

# 基于 MATLAB GUI 的船舶操纵性指数计算

解国强

(青岛远洋船员职业学院, 山东 青岛 266000)

**摘要:** 为了满足在控制器设计时需要获取船舶操纵性指数这一问题, 本文在梳理理论计算公式之后, 在 MATLAB 的 GUI 中编程实现了两个船舶操纵性指数与三个时间常数的计算平台, 并通过实例验证了平台计算结果的正确性。本文所做的研究对控制器设计者和船舶驾驶员了解船舶操纵性能均具有很大的参考价值。

**关键词:** 船舶操纵性指数; MATLAB; GUI; 运动控制

**中图分类号:** U445      **文献标识码:** A      **文章编号:** 1006—7973 (2022) 01—0098—03

## 1 引言

船舶 Nomoto 模型是在设计船舶航向保持等控制器时广泛使用的一种线性数学模型<sup>[1]</sup>。目前, 可用于获取船舶 Nomoto 模型 K、T 指数的方法主要有三种<sup>[2]</sup>。这三种方法虽然最终都可以获得 K、T 指数的可靠数值, 但

在某些情况下, 用二阶 Nomoto 模型来进行船舶航向保持等控制器设计仍稍显不足, 如考虑执行器动态时则仍需采用三阶 Nomoto 模型, 从而需要获得与 T 指数相对应的  $T_1$ 、 $T_2$  和  $T_3$  这三个时间常数的具体数值。本文采用公式计算的方法, 借助 MATLAB 强大的数据计算与

表 3 防护工程方案主要优、缺点比较表

方案名称	优点	缺点
方案一 栅栏板护面	①消浪效果好; ②外形美观; ③投资最省。	①施工复杂; ②维修较困难。
方案二 四脚空心块护面	①消浪效果较好; ②适应变形能力好。	①施工复杂; ②设计波高大于 4m 时不宜用; ③投资较大。
方案三 灌砌块石护面	①施工方便; ②维修方便。	①消浪效果较差; ②施工质量难控制; ③投资较大。

从表 3 可知, 方案一钢筋混凝土栅栏板护面方案投资最小, 且外形美观, 消浪效果好, 具有较强的抗风浪能力, 因此本次拟推荐方案一: 钢筋混凝土栅栏板护面方案。

## 5 结论及建议

### 5.1 推荐堤顶高程

根据上述堤顶高程计算成果和防护型式方案比选, 本次拟推荐栅栏板作为临海侧护面, 拟定挡浪墙顶高程见表 4。

表 4 海堤 200 年一遇提升建设挡浪墙顶高程建议值表

防护型式	段域	起点 - 终点	挡浪墙顶高程 (m)	越浪量 ( $m^3/(s \cdot m)$ )	备注
栅栏板	I ~ IV	A-E	7.7	0.0184	挡浪墙加高 0.53m
	V、VII	E-F、G-H	7.17		挡浪墙为原高程
	VI	F-G	7.3	0.0191	挡浪墙加高 0.13m
	VIII	H-I	7.17 ~ 6.77	0.0191 ~ 0.0064	挡浪墙为原高程
无防护	IX	I-J	6.77	0.0064	挡浪墙为原高程

### 5.2 建议

(1) 根据上述堤顶高程计算成果 I ~ IV (A-E)

挡浪墙墙顶高程 7.7m。

(2) V 和 VII 段 (E-F、G-H) 位于徐圩港区规划区域, 其中第 V 段临海侧港区已吹填, VII 段即将进行吹填。根据港区分期实施规划, 港区规划地面高程 4.2m, 高于 200 年一遇设计高潮位, 现状堤顶高程已满足防潮标准, 建议这两段挡浪墙顶高程保持为原高程。

(3) VI 段 (E-F、G-H) 位于徐圩港区规划区域中段, 近期没有吹填计划, 为了保障海堤内侧企业安全, 建议挡浪墙顶加高至 7.3m。

(4) 根据上述堤顶高程计算成果, VIII 和 IX 段现状堤顶高程满足 200 年一遇潮位 +200 年一遇风浪的防潮标准, 建议维持现状。

参考文献:

[1] 徐圩段海堤 200 年一遇波浪稳定性断面物模试验研究 [R]. 南京水利科学研究院. 2018 (08).

[2] 连云港市徐圩段海堤 100 年一遇达标工程波浪数模和断面物模试验研究 [R]. 南京水利科学研究院. 2013 (01).

[3] 连云港滨海新区陆域形成工程设计波浪要素及年平均波浪场推算 [R]. 河海大学. 2006 (07).

[4] 连云港港 30 万吨级航道一期工程波浪要素推算报告 [R]. 南京水利科学研究院, 2009 (06).

[5] 连云港徐圩港区防波堤工程波浪数模研究 [R]. 南京水利科学研究院, 2010 (12).

处理能力对涉及  $T_1$ 、 $T_2$  和  $T_3$  这三个参数的算式进行解算，并借助 GUI 的良好图形界面功能将最终结果展示出来，构建了一个图形用户界面的 K、T 指数计算平台，便于满足不同控制器设计情况对参数的需求，也方便以后进行其他功能的拓展。

诸多研究者借助 MATLAB 和 GUI 的强大功能对船舶方面的诸多问题进行了计算或可视化展示。文献 [3] 通过深入地研究了不规则的海浪干扰建模，以及海浪干扰对于船舶运动的作用和影响，构建了长峰和短峰不规则波的三维波面模型，并借助 MATLAB 自身的绘制函数给出了长峰与短峰不规则波的三维海面图。文献 [4] 主要是采用 VB 与 MATLAB 进行混合编程，设计出一款集数据提取、数据处理、建模、仿真及比较等多种功能于一体的现代化实船工业数据处理、建模和仿真系统。文献 [5] 采用 VB.NET 与 MATLAB 进行混合编程，设计出了可以用于计算与分析冰区航行船舶推进轴系时域瞬态振动的工程应用软件。文献 [6] 采用灰色预测理论对船载的相继增压柴油机性能进行预测，并采用 MATLAB 的 GUI 设计了一款灰色预测仿真平台。文献 [7] 采用 MATLAB 的 GUI 开发出了一套可实现计算表征船舶固有 CO<sub>2</sub> 排放水平评价指标功能的船舶能效设计指数 EEDI 的辅助计算系统。文献 [8] 借助 MATLAB 的 GUI 设计了一款用于深海铺管船托管架系统调整的软件。文献 [9] 在 VB 环境下，借助 MATLAB 强大的图形绘制功能，建立了一套船舶摇荡的可视化仿真平台。

## 2 Nomoto 模型 K、T 指数计算方法

若想计算 Nomoto 模型的 K、T 指数，则需要获得船舶的 8 个基本参数的具体数值，即两柱间长 L、船宽 B、吃水 D、方形系数 C<sub>b</sub>、重心距船中距离 x<sub>c</sub>、船速 V、舵叶面积 A<sub>δ</sub>、排水体积 ∇。

首先，根据 Clarke 给出的回归公式 [10] 计算出 10 个线性流体动力导数，如式 (1) 所示。

$$\left. \begin{aligned} Y'_v &= -[1 + 0.16C_b B / D - 5.1(B / L)^2] \cdot \pi(D / L)^2 \\ Y'_r &= -[0.67B / L - 0.0033(B / D)^2] \cdot \pi(D / L)^2 \\ N'_v &= -(1.1B / L - 0.041B / D) \cdot \pi(D / L)^2 \\ N'_r &= -(1/12 + 0.017C_b B / D - 0.33B / L) \cdot \pi(D / L)^2 \\ Y'_\delta &= -(1 + 0.40C_b B / D) \cdot \pi(D / L)^2 \\ Y'_r &= -(1/2 + 2.2B / L - 0.080B / D) \cdot \pi(D / L)^2 \\ N'_v &= -(1/2 + 2.4D / L) \cdot \pi(D / L)^2 \\ N'_r &= -(1/4 + 0.039B / D - 0.56B / L) \cdot \pi(D / L)^2 \\ Y'_\delta &= 3.0A_\delta / L^2 \\ N'_\delta &= -(1/2)Y'_\delta \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

而式 (1) 中的  $Y'_v, Y'_r, N'_v, N'_r$  是船舶本身的流体动力导数，在实际应用时还应考虑舵对船体流体动力导数的

干扰，对这些流体动力导数做出一定的修正，其修正增量按式 (2) 确定 [10]。

$$\left. \begin{aligned} \Delta Y'_v &= -\gamma Y'_\delta \\ \Delta Y'_r &= -\frac{1}{2} \Delta Y'_v \\ \Delta N'_v &= -\frac{1}{2} \Delta Y'_v \\ \Delta N'_r &= \frac{1}{4} \Delta Y'_v \\ \gamma &= 0.30 \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

在对各流体动力导数进行修正后，可按式 (3) 计算得到 6 个相关的中间参量。

$$\left. \begin{aligned} a_{11} &= (I'_{zz} - N'_r)Y'_v - (m'x'_c - Y'_r)N'_v / S_1 \\ a_{12} &= [(I'_{zz} - N'_r)(Y'_r - m') - (m'x'_c - Y'_r)(N'_v - m'x'_c)]LV / S_1 \\ a_{21} &= -(m'x'_c - N'_v)Y'_v + (m' - Y'_v)N'_v / L / S_1 \\ a_{22} &= -(m'x'_c - N'_v)(Y'_r - m') + (m' - Y'_v)(N'_v - m'x'_c) / LV / S_1 \\ b_{11} &= (I'_{zz} - N'_r)Y'_\delta - (m'x'_c - Y'_r)N'_\delta / S_1 \\ b_{22} &= -(m'x'_c - N'_v)Y'_\delta + (m' - Y'_v)N'_\delta / L / S_1 \\ S_1 &= [(I'_{zz} - N'_r)(m' - Y'_v) - (m'x'_c - N'_v)(m'x'_c - Y'_r)]L \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

其中除先前所述的流体动力导数外，带撇的量

$I'_{zz}, m', x'_c$  为  $I_{zz}, m, x_c$  的无量纲数值，具体的无量纲方法按式 (4) 计算，其中  $\rho$  为海水密度。

$$\left. \begin{aligned} I'_{zz} &= I_{zz} / (\frac{1}{2} \rho L^5) \\ x'_c &= x_c / L \\ m' &= m / (\frac{1}{2} \rho L^3) \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

最终按式 (5) 和式 (6) 计算可得二阶 Nomoto 模型的 K、T 指数。

$$\frac{b_{11}a_{21} - b_{21}a_{11}}{a_{11}a_{22} - a_{12}a_{21}} \quad (5)$$

$$T = -\frac{a_{11} + a_{22}}{a_{11}a_{22} - a_{12}a_{21}} - \frac{b_{21}}{b_{11}a_{21} - b_{21}a_{11}} \quad (6)$$

其中  $T = T_1 + T_2 - T_3$ ，通常  $T_1 > T_2 > 0$ ， $T_3$  的数值一般与  $T_2$  相近 [1]。对于操纵性良好的船舶，通常具有大的正值 K 和小的正值 T。此外， $K, T_1, T_2, T_3$  满足式 (7) 所对应的关系。

$$\left. \begin{aligned} \frac{1}{T_1 T_2} &= a_{11}a_{22} - a_{12}a_{21} \\ \frac{T_1 + T_2}{T_1 T_2} &= -(a_{11} + a_{22}) \\ \frac{1}{T_3} &= \frac{b_{11}a_{21} - b_{21}a_{11}}{b_{21}} \\ \frac{KT_3}{T_1 T_2} &= b_{21} \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

根据式 (7)，并在计算时考虑三个时间常数间的大小关系，最终可以获得时间常数  $T_1, T_2, T_3$  的具体数值。

## 3 基于 MATLAB GUI 的软件实现方法

图形用户界面 (Graphical User Interfaces, GUI) 给人的视觉感官与 VB 的设计环境很相似，且控件的外形及属性设置也与 VB 的相似，但在控件功能的程序实现上，

MATLAB 却显得更为简洁。程序由一个主函数、各子函数和功能函数构成。其中，主函数为固定格式的函数，无需修改。各子函数和功能函数需按照预先设计的作用进行代码的编辑。运行程序后可得到如图 1 所示的初始界面。



图 1 GUI 初始运行界面

#### 4 实例验证

文献<sup>[12]</sup>中给出了大连海事大学教学实习船的基本参数与二阶 Nomoto 模型的 K、T 指数，见表 1。将育鲲轮的基本参数输入到相应的文本框中后，按下确定按钮，最终可得到育鲲轮的各模型指数为  $K=0.31496$ ， $T=64.5289$ ， $T_1=69.9575$ ， $T_2=4.5081$ ， $T_3=9.9367$ ，计算界面如图 2 所示。若将程序结果四舍五入保留到小数点后两位，所得的最终结果与文献<sup>[12]</sup>中所给出的数据一致，且三个时间常数也满足文献<sup>[1]</sup>中所指出的数量关系，说明本文所设计的船舶操纵性指数的计算平台能够准确计算相应参数。

表 1 育鲲轮的基本参数

参数名称	数值
总长 /m	116.0
两柱间长 L/m	105.0
船宽 B/m	18.0
舵叶面积 $A\delta/m^2$	11.46
平均吃水 D/m	5.4
排水体积 $\nabla/m^3$	5735.5
船速 V/kn	16.7
重心距船中距离 $x_c/m$	-0.51
方型系数 $C_b$	0.5595
旋回性指数 K	0.31
追随性指数 T	64.53



图 2 育鲲轮的 GUI 计算结果图

#### 5 结论

本文在 MATLAB 的 GUI 中编程实现了两个船舶操纵性指数与三个时间常数的计算平台，并通过实验验证了平台计算结果的正确性。通过平台所计算得到的数据，对于船舶运动控制器的设计具有很大的理论价值，与此同时，该系统还可在封装形成可执行文件后，供控制器设计者使用。也为船舶驾驶员了解船舶操纵性能提供了一种有效的数据获取途径。此外，本文所设计的系统还为未来拓展其他功能打下了基础。

#### 参考文献：

- [1] 张显库, 金一丞. 控制系统建模与数字仿真 (第二版) [M]. 大连: 大连海事大学出版社, 2013.
- [2] 李宗波, 张显库, 张杨. 基于 SPSS 技术的船舶操纵性指数 K、T 预报 [J]. 航海技术, 2007(05):2-5.
- [3] 钱小斌, 尹勇, 张秀凤, 李业. 海上不规则波浪扰动对船舶运动的影响 [J]. 交通运输工程学报, 2016,16(03):116-124.
- [4] 张国庆, 张显库. 实船数据处理建模及仿真系统 [J]. 中国造船, 2011,52(03):52-58.
- [5] 肖能齐, 徐翔, 周瑞平. 冰区航行船舶轴系时域瞬态扭转计算及软件开发 [J]. 中国造船, 2019,60(02):138-149.
- [6] 祖象欢, 杨传雷, 王银燕. 基于 GM(1,1) 模型和 MATLAB GUI 的相继增压柴油机性能预测 [J]. 哈尔滨工程大学学报, 2015,36(11):1454-1458.
- [7] 朱刚, 黄杰雄, 温小飞. 基于 MATLAB 的船舶能效设计指数辅助计算系统开发 [J]. 中国水运 (下半月), 2019,19(08):77-78.
- [8] 徐兴平, 王西录, 冯帆, 汪海, 张辛, 王龙庭, 刘广斗. 基于深海铺管船托管架系统调整的软件开发 [J]. 石油机械, 2019,47(06):67-72.
- [9] 晁大海, 宋杨. 基于 VB 与 Matlab 的船舶摇荡运动仿真 [J]. 舰船科学技术, 2018,40(19):63-66.
- [10] Clarke D. The application of maneuvering criteria in hull design using linear theory [J]. RINA, 1982:45-68.
- [11] 张志涌, 杨祖樱. MATLAB 教程 (R2018a) [M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2019.
- [12] 关巍, 周庆宏, 任志浩, 滕斌. 规划控制策略下的无人船航向简捷鲁棒控制 [J]. 哈尔滨工程大学学报, 2019,40(11):1801-1808.