

团 体 标 准

T/CIECCPA XXX—20XX

干煤粉气流床加压气化技术规范

Technical specification for pressurized gasification of
pulverized coal flow bed

（征求意见稿）

XXXX - XX - XX 发布

XXXX - XX - XX 实施

中 国 工 业 节 能 与 清 洁 生 产 协 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 工艺流程及工艺参数 3

5 运行评价 7

6 废弃物排放及处置 9

图 1 全废锅合成气上行流程框图 3

图 2 全废锅合成气下行流程框图 4

图 3 半废锅流程框图 4

图 4 水激冷工艺流程框图 4

表 1 干煤粉气流床加压气化技术采用的物料、辅助材料要求 4

表 2 全废锅工艺主要设备及工艺参数要求 5

表 3 半废锅工艺主要设备及工艺参数要求 5

表 4 激冷工艺主要设备及工艺参数要求 5

表 5 综合能耗 7

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。

本文件由中国工业节能与清洁生产协会提出并归口。

本文件起草单位：清华大学山西清洁能源研究院、航天长征化学工程股份有限公司、贵州航天迈未科技有限公司、中国五环工程有限公司、阳煤集团太原化工新材料有限公司、内蒙古伊泰煤炭股份有限公司。

本文件主要起草人：张建胜、刘青、丁建平、彭书、赵静一、毛炜、肖敦峰、王光友、杨文玲、陈午凤、王岳婷、郑雨嘉、元宁、连帆、高源、刘万洲、徐延鹏、张晋玲、郝文俊、郭科、李响、王学磊、李泰山、李志远、张晓欢、刘昭扬、乔思涵。

干燥粉气流床加压气化技术规范

1 范围

本文件规定了干燥粉气流床加压气化技术规范的工艺流程及工艺参数、运行评价指标、废弃物排放及处置。

本文件适用于煤化工以煤为原料，进行采用干燥粉气流床加压气化技术生产合成气项目的新建、改建、扩建及管理。

2 规范性引用文件

以下文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本文件。凡是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 3096 声环境质量标准
- GB 5085.1 危险废物鉴别标准 通则
- GB 5085.2 危险废物鉴别标准 腐蚀性鉴别
- GB 5085.3 危险废物鉴别标准 浸出毒性鉴别
- GB 5085.4 危险废物鉴别标准 易燃性鉴别
- GB 5085.5 危险废物鉴别标准 反应性鉴别
- GB 5085.6 危险废物鉴别标准 毒性物质含量鉴别
- GB 5085.7 危险废物鉴别标准 通则
- GB 8978 污水综合排放标准
- GB 12348 工业企业厂界环境噪声排放标准
- GB 14554 恶臭污染物排放标准
- GB 16297 大气污染物综合排放标准
- GB 18597 危险废物贮存污染控制标准
- GB 18599 一般工业固体废物贮存和填埋污染控制标准
- GB/T 29722 商品煤质量 气流床气化用煤
- GB/T 31428 煤化工术语
- GB 31571 石油和化学工业污染物排放标准
- GB/T 41038 气流床水煤浆气化能效计算方法
- NB/T 10253 煤气化炉制造技术条件 第3部分：干燥粉加压气化炉
- NB/T 10836 气流床干燥粉加压气化炉煤粉烧嘴技术规范
- NB/T 10945 气流床气化炉节能监测

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

煤气化 coal gasification

在一定温度、压力条件下，用气化剂将煤转化为一氧化碳和氢气为主的气体的过程。

[来源：GB/T 31428-2021, 3.4]

3.2

煤粉 pulverized coal

指经过干燥、研磨、筛分等处理，粒度满足气流床气化要求的煤粉。

3.3

干煤粉气流床气化 entrained flow pulverized coal gasification

气体介质携带煤粉并使其在气化炉内处于流动状态的气化过程。

[来源：GB/T 31428-2021, 5.5, 有修改]

3.4

加压气化 pressurized gasification

指气化过程在高于大气压的环境中进行，以提高气化效率和产气量。

3.5

热量回收 heat recovery

指气化过程中产生的热量被回收利用，包括高温合成气的显热回收、灰渣显热回收、废热锅炉蒸汽回收等。

3.6

合成气 syngas

以一氧化碳和氢气为主要组分的原料气。

[来源：GB/T 31428-2021, 5.9, 有修改]

3.7

有效气 effective syngas

合成气中具有工业利用价值的组分，通常指一氧化碳和氢气，根据合成气不同，甲烷也可归为有效气。

3.8

粗煤气

煤与气化炉的气化剂发生化学反应，生成以一氧化碳、氢气、甲烷及二氧化碳、氮气、硫化氢、水等为主要成分的气态产物。

[来源：GB/T 31428-2021, 5.9, 有修改]

3.9

废锅流程 syngas cooler process

采用废热锅炉对粗煤气进行冷却，并回收热量的过程。

[来源：GB/T 31428-2021, 5.31, 有修改]

废锅流程包括半废锅流程和全废锅流程。

半废锅流程

从气化反应室出来的粗煤气先经过辐射废锅冷却，然后用水激冷的过程。

[来源：GB/T 31428-2021, 5.33, 有修改]

全废锅流程

从气化反应室出来的高温合成气先经过辐射废锅、对流废锅冷却，然后用水冷却的过程。

3.10

激冷流程 chilled quench process

采用水激冷的方式对粗煤气进行直接冷却的过程。

[来源：GB/T 31428-2021, 5.32, 有修改]

3.11

辐射废锅 radiant syngas cooler

以辐射换热为主要方式、回收高温合成气热量的冷却器。

对流废锅 Convection syngas cooler

以对流换热为主要方式、回收高温合成气热量的冷却器。

3.12

比氧耗 oxygen consumption

生产1000m³氢气和一氧化碳消耗的氧气量（m³）。

[来源：GB/T 31428-2021，5.34]

3.13

比煤耗 coal consumption

生产1000m³有效气（氢气和一氧化碳）消耗的干煤量（kg）。

[来源：GB/T 31428-2021，5.35，有修改]

3.14

冷煤气效率 coal gasification efficiency

粗煤气与原料煤所含的化学能之比（均以低热值计）。

[来源：GB/T 31428-2021，5.25，有修改]

3.15

碳转化率 carbon conversion rate

煤气化过程中被转化的碳占原料煤中碳的质量分数。

[来源：GB/T 31428-2021，5.27]

3.16

废锅副产蒸汽 syngas cooler by-product steam

由废热锅炉吸收高温合成气热量产生的不同温度和压力等级的蒸汽。

3.17

粗渣 coarse slag

经由煤气化炉的炉底排除的残渣。

[来源：GB/T 31428-2021，5.20]

3.18

细灰 fine ash

由煤气化合成气夹带并在合成气离开气化炉后的净化过程中分离排出的含碳颗粒物。

[来源：GB/T 31428-2021，5.21]

3.19

液态排渣 slag tapping

气化炉渣以液态形式排出气化炉的过程。

[来源：GB/T 31428-2021，5.36]

3.20

灰渣含碳量 carbon content in coal ash

煤气化过程中产生的灰渣中残留的碳含量（以干基计）。

[来源：GB/T 31428-2021，5.38，有修改]

4 工艺流程及工艺参数

4.1 工艺流程

4.1.1 全废锅流程

全废锅流程主要包括：制粉系统、给料系统、煤气化系统、废热回收系统、煤气净化系统等。根据合成气流动方向不同，全废锅流程又可分为合成气上行流程和合成气下行流程，流程框图见图 1 和 2。

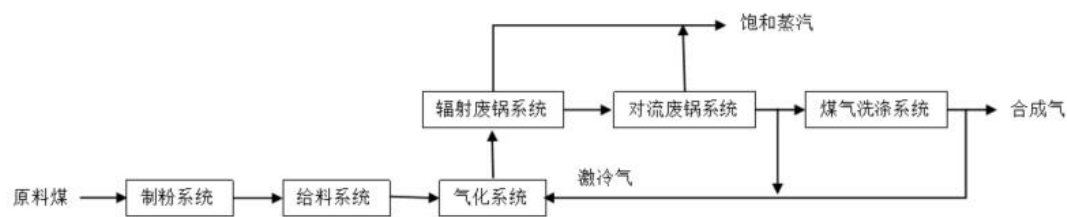


图 1 全废锅合成气上行流程框图

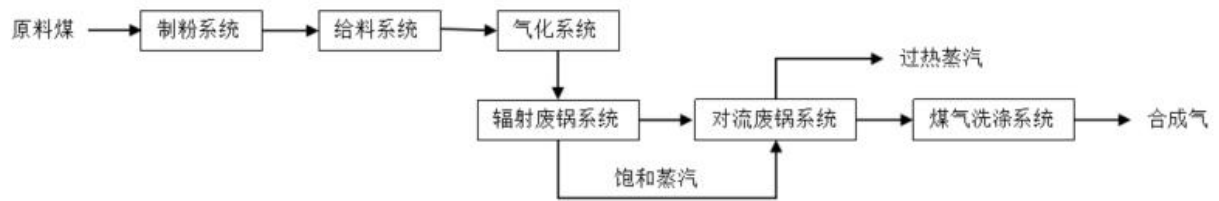


图 2 全废锅合成气下行流程框图

4.1.2 半废锅流程

半废锅流程主要包括：制粉系统、给料系统、煤气化系统、辐射废锅系统、煤气净化系统等。流程框图见图 3。

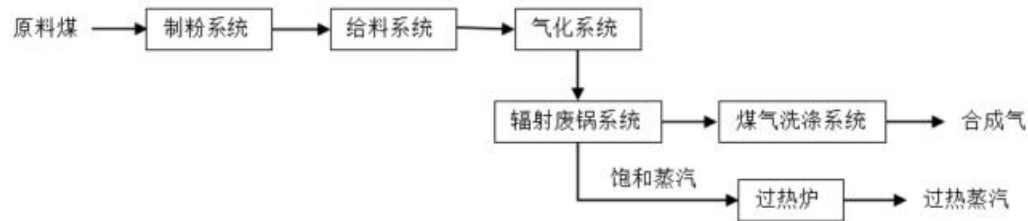


图 3 半废锅流程框图

4.1.3 激冷流程

激冷流程主要包括：制粉系统、给料系统、煤气化系统、煤气洗涤系统等，流程框图见图 4。



图 4 激冷工艺流程框图

4.2 物料原料及辅助材料要求

干煤粉气流床加压气化技术采用的物料、辅助材料要求见表 1。

表 1 干煤粉气流床加压气化技术采用的物料、辅助材料要求

序号	名称		规格要求
1	物料原料	煤炭	符合 GB/T 29722-2021 要求
2		氧气	纯度>99.6%
3	辅助材料	循环冷却水	温度：~30℃，压力：0.4MPa
4		低压氮气	温度：常温，压力：~0.5MPa
5		高压氮气	压力：~8MPa
6		高压 CO ₂	压力：~8MPa
7		脱盐水	压力：~0.7MPa
8		锅炉水	根据气化压力和废锅压力确定
9		柴油	
10		燃料气	液化气、天然气、等
11		分散剂	
12		絮凝剂	

4.3 主要设备及工艺参数要求

4.3.1 全废锅流程主要设备及工艺参数

全废锅工艺主要设备及工艺参数要求见表 2。

表 2 全废锅工艺主要设备及工艺参数要求

序号	系统名称	设备名称	规格要求	工艺指标
1	制粉系统	磨煤机	常压	煤粉 粒度：≤90μm，≥90% ≥5μm，≥10% 含水量： ≤10%（褐煤） ≤2%（烟煤、无烟煤）
2	给料系统	煤粉锁斗		给料罐与气化炉压差：根据现场试验确定
3	煤气化系统	气化炉	温度：1300℃-1500℃ 压力：2.0-6.5MPa	CO+H ₂ :85%~92%
4	废热回收系统	辐射废锅 对流废锅		根据工艺要求确定
5	煤气净化（或洗涤）系统	除尘器（或洗涤塔）		合成气含尘量小于 1mg/m ³

4.3.2 半废锅流程主要设备及工艺参数

半废锅工艺主要设备及工艺参数要求见表 2。

表 3 半废锅工艺主要设备及工艺参数要求

序号	系统名称	设备名称	规格要求	工艺指标
1	制粉系统	磨煤机	常压	煤粉 粒度：≤90μm，≥90%

				$\geq 5\mu\text{m}$, $\geq 10\%$ 含水量: $\leq 10\%$ (褐煤) $\leq 2\%$ (烟煤、无烟煤)
2	給料系统	煤粉锁斗		給料罐与气化炉压差: 根据现场试验确定
3	煤气化系统	气化炉	温度: 1300°C - 1500°C 压力: 2.0 - 6.5MPa	$\text{CO}+\text{H}_2$: 85% ~ 92%
4	废热回收系统	辐射废锅		根据工艺要求确定
5	煤气净化 (或洗涤) 系统	除尘器 (或洗涤塔)		合成气含尘量小于 $1\text{mg}/\text{m}^3$

4.3.3 激冷流程主要设备及工艺参数

激冷工艺主要设备及工艺参数要求见表 3。

表 4 激冷工艺主要设备及工艺参数要求

序号	系统名称	设备名称	规格要求	工艺指标
1	制粉系统	磨煤机	常压	煤粉 粒度: $\leq 90\mu\text{m}$, $\geq 90\%$ $\geq 5\mu\text{m}$, $\geq 10\%$ 含水量: $\leq 10\%$ (褐煤) $\leq 2\%$ (烟煤、无烟煤)
2	給料系统	煤粉锁斗		給料罐与气化炉压差: 根据现场试验确定
3	煤气化系统	气化炉	温度: 1300°C - 1500°C 压力: 2.0 - 6.5MPa	$(\text{CO}+\text{H}_2)$: 85% ~ 92%
4	煤气洗涤系统	洗涤塔		合成气含尘量小于 $1\text{mg}/\text{Nm}^3$

4.4 干煤粉加压气化工序操作要求

4.4.1 磨煤干燥单元

原煤经过除杂后送入磨煤机进行研磨,同时由经过加热的低压氮气将其干燥,煤粉经旋转分离器、煤粉过滤器后,制出合格的煤粉并存于粉仓中。原煤需符合 GB/T 29722-2021 要求,所制煤粉典型粒径分布: $\leq 90\mu\text{m}$ 占 90% , $\leq 5\mu\text{m}$ 占 10% ,煤粉含水量 $\leq 10\%$ (褐煤)、 $\leq 2\%$ (烟煤、无烟煤)。

4.4.2 干煤粉加压与输送单元

煤粉经过煤粉储罐、煤粉锁斗和煤粉給料罐,用高压二氧化碳或高压氮气将煤粉送入气化炉。煤粉給料罐与气化炉压差具体根据现场试验确定。

4.4.3 气化单元

在气化炉气化室内,煤粉与纯氧或水蒸气在高温下发生反应,生成合成气 (主要成分 CO 和 H_2),

有效合成气含量 $\geq 85\%$ 。气化压力为 2.0~6.5MPa，气化温度控制在 1300℃~1500℃之间。

4.4.4 激冷及废热回收单元

4.4.4.1 全废锅流程激冷及废热回收单元

4.4.4.1.1 全废锅合成气上行流程激冷及废热回收单元

全废锅合成气上行流程中，经激冷后合成气整体温度由 1300℃~1500℃降为 700℃~900℃。高温含灰合成气继续上升进入废锅进行进一步换热，合成气温度降为 300℃~350℃。在废锅中，合成气释放显热，副产中压蒸汽。

4.4.4.1.2 全废锅合成气下行流程激冷及废热回收单元

全废锅合成气下行流程中，高温合成气及灰渣首先进入辐射废锅吸收高温段热量，合成气出辐射废锅时温度降至 600-800℃，再进入对流废锅继续换热温度降至约 400℃。辐射废锅可以副产中、高压饱和蒸汽；对流废锅可以副产中、高压饱和蒸汽，也可以将饱和蒸汽加热为过热蒸汽。辐射废锅和对流废锅之间可设置旋风分离器，除去合成气中携带的飞灰颗粒。

4.4.4.2 半废锅流程激冷及废热回收单元

半废锅合成气流程中，高温合成气及灰渣首先进入辐射废锅吸收高温段热量，合成气出辐射废锅时温度降至 700-900℃。辐射废锅可以副产中、高压饱和蒸汽；也可以经过热炉将饱和蒸汽加热为过热蒸汽。

4.4.4.3 激冷流程激冷及废热回收单元

激冷流程中，气化反应产生的高温合成气与液态熔融状炉渣和飞灰穿过激冷水分布环，沿下降管进入激冷室的水浴中。

4.4.5 合成气净化（洗涤）单元

4.4.5.1 全废锅流程净化（洗涤）单元

全废锅合成气上行流程中，出废锅的合成气经过滤后除去绝大部分飞灰，合成气经洗涤后 $\leq 1\text{mg}/\text{m}^3$ 。全废锅合成气下行流程中，出废锅的合成气，分别经文丘里洗涤器、旋风分离器及洗涤塔等多级洗涤后，合成气中固含量 $\leq 1\text{mg}/\text{m}^3$ 。而后合成气经过后续单元脱硫脱碳，以满足后续后端工序要求。

4.4.5.2 半废锅流程净化（洗涤）单元

半废锅流程中，出废锅的合成气分别经文丘里洗涤器、旋风分离器及洗涤塔等多级洗涤后，合成气中固含量 $\leq 1\text{mg}/\text{m}^3$ 。而后合成气经过后续单元脱硫脱碳，以满足后续后端工序要求。

4.4.5.3 激冷流程净化（洗涤）单元

激冷流程中，经激冷室流出的激冷煤气，携带着细灰首先进入混合器和旋风分离器，进行“粗分”。洗涤塔洗涤后的合成气固含量 $\leq 1\text{mg}/\text{m}^3$ 。

4.4.6 其他辅助单元

包括空分系统、压缩系统、粗渣处理系统、黑水处理系统、循环水系统等。

5 运行评价

气化装置运行评价指标主要包含比煤耗、比氧耗、冷煤气效率、碳转化率、粗渣残碳及水含量，细灰残碳及水含量，飞灰残碳（干法除灰技术有），有效气（ $\text{CO}+\text{H}_2$ ）含量以及综合能耗（原料水电

气汽)等。

5.1 比煤耗

$$\text{比煤耗} = \frac{\text{入气化炉煤粉折 } 100\% \text{ 干煤粉量 } kg/h}{\text{出气化炉粗煤气中 } (CO + H_2) \text{ 气量 } Nm^3/h} * 1000 \quad (1)$$

5.2 比氧耗

$$\text{比氧耗} = \frac{\text{入气化炉氧气折 } 100\% \text{ 氧气量 } Nm^3/h}{\text{出气化炉粗煤气中 } (CO + H_2) \text{ 气量 } Nm^3/h} * 1000 \quad (2)$$

5.3 冷煤气效率(以低热值计)

$$\text{冷煤气效率} = \frac{\text{出气化炉煤气中 } CO + H_2 \text{ 低热值 } kJ/Nm^3 \times \text{有效气体量 } Nm^3/h}{\text{入炉煤粉的低热值 } kJ/kg \times \text{入炉煤粉量 } kg/h} \times 100\% \quad (3)$$

5.4 碳转化率

$$\text{碳转化率} = \frac{\text{入炉煤粉带入的碳 } kg/h - \text{灰渣中的残碳量 } kg/h}{\text{入炉煤粉带入的碳 } kg/h} * 100\% \quad (4)$$

5.5 粗渣、细灰残碳和水含量

碳在干粗渣、干细灰中的质量分数。

水分在粗渣、细灰中的质量分数。

5.6 飞灰残碳

碳在飞灰中的质量分数。

5.7 有效气产量:单位时间内生成的(CO+H₂)的标准体积流量。

$$\text{有效气量} = \text{气化出口干合成气量} \times (\text{CO} + \text{H}_2) \text{ 含量 } Nm^3/h \quad (5)$$

5.8 综合能耗

表5 综合能耗

序号	项目	消耗量		能源折算系数		能耗 (GJ/kNm ³)
		单位	数据	单位	数据	数据 (消耗×折能系数)
1	煤	t/kNm ³		MJ/t		
2	石灰石	t/kNm ³		MJ/t		
3	氧气	Nm ³ /kNm ³		MJ/Nm ³		
4	5.0MPa 级蒸汽	t/kNm ³		MJ/t		
5	0.5MPa 级蒸汽	t/kNm ³		MJ/t		
6	变换冷凝液	t/kNm ³		MJ/t		
7	CO ₂	Nm ³ /kNm ³		MJ/Nm ³		
8	高压锅炉水	t/kNm ³		MJ/t		
9	中压锅炉水	t/kNm ³		MJ/t		

10	低压锅炉水	t/kNm ³		MJ/t		
11	新鲜水	t/kNm ³		MJ/t		
12	脱盐水	t/kNm ³		MJ/t		
13	循环水	t/kNm ³		MJ/t		
14	高压氮气	Nm ³ /kNm ³		MJ/Nm ³		
15	低压氮气	Nm ³ /kNm ³		MJ/Nm ³		
16	燃料气	kg/kNm ³		MJ/kg		
17	电	kw/kNm ³		MJ/kWh		
18	副产 10.0MPa 级蒸汽	t/kNm ³		MJ/t		
19	副产 5MPa 级蒸汽	t/kNm ³		MJ/t		
20	副产 0.5MPa 级蒸汽	t/kNm ³		MJ/t		
						
	综合能耗 (GJ/kNm ³)					
注：综合能耗指的是上述各项能耗总和。						

6 废弃物排放及处置

6.1 应防止煤粉气流床加压气化过程中产生的烟气、炉渣、飞灰、废水及其他污染物污染环境。

6.2 煤粉气化加压工艺流程中及相关设备的废水应排至污水处理系统集中处理。废水处理依据 GB8978 执行。

6.3 干煤粉气化加压工艺流程中产生的烟气颗粒物、二氧化硫、氮氧化物等废气处理依据 GB16297 执行。

6.4 炉渣与飞灰应分别收集、贮存、运输和处置。炉渣宜按一般固体废物处置。飞灰按照危害成分浓度归类为危险废弃物或一般固体废物，并选择相应处置方法。判定标准依据 GB5085 系列执行。

6.5 一般工业固体废物贮存以及处置场污染物控制依据 GB18599 执行。

6.6 危险废弃物的贮存设施应根据危险废物的形态、物理化学性质、包装形式和污染物迁移途径，采取必要的防风、防晒、防雨、防漏、防渗、防腐以及其他环境污染防治措施，不应露天堆放危险废物。危险废物处理依据 GB18597 执行。

6.7 室内噪声应符合 GB 3096 的规定，厂界噪声应符合 GB 12348 的规定。