

船舶与海洋结构物先进设计方法



船舶管路智能布局优化设计方法

Intelligent Layout Optimization Design Methods
of Ship Piping

王运龙 林焰 著



科学出版社

船舶与海洋结构物先进设计方法

船舶管路智能布局优化设计方法

Intelligent Layout Optimization Design Methods of Ship Piping

王运龙 林 焰 著

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书主要对船舶管路智能布局优化设计问题进行研究,探索智能优化算法在船舶管路布局中的应用。本书内容如下:介绍相关概念和国内外相关技术的研究现状;介绍船舶管路智能布局优化设计数学建模研究,包括布局空间环境模型、方向指导机制、约束条件和目标函数;介绍基于遗传算法的船舶管路布局优化设计;介绍基于蚁群优化算法的船舶管路布局优化设计;介绍基于协同进化算法的船舶管路布局优化设计;介绍基于人机合作的船舶管路布局优化设计。

本书可以作为高等院校船舶与海洋工程领域相关专业的本科生、研究生的教材或参考书,亦可作为相关领域科研人员参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

船舶管路智能布局优化设计方法=Intelligent Layout Optimization Design Methods of Ship Piping/王运龙,林焰著.—北京:科学出版社,2017.5
(船舶与海洋结构物先进设计方法)

ISBN 978-7-03-052451-5

I. ①船… II. ①王… ②林… III. ①船舶管系-最优设计
IV. ①U664.84

中国版本图书馆CIP数据核字(2017)第068775号

责任编辑:张震 杨慎欣 / 责任校对:李影
责任印制:吴兆东 / 封面设计:无极书装

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>

北京厚诚则铭印刷科技有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2017年5月第一版 开本:720×1000 1/16

2017年5月第一次印刷 印张:13 3/4

字数:288 000

定价:98.00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

船舶设计是一个循环迭代、逐步近似、螺旋式上升的过程，而且船舶产品大多是小批量生产，因而船舶设计工作量非常巨大。传统的船舶设计通常按照设计对象分为总体设计、结构设计、舾装设计、轮机设计和电气设计五部分内容，并没有明确提出船舶布局设计的概念。然而，在船舶的实际设计过程中包含了诸多布局类设计问题，如居住舱室的家具布局、机舱设备布局以及船舶各管路系统的布局等。人们应该对此类具有共性的设计问题进行归纳总结，提高船舶布局类问题的设计水平，进而提高船舶设计效率和设计质量，缩短船舶设计周期。

计算机辅助设计技术的出现，给船舶设计领域带来了一次巨大的变革。计算机辅助设计技术将船舶设计者从繁重的手绘设计工作中解放出来，设计者可以应用相关的计算机辅助设计软件进行高效的设计绘图。21世纪以来，随着设计任务逐渐增多，设计问题日益复杂，设计规模也越来越大，设计者希望计算机辅助设计不仅能够支持设计者简单的绘图工作，而且能够代替设计者的一部分脑力劳动，期望计算机能像设计者那样具有思维，能够自动进行高效的设计活动，于是智能计算机辅助设计应运而生。智能计算机辅助设计技术是人工智能和计算机辅助设计技术结合的产物，它通过模拟特定领域的专家设计过程，采用特定领域的知识符号推理技术，解决特定领域的设计问题。如今，智能计算机辅助设计技术广泛应用于机械、汽车以及航空航天等领域，取得了不错的成果，在一定程度上，减少了设计者的工作量。

船舶布局设计是指在给定的船舶舱室空间中进行功能区域划分，布置设备、通道、管路、电缆等，在满足物品设备使用功能特性的同时，提高船舶舱室利用率。船舶布局类设计问题在传统的船舶设计过程中，往往依据设计者的相关经验以及相应的船舶设计规范准则来进行设计，自动化水平低，存在很大的优化空间。船舶布局设计的设计目标和约束条件一般都具有一定的不确定性，因而很难用数学语言进行描述，即很难准确地建立设计问题的数学模型。将智能计算机辅助设计技术与船舶布局类设计经验相结合，便产生了船舶智能布局设计技术。船舶智能布局设计技术可以有效减少设计者的工作量，提高设计效率和设计质量，进而缩短设计周期，因而研究船舶智能布局设计技术是十分必要的，它是船舶智能设计领域的研究热点之一。

船舶布局类设计问题中比较有代表性的有居住舱室的布局设计和船舶管路布局设计等，具体可分为两大类：块状物体的填充类布局设计问题和线状物体的

路径寻优类布局设计问题。居住舱室布局设计问题代表家具、设备等块状物体的填充类布局设计问题，类似问题还有机舱设备布局设计问题等。船舶管路布局设计问题则代表管路等线状物体的路径寻优类布局设计问题，类似问题还有船舶电缆布局设计问题等。这两大类问题由于布置的物体形状不同以及布局空间不同，选择的研究方法也不完全相同。

船舶管路布局优化设计是在给定的几何、拓扑、技术、规则等约束中求解各种可行管路布置结果并从中选优的设计过程。从几何意义上看，在限定的三维布置空间中，管线从指定起点开始寻找出一条不与其他布置物体发生干涉现象，且满足物理约束、经济约束、安全及规范约束、生产及安装约束、操作及维护约束、力学约束等各种约束条件的到达指定终点的无碰路径。船舶管路智能布局优化设计研究的主要目的是利用当前先进的计算机技术，在满足相关技术、规则等约束条件下，寻找一种自动化、智能化地解决管路布局优化问题的快速而有效的方法，类似于三维空间内的机器人路径寻优。因此，船舶管路三维布局优化问题属于带性能约束的组合优化 NP 难问题，该问题的解决既具有理论上的开拓性和艰难性，又具有工程实践上的复杂性。船舶管路智能布局优化设计方法的研究对减轻设计师负担、提高船舶设计效率和质量、缩短设计周期、降低造船成本均有重要意义。本书总结近年来作者及课题组成员对船舶管路布局优化设计所进行的研究工作，探索智能优化算法在船舶管路布局上的应用，为实现船舶管路的智能化设计奠定理论基础。

全书共 6 章，第 1 章绪论，主要介绍相关概念和国内外相关技术的研究现状；第 2 章介绍船舶管路智能布局优化设计数学建模研究，包括布局空间环境模型、方向指导机制、约束条件和目标函数；第 3 章介绍基于遗传算法的船舶管路布局优化设计；第 4 章介绍基于蚁群优化算法的船舶管路布局优化设计；第 5 章介绍基于协同进化算法的船舶管路布局优化设计；第 6 章介绍基于人机合作的船舶管路布局优化设计。

本书由王运龙主笔，林焰主审；李楷参与了 5.1 节、5.5 节的编写，管官参与了 5.2 节的编写。本书在写作过程中得到纪卓尚教授、马坤教授、陈明副教授等的大力支持和帮助，同时，大连理工大学范小宁博士、姜文英博士、邬君硕士、王晨硕士、赵学国硕士等为本书的出版提供了帮助。本书的出版得到国家自然科学基金（项目编号：51209034）、辽宁省自然科学基金（项目编号：2014020017）资助。

由于作者水平有限，书中缺点和不妥之处在所难免，恳请广大读者批评指正。

王运龙

2017 年 1 月

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 船舶管路	1
1.2 船舶管路系统设计	1
1.3 船舶布局设计	3
1.3.1 船舶布局设计定义	3
1.3.2 布局问题常用算法简介	6
1.4 船舶管路智能布局优化设计	10
1.4.1 船舶管路智能布局优化设计的意义	10
1.4.2 管路布局优化设计国内外研究概况	12
第 2 章 船舶管路智能布局优化设计数学建模研究	20
2.1 船舶管路布局空间环境模型	20
2.1.1 舱室模型	20
2.1.2 障碍物模型	23
2.1.3 布局优劣区域模型	23
2.1.4 管路模型	24
2.2 船舶管路布局方向指导机制	25
2.2.1 方向指导机制	25
2.2.2 船舶管路布局方向指导机制的设置方法	26
2.3 船舶管路智能布局优化模型	28
2.3.1 约束条件	28
2.3.2 目标函数	29
第 3 章 基于遗传算法的船舶管路布局优化设计	30
3.1 遗传算法简介	30
3.1.1 遗传算法的产生和发展	30
3.1.2 遗传算法的基本思想	31

3.1.3	遗传算法的基本流程	39
3.1.4	遗传算法的主要特点	40
3.2	船舶管路三维布局优化遗传算法	40
3.2.1	编码方法和种群初始化	41
3.2.2	适应度函数	43
3.2.3	遗传算子	43
3.2.4	仿真实验	45
3.3	基于自适应退火遗传算法船舶单管路布局优化设计	49
3.3.1	遗传算法的局限性	50
3.3.2	自适应遗传算法	50
3.3.3	模拟退火遗传算法	51
3.3.4	基于自适应退火遗传算法船舶管路布局优化	52
3.3.5	算法计算步骤	55
3.3.6	仿真实验	56
3.4	基于爬山遗传算法船舶单管路布局优化设计	59
3.4.1	爬山遗传算法	59
3.4.2	编码方法	60
3.4.3	适应度函数	60
3.4.4	遗传策略	61
3.4.5	仿真实验	61
3.4.6	方向参数敏感性分析	63
第 4 章	基于蚁群优化算法的船舶管路布局优化设计	65
4.1	蚁群优化算法简介	65
4.1.1	蚂蚁觅食行为	65
4.1.2	基本蚁群优化算法	67
4.1.3	改进蚁群优化算法	70
4.2	基于全局信息素迭代更新蚁群单管路布局优化设计	74
4.2.1	初始化和启发式信息	75
4.2.2	选择概率	75
4.2.3	解的构造	75
4.2.4	局部搜索	76
4.2.5	信息素更新	76
4.2.6	停止准则	77
4.2.7	仿真实验一	78

4.2.8	仿真实验二	83
4.3	迭代更新蚁群管路敷设系统参数敏感性分析	86
4.3.1	局部信息素残留系数 γ	86
4.3.2	全局信息素残留系数 ρ	87
4.3.3	信息素权重 α 和启发式信息权重 β	89
4.3.4	蚁群蚂蚁数量 m	90
4.3.5	结论	91
4.4	基于遗传变异蚁群优化算法船舶单管路布局优化设计	92
4.4.1	优化算法的目标函数	92
4.4.2	遗传变异蚁群优化算法	92
4.4.3	基于遗传变异蚁群优化算法管路布局优化计算过程	99
4.4.4	仿真实验	100
第 5 章	基于协同进化算法的船舶管路布局优化设计	107
5.1	协同进化算法简介	107
5.1.1	协同进化的生物学基础	107
5.1.2	协同进化算法的基本特征	109
5.1.3	协同进化算法的发展现状	109
5.1.4	多种群互利共生类协同进化算法	112
5.2	基于多蚁群合作式协同进化算法船舶多管路布局优化	118
5.2.1	多蚁群合作式协同进化算法模型	119
5.2.2	多蚁群合作式协同进化算法流程及其实现	121
5.2.3	仿真实验	123
5.3	船舶分支管路协同进化算法建模	128
5.3.1	基本思想	128
5.3.2	算法模型	129
5.3.3	分支管路路径优化问题的分解	130
5.3.4	分支管路系统的协同进化	130
5.3.5	重合势能值	134
5.3.6	约束条件及优化目标	134
5.3.7	算法流程	134
5.4	船舶分支管路协同进化算法仿真实验	136
5.4.1	实验模型	136
5.4.2	遗传协同进化算法分支管路布局优化仿真实验	136
5.4.3	蚁群优化协同进化算法分支管路布局优化仿真实验	139

5.4.4	结论	143
5.5	并行管路与分支管路混合协同进化算法	143
5.5.1	船舶多管路布局的基本特征	144
5.5.2	优化算法的基本要素	145
5.5.3	协同进化算法的改进	148
5.5.4	协同进化算法求解船舶多管路布局优化设计问题的计算过程	152
5.5.5	仿真实验	154
第6章	基于人机合作的船舶管路布局优化设计	163
6.1	人机合作思想及其在布局优化中的应用	163
6.1.1	人机合作思想国内外研究现状	163
6.1.2	船舶管路布局优化中的人机合作问题	165
6.2	人工个体与算法个体结合机理与结合方法研究	168
6.2.1	人工个体的获取方式	168
6.2.2	构建人工方案参考集	169
6.2.3	人工个体的加入原则	170
6.2.4	管路布局优化设计中的人机合作机理研究	171
6.3	基于人机合作遗传算法的船舶单管路布局优化设计	172
6.3.1	算法的改进及流程	172
6.3.2	仿真实验	173
6.4	基于人机合作蚁群优化算法的船舶单管路布局优化设计	174
6.4.1	关键参数设计及模型建立	175
6.4.2	算法实现	176
6.4.3	仿真实验	180
6.4.4	人工个体加入参数的敏感性分析	184
6.5	基于人机合作的多蚁群协同进化算法多管路并行布局优化设计	187
6.5.1	基于人机合作的多蚁群协同进化算法模型的建立	188
6.5.2	基于人机合作的多蚁群协同进化算法及流程图	192
6.5.3	仿真实验	194
	参考文献	198

第1章 绪 论

1.1 船舶管路

船舶管路是指分布于船舶各舱室及甲板用以传输气体或液体的管路系统，其主要由管子、阀、法兰、管子支撑、管子连接件、设备等组成^[1]。船上各管路中流经的工作介质主要包括燃油、滑油、液货、蒸汽、淡水、海水和空气等。由于船上各种工作介质的压力、温度、流量及腐蚀性不同，船舶各管路系统中管子种类繁多且规格不一，同时，不同的管子具有不同特性。

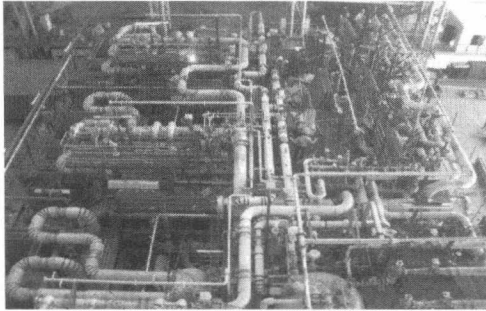
船舶管路按使用功能可以分为两大类：第一类是为推进装置服务的动力管路，包括燃油管路、滑油管路、冷却水管路、压缩空气管路、排气管路、机舱通风管路、蒸汽管路、凝给水管路等；第二类是为全船服务的船舶管路，包括舱底水管路、压载水管路、消防水管路、生活水管路、疏排水管路、液货装卸管路、惰性气体管路、CO₂管路、甲板泡沫管路、生活污水及处理管路等。

船舶管路数量多、种类杂、布置繁琐，据统计，一艘万吨级船舶上的管子长度可达万米^[2]。如果把一艘船舶比作一个人，船舶管道就像人体的血管，分布于船舶各处，承担着连接各作业系统、输送工作介质等多项功能。有了良好的管路布局，才能使船舶各功能系统相互协调、发挥作用。

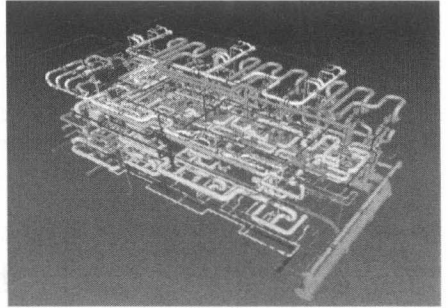
1.2 船舶管路系统设计

管路系统设计是船舶设计的重要内容之一，良好的管路系统设计对于保证船舶安全性、经济性、总体布局的合理性、可操作性、维修及船舶各种机械的正常运转和安全航行起着不可替代的作用。对各种船舶尤其是浮式生产储油轮(FPSO)、石油液化气船(LNG)、液化天然气船(LPG)等高附加值船型复杂管路系统布局的优化设计(图1.1)，对提高船舶管路系统设计质量、降低造船成本，以及从质量和造价方面增强中国船舶产品在国际市场上的竞争力意义重大。

船舶管路系统不仅担负着船舶不沉性、安全性、防火、防污、液货输送、浮态调整等任务，而且要满足可靠且方便操作、维修以及保证船舶各种机械正常运转和船员舒适生活等需要。



(a) 实物图



(b) 三维模型图

图 1.1 浮式液化天然气存储再气化装置 (LNG-FSRU) 再气化模块管路系统

管路设计直接关系到船舶的质量性能和经济成本, 如何有效缩短管路设计周期和提高管路设计质量, 对缩短整个造船周期并提高经济效益具有重要意义。船舶管路布局要求达到性能、成本、可靠性、可维护性等各方面综合平衡, 应以总布置图和船体结构为背景, 满足相应的标准、规则、规范、规格书、建造计划书、系统原理图的要求, 同时要考虑船厂的管子加工与安装工艺水平^[3]。

船舶设计过程一般分为三个阶段: 初步设计、详细设计和生产设计。管路设计在这三个阶段对应的主要内容如下: ①初步设计阶段, 进行管路系统原理设计, 提供管路系统原理图; ②详细设计阶段, 进行管路的布局设计, 提供管路布置图; ③生产设计阶段, 进行管路干涉检验, 提供管路系统安装图、零件图和材料统计表等。在现代船舶设计中, 管路设计在船舶总体设计中占很大的比例。

一般船舶管路的设计要点如下:

(1) 管路的布置应具有合理性, 如所有燃油舱(柜)的空气管、溢流管和测量管都应避免通过居住舱、精密仪器舱、粮库等贮藏舱室。淡水管路不得通过油舱, 以免管子破损或产生渗漏污染水质。同样, 油管路也不得通过淡水舱。如不可避免时, 应加设油密隧道或套管, 让管路通过。其他管路通过油舱时, 应遵照规范要求加厚管壁, 并且, 在舱内不得有可拆接头。

(2) 管路的布置应具有安全性, 如蒸汽管、油管、水管和柴油机排气管等, 应避免布置在配电板及其他电器设备的上方及后面, 并尽量远离配电板。油管路还应避免在锅炉、烟道、蒸汽管、废气管及消音器的上方通过。凡通过防火区域的管路, 应采用满足船级社认可的节点形式。管子穿过水密或气密结构处时应采用贯通件或座板。

(3) 管路的布局应具有可操作性, 要为建造和维修阶段所用的吊车、绞车和移动设备提供操作空间。阀及控制装置应避开障碍物并处在易维护的范围内, 如装在花钢板以下的阀件, 其手轮应能方便操作; 不便于操作的阀件, 应将阀杆接长或配备便于操作的工具。

(4) 管路的布置应具有可维护性, 如在管子、附件、滤器等设备上设有放泄

装置,以放泄管子内的空气及存液。

(5) 管路的布置尽量简单、合理、美观,要简化支撑、节省空间。如管路应尽量沿着舱壁、设备且管路支架正交并成束敷设,管路排列应整齐,对各个系统的每个阀门均要按规则整齐布置。管子与其他管子、设备、附件之间尽量以最短距离连接,确保拆装方便,并使之形成管束,管子的排列应避免交叉布置,应与船首方向、船尾方向及左右舷方向平行^[4]。管路的布置要按照先布置大管后布置小管、先布置特殊要求管后布置一般要求管的原则进行^[5]。管路布局空间位置应根据通道空间、人孔空间以及设备必需的拆检、维修空间来确定。在机舱通道及工作区,根据人体最适宜的操作位置范围(正常行走高度、横向进出的最小间距以及下蹲行走的最小高度等)定出通道空间、通道高度。在布管时还应确保管子与管子之间留有间隙,管子与甲板、外板、扶梯等都应留有标准距离。

(6) 管路的布置应满足管路的力学要求,防止因船舶振动、温度变化引起的热胀冷缩等因素出现管子断裂、变形等安全问题。

(7) 管路的布置应具有经济性和实用性。管路在满足使用要求和布置要求的前提下,管路长度应尽量短,减少弯头数量,同时应避免出现多余回路。

进行良好的管路系统设计,不仅需要对该系统工艺、设备功能、相关标准规范、操作维修方式、船舶安全防火、各种配管材料性能,以及结构、振动、支撑、绝缘等多方面情况有透彻了解和实际经验,而且需要对各种方案反复比较,并非只是简单遵循规范就能解决好问题。许多实际管路系统设计中所需的知识经验和技巧不可能从现成的标准规范中获得,需要设计人员反复思考、逐步积累。管路的布局结果是因人而异的,不同的设计人员做出的设计方案也是不同的。而一些宝贵的设计经验有可能会随着有经验的管路设计专业人员的逐年离退而丢失,这就使得管路系统设计的任务更加繁重。

随着科学技术的进步和船舶工业的发展,船舶产品升级换代的速度大大加快。在现代船舶工业中,管路系统设计在船舶总体设计中占有重要地位。目前,在实际工作中管路系统设计主要依赖于设计者的经验,由于在设计过程中管子数量十分庞大、约束条件复杂,管路布线设计耗时费力,经常出现干涉、返工的情况。管路系统设计技术与船舶其他部分设计技术相比一直处于落后状态,致使整个船舶的设计周期延长,建造成本增加。同时,当前的船舶管路布置缺乏优化设计过程,大多以实现管路作业功能为主要目标,设计方案存在较大的优化空间。

1.3 船舶布局设计

1.3.1 船舶布局设计定义

21世纪以来,随着世界造船中心逐步东移,中国的船舶行业进入了飞速发展

阶段,造船三大指标长期处于世界前三位。2013年,中国造船三大指标全都超过了韩国,一跃成为世界第一造船大国。然而,随着金融危机的爆发,全球造船业从高峰逐步走向低谷。加之欧债危机影响,船舶企业的手持订单普遍锐减,利润大幅度下滑^[6]。严峻的形势迫使造船企业必须在保证造船质量的同时,尽可能地缩短船舶建造周期、降低建造成本、提高利润水平。船舶设计是建造船舶的工作基础和前提条件,是整个造船周期中技术含量最高、所占时间最长的一部分工作。因此,提高船舶设计水平、缩短船舶设计周期对船舶行业的发展具有重大意义。

船舶设计是一个循环迭代、逐步近似、螺旋式上升的过程。同时,船舶产品大多是小批量生产,因而船舶设计的工作量非常巨大。计算机辅助设计(computer aided design, CAD)技术的出现,给船舶设计领域带来了一次巨大的变革。CAD技术将设计者从繁重的手绘设计工作中解放出来,设计者可以通过相关的CAD软件进行高效的设计绘图。然而,21世纪以来,随着设计任务的逐渐增多,设计问题日益复杂,设计规模也越来越大,设计者希望CAD不仅仅能够支持简单的绘图工作,还能够代替设计者的一部分脑力劳动。设计者期望计算机能像设计者那样具有思维,能够自动进行高效的设计活动,于是,智能计算机辅助设计(intelligent computer aided design, ICAD)技术应运而生。ICAD技术是人工智能(artificial intelligence, AI)和CAD技术相结合的产物,它通过模拟特定领域的专家设计过程,采用特定领域的知识符号推理技术,解决特定领域的设计问题^[7]。如今,ICAD技术已经广泛应用于机械、汽车以及航空、航天等领域,并且取得了不错的成果,在一定程度上减少了设计者的工作量。

传统的船舶设计通常按照设计对象的不同分成总体设计、结构设计、舾装设计、轮机设计和电气设计五部分,并没有明确提出船舶布局设计的概念。然而,船舶设计中包含诸多布局类设计问题,例如,居住舱室的家具布局、机舱设备布局以及船舶各个管路系统的布局等。人们可以而且应该对此类具有共性的设计问题进行总结归纳,从而提高船舶布局的设计水平,进而提高船舶设计效率、缩短船舶设计周期。

船舶布局设计是指在给定的船舶舱室空间中进行功能区域划分,布置设备、通道、管路、电缆类物品,使得在满足物品使用功能特性的同时,提高船舶舱室利用率的设计。船舶布局设计的特点是数据计算量少,但是图形处理的工作量大,并且通常需要反复优化修改。此外,船舶布局设计的设计目标和约束条件都具有一定的不确定性,因而很难用数学语言进行描述,即很难准确地建立设计问题的数学模型^[8]。船舶布局类设计在传统的船舶设计过程中,往往依据设计者的相关设计经验以及相应的船舶设计规范和准则来进行,自动化水平较低。

将ICAD技术与船舶布局类设计经验技术相结合,便产生了船舶智能布局设计技术。船舶智能布局设计技术可以在保证设计质量的同时,减少设计者的工作

量,提高设计效率,进而缩短设计周期。因此,研究船舶智能布局设计技术是十分必要的,它是船舶设计领域的研究热点之一。

船舶智能布局设计需要计算机技术、ICAD 技术以及相关设计规范和设计经验的支撑。如图 1.2 所示,计算机技术提供了硬件支撑,ICAD 技术提供了技术支撑,而相关设计规范和设计经验提供了知识支撑,可以说这三者一起支撑起了船舶智能布局设计。

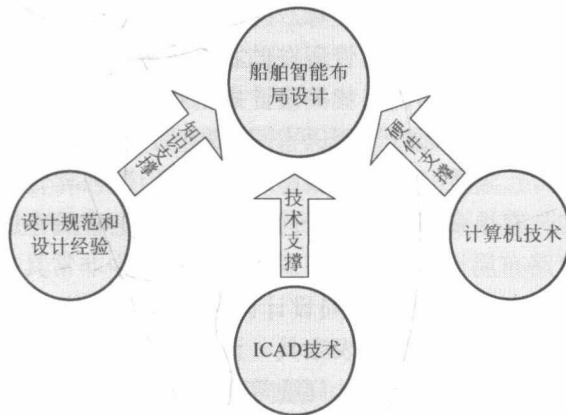


图 1.2 船舶智能布局设计与相关技术的关系

1. 计算机技术

虽然船舶布局类设计的数学计算量很少,但是需要进行大量的图形处理工作,因而对计算机硬件提出了较高的要求。从最初的电子管计算机到现在的微型计算机,计算机技术完成了巨大的变革。著名的摩尔定律时刻提醒着人们,计算机技术的发展是多么的迅速。正是由于计算机技术的迅速发展,使得大量的数据计算和图形处理成为了可能。因而计算机技术给船舶智能布局设计提供了强有力的硬件支撑。

2. ICAD 技术

CAD 技术的出现给设计界带来了巨大变革,它将设计师从繁重的手工设计中解放出来。然而,随着 CAD 技术应用范围越来越大,应用的程度越来越深,CAD 技术的一些不足之处渐渐显露了出来。主要体现在两方面:一方面是在设计过程中存在着大量的重复设计工作;另一方面是智能化程度较低,无法完成评判决策类工作^[9]。随着 AI 技术的诞生及迅猛发展,1977 年,国际信息处理联合会在法国召开的世界计算机大会上首次明确了 AI 技术对 CAD 技术的重大意义,标志着 ICAD 技术的诞生。ICAD 技术刚诞生就引起了一股研究热潮,并且取得了巨大进