

Research and application of construction technology and management technology for large PCTC ships

Jie Liu¹ Li Chen^{2*}

Shanghai Waigaoqiao Shipbuilding Co., Ltd., Shanghai, 200137, China

Abstract

To address both the short-term risks of concentrated PCTC order deliveries and long-term technological iteration demands, this study focuses on the structural construction of an 8600-type Pure Car and Truck Carrier (PCTC). The research provides in-depth analysis of critical process technologies for thin-plate fabrication and roll-on/roll-off equipment construction. By examining practical conflicts between technical processes and construction timelines during implementation, the paper proposes technical solutions to project management challenges. A comprehensive framework is developed to ensure safe and efficient construction methodologies for PCTC vessels.

Keywords

Large-scale PCTC vessel; Construction technology; Management techniques; Efficient construction

基于大型 PCTC 船建造工艺和管理技术的研究与应用

刘杰¹ 陈力^{2*}

上海外高桥造船有限公司, 上海 200137

摘要

为应对PCTC订单短期集中交付风险及长期技术迭代需求,本文选取某8600车大型汽车滚装船(Pure Car and Truck Carrier, 简称PCTC)的结构建造为研究对象,对该船型薄板建造、滚装设备建造重难点工艺技术进行了深入研究。结合实际建造过程中工艺技术与建造工期所产生的矛盾进行了剖析,对项目管控重难点的技术应对方案进行了阐述,综合提出了PCTC船型重难点工程安全高效的建造工艺技术方案。

关键词

大型PCTC船 建造工艺 管理技术 高效建造

1 引言

近年来,在全球汽车产业格局重构、IMO 船舶环保法规升级和中国造船业技术突破等多重因素叠加驱动下,汽车运输船(PCTC)新造船市场迎来了爆发式增长。从短期看,新造 PCTC 船交付达历史峰值,市场处于短时盘点调整期,船厂新造 PCTC 船短期内交付风险在增加。从长期来看,汽车出口全球化驱动效应明显,据行业机构预测,至 2030 年仅中国车企汽车出口将突破 1000 万辆,也就意味着每年有 10% 以上的运力增长需求,其适用性要求进一步拉动高安全性新型 PCTC 船运力需求。无论是从化解短期内交付风险考虑,还是做好建造技术积累,不断增强市场核心竞争力,

船厂都必须对此型船建造工艺技术和进行系统、系统的研究和实践。

2 概述

本文以 8600 车 LNG 双燃料汽车运输船建造为例,从船型分、总段划分原则和要点,建造工艺流程管控重点,滚装系统关键结构、设备建造难点方面,重点总结概述关键建造工艺以及与船厂生产节拍相适应的管理技术和方法。该船型总长 199.9m,型宽 38m,设计吃水 9.2m,设计航速 19 节,设计有标准车位 8600 个,气体模式下续航能力可达 15000 海里。该型船可以运输各种轿车、货车、公共汽车、拖车、卡车及其他重型建筑机械设备。型船最大的特点是设计有艏门和右舷的侧门与岸基联通,内部有活动坡道和固定坡道将每一层汽车甲板进行联通,车辆货物直接行驶完成装卸货,形成了一座大型的海上移动立体“车库”,该船型如图 1 所示,全船滚装系统和装卸货系统配备了目前最先进的自动化、数字化和信息化系统,可实现安全高效的滚装货物装卸作业。

【作者简介】刘杰(1971-),男,本科,高级工程师,从事船舶与海洋工程项目管理、生产建造管理研究。

【通讯作者】陈力(1989-),男,本科,工程师,从事船舶与海洋工程计划管理研究。

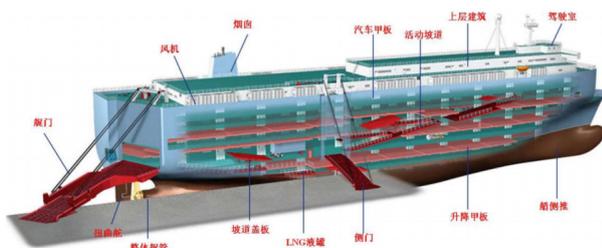


图1 8600车PCTC船型示意图

3 重难点建造工艺技术

3.1 分、总段划分原则和搭载流程

(1) 与船厂工艺技术、制作生产线、场地、船坞和起重能力等资源，以及生产节拍和建造周期要求相适应。

(2) 为缩短和满足建造坞期要求，最大限度实现全宽总段建造。车辆舱区域全部采用全宽总段建造工艺设计，总体上自下至上划分为20X、30X、50X。

(3) 坞内搭载建造：20X总段→DK4活动甲板(两侧)→DK3至DK5立柱→DK4活动甲板(中间)→活动坡道(预埋)/30X总段→DK9活动甲板(两侧)→DK8至DK10立柱→DK9活动甲板(中间)→活动坡道(预埋)/50X总段。

3.2 车辆舱结构建造

车辆舱共有14层汽车甲板，DK2、4、6、7、9为5层活动甲板，其余为固定甲板，其中DK5、8为水密甲板，DK10、12为气密甲板。甲板之间有距中心线非对称两排立柱支撑，形成车辆舱。全船钢结构量约18000吨，8mm及以下钢板约占全船的45%，12mm及以下钢板约占全船的60~70%。众所周知，薄板建造防变形技术到目前为止仍为世界级技术难题，纵观全建造流程，去除或减少材料内应力和结构应力成为技术核心。

3.2.1 薄板分段制造工艺流程

薄板分段要最大限度安排在激光焊接流水线上生产，可有效确保分段的焊接变形，船厂需结合资源条件策划布局。如非激光生产线上制作，须严格执行以下制造工艺流程：钢板矫平→切割→拼板→拼板后压路机矫平→纵骨装焊→T型梁装焊→反态做预拱→正态矫平完工。

3.2.2 薄板应力处理及精度控制

钢板原材料预处理前需经两次多辊矫平机矫平，如条件允许，钢板切割后再进行一次矫平，材料内应力去除的将会更为彻底，平整度须满足1mm/m²。拼板工序要使用压铁重物将拼板缝压实，拼板后在专用的精度平台上利用压路机对拼板进行去应力矫平，必须要在主板平整度≤4mm后，方可进行纵骨装配等下道工序。所有薄板涉及的结构装配要求间隙0-1mm，所有零部件装配前必须保证平整度≤4mm。正态矫平时首先实行“背烧”释放焊接应力，对于空档非结构区域的薄板变形，进行低于400℃的水火矫平，要求平整度≤4mm。

3.2.3 立柱制作与安装

此型船立柱结构是撑起车辆舱最重要的强力构件，其制作、安装精度和焊接质量要求甚高。甲板立柱是车辆舱固定甲板和活动甲板的重要支撑结构，其结构形式为矩形箱型结构，设置于DK1至DK15的L7和L-12处，立柱尺寸规格从下向上逐渐减小。立柱端部与甲板加厚板上表面和十字梁面板下表面的焊缝为全熔透焊，立柱本体上下端部500mm范围也为全熔透焊，其他区域为深熔焊。DK1至DK14甲板立柱下口舷侧板、近舢板、艙壁板、艙壁板下端与甲板加厚板之间的全熔透角焊缝要求全部进行双面焊接，先焊接立柱内侧焊缝，立柱外侧焊缝碳刨清根后再进行焊接。DK1至DK15甲板立柱上口舷侧板、近舢板、艙壁板、艙壁板上端与十字梁面板之间的全熔透角焊缝要求全部进行双面焊接，先焊接立柱内侧焊缝，立柱外侧焊缝碳刨清根后再进行焊接。

3.3 滚装系统

滚装系统由艙斜跳板(艙门)、舷侧跳板(侧门)、车辆舱内部坡道(包括活动/升降坡道和固定坡道)、活动/升降甲板(其中DK6、7为两层连续活动甲板)以及电气系统组成。

3.3.1 艙门建造及试验

艙门在收放操作过程中，折叠和翻转处铰链数量较多、同心度要求高。本体结构制作过程中，中间辅助铰链需要拉线照光和定位镗孔。艙门各节处于水平和展开状态、穿铰链轴销连接成整体，按照工艺程序要求依次完成静态负荷试验、第一/二节翻身组合折叠试验、各节进涂和出涂后设备完整性、正态折叠状态运输吊装。艙门第一次收放试验必须有大型起重机(起重能力大于300T)进行保驾，确保安全。艙门的释放，由8甲板上1套电动液压油缸顶推装置使跳板从存放位置开始释放；艙门的展开，由布置在15甲板上的2台电动绞车及钢丝绳系统完成；艙门的折叠，由布置在第一节上的2台电动绞车及钢丝绳系统完成；在关闭位置，艙斜跳板由布置在开口四周由电动操作的插销装置将跳板锁紧为水密。

3.3.2 活动坡道 & 坡道盖

活动坡道分为水密和非水密两种，其中水密坡道组成：活动坡道(向下开启)+活动坡道盖(向上开启)+水密+A60防火；非水密坡道组成：活动坡道(向下开启)+非水密+无防火要求。活动坡道都是由安装在坡道上的电动绞车带钢丝绳或电动执行器系统操作，电动插销锁紧。

3.3.3 活动甲板

DK2、4、6、7、9甲板为活动甲板，由开式结构的甲板块组成。其中：DK2、4、7、9活动甲板有2个工作位置和1个收藏位置，DK6活动甲板有1个工作位置和2个收藏位置。DK2、4、7、9活动甲板在工作位置由位于立柱及舷侧船体结构的组合支承座支承(固定支承座和半自动支承

座组合在一起), 半自动支承块能够自动锁紧, 手动释放。DK2、4、6、9 活动甲板在收藏位置由半自动支承座支承, DK7 活动甲板在收藏位置由 DK6 活动甲板支承。活动甲板无密封性和防火要求, 其间隙与高度差技术标准要求为: 块之间间隙最大 30mm; 块与舷侧纵桁之间水平间隙 30mm; 无装载时块之间高度差 15mm。顶升操作由两台载荷分别为 30T 和 50T 的专用液压顶升车来完成。

4 项目管理重难点及技术解决方案

4.1 结构平整度管控及解决方案

本船型涉及到外板美观性和汽车甲板功能性的平整度要求都高于其它民用船舶, 由于薄板易变形, 使得达到平整度标准要求成为该型船建造过程中一个重难点工序, 这道工序制约或决定了整个建造工期。平整度须在相关标准范围之内(适用标准:《GB/T 34000-2016 中国造船质量标准》)。从钢板预处理、分段、总段到坞内搭载直至船舶建造完工, 平整度贯穿全建造过程, 为达到平整度要求的矫平工作亦贯穿全流程。结合该项目在实际建造管理过程总提出了“道道清”的矫平原则, 即从钢板矫平直至船舶建造完工, 各个阶段都按照工艺标准进行矫平, 经多项目实践效果较好, 得到了成功的验证。

4.1.1 主板钢板矫平原则

主板采用钢板矫平机矫平, 厚度 8mm 以下钢板矫平 2 次, 板厚 8-12mm 钢板矫平 1 次, 使用标杆检验, 平整度满足 1mm/m² 要求。板厚 8mm 及以下主板拼板后在专用水平钢平台上使用压路机滚压矫平。

4.1.2 轻型甲板 / 活动甲板 / 舷侧分段矫平原则

水平调整要求: 支墩水平 $\pm 2\text{mm}$, 分段四角水平 $\pm 4\text{mm}$ 。采取水火工矫平方式, 为了给后道工序二次变形矫平“留有余地”, 加热温度须严格控制, 结构硬档加热温度控制在 500℃ 以内, 结构之间软档区域加热温度控制在 400℃ 以内。

4.1.3 薄板矫平原则

薄板总段焊接完工、拆除不必要的临时支撑后, 如果发生连续甲板平整度超差情况需二次矫平, 原则上结构硬档优先使用电磁矫平, 结构间软档使用火工矫平方式。矫平平整度满足甲板 $\pm 6\text{mm}$ 、外板 $\pm 4\text{mm}$ 标准要求。

4.1.4 薄板总段搭载合拢后矫平

薄板总段搭载合拢焊接完工、拆除所有加强支撑后, 如果发生连续甲板平整度超差情况需二次矫平, 原则上结构硬档优先使用电磁矫平, 结构间软档使用火工矫平方式。矫平平整度满足车辆舱甲板及内围壁板 $\pm 6\text{mm}$ 、露天甲板及

外板 $\pm 4\text{mm}$ 标准要求。从船舳向舭 / 艏、从船中心线向两舷侧, 先两层甲板、后中间围壁, 逐层向上矫平。

4.2 车辆舱区域完工管理

4.2.1 区域划分

此型船车辆舱汽车甲板 14 层, 面积 7.5 万平方米, 空间巨大, 如何做到安全、有序、高效地组织生产对于安全、建造周期和建造成本管控都至关重要。以 DK5、8、10、12 水、气密甲板为分界, 自下而上分成 A (DK1-5)、B (DK5-8)、C (DK8-10)、D (DK10-12)、E (DK12-14) 五大物理空间区域, 此为涂装交涂安全管控基本单元。在此基础上, 将车辆舱细分为 14 个中区域和 72 个小区域, 小区域作为结构、舾装等交涂前完工管理最小基础单位。内在施工完工计划遵循逻辑为从小区域、中区域到物理空间大区域依此遵循。

4.2.2 区域完工管理流程



注: ITR: inspection and testing report 检验试验报告

5 结论

本文通过对大型 PCTC 船型特有车辆舱薄板结构和滚装设备系统等重难点工程进行了重点研究, 阐明了重难点工程的建造工艺和管理技术应用方案。主要结论如下:

(1) 此型船采用全宽总段建造工艺设计, 可以大幅度减少坞内搭载吊数, 大大提高搭载合拢效率, 为缩短坞期和船舶建造坞内完整性提供了技术保障。

(2) 薄板建造从钢板原材料、拼板、分段、总段到搭载合拢全工序流程中采取机械和火工去应力、重新均匀分布应力是破解薄板建造变形难题的有效方法。

(3) 滚装设备安装精度要求高, 并且精度控制涉及要素多, 难度大。准确采集接口分段和背景结构精度数据, 与本体精度表数据做好预匹配, 识别偏差并预先修正, 是解决滚装设备安装精度难题的有效途径。

(4) 车辆舱完工管理这一精益管理理念的应用, 取得了“一次把事情做对”的成效, 对大型 PCTC 船的高效建造起到了决定性作用。

参考文献

- [1] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局/中国国家标准化管理委员会.《中国造船质量标准》(GB/T34000-2016).
- [2] 黄浩.船体工艺手册[M].北京: 国防工业出版社.1998.
- [3] 吴小明.5000车PCTC汽车滚装船薄板焊接工艺[J].电焊机.2008.