

潜艇指挥塔数学线型

齐翔^{*1}, 唐晓², 齐欢³

(1. 中国舰船研究设计中心三室, 湖北 武汉 430064;

2. 空军预警学院 预警情报系, 湖北 武汉 430012;

3. 华中科技大学 自动化学院, 湖北 武汉 430074)

摘要: 潜艇指挥塔是潜艇最重要的组成部分, 而其围壳型线优化设计是潜艇设计的重要步骤. 不同于传统研究中将潜艇指挥塔看作横剖面是椭圆形的柱体, 而是利用垂向函数法, 研究了指挥塔剖面的弦长与半宽都随高度变化时横剖面为翼型的指挥塔的数学线型. 针对梯形指挥塔和填角弧形指挥塔, 通过求解超越方程组, 得到指挥塔线型. 对 SUBOFF 潜艇的算例, 验证了所提出的潜艇指挥塔数学线型求解方法的有效性. 该方法可以在缺乏母型船数据的情况下, 快速获得满足静水性条件的潜艇围壳型线.

关键词: 潜艇; 梯形指挥塔; 填角弧形指挥塔; 数学线型; SUBOFF 潜艇

中图分类号: U661.3

文献标识码: A

doi: 10.7511/dllgxb201703008

0 引言

潜艇指挥塔, 又称潜艇围壳, 或舰桥. 它由耐压的指挥室和非耐压的水上指挥舰桥构成, 是现代潜艇执行水面航行、离靠码头、收发信息、实施观测和指挥的重要部位. 祁一荣^[1]描述了现代潜艇基本结构中的指挥台围壳. 袁泉^[2]总结了一种新型潜艇设计示例. 杜波等^[3]研究了潜艇指挥室围壳顶部型线构型. 柏铁朝等^[4]研究了基于操纵性的潜艇指挥室围壳外形优化. 吕鸣鹤^[5]研究了潜艇指挥台围壳优化设计方案.

数学线型法是利用一些能代表船舶特征参数建立数学函数表达式对船体型线进行描述的方法, 是当今型线设计领域的研究热点, 由于指挥塔剖面的弦长与半宽都随高度而变化, 其数学描述比较困难. 刘钰^[6]研究了回转体外形的数学表示方法, 林焰等^[7]提出利用横向函数的船舶型线设计方法, 刘阳等^[8]提出基于横向函数法的船体型线设计方法, 刘明静等^[9]研究了复杂回转体的数学表示方法. 本文利用垂向函数法研究潜艇指挥塔的数学线型.

1 指挥塔设计的基本参数

梯形指挥塔纵向位置如图 1 所示.

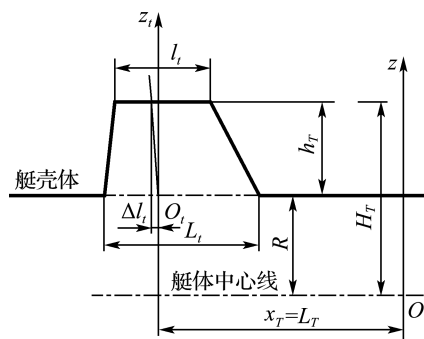


图 1 梯形指挥塔剖面形状及其特征参数

Fig. 1 Trapezoidal commanding tower profile shape and its characteristic parameters

取描述指挥塔围壳形状的局部坐标系为 $O_i-x_iy_iz_i$, 原点 O_i 位于艇舯坐标系 $O-xyz$ 中的点 $(x_T, 0, R)$ 上. 因此, $x_T (x_T = L_T)$ 的大小就是决定指挥台纵向位置的重要参数. x_T 的取值由如下两个条件决定:

(1) 使用条件. 当总布置设计确定出潜望镜装

置等设备的位置后,指挥台围壳纵向位置也基本被确定.所以, x_T 与潜望镜升降装置的纵坐标 x_S 密切相关.

(2)阻力性能.当指挥塔围壳大小与形状一定时, x_T 大小不同(指挥塔围壳前后不同)对艇的阻力性能影响很大.应该选择满足使用条件的,使 R_i 最小的 x_T ,其中 $R_i = R_{i0} + \Delta R_T$, ΔR_T 为指挥塔围壳引起的附加阻力.

指挥塔的翼剖面形状如图2所示.

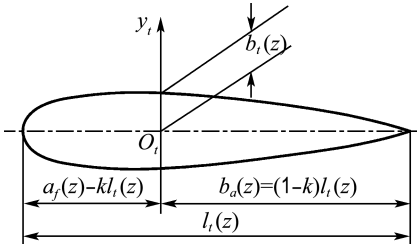


图2 指挥塔的翼剖面形状

Fig.2 Airfoil section shape of the commanding tower

在梯形指挥塔翼剖面中的弦长与半宽都随高度 z 而变化.设 L_R 为指挥塔在 $z=R$ 高度上的翼剖面弦长; L_E^R 、 L_K^R 分别表示 $z=R$ 高度上的翼剖面的进流段长度和去流段长度.显然, $L_E^R + L_K^R = L_R$. L_T 为指挥塔在 $z=H_T$ 高度上的翼剖面弦长; L_E^T 、 L_K^T 分别表示 $z=H_T$ 高度上的翼剖面的进流段长度和去流段长度.显然, $L_E^T + L_K^T = L_T$. h_T 为指挥塔围壳高度, $h_T = H_T - R$.

2 填角弧形指挥塔

填角弧形指挥塔围壳侧面如图3所示.

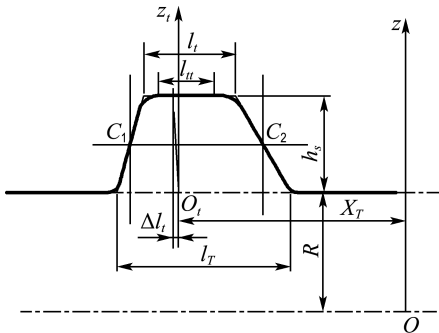


图3 填角弧形指挥塔

Fig.3 Fillet arc commanding tower

填角弧形指挥塔是在梯形指挥塔基础上,前后缘线的上端和下端有圆弧形变化的垂向短翼体,因此指挥塔在不同高度的弦长和半宽是变化

的.其前后缘线和半宽的数学描述及各参数可表示如下:

(1)前缘线的数学描述

前缘线分为3段,中段 $z_E^2(x,0)$ 与梯形指挥塔一致,顶段 $z_E^1(x,0)$ 与底段 $z_E^3(x,0)$ 则受到圆弧的影响,上部的圆弧与顶线 $z=H_T$ 及前缘线相切,下部的圆弧与顶线 $z=R$ 及前缘线相切,设两圆弧的半径分别为 r_E^1 、 r_E^3 .用 $L_E(z)$ 表示相应梯形指挥塔在 z 处的进流段长度, $\Delta L_E(r_E^3, z)$ 为 z 处受半径为 r_E^3 圆弧影响而产生的进流段长度的增量. $\Delta L_E(r_E^1, z)$ 为 z 处受半径为 r_E^1 圆弧影响而产生的进流段长度的增量.则进流段长度 $L_E'(z)$ 表示为

$$L_E'(z) = L_E(z) + \Delta L_E(r_E^3, z); R \leq z < R + r_E^3$$

$$L_E'(z) = L_E(z); R + r_E^3 \leq z < H_T - r_E^1$$

$$L_E'(z) = L_E(z) + \Delta L_E(r_E^1, z); H_T - r_E^1 \leq z \leq H_T$$

其中

$$\Delta L_E(r_E^3, z) = \sqrt{(r_E^3)^2 - (z - R)^2}$$

即

$$\Delta L_E(r_E^3, R) = \sqrt{(r_E^3)^2 - (z - R)^2} \Big|_{z=R} = r_E^3$$

$$\Delta L_E(r_E^3, R + r_E^3) = \sqrt{(r_E^3)^2 - (z - R)^2} \Big|_{z=R+r_E^3} = 0$$

另外,

$$\Delta L_E(r_E^1, z) = r_E^1 - \sqrt{(r_E^1)^2 - [z - (H_T - r_E^1)]^2}$$

即

$$\Delta L_E(r_E^1, H_T - r_E^1) = r_E^1 - \sqrt{(r_E^1)^2 - [z - (H_T - r_E^1)]^2} = 0$$

$$\Delta L_E(r_E^1, H_T) = r_E^1 - \sqrt{(r_E^1)^2 - [z - (H_T - r_E^1)]^2} = r_E^1$$

(2)后缘线的数学描述

后缘线分为3段,中段 $z_K^2(x,0)$ 与梯形指挥塔一致,顶段 $z_K^1(x,0)$ 与底段 $z_K^3(x,0)$ 则受到圆弧的影响,上部的圆弧与顶线 $z=H_T$ 及后缘线相切,下部的圆弧与顶线 $z=R$ 及后缘线相切,设两圆弧的半径分别为 r_K^1 、 r_K^3 ,去流段长度表示为

$$\Delta L_K(r_K^3, z) = \sqrt{(r_K^3)^2 - (z - R)^2}$$

即

$$\Delta L_K(r_K^3, R) = \sqrt{(r_K^3)^2 - (z - R)^2} = r_K^3$$

$$\Delta L_K(r_K^3, R + r_K^3) = \sqrt{(r_K^3)^2 - (z - R)^2} = 0$$

另外,

$$\Delta L_K(r_K^1, z) = r_K^1 - \sqrt{(r_K^1)^2 - [z - (H_T - r_K^1)]^2}$$

即

$$\Delta L_K(r_K^1, H_T - r_K^1) = r_K^1 - \sqrt{(r_K^1)^2 - [z - (H_T - r_K^1)]^2} = 0$$

$$\Delta L_K(r_K^1, H_T) = r_K^1 - \sqrt{(r_K^1)^2 - [z - (H_T - r_K^1)]^2} = r_K^1$$

(3) 指挥塔弦长

四段圆弧将填角弧形指挥塔的弦长 $L'(z)$ 表示分为 5 段: 不妨设 $r_E^1 \leq r_K^1, r_E^3 \leq r_K^3$, 仍然采用 $L(z)$ 表示相应梯形指挥塔的弦长, 则

$$L'(z) = L(z) + \Delta L_E(r_E^3, z) + \Delta L_K(r_K^3, z);$$

$$R \leq z < R + r_E^3$$

$$L'(z) = L(z) + \Delta L_K(r_K^3, z); R + r_E^3 \leq z < R + r_K^3$$

$$L'(z) = L(z); R + r_K^3 \leq z < H_T - r_K^1$$

$$L'(z) = L(z) - \Delta L_K(r_K^1, z); H_T - r_K^1 \leq z < H_T - r_E^1$$

$$L'(z) = L(z) - \Delta L_E(r_E^1, z) - \Delta L_K(r_K^1, z);$$

$$H_T - r_E^1 \leq z \leq H_T$$

(4) 翼剖面半宽厚度 $b'(z)$

记 $b(z)$ 为相应梯形指挥塔剖面半宽厚度, $b'(z)$ 为填角弧形指挥塔剖面半宽厚度. $b'_R = b'(R)$ 为 $z = R$ 高度处翼剖面半宽厚度, $b'_T = b'(H_T)$ 为 $z = H_T$ 高度处翼剖面半宽厚度. 两者均由指挥塔内的总体布置决定.

填角弧形指挥塔舢段的半宽厚度分为 3 段, 中段与梯形指挥塔一致, 顶段与底段则受到圆弧的影响, 上部的圆弧与顶线 $z = H_T$ 及后缘线相切, 下部的圆弧与顶线 $z = R$ 及后缘线相切, 设两圆弧的半径分别为 r_P^1, r_P^3 , 舢段的半宽厚度表示为

$$b'(z) = b(z) + \Delta b(r_P^3, z); R \leq z < R + r_P^3$$

$$b'(z) = b(z); R + r_P^3 \leq z < H_T - r_P^1$$

$$b'(z) = b(z) + \Delta b(r_P^1, z); H_T - r_P^1 \leq z \leq H_T$$

其中

$$\Delta b(r_P^3, z) = \sqrt{(r_P^3)^2 - (z - R)^2}$$

即

$$\Delta b(r_P^3, R) = \sqrt{(r_P^3)^2 - (z - R)^2} \Big|_{z=R} = r_P^3$$

$$\Delta b(r_P^3, R + r_P^3) = \sqrt{(r_P^3)^2 - (z - R)^2} \Big|_{z=R+r_P^3} = 0$$

另外

$$\Delta b(r_P^1, z) = r_P^1 - \sqrt{(r_P^1)^2 - [z - (H_T - r_P^1)]^2}$$

即

$$\Delta b(r_P^1, H_T - r_P^1) = r_P^1 - \sqrt{(r_P^1)^2 - [z - (H_T - r_P^1)]^2} = 0$$

$$\Delta b(r_P^1, H_T) = r_P^1 - \sqrt{(r_P^1)^2 - [z - (H_T - r_P^1)]^2} = r_P^1$$

(5) 翼剖面形状函数

令 $L'(z)$ 表示 $z = R$ 高度处翼剖面的弦长, 显

然 $L'_E(z) + L'_K(z) = L'(z)$. 取 $L'_E(z) = L'^{E^T} + (L'^{E^R} - L'^{E^T}) \frac{H_T - z}{H_T - R}$, $L'_K(z) = L'^{K^T} + (L'^{K^R} - L'^{K^T}) \frac{H_T - z}{H_T - R}$. 则填角弧形指挥塔围壳的形状函数可以表述为

$$y'_i(x, z) = \begin{cases} b'(z) \left[1 - \left(\frac{-x - L'(z)/2 + L'_K(z)}{L'_K(z)} \right)^2 \right]^{\alpha_3}; \\ i = 3, -\frac{L'(z)}{2} \leq x \leq -\frac{L'(z)}{2} + L'_K(z) \\ b'(z) \left[1 - \left(\frac{x + L'_E(z) - L'(z)/2}{L'_E(z)} \right)^2 \right]^{\alpha_1}; \\ i = 1, \frac{L'(z)}{2} - L'_E(z) \leq x \leq \frac{L'(z)}{2} \end{cases}$$

$$\text{令 } \xi(z) = \frac{2x}{L'(z)}, \mu_1(z) = \frac{L'_E(z)}{L'(z)}, \mu_3(z) = \frac{L'_K(z)}{L'(z)}.$$

显然, 由于 $L'_E(z) + L'_K(z) = L'(z)$, $2\mu_3(z) - 1 = 1 - 2\mu_1(z)$. 其中 α_1, α_3 为待求量:

$$y'_i(\xi, z) = \begin{cases} b'(z) \left[1 - \left(\frac{(2\mu_3(z) - 1) - \xi(z)}{2\mu_3(z)} \right)^2 \right]^{\alpha_3}; \\ i = 3, -1 \leq \xi(z) \leq 2\mu_3(z) - 1 \\ b'(z) \left[1 - \left(\frac{\xi(z) - (1 - 2\mu_1(z))}{2\mu_1(z)} \right)^2 \right]^{\alpha_1}; \\ i = 1, 1 - 2\mu_1(z) \leq \xi(z) \leq 1 \end{cases}$$

设计的指挥塔排水量满足要求的 ∇ , 指挥塔的浮心与重心的横坐标重合. 所以, 决定 α_1, α_3 的约束条件方程组为

$$\begin{aligned} \frac{\nabla}{2} &= \int_R^{H_T} b(z) \left\{ \int_{-L(z)/2}^{L'_K(z) - L'(z)/2} \left[1 - \left(\frac{-x - L'(z)/2 + L'_K(z)}{L'_K(z)} \right)^2 \right]^{2\alpha_3} dx + \right. \\ &\quad \left. \int_{L'(z)/2 - L'_E(z)}^{L'(z)/2} \left[1 - \left(\frac{x + L'_E(z) - L'(z)/2}{L'_E(z)} \right)^2 \right]^{2\alpha_1} dx \right\} dz = \\ &\quad \int_R^{H_T} b(z) \frac{L'(z)}{2} \left\{ \int_{-1}^{2\mu_3(z)-1} \left[1 - \left(\frac{(2\mu_3(z) - 1) - \xi(z)}{2\mu_3(z)} \right)^2 \right]^{2\alpha_3} d\xi + \right. \\ &\quad \left. \int_{1-2\mu_1(z)}^1 \left[1 - \left(\frac{\xi(z) - (1 - 2\mu_1(z))}{2\mu_1(z)} \right)^2 \right]^{2\alpha_1} d\xi \right\} dz \end{aligned}$$

另有

$$0 = \int_R^{H_T} b(z) \left\{ \int_{-L'(z)/2}^{L'_K(z) - L'(z)/2} \left[1 - \left(\frac{-x - L'(z)/2 + L'_K(z)}{L'_K(z)} \right)^2 \right]^{2\alpha_3} x dx + \right.$$

$$0 = \int_R^{H_T} b(z) \left[\frac{L'(z)}{2} \right]^2 \left\{ \int_{-1}^{2\mu_3(z)-1} \left[1 - \left(\frac{x + L'_E(z) - L'(z)/2}{L'_E(z)} \right)^2 \right]^{2a_1} x dx \right\} \\ \left(\frac{2\mu_3(z) - 1 - \xi(z)}{2\mu_3(z)} \right)^2 \Big]^{2a_3} \xi d\xi + \int_{1-2\mu_1(z)}^1 \left[1 - \left(\frac{\xi(z) - (1 - 2\mu_1(z))}{2\mu_1(z)} \right)^2 \right]^{2a_1} \xi d\xi \Big] dz$$

令

$$F_3(2\alpha_3) = \nabla - \int_R^{H_T} b(z) L'(z) \int_{-1}^{2\mu_3(z)-1} \left[1 - \left(\frac{(2\mu_3(z) - 1) - \xi(z)}{2\mu_3(z)} \right)^2 \right]^{2a_3} d\xi dz - \int_R^{H_T} b(z) (L'(z))^2 \int_{-1}^{2\mu_3(z)-1} \left[1 - \left(\frac{(2\mu_3(z) - 1) - \xi(z)}{2\mu_3(z)} \right)^2 \right]^{2a_3} \xi d\xi dz \\ F_1(2\alpha_1) = \int_R^{H_T} b(z) L'(z) \int_{1-2\mu_1(z)}^1 \left[1 - \left(\frac{\xi(z) - (1 - 2\mu_1(z))}{2\mu_1(z)} \right)^2 \right]^{2a_1} d\xi dz - \int_R^{H_T} b(z) (L'(z))^2 \int_{1-2\mu_1(z)}^1 \left[1 - \left(\frac{\xi(z) - (1 - 2\mu_1(z))}{2\mu_1(z)} \right)^2 \right]^{2a_1} \xi d\xi dz$$

求解超越方程 $F_3(2\alpha_3) = F_1(2\alpha_1)$ ，得到参数

α_1, α_3 。

(6) 指挥塔围壳外形参数

在保证布置要求的前提下，指挥塔围壳外形应该是使阻力最小的对称翼形。根据水滴形状阻力最小的原理，令 $k(z) = L'_E(z)/L'(z)$ ，取 $k(z) = 1/3$ 或者 35%。

3 填角弧形指挥塔设计计算实例

填角弧形指挥塔设计参数如下： $L_E^R = 0.145$ m, $L_K^R = 0.295$ m, $L_E^T = 0.14$ m, $L_K^T = 0.28$ m, $h_T = 0.254$ m, $H_T = 0.508$ m, $b_R = 0.127$ m, $b_T = 0.11$ m, $\nabla = 0.0045$ m³, $r_E^1 = 0.01$ m, $r_E^3 = 0.02$ m, $r_K^1 = 0.01$ m, $r_K^3 = 0.024$ m, $r_P^1 = 0.01$ m, $r_P^3 = 0.02$ m。

有关函数的分段表达为

当 $0.254 \text{ m} \leq z < 0.274 \text{ m}$ 时，

$$L'_E(z) = 0.15 - 0.01969z +$$

$$\sqrt{0.02^2 - (z - 0.254)^2} \\ L'_K(z) = 0.31 - 0.05901z + \sqrt{0.024^2 - (z - 0.254)^2} \\ L'(z) = 0.46 - 0.0787z + \sqrt{0.02^2 - (z - 0.254)^2} + \sqrt{0.024^2 - (z - 0.254)^2} \\ b'(z) = 0.144 - 0.06693z + \sqrt{0.02^2 - (z - 0.254)^2}$$

当 $0.274 \text{ m} \leq z < 0.278 \text{ m}$ 时，

$$L'_E(z) = 0.15 - 0.01969z \\ L'_K(z) = 0.31 - 0.05901z + \sqrt{0.024^2 - (z - 0.254)^2} \\ L'(z) = 0.46 - 0.0787z + \sqrt{0.024^2 - (z - 0.254)^2} \\ b'(z) = 0.144 - 0.06693z$$

当 $0.278 \text{ m} \leq z < 0.498 \text{ m}$ 时，

$$L'_E(z) = 0.15 - 0.01969z \\ L'_K(z) = 0.31 - 0.05901z \\ L'(z) = 0.46 - 0.0787z \\ b'(z) = 0.144 - 0.06693z$$

当 $0.498 \text{ m} \leq z \leq 0.508 \text{ m}$ 时，

$$L'_E(z) = 0.15 - 0.01969z - [0.01 - \sqrt{0.01^2 - (z - 0.498)^2}] \\ L'_K(z) = 0.31 - 0.05901z - [0.01 - \sqrt{0.01^2 - (z - 0.498)^2}] \\ L'(z) = 0.46 - 0.0787z - [0.01 - \sqrt{0.01^2 - (z - 0.498)^2}] - [0.01 - \sqrt{0.01^2 - (z - 0.498)^2}] \\ b'(z) = 0.144 - 0.06693z + [0.01 - \sqrt{0.01^2 - (z - 0.498)^2}]$$

图4为根据计算结果，绘制的填角弧形围壳的线型图。

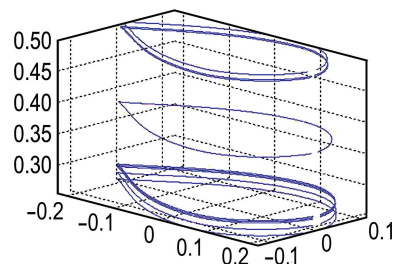


图4 填角弧形围壳的线型图

Fig.4 Lines diagram of fillet arc fairwater

解得 $\alpha_1 = 0.2, \alpha_3 = 0.7$. 由此, 可得填角弧形指挥塔的线型.

4 结 语

本文提出了潜艇指挥塔围壳的数学线型求解方法, 设计的线型满足潜艇指挥塔围壳的静水性条件. 该方法与 CFD 软件相结合, 可以对潜艇围壳模型进行数值计算与分析, 综合考虑水动力学、噪声和制造工艺等多方面的问题, 得到潜艇指挥塔的位置、高度及与艇体连接方式的优化结果.

参考文献:

- [1] 祁一荣. 现代潜艇的基本结构(二)——指挥台围壳[J]. 现代舰船, 2000(10):40-41.
QI Yirong. Basic structure of modern submarines (2) — Fairwater [J]. *Modern Ships*, 2000(10):40-41. (in Chinese)
- [2] 袁 泉. 一种新型潜艇设计示例[J]. 国防技术基础, 2003(3):12-14.
YUAN Quan. A new type of submarine design example [J]. *Technology Foundation of National Defense*, 2003(3):12-14. (in Chinese)
- [3] 杜 波, 黄建伟, 陈 源. 潜艇指挥室围壳顶部型线构型[J]. 船海工程, 2007, 36(2):107-110.
DU Bo, HUANG Jianwei, CHEN Yuan. Optimal design of the top form of submarine sail [J]. *Ship & Ocean Engineering*, 2007, 36(2):107-110. (in Chinese)
- [4] 柏铁朝, 梁中刚, 周铁美, 等. 基于操纵性的潜艇指挥室围壳外型优化数值研究[J]. 江苏科技大学学报(自然科学版), 2010, 24(2):125-129.

- BAI Tiechao, LIANG Zhonggang, ZHOU Yimei, *et al.* Numerical optimization for sail hull based on maneuverability [J]. *Journal of Jiangsu University of Science and Technology (Natural Science Edition)*, 2010, 24(2):125-129. (in Chinese)
- [5] 吕鸣鹤. 潜艇指挥台围壳优化设计方案研究[J]. 中国水运, 2014, 14(1):1-4, 7.
LV Minghe. Optimization design research of fairwater [J]. *China Water Transport*, 2014, 14(1):1-4, 7. (in Chinese)
- [6] 刘 钰. 回转体外形的一个数学表示法[J]. 中国造船, 1982, 76(1):1-8.
LIU Yu. A method of mathematical formulation of bodies of revolution [J]. *Shipbuilding of China*, 1982, 76(1):1-8. (in Chinese)
- [7] 林 焰, 纪卓尚. 船舶型线设计方法研究[J]. 上海交通大学学报, 1994, 28(1):16-23.
LIN Yan, JI Zhuoshang. A method for ship's form design [J]. *Journal of Shanghai Jiaotong University*, 1994, 28(1):16-23. (in Chinese)
- [8] 刘 阳, 林 焰. 基于横向函数法的船体型线设计方法[J]. 大连理工大学学报, 2008, 48(1):95-97.
LIU Yang, LIN Yan. Design method of hull lines based on transverse function method [J]. *Journal of Dalian University of Technology*, 2008, 48(1):95-97. (in Chinese)
- [9] 刘明静, 马云义, 石仲堃. 复杂回转体数学表示方法[J]. 舰船科学技术, 2010, 32(4):11-14.
LIU Mingjing, MA Yunyi, SHI Zhongkun. Mathematics description on complex revolution [J]. *Ship Science and Technology*, 2010, 32(4):11-14. (in Chinese)

Mathematical lines of submarine commanding tower

QI Xiang^{*1}, TANG Xiao², QI Huan³

(1. 3rd Room, Chinese Ships Research Design Center, Wuhan 430064, China;

2. Alert Information Department, Air Force Institute of Early Warning, Wuhan 430012, China;

3. School of Automation, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China)

Abstract: The submarine commanding tower is the most important part of the submarine, and the fairwater lines optimum design is an important step of submarine design. Different from the traditional research method in which submarine commanding tower is seen as cylinder with an elliptic section, the mathematical lines of commanding tower with airfoil section are obtained using vertical function method when the chord length and a half-wide of commanding tower section change with height. To trapezoidal commanding tower and fillet arc commanding tower, the lines of commanding tower are obtained by means of solving transcend equations. SUBOFF submarine is a case to verify the effectiveness of the method. This method can get fairwater lines fast in the absence of the mother ship data, which satisfies the static water conditions.

Key words: submarine; trapezoidal commanding tower; fillet arc commanding tower; mathematical lines; SUBOFF submarines