

ICS XXXXX
CCS X XXX

团 体 标 准

T/CIECCPA XXX—2025

绿色甲醇生产技术规范

Technical specification for production of green methanol fuel

（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III

1 范围1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 原料与产品技术要求 2

 4.1 原料 2

 4.2 产品 2

5 总体要求 2

 5.1 一般要求 2

 5.2 建设规模与工程构成 2

 5.3 平面布置 2

6 工艺技术 2

 6.1 一般规定 3

 6.2 工艺流程 3

7 主要设备 5

 7.1 一般要求 5

 7.2 关键设备 5

8 检测与过程控制 7

 8.1 检测 7

 8.2 过程控制 7

9 主要辅助工程 7

 9.1 电气 7

 9.2 给排水 8

 9.3 供热与供气 8

10 环境保护 8

 10.1 污染防治 8

 10.2 节能与降碳 8

11 劳动安全与职业卫生 9

 11.1 危险有害因素 9

 11.2 安全措施 9

 11.3 职业卫生 9

12 消防 9

 12.1 消防设计 9

 12.2 消防设施 9

13 运行与维护 9

 13.1 人员与制度 9

13.2 运行维护 9

图 1 生物质裂解气化制备绿色甲醇典型工艺流程图5

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：太原工业学院、

本文件主要起草人：王峰，张小平，陈补生，张胜健，李宝毅，白雪丽，刘爱芳，王慧芳，郭晓苗，田敏。

绿色甲醇生产技术规范

1 范围

本文件规定了绿色甲醇生产技术规范为原料与产品技术要求、总体要求、工艺技术、主要设备、检测与过程控制、主要辅助工程、环境保护、劳动安全与职业卫生、消防及运行与维护。

本文件适用于新建、改建和扩建的以芦竹、农林废弃物、牲畜排泄物、生活垃圾和含碳固废等为原料热裂解制备合成气、甲醇合成与精馏生产绿色甲醇的工业化装置；还适用于非化石能源提供的氢源（如新能源风光发电，电解产生氢气）和自然资源经一次利用后产生的碳源为原料（如生物质锅炉产蒸汽发电，排放的二氧化碳废气作为甲醇合成原料），调整碳氢比后，通过催化合成生产的甲醇。

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 338-2011 工业用甲醇

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 16297 大气污染物综合排放标准

GB 50016 建筑设计防火规范

GB 50160 石油化工企业设计防火标准

ASTM D5797 汽车点火式发动机用燃料甲醇（M70-M85）标准规范

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

绿色甲醇 Green Methanol

以超级芦竹、农林废弃物、牲畜排泄物、生活垃圾和含碳固废等热解、气化产生的合成气，经净化后催化合成的甲醇；或非化石能源提供的氢源（如新能源风光发电，电解产生氢气）和自然资源经一次利用后产生的碳源为原料（如生物质锅炉产蒸汽发电，排放的二氧化碳废气作为甲醇合成原料），调整碳氢比后，通过催化合成生产的甲醇。

3.2

超级芦竹 Super Arundo donax

一种经过生物技术选育的高产、高抗逆性能源植物，适用于在边际土地种植，用于生产生物质能源。

3.3

热裂解热解 Thermal Cracking Pyrolysis

在绝氧或限氧条件下，通过加热使芦竹、农林废弃物、牲畜排泄物、生活垃圾和含碳固废等原料发生分解，生成气体（合成气）、液体（生物油）和固体（生物炭）产物的过程。

4 原料与产品技术要求

4.1 原料

4.1.1 热裂解原料

气化主要原料宜采用芦竹、农林废弃物、牲畜排泄物、生活垃圾和含碳固废等。

4.1.2 原料规格

进热裂解装置的原料含水率应不高于 20%。

4.1.3 其他原料

氧气，二氧化碳、水、氢等。

4.1.4 用电规定

系统用电主要绿色电力，紧急情况和系统启动时可使用网电。

4.2 产品

4.2.1 绿色甲醇产品质量应同时符合 GB 338-92 优等品标准及 ASTM D5797-2006《汽车点火式发动机用燃料甲醇（M70-M85）》的相关要求。

4.2.2 产品应建立可追溯体系。

4.2.3 产品全生命周期碳排放小于 0.655tCO₂e/t 甲醇。

5 总体要求

5.1 一般要求

5.1.1 生产装置应具备连续、稳定、安全运行的能力，年操作时间可按 8000 小时设计。

5.1.2 应遵循清洁生产、循环经济的原则，提高资源和能源利用率。

5.1.3 厂址选择应符合地区产业发展规划、环境保护及安全卫生要求。

5.2 建设规模与工程构成

5.2.1 建设规模应根据资源条件、市场需求及技术经济分析确定。

5.2.2 生产装置主要包括：原料预处理、热裂解、合成气压缩与净化、转化、甲醇合成、甲醇精馏等单元。

5.2.3 辅助工程及设施应包括：罐区、循环水系统、变配电所、中央控制室、化验室、消防系统、三废处理设施等。

5.3 平面布置

5.3.1 总平面布置应满足生产工艺流程要求，力求管线短捷、物流顺畅。

5.3.2 应严格执行国家现行的防火、防爆、安全、卫生等规范，确保装置间安全间距。

5.3.3 合理组织人流、物流，厂区道路应满足运输及消防要求。

6 工艺技术

6.1 一般规定

- 6.1.1 工艺技术方案应技术成熟、安全可靠、经济合理，鼓励采用节能降耗、减少排放的先进技术。
- 6.1.2 全厂宜采用集散控制系统（DCS）实现集中监控和自动化操作。
- 6.1.3 关键设备及公用工程应具备必要的备用能力，确保装置稳定运行。

6.2 工艺流程

6.2.1 一般规定

工艺流程的设计应确保技术先进、运行稳定、能耗及物耗低，并满足安全生产和环境保护的要求。主要工艺参数应在自动控制系统监控下，确保在设定范围内稳定运行。

6.2.2 气化原料预处理

6.2.2.1 破碎与筛分

将原料粉碎至气化炉适配粒度（如固定床/流化床需 5–50 mm，气流床干粉进料需 <1 mm，回转炉需 20–50 mm），并剔除超大/细颗粒，确保均匀流化或输送。

6.2.2.2 干燥

降低原料含水率（通常至 <10–20%），提升热值、减少气化耗蒸汽、避免炉温波动；常用转筒干燥、热风干燥或微波干燥。

6.2.3 热裂解

6.2.3.1 进料

预处理后的合格芦竹颗粒，通过密闭输送系统送入热裂解炉。

6.2.3.2 热裂解

在热裂解炉内，于缺氧、高温（约 500℃ ~ 800℃）条件下进行快速热解反应，生成热解气、生物炭和少量生物油。

6.2.3.3 余热回收

高温热解气进入余热回收系统，将其温度降至~200℃，回收的热量用于原料烘干等工序。

6.2.3.4 净化

降温后的热解气经动力波冷却器等净化设备，去除其中的飘尘和焦油等杂质，产出合格的原料气送往合成气制备工段。原料气典型组分为 H₂、CO、CH₄、CO₂及少量 C_nH_m。

6.2.3.5 湿法脱硫

采用常压 PDS 加栲胶等成熟湿法脱硫技术，将原料气中的无机硫（H₂S）脱除至≤20 mg/Nm³。

6.2.4 合成气制备与净化

6.2.4.1 气柜稳压

来自热裂解工段的原料气（温度~40℃）首先进入气柜，起到缓冲和稳定系统压力的作用。气柜容

积应根据处理气量设计，例如 20,000 m³。

6.2.4.2 压缩

原料气经往复式压缩机加压，出口压力提升至~2.5 MPa。

6.2.4.3 精脱硫

压缩后的原料气进入精脱硫系统（通常采用铁钼加氢转化串中温氧化铁、氧化锌等工艺），将总硫（包括有机硫）深度脱除至≤0.1 ppm，以满足后续转化及合成催化剂的要求。

6.2.4.4 催化部分氧化转化

脱硫后的原料气（~2.2 MPa，~350℃）与蒸汽混合，预热至~600℃。来自空分的纯氧（纯度≥99.6%）掺入蒸汽后预热至~500℃。原料气与氧气在转化炉内进行催化部分氧化反应，反应温度可达~950℃。将原料气中的 CH₄及多碳烃类转化为合成气有效成分 CO 和 H₂。出口转化气中 CH₄含量应≤0.6%。

高温转化气经废热锅炉回收热量，副产~2.5 MPa 的饱和蒸汽，自身温度降至~650℃，再经系列换热器进一步回收热量后冷却至~40℃，分离冷凝液后得到合格合成气。

6.2.5 甲醇合成

6.2.5.1 热裂解生产合成气合成甲醇

合格合成气（~2.0 MPa）与循环气混合，经蒸汽透平驱动的二合一机组压缩至甲醇合成反应压力~6.0 MPa。

压缩后的合成气经换热器预热至~220℃的催化剂起活温度，进入管壳式甲醇合成反应器。在催化剂（如 C306）作用下，于 200℃ ~ 280℃ 的温度范围内发生合成反应，主要生成甲醇。

反应热由管壳式反应器壳程的沸腾水移走，并副产~3.5 MPa 的中压饱和蒸汽。出塔气经换热冷却至~40℃，进入甲醇分离器进行气液分离。

分离器底部得到粗甲醇。顶部出来的循环气大部分返回系统，小部分作为弛放气排出系统以控制惰性气体含量，弛放气可返回用作燃料。

6.2.5.2 其他原料合成甲醇

二氧化碳耦合氢通过调节合适碳氢比合成甲醇，按照现有技术规范执行。

6.2.6 甲醇精馏

预精馏是粗甲醇进入预精馏塔，在塔顶温度~65℃、压力常压或微负压的条件下，脱除溶解在粗甲醇中的轻组分（如二甲醚、不凝气）。为防止设备腐蚀，需在塔下部连续加入适量 NaOH 稀溶液，控制加料量使粗甲醇呈弱碱性。

加压精馏是预精馏塔釜液经泵送入加压精馏塔。塔顶操作压力约为~0.5 MPa ~ 0.7 MPa，塔顶温度~110℃ ~ 120℃。塔顶蒸汽冷凝热作为常压精馏塔的热源。从塔顶采出精甲醇。

常压精馏是加压精馏塔釜液送入常压精馏塔。塔顶操作压力为常压，温度~65℃，采出精甲醇。塔中部侧线采出杂醇油等副产品。

废水处理是常压精馏塔塔釜排出含微量甲醇的工艺废水，经冷却后送污水处理装置。废水中甲醇含量应≤0.2%。

6.2.7 生物质裂解气化制备绿色甲醇工艺流程

生物质裂解气化制备绿色甲醇典型工艺流程如图 1 所示。

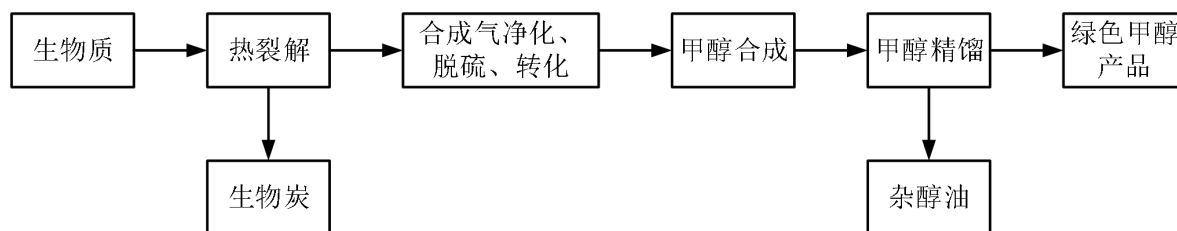


图 1 生物质裂解气化制备绿色甲醇典型工艺流程图

7 主要设备

7.1 一般要求

主要设备的选择应满足工艺要求，保证技术先进、运行可靠、维护方便，并符合节能环保要求。

7.2 关键设备

7.2.1 热裂解系统

7.2.1.1 工艺要求应实现原料芦竹、农林废弃物、牲畜排泄物、生活垃圾和含碳固废等在绝氧条件下的连续、稳定高温热解，确保合成气产率与质量。

7.2.1.2 工艺参数：

- a) 操作温度为 500 °C ~ 800 °C（可调）；
- b) 原料含水率要求为 ≤30%；
- c) 原料颗粒度要求为 10 mm ~ 30 mm。

7.2.1.3 主要技术指标：

- a) 碳转化率：≥85%；
- b) 合成气产率：≥1.0 Nm³/kg（以干基生物质计）；
- c) 系统热效率：≥80%。

7.2.1.4 特殊设计构造：

- a) 应采用绝氧密封进料系统，防止空气进入；
- b) 炉内衬必须采用耐高温、抗结焦的特种耐火材料；
- c) 集成高效余热回收系统（如余热锅炉），将高温烟气降至~200°C，回收的热量用于原料烘干。

7.2.2 气柜

7.2.2.1 工艺要求为用于缓冲和稳定来自热裂解工序的原料气压力，消除气量波动对后续压缩工段的影响。

7.2.2.2 工艺参数：

- a) 型式为威金斯干式气柜或双膜干式气柜；
- b) 有效容积为 20,000 m³；
- c) 设计压力为~4 kPa；
- d) 正常操作压力为~0.4 kPa。（来自前序工段，气柜本身维持微正压稳定）。

7.2.2.3 主要技术指标：压力波动控制在 ±5% 以内。

7.2.2.4 特殊设计构造：

- a) 柜体应采用耐腐蚀钢材或专用高分子膜材料；
- b) 应配备活塞或膜式密封结构，确保低泄漏率；
- c) 必须设置高低位报警及联锁系统，防止抽瘪或冲顶。

7.2.3 合成气压缩机

7.2.3.1 工艺要求将原料气从气柜压力压缩至后续脱硫和转化工序所需的工作压力。

7.2.3.2 工艺参数：

- a) 型式为往复式压缩机（适用于压比大、气量波动场合）；
- b) 进口压力为 ~ 0.4 kPa；
- c) 出口压力为 $4\sim 8$ MPa；
- d) 排气量为与 ~ 34700 Nm³/h 原料气处理量匹配。

7.2.3.3 主要技术指标：

- a) 等温效率为 $\geq 60\%$ ；
- b) 排气温度为 $\leq 40^\circ\text{C}$ （经级间冷却后）。

7.2.3.4 特殊设计构造：

- a) 气缸、活塞环、填料函等易损件材质应具备耐硫腐蚀、耐磨损特性；
- b) 需配置高效级间冷却器和气液分离器；
- c) 应设置三台（两开一备），保证连续运行。

7.2.4 转化炉

7.2.4.1 工艺要求在催化剂作用下，将脱硫后原料气中的甲烷及多碳烃类转化为合成甲醇所需的有效成分（CO 和 H₂）。

7.2.4.2 工艺参数：

- a) 操作压力为 ~ 2.2 MPa；
- b) 操作温度为 ~ 950 °C（出口）；
- c) 氧气纯度为 $\geq 99.6\%$ ；
- d) 出口甲烷含量为 $\leq 0.6\%$ 。

7.2.4.3 主要技术指标：甲烷转化率为 $\geq 98\%$ 。

7.2.4.4 特殊设计构造：

- a) 采用纯氧催化部分氧化技术；
- b) 炉体结构为内衬耐火材料+外部水夹套，确保承压壳体在异常情况下不超温；
- c) 顶部设置专用气体混合器，使氧气、蒸汽与合成气混合均匀；
- d) 催化剂装填量为 ~ 23 m³。

7.2.5 甲醇合成反应器

7.2.5.1 工艺要求在特定温度和压力下，使合成气在催化剂床层中高效合成为粗甲醇，并有效移走反应热。

7.2.5.2 工艺参数：

- a) 型式为管壳式反应器；
- b) 操作压力为 ~ 6.0 MPa；
- c) 操作温度为 220 °C $\sim$ 280 °C；

d) 催化剂型号为 C306（或同类低压合成催化剂）。

7.2.5.3 主要技术指标：

- a) 单程 CO+CO₂ 转化率为 $\geq 50\%$ ；
- b) 出口甲醇浓度为 $\geq 5\%$ （vol）；
- c) 副产蒸汽压力为 ~ 3.5 MPa。

7.2.5.4 特殊设计构造：

- a) 壳体为高压容器，管程装填催化剂，壳程为沸腾水；
- b) 反应管材质为特种复合钢材，具备优良的导热性和耐氢腐蚀能力；
- c) 壳程与汽包相连，构成自然循环锅炉系统。

7.2.6 精馏塔（预塔、加压塔、常压塔）

7.2.6.1 工艺要求通过三塔精馏流程，分离粗甲醇中的轻组分、水分和重组分，得到产品级精甲醇。

7.2.6.2 工艺参数：

- a) 塔型为浮阀塔；
- b) 预塔为常压操作，塔顶温度 $\sim 65^{\circ}\text{C}$ ，用于脱除轻组分；
- c) 加压塔为操作压力 0.5 MPa ~ 0.7 MPa，塔顶温度 $\sim 120^{\circ}\text{C}$ ；
- d) 常压塔为常压操作，塔顶温度 $\sim 65^{\circ}\text{C}$ ，侧线采出杂醇油。

7.2.6.3 主要技术指标：

- a) 产品甲醇质量为达到 GB 338-92 优等品 标准；
- b) 甲醇回收率为 $\geq 99.5\%$ ；
- c) 吨甲醇蒸汽耗量为 ≤ 1.15 t（ 0.5 MPa 蒸汽）。

7.2.6.4 特殊设计构造：

- a) 预塔为下部需设置 NaOH 溶液注入点，以中和有机酸，防止设备腐蚀；
- b) 加压塔与常压塔为通过冷凝再沸器耦合，利用加压塔顶蒸汽的冷凝热作为常压塔的热源，显著降低能耗；
- c) 塔板数需经过严格工艺计算确定，确保分离效率。

8 检测与过程控制

8.1 检测

8.1.1 应对原料、中间产品及成品的关键质量指标（如成分、浓度、纯度）进行定期检测。

8.1.2 应在合成气、循环气等关键节点设置在线分析仪器（如 CO、CH₃ OH 分析仪）。

8.1.3 应在存在可燃气体（如 H₂、CO、CH₃ OH）泄漏风险的场所设置可燃气体报警检测系统。

8.2 过程控制

8.2.1 应采用集散控制系统（DCS）对全厂主要生产工艺过程进行集中监控和自动控制。

8.2.2 应设置必要的安全联锁系统，确保在异常工况下能安全停车。

8.2.3 仪表气源应稳定、洁净、干燥，并设置备用气源或储气罐。

9 主要辅助工程

9.1 电气

9.1.1 供配电

9.1.1.1 甲醇装置供电负荷等级不应低于二级，消防水泵供电负荷应为一級，转化炉氧气喷嘴的冷却水泵供电负荷应为一級负荷中特別重要负荷。其他供配电要求应符合 GB50052 和 SH3039 的规定。

9.1.1.2 仪表供电应采用 UPS 供电，并宜采用双 UPS 双路供电方式，后备时间不应小于 30min。应急照明宜采用 EPS 供电，后备时间不应小于 60min。

9.1.1.3 甲醇工程爆炸危险区域划分及用电设备选择应符合 GB 50059 和 GB 3936.14 的规定。

9.1.1.4 低压配电应采用 TN-S 系统。

9.1.2 照明

9.1.2.1 甲醇工程照明设计应符合 GB 50034、GB 50059 和 SH/T 3027 的规定。

9.1.2.2 装置内应设置正常照明和应急照明系统。生产装置区主要出入口和停电需要操作的设备附近、各变配电所、控制室、机柜间、化验室等建筑物内应设置疏散指示和应急照明。

9.1.2.3 甲醇工程内高大建、构筑物或设备顶部应按 GB 50051 的规定设置航空障碍灯。

9.1.3 防雷、接地、防静电

9.1.3.1 甲醇工程内建筑物、构筑物的防雷分类及防雷措施应符合 GB 50057 的规定。

9.1.3.2 露天布置的装置区防雷设计应符合 GB 50650 的规定。

9.1.3.3 甲醇储罐和气柜顶应设置防雷装置，防雷设计应符合 GB50074 的规定。

9.1.3.4 甲醇工程防静电设计应符合 SH 3097 和 SH 3039 的规定。

9.1.3.5 甲醇储罐的罐体应设置防直击雷接地措施。接地点不应少于 2 点，并应沿罐体周边均匀布置，间距不应大于 19m。每根接地引下线冲击接地电阻不应大于 10Ω。接地体距罐壁的距离不应小于 3m。

9.2 给排水

9.2.1 应建立分质给水系统，包括新鲜水系统、循环水系统。循环水系统应配备水质稳定处理设施。

9.2.2 排水系统应实行清污分流、雨污分流。生产废水、生活污水应送至污水处理装置处理。

9.3 供热与供气

9.3.1 蒸汽供应应满足工艺用汽需求，鼓励利用工艺反应热副产蒸汽。

9.3.2 仪表空气和工厂空气系统应保证气量、压力和质量满足要求。

10 环境保护

10.1 污染防治

10.1.1 废气是转化炉烟气、工艺弛放气等应优先回收利用；无法利用的应引至火炬或采取其他净化措施处理，排放应符合 GB 16297 等标准要求。

10.1.2 废水为气柜水封排水、精馏残液等工艺废水应送污水处理站处理；循环水系统排污水等清净下水宜回用或达标排放。排放应符合 GB 8978 要求。

10.1.3 固体废物为废催化剂等危险废物应交由有资质的单位处理处置。

10.1.4 噪声应采取隔声、消声、减振等措施，控制厂界噪声符合 GB 12348 要求。

10.2 节能与降碳

10.2.1 应采用高效节能设备，优化工艺流程，降低单位产品综合能耗。

10.2.2 应充分利用工艺过程中的反应热、余热，提高能源利用效率。

11 劳动安全与职业卫生

11.1 危险有害因素

生产过程中存在的危险有害因素主要包括，甲醇、一氧化碳、氢气等物质的火灾、爆炸、中毒危险；高温、噪声危害；机械伤害等。

11.2 安全措施

11.2.1 厂区总平面布置应满足安全防护距离要求。

11.2.2 生产装置区应按防爆区域设计，电气设备及仪表选型应符合防爆要求。

11.2.3 应设置完善的火灾报警系统、消防系统及气防设施。

11.2.4 对转动设备外露部分应设置防护罩。

11.2.5 在可能接触有毒有害物料的场所，应设置洗眼器、淋浴器等应急设施。

11.3 职业卫生

11.3.1 工作场所空气质量应符合 GBZ 2.1 要求。

11.3.2 应采取有效措施控制噪声源，为高噪声岗位操作人员配备防护用品。

11.3.3 应按规定设置更衣室、浴室、休息室等辅助用室。

12 消防

12.1 消防设计

消防设计应遵循“预防为主，防消结合”的方针，严格执行 GB 50016、GB 50160 等规范。

12.2 消防设施

12.2.1 应按规定设置消防给水系统、灭火器、消防栓及泡沫灭火系统（针对储罐区）。

12.2.2 控制室、变配电所等重要场所应设置火灾自动报警系统。

13 运行与维护

13.1 人员与制度

13.1.1 应配备具备相应资质和技能的操作与管理人员。

13.1.2 应建立健全安全生产责任制、操作规程、设备维护保养制度、应急预案等规章制度。

13.2 运行维护

13.2.1 应按照操作规程进行开停车、正常操作和异常工况处理。

13.2.2 应定期对设备、管道、阀门、仪表等进行巡检、维护和保养。

13.2.3 应定期校验安全阀、压力表、可燃气体报警器等安全设施。

13.2.4 应做好运行记录、维护记录和事故处理记录。

