

文章编号: 1006 - 1088(2005)03 - 0001 - 05

# 海洋平台的精度控制

孔令海, 窦培林, 袁洪涛

(江苏科技大学 船舶与海洋工程学院, 江苏 镇江 212003)

**摘要:** 造船中的精度控制技术是以船体建造标准为基本原则, 通过科学管理的方法与先进的工艺手段对造船的全过程进行尺寸精度分析与控制的一门技术。本文以造船精度控制技术为基础, 叙述了大型半潜式钻井平台在建造过程中, 其精度控制的难点及要求, 补偿量的计算, 并提出了整体精度评价的方法。最后, 具体介绍了大连新厂建造 BIN GO9000 海洋平台时的精度控制方案。

**关键词:** 精度控制; 半潜式钻井平台; 补偿量

中图分类号: P742

文献标识码: A

## Precision Control of Semi-submerged Drilling Platform

KONG Ling-hai, DOU Pei-lin, YUAN Hong-tao

(School of Naval Architecture and Ocean Eng., Jiangsu University of Science and Technology, Zhenjiang Jiangsu 212003, China)

**Abstract:** Precision control in shipbuilding is the technique which is based on the manufacture standard and the scientific management as well as the advanced technology. It can analyze and control the size precision of the ship in the whole manufacture process. The difficult points in precision control and the method of replenisher calculating in the manufacture of semi-submerged drilling platform are described on the basis of precision control technique in shipbuilding. The estimation method of whole precision is put forward. The precision control project of BIN GO9000 in DNS is introduced.

**Key words:** precision control; semi-submerged drilling platform; replenisher amount

## 0 引言

目前海上油气资源的勘探和开发是最活跃的领域, 各种结构形式的海洋平台得到了广泛的应用。由于海洋平台长期处于严酷的环境条件下工作, 一旦在生产中发生事故, 现场维修既困难又昂贵, 耽误生产则损失更大。如果在制造中有隐患存在, 在使用过程中又不易被发现, 往往就会造成整体性破坏事故, 台毁人亡的事故在世界上已发生多次。因此, 海洋平台的建造需要比较完整的产品质量检验标准和比较科学的测试手段, 在尺寸和形状公差方面, 则需要有平台制造精度标准。一般平台制造国, 都有自己的标准及相应的检查方法<sup>[1]</sup>。但在国际承包合同中, 各国多采用在国际上比较有权威的精度标准,

收稿日期: 2004 - 08 - 30

基金项目: 企业协作技术攻关项目(校编 2003101)

作者简介: 孔令海(1980 - ), 男, 江苏镇江人, 江苏科技大学助教。

主要有: DNV 标准——全部海洋结构物(挪威船级社标准); API 标准——固定式海洋结构物(美国石油学会标准); AWS 标准——全部焊接结构物(美国焊接协会标准)等。我国因制造海洋平台起步较晚,尚未制定出统一的平台建造精度标准,建造平台时通常参考船舶建造精度标准(CSQS)<sup>[2]</sup>和国外平台精度标准,在该研究领域还没有系统的精度控制工艺方法。然而在建造海洋平台时,实行精度控制是为了确保海洋结构物的尺寸、形状精度及焊接质量。因此,在发展初期建立较完善的精度控制体系,对将来我国海洋平台的建造会起到促进作用。

## 1 精度控制

从宏观上讲,海洋平台制造的精度控制应包括以下内容<sup>[3]</sup>: 研究、制定和修改精度标准; 确定和分配公差; 确定合理的施工工艺和施工标准; 研究和确定合理的结构和节点形式; 设计和选择工具夹,改进设备;

严格按照精度计划进行施工和检验。精度控制是一项复杂的系统工程,它贯穿于产品制造的整个过程中,并且每个阶段相互牵连,相互影响。当然,精度控制技术的最终成型是一个不断的试用、修正和完善的有限循环过程(如图 1 所示)。

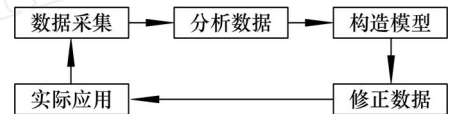


图 1 精度控制完善简化流程图

Fig. 1 Simplified flow chart of precision control

### 1.1 海洋平台精度控制的特点和方法

由于结构形式的不同,海洋平台建造的精度控制与船舶相比,具有船舶精度控制的特点<sup>[4]</sup>,同时还具有其自身的难点: 海洋平台使用的材料级别较高,厚度较大,焊接和校正变形都比较困难,尤其是水平支撑管分段的椭圆度控制。甲板总段的面积大、支撑点少、弹性变形大、又多是空中作业。平台的船体线型比较简单,但平台的两个浮体同时进行合拢,即要求相互独立又必须统一。合拢阶段立体作业的分段多,不少分段的重心游离于分段乃至平台以外。这些都对海洋平台建造的精度控制提出了新的要求,确定平台精度控制内容不仅包括了常规的统一划线、设置网络线、余量处理方案等,而且对其合拢提出了一些特殊要求: 要求平台的分段(总段)吊装合拢过程中,两个浮体必须使用一条共同的基线,确定平台合拢时一个方向上只能有而且必须有一个共同的基准。要求合拢时不仅要控制基线的挠曲度,两个浮体中心线偏差,平台的中心线偏差,平台的长、宽、高等常规项目,而且重点要考虑与两个浮体、立柱以及甲板相关联的水平及斜支撑管分段合拢缝处的三维坐标。确定平台合拢时在高度方向上使用多个基准平面,分多个层次进行控制,以确保重要结构的对位精度,同时必须确定第一基准面,保证水平支撑管与两个浮体间的联接达到设计要求。加强过程控制,强调分段制作精度控制的重要性,对合拢的关键分段采取特殊的控制要求,并研究出相应的控制办法,如采用激光经纬仪划线、多次测量、及时反馈、制订合理的装配及焊接工艺等。

### 1.2 补偿量的计算

在平台建造的过程中,影响板材、型材尺寸发生变化的因素非常多,其中主要的是焊接变形问题。考虑到焊接收缩量系统特性,可采取余量补偿的措施,即在焊接前加放一定尺寸的补偿量,使得焊后的工件尺寸达到建造精度标准的要求。由于这个收缩量具有随机的特性,且随机误差也具有一定的统计特性,所以可通过试验找出一些经验的估计结果,用统计分析的方法找出尺寸变化的规律,以一维补偿量的分析为例,设系统误差的补偿量为  $X$ ,随机误差的补偿量为  $Y$ ,总补偿量为:

$$= \sum_{i=1}^p i = \sum_{i=1}^p \left( \sum_{j=1}^n X_{ij} + \sum_{k=1}^m Y_{ik} \right)$$

式中:  $i$ ——第  $i$  道工序补偿量;  $n, m$ ——第  $i$  道工序内系统误差和随机误差的项数。求取补偿值的工作,实际上就是先进行各项系统误差和随机误差的合成,然后将合成误差的负值取为预留的补偿值,对

加工过程中的尺寸进行校正,以保证合拢精度,达到无余量上船台的目的。船台(船坞)总装向总段制作提出具体要求,总段向分段提出具体要求,分段向部件或组合件提出具体要求,最后落实到零件上规定出具体的精度要求。这些具体要求包括下料、余量的切割范围、初余量设计值、余量的切割时机、具体补偿值的大小等(如图2所示)。

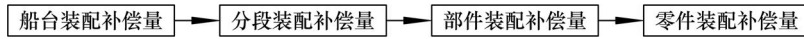


图2 补偿量反推示意图

Fig. 2 Reversed calculation sketch map of replenisher

### 1.3 整体精度的评价

要对产品的整体精度作出评价,可设定一些独立参数作为评价指标。从整个过程来讲,它们是变量,而一旦通过一定方式将它们确定下来,产品的整体精度就可以随之完全确定下来。

将每道工序的精度情况作为一个变量,则全部评价变量可用  $n$  维向量的形式表示为:

$$X = [x_1, x_2, \dots, x_i, \dots, x_n]^T$$

以  $n$  个独立变量为坐标轴形成的  $n$  维向量空间是一个  $n$  维实空间,这个空间也可称为工序精度评价空间。评价空间中的一个点对应着工艺过程精度的一种评价结果。

对精度的整体评价不仅包括产品几何精度的最终水平,还包括加工过程中的工艺精度,即评价内容

$$q_{ij} \text{ 写成矩阵的形式为: } \begin{bmatrix} q_{11} & q_{12} & \dots & q_{1n} \\ q_{21} & q_{22} & \dots & q_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ q_{m1} & q_{m2} & \dots & q_{mn} \end{bmatrix} \quad i = 1, 2, \dots, n \quad j = 1, 2, \dots, m;$$

这里共有  $n$  道工序,每道工序的评价从  $m$  个方面进行。按照各道工序不同项目对产品最终精度影响程度的不同,可将各个指标取以不同的权重  $w_{ij}$ 。对于关键工序,权重系数取较大值,反之,可取较小的值,甚至有些工序的有些项目根本无须参与评价,则  $w_{ij} = 0$

$$\text{于是,矩阵可写为: } \begin{bmatrix} w_{11} q_{11} & w_{12} q_{12} & \dots & w_{1n} q_{1n} \\ w_{21} q_{21} & w_{22} q_{22} & \dots & w_{2n} q_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ w_{m1} q_{m1} & w_{m2} q_{m2} & \dots & w_{mn} q_{mn} \end{bmatrix}$$

定义精度指数为  $Q$ ,则  $Q = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m w_{ij} q_{ij}$ ,可将精度指数  $Q$  作为系统精度的综合评价指标。为了保证平台的尺寸精度,除需制订比较完善的精度标准外,还需要制订一些标准操作规程。就是为平台制造中同类、重复的操作(平台制造中这种操作特别多),规定正确的、能保证制造精度的施工程序和施工方法,并且要求工人严格按照规程施工。操作规程的标准化,不仅能保证施工质量,而且可提高生产效率。

## 2 BINGO9000 海洋平台的精度控制

### 2.1 BINGO9000 海洋平台概况

BINGO9000 半潜式海洋平台是 1998 年由挪威 Drilltech ASA 设计的目前世界上先进的第五代海洋工程产品,大连新船重工承建了平台船体的建造,这也是大连新厂首次承建如此高附加值的海洋工程产品。平台船体建造的精度控制是质量控制的基础,它的成功与否直接关系到平台船体的建造能否顺利进行,直接关系到建造周期和成本,所以精度控制不可避免地成为贯穿于整个平台船体建造过程的关键。

BINGO9000 平台从结构上可以分为 4 大部分:2 个浮体,6 个立柱(含基础),2 层甲板及 10 根支撑管(如图 3 所示)。平台的主要结构参数为<sup>[5]</sup>:

平台全长:105 m(未含锚支架)

平台总高:38.25 m

平台宽度:71 m(未含锚支架)

浮体长:105 m(未含锚支架)

浮体宽:16 m

浮体高:12.25 m

立柱:6根,均为12 m×12 m

支撑管:14根,其中水平支撑管6根,直

径为3.0 m,板厚42 mm,45 mm,60 mm

斜支撑管8根,直径为1.7 m,板厚25 mm

其中两个浮体中心线间距为55 m,立柱间距35 m。

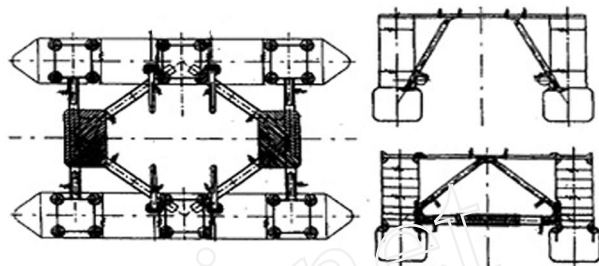


图3 BINGO9000 平台结构示意图

Fig.3 Structural sketch map of BINGO9000

从建造的角度讲,和船舶产品比较而言,该平台的船体线性比较简单,但其立体作业的分段多,合拢时不少分段的重心游离于分段以外,给合拢工作带来相当难度。水平支撑管部分合拢缝处板材较厚( $=50$ 、 $60$  mm),合拢阶段矫正变形对位非常困难,同时,由于有两个浮体同时建造,却只有一条公用假定基线作为基准,加之甲板总段面积大、支撑点少,弹性变形大,又是空中作业多,给平台的合拢提出了非常严格的要求,也给精度控制提出了新的课题。根据设计及建造的要求,充分考虑到平台建造的工艺性以及质量、生产等多方面因素。为了确保平台的建造精度能够得以有效的控制,为了确保平台建造顺利进行,在平台建造初始阶段,确定了平台的精度控制方案。

## 2.2 BINGO9000 海洋平台的精度控制方案

平台的精度控制方案是平台精度控制的一个重要内容,是平台建造得以顺利进行的保证。根据该平台的具体特点,主要包括了以下内容:

### 1) 平台主体精度管理要求

平台主体建造的精度控制及管理主要从统一划线、分段制作精度、合拢定位精度、无余量划线精度及余量切割、坡口切割质量等方面加以要求。对所有分段、子分段的上胎板的划线进行控制,由车间划线班进行统一划线,并就统一划线的范围及统一划线的技术要求加以控制,同时要求施工单位划线前对上胎板的对角线尺寸及边框线尺寸进行复测,并及时反馈划线班,以确保分段上胎精度。控制合拢定位精度,要求划线人员在合拢前应根据上道工序提供的分段完工数据初步拟定合拢定位方案,分段找正后,划线人员应作出检查线以便定位后检查记录,定位时应检测基准线的对合状况,作为辅助参考。同时合拢时相关人员应听从划线人员的要求,合拢数据应做好记录。此外,平台主体的精度管理要求还着重强调了控制余量切割时机及切割精度,并根据平台焊透区域多,板材厚的特点,对坡口的切割质量提出了严格要求。

### 2) 设置平台基准网络线

基准网络线是分段建造过程中的基准,在平台建造的各个阶段作出,并要求有永久性标记,便于后续阶段施工中定位和检测使用。分段、子分段用线锤(或经纬仪)检查准线对合状况,要求偏差 $<1.5$  mm,分段完工后,准线的偏差状况应作出记录,反馈下道工序及有关部门。合拢时,要依据网络线构成的基准网络作为辅助定位参照依据,保证定位精度,找出最佳合拢方案,确保平台合拢建造精度。

### 3) 平台重要结构的安装对位线及检查线

为了保证平台建造精度,保证平台重要结构的安装对位精度,在平台分段建造的各个阶段(多在平面阶段)均要求作出相关重要结构的安装对位线及理论线同侧100 mm的检查线,以便于后续阶段施工中检查相关结构的对位情况,尽早对出现的问题进行消化,以确保建造精度。

### 4) 平台余量处理方案

平台余量处理方案是平台精度作业指导书的一项重要内容,也是平台精度控制的前提和基础,其基本方法是对平台建造进行全过程的尺寸精度分析,科学而合理地分配各阶段补偿、余量及精度要求,通

过有效地管理方法和可行的工艺方案相结合来完成平台精度管理工作。充分考虑到 BIN GO9000 平台尺寸大,结构复杂,其采用两个浮体段为基准段的双塔平行建造法以及甲板、斜撑段采用了甲板中心段嵌补形式合拢的具体情况,兼顾降低坞内合拢高空作业工作量、缩短坞内周期等因素,本平台采用了浮体、甲板无余量合拢,立柱部分局部进行有余量合拢的余量处理方案。同时,对于合拢困难的水平支撑管及斜支撑管分段全面采用了无余量合拢方案,这样的余量处理方案较好地解决了坞内合拢精度控制与合拢质量、周期的矛盾,减少了坞内合拢的高空作业量,更减少了坞内合拢的作业修正量及划线工作量,尤其是水平支撑管及甲板部分的无余量合拢更大大减少了坞内合拢工作量。

在 BIN GO9000 的建造中,精度控制的重点放在分段制造精度控制和吊装合拢的精度控制上。由于分段建造阶段的精度控制是吊装合拢装配质量控制的基础,而且合拢过程中,水平支撑管和斜支撑管对接难度最大,因此,水平支撑管和斜支撑管所在分段的制造是精度控制重点中的重点。针对这种重点分段,采用整体精度的评价方式进行校核。支撑的制造大体上有4道工序: 钢材预处理; 使用光电切割机或数控切割机进行切割; 支撑的弯曲使用立式弯板机或开式三辊弯板机; 除小部件在内场进行装焊外,其他部件的装焊绝大部分在外场进行。对于每个工序的评价从3个方面进行,分别是{精确,合格,不合格}。按照这4道工序对最终精度影响程度的不同,取以不同的权重  $w_{ij}$ ,分别是{0, 0.3, 0.6, 1}

$$\text{于是,评价矩阵可写为:} \begin{vmatrix} 0 & 0.3 \times 0.8 & 0.6 \times 0.4 & 1 \times 0.3 \\ 0 & 0.3 \times 0.2 & 0.6 \times 0.5 & 1 \times 0.5 \\ 0 & 0.3 \times 0.0 & 0.6 \times 0.1 & 1 \times 0.2 \end{vmatrix}$$

则精度指数  $Q = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m w_{ij} q_{ij} = 1.9$ ,已达到制订的工艺精度要求。

### 3 结 论

平台精度控制方案的确定是整个平台精度控制的基准,只有经过科学地分析确定出合理的精度控制方案,再配之以有效的管理和车间大力地不折不扣地执行,并随时反馈研究,加以改进,才能确保平台的精度控制得以有效地进行,才能确保平台的精度控制质量及平台的建造质量,才能确保平台的建造能得以顺利进行。

作为海洋平台工程专家系统的一部分,未来的精度控制系统将能更快速、更准确、更科学地计算海洋平台整个制造过程的补偿量,并能与生产实际相结合,动态地进行调整。随着信息技术的发展,精度控制将会在海洋平台工程中发挥越来越大的作用。

#### 参考文献:

- [1] 叶家玮. 船体建造测量及数据处理技术[M]. 广州:华南理工大学出版社,2001,12.
- [2] 冯运檀. 船体建造工艺学[M]. 哈尔滨:哈尔滨船舶工程学院出版社,1990.
- [3] 虞维明,周岳银,陈秀妹. 海洋平台的建造与维修[M]. 北京:海洋出版社,1992.
- [4] 张庆英. 船舶工程创新理论与精度控制技术[M]. 北京:人民交通出版社,2003,8.
- [5] 严锦林,窦 钧,高真所,等. Bin GO9000 半潜式钻井平台主体结构建造工艺问题研究[J]. 中国海洋平台,2001,16(2):21-24.
- [6] DAWSON T H. Offshore structural engineering[Z]. Prentice Hall INC,1983.

(责任编辑:汪时美)