ICS 47.020.05
CCS A 29

中华人民共和国国家标准

GB/T 4948—2025
代替 GB/T 4948—2002

铝合金牺牲阳极

Sacrificial anode of aluminum alloy

2025-04-25 发布　　2025-08-01 实施

国家市场监督管理总局
国家标准化管理委员会　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　符号 …… 2
5　分类、型号及规格 …… 2
6　要求 …… 15
7　试验方法 …… 17
8　检验规则 …… 18
9　标志、包装、运输和贮存 …… 20
附录 A（规范性）　牺牲阳极电化学性能长周期试验方法 …… 21

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。

本文件代替GB/T 4948—2002《铝-锌-铟系合金牺牲阳极》，与GB/T 4948—2002相比，除结构调整和编辑性改动外，主要技术变化如下：

a) 更改了铝阳极的适用范围（见第1章，2002年版的第1章）；
b) 增加了“符号”一章（见第4章）；
c) 更改了铝阳极的分类方法（见5.1，2002年版的4.1）；
d) 更改了铝阳极的型号表示方法（见5.2，2002年版的4.2）；
e) 增加了液舱用螺栓连接式铝阳极结构型式和参数（见表7和图6）；
f) 增加了管道用镯式铝阳极结构型式和参数（见表14和图12）；
g) 更改了铝阳极的原材料成分要求（见6.1，2002年版的5.1）；
h) 更改了三种铝阳极的化学成分及电化学性能要求（见6.2和6.3，2002年版的5.2和5.3）；
i) 增加了铝阳极的表面冷隔要求（见6.4.4）；
j) 更改了铝阳极铁脚的表面处理要求（见6.5.2，2002年版的5.5.2）；
k) 更改了铝阳极的尺寸偏差要求（见6.7.2，2002年版的5.7.2）；
l) 增加了铝阳极的内部缺陷要求及试验方法（见6.8和7.7）；
m) 更改了铝阳极检验的样品数量和要求（见8.2.3和8.3.4，2002年版的7.2.3和7.2.4）；
n) 删除了牺牲阳极体-铁脚间接触电阻测定方法（见2002年版的附录A）。

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。

本文件由全国海洋船标准化技术委员会（SAC/TC 12）提出并归口。

本文件起草单位：洛阳船舶材料研究所（中国船舶集团有限公司第七二五研究所）。

本文件主要起草人：马力、孙明先、张海兵、赵永韬、李威力、邢少华、张一晗、王洪仁、蔺存国、许立坤、郑国华、刘钊慧、刘广义、闫永贵、曲本文。

本文件于1985年首次发布，2002年第一次修订，本次为第二次修订。

铝合金牺牲阳极

1 范围

本文件规定了铝合金牺牲阳极(以下简称“铝阳极”)的分类、型号及规格、要求、试验方法、检验规则以及标志、包装、运输和贮存。

本文件适用于海水、淡海水(电阻率不超过 500 Ω·cm)、海泥、海底砂石、油气田产出水等腐蚀介质中的船舶、港工与海洋工程设施、海水冷却水系统、储罐和管道等工业领域阴极保护用铝阳极的设计、生产和检验等,其他钢结构阴极保护用铝阳极的设计、生产和检验参照使用。

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 470—2008 锌锭

GB/T 700 碳素结构钢

GB/T 712 船舶及海洋工程用结构钢

GB/T 728—2020 锡锭

GB/T 1196—2023 重熔用铝锭

GB 1499.1 钢筋混凝土用钢 第 1 部分:热轧光圆钢筋

GB 1499.2 钢筋混凝土用钢 第 2 部分:热轧带肋钢筋

GB/T 3499—2023 原生镁锭

GB/T 4949 铝-锌-铟系合金牺牲阳极化学分析方法

GB/T 4950—2021 锌合金牺牲阳极

GB/T 7999 铝及铝合金光电直读发射光谱分析方法

GB/T 8923.1—2011 涂覆涂料前钢材表面处理 表面清洁度的目视评定 第 1 部分:未涂覆过的钢材表面和全面清除原有涂层后的钢材表面的锈蚀等级和处理等级

GB/T 17395 钢管尺寸、外形、重量及允许偏差

GB/T 17848 牺牲阳极电化学性能试验方法

GB/T 27677—2017 铝中间合金

YS/T 257—2009 铟锭

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

实际电容量 practical current capacity

实际测得消耗单位质量的牺牲阳极所产生的电量。

3.2

电流效率　current efficiency

牺牲阳极实际电容量与理论电容量的比值。

注：理论电容量是根据法拉第定律计算消耗单位质量的牺牲阳极所产生的电量。

3.3

开路电位　open circuit potential

牺牲阳极在电流密度为 0 时的电极电位。

3.4

工作电位　closed circuit potential

在牺牲阳极与被保护结构之间存在保护电流时的阳极电位。

4　符号

表 1 列出的符号和说明适用于本文件。

表 1　符号和说明

符号	说明	单位	符号	说明	单位
b	阳极体宽度	mm	f_0	圆盘状铝阳极铁脚螺纹孔直径	mm
b_0	铁脚宽度	mm	f_1	圆盘状铝阳极铁脚露出部分直径	mm
b_1	阳极体上底面宽度	mm	g	铁脚在阳极体中的高度	mm
b_2	阳极体下底面宽度	mm	g_1	镯式铝阳极的阳极体间隙	mm
b_3	镯式铝阳极铁脚焊接宽度	mm	g_2	镯式铝阳极的铁脚间距	mm
d	铁脚外径	mm	h	阳极体厚度	mm
d_0	圆盘状铝阳极铁脚外径	mm	h_0	铁脚厚度	mm
d_1	圆盘状铝阳极外径	mm	h_1	阳极体下底面距离安装面高度	mm
d_2	镯式铝阳极内径	mm	l	阳极体长度	mm
d_3	钢管铁脚内径	mm	l_0	铁脚长度	mm
e	镯式铝阳极铁脚焊接长度	mm	l_1	螺栓连接式铝阳极铁脚螺纹孔位置	mm
e_0	镯式铝阳极铁脚凸出长度	mm	l_2	镯式铝阳极铁脚长度	mm
e_1	螺栓连接式铝阳极铁脚螺纹孔长度	mm	n	镯式铝阳极铁脚数量	—
f	圆盘状铝阳极中间开孔直径	mm	r	螺栓连接式铝阳极铁脚螺纹孔半径	mm

5　分类、型号及规格

5.1　分类

5.1.1　铝阳极按化学成分可分为铝-锌-铟阳极（1 型）、铝-锌-铟-硅阳极（2 型）、铝-锌-铟-镁-钛阳极（3 型）、铝-锌-铟-锡-硅-钛阳极（4 型）和低铁含量的铝-锌-铟-硅阳极（5 型）。

5.1.2　铝阳极按用途可分为船体用铝阳极、液舱用铝阳极、港工和海洋工程设施用铝阳极、海水冷却水系统用铝阳极、储罐用铝阳极和管道用铝阳极。

5.1.3 铝阳极按结构型式可分为单铁脚焊接式铝阳极、双铁脚焊接式铝阳极、螺栓连接式铝阳极、圆盘状铝阳极和镯式铝阳极。

5.2 型号表示方法

5.2.1 铝阳极的型号表示方法如下。

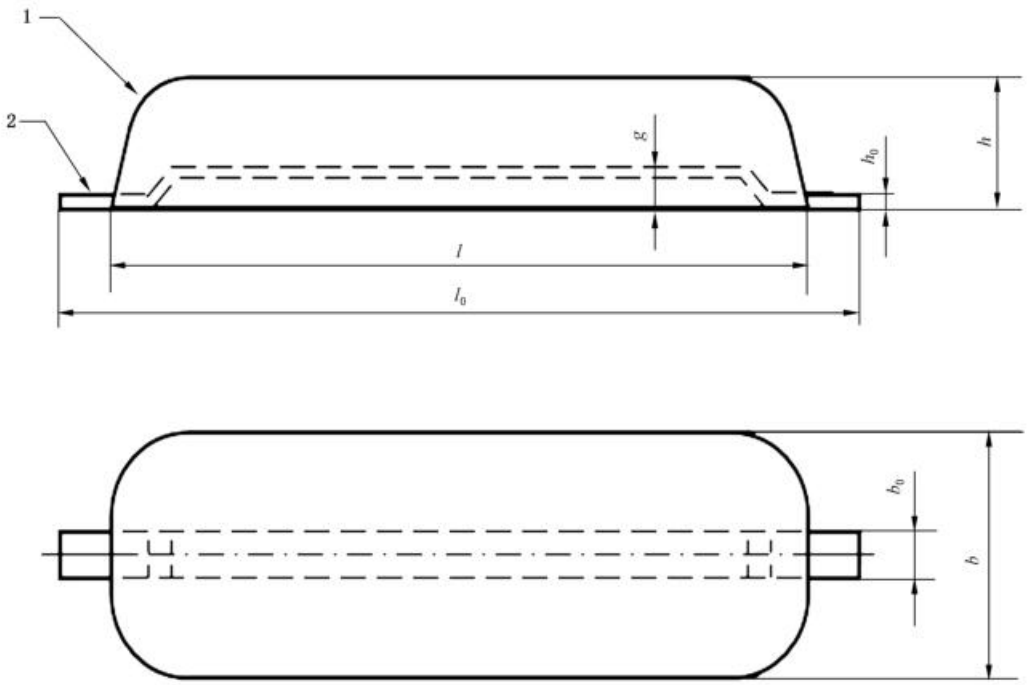


5.2.2 产品标记由名称和型号组成。

示例：化学成分为铝-锌-铟阳极，用于船体保护，结构型式为单铁脚焊接式，规格代号为 1 的铝阳极，其标记为：铝阳极 A1HD-1。

5.3 规格、参数和结构型式

5.3.1 船体用铝阳极的结构型式见图 1、图 2 和图 3，型号和参数宜采用表 2、表 3 和表 4。



标引序号说明：

1——阳极体；

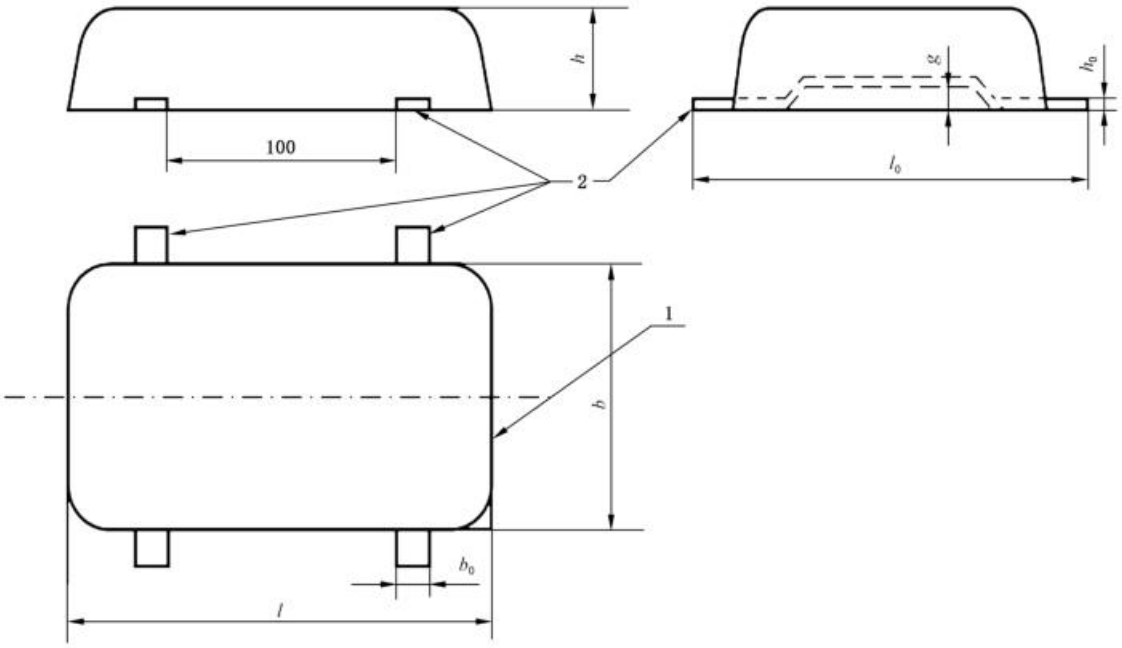
2——扁钢铁脚。

图 1　船体用单铁脚焊接式铝阳极结构示意图

表 2　船体用单铁脚焊接式铝阳极

型号	阳极体规格 mm	铁脚尺寸 mm				净重 kg	毛重 kg
	$l \times b \times h$	l_0	b_0	h_0	g		
AxHD-1	800×140×60	900	45	4～6	8～10	15.4	17.0
AxHD-2	800×140×50	900	45	4～6	6～8	13.4	15.0
AxHD-3	800×140×40	900	45	4～6	5～6	10.5	12.0
AxHD-4	600×120×50	700	40	4～6	6～8	9.0	10.0
AxHD-5	400×120×50	460	35	4～6	6～8	5.8	6.5
AxHD-6	500×100×40	580	40	4～6	5～6	4.6	5.5
AxHD-7	400×100×40	460	30	3～4	5～6	4.1	4.5
AxHD-8	300×100×40	360	30	3～4	5～6	3.2	3.5
AxHD-9	250×100×40	310	30	3～4	5～6	2.2	2.5
AxHD-10	180×70×35	230	25	3～4	5～6	1.0	1.2
注：型号中的 x 为 1、2、3、4 和 5。							

单位为毫米



标引序号说明：

1——阳极体；

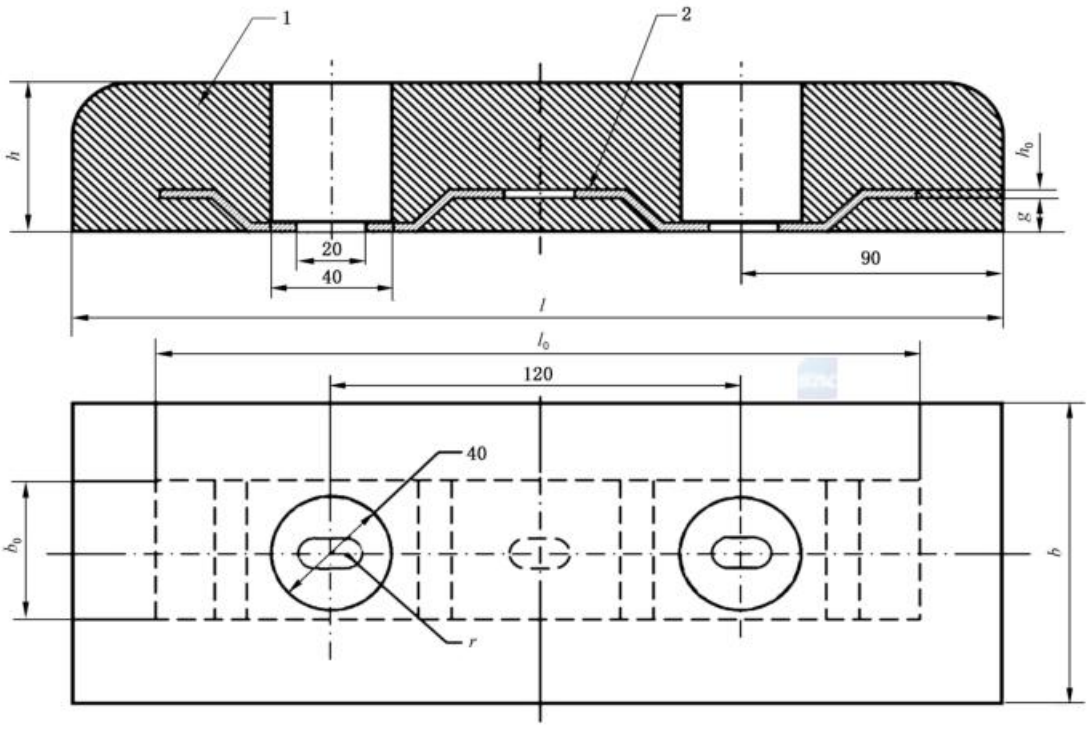
2——扁钢铁脚。

图 2　船体用双铁脚焊接式铝阳极结构示意图

表 3　船体用双铁脚焊接式铝阳极

型号	阳极体规格 mm	铁脚尺寸 mm				净重 kg	毛重 kg
	$l \times b \times h$	l_0	b_0	h_0	g		
AxHS-1	300×150×50	360	30	4～5	5～6	5.8	6.5
AxHS-2	300×150×40	360	30	4～5	5～6	4.5	5.2
注：型号中的 x 为 1、2、3、4 和 5。							

单位为毫米



标引序号说明：

1——阳极体；

2——扁钢铁脚。

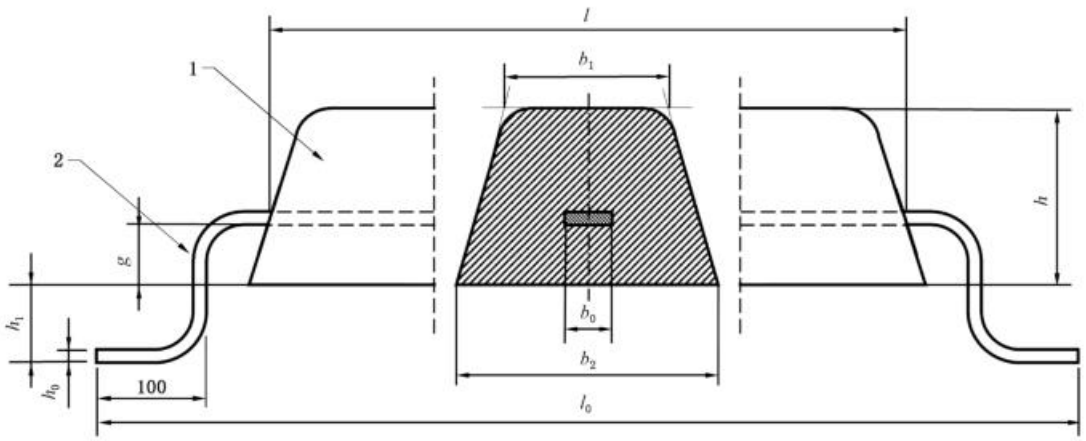
图 3　船体用螺栓连接式铝阳极结构示意图

表 4　船体用螺栓连接式铝阳极

型号	阳极体规格 mm	铁脚尺寸 mm					净重 kg	毛重 kg
	$l\times b\times h$	l_0	b_0	h_0	g	r		
AxHL-1	300×150×70	250	50	3～4	8～10	6	7.5	7.9
AxHL-2	300×150×60	250	50	3～4	8～10	6	6.5	6.9
AxHL-3	300×150×50	250	50	3～4	8～10	6	5.4	5.8
AxHL-4	300×150×40	250	50	3～4	8～10	6	4.4	4.8
注：型号中的 x 为 1、2、3、4 和 5。								

5.3.2　液舱用铝阳极的结构型式见图 4、图 5 和图 6，型号和参数宜采用表 5、表 6 和表 7。

单位为毫米



标引序号说明：

1——阳极体；

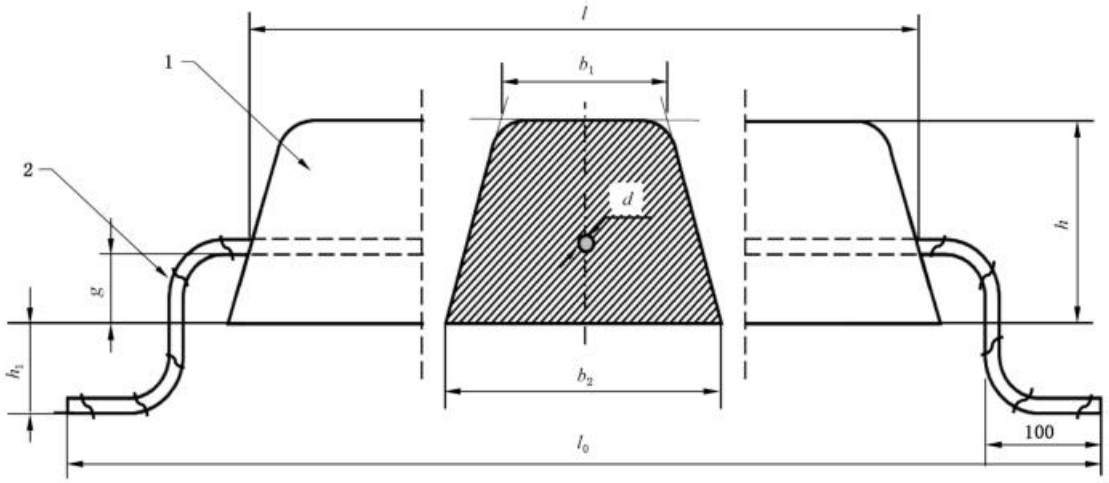
2——扁钢铁脚。

图 4　液舱用单铁脚焊接式铝阳极结构示意图(扁钢铁脚)

表 5　液舱用单铁脚焊接式铝阳极(扁钢铁脚)

型号	阳极体规格 mm	铁脚尺寸 mm					净重 kg	毛重 kg
	$l\times(b_1+b_2)\times h$	l_0	b_0	h_0	g	h_1		
AxTD-1	500×(115+135)×130	800	50	6	60	60	20.5	23
AxTD-2	500×(110+130)×120	800	50	6	50	60	18.0	20.0
AxTD-3	250×(85+100)×85	310	25	4	6～8	0	4.8	5.0
AxTD-4	200×(70+90)×70	260	25	4	6～8	0	2.8	3.0
注：型号中的 x 为 1、2、3、4 和 5。								

单位为毫米



标引序号说明：

1——阳极体；

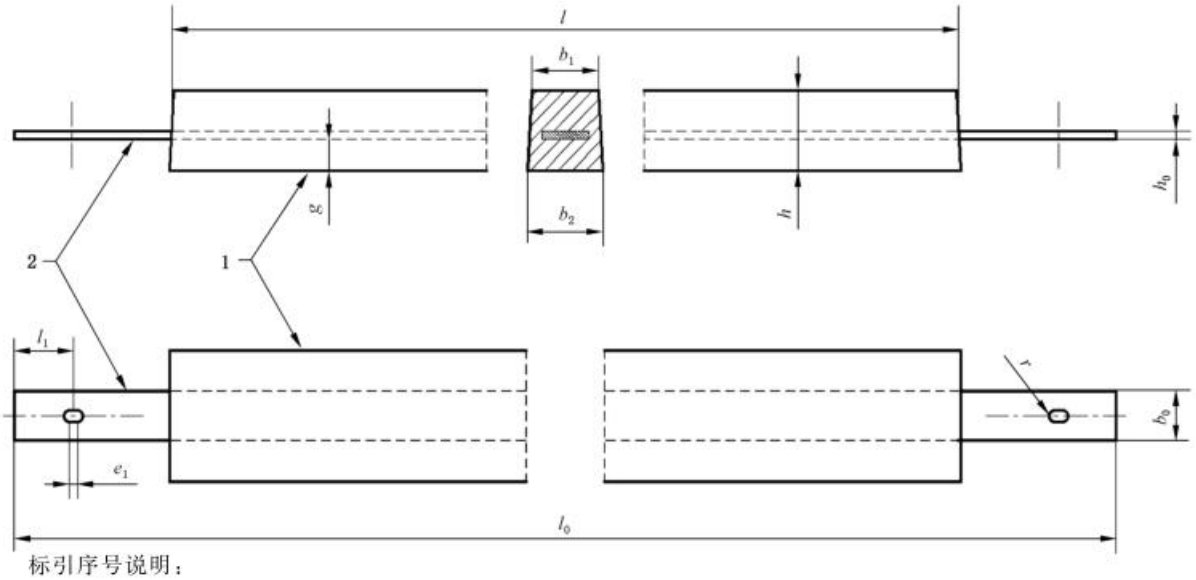
2——螺纹钢铁脚。

图 5　液舱用单铁脚焊接式铝阳极结构示意图(螺纹钢铁脚)

表 6　液舱用单铁脚焊接式铝阳极(螺纹钢铁脚)

型号	阳极体规格 mm	铁脚尺寸 mm				净重 kg	毛重 kg
	$l\times(b_1+b_2)\times h$	l_0	d	g	h_1		
AxTD-5	1500×(65+75)×70	1800	12	25	60	19.8	21.5
AxTD-6	1000×(58.5+78.5)×68	1300	12	25	60	12.0	13.2
AxTD-7	800×(56+74)×65	1100	12	25	60	9.0	10.0
AxTD-8	1150×(48+54)×51	1450	12	18	60	7.6	9.0
注：型号中的 x 为 1、2、3、4 和 5。							

单位为毫米



标引序号说明：

1——阳极体；

2——扁钢铁脚。

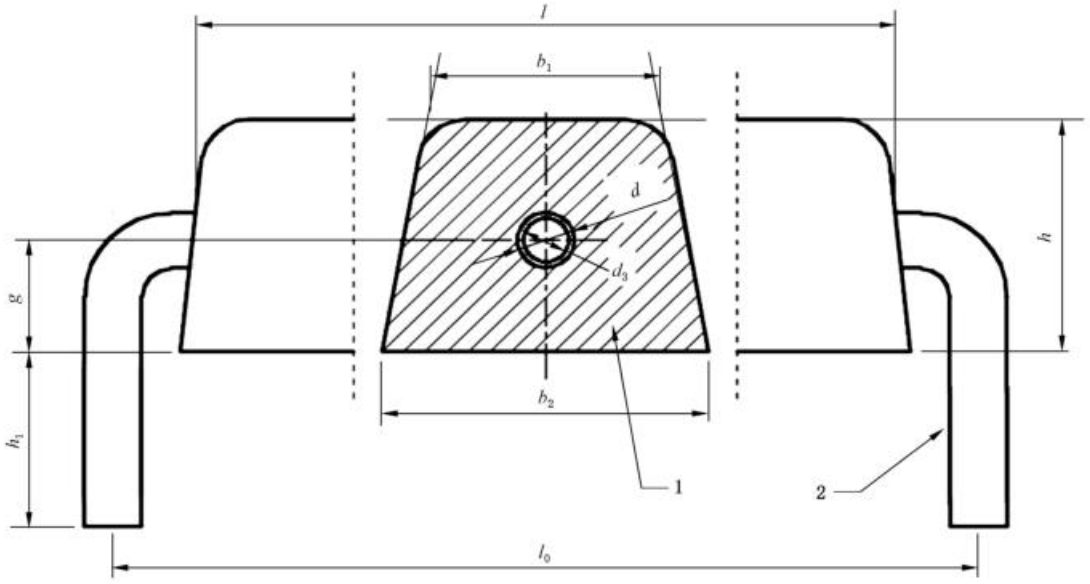
图 6　液舱用螺栓连接式铝阳极结构示意图

表 7　液舱用螺栓连接式铝阳极

型号	阳极体规格 mm	铁脚尺寸 mm							净重 kg	毛重 kg
	$l\times(b_1+b_2)\times h$	l_0	b_0	h_0	l_1	r	e_1	g		
AxTL-1	500×(115+135)×130	800	50	6	60	6	10	45	20.5	22.5
AxTL-2	500×(105+135)×100	800	50	6	60	6	10	35	15.2	16.5
AxTL-3	500×(80+100)×80	800	40	5	60	5	10	30	9.4	10.5
AxTL-4	250×(85+100)×85	450	40	5	40	5	10	30	4.8	5.6
注：型号中的 x 为 1、2、3、4 和 5。										

5.3.3　港工和海洋工程设施用铝阳极的结构型式见图 7、图 8 和图 9，型号和参数宜采用表 8、表 9 和表 10。

单位为毫米



标引序号说明：

1——阳极体；

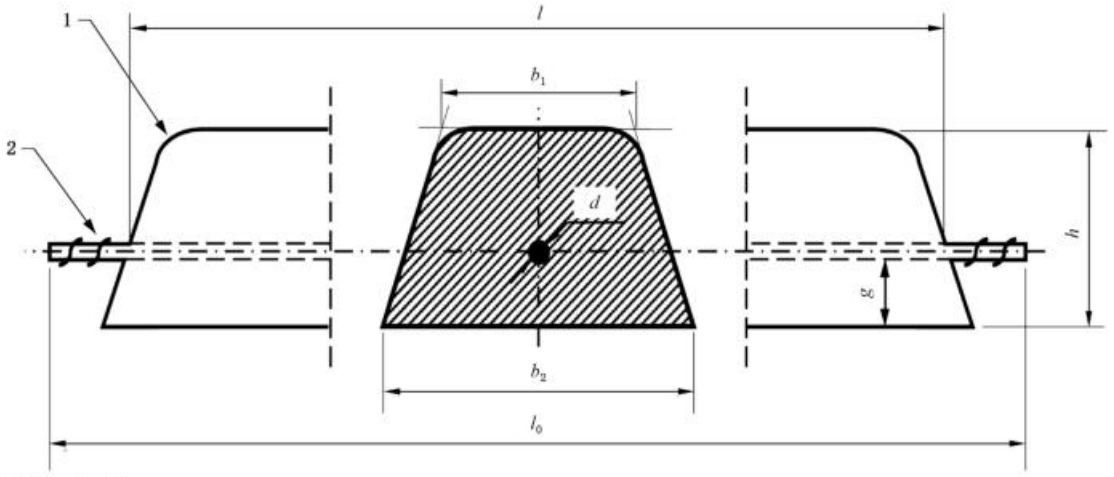
2——钢管铁脚。

图 7　港工和海洋工程设施用单铁脚焊接式铝阳极结构示意图(钢管铁脚)

表 8　港工和海洋工程设施用单铁脚焊接式铝阳极(钢管铁脚)

型号	阳极体规格 mm	铁脚尺寸 mm					净重 kg	毛重 kg
	$l\times(b_1+b_2)\times h$	l_0	d	d_3	g	h_1		
AxID-1	2 300×(220+240)×230	2 500	60	48	115	300	311.0	336.5
AxID-2	1 600×(200+210)×220	1 800	60	48	110	300	182.6	202.5
AxID-3	1 500×(170+200)×180	1 700	50	38	90	300	127.0	142.2
AxID-4	900×(150+170)×160	1 100	40	28	80	300	59.1	67.2
注：型号中的 x 为 1、2、3、4 和 5。								

单位为毫米



标引序号说明：

1——阳极体；

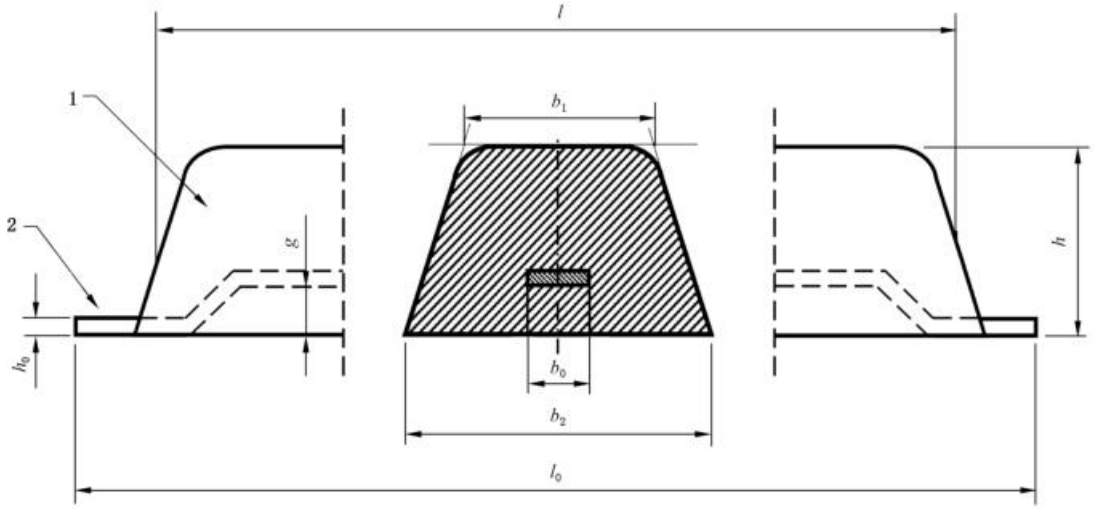
2——螺纹钢铁脚。

图 8　港工和海洋工程设施用单铁脚焊接式铝阳极结构示意图(螺纹钢铁脚)

表 9　港工和海洋工程设施用单铁脚焊接式铝阳极(螺纹钢铁脚)

型号	阳极体规格 mm	铁脚尺寸 mm			净重 kg	毛重 kg
	$l\times(b_1+b_2)\times h$	l_0	d	g		
AxID-5	1 500×(148+178)×170	1 800	25	65	114.0	121.0
AxID-6	850×(180+220)×180	1 100	25	75	80.0	84.5
AxID-7	800×(200+280)×150	1 050	25	55	76.0	80.0
AxID-8	700×(160+220)×180	950	22	75	68.5	72.0
AxID-9	1 250×(115+135)×130	15 00	18	50	52.0	55.0
AxID-10	1 000×(115+135)×130	1 250	18	50	42.6	45.0
AxID-11	750×(115+135)×130	1 000	16	50	33.0	35.0
AxID-12	500×(115+135)×130	750	16	50	22.0	23.0
注：型号中的 x 为 1、2、3、4 和 5。						

单位为毫米



标引序号说明：

1——阳极体；

2——扁钢铁脚。

图 9　港工和海洋工程设施、海水冷却水系统用单铁脚焊接式铝阳极结构示意图(扁钢铁脚)

表 10　港工和海洋工程设施用单铁脚焊接式铝阳极(扁钢铁脚)

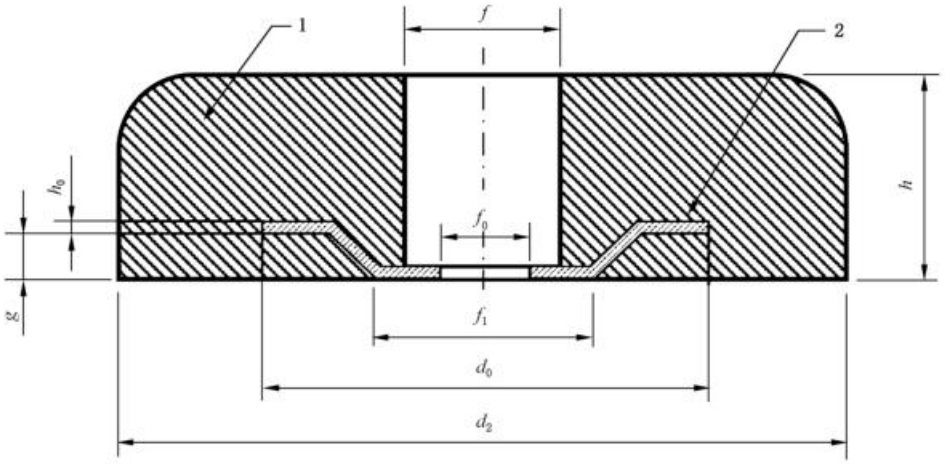
型号	阳极体规格 mm	铁脚尺寸 mm				净重 kg	毛重 kg
	$l\times(b_1+b_2)\times h$	l_0	b_0	h_0	g		
AxID-13	1 500×(148+178)×170	1 800	50	8	55	114.0	120.0
AxID-14	850×(180+220)×180	1 100	60	8	60	80.0	84.0
AxID-15	800×(200+280)×150	1 050	60	8	50	76.0	80.0
AxID-16	700×(160+220)×180	950	60	8	60	68.5	72.0
AxID-17	1 250×(115+135)×130	1 500	40	8	35	52.0	56.0
AxID-18	1 000×(115+135)×130	1 250	40	8	35	42.6	46.0
AxID-19	750×(115+135)×130	1 000	40	6	35	33.0	35.0
AxID-20	500×(115+135)×130	750	40	4	35	22.0	23.0
注：型号中的 x 为 1、2、3、4 和 5。							

5.3.4　海水冷却水系统用铝阳极的结构型式见图 9 和图 10，型号和参数宜采用表 11 和表 12。

表 11　海水冷却水系统用单铁脚焊接式铝阳极(扁钢铁脚)

型号	阳极体规格 mm	铁脚尺寸 mm				净重 kg	毛重 kg
	$l\times(b_1+b_2)\times h$	l_0	b_0	h_0	g		
AxED-1	1 200×(200+280)×150	1 400	70	10	8～10	112.0	120.0
AxED-2	800×(200+280)×150	1 000	60	8	8～10	76.2	80.0
AxED-3	1 000×(115+135)×130	1 200	50	6	8～10	43.2	46.0
AxED-4	500×(115+135)×130	620	50	6	8～10	21.5	23.0
AxED-5	1 000×(80+100)×80	1200	30	6	6～8	19.0	20.0
AxED-6	500×(105+135)×100	620	40	6	8～10	15.2	16.0
AxED-7	500×(80+100)×80	620	30	4	6～8	9.4	10.0
AxED-8	400×(110+120)×50	500	35	4	5～6	6.4	7.0
AxED-9	300×(140+160)×40	360	60	4	5～6	4.5	5.0
AxED-10	200×(90+110)×40	250	30	3	5～6	2.8	3.0
注：型号中的 x 为 1、2、3、4 和 5。							

单位为毫米



标引序号说明：

1——阳极体；

2——扁钢铁脚。

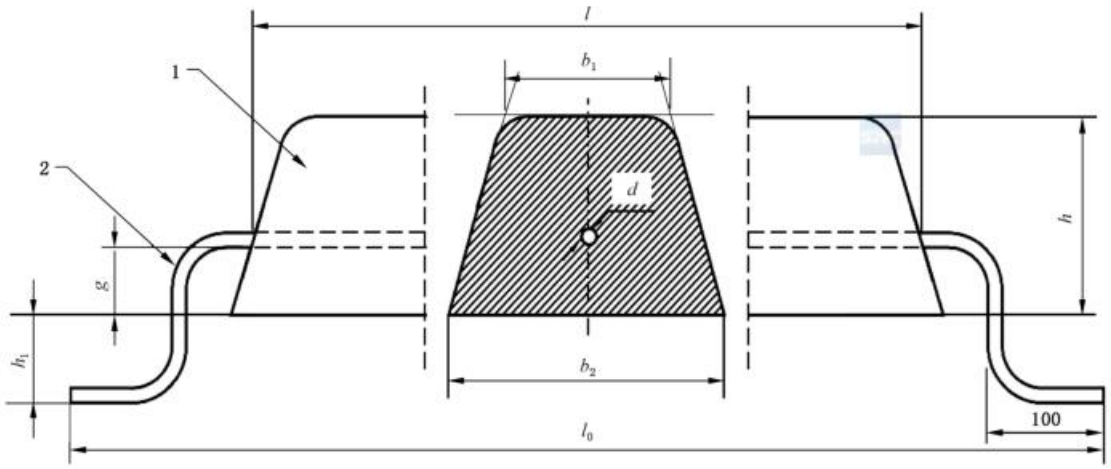
图 10　海水冷却水系统用圆盘状铝阳极结构示意图

表 12　海水冷却水系统用圆盘状铝阳极

型号	阳极体规格 mm		铁脚尺寸 mm					净重 kg	毛重 kg
	$d_1\times h$	f	d_0	f_0	f_1	g	h_0		
AxEY-1	300×60	40	80	12	50	6～8	4	11.3	11.5
AxEY-2	360×40	50	100	14	70	5～6	4	8.8	9.0
AxEY-3	300×40	40	80	12	50	5～6	4	7.3	7.5
AxEY-4	200×50	35	75	10	45	5～6	4	3.8	4.0
AxEY-5	180×50	35	75	10	45	5～6	4	3.3	3.5
AxEY-6	120×100	30	75	10	45	8～10	4	2.3	2.5
注：型号中的 x 为 1、2、3、4 和 5。									

5.3.5　储罐用铝阳极的结构型式见图 11，型号和参数宜采用表 13 所示。

单位为毫米



标引序号说明：

1——阳极体；

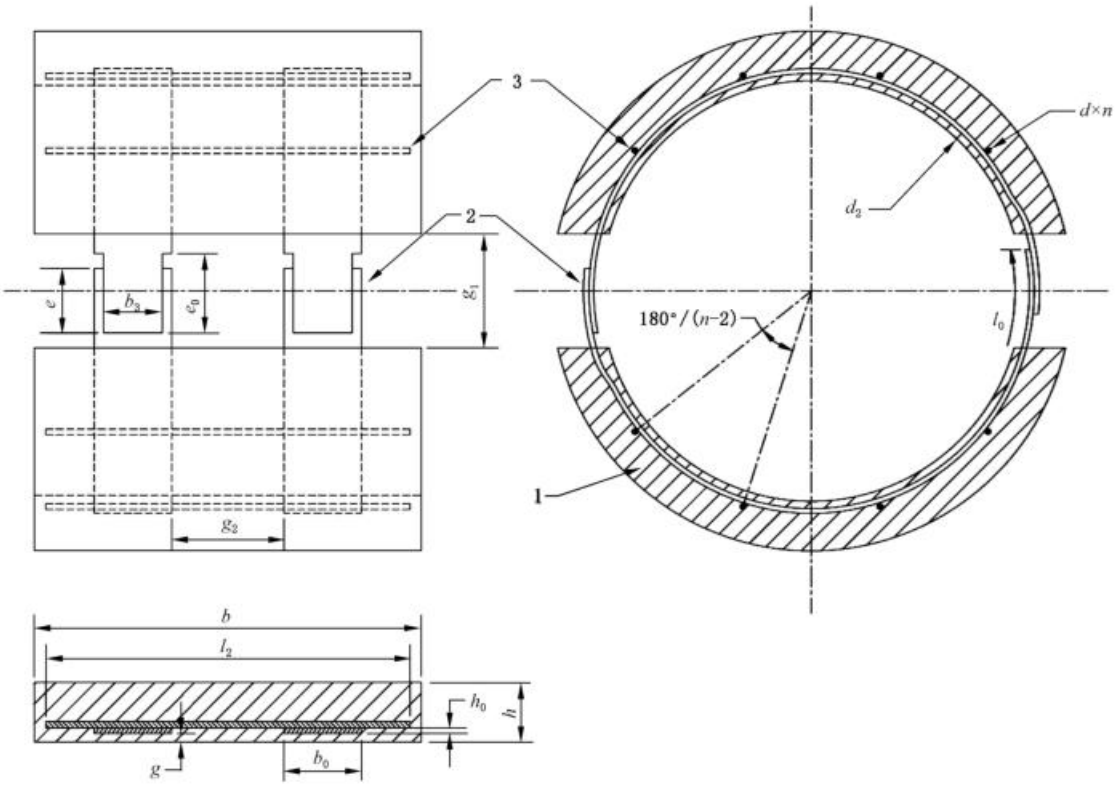
2——圆钢铁脚。

图 11　储罐用单铁脚焊接式铝阳极结构示意图

表 13　储罐用单铁脚焊接式铝阳极

型号	阳极体规格 mm	铁脚尺寸 mm				净重 kg	毛重 kg
	$l\times(b_1+b_2)\times h$	l_0	d	g	h_1		
AxCD-1	750×(115+135)×130	1 050	16	50	60	32.0	34.0
AxCD-2	500×(115+135)×130	800	16	50	60	21.5	23.0
AxCD-3	500×(105+135)×100	800	16	40	60	15.6	17.2
AxCD-4	300×(105+135)×100	600	10	40	60	9.5	10.0
注：型号中的 x 为 1、2、3、4 和 5。							

5.3.6 管道用铝阳极的结构型式见图 12，型号和参数宜采用表 14 所示。



标引序号说明：

1——阳极体；

2——扁钢铁脚；

3——圆钢铁脚。

图 12 管道用镯式铝阳极结构示意图

表 14 管道用镯式铝阳极

型号	阳极体规格 mm	铁脚尺寸 mm											净重 kg	毛重 kg
	$d_2\times b\times h\times g_1$	l_0	b_0	h_0	g	g_2	b_3	e	e_0	r	l_1	n		
AxPZ-1	1 034×516×115×120	1 760	100	6	10	120	70	80	90	9	416	12	527.3	562.8
AxPZ-2	1 034×520×65×120	1 760	80	6	10	160	50	80	90	9	420	12	283.0	311.9
AxPZ-3	1 034×516×45×120	1 760	50	6	10	270	35	80	90	6	470	12	191.0	209.0
AxPZ-4	569×500×76×80	980	60	5	10	280	50	50	60	6	450	8	190.5	200.5
AxPZ-5	569×500×57×80	980	60	5	10	280	50	50	60	6	450	8	137.5	147.5
AxPZ-6	569×500×38×80	980	60	5	10	280	50	50	60	6	450	8	87.6	97.5
AxPZ-7	518×500×38×80	905	60	5	10	280	50	50	60	6	450	8	79.5	88.8
AxPZ-8	467×450×38×80	820	60	5	10	230	50	50	60	6	400	8	64.1	72.5
AxPZ-9	416×400×38×80	745	60	5	10	180	50	50	60	6	350	8	50.3	57.9

表 14　管道用镯式铝阳极（续）

型号	阳极体规格 mm	铁脚尺寸 mm											净重 kg	毛重 kg
	$d_2\times b\times h\times g_1$	l_0	b_0	h_0	g	g_2	b_3	e	e_0	r	l_1	n		
AxPZ-10	374×480×34×80	675	60	5	10	260	50	50	60	6	430	8	47.9	55.0
AxPZ-11	342×450×34×80	625	60	5	10	230	50	50	60	6	350	8	40.8	47.3
AxPZ-12	290×400×35×80	522	50	5	6	200	35	40	50	9	360	6	31.4	36.5
注：型号中的 x 为 1、2、3、4 和 5。														

6　要求

6.1　原材料

6.1.1　阳极体

6.1.1.1　原材料铝纯度应不低于 GB/T 1196—2023 中 5.1 牌号为 Al99.70 的规定。

6.1.1.2　原材料锌纯度应不低于 GB/T 470—2008 中 3.2 牌号为 Zn99.99 的规定。

6.1.1.3　原材料铟纯度应不低于 YS/T 257—2009 中 3.2.1 牌号为 In9999 的规定。

6.1.1.4　原材料镁纯度应不低于 GB/T 3499—2023 中 5.1 牌号为 Mg99.95A 的规定，或应采用 GB/T 27677—2017 中 4.2 牌号为 AlMg50、AlMg60 和 AlMg68 的铝镁合金。

6.1.1.5　原材料锡纯度应不低于 GB/T 728—2020 中 3.2 牌号为 Sn99.95 的规定。

6.1.1.6　原材料硅应采用 GB/T 27677—2017 中 4.2 牌号为 AlSi12、AlSi20 或 AlSi25 的铝硅合金。

6.1.1.7　原材料钛应采用 GB/T 27677—2017 中 4.2 牌号为 AlTi4、AlTi5、AlTi6A 或 AlTi6 的铝钛合金。

6.1.2　铁脚

6.1.2.1　钢管铁脚应采用无缝钢管加工，钢管材质宜与铝阳极安装对象相同，或采用 GB/T 700、GB/T 712 规定的钢材，钢管规格按 GB/T 17395 的规定。

6.1.2.2　扁钢铁脚应采用钢板或钢带加工，材质与铝阳极安装对象相同，或采用 GB/T 700、GB/T 712 规定的钢材。

6.1.2.3　圆钢铁脚应采用钢筋加工，钢筋材质、尺寸及外形按照 GB1499.1 的规定。

6.1.2.4　螺纹钢铁脚应采用带肋钢筋加工，钢筋材质、尺寸及外形按照 GB1499.2 的规定。

6.1.3　螺栓

螺栓连接式铝阳极的安装螺栓应选用不锈钢材质，或选用与铝阳极铁脚、铝阳极安装对象相同的材质。

6.2　化学成分

铝阳极的阳极体化学成分应符合表 15 的规定。

表 15　化学成分

种类	化学成分，质量分数/%									
	Zn	In	Mg	Ti	Cd	Sn	Si	Cu	Fe	Al
1 型	2.50～5.75	0.015～0.040	—	—	≤0.002	—	≤0.12	≤0.003	≤0.09	余量
2 型	5.5～7.0	0.025～0.035	—	—	—	—	0.10～0.15	≤0.01	≤0.15	余量
3 型	4.0～7.0	0.020～0.050	0.50～1.50	0.01～0.08	—	—	≤0.10	≤0.01	≤0.15	余量
4 型	4.0～6.0	0.015～0.030	—	0.005～0.030	—	0.005～0.020	0.05～0.40	≤0.003	≤0.07	余量
5 型	4.75～5.75	0.016～0.020	—	—	≤0.002	—	0.08～0.12	≤0.003	≤0.06	余量

6.3　电化学性能

6.3.1　铝阳极典型介质环境中的电化学性能应符合表 16 的规定。

表 16　电化学性能

种类	介质[a]	开路电位[b] V	工作电位[b] V	实际电容量 A·h/kg	电流效率	消耗率 kg/(A·a)	溶解性能
1 型、3 型、5 型	海水	−1.18～−1.10	−1.12～−1.05	≥2 500	≥85%	≤3.50	表面溶解均匀，腐蚀产物容易脱落
2 型	海水	−1.18～−1.10	−1.12～−1.05	≥2 400	≥80%	≤3.65	
4 型	海水	−1.18～−1.10	−1.12～−1.05	≥2 600	≥90%	≤3.37	
1 型、4 型、5 型	海泥	−1.15～−1.05	−1.10～−1.00	≥2 000	≥70%	≤4.38	
4 型	淡海水	−1.15～−1.05	−1.12～−1.05	≥2 500	≥85%	≤3.50	
4 型	海底砂石	−1.15～−1.05	−1.05～−0.95	≥2 000	≥70%	≤4.38	

[a] 海水采用天然海水或符合 GB/T 17848 规定的人造海水；海泥采用电阻率为 30 Ω·cm～50 Ω·cm 的天然海泥或模拟电解液；淡海水电阻率为 70 Ω·cm～80 Ω·cm；海底砂石规格 8 mm～40 mm，介质电阻率 40 Ω·cm。

[b] 参比电极为饱和甘汞电极。

6.3.2　铝阳极在其他介质中的电化学性能应重新评定。

6.4　表面质量

6.4.1　铝阳极的工作面可为铸造面，工作面应保持干净，不应沾有油漆和油污等。

6.4.2　铝阳极的工作面应无氧化渣、毛刺、飞边等缺陷。

6.4.3 铝阳极表面的裂纹宽度不应超过 5 mm；每个铝阳极的裂纹总数不应超过 10 条，宽度不超过 0.5 mm 的裂纹可不计数。

6.4.4 铝阳极的工作面允许有铸造缩孔，最大深度应不超过 10 mm，且不超过铝阳极厚度的 10%。

6.4.5 铝阳极的冷隔深度不应超过 10 mm，冷隔长度不应超过铝阳极宽度的 3 倍。镯式铝阳极冷隔长度不应大于 150 mm。

6.4.6 铝阳极的铁脚表面应清洁无锈，经喷砂处理，喷砂处理应满足 GB/T 8923.1—2011 中 Sa2.5 的要求。

6.5 接触电阻

阳极体与铁脚之间的接触电阻应不大于 0.001 Ω。

6.6 重量和尺寸

6.6.1 重量偏差

每块铝阳极的允许毛重偏差为±3%，每供货批次铝阳极的总重量不应出现负偏差。

6.6.2 尺寸偏差

6.6.2.1 镯式铝阳极的尺寸应符合下列要求：

a) 平均长度偏差不超过公称长度的±3%，且不超过±25 mm。

b) 内径≤300 mm 时，允许内径偏差为 0 mm～4 mm；300 mm＜铝阳极内径≤610 mm 时，允许内径偏差为 0 mm～6 mm；铝阳极内径＞610 mm 时，允许内径偏差为 0 mm～10 mm。

c) 允许厚度偏差为±3 mm。

6.6.2.2 圆盘状铝阳极的直径偏差应不超过±2.5%。

6.6.2.3 其他结构型式的铝阳极的允许长度偏差为±3%，且不超过±25 mm；宽度偏差不超过±5%；厚度偏差不超过±10%；长度方向的直线度偏差不超过 2%。

6.7 内部缺陷

6.7.1 铝阳极每个横切面上的气孔或孔隙占比不应超过横切面积的 5%，多个横切面上的气孔或孔隙面积总和不应超过所有横切面表面积之和的 2%。

6.7.2 铝阳极每个横切面上的异物占比不应超过横切面积的 2%，多个横切面上的异物所占面积之和不应超过所有横切面表面积之和的 1%。

6.7.3 铝阳极每个横切面上阳极体与铁脚间的空隙不应超过铁脚周长的 20%，多个横切面上阳极体与铁脚间的空隙的平均长度不超过铁脚周长的 10%。

7 试验方法

7.1 原材料

原材料通过查验质量证明文件进行检验。

7.2 化学成分

7.2.1 出厂检验的化学成分分析按 GB/T 4949 或 GB/T 7999 的规定进行。

7.2.2 型式检验的化学成分分析按 GB/T 4949 的规定进行。

7.3 电化学性能

7.3.1 出厂检验的电化学性能试验按 GB/T 17848 的规定进行。

7.3.2 型式试验的电化学性能试验按附录 A 的方法进行。

7.4 表面质量

7.4.1 铝阳极表面质量应采用目测法进行检验，表面裂纹、冷隔、缩孔等尺寸应采用卡尺进行检验。

7.4.2 铁脚表面质量应采用目测法或使用粗糙度仪进行检验。

7.5 接触电阻

阳极体与铁脚间的接触电阻的测量按 GB/T 4950—2021 中附录 A 规定的方法进行，或采用测试精度满足要求的直流电阻测试仪进行测试。

7.6 重量和尺寸

铝阳极的重量用磅秤等称量设备进行检验，尺寸用钢板尺、卷尺或卡尺等进行检验。

7.7 内部缺陷

铝阳极的内部缺陷通过横向剖切进行检验，长条形铝阳极应在长度方向的 25%、33%和 50%处进行横向剖切，镯式铝阳极应在圆周长度的 25%和 50%处横向剖切，对剖切后的横截面采用目测和尺寸测量的方法进行检验。

8 检验规则

8.1 检验分类

铝阳极的检验分为型式检验和出厂检验。

8.2 型式检验

8.2.1 检验时机

铝阳极产品有下列情况之一时，应进行型式检验：

a) 新产品设计定型；

b) 产品转厂生产制造；

c) 材料或工艺有重大变化，可能影响产品性能时；

d) 出厂检验结果与上一次型式检验的结果存在较大差别；

e) 上级质量检验部门提出检验。

8.2.2 检验项目

型式检验的检验项目见表 17。

表 17　检验项目

序号	检验项目	要求	试验方法	型式检验	出厂检验
1	原材料	6.1	7.1	●	○
2	化学成分	6.2	7.2	●	●
3	电化学性能	6.3	7.3	●	○
4	表面质量	6.4	7.4	●	●
5	接触电阻	6.5	7.5	●	○
6	重量和尺寸	6.6	7.6	●	●
7	内部缺陷	6.7	7.7	●	○
注：●为必检项目，○为可选项目。					

8.2.3　样品数量和试样要求

8.2.3.1　铝阳极的样品数量不少于 3 个。

8.2.3.2　进行化学成分分析时，从铝阳极上取 3 个试样进行化学成分分析，取样部位应避开铁芯和浇铸口，每个试样不小于 20 g。

8.2.3.3　进行表面质量检验、重量和尺寸检验、接触电阻检验时，应至少使用 3 个样品。

8.2.3.4　进行电化学性能检验时，试样数量和要求按 GB/T 17848 的规定。

8.2.3.5　进行横向剖切检查内部缺陷时，应至少使用 2 个样品。

8.2.4　判定规则

检验项目中有任意一项不符合要求，则判定该型式检验不合格。

8.3　出厂检验

8.3.1　检验时机

每批产品出厂前均应进行出厂检验，并提供产品质量证书。

8.3.2　检验项目

出厂检验的检验项目见表 17。

8.3.3　组批规则

采用同一批号原材料，同一工艺生产的同一生产批号的铝阳极为一批。

8.3.4　样品数量

8.3.4.1　进行化学成分分析时，每批铝阳极应于炉前或产品上分别取 3 个试样进行化学成分分析。炉前取样时，从熔炼炉取浇铸液制备试样；产品上取样时，随机抽检 3 个铝阳极产品，分别在每个铝阳极产品上取 1 份分析试样。每个试样上的取样量为 20 g 以上的碎屑或试块。

8.3.4.2　进行重量和尺寸检验时，在同批、同一型号的铝阳极中，随机取 10 个铝阳极产品测定其重量和外形尺寸。同批、同一型号的铝阳极数量不足 10 个时，应逐个进行检验或按甲方要求进行抽样检验。

8.3.4.3　铝阳极的表面质量应逐个进行检验。

8.3.4.4 进行电化学性能检验时，每次电化学性能试验应至少使用 3 个试样。试样从产品上切割取样，也可于浇铸前从熔炼炉取铝液单独制作，试样可分别取自不同炉次的铝阳极。

8.3.4.5 进行接触电阻检验时，每批铝阳极数量超过 50 个时至少抽取 1 个进行检验，或按甲方要求进行抽样检验。

8.3.4.6 进行横向剖切检查内部缺陷时，当单批次铝阳极数量不少于 100 个时随机取 2 个进行检验，当单批次铝阳极数量不足 100 个时取 1 个进行检验或按甲方要求进行抽样检验。

8.3.5 判定规则

8.3.5.1 表面质量检验的不合格产品按个处理。

8.3.5.2 检验其他项目时若有一个样品不符合要求，应加倍抽样检验。若仍有不符合要求的样品，则判定该批产品不合格。

9 标志、包装、运输和贮存

9.1 标志

9.1.1 应在铝阳极背面打印标志，标志内容应至少包含生产批号。

9.1.2 宜在铝阳极的工作面浇铸或打印生产者或总经销商标志。

9.2 包装

9.2.1 铝阳极产品托盘打捆包装，应整齐牢固。

9.2.2 铝阳极产品用木箱包装，应采用打包带加固。

9.2.3 包装箱内应附有质量证明书和装箱清单，质量证明书应注明：

a) 供方名称；
b) 产品名称和规格型号；
c) 生产批号；
d) 重量和件数；
e) 检验结果；
f) 出厂日期；
g) 本文件编号。

9.3 运输与贮存

9.3.1 铝阳极产品包装后应使用清洁的车箱运输，运输过程中不应沾污。

9.3.2 铝阳极产品宜贮存在干燥的室内库房。

附 录 A
（规范性）
牺牲阳极电化学性能长周期试验方法

A.1 概述

在规定的试验周期内，对铝阳极试样通以恒定电流，按照频率要求测量铝阳极试样的工作电位，试验结束后，计算铝阳极试样的实际电容量和电流效率，并观测铝阳极试样的溶解情况。

A.2 铝阳极试样的制备

A.2.1 铝阳极试样加工成圆棒状，直径至少 25 mm±1 mm，长度至少 100 mm±5 mm。在试样的一端钻一个 M4 的螺孔用于连接金属导电棒。每组试验至少使用 5 个试样。

A.2.2 铝阳极试样清洗干净后进行称重，称重应称取 2 次，2 次误差不大于 0.4 mg，称重使用最小分度值为±0.1 mg 的分析天平。

A.2.3 铝阳极试样两端非工作面和连接铜棒的浸水部分，应采用绝缘性强的材料进行密封，铝阳极试样密封面和工作面之间应防止产生缝隙腐蚀。

A.3 试验条件

A.3.1 试验介质采用人造海水和洁净的天然海水，海水盐度至少 30‰，也可根据客户提供的技术要求配置试验介质。

A.3.2 介质温度为 7 ℃～20 ℃，特殊情况下可根据客户提供的技术要求。

A.3.3 试验介质中应持续通入空气，同时保持试验介质持续流动和交换，交换速率至少 1 L/min。

A.4 试验程序

试验程序如下：

a) 铝阳极试样浸入介质中 3 h 后测量试样的开路电位；
b) 通电，调节铝阳极电流密度保持在 1 mA/cm^2，采用铜电量计或测量精度±2%的电子电量计连续记录总的工作电流或电量；
c) 前 10 d 每天测量一次铝阳极试样的工作电位，之后每周测试一次铝阳极试样的工作电位；
d) 至少每周记录一次试验介质的温度和盐度；
e) 总试验周期不小于 12 个月。

A.5 试验结果

试验结束后，按 GB/T 17848 的规定进行试样处理，计算铝阳极的实际电容量和电流效率，记录铝阳极的溶解形貌，并出具试验报告。