

## 前 言

本标准是对 GB/T 7388—1987《船用辅助阳极技术条件》的修订。

本标准与 GB/T 7388—1987 的主要技术差异如下：

增加了铂钛复合阳极、铂铌复合阳极和钛基金属氧化物阳极及相应的型号、结构、要求、试验方法和检验规则。

删去了 GB/T 7388—1987 中的附录 A“铅银及铅银微铂阳极的铸造工艺”和附录 B“镀铂钛阳极的电镀工艺”。

本标准与 GB/T 3108—1999《船体外加电流阴极保护系统》配套使用。

本标准自实施之日起，同时代替 GB/T 7388—1987。

本标准的附录 A、附录 B 和附录 C 都是提示的附录。

本标准由全国海洋船标准化技术委员会船用材料应用工艺分技术委员会提出。

本标准由中国船舶工业总公司洛阳船舶材料研究所归口。

本标准由中国船舶工业总公司洛阳船舶材料研究所和交通部上海船舶运输科学研究所负责起草。

本标准主要起草人：许立坤、许建华、王朝臣、李桂华、董克贤、王在忠、董飒英。

本标准于 1987 年 3 月首次发布。

船用辅助阳极技术条件

代替 GB/T 7388—1987

Technical requirements for marine auxiliary anode

## 1 范围

本标准规定了船用辅助阳极的分类、命名、要求、试验方法、检验规则及标志、包装、运输和贮存。

本标准适用于钢质海船船体外加电流阴极保护系统中的辅助阳极的设计、生产和检验。海水中其他钢结构物外加电流阴极保护系统中的辅助阳极亦可参照本标准。

## 2 引用标准

下列标准所包含的条文,通过在本标准中引用而构成为本标准的条文。本标准出版时,所示版本均为有效。所有标准都会被修订,使用本标准的各方应探讨使用下列标准最新版本的可能性。

GB 191—1990 包装储运图示标志

GB/T 469—1995 铅锭

GB/T 1419—1989 海绵铂

GB/T 3620.1—1994 钛及钛金牌号和化学成分

GB/T 4103.5—1983 铅基合金化学分析方法 双环己酮草酰二脲光度法测定铜量

GB/T 4103.6—1983 铅基合金化学分析方法 邻二氮杂菲光度法测定铁量

GB/T 4103.12—1983 铅基合金化学分析方法 原子吸收分光光度法测定银、锌、镁和钠量

GB 4135—1994 银锭

GB/T 6896—1998 铌条

CB/T 3667.1—1995 船舶电缆敷设和电气设备安装附件 电缆贯通装置

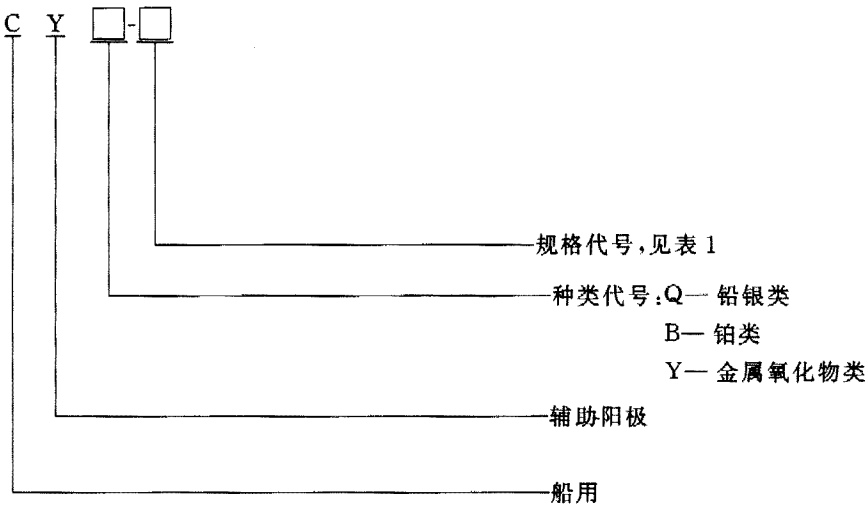
## 3 分类和命名

### 3.1 分类

船用辅助阳极按其材料分为三类共六种。其中铅银类包括铅银合金阳极、铅银微铂阳极;铂类包括镀铂钛阳极、铂钛复合阳极、铂铌复合阳极;金属氧化物类为钛基金属氧化物阳极。

### 3.2 型号表示

船用辅助阳极的型号表示如下:



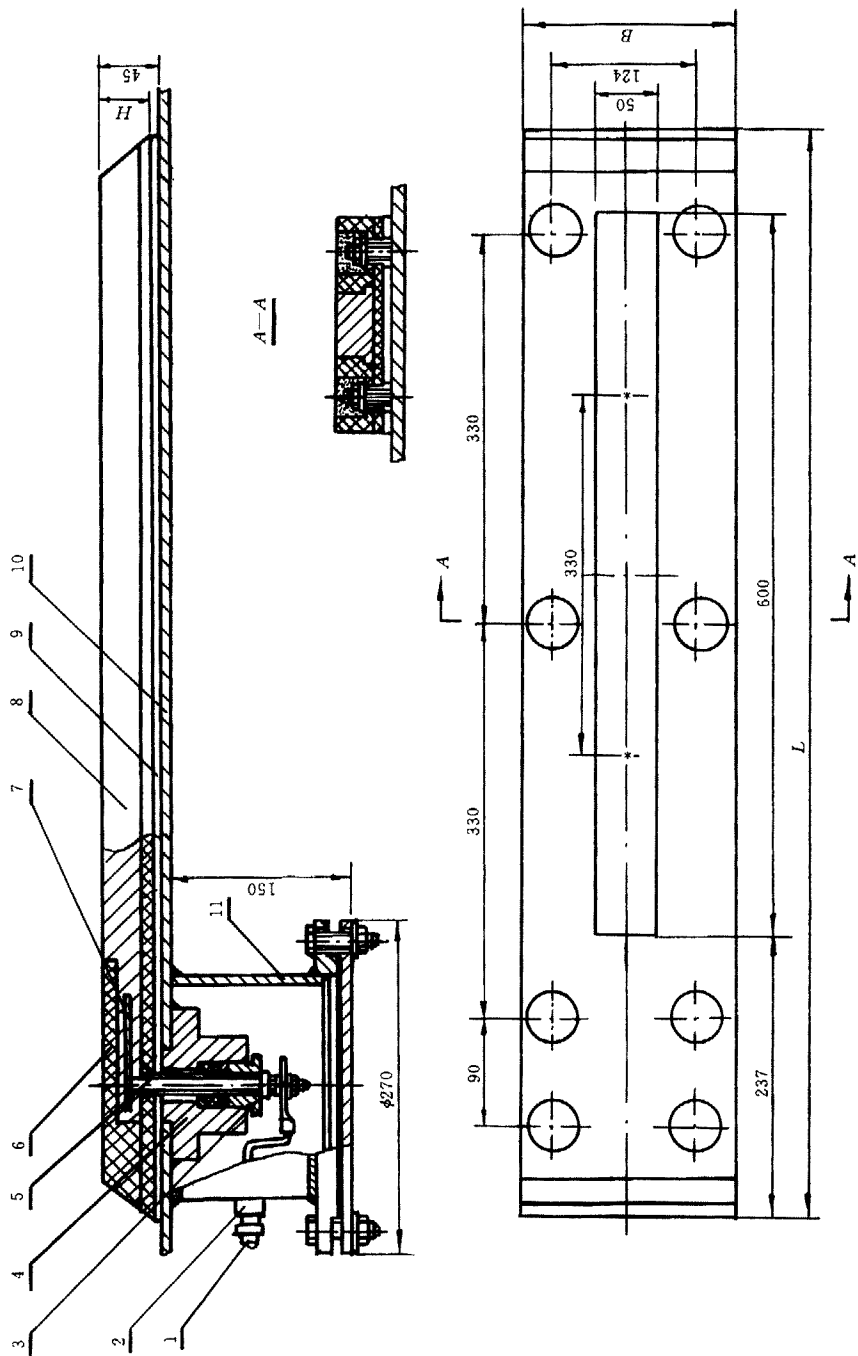
3.3 规格、参数和结构型式

船用辅助阳极的规格、参数见表 1,结构型式见图 1~图 7。

表 1 船用辅助阳极的规格和参数

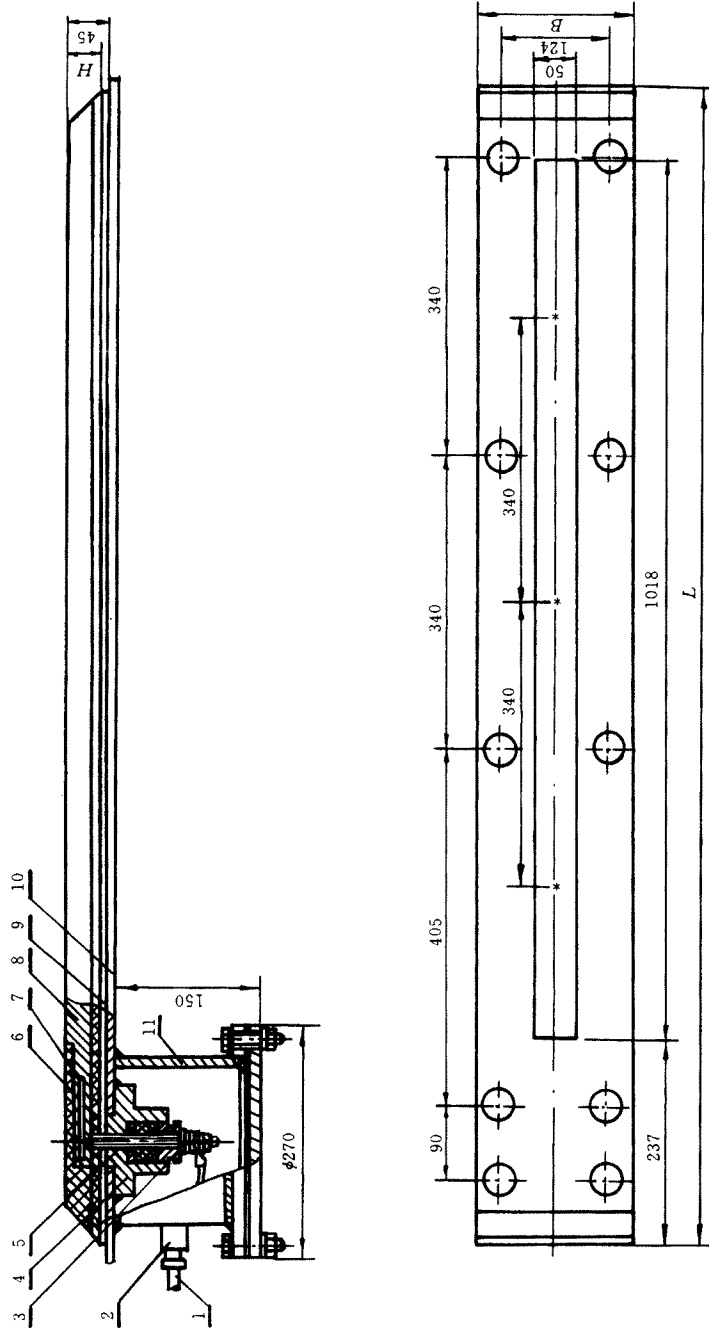
型 号	名 称	形 状	外形尺寸 <sup>1)</sup> , mm				阳极体工作面积 mm <sup>2</sup>	阳极体厚度 mm	使用寿命 a	工作电流范围 A	结构图示
			L(D)	B	H	安装孔数					
CYQ-1	铅银合金阳极	长条	920	180	40	8	600×50	32	>6	1.5~7.5	图 1
CYQ-2		长条	1 340	180	40	10	1 018×50	32		2.5~12.5	图 2
CYQ-3		圆盘	φ198	φ146	25	—	16 700	35		0.8~5.0	图 4
CYQ-4		圆盘	φ290	φ245	30	—	50 000	40		2.5~15	图 4
CYQ-5	铅银微铂阳极	长条	920	180	40	8	600×50	32	>10	1.5~30	图 1
CYQ-6		长条	1 340	180	40	10	1 018×50	32		2.5~50	图 2
CYQ-7		长条	540	180	40	6	400×50	32		1.0~20	图 3
CYB-1	镀铂钛阳极	圆盘	φ144	φ76	5	—	4 000	镀铂层厚度 2.5~10 μm	6~10	≤5	图 4
CYB-2	铂钛复合阳极	长条	920	180	40	8	700×50	包铂层厚度 ≥10 μm	20	≤50	图 5
CYB-3	铂钌复合阳极	长条	520	160	25	6	8 850 (φ3 丝状)	包铂层厚度 ≥10 μm	20	≤15	图 6
CYB-4		长条	920	180	40	8	700×50	包铂层厚度 ≥10 μm	20	≤70	图 5
CYY-1	钛基 金属 氧化物 阳极	圆盘	φ290	φ245	30	—	50 000	氧化物层厚度 ≥8 μm	15	≤30	图 4
CYY-2		长条	560	150	25	6	41 200			≤25	图 7
CYY-3		长条	840	150	25	6	67 700			≤40	图 7
CYY-4		长条	1 450	150	25	10	124 400			≤75	图 7

1) 外形尺寸中, L 的允许偏差为 ±0.5%, D 和 B 的允许偏差为 ±1%, H 的允许偏差为 ±3%。



注：\* 为嵌铅丝位置。  
1—电缆；2—电缆填料函；3—压紧螺母；4—阳极填料函；5—导电杆；6—绝缘座；7—导电排；8—阳极体；9—橡皮垫；10—船体；11—水管罩

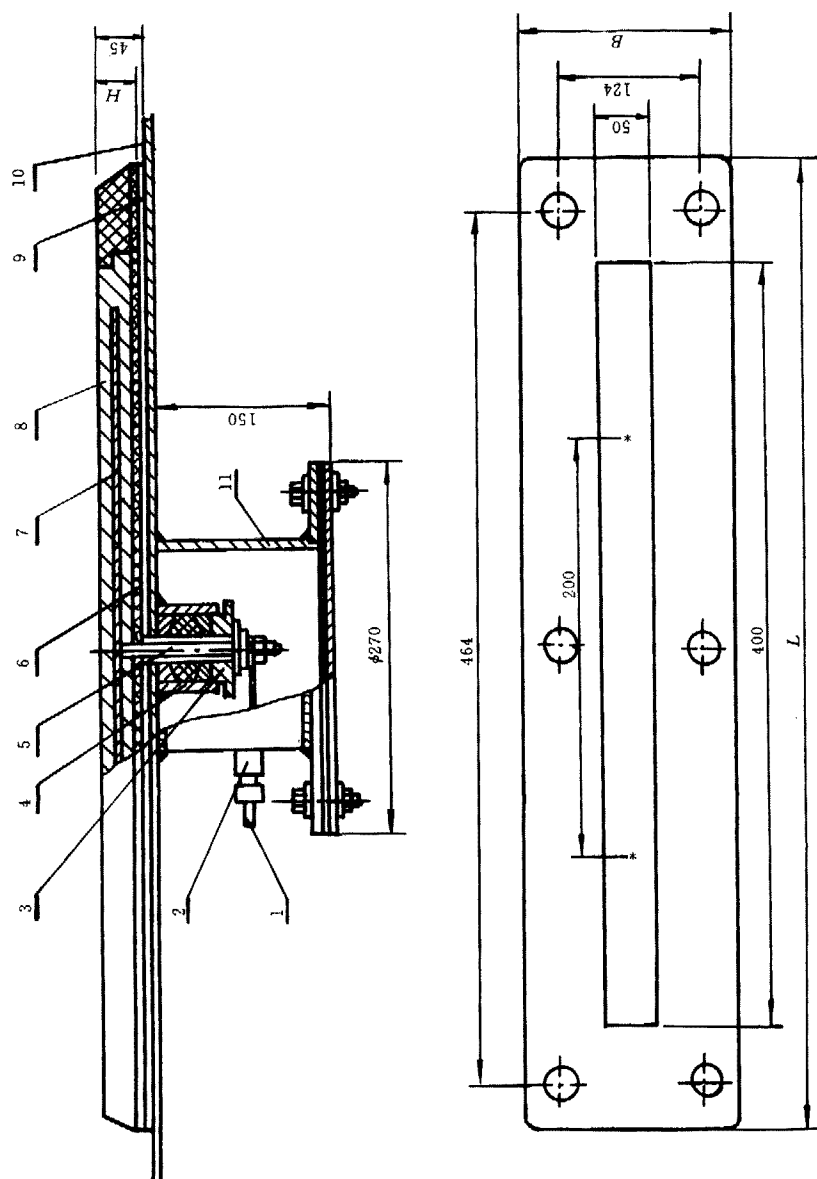
图 1 长条状(CYQ-1 型及 CYQ-5 型)辅助阳极结构图



注：\* 为嵌铂丝位置。

1—电缆；2—电缆填料函；3—压紧螺母；4—阳极填料函；5—导电杆；6—绝缘座；7—导电排；8—阳极体；9—橡皮垫；10—船体；11—水密罩

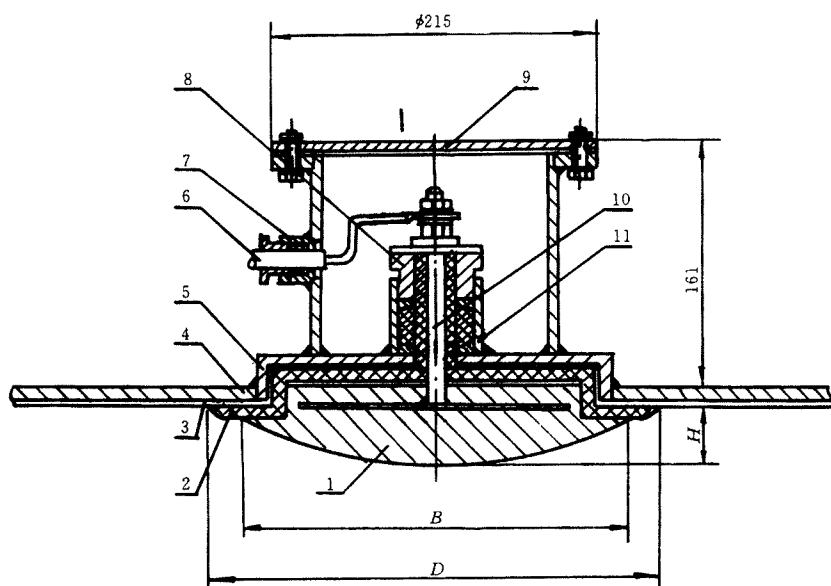
图 2 长条状(CYQ-2 型及 CYQ-6 型)辅助阳极结构图



注：\* 为嵌铂丝位置。

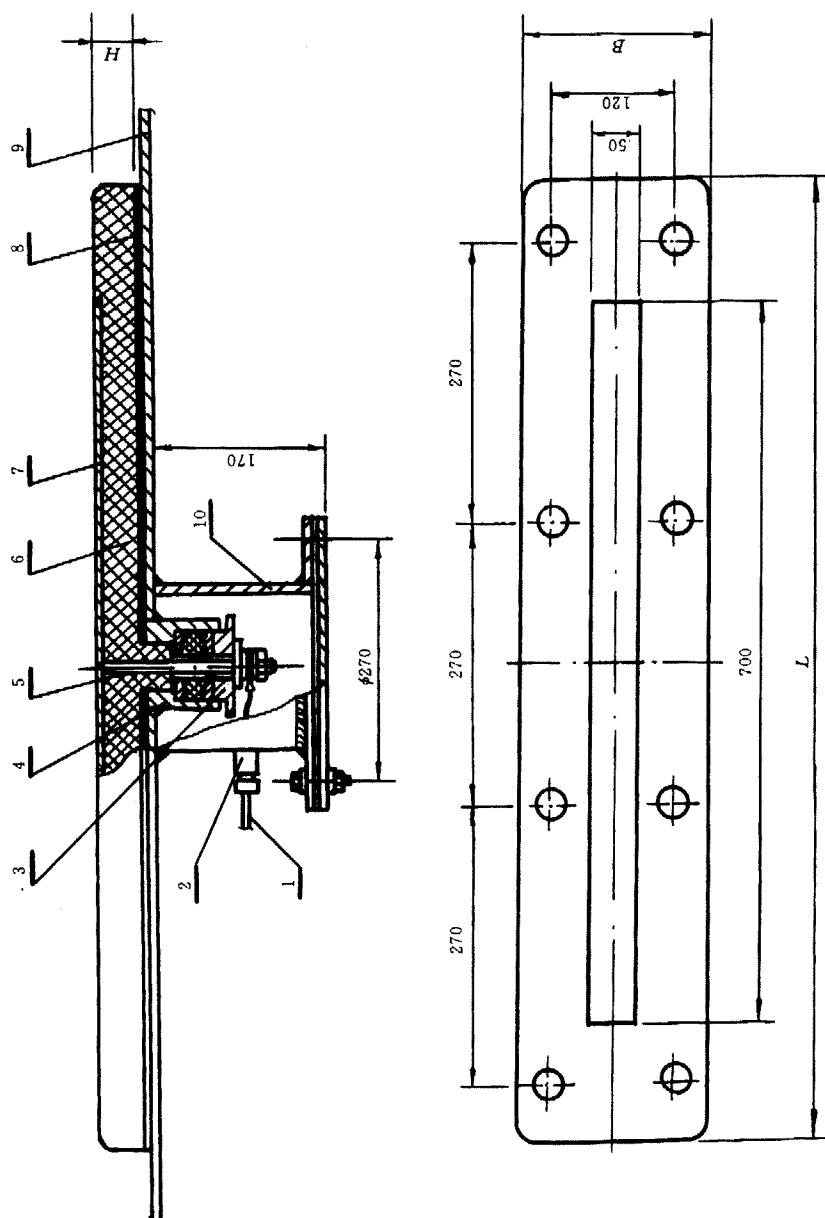
1—电缆；2—电缆填料函；3—压紧螺母；4—阳极填料函；5—导电杆；6—绝缘座；7—导电排；8—阳极体；9—橡皮垫；10—船体；11—水密罩

图 3 长条状 (CYQ-7 型) 辅助阳极结构图



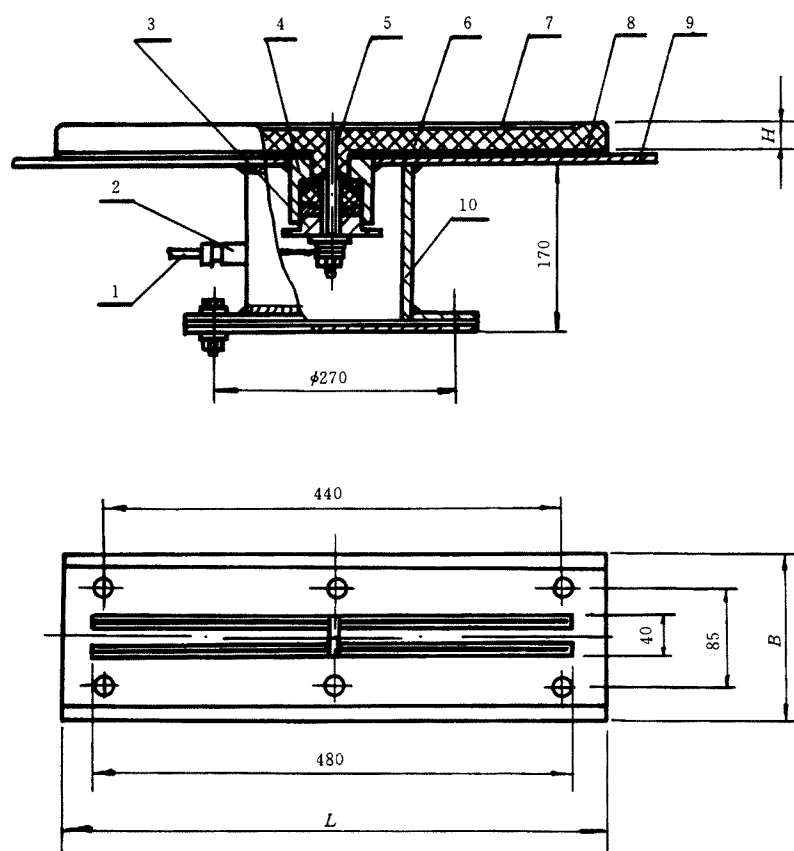
1—阳极体；2—绝缘座；3—阳极屏蔽层；4—船体；5—阳极体座；6—电缆；  
7—电缆填料函；8—压紧螺母；9—水密罩；10—导电杆；11—阳极填料函

图 4 圆盘状辅助阳极结构图



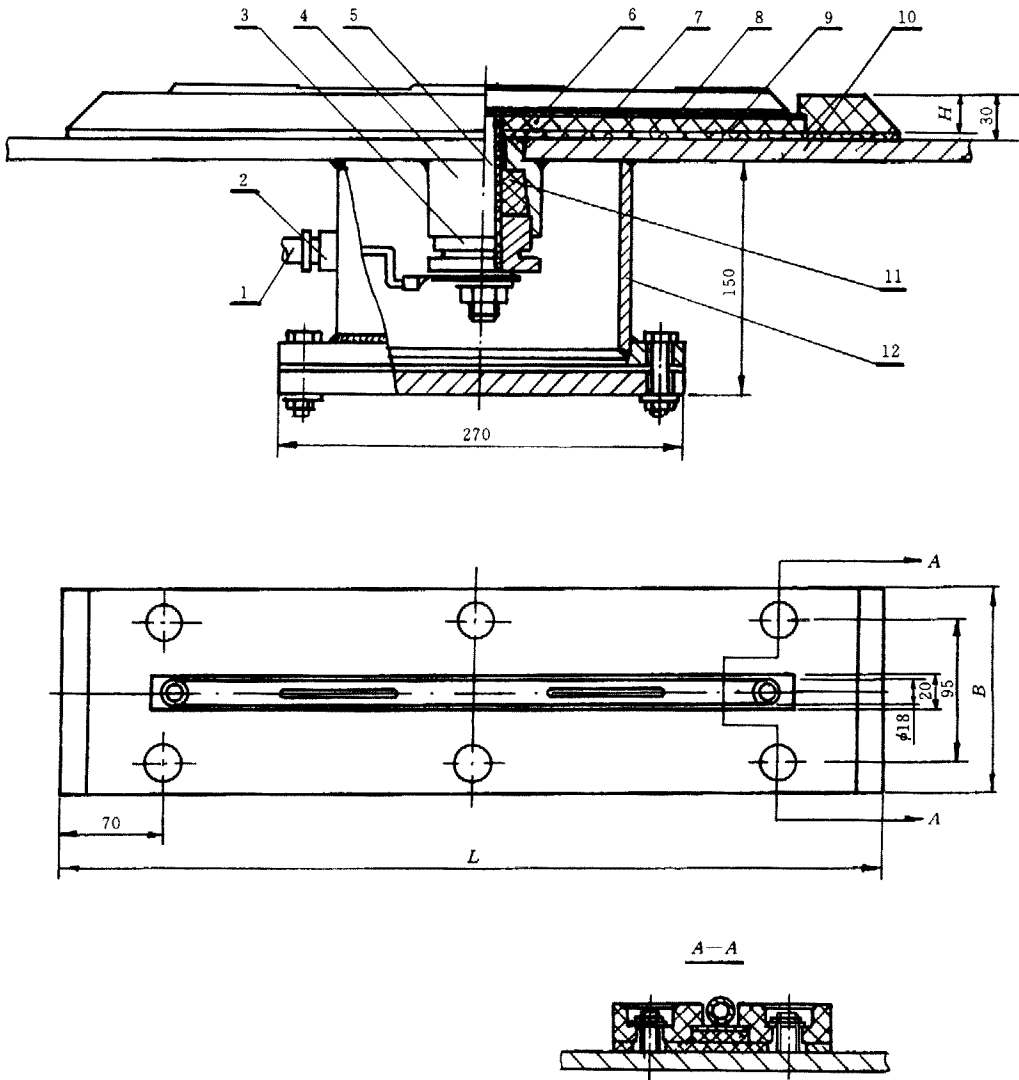
1—电缆; 2—电缆填料函; 3—压紧螺母; 4—阳极填料函; 5—导电杆; 6—阳极绝缘座; 7—阳极体; 8—橡皮垫; 9—船体; 10—水密罩

图 5 长条状(CYB-2 型及 CYB-4 型)辅助阳极结构图



1—电缆；2—电缆填料函；3—压紧螺母；4—阳极填料函；5—导电杆；  
6—阳极绝缘座；7—阳极体；8—橡皮垫；9—船体；10—水密罩

图 6 长条状(CYB-3 型)辅助阳极结构图



### 3.4 标记示例

阳极材料为铅银合金,规格号为 1 的船用辅助阳极,其标记为:

辅助阳极 CYQ-1 GB/T 7388—1999

## 4 要求

### 4.1 原材料

- 4.1.1 铅的纯度不低于 GB/T 469 中 Pb-2 的规定。
- 4.1.2 银的纯度不低于 GB 4135 中 Ag-2 的规定。
- 4.1.3 铂丝的纯度不低于 99.95%,或为含 10%~20% 铱的铂铱合金丝。
- 4.1.4 铂的纯度不低于 GB/T 1419 中 HPt-2 的规定。
- 4.1.5 钛的纯度不低于 GB/T 3620.1 中 TA-2 的规定。

4.1.6 铌应符合 GB/T 6896 中 Nb-1 的要求。

## 4.2 化学成分及成型

4.2.1 铅银合金阳极的化学成分应符合表 2 的要求。

表 2 铅银合金阳极的化学成分

化学元素	Ag	Pb	杂质 ≤	
			Fe	Cu
含量 %	2~3	余量	0.005	0.03

4.2.2 铅银微铂阳极是在铅银合金基体中嵌入铂丝或铂铌合金丝而成型。铅银合金基体的银含量为 1%~2%，其余要求同 4.2.1。嵌入铂丝或铂铌合金丝应符合如下要求：

a) 铅银合金的工作表面积与铂丝或铂铌合金丝的工作表面积比约为 1000 : 1；

b) 铅银微铂阳极中的铂丝或铂铌合金丝，在基体中的长度应不小于 15 mm。

4.2.3 铅银合金和铅银微铂阳极在使用前通常应进行成膜预处理，其成膜工艺可参见附录 C(提示的附录)中的 C4.2。

4.2.4 镀铂钛阳极可采用在工业纯钛基体上电镀铂的方法成型。

4.2.5 铂钛复合阳极可采用在钛基体上爆炸焊接复合铂层并经轧制而成型。

4.2.6 铂铌复合阳极可在铌基体上包覆铂层并经冶金拉拔成丝状或轧制成板状而成型。

4.2.7 钛基金属氧化物阳极可在钛基体上，采用热解法覆盖导电的金属氧化物层而成型。

4.2.8 镀铂层、包铂层和金属氧化物层应与基体结合牢固；弯曲试验时，铂层或氧化物层应无剥离；其厚度应符合表 1 的要求。

## 4.3 工作电流

各种辅助阳极的工作电流范围应符合表 1 的要求。

## 4.4 电化学性能

各种辅助阳极的电化学性能应符合表 3 的要求。

表 3 各种辅助阳极的电化学性能

名 称		工作电流密度 A/m <sup>2</sup>	消耗率 ≤ kg/(A·a)	极化电位 <sup>1)</sup> ≤ V
铅银合金 阳极	含 2%Ag	50~250	$1 \times 10^{-1}$	2.0
	含 3%Ag	50~300		
铅银微铂阳极		50~1 000	$8 \times 10^{-3}$	2.2
镀铂钛阳极		≤1 250	$6 \times 10^{-6}$	2.3
铂钛复合阳极		≤1 500	$6 \times 10^{-6}$	2.5
铂铌复合阳极		≤2 000	$6 \times 10^{-6}$	2.5
钛基金属氧化物阳极		≤600	$5 \times 10^{-6}$	1.9
1) 指在额定工作电流密度下的恒电流极化电位。				

## 4.5 结构

4.5.1 辅助阳极必须与船体绝缘，应把阳极体固定在绝缘座内，仅露出工作面。导电杆应绝缘地穿过船体，用填料函水密，另加水密罩。

4.5.2 阳极绝缘座应采用耐海水、耐碱、耐氯气的绝缘材料制成。

4.5.3 铅银合金阳极和铅银微铂阳极的导电杆和导电排应采用与铅银合金基体结合良好，并且导电性优良的材料。

4.5.4 电缆填料函的结构尺寸应符合 CB/T 3667.1 的要求。

#### 4.6 绝缘性能

阳极体或导电杆与阳极填料函或水密罩之间的绝缘电阻值,在干燥状态下(即阳极结构安装完毕后没有试水压前)应大于 1 M $\Omega$ 。

#### 4.7 水密性

阳极结构在 196 kPa 的水压下,历时 15 min 应不渗水。

#### 4.8 外形尺寸和表面质量

4.8.1 各型号阳极的外形尺寸应符合 3.3 的要求。

4.8.2 铅银合金阳极和铅银微铂阳极的工作面均为铸造表面,表面应无氧化渣、毛刺飞边、裂纹、缩孔等缺陷。

4.8.3 镀铂钛阳极、铂钛和铂铌复合阳极表面为银白色,具有一定的金属光泽,无毛刺、裂纹、起皮等缺陷。

4.8.4 钛基金属氧化物阳极表面为深黑色,氧化物涂层应光滑、无异物。每个阳极表面划痕不得超过两处,每条划痕长不大于 20 mm,深度不得露出基材。

4.8.5 阳极工作表面要保持清洁,不得沾有油漆或油污。

### 5 试验方法

#### 5.1 外形尺寸和表面质量检验

外形尺寸用钢板尺或游标卡尺检测,表面质量采用目测进行检验。结果应符合 4.8 的要求。

#### 5.2 绝缘性能试验

应模拟实船的情况进行阳极结构组装,然后用 500 V 兆欧表测量阳极体或导电杆与填料函或水密罩之间的绝缘电阻值。结果应符合 4.6 的要求。

#### 5.3 水密性试验

应模拟实船的情况进行阳极结构组装,然后进行水密性试验,水密性试验参照附录 A(提示的附录)规定的方法进行。结果应符合 4.7 的要求。

#### 5.4 化学成分分析

铅银合金阳极和铅银微铂阳极的化学成分按 GB/T 4103.5、GB/T 4103.6 和 GB/T 4103.12 的规定进行分析。结果应符合 4.2.1 和 4.2.2 的要求。

#### 5.5 铂层及氧化物层厚度的检验

在同一批的铂类阳极或钛基金属氧化物阳极体上随机截取试样,也可在随同一批阳极一起生产的样片上随机截取试样,在显微镜下测量铂层或氧化物层的厚度。在检查面上任取 10 点测量其厚度值,结果应符合 4.2.8 的要求。

#### 5.6 电化学性能试验

辅助阳极的电化学性能试验参照附录 B(提示的附录)和附录 C(提示的附录)所规定的试验方法进行。结果应符合 4.4 的要求。

#### 5.7 铂层及氧化物层结合状态的检验

用显微镜观察铂类阳极试样截面上铂层与基体的结合状态;并将铂类阳极或金属氧化物阳极试样绕  $\phi 12$  的圆棒弯曲 180°,观察铂层或氧化物层的状态,结果应符合 4.2.8 的要求。

### 6 检验规则

#### 6.1 检验分类

辅助阳极产品的检验分为型式检验和出厂检验。

#### 6.2 型式检验

6.2.1 阳极按本标准生产时,有下列情况之一者,应做型式检验:

- a) 新产品设计定型时;
- b) 产品转厂生产时。

6.2.2 型式检验的检验项目见表 4。

表 4 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	外形尺寸和表面质量	4.8	5.1	✓	✓
2	绝缘性能	4.6	5.2	✓	✓
3	水密性	4.7	5.3	✓	✓
4	原材料	4.1	—	✓	✓
5	化学成分	4.2	5.4	✓	仅分析铅银类阳极含银量
6	铂层及氧化物层厚度	4.2	5.5	✓	✓
7	电化学性能	4.4	5.6	✓	—
8	铂层及氧化物层结合状态	4.2	5.7	✓	—

6.2.3 一批产品应是一次提供或者在同一周期内生产的阳极,并且这些产品是成批制造的或在基本相同条件下生产的产品。

6.2.4 每批产品按其批量的 10%(至少三个)随机抽样进行检验。

6.2.5 检验中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,则该批产品为不合格。

### 6.3 出厂检验

6.3.1 每批产品出厂前均应进行检验,并提供产品合格证书。

6.3.2 出厂检验的检验项目见表 4。

6.3.3 出厂检验的抽样和判定规则同 6.2.4 和 6.2.5。

## 7 标志、包装、运输和贮存

7.1 检验合格的辅助阳极应带有产品合格证,并应在明显处标明名称、型号、编号、生产厂和生产日期。

7.2 阳极及其附件需使用坚固的包装箱包装,以保证产品在运输过程中受到良好的保护,防止机械损伤。阳极表面应采用软质材料包裹,保证铅银微铂阳极的铂丝不碰断;保证镀铂钛阳极、铂钛和铂铌复合阳极、金属氧化物阳极的表面不划伤。

7.3 包装箱内应有产品合格证和装箱单。

7.4 包装箱面的文字应规整、清晰、正确,并包括下列内容:

- a) 到站或到港及收货单位全称;
- b) 货物名称及型号;
- c) 净重或毛重及体积;
- d) 发货单位全称;
- e) 包装年月。

7.5 包装箱面的标志应符合 GB 191 的规定。

7.6 阳极包装后,可用常用的交通工具运输,但应避免机械碰撞。

7.7 阳极包装后,应贮存在库房中,不得露天堆放。严禁沾染油漆、油污和接触酸、碱、盐等化学品。

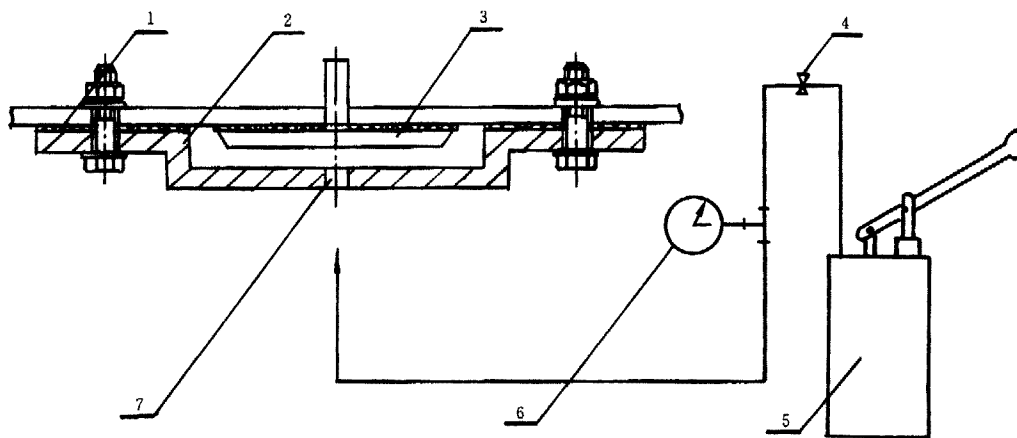
## 附录 A

(提示的附录)

## 阳极结构的水密性试验方法

## A1 试验装置

试验装置见图 A1。



1—垫圈；2—夹具；3—辅助阳极；4—控制阀；5—水泵；6—压力表；7—密封接口

图 A1 阳极水密试验装置示意图

## A2 试验步骤

将试验阳极安装在试验装置上，打开水泵开关，加压到 196 kPa 时，保持 15 min，观察有无渗漏现象。

## 附录 B

(提示的附录)

## 阳极极化性能试验方法(恒电流法)

## B1 试样制备

- 铅银合金阳极试样尺寸为  $\phi 18 \text{ mm} \times 20 \text{ mm}$  的圆柱体，表面粗糙度不大于  $Ra 3.2$ 。
- 铅银微铂阳极试样尺寸同铅银阳极，铂丝嵌入阳极中央。
- 镀铂钛阳极、板状铂钛和铂铌复合阳极和金属氧化物阳极的试样尺寸为  $20 \text{ mm} \times 5 \text{ mm} \times 1 \text{ mm}$ 。
- 丝状铂铌复合阳极试样尺寸为  $\phi 3 \text{ mm} \times 20 \text{ mm}$ 。
- 每种阳极试样为三个。

## B2 试验条件

- 介质：洁净的天然海水或人造海水，人造海水的成分见表 B1，采用分析纯试剂配制。

表 B1 人造海水的化学成分

化合物	NaCl	MgCl <sub>2</sub>	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	CaCl <sub>2</sub>	KCl
浓度 (g/L)	24.53	5.20	4.09	1.16	0.695
化合物	NaHCO <sub>3</sub>	KBr	H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>	SrCl <sub>2</sub>	NaF
浓度 (g/L)	0.201	0.101	0.027	0.025	0.003

b) 介质温度:室温。

c) 电流密度: 铅银阳极 250 A/m<sup>2</sup>;

铅银微铂 1 000 A/m<sup>2</sup>;

镀铂钛阳极 1 250 A/m<sup>2</sup>;

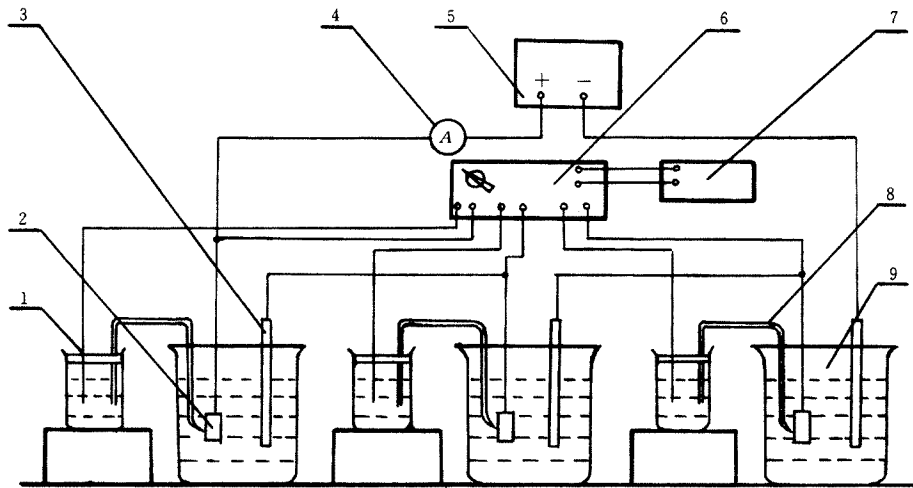
铂钛阳极 1 500 A/m<sup>2</sup>;

铂铌阳极 2 000 A/m<sup>2</sup>;

金属氧化物阳极 600 A/m<sup>2</sup>。

### B3 试验装置

试验装置见图 B1。



1—参比电极;2—研究电极;3—辅助电极;4—电流表;5—直流恒流源;6—测量转换开关;  
7—数字电压表;8—盐桥;9—电解池(大于4 000 mL 的烧杯)

图 B1 阳极极化电位及消耗率试验装置图

### B4 试验步骤

B4.1 试样浸入人造海水中 10 min 后,测量各个阳极的开路电位值。

B4.2 逐个通电,按所规定的电流密度进行恒电流极化。待第一个阳极极化电位峰值过后再接通第二个,第二个阳极极化电位峰值过后再接通第三个。用数字电压表监测电位变化趋势,并定时记录。

B4.3 待全部阳极通过极化峰值后,可以每 2 h 测一次电位,直到电位完全趋于稳定为止。

B4.4 整个试验时间为 5 d。

**B5 数据处理**

B5.1 根据记录作出六种阳极的电位-时间曲线。

B5.2 从电位-时间曲线上或从测试记录中,测出稳态时的阳极极化电位。

**附 录 C**

(提示的附录)

**铅银合金及铅银微铂阳极的消耗率试验方法****C1 试样制备**

a) 铅银合金阳极和铅银微铂阳极试样同附录 B 的 B1。

b) 每种阳极试样为三个。

c) 试样上端面用橡胶圈压紧密封。

**C2 试验条件**

a) 介质:人造海水,成分见附录 B 的表 B1。

b) 介质温度:室温。

c) 电流密度:铅银阳极  $200 \text{ A/m}^2$ ;铅银微铂阳极  $600 \text{ A/m}^2$ 。

**C3 试验装置**

试验装置同附录 B 的 B3。

**C4 试验步骤**

C4.1 试样浸入人造海水中 10 min 后测阳极开路电位值。

C4.2 通电预处理成膜,预处理条件见表 C1。

表 C1 成膜预处理条件

电极种类 \ 成膜条件	第 一 步		第 二 步	
	电流密度, $\text{A/m}^2$	时间, h	电流密度, $\text{A/m}^2$	时间, h
铅银合金阳极	80	24	100	24
铅银微铂阳极	100		300	

C4.3 预处理成膜后,按规定的电流密度恒流通电,可以每半日测一次电位。

C4.4 预处理成膜后,换一次人造海水,以后每周换一次即可。

C4.5 试验时间:成膜后 42 d。

C4.6 每次换下来的人造海水,用硝酸加双氧水溶解其中铅的沉淀物,并过滤,记下每次换下来的人造海水的体积。

C4.7 经处理的人造海水,用化学分析方法或原子吸收光谱法测定其中所溶解的铅含量。

## C5 数据处理

用公式(C1)计算阳极的年消耗率:

$$Y = m / (I \times t) \quad \dots\dots\dots (C1)$$

式中:  $Y$ ——消耗率, kg/(A · a);

$m$ ——人造海水中溶解的铅含量, kg;

$I$ ——阳极所通的电流, A;

$t$ ——通电的时间, a。

---