

# 船舶建造的计划管理及优化方法

江苏科技大学机械与动力工程学院 江苏 镇江 212003 陈宁 曲浩

## 摘要

本文针对中小型船厂,分析了船舶建造计划管理中涉及的相关问题,详述了设计计划与生产计划建立的过程及彼此的关系,给出了对计划进行动态的控制与合理的优化相应的方法。

**关键词:** 船舶建造 计划管理 动态控制

## 0 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的混乱,生产效率极低,造成大量人力和财力资源上的浪费。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的联系在一起,能够有效地降低成本,缩短工期。但是对于一个优秀的计划,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<sup>[1][2]</sup>。本文依据笔者近年来在中小型船厂进行船舶建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。

## 1 计划建立涉及的相关问题

### 1.1 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的利用场地的面积,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。

### 1.2 建造区域的划分

船体制造的区域划分,要结合船厂实际的能力,不能一概而论<sup>[1]</sup>。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。对一条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。

### 1.3 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>[3]</sup>，通过负荷计划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，所求得的值称为算术平均负荷( $TL_m$ )。

其计算按下式进行：

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

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

其中：  $\frac{TL_1 * TO_1 + TL_2 * TO_2 + \cdots + TL_n * TO_n}{n}$  = 劳动力的算术平均负荷

$TL_i$  = 一定时期内设计或建造人员  $i$  的计划劳动力负荷

$n$  = 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（ $TL_{mw}$ ）。

其计算按下式进行：

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

$$\text{其中： } TL_{mw} = \frac{\sum_{i=1}^n TL_i * TO_i}{n}$$

$TL_{mw}$  = 劳动力的加权平均负荷

$TL_i$  = 一定时期内设计或建造人员  $i$  的计划劳动力负荷

$TO_i$  = 设计或建造人员  $i$  的劳动力负荷权值

注：设计或建造人员*i*的劳动力负荷权值 $TO_i$ 由设计部门根据以往的设计或建造负荷统计得到， $TO_i = \frac{\text{实际负荷}}{\text{计划负荷}}$ 。 $TO_i < 1$ 则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； $TO_i > 1$ 则低于设计或建造部门的平均水平； $TO_i = 1$ 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， $TO_i$ 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

负荷（以工时为 单位：小时）	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（假设以一天8小时工作制，即\*8）\*工作部门人数

此例中：可用能力=5\*8\*6=240（小时）

③ 负荷报告。根据工作部门总负荷及工作部门可用能力可以算出每个工作部门每周期的负荷情况，确定何处（哪个工作中心）何时超过能力或低于能力，形成如表2的工作部门负荷报告。

表2. 工作部门负荷报告

工作部门号: 1										
时间 负荷 计算	周 期 (周为单位)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
超计划负荷工时	100	80	60	0	0	120	180	20	0	0
计划负荷工时	0	40	120	150	200	120	120	80	80	80
总负荷工时	100	120	180	150	200	240	300	100	80	80
可用能力	240	240	240	240	240	240	240	240	240	240
超/欠能力	140	120	60	90	40	0	-60	140	160	160
能力利用率 (%)	41.7	50	75	62.5	83.3	50	125	41.7	33.3	33.3

#### 1.4 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, 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, 首先应当完成的是船体结构的套料图和施工图, 管系的放样也可以同步进行, 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。

#### 1.5 生产计划的建立

在确定 负荷的基础上采用倒排的方法进行建立生产计划, 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。船

台大合拢计划是整个生产计划的关键，先期的工作都要根据船台大合拢计划倒排，确定各个区域建造的计划。对于每个区域，建立如分段制造计划，部件装焊计划，托盘制造计划，内场加工制造计划等等。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。

生产计划的建立要进行相应的平衡，即用工时负荷计划曲线（所谓的“S”曲线）进行平衡<sup>[1][4]</sup>。通过与已有的历史资料比较，选择与新船相似的“S”曲线，估算新船建造各个阶段的时间，同时将计划中的工作量负荷与能力工时进行比较，通过调整计划，采用“削峰填谷”的办法将负荷高峰的一部分工作转移，放到负荷较低的时间段去做。对于过高的工作量负荷，为了保证大的节点，也可以将某一部分的工作外包给其他的外协生产厂去做。

通过建立设计建造过的典型船种和船型的实际工时统计出的工程管理标准 S 曲线（见图 1）和工程管理曲线 S 曲线（见图 2），将 1 年或 2 年的每个月的各种船舶 S 曲线的负荷值叠加，就可以得出 1 年内或 2 年内各主要部门、车间的负荷分布累计图（见图 3）。即可确定超过工厂 8 小时能力线以及加班 2 小时超负荷线时，的船舶建造日程和计划。

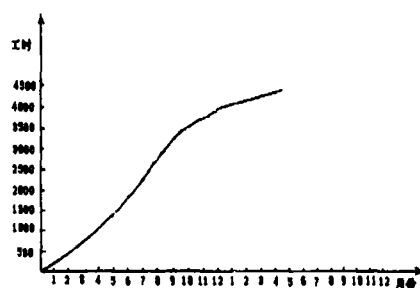


图 1. 标准 S 曲线



图 2. S 曲线

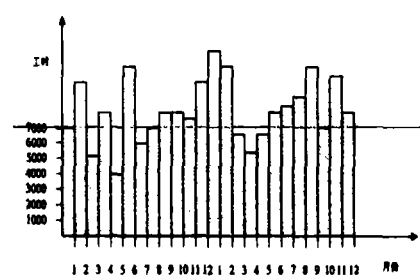


图 3. 负荷分布累计图

## 1.6 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,由设计部门编制托盘信息,交给采购部门进行订购。物资需求计划的建立要注意以下几点:

对于一些高强度的特殊材料的钢材,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的查看详细设计中图纸的要求,及早的订货。

一些重要设备,如主机,发电机,控制台,轴系,舵桨等等,对于不同的船舶的用途,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,也需要及早的订货以保证及时供货。

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分次来订购。

物资需求计划要进行严格的控制,尤其是对于能够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的跟踪,建立纳期预警机制,以防范可能导致的对生产的延期。

## 2 计划的动态控制与优化

### 2.1 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<sup>[5]</sup>,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包括以下两个方面:

(1) 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一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。施工进度检查和分析的主要内容包括:是否严格按计划要求执行,关键工作进度及对总工期是否有影响,非关键工作进度及时差利用情况,工作逻辑关系有无变化及变化情况等等。

(2) 工程网络计划的调整。根据工程的实际进度,如果偏离了最初的计划,就要进行工程网络计划的调整。网络计划工期调整的方法是:先对网络图上还未实施的余下工作计算出各节点的最早时间,然后与规定工期相比,如果出现工期推迟的情况,应按照规定工期计算各节点的最迟时间,通过缩短负总时差的工作,实现网络计划的工期调整。

### 2.2 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优化,通过利用时差,不断去调整和改善网络计划的最

初方案，在满足既定条件下，按工期和成本为衡量指标来寻求最优方案，做出最理想的进度安排。

从船舶建造的成本构成来看，可以分为直接成本和间接成本。所谓直接成本是指在造船活动中直接消耗的成本如材料成本，人工成本等，间接成本是指不能直接计入成本中的费用，需要按一定的方式折算到造船活动中，如设备磨损，管理成本，库存成本，银行利息支出等。通常直接成本会随着工期的缩短而相应的增加，而间接成本会随着工期的增加而大幅的增加，在工期延长时对总成本的影响要大很多。对网络计划工期成本优化的方法可以采用所谓的最低费用加快法，它的基本思想就是不断地从工作的持续时间和费用的关系中，找出能使计划工期缩短而又能使得直接费用增加额最少的工作，缩短其持续时间，然后考虑间接费用随着工期缩短而减少的影响，把不同工期的直接费用和间接费用分别叠加，即可求出工程成本最低时相应的最优工期和工期指定时相应的最低工程成本。其优化的过程始终是在网络计划的关键线路上选择费用率最低的工作，缩短其持续时间，从而达到缩短工期的目的，见图 4 所示。

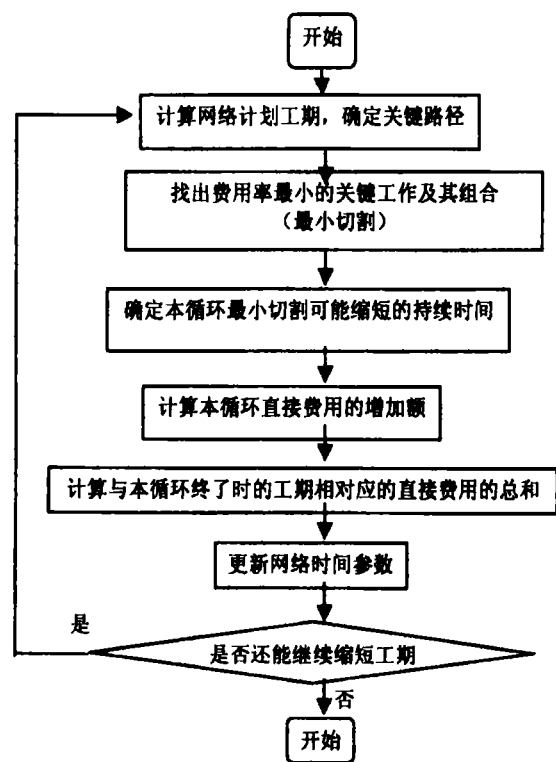


图 4 网络计划的关键线路上选择

### 3 结束语

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。只有通过不断的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. 哈尔滨: 哈尔滨工程大学出版社. 1998
- [2] 刘建峰, 秦士元. 船体分段制造日程计划的模拟与优化. 中国造船. 2000, 4
- [3] 陈宁, 张亚, 曲浩. 船舶生产设计的劳动力负荷问题研究. 造船技术. 2007.2
- [4] 陈强. 生产中心造船模式的研究与应用. 造船技术. 2000,3
- [5] 曹吉鸣, 徐伟. 网络计划技术与施工组织设计. 同济大学出版社. 2000