组成等），并对存储单元、密封及覆盖层进行地质力学表征。

7.2.4 应基于封存场所地质、水动力、地热及地质力学等条件进行数值模拟，以理解、预测评估储存能力及注入能力、注入二氧化碳的活动及影响等。

7.4 设计、开发和运营

7.4.1 应用行业推荐的设计、开发和运营方式，包括井场设计、钻井操作程序、设施建设、施工、维护、监控硬件安装、安全及应急程序等。

7.4.2 井基础设施的设计应能促进安全有效的储存二氧化碳。

7.4.3 设计中应尽量减少环境影响并避免危及受保护的地下水。

7.4.4 地面基础设施和油井的材料选择（如金属、水泥、弹性体等），应综合评估后选择。如，对于处理游离水或其他腐蚀成分较少的二氧化碳流体，可使用碳钢材料；对于应用于腐蚀性较强二氧化碳流体的设施，其材料应具备耐腐蚀性，必要时需进行化学处理增强腐蚀性能。定期评估注入二氧化碳对井筒油套管等金属构件和井筒水泥环的腐蚀，必要时应采取腐蚀防护措施。

7.4.5 井场的设计应能为钻井、检查、维护、测试等提供钻机和服务车辆进出的通道，避免形成低洼区域，并避免靠近地表、地下设施，如矿山。

7.4.6 设计用于封存二氧化碳的井应包括将二氧化碳输送至储存单元的注入井、测量并记录必要信息的监测井以及用于存储单元压力管理的泄压井。

7.4.7 生产管件、套管及衬管等管件的设计应能保证长期安全运行。

7.4.8 在二氧化碳封存周期内，需根据实际情况修井或重新完井，以达到二氧化碳储存标准。

7.4.9 应根据封存场地的设计制定运行及维护计划，明确极限注入压力和注入速率，确保注入过程中注入压力和速率不超过极限值，以安全的在计划持续时间内以预定的速率将二氧化碳注入到封存位置。

7.4.10 运营过程中，应对井筒及运输至封存点的二氧化碳进行连续监测（如压力、温度等）及定期取样分析，可参照T/CSES 71执行。

7.4.11 应设计试井，以确认注入井处于安全和持续注入二氧化碳的适宜条件。

7.4.12 应对封存场地可能的泄漏路径进行监测及评估。

7.5 闭场及闭场后阶段

7.5.1 闭场前应确保二氧化碳注入已停止。

- 7.5.2 闭场前应确认检测不到任何泄漏。
- 7.5.3 应评估二氧化碳封存在未来不会对人类健康、环境及经济资源造成不良影响。
- 7.5.4 闭场前应封堵并废弃所有井，并确保二氧化碳储存场地具有保护和隔离装置，防止泄漏。
- 7.5.5 闭场后应拆除相关的地面设施及设备。
- 7.5.6 在闭场后阶段，应持续进行泄漏监测，防止二氧化碳泄漏事件发生。

参 考 文 献

- [1]GB/T 42797 二氧化碳捕集、输送和地质封存 管道输送系统
 - [2]DL/T 5046 发电厂废水治理设计规范
 - [3]JB/T 12909 燃煤烟气二氧化碳捕集装备
 - [4]T/CSES 41—2021 二氧化碳捕集利用与封存术语
 - [5]T/CSES 71—2022 二氧化碳地质利用与封存项目泄漏风险评价规范
-