

铝合金牺牲阳极 技术资料

[执行标准](#)[成分与性能](#)[型号规格](#)[检验与文件](#)[选型与设计](#)[本系列产品](#)

执行标准与型号表示

本产品执行 GB/T 4948-2025《铝合金牺牲阳极》（2025-04-25 发布，2025-08-01 实施，代替 GB/T 4948-2002）。适用于海水、淡水（电阻率不超过 $500\ \Omega \cdot \text{cm}$ ）、海泥、海底砂石、油气田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；其他钢结构阴极保护用铝阳极参照使用。

化学成分代号：1 为 铝-锌-镉阳极、2 为 铝-锌-镉-硅阳极、3 为 铝-锌-镉-镁-钛阳极、4 为 铝-锌-镉-锡-硅-钛阳极、5 为 低铁含量的铝-锌-镉-硅阳极。

用途代号：H 船体用、T 液舱用、I 港工和海洋工程设施用、E 海水冷却水系统用、C 储罐用、P 管道用；结构型式代号：D 单铁脚焊接式、S 双铁脚焊接式、L 螺栓连接式、Y 圆盘状、Z 镯式。

型号表示：A + 化学成分代号 + 用途代号 + 结构型式代号 - 规格代号。示例：铝阳极 A1HD-1：铝-锌-镉阳极（1 型），船体用（H），单铁脚焊接式（D），规格代号 1。

相关标准

- GB/T 4948-2025 铝合金牺牲阳极
- GB/T 17848 牺牲阳极电化学性能试验方法
- GB/T 4949 铝-锌-镉系合金牺牲阳极化学分析方法
- JTS 153-3 海港工程钢结构防腐蚀技术规范
- GB/T 21448-2017 埋地钢质管道阴极保护技术规范
- DNV-RP-B401 阴极保护设计（海工）

符号说明

GB/T 4948-2025 表1 符号和说明

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

化学成分与电化学性能

GB/T 4948-2025 表15 化学成分（质量分数，%）

种类	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

GB/T 4948-2025 表16 电化学性能

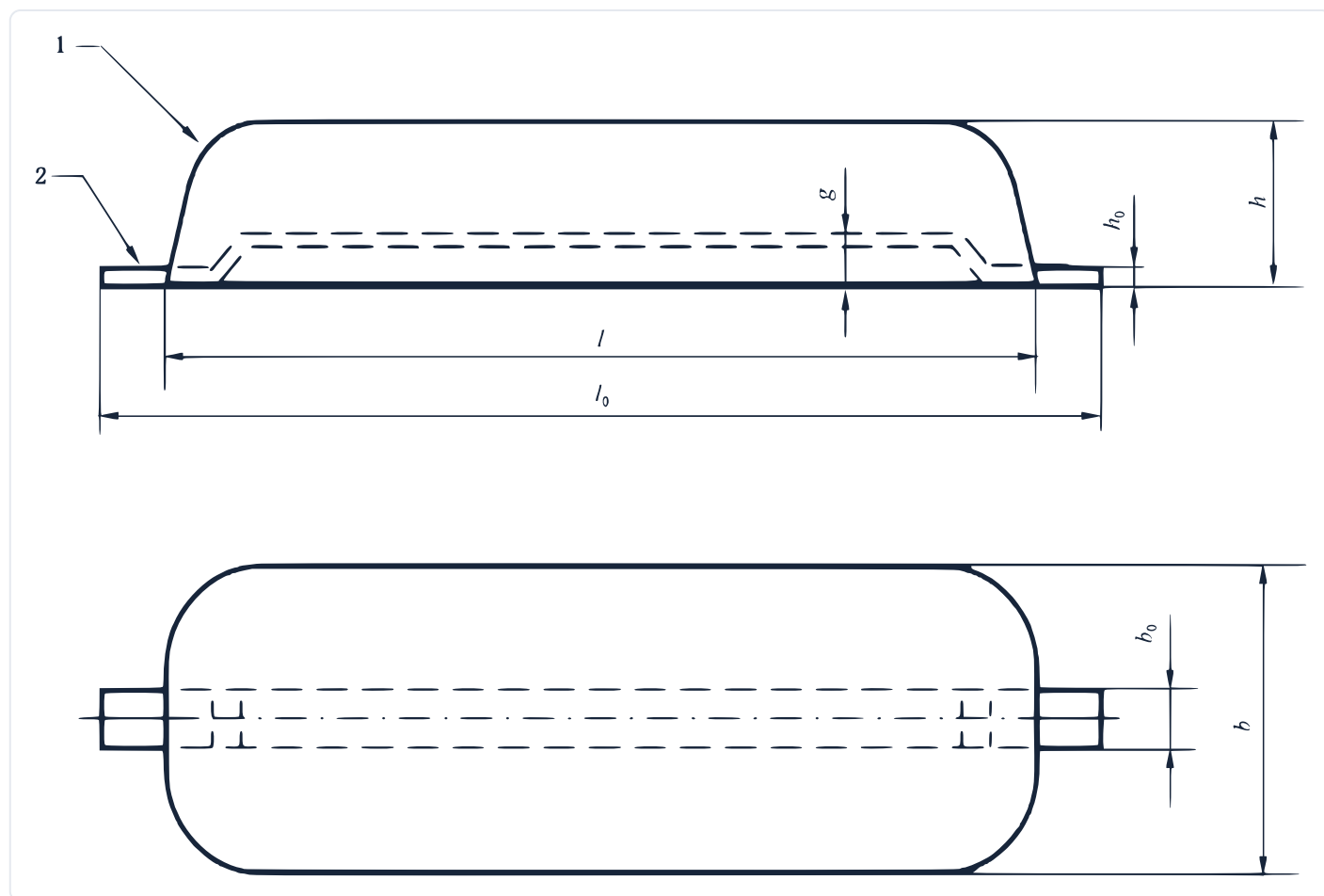
种类	介质	开路电位 V	工作电位 V	实际电容量 A·h/ kg	电流效率 率	消耗率 kg/ (A·a)	溶解性能
1型、3型、5型	海水	-1.18~-1.10	-1.12~-1.05	≥2500	≥85%	≤3.50	表面溶解均匀，腐蚀产物容易脱落
2型	海水	-1.18~-1.10	-1.12~-1.05	≥2400	≥80%	≤3.65	表面溶解均匀，腐蚀产物容易脱落
4型	海水	-1.18~-1.10	-1.12~-1.05	≥2600	≥90%	≤3.37	表面溶解均匀，腐蚀产物容易脱落
1型、4型、5型	海泥	-1.15~-1.05	-1.10~-1.00	≥2000	≥70%	≤4.38	表面溶解均匀，腐蚀产物容易脱落
4型	淡水	-1.15~-1.05	-1.12~-1.05	≥2500	≥85%	≤3.50	表面溶解均匀，腐蚀产物容易脱落
4型	海底砂石	-1.15~-1.05	-1.05~-0.95	≥2000	≥70%	≤4.38	表面溶解均匀，腐蚀产物容易脱落

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 30~50 Ω·cm 的天然海泥或模拟电解液；淡水电阻率为 70~80 Ω·cm；海底砂石规格 8~40 mm，介质电阻率 40 Ω·cm。

参比电极为饱和甘汞电极。

铝阳极在其他介质中的电化学性能应重新评定。

国标型号规格与结构示意图



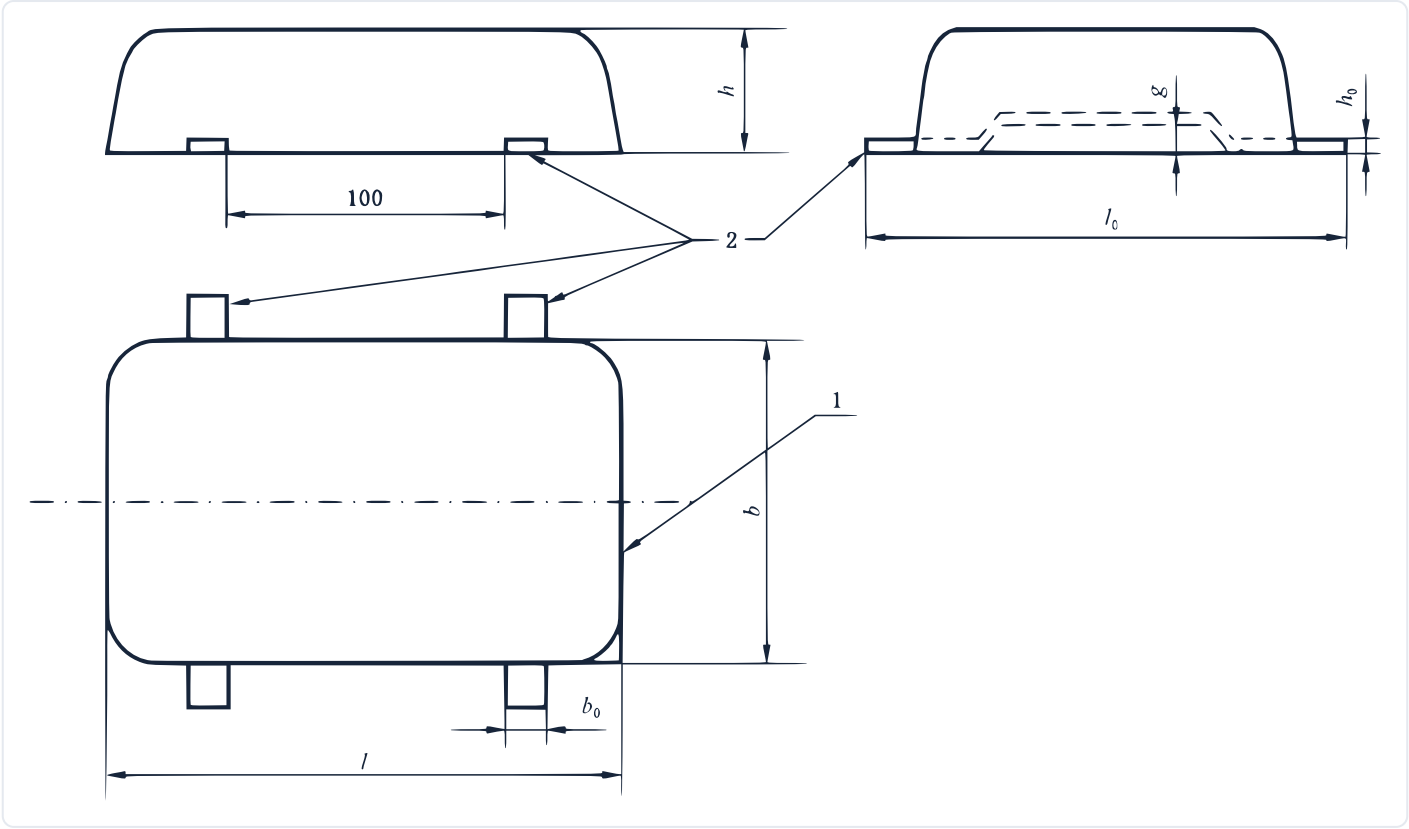
船体用单铁脚焊接式铝阳极结构示意图GB/T 4948-2025

1 阳极体；2 扁钢铁脚

GB/T 4948-2025 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

型号中的 x 为化学成分代号 1、2、3、4、5。

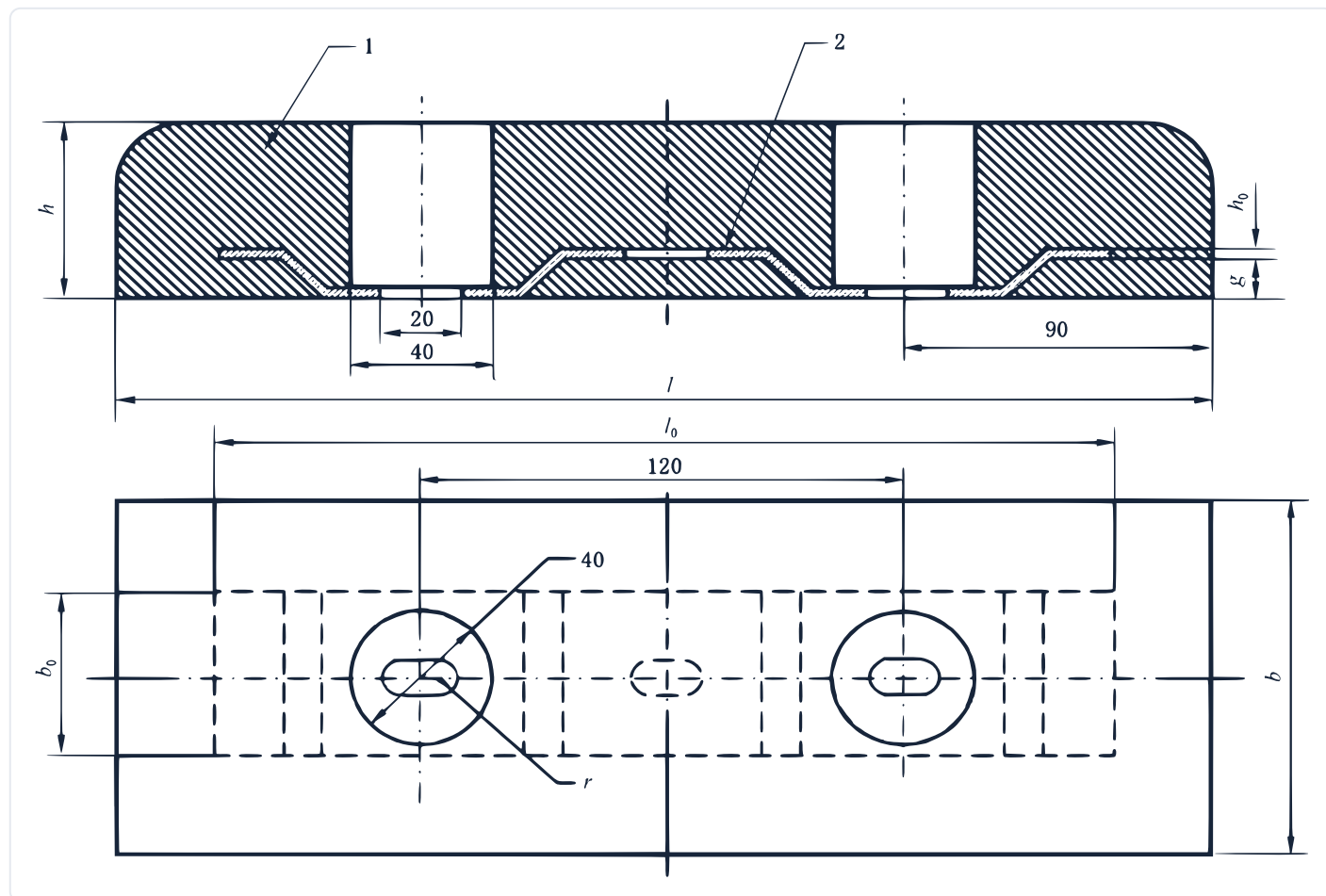


船体用双铁脚焊接式铝阳极结构示意图GB/T 4948-2025
1 阳极体；2 扁钢铁脚

GB/T 4948-2025 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

型号中的 x 为化学成分代号 1、2、3、4、5。



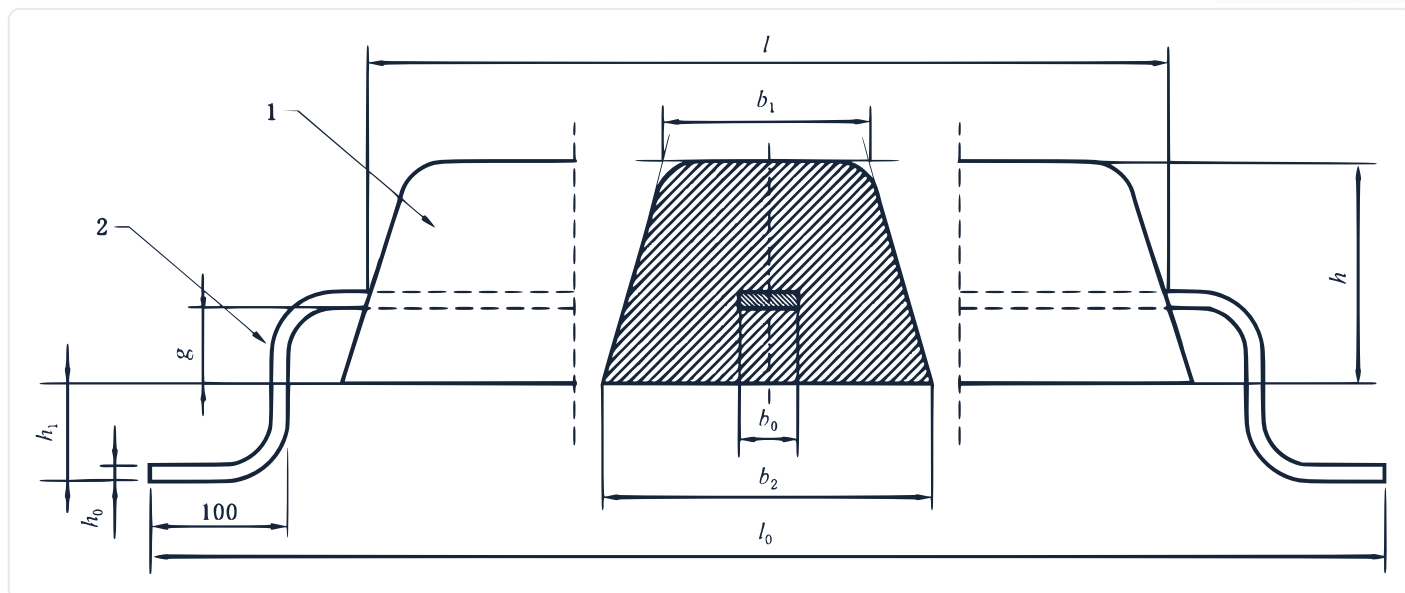
船体用螺栓连接式铝阳极结构示意图GB/T 4948-2025

1 阳极体；2 扁钢铁脚

GB/T 4948-2025 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

型号中的 x 为化学成分代号 1、2、3、4、5。



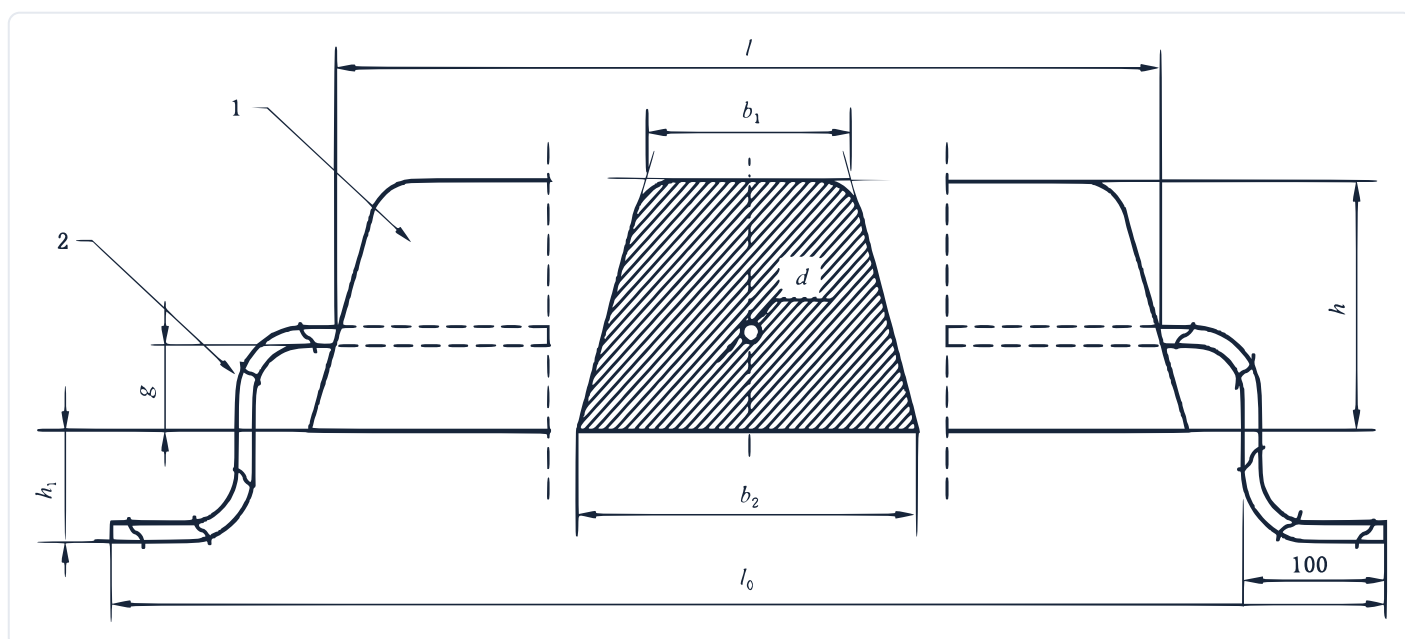
液舱用单铁脚焊接式铝阳极结构示意图(扁钢铁脚)GB/T 4948-2025

1 阳极体；2 扁钢铁脚

GB/T 4948-2025 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	$500 \times (115 + 135) \times 130$	800	50	6	60	60	20.5	23
AxTD-2	$500 \times (110 + 130) \times 120$	800	50	6	50	60	18.0	20.0
AxTD-3	$250 \times (85 + 100) \times 85$	310	25	4	6~8	0	4.8	5.0
AxTD-4	$200 \times (70 + 90) \times 70$	260	25	4	6~8	0	2.8	3.0

型号中的 x 为化学成分代号 1、2、3、4、5。



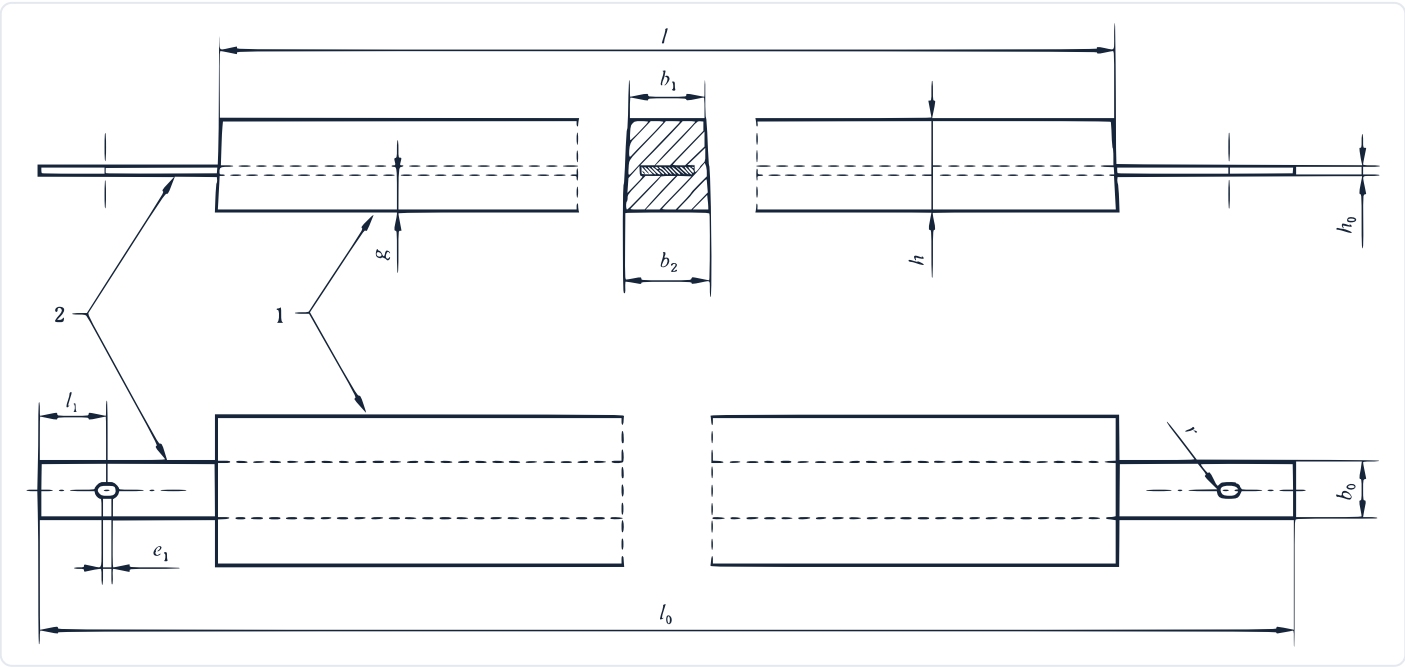
液舱用单铁脚焊接式铝阳极结构示意图(螺纹钢铁脚)GB/T 4948-2025

1 阳极体；2 螺纹钢铁脚

GB/T 4948-2025 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	$1500 \times (65 + 75) \times 70$	1800	12	25	60	19.8	21.5
AxTD-6	$1000 \times (58.5 + 78.5) \times 68$	1300	12	25	60	12.0	13.2
AxTD-7	$800 \times (56 + 74) \times 65$	1100	12	25	60	9.0	10.0
AxTD-8	$1150 \times (48 + 54) \times 51$	1450	12	18	60	7.6	9.0

型号中的 x 为化学成分代号 1、2、3、4、5。



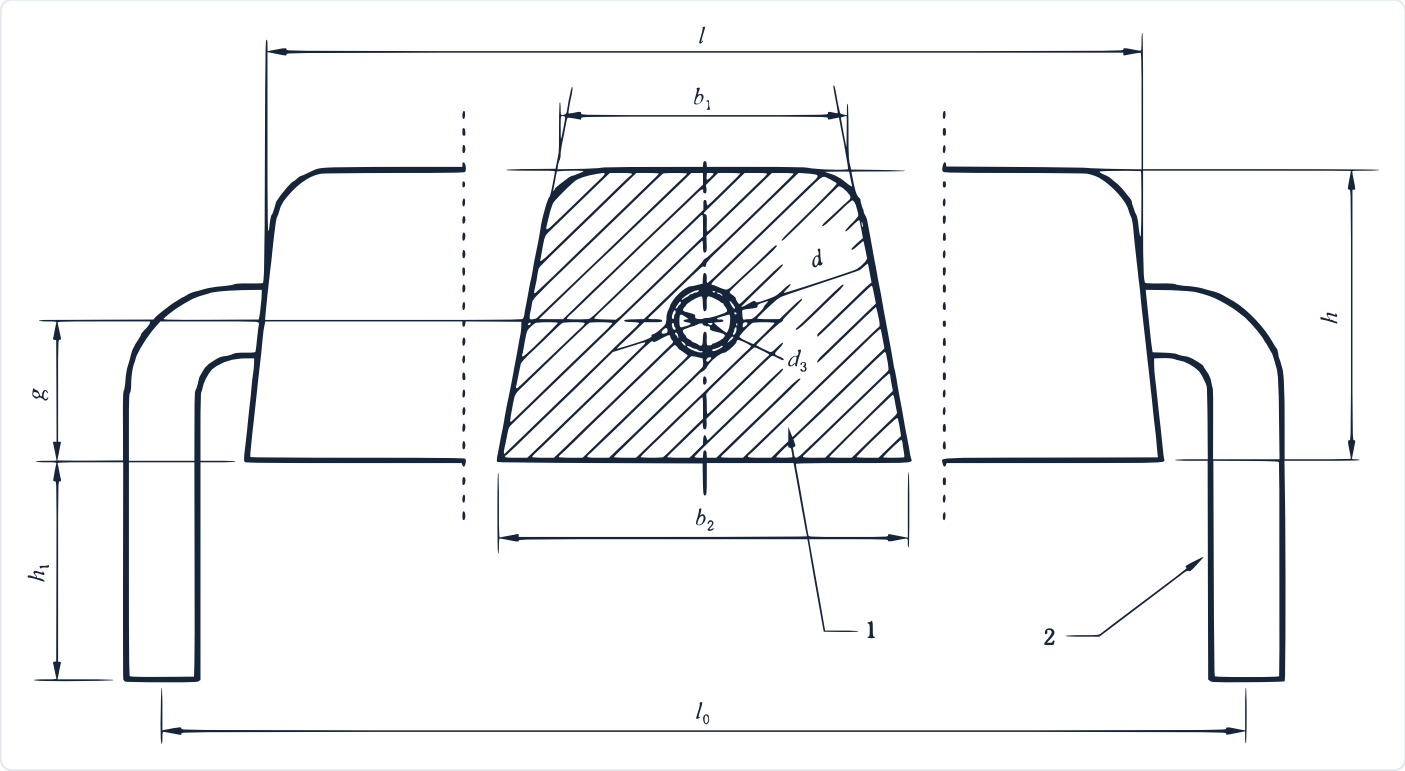
液舱用螺栓连接式铝阳极结构示意图GB/T 4948-2025

1 阳极体；2 扁钢铁脚

GB/T 4948-2025 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	$500 \times (115 + 135) \times 130$	800	50	6	60	6	10	45	20.5	22.5
AxTL-2	$500 \times (105 + 135) \times 100$	800	50	6	60	6	10	35	15.2	16.5
AxTL-3	$500 \times (80 + 100) \times 80$	800	40	5	60	5	10	30	9.4	10.5
AxTL-4	$250 \times (85 + 100) \times 85$	450	40	5	40	5	10	30	4.8	5.6

型号中的 x 为化学成分代号 1、2、3、4、5。



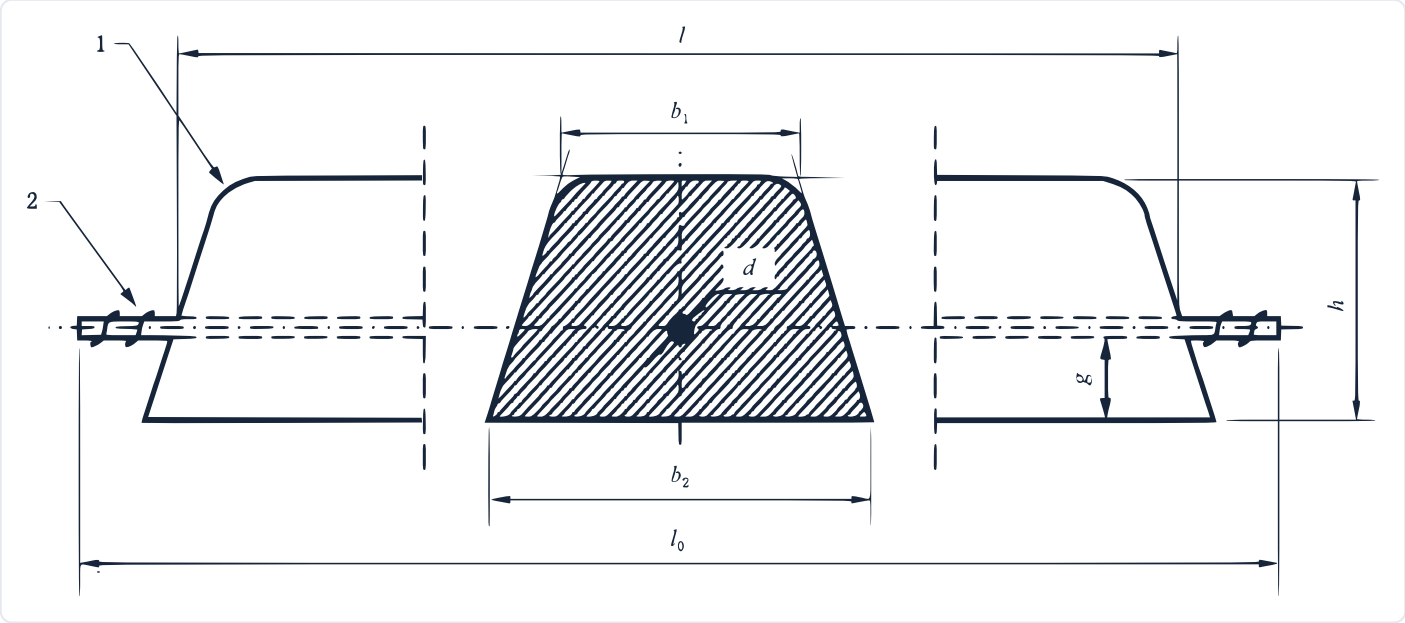
港工和海洋工程设施用单铁脚焊接式铝阳极结构示意图(钢管铁脚)GB/T 4948-2025

1 阳极体；2 钢管铁脚

GB/T 4948-2025 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	2300×(220+240)×230	2500	60	48	115	300	311.0	336.5
AxID-2	1600×(200+210)×220	1800	60	48	110	300	182.6	202.5
AxID-3	1500×(170+200)×180	1700	50	38	90	300	127.0	142.2
AxID-4	900×(150+170)×160	1100	40	28	80	300	59.1	67.2

型号中的 x 为化学成分代号 1、2、3、4、5。



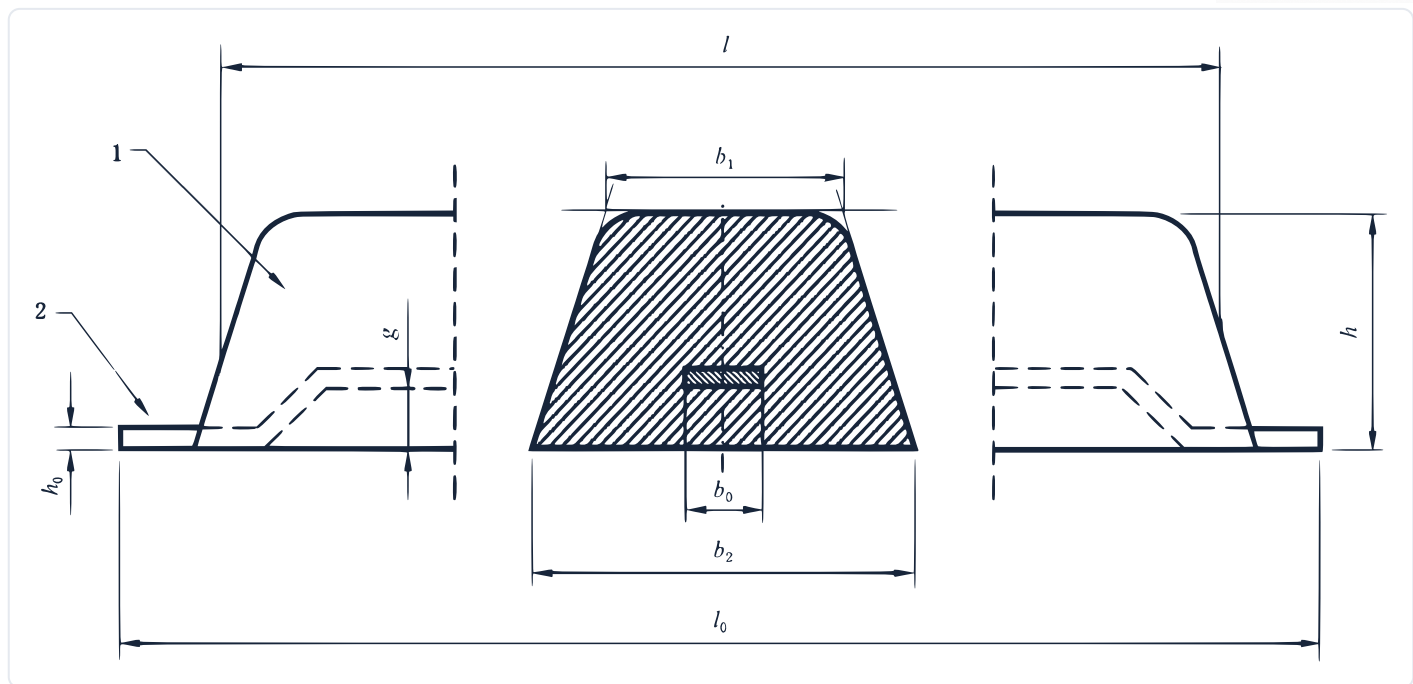
港工和海洋工程设施用单铁脚焊接式铝阳极结构示意图(螺纹钢铁脚)GB/T 4948-2025

1 阳极体；2 螺纹钢铁脚

GB/T 4948-2025 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	$1500 \times (148 + 178) \times 170$	1800	25	65	114.0	121.0
AxID-6	$850 \times (180 + 220) \times 180$	1100	25	75	80.0	84.5
AxID-7	$800 \times (200 + 280) \times 150$	1050	25	55	76.0	80.0
AxID-8	$700 \times (160 + 220) \times 180$	950	22	75	68.5	72.0
AxID-9	$1250 \times (115 + 135) \times 130$	1500	18	50	52.0	55.0
AxID-10	$1000 \times (115 + 135) \times 130$	1250	18	50	42.6	45.0
AxID-11	$750 \times (115 + 135) \times 130$	1000	16	50	33.0	35.0
AxID-12	$500 \times (115 + 135) \times 130$	750	16	50	22.0	23.0

型号中的 x 为化学成分代号 1、2、3、4、5。



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)GB/T 4948-2025

1 阳极体；2 扁钢铁脚

GB/T 4948-2025 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）

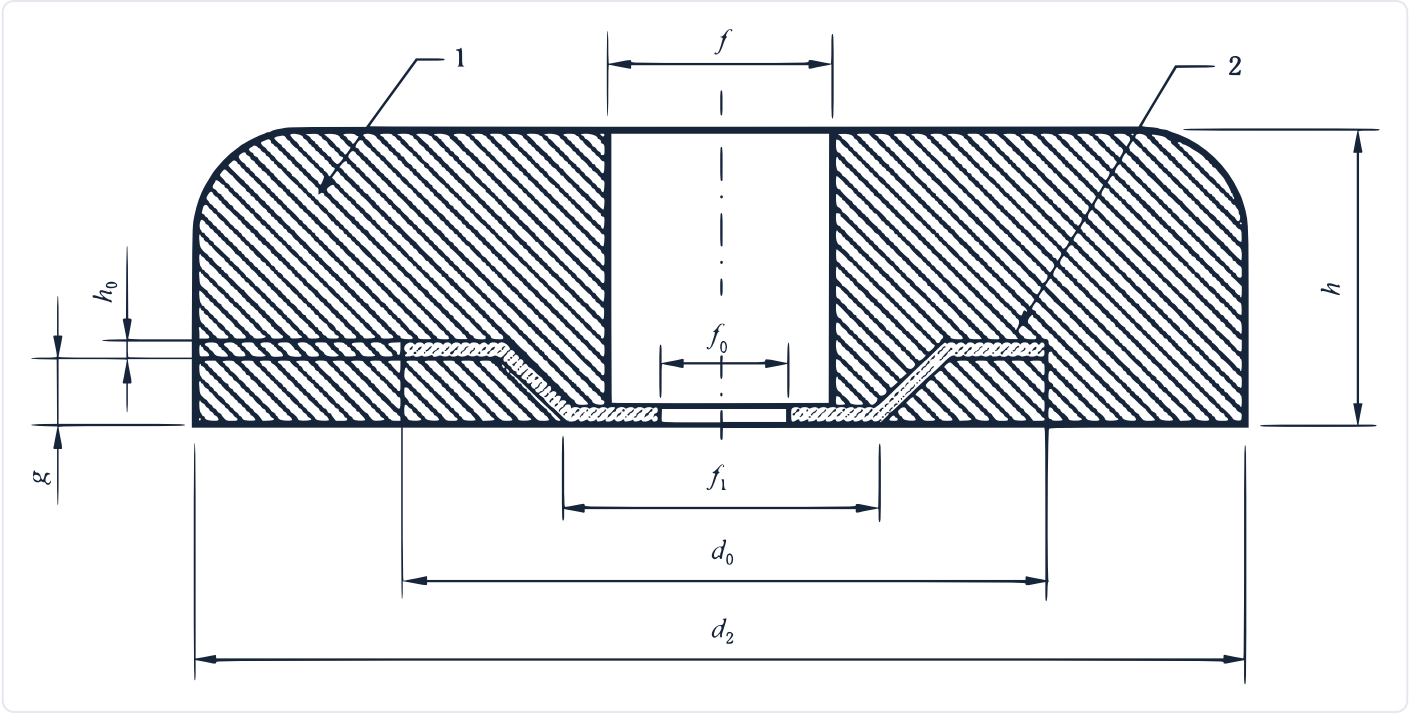
型号	阳极体规格 mm	铁脚尺寸 mm				净重 kg	毛重 kg
	$l \times (b_1 + b_2) \times h$	l_0	b_0	h_0	g		
AxID-13	$1500 \times (148 + 178) \times 170$	1800	50	8	55	114.0	120.0
AxID-14	$850 \times (180 + 220) \times 180$	1100	60	8	60	80.0	84.0
AxID-15	$800 \times (200 + 280) \times 150$	1050	60	8	50	76.0	80.0
AxID-16	$700 \times (160 + 220) \times 180$	950	60	8	60	68.5	72.0
AxID-17	$1250 \times (115 + 135) \times 130$	1500	40	8	35	52.0	56.0
AxID-18	$1000 \times (115 + 135) \times 130$	1250	40	8	35	42.6	46.0
AxID-19	$750 \times (115 + 135) \times 130$	1000	40	6	35	33.0	35.0
AxID-20	$500 \times (115 + 135) \times 130$	750	40	4	35	22.0	23.0

型号中的 x 为化学成分代号 1、2、3、4、5。

GB/T 4948-2025 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	$1200 \times (200 + 280) \times 150$	1400	70	10	8~10	112.0	120.0
AxED-2	$800 \times (200 + 280) \times 150$	1000	60	8	8~10	76.2	80.0
AxED-3	$1000 \times (115 + 135) \times 130$	1200	50	6	8~10	43.2	46.0
AxED-4	$500 \times (115 + 135) \times 130$	620	50	6	8~10	21.5	23.0
AxED-5	$1000 \times (80 + 100) \times 80$	1200	30	6	6~8	19.0	20.0
AxED-6	$500 \times (105 + 135) \times 100$	620	40	6	8~10	15.2	16.0
AxED-7	$500 \times (80 + 100) \times 80$	620	30	4	6~8	9.4	10.0
AxED-8	$400 \times (110 + 120) \times 50$	500	35	4	5~6	6.4	7.0
AxED-9	$300 \times (140 + 160) \times 40$	360	60	4	5~6	4.5	5.0
AxED-10	$200 \times (90 + 110) \times 40$	250	30	3	5~6	2.8	3.0

型号中的 x 为化学成分代号 1、2、3、4、5。



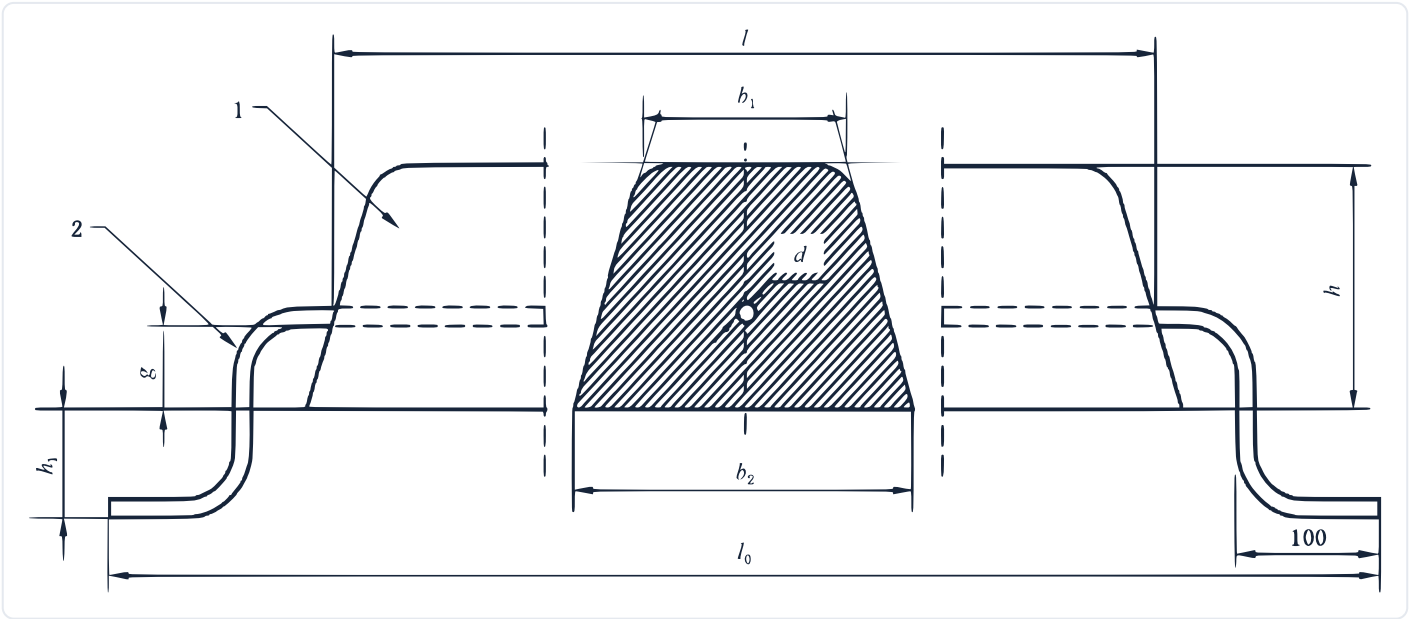
海水冷却水系统用圆盘状铝阳极结构示意图GB/T 4948-2025

1 阳极体；2 扁钢铁脚

GB/T 4948-2025 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

型号中的 x 为化学成分代号 1、2、3、4、5。



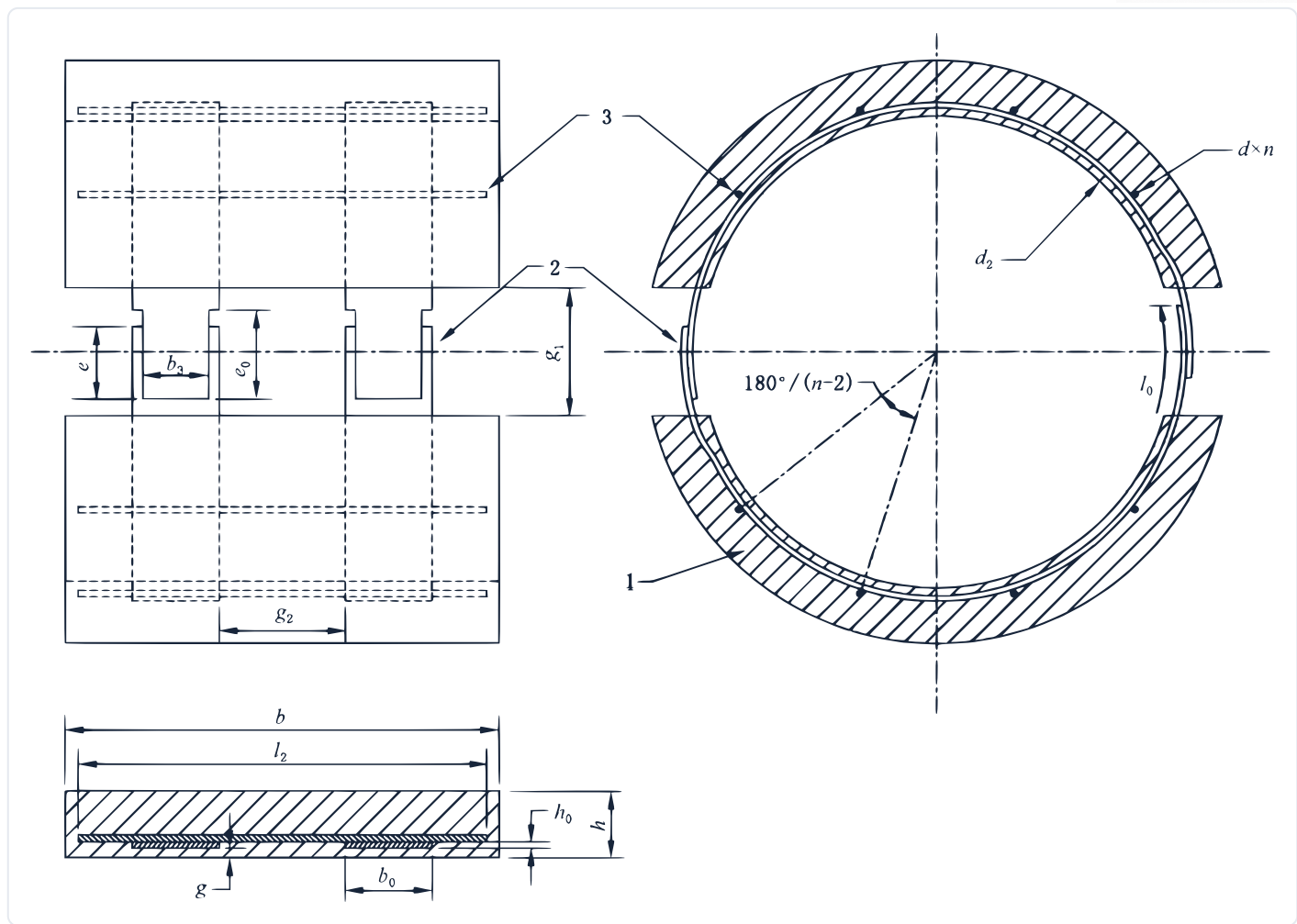
储罐用单铁脚焊接式铝阳极结构示意图GB/T 4948-2025

1 阳极体；2 圆钢铁脚

GB/T 4948-2025 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	1050	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

型号中的 x 为化学成分代号 1、2、3、4、5。



管道用镯式铝阳极结构示意图GB/T 4948-2025

1 阳极体；2 扁钢铁脚；3 圆钢铁脚

GB/T 4948-2025 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	1034×516×115×120	1760	100	6	10	120	70	80	90	9	416	12	527.3	562.8
AxPZ-2	1034×520×65×120	1760	80	6	10	160	50	80	90	9	420	12	283.0	311.9
AxPZ-3	1034×516×45×120	1760	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
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

型号中的 x 为化学成分代号 1、2、3、4、5。

符号：l 阳极体长度；b 阳极体宽度；h 阳极体厚度；l₀ 铁脚长度；b₀ 铁脚宽度；h₀ 铁脚厚度；g 铁脚在阳极体中的高度；r 螺栓连接式铝阳极铁脚螺纹孔半径；b₁ 阳极体上底面宽度；b₂ 阳极体下底面宽度；h₁ 阳极体下底面距离安装面高度；d 铁脚外径；l₁ 螺栓连接式铝阳极铁脚螺纹孔位置；e₁ 螺栓连接式铝阳极铁脚螺纹孔长度；d₃ 钢管铁脚内径；d₁ 圆盘状铝阳极外径；f 圆盘状铝阳极中间开孔直径；d₀ 圆盘状铝阳极铁脚外径；f₀ 圆盘状铝阳极铁脚螺纹孔直径；f₁ 圆盘状铝阳极铁脚露出部分直径；d₂ 镯式铝阳极内径；g₁ 镯式铝阳极的阳极体间隙；g₂ 镯式铝阳极的铁脚间距；b₃ 镯式铝阳极铁脚焊接宽度；e 镯式铝阳极铁脚焊接长度；e₀ 镯式铝阳极铁脚凸出长度；n 镯式铝阳极铁脚数量（单位 mm）。

要求、检验与出厂文件

原材料

- 铝锭纯度不低于 GB/T 1196-2023 中 Al99.70；锌锭不低于 GB/T 470-2008 中 Zn99.99；镉锭不低于 YS/T 257-2009 中 In9999。
- 镁纯度不低于 GB/T 3499-2023 中 Mg99.95A，或采用 GB/T 27677-2017 的 AlMg50/AlMg60/AlMg68 铝镁合金；锡锭不低于 GB/T 728-2020 中 Sn99.95；硅、钛采用 GB/T 27677-2017 规定的铝硅、铝钛中间合金。
- 钢管铁脚采用无缝钢管，扁钢铁脚采用钢板或钢带，材质宜与安装对象相同，或采用 GB/T 700、GB/T 712 规定的钢材；圆钢铁脚按 GB 1499.1，螺纹钢铁脚按 GB 1499.2。
- 螺栓连接式铝阳极的安装螺栓选用不锈钢，或与铁脚、安装对象相同的材质。

表面质量

- 工作面可为铸造面，应保持干净，不沾油漆、油污；无氧化渣、毛刺、飞边。
- 表面裂纹宽度不超过 5 mm，每个阳极裂纹总数不超过 10 条（宽度 ≤0.5 mm 的裂纹不计）。
- 工作面允许铸造缩孔，最大深度不超过 10 mm 且不超过阳极厚度的 10%；冷隔深度不超过 10 mm、长度不超过阳极宽度的 3 倍（镯式不大于 150 mm）。
- 铁脚表面清洁无锈，喷砂处理达到 GB/T 8923.1-2011 中 Sa2.5。

重量与尺寸偏差

- 每块铝阳极允许毛重偏差 ±3%，每供货批次总重量不出现负偏差。

- 镯式：平均长度偏差不超过公称长度 $\pm 3\%$ 且不超过 ± 25 mm；内径 ≤ 300 mm 允许偏差 0~4 mm，300~610 mm 为 0~6 mm，>610 mm 为 0~10 mm；厚度偏差 ± 3 mm。
- 圆盘状：直径偏差不超过 $\pm 2.5\%$ 。
- 其他结构型式：长度偏差 $\pm 3\%$ 且不超过 ± 25 mm，宽度偏差不超过 $\pm 5\%$ ，厚度偏差不超过 $\pm 10\%$ ，长度方向直线度偏差不超过 2%。

内部缺陷

- 每个横切面上气孔或孔隙占比不超过横切面积的 5%，多个横切面总和不超过 2%。
- 每个横切面上异物占比不超过 2%，多个横切面总和不超过 1%。
- 阳极体与铁脚间的空隙不超过铁脚周长的 20%，多个横切面平均不超过 10%。

试验方法

- 化学成分：出厂检验按 GB/T 4949 或 GB/T 7999，型式检验按 GB/T 4949。
- 电化学性能：出厂检验按 GB/T 17848，型式试验按本文件附录 A（长周期试验）。
- 接触电阻：按 GB/T 4950-2021 附录 B，或用满足精度要求的直流电阻测试仪。
- 内部缺陷：长条形阳极在长度方向 25%、33%、50% 处横向剖切，镯式在圆周 25%、50% 处剖切检查。

接触电阻

阳极体与铁脚之间的接触电阻不大于 0.001Ω 。

检验项目

GB/T 4948-2025 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	●	○

● 为必检项目，○ 为可选项目。

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；每批产品出厂前均应进行出厂检验，并提供产品质量证书。

- 化学成分：每批于炉前或产品上分别取 3 个试样（每个试样 ≥20 g）。
- 重量和尺寸：同批同型号中随机取 10 个测定；不足 10 个时逐个检验或按甲方要求抽检。
- 表面质量：逐个检验。
- 电化学性能：每次试验至少 3 个试样，可从产品切割或炉前单独浇铸。
- 接触电阻：每批超过 50 个时至少抽 1 个；内部缺陷：单批 ≥100 个时随机取 2 个，不足 100 个取 1 个。

标志、包装与质量证明书

- 阳极背面打印标志，至少包含生产批号；宜在工作面浇铸或打印生产者标志。
- 托盘打捆或木箱包装并用打包带加固；箱内附质量证明书和装箱清单。
- 质量证明书注明：供方名称、产品名称和规格型号、生产批号、重量和件数、检验结果、出厂日期、本文件编号。
- 运输不应沾污，宜贮存在干燥的室内库房。

华宇镁业 HYAL 铝锌铟系牺牲阳极材料已取得 DNV 型式认可；出厂检验按国标进行，可按需方 ITP 安排第三方见证检验并提供材质证明书（MTC）。

选型、设计计算与安装

铝合金牺牲阳极执行 GB/T 4948-2025，按化学成分分为 1~5 型（铝-锌-铟系），按用途分为船体（H）、液舱（T）、港工与海洋工程（I）、海水冷却水系统（E）、储罐（C）和管道镯式（P）六大类共 80 个型号。电容量高、寿命长，是海水、海泥介质中的主力阳极。

选型指南

- 介质：海水、淡海水（电阻率 $\leq 500 \Omega \cdot \text{cm}$ ）、海泥、海底砂石及油气田产出水；土壤和淡水中电位不稳定，一般不选用铝阳极。
- 合金型别：常规海水选 1 型或 5 型；海泥、海底砂石环境选 4 型（海泥、砂石中性能有单独指标）；淡海水选 4 型；3 型（Al-Zn-In-Mg-Ti）适用于海水并兼顾高温、深海等特殊工况，具体按项目规格书确定。
- 结构型式：船体外板用单/双铁脚焊接式（AxHD/AxHS）或螺栓式（AxHL）；压载舱、液舱用 AxTD/AxTL；导管架、码头钢桩用长条形 AxID；凝汽器、水室用 AxED 或圆盘 AxEY；储罐内壁用 AxCD；海底管道用镯式 AxPZ。
- 规格：按设计年限与净重选型，港工设施常用 100~300 kg 级，船体 10~40 kg 级；镯式阳极按管径与配重层厚度定制内径。
- 铁脚：焊接式铁脚喷砂 Sa2.5 后现场焊接；螺栓式便于更换（船舶坞修）；铁脚形式与安装尺寸按标准图或客户图纸。
- 数量：按保护面积、电流密度、设计年限计算总质量，再按单支输出（海水中电阻低，主要由质量控制）确定支数，并留 10%~20% 裕量。

保护准则

- 保护电位准则：钢质结构相对饱和硫酸铜电极（CSE）的极化电位（消除 IR 降后）不正于 -0.85 V ；存在硫酸盐还原菌等厌氧环境时不正于 -0.95 V 。
- 极化偏移准则：阴极极化电位偏移不小于 100 mV（适用于难以满足 -0.85 V 的情况）。
- 极限电位：为避免高强度钢氢脆和涂层阴极剥离，极化电位不宜比 -1.20 V （CSE）更负。
- 依据：GB/T 21448《埋地钢质管道阴极保护技术规范》；海水环境参见 GB/T 4948、JTS 153-3 及 DNV-RP-B401。

设计保护电流密度（参考）

设计保护电流密度参考值

对象与介质	设计电流密度（参考）	说明
3PE / FBE 等优质涂层埋地管道	0.01 ~ 0.1 mA/m ²	按涂层破损率与设计年限取值
沥青、聚乙烯胶带等普通涂层	0.1 ~ 1 mA/m ²	老旧管线取高值
裸钢 · 土壤	10 ~ 30 mA/m ²	视含水率、电阻率而定
裸钢 · 淡水	20 ~ 50 mA/m ²	流动水取高值
裸钢 · 海水	50 ~ 150 mA/m ²	视流速、温度、结垢情况，按 JTS 153-3 / DNV-RP-B401 取值
裸钢 · 海泥	20 ~ 30 mA/m ²	

计算公式

保护电流

$$I = J \times A$$

J 为设计保护电流密度 (A/m²)，A 为被保护表面积 (m²)；管道 $A = \pi \cdot D \cdot L$ 。

单支阳极接地电阻（Dwight 公式，垂直埋设）

$$R = \rho / (2\pi L) \times [\ln(8L/d) - 1]$$

ρ 为土壤电阻率 ($\Omega \cdot m$)，L 为阳极（含填料包）长度 (m)，d 为等效直径 (m)。水平埋设及多支并联需按相应公式修正。

单支阳极输出电流

$$I_1 = \Delta E / (R + R_c)$$

ΔE 为阳极闭路电位与保护电位之差（驱动电压）， R_c 为电缆及接触电阻。

所需阳极数量

$$N = \max(I / I_1, W / w)$$

同时满足电流输出与总质量要求，取大者并向上取整。

阳极总质量

$$W = I \times T \times 8760 / (C \times u)$$

T 为设计年限 (a)，C 为实际电容量 (A · h/kg)，u 为利用系数（一般取 0.85）。

使用寿命校核

$$T = W \times C \times u / (8760 \times I)$$

按实际布置的阳极总质量反算寿命，应不小于设计年限。

算例：海港码头钢管桩 60 根， $\phi 1200$ mm，水下及泥下长度 25 m，设计寿命 20 年

1. 保护面积 单根 $A = \pi \times 1.2 \times 25 \approx 94 \text{ m}^2$ ，60 根共 5650 m^2
2. 保护电流 裸钢海水取 $J = 100 \text{ mA/m}^2$ （初期），泥下段 25 mA/m^2 折算，综合取平均 80 mA/m^2 ： $I \approx 0.08 \times 5650 \approx 452 \text{ A}$ （初期）；维持电流按 60% 计约 270 A
3. 阳极总质量 1 型铝阳极 $C = 2500 \text{ A} \cdot \text{h/kg}$ （华宇承诺 ≥ 2700 ）， $u = 0.85$ ，按维持电流计： $W = 270 \times 20 \times 8760 / (2500 \times 0.85) \approx 22300 \text{ kg}$
4. 选型 选 AxID-5（ $1500 \times (148+178) \times 170 \text{ mm}$ ，净重 114 kg ）： $N = 22300 / 114 \approx 196$ 支，取 200 支，每根桩 3~4 支分层布置
5. 输出校核 海水电阻率约 $0.25 \Omega \cdot \text{m}$ ，单支接地电阻 $\approx 0.1 \Omega$ 量级， $\Delta E \approx 0.25 \text{ V}$ ，单支输出约 2~3 A，200 支合计 $> 452 \text{ A}$ ，满足初期极化需求

算例仅示意。海工设计应按 JTS 153-3 或 DNV-RP-B401 取初期、平均、末期电流密度并校核末期输出，同时考虑涂层退化系数与阳极形状消耗后的电阻变化。

参比电极电位换算

参比电极电位换算

参比电极	相对 CSE 的电位差	说明
饱和硫酸铜电极 CSE	0	土壤、淡水中的基准电极
饱和甘汞电极 SCE	+0.075 V	$E(\text{CSE}) \approx E(\text{SCE}) - 0.075 \text{ V}$
银/氯化银电极 Ag/AgCl（海水）	+0.066 V	海水环境常用
高纯锌参比电极 Zn（海水）	+1.10 V	$-0.85 \text{ V}(\text{CSE}) \approx +0.25 \text{ V}(\text{Zn})$

安装施工

- 焊接式铁脚：安装前铁脚表面去锈至 Sa2.5，采用与母材匹配的焊条满焊，焊缝长度和高度按图纸；焊后焊缝区域补涂防腐涂层，阳极工作面严禁涂漆。
- 螺栓式：使用不锈钢或镀锌螺栓，接触面清理干净后拧紧，保证电连接电阻 $< 0.01 \Omega$ ；船体坞修时可整体更换。
- 镯式阳极：半环拼合后铁脚与管道焊接（或螺栓紧固），与配重层平齐；防腐层预留区域焊后补口。
- 布置：阳极均匀分布在被保护结构表面，与结构距离 30 cm 左右，避免遮蔽死角；储罐内壁阳极距底板 $\geq 300 \text{ mm}$ 。
- 监测：港工设施宜设置永久参比电极和测试点，投运后测量结构电位应达到 -0.80 V （Ag/AgCl 海水）以下。
- 搬运：避免撞击引发火花（铝阳极用于易燃介质储罐时须评估火花风险），铁脚变形应校正。

镁、铝、锌三种阳极对比

三种牺牲阳极对比

项目	镁合金阳极	铝合金阳极	锌合金阳极
执行标准	GB/T 17731-2015	GB/T 4948-2025	GB/T 4950-2021
开路电位（典型）	-1.57~-1.67 V（CSE）；M1C -1.77~-1.82	-1.18~-1.10 V（SCE）	≤-1.05 V（SCE）
驱动电压（对钢 -0.85 V CSE）	约 0.7 V（高电位约 0.8 V）	约 0.25 V	约 0.2 V
实际电容量（国标）	≥1210 A·h/kg（M1C ≥1100）	≥2400~2600 A·h/kg	≥780 A·h/kg（土壤 ≥530）
电流效率（国标）	≥55%（M1C ≥50%）	≥80%~90%	≥95%（土壤 ≥65%）
适用介质	土壤、淡水（电阻率 20~100 Ω·m，高电位可更高）	海水、淡海水、海泥、海底砂石	海水、海泥、低电阻率土壤（≤15 Ω·m）
典型对象	埋地管道、储罐外壁、城市管网、热水器	船舶、码头、海洋平台、海底管线、凝汽器	船体、压载舱、储罐底板锌带、接地电池
不适用	海水（效率低、消耗快）	土壤、淡水（易钝化）	高电阻率土壤（驱动电压不足）
密度	约 1.8 g/cm ³	约 2.7 g/cm ³	约 7.1 g/cm ³

常见问题

Q 铝阳极为什么不能用在土壤里？

铝合金阳极表面易钝化，在土壤和淡水等高电阻率介质中电位正移、输出不稳定，电流效率显著下降；土壤环境应选镁阳极，低电阻率土壤可选锌阳极。

Q 1~5 型铝阳极怎么选？

常规海水选 1 型或 5 型；海泥、海底砂石选 4 型；淡海水（电阻率 70~80 Ω·cm）选 4 型；3 型含镁钛适用于特殊工况。多数船舶、码头项目按 1 型或 5 型供货即可。

Q 铝阳极的电容量和寿命如何？

GB/T 4948-2025 要求海水中实际电容量 ≥2400~2600 A·h/kg，华宇承诺 ≥2700 A·h/kg、效率 ≥95%。以 114 kg 阳极输出 1 A 计，寿命约 $114 \times 2700 \times 0.85 / (8760 \times 1) \approx 30$ 年。

Q 船用铝阳极和锌阳极怎么选？

铝阳极单位质量电容量约为锌的 3.4 倍，同等保护量下重量更轻、成本更低，适合远洋船和大型结构；锌阳极电位稳定、无火花风险，常用于压载舱、油舱等对安全要求高的部位。

Q 镯式铝阳极怎么定内径？

内径 = 管道外径 + 2 × 防腐层厚度 + 安装间隙，与配重层厚度配合；请提供管径、防腐层与配重层数据，我们按 GB/T 4948-2025 表 14 或图纸定制。

Q 铝阳极需要做什么检验？

出厂检验化学成分、电化学性能（海水中电容量、电流效率、开路和工作电位）、接触电阻、重量尺寸和表面质量；可按项目要求提供第三方检测和船级社检验。

Q 铝阳极有 DNV 认证吗？

华宇 HYAL 铝锌钢系牺牲阳极材料获得 DNV 型式认可，证书编号 TAS0000505，认可对象与条件见证书正文。相关项目铝合金阳极取得 BV（法国必维）符合性证书，适用范围限该项目与批次；新项目的船级社检验及交付文件需另行确认。

以上为通用工程参考，具体项目按 GB/T 21448、SY/T 0019、JTS 153-3、DNV-RP-B401 等规范和现场实测确定；华宇可提供选型计算书。

本系列产品

- [支架铝阳极](#)：外露扁钢铁脚焊接固定的铝合金阳极，用于海水中的船体、码头钢桩和海工钢结构。
- [船用铝阳极](#)：船体外板、舵及其他水下部位用铝合金阳极，可按安装位置选择焊接式或螺栓连接式。
- [储罐铝阳极](#)：用于储罐内沉积水区及船舶压载舱、液舱的铝合金阳极，按安装图选择铁脚和固定方式。
- [圆盘铝阳极](#)：中心开孔、螺栓固定的圆盘铝阳极，用于凝汽器水室、海水冷却器端盖等检修部位。
- [管状铝合金阳极](#)：空心管状铝合金阳极，内外径、长度和钢芯按图确认，用于相应套管或海水管道结构。
- [码头用铝阳极](#)：码头钢管桩、钢板桩用铝合金阳极，外露铁脚焊接固定，规格和安装位置按工程图纸选择。
- [螺栓铝阳极](#)：通过铁脚螺栓孔固定的铝合金阳极，用于船体及液舱等需要拆装更换的部位。
- [港工铝合金阳极](#)：导管架、海上平台和港口钢结构用铝合金阳极，按阳极清单确认规格、铁脚和安装方式。
- [电厂铝阳极](#)：用于电厂海水冷却系统的铝合金阳极，覆盖凝汽器水室、循环水管道及取水设施等部位。
- [镯式铝阳极](#)：两个半环拼合、环抱海底管道安装的铝合金阳极，按管径、防腐层及配重层尺寸选型。