



普通高等教育“十三五”规划教材
教育部高等学校水产类专业教学指导委员会推荐教材

渔具力学

(修订版)

MECHANICS OF FISHING GEAR

周应祺 许柳雄 主编



科学出版社



普通高等教育“十三五”规划教材
教育部高等学校水产类专业教学指导委员会推荐教材

全国普通高等教育海洋渔业科学与技术专业系列教材

渔具力学

(修订版)

周应祺 许柳雄 主编

科学出版社

北京

内 容 简 介

渔具力学是海洋渔业科学与技术专业的专业基础课程。全书分为四个部分共七章。第一部分介绍渔具力学特点及研究内容、研究方法、课程结构和学习方法等；第二部分为静力学，重点介绍渔具基本构件、网片和纲索的水动力性质，以及柔索理论及应用、渔具模型试验的流体力学基础和方法等；第三部分为渔具系统运动学，介绍运动型渔具的空间位置和时间关系；第四部分为渔具动力学及渔具数学力学模型等，分析渔具的时空关系、变形和稳定过程等动力学问题。附录中提供了旋转圆柱体、典型案例等相关的知识。通过该课程的学习，能够比较系统地掌握现代渔具力学性能研究的基本方法，为今后从事渔具水动力性能研究，改进和优化渔具结构、改善渔具作业性能打下坚实基础。

本书可作为海洋渔业科学与技术专业的本科生、捕捞学专业的研究生教材，也可供从事海洋渔业资源开发技术领域研究的科技工作者参考。

图书在版编目(CIP)数据

渔具力学/周应祺,许柳雄主编.一修订版.一北京:科学出版社,2018.1
教育部高等学校水产类专业教学指导委员会推荐教材 全国普通高等教
育海洋渔业科学与技术专业系列教材

ISBN 978-7-03-054468-1

I. ①渔… II. ①周… ②许… III. ①渔具-流体力学-高等学校-教材 IV. ①S972

中国版本图书馆CIP数据核字(2017)第222533号

责任编辑:陈露/责任校对:彭珍珍

责任印制:谭宏宇/封面设计:殷靓

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>

江苏凤凰数码印务有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2018年1月第一版 开本:787×1092 1/16

2018年1月第一次印刷 印张:16 插页:2

字数:380 000

定价:60.00元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

彩 版

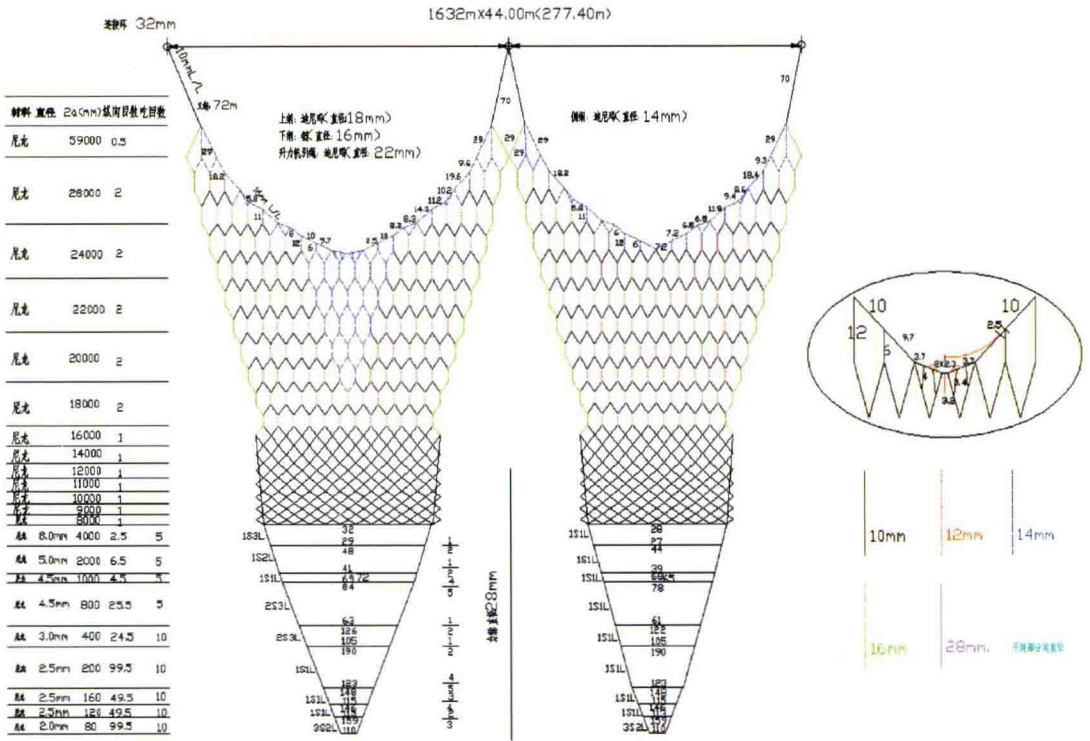


图 7.35 1632 型四片式中层拖网网具图 (李玉伟, 2013)

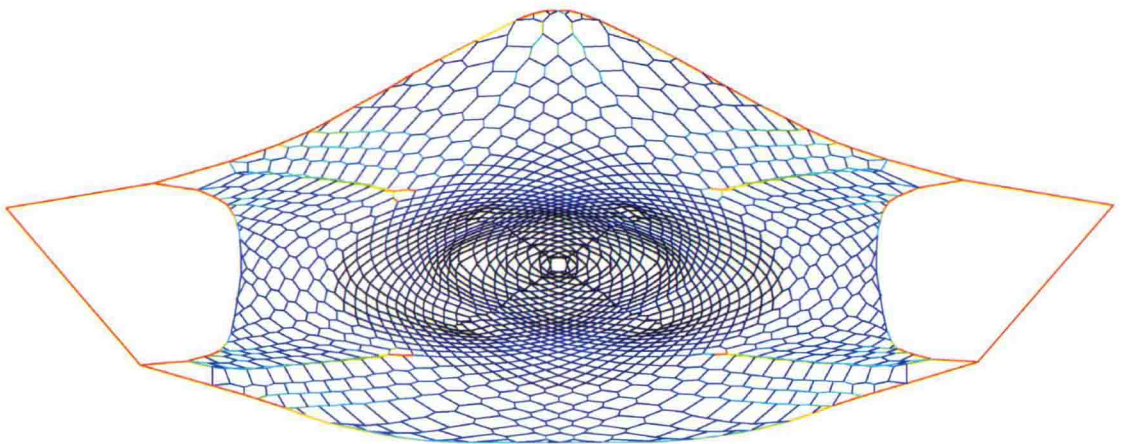


图 7.36 1632 型网具受力图 (陈英龙, 2014)

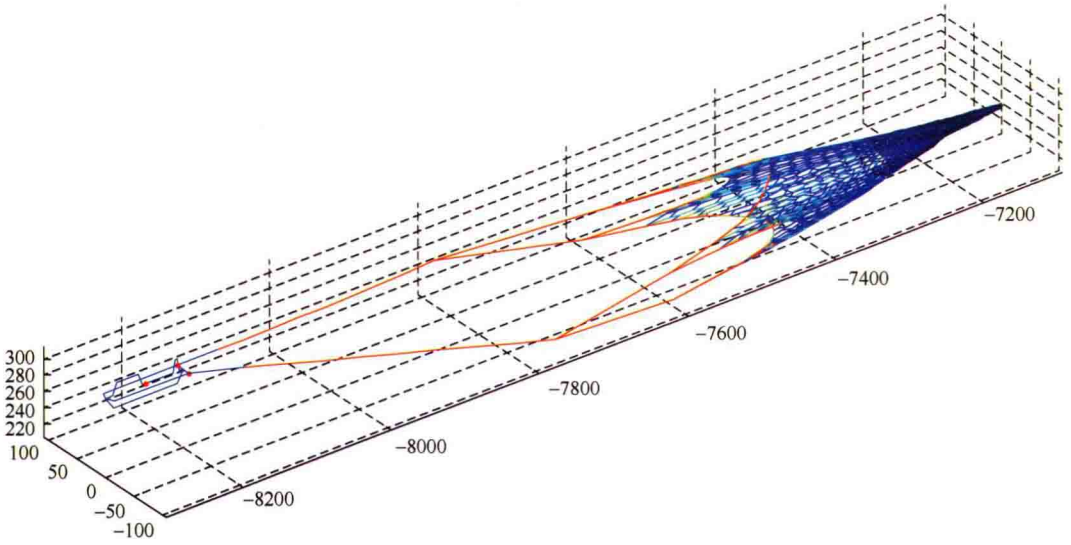


图 7.37 1632 型网具系统力学模拟分析计算结果 (陈英龙, 2014)

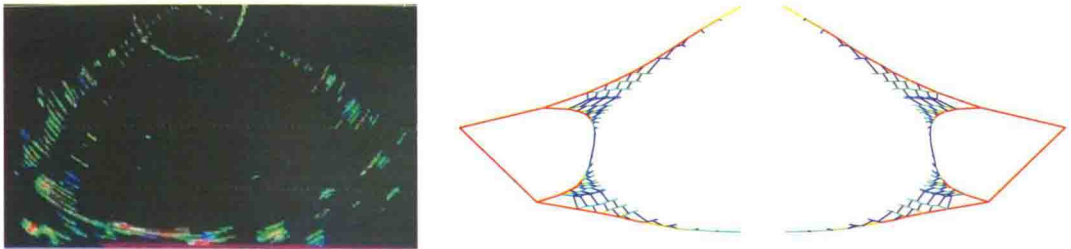


图 7.38 1632 型网具网口形状与网位仪网口形状 (陈英龙, 2014)

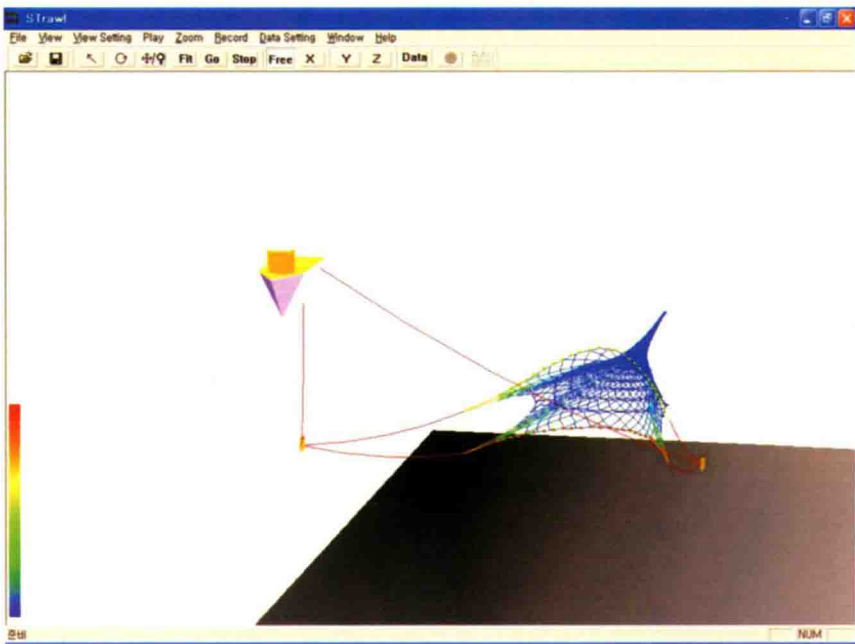


图 7.41 有限元法模拟的拖网水下网形 (Lee et al., 2005)

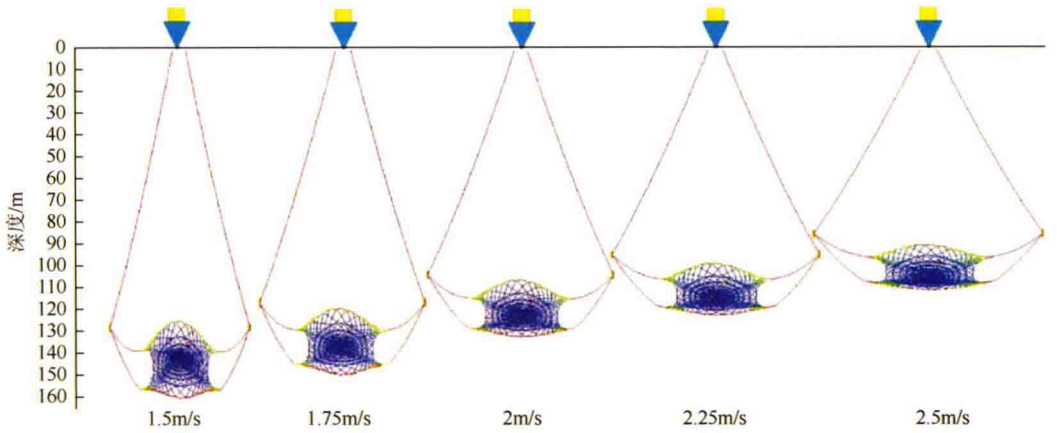


图 7.42 不同拖速下的中层拖网渔具形状和网位 (Lee et al., 2005)

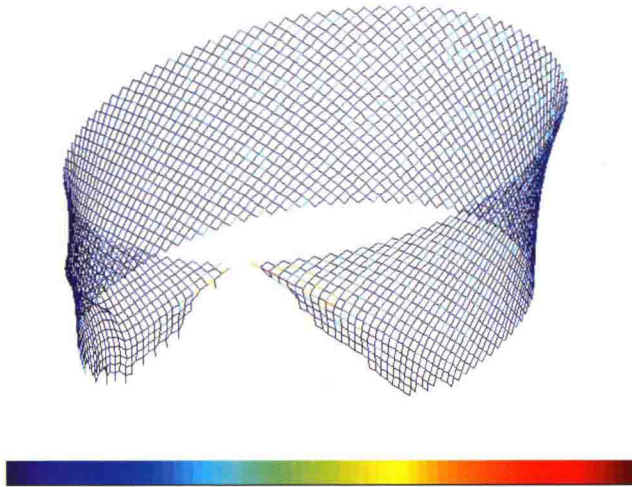


图 7.46 围网收绞前网线的张力分布 (周成, 2015)

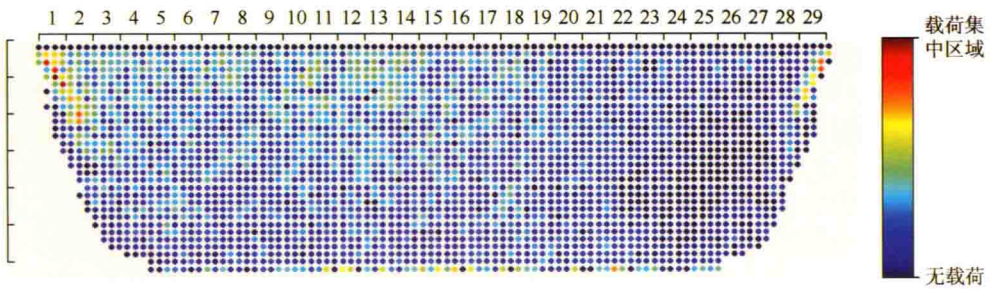


图 7.47 围网网衣的张力分布图 (周成, 2015)

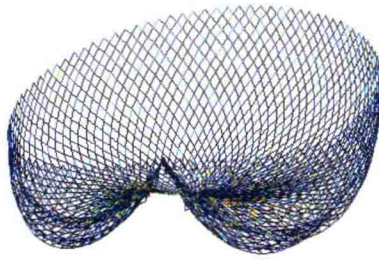


图 7.48 围网收绞结束网线的张力分布 (周成, 2015)

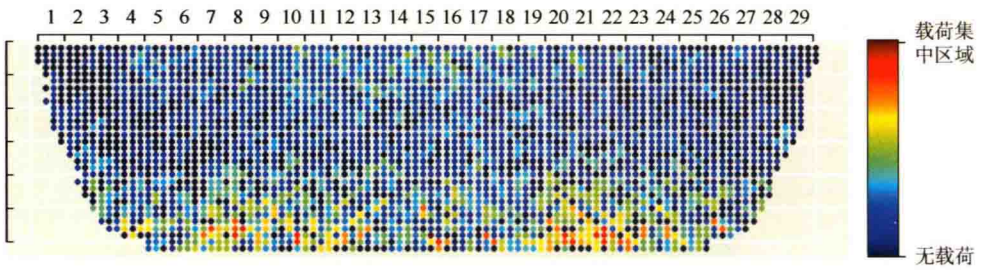


图 7.49 收绞结束张力分布展开全局图 (周成, 2015)

全国普通高等教育海洋渔业科学与 技术专业系列教材

《渔具力学（修订版）》编委会

主 编	周应祺 许柳雄
副主编	李玉伟 曹道梅 周 成
编 委	(按姓氏笔画排序)
	许柳雄 (上海海洋大学)
	李玉伟 (上海海洋大学)
	初文华 (上海海洋大学)
	张新峰 (上海海洋大学)
	周 成 (上海海洋大学)
	周应祺 (上海海洋大学)
	曹道梅 (上海海洋大学)

全国普通高等教育海洋渔业科学与 技术专业系列教材 编写委员会

主 任	黄硕琳(上海海洋大学) 教育部高等学校水产类专业教学指导委员会 主任委员
常务副主任	陈新军(上海海洋大学)
副 主 任	唐 议(上海海洋大学) 唐衍力(中国海洋大学) 邱盛尧(烟台大学)
委 员	张国胜(大连海洋大学) 周文礼(天津农学院) 齐遵利(河北农业大学) 宋伟华(浙江海洋大学) 颜云榕(广东海洋大学) 郭玉清(集美大学)
秘 书	邹晓荣(上海海洋大学)

前 言

渔具力学是海洋渔业科学与技术专业的专业基础课程。20世纪20年代,以苏联学者巴拉诺夫教授和日本学者田内森三郎博士为代表,开创性地应用了物理学、理论力学、流体力学等学科中的知识和成果,利用航空工业的风洞、船舶工业的静水池(槽)等作为试验工具,初步系统地解释了渔具的力学现象,创立了渔具理论研究。代表著作分别有《渔具理论与计算》和《渔捞物理学》。50年代,上海水产学院乐美龙教授以巴拉诺夫的《渔具理论与计算》为蓝本编写了《渔具计算的一般原理》,作为张友声等合编的《渔具理论与捕鱼技术》高等水产院校交流讲义第一篇出版;供我国高等水产院校工业捕鱼专业使用。自20世纪70年代以来,工程技术人员研制了一系列的渔具专门测试仪器、大型动水槽、水下观察设备等,将渔具力学的研究推向新的阶段。变水层拖网、大型围网及绳索拖网等现代渔具的出现,提出实现瞄准捕捞和网具动态控制等要求,大大促进了渔具力学理论研究的发展。上海水产大学周应祺教授吸取了欧美、苏联和日本以及我国学者的研究成果,按静力学、运动学和动力学来构建,于1982年编著了内部教材《渔具力学》,是2000年出版的《渔具力学》的初稿,1982年起一直为校内油印本,作为《渔具理论与计算一般原理》的补充教材。

作者在教材《渔具计算的一般原理》的基础上,收集了近代渔具理论研究的成果,从宏观和微观两个方面阐述渔具及其构件的水动力学性质。对专业文献中涉及渔具力学的研究成果进行了比较和整理,采取统一的表达方法,例如,规范了面积、速度等影响渔具水动力的重要因素的定义,按照流体力学的基本原理,使渔具静力学更系统化;将渔具及网衣、纲索等构件看成由圆球、圆柱体、平板等基本单元所构成,探求它们在流体力学上的共同特性,以便综合集成,为建立渔具的数学力学模型创造条件,同时采用以试验为支撑的经验系数方法来填补理论与实际情况之间的差异;在研究分析方法上,采用了数学力学分析、模拟法、图解法、相似理论基础上的渔具模型试验以及数值计算和可视化等方法来探索与计算渔具力学问题;在学科结构上增加和发展了渔具运动学与动力学,使渔具力学作为一门学科更加完整和系统化。此外,还初步探讨了渔具的数学力学建模。同时,对渔具模型试验等问题补充了最新研究成果。于2001年出版了面向21世纪教材《渔具力学》。此外,浙江海洋学院余显炜教授在2001年出版了《计算渔具力学导论》、在2004年出版了《渔具力学》。

作者欣喜地看到,原教材《渔具力学》出版以来,一直被我国有关水产院校作为海洋渔业科学与技术专业“渔具力学”课程教材,同时许多内容也被一些专著和教材转载引用,在海渔相关专业学科发展和人才培养中发挥了作用。但作者也看到,过去的16年中,在计算方法和计算机技术的支持下,渔具力学研究有了很大发展。因此,作者在教学过程中,不断补充介绍国内外有关科研成果,激发同学的科研兴趣。同时,针对同学的专业背景,在积累教学实践经验的基础上,及时补充提供相关参考材料,便于同学理解掌握。《渔具力学》(修订版)是在2001年出版的《渔具力学》基础上重新进行编著的。本次重编除对原教材第一至第六章内容进行了梳理和补充外,新增第七章渔具动力学及数学力学模型,

重点为基本单元的水动力学性质的研究成果和动力学部分,以及有限元在渔具力学中的应用和建模等。同时,根据教学实践经验,依照教材的需要,结合渔具力学的新发展,本书补充了因次分析和 π 定理、材料使用寿命和安全系数,旋转圆柱体水动力、田内渔具模型试验数据力学分析、渔具模型试验水槽和延绳钓渔具各节点力学方程等涉及工程类及渔具模型试验基础知识,供教学和自学时参考。

全书共七章。第一章绪论,主要介绍渔具力学的特点及发展,内容包括渔具力学发展历史及学科基础、渔具力学的基本研究方法、课程结构和学习方法等;第二章渔具基本构件的水动力学性质,内容包括渔具水动力的基本概念,平板、圆球和球形浮子、圆柱体和纲索以及机翼水动力等;第三章网片的水动力,主要内容有平面网片水动力的几何要素、网片水动力解析、平面网片阻力测量、平面网片的缩结系数和张力的关系、曲面网片(含圆锥形网)水动力等;第四章柔索理论及应用,内容包括柔索的力平衡微分方程、载荷沿索长均布时柔索的形状和张力、载荷沿跨距均布时柔索的形状和张力、柔索形状和张力的图解法以及力学模拟法等;第五章渔具模型试验,主要介绍相似原理和渔具模型试验的相似准则,包括田内准则、狄克逊准则和克列斯登生渔具模型试验准则以及有关渔具模型试验准则和试验技术的讨论等;第六章渔具系统运动学,主要介绍拖网渔具作业运动轨迹及瞄准捕捞和围网作业数学力学模型及应用,包括拖网和围网渔具作业运动轨迹及瞄准捕捞的数学模型及图解法;第七章渔具动力学及数学力学模型,主要介绍应用有限元建立延绳钓、围网和拖网的数学力学模型,渔具作业的动态过程等,为渔具调整控制、瞄准捕捞和事故防范提供理论依据。本书仍然保持以基础知识和基本原理为主的特点,同时扼要反映现代渔具力学的研究方法和成果,并进行分析比较,附有相关的实验数据资料,可供设计计算时参考。每章设有思考题。教材的最后附有典型案例的分析计算和附录。

本教材由上海海洋大学周应祺教授和许柳雄教授主编,曹道梅、李玉伟、周成等承担第七章渔具动力学的编著,还参与了全书的编辑校对等工作。张新峰、初文华参与了有限元计算方法和流体力学的基本原理分析等工作。

本书由上海海洋大学宋利明教授主审。

渔具力学是一门发展中的学科,限于作者的水平,书中不足之处在所难免,希望读者提出意见。

周应祺 许柳雄

2017年5月

目 录

前言	
第一章 绪论——渔具力学的特点与发展	1
第一节 渔具力学的特点及学科基础	1
第二节 渔具作业工况特点及研究方法	2
第三节 渔具力学的测量与实验设计	4
第四节 安全系数	5
第五节 网材料的体积与水中重量	8
第六节 实验数据处理与误差理论	9
第七节 课程结构和学习方法	11
第二章 渔具基本构件的水动力性质	13
第一节 渔具水动力的基本概念	13
第二节 平板的水动力	17
第三节 圆球和球形浮子的水动力	24
第四节 圆柱体和纲索的水动力	28
第五节 机翼	35
第三章 网片的水动力	53
第一节 平面网片的水动力的几何要素	54
第二节 网片水动力解析	59
第三节 平面网片阻力测量	78
第四节 平面网片的缩结系数和张力的关系	79
第五节 曲面网片的水动力	81
第四章 柔索理论及应用	93
第一节 柔索的力平衡微分方程	93
第二节 载荷沿索长均布时, 柔索的形状和张力	105
第三节 载荷沿跨距均布时, 柔索的形状和张力	112
第四节 柔索形状和张力的图解法	119
第五节 力学模拟法	121
第五章 渔具模型试验	128
第一节 相似原理	128
第二节 渔具模型试验的相似准则	132
第三节 渔具模型试验水槽	155

第六章 渔具系统运动学	161
第一节 拖网渔具作业运动轨迹及瞄准捕捞	161
第二节 围网作业数学力学模型及应用	168
第七章 渔具动力学及数学力学模型	171
第一节 渔具动力学研究对象和目标	171
第二节 渔具动力学研究的基本方法	172
第三节 渔具动力学研究现状	174
第四节 渔具构件的动力学基本模型	176
第五节 网片水动力学性质的实验研究	189
第六节 简单几何体的组合与水动力学特性的实验研究	190
第七节 中层拖网作业系统力学模型	191
第八节 拖网数字动力学模型建模要点	200
第九节 围网数字动力学模型建模要点	208
主要参考文献	216
附录一 因次分析和 π 定理	218
附录二 旋转圆柱体水动力及环流效应	230
附录三 延绳钓渔具各节点运动方程	233
附录四 典型案例	237
彩版	

第一章 绪论——渔具力学的特点与发展

提要：本章介绍渔具力学的特点及学科基础，渔具作业工况特点及研究方法，渔具力学测量与实验设计、材料安全系数、网材料的体积与水中重量、实验数据处理与误差理论、课程结构和学习方法。本章重点是掌握渔具力学相关的基本概念、研究对象的特点及研究方法。

第一节 渔具力学的特点及学科基础

研究渔具的作业性能和进行渔具设计时，需要综合考虑两个方面的问题：捕捞对象的行为习性和渔具的力学性能。前者指鱼类、虾类等（本书中统称鱼类）对渔具的行为反应，尤其是在渔具作业过程中鱼类的行为反应和运动能力，如逃逸的方向、速度和耐久力等。为了有效地进行捕捞，提高捕捞效率，以及按保护渔业资源的要求，提高渔具选择性，渔具的作业性能必须适应或利用鱼类的行为反应。鱼类的行为能力是选取渔具主要参数和作业方法的依据。例如，网线的颜色，网目尺寸，渔具的结构、形状和规格，网渔具内外的流态或滤水性以及移动速度等，均与鱼类的视觉、游泳等行为能力有关；渔具的力学性能还涉及节能和效率问题。要求网具的阻力低，所受到的张力不要过大；而且要求张力分布均匀，不要存在应力集中的现象，以免造成网具撕裂损坏。由于大多数的渔具是柔性体，由网片、纲索和属具构成，当作用的外力变动时，渔具的形状会发生较大的变化或位移。然而，渔具的形状和它们在空间的位置变化的结果，又会使渔具所受到的外力，尤其是水动力的大小和分布产生变化，这些又都会进一步影响渔具形状的改变和相关的作业性能。而且它们是相互影响，互为因果，呈现一个动态平衡的过程。因此，了解渔具在作业时的力学状况、形状、空间位置和运动轨迹，以及各因素之间的相互关系等，是渔具设计的基础，也是渔具作业操作、调整控制过程的依据。此外，了解渔具四周和内部的流态，将为渔具渔法适应或利用鱼类行为能力提供基础知识。由此可知，渔具力学和鱼类行为学是渔具渔法学的主要基础课，是捕捞学的重要组成部分。

渔具力学是研究渔具及其构件水动力特性和空间形状的应用基础科学，是渔具学的分支之一。主要研究：有关物理参数对渔具构件升阻力的影响，渔具形状与作用力的关系，渔具运动轨迹、速度、惯性力，网具系统的静力学、运动学和动力学数学模型等。

渔具力学的特点：它是一门实验性很强的学科。由于渔具材料多样、结构复杂、影响因子多，目前的数值计算方法有很大的局限性。实验观察和测量还是主要的研究手段。其原因是：渔具上的主要作用力是水动力，而网衣不是密实的物体，水流会从网目中穿越，还存在绕流现象，网线本身还存在渗透现象，不同材料与水的亲合力不同，因此水动力数值计算的精准性是一难题。此外，渔具材料的各向异性，即网线、目脚、结节等的材料和载荷的数值在不同方向上是不相同的，网衣和纲索因承受的载荷变化而改变形状，使渔具力学问题更加复杂。仅部分问题可以在简化的情况下进行分析计算，获得的结果可作为参

考。对渔具性能的把握还需要通过实验,如模型试验、海上实测和水下观察等方法进行完善。基本方法是在大量观察测量的基础上,建立数学力学模型,进行量化分析计算,预测和推算渔具的作业状况。渔具力学的研究成果可为改进渔具结构、改善滤水性、降低阻力、合理选用材料,以及进行渔具设计和计算等方面提供依据。

渔具力学是建立在多门学科的基础上,由多门学科知识交叉融汇,结合渔具的特点而发展的。例如,渔具在水中作业时,受到水的作用力。为了降低渔具在运动时所受到的水阻力,需要研究产生阻力的原因和影响它的各种因素。因此,研究物体在流体中受到的力及其流态的学科“流体力学”成为渔具力学的基础之一;为了使渔具在作业时具有预期的、合理的形状,需要研究作用力和渔具形状的关系。由于渔具构件中很大部分是网线、绳索、网片等柔性体,在外力的作用下会产生位移和变形,所以“弹性力学”、“柔索理论”和“材料力学”等也都是渔具力学的基础。流体力学的特点是具有严密的数学性质,着重问题提出的严密性和解答的一致性与精确性。但在工程上,特别是在渔业生产中,流体力学在解决实际问题时遇到许多困难,解决问题的范围受到限制,要靠实验观察来解决。弹性力学是以连续薄壳为研究对象的,着重应力分布和形变状态等问题的研究,而构成渔具的材料以柔性多孔网片为主,在应用弹性力学的同时,需要进行必要的修正。由此可知,渔具力学的研究对象具有特殊性,它是一门专业性强的学科,随渔业生产的需要而产生、发展,着重解决工程中的实际问题。在很长一段时间内,主要的方法是通过实验观察和数据分析,找出各种因素间的相互关系,推出经验公式或半经验公式,供生产和研究参考。自20世纪80年代初,计算机技术开始在建立拖网和围网力学数学模型中得到应用。但是,由于计算量大,当时的计算机在速度和容量上都不能满足需要,使研究工作一度停滞。90年代后期,在计算机技术和有限元分析等计算方法的支持下,渔具力学数学模型的研究得到迅速发展。尽管因渔具结构和作业状况的复杂性,所建立的模型仍然是一种简化的模型,获得的是近似解,但在应用时具有足够的精度和参考价值。

第二节 渔具作业工况特点及研究方法

世界上使用的渔具中,绝大多数是含有网衣的“网具”,如拖网、围网、刺网、建网、笼壶等,而且近90%的渔获量是由网渔具捕获的。与一般的工程设备相比,因为渔具的绳索构件和柔软性、特殊用途和工况,具有许多特点:①作用在渔具上的外力与渔具的形状、渔具上载荷分布密切相关,相互影响;②渔具的工况较差,不仅受到海水浸泡、生物附着、容易老化,而且承受挤压、磨损,使用寿命较短,因此,安全系数取得较高;③渔具作业时,因海况的影响、船的摇摆和操作,渔具常受到冲击载荷,张力的波动较大;④为了渔具在海上作业的安全,要求渔具构件不要过大、过重,要容易操作。

一般工程设计中,特别是机械工程,其构件基本上是刚体,变形小、坚固、寿命长。设计时注重强度分析和计算。相比之下,渔具的使用寿命较短,网衣和纲索易受到腐蚀、挤压和磨损,是易耗品,需经常更新。为了保证渔具作业的安全,安全系数取得较高。渔具受力后形状发生改变,以及装配工艺的不同,往往会造成应力集中或分布不均匀,从而造成破断或撕裂。所以,渔具设计时的强度计算不采用对整个渔具结构取总安全系数,而是注重个别重要构件的超载系数及磨损,选取安全系数较大。

大多数的渔具是柔性体，当作用的外力变动时，渔具的形状会发生变化。而渔具的形状及其在空间的位置变化结果，又会使作用在渔具上的水动力改变，从而渔具所受到的载荷大小和分布发生改变，这些又都会影响渔具的作业性能。它们相互影响，达到平衡需要一定时间，存在一动态过程。

在瞄准捕捞作业时，通过调整速度、曳纲长度或配重等，控制渔具的空间位置和形状，达到精确捕捞被跟踪的目标对象，这属于运动学和动力学范畴。

渔具的运动状态和力学性质可以分成以下几类：①匀速运动。这是较简单的工况。渔具力学参数的大小，如速度、方向、作用力等，不随时间而改变，可用静力学的方法来分析计算渔具的形状和载荷分布。在流速不变的情况下，也可将渔具看成作不变的线性运动。②非匀速运动。渔具的力学参数随时间而变化，可以用动态分析法进行分析和计算，需考虑速度变化、加速度和惯性力等动力学问题。但是，在某些非匀速运动中，如果变化缓慢，在某时间段里，亦可将渔具看成匀速运动，用静力学的方法来近似分析。

渔具的形状、位置和稳定时的尺寸取决于外力的大小和方向。作用在渔具以及属具、部件上的力主要有：重力、静水压力、水阻力；海底摩擦力、鱼的挣扎力；渔具装配造成的张力；捕捞机械和渔船的渔具固结点处的作用力等。在非匀速运动时，渔具还受到惯性力的作用。作用在渔具上的外力的特点是复杂而多变：①不同的渔具受到的作用力不相同。例如，在较简单的笼壶渔具作业时，不仅受到重力和静水压力，还受到鱼对网具的作用力、网衣与构件之间的作用力。当有流或海上起风时，渔具还会受到水阻力和惯性力的作用，甚至海底摩擦力。②不同操作阶段，作用力不一样。例如，放网、固定、拖曳、起网和卸鱼等阶段，渔具各部位受到的力都会变化。③在不同条件下，同一外力对操作的影响不同。在渔具的设计计算时，重要的是分析出在操作的某阶段，主要的作用力有哪些，而哪些载荷可以简化和忽略，以便简化计算。

此外，网衣和纲索等的法向与切向水动力系数的差异很大，达几个数量级。例如，法向水动力系数为 1.2，而水黏滞阻力系数，即切向水动力系数仅为 0.01 或 0.2。在一般的工程计算中，对相差一个或两个数量级的数据可以忽略不计。但对于柔性体需慎重处理，不能轻易忽略。理由是在柔索的径向（法向）施加一很小的力，它在柔索的轴向（切向）投影会产生非常大的分力（张力），具有“四两拨千斤”的效果。实用上，常用于将陷在泥潭或沼泽地的车辆拉出险境。因此，尽管水的黏滞阻力不大，在有些情况下，仍然不可忽略。此外，由于它的数值很小，测量时受仪器和水流状态等因素的影响，往往测量精度不高，容易被忽视。但它的影响又不可忽略，故对切向水动力学性质和系数的测量需加以注意。

渔具力学除了服从理论力学和弹性力学等的基本规律外，更需关注流体力学所涉及的流态以及产生的水动力。后者往往是非线性的。

渔具力学的研究方法主要有以下几类：①从微观的角度，研究构成渔具的最小单元的力学性质，载荷与形状的关系，如构成网目的目脚、结节以及一个网目的水动力学性质和水阻力的形成，张力与网目形状的关系，又如研究单元纲索在各种姿态下受到的水动力的大小和性质等。渔具的力学性质将是许多单元体的力学状态的集成。②从中规模角度，研究渔具部件的力学性质。例如，研究网片以及纲索等集合体，如网身、网囊的受力和形状的关系。渔具的力学性质将由这些构件综合而成。③从整体的角度，研究渔

具整体的力学性质。如网具的总阻力、拖网网口高度和水平扩张距离与运动速度的关系等,主要通过实测,以经验公式来描述。④通过建立渔具作业的动力学模型来分析研究或预测渔具系统的力学性质和形状的关系。例如,在拖网作业中,不仅仅是拖网网具的阻力和浮沉力,而且包括渔船、曳纲、网板和网具等整个系统的力学性质,以及作业条件改变或调整时渔具的动态变化和达到稳定的过程。上述几种方法是相互配合、相互支撑的。例如,渔具作业系统的数学力学模型的建立就是在前面三种研究成果的基础上,进行组合集成。

第三节 渔具力学的测量与实验设计

由于大多数的渔具是绳网构成的结构体,在几何尺度上差异很大,可达4~5个数量级。与渔具作业有关的物理因素除了几何尺度外,还有角度、速度、角速度和加速度等。例如,网具的总尺度一般在几十米到上百米,然而,构成渔具的纲索直径在几厘米,构成网衣的网线直径则只有几毫米。有些刺网的网线更细,不到1mm。对于这些几何量的测量就必须给予特殊的注意,以保持测量数据的精度满足反映渔具作业性能的要求。

有关大尺度的测量,基本上按常规的方法,用皮尺或直尺等进行丈量。我国的渔具国家标准中,对测量方法和预加张力等有明确的规定。有关网目尺寸和网线直径的测量,除了按我国相关的国家标准进行外,还可以参考联合国粮食及农业组织(The Food and Agriculture Organization of the United Nations, FAO)及国际海洋开发理事会(ICES)推荐的测量方法。

角度一般会使用量角器测量。但是,在作业现场进行角度测量时,如纲索的入水角度或网目的张开角度等,由于网渔具是柔软体,加上船的晃动等,给测量带来困难,难以保证测量的精确度,从而造成较大的误差。而这些角度在计算力的投影分量时,会带来更大的误差。为此,推荐采用测量三角形的边长,通过计算获得角度的办法,以达到较高的精度。

渔具承受的张力是一项重要的参数,在设计阶段是决定安全系数的重要依据,也是作业时保证安全生产的重要因素。例如,拖网的总阻力是选择拖网曳纲规格的重要参数。除了采用经验公式计算获得外,通过实测来获得参考数据是重要的方法。然而,测量拖网总阻力时使用的张力计需要特殊设计。因为,拖网的总阻力,如在100~200kN的量级上,但是,由于波浪的作用和渔船的晃动而受到冲击载荷,张力会成倍上升。相反,拖网作用的曳纲上的张力可以小到零,完全松弛。这种恶劣的工况,在渔具设计阶段必须给予充分的考虑。

对网线的直径测量需给予充分的注意。由于网线直径是在毫米量级上,测量时的误差很容易达到10%~30%或50%,由此计算网衣的线面积和相应的水动力就存在很高的误差,而且面积是由网线直径的平方值计算获得的,其误差将高一倍。ICES在20世纪80年代对网衣的网线直径测量方法进行了长期的研究。

此外,在众多的力学因素中,对速度的测量应给予充分的注意。从动力学可以知道,阻力的大小与速度的平方成正比,速度测量的误差将对阻力的计算带来很大影响。渔具移动或相对水流的速度、水流流经渔具时的速度,都存在宏观的和微观的观察测量的差异、即时速度和平均速度的差异,还涉及边界层理论等。