

船舶螺旋桨环流理论计算程序

数学力学系力学专业螺旋桨课题小组

为了对沿海群众所创造的多种叶型的螺旋桨进行设计计算及理论分析,在广东省渔船螺旋桨的优选研究工作中,我们编制了一套用环流理论计算螺旋桨的DJS-21机的电子计算语言程序,使用这套程序,计算结果是满意的。

一、计算方法

本程序的计算是适应于非均匀伴流的最佳设计,所用基本方法参考M. K. Eckhardt和W. B. Morgan^[1]的设计方法,最佳直径及最高航速可由计算求得。

(1) 环量计算

环量的计算采用哥尔斯坦函数方法。桨叶各截面处的环量 Γ_b 与诱导速度切向分量有如下函数关系,即

$$\Gamma_b = \frac{2\pi r \bar{k} u t}{Z},$$

式中 \bar{k} 为环量减额系数(又称哥尔斯坦函数),它为 $x = \frac{r}{R}$ 与 $\frac{1}{\lambda_i} = \frac{1}{x \tan \beta_i}$ 的函数。本程序将现成的 \bar{k} 系数曲线取若干节点,将节点坐标值及函数值预先输入,计算时用插值的方法求得 \bar{k} 值。

(2) 最佳水动螺距角计算

本程序的计算是最佳设计,水动螺距角是按最佳状态进行计算的。对于非均匀水流来说,水动螺距角的最佳公式有四种^[2],即:

$\frac{1}{2}$ 次项公式

$$\frac{\tan \beta_i}{\tan \beta} = \frac{1}{\eta_{pi}} \left(\frac{1 - \varphi}{1 - \varphi_s} \right)^{\frac{1}{2}},$$

$\frac{3}{2}$ 次项公式

$$\frac{\tan\beta_i}{\tan\beta} = \frac{1}{\eta_{pi}} \left(\frac{1-\varphi}{1-\varphi_s} \right)^{\frac{3}{2}}$$

1次项公式

$$\frac{\tan\beta_i}{\tan\beta} = \frac{1}{\eta_{pi}} \frac{1-\varphi}{1-\varphi_s}$$

多项式公式

$$\frac{\tan\beta_i}{\tan\beta} = \frac{1}{\eta_{pi}} \left(\frac{1-\varphi}{1-\varphi_s} \right) + \left(1 - \frac{1-\varphi}{1-\varphi_s} \right)$$

本程序可从这四种最佳公式中任取一种计算。

(3) 强度计算

强度计算先是采用我国1973年“钢质海船建造规范”中关于螺旋桨强度计算的公式算出0.25R截面处的桨叶厚度,然后按等强度求其他各截面处的桨叶厚度。在0.25R截面处,螺旋桨强度公式^[3]可化为:

$$K \cdot Z \cdot N \cdot \frac{l}{t} \left(\frac{t}{D} \right)^3 - K_2 \cdot \omega \cdot A \cdot N^3 \cdot D^2 \left(\frac{t}{D} \right)^2 - K_1 \cdot \frac{P}{D^3} = 0$$

其中

$$K_1 = 307 \times \left(1.5 + 3.5 \frac{D}{H_{0.7R}} + \frac{D}{H_{0.25R}} \right);$$

$$K_2 = 4 \times 10^{-7} \left[15 + \epsilon \left(1 + \frac{D}{H_{0.25R}} \right) \right]$$

Z——叶片数

K——材料系数

P——螺旋桨收到马力

ϵ ——后倾角

A——螺旋桨盘面比

l——桨叶截面宽度

ω ——材料密度

t——桨叶截面厚度。

给定0.25R截面处的 $\frac{t}{l}$,解上述三次方程就可求得0.25R处的厚度 $\frac{t}{D}$ 。

(4) 螺距及拱度修正

水流曲度修正采用Ladwieg的方法,而粘性修正取粘性修正因子 μ 为常数,因此总的拱弧修正为:

$$\frac{m_0}{l} = \frac{1}{\mu k} \frac{m}{l}$$

式中k为拱度修正因子。这项总拱弧修正,是可以由螺距修正,也可以用拱度修正的。至于多少修正螺距,多少修正拱度,我们以叶截面不出现月牙形为原则,尽量以拱度进行修正。这样,螺距角的修正为:

$$\Delta\theta = \begin{cases} 117\left(\frac{m}{\mu kl} - \frac{t}{2l}\right) & \text{当 } \frac{m}{\mu kl} - \frac{t}{2l} > 0 \\ 0 & \text{当 } \frac{m}{\mu kl} - \frac{t}{2l} \leq 0 \end{cases}$$

而修正后截面的拱度

$$\frac{m'}{l} = \begin{cases} \frac{t}{2l} & \text{当 } \frac{m}{\mu kl} - \frac{t}{2l} > 0 \\ \frac{m}{\mu kl} & \text{当 } \frac{m}{\mu kl} - \frac{t}{2l} \leq 0 \end{cases}$$

(5) 航速计算

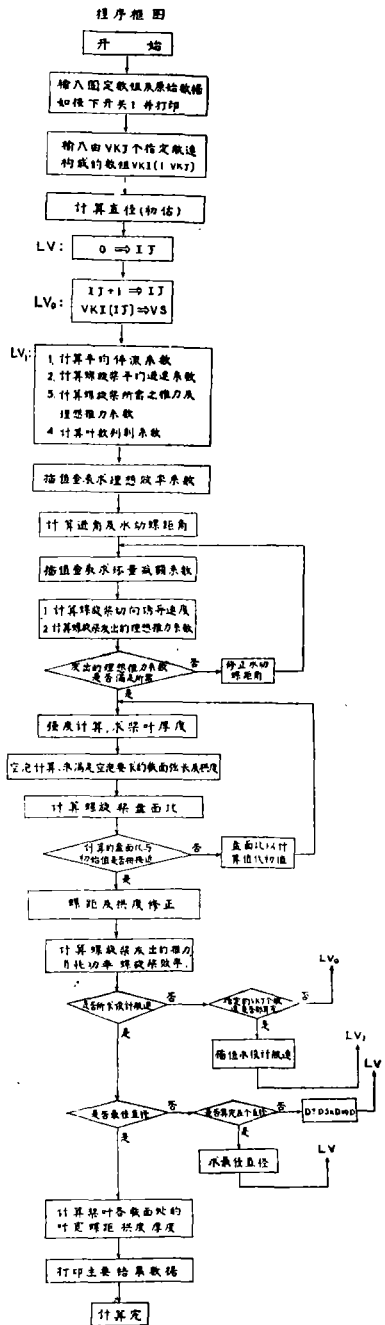
先指定若干个航速(不少于3个,且所求最高航速大约要在这些指定航速的数值范围内),分别一一进行环流理论的计算,每一航速都对一螺旋桨的消耗功率,从而求得航速与螺旋桨消耗功率之间的关系曲线。螺旋桨消耗功率不应大于主机所能提供给螺旋桨的功率,主机提供螺旋桨的收到马力给定,就可在航速与螺旋桨消耗功率关系曲线上插值得航速。

(6) 最佳直径计算

先用公式

$$D = 15.25 \frac{P^{0.2}}{N^{0.6}}$$

初估螺旋桨的直径。式中 P 为螺旋桨的收到马力, N 为螺旋桨每分钟的转速。然后大于此直径取两个值,小于此直径取两个值,共五个直径,一一分别进行计算,求得每个直径的螺旋桨效率。这样得到螺旋桨直径与效率的关系曲线,在曲线上求出相应于效率最高点的直径就是螺旋桨的最佳直径。



二、数据输入

輸入 順序	原始数据 打印編号	标 識 符	数 据 名 称	單 位	备 注
1	50001	固 定 数 組	求理想效率二元插		
		UII(1:8)	值的节点横坐标值		
		CTII(1:12)	求理想效率二元插		
			值的节点縱坐标值		
		ETII(1:8,1:12)	求理想效率二元插		
			值的节点函数值		
2	50002	SUXI(1:12)	求环量減額系数插		
			值的节点坐标值		
		JN(1:8,1:12)	求环量減額系数插		
			值的节点函数值		
		KI1(1:16)	空泡計算求厚度比		
			及拱度比二元插值		
3	50003	KJ1(1:8)	空泡計算求厚度比		
			及拱度比二元插值		
			的节点縱坐标值		
		KZ1(1:16,1:8)	空泡計算插值求厚		
			度比的节点函数值		
		KZ2(1:16,1:8)	空泡計算插值求拱		
	度比的节点函数值				
	UXI(1:8)	求拱度修正因子插			
		值的节点坐标值			
	FAFI(1:3)	求拱度修正因子插			
		值的节点縱坐标值			
	KSSII(1:4, 1:8, 1:3)	求拱度修正因子插			
		值的节点函数值			
	数 組				
	WF(1:8)	伴 流 分 数			
	LF(1:8)	叶 宽 分 数			
	TFSC(1:8)	叶 厚 分 数			

4	50004	实数型			
		SL	船 长	米	
		实型数			
		SB	船 宽	米	SL, SB, LIN,
		ST	平均吃水	米	RF, KC 如不用欣海尔 公式计算伴流, 则可任 意填写数值
		FO	方形系数		
		LIN	稜形系数		
		RF	水綫面系数		
		KC	用欣海公式计算平 均伴流的系数K		
		RO	水的密度	公斤·秒 ² /米 ⁴	
5	50005	ETAA	溫度升高影响系数		
		ETAS	轴 系 效 率		
		D	螺旋桨直径	米	如需计算则填100
		NS	转 速	转/秒	
		FAF	盘 面 比	度	
		EPS	后 倾 角	米	
		HS	轴心至基綫距离		
		WO	平均伴流系数		如需计算则填10
		TJ	平均推力減額系数		如需计算则填10
		KK	材 料 系 数		
6	50006	OMK	材 料 密 度	克/厘米 ³	
		DHP	主机額定功率	公制馬力	
		SOS	叶 梢 厚 度		如 SOS = 1 则是用 $\frac{t_{0.25}}{D} = \sigma_{0.25} \cdot \frac{t_{0.25}}{D}$ 的比例 公式计算各处厚度
		TXL25	槳叶在0.25R处 的厚度比		
		TXD25	强度計算求0.25R 处厚度解方程的初 值		
		TXL1	0.2R处的厚度比		
		PA	大 气 压 力		
		实型数			
		EE	飽和蒸气压力		
		MU	摩擦效应修正因子		
TS	欣海尔推力減額 系数				
DS	直 徑 增 量				

7	50007	整型數		
		Z	螺旋槳數目	
		ZS	葉數	
		VSJ	有效馬力曲綫上的輸入點數	
		VKJ	予先指定的航速個數	不少於3
8	50008	數組	計算直徑的信息	如果要計算最佳直徑則填3, 如直徑給定則填1
		DIJ	有效馬力曲綫的橫坐標(航速)	
		VSI(1:VSJ)	縱坐標(有效馬力)	
		EHPI(1:VSJ)	指定航速的數組	
		VKI(1:VKJ)		

三、結果輸出

打印編號	標識符	內容	單位	備注
1000×DIJ	D	螺旋槳直徑	米	共輸出6個直徑數 最後所得為最佳直徑 編號為1000
100×IJ	VS EHP	航速 有效馬力	節 公制	
1	WO,VJ,UI, US,PT,CT, CTI,CTS CTSI,KN	平均伴流係數,螺旋槳進速,進速係數,船速進速係數,有效推力,以螺旋槳進速為基礎的推力係數,理想推力係數,以船速為基礎的推力係數,理想推力係數,葉數判別係數		編號1至12的結果 共有6×(VKJ+1) 組
2	ETI	理想效率		
3	GSOS	計算的理想推力係數		
4	數組 TB1,TB2, DCSI,CLD	螺旋槳進角,水動螺距角,截面的理想推力係數,負荷分布 $\frac{C_{IL}}{D}$		
5	數組			

	ZT,DZT	空泡数 δ , $0.8 \times \delta$		
6	GSOS,FAF	计算所得盘面比, 盘面比初值		
7	数组 HD,TX, MX,LX	满足空泡要求的各截面的升力系数 厚度比、拱度比、叶宽比		
8	数组 CL,TXL, MXL,LD	桨叶各截面实有升力系数 厚度比, 拱度比, 叶宽比		
9	数组 B2,ZT	修正前、后的水动螺距角		
10	数组 HD,MXL	螺距比, 拱度比		
11	数组 DCPS, DCTS,	桨叶各截面的扭力、推力		
12	VS,CPS, CTS, GSOS,ETI	设计航速, 螺旋桨扭力, 推力, 消耗的马力, 效率		
77770	数组 LX,TX,HX, MX	最后结果: 桨叶各截面的叶宽, 厚度, 螺距, 拱度		
77771	D,VS,CTS, CTSG,DHp, GSOS,EHP, ETI	最后结果: 直径, 航速, 所需推力系数, 所发出推力系数, 收到马力, 消耗马力有效马力, 效率		

四、程 序

Y

'BEGIN' 'INTEG' I, J, Z, ZS, IJ, BV, VSJ, VKJ, DIJ, DV;
 'REAL' D, VS, UI, US, VJ, WO, RO, NS, EHP, DHP,
 ETI, ETAA, ETAS, CTS, CPS, CTSG, CTSI,
 FAF, ST, SB, SL, FO, RF, LIN, KC, EPS,
 PA, KK, OMK, HS, MU, DS, SOS, EE, TXD_{1,5},
 TXL₁, PT, TXL25, PE, CT, KN, GSOS, TJ,

CTI, TS;

'ARRAY' XR, WS, B1, B2, TB1, TB2, UX, GX, KX,
 UTV, WF, DCSI, CL, CLD, TXD, TXL, LD, MXL,
 UXI, CLT, ZT, LX, HX, MX, TX, HD, LF,
 TFS, DCTS, DCPS, DZT, UII(1:8), CTII,
 SUXI(1:12) ETII, JN(1:8, 1:12),
 KII(1:16), KJI(1:8), KZ1, KZ2(1:16, 1:8),
 FAFI(1:3), KSSII(1:4, 1.8, 1:3), AD,
 AETI(1:5);

'PROC' LAQ1(N, U, X, Y, V);

'VALUE' N, U; 'INTEG' N; 'REAL' U, V;

'ARRAY' X, Y;

'BEGIN' 'INTEG' I, K, J; 'REAL' H;

'FOR' I:=1 'STEP' 1 'UNTIL' N-1 'DO'
 'IF' (U-X(I))×(U-X(I+1)) 'LQ' 0 'THEN'
 'BEGIN' K:=I; 'GOTO' L1 'END';

'IF' ABS(U-X(1)) 'LS' ABS(U-X(N))

'THEN' K:=1 'ELSE' K:=N-1;

L1: 'IF' K=N-1 'OR' K 'NQ' 1 'AND' ABS(U-X(K))
 'LS' ABS(U-X(K+1)) 'THEN' K:=K-1;

V:=0;

'FOR' I:=K 'STEP' 1 'UNTIL' K+2 'DO'

'BEGIN' H:=1;

'FOR' J:=K 'STEP' 1 'UNTIL' K+2 'DO'

'IF' J 'NQ' I 'THEN'

H:=H×(U-X(J))/(X(I)-X(J));

V:=V+H×Y(I)

'END' 'END';

'PROC' LAQ2(N, M, U, V, X, Y, Z, W);

'VALUE' N, M, U, V; 'REAL' U, V, W;

'INTEG' N, M; 'ARRAY' X, Y, Z;

'BEGIN' 'REAL' LA, LB;

'INTEG' I, J, K, L, P, Q;

'FOR' I:=1 'STEP' 1 'UNTIL' N-1 'DO'

'IF' (U-X(I))×(U-X(I+1)) 'LQ' 0 'THEN'

'BEGIN' P:=I; 'GOTO' L2 'END';

'IF' ABS(U-X(1)) 'LS' ABS(U-X(N)) 'THEN'

P:=1 'ELSE' P:=N-1;

L2: 'FOR' J:=1 'STEP' 1 'UNTIL' M-1 'DO'

```

      'IF' (V - Y(J)) × (V - Y(J+1)) 'LQ' 0 'THEN'
        'BEGIN' Q:=J; 'GOTO' L3 'END';
      'IF' ABS(V - Y(1)) 'LS' ABS(V - Y(M)) 'THEN'
        Q:=1 'ELSE' Q:=M-1;
L3:  'IF' P=N-1 'OR' P 'NQ' 1 'AND' ABS(U - X(P))
      'LS' ABS(U - X(P+1)) 'THEN' P:=P-1;
      'IF' Q=M-1 'OR' Q 'NQ' 1 'AND'
        ABS(V - Y(Q)) 'LS' ABS(V - Y(Q+1)) 'THEN'
        Q:=Q-1; W:=0;
      'FOR' I:=P 'STEP' 1 'UNTIL' P+2 'DO'
        'BEGIN' LA:=1;
        'FOR' K:=P 'STEP' 1 'UNTIL' P+2 'DO'
          'IF' K 'NQ' I 'THEN'
            LA:=LA × (U - X(K)) / (X(I) - X(K));
        'FOR' J:=Q 'STEP' 1 'UNTIL' Q+2 'DO'
          'BEGIN' LB:=LA;
          'FOR' L:=Q 'STEP' 1 'UNTIL' Q+2 'DO'
            'IF' L 'NQ' J 'THEN'
              LB:=LB × (V - Y(L)) / (Y(J) - Y(L));
              W:=W + LB × Z(I, J);
          'END' 'END' 'END';
      READ1(5, UII, CTII, ETII, SUXI, JN);
      READ1(7, KI1, KJ1, KZ1, KZ2, UXI, FAFI, KSSII);
      READ1(3, WF, LF, TFS);
      RFADR1(10, SL, SB, ST, FO, LIN, RF, KC, RO, ETAA, ETAS);
      RFADR1(10, D, NS, FAF, EPS, HS, WO, TJ, KK, OMK, DHP);
      READR1(9, SOS, TXL25, TXD25, TXL1, PA, EE, MU, TS, DS);
      READI1(5, Z, ZS, VSJ, VKJ, DIJ);
      JUMP(1, LL); 'GOTO' LL0;
LL:  PUSH(50001, 3); APRINT1(5, UII, CTII, ETII, SUXI, JN);
      PUSH(50002, 3); APRINT1(7, KI1, KJ1, KZ1, KZ2, UXI, FAFI, KSSII);
      PUSH(50003, 3); APRINT1(3, WF, LF, TFS);
      PUSH(50004, 3); PRINTR(10, SL, SB, ST, FO, LIN, RF,
        KC, RO, ETAA, ETAS);
      PUSH(50005, 3); PRINTR(10, D, NS, FAF, EPS, HS, WO,
        TJ, KK, OMK, DHP);
      PUSH(50006, 3); PRINTR(9, SOS, TXL25, TXD25, TXL1,
        PA, EE, MU, TS, DS);
      PUSH(50007, 3); PRINTI(5, Z, ZS, VSJ, VKJ, DIJ);

```

```

'FOR' I:=1 'STEP' 1 'UNTIL' 8 'DO' XR(I):=0.1*(I+1);
GX(1):=1;
GX(8):=4;
'FOR' I:=1 'STEP' 1 'UNTIL' 3 'DO'
  'BEGIN' GX(2*I):=4;
    GX(2*I+1):=2 'END';
LL0 : 'BEGIN' 'ARRAY' VSI, EHPI(1:VSJ),
      VKI, ADHPG(1:VKJ);
      READ1(3, VSI, EHPI, VKI);
      JUMP(1, LLL); 'GOTO' LLD;
LLL : PUSH(50008, 3); APRINT1(3, VSI, EHPI, VKI);
LLD : DHP := ETAA*ETAS*DHP;
      DV := 1;
      'IF' D=100 'THEN'
        D := 15.25*DHP*0.2/(60*NS)*0.6;
LLD1: PUSH(0, -3); PUSH(1000*DIJ, 1); PRINT(D);
LV : IJ:=0; BV:=1;
LV0 : IJ:=IJ+1; VS:=VKI(IJ);
LV1 : LAQ1 (VSJ, VS, VSI, EHPI, EHP);
LL1 : PUSH(0, -3); PUSH(100*IJ, 1);
      PRINTR(2, VS, EHP);
      'IF' WO=10 'THEN' 'BEGIN'
        'IF' Z=1 'THEN' 'BEGIN'
          JUMP(3, W1);
          WO:=0.5*FO-0.05; 'GOTO' W2;
W1 :] WO:=0.1+4.5*FO*LIN*SB/RF/SL/(7-6*FO/RF)
      /(2.8-1.8*LIN)+0.5*(HS/ST-D/SB
      -0.017453*KC*EPS) 'END' 'ELSE'
      WO:=0.55*FO-0.2 'END';
W2 : VJ:=VS*(1-WO);
      'IF' TJ=10 'THEN' TJ:='IF' Z=1
      'THEN' TS*WO 'ELSE' WO;
      UI:=0.5145*VJ/3.14159/NS/D;
      US:=UI/(1-WO);
      PE:=75*EHP/(0.5145*VS);
      PT:=PE/(1-TJ);
      CT:=8*PT/RO/D*2/3.14159;
      CTS:=CT/0.2647/VS*2;
      CT:=(0.5145*VJ)*2;

```

```

CTI: = 1.02 × CT;
CTSI: = 1.02 × CTS;
KN: = VJ/GN2(NS) × GN2(RO/PE);
PUSH(0, -2); PUSH(1, 1)
PRINTR(10, WO, VJ, UI, US, PT, CT, CTI, CTS, CTSI, KN);
LAQ2(8, 12, UI, CTI, UII, CTII, ETII, ETI);
PUSH(0, -2); PUSH(2, 1); PRINT(ETI);
KN: = GN2(1 - WO); PE: = GN2(KN);
'FOR' I: = 1 'STEP' 1 'UNTIL' 8 'DO'
  'BEGIN' WS(I): = (1 - WO) × WF(I);
    TB1(I): = US × WS(I) / XR(I);
    B1(I): = ARC TAN(TB1(I));
    JUMP(4, LTB1); JUMP(7, LTB2);
    JUMP(2, LTB3);
    PT: = GN2(WS(I));
    TB2(I): = US × PE × 3 × GN2(PT) / XR(I) / ETI;
    'GOTO' LP1;
LTB1: TB2(I): = US × KN × GN2(WS(I)) / XR(I) / ETI;
      'GOTO' LP1;
LTB2: TB2(I): = (1 - WO) / WS(I) / ETI × TB1(I);
      'GOTO' LP1;
LTB3: TB2(I): = ((1 - WO) / WS(I) / ETI + (1 - (1 - WO) / WS(I))) × TB1(I);
LP1: 'END';
LL2: 'FOR' I: = 1 'STEP' 1 'UNTIL' 8 'DO'
      'BEGIN' 'ARRAY' KXI (1:12);
        'FOR' J: = 1 'STEP' 1 'UNTIL' 12 'DO'
          KXI(J): = JN(I, J);
          UX(I): = XR(I) × TB2(I);
          KN: = 1 / UX(I)
          LAQ1 (12, KN, SUXI, KXI, KX(I))
        'END';
      GSOS: = 0;
      'FOR' I: = 1 'STEP' 1 'UNTIL' 8 'DO'
        'BEGIN' B2(I): = ARC TAN(TB2(I));
          HX(I): = B2(I) - B1(I);
          UTV(I): = WS(I) × SIN(B1(I)) × SIN(HX(I)) / SIN(B1(I));
          DCSI(I): = KXI(I) × XR(I) × UTV(I) × (XR(I) / US - UTV(I));
          GSOS: = GSOS + GX(I) × DCSI(I)
        'END';

```

```

GSOS:=8/30×GSOS;
'IF' ABS(CTSI-GSOS)'LS'10-3'THEN'
  'GOTO' LL3;
'FOR' I:=1'STEP' 1 'UNTIL' 8 'DO'
  TB2(I):=TB2(I)×(1+(CTSI-GSOS)/(5×CTSI));
'GOTO'LL2,
LL3: 'FOR'I:=1 'STEP'1 'UNTIL' 8 'DO'
  CLD(I):=4/ZS×3.14159×XR(I)×UTV(I)×KX(I)
    /(XR(I)/US-UTV(I)×COS(B2(I)));
  PUSH(0,-2); PUSH(3,1); PRINT(GSOS);
  PUSH(0,-2); PUSH(4,1);
  APRINT(4, TB1, TB2, DCSI, CLD);
LL4: 'BEGIN' 'REAL' K1, K2;
  LAQ1(8, 0.25, XR, TB2, PE);
  PT:=3.14159×0.7×TB2(6);
  KN:=3.14159×0.25×PE;
  K1:=307×(1.5+3.5/PT+1/KN);
  K2:=10-7×4×(15+EPS×(1+1/KN));
  'BEGIN' 'REAL' A1, A2, A3;
  'REAL' 'PROC' NWT(X);
  'REAL' X;
  NWT:=X-(A1×X××3+A2×X××2+A3)
    /(3×A1×X××2+2×A2×X);
  A1:=KK×ZS×60×NS/TXL25;
  A2:=-K2×OMK×FAF×(60×NS)××3×D××2;
  A3:=-K1×DHP/D××3;
LT1: 'IF' ABS(NWT(TXD25)-TXD25)'LS'10-3
  'THEN' 'GOTO' LT2;
  TXD25:=NWT(TXD25);
  'GOTO' LT1;
LT2: TXD25:=TXD25/100 'END'
'END' ;
'IF' SOS=1 'THEN' 'BEGIN'
  'FOR' I:=1 'STEP' 1 'UNTIL' 8 'DO'
  'BEGIN' TXD(I):=TFS(I)×TXD25/0.935;
  CLT(I)=CLD(I)/TXD(I) 'END';
  'GOTO' LL5 'END' 'ELSE' 'BEGIN'
  PE:=TXD25-SOS;
  'FOR' I:=1 'STEP' 1 'UNTIL' 8 'DO'

```

```

    'BEGIN' TXD(I) = TFS(I) * PE / 0.9225 + SOS;
    CLT(I) = CLD(I) / TXD(I)
    'END' 'END';
LL5: KN = 9.81 * RO; PE = ST - HS;
    J = 1;
    'FOR' I = 1 'STEP' 1 'UNTIL' 8 'DO'
        'BEGIN' PT = (PE - XR(I) * D / 2) * KN - EE;
            ZT(I) = 2 * (PA + PT) * SIN(B1(I)) * X2 / RO
                / ((0.5145 * VS) * X2 / WS(I) * X2
                / COS(HX(I)) * X2);
            DZT(I) = 0.8 * ZT(I);
        'IF' DZT(I) 'GR' 0.8 'THEN'
            'BEGIN' TX(I) = 0;
                MX(I) = 0;
                HD(I) = 0;
                LX(I) = 0;    J = I + 1
            'END' 'ELSE' 'BEGIN'
                LAQ2(16,8,DZT(I), CLT(I), KI1, KJ1, KZ1, TX(I));
                LAQ2(16,8, DZT(I), CLT(I), KI1, KJ1, KZ2, MX(I));
                HD(I) = CLT(I) * TX(I);
                LX(I) = CLD(I) / HD(I)
            'END' 'END' ;
        LD(I) = TXD(I) / TXL1;
        PT = PE = 0;
        'FOR' I = J 'STEP' 1 'UNTIL' 8 'DO'
            'BEGIN' PT = PT + LD(I) * LF(I);
                PE = PE + LX(I)
            'END';
        'IF' PT 'LS' PE 'THEN'
            LD(I) = LD(I) * PE / PT;
        GSOS = 0;
        'FOR' I = 1 'STEP' 1 'UNTIL' 8 'DO'
            'BEGIN' LD(I) = LD(I) * LF(I);
                TXL(I) = TXD(I) / LD(I);
                CL(I) = CLD(I) / LD(I);
                MXL(I) = 0.0679 * CL(I);
                GSOS = GSOS + GX(I) * LD(I)
            'END';
        GSOS = GSOS * ZS * 2 / 30 / 3.14159;
        'IF' ABS(GSOS - FAF) 'LS' 10 - 2 'THEN'

```

```

'BEGIN'
  PUSH(0,-2); PUSH(5,1); APRINT1(2, ZT, DZT);
  PUSH(0,-2); PUSH(6,1); PRINTR(2,GSOS,FAF);
  PUSH(0,-2); PUSH(7,1);
    APRINT1(4, HD, TX, MX, LX);
  PUSH(0,-2); PUSH(8,1)
    APRINT1(4, CL, TXL, MXL, LD)
'END' 'ELSE' 'BEGIN'
  FAF:=GSOS; 'GOTO' LL4 'END';
'BEGIN' 'INTEG' K;
  'ARRAY' X, Y(1:4), KSI(1:8), KSH(1:8, 1:3);
  'FOR' I:=1 'STEP' 1 'UNTIL' 4 'DO'
    'BEGIN' 'FOR' J:=1 'STEP' 1 'UNTIL' 8 'DO'
      'FOR' K:=1 'STEP' 1 'UNTIL' 3 'DO'
        KSH(J,K):=KSH(I, J, K);
      LAQ2(8, 3, UX(2×I), FAF, UXI, FAFI, KSH, KSI(2×I))
    'END';
    'FOR' I:=1 'STEP' 1 'UNTIL' 4 'DO'
      'BEGIN' X(I):=0.1×(2×I+1);
        Y(I):=KSI(2×I)
    'END';
  'FOR' I:=1 'STEP' 1 'UNTIL' 4 'DO'
    'BEGIN' KN:=0.2×I;
      LAQ1(4, KN, X, Y, KSI (2×I-1))
    'END';
CPS:=CTSG:=0;
'FOR' I:=1 'STEP' 1 'UNTIL' 8 'DO'
  'BEGIN' KN:=MXL(I)/MU/KSI(I)-TXL(I)/2;
    DZT(I):=('IF'KN'LQ' 0 'THEN' 0 'ELSE' 117×KN);
    B2(I):=180×B2(I)/3.14159;
    ZT(I):=B2(I)+DZT(I);
    HD(I):=3.14159×TAN(3.14159×ZT(I)/180)×XR(I);
    MXL(I):='IF' KN 'LQ' 0 'THEN' MXL(I)/KSI(I)/MU
      'ELSE' TXL(I)/2;
    KN:=0.008/CL(I);
    DCPS(I):=(TB2(I)+KN)×DCSI(I)×XR(I);
    CPS:=CPS+DCPS(I)×GX(I);
    DCTS(I):=(1-KN×TB2(I))×DCSI(I);
    CTSG:=CTSG+DCTS(I)×GX(I)
  'END';

```

```

CPS: = 8/US×CPS/30;
CTSG: = 8/30×CTSG;
GSOS: = 3:14159×RO/2×D××2/4×(0.5145×VS)××3×CPS/75;
  ETI: = EHP/GSOS;
  PUSH(0,-2); PUSH(9,1); APRINT1(2, B2, ZT);
  PUSH(0,-2); PUSH(10,1); APRINT1(2, HD, MXL);
  PUSH(0,-2); PUSH(11, 1); APRINT1(2, DCPS, DCTS);
  PUSH(0,-2); PUSH(12,1); PRINTR(5, VS, CPS ,CTS,
    GSOS, ETI)
'END';
'IF' BV 'LS' 0 'THEN' 'GOTO' DDL;
ADHPG(IJ): = GSOS;
'IF' IJ 'LS' VKJ 'THEN' 'GOTO' LV0;
LAQ1(VKJ, DHP, ADHPG, VKI, VS);
BV: = -1; 'GOTO' LV1;
DDL: 'IF' DIJ = 1 'AND' DV 'GR' 0 'THEN' 'GOTO' LL6;
AD(DIJ): = D; AETI(DIJ): = ETI;
'IF' DIJ 'GQ' 3 'AND' DIJ 'LS' 5 'THEN'
  'BEGIN' DIJ: = DIJ + 1; D: = D + DS×D;
  'GOTO' LLD1 'END';
'IF' DIJ = 5 'THEN' 'BEGIN'
  DIJ: = 3; DV: = -1; D: = AD(3) 'END';
'IF' DIJ 'GR' 1 'AND' DIJ 'LQ' 3 'THEN'
  'BEGIN' DIJ: = DIJ - 1; D: = D - DS×D;
  'GOTO' LLD1 'END';
'BEGIN' 'ARRAY' WD, WETI(1:5);
'FOR' I: = 1 'STEP' 1 'UNTIL' 5 'DO' 'BEGIN'
  WD(I): = AD(I); WETI(I): = AETI(I) 'END';
DDL1: PT: = WETI(3) - WETI(2);
  PE: = WETI(3) - WETI(4);
'IF' PT×PE 'GR' 0 'THEN'
  'BEGIN' 'IF' ABS(PT - PE)'LQ' 10 - 3 'THEN'
    'BEGIN' D: = WD(3); DIJ: = 1; DV: = 1;
    'GOTO' LLD1 'END' 'ELSE'
  'BEGIN' WD(1): = WD(2);
    WD(2): = WD(2) + (WD(3) - WD(2))/2;
    WD(5): = WD(4);
    WD(4): = WD(3) + (WD(4) - WD(3))/2;
    WETI(1): = WETI(2);

```

```

WETI(5): = WETI(4);
LAQ1(5, WD(2), AD, AETI, WETI(2));
LAQ1(5, WD(4), AD, AETI, WETI(4));
'GOTO' DDL1 'END'
'END';
'IF' PT×PE = 0 'THEN' 'BEGIN'
D: = 'IF' PE = 0 'THEN' WD(3) 'ELSE' WD(2);
DV: = 1; DIJ: = 1: 'GOTO' LLD1 'END';
'IF' PT×PE 'LS' 0 'THEN' 'BEGIN'
'IF' PT 'GR' 0 'THEN' 'BEGIN'
'FOR' I: = 2 'STEP' 1 'UNTIL' 4 'DO'
'BEGIN' WD(I): = WD(I+1);
WETI(I): = WETI(I+1) 'END';
'GOTO' DDL1 'END' 'ELSE' 'BEGIN'
'FOR' I: = 2 'STEP' 1 'UNTIL' 5 'DO'
'BEGIN' WD(I): = WD(I-1);
WETI(I): = WETI(I-1) 'END';
'GOTO' DDL1 'END' 'END'
'END';
LL6: 'FOR' I: = 1 'STEP' 1 'UNTIL' 8 'Dφ'
'BEGIN' LX(I): = LD(I)×D;
HX(I): = HD(I)×D;
MX(I): = MXL(I)×LX(I);
TX(I): = TXD(I)×D
'END';
PUSH(0, -3); PUSH(77770, 1);
APRINT1 (4, LX, TX, HX, MX);
PUSH(0, -3); PUSH(77771, 1);
PRINTR (8, D, VS, CTS, CTSG, DHP, GSOS, EHP, ETI);
'END' 'END'

```

五个以上字母键

说明：程序中所设开关的用途如下：

1. 按下开关 1，打印原始数据，不按则不打印；
2. 按下开关 3，计算平均伴流时采用欣海尔公式，不按则采用泰劳公式；
3. 按下开关 4，求水动螺距角采用 $\frac{1}{2}$ 次项公式；
4. 按下开关 7，求水动螺距角采用 1 次项公式；
5. 按下开关 2，求水动螺距角采用多项式公式，不按开关则采用 $\frac{1}{2}$ 次项公式。

五、计算例与试验结果

我们用本程序计算过一条135马力的渔船螺旋桨,由于尾框限制,直径取1.2米,计算的航速是:

最佳水动螺距角用 $\frac{1}{2}$ 次项公式计算, $V_s = 8.283$ 节

最佳水动螺距角用 $\frac{3}{4}$ 次项公式计算, $V_s = 8.306$ 节

最佳水动螺距角用1次项公式计算, $V_s = 8.29$ 节

最佳水动螺距角用多项式公式计算, $V_s = 8.273$ 节

我们以 $\frac{3}{4}$ 次项公式的计算结果,将螺距分布用最小二乘法取为线性变螺距,采用机翼型截面,广东省渔船螺旋桨的叶型,在我校船模试验水池做了模型试验,模型与实物的尺度比例是1:10,自航试验的结果,航速为8.3节,可见计算是准确的。

参 考 资 料

- (1) M.K.Eckhardt and W.B.Morgan: "Apropeller Design Method" Trans. S. N. A. M.E. 1955.
- (2) 方文均: "推进器的环流理论及其设计方法", 中国造船第32期。
- (3) 中华人民共和国船舶检验局: "钢质海船建造规范" 第二篇。