



湖北省学术著作出版专项资金资助项目
现代航运与物流:安全·绿色·智能技术研究丛书



锚泊移位型工程船舶 系统建模、自动控制与工程应用

The System Modeling, Automatic Controlling for the
Mooring Shifting Project Vessel and It's Application

黄 珍 著



武汉理工大学出版社
WUTP Wuhan University of Technology Press

湖北省学术著作出版专项资金资助项目

现代航运与物流：安全·绿色·智能技术研究丛书

锚泊移位型工程船舶 系统建模、自动控制与工程应用

黄 珍 著

武汉理工大学出版社

· 武 汉 ·

内 容 提 要

本书是在多年锚泊移位型工程船舶科研实践的基础上完成的。全书共分为7章,主要包括锚泊移位型工程船舶的运动模型建立、工程船舶运动模型与控制器的优化设计、锚泊移位型工程船舶控制系统工程应用等。既有理论研究成果,同时也开发了软件系统,并在重庆、武汉、宜昌等多地进行了实际应用,取得了良好的应用效果。本书可以作为高等学校交通运输工程、控制科学与工程等教师和学生的教材,也可以作为航道管理部门的参考用书,为工程船舶管理提供技术指导与借鉴。

图书在版编目(CIP)数据

锚泊移位型工程船舶系统建模、自动控制与工程应用/黄珍著. —武汉:武汉理工大学出版社,2016.8

ISBN 978-7-5629-5318-0

I. ①锚… II. ①黄… III. ①移位-抛锚船-工程船-船舶系统-系统建模-研究 ②移位-抛锚船-工程船-船舶系统-自动控制系统-研究 IV. ①U674.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 208339 号

项目负责:陈军东 陈 硕

责任编辑:陈 硕

责任校对:雷红娟

封面设计:兴和设计

出版发行:武汉理工大学出版社

武汉市洪山区珞狮路 122 号 邮编:430070

<http://www.wutp.com.cn>

E-mail:chenjd@whut.edu.cn

经 销 者:各地新华书店

印 刷 者:湖北恒泰印务有限公司

开 本:787×1092 1/16

印 张:11

字 数:195 千字

版 次:2016 年 8 月第 1 版

印 次:2016 年 8 月第 1 次印刷

定 价:58.00 元(精装本)

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页等印装质量问题,请向出版社发行部调换。

本社购书热线电话:(027)87515798 87165708

现代航运与物流:安全·绿色·智能技术研究丛书

编审委员会

主任委员:严新平

航运物流与交通规划技术系列主任委员:张培林

内河航运技术系列主任委员:黄立文

船港设备绿色制造技术系列主任委员:袁成清

交通智能化与安全技术系列主任委员:吴超仲

委员(按姓氏笔画为序)

邓 健	甘浪雄	田 高	白秀琴	刘正林
刘明俊	刘敬贤	刘 清	牟军敏	杨亚东
杨学忠	肖汉斌	吴建华	吴超仲	初秀民
张矢宇	张培林	陈 宁	周新聪	袁成清
钟 鸣	黄立文	黄 珍	蒋惠园	蔡 薇

秘 书 长:杨学忠

总责任编辑:陈军东

出版说明

航运与物流作为国家交通运输事业的重要组成部分,在国民经济尤其是沿海及内陆沿河沿江省份的区域经济发展中起着举足轻重的作用。我国是一个航运大国,航运事业在经济社会发展中扮演着重要的角色。然而,我国航运事业的管理水平和技术水平还不高,离建设航运强国的发展目标还有一定的差距。为了研究我国航运交通事业发展中的安全生产、交通运输规划、设备绿色节能设计等技术与管理方面的问题,立足于安全生产这一基础前提,从航运物流与社会经济、航运物流与生态环境、航运物流与信息技术等角度用环境生态学、信息学的知识来解决我国水运交通事业绿色化和智能化发展的问题,促进我国航运事业管理水平与技术水平的提升,加快航运强国的建设。因此,武汉理工大学出版社组织了国内外一批从事现代水运交通与物流研究的专家学者编纂了《现代航运与物流:安全·绿色·智能技术研究丛书》。

本丛书第一期拟出版二十多种图书,分为船港设备绿色制造技术、交通智能化与安全技术、航运物流与交通规划技术、内河航运技术等四个系列。本丛书中很多著作的研究对象集中于内河航运物流,尤其是长江水系的内河航运物流。作为我国第一大内河航运水系的长江水系的航运物流,对长江经济带经济发展的促进作用十分明显。2011年年初,国务院发布《关于加快长江等内河水运发展的意见》,提出了内河水运发展目标,即利用10年左右的时间,建成畅通、高效、平安、绿色的现代化内河水运体系,2020年全国内河水路货运总量将达到30亿吨以上,拟建成1.9万千米的国家高等级航道。2014年,国家确定加强长江黄金水道建设和发展,正式提出开发长江经济带的战略构想,这是继“西部大开发”、“中部崛起”之后的又一个面向中西部地区发展的重要战略。围绕航运与物流开展深层次、全方位的科学研究,加强科研成果的传播与转化,是实现国家中西部发展战略的必然要求。我们也冀望丛书的出版能够提升我国现代航运与物流的技术和管理水平,促进社会经济的发展。

组织一套大型的学术著作丛书的出版是一项艰巨复杂的任务,不可能一蹴而就。自2012年开始组织策划这套丛书的编写与出版工作,期间多次组织专门的研讨会对选题进行优化,首期确定的四个系列二十余种图书,将于2017年年底之前出版发行。本丛书的出版工作得到了湖北省学术著作出版

专项资金项目的资助。本丛书涉猎的研究领域广泛,在这方面的研究成果众多,首期出版的项目不能完全包含所有的研究成果,难免挂一漏万。有鉴于此,我们将丛书设计成一个开放的体系,择机推出后续的出版项目,与读者分享更多的我国现代航运与物流业的优秀学术研究成果,以促进我国交通运输行业的专家学者在这个学术平台上的交流。

现代航运与物流:安全·绿色·智能技术研究丛书编委会
2015 年 8 月

前 言

长江口深水航道治理工程中,使用了大量适应施工需求的专用工程船舶,如挖泥船、铺排船、抛石船等,这些工程船一般为非自航锚泊型船舶,而且大多数是由其他船舶改装而来,自动化作业程度普遍比较低。在目前市场经济的大背景下,拥有高自动化程度的工程船就意味着效益和成绩,因此研究工程船锚泊移位自动控制系统,对提高工程船施工作业精度、速度有较大的实际应用价值。

笔者在多年科学研究及工程实践应用的基础上,形成了本书。首先介绍了锚泊移位型船舶的系统建模。在已有文献研究的基础上,借鉴常规船舶模型分析方法,分析该类型船舶的运动机理和特点,提出了锚泊船二维和三维的线性运动模型。同时针对该类型船舶的特点和工程应用要求,基于神经网络辨识方法,提出了一种面向锚泊移位型工程船舶的系统辨识模型。以一类典型的锚泊移位工程船——软体铺排船为例,依托工程实践采集的实验数据对神经网络模型参数进行学习训练,得到铺排船纵向位移模型。

针对建模和控制的优化问题,分析了量子粒子群算法(Quantum-behaved Particle Swarm Optimization, QPSO)。作为 QPSO 算法中唯一的参数,本书从问题依赖性、种群规模等多方面对收缩扩张系数 β 进行了大量的实验分析,根据实验结果得到该参数选取的指导性准则。为提高收敛速度,本书提出了一种改进的 QPSO 算法。通过仿真实验对比分析,该改进算法的收敛速度相对于标准的 QPSO 算法有显著的提高。利用改进的 QPSO 算法对铺排船纵向位移模型参数进行了优化训练,优化后的模型作为自动控制系统设计和仿真的对象模型。基于模糊逻辑设计了工程船舶航迹保持控制系统,并利用改进的 QPSO 算法对模糊控制器的模糊规则和隶属函数进行了优化设计。系统仿真实验结果表明,改进的 QPSO 算法应用于模糊控制器的参数设计是可行和有效的,控制系统的动、静态特性指标均能满足工程实践的要求。

我们提出了一种基于自适应神经-模糊推理系统(Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System, ANFIS)的工程船舶自适应控制器网络结构,使控制器参数可随环境因素变化以适应不同的施工任务。采用改进的 QPSO 算法对自适应航迹

保持控制网络的前、后件参数进行了优化设计。与基于 Fuzzy 的航迹保持控制器的对比仿真实验结果表明,基于 ANFIS 的自适应航迹保持控制器的控制效果在动、静态性能方面均有提高。我们提出了基于 ANFIS 的航迹航向多变量自适应控制器网络模型,网络模型采用子网络并行学习模式,利用多个粒子群对应各子网络参数,使得网络优化训练过程简单、快速。结合工程船舶施工实际状况,选取典型实例对该自适应控制系统进行了仿真实验,实验结果显示该控制网络能够满足工程船舶多目标控制要求。

结合实际工程项目,将基于模糊逻辑和 QPSO 优化算法的航迹保持控制系统应用于软体铺排船控制系统中,同时综合应用 PLC 控制网络技术、GPS 定位技术、多传感器信息融合技术、现场总线技术等先进的技术与手段,开发研制了一套软体铺排船作业综合自动监控系统。实船应用数据充分反映了本书探讨的工程船舶锚泊移位智能控制系统的有效性,对于同类型工程船舶自动化水平的提高提供了一套切实可行的实施方案。其研究成果可推广应用到类似工程船舶的自动作业系统中,对相关领域的研究也有一定的参考价值。

本书是在课题组多年科研实践的基础上完成的,既有理论研究成果,同时也开发了软件系统,在重庆、武汉、宜昌等多地进行了实际应用,取得了良好的应用效果,并在中央电视台等媒体上进行过专题汇报。本书在撰写过程中得到刘清、郭建明等老师的帮助和支持,书中大量实验数据的获取,离不开长江航道局、重庆航道工程局等单位的大力支持,同时本书参考了大量的国内外文献,在此一并表示深深的谢意。本书可以作为高等学校交通运输工程、控制科学与工程等专业教师和学生的参考教材,也可以为航道管理部门对专业工程船舶进行管理提供借鉴。

黄 珍

2016 年 3 月

目 录

1 绪论	(1)
1.1 问题的提出及研究的意义	(1)
1.2 锚泊移位型工程船舶概述	(2)
1.2.1 锚泊设备	(3)
1.2.2 工程船舶锚泊定位系统	(8)
1.3 船舶建模与控制的研究综述	(10)
1.3.1 船舶运动模型研究综述	(10)
1.3.2 船舶运动控制研究综述	(12)
1.3.3 锚泊船建模与控制研究综述	(14)
1.4 本书的主要内容和结构安排	(15)
1.4.1 主要内容	(15)
1.4.2 结构安排	(16)
2 工程船舶系统建模	(18)
2.1 引言	(18)
2.2 工程船舶锚泊移位系统模型描述	(19)
2.2.1 船舶运动的数学模型	(19)
2.2.2 水动力	(21)
2.2.3 环境载荷	(23)
2.2.4 锚链拉力	(24)
2.2.5 工程船舶运动线性模型	(26)
2.3 神经网络辨识与建模	(28)
2.3.1 系统建模的一般方法	(28)
2.3.2 神经网络辨识结构与方案	(29)
2.3.3 神经网络辨识的特点	(32)
2.4 基于神经网络的工程船舶系统辨识	(32)
2.4.1 辨识对象分析	(32)
2.4.2 基于前馈神经网络的工程船舶位移模型	(36)
2.4.3 基于回归神经网络的工程船舶位移模型	(38)

2.5	本章小结	(42)
3	基于粒子群算法的工程船舶位移模型优化	(44)
3.1	引言	(44)
3.2	粒子群优化算法	(44)
3.2.1	基本粒子群算法	(44)
3.2.2	标准粒子群算法	(46)
3.2.3	粒子群优化算法的改进研究	(47)
3.3	量子粒子群优化算法	(49)
3.3.1	QPSO 算法简述	(49)
3.3.2	QPSO 算法的控制参数选择	(51)
3.3.3	QPSO 算法的改进	(57)
3.4	基于量子粒子群算法的位移模型优化及仿真分析	(58)
3.5	本章小结	(61)
4	基于模糊逻辑的工程船舶航迹保持控制系统设计与优化	(62)
4.1	引言	(62)
4.2	模糊逻辑控制的理论基础	(63)
4.2.1	模糊集合与模糊关系	(63)
4.2.2	模糊推理	(64)
4.2.3	模糊控制系统的组成	(65)
4.3	航迹保持模糊控制系统的设计	(66)
4.3.1	模糊控制系统构成	(66)
4.3.2	模糊控制器的设计	(67)
4.3.3	系统仿真实验	(70)
4.4	基于粒子群优化算法的模糊控制器优化设计	(71)
4.4.1	粒子群优化算法与模糊控制的结合	(71)
4.4.2	模糊控制器隶属度函数优化	(72)
4.4.3	模糊控制器模糊控制规则优化	(75)
4.5	本章小结	(78)
5	工程船舶航迹航向保持自适应控制器设计	(79)
5.1	引言	(79)
5.2	自适应神经模糊推理系统	(79)
5.2.1	自适应网络	(80)
5.2.2	ANFIS 的结构	(80)
5.2.3	ANFIS 的学习算法	(82)
5.3	自适应航迹保持控制器设计	(82)

5.3.1 基于 ANFIS 的自适应控制器网络模型	(82)
5.3.2 基于 QPSO 算法的参数学习算法	(84)
5.3.3 仿真实验	(85)
5.4 多变量自适应控制器设计	(87)
5.4.1 锚泊移位航迹航向多变量模型建立	(87)
5.4.2 多变量自适应控制器网络模型	(88)
5.4.3 系统仿真实验	(90)
5.5 本章小结	(92)
6 工程船舶作业综合自动监控系统的研制	(94)
6.1 引言	(94)
6.2 工程船舶作业综合自动监控系统需求分析	(94)
6.3 工程船舶作业综合监控系统总体设计	(95)
6.4 工程船舶作业综合监控系统具体实现	(96)
6.4.1 基于 DGPS 的船舶动态定位子系统设计	(96)
6.4.2 基于现场总线的 PLC 控制网络设计	(103)
6.4.3 基于可视化技术的实时监控软件设计	(105)
6.5 本章小结	(114)
7 工程应用实例——软体铺排船	(115)
7.1 引言	(115)
7.2 软体铺排船国内外应用概况	(115)
7.3 22m 排宽软体铺排船作业综合自动监控系统设计	(119)
7.3.1 系统需求分析	(119)
7.3.2 自动监控系统体系结构设计	(120)
7.3.3 系统硬件构成	(122)
7.3.4 作业综合自动监控软件开发	(126)
7.3.5 监控系统运行效果	(138)
7.4 40m 排宽软体铺排船作业综合自动监控系统优化设计	(140)
7.4.1 系统优化需求分析	(140)
7.4.2 自动监控系统优化设计	(141)
7.4.3 智能移船控制算法模块优化设计	(143)
7.4.4 施工作业预案制作及施工轨迹记录功能优化设计	(146)
7.4.5 实时监控界面优化设计	(148)
7.4.6 全船液压监控软件优化设计	(151)
7.5 本章小结	(155)
参考文献	(156)

1 绪 论

1.1 问题的提出及研究的意义

近年来,随着我国大力推进资源节约型和环境友好型社会建设,对长江航道的投入逐年增加,开展了一大批航道整治工程,长江航道通过能力大幅提升。长江口深水航道整治工程于1998年1月27日正式开工,到2010年3月14日三期工程全线贯通,历时12年、耗资150多亿元打造出一条全长92.2km、水深12.5m、底宽350~400m的双向“水上高速通道”。这不仅是迄今为止中国最大的水运工程,也是世界最大的河口整治工程。多年来,我国一大批学者、专家为整治长江航道进行了不懈努力和艰苦卓绝的工作,积累了大量宝贵的工程实践经验^[1,2]。“十二五”期间,长江航道建设即将进入一个大规模、高标准、快速度的全新发展机遇期。未来十年,国家将投资430亿元建设长江航道,其中用于航道整治的达300亿元。

在长江流域修建导堤、丁坝、潜堤等整治建筑物,对现有堤坝进行护堤、护坡作业等是目前普遍应用的整治方法。配合该项工程开发了大量适应施工需求的专用工程船舶,如挖泥船、铺排船、抛石船等,这些工程船舶一般为非自航船舶,依靠锚泊系统实现移船,而且大多数是由其他船舶改装而来,自动化作业程度普遍比较低。施工作业中,船舶效能的充分发挥在很大程度上还依赖于操作人员的技能,设备利用率和生产效率都较低。船舶的移位和定位控制大都采用手动方式来实现,这要求操作者应具有相当丰富的工作经验,根据工程船舶的航向、航迹以及风、浪、流作用力的方向和大小,来协调控制各锚缆的收放长度及速度,从而实现移船和定位,这种手动控制方式不可避免地会降低移船和定位精度。

目前,长江航道整治工程均以工程投标的形式进行,施工作业的精度是考量工程质量的重要指标,也是整治工程成功与否的关键,而提高施工作业的速度将大大减少工程施工成本。长江沿线各航道局均在修建用于整治工程的各类工程船舶,拥有高自动化程度的工程船舶就意味着效益和成绩。因此,通过研究锚泊

移位型工程船舶自动控制系统来提高工程船舶施工作业精度、速度,有较高的实际应用价值。

传统意义的船舶操纵系统是按照预先设定的最佳航行计划,控制船舶航行在预定航线上,同时实现避碰、避险的指令执行系统。

船舶根据是否有自航能力分为舵类船舶(带动力自航能力)及锚泊移位型船舶(非自航能力)。对于舵类船舶而言,船舶操纵性是指船舶借助舵保持或改变其航向和航迹的性能及借助于主机-螺旋桨保持或改变航速的性能。而对于非自航的船舶而言,其操纵性表现在对多个锚机的操纵,在工作时通过协调控制多个锚机的收、放缆动作和速度,保持或改变其航向和航迹。

针对舵类自航船舶的研究,包括其运动数学模型、“智能舵”的设计研究,经过多年的发展已越来越趋于成熟。近几年来随着智能控制技术的发展,先进的智能控制技术在船舶操纵控制系统中得到大量应用^[3-17]。对于工程船舶而言,它们没有自航能力,依靠锚泊进行定位和移动,因此应用于自航船舶的成熟的智能控制器不适用于该类型船舶。对于该类型船舶的相关研究在国内外也相对较少。

市场需求的迫切与研究成果的缺乏形成冲突,本书正是在这样的背景下,以长江中下流航道治理工程中的锚泊移位型工程船舶为研究对象,研究其系统建模方法、控制策略以及自动控制系统构成,将智能控制技术应用到工程实践中。其研究成果可推广应用到类似工程船舶的自动作业系统中,对相关领域的研究也有一定的参考价值。因此,本书的研究工作具有理论研究意义和工程实践意义。

1.2 锚泊移位型工程船舶概述

在船舶种类中,工程船舶船型多、用途广泛。《船舶工程辞典》中对工程船舶的定义为:按不同工程技术作业的要求,装配各种相应的专用设备,从事各种工程技术业务的船。由于工程性质不同,工程船舶类型繁多、设备复杂、专业性强,新技术、新设备应用较多且各具特色^[18]。

工程船舶的主要特点是作业范围广、定位方便、吃水浅、受施工水域局限较小,因此,在港口建设、航道治理工程中能发挥重要作用。图 1-1 所示为几种典型的工程船舶。工程船舶一般没有自航动力,其定位、移位操作主要依靠拖船及抛锚艇协助作业。一般操作过程为先抛锚定位,然后根据工程需要操纵锚泊设

备来实现船舶的精确定位与移位,由此可见,锚泊系统是工程船舶的重要组成部分。

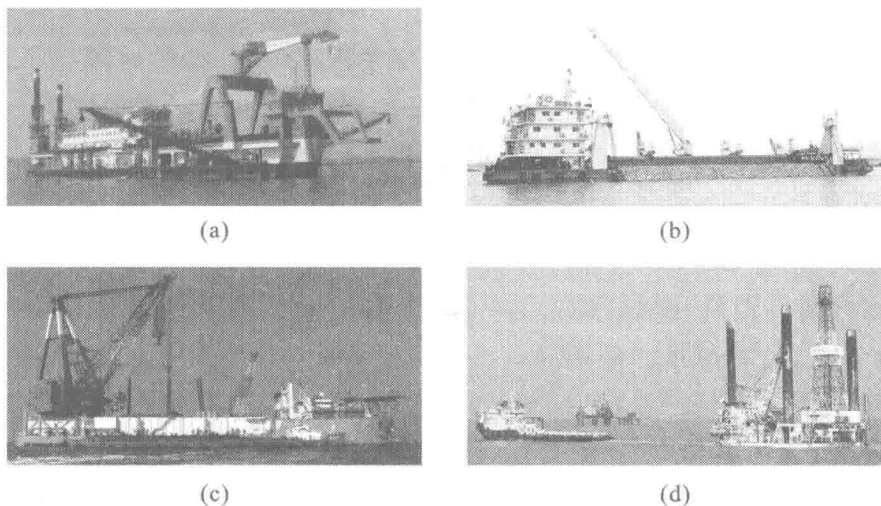


图 1-1 几种典型的工程船舶

(a)绞吸式挖泥船;(b)软体铺排船;(c)大型起重铺管船;(d)海上石油勘探工程船

1.2.1 锚泊设备

锚泊设备又称抛锚系留,是船舶的一种停泊设备。常用锚泊设备有以下 3 种类型^[19]:

① 临时锚泊设备 也称为航行锚泊设备,主要供船舶在锚地、港内或遮蔽水域等待泊位或潮水时作为临时停泊之用。

② 定位锚泊设备 主要是在作业时需要控制船位,或在有限范围内为改变船位的船舶所配置的锚泊设备。施工前通常以船舶本身为中心,向四周抛出若干个锚及锚索系住船舶,因此又可称为多点锚泊系统或者辐射状锚泊系统。

③ 深水锚泊设备 主要用于某些需要在深水进行系留作业的船舶,如海洋调查船、海洋测量船等,是根据作业水域的水深和环境条件所配备的专用锚泊设备。

诸如起重船、打捞船、潜水作业船、各种非自航挖泥船、软体铺排船、钻探船等需要定位作业的工程船舶,通常采用定位锚泊设备。锚泊设备主要包括锚、锚泊线(锚索链)、锚机及其他设备,如锚架、锚浮标等,不同类型的工程船舶需要根据作业水域的水深及作业要求的环境条件进行配置。

(1) 锚

锚是锚泊设备的主要部件,抛入水中后能啮入底土产生抓力,并通过锚链而使船停泊在某一水域。

古代的锚是一块大石头,或是装满石头的篓筐,系在绳的一端抛入水中,以其重量使船停泊。后来有木爪石锚,即在石块两旁系上木爪,靠重量和抓力使船停泊。我国南朝已有关于金属锚的记载。中国古代帆船使用四爪铁锚,这种锚性能优良,至今在舢板和小船上仍有使用。现代锚用铸钢或锻钢制造,主要有四种:

① 有杆锚 锚爪和锚杆通常为为一体,并有一垂直于锚爪平面的横杆。有杆锚多为双爪,也有单爪。使用时一爪啮入土中较深,抓力大,但因有横杆,收藏不便,多用于小型船舶。有杆锚的主要类型有海军锚[图 1-2(a)]、单爪锚、佛山锚、日式锚等。

② 无杆锚 锚爪和锚杆可相对转动一定角度,无横杆。使用时两个锚爪同时啮入土中,起锚和收藏方便,使用最为广泛。无杆锚中具有代表性的为霍尔锚[图 1-2(b)]及其改良型斯贝克锚。

③ 大抓力锚 锚爪宽大,可转动一定角度,锚头或锚爪中部有突出的杆体,起稳定作用。因锚爪啮土面积大,抓力大,适用于砂质或土质松软的水底。大抓力锚[图 1-2(c)]的主要类型有丹福斯锚、马氏大抓力锚、快艇锚等。

④ 特种锚 形状与一般锚不同,如菌形锚,锚头呈菌状或伞状,啮入土中较深,抓力大,不易移动,多用作长期锚泊、定位,如作灯船、浮筒、趸船等的固定锚。

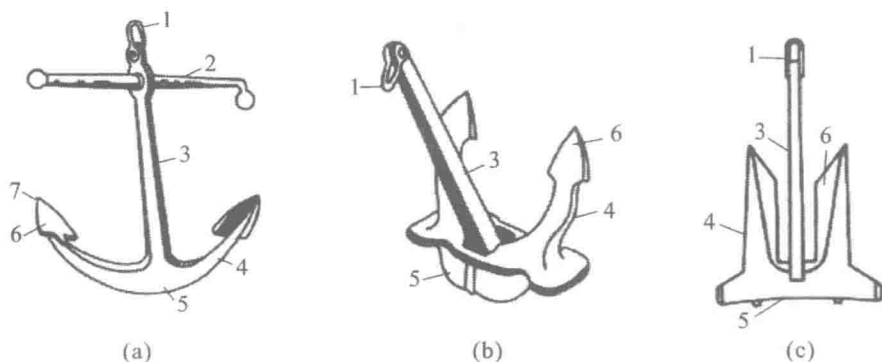


图 1-2 各种类型的锚

(a) 海军锚; (b) 霍尔锚; (c) 大抓力锚

1—锚环; 2—横杆; 3—锚杆; 4—锚臂; 5—锚冠; 6—锚爪; 7—锚爪尖

由于长江航道一般都是沙质河床,航道整治工程中使用的工程船舶大多采用大抓力锚。

(2) 锚泊线

通常说的锚泊线是由锚索、锚链以及配上各种样式的块重和浮力器件组成。典型的锚泊线材料有锚链、金属索、合成纤维绳。

① 锚链 一般由多个有档或无档链环连接而成。由于有档链环强度高于无档链环,因此在离岸作业锚泊系统中,大多采用直径 64~102mm 的有档锚链。普通锚链具有耐磨损的特性,但较重、造价高,因此早期的海洋工程中主要应用锚链作为定位系统,而现在一般在深水中不采用全链系统,只在与锚连接并触底的一段中使用。

② 金属索 一般都使用钢丝绳,由若干根钢丝先拧成股,再由若干股拧成索。多根钢丝缠绕在一起,构成复杂的结构,有螺旋形、6 股或 8 股(型)、多股索等缠绕形式,如图 1-3 所示。钢丝绳的中心是一纤维芯,它是钢丝绳的基础,作用有两个,其一是当钢丝绳承受载荷时,用来支持其他的股,使其保持原位上;其二是使索易于弯曲。相比锚链,在提供相同的断裂强度下,索要轻得多,但抗磨损能力差。

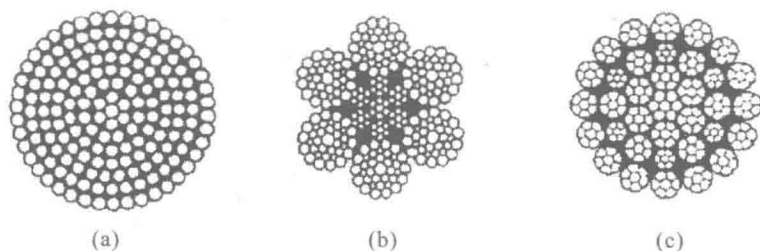


图 1-3 典型索结构

(a)螺旋金属索;(b)6 股索;(c)多股索

③ 合成纤维绳 其材料包括尼龙、聚酯、聚丙烯等,具有质量轻、耐磨的特点。

综合考虑上述不同锚泊线材料的特点,当前的锚泊系统中多采用链索结合系统,即锚侧采用一小段锚链,船侧则采用锚索,既减轻系统的重量又满足定位要求。

为了控制锚泊系统的响应,一般在锚泊线中设置块重。块重的单位长度质量对锚泊系统的静力响应有影响,而其质量分布则对动力响应有很大影响。块重的形式可以是一个集中质量(一块重物),也可以是一段分布质量。集中质量的静力响应较好,而分布质量的动力响应较好。由于在锚泊系统中对动力响应

的要求是主要的,因此,块重一般采用分布质量的形式。

锚泊线上设置的浮力器件,有浮筒、浮球和浮箱等,其作用主要是提供浮力以支持锚泊线及接于其上的仪器装置。

工程船舶在工作时,受到的环境力既有纵向的也有横向的,而且还有一定的转舵力矩,所以工程船舶一般采用多点系泊,多条锚泊线向四周发散分布。在对工程船舶的锚泊系统进行设计分析时,可以将其简化为长方形。常见的几种锚泊系统布置形式如图 1-4 所示^[18]。对于航道整治施工作业工程船一般采用五链或六链锚泊方式,其中的双侧对称的四个锚链主要用于施工中的移船和定位作用。

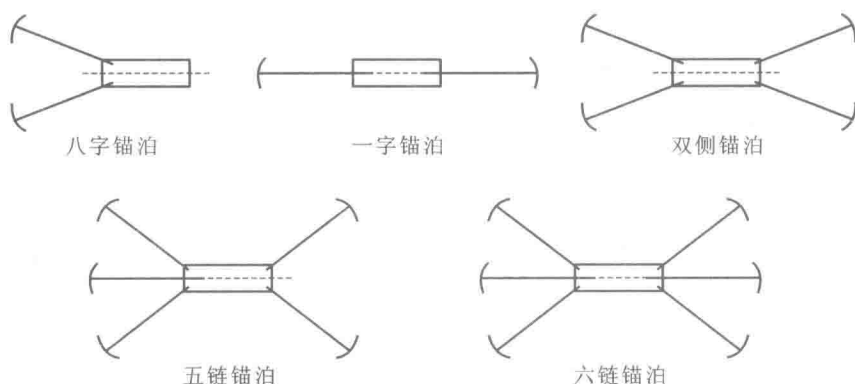


图 1-4 工程船舶锚泊线的几种布置形式

(3) 锚机

锚机通过控制放出和收进锚索链以及锚,进行起锚、抛锚以及系泊作业。锚机装置一般由定位锚绞车、钢索空间导向轮系、驱动装置、制动装置以及控制装置等组成,图 1-5 所示为锚机装置典型布置图。定位锚绞车位于主甲板下的舱室内,钢缆由空间导向轮系引至主甲板,控制装置(如操纵台手柄)负责发出动作命令,驱动装置为绞车提供动力源,锚绞车一般配有两套独立的制动装置(主、辅制动装置)提供可靠的制动能力。

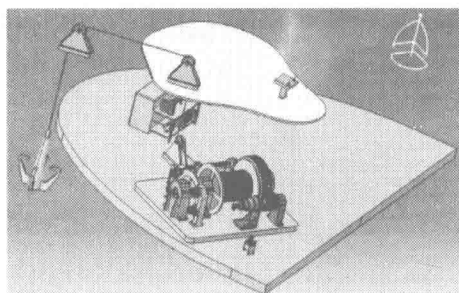


图 1-5 锚机装置典型布置图

定位锚绞车是锚机装置中的主要部件,根据绞车的结构和种类不同,也可以采用多种分类方法。按照滚筒的数量可以分为单滚筒绞车、双滚筒绞车、三滚筒绞车;按照结构可分为单轴绞车、双轴绞车、多轴绞车;按照驱动方式可以分为机