



中国船舶工业总公司部标准

CB/Z 263—97

潜艇蓄电池装载舱口设计计算方法

The design calculating method of storage
battery loading hatchway for submarine

1996—12—23 发布

1997—06—01 实施

中国船舶工业总公司 发布

潜艇蓄电池装载舱口设计计算方法

The design calculating method of storage battery
loading hatchway for submarine

1 范围

1.1 主题内容

本标准规定了潜艇耐压船体壳板上蓄电池装载舱口结构设计的一般要求及其强度计算方法。

1.2 适用范围

本标准适用于蓄电池装载舱口(以下简称舱口)在耐压船体的一档肋骨间距内,长边沿周向的矩形开孔的加强结构的设计计算。

2 引用文件

本章无条文。

3 定义

3.1 符号

本标准使用的符号见表1。

表 1

量的符号	量的名称	单位符号
P_c	计算压力	MPa
P_r	极限压力	MPa
l	肋骨间距	cm
P	组合环的均布载荷	N/cm
R	耐压船体半径	cm
R_1	舱口加强结构中和轴半径	cm
R_2	耐压船体组合截面中和轴半径	cm
I_1	舱口加强结构惯性矩	cm ⁴
I_2	耐压船体组合截面惯性矩	cm ⁴
$W_{1,max}$	舱口加强结构最大剖面模数	cm ³
$W_{1,min}$	舱口加强结构最小剖面模数	cm ³
$W_{2,max}$	耐压船体组合截面最大剖面模数	cm ³
$W_{2,min}$	耐压船体组合截面最小剖面模数	cm ³
$\sum A$	舱口加强结构中线面处总截面积	cm ²
M_α	任意 α 角截面上的弯矩	MPa
$9S_\alpha$	任意 α 角截面上的轴向力	MPa

续表

量的符号	量的名称	单位符号
T_{α}	任意 α 角截面上的剪力	MPa
θ	舱口加强角度	rad
t	板厚	cm
a	板的长边	cm
b	板的短边	cm
n	加强筋数量	
t_1	加强筋厚度	cm
h	加强筋高度	cm
m	螺栓数量	
D	螺栓直径	cm
δ_s	材料屈服应力	MPa

4 一般要求

4.1 舱口区的加强,一般可采用耐压壳板的嵌入厚板、舱口围壁及贴板等联合加强结构型式(图 1a 型);也可采用在原有耐压船体壳板上,围壁的下端舱内设置垂向扁钢(图 1b 型)。围壁上部设置水平凸缘、围壁四周设置肘板加强。

4.2 舱口在耐压船体壳板上的矩形开孔尺寸应根据吊装蓄电池的需要,孔口角隅圆弧要求以及保证施工工艺质量等因素确定。并需考虑体开孔强度。

4.3 舱口周向围壁应设置在肋骨平面内(被切去的肋骨长度不小于 800mm)并向舱口两侧适当延伸与肋骨相对接。当围壁厚度大于肋骨腹板厚度 4mm 时,应削斜过渡,削斜长度一般不小于厚度差值的 5 倍。

4.4 舱口加强结构的水平凸缘、围壁板、垂向扁钢或贴板等组合剖面的中和轴要尽可能地与耐压船体壳板带肋组合剖面的中和轴相接近。

4.5 与耐压船体肋骨连接的舱口加强结构采用面板过渡的 T 字形肋骨。

4.6 舱口加强结构在中线面处的组合剖面的惯性矩与耐压船体壳板带肋组合剖面的惯性矩之比,一般取 1.5 倍左右为宜。舱口加强结构以外,过渡区的剖面惯性矩要求缓慢过渡。

5 详细要求

5.1 舱口加强结构强度计算

5.1.1 计算假设条件

舱口加强结构强度计算的假设条件:

a. 舱口加强结构与耐压船体壳板带肋剖面是由两个不同截面和不同半径的圆形部分组成的组合圆环;

b. 舱口在中线面处剖面的中和轴和惯性矩为整个舱口加强结构部分的中和轴和惯性矩;

c. 舱口加强结构以外为耐压船体壳板带肋的结构;

d. 强度计算中不计入舱口盖板。

5.1.2 舱口加强结构应力计算

5.1.2.1 舱口加强结构水平凸缘处的最大总应力 σ_{s1} 按公式(1)计算:

$$\sigma_{s1} = \pm \frac{S_o}{\sum A} \pm \frac{M_o}{W_{1,max}} \dots\dots\dots (1)$$

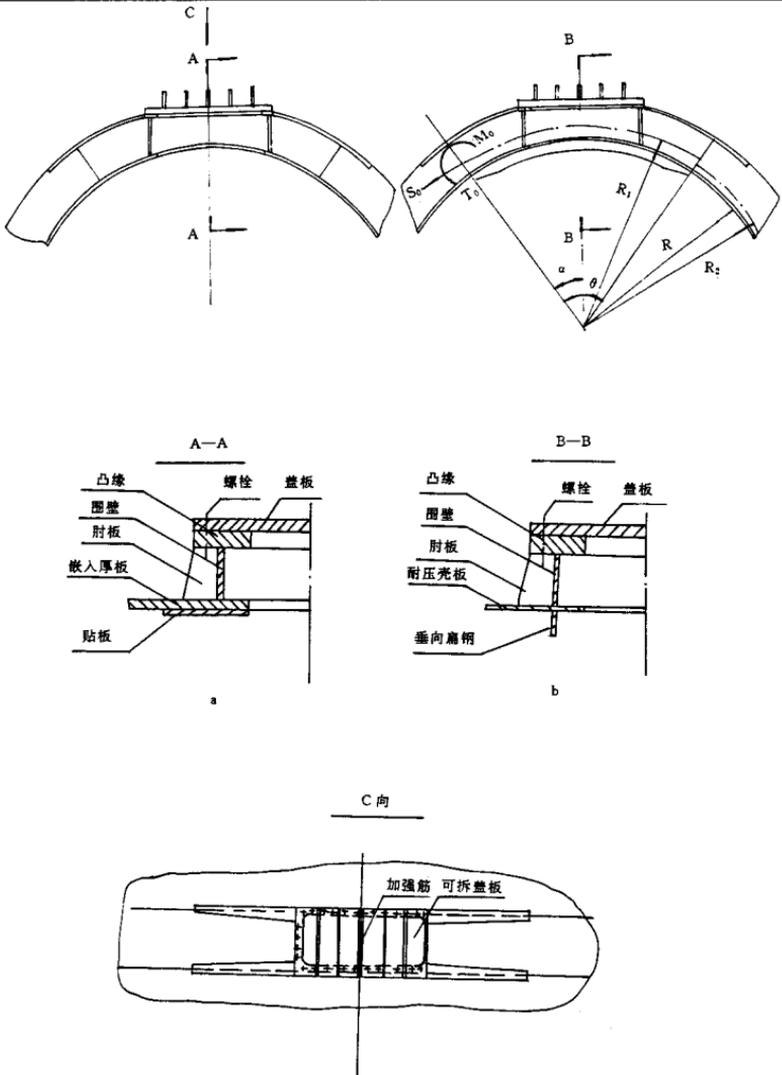


图1 蓄电池装载舱口结构示意图

舱口加强结构带板(壳板贴板或垂直扁钢)处的最大总应力 σ_{\pm} 按公式(2)计算:

$$\sigma_{\pm} = \pm \frac{S_e}{\sum A} \mp \frac{M_e}{W_{1.min}} \dots \dots \dots (2)$$

式中:“±”号按下述规则选取,外压时取上面的符号;内压(泵水)取下面的符号。“-”是压应力,“+”是拉应力。

S_e, M_e ——当 $\alpha = \theta/2$ 时,舱口加强结构中中线面上的内力,MPa。

5.1.2.2 舱口截面上的内力表达式

以舱口加强结构与耐压船体组合截面交界处的一端作为起点,作用在此截面上有弯矩 M_0 、轴心力 S_0 和剪力 T_0 。图 1 所示内力均为正方向。

舱口加强结构 θ 角范围内,任意 α 角截面上的弯矩 M_α ,按公式(3)或公式(4)计算:

当 $0 < \alpha < \theta$ 时

$$M_\alpha = M_0 + S_0 R_1 (1 - \cos \alpha) - T_0 R_1 (\sin \alpha + \text{PRR}_1 (1 - \cos \alpha)) \quad (3)$$

当 $\theta < \alpha < 2\pi$ 时

$$M_\alpha = M_0 + S_0 (R_1 - R_2 \cos \alpha) - T_0 R_2 \sin \alpha + \text{PRR}_2 (1 - \cos \alpha) \quad (4)$$

舱口加强结构 θ 角范围内,任意 α 角截面上的轴心力 S_α 和剪力 T_α 分别按公式(5)和公式(6)计算:

$$S_\alpha = S_0 \cos \alpha + T_0 \sin \alpha - \text{PR} (1 - \cos \alpha) \quad (5)$$

$$T_\alpha = -S_0 \sin \alpha - T_0 \cos \alpha - \text{PR} \sin \alpha \quad (6)$$

当 $\alpha = \frac{\theta}{2}$ 时的 M_α 、 S_α 、 T_α 即舱口加强结构中中线面上的内力。

应用最小势能原理,可按公式(7)、(8)、(9)求解 M_0 、 S_0 和 T_0 。

$$AM_0 + BS_0 + CT_0 = -\text{PRD} \quad (7)$$

$$BM_0 + B_1 S_0 + C_1 T_0 = -\text{PRD}_1 \quad (8)$$

$$-CM_0 - C_1 S_0 + C_2 T_0 = -\text{PRD}_2 \quad (9)$$

式中系数分别按公式(10)~(18)计算:

$$A = 2\pi\beta\mu_2 + \theta(\mu_1 - \beta\mu_2) \quad (10)$$

$$B = R\{\mu_1^2(\theta - \sin\theta) + \beta\mu_2[\mu_1(2\pi - \theta) + \mu_2 \sin\theta]\} \quad (11)$$

$$C = R\{\beta\mu_2^2 - \mu_1^2(1 - \cos)\} \quad (12)$$

$$D = R\{\mu_1^2 - \beta\mu_2^2(\theta - \sin\theta) + 2\pi\beta\mu_2^2\} \quad (13)$$

$$B_1 = R^2\{\mu_1^3(1.5\theta - 2\sin\theta + 0.25\sin 2\theta) + \beta\mu_2[\mu_1^2(2\pi - \theta) + \mu_2^2(\pi - 0.5\theta - 0.25\sin 2\theta) + 2\mu_1\mu_2 \sin\theta]\} \quad (14)$$

$$C_1 = R^2\{\mu_1^3[0.25(1 - \cos 2\theta) - (1 - \cos\theta)] + \beta\mu_2^2[\mu_1(1 - \cos\theta) - 0.25\mu_2(1 - \cos 2\theta)]\} \quad (15)$$

$$D_1 = R^2\{\mu_1^3(1.5\theta - 2\sin\theta + 0.25\sin 2\theta) + \beta\mu_2^2[\mu_1(2\pi - \theta) + \mu_2(\pi - 0.5\theta - 0.25\sin 2\theta) + (\mu_1 + \mu_2)\sin\theta]\} \quad (16)$$

$$C_2 = R^2[\mu_1^3(0.25\sin 2\theta - 0.5\theta) - \beta\mu_2^2(\pi - 0.5\theta + 0.25\sin 2\theta)] \quad (17)$$

$$D_2 = R^2\{[\mu_1^3 - \beta\mu_2^3][1 - \cos\theta] - 0.25(1 - \cos 2\theta)\} \quad (18)$$

公式(10)~(18)中的系数按公式(19)~(21)计算:

$$\beta = \frac{I_1}{I_2} \quad (19)$$

$$\mu_1 = \frac{R_1}{R} \quad (20)$$

$$\mu_2 = \frac{R_2}{R} \quad (21)$$

均布载荷 P 按公式(22)、(23)计算:

$$\text{外压计算压力下, } P = 10^2 \cdot P_e \cdot l \quad (22)$$

$$\text{内压极限压力下, } P = 10^2 \cdot P_e \cdot l \quad (23)$$

5.1.2.3 强度校核基准

极限压力(船台泵水情况)应满足公式(24)、(25)的要求。

$$\sigma_{st} = 0.7\delta s \quad (24)$$

$$\sigma_{sm} = 0.7\delta s \quad (25)$$

计算压力下应满足公式(26)、(27)的要求。

$$\sigma_{st} = 1.0\delta s \dots\dots\dots (26)$$

$$\sigma_{st} = 1.0\delta s \dots\dots\dots (27)$$

5.1.2.4 强度校核

强度校核按如下步骤:

- 根据设计给定的舱口加强结构尺寸,计算在中线面处的中和轴半径 R_1 和惯性矩 I_1 ;
- 根据给定的耐压壳板带肋剖面尺寸,计算中和轴半径 R_2 ,和惯性矩 I_2 ;
- 按公式(19)~(21)计算 β, μ_1, μ_2 值;
- 按公式(10)~(18)计算各系数;
- 按公式(7)~(9),求得 M_0, S_0 和 T_0 ;
- 计算 $\alpha = \frac{\theta}{2}$ 时的 M_α, S_α 和 T_α 值;
- 按公式(1)、(2)式分别计算对应于计算压力和极限压力状态的应力值,必须满足公式(24)~(27)的要求。

5.1.2.5 舱口加强结构强度计算实例

舱口加强结构强度计算实例见附录 A(参考件)。

5.2 舱口围壁板的强度计算

5.2.1 应力计算

舱口围壁板作为四边简支承受均匀分布载荷的板计算,板中心最大应力按公式(28)、(29)计算,见图2:

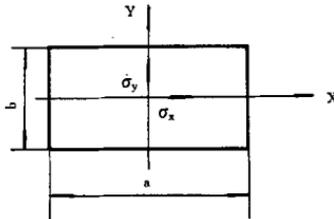


图 2

$$\sigma_x = k_1 \cdot P_c \cdot b^2 / t^2 \dots\dots\dots (28)$$

$$\sigma_x = k_2 \cdot P_c \cdot b^2 / t^2 \dots\dots\dots (29)$$

式中: k_1, k_2 ——系数按板的长边与短边比 a/b 值查表 2

表 2

a/b	1.0	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2.0	3.0	4.0	5.0	∞
k_1	0.287	0.296	0.301	0.308	0.304	0.299	0.296	0.292	0.287	0.283	0.278	0.242	0.230	0.225	0.225
k_2	0.287	0.332	0.376	0.416	0.452	0.487	0.517	0.545	0.569	0.591	0.610	0.713	0.741	0.748	0.750

5.2.2 强度校核衡准

板中心最大应力应满足公式(30)、(31)的要求。

$$\delta_x = \delta_s \dots\dots\dots (30)$$

$$\delta_y = \delta_s \dots\dots\dots (31)$$

5.2.3 舱口围壁板的强度计算实例

舱口围壁板的强度计算实例见附录 B(参考件)。

5.3 舱口可拆盖板的强度计算

5.3.1 应力计算

舱口可拆盖板作为四边简支承受均匀分布载荷的板计算,板中心的最大应力按公式(32)、(33)计算。见图 3:

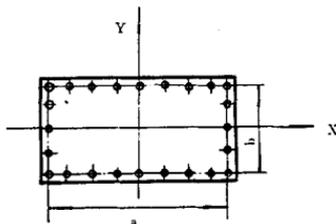


图 3

$$\sigma_x = k_1 \cdot P_c \cdot b^2 / t_n^3 \quad \dots\dots\dots (32)$$

$$\sigma_y = k_2 \cdot P_c \cdot a^2 / t_n^3 \quad \dots\dots\dots (33)$$

式中: a、b——板边长, cm(算至螺孔中心);

k₁、k₂——系数, 按板的长边与短边之比 a/b 查表 2;

t_n——可拆盖板的相当厚度按公式(34)计算。

$$t_n = t + \frac{nt_1h}{a} \quad \dots\dots\dots (34)$$

5.3.2 强度较核衡准

板中心的最大应力应满足公式(35)、(36)的要求。

$$\sigma_x = \sigma_s \quad \dots\dots\dots (35)$$

$$\sigma_y = \sigma_s \quad \dots\dots\dots (36)$$

5.3.3 舱口可拆盖板的强度计算实例

舱口可拆盖板的强度计算实例见附录 C(参考件)。

5.4 舱口可拆盖板的螺栓强度计算

5.4.1 应力计算

螺栓承受耐压船体液压试验时可拆盖板传递的拉力。可拆盖板承受的总荷载 Q 按公式(37)计算:

$$Q = P_c ab \quad \dots\dots\dots (37)$$

每个螺栓承受的拉力 F 按公式(38)计算:

$$F = \frac{Q}{m} \quad \dots\dots\dots (38)$$

螺栓应力 σ 按公式(39)计算:

$$\sigma = \frac{4F}{\pi D^2} \quad \dots\dots\dots (39)$$

5.4.2 强度校核标准

螺栓应力应满足公式(40)的要求。

$$\sigma = 0.4\sigma_s \quad \dots\dots\dots (40)$$

5.4.3 舱口可拆盖板的螺栓强度计算实例

舱口可拆盖板的螺栓强度计算实例见附录 D(参考件)。

附录 A
舱口加强结构强度计算实例
参考件

A1 舱口加强结构强度计算

A1.1 舱口加强结构型式采用围壁下端舱内设置垂向扁钢(见图 1)。

A1.2 已知数据

计算压力 $P_c = 4.27 \text{ MPa}$ 极限压力 $P_e = 2.94 \text{ MPa}$ 肋骨间距 $l = 60.0 \text{ cm}$ 计算压力下肋骨环的均布载荷 $P = 10^2 P_c \cdot l = 256.2 \times 10^2 \text{ N/cm}$ 极限压力下肋骨环的均布载荷 $P = 10^2 P_e \cdot l = 176.2 \times 10^2 \text{ N/cm}$ 耐压船体半径 $R = 300 \text{ cm}$ 舱口加强结构中轴半径 $R_1 = 305.26 \text{ cm}$ 耐压船体组合截面中轴半径 $R_2 = 305.28 \text{ cm}$ 舱口加强结构惯性矩 $I_1 = 19259 \text{ cm}^4$ 耐压船体组合截面惯性矩 $I_2 = 13001 \text{ cm}^4$ 舱口加强结构剖面模数 $W_{1,max} = 1090.5 \text{ cm}^3$

$$W_{1,min} = 990.7 \text{ cm}^3$$

耐压船体组合截面剖面模数 $W_{2,max} = 2462.3 \text{ cm}^3$

$$W_{2,min} = 556.2 \text{ cm}^3$$

舱口加强角度 $\theta = 35^\circ$ $\theta = 0.61087 \text{ rad}$ 舱口加强结构剖面总面积 $\sum A = 181.12 \text{ cm}^2$ 材料屈服应力 $\sigma_s = 590 \text{ MPa}$

A1.3 应力计算

按公式(19)~(21)计算 β , μ_1 和 μ_2 值:

$$\beta = \frac{I_1}{I_2} = 1.48135$$

$$\mu_1 = \frac{R_1}{R} = 1.01753$$

$$\mu_2 = \frac{R_2}{R} = 1.0176$$

按公式(10)~(18)计算系数:

$$A = 9.17214$$

$$A = 9.61893 R$$

$$C = 0.09017 R$$

$$D = 9.61950 R$$

$$B_1 = 14.70821 R^2$$

$$C_1 = 0.00826 R^2$$

$$D_1 = 14.70886 R^2$$

$$C_2 = -4.86805 R^2$$

$$D_2 = -0.0083 R^2$$

按公式(7)~(9)计算得:

$$M_0 = -0.00005 \text{ PR}^2$$

$$S_0 = -1.00001 \text{ PR}$$

$$T_0 = -0.00001 \text{ PR}$$

当 $\alpha = \frac{\theta}{2}$ 时,按公式(3)、(5)、(6)计算得:

$$M_\alpha = -0.00005 \text{ PR}^2$$

$$S_\alpha = -1.00001 \text{ PR}$$

$$T_\alpha = -0.00001 \text{ PR}$$

计算压力下:

舱口加强结构水平凸缘处的最大总应力:

$$\sigma_{x'} = -425.4 \text{ MPa}$$

舱口加强结构垂向扁钢处的最大总应力:

$$\sigma_{x''} = -423.2 \text{ MPa}$$

极限压力下(船台泵水情况)的舱口加强结构水平凸缘处的最大总应力:

$$\sigma_{x'} = 292.9 \text{ MPa}$$

极限压力下(船台泵水情况)的舱口加强结构垂向扁钢处的最大总应力:

$$\sigma_{x''} = 291.4 \text{ MPa}$$

结论:满足强度要求。

附录 B
舱口围壁板的强度计算实例
(参考件)

B1 已知数据

围壁板厚度 $t=2.0$ cm板的长边 $a=104$ cm板的短边 $b=24$ cm屈服应力 $\sigma_s=590$ MPa计算压力 $P_c=4.27$ MPa

B2 应力计算

按 $a/b=4.33$ 查表 2 得 $k_1=0.228$ $k_2=0.743$

板中心应力:

 $\sigma_x=140.2$ MPa $\sigma_y=457.1$ MPa

结论:满足强度要求。

附录 C
舱口可拆盖板的强度计算实例
(参考件)

C1 已知数据

可拆盖板厚 $t=3.2$ cm
板的长边 $a=109.4$ cm
板的短边 $b=64$ cm
屈服应力 $\sigma_s=590$ MPa
计算压力 $P_c=4.27$ MPa
加强筋数量 $n=5$
加强筋板厚 $t_1=2.4$ cm
加强筋高度 $h=12$ cm

C2 应力计算

可拆盖板的相当厚度

$$t_e=4.52 \text{ cm}$$

按 $a/b=1.71$ 查表 2 得:

$$k_1=0.292$$

$$k_2=0.545$$

板中心应力:

$$\sigma_x=250.0 \text{ MPa}$$

$$\sigma_y=466.6 \text{ MPa}$$

结论:满足强度要求。

附录 D
螺栓强度计算实例
(参考件)

D1 已知数据

可拆盖板长边 $a=109.4\text{ cm}$

可拆盖板短边 $b=64\text{ cm}$

螺栓数量 $m=44$

螺栓直径(M20) $D=1.7294\text{ cm}$

螺栓材料屈服应力(40Cr) $\delta_s=784.5\text{ MPa}$

内压泵水时的均布载荷 $P_e=2.94\text{ MPa}$

D2 应力计算

可拆盖板承受的总载荷: $Q=20509.4 \times 10^3\text{ N}$

每个螺栓承受的载荷: $F=466.1 \times 10^3\text{ N}$

螺栓的应力: $\sigma=198.5\text{ MPa}$

结论: 满足强度要求。

附加说明:

本标准由中国船舶工业总公司六〇一院提出。

本标准由中国船舶工业总公司第七一九研究所归口。

本标准由中国船舶工业总公司第七〇一研究所负责起草。

本标准主要起草人: 石亮明、曾革委、严君毅。