

## 组块甲板片分段流水线建造工艺应用研究

## Research on the Application of the Construction Technology of the Segmental Assembly Line of the Modular Deck Panel

李俊露<sup>1</sup> 王金源<sup>2</sup> 刘玉玺<sup>2</sup> 张则青<sup>2</sup> 刘睿锋<sup>2</sup> 张亚西<sup>2</sup> 杨朝辉<sup>2</sup> 刘克东<sup>1</sup>Junlu Li<sup>1</sup> Jinyuan Wang<sup>2</sup> Yuxi Liu<sup>2</sup> Zeqing Zhang<sup>2</sup> Ruifeng Liu<sup>2</sup> Yaxi Zhang<sup>2</sup> Chaohui Yang<sup>2</sup> Kedong Liu<sup>1</sup>

1. 中船第九设计研究院工程有限公司 中国·上海 200093

2. 海洋石油工程股份有限公司 中国·天津 300191

1.China Shipbuilding Ninth Design and Research Institute Engineering Co., Ltd., Shanghai, 200093, China

2.Offshore Oil Engineering Co., Ltd., Tianjin, 300191, China

**摘要:** 随着组块甲板片建造工艺的发展,为降低建造成本,甲板片的建造质量和效率要求越来越高。论文主要通过研究在甲板片的建造过程中借鉴船厂平面分段流水线的建造工艺,进行甲板片分段流水线的方案研究,实现甲板片装焊作业的机械化和自动化。

**Abstract:** With the development of the construction technology of modular panels, in order to reduce the construction cost, the requirements for the construction quality and efficiency of panels are becoming higher and higher. This paper mainly studies the scheme of the panel assembly line by referring to the construction process of the shipyard's plane section assembly line in the process of panel construction, so as to realize the mechanization and automation of the panel assembly and welding operation.

**关键词:** 组块甲板片; 分段流水线; 建造工艺

**Keywords:** module panel; sectional assembly line; construction process

**DOI:** 10.12346/etr.v5i1.7630

## 1 引言

甲板片是海洋平台组块的主要结构,一般来说一个组块由几层甲板片组块和相关的设备设施组成<sup>[1]</sup>。随着甲板片建造工艺的发展,建造的进度、质量、连贯性越来越受重视。平面分段流水线是现代船厂实现装焊作业机械化和自动化不可缺少的重要设备,主要用于制作船舶甲板等平面分段,船舶平面分段的基面为平面,且焊缝平行分布,扶强材平行平直分布,适用于连续高效的焊接方法<sup>[2]</sup>。甲板片为平面结构,与船舶平面分段特点较为接近,因此论文主要探讨在甲板片的建造过程中借鉴船厂平面分段流水线的建造工艺,进行甲板片分段流水线的方案研究,实现甲板片装焊作业的机械化和自动化。

## 2 甲板片结构特点及生产现状

### 2.1 甲板片结构特点

甲板片主要由组合梁、H型钢、槽钢、角钢、甲板板和

栏杆附件组成,一座固定式平台组块可能包括2~5个甲板层<sup>[3]</sup>,根据组块的大小每层甲板片的重量也不等。一般地,甲板片上组合梁为P900~P1500,H型钢为H350~H700,焊接的主要坡口形式为V坡口。甲板片在结构形式上存在如下特点<sup>[4]</sup>:

①甲板片是在由组合梁、H型钢等型钢焊接而成的框架结构基础上,铺设8mm厚(一般情况下)的钢板形成的平面结构。

②每层甲板片在长宽尺寸上比较大,考虑到甲板片的结构形式、运输、吊装等因素,一般每层甲板片都需要划分多个甲板片进行预制,单个甲板片的重量最重可达到400吨。

③焊接工作量大,组合梁、型钢及甲板板之间都需要进行焊接,若不采用适当的焊接控制程序,将容易引起较大的焊接变形,也不利于精度控制。

④精度要求高,由于每层甲板片需要进行合拢,且需要保证和上下层甲板片的节点保持对应,以便于立柱与拉筋能

【作者简介】李俊露(1984-),男,中国福建龙岩人,本科,工程师,从事船舶及海洋工程企业工艺设计研究。

够准确就位进行连接,因此单片甲板片的预制精度要求较高,如立柱中心线位置与理论位置偏差在 $\pm 5\text{mm}$ 范围内。

## 2.2 甲板片生产现状

目前甲板片的建造工艺分为正造工艺和反造工艺两种,正造法相较反造法具有甲板焊接变形小,完工状态更好,无需翻身等特点。所以甲板片正造适合绝大多数的甲板片建造,在目前海洋平台组块的施工中应用较为广泛<sup>[5]</sup>。目前中国和其他国家甲板片的主要建造工艺流程如下:

- ①在生产场地根据甲板片相关加工图纸进行划线、摆放垫墩或临时支撑。
- ②根据相关图纸将所有主梁吊装就位,并点焊固定,随后在主梁上划出次梁的位置。
- ③根据设计图纸及主梁上的划线位置将次梁吊装就位,并与主梁进行点焊固定。
- ④主次梁组对完成后,开始主次梁的焊接工作,焊接原则上从中间对称向四周施焊。
- ⑤按甲板铺板图将切割完成的甲板板在焊接好的梁格上进行铺板。
- ⑥根据划线对甲板整边,舱口、吊装点等相关处甲板开孔。
- ⑦甲板板的焊接,原则上同样从中间对称向四周施焊。

以上作业流程除了甲板板焊接可以采用埋弧自动焊外,均采用人工作业,机械化、自动化程度低,而且生产质量对高素质工人依赖严重,受人为因素影响生产效率较为低下,生产成本较高,难以达到精益管理的目标。

目前,中国在海工组块建造上尚未有自动化生产设施,其他国家也仅有少部分企业在进行部分工艺流程的自动化制造的尝试。

## 3 流水线研究主要工艺原则

- ①符合现阶段生产特点,利用成熟生产工艺。
- ②利用机器减少重复的人工作业内容。
- ③提升生产质量、效率。
- ④尽量利用现有成熟智能化设备。
- ⑤推行“中间产品”标准化、专业化流水线生产。

## 4 甲板片分段流水线设计方案

### 4.1 流水线工位设置

甲板片分段流水生产线借鉴船厂分段流水线形式,以“分段建造—甲板片合拢”作为总体工艺路线,以“反造”为主体预制方式,根据中间产品的作业特点、工艺需求,设置分段装焊预制工位、合拢工位,工位附近设有材料及中间产品临时停放区,满足甲板片体从输入工件到输出产品生产全过程需求。生产线设置两个分段预制工位,一个合拢工位,分段预制工位上配置有自动装配门架和焊接机器人门架。分段预制工位上完成甲板片分段的制造,再通过运输车运输至

合拢工位完成完整的甲板片片体焊接作业。图1为甲板片流水线平面布置图。

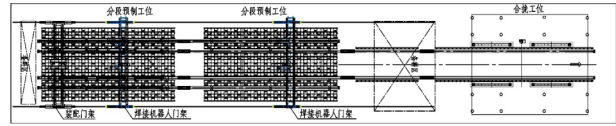


图1 甲板片流水线平面布置图

### 4.2 工艺流程

按照组对次序及工件需求,通过AGV小车有序将以H型钢为主的型材转运至甲板片分段预制工位的备料区。

甲板片分段预制工位上,完成甲板板铺板作业,自动完成划线、人工完成工装布置及装夹固定,并检查合格。

甲板片分段预制工位上,完成组合梁就位作业,并完成定位焊及检查合格。

通过智能组对门架将主次梁有序摆放至组对位置(粗定位),再依托便携工装实现以人为主体的判定方式的精确定位,并完成定位焊及检查合格。

使用门架式焊接机器人按照设定好的焊接次序完成型钢组对接头、梁格与甲板板、甲板板拼缝的自动焊接,采用手工或半自动焊机对焊接机器人无法覆盖的焊接节点进行人工焊接。

分段焊接完成后,中间片利用顶升装置+轨道台车运送至合拢工位,外舷片通过车间行吊运送至合拢工位,进行外观和无损检测及尺寸等测量,利用车间建立的数据采集系统和信息化系统进行数据的采集、分析,并进行模拟合拢,按需要进行人工修补、矫正。

在合拢工位完成合拢作业,完成环板、部分筋板作业,进行外观和无损检测、焊后尺寸检验,按需要进行人工修补、矫正。通过SPMT运输车转移至外场,完成翻身作业。

### 4.3 与传统建造模式的简要对比

根据表1的对比,生产线建造模式通过自动化作业不仅质量更加稳定,生产效率也有一定的提升。

表1 与传统建造模式的简要对比

序号	项目	传统建造模式	本次设计生产线建造模式
1	建造工艺	正造法	反造法
2	自动化程度	全手工组对、焊接作业	主、次梁的自动化运输,主、次梁的自动组对,焊缝的自动化焊接
3	建造质量	依赖作业人员的水平	质量稳定
4	建造效率	5.3 工日/吨(根据工厂以往数据统计)	3.76 工日/吨(根据作业人员和作业时长计算)

## 5 生产能力

以 $36.5\text{m} \times 36\text{m}$ 的甲板片作为典型甲板片,根据以甲板

片组合梁/主梁为分段划分边界,不增加新断缝,不改变原设计组合梁/主梁型钢结构的连续性,以及优先保证较大分段的刚度,作为多个分段共同边界的组合梁/主梁归属于较大的分段等工艺划分原则,将典型甲板片划分得到的分段可以分为A、B共两类分段。

A分段:除B分段外的其他分段,布置在B分段周围,通常宽度较小,且多出现自由端。

B分段:以甲板片体内部中间立柱之间的最长连续梁作为边界分段,该类分段尺寸较大,合拢时通常作为基准定位分段。

图2为分段划分示意图。

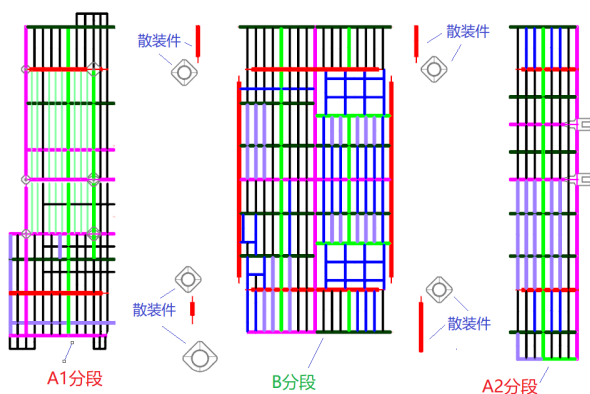


图2分段划分示意图

对该甲板片体进行材料统计,共有材料类型如表2所示。

表2典型单层甲板片体材料统计表

材料类型名称	材料规格参数	数量(根)
主梁 H1200	H1200×400×25×38	18
主梁 H900	H900×300×16×28	25
主梁 H700	H700×300×13×24	17
主梁 H588	H588×300×12×20	42
次梁 H400	H400×200×8×13	63
次梁 H300	H300×150×6.5×9	206
次梁 H300A	H300×300×10×15	36
次梁	L125×80×7	38
小计		445
甲板板钢板		82张

注:甲板板钢板数量不包括在海上安装部分。

## 5.1 甲板片分段预制工位

### 5.1.1 装配时间

根据统计,B分段中共有215根型材(高度小于800mm)可采用自动吊运门架进行装配,29根主梁(高度大于800mm)和39张甲板板需采用人工装配,人工装配利用车间行车完成。

每张钢板吊运作业根据电磁吊磁吸钢板、行车行走、板材定位、定位焊及行车复位等动作,平均时长约8分钟。

拼板完成后划线时间通过视觉识别钢板边界反馈定位,

及划线作业时长约62分钟。

每根高度大于800mm的主梁人工装配时间根据吊钩卡扣型材、行车行走、型材定位、定位焊和行车复位等动作,平均时长约13分钟。

每根高度小于800mm的主梁、次梁自动装配时间根据大车移动、识别型材、定位抓取、提升、门架行走、小车横移联动、型材定位、下降、门架复位、人工点焊等动作,平均每根作业时长约9分钟。

B分段装配总用时为:(39×8+62+29×13+215×9)/60=44.8h。

A1/A2分段装配总用时为:(43×8+62+14×13+187×9)/60=37.9h。

### 5.1.2 焊接时间

甲板片型钢型号多样,其中型钢高度小于400mm的为次梁相交接头,高于400mm的为主梁相交接头。

①典型主梁和次梁相交焊接时长。

其中主梁尺寸为H700×300×13×24(高度700mm,宽度300mm,腹板厚度13mm,翼板厚度24mm),次梁尺寸为H300×300×10×15(高度300mm,宽度300mm,腹板厚度10mm,翼板厚度15mm)。典型主梁和次梁相交焊接时长统计见表3。

表3典型主梁和次梁相交焊接时长统计表

焊缝位置	焊缝长度(mm)	时间(分钟)	备注
水平角焊缝	300(单道)	300	1.2
垂直角焊缝	300(单道)	600	3.9
对接焊仰焊焊缝	300(单道)	900	4.1
对接焊平焊焊缝	300(单道)	600	2.4
总计	/	2400	11.5

机器人焊接典型次梁与主梁接头的时间为11.5分钟。

②典型主梁与主梁相交焊接时长。

主梁尺寸分别为H588×300×12×20和H700×300×13×24。典型主梁与主梁相交焊接时长统计见表4。

表4典型主梁与主梁相交焊接时长统计表

焊缝位置	焊缝长度(mm)	时间(分钟)	备注
水平角焊缝	300(单道)	2400	9.5
垂直角焊缝	588(单道)	1176	7.6
对接焊仰焊焊缝	300(单道)	2400	4.1
对接焊平焊焊缝	300(单道)	900	9.5
总计	/	6876	30.7

机器人焊接典型主梁接头的时间为30.7min。由于H588主梁为典型甲板片中最小主梁,但在主梁数量中占比达到了41.6%,主梁数量最多,因此在整个片体主梁焊接时间为该主梁焊接时间的约1.6倍,平均每个主梁接头焊接时间约49.1min。

针对典型甲板片三个独立甲板片分段分别进行统计。

**B 分段:**

主梁相交接头数量为 92 个。

次梁相交接头数量为 457 个。

机器人焊接单个甲板主梁接头的时间为  $(49.1 \times 92) / 60 = 75.3\text{h}$ 。

机器人焊接所有次梁的时间  $(11.5 \times 457) / 60 = 87.9\text{h}$ 。

单个门架焊接 (2 个机器人), 全部甲板分段的焊接总时间为  $(75.3 + 87.9) / 2 = 81.6\text{h}$ 。

2 个门架焊接 (4 个机器人), 则全部甲板分段的焊接总时间为  $81.6 / 2 = 40.8\text{h}$ 。

**A1/A2 分段:**

主梁相交接头数量为 46 个。

次梁相交接头数量为 229 个。

机器人焊接单个甲板主梁接头的时间为  $(49.1 \times 46) / 60 = 37.7\text{h}$ 。

机器人焊接所有次梁的时间  $(11.5 \times 229) / 60 = 44.1\text{h}$ 。

单个门架焊接 (2 个机器人), 全部甲板分段的焊接总时间为  $(37.7 + 44.1) / 2 = 40.9\text{h}$ 。

2 个门架焊接 (4 个机器人), 则全部甲板分段的焊接总时间为  $40.9 / 2 = 20.4\text{h}$ 。

由于甲板分段预制工位为双工位作业, 焊接机器人和自动装配门架可以根据负荷情况进行调配使用, 平均每个工位上的装配时间为 41.4h, 平均焊接时间为 30.6h, 另外每个工位上考虑 1 天的报验外检时间, 因此平均单个工位周转时间为 80h。

**5.2 合拢工位**

合拢工位采用人工作业方式, 主要作业流程为 B 分段通过运输台车落位后, 再用起重机吊运 A1、A2 分段, 利用三维液压顶升小车进行分段的合拢定位, 再进行焊接作业。

作业时间计算如下:

B 分段运输 (0.5h) + A1、A2 分段吊运 (2h) + A1、A2

分段三维小车定位 (3h) + 人工焊接作业 (8h) + 报验外检 (8h) + 顶升运出 (0.5h) = 22h。

**5.3 生产能力核算**

车间内主要包括 2 个分段预制工位, 1 个合拢工位, 整跨的运作周期为  $80 + 22 = 102\text{h}$ , 每天 8 小时工作制计算, 1 个典型甲板片的制造周期为 12.8 天, 按 250 天工作制计算, 年产甲板片约 19.5 片。

**6 结语**

根据以上计算分析, 甲板片的建造可以根据反造法进行分段流水线的生产是可行的, 对于传统的手工作业在质量、效率等有了较大的提升, 论文通过甲板片反造法工艺进行甲板片分段流水线的方案设计, 探讨了甲板片自动化焊接、流水线生产的工艺方案, 在甲板片制造过程中采用了自动组对、自动焊接、自动运输等自动化作业内容为国内首创, 为实现甲板片的智能化建造提供一定的理论依据和借鉴作用。随着海洋能源开采的进一步发展, 大型海工模块的建造需求会越来越多, 机械化、自动化的甲板片建造方式具有较大的市场推广空间, 从某种意义上说, 也提升了中国在海工建造领域的竞争力。

**参考文献**

- [1] 张则青,高瑞力,王东锋,等.平台组块甲板片建造技术研究[J].中国造船,2013,54(A2):5.
- [2] 俞凌云,邱宇舟.平面分段流水线两种拼板焊接形式的对比分析[J].造船技术,2016(1):9.
- [3] 迟艳芬.浅海固定式平台陆地建造技术[J].工程建设与设计,2004(6):37-39.
- [4] 朱传超,白雪涛,李成宝.海洋固定平台甲板片总装建造工艺研究[J].引文版:工程技术,2016(6):66-67.
- [5] 张则青,汪磊,李天翔,等.海洋平台组块甲板片正造技术研究[C]//2014年第三届中国海洋工程学术年会,2014.