

T/CWDPA

团 体 标 准

T/CWDPA XXXX—XXXX

绿氨撬装式合成装置柔性控制系统技术要求

Technical requirements for flexible control system of green ammonia skid-mounted synthesis unit

（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 III

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 设计原则 2

 4.2 系统架构 2

 4.3 运行环境要求 2

 4.4 供电与能耗要求 2

 4.5 兼容性要求 3

5 技术要求 3

 5.1 基本控制功能 3

 5.2 柔性控制性能要求 4

 5.3 安全功能要求 4

 5.4 可靠性与环境适应性 5

 5.5 网络安全 5

6 试验方法 6

 6.1 基本功能测试 6

 6.2 柔性控制性能测试 6

 6.3 安全功能测试 6

 6.4 通信与接口测试 6

 6.5 环境与可靠性试验 6

 6.6 网络安全测试 6

7 检验规则 7

 7.1 检验分类 7

 7.2 出厂检验 7

 7.3 型式检验 7

 7.4 判定规则 7

8 标志、包装、运输和贮存 7

 8.1 标志 7

 8.2 包装 7

 8.3 运输 7

 8.4 贮存 7

9 验收和运行维护 7

 9.1 现场验收 7

9.2 运行维护	8
----------------	---

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柔性控制系统技术要求

1 范围

本文件规定了绿氨撬装式合成装置柔性控制系统的总体要求、技术要求、试验方法、检验规则、标志、包装、运输和贮存、验收和运行维护。
本文件适用于绿氨撬装式合成装置柔性控制系统。

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 191 包装储运图形符号标志
- GB/T 536 液体无水氨
- GB/T 2423.1 电工电子产品环境试验 第2部分：试验方法 试验A：低温
- GB/T 2423.2 电工电子产品环境试验 第2部分：试验方法 试验B：高温
- GB/T 2423.10 环境试验 第2部分：试验方法 试验Fc：振动（正弦）
- GB/T 13306 标牌
- GB/T 17626（所有部分） 电磁兼容 试验和测量技术
- GB/T 20438.1 电气/电子/可编程电子安全相关系统的功能安全 第1部分：一般要求
- GB/T 33009.1 工业自动化和控制系统网络安全 集散控制系统（DCS） 第1部分：防护要求
- GB/T 41108.2 机械安全 联锁装置的安全要求 第2部分：带防护锁定的联锁装置
- GB/T 41261 过程工业报警系统管理
- GB 50058 爆炸危险环境电力装置设计规范
- GB 50650 石油化工装置防雷设计规范
- GB/T 50770 石油化工安全仪表系统设计规范

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

绿氨撬装式合成装置柔性控制系统 flexible control system for skid-mounted green ammonia synthesis unit

适配可再生能源波动性供电场景，可实现装置宽负荷连续调节、多工况平滑切换、氢氮比动态配比与安全联锁保护的成套工业控制与调度系统。

3.2

宽负荷调节 wide-load regulation

装置在额定负荷的一定比例范围内连续稳定运行，同时保证产品质量与工艺安全的调节能力。

3.3

柔性调度 flexible scheduling

根据外部电力供给、原料条件或生产指令，动态调整装置运行负荷与工艺参数，实现能源消纳最优或运行能效最优的控制功能。

4 总体要求

4.1 设计原则

柔性控制系统的设计应遵循以下原则：

- a) 模块化：各功能单元应采用模块化设计，便于撬装集成、功能扩展和在线维护；
- b) 冗余容错：关键控制回路、通信网络和供电系统应设置冗余配置，单一组件故障不应导致系统整体失效；
- c) 故障安全导向：系统发生故障时应自动切换至预先设定的安全状态，确保合成氨装置安全停车，不产生危险工况；
- d) 在线维护：应支持在不中断系统正常运行的条件下进行故障模块更换和软件升级操作。

4.2 系统架构

4.2.1 感知层

部署于撬装装置现场，由工艺传感器、电气变送器、智能执行器、现场仪表组成，负责采集全工段工艺参数、设备状态与电气参数：

- a) 工艺参数：温度、压力、流量、液位、组分、氢氮比、氨浓度；
- b) 电气参数：电压、电流、功率、频率、电能；
- c) 设备状态：运行、停止、故障、阀位反馈；
- d) 安全参数：氢气浓度、氨气浓度、可燃/有毒气体报警信号。

4.2.2 控制层

为系统核心控制单元，包含主控制器、柔性算法模块、安全仪表控制单元：

- a) 主控制器：采用 PLC 或 DCS 控制器，实现回路调节、顺序控制、逻辑联锁；
- b) 柔性算法模块：内置宽负荷调节、氢氮动态配比、工况平滑切换、能效寻优算法；
- c) 安全仪表控制单元：独立实现安全联锁与紧急停车功能，满足对应功能安全等级。

4.2.3 监控调度层

部署于本地或云端，由操作员站、工程师站、数据服务器、柔性调度模块组成：

- a) 人机交互：工艺流程监控、参数趋势、报警展示、操作指令下发；
- b) 数据管理：历史存储、报表生成、事件追溯、数据分析；
- c) 柔性调度：接收外部功率/负荷指令，下发负荷调节策略，优化能源消纳；
- d) 权限管理：分级操作权限、操作审计、安全审计。

4.3 运行环境要求

柔性控制系统应在以下环境条件下正常运行：

- a) 环境温度：控制室设备-10℃～40℃，现场仪表及控制器-25℃～60℃；（控制设备工作环境温度：室内-10℃～+55℃，室外-25℃～+65℃。）
- b) 相对湿度：5%～95%（无凝露）；
- c) 防护等级：控制柜防护等级不低于 IP54，户外安装的控制柜防护等级不低于 IP65；（控制室室内机柜防护等级不低于 IP30）
- d) 防爆等级：处于氢气环境区域的电气设备防爆等级不低于 Exd IIC T4，其他区域按 GB 50058 的相关规定执行；
- e) 抗振动：控制柜及现场设备应满足撬装式装置在公路运输及现场运行工况下的振动和冲击要求，振动试验按 GB/T 2423.10 的规定进行。

4.4 供电与能耗要求

柔性控制系统的供电应满足以下要求：

- a) 供电配置：控制系统应采用双路供电，当一路电源故障时自动切换至备用电源，切换过程不应影响控制系统正常运行；
- b) 不间断电源（UPS）：应配置 UPS 为控制系统供电，UPS 后备时间不少于 30 min，确保在外部供电中断时控制系统完成安全停车操作并记录停车过程数据；
- c) 电压质量：供电电压波动范围不应超过额定电压的 $\pm 10\%$ ，频率波动范围不应超过 ± 1 Hz；
- d) 能耗：控制系统总功率消耗应满足撬装式合成氨装置的整体能耗控制指标要求，宜采用低功耗器件和节能运行模式。

4.5 兼容性要求

柔性控制系统应与上下游系统和设备实现兼容互联：

- a) 与上游可再生能源制氢系统的数据接口和通信协议兼容，包括接收制氢量、氢气纯度、电解槽运行状态等信息；
- b) 与上游氮气制备系统的数据接口和通信协议兼容，包括接收氮气流量、纯度和压力等信息；
- c) 与下游氨储存、充装和输送系统的控制和监控接口兼容，包括发送合成氨产量、液氨储罐液位、充装状态等信息；
- d) 与外部的厂级管理信息系统（MIS）、制造执行系统（MES）等上层信息系统的数据互通；
- e) 通信协议宜采用 OPC UA、Modbus TCP/RTU 等行业通用开放协议，当采用专有协议时应提供协议转换网关或接口文档。

5 技术要求

5.1 基本控制功能

5.1.1 数据采集与处理

- 5.1.1.1 应支持模拟量、开关量、脉冲量等全类型信号采集，采集精度与仪表精度等级匹配。
- 5.1.1.2 应具备数据滤波、量程转换、异常值剔除、工程单位转换功能，数据刷新周期 ≤ 1 s。

5.1.2 回路调节

- 5.1.2.1 应具备 PID、串级、比值、前馈等多种调节算法，支持参数自整定与手动/自动无扰切换。
- 5.1.2.2 氢氮比应采用比值+前馈复合控制，保证合成气配比稳定。

5.1.3 顺序控制

- 5.1.3.1 应支持自动开车、自动停车、程序升降负荷的步骤化顺序控制，每步设置条件判定与超时报警。
- 5.1.3.2 程序执行过程中出现异常应自动暂停并触发报警，必要时回退至安全步骤。

5.1.4 报警管理

- 5.1.4.1 报警应分级设置：预警、报警、联锁三级，阈值可配置。
- 5.1.4.2 报警信息应包含时间、位置、参数、等级、处置建议，支持声光提示与历史查询。
- 5.1.4.3 报警记录存储周期 ≥ 3 年，不可篡改。

5.1.5 人机交互与权限

- 5.1.5.1 人机界面（HMI）应满足以下要求：
 - a) 界面语言宜采用中文（可提供英文切换），操作界面应清晰、布局合理、响应流畅；
 - b) 应提供以下基本画面：流程总览画面、各单元详细工艺画面、控制回路操作画面、报警一览画面、历史趋势画面和操作规程画面；
 - c) 关键工艺参数（温度、压力、流量、液位、成分）应在流程画面上实时显示，数据刷新周期不超过 1s；

- d) 操作员站应设置操作员、工程师和管理员三级操作权限，分别采用密码认证或电子钥匙等方式进行身份验证；
- e) 报警管理应符合 GB/T 41261 的有关规定，报警分为一般、重要和紧急三级，各级报警应采用不同的声光提示方式；
- f) 操作日志应记录操作人员身份、操作时间、操作对象和操作内容，日志保存时间不少于 1 年。

5.2 柔性控制性能要求

5.2.1 宽负荷调节范围

装置负荷连续调节范围应（）为额定负荷的20%（30%）~110%，全程稳定运行，液氨产品质量符合 GB/T 536 要求。（文本1对应）

5.2.2 负荷调节速率

5.2.2.1 连续升降负荷速率应达到每分钟 2%~5%额定负荷，调节速率可配置。

5.2.2.2 调节过程中合成塔床层温度波动 $\leq \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，系统压力波动 $\leq \pm 2\%$ （ $\pm 2\%/\text{min}$ ），氢氮比偏差 $\leq \pm 3\%$ ，无超温、超压报警。

5.2.3 功率指令跟随性能

5.2.3.1 系统应支持接收外部功率调度指令，动态调整电解槽功率与合成装置负荷，指令响应时间 $\leq 30\text{ s}$ 。

5.2.3.2 稳态负荷跟踪偏差 $\leq \pm 2\%$ 额定负荷。

5.2.4 氢氮动态配比精度

5.2.4.1 稳态工况下，合成气氢氮摩尔比控制为 3:1，偏差 $\leq \pm 1.5\%$ 。

5.2.4.2 负荷动态变化过程中，氢氮比偏差 $\leq \pm 3\%$ ，恢复至稳态偏差的时间 $\leq 60\text{ s}$ 。

5.2.5 工况切换平滑性

5.2.5.1 正常运行、待机保压、升负荷、降负荷等切换过程应平滑过渡，关键参数无大幅超调，不触发联锁停车。

5.2.5.2 模式切换过程中，合成塔床层温度超调量 $\leq 8\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，系统压力超调量 $\leq 5\%$ 。

5.2.6 多运行模式

系统应至少支持以下运行模式，模式间可自动或手动切换：

- a) 满负荷运行模式：额定负荷下能效最优运行；
- b) 经济运行模式：低负荷下低能耗保压运行；
- c) 待机保压模式：最小能耗维持系统压力与温度，可快速恢复生产；
- d) 故障降级模式：单一部件故障时降负荷维持核心工段运行。

5.2.7 能效自寻优

应具备工艺参数自寻优功能，基于运行数据动态优化温度、压力、空速等参数，在宽负荷范围内保持较高合成效率。

5.3 安全功能要求

5.3.1 安全联锁配置

5.3.2 应符合 GB/T 41108.2 要求，应设置以下联锁：

- a) 合成塔超温联锁；
- b) 系统超压联锁；
- c) 液氨储罐超高液位联锁；
- d) 氢气/氨气泄漏高报联锁；
- e) 原料气超标联锁；

f) 紧急停车（ESD）联锁。

5.3.3 功能安全等级

安全相关控制回路应达到SIL 2级功能安全要求，符合GB/T 20438.1的规定。

5.3.4 紧急停车

5.3.4.1 现场与控制室均应设置硬接线紧急停车按钮，触发后全系统按安全顺序停车，响应时间 ≤ 100 ms。

5.3.4.2 紧急停车后系统自动进入安全状态，关闭进料阀、开启泄压/放空流程、切断动力电源。

5.3.5 故障降级运行

单台辅助设备或次要仪表故障时，系统应自动识别并进入降级运行模式，调整负荷与参数，保障核心工艺安全，避免非计划全系统停车。

5.3.6 接地与防雷

控制系统接地应符合GB 50650要求：

- a) 工作接地、保护接地、防雷接地宜共用接地网，接地电阻 $\leq 4\ \Omega$ ；
- b) 仪表控制回路单独接地，接地电阻 $\leq 1\ \Omega$ 。

5.3.7 通信与接口

数据与通信接口应满足以下要求：

- a) 控制系统应支持 OPC UA 和 Modbus TCP/RTU 两种及以上通信协议；
- b) 与上下游设备（制氢系统、制氮系统、氨储运系统）的数据交互周期不超过 1s；
- c) 控制层与监控管理层之间的通信速率不低于 100 Mbps，通信负荷率不宜超过 40%；
- d) 历史数据存储包括：模拟量历史趋势数据、开关量状态变化记录、报警和事件记录、操作日志和联锁动作记录，在线存储时间不少于 90d，归档存储时间不少于 3 年；
- e) 控制系统应支持网络时间协议（NTP）或精确时间协议（PTP）实现系统时钟同步，各站之间时间偏差不超过 100 ms；
- f) 应采用开放数据接口，支持向外部管理系统（MIS、MES 等）输出标准格式数据。

5.4 可靠性与环境适应性

5.4.1 可靠性指标

5.4.1.1 控制系统平均无故障时间（MTBF） ≥ 10000 h。

5.4.1.2 系统年可用率 $\geq 99.9\%$ 。

5.4.2 环境适应性

5.4.2.1 控制设备工作环境温度：室内 $-10\ ^\circ\text{C} \sim +55\ ^\circ\text{C}$ ，室外 $-25\ ^\circ\text{C} \sim +65\ ^\circ\text{C}$ 。

5.4.2.2 外壳防护等级：室内柜装 IP30，室外现场 IP65，符合 GB/T 4208。

5.4.2.3 电磁兼容性能符合 GB/T 17626（所有部分）的要求，抗静电、电快速瞬变脉冲群、浪涌、射频辐射干扰。

5.4.2.4 电源适应性：支持双电源冗余供电，电压波动 $\pm 20\%$ 范围内系统正常工作。

5.5 网络安全

系统应满足以下信息安全要求：

- a) 控制网络应采用纵深防御策略，划分为过程控制区、监控管理区和外部信息区三个安全域，各安全域之间设置工业防火墙或安全网关进行隔离；
- b) 控制层与监控管理层之间应部署单向隔离网闸或工业防火墙，仅允许合法的工艺数据和控制指令通过；
- c) 监控管理层与外部信息区之间应部署防火墙和入侵检测/防御系统，对进出数据流进行审计和过滤；

- d) 操作员站和工程师站应禁用不必要的通用串行总线接口、光驱和无线网络功能，应安装工业级防恶意软件并定期更新病毒特征库；
- e) 应采用基于角色的访问控制，设置用户身份标识、鉴别和权限管理功能，所有访问行为应记录日志并可审计；
- f) 控制系统软件补丁和固件更新应在离线环境验证后再部署至运行环境，更新过程应有完备的版本管理和回滚方案；
- g) 控制系统不应直接接入公共互联网，远程维护功能应通过虚拟专用网络（VPN）加密通道接入，并对远程会话进行监控和审计。

6 试验方法

6.1 基本功能测试

- 6.1.1 数据采集测试：输入标准信号，对比系统显示值与标准值，计算采集误差。
- 6.1.2 回路调节测试：设定给定值与扰动，验证调节稳定性、超调量、调节精度。
- 6.1.3 顺序控制测试：执行自动开车、停车程序，验证步骤逻辑、条件判定、异常处理正确性。
- 6.1.4 报警功能测试：模拟参数超限，验证报警分级、声光提示、记录存储功能。
- 6.1.5 权限管理测试：验证不同账号操作权限，验证关键操作留痕。

6.2 柔性控制性能测试

- 6.2.1 宽负荷范围测试：分别在 20%、50%、80%、100%、110%额定负荷下稳定运行不少于 30 min，记录关键工艺参数偏差与产品质量，全程无联锁触发。
- 6.2.2 负荷调节速率测试：以每分钟 5%额定负荷速率（2/2.5）连续升降负荷，记录合成塔温度、系统压力、氢氮比的波动值与恢复时间。
- 6.2.3 功率指令跟随测试：分别输入阶跃、斜坡功率指令，测量系统响应时间与稳态负荷跟踪偏差。
- 6.2.4 氢氮比精度测试：稳态工况下连续采样 30 min，计算氢氮比偏差；动态升降负荷过程中记录最大偏差与恢复时间。
- 6.2.5 工况切换测试：进行正常、待机、升负荷、降负荷模式切换，记录参数超调量、过渡时间，验证无联锁触发。

6.3 安全功能测试

- 6.3.1 联锁功能测试：逐项模拟联锁触发条件，验证联锁动作逻辑、执行对象、动作顺序的正确性，测量响应时间。
- 6.3.2 紧急停车测试：触发现场与控制室 ESD 按钮，测量停车响应时间，验证停车后系统状态安全性。
- 6.3.3 功能安全验证：按 GB/T 20438 规定的方法对安全回路进行 SIL 等级验证或计算。
- 6.3.4 接地电阻测试：用接地电阻测试仪测量系统接地电阻值，符合 6.3.6 要求。

6.4 通信与接口测试

- 6.4.1 通信一致性测试：使用标准协议工具测试接口协议符合性、数据传输准确性。
- 6.4.2 通信可靠性测试：连续运行 72 h，统计通信丢包率与故障率。
- 6.4.3 对时精度测试：对比标准时钟与系统时钟，测量时间同步误差。

6.5 环境与可靠性试验

- 6.5.1 高低温工作试验：按 GB/T 2423.1、GB/T 2423.2 执行，试验后系统功能正常。
- 6.5.2 电磁兼容试验：按 GB/T 17626（所有部分）执行静电、脉冲群、浪涌试验，试验中系统不误动作、不损坏。
- 6.5.3 防护等级试验：按 GB/T 4208 试验。

6.6 网络安全测试

验证访问控制、边界防护、日志审计功能，符合GB/T 33009.1要求。

7 检验规则

7.1 检验分类

检验分为出厂检验和型式检验。

7.2 出厂检验

7.2.1 每套系统出厂前应逐台进行出厂检验，检验合格附合格证后方可出厂。

7.2.2 出厂检验项目：外观与结构、基本控制功能、报警功能、通信接口、接地电阻、基本联锁逻辑。

7.2.3 出现不合格项允许返修后复检，复检合格方可出厂。

7.3 型式检验

7.3.1 有下列情况之一时，应进行型式检验：

- a) 新产品定型鉴定时；
- b) 系统架构、核心控制器、安全回路设计有重大变更，可能影响性能时；
- c) 正常生产每 3 年进行一次；
- d) 停产 1 年以上恢复生产时；
- e) 国家质量监督部门或行业监管提出要求时。

7.3.2 型式检验项目为本文件第 6 章全部技术要求。（5）

7.3.3 抽样方案：从出厂检验合格产品中随机抽取 1 套完整系统。

7.4 判定规则

7.4.1 全部检验项目符合本文件要求，判定型式检验合格，若有项目不合格，允许整改后加倍抽样复检，复检合格则判定合格，复检仍不合格则判定不合格。

8 标志、包装、运输和贮存

8.1 标志

8.1.1 控制柜、现场设备应设置固定标牌，符合 GB/T 13306 规定，内容包括：

- a) 产品名称、型号；
- b) 额定电压、额定功率；
- c) 防护等级；
- d) 出厂编号、生产日期；
- e) 制造单位；
- f) 执行标准编号。

8.2 包装

8.2.1 设备采用防震、防潮、防尘包装，仪表、精密部件单独缓冲包装。

8.2.2 包装箱外标注产品名称、型号、重量、防雨、易碎、向上等储运图示标志，符合 GB/T 191 规定。

8.2.3 随箱附带合格证、使用说明书、接线图、备件清单。

8.3 运输

运输过程避免剧烈振动、冲击、雨淋暴晒，严禁倒置、重压；装卸轻起轻放，防止碰撞损坏。

8.4 贮存

设备应贮存在干燥、通风、无腐蚀性气体的库房内，环境温度 $-10\text{ }^{\circ}\text{C}\sim+40\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，相对湿度 $\leq 85\%$ ；长期贮存应定期通电检查。

9 验收和运行维护

9.1 现场验收

9.1.1 系统安装调试完成后应进行现场验收，验收内容包括安装质量、通电测试、功能验证、72 h 连续运行考核。

9.1.2 连续 72 h 满负荷/变负荷运行（30~110%），系统稳定、参数达标、功能正常，方可通过验收。

9.2 运行维护

9.2.1 应建立定期巡检、校准、保养制度，仪表按周期检定，联锁功能定期测试。

9.2.2 控制程序与参数修改应履行审批流程，修改后进行功能验证并记录。

9.2.3 每年至少进行一次全面安全功能检查与联锁测试。
