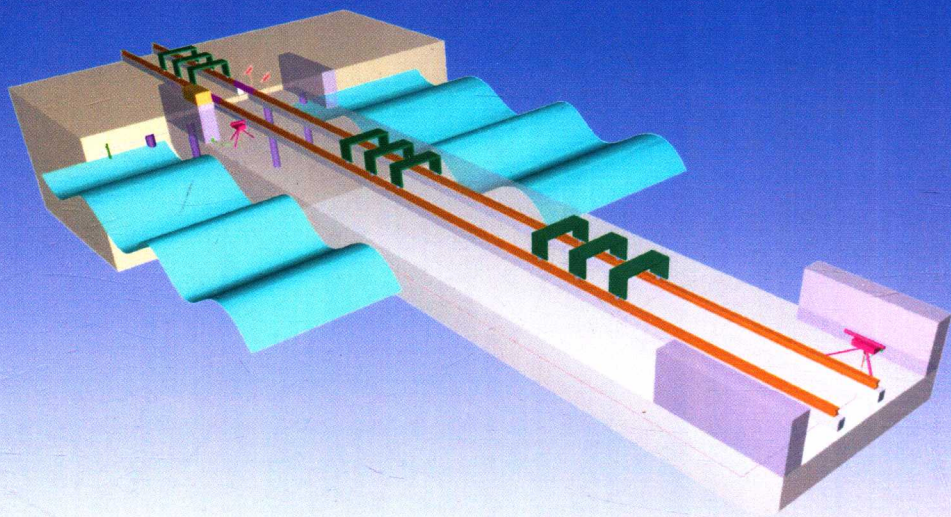




浮式陆海接载装备自动配载 技术及应用

Automatic Stowage Technologies and Applications
of Floating Land-Sea Loading Equipment

林焰 管官 张明霞 著



科学出版社

船舶与海洋结构物先进设计方法

浮式陆海接载装备自动配载 技术及应用

林 焰 管 官 张明霞 著

科 学 出 版 社

北 京

内 容 简 介

本书系统介绍了下水浮体接载装备的配载力学原理、配载优化算法、预配载仿真模型和实时配载数学模型建立及求解方法、不同移运方式下接载装备承受产品载荷计算方法、配载系统开发等关键技术。根据下水作业实际要求,提出了保证安全作业的性能指标和约束条件,在此基础上提出了 K 系数方程组法、基于载荷曲线的配载强度控制算法、基于内点法的配载优化算法以及改进的遗传算法四种配载优化算法,并在载荷计算的基础上分别给出了滑道和气囊两种移运方式的实例分析,最后介绍了软件系统的开发和工程中的应用实例。

本书可供船舶与海洋工程领域相关专业人员阅读,也可供高等院校本科生、研究生和教师参考。

图书在版编目(CIP)数据

浮式陆海接载装备自动配载技术及应用 / 林焰, 管官, 张明霞著. —北京: 科学出版社, 2018.11

(船舶与海洋结构物先进设计方法)

ISBN 978-7-03-059271-2

I. ①浮… II. ①林… ②管… ③张… III. ①船舶积配载—研究
IV. ①U693

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2018) 第 243590 号

责任编辑: 裴 育 朱英彪 纪四穗 / 责任校对: 王萌萌

责任印制: 张 伟 / 封面设计: 陈 敬

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

北京九州迅驰传媒文化有限公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2018 年 11 月第 一 版 开本: 720 × 1000 B5

2018 年 11 月第一次印刷 印张: 14 1/2

字数: 292 000

定价: 95.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

“船舶与海洋结构物先进设计方法”丛书编委会

名誉主编：纪卓尚(大连理工大学)

主 编：林 焰(大连理工大学)

副主编：刘祖源(武汉理工大学)

何炎平(上海交通大学)

陈超核(华南理工大学)

冯 峰(哈尔滨工程大学)

金良安(中国人民解放军海军大连舰艇学院)

编 委：(按姓氏汉语拼音排序)

陈 明(大连理工大学)

陈 武(集美大学)

谌志新(中国水产科学研究院渔业机械仪器研究所)

管伟元(中国船舶工业集团公司第七〇八研究所)

蒋志勇(江苏科技大学)

李玉平(中远造船工业公司)

李忠刚(中船重工船舶设计研究中心有限公司)

陆 晟(上海船舶研究设计院)

马 坤(大连理工大学)

盛苏建(中海油能源发展股份有限公司)

王和文(中国人民解放军军事交通运输研究所)

王立真(中国船级社)

谢新连(大连海事大学)

谢永和(浙江海洋大学)

詹树明(中远船务工程集团有限公司)

战希臣(中国人民解放军海军航空工程学院)

张维英(大连海洋大学)

秘 书：于雁云(大连理工大学)

裴 育(中国科技出版传媒股份有限公司)

“船舶与海洋结构物先进设计方法”丛书序

船舶与海洋结构物设计是船舶与海洋工程领域的重要组成部分，包括设计理论、原理、方法和技术应用等研究范畴。其设计过程是从概念方案到基本设计和详细设计；设计本质是在规范约束条件下最大限度地满足功能性要求的优化设计；设计是后续产品制造和运营管理的基础，其目标是船舶与海洋结构物的智能设计。“船舶与海洋结构物先进设计方法”丛书面向智能船舶及绿色环保海上装备开发的先进设计技术，从数字化全生命周期设计模型技术、参数化闭环设计优化技术、异构平台虚拟现实技术、信息集成网络协同设计技术、多学科交叉融合智能优化技术等方面，展示了智能船舶的设计方法和设计关键技术。

(1) 船舶设计及设计共性基础技术研究。针对超大型船舶、极地航行船舶、液化气与化学品船舶、高性能船舶、特种工程船和渔业船舶等进行总体设计和设计技术开发，对其中的主要尺度与总体布置优化、船体型线优化、结构形式及结构件体系优化、性能优化等关键技术进行开发研究；针对国际新规范、新规则和新标准，对主流船型进行优化和换代开发，进行船舶设计新理念及先进设计技术研究、船舶安全性及风险设计技术研究、船舶防污染技术研究、舰船隐身技术研究等；提出面向市场、顺应发展趋势的绿色节能减排新船型，达到安全、经济、适用和环保要求，形成具有自主特色的船型研发能力和技术储备。

(2) 海洋结构物设计及设计关键技术研究。开展海洋工程装备基础设计技术研究，建立支撑海洋结构物开发的基础性设计技术平台，开展深水工程装备关键设计技术研究；针对浮式油气生产和储运平台、新型多功能海洋自升式平台、巨型导管架平台、深水半潜式平台和张力腿平台进行技术设计研究；重点研究桩腿、桩靴和固桩区承载能力，悬臂梁结构和极限荷载能力，拖航、系泊和动力定位，主体布置优化等关键设计技术。

(3) 数字化设计方法研究与软件系统开发。研究数字化设计方法理论体系，开发具有自主知识产权的船舶与海洋工程设计软件系统，以及实现虚拟现实的智能化船舶与海洋工程专业设计软件；进行造船主流软件的接口和二次开发，以及船舶与海洋工程设计流程管理软件系统的开发；与 CCS 和航运公司共同进行船舶系统安全评估、管理软件和船舶技术支持系统的开发；与国际专业软件开发公司共同进行船舶与海洋工程专业设计软件的关键开发技术研究。

(4) 船舶及海洋工程系统分析与海上安全作业智能系统研制。开展船舶运输

系统分析, 确定船队规划和经济适用船型; 开展海洋工程系统论证和分析, 确定海洋工程各子系统的组成体系和结构框架; 进行大型海洋工程产品模块提升、滑移、滚装及运输系统的安全性分析和计算; 进行水面和水下特殊海洋工程装备及组合体的可行性分析和技术设计研究; 以安全、经济、环保为目标, 进行船舶及海洋工程系统风险分析与决策规划研究; 在特种海上安全作业产品配套方面进行研究和开发, 研制安全作业的智能软硬件系统; 开展机舱自动化系统、装卸自动化系统关键技术和 LNG 运输及加注船舶的 C 型货舱系统国产化研究。

本丛书体系完整、结构清晰、理论深入、技术规范、方法实用、案例翔实, 融系统性、理论性、创造性和指导性于一体。相信本丛书必将为船舶与海洋结构物设计领域的工作者提供非常好的参考和指导, 也为船舶与海洋结构物的制造和运营管理提供技术基础, 对推动船舶与海洋工程领域相关工作的开展也将起到积极的促进作用。

衷心地感谢丛书作者们的倾心奉献, 感谢所有关心本丛书并为之出版尽力的专家们, 感谢科学出版社及有关学术机构的大力支持和资助, 感谢广大读者对丛书的厚爱!



大连理工大学

2016 年 8 月

前 言

随着现代造船技术的进步,使用驳船、半潜驳船、浮船坞等进行大型船舶与海洋工程结构物整体或分段滑道拖拉滑移下水作业已经成为一种高效的造船方式,这种方式可大大减轻船厂对于船坞和船台的使用需求。随着造船模式的发展和建造船舶吨位的增加,下水产品重量也在不断增加。在使用浮式接载装备作为产品下水工具时,如何保证整个作业过程平稳、安全和快速地完成,是一个非常值得研究的问题。使用浮式陆海接载装备下水方式的关键是在作业过程中对浮体的浮态进行调整,使甲板滑道与码头滑道始终保持平齐。浮态调整的实质是配载,即随着潮位的变化和产品不断进入,调整压载水。目前国内对滑道拖拉滑移下水作业的接载装备配载研究比较少,缺少提供使用的配载系统,因此研发一套适用于这种下水方式的配载系统很有必要。

浮式陆海接载装备在整个作业过程中需要始终保持特定的、适宜的浮态,而浮态调整是通过调节各压载舱的水量来实现的。何时进行调载,需要调节哪些压载舱以及调节多少水量,都是影响整个下水过程的关键因素。通常采用传统的人工手动方式进行调节,但其主要依靠操作人员的经验,而且操作烦琐,效率低下。本书首先依照力学平衡原理,分析作业过程中的受力特点,建立力学平衡方程组模型,并分析接载装备的配载力学原理,建立配载的力学模型;进而根据下水作业实际要求,提出保证安全作业的性能指标和约束条件,在此基础上提出四种配载算法,即 K 系数方程组法、基于载荷曲线的配载强度控制算法、基于内点法的配载优化算法和改进的遗传算法。

K 系数方程组法和基于载荷曲线的配载强度控制算法通过引入“配载能力比系数”等 K 系数将配载的不定方程组转化为可求解的方程组,同时实现了“每次配载排注水越少越好,存水量小的压载舱多注水,存水量大的压载舱多排水”的实际作业要求,并直接从每次配载前的载荷分布曲线出发,获得有利于总纵强度的配载方案。基于内点法的配载优化算法结合工程实际将配载的非线性规划问题转化为线性规划问题,采用原始-对偶路径跟踪法优化线性规划问题。遗传算法不依赖梯度信息,能在搜索过程中自动获取搜索空间信息,具有鲁棒性好、不要求目标函数连续可导、能够多点搜索、能与其他算法组成混合算法等众多优点,在求解非线性、多约束等问题时性能优越。实际计算表明,本书提出的配载优化算法不仅可以快速得到优化方案,而且方案符合配载实际要求。

本书在 K 系数方程组法和基于载荷曲线的配载强度控制算法基础上研究了实际下水配载问题。在实际下水过程中,通过合理建立下水配载模型,提出了浮差法,尽可能消除了变动重量等引起的误差。其中,采用“小范围等误差修正潮高预报法”对配载目标潮高进行预报,实例分析表明,该方法在其适用范围内具有相当高的预报准确性。采用滑动平均滤波法对传感器采集数据进行处理,减少了传感器数据的波动。本书对浮式陆海接载装备使用过程中各调节水舱配载方案的实时确定、上驳产品对接载装备施加载荷的计算方法以及待调节水舱阀门的打开时刻确定等方面进行了深入的研究。

根据本书提出的算法和数学模型,开发了 BALANCE 配载系统。该系统已经研发了三个版本,分别应用于三家实际造船企业,是目前国内用于陆海接载配载的技术成熟、功能完善的配载系统。

本书给出了浮式陆海接载装备自动配载技术实现方法,期望能有助于陆海接载自动配载技术的研究进展,缩短大型船舶与海洋工程结构物的下水时间,提高大型船舶与海洋工程结构物下水的效率,促进实际工程应用的进展。

本书由林焰、管官、张明霞撰写。作者长期从事船舶与海洋工程结构物研究工作,主持和参与了多项船舶与海洋平台的开发工作,积累了较为深厚的研究基础。本书是作者对科研成果的整理分析与提炼,提出的方法均通过充足的实例加以验证,并在实际工程中得到应用。感谢秦品乐、雷坤、孙承猛、蒋晓宁、夏华波、陈静和杨立等研究生,以及项目组相关人员的研究工作。

浮式陆海接载装备自动配载技术是一个广阔的研究领域,内容丰富且复杂,需要进一步研究的问题还有很多,书中的研究成果和观点也只是一些粗浅的尝试。希望本书的出版能够起到抛砖引玉的作用,引起更多的研究和讨论,对从事浮式陆海接载装备自动配载技术研究工作的读者有所帮助。限于作者的学识水平,书中难免存在不足之处,恳请广大读者批评指正。

目 录

“船舶与海洋结构物先进设计方法”丛书序

前言

第 1 章	绪论	1
1.1	背景与意义	1
1.2	配载技术研究现状	4
1.3	大型结构物下水方法综述	7
1.3.1	重力方式	7
1.3.2	自漂浮方式	9
1.3.3	机械化方式	9
1.4	下水驳船移运大型海洋结构物下水研究综述	11
1.5	本书结构安排	13
第 2 章	典型浮式陆海接载装备	16
2.1	驳船	16
2.2	半潜驳船	17
2.3	浮船坞	19
2.4	下水工作船	20
第 3 章	浮体静力学基础	21
3.1	静水力特性	21
3.1.1	坐标系定义	21
3.1.2	静水力曲线计算方法	21
3.2	几何要素计算	22
3.3	空间自由浮态计算	26
3.4	稳性计算与校核	27
3.4.1	稳性计算	27
3.4.2	稳性校核	28
第 4 章	结构强度计算与校核	29
4.1	总纵强度计算	29
4.1.1	浮力载荷曲线计算	29
4.1.2	重力载荷曲线计算	29

4.1.3	剪力弯矩曲线计算	30
4.1.4	强度校核	30
4.2	结构有限元计算	30
4.2.1	有限元概述	30
4.2.2	ANSYS 软件介绍	32
4.2.3	产品接载极限情况分析	34
4.2.4	规范标准	36
4.2.5	实例分析	37
第 5 章	配载优化计算方法	72
5.1	K 系数方程组法	73
5.1.1	配载的力学简化	75
5.1.2	K 系数方程组法计算步骤	76
5.1.3	算法验证	81
5.2	基于载荷曲线的配载强度控制算法	82
5.2.1	载荷曲线控制	82
5.2.2	配载算法模型	86
5.2.3	算法验证	86
5.3	基于内点法的配载优化算法	89
5.3.1	配载线性规划模型	89
5.3.2	内点法	92
5.3.3	算法验证	94
5.4	遗传算法及其改进	96
5.4.1	遗传算法概述	96
5.4.2	基本遗传算法	98
5.4.3	约束条件的处理	105
5.4.4	遗传算法的改进	105
5.4.5	驳船配载问题中的遗传算法	109
5.4.6	程序及结果分析	112
第 6 章	预配载仿真模型和实时配载数学模型建立及求解	115
6.1	预配载仿真模型	115
6.1.1	预配载数学模型	115
6.1.2	作业可行性预报	117
6.1.3	预配载仿真实现	120

6.2	实时配载数学模型的建立及求解	122
6.2.1	解平衡方程组法	123
6.2.2	优化方法	135
6.2.3	驳船沉浮过程实时配载模型处理方法	142
6.2.4	潮汐变化对模型的影响及处理方法	143
6.2.5	上驳作业调节水舱阀门开关时刻优化计算	145
6.2.6	驳船实时配载计算流程图	154
6.2.7	实时配载实例计算与分析	155
6.3	下水作业配载模型的数据处理方法	164
6.3.1	下水作业配载潮位预测	164
6.3.2	滑动平均法	167
6.3.3	下水作业配载数学模型	168
第 7 章	不同移运方式下驳船承受产品载荷计算方法	170
7.1	滑道移运方式下驳船承受产品载荷计算方法	170
7.1.1	通常处理方法	170
7.1.2	基于弹性基础梁理论的处理方法	171
7.1.3	基于弹性支座的有限元法	176
7.1.4	实例分析	176
7.2	气囊移运方式下驳船承受产品载荷实时计算方法	180
7.2.1	气囊承受压力实时计算	180
7.2.2	支承产品气囊位置实时确定	181
7.2.3	驳船承受已上驳部分产品载荷的计算	183
7.2.4	实例分析	183
第 8 章	配载系统开发	188
8.1	软件开发方法	188
8.2	配载系统需求分析	189
8.2.1	用户需求	189
8.2.2	系统需求	190
8.3	配载系统设计	190
8.3.1	工程管理子系统	191
8.3.2	信息查询显示子系统	193
8.3.3	预配载仿真子系统	194
8.3.4	下水作业子系统	196

8.4	下水驳船压载水调节系统	199
第 9 章	工程应用实例	206
9.1	9000t 矩形载荷分布产品配载计算	206
9.2	浮船坞接载 92500 DWT 散货船配载计算	207
9.3	半潜驳接载 SUPER M2 自升式海洋平台配载计算	209
第 10 章	总结与展望	212
10.1	总结	212
10.2	展望	213
参考文献		215

第 1 章 绪 论

本书以浮式陆海接载装备自动配载技术及应用为主要内容,重点对配载力学原理、配载优化计算方法和软件系统开发等关键技术进行介绍。

1.1 背景与意义

进入 21 世纪,全球船舶订造出现历史性高峰,这对中国造船企业来说既是机遇又是挑战。组建新的造船设施和船厂等常规做法将可能面临场地紧张、投资巨大和建设周期长等一系列问题,以及设施建成后造船高峰过去可能出现闲置的风险。在韩国,许多船厂纷纷打破了这些常规做法,将很多创新型技术用于造船中,特别是近几年韩国造船企业采用的巨型总段建造、船坞快速搭载、平地造船和浮船坞内造船等技术^[1],是对造船方式进行的一次次重大变革。在不投资新建、扩建船坞的条件下,通过平地造船、浮船坞内造船等创新方法提升了造船生产能力。2002 年 7 月,韩国率先采用“平地造船”技术成功建造了一艘 340000 DWT(dead weight tonnage, 载重吨)级 FSO(floating storage and off loading, 浮式储油卸油装置, 常指浮式储油卸油船),并用两条刚性连接的半潜驳船,借助配载软件 LMC(load master computer),采用滑道拖拉滑移方式成功完成下水作业^[2],打破了在船台上造船的常规做法,减少了对造船关键设施如船坞、船台的基建投入。图 1.1 为平地造船场景。该方法首先在平地上建造完工整艘船舶,再利用侧行滑轨使新建的船舶滑行到下水驳船上,然后由驳船装载运送到预定海域,通过驳船下潜来实现船舶的下水。在平地造船方法中,如何实现船舶产品安全、快速的移运上驳是整个建造施工过程中的一个技术难题。

我国是一个发展中的海洋大国,拥有约 300 万 km^2 的海域面积,接近陆地总面积的 1/3。众所周知,石油和天然气是我国经济保持快速发展必不可少的能源,而我国海域的油气资源储量丰富,具有极大的开发利用价值。目前,随着海洋油气勘探开发事业的日益发展和开发海域逐步由浅海向深海的延伸,油气钻采设备也越来越大型化,钻采平台组块也朝着高、大、重的方向发展^[3]。特别是大型平台模块重量往往达到了万吨以上,建造完工的钻采平台模块的运输日益受到人们的重视。一般情况下,海上结构物的装船是用浮吊船进行吊装的,过去此方法只适应于重量较小的中小型结构物,对于大型结构物而言,没有大型起重



图 1.1 平地造船场景

设备, 吊装作业就无法实施^[3]。近年来, 浮吊船的吊装能力也在不断提高, 可以吊装重量达数千吨的重物, 但浮吊船雇佣费用较高, 如果浮吊船靠不上码头, 就会耽误工期, 从而影响整个工程的经济性。

下水驳船移运是目前海洋平台等大型海洋结构物所采用的一种主要运输方式。在该方式下, 保证海洋结构物快速、安全的移运上驳尤为重要, 是关系工程成败的重要环节。图 1.2 为某平台移运上驳场景图。

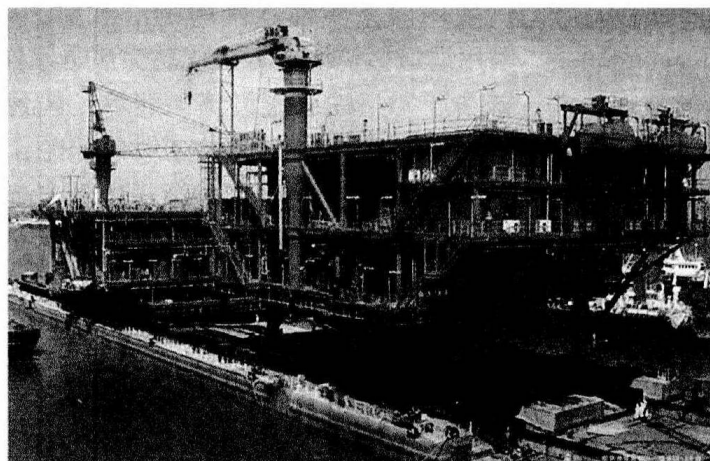


图 1.2 某平台移运上驳场景图

随着国民经济的飞速发展, 我国港口的建设规模越来越大, 大型重力式码头的单个沉箱重量已常达 1000t 以上。采用在已有码头前沿预制, 通过大型起重设

备出运并安装的工艺已不适应工程施工的需要,采用陆上预制、滑道下水或坞内预制后起浮出运的工艺则受到投资成本、工期和场地条件等多方面的制约,现在多采用陆上预制、高压气囊移运上驳下水的方式。同样,上驳过程的安全性和快速性是该方法的关键。

目前,国外如韩国、挪威、美国和墨西哥等国家运用滑道拖拉滑移技术,实现了产品的下水作业^[4]。国内,半潜驳船 BH308 先后成功运用该技术完成了储油存箱和 SZ36-1 海洋平台下水作业;远通驳 8 号完成了海洋平台 SUPER M2 的下水作业。

滑道拖拉滑移下水如图 1.3 所示。随着产品的不断进入,作用在驳船上的载荷不断变化,同时加上潮水的变化,需要不断调整驳船的状态才能保持驳船甲板滑道和码头滑道处于一个水平面上,因此下水作业成功的关键在于驳船配载的实时性和有效性^[5]。

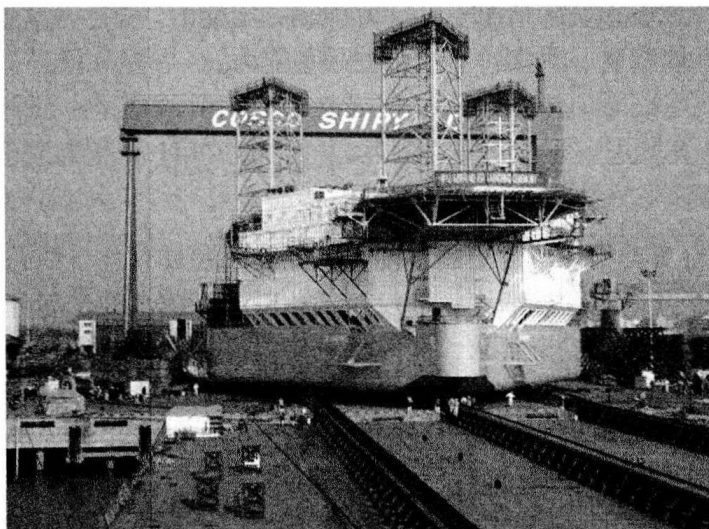


图 1.3 驳船滑道拖拉滑移下水

配载作业需要获得产品作用在驳船上的载荷、潮高、吃水和各个压载舱的压载水量。以往,国内船厂产品的接载配载普遍是由技术人员依靠简单的工具,现场检测潮汐变化,预测一个上驳潮高;在接载过程中,根据作业人员现场报告产品进入长度和滑道高差等参数,依靠船长经验对驳船压载舱进行配载。这种操作方式对作业人员的素质要求非常高,由于缺少理论预测和准确的数据支持,作业的风险很大。对于造价高昂的产品来说,准确可靠的接载预配载计算、稳定无误的数据采集、正确安全的配载方案是十分必要和关键的。

从平地造船的规模预测,未来必将朝着产品建造的大型化和模块化发展。国

外如韩国已经掌握了大重量结构滑移下水技术。国内,目前导管架滑移下水技术已经基本具备,但是大重量结构物(重量超过 10000t)滑移下水技术还没有成熟的作业经验,相关的配载系统在预配载仿真、下水作业配载和数据采集等方面还有待于开发和完善。因此,开发一套集数据遥测采集、预配载仿真模拟和下水作业配载计算于一体的用于产品滑道拖拉滑移下水的驳船配载系统非常有必要,其不仅在工程应用方面会创造丰厚的经济效益,在理论上也有学术研究的价值。

某些产品结构尺寸大,重量重,重量分布变化大,因此对配载系统要求非常苛刻,这样才能保证滑移下水的安全。要求配载系统:

- (1) 具备作业检测驳船和滑移下水产品的结构和稳性能力。
- (2) 能够实时准确给出驳船配载方案,并按照要求控制驳船的浮态。
- (3) 具备可靠的潮位预测系统,在滑移下水操作前,给出可靠、完备的预配载方案。
- (4) 具备考虑极端实际情况下的计算配载方案能力。
- (5) 具备性能稳定、真实可靠的数据采集能力。

1.2 配载技术研究现状

船舶依据自身类型和用途等的不同,其配载问题具有各自不同的特点,但它们需要遵守一个共同的配载原则:通过对货物以及压载水的合理分配使得船舶满足浮态、稳性和强度等安全要求,同时尽量使得作业效率达到最高。

20 世纪 90 年代,基于计算机技术的船舶配载系统产生,一般采用自动与手动交互的配载方式,根据船舶静力学的基本原理,按照法规要求进行配载。不同类型的船舶所配备的配载系统的意义和算法有所不同,但是遵循的配载原理都是通过合理分配压载来调整船舶的浮态,使船舶满足安全操作要求的浮态、稳性和强度指标,保证船舶和产品的安全。

集装箱船配载,是指在装卸集装箱前,在遵循配载基本原则的基础上,根据集装箱的不同性质,确定集装箱在船上的具体位置,帮助形成集装箱的装卸顺序,并最终配载图的形式表示出来^[6]。传统的方法是凭借人工经验手动完成,但随着集装箱船的容量越来越大,配载问题也变得越来越复杂。于是,各种研究机构和公司就开始借助计算机来解决集装箱配载的问题,希望通过制订科学合理的配载计划来提高码头运作和船舶运输的效率^[7]。王照宁^[8]针对现代化运输中集装箱自动配载问题提出了将专家系统与管理信息系统相结合、由低级向高级转化的方案,并对集装箱船舶自动配载系统的设计与实施进行了初步探讨。杨星等^[9]首先以最优吃水差作为原始数据,依据相关船舶的资料,建立了船舶总纵弯矩的计算

模型,并以最小总纵弯矩为目标函数求得集装箱重量的最优纵向分布;然后以集装箱重量在船上的最优纵向分布为基础,根据最优初稳性目标,以每行位集装箱重量的垂向重量力矩为目标函数,求取集装箱在船上的垂向分布;最后根据所建立的线性规划模型,求出了一船某个航次的集装箱重量分布数值解,并据此设计了航次积载方案。张维英^[10]在深入集装箱码头调研及查阅文献资料的基础上,探讨了集装箱船配载的特点、要求、过程及问题的复杂性,以集装箱船全航线配载为主线,使用智能优化的算法与技术,对全航线配载及其相关问题进行了研究,提出了求解配载问题的一些新方法。车鉴^[11]创新性地建立了一个整数线性规划模型,研究了如何在预配载图限制的基础上,结合堆场的情况,将堆场上集装箱组最为合理地分配到船上单元块,从而提高设备的利用效率;并且尝试将堆场和设备的因素引入优化模型,探讨一种新的优化思路和方法。

散货船的配载主要是对货物进行分配,在浮态、稳性和强度方面进行计算和校核以满足规范要求^[12]。目前国内外很多商业软件都含有散货船配载计算模块,如芬兰 NAPA 公司开发的 Onboard-NAPA 系统、瑞典 Kochum Sonics 公司开发的 LoadMaster 系统、丹麦 Marine Alignment 公司开发的 Easeacon 系统等,这些软件给出的散货船配载模块一般只提供配载辅助功能,还没有达到实时自动配载的程度^[13],此外还存在软件系统价格昂贵等问题。宋立新^[14]开发了散装谷物船舶的装载模拟系统,该系统采用了高精度的浮态、稳性和强度的计算方法。杨军^[15]结合专家系统设计原理,给出了散货船配载专家系统知识库和推理机设计方法,同时提出了用效用矩阵实现货物自动配载的方法。杜嘉立等^[16]开发了具有手动微调功能的自动配载程序,该程序能根据船舶载货量、积载因素和吃水等要求确定配载方案。

杨久青^[17]在油轮的配载问题上,论述了计算机辅助配载的方法,通过该配载系统可以对手工油轮配载方案进行浮态、稳性及强度的计算和校核。马骏和郭昌捷^[18]通过合理地控制油船配载方案和配载顺序,预报可能的危险状态或配载禁区,有效地解决了油船由老龄化带来的剩余强度降低问题。

周丰^[19]提出在船舶配载工作中,以按货票配载取代按货种配载的观点,建立了货物配载的优化模型,并根据配载工作的特点,给出了改进的 Kolesar 算法。成鹏飞等^[20]针对宝钢水运业务人工配载的低效率问题,通过分析货物的装船原则,并结合船舶对强度、稳性和装载量等的要求,开发了一套船舶配载专家系统,取得了良好效果。刘勇等^[21]运用模糊数学理论并结合专家系统理论开发出了一套船舶配载模糊优化专家系统,实现了货物的准确、快速和合理配载,并能快速绘出配积载图。简兆权等^[22]将人工神经网络和专家系统结合,探讨了神经网络专家系统在货船配载系统中的应用。孙静^[23]从船舶最佳纵倾航行节能原理出发,进行