

团 体 标 准

T/DZJN/XXXX

集装箱式水电解制氢系统安装技术要求

Requirements for install of container water electrolysis hydrogen
production system

(征求意见稿)

20XX-XX-XX 发布

20XX-XX-XX 实施

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 安装前准备	2
4.1 文件准备	2
4.2 人员	2
4.3 工具工装	3
4.4 安装条件	3
5 安装质量	4
5.1 安装精度	4
5.2 紧固性	4
5.3 电气设备安装与接地	5
5.4 电缆支架与桥架安装与接地	5
6 安装程序	6
6.1 安装场地与环境检查	6
6.2 安装材料验收	6
6.3 设备安装就位	7
7 安装检验	8
7.1 外观与结构检查	8
7.2 气密性与强度试验	8
7.3 电气试验	9
8 调试	9
8.1 公用工程调试	9
8.2 电解槽调试	9
8.3 气体处理系统调试	9
8.4 控制系统联锁调试	10
8.5 调试报告	10
附 录 A（资料性） 气体泄漏率计算	11
附 录 B（资料性） 氢气的危险特性	12

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。

本文件由中国电子节能技术协会提出并归口。

本文件起草单位：

本文件主要起草人：

集装箱式水电解制氢系统安装要求

1 范围

本文件规定了集装箱式水电解制氢系统运行维护的一般要求、安全要求、维护作业项目及要求、维修及竣工要求。

本文件适用于采用集装箱集成的碱性、PEM、AEM的水电解制氢系统。

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 150.3-2024 压力容器 第3部分：设计
- GB/T 1413 系列1 集装箱 分类、尺寸和额定质量
- GB/T 1835 系列1 集装箱 角件技术要求
- GB/T 3836 爆炸性环境
- GB 6067 起重机械安全规程
- GB 12014 防护服装防静电服
- GB/T 12241 安全阀一般要求
- GB 12358 作业场所环境气体检测报警仪 通用技术要求
- GB 14907 钢结构防火涂料
- GB 16808 可燃气体报警控制器
- GB/T 16895.23 低压电气装置 第6部分：检验
- GB/T 19774 水电解制氢系统技术要求
- GB/T 20801 压力管道规范 工业管道
- GB 21148 足部防护安全鞋
- GB/T 24499 氢气、氢能与氢能系统术语
- GB 26860 电力安全工作规程
- GB/T 29729 氢系统安全的基本要求
- GB/T 30976.2 工业控制系统信息安全
- GB/T 32076.1-2015 预载荷高强度栓接结构连接副 第1部分：通用要求
- GB/T 37562 压力型水电解制氢系统技术条件
- GB/T 37563 压力型水电解制氢系统安全要求
- GB 50007 建筑地基基础设计规范
- GB 50009 建筑结构荷载规范
- GB 50014 室外排水设计标准
- GB 50058 爆炸危险环境电力装置设计规范
- GB 50150 电气装置安装工程 电气设备交接试验标准
- GB 50168 电缆线路施工及验收规范

T/DZJN/XXXX

GB 50169 电气装置安装工程接地装置施工及验收规范
GB 50177 氢气站设计规范
GB/T 50493-2019 石油化工可燃气体和有毒气体检测报警设计标准
GB 50516 加氢站技术规范
GB 50666-2011 混凝土结构工程施工施工规范
HG/T 20570 化工装置设备布置设计规定
NB/T 42037 防腐电缆桥架

3 术语和定义

GB/T 19774、GB/T 24499 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

集装箱式水电解制氢系统 container type water electrolysis hydrogen production system
将水电解制氢设备集成在一个或者多个集装箱内生产氢气的系统。

注：集装箱内的设备主要包括：电解槽、气液分离装置、纯化装置、电源系统、控制系统、氢气输送装置、纯水供给、配碱系统、冷冻水系统、仪表气以及氮气系统等制氢所需要的核心组件。

3.2

箱体 container

将水电解制氢设备分区集成安装，具有耐久性、便于整体吊装移动、根据需要可以在多方向、多方位设置门孔的箱式结构。

4 安装前准备

4.1 文件准备

4.1.1 制氢管道仪表图与设备布置图

制氢管道仪表图与设备布置图应符合以下要求：

- a) 设备安装前，应通过制氢管道仪表图与设备布置图全面掌握工艺流程、设备定位及管道走向，确保安装精度与系统完整性；
- b) 制氢管道仪表图应明确阀门、仪表、控制点的逻辑关系，指导管道对接、电气接线及安全联锁调试；
- c) 设备布置图应直观展示各个集装箱设备的空间排布，明确设备安装基准定位。

4.1.2 基础设计文件

基础设计文件包括集装箱式制氢设备的土建基础施工图、结构设计图纸、场地坡度技术要求及排水系统设计图纸在内的全套土建资料，基础设计文件中的各项参数应符合 GB 50007、GB 50014 中设计的规范要求。

4.2 人员

项目安装过程中，专业人员应具备相应资质证书。包括但不限于：

- a) 安全管理人员，应有安全生产考核合格证；
- b) 高空作业人员，应有登高作业证；
- c) 焊工作业人员，应有焊工操作证，如涉及特种设备焊接，还应有特种设备焊接作业证；

- d) 起重作业人员，应有相应的特种设备作业人员资质证；
- e) 电工作业人员，应有电工操作证，如涉及爆炸性环境还应有防爆电气作业证；
- f) 管道安装作业单位，如涉及压力管道安装应提供相应等级的压力管道安装资质证；
- g) 无损检测作业人员，应有相应的无损检测资格证。

4.3 工具工装

4.3.1 吊装机械

4.3.1.1 在集装箱式制氢设备的安装过程中，宜采用行车、吊车（汽车吊/履带吊）或其他符合要求的起吊装置进行吊装作业。

4.3.1.2 所有吊装设备在使用前应按照 GB 6067 的要求进行全面检查评定，确保设备处于安全可用状态。

4.3.1.3 吊装配套使用的吊索具（如钢丝绳、吊装带、卸扣等）、吊钩、平衡梁等吊装附件，应具有有效的检验合格证明，其额定起重量、工作半径等参数应满足集装箱设备的吊装要求，且操作人员应持证上岗，确保吊装作业安全规范进行。

4.3.2 激光水平仪

4.3.2.1 激光精度等级应不低于 $\pm 0.1\text{mm/m}$ （二级精度以上）。

4.3.2.2 应具备水平 360° 全自动扫描与垂直双线投射功能，并支持脉冲模式以适应强光环境操作。

4.3.2.3 防护等级应达到 IP54 及以上确保防尘防水性能。

4.3.2.4 应配备磁性阻尼补偿系统实现 3° 至 5° 倾斜范围内的自动安平。

4.3.2.5 仪器在使用过程应避免强光直射接收器并定期进行校准验证。

4.3.3 固定与紧固工具

在集装箱式制氢设备的安装过程中，应使用特定的固定与紧固工具以确保箱体与基础的安全稳固连接。

注：如冲击扳手或电动扳手用于安装锚固地脚螺栓和集装箱固定支架；扭矩扳手被用来对关键螺栓施加预设的、规定的扭矩值，保证其紧固力符合要求。管钳、扳手专门用于对管路上的法兰连接进行精确紧固，或对螺纹接头实施可靠的旋紧操作。

4.3.4 切割与焊接工具

安装过程中，对现场管道、支吊架、钢构施工作业时，使用切割与焊接工具时应严格遵循安全规程，改造后的结构应满足安装要求且保障整体结构的完整性。

4.4 安装条件

4.4.1 基础强度验收

基础混凝土的强度等级应依据设计图纸要求进行验收，并提供相应的合格证明文件。

4.4.2 中间交接与资料移交

基础混凝土移交时，应办理正式的中间交接程序，并提交完整的基础技术资料，包括混凝土试块试验报告、质量验收记录等。

4.4.3 外观质量

基础混凝土表面不应存在裂纹、蜂窝、孔洞及钢筋外露等缺陷，应保证结构完整性。

4.4.4 尺寸及标高偏差

基础混凝土各部位尺寸及位置偏差应符合要求。基础标高偏差应控制在 ± 10 mm 以内。

4.4.5 基础养护期确认

基础混凝土强度应满足设计承载要求，且养护时间需达到规定周期，养护周期参照 GB 50666-2011 中第 8.5.2 条的规定，同时提交相应养护记录。

4.4.6 基础表面清理

安装前，应彻底清除基础混凝土表面的油污、浮浆、杂物及松散颗粒，保证接触面平整、洁净，无影响安装质量的残留物。

4.4.7 集装箱吊装准备

集装箱吊装准备应符合以下要求：

- a) 应根据施工图纸要求，施划设备安装基础线及定位基准标记；
- b) 应依据设计总图核对并标记设备及撬块管口方位；
- c) 应根据设备实际重量、重心位置及吊点分布，编制专项吊装方案；
- d) 钢丝绳使用前应进行外观及强度的检查，如检查发现其强度降低或存在异常损伤，应立即停用。

5 安装质量

5.1 安装精度

5.1.1 基础尺寸与位置偏差

集装箱设备基础平面位置允许偏差应 $\leq \pm 10$ mm，标高偏差应 $\leq \pm 5$ mm，以确保集装箱与基础匹配。成排设备（如多台电解槽）应划定共同基准线，平面位置偏差应 $\leq \pm 5$ mm，标高偏差应 $\leq \pm 2$ mm。

5.1.2 水平度控制

集装箱式制氢设备安装后水平度偏差应 ≤ 2 mm/m（可采用精密水平仪校准）。H 型钢支撑结构（用于承重部位）的水平度误差应 ≤ 3 mm/m，避免吊装时应力集中。

5.1.3 设备就位与固定

装有制氢装置的集装箱箱体支脚与 H 型钢支撑需沿箱体宽度方向应精准对应，位置偏差应 ≤ 5 mm，防止吊装时底侧梁过载。

放空管应高出集装箱顶棚 1.5 m，并安装阻火器，垂直度偏差应 $\leq 1^\circ$ 。

5.2 紧固性

5.2.1 基础固定

5.2.1.1 地脚螺栓

地脚螺栓应符合以下要求：

- a) 螺栓规格：应满足 GB/T 32076.1-2015 中高强度螺栓（8.8 级或 10.9 级）的要求；

- b) 抗拔力：满足当地风荷载和地震荷载要求（抗拔力宜 ≥ 10 kN）；
- c) 防锈处理：螺栓应采用热镀锌螺栓或环氧涂层，避免锈蚀失效。

5.2.1.2 焊接底板

若基础为预埋钢板或钢结构，可将集装箱角件直接焊接在预埋钢板或钢结构上，焊缝长度应 ≥ 10 cm，并满焊处理。

5.2.1.3 混凝土

混凝土基础强度应 $\geq C30$ ，埋深应 ≥ 300 mm（强风区应 ≥ 350 mm）；

5.2.2 箱体间连接

5.2.2.1 角件连接

在上下集装箱角件的对应孔位，应使用贯穿整个角件堆叠高度的特制超长高强度螺栓进行连接。螺栓应使用符合 GB/T 32076.1-2015 高强度螺栓或更高强度等级（如：8.8 级或 10.9 级）的螺栓，螺栓直径应与角件孔径匹配，并按要求扭矩拧紧。

5.2.2.2 焊接

焊接应符合以下要求：

- a) 下层箱顶角件与上层箱底角件满焊，焊缝高度 ≥ 6 mm；
- b) 禁止仅在箱体薄板（侧壁/顶板）上焊接，应使用角件连接；
- c) 焊缝焊接部位应结构加固，如焊接部位属于结构之间的焊接，可不加固；
- d) 横向拉结：相邻箱体侧壁用槽钢/方通焊接成整体（间距 ≤ 3 m）；
- e) 多层集装箱的楼板开洞后，应用型钢边框加固洞口并连接上下箱体。

注：型钢通常选用角钢，也可以使用槽钢。

5.3 电气设备安装与接地

5.3.1 电气设备安装

电气设备安装应符合以下要求：

- a) 电气设备应牢固安装于平整基座，垂直度偏差 $\leq 1.5\%$ ；
- b) 设备布置应符合设计文件要求，确保操作、维护及检修通道畅通；
- c) 接线应正确可靠，端子紧固无松动，接触面无氧化或腐蚀；
- d) 设备绝缘电阻值应符合设计规定且满足现行国家标准（如 GB 50150）要求。

5.3.2 电气设备接地

电气设备的金属外壳、构架及可导电部分应可靠接地，接地电阻 ≤ 4 Ω （保护接地），防雷接地电阻 ≤ 10 Ω 。

注：电气设备安装与接地，应满足 GB 50169 和 HG/T 20570 的要求。

5.4 电缆支架与桥架安装与接地

5.4.1 电缆支架与桥架安装

电缆支架与桥架安装应符合以下要求：

- a) 表面应光滑无毛刺；

- b) 应适应使用环境的耐久稳固；
- c) 应满足所需的承载能力；
- d) 应符合工程的防火要求；
- e) 防腐应满足 NB/T 42037 的要求；
- f) 电缆桥架的组成结构应满足强度、刚度及稳定性的要求；
- g) 金属制桥架系统应设置可靠的电气连接并接地，采用玻璃钢桥架时，应沿桥架全长另敷设专用保护导体；
- h) 振动场所的桥架系统，包括接地部位的螺栓连接处，应装置弹簧垫圈；
- i) 要求防火的金属桥架，应对金属构件外表面施加防火涂层，防火涂料应符合 GB 14907 的要求。

5.4.2 电缆支架与桥架接地

电缆支架与桥架接地应符合以下要求：

- a) 金属电缆桥架及其支架和引入或引出的金属电缆导管应接地（PE）或接零（PEN）；
- b) 金属电缆桥架及支架全长应不少于 2 处与 PE 或 PEN 干线相连接；
- c) 非镀锌电缆桥架间连接板的两端跨接线应使用铜芯接地线，接地线最小允许截面积不小于 4 mm^2 ；
- d) 镀锌电缆桥架间连接板的两端可不跨接接地线，但连接板两端应有不少于 2 个有防松螺帽或防松垫圈的连接固定螺栓；
- e) 电缆敷设不应有绞拧、铠装压扁、护层断裂和表面严重划伤等缺陷。

6 安装程序

6.1 安装场地与环境检查

制氢集装箱安装前应确认场地应符合以下要求：

- a) 确保地基坚实、水平，承载力满足集装箱及设备荷载要求，必要时可浇筑混凝土基础或铺设钢结构支撑；
- b) 制氢系统布置在通风良好的区域，远离火源和易燃物，电气设施应符合 GB/T 3836、GB 50058、GB 50177 相应的防爆等级选型要求；
- c) 若涉及氢气储存设备，应按 GB 50177 要求的防火间距进行布置。

6.2 安装材料验收

安装材料验收应符合以下要求：

- a) 核对集装箱数量及内部设备（电解槽、分离、纯化装置、补水系统、管道等）的规格、数量及质量，确认无运输损坏或缺失；
- b) 确认 c) 吊装机械（如防爆叉车或起重机）、水平仪、紧固工具等已经准备就绪，并确保设备符合安全要求。起重机吊装作业前确认事项。根据规范文件要求，每次使用起重机前应对设备进行全面检查，检查内容包括但不限于：
 - 1) 确认起重机各部件运转正常，无显著磨损或裂缝；
 - 2) 检验液压系统、电气系统及传动系统状态；
 - 3) 检查液压油、润滑油与冷却液是否充足；
 - 4) 确认安全装置完好有效；
 - 5) 依据集装箱的箱型、规格及重量，选用相宜的吊索具，并仔细检查：确保钢丝绳无断丝、变形、锈蚀等缺陷，吊钩无裂纹或明显变形，安全扣完好有效。

- c) 检查预装的管路连接件（如：接口法兰）是否完好，减少现场开孔；
- d) 特种作业人员应持证上岗；
- e) 查验设备图纸、使用手册、压力容器合格证等随机文件，确认符合 GB 50516、GB/T 150.3-2024 的要求。

6.3 设备安装就位

制氢集装箱安装，可使用行车、吊车或其他起吊装置吊装作业。制氢集装箱安装应符合以下要求：

- a) 吊装设备使用前应进行检查评定，评定符合 GB 6067 的要求；
 - b) 吊装作业应按照以下标准化流程进行：
 - 1) 加挂吊具；
 - 2) 挂索绷绳；
 - 3) 试吊；
 - 4) 起吊运移；
 - 5) 对位落箱；
 - 6) 回程。
 - c) 司机与起重工协同操作，全程按信号指令执行；
 - d) 加挂吊具操作应满足：
 - 1) 吊钩对正吊具；
 - 2) 理顺索具绳；
 - 3) 挂牢吊具并拴紧牵引绳；
 - 4) 平稳操纵落钩；
 - 5) 全程观察挂索状态。
 - e) 挂索绷绳操作应满足：
 - 1) 确认吊具旋锁精准插入集装箱索孔，吊钩垂直对正货物重心；
 - 2) 绳索绷紧后，检查集装箱状态及旋锁是否旋转到位，慢速竖直起吊。
 - f) 试吊操作应满足：
 - 1) 将货件吊离地面 0.2 m，静置观察系统安全性；
 - 2) 确认正常后升至 0.5 m 发出停止信号；
 - 3) 再下降 0.2 m~0.3 m 后二次停止，验证制动有效性。
- 注1：起吊重量 \geq 80%额定吊装能力时，应试验制动性能。
- 注2：起吊重量 \geq 70%额定吊装能力时，禁止执行两种及以上复合动作。
- g) 起吊与运移操作应满足：
 - 1) 专人引导集装箱安全抵达目标位，全程监控吊运路径；
 - 2) 吊装物走行中持续观察指挥人员动态、位置及路径障碍，必要时响铃警示；
 - 3) 严禁吊载集装箱越过人员或贵重物品上方；
 - 4) 任何人发出紧急停止信号时，司机应立即停车，隐患消除后方可继续作业。
 - h) 对位与落箱操作应满足：
 - 1) 发出下降信号后，高度 \geq 0.5 m 时使用安全钩校正落箱方向；
 - 2) 将箱体降至距车辆锁头平面 0.1 m 时暂停，确认四角与锁头对正后下落至到位；
 - 3) 禁止碰撞、顶撞车辆或拖拉集装箱调整方向。
 - i) 回程操作应满足：
 - 1) 集装箱吊装作业的回程操作是吊装流程的最后关键阶段，回程操作起始于集装箱落位后的吊具解锁环节；

- 2) 当集装箱准确落位后，确认集装箱四个底角已完全落锁到位；
- 3) 吊具转锁与集装箱角件分离。这一步骤至关重要，因为若在转锁未完全脱离的情况下强行起升吊具，可能导致集装箱被意外带起或转锁机构损坏；
- 4) 解锁完成后，确认吊具周围无人员及障碍物后，以低速平稳地将吊具提升至安全高度；
- 5) 提升过程中，司机应密切观察吊具摆动情况，防止吊具碰撞周边设备或集装箱堆垛；
- 6) 在提升操作的同时，应逐步收回吊臂伸缩节，缩短伸距，以改善行车视野和起重机稳定性；
- 7) 吊具提升至安全高度后，再进入回程移动阶段；
- 8) 吊载空箱时速度不超过 5km/h，且应避免急刹车和急转弯。若回程路线需经过弯道或不平整路面，应进一步降速至 3km/h 以下，确保吊具不会因惯性产生过大摆动；
- 9) 到达指定停放位置后，进入设备归位环节。

注：其他未列事项参照GB/T 6067执行。

7 安装检验

7.1 外观与结构检查

外观与结构检查应满足以下要求：

- a) 确认设备无机械损伤、变形或锈蚀，附件（阀门、仪表、管道等）齐全且连接可靠；
- b) 检查集装箱及其配件无机械损伤、变形或锈蚀，检查集装箱的空调、防爆风扇可以正常开启；
- c) 氢气管道需与非氢气管线分层敷设，间距 ≥ 250 mm。

7.2 气密性与强度试验

7.2.1 概述

对氢气管道、容器设备进行压力试验和气密性试验时，应按照 GB 50177、GB/T 50516 以及设计文件的具体要求进行。

7.2.2 水压试验

使用除盐水（氯离子 ≤ 25 mg/L），当设计压力 ≤ 3.0 MPa 时，在 1.15 倍设计压力下保压 10 分钟，压力表无下降且焊缝、法兰无渗漏或变形为合格；当设计压力 > 3.0 MPa 时，在 1.5 倍设计压力下保压 10 分钟，压力表无下降且焊缝、法兰无渗漏或变形为合格。

注：不应使用含油液体。

7.2.3 气密性试验

使用高纯氮气（纯度 $\geq 99.99\%$ ）或无油空气。在 1.05 倍设计压力下保压 10 分钟，压降 $\leq 1\%$ 为合格。焊缝、法兰等连接处的泄漏情况应使用中性肥皂水检查。

7.2.4 泄漏率测试

使用高纯氮气（纯度 $\geq 99.99\%$ ）或无油空气，在 1.0 倍设计压力，保压 24 小时，泄漏率 $\leq 0.5\%/h$ 为合格。

7.2.5 局部泄漏点检测

氮气压力升至 0.5 倍设计压力（最高不超过 0.5 MPa），涂抹肥皂水于焊缝、阀门接口；无气泡持续产生为合格。

7.3 电气试验

电气试验应符合要求：

- a) 爆炸危险区域电气设备需要防爆标志（如 Exd IIC T4）与区域划分一致（符合 GB 50058 的要求），电缆进线口密封完好；
- b) 氢气检测探头安装位置 距释放源 ≤ 1 m（高度距地 0.3 m~0.6 m），无遮挡物；
- c) 紧急停机按钮 红色蘑菇头型，防护罩完好，旁设醒目标识；
- d) 法兰跨接电阻 $\leq 0.03 \Omega$ ；
- e) 防爆区域电气设备符合 GB 50058 要求；
- f) 氢气检测仪报警值 $\leq 1\%$ LEL（最低爆炸极限），精度为 $\pm 5\%$ ；
- g) 制氢集装箱需要设置通风孔和防爆、泄压设施，箱顶避免氢气积聚；
- h) 防爆区域配备防爆灯具，防雷装置每年检测一次，接地电阻 $\leq 4 \Omega$ ，避雷针引下线采用镀锌材料，焊接点需防腐处理；
- i) 检查配电系统漏电保护装置及静电释放装置有效性，确保二次设备等电位接地端子标识清晰；
- j) 检查氢气检测报警仪等已正确安装。安装位置、数量要求参照 GB/T 50493-2019 执行。

8 调试

8.1 公用工程调试

公用工程调试应符合以下要求：

- a) 开机调试前，应对系统进行清洗，以去除加工中存留在各部件内部的机械杂质；
- b) 检查供电电压、频率、相序正确，配电柜已调试完毕，接地可靠。完成绝缘电阻测试和耐压测试；
- c) 检查冷却水、冷冻水系统压力、流量、温度、水质符合要求，管路冲洗干净，无泄漏；
- d) 检查仪表气源（干燥、洁净的压缩空气或氮气）压力稳定，指标满足项目设计要求；
- e) 检查氮气纯度（通常 $>99.99\%$ ）、压力和用量足够用于系统置换；
- f) 检查纯水供应正常，水质（电导率、铁离子、氯离子等）满足 GB/T 19774 的要求；
- g) 检查系统已使用惰性气体（如氮气）置换，确保氧含量 $\leq 1.5\%$ ，并完成气密性测试；
- h) 检查各阀门是否正常安装并处于工作状态；
- i) 检查各调节阀、仪表是否正确安装并处于工作状态；
- j) 检查各动设备是否正常；
- k) 测试紧急停机按钮、紧急停机程序是否可以正常工作；
- l) 检查系统内碱液液位，完成注碱、排气工作。确认碱液浓度、氢/氧分离器内的液位满足开机测试条件。

8.2 电解槽调试

调试前，应检查整流柜输出极性与电解槽设计的输入极性是否保持一致，避免气体反向生成。

开机调试时，按照设定程序抬升负荷，待系统负荷、温度、压力达到电解槽设计值时，测量各电解小室电压。

8.3 气体处理系统调试

检查气体纯度，通过在线仪表测试，分离装置出口氢气纯度，分离装置出口氢气纯度，纯化出口氢气纯度，纯化出口氢气露点合格。若不合格时应延长排空时间并检查的运行状态。

T/DZJN/XXXX

检查纯化系统升温速率、干燥塔的再生自动切换功能。

8.4 控制系统联锁调试

检查系统联锁的可用性。拖过模拟参数设定超压、超温、低液位、液位差等异常条件，验证紧急停机功能的启动与响应。

检查各阀门的 PID 参数设定。通过系统调试观察压力、液位、温度等参数的 PID 调节效果，满足制氢系统的运行要求。

8.5 调试报告

记录各系统的调试数据，包括气密性试验、性能参数、联锁调试等。

附 录 A
(资料性)
气体泄漏率计算

A.1 气体泄漏率的计算

气体气密性试验主要用于检测容器、管道或系统的泄漏情况。其核心原理是：在恒定温度下，向密闭系统内充入气体并加压至试验压力，保压一段时间后，测量系统内的压力降。根据理想气体状态方程 ($PV=nRT$) 和泄漏导致的气体质量（或摩尔数）变化，可以推导计算泄漏率或泄漏量。

$$A = \left(1 - \frac{P_2 \times t_1}{P_1 \times t_2}\right) \times 100\% \dots\dots\dots (A.1)$$

式中：

- A —— 泄漏率，单位为百分比（%）；
- P_2 —— 表示试验结束后系统压力，单位为帕斯卡（Pa）；
- t_1 —— 表示试验开始时系统温度，单位为开尔文（K）；
- P_1 —— 表示试验开始时系统压力，单位为帕斯卡（Pa）；
- t_2 —— 表示试验结束时系统温度，单位为开尔文（K）。

附 录 B
(资料性)
氢气的危险特性

B.1 氢气的危险特性

氢气无色、无臭、无味,空气中高浓度氢气易造成缺氧,会使人窒息。氢气比空气轻,相对密度(空气=1):0.07,氢气泄漏后会迅速向高处扩散;氢气与空气混合容易形成爆炸性混合物。氢气极易燃烧,属于甲类易燃气体。氢气点火能很低,在空气中的最小点火能为0.019 mJ,在氧气中的最小点火能为0.007 mJ,一般撞击、摩擦、不同电位之间的放电、各种爆炸材料的引燃、明火、热气流、高温烟气、雷电感应、电磁辐射等都可点燃氢-空气混合物;氢气燃烧时火焰呈淡蓝色至无色,肉眼不易察觉。

氢气在空气中的爆炸范围较宽,为4%~75%(体积分数),在氧气中的爆炸范围为4.5%~95%(体积分数),远宽于甲烷(5%~15%)等常见气体。因此氢气-空气混合物很容易发生爆燃,爆燃产生的热气体迅速膨胀,形成的冲击波会对人员造成伤亡,对周围设备及附近的建筑物造成破坏。氢气的化学活性很大,与空气、氧、卤素和强氧化剂能发生剧烈反应,有燃烧爆炸的危险,而金属催化剂如铂和镍等会促进上述反应。
