



中华人民共和国国家标准

GB/T XXXXX—XXXX

碱性电解槽 第1部分：通用要求

Alkaline water electrolyzer Part 1: Product standard

(点击此处添加与国际标准一致性程度的标识)

(征求意见稿)

(本草案完成时间：)

在提交反馈意见时，请将您知道的相关专利连同支持性文件一并附上。

XXXX-XX-XX发布

XXXX-XX-XX实施

国家市场监督管理总局 发布
国家标准化管理委员会

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。

本文件由全国氢能标准化技术委员会（SAC/TC 309）提出并归口。

本文件起草单位：

本文件主要起草人：

碱性电解槽第 1 部分：产品标准

1 范围

本文件规定了碱性电解槽的术语和定义、编码、通用要求、技术要求、试验方法、检验规则、标志牌和出厂资料等。

本文件适用于额定产氢压力大于或等于1.6 MPa且小于或等于3.2 MPa，单个电解槽本体的额定产氢量 $\geq 500 \text{ m}^3/\text{h}$ 的碱性电解槽设计制造、检验检测。

额定产氢压力低于1.6 MPa或大于3.2 MPa的碱性电解槽可参照此文件。

额定产氢量小于 $500 \text{ m}^3/\text{h}$ 的碱性电解槽可参照此文件。

注：

- a) 本文件中，除特殊标注外，电解槽均指碱性电解槽；
- b) 本文件中，除特殊标注外，压力均指表压力；
- c) 本文件中的氢气、氧气体积为标准状态，即 0°C 、 101.325 kPa （绝压）状态下的体积。

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；对于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；若最新版本未包含所需引用的内容，则采用包含该内容的最新版本。

GB/T 150.4 压力容器 第 4 部分：制造、检验和验收

GB/T 228.1 金属材料 拉伸试验 第 1 部分：室温试验方法

GB/T 3098.6-2023 紧固件机械性能 不锈钢螺栓、螺钉和螺柱

GB/T 3512 硫化橡胶或热塑性橡胶 热空气加速老化和耐热试验

GB/T 3863 工业氧

GB/T 5563 橡胶和塑料软管及软管组合件 静液压试验方法

GB/T 5832.1 气体分析 微量水分的测定 第 1 部分：电解法

GB/T 5832.2 气体分析 微量水分的测定 第 2 部分：露点法

GB/T 6285 气体中微量氧的测定 电化学法

GB/T 629 化学试剂 氢氧化钠

GB/T 6462 金属和氧化物覆盖层 厚度测量 显微镜法

GB/T 8984 气体中一氧化碳、二氧化碳和碳氢化合物的测定 气相色谱法

GB/T 15329 橡胶软管及软管组合件 油基或水基流体适用的织物增强液压型规范

GB/T 16921 金属覆盖层 覆盖层厚度测量 X 射线光谱方法

GB/T 19774 水电解制氢系统用原料水

GB/T 1972 碟形弹簧

GB/T 2306 化学试剂 氢氧化钾

GB/T 24343 工业机械电气设备 绝缘电阻试验规范

GB/T 27862-2011 化学品危险性分类试验方法 气体和气体混合物燃烧潜力和氧化能力

GB/T 2828.10 计数抽样检验系列标准导则 第 10 部分 计数抽样检验程序

GB/T 29411 水电解氢氧发生器技术要求

GB/T 29729 氢系统安全的基本要求

GB/T 31563 金属覆盖层 厚度测量 扫描电镜法

GB/T 3634.2 氢气 第 2 部分：纯氢、高纯氢和超纯氢

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/T 45539 PEM 电解槽技术要求

GB/T 46104-2025 电解水制氢系统功率波动适应性测试方法

GB/T 18216.4 交流 1000V 和直流 1500V 及以下低压配电系统电气安全 防护措施的
试验、测量或监控设备 第 4 部分：接地电阻和等电位接地电阻

GB/T 50065 交流电气装置的接地设计规范

GB 50030 氧气站设计规范

GB 50058 爆炸危险环境电力装置设计规范

GB 50177 氢气站设计规范

GB 50260 电力设施抗震设计规范

DL/T 621 交流电气装置的接地

HG 20202 脱脂工程施工及验收规范

HG/T 20634-2009 钢制管法兰用紧固件

3 术语和定义

3.1 碱性电解槽 alkaline water electrolyzer

以强碱性溶液为电解质，以水为反应物，通过直流电电解水，在阴极、阳极分别产生氢气和氧气的电化学装置，包括多孔隔膜、电极、双极板以及密封件等部件。

3.2 隔膜 diaphragm

以强碱性溶液中的离子为导电介质，用于隔绝阴极与阳极反应产生的气体、防止氢氧互渗的多孔材料。

3.3 双极板 bipolar plate

用于导电、分配气 / 液流体、分隔相邻电解单池的板材，部分包含板网或弹性网等支撑体。

3.4 端极板 end polar plate

用于收集、传导电流的导电板，分为氢侧端极板和氧侧端极板，位于电解槽端压板内侧，各包含一个用于连接直流电源导线的极耳结构，极耳需具备绝缘防护措施。

3.5 绝缘板 insulation plate

用于隔离电解槽电气连接并实现电解槽对地绝缘的平板，一般安装于端压板与端极板之间，采用绝缘瓷、电工绝缘板或环氧玻璃布板等绝缘材料制成。

3.6 端压板 end plate

位于电解槽两端，在紧固件及碟簧组件作用下用于固定和支撑电解槽内部组件的端部压板结构部件。

3.7 阴极 cathode electrode

界面所在处水发生还原反应并产生氢气的电极。

注：也可称为析氢电极。

3.8 阳极 anode electrode

界面所在处氢氧根发生氧化反应并产生氧气的电极。

注：也可称为析氧电极。

3.9 密封垫片 seal gasket

用于碱性电解槽密封及相邻极板间绝缘的弹性垫圈。

3.10 电解小室 electrolysis cell

碱性电解槽由若干个电解小室组成。电解小室由阴极、阳极和隔膜组成。

3.11 泄漏 leakage

在水电解的过程中，槽体内部气体或液体通过裂缝或孔隙以非预期方式逸出的现象。

3.12 内窜 internal crossover

在水电解过程中，氢气和氧气在电解槽内部发生交叉，即氢气或氧气通过隔膜渗透至对侧，导致对侧气体中杂质含量超出安全限值的现象。

3.13 额定工况 rated working conditions

碱性电解槽在制造商规定的额定压力、额定温度、额定碱液浓度、额定碱液循环量及额定电流下对应的运行状态。

3.14 运行范围 operating range

以电解槽额定工况功率为基准，电解槽可安全运行的最低和最高电流时的功率值与额定工况功率的比值构成的百分比区间。

3.15 最高允许工作压力 maximum allowable working pressure (MAWP)

在指定的温度下，电解槽所允许的最高工作压力，电解槽工作过程中压力不超过该值。

注：最高允许工作压力也可定义为按照规范制造的设备的设计压力、最高允许操作压力或最大允许压力。

3.16 设计压力 design pressure

设定的电解槽顶部的最高压力。

注：与相应的设计温度一起作为电解槽的基本设计荷载条件，其值不低于最高允许工作压力。

3.17 最大允许压差 maximum allowable pressure differential

在指定的温度下，电解槽工作时隔膜两侧允许的最大压差。

3.18 产氢压力 hydrogen generation pressure

电解槽氢侧气液分离器出口处的气体压力。

3.19 冷待机状态 cold steady state

电解槽在没有任何电输入的情况下，电解槽、反应碱液温度与环境温度一致的状态。

注：此时，控制和安全相关辅助设施处于运行状态；测试系统或制氢系统已完成启动前的准备工作（如置换、吹扫、补水、纯水循环、仪表预热等）；环境温度为5℃~55℃；相对湿度符合制造商的要求,不超过90%且无凝露；大气压强一般为86kPa~106kPa，若测试环境压强低于86kPa或海拔高度高于1300m,需注意选用符合该环境条件的测量仪器,并单独标明。

3.20 冷启动 cold startup

电解槽从冷待机状态直接通电的启动。

3.21 热待机状态 hot steady state

电解槽的温度处在制造商给定的工作温度范围内，但电解槽输入电流为零的状态。该状态下，电解槽可随时输入电流再次启动。

注：电解槽工作温度指的是电解槽出口碱温。

3.22 热启动 hot startup

电解槽从热待机状态直接通电的启动。

3.23 启动时间 startup time

电解槽从待机状态，到额定电流的时间。

3.24 几何面积 geometric area

电极覆盖区域的有效几何面积。

注：阴、阳极面积不一致时，以面积较小的一侧为准。

3.25 电流密度 current density

电极单位几何面积上通过的电流。

3.26 额定电流密度 rated current density

碱性电解槽额定产氢流量对应的工作电流密度。

3.27 额定产氢流量 rated hydrogen generation rate

电解槽标称的单位小时生产的标准状态下的氢气体积。

3.28 电解小室电压极差 maximum single cell voltage value difference

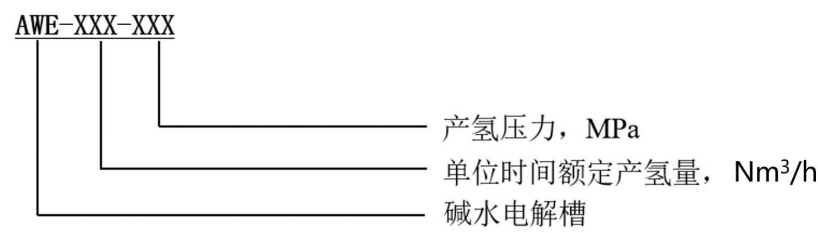
电解槽各小室电压最高值与最低值之差。

3.29 直流电耗 DC power consumption

生产单位体积（标准状态）氢气时电解槽消耗的直流电量。

4 编码

碱性电解槽型号编码由以下部分组成：



第一部分（AWE）：碱性电解槽英文缩写（Alkaline Water Electrolyzer），固定不变；

第二部分（XXX）：额定产氢量（单位：m³/h，标准状态），数字位数按需设定；

第三部分（XXX）：额定产氢压力（单位：MPa），保留 1 位小数；

示例：型号 AWE-1000-1.6 表示：标准状态下额定产氢量 1000 m³/h、额定产氢压力 1.6 MPa 的碱性电解槽

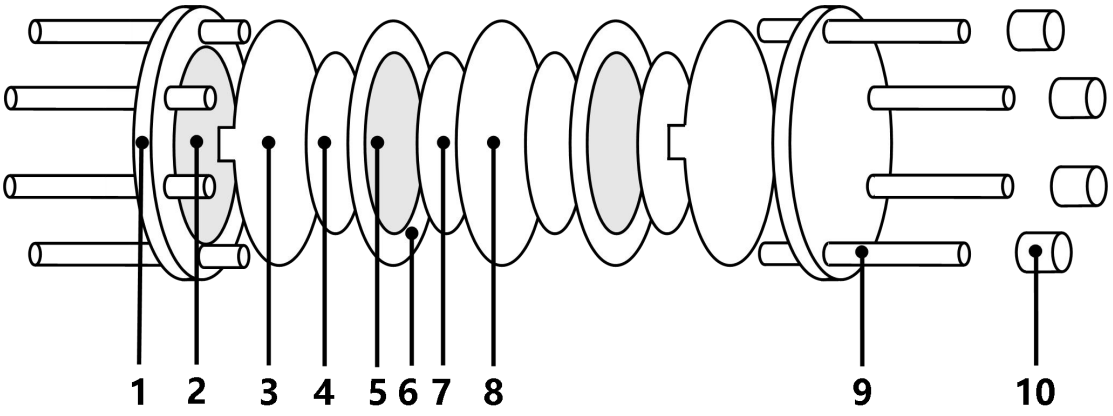
5 通用要求

5.1 基本要求

- 5.1.1 电解槽的结构、工作参数需满足碱性电解水制氢功能要求，并产出满足要求的气体。
- 5.1.2 电解槽的设计需考虑耐压、绝缘、防外漏/内窜、适应环境条件等方面的要求。
- 5.1.3 电解槽的耐压限值应高于额定产氢压力要求。
- 5.1.4 电解槽的工作温度应在 65 ℃~90 ℃范围内，特殊工况需偏离温度范围时，需经制造商与用户协商并在技术协议中明确。
- 5.1.5 电解槽工作环境应清洁，无结霜、凝露、渗水及雨淋，通风良好，严禁明火，并配备氢气泄漏检测装置及防静电设施。

5.2 结构要求

- 5.2.1 电解槽由端压板、绝缘板、双极板（部分包含支撑网）、端极板、电极、隔膜、密封垫圈、紧固件、支撑底座等核心部件组装而成。以圆形电解槽为例，结构如图 1 所示。
- 5.2.2 电解槽结构应能承受额定工况范围内的温度、压力、碱液流量、产氢流量等。
- 5.2.3 电解槽设置的气、碱液管路接口以及电气接口、电气绝缘性能需符合相关设计、安装、运行要求。
- 5.2.4 接口管件、紧固件与密封件等都需便于检修、维护和更换；需留有气、水管道法兰紧固件的安装空间，便于紧固件的拆装、更换。



1——端压板；2—— 绝缘板；3—— 端极板；4——阴极电极；5——隔膜；6——密封垫片；7——阳极电极；8——双极板； 9——紧固螺杆；10——碟簧组件

图 1 圆形碱性电解槽结构示意图，其他形状电解槽结构可参照本图核心组件配置

5.3 外观要求

- 5.3.1 电解槽外表面应整齐、无错位、无划痕、裂痕，且无油污、漆污等污点；
- 5.3.2 设备需在显著位置安装不锈钢铭牌，标注型号、规格、产气量及其压力、最大工作

压力、生产日期等信息，字体清晰耐腐蚀。

5.3.3 紧固件连接牢固，无松动；气体、碱液接口管件连接牢固，无松动；

5.3.4 用于电压或温度信号检测的连接导线及电源铜排应焊接或压接良好，绝缘层无破损；若有电压巡检线，其与极板接触良好，规格需符合 GB 50058 中 5.4.1 的规定；

5.3.5 如设计有槽体外护结构，需确保外护结构具有良好的绝缘、通风散热、耐腐蚀性能和机械强度，且不应遮挡电解槽标识、铭牌。

5.4 安全性要求

5.4.1 强度

电解槽主体框架应保证在运输、安装及运行中承受机械载荷（如自身重量、内部压力、外部振动）时无变形或开裂；若采用碳钢等金属材料，其抗拉强度、抗压强度测试需按照 GB/T 228.1 等相关标准执行。电解槽主体须在 GB 50260 规定的地震设防烈度下，支撑底座、端压板、端极板和双极板等结构部件的关键受力点位移量 $\leq 5\text{ mm}$ ，连接部件无松动脱落。电极与极板、极板与框架的连接宜采用防松设计，螺栓拧紧力矩需符合设计文件要求，并通过振动测试验证防松性能；管道接口宜采用法兰连接，法兰密封面粗糙度 $\leq \text{Ra}3.2\text{ }\mu\text{m}$ 。

5.4.2 气密性与泄漏

电解槽制造组装后，应进行气密性试验和液体泄漏试验，确保槽体无气体、液体渗漏。

5.4.3 内窜

电解槽运行时，氢中氧含量应 $\leq 1.0\text{ vol.}\%$ 、氧中氢含量应 $\leq 2.0\text{ vol.}\%$ ，避免氢氧混合引发安全风险。

5.4.4 绝缘

电解槽带电部分与不带电导电部分之间应设置绝缘结构，干态下绝缘电阻应 $\geq 1\text{ M}\Omega$ 。

5.4.5 压力

电解槽工作压力应小于或等于电解槽的设计压力，氢、氧分离器液位差标定的压力差值应小于或等于电解槽的最大允许压差。

5.5 气液要求

5.5.1 气体纯度

电解槽出口管线旁路检测产氢纯度符合制造商标称的数值，未经纯化，应达到99.7 vol.%以上（扣除水分后的纯度），氧中氢含量应小于或等于2.0 vol.%。氢气中杂质含量采用GB/T 5831、GB/T 5832.1、GB/T 5832.2、GB/T 6285和GB/T 8984进行检测；氧气中杂质含量采用GB/T 5832.1和GB/T 5832.2进行检测。

5.5.2 气体压力

电解槽氢气侧出口压力宜大于或等于1.6 MPa且小于或等于3.2 MPa。

5.5.3 电解液要求

电解槽浓度维持在30%±2 wt%，电解液规格参照GB/T 37562执行，使用氢氧化钾或氢氧化钠需满足GB/T 2306和GB/T 629或HG/T 3688规定的Ⅱ型优等品要求，且当电解液杂质离子浓度超出表中指标时，应在 72 小时内完成更换或净化。

表1 碱性电解槽电解液质量要求

序号	项目名称	指标	单位	备注
1	铁离子含量	<20	mg/L	
2	氯离子含量	<100	mg/L	
3	硫酸根离子含量	<100	mg/L	
4	硬度（以 CaCO ₃ 计）	<100	mg/L	

5.5.4 水质要求

用于电解水的原料水需满足 GB/T 19774《水电解制氢系统用原料水》的要求。

5.6 电流密度-电压要求

5.6.1 额定电流密度

电解槽的额定电流密度应≥2000 A/m²。

5.6.2 最高电流密度

维持电解槽长期安全稳定运行的最大电流密度宜大于额定电流密度的120%，且氢中氧及氧中氢浓度需满足5.5.1。

5.6.3 最低电流密度

维持电解槽长期安全稳定运行的最小电流密度宜小于等于额定电流密度的30%，且氢中氧及氧中氢浓度需满足5.5.1。

5.6.4 额定直流电耗

额定电流密度下，直流电耗应 $\leq 4.5 \text{ kWh/m}^3$ （标准状态）。

5.6.5 电解小室电压极差

剔除端极板旁第一个小室的电压后，电解小室电压标准偏差应 $\leq 100 \text{ mV}$ 。

5.6.6 电解小室电压标准偏差

剔除端极板旁第一个小室的电压后，电解槽电解小室电压标准偏差宜小于 40 mV 。

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \mu)^2}{n}}$$

6 技术要求

6.1 组件要求

6.1.1 电极

电极一般以金属网材或多孔体例如泡沫金属板等作为基底材料，通过等离子喷涂、热喷涂、电镀、化学镀、烧结、高温合成或其他等效工艺进行催化剂涂覆处理。电极活性、机械稳定性、衰减率需满足电解槽性能要求，电极性能检测及评价参照标准GB/T45092执行。

6.1.2 隔膜

隔膜包括PPS隔膜和复合隔膜（通常由PPS丝网和氧化锆组成）。隔膜气密性、面电阻、抗拉强度、抗刺穿强度、化学稳定性等需满足电解槽性能要求，隔膜性能检测及评价参照标准GB/T 3923.1、SJ/T 10171、JC/T 211等执行。

6.1.3 双极板

双极板需采用导电性能良好且耐强碱性电解液腐蚀的材料，表面无结疤、裂纹、夹杂等缺陷，与电解液接触的表面宜进行镀镍处理或使用纯镍材质。双极板导电性、耐腐蚀、耐冲刷性能需满足电解槽性能要求。

6.1.4 端极板

由具有高电导率的材料（如金属）制成，可以在表面涂覆/镀上降低接触电阻/抗腐蚀材料，涂/镀层材料不应污染电解槽组件，同时应具有与供电铜排连接的端子/端口。

6.1.5 端压板

端压板应作为承压元件按 GB/T 150.4 进行强度设计和计算校核，具备足够机械强度以承受紧固压力，保持电解槽尺寸及结构稳定性；端压板应可靠接地，防止触电事故。

6.1.6 密封件

与反应物、生成物、各组件以及运行温度、压力相匹配，不参与或影响电化学反应过程，在电解过程中化学性质保持稳定。密封件可承受电解槽组装、存储、运输以及制造商承诺的开车、停车和波动工况。

6.1.7 紧固件（螺杆/碟簧/螺母）

具有相应的机械强度，以承受电解槽组装和运行时产生的压力。紧固件宜进行电绝缘处理，符合 HG/T 20634-2009 的要求；碟簧组件的设计、选型和检验需满足 GB/T 1972 的要求。

6.1.8 绝缘板

端压板与端极板间应使用绝缘板实现电气绝缘隔离，绝缘板应具备良好的绝缘性能满足工作要求，并应具备足够强度以承受电解槽碟簧、拉杆施加的预紧力及电解槽运行压力，按标准GB/T 1303.4执行

6.1.9 支撑底座

超过200小室的电解槽体，宜包含支撑底座以保证运行的稳定性和安全性，底座需能够承担槽体质量并减小位移。

6.1.10 镀镍层

极板、端极板、端压板等均需进行镀镍操作，板材平面区域镀镍厚度不小于60 μm ，孔道区域镀镍厚度不小于50 μm 。

6.2 接口要求

6.2.1 电气要求

6.2.1.1 电解槽需根据最大工作电流要求配置合理的供电接线方式。

6.2.1.2 电解槽宜配备电压巡检线接口，以监测各单池电压。

6.2.1.3 电解槽的管路、法兰、阀门等连接处需采用金属连接线跨接，跨接电阻应小于 $0.03\ \Omega$ 。

6.2.1.4 电解槽的电气连接件宜通过紧固、焊接等可靠方式固定在安装构件上，以保持足够的接触压力，确保连接件在振动作用下不会自行松动。

6.2.1.5 裸露的导电连接件需设有保护套等防触碰绝缘措施。

6.2.1.6 电气连接件需采取防腐措施。

6.2.1.7 电解槽需有单独接地设计，宜具备在线绝缘监测功能，接地电阻应 $<4\ \Omega$ （测试方法符合 GB/T 18216.4）；未安装气体、碱液管道且未接地时，端压板与端极板之间的绝缘电阻应 $\geq 1\ \text{M}\Omega$ ，符合 GB/T 50065 的规定。

6.2.2 管路要求

6.2.2.1 电解槽与外部氢气或氧气管路连接应符合 GB 50177、GB 50156、GB 50516、GB 50030 的要求；氧气管道、阀门及其附件需按 HG 20202 的规定进行脱油脱脂处理，处理后需经检验合格方可安装。

6.2.2.2 电解槽碱液、气体管口应与外接管道可靠连接。如采用金属柔性管道和相关配件，需符合 GB/T 3512、GB/T 5563、GB/T 15329 要求。

6.2.3 监测要求

6.2.3.1 在电解槽氢、氧出口管线上需设置温度、压力检测点，和氢中氧、氧中氢在线分析检测点，在碱液回流管线上需设置碱液温度检测点、碱液流量仪表及浓度取样口，取样口应便于操作且具备密封防护功能。

6.2.3.2 在电解槽极板上宜设置单小室电压检测点和温度检测点，确保能够实现每个小室电压及温度的单独监测。

6.2.3.3 电解槽及其配套气液处理系统需配备自动控制和监测硬件和软件系统，保证其能够在设计工况下正常运行，且在电解槽发生故障时能够及时报警、联锁停车（停电），并进行相应的应急处理。

6.3 制造和组装

6.3.1 电解槽体安装

6.3.1.1 根据定位孔位置，按顺序将端压板、绝缘板、端极板、双极板、电极、隔膜以及密封件等进行组装，再对电解槽进行紧固处理。

6.3.1.2 电解槽组装力需使电解槽各部件间保持适宜的接触电阻和夹持力。

6.3.1.3 电解槽组装后极框部分相对于极板的基准母线的同轴度允许偏差为1.5 mm/m；极框扭曲度允许偏差为1 mm（任意相邻极框）和5 mm（任意两极框）。

6.3.1.4 电解槽在制造厂组装后，需按设计文件和技术要求进行气密性检查，合格后运至现场整体安装。

6.3.2 管线及附件安装

6.3.2.1 电解槽管路的安装符合GB 50177和GB 50030的要求。

6.3.2.2 电解槽安装后，在正式运行前进行管线准确性、接地电阻等合格性检验。

7 试验方法

7.1 强度试验

7.1.1 强度试验要求

气压试验需在通风良好的场地进行，设置防爆隔离带及压力预警装置，试验过程中禁止人员靠近。电解槽强度试验可采用水压试验或气压试验，水压试验压力最低值为设计压力的1.25倍，气压试验压力最低值为设计压力的1.1倍。强度试验按照安全生产管理规定制定安全措施，设置安全防护及监控装置，并做好全过程的安全监督与管理。

7.1.2 水压试验方法

a) 排净电解槽内的气体并充满去离子水（水质符合GB/T 37562的要求），将电解槽阳极腔、阴极腔的出气口连通并安装压力传感器或压力表或其它压力监测装置，封闭电解槽其它进出口；试验过程中，保持电解槽表面干燥；

b) 向阳极腔和阴极腔通入去离子水，缓慢升至设计压力，确认无泄漏后，继续升至规定的试验压力，保压30分钟；

c) 电解槽无渗漏，无可见的变形和异常声响为合格。

7.1.3 气压试验方法

a) 将电解槽阳极腔、阴极腔的出气口连通并安装压力传感器或压力表或其它压力监测装置，封闭电解槽其它进出口；

b) 向阳极腔和阴极腔通入高纯氮气，缓慢升压至规定试验压力的10%，保压5分钟，应采用涂刷检漏液（或其它检漏工具）的方法对所有接头和连接部件及电解槽进行初次检查；确认无泄漏后，再继续升压至规定试验压力的50%；如无异常现象，其后按规定试验压力的10%逐级升压，直到试验压力，保压10分钟；然后降至设计压力，保压足够时间进行检查，检查期间压力应保持不变；

c) 电解槽无异常声响，经检漏液检查无漏气，无可见的变形为合格。

7.2 气密性试验

7.2.1 气密性测试

a) 将电解槽阳极腔、阴极腔的出气口连通，封闭电解槽其它进出口；向阳极腔和阴极腔通入氮气或者空气；

b) 测试系统逐渐升压，当达到设计压力时，停止气体注入，保持至少10分钟，采用涂刷检漏液的方法，巡回检查所有阀门、法兰或螺纹连接处、焊缝、垫片等密封点，以无漏气为合格，在测定压力降时需考虑温度补偿。

7.2.2 泄露率测试

a) 电解槽在气密性试验合格后，使用高纯氮气进行泄漏率试验；

b) 将测试系统压力升压至设计压力，达到规定压力后，记录压力、温度；

c) 保持4~24小时，记录结束时的系统压力、温度；

d) 分别对阳极腔、阴极腔按式（1）进行泄漏率计算。

$$A = \frac{100}{t} \left(1 - \frac{p_2 T_1}{p_1 T_2} \right) \quad (1)$$

式中：

A —— 体积泄漏率，单位为百分比每小时（%/h）；

T —— 试验时间，单位为小时（h）；

T1 —— 试验开始气体温度，单位为开尔文（K）；

T2 —— 试验结束气体温度，单位为开尔文（K）；

p1 —— 试验开始电解槽绝对压力，单位为兆帕（MPa）；

p2 —— 试验结束电解槽绝对压力，单位为兆帕（MPa）。

7.3 绝缘性试验

7.3.1 绝缘电阻测试

在电解槽通水和气体测试前进行绝缘电阻测试。

- a) 测试应在环境温度 15 °C~35 °C、相对湿度≤75% 的条件下进行；
- b) 将绝缘电阻测量仪设置到指定的档位；
- c) 维持至少5 s以便获得稳定的绝缘电阻读数。试验过程中，电解槽对地电阻应大于或等于1 MΩ。

绝缘电阻测试点位为：

- 1) 电解槽端极板与电解槽端压板（设计中：端压板接地）；
- 2) 电解槽端极板与电解槽固定点（设计中：固定点接地）或其它指定接地点。

表2规定了绝缘电阻试验的试验电压取值。

表 2 绝缘电阻试验电压

序号	电解槽最高电压 V_{stack} 的1.5倍/V	试验电压 V_{IR} /V
1	$(V_{\text{stack}} \times 1.5) \leq 250$	250
2	$250 < (V_{\text{stack}} \times 1.5) \leq 500$	500
3	$500 < (V_{\text{stack}} \times 1.5) \leq 1000$	1000
4	$1000 < (V_{\text{stack}} \times 1.5)$	2500
V_{stack} —— 电解槽额定电压，单位为伏特（V）； V_{IR} —— 绝缘电阻试验的试验电压，单位为伏特（V）。 注：当被测样品的最高电压>667 V 时，试验电压可由制造商和买方协商确定，协商结果需在技术协议中明确。		

绝缘电阻值按式（2）求得：

$$R = R_x \times 10^6 / V_{\text{IR}} \quad (2)$$

式中：

R —— 绝缘电阻值计算结果，单位为欧每伏特（Ω/V）；

R_x —— 绝缘电阻测量仪读数，单位为兆欧（MΩ）；

V_{IR} —— 绝缘电阻试验的试验电压，单位为伏特（V）；

绝缘电阻值的计算结果保留小数点后一位。

7.3.2 接地电阻测试

接地电阻测试需满足直流低压配电系统电气安全要求，具体测试方法可参照GB/T 18216 执行。

7.4 进液/产气试验

通电测试前，需完成电解液加注、气密性试验及绝缘电阻测试，均合格后方可进行，电解槽所有参数检查之后，进行通电测试。试验步骤如下

- a) 在测试系统上连接电解槽水、气管路以及供电电缆或铜排等；
- b) 启动循环水泵，待碱液循环稳定后（不少于 10 分钟），加载电流值至额定电流，待电解槽碱液出口温度达到设定额定温度；
- d) 调节电解槽产气压力至设定值，待压力稳定后，检测电解槽运行参数。

7.4.1 标称产氢量计算

根据标称额定电流密度电解时计算的产氢量，计算方法参照GB 46104-2025执行。

7.4.2 实际产氢量测试（容积法）

若现场具备条件，能安装储存氢气的压力容器，则可采用容积法测量氢气产量。测试方法参照GB/T 46104-2025执行。

7.4.3 氢中氧测试

氢中氧测试点宜设置在电解槽出口处，气体分析仪表需在测试前用标准气体校准，量程覆盖 0~2 vol.% O₂。合理设置气体分析仪位置，保证气体及时到达气体分析仪，并停留足够时间，保证及时、准确测量氢中氧浓度。

在测试系统上运行电解槽，在设定工况下测量电解槽排出的氢中氧的体积百分比。

- a) 试验开始前，电解槽出口水温调整到设定温度，波动值小于±3 °C；
- b) 开始启动操作，按设定工况对电解槽加载，待气体分析仪示数稳定后记录氢中氧气体浓度。

氢气纯度按式（3）计算：

$$C_{H_2} = 100\% - C_{O_2} \quad (3)$$

式中：

C_{H_2} —— 氢气纯度，单位为体积百分比（vol.%）；

C_{O_2} —— 仪表显示氧含量值，单位为体积百分比（vol.%）。

7.4.4 氧中氢测试

氢中氧测试点宜设置在电解槽出口处，气体分析仪表（气相色谱或在校准周期内满足精度要求的分析仪）的量程宜为0-5 vol.% H₂。合理设置气体分析仪位置，保证气体及时到达气体分析仪，并停留足够时间，保证及时、准确测量氧中氢浓度。

在测试系统上运行电解槽，在设定工况下测量电解槽排出的氧中氢的体积百分比。

a) 试验开始前，电解槽出口水温调整到设定温度，波动值小于±3 °C；

b) 开始启动操作，按设定工况对电解槽加载，待气体分析仪示数稳定后记录氧中氢气体浓度。

氧气纯度按式（4）计算：

$$C_{O_2} = 100\% - C_{H_2} \quad (4)$$

式中：

C_{O_2} —— 氧气纯度，单位为体积百分比（vol.%）；

C_{H_2} —— 仪表显示氢含量值，单位为体积百分比（vol.%）。

7.4.5 产氢压力

a) 将电解槽连接至测试系统；

b) 运行电解槽到额定工况后，稳定15 分钟，记录电解槽氢侧出口的气体压力作为产氢压力。

7.5 电流密度-电压试验

7.5.1 直流电流测试

直流电流测试方法可参照GB/T 46104-2025执行。

7.5.2 直流能耗测试

制造商需提供电解槽所使用的单片电极活性面积 A_s ，该面积计算方法需获得制造商和用户的共同认可，或由测试方在电解槽装配前实际测量。将电解槽的温度和压力设定在工作范围内，测量电解槽单池电压，取单池电压平均值 V 。按照表3中的运行参数测试并记录单池电压平均值、电流和电流密度。

a) 将电解槽设定在额定温度和压力下；

b) 按照表3中的电流加载，当温度和压力同时稳定大于或等于30分钟后，记录单池电压平均值、温度、压力、氢中氧和氧中氢浓度。

注：

i) 推荐压力波动范围在±10 kPa以内，特定情况不宜超过±20 kPa。单电解池平均电压波动范围在±10 mV以内。

ii) 测试过程中，气体纯度不超过停机保护阈值。

表3 运行参数表（槽温范围：±2℃，压力范围：10%设定压力）

序号	电流 /A	单池电压平均值 /V	温度 /℃	压力 /MPa	氢中氧 /%	氧中氢 /%
1	标称最小电流密度					
2	...*					
3	100% 额定电流密度					
4	...*					
5	标称最大电流密度					

*注：100%额定电流密度以下重点关注25%，50%，75%电流密度，若100%额定电流与标称最大电流跨度大于25%额定电流，则从100%额定电流以10%额定电流为步长取点。

a) 根据有效电极面积和记录的电流值，计算电流密度，公式如下：

$$J=\frac{I_{\text{test}}}{S} \tag{5}$$

式中：

J —— 电流密度，单位为安培每平方米（A/m²）；

I_{test} —— 试验测量的电流平均值，单位为安培（A）；

S —— 有效电极面积，单位为平方米（m²）。

b) 电解槽单电压计算，公式如下：

$$V=\frac{\sum_{i=1}^n V_i}{n} \tag{6}$$

式中：

V —— 平均单池电压，单位为伏特（V）；

V_i —— 第*i*节单池电压，单位为伏特（V）；

n —— 电解槽单池节数。

7.5.3 额定工况输入功率

在测试系统上运行电解制氢装置，采用电流传感器测量电解槽的总电流，采用电压传感器测量电解槽阳极、阴极端压板间总电压。额定工况下施加于电解槽上的电压与电流的乘积，为电解槽额定工况输入功率。

a) 开始启动操作，加载电流至额定电流，等待出口碱液温度达到设定额定值；

b) 调节电解槽产气压力至设定值，待运行稳定后，记录电解槽总电压 V_0 。

电解槽电流达到额定电流对应的电解槽功率作为额定值， P_0 。

$$P_0 = V_0 \times I_0 \times 10^{-3} \quad (7)$$

式中：

P_0 —— 电解槽额定输入功率，单位为千瓦（kW）；

V_0 —— 电解槽总电压，单位为伏特（V）；

I_0 —— 电解槽额定电流，单位为安培（A）。

7.5.4 额定电流密度下的产氢理论能耗

a) 将电解槽连接至测试系统；

b) 调整实验参数至待测状态；

c) 分别使用电流传感器、电压传感器测量电解槽的电流、电压值。

在标准状态下，制取1 m³氢气所需理论电量为2389.78 A.h/m³。

能耗值由下式计算可得：

$$W = \frac{E_{th} \times 2389.78}{1000} \quad (8)$$

式中：

E_{th} —— 额定电流密度下的平均小室电压（V）；

W —— 单位能耗值，单位为千瓦时每立方氢气（kW·h/m³ H₂）。

7.5.5 额定电流密度下的电压效率

a) 将电解槽连接至测试系统；

b) 调整实验参数至待测状态。

c) 分别使用电流传感器、电压传感器测量电解槽的电流、电压值。

$$\eta_v = \frac{N_s \times E_{th}}{U_s} \times 100\% \quad (\text{一正一负}) \quad (9)$$

$$\eta_v = \frac{\left(\frac{N_s}{2}\right) \times E_{th}}{U_s} \times 100\% \quad (\text{一正两负}) \quad (10)$$

式中：

η_v —— 电解槽的电压效率，单位为百分比（%）；

N_s —— 电解槽的单电解池个数，需注意电解槽内单池（小室）的串并联方式，如一正一负或一正两负；

U_s —— 电解槽的电压，单位为伏特（V）；

E_{th} —— 热中性电压，单位为伏特（V）。

7.5.6 额定电流密度下的实测产氢能耗

a) 将电解槽连接至测试系统；

b) 调整实验参数至待测状态；

c) 分别使用电流传感器、电压传感器测量电解槽的电流、电压值。

电解槽单位制氢的直流电耗(W_{H2})，按式（11）计算：

$$W_{H2} = IUt / (Q_{H2} \times 10^3) \quad (11)$$

式中：

W_{H2} —— 单位制氢直流电耗，单位为千瓦时每立方米（kW·h/m³）；

I —— 电解槽的总直流电流，单位为安培（A）；

U —— 电解槽的总直流电压，单位为伏特（V）；

Q_{H2} —— 检测期间氢气产量，单位为立方米每小时（m³/h）；

t —— 检测时间，单位为小时（h）。

电流效率

电解槽单位制氢的电流效率按式（12）计算：

$$\eta_i = \frac{W}{W_{H2}} \times 100\% \quad (12)$$

式中：

η_i —— 电解槽的电流效率；

W —— 单位制氢理论直流电耗，单位为千瓦时每立方米（kW·h/m³）。

W_{H_2} —— 单位制氢实测直流电耗，单位为千瓦时每立方米（ $\text{kW}\cdot\text{h}/\text{m}^3$ ）；

7.5.7 波动运行范围

在测试系统上运行电解槽，将电解槽分别设定在最低电流、额定电流和最高电流下运行，分别记录电解槽电压值。最高电流、最低电流对应的电解槽输入功率与额定功率的比值为电解槽输入功率允许工作范围的上下限。最低电流和最高电流由制造商提供。测试过程中，氧中氢浓度不得超过停机保护阈值。

a) 试验开始，将电解槽调整到待测试状态；

b) 开始启动操作，在制造商推荐的条件下，加载至最低电流值 I_1 ，电解槽运行稳定后，记录电解槽总电压 V_1 ；

c) 在制造商推荐的条件下，加载电流至额定电流值 I_0 ，电解槽运行稳定后，记录电解槽总电压 V_0 ；

d) 在制造商推荐的条件下，加载电流至最高电流值 I_2 ，电解槽运行稳定后，记录电解槽总电压 V_2 。

注：电解槽运行稳定后，继续运行不低于30 分钟，记录氧中氢含量、氢中氧含量，不得超过技术要求限定值。

按照式（13）计算电解槽的功率调节范围：

$$\Delta P = \left[\frac{P_{\min}}{P_{\text{rat}}} \times 100\%, \frac{P_{\max}}{P_{\text{rat}}} \times 100\% \right] \quad (13)$$

式中：

ΔP —— 电解槽功率调节范围，单位为百分比（%）；

P_{\min} —— 电解槽的最小功率输入，单位为千瓦（ kW ）；

P_{\max} —— 电解槽的最大功率输入，单位为千瓦（ kW ）；

P_{rat} —— 电解槽额定功率输入（ kW ），可通过下式计算：

$$P_{\text{rat}} = I_{\text{rat}} \times U_{\text{rat}} \quad (14)$$

式中：

I_{rat} —— 电解槽在额定工况下的额定电流，单位为安培（ A ）；

U_{rat} —— 电解槽在额定工况下的电压，单位为伏特（ V ）。

7.5.8 单电解池电压极差

a) 试验开始，将电解槽调整至待测试状态；

b) 开始启动操作，在制造商要求的额定工作条件下，待电解槽工作稳定，记录所有小室电压u；

c) 每间隔15min，记录一次小室电压，共计不少于3次；

d) 选取每次记录的最大单室电压值和最小单室电压值，作差值获得电压极差 R_{vi} ；

e) 使用多次极差结果取平均值见下式，获得单池电压极差 R_v 。

$$R_{vi} = \max(u_1, u_2, u_3 \dots u_m) - \min(u_1, u_2, u_3 \dots u_m) \quad (15)$$

式中m为小室数；

$$R_v = \frac{\sum R_{vi}}{n} \quad (16)$$

式中i=1,2...n

7.5.9 衰减率

在额定工况下，对电解槽进行测试，并对电解槽初始电解电压 V_1 及结束测试时的电解电压 V_2 和测试时长t进行记录，求出电解槽平均单池电压衰减率 δV_s 。

$$\delta V_s = 1000000 \times \frac{(V_2 - V_1)}{n \times t} \quad (17)$$

式中：

δV_s —— 平均单池电压衰减率，单位为微伏特每小时（ $\mu V/h$ ）；

V_1 —— 测试初始稳定后（运行 $\geq 24 h$ ）的电解电压，单位为伏特（V）；

V_2 —— 测试结束前稳定状态（运行 $\geq 1 h$ ）的电解电压，单位为伏特（V）；

n—— 电解槽单池节数；

t—— 测试时间，单位为小时（h）。

8 检验规则

8.1 检验项目

按“检验项目 - 技术要求 - 测试方法 - 型式检验 - 出厂检验”对应关系填写，示例如下（其余项目按此逻辑补充）

表4 碱性电解槽检验项目

序号	检验项目	技术要求	测试方法	型式检验	出厂检验
1	强度			√	√
2	气密性			√	√

3	内窜			√	√
4	绝缘电阻			√	√
5	接地电阻				
6	碱液流量			√	
7	标称产氢量			√	
8	实际产氢量			√	
9	气体纯度			√	
10	产氢压力			√	
11	电流密度			√	
12	直流电耗			√	
13	额定功率			√	
14	产氢理论能耗				
15	电压效率				
16	实测产氢能耗				
17	波动运行范围			√	
18	单池电压极差			√	
19	衰减率			√	

8.2 检验边界

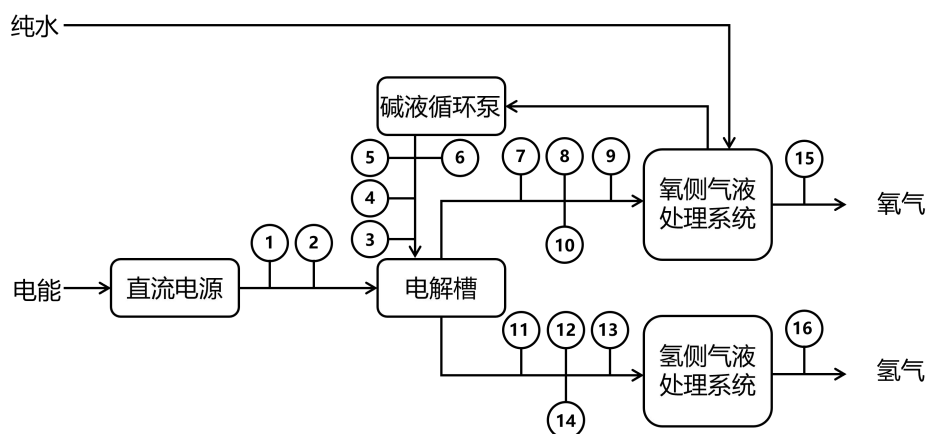
a) 测试系统：典型测试系统流程示意图见图2，具备为电解槽提供水、电、气管理的功能，宜配备温度传感器、压力传感器、电流传感器、电压传感器、电压巡检仪、液体流量计、气体流量计、氢中氧分析仪、氧中氢分析仪、氢气质量流量计、电导率测试仪等传感器，所有传感器及仪表需在检定有效期内；

b) 仪器仪表：测试所需仪器仪表准确度要求见表2；

c) 测试环境温度宜为5~55℃，若环境温度过高，现场测试人员应做好防护措施；

d) 相对湿度在制造商要求之内，或不超过90%且无凝露；

e) 大气压强一般为86 kPa~106 kPa，若实验环境压强低于86 kPa或者海拔高度高于1300 m，需注意选用符合该环境条件的测试仪器，并单独标明。



标引序号:

注：氧侧气液处理系统一般包含气液分离器、换热器、去离子器以及压力控制单元；氢侧气液处理系统一般包含气液分离器和压力控制单元，以及必要的保证氢气流量准确测量的气体处理单元，不含气体纯化功能。

序号	设备名称	计量单位	最大允许误差
1	温度计	°C	±1.0
2	温度传感器	°C	±0.5
3	压力表	MPa	±1.0% FS
4	压力传感器	MPa	±0.5% FS
5	电流传感器	A	±1.0% FS
6	电压传感器	V	±0.5% FS
7	电压巡检仪	mV	±2.0 mV
8	液体流量计	m³/h	±5.0% FS
9	气体流量计	m³/h	±1.0% FS
10	绝缘电阻测量仪	MΩ	±0.01
11	接地电阻测量仪	Ω	±2% FS
12	氢中氧分析仪	—	±5.0% FS
13	氧中氢分析仪	—	±2.0% FS
14	氢气质量流量计	m³/h	±1.5% FS
15	电导率测试仪	μS/cm	±2.0% FS
16	计时器	ms	±1.0

8.3 型式检验

型式检验报告应包含检验机构资质信息、检验日期、样品型号及编号、测试数据、合格判定结果及不合格项处理意见,产品定型前应通过资质认定的第三方检验检测机构的型式检验, 对一个或多个具有代表性的产品样品进行质量考核。

凡属于下列情况之一, 需重新进行型式检验:

- a) 电解槽结构设计发生变化, 如端压板结构、进出气液结构、双极板结构(部分包含支撑位)等, 或螺杆、螺帽等影响电解槽结构强度的部件结构设计发生变化, 需要按照表4《碱性电解槽检验项目》进行表 4 中序号 1~5(强度、气密性、内窜、绝缘电阻、接地电阻)的型式检验;
- b) 电解槽主要材料、部件的参数与选型发生变化, 如电极、隔膜等, 需要按照表4《碱性电解槽检验项目》进行表 4 中序号 7~19(标称产氢量、实际产氢量..... 衰减率)的型式检验;
- c) 电解槽设计参数发生变化, 需要按照表4《碱性电解槽检验项目》进行全部的型式检验;
- d) 转厂生产的产品或产品停产超过1年后恢复生产, 需要按照表4《碱性电解槽检验项目》进行全部的型式检验;

e) 存在需定期进行型式检验且已到达规定的型式检验有效期限时, 需要按照表4《碱性电解槽检验项目》进行全部的型式检验;

f) 出厂检验结果与型式检验结果存在较大差异, 需要按照表4《碱性电解槽检验项目》进行全部检测结果相关的项目型式检验;

g) 国家标准中, 与型式检验内容相关的测试方法和技术要求发生变化, 需要按照表4《碱性电解槽检验项目》进行全部的型式检验;

h) 质量认证或质量仲裁需要时, 需要按照表4《碱性电解槽检验项目》进行全部的型式检验。

8.4 出厂检验

8.4.1 出厂前需对电解槽进行非接电测试, 包括强度、气密性、内窜、绝缘电阻、接地电阻等项目, 检验要求按表 4 中“出厂检验”列执行;

8.4.2 电解槽经制造商质量部门检验合格, 签发合格证后方可出厂, 合格证应包含产品名称、型号、编号、制造日期、检验员代号、合格标识及检验日期。

8.4.3 电解槽出厂产品需附带使用说明书。

9 标志牌

电解槽标志牌包括下列内容:

9.1 制造商名称、地址。

9.2 产品型号、商标。

9.3 制造日期、编号。

9.4 本文件编号。

9.5 主要技术参数, 包括:

a) 单位时间标称产氢量 (m^3/h); 标称氧气产量 (m^3/h);

b) 氢气压力 (MPa); 氧气压力 (MPa);

c) 额定工况直流输入电压 (V); 额定工况直流输入电流 (A);

d) 工作范围 (%);

-
- e) 工作环境温度 (°C) ;
 - f) 工作场所: 室内或室外;
 - g) 设备外形尺寸 (mm)、质量 (kg) 等。

10 出厂资料

10.1 搬运吊装说明

10.2 制造厂家需提供电解槽各类单体设备、组件的安全搬运、吊装说明;必要时以图示说明吊装、搬运方法。

10.3 搬运吊装说明需确定电解槽重心,以便起重机、叉车搬运。

10.4 根据电解槽的规格、尺寸和重量制定吊装、就位方案,进行充分准备后再就位安装。

10.5 设计文件

制造商需提供电解槽在安装、运行、维护中所需的图纸。

10.6 使用手册

使用手册由制造商提供,并包括下列内容:

- a) 公用条件要求,如电源电压、频率和容量、原料水品质要求及用量、仪表用压缩空气、冷却水品质要求及用量等;
- b) 制氢设备的额定技术参数,如:产气量、气体纯度、产气压力、直流电压、直流电流、能耗指标等;
- c) 电解槽开车、停车步骤等工艺操作规程及注意事项;
- d) 电解槽长期放置的注意事项;
- e) 设备可能出现的故障、故障原因分析并提供应急解决方案,同时也提供系统所涉及的危险物质(氢气、氧气)的处理方法及安全注意事项。

10.7 安装维护手册

10.7.1 制造厂家需提供安装、维护的要求和指导原则。电解槽的现场布置和设计需遵循 GB 50177 的规定。

10.7.2 电解槽需附有安装手册。该手册至少包含以下说明:

a) 安装要求提示, 包括设备基础、设备就位、电气接线、自控仪表和控制阀等的安装要求。

b) 有爆炸危险的氢气生产场所, 对防爆电器及其配线安装的要求。有爆炸危险的氢气生产场所的运行维护管理要求, 包括通风、易燃材料和明火管制要求等;

c) 各种需定期更换或清洗的零部件的说明, 并提出更换、清洗的要求;

d) 电解槽的维护说明;

e) 拆解和运输的推荐方法;

f) 空气通风指示, 根据GB 3836.14的区域分类。

10.7.3 安装维护手册需包含电解槽部件所有日常维护的要求, 并指出这些维护的必要性和最低频率。

10.7.4 安装维护手册需对电解槽的周期性检查提出要求, 检查需由专业人士进行。

10.7.5 安装维护手册也要对电解槽的维修进行具体介绍。

10.7.6 安装维护手册中需包含相应的安全技术要求条款, 其内容需符合 GB/T 37563 中的规定。