

ICS 71.120.10; 75.180.20
G 93

HG

中华人民共和国化工行业标准

HG/T 3981—2019

代替 HG/T 3981—2007

复极式离子膜电解槽

Bipolar membrane cells

2019-12-24 发布

2020-07-01 实施

中华人民共和国工业和信息化部 发布

前 言

本标准按照 GB/T 1.1—2009 给出的规则起草。

本标准代替 HG/T 3981—2007《复极式离子膜电解槽》。与 HG/T 3981—2007 相比，除编辑性修改外主要技术变化如下：

- 增加了术语和定义（见 3）；
- 在“复极式离子膜电解槽规格参数”中增加了复极式离子膜电解槽的一种规格“NBZH-3.5”，删除了“年产烧碱量折合 100% NaOH”和“单元槽数量”的项目（见 4.3 表 1，2007 年版的 3.3 表 1）；
- 在“复极式离子膜电解槽性能指标”中增加了“单位温度补偿”“单位氢氧化钠浓度补偿”，增加了单元槽有效面积为 3.5 m² 的各项性能要求，删除了“烧碱年产量折合 100% NaOH”的要求，修改了“氯气纯度”“常规运行电流密度”、单元槽有效面积为 2.7 m² 的各个型号的“直流电耗”的要求（见 5.2 表 2，2007 年版的 4.1 表 2）；
- 修改了电解直流电耗的试验条件，增加了 NBZH-3.5 型电解直流电耗的试验条件（见 6.1.2.1，2007 年版的 5.1.2.1）；
- 根据不锈钢材料的最新标准修改了不锈钢材料的牌号：将 0Cr25Ni20 修改为 06Cr25Ni20，将 0Cr18Ni9 修改为 06Cr19Ni10，将 00Cr17Ni14Mo2 修改为 022Cr17Ni12Mo2（见 5.3.1，2007 年版的 4.2.1）；
- 删除了阴阳极网折弯后的长度和宽度的尺寸要求（见 2007 年版的 4.3.1）；
- 修改了单元槽阴、阳极的电极高度公差的方式和极限偏差（见 5.4.5，2007 年版的 4.3.6）；
- 修改了单元槽槽框长边和短边的长度公差和极限偏差（见 5.4.6，2007 年版的 4.3.7）；
- 修改了单元槽槽框厚度公差、同一单元槽槽框厚度之差和极限偏差（见 5.4.7，2007 年版的 4.3.8）；
- 将单元槽的气密性试验修改为负压气密性试验，增加了 NBZH-3.5 的负压气密性试验的要求（见 5.4.8，2007 年版的 4.3.9）；
- 修改了单元槽预组装后进行整体检漏试验压力和保压时间的要求（见 5.4.9、6.2.5，2007 年版的 4.3.10、5.2.5）；
- 修改了挤压机的侧杆的起拱高度公差的要求（见 5.5，2007 年版的 4.4）；
- 删除了油压装置系统工作压力，修改了油压装置系统的试验压力的要求（见 5.7.1，2007 年版的 4.6.1）；
- 修改了油压装置系统介质正常工作温度范围（见 5.7.2，2007 年版的 4.6.2）；
- 删除了油缸最大行程的要求（见 2007 年版的 4.6.3）；
- 将“烧碱年产量试验”修改为“氢氧化钠产能试验”（见 6.1.1，2007 年版的 5.1.1）；
- 将“烧碱年产量”修改为“氢氧化钠年产能”（见 6.1.1.5，2007 年版的 5.1.1.5）；
- 将公式（3）中“平均电解直流电耗”中“（烧碱）”修改为“（折合 100% NaOH）”[见 6.1.2.3 公式（3），2007 年版的 5.1.2.3 公式（3）]；
- 修改了油压装置试验的要求（见 6.5.1，2007 年版的 5.5.1）；
- 增加了标志及包装的参照标准要求（见 8.1）。

本标准由中国石油和化学工业联合会提出。

HG/T 3981—2019

本标准由全国化工机械与设备标准化技术委员会（SAC/TC429）归口。

本标准起草单位：蓝星（北京）化工机械有限公司、北京化工机械有限公司、北京蓝星节能投资有限公司。

本标准主要起草人：刘秀明、张丽蕊、宗子超、乔霄峰、陆崖青、程琨、许东全、董志茹、李博、杨晓丹、葛丹丹。

本标准所代替标准的历次版本发布情况为：

——HG/T 3981—2007。

复极式离子膜电解槽

1 范围

本标准规定了复极式离子膜电解槽的术语和定义、产品分类、型号标志、规格参数、要求、试验方法、检验规则、标志、包装、运输和贮存。

本标准适用于氯碱工业用复极式离子膜电解槽。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本文件。凡是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 包装储运图示标志
GB/T 1220 不锈钢棒
GB/T 2965 钛及钛合金棒材
GB/T 3280 不锈钢冷轧钢板和钢带
GB/T 3620.1 钛及钛合金牌号和化学成分
GB/T 3621 钛及钛合金板材
GB/T 3623 钛及钛合金丝
GB/T 5231 加工铜及铜合金牌号和化学成分
GB/T 5235 加工镍及镍合金 化学成分和产品形状
GB/T 9460 铜及铜合金焊丝
GB 11118.1 液压油（L-HL、L-HM、L-HV、L-HS、L-HG）
GB/T 11199 高纯氢氧化钠
GB/T 13306 标牌
GB/T 15620 镍及镍合金焊丝
GB/T 15622 液压缸试验方法
GB/T 19142 出口商品包装 通则
HG/T 20592 钢制管法兰（PN 系列）
NB/T 47013.5—2015 承压设备无损检测 第5部分：渗透检测
YB/T 5092 焊接用不锈钢丝

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

强制循环 forced circulation

电解槽不具有内部循环结构且阳极液出口淡盐水回流循环至入口参与电解所占比例大于20%。

3.2

自然循环 **natural circulation**

电解槽具有内部循环结构且阳极液出口淡盐水回流循环至入口参与电解所占比例不大于 20%。

3.3

低电流密度 **low current density**

电解槽运行电流密度不大于 4 千安培每平方米 (kA/m²)。

3.4

高电流密度 **high current density**

电解槽运行电流密度大于 4 千安培每平方米 (kA/m²)。

3.5

极距 **electrode gap**

除离子膜的厚度外，电解时阴极电极与阳极电极之间的距离。

3.6

零极距 **zero gap**

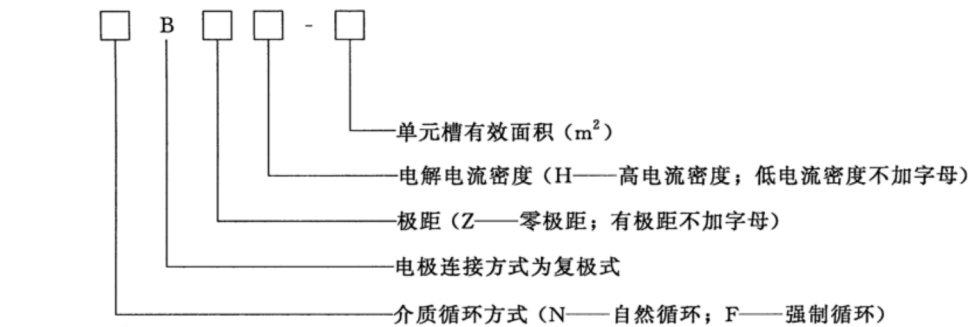
除离子膜的厚度外，电解时阴极电极与阳极电极之间的距离为零。

4 产品分类、型号标志和规格参数

4.1 产品分类

复极式离子膜电解槽根据介质循环方式、极距大小和电解电流密度的高低分为强制循环低电流密度电解槽、自然循环高电流密度电解槽和自然循环零极距高电流密度电解槽 3 种类型。

4.2 型号标志



示例:

自然循环、复极式、零极距、高电流密度、单元槽有效面积为 2.7 m² 的离子膜电解槽，其型号为：
NBZH-2.7

4.3 规格参数

复极式离子膜电解槽规格参数见表 1。

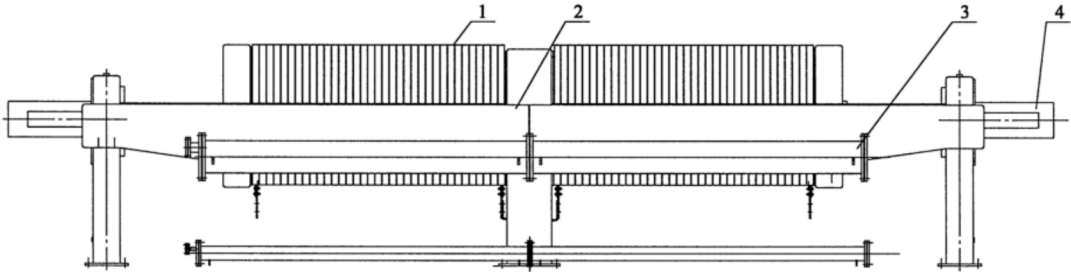
表 1 复极式离子膜电解槽规格参数

型 号	运行电流密度/(kA/m ²)	单元槽有效面积/m ²
FB-2.7	≤4	2.7
NBH-2.7	>4~5	2.7
NBZH-2.7	>5	2.7
NBZH-3.5	>5	3.5

5 要求

5.1 复极式离子膜电解槽示意图

复极式离子膜电解槽示意图见图 1。



说明：
1——单元槽；
2——挤压机；
3——总管；
4——油压装置。

图 1 复极式离子膜电解槽示意图

5.2 性能指标

复极式离子膜电解槽性能指标应符合表 2 的规定。

表 2 复极式离子膜电解槽性能指标

型 号	氢氧化钠 浓度 (质量分数) %	常规运行 电流密度 kA/m ²	氢气纯度 (体积分数) %	氯气纯度 (体积分数) %	氯中含氧 (体积分数) %	单位温度 补偿 kW·h/t	单位 氢氧化钠 浓度补偿 kW·h/t	直流电耗 (折合 100% NaOH 90℃折算值) kA·h/t
FB-2.7	32±0.5	≤4.0	≥99.9	≥98.0	≤0.8	12	16	≤2 160
NBH-2.7								≤2 080
NBZH-2.7 NBZH-3.5		≤5.0						≤2 020
NBZH-2.7 NBZH-3.5		≤6.0						≤2 070
NBZH-2.7 NBZH-3.5		大于 6.0 且≤7.0						≤2 120
注：采用不同厂家的离子膜时，其直流电耗值会有一定差别。								

5.3 材料

5.3.1 制造复极式离子膜电解槽所用的钛材、镍材、不锈钢材及铜材，应符合下列规定：

- 所用工业纯钛 TA1 或 TA2 的化学成分和力学性能应符合 GB/T 3620.1、GB/T 2965、GB/T 3621 的规定；
- 所用纯镍 N6 的化学成分应符合 GB/T 5235 的规定；
- 所用奥氏体型钢 06Cr25Ni20、06Cr19Ni10、022Cr17Ni12Mo2 的化学成分和力学性能应符合 GB/T 3280、GB/T 1220 的规定；
- 所用加工铜牌号 T2 的化学成分应符合 GB/T 5231 的规定；
- 已经证明同样适用的原材料。

5.3.2 制造复极式离子膜电解槽所用焊接材料，应符合下列规定：

- 所用钛焊丝 TA1 或 TA2 应符合 GB/T 3623 的规定；
- 所用镍焊丝应符合 GB/T 15620 的规定；
- 所用不锈钢材焊丝 H0Cr21Ni10 应符合 YB/T 5092 的规定；
- 所用铜焊丝 HSCu 应符合 GB/T 9460 的规定；
- 已经证明同样适用的焊接材料。

5.4 单元槽

5.4.1 阴、阳极网与筋板点焊后不应有焊疤；阴、阳极网面上不应有刺伤离子膜的毛刺、断丝等缺陷。网面应平整，其平面度公差应不大于 1.0 mm。

5.4.2 阴、阳极网涂层后，表面不应有划伤及涂层剥离基体的现象。

5.4.3 钛材、镍材的焊接接头均应呈现银白色或金黄色，局部允许蓝色。所有焊接接头焊接后，表面不应有裂纹、气孔、弧坑和夹渣等缺陷，并不应有熔渣及飞溅。

5.4.4 有涂漆要求的零部件，应按图样规定选择油漆种类，且涂刷厚度应均匀，无起皮、褶皱、脱

落现象，漆膜应平整、光亮。

5.4.5 单元槽阴、阳极的电极高度公差应不大于 1.0 mm，极限偏差为 ±0.5 mm；允许不超过测量点总数 5% 的单元槽的阴、阳电极高度公差应不大于 1.5 mm。

5.4.6 单元槽槽框长边和短边的长度公差应不大于 1.0 mm，极限偏差为 ±0.5 mm；允许不超过测量点总数 5% 的槽框长边和短边的长度公差应不大于 2.0 mm。对角线差应不大于 2.0 mm。

5.4.7 单元槽槽框厚度公差应不大于 1.0 mm，极限偏差为 ±0.5 mm，但同一单元槽槽框厚度之差应不大于 0.5 mm。

5.4.8 单元槽应进行负压气密性试验，不应出现渗漏。

5.4.9 单元槽预组装后，应在开车前进行整体检漏试验，介质为水，保压 1 h 后不应出现渗漏。

5.5 挤压机

挤压机各部件加工合格后，应进行预组装。两侧杆的直线度公差应不大于 1.0 mm，两侧杆的跨度公差应不大于 1.5 mm，侧杆的起拱高度公差应不大于 1.0 mm，固定端头的垂直度公差应不大于 0.5 mm，侧杆与两端头组装后的对角线之差应不大于 0.5 mm。

5.6 总管

5.6.1 总管上任意连接管中心距公差应不大于 1.5 mm，高度公差应不大于 1.0 mm，垂直度公差应不大于 1.5 mm。

5.6.2 总管加工完成后应进行耐压试验和气密性试验，均不应有渗漏。

5.6.3 阴极液和阳极液入口总管和出口总管的活套法兰应符合 HG/T 20592 的要求。

5.7 油压装置

5.7.1 油压装置系统应进行耐压试验且不应有渗漏。

5.7.2 系统介质正常工作温度范围：15℃～55℃。

6 试验方法

6.1 性能试验

6.1.1 氢氧化钠产能试验

6.1.1.1 氢氧化钠日产量应按公式 (1) 计算。

$$M = \frac{Vcp}{t} \times 24 \times 10^{-3} \quad \dots\dots\dots (1)$$

式中：

M——氢氧化钠 (100% NaOH) 日产量的数值，单位为吨每天 (t/d)；

V——性能保证考核期间电解槽产生的阴极液总量的数值，单位为立方米 (m³) (阴极液总量的计算应符合 6.1.1.2 的规定)；

c——性能保证考核期间电解槽产生的阴极液氢氧化钠浓度 (质量分数) (其计算应符合 6.1.1.3 的规定)；

ρ ——性能保证考核期间电解槽产生的阴极液的平均密度的数值，单位为千克每立方米 (kg/m^3) (其计算应符合 6.1.1.4 的规定)；

t ——性能保证考核期间的时间的数值，单位为小时 (h) (一般 $t=72$)。

6.1.1.2 阴极液总量由设置在成品碱液管道上经校正并由供需双方认可的积累式流量计测定，由性能保证考核开始时和结束时流量计指示的数值之差求出阴极液总量。

6.1.1.3 每 2 h 从氢氧化钠产出液取样品，采用中和滴定法分析氢氧化钠浓度，取其算术平均值。

6.1.1.4 阴极液的平均密度值根据其浓度和温度记录仪指示的温度，在附录 A 的表 A.1 中查出。

6.1.1.5 氢氧化钠年产能应按公式 (2) 计算，每年运转时间按 8 000 h 计算。

$$N = \frac{M \times 8\,000}{24} \dots\dots\dots (2)$$

式中：

N ——氢氧化钠 (100% NaOH) 年产能的数值，单位为吨 (t)。

6.1.2 电解直流电耗试验

6.1.2.1 电解直流电耗的试验应分别在下列条件下进行：

- a) 型号 FB-2.7：电流密度小于 $4\text{ kA}/\text{m}^2$ ，氢氧化钠温度为 $90\text{ }^\circ\text{C}$ ，氢氧化钠质量分数为 32%；
- b) 型号 NBH-2.7、NBZH-2.7、NBZH-3.5：电流密度不大于 $5\text{ kA}/\text{m}^2$ ，氢氧化钠温度为 $90\text{ }^\circ\text{C}$ ，氢氧化钠质量分数为 32%；
- c) 型号 NBZH-2.7、NBZH-3.5：电流密度不大于 $6\text{ kA}/\text{m}^2$ ，氢氧化钠温度为 $90\text{ }^\circ\text{C}$ ，氢氧化钠质量分数为 32%；
- d) 型号 NBZH-2.7、NBZH-3.5：电流密度大于 $6\text{ kA}/\text{m}^2$ 且不大于 $7\text{ kA}/\text{m}^2$ ，氢氧化钠温度为 $90\text{ }^\circ\text{C}$ ，氢氧化钠质量分数为 32%。

6.1.2.2 当在阴极液出口温度低于 $90\text{ }^\circ\text{C}$ 情况下进行考核时，温度每下降 $1\text{ }^\circ\text{C}$ ，平均电解直流电耗值相应升高 $12\text{ kW} \cdot \text{h}/\text{t}$ ；当在阴极液氢氧化钠质量分数不等于 32% 的情况下进行考核时，氢氧化钠质量分数每升高 1% 或降低 1%，平均电解直流电耗值相应升高 $16\text{ kW} \cdot \text{h}/\text{t}$ 或降低 $16\text{ kW} \cdot \text{h}/\text{t}$ 。

6.1.2.3 每吨氢氧化钠的电解直流电耗按公式 (3) 计算，每天运转时间按 24 h 计算。

$$\Phi = \frac{\Theta}{M} \cdot \frac{24}{t} \dots\dots\dots (3)$$

式中：

Φ ——平均电解直流电耗的数值，单位为千瓦小时每吨 (折合 100% NaOH) ($\text{kW} \cdot \text{h}/\text{t}$)；

Θ ——性能保证考核期间电解直流电耗的数值，单位为千瓦小时 ($\text{kW} \cdot \text{h}$)。

6.1.2.4 在性能保证考核期间 (一般为 72 h)，每 2 h 测定一次供给电解槽的电流和电解槽两端之间的电压差值，电解直流电耗 Θ 按公式 (4) 计算。

$$\Theta = \sum_{i=1}^{n_1} \sum_{j=1}^{n_2} (E_{ij} I_{ij}) \times 2 \dots\dots\dots (4)$$

式中：

n_1 ——电解槽台数；

n_2 ——测量次数；

E ——电解槽两端之间的电压差值的数值，单位为伏特 (V)；

I ——单元槽的电流的数值，单位为千安 (kA)。

6.1.3 氢氧化钠浓度试验

氢氧化钠浓度试验应按 GB/T 11199 的规定进行。

6.1.4 常规运行电流密度试验

常规运行电流密度试验在变压整流器上直接调节，用准确度等级为 1.5 级～2.5 级的电流表测定。

6.1.5 氢气纯度、氯气纯度、氯中含氧试验

氢气纯度、氯气纯度、氯中含氧试验用气相色谱仪测试。

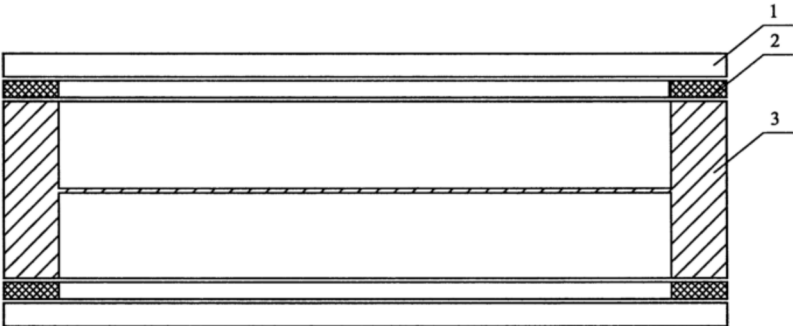
6.2 单元槽试验

6.2.1 阴、阳极网涂层后的划伤、涂层剥离等外观缺陷可用目测方法检查。

6.2.2 钛材、镍材的焊接接头颜色可用目测方法进行检查。所有焊接接头的裂纹、气孔、弧坑、夹渣等缺陷应用目测和渗透检测方法检查。渗透检测应符合 NB/T 47013.5—2015 中 I 级的规定。

6.2.3 对零部件的涂漆质量用目测方法进行检查。

6.2.4 单元槽气密性试验采用负压气密性试验（见图 2）。试验压力：FB-2.7 型为 -0.05 MPa，NBH-2.7 型、NBZH-2.7 型、NBZH-3.5 型为 -0.04 MPa；介质为空气和水；保压时间为 10 min。应无渗漏现象。试验应用两个量程相同的真空表，其量程在试验压力的 2 倍左右为宜，真空表的准确度等级为 1.6 级。



说明：
1——可视板；
2——密封垫；
3——单元槽。

图 2 负压气密性试验示意图

6.2.5 单元槽预组装后整体检测时，试验压力为 0.05 MPa，试验介质为水，保压时间为 1 h。应无渗漏现象。试验应用两个量程相同的压力表，其量程在试验压力的 2 倍左右为宜，压力表的准确度等级为 1.6 级。

6.3 挤压机试验

挤压机预组装后，用专用量具及 $\phi 0.5\text{ mm}$ 钢丝、千分表检查侧杆直线度，用卷尺检查侧杆跨度及对角线，用线坠及 200 mm 钢板尺检查固定端头垂直度，用水平仪检查侧杆的起拱高度。

6.4 总管试验

总管加工完成后进行耐压试验。耐压试验压力均为 0.30 MPa，介质为水。水压试验时，压力应缓慢上升，达到规定压力后保压时间应不少于 30 min。应无渗漏现象。

总管耐压试验合格后再进行气密性试验。气密性试验压力均为 0.20 MPa，介质为空气。FB-2.7 型总管的保压时间应不少于 30 min；NBH-2.7 型、NBZH-2.7 型、NBZH-3.5 型总管的保压时间应不少于 10 min。应无渗漏现象。

6.5 油压装置试验

6.5.1 油压装置的耐压试验介质应为 GB 11118.1 中 L-HM46（普通）抗磨液压油，试验应符合 GB/T 15622 的规定。

6.5.2 油压装置正常工作 72 h 后，用水银温度计测量系统介质温度。

7 检验规则

7.1 出厂检验

出厂检验的项目、抽样及判定规则见表 3。

7.2 型式检验

7.2.1 新设计产品定型时需进行型式检验，性能检验在用户生产现场进行。

7.2.2 型式检验的项目、抽样及判定规则见表 3。

表 3 检验项目、抽样及判定规则

序号	检验项目	抽 样	判定规则	出厂检验	型式检验	备 注
1	单元槽有效面积	全数检验	符合 4.3	√	√	
2	阴、阳极网与筋板点焊外观及平面度	全数检验	符合 5.4.1	√	√	
3	阴、阳极网涂层外观	全数检验	符合 5.4.2	√	√	
4	焊接接头外观质量	全数检验	符合 5.4.3	√	√	
5	零部件涂漆质量	全数检验	符合 5.4.4	√	√	
6	单元槽尺寸、电极高度	全数检验	符合 5.4.5、 5.4.6、 5.4.7	√	√	
7	单元槽负压气密性试验	全数检验	符合 5.4.8	√	√	
8	单元槽预组装后整体检测	全数检验	符合 5.4.9	√	√	在用户现场检测
9	挤压机预组装	全数检验	符合 5.5		√	
10	总管上各个连接管中心距公差、高度公差、垂直度公差	全数检验	符合 5.6.1	√	√	
11	总管耐压试验和气密性试验	全数检验	符合 5.6.2	√	√	
12	总管活套法兰	全数检验	符合 5.6.3	√	√	
13	油压装置系统耐压试验	逐台检验	符合 5.7.1	√	√	
14	油压装置系统介质工作温度	逐台检验	符合 5.7.2		√	在用户现场检测
15	氢氧化钠年产能	逐台检验	符合 6.1.1		√	在用户现场检测
16	电解直流电耗	逐台检验	符合 5.2		√	在用户现场检测
17	氢氧化钠浓度	逐台检验	符合 5.2		√	在用户现场检测
18	氢气纯度	逐台检验	符合 5.2		√	在用户现场检测
19	氯气纯度	逐台检验	符合 5.2		√	在用户现场检测
20	氯中含氧	逐台检验	符合 5.2		√	在用户现场检测

8 标志、包装、运输和贮存

8.1 标志

8.1.1 产品标志

产品标志采用铭牌，并固定在挤压机上。

铭牌应用耐腐蚀材料制作，符合 GB/T 13306 的相关规定，注明下列内容：

- a) 制造厂名称；
- b) 产品名称及型号；
- c) 商标；
- d) 产品编号和出厂日期；
- e) 产品基本参数；

- 外形尺寸 (mm);
- 单元槽有效面积 (m^2);
- 运行电流 (kA)。

f) 重量。

8.1.2 包装标志

8.1.2.1 包装标志可使用木制标牌,或直接在包装箱外立面中心位置喷印下列内容:

- a) 发货站及制造厂商名称;
- b) 包装箱外形尺寸及毛重;
- c) 产品名称、型号及产品编号;
- d) 收货站及收货单位名称。

8.1.2.2 在包装箱上应标注重心、由此吊起、怕雨和向上标志图形,并符合 GB/T 191 的规定,出口产品包装还应符合 GB/T 19142 的相关规定。

8.2 包装

8.2.1 包装前对所有进、出口法兰应进行保护。

8.2.2 每台电解槽的单元槽、总管、挤压机、油压装置应分开,单独包装。

8.2.3 装箱清单应先装入防水袋内,再装入包装箱内。

8.2.4 交付产品时应向用户提供产品合格证、质量证明书、使用说明书、安装图等技术文件。

8.2.5 包装箱为铁皮箱。设备用防水塑料袋封包,并固定在底座上,包装应具有防潮、防晒和防震功能。

8.3 运输

复极式离子膜电解槽运输时,应有防止震动或碰撞造成产品或包装箱损坏的措施。

8.4 贮存

复极式离子膜电解槽的贮存方式为单放;贮存条件为存放在清洁、干燥、通风的库房内;室外存放时应有相应的防护措施。胶垫单独存放时环境温度应不低于 $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

电解槽贮存期间,需对电极进行防护,确保环境干燥、清洁,避免存放在高温、潮湿或有酸性气体的环境中。

附 录 A
(规范性附录)

氢氧化钠温度-浓度-密度数据表

阴极液平均密度值应根据表 A.1 采用内差法查出。

表 A.1 氢氧化钠温度-浓度-密度数据表

单位为克每立方厘米

浓度/%	0 ℃	10 ℃	15 ℃	18 ℃	20 ℃	30 ℃	40 ℃
1	1.012 4	1.011 5	1.010 7	1.010 00	1.009 5	1.006 9	1.003 3
2	1.024 4	1.023 0	1.021 98	1.021 27	1.020 7	1.017 7	1.013 9
3	1.036 4	1.034 5	1.033 22	1.032 41	1.031 8	1.028 5	1.024 6
4	1.048 2	1.045 5	1.044 41	1.043 49	1.042 8	1.039 3	1.035 2
5	1.059 8	1.057 1	1.055 54	1.054 54	1.053 8	1.050 1	1.045 8
6	1.071 3	1.068 3	1.066 66	1.065 59	1.064 8	1.060 9	1.256 4
7	1.082 8	1.079 5	1.077 77	1.076 64	1.075 8	1.071 7	1.067 2
8	1.094 3	1.090 8	1.088 87	1.087 69	1.086 9	1.082 6	1.078 0
9	1.105 7	1.102 0	1.099 97	1.098 72	1.097 9	1.093 4	1.088 7
10	1.117 1	1.113 2	1.111 07	1.109 77	1.108 9	1.104 3	1.099 5
12	1.139 9	1.135 5	1.133 27	1.131 88	1.130 9	1.126 1	1.121 0
14	1.162 4	1.157 8	1.155 45	1.154 00	1.153 0	1.148 0	1.142 8
16	1.184 9	1.180 1	1.177 61	1.176 10	1.175 1	1.169 9	1.164 5
18	1.207 3	1.202 3	1.199 73	1.198 17	1.197 2	1.191 8	1.196 3
20	1.229 6	1.224 4	1.221 83	1.220 22	1.219 1	1.213 6	1.207 9
22	1.251 9	1.246 5	1.243 86	1.242 20	1.241 1	1.235 4	1.229 6
24	1.274 1	1.268 6	1.265 82	1.264 12	1.262 9	1.257 1	1.251 2
26	1.296 3	1.290 6	1.287 7	1.286 00	1.284 8	1.278 9	1.272 8
28	1.318 2	1.312 4	1.309 4	1.307 60	1.306 4	1.300 2	1.294 3
30	1.340 0	1.331 0	1.330 9	1.329 00	1.327 9	1.321 7	1.315 4
32	1.361 4	1.355 2	1.352 0	1.350 20	1.349 0	1.342 7	1.336 2
34	1.382 3	1.376 0	1.372 8	1.370 80	1.369 6	1.363 2	1.356 6
36	1.403 0	1.396 5	1.393 3	1.391 30	1.390 0	1.383 5	1.376 8
38	1.423 4	1.416 8	1.413 5	1.411 50	1.410 1	1.403 5	1.396 7
40	1.443 5	1.436 7	1.433 4	1.431 40	1.430 0	1.423 2	1.416 4
42	1.463 2	1.456 1	1.452 9	1.450 80	1.449 4	1.442 5	1.435 6
44	1.482 5	1.475 5	1.472 0	1.469 90	1.468 5	1.461 5	1.454 5
46	1.501 8	1.494 7	1.491 1	1.489 00	1.487 3	1.480 5	1.473 4
48	1.521 0	1.513 8	1.510 2	1.508 00	1.506 5	1.499 4	1.492 2
50	1.540 0	1.532 6	1.529 0	1.526 80	1.525 3	1.518 1	1.510 9

表 A.1 (续)

单位为克每立方厘米

浓度/%	50 ℃	60 ℃	70 ℃	80 ℃	90 ℃	100 ℃
1	0.999 0	0.994 1	0.988 4	0.982 4	0.976 0	0.969 3
2	1.009 5	1.004 5	0.998 9	0.992 9	0.986 5	0.979 7
3	1.020 1	1.015 0	1.009 4	1.003 5	0.997 0	0.990 3
4	1.030 5	1.025 4	1.019 8	1.013 9	1.007 5	1.000 9
5	1.041 2	1.035 9	1.030 2	1.024 3	1.017 9	1.011 5
6	1.051 7	1.046 3	1.040 7	1.034 7	1.028 4	1.022 0
7	1.062 3	1.056 9	1.051 3	1.045 3	1.039 0	1.032 6
8	1.073 0	1.067 6	1.061 9	1.056 0	1.049 7	1.043 2
9	1.083 6	1.078 2	1.072 5	1.066 5	1.060 2	1.053 7
10	1.094 3	1.088 9	1.083 1	1.077 1	1.070 8	1.064 3
12	1.115 7	1.110 1	1.104 3	1.098 3	1.092 0	1.085 5
14	1.137 3	1.131 6	1.125 7	1.119 5	1.113 2	1.106 6
16	1.158 8	1.153 1	1.147 1	1.140 8	1.134 3	1.127 7
18	1.180 5	1.174 6	1.168 5	1.162 1	1.155 6	1.148 9
20	1.202 0	1.196 0	1.189 8	1.183 3	1.176 8	1.170 0
22	1.223 6	1.217 4	1.211 1	1.204 6	1.198 0	1.191 2
24	1.245 1	1.238 8	1.232 4	1.225 9	1.219 2	1.212 4
26	1.266 6	1.260 3	1.253 7	1.247 2	1.240 5	1.233 6
28	1.287 8	1.281 4	1.275 0	1.268 2	1.261 5	1.254 6
30	1.309 0	1.302 5	1.295 9	1.289 2	1.282 4	1.275 5
32	1.329 8	1.323 2	1.316 5	1.309 7	1.302 9	1.296 0
34	1.350 1	1.343 4	1.336 7	1.329 9	1.323 0	1.316 1
36	1.370 2	1.363 4	1.356 7	1.349 8	1.342 9	1.336 0
38	1.390 0	1.383 2	1.376 3	1.369 5	1.362 6	1.355 6
40	1.409 5	1.402 7	1.395 8	1.388 9	1.382 0	1.375 0
42	1.428 7	1.421 7	1.414 8	1.404 9	1.400 9	1.394 0
44	1.447 5	1.440 5	1.433 5	1.426 6	1.419 6	1.412 7
46	1.466 3	1.459 3	1.452 3	1.445 4	1.438 4	1.431 5
48	1.485 1	1.478 1	1.471 1	1.464 1	1.457 2	1.450 3
50	1.503 8	1.496 7	1.489 7	1.482 7	1.475 9	1.469 0