



计算渔具  
力学导论

余显炜 著

上海科学技术文献出版社

5A-114

# 计算渔具力学导论

YISUAN YUJU LIXUE DAOLUN

ISBN 7-5439-1855-2



9 787543 918559 >

ISBN 7-5439-1855-2/O·128

定价: 70.00元

# 计算渔具力学导论

JISUAN YUJU LIXUE DAOLUN

余显炜 著

上海科学技术文献出版社

责任编辑：胡德仁

图书在版编目(CIP)数据

计算渔具力学导论/余显炜著. —上海:上海科学技术文献出版社, 2001.12

ISBN 7-5439-1855-2

I. 计... II. 余... III. 远洋渔业-渔捞作业-渔具-计算力学  
IV. S911

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 015036 号

计算渔具力学导论

余显炜 著

\*

上海科学技术文献出版社出版发行  
(上海市武康路 2 号 邮政编码 200031)

全国新华书店经销

常熟人民印刷厂印刷

\*

开本 850×1168 1/32 印张 11.375 字数 316 000

2001 年 12 月第 1 版 2001 年 12 月第 1 次印刷

ISBN7-5439-1855-2/0·128

定价:70.00 元

本书的研究和出版得到了浙江省自然科学基金和浙江海洋学院科学著作出版基金的大力资助!

# 前 言

进入21世纪后,对海洋资源的利用日益受到世界各国的重视,海洋渔业正是人类利用丰富的海洋生物资源,获取优良蛋白质的重要来源。虽然目前近海渔业资源受到过度捕捞的伤害,但联合国海洋法公约在各国广泛实施后,沿海各国对资源和环境的保护更加重视,今后的海洋渔业必然会逐渐向大洋发展。毫无疑问,约占地球总面积70%的海洋还会有更多可以利用的资源被发现,远洋渔业将是我国今后渔业生产发展中的重要产业。

渔具无疑是渔业生产中的重要组成部分,目前我国海洋捕捞产量虽位于世界前列,但在渔具、渔法等方面研究还跟不上形势发展的需要,这对于今后向远洋渔业发展显然是非常不利的。然而,渔具工作的环境是在波涛汹涌的海洋中,要在水层深处进行这方面的生产和研究,决不是一件容易的事情。但为了今后渔业的发展,虽然目前的研究尚属肤浅,作者还是愿意贡献微薄之力,将长期从事渔具力学教学和科研工作的体会与经验汇编成书,有的章节还附上了FORTRAN77语言编写的计算程序,供读者参考。在此,我要特别感谢浙江省自然科学基金委员会,他们曾先后3次(编号390204、394266、397309)资助我进行这方面的研究,对本书的完成无疑起到了重要作用。浙江海洋学院的领导为我创造了良好的工作环境,并为本书出版提供了资助。黄锡昌、李豹德研究员和已故的冯顺楼教授级高工等各位水产界同仁长期对我进行的鼓励、指导和帮助,在此一并谨致以衷心的感谢。

由于水平有限,书中错误或疏漏在所难免,恳望广大读者和同仁不吝赐教。

余显炜 于浙江海洋学院  
2001年12月

# 目 录

## 第一章 纲索形状和张力计算的平面问题

- 第一节 纲索形状和张力的基本方程组 ..... ( 1 )
- 第二节 钢丝绳的水动力性能 ..... ( 4 )
- 第三节 水动摩擦阻力为常量时纲索的计算 ..... ( 11 )
- 第四节 水动摩擦阻力为冲角函数时纲索的计算 ..... ( 35 )
- 第五节 PODE表的计算 ..... ( 52 )
- 第六节 纲索形状和张力分段计算法的平面问题 ..... ( 65 )
- 第七节 水动力和自重作用下平面纲索张力的近似  
计算 ..... ( 73 )

## 第二章 纲索形状和张力计算的空间问题

- 第一节 曳纲形状和张力计算 ..... ( 94 )
- 第二节 拖网钢丝绳丙纶混合索曳纲的力学性能 ..... ( 111 )
- 第三节 双船底拖网曳纲的计算与设计 ..... ( 118 )
- 第四节 拖网上纲受力的理论计算 ..... ( 143 )
- 第五节 纲索形状和张力分段计算法的空间问题 ..... ( 160 )

## 第三章 网板计算

- 第一节 网板的力学平衡方程 ..... ( 169 )
- 第二节 网板、拖网、拖网船的配合计算 ..... ( 176 )
- 第三节 几种不同情况下配合计算的对比 ..... ( 196 )
- 第四节 网板倾侧状态的力学计算 ..... ( 203 )

## 第四章 网片形状与张力计算

- 第一节 网片形状和张力的基本方程组 ..... ( 218 )
- 第二节 平面网片形状和张力的计算 ..... ( 223 )
- 第三节 网囊形状和张力的计算 ..... ( 233 )
- 第四节 空间网片形状和张力的计算 ..... ( 248 )

## 2 计算渔具力学导论

---

第五节	刺网形状与张力计算 .....	(260)
第六节	剪裁网片形状和张力的计算 .....	(264)
第七节	拖网形状和张力的计算 .....	(276)
<b>第五章 拖网系统动力学</b>		
第一节	拖网曳纲的动力学问题 .....	(285)
第二节	拖网系统运动的平面问题 .....	(298)
第三节	拖网系统运动平面问题的计算 .....	(311)
第四节	拖网系统运动的空间问题 .....	(326)



# 第一章

## 纲索形状和张力的平面问题

渔具中纲索的使用极为广泛，既用于渔船与渔具的联接，也用于渔具各部分之间的联接，另外在渔具上装配浮子、沉子或网片时也往往通过纲索，无疑纲索是渔具上的重要组成部分。就纲索材料而言，有各种合成纤维和天然纤维的绳索，也有钢丝绳，其物理性能各不相同，但在渔具的设计和计算上，常常把纲索看作不能抵抗弯矩和扭矩的柔性索。就纲索形状而言，渔具中的纲索在外力作用下常常是大小垂度兼有，至于纲索的受力不仅在纲索的两端，而更多更复杂的受力是在纲索整个长度。由于渔具在水中是用来捕鱼的，而鱼类对不同形状的渔具反映十分敏锐，故渔具中的纲索不但要考虑受力还要考虑形状。

### 第一节 纲索形状和张力的基本方程组

参阅图 1-1-1，在受力的纲索上  $A$  点取微段  $ds$ ，若作用在纲索上单位长度外力为  $q$ ，作用在微段  $ds$  上的外力即为  $q \cdot ds$ ，在微段  $ds$  两端纲索上作用着张力  $T$  和  $T+dT$ ，在定置渔具或渔具匀速直线运动时均可看作静力学问题，即：

$$\frac{dT}{ds} = q \quad (1-1-1)$$

在直角坐标系  $Oxyz$  中若张力  $T$  与  $Ox$ 、 $Oy$ 、 $Oz$  轴的夹角为  $\alpha$ 、 $\beta$ 、 $\gamma$ ，作用在单位长度纲索上的载荷在  $x$ 、 $y$ 、 $z$  方向的分量为

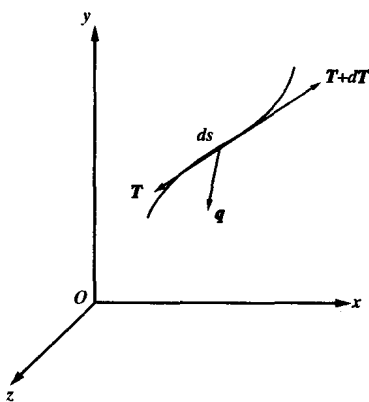


图 1-1-1

$q_x, q_y, q_z$ , 则纲索在  $x, y, z$  方向的平衡微分方程组为

$$\begin{cases} \frac{d(T \cos \alpha)}{ds} + q_x = 0 \\ \frac{d(T \cos \beta)}{ds} + q_y = 0 \\ \frac{d(T \cos \gamma)}{ds} + q_z = 0 \end{cases} \quad (1-1-2)$$

根据纲索的几何性质

$$\cos^2 \alpha + \cos^2 \beta + \cos^2 \gamma = 1 \quad (1-1-3)$$

以上四个方程式是解决纲索形状和张力的静力学基本方程组。

由于  $\cos \alpha = \frac{dx}{ds}$ 、 $\cos \beta = \frac{dy}{ds}$ 、 $\cos \gamma = \frac{dz}{ds}$ , 故平衡方程式的直角

坐标表示法又有如下形式:

$$\begin{cases} \frac{d}{ds} \left( T \frac{dx}{ds} \right) + q_x = 0 \\ \frac{d}{ds} \left( T \frac{dy}{ds} \right) + q_y = 0 \\ \frac{d}{ds} \left( T \frac{dz}{ds} \right) + q_z = 0 \end{cases} \quad (1-1-4)$$

(1-1-3)式可写为:

$$\left( \frac{dx}{ds} \right)^2 + \left( \frac{dy}{ds} \right)^2 + \left( \frac{dz}{ds} \right)^2 = 1 \quad (1-1-5)$$

不论是(1-1-2)、(1-1-3)和(1-1-4)、(1-1-5)均可以用在已知纲索载荷时求纲索的张力和形状, 前者以  $\alpha, \beta, \gamma$  形式表示, 后者以  $x, y, z$  形式表示。当然也可以用在已知形状时求纲索的张力

和作用在纲索上的载荷。另外,由于作用在纲索上的载荷往往不是常量,而是以索长  $s$  或  $\alpha, \beta, \gamma$  (或者  $x, y, z$ ) 的某种函数形式出现,这样就使这组方程式除了几种特殊情况外是得不到通解的,而只能借助计算机求得数值解。

至于在平面情况下直角坐标形式还可以简化为:

$$\begin{cases} \frac{d(T \cos \alpha)}{ds} + q_x = 0 \\ \frac{d(T \cos \beta)}{ds} + q_y = 0 \end{cases} \quad (1-1-6)$$

和

$$\cos^2 \alpha + \cos^2 \beta = 1 \quad (1-1-7)$$

或:

$$\begin{cases} \frac{d}{ds} \left( T \frac{dx}{ds} \right) + q_x = 0 \\ \frac{d}{ds} \left( T \frac{dy}{ds} \right) + q_y = 0 \end{cases} \quad (1-1-8)$$

和

$$\left( \frac{dx}{ds} \right)^2 + \left( \frac{dy}{ds} \right)^2 + \left( \frac{dz}{ds} \right)^2 = 1 \quad (1-1-9)$$

参阅图 1-1-1, 纲索形状和张力计算也可以用自然坐标形式  $\tau$ ,  $\mathbf{n}, \mathbf{b}$  表示,  $\tau$  为纲索曲线的切线方向单位矢量,  $\mathbf{n}$  为纲索曲线的主法线方向单位矢量,  $\mathbf{b}$  为纲索曲线的副法线方向单位矢量。则:

$$\begin{cases} \frac{dT}{ds} + q_\tau = 0 \\ T \frac{d\theta}{ds} + q_n = 0 \\ T \frac{d\psi}{ds} + q_b = 0 \end{cases} \quad (1-1-10)$$

(1-1-10) 式中  $\rho_n$  是纲索曲线的曲率半径,  $\rho_b$  是纲索曲线的挠率半径,  $q_r, q_n, q_b$  分别是作用在微段  $ds$  上的单位长度载荷, 在纲索曲线的切线、主法线和副法线方向的分量。当然(1-1-10)式也可以写为

$$\begin{cases} \frac{dT}{ds} + q_r = 0 \\ T \frac{d\theta}{ds} + q_n = 0 \\ T \frac{d\psi}{ds} + q_b = 0 \end{cases} \quad (1-1-11)$$

式中  $\theta$  和  $\psi$  分别是纲索曲线在  $A$  点微段  $ds$  的相邻主法线和副法线的交角。

在平面情况下挠率等于零, (1-1-10)和(1-1-11)式可简化为:

$$\begin{cases} \frac{dT}{ds} + q_r = 0 \\ \frac{T}{\rho_n} + q_n = 0 \end{cases} \quad (1-1-12)$$

和

$$\begin{cases} \frac{dT}{ds} + q_r = 0 \\ T \frac{d\theta}{ds} + q_n = 0 \end{cases} \quad (1-1-13)$$

## 第二节 钢丝绳的水动力性能

钢丝绳是渔具中使用得较为普遍的纲索, 为了了解其水动力性能, 我们在浙江省海洋水产研究所的循环水槽中做了测试。循环水槽观察段为  $2.5\text{m} \times 1.2\text{m} \times 0.35\text{m}$ , 流速可以改变, 最大流速  $1.5\text{m/s}$ 。测试所用的钢丝绳是 6 股 19 丝、长  $0.48\text{m}$ 、直径  $22\text{mm}$ , 为舟山海洋渔业公司双船拖网(主机功率为  $441\text{kW}$ )所用的国产钢丝绳曳纲。测试时钢丝绳以不同的倾角固定在一个由直径为  $48\text{mm}$  钢丝所弯成的长

方形框架内,框架的尺寸为  $0.3\text{m}\times 0.2\text{m}$ 。若  $x$  轴的指向正好与来流流向相同, $y$  轴的指向垂直向下,与  $x$ 、 $y$  轴相垂直为  $z$  轴。测试时,框架的上、下边与  $z$  轴平行,而来流与框架平面成一定冲角(图 1-2-1),测量阻力的引线一端连在框架上,另一端沿着水平方向(即  $x$  轴)通过伸在水平的细铁杆端点的滑轮,利用装在水槽上的天平测力;测量升力的引线,一端结缚在框架上,另一端由垂直方向(即  $y$  轴)直接与天平相连以便测量,侧向力的引线既与框架的侧边相连,又务必与其他两根线保持垂直(即  $z$  轴)。由于升力和侧向力可以根据几何条件换算,因此测量时仅需测量升力(或侧向力)及阻力,但无论何种情况,这三种力的引线必须分别沿  $x$ 、 $y$ 、 $z$  轴相互保持垂直。另外,在某一角度下测量所得的阻力数值,均需扣除框架在该角度下的阻力,测量所得的升力数值,应扣除钢丝绳和框架在水中的重量,以及框架在该角度下的升力。

参阅图 1-2-1(b),若框架平面与来流交角的余角为  $\theta$ ,而固定在框架平面内的钢丝绳与框架左右边线相交成  $\delta$  角,则  $\theta=0^\circ$  时框架平面与水流垂直, $\theta=90^\circ$  时框架平面与水流平行,当  $\delta=0^\circ$  时来流的流速矢量正好处于钢丝绳原来所在的铅垂平面内, $\delta=90^\circ$  时流速矢量正好与钢丝绳原来所在的铅垂平面垂直。测试时,取  $\delta$  角为定值, $\theta$  角每隔  $10^\circ$  或  $15^\circ$  测量一次阻力和升力(或侧向力),然后通过下列公式换算成阻力系数  $C_x$ 、升力系数  $C_y$  和侧向力系数  $C_z$ :

$$\begin{cases} C_x = \frac{R_x}{\frac{1}{2}\rho v^2 \cdot L \cdot d} \\ C_y = \frac{R_y}{\frac{1}{2}\rho v^2 \cdot L \cdot d} \\ C_z = \frac{R_z}{\frac{1}{2}\rho v^2 \cdot L \cdot d} \end{cases} \quad (1-2-1)$$

## 6 计算渔具力学导论

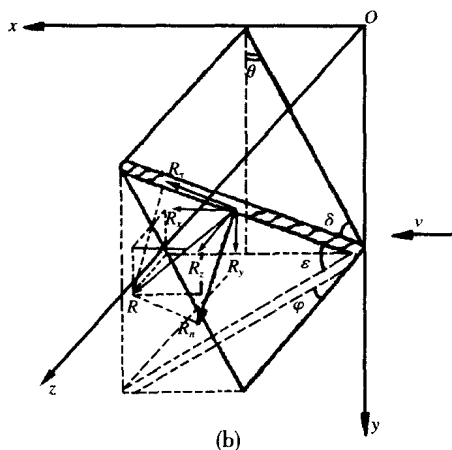
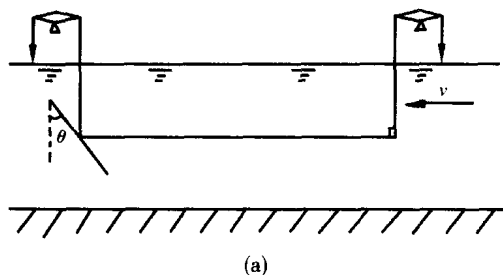


图 1-2-1

式中  $R_x(R_y, R_z)$ ——阻力(升力、侧向力)(N),

$C_x(C_y, C_z)$ ——阻力(升力、侧向力)系数  $\left(\frac{\text{N} \cdot \text{s}^2}{\text{m} \cdot \text{kg}}\right)$ ,

$\rho$ ——流体密度  $[\text{kg}/\text{m}^3]$ ,

$v$ ——流速  $[\text{m}/\text{s}]$ ,

$L$ ——钢丝绳长度  $[\text{m}]$ ,

$d$ ——钢丝绳直径  $[\text{m}]$ 。

若钢丝绳与  $x, y, z$  轴的夹角分别为  $\alpha, \beta, \gamma$ , 则由图示 1-2-2 (b) 可得:

$$\begin{cases} \cos\alpha = \cos\delta \sin\theta \\ \cos\beta = \cos\delta \cos\theta \\ \cos\gamma = \sin\delta \end{cases} \quad (1-2-2)$$

由流体力学可知, 纲索阻力、升力或侧向力系数, 除了和  $\alpha$ 、 $\beta$ 、 $\gamma$  角有关外, 还应该是雷诺数 (Reynolds number) 的函数。但是, 过去多位学者做了大量工作, 一再证实当纲索的雷诺数在  $10^4 \sim 2 \times 10^5$  之间, 以上各个系数变化不大, 由于渔具中纲索工作时的雷诺数 (Re 数) 大致是在以上区间内, 因此我们没有重复做这方面的工作, 而在雷诺数为  $1.5 \times 10^4$  时进行测试 (水的运动粘性系数  $\nu$  按  $0.012 \text{ cm}^2/\text{s}$  计算, 下同), 直接把  $C_x$ 、 $C_y$ 、 $C_z$  仅看作是  $\alpha$ 、 $\beta$ 、 $\gamma$  的函数。

图 1-2-2(a) 至图 1-2-2(e) 为  $\delta = 20^\circ$ 、 $30^\circ$ 、 $45^\circ$ 、 $60^\circ$ 、 $75^\circ$  时  $C_x$  和  $C_y$  值的测试结果。若把测试结果用统计方法进行整理, 则升力、阻力、侧向力系数的公式为:

$$\begin{cases} C_x = 0.9278(1 - \sin^2\theta \cos^2\delta) \\ C_y = \sin 2\theta \cos\delta (0.4512 \sin\delta + 0.1813) \\ C_z = \sin 2\theta \cos\epsilon (0.4512 \sin\epsilon + 0.1813) \\ \quad = \frac{\sin 2\delta \cdot \sin\theta}{\sqrt{1 - \cos^2\delta \cos^2\theta}} (0.4512 \cos\delta \cos\theta + 0.1813) \end{cases} \quad (1-2-3)$$

(1-2-3) 式中的第一式  $C_x$  的相关系数  $R=0.9901$ , 剩余标准离差  $s=0.1023$ ; 而第二式  $C_y$  和第三式  $C_z$  的相关系数  $R=0.9732$ , 剩余标准离差  $s=0.0574$ 。若将纲索与来流垂直, 即  $\delta=0^\circ$ 、 $\theta=0^\circ$  时的阻力系数记作  $C_{x0}$ , 则  $C_{x0}$  显然对于各种规格的纲索是不同的, 而上述这种国产纲索由 (1-2-3) 式第一式可知  $C_{x0}=0.9278$ , 因此, (1-2-3) 式又可写为:

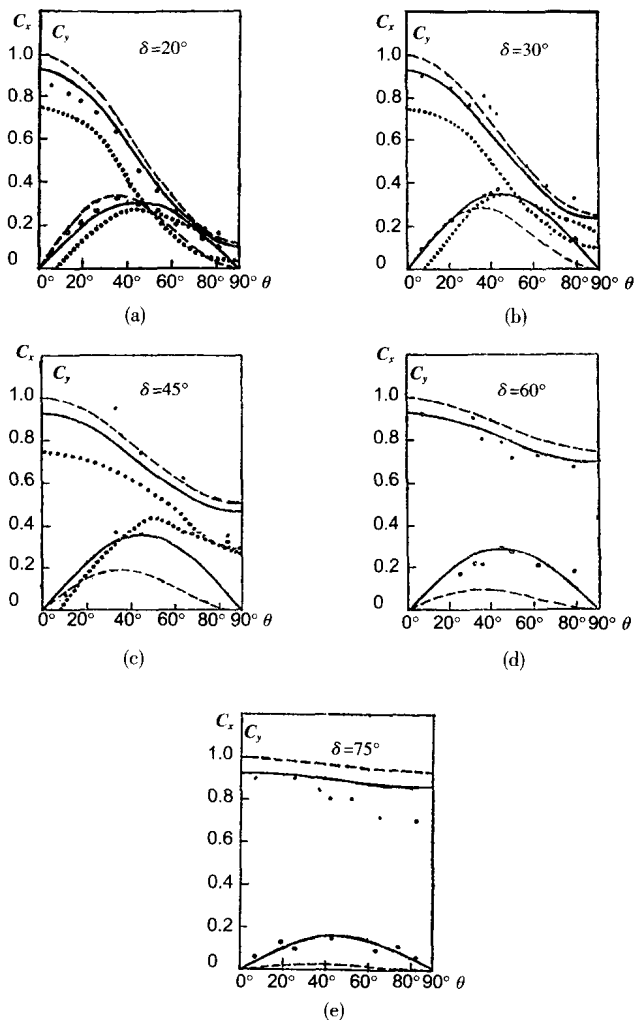


图 1-2-2

- 作者 (在水槽内用国产钢丝索测试)
- - - - - 德国学者 Stengel (在风洞内用钢丝索测试)
- ..... 日本学者宫崎芳夫 (在风洞内用聚乙烯醇纤维索测试)



$$\begin{cases} C_x = C_{x0}(1 - \sin^2 \theta \cos^2 \delta) \\ C_y = C_{x0} \sin 2\theta \cos \delta (0.4863 \sin \delta + 0.1954) \\ C_z = C_{x0} \frac{\sin 2\delta \cdot \sin \theta}{\sqrt{1 - \cos^2 \delta \cos^2 \theta}} (0.4863 \cos \delta \cos \theta + 0.1954) \end{cases} \quad (1-2-4)$$

当来流流速矢量正好处于钢丝绳原来所在的铅垂平面内, 即  $\delta=0^\circ$  时, (1-2-4)式又可简化为:

$$\begin{cases} C_x = C_{x0} \cos^2 \theta \\ C_y = 0.3908 C_{x0} \sin \theta \cos \theta \end{cases} \quad (1-2-5)$$

若将作用在钢丝绳上的外力分解为切向力和法向力, 众所周知, 切向力系数  $C_\tau$  和法向力系数  $C_n$  与  $C_x$ 、 $C_y$  的关系为:

$$\begin{cases} C_\tau = C_x \sin \theta - C_y \cos \theta \\ C_n = C_x \cos \theta + C_y \sin \theta \end{cases} \quad (1-2-6)$$

将(1-2-5)式代入上式, 并整理之可得:

$$\begin{cases} C_\tau = 0.6092 C_{x0} \cos^2 \theta \sin \theta \\ C_n = C_{x0} \cos \theta (0.3908 + 0.6092 \cos^2 \theta) \end{cases} \quad (1-2-7)$$

宫崎芳夫曾用 3 股聚乙烯醇纤维索(ワレモナ)在风洞内做过类似实验, 他所得到的结果为:

$$\begin{cases} C_x = C_{x0}(1 - \sin^2 \theta \cos^2 \delta) \\ C_y = C_{x0} \sin \theta \cos^2 \theta \cos \delta \\ C_z = C_{x0} \frac{\sin \theta \sin^2 \delta \cos \delta}{\sqrt{1 - \cos^2 \delta \cos^2 \theta}} \end{cases} \quad (1-2-8)$$

当来流流速矢量正好处于钢丝绳原来所在的铅垂平面内, 即  $\delta=0^\circ$  时, (1-2-8)式又可简化为: