

GJB

中华人民共和国国家军用标准

FL 1905

GJB/Z 110-98

潜艇操纵性预报指南

Guide for maneuverability prediction of submarine

1998-07-27 发布

1999-01-01 实施

中国人民解放军总装备部 批准

中华人民共和国国家军用标准

潜艇操纵性预报指南

Guide for maneuverability prediction of submarine

GJB/Z 110-98

1 范围

1.1 主题内容

本指导性技术文件规定了潜艇各个设计阶段,在水下(不含近水面)和水上状态时,基本操纵特性的预报内容及方法。

1.2 适用范围

本指导性技术文件适用于潜艇。

2 引用文件

CB/Z 252-88 潜艇自航模操纵性试验规程

3 定义

本指导性技术文件所用的符号见表1。

表1

符号	无量纲表达式	名称	单位
A_d	$A'_d = \frac{A_d}{L}$	进距	m
a_i, b_i, c_i	—	推进器推力方程拟合系数	—
B	$B' = \frac{B}{\frac{1}{2}\rho L^2 U^2}$	浮力(向上为正)	N
D_0	$D'_0 = \frac{D_0}{L}$	稳定回转直径	m
D_T	$D'_T = \frac{D_T}{L}$	战术回转直径	m
E	—	固定坐标系原点	—
$E - \xi\eta\zeta$	—	固定坐标系	—

续表 1

符 号	无量纲表达式	名 称	单 位
F_r	$F_r = \frac{U}{(gh)^{0.5}}$	稳心高傅汝德数	—
H	$H' = \frac{H}{L}$	艇高	m
h	$h' = \frac{h}{L}$	水下全排水量稳心高, 水面初稳心高	m
I_x	$I'_x = \frac{I_x}{\frac{1}{2}\rho L^5}$	潜艇绕 x 轴转动惯量	kg·m ²
I_y	$I'_y = \frac{I_y}{\frac{1}{2}\rho L^5}$	潜艇绕 y 轴转动惯量	kg·m ²
I_z	$I'_z = \frac{I_z}{\frac{1}{2}\rho L^5}$	潜艇绕 z 轴转动惯量	kg·m ²
I_{xy}	$I'_{xy} = \frac{I_{xy}}{\frac{1}{2}\rho L^5}$	潜艇对 x, y 轴的惯性积	kg·m ²
I_{yz}	$I'_{yz} = \frac{I_{yz}}{\frac{1}{2}\rho L^5}$	潜艇对 y, z 轴的惯性积	kg·m ²
I_{zx}	$I'_{zx} = \frac{I_{zx}}{\frac{1}{2}\rho L^5}$	潜艇对 z, x 轴的惯性积	kg·m ²
K	$K' = \frac{K}{\frac{1}{2}\rho L^3 U^2}$	水动力矩在 x 轴方向分量 (横倾力矩)	N·m
K_0	$K'_0 = \frac{K_0}{\frac{1}{2}\rho L^3 U^2}$	横倾力矩零态值	N·m
$K_{\cdot, \eta}$	$K'_{\cdot, \eta} = \frac{K_{\cdot, \eta}}{\frac{1}{2}\rho L^3 U^2}$	K 对 $(\eta - 1)$ 的导数	N·m

续表 1

符 号	无量纲表达式	名 称	单 位
K_{hd}	$K_{hd} = \frac{l'_r}{l'_\beta}$	水平面动稳定性系数	—
K_p	$K'_p = \frac{K_p}{\frac{1}{2}\rho L^4 U}$	K 对 p 的一阶导数	$N \cdot m \cdot s \cdot rad^{-1}$
$K_{\dot{p}}$	$K'_{\dot{p}} = \frac{K_{\dot{p}}}{\frac{1}{2}\rho L^4 U}$	K 对 \dot{p} 的一阶导数	$N \cdot m \cdot s^2 \cdot rad^{-1}$
$K_{p p }$	$K'_{p p } = \frac{K_{p p }}{\frac{1}{2}\rho L^5}$	K 对 p 的二阶导数	$N \cdot m \cdot s^2 \cdot rad^{-2}$
K_{pq}	$K'_{pq} = \frac{K_{pq}}{\frac{1}{2}\rho L^5}$	K 对 pq 的导数	$N \cdot m \cdot s^2 \cdot rad^{-2}$
$K_{r ri}$	$K'_{r ri} = \frac{K_{r ri}}{\frac{1}{2}\rho L^5}$	K 对 r 的二阶导数	$N \cdot m \cdot s^2 \cdot rad^{-2}$
K_{qr}	$K'_{qr} = \frac{K_{qr}}{\frac{1}{2}\rho L^5}$	K 对 qr 的导数	$N \cdot m \cdot s^2 \cdot rad^{-2}$
K_r	$K'_r = \frac{K_r}{\frac{1}{2}\rho L^4 U}$	K 对 r 的一阶导数	$N \cdot m \cdot s \cdot rad^{-1}$
$K_{\dot{r}}$	$K'_{\dot{r}} = \frac{K_{\dot{r}}}{\frac{1}{2}\rho L^6}$	K 对 \dot{r} 的导数	$N \cdot m \cdot s^2 \cdot rad^{-1}$
K_v	$K'_v = \frac{K_v}{\frac{1}{2}\rho L^3 U}$	K 对 v 的一阶导数	$N \cdot s$
$K_{\dot{v}}$	$K'_{\dot{v}} = \frac{K_{\dot{v}}}{\frac{1}{2}\rho L^4}$	K 对 \dot{v} 的导数	$N \cdot m^{-1} \cdot s^2$
K_{vd}	$K_{vd} = \frac{l'_s}{l'_a}$	垂直面动稳定性系数	—

续表 1

符 号	无量纲表达式	名 称	单 位
$K_{v v}$	$K'_{v v} = \frac{K_{v v}}{\frac{1}{2}\rho L^3}$	K 对 v 的二阶导数	$N \cdot s^2$
K_{vq}	$K'_{vq} = \frac{K_{vq}}{\frac{1}{2}\rho L^4}$	K 对 vq 的导数	$N \cdot s^2 \cdot \text{rad}^{-1}$
K_{vw}	$K'_{vw} = \frac{K_{vw}}{\frac{1}{2}\rho L^3}$	K 对 vw 的导数	$N \cdot m^{-1} \cdot s^2$
K_{wp}	$K'_{wp} = \frac{K_{wp}}{\frac{1}{2}\rho L^4}$	K 对 wp 的导数	$N \cdot s^2 \cdot \text{rad}^{-1}$
K_{wr}	$K'_{wr} = \frac{K_{wr}}{\frac{1}{2}\rho L^4}$	K 对 wr 的导数	$N \cdot s^2 \cdot \text{rad}^{-1}$
K_{δ}	$K'_{\delta} = \frac{K_{\delta}}{\frac{1}{2}\rho L^3 U^2}$	K 对 δ_r 的一阶导数	$N \cdot \text{rad}^{-1}$
K_{θ}	$K'_{\theta} = \frac{K_{\theta} L}{U}$	垂直面回转性指数	s^{-1}
K_{ϕ}	$K'_{\phi} = \frac{K_{\phi} L}{U}$	水平面回转性指数	s^{-1}
L	$L' = \frac{L}{L}$	潜艇长度	m
l_r	$l'_r = \frac{l_r}{L}$	水平面阻尼力臂	m
l_q	$l'_q = \frac{l_q}{L}$	垂直面阻尼力臂	m
l_a	$l'_a = \frac{l_a}{L}$	垂直面水动力倾覆力臂	m
l_{β}	$l'_{\beta} = \frac{l_{\beta}}{L}$	水平面水动力倾覆力臂	m
l_{δ_b}	$l'_{\delta_b} = \frac{l_{\delta_b}}{L}$	首升降舵(或围壳舵)舵力臂	m

续表 1

符 号	无量纲表达式	名 称	单 位
l_{δ}	$l'_{\delta} = \frac{l_{\delta}}{L}$	尾升降舵舵力臂	m
M	$M' = \frac{M}{\frac{1}{2}\rho L^3 U^2}$	水动力矩在 Y 轴方向分量 (纵倾力矩)	N·m
M_0	$M'_0 = \frac{M_0}{\frac{1}{2}\rho L^3 U^2}$	纵倾力矩零态值	N·m
M_{pp}	$M'_{pp} = \frac{M_{pp}}{\frac{1}{2}\rho L^5}$	M 对 p 的二阶导数	N·m·s ² ·rad ⁻²
M_q	$M'_q = \frac{M_q}{\frac{1}{2}\rho L^4 U}$	M 对 q 的一阶导数	N·m·s·rad ⁻¹
M_{η}	$M'_{\eta} = \frac{M_{\eta}}{\frac{1}{2}\rho L^4 U}$	M_q 对 ($\eta - 1$) 的一阶导数	N·m·s·rad ⁻¹
$M_{\dot{q}}$	$M'_{\dot{q}} = \frac{M_{\dot{q}}}{\frac{1}{2}\rho L^5}$	M 对 \dot{q} 的导数	N·m·s ² ·rad ⁻¹
$M_{q q}$	$M'_{q q} = \frac{K_{q q}}{\frac{1}{2}\rho L^5}$	M 对 q 的二阶导数	N·m·s ² ·rad ⁻²
$M_{l_{q \delta}}$	$M'_{l_{q \delta}} = \frac{M_{l_{q \delta}}}{\frac{1}{2}\rho L^4 U}$	M_{δ} 对 q 的导数	N·m·s·rad ⁻²
M_{rp}	$M'_{rp} = \frac{M_{rp}}{\frac{1}{2}\rho L^5}$	M 对 rp 的导数	N·m·s ² ·rad ⁻²
M_{rr}	$M'_{rr} = \frac{M_{rr}}{\frac{1}{2}\rho L^5}$	M 对 r 的二阶导数	N·m·s ² ·rad ⁻²

续表 1

符 号	无量纲表达式	名 称	单 位
M_{vp}	$M'_{vp} = \frac{M_{vp}}{\frac{1}{2}\rho L^4}$	M 对 vp 的导数	$N \cdot m \cdot s^2 \cdot rad^{-1}$
M_{vr}	$M'_{vr} = \frac{M_{vr}}{\frac{1}{2}\rho L^4}$	M 对 vr 的导数	$N \cdot m \cdot s^2 \cdot rad^{-1}$
M_{ww}	$M'_{ww} = \frac{M_{ww}}{\frac{1}{2}\rho L^3}$	M 对 w 的二阶导数	$N \cdot m^{-1} \cdot s^2$
M_w	$M'_w = \frac{M_w}{\frac{1}{2}\rho L^3 U}$	M 对 w 的一阶导数	$N \cdot s$
$M_{w\eta}$	$M'_{w\eta} = \frac{M_{w\eta}}{\frac{1}{2}\rho L^3 U}$	M_w 对 $(\eta - 1)$ 的一阶导数	$N \cdot s$
$M_{\dot{w}}$	$M'_{\dot{w}} = \frac{M_{\dot{w}}}{\frac{1}{2}\rho L^4}$	M 对 \dot{w} 的导数	$N \cdot s^2$
$M_{ w }$	$M'_{ w } = \frac{K_{ w }}{\frac{1}{2}\rho L^3 U}$	M 对 $ w $ 的一阶导数	$N \cdot s$
$M_{ w q}$	$M'_{ w q} = \frac{K_{ w q}}{\frac{1}{2}\rho L^4}$	M_q 对 w 的导数	$N \cdot s^2 \cdot rad^{-1}$
$M_{ w w}$	$M'_{ w w} = \frac{K_{ w w}}{\frac{1}{2}\rho L^3}$	M 对 w 的二阶导数	$N \cdot m^{-1} \cdot s^2$
$M_{w w \eta}$	$M'_{w w \eta} = \frac{K_{w w \eta}}{\frac{1}{2}\rho L^3}$	$M_{w w }$ 对 $(\eta - 1)$ 的一阶导数	$N \cdot m^{-1} \cdot s^2$
M_{ww}	$M'_{ww} = \frac{K_{ww}}{\frac{1}{2}\rho L^3}$	M 对 w 的二阶导数	$N \cdot m^{-1} \cdot s^2$

续表 1

符 号	无量纲表达式	名 称	单 位
M_{δ_b}	$M'_{\delta_b} = \frac{M_{\delta_b}}{\frac{1}{2}\rho L^3 U^2}$	M 对 δ_b 的一阶导数	$\text{N}\cdot\text{m}\cdot\text{rad}^{-1}$
M_{δ_s}	$M'_{\delta_s} = \frac{M_{\delta_s}}{\frac{1}{2}\rho L^3 U^2}$	M_q 对 δ_s 的一阶导数	$\text{N}\cdot\text{m}\cdot\text{rad}^{-1}$
$M_{\delta_{\eta}}$	$M'_{\delta_{\eta}} = \frac{M_{\delta_{\eta}}}{\frac{1}{2}\rho L^3 U^2}$	M_{δ_s} 对 $(\eta - 1)$ 的导数	$\text{N}\cdot\text{m}\cdot\text{s}\cdot\text{rad}^{-1}$
m_{θ}	$m'_{\theta} = \frac{m_{\theta}}{\frac{1}{2}\rho L^3 U^2}$	纵倾静恢复力矩	$\text{N}\cdot\text{m}$
m	$m' = \frac{m}{\frac{1}{2}\rho L^3}$	潜艇质量	kg
N	$N' = \frac{N}{\frac{1}{2}\rho L^3 U^2}$	水动力矩在 Z 轴方向分量 (转首力矩)	$\text{N}\cdot\text{m}$
N_*	$N'_* = \frac{N_*}{\frac{1}{2}\rho L^3 U^2}$	转首力矩零态值	$\text{N}\cdot\text{m}$
N_p	$N'_p = \frac{N_p}{\frac{1}{2}\rho L^4 U}$	N 对 p 的一阶导数	$\text{N}\cdot\text{m}\cdot\text{s}\cdot\text{rad}^{-1}$
$N_{\dot{p}}$	$N'_{\dot{p}} = \frac{N_{\dot{p}}}{\frac{1}{2}\rho L^5}$	N 对 \dot{p} 的导数	$\text{N}\cdot\text{m}\cdot\text{s}^2\cdot\text{rad}^{-1}$
N_{pq}	$N'_{pq} = \frac{N_{pq}}{\frac{1}{2}\rho L^5}$	N 对 pq 的导数	$\text{N}\cdot\text{m}\cdot\text{s}^2\cdot\text{rad}^{-2}$
N_{qr}	$N'_{qr} = \frac{N_{qr}}{\frac{1}{2}\rho L^5}$	N 对 qr 的导数	$\text{N}\cdot\text{m}\cdot\text{s}^2\cdot\text{rad}^{-2}$

续表 1

符 号	无量纲表达式	名 称	单 位
N_r	$N'_r = \frac{N_r}{\frac{1}{2}\rho L^4 U}$	N 对 r 的一阶导数	$N \cdot m \cdot s \cdot rad^{-1}$
N_η	$N'_\eta = \frac{N_\eta}{\frac{1}{2}\rho L^4 U}$	N_r 对 $(\eta - 1)$ 的一阶导数	$N \cdot m \cdot s \cdot rad^{-1}$
$N_{\dot{r}}$	$N'_{\dot{r}} = \frac{N_r}{\frac{1}{2}\rho L^5}$	N 对 \dot{r} 的导数	$N \cdot m \cdot s^2 \cdot rad^{-1}$
$N_{r ri}$	$N'_{r ri} = \frac{N_{r ri}}{\frac{1}{2}\rho L^5}$	N 对 r 的二阶导数	$N \cdot m \cdot s^2 \cdot rad^{-2}$
$N_{ ri\dot{r}}$	$N'_{ ri\dot{r}} = \frac{N_{ ri\dot{r}}}{\frac{1}{2}\rho L^4 U}$	$N_{\dot{r}}$ 对 r 的导数	$N \cdot m \cdot s \cdot rad^{-2}$
N_v	$N'_v = \frac{N_v}{\frac{1}{2}\rho L^3 U}$	N 对 v 的一阶导数	$N \cdot s$
N_η	$N'_\eta = \frac{N_\eta}{\frac{1}{2}\rho L^3 U}$	N_v 对 $(\eta - 1)$ 的一阶导数	$N \cdot s$
$N_{\dot{v}}$	$N'_{\dot{v}} = \frac{N_v}{\frac{1}{2}\rho L^4}$	N 对 \dot{v} 的导数	$N \cdot s^2$
N_{vq}	$N'_{vq} = \frac{N_{vq}}{\frac{1}{2}\rho L^4}$	N 对 vq 的导数	$N \cdot s^2 \cdot rad^{-1}$
$N_{ v\dot{r}}$	$N'_{ v\dot{r}} = \frac{N_{ v\dot{r}}}{\rho L^4}$	N_r 对 v 的导数	$N \cdot s^2 \cdot rad^{-1}$
$N_{v vi}$	$N'_{v vi} = \frac{N_{v vi}}{\frac{1}{2}\rho L^3}$	N 对 v 的二阶导数	$N \cdot m^{-1} \cdot s^2$

续表 1

符 号	无量纲表达式	名 称	单 位
$N_{v v \eta}$	$N'_{v v \eta} = \frac{N_{v v \eta}}{\frac{1}{2}\rho L^3}$	$N_{v v }$ 对 $(\eta - 1)$ 的一阶导数	$N \cdot m^{-1} \cdot s^2$
$N_{p p }$	$N'_{p p } = \frac{N_{p p }}{\frac{1}{2}\rho L^3}$	N 对 p 的二阶导数	$N \cdot s^2 \cdot rad^{-2}$
N_{vw}	$N'_{vw} = \frac{N_{vw}}{\frac{1}{2}\rho L^3}$	N 对 vw 的导数	$N \cdot m^{-2} \cdot s^2$
N_{wp}	$N'_{wp} = \frac{N_{wp}}{\frac{1}{2}\rho L^4}$	N 对 wp 的导数	$N \cdot m \cdot s^2 \cdot rad^{-1}$
N_{wr}	$N'_{wr} = \frac{N_{wr}}{\frac{1}{2}\rho L^4}$	N 对 wr 的导数	$N \cdot s^2 \cdot rad^{-1}$
N_{δ_r}	$N'_{\delta_r} = \frac{N_{\delta_r}}{\frac{1}{2}\rho L^3 U^2}$	N 对 δ_r 的一阶导数	$N \cdot m \cdot rad^{-1}$
$N_{\delta_r\eta}$	$N'_{\delta_r\eta} = \frac{N_{\delta_r\eta}}{\frac{1}{2}\rho L^3 U^2}$	N_{δ_r} 对 $(\eta - 1)$ 的一阶导数	$N \cdot m \cdot rad^{-1}$
O	—	随船坐标系原点	—
O-xyz	—	随船坐标系	—
P	$P' = \frac{PL}{U}$	角速度在 x 轴向分量	$rad \cdot s^{-1}$
\dot{P}	$\dot{P}' = \frac{PL^2}{U^2}$	角加速度在 x 轴向分量	$rad \cdot s^{-2}$
q	$q' = \frac{qL^2}{U}$	角速度在 y 轴向分量	$rad \cdot s^{-1}$
\dot{q}	$\dot{q}' = \frac{\dot{q}L^2}{U^2}$	角速度在 y 轴向分量	$rad \cdot s^{-2}$

续表 1

符 号	无量纲表达式	名 称	单 位
R_e	$R_e = \frac{UL}{\nu}$	雷诺数	—
r	$r' = \frac{rL}{U}$	角速度在 z 轴向分量	$\text{rad}\cdot\text{s}^{-1}$
\dot{r}	$\dot{r}' = \frac{\dot{r}L^2}{U^2}$	角加速度在 z 轴向分量	$\text{rad}\cdot\text{s}^2$
T_r	$T_r' = \frac{T_r}{L}$	正横距	m
T_θ	$T_\theta' = \frac{T_\theta U}{L}$	垂直面运动响应滞后时间	s
T_ψ	$T_\psi' = \frac{T_\psi U}{L}$	水平面运动响应滞后时间	s
t_{ω}	$t'_{\omega} = \frac{t_{\omega} U}{L}$	超越时间	s
t_a	$t'_a = \frac{t_a U}{L}$	初转期	s
U	$U' = \frac{U}{U}$	航速, 合速度	$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}, \text{kn}$
U_i	$U'_i = \frac{U_i}{U}$	逆速	$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}, \text{kn}$
U_h	$U'_h = \frac{U_h}{U}$	水平回转速度	$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}, \text{kn}$
U_v	$U'_v = \frac{U_v}{U}$	升速	$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}, \text{kn}$
u	$u' = \frac{u}{U}$	速度在 x 轴向分量	$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$
\dot{u}	$\dot{u}' = \frac{\dot{u}L}{U^2}$	加速度在 x 轴向分量	$\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$

续表 1

符 号	无量纲表达式	名 称	单 位
u_c	$\eta = \frac{u_c}{U}$	指令航速	$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}, \text{kn}$
v	$v' = \frac{v}{U}$	速度在 y 轴向分量	$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$
\dot{v}	$\dot{v}' = \frac{\dot{v}L}{U^2}$	加速度在 y 轴向分量	$\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$
w	$w' = \frac{w}{U}$	速度在 z 轴向分量	$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$
\dot{w}	$\dot{w}' = \frac{\dot{w}L}{U^2}$	加速度在 z 轴向分量	$\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$
W	$W' = \frac{W}{\frac{1}{2}\rho L^2 U^2}$	作用在潜艇上的重力	N
x	—	x 坐标	m
x_B	—	浮心的 x 坐标	m
x_G	—	重心的 x 坐标	m
X	$X' = \frac{X}{\frac{1}{2}\rho L^2 U^2}$	水动力在 x 轴方向的分量 (纵向力)	N
X_{q^2}	$X'_{q^2} = \frac{X_{q^2}}{\frac{1}{2}\rho L^4}$	X 对 q 的二阶导数	$\text{N}\cdot\text{s}^2\cdot\text{rad}^{-2}$
X_{rp}	$X'_{rp} = \frac{X_{rp}}{\frac{1}{2}\rho L^4}$	X 对 rp 的导数	$\text{N}\cdot\text{s}^2\cdot\text{rad}^{-2}$
X_{r^2}	$X'_{r^2} = \frac{X_{r^2}}{\frac{1}{2}\rho L^4}$	X 对 r 的二阶导数	$\text{N}\cdot\text{s}^2\cdot\text{rad}^{-2}$
$X_{\dot{u}}$	$X'_{\dot{u}} = \frac{X_{\dot{u}}}{\frac{1}{2}\rho L^3}$	X 对 \dot{u} 的导数	$\text{N}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^2$

续表 1

符号	无量纲表达式	名称	单位
X_{uu}	$X'_{uu} = \frac{X_{uu}}{\frac{1}{2}\rho L^2}$	X 对 u 的二阶导数	$N \cdot m^{-2} \cdot s^2$
X_{vr}	$X'_{vr} = \frac{X_{vr}}{\frac{1}{2}\rho L^3}$	X 对 vr 的导数	$N \cdot m^{-1} \cdot s^2 \cdot rad^{-1}$
X_{vv}	$X'_{vv} = \frac{X_{vv}}{\frac{1}{2}\rho L^2}$	X 对 v 的二阶导数	$N \cdot m^{-2} \cdot s^2$
$X_{v\eta}$	$X'_{v\eta} = \frac{X_{v\eta}}{\frac{1}{2}\rho L^2}$	X_{vv} 对 $(\eta - 1)$ 的一阶导数	$N \cdot m^{-2} \cdot s^2$
X_{wq}	$X'_{wq} = \frac{X_{wq}}{\frac{1}{2}\rho L^3}$	X 对 wq 的导数	$N \cdot m^{-1} \cdot s^2 \cdot rad^{-1}$
X_{ww}	$X'_{ww} = \frac{X_{ww}}{\frac{1}{2}\rho L^2}$	X 对 w 的二阶导数	$N \cdot m^{-2} \cdot s^2$
$X_{w\eta}$	$X'_{w\eta} = \frac{X_{w\eta}}{\frac{1}{2}\rho L^2}$	X_{ww} 对 $(\eta - 1)$ 的导数	$N \cdot m^{-2} \cdot s^2$
$X_{\delta_b \delta_b}$	$X'_{\delta_b \delta_b} = \frac{X_{\delta_b \delta_b}}{\frac{1}{2}\rho L^2 U^2}$	X 对 δ_b 的二阶导数	$N \cdot rad^{-2}$
$X_{\delta_r \delta_r}$	$X'_{\delta_r \delta_r} = \frac{X_{\delta_r \delta_r}}{\frac{1}{2}\rho L^2 U^2}$	X 对 δ_r 的二阶导数	$N \cdot rad^{-2}$
$X_{\delta_r \delta_r \eta}$	$X'_{\delta_r \delta_r \eta} = \frac{X_{\delta_r \delta_r \eta}}{\frac{1}{2}\rho L^2 U^2}$	$X_{\delta_r \delta_r}$ 对 $(\eta - 1)$ 的一阶导数	$N \cdot rad^{-2}$
$X_{\delta_r \delta_r}$	$X'_{\delta_r \delta_r} = \frac{X_{\delta_r \delta_r}}{\frac{1}{2}\rho L^2 U^2}$	X 对 δ_r 的二阶导数	$N \cdot rad^{-2}$

续表 1

符 号	无量纲表达式	名 称	单 位
$X_{\xi,\xi,\eta}$	$X'_{\xi,\xi,\eta} = \frac{X_{\xi,\xi,\eta}}{\frac{1}{2}\rho L^2 U^2}$	$X_{\xi,\xi}$ 对 $(\eta - 1)$ 的导数	$N \cdot \text{rad}^{-2}$
y	—	y 坐标	m
y_B	—	浮心的 y 坐标	m
y_G	—	重心的 y 坐标	m
Y	$Y' = \frac{Y}{\frac{1}{2}\rho L^2 U^2}$	水动力在 y 轴方向的分量 (横向力)	N
Y_0	$Y'_0 = \frac{Y_0}{\frac{1}{2}\rho L^2 U^2}$	横向力零态值	N
Y_p	$Y'_p = \frac{Y_p}{\frac{1}{2}\rho L^3 U}$	Y 对 p 的一阶导数	$N \cdot s \cdot \text{rad}^{-1}$
$Y_{\dot{p}}$	$Y'_{\dot{p}} = \frac{Y_{\dot{p}}}{\frac{1}{2}\rho L^4}$	Y 对 \dot{p} 的导数	$N \cdot m \cdot s^2 \cdot \text{rad}^{-1}$
$Y_{p p }$	$Y'_{p p } = \frac{Y_{p p }}{\frac{1}{2}\rho L^4}$	Y 对 p 的二阶导数	$N \cdot s^2 \cdot \text{rad}^{-2}$
$Y_{r r }$	$Y'_{r r } = \frac{Y_{r r }}{\frac{1}{2}\rho L^4}$	Y 对 r 的二阶导数	$N \cdot s^2 \cdot \text{rad}^{-2}$
Y_{pq}	$Y'_{pq} = \frac{Y_{pq}}{\frac{1}{2}\rho L^4}$	Y 对 pq 的导数	$N \cdot s^2 \cdot \text{rad}^{-2}$
Y_{qr}	$Y'_{qr} = \frac{Y_{qr}}{\frac{1}{2}\rho L^4}$	Y 对 qr 的导数	$N \cdot s^2 \cdot \text{rad}^{-2}$
Y_r	$Y'_r = \frac{Y_r}{\frac{1}{2}\rho L^3 U}$	Y 对 r 的一阶导数	$N \cdot s \cdot \text{rad}^{-1}$

续表 1

符 号	无量纲表达式	名 称	单 位
Y_{η}	$Y'_{\eta} = \frac{Y_{\eta}}{\frac{1}{2}\rho L^3 U}$	Y_r 对 $(\eta - 1)$ 的一阶导数	$N \cdot s \cdot \text{rad}^{-1}$
$Y_{\dot{r}}$	$Y'_{\dot{r}} = \frac{Y_{\dot{r}}}{\frac{1}{2}\rho L^4}$	Y 对 \dot{r} 的导数	$N \cdot s^2 \cdot \text{rad}^{-1}$
$Y_{r\dot{r}}$	$Y'_{r\dot{r}} = \frac{Y_{r\dot{r}}}{\frac{1}{2}\rho L^3 U}$	$Y_{\dot{r}}$ 对 r 的导数	$N \cdot s \cdot \text{rad}^{-2}$
Y_v	$Y'_v = \frac{Y_v}{\frac{1}{2}\rho L^2 U}$	Y 对 v 的一阶导数	$N \cdot m^{-1} \cdot s$
Y_{η}	$Y'_{\eta} = \frac{Y_{\eta}}{\frac{1}{2}\rho L^2 U}$	Y_v 对 $(\eta - 1)$ 的导数	$N \cdot m^{-1} \cdot s$
$Y_{\dot{v}}$	$Y'_{\dot{v}} = \frac{Y_{\dot{v}}}{\frac{1}{2}\rho L^3}$	Y 对 \dot{v} 的导数	$N \cdot m^{-1} \cdot s^2$
$Y_{v\dot{v}}$	$Y'_{v\dot{v}} = \frac{Y_{v\dot{v}}}{\frac{1}{2}\rho L^3}$	Y 对 $v\dot{v}$ 的导数	$N \cdot m^{-1} \cdot s^2 \cdot \text{rad}^{-1}$
$Y_{v r}$	$Y'_{v r} = \frac{Y_{v r}}{\frac{1}{2}\rho L^3}$	Y_v 对 r 的导数	$N \cdot m^{-1} \cdot s^2 \cdot \text{rad}^{-1}$
$Y_{v v}$	$Y'_{v v} = \frac{Y_{v v}}{\frac{1}{2}\rho L^2}$	Y 对 v 的二阶导数	$N \cdot m^{-2} \cdot s^2$
$Y_{v v\eta}$	$Y'_{v v\eta} = \frac{Y_{v v\eta}}{\frac{1}{2}\rho L^2}$	$Y_{v v}$ 对 $(\eta - 1)$ 的导数	$N \cdot m^{-2} \cdot s^2$
Y_{vw}	$Y'_{vw} = \frac{Y_{vw}}{\frac{1}{2}\rho L^2}$	Y 对 vw 的导数	$N \cdot m^{-2} \cdot s^2$

续表 1

符 号	无量纲表达式	名 称	单 位
Y_{wp}	$Y'_{wp} = \frac{Y_{wp}}{\frac{1}{2}\rho L^3}$	Y 对 wp 的导数	$N \cdot m^{-1} \cdot s^2 \cdot rad^{-1}$
Y_{wr}	$Y'_{wr} = \frac{Y_{wr}}{\frac{1}{2}\rho L^3}$	Y 对 wr 的导数	$N \cdot m^{-1} \cdot s^2 \cdot rad^{-1}$
Y_{δ_r}	$Y'_{\delta_r} = \frac{Y_{\delta_r}}{\frac{1}{2}\rho L^2 U^2}$	Y 对 δ_r 的一阶导数	$N \cdot rad^{-1}$
$Y_{\delta_r \eta}$	$Y'_{\delta_r \eta} = \frac{Y_{\delta_r \eta}}{\frac{1}{2}\rho L^2 U^2}$	Y_{δ_r} 对 $(\eta - 1)$ 的一阶导数	$N \cdot rad^{-1}$
Z	—	Z 坐标	m
Z_B	—	浮心的 Z 坐标	m
Z_G	—	重心的 Z 坐标	m
Z	$Z' = \frac{Z}{\frac{1}{2}\rho L^2 U^2}$	水动力在 Z 轴方向的分量 (垂向力)	N
Z_*	$Z'_* = \frac{Z_*}{\frac{1}{2}\rho U^2}$	垂向力零态值	N
Z_{pp}	$Z'_{pp} = \frac{Z_{pp}}{\frac{1}{2}\rho L^4}$	Z 对 p 的二阶导数	$N \cdot s^2 \cdot rad^{-2}$
Z_q	$Z'_q = \frac{Z_q}{\frac{1}{2}\rho L^3 U}$	Z 对 q 的一阶导数	$N \cdot s \cdot rad^{-1}$
$Z_{q\eta}$	$Z'_{q\eta} = \frac{Z_{q\eta}}{\frac{1}{2}\rho L^3 U}$	Z_q 对 $(\eta - 1)$ 的导数	$N \cdot s \cdot rad^{-1}$
$Z_{\dot{q}}$	$Z'_{\dot{q}} = \frac{Z_{\dot{q}}}{\frac{1}{2}\rho L^4}$	Z 对 \dot{q} 的导数	$N \cdot s^2 \cdot rad^{-1}$

续表 1

符 号	无量纲表达式	名 称	单 位
$Z_{ q \delta_s}$	$Z'_{ q \delta_s} = \frac{Z_{ q \delta_s}}{\frac{1}{2}\rho L^3 U}$	Z_{δ_s} 对 q 的导数	$N \cdot s \cdot \text{rad}^{-2}$
Z_{rp}	$Z'_{rp} = \frac{Z_{rp}}{\frac{1}{2}\rho L^4}$	Z 对 rp 的导数	$N \cdot s^2 \cdot \text{rad}^{-2}$
Z_{rr}	$Z'_{rr} = \frac{Z_{rr}}{\frac{1}{2}\rho L^4}$	Z 对 r 的二阶导数	$N \cdot s^2 \cdot \text{rad}^{-2}$
Z_{vp}	$Z'_{vp} = \frac{Z_{vp}}{\frac{1}{2}\rho L^3}$	Z 对 vp 的导数	$N \cdot m^{-1} \cdot s^2 \cdot \text{rad}^{-1}$
Z_{vr}	$Z'_{vr} = \frac{Z_{vr}}{\frac{1}{2}\rho L^3}$	Z 对 vr 的导数	$N \cdot m^{-1} \cdot s^2 \cdot \text{rad}^{-1}$
Z_{vv}	$Z'_{vv} = \frac{Z_{vv}}{\frac{1}{2}\rho L^2}$	Z 对 v 的二阶导数	$N \cdot m^{-2} \cdot s^2$
Z_w	$Z'_w = \frac{Z_w}{\frac{1}{2}\rho L^2 U}$	Z 对 w 的一阶导数	$N \cdot m^{-1} \cdot s$
$Z_{w\eta}$	$Z'_{w\eta} = \frac{Z_{w\eta}}{\frac{1}{2}\rho L^2 U}$	Z_w 对 $(\eta - 1)$ 的一阶导数	$N \cdot m^{-1} \cdot s$
$Z_{\dot{w}}$	$Z'_{\dot{w}} = \frac{Z_{\dot{w}}}{\frac{1}{2}\rho L^3}$	Z 对 \dot{w} 的导数	$N \cdot m^{-1} \cdot s^2$
$Z_{ w }$	$Z'_{ w } = \frac{Z_{ w }}{\frac{1}{2}\rho L^2 U}$	Z 对 w 的一阶导数	$N \cdot m^{-1} \cdot s$
$Z_{w q }$	$Z'_{w q } = \frac{Z_{w q }}{\frac{1}{2}\rho L^3}$	Z_w 对 q 的导数	$N \cdot m^{-1} \cdot s^2 \cdot \text{rad}^{-1}$

续表 1

符 号	无量纲表达式	名 称	单 位
$Z_{q q}$	$Z'_{q q} = \frac{Z_{q q}}{\frac{1}{2}\rho L^3}$	Z 对 q 的二阶导数	$N \cdot s^2 \cdot rad^{-2}$
$Z_{w w}$	$Z'_{w w} = \frac{Z_{w w}}{\frac{1}{2}\rho L^2}$	Z 对 w 的二阶导数	$N \cdot m^{-2} \cdot s^2$
$Z_{w w \eta}$	$Z'_{w w \eta} = \frac{Z_{w w \eta}}{\frac{1}{2}\rho L^2}$	$Z_{w w}$ 对 ($\eta - 1$) 的一阶导数	$N \cdot m^{-2} \cdot s^2$
Z_{ww}	$Z'_{ww} = \frac{Z_{ww}}{\frac{1}{2}\rho L^2}$	Z 对 w 的二阶导数	$N \cdot m^{-2} \cdot s^2$
Z_{δ_b}	$Z'_{\delta_b} = \frac{Z_{\delta_b}}{\frac{1}{2}\rho L^2 U^2}$	Z 对 δ_b 的一阶导数	$N \cdot rad^{-1}$
Z_{δ_s}	$Z'_{\delta_s} = \frac{Z_{\delta_s}}{\frac{1}{2}\rho L^2 U^2}$	Z 对 δ_s 的一阶导数	$N \cdot rad^{-1}$
$Z_{\delta_s \eta}$	$Z'_{\delta_s \eta} = \frac{Z_{\delta_s \eta}}{\frac{1}{2}\rho L^2 U^2}$	Z_{δ_s} 对 ($\eta - 1$) 的一阶导数	$N \cdot rad^{-1}$
α	—	攻角	rad, (°)
β	—	漂角	rad, (°)
δ_b	—	艏升降舵或围壳舵舵角	rad, (°)
δ_r	—	方向舵舵角	rad, (°)
δ_s	—	舵升降舵舵角	rad, (°)
ζ_G	$\zeta'_G = \frac{\zeta_G}{L}$	重心深度	m
$\dot{\zeta}_G$	$\dot{\zeta}'_G = \frac{\dot{\zeta}_G}{U}$	重心在 ζ 轴方向速度	$m \cdot s^{-1}$

续表 1

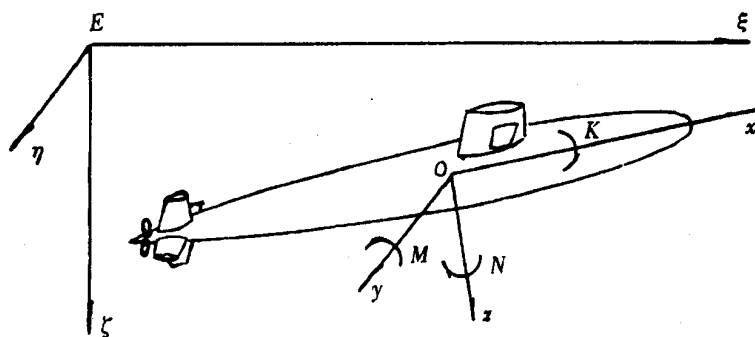
符 号	无量纲表达式	名 称	单 位
ζ_0	$\zeta'_0 = \frac{\zeta_0}{L}$	随船坐标系原点,在固定坐标系中 ζ 坐标	m
$\dot{\zeta}_0$	$\dot{\zeta}'_0 = \frac{\dot{\zeta}_0}{U}$	随船坐标系原点, ζ 轴方向速度	$m \cdot s^{-1}$
ζ_{∞}	$\zeta'_{\infty} = \frac{\zeta_{\infty}}{L}$	超越深度	m
η_0	$\eta_0 = \frac{\eta_0}{L}$	随船坐标系原点,在固定坐标系中 η 坐标	m
$\dot{\eta}_0$	$\dot{\eta}'_0 = \frac{\dot{\eta}_0}{U}$	随船坐标系原点, η 轴方向速度	$m \cdot s^{-1}$
θ	—	纵倾角	rad, (°)
$\dot{\theta}$	$\dot{\theta}' = \frac{\dot{\theta}L}{U}$	纵倾角速度	rad, s^{-1}
θ_{∞}	—	超越纵倾角	rad, (°)
ξ_0	$\xi_0 = \frac{\xi_0}{L}$	随船坐标系原点,在固定坐标系中 ξ 坐标	m
$\dot{\xi}_0$	$\dot{\xi}'_0 = \frac{\dot{\xi}_0}{U}$	随船坐标系原点, ξ 轴方向速度	$m \cdot s^{-1}$
ν	—	运动粘性系数	m^2, s^{-1}
ρ	—	水密度	$kg \cdot m^{-3}$
φ	—	横倾角	rad, (°)
$\dot{\varphi}$	$\dot{\varphi}' = \frac{\dot{\varphi}L}{U}$	横倾角速度	rad, s^{-1}
φ_0	—	稳定回转时横倾角	rad, (°)
Ψ	—	首向角	rad, (°)
$\dot{\Psi}$	$\dot{\Psi}' = \frac{\dot{\Psi}L}{U}$	首向角速度	rad, s^{-1}

4 一般要求

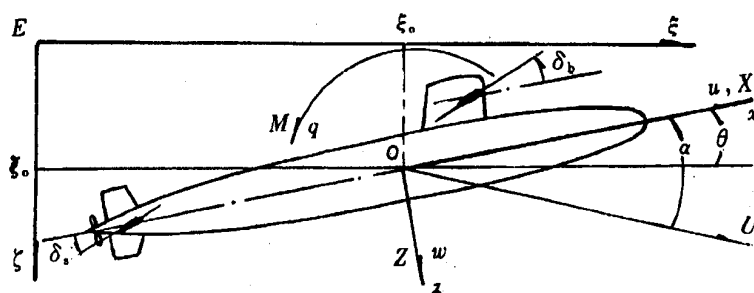
4.1 坐标系有固定坐标系($E-\xi\eta\zeta$)和随船坐标系($O-xyz$)。均为右手坐标系。 $(E-\xi\eta\zeta)$ 坐标系,固定于地球。原心 E 位于海平面上某定点。 $\xi\eta$ 平面位于海平面, ξ 轴正方向为潜艇主航向, ζ 轴指向地心为正。按右手系确定 η 轴正方向。 $O-xyz$ 坐标系固联于潜艇, xoz 平面位于潜艇纵中剖面。 x 轴与艇基线平行,指向艇首为正; z 轴向下为正。按右手系确定 y 轴正向。两坐标系间关系及 $O-xyz$ 系统中的坐标轴、角度、速度、力和力矩正方向见图 1。

4.2 潜艇在方案设计、初步设计、技术设计和施工设计各阶段,应按 5.3 条进行操纵性预报。

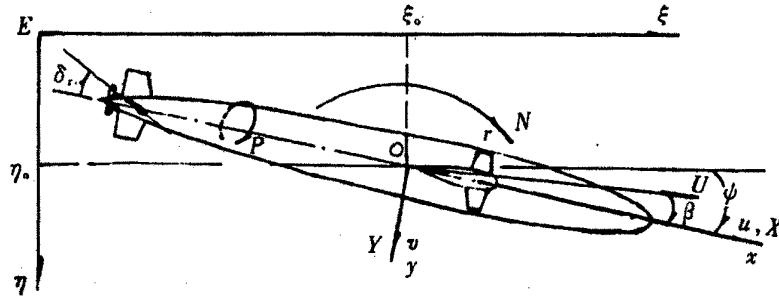
4.3 潜艇操纵性预报一般采用数学模型法。在潜艇技术设计阶段与施工设计阶段有条件时,可增加物理模型法预报,并进行预报结果的比较。



a. 固定坐标系与随船坐标系



b. 垂直面参数



c. 水平面参数

图1 坐标系

5 详细要求

5.1 操纵性预报方法

5.1.1 数学模型预报方法

潜艇操纵运动数学模型由垂直面操纵运动方程、水平面操纵运动方程和空间操纵运动方程表示。

5.1.1.1 潜艇垂直面操纵运动按方程组(1)表述:

$$\begin{aligned}
 m(\dot{u} + wq - x_G q^2) &= \frac{1}{2} \rho L^4 (X'_{\dot{u}} \dot{u} + X'_{wq} wq) \\
 &+ \frac{1}{2} \rho L^2 (X'_{uu} u^2 + X'_{ww} w^2 + X'_{\delta_s \delta_s} u^2 \delta_s^2 + X'_{\delta_b \delta_b} u^2 \delta_b^2) \\
 &+ \frac{1}{2} \rho L^2 (a_i u^2 + b_i u u_c + c_i u_c^2) - (W - B) \sin \theta \\
 m(\dot{w} - uq - Z_G q^2) &= \frac{1}{2} \rho L^4 (Z'_{\dot{q}} \dot{q} + Z'_{|q|q} |q| |q|) \\
 &+ \frac{1}{2} \rho L^3 (Z'_{\dot{u}} \dot{u} + Z'_{uq} uq + Z'_{|w|q} |w| |q| + Z'_{|q|\delta_s} u |q| \delta_s) \\
 &+ \frac{1}{2} \rho L^2 (Z'_u u^2 + Z'_{uw} uw + Z'_{|w|u} |w| |u| + Z'_{|w|w} |w| |w| + M'_{ww} \\
 &+ Z'_{ww} w^2 + Z'_{\delta_s} u^2 \delta_s + Z'_{\delta_b} u^2 \delta_b) + (W - B) \cos \theta \cos \varphi \\
 I_y \dot{q} + m(z_G \dot{u} - x_G \dot{w}) &= \frac{1}{2} \rho L^5 (M'_{\dot{q}} \dot{q} + M'_{|q|q} |q| |q|) \\
 &+ \frac{1}{2} \rho L^4 (M'_{\dot{u}} \dot{u} + M'_{uq} uq + M'_{|w|q} |w| |q| + M'_{|q|\delta_s} u |q| \delta_s) \\
 &+ \frac{1}{2} \rho L^3 (M'_u u^2 + M'_{uw} uw + M'_{|w|u} |w| |u| + M'_{|w|w} |w| |w| + M'_{\delta_s} u^2 \delta_s \\
 &+ M'_{\delta_b} u^2 \delta_b) - (x_G W - x_B B) \cos \theta - (z_G W - z_B B) \sin \theta
 \end{aligned} \tag{1}$$

$$\left. \begin{aligned} \dot{\xi}_0 &= u \cos \theta + w \sin \theta \\ \dot{\zeta}_0 &= -u \sin \theta + w \cos \theta \\ q &= \dot{\theta} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (1)$$

5.1.1.2 潜艇水平面操纵运动按方程组(2)表述:

$$\left. \begin{aligned} m(\dot{u} - vr - y_G \dot{r}) &= \frac{1}{2} \rho L^4 X'_{rr} r^2 + \frac{1}{2} \rho L^3 (X'_{ru} \dot{u} + X'_{rv} vr) \\ &+ \frac{1}{2} \rho L^2 (X'_{uu} u^2 + X'_{vv} v^2 + X'_{\delta_r \delta_r} u^2 \delta_r^2) \\ &+ \frac{1}{2} \rho L^2 (a_i u^2 + b_i u u_c + c_i u_c^2) \\ m(v + ur - y_G r^2) &= \frac{1}{2} \rho L^4 Y'_{rr} r^2 \\ &+ \frac{1}{2} \rho L^3 (Y'_{rv} v + Y'_{ru} ur + Y'_{v|v|} v | r | + Y'_{r|u|} u | r | \delta_r) \\ &+ \frac{1}{2} \rho L^2 (Y'_{uu} u^2 + Y'_{uv} uv + Y'_{v|v|} v | v | + Y'_{\delta_r} u^2 \delta_r) \\ I_2 \dot{r} + m(x_G v - y_G \dot{u}) &= \frac{1}{2} \rho L^5 (N'_{rr} r^2 + N'_{r|v|} r | v |) \\ &+ \frac{1}{2} \rho L^4 (N'_{rv} v + N'_{ru} ur + N'_{v|v|} v | v | + N'_{r|u|} u | r | \delta_r) \\ &+ \frac{1}{2} \rho L^3 (N'_{uu} u^2 + N'_{uv} uv + N'_{v|v|} v | v | + N'_{\delta_r} u^2 \delta_r) \\ &+ (x_G W - x_B B) \sin \varphi \\ \dot{\xi}_0 &= u \cos \psi - v \sin \psi \\ \dot{\eta}_0 &= u \sin \psi + v \cos \psi \\ \dot{\psi} &= r \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (2)$$

5.1.1.3 潜艇空间操纵运动按方程组(3)表述:

$$\left. \begin{aligned} m[\dot{u} - vr + wq - x_G(q^2 + r^2) + y_G(pq - \dot{r}) + z_G(pr + q)] \\ &= \frac{1}{2} \rho L^4 (X'_{qq} q^2 + X'_{rr} r^2 + X'_{rp} rp + \frac{1}{2} \rho L^3 (X'_{ru} \dot{u} + X'_{rv} vr + X'_{wq} wq) \\ &+ \frac{1}{2} \rho L^2 (X'_{uu} u^2 + X'_{vv} v^2 + X'_{ww} w^2) \\ &+ \frac{1}{2} \rho L^2 u^2 (X'_{\delta_r \delta_r} \delta_r^2 + X'_{\delta_s \delta_s} \delta_s^2 + X'_{\delta_b \delta_b} \delta_b^2) \\ &+ \frac{1}{2} \rho L^2 (a_i u^2 + b_i u u_c + c_i u_c^2) - (W - B) \sin \theta \\ &+ \frac{1}{2} \rho L^2 (X'_{wq} w^2 + X'_{wv} wv + X'_{\delta_r \delta_r} \delta_r^2 u^2 + X'_{\delta_s \delta_s} \delta_s^2 u^2) (\eta - 1) \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (3)$$

$$\begin{aligned}
& m[v - wp + ur - y_G(r^2 + p^2) + z_G(qr - \dot{p}) + x_G(qp + r)] \\
&= \frac{1}{2}\rho L^4(Y'_r \dot{r} + Y'_{r|rl} r | r | + Y'_p \dot{p} + Y'_{p|pl} p | p | + Y'_{rq} p q + Y'_{qr} q r) \\
&\quad + \frac{1}{2}\rho L^3(Y'_v \dot{v} + Y'_{vq} v q + Y'_{wp} w p + Y'_{wr} w r) \\
&\quad + \frac{1}{2}\rho L^3\left[Y'_r u r + Y'_p u p + Y'_{|rl\delta_r} u | r | \delta_r + Y'_{v|rl} \frac{v}{|v|} |(v^2 + w^2)^{\frac{1}{2}} | | r | \right] \\
&\quad + \frac{1}{2}\rho L^2[Y'_v \cdot u^2 + Y'_v u v + Y'_{v|vl} V |(v^2 + w^2)^{\frac{1}{2}} |] \\
&\quad + \frac{1}{2}\rho L^2(Y'_{vw} v w + Y'_{\delta_r} u^2 \delta_r) + (W - B)\cos\theta\sin\varphi \\
&\quad + \frac{1}{2}\rho L^3 Y'_{\eta} u r (\eta - 1) \\
&\quad + \frac{1}{2}\rho L^2[Y'_{v\eta} u v + Y'_{v|vl\eta} v |(v^2 + w^2)^{\frac{1}{2}} | + Y'_{\delta_r\eta} \delta_r u^2](\eta - 1) \\
& m[\dot{w} - uq + vp - z_G(p^2 + q^2) + x_G(rp - \dot{q} + y_G(rq + \dot{p})] \\
&= \frac{1}{2}\rho L^4[Z'_q \dot{q} + Z'_{pp} \dot{p}^2] + Z'_{q|ql} \cdot q | q | + Z'_{rr} \dot{r}^2 + Z'_{rp} r \dot{p} \\
&\quad + \frac{1}{2}\rho L^3[Z'_w \dot{w} + Z'_{vr} v r + Z'_{vp} v p] \\
&\quad + \frac{1}{2}\rho L^3\left[Z'_q u q + Z'_{|ql\delta_s} u | q | \delta_s + Z'_{w|ql} \frac{w}{|w|} |(v^2 + w^2)^{\frac{1}{2}} | | q | \right] \\
&\quad + \frac{1}{2}\rho L^2[Z'_s \cdot u^2 + Z'_w u w + Z'_{w|wl} w |(v^2 + w^2)^{\frac{1}{2}} |] \\
&\quad + \frac{1}{2}\rho L^2[Z'_{|wl} u | w | + Z'_{ww} | w (v^2 + w^2)^{\frac{1}{2}} |] \\
&\quad + \frac{1}{2}\rho L^2(Z'_{ww} v^2 + Z'_{\delta_s} u^2 \delta_s + Z'_{\delta_b} u^2 \delta_b) \\
&\quad + (W - B)\cos\theta\cos\varphi \\
&\quad + \frac{1}{2}\rho L^3 Z'_{\eta} u q (\eta - 1) \\
&\quad + \frac{\rho}{2} L^2[Z'_{w\eta} u w + Z'_{w|wl\eta} w |(v^2 + w^2)^{\frac{1}{2}} | + Z'_{\delta_s\eta} \delta_s u^2](\eta - 1)
\end{aligned} \tag{3}$$

$$\begin{aligned}
& I_x \dot{p} + (I_x - I_y)qr - (r + pq)I_{xx} + (r^2 - q^2)I_{yy} + (pr - q)I_{xy} \\
& \quad + m[y_G(\dot{w} - uq + vp) - z_G(\dot{v} - wp + ur)] \\
& = \frac{1}{2}\rho L^5(K'_p \dot{p} + K'_r r + K'_q qr + K'_{pq} pq + K'_{p|p|} p | p | + K'_{r|r|} r | r |) \\
& \quad + \frac{1}{2}\rho L^4(K'_p u p + K'_{ur} ur + K'_v v) \\
& \quad + \frac{1}{2}\rho L^4(K'_{vq} vq + K'_{wp} wp + K'_{wr} wr) \\
& \quad + \frac{1}{2}\rho L^3[K'_s u^2 + K'_{uv} uv + K'_{v|v|} v | (v^2 + w^2)^{\frac{1}{2}} |] \\
& \quad + \frac{1}{2}\rho L^3(K'_{vw} vw + K'_{\delta_s} u^2 \delta_s) \\
& \quad + (y_G W - y_B B)\cos\theta\cos\varphi - (z_G W - z_B B)\cos\theta\sin\varphi \\
& \quad + \frac{1}{2}\rho L^3 K'_{\eta} u^2 (\eta - 1) \\
& I_y \dot{q} + (I_x - I_z)rp - (\dot{p} + qr)I_{yy} + (p^2 - r^2)I_{xx} + (qp - r)I_{xy} \\
& \quad + m[(z_G(\dot{u} - vr + wq) - x_G(\dot{w} - uq + vp))] \\
& = \frac{1}{2}\rho L^5(M'_{q\dot{q}} \dot{q} + M'_{rp} p^2 + M'_{rr} r^2 + M'_{rp} rp + M'_{q|q|} q | q |) \\
& \quad + \frac{1}{2}\rho L^4(M'_{v\dot{w}} \dot{w} + M'_{vr} vr + M'_{vp} vp) \\
& \quad + \frac{1}{2}\rho L^4[M'_{uq} uq + M'_{|q|\delta_s} u | q | \delta_s + M'_{|w|q} | (v^2 + w^2)^{\frac{1}{2}} | q] \\
& \quad + \frac{1}{2}\rho L^3[M'_s u^2 + M'_{uw} uw + M'_{w|w|} w | (v^2 + w^2)^{\frac{1}{2}} |] \\
& \quad + \frac{1}{2}\rho L^3[M'_{|w|} u | w | + M'_{ww} | w (v^2 + w^2)^{\frac{1}{2}} |] \\
& \quad + \frac{1}{2}\rho L^3(M'_{vw} v^2 + M'_{\delta_s} u^2 \delta_s + M'_{\delta_b} u^2 \delta_b) \\
& \quad - (x_G W - x_B B)\cos\theta\cos\varphi - (z_G W - z_B B)\sin\theta \\
& \quad + \frac{1}{2}\rho L^4 M'_{\eta} uq (\eta - 1) \\
& \quad + \frac{1}{2}\rho L^3 [M'_{wq} uw + M'_{w|w|} w | (v^2 + w^2)^{\frac{1}{2}} | + M'_{\delta_s} \delta_s u^2] (\eta - 1)
\end{aligned} \tag{3}$$

$$\begin{aligned}
& I_x \dot{r} + (I_y - I_x) p q - (q + r p) I_{yz} + (q^2 - p^2) I_{xy} + (r q - \dot{p}) I_{xz} \\
& \quad + m [x_G (v - w p + u r) - y_G (\dot{u} - v r + w q)] \\
& = \frac{1}{2} \rho L^5 [N'_{r,t} \dot{r} + N'_{\dot{p}} \dot{p} + N'_{|p|} |p| \dot{p} + N'_{r,q} p q + N'_{q,r} q r + N'_{|r|} r |r|] \\
& \quad + \frac{1}{2} \rho L^4 [N'_{v} v + N'_{w} w r + N'_{w p} w p + N'_{v q} v q] \\
& \quad + \frac{1}{2} \rho L^4 [N'_{p} u p + N'_{r} u r + N'_{|u|} |u| r \delta_r + N'_{|v|} (v^2 + w^2)^{\frac{1}{2}} |r|] \\
& \quad + \frac{1}{2} \rho L^3 [N'_{u} u^2 + N'_{v} u v + N'_{|v|} v |v| (v^2 + w^2)^{\frac{1}{2}}] \\
& \quad + \frac{1}{2} \rho L^3 (N'_{w} v w + N'_{\delta_r} u^2 \delta_r) \\
& \quad + (x_G W - x_B B) \cos \theta \sin \varphi + (y_G W - y_B B) \sin \theta \\
& \quad + \frac{1}{2} \rho L^4 N'_{\eta} u r (\eta - 1) \quad \dots (3) \\
& \quad + \frac{1}{2} \rho L^3 [N'_{\eta} u v + N'_{|v|} v |v| (v^2 + w^2)^{\frac{1}{2}} + N'_{\delta_r} \delta_r u^2] (\eta - 1) \\
& U^2 = u^2 + v^2 + w^2 \\
& \zeta_0 = u \cos \psi \cos \theta + v (\cos \psi \sin \theta \sin \varphi - \sin \psi \cos \varphi) \\
& \quad + w (\cos \psi \sin \theta \cos \varphi + \sin \psi \sin \varphi) \\
& \dot{\eta}_0 = u \sin \psi \cos \theta + v (\sin \psi \sin \theta \sin \varphi + \cos \psi \cos \varphi) \\
& \quad + w (\sin \psi \sin \theta \cos \varphi - \cos \psi \sin \varphi) \\
& \zeta_0 = -u \sin \theta + v \cos \theta \sin \varphi + w \cos \theta \cos \varphi \\
& \phi = p + \dot{\psi} \sin \theta \\
& \dot{\theta} = q \cos \varphi - r \sin \varphi \\
& \dot{\psi} = \frac{r \cos \varphi + q \sin \varphi}{\cos \theta}
\end{aligned}$$

5.1.1.4 数学模型中的无量纲水动力系数,根据设计阶段的不同要求,采用近似估算方法和拘束模型试验来确定。当设计的潜艇有母型艇时,可按公式(4)计算:

$$C_i = C_{\bar{i}} \frac{C_{i_{ms}}}{C_{i_{mi}}} \dots \dots \dots (4)$$

式中: C_i —— 潜艇待求的水动力系数;

$C_{\bar{i}}$ —— 按估算公式求得的潜艇水动力系数;

$C_{i_{mi}}$ —— 按估算公式求得的母型潜艇水动力系数;

$C_{i_{ms}}$ —— 母型潜艇约束模型试验获得的水动力系数。

水池和低速风洞拘束模型试验确定潜艇水动力系数时,应满足模型试验相似准则和进行

有动力模型水动力试验。如模型试验相似准则不能完全满足,或无动力模型试验时,应对测试结果进行相应修正。

5.1.2 潜艇操纵运动物理模型—自航模试验预报方法

潜艇自航模试验按 CB/Z 252 规定执行。

5.2 操纵运动特性衡准参数及特征参数

5.2.1 潜艇垂直面操纵运动的衡准参数见表 2。

表 2

衡准参数名称	符 号	计 算 公 式	
动稳定性系数	$K_{\text{动}}$	$\frac{M'_q \cdot Z'_w}{(m' + Z'_q) \cdot M'_w}$	
静不稳定性系数	l'_α	$-\frac{M'_w}{Z'_w}$	
有纵倾定深直线运动时平衡角 (舵角及纵倾角)	操 升 降 舵	δ_b	$\frac{-(M'_w + M'_\theta)Z'_* + M'_*Z'_w}{(M'_w + M'_\theta)Z'_{\delta_b} - Z'_w M'_{\delta_b}}$
		θ	$\frac{Z'_* M'_{\delta_b} - M'_* Z'_{\delta_b}}{(M'_w + M'_\theta)Z'_{\delta_b} - Z'_w M'_{\delta_b}}$
	操 尾 升 降 舵	δ_s	$\frac{-(M'_w + M'_\theta)Z'_* + M'_*Z'_w}{(M'_w + M'_\theta)Z'_{\delta_s} - Z'_w M'_{\delta_s}}$
		θ	$\frac{Z'_* M'_{\delta_s} - M'_* Z'_{\delta_s}}{(M'_w + M'_\theta)Z'_{\delta_s} - Z'_w M'_{\delta_s}}$
无纵倾定深直线运动时平衡舵角	δ_s	$\frac{-M'_* Z'_{\delta_b} + Z'_* M'_{\delta_b}}{M'_{\delta_s} Z'_{\delta_b} - M'_{\delta_b} Z'_{\delta_s}}$	
	δ_b	$\frac{-Z'_* M'_{\delta_s} + M'_* Z'_{\delta_s}}{M'_{\delta_s} Z'_{\delta_b} - M'_{\delta_b} Z'_{\delta_s}}$	
艏升降舵(或围壳舵)逆速	U_{b}	$\left[\frac{m'ghZ'_{\delta_b}}{Z'_{\delta_b} M'_w - Z'_w M'_{\delta_b}} \right]^{1/2}$	
艉升降舵逆速	U_{s}	$\left[\frac{m'ghZ'_{\delta_s}}{Z'_{\delta_s} M'_w - Z'_w M'_{\delta_s}} \right]^{1/2}$	

续表 2

衡准参数名称	符 号	计 算 公 式
舰升降舵速升率	$\frac{\partial U_{\zeta}}{\partial \delta_a}$	$\frac{U^3}{57.3m'gh} \left[\frac{M'_w}{Z'_w} - \frac{M'_{\delta_a}}{Z'_{\delta_a}} + \frac{M'_\theta}{Z'_w} \right] Z'_{\delta_a}$
舰升降舵速升率	$\frac{\partial U_{\zeta}}{\partial \delta_b}$	$\frac{U^3}{57.3m'gh} \left[\frac{M'_w}{Z'_w} - \frac{M'_{\delta_b}}{Z'_{\delta_b}} + \frac{M'_\theta}{Z'_w} \right] Z'_{\delta_b}$
无纵倾上浮或下潜时达到的最大攻角	α_{max}	$\frac{Z'_{\delta_b}}{Z'_w} (1+x) \delta_{b_{max}}$ 式中 $x = \frac{l'_{\delta_b} - l'_a}{l'_a - l'_{\delta_b}} > 0$
操舵变纵倾运动响应时间滞后参数	T'_θ	$\frac{I'_y - M'_q}{ M'_q \left(1 - \frac{l'_a}{l'_q} \right)}$
操舰升降舵纵倾响应参数	$\frac{K'_\theta}{T'_\theta}$	$\frac{ M'_{\delta_b} }{I'_y - M'_q}$
变纵倾时间滞后与机动周期比	$T'_\theta K'_\theta$	$\frac{M'_{\delta_b} (I'_y - M'_q)}{\left[M'_q \left(1 - \frac{l'_a}{l'_q} \right) \right]^2}$

5.2.2 潜艇在垂直面中运动历程及特征参数见表 3。

表 3

机动形式	操舵方式	预报内容	特征参数
潜浮机动	阶跃操舵	纵倾角 $\theta(t)$ 曲线; 重心运动历程曲线	θ_{ov} ζ_G
变深度机动	梯形操舵	纵倾角 $\theta(t)$ 曲线; 重心运动历程曲线	t_a θ_{ov} ζ_{ov}
超越机动	半周期 Z 形操舵	纵倾角 $\theta(t)$ 曲线; 重心运动历程曲线	t_a θ_{ov} ζ_{ov}

5.2.3 潜艇水平面运动的衡准参数见表4。

表4

衡准参数名称	符 号	计 算 公 式
动稳定性系数	K_M	$\frac{ N'_r Y'_v }{(m' - Y'_r) N'_v }$
在最大方向舵舵角条件下的相对回转直径	$\frac{D_0}{L}$	按方程组(2)求解
操舵变航向响应滞后参数	T'_ψ	$\frac{I'_z - N'_r}{ N'_r \left(1 + \frac{I'_\beta}{L'_r}\right)}$
操方向舵航向响应参数	$\frac{K'_\psi}{T'_\psi}$	$\frac{ N'_\delta }{I'_z - N'_r}$

5.2.4 潜艇在水平面中运动历程及特征参数见表5。

表5

机动形式	操舵方式	预报内容	特征参数
回转机动	线性操舵至预定角 δ_r 后, 保持舵角不变	重心运动轨迹; 艏向角速度变化历程	D_0 A_d D_r T_r
Z形机动	Z形操舵	重心运动轨迹; 艏首向角变化历程	K_ψ T_ψ Ψ_ω t'_s

5.2.5 潜艇空间操纵运动预报, 以稳定螺旋运动、定深稳定回转为代表, 其特征参数分别见表6、表7。

表 6

特征参数	符 号	计算公式
相对回转直径	D_0/L	$\frac{2U\cos(\theta - \alpha)}{L(r + q\varphi)}$
升距	$\Delta\zeta_G$	$\pi D \tan(\theta - \alpha)$
相对升速	U_v/U_i	$\tan(\theta - \alpha)$
纵倾角	θ	$f_\theta(\delta_r, \delta_b, \delta_s)$
横倾角	φ	$f_\varphi(\delta_r, \delta_b, \delta_s)$

表 7

特征参数	符 号	计算公式
攻角	α	按方程组(3)求解
纵倾角	θ	
横倾角	φ	
艏升降舵角	δ_b	
舵升降舵角	δ_s	

5.3 各设计阶段操纵性预报要求

5.3.1 方案设计阶段操纵性预报内容及方法

5.3.1.1 预报内容

方案设计阶段进行潜艇在水下单平面操纵性预报,其内容有:

- 垂直面运动的静不稳定系数 l'_z ;
- 垂直面运动的动稳定系数 K_{zd} ;
- 航速 10kn 时,艏、舵升降舵的速升率 $\partial U_v/\partial \delta_b, \partial U_v/\partial \delta_s$;
- 艏升降舵(或围壳舵)与舵升降舵的逆速 U_i ;
- 水平面运动的静不稳定系数 l'_p ;
- 水平面运动时动稳定系数 K_{pd} ;
- 水平面稳定回转相对直径 D'_0 。

5.3.1.2 预报方法

方案设计阶段一般采用数学模型法进行预报,水动力系数用近似估算方法。

5.3.2 初步设计阶段操纵性预报内容及方法

5.3.2.1 预报内容

初步设计阶段操纵性预报内容,在通常情况下与方案设计阶段相同,对有特殊操纵性要求的潜艇可根据需要增加预报内容。

5.3.2.2 预报方法

初步设计阶段在通常情况下采用数学模型法进行预报,潜艇水动力系数一般由拘束模型试验确定。

5.3.3 技术设计阶段操纵性预报内容及方法

5.3.3.1 数学模型预报内容

5.3.3.1.1 潜艇垂直面运动预报内容包括:

- a. 静不稳定系数 l'_z ;
- b. 动稳定系数 K_{zd} ;
- c. 航速 10kn 时,艏(或围壳舵)、舵升降舵的速升率 $\partial U_z/\partial \delta_b, \partial U_z/\partial \delta_s$;
- d. 艏升降舵(或围壳舵)与舵升降舵的逆速 U_i ;
- e. 等速定深直线航行时的平衡角 θ, δ_b 及 θ, δ_s ;
- f. 等速定深无纵倾直线航行时的平衡舵角 δ_s, δ_b ;
- g. 无纵倾上浮或下潜时达到的最大攻角 α_{max} ;
- h. 操舵变纵倾运动响应时间滞后 T'_θ ;
- i. 操舵升降舵纵倾响应参数 K'_θ/T'_θ ;
- j. 操舵升降舵纵倾时间滞后与机动周期比 $T'_\theta \cdot K'_\theta$;
- k. 潜浮机动,纵倾角 $\theta(t)$ 曲线,重心运动轨迹曲线;
- l. 变深度机动,纵倾角 $\theta(t)$ 曲线,重心运动轨迹曲线;
- m. 超越机动,纵倾角 $\theta(t)$ 曲线,重心运动轨迹曲线。

5.3.3.1.2 潜艇水下状态水平面运动预报内容包括:

- a. 静不稳定系数 l'_β ;
- b. 动稳定系数 $K_{\beta d}$;
- c. 稳定回转相对直径 D'_0 ;
- d. 操方向舵变首向运动响应时间滞后 T'_ψ ;
- e. 操方向舵,首向响应参数 K'_ψ/T'_ψ ;
- f. 回转机动重心运动轨迹,转首角速度变化历程;
- g. Z形机动重心运动轨迹,转首角速度变化历程。

5.3.3.1.3 潜艇水上状态预报内容包括:

- a. 稳定回转直径;
- b. 螺旋操纵运动操纵性特性 $\dot{\psi}-\delta$ 曲线。

5.3.3.1.4 潜艇空间运动预报内容包括:

- a. 稳定螺旋运动相对直径 D'_0 ;
- b. 稳定螺旋运动相对升距 $\Delta \zeta_c/L$;
- c. 稳定螺旋运动相对升速 U_z/U_i ;

- d. 稳定螺旋运动纵倾角 θ ;
- e. 稳定螺旋运动横倾角 φ ;
- f. 稳定螺旋运动线速度 U ;
- g. 定深稳定回转运动时平衡参数 α 、 φ 、 θ 及 δ_b 、 δ_s 。

5.3.3.2 自航模试验预报内容

5.3.3.2.1 潜艇垂直面试验内容包括：

- a. 速升率试验,测定升降舵在几种航速下的速升率及每度舵角时,纵倾角变化;
- b. 超越试验,测定艇模对操舵的响应能力;
- c. 航向与深度保持试验,评定舵保持定深直航能力;
- d. 卡舵试验,测定潜艇一对升降舵卡时,用另一对升降舵挽回艇的能力;
- e. 潜艇水动力系数测试。

5.3.3.2.2 潜艇水下水平面试验预报内容包括：

- a. 回转试验,测定艇模水平回转能力;
- b. Z形试验,测定艇模在中等舵角时,艇对操舵角响应能力;
- c. 回直试验,测定艇航向稳定性程度;
- d. 制动试验,测定艇惯性制动及倒车紧急制动能力。

5.3.3.2.3 潜艇水上状态试验预报内容包括：

- a. 满舵和 15° 舵角的后转试验;
- b. $10^\circ/10^\circ$ Z形操纵试验;
- c. 螺旋线试验;
- d. 倒车试验。

5.3.3.3 潜艇技术设计阶段操纵性预报方法

5.3.3.3.1 潜艇技术设计阶段采用数学模型法预报操纵特性;数学模型中的水动力系数应由拘束模型水动力试验确定。对加速度水动力系数也可用近似估算方法获得。

5.3.3.3.2 潜艇技术设计阶段采用自航模试验预报操纵性时,自航模型试验应按 CB/Z 252 进行。

5.3.4 施工设计阶段操纵性预报内容及方法

在施工设计阶段中的潜艇艇体线型、操纵面、指挥台围壳或稳心高与技术设计阶段有改变时,则应进行施工设计操纵性预报。预报内容和方法与技术设计阶段相同。

附加说明:

本指导性技术文件由中国船舶工业总公司提出。

本指导性技术文件由中国船舶工业总公司第六〇一研究院归口。

本指导性技术文件由中国船舶工业总公司第七研究院第七〇二研究所起草。

本指导性技术文件主要起草人:江 宏、孙张群、蔡大明、何春荣、吴宝山。

计划项目代号:6CZ16。