

# 中小型船厂的建造计划管理及优化方法研究

陈宁 曲浩

江苏科技大学 船舶与海洋工程学院, 江苏 镇江 212003

**摘要:** 针对中小型船厂,以加强建造计划管理为目的,分析船舶建造计划管理中涉及的相关问题,详述设计计划与生产计划建立的过程及彼此的关系,利用累计负荷和 PERT 网络方法给出对计划进行动态控制与合理优化相应的结果。研究表明,建造计划管理从整体上可控制船舶的建造节奏,使复杂过程以系统和有序的方式进行。

**关键词:** 船舶建造; 计划管理; 动态控制

中图分类号: U673.2

文献标志码: A

文章编号: 1673-3185(2009)01-77-04

## Management and Optimization of Building Program for Medium/Small Size Shipyards

Chen Ning Qu Hao

School of Naval Architecture and Ocean Engineering, Jiangsu Univ. of Sci. and Tech., Zhenjiang 212003, China

**Abstract:** With the aim to improving planned management for the small and medium size shipyard, this paper has a target to build a program, analyzes the problems concerned with shipbuilding planned management, elaborates the planning-making process, and relationship of each other, using cumulative load and PERT net gives the corresponding ways to control dynamically and optimize the planning, this study shows that the program of planning optimization can make the complex process running in an orderly and systematic way.

**Key word:** shipbuilding; planning management; dynamic control

## 1 引言

随着世界造船市场需求量的增加和我国政府对船舶行业的支持和推动,国内建起了大批的中小型船厂。对于这类船厂,由于经验上的缺乏,在船舶建造的管理上非常混乱,生产效率极低,造成大量人力和财力资源的浪费。计划管理是船舶建造管理的核心,通过建立合适的计划,将复杂的设计过程和生产活动有序地联系在一起,能够有效地降低成本,缩短工期<sup>[1,2,3]</sup>。但是一个优秀的计划体系,必须要与船厂的实际情况相吻合,虽然一些大的船厂能花费巨资建立自己的计划体系,但对于中小型船厂来说,这种计划体系不适合自己的生产和运作方式,显然不能进行生搬硬套,必须在探索中建立起适合自己的计划体系。本文依据笔

者近年来在中小型船厂进行船舶监造过程中所了解的国内中小型船厂的建造情况,围绕中小型船厂计划建立过程中的船舶建造标准时间估计、设计计划、生产计划、物资需求计划的建立以及计划的动态控制方法进行分析,给出了中小型船厂编制建造计划的优化方法。

## 2 计划的建立

### 2.1 设计计划的建立

#### 1) 技术部门组织结构的划分和人员的配置

对于中小型船厂来说,初步设计和详细设计通常都由其他专业的设计公司来完成,而企业只进行生产设计,借鉴国外的经验,可以把设计部门由原来按照专业设置的船、机、电体制改为按区域

收稿日期: 2008-11-12

基金项目: 江苏省教育厅基金资助项目(苏科教[2004]12号)

作者简介: 陈宁(1963-),男,副教授,硕士。研究方向:船舶动力系统设计与虚拟建造技术。E-mail:ecsi\_chen@163.com

设置,对每个大的区域配置相应的设计人员,按照区域进场施工的先后顺序排列出图计划。同时由于设计人员的流动性,对许多中小型船厂来说,新的设计人员的比例非常高,因此对熟练的设计人员和新手要进行合理的搭配,在工作的分配上也要考虑工作的复杂程度和难易情况,进行合理的分配。

### 2) 设计计划的建立

设计计划的建立要依据生产计划中各个分段在场地施工的先后顺序,早进场的分段,在出图计划上也要提前,并且要尽量保证施工的完整性,减少分段合拢后的工作量。生产设计开始的前提必须是详细设计已经完成并且通过船东和船级社的认可,在通常的情况下设计图纸的认可需要相应的时间,不同的船级社和船东有不同的要求,审图的周期也不尽相同,这些可以通过与船东和船级社的沟通来获得相应的信息。对于一个区域来说,要根据生产计划的时间节点和设计人员的工作负荷以及设计的合理顺序进行工作的分配,首先应当完成的是船体结构的套料图和施工图,然后在管路系统原理图和电气原理图完成的情况下,可以进行管系和电缆托架的放样工作,但管系放样的另一个前提是设备和附件的样本要及早的提供,而且管系和电缆托架放样要在整个区域的范围内进行整体的协调后,在没有互相的干涉,布置也比较合理的情况下才能出图。

## 2.2 生产计划的建立

### 1) 分段场地的安排原则

分段场地的安排与建造计划直接相关,中小型船厂由于场地的限制,不可能一下子就将所有的分段同时开始建造,只能根据场地的实际情况,进行有计划的安排。国内很多船厂制造场地安排非常混乱,降低了场地的利用率,也很难管理。分段场地的安排要充分考虑分段的具体形状,采用梯形的布置可以更有效地利用场地的面积,对于单层的分段,占用与分段投影面积相当的场地就足够,而对于双层的分段要给予两倍的面积用于上下两层钢板在平面上的拼板和组装小构件。同时还要考虑分段进场的顺序、分段堆放的场地、分段的合拢顺序,分段的吊装等等,对于先进场的分段在设计计划上也要先设计。

### 2) 建造区域的划分

船体制造区域的划分,要结合船厂实际的能力,不能一概而论。总体来说船舶区域划分主要是根据船体的基本结构形式、分段划分和总段组装

的范围及综合考虑舾装件的密集程度、设计工作量、劳动力的分配、设计出图计划、生产程序等要素后制定出来的,它与计划的建立直接相关。对1艘万吨左右的油船来说,大区域的划分通常为机舱区域、泵舱区域、艏部区域、艉部区域、上层建筑区域、货舱区域。为了设计工作和生产管理的平衡,还要将大区域划分为小的区域。泵舱和艏艉部区域一般较小,可以同时作为独立的小区域,而机舱区域和上层建筑区域通常以层为单位进行划分,货舱可根据油舱数量分为左右对称的几个区域以及双层底和边舱区域。

### 3) 生产计划的建立

生产计划建立要根据合同中规定的交船日期,确定几个大的节点,包括交船计划、码头试验和试航计划、码头舾装计划、船台大合拢计划、区域建造计划。其中船台大合拢计划是整个生产计划的关键,而船台大合拢计划的准确性主要依靠区域建造计划。区域建造计划的建立可以采用下文介绍的工期和费用优化的方法,将区域建造所涉及到的工程进行分解,估计相应的工作的标准时间(方法见第3节)和费用率,建立PERT网络<sup>[4]</sup>,运用相应的优化方法,在保证工期的情况下将费用尽可能地降低。生产计划的安排要做到细致有序,对施工的各个环节也要考虑周到,保证工艺的正确性,避免施工的重复和失误。

## 2.3 物资需求计划

船舶在建造过程中需要大量的物资,大到主机发电机,小到螺栓,这些物资的及时到位,是保证生产连续性的关键因素之一。物资需求计划必须充分运用托盘集配管理,由设计部门按照区域建造的方式编制托盘信息,交给采购部门进行订购,以保证生产计划中每个区域建造的时间节点。物质需求计划的建立要注意以下几点<sup>[5]</sup>:

1) 对于一些高强度的特殊材料钢材,由于工艺制造上的难度,很多国内的钢厂没有能力生产出来,而国外的钢厂订货、生产周期、运输的过程都要花费很长的时间,所以在设计之初就应当仔细查看详细设计中图纸的要求,及早订货。

2) 一些重要设备,如主机、发电机、控制台、轴系、舵桨等,对于不同船舶的用途,船东经常提出一些特殊的要求,一般都需要生产厂单独设计,这种设备生产周期通常也都很长,也需要及早订货以保证及时供货。

3) 对于普通的舾装件和标准件,由于需求量比较大,而且需要在生产设计完成后才能有准确

的数量,所以这些材料的订货可以分批次订购。

物资需求计划要进行严格的控制,尤其是对严重影响后续工作的一些重要物资的供货情况,要对生产厂进行有效跟踪,建立纳期预警机制,以防范可能导致的对生产的延期。

### 3 船舶设计和建造时间的估计

对于设计和建造时间的估计可以采用负荷法积累原始数据<sup>[5,6]</sup>,通过建立设计和建造的标准时间来确立设计和建造计划。即将一定时间段设计部门或建造部门的所有设计人员或建造人员的劳动力负荷(以工时量为单位)相加后求平均值,所求得的价值称为“算术平均负荷”(TL<sub>m</sub>)。

其计算按下式进行:

$$TL_m = \frac{1}{n} (TL_1 + TL_2 + \dots + TL_n)$$

$$TL_m = \frac{\sum_{i=1}^n TL_i}{n}$$

式中,  $\frac{TL_1 \cdot TO_1 + TL_2 \cdot TO_2 + \dots + TL_n \cdot TO_n}{n}$  = 劳动

力的算术平均负荷; TL<sub>i</sub> 为一定时期内设计或建造人员 i 的计划劳动力负荷; n 为该设计或建造部门的设计或建造人员个数。

作为设计或建造计划的制定和管理者,关注的往往不是计划或建造负荷而是设计或建造人员的实际负荷,因此就需要计算设计或建造部门劳动力的加权平均负荷(TL<sub>mw</sub>)。

其计算按下式进行:

$$TL_{mw} = \frac{TL_1 \cdot TO_1 + TL_2 \cdot TO_2 + \dots + TL_n \cdot TO_n}{n}$$

$$= \frac{\sum_{i=1}^n TL_i \cdot TO_i}{n}$$

TL<sub>mw</sub> 为劳动力的加权平均负荷; TL<sub>i</sub> 为一定时期内设计或建造人员 i 的计划劳动力负荷; TO<sub>i</sub> 为设计或建造人员 i 的劳动力负荷权值,由设计部门根据以往的设计或建造负荷统计得到, TO<sub>i</sub> =  $\frac{\text{实际负荷}}{\text{计划负荷}}$ 。TO<sub>i</sub> < 1 表示该设计或建造人员的设计或建造效率高于设计或建造部门的平均水平; TO<sub>i</sub> > 1 表示低于设计或建造部门的平均水平; TO<sub>i</sub> = 1 则表示该设计或建造人员的设计或建造效率与该工作中心的平均水平相等, TO<sub>i</sub> 随着设计或建造人员的熟练程度和设计或建造部门的平均熟练程度的改变而改变。

当所有设计或建造任务都编制了进度计划以

后,以工作部门为单位编制负荷图。

1) 计算工作部门负荷。首先对每个工作部门,按一定的周期将各设计或建造任务所需的负荷定额工时累加,获得各工作部门各周期的计划负荷需求。

例:工作部门 1 有 A、B、C、D、E、F 共 6 个工作人员,其各个周期的设计或建造负荷已确定,根据累计负荷的方式按周期累加其负荷如表 1 所示。

表 1 累计负荷表(工作部门 1 计划负荷)

负荷(以工时 为单位/h)	周期(以周为单位)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A	0	30	40	20	0	0	0	0	0	0
B	0	10	40	10	40	0	0	0	0	0
C	0	0	40	28	40	32	40	0	0	0
D	0	0	0	32	40	28	40	40	0	20
E	0	0	0	30	40	20	0	40	40	20
F	0	0	0	30	40	40	40	0	40	40
累计	0	40	120	150	200	120	120	80	80	80

除按计划产生的计划负荷工时外,还应考虑计划外实际已下达设计或建造任务产生的工作部门负荷。二者之和为工作部门总负荷。

2) 计算工作部门可用能力。每周期工作部门可用能力可用下式计算(假设设计或建造人员的劳动力负荷权值均为 1):

可用能力 = 每周期内可用天数 × 每天可用工时(假设以 1 天 8 h 工作制,即 × 8) × 工作部门人数

此例中:可用能力 = 5 × 8 × 6 = 240 h。

## 4 计划的动态控制与优化

### 4.1 计划的动态控制

由于船舶建造过程中存在着大量影响施工的不确定性因素,以及管理上的失误,施工的网络计划会不断地发生变化,这就使计划的动态控制显得尤为重要。计划的动态控制主要依靠工程进度数据的收集、施工进度的检查和分析。船舶建造过程中通常都以 1 周的时间作为周期来了解工程的实际进展情况,形成报表上报给上层管理部门,同时也要与最初计划的工期进行比较,分析实际进度与计划进度的偏差,以便采取控制措施。对于偏离了计划的进度,要找到相应的原因进行分析,避免类似事件的发生,同时寻求补救措施,如增加工人的人数或加班等,确保计划的准确实施。

## 4.2 计划的优化方法

最初的网络计划可能总是存在着很多问题,如时间超过了规定的期限,制造成本过高等。对于船舶建造这样复杂的工程项目来说,耗资巨大,人们总是希望在有限的造船周期内成本尽可能低,这就要求对网络计划进行工期和费用的优化。近年发展起来的遗传算法是模拟生物在自然环境中的遗传和进化过程而形成的一种自适应及全局优化概率搜索方法,由于它直接以目标函数值作为搜索信息,同时使用多个搜索点进行搜索,且这种概率搜索始终遍及整个解空间,能达到几乎全局最优解<sup>[7-9]</sup>,因此在多目标优化方面具有广泛的应用价值。本文以遗传算法为例,对某厂建造的1艘7 000 t油船货油区域分段建造的PERT网络计划进行优化。

### 4.2.1 模型的建立

$$\begin{aligned} \min C &= \sum \delta_{i-j} \cdot C_{i-j} \cdot x_{i-j} \\ \text{s.t. } \sum x_{i-j} - \sum x_{g-k} &\leq \sum t_{ei-j} - \sum t_{eg-k} \\ \sum x_{i-k} - \sum x_{g-k} &\leq \sum t_{ei-j} - \sum t_{eg-k} + \delta_i \cdot \lambda_{ai} \\ 0 &\leq x_{i-j} \leq b_{i-j}^s \end{aligned}$$

式中, $\delta_{i-j}$ 为工作*i-j*的方差, $C_{i-j}$ 为单位时间直接压缩费用; $x_{i-j}$ 为工作*i-j*的压缩时间; $x_{i-j}, t_{g-k}$ 分别为关键线路上的*i-k*的压缩时间和平均持续时间; $x_{g-k}$ 和 $t_{eg-k}$ 分别为非关键线路上的*i-k*的压缩时间和平均持续时间; $\lambda_{ai}$ 为*a*水平下的第*i*个闭合圈上的常数。

### 4.2.2 优化实例

利用上文中提到的计算标准时间的方法,分别得出 $t_o, t_m, t_p$ 的时间如表3,规定工期为44天,建立该分段PERT网络如图1所示。

表3  $t_o, t_m, t_p$ 的时间表

工作	任务名称	$t_o$	$t_m$	$t_p$	$t_e$	$\delta$	$b^s$	$C$ 万元/天
1	物资准备	7	11	13	11	0.552	3	0.20
2	钢料加工	5	6	7	6	1.161	1	0.35
3	平面制造	7	9	11	9	0.667	2	0.40
4	分段舭装件制造	7	8	9	8	0.772	2	0.25
5	框架制造	5	6	7	6	1.213	1	0.30
6	分段结构	15	17	19	17	0.772	3	0.40
7	托盘集配	4	6	8	6	0.576	1	0.25
8	分段涂装	7	9	11	9	1.000	3	0.35
9	分段舭装	8	9	10	9	0.883	4	0.25
10	分段合拢	3	4	5	4	1.000	1	0.45

选取初始种群为80,交叉概率为0.4,变异概

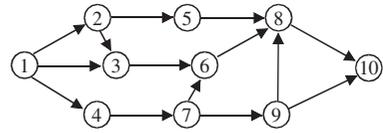


图1 分段建造的PERT网络

率为0.06,迭代次数为100次,代入编制好的遗传算法程序中,选择其中较理想的解为:

$$t = \{9, 6, 8, 8, 6, 15, 6, 8, 8, 4\}$$

相应的最低的费用为 $C = 25.00$ 万元,同时工期为44天,在选取种群规模较小和迭代次数也较少的情况下,计算机在几分钟之内就会得到较理想的解,很方便中小型船厂进行网络计划的优化。

## 5 结语

船舶建造的计划管理涉及到船舶建造的方方面面,从整体的角度控制了建造的节奏,使复杂的过程以系统和有序的方式进行。对于中小型船厂必须摆脱盲目生产的习惯,用科学的方法建立起对自身适用的计划体系,将设计、生产、采购等环节相互联系起来,从而确保每个过程都在可控制的范围内。只有通过不断地寻求最优化的计划管理,才能在资源约束的条件下,实现人力的最佳安排,实现作业顺序的最佳组合,从而取得最好的生产效益。

### 参考文献:

- [1] 现代造船工程[M].“现代造船工程”编写组.哈尔滨:哈尔滨工程大学出版社,1998.
- [2] 刘建峰,应长春.船体分段制造日程计划的模拟与优化[J].中国造船,2000,41(4):13-21.
- [3] 陈强.生产中心造船模式的研究与应用[J].造船技术,2000(3):5-7.
- [4] 曹吉鸣,徐伟.网络计划技术与施工组织设计[M].同济大学出版社,2000.
- [5] 陈宁,潘徐杰.利用蒙特卡洛法对纳期风险进行仿真评估[J].计算机仿真,2007,24(7):276-279.
- [6] 陈宁,张亚,曲浩.船舶生产设计的劳动力负荷问题研究[J].造船技术,2007(2):4-8.
- [7] 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.
- [8] 田军,寇纪淞,李敏强.利用遗传算法优化施工网络计划[J].系统工程理论与实践,1999,19(5):78-82,109.
- [9] 张亚,陈宁.船舶生产设计日程管理系统研究[J].江苏科技大学学报,2006,20(2):17-21.
- [10] 陈宁,王军,高震,等.船舶生产设计与制造过程中决策协同方法的研究[J].造船技术,2005(3):6-7,37.