

T/CIEP

中国工业环保促进会团体标准

T/CIEP XXXX—XXXX

适用于海洋工况的碱性电解槽设备技术条件

Technical specifications for alkaline electrolyzer equipment suitable for marine condition

(工作组讨论稿)

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

中国工业环保促进会 发布

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。

本文件由中国工业环保促进会提出并归口。

本文件起草单位：

本文件主要起草人：

适用于海洋工况的碱性电解槽设备技术条件

1 范围

本文件规定了适用于海洋工况的碱性电解槽设备的技术要求、安装和整体要求、运行环境、试验要求和标志、搬运、吊装、包装要求。

本文件适用于

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 629 化学试剂 氢氧化钠
- GB/T 1972 蝶形弹簧
- GB/T 2306 化学试剂 氢氧化钾
- GB/T 2829 周期检验计数抽样程序及表
- GB/T 3634 工业氢
- GB/T 3863 工业用氧
- GB/T 3985 石棉橡胶板
- GB/T 5831 水中微量氧的测定 比色法
- GB/T 5832.1 气体湿度的测定 第1部分：电解法
- GB/T 5832.2 气体中微量水分的测定 露点法
- GB/T 6285 气体中微量氧的测定 电化学法
- GB/T 7445 纯氢、高纯氢和超纯氢
- GB/T 8175 设备及管道保温设计导则
- GB/T 8984.1 气体中一氧化碳、二氧化碳和碳氢化合物的测定 第1部分：气体中一氧化碳、二氧化碳和甲烷的测定 气相色谱法
- GB/T 8984.2 气体中一氧化碳、二氧化碳和碳氢化合物的测定 第2部分：气体中一氧化碳、二氧化碳和碳氢化合物总含量的测定 气相色谱法
- GB/T 11352 一般工程用铸造碳钢件
- GB/T 13306 标牌
- GB/T 13384 机电产品包装通用技术条件
- GB/T 14599 高纯氧
- GB/T 37562 压力型水电解制氢系统技术条件
- GB 50058 爆炸和火灾危险环境电力装置设计规范
- GB 50177 氢气站设计规范
- JB 2111 金属覆盖层的结合强度，试验方法
- JB 2112 金属覆盖层孔隙率试验方法湿润纹纸贴置法
- JB 2115 金属覆盖层检验方法 计时流液法

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

电极 electrode

电极通常由阳极和阴极组成，作用是进行电化学反应，生成氢气和氧气。

3.2

电解小室 electrolytic cell

电解小室由正极、负极和隔膜组成。

3.3

密封垫片 gasket seal

电解槽密封和绝缘的主要部件。

3.4

设计压力 design pressure

在指定的温度下，碱性电解槽所允许的最大工作压力。

3.5

隔膜 diaphragm

将水电解槽电解小室分隔为阴极区、阳极区，并使产生的氢气、氧气分隔，防止氢气、氧气互相穿透，但离子可迁移。

4 技术要求

4.1 通用要求

碱性水电解槽通用要求可按照GB/T 37562中有关要求执行。

4.2 命名规则

碱性水电解槽产品命名应由大写的汉语拼音字母和阿拉伯数字组成，编制方法应符合下列规定：

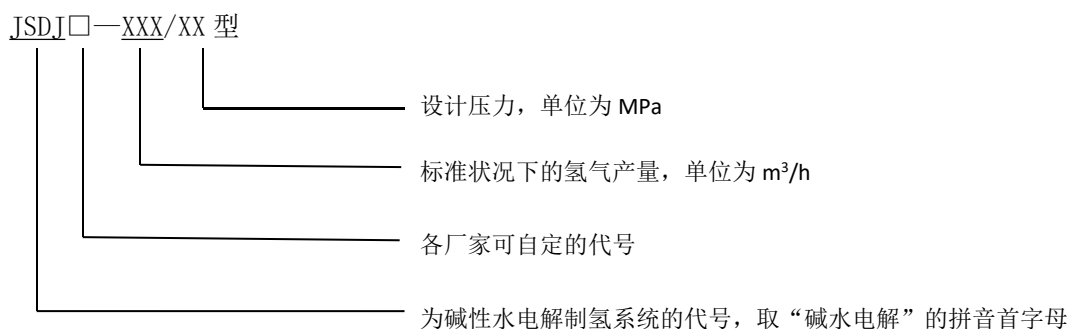


图1 命名示例

4.3 工作条件

4.3.1 碱性水电解槽工作环境应清洁、通风良好，工作环境温度宜为 5℃~45℃。

4.3.2 碱性水电解槽工作温度宜为 80℃±5℃

4.3.3 碱性水电解槽所处的场所属于有爆炸危险环境，其爆炸危险区域等级范围划分应符合 GB 50177、GB 50058 的要求

4.3.4 碱性水电解槽原料水品质应符合表 1 的规定

表 1 碱性水电解制氢系统原料水水质

名称	单位	指标
电导率(25℃)	mS/m	≤1
铁离子含量	mg/L	<1.0
氯离子含量	mg/L	<2.0
悬浮物	mg/L	<1.0

4.3.5 碱性水电解槽采用的氢氧化钾或氢氧化钠应符合GB/T 2306、GB/T 629 的规定。

4.3.6 碱性水电解槽运行中，电解液质量要求应符合表 2 的规定。

表 2 碱性KOH 水电解制氢系统电解液品质要求

名 称	单 位	指 标
浓 度	%	27~32*
CO ² - 含 量	mg/L	≤100
铁离子含量	mg/L	<3
氯离子含量	mg/L	<800

注：此浓度为采用KOH水溶液时。

4.3.7 冷却水的水压宜为 0.15MPa~0.35MPa。循环冷却水的水质应符合表 3 的要求。

表 3 循环冷却水的水质要求

名 称	单 位	指 标
pH(25℃)	——	6.5~8.0
氯离子含量	mg/L	200
硫酸根含量	mg/L	200
钙离子含量	mg/L	<200
铁离子含量	mg/L	1.0
铵离子含量	mg/L	<1.0
溶解硅酸含量	mg/L	<50

4.4 一般要求

4.4.1 碱性水电解槽是水电解制氢系统的主体设备，它的性能参数将决定水电解制氢的技术性能。

4.4.2 碱性水电解槽的性能参数、结构应以降低单位氢气电能消耗、减少制造成本、延长使用寿命为基本要求。应合理选择碱性水电解槽的结构型式、电解小室及其电极、隔膜的结构、涂层和材质。

4.4.3 碱性水电解槽的氢气生产能力、纯度和杂质含量应按制造厂家的企业标准和用户的要求协商确定。

4.4.4 碱性水电解槽电解小室的电极材质、涂层或催化剂等应根据电解槽类型/工作参数等因素确定。

4.4.5 如果使用复极式结构，要求电极有良好的体积导电率。同时隔膜应能够阻断正负极室之间的气体交换，以保证氢气与氧气的纯度。

4.4.6 密封垫片的选择应确保碱性水电解槽在工作状态不渗漏，并能承受槽体开、停车时的工作状态变化，其质量应符合 GB/T 3985 或具体水电解槽槽体设计所选材质的相关标准。

4.4.7 蝶形弹簧的制造要求应符合 GB/T 1972 的规定。

4.4.8 铸件内外表面应光滑，不应有气泡、裂纹及厚度显著不均的缺陷，铸钢件应符合 GB/T 11352 的规定。

4.4.9 主要焊接结构的焊缝不应有气孔、夹渣和裂纹等缺陷。

4.4.10 碱性水电解槽的电镀零部件的质量、检查应符合下列要求。

- 镀件的镀层表面不应鼓泡、起皮、局部无镀层和划伤等严重缺陷。镀层表面质量应进行 100% 检验。
- 镀件的镀层厚度、结合强度及孔隙率的质量和检查应分别符合 JB 2111、JB 2112 和 JB 2115 的规定。
- 镀件的镀层厚度、结合强度及孔隙率的检验抽样和抽样方法按 GB/T 2829 的规定。镀件可以采用相同工艺同时电镀的试件进行试验。

4.4.11 单体设备内或连接部位与电化学反应过程或氢气/氧气直接接触或间接接触的内表面、零部件或密封件所选用的材料应具有下列特性：

- 在所有的工作条件下，具有必要的化学稳定性。
- 在运行中不会发生各种形式的催化反应、电化学反应或其他形式的化学反应引起的寄生性副反应，以避免这些反应形成对氢气/氧气的污染。
- 应符合各项机械性能要求，并在工作条件下保持稳定的力学性能。
- 所选用材料的化学组成、结构形态，不应发生或避免发生氢脆或氢腐蚀。
- 所选用的材料的化学组成、结构形态，在运行中不发生应力腐蚀、裂纹或氧腐蚀。

f) 在盐雾环境的影响下, 设备及部件不产生腐蚀损坏。

5 安装和整体要求

5.1 安装要求

5.1.1 碱性水电解槽的安装、组装应按设备制造厂的设计图纸、技术要求或工程设计图纸进行。

5.1.2 碱性水电解槽的安装、组装及试验, 应符合 GB 50177 的要求。

5.1.3 碱性水电解槽, 一般采用整体安装方式, 即在制造工厂进行槽体组装后, 运至使用现场整体安装。根据水电解槽的规格、尺寸和重量制定吊装、就位方案, 在进行充分准备后就位安装。然后按设计图纸和技术要求进行气密检查。

5.1.4 在船舶上的布置时应符合以下要求:

- a) 碱性水电解槽的布置应使其在船舶发生碰撞或搁浅后受损的概率降至最低。
- b) 碱性水电解槽应尽可能储存在主甲板以上较高的位置, 且尽量远离驾驶室、起居处所和服务处所。
- c) 与碱性水电解槽管道的连接处应具有一定的刚性或采用软连接的方式, 以防止机械损伤。

5.2 绝缘电阻

碱性水电解槽应在安装管路前进行接地电阻检查。对两端分别接入直流电源正负极的碱性水电解槽, 其对地电阻不小于 $1M\Omega$ 。

5.3 安装后的检查

整体安装的碱性水电解槽, 安装后进行各种相关尺寸、连接管线准确性的检查; 电气接地电阻的检查, 碱性水电解槽正负极连接的检查等。

6 运行环境

6.1 碱性水电解槽在海洋环境条件下运行, 应符合下列规定:

- a) 当直接接触或间接接触潮湿气体后, 可能影响碱性水电解槽设备或零部件技术性能或使用功能时, 应采取防护措施或选用防潮材质。
- b) 防护罩或外壳应采用不燃材料; 最小厚度宜为 0.6mm, 一般可采用镀锌钢板等。对面积较大的防护罩, 按强度或刚性要求, 采取加强措施或双层结构, 表面涂敷防腐材料, 能够防盐雾。
- c) 防护罩或外壳需设保温层时, 应按 GB/T 8175 设计, 其保温材料, 应采用不燃材料, 并设置避免材料飞扬、散落的措施。
- d) 防护罩或外壳的内表面必须平整、无氢气积聚空间, 并在顶部最高处设排气口。若有二处或二处以上顶部有最高处时, 则应在每个最高处均设排气口。
- e) 防护罩或外壳内应设有氢气浓度报警装置, 并与排风机或吹扫置换气体关断阀连锁。
- f) 防护罩或外壳内应在方便检查、维修的位置设检查口、维修口, 其数量和尺寸应按检查、维修对象或功能确定。检查口、维修口应设有视窗或盖板。
- g) 防护罩也可以设计成集装箱形式
- h) 防护罩或者集装箱需要在盐雾环境中, 不产生腐蚀损害。

6.1.1 碱性水电解槽安装在船舶、海上浮动设施应满足倾斜和摇摆的试验要求:

- a) 倾斜试验, 碱性水电解槽在前、后、左、右四个方向各倾斜 22.5° 能够正常工作, 每个方向时间不少于 15min。
- b) 摇摆试验, 碱性水电解槽在前后、左右两个水平轴向 $\pm 22.5^\circ$ 摇摆, 周期为 10s, 时间不少于 15min, 能够正常工作。

6.2 碱性水电解槽在海洋环境条件下应满足振动要求。

碱性水电解槽安装在船舶、海上浮动设施应满足振动要求且设备能正常工作, 具体见表4

表 4 振动试验参数

安装位置	频率 (Hz)	振幅 (mm)	加速度 (m/s ²)
一般振动条件	2(+3/0)~13.2	±1.0	-
	13.2~100	-	±6.9 (或0.7g)

7 试验

7.1 试验前的准备

7.1.1 试验前，应检查所有制造厂提供的各种合格证、技术文件、包括全部例行试验记录和证书、图纸资料、压力容器产品安全质量监督检验证书等，这些文件、资料齐全，并逐一进行核对无误后，才能进行试验。

7.1.2 外观检查，整套碱性水电解槽组装完成后进行，主要是检查外观和各种相关尺寸；检查各类液体、气体管路和电气线路的连接准确性等。

7.2 试验方法

7.2.1 7.1.3.1 气密性试验，对碱性水电解槽以洁净空气或氮气进行气密性试验。气密性试验压力为设计压力，试验开始后逐渐升压，达到规定压力后，保持 30 min，检查所有连接处，焊缝、法兰、垫片等处，以无漏气为合格。

7.2.2 7.1.3.2 泄漏量试验。碱性水电解槽在气密性试验合格后，以洁净空气或氮气进行泄漏量试验。试验压力为系统设计压力；试验时间为 24h。泄漏量试验过程应认真记录系统内气体的温度、压力。以平均每小时泄漏率不超过 0.5%/h 为合格。平均每小时泄漏率 A 按式(1)。

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

式中：

A——平均每小时泄漏率，用 (%/h) 表示；

t——试验时间，单位为小时 (h)；

P₁、P₂——试验开始、结束时的绝对压力，单位为兆帕 (MPa)；

T₁、T₂——试验开始、结束时的气体绝对温度，单位为开尔文 (K)。

7.3 检测前的准备

7.3.1 对检测平台水电解制氢系统的氢气管路进行吹扫置换，吹除置换后系统内含氧量 < 0.5%。

7.3.2 检测平台的原料水、电解液、电源和自控系统均应符合设计要求，达到开车所应具备的条件。

7.3.3 检测平台现场的生产环境符合设计要求，各种生产辅助系统均应达到开车所应具备的条件。

7.3.4 开车后，逐渐增加负荷直至氢气/氧气纯度、工作压力、工作温度、氢气产量达到设计工况，并稳定运行后，开始进行检测、记录。

7.3.5 性能参数检测内容有：氢气产量、氢气/氧气纯度、直流电压和电流、单位制氢电耗等。进行上述检测的同时，并记录系统工作压力、工作温度、环境温度、原料水耗量和水质、电解液浓度等。

7.4 性能参数检测

7.4.1 氢气产量的检测

7.4.1.1 氢气产量检测方法有容积法和直流电流测试值计算法。本标准推荐采用直流电流测试值计算法。

7.4.1.2 直流电流测试值计算见附录 A；容积法见附录 B。

7.4.2 氢气/氧气纯度的检测

7.4.2.1 普通氢气纯度和氢中杂质含量采用连续分析仪器检测，见附录 C。纯氢中杂质含量应符合 GB/T 3634、GB/T 7445 的要求；采用 GB/T 5831、GB/T 5832.1、GB/T 5832.2、GB/T 6285、GB/T 8984.1、GB/T 8984.2 的方法进行检测。

7.4.2.2 普通氧气纯度和氧中杂质含量采用连续分析仪器检测，见附录 C。纯氧中杂质含量应符合 GB/T 3863、GB/T 14599 的要求；采用 GB/T 5832.1、GB/T 5832.2 的方法进行检测。

7.4.3 直流电压、电流的检测

7.4.3.1 碱性水电解槽的总直流电流(槽电流)用直流电流表检测。电流表的精度等级不低于 0.5 级。

7.4.3.2 碱性水电解槽的总直流电压(槽电压)用直流电压表检测。检测位置在碱性电解槽的阳极、阴极端板处。电压表的精度等级不低于 0.5 级。

7.4.3.3 每个电解小室电压用万用表或专用电压表检测。仪器精度等级不低于 0.5 级。碱性水电解槽的各个电解小室电压应分布均匀。

7.4.4 单位制氢的电耗

7.4.4.1 碱性水电解槽制氢的直流电耗(W_{n_2})按式(2)计算:

$$W_{H_2} = \frac{IUT}{Q_{H_2} \times 10^3} \quad (1)$$

式中:

W_{n_2} ——单位制氢直流电耗，单位为千瓦时每立方米 ($\text{kW}\cdot\text{h}/\text{m}^3$)；

I ——碱性水电解槽的总直流电流，单位为安培 (A)；

U ——碱性水电解槽的总直流电压，单位为伏特 (V)；

Q_{n_2} ——检测期间氢气产量，单位为立方米每小时 (m^3/h)；

T ——检测时间，单位为小时 (h)。

7.4.4.2 直流电流、直流电压按 7.3.3 的检测方法进行，应取检测期间的平均值计算

7.5 检测要求

7.5.1 在用户现场进行检测的项目、检测要求和合格标准应在供货合同中明确规定，并作为设备验收的依据。

7.5.2 制造厂家应向设备用户提供下列检测记录、资料和报告。

7.5.3 所订购设备在制造工厂的检测试验资料或报告。

7.5.4 订货合同规定的所有检测项目的检测记录、资料和报告。

7.5.5 检测用仪器、仪表和所有相关材料，均应符合有关标准或合同的规定。检测用仪器、仪表均在有效认证时限内。

8 标志

8.1 通用要求

8.1.1 碱性水电解槽的标志制作、安装位置，应符合 GB/T 13306 的规定。

8.1.2 标志的内容应简洁、明确，显示主要性能参数、指标和要求。标志应固定在易于观察的明显位置。

8.2 标志牌

应包括下列内容:

a) 制造厂家名称、地址;

b) 制造日期、编号;

c) 主要技术参数;

1) 氢气产量(m^3/h 或 kg/h);

2) 氧气产量(m^3/h 或 kg/h);

3) 氢气纯度(%)或杂质含量(10^{-});

4) 氧气纯度(%)或杂质含量(10^{-6});

5) 氢气压力(MPa);

6) 氧气压力(MPa);

- 7) 电气输入：电压(V)， 电流(A)， 频率(Hz/ 相)；
- 8) 环境工作温度(°C)；
- 9) 设备外形尺寸(mm)、质量(kg) 等。

9 搬运、吊装

9.1 制造厂家应提供碱性电解槽的安全搬运、吊装说明；必要时以图示说明吊装、搬运方法

9.2 需提供的图纸应包括下列内容：

- a) 碱性水电解槽外形尺寸图
- b) 土建施工的基础条件图
- c) 碱性水电解槽管口表

10 包装

碱性水电解槽的包装应符合GB/T 13384的规定，并按装箱单的编号、项目名称和件数进行装箱。

附 录 A
(规范性)
电流测试值计算气体产量

A.1 原理摘要

依据电解定律：一任何物质在电解过程中，数量上的变化服从法拉第定律。

A.2 水电解制氢时的法拉第定律

在标准状况下，用 2×96500 C 电量，可电解1 mol 水制取1mol 氢和1/2 mol 氧。

1 mol 氢气在标准状况下的体积为 $22.43 \times 10^{-3} \text{ m}^3$ ；

故在标准状况下，制取 1 m^3 氢所需理论电量为式 (A.1)：

$$\frac{2 \times 96500 \times 1000}{3600 \times 22.43} = 3390 \text{ A} \cdot \text{h} / \text{m}^3 \dots\dots\dots (\text{A. 1})$$

A.3 电流测试计算气体产量

电流测试值计算气体产量按式 (A.2) 进行。

$$Q = \frac{In\eta}{2390} \dots\dots\dots (\text{A. 2})$$

式中：

Q——氢气产量，单位为立方米每小时 (m^3/h)；

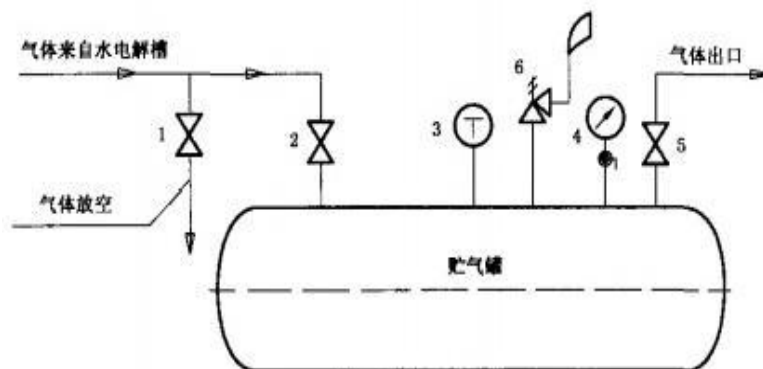
I——通过电解小室的直流工作电流，单位为安培 (A)；

n—— 电解小室数；

η —— 电流效率(设计选定), 单位用(%)表示。

附 录 B
(规范性)
容积法测试气体产量

B.1 容积法测试系统流程如图 B.1 所示。



标引序号说明:

- 1——阀-1;
- 2——阀-2;
- 3——温度计;
- 4——压力表;
- 5——阀-3;
- 6——安全阀。

图 B.1 容积法测试系统流程图

B.2 具体测试方法如下:

- B.2.1 测试前应对贮气罐的结构容积进行实测。
- B.2.2 开阀-1, 关闭阀-2、阀-3, 准确记录贮气罐内气体的起始压力和温度。
- B.2.3 开阀-2, 关闭阀-1、阀-3, 记录起始时间。
- B.2.4 经一定时间充灌气体后, 关闭阀-2, 开阀-1, 记录终止时间、贮气罐内压力和温度。
- B.2.5 气体产量 Q (m^3/h) 按式 (B.1) 计算:

$$Q = \frac{T_0 V}{t p_0} \left(\frac{P_2}{T_2} - \frac{P_1}{T_1} \right) \dots \dots \dots \text{(B.1)}$$

式中:

- Q ——标准状况下气体产量, 单位为立方米每小时 (m^3/h);
- p_0 ——标准状况下气体压力 (0.101325), 单位为兆帕 (MPa);
- p_1 ——起始时贮气罐内气体绝对压力, 单位为兆帕 (MPa);
- p_2 ——终止时贮气罐内气体绝对压力, 单位为兆帕 (MPa);
- T_0 ——标准状况下气体温度, 单位为开尔文 (K);
- T_1 ——起始时贮气罐内气体温度, 单位为开尔文 (K);
- T_2 ——终止时贮气罐内气体温度, 单位为开尔文 (K);
- V ——贮气罐结构容积, 单位为立方米 (m^3);
- t ——测试时间, 单位为小时 (h)。

附 录 C
(规范性)
分析仪器测试气体纯度

C.1 氢气纯度

C.1.1 测试仪器

分析氢气中氧含量的氧分析仪，按GB/T 3634 中对氧气含量采用同手工分析或气相色谱仪比对过的仪表进行分析。

分析仪的量程0~1%O₂，刻度值小于0.01%。

C.1.2 测试方法

将氢气送入分析仪进口接头，分析仪就直接显示出体积氧含量值。

C.1.3 计算方法

氢气纯度按式(C.1)计算(仅对氧含量规定)：

$$C_{n_2} = (1 - C_{xO}) \times 100 \dots\dots\dots (C.1)$$

式中：

C_{n₂}——氢气纯度，用(%)表示；

C_{xo}——仪表显示氧含量值。

C.2 氧气纯度

C.2.1 测试仪器

分析氧气中氢含量的氢分析仪，按GB/T 3863中对氢气含量采用同铜氨溶液吸收法或气相色谱仪比对过的仪表进行分析。

分析仪的量程在0~2%H₂，刻度值小于0.01%。

C.2.2 测试方法

将氧气送入分析仪进口接头，分析仪就直接显示出体积氢含量值。

C.2.3 计算方法

氧气纯度按式(C.2) 计算：

$$C_{O_2} = (1 - C_{xH}) \times 100 \dots\dots\dots (C.2)$$

式中：

C_{O₂}——氧气纯度，用(%)表示；

C_{xH}——仪表显示氢含量值。