

文章编号:1006-2467(2001)04-0532-05

# 最优船体货舱区分段环焊缝位置的确定

刘建峰<sup>1</sup>, 李 湘<sup>2</sup>, 秦士元<sup>1</sup>

(1. 上海交通大学 船舶与海洋工程学院, 上海 200030;

2. 上海沪东造船集团, 上海 200129)

**摘 要:**分析了船体分段划分的原则, 提出为解决本课题而改进的遗传算法, 设计出确定货舱区分段位置的计算模型, 并建立了模糊目标函数. 应用非均匀 B 样条曲线拟合船体型线, 为此迅速得到货舱区分段船体外板的近似实长. 以散货船为例进行试算, 与船厂实际分段环焊缝位置进行了比较. 结果表明, 钢板浪费减小, 在货舱区域中钢板利用率提高.

**关键词:**船体分段划分; 非均匀 B 样条; 外板展开; 生产设计

**中图分类号:**U 671.4      **文献标识码:**A

## Determination of Welding Encircling Lines in Ship Hold Zone

LIU Jian-feng<sup>1</sup>, LI Xiang<sup>2</sup>, QIN Shi-yuan<sup>1</sup>

(1. School of Naval Architecture and Ocean Eng., Shanghai Jiaotong Univ., Shanghai 200030, China;

2. Shanghai Hudong Shipbuilding Group, Shanghai 200129)

**Abstract:** The principles of block definition were studied. A genetic algorithm was presented to optimize the object. A calculating model, which determines on welding encircling lines in ship hold-zone, was designed and a fuzz object function was built. Approximately real length of block shell plate can be rapidly resolved out by application of NUBLine to fit ship lines. For example, through calculation of the 74500B/C, the result is compared to the welding encircling lines in ship hold-zone of shipyard data. The result shows that the waste plate diminishes and the plate usage rises in cargo hold.

**Key words:** hull blocks definition; non-uniform B-spline; shell expansion; production design

船体分段划分是任务包分解的重要组成部分, 是联系详细设计和生产设计的纽带, 是制订船舶建造策略的基础. 所分解出来的船体分段就是典型的中间产品; 对应于分段的舾装托盘和涂装托盘由于作业类型不同, 这就形成了不同的中间产品. 从中间产品角度来分解工程, 即是产品导向型工程分解. 分段划分的好坏, 直接影响船舶的建造质量、产品成本、劳动生产率、造船周期、生产安全等技术经济指标. 因此各船厂对分段划分这项工作十分重视, 关键问题是: 怎样划分分段; 怎样装配分段; 怎样编制一体化的船体、舾装和涂装进度计划.

货舱区分段环焊缝占整船环焊缝数的 71%~87%, 对整船分段划分影响很大. 本文研究船体分段初划分时, 确定货舱区最优分段环焊缝位置的方法.

## 1 分段初划分的原则和板列长度确定

### 1.1 分段划分原则

用以指导分段初划分的图有: 总布置图、舾剖面图和机舱布置图. 为确定外板板列的长度, 本文提出可用母型船型线改造成目标船的初步型线, 以此为基础用非均匀 B 样条曲线拟合船体型线来近似确定板列长度.

分段划分原则参见文献[1]. 货舱区分段划分在基本原则下主要考虑选用相同规格的钢板, 且使钢

材利用率最高.

### 1.2 货舱区板列长度确定

分段初步划分时如没有型线图,可采用母型船改造法快速生成目标型线.本文认为已具备型线,用非均匀B样条曲线拟合船体型线<sup>[2]</sup>.为确定板列展开长度,可采用以下方法:①将分段外板按一定的外板展开方法展开外板,如测地线法、撑线法、十字线法等<sup>[4]</sup>;②将分段外板一系列吃水对应的水线沿船长方向求得实长,取最大值即为板列长度.对于机舱区分段和艏艙区域分段,外板为双向曲面,易采用方法①,可以根据非均匀B样条曲线拟合船体型线插值得到的肋骨型值,选用一种适合的外板展开法,得到最大板列长度;而在货舱区的外板一般为单向曲面,因此可采用方法②.

### 1.3 快速求出板列长度

水线实长为弧长,如图1即为弧 $E_1E_2$ 长度,可表示为: $\int_{U_1}^{U_2} P(u)du$ ,其中 $U_1$ 和 $U_2$ 分别为弧在 $x$ 轴上的坐标点, $P(u)$ 为非均匀B样条拟合函数, $u$ 为 $x$ 轴上的节点矢量.事实上可以用弦 $F_1'F_2'$ 来近似代替,因逐个肋位计算,其精度已经足够.可以表示为

$$\widehat{E_1E_2} = x_1 \sqrt{s^2 + |y_2 - y_1|^2} / s + \sum_{i=1}^{m-1} \sqrt{s^2 + |y_i - y_{i-1}|^2} + x_2 \sqrt{s^2 + |y_m - y_{m-1}|^2} / s \quad (1)$$

式中: $m$ 为环缝线所包括的肋位数; $y_i$ 为 $i$ 号肋位的半宽值; $x_1$ 为距1号肋位的距离; $x_2$ 为距 $m$ 号肋位的距离.

板列可用长度=钢板定尺长度-(切割余量+装焊工艺余量+边缘不直度误差),则2m长的钢板定尺长度,一般可用11.9m;10m长的板可用9.9m.

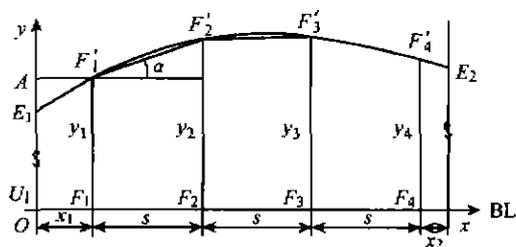


图1 求水线实长

Fig.1 Calculating the real length of water line

## 2 约束与目标函数

### 2.1 约束函数

把分段环焊缝位置的“禁区”用数学描述.

(1) 在肋位的位置.一般大船肋距较大,板缝设在1/4肋位处,避开中间1/2肋位处.用公式表示为

$$b \leq x \leq (0.5s - 50) \quad (2)$$

$$0.5s + 50 \leq x \leq s - b \quad (3)$$

式中: $s$ 为肋距; $b$ 为离肋位的距离,一般为100~250mm,本文取150mm; $x$ 为板缝在肋位中的位置,单位为mm,坐标零点为左肋位.

(2) 与舱壁的距离.散货船和油船货舱区均设槽形舱壁,且基准位置在后面.按有、无下墩两种情况,如图2所示,图2(a)为有墩槽形舱壁,(b)为无墩槽形舱壁.如 $x > x_i$ ,则对于(a)和(b)分别有

$$x > x_i + 3s \quad (4)$$

$$x > x_i + s \quad (5)$$

式中: $s$ 为肋距; $x$ 为板缝的位置; $x_i$ 为 $i$ 肋位上舱壁的位置.

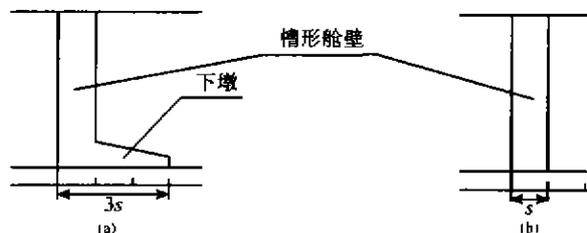


图2 大接缝与槽形舱壁的位置

Fig.2 Location between the big seam and corrugated bulkhead

(3) 与舱口端的距离.与舱口端的位置如图3所示.对集装箱船板缝要完全避开角隅处加强板(见图3(a)),可以用公式表示为

$$x_1 \leq x \text{ 或 } x \geq x_2 \quad (6)$$

式中: $x_1$ 和 $x_2$ 为角隅加强板的前后位置; $x$ 为板缝位置.对于一般散货船(见图3(b)),分段线离切点不小于150mm.

### 2.2 目标函数

2.2.1 目标函数的模糊性 设外板实长为 $L_p$ ,所选钢板可利用定尺长度为 $L_s$ .必须满足: $L_p \leq L_s$ ,最好取等式.创建余量价格函数 $P$ ,若 $L_p$ 与 $L_s$ 接近度大,则价格函数值越小.由于 $L_p$ 与 $L_s$ 的接近度的模糊性决定了目标函数的模糊性<sup>[4]</sup>.价格函数用图4来表示, $a_1 \sim a_3$ 分别表示外板展开实长; $c_1 \sim c_5$ , $c_1 \sim c_7$ 分别为价格, $a_1 = L_{s1} - 0.15$ , $a_2 = L_{s1} - 0.30$ , $a_3 = L_{s1} - 0.45$ , $L_{s1}$ 为从板列中选择的最接近的板长; $c_1 = 5.0$ , $c_2 = 10.0$ , $c_3 = 20.0$ , $c_4 = 30.0$ , $c_5 = 40.0$ , $c_6 = 100.0$ , $c_7 = 300.0$ .

2.2.2 目标函数 优化的目标为板列长度利用最

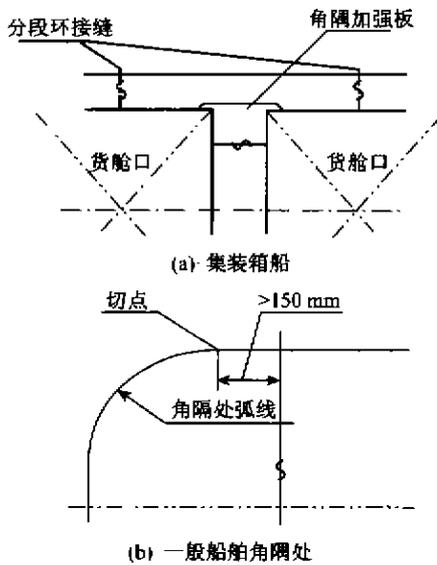


图 3 大接缝与舱口端的位置

Fig. 3 Location of big seam and hatch

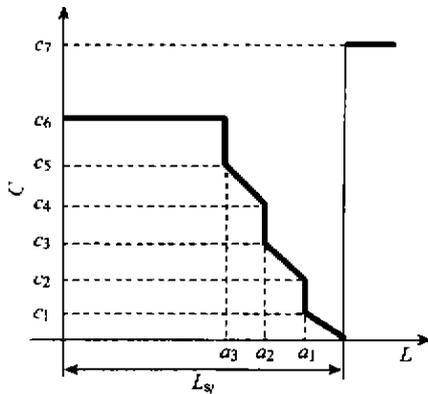


图 4 价格分布函数

Fig. 4 Price distributing function

高,也就是板列余量最小。目标函数在遗传优化中直接关系到解的合理性,以及能否得到最优或较优解,本文采用如下策略得到各范围上的目标函数值。

(1) 各范围上的目标函数

$$P_1 = \frac{c_1 - c_1(L - a_1)}{0.15}, \quad \delta_1 = L_{s1} - L$$

$$a_1 < L \leq L_{s1}$$

$$P_2 = \frac{c_2 - (c_3 - c_2)(L - a_1)}{0.15}, \quad \delta_2 = L - a_1$$

$$a_2 < L \leq a_1$$

$$P_3 = \frac{c_4 - (c_5 - c_4)(L - a_2)}{0.15}, \quad \delta_3 = L - a_2$$

$$a_3 < L \leq a_2$$

$$P_4 = 100, \quad \delta_4 = L - a_3 \quad L \leq a_3$$

$$P_5 = 300, \quad \delta_5 = L - L_{max} \quad L > L_{max}$$

式中,  $L_{max}$  为可选板列中最大长度。各范围上的目标函数可表示为

$$f_j = b_j + P_j \times \delta_j \quad j = 1 \sim 5 \quad (7)$$

式中:  $f_j$  为对应范围上的目标函数值;  $b_j$  为常数,  $b_1 = 2.5, b_2 = 15.0, b_3 = 35.0, b_4 = 100.0, b_5 = 300.0$ 。

(2) 目标函数。一个方案总的目标函数为  $F$ , 分段  $i$  的外板实长为  $L_{pi}$ , 则可得到对应范围上的一个目标函数  $F_i, F_i \in \{f_1 \dots f_5\}$ , 总目标函数为

$$F = \sum_{i=1}^{m-1} F_i \quad (8)$$

式中:  $m$  为货舱区环焊缝数;  $m-1$  为分段数。

### 3 算法

采用改进的遗传算法,用浮点数表示个体,设计选择、交叉和变异算子<sup>[5]</sup>。一般货舱艏艉横舱壁都带到艏部区域和机舱区域分段,因此货舱区尾端和首端环焊缝是确定的。设分段数为  $m-1$  个,则环焊缝数为  $m$  个;以货舱尾端舱壁为 0 点,尾端和首端所在肋位为 AftFrame, ForeFrame, 则  $x_1 = 0.15 \sim 0.3$  m。对于散货船来说货舱区肋距全部相等,而集装箱船只有箱位处肋距相等,这里以散货船为例,  $x_m = s \times (\text{ForeFrame} - \text{AftFrame}) - (0.15 \sim 0.3)$ ,  $s$  为肋距(m)。问题可以转化为求中间点  $x_2, x_3, \dots, x_{m-1}$ 。解可以表示:  $X = (x_1, x_2, \dots, x_{m-1}, x_m)$ 。

#### 3.1 生成初始群体

初始群体规模为  $n = 100$ 。①按  $\text{Random}(b_1, b_2)$  生成  $m-1$  个随机数  $u_i, b_1, b_2$  为最小和最大可用钢板定尺长度,  $\text{Random}$  为伪随机数发生器,本文采用 Delphi 编程,系统有很好随机数发生器。②  $L_g = x_m - x_1$ , 求出分段焊缝中心线长度比例  $w_i = u_i / \sum_{j=1}^{m-1} u_j$ , 依次求得环焊缝以尾舱壁为 0 点的距离  $x_i = x_{i-1} + L_g \times w_i, (i = 2, 3, \dots, m)$ 。③重复①、②得到 100 个初始群体。

#### 3.2 检查解 X 的可行性

检查解  $X$ , 必须符合上述 2.1 节, 让检查后得到的  $x_i$  代替原  $x_i$ 。

(1) 式(2)、(3)。(a) 首先检查是否符合式(2)、(3), 若不符合则重复(b); (b) 以  $x_i$  所在肋位为区间, 重复应用随机数发生器  $\text{Random}(x_k, x_{k+1}), x_k, x_{k+1}$  为前、后肋位距尾舱壁的距离, 使得符合式(2)、(3)为止。

(2) 式(4)或(5)。(a) 检查是否符合式(4)、(5), 如果不符合则重复(b); (b)  $x_i$  可以选择两个方向, 即向后移动和向前移动。生成一随机数  $\text{Random}(0, 1)$ , 如果大于等于 0.5, 则向前移动, 否则向后移动, 以满足式(4)或(5)为止。

(3) 式(6)及其算法, 可用上述两种同样的方

法,改进  $x_i$  使得满足(6),以及利用舱口端位置算法避开“禁区”。

### 3.3 遗传算子

(1) 选择. 以目标函数值(即以适合值)为标准从小到大排列,适合值小则被选的概率就大。

(2) 交叉. 从种群中,随机选择两个不相同的个体  $\bar{X}$ 、 $\bar{Y}$  ( $\bar{X}$  的适合值大于  $\bar{Y}$ ) 作为父代,按式(9)方式产生子代  $\bar{X}'$  和  $\bar{Y}'$ <sup>[5]</sup>. 本文交叉的概率  $P_c=0.4$ , 所得每个子代必须满足上述 3.2 节,即

$$\begin{cases} \bar{X}' = r\bar{X} + (1-r)\bar{Y} \\ \bar{Y}' = (1-r)\bar{X} + r\bar{Y} \end{cases} \quad (9)$$

(3) 变异. 从种群中,随机选择 2 个不相同的个体,选择适合值小的个体进行变异,变异概率  $P_m=0.15$ . 解决本文问题的变异算子是非常关键的,一组解往往陷入一局部较优点以后就无法继续寻求更好的点,为此本文设计了特殊的变异算子. 设所选解为  $X=\{x_1, x_2, \dots, x_{m-1}, x_m\}$ ,  $x_i$  为第  $i$  个分段环焊缝在  $x$  轴上的坐标. 随机生成  $\text{Random}(1, m)$  随机数  $j_1, j_2$ , 且  $j_1 \neq 1, m; j_1 \neq j_2$ . 对  $x_{j_1}$  和  $x_{j_2}$  实施下式的变异,得到新的  $X=\{x_1, x_2, \dots, x_{m-1}, x_m\}$ , 并符合上述 3.2 节:

$$x_j = \begin{cases} x_j + sU(0, 1.5) & U(0, 1) \leq 0.5 \\ x_j - sU(0, 1.5) & U(0, 1) > 0.5 \end{cases} \quad (10)$$

式中:  $s$  为肋距,  $U(0, 1.5)$  表示  $0 \sim 1.5$  的一个随机数;  $U(0, 1)$  为  $0$  与  $1$  间的随机数。

在上述基础上,用 Delphi 语言编制了程序,程序框图如图 5 所示。

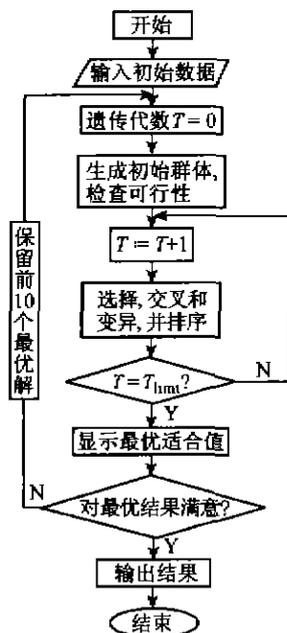


图 5 程序框图

Fig. 5 Program flowchart

## 4 计算实例和分析

实船主要量度和参数如表 1 所示。

表 1 主要参数

Tab. 1 Main parameters

船舶主尺度		主要参数	
总长/m	225.00	货舱尾端肋位号	38
两柱间长/m	217.00	尾端距船舫/m	-78.65
型宽/m	32.26	货舱区肋距/m	0.86
型深/m	19.60	货舱区前端肋位号	245
设计吃水/m	12.50	货舱长度/m	178.02
结构吃水/m	14.25	货舱内舱壁形式	有墩

### 4.1 输入数据

可选板列系列长为: 7.95 m、8.95 m、9.95 m、11.95 m, 这里每个板长减去 50 mm, 作为切割余量, 装焊工艺余量和边缘不直度误差. 按 11.95 m 和设计水线的实长  $L_w$  求得货舱区分段数  $m: m=L_w/11.95=187.12/11.95=15.66$ , 实际取分段数为 16 个, 与实船一样, 则分段环焊缝数为 17. 其他输入数据见表 1。

### 4.2 适合值的变化曲线

以上述数据为输入值,  $T_{lim}$  为 100, 适合值的变化曲线如图 6 所示(迭代次数为名义次数). 由图可见, 寻优的速度较慢, 主要是焊缝位置的“禁区”改变了坐标值。

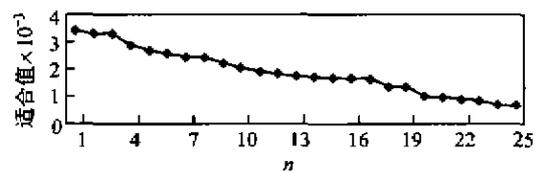


图 6 适合值变化趋势

Fig. 6 The state of fitness

### 4.3 结果及其比较

实船与优化后的结果列于表 2. 从最后的目标函数值来看, 经过优化后的环焊缝位置适合值明显优于实船。

### 4.4 分析

就适合值来看, 经过优化计算得到的环焊缝位置比实船要好, 产生较大的适合值原因是序号 1、2、9、14、16 号与选用钢板长度 8 m、10 m、12 m 有很大的余量, 导致式(7)和(8)值变大. 而优化计算得到的外板与所选用钢板的累积余量小, 因此适合值小。

实船在分段划分时对中部平行中体部分尽量利用 12 m 长的钢板, 余量很小, 表 2 中序号 4、5、6、8、

表2 结果比较  
Tab.2 Result comparison

序号	实船		优化值(1)		优化值(2)	
	坐标点(以尾端舱壁为0点)	板列近似展长	坐标点(以尾端舱壁为0点)	板列近似展长	坐标点(以尾端舱壁为0点)	板列近似展长
1	0.300	10.109	0.300	11.669	0.300	11.656
2	10.020	11.238	11.539	11.719	11.527	11.618
3	20.990	11.562	23.007	11.701	22.895	9.714
4	32.430	11.859	34.604	9.850	32.516	11.907
5	44.240	11.916	44.418	11.843	44.375	11.855
6	56.150	11.94	56.255	11.839	56.224	11.868
7	68.090	11.73	68.092	11.696	68.092	11.664
8	79.820	11.93	79.788	11.658	79.756	11.660
9	91.750	10.29	91.446	9.684	91.416	11.288
10	102.040	11.93	101.130	11.692	102.704	9.652
11	113.970	11.93	112.822	8.668	112.357	11.802
12	125.900	11.931	121.490	11.659	124.163	9.659
13	137.830	11.606	133.149	11.855	133.821	11.807
14	149.420	11.251	144.989	11.833	145.613	11.312
15	160.600	8.797	156.788	11.823	156.892	11.718
16	169.200	9.022	168.409	9.838	168.409	9.838
17	177.720		177.720		177.720	
适合值	1 404.156(板列 8,10,12)		308.773(板列 8,10,12),迭代次数=300		448.81(板列 8,10,12),迭代次数=200	

10、11、12 已经接近于 11.95 m 的极限长度。而优化(1)和优化(2)得到的结果中达到 11.93 m 以上外板长度少,但接近于钢板 11.85 或 10.85、9.85、7.85 m 的外板实长就很多。从板长利用来看,优化值明显好于实船,达到了充分利用板长的目标。

## 5 结 语

经比较表明,本文研究的方法是可行的。本文所提出的方法可以进一步改进,提出如下策略:①为了增加解的合理性,可以改进目标函数,使解向要求方向发展;②对于其他类型船,由于约束条件不一样,可以增加约束;③可以适当提高交叉和突变概率,这样能加速寻优速度;④对不同船型和目标函数可以改进交叉和突变方法。

### 参考文献:

[1] 刘建峰. 船舶生产运作策略和优化方法研究[D]. 上海:上海交通大学船舶与海洋工程学院,2000.

- [2] 刘建峰,王旭东. 基于 Delphi 的非均匀 B 样条曲线在船舶工程中的应用[J]. 华东船舶工业学院学报, 2000,(2):1~7.
- [3] 戴寅生,于金生. 船体外板计算展开[M]. 北京:国防工业出版社,1985.78~170.
- [4] 杨伦标,高英仪. 模糊数学原理及应用[M]. 广州:华南理工大学出版社,1998.84~88.
- [5] 朱学军. 基于 Pareto 多目标进行计算的健壮性设计方法及应用研究[D]. 上海:上海交通大学机械工程学院,1999.26~30.

### 作者简介:



刘建峰 1964 年生,副教授.1987 年毕业于华东船舶工业学院,1994、2000 年于上海交通大学分别获硕士、博士学位.现供职于上海外高桥造船有限公司.