

## 基于遗传算法的船舶舱室通道布局联动优化

鲍萌<sup>1</sup>, 侯远杭<sup>\*1</sup>, 陈伟<sup>2</sup>, 於菟<sup>2</sup>, 胡玉龙<sup>2</sup>

(1. 大连海事大学 船舶与海洋工程学院, 辽宁 大连 116026; 2. 中国舰船研究设计中心, 武汉 430000)

**摘要:**针对舱室与通道联动优化问题,将舱室与通道布局联合考虑,将舱室和通道位置序列作为设计变量,舱室间邻接强度和流通强度的加权作为目标函数,舱室通道面积和通道位置作为约束条件,采用遗传算法对舱室和通道布局进行联动优化。在计算舱室间最短距离时采用Dijkstra算法。以船舶生活区舱段为算例进行对比验证,分别进行通道位置参与布局设计的舱室通道布局联动优化、通道位置不参与设计的舱室布局优化。算例结果表明,本文提出的联动优化方法具有可行性,对比结果显示联动优化更具优越性。

**关键词:**舱室通道布局;联动优化;遗传算法

**中图分类号:**U661.1

**文献标志码:**A

### Joint optimization of ship cabin passage layout based on genetic algorithm

BAO Meng<sup>1</sup>, HOU Yuan-hang<sup>\*1</sup>, CHEN Wei<sup>2</sup>,  
WU Tu<sup>2</sup>, HU Yu-long<sup>2</sup>

(1. Naval Architecture and Ocean Engineering College, Dalian Maritime University, Dalian 116026, China; 2. China Ship Development and Design Center, Wuhan 430000, China)

**Abstract:** In order to solve the joint optimization problem of cabins and passage, the layout of cabins and passage was considered together. The position sequence of cabins and passage was taken as design variables, the weight of adjacent strength and flow strength between cabins as objective function, and the area and position of cabins and passage as constraints condition. Genetic algorithm was used to optimize the layout of cabins and passage. Dijkstra algorithm was used to calculate the shortest distance between cabins. Taking the ship living

quarters as an example for comparison and verification, the optimization of the cabin passage layout with channel location involved in the layout design and the optimization of the cabin passage layout with channel location not involved in the design were carried out respectively. The results show that the linkage optimization method proposed in this paper is feasible, and the comparison results show that the linkage optimization has more advantages.

**Key words:** cabin passage layout; linkage optimization; genetic algorithm

## 0 引言

船舶布局包括了对舱室位置和通道位置的设计。以往船舶布局设计较大程度依赖于工程师的经验,使布局在很大程度上具有主观性和模糊性,也让布局设计缺乏自动性<sup>[1]</sup>。关于这一问题,胡耀等<sup>[2]</sup>采用改进型遗传算法对舰船生活区舱室进行优化;王运龙等<sup>[3]</sup>基于禁忌搜索算法对船舶舱室进行智能化布局设计;Lee等<sup>[4]</sup>用改进的遗传算法对舰船甲板进行舱室布局,这些方法使布局设计具有一定客观性和自动性,但在其进行布局优化时仅将舱室布局设计到自动化布局之中,并未将通道布局融入自动化布置。这些布局方法中,通道位置是依照设计者经验进行随机设置,仍具有一定主观性。

关于通道布局优化设计,王文全等<sup>[5]</sup>采用粒子群算法对通道布局进行优化;余为波等<sup>[6]</sup>基于

收稿日期:2021-05-19;修回日期:2021-06-09.

基金项目:国家自然科学基金资助项目(51879023).

作者简介:鲍萌(1998-),女,硕士生, E-mail: baomeng@dlmu.edu.cn;侯远杭<sup>\*</sup>(1987-),男,博士,副教授, E-mail: houyuanhang@dlmu.edu.cn.

图论对舰船通道路线进行优化,这些方法在实现通道布局自动化的同时,并未将舱室布局考虑在内,致使这些优化方法必须在舱室位置确定的情况下才可使用。综上,如果舱室布局与通道布局不能同时进行自动化布置,无论采用先通道布局优化后舱室布局优化或先舱室后通道,均易使布局工作产生反复从而增加运算量,并且也很难同时得到优良的舱室布局与通道布局。

针对舱室与通道联动优化问题,本文采用遗传算法进行布局优化,提出一种将舱室布局与通道布局联动优化的方法;最后,以邮轮两层生活区为算例进行布局设计。结果表明,该方法具有可行性,同时与通道未参与布局设计中的舱室布局优

化进行对比,结果显示,联动优化方法更具优越性。

## 1 船舶生活区布局建模

本文以船舶生活区舱段为研究对象,由于船舶生活区舱段形状不规则,在进行布局优化之前,需将生活区舱段构建成平面二维简化图形。本文在进行优化时,仅考虑舱室布局和通道布局,所以在进行模型构建时,可忽略舱段内门、窗、梯道等设施<sup>[2]</sup>。本文选取假想邮轮两层生活区甲板进行布局设计,其中一层甲板简化后图形如图 1 所示。简化后生活区舱段为规则矩形,可进行布局优化设计。

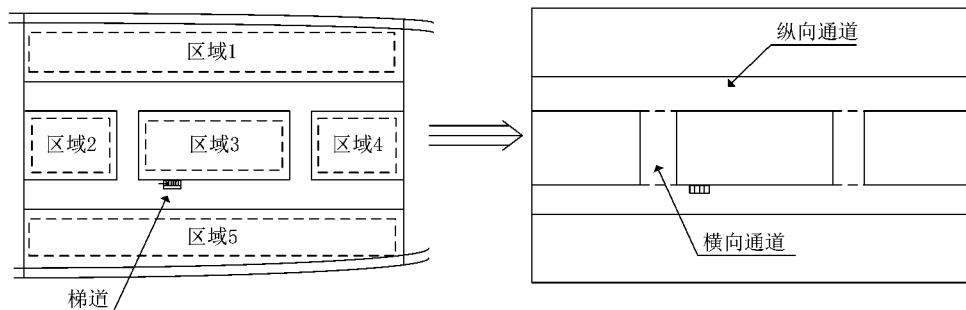


图 1 一层甲板舱段布局简化模型

Fig. 1 Simplified layout model of the first deck

本文共选取 80 个舱室和 4 个横向通道进行布局设计,其中,纵向通道位置以及联通上下层甲板梯道位置是固定的,不参与布局设计,所以,本

文仅对 80 个舱室,以及上下层共 4 个横向通道进行编号,1~80 为舱室序号,81~84 为横向通道序号,舱室以及横向通道位置序号如图 2 所示。

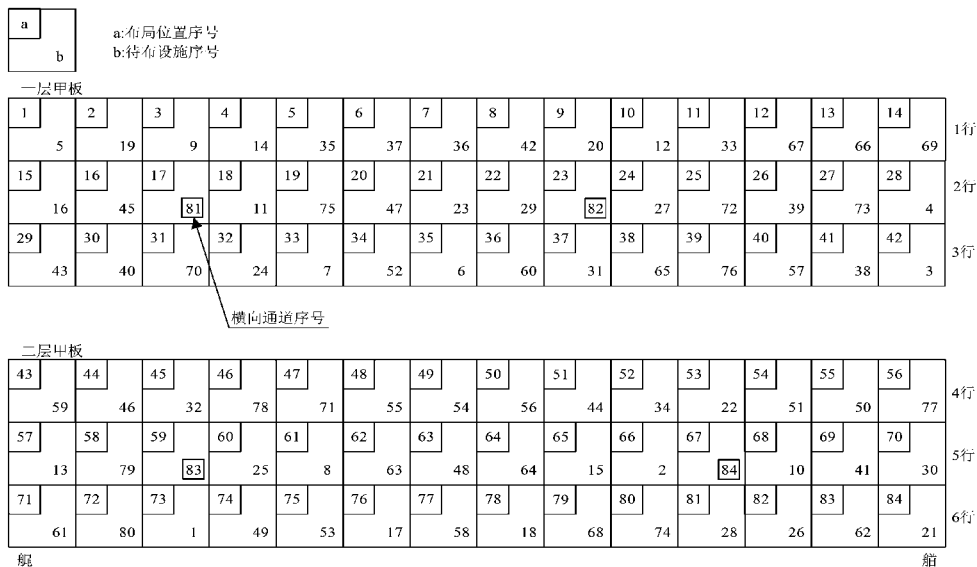


图 2 舱室与横向通道布局模型

Fig. 2 Layout model of cabin and transverse passage

对于本文所选取的 80 个待布置生活区舱室,参考 GB7386.1-5—87《船舶起居舱室尺寸协调》对舱室所需最小面积进行设定<sup>[7]</sup>. 由于选取舱室数量过多,本文仅展示部分具有代表性舱室面积,如表 1 所示. 参考相关标准中对通道宽度的要求,本文选取两人并行时所需宽度作为通道宽度<sup>[7]</sup>,设定为 1.5 m. 所选舱段各布局行可用面积见表 2.

表 1 待布舱室所需最小面积  
Tab.1 Minimum area required  
for cabins to be deployed

舱室序号	最小面积/m <sup>2</sup>	舱室序号	最小面积/m <sup>2</sup>
8	16	40	26
13	13	58	19
23	20	65	30
34	12	70	15
38	10	74	17

表 2 布局行可用面积  
Tab.2 Available area of layout line

布局行	层数	可用面积/m <sup>2</sup>
1	1	200
2	1	240.5
3	1	220
4	2	200
5	2	240.5
6	2	220

2 联动布局评价目标分析

根据生活区舱段的布置要求,本文在进行布局设计时选取舱室间流通需求和邻接需求作为评价布局指标,同时对指标进行量化处理,定义评价布局优化结果的目标函数.

邻接强度为两个舱室基于功能等要求对邻接需求的量化表示<sup>[2]</sup>,对于生活区舱段各功能舱室,规范均给予了定性要求,例如居住室与盥洗室邻接强度要求较高,餐厅与厨房邻接要求极高,活动室与图书馆无邻接要求. 流通强度主要考虑舱室间人员物资流通的强弱,将一些虽然在规定上没有布置要求,但实际上舱室间仍具有一定流通强度的情况考虑在内<sup>[8]</sup>,例如,居住舱与活动室流通强度很高,与图书馆流通强度一般. 量化是将舱室间定性要求用具体参数表示. 本文定义的舱室邻接强度和流通强度等级以及相应系数见表 3. 鉴于本文仅验证方法可行性,所以并未设定舱

室具体功能. 本文随机设定的 11 对舱室间邻接强度和 10 对舱室间流通强度见表 4,其他未在表中展示出的邻接强度或流通强度的舱室对,其邻接强度或流通强度均为 0.

表 3 邻接与流通强度等级定义  
Tab.3 Definition of adjacency and  
circulation intensity grade

等级	系数	邻接程度	流程度度
1	1	要求极高	强度极高
2	0.75	要求较高	强度较高
3	0.5	要求一般	强度一般
4	0.25	要求较低	强度较低
5	0	无要求	基本无流通

表 4 待布舱室邻接与流通强度系数分布  
Tab.4 Distribution of adjoining and flow  
intensity coefficient of cabin to be arranged

有邻接要求 舱室对序号	邻接系数	有流通要求 舱室对序号	流通系数
1-7	1	2-6	0.25
2-11	1	9-10	0.5
9-15	0.25	13-31	0.75
17-27	0.5	22-33	0.5
33-46	0.25	36-44	1
20-29	0.5	41-46	0.25
56-60	0.75	44-55	0.5
66-79	0.5	50-60	0.75
71-73	0.25	70-80	0.25
74-77	0.5	77-80	0.5
76-79	0.25		

根据邻接强度和流通强度系数表分别建立邻接强度和流通强度矩阵:

$$B = [b_{ij}]_{80 \times 80}, i, j = 1, 2, \dots, 80 \quad (1)$$

$$F = [f_{ij}]_{80 \times 80}, i, j = 1, 2, \dots, 80 \quad (2)$$

式中:  $i$ 、 $j$  为舱室序号;  $b_{ij}$ 、 $f_{ij}$  分别为舱室  $i$  与  $j$  之间的邻接强度和流通强度,并且两式中舱室序号  $i$  和  $j$  均不能相等.

3 数学模型建立

3.1 设计变量与距离的建立

布局优化是对设计变量舱室通道序列  $X$  排列组合的过程,待布置舱室、横向通道与序号是一一对应关系. 将舱室与横向通道根据约束条件排列进布局位置序号所属位置;然后,根据布局模型位置序号将布置好的舱室通道序号排列起来形成序列,其表达式为:

$$X = \{x_1, x_2, \dots, x_{84}\} \quad (3)$$

$$x_k = \{x \mid x \in N^+, 1 \leq x \leq 84\}, k = 1, 2, \dots, 84 \quad (4)$$

式中:  $x_k$  为该位置所对应的舱室或横向通道的序号, 且  $x_k$  互不相等;  $k$  为位置序号。

根据优化目标要求, 定义舱室之间距离矩阵:

$$D = [d_{ij}]_{80 \times 80}, i, j = 1, 2, \dots, 80 \quad (5)$$

式中:  $d_{ij}$  为舱室对  $i$  与  $j$  之间的距离. 在确定设计变量后, 对舱室间距离进行定义. 这里的距离指连接两个舱室通道的长度, 不同层舱室对距离为两

舱室分别到当前层梯道距离之和再加层高, 由于一些舱室对之间的可行路径不止一种, 这就要求在进行距离计算时要进行选择. 结合布局优化目标要求, 本文选取联通舱室对最短路径为舱室间距离. 本文采取 Dijkstra 算法解决最短路径问题<sup>[9]</sup>, 首先, 建立带有节点和通道连接的网络图<sup>[10]</sup>, 取舱室型心为节点, 取通道中线为通道进行节点连接, 布置舱室后的甲板可抽象为图 3 网络图所示, 舱室  $i$  与舱室  $j$  的最短距离可抽象为点  $b_i$  到点  $b_j$  的距离, 利用算法得出舱室距离矩阵. Dijkstra 算法流程如图 4 所示.

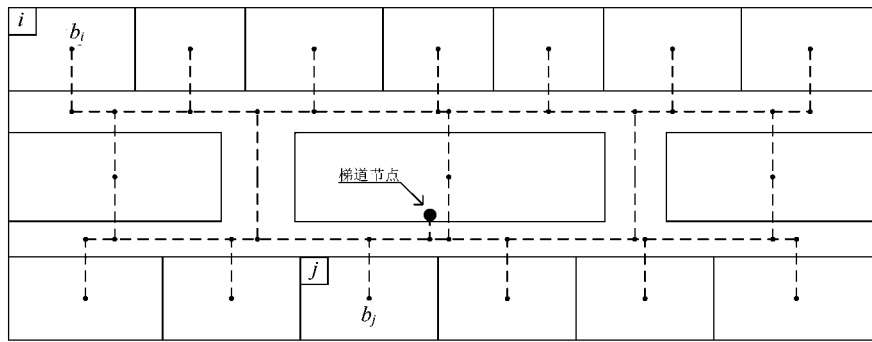


图 3 Dijkstra 算法节点示意图

Fig. 3 Node diagram of Dijkstra algorithm

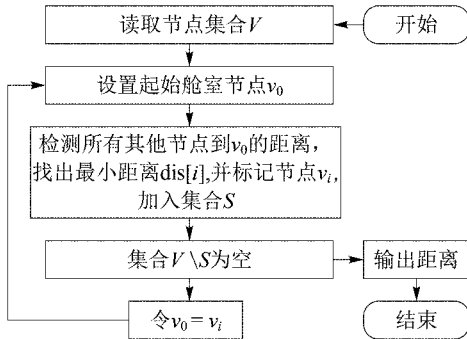


图 4 Dijkstra 算法流程

Fig. 4 Dijkstra algorithm flow chart

### 3.2 目标评价函数

对设计变量及舱室间距离进行定义后, 根据前文对评价目标的分析进一步给出目标评价函数. 分别定义邻接强度目标函数和流通强度目标函数:

$$F_1(X) = \sum_{i=1}^{79} \sum_{j=i+1}^{80} B \times D(X) \quad (6)$$

$$F_2(X) = \sum_{i=1}^{79} \sum_{j=i+1}^{80} F \times D(X) \quad (7)$$

式中:  $X$  为设计变量舱室横向通道序列;  $D$  为  $X$  序列下舱室间距离矩阵;  $B$  和  $F$  分别为上文中所定义的邻接和流通强度矩阵;  $i$  和  $j$  为舱室序号. 设计变量  $X$  中包含了舱室以及横向通道序号, 但通道与通道、舱室之间无流通和邻接关系, 所以在进行分目标函数计算时只考虑舱室.

根据已有分目标评价函数, 定义总目标评价函数  $F(X)$ :

$$\begin{aligned} \min F(X) &= \min(w_1 F_1(X) + w_2 F_2(X)) \\ &= \min \sum_{i=1}^{79} \sum_{j=i+1}^{80} (w_1 b_{ij} d_{ij} + w_2 f_{ij} d_{ij}) \end{aligned} \quad (8)$$

$$\sum_{s=1}^2 w_s = 1 \quad (9)$$

式中:  $F(X)$  为布局优化总目标函数, 由分目标函数加权所得;  $w_1$  和  $w_2$  分别为流通和邻接目标函数权重系数, 具体数值根据其重要程度进行设定.

### 3.3 布局约束

舱室通道布局问题约束包括面积约束和通道位置约束.

面积约束即每行所布置设施面积和小于或等

于所在布局行可用面积,即布局行 2、5 所布置舱室最小面积和加横向通道面积小于或等于所在布局行可用面积,其余布局行只需考虑所布舱室最小面积和小于或等于所在布局行可用面积.前文已给出舱段每行可用面积、横向通道面积以及舱室所需最小面积,在得到满足面积约束布局序列时布局行可能出现面积剩余情况,布局行剩余面积平均分配到该布局行各舱室中,注意通道不参与剩余面积的均分.

对于通道的位置也有规定,本文共设置四个横向通道,由于横向通道连通每层甲板上下行舱室,所以横向通道只能设置于每层甲板中间行,同时要求其均分在上下两层甲板,且处于同层两横向通道间应至少相隔一个舱室.考虑到实际情况,在船舶布局中一般不将通道设置于甲板边缘位置,所以横向通道与甲板边缘至少相隔一个舱室.布局约束模型如下式所示:

$$\begin{cases} a_k^{(l)} \leq A_l, l=1,3,4,6 \\ a_k^{(l)} + a_n^{(l)} \leq A_l, l=2,5 \\ c \in U(l), l=2,4 \\ c \notin C_l(l), l=2,4 \\ V(c)=2 \\ W(c) \geq 1 \end{cases} \quad (10)$$

式中:  $a_k^{(l)}$  为第  $l$  行所布设舱室面积和;  $a_n^{(l)}$  为第  $l$  行所布设横向通道面积和;  $A_l$  为第  $l$  行布局行面积;  $C_l$  为第  $l$  行第一个和最后一个位置序号;  $U(l)$  为横向通道布设在第  $l$  行;  $V(c)$  为横向通道布设于每层甲板数量;  $W(c)$  为横向通道的位置序号  $c$  两两相减的绝对值.

#### 4 基于遗传算法优化计算对比

本文采用遗传算法进行优化计算<sup>[2,8]</sup>,定义算法流程如图 5 所示.

根据已建立数学模型,采用上述遗传算法进行舱室通道联动优化,并与通道未参与自动化布局的舱室优化进行对比.横向通道未参与自动化

布局时,根据舱室要求随机设定其位置,针对优化过程中可能出现横向通道与所布舱室重合问题,本文设定将横向通道平移至重合舱室左侧.现运用 Matlab 编程实现这一过程.

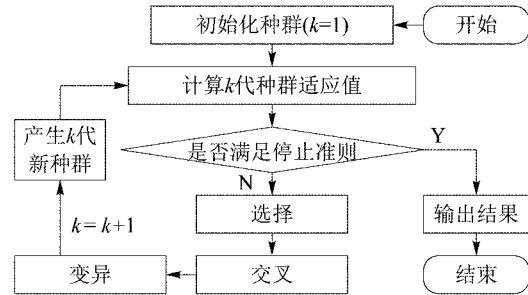


图 5 遗传算法流程

Fig. 5 Flow chart of genetic algorithm

设定遗传算法种群规模为 50,交叉概率为 0.5,变异概率为 0.1,邻接强度权重  $w_1$  为 0.52,流通强度权重  $w_2$  为 0.48.舱室通道联动优化在寻优计算时约束条件比较苛刻,为保证两种方法优化结果具有可比性,现设定通道参与自动化布局的舱室优化算法最大进化代数为 10000,舱室通道联动优化算法最大进化代数为 50000.在联动优化中再设定一个参数  $n$ ,  $n$  为同层甲板两横向通道间最小间隔舱室数.在进行联动优化时,  $n$  分别取 1、3、5、7、9 共五个工况进行计算.算法停止准则为最大进化代数  $k$  达到上限.

根据设定参数,对两种方法分别进行 5 次运算,结果见表 5.不同工况下适应值对比如图 6 所示.

根据表 5,对不同工况下运算所得结果进行稳定性分析,如表 6 所示.

优化方法的运算结果稳定性较好,标准差均处于较小范围内.

根据表 6 数据,分别选取舱室通道联动优化五种工况下最小适应值情况以及通道未参与自动化布局的舱室优化最小适应值情况绘制适应值曲线,如图 7、8 所示( $n$  为横向通道间最小间隔舱室数).

表 5 布局的目标函数值  
Tab. 5 Objective function value of layout

运算次数	舱室通道联动优化 $F(x)$					通道不参与自动化布局的舱室优化 $F(x)$
	$n=1$	$n=3$	$n=5$	$n=7$	$n=9$	
1	0.62859	0.72218	0.70779	0.86537	0.74299	1.1363
2	0.63529	0.73714	0.78562	0.72657	0.78756	1.1918
3	0.63399	0.72372	0.74854	0.93136	0.69472	1.0822
4	0.58554	0.77795	0.94089	0.76586	0.77939	1.1907
5	0.57976	0.67059	0.85940	0.86248	0.72959	1.0158

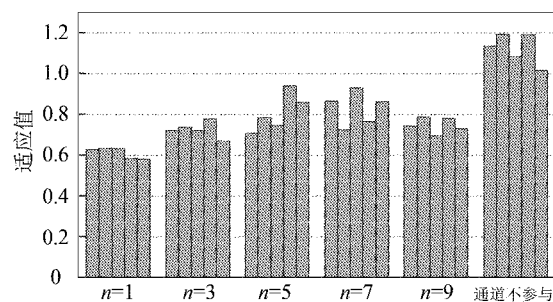


图 6 联动优化与通道不参与的优化适应值对比

Fig. 6 Comparison of fitness values of cabin channel linkage optimization and cabin channel not involved in design

表 6 目标函数稳定性分析

Tab. 6 Stability analysis of objective function

工况	标准差	期望值
$n=1$	0.027562	0.612634
$n=3$	0.038446	0.726316
$n=5$	0.092708	0.808448
$n=7$	0.082751	0.830328
$n=9$	0.037903	0.74685
通道不参与设计布局	0.075249	1.12336

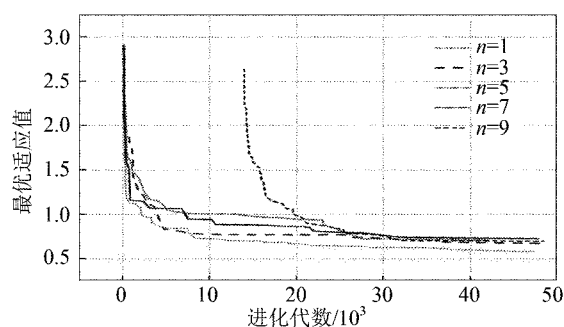


图 7 舱室通道联动优化最优适应值变化曲线

Fig. 7 The curve of optimal adaptive value of the joint optimization of cabin channel

根据图 7、8 所示,舱室通道布局联动优化适应值均低于通道不参与设计的舱室优化,相比之下,联动优化更能满足设计目标要求.联动优化基

本迭代至 30000 步以上,适应值趋于稳定;舱室优化迭代至 4000 步以上趋于稳定.联动优化约束条件相对苛刻, $n$  越大,约束越苛刻,如图 7 所示, $n=9$  时,进化至 13922 代才出现第一个可行解.

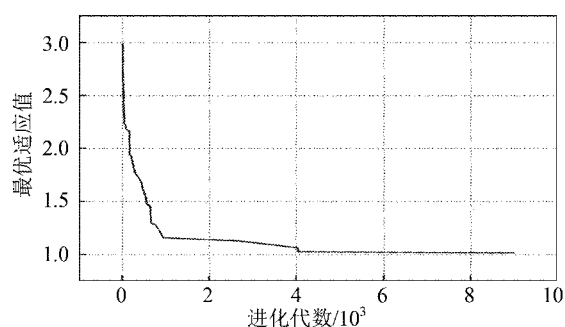


图 8 通道不参与设计的舱室优化最优适应值变化曲线

Fig. 8 The curve of optimal adaptive value of cabin optimization without channel participating in design

根据表 6 数据,适应值最小布局方案如图 9 所示.该方案横向通道布局集中,虽然该方案适应值最小,最大程度满足设计目标要求,但并不符合船舶布局实际情况要求.所以,本文设计目标具有局限性,适应值大小仅反映流通关系和邻接关系优劣.

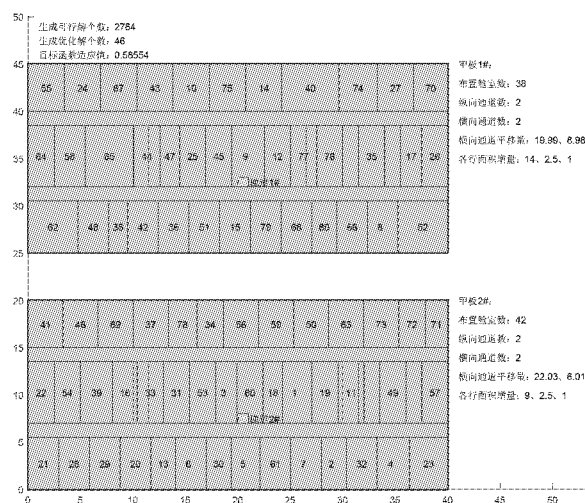


图 9  $n=1$  第 5 次运算布局

Fig. 9 Layout of the 5th operation of  $n=1$

本文采用的遗传算法是一种遍历寻优方法, 所得到的布局解均为可行解. 每一个方案构建之后均为可行方案, 所以综合考虑布局合理性, 保证通道尽量均匀分布在布局中, 再结合适应度值进行方案选择. 根据以上分析, 充分考虑布局合理性, 与图 9 所示布局相比,  $n=9$  时, 第三次运算得到的布局情况相对合理, 其布局情况如图 10 所示.

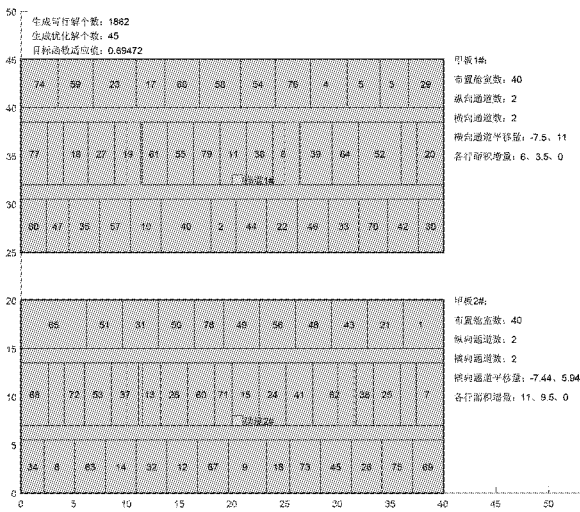


图 10  $n=9$  第 3 次运算布局

Fig. 10 Layout of the third operation of  $n=9$

根据图 10 所示, 通道布局均匀, 适应值较小, 可兼顾设计目标和布局合理性要求. 该方案只是相较于图 9 方案更为合理, 并非为最优方案. 由于本文并未进行实船布置, 对方案分析评价, 除参考目标函数, 可考虑的因素十分有限; 而在实际分析舱室布局方案时, 由于目标函数只能反映邻接和流通要求满足情况, 所以还需考虑目标函数不能表达的因素, 除上文提到合理性之外, 还应考虑环境、噪音等一系列可能对舱室布局产生影响的因素. 本文所有设计方案均具可行性, 可根据布局实际情况要求, 选择最优布局方案.

本文处理布局行剩余面积时, 采用均分至布局行各舱室的方式, 以图 10 所示布局情况为例, 其面积均分后典型舱室面积见表 7.

表 7 典型待布舱室可用参考面积

Tab. 7 Available reference area of typical cabin to be arranged

舱室序号	参考面积/m <sup>2</sup>	舱室序号	参考面积/m <sup>2</sup>
8	16	40	26
13	13.63	58	19.5
23	20.5	65	31
34	12	70	15
38	10.63	74	17.5

## 5 结 论

对船舶生活区舱段舱室布局与通道布局进行联动优化研究, 建立数学模型, 采用 Dijkstra 算法和遗传算法等方式对模型求解, 最后验证算法可行性并与其他方法进行对比, 得到布局优化结果, 并得出以下结论:

(1) 算例证明, 舱室与通道联动优化这一方法具有可行性和合理性, 为船舶生活区舱段舱室通道布局优化设计提供一种可行方法, 对于船舶整体舱室通道设计也具有参考意义, 可在船舶布局设计初期提供初步布局方案.

(2) 舱室通道联动优化结果明显优于通道不参与自动化的舱室优化. 虽然联动优化迭代步数远大于舱室优化, 但两种方法可行解数量处于同一个量级, 在实际进行运算时, 根据可行解求取目标函数值最为耗时, 所以联动优化并未增加过多运算量, 对于解决舱室通道布局问题, 联动优化更具优越性.

(3) 本文优化计算所得布局方案均未考虑实际舱室中门窗等设计, 也未对梯道面积进行预留. 计算所得各舱室面积及分布形式可作为实际设计中的参考. 在后续具体设计中, 可根据实际要求调整并得到最终可行方案.

## 参考文献 (References):

- [1] 王运龙, 王晨, 纪卓尚, 等. 船舶居住舱室智能布局优化设计方法研究[J]. 中国造船, 2013, 54(3): 139-146.  
WANG Y L, WANG C, JI Z S, et al. A study on intelligent layout design of ship cabin[J]. Shipbuilding of China, 2013, 54(3): 139-146. (in Chinese)
- [2] 胡耀, 姜治芳, 熊治国, 等. 基于改进型遗传算法的舰船舱室布局优化[J]. 中国舰船研究, 2014, 9(1): 20-

- 30.
- HU Y, JIANG Z F, XIONG Z G, et al. Warship cabin layout design optimization based on an improved genetic algorithm[J]. Chinese Journal of Ship Research, 2014, 9(1):20-30. (in Chinese)
- [3] 王运龙, 吴张盼, 李楷, 等. 基于禁忌搜索算法的船舶舱室智能布局设计[J]. 华中科技大学学报(自然科学版), 2018, 46(6):49-53.
- WANG Y L, WU Z P, LI K, et al. Ship cabin intelligent layout design based on tabu search algorithm[J]. Journal of Huazhong University of Science and Technology (Natural Science Edition), 2018, 46(6):49-53. (in Chinese)
- [4] LEE K Y, HAN S N, ROH M I. Optimal compartment layout design for a naval ship using an improved genetic algorithm[J]. Marine Technology, 2002, 39(3):159-169.
- [5] 王文全, 黄胜, 胡玉龙, 等. 舰船通道布局优化模型及其粒子群算法[J]. 武汉理工大学学报, 2012, 34(9):52-56.
- WANG W Q, HUANG S, HU Y L, et al. Ship passage layout optimization model and PSO algorithm[J]. Journal of Wuhan University of Technology, 2012, 34(9):52-56. (in Chinese)
- [6] 余为波, 王涛. 基于图论的舰船通道路线优化[J]. 中国舰船研究, 2008(1):18-22.
- YU W B, WANG T. Optimization of passage route in ship based on graph theory[J]. Chinese Journal of Ship Research, 2008(1):18-22. (in Chinese)
- [7] 蒋志勇, 杨敏, 姚震球. 船舶造型与舱室设计[M]. 哈尔滨: 哈尔滨工程大学出版社, 2003:109-123.
- JIANG Z Y, YANG M, YAO Z Q. Ship modeling and cabin design[M]. Harbin: Harbin Engineering University Press, 2003:109-123. (in Chinese)
- [8] 胡耀, 姜治芳, 熊治国, 等. 基于 SLP 和遗传算法的容积型船舶内部舱室位置布局设计优化[J]. 中国舰船研究, 2013, 8(5):19-26.
- HU Y, JIANG Z F, XIONG Z G, et al. The optimized layout design of volume type ship cabins based on SLP and GA[J]. Chinese Journal of Ship Research, 2013, 8(5):19-26. (in Chinese)
- [9] 吴红波, 王英杰, 杨肖肖. 基于 Dijkstra 算法优化的城市交通路径分析[J]. 北京交通大学学报, 2019, 43(4):116-121.
- WU H B, WANG Y J, YANG X X. Analysis of urban traffic vehicle routing based on Dijkstra algorithm optimization[J]. Journal of Beijing Jiaotong University, 2019, 43(4):116-121. (in Chinese)
- [10] 樊守伟, 严艳, 张少杰, 等. Dijkstra 算法与旅游路径优化[J]. 西安邮电大学学报, 2014, 19(1):121-124.
- FAN S W, YAN Y, ZHANG S J, et al. The optimal route design for self-driving travel based on the Dijkstra algorithm[J]. Journal of Xi'an University of Posts and Telecommunications, 2014, 19(1):121-124. (in Chinese)