

JC

中华人民共和国建材行业标准

JC/T XXXXX—202X

水泥窑烟气二氧化碳捕集技术规范

Technical Specification for Carbon Capture in Cement Kiln Flue Gas

(征求意见稿)

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

目 次

前言	II
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	2
4 基本要求	2
4.1 系统构成	2
4.2 系统性能	3
5 工艺与装备	3
5.1 一般规定	3
5.2 烟气预处理系统	4
5.3 二氧化碳吸收系统	4
5.4 二氧化碳解吸及吸收剂再生系统	4
5.5 二氧化碳纯化系统	4
5.6 二氧化碳储存系统	4
5.7 系统参数检测与过程控制	4
6 安全与职业卫生	6
6.1 安全	6
6.2 职业卫生	6
7 项目建设及验收	6
7.1 一般规定	6
7.2 项目建设	6
7.3 项目验收	8
8 运行与维护管理	8
8.1 一般规定	8
8.2 运行管理	9
8.3 系统维护	9
附录 A (资料性) 水泥窑烟气二氧化碳捕集纯化系统能耗计算方法	10
附录 B (资料性) 水泥窑烟气二氧化碳捕集纯化系统性能指标计算方法	11

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。

本文件由中国建筑材料联合会提出。

本文件由建材工业综合标准化技术委员会归口。

本文件起草单位：安徽海螺集团有限责任公司、

本文件主要起草人：

水泥窑烟气二氧化碳捕集技术规范

1 范围

本文件规定了水泥窑烟气二氧化碳捕集技术规范的术语和定义、工艺与设备、安全与职业卫生、运行与维护管理、项目建设及验收等内容。

本文件适用于采用化学吸收法的水泥窑烟气二氧化碳捕集与纯化系统（简称“碳捕集与纯化系统”）的项目建设和运行。

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 536 液态无水氨；
- GB 1886 食品级CO₂行业标准；
- GB 2894 安全标志及使用导则；
- GB/T 4272 设备及管道绝热技术通则；
- GB 4396 二氧化碳灭火剂；
- GB 4915 水泥工业大气污染物排放标准；
- GB/T 6052 工业液体二氧化碳；
- GB 12337 钢制球形储罐；
- GB 15603 危险化学品储存通则；
- GB 18218 危险化学品重大危险源辨识；
- GB/T 24511 承压设备用不锈钢和耐热钢钢板和钢带；
- GB/T 29639 生产经营单位安全生产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 50222 建筑内部装修设计防火规范；
- GB 50231 机械设备安装工程施工及验收通用规范；
- GB 50264 工业设备及管道绝热工程设计规范；
- GB 50278 起重设备安装工程施工及验收规范；
- GB 50295 水泥工厂设计规范；
- GB 50443 水泥工厂节能设计规范；
- GB 50493 石油化工可燃气体和有毒气体检测报警设计标准；
- GB 50517 石油化工金属管道工程施工质量验收规范；
- GB 50577 水泥工厂职业安全卫生设计规范；
- GB/T 50770 石油化工安全仪表系统设计规范；
- GB/T 51316 烟气二氧化碳捕集纯化工程设计标准；
- GBZ 1 工业企业设计卫生标准；
- GBZ 38 职业性急性三氯乙烯中毒诊断标准；
- AQ 3013 危险化学品从业单位安全标准化通用规范；
- AQ 3018 危险化学品储罐区作业安全通则；
- DL/T 5455 火力发电厂热工电源及气源系统设计技术规程；
- HGJ 231 化学工业大、中型装置试车工作规范；
- HG/T 20509 仪表供电设计规范；
- HG/T 20513 仪表系统接地设计规范；
- HG 23012 厂内设备内安全作业安全规程；
- HJ 256 建设项目竣工环境保护设施验收技术规范 水泥工业；

JB/T 12535 燃煤烟气碳捕集装置调试规范；
 JB/T 13413 燃煤烟气二氧化碳储存装置；
 JCJ/T 3 水泥机械设备安装工程施工及验收规范；
 JC/T 879 水泥工业用离心通风机技术条件；
 NB/T 47002.1 压力容器用复合板；
 NB/T 47041 塔式容器；
 SH 3046 石油化工立式圆筒形钢制焊接储罐设计规范；
 SH/T 3092 石油化工分散控制系统设计规范；
 SH 3110 石油化工设计能量消耗计算方法；
 SH/T3538 石油化工机器设备安装工程施工及验收通用规范；
 TSG R 0004 固定式压力容器安全技术监察规程；

3 术语和定义

GB/T 51316界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

化学吸收剂 chemical absorbent

用于吸收二氧化碳的液体溶液，多由对烟气中二氧化碳有高度选择吸收性能的有机胺溶液和有活化、抗降解、抗腐蚀的助剂组成。

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

吸收了二氧化碳的化学吸收剂。

3.4

贫液 lean solution

未吸收二氧化碳或解吸后的化学吸收剂。

3.5

吸收塔 absorber

利用化学吸收剂吸收烟气中二氧化碳的塔器设备。

3.6

解吸塔（再生塔） regeneration column

用于实现从化学吸收剂中解吸出二氧化碳的塔器设备。又称再生塔。

3.7

贫富液换热器 lean and rich solution heat exchanger

用于实现贫液和富液热量交换，以提高富液温度，降低贫液温度的换热设备。

4 基本要求

4.1 系统构成

碳捕集与纯化系统装置主要包括烟气预处理系统、二氧化碳吸收系统、二氧化碳解吸及吸收剂再生系统、二氧化碳纯化系统、二氧化碳储存系统。（捕集系统包括：烟气预处理系统、二氧化碳吸收系统、二氧化碳解吸及吸收剂再生系统；纯化系统包括：二氧化碳纯化系统、二氧化碳储存系统）水泥窑烟气二氧化碳捕集纯化工艺流程图如图 1 所示。

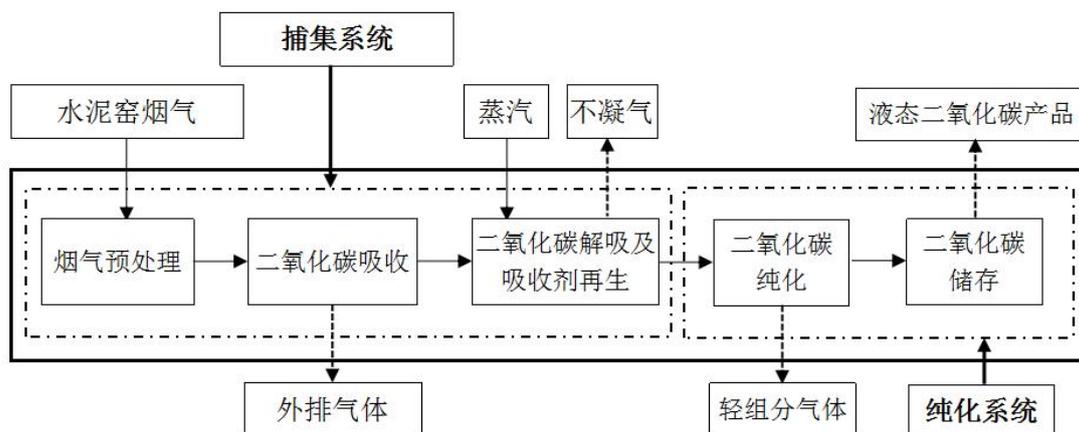


图 1 水泥窑烟气二氧化碳捕集与纯化流程图

4.2 系统性能

4.2.1 水泥窑烟气二氧化碳捕集技术应先进成熟，绿色环保，安全节能，应满足 GB4915 及地方水泥行业污染物排放标准相关限值要求的排放水平。

4.2.2 系统的主要性能指标见表 1

表 1 系统的主要性能指标

指标名称		参数值	备注
能耗	碳捕集与纯化系统总能耗	$\leq 143.4 \text{ kgce/tCO}_2$ ($\leq 4.2 \text{ GJ/tCO}_2$)	计算公式见附录 A
	捕集系统能耗	$\leq 119.6 \text{ kgce/tCO}_2$ ($\leq 3.5 \text{ GJ/tCO}_2$)	
	纯化系统能耗	$\leq 23.8 \text{ kgce/tCO}_2$ ($\leq 0.7 \text{ GJ/tCO}_2$)	
二氧化碳捕集率		$\geq 90\%$	计算公式见附录 B
二氧化碳纯化回收率		$\geq 90\%$	计算公式见附录 B
碳捕集与纯化系统入口烟气二氧化碳气体浓度		$\geq 15\%$	质量浓度
产品性能	工业用二氧化碳	符合 GB/T 6052 的规定	
	灭火用二氧化碳	符合 GB 4396 的规定	
	食品级二氧化碳	符合 GB 1886.288 的规定	

5 工艺与装备

5.1 一般规定

5.1.1 系统的流程应根据烟气组成及性质、产品方案、场地条件等具体情况，经技术与经济比较后确定。

5.1.2 采用化学吸收法的二氧化碳捕集系统，宜采用胺类溶液吸收剂。

5.1.3 系统中压力容器、泵、换热器、管道、阀门的设计应符合 GB51316 的有关规定。

- 5.1.4 泵宜采用一用一备设置。
- 5.1.5 设备、管道外表面温度高于 50℃且工艺需要减少散热损失时需要进行保温措施。
- 5.1.6 设备、管道有下列情况之一的应进行保冷措施：外表面温度低于环境温度且需减少冷介质在生产和输送过程中冷损失量的；需减少冷介质在生产和输送过程中温度升高或气化的；为防止常温以下、0℃以上设备及管道外壁表面凝露的。
- 5.1.7 保温、保冷层的厚度计算应符合现行国家标准 GB 50264 的有关规定。

5.2 烟气预处理系统

- 5.2.1 烟气预处理系统主要包括引风机、预处理塔、烟气水洗泵、脱硫泵、脱硫水洗泵、废水处理装置、脱硫水洗罐、烟气水洗罐、脱硫液罐。
- 5.2.2 预处理塔采用的填料塔应符合 NB/T 47041 的规定。
- 5.2.3 预处理塔壳体材质可选择碳钢，内构件采用奥氏体不锈钢材质，应符合 NB/T 47002.1 的规定。
- 5.2.4 对烟气的冷却应采用直接喷淋方式，喷淋液应选择水或碱性溶液。
- 5.2.5 引风机应能满足烟气预处理系统、吸收系统和相应烟道整体降压的要求，引风机负荷应考虑 10% 的裕量，应满足 JC/T 879 的规定。

5.3 二氧化碳吸收系统

- 5.3.1 二氧化碳吸收系统主要包括吸收塔、富液泵、贫富液换热器、胺贮罐。
- 5.3.2 吸收塔采用的填料塔形式符合 NB/T 47041 的规定。
- 5.3.3 吸收塔的压力宜控制在 1.5KPa 左右。
- 5.3.4 吸收塔的设计空塔气速不应超过 1.5m/s。
- 5.3.5 辅助设备中胺贮罐压力宜为常压，设计温度宜为常温。
- 5.3.6 贫富液换热器、贫液冷却器宜选用板式换热器。

5.4 二氧化碳解吸及吸收剂再生系统

- 5.4.1 二氧化碳解吸及吸收剂再生系统主要包括解吸塔、贫液泵、胺回收加热器。
- 5.4.2 解吸塔采用的填料塔应符合 NB/T 47041 的规定。
- 5.4.3 解吸塔壳体材质宜选用奥氏体不锈钢，不锈钢的技术要求应符合 GB 24511 的规定。
- 5.4.4 贫富液循环系统中宜设置活性炭过滤器，用以去除溶液中的杂质保持溶液的清洁度。

5.5 二氧化碳纯化系统

- 5.5.1 二氧化碳纯化系统主要包括压缩、干燥、脱硫、吸附、精馏、冷却、液化设备。
- 5.5.2 二氧化碳压缩机宜选用离心式压缩机和活塞式压缩机。二氧化碳产品产能大于 50t/h 时，宜选用离心式压缩机；二氧化碳产品产能小于 50t/h 或要求高压时，宜采用活塞式压缩机。
- 5.5.3 对二氧化碳产品纯度要求达到食品级 GB 1886.288 的规定时，宜采用吸附法和精馏法进行纯化。
- 5.5.4 二氧化碳液化，应根据产品用途、输送方式及储存方式经综合比选后，确定采用高压液化法或低温液化法。采用高压液化法时，应采用管道直接外输；采用低温液化法时，制冷剂宜选用氨。
- 5.5.5 二氧化碳气体液化器可选用列管式、U 形管式、立式或板式。液化压力不得超过二氧化碳临界压力。

5.6 二氧化碳储存系统

- 5.6.1 二氧化碳储存系统主要包括储存设备。
- 5.6.2 二氧化碳储罐型式宜选用立式、卧式或球形储罐。球形储罐的设计应符合 GB 12337 的规定；立式储罐的设计应符合 SH 3046 的规定，储罐的配置不宜少于 2 座。
- 5.6.3 二氧化碳储罐底部可设自增压用汽化器，汽化器设计压力不应低于储罐的设计压力，汽化器出口应设调压阀。

5.7 系统参数检测与过程控制

- 5.7.1 碳捕集与纯化系统应设置自动检测及控制系统。
- 5.7.2 水泥窑烟气二氧化碳捕集纯化系统主要检测项目见表 2 所示。

表2 水泥窑烟气二氧化碳捕集纯化系统主要检测项目

序号	检测样品名称	检测位置	检测项目	频率
1	水泥窑烟气	预处理塔入口	流量、温度、压力、粉尘浓度、 烟气组分 (NO _x 、SO ₂ 、CO ₂)	实时
2	烟气循环洗涤水	循环洗涤水管道	悬浮物、pH	每天一次
3	净化烟气	预处理塔出口	流量、温度、压力、粉尘浓度、 烟气组分 (NO _x 、SO ₂ 、CO ₂)	实时
4	吸收塔出口外排 烟气	吸收塔顶部出口	温度、压力、烟气组分 (NO _x 、 SO ₂ 、CO ₂)	实时
5	吸收液贫液	贫液输送管道上	吸收液吸收二氧化碳能力	每月三次
6	富液	解吸塔	塔底及塔顶温度、塔顶压力	实时
7	解吸后二氧化碳	解吸塔出口	气体流量、二氧化碳浓度	实时
8	压缩后二氧化碳	压缩机出口	温度、压力	实时
9	液化后二氧化碳	精馏塔底	二氧化碳液体流量	实时
10	循环水	循环水总管道	循环水流量	实时
11	液氨	制冷机组出入口	液氨的流量、温度、压力	实时
12	二氧化碳产品	储罐入口	压力	实时
13	二氧化碳产品	储罐出口	二氧化碳纯度	两次/班

5.7.3 碳捕集与纯化系统宜在烟气预处理塔进出口、吸收塔出口、解吸塔出口、二氧化碳储罐进出口设置取样口，用于生产过程中样品的取样分析。

5.7.4 探测器应安装在无冲击、无振动、无强电磁场干扰、易于检修的场所，探测器安装地点与周边工业管道或设备之间的净空不应小于 0.5m。碳捕集与纯化系统气体探测器布置要求见表 3 所示。

表3 气体探测器布置要求

序号	探测介质	报警值设置	安装要求
1	二氧化碳气体	①一级报警设定值宜小于或等于 体积百分比浓度 0.5%； ②二级报警值宜小于或等于体积 百分比浓度 1%。	①探测器应设置在地势低洼且 二氧化碳气体易于聚集处。 ②探测器的安装高度应高出地 面 0.3m~0.6m。
2	氨气	①一级报警值宜小于或等于 20mg/m ³ ②二级报警值宜小于或等于 30mg/m ³	探测器安装高度应高出释放源 0.5m~1.0m

3	氧气	①环境过氧报警设定值宜为 23.5%VOL ②环境欠氧报警设定值宜为 19.5%VOL	①封闭或局部通风不良的区域 内应设置氧气探测器。 ②氧气探测器的安装高度宜距 地坪或楼地板 1.5m~2.0m。
---	----	--	---

5.7.5 解吸塔顶测温装置宜设置高低温报警值，并与解吸塔塔底再沸器蒸汽流量装置联锁设置。

5.7.6 控制系统的供电及接地设计，应符合 HG/T 20509 和 HG/T 20513 的规定。

5.7.7 过程控制宜采用水泥窑系统和碳捕集系统同步运行的自动控制系统，对整个装置进行控制和监视。

5.7.8 应选用以分散控制系统（DCS）或可编程序控制系统（PLC）的智能化自动控制系统，对整个装置进行控制、监视，系统的设计应符合 GB/T 50770、GB50295 和 SH/T 3092 的规定。

6 安全与职业卫生

6.1 安全

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，配备应急救援人员和应急救援器材、设备，定期组织演练。

6.1.2 碳捕集与纯化系统的安全与职业卫生措施应符合 GB 50577 和 HG 23012 的规定。

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》（中华人民共和国国务院令 549 号）和 TSGR 0004 的规定进行安全检查、检测和监察。

6.1.4 涉及到塔内或储存罐内等有限空间作业时，应执行 HG 23012 的要求。

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。

6.1.6 液氨、液态二氧化碳堆放和使用场所应符合 GB 2894、AQ3013 的规定。

6.1.7 氨的安全阀排放气应引至事故水池进行处理。

6.1.8 事故废水应排入事故废水收集池，并经处理达标后排放。

6.2 职业卫生

6.2.1 系统巡检人员应配置便携式二氧化碳和氨气浓度检测仪。装置运行过程中涉及高低温管道、电加热、低温二氧化碳介质及氨，应严格注意粉尘、噪声、静电、辐射、酸碱、有毒介质的防护措施，符合 GBZ 1 的规定。

6.2.2 设备和管道的绝热设计应符合 GB/T 4272 的规定。

6.2.3 使用或储存化学吸收剂、碱液、氨的区域应设置事故淋洗器和洗眼器。

6.2.4 工作场所噪声防护应符合 GB/T 50087 的规定。

7 项目建设及验收

7.1 一般规定

7.1.1 项目建设单位在建筑工程开工前必须取得建筑工程施工许可。

7.1.2 施工单位应具有建筑施工安全生产许可证，并为本项目配置足够数量的具备相应执业资质的安全管理人员。

7.1.3 承担碳捕集与纯化系统工程的施工单位应具备机电工程施工总承包壹级、钢结构工程专业承包壹级、建筑工程施工总承包至少叁级、石油化工工程施工总承包至少叁级等资质，并在资质许可范围内从事相应工作。

7.1.4 从事碳捕集与纯化系统工程施工的焊接人员、无损检测人员应取得相应的合格证书，并在合格证书认可的合格项目范围内作业。

7.2 项目建设

7.2.1 施工过程中采用的各种计量和检测器具、仪器、仪表和设备，必须经指定的计量检定机构检定合格后方可使用，其精度等级应满足被检测项目的精度要求。

7.2.2 安装过程中涉及到的土建、配管、辅属设备、电气、仪表、防腐、隔热等工程的施工及验收，除应符合设计文件和本文件外，还应执行相应专业技术文件。

7.2.3 施工单位对碳捕集与纯化系统达到表 4 所列出的分部分项工程应编制专项施工方案。

表 4 危险性较大的分部分项工程范围

序号	项目名称	条件要求
1	基坑工程	1.开挖深度超过3m（含3m）的基坑（槽）的土方开挖、支护、降水工程。 2.开挖深度虽未超过3m，但地质条件、周围环境和地下管线复杂，或影响毗邻建、构筑物安全的基坑（槽）的土方开挖、支护、降水工程。
2	模板工程及支撑体系	1.混凝土模板支撑工程：搭设高度5m及以上，或搭设跨度10m及以上，或施工总荷载（荷载效应基本组合的设计值，以下简称设计值）10kN/m ² 及以上，或集中线荷载（设计值）15kN/m及以上，或高度大于支撑水平投影宽度且相对独立无联系构件的混凝土模板支撑工程。 2.承重支撑体系：用于钢结构安装等满堂支撑体系。
3	起重吊装及起重机械安装拆卸工程	1.采用起重机械进行安装的工程。 2.起重机械安装和拆卸工程。
4	脚手架工程	1.搭设高度24m及以上的落地式钢管脚手架工程。 2.附着式升降脚手架工程。 3.悬挑式脚手架工程。 4.高处作业吊篮。 5.卸料平台、操作平台工程。 6.异型脚手架工程。
5	拆除工程	可能影响行人、交通、电力设施、通讯设施或其它建、构筑物安全的拆除工程。

7.2.4 施工单位对碳捕集与纯化系统达到表 5 所列出的超过一定规模的危险性较大的分部分项工程应编制专项施工方案，且组织专家进行论证、审查。

表 5 需专家论证审查专项施工方案的分部分项工程

序号	类别	范围
1	基坑工程	开挖深度超过5m（含5m）的基坑（槽）的土方开挖、支护、降水工程。
2	模板工程及支撑体系	混凝土模板支撑工程：搭设高度8m及以上，或搭设跨度18m及以上，或施工总荷载（设计值）15kN/m ² 及以上，或集中线荷载（设计值）20kN/m及以上。
3	起重吊装及起重机械安装拆卸工程	起重量300kN及以上，或搭设总高度200m及以上，或搭设基础标高在200m及以上的起重机械安装和拆卸工程。
4	脚手架工程	搭设高度50m及以上的落地式钢管脚手架工程； 分段架体搭设高度20m及以上的悬挑式脚手架工程。

7.2.5 表 6 列出了碳捕集与纯化系统工程中属于隐蔽工程的部分，对隐蔽工程应做好施工质量监督并组织验收。

表 6 碳捕集与纯化系统的隐蔽工程

项目类别	子工程名称
------	-------

隐蔽工程	预处理塔、吸收塔、解吸塔基础
	压缩机房、冷冻机组车间、球罐基础
	地下电缆沟、埋地的循环水管、消防水管等
	保温、保冷的管道

7.2.6 输送液体二氧化碳、液氨管道安装质量的允许偏差应符合 GB 50517 的规定，管道安装质量的允许偏差详见表 7。

表 7 管道安装质量的允许偏差 (mm)

项目		允许偏差	
坐标	架空及地沟	室外	25
		室内	15
	埋地		60
标高	架空及地沟	室外	±20
		室内	±15
	埋地		±25
水平管道直线度		DN≤100	0.2%L, 且≤50
		DN>100	0.3%L, 且≤80
立管垂直度			0.5%L, 且≤30
成排管道间距			15
交叉管的外壁或绝热层间距			20

注：L-管子有效长度；DN-管子公称直径。

7.3 项目验收

7.3.1 试车前应编制项目试车总体方案。

7.3.2 碳捕集与纯化系统设备主要设备单机试车运行时间宜符合表 8 要求。

表 8 碳捕集与纯化系统主要设备单机试车运行时间表

设备名称	运行时间	检验项目项目
引风机	2h	联锁保护、入口阀门、轴承振动、轴承温度、电动机轴承和绕组温度、噪声
化工液体（工艺）泵	2h	轴承振动、轴承温度
二氧化碳压缩机	3h	联锁保护、电动机轴承和绕组温度、电流、安全阀
液氨压缩机	3h	轴承振动和温度、电动机轴承和绕组温度、噪声
电加热器	0.5h	安全阀、加热装置、阀门

7.3.3 负荷试车条件：负荷试车前应进行试车条件检查，确认现场设备和控制系统是否满足设计负荷生产要求，碳捕集与纯化系统应满负荷运行 168h。

7.3.4 系统验收前应进行性能测试，达到性能要求后方可交付使用。

8 运行与维护管理

8.1 一般规定

8.1.1 系统运行应在满足 4.2 系统性能条件下进行，定期对各类设备、电气、自控仪表及建（构）筑物进行检查维护，确保装置稳定可靠运行。

8.1.2 系统在正常运行条件下，各项污染物排放应满足当地环保部门的要求。

8.1.3 应建立系统运行方案，包括但不限于开车前的安全教育培训、开车前对工艺管道、阀门、动设备和静设备的全面检查、开车标准操作规程、安全防护管理制度及应急预案；停车前的安全教育培训、停车前的安全防范工作、停车标准操作规程、停车后对工艺管道、阀门，动设备和静设备的全面检查、安全防护管理制度及应急预案。

8.1.4 应建立运行维护相关的各项管理制度，包括系统运行的过程记录，并保存 3 年。

8.2 运行管理

8.2.1 系统的运行人员宜单独配置，至少应设置 1 名专职的碳捕集技术管理人员。碳捕集系统的运行维护人员应持证上岗。

8.2.2 系统的巡检每 8 小时应不少于两次，人数不少于 2 人/次。

8.2.3 技术管理人员、检修人员和运行操作人员应系统掌握系统设备及其他附属设施正常运行的具体操作和应急情况的处理措施。

8.2.4 系统运行、设备维护及生产活动记录包括但不限于设备运行记录、设备日常和定期维护记录、设备维修记录、原料进厂验收记录、各取样点数据分析记录、烟气连续监测记录、污水排放记录、生产事故及处置情况记录、定期监测、评价及评估情况记录等，记录保存时间宜为 3 年。

8.2.5 纯化系统液态二氧化碳管道压力不小于 1.3Mpa。

8.2.6 经烟气预处理系统处理的烟气应满足表 9 的要求：

表 9 烟气预处理系统的出口烟气要求

指标	参数值
粉尘	$\leq 5\text{mg}/\text{Nm}^3$
SO ₂	$\leq 10\text{mg}/\text{Nm}^3$
NO _x	$\leq 50\text{mg}/\text{Nm}^3$

8.2.7 解吸系统贫富液热交换器，若采用板式热交换器，冷端温差宜小于 3℃；若采用管壳式热交换器，冷端温差宜小于 8℃。

8.2.8 解吸系统宜通过调节蒸汽减温减压阀，使解吸塔的升温速率控制在 50℃/h，解吸塔塔底温度宜控制在 90℃，塔顶温度宜控制在 85℃。

8.2.9 贫富液循环系统中的活性炭过滤器使用时，宜保持 10%的吸收剂循环量。

8.2.10 进入吸收剂回收加热器的溶液流量宜控制在 1%，加热后吸收剂溶液里的溶质应挥发到解吸塔重新使用。

8.2.11 解吸塔出口二氧化碳宜短时排空，待检测纯度达到 95%以上方可压缩二氧化碳。

8.2.12 解吸塔塔顶压力宜控制在 15~25KPa。

8.2.13 吸收剂要定期采用离子交换或者电渗析的方法，去除吸收剂中的有害离子。

8.2.14 采用液氨作为制冷剂时，捕集系统开机运行时应将氨系统压力控制在 1.6Mpa 以下。

8.3 系统维护

8.3.1 碳捕集装置的维护保养应纳入全厂的维护保养计划中。

8.3.2 水泥企业应根据碳捕集纯化系统技术方提供的系统、设备等资料制定详细的维护保养规定。

8.3.3 维护保养人员应根据维护保养规定定期检查、更换或维修必要的部件，做好维护保养记录。

8.3.4 维护保养包括正常运行时的检查、管路和设备清扫、疏通堵塞、定期加注或更换润滑油（脂）、小修、中修和大修。

8.3.5 碳捕集纯化装置停运后均应检查、清理预处理塔、吸收塔和解吸塔等系统，并进行维护。

附录 A
(资料性)

水泥窑烟气二氧化碳捕集纯化系统能耗计算方法

A.1 碳捕集与纯化系统总能耗是指，在统计报告期内，碳捕集与纯化系统捕集二氧化碳所消耗的能量，统计范围包括但不限于：烟气预处理系统、二氧化碳吸收系统、二氧化碳解吸及吸收剂再生系统、二氧化碳纯化系统、二氧化碳储存系统。

捕集能耗是指，在统计报告期内，水泥窑烟气二氧化碳捕集系统捕集二氧化碳所消耗的能量，统计范围包括但不限于：烟气预处理系统、二氧化碳吸收系统、二氧化碳解吸及吸收剂再生系统。

纯化能耗是指，在统计报告期内，捕集烟气中二氧化碳后，纯化二氧化碳所消耗的能量。统计范围包括但不限于二氧化碳纯化系统、二氧化碳储存系统。

A.2 捕集能耗计算如下：

$$E_b = \frac{k_1}{29.2712} \times M_{zh} + 0.1229 \times E_{be} \dots\dots\dots (A.1)$$

$$e_b = \frac{E_b}{m_t} \times \alpha_{CO2} \dots\dots\dots (A.2)$$

式中：

E_b —统计报告期内捕集系统能源消耗量折算成标准煤量，单位：千克标准煤（kgce）；

M_{zh} —统计报告期内，吸收剂再生系统蒸汽消耗量，单位：吨（t）；

k_1 —每千克低压蒸汽能量折标准煤系数，见 SH/T 3110，单位为兆焦/吨（MJ/t）；

0.1229—每千瓦时电力折合的标准煤量，单位为千克标准煤每千瓦时（kgce/（kW·h））；

E_{be} —统计报告期内捕集系统消耗的电能，单位为千瓦时（kW·h）；

m_t —统计报告期内二氧化碳总产量，单位为吨（t）；

e_b —捕集系统二氧化碳单位产品工序能耗，单位：千克标煤/吨（kgce/t）；

A.3 纯化能耗计算如下：

$$E_{ch} = 0.1229 \times E_{che} \dots\dots\dots (A.3)$$

$$e_{ch} = \frac{E_{ch}}{m_t} \dots\dots\dots (A.4)$$

式中：

E_{ch} —统计报告期内纯化系统能源消耗量折算成标准煤量，单位千克标准煤（kgce）；

E_{che} —统计报告期内纯化系统消耗的电能，单位为千瓦时（kW·h）；

e_{ch} —纯化系统二氧化碳单位产品工序能耗，单位：千克标煤/吨（kgce/t）；

A.4 碳捕集与纯化系统能耗计算公式：

$$e_{\text{总}} = e_b + e_{ch} \dots\dots\dots (A.5)$$

式中：

$e_{\text{总}}$ —碳捕集捕集纯化系统二氧化碳单位产品综合能耗，单位：千克标煤/吨（kgce/t）；

附录 B

(资料性)

水泥窑烟气二氧化碳捕集纯化系统性能指标计算方法

B.1 碳捕集与纯化系统二氧化碳捕集率是指，二氧化碳捕集前后烟气中二氧化碳质量差值与捕集前烟气中二氧化碳质量的百分比，计算如下：

$$\eta_{CO_2} = \frac{F_1 \times C_{b1} - F_2 \times C_{b2}}{F_1 \times C_{b1}} \times 100\% \quad \text{..... (B. 1)}$$

式中：

η_{CO_2} —捕集系统二氧化碳捕集率，%；

F_1 —预处理塔进口吸收塔烟气进口流量，kg/h；

F_2 —吸收塔烟气出口流量，kg/h；

C_{b1} —预处理塔进口吸收塔进口烟气中二氧化碳浓度，kg%；

C_{b2} —吸收塔出口烟气中二氧化碳浓度，kg%。

B.2 水泥窑烟气二氧化碳纯化系统二氧化碳纯化回收率是指，捕集烟气中二氧化碳后，经过纯化的二氧化碳产品质量，与净化前二氧化碳质量的百分比计算如下：

$$\alpha_{CO_2} = \frac{G_2 \times C_{c2}}{G_1 \times C_{c1}} \times 100\% \quad \text{..... (B. 2)}$$

式中：

α_{CO_2} —纯化系统二氧化碳纯化回收率，%

G_1 —纯化系统进口流量，kg/h；

G_2 —精馏塔底出口流量，kg/h；

C_{c1} —纯化系统进口二氧化碳浓度，kg%；

C_{c2} —精馏塔底出口二氧化碳浓度，kg%。