

# 船体板材加工施工技术研究

## Research on Construction Technology of Hull Plate Processing

何浩

Hao He

江南造船集团有限责任公司 中国·上海 200000

Jiangnan Shipbuilding Group Co., Ltd., Shanghai, 200000, China

**摘要:** 对船体生产设计中的曲面板材、型材加工进行标准化研究,有利于生产者能高效、高质量地完成加工的任务,为提高后续分段制作精度提供有力的保障。

**Abstract:** Conducting standardized research on the processing of curved plates and profiles in ship production design is beneficial for producers to efficiently and high-quality complete processing tasks, and provides a strong guarantee for improving the accuracy of subsequent segmented production.

**关键词:** 船体板材; 加工; 工艺; 技术

**Keywords:** hull plate; processing; workmanship; technology

**DOI:** 10.12346/etr.v5i3.7806

## 1 引言

论文主要介绍了船舶相关施工技术,希望可以提高工作效率,对以后工作提供借鉴。

## 2 铝合金双曲面加工板现场应用攻关

### 2.1 背景及产生原因

铝合金作为船体结构材料,能大幅度减轻船体重量,从而在相同的主机功率下可提高航速,它一般用于高速船舶。我厂批产建造的就是铝合金结构。冷、热加工工艺是铝合金构件成型时必须解决的问题。由于铝合金塑性较低、加工时冷作硬化敏感性大、热加工时铝板表面无颜色变化,难以控制温度。我厂目前批产建造的某铝合金结构的船舶结构线型复杂,且选用的板材较薄(较多为4mm)。在该系列船舶建造过程中,这些复杂曲度的构件是不易加工成型的,加工这些零件费时费力<sup>[1]</sup>。为了积极响应、执行公司的目标和方针,确保产品质量达技术指标要求的前提下,提升劳动效率,确定选定课题“缩短铝合金构件的加工时间”。

### 2.2 技术攻关方案及实施步骤

#### 2.2.1 研制适宜生产的模具

对122/132分段和4个003分段的复杂线型进行了研究:122/132分段的复杂结构件集中于垫升风机的风道口区域,都为纵横双向曲度及扭曲的转圆板,形状成正圆势扭曲正昂势、反圆势扭曲正昂势;003分段的复杂构架为两翼曲度和球面曲度的线型。我通过线型放样,比对加工样箱,发现122/132分段的大部分垫升风机风道板线型走势相似,可以设计制作一个通用性很强的模具。而003分段的复杂曲度零件相似性很差,且零件很小,现有模具太大而很难加工到位,需要制作一个适宜的小模具。

根据线型数据,设计了适宜加工小型零件的模具,建模如图1和图2并制作。



图1 小型模具上模

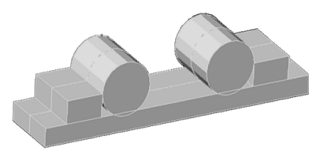


图2 小型模具下模

【作者简介】何浩(1993-),男,锡伯族,本科,助理工程师,从事船体板材冷热加工成型研究。

## 2.2.2 规范作业流程和方法

我们进行了工程分解,加工 122/132 分段垫升风机风道板的加工流程如图 3 所示。

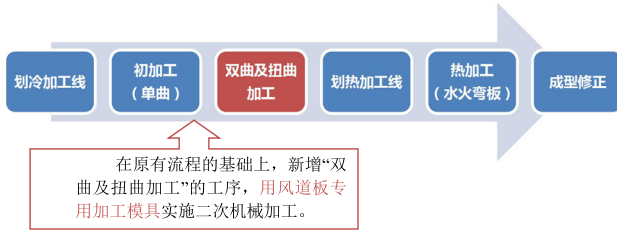


图 3 22/132 分段垫升风机风道板的加工流程

进行了工程分解,加工 003 分段着陆垫的加工流程如图 4 所示。

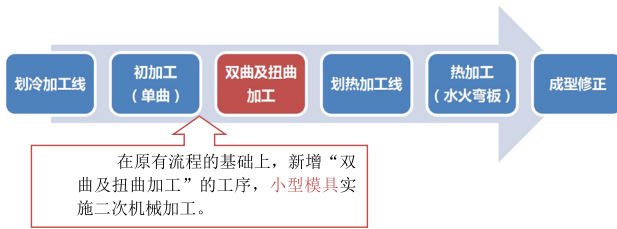


图 4 加工 003 分段着陆垫的加工流程

结合实际生产状况,搜集相关资料,研究了各项中国和其他国家关于铝合金零件的冷热加工工艺,以我的工作经验为判断,从以下 5 个方面编写了作业规范,规范作业流程:

- ①冷加工工艺要求;
- ②热加工工艺要求;
- ③设备操作规程及参数;
- ④热加工方法及参数;
- ⑤作业目标及质量规范。

## 2.2.3 按照新工艺流程组织生产

按照新的工艺标准,应用研制的模具组织生产,工艺流程如图 5 所示。



图 5 模具组织生产工艺流程

## 2.3 实施效果

### 2.3.1 目标检查

通过不懈努力,通过研制适宜生产的模具、编写标准作业指导书实施培训,在 H2515 船上工程应用,统计数据如表 1 所示。

表 1 H2515 船上工程应用数据统计

船号	分段	工时	加工复杂曲面零件工时按工艺流程分解				
			划加工线	冷加工	热加工	成型修正	其他
H2515	122	272	18	60	152	28	14
	132	253	16	55	148	22	12
	003	158	10	60	66	12	10
合计			683h				

加工复杂曲面零件耗时 683h,再加上加工单向曲面构件耗时 480h,即有实动工时  $683+480=1163h$ ,小于目标工时 1190,实现目标且产品质量稳步提升。

### 2.3.2 巩固期稳定情况

活动效果要经得起一段时间的考验,故制定了 5 个月的巩固期,以 H2582/83 船的加工时间作为巩固期的稳定标准。在巩固期时间内,我们贯彻落实作业指导书的内容,固化、完善各项工艺流程,把 H2582/83 船的加工情况做了完整性的记录,与创新创效活动之前的 H2506/07 船相比较,节约热加工工时 777 小时。该攻关项目荣获 2015 年上海市优秀质量管理小组及上海市 QC 小组成果发表赛二等奖。

## 3 数控弯板机现场试验及实船应用

### 3.1 研究目标及意义

本项目以数控弯板机为技术平台,全面掌握相关核心技术和关键工艺。通过对数控弯板机现场应用的研究,运用其专门的计算和控制软件实现船板自动成型加工,降低火工和冷加工的工作量,从而缩短造船周期、提高造船质量、改善作业条件,降低劳动强度,综合提高船体外板加工效率,为高新技术的研制和生产提供技术支持,加快公司的数字化造船进度,进一步提高造船的竞争力<sup>[2]</sup>。

### 3.2 技术难点及实施步骤

#### 3.2.1 技术难点

①对加工较长板(宽板),受上下模长度、宽度限制,且该设备允许加工板宽至 2900mm 左右,不能整段冲压成形。

②从板边缘成形方面看,目前该设备无法完全达到双曲面外板的 100% 区域完全成形,即模具不能覆盖整个板材,在板材边缘区域(1~2 个压头宽度区域),只能部分成形,板材无法达到理想的形状,甚至边缘区域出现起皱、不光顺等情况。

③对加工曲度比较大的小板,下模调形比较大,板放置在下模上时,此时辅助装置无法使用,板任意下滑,不好定位,不利于板材成形加工。

④双曲面船体外板的冲压成形是一个典型的弹塑性变形过程。上模提起后,冲压力消失,板材将回弹,即塑性部分将保留而弹性变形部分将回复。由于回弹的作用,从而改变了板材的冲压时的形状,与理论形状产生差别。对于板材上各点的回弹量是多少,受多重因素影响,无法预测。

⑤由于部分板材需压制成类似深帆型,如 H2580 船

701-003-P108/P208 两块板,加工形状为凸形,压制时板边缘容易产生波浪皱折。

### 3.2.2 解决方案

第一,采取分段冲压板材成形。

对长板加工,有粗加工和精加工两种模式。对纵向比较平坦的板,粗加工时,可少重叠甚至不重叠,而精加工时,至少需重叠5压头,这样才能保证纵向加工精度。一般加工前,需将分区定位线划好,分区后,板的平置均是按照各个分区单独进行的,这样做的好处,各段加工看起来平坦、稳定。对宽度超过上模宽度的板材,也可采取类似的分区方法,分段进行冲压成形<sup>[3]</sup>。

①首先选择粗压,分段压制,按调形、压制、测量,判别压制效果,再选择下一段压制的顺序,逐步成形。

②然后选择精压,分段压制成形。最后,选择理论形状,将成形板材分段再校核一遍,以使分段与分段之间的过渡区更平滑,整块板的形状符合理论形状。

第二,边缘扩充与配套压力机。

①零件边框四周需扩充,即边缘扩充,根据板材理论尺寸,对上下模具调型,最终改进软件,现已具备扩充功能,减轻了以往使用压力机逐步校正边缘的工作量,从而更好地保证了板材形状光顺延伸,进一步提高了船体外板的加工效率。

②冲压过程中,可暂时不考虑边缘区域的成形情况,只要中间区域达到理想精度要求,即可认为合格,对尚未成形的边缘区域,由于已有变形趋势,可使用配套的压力机,逐步校正边缘,使其达到理想形状。

③我们使用专门设计的防滑工具——定位销,插在4个基本体的中间间隙处,起到板材固定作用,防止板材的滑移。冲压加工时,可先下压一行压头,待某一个压头压住板材固定后,即可人工抽出定位销,进行后续的冲压作业。对于复杂形状,可同时使用多个定位销。

④为了处理回弹,我们采用逐步逼近法,达到理想形状,然而在逐步逼近过程中,回弹系数的选取至关重要。我们针

对不同强度船体结构钢的外板,逐步摸索最佳的回弹系数,回弹系数的取值比较合适时,即冲压逼近次数就少,冲压效率就高,最终经多次试验,确定回弹系数取1-2.5之间比较合适,对一般强度船体结构钢外板,回弹系数取值1~1.5,而高强度结构钢的外板取值1.5~2.5。

⑤当加工目标板为凸形时,将目标板翻转180°,此时凸形变为凹形,下模也按照翻转后的形状调形。

对帆形板,其本身为凹形,无需翻转。

对扭曲板,由于纵向横向曲率都不大,可任意选择。

对鞍形板,其存在两个方向的曲度,一般选择较大的一个曲度为凹形的形状进行冲压加工即可。

### 3.3 实施效果

目前,设备已经在多项产品多钢种中进行应用,对比传统加工作业效率明显提升。通过数据对比,从开始数控弯板机的试验阶段到逐步成熟运用阶段,我们可以直观地了解数控弯板机在双曲加工板上存在的优越性,大大缩短或消除修边、火工作业量,从而提升劳动效率。2016年1至8月份数控弯板机上制作各船型分段数据统计分析节约人员费用+节约动能费用=383万元-72万元=311万元。

## 4 结语

论文介绍的相关的船舶板材加工工业技术不仅可以缩短造船周期、提高造船质量、改善作业条件,降低劳动强度,而且综合提高船体外板加工效率,为产品的研制和生产提供技术支持,加快公司的数字化造船进度,进一步提高造船企业的竞争力。

### 参考文献

- [1] 杨建庭,黄礼琼,余洋.低温储罐板材焊接1次合格率低解决措施[J].炼油与化工,2021(5).
- [2] 吕振.板材分张技术在钣金加工自动化领域的应用[J].现代制造技术与装备,2022(4).
- [3] 刘旭东.热轧板材常见质量缺陷的控制探究[J].山西冶金,2022(2).

# 株洲清水塘大桥钢桁拱弦杆制造技术

## Manufacturing Technology for Steel Truss Arch Chords of Zhuzhou Qingshuitang Bridge

卢锡炜

Xiwei Lu

江苏中泰桥梁重工有限公司 中国·江苏 靖江 214521

Jiangsu Zhongtai Bridge Heavy Industry Co., Ltd., Jingjiang, Jiangsu, 214521, China

**摘要:** 株洲清水塘大桥钢桁拱上、下弦杆为整体大节点杆件,其结构连接主桁弦杆、平联、横联,空间关系相当复杂。采用合理的组装工艺和焊接顺序来保证主桁弦杆的外形尺寸、接口匹配以及采用可靠的制孔工艺来确保主桁弦杆的孔群精度、空间相对关系是大桥工厂制造的关键点。

**Abstract:** The upper and lower chords of the steel truss arch of Qingshuitang Bridge in Zhuzhou are integral large node members, whose structural join main truss chords, horizontal connection and transverse connection, and the spatial relationship is quite complex. The key points in the manufacturing of the bridge factory are to adopt a reasonable assembly process and welding sequence to ensure the overall dimensions, interface matching, and reliable hole making process to ensure the accuracy and spatial relative relationship of the hole group of the main truss chord.

**关键词:** 钢桁拱弦杆; 制孔工艺; 试拼装; 整体大节点

**Keywords:** steel truss arch chord; drilling process; trial assembly; overall large node

**DOI:** 10.12346/etr.v5i3.7807

## 1 引言

株洲清水塘大桥主桥为中承式钢桁架拱桥,跨径布置为100+408+100m,边中跨比约为1/4。上层桥面宽为32.0m,下层为人非道,净宽12m。中跨拱肋上弦与下弦均采用二次抛物线型,矢高89.9m。主桥总体结构主要分为钢桁拱和钢主梁。

钢桁拱由上、下弦杆+腹杆+风撑组成。主桁拱肋中跨设置风撑,其中上弦杆风撑中跨满布布置,下弦杆风撑布置至中跨第一个节点。每两个节间设置一副框架横梁,位于上、下弦杆节点中心处,主桁各杆件之间采用整体式节点板栓接连接。

## 2 主桁弦杆结构简介

拱肋桁架上、下弦杆采用箱型截面,截面尺寸为内宽和

内高控制;上弦采用等宽等高设计,截面内宽1800mm,截面内高1600mm,板厚24~36mm;下弦杆采用等宽变高设计,截面内宽1800mm,截面内高由拱顶处1600mm变化至拱脚处2400mm,板厚24~48mm;边跨下肢拱采用等宽等高设计,截面内宽1800mm,截面内高1600mm,板厚44~48mm;弦杆箱型内部四边各采用两道板肋进行纵向加劲,且参与截面共同受力。纵向板肋加劲按照间接连接设计,在杆件拼接处拼接板厚度和高强螺栓数量均考虑纵向加劲的传力需求。主桁弦杆根据受力需要分别选用Q420qD和Q370qD两种等级的钢材。

上弦杆与下弦杆结构基本相同,区别处在于下弦设置吊杆锚箱,下弦杆三维结构示意图见图1。

【作者简介】卢锡炜(1988-),男,中国江苏靖江人,本科,工程师,从事桥梁工程施工研究。