



面向 21 世纪 课程 教材
Textbook Series for 21st Century

渔具力学

周应祺 主编

许柳雄 何其渝 编著

海洋渔业科学与技术专业用

中国农业出版社

Mechanics of Fishing Gear

ISBN 7-109-06634-7



9 787109 066342 >

ISBN 7-109-06634-7/S-4382

定价: 15.90 元

面向 21 世纪课程教材

Textbook Series for 21st Century

渔 具 力 学

周应祺 主编
许柳雄 何其渝 编著

海洋渔业科学与技术专业用



中国农业出版社

PDG

图书在版编目 (CIP) 数据

渔具力学/周应祺主编;许柳雄,何其渝编著.
北京:中国农业出版社,2001.1
面向21世纪课程教材
ISBN 7-109-06634-7

I. 渔... II. ①周...②许...③何... III. 渔具-力学-高等学校-教材 IV. S972

中国版本图书馆CIP数据核字(2000)第54364号

中国农业出版社出版

(北京市朝阳区农展馆北路2号)

(邮政编码 100026)

出版人:沈镇昭

责任编辑 林珠英

中国农业出版社印刷厂印刷 新华书店北京发行所发行

2001年1月第1版 2001年1月北京第1次印刷

开本:787mm×960mm 1/16 印张:10.75

字数:186千字 印数:1~2000册

定价:15.90元

(凡本版图书出现印刷、装订错误,请向出版社发行部调换)



面向 21 世纪课程教材



中华农业科教基金资助编写



试读结束：需要全本请在线购买：www.ertongbc.com

前 言

本教材是在“面向21世纪教育改革”项目指导下进行的，国家教育部的重点教材，同时是农业部科教基金资助的教材项目。本教材适用于水产类本科海洋渔业科学与技术专业和相关学科的研究生教学，还可作为渔具设计和渔业工程设计的参考资料。

根据教育改革的要求，提倡课程教学中采用多本教学参考资料，故本书以基础知识为主，同时包含了现代渔具力学方面的研究成果，以求拓宽知识面和深度。在教学中，可根据需要选用。

全书共六章，由上海水产大学周应祺教授、许柳雄教授和何其渝副教授在多年教学的基础上共同合作编著，由周应祺教授负责主编。

本书由上海水产大学乐美龙教授主审。

限于我们的水平，以及渔具力学是一门新兴的、发展中的学科，书中的缺点和错误在所难免，希望读者提出意见。

编 者

2000年9月

新
知
船
网
PDG



目 录

前 言

第一章 绪论	1
1.1 渔具力学发展历史及学科基础	1
1.2 研究的基本方法和渔具作业工况特点	2
1.3 课程结构和学习方法	4
第二章 渔具基本构件的水动力性质	7
2.1 渔具水动力的基本概念	7
2.1.1 水动力的性质和种类	7
2.1.2 水动力在渔具设计计算中的重要性	8
2.1.3 阻力的分类和成因	8
2.2 平板的水动力	13
2.2.1 与流向平时平板的边界层和阻力系数	14
2.2.2 与流向垂直时平板的边界层和阻力系数	18
2.2.3 与流向成交角的平板阻力系数	19
2.3 圆球和球形浮子的水动力	22
2.3.1 圆球的水动力	22
2.3.2 圆球形浮子的水动力和浮阻比	26
2.4 圆柱体和纲索的水动力	27
2.4.1 圆柱体的边界层和阻力系数	27
2.4.2 圆柱体的阻力	29
2.4.3 卡门涡列	32
2.4.4 纲索的阻力系数	33
2.5 机翼	33
2.5.1 机翼的几何参数	34

2.5.2	机翼的流体动力学系数	35
2.5.3	环流效应及旋转圆柱体	36
2.5.4	机翼升力与环流效应	37
2.5.5	无限翼展机翼的升力	38
2.5.6	有限翼展机翼的水动力	41
2.5.7	机翼升阻力的测定	44
2.5.8	机翼的升阻力曲线	45
2.5.9	影响机翼水动力特性的因素	47
第三章 网片的水动力		51
3.1	平面网片的水动力	51
3.1.1	阻力公式的一般形式	51
3.1.2	特征面积和有效直径	52
3.1.3	速度与网片的过水断面	55
3.1.4	平面网片的阻力系数	55
3.1.5	平面网片阻力公式	64
3.1.6	平面网片的缩结系数和张力的关系	69
3.2	圆锥形网片的水动力	72
3.2.1	按无矩理论的回转曲面力学平衡方程式的原理进行分析	72
3.2.2	正面迎流的回转曲面上的水动力	74
3.2.3	圆锥网上的水动力	76
第四章 柔索理论及应用		80
4.1	柔索的力平衡微分方程式	80
4.1.1	柔索的力平衡微分方程式的一般形式	80
4.1.2	纲索的力平衡微分方程式	83
4.1.3	纲索的阻力系数	86
4.1.4	纲索在水中重量 w	89
4.1.5	纲索的形状和张力的分段算法	89
4.2	载荷沿索长均布时, 柔索的形状和张力	94
4.2.1	柔索曲线方程式	94
4.2.2	张力	96
4.2.3	弧长	97
4.2.4	悬链线因素表	99

4.3 载荷沿跨距均布时, 柔索的形状和张力	102
4.3.1 柔索曲线方程式	102
4.3.2 张力	104
4.3.3 弧长	105
4.3.4 抛物线因素表	106
4.3.5 悬链线和抛物线的比较	107
4.4 柔索形状和张力的图解法	109
4.4.1 已知柔索的形状和载荷, 求柔索的张力	110
4.4.2 已知柔索的悬挂点张力, 求柔索的形状	111
4.4.3 已知柔索的悬挂点位置和作用力, 求柔索的形状和悬点张力	111
4.5 力学模拟法	113
4.5.1 悬索力学模拟法	113
4.5.2 渔具运动时的力学模拟法	116
第五章 渔具模型试验	119
5.1 相似原理	119
5.1.1 几何相似	119
5.1.2 运动相似	120
5.1.3 动力相似	120
5.1.4 流体动力相似	121
5.1.5 特种模型相似	122
5.2 渔具模型试验的相似准则	124
5.2.1 渔具模型试验的特点	124
5.2.2 田内准则	125
5.2.3 渔具模型风洞试验	135
5.2.4 狄克逊准则	138
5.2.5 克列斯登生渔具模型试验准则	140
第六章 渔具系统运动学	145
6.1 拖网渔具作业运动轨迹及瞄准捕捞	145
6.1.1 假设	145
6.1.2 渔船—网具系统运动特点及数学表达	146
6.1.3 渔船—网具系统的运动速度	147
6.1.4 网具运动轨迹方程式	148

6.1.5 网具运动轨迹长度	149
6.1.6 网具运动轨迹的曲率	149
6.1.7 应用和讨论	149
6.1.8 图解法	152
6.2 围网作业数学力学模型及应用	153
6.2.1 应用举例	154
习题	156
参考文献	161



第一章 绪 论

1.1 渔具力学发展历史及学科基础

在研究渔具作业性能和进行渔具设计时,有两个方面需要综合考虑:①鱼类的行为,特别是鱼类对渔具的行为反应。渔具的作业性能必须适应鱼类的行为反应,鱼类的行为是选取渔具主要参数的依据。例如,网线的颜色、网目尺寸、网具的结构、形状和大小以及可移动性等,均与鱼类的视觉和游泳能力有关,也就是说,应从物理学角度考虑和设计渔具作业性能;②大多数的渔具是由柔性体,如网片、纲索和属具构成,当作用在渔具上的外力变动时,渔具的形状会发生变化。然而,渔具的形状和它们在空间的位置的变化,又会使渔具所受到的载荷大小和分布发生改变,这些都会影响渔具的作业性能。因此,了解渔具在作业时的力学性质和形状以及各因素之间的相互关系,是渔具设计的理论基础。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。

渔具力学是研究在渔具作业时,渔具系统和构件周围的流态及水动力,各种物理参数对渔具的升阻力的影响,渔具形状和作用力之间的关系,以及有关计算方法的科学。

渔具力学是建立在多门学科的基础上,依靠多门学科的支撑而发展的。因为渔具是在水中使用,必然会受到水的作用力。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和其流态的学科——“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,故“弹性力学”、“柔索理论”等也是渔具力学的基础。流体力学的特点是具有严密的数学性质,着重问题提出的严格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。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。因此,渔具力学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。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。有时,虽然获得的是近似解,但在应用时具有足够的精度,可得到正确的结果。因此,实验设计、实验手段和数据处理是研究渔具力学的重要关键。由此可知,渔具力学是一门实验性很强的学科,主要通过实验,如模型试验、海上实测以及水下观察等进行研究,同时通过建立数学力学方程或经验公式,研究的结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。

以前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的渔具理论研究,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、船舶工业的静水池等作为实验工具,初步地解释了渔具的力学现象。代表著作分别有《渔具理论与计算》(1948, 1969, 1973)和《渔捞物理学》(1925)。上海水产大学以乐美龙教授为主,于20世纪50年代编著了《渔具理论与计算一般原理》,供高等水产院校工业捕鱼专业使用。随着科学技术的发展,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、围网以及绳索拖网等捕鱼工具的发展,瞄准捕捞和网具动态控制等问题的提出,促使渔具力学理论研究的发展。上海水产大学周应祺教授于1982年编著了教材《渔具力学》,并开设了“渔具力学”课程。此后,国内水产高等院校相继以“渔具力学”为名设立课程。

作者在原有教材《渔具理论与计算一般原理》和《渔具力学》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。使渔具静力学更系统化。并增加了渔具运动学,使渔具力学作为一门学科更为完整系统。此外,应用计算机技术,建立渔具系统的数学力学模型,为定量控制提供理论基础。对渔具模型试验、渔具实测等问题补充了最新研究成果。

1.2 研究的基本方法和渔具作业工况特点

渔具力学的研究方法有以下几类:①从微观的角度来研究构成渔具的最小单元的力学性质。例如,研究一个结节以及构成网目的目脚或一个网目的水动力学性质和水阻力的形成,研究单元纲索的水动力学性质等;②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;③研究渔具整体的力学性质。主要通过实测,以经验公式来描述;④通过建立数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。以上方法又可交差综合使用。

世界上使用的渔具中,绝大多数是“网具”,有拖网、围网、流网等。近90%的渔获量是由上述渔具捕获的。渔具与一般的工程设备相比,因为渔具的特殊用途和工况,使它具有许多特点:①作用在渔具上的外力与渔具的形状、渔具上载荷分布等密切相关,并且相互影响;②渔具的工况较差,不仅海水浸泡、生物附着、容易老化,而且磨损快,使用的寿命较短。因此,安全系数取得较高;③渔具作业时,因海况的影响、船的摇摆和渔具起放等操作,渔具常受到冲击载荷,张力的波动较大;④为了渔具作业的安全,要求渔具轻、柔软,容易操作。

在一般工程设计中,特别是机械工程,其构件基本上是刚体,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,以柔性体为主。设计时不仅要计算强度,而且还要考虑形状和载荷的变化,以及渔具在空间位置的变化,还要适应鱼类行为。

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。故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,也可将渔具看成作速度和方向不变的线性运动;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。但是,在某些非匀速运动中,因变化缓慢,可以将渔具看成匀速运动,用静力学的方法来近似分析。

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是复杂而多变的: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,还会有鱼对网具的作用力,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,重要的是分析出什么是主要的力,哪些可以简化和忽略,以便简化计算。

1.3 课程结构和学习方法

渔具力学的主要内容是渔具静力学, 尽管渔具在运动或水在相对流动, 但因作用力变化较缓慢, 仍可以用静力学的方法来研究渔具的力学性质。但是作用在渔具上的主要外力是水动力, 它与渔具的外形密切相关, 故本课程前四章都是以水动力与渔具的关系为主进行研究, 属静力学范畴。

世界上渔获量主要由拖网、围网等运动性渔具生产, 故本课程用一章讨论渔具运动学问题。介绍研究运动速度、轨迹和网位等关系、计算或推算方法。发生在围网作业时的网具沉降和围网的中层拖网的网位动态调整等动力学问题, 由于在生产实践中, 应用测量仪器实时监控调整, 许多问题由于其复杂性, 多半用经验估算解决, 故本课程从实用出发, 对动力学不作详细介绍。由于渔具是柔性体, 在岸上或船上卷绕堆放, 只有在水下工作时才展开成形, 而渔具的作业形状又恰恰与渔具的捕捞效率密切相关。为了解渔具作业形状, 本课程介绍了用数学力学模型推算渔具的主要特征参数, 还介绍渔具模型试验方法, 观察渔具的作业形状。

本课程应用图解法和力学模拟法解决渔具力学中的部分问题, 包括力的大小和方向、运动轨迹、网位控制等, 在满足一定精度下, 是一种简便而实用的方法。

由于渔具力学是一门实用性强的学科, 应渔业生产的需要而发展, 又因为渔具作业中因素多而复杂, 在实用中往往采取多种方法综合解决。有些是则属渔具力学以外的讨论范围, 可从渔具渔法学、渔具材料与工艺学等学习解决。

学习时应注重物理学、力学的基本原理在渔具力学上的应用和实验原理, 对实验结果和经验公式应注意适用范围。各章都附有习题或思考题, 供计算练习用。

附1 渔具材料的重力和静水压力计算方法

任何渔具在作业时都会受到重力和静水压力作用。重力的方向是垂直向下, 用 W 表示。静水压力或静浮力的方向向上, 用 P 表示。

$$\text{则} \quad W = \gamma \cdot V \quad (1.1)$$

$$P = \gamma_w \cdot V \quad (1.2)$$

式中 V —— 体积;

γ —— 渔具材料的比重;

γ_w ——水的比重。

如 Q 是物体在水中的重量，

$$\begin{aligned} \text{则} \quad Q &= W - P \\ &= (\gamma - \gamma_w) \cdot V \end{aligned}$$

$$\text{所以} \quad Q = \frac{\gamma - \gamma_w}{\gamma} \cdot W \quad (1.3)$$

比值 $\frac{\gamma - \gamma_w}{\gamma}$ 表示物体在水中的重量与在空气中的重量之比，即浮率。

但是，网材料一般是多孔的，即网材料所占的空间 V_0 要大于构成物质的实际体积 V_r 。则 $W = \gamma \cdot V_r$ ，以及 $W = \gamma_m \cdot V_0$ ，其中 γ_m 是物体在空气中的平均体积重力（平均比重）。如是无孔材料，则 $\gamma = \gamma_m$ ，故 $V_0 = V_r$ 。

网线材料的体积重力为 $\gamma = \frac{W \cdot \gamma_w}{W - Q}$ ，由此可知，在先测出材料的干重 W 后，再测出材料浸在水中时的重量 Q ，即可计算出材料的比重。

网线、绳索的体积 $V_0 = \frac{\pi}{4} \cdot d^2 l$ ，在水中的单位体积重量 $\gamma^* = \frac{Q}{V_0}$ ，

$$\text{则} \quad \gamma^* = \frac{W \gamma - \gamma_w}{V_0 \gamma}$$

$$\text{所以} \quad \gamma^* = \gamma_m \left(\frac{\gamma - \gamma_w}{\gamma} \right) \quad (1.4)$$

附2 安全系数计算

在工程计算中，通常按许用应力来计算构件的强度。但是，由于渔具是柔性结构，工作过程中渔具各部分的载荷会变化，往往会集中造成破断或撕裂。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，而是注重各个重要构件的超载系数以及磨损，以破断载荷计算，选取安全系数。

如果渔具及其构件预定计划使用 t 天，在这期间，应该具有足够的强度。取渔具安全系数为 n 。如安全系数定义为渔具构件，如网片、属具的初强度 R 与渔具构件报废时的最低限度强度 R_0 （又称剩余强度）之比。即：

$$n = \frac{R}{R_0} \quad (1.5)$$

剩余强度 R_0 是指由于材料磨损、老化后具有的强度。如果强度是按时间的指数函数下降，故在作业了 t 天后，损失的作业强度为：

$$R - R_0 = a \cdot R \cdot t^k \quad (1.6)$$

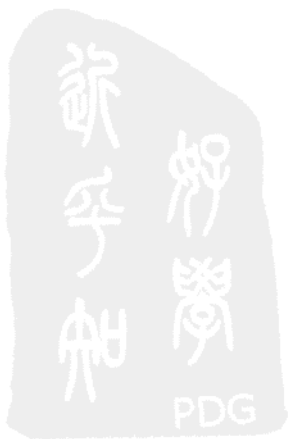
其中， a ， k 是反映磨损情况的系数，可以通过测量强度变化，分析计算后获得。

工作时间 t :

$$t = \left(\frac{R - R_0}{a \cdot k} \right)^{\frac{1}{k}} \quad (1.7)$$

式中 R_0 ——最低限度强度;

t ——寿命。



第二章

渔具基本构件的水动力性质

2.1 渔具水动力的基本概念

在捕捞作业中，运动性渔具将受到水的阻力，而静止性渔具可能会受到水流的作用力。对这些作用力的研究都是以流体力学的一般原理为基础。在 20 世纪初，研究工作主要集中在如何确定水总阻力方面，力求降低渔具受到的水阻力。到 70 年代，对沿渔具网衣表面的水动力分布的研究取得较大的进展，为保证渔具的作业形状达到设计要求，适应捕捞过程中的鱼类行为提供了理论依据。

2.1.1 水动力的性质和种类

渔具或渔具构件在水中运动时，或静止不动，但在水流的作用下，水流对渔具或构件的作用力称为渔具受到的水动力。由运动转换定律可知：一个物体以速度 V 在液体中运动时所受到的阻力，与同一个物体静止不动，而液体以速度 V 流动时，对它产生的作用力相同。换句话说，只要流态相同，水流与物体两者的相对运动，包括速度、作用力可以相互转换。为了方便起见，我们在研究渔具的水动力性质时，往往假设渔具是静止不动，而水流从不同角度流来。

对于在物体前方一定距离处，未被扰动的流速称为来流速度。如图 2-1-1 所示， V 为来流速度，

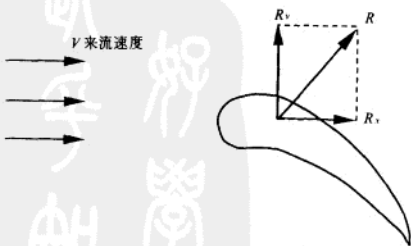


图 2-1-1