

# MATLAB 辅助船用螺旋桨设计

吴小平 杨松林 奚 炜

**摘 要** 介绍了功能强大的科学计算软件 MATLAB, 利用其方便处理矩阵和图象的功能, 辅助船舶螺旋桨设计, 从最佳效率曲线着手, 最终得到的结果与传统的手工查图谱方法大致相同, 而计算量却大为缩小, 效率大为提高。

**关键词** MATLAB 螺旋桨 设计

## 0 引言

在船用螺旋桨设计中, 需要进行船舶阻力计算、船舶设计航速的确定、螺旋桨各要素计算、空泡校核, 以及螺旋桨外形尺寸计算等, 比较广泛地采用图谱法进行计算。图谱设计方法是根据模型敞水系列试验所得到的图谱或公式来确定实船阻力及螺旋桨主要参数和性能的传统设计方法。大家知道, 应用图谱进行螺旋桨设计是简单的, 但需要一定的工作量, 这种方法需要通过繁杂的计算公式和图表插值, 进行列表计算。一个有经验的螺旋桨设计工作者, 若没有专用的螺旋桨设计软件 (如 ESCAD1.0 系统), 设计一只螺旋桨的计算时间大约需要 6h。倘若在设计螺旋桨时再进行各种图谱和多种方案的比较, 则计算工作量就更大了。实际上现已直接利用回归分析资料进行计算机辅助设计, 不直接使用图谱。利用回归公式涉及到大量的回归系数, 用高级语言例如 C 或 Fortran 利用数组的方式调用这些系数不是很容易的事, 而利用 MATLAB 超强处理矩阵的能力来处理这些数据, 可起到事半功倍的效果, 可以使造船工程师从繁杂的公式和图谱中解脱出来。本文主要介绍应用 MATLAB 软件进行实船螺旋桨主要参数和性能的设计。

## 1 MATLAB 简介

MATLAB (matrix laboratory, 即矩阵实验室) 是

作者介绍: 吴小平现就读于华东船舶工业学院船舶与海洋工程学院, 硕士研究生; 杨松林、奚炜现工作于华东船舶工业学院船舶与海洋工程学院。

收稿日期: 2003 - 07 - 23

一个适用于科学计算和工程应用的数学软件系统。自 1984 年由美国 MATHWORKS 公司推向市场以来, 历经 10 多年的竞争和发展, 现在已成为国际公认的最优秀的科技应用软件之一。MATLAB 是一种以矩阵为基本编程单元的程序语言, 是面向科学与工程计算的高级语言。它是一种命令式的交互语言, 同时也支持程序运行。用户可以根据需要按照 MATLAB 的规范编写程序, 作为 MATLAB 的外部命令来使用。

MATLAB 和其它高级语言之间的关系, 如同高级语言和汇编语言的关系。因为高级语言的执行效率要低于汇编语言, 而 MATLAB 的编程效率与可读性和可移植性要远远高于其它高级语言, 所以在计算机辅助设计与仿真中, 适合从 MATLAB 专用高级语言开始, 不但可以提高编程效率, 而且可以提高编程的可靠性与质量。

## 2 螺旋桨的最佳要素计算

按图谱设计最佳螺旋桨是从“最佳效率曲线”着手。对于一定的盘面比, 给定一个负荷系数  $B$ , 就有一个最佳效率  $\eta_0$  及与其相应的螺距比  $P/D$ 、直径系数  $\lambda$ , 而且这些对应关系是惟一的。据有关资料介绍,  $B$  型及 MAU 型螺旋桨的最佳要素计算及回归系数如表 1。

$$\begin{aligned} B_p &= N \cdot P_D^{0.5} / V_A^{2.5} \\ &= N \cdot D / V_A \\ V_A &= V_S \cdot (1 - \lambda) \times 0.515 \end{aligned}$$

式中:  $V_S$  ——航速, kn

$N$  ——螺旋桨转速, r/min

$P_D$  ——螺旋桨收到功率, kW

$D$  ——螺旋桨直径, m

——伴流分数

某船主机最大持续功率 622 0kW,转速为 155 r/min。根据船型资料,选取伴流分数  $\epsilon = 0.35$ ,按经验公式决定推力减额分数  $t = 0.74 - 0.21$ ,取相对旋转效率  $\eta_R = 1.0$ ,船身效率  $\eta_H = (1 - t)/(1 - \epsilon) = 1.2154$ ,螺旋桨选用 MAU 4 型,有效功率曲线见表 2。

MATLAB 的主界面如图 1 所示。计算方法如下。首先,我们将表 1 中 MAU 型(B 型螺旋桨类似)螺旋桨数据输入一个 5 行 9 列的矩阵 MAU 中。这里我们选用 MAU 4 型螺旋桨,所以需要调用矩阵中第 3 行的数据,可以用 MAU(3,1)来提取 MAU 4 - 40 中  $\eta_0$  对应的回归系数  $a$ ,同理 MAU(3,9)表示 MAU 4 - 40 中  $\eta_0$  对应的回归系数  $c$ 。根据列表的公式分

别列出每一项的表达式。算出螺旋桨的推进功率,与有效功率曲线的交点就是螺旋桨的最大航速。计算过程分别见表 3、表 4,然后按照表 5 进行空泡校核,最后得到需要的盘面积和实际的盘面积,画出它们的曲线,交点为设计盘面比,如图 2 所示。

### 3 空泡校核

在螺旋桨设计中,需要对所设计的螺旋桨是否能避免空化的有害影响进行校核。可用经验公式或图谱确定为防止空泡剥蚀,或者允许一定的背空泡程度所需的盘面比,从而进一步确定桨的几何要素。按伯利尔空泡限界线下商船上限线,计算不发生空泡之最小展开面积比。具体计算见表 5。

表 1 MAU 型和 B 型螺旋桨最佳要素计算式及回归系数

MAU 型桨	最佳效率 $\eta_0 = a \cdot B_p \times 10^{-3} + b \cdot B_p^{0.5} \times 10^{-2} + c$			螺距比 $P/D = a/B_p^{0.5} + b \cdot B_p^{0.5} \times 10^{-2} + c$			直径系数 $\epsilon = a/B_p^{0.5} + b \cdot B_p^{0.5} + c$		
	$a$	$b$	$c$	$a$	$b$	$c$	$a$	$b$	$c$
MAU3 - 35	2.253	- 7.438	0.982	2.232	1.464	0.194	- 90.159	7.459	42.133
MAU3 - 50	2.507	- 7.704	0.964	1.336	- 0.722	0.536	- 18.408	9.456	17.825
MAU4 - 40	2.126	- 6.831	0.914	1.609	0.090	0.389	- 38.649	8.785	24.604
MAU4 - 55	2.518	- 7.478	0.922	1.785	0.002	0.411	- 35.285	8.780	22.674
MAU4 - 70	2.007	- 6.384	0.853	2.192	0.630	0.319	- 46.122	8.511	25.306
B 型桨	$\eta_0 = a \cdot B_p^2 \times 10^{-5} + b \cdot B_p^{0.5} \times 10^{-3} + c$			$P/D = a/B_p + b \cdot B_p \times 10^{-4} + c$			$\epsilon = a/B_p + b \cdot B_p + c$		
	$a$	$b$	$c$	$a$	$b$	$c$	$a$	$b$	$c$
B3 - 35	2.856	- 5.919	0.769	4.577	1.828	0.471	- 1007.5	1.801	214.09
B3 - 50	1.988	- 4.815	0.720	3.550	- 3.966	0.533	- 1519.4	1.622	234.46
B3 - 65	2.246	- 4.931	0.669	4.541	- 12.311	0.665	- 1185.1	1.772	198.78
B4 - 40	3.909	- 6.807	0.771	4.643	- 21.354	0.595	- 873.7	3.363	178.6
B4 - 55	2.572	- 5.465	0.707	8.134	1.643	0.447	- 1916.1	1.525	234.75
B4 - 70	2.104	- 4.970	0.694	3.941	- 15.091	0.709	- 1176.1	1.746	195.81

表 2 船体有效功率曲线数据

航速 $V/\text{kn}$	12	13	14	15	16	17
有效功率 $P_e/\text{kW}$	1 497	1 952	2 504	3 212	4 068	5 160

#### 空泡数

$$\sigma_{0.7R} = (p_0 - p_v) / (0.5 \cdot \rho \cdot v_{0.7}^2)$$

式中:  $p_v$  ——水的汽化压力, Pa

$p_0$  ——桨轴中心处的静压力, Pa

$v_{0.7R}$  ——0.7 R 桨切面处与水流的相对速度, m/s

——水的密度,  $\text{kg}/\text{m}^3$

$g$  ——重力加速度,  $\text{m}/\text{s}^2$

计算机找到需要盘面比和实际盘面比的交点

后,然后利用 MATLAB 线性插值方法进行插值,从而得到一系列对应的螺旋桨要素,如螺距比  $P/D$ 、直径  $D$ 、效率  $\eta_0$  等。

在确定了盘面比  $A_E/A_0$ 、直径  $D$ 、螺距比  $P/D$  后,即可确定桨叶轮廓尺寸及对桨的强度进行校核。螺旋桨的强度校核也可按照上述方法进行计算。这些计算均可用 MATLAB 编制一些小程序来完成。

### 4 结论

螺旋桨设计采用回归分析资料,利用 MATLAB 软件超强处理矩阵和图像的能力进行计算绘图,完全改变了传统的螺旋桨设计必须查图谱、列表计算的做法。用 MATLAB 编制螺旋桨设计的应用程序,

只要输入必要的数据就可得到螺旋桨各种类型的参数。虽然第一次编程的时候有一定的工作量,但是程序一旦编好之后,就可以反复使用,大大提高了设计效率。

表 3 采用 MAU 4 叶桨进行计算

项目		单位	数值			
假定航速 $V$		kn	13	14	15	16
$V_A = (1 - w) \cdot V$		kn	8.450	9.100	9.750	10.400
$B_p = N \cdot P_D^{0.5} / V_A^{2.5}$			64.177	53.324	44.876	38.189
$B_p^{0.5}$			8.011	7.302	6.699	6.180
MAU 4 - 40			90.157	83.462	77.685	72.639
	$P/D$		0.594	0.613	0.632	0.652
	$\sigma$		0.503	0.529	0.552	0.573
	$P_{TE} = P_D \cdot H \cdot \sigma$	kW	3 321	3 488	3 642	3 782
MAU 4 - 55			88.607	81.956	76.224	71.222
	$P/D$		0.634	0.656	0.678	0.700
	$\sigma$		0.485	0.510	0.534	0.556
	$P_{TE} = P_D \cdot H \cdot \sigma$	kW	3 198	3 367	3 525	3 670
MAU 4 - 70			87.731	81.140	75.436	70.438
	$P/D$		0.643	0.665	0.688	0.713
	$\sigma$		0.470	0.494	0.515	0.535
	$P_{TE} = P_D \cdot H \cdot \sigma$	kW	3 105	3 259	3 402	3 532

表 4 不同盘面比所对应的设计航速及螺旋桨最佳要素

型号	$V_{max}/\text{kn}$	$P/D$		$D/\text{m}$	$\sigma$
MAU4 - 40	15.628	0.645	74.441	4.873	0.565
MAU4 - 55	15.469	0.688	73.795	4.783	0.545
MAU4 - 70	15.286	0.695	73.944	4.734	0.521



图 1 MATLAB 主界面及计算结果显示图

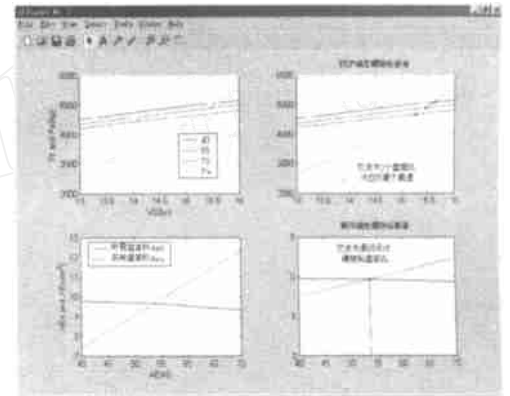


图 2 计算过程一览

参考文献

1 中国船舶工业总公司. 船舶设计实用手册. 北京:国防工业出版社,1998  
2 王国强,盛振邦. 船舶推进. 北京:国防工业出版社  
3 张智星著. MATLAB 程序设计与应用. 北京:中国铁道出版社, 2002.4

表 5 空泡校核

序号	项目	单位	MAU 4 - 40	MAU 4 - 55	MAU 4 - 70
1	$V_{max}$	kn	15.628	15.469	15.286
2	$v_A = 0.5144 V_{max} \cdot (1 - )$	m/ s	5.225	5.172	5.111
3	$(0.7 \cdot N \cdot D/60)^2$	(m/ s) <sup>2</sup>	766.355	737.904	723.381
4	$v_{0.7R}^2 = v_A^2 + (3)$	(m/ s) <sup>2</sup>	793.659	764.657	749.502
5	$= (p_0 - p_V) / (0.5 \cdot g \cdot v_{0.7R}^2)$		0.392	0.407	0.415
6	$c$ (查表)		0.161	0.167	0.170
7	$T = P_D \cdot \sigma \cdot 75 \cdot g/ v_A$	N	599 330	583 230	564 900
8	$A_p = T/ g/ (0.5 \cdot v_{0.7R}^2 \cdot c)$	m <sup>2</sup>	8.993	8.751	8.476
9	$A_E = A_p/ (1.067 - 0.229 P/ D)$	m <sup>2</sup>	9.623	9.781	9.337
10	$A_E/ A_0 = A_E/ (\frac{\pi}{4} \cdot D^2)$		0.516	0.544	0.530

# JIANGSU SHIP

Vol. 21, No. 1 ( Serial 99 ), February 2004 ( Bimonthly)

## TRANSACTIONS OF JIANGSU PROVINCIAL SOCIETY OF NAVAL ARCHITECTURE AND MARINE ENGINEERING

### CONTENTS

- JS 2004-1-01 A study on the measurement system of deck distortion** ..... Jin Xiaohong, Wu Jun (1)  
*Regard straight beam as target, the optimization method of sensors arrangement based on curve fitting is proposed. Through instance, the optimization scheme of sensors arrangement putting on the beams of deck is got out. According to the work characteristics of system, the basic imagination of measument system of deck distortion based on data fusion with multi-sensor is proposed.*
- JS 2004-1-02 Aided design of marine propeller using MATLAB** ..... Wu Xiaoping, Yang Songlin, Xi Wei (4)  
*The software MATLAB of scientific calculation with strong function is introduced. Its functions of expediently deal with matrix and vision is utilized to assist the design of marine propeller. From setting about optimum efficiency curve, the final results are approximately same as the results of traditional checking atlas by hand. But the amount of calculation is greatly reduced, and the efficiency is greatly improved.*
- JS 2004-1-03 The overview of virtual design technique of marine** ..... Jiang Ge, Zong Xiaoxiao (7)  
*Combining with CAD of marine and the research status quo of virtual design technique, the characteristic, method, mechanism and important meaning of virtual designing technique of marine are analyzed and studied. The theory and technology of three dimensional design and virtual design realized entirely in the field of marine engineering are discussed.*
- JS 2004-1-04 Design on a 250m<sup>3</sup> canned cement transport ship** ..... Tao Kaiyou (10)
- JS 2004-1-05 Simple discussion on the wear and tear of marine diesel engine and the amelioration method**  
..... Wang Jinhui (12)
- JS 2004-1-06 Discussion on the application of marine bearing material using water lubrication** .....  
..... Gu Gennan (14)
- JS 2004-1-07 Design on the power plant of a 256 TEUs opened container ship** ..... Song Fan, Li Lu (15)
- JS 2004-1-08 Design on the power plant and fire-fighting system of Yu Xiao 02 boat** ... Wang Yuandao (19)
- JS 2004-1-09 Analysis on welding crack in the building inspecion of 3 000t inland and sea-going nonstop cargo ship** ..... Wan Peihong (21)
- JS 2004-1-10 The submerged arc welding control system based on fuzzy algorithm** ..... Wang Yongming (23)
- JS 2004-1-11 Data acquisition with multi-point and data base management system of marine** .....  
..... Da Yuejun (26)
- JS 2004-1-12 Simple discussion on the management of center of collecting and distributing outfitting equipment**  
..... Ma Hongyan, Zhang Guangming (29)
- JS 2004-1-13 The speculation on competitive bids of shipbuilding project** ..... Chen FuYing (32)
- JS 2004-1-14 The application of launching poppets in side launching with inclined building berth** .....  
..... Pang Xiaoming (34)
- JS 2004-1-15 " Russian " submersible operating at 6 000m depth job** .....  
..... Translated into Chinese by Yang Lihua, Checked by Xie Xinan, Yao Mulin (36)

Director :Tong Xiaotian

Sponsor :JSPSNAME and JiangSu Province Ship Design & Research Institute

Publisher :The Editorial Board of JIANGSU SHIP

Published on February 29, 2004

Chief Editor :Dai Xueliang

Deputy Chief Editor :Han Hailin

Address :39 Zhengdong Road, Zhenjiang, Jiangsu Province, China 212003

Tel :86-511-4422493 Fax :86-511-4424389

E-mail :jsship@pub.zj.jsinfo.net

http :// www.jsdri.com/jscb.htm

Chinese Standard Journal Code No :ISSN1001 - 5388

CN32 - 1230/ U

Ad Business License No :3211005990051

Journal Subscription Price :RMB 6.00 yuan/ each copy