

文章编号: 1000-4882 (2010) 01-0212-07

# 造船涂装作业油漆配送优化问题研究

杨连生<sup>1,3</sup>, 张志英<sup>2</sup>, 李兆刚<sup>3</sup>, 刘建峰<sup>3</sup>

(1. 上海交通大学 机械与动力工程学院, 上海 200240;

2. 同济大学 机械工程学院, 上海 200092;

3. 上海外高桥造船有限公司, 上海 200137)

## 摘 要

涂装作业是现代造船模式的重要环节, 油漆使用和管理是涂装作业的重要组成部分。当前船舶企业在涂装作业的油漆管理还处于初级阶段, 油漆配送管理无序, 易出现局部断货现象, 对准时化造船生产造成影响。论文研究了船舶企业涂装作业特点和油漆配送过程, 基于 MILKRUN 原理研究建立油漆配送的数学模型, 根据问题的特点, 利用符号编码法和边重组交叉算子, 用遗传算法求解。实际生产运行结果数据表明该模型是有效的, 可实现最低成本配送, 为实现精益造船提供支撑条件。

**关 键 词:** 涂装作业; 油漆; 配送; 造船

**中图分类号:** U 673.2 **文献标识码:** A

## 0 引 言

现代船舶建造采用现代化的总装造船模式, 即在船舶建造中, 运用壳舾涂一体化的理念, 使涂装作业与船体、舾装、调试工作时间上有序、空间上分道进行<sup>[1]</sup>。据统计, 在船舶建造所有作业形式中, 涂装作业占有重要比重, 其工时约占全船工时总量的 12~18%。涂装作业主要分: 内场分段和外场整船合拢后两个部分。内场分段涂装作业是将已完工和总组的分段在涂装车间进行油漆作业; 外场整船合拢后涂装是在船坞和船台上对合拢后的船体及舾装件进行涂装作业。涂装作业分两步工序: 喷砂和喷漆。在涂装作业过程中, 油漆是主要原材料, 所占成本达单船总成本的 3%。因此, 油漆管理是涂装作业管理的重要方面。

涂装作业使用油漆的管理特点如下。第一, 油漆成分中含有易挥发的有机溶剂, 易燃、易爆且有有毒、有害, 不能任意、长时间堆放在生产现场。第二, 企业场地资源有限, 生产现场不可能设置满足长时间的油漆堆放空间; 企业的油漆仓库最大容量也有限, 如 A 公司的油漆仓库容量为 10000L, 仅能满足船厂涂装作业半天的油漆用量。第三, 油漆公司的生产、配送能力有限制, 无法将大量油漆全部提前生产出来并一次配送到船厂仓库。第四, 油漆的施工具有很强的时效性, 油漆复涂间隔周期、油漆开桶以后的实用有效期都非常短, 必须在规定时间内将油漆施工完毕。第五, 船厂的施工节奏要求各工序必须按照规定时间迅速完成本工序工作, 涂装施工必须在指定时间内进行, 油漆必须在指定时间内配送到位, 否则将给企业的准时化生产造成很大影响。第六, 大量的油漆库存将占用大量的资金,

收稿日期: 2009-03-18; 修改稿收稿日期: 2010-01-08

当企业调整造船节奏时可能给企业带来很大损失。因此, 涂装生产所需油漆必须根据涂装生产计划的需求, 每天在规定的时间内, 将指定品种的油漆按照需求数量及时从仓库配送到各作业场地。

国内造船界在涂装作业与油漆管理方面的系统性研究较少, 各造船厂都是根据各自的造船实践提出不同的管理方法。如: 某船厂的油漆不需配送, 而是由各作业班组到仓库去领用油漆, 然后用车送到作业场地。如: 某船厂规模较大, 厂区面积大, 就在外场涂装作业现场附近设置二级仓库, 生产班组自己领用油漆, 从油漆领用点到作业地点的距离就大大缩短; 但设置二级仓库, 就增加了管理成本。还有如: 船厂配备有专门的车辆, 帮助生产班组运送油漆。但对于如何进行油漆的高效配送并没有专门的研究。因此, 国内船舶企业在油漆用料的现场配送管理方面尚处于自发经验管理阶段, 物流领域先进的物资配送管理方法并没有被应用到船厂内部物流体系。

A 公司是国内最先进的造船厂之一, 工厂采用先进的生产管理系统, 可提供出船舶建造过程中各生产任务包的涂装作业量和每个任务包所需油漆用量。在生产作业中, 安排专门的车辆帮助作业班组运送油漆。但对于如何实现科学合理的油漆运送并没有深入的研究。为说明问题, 首先给出 A 公司的涂装作业计划管理流程, 如图 1 所示。

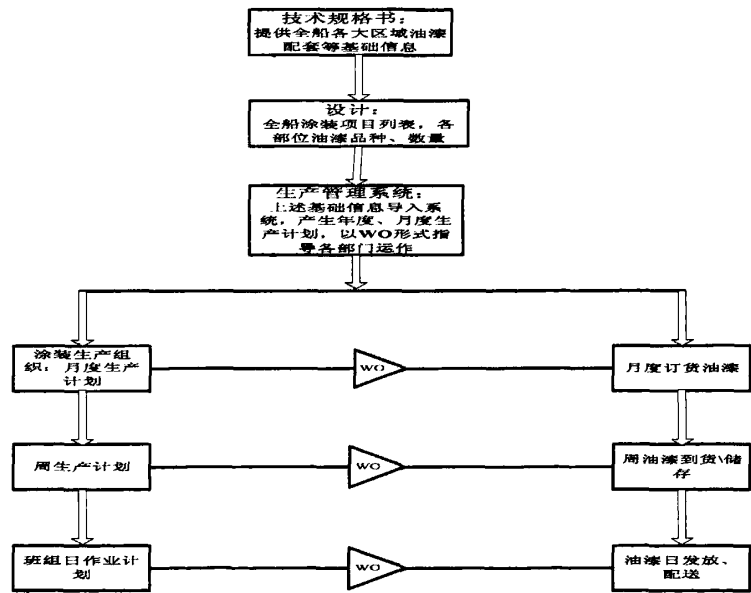


图 1 A 公司涂装作业计划管理流程

A 公司生产管理体系依托于 CIMS 系统。公司中长期生产经营计划被依次分解生成公司的年度大日程计划、季度中日程计划、月度/周/日小日程生产计划, 指导整个公司的生产经营工作。对于涂装作业来讲, 造船合同签订后, 涂装设计部门根据技术规格书和建造周期进行涂装设计, 产生各建造阶段、各个部位的油漆规格、用量等基础数据; 根据这些数据, 物资部门安排油漆订货, 涂装作业班组根据生产计划到仓库进行油漆的预约、领用。在涂装作业班组申请油漆领用之后, 从仓库领料到达作业现场这个过程, 企业缺乏系统专门研究, CIMS 系统也没有相关内容。为了提高油漆的使用安全性和使用效率, 建立准时化的油漆配送策略是实现现代造船模式重要研究内容之一。本文以 A 公司船舶建造中的涂装作业和油漆管理为例, 研究建立适合船舶生产的油漆配送模型, 应用遗传算法进行求解, 并利用实际生产数据进行验证。

## 1 油漆现场配送模型

### 1.1 问题描述

油漆配送通常是从厂内油漆仓库出发, 根据各个作业点所需要的油漆品种、油漆用量和作业时间等, 按照合理优化的顺序, 依次运送到位。假设有 1 个油漆仓库 A 和若干个作业场地 B、C、D、E、F, 每个场地在不同的时间点需要不同数量和种类的油漆, 并且有若干配送车辆, 如图 2 所示。

油漆配送可抽象为反向的 Milkrun 问题<sup>[3]</sup>。问题研究的目标就是在指定条件下(规定的需求时间、需求地点、需求数量、需求品种等), 找到最佳的配送路径(时间最短、或运输成本最低、或配送路径最短)。利用遗传算法(GA)建立的数学模型被证明是一种针对此类问题的有效解决方法。

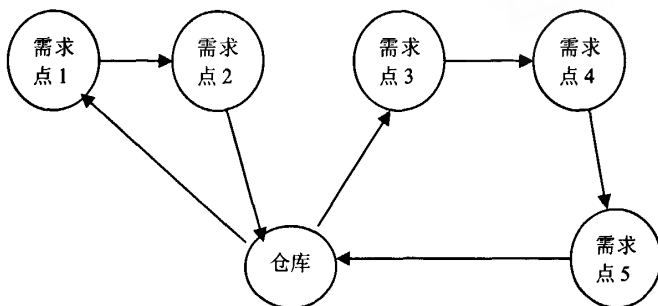


图2 油漆配送问题示意图

为了简化问题, 本文建立模型暂不考虑油漆的品种, 时间要求是当天的油漆需求当天进行配送。

### 1.2 建立油漆配送数学模型<sup>[4,5]</sup>

假设从油漆仓库向  $k$  个涂装作业点进行油漆配送, 每个作业点的油漆需求量为  $g_i$  ( $i=1, 2, \dots, k$ ), 每辆配送汽车的载重量是  $q$ , 且  $g_i \leq q$ 。  $m$  为所需车辆数。  $c_{ij}$  表示作业点  $i$  到作业点  $j$  的运输路程, 油漆配送运输的总路程作为本文研究模型的运输成本。

假设油漆仓库编号为 0, 各涂装作业场地编号为  $i$  ( $i=1, 2, \dots, k$ ), 定义变量如下:

$$x_{ijs} = \begin{cases} 1, & \text{车 } s \text{ 由 } i \text{ 驶向 } j \\ 0, & \text{否则} \end{cases} \quad y_{is} = \begin{cases} 1, & \text{点 } i \text{ 的货运任务由 } s \text{ 车完成} \\ 0, & \text{否则} \end{cases}$$

得到的数学模型如下所示:

$$\min Z = \sum_{i=0}^k \sum_{j=0}^k \sum_{s=1}^m c_{ij} x_{ijs} \quad (1)$$

$$\text{s.t.} \quad \sum_{i=0}^k g_i y_{is} \leq q \quad s=1, 2, \dots, m \quad (2)$$

$$\sum_{s=1}^m y_{is} = \begin{cases} 1, & i=1, 2, \dots, k \\ m, & i=0 \end{cases} \quad (3)$$

$$\sum_{i=0}^k x_{ijs} = y_{js} \quad j=1, 2, \dots, k; \quad s=1, 2, \dots, m \quad (4)$$

$$\sum_{j=1}^k x_{ijs} = y_{js} \quad i = 0, 1, \dots, k; \quad s=1, 2, \dots, m \quad (5)$$

$$x_{ijs} = 0 \text{ 或 } 1 \quad i, j = 0, 1, \dots, k; \quad s=1, 2, \dots, m \quad (6)$$

式(1)为目标函数,使得在满足所有油漆需求点的油漆用量时,汽车的总运输距离最短;

式(2)为汽车容量约束,保证每次配送时的送往各需求点运输量都不超过一辆汽车的最大运量;

式(3)使得每个油漆需求点的运输任务仅由一辆车完成,所有运输任务则由  $m$  辆车完成;

式(4)和式(5)限制了对某一涂装作业点的到达和离开的汽车有一辆且仅有一辆;

式(6)为有关参数的取值范围。

### 1.3 遗传算法求解

#### 1.3.1 遗传编码

为便于计算机处理,本文采用符号编码法。解向量可编成一条长度为  $(k+m+1)$  的染色体:  $(0, i_1, i_2, \dots, i_k, 0, i_j, \dots, i_k, 0, \dots, 0, i_p, \dots, i_q, 0)$ 。在整条染色体中,自然数  $i_j$  表示第  $j$  个配送点。0 的数目为  $m+1$  个,代表配送中心,并将编码分为  $m$  段,形成  $m$  个子路径,分别表示由  $m$  辆车完成所有运输任务。染色体编码解释为:第一辆车从配送中心出发,依次经过  $i_1, i_2, \dots, i_s$  配送点后回到配送中心,形成了子路径 1;第 2 辆车也从配送中心出发,依次途径  $i_j, \dots, i_k$  配送点后回到配送中心,形成子路径 2,其他同此。这样,  $m$  辆车依次出发,完成所有运输任务,构成  $m$  条子路径。如染色体 0125043079860 表示由三辆车完成 9 个配送点运输任务的路径安排:

子路径 1: 配送中心  $\rightarrow 1 \rightarrow 2 \rightarrow 5 \rightarrow$  配送中心

子路径 2: 配送中心  $\rightarrow 4 \rightarrow 3 \rightarrow$  配送中心

子路径 3: 配送中心  $\rightarrow 7 \rightarrow 9 \rightarrow 8 \rightarrow 6 \rightarrow$  配送中心

#### 1.3.2 适应度函数

设每条染色体适应度为:  $F=3000/L$  (此处取 3000,也可以取别的一个任意整数,只要方便比较即可),  $L$  为每个染色体内各条路径的总长度。取惩罚函数<sup>[2]</sup>:

$$P = \begin{cases} (V - V_a)/V_a, & \text{当 } V_a > V \\ 0, & \text{当 } V_a < V \\ 1, & \text{当 } F > 1 \end{cases}$$

$V_a$  为车辆最大的允许运载数量,  $V$  为每个染色体内的一条可能路径内的需要运输量的总和。最终的每个染色体的适应度函数为:

$$Fitness = (1 - P) * F$$

#### 1.3.3 选择算子

通常所用的选择函数一般为比例选择算子。本文采用轮盘赌方法随机产生一个选择因子,与关联适应度结合选择出目标染色体。将每代种群的染色体中适应度最大的染色体直接复制,进入下一代。种群中其他染色体按其适应度的概率分布,采用轮盘赌的方法,产生子代。这样既保证了最优者可生存至下一代,又保证了其余染色体可按生存竞争的方法生成子代,使得算法可收敛到全局最优。

#### 1.3.4 交叉算子

为提高染色体的多样性和进化速度,本文采用边重组交叉方法<sup>[2]</sup>,具体方法如下:

①从巡回路线  $T_x$ 、 $T_y$  中选出所对应的邻接配送点表  $A_k$  ( $k=1, 2, \dots, n$ )。

②设定新巡回路线  $T_x$  的出发点为  $t_1^{x'} = t_1^x$ , 并设置计数器  $i=1$ 。

③记  $t_1' = t_1^x$ , 并从所有邻接配送点表  $A_k$  ( $k=1,2,\dots,n$ ) 中将  $t$  删除。

④从  $t$  所对应的邻接配送表  $A_t$  中随机选取一个配送点  $p$ , 以该配送点作为新的巡回路线  $T_{p'}$  要访问的下一个配送点  $t_{i+1}^x = p$ 。

⑤更改计数器  $i=i+1$ 。如果  $i=n$ , 则新巡回路线  $T_x'$  已完全确定, 转向第⑥步生成另外一条新巡回路线; 否则, 转回第③步确定新巡回路线  $T_x'$  的下一个配送点。

⑥用巡回路线  $T_y$  代替  $T_x$ , 重复上述, 就可完全确定另一条新巡回路线  $T_y'$ 。

以 10 个配送点为例, 若给出两条巡回路线  $T_x$  和  $T_y$ , 各个邻接配送点的初始值为:

$A_A = \{C, D\}, \quad A_B = \{D, H, G, C\}, \quad A_C = \{E, A, B\},$   
 $A_D = \{A, B, E\}, \quad A_E = \{G, C, D, J\}, \quad A_F = \{H, I, G\},$   
 $A_G = \{J, E, F, B\}, \quad A_H = \{B, F, J, I\}, \quad A_I = \{F, J, H\},$   
 $A_J = \{I, G, E, H\}.$

根据算法产生的子代巡回路线  $T_x'$  的过程如下:

$T_x = \{A D B H F I J G E C\}$

$T_y = \{B C A D E J H I F G\}$

$\rightarrow (A \square \square \square \square \square \square \square \square) \quad (\text{从 } A_A = \{C, D\} \text{ 选取 } D)$

$\rightarrow (A D \square \square \square \square \square \square \square \square) \quad (\text{从 } A_D = \{B, E\} \text{ 选取 } E)$

$\rightarrow (A D E \square \square \square \square \square \square \square \square) \quad (\text{从 } A_E = \{G, C, D, J\} \text{ 选取 } C)$

$\rightarrow (A D E C \square \square \square \square \square \square \square \square) \quad (\text{从 } A_C = \{B\} \text{ 选取 } B)$

$\rightarrow (A D E C B \square \square \square \square \square \square \square \square) \quad (\text{从 } A_B = \{H, G\} \text{ 选取 } H)$

$\rightarrow (A D E C B H \square \square \square \square \square \square \square \square) \quad (\text{从 } A_H = \{F, J, I\} \text{ 选取 } F)$

$\rightarrow (A D E C B H F \square \square \square \square \square \square \square \square) \quad (\text{从 } A_F = \{I, G\} \text{ 选取 } G)$

$\rightarrow (A D E C B H F G \square \square \square \square \square \square \square \square) \quad (\text{从 } A_G = \{J\} \text{ 选取 } J)$

$\rightarrow (A D E C B H F G J \square \square \square \square \square \square \square \square) \quad (\text{从 } A_J = \{I\} \text{ 选取 } I)$

$\rightarrow (A D E C B H F G J I) = T_x'$

### 1.3.5 变异算子

通过变异可增加染色体的多样性。本文采用换位变异法<sup>[2]</sup>, 策略是随机交换 2 个基因的位置。在变异后, 需要用交叉算子的第 1.3.4 步操作整理子代, 以保证可行性。

## 2 算例验证

A 公司有一个油漆仓库, 需要向 7 个涂装作业地点配送油漆, 油漆仓库和 7 个涂装作业地点分别命名为: C 和 A、B、D、E、F、G 和 H。7 个点距离仓库的相对距离见表 1。A 公司配置 1 辆车进行油漆配送, 该车最大运量是 1000L。

为使配送油漆时成本最小, 针对每天的油漆配送量规划配送路径最小的配送方案建立模型。为了简化计算, 假设: (1) 油漆需求的时间, 即配送时间没有具体要求; (2) 每个点不同 WO 所产生的油漆需求不区别品种, 仅考虑所有 WO 的油漆总数量进行配送。(即不同品种的油漆, 只要是同一个需求点, 即合并起来一起送货); (3) 允许将 1 个 WO 的需求分两次进行送货 (当总数量超过 1 辆车的最大运量时, 允许将某个 WO 的需求分两次进行送货)。为实现配送, 还需要满足以下前提: 从仓库向每个需求点送货时, 用一辆车配送。每个点的位置和油漆需求量已经确定且不变, 每辆车的载重量一定 (最大载重量 1000L), 其一次配送的最大行驶距离一定。要求合理安排车辆配送路线, 使运送总的路径 (目

标函数的 Z 值) 最短。

表 1 各需求点之间以及各需求点与仓库之间距离列表

	C	A	B	D	E	F	G	H
C		5	4.5	4	7	6	5.5	10
A			2	2.5	3	1.5	6	7
B				3	5	4.5	6	3
D					4	8	4	2
E						5	6	7
F							3	4
G								7
H								

配送模型需满足: (1) 每条配送路径上各需求点的油漆需求量之和不超过配送车辆的载重量; (2) 每条配送路径的长度不超过配送车辆一次配送的最大行驶距离; (3) 每个需求点的油漆需求必须满足, 且只能由一辆配送车送货。根据以上原则整理后的油漆需求表如表 2 所示。

表 2 各点油漆需要配送的数量

地点	实际需求量	需要规划的配送量
A	160L	160L
B	1950L	950L
D	410L	410L
E	2790 L	790L
F	550 L	550L
G	2600 L	600L
H	8360 L	360L

根据上述遗传算法编制了 VB.NET 程序, 对本例给出的从一个油漆仓库使用 1 辆汽车对 7 个需求点进行送货的物流配送路径优化问题进行实验计算。遗传算法参数为: 群体规模为 20, 交叉概率和变异概率分别取 0.95 (通常的交叉概率选择范围为 0.4~0.99<sup>[2]</sup>) 和 0.05 (通常的变异概率选择范围为 0.0001~0.1<sup>[2]</sup>), 进化代数为 50, 变异时基因换位次数随机选取。经过遗传进化, 获得最优配送路径为: FGHCCABDE, 最短配送距离为 47km。结果表明, 本例中相关遗传算法参数的选择范围合理, 参数的变化不会对计算结果造成很大的影响; 应用该模型可以快速产生最短配送距离的配送路径, 为现场油漆配送管理提供有力支持, 能实现油漆准时配送, 保证涂装生产的顺利进行。

3 结 论

论文研究了采用遗传算法进行配送路径优化方法, 解决了涂装生产所需油漆的最短距离配送问题, 在实践中具有较强的应用价值, 可有效减少涂装生产过程中油漆配送不及时导致的等工问题, 降低油漆配送的成本, 同时也为船厂其他零件的厂内物流最优化配送提供了可参考的解决方案。本方案也可

为其他船厂实施准时化油漆配送提供有效的参考方法。

## 参 考 文 献:

- [1] 张明华. 精益造船模式研究[D]. 哈尔滨工程大学博士学位论文, 2005. 1.
- [2] 周明, 孙树栋. 遗传算法原理及应用[M]. 北京: 国防工业出版社, 1999. 6.
- [3] 蓝青松, 徐广卿. 从传统运输迈向现代物流[J], 上汽销售, 2003, (8): P18-20.
- [4] 郎茂祥. 物流配送车辆调度问题的模型和算法研究[D]. 北方交通大学, 2002.
- [5] 唐坤. 车辆路径问题中的遗传算法设计[J]. 东北大学学报(自然科学版), 2002, 28(1): 66—70.

# Study on the Paint Distribution Optimization of Paint Application in Shipyard

YANG Lian-sheng<sup>1,3</sup>, ZHANG Zhi-ying<sup>2</sup>, LI Zhao-gang<sup>3</sup>, LIU Jian-feng<sup>3</sup>

(1.School of Mechanical Engineering, Shanghai Jiaotong University, Shanghai 200240, China;

2. College of Mechanical Engineering, Tongji University, Shanghai 200092, China;

3.Shanghai Waigaoqiao Shipbuilding Co. Ltd., Shanghai 200137, China)

## Abstract

Paint application is one of the important taches in modern shipbuilding, the use and the management of the paint is an important part of the paint application management. Now, the management of the coat among the shipyards in our country is only on the primary stage, the paint distribution is out-of-order, which is easy to cause break-off of the paint supply, and to interrupt the Just-In-Time production. In this text, the characters of the paint application and the management of paint distribution are studied, a math model is astablished on the basis of the MILKRUN principle, than the Genetic Algorithms(GA) is used to find the answer. The single coding and the side-reorganization crossing arithmetic operators is taken use of. The result shows that the model is valid, as well as it is able to reduce the distribution cost and to give support to the shipbuilding.

**Key words:** painting application; painting; distribution, shipbuilding

## 作 者 简 介

杨连生 男, 1978 年生, 硕士, 工程师、经济师。主要从事涂装计划管理工作。

张志英 男, 1971 年生, 博士、副教授。主要从事机械与动力工程工作。

李兆刚 男, 1970 年生, 高级工程师。主要从事配套工作。

刘建峰 男, 1964 年生, 博士, 高级工程师。主要从事科技和精度管理工作。