

T/CWDPA

团 体 标 准

T/CWDPA XXXX—XXXX

绿氨撬装式合成装置通用技术要求

General technical requirements for green ammonia skid-mounted synthesis
equipment

（征求意见稿）

XXXX-XX-XX 发布

XXXX-XX-XX 实施

中国西部开发促进会 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 总体要求 2

 4.1 设计基本原则 2

 4.2 模块化要求 2

 4.3 安全与防护要求 2

 4.4 自动化控制要求 2

 4.5 撬装底座与结构要求 3

5 技术要求 3

 5.1 制氢单元要求 3

 5.2 氮气供应单元要求 3

 5.3 合成反应单元要求 3

 5.4 氨分离与液化单元要求 3

 5.5 自动控制系统要求 4

 5.6 安全防护系统要求 4

 5.7 整体性能指标 4

6 试验方法 4

 6.1 制氢单元试验 4

 6.2 氮气供应单元试验 4

 6.3 合成反应单元试验 5

 6.4 氨分离与液化单元试验 5

 6.5 自动控制系统试验 5

 6.6 安全防护系统试验 5

 6.7 整体性能试验 6

7 检验规则 6

 7.1 检验分类 6

 7.2 出厂检验 6

 7.3 型式检验 6

8 标志、包装、运输和贮存 6

 8.1 标志 6

 8.2 包装 7

 8.3 运输 7

 8.4 贮存 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。

本文件由中国西部开发促进会提出并归口。

本文件起草单位：。

本文件主要起草人：。

绿氨撬装式合成装置通用技术要求

1 范围

本文件规定了绿氨撬装式合成装置的总体要求、技术要求、试验方法、检验规则、标志、包装、运输和贮存。

本文件适用于采用撬装式模块化集成设计、工厂预制、整体运输、现场快速部署的小型合成氨装置。

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 150.1 压力容器 第1部分：通用要求
- GB/T 150.2 压力容器 第2部分：材料
- GB/T 191 包装储运图形符号标志
- GB/T 536 液体无水氨
- GB 2894 安全色和安全标志
- GB/T 3634.2 氢气 第2部分：纯氢、高纯氢和超纯氢
- GB/T 12243 弹簧直接载荷式安全阀
- GB/T 20801.1 压力管道规范 第1部分：工业管道
- GB 21344 化肥行业单位产品能源消耗限额
- HG/T 3550 氨合成催化剂
- HG/T 6055 钨基氨合成催化剂
- HG/T 22820 化工安全仪表系统工程设计规范
- SH/T 3005 石油化工自动化仪表选型设计规范
- 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

绿氨 green ammonia

以风能、太阳能等可再生能源电解水制取的氢气（绿氢）和氮气为原料，通过合成氨工艺生产的氨产品。

3.2

撬装式合成装置 skid-mounted ammonia synthesis unit

将合成氨反应器、换热器、分离器、压缩机、自控系统及辅助设备集成于一个或多个钢结构底撬上，在工厂完成预制、组装和调试，可整体或分模块运输至现场并快速投运的小型合成氨生产装置。

3.3

模块化单元 modular unit

撬装式合成装置中按功能划分、结构相对独立、可单独制造、测试和替换的标准化设备组合。

4 总体要求

4.1 设计基本原则

装置的设计应遵循下列基本原则：

- a) 安全性优先原则：装置设计应以保证人员、设备和环境安全为首要目标，从本质安全设计出发，降低氢气、氨气泄漏及燃爆风险，符合 GB/T 20801.1 的相关规定；
- b) 全生命周期原则：装置设计应覆盖设计、制造、运输、安装、运行、维护和退役的全生命周期，各阶段技术要求协调一致；
- c) 标准化与模块化原则：装置应采用标准化接口和模块化设计，各功能单元可独立制造、测试、替换和升级，提高装置的通用性和可维护性；
- d) 绿色低碳原则：装置设计应优先采用可再生能源制氢路线，优化能量利用效率，降低全生命周期碳排放。

4.2 模块化要求

装置应按功能划分为若干模块化单元，各模块化单元应符合以下要求：

- a) 功能独立性：每个模块化单元应具有明确、独立的功能边界，单元内部设备完整、可独立运行测试；
- b) 接口标准化：各模块化单元之间的工艺管道接口、电气接口、控制信号接口和公用工程接口应符合统一的设计要求；
- c) 运输适应性：每个模块化单元的外形尺寸和质量应符合公路或铁路运输限界要求，底座应设置明确的吊装点和固定装置；
- d) 可维护性：模块化单元内关键设备应便于检修和更换，催化剂装填口、仪表检修口等应留有足够的操作空间。

4.3 安全与防护要求

装置的安全与防护设计应符合以下要求：

- a) 防爆设计：装置中涉及氢气、氨气的区域应按 GB/T 20801.1 的要求进行防爆分区和防爆电气设备选型，合成反应区、氢气管路区及氨储存区应设置可靠的防爆措施；
- b) 泄漏检测与报警：装置应在氢气、氨气可能泄漏的区域设置固定式气体检测报警装置，检测信号应接入中央控制系统，检测报警阈值和响应时间应符合相关安全规范；
- c) 紧急停车系统（ESD）：装置应设置独立于过程控制系统的紧急停车系统，在检测到超压、超温、泄漏、火灾等危险工况时自动触发紧急停车，关闭氢气及氨气切断阀并泄压至安全状态，ESD 系统的安全完整性等级应符合 HG/T 22820 的要求；
- d) 防火与消防：装置的防火间距和消防设施配置应符合合成氨安全生产相关规范，氨储存区应设置水喷淋或水幕系统；
- e) 安全泄放：装置中的压力容器和压力管道应按 GB/T 150.1 的规定设置安全阀或爆破片等超压泄放装置，泄放介质应引至安全位置排放。

4.4 自动化控制要求

装置的自动化控制系统应符合以下要求：

- a) 基本控制要求：装置应配置集散控制系统（DCS）或可编程逻辑控制器（PLC），实现对温度、压力、流量、液位、气体成分等关键工艺参数的实时监测和自动调节；
- b) 安全仪表系统（SIS）：涉及安全连锁的回路应纳入安全仪表系统独立控制，安全仪表功能（SIF）的设计和验证应符合 HG/T 22820 的规定；
- c) 远程监控：装置应具备远程数据采集与监视功能，支持将运行数据上传至远程监控平台，实现异地监控和故障预警；
- d) 报警管理：控制系统应具备分级报警管理功能，对预警、报警和紧急报警分别设定响应策略和记录要求；

- e) 仪表选型：现场仪表选型应适应氢气、氨气等介质特性和现场环境条件，防爆等级、防护等级和耐腐蚀等级应与安装区域相匹配，选型原则可参照 SH/T 3005。

4.5 撬装底座与结构要求

装置的撬装底座和钢结构应符合以下要求：

- a) 底座强度与刚度：撬装底座应采用型钢或钢板焊接结构，具有足够的强度和刚度，在吊装、运输和运行工况下底撬的挠度不应影响设备对中和管道连接；
- b) 吊装与固定：底座上应设置不少于 4 处吊装点，吊耳的设计载荷不应小于装置总质量的 1.5 倍，底座还应设有运输固定用锚点；
- c) 防滑与排水：底座上表面应采取防滑措施，并设置排水孔防止积水；
- d) 防腐与标识：底座钢结构应进行喷砂除锈并涂装防腐涂层，底座明显位置应标注装置名称、外形尺寸、总质量、重心位置及吊装点标识；
- e) 接地：底座应设置可靠的防雷接地和防静电接地端子，接地电阻应符合相关电气安全要求。

5 技术要求

5.1 制氢单元要求

制氢单元宜采用水电解制氢技术，其性能应符合以下要求：

- a) 产氢量：在额定工况下，制氢单元的实际产氢量不应低于额定产氢量的 95%；
- b) 氢气纯度：经纯化后出口氢气纯度（体积分数）不应低于 99.999%，氧原子含量小于 20ppm；
- c) 出口压力：制氢单元出口氢气压力应满足下游合成反应单元的进气压力要求，压力波动范围不应超过额定值的 $\pm 5\%$ ；
- d) 单位能耗：在额定工况下，制氢单元的单位直流电耗不宜高于 4.5 kWh/Nm³ H₂；
- e) 电解堆寿命：电解堆的预期使用寿命不应低于 60000 h，性能衰减率不应超过设计值。

5.2 氮气供应单元要求

氮气供应单元可采用变压吸附（PSA）制氮、膜分离制氮、空分或液氮气化等方式，其性能应符合以下要求：

- a) 氮气纯度：供入合成反应单元的氮气纯度（体积分数）不应低于 99.9%，氧含量（体积分数）10ppm 以下；
- b) 供气压力：氮气出口压力应满足合成反应单元的配气压力要求，压力波动范围不应超过额定值的 $\pm 5\%$ ；
- c) 露点：在额定供气压力下，氮气的常压露点不应高于 -70 ℃；
- d) 流量调节范围：氮气供应单元的流量调节范围不应窄于额定流量的 30%~110%。

5.3 合成反应单元要求

合成反应单元是装置的核心部分，其性能应符合以下要求：

- a) 反应压力：合成反应的工作压力宜在 5MPa~15MPa 范围内，具体压力等级由设计确定；
- b) 反应温度：合成反应温度宜控制在 350 ℃~500 ℃范围内，催化剂床层热点温度不应超过催化剂最高允许使用温度；
- c) 空速：合成反应的空速应根据催化剂类型和反应条件确定，宜在 5000 h⁻¹~30000 h⁻¹范围内；
- d) 氨净值：在额定工况下，合成塔出口气体的氨体积分数（氨净值）不应低于 15%；
- e) 催化剂：合成催化剂宜选用铁基或钨基氨合成催化剂，其活性、选择性、机械强度和抗毒性能应符合 HG/T 3550 或 HG/T 6055 的规定。

5.4 氨分离与液化单元要求

氨分离与液化单元的性能应符合以下要求：

- a) 液氨产品质量：产品液氨的质量应符合 GB/T 536 中一等品或以上等级的要求，氨含量不应低于 99.8%，残留物含量不应高于 0.2%；

- b) 氨分离效率：在额定工况下，氨分离单元的氨回收率不应低于 98%；
- c) 冷凝温度：氨液化冷凝温度应根据制冷方式和环境条件确定，采用水冷方式时冷凝温度不宜高于 45 °C；
- d) 液氨储存：液氨储罐的设计、制造和检验应符合 TSG 21 的规定，储罐应设置液位、温度和压力监测仪表及安全泄放装置。

5.5 自动控制系统要求

自动控制系统符合以下性能指标：（传统合成氨工艺）

- a) 控制精度：关键工艺参数的控制精度应满足：温度 $\pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ （5），压力 $\pm 0.1\text{ MPa}$ （），液位 $\pm 2\%$ ，流量 $\pm 1\%$ FS；
- b) 响应时间：控制系统从信号输入到执行机构动作的响应时间不应超过 1 s；
- c) 数据记录：控制系统应具备运行数据实时记录和存储功能，存储周期不应少于 90 d，关键事件和报警记录应长期保存；
- d) 通信接口：控制系统应提供标准的通信接口（如 Modbus TCP、OPC UA 等），支持与上位监控系统 and 第三方平台的数据交互。

5.6 安全防护系统要求

安全防护系统应符合以下性能指标：

- a) 气体检测：固定式氢气、氨气检测报警装置的量程和报警设定值应符合以下要求：氢气检测范围为 0%~4%（体积分数），一级报警设定值不宜高于爆炸下限的 25%，二级报警设定值不宜高于爆炸下限的 50%，氨气（0~30mg），一级有毒气体报警设定值 30mg（1 级，2 级），爆炸体积值 15-28；
- b) 检测响应时间：气体检测报警装置从气体到达传感器至发出报警信号的响应时间不应超过 30 s；
- c) ESD 动作时间：从紧急停车信号触发到关键切断阀完全关闭的时间不应超过 5 s；
- d) 安全阀：整定压力不应超过被保护设备最高允许工作压力的 1.1 倍；
- e) 联锁可靠性：安全联锁回路的硬件故障裕度和安全完整性等级（SIL）应根据危险与风险分析结果确定，安全仪表功能的安全完整性等级不应低于 SIL2。

5.7 整体性能指标

在额定工况下，装置的整体性能指标应符合以下要求：

- a) 额定产氨量：装置的实际产氨量不应低于额定产氨量的 95%；
- b) 连续稳定运行时间：装置应能连续稳定运行不少于 72 h，其间各项指标应保持在规定范围内；
- c) 负荷调节范围：装置的负荷调节范围不应窄于额定负荷的 30%~110%，在调节范围内应能稳定运行且产氨量线性可调；

6 试验方法

6.1 制氢单元试验

制氢单元的性能试验应包括以下项目：

- a) 产氢量试验：在额定工况下连续运行不少于 2 h，采用流量计测量出口氢气体积流量，计算平均产氢量，结果应符合 5.1 的要求；
- b) 氢气纯度试验：按 GB/T 3634.2 规定的方法取样并测定氢气纯度及氧气中氢含量，结果应符合 5.1 的要求；
- c) 出口压力稳定性试验：在额定工况下，连续记录出口压力值不少于 1 h，压力波动范围应符合 5.1 的要求；
- d) 单位能耗试验：在额定工况下，同时记录制氢单元的输入直流电功率和氢气产量，计算单位直流电耗，结果应符合 5.1 的要求。

6.2 氮气供应单元试验

氮气供应单元的性能试验应包括以下项目：

- a) 氮气纯度试验：在额定工况下，在氮气出口取样，采用气相色谱法或电化学法测定氮气纯度及氧含量，结果应符合 5.2 的要求；
- b) 露点试验：在额定供气压力下，在氮气出口采用露点仪测量常压露点，结果应符合 5.2 的要求；
- c) 供气压力稳定性试验：在额定工况下，连续记录出口压力值不少于 1 h，压力波动范围应符合 5.2 的要求；
- d) 流量调节范围试验：在 30%~110%额定流量范围内分别选取不少于 5 个工况点进行试验，各工况点应能稳定供气。

6.3 合成反应单元试验

合成反应单元的性能试验应包括以下项目：

- a) 氨净值测定：在额定工况下，分别在合成塔进、出口取样分析气体组成，按 HG/T 3550 规定的方法计算氨净值，结果应符合 5.3 的要求；
- b) 催化剂性能评价试验：在有条件时，应对新装填或更换的催化剂进行活性评价试验，评价方法按 HG/T 3550 的规定执行；
- c) 反应压力与温度稳定性试验：在额定工况下连续运行不少于 4h，记录反应压力和催化剂床层各测温点温度，温度和压力波动应在设计允许范围内；
- d) 耐压试验：合成反应器的耐压试验应按 GB/T 150.2 的规定执行，试验压力不应低于设计压力的 1.25 倍。

6.4 氨分离与液化单元试验

氨分离与液化单元的性能试验应包括以下项目：

- a) 液氨产品质量检验：在产品液氨出口取样，按 GB/T 536 规定的方法检验氨含量、残留物含量等质量指标，结果应符合 5.4 的要求；
- b) 氨回收率测定：在额定工况下，分别测定氨分离单元进、出口气体中氨的含量，计算氨回收率，结果应符合 5.4 的要求；
- c) 密封性试验：氨分离与液化单元的压力容器和管道在安装完成后应进行气密性试验，试验介质宜采用氮气，试验压力为设计压力，保压不少于 30 min，压降不应超过规定值；
- d) 液氨储罐检验：液氨储罐的制造检验和定期检验应按 TSG 21 的规定执行。

6.5 自动控制系统试验

自动控制系统的性能试验应包括以下项目：

- a) 控制精度验证试验：在额定工况和负荷变化工况下，分别记录各关键工艺参数的控制偏差，结果应符合 5.5 的要求；
- b) 报警功能试验：模拟各预设报警条件，逐一验证声光报警、报警记录和报警分级是否正确触发，所有报警点应逐一测试；
- c) 通信功能试验：检查控制系统与上位监控系统及第三方平台之间的数据通信是否正常，数据传输延迟和丢包率应在可接受范围内；
- d) 数据记录功能检查：检查运行数据、报警记录和操作日志的存储完整性和可查询性，检查存储周期是否符合 5.5 的要求。

6.6 安全防护系统试验

安全防护系统的性能试验应包括以下项目：

- a) 气体检测报警装置标定试验：使用标准气体对氢气、氨气检测报警装置进行零点漂移和量程漂移标定，检查一级和二级报警设定值及响应时间，结果应符合 5.6 的要求；
- b) ESD 联动试验：模拟紧急停车触发条件（如超压、泄漏、火灾等信号），验证紧急停车系统是否按预定逻辑正确动作，记录从触发到切断阀完全关闭的时间，结果应符合 5.6 的要求；
- c) 安全阀整定试验：安全阀在安装前应进行整定压力校验和密封性试验，整定压力应符合 5.6 的要求，试验方法按 GB/T 12243 的规定执行；

- d) 联锁功能试验：对每一个安全联锁回路进行功能测试，验证从传感器到最终元件的完整联锁动作是否正确、可靠。

6.7 整体性能试验

装置的整体性能试验应在装置安装调试完成后进行，试验应包括以下项目：

- a) 连续稳定运行试验：在额定工况下连续运行不少于 72 h，其间每小时记录一次产氨量、单位能耗、关键工艺参数及产品氨质量，全部数据应符合 5.7 的要求；
- b) 产氨量标定试验：在额定工况下，采用经校准的流量计和液位计对液氨产品进行计量，计算连续 24 h 的平均产氨量，结果应符合 5.7 的要求；
- c) 单位能耗核算：在连续稳定运行试验期间，记录制氢单元电耗、辅助设备电耗及其他能源消耗，计算吨氨综合能耗，结果应符合 5.7 的要求；
- d) 负荷调节试验：在 30%~110%额定负荷范围内，选取不少于 5 个工况点，在每个工况点稳定运行不少于 2 h，记录产氨量和能耗，检查负荷调节范围、调节线性度和运行稳定性是否符合 5.7 的要求。

7 检验规则

7.1 检验分类

装置的检验分为出厂检验和型式检验。

7.2 出厂检验

出厂检验应逐台进行，全部项目合格后方可出具产品合格证，出厂检验项目应包括第 5 章规定的全部技术要求。

7.3 型式检验

有下列情况之一时，应进行型式检验：

- a) 新产品或老产品转厂生产的试制定型鉴定时；
- b) 正式生产后，产品结构、材料或工艺有重大变更，可能影响产品性能时；
- c) 正常生产时，定期或累积一定产量后，应周期性进行一次型式检验，检验周期不宜超过 3 年；
- d) 停产一年以上恢复生产时；
- e) 出厂检验结果与上次型式检验有较大差异时；
- f) 国家质量监督机构提出进行型式检验的要求时。

型式检验的项目应包括第 5 章规定的全部技术要求。检验样品应从出厂检验合格的装置中随机抽取，抽样数量宜不少于 1 台。全部检验项目合格时，判定型式检验合格；任一项不合格时，应加倍抽样并对不合格项复检，复检项目全部合格后方可判定型式检验合格，否则判定为不合格。

8 标志、包装、运输和贮存

8.1 标志

装置应在明显位置设置永久性产品铭牌，铭牌内容至少应包括：

- a) 制造单位名称及地址；
- b) 产品名称和型号；
- c) 额定产氨量；
- d) 设计压力；
- e) 防爆等级和防护等级；
- f) 产品编号和出厂日期；
- g) 执行标准编号。

装置的撬装底座上应在可见位置标注吊装点、重心位置、外形尺寸和总质量。涉及氢气、氨气的管道和设备应按 GB/T 20801.1 和 GB 2894 的规定进行标识和涂色。

8.2 包装

- 8.2.1 装置可采用裸装或简易包装。设备法兰、仪表接口、管路接口等开口部位应采用封堵或防护盖进行保护。
- 8.2.2 精密仪表、电气控制柜及易损件应采用防潮、防震包装。
- 8.2.3 法兰密封面、螺纹连接面等精密加工表面应采取防锈措施。
- 8.2.4 每台装置出厂时应随附以下文件：产品合格证、产品使用说明书、出厂检验报告、装箱清单、安装图或外形图。随机文件应装入防潮袋并固定在装置或包装箱的明显位置。
- 8.2.5 包装储运图示标志应符合 GB/T 191 的规定。

8.3 运输

- 8.3.1 装置各模块化单元的外形尺寸和总质量应符合所经公路、铁路或水路运输限界的要求。
- 8.3.2 运输前应确认各模块化单元的接口封堵完好、可动部件已固定、仪表已拆卸或可靠保护。
- 8.3.3 吊装作业应由具有相应资质的操作人员实施，吊装时应使用底座上标识的吊装点，严禁非吊装点受力。
- 8.3.4 运输过程中应采取防止雨淋、碰撞和倾覆的措施，在不良路况下应降速行驶。

8.4 贮存

- 8.4.1 装置应贮存在平整、坚实地面上，底座下方应设置垫木或支垫，避免底座直接接触地面。
 - 8.4.2 贮存环境应防雨、防潮、通风良好，不应与酸、碱、盐类及其他腐蚀性物质同库存放。
 - 8.4.3 装置在安装使用前，法兰口、仪表接口的封堵应保持完好，不得擅自拆除。
 - 8.4.4 贮存期超过 6 个月的装置，安装前应对密封件、防腐涂层、仪表和电气系统进行检查，必要时进行更换或重新标定。
-